

## 第十二章 电缆线路安装运行与维护

### 第一节 电缆线路的一般选用标准

#### 一、电缆线路的一般选用标准

##### (一) 施放直埋电缆的要求

1. 人工施放时必须每隔 1.5~2m 放置滑轮一个, 电缆端头从线盘上取下放在滑轮上, 再用绳子扣住向前拖拽, 不得把电缆放在地上施拉。

2. 用机械敷设电缆时, 应缓慢前进, 一般速度不超过 8m/min, 牵引头必须加装钢丝套。长度在 300m 以内的大截面电缆, 可直接绑住电缆芯牵引, 并用铅皮包住电缆芯且用铅封主, 以免潮气侵入电缆。

##### (二) 穿管的选择

为了保证电缆在运行中不受外力损伤, 在下列地方要将电缆穿入具有一定机械强度的管子内。

1. 电缆引入和引出建筑物、隧道、沟道、楼板及主要墙壁处。
2. 电缆引出或引入地面时, 电缆距离地面 2m 至埋入地下 0.1~0.25m 处, 要加装保护。
3. 电缆与各种管道、沟道交叉处。
4. 电缆通过道路、铁路时。
5. 厂区内的各种电缆可能受到机械损伤的地段, 室内行人容易接近的电缆。

当电缆穿管保护时, 管内径不得小于下列数值:

- (1) 当电缆保护管的长度在 30m 以下时, 管内径不应小于电缆外径的 1.5 倍。
- (2) 当电缆保护管的长度超过 30m 时, 管内径不应小于电缆外径的 2.5 倍。

##### (三) 弯曲最小半径的规定

1. 普通粘性浸渍电缆, 多芯电缆  $15D$ ; 单芯电缆  $25D$ 。
2. 不滴流电缆, 单芯和多芯电缆  $25(D+d)$ ; 分相电缆  $20(D+d)$ 。
3. 塑料、橡皮电缆, 多芯及单芯电缆  $10D$ ; 交联聚乙烯电缆  $15D$ 。
4. 自容式充油电缆, 单芯电缆(铅护层、皱纹铝护层)  $25(D+d)$ ; 三芯电缆(铅护层、皱纹铝护层)  $20(D+d)$ ; 平铝护层电缆  $30(D+d)$ 。

对油浸纸电缆,  $D$  为电缆金属护套外径,  $d$  为电缆导体外径; 对塑料、橡皮电缆  $D$  为电缆外径。

##### (四) 环境温度要求

敷设电缆时, 当环境温度低于下列数值时, 应将电缆预先加热, 否则不允许敷设。

1. 35kV 以下油浸纸绝缘电缆  $0^{\circ}\text{C}$ 。
2. 橡皮绝缘沥青浸渍护层电缆  $-7^{\circ}\text{C}$ 。
3. 橡皮绝缘聚乙烯护套电缆  $-15^{\circ}\text{C}$ 。
4. 橡皮绝缘裸铅包电缆  $-20^{\circ}\text{C}$ 。

5. 自容式充油电缆 - 10℃。

### (五) 室内敷设要求

1. 沿墙壁、构架、天花板等处敷设电缆时要在下列各处把电缆固定：

- (1) 垂直或超过 45° 倾斜敷设，电力电缆为 2m，控制电缆为 1m。
- (2) 水平敷设的直线段，除在直线段的两端固定外，中间固定距离，电力电缆为 1m，控制电缆为 0.8m。
- (3) 电缆头，电缆头颈端，电缆接头两侧。
- (4) 线路转弯时，在电缆转弯的两端。
- (5) 通过伸缩缝时，沿缝的中心线两侧 0.75 ~ 1m 处。

2. 阴电力电缆相互间的净距为 35mm，但不小于电缆的外径。1kV 以下电缆与 1kV 以上的电力电缆，相互间的净距应不小于 150mm。

3. 明敷在室内及不填土的电缆沟的电缆要剥除麻袋，铠装电缆应涂防腐漆。

4. 电缆由支架引向设备或配电装置时，在接近处要与设备或配电装置垂直，并在转弯处固定。

### (六) 直埋电缆的要求

1. 直接埋地电缆必须要有防腐层。

2. 当土壤中含有腐蚀电缆外皮的物质时，不准直接埋设。

3. 埋地深度不得小于 0.7m，距排水沟底应不小于 0.5m。

4. 并列敷设电缆之间的距离不应小于以下规定值：

(1) 10kV 及以下的电力电缆，相互间或与控制电缆间为 100mm。

(2) 10kV 以上至 35kV 的电力电缆相互间或其他电缆间为 250mm（穿入管中可降为 100mm），电缆与沟壁间为 50 ~ 100mm。

(3) 不同使用部分的电缆并列敷设时，间隔距离不应小于 0.5m（穿管可降至 100mm）。

5. 电缆沟的底部不准有石子和粗糙不平的现象，底部泥土细软的，可将电缆直接放在沟底，否则，必须在沟底先铺一层 100mm 厚的细黄砂或软土。

6. 电缆放入沟底后，上面要复盖 100mm 厚的软土或黄砂，再用砖铺盖在上面进行保护。

7. 多根电缆并列敷设时，各电缆接头的位置应交错分开，距离不应小于 2m。

8. 电缆接头下面应有衬垫，并要伸出接头两端 0.6 ~ 0.7m。

9. 在城市街道和厂区内，电缆应敷设在人行道或街道边侧下面，距建筑物的基础不应小于 0.6m。

### (七) 直埋电缆相互交叉时的规定

1. 高低压电缆相互交叉时，低压电缆应放在高压电缆上面。

2. 电力电缆交叉时，垂直距离应不小于 0.5m，若有一条电缆在交叉点前后 1m 范围内，穿入管内或用隔板隔开时，可减为 0.25m。

### (八) 直埋电缆与管道、建筑物接近或交叉时的规定

电力电缆与管道、沟道、铁路、电杆、树木、建筑物接近或交叉时，最小允许距离见表 12-1。

表 12-1 直埋电缆与管道、建筑物接近或交叉允许距离 (mm)

类别	接近距离	交叉时垂直距离	类别	接近距离	交叉时垂直距离
电缆与易燃管道	1000	500	电缆与树木	1000	—
电缆与热力沟	2000	500	电缆与其他管道	500	250
电缆与建筑物	600	—	电缆与铁路路基	3000	1000
电缆与电杆	500	—			

**(九) 电缆沿铁路敷设时,最小允许接近距离的规定**

1. 电缆与普通铁路路轨为 3m。
2. 电缆与直流电气化铁路路轨为 10m。
3. 电缆与有轨电车路轨为 2m。

如果小于以上距离时,应将电缆穿在管中,并采取适当的防腐措施。

**(十) 垂直或沿陡坡敷设的电缆在最高与最低点间的最大允许高度差  
(见表 12-2)**

表 12-2 垂直或沿陡坡敷设的电缆在最高与最低点间最大允许高度差 (mm)

电 压/kV		铅 包	铝 包	电 压/kV	铅 包	铝 包
1~3	铠 装	25	25	6~10 铠装及无铠装	15	20
	无铠装	20	25	10~35 铠装及无铠装	5	—

**(十一) 电缆在隧道或电缆沟内应保持最小允许距离(见表 12-3)**

表 12-3 电缆在隧道或电缆沟内保持最小允许距离 (mm)

电缆类别及敷设方式		隧道	电缆沟	电缆类别及敷设方式		隧道	电缆沟
两边有电缆时,架空水平净距(通道宽)		1000	300	电缆架各层间 垂直净距离	电力电缆	200	150
一边有电缆架,架与壁间水平净距(通道宽)		900	300		控制及通信电缆	100	100
高 度		1800	—		电力电缆间水平净距	35	35

**(十二) 电缆头出线应保持固定位置,其带电引上部分之间至接地部分的  
距离****(十三) 电缆支持点间的最大距离**

表 12-4 带电引上部分之间及接地部分的最小距离 (mm)

电压/kV	1~3	6	10	20	35
户 内	75	100	125	180	290
户 外	135	160	200	300	420

表 12-5 电缆支持点的最大距离 (mm)

敷 设 方 式 \ 类 型	塑料护套、铅包、铝包、钢带铠装		钢丝铠装
	电力电缆	控制电缆	
水平敷设	1	0.8	3
垂直敷设	1.5	1	6

## (十四)其他有关规定

1. 露天敷设的电缆,应根据电缆外护层的情况,必要时涂以沥青漆,以防腐蝕。
2. 直埋电缆的周围泥土不应含有腐蝕电缆金属包皮的物质(如酸、碱、石灰、炉渣等)。
3. 直埋电缆接头下面必须垫以混凝土基础板,其长度要伸出接头保护盒两端约 600~700mm。
4. 直埋电缆自土沟引进隧道、入孔、建筑物时,应穿在管中,并在管口加以堵塞以防漏水。
5. 入孔内各电缆铅包应全部互相连接起来,电缆支架和电缆铅包间用绝缘板隔开,或用导线牢固地连接起来,电缆铅包若直接连接到接地金属架上,其接触电阻应不大于  $0.1\Omega$ 。
6. 在电缆中间接头和终端头处,电缆铠装、铅包和金属接头盒应有良好的电气连接,使其处于同一电位。
7. 电缆中间接头和户外终端头应有可靠的防水密封,以防水分侵入。
8. 电缆头相位颜色应显明,并与电力系统的相位相符。
9. 敷设在效区及空旷地带的电缆线路及厂区直埋电缆线路,应竖立电缆位置的标志,并有符合实际的电缆敷设路径图和详细的技术资料。

## 二、选用及安装

### (一)选用

1. 路径的选择 路径的选择应满足经济、施工、安全运行的要求:

- (1) 投资省、路径短、转弯少。
- (2) 尽量减少穿越各种管道、公路、铁路、房屋建筑和电缆沟道。
- (3) 远离机械振动、化学腐蝕和气管管路。
- (4) 便于开控、检查和施工修理
- (5) 散热条件好。
- (6) 避开规划中要挖掘土方的地点。

2. 电缆截面的选择

- (1) 电缆的额定电压应等于或大于供电系统的额定电压。
- (2) 电缆的持续容许电流应等于或大于供电负载的最大持续电流。
- (3) 线芯截面应满足供电系统短路时的热稳定要求。
- (4) 供电网络的电压降应等于或小于规定值。

3. 外护层的选择 合理选择电缆护层,才能保证电缆的使用寿命。电缆外护层具有可靠防蚀作用及良好的防水性能,常用材料有聚氯乙烯和聚乙烯。铠装层一般由钢带或钢丝构成。钢带铠装具有抗压作用,用于直埋电缆,钢丝铠装具有抗拉作用,用于水平或垂直敷设电缆。

4. 敷设方式的选择 常用的电缆敷设方式有:直接埋地敷设、敷设在电缆沟或隧道内、沿建筑物内部的墙上或天花板敷设、装在构架上、敷设在管内。要根据具体情况而定。

(1) 在工矿企业,可将电缆敷设在地沟里,装在构架上,沿墙壁或天花板敷设,而不易采用直接埋地的敷设方式。当并列敷设的电缆较多时(40根以上),宜建造电缆隧道。

(2) 在电缆线路要通过已敷设多条电缆和其他管道设施密集的地方,为便于检修宜采用电缆隧道或敷设在管内。

- (3) 在酸碱腐蝕严重地区,可将电缆敷设在构架上。
- (4) 在爆炸危险场所及农村或人烟稀少的偏僻地区,可采用直接埋地敷设。

### (二)安装

1. 施工的一般原则

(1) 敷设前应检查电缆是否受潮,表面有无损伤,电缆额定电压是否与电源电压相符,型号、截面是否符合设计要求。并测量绝缘电阻,一般不低于  $10M\Omega$ ,必要时进行直流耐压试验,确认合格后,才能敷设。

## (2) 施工中应保证

- 1) 电缆密封良好。
- 2) 接头的介电强度不低于电缆本身的介电强度。
- 3) 电缆具有一定的电气距离, 以免短路或击穿。
- 4) 导体接触良好, 接触电阻小而稳定, 并有足够的机械强度。
- (3) 确定电缆构筑物时, 要预留备用支架及孔眼, 并留有一定长度的电缆裕量。
- (4) 露天敷设时, 要避免日光直射。
- (5) 敷设在室内电缆沟中及明敷设时, 应剥去电缆外部的黄麻层, 并涂刷防腐油。

(6) 电缆埋设于地下时, 应在回填土以前验收隐蔽工程, 并绘制竣工图, 标明具体坐标、部位及走向, 以便维修时参考。

## (7) 其他参照一般规定和要求。

## 2. 敷设方法

(1) 在电缆隧道和电缆沟内敷设 在电缆隧道内敷设时应满足以下要求:

1) 隧道长度在 7m 以下时, 可设一个出入口; 隧道长度在 7m 以上时, 两端应设出入口; 两个出入口之间的距离超过 75m 时, 应增设出入口。

2) 入孔直径不得小于 0.7m。

3) 隧道内应设有照明灯, 电压不超过 36V, 否则采取安全措施。

4) 通道地面应尽量平坦, 向排水沟方向要有不小于 0.5% 的坡度, 而排水沟向集水井应有 0.3% ~ 0.5% 的坡度。

5) 隧道与厂房连接处及长距离隧道中每隔 100m 应设带门的耐火隔墙。

6) 隧道应尽量采用自然通风, 当电力损耗超过 200W/m 时, 应采用机械通风。

在电缆沟内敷设时应注意以下几点:

1) 室内电缆沟的盖板要与地面相平, 在容易积水、积灰的地方, 要使用水泥砂浆或沥青封堵盖板缝隙。

2) 室外电缆沟的盖板要高出地面 100mm, 若妨碍交通或排水, 可构筑具有覆盖层的电缆沟, 而盖板顶部一般低于地面 300mm。

3) 室外电缆沟进入厂房入口处, 要设有防火隔墙。

4) 电缆沟每隔 50m 左右应设置集水井, 电缆沟底向集水井应有不小于 0.5% 的坡度, 以便分段排水。

5) 一般用钢筋混凝土盖板, 重量不超过 50kg, 室内也可采用钢板。

6) 在支架上敷设时, 电力电缆应位于控制电缆的上面, 而 1kV 以下的电力电缆和控制电缆也可并列敷设。当两侧都有支架时, 可按电压、种类不同而分别敷设在不同侧支架上。

7) 在电缆接头的两侧各 2m 之内, 上部要用耐火板隔开, 防止中间接头发生故障时烧坏邻近电缆。

## (2) 排管内敷设

1) 排管可用陶瓷管、石棉水泥管或混凝土管, 但管内必须光滑。

2) 按需要的孔数将管子排成一定型式, 管子接头要错开, 并用水泥浇成一体, 一般分为 2、4、6、9 孔等型式。

3) 孔径一般应不小于电缆外径的 1.5 倍, 敷设电力电缆的排管, 孔径应不小于 100mm, 控制电缆孔径应不小于 75mm。

4) 埋入地下排管顶部至地面的距离应不小于以下值: 室内为 200mm; 人行道为 500mm; 一般地区为 700mm。

5) 在直线距离超过 100m 的地方及排管转弯和分支处都要设置排管井坑, 井坑深度应不小于 1.8m, 井坑直径应不小于 0.7m, 以便检修或更换电缆。

6) 排管通向井坑应有不小于 0.1% 坡度, 以便管内的水流入井坑内。

7) 敷设在排管内的电缆, 可采用加强铅包, 但应无铠装的裸电缆或塑料护套电缆。

## (3) 直接埋地敷设

1) 直埋电缆, 通常使用铠装电缆。

2) 开挖的沟底必须是松软的土层,如果是石块或硬质杂物要铺 100mm 厚的软土或砂层,电缆周围的泥土如含有腐蚀电缆金属包皮,应清除和换土,埋深应不小于 0.7m,在寒冷地区要埋设在冰冻层以下。

3) 电缆敷设后,上面要铺 100mm 厚的软土或细砂,再盖上混凝土保护板,覆盖宽度应超过电缆两侧以外各 50mm,或用砖代替混凝土保护板。

4) 中间接头盒外面要有生铁或混凝土保护盒,若周围介质对电缆有腐蚀作用,或地下有水并在冬季可能冰冻,要在保护盒内注满沥青。

5) 接头下面应垫以混凝土基础板,长度要伸出接头保护盒两端 600~700mm,电缆自土沟引进隧道,入孔和建筑物时,要穿在管中,并将管口堵塞,防止漏水。

6) 电缆互相交叉,与非热力管和沟道交叉,穿越公路和墙壁时,都要穿在保护管中,保护箱长度应超出交叉点 1m,交叉净距不应小于 250mm,保护管内径不应小于电缆外径的 1.5 倍。

7) 电缆与建筑物平行距离应大于 0.6m,与电杆应保持 0.6m 距离,与排水明沟距离应大于 1m,与热力管道平行距离为 2m(非热力管道为 1m),与树木的距离为 1.5m。

8) 无铠装电缆从地下引出地面时,其高度不小于 1.8m,并在下部分采用金属管或保护罩进行保护,以免损伤。

9) 在铠装电缆的金属外皮两端要可靠接地,接地电阻不得大于  $10\Omega$ 。

10) 在电缆通过的地点,应埋设标桩,接头与转弯处也要埋设标桩,以便维修及提醒来往车辆注意安全。

#### (4) 桥架敷设

1) 立柱间距一般不应大于 2m,桥架荷重不应超过  $125\text{kg/m}$ 。

2) 对桥架要进行防腐处理,一般应在桥架表面镀锌、镀铬、涂氧化树脂、刷过氯乙烯漆,或在熔融的聚氯乙烯中浸渍处理。在腐蚀性强的环境中,可采用铝合金、塑料、低标准不锈钢等耐腐蚀材料制做桥架。

3) 电缆在托盘上可进行单层敷设,小型电缆用塑料卡带固定在托盘上,大型电缆可用铁皮卡子固定。

4) 桥架的主柱、底座、引出管的底座和托臂等部件,可用膨胀螺栓固定在混凝土构件或砖墙上。

#### (5) 明敷设,电缆明敷应在以下地方固定:

1) 垂直敷设或  $45^\circ$  以上倾斜敷设的各个支持点固定一次。

2) 水平敷设的两端、直线路径上每隔 10 个左右的支持点固定一次。

3) 转弯处两端和小截面电缆的转弯中点上。

4) 电缆中间接头的两侧和终端头的颈部。

5) 建筑物变形缝两侧各 0.75~1m 处。

6) 其他支持点可不固定,但支持点间的距离应不大于表 12-6 所规定的值。

表 12-6 电缆支持点间的距离

(m)

电缆种类	沿支架或建筑物表面敷设				电缆种类	沿支架或建筑物表面敷设			
	水平	垂直	水平	垂直		水平	垂直	水平	垂直
电力电缆	1	2	0.75	1.5	控制电缆	0.8	1	0.6	0.75

电缆敷设固定后,要在以下部位装设标志牌:

1) 电缆两端和中间接头处。

2) 电缆线路改变方向的转弯处。

3) 从一个平面跨越到另一个平面处。

4) 隧道、地下室、建筑物引入处的两侧。

5) 穿过基础、楼板、墙和间壁等隐蔽部位的两侧。

6) 混凝土排管出口和入口处。

7) 电缆竖井口。

在标志牌上应标明电缆编号、型号、电压、芯数、截面、去向和起讫点。

#### (6) 敷设接户线

- 1) 动力用户的接户线,可用四根绝缘导线(三粗一细),照明用户的接户线可用两根截面相同的绝缘导线。选择芯线截面时,铜线不应小于 $2.5\text{mm}^2$ ,铝线不应小于 $4\text{mm}^2$ 。
- 2) 接户线的档距不宜超过 $25\text{m}$ ,超过 $25\text{m}$ 时,要在档距中间加装接户杆,低压接户杆的档距不得超过 $40\text{m}$ 。
- 3) 在用户侧的最小对地距离为:低压不应小于 $2.7\text{m}$ ;高压不应小于 $4\text{m}$ ,并从接户杆上引接,不应从档距中间悬空接线,而两端要固定绑在绝缘子上。
- 4) 低压接户线的线间距离不得小于表12-7所列值。

表 12-7 低压接户线的线间距离

架设方式	档 距/m	线间距离/mm	架设方式	档 距/m	线间距离/mm
由杆上引下	25 及以下	15	沿墙敷设	6 及以下	10
	25 以上	20		6 以上	15

- 5) 接户线与上方窗户或阳台的垂直距离不得小于 $0.8\text{m}$ ,与下窗户的垂直距离不得小于 $0.3\text{m}$ ,与下阳台的垂直距离不得小于 $2.5\text{m}$ ,与窗户或阳台的水平距离不得小于 $0.75\text{m}$ ,与墙壁、构架的距离不得小于 $0.05\text{m}$ 。
- 6) 接户线与广播、电话线的交叉距离:接户线在上面时,不得小于 $0.6\text{m}$ ;在下面时,不得小于 $0.3\text{m}$ 。
- 7) 导线水平排列时,零线要靠墙敷设,垂直排列时,零线要敷设在最下方;从两个电源引入的接户线不宜同杆架设。
- 8) 不同规格、不同金属的接户线,不应在档距内连接,跨越通车道路的接户线不应有接头,而接头要用绝缘布包扎。
- 9) 在雷电频繁地区,要将接户线绝缘子的铁脚接地;公共场所的接户线要把附近 $1\sim 2$ 基电杆上的绝缘子铁脚接地。

#### (7) 敷设进户线

- 1) 进户线的长度不宜超过 $1\text{m}$ ,超过时要使用绝缘子在中间固定。室内一端应能够接到电度表接线盒内,室外一端与接户线搭接后要留有一定裕度,进户中性线要有明显标志。
- 2) 进户点到地面距离大于 $2.7\text{m}$ 时,要用绝缘导线穿瓷管进户,并使进户管口与接户线的垂直距离保持 $0.5\text{m}$ 左右。
- 3) 进户点到地面距离小于 $2.7\text{m}$ 时,要加装进户杆,并用塑料护套线穿瓷管或绝缘导线穿钢管或硬塑料管进户。
- 4) 进户线的最小截面:铜线为 $1.5\text{mm}^2$ ,铝线为 $2.5\text{mm}^2$ 。
3. 制作 电缆敷设后,两端要剥去一定长度的线芯,以便分相与设备接线端子连接,使引出线芯重新加以绝缘和密封,再将导线芯接到电气设备上,因此,电缆终端头的制作是电缆施工最重要的一道工序,制作质量的好坏,直接影响电气设备的安全运行。

#### (1) 环氧树脂封端电缆头的制作

- 1) 剥切尺寸和结构尺寸要符合设计要求。
- 2) 线芯和分叉处要用玻璃丝带包缠,然后涂上环氧树脂涂料,绝缘的包缠和填充要密实、规整。
- 3) 环氧树脂电缆盒的尺寸要与盒内电缆的截面和电压相适应。
- 4) 盒内铅包长度一般为 $30\text{mm}$ ,对铅包表面要进行加工,呈现出金属光泽的粗糙面。
- 5) 盒内塑料护套面,要加工成粗糙面且擦净。
- 6) 屏蔽层的接地线要预先引出盒外。
- 7) 芯线的套管要套装严实。

8) 芯线要对称排列,壳间应留有3~5mm的间隙。

9) 盒内和电缆表面都要擦洗干净,盒内壁要研磨毛糙,电缆盒要稳定地置于位置上,以防止灌注时移动。

10) 灌注时把电缆芯线和电缆盒预先加热,将环氧树脂缓慢地注入,以免生成气泡和孔洞,灌注一般分三次进行:第一次浇灌一半,待冷至60~70℃时再第二次浇灌,待冷却至与周围温度相同时,再第三次补充浇灌,确保全灌满并找平。

#### (2) 电缆中间接头的制作

1) 中间接头每端剥切长度300mm,连接管的材料和管径与芯线相同。

2) 包缠时可在连接管处包四层塑料自粘胶带,其余部位包两层自粘胶带,全部芯线包两层涤纶胶带。

3) 用无碱玻璃丝带加涂料,每根芯线包两层,芯线并在一起再统包三层无碱玻璃丝带加涂料,而根部应缠五层,固化后,再用塑料带缠两层,外边用塑料布包好,用塑料绳扎紧,接好地线。

4) 电缆头底下铺上水泥板,周围砌一个砖匣,上面再盖水泥板,即可填土。

#### 4. 电缆终端及连接盒的安装

(1) 安装前要做好充分准备,施工地点要保持清洁干燥,相对湿度不高于60%,雨天施工应有防潮措施,周围温度一般应在5℃以上。

(2) 从剥切电缆至安装完毕必须连续进行,尽可能缩短油纸绝缘在空气中的暴露时间,以防受潮。

(3) 切割绝缘纸时不应切伤内部绝缘,纸卷绕包应均匀紧密,屏蔽层要连续完整。

(4) 对于自容式充油电缆,在纸卷绕包完毕要抽真空和充油。要求真空度达到11.3~66.5Pa,并维持4~8h,然后在真空下充油直至充满为止。终端在出线杆顶抽真空,从尾管阀门充油。

充油完毕24h后取油样检查,要求100℃下 $\mu\text{g}/\text{g} \leq 0.005$ ,室温下击穿电压 $\geq 45\text{kV}/2.5\text{mm}$ 。

剥开的铜带应绕包好,卷绕到封铅处固定。

## 三、运行与维修

为了保持电缆设备的良好状态和电缆线路的安全、可靠运行,首先应全面了解电缆的敷设方式、结构布置、走线方向及电缆中间接头的位置等。

电缆线路的运行和维护,主要是线路巡视、维护、负荷及温度的监视、预防性试验及缺陷故障处理等。

### (一) 巡视检查

1. 巡视检查周期 对电缆线路一般要求每季进行一次巡视检查,对户外终端头每月应检查一次。如遇大雨、洪水等特殊情况及发生故障时,还应增加巡视次数。

#### 2. 巡视检查内容

##### (1) 直埋电缆线路

1) 沿线路地面上有无堆放的瓦砾、矿渣、建筑材料、笨重物体及其他临时建筑物等,附近地面有无挖掘取土,进行土建施工。

2) 线路附近有无酸、碱等腐蚀性排泄物及堆放石灰等。

3) 对于室外露天地面电缆的保护钢管支架有无锈蚀移位现象,固定是否牢固可靠。

4) 引入室内的电缆穿管处是否封堵严密。

5) 沿线路面是否正常,路线标桩是否完整无缺。

##### (2) 敷设在沟道内的电缆线路

1) 沟道的盖板是否完整无缺。

2) 沟内有无积水、渗水现象,是否堆有易燃易爆物品。

3) 电缆铠装有无锈蚀,涂料是否脱落,裸铅皮电缆的铅皮有无龟裂、腐蚀现象。

4) 全塑电缆有无被鼠咬伤的痕迹。

5) 隧道内电缆位置是否正常,接头有无变形漏油,温度是否正常,构件有无失落,通风、排水、照明、消防等设施是否完整。



- 6) 线路铭牌、相位颜色和标志牌有无脱落。
- 7) 支架是否牢固,有无腐蚀现象。
- 8) 管口和挂钩处的电缆铅包是否损坏,铅衬有无失落。
- 9) 接地是否良好,必要时可测量接地电阻。

### (3) 电缆终端头和中间接头

- 1) 终端头的绝缘套管有无破损及放电现象,对填充有电缆胶(油)的终端头有无漏油溢胶现象。
- 2) 引线与接线端子的接触是否良好,有无发热现象。
- 3) 接地线是否良好,有无松动、断股现象。
- 4) 电缆中间接头有无变形,温度是否正常。

### (4) 其他

1) 对明敷电缆应检查沿线挂钩或支架是牢固,电缆外表有无锈蚀、损伤,线路附近有无堆放易燃易爆及强腐蚀性物体。

2) 洪水期间及暴雨过后,应检查线路附近有无严重冲刷、塌陷现象,室外电缆沟道的泄水是否畅通,室内电缆沟道有无进水等。

### 3. 电缆运行监视

(1) 电缆温度监视,电缆导体的温度应不超过最高允许温度。一般每月检查一次电缆表面温度及周围温度,确定电缆有无过热现象。测量电缆温度应在最大负荷时进行,对直埋电缆应选择电缆排列最密处或散热条件最差处。

(2) 电缆负荷的监视,电缆负荷应不超过允许载流量,测量负荷可用配电盘电流表或钳形电流表,一般应选择有代表性的时间和负荷最特殊时间内进行测量。过负荷对电缆的安全运行危害极大,当发现异常现象时应紧急减轻负荷,确保电缆正常运行。

(3) 电缆接地电阻的监视,电缆金属护层对地电阻每年测量一次。单芯电缆护层一端接地时,应每季测量一次金属护层对地的电压。测量单芯电缆金属护层电流及电压,应在电缆最大负荷时进行。

(4) 电压监视,电缆线路的正常工作电压,一般不应超过额定电压的 15%,以防止电缆绝缘过早老化,确保电缆线路的安全运行。如要升压运行,必须经过试验,并报上级技术主管部门批准。

(5) 在紧急事故时,电缆允许短时间内过负荷,但应满足下列条件:

- 1) 3kV 及以下电缆,只允许过负荷 10%,并不得超过 2h。
- 2) 3~6kV 电缆,只允许过负荷 15%,不得超过 2h。

(6) 直埋电缆表面温度,一般不宜超过表 12-8 所列值。

表 12-8 直埋电缆表面温度上限值

电缆额定电压/kV	3 及以下	6	10	35
电缆表面最高允许温度/°C	60	50	45	35

(7) 电缆导体最高允许温度,不宜超过表 12-9 所列值。

表 12-9 电缆导体最高允许温度

额定电压/kV	3 及以下		6		10		35
	油纸绝缘	橡胶或聚氯乙 烯绝缘	油纸或聚氯乙 烯绝缘	交联聚 乙烯绝 缘	油纸绝 缘	交联聚 乙烯绝 缘	油纸 绝缘
线芯最高允许温度/°C	80	65	65	90	60	90	50

(8) 电缆同地下热力管交叉或接近敷设时, 电缆周围的土壤温度, 在任何情况下不应高于本地段其他地方同样深度的温度 10℃ 以上。

(9) 电缆纸端头的引出线连接点, 在长期负载下易导致过热, 最终会烧坏接点, 特别是在发生故障时, 在接点处流过较大的故障电流, 更会烧坏接点。因此, 运行时对接点的温度监测是非常重要的。一般可用红外线测温仪或测温笔进行测量。使用测温笔是带电测温, 在操作中应注意安全。

(10) 在运行中发生短路故障时, 通过的电流将突然增加很多倍, 短路情况下的电缆导体允许温度不超过表 12-10 所列值。

表 12-10 电缆导体在短路时允许温度

电 缆 种 类		短路时电缆导体允许温度/℃	电 缆 种 类	短路时电缆导体允许温度/℃
纸绝缘 电 缆	10kV 及以下	220	聚氯乙烯绝缘电缆	120
	20 ~ 35kV	175		
充 油 电 缆		160	聚乙烯绝缘电缆	140
交联聚 乙烯绝 缘电缆	铜导体	230		
	铝导体	200	天然橡皮绝缘电缆	150

电缆线路中有中间接头者, 其短路容许温度为:

焊锡接头 :120℃

压接接头 :150℃

电焊或气焊接头 :与导体短路时允许温度相同。

## (二) 检修

1. 预防性试验 由于各种原因, 电缆在敷设和运行中往往会出现缺陷。如在敷设时过度弯曲、损伤了内部绝缘, 或在运行中因散热不良、过载而造成过热, 使绝缘水平下降而形成故障。为了及时发现这些缺陷, 确保电缆线路的安全运行, 一般要在交接、重做电缆头及相隔一定的时间都应进行试验。

(1) 测量绝缘电阻 绝缘电阻一般都使用兆欧表来测量, 对 1kV 以下的电缆用 1000V 兆欧表, 对 1kV 以上的电缆用 2500V 兆欧表, 测量时应注意下列事项:

1) 测量前先将电缆放电、接地, 以保证安全。

2) 在兆欧表未与测量设备连接而空摇时, 指针应指在“∞”位置, 如果不在这一位置, 即表明兆欧表受到碰撞, 指针和线圈的位置改变或线圈已受潮, 这时测出的电阻值误差较大。

3) 电缆终端头套管表面应擦拭干净, 测量时, 将被测相接于兆欧表“线(L)”上, 非被测相都和电缆外皮一同接地。兆欧表的“地(E)”柱也接地。如果电缆接线端可能产生表面泄漏时, 应加屏蔽并接于表的“屏蔽”(G)柱上。

4) 操作时, 应使手摇发电机的转速在 120r/min 左右, 如果速度快时慢, 就会使指针晃动不定。

5) 测量完毕后或需要再测量时, 应将电缆放电、接地, 当电缆线路较长及其绝缘良好时, 放电、接地时间不得少于 1min。

6) 各种电压级电缆最低绝缘电阻见表 12-11。

表 12-11 不同电压电缆的最低绝缘电阻

电缆额定电压/kV	3	6	10	20 ~ 35
绝缘电阻/MΩ	300 ~ 750	400 ~ 1000	400 ~ 1000	600 ~ 1500

电缆的绝缘电阻,一般不作规定,仅同以前的测量结果进行比较,从中发现绝缘存在的缺陷。若低于上次测量的30%,应做直流耐压试验,以便做出正确判断。

(2)直流耐压和泄漏电流试验,直流耐压和泄漏电流试验主要用1kV以上电压等级的电缆,一般每年应试验一次,对新敷设的有中间接头的电缆线路或重新做电缆头的,都应经试验合格后才能投入运行。

1)绝缘电阻测量,电缆直流耐压试验的电压标准见表12-12。

表12-12 电缆直流耐压试验标准

电缆种类	额定电压/kV	试验电压标准		电缆种类	额定电压/kV	试验电压标准	
		交 接 时	运 行 时			交 接 时	运 行 时
油浸绝缘电缆	2~10	6倍额定电压	5倍额定电压	塑料绝缘电缆	35	按制造厂规定	85kV
	15~35	5倍额定电压	4倍额定电压		10		25kV
橡皮绝缘电缆	2~10	4倍额定电压	3.5倍额定电压		6		15kV

电缆的直流耐压试验持续时间:交接或重包电缆头为10min,运行中为5~10min,控制电缆为1min。

2)泄漏电流测量,在进行直流耐压试验的同时,用接在高压侧的微安表测量泄漏电流,其参数如下:  
35kV电缆在试验耐压时的泄漏电流为85 $\mu$ A。

10kV:电缆为50 $\mu$ A。

6kV:电缆为30 $\mu$ A

3kV:电缆为20 $\mu$ A

泄漏电流三相最大不对称系数一般应不大于2,电缆的泄漏电流只作为判断绝缘情况的参考,不作为决定是否投入运行的标准。

## 2. 故障检查

(1)高电阻接地故障点,电缆的高电阻接地故障是指导体与铅护层或导体与导体之间的绝缘电阻值远低于正常值,但大于100k $\Omega$ ,而芯线连续性良好。

用高压电桥寻找高阻接地故障,其接线原理图如图12-1所示,由于故障点电阻大,必须使用高压直流电源,以保证通过故障点的电流不致太小。桥臂电阻为100等分的3.5 $\Omega$ 左右的滑线电阻,电桥所加电压为10~20kV,微安表指示为10~20 $\mu$ A,故障点至测量端的距离可按下式计算,即

$$X = 2L \frac{C}{100}$$

当调换图12-1中故障芯线与完好芯线的位置时,则有

$$X = 2L \left( 1 - \frac{C}{100} \right)$$

式中  $X$ ——故障点至测量端的距离(m);

$L$ ——电缆线路长度(m);

$C$ ——滑线电桥读数。

测量时应注意事项:

1)由于测量是在高压下进行,必须与地可靠绝缘,操作人员应戴绝缘手套,用绝缘杆操作,并与高压引线保持一定距离。

2)同一电缆中不测量的芯线也必须可靠接地,以防感应产生危险高压。

3)测量时应逐渐加压,若发现电流表指针晃动或闪络性故障,要立即停止测量,以免烧坏仪表。

4)当用正接法测量完毕而需要更换接线时,必须降低电压,切断电源。只有将回路中残余电荷放尽,才能调换接线进行反接法测量。

(2)单相低电阻接地故障点,电缆的单相低电阻接地故障是指电缆的一根芯线对地的绝缘电阻低于100k $\Omega$ ,而芯线连续性良好。

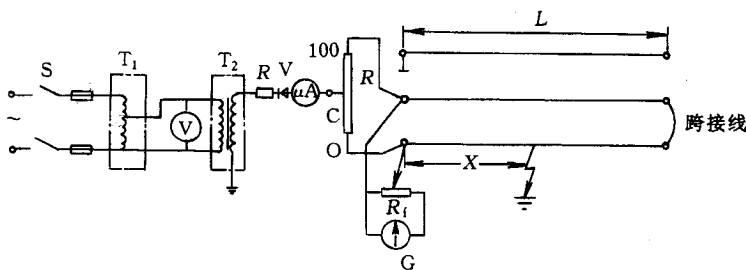


图 12-1 测量高电阻接地故障接线图

$R$ —电桥电阻  $G$ —检流计  $R_f$ —检流计分流器  $R$ —限流保护电阻

$\mu A$ —微安表  $V$ —电压表  $T_1$ —调压器  $T_2$ —高压试验变压器  $S$ —开关

回路定点法原理接线如图 12-2 所示，用电桥测量时使故障芯线与另一完好芯线组成测量回路，一端用跨接线跨接，另一端接电源、电桥或检流计。调节电桥电阻使电桥平衡，当电缆芯线材质和截面相同时，可按下式计算，即

$$X = 2L \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

若损坏的芯线和良好的芯线在电桥上的位置相互调换时，则有

$$X = 2L \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

式中  $X$ ——测量端至故障点的距离(m)；

$L$ ——电缆总长度(m)；

$R_1$ 、 $R_2$ ——电桥电阻臂。

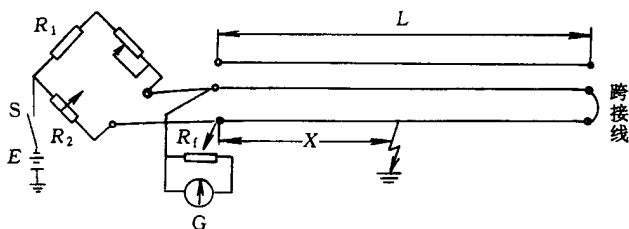


图 12-2 测量单相接地故障原理接线图

$R_1$ 、 $R_2$ —电桥臂电阻 ( $R_2$  为可调)  $G$ —检流计

$R_f$ —检流计分流器  $E$ —直流电源  $S$ —开关

在正常情况下，这两种接线测量的结果应相同，误差一般为 0.1% 左右。若误差大于 0.1% 或  $X > \frac{L}{2}$ ，可将测量仪表移到线路的另一端测量。

测量时注意事项：

- 1 跨接线的截面应与电缆芯线截面接近，跨越线应尽量短，并保持连接良好。
- 2 测量回路要尽可能绕开分支箱或变、配电所，越短越好。
- 3 直流电源电压应不低于 1500V。
- 4 直流电源负极应经电桥接到电缆导体，正极接电缆内护层并接地。
- 5 操作人员应站在绝缘垫上，并将桥臂电阻、检流计、分流器等放在绝缘垫上。

### (3) 两相和三相短路故障点

1 两相短路故障点 测量接线方法如图 12-3 所示，测量时可将任一故障芯线作接地线，另一故障芯线接电桥。计算公式和测量方法与单相低电阻接地故障点相同。

2 三相短路故障点 测量时必须借用其他并行的线路或装设临时线路作回路。装设临时线路时，必须精

确测量该线路的电阻,接线方法如图 12-3 所示。可按下式计算,即

$$X = L \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R}$$

式中  $R$ ——临时线的单线电阻值,其余符号的含义与单相低电阻接地故障点相同。

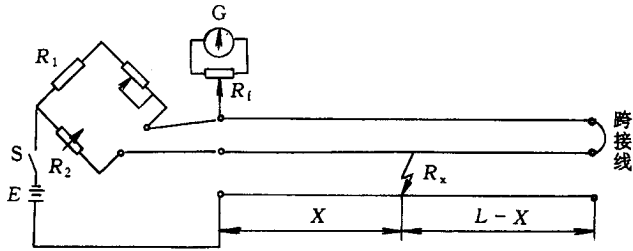


图 12-3 测量两相短路故障原理接线图

3. 事故预防 电缆线路的故障分为运行中故障和试验中故障。运行中故障是指电缆在运行中因绝缘击穿或导线烧断而突然断电的故障,试验中故障是指在预防性试验中绝缘击穿或绝缘不良,并须检修后才能恢复供电的故障。

为了确保电缆线路的安全运行,要做好运行的技术管理,加强巡视和监护,严格控制电缆的负荷电流及温度,严格执行工艺规程,确保检修质量,电缆线路的绝大部分故障是完全可以杜绝发生的。

(1) 防外力破坏事故,为了防止电缆线路的外力损坏,必须重视电缆线路的巡视检查和监护,这类事故约占一半左右。

1) 电缆线路的巡视检查应有专人负责,并根据具体情况制定设备巡视周期和检查项目。对于穿越河道、铁路、公路的电缆线路及装在杆塔、支架的电缆设备要特别注意。

2) 在电缆线路附近进行机械化挖掘土方工程,必须采取有效措施。可先用人力将电缆挖出来并加保护后,再根据操作机械设备及人员情况,在保证安全距离的条件下进行施工,并加强监护。施工时,专门守护人员不得离开现场。

3) 对施工中挖出来的电缆和中间接头要进行保护,并在附近设立警告标志,以提醒施工人员注意及防止外人误伤。

#### (2) 防终端头污闪事故

1) 在停电检修时做好清扫工作,也可在运行中用带绝缘棒刷子进行带电清扫。

2) 在终端头套管表面涂一层有机硅防污涂料,安全有效期可达一年之久。

3) 对严重污秽地区,可将较高电压等级的套管用于低压系统上。

(3) 防电缆腐蚀,电缆腐蚀是指电缆金属包皮或铅包皮的腐蚀。并分为化学腐蚀和电解腐蚀。化学腐蚀主要是因为土壤中含有酸、碱溶液、氯化物、有机物腐蚀质及炼铁炉灰渣等物质的腐蚀,电解腐蚀是由于直流电车轨道或电气铁道流入大地的杂散电流引起。

#### 防化学腐蚀措施:

1) 对敷设在含酸、碱等化学物质土壤附近的电缆,应增加外层保护,将电缆穿在耐腐蚀的管道中。

2) 在已运行的电缆线路上,较难随时了解电缆的腐蚀程度,只能在已发现电缆有腐蚀的地区或在电缆线路上堆有化学物品并有渗漏现象时,掘开泥土检查电缆并对土壤作化学分析,才能了解情况采取措施。

#### 防电解腐蚀措施:

1) 提高电车轨道与大地间的绝缘,以限制钢轨漏电。

2) 减少流向电缆的杂散电流,在任何情况下装设电缆线路,电缆的金属外皮和巨大金属物件相接近的地方都必须有电气绝缘。电缆和电车轨道并行敷设时,其距离不应小于 2m,若不能保持这一距离时,应将电缆穿在绝缘管中。

3) 在杂散电流密集的地方应安装排流设备,并使铠装电缆的任何部位的电位不超过周围土壤的电位 1V 以上。

(4) 防虫害事故 我国南方亚热带地区,气候潮湿白蚁较多,将会损坏电缆铅皮,造成铅皮穿孔,绝缘受潮击穿。防蚁、灭蚁的化学药剂配方如下:

- 1) 轻柴油 + 狄氏剂 浓度为 0.5% ~ 2%。
- 2) 轻柴油 + 氯丹原油 浓度为 2% ~ 5%。
- 3) 轻柴油 + 林丹 浓度为 2% ~ 5%。

将配制好的农药,喷洒在电缆周围,使电缆周围 50mm 土壤渗湿即可。

4. 维护 巡视检查出来的缺陷,运行中发生的故障,预防性试验中发生的问题都应及时排除。

#### (1) 电缆线路的维护

1) 电缆线路发生故障后,应立即进行修理,以免水分大量侵入,扩大损坏范围。对受潮气侵入的部分要割除,绝缘剂有炭化现象者要全部更换。

2) 当电缆线路上的局部土壤含有损害电缆铅包的化学物质时,应将该段电缆装于管子内,并在电缆上涂以沥青。

3) 当发现土壤中有腐蚀电缆铅包的溶液时,应采取保护和进行防护。

#### (2) 户内电缆终端的维护

1) 清扫终端头,检查有无电晕放电痕迹及漏油现象,对漏油的终端头采取有效措施,消除漏油现象。

2) 检查终端头引出线接触是否良好。

3) 核对线路名称及相位颜色。

4) 支架及电缆铠装涂刷油漆防腐。

5) 检查接地情况是否符合要求。

#### (3) 户外电缆终端头的维护

1) 清扫终端头及瓷套管,检查盒体及瓷套管有无裂纹,瓷套管表面有无放电痕迹。

2) 检查终端头引出线接触是否良好,注意铜、铝接头有无腐蚀现象。

3) 核对线路名称及相位颜色。

4) 修理保护管及油漆锈烂铠装,更换锈烂支架。

5) 检查铅包龟裂和铅包腐蚀情况。

6) 检查接地是否符合要求。

7) 检查终端头有无漏胶、漏油现象,盒内绝缘胶(油)有无水分,绝缘胶(油)不满者应及时补充。

#### (4) 隧道、电缆沟、人井、排管的维护

1) 检查门锁开闭是否正常,门缝是否严密,各进出口、通风口防小动物进入的设施是否齐全,出入通道是否畅通。

2) 检查隧道、人井内有无渗水、积水。有积水要排除,并修复渗漏处。

3) 检查隧道、人井内电缆在支架上有没有碰伤或蛇行擦伤,支架有无脱落现象。

4) 检查隧道、人井内电缆及接头有无漏油,接地是否良好,必要时测量接地电阻和电缆的电位,以防电蚀。

5) 清扫电缆沟和隧道,抽除井内积水,消除污泥。

6) 检查人井井盖和井内通风情况,井体有无沉降和裂缝。

7) 检查隧道内防水设备,通风设备是否完善,室温是否正常。

8) 检查隧道照明情况。

9) 疏通备用电缆排管,核对线路名称及相位颜色。

### (三) 常见故障与处理

#### 1. 漏油现象

(1) 在敷设时,将电缆铅包折伤或机械碰伤,按规定不要把电缆头碰伤,如地下埋有电缆,动土时必须采取有效措施。

(2) 制作电缆头,中间接线盒时扎锁不紧,封焊不好,应按工艺要求去作,扎锁处或三叉口处的封焊要合乎工艺要求。

(3) 过负荷运行、温度太高,产生很大油压,应减轻负载运行。

(4) 注油的电缆头套管(瓷或玻璃的)出现裂纹或垫片未垫好,把劲不紧,应将充油的电缆头,接线盒垫片垫好,把劲要紧。

#### 2. 接地

(1) 地下动土刨伤,损坏绝缘,应按规定要求,不要将电缆头碰伤,并采取有效措施。

(2) 人为的接地线未拆除,要加强责任心,对工作要极端负责任,拆除接地线。

(3) 负荷大、温度高,造成绝缘老化,应调节负荷,采取降温措施,按允许负荷、温度运行,必要时更换电缆或绝缘。

(4) 套管脏污、裂纹造成放电,室外受潮或漏进水,应加强检查,保证检修质量,定期作预防性试验,清洗脏污的套管,更换有裂纹的套管。

#### 3. 短路崩烧

(1) 多相接地或接地线、短路线未拆除,要加强责任心,仔细检查。

(2) 相间绝缘老化和机械破损,应注意不要造成人为的机械损伤,不要超负载或超温度运行。

(3) 电缆头接头松,如铜卡子接的不紧,造成过热,发生接地崩烧,应加强维修。

(4) 设计时选择不合适,动、热稳定度不够,造成绝缘损坏,发生短路崩烧,要合理选择。

#### 4. 绝缘击穿

(1) 机械损伤,应在沿墙敷设时进行遮盖,对厂外线路要加强巡视检查,不允许在电缆线路附近挖土、取土。

(2) 电缆头发生故障而导致绝缘击穿,应提高电缆头的制作质量,加强该处的绝缘。

(3) 绝缘受潮,应加强电缆外护层的维护,每隔2~3年在外护层上涂刷一次沥青。

(4) 过电压,应防止大气过电压或内部过电压,以免造成多根电缆同时被击穿。

(5) 绝缘老化,应改善通风散热条件,注意过负荷运行。

#### 5. 终端头套管的表面污闪

(1) 定期清扫套管,一般可在不停电情况下用绝缘棒刷子带电清扫,停电时彻底清扫。

(2) 用水冲洗套管,一般带电冲洗。

(3) 增涂防污涂料,在停电或带电时在终端头套管表面,增涂一层有机硅树脂涂料。

(4) 采用较高等级的套管,将绝缘等级较高的套管用于较低电压系统,在污秽严重地区具有良好的防污效果。

#### 6. 终端盒发生爆炸

(1) 潮气侵入盒内,使绝缘受潮,或绝缘胶遇到电缆油溶解,电阻下降而击穿,应严格按工艺要求操作,以保证制作质量,使密封性良好,防止潮气侵入。

(2) 当电缆两端的高差过大时,低的一端终端盒受到电缆油的压力,严重时密封破坏,使绝缘电阻下降而击穿,应及时调整电缆两端的高差。

(3) 绝缘胶开裂,密封破坏,潮气侵入,应对终端盒加强巡视检查,一旦发现问题,要立即处理,以免泄漏油引起爆炸事故。

## 第二节 电缆的安装与连接工艺

### 一、电缆安装工程施工规定

1. 北京地区的环境温度可按下列数值取用:室内为 $+30^{\circ}\text{C}$ ,室外地下为 $+35^{\circ}\text{C}$ ,室外地上为 $25^{\circ}\text{C}$ 。

电缆直埋时应在冻土层以下敷设(北京地区深度一般为 800mm)。在通过道路时应穿保护管。同一沟内直埋电缆不宜多于 8 根。

2. 室外低压配电线路的电压降,自变压器低压侧出口至电源引入处,在最大负荷时的允许值为其额定电压的 4%,室内线路(最远至配电箱)为 3%。

3. 穿越管、槽敷设的绝缘导线和电缆,其电压等级不应低于交流 500V。

不同电压和用途的电缆应分开敷设,若必须在同一桥架或线槽上敷设时,应采取加隔板或部分穿管等措施,但同一设备、同一系统的电源线和控制线除外。在室内敷设的电缆不应有可燃被层。

4. 电缆线路截面(小区外线电缆截面已规范化,统一为 70、120、185mm<sup>2</sup>)。

5. 电缆沟、隧道应有防水措施,底部应作 5% 坡度将水导向电缆井内的集水坑。

6. 电缆沟进入建筑物时应设防火墙,电缆隧道进入建筑物处应设带防火门的防火墙。隧道内每 50m 处设一防火密闭门,通过隔门的电缆须作防火处理。

7. 电缆隧道长度大于 20m 时两端应设出口(包括人孔),当两个出口距离大于 75m 时应增加出口。人孔井的直径不应小于 0.7m。

8. 引入线穿墙过管宜不小于  $\phi$  100 钢管,供电单位维护管理时应为  $\phi$  150 的钢管。

## 二、电缆施工安装要求

1. 施工前应查电缆受潮否,用火烧法(从电缆上撕下一点绝缘纸,用火烧之有“咝、咝”声则受潮了)或油浸法(撕下纸后浸入热沥青油中听声音)。用兆欧计摇测电缆的绝缘电阻,低压电缆正常值应大于 10M $\Omega$ 。

高压电缆的绝缘电阻为:

3kV 电力电缆 200M $\Omega$ ;

6kV 电力电缆 400M $\Omega$ ;

10kV 电力电缆 600M $\Omega$ 。

2. 电缆不得拐急弯,一般弯曲半径不小于电缆外径的 10~20 倍。(控制电缆、塑料电力电缆、橡皮绝缘或塑料护套电力电缆不小于 10 倍;油浸纸绝缘电力电缆、橡皮绝缘、裸铅包电力电缆不小于 15 倍;橡皮绝缘铅包铠装电力电缆不小于 20 倍。

电缆敷设的弯曲半径与电缆外径的比值不应小于表 12-6 中的规定。多芯电缆比单芯电缆弯曲半径小,无铠装比有铠装电缆弯曲半径小。

表 12-6 电缆敷设的弯曲半径与电缆外径的最小比值

电缆护套类型		电力电缆		其它多芯电缆
		单芯	多芯	
金属护套	铅	25	15	15
	铝	30	30	30
	皱纹铝套和皱纹钢套	20	20	20
非金属护套		20	15	无铠装 10,有铠装 15

3. 在寒冷地区电缆埋深应在冻土层以下,北京地区的埋深应不小于 0.7m,农田内应不小于 1m。如果无法做到时,应该采取保护措施保护电缆不受损坏。

4. 电缆通过有振动和承受压力的下列各地段,施工时应穿管保护:

(1) 电缆引入和引出建筑物(构筑物)的基础、楼板及过墙等处;





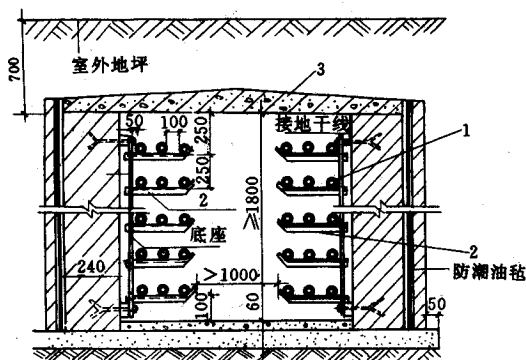


图 12-2 电缆沟敷设方式

1- 电缆 2- 支架 3- 盖板

接头和金具等附属材料的总称)及消耗性材料(如砂纸、清洁剂、焊锡膏等)是否齐全,规格、型号是否与电缆规格相适应。

2. 电缆附件中的各种带材、管材、半导体材料、导电材料及各种胶,应严格按工艺要求使用,不同性能的材料不能互相替代。

3. 电缆的接地线应为铜质,其截面应不小于  $25\text{mm}^2$ ;三芯铠装型交联电缆的铜屏蔽层和铠装层应分别接地且应相互绝缘,屏蔽层的接地线截面应不小于  $25\text{mm}^2$ ,铠装层的接地线截面应不小于  $10\text{mm}^2$ 。

## (二)基本操作工艺

1. 剥除铜屏蔽带 在预定的铜屏蔽带切断处用焊锡点焊(防止铜屏蔽带剥除后端部松散),用  $\phi 1.0\text{mm}$  铜线在该处绑 1~2 匝(也可包 2~3 层聚氯乙烯带代替),然后用刀沿绑线方向在铜屏蔽层上划一浅痕,慢慢将铜屏蔽带撕下,再将铜线或聚氯乙烯带撤除。

2. 剥半导体层 交联电缆的外半导体层有可剥离型和不可剥离型两种,其剥离方法如下:

(1)可剥离型 在预定的半导体层剥切处,在保留的半导体层上用聚氯乙烯粘胶带临时包缠一圈做标记,用刀在剥切处划一环形痕,再沿电缆纵向从环形痕至末端划两条竖痕,间距约  $10\text{mm}$ ,然后将此条形半导体层从末端向环形痕方向撕下,再将其余部分剥离。用刀划痕时,不应损伤绝缘层,剥半导体层时,不应将保留的半导体层剥离绝缘层,半导体层断口应整齐。半导体层剥除后应检查绝缘表面有无刀痕和残留的半导体材料,如有则应用纸砂纸将绝缘表面打磨干净。

(2)不可剥离型 在预定的半导体层剥切处,在保留的半导体层上用聚氯乙烯粘胶带临时包缠一圈做标记,用  $2\text{mm}$  厚的玻璃片将半导体层刮除(也可用专用刀具);刮时应从末端刮向标记带处,最后将标记带撤除,并在半导体层断口处刮一个  $5\sim 10\text{mm}$  的斜坡,断口应整齐,最后用细砂纸打磨光滑。半导体层末端和绝缘层表面应平整光滑,不应有刮痕,绝缘表面不应留有半导体材料的痕迹。

3. 清洁主绝缘 用不掉毛的浸有清洁剂的细布或纸擦净绝缘表面的污物和导电物质,清洁时只允许从绝缘端擦向半导体层,不允许用一张纸反复擦,以免将导电物质带到绝缘表面。

4. 包应力疏散胶或涂导电漆 为了防止半导体层断口出现气隙,降低绝缘性能,应在断口包应力疏散胶或涂导电漆。

(1)包应力疏散胶按图 12-3 所示,取一片菱形应力疏散胶,将其尖角尽力拉细、拉长,缠绕在绝缘屏蔽层断口处,填补该处的空隙,然后在绝缘层上包  $10\text{mm}$ ,返回包缠至半导体层上  $5\text{mm}$ (即全长  $15\text{mm}$ );应力疏散胶的包缠应平整,两端应薄而整齐。

(2)涂导电漆 为使导电漆涂刷整齐,应按图 12-4 所示,先在距半导体层断口  $5\text{mm}$  的半导体层上包一层聚氯乙烯粘带,在距半导体层断口  $10\text{mm}$  的绝缘层上包一层聚氯乙烯粘带(带子的包缠其断口应整齐,粘面朝外),然后在两带中间的绝缘层和半导体层上均匀地刷上导电漆,待导电漆干后再将聚氯乙烯粘带拆除。

5. 焊接终端头接地线 将焊接地线处的钢甲打磨干净,呈现金属光泽,再将  $10\text{mm}^2$  的接地线、钢甲镀锡

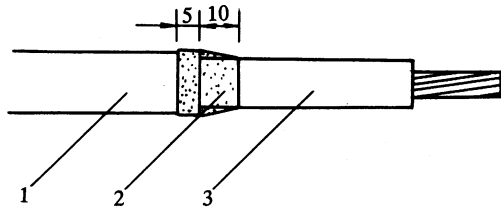


图 12-3 包应力疏散胶

1-外半导电层 2-应力疏散胶 3-绝缘

后,用 $\phi 1.0\text{mm}$ 的镀锡铜线将地线绑在钢甲上,用焊锡焊牢(见图12-5)。再按图12-6所示将 $25\text{mm}^2$ 的铜编织带分成三股,分别用 $\phi 1.0\text{mm}$ 的铜线绑在三相线芯的铜屏蔽层根部,用焊锡焊牢。焊接时应注意时间不应太长,以防将外半导电层和绝缘层烫伤。

为使两条地线相互绝缘,应在钢甲接地线焊接后,在钢甲上热缩一绝缘箍或包绝缘。

为防止潮气进入缆头内,应在距外护套断口 $20\sim 50\text{mm}$ 处用焊锡填满铜编织带,形成一 $30\text{mm}$ 长的防潮段,见图12-6。

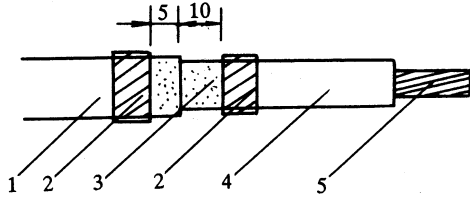


图 12-4 涂导电漆

1-外半导电层 2-临时包带 3-导电漆 4-绝缘 5-线芯

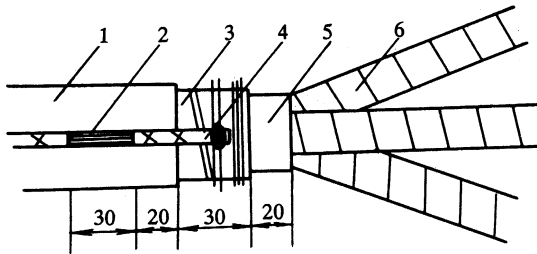


图 12-5 钢甲接地线

1-外护套 2-地线防潮段 3-钢甲 4-钢甲接地线 5-内护套 6-线芯

## 6. 热缩管材的热缩与密封

(1) 热缩管材时应使用液化石油气作燃料。当用汽油喷灯时,应使用高标号汽油。

(2) 热缩时应调整喷枪以获得短的蓝色并带有黄尖的火焰,应避免使用蓝色锥状火焰;汽油喷灯的蓝色火焰温度高,应注意远离热缩材料,控制好温度。

(3) 热缩时火焰应朝向收缩方向不停的移动,以预热管材并防止烧焦管材。

(4) 所有密封部位应用粗砂纸打毛,管材内未涂密封胶时,则应包密封胶带以保证密封性能;各密封部位应清洁无油污。

(5) 管材切口应整齐,不应留有刀口痕迹,以防热缩时撕裂。

(6) 管材收缩后表面应光滑、无皱褶、无气泡,并能清晰看到内部结构轮廓;密封部位应有少量胶挤出,表明加热到位,密封完善;热缩管材在未完全冷却前不应移动电缆。

(7) 接线端子处的密封,禁止使用管材压制的端子,推荐采用环压或围压,避免采用点压;热缩前应预热

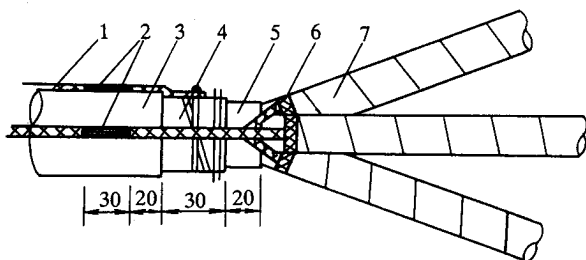


图 12-6 铜屏蔽接地线

1- 钢甲地线 2- 地线防潮段 3- 外护套 4- 钢甲  
5- 内护套 6- 铜屏蔽地线 7- 铜屏蔽

接线端子。

## 五、电缆连接施工方法

电缆首末端的接头叫终端头, 电缆线路中间的接头叫中间接头。电缆接头的基本要求就是把接头处密封好, 以保证电缆的绝缘水平。

### (一) 电缆的连接要求

1. 保证密封良好

对于油浸电缆, 如密封不好, 将引起漏油, 造成电缆绝缘性能降低; 如果再有水汽浸入, 绝缘性能将急剧变坏, 因此电缆头的密封是十分重要的。

2. 保证绝缘强度

因电缆接头破坏了原来电缆的一体性, 所以必须在接头制作时保证其绝缘不低于原有绝缘强度。

3. 保证电气距离

其目的是防止和避免引起短路和击穿。

4. 保证导线连接良好

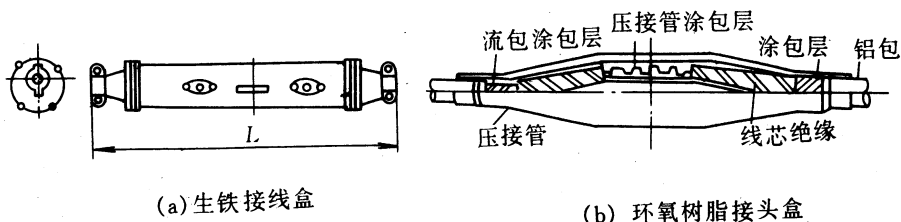
接触电阻一般应低于或等于同长度导体电阻的 1.2 倍, 并保持稳定, 机械强度不应低于电缆线芯强度的 70%。

### (二) 电缆的中间接头

电缆中间接头时, 必须采用专用的电缆接头盒, 常用的电缆接头盒有生铁接头盒, 如图 12-7(a) 所示及环氧树脂接头盒, 如图 12-7(b) 所示两种, 由于环氧树脂电缆接头盒的工艺简单、机械强度高, 电气和密封性能好, 以及价格低廉, 所以被推广采用。

油浸纸绝缘电缆做环氧树脂中间接头的方法如下:

1. 准备工作, 清理场地, 用木板垫起两电缆连接头, 使其水平并调直。



(a) 生铁接线盒

(b) 环氧树脂接头盒

图 12-7 电缆接头盒

2. 将绝缘纸或电缆线芯松开,浸到 150℃的电缆油中,检查电缆是否受潮。
3. 用摇表测量绝缘电阻并核对相序,作好记号和记录,并根据模具尺寸确定剖切钢带铠装的尺寸。并作出标记。
4. 在标记以下约 100 毫米处的钢带上,用浸有汽油的抹布把沥青混合物擦净,再用砂布或锉刀打磨,使其表面显出金属光泽,涂上一层焊锡,以备放置接地线用。
5. 锡切钢带铠装层用专用的刀锯在钢带上锯出一个环形深痕,深度为钢带厚的三分之二,切勿伤其他包层。
6. 剥钢带,锯完后,用螺丝刀在锯痕尖角处将钢带挑起,用钳子夹住,逆原缠绕方向把钢带撕下。再用同样方法剥去第二层钢带。钢带撕下后用锉刀修饰钢带切口,使其光滑无刺。
7. 剥削铅包(或铝包),剥削铅包前,应将喇叭口以上 600 毫米范围内的一段铅包表面用汽油洗净后打毛,并用塑料带作临时包缠,以防弄脏,然后按剥削尺寸,先在铅包切断的地方切一环形深痕,再顺着电缆轴向铅包上用剖铅刀划两道深痕。其间距为 10 毫米,深度为铅包厚度的二分之一。随后,在电缆接头处顶端,把两道深痕间的铅皮条用螺丝刀撬起,用钳子夹住铅皮条往下撕,并将其折断。
8. 胀喇叭口,剥完铅包层后,用胀口器把铅包口胀成喇叭口,先在距喇叭口 25 毫米的纸绝缘上用塑料带包缠保护,然后剥去剩下的统包纸绝缘层,并分开每根芯线,用汽油洗去芯线上的电缆油。
9. 连接芯线,用塑料带临时把每根芯线包缠一层,以防受损弄脏,随后在芯线三叉口处塞入三角木模撑住,并把各根芯线匀称地分开。按连接套管长度的二分之一加 5 毫米长度,剥削每根芯线端部的油浸纸绝缘层,对于堵油连接管,其剥削长度等于单边孔深加 5 毫米。然后把芯线插入连接套管内,进行压接。
10. 恢复绝缘包层,芯线压好后,先将连接管表面用锯条或钢丝刷拉毛,用汽油或油精洗净,然后拆去各芯线上统包纸绝缘及铅包上临时塑料包缠带,并用无碱性玻璃丝带,顺原纸绝缘层的包缠绕向,以半重叠方式,每根芯线上进行包缠,在芯线上包两层,压接管上包四层,再在缠包层上包两层,在芯线三叉口处交叉压紧 4~6 次。包缠时,应一边包缠,一边涂上环氧树脂,涂包结束后,用红外线灯或电吹风对准涂包处加热,促使涂料干固。
11. 装环氧树脂中间接头铁皮模具,装模具前应先在模具内壁涂上一层硅油脱膜剂,然后在接头两端的铅包上用塑料带包缠,以防浇注的环氧树脂从端口渗出,最后将模具装在上面。装模具时,应将三根芯线放在模具中间,芯线之间保持对称的距离。

12. 浇注环氧树脂,将环氧树脂从模具浇注口一次浇入,不可间断,浇满为止,约半小时,环氧树脂干固后,拆除模具,并用汽油将接头表面的硅油脱膜剂抹去。

13. 焊上过渡接地线,用裸铜绞线把中间接头盒两端的电缆金属外皮焊成一体。如果电缆中间接头直埋地下,则在接头表面涂一层沥青,并在环氧树脂和电缆铅包衔接处,用塑料带包缠 4 层。一边包缠,一边涂上沥青。为防止中间接头受损,可把接头下部的土夯实,并在四周用砖砌筑。

### (三) 电缆的终端头

户内环氧树脂预制外壳式终端头制作方法如下。准备工作,检查电缆是否受潮,测量绝缘电阻和锯切钢带的方法与制作电缆中间接头相同。

1. 剥铅包(或铝包),并套装预制的环氧树脂电缆头外壳。

按设计要求确定喇叭口的位置,划出环形深痕,再由此到顶端沿电缆轴向,划两条间距 10 毫米的平行线,然后用铅刀沿划线切入铅包厚的二分之一。用木锉或锯条将喇叭口下 30 毫米处一段铅包拉开,并用塑料带临时包扎 1~2 层,以防弄脏,再将预制的环氧树脂电缆头外壳套入电缆钢带上,并用干净的棉纱塞满,预制环氧树脂电缆外壳,如图 12-8 所示。最后把两条纵痕间的条形铅包挑起,并用钳子夹住铅包慢慢卷起剥削。

2. 扩张喇叭口,用胀口器或竹片将铅包口胀成喇叭口。
3. 剥统包绝缘,分开芯线,在喇叭口向上 30 毫米一段统包绝缘上,用白纱布临时包扎 3~4 层,然后将缠包绝缘纸自上而下撕掉并分开线芯,用汽油将芯线表面的电缆油擦去。
4. 剥除芯线端部绝缘,按设备接线位置所需的长度割去多余的电缆,然后用电工刀剥除芯线端部的绝缘,其长度等于接线鼻子的孔深加 5 毫米。

5. 套耐油橡胶管 将选择好的耐油橡胶管从每根芯线末端套入 套到离芯线根部 20 毫米即可 然后将上部橡胶管往下翻 使芯线端部的导线露出 最后在芯线三叉口处用干净的布盖住。

6. 装接线鼻子 在芯线上套入接线鼻子并压接 然后将接线鼻子的管形部分 用锯条或锉刀拉开并在压坑内用无碱玻璃丝带填满 再将耐油橡胶管的的翻口往上翻 盖住接线鼻子压坑。

7. 涂包芯线 先将铅包及统包上的临时包缠带拆去 然后在喇叭口以上 5 毫米处用蜡线紧扎一圈 将统包外层的半导体屏蔽纸自上而下沿蜡线撕平 再在统包及芯线及出线口堵油处刷一层环氧树脂涂料 然后用无碱玻璃丝带 在其表面涂一层涂料 边涂边包 共涂两层 再在统包部分涂包两层 然后在三相分叉口部位交叉缠绕并压紧 4~6 层 并在分叉处填满环氧树脂涂料 如图 12-9 所示。

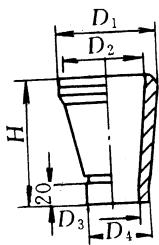


图 12-8 预制环氧树脂电缆头外壳

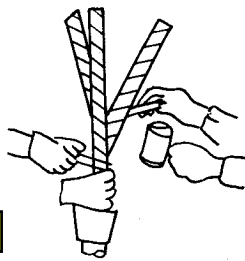


图 12-9 三叉口内填满涂料

最后将三叉口以下沿统包纸绝缘到喇叭口下的电缆包皮长约 30 毫米的一段涂包 2~3 层 并在无碱玻璃丝带表面均匀地刷一层环氧树脂涂料 并用玻璃丝带按上述方法涂包 3~4 层。

8. 装配环氧树脂外壳 先将外壳内临时放的棉纱取出 然后外壳向上移至喇叭口附近由喇叭口向下 30 毫米处 用塑料带重叠包绕成卷 接着将外壳下口和塑料带卷扎紧 使外壳平整地固定在电缆上 然后调整芯线位置 使其离外壳内壁有 3—5 毫米间隙并对称排列 再用支撑架或带子使三相芯线固定不动 用红外线灯泡或电吹风加速涂包层硬化和预热外壳。

9. 浇注环氧树脂复合物 将浇入壳内的环氧树脂冷却干固后 可包绕线芯的外护加强层 从外壳出线口至接线鼻子的一段耐油橡胶管上 选用黄蜡带包绕两层 包绕时要拉紧。然后按确定的相位分别在各芯线上包一层相色带和一层透明塑料带 最后按设备的接线位置弯好芯线 进行直流耐压试验 合格后再接到设备上。

电缆终端头的制作方法很多 户内的还有漏斗式和干包终端头 户外的还有环氧树脂式和铸铁鼎足式终端头等。

#### (四) 电缆中间头和终端头制作时的注意事项：

1. 施工时 应防止灰尘和砂土等杂物进入电缆的连接处 在户外操作时 应架设临时作业棚。
2. 凡受潮的电缆端头不准接入中间头或终端内。
3. 为了防止电缆受潮 在雨雪天或湿度较高的环境中 不准加工中间头或终端头。
4. 终端头出线应保持固定位置 其中带电裸露部分的相间和对地距离规定为 :10 千伏以下的 户外的不得小于 200 毫米 户内的不得小于 125 毫米。同时规定 芯线应作出明显的相位色标。

## 六、10kV 电缆终端头和中间接头的安装要求

将电缆与电气设备联接 同时又能确保电缆的绝缘性能与密封性能的装置 称为电缆终端头 将两根电缆连接起来的装置称为中间接头。终端头和中间接头应与电缆本体一样能长期安全运行并具有和电缆相同的使用寿命 因此应具备以下性能：

### (一) 线芯连接好

主要是接触电阻应小而稳定 能经受起故障电流冲击 运行中接头电阻不应大于电缆线芯本体同长度电

阻的 1.2 倍 ;应具有一定的机械强度。

## (二) 绝缘性能好

绝缘水平不应低于电缆本体 ,介质损耗要低 ;户外部分还应考虑在恶劣气候条件下能安全运行 ,外露电部分对地和相间距离能满足表 12-7 要求 ,外绝缘长度一般应达到污秽等级三级以上的标准。

表 12-7 带电导全裸露部分相间及对地最小距离(mm)

电压/kV	1~3	6	10	20	35
户内	75	100	125	180	300
户外	200	200	200	300	400

## (三) 密封性能好

良好的密封是保证电缆头安全运行的必要条件 :一方面要防止在运行条件下水分及导电介质侵入绝缘 ,侵入电缆头内 ;另一方面还要防止电缆头内绝缘剂流失。不同绝缘材料的电缆对密封性能有不同的要求 ,因此应分别对待 ,同时也应注意材料本身自然老化对密封性能的影响。

## (四) 机械性能好

具备与现场安装和运行条件相适应的机械强度。

## (五) 结构简单

便于现场安装 ,具有与当前经济条件相适应的价格。

# 七、油浸纸绝缘电缆终端头和中间接头的安装方法

## (一) 基本要求

电缆的终端头和中间接头是电缆线路中绝缘最差的部分 ,多年的运行经验证明 ,其故障率远高于电缆本体 ,因而其安装质量是电缆线路安全运行的关键 ,应给予足够的重视。

1. 纸绝缘电缆最怕受潮 ,除在安装前应严格地校验潮气外 ,还不应在雨天、雾天、大风天进行电缆终端头和中间接头的安装。气温低于 0℃时 ,电缆应预先加热。
2. 施工中要保证手和工具、材料的清洁 ,操作时不应吸烟。
3. 所用终端头及接头应预先试装 ,检查各部件是否齐全 ,尤其应注意检查密封性能及结构尺寸 ,防止剥切尺寸发生错误。

## (二) 基本操作工艺

1. 校验潮气 将电缆油加热到 150~160℃ ,用钳子或镊子将绝缘纸撕下浸入热油中 ,如油中泛起泡沫或有响声 ,即说明绝缘已受潮 ,校验潮气工作应由外向里分别校验统包纸、填料、相绝缘纸及导体 ,不能只校验外壳部分。

2. 剥除外护套 先将电缆末端的钢甲用铜线临时绑扎 ,或在剥外护套时保留一段护套 ,防止钢甲松散 ;然后按规定的尺寸用塑料带作好标志并在标志处用刀横向切一环形套 ,深度约为护套厚度的 2/3 ,再纵向用刀片剥除外护套。

3. 锯钢甲 在锯钢甲部位用  $\phi$  2.0mm 的铜线绑 3~4 匝 ,将钢甲绑紧 ,铜线的缠绕方向应与钢甲的缠绕方向一致才能将钢甲绑紧。在铜线的边缘将钢甲锯一环形深痕 ,其深度约为钢甲厚度的 2/3 ,然后用一字旋具(又称螺丝刀、改锥)或电工刀将钢甲尖端撬起 ,用钳子夹住撕下 ,从根部往末端剥除。禁止从末端往扎绑线处剥钢甲 ,以防松散。再用同一方法剥除第二层钢甲。

4. 剖铅与胀铅 用喷灯烘热铅包 ,将铅包外的塑料带或沥青纸剥除 ,擦净铅包。按规定的尺寸在铅包

切断位置割一环形深痕,再从环形痕向末端用刀尖划两条平行深痕,其深度约为铅包厚度的 $1/2$ ,两线距离约 $10\text{mm}$ ,然后从末端向环形痕将此两线间的铅包撕下,最后从末端向环形痕剥除铅包。剥铅包时最好能将环形痕处撕成喇叭口,并应注意勿将喇叭口撕破。

胀铅时用胀铅楔顺统包纸方向与剖铅口成 $30^\circ \sim 45^\circ$ 的角度,将铅包断口胀成喇叭口。此喇叭口有改善电场分布,提高终端头绝缘水平的作用。因此喇叭口应光滑、均匀、对称、无尖刺,不应用一字旋具、刀子等物撬喇叭口,以防出现尖刺、降低绝缘水平。胀大后的喇叭口直径约为电缆铅包直径的 $1.2$ 倍。

剖铅及胀喇叭口均不应损伤统包纸及环形痕后的铅包。

5. 剥碳黑纸及绝缘纸 碳黑纸应剥至喇叭口内,不应留任何零碎纸边,因为碳黑纸导电,撕得不齐将影响电场分析,甚至使喇叭口失去作用。

剥统包纸时不应损伤相绝缘纸,剥相绝缘纸时不应损伤线芯。为确保不损伤绝缘纸及线芯,每一切割处的最后两层纸可不用刀切,撕下即可,不强调非要切齐不留任何毛边。

在切割统包型电缆的填料时,刀口应朝外,防止在填料切断的瞬间伤及绝缘纸。

6. 弯电缆线芯 扳弯电缆线芯时不应损伤绝缘纸。线芯的弯曲半径不应小于其直径的 $10$ 倍。弯曲时应使线芯各部位均匀受力,防止集中在一点,否则极易损伤绝缘纸。对老电缆和冬季施工更应注意。

7. 包缠绝缘带 包第一层绝缘带时,应从根部开始,顺着绝缘纸的包绕方向用半重叠法包缠,以免绝缘纸松散。绝缘带的包缠应平整、紧密、均匀、无皱褶,包缠时拉力不应过大,以免损伤绝缘带,降低了绝缘性能。在作中间接头包缠经用电缆油浸渍过的绝缘带时,应一边包缠一边涂电缆油。若包聚四氟乙烯带,则一边包缠一边涂硅油,以排除绝缘层间的空隙。绝缘层间存在空隙,将降低接头的绝缘水平。

8. 搪铅(或称封铅) 搪铅是用一种不同于焊锡的铅锡合金焊料——封铅(铅 $65\%$ 、锡 $35\%$ )用喷灯烤化后按一定的形状将电缆铅包和铅套的接口牢牢地焊在一起,形成一个具有一定机械强度和良好密封性能的焊口。常用的工艺过程如下:

(1) 清除氧化层 用电工刀将电缆铅包和铅套封焊部位的氧化层刮掉(封焊部位若为铜材则应提前镀锡),然后用喷灯将封焊部位加热,并趁热涂以硬脂酸,进一步清除氧化层及表面的污物。

(2) 戳铅 在用喷灯加热封焊部位(铅套端部)的同时熔化封铅焊条。当封铅溶化欲滴时,将其溶化部分戳至封焊部,再继续加热封铅焊条,将焊料均匀地戳于各封焊部位。戳铅要一次戳够,不宜零碎添补,以免增加封焊时间。在加热封铅焊条的同时要加热封焊部位,还应防止将电缆铅包及铅套烤化,要多方兼顾,以缩短封焊时间。

(3) 搪铅 用喷灯将已戳在封焊部位的封铅加热,在封铅溶化欲流动时再用抹布搪抹封铅,并不断加热,将封铅搪抹成如图12-10所示的形状,搪铅工作从戳铅开始至搪铅结束的时间不应超过 $15$ 分钟,且形状应光滑、均匀、对称,搪铅工作结束后应立即用硬脂酸冷却封焊部分,但冷却时硬脂酸应轻轻按下,防止尚未冷却的封铅变形。

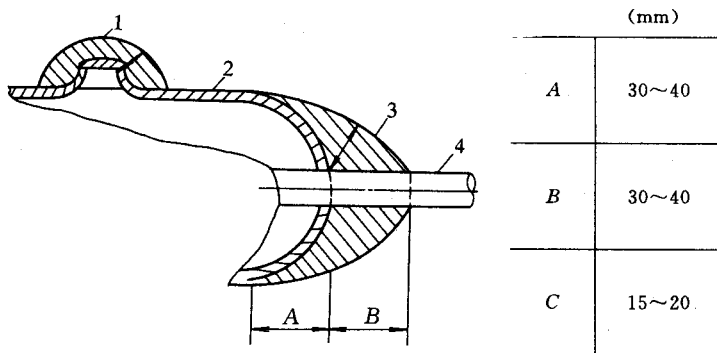


图 12-10 搪铅尺寸

1、3 - 封铅 2 - 铅套 4 - 电缆铅包



9. 焊接地线 除单芯电缆和有特殊用途的电缆外,铅包和钢甲必须用封铅焊牢,并用软铜线接地,地线截面一般为 $25\text{mm}^2$ 。焊接前应用钢锯将钢甲表面锯成粗糙表面,镀锡后再进行封焊,以保证地线与钢带、铅包有良好的电气连接。

10. 导线的连接 目前导线连接普遍采用压接工艺,此项工作应注意以下几点:

(1) 压模、连接管和接线端子必须与导线截面相同,不允许随意替代。

(2) 电缆线芯有紧压导体和非紧压导体两种,紧压导体必须采用紧压型连接管和紧压型接线端子,不能随意混用。

(3) 连接管的材质必须与线芯材质相同,铜铝过渡接头应用铜铝过渡接管,铝芯电缆与铜排连接应采用铜铝接线端子。

(4) 不应采用由管材做成的连接管和接线端子。这类管材内壁氧化膜很厚,接触电阻大,处理较困难,这类管材做成的端子,端部密封不严,容易从端部吸潮、进水。

(5) 连接管压接前应先清除氧化膜并涂凡士林保护,防止氧化。

(6) 点压应每一接点压两个坑,先压两端后压中间,围压次序与此相反。

### 第三节 电缆线路敷设规定

电缆线路和架空线路和在电力系统中的作用完全相同,都作为传送和分配电能之用。它与架空线路相比,具有以下特点:

1. 一般埋设于土壤中或敷设于室内、沟道、隧道中,不用杆塔、占地少、整齐美观;
2. 受气候条件和周围环境影响小,传输性能稳定,维护量较少,完全可靠性能较高;
3. 具有向超高压、大容量发展的更为有利的条件,如低温、超导电力电缆等。

因此,电力电缆常用于城市的地下电网、发电厂的引出线路,企事业单位和建筑的供电,以及过江、过海峡的水下输电线路等。

但是,电缆线路亦存在不少缺点,诸如投资费用大、敷设后不易变动、线路不易分支、故障寻测较困难、检修费时费工、电缆头制作工艺复杂等。

#### 一、电缆材料

电缆的种类很多,在这里只介绍电力系统中最常用的电力电缆和控制电缆。

电力电缆是用来输送和分配大功率电能的,按其所采用的绝缘材料可分为纸绝缘电力电缆、橡皮绝缘电力电缆和聚氯乙烯绝缘、聚乙烯绝缘及交联聚乙烯绝缘电力电缆。纸绝缘电力电缆有油浸纸绝缘和不滴流浸渍纸绝缘两种,油浸纸绝缘电力电缆具有使用寿命长、耐压强度高、热稳定性性能好等优点,且制造运行经验也都比较丰富,是传统的主要产品。但它工艺要求比较复杂,敷设时容许弯曲半径不能太小,且在低温时敷设有困难,在工作时电缆中的油容易流动,当电缆两端敷设位差较大时,低端往往因积油而产生很大的静压力,致使电缆终端头,甚至铅套发生胀裂,造成漏油。而高端由于油的流失造成绝缘纸干枯,使其绝缘降低,以致造成绝缘击穿。而不滴流浸渍型电缆解决了油的流淌问题,加上允许工作温度的提高,特别适宜于垂直敷设和在热带地区使用,可取代油浸纸绝缘电缆。这种电缆在浸渍剂配料方面要复杂些,浸渍周期也较长。

聚氯乙烯绝缘、聚乙烯绝缘及交联聚乙烯绝缘电缆,人们习惯简称为塑料电缆。这几种电力电缆没有敷设位差的限制,工作温度有所提高,电缆的敷设、维护、连接都比较简便,又有较好地抗腐蚀性能等优点。目前在工程上得到了愈来愈广泛地应用,特别是在 $10\text{kV}$ 及以下电力系统中塑料绝缘电力电缆已基本取代了油浸纸绝缘电力电缆。

橡皮绝缘电力电缆则多使用在 $500\text{V}$ 及以下的电力线路中。

控制电缆是在配电装置中传输操作电流、连接电气仪表、继电保护和自动控制等回路用的,它属于低压电缆。运行电压一般在交流 500V 或直流 1000V 以下,电流不大,而且是间断性负荷,所以导电线芯截面积小,一般为  $1.5 \sim 10\text{mm}^2$ ,均为多芯电缆,芯数从 4 芯到 37 芯。控制电缆的绝缘层材料及规格型号的表示方法与电力电缆基本相同。

## 二、电力电缆的构成

电力电缆都是由导电线芯、绝缘层及保护层三个主要部分组成。

图 12-11 是 ZLQ20 型铝芯纸绝缘铅包裸钢带铠装电力电缆的剖面图。导电线芯用来传导电流,绝缘层用以隔离导电线芯,使线芯与线芯间有可靠的绝缘,保证电能沿线芯传输,保护层用来使绝缘层密封不受潮气侵入,并免受外界损伤。

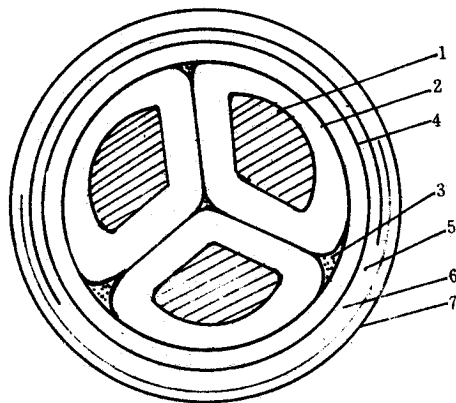


图 12-11 ZLQ20 型电力电缆剖面

1 - 线芯 2 - 分相绝缘 3 - 相间填料;

4 - 统包绝缘 5 - 铅包 6 - 内衬垫层 7 - 钢带铠装

### (一) 导电线芯

导电线芯所用材料通常是高导电率的铜或铝。为了制造和应用上的方便,线芯截面有统一标称等级,分为 2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185、240、300、400、500、630、800 $\text{mm}^2$  等。

电缆按其芯数有单芯、双芯、三芯和四芯之分。

其线芯的形状有圆形、半圆形、扇形和椭圆形等。当线芯截面为  $16\text{mm}^2$  及以上时,通常是采用多股导线绞合并经过压紧而成,这样可以增加电缆的柔软性和结构稳定性。敷设时可在一定程度内弯曲而不受损伤。

### (二) 绝缘层

电缆的绝缘层通常采用纸、橡皮、聚氯乙烯、聚乙烯、交联聚乙烯等。

### (三) 保护层

电力电缆的保护层较为复杂,分内护层和外护层两部分。内护层用来保护电缆的绝缘不受潮湿和防止电缆浸渍剂的外流及轻度机械损伤。所用材料有铅套、铝套、橡胶套、聚氯乙烯护套和聚乙烯护套等。外护层是用来保护内护层的,包括铠装层和外被层。外护层所用材料及代号见表 12-9。

## 三、电缆的规格

我国电缆产品的型号系采用汉语拼音字母组成,有外护层时则在字母后加上两个阿拉伯数字。常用电

缆型号中字母的含义及排列顺序见表 12-8 所示：

表 12-8 常用电缆型号字母含义及排列次序

类别	绝缘种类	线芯材料	内护套	其它特征	外护层
电力电缆不表示 K——控制电缆 Y——移动式软电 缆 P——信号电缆 H——市内电话 电缆	Z——纸绝缘 X——橡皮 V——聚氯乙烯 Y——聚乙烯 YJ——交联聚乙烯	T——铜 (省略) L——铝	Q——铅护套 L——铝护套 H——橡套 (H)F——非燃性橡 套 V——聚氯乙烯护套 Y——聚乙烯护套	D——不滴碱 F——分相铅包 P——屏蔽 C——重型	2 个数字 (含义见表 142-2)

表示电缆外护层的两个数字,前一个数字表示铠装结构,后一个数字表示外被层结构。数字代号的含义见表 12-9。但目前电缆生产厂家仍有很多使用老的代号,为方便识别特列出电缆外护层代号新旧对照表(表 12-10)以便对照。

表 12-9 电缆外护层代号的含义

第一个数字		第二个数字	
代号	铠装层类型	代号	外被层类型
0	无	0	无
1	—	1	纤维绕包
2	双钢带	2	聚氯乙烯护套
3	细圆钢丝	3	聚乙烯护套
4	粗圆钢丝	4	—

表 12-10 电缆外护层代号新旧对照表

新代号	旧代号	新代号	旧代号
02.03	1,11	(31)	3,13
20	20,120	32,33	23,39
(21)	2,12	(40)	50,150
22,23	22,29	41	5,25
30	30,130	(42,43)	59,15

注:表内括号中数字的外护层结构不推荐使用

## 四、电力电缆的敷设要求

### (一) 电缆敷设前的准备工作

#### 1. 会审图纸

图纸是施工的依据,施工开始之前必须对图纸进行认真的会审。电缆工程的图纸一般包括以下内容:

(1) 电缆线路平面布置图 图上绘出电缆起迄点的电气设备、电缆走向、电缆构筑物(如隧道、电缆沟、电缆排管等)及构筑物内电缆敷设的根数。

(2) 电缆排列断面图 图上标明每根电缆的排列位置,施工时即以此为依据,使电缆的排列有规律,在运行维护、检修时便于辨认构筑物内的电缆,并能给扩建时的电缆布线提供正确的原始资料。

(3) 固定电缆用的零件结构图 此图用来表明每个零件的结构尺寸,作为加工制作零件用,没有设计图纸时,可参照全国通用电气装置标准图集加工制作。

(4) 电缆清册 清册中表明每根电缆的编号、型号、截面、起迄点及长度,与电缆布线图相对照,用以指导施工。

## 2. 材料的检查

电缆工程开工前一定要根据设计图纸认真检查各项材料是否齐全,其型号、规格、质量是否符合设计要求。材料不齐不宜急于开工。

(1) 检验电缆 电缆到达现场后,就应及时进行检查,其截面、芯数、电压等级、外护层结构、长度等均应与设计和订货要求相符。附件应齐全,外观不应受损。电缆封端应严密。当外观检查有怀疑时,应进行受潮判断或试验。

(2) 根据电缆头的型式和数量,对所需绝缘材料进行全面检查。

(3) 检查连接管、接线端子的规格和电缆线芯是否相符,是否符合加工技术条件。

(4) 检查电缆保护板、电缆接头保护盒是否足够,质量是否合格。

(5) 检查电缆头金具是否齐全,防锈是否合格。

(6) 检查穿越铁路、公路及其它管线处的电缆保护管是否备齐,管材、管径、长度是否合格。

## 3. 验收电缆沟及其它构筑物

与电缆线路安装有关的建筑物、构筑物的建筑工程质量,应符合国家现行的建筑工程施工及验收规范中的有关规定。一般在电缆线路安装前,建筑工程应具备下列条件:

(1) 预埋件符合设计,安置牢固。

(2) 电缆沟、隧道、竖井及人孔等地的地坪及抹面工作应结束,施工临时设施、模板及建筑废料等应清理干净,施工用道路畅通,盖板齐备。

(3) 在电缆敷设后,不能再进行的建筑工程工作应全面结束。

(4) 电缆沟排水畅通,电缆室的门窗安装完毕。

## 4. 施工工具的准备

施工中所用工具在开工前应准备齐全,并进行全面的检查和维修,有些起吊工具还应进行试验,合格后才能使用。避免在施工中出现事故。

## (二) 电缆的敷设及一般规定

电缆的敷设方式比较多,有直接埋地敷设、电缆沟敷设、电缆隧道敷设、电缆排管敷设、穿钢管、砼管、石棉水泥管等管道敷设,用支架、托架及悬挂敷设等。选择哪种敷设方法,应根据电缆线路的长短,电缆的数量及周围环境条件等具体决定。但作为施工单位只能依据设计图纸进行。

尽管电缆敷设方式较多,但敷设时都应遵守以下规定:

1. 电缆敷设时,不应破坏电缆沟、隧道、电缆井和人井的防水层。

2. 三相四线制系统中应使用四芯电力电缆,不应采用三芯电缆另加一根单芯电缆或以导线、电缆金属护套等作中性线。以免当三相电流不平衡时,使电缆铠装发热。当在三相系统中使用单芯电缆时,为减少损耗避免松散,应组成紧贴的正三角形排列,并且每隔 1m 用绑带扎牢。

3. 并联使用的电力电缆其长度、型号、规格宜相同。

4. 电力电缆敷设时,在电缆终端头与电缆接头附近宜留有备用长度。

5. 电缆敷设时,不应使电缆过度弯曲,并不应有机械损伤。电缆的弯曲半径不应小于表 12-11 的规定。

表 12-11 电缆最小允许弯曲半径与电缆外径的比值

电缆型式		多 芯	单 芯
控制电缆		10	
橡皮绝缘 电力电缆	无铅包、钢铠护套	10	
	裸铅包护套	15	
	钢铠护套	20	
聚氯乙烯绝缘电力电缆		10	
交联聚乙烯绝缘电力电缆		15	20
油浸纸绝缘 电力电缆	铅包	39	
	铅包	有铠装	20
		无铠装	30
自容式充油(铅包)电缆		20	

6. 油浸纸绝缘电缆最高点与最低点之间的最大位差,不应超过表 12-12 的规定,当不能满足要求时,应采用适用于高位差的电缆。

表 12-12 油浸纸绝缘铅包电力电缆最大允许敷设位差

电压等级/kV	电缆护层结构	最大允许敷设位差/m
1	无铠装	20
	有铠装	25
6~10	无铠装或有铠装	15

7. 垂直敷设或超过 45° 倾斜敷设的电缆在每个支持点上均需固定,桥架上每隔 2m 一固定。水平敷设时则只在电缆首末两端、转弯及接头的两端处固定,当对电缆间距有要求时应每隔 5~10m 固定一处。所用电缆夹具宜统一。交流系统的单芯电缆或分相铅套屯缆在分相后的固定,其夹具不应有铁件构成的闭合磁路。裸铅(铝)套屯缆的固定处,应加软衬垫保护。各支持点间的距离应按设计规定,当设计无规定时,则不应大于表 12-13 中所列数值。当控制电缆与电力电缆在同一支架上敷设时,支持点间的距离应按控制电缆要求的数值。

表 12-13 电缆各支持点间的距离/mm

电缆种类		敷设方式	
		水 平	垂 直
电 力 电 缆	全塑型	400	1000
	除全塑型外的中低压电缆	800	1500
	35kV 及以上高压电缆	1500	2000
控制电缆		800	1000

注:全塑型电力电缆水平敷设沿支架能把电缆固定时,支持点间的距离允许为 800mm。

8. 电缆敷设时,电缆应从盘的上端引出,应避免电缆在支架上及地面上摩擦拖拉。电缆上不得有铠装

压扁、电缆绞拧、护套折裂等未消除的机械损伤。用机械敷设时的最大牵引强度应符合规范要求,其敷设速度不宜超过 15m/min。

9. 敷设电缆时,在敷设前 24h 内的平均温度以及敷设现场的温度不应低于表 12-14 的数值,否则应对电缆进行加热或躲开寒冷期。

经过加热的电缆应尽快敷设,敷设前放置的时间一般不超过 1h。当电缆冷至低于表 12-14 中所列环境温度时,不宜再弯曲。

10. 电缆敷设时不宜交叉,而应排列整齐,加以固定,并及时装设标志牌。装设标志牌应符合下列要求:

(1) 在电缆终端头、电缆接头、拐弯处、夹层内、隧道及竖井的两端和人井内等地方应装设标志牌。

(2) 标志牌上应注明线路编号(当设计无编号时,则应写明规格、型号及起迄点);并联使用的电缆应有顺序号,标志牌的字迹应清晰,不易脱落。

(3) 标志牌的规格宜统一,标志牌应能防腐,且挂装应牢固。直埋电缆沿线在直线段 50~100mm 处及其接头、转弯处应有明显的方位标志或牢固的标桩。

11. 电力电缆接头盒的布置原则。并列敷设的电缆,其接头盒的位置宜相互错开;多敷电缆的接头盒,须用托板(如石棉板)托置固定,并应用耐电弧隔板与其它电缆隔开,托板及隔板伸出接头两端的长度各不小于 0.6m,直埋电缆的接头盒外面应有防止机械损伤的保护盒(环氧树脂接头盒除外)。位于冻土层内的保护盒,盒内宜注以沥青,以防水分进入盒内因冻胀而损坏电缆接头。

12. 电缆进入电缆沟、隧道、竖井、建筑物、盘(柜)以及穿入管子时,出入口应封闭,管口应密封。

表 12-14 电缆最低允许敷设温度

电缆类型	电缆结构	最低允许敷设温度/℃
油浸纸绝缘电力电缆	充油电缆	-10
	其它油纸电缆	0
橡皮绝缘电力电缆	橡皮或聚氯乙烯护套	-15
	裸铅套	-20
	铅护套钢带铠装	-7
塑料绝缘电力电缆		0
控制电缆	耐寒护套	-20
	橡皮绝缘聚氯乙烯护套	-15
	聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套	-10

### (三) 电缆的敷设方式

电缆敷设是否得当直接影响着供电的质量和安。由于敷设不当而引发的事故很多。所以,在敷设电缆时,要选择合适的方式,以避免留下事故隐患。电缆的敷设方式主要有:直接埋地(简称直埋)、电缆沟敷设、隧道敷设、沿墙敷设、架空敷设、穿管敷设和排管敷设等多种敷设方式。针对一些特殊场合又有其特殊要求。如煤矿等,又有其行业标准。

#### 1. 电缆的弯曲半径

铠装电缆在弯曲时,同层绝缘纸的间隙会发生变化,过分弯曲时,内侧绝缘纸的边缘也可能互相顶坏,并有撕裂纸绝缘及损坏铅护套的可能。为了使电缆的绝缘不受损伤,电缆和电缆芯线的最小弯曲半径有如下规定:

(1) 纸绝缘圆形芯线的弯曲半径,应不小于芯线直径的 10 倍。

(2) 纸绝缘扇形芯线的弯曲半径,应不小于扇形高度的 10 倍。

- (3) 多芯纸绝缘铠装电缆的弯曲半径,应不小于外径的 15 倍。  
 (4) 单芯纸绝缘铠装电缆的弯曲半径,应不小于外径的 25 倍。  
 (5) 橡胶电缆芯线的弯曲半径,应不小于芯线绝缘外径的 6 倍。

## 2. 电缆的敷设方式及技术要求

(1) 电缆直埋地敷设(简称直埋)。由于电缆直埋敷设施工比较简单,投资少,并且电缆的散热条件好,因此应用非常广泛。但是直埋敷设又受当地土壤、地下水的性质及同一沟内电缆根数的限制。一般在对电缆无侵蚀地区,且同一路径的电缆不超过 4 根时,应尽量采用直埋敷设。而在对电缆有侵蚀的地区,要考虑电缆的选型及防腐措施。具体要求如下:

① 电缆直埋地深度,一般不得小于 700mm。但在寒冷地区,必须大于冻土的深度。

② 在选定电缆线路的路径和埋设深度时,必须考虑该地区是否有平土的可能性,以免电缆在平土时暴露或者埋设过深或过浅。

③ 电缆在从地下引出地面时,应有 2m 长的金属管或保护罩加以保护。

④ 直埋采用电缆沟方式时,沟内要加保护板。电缆沟及保护板如图 12-12 所示。电缆沟宽度如表 12-15 所示。保护板采用 150 号以上混凝土制作,厚度均为 30mm。当电缆沟转 90°~120°弯时,转弯处应另加大 200mm。

表 12-15 直接埋地敷设电缆沟宽度

控制电缆		控制电缆根数				
		0	1	2	3	4
10kV 及以下电力电缆根数	0	—	240	320	400	480
	1	270	410	490	570	650
	2	440	580	660	740	820
	3	610	750	830	910	990
	4	780	920	1000	1080	1160

注:电缆沟宽度单位为 mm。

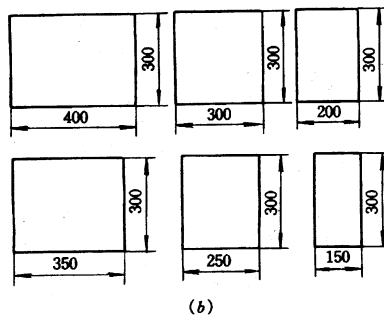
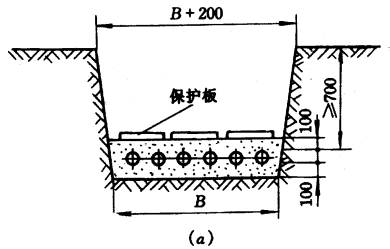


图 12-12 直接埋地敷设电缆沟

(a) 电缆沟尺寸 (b) 保护板规格图

⑤ 电缆直埋地敷设方式与其它设施平行、交叉的最小距离和要求,见表 12-16。

表 12-16 直埋电缆与其它设施平行、交叉的最小距离(mm)

名 称	平行	交叉
1. 控制电缆之间	不作规定	500
2. 10kV 及以下电力电缆之间或与控制电缆之间	100	500
3. 35kV 电力电缆之间或 10kV 及以下电缆之间	250(100)	100(250)
4. 不同部门的电缆(包括通讯电缆)之间	500(100)	500(250)
5. 电缆与热力沟或热力管道	2000	500
6. 电缆与石油、煤气管道	1000(250)	500(250)
7. 电缆与其他管道	500(250)	500(250)
8. 电缆与铁路	3000	1000
9. 电缆与公路	2000	1000
10. 电缆与建筑物基础	600	—
11. 电缆与电杆基础	1000	—
12. 电缆与树木	2000(750)	—

注 1. 表中括号内数字是指电缆穿管保护或加隔板后允许的最小距离。

2. 表中所列电缆与各管线平行的最小距离,是指在两者埋设深度相仿的情况下。当两者埋设深度相差很大,尚要考虑施工检修挖土时相互影响,应根据具体情况适当放大平行距离,一般采用 2000mm 为宜。

(2) 电缆在电缆沟内敷设。当电缆线路与地下管道交叉不多,地下水位较低,又无金属液体、高温介质溢出的地区,并且同一路径电缆根数较多时,可采用电缆沟敷设,具体技术要求如下:

- ① 沟内电缆一般不应超过 12 根。但对于控制电缆可适当增加,并要考虑扩建要求。
- ② 室内电缆沟的盖板要与地面相平。当地面容易积灰和积水时,要用水泥沙浆将其缝隙抹平。
- ③ 电缆沟内电缆间水平净距应不小于 35mm。控制电缆间距不作规定。当在沟底敷设电缆时,1kV 以上的电力电缆与控制电缆间的净距不小于 100mm。
- ④ 变电所屋外配电装置的电缆沟,其盖板须高出地面 100mm,并兼作人行道。
- ⑤ 厂区电缆沟的盖板顶部一般低于地面 300mm,盖板上铺以细土和砂子。
- ⑥ 对于厂区长距离的电缆沟,为便于维修,沟内的通道尺寸应适当放大,宽度不宜小于 700mm,高度不宜低于 1300mm。
- ⑦ 位于无渗透性的潮湿土壤中或在地下水位以下的电缆沟,应有可靠的防水层,并应向积水方向有不小于 0.5% 的排水坡度。位于有渗透性的干燥土壤中和在地下水位以上的电缆沟,可以只在沟底修建能渗水的 100~150mm 厚的碎石垫层,而不需再设其它设施。
- ⑧ 电缆沟一般采用钢筋混凝土盖板,重量不应超过 50kg。在室内需经常开启的电缆沟应采用钢板。
- ⑨ 室外电力电缆沟进入变电所或厂房内,入口处应有耐火隔墙。

(3) 电缆在隧道内敷设。当同路敷设电力电缆在 12 根以上,或者重要电缆在 8 根以上时,可采用电缆隧道敷设。电缆隧道的结构及规格如图 12-13 及表 12-17 所示。



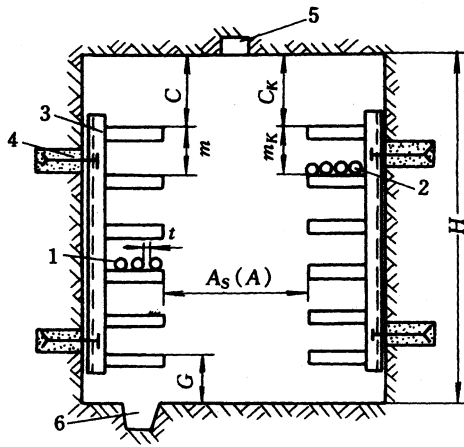


图 12-13 电缆隧道结构示意图

1. 动力电缆 2. 控制电缆 3. 电缆格架(或电缆钩子)  
4. 地脚螺栓 5. 装灯用壁槽 6. 排水沟

表 12-17 电缆隧道规格尺寸表

(mm)

尺寸名称		符号	一般	最小
隧道高度(净距)		$H$	2000	1800
通道宽度	单侧有支架	$A$	900	900
	双侧有支架	$A_s$	1000	1000
电缆格架 层间垂直距离	控制电缆	$m_k$	120 ~ 150	100
	电力电缆	$m$	200	200
电缆水平距离	控制电缆	$t$	依固定电缆 方式而定	不规定
	电力电缆	$t$	3 $\times$ (净距)	3 $\times$ (净距)
最上排格架至 顶部的距离	控制电缆	$C_k$	250 ~ 300	—
	电力电缆	$C$	300 ~ 400	—
最低格架距底部距离		$G$	100 ~ 150	—

注 在引出或引进电缆时,选择格架的位置应保证电缆的最小弯曲半径。

电缆隧道的技术要求如下:

① 电缆隧道内支架与支架间的距离:电力电缆不大于 1000mm,控制电缆不大于 800mm。

② 电缆隧道的维修人员出入口数目要求:长度小于 7m 时,允许一个出口;长度在 7 ~ 100m 时,应有两个出口;长度在 100m 以上时,每两个出口之间的距离不大于 100m。

③ 室外电缆隧道在进入变电所或厂房处以及沿隧道全长每隔 100m 处应设带门的耐火隔墙,其位置应与通风系统、维修人员出入口的位置结合起来统一考虑。

④ 隧道内尽可能采用自然通风。但当隧道内的电力电缆电能损耗每 m 超过 150W 时,需考虑机械通风方式。

⑤ 电缆隧道内的通风亭和维修人员出入口的地坪或门挡应高出室外地平面 150 ~ 300mm,以防止雨水流入。

⑥ 严禁其它管线横穿电缆隧道。

- ⑦ 电缆隧道应有可靠的防水设施。  
 ⑧ 电缆隧道一般应采用钢筋混凝土结构,并且门、阶梯、隔墙和百叶窗等结构应是耐火的。  
 ⑨ 电缆隧道内的照明电压不应高于 36V。否则,应采取安全防护措施。

(4) 电缆沿墙敷设。沿着围墙或者简易厂房的墙壁敷设电缆,可采用吊挂,其方法如图 12-14 所示,挂钩规格尺寸见表 12-18。也可以用扁铁制作电缆钩,安装于墙壁上以悬挂电缆。

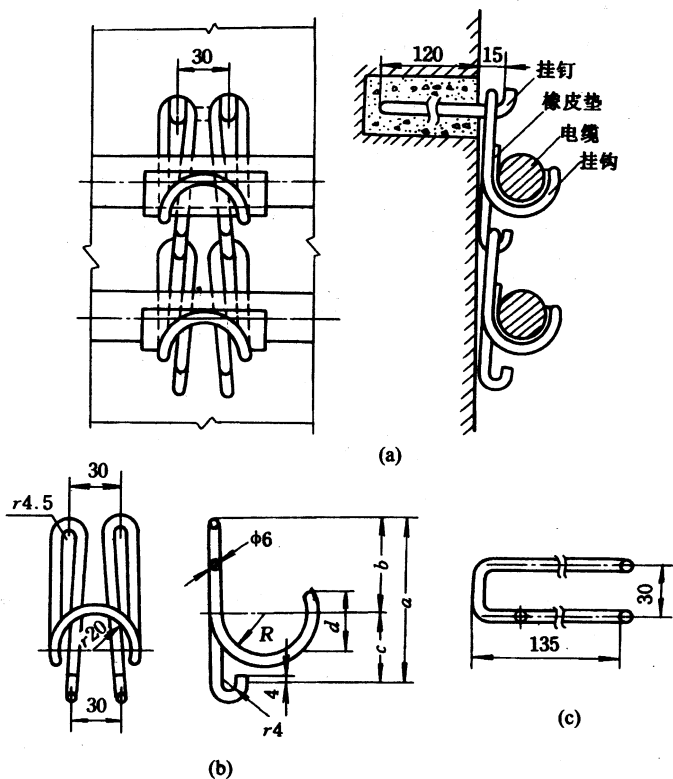


图 12-14 电缠沿墙吊挂安装

(a) 电缆安装吊挂图 (b) 电缆钩结构与尺寸 (c) 基础钩

表 12-18 挂钩规格尺寸表

(mm)

电缆外径	圆挂钩尺寸					
	展开长度	$a$	$b$	$c$	$d$	$R$
50 及以下	585	100	58	42	31	26
35 及以下	490	85	51	34	23	18
25 及以下	430	75	46	29	18	13

(5) 电缆架空敷设。有些施工现场由于条件所限,需采用电缆架空敷设。敷设时常采用帆布带、塑料带、铁钩、专用卡子或者镀锌铁丝环,将电缆吊在镀锌钢绞线上。吊具的间隔距离一般为 0.5~1m。

(6) 电缆沿墙敷设与排管敷设。当电缆线路与铁路、公路交叉,或过墙、过地面、过基础、过沟,或经过可能有高温介质溢出的地区时,可采用穿管敷设。若是多根电缆(但不超过 12 根),且路径拥挤,可采用排管敷设。

①穿管敷设 (即将电缆穿过保护管进行敷设) 电缆时, 有如下要求:

- A. 保护管的内径不应小于电缆外径的 1.5 倍。
- B. 保护管的弯曲半径不应小于电缆的允许弯曲半径。
- C. 保护管可用非磁性材料, 如钢管等。当所保护的电缆是裸铠装电缆时, 钢管长度不能超过 20m。
- D. 保护管的直角弯不应多于 2 个。
- E. 管的两端应胀成喇叭口, 以免损伤电缆。

②排管敷设施工方法比较复杂, 并且检修和更换电缆不方便, 散热条件不好。一般不推荐使用。

## 五、电缆线路架设方式

大城市中架空线电网已越来越不适应负荷增长和环境的要求, 因此电力电缆得到不断发展并成为建设现代化城市电网的一个重要环节。按照我国的具体条件, 目前在下列情况下采用电缆线路:

1. 繁华地区、主要道路、重点旅游区等按照城市规划不宜通过架空线的地区;
2. 走廊狭窄、架空线对建筑物不能保持安全距离的道路;
3. 负荷密度和供电可靠性要求高的地区, 用架空线不能满足要求时;
4. 深入市区的 110kV 及以上线路;
5. 严重腐蚀和易受热带风暴侵袭的主要城市的重点供电区。

发达国家的城市电网, 有的一开始就按全部电缆化规划和建设, 使城市有一个美好的环境, 并保证可靠的供电, 但这样做初期投资很高。初期未作电缆化打算, 待城市发展后再将架空线入地会遇到极大困难。我国大城市的开发区可考虑采用电缆化电网。对老市区只能因地制宜, 逐步增加电缆比重。

电缆线路的优点是不受自然气象条件和周围环境干扰, 不破坏城市美观和影响人身安全, 同一通道可容纳多根电缆, 极大地增加了供电能力。缺点是建设费用与架空线路相比成倍增高, 事故修复时间长。为此, 在考虑电缆网接线时应与架空线有所不同, 例如应避免单根放射形电缆的供电, 因为万一电缆故障, 修复时间比架空线要长得多, 若无备用电源, 会造成用户长时间停电。

### (一) 电缆选型

常用电缆有以下几种型式:

1. 粘性油浸渍纸绝缘电缆: 是用粘性油浸渍纸作为绝缘的电缆, 在 6.0~35kV 电网中广泛使用, 但截面较小, 大部分为铝芯 240mm<sup>2</sup>, 近年来随着城市负荷的增高, 已逐步采用大截面的交联聚乙烯电缆来代替。

2. PVC 电缆: 是用聚氯乙烯塑料作为绝缘的电缆, 广泛应用于低压线路中。

3. 充油电缆: 主要是自容式充油电缆, 有单芯和三芯二种, 单芯用于 60~500kV 电网, 三芯一般用于 35~110kV 电网。其特点是采用经过脱气的低粘度绝缘油充入电缆内部, 并藉补油设备给以一定压力以消除内部产生气隙的可能性。但需有一套供油设备, 在城市中取得塞止接头和油箱的安装空间愈来愈困难。

4. 交联聚乙烯电缆: 是 60 年代开发, 利用高能辐照或化学方法对聚乙烯分子进行交联作为绝缘介质的一种电缆。与油纸电缆及充油电缆相比较, 具有载流量大, 质量轻, 坚固, 适用于恶劣环境下通过接头、终端头等附件制作简单等优点。初期制造的交联聚乙烯电缆存在一种缺陷, 起源于在高电场强度和水分并存情况下, 绝缘内部形成的各种类型的树脂痕迹, 称为水树枝。后经不断改进聚合物的结构形态, 添加水树枝阻滞剂以及纵向和横向防水等措施后, 绝缘性能已得到稳定和提。目前已可应用于各级电压电网。国外并已在 400kV 电网中广泛应用。但水树枝故障仍是目前需要进一步攻克的问题。

电缆导体及金属屏蔽层的材料和截面的选择除按输送容量、相间短路和接地短路时热稳定和敷设方式等条件校核外, 一个城网中的主干线电缆应力求标准化。各级电压配电网选用的电缆截面可参照表 12-19。电缆结构图 12-15~图 12-18 所示。

表 12-19 各级电压配电网可选用的标准电缆截面表

电压等级	电缆芯线截面(铜或铝)(mm <sup>2</sup> )				
380/20V	240	185	150	120	
10kV	400	300	240	185	150
35kV	400	300	240	185	150
110kV	700	400			
220kV	845	700			

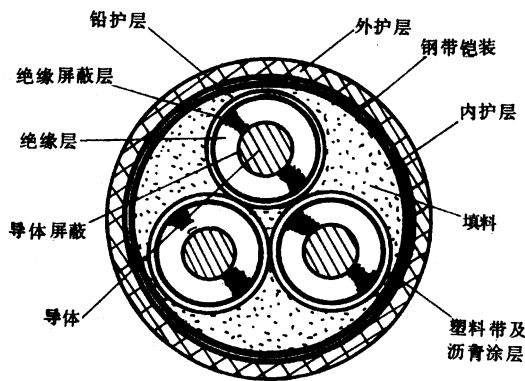


图 12-15 35kV 粘性油浸渍纸电缆

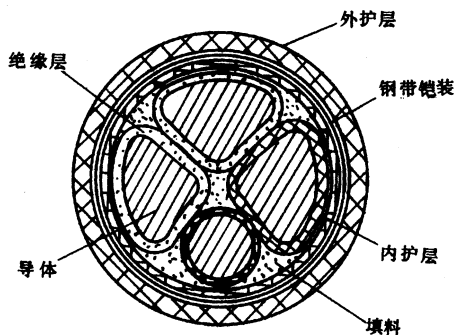


图 12-16 PVC 电缆

## (二) 电缆敷设方式

1. 直埋敷设方式这是最简单经济的敷设方式,一般敷设于市区人行道、三芯电缆并排敷设,单芯电缆成品字形排列,品字形排列的在一定间距用绑带扎紧。

2. 电缆沟敷设:电缆在人行道上需多层敷设时可以采用电缆沟,但沿线妨碍建沟的横向管道均需切断,故建设时也有一定难度。因此一般只在变电所内部和个别变电所出线处使用。

3. 排管敷设:对于密集的电线路可用排管敷设。一路排管最多可有 $3 \times 7$ 孔。隔一定长度设置接头工井,线路转角较大时设置转角井。排管一般适用于电缆条数较多,且有机动车等重载的地段。

4. 隧道敷设:电缆敷设在隧道内是最好的敷设方式,安装、运行、检修都比较方便。但隧道施工费用较昂贵,地下管线复杂时,施工困难。施工时还需长期封锁交通。虽然这种困难可用顶管或盾构法施工解决,但价格贵,要求施工场地大,在市区也是同样困难重重。因此,一般只在大型变电所、进出线密集的地方采



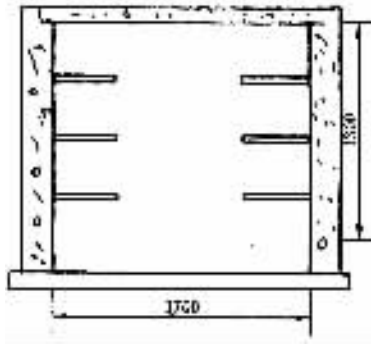


图 12-20 电缆沟断面

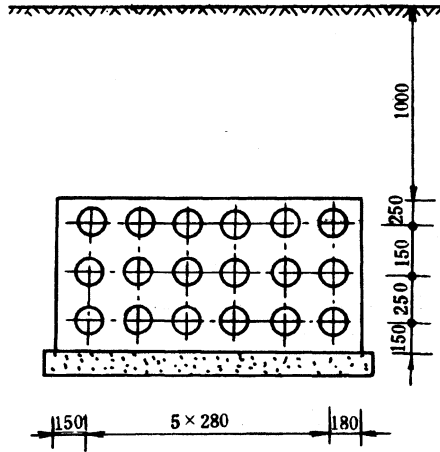


图 12-21 排管断面

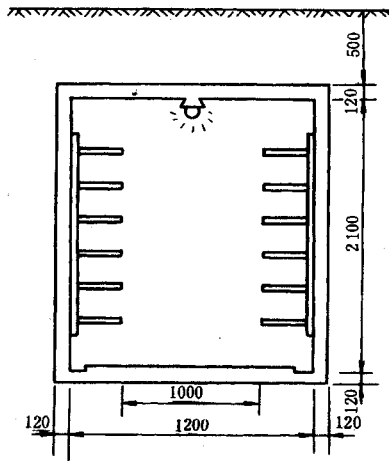


图 12-22 方形电缆隧道断面

施工,见图 12-23。

由于各种敷设方式的特点和电缆线路沿途条件的不同,往往一条电缆线路在沿途各段必须采用不同的敷设方式。

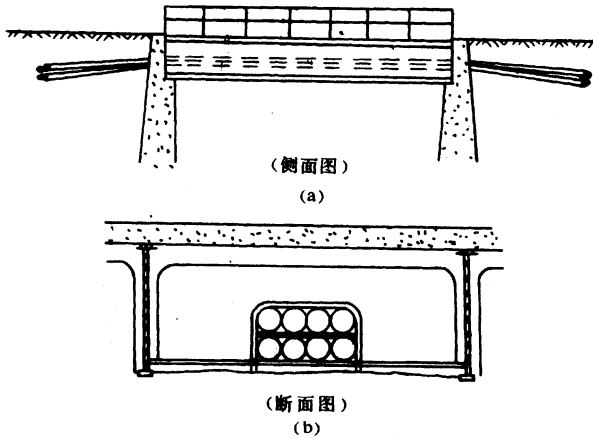


图 12-23 排管过桥

### (三) 电缆防火

电力电缆的绝缘层和护层含有大量碳氢化合物材料,容易燃烧,燃烧时释放出有害气体和浓烟,因此对敷设于建筑物内用于火警和消防系统的低压电源和示警回路的电缆应用耐火温度大于 $750^{\circ}\text{C}$ 的耐火电缆,用于易受外部着火影响的电缆密集场所和通向控制室、继保室的低压电缆可用延烧距离短的阻燃电缆兼无污染电缆。

无耐火或阻燃特性的电力电缆和控制电缆,直埋敷设或排管、穿管敷设时可不加防火措施。电缆沟敷设和隧道敷设时在重点防火地区可用氧指数较高的阻燃材料制成的带子绕包在电缆护层上,或用特殊配置的阻燃材料喷涂或漆刷在电缆护层上,或将电缆敷设在防火槽中,进出变电站墙孔和穿越变电站墙板的电缆洞孔或孔隙可用腻子型(油泥状)防火堵料填封。隧道中必要时还应配置自动报警和灭火系统。

### (四) 电缆配电网的自动化

电缆配电网接线多数为使用环网开关柜构成的单环网,开环运行。当环网中电缆段故障时,由于环网开关柜不具备遥控功能,需人工检出故障段,然后操作和恢复供电,需数小时之久。对此,目前已开发出多种形式的自动化装置,将环网开关柜配置遥控、遥信装置,以电力电缆本身为通信通道,完成隔离故障和恢复供电自动化,大大提高了供电可靠性。

## 第四节 电缆敷设安装工艺

电缆敷设的方法很多,有直埋设在地下,敷设在室内地沟里,穿在排管中,装在地下隧道内,以及沿建筑物安装在明露处等。这些敷设方法各有它的优缺点。选择哪种方法,要根据电缆线的长短,电缆的数量,周围环境条件等具体情况决定。

电缆敷设前,应先查核电缆的型号、电压、规格应符合设计,并检查有无机械损伤及受潮,对 $6\sim 10$ 千伏电缆应用 $2500$ 伏摇表测量,每公里电缆的绝缘电阻( $20^{\circ}\text{C}$ 时)不低于 $100$ 兆欧; $3$ 千伏及以下的电缆,可用 $1000$ 伏摇表测量,每公里电缆的绝缘电阻不低于 $50$ 兆欧( $20^{\circ}\text{C}$ 时)。

直埋电缆的敷设方法无需复杂的结构设施,即简单又经济,电缆散热也好,适用于电缆根数少,敷设距离较长的场所。

## 一、直埋电缆敷设施工要求

在同一路径上敷设的室外电缆根数超过 8 根,而且场地有条件时,宜采用直接埋地敷设。将电缆直接埋设在地下,不需要复杂的结构设施,因此施工较简单、经济,而且泥土散热性也较好,对城市美化也有利。

直埋电缆敷设时有下列要求:

1. 电缆埋设深度不应小于 0.7m,穿越农田时不应小于 1.0m,并应在电缆上、下各均匀铺设 100mm 厚的细砂或软土,然后覆盖砖块或混凝土保护板,其覆盖宽度应超过电缆两侧各 50mm。填铺的软土或细砂中不应有石块或其它硬质杂物。

在寒冷地区,电缆应埋设在冻土层以下。如果无法深埋时,应采取措施防止电缆受到损坏。

电缆埋地敷设时,电缆壕沟形状及尺寸要求见表 12-20 和图 12-24。

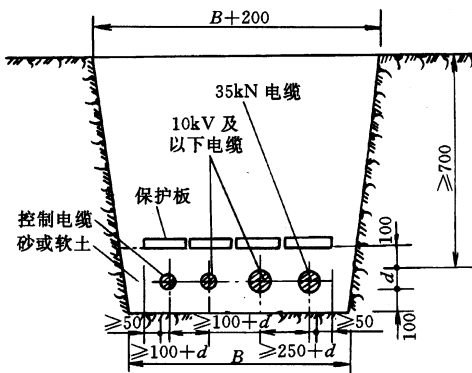


图 12-24 直埋电缆壕沟示意

- 直埋电缆之间及电缆与各种设施平行或交叉的安全净距离,不应小于表 12-21 所列数值。
- 电缆与建筑物平行敷设时,电缆应埋设在建筑物的散水坡外。电缆引入建筑物时,所穿保护管应超出建筑物散水坡 100mm。
- 电缆与道路、铁路交叉时,应穿管保护,保护管应伸出路基 1.0m。
- 电缆与热力管沟交叉时,如果电缆穿石棉水泥管保护,则其长度应伸出热力管沟两侧各 2m,如果电缆用隔热保护层,则保护层应超过热力管沟和电缆两侧各 1.0m。

表 12-20 电缆壕沟宽度表

电缆壕沟宽度 B (mm)		控制电缆根数						
		0	1	2	3	4	5	6
10kV 及以下 电力电缆根 数	0		350	380	510	640	770	900
	1	350	450	580	710	840	970	1100
	2	500	600	730	860	990	1120	1250
	3	650	750	880	1010	1140	1270	1400
	4	800	900	1030	1160	1290	1420	1550
	5	950	1050	1180	1310	1440	1570	1800
	6	1100	1200	1330	1460	1590	1720	1850



表 12-21 直接埋地敷设的电缆之间及与各种设施的最小净距(m)

项 目	敷设条件	
	平行时	交叉时
建筑物、构筑物基础	0.50	
电杆	0.60	
乔木	1.50	
灌木丛	0.50	
1kV 以下电力电缆之间,以及与控制电缆和 1kV 以上电力电缆之间	0.10	0.50(0.25)
通讯电缆	0.50(0.10)	0.50(0.25)
热力管沟	2.00	(0.50)
水管、压缩空气管	1.00(0.25)	0.50(0.25)
可燃气体及易燃液体管道	1.00	0.50(0.25)
铁路(平行时与轨道、交叉时与轨底,电气化铁路除外)	3.00	1.00
道路(平行时与路边、交叉时与路面)	1.50	1.00
排水明沟(平行时与沟边、交叉时与沟底)	1.00	0.50

注 1. 表中所列净距,应自各种设施(包括防护外层)的外缘算起;

2. 路灯电缆与道路灌木丛平行距离不限;

3. 表中括号内数字是指局部地段电缆穿管,加隔板保护或加隔热层保护后允许的最小净距;

4. 电缆与水管、压缩空气管平行,电缆与管道标高差不大于 0.50m 时,平行净距可减少至 0.50m。

6. 电缆通过有振动和承受压力的各地段时应穿管保护:

(1) 电缆引入和引出建筑物和构筑物的基础、楼板和过墙等处应穿管保护。

(2) 电缆通过铁路、道路和可能受到机械损伤的地段应穿管保护。

(3) 电缆引出地面 2m 至地下 0.2m 处,行人容易接触和电缆可能受到机械损伤的地方应穿管保护。

7. 埋地敷设的电缆,接头盒下面必须垫混凝土基础板,其长度应伸出接头保护盒两侧 0.6~0.7m。

8. 电缆长度应比电缆壕沟长约 1.5%~2%。应留有一定裕量。

9. 向一级负荷供电的同一路径的双路电缆不应敷设在同一壕沟内。

## 二、直埋敷设的安全原则

1. 电缆本身应是允许直埋敷设的电缆,即有铠装和防腐层保护的电缆。

2. 埋设深度应在当地冻土层以下,深度一般不小于 0.7 米,地面为农田时不小于 1 米。35 千伏及以上不小于 1 米,若不能满足上述要求时,应采取保护措施。

3. 挖掘电缆沟前应掌握线路地下管线、土质和地形等情况,防止损伤地下管线或引起塔、建筑物倒塌等事故。挖沟的宽度,根据电缆根数而定。

4. 直埋电缆应在电缆上下均匀敷设 100 毫米细砂或软土。垫层上侧应用水泥盖板或砖衔接复盖。回填土时,应去掉大块砖、石等杂物。

5. 如电缆需要弯曲,弯曲半径不得太小。弯曲半径与电缆外径的比值,对于纸绝缘多芯电力电缆,铅包

为 15 倍,铝包为 25 倍,对于纸绝缘单芯电力电缆,铝包、铅包均为 25 倍,对于橡胶或塑料绝缘电力电缆、铠装为 10 倍,无铠装为 6 倍。

6. 直埋电缆与管道、建筑物等接近及交叉距离应符合表 12-22 所列数值。

表 12-22 直埋电缆与管道、建筑物等接近、交叉距离(毫米)

类别	接近距离	交叉时垂直距离
电缆与易燃管道	1000	500
电缆与热力沟	2000	500
电缆与建筑物	600	
电缆与电杆	500	
电缆与树木	1000	
电缆与其它管道	500	250
电缆与铁路路基	3000	1000

7. 在埋设电缆的两端、中间及拐弯、接头、交叉、进出建筑物等地段,应埋设电缆标志桩,标志桩应露出地面(一般不小于 200 毫米),并注明电缆的型号、规格、电压、走向等。

8. 电缆沿坡敷设时,中间接头应保持水平。多条电缆同沟敷设时,中间接头的位置应前后错开,距离不小于 0.5 米,接头应用钢筋混凝土保护盒或用混凝土管、硬塑料管等加以保护,保护管长度在 30 米以下者,内径不应小于电缆外径的 1.5 倍,超过 30 米以上者不应小于 2.5 倍。

### 三、直埋电缆敷设施工步骤

1. 按施工图要求在地面用白粉划出电缆敷设的路径和沟的宽度,可挖电缆沟样(长为 0.4~0.5 米,宽与深均为 1 米),了解土壤和地下管线情况。

2. 挖沟深度为 0.8 米左右的沟,沟宽应根据电缆的数量而定。一般取 600 毫米左右。10 千伏以下的电缆,相互的间隔要保证在 100 毫米以上,每增加一根电缆,沟宽加大 170~180 毫米。电缆沟的横断面呈梯形(上下宽差 200 毫米),如图 12-25 所示。

3. 铺设下垫层,开挖工作结束后,在沟底铺一层 100 毫米厚的细砂或松土,作为电缆的下垫层。电缆如穿越建筑物、道路或与其它设施交叉时,应事先埋设电缆保护钢管(有时用水泥管等),以便敷设电缆时穿入内。

4. 敷设电缆,应将电缆铺设在沟底砂土垫层的上面,电缆长度应略长于电缆沟长(一般为 1.0~1.5%),并按波形铺设(不要过直),以便使电缆能适应土壤温度的冷热伸缩变化。

5. 铺设上垫层,电缆敷好后,在电缆上面再铺一层 100 毫米的细砂或松土,然后在砂土层上铺盖水泥预制板或砖。以防电缆受机械损伤。

6. 回填土,将电缆沟回填土分层填实,覆土应高于地面 150~200 毫米,以防松土沉陷,如遇有含酸、碱等腐蚀性物质的土壤,应更换无腐性的松软土。

7. 设置电缆标志牌,电缆敷设完毕后在电缆的引出、入端、终端、中间接头、转弯等处,应设置防腐材料(如塑料或铅等)制成的标志牌,或竖一根露出地面的混凝土标志桩,注明线路编号、电压等级、电缆型号规格、起止地点、线路长度和敷设时间等内容,以备检查和维护之用。

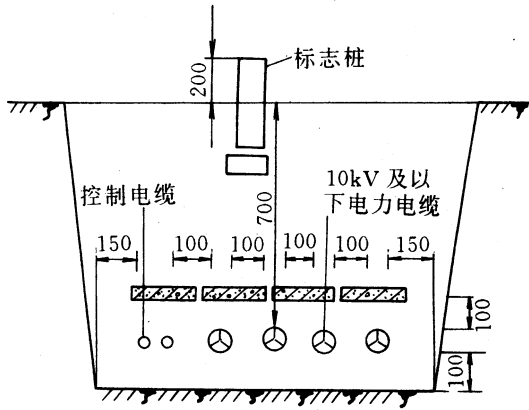


图 12-25 直埋电缆的间距

## 四、电缆沟内敷设施工

1. 电缆在电缆沟中敷设具有占地面积小,走线容易而灵活、造价较低、检修更换电缆比直埋电缆方便等优点。

2. 电缆沟敷设电缆包括在墙上或天花板悬挂敷设,都属于室内敷设。通常都使用电缆支架或钩卡敷设。

### (一) 敷设要求

1. 电缆沟底应平整,且有 1‰ 的坡度。沟内要保持干燥,应设置适当数量的积水坑和排水设施,以及时将沟内积水排出。积水坑的间距一般为 50 米左右(其尺寸以 400×400×400 毫米为宜)。电缆沟尺寸由设计确定,沟壁沟底均采用防水砂浆抹面。

2. 支架上的电缆排列,应按照电缆敷设的一般要求。其排列的水平允许间距:高低压电缆为 150 毫米;电力电缆为 35 毫米(但不得小于电缆外径);不同级电缆与控制电缆为 100 毫米。电缆为 150 毫米,控制电缆为 100 毫米。

3. 电缆支架或支架点的间距,应按设计规定施工。当无规定时,可参照表 12-23 所示值。

表 12-23 电缆支持点的最大间距(米)

敷设线路		支架上敷设		钢索上悬吊敷设	
		水平	竖直	水平	竖直
电力电缆	充油式	1.5	2.0	—	—
	橡胶及其它油纸式	1.0	2.0	0.75	1.5
控制电缆		0.8	1.0	0.6	0.75

4. 电缆支架应平直无明显扭曲,安装牢固并保持横平竖直。电缆敷设前,支架必须经过防腐处理,并在电缆下面衬垫橡皮垫,黄麻带或塑料带等软性绝缘材料,以保护电缆包皮。电缆在沟内穿越墙壁和楼板时应穿钢管保护。

5. 电缆沟敷设的方式常用于多根电缆的敷设。所以在施工前,应认真熟悉图纸,了解每根电缆的型号、规格、走向和用途。按实际情况计算长度并合理安排,以免浪费。

## (二) 电缆敷设作业中的安全要求

1. 敷设前应应对电缆进行潮气检查, 检查方法有火烧法(即燃烧电缆绝缘纸, 如纸表面有泡沫, 即为有潮气, 应去潮)、油浸法(即将电缆绝缘浸入 150℃ 电缆油中, 如冒白泡沫, 即说明有潮气), 还应检查有无机械损伤。

2. 防止电缆扭伤和过分弯曲, 垂直或沿陡坡敷设的电缆, 应防止超过允许高低差, 电缆最大允许高度差, 如表 12-24 所示。

表 12-24 电缆允许最大高低差(米)

电压等级(千伏)		铅包	铝包
1~3	铠装	25	25
	无铠装	20	25
6~10		15	20
20~35		5	—
干绝缘统铅包		100	—

注 橡胶及塑料绝缘电缆高度差不限

3. 当环境温度低于以下数值时, 应先对电缆预热, 然后敷设, 在 5~10℃ 时, 放三昼夜, 在 25℃ 时放一昼夜即可, 电缆表面温度 3 千伏以下者不得超过 40℃, 6~10 千伏者不得超过 35℃, 35 千伏者不得超过 25℃, 预热后的电缆应在 2 小时内敷设完毕。

4. 电缆敷设在下列地段留有适当余量, 过河两端留 3~5 米, 过桥两端留 0.3~0.5 米, 建筑物进出口电缆终端处留 1~1.5 米。另外, 在穿管时管子两端, 入孔、手孔井内, 伸缩缝处, 对接头附近等等, 均应有一定余量。

5. 电缆搬运中, 应注意电缆的保护和人身的安全。人工滚动搬运时, 应注意滚动方向, 以防散盘, 任何情况下, 不得将电缆盘平放。

6. 电缆敷设完后, 用电缆沟盖板盖住电缆沟及竖井井盖。

## 五、电缆敷设的施工操作

### (一) 电缆直埋的敷设方法

采用直埋敷设施工之前, 施工人员必须了解每盘电缆的长度, 并确定将来装置电缆接线盒的地方, 以避免把接头放在道路交叉口、建筑物的大门口以及和其它管线相交叉的地方。

施放电缆的方法可以用人工或绞车, 或者两者都用。在壕沟中先放好滑轮, 每隔 1.5~2m 放置一个, 电缆从线盘上松下放在滑轮上, 然后用绳拉住向前拽。如果电缆较长、较重, 除了在电缆头处拖曳外, 还要分一部分人在电缆中间协助拖动, 以避免电缆拖地导致损伤。无论在任何情况下, 不得把电缆放在地上拖拉。电缆盘放在一个可以转动的轮盘上, 线盘可以自由转动, 并备有一些工具以随时刹住轮盘, 制止其转动。

当电缆全部放完后, 可以将电缆逐段提起, 移去滑轮, 将其轻放于沟底。不必将其拉直, 而使其有一些波形, 这样电缆在冬季停止使用时, 不至于因长度缩短而承受较大的拉力。

拖曳电缆时可用软绳套在电缆末端, 拖曳速度不可太快, 每分钟不超过 8m。

电缆放在沟底后, 上面覆盖 100mm 厚的软土, 然后用砖或水泥块压在上面用以保护电缆, 并引起以后掘土人的注意, 使电缆不至于受损。电缆壕沟须分层用土填实, 必要时可在上面浇一些水。在实际施工中, 电缆敷设位置与本书所讲可能不尽相同, 须根据具体情况, 制订切实可行的施工方案。并绘制实际路线图, 交与运行部门作为技术资料存档。

## (二) 室内电缆敷设的施工方法

在室内敷设电缆,要将电缆外面的黄麻保护层剥除,以消除火灾隐患。敷设在地沟里时,地沟要用混凝土浇灌而成,并低于地面。沟顶部和地板齐平的地方,可用有孔铁板、水泥盖板盖住。若采用木板,则底面须用耐火材料如石棉、铁皮等包住,以防着火。电缆放在沟底或用支架承托,不须卡牢。装在屋内墙上、支架上或天花板上的电缆,应牢靠地加以固定。

## (三) 电缆在隧道中的敷设方法

在隧道中敷设电缆的方法与在室内敷设电缆的方法一样,敷设时若不能把电缆盘滚入隧道里,可以把它放在隧道顶部的入孔旁边,而把电缆拖入隧道。

## (四) 隧管里电缆的敷设方法

敷设在隧管里的电缆,一般都采用没有铠装和铅包的裸电缆。施工方法是把电缆放在施工井口,然后借预埋管的钢丝绳把电缆拖过隧管到另一个施工井。如果隧管不是直线,中间有弯曲部分,则电缆盘应放在靠近弯曲一端的施工井口,把电缆送进。为了便于施放,减少电缆和管壁间的摩擦阻力,电缆被拖入隧管之前,电缆表面须涂以润滑物(如黄油和滑石粉等)。

需要注意的是,由于电缆表面没有铠装保护,敷设时要注意防止电缆受到机械损伤。要在隧管口套以光滑的喇叭口,并在施工井口安装滑轮。在放线之前,要详细检查管子内部是否畅通,管壁是否光滑,以防止由于不平和尖刺造成电缆的损伤。检查和疏通隧管内部可用两端带有铁刺快口的心轴,用绳子扣住心轴的两端,然后将其穿入隧管内来回拖动,这样就可以除去不平和尖刺。心轴的直径比管子的直径要小一些。

# 六、低压电缆敷设施工操作

## (一) 电力电缆敷设的技术要求

电力电缆具有防潮、防腐和防损伤的优良性能,可直埋地下,也可敷设在沟道中,受气候和环境影响小,不受雷击和风力破坏,通过居民区又无触电危险,而且电缆线路节约用地,美化环境。但是,电缆线路造价高出架空裸线 5~6 倍,施工周期长,敷设工艺复杂,检修难度大。

在农村电网建设和改造中,可在必要地段采用电缆敷设供电。电力电缆敷设的方式和技术要求见表 12-25。

## (二) 敷设方法

### 1. 直埋敷设

直接埋地敷设是沿选定的线路挖掘电缆沟(如图 12-26 所示),然后把电缆埋在沟内。此法施工简单,造价低,但电缆易受土中酸碱物腐蚀,其具体敷设施工技术要求见表 12-25。

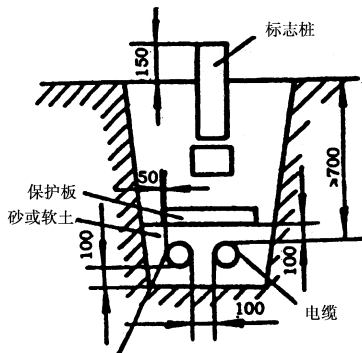


图 12-26 直接埋地敷设电缆沟

表 12-25 电力电缆敷设方式和技术要求

敷设方式	技术要求
直埋 (图 8-49)	①采用有防腐层电缆型号;②埋深不应小于 0.7m;③数条电缆在同一沟内敷设时,10kV 以下电缆间距为 100mm,10kV 以上为 250mm;不同使用功能电缆同列敷设间距不得小于 500mm;④清除沟中石子和粗糙不平地方;⑤电缆埋入后先覆盖 100mm 左右软土或黄沙,再加盖板;⑥多根电缆敷设时接头部位错开,距离不应小于 2m;⑦垂直交叉电缆间距不得小于 0.5m,低压电缆置于高压电缆上面;⑧电缆沟位设标志牌,始、末端设标志牌
排管 (图 8-50) (图 8-51) (图 8-52)	①管内壁应光滑,无毛刺,管身无裂缝,管口成喇叭形;②管内径不应小于电缆外径 1.5 倍。转弯时应符合所穿电缆弯曲半径的规定(注),弯管管不应有裂纹和凹凸;③电缆管连接时,必须用螺扣和管接头连接,如采用焊接。不应直接焊接,连接处应套装一段粗管后焊接,以防焊渣进入管内;④出口线应电气设备进口对准,便于装拆;⑤利用电缆管作接地线时,应符合“接地接零”要求,电缆管连接处应用跨接线焊接
沿电缆沟隧道 (图 8-53)	①隧道高度一般 1.8m;②两侧设置电缆架时,中间宽度 1m,单侧设电缆架时,宽度 0.9m;③电缆架层间净距 10kV 以下为 0.2m,以上 0.25m;④要有防火措施

注:各种电缆弯曲处应保证足够的曲率半径  $R$ ,有钢铠和无钢铠的油浸纸绝缘单芯铝包电缆  $R \geq 15D$ ,铅包橡皮绝缘电缆和聚乙烯护套电缆,有铠装  $R \geq 10D$ ,无铠装  $R \geq 16D$ (以上  $D$  为电缆外径)

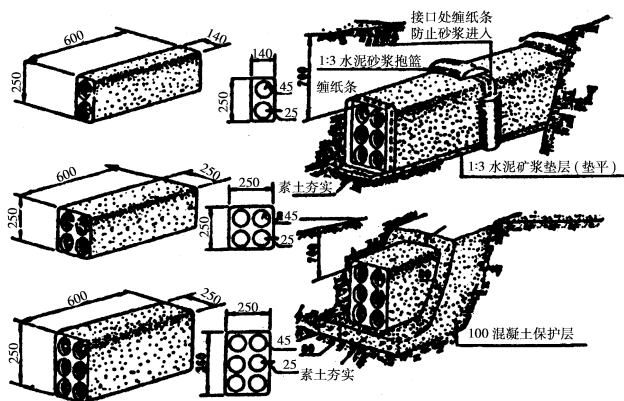


图 12-27 屯缆排管敷设

1-纸基或塑料胶粘布 2-1:3 水泥砂浆抱箍 3-1:3 水泥砂浆垫层 4-100# 混凝土保护层 5-素土夯实

## 2. 电缆排管敷设

用作电缆排管敷设的排管可用预制好的混凝土管块拼接起来,也可用多根灰硬塑料管排列而成,电缆排管敷设如图 12-27 所示,穿管的技术要求见表 12-25。排管顶部距地面,在人行道下为 0.5m,一般地区为 0.7m。施工时,先按设计要求挖沟、清沟,并在沟底铺上素土夯实,铺 1:3 水泥砂浆垫层,再将清理干净的管块下到沟底,排列整齐,管孔对正,接口缠上胶条,用 1:3 水泥砂浆封实,整体排管对电缆入孔井方向有不小于 1% 的坡度,以防管内积水。在排管分支、转弯和直线段每 50~100m 处,要挖一电缆人孔井,维修和安装人员可以进入操作,人孔井截面图如图 12-28 所示,右下角是积水坑。每根排管拉入电缆前,都应先用排管扫除器具通入管孔内来回推拉清洁排管。

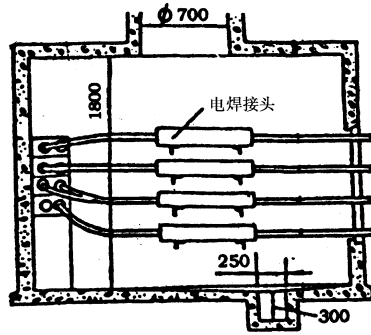


图 12-28 电缆排管入孔井断面

电缆排管敷设施工如图 12-29 所示。

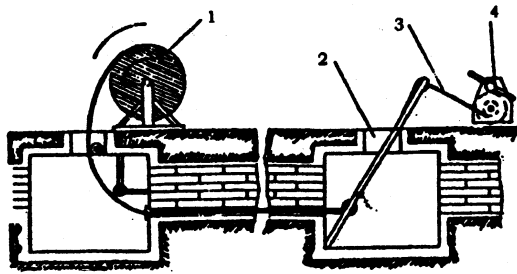


图 12-29 在两入孔井间敷设电缆

- 1. 电缆盘 2. 井坑 3. 绳索 4. 绞磨

### (3) 电缆沟(或隧道)敷设

在电缆沟(或隧道)内敷设电缆如图 12-30 所示,其技术要求见表 12-25。其敷设支架可单侧,也可双侧,支架间隔 1 米,上下层间隔 150mm,最下层距地 100mm。沟(隧道)内要有排水沟,并保持 1% 的坡度,每隔 50m 应设一个 0.4m × 0.4m × 0.4m 的积水坑和人孔井,以方便维修人员出入。

电缆之间,电缆与管道、道路、建筑物之间平行和交叉时的最小允许净距要求见表 12-26。

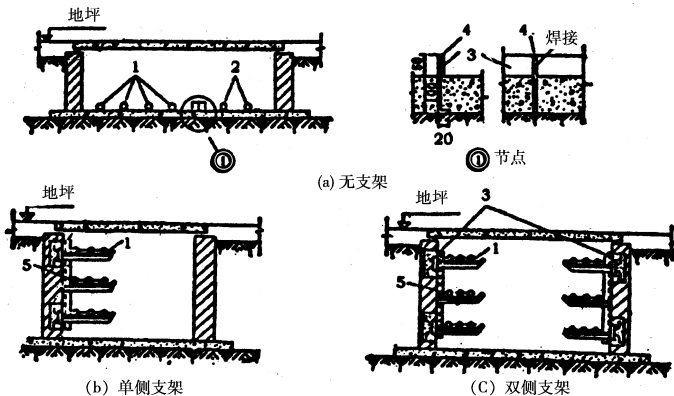


图 12-30 电缆沟(隧道)内电缆的敷设

- 1. 电力电缆 2. 控制电缆 3. 接地线 4. 接地线支持件 5. 支架



表 12-26 电缆之间,电缆与管道、道路、建筑物之间  
平行和交叉时的最小允许净距

序号	项目		最小允许净距 (m)		备 注
			平行	交叉	
1	电力电缆间及其与控制电缆间				①控制电缆间平行敷设的间距不作规定;序号第“1”“3”项,当电缆穿管或用隔板隔开时,平行净距可降低为 0.1m; ②在交叉点前后 1m 范围内,如电缆穿入管中或用隔板隔开,交叉净距可降低为 0.25m
	(1)	10kV 及以下	0.10	0.50	
	(2)	10kV 以上	0.25	0.50	
2	控制电缆间		—	0.50	
3	不同使用部门的电缆间		0.50	0.50	
4	热管道(管沟)及热力设备		2.00	0.50	①虽净距能满足要求,但检修管路可能伤及电缆时,在交叉点前后 1m 范围内,尚应采取保护措施; ②当交叉净距不能满足要求时,应将电缆穿入管中,则其净距可减为 0.25m; ③对序号第 4 项,应采取隔热措施,使电缆周围土壤的温升不超过 10℃
5	油管道(管沟)		1.00	0.50	
6	可燃气体及易燃液体管道(管沟)		1.00	0.50	
7	其他管道(管沟)		0.50	0.50	
8	铁路路轨		3.00	1.00	
9	电气化铁路路轨		交流	3.00	如不能满足要求,应采取适当防锈措施
			直流	10.00	
10	公路		1.50	1.00	
11	城市街道路面		1.00	0.70	特殊情况,平行净距可酌减
12	电杆基础(边线)		1.00	—	
13	建筑物基础(边线)		0.60	—	
14	排水沟		1.00	0.50	

注:当电缆穿管或者其他管道有防护设施(如管道的保温层等)时,表中净距应从管壁或防护设施的外壁算起。

### (三) 电缆进建筑物的做法

电缆穿过墙、楼板要加钢管保护,参见图 12-31 并采用防水防燃的封闭措施,必要时须加沥青或防水水泥密封。具体施工参见图 12-32 和图 12-33。

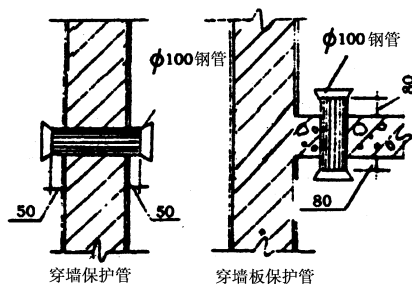


图 12-31 电缆穿墙(楼板)保护管



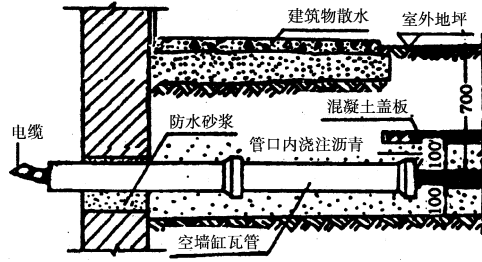


图 12-32 穿墙缸瓦管引入

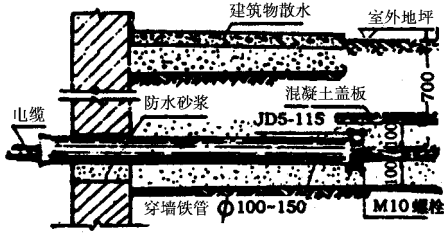


图 12-33 穿墙铁管引入

## 第十三章 室内布线运行与维护技术

### 第一节 室内布线流程及其要求

室内配线也称为内线工程,主要包括室内照明配线和室内动力配线,此外还有火灾自动报警、电缆电视、程控电话、PDS综合布线等弱电系统配线工程。按线路敷设方式分有明配和暗配两种。凡是管线沿建筑结构表面敷设为明敷,如管线沿墙壁、天花板、桁架等表面敷设为明配线(明敷设),在可进入的吊顶内配管也属于明敷。凡是管线在建筑结构内部敷设为暗敷,如管线埋设在顶棚内、墙体内、梁内、柱内、地坪内等均为暗配线(暗敷设),在不可进入的吊顶内配管也属于暗敷。随着高层建筑日益增多和人们对室内装修标准的提高,暗配管配线工程比例增加,施工难度加大,所以本节将着重介绍室内暗配管配线工程的基本安装方法及其一般施工技术要求。

#### 一、室内配线的一般技术要求

室内配线方式很多,暗配线主要采用线管配线,而明配线有塑料护套线采用硬塑料压线卡或钢精扎头配线、线管配线、槽板配线、瓷(塑)夹板配线、瓷瓶、瓷柱、瓷珠配线、阻燃塑料线槽、金属线槽配线等。在吊顶内采用线管、线槽配线,以及在电缆井、电缆沟内配线等。如上所述,在可进入吊顶内采用线管、线槽配线,以及在电缆井、电缆沟内配线等。均划为明敷配管配线工程范围。对室内配线的基本要求是:电能传输安全可靠,线路布设规范合理,管线安装牢固整齐,并对室内装修无损害,具有一定的美化装饰作用。其主要技术要求如下:

##### (一) 选用导线应符合设计要求

所选用导线的型号、规格应与设计要求相符。如导线的额定电压应大于或等于线路的工作电压,导线截面应能保证正常供电,能满足机械强度的要求,线路末端电压损失不超过允许值,导线的绝缘符合线路敷设方式和安装环境条件要求。

##### (二) 配线应符合安装工艺要求

为了室内配线整齐美观,不破坏室内装修效果,明配线路应水平和垂直安装,选用的导线颜色要与室内装修协调。线路应尽量减少导线接头,以免由于接头处的接触电阻过大或绝缘强度下降而造成事故。若必须有接头时,应把接头放在分线盒、开关盒或灯头盒内,否则应采取压接或焊接工艺,并保证接头接触电阻与绝缘符合规定要求。对于穿管敷设的线路,管内不许有接头。若必须有接头时,应把接头放在开关盒、灯头盒或接线盒内。

##### (三) 配线安装应符合规范要求

在配电路安装敷设过程中,应符合如下规范要求:

1. 采用一般绝缘导线(如BV、BX等绝缘导线)室内明配,线路垂直敷设时,导线距离地面不低于1.8m,水平敷设时,导线距离地面不低于2.5m,室外明配则不低于2.7m,否则应穿管保护。另外配线路径应便于检查维修。

2. 导线穿过楼板时应穿钢管保护, 钢管长度应从楼板面 2m 高处到楼板下出口为止。

3. 导线穿过墙体时要加装保护管, 并且两端出口口伸出墙面不小于 10mm, 以防止导线与墙体接触而受潮或穿线时划破导线绝缘。如果导线由室外穿墙进入室内, 也应装设保护管。对于同一交流回路的导线可以共管穿入。但管内导线总截面(包括绝缘层)不得超过管内截面的 40%。保护管可选用瓷管、钢管、塑料管等。

4. 除了电缆和护套线以外。一般绝缘导线沿墙壁、天花板敷设时, 导线与建筑物之间的距离一般不小于 10mm。

5. 导线在通过建筑物伸缩缝的地方, 为了防止由于建筑物基础沉降不均匀而导致导线和线管受力损坏, 导线敷设应稍有松弛; 对于线管配线, 还应在伸缩缝处装设补偿盒。

6. 导线相互交叉敷设时, 应在每根导线上套入塑料管或其他绝缘管, 并将绝缘套管固定牢靠, 以增强导线间的绝缘能力。

7. 室内电气管线与其他管道之间的最小距离应不低于表 13-1 中所规定的数值, 不同敷设方式时导线最小截面应满足表 13-2 的规定要求, 以确保安全用电。

表 13-1 室内电气线路与管道间的最小净距(mm)

管道名称	配线方式		穿管配线	绝缘导线明配线	裸导线配线
热力蒸汽管道	平行	管道上	1000	1000	1500
		管道下	500	500	1500
	交叉	300	300	1500	
暖气管道 热水管道	平行	管道上	300	300	1500
		管道下	200	200	1500
	交叉	100	100	1500	
通风、给排水及压缩空气管道	平行		100	200	1500
	交叉		50	100	1500

注 ①如热力蒸汽管道外包隔热层后, 其上下平行距离可减至 200mm;

②暖气管道, 热水管道均应设隔热层;

③对于裸导线, 应考虑在裸导线处加装保护网。

表 13-2 配线工程施工中不同敷设方式导线线芯最小允许截面

配线敷设方式			线芯的最小截面(mm <sup>2</sup> )		
			铜芯软线	铜导线	铝导线
敷设在室内绝缘支持件上的裸导线			—	2.5	4.0
敷设在绝缘支持件上的绝缘导线其支持点间距 $L$ (m)	$L \leq 2$	室内	—	1.0	2.5
		室外	—	1.5	2.5
	$2 < L \leq 6$		—	2.5	4.0
	$6 < L \leq 12$		—	2.5	6.0
穿线管敷设的绝缘导线			1.0	1.0	2.5
在槽板内敷设的绝缘导线			—	1.0	2.5
塑料护套线(BVV、BLVV型)明敷			—	1.0	2.5

## 二、室内照明配线形式及配线工序

要组织完成好室内电气照明工程的安装以及竣工后的检查验收,应在阅读熟悉电气工程图的基础上,进一步掌握配线形式和配线工序。

### (一)室内照明线的一般配线形式

从室内电气照明供电设计中知道,照明配线形式有三种,即放射式、树干式和混合式。其中放射式配线具有供电可靠性高、相互影响小的特点,适用于供电可靠性要求高、负容量相对集中或单台设备容量较大的场所。但这种配线方式管线用量较大,占用配电箱的出线回路数较多,增加了线路敷设工程量和材料安装费用。树干式配线则管、线用量较少,减少了线路敷设工程量,所需电缆并截面及管材减少,降低了材料安装等费用。但供电可靠性稍差,适用于一般对供电可靠性要求不高的场所。混合式配线是放射式与树干式配线的组合,这种配线方式可根据配电箱所设置的位置、用电负荷容量、线路走向等综合考虑,具有方便灵活、供电可靠性较高及供电区域间相互影响小的特点,因此,在室内照明配电线路中应用较普遍。

如图 13-1 为一般建筑的室内电气照明配线示意图。以图 13-1(a)为例,进户线通过进户支架引至教学楼总配电箱,采取放射式引出干线经两侧楼梯间(或中间楼梯间)墙体立管,以树干式敷设至各层配电箱,再引出支线水平穿管暗敷或采用护套线明敷至所划定供电区域内的用电设备。显然,为了便于立管敷设和节省管、线材料,应将各层配电箱尽可能装设在同一垂线位置上。

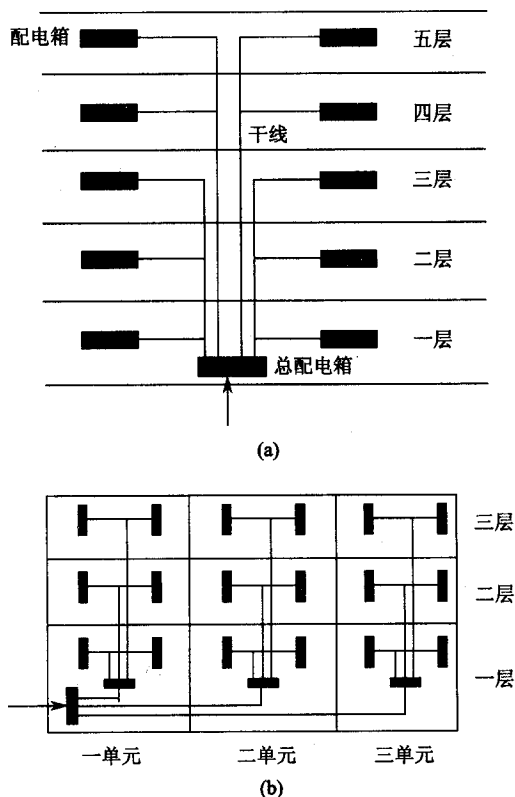


图 13-1 一般建筑室内照明配电系统图

(a)教学楼室内照明配线 (b)住宅楼室内照明配线

值得指出的是,高层建筑室内低压配电干线是指从变电所低压配电屏的分路开关引至各楼层配电屏的

线路。我们知道,电气照明对电源电压质量的要求较高。电压的质量主要包括电压偏移和电压波动两个参数。照明供电设计规范规定:照明器末端允许电压偏移值应不超过额定电压的 105%。也不得低于额定电压的如下数值:

1. 对视觉要求较高的室内照明为 97.5% ;
2. 一般工作场所的室内、外照明为 95% ,但远离变电所的小面积工作场所允许电压偏移降低到 90% ;
3. 应急照明、道路照明、警卫照明以及电压为 12 ~ 36V 的照明等,允许电压偏移不超过 90%。

由于高层建筑的低压配电线路敷设距离较长,而且用电负荷大,为了减少线路电压偏移和电能损耗,配电干线的截面积较大,另外干线根数也较多。所以,由变电所引来的低压配电干线,一般采用水平敷设在电缆沟、电缆托架或电缆托盘内,垂直敷设在电缆井内,采用电缆桥架或电缆线槽敷设。

为了敷设和维护方便,一般将电缆并用楼板按楼层分隔成“配电小间”,并在“配电小间”的上下楼板上预留敷设电缆管线和线槽的孔洞,在电缆管线和电缆线槽、桥架敷设后再将孔洞缝封实。在“小配电间”内装设楼层配电箱,由楼层配电箱引出至各区域配电箱的支路,且多采用导线穿管沿吊顶明敷或沿顶棚、地面、墙等暗敷方式,再由配电箱引出线路至用电设备。为了满足防火和防水要求,“配电小间”应装设防火门,且“配电小间”地坪应高出其室外地坪 3 ~ 5cm。

## (二) 室内配线施工工序

室内配线包括动力配线和照明配线。动力线路一般负荷较大,导线截面在 4mm<sup>2</sup> 以上,为了便于敷设和检修,从动力配电屏或分配电屏至配电箱的动力干线多采用地面金属线槽配线新工艺敷设。照明线路通常负荷较小,导线截面在 2.5mm<sup>2</sup> 左右,同时考虑室内配线的安全美观,多采用线管配线暗敷、塑料护套线明敷,以及采用阻燃塑料线槽明敷等。

室内照明配线与动力配线的敷设安装施工工序基本相同,其施工工序如下:

1. 按电气设计平面图确定灯具、插座、开关、吊扇、配电箱及其它电气设备的平面安装位置;
2. 确定配线路径和敷设方式。暗敷应考虑线管配置、线管、接线盒等的埋设;明敷则应明确导线穿越楼板、墙壁的位置,以考虑埋设相应的配线保护管;
3. 按照明配线的有关固定距离要求,在配线路径上确定导线固定点的位置,如在表 13-3 中列出了瓷夹、瓷柱和瓷瓶配线固定点之间的距离,以供考虑。
4. 配合土建施工及时埋设线管、线盒、木砖,以及用来固定线管、线槽、吊扇、灯具等的角钢支架、螺栓等预埋件,配合土建施工打好固定点的孔眼;
5. 装设线管、线槽、塑料(瓷)线夹或瓷瓶、瓶柱、瓷夹板等绝缘支持物等;
6. 敷设导线;
7. 导线的连接、分支、封端,以及与电气设备的连接等。

表 13-3 导线沿室内墙面、顶棚敷设时固定点的最大间距(mm)

配线方式	导线线芯截面积(mm <sup>2</sup> )				
	1~4	6~10	16~25	35~70	95~120
瓷夹配线	600	800	—	—	—
瓷柱配线	1500	2000	3000	—	—
瓷瓶配线	2000	2500	3000	6000	6000

## 第二节 导线的选择方法

### 一、导线种类的选择

室内配线常用的绝缘导线,按其绝缘材料可分为橡皮绝缘线和塑料绝缘线,按线芯材料可分为铜芯线和铝芯线,按芯线根数可分为单股线 and 多股线,按绝缘层外有无保护层可分为有保护套线和无保护套线,按导线的柔软程度又可分为软线和硬线等几种。常用的几种绝缘导线的形式如图 13-2 所示,其型号、名称及主要用途如表 13-4 所示。

导线的种类主要根据使用环境和使用条件来选择。

1. 镀锌、酸洗等有腐蚀性气体的厂房内和水泵房等潮湿的室内,均应采用塑料绝缘导线,以便提高绝缘水平和抗腐蚀能力。

2. 教室、办公室等比较干燥的屋内,可采用橡皮绝缘导线。但对于温差变化不大的室内,在日光不直接照射的地方,也可采用塑料绝缘导线。

3. 电动机的屋内配线,一般采用橡皮导线。但在地下敷设时,应采用地埋电线管塑料电力导线。

4. 经常移动的导线,如移动电器的引线、吊灯线等,应采用多股软线。

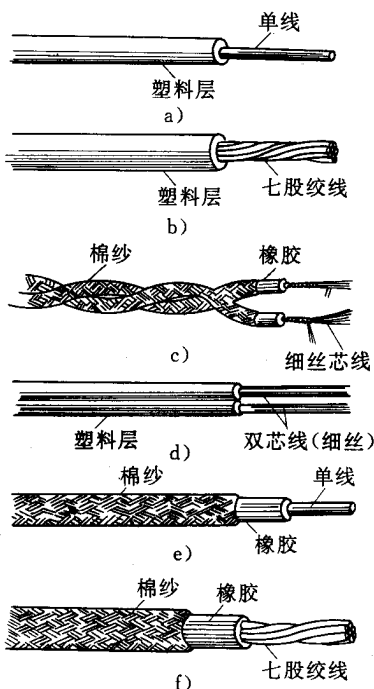


图 13-2 绝缘导线的形式

### 二、导线截面的选择

导线截面选择过大时,将增加有色金属的消耗量,从而增加线路的造价。导线截面选择过小时,在线路运行期间,不仅产生过大的电压损失,而且会使导线接头处过热而引起断路故障,同时又限制以后负荷的增加。因此必须合理的选择导线的截面。

表 13-4 常用绝缘导线的型号、名称及主要用途

型号		名称	主要用途
铜芯	铝芯		
BX	BLX	棉纱编织橡皮绝缘导线	固定敷设用,可明敷、暗敷
BXF	BLXF	氯丁橡皮绝缘导线	固定敷设用,可明敷、暗敷,尤其适用于户外

型号		名称	主要用途
铜芯	铝芯		
BV	BLV	聚氯乙烯绝缘导线	室内外电器、动力及照明固定敷设
	NLV	农用地下直埋铝芯聚氯乙烯绝缘导线	直埋地下最低敷设温度不低于 -15℃
	NLVV	农用地下直埋铝芯聚氯乙烯绝缘和护套导线	
	NLYV	农用地下直埋铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套导线	
BXR		棉纱编织橡皮绝缘软线	室内安装,要求较柔软时用
BVR		聚氯乙烯软导线	同 BV 型,安装要求较柔软时用
RXS		棉纱编织橡皮绝缘双绞软导线	室内干燥场所日用电器用
RX		棉纱总编织橡皮绝缘软导线	
RV		聚氯乙烯绝缘软导线	日用电器、无线电设备和照明灯头接线
RVB		聚氯乙烯绝缘平型软导线	
RVS		聚氯乙烯绝缘绞型软导线	

注:凡聚氯乙烯绝缘导线安装温度均不应低于 -15℃。

屋内配线的导线截面,应根据导线的允许载流量、导线的机械强度、线路的允许电压损失值和经济电流密度等条件来选择。一般先按允许载流量选定导线截面,再以其他条件进行校验。如果该截面满足不了某校验条件的要求,则应按不能满足的该条件的最小允许截面来选择。

### (一)按导线的允许载流量选择导线截面

导线具有电阻,通过电流时导线会发热,温度随着升高。当导线的发热温度过高时,将使其绝缘损坏,甚至引起失火。因此,导线的发热温度不能超过允许值。

裸导线、绝缘导线的安全载流量可查有关章节。

如果周围空气温度不等于 25℃时,应将所查得的导线载流量乘以校正系数  $K$ ,校正系数  $K$  如表 13-5 所示。

表 13-5 导线在不同空气温度下的校正系数  $K$

周围环境 温度/℃		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
校正 系数	导线允许 65℃时	1.22	1.17	1.12	1.06	1	0.935	0.865	0.79	0.706	0.61	0.5
	导线允许 70℃时	1.2	1.15	1.10	1.05	1	0.94	0.885	0.815	0.745	0.666	0.577

## (二) 按机械强度选择导线截面

导线在敷设时及敷设后将受到导线自重及外力的影响,它与敷设方式和支撑点距离有关。为了使导线不发生断线,导线必须有足够的机械强度以保证安全运行。

当负荷太小时,按允许载流量计算选择的导线截面将太小,往往不能满足机械强度的要求,容易发生断线事故。因此,根据机械强度对室内配线线芯的最小允许截面规定如表 13-6 所示。

表 13-6 根据机械强度允许导线的最小截面

装置方法	前后支持物 间最大距离 /m	绝缘导线最小截面 /mm <sup>2</sup>	
		铜芯	铝芯
瓷夹板配线	0.8	1	1.5
瓷柱配线	1.5	1	2.5
	2.0	1.5	4
瓷瓶配线	3.0	1.5	4
	6.0	2.5	4
塑料护套线配线	0.2	0.5	1.5
钢管或塑料管配线		1.0	2.5

## (三) 按允许电压损失选择导线截面

电流通过导线会产生电压损失,如果电压损失过大,线路末端电压降低,会使电动机转矩降低,照明灯昏暗,因此用电设备都规定允许电压损失范围,一般规定端电压与额定电压不得相差  $\pm 5\%$ ,按允许电压损失选择导线截面可按下式计算:

$$S = \frac{PL}{\gamma \Delta U_r \% U_N^2} \times 100 (\text{mm}^2)$$

式中  $S$ ——导线截面( $\text{mm}^2$ );

$P$ ——通过线路的有功功率( $\text{kW}$ );

$L$ ——线路的长度( $\text{km}$ );

$\gamma$ ——导线材料的电导率,铜导线为  $58 \times 10^{-6}$ 、铝导线为  $35 \times 10^{-6}$  ( $1/\Omega \cdot \text{m}$ );

$\Delta U_r \%$ ——允许电压损失中电阻分量;

$U_N$ ——线路的额定电压( $\text{kV}$ );

$\Delta U_r$  可根据下式求得:

$$\Delta U_r = \Delta U \% - \Delta U_X \% = \Delta U \% - \frac{QX}{10U_N^2} \%$$

式中  $\Delta U \%$ ——允许电压损失,一般为  $\pm 5\%$ ;

$\Delta U_X \%$ ——允许电压损失中电抗分量;

$Q$ ——无功功率( $\text{kvar}$ );

$X$ ——电抗( $\Omega$ );

例 有一条额定电压为  $10\text{kV}$  线路,用钢芯铝导线架设,线间几何均距为  $1\text{m}$ ,线路长度为  $3\text{km}$ ,有功功率  $P$  为  $1500\text{kW}$ ,功率因数为  $0.8$ ,按电压损失选择导线截面(取平均电抗  $X_0 = 0.38\Omega/\text{km}$ )。

解 视在功率

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{1500}{0.8} = 1875\text{kVA}$$



无功功率

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{1875^2 - 1500^2} = 1125 \text{ kvar}$$

电抗中的电压损失

$$\Delta U_X \% = \frac{QX}{10U_N^2} \% = \frac{1125 \times (0.38 \times 3)}{10 \times 10^2} \% = 1.28\%$$

电阻中的电压损失

$$\Delta U_r \% = \Delta U \% - \Delta U_X \% = 5\% - 1.28\% = 3.72\%$$

按电压损失选择导线截面

$$\Delta S = \frac{PL}{\gamma \Delta U_r \% U_N^2} \times 100 = \frac{1500 \times 3}{32 \times 3.72 \times 10^2} \times 100 = 37.8 \text{ mm}^2$$

查表应选用 LGJ-50 导线。

(4) 按经济电流密度选择导线截面 按经济电流密度选择导线截面的计算公式为：

$$S = \frac{P}{\sqrt{3} J U_N \cos \varphi} (\text{mm}^2)$$

式中  $J$ ——经济电流密度 ( $\text{A}/\text{mm}^2$ )。

我国现行的经济电流密度如表 13-7 所示。

表 13-7 经济电流密度  $J$

( $\text{A}/\text{mm}^2$ )

导线材料	最大负荷年利用小时数		
	3000 以下	3000 ~ 5000	5000 以上
铝	1.65	1.15	0.9
铜	3.0	2.25	1.75

例 有一条额定电压为 10kV, 长度为 3km, 距离为 1m 的钢芯铝绞线, 供一集中负荷为 896kW, 功率因数为 0.9 的车间。最大负荷年利用小时为 4500, 按经济电流密度选择导线的截面为多少?

解 查表 13-7 得  $J = 1.15 \text{ A}/\text{mm}^2$

导线的截面为：

$$S = \frac{P}{\sqrt{3} J U_N \cos \varphi} = \frac{896}{\sqrt{3} \times 1.15 \times 10 \times 0.9} = 50 \text{ mm}^2$$

查表应选用 LGJ-50 导线。

送电线路导线截面的选择, 主要是按经济电流密度和允许线路电压损耗来确定。同时应能满足发热条件和机械强度的要求。

配电线路导线截面的选择, 一般是按允许电压损耗来确定的, 但需按发热条件进行校验, 同时又应满足有关规程规定的最小导线截面的要求。

### 第三节 室内配管配线

将导线穿入线管敷设称为线管配线, 而将导线放入线槽内敷设称为线槽配线。这两种配线方式安全可靠, 可避免线路机械损伤, 减少了线路因腐蚀老化, 接触不良或鼠虫咬损等所引起的火灾事故。尤其是线槽配线的散热条件较好, 提高了线路的载流能力, 而且敷设工艺简单, 槽盖开启容易, 安装维修方便。因此, 线管与线槽配线在公用建筑、民用住宅、工业厂房以及现代化高层建筑中得到广泛地应用。

## 一、线管、线槽配线的最优方案确定

在室内电气照明工程中,线管、线槽配线的比例不断增加,因此,在安装施工中如何使线管、线槽和导线使用长度最短,配线工程造价最低,即如何确定线管、线槽配线的最佳路径是需要认真加以解决的问题。

图论是以“图”为研究对象,用图解分析方法来研究事物之间的关系。目前,图论已被广泛应用于工程技术和科学管理等各个领域的优化问题,在电气照明工程中,也可用图论的方法来寻求室内配线的最优方案,而不需要进行任何复杂的数学计算。

### (一)图论常用术语

1. 连通图与树 我们知道,图是由点和边组成的。把任何两点之间的边(或弧)称作链,如果某两点之间至少有一条链,则所构成的图称作连通图  $G$ ,如图 13-3 所示。可写成下式:

$$G = [V, E] \quad (13.3.1)$$

式中  $V$ ——点集,  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n, v_j\}$ ;

$E$ ——边集,  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n, e_j\}$ ;

若连通图  $G$  不构成闭合环路,则称之为“树”。显然,树是连通图  $G$  的子图,用  $T$  表示,如图 13-4 所示。图中两点之间的边(或弧)称为链或树枝。假设链(或树枝)的连接点为  $v_i, v_j$ , 则该链可表示为  $e = [v_i, v_j]$ 。

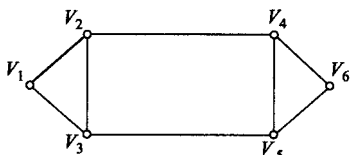


图 13-3 连通图“ $G$ ”



图 13-4 连通图的子图——树“ $T$ ”

2. 权 根据实际需要而赋予链(或树枝)的长度、费用或重量等数量指标,就称为权。权可用于最优化问题的数量分析。

3. 赋权图 如果连通图  $G = [V, E]$  的各条链都赋予某数量指标,即“权”,则该连通图称之为赋权图。

4. 最小树  $T_{\min}$  当树  $T$  的各链(各树枝)所表示的数量指标之和最小时,则该树称为最小树  $T_{\min}$ ,即

$$T_{\min} = \sum_{i=1}^{m-1} L_i \rightarrow \min \quad (13.3.2)$$

式中  $L_i$ ——树的各链的数量指标;

$i$ ——链的编号,  $i = 1, 2, 3, \dots, m-1$ , 正整数;

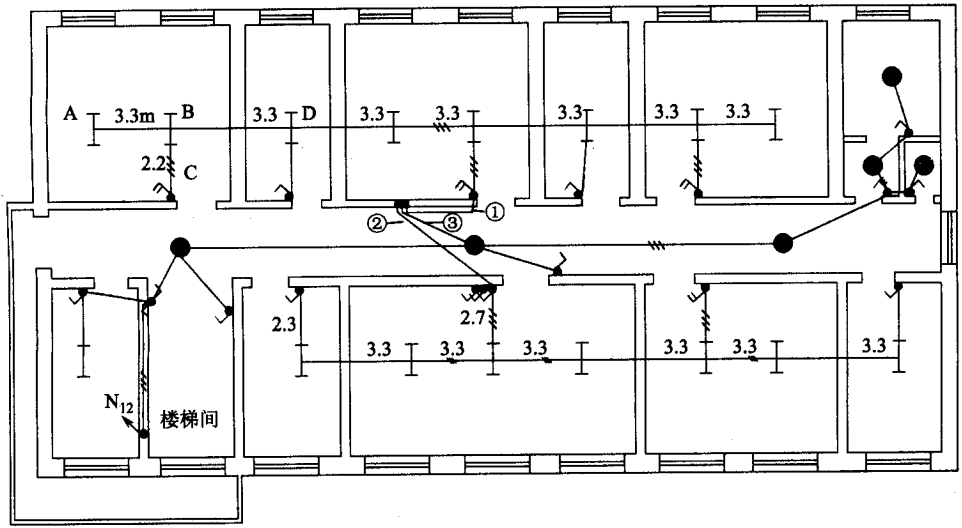
$m$ ——点数,  $m-1$  为树的总链数。

### (二)确定线管、线槽最优方案的方法

从配电箱引至各照明灯具、开关、插座及其他用电设备的每条支线都是一棵“树”。当配电箱、灯具、开关和插座等的数量为  $m$ , 则相应的树  $T$  的连接点也为  $m$ , 边数为  $m-1$ 。所以,凡是能构成一棵“树”的配电线路都是可行方案。在确定配电线路为可行方案的基础上,通过式 13.3.2 来确定配电线路的最佳路径,即寻求配电线路最短、费用最低的最优化方案。

现以某办公楼的标准层为例来说明明暗配管敷设的最优化方案的确定。根据建筑平面图和配电箱、灯具、开关等的布置情况,暗配管线敷设方案如图 13-5(a)(b)所示。显然,在这两种敷设方案中,支线①、②、③都分别构成“树”,所以均为可行方案,但二者中哪一个属于最优化方案,则应采用赋权图,即对其各边赋予费用和长度等数量指标。再根据式 13.3.2 来确定可行方案中的最优化方案。在暗管配线中,一般以预埋线管的长短做为主要指标,即预埋线管最短的为最优化方案,否则应加以调整。

调整的方法是:设图  $G$  有  $m$  个连接点,每步从未选的边中选择一条最小权的边,并使之与已选边不构成



(a)

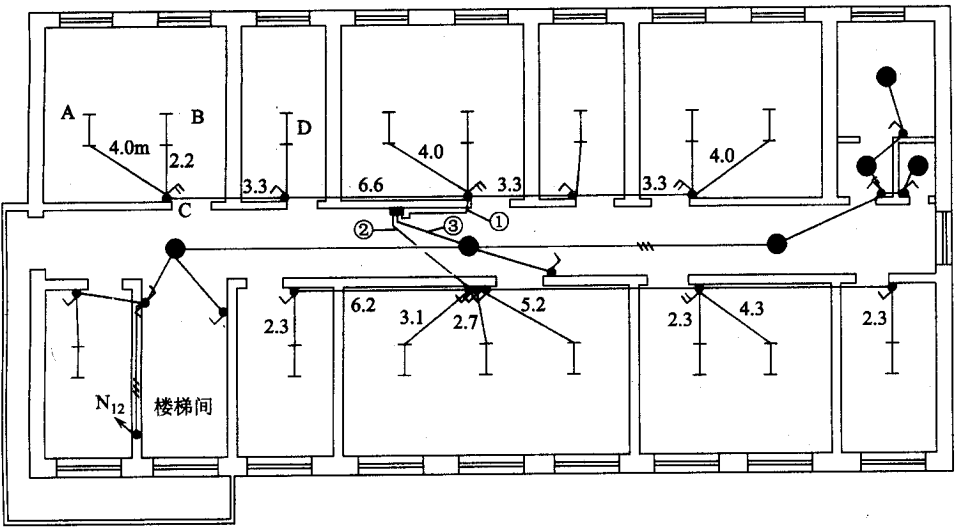


图 13-5 某办公楼标准层的暗管配线方案

(a)方案I (b)方案II

圈。如此进行  $m-1$  步, 即可获得一棵最小树。在图 13-5(a)(b)中, 因支线③相同, 故只比较支线①、②。其中支线①有  $m=13$  个点, 应选边为  $m-1=12$  条; 支线②有  $m=11$  个点, 应选边为  $m-1=10$  条。以支线①为例, 如图 13-6 为支线①的一部分, 若把 A 与 B、B 与 C、A 与 C 分别连接起来, 则构成一个圈。根据最小树定理, 需从该圈内去掉一条最大权的边。由图可知,  $AB$  或  $BC < AC$ , 应去掉  $AC$ 。如此逐个调整, 最终获得最小树, 显然图 13-5(a)与图 13-5(b)比较, 图 13-5(a)为暗管配线中的最优化方案。在室内照明设计和安装施工中, 常用最小树定理来审核暗管配线平面布置图, 当然, 在调整过程中还须考虑实际施工是否方便。

## 二、线管的选择及加工准备

线管配线有明配和暗配两种敷设方式。明配管要求管线横平竖直,整齐美观,暗配管则要求按照图论的最小树定理对线管配线路径进行适当调整,使管线路径最短,弯头最少,并方便安装施工,符合有关安装施工验收规范要求。而线管选择及加工准备是完成好线管配线的基本保证。

### (一) 线管的选用原则

在电气安装施工中,常用的线管有电线管(钢管壁厚 1.5mm)、水煤气管(或称作焊接钢管,壁厚 3mm)、PVC 塑料管(阻燃聚氯乙烯硬塑料管、半硬塑料管和刚性阻燃管)、金属软管(蛇皮管)和套接扣压式薄壁钢管、KBQ(或称作可挠金属套管)等五种。如在室内干燥场所内明暗敷设,可选用管壁较薄、重量较轻的电线管和套接扣压式薄壁钢管;在潮湿、有轻微腐蚀性气体及防爆场所室内明、暗敷设,并且有可能受机械外力作用时,应选用管壁较厚的水煤气管;在有酸性腐蚀或较潮湿的场所明、暗敷设,应选用硬塑料管、半硬塑料管、刚性阻燃管较硬塑料管质轻、柔软,易于安装,降低了劳动强度。其中半硬塑料管适用于室内暗敷设,刚性阻燃管则可用于室内明、暗敷设,在吊顶内配管常采用刚性阻燃管、套接扣压式钢管和金属软管。PVC 管是新型管材,不仅具有一定的抗压、抗冲击的能力,而且还具有良好的绝缘性、阻燃性、自熄性和耐腐蚀、耐低温等性能,因此在民用建筑室内装饰的暗配管中得到广泛采用。但塑料管的机械强度较钢管差,易于变形老化。除此以外,在多尘或潮湿的场所内敷设线管时,管口及其各连接处均密封。

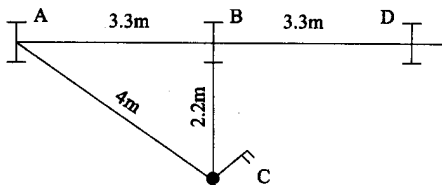


图 13-6 线管暗敷的最优化方案判定

通常按电气设计图纸来选择线管的种类和规格。如图纸无规定,选择线管除了考虑施工场所的环境因素外,还应考虑穿管导线的根数和截面积(包括绝缘层在内),要求不超过线管内截面的 40%,导线在线槽内敷设时,则要求导线(包括绝缘层在内)总截面不超过线槽内截面的 60%。部分常用导线穿管的管径可按表 13-8 选择,当线管内敷设多根同截面导线时,钢管直径也可参考表 13-9 选择,但应注意同类照明的几个回路可穿入同一根线管内,但线管内敷设导线一般不得超过 8 根,不同回路,不同电压等级,不同电流种类的导线不应共管敷设,以保证供电安全。

但对于同一台设备的电机回路和无干扰要求的控制回路,照明花灯的所有回路,电压为 50V 及以下的回路等可以共管敷设,同一交流回路的导线应穿于同一钢管内,以避免钢管中产生涡流。



表 13-9 钢管直径选择参考表

导线根数及直径 d	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7-8d
线管内径	1.7d	3d	3.2d	3.6d	4d	4.5d	5.6d

为了便于穿引导线,根据《电气装置安装工程 1kV 及以下配线工程施工及验收规范》(GB50258—96)规定,在线管路径长度超过如下数值:①线管路径无弯曲,最大管长 30m;②线管路径有 1 个弯曲,最大管长 20m;③线管路径有 2 个弯曲,最大管长 15m;④线管路径有 3 个弯曲,最大管长 8m,都必须装设接线盒或穿线盒。其位置应便于穿线,保证两个接线端间的线管长度不超过规定数值。否则,管径应按加大一级及以上选择。

## (二) 线管加工

线管敷设前,应根据电气设计图纸要求或现场实际情况选择合适型号和规格的线管,编制总体电气照明工程用料计划、工程进度用料计划、施工组织计划以及所用器具清单等。然后按照图纸要求配合土建施工进行测位、划线、锯管、套丝、弯管及线管的防腐处理等工作。以焊接钢管为例,敷设时主要进行如下工作:

### 1. 锯管和套丝

按线路敷设实际需要长度锯管,一般使用钢锯截断,如管壁较厚和直径较粗,则可使用型材切割机。

如需要将线管采用套管螺纹相互连结起来,或将线管与接线盒连结起来,就需要在线管端部套丝,选用套管长度宜为线管外径的 1.5~3 倍。套丝时,一般用龙门虎钳把线管固定住,再选用合适的套丝工具进行套丝。管径较细的薄壁电线管则一般用圆丝板套丝,套丝时应根据线管直径选用不同规格的板牙,管端螺纹长度应不小于套管长度的 1/2。在锯管和套丝完成后,应将管口端口和内壁的毛刺用锉刀磨光,以免穿线时将导线绝缘层损坏。如采用套管焊接连接时,焊缝应牢固严密。也可采用套管紧固螺钉连接,螺钉应拧紧,防止松动。注意镀锌钢管和薄壁钢管只可以采用套管螺纹连接或紧固螺钉连接,而不应采用焊接连接。

### 2. 弯管

在线路敷设中,常需管路改变方向,因此需要弯管。我们知道,暗管配线是将线管埋设在建筑结构之内,不影响室内装饰,所以敷设时应尽量走直线和减少弯曲;明管配线时,线管敷设在建筑结构外表面或室内空间之中,对室内装饰影响很大,所以敷设时要求横平竖直、整齐美观,需要沿建筑物结构形状进行立体敷设,弯曲较多,弯管的工作量较大。当管径不大(如  $\phi 10 \sim 16\text{mm}$  的线管),管壁较薄时,可以徒手弯制;当管径较大( $\phi 16\text{mm}$  以上的线管),管壁较厚时,则需采用液压弯管机弯制。

### 3. 线管的防腐处理

钢线管在敷设前应进行防腐涂漆处理。先用小锤轻轻敲落管内泥土,然后在管内穿入一根铁丝,来回拉动布条或钢丝刷除锈,管外壁可用除锈机或钢丝刷除锈,最后在线管内外涂以防锈漆,以免线管被氧化腐蚀。经刷防锈漆防腐处理后再进行线管敷设。

### 4. 线管的连结

线管的连结包括线管之间的连结、线管与开关盒、接线盒之间的连结。如上所述,对于钢管之间、钢管与接线盒、开关盒之间的连结,应先在被连结钢管端部套丝,钢管之间连结多用管接头(或称套管或管箍),如图 13-7(a)所示。如果线管埋地敷设或为防爆线管,应涂以铅油、缠上麻丝,用管钳拧紧,使两管端吻合密封。在高层建筑和民用建筑中,或其他干燥少尘的场所内,管径 50mm 及以上的线管,可用外加套管(套筒)焊接法连结,套管长度应为管外径的 1.5~3 倍,焊缝应牢固严密。而钢管与接线盒、开关盒连结时,先把盒上的敲落孔盖打掉,然后在管上旋一根母,穿入盒内,再旋上盒内护口(螺母)把线管与接线盒连结在一起,如图 13-7(b)所示。

## 三、暗管敷设

暗管敷设应与土建施工密切配合,在线管选择和加工准备的基础上,按设计工程图进行线路配管。通

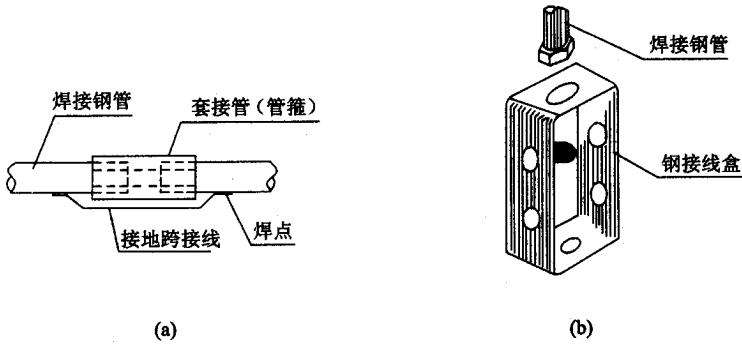


图 13-7 钢管的连结

(a) 钢管之间的连结 (b) 钢管与线盒间的连结

常土建都是分段分层施工的,例如框架结构建筑,先浇注砼柱、梁、楼板(或吊装预制楼板),再从上而下分层砌墙,而承重墙结构建筑,则先分层砌墙,再浇注砼楼板(或吊装预制楼板)圈梁等。这样,暗管敷设就必须配合土建分段配管。如果是先浇砼柱、梁、楼板,后砌墙,就应先敷设各层楼板、柱或梁中的线管及开关盒、灯头盒、接线盒,然后敷设墙内线管,从上而下分段分层进行。另外,在暗管敷设中,通常是先敷设弯曲段线管,后敷设直线段线管。

### (一) 焊接钢管、电线管等金属线管暗敷

#### 1. 现浇砼构件中暗管敷设

在暗管敷设前,应按图纸和施工现场实际情况确定开关盒、灯头盒、接线盒的位置,确定配电箱的位置、确定线管及其进、出位置等等。其中要求开关盒、灯头盒、接线盒、插座盒、配电箱等的位置一定要准确,而线管的位置则要求不严,只要能相互衔接即可。当线管敷设在墙内、地坪内或楼板内等处时,应满足以下要求:

- (1) 混凝土地面内敷设暗管,其弯曲半径不得小于管外径的 10 倍,并使使线管尽量不埋入土层中,如果弯曲不能全部埋入时可适当增加埋入深度;
- (2) 线管暗配宜选最短路径敷设,并尽量减少弯曲。在非地下或混凝土结构内暗管时,其弯曲半径不得小于管外径的 6 倍。线管敷设位置应尽量与主钢筋平行,如线管与钢筋重叠交叉时,应将线管放置在钢筋的上面或在上下钢筋之间,以使线管不受损伤。线管埋入建筑结构内,其线管表面埋入厚度不应小于 15mm;
- (3) 线管的出地管口高度一般不宜低于是 200mm。而进入落地式配电箱的线管应排列整齐,管口应高出配电箱基础面 50~80mm;
- (4) 线管经过建筑物的伸缩缝时,为了防止房屋基础下沉不均匀而损坏线管和导线,应在伸缩缝两侧装设补偿盒,如图 13-8 所示。即在伸缩缝的两侧适当位置,按照线管直径和数量多少设置一只或两只接线盒。在其中一侧的接线盒的侧面用螺母拧紧固定线管,在另一侧的接线盒的侧面开一椭圆形孔,把线管穿入孔中而无需固定;

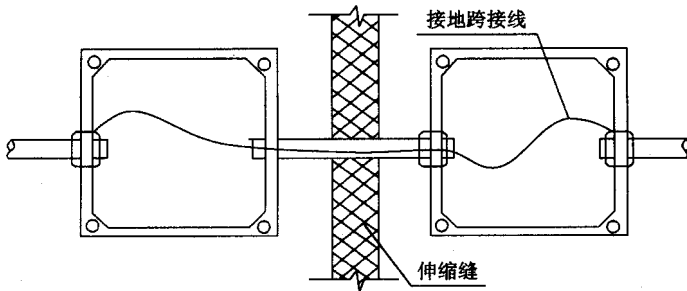


图 13-8 线管穿过建筑物伸缩缝的补偿盒

(5) 预埋线管时,一律在管口堵以木塞或硬质泡塑料管口塞,并在管内穿入引线铅丝,以备穿线。如果线路路径较短或弯曲较少,也可在土建内粉刷完成后穿线时再穿引线铅丝。

(6) 在 TN-S、TN-C-S 系统中,金属线管、金属接线盒(箱)等连结处均应选用适当截面的圆钢或扁钢可靠焊接,以形成良好的电气通路(见图 13-7),并与接地保护线 PE 可靠的电气连接。跨接线规格参考表 13-10 选择。

线管在现浇砼楼板中敷设如图 13-9 所示。为了敷设线管方便,在梁、楼板内暗配管时,应在搭模后、未扎钢筋之前敷设定位;在柱内暗配管时,应在扎钢筋后、未搭模板之前敷设定位。线管和与其相联结的灯头盒、接线盒等的敷设定位,可用铁丝绑扎在钢筋上,或用铁丝、圆钉固定在模板上。这样就要求在确定线管长度、弯管和敷设定位时,先敷设弯曲线管,后敷设直线管,逐根进行。此外,在敷设定位开关盒时应使之与模板面紧密接触,并在盒内塞填锯沫或废纸,以避免线管外露和砂浆堵塞管口。

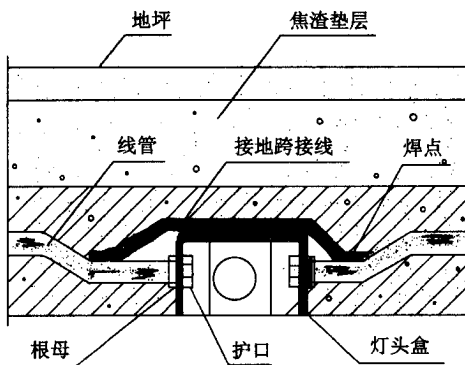


图 13-9 线管在现浇砼楼板中敷设示意图

表 13-10 跨接接地线规格选择表

管 径 (mm)	圆 钢 (mm)	扁 钢 (mm)
15 ~ 25	φ4	—
32 ~ 40	φ5	—
50 ~ 63	φ9	25 × 3
≥ 70	φ9-2	(25 × 3) × 2

## 2. 预制楼板中的暗管敷设

预制楼板有多孔型和槽型两种,其暗管敷设方法与现浇注砼楼板中的暗管敷设方法不同。如前所述,在预制楼板上进行暗管敷设时,应与土建吊装楼板施工紧密配合。一般一个房间是由几块不同宽度的楼板组装而成的,因此可根据灯具装设的位置,配合楼板吊装安排好楼板的拼接次序和安放位置,使灯具能恰好装设在楼板拼接缝隙上。为了线管敷设方便,应尽量使管路走向与预制楼板的放置方向一致,以便利用楼板拼接缝隙敷设管线。这样,线管沿楼板拼接缝隙敷设,把线管做一弯头就可从缝隙中直接穿至楼板下表面,与灯头盒连结。如果不能利用楼板拼接缝隙,则只能将线管敷设在楼板孔中,并在预制楼板上装设灯具的部位钻一合适的孔洞,同样把线管做一弯头穿至楼板下表面,与灯头盒连结。

在施工中,有些室内灯具、电扇等电器设备安装在砼梁上,其梁内暗敷线管在梁顶部的出线口如何与预制楼板上暗敷的线管相连接,在暗管敷设施工中是较难处理的工作。一般采取的方法是:先按梁内暗敷线管长度和在梁顶部与楼板上暗敷线管连接所需的过渡尺寸,进行锯管、套丝和弯管加工,再将此弯管预埋设在现浇注砼梁之中,在砼梁未完全凝固之前转动几次所埋设的线管,以防砼梁把线管紧固而不能转动。这样,待吊装预制楼板后,就可以将此弯管转动到所需要的方向,与楼板上的暗敷线管通过管箍(管束结)连接起来。

## (二) PVC 塑料管暗敷

在 80 年代末我国按国际 IEC 标准和国家 GB 标准生产出阻燃 PVC 塑料管。PVC 塑料管包括硬塑料管、半硬塑料管、波纹管、刚性阻燃管以及塑料线槽(异型管)等五种。PVC 塑料管具有与钢管相近的防火保护功能,在工业与民用建筑中得到越来越广泛的应用。其优良的防火保护作用是由于在管材中加入了阻燃剂,所以具有不延燃性能,而且重量轻(约为同规格钢管重量的 1/6)、安装操作方便、价格低廉,是较理想的以塑



代钢的电气配线管材。

PVC 阻燃塑料管规格有  $\phi 16$ 、 $\phi 20$ 、 $\phi 25$ 、 $\phi 32$ 、 $\phi 40$ 、 $\phi 50$ 、 $\phi 63$  等,并配有配套的接线盒、管接头、带盒盖的三通、直通和管夹等配件,以及弯管弹簧、剪管刀具和 PVC 粘结剂。PVC 塑料管的敷设方法与焊接钢管、电线管的敷设方法基本相同,但大大改变了传统电气钢管的安装加工方法。例如在弯曲半硬塑料线管时,只需采用“弯管弹簧”进行弯管,即将弯管弹簧插入到线管弯曲位置,不用加热就可以用手直接弯成所需要的角度,而且弯曲段管径不变形。当线管需要相互连接时,则可根据管路连接方向选用相应的角弯、带盒盖的三通或直通等配件,先将线管连接端和接头内壁用洁净纱布擦净,再涂以 PVC 粘结剂后进行插粘接。如暗敷设于砼楼板、剪力墙和柱内时,应在土建施工编扎钢筋过程中根据设计图纸要求的走向在钢筋上绑扎固定。在浇捣混凝土时应防止塑料管被振捣器等机械损伤,从地面引出的塑料管部分,应加装钢管保护。塑料管在砖砌墙体内部剔槽暗配时,应用水泥砂浆抹面保护,保护层厚度应不小于 15mm。

如硬塑料管、刚性阻燃管明敷于墙、柱、梁、楼板外表面,或敷设于吊顶内时,应采用配套的管卡配件固定,管卡安装间距应符合表 13-11 的规定,管卡与电气器具或箱(盒)边缘的距离为 150~500mm,并应保证横平竖直,整齐美观。塑料线管进入接线盒、配电箱时,其插入深入宜为线管外径的 1.1~1.8 倍,并选用配套管接头及锁扣,应先使管接头用锁扣与接线盒紧固在一起,再将管接头另一端与线管进行插粘接。半硬塑料管和被纹管多用于暗配或在电缆井、电梯井内明配,应使敷设路径尽量短并减少弯曲,当直线段长度超过 15m 或直角弯曲超过 3 个时,应考虑增设接线盒,以利于穿引导线。

由此可见,PVC 塑料管的安装施工过程非常简单,不需用电焊机、套丝机等笨重工具,而且线管内壁光滑易于穿线,省去了金属线管涂刷防腐漆的工作,所以大大提高了工作效率和安装质量,在电气配管配线工程中,PVC 阻燃性线管将取代钢管是必然的趋势。

表 13-11 硬塑料管和刚性阻燃管的管卡安装最大间距(m)

敷 设 方 式	线 管 内 径 (mm)		
	$\leq 20$	25 ~ 40	$\geq 50$
吊架、支架或沿墙敷设	1.0	1.5	2.0

### (三)套接扣压式清壁钢导管敷设

套接扣压式钢导管(简称 KBG 普利卡钢导管)采用优质冷轧带钢,经高频焊管机自动焊缝而成,双面镀锌保护,壁厚均匀,为 1.6mm,卷焊线管圆度高,是一种新型的电气线路保护管并具有较强的技术经济性能,被建设部列为“1997 年科技成果重点推广项目”,广泛应用于室内低压配管配线工程。KEG 导管有  $\phi 16$ 、 $\phi 20$ 、 $\phi 25$ 、 $\phi 32$ 、 $\phi 40$  等五种规格,每根管长一般为 4m。钢导管相互连接时可选用相应规格的直管接头,直管接头中间有一凹槽,所形成的锥度可使 KBG 导管插紧定位,密封性能好。另外凹槽深度与钢导管壁厚相同,故钢导管插入管接头后内壁平整光滑,无台阶、不影响穿线。在管接头两端各设有一个(M5)紧定螺纹孔,如图 13-10(a)所示。安装时,先将钢导管与管接头插紧定位后,再将紧定螺钉拧入螺纹孔,直至将螺钉上端的“脖颈”拧断为止,使钢导管与管接头紧密连接,并形成良好的电气通路,无需做接地跨接线。钢导管与接线盒(箱)连接时可选用相应规格的螺纹接头,其与钢导管连接的一端的结构及安装方法与直管接头相同;与接线盒(箱)连接的一端带有爪形锁母和一个六角锁母,如图 13-10(b)所示。安装时爪形锁母扣在接线盒(箱)内侧,用紧定扳手将爪形锁母和六角锁母夹紧按接线盒(箱)壁面,使螺纹接头与接线盒(箱)紧密连接,从而形成良好的电气通路,也无需再做接地跨接线。

KBG 导管弯曲则需要选用专用弯管器,由铸模浇注加工而成。施工现场操作简便,可将相应管径的钢导管弯曲为任意夹角,但管材弯曲半径不宜小于其外径的 6 倍。当两接线盒(箱)之间只有弯个弯曲时,管材弯曲半径不宜小于其外径的 4 倍。当埋设于混凝土内时,管材弯曲半径不宜小于其外径的 10 倍,管路连接如图 13-11 所示。

在敷设套接扣压式薄壁钢导管时,其管路应避免设备或建筑物、构筑物基础,当必须穿过时应加装保护

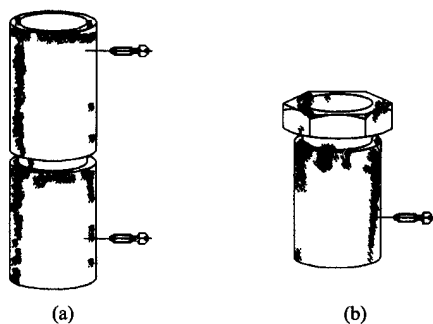


图 13-10 套接扣压式钢导管附件

(a)直管接头 (b)螺纹接头

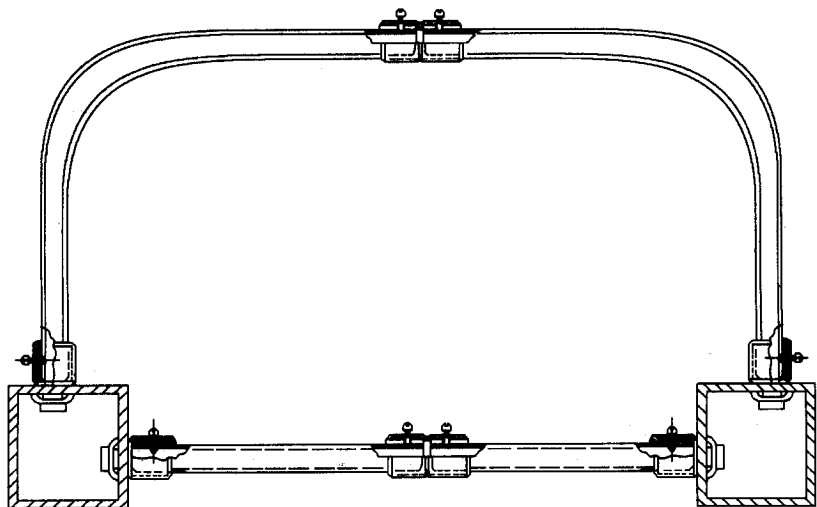


图 13-11 套接扣压式钢导管连接管路示意图

管,管路经过建筑物伸缩缝处须装设补偿盒。当管路暗敷于墙体或混凝土内时,管路与墙体或混凝土表面净距应不小于 15mm。当管路进入落地式箱(柜)时,线管应居中排列整齐,管口高出配电箱(柜)基础面为 50~80mm。套接扣压式薄壁钢导管明敷时,管路敷设应横平竖直,整齐美观,其偏差不得超过 1.5‰,全长偏差不得超过线管的 1/2。线管应选用专用的管卡安装固定,管卡应固定牢固,间距均匀,其间距应符合表 13-12 的规定,但管卡与终端、弯曲处中点、电气器具或接线盒(箱)边缘的距离应在 150~300mm 范围以内。

表 13-12 明配普利卡 KBG 钢导钢管卡的最大间距(mm)

敷 设 方 式	钢导管种类	钢导管直径 (mm)		
		16~20	25~32	≥40
吊架、支架或沿墙敷设	厚壁钢导管	1.5	2.0	2.5
	薄壁钢导管	1.0	1.5	2.0

## 四、线管穿线

所谓线管穿线,就是将绝缘导线由一个接线盒(箱),通过管路穿引到另一个接线盒(箱)即采取先分路后支线、先支线后干线的顺序配线方法。一般应在线管敷设时就预先将引线铅丝穿好,如果管路较短或弯头较少时,也可在线管穿线时再穿引线铅丝。

线管穿线一般在土建抹墙、地坪施工结束,最好在喷浆粉刷之后,配合室内装修工程进行。线管穿线步骤及方法如下:

### (一)清管

在线管穿线前,应先用吹尘器向管内吹入压缩空气,也可在引线铅丝上绑扎布条来回拉动进行清管,将管内残留杂物和积水等清理干净。清管后再向管内吹入滑石粉,并在管口加装塑料护口,以保护导线绝缘不被线管端口的毛刺损伤。

### (二)放线

用放线架顺着导线缠绕方向放线,在放线过程中,注意把导线拉直,以防打结扭绞,同时检查导线是否存在曲结、绝缘层破损等缺陷。

### (三)穿线

线管穿线时,先将引线铅丝的一端与被穿引导线可靠结扎在一起,俗称“牵线结头”,以确保在穿线过程中不使导线松脱。然后在牵线结头上涂抹一些滑石粉,就可以用引线铅丝将导线垂直管口截面缓缓拉入管内。注意线管两端的拉线人与送线人动作要协调,送入管内的导线应平行成束,不能相互缠绕。为保证线路安全运行,管内不允许有导线接头,接头应放入接线盒内。

在垂直敷设的管路中,为了减少由于导线自重而引起的内应力,当管路长度超过以下长度时,应装设固定导线用的拉线盒:1)导线截面 $\leq 50\text{mm}^2$ ,长度每超过30m时;2)导线截面 $70\sim 95\text{mm}^2$ ,长度超过20m时;3)导线截面 $120\sim 240\text{mm}^2$ ,长度每超过18m时,等等。导线在接线盒内的固定方法如图13-12所示。

### (四)线头预留及校线

为了接线及以后检修方便,线管穿线后应根据实际需要预留线头。一般灯头盒、开关盒、接线盒等预留线头 $15\sim 250\text{mm}$ (或为线盒的周长),配电箱内预留线头 $300\sim 600\text{mm}$ (或为箱内配电盘的宽度与高度之和)。

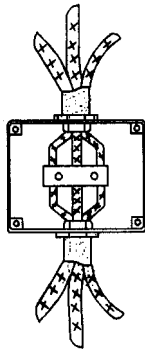


图 13-12 垂直导线在接线盒内固定示意图

在电气设备安装调试工程中,应确保接线正确无误,有利于以后对系统线路的检查和维修,所以要求同一建筑、构筑物内的供配电系统导线颜色选择应统一。例如单相电源相线应选用红色绝缘导线,三相电源的各相导线应选用不同颜色的绝缘导线,以利于区分各相导线;中性线(即零线N)应选用淡兰色绝缘导线;保护接地线(即PN线)应选用黄绿相间的绝缘导线。电源线经控制开关至用电负荷之间的控制线可选用白色

或其他颜色的绝缘导线。为了安全用电,电源线必须经过开关才能与灯具或其他用电负荷连接。另外还需仔细校对导线,以检查导线是否存在线芯折断或绝缘损坏等故障,并在线端穿入号码管标注导线编号,或用电工刀在线端绝缘层刻上统一线痕标记(如电源线穿入1#号码管或刻一道线痕,灯具及其他用电设备总线穿入2#号码管或刻二道线痕,电源控制线、开关间的连接线穿入预定号码管或不刻线痕)。一般校线由两人分别在校线首、尾两端利用电铃或灯光装置、再配以步话机等通讯工具进行校线。

## 五、线槽配线

近年来我国建筑业飞速发展,有力地推动了建筑电气安装调试技术的发展,涌现出大量的设备、新材料、新技术和新工艺,如新型线槽配线就是其中之一。新型线槽具有阻燃性能好、安装维修方便和价格低廉等特点,而且散热条件较线管配线好,提高了导线的允许载流量。同时外形新颖美观、规格品种多,可选用与室内装饰相协调的线槽颜色和规格,使线槽的装饰性和实用性融为一体。由于线槽配线的推广使用,使室内配线安装技术和安装工艺发生了根本变革。

线槽主要有如下几种类型:1.吊装金属槽(SR)适用于对防火要求高的纺织、化工和电子等工业厂房的车间;2.阻燃塑制线槽(PR)适用于办公楼、教学楼、实验楼、邮电大楼、地铁及民用住宅、纺织化工等室内明敷配线以及各种控制柜(屏)大型机械设备的线路布设;3.地面敷设线槽则适用于办公楼、写字楼、商场和电信大楼的室内地面配线。本节将主要介绍阻燃塑制线槽及其敷设方法。PVC阻燃塑制线槽配线就是将绝缘导线敷设在槽底内,再用线槽盖将导线盖住。如图13-13为线槽明敷安装示意图,象积木一样拼装而成,其规格见表13-13。线槽底与线槽盖的结构及其锁紧装置如图13-14所示。

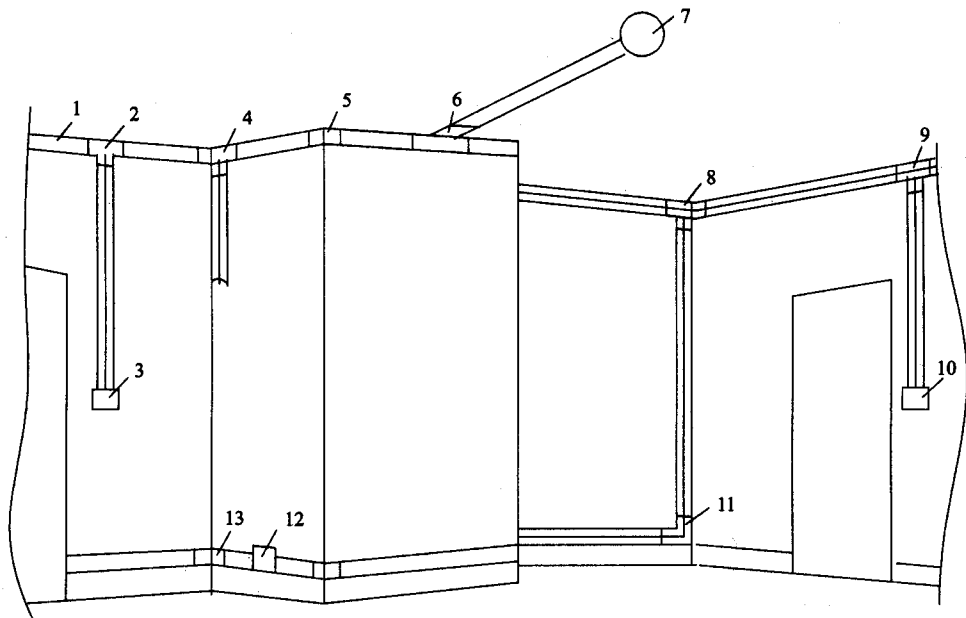


图 13-13 PVC 塑料线槽安装示意图

- 1—直线槽; 2、9—左右平三通; 3、10—开关盒; 4—右三通;  
5—阳角; 6—中小角三通; 7—灯头盒; 8—左三通;  
11—角弯; 12—插座盒; 13—阴角

表 13-13 PVC 阻燃线槽规格表

规格 (mm × mm)	线槽尺寸(mm)		
	宽(B)	高(H)	壁厚( $\delta$ )
15 × 10	15	10	1.0
24 × 14	24	14	1.2
38 × 18	39	18	1.4
39 × 18(双坑)	39	18	1.4
39 × 18(三坑)	39	18	1.4
60 × 22	60	22	1.6
60 × 40	60	40	1.6
80 × 40	80	40	1.8
100 × 27	100	27	2.0
100 × 40	100	40	2.0

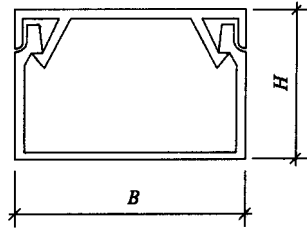


图 13-14 线槽底与纸槽盖结构及其锁紧装置示意图

PVC 线槽安装通常在室内抹灰粉刷之后,再配合室内装饰安装工程进行,其施工一般按以下方法步骤进行:

### (一) 定位划线

为了使槽安装整齐美观,应使线槽尽量沿横梁中心线、墙角线或顶角线等平行敷设。在墙面上水平敷设时,一般距顶角线净距为 20~50mm,垂直敷时距门水平净距为 150~200mm。根据照明灯具、开关、插座的位置选定好线路敷设路径后,就可采用粉线袋进行划线(弹线法),再根据所采用的线槽型号及其线槽底的固定点间距尺寸,在所划线上确定槽底固定点位置。线槽底固定点间距一般为 500~1000mm,固定点与线槽端的距离一般为 25~50mm。

### (二) 线槽的固定

线槽固定,即将线槽底安装固定在墙、梁、柱、顶棚等表面或专用支架上,墙、梁、柱、顶棚表面安装一般多采用塑料膨胀螺栓固定,它是由塑料胀管及木螺丝构成的紧固件,具有安装速度快、质量好和省钢材的优点。塑料胀管的材质有聚乙烯、聚丙烯和尼龙等几种,有  $\phi 6$ 、 $\phi 8$ 、 $\phi 10$ 、 $\phi 12$  等几种规格,见表 13-14。线槽的固定方法是:

表 13-14 塑料膨胀螺栓规格表

名称	规格 (mm)		埋深 (mm)	钻孔直径 (mm)	配用螺丝规格 (mm)
聚 两 烯 胀 管	甲型	$\phi 6 \times 31$	35	$\phi 5.5$	$\phi 3.5$
	乙型	$\phi 6 \times 36$	40		
	甲型	$\phi 8 \times 48$	50	$\phi 7.5$	4
	乙型	$\phi 8 \times 42$	45		
	甲型	$\phi 10 \times 57$	60	$\phi 9.5$	$\phi 5$
	乙型	$\phi 10 \times 46$	50		
	甲型	$\phi 12 \times 60$	60	$\phi 11.5$	$\phi 6$
	乙型	$\phi 12 \times 64$	65		

1. 钻孔 钻孔孔径的大小对塑料胀管的紧固影响很大,因此必须根据胀管的外径选择合适的钻头。一般应使钻孔直径略大于胀管外径,且钻孔深度为胀管长度加 5mm 左右为宜。

2. 清孔和放胀管 固定孔钻好后,应将孔内残留灰渣清理干净,再放入塑料胀管,以保证胀管与孔壁之间有良好的接触。

3. 安装固定线槽底及接线盒(箱) 在将塑料胀管放入固定孔后,即可用木螺钉进行安装固定线槽底及接线盒(箱)。在安装施工中,一般采用先安装固定接线(箱)和线槽的三通、内角、外角和角弯等部分,再安装固定线槽底直线段。应保证线槽底的连接无间断,拼装接口应平直、严密,每节线槽底的固定点不应少于两个。在三通、角弯、内角、外角和端部均应有固定点,并应紧贴墙面固定。其水平或垂直敷设允许偏差不得超过其长度的 2%,且全长允许偏差不得超过 20mm。线槽底并列安装时,槽盖应便于开启。另外安装固定后,线槽底与接线盒(箱)等连接处的内表面应为光滑连接,无毛刺。如图 13-15 所示,开关接线盒距门水平距离为 0.15~0.2m,它与插座均距地坪 1.3m。若成排安装时,高度应一致,高低差不得大于 2mm。此外,安装固定接线盒(箱)时,须在盒底部垫 2mm 厚的塑料板,再用木螺丝穿过固定孔旋入胀管固定。

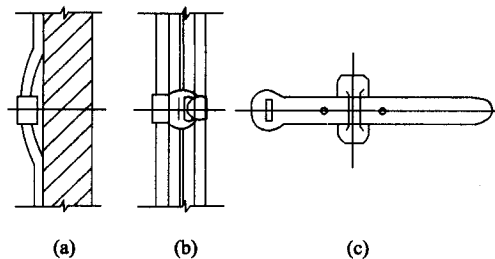


图 13-15 钢精扎头粘结固定示意图

(a) 侧视 (b) 正视 (c) 钢精扎头及底座

### (三) 导线敷设及线槽盖封装

在线槽内敷设导线时,应注意不能把不同系统、不同电压(电压为 50V 以下的线路除外)、不同电流类别的线路敷设在同一线槽内,且敷设于线槽内的绝缘导线(包括绝缘层内)总截面积应不大于线槽内截面积的 60%。PVC 线槽允许敷设导线根数见表 13-15。为了减少故障隐患,在不易拆盖板的线槽内不允许有导线接头,如必须有导线接头时,则须加装接线盒。与线管配线相同,导线在接线盒处要预留 150~200mm 的接头,在配电箱处要预留 300~600mm 的接头,以备接线之用。

敷于线槽内的导线应平行成束,防止导线紊乱、相互缠绕或产生曲结小弯等。通常采用边敷导线,边封装线槽盖板的方法,并注意使线槽盖板与线槽底的拼接缝相互错位搭接,其拼接缝错位搭接间距为线槽宽

度。最后,在线槽盖板拼接缝上装设线槽卡,使线槽盖与线槽底封装牢靠,同时也保证了线槽的整体性和封闭性。

表 13-15 PVC 线槽允敷设导线根数参考表

塑料绝缘 导线规格 (mm <sup>2</sup> )	线槽规格(mm×mm)/塑料绝缘导线数量(根)									
	15×10	24×14	39×18	39×18 (双槽)	39×18 (三槽)	60×22	60×40	80×40	100×27	100×40
1	4	10	23	2×20	3×12	42	81	109	99	165
1.5	3	9	20	2×17	3×11	37	72	96	87	146
2.5	2	6	14	1×12	3×7	26	50	67	62	103
4	2	5	11	2×9	3×6	20	41	54	49	81
6		4	9	2×8	3×5	16	31	42	39	66
10		2	4	2×3	3×2	8	16	21	19	32
16			3	2×3	3×1	6	12	17	14	24
25			2	2×2	3×1	4	6	10	9	15
35			1	2×1		3	5	7	7	12
50						2	4	5	5	9

## 六、塑料护套线敷设

塑料套线是一种有塑料保护套的双芯、三芯或多芯绝缘导线。按线芯材料分有 BVV、BLVV 型等两大类,具有良好的防潮、耐酸和耐腐蚀性能。由于其施工方法简便,可采用钢精扎头或带水泥钉的硬塑料线卡将导线直接敷设在室内墙面、梁和楼板上。而且配线较美观、价格便宜,在室内电气照明工程中得到广泛采用。

在进行塑料护套线配线施工时,应注意以下规范要求:①塑料护套线不得直接埋入抹灰层、吊顶、护墙板、灰幔角落内,也不得在室外露天的场所内明敷;②塑料护套线明敷时,线卡的固定间距应均匀,应视导线截面大小而定,一般为 150~200mm。并且导线敷设应横平竖直,不应有松弛、扭绞和曲折等现象;③塑料护套线弯曲半径不应小于其外径的 3 倍,且弯曲处不应损伤护套层和线芯绝缘层。在线路拐弯、终端和进入接线盒(箱)设备或电气器具处,均应装设压线卡固定。压线卡与导线端点、电气器具或接线盒边缘的距离一般为 50~100mm;④塑料护套线在进入电气器具或接线盒内时,应确保护套层也进入电气器具或接线盒内,并且明敷时在中间接头及分支线连接处应装设接线盒。接线盒、灯头盒和开关盒等应固定牢固,在多尘和潮湿的场所内应采用防火防潮性能好的密闭式线盒;⑤塑料护套线暗敷于预制空心楼板的板孔内时,应符合如下要求:(a)敷线板孔内应无积水杂物;(b)敷设导线时,不得损伤导线护套层,并能便于以后更换导线;(c)导线在板孔内不得有接头,导线接头应在接线盒(箱)内连接。

塑料护套线多用于室内明敷,用带水泥钉的硬塑料压线卡或钢精扎头固定。由于带水泥钉硬塑料压线卡的颜色与护套线一致,而且施工方法简便,整齐美观,所以目前多采用带水泥钉的硬塑料压线卡安装固定塑料护套线。其施工方法步骤如下:

### (一)定位划线

塑料护套线敷设的定位划线和前面所述的 PVC 线槽敷设的定位划线方法相同,一般水平配线距顶角线

为 100~200mm。垂直配线距门框为 150~200mm。先确定灯头盒、开关盒、插座盒和接线盒等的位置和线路穿越楼面、墙体的部位,然后用粉线袋按线路走向弹出水平或垂直敷设基准线。根据护套线安装规范要求,在某一布线段内,先在距接线盒等边缘的 50mm 处、距导线转弯圆弧中点两边各 80mm 处、距线路所穿越楼板面、墙面的 50~100mm 处等分别划出设置压线卡的固定点,然后测量出该布线段的剩余长度,按 150~200mm 间隔划出设置压线卡的位置,固定点间距应均匀,误差不大于 5mm。

## (二) 压线卡固定

压线卡包括钢精扎头和硬塑料压线卡。对于钢精扎头,常采用如下方法固定:在砼结构或砖墙上,可采用冲击电钻在所确定的固定点上用  $\phi 5$  钻头钻孔,用塑料膨胀螺栓固定,或在孔中打入木棒用鞋钉固定;也可采用环氧树脂粘结剂把钢精扎头粘结在建筑物表面,如图 13-17 所示。粘结时,应用钢丝刷将建筑物粘结面上的粉末刷净,使钢精扎头与混凝土或砖面可靠粘结。粘结后需养护 1~2 天,使粘结剂充分硬化。

环氧树脂粘结剂可按表 13-16 配制,即先将 6010 环氧树脂与苯二甲酸二丁酯按配比调和,再按配比加入填料(石棉粉或水泥)搅拌均匀后,按配比加入固化剂(二乙烯三胺或乙二胺)充分搅拌成糊状即可使用。

由于这种粘结剂的凝结时间短,所以在调拌好后应在 1h 内用完为宜。也可用 PVC 粘结剂进行钢精扎头的粘结固定。在有抹灰层的墙面或木结构上,还可用强度很高的“水泥钉”直接固定钢精扎头。

表 13-16 环氧树脂粘接剂配比(重量比)

环氧树脂 石棉粉粘结剂	6010 环氧树脂		苯二甲酸二丁酯	二乙烯三胺	石棉粉
	100		20	6~8	10
环氧树脂 水泥粘剂	配比	6010 环氧树脂	苯二甲酸二丁酯	乙二胺	水泥
	1:2	100	30	13~15	200
	1:3	100	40	13~15	300
	1:4	100	50	13~15	400

对于硬塑料压线卡,其上带有“水泥钉”,故可直接钉入砼结构、砖墙面或木结构上。一般采用边敷设护套线,边固定压线卡夹紧导线,因此使导线敷设更加简便,而且美观。

## (三) 导线敷设

在钢精扎头固定后(对于硬塑料压线卡,则不用先固定),即可敷设护套线。在水平方向敷设护套线时,如果线路较短,可按实际需要长度截取导线,然后用一只手扶持导线,另一只手将导线固定在钢精扎头上(或采用硬塑料压线卡直接钉入固定点来夹紧导线)。敷线时最好两个人配合,由一人拉紧导线,一人用钢精扎头(或硬塑料压线卡)夹线。如果线路较长,又有两根以上导线并排敷设时,则应先放线,再用绳子将护套吊挂起来,以使吊绳暂时承受一部分导线的重量。然后把导线逐根排平并用钢精扎头(或硬塑料压线卡)夹紧。最好分段依次敷线,每段长度 1m 左右,即从线路负荷开始敷线,先将该段的首端夹紧,再夹紧该段的尾端,并使之与所划出的基准线重合,然后把该段线中的钢精扎头(或硬塑料压线卡)逐个固定夹紧导线。如果所敷导线不直,可用螺丝刀木柄或橡胶锤轻轻敲直拍平,使护套线与墙面贴紧。在垂直方向敷护套线时,应自上而下进行,以便操作,也容易将护套线敷设平直。在转角处敷线时,护套线的弯半径应不小于导线宽度的 3 倍。弯曲圆弧要圆滑,可用手指捏住塑料护套线的扁平面,由中间向两边逐步整形。当导线穿过墙体或楼板时,均需要装设穿墙、穿楼板保护管。护套线的接头应置于接线盒、灯头盒、开关盒和插座盒之内,以保持线路敷设整齐美观和用电安全。

线路敷设好后,应进一步检查线路敷设是否横平竖直,通常用一根 1m 长的平直木板条作为基准标尺,即将标尺平面紧贴在被检查线路的一侧,当发现某处导线未与基准尺面平滑贴紧时,可用螺丝刀木柄或小木锤轻轻敲击导线校正。



## 七、导线的连接与封端

导线的连接方法很多,主要有绞接、焊接、压接和螺栓连接等四种,各种连接方法应根据导线的类型、截面及工作地点选择。导线连接一般可按以下四个步骤进行,即剥切绝缘层、导线芯线连接、接头焊接或压接、以及包缠绝缘等。在电气安装工程中,导线连接是一项非常重要的工序,因为线路故障多发生在导线接头处,所以线路能否安全可靠地运行,导线接头的连接质量起着决定性的作用。

### (一)导线连接的基本要求

在《电气装置安装工程 1kV 及以下配线工程施工及验收规范》综合起来对导线连接提出如下主要要求:

1. 在剖切导线绝缘层时,不应损伤芯线。芯线相互连接后,绝缘带应包缠均匀紧密,其强度应不低于导线原绝缘强度;在接线端子根部与导线绝缘层之间的空隙处,应采用绝缘带包缠紧密。

2. 截面为  $10\text{mm}^2$  及以下的单股铜、铝芯线可直接与电气器具、设备的接线端子连接。截面为  $2.5\text{mm}^2$  及以下的多股铜芯线应先拧紧搪锡或焊、压接线端子,而多股铝芯线和截面为  $2.5\text{mm}^2$  以上的多股铜芯线应压接或焊接端子后(用电设备、器具自带插接式端子除外),再与用电设备、器具的接线端子连接。

3. 使用压接法连接(铜、铝)芯导线时,连接管、接线端子、压模的规格应与线芯截面相符。压接深度、压口数量和压接长度应符合产品技术文件的有关规定要求。

4. 使用气焊法或电弧焊接法进行(铜、铝)芯导线时连接,焊缝应饱满、表面应光滑,即焊缝的周围应凸起呈半圆形的加强高度,凸起高度为线芯直径的  $0.15 \sim 0.3$  倍,并不应有裂缝、夹渣、凹陷、断股及根部未焊合等缺陷,焊缝的外形尺寸应符合焊接工艺评定文件的有关规定要求。导线焊接后,接头处的残余焊药和焊渣应清理干净,焊剂应无腐蚀性。

5. 在配线的分支接线处,应保证干线不受支线的横向拉力。

综上所述,为了保证所安装的配电线路安全可靠地运行,就必须按照上述规范要求对导线连接,使导线连接点达到连接可靠(接头电阻值应不大于相同长度导线的电阻值)、机械强度高(接头的机械强度应不小于导线机械强度的  $80\%$ )、耐腐蚀和绝缘性能好等基本要求。

### (二)导线连接

#### 1. 绝缘层的剥切

在导线连接之前,须先将导线连接部分的绝缘切掉,剥切长度由导线连接方法和导线截面的大小而定。一般在导线连接后,应剩余  $10 \sim 15\text{mm}$  长的无绝缘段,导线与电气器具端子连接后,导线端应剩余  $1 \sim 3\text{mm}$  无绝缘段,导线的剥切方法有单层剥切法、分段剥切法和斜面剥切法等三种。单层剥切法适于单层绝缘导线,如 BV、BLV 型塑料线等;分段剥切法适用于多层绝缘导线,如 BVV、BLVV 等塑料护套线以及橡皮绝缘导线;斜面剥切法适用于绝缘层较厚或多层绝缘导线,将导线连接部分的绝缘层斜削成铅笔头状。在剥切导线绝缘层时,不能损伤芯线,以免降低导线的机械强度和增大导线接头的电阻值。

#### 2. 铜芯导线的连接

铜芯导线具有韧性好、强度高和导电性能优良的特点,在室内电气照明配线工程中,多采用铜芯导线绞接、缠卷以及压接等连接方法。其中铜导线压接法具有操作工艺简单,节省有色金属,特别适于用现场施工。在压接时,应选用与铜芯导线截面相应规格的铜压接管,其规格有 QT-16、25、35、50、70、95、120、150、185、240、300 等。如图 13-16 所示,将被连接导线的线芯端剪齐并整型后,分别插入铜压接管的  $1/2$  处,用压接钳和配套模具进行冷态压接。通常只需要在压接管的两端各压一个压坑,即可满足接触电阻和机械强度的要求。而对于拉力强度要求较高的场所,应适当增加压坑的个数,如可在铜压接管的两端各压两个压坑,压坑深度应控制在上、下压模接触为止。

#### 3. 铝芯导线的连接

我国铝金属资源丰富,其导电性能与铜很接近,而且可塑性好,导线易于敷设整型,价格便宜,所以在电气工程中得到广泛应用。在室内电气照明配线中,也广泛采用铝芯导线。但是,铝芯导线的机械强度较铜线

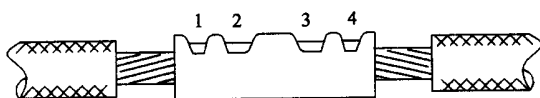


图 13-16 铜压接套管外形结构及压接顺序

差、易氧化,因此连接工艺要求比较特殊,即规定铝芯导线间的连接不允许采用绞接和缠卷等方法,可采用压接法、电阻焊(俗称对焊)法、钎焊法和气焊法等。

其中铝芯导线压接法最为简便,即在压接之前,先将铝芯表面的氧化层清除干净,再涂以石英粉和中性凡士林油膏(石英粉有助于在压接时挤破芯线表面和铝压接套管壁的氧化膜,中性凡士林油膏可使铝芯线与空气隔离,防止铝芯线氧化)涂上导电膏,然后选用相应规格的铝压接套管和压模,将铝芯导线插入铝压接套管内,用装有相应压模的压接钳进行冷态压接,使铝芯导线与铝压接套管成为一体,构成导电通路。

对于  $2.5 \sim 10\text{mm}^2$  的单股铝芯导线,可采用小截面铝压接套管,这种套管有圆形和椭圆形两种,由含铝纯度为 99.5% 的压延铝制成,其规格尺寸见表 13-17。对于  $16 \sim 240\text{mm}^2$  的多股铝导线,应根据导线截面选用表 13-18 所列相应规格的铝压接套管,其压接方法与铜压接套管的压接相同。

表 13-17  $10\text{mm}^2$  以下铝导线的压接套管规格表

套管类型	导线截面 ( $\text{mm}^2$ )	铝线外径 (mm)	套管尺寸 (mm)					压接尺寸 (mm)		
			$D_1$	$D_2$	$D_1$	$D$	$L$	$B$	$C$	$E$
圆形	2.5	1.76	1.8	3.8			31	2	2	1.4
	4	2.24	2.3	4.7	—	—			2	2.1
	6	2.73	2.8	5.2					1.5	3.3
	10	3.55	3.6	6.2					1.5	4.1
椭圆形	2.5	1.76	1.8	3.8	3.6	5.6	31	2	6.8	3.0
	4	2.24	2.3	4.7	4.6	7.0			8.4	4.5
	6	2.73	2.8	5.2	5.6	8.0			8.4	4.8
	10	3.55	3.6	6.2	7.2	9.8			8.0	5.5

表 13-18  $16 \sim 240\text{mm}^2$  铝导线的铝压接套管规格表

型号规格	线芯截面( $\text{mm}^2$ )	长度(mm)	内径(mm)	外径(mm)
QL-16	16	66	5.2	10
QL-25	25	68	6.8	12
QL-35	35	72	8.0	14
QL-50	50	78	9.6	16
QL-70	70	82	11.0	18
QL-95	95	86	13.6	21
QL-120	120	92	15.0	23
QL-150	150	95	16.0	25
QL-185	185	100	18.6	27
QL-240	240	110	21.0	31

### (三) 导线封端

所谓导线封端,即导线出线端的装接及包缠绝缘带,以便于导线与电气器具的接线端子(或桩头)进行可靠连接和恢复导线连接处的绝缘。

#### 1. 导线与电气器具直接连接

在室内电气照明线路中,多采用 $6\text{mm}^2$ 及以下的单股导线,如导线与开关盒、灯头盒、插座盒内的接线桩头的连接,均可采用直接连接的方法。当采用螺钉、垫圈压紧连接时,只要在单股导线端部将芯线顺着螺钉拧紧的方向弯一圆环,对于多股铜导线需先将芯线绞紧搪锡后再弯圆环,即可直接连接到电气器具的接线端子上。对于铝芯导线,为了防止氧化,应在芯线表面涂一层中性凡士林再进行连接。采用螺钉挤压连接时,芯线截面应大于接线孔内截面的50%,否则应将芯线头双折或加垫铜铝皮,以保证连接可靠。当铝芯导线与电气器具的铜接线端子连接时,为防止电化腐蚀而使接触电阻增大,可采用铝—锡—铜过渡方法进行连接,即在铝芯线头上包裹(或垫上)一层搪过锡的薄铜皮,也可涂一层中性凡士林,再与电气器具的接线端子连接。

#### 2. 导线与接线端子的连接

大楼的配电线路进户线、电缆井内配电干线等多为 $10\text{mm}^2$ 以上的多股铜芯或铝芯导线。由于导线的线径较粗,载流量较大,为了避免导线芯线与电气设备连接时接触面积过小而产生高热,有烧坏导线和引起火灾的可能,因此需要装设接线端子(俗称接线鼻子)。有铜接线端子和铝接线端子两种,铜接线端子应与铜芯导线装接,可采用锡焊法或压接法。如果铜导线需要与铝母线或电气设备的铝接线端子连接时,应选用铜铝过渡接线端子装接。采用铜接线端子压接时,铜导线端部绝缘层的剥切长度为接线端子孔深加 $5\text{mm}$ ,将铜芯线插入接线端子孔内用压接钳进行压接,压接顺序见图13-17。而采用锡焊法时,则先将芯线绞紧,再搪上一层焊锡,并在接线端子孔内涂上无酸性焊锡膏,用喷灯加热,同时将焊锡熔化于接线端子孔内,再将搪过锡的芯线慢慢插入孔中,使焊锡完全渗透到芯线缝隙之中,移去喷灯进行冷却即可。

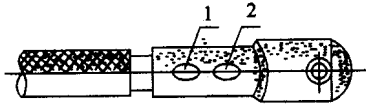


图 13-17 铜接线端子外形结构及压接顺序

铝接线端子通常采用压接法与导线装接,铝接线端子的压接方法与铝压接套管相似。在压接前先将接线端子孔内壁和铝芯线表面的氧化膜清除干净,并涂以石英粉—凡士林油膏后,再将芯线插入接线端子孔内,按顺序进行压接,压接后用细锉刀和砂布把端子打磨光滑。

#### 3. 恢复导线绝缘

在导线连接好后,还应包缠绝缘带以恢复其绝缘。一般采用黄蜡布和黑色绝缘胶带,以半叠包缠法进行包缠,即使绝缘胶布边与导线轴向呈 $45^\circ$ 每圈叠压带宽的 $1/2$ 。在较干燥的环境中,先包缠一层黄蜡布,再用黑色绝缘胶带包缠即可,在较潮湿场所,则应采用绝缘强度较高的聚乙烯绝缘胶带或涤纶绝缘胶带包缠。在包缠绝缘带时应包缠紧密,以防脱落和潮气浸入,包缠厚度应使导线连接处达到导线原有绝缘强度等级。

### (四) 用热缩管绝缘密封

电器通用热缩管与热缩电缆头附件相似,是由聚烯烃高分子材料配以各种添加剂,经300万伏特高能射线( $\gamma$ 射线或电子束)辐照,使聚合物内的分子发生交联,线型分子结构转化为空间网状结构。当加热到结晶熔点以上时,便呈橡胶弹性状态,此时施加外力、扩张成型、并经 $\gamma$ 射线辐照交联,使其产生弹性变形后,再进行降温冷却处理,使聚合物分子链“冻结”,保持弹性变形后的形状。当再次加热时,聚合物分子链“解冻”而自动恢复到弹性变形前的形状。由此可见,这是一种新型智能高分子材料,即具有“热记忆”功能。如内径 $6.5\text{mm}$ 的热缩管,加热后能凭记忆收缩至设计尺寸 $2\text{mm}$ 。

热缩管具有使用方便、机械强度高、耐老化、耐化学腐蚀及耐高温等性能,对导线连接处能够起到良好的紧固、密封、绝缘和防水防潮作用,弥补了一般绝缘胶带在高温高湿及有化学腐蚀性气体场所内易松脱,密封性和绝缘能力较差,以及包缠不够美观等缺陷。部分电器通用热收缩管产品标准在表13-19中列出,以供

选用时参考。

如前所述,热收缩材料在高低压电力电缆终端头、中间接头的制作安装中,在室内动力、照明配电系统中,以及汽车、家电等电气连接中得到越来越广泛的应用。在导线连接点和接线端子处,应根据被绝缘密封导线截面选择合适规格的热缩管,一般应使被连接导线外径小于热缩管的内径,而大于收缩后的内径即可,也可按被连接线总截面的2~3倍选择热缩管的内截面。使用时将一段热缩管套在需保护密封的部位,用喷灯或热吹风等热源对其加热,热缩管即可自行收缩包紧被连接导线,从而大大提高了导线接头长期工作的可靠性。在对热缩管加热时,应不断移动热源,温度不宜过高,要控制在110~130℃范围以内,将火焰调节柔和,颜色为淡黄色为宜。火焰应匀稳地沿螺旋状移动,并对热缩管从中间向两端缓慢加热,或从一端沿管轴向延伸加热,以利于热收缩管在受热收缩时排出管内空气。

表 13-19 热收缩管部分产品规格

规格	产品内径(mm)	收缩后内径(mm)
2.5/0.5	2.5	0.5
3.5/1.0	3.5	1.0
5.5/1.5	5.5	1.5
6.5/2.0	6.5	2.0
8.0/3.0	8.0	3.0
9.0/4.0	9.0	4.0
12.0/5.5	12.0	5.5
14.0/6.5	14.0	6.5
15.5/7.0	15.5	7.0

## 第四节 室内配线工程与其他相关工程的施工配合

室内电气照明安装工程是整个建筑工程项目中不可缺少的重要组成部分,并且与暖通工程给排水工程和土建工程结合紧密。例如电源进户方式、电缆井(沟)的设置、明暗管线的敷设、配电箱、灯具、开关、插座等的安装固定等等,都要在土建施工中预埋构件、管道或预留孔洞,也需要与暖通、给排水工程的管道安装相互协调、合理确定设备的安装位置。随着现代高层建筑、卡拉OK舞厅、大型超市的大量涌现,现代设计和施工技术发展十分迅速,不断推出新结构、新设备、新材料和新的安装工艺。因此,室内配线工程与其他工种施工的配合,尤其是与土建工程施工的协调配合就愈加显得重要。这是加快室内电气照明安装工程进度、保证工程质量和减少经济损失的根本措施之一。在与其他工种施工配合工作主要考虑如下几个方面:

### 一、施工前的准备

电气安装调试人员在认真识图和收集整理有关资料的基础上,应在施工前准备和及时加工在土建施工过程中需要埋设的线管、预埋件或其他器件等,并与土建、暖通、给排水等专业工程技术人员共同审核电气、土建、空调通风、给排水等工程图,以检查核对电气工程图与各专业工程图纸之间是否存在矛盾之处或差错。

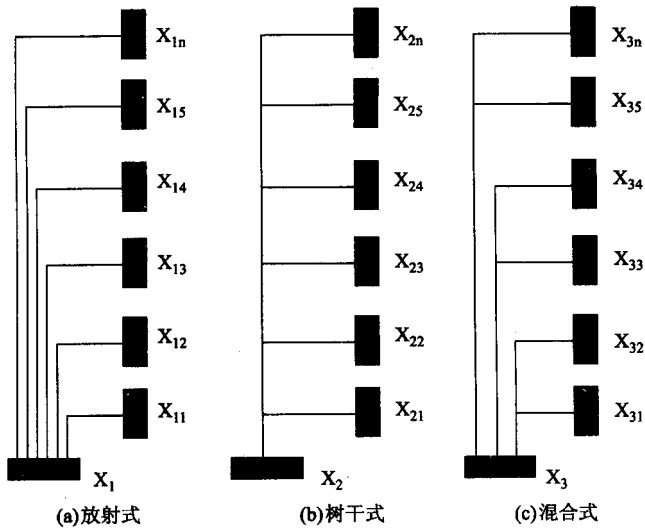


图 13-18 高层建筑室内照明配线示意图

同时了解土建施工以及暖通、给排水等专业施工进度计划和施工方法,尤其是土建施工中的梁、柱、墙结构、施工方法及连接方式,仔细校核拟采用的电气照明工程的安装方法及施工方案是否与土建施工相适应,与暖通、给排水等专业施工是否相互协调。在设备布局上应合理,应符合有关设计规范要求,相互之间在安装位置上应无矛盾之处。

## 二、与土建基础工程的配合

在土建基础工程的施工过程中,应配合做好接地装置过墙引线孔、地坪内配管过墙孔、电缆过墙保护管或电缆沟等的预留、预埋工作,预留孔尺寸可根据其用途而定。例如接地装置过墙孔一般取  $120 \times 60\text{mm}$ ,为了有利于降低接地电阻,过墙孔最好位于室内素土层处,及室外地坪  $200\text{mm}$  以下。地坪内配管过墙孔尺寸由线管的根数、外径和敷设方式确定。若配管需要在过墙孔外转角引上时,过墙孔的高度应在 10 倍配管外径以上,以满足配管弯曲半径的要求。这种过墙孔一般距地坪  $100\text{mm}$  左右。而电缆过墙孔,一般应位于室外地坪下  $800\text{mm}$  左右处,尺寸为  $240 \times 240\text{mm}$ 。在电缆过墙保护管敷设好后,再用水泥砂浆固定保护管,并将孔洞封实,以防防水渗入室内。

## 三、与墙体工程的配合

在室内配线工程中,有大量电气照明和动力的暗配管线、暗装配电箱、插座盒、开关盒、灯具接线盒等;在弱电方面,还有综合布线、电话通讯、火灾自动报警系统和有线电视系统(CATV)等的大量暗配管线、接线盒、接线箱等在土建墙体施工中的敷设。所以都应按设计图纸所要求的位置,距地坪高度及时配合土建施工埋设预埋件或预留孔洞。暗装配电箱的箱体宽度如在  $300\text{mm}$  以上时,预留孔洞处应设置过梁,以免箱体受压。

此外,在用钢索配管配线时,应在墙、梁、柱的适当部位上埋设拉索钩和拉索环,在建筑物的伸缩缝两侧的适当位置埋设暗配管补偿盒;在电源进户处,还需要按照电气设计安装高度配合土建墙体施工埋设进户线支架和进户线保护管等。

## 四、与混凝土浇制工程的配合

在建筑结构中,如梁、柱、墙、楼板等是在施工现场或预制厂内浇制而成的。对于象混凝土梁、柱、墙等承重构件,一般在浇制好后是不允许再有较大面积的钻凿损坏的,否则会影响其强度。尤其是地下室的混凝土墙、顶,如果钻凿还会引起渗漏水等问题。所以,一旦漏埋就只能明管敷设了,这样就会影响室内装修的美观。由此可见,一些需要暗敷的管线、箱盒(如配电箱、开关盒、灯头盒和接线盒支架、螺栓等)必须在土建施工的同时预埋好,尤其是混凝土浇制工程,这是一项时间性很强,而又十分重要的工作。

对于混凝土浇制工程,一般应在钢筋编扎时(即未浇制混凝土之前)按照电气设计要求将需要埋设的管线、箱盒以及安装电器设备、器件用的铁板、木砖等预埋件埋设在相应位置上。另外“预留”在土建施工中也常采用。如安装暗设配电箱时,可先配合土建施工,在墙体的适当位置处埋入木框,在安装时取出木框,再将配电箱装入预留洞之中。

对于在施工现场浇制的混凝土梁、柱等承重构件,如果所埋设的线管需要与相邻墙体中埋设的线管连接时,为了方便配线和防止预埋线管受力损坏,应在靠近梁、柱的墙体中埋设暗配管接线盒。如果混凝土梁、柱等承重构件在预制厂内预制,也应按电气设计要求及时埋设线管等预埋件,当预制混凝土构件中的线管需要与施工现场浇制的混凝土构件中的预埋件相互连接时,同样需要在预制的混凝土构件中埋设接线盒,将现场浇制混凝土构件中的线管插入该接线盒内。对于现场浇制混凝土所埋设的灯头盒、接线盒等,应使之与模板贴紧,并在盒内填满锯沫、纸团等物,以防砂浆进入到盒内而堵塞管口,造成穿线困难。对于采用预制楼板的建筑物,应在吊装楼板时配合土建施工将线管敷设于楼板缝隙或楼板孔中,并使线管弯头从装设灯具的位置处伸出,同时在楼板缝或适当位置埋设固定灯具的预埋件。

随着人们对室内装修标准的提高,在现代居室中普遍采用吊顶装饰形式,并在吊顶上装设各式吸顶灯、花灯等灯具,以增强室内照明艺术效果,美化室内环境,吊顶装饰工程多采用在吊顶夹层内明管配线,所以应配合吊顶安装,按灯具布置的位置将线管、线槽等安装在吊架上。为了防火的需要,宜选用钢质或阻燃塑料刚性线管、线槽。

此外,还有与室内地面土建施工的配合问题,应在线管、地面金属线槽以及室内接地装置全部敷设好后,再浇制混凝土地面或安装铺设室内地板。

总之,从大量的工程实践表明,室内电气安装工程与土建工程、给排水工程、暖通工程等的施工配合是十分重要的工作,是省时、高效、优质完成电气安装工程任务的重要环节。而要做好与土建、暖通、给排水等专业施工的配合,就必须注意在实践中不断积累和总结电气安装施工的经验,加强对整个建筑施工工程的深入了解。

## 第五节 导线的连接与封端

### 一、导线的连接

#### (一) 铜芯导线的连接

铜芯导线的连接方法如表 13-20 所示。

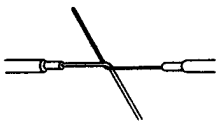


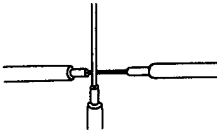
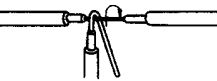
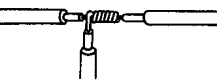
#### (二) 铝芯导线的连接

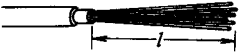
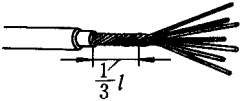
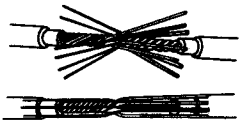




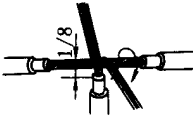


铝芯导线的连接方法如表 13-21 所示。

### (三) 线头与接线桩的连接

对于  $10\text{mm}^2$  以下的单股铜、铝芯导线,可直接将芯线的线头与电器的接线桩连接。线头与接线桩的连接方法如表 13-25 所示。

表 13-20 铜芯导线的连接

名称	连接方法	图 示
1 单股铜芯导线的直线连接	1) 把两根芯线的线头成 X 形相交	
	2) 把两根芯线的线头互相绞绕 2~3 圈,并扳直两线头	
	3) 将每根芯线的线头紧贴在另一根芯线上缠绕 6 圈,用钢丝钳切去余下的芯线并钳平芯线的末端	
2 单股铜芯导线的 T 字分支连接	1) 将支路芯线的线头与干线芯线十字相交,使支路芯线根部留出约 3~5mm	
	2) 按顺时针方向缠绕支路芯线	
	3) 缠绕 6~8 圈后,用钢丝钳切去余下的芯线,并钳平芯线的末端	

名称	连接方法	图 示
3 7 股铜 芯导线的直接 连接	1) 将剖去绝缘层的两根芯线逐根拉直	
	2) 把芯线的 1/3 根部绞紧, 然后把余下的 2/3 芯线头分散成伞状, 并将每根芯线拉直	
	3) 把两根伞状芯线线头隔根对叉, 并捏平两端芯线	
	4) 把一端的 7 股芯线按 2、2、3 根分成三组, 接着把第一组 2 根芯线扳起, 并按顺时针方向缠绕	
	5) 缠绕 2 圈后, 将余下的芯线向右折直, 再把下面第二组的 2 根芯线扳直, 也按顺时针方向紧紧压住前 2 根扳直的芯线缠绕	
	6) 缠绕两圈后, 也将余下的芯线向右折直, 再把下面第三组的 3 根芯线扳直, 按顺时针方向紧压住前 4 根扳直的芯线向右缠绕	
	7) 缠绕 3 圈后, 切去每组多余的芯线, 钳平线端 用同样方法再缠绕另一边芯线	
4 7 股铜 芯导线的 T 字 分支连接	1) 把分支芯线散开钳直, 接着把近绝缘层 1/8 处的芯线绞紧, 把 7/8 的芯线分成 4 根和 3 根两组, 并排齐, 然后用旋凿把干线的芯线也撬分成 4 根和 3 根两组, 再把支线中一组芯线插入干线两组芯线中间	
	2) 把右边 3 根芯线的一组往干线一边按顺时针紧紧缠绕 3~4 圈, 钳平线端, 再把左边 4 根芯线的一组按逆时针方向缠绕	
	3) 逆时针缠绕 4~5 圈后, 钳平线端并切去余线	



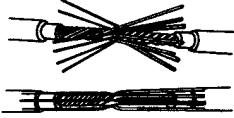


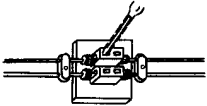
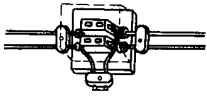
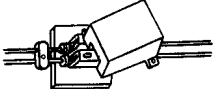
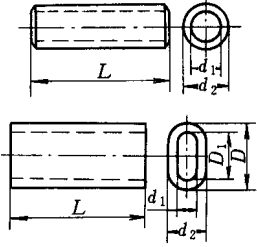
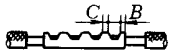
名称	连接方法	图 示
5 铜芯导线接头处的锡焊	<p>1) 电烙铁锡焊 10mm<sup>2</sup> 及以下的铜芯导线接头, 可用 150W 电烙铁进行锡焊。锡焊前接头上须涂一层无酸焊锡膏方可锡焊</p> <p>2) 浇焊 16mm<sup>2</sup> 及其以上的铜芯导线接头, 应采用浇焊法。浇焊前应将焊锡放在锅内, 用电炉熔化呈磷黄色, 然后将导线接头放在锡锅上面, 用勺盛上熔化的锡进行浇焊, 直至全部焊牢为止</p>	

表 13-21 铝芯导线的连接

名称	连接方法	图 示
1 螺钉压接法连接	<p>1) 把削去绝缘层的铝芯线头用钢丝刷刷去表面的铝氧化膜, 并涂上中性凡士林</p>	
	<p>2) 作直线连接时, 先把每根铝芯导线接近线端处卷上 2~3 圈, 以备线头折断可再次连接</p>	
1 螺钉压接法连接	<p>3) 然后把四个线头两两相对地插入两只瓷接头的四个接线桩上, 并旋紧接线桩上的螺钉</p>	
	<p>4) 若要作分路连接时, 要把支路导线的两个芯线头分别插入两个瓷接头的两个接线桩上, 然后旋紧螺钉</p>	
	<p>5) 最后在瓷接头上加罩铁皮盒盖或木罩盒盖</p>	

名称	连接方法	图 示
<p>2 单股铝 芯导线的压接</p>	<p>1) <math>2.5 \sim 10\text{mm}^2</math> 的单股铝芯导线压接, 应选用单股导线压接钳及圆形或椭圆形铝连接管, 铝连接管的尺寸如表 13-22 所示</p>	
	<p>2) 压接前把导线两端绝缘层各剥去 50 ~ 55mm, 然后将铝连接管内壁和导线表面氧化膜及油污清除, 并涂上石英粉—中性凡士林油膏</p>	
	<p>3) 用圆形铝连接管时, 导线两端各插入到连接管的一半处</p>	
	<p>4) 用椭圆形铝连接管时, 应使两线端插入后各露出连接管两端 4mm</p>	
	<p>5) 用压接钳压接时, 应压到必要的极限尺寸, 并使所有压坑的中心线处在同一条直线上。铝连接管上压坑数、位置及压坑深度见表 13-22</p>	

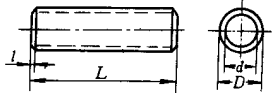
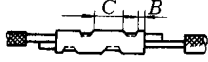
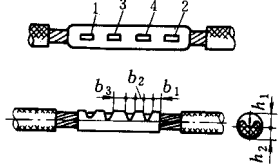

名称	连接方法	图 示
3 多股铝芯导线的压接	<p>1) <math>16 \sim 240\text{mm}^2</math> 多股铝芯导线可采用手提式油压钳及相应的铝连接管,铝连接管的尺寸见表 13-23</p>	
	<p>2) 压接前将两根铝芯导线的绝缘各剥去连接管长度的一半加上 5mm, 散开刷去氧化层并涂上石英粉 - 中性凡士林后再绞成原来形状。同时用圆锉除去连接管内壁的氧化膜和油垢, 涂上石英粉 - 中性凡士林油膏。然后将两根铝芯线插入连接管内, 插入长度为各占连接管的一半, 并相应地划好压坑标记</p>	
	<p>3) 根据连接导线截面的大小, 选好压模将到钳口内压接</p>	
	<p>4) 压接时应按 1、2、3、4 顺序压接四个坑, 压完一个坑后, 稍停 10~15s 再压另一个坑, 压完后用细锉锉去棱角, 然后用纱布打光。压坑间距及压坑深度见表 13-24</p>	
4 多股铝芯导线的分支线压接	<p>1) 将干线断开, 与分支线同时插入铝连接管内进行压接</p> <p>2) 若不断开干线, 可用围环法压接, 即用开口的铝环, 套到并在一起的干线和分支线上, 将环的开口卷紧进行压接</p>	

表 13-22 小截面铝连接管尺寸

连接管 型式	导线截面 /mm <sup>2</sup>	铝线外径 /mm	铝套管尺寸/mm					压坑尺寸/mm	
			$d_1$	$d_2$	$D_1$	$D_2$	$L$	$B$	$G$
圆形	2.5	1.76	1.8	3.8			31	2	2
	4	2.24	2.3	4.7			31	2	2
	6	2.73	2.8	5.2			31	2	1.5
	10	3.55	3.6	6.2			31	2	1.5
椭圆形	2.5	1.76	1.8	3.8	3.6	5.6	31	2	8.8
	4	2.24	2.3	4.7	4.6	7	31	2	8.4
	6	2.73	2.8	5.2	5.6	8	31	2	8.4
	10	3.55	3.6	6.2	7.2	9.8	31	2	8

表 13-23 铝连接管的规格和尺寸

(mm)

规格	芯线截面 /mm <sup>2</sup>	$L$	$d$	$D$	$l$
QL-16	16	66	5.2	10	2
QL-25	25	68	6.8	12	2
QL-35	35	72	8.0	14	3
QL-50	50	78	9.6	16	4
QL-70	70	82	11.6	18	4
QL-95	95	86	13.6	21	5
QL-120	120	92	15.0	23	5
QL-150	150	95	16.6	25	5
QL-185	185	100	18.6	27	6
QL-240	240	110	21.0	31	6

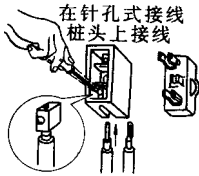
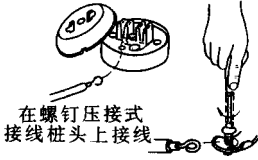
表 13-24 铝导线压接的压坑间距及深度尺寸

(mm)

适用范围	压坑间距			压坑深度 $h_1$	剩余厚度 $h_2$
	$b_1$	$b_2$	$b_3$		
QL-16	3	3	4	5.4	4.6
QL-25	3	3	4	5.9	6.1
QL-35	3	5	4	7.0	7.0
QL-50	3	5	6	8.3	7.7

适用范围	压坑间距			压坑深度 $h_1$	剩余厚度 $h_2$
	$b_1$	$b_2$	$b_3$		
QL-70	3	5	6	9.2	8.8
QL-95	3	5	6	11.4	9.6
QL-120	4	5	7	12.5	10.5
QL-150	4	5	7	12.8	12.2
QL-185	5	5	7	13.7	13.3
QL-240	5	6	7	16.1	14.9

表 13-25 线头与接线桩的连接

名称	连接方法	图 示
1 线头与针孔式接线桩连接	如果股芯线与接线桩头插线孔大小适宜,则把芯线线头插入针孔并旋紧螺钉。如单股芯线较细,则应把芯线线头折成双根,插入针孔再旋紧螺钉	 <p>在针孔式接线桩头上接线</p>
2 线头与螺钉平压式接线桩的连接	如较小截面单股芯线,则必须将线头按螺钉旋紧方向弯成羊眼圈。较大截面的芯线则应装上接线耳,由接线耳与接线桩连接	 <p>在螺钉平压式接线桩头上接线</p>


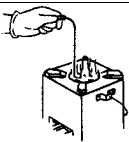
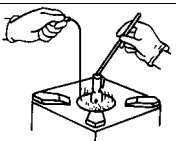
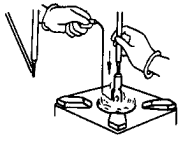


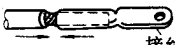
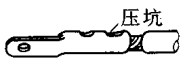

## 二、导线的封端

对于导线截面大于  $10\text{mm}^2$  的多股铜、铝芯导线,一般都必须用接线端子(又称接线鼻或接线耳)对导线端头进行封端,再由接线端子与电器设备相连。

### (一) 铜芯导线的封端

铜芯导线的封端方法如表 13-26 所示。

表 13-26 铜芯导线的封端

名称	封端方法	图 示
1 锡焊封端	1) 剥掉铜芯导线端部的绝缘层, 除去芯线表面和接线端子内壁的氧化膜, 涂以无酸焊锡膏	
	2) 用一根粗铁丝系住铜接线端子, 使插线孔口朝上并放到火里加热	
	3) 把锡条插在铜接线端子的插线孔内, 使锡受热后溶解在插线孔内	
	4) 把芯线的端部插入接线端子的插线孔内, 上下插拉几次后把芯线插到孔底	
	5) 平稳而缓慢地把粗铁丝和接线端子浸到冷水里, 使液态锡凝固, 芯线焊牢	
	6) 用锉刀把铜接线端子表面的焊锡除去, 用砂布打光后包上绝缘带, 即可与电器接线桩连接	
2 压接封端	1) 把剥去绝缘层并涂上石英粉 - 凡士林油膏的芯线插入内壁也涂上石英粉 - 凡士林油膏的铜接线端子孔内	 接线端子
	2) 用压接钳进行压接, 在铜接线端子的正面压两个坑, 先压外坑, 再压内坑, 两个坑要在一条直线上	 压坑
	3) 从导线绝缘层至铜接线端子根部包上绝缘带	 绝缘恢复层 螺母 弹簧垫圈 平垫

## (二) 铝芯导线的封端

铝芯导线一般采用铝接线端子压接法进行封端。铝接线端子的外形及规格如图 13-19 所示。其各部分尺寸如表 13-27 所示。

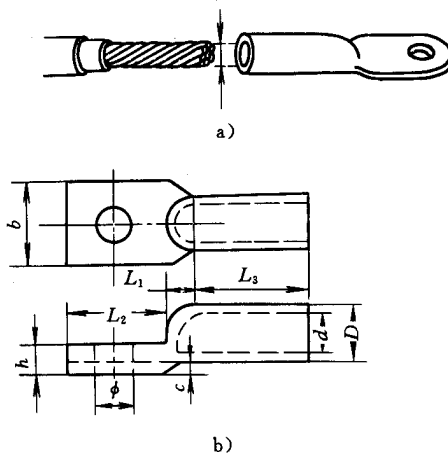


图 13-19 铝接线端子  
a) 铝接线端子外形 b) 铝接线端子规格尺寸

表 13-27 铝接线端子尺寸

适用导线截面 /mm <sup>2</sup>	端子各部分尺寸									压模深
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>L</i> <sub>1</sub>	<i>L</i> <sub>2</sub>	<i>L</i> <sub>3</sub>	<i>b</i>	<i>h</i>	$\phi$	
16	5.5	10	1	18	5	32	17	3.6	6.5	5.4
25	6.8	12	1	20	8	32	17	4.0	8.5	5.9
35	7.7	14	1	24	9	32	20	5.0	8.5	7.0
50	9.2	16	1	28	10	37	20	5.0	10.5	7.8
70	11.0	18	1	35	10	40	25	6.5	10.5	8.9
95	13.0	21	1	36	11	45	28	7.0	13.0	9.9
120	14.0	22.5	1	36	11	48	34	7.0	13.0	10.8
150	16.0	24	1	36	11	50	34	7.5	17.0	11.0
185	18.0	26	1	41	12	53	36	7.5	17.0	12.0

铝芯导线用压接法进行封端的方法如表 13-28 所示。

表 13-28 铝芯导线压接法封端

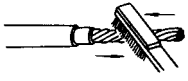
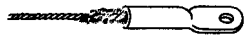
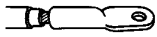
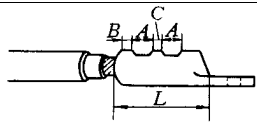
封端方法	有关要求	图 示
1 选用合适的铝接线端子	1) 根据铝芯线的截面查表 13-27 选用合适的铝接线端子, 然后剥去芯线端部绝缘层	
	2) 刷去铝芯线表面氧化层并涂上石英粉-凡士林油膏	
	3) 刷去铝接线端子内壁氧化层并涂上石英粉-凡士林油膏	
2 将铝芯线插入铝接线端子	铝芯线要插到孔底	
3 用压接钳压接	用压接钳在铝接线端子正面压两个坑, 先压靠近插线孔处的第一个坑, 再压第二个坑, 压坑的尺寸见表 13-29	
4 包缠绝缘带	在剖去绝缘层的铝芯导线和铝接线端子根部包上绝缘带(绝缘带要从导线绝缘层包起), 并刷去接线端子表面的氧化层	

表 13-29 铝接线端子压接坑尺寸

(mm)

导线截面/mm <sup>2</sup>	A	C	B	L
16	13	2	2	32
25	13	2	2	32
35	13	2	2	32
50	14	3	3	37
70	15	3	4	40
95	17	3	4	45
120	17	5	5	48
150	18.4	5	5	50
185	18.7	6	6	53
240	20.8	6	6	60



## 第六节 封闭式母线槽安装

近年来,在现代化高层建筑、体育场馆和工业厂房中,采用封闭式母线槽(简称母线槽)作为低压配电干线十分普遍,母线槽配电系统安装如图 13-20 所示,可作为连接电力变压器和低压配电屏的线路,也可作为低压配电屏引出的配电干线线路,并可通过在母线槽上的插接孔安装插接式开关箱,很方便地引出电源支路。由此可见,母线槽具有体积小、结构紧凑、传输电流大(额定工作电流为 250A~315A 等 10 种规格)、绝缘强度高、防潮性能好、使用寿命长、配电安全、维护简便和外形美观等特点。

母线槽可分为交流三相三线制、三相四线制和三相五线等三种类型,额定电压 400V,额定电流为 250~3150A,其产品型号表示格式及含义为:



例如 CCX1-800/4A 则表示三相四线制,无插接孔直母线槽,额定电流为 800A。在安装母线槽之前,应先对母线槽进行外观检查,尤其是接头搭接面的质量应满足要求,以免由于接触电阻增大而使接头严重发热。

母线槽的安装,应在所安装部位的建筑装饰工程与地下室暖卫通风管道安装基本结束后进行。在熟悉图纸前提下,首先要选用合适的母线槽。在选择母线槽时,各种母线槽单位应尽量选用标准长度;穿墙孔洞母线槽的最小长度应为墙体厚度再加上 520mm;穿楼板孔洞的母线槽,为了便于安装弹簧支撑器,其最小长度应为地板厚度再加上 950mm;对于 2500A 及以上的母线槽,由于母线规格较大,为了便于安装,应选用长度 2m 及以下的为宜,选用带插接孔的母线槽应满足设计的插接孔高度或插接式开关箱的安装高度、位置的要求。另外为了减少母线槽热胀冷缩因素的影响,母线槽连续长度超过 150m 时,中间应增设一节膨胀节母线槽。另外,还要配合土建施工预埋螺栓、现场开洞、现场走向测量、支吊架制作安装、母线固定连接、产品保护、测试通电和检查验收交付使用。母线槽敷设一般是从地下室的高低压配电室到配电竖井的各层小配电间逐段依次安装。母线槽在配电室及配电竖井内小配电间的安装,由于受空间条件的限制,还要同其它工种交叉施工等,所以会给母线安装带来一定难度。由于安装环境、安装工艺方法、安装后的产品保护等,都对母线槽安装质量和安全运行有直接影响。因此,必须加强施工现场管理,切实根据图纸按母线槽安装的技术标准和工艺要求,在施工全过程中认真实施,以保证母线槽的安装质量和运行安全。

### 一、划线及预留孔洞

根据图纸设计要求及时配合土建结构进行穿墙、穿楼板孔洞的预留。认真核对预埋孔洞的坐标位置和尺寸。要保证在配电竖井内垂直方向各穿楼板的孔洞应在同一直线上,洞口大小一致。并且在母线槽安装之前还应放线检查穿墙和穿楼板的孔洞是否符合要求,否则就要及时采取补救措施。

表 13-30 封闭式母线槽功能单元代号含义表

代 号	功能单元名称	代 号	功能单元名称
A	无插孔直线母线槽	M	X 型垂直接头母线槽
B	无插孔终端母线槽	N	变向节母线槽( 双大头 )
C	进线箱	D	变向节母线槽( 双小头 )
D	终端盒	Q	Z 型水平接头母线槽
E	L 型水平接头母线槽	R	Z 型垂直接头母线槽
F	L 型垂直接头母线槽	S	一插孔直线母线槽
G	T 型水平接头母线槽	T	二插孔直线母线槽
H	T 型垂直接头母线槽	U	三插孔直线母线槽
J	膨胀节母线槽	W	一插孔终端母线槽
K	变容量( 变截面 )母线槽	X	插接式开关箱
L	X 型水平接头母线槽	Y	插接式接线箱

注 插接式开关箱型号为 CCX1 - □/□X ,正面操作 ,CCX1 - □/□XA 侧面操作 ,箱内均有自动空气开关 DZ10 或 DZ20 ; CCX1 - □/□XB 正面操作 ,箱内有限流型自动空气开关 ;CCX1 - □/□XC、CCX1 - □/□XD 均为多回路箱 ,分别装有多自动空气开关和多个熔断器。

## 二、按施工现场母线槽走向绘制 母线槽安装图 ,交付生产加工

土建结构封顶后 ,对母线槽安装走向和长度要进行实地测量 ,要求测量的精确度要高 ,保证母线安装连接及标高的要求。在测量走向时应注意母线槽不得在水管、气管的下方平行敷设 ,有交叉时应在管道的上方敷设 ,两段单元母线槽连接点不得设在穿墙和穿楼板处 ,测量时还应注意插接箱分支点插孔应设在安全及维护方便的地方 ,母线槽在狭小空间及配电柜内敷设要注意留有一定散热空间 ;母线槽敷设长度超过 40m 应增设伸缩节 ,要尽量减少线路的弯曲 ,以减少配件连接 ,画出走向图 ,最后将测量的每段母线槽长度和配件进行顺序编号 ,交生产制造厂家生产加工。

## 三、埋设母线槽安装支架

支架或吊架制作、安装应按设计和产品技术文件的规定进行 ,根据施工现场结构型式 ,采用角钢或槽钢制作。如用“ - ”、“L”、“X”、“Z”等多种类型 ,应按母线槽的载流量及外壳尺寸来选定。支架或吊架及其配件应采用镀锌材料 ,并做好防腐处理。水平方向敷设的母线支架间距不宜大于 2m ;垂直方向敷设在通过楼板处应采用专用弹簧支撑器固定 ;母线槽末端悬空、拐弯处及与接线盒和配电箱(柜)连接处均应安装支架固定 ,并禁止母线直接靠墙安装。

## 四、母线槽固定安装

母线槽固定连接非常关键 ,它关系到所安装的母线槽能否正常通电运行。母线槽固定连接前 ,首先根据

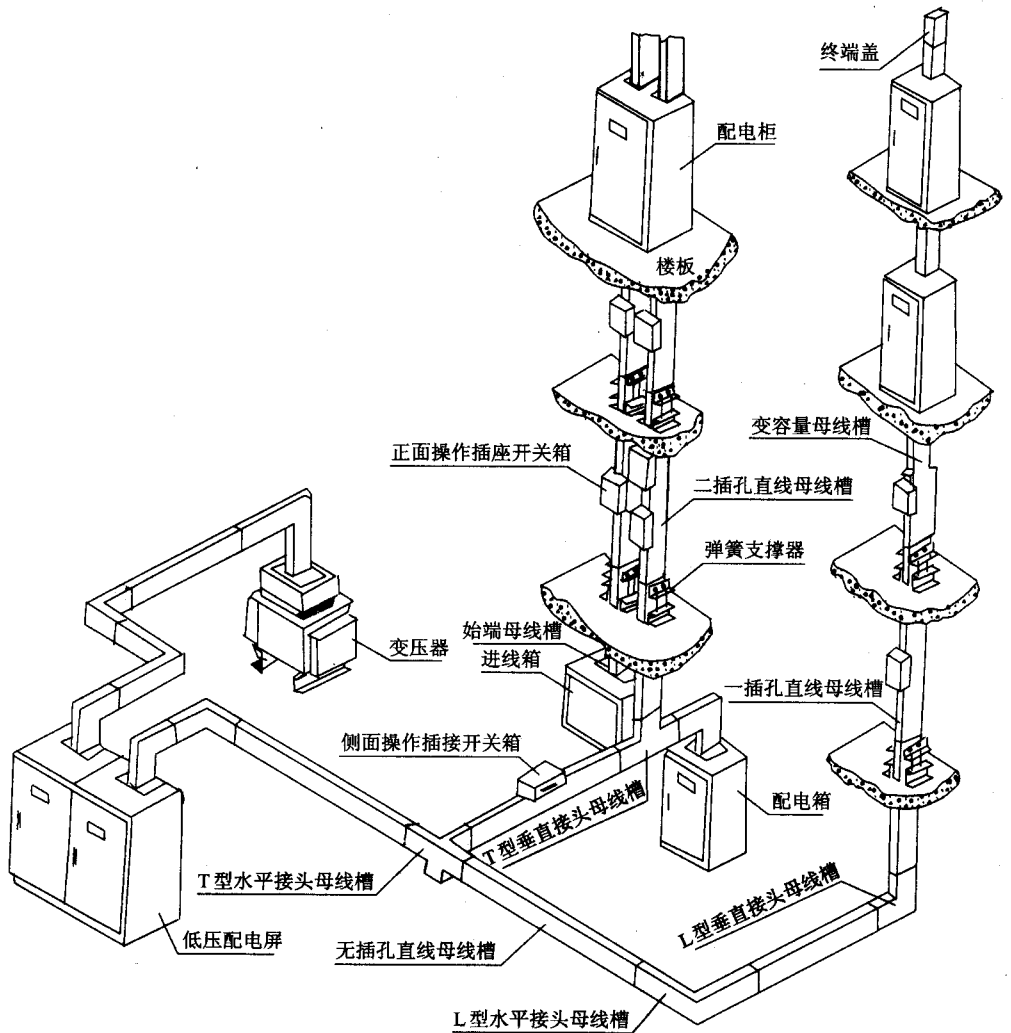


图 13-20 封闭式母线槽配电系统安装示意图

施工图纸、母线槽及其附件清单、现场测量走向图等记录,核对母线槽及配件规格、数量、品种、长度尺寸、顺序编号等是否符合设计和施工现场要求。母线槽分段标志应清晰齐全,内外均多无损坏。母线槽固定连接时,为了达到产品保护目的,除将母线槽首尾端包装拆除外,其余母线槽外壳包装暂不拆除。将要安装的首段母线槽在支架上固定牢,在首端或尾端连接处放入绝缘板,把需连接的母线槽首端或尾端平整放入,穿入连接绝缘螺栓,调直母线槽后缓缓旋紧螺栓。紧固后要求用 $0.01\text{mm}$ 塞尺检查,保证连接可靠,盖上盖板。再将接地线连接板固定于两段母线槽首尾连接处,并用万用表 $1\Omega$ 档检测,测得电阻值不得大于 $0.1\Omega$ ,以保证接地连接板与母线槽外壳接触良好。然后在母线槽系统的始端和终端分别接上接地保护线(PE线)。在各层配电小间的母线槽上安装插接箱后,按设计要求从配电竖井内接地干线接出规格符合IEC标准的PE线与插接箱PE端子连接,插接箱的外壳与母线槽外壳应有良好的电气连接。为了达到母线槽外壳良好接地保护目的,母线槽系统始、终两端的PE线可采用不小于 $16\text{mm}^2$ 的BV铜芯线从接地干线接至。接地线不得用其它材料与母线槽外壳焊接,以免破坏母线槽外壳。有接地保护的母线槽外壳,不得用来作为其它设备的接地保护线。

## 五、母线槽检测验收

母线槽安装要确保绝缘强度达到规定要求。由于母线槽在运输、储存、施工过程中容易受潮,在与其它工种交叉施工中,水泥砂浆、粉尘等杂物也容易侵入,从而降低了母线槽内部的绝缘强度,严重时会造成相间短路,使其无法通电运行。因此,母线槽在安装前应逐个单元进行绝缘测试,安装连接后,再进行系统总绝缘测试,其绝缘电阻值不得小于 $0.5M\Omega$ 。若不符合要求,应及时采取相应措施,直到符合要求后方可通电试验。母线槽一般空载通电运行24h后,再接上负载检查,如果无异常现象发生,方可验收交付使用。

此外,产品保护也是母线槽安装的关键环节。因此在母线槽安装前就应先检查施工现场,如屋顶、楼板是否有积水和渗漏现象,配电竖井口土建是否有防水措施。母线槽及配件运至现场后,应储存在室内仓库妥善保管,防止水、腐蚀性气体的侵蚀和机械损伤。母线槽安装后,应对其外壳、插接箱、终端母线槽采取保护措施。母线槽在穿过楼板和墙洞时,不得用水泥砂浆封堵,应采用防火阻燃材料将母线槽四周填实。

母线槽安装除上述应采取的技术措施外,选择母线槽产品也至关重要。产品要质量可靠,各项技术质量性能指标应符合国家标准,其生产厂家售后服务好,技术力量雄厚,这是母线槽长期安全运行的重要保证。

## 六、钢索线路的安装与维护

当厂房的建筑物屋架较高、跨距较大,而灯具安装又要求较低时,可采用钢索配线,这样可降低灯具的安装高度,提高被照面的照度,也便于灯位的布置。

### (一) 钢索及其附件的选择

钢索配线的钢索,应优先使用镀锌钢索,在潮湿或有腐蚀性介质及易积纤维灰尘的场所,为防止钢索锈蚀,影响安全运行,应使用塑料护套钢索。钢索配线由于含油芯的钢索易积灰尘而锈蚀,故不得使用含油芯的钢索。

1. 钢索 钢索一般用钢丝绳或圆钢制作,为了保证钢索的强度,使用的钢索不应有扭曲、构股和断股、抽筋现象。常用钢丝的技术数据如表13-31所示。

选用圆钢作钢索时,在安装前应调直、拉伸和刷防锈漆。如采用镀锌圆钢,在调直、拉伸时不得损坏镀锌层。常用的热轧圆钢规格如表13-32所示。

不同的布线方式,不同截面的导线,使钢索承受的拉力也不同。钢索布线用的钢绞线和圆钢的截面,应根据跨距、荷重、机械强度选择。采用钢绞线时,最小截面不宜小于 $10\text{mm}^2$ ;采用镀锌圆钢做为钢索,直径不应小于 $10\text{mm}$ 。

表 13-31 常用钢丝绳的技术数据

钢丝绳规格	直径		参考质量 /kg/m	钢丝绳公称抗拉强度/ $\text{kN}/\text{mm}^2$		
	钢丝绳	钢丝		1373	1520	1667
	/mm			钢丝绳破断拉力总和 (kN)不小于		
1×37	2.8	0.4	0.039	6.38	7.06	7.74
	3.5	0.5	0.061	9.90	10.98	12.05
6×7	3.8	0.4	0.05	7.2	8.02	8.79
	4.7	0.5	0.079	11.27	12.45	13.72

6×19	6.2	0.4	0.135	19.6	21.66	23.81
	7.7	0.5	0.211	30.3	33.91	53.61
7×7	3.6	0.4	0.055	8.43	9.34	10.19
	4.5	0.5	0.086	13.13	14.60	15.97
7×19	6.0	0.4	0.147	22.83	25.28	27.73
	7.5	0.5	0.229	35.77	39.59	43.41
8×19	7.6	0.4	0.188	26.17	28.91	31.75
	9.5	0.5	0.294	40.87	45.28	49.69

表 13-32 热轧圆钢规格

直径 /mm	理论质量 (kg/m)	直径 /mm	理论质量 (kg/m)	直径 /mm	理论质量 (kg/m)
5	0.154	11	0.746	19	2.23
5.5	0.186	12	0.888	20	2.47
6	0.222	13	1.04	21	2.72
6.5	0.260	14	1.21	22	2.98
7	0.302	15	1.39	24	
8	0.395	16	1.58	25	
9	0.499	17	1.78		
10	0.617	18	2.00		

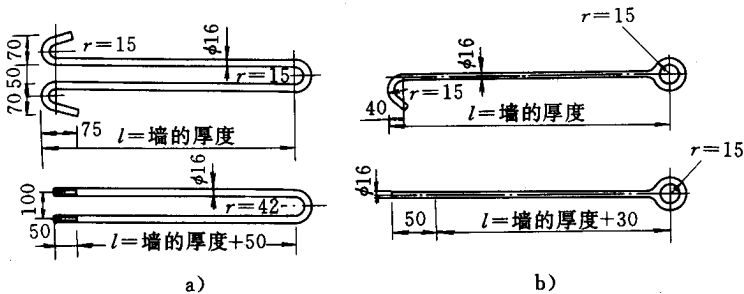


图 13-21 拉环外形

a) 一式拉环 b) 二式拉环

二式拉环的接口处应焊死，二式拉环适用于受拉 $\leq 3900\text{N}$ 处。

3. 花篮螺栓 花篮螺栓用于拉紧钢索，并起调整松紧作用。

花篮螺栓的外形如图 13-22 所示。其型号和规格如表 13-33 所示。

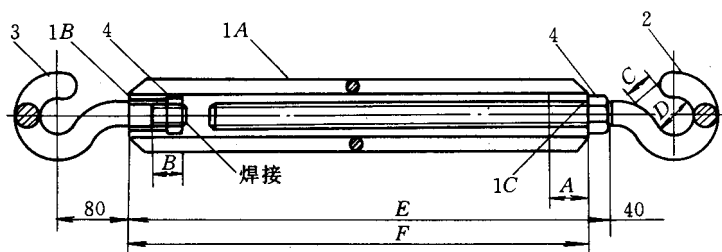


图 13-22 花篮螺栓外形

表 13-33 花篮螺栓型号及规格

编号	名称	型号及规格/kg			编号	名称	型号及规格/kg		
		1000	600	400			1000	600	400
1A	调节螺母	$\phi 10$	$\phi 8$	$\phi 6$	A	25	21	18	
1B		$\phi 30$	$\phi 28$	$\phi 25$	B	20	18	17	
1C		M16	M14	M12	C	$\phi 17$	$\phi 15$	$\phi 13$	
2	吊环	M16	M14	M12	D	28	24	22	
3	吊环	M16	M14	M12	E	210	190	160	
4	螺母	M16	M14	M12	F	250	230	200	
					G	24	20	18.5	

钢索的弛度大小影响钢索所受的张力,钢索的弛度是靠花篮螺栓调整的,如果钢索长度过大靠一个花篮螺栓不易调整好钢索的弛度。钢索长度在 50m 及以下时,可在一端装花篮螺栓,超过 50m 时,两端均应装花篮螺栓,每超过 50m 时应增加一个中间花篮螺栓。

4. 钢索绳套环 钢索绳套环又称索具套环、心形环,是钢绞线的固定连接附件。在钢绞线与钢绞线或其它附件间连接时,钢绞线一端嵌在套环的凹槽中,形成环状,可保护钢绞线在连接弯曲部分受力时不易折断。钢索绳套环的外形如图 13-23 所示。技术数据如表 13-34 所示。

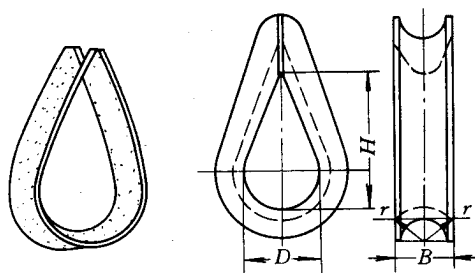


图 13-23 钢索绳套环外形

表 13-34 钢丝绳套环的技术数据

(m)

套环号码	许用负荷 /kN	适用钢丝绳 最大直径	套环宽度 $B$	环孔直径 $C$	环孔高度 $H$
0.1	1	6.5(6)	9	15	26
0.2	2	8	11	20	32
0.3	3	9.5(10)	13	25	41
0.4	4	11.5(12)	15	30	48
0.8	8	15.0(16)	20	40	64
1.3	13	19.0(20)	25	50	80
1.7	17	21.5(22)	27	55	88
1.9	19	22.5(24)	29	60	96
2.4	24	28	34	70	112
3.0	30	31	38	75	120
3.8	38	34	48	90	144
4.5	45	37	54	105	168

注 括号内数字为习惯称呼直径。

5. 钢丝绳夹头 钢丝绳夹头又称钢丝绳夹、钢索卡等。钢丝绳夹头与钢丝绳索配合作夹紧钢索末端用。钢丝绳夹头的外形如图 13-24 所示,规格如表 13-35 所示。

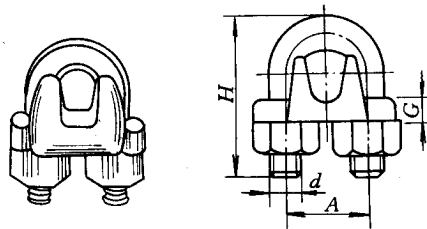


图 13-24 钢丝绳夹头外形

表 13-35 钢丝绳夹头标准产品规格尺寸

公称尺寸 /mm	主要尺寸/mm			
	螺栓直径 $d$	螺栓中心距 $A$	螺栓全高 $H$	夹座厚度 $G$
6	M3	13.0	31	6
8	M8	17.0	41	8
10	M10	21.0	51	10
12	M12	25.0	62	12
14	M14	29.0	72	14
16	M14	31.0	77	14

公称尺寸 /mm	主要尺寸/mm			
	螺栓直径 $d$	螺栓中心距 $A$	螺栓全高 $H$	夹座厚度 $G$
18	M16	35.0	87	16
20	M16	37.0	92	16
22	M20	43.0	108	20
24	M20	45.5	113	20
26	M20	47.5	117	20
28	M22	51.5	127	22
32	M22	55.5	136	22
36	M24	61.5	151	24
40	M27	69.0	168	27
44	M27	73.0	178	27
48	M30	80.0	196	30
52	M30	84.5	205	30
56	M30	88.5	214	30
60	M36	98.5	237	36

注 1. 绳夹的公称尺寸,即等于该绳夹适用的钢丝绳直径。

2. 当绳夹用于起重机上时,夹座材料推荐采用 Q235A 钢或 ZG35 II 碳素钢铸件制造。其他用途绳夹的夹座材料有 KT35—10 可锻铸铁或 QT42—10 球墨铸铁。

## (二) 钢索的安装

在墙上安装钢索的方法如图 13-25 所示。

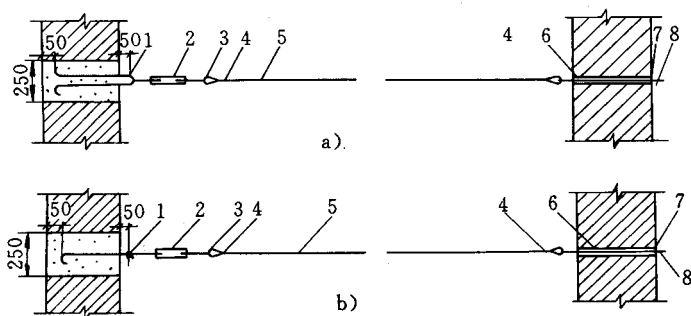


图 13-25 墙上安装钢索

a) 钢索安装方法一 b) 钢索安装方法二

1、8—拉环 2—花篮螺栓 3—钢丝绳套环 4—钢丝绳夹头

5—钢索 6—套管 7—垫板

在墙上安装钢索,使用的拉环根据拉力的不同,安装方法也不相同,左右两种拉环及其安装方法,应视现场施工条件选用。



拉环应能承受钢索在全部荷载下的拉力。拉环应固定牢固、可靠,防止拉环被拉脱,造成重大事故。

钢索布线敷设导线及安装灯具后,钢索的弛度不应大于 100mm,如不能达到时,应增加中间吊钩。图 13-25 中的右侧拉环在砌体墙上安装,应在墙体施工阶段配合土建专业施工预埋 DN25 钢管做套管,一式拉环受力按  $\leq 3900\text{N}$  考虑,应预埋一根套管,二式拉环应预埋两根 DN25 套管。左侧拉环应预埋两根 DN25 套管。左侧拉环需在混凝土梁或圈梁施工中进行预埋。钢索布线绝缘导线至地面的最小距离,在室内时不应小于 2.5m。

钢索的安装应在土建工程基本结束,并对施工有影响的模板、脚手架拆除完毕,杂物清理干净后进行。

右侧一式拉环在穿入墙体内的套管后,需在靠外墙的一侧垫上一块  $120\text{mm} \times 75\text{mm} \times 5\text{mm}$  的钢制垫板。

在拉环的环形一端在不安装花篮螺栓时,应套好钢丝绳套环。

钢索在安装前应先用略大于设计值的拉力预拉伸,以减少安装后的伸长率。

用钢绞线作钢索时,钢索端头绳头处应用镀锌铁线扎紧,防止绳头松散。然后穿入拉环中的钢丝绳套环内。用不少于两个钢丝绳轧头固定,确保钢索连接可靠,防止钢索发生脱落事故。如果钢索为圆钢,端部可顺着钢丝绳套环煨成环形圈,并将圈口焊牢,当焊接有困难时,也可使用钢丝绳轧头固定两道。

钢索在一端固定好后,在另一端拉环上装上花篮螺栓。但花篮螺栓的两端螺杆,均应旋进螺母内,使其保持最大距离,以备进一步调整钢索的弛度。

在钢索的另一端,可用紧线器拉紧钢索,与花篮螺栓吊环上的钢丝绳套环相连接,剪断余下的钢索,将端头用金属线扎紧。再用钢丝绳轧头固定不少于两道。紧线器要在花篮螺栓受力后才能取下,花篮螺栓应紧至适当程度,最后,用铁丝将花篮螺栓绑扎,防止脱钩。

钢索的两端需要拉紧固定,在中间也需要进行固定,为保证钢索张力不大于钢索允许应力,固定点的间距不应大于 12m,中间吊钩宜使用圆钢,圆钢直径不应小于 8mm,为了钢索受外界干扰的影响发生跳脱现象,造成钢索张力加大,导致钢索拉断,吊钩的深度不应小于 20mm,并应设置防止钢索跳出的锁定装置。

固定钢索的支架、吊钩在加工后应镀锌处理或刷防腐漆。

### (三) 钢索配线

1. 钢索吊装塑料护套线配线 钢索吊装塑料护套线配线采用铝片线卡将塑料护套线固定在钢索上,使用塑料接线盒与接线盒安装钢板,将照明灯具吊装在钢索上。塑料接线盒及接线盒固定钢板如图 13-26 所示。

在布线时,按设计要求先在钢索上确定好灯位的准确位置,把接线盒的固定钢板吊挂在钢索的灯位处,将塑料接线盒如图 13-26a 所示底部与固定钢板上的安装孔应连接牢固。

塑料护套线的敷设,可根据线路长短距离,采用不同的敷设方法。

敷设短距离护套线,可测量出两灯具间的距离,留出适当余量,将塑料护套线按段剪断,进行调直然后卷成盘。敷线从一端开始,一只手托线,另一只手用铝片线卡(钢精轧头)将护套线平行卡吊于钢索上。

敷设长距离塑料护套线时,将护套线展放并调直后,在钢索两端做临时绑扎,要留足灯具接线盒处导线的余量,长度过长时中间部位也应做临时绑扎,把导线吊起。用铝片线卡根据最大距离的要求,把护套线平行卡吊于钢索上。

用铝片线卡在钢索上固定护套线,为确保钢索吊装护套线布线固定牢固,应均匀分布线卡间距,线卡距灯头盒间的最大距离为 100mm,线卡之间最大间距为 200mm,线卡间距应均匀。

为了准确确定线卡位置并使其均匀一致,在敷设时可用经始线(白线绳)或白布带制作长度适当的软尺,最大在每隔 200mm 处用红色钢笔墨水划一标记,布线前把软尺拉紧在灯位处做临时固定,夹持铝片线卡即可根据软尺上的标记进行固定,能够保证线卡间距均匀。

敷设后的护套线应紧贴钢索,无垂度、缝隙、扭劲、弯曲、损伤。

钢索吊装塑料护套线布线的照明灯具一般使用吊链灯,灯具吊链可用螺栓与接线盒固定钢板下端的螺栓连接固定。当采用双链吊链灯时,另一根吊链可用  $20 \times 1\text{mm}$  的扁钢吊卡和  $M6 \times 20$  螺栓固定,如图 13-27 所示。

2. 钢索吊装线管配线 钢索吊装线管配线是采用扁钢吊卡将钢管或硬质塑料管以及灯具吊装在钢索上,并在灯具上装好铸铁吊灯接线盒。扁钢吊卡如图 13-28 所示。铸铁吊灯接线盒如图 13-29 所示。

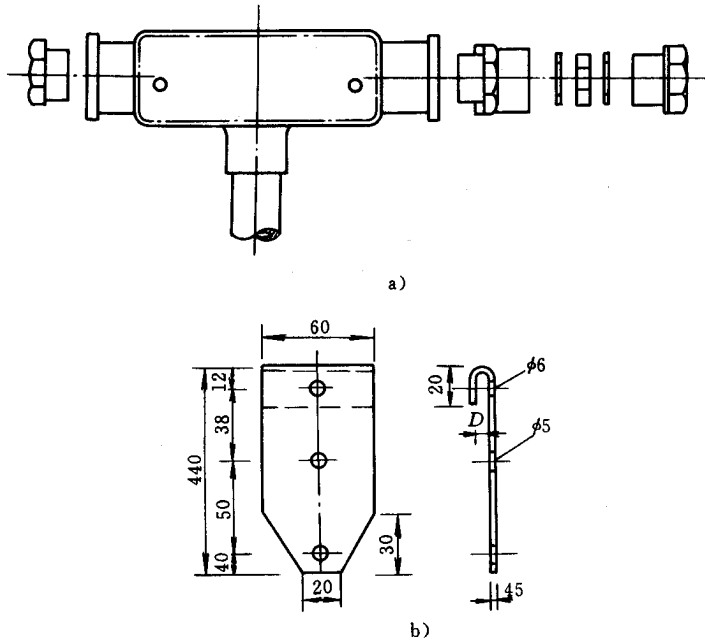


图 13-26 塑料接线盒及接线盒固定钢板

a) 塑料接线盒 b) 接线盒固定钢板

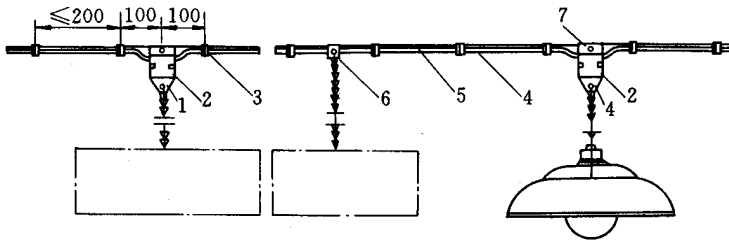


图 13-27 钢索吊装塑料护套线配线

1—接线盒固定钢板 2—塑料接线盒 3—铝片线卡 4—塑料护套线  
5—钢索 6—吊卡 7—螺栓

钢索吊装线管配线,先按设计要求确定好灯位的位置,测量出每段管子的长度,然后加工。

使用钢管或电线管应进行调直,然后切断、套丝、煨弯。使用硬质塑料时,要先煨管、切断,为布管的连接做好准备工作。

在吊装钢管布管时,应按照先干线后支线的顺序进行,把加工好的管子从始端到终端按顺序连接,管与铸铁接线盒的丝扣应拧牢固。将钢管逐段用扁钢卡子与钢索固定。

扁钢吊卡的安装应垂直、平整牢固,间距均匀,每个灯位铸铁接线盒应用 2 个吊卡固定,钢管上的吊卡距接线盒间的最大距离不应大于 200mm,吊卡之间的间距不应大于 1500mm。

当双管平行吊装时,可将两个吊管卡对接起来进行吊装,管与钢索的中心线应在同一平面上。此时灯位处的铸铁接线盒应吊 2 个管吊卡与下面的钢管吊装。

吊装钢管布管完成后应做整体的接地保护,管接头两端和铸铁接线盒两端的钢管应用适当的圆钢做接地线焊牢,并应与接线盒焊接。钢索吊装线管配线如图 13-30 所示。

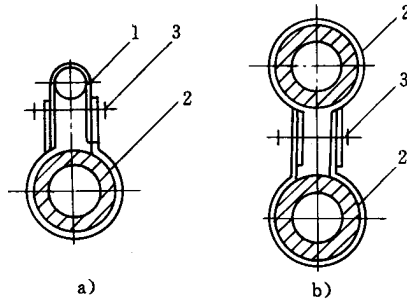


图 13-28 扁钢吊卡  
 a) 钢索吊卡 b) 管吊卡  
 1—20×1 吊卡 2—20×1 吊卡  
 3—M6×20 螺栓

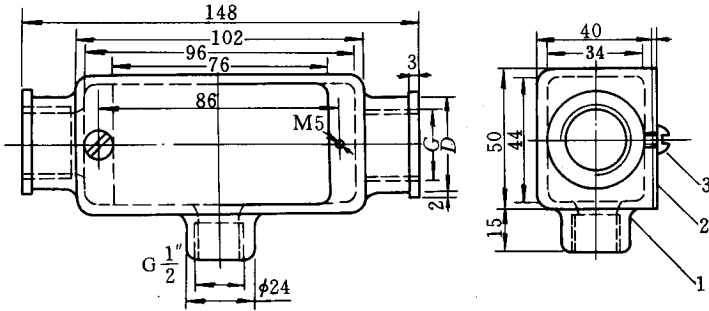


图 13-29 铸铁吊灯接线盒  
 1—接线盒 2—接线盒盖 3—螺栓

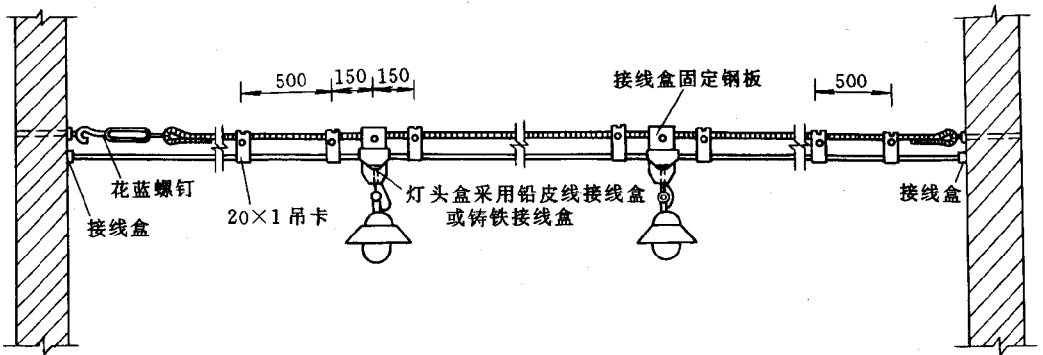


图 13-30 钢索吊装线管配线

## 第十四章 母线安装与维护

### 第一节 硬母线的加工和安装

#### 一、硬母线加工和防腐处理

母线矫正平直和切断平整是母线加工工艺的基本要求,也是保证安装后的母线达到横平竖直、整齐美观的必要条件。

相同布置的主母线、分支母线、引下线及设备连接线应对称一致,横平竖直,整齐美观。

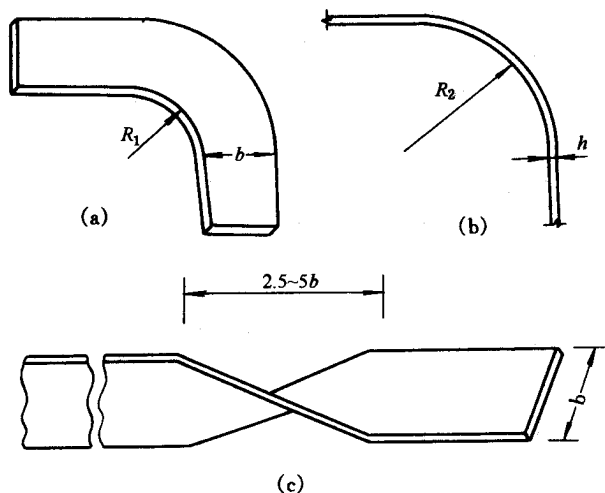


图 14-1 母线弯曲方法

(a)平弯 (b)立弯 (c)扭弯

成套供应的封闭母线、插接母线槽的各段应标志清晰,附件齐全,外壳无变形,内部无损伤。螺栓固定的母线搭接面应平整,其镀银层不应有麻面、起皮及未覆盖部分。

#### (一) 矩形母线的加工

矩形母线应进行冷弯,不得进行热弯。矩形母线若用热煨弯会使母线严重退火和起皱,而且需反复捶打,影响母线原来的质量。目前国内已能生产各种规格母线的冷弯机,母线弯曲有平弯、立弯和扭弯,如图 14-1 所示。

母线弯曲应符合下列规定:平弯时,当母线为  $50 \times 5\text{mm}$  以下,  $R_1 = 1.5b$ ; 母线为  $60 \times 5\text{mm}$  以上,  $R_1 = 2b$ 。立弯时,当母线为  $50 \times 5\text{mm}$  以下,  $R_2 = 2h$ ; 母线为  $60 \times 5\text{mm}$  以上,  $R_2 = 2.5h$ , 不大于两个支持点的四分之一。

母线开始弯曲处距最近绝缘子的母线支持夹板边缘不应大于  $0.25l$  ( $l$  为母线长), 但不得小于  $50\text{mm}$ 。母线开始弯曲处距母线连接位置不应小于  $50\text{mm}$ 。矩形母线应减少直角弯曲, 弯曲处不得有裂纹及显著的折皱。母线的最小弯曲半径应符合表 14-1 的规定。多片母线的弯曲度应一致。

表 14-1 母线最小弯曲半径

(mm)

母线种类	弯曲方式	母线断面尺寸	最小弯曲半径		
			铜	铝	钢
矩 形 母 线	平弯	50×5 及以下	2b	2b	2b
		125×10 以下	2b	2.5b	2b
	立弯	50×5 及以下	1h	1.5h	0.5h
		125×10 以下	1.5h	2h	1h
棒 形 母 线		直径 16 及以下	50	70	50
		直径 30 及以下	150	100	150

矩形母线因弯曲的角度大小不同, 其弯曲处发热温升也不同, 直角弯曲处的温升可比  $45^\circ$  弯曲处高  $10^\circ\text{C}$  左右, 故应减少直角弯曲。为了避免弯曲处出现裂纹及显著的折皱, 其弯曲半径应尽可能大于规定的弯曲半径值。多片母线的弯曲程度应一致, 以求整齐美观。

## (二) 铝合金管母线的加工

铝合金管母线加工切断的管口应平整, 且与轴线垂直。管子的坡口应用机械加工, 坡口应光滑、均匀、无毛刺。母线对接焊口距母线支持器夹板边缘距离不应小于  $50\text{mm}$ 。按制造长度供应的铝合金管, 其弯曲度不应超过表 14-2 的规定。

表 14-2 铝合金管允许弯曲度值

管子规格 (mm)	单位长度内的弯曲度 (mm/m)	全长内的弯曲度 (mm/L)
直径为 150 以下冷拔管	< 2.0	< $2.0 \times L$
直径为 150 以下热挤压管	< 3.0	< $3.0 \times L$
直径为 150~200 热挤压管	< 4.0	< $4.0 \times L$

注:  $L$  为管子的制造长度(m)。

母线的机械性能和电阻率见表 14-3。

表 14-3 母线的机械性能和电阻率

母线名称	母线型号	最小抗拉强度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	最小伸长率 (%)	20℃最大电阻率 ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )
铜母线	TMY	255	6	0.01777
铝母线	LMY	115	3	0.0290
铝合金管母线	LF <sub>21</sub> 2Y	137	—	0.0373

## (三) 各种金属构件及母线的防腐处理要求

金属构件除锈应彻底, 防腐漆应涂刷均匀, 粘附牢固, 不得有起层、皱皮等缺陷。否则, 涂在未除净的金属氧化物上的防腐漆, 会因氧化物脱落而脱落, 金属又会重新暴露在空气中继续氧化, 所涂防腐漆起不到应

有的防腐作用。在特别恶劣环境中的金属构件,仅靠涂防腐漆往往效果不好,所涂漆层短期内即可能脱落,金属继续遭受外界环境的侵蚀,为此,规定采用热镀锌,在这种环境下的母线也应涂相应的防腐涂料。

在有盐雾、空气相对湿度接近 100% 及含腐蚀性气体的场所,室外金属构件应采用热镀锌。

## 二、硬母线的安装

### (一) 母线安装

母线与卡板的安装如图 14-2 所示。

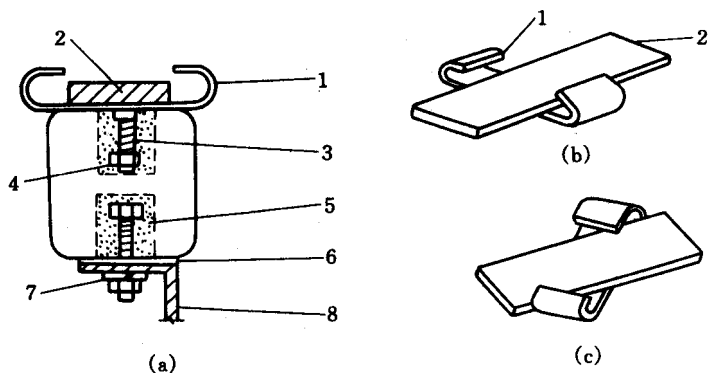


图 14-2 母线安装与卡板关系示意图

(a) 母线与绝缘子 (b) 母线卡板 (c) 卡固母线

1. 母线卡板 2. 母线 3. 螺栓 4. 螺母 5. 水泥砂浆  
6. 石棉垫或橡胶垫 7. 弹簧垫圈 8. 角钢

当母线在支柱绝缘子上固定时,母线固定金具与支柱绝缘子间的固定应平整牢固,不应使其所支持的母线受到额外应力。交流母线的固定金具或其它支持金具不应成闭合磁路。当母线平置时,母线支持夹板的上部压板应与母线保持 1~1.5mm 的间隙;当母线立置时,上部压板应与母线保持 1.5~2mm 的间隙。母线在支柱绝缘子上的固定死点,每一段应设置一个,并宜位于全长或两母线伸缩节中点,管形母线安装在滑动支持器上,支持器的轴座与管母线之间应有 1~2mm 的间隙。母线固定装置应无棱角和毛刺。

母线在运行中通过的电流是变化的,发热状况也是变化的,所以母线在支柱绝缘子上的固定既要牢固,又要能使母线自由伸缩,以免使其受到额外的应力。为避免交流母线因产生涡流而发热,金具之间不能形成闭合磁路。金具有棱角、毛刺会产生电晕放电,造成损耗和对弱电的信号干扰。

### (二) 硬母线的连接

应采用焊接、贯穿螺栓连接或夹板及夹持螺栓搭接,管形和棒形母线应用专用线夹连接,严禁用内螺纹管接头或锡焊连接。现国内已生产与管形及棒形母线连接用的专用线夹,故应该采用专用线夹连接。锡焊的熔点太低,采用锡焊的接头当通过大电流时会因温度升高而将焊锡熔化,故严禁用锡焊连接。

母线与母线或母线与电器接线端子的螺栓搭接面的安装,应使母线加工接触面保持清洁,并涂以电力复合脂。母线平置时,贯穿螺栓应由下往上穿,其余情况下,螺母应置于维护侧,螺栓长度宜露出螺母 2~3 扣。贯穿螺栓连接的母线两外侧均应有平垫圈,相邻螺栓垫圈间应有 3mm 以上的净距,螺母侧应装有弹簧垫圈或锁紧螺母。螺栓受力应均匀,不应使电器的接线端子受到额外应力。母线的接触面应连接紧密,连接螺栓应用力矩扳手紧固,其紧固力矩值应符合表 14-4 的规定。

表 14-4 螺栓连接接头紧固力矩值

螺栓规格(mm)	力矩值(N·m)	螺栓规格(mm)	力矩值(N·m)
M8	8.8~10.8	M16	78.5~98.1
M10	17.7~22.6	M18	98.0~127.4
M12	31.4~39.2	M20	156.9~196.2
M14	51.0~60.8	M24	274.6~343.2

中性凡士林滴点太低,只有 54℃,在正常的运行温度(70℃)情况下,早已流淌,使母线接头间产生间隙,灰尘、水分随之浸入间隙中,增加了母线接头的接触电阻,引起接头发热;另外,中性凡士林对铜、铝母线连接所产生的电化腐蚀无缓解作用,抗盐雾能力差。现在国内已生产多种电力复合脂,其滴点可高达 180~220℃,在较高温度下不会流淌。耐热铝合金导线的运行温度在 150℃以上,故只能用滴点高的电力复合脂。电力复合脂中含有导电的金属填料,故导电性能好,而且该填料的电位介于铜和铝之间,所以有缓解铜、铝导体连接的电化腐蚀作用。和中性凡士林相比,在相同的接触压力下,采用电力复合脂的接头,接触电阻较小。它将取代凡士林。

### (三) 母线搭接操作

矩形母线采用螺栓固定搭接,连接处距支柱绝缘子的支持夹板边缘不应小于 50mm;上片母线端头与下片母线平弯开始处的距离不应小于 50mm。母线扭转 90°时,若每相由多片母线组成,为使扭转程度一致,扭转部分的长度就将随片数的增加而加长,故规定其扭转部分的长度在 2.5~5 倍母线宽度之间选取。母线扭转 90°时,其扭转部分的长度应为母线宽度的 2.5~5 倍。

钻螺孔应垂直,螺孔间中心距离的误差允许为  $\pm 0.5\text{mm}$ ,为此,螺孔的直径宜大于螺栓直径 1mm。这样的钻孔要求能保证连接时顺利穿通螺栓。以往有的在钻孔时,将螺孔直径加大到大于螺栓直径 2mm,这样将会减小接触面的有效面积,使接头发热。无论是金属构件连接用的或母线安装用的螺孔均应使用机械进行钻孔,以防止孔眼不规则而影响安装质量。

母线接触面加工是否平整,氧化膜是否打磨干净,是母线能否紧密接触和不过热的关键。铝的氧化物其电阻率高达  $1 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ,而纯铝的电阻率只有  $2.9 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ,两者相差甚大。因此,在母线接触面加工时,一定要在锉平母线的过程中不断用直尺进行透光检查,透光必须一致,保证接触面平整。在有条件的地方,母线接触面可采用机加工。

为了防止加工好的接触面表面再次氧化形成新的氧化膜,可按照电力复合膜的施工工艺除去接触面的氧化膜。经加工后其截面减小值,铜母线不应超过原截面的 3%,铝母线不应超过原截面的 5%。具有镀银层的母线搭接面,不得任意锉磨。

### (四) 螺栓联接操作

为便于运行人员巡视检查和维护方便,规定了螺栓的穿向及螺栓露出螺母的长度要求。为避免母线接头紧固螺栓间形成闭合磁路,相邻螺栓的垫圈间应有 3mm 以上间隙。至于所用平垫圈,以前母线螺栓用特制厚平垫圈,其母线螺栓采用普通标准平垫圈也是可以的。

母线与电器接线端子的连接,通常多为套管接线端子,故在螺栓紧固时,不应使接线端子受到额外的应力。在施工时,终线钻孔尺寸应与连线端子匹配,在端子处,母线如需平弯,尺寸一定要准确。

母线搭接面以前一直沿用塞尺检查。这一方法不能充分有效地反映接触面的实际情况,而应该采用力矩扳手紧固。力矩扳手紧固螺栓可使每个相同直径的螺栓对工件的压力相等,受力均匀,可增加母线接头接触面,从而减少接触电阻,使母线不致过热。

### (五) 重型母线软连接

重型母线与设备连接处宜采用软连接,连接线的截面不应小于母线截面。母线的紧固螺栓,铝母线宜用铝合金螺栓,铜母线宜用铜螺栓,紧固螺栓时应用力矩扳手。在运行温度高的场所,母线不应有铜、铝过渡接

头。

### (六) 接触面处理方法

为了减少电晕损耗和对弱电信号的干扰,管形母线的表面应光滑平整、无毛刺、无凹凸不平。终端应有防电晕装置。同相管段轴线应处于一个垂直面上,三相母线管段轴线应互相平行。

### (七) 谨防外伤

母线在运输过程中易受损伤、变形,所以到达现场后,应及时进行外观检查,尤其是接头搭接面的质量应满足要求。否则,当通过大电流时,由于接触电阻增大而使接头严重发热。为防止管形母线起吊时弯曲变形,规定采用多点吊装。

## 三、硬母线焊接

### (一) 焊接方式

铝及铝合金的管形母线、槽形母线、封闭母线及重型母线应采用氩弧焊。手工钨极氩弧焊可以进行全方位焊接。在施焊时,氩气将空气与焊件隔开,因此焊缝不会产生氧化膜和气泡;氩弧焊加热时间短,电流均匀,热影响区较小,母线退火不严重,焊接后的母材强度降低不多,焊缝产生裂纹的可能性较气焊和碳弧焊为少。目前国内已生产出钨钍电极,彻底消除了钨钍电极放射性对焊接人员的危害。

气焊和碳弧焊在施焊时,空气和焊件接触,极易产生氧化膜,且焊接加热时间长,引起母线退火、变形或起皱,焊缝易产生气泡、夹渣和裂纹等缺陷,使焊缝直流电阻增加。此外,在母线长期运行中,由于盐雾、水分的侵蚀,引起电解和电化腐蚀,使母线接头的电阻进一步增加,导致在通过额定负载电流时,接头温升将超过设计允许值。因此,这几种母线的焊接应采用氩弧焊而不得使用气焊和碳弧焊。至于矩形母线,由于采用螺栓连接比用气焊和碳弧焊焊接接头的质量好,通常不采用焊接接头。

### (二) 焊接工艺

焊接前应将母线坡口两侧表面各50mm范围内清刷干净,不得有氧化膜、水分和油污;坡口加工面应无毛刺和飞边。焊接前对口应平直,其弯折偏移不应大于0.2%,中心线偏移不应大于0.5mm。为保证焊缝的焊接质量,应用钢丝刷清刷坡口两侧焊件表面,使焊口清洁;坡口加工最好使用坡口机以减少毛刺、飞边,且能保证坡口均匀。规定母线对口焊接的弯折偏移和中心偏移的允许值,是为了保证焊缝的接触面积和保证母线的平直美观。

每个焊缝应一次焊完,除瞬间断弧外不得停焊。母线焊完未冷却前,不得移动或受力。为避免焊缝产生气泡、夹渣和裂纹,焊接时不得停焊,应一次焊完。焊完之后在焊缝未冷却前,若移动焊件将会使焊接处产生变形或裂纹。

母线对接焊缝的上部应有2~4mm的加强高度;330kV及以上电压的硬母线焊缝应呈圆弧形,不应有毛刺、凹凸不平之处;引下线母线采用搭接焊,焊缝的长度应大于母线宽度的两倍;角焊缝的加强高度应为4mm。为满足母线焊缝处的强度和载流量的要求,规定了焊缝的加强高度。对于高压母线焊缝,为了减少电晕和尖端放电对通讯和弱电设备的干扰,要求呈圆弧形,并应打磨光滑。

## 四、母线桥及柜内母线安装

两排高压柜或两排低压柜之间母线的跨越要用金属支架、绝缘瓷瓶将三相母线架起来,称为母线桥,如图14-3所示。在高压柜之间是高压母线桥,低压柜之间是低压母线桥。

支持绝缘子底座、套管的法兰、保护网(罩)等不带电的金属构件应按现行国家标准《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》的规定接地。接地线直排列整齐,方向一致。这是为了防止当电气设备绝缘及绝缘子被击穿时,原来不带电的金属构件有电压而危及设备和人身安全。



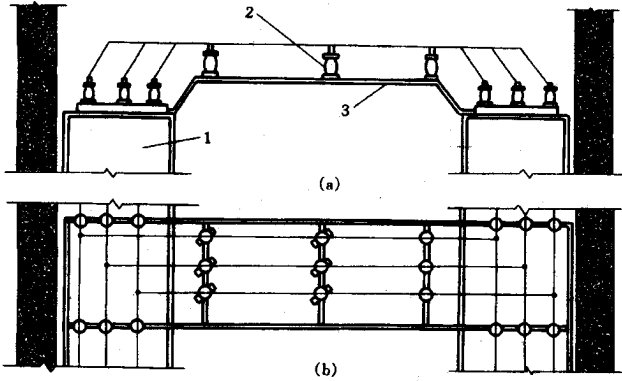


图 14-3 母线桥

(a)立面图 (b)平面图

1. 开关柜 2. 绝缘子 3. 母线桥架

母线和断路器 DW10-1000~4000 的连接如图 14-4。

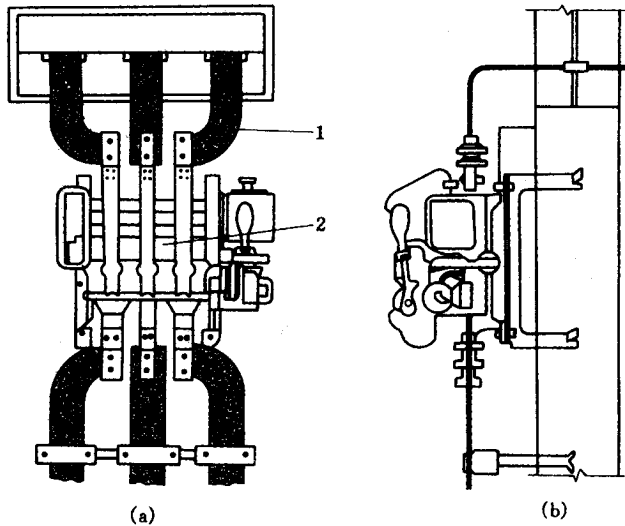


图 14-4 DW10-1000~4000 和母线连接

(a)立面 (b)侧面

1. 母线 2. 断路器

### (一) 母线连接方法

母线与母线, 母线与分支线, 母线与电器接线端子搭接, 其搭接面的处理应符合下列规定。

1. 铜与铜: 室外、高温且潮湿或对母线有腐蚀性气体的室内, 必须搪锡, 在干燥的室内可直接连接。
2. 铝与铝: 直接连接。
3. 钢与钢: 必须搪锡或镀锌, 不得直接连接。
4. 铜与铝: 在干燥的室内, 铜导体应搪锡, 室外或空气相对湿度接近 100% 的室内, 应采用铜铝过渡板, 铜端应搪锡。
5. 钢与铜或铝: 钢搭接面必须搪锡。
6. 封闭母线螺栓固定搭接面应镀银。

## (二)母线的相序排列

当设计无规定时,应符合下列规定:上下布置的交流母线,由上到下排列为 U、V、W 相,直流母线正极在上,负极在下;水平布置的交流母线,由盘后向盘面排列为 U、V、W 相,直流母线正极在后,负极在前;引下线的交流母线由左至右排列为 U、V、W 相,直流母线正极在左,负极在右。这样规定了母线相序的统一排列方式,有助于运行操作及人员的安全。因为 W 相的相色漆规定为红色,故将其排在最易接近的一侧,以引起接近母线人员的警觉。

## (三)母线涂漆的颜色应符合下列规定

为了便于识别相序,尤其是在室内母线交叉较多的地方,有明显的相序标志将给运行带来方便,故规定涂以不同颜色的漆以区别不同的相序。单相交流母线的相色与引出相的相色相同,不另外标志相色。三相交流母线:U 相为黄色,V 相为绿色,W 相为红色,N 母线为淡蓝色,PE 线为黄绿双色线。单相交流母线与引出相的颜色相同。直流母线:正极为赭色,负极为蓝色。直流均衡汇流母线及交流中性汇流母线:不接地者为紫色,接地者为紫色带黑色条纹。封闭母线:母线外表面及外壳内表面涂无光泽黑漆,外壳外表面涂浅色漆。

## (四)母线刷相色漆应符合下列要求

室外软母线、封闭母线应在两端和中间适当部位涂相色漆。单片母线的表面及多片、槽形、管形母线的表面均涂相色漆。钢母线的表面应涂防腐相色漆。刷漆应均匀,无起层、皱皮等缺陷,并应整齐一致。母线刷相色漆不但可以方便运行、维护人员识别相序,而且在一般情况下能起到母线防腐保护作用。经过试验证明,母线表面刷漆后,还能起到散热作用。刷漆后的铜、铝母线与裸露的母线相比较,在相同条件下,温升可下降 20%~35%。

表 14-5 室内配电装置的安全净距

(mm)

符号	适应范围	额定电压 (kV)										
		0.4	1~3	6	10	15	20	35	63	110J	110	220J
A1	带电部分至接地部分之间;网状遮栏向上延伸线距地 2.3m 处与遮栏上方带电部分之间	20	75	100	125	150	180	300	550	850	950	1800
A2	不同相带电部分之间;断路器和隔离开关断口两侧引线带电部分之间	20	75	100	125	150	180	300	350	900	1000	2000
B1	带电部分之间;交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间;栅状遮栏至带电部分之间	800	825	850	875	900	930	1050	1300	1600	1700	2250
B2	网状遮栏至带电部分之间	100	175	200	225	250	280	400	650	950	1050	1900
C	无遮栏裸导体至地面之间	2300	2375	2400	2425	2450	2480	2600	2850	3150	3250	4100

符号	适应范围	额定电压 (kV)										
		0.4	1~3	6	10	15	20	35	63	110J	110	220J
D	平行的不同时间停电检修的无遮栏带电部分之间	1875	1875	1900	1925	1950	1980	2100	2350	2650	2750	3600
E	通向屋外的出线套管至屋外通道的路面	3650	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4500	5000	5000	5500

注 ①110J、220J 系指中性点直接接地电网。

②网状遮栏至带电部分之间如为板状遮栏时,其 B2 值可取  $A1 + 30\text{mm}$ 。

③通向室外的出线套管至室外通道的路面,当出线套管外侧为室外配电装置时,其至室外地面的距离不应小于表 14-5 中所列室外部分之 C 值。

④本表所列各值不适用于制造厂生产的成套配电装置。

表 14-6 室外配电装置的安全净距

(mm)

符号	适应范围	额定电压 (kV)										
		0.4	1~10	15~20	35	63	110J	110	220J	330J	500J	
A1	带电部分至接地部分之间;网状遮栏向上延伸线距地 2.5m 处与遮栏上方带电部分之间	75	200	300	400	650	900	1000	1800	2500	2800	
A2	不同相带电部分之间;断路器和隔离开关断口两侧引线带电部分之间	75	200	300	400	650	900	1000	2000	2800	4300	
B1	设备运输时,外廊至无遮栏防护带电部分之间;交叉的不同时间停电检修的无遮栏带电部分之间;栅状遮栏至绝缘体和带电体间;带电作业时带电部分至接地部分	825	950	1050	1150	1400	1650	1750	2550	3250	4550	
B2	网状遮栏至带电部分之间	175	300	400	500	750	1000	1100	1900	2600	3900	
C	无遮栏裸导体至地面之间;无遮栏裸导体至建筑物、构筑物顶部之间	2500	2700	2800	2900	3100	3400	3500	4300	5000	7500	

符号	适应范围	额定电压 (kV)									
		0.4	1~10	15~20	35	63	110J	110	220J	330J	500J
D	平行的不同 时停电检修的 无遮拦带电部 分之间;带电 部分与建筑 物、构筑物的 边缘部分之间	2000	2200	2300	2400	2600	2900	3000	3800	4500	5800

注 ①110J、220J、330J、500J 系指中性点直接接地电网。

②栅状遮拦至绝缘体和带电部分之间,对于 220kV 及以上电压,可按绝缘体电位的实际分布,采用相应的 B1 值检验,此时允许栅状遮拦与绝缘体的距离小于 B1 值。当无给定的分布电位时,可按线性分布计算。

③带电作业时的带电部分至接地部分之间(110J~500J),带电作业时,不同相或交叉的不同回路带电部分之间,其 B1 值取  $A_2 + 750\text{mm}$ 。

④500kV 的 A1 值,双分裂软导线至接地部分之间可取 3500mm。

户外软母线和封闭母线在两端和中间适当部位涂相色漆以标明相序,刷漆的具体部位不作硬性规定,但位置确定后,全厂(站)应一致。

### (五) 母线在下列各处不应刷相色漆

母线的螺栓连接及支持连接处,母线与电器的连接处以及距所有连接处 10mm 以内的地方。供携带式接地线连接用的接触面上,不刷漆部分的长度应为母线的宽度或直径,且不应小于 50mm,并在其两侧涂以宽度为 10mm 的黑色标志带。凡是母线接头处或母线与其它电器有电气连接处,都不应刷漆,以免增大接触面的接触电阻,引起连接处过热。

## 五、母线安装的距离要求

母线安装,室内、室外配电装置安全净距应符合表 14-5、表 14-6 的规定。当电压值超过本极电压时,其安全净距应采用高一级电压的安全净距规定值。

## 第二节 母线槽的安装

母线槽作为一种架空配线系统,简化了电动机传动机械的电气接线,并为重新布线提供了方便条件。母线槽已成为 600V 及以下配电系统的一个组成部分。

当需要许多电流分接头时,可以不用切断母线槽的电路,在带电的情况下,安装带断路器或熔断开关的插头。1kA 以上的电源电路采用母线槽通常比采用导管和导线更为经济,需要的空间也少。母线槽可以全部或部分拆掉和重新安装,以适应配电系统布局的变化。

为了输送很大的安全载流量,用普通的导线就显得容量不够了,常常采用母线槽的形式输送。例如密集型插接式母线槽型号为 FCM-A 型,特点是不仅输送电流大而且安全可靠,体积小,安装灵活,施工中与土建互不干扰,安装条件适应性强,效益较好,绝缘电阻一般不小于  $10\text{M}\Omega$ 。

### 一、母线槽的结构

最初的母线槽是由支撑在无机绝缘体和瓷绝缘子上的裸铜导体,安装在不通风的钢壳内。这种结构型式适用于额定电流为 225~600A 的线路。由于母线槽的应用范围扩大,增加的负荷要求更大的额定电流值。在容量更大时,对母线槽外壳增加了通风以得到更好的冷却条件。为了安全,把汇流母线包上绝缘,并且使

相反极性的母线能靠得更近,以得到较低的电抗和电压降。

### (一)全封闭母线槽结构

在 20 世纪 50 年代后期,将热交换的传导技术推广用于母线槽,其方法是使绝缘导体与外壳有传热接触。应用了热传导技术的全封闭母线槽,不论安装在什么地方,其额定电流值是相同的。每相用一根母线的一组母线槽,其母线宽达 170mm(1.6kA)。更高的额定电流需用两组(3kA)或三组(5kA)。每组母线包括全部三相和中性线,以减少线路阻抗。

最新设计的母线槽,每组母线只用一个螺栓连接。工厂出厂的母线槽段带有全部附件。安装工作量大大减少,也节省了安装费用。母线槽可用铜导体或铝导体制成。

铝导体应有用锡或银电镀的接触表面,并在电气连接点上使用盘形弹簧和螺栓连接,以适应铝的机械性能。铜母线槽截面比较小。

母线槽配线系统示意图如图 14-5 所示。

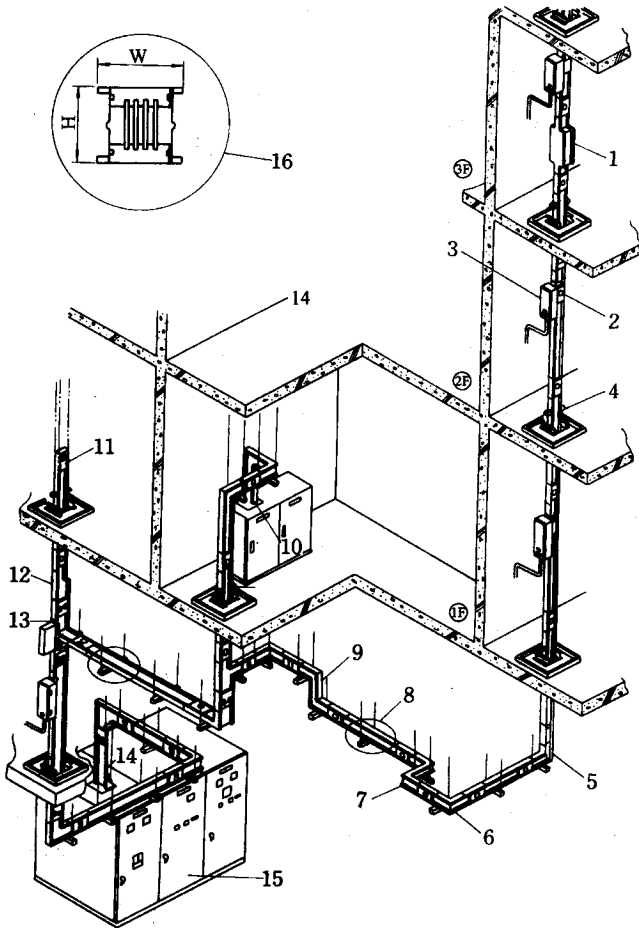
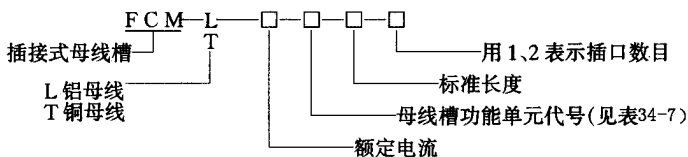


图 14-5 密封式母线槽系统安装示意图

1. 膨胀接头 2. 插接口 3. 插接开关箱 4. 垂直安装架 5. L形垂直接头
6. L形水平弯头 7. Z形水平接头 8. 水平安装吊架 9. Z形垂直接头
10. 终端母线槽和层间配电箱 11. 终端槽盖 12. 变容量接头(变径接头)
13. T形水平接头 14. 始端母线槽 15. 配电柜 16. 密封式母线槽横切面

全密封式母线槽其型号含义如下



母线槽的另一种型号 MF1 型适用于高层建筑 2000A 以下的电力传输设备。M 表示母线，F 表示封闭式，1 是设计序号。

表 14-7 每线槽功能单元代号表

A	母线槽	BY	变容量接头
S	始端母线槽	BX	变向接头
Z	终端盖	SC	十字形垂直接头
LS	L 形水平接头	ZS	Z 形水平接头
LC	L 形垂直接头	ZC	Z 形垂直接头
P	膨胀结接头	GH	始端进线盒

## (二) 铜插接式母线槽

对焊机那样的周期性负载有更大的适应能力。通常将母线槽做成 30cm 为一段。因为母线槽必须与建筑物相适应，因此有弯段、T 接、十字接等形式的各种组合。有引至其它电气设备，例如开关板、变压器、电动机控制中心等的馈电和分接头装置。插接式母线槽用的插头使用熔断开关和外壳断路器。用于单相和三相的母线槽，标准额定电流为 20~5000A。如有需要，可以带中性线。如有要求，新设计的母线槽（包括插接式装置）可以安装一根接地带。

有四种形式的母线槽，连同全部配件和附件，形成一个统一的、全部封闭的母线系统，即：低阻抗输电用的馈电母线槽；连接方便或便于重新布置负荷用的插接式母线槽；支承荧光灯、高强度气体放电灯、白炽灯并为其供电的照明母线槽；为电气提升机、起重机、手提式工具等“分接”移动电源用的滑接式母线槽。

## (三) 馈电母线槽

馈电母线槽用以传输大宗电力。有很低的和平衡的线路电抗以控制用电设备上的电压。馈电母线槽通常用在电源（例如配电变压器或接线线）和用户受电设备之间。大型建筑工程母线槽从受电设备直接向大负荷供电，并向额定电流较小的馈电式和插接式母线槽供电，然后通过电力分接器或插接装置向负荷供电。用于交流 600V 的母线槽其额定电流在 600A 至 5000A 的范围内。馈电母线槽有单相的和三相的，其中性线的容量为相线的 50% 和 100%。所有规格型号的母线槽都可带一相接地母线。

## (四) 插接式母线槽

在高层建筑中使用插接式母线槽作为向用电设备供电的架空配电系统。插接式母线槽如同一块延长了的开关板或配电屏，备有带盖的插接孔，连续穿过所供电的区域，接近负荷处的母线槽都有插接装置。由于采用挠性母线引下软电缆，因而方便了连接插接式支线和重新布置生产线，可以最短的时间从母线槽上拆下插头以及母线引下电缆，并随负荷变化情况重新安装。插接装置包括熔断开关、断路器、静电电压保护器、接地指示器、综合起动器、照明接触器和电容器插头。大多数插接式母线槽是全封闭的，额定电流为 100~4000A。

## (五) 照明母线槽

照明母线槽额定电流最大为 60A,对地电压 300V,用两根、三根或四根导线,可以用在使用荧光灯和高强度放电灯照明的特殊线路上。

照明母线槽向照明灯具供电,并用作灯具的机械支撑,可采用“加强杆”作为辅助支撑装置。加强杆的最大支撑间距为 4.0m。这样使加强杆的支撑间距和建筑物柱子的跨距相一致。可将荧光灯灯具吊挂在母线槽上,可以订购带插头及挂钩的灯具,直接把灯具安装在母线槽上。可以把母线槽隐蔽在天棚内或者安装在大棚的表面。照明母线槽也用来供给轻工业的动力用电。

## (六) 滑接式母线槽

滑接式母线槽用来安放固定的或移动的分支装置。用在活动的生产线上,向随生产线移动的电动机或手提式工具供应电力,或者用于操作人员在 2.5~5m 范围内来回移动以完成特定操作的地方。

# 二、母线槽的安装

母线槽只能安装在敞开和可见的地方。如果有通道并满足下列条件,则允许安装在配电盘后面。除用于单个灯具外,母线槽上不安装过电流装置,盘后的空间不用作空气调节空间,母线槽是完全封闭的非通风型;母线槽的安装,使各段之间的接头和附件便于维修。母线槽不要安装在容易遭受严重机械损伤、有腐蚀性蒸汽或起重机装卸货物的地方,为某种目的特殊制造的专用装置,母线槽可安装在危险场所、或户外、或者在潮湿的地方。

## (一) 安装前的准备工作

除了最简单的母线槽配置图外,制造厂均提供全部安装图纸。要仔细研究这些图纸,对照安装图检查实际到货的部件,确认没有漏项。图中应标明部件的编号和安装位置。部件编号标在母线槽段的铭牌和硬纸标签上,也应将安装位置标在每段母线槽上。

在安装前的保管期间,应将所有部件(即使是气候防护型的)储存在干净、干燥的地方,并防止机械损伤。阅读为各个部件安装用的制造厂说明书。

## (二) 安装程序

几乎所有母线槽部件的两端都不一样,通常一端叫“插栓”,一端叫“插槽”。正确地给每个部件的“插栓”和“插槽”定位,是很重要的。将各个部件抬高就位,并固定在吊钩上。最好从母线槽一端,通常在刚性固定住的一端开始。尤其要注意有“上端”标记和其它有定位记号的地方。

每个新部件安装就位后,按照制造厂的说明书,以适当的扭矩拧紧螺栓。所需的附属接合构件也要安装好。最后,安装插接式母线槽,按照制造厂的说明书,固定插接单元并着手配线。户外母线槽要取掉“排水孔”螺栓并加上接合罩。

## (三) 封闭式母线安装

适用于干燥和无腐蚀性气体的场所。封闭式母线水平布设时,距地面高度不应小于 2.2m。垂直敷设时距地面 1.8m 以下部分,应采取防止机械损伤措施,但敷设在电气专用房间内(如配电室、电机室、电气竖井、技术层等)除外。

封闭式母线水平敷设支撑点间距不应大于 2.5m,垂直敷设应在通过楼板处采用专用附件支撑。垂直敷设的封闭式母线,当进线盒及末端悬空时应采用支架固定。

封闭式母线直线敷设长度超过 40m 时,应设置伸缩节。在母线跨越建筑物的伸缩缝或沉降缝处,宜采用适应建筑结构移动的措施。封闭式母线的插接分支点应设在安全可靠及安装维修方便的地方。封闭式母线的连接不应设置在穿过楼板或墙壁处。在穿过防火墙及防火楼板时,应采取防火隔离措施。母线与母线间、母线与电气器具接线端的搭界面,应清洁并涂以电力复合脂。

封闭式母线安装,支座必须安装牢固。母线应按分段图、相序、编号、方向和标志正确放置,每相外壳的

纵向间隙应分配均匀。母线与外壳间应同心,其误差不得超过 5mm。段与段连接,两相邻段母线及外壳应对准,连接后不应使母线及外壳受到机械应力。封闭式母线不得用裸钢丝绳起吊和绑扎。母线不得任意堆放和在地面上拖拉。外壳上不得进行其它作业,外壳内和绝缘子必须擦拭干净,外壳内不得有遗留物。橡胶伸缩套和连接头、穿墙处的连接法兰、外壳与底座之间、外壳各连接部位的螺栓应采用力矩扳手紧固,各接合面应密封良好。外壳的相间短路板位置应正确,连接良好,相间支撑板应安装牢固,分段绝缘的外壳应作好绝缘措施。母线焊接应在封闭式母线各段全部就位并调整误差合格,绝缘子、盘形绝缘子和电流互感器经试验合格后再进行连接。

#### (四) 插接母线槽的安装

悬挂式母线槽的吊钩应有调整螺栓,固定点间距离不得大于 3m。母线槽的端头应装封闭罩,引出线孔的盖子应完整。各段母线槽外壳的连接应是可拆的,外壳之间应有跨接线,并应接地可靠。

在焊接封闭式母线外壳的相间短路板时,位置必须正确,否则将改变封闭式母线原来磁路而引起外壳发热。在施焊以前,封闭式母线各段应全部就位,两端设备对齐,电流互感器、盘形绝缘子都经试验合格,并调整好各段间误差。

#### (五) 裸母线安装

裸母线跨柱、梁或屋架水平敷设,其支架间距不应超过 6m,裸母线最大截面尺寸不超过 100mm×10mm。裸母线沿墙沿梁或沿屋架水平敷设其支架间距不超过 3m。当不敷设终端拉紧装置时,裸母线应夹紧在绝缘子上。

裸母线跨柱跨梁或跨屋架敷设,母线在重端及中间分段处分别采用终端及中间拉紧装置,在两个安装支架之间是否需要加装逐渐固定夹板以提高短路时的动稳定,由工程设计者决定。

每相母线的拉力,当支撑点的间距为 6m、温度在 25~30℃、弛度为 100~120mm 时,为  $0.1 \times 9.8N/mm^2$ ; 冬天最大拉力可增至  $0.2 \times 9.8N/mm^2$ ,因此弛度相应减少到 60mm。母线与母线间、母线与电气器具接线端子的搭接面,应清洁并涂以电力复合脂。构件在墙上安装应与土建施工密切配合。复查预埋件安装,避免事后剔凿。

## 三、母线槽的选型和应用

### (一) 品种及选用

#### 1. 按绝缘方式母线槽分为密集型、空气型和混合型。

密集型是将裸铜排用绝缘材料覆盖后,紧贴壳体放置的输配电装置。国产密集型母线槽材料有聚四氟乙烯、聚酯薄膜、交联聚乙烯、硅橡胶。不同材料的性能不同,价格也有差别。从工作温度考虑选用绝缘材料时,可选择硅橡胶或树脂类阻燃材料,其工作温度可达 250℃。交联聚乙烯或聚酯类绝缘材料耐压性能较好。交联聚乙烯延伸率高,聚酯材料抗拉伸强度高。绝缘材料的包缠层数过少,绝缘性能不佳,包缠层数过多,不利于散热,国标规定不少于 2 层。

空气型是将裸铜排用绝缘衬垫支撑在壳体内,靠空气介质绝缘的输配电装置。该产品必须保证电气间隙,体积要大一些。空气型选型时要了解制造厂制造绝缘衬垫的材料。衬垫材料应吸湿性低、压缩强度和冲击强度高,尺寸偏差小,无破损开裂现象。

混合型是将裸铜排用绝缘材料覆盖并用绝缘衬垫支撑在外壳内,利用空气介质绝缘的同时,也依靠绝缘衬垫。该类母线槽一般铜排的两条窄边靠绝缘材料与外壳绝缘。铜排的两条宽边则有绝缘材料与空气双重绝缘,外壳通常用瓦楞铁做成。

上述三种母线槽各有特点。通常,安装在垂直井道内选用密集型,因为密集型母线槽防烟效果好,体积小,散热好,在车间流水线上,用作小容量配电,宜选用空气型,因为其配线出口方便;若建筑物跨度大,又不容易固定支架时,宜选用混合型母线槽,因为其外壳为瓦楞铁,支架间距可达 6m。另外,还有一种分置式母线槽,它采用紫铜管作导体。因为紫铜管分布在各个独立的塑料通道内,安装方便,不必提出精确长度即



可订货。其绝缘、防潮性能优良,价格也不贵。

2. 母线槽按耐火性能分类有普通型和耐火型两种。普通型母线槽不具备耐火性能,聚四氟乙烯、聚酯薄膜、交联聚乙烯都不能用于耐火型母线槽中。耐火型电缆至少要求在 $850^{\circ}\text{C}$ 火中工作 $1\text{h}$ 以上。衡量耐火型母线槽是否具有耐火性能,主要是检查插接处和分线口处的绝缘材料是否具有耐火性能。绝缘材料应选用不会炭化的材料。

3. 母线槽按线制分类有三线制、四线制和五线制。三线制用于小容量单相配电,四线制用于三相照明配电或三相动力配电。四线制母线槽照明和动力不能混用,因为第四根线在照明系统中作为N线,动力中作PE线。五线制允许小容量动力和照明配电混用,但大容量动力设备宜单独敷设,以免动力设备启动时影响电压。

采用四线制母线再单独敷设一根PE线比采用五线制母线槽要好。这是由于PE线外露,容易检查和保养。PE线连接可采用螺栓连接,比母线槽插接更可靠,价格也便宜。

## (二)配置

必须将母线槽恰当地安装在建筑物内。基本建设工程已经完成,并且母线槽的型式、额定电流值、极数等已经确定后,除了最简单的直线段以外,对其它部分都应做放样配置。配置的第一步是标出和确定建筑物结构(墙、天花板、柱子等)以及母线槽路线上其它设备的位置。

母线槽有很大的机械、电气的灵活性,几乎能够满足任何配置方案的要求。当母线槽通过建筑物的伸缩缝时,必须采取适应建筑物结构移动的措施。

配置母线槽,一个值得考虑的重要问题是与其它工种的配合。因为在工地测量与实际安装之间总有一个间隔时间,如果工种配合不好,则其它工种可能占用母线槽的空间。

终端接头是配置母线槽要考虑的重要项目。将额定电流 $600\text{A}$ 和以上的母线槽用母线直接连接到开关板、电动机控制中心等,可以减少安装的时间和问题。额定电流 $600\text{A}$ 以下的母线槽用母线直接作终端装置,一般是不实用或不经济的。通常用短电缆向这些额定电流较低的母线槽供电。

# 四、母线槽的质量检查

除常规作开箱检查、文件检查、实物清点、铭牌检查、导线截面检查外,还应着重检查以下几个方面:

## (一)母线槽外观检查

外表面喷涂层颜色均匀,无皱纹、无流痕、无起泡、无透底、无伤痕。在阳光不直接照射下,距 $1\text{m}$ 处目测看不到伤痕。允许 $1\text{m}^2$ 内外表面积存在3个缺陷。外壳用于紧固的螺钉应有防松措施。除垫圈允许发黑处理外,其它紧固件都必须镀锌处理。螺钉应拧紧,无打滑现象。紧固后螺钉应露出螺纹 $1\sim 2$ 个螺距。母线槽各组分元均要求有接地端子。接地端子一般用铜制成,安装在容易接近的地方,且有牢固的接地标志。

## (二)母线接头检查

对于母线接头,要看其冲孔、切断质量如何,其切断面应该平整,不能有毛口,孔与母线边缘的距离应一致。搪锡应均匀,搭接面应平整,绝缘包缠不能进入母线的搭接面。母线搭接孔要保证同心,便于固定。对有缺陷的母线绝缘板应予以更换,不得出现破损、脱落。

## (三)绝缘要求

每单元母线槽相线、外壳、中性线互相之间绝缘电阻都必须在 $20\text{M}\Omega$ 以上。单元母线槽上任意两个未涂漆点之间的电阻不超过 $0.1\Omega$ 。不同极性裸导体间的爬电距离不小于表14-8规定。

表 14-8 爬电距离的规定

额定绝缘电压(V)	电气间隙(mm)		爬电距离(mm)	
	≤63A	>63A	≤63A	>63A
U1	≤63A	>63A	≤63A	>63A
U1≤60	3	5	3	5
60<U1≤300	5	6	6	8
300<U1≤660	8	10	10	12

#### (四) 插接箱接地装置的检查

对于三相四线制母线槽,插接箱内必须有专用的接地螺栓。其输出回路额定电流小于 630A 时,接地螺栓为 M8,即将 M8 铜螺母焊接在配电箱外壳上。接地端子处应有接地标志,箱壳上有接地线引出孔。用低压断路器安装底板的固定螺钉作为接地螺钉是不可靠的,在插接箱上钻孔用对接螺栓也是不可靠的。对于 TN-S 系统母线槽,配电箱内应有 PE 端子排。

无论插接箱采用何种形式,其 N 端子排必须与外壳绝缘,而 PE 端子排必须与外壳焊接,且接线端子不得外露。插脚弹性、间距一致,底部无毛刺,接触面平整。插接箱插入母线槽后,插脚不得外露。插接箱与母线槽应有防反插装置,以防止电源短路。其固定由机械结构完成,且不得影响电气性能。插接箱内断路器输入线端子间宜采用软连接。

## 第三节 软母线的安装

### 一、一般要求

软母线施工中最常见的质量问题是松股、扭结、断股、明显损伤或严重腐蚀等缺陷。软母线扩径不得有明显凹陷和变形,这是软母线外观检验的要求。对于扩径导线,目前国内有两种形式:一种是以镀锌蛇皮管为支撑的 LGKK 型空心扩径导线;另一种为改进了的 LGJK 型,采用扩径钢芯铝绞线型式。原有的扩径空心导线金属蛇皮管不耐腐蚀,导线与线夹连接困难,特别是“T 接”性能差;改进了的新型扩径导线可提高软母线的强度和耐腐蚀性能,导线与耐张线夹和 T 型线夹的连接性能也有较大改善。

采用的金具除应有质量合格证外,尚应进行下列检查:规格应相符,零件配套齐全。表面应光滑,无裂纹、伤痕、砂眼、锈蚀、滑扣等缺陷,锌层不应剥落。线夹船形压板与导线接触面应光滑平整,悬垂线夹的转动部分应灵活。330kV 及以上电压级用的金具表面必须光洁、无毛刺和凹凸不平之处。

现行国家标准《电力金具验收规则、试验方法、标志和包装》规定了金具的外观检查的要求。500kV 电压等级用的金具表面必须光洁,以减少电晕损耗和对无线电、通讯等弱电信号的干扰;一些新型的 500kV 电压级用的金具(如分裂导线根数变换器,悬式绝缘子串间的金具等)表面应光滑无毛刺。

### 二、软母线的连接

#### (一) 软母线与金具的规格和间隙必须一致

目前国内生产的同一标准截面的导线,由于其内部钢芯截面不一样,软导线的外径就有很多种,而对应

于同一截面导线的耐张线夹其导线插入的孔径也有多种。在施工时,若选用大直径的导线和小孔径的线夹,就会发生导线插不进线夹的现象。相反,选用小外径的导线和大孔径的线夹,导线插入线夹后间隙过大。两种情况都将影响线夹对导线的握着力。

## (二)采用液压压接

其压接质量易于控制,当压完第一模,就可用卡尺检测压接管的对边尺寸是否合格,不满足要求时可及时更改。压接后压接管全长对边误差可控制在 $0.2\text{mm}$ 范围内。

液压压接与爆炸压接的施工工程成本相比较,若都以只压接一次计算,前者为后者的 $53\%$ ,何况液压机具不止使用一次,下次工程还可继续使用。因此,液压压接的工程成本比爆炸压接低得多。目前,国内生产的 $500\text{mm}^2$ 以下的螺栓式耐张线夹、设备线夹、T形线夹和跳线线夹,可解决某些高空T接液压难题。

在正式进行施工液压之前为了确保母线施工质量,应进行试压,并规定了取样数量,以检验液压施工器具及钢模等是否良好,压接后的导线握着力是否满足要求,接触是否良好。

试压合格后方可进行施工压接。试件应符合下列规定:耐张线夹,每种导线取试件两件;设备线夹、T形线夹、跳线线夹每种导线取试件一件。软导线与线夹连接时,要除去接触面的氧化膜,并涂以电力复合脂,以降低接触电阻和防止氧化,减少接头发热。除去导线表面油污,用丙酮清洗比用汽油清洗效果更好。

在进行软母线液液压接时,要严格按照工艺规程执行。钢模与被压管,液压钳与钢模之间必须匹配。扩径导线与耐张线夹压接,对于LGJK新型扩径导线应用铝线作衬料将导线中心空隙部分填满;而对于LGKK型扩径导线,在导线的中心空隙要加衬棒,否则压接时可能将导线压瘪,而使导线与线夹的接触电阻增大,握着力减小。扩径导线与T形线夹连接,以用螺栓型线夹为好。

## (三)软母线与线夹的连接

软母线和组合导线在档距内不得有连接接头,并应采用专用线夹在跳线上连接,软母线经螺栓耐张线夹引至设备时不得切断,应成为一整体。

软导线和各种连接线夹连接,应当清除导线及线夹接触面的氧化膜,并用汽油或丙酮清洗,清洗长度不应少于连接长度的 $1.2$ 倍,导电接触面应涂以电力复合脂。

当软母线采用压接型线夹连接时,导线的端头伸入耐张线夹或设备线夹的长度应达到规定的长度。为确保压接后的握着力符合要求,并避免因伸入长度不够而将没有导线部分的接续管压扁,故要求导线应按规定长度伸入线夹内。

线夹螺栓必须均匀拧紧,紧固U形螺栓,应使两端均衡,不得歪斜,螺栓长度除可调金具外,宜露出螺母 $2\sim 3$ 扣。母线金具紧固螺栓外露不宜过长,以免产生电晕现象。在系统、电压愈来愈高的情况下,尤应予以重视。

## (四)导线的质量检查与施放

1. 放线过程中,导线不得与地面摩擦,并应对导线严格检查。当导线有下列情况之一者,不得使用:导线有扭结、断股和明显松股者;同一截面处损伤面积超过导电部分总截面的 $5\%$ 。因为导线在地面上直接拖拉摩擦,将会产生毛刺或凸凹不平之处,这样会产生电晕放电,不但造成电晕损耗,而且对通讯、电子设备等弱电信号造成干扰。

2. 新型导线应经试放,确定安装方法和制定措施后,方可全面施工,以保证施工质量和避免返工。性能不了解的导线在未搞清性能前不能施放,以确保质量与安全。

3. 导线有断股,会在运行中脱落,这将减少带电体之间或对地的安全净距。若用铁丝将铝股断口扎紧,虽短时间内不脱落,但时间长了,铁丝锈蚀后仍可能脱落,故导线有断股者不得使用。

4. 使用滑轮放线或紧线,滑轮的直径不应小于导线直径的 $16$ 倍,滑轮应转动灵活,轮槽尺寸应与导线匹配。滑轮直径太小则导线的曲率半径过小,导线容易损伤。滑轮转动不灵活,导线在滑轮中就形成滑动摩擦而容易磨损,轮槽尺寸大小与导线不匹配,则容易造成导线滑出槽外或者被卡住的可能。

5. 母线弛度应符合设计要求,其允许误差为 $+5\%$ 、 $-2.5\%$ ,同一档距内三相母线的弛度应一致,相同布置的分支线,宜有同样的弯度和弛度。软母线的弛度大小是设计时根据导线的承受应力及对地安全距离等因素决定的,施工时误差超过规定值将会使导线或构架、金具等承受额外增大的应力或减少对地安全距离;

三相弛度不一致会影响整齐美观。

6. 无论是 LGKK 型或 LGJK 型扩径导线,其弯曲半径均不应小于其导线外径的 30 倍。这个数据,系根据有关研究所试验结果确定的。

7. 软母线与电器接线端子连接,不应使电器接线端子受到超过允许的外加应力。软母线与设备电器接线端子连接,若不注意会使设备端子受到额外的应力,而使设备损坏。

8. 具有可调金具的母线,在导线安装调整完之后,必须将可调金具的调节螺母锁紧。可调金具系作为弱母线弛度调整之用,在母线弛度调整后应加以锁紧,防止导线在空中随风振动而自然松动。

9. 安装组合导线,组合导线的圆环、固定用线夹以及所使用的各种金具必须齐全,圆环及固定线夹在导线上的固定位置应符合设计要求,其距离误差不得超过  $\pm 3\%$ ,安装应牢固,并与导线垂直。载流导线与承重钢索组合后,其弛度应一致。

## 第十五章 控制电缆安装与维护

控制电缆包括 :各种电气设备内部的安装连接、电气设备与电源间连接用的电缆、信号、控制系统用的电缆、低压电力配电系统、通信用电缆等。它们品种多、用途广,在工、农、交通、国防和人民生活都是不可缺少的配套产品。

各种控制电缆具有电气性能优良、稳定,有足够的机械强度和柔软性,运行安全可靠,使用寿命长等特点。

### 第一节 橡套电缆与信号控制电缆

#### 一、通用橡套电缆

通用橡套电缆在一般场合下,作为各种电气装备、电动工具、仪器和日用电器的移动式电源线。按承受机械外力的大小,可分为轻、中、重三种型式。导线采用铜芯,绝缘采用电性能优良的一级绝缘橡皮,线芯应分色,地线芯用黑色。

##### (一) 使用要求

###### 1. 基本要求

- (1) 由于使用中经常移动、弯曲,要求柔软。
- (2) 由于经常与人体接触,要求电性能优良,运行可靠,能承受不同的机械外力。
- (3) 耐气候型电缆应有良好的耐气候性和一定的耐油性。

###### 2. 具体要求

(1) 轻型,要求有极好的柔软性,利于不定向多次弯曲,电缆本身不打扭、轻巧、外径小。可用于日用电器电源线、仪器仪表电源线。

(2) 中型,应有足够的柔软性,以便移动、弯曲,能承受一般机械外力。可用于农用移动式动力线、电动工具电源线。

(3) 重型,能承受较大的机械外力和自身拖曳力,护套有高的弹性和强度。为保证弯曲移动,应有一定柔软性。可用于港口机械、林业机械移动式电源线。

##### (二) 选用与使用注意事项

1. 在长期用于室外或接触油类的场合,应选用耐气候型,但不能长期浸于油中使用,其他用一般型。
2. 使用时电缆线路不宜太长,应保证电压降不超过 5%,特殊情况下不超过 10%。导线截面按载流量选择,并校核电压降。
3. 作农用移动式动力线时,应注意保护电缆(如过公路、田埂),防止外伤。
4. 宜采用插接式中间接头,使连接方便、可靠。

## 二、信号、控制电缆

在通信、控制系统中,传输各种启动、操作、显示、测量等电信号,广泛用于自动控制技术。

使用要求与注意事项:

1. 信号控制电缆用于控制、测量、信号传递、报警和联锁系统中,要求安全运行、导线不易折断、绝缘不损坏、绝缘电阻高、护层能起到机械保护作用。

与高压电缆相邻近的信号,控制电缆应有接地良好的内钢带铠装层,以免感应电压过高造成事故。

2. 固定敷设时,环境温度应符合以下要求:

塑料绝缘塑料护套电缆:  $-10^{\circ}\text{C}$

橡皮绝缘塑料护套电缆:  $-15^{\circ}\text{C}$

橡皮护套和耐寒塑料护套电缆:  $-20^{\circ}\text{C}$

3. 信号控制电缆与设备、仪表连接处需经常拆装,要求导线有一定的柔软性和机械强度,多芯电缆的线芯应有明显标志。电缆护套要有不延燃性和允许接触少量油污。

随着自动控制技术的发展,要求电缆向多芯、小型化发展,有时要求电缆应有良好的抗干扰性能。

4. 信号电缆应有控制电容值,保证信号传递的速度,减少线路传输衰减。

5. 控制电缆按线路压降和机械强度来选择导线截面。信号电缆应考虑线路长度和电容值。

6. 信号控制电缆要考虑备用线芯,有时为减少电缆安装根数或利用已有电缆的潜力,控制电缆可兼作传输信号用。但信号电缆只能在控制电流较小,电压低于 250V 时才可兼作控制线芯用。

## 第二节 直流高压软电缆与其他特种电缆

### 一、直流高压软电缆

#### (一) X 射线机电缆

X 射线机电缆,在 X 射线医疗、工业探伤设备及电子显微镜、电子分析仪等仪器中,作直流高压电源线用。

使用要求:

1. 电缆工作电压较高,常与人体接触,要求电性能良好;工作电流较小,散热问题可不作重点考虑。

2. 移动使用时要求柔软、重量轻,并有一定的机械强度。在安装和使用时,不宜施加拉力和其他外力,电缆的最小弯曲半径不得小于电缆外径的 10 倍。

3. 由于仪器设备小型化,要求电缆外径小,且外径公差也小,以便密封配套,并要求配有拆装式接头。

4. 为了保证分析仪器的分辨能力,要求电缆泄漏电流小,各项性能参数稳定,能防止外界电磁波干扰。

#### (二) 工业设备用直流高压软电缆

工业设备用直流高压软电缆作各种高压工业设备电源线用。

使用要求与选用注意事项:

1. 工业设备的高压电源线,工作电流较大,除电性能要求较高外,还应考虑发热与散热问题,注意环境温度与周围其他情况(有无靠近热力管道),保证电缆在允许工作温度下安全运行。

2. 某些设备使用时产生中频放电(如电子束加工),电缆应承受 2.5~4 倍的过电压,并校验承受过电压

的能力。

3. 由于各种电缆工作参数差异较大, 选用时应注意验算。

4. 大部分电缆为固定敷设安装, 为了保护人身和设备安全, 应注意屏蔽层的接地及继电保护系统连接是否良好。

## 二、其他特种电缆

### (一) 油田、采掘用电缆

#### 1. 油田用电缆

由于油田生产时工作条件较苛刻, 井下温度随井深增加而升高, 一般每 33m 深, 地温升高 1℃, 而电缆处在高温环境下工作。在井下并受油、石油气、地下水、泥浆水的侵蚀, 有时承受拉力很大, 还会受到较大的振动力的影响。

使用要求:

(1) 潜水泵电缆, 由于电缆长期浸于油中, 要求耐油性好。有时油井中含气量高, 使气体能通过电缆自由逸出。要求电缆外径小、表面光滑, 以减少油阻。

(2) 油井加热电缆, 电缆相当于发热器, 要求发热量大, 本身热阻小, 散热快。工作温度为 100~120℃, 承受压力为 8~10MPa。要求电缆外径小、重量轻、耐腐蚀, 电缆长度要满足井深要求。

(3) 海洋开发用电缆, 一般作为海底开发设备的动力、控制、信号传输用, 要求能承受拉力和有较高绝缘电阻, 有些场所还要求有防干扰性能。

#### 2. 采掘用电缆(矿用电缆)

采掘用电缆供井下或地面采煤设备用, 从使用要求出发, 重点考虑柔软性、机械强度和起继电保护作用的屏蔽层等。

使用要求与注意事项:

(1) 电钻和采掘机组使用的电缆, 移动卷放频繁, 经常受到拉、弯、扭等机械力的作用。电钻电缆与电钻连接处, 更易引起应力集中, 因此要求电缆有较高的机械强度、柔软易弯、外径小、重量轻, 易于井下搬运。

电缆不宜承受大的拉力, 特别电钻电缆不能作为牵引的绳子用。电缆放开或收绕时应按顺序进行, 力争受力均匀, 不打扭。电钻上引线口要有喇叭形橡皮圈, 以改善电缆受力状况。

(2) 井下采区, 岩石、矿石经常掉落而冲砸电缆, 大的矿石也会挤压电缆, 以致造成事故。地面电缆还可能受到载重汽车挤压, 要求电缆能承受一定的冲击、挤压而不易破坏。

配电系统和移动电工设备电源线用的电缆应尽量架设在巷道壁上, 架设高度要超过矿车或运输机高度, 以免受到冲击、挤压。地面用电缆在通道上要加以保护(挖沟、加铁板或钢管等), 防止受车辆挤压。

(3) 井下极为潮湿、流水多、电缆外伤事故多, 工作电压为 380V、660V、1140V, 并经常与人体接触, 当电缆受到损伤时, 会造成严重事故。要求电缆有较高的绝缘电阻和耐压性能, 对 6kV 电缆要求更高。若发生短路和漏电事故, 应及时切断电源和报警。

电缆不宜长期浸在水中, 需选用有屏蔽的电缆, 并设计继电保护系统, 与电缆屏蔽层连接好。要经常检查、维护, 保证安全运行。

(4) 矿工帽灯线经常弯扭, 且常用以提吊蓄电池, 要求柔软、轻小, 有较高的拉力强度。

注意减少软线的打扭状态, 除提吊蓄电池外, 不宜增加其他外拉力。

### (二) 电机、电器用电缆

#### 1. 电焊机用电缆

电焊机用电缆的导线采用最柔软的铜芯或铝芯电缆, 导线外包一层聚酯薄膜, 提高了电缆的电气性能, 并使导线与绝缘相对易于滑动, 提高了电缆的弯曲性能, 用含胶量高, 综合性能好的橡皮作绝缘。

使用要求与注意事项:

(1) 电缆在低电压、大电流的条件下使用,除本身发热外,还可能与被焊器材的热构件接触,要求热老化性能好,热变形小。

(2) 电缆在使用时收放、移动、扭曲频繁,又经常受到刮、擦等外力,要求电缆柔软易弯曲,有足够的机械强度,绝缘层有较好的抗撕裂性。

(3) 电缆的使用环境复杂,如日晒、雨淋、接触泥水、油污、酸碱液体等,要求绝缘层有一定的耐候性、耐油和耐溶剂性能。

(4) 电缆在使用时,要尽量避免接触热构件、油污、酸碱液体、构件尖锐部位等,减少不必要的损伤。电缆不宜承受拉力,不能受载重车辆挤压,使用后应存放到阴凉干燥处,以延长使用寿命。

#### 2. 潜水电机用防水橡套电缆

潜水电机用防水橡套电缆为潜水电机的移动式连接线,导线采用铜芯电缆,绝缘层用丁苯—天然橡胶。导线与绝缘间填充密封胶,护套应采用吸水性小的橡胶配方,使电缆在 3MPa 的水中具有良好的密封性能。

使用要求:

(1) 电缆长期浸水使用,要求在水压下电性能良好,护套吸水量小。电缆应具有横向密封性,若用于特殊场所,还要求纵向密封。

(2) 电缆经常收放,并在陆地和水中移动,要求柔软、耐弯曲、外径小、重量轻。

(3) 要求有耐候性,适用环境温度为  $-40 \sim +50^{\circ}\text{C}$ 。

## 第三节 通信电缆的安装与维护

通信电缆是传输电话、电报、电视、广播、传真、数据和电信信息的电缆。通信电缆主要用于传输高频或音频电信信息的电磁波,要求衰减、失真和回路之间的相互干扰小,并能抵御外界的各种电磁干扰。

电磁波衰减小,信息传输的距离就远;电磁波失真小,就使收到的信息(如声音、图像)畸变小;各种干扰小,接收到的信息就清晰,也不易失密。

### 一、通信电缆的选用

通信电缆的选用应根据通信要求、敷设环境和技术、经济的合理性来确定。

#### (一) 根据通信要求选用

1. 城市内部的通信,铁路系统的地区、站场、区段的通信及厂矿企业内部的通信,一般都是音频通信,采用市话电缆,导线直径应根据线路允许衰减常数来决定。

2. 郊区或较远距离的通信采用低频长途电缆或高频载波电缆,低频长途电缆只能开通音频电话或加一单路载波电话,使用频率在 10kHz 以下。

3. 长途通信主要采用高频载波电缆,通信业务量较大时使用高频对称电缆,最大频率为 252kHz。

4. 长途通信的通话路数和其他通信业务量很大时,应采用小同轴或中同轴电缆。

#### (二) 根据敷设环境选用

根据敷设环境来选用电缆,主要是选择适当的护层。

1. 直埋电缆采用铝护套电缆或双层钢带铠装的铅护套电缆。当埋地坡度超过  $30^{\circ}$  时,应采用铝护套电缆或钢丝铠装铅护套电缆。

2. 水底电缆采用钢丝铠装的铅护套电缆。

3. 架空电缆采用裸铅护套或裸铝护套电缆及塑料护套电缆。

4. 管道电缆采用一级外护层的裸铅或裸铝护套电缆。若管道中无地下水,也可采用裸铅护套电缆。



5. 防生物侵袭的电缆应采用外护层上浸涂或渗混防生物侵袭药物的电缆。
6. 在雷暴日多的地区,可考虑采用特殊护层结构的防雷电缆。

## 二、通信电缆敷设时注意事项

电缆敷设时,一根电缆的 A 端(或 B 端)应与相邻电缆的 B 端(或 A 端)相连接。

### (一)直埋敷设

1. 电缆的直埋深度应考虑:电缆不易遭受外界的机械损伤、化学腐蚀和生物破坏;外界的振动和冰冻不致损坏电缆;电缆不易受到大气温度的影响,保证回路参数比较稳定。

埋设深度一般为 1m 左右,干线长途电缆应为 1~2m。

2. 电缆敷设时的最小弯曲半径(以电缆外径的倍数表示)

一般铅护套电缆:15 倍

铅护套中同轴电缆:25 倍

铝护套电缆:30 倍

### (二)管道敷设

1. 电缆在进入管道前,应涂以中性凡士林或黄油,以减小电缆与管孔壁的摩擦,并减小混凝土管中石灰质对铅、铝护套的腐蚀作用。

2. 在电缆进入入孔时,弯曲半径不应小于电缆盘的半径,以免与入孔边缘摩擦。

### (三)水底敷设

1. 水底电缆一般应敷设在水底的沟中。

2. 水底电缆的长度应考虑足够的裕量,使电缆在河床松弛敷设。以免由于河床变化使电缆悬于水中,而增加电缆所受的拉力。

### (四)架空敷设

1. 铅护套电缆本身较重,抗张强度又小,因此不能单独悬挂于杆间,应用吊线和挂钩或挂带吊挂,在敷设前应先架设吊线。自承式电缆可直接架空敷设。

2. 架空电缆线路应有防雷保护,在一定间隔的电杆上设置避雷地线。

## 三、使用注意事项

1. 电缆接续工作的好坏,直接影响电缆线路,在电缆接续后,原制造长度电缆应尽量保持电缆原有的电性能和机械强度,接头要牢固,并具有和电缆护层同等的防潮能力。护套热焊时,应防止烫伤电缆的绝缘。

2. 通信电缆的气压维护,即在电缆内充以干燥气体(如空气、氮气)来进行保护。当电缆护套漏气时,电缆内气压降低,在下降到一定程度时,信号报警设备即发出漏气报警信号。这时测出漏气点位置后,即可进行修理。因电缆中充气的气压高于外部大气气压,在护套漏气后一个短时期内潮气难以进入电缆,电缆的绝缘可避免受潮而损坏。

# 第十六章 电气照明安装运行与维护

## 第一节 室内电气照明识图技术

室内电气照明工程图是以统一规定的图形符号辅以简单扼要的文字说明,把管线敷设方式、配电箱和灯具等电气设备的安装位置、规格、型号及其相互联系表示出来的工程蓝图。

室内电气照明工程图是指导安装施工的“语言”,也是进行电气工程预算的重要依据,所以学习和掌握电气识图方法是十分重要的。所谓“识图”,就是了解电气照明工程图上的设备名称、规格、型号和有关电气安装调试方面的技术要求,以及各个组成部分是怎样连接的,以便正确地进行室内电气安装施工。

室内电气照明工程图主要由包括电气照明线路平面布置图、电气照明系统图、施工说明和详图等组成,此外还有防雷接地平面图,主要设备材料表等。其中室内电气照明线路平面布置图是照明工程安装施工的主要图纸,而详图是表示电气工程中的具体安装要求和做法,多选用通用图,而不另行绘制。室内电气照明工程图与建筑工程图一样,也有其标准统一的画法,下面简要加以介绍:

### 一、室内电气照明线路平面布置图

室内电气照明线路平面布置图用以表示电源进户装置、照明配电箱、灯具、插座和开关等电气的安装位置、安装高度和型号规格,用以表示管线敷设方式、敷设路径、规格和敷设导线根数等等。

室内电气照明线路平面布置图是在建筑平面图上绘制而成的,建筑平面图是假设在窗户的 $2/3$ 处用一假想水平面将建筑物剖开,移去上面部分,垂直投影后得到建筑平面俯视图。电气照明装置布置、管线走向等绘制的基本方法是:

- 1.先在平面图纸上用细实线按一定缩小比例画出建筑实体(如墙、柱、门、窗、楼梯等)和室内布置的轮廓,并将比例尺 $M$ (如 $1:100$ )标注在图纸右下角的图题栏内。为了在图纸上突出电气照明装置,所以电气照明装置的“图例”一般不按比例绘制。然后按照建筑施工平面图的标注顺序在定位轴线处纵向用大写英文字母(A、B、C...)横向用阿拉伯数字(①、②、③、.....)分别进行标注。

- 2.按照电气照明设备和线路的图形符号(即图例)所规定的文字标注方法,根据设计需要在平面上画出全部灯具、插座、开关、照明配电箱和线路敷设的位置。常用电气照明器件、装置的图形符号及文字标注见附录,适用于绘制各种电气工程图。

- 3.在灯具旁按灯具标注规定标注灯具数量、型号、灯具中的光源数量和容量、悬挂高度和安装方式。目前常用灯具光源主要是热幅射光源和气体放电光源。热幅射光源有白炽灯和卤钨灯(碘钨灯和溴钨灯);气体放电光源有荧光灯、高压汞灯(外镇流式荧光高压汞灯和自镇流式荧光高压汞灯)、氙气辉光灯和金属卤化物灯(钠铊铟灯和管形镝灯等),常用光源的类型及型号见表16-1。照明灯具的标注形式为:

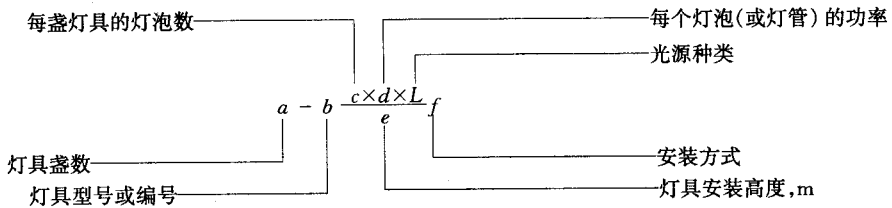


表 16-1 光源的类型及型号

类型	型号	含 义	类 型	型 号	含 义
热 幅 射 式 光 源	PZ	普通照明灯泡	气 体 放 电 式 光 源	GCY	荧光高压汞灯泡
	JZ	局部照明灯泡		GYZ	自镇流荧光高压汞灯泡
	JG	聚光灯泡		DDG	日光色管形碘灯
	LZG	管形卤钨灯		NTY	钠铊镨灯
	LHW	红外线卤钨灯管		YH	环形荧光灯管
气 体 放 电 式 光 源	YZ	直管形荧光灯		HG	高压钠灯泡
	YU	U形荧光灯管		ND	低压钠灯泡
	YZS	三基色荧光灯管		NHO, ND1, ND, WN	氙气辉光灯泡

在照明灯具的标注形式中,灯具的安装方式用表 16-2 中的英文字母表示,而安装高度是指从室内地坪到灯具灯泡中心的垂直距离。例如  $5 - YZ40 \frac{2 \times 40}{2.5} Ch$  表示 5 盏 YZ40 型荧光灯,每盏灯具中装设 2 只功率为 40W 的灯管,灯管的安装高度为 2.5m,灯具采用链吊安装方式。如果灯具为吸顶安装,安装高度可用“-”符号表示。在同一房间内的多盏相同型号、相同安装方式和相同安装高度的灯具,可以一处标注,如“5”则表示某房间内共安装 5 盏相同型号、规格、相同安装方式的灯具。

表 16-2 灯具安装方式代号

代 号	含 义	代 号	含 义
CP	吊线式	WR	墙壁内安装
Ch	链吊式	T	台上安装
P	管吊式	SP	支架上安装
S	吸顶或直附式	W	壁装式
R	嵌入式	CL	柱上安装
CR	顶棚内(嵌入可进入人的顶棚)	JM	座 装

4. 对于线路敷设方式及敷设部位,也采用英文字母表示,如表 16-3 所示,电气照明中常用导线型号、规格见表 16-4。

5. 照明配电箱用于工业与民用建筑的电气照明和小容量动力系统中,可作为对电能分配,对线路及用电负荷的过载、短路保护和控制之用。应在电气平面图中的照明配电箱图形符号旁边标注其编号或型号。如果配电箱为非标产品,则只标注编号即可。照明配电箱的型号很多,可根据需要查阅有关电气设计手册和产品样本,了解配电箱的主结线图及其安装尺寸等。以 XX(X 或 R)M 系列照明配电箱为例,其型号含义为:

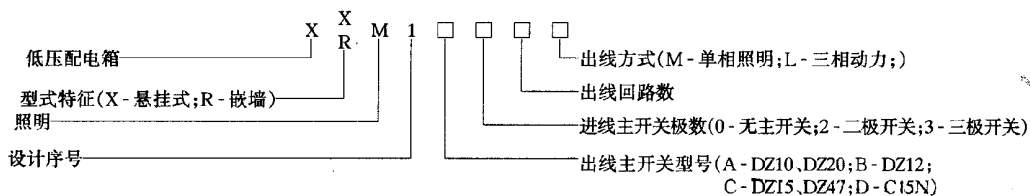


表 16-3 线路敷设方式、部位代号

代号	含义	代号	含义
E	明敷	PR	用塑料线槽敷设
C	暗敷	SR	用金属线槽敷设
SR	沿钢索敷设	PL	用瓷夹板敷设
CT	用电缆桥架(或托盘)敷设	B	沿屋架或屋架下弦
K	用瓷瓶或瓷珠敷设	CL	沿柱
PCL	用塑料卡敷设	W	沿墙
SC	用水煤气管敷设	C	沿天棚
TC	用电线管敷设	F	沿地板
PC	用硬塑料管敷设	AC	在不能进入人的吊顶内敷设
FPC	用半硬塑料管敷设	ACE	在能进入人的吊顶内敷设
CP	用蛇皮管(金属软管)敷设		

表 16-4 电气照明工程常用绝缘电线的型号、规格及主要用途

型号	电压 (V)	名称	线芯标称截面积 (mm <sup>2</sup> )	主要用途
BV BLV	500	铜芯聚氯乙烯绝缘电线 铝芯聚氯乙烯绝缘电线	0.4、0.5、0.75、1.0、1.5、2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185、	用于直流 1000V 及以下或交流 500V 及以下的电气线路、可以明敷、暗敷，护套线多用于室内明敷设
BVV BLVV		铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套线 铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套线	0.75、1.0、1.5、2.5、4、6、10	
BV-105 BLV-105		铜芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘线 铝芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘线	0.4、0.5、0.75、1.0、1.5、2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185	同 BV 型，适用于高温场所
BVR		铜芯聚氯乙烯软电线	0.75、1.0、1.5、2.5、4、6、10、16、25、35、50	同 BV 型，安装要求柔软耐用
BX BLX		铜芯橡皮绝缘电线 铝芯橡皮绝缘电线	0.75、1.0、1.5、2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185、240、300	电器设备、仪表、照明装置等固定敷设
BXF BLXF		铜芯氯丁橡皮绝缘电线 铝芯氯丁橡皮绝缘电线	0.75、1.0、1.5、2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95	同 BX 型，尤其适用于户外
RFB RFS	丁睛聚氯乙烯复合物绝缘平型软线 丁睛聚氯乙烯复合物绝缘绞型软线	0.12、0.2、0.3、0.4、0.5、0.75、1.0、1.5、2.0、2.5	作为交流 250V 及以下各种移动电器、无线电设备和照明灯座接线用	

照明配电箱中采用的小型塑壳式断路器(或称作自动空气开关)型号种类繁多,如有国产 DZ10、DZ20、DZ47、DZ63 等系列,有中外合资天津梅兰日兰公司生产的 C45 系列,还有进口产品如法国罗格朗 (Legrand)DX 系列,以及奥富捷电气公司生产的 PND 系列,香港海格尔电气有限公司生产的 MC 系列断路器等,均为更新换代产品,主要用于线路过载、短路保护以及在正常情况下不频繁通断照明线路,还可以用于控制小容量电动机。其额定电流有 6、10、16、20、32、40、50、63A、……等数种,具有体积小、重量轻、分断能力强、安全可靠、安装方便和操作灵活等特点。

如图 16-1 所示 XRM1-A312M 主结线图表示照明配电箱为嵌墙暗装,箱内装设一个进线主开关,型号为 DZ20Y-100/3300,脱扣器额定电流为 63A,单相照明出线开关,共 12 个,型号为 DZ47-10/1P。

最后,还须在照明平面布置图上写清安装施工技术说明(要求),主要包括照明设计总容量、总计算电流、

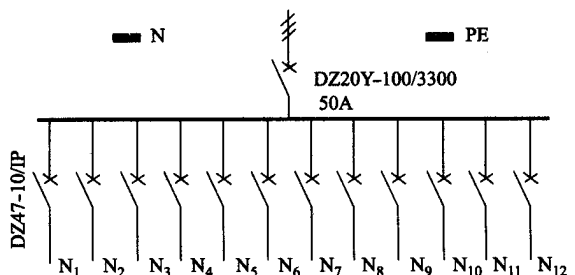


图 16-1 XRM1-A312M 照明配电箱主结线图

进户线装置及重复接地的技术要求,设备材料数量、规格尺寸,安装施工的一些特殊措施及技术要求等。

## 二、电气照明配电系统图

电气照明配电系统图是表示照明系统供电方式、配电回路分布及相互联系的电气工程图,室内照明配电系统图可以帮助我们了解建筑物内部电气照明配电的全貌,也是进行电气安装和试调检查的主要图纸之一。

配电系统图常以表格形式绘制,其主要内容是:1)电源进户线、各级照明配电箱和供电回路,表示其相互连接形式;2)配电箱型号或编号,总照明配电箱及分照明配电箱所选用计量装置、开关和熔断器等器件的型号、规格;3)各供电回路的编号、导线型号、根数、截面和线管直径,以及敷设导线长度等;4)照明器具等用电设备(或供电回路)的型号、名称、计算容量和计算电流等。

## 三、电气识图的基本方法

以上简要介绍土建工程图和室内电气照明工程图(主要是电气照明线路平面布置图和电气照明配电系统图)的一些基本画法和标注方法,这是识图的基础。另外,还必须熟悉、掌握电气照明器件和装置的图形符号和文字标注规定,并且注意在电气照明设计和安装施工实践中,大胆心细、勇于探索。结合工程实际,边收集、查阅、整理资料,边识图指导安装施工,边总结提高,不断增强识图能力和实际工作能力。一般识图方法如下:

### (一)按顺序识图,充分了解图纸文字说明

图纸文字说明主要包括施工总图目录、电气照明装置及其它电气材料明细表、安装施工设计说明及技术要求等三部分内容。通过查阅文字说明来了解所提供的工程图纸和有关资料、各种电气设备的型号、规格、以及对电气安装工程的设计意图和技术要求等等。在此基础上,再详细阅读电气照明线路平面布置图和供电系统图。在阅读电气照明线路平面布置图时,应按“进户线装置→总配电箱→配电干线→配电箱→配电支线→用电设备”的顺序识图。主要了解所有配电箱、灯具、开关、插座及其它电器的装设位置、安装高度、安装方式以及型号、规格和数量;了解配电线路的走向以及导线型号、截面、根数、管径、敷设方式等。在阅读供电系统图时,则重点了解供电方式、配电回路分布和与电气设备的连接情况,从而实现室内电气照明系统的全面了解。

### (二)抓住电气照明工程图要点识图

对室内电气照明工程图来说,应注意抓住如下要点识图:

1.了解电源的由来。根据我国《工业与民用供电系统设计规范》的有关规定,一、二级负荷均为重要负荷。一级负荷通常要求两路独立电源供电,二级负荷可采用两路独立电源供电,也可采用一条(6kV以上)专用架空线或电缆供电;三级负荷无特殊供电要求。宾馆饭店、医院、政府大楼、银行、高等学校和科研院所的重要实验室、大型剧院、省辖市及以上的重点百货大楼、省市区及以上的体育场馆等均属于一、二级负荷,居民住宅、一般学校等均属于三级负荷。在明确建筑物负荷等级的基础上,了解电源是如何引入的,以及引入电源的路数。

2.了解电源进户方式。如室内电源是从室外低压架空线路引入,在室外应装设进户装置。进户装置包括引下线、进户支架、瓷瓶、进户线和保护管等。由室外架空线路的电杆上引至进户支架的线路称为引下线,由进户支架引至总配电箱的线路称为进户线,进户装置如图16-2所示。规范要求,低压进户装置的进户线滴水弯至地面的距离不小于2.7m。若采用直埋电力电缆引入电源,则从架空线路电杆上引入地下的电缆应在地面以上2m有钢管保护,在电缆引入建筑物处也须穿钢管保护,且保护管应超出建筑物防水坡250mm以上。保护管内径应不小于铅包、铝包电缆外径的1.5~2倍,不小于全塑电缆或橡皮绝缘电缆外径的1.6倍。为了避免在敷设电缆穿管时损坏电缆,应将保护管端口打成喇叭口形状。此外,为了用电安全,应在架空线

路或电缆线路的进户点处装设重复接地装置,其接地电阻应满足:100kVA 以上变压器(发电机)供电线路的重复接地电阻  $R_{jd} \leq 10\Omega$ ;100kVA 及以下变压器(发电机)供电线路的重复接地电阻  $R_{jd} \leq 30\Omega$ 。

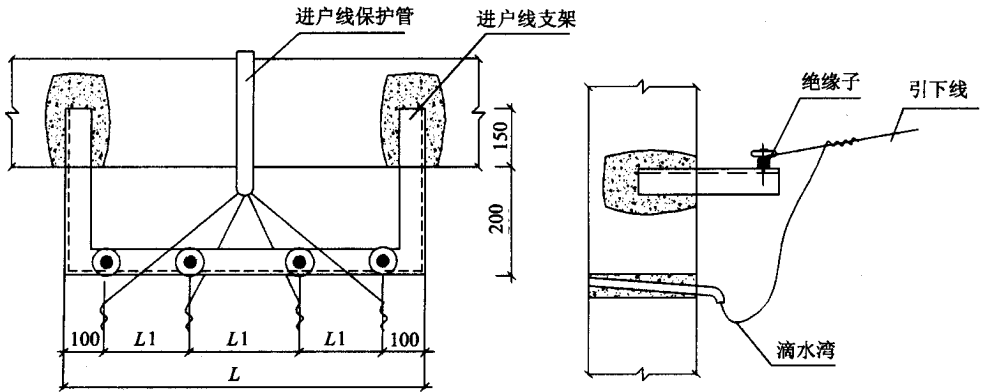


图 16-2 低压架空线路进户装置

3. 明确各配电回路相序、路径、敷设方式以及导线型号、根数。应按设计所确定的相序从配电箱引出配电回路,以满足使三相负荷接近平衡的设计要求,明确各配电回路的路径、供电区域。在此基础上,了解配电回路的敷设方式。一般居民住宅、学校等民用建筑的低压配电回路多采用水煤气管、电线管、阻燃塑料管暗敷,或者采用塑料护套线(BVV 或 BLVV)明敷。在高层建筑中,则多采用电缆沟、电缆井、线管和线槽等敷设方式。随着人民的不断改善和对室内美化装修标准的提高,传统的瓷瓶、瓷夹板和木(塑)槽板等敷设方式已极少采用,只是在工业厂房中还有采用。而阻燃塑料明敷线槽、新型地面线槽、PVC 刚性阻燃管、波纹管可绕金属套管(套接扣压式薄壁钢管 KBF 或称作普利卡金属套管)和金属软管等安装工艺简单、敷设效率高、美观实用和成本低廉,因此这些敷线管材在电气安装中得到日益广泛的采用,使配管配线安装技术有了突破性的发展。

4. 明确电气设备、器件的平面安装位置。应弄清配电箱、灯具、开关、插座、吊扇等的平面安装位置、及其装设高度和安装方式,以便据此确定线路最佳路径。确定穿墙瓷管或穿越楼板保护管、接线盒等器件的平面位置,确定预留量以及制定出与土建施工和其它工程(如给排水、暖通工程安装、通讯线路和电视电缆安装等)的配合方案。

### (三) 结合有关土建工程图阅读电气照明工程图

室内电气照明工程与土建工程结合非常紧密,因为照明平面图只能反映所有电气设备器件的平面布置情况,但实际上还有一个立体布置的问题。因此,这就要求我们必须结合有关土建工程图进行阅图,以了解电气照明系统的立体布置的全貌。

在掌握上述阅图方法的基础上,再进一步阅读施工技术说明,以全面领会设计意图和施工技术要求,结合工程实际制定出施工方案。例如与土建施工及其他工程的配合、预制加工电气安装配件、编制施工预算和材料计划,以及提出在电气安装过程中需要修改原设计方案(如暗配管线等)的变更报告等,以避免发生施工错误,使电气安装工程达到设计和使用要求。

## 第二节 照明器具与控制装置的安装

室内照明器具与控制装置主要包括各式照明灯具、开关、插座和照明配电箱(盘)等,本节将主要介绍它们的安装施工要求和一般安装方法。

## 一、室内照明灯具的安装

按配线方式、房屋结构、功能以及对照度的不同要求,室内照明灯具一般可分为吸顶式、壁式和悬吊式等三种安装方式。

### (一) 照明灯具的一般安装要求

根据《电气装置安装工程电气照明装置施工及验收规范》(GB50259-96),在进行室内照明灯具的安装施工时,应满足以下要求。

#### 1. 灯具应安装牢固可靠

在进行灯具安装时,应首先保证安全,使灯具安装牢固可靠。如固定灯具用的螺钉、螺栓一般不得少于两个,木台直径在75mm及以下时,也可用一个螺丝或木螺栓固定。灯具重量超过29.4N时,应预埋吊钩或螺栓。固定花灯的吊钩,其圆钢直径应不小于灯具吊挂销轴的直径,且不小于6mm,对于大型吸顶花灯、吊装花灯的固定及悬吊装置,应按灯具重量的1.25倍做过载试验。采用钢管制作灯具吊杆时,钢管壁厚不应小于1.5mm,管内径应不小于10mm。对于软线吊灯,其灯线两端在灯头盒内均需打“结扣”,以不使盒内接线螺钉承受灯具重量,防止灯具坠落。此外,还限制软线吊灯重量在9.8N以内,超过者应加装吊链,并将软灯线与吊链编叉在一起,且吊链安装的灯具其灯线不应承受拉力。另外,在重要场所安装灯具的玻璃罩,应按设计要求采取防止破裂后向下溅落的措施。

#### 2. 灯具安装应整齐美观,具有装饰性

在同一室内成排安装灯具时,如吊灯、吸顶灯、嵌装在顶棚上的装饰灯具、壁灯或其他灯具等,其纵横中心轴线应在同一直线上,中心偏差不得大于5mm。嵌装在顶棚上的灯具应分别固装在专设框架上,灯罩边框边缘应紧贴在顶棚安装面上。隔栅荧光灯具以及其他灯具的边缘应与顶棚的拼装直线平行,隔栅荧光灯具的灯管应排列整齐,其金属隔栅不得有弯曲和扭斜等缺陷,以使灯具在室内起到照明和装饰两种作用。

#### 3. 灯具的安装应符合安全用电要求

规范规定,各种灯具金属外壳应妥善接地,或使用12~36V安全电压。荧光灯、荧光高压汞灯、碘钨灯等及其附件应配套使用,且安装位置应便于检修。在装有白炽灯泡的吸顶灯内,白炽灯泡与木台间须设置隔热层。电源线在引入灯具处不应受到应力和磨损,也不应贴近灯具外壳,在灯架或线管内导线不应有接头,以确保照明用电的安全。

### (二) 悬吊式灯具安装

灯具的悬吊方式有线吊式、管吊式和链吊式等三种安装方式。灯具重9.8N及以下,如一般居室内白炽灯多为软线吊灯,对于9.8N以上的灯具,如荧光灯、各式花灯则多为管吊式或链吊式灯具。

#### 1. 小型悬吊灯具的安装

小型悬吊灯具主要包括一般软线吊灯、瓜子链吊荧光灯、以及29.4N以内的链吊式、管吊式灯具。在安装小型悬吊灯具时,一般需要先安装木台和吊线盒,且在土建内装修或室内吊顶基本完成后,在暗(明)配线施工的同时进行安装。安装时,先在木台上钻好出线孔,对于明配线,还要在木台上锯好进、出线槽,然后将导线套上塑料保护管从木台出线孔中穿出,再将木台固定在安装面上(直径 $\phi 75\text{mm}$ 以内的木台用1个木螺钉固定, $\phi 75\text{mm}$ 以上的木台须用2个木螺钉固定)。木台的固定应视安装面结构而定,对于木梁、木结构楼板,可用木螺钉直接固定。对于砼楼板,如为现场浇注砼楼板,可在预埋线管的同时埋设接线盒,明配线则埋设木砖,如为预制多孔楼板,则可用冲击钻钻孔,选用合适的聚丙烯膨胀螺栓固定木台。注意在砖石结构中安装电气照明装置时应采用预埋吊钩、膨胀螺栓、尼龙或塑料胀管等固定,严禁使用木楔。对于轻钢龙骨吊顶,则应与室内装修施工配合,用螺钉或螺栓将木台固定在龙骨架上,使木台与吊顶面板贴紧。在木台、吊线盒座等安装固定好后,即可安装小型悬吊灯具了。

灯具的悬挂高度首先应考虑照明安全用电和室内活动、工作范围(6~12m)的要求,还须考虑对灯具眩光的限制,即使灯具的最低悬挂高度在视角的中等眩光区和微弱眩光区( $27^\circ \sim 45^\circ$ )之内。如图16-3所示,灯



具的悬吊垂度  $h_c = 0.3 \sim 1.5\text{m}$  ;一般灯具安装高度  $h_s = 2.4 \sim 4.0\text{m}$  ,配照型灯具  $h_s = 3.0 \sim 6.0\text{m}$  ;搪瓷深照型灯具  $h_s = 5.0 \sim 10\text{m}$  ,镜面深照型灯具  $h_s = 8.0 \sim 20.0\text{m}$ 。

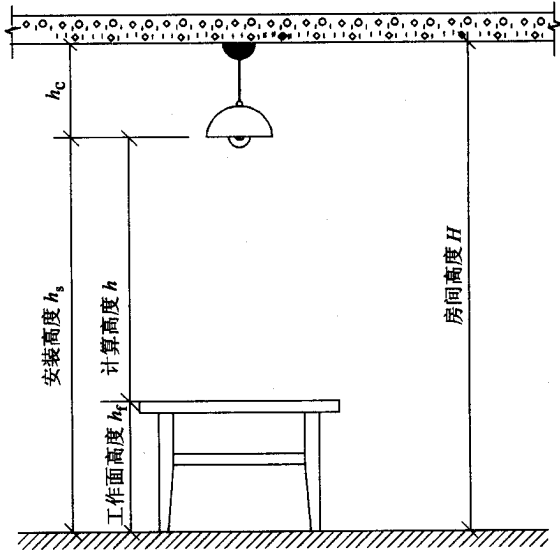


图 16-3 灯具悬挂示意图

小型悬吊式灯具种类繁多,本节主要介绍常见的一般软线吊灯、瓜子链吊荧光灯和管吊组合式荧光灯的吊装方法。

(1) 软线吊灯

软线吊灯安装最为简便,安装时先将吊线盒座装在木台中心,并与明(暗)配线连接,再根据灯具设计悬吊高度剪割适当长度的双股棉织绝缘软线或塑料软线(潮湿的场所宜选用塑料绝缘软导线),用剥线钳将导线端的绝缘层剥除 2~3cm,并将芯线按原绞捻方向绞紧,搪锡后再与吊线盒座、灯头盒内的接线端子连接,连接之前须在盒内打好结扣。在进行接线时,应注意将相线与零线严格分开,一般规定红色或有花色的导线与相线连接,淡蓝色或无花色的导线与零线连接。相线应经过开关再与灯具吊线盒连接,而零线可直接与吊线盒连接。对于螺口灯泡,应使经过开关的相线(一般称为控制线)连接于灯头盒内的中心舌型弹片上,零线接在螺口上,以避免在装卸灯泡时发生触电事故。

(2) 瓜子链吊荧光灯

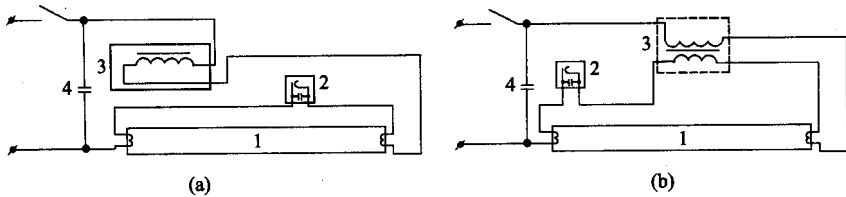


图 16-4 荧光灯线路图

(a)一般荧光灯线路 (b)带副线圈镇流器的荧光灯线路

1—灯管 2—启辉器 3—镇流器 4—补偿电容

这种灯具光效高,因此在图书馆阅览室、办公楼、教学楼、居民楼等场所中应用十分普遍。在安装时应先在地面进行组装试亮合格后再进行吊装。组装时应特别注意镇流器、启辉器与灯管相匹配,可参照表 16-5、表 16-6 选用。荧光灯电路如图 16-4 所示,在接线时应按灭光灯电路图和镇流器接线图接线,尤其是带有副线圈的镇流器更不能接错,否则会损坏灯管。另外,由于镇流器是感性元件,功率因数较低,为了提高功率因数,应在荧光灯电路两端并联适当规格的电容器,以进行分散式无功补偿。荧光灯配用的电容器规格见

表 16-7,也可以在变电所(室)进行集中式无功补偿。

表 16-5 荧光灯管的主要技术数据

灯管型号	额定功率 (W)	电源电压 (V)	工作电压 (V)	工作电流 (mA)	启动电流 (mA)	启动电压 (V)	光通量 (lm)	平均寿命 (h)	主要尺寸			灯头型号
									管径	全长	管长	
YZ6	6	220	50 ± 6	135 ± 5	180 ± 20	190	150	2000	15.5 ± 0.8	226 ± 1	210 ± 1	2RC-14
YZ8	8		60 ± 6	145 ± 5	200 ± 20		250			301 ± 1	285 ± 1	
YZ15	15		52	320	440		580	38	451	436	2RC-35	
YZ20	20		60	350	460	970	604		589			
YZ30	30		95	350	560	1550	909		894			
YZ40	40		108	410	650	2400	1215		1200			
YZ100	100		87	1500	1800	5500		2000				
YH30	30	220	95	350	560	190	1550	1000				
YH40	40		108	410	650		2200					
YU30	30		90	370	570		1550					
YU40	40		112	420	680		2200					

表 16-6 镇流器、启辉器的主要技术数据

配用灯管功率 (W)	镇流器技术参数									启辉器技术参数				
	型号	工作电压 (V)	工作电流 (mA)	启动电压 (V)	启动电流 (mA)	最大功耗 (W)	cosφ	tgφ	型号	正常启动		欠压启动		启辉电压 (V)
										电压 (V)	时间 (s)	电压 (V)	时间 (s)	
6	YZ1-220/6	203	140-5	215	180-10	4	0.34	2.76	PYJ	220	1~4	180	<15	>135
8	YZ1-220/8	200	150-10		190-10		0.38	2.43						
15	YZ1-220/15	202	330-30		440-30	8	0.33	2.86	PYJ					
20	YZ1-220/20	196	350-30		460-30		0.36	2.59	15-20					
30	YZ2-220/30	180	360-30		560-30		0.5	1.73	PYJ					
40	YZ2-220/40	165	410-30		650-30		0.53	1.6	30-40					
100	YZ1-220/100	185	1500-100	1800-100	20	0.37	2.52	PYJ 100			200	2~5		

表 16-7 荧光灯配用电容器的主要技术参数

电容器型号	容量( $\mu\text{f}$ )	配电灯管功率(W)	电压(V)	最大工用电压(V)
YDR220-2.5	2.5	20	220	242
YDR220-3.75	3.75	30	220	242
YDR220-4.75	4.75	40	220	242

在灯具组装、试亮合格后,剪装瓜子吊链。可根据房间高度  $H$  和灯具悬安装度  $h_s$  确定灯具的悬吊垂度  $h_c$  ( $h_c = H - h_s$ ),将垂度  $h_c$  减去吊钩高度(约 15mm)和灯具吊环至灯管的高度(约 50mm),即为所需瓜子链的长度。再根据灯具吊环的实际间距,在顶棚的安装线上确定吊钩位置,并埋设吊钩,以保证在灯具吊装后,灯具悬吊牢固、等高、纵横平齐、吊链铅垂、整齐美观。

### (3) 管吊组合式荧光灯

管吊组合式荧光灯是我国近年开发的新型高效节能荧光灯具,配置有电子镇流器,具有功率因数高(可达 0.9 以上)、高频快速启动(工作频率  $f = 18 \pm 2\text{kHz}$ ,启动时间  $t_{\text{qi}} = 1 \sim 2\text{s}$ )、工作稳定、适用电压变化范围大(180~240V,50Hz 均可正常工作)和节电、寿命长等特点。它是以铝型材为灯体、美观大方、照度高,配以不同的连接件(有二通、三通、四通、六通等灯管插接头),巧妙而方便地组合成多种几何形状,特别适合于现代办公楼、写字间、教学楼、阅览室、计算机房和商场等场所的大面积工作照明,能使室内显得宽敞明亮,增加了舒适感。安装时应当与室内装修工程紧密配合,结合天棚结构、形式、以及不同型号灯具的装配图进行安装。以轻钢龙骨吊顶为例,其安装方法为:①根据灯具型号、吊管间距和组合的几何形状,在顶棚上确定吊管盒座位置,与吊顶装修施工配合,设置安装盒座的龙骨架,并预留吊管盒座安装孔。②用电钻在龙骨架上打孔,直接用木螺丝或螺栓把吊管盒固定在龙骨架上。③如前所述,应按照国家设计平面布置图和吊管盒座的安装位置,在顶棚内将 PVC 塑料阻燃刚性线管或金属线管敷设至相应灯具的上方,并设一接线盒,然后通过塑料波纹管或金属软管与灯头盒相互连接,再按要求穿线,使导线从灯头盒进线孔穿入,接在灯头盒座的接线端子上。④根据吊管所在组合式灯具的部位,选用相应的灯管连接头与吊管组装,并将与灯管插接头相连接的导线从吊管引出(吊管内不允许有导线接头)。⑤安装吊管组件,先将从吊管引出的导线接在吊管盒座的接线端子上,再把吊管盒装饰护罩(金属法兰)扣装在吊管盒座上,找正装配孔,用装配螺钉连接固定。与此同时,调整好灯管插接头方向,将铝型材灯体装于灯管插接头上,这样吊管组合式荧光灯就安装好了。

### 2. 大、中型悬吊灯具安装

在室内电气照明灯具安装中,经常会遇到如水晶花灯、艺术花灯等一些大型或中型悬吊灯具的安装,其安装有链吊和管吊两种吊装方式。如前所述,当灯具重量超过 29.4N 时,需要在顶棚上装设吊钩,吊钩可选用  $\phi 8 \sim \phi 12\text{mm}$  的圆钢制作,即将圆钢煨制“T”字形。在现浇制砼楼板或梁的埋设点处,应将“T”字形吊杆的横边绑扎在钢筋上,竖直吊杆则与暗敷线管的出线管贴紧并齐,待浇注混凝土、拆除模板后,再用气焊加热将吊杆煨成吊钩。在预制楼板的埋设点处,可用冲击钻打孔(如为楼板拼接缝隙,则不用打孔),将“T”字形吊杆从孔洞中穿下,待铺抹水泥砂浆地坪时埋住,最后仍采用气焊加热将吊杆煨制成灯具吊钩。对于轻钢龙骨吊顶,则应与室内吊顶装修施工紧密配合,可在龙骨架上装设吊钩,但应对龙骨架采取加固措施,或者采用上述方法在楼板上埋设吊钩。

在吊钩装设好后,即可吊装花灯及接线。但在吊装花灯之前,应先进行组装,即将花灯的各组灯泡按控制要求试亮,吊装并经试亮合格后,再安装各式装饰灯罩、灯具的水晶吊链等灯饰配件。

### (三) 吸顶式灯具安装

吸顶式灯具式样繁多,有适用于展览厅、橱窗等场所照明的小射灯、轨道灯,可起到装饰展厅、橱窗和宣传美化展品的效果;有适用于大型商场、贸易大厦等场所照明的光带(指发光表面与顶棚表面在同一平面上的狭长灯具)和光梁(指发光表面突出顶棚表面的狭长灯具),再配以嵌入式筒灯、牛眼灯及其他灯具,可使大厅照度均匀,视觉条件和显色性好,给人以室内空间高大、明亮和富丽堂皇之感;有适用于歌舞厅、宴会厅、卡拉 OK 厅等场所照明的吸顶花灯,再配以嵌入式筒灯、暗槽灯、艺术壁灯以及合适式样的舞厅灯等,从而达到

美化环境、光彩夺目和生动活泼的观感效果,还有适用于图书馆、科研楼、教学楼等场所照明的吸顶式荧光灯、大面积的发光顶棚等,具有光效高、寿命长和光色较好的特点。由于荧光灯管安装于专用灯具之内,所以较好的消除了眩光,很适宜在学习环境中装设。为了减弱荧光的频闪效应,在同一大厅或室内应采用三相四线制供电的照明线路。

下面仅对最流行的光带灯具和吸顶天花灯的安装加以介绍。

### 1. 光带(光梁)灯具的安装

光带(光梁)的透光面罩有磨砂玻璃、PS折光板、满天星格栅、乳白有机玻璃、有机格栅、铝网、铝格栅(有方格、直条)等,具有照度高、美观大方和豪华气派,因此在现代化商场、贸易大厦等场所的电气照明中获得了广泛应用。TY547<sub>a</sub>型光带安装尺寸见表16-8,图16-5为光带在轻钢龙骨吊顶上的安装示意图,现以TY547C型光带为例,其安装方法为(1)在安装光带时,应与室内吊顶装修工程紧密配合,根据光带型号、安装尺寸和安装位置,在顶棚上预留宽度B,长度为1280×n的孔洞,并按照线路平面布置图,先进行配管配线,把电源线敷设到相应的光带旁;(2)根据光带盒3和装饰托罩架8的安装尺寸,在预留孔两侧的槽形龙骨4上加工安装孔,并对龙骨采取相应的加固措施;(3)把光带先分组进行组装并试亮正常后,再用安装螺钉5把光带盒和装饰托罩架固定在槽形龙骨上。在安装固定时,应使各组光带盒相互连接紧密,接口应无错位和缝隙,装饰托罩架应与石膏板6的表面贴紧,托罩架间相互连接光滑平齐,两侧托罩架间相互平行;(4)最后连接光带电源线、安装灯管和透光面罩等,这样就完成了光带在轻钢龙骨吊顶上的安装。

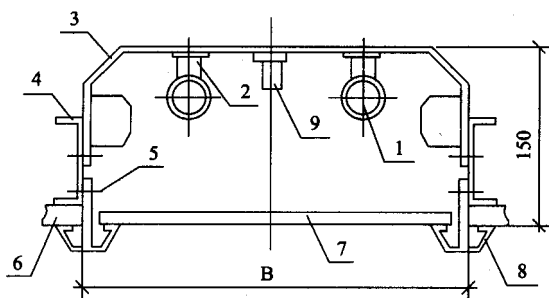


图 16-5 光带安装示意图

- 1—荧光灯管 2—灯带座 3—灯带盒 4—槽型龙骨;  
5—安装螺钉 6—吊顶面板 7—透光面罩;  
8—装饰托罩架 9—电子镇流器及起辉器

表 16-8 TY547 系列光带安装尺寸(mm)

型 号	透光面罩宽度	土建顶棚预留孔洞
TY547□-1-1	240	270×1280×n 组
TY547□-1-2	320	350×1280×n 组
TY547□-1-3A	350	380×1280×n 组
TY547□-1-3B	490	520×1280×n 组

### 2. 装饰吸顶天花灯的安装

装饰吸顶天花灯组合性强,其外形美观豪华,对建筑物室内起着特殊的装饰效果,在宾馆、餐厅、歌舞厅等建筑中得到最为广泛地应用。如在宴会大厅的吊顶上对称安装吸顶天花灯,并配以数盏嵌入式筒灯和其他装饰灯具,将使整个大厅富丽堂皇,充满了欢快气氛。

一般吸顶天花灯的重量都在29.4N以上,所以根据规范要求应采用螺栓安装。其安装工序为(1)埋设螺栓。螺栓一般用φ8及以上圆钢制成,对于砼楼板顶棚,可根据天花灯底座板的安装尺寸,配合土建施工,在砼

楼板上预埋相应数量的 M8 螺栓。对于轻钢龙骨吊顶,则应与室内吊顶装修工程紧密配合,在吊顶上预留装设花灯的龙骨架,在龙骨上按照花灯底座板的安装尺寸装设 M8 螺栓,但应注意对龙骨采取相应的加固措施,以防龙骨吊顶变形损坏。(2)固定花灯底座板。螺栓埋设好后,把灯具配线从顶棚线管中引出,并从花灯底座板引线孔穿出,然后将底座板装在预埋螺栓上,并使底座面与顶棚装饰面贴紧固定,再将灯具配线连接到底座板的接线盒上。(3)安装吸顶花灯底座板装饰罩。安装前先将花灯在地面组装试亮,再把灯线按要求连接到底座板接线盒上,即如前所述,对于螺口灯泡,应保证使相线连接于灯头盒内的中心舌型弹片上。最后用专用螺钉将底座板装饰罩固定安装在底座板之上,应使装饰罩与吊顶装饰面紧贴住,把底座板全部遮盖,以不影响室内装修美观。(4)安装灯泡及各式装饰灯罩、灯饰配件等。

#### (四) 特种装饰灯具的安装

随着室内装饰标准的提高,彩色喷泉灯、广告招牌灯、花园灯、小带灯、软式流星灯等各种装饰性灯具得到广泛采用,而且装饰灯具种类越来越多,越来越新颖华丽。下面将主要介绍应用最广,安装简便的软式流星灯的安装方法。

软式流星灯主要由软管灯组、控制器,以及电源接头、轨道、固定夹、紧固带、中间接头、双面胶带、吸盘和尾塞等配件组成。软式灯组有透明、红色、蓝色、黄色、桔色、粉红色、绿色、紫色、黄绿色等九种颜色。将颜色相互搭配,用于建筑装饰及外型显示,按设计要求可组成各式文字符号和图案等,因而是宾馆饭店、花园厅台、商店橱窗展台、晚会布景、夜总会酒吧、影剧院招牌等场所的理想装饰灯具。

软式流星灯是在其软管上的银点标记之间,每条发光支路由若干个小灯泡相互串联组成。如在银点标记之间每条发光支路分别有 2 个、4 个、18 个、36 个灯泡串联,相对应的额定电压分别为 12、24、110、220V 等四种。如图 16-6 所示,软式流星灯为每条发光支路由 18 个灯泡组成,并按要求将各串联发光支路并联在软管内“干线”上,可见银点之间串联的灯泡数量越多,其额定电压也越高。软式流星灯及其配件如图 16-7 所示,其基本安装方法如下:

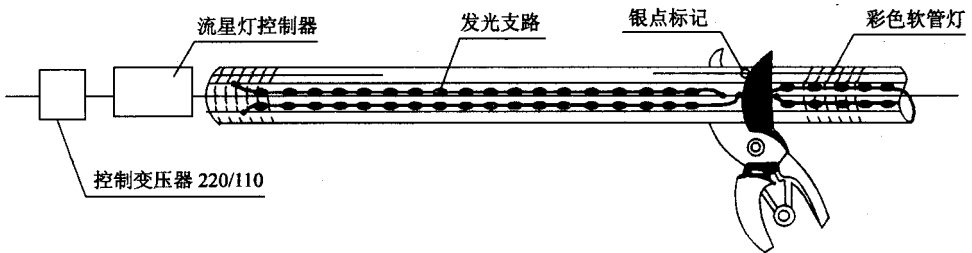


图 16-6 软式流星灯接线及结构示意图

1. 先在装饰面上画出设计文字图案,再在图案线上装设管卡支架配件,其间距一般为 200~300mm。然后将软管灯组按设计图案整形,并依次压入固定夹内。

2. 如果悬空安装,可用粗铁线弯制成所要求的文字或几何图形,再用紧固带将软管灯组固定在粗铁线架上。

3. 对于商店、影剧院等场所,有时需要将软管灯组固定在橱窗、门面招牌等处的玻璃表面上,则应先 will 玻璃表面擦净,然后按照要求的文字图案采用吸盘、紧固带安装固定软管灯组即可。

##### 4. 直线段的安装

当软管灯组在直线段上安装时,应使用与之配套的专用灯槽配件。在安装前,应先在安装面上按装饰图案要求划安装线,同时在灯槽底板的中心线上钻孔,然后用梅花螺钉将灯槽沿安装线固定。若需安装在玻璃表面上,则采用双面胶带配件将灯槽粘固在玻璃上,在灯槽全部固定好后,将软管灯组压入灯槽内即可。

##### 5. 软管灯组的连接

在软式流星灯的安装过程中,为了装饰的需要,要求将不同颜色的软管灯组进行组合,或需要增加软管灯组的长度,因此要进行软管灯组之间的连接。如上所述,在银点标记之间有多条发光支路,每条发光支路由若干只小灯泡相互串联构成,所以只能在银点标记处进行剪切连接,否则会破坏该银点标记间的灯泡串联支路,造成被剪段灯泡不亮。

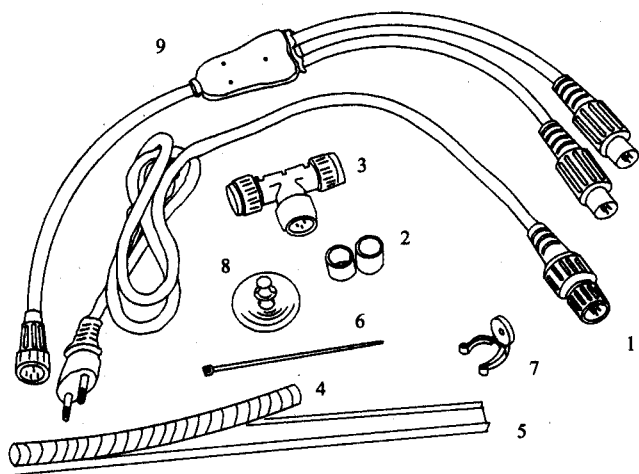


图 16-7 软式流星灯管及其配件

1—电源线插接头 2—终端塞盖 3—三端插接头 4—软式流星灯管；  
5—灯槽 6—包扎线条 7—管卡支架 8—环形吸盘 9—Y形插接线

“软管灯组”之间的连接非常简便,只需用剪刀在银点标记处将软管灯组剪断,把中间插接头的“插接针”用力压入软管灯组端的插接孔内,并注意使“插接针”与插接孔内干线并行,以使之可靠接触。最后将两螺母分别与中间插接头拧紧,以固定中间插接头。

#### 6. 软管灯组与电源之间的连接

在软管灯组安装固定好后,最后将软管灯组与电源线插接头进行连接。软管灯组是通过电源线插接头专用配件与电源连接的。在软管灯组与电源线插接头连接时,先将电源接头配件的螺母套入被连接的软管灯组端,再将电源线插接头配件的“插接针”用力压入软管灯组端的插接孔内,仍须注意使“插接针”与插接孔内的干线并行,并拧紧固定螺母,以保证可靠连接。这样,就完成了软式流星灯的安装,可以将电源线插接头插入电源插座了。

软式流星灯的接线及电源电压的配备应参考有关产品说明书,应注意选用配套的控制装置,有 12/24V 控制器、110/220V 控制器,可产生一组具有一定时序要求的脉冲电源电压。使用控制器后,即可产生跳动、追逐和闪烁的效果,从而使被装饰场所更加变化纷呈、绚丽多彩。

7. 软式流星灯(属于霓虹灯的一种)的专用变压器应装设在便于检修的隐蔽位置(但不得安装在吊顶内)。明装时,安装度不宜小于 3m,否则应采取防护措施。在室外安装时,应采取防雨防潮措施。变压器所供灯管长度不应超过允许灯管长度,其二次导线距建筑物、构筑物表面应不小于 20mm。

此外,还有壁灯安装。壁灯在室内通常安装在墙壁上或柱子上,安装高度一般为 1.8~2m 之间,是一种集观赏性、实用性和装饰性为一体的艺术灯具。丰富多彩的艺术壁灯会给室内增添不同的情调和气氛,在室内装饰中起着十分重要的点缀和衬托作用。因此,在现代居室中,艺术壁灯已成为不可缺少的电器装置了。壁灯的种类繁多,如有床头灯、镜前灯、楼道装饰壁灯和室内各式艺术壁灯等。床头灯有单节单摇或双摇床头壁灯、双节单摇或双摇床头壁灯,用于装饰床头壁面,并具有与室内主照明相互呼应功能,再配以落地灯和台灯,可提高房间的和谐情调和梦幻气息,照亮墙上所挂各种饰物、增添壁面美妙,造就出完美温馨的生活空间。单摇床头壁灯一般安装于床头两侧的墙上,双摇床头壁灯则安装于床头正中,安装高度为 1.2m。装设双节单摇或双摇床头壁灯,可根据需要改变灯具位置,便于睡前阅报、看书等。镜前灯是横装于镜子或壁画上方作局部照明的灯具,它可以改变光照方向。楼道装饰壁灯有玉兰花型、笠型、扇型、仿古木饰灯和风景画透光面罩装饰壁灯。室内则有各式艺术造型及铁艺装饰壁灯,以使室内空间环境的光效配置、气氛调节等与室内装修效果更加和谐统一。

壁灯的线路也有明、暗配线方式,暗配线时应根据壁灯的安装部位,配合土建施工,在砌墙(或浇注混凝土)时及时埋设线管和灯头盒,在土建室内粉刷等装修基本完成时,再进行线管穿线和安装室内灯具。壁灯

安装多采用膨胀螺栓固定,即应根据壁灯的安装高度和底座安装尺寸,先在墙面上确定固定点,用冲击钻在固定点上打孔,再放入合适规格的塑料胀管,在接线盒内按要求将电源线连接好,最后用螺钉固定壁灯底座、底座法兰装饰面罩和灯罩等。

## 二、室内照明配电箱安装

照明配电箱一般都是由箱体、配电盘和开关(胶木负荷开关 HK2 系列或自动空气开关 DZ10、DZ20、DZ47 和 ME、CA5 等系列)熔断器(瓷插式 RC1A 系列、螺旋式 RL1、RL2、RL6、RL7 等系列)和电度表等组成的。箱体有木制和铁制两种,一般不宜采用可燃材料制作,如在干燥无尘的场所内采用木制配电箱(板),应刷防火漆进行阻燃处理。铁制箱体用薄钢板冲压而成,造型新颖、美观轻巧,喷涂烤漆后具有良好的装饰效果,故在现代建筑中得到普遍采用。盘面的制作则要求设备布置紧凑、整齐美观、安全和便于维修。配电箱的盘面上一般根据需要装有单极、双极、三极或四极自动空气开关或胶木负荷开关,有的还配有漏电保护器,单相、三相三线或三相四线制电度表等。电度表接线如图 16-8 所示,以供接线时参考。盘内电器之间的连接导线一般在盘后布置固定,所以导线从盘后引出盘面时,其面板线孔应光滑无毛刺,金属盘面应在其面板线孔上装设绝缘保护套管。

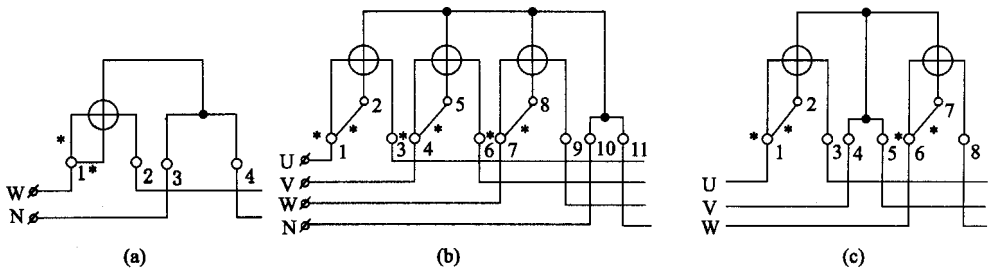


图 16-8 电度表接线图

(a)单相电度表 (b)三相四线电度表 (c)三相三线电度表

在安装电度表时应满足以下要求:①一般要求电度表与配电装置(如配电箱、配电柜等)装在一处。装电度表的盘面如是木板,其正面及四周边缘应涂漆或包铁皮防潮。木板应为实板、坚实干燥,拼接处要紧密平整,无裂缝;②电度表要装在干燥、无震动、无腐蚀性气体和无外磁场影响的场所。表板的下沿距地坪一般不低于是 1.8mm;③为了使线路的走向整齐美观,电度表应安装在配电装置左侧或左下方。为了抄表方便,电度表的中心应装在距地坪 1.7~1.8m 处。如需多只电度表并列安装,则两表间的中心距离不应小于 200mm;④不同电价的用电线路应分别装表,同一电价的用电线路可合并装表;⑤在安装电度表时,表面必须与地面垂直,否则会影响电度表的准确度。

接线时,应将电度表的电流线圈和电压线圈带“\*”的一端接到电源的同一线端(或同一极性端)上,或者根据说明书要求和接线图,把进线和出线依次对号接在电度表的接线端子上。另外,还应注意电源的相序,尤其是无功电度表更要注意所接电源相序的正确性。

电度表的选择主要是根据负载的最大工作电流和额定电压,以及所要求测量值的准确度来选择电度表的型号。应使电度表的额定电压与负载电压相符,电度表的额定电流应大于或等于负载的最大电流。

如照明配电箱(板)内装设螺旋式熔断器,其电源线应接在熔座中间弹性舌片的端子上,负荷线则接在螺口的端子上。照明配电箱(板)内应设置零线(N线)和保护接地线(PE线)汇流排,二者应严格分开,并设有编号名称。零线和保护接地线应分别接于相应的汇流排上,不得经过汇流排而绞接。

照明配电箱有明装、暗装两种安装方式,在宾馆饭店、办公大楼、居民住宅等民用建筑中,多采用嵌墙暗装。配电箱一般安装在电源进口处,并尽量接近负荷中心。其安装高度即配电箱底边距地面高度宜为 1.5m,配电箱底边距地面高不宜小于 1.8m。照明配电箱(板)应安装牢固,其垂直偏差不应大于 3mm。明装配

电箱安装在墙上时,可根据配电箱安装尺寸和安装高度在墙上预埋燕尾螺栓或打膨胀螺栓,螺栓长度为预埋深度(75~150mm)、箱体后板厚度和垫圈、螺帽厚度之和,再加5mm左右的余量,然后把箱体固定在螺栓上,再把配电盘面推入箱内固定。暗装配电箱应按设计位置,在土建砌墙时预留孔洞,其高、宽、深均应与配电箱尺寸相符。如果箱体较宽时,还须在预留孔洞上方浇注混凝土梁或放置预制砼板,以防止上部砖块下沉而使箱体受压。另外,在土建砌墙时应同时把引入、引出配电箱的线管埋设好,线管应成排并行敷设,且与配电箱的进、出线管敲落孔径大小相吻合。在土建内粉施工时把箱体埋设到预留孔洞内,应使照明配电箱四周无空隙,其面板四周边缘紧贴墙面,箱面稍稍凸出墙面,即面板四周边缘紧贴墙面。箱体与建筑物接触部分应涂防腐漆,在箱体与预留孔洞之间如有缝隙,应填入水泥、砂浆以固定箱体。然后,再进行线管穿线、盘面推入箱体内固定、连接导线和安装箱门等。金属箱体、金属线管均应可靠接地。

### 三、开关和插座安装

开关和插座的安装方式有明装、暗装两种,在现代建筑中,随着室内装修标准的提高,多采用暗装方式。

#### (一) 开关的安装

开关类型很多,有拉线开关、跷板式开关和扳把式开关等。按用途分有一般照明开关、调光开关、调速开关、声光控延时开关、带门铃(“请勿打扰”显示)开关、电子(或机械)式插匙取电开关、电铃开关等。

在宾馆饭店中,为了防止旅客在离开客房时忘记关灯和空调等电器设备,采用节电插匙取电开关控制,旅客进入房间,只有将节电钥匙插入节电开关盒,房间内才有电源;只有将节电钥匙从节电开关盒内取出,房间门才可能锁住,从而达到节电目的。而对于楼梯、走廊、公厕等场所的照明,常出现“常明灯”,浪费了大量电能,因此最好选用短时接通式按钮开关或声光控延时开关节电。

安装在同一建筑物、构筑物内的开关应尽可能选用同一系列产品,开关的通断位置应一致,且操作灵活,接触可靠。开关安装位置应便于操作,各种开关距门框的距离宜为150~200mm。同室内安装的同类开关安装高度差不应大于5mm,成排安装时,开关的高低差不应大于1mm。跷板式、扳把式及按钮式开关距地面高度为1.3m,拉线开关距地面高度为2~3m,且拉线出口应垂直向下,其相邻间距应不小于20mm。在现代高层建筑、民用建筑中,普遍采用暗管配线,为此对暗管配线时开关的明、暗安装方法作简单介绍:

在安装时,均应与土建施工配合,按设计要求,在土建砌墙时将线管、开关盒预埋在墙体内(应使线管伸进开关盒内5mm,并在连接处加装锁母和密封护圈,管端加装塑料线管护口。以保证线管与开关盒可靠连接,防止在穿线时损伤导线绝缘层),做到位置准确到位,并使开关盒面伸出砖墙面约15mm,盒体埋设平整,不偏斜,盒的四周不应有空隙,在粉刷后即可使盒口面与墙体的粉刷层面相平齐。在墙面喷白或装修后,即可安装明、暗开关。

如为明装开关,则先进行管内穿线,并将导线从圆木台出线孔中引出,再将圆木台用螺钉安装在开关盒上,再在圆木台上安装开关,其安装工艺如图16-9(a)所示。如为暗装开关,则在线管内穿线后,将导线与开关面板上的接线端子连接,再将开关面板固定在开关盒上,如图16-9(b)所示。对于跷板式、扳把式开关,无论是明装还是暗装,在安装接线时,均应实现开关控制火线,并将开关扳把往上扳时,电路接通,电灯点亮;往下扳时,电路切断,电灯熄灭。

#### (二) 插座的安装

插座的种类很多,有普通插座、组合插座、防爆插座、带开关及指示灯插座、带熔断器插座、地面插座和组合插座箱等。

插座的安装高度应符合工程设计规范要求,一般室内插座距地面不宜小于1.3m,托儿所、幼儿园及小学校不宜小于1.8m,在实验室、车间、宾馆客房等场所内,插座的安装高度可适当降低,但距地面不得低于0.3m,特殊场所内暗装插座安装高度不应小于0.15m。单相双孔插座的插座孔水平排列时,右孔接相线,左孔接中线,垂直排列时,上孔接相线,下孔接中线。单相三孔插座的上孔接地(或接零)保护线,右孔接相线,左孔接中线。在插座内接地(或接零)保护端子与中线(零线)端子不得相互跨接,其连接线必须严格分开。三



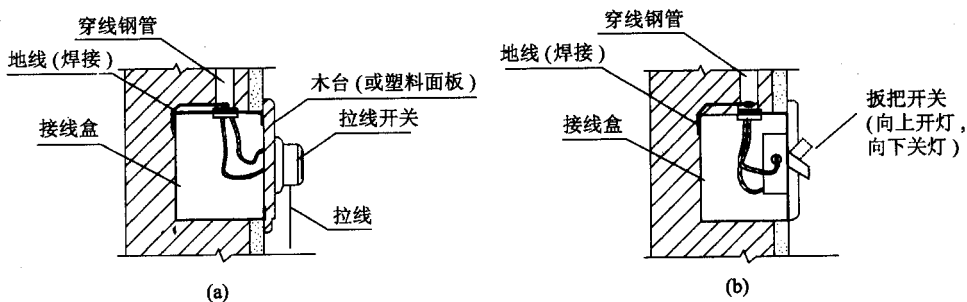


图 16-9 暗配线时开关的安装方法

(a) 明装开关 (b) 暗装开关

相四孔插座的上孔接地(或接零)保护线,其他三孔的接线应保证在同一场所内,其接线的相序必须一致,一般是右孔接 U 相,左孔接 W 相,下孔接 V 相。在同一场所安装的插座,安装高度应一致,高低差不大于 5mm;成排安装的插座,高低差不大于 2mm,并列安装的相同型号插座,高低差不宜大于 1mm。在地面安装的地面插座应装设保护盖。明、暗插座的安装方法与开关的安装方法相同,故不赘述。

## 第三节 电气照明运行与维护

### 一、照明设备的检查

#### (一) 检查周期

1. 每年 4 月之前,应做好雨季前的检查和检修工作。
2. 每年 7~8 月间,应做好雷雨季节中的检查工作。
3. 每年冬季前,应做好防冻、防风的检修工作。
4. 暴风雨和大风后,应做特殊巡视及检查。
5. 对于特殊企业和生产厂房的照明装置的检查期限,应根据具体情况而确定。

#### (二) 检查内容

1. 照明灯具上所装的灯泡,有无超过灯具的额定功率。
2. 局部照明时,检查降压变压器引线的绝缘情况,若有损坏,应及时更换或包好绝缘布带。
3. 灯具各部件若发现松动、脱落、损坏时,应修复或更换。
4. 检查行灯变压器和所有移动式灯具外壳的接地线是否牢靠。
5. 照明灯具的开关有无断相线,螺口灯的相线及零线接法是否正确。
6. 室外照明装置的检查
  - 1) 室外照明灯具是否有单独熔断器保护。
  - 2) 露天场所的照明灯有无采用防水灯口。
  - 3) 照明灯具的开关配电箱有无漏雨现象,灯具的泄水孔是否畅通,并清除灯具内的杂物。

### 二、电气照明的巡视

1. 为了及时消除事故隐患,保证电气照明装置的正常运行,要定期对电气照明装置和配电线路进行检查

和维修。

2. 检查导电部分的各连接处是否过热或有灼伤痕迹。
3. 检查各种仪表及指示灯是否完整,指示是否正确。
4. 检查开关及熔断器的外壳是否短缺或损坏,螺钉有无松动或脱落现象。
5. 检查熔断器内熔体的容量是否与负荷电流及导线截面相适应,禁止用不合格的导线代替熔体。
6. 若开关内有积尘或熔体熔断后有积炭,应及时清理,特别要注意检查与热源接近的塑料件有无变形,可燃件有无烧糊的痕迹

### 三、照明装置的运行与维护

1. 照明装置安装后,须经检查才能投入运行,检查照明装置的所有部件是否符合设计要求,安装是否牢固,保护接地或接零是否可靠。
2. 测定所有房间的一般照明装置及各具有代表性的局部照明的实际照度和开关设备工作的准确性。
3. 在运行中应系统地检查照明器和网络中电压的稳定性,并排除引起电压损耗和波动的原因。
4. 每季检测照度不得少于一次,必须保持原设计中对限制眩光作用的措施,不允许照明灯具有所缺少或取掉反射器和保护罩及减小照明器的悬挂高度。
5. 已损坏的灯泡应及时更换。
6. 所有修理、内部检查、清扫设备及更换灯泡等工作,必须在切除电源后才能进行,以保证安全。
7. 经常清除照明设备各部分上的积尘和染污,才能保持良好的运行状态,因此在使用过程中,必须定期清扫,保持干净。
8. 为保证照明装置无事故运行,应经常检查和进行小修。

### 四、安装使用注意事项

1. 一般照明采用不超过 250V 的对地电压,行灯及机床工作台使用局部照明灯,其电压不得超过 36V,在特别潮湿地点或在金属容器内工作时其电压不得超过 12V,照明灯需要 36V 以下的电压时,其变压器应采用一、二次线圈分开的变压器,不允许用自耦变压器。
2. 室内照明灯距地面高度不得低于 2.5m,受条件限制时可减为 2.2m,低于此高度时,应进行接地或接零,加以保护,或用安全电压供电。当灯在桌面上方或其他人不能够碰到的地方时,允许高度可减为 1.5m。
3. 安装室外照明灯时,一般高度不低于 3m,对墙上灯具允许高度可减为 2.5m,不足以上述高度时,应加保护措施,同时尽量防止风吹而引起的摇动。
4. 各种附件的安装高度应符合设计要求,一般拉线开关距地 2.5m,明装插座距地 1.8m,暗装插座距地 0.3m,明装和暗装板把开关距地面 1.4m,各种开关、插座的安装要牢固,位置准确。
5. 安装扳把开关时,其开关方向应一致,一般扳把向上为电路接通,向下为电路切断,插座的接线孔要有一定的排列顺序:
  1. 单相两孔插座,在两孔垂直排列时,相线在上孔,零线在下孔,水平排列时,相线在右孔,零线在左孔。
  2. 单相三孔插座,保护接地在上孔,相线在右孔,零线在左孔。
  3. 三相四孔插座,保护接地在上孔,其他三孔按左、下、右分别为  $U_1$ 、 $V_2$ 、 $W_3$  的三相线。
  4. 圆形单相三孔等距插头座均已淘汰,因为不具备必要的安全性,一律不得使用。
  5. 不同电压等级的插座应有明显标志,以免弄错。
  6. 接线时,相线和零线要严格区分,应将零线直接接在灯头上,相线必须经过开关再接到灯头上,双股紫花线其带白点的一根线接相线,线路与灯头引入接头处不应受到拉力,除安全电压外,不得使用带开关的灯头,并不准将电线直接焊在灯泡的接点上,使用螺纹灯头时,铜口不得外露。

7. 当事故照明采用直流供电时,因直流电源一般还要同时供给控制线路供电,不允许接地,因此在中性点接地系统中,直流电源应从不接地的的工作零线部分引进事故照明装置,而在中性点不接地系统中没有这种要求。

8. 车间照明装置一般应采取保护接零(或接地)措施,应注意保护接零(或接地)与工作零线分开,还应注意保护零线(或地线)的连续性。明线敷设时,可用挠性导线将照明器具外壳上的接地端钮与距照明器具最近的固定支架上的工作中性线相连;穿管敷设时,若零线未有断开的可能,允许用工作零线兼作保护零线。

9. 照明线路熔丝的额定电流一般不应超过 15A,对工业厂房可以放宽至 20A,熔丝的额定电流应大于正常负荷电流,但应小于正常负荷电流的 1.5 倍。照明线路应避开暖气管道,其间距不得小于 300mm。户内照明线路每条线路上的灯数一般不多于 20 个,而户外照明线路一般不多于 10 个,但节日彩灯不受此限。计数时,插座也应按灯考虑,其电流可按 2.5A 计入。

10. 照明线路的开关应能同时切断相线和零线,只有在危险性较小的场所才允许用单极开关,而且单极开关必须装在相线上。

11. 车间照明线路的绝缘电阻,每伏工作电压不得低于 1000Ω,在特别潮湿的环境,可以放宽至每伏工作电压 500Ω。

12. 照明开关应有明显的开、合位置,相邻开关或插座相、零线的配置,以及开、合位置都应当一致。

13. 固定灯具需要吊线盒及木台等配件,吊线盒若为软线吊灯,需在盒内打线结,用线结卡在盒盖上的线孔处,以防脱落,而多股软线的两端应先涮锡,使芯线成一体。若灯具自身重量超过 2.5kg 时,就需要用吊链和钢管悬挂灯具,一般采用直径大于 10mm 的吊管悬挂灯具,注意管内导线不应有接头。木台要与建筑物固定牢靠,防止灯具脱落。

## 第四节 照明灯具的合理布置与照度计算

照明灯具是由一定几何形状的灯罩、灯头座、光源以及附件和连接导线等组成,常用照明电光源可分为两类,即热辐射光源和气体放电光源。热辐射光源有白炽灯、卤钨灯等;气体放电光源有荧光灯、高压汞灯、高压钠灯、金属卤化物灯和管形氙灯等。

### 一、照明灯具的选择布置

#### (一) 照明灯具的选择

选择照明灯具是照明设计与安装的基本内容之一,应根据建筑物功能和工作、生活或娱乐等实际环境的需要,选择合适的照明灯具与光源。例如在 4m 以下的生产车间、阅览室、商店等处,由于灯具悬挂较低,但要求视看条件较好,对光源的显色性要求高、照度均匀、限制眩光,因此不宜采用较大功率的光源,通常多选用光效较高,显色性好的荧光灯。在高大生产厂房、露天工作场所、广场、体育场、建筑工地和道路照明等,由于灯具悬挂较高,也要求有较好的视看条件和显色性,宜采用功率较大、光效较高的电光源,可选用卤钨灯、管形氙灯、高压钠灯和高压汞灯等。

在住宅楼、办公楼、教学楼、商场和营业厅等一般室内照明,多选用白炽灯和荧光灯。另外在变电室、发电机房、消防控制室、大型商场、营业厅等场所的事故照明,应选用瞬时点燃的光源,如白炽灯和卤钨灯等。

另外,为了满足生产、生活和实际照明环境的需要,生产出各种类型的适用灯具,其配光曲线如图 16-10 所示。灯具按配光曲线分为:

1. 均匀配光:光线在各方向的发光强度基本相等,这种灯具光线柔和、无眩光,灯具本身无反射器,如乳白色玻璃球形灯,也称为漫射型灯具。

2. 深照配光:光线的最大发光强度在  $0^\circ \sim 40^\circ$  范围内,而最小则在  $50^\circ \sim 90^\circ$  范围内,如镜面深照型灯具,其

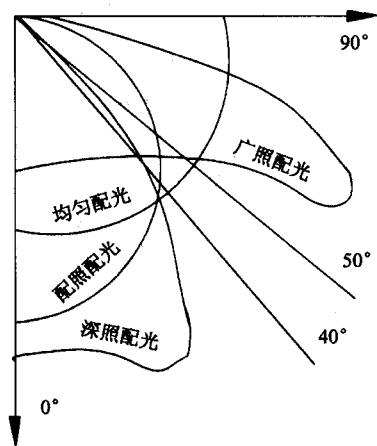


图 16-10 直射型灯具的配光曲线

特点是光线集中,光效高,但由于灯具顶部无光线,顶棚黑暗,易产生对比眩光,这种灯具适用于高大厂房、球场等场所。

3. 广照配光:光线的最大发光强度在  $50^\circ \sim 90^\circ$  范围内,而最小则在  $0^\circ \sim 40^\circ$  范围内。这种灯具适用于靠墙的操作场所、车间、街道和公路等处。

4. 配照配光:光线在空间各点的发光强度符合  $I_\theta = I \cos\theta$  规律,故也称为余弦配光。如搪瓷配照型灯和珐琅质万能型灯,适用于一般厂房和仓库等处。

这样,了解灯具的配光类型后,就可以根据实际需要选择合适的灯具了。如一般厂房车间内,可选用深照型和配照型灯具(悬挂高度 6m 以上,选深照型,悬挂高度 4~6m 选配照型);在高层建筑内,由于建筑装饰标准较高,灯具的装饰性也要求较高。如宾馆内底部的前厅、歌舞厅、宴会大厅等处设置大型水晶吊灯或其它豪华型吊灯,往往会达到富丽堂皇的视觉效果,而其它部位层高较低,多采用吸顶灯、深筒嵌入灯具、光带式嵌入灯具、荧光嵌入式灯具以及各式艺术壁灯、台灯和脚灯等,会给人以室内空间高大的感观视觉效果。在某些相对湿度大于 85% 的场所,则应采用带防水灯头的开启型灯具或防潮型灯具;在电瓶间等有腐蚀性气体的场所,应采用密闭型灯具;在有可能受机械损伤的场所应选用带保护网灯具;在有较大震动的场所,应采用吊链式或线吊式灯具等等。

## (二) 照明灯具的布置

灯具布置对照明质量有极其重要的影响,灯具布置应保证最低的照度条件要求,使工作面上照度均匀,无眩光阴影,整齐美观,与建筑空间相协调,并且使进行灯具维护检修方便。灯具布置一般分为均匀布置和选择布置两种。

1. 均匀布置:即每一行的灯具之间距离,以及各行灯具之间的距离均保持一定,其目的是使室内获得均匀的照度,这种布置方案不考虑设备的分布。

2. 选择布置:即按工作面对称布置,力求使工作面上能获得最佳光通方向和消除工作上的阴影。灯具布置后,室内照度是否均匀,通常用照度均匀度指标来衡量。照度均匀度是指室内给定工作面最低照度  $E_{\min}$  与平均照度  $E_{\text{av}}$  的比值。CIE 推荐一般照明工作区域内的最低照度与平均照度之比不应小于 0.8,室内整个区域的平均照度一般不应低于工作区域平均照度的 1/3。我国《民用建筑照明设计标准》规定,工作区域内的最低照度与平均照度之比不应小于 0.7,室内交通区域的平均照度一般不低于工作区域平均照度的 1/5,室内照度均匀度 ( $E_{\min}/E_{\text{av}}$ ) 与灯具安装布置距离比 ( $L_u/h$ ) 的关系曲线如图 16-11 所示。由图可见,要使照度均匀度达到较大值,在安装布置灯具时必须考虑选择合适的距高比。所谓距高比,是指灯具之间的相对距离  $L$  与灯具至工作面的计算高度  $h$  之比值。显然,室内灯具的布置是否合理,将主要取决于距高比。因为在灯具高度一定的情况下,灯具之间的距离越大,被照工作面上的照度越不均匀;而在灯具间距一定的情况下,计算高度  $h$  越小,被照工作面上的照度也越不均匀。在表 16-9 和表 16-10 中列出了各种灯具布置较合适

的距离比值。通常灯具按正方形、矩形或菱形布置,如图 16-12 所示。当正方形布置时,灯具相对间距  $L = L_a = L_b$ , 矩形布置时,取  $L = L_a$ , 菱形布置时,取  $L = L_a$ ,可取  $L_b = \sqrt{3}L_a$ ,即灯具按等边三角形布置时照度最均匀。对于点光源布置,如靠墙处无工作面时,灯具距墙面距离为  $(0.4 \sim 0.5)L$ ,靠墙处有工作面时,灯具距墙面距离为  $(0.25 \sim 0.3)L$ ,对于线型光源布置,一般灯具距墙面距离为  $0.3 \sim 0.5m$ ,同时还可适当调整灯具的布局或增设壁灯来提高工作面的照度值。另外在图书馆阅览室、教室、实验室和办公室、写字间等场所进行灯具布置时,应使灯具光线从座位的左侧方向射来,灯具稍偏向窗户一侧布置为宜。

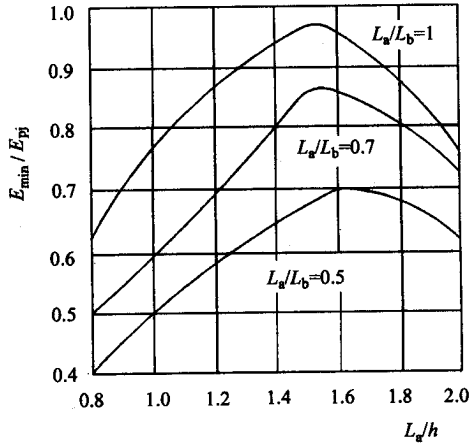


图 16-11 室内照度均匀度与灯具布置距高比的关系曲线

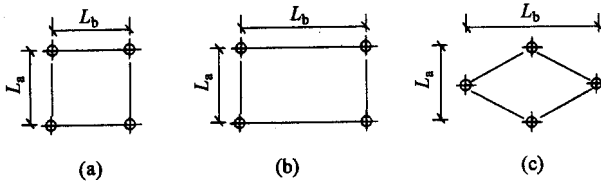


图 16-12 几种常用的灯具布置形式  
(a)正方形 (b)矩形 (c)菱形

表 16-9 各种常用灯具布置的距高比值

灯具类型	L/h 比值		单行布置的房间最大宽度(m)
	单行布置	多行布置	
深照型灯具	1.5~1.8	1.6~1.8	1.0h
配照型灯具	1.8~2.0	1.8~2.5	1.2h
广照型灯具	1.9~2.5	2.3~3.2	1.3h
漫照型灯具	1.9~2.5	2.3~3.2	1.3h

表 16-10 荧光灯具布置的距高比值

灯具名称	灯具型号	灯管数量 及功率	灯具 效率 (%)	最大允许距高比 ( $L/h$ )		光量 (lm)	灯具示意图
				a-a	b-b		
筒式荧光灯	1×40W	YG <sub>1-1</sub>	81	1.62	1.22	2400	
	1×40W	YG <sub>2-1</sub>	88	1.46	1.28	2400	
	2×40W	YG <sub>2-2</sub>	97	1.33	1.28	2×2400	
密闭型荧光灯	1×40W	YG <sub>4-1</sub>	84	1.52	1.27	2400	
	2×40W	YG <sub>4-2</sub>	80	1.41	1.26	2×2400	
吸顶式荧光灯	2×40W	YG <sub>6-2</sub>	86	1.48	1.22	2×2400	
	3×40W	YG <sub>6-3</sub>	86	1.5	1.26	3×2400	
嵌入式格栅 栅荧光灯	塑料格栅 3×40W	YG <sub>15-3</sub>	45	1.07	1.05	3×2400	
	铝格栅 2×40W	YG <sub>15-2</sub>	63	1.25	1.20	2×2400	

## 二、照度计算

照度计算最常用方法有单位容量法、利用系数法和逐点法。

### (一) 单位容量法

单位容量法是利用系数法演变而来的,考虑了灯具的类型、光源的效率、工作面所需的照度、计算高度、房间面积及各种材料的反射和减光系数等因素编制而成的,是一种较为实用的简化计算方法。单位容量法适用于初步设计的近似计算或普通的照明计算。在表 16-11 中列出部分建筑室内照度推荐值,表 16-12~表 16-14 中列出部分常用灯具的单位面积安装功率值,以供计算选用。

这样,根据所选择灯具类型和功率大小、计算高度、房面被照面积以及房间照度标准推荐值等条件,确定单位面积所需要灯具的安装功率值。则房间灯具总安装功率可按下式计算:

$$P_{\Sigma} = \omega S \quad (16.4.1)$$

式中  $P_{\Sigma}$ ——房间灯具总安装功率, W;

$\omega$ ——单位面积安装功率, W/m<sup>2</sup>;

$S$ ——室内被照面积, m<sup>2</sup>

则所需灯具盏数为:

$$n = P_{\Sigma} / P_1 \quad (16.4.2)$$

式中  $n$ ——被照房间总灯具数, 盏;

$P_1$ ——每盏灯具的容量, W。

表 16-11 部分建筑不同功能房间照度标准推荐值

建筑类型	房间名称	推荐照度 (lx)
旅游 宾馆 饭店 照明	贮藏室、楼梯间、公共卫生间	10~20
	衣帽间、库房、冷库、客房走廊	15~30
	客厅、电梯前室、台球房、健身房、桑拿浴房	30~75
	洗衣间、客房、邮电厅	75~150
	酒吧间、咖啡厅、茶室、游艺厅、旅游室、电影院、小舞厅、餐厅、休息厅、小卖部	50~100
	会议室、银行、美容室、收银台	100~200
	高大门厅、厨房、大型宴会厅	150~300
	服务台、多功能大厅、展厅	300~750

建筑类型	房间名称	推荐照度 (lx)
科教办公建筑照明	厕所、盥洗室、楼梯间、走廊	5 ~ 15
	食堂、传达室、电梯机房、校办工厂(一般加工车间)	30 ~ 75
	厨房、录相编辑室	50 ~ 100
	库房、一般门厅	10 ~ 20
	中频机室、空调机房、调压室	20 ~ 50
	医务室、报告厅、办公室、接待室、会议室、实验室、阅览室、书库、教室、科技资料室、档案室	75 ~ 150
	设计室、绘图室、打字室	100 ~ 200
	计算机房、室内体育馆	150 ~ 300
商业建筑照明	厕所、更衣室、热水间	5 ~ 15
	楼梯间、冷库、库房	10 ~ 20
	一般旅馆客房、浴室	20 ~ 50
	大型门厅、收银台、小餐厅	30 ~ 75
	餐厅、菜市场、照相馆、粮店、钟表眼镜店、银行储蓄所、邮电营业厅	50 ~ 100
	理发馆、书店、服装店	70 ~ 150
	百货商场、大型超市、家俱市场、字画商店	100 ~ 200
住宅建筑照明	厕所、盥洗室	5 ~ 15
	餐厅、厨房、起居室	15 ~ 30
	卧室、婴儿哺乳室	20 ~ 50
	单身宿舍、活动室	30 ~ 50
	书房、计算机工作室	75 ~ 150

表 16-12 配照型、广照型灯具单位面积安装功率(W/m<sup>2</sup>)

灯具类型	计算高度	房间面积(m <sup>2</sup> )	白炽灯照度(lx)						
			5	10	15	20	30	50	75
配照型灯具	2 ~ 3	10 ~ 15	3.3	6.2	8.4	11	15	22	30
		15 ~ 25	2.7	5	6.8	9	12	18	25
		25 ~ 50	2.3	4.3	5.9	7.5	10	15	21
		50 ~ 150	2	3.8	5.3	6.7	9	13	18
		150 ~ 300	1.8	3.4	4.7	6	8	12	17
		> 300	1.7	3.2	4.5	5.8	7.5	11	16
广照型灯具	2 ~ 3	10 ~ 15	3.3	6.2	9.2	11	15	22.5	30
		15 ~ 25	2.7	6	7.5	9	12	18	25
		25 ~ 50	2.3	4.3	5.9	7.5	10	15	21
		50 ~ 150	2	3.8	5.3	6.7	9	13	18
		150 ~ 300	1.8	3.4	5	6	8	12	17
		> 300	1.7	3.2	4.5	5.3	7.5	11.5	16

表 16-13 乳白玻璃罩灯具单位面积安装功率( $W/m^2$ )

灯具类型	计算高度	房间面积( $m^2$ )	白炽灯照度( $lx$ )					
			10	15	20	25	30	40
乳白玻璃罩球形灯和吸顶棚灯具	2~3	10~15	6.3	8.4	11.2	13	15.4	20.5
		15~25	5.3	7.4	9.8	11.2	13.3	17.7
		25~50	4.4	6	8.3	9.6	11.2	14.9
		50~150	3.6	5	6.7	7.7	9.1	12.1
		150~300	3	4.1	5.6	6.5	7.7	10.2
		>300	2.6	3.6	4.9	5.7	7	9.3
乳白玻璃罩球形灯和吸顶棚灯具	3~4	10~15	7.2	9.9	12.6	14.6	18.2	24.2
		15~25	6.1	8.5	10.5	12.2	15.4	20.6
		25~30	5.2	7.2	9.5	11	13.3	17.8
		30~50	4.4	6.1	8.1	9.4	11.2	15
		50~150	3.6	5	6.7	7.7	9.1	12.1
		120~300	2.9	4	5.6	6.5	7.6	10.1
>300	2.4	3.2	4.6	5.3	6.3	8.4		

表 16-14 荧光灯单位面积安装功率( $W/m^2$ )

灯具类型	计算高度	房间面积( $m^2$ )	白炽灯照度( $lx$ )					
			30	50	75	100	150	200
带反射罩荧光灯	2~3	10~15	3.2	5.2	7.8	10.4	15.6	21
		15~25	2.7	4.5	6.7	8.9	13.4	18
		25~50	2.4	3.9	5.8	7.7	11.6	15.4
		50~150	2.1	3.4	5.1	6.8	10.2	13.6
		150~300	1.9	3.2	4.7	6.3	9.4	12.5
		>300	1.8	3	4.5	5.9	8.9	11.8
	3~4	10~15	4.5	7.5	11.3	15	23	30
		15~20	3.8	6.2	9.3	12.4	19	25
		20~30	3.2	5.3	8	10.6	15.9	21.2
		30~50	2.7	4.5	6.8	9	13.6	18.1
		50~120	2.4	3.9	5.8	7.7	11.6	15.4
		120~300	2.1	3.4	5.1	6.8	10.2	13.5
>300	1.9	3.2	4.8	6.3	9.5	12.6		



灯具类型	计算高度	房间面积( m <sup>2</sup> )	白炽灯照度( lx )					
			30	50	75	100	150	200
不带反射罩 荧光灯	2~3	10~15	3.9	6.5	9.8	13	19.5	26
		15~25	3.4	5.6	8.4	11.1	16.7	22.2
		25~50	3	4.9	7.3	9.7	14.6	19.4
		50~150	2.6	4.2	6.3	8.4	12.6	16.8
		150~300	2.3	3.7	5.6	7.4	11.1	14.8
		>300	2	3.4	5.1	6.7	10.1	13.4
	3~4	10~15	5.9	9.8	14.7	19.6	29.4	39.2
		15~20	4.7	7.8	11.7	15.6	23.4	31
		20~30	4	6.7	11	13.3	20	26.6
		30~50	3.4	5.7	8.5	11.3	17	22.6
		50~120	3	4.9	7.3	9.7	14.6	19.4
		120~300	2.6	4.2	6.3	8.4	12.6	16.8
		>300	2.3	3.8	5.7	7.5	11.2	14

例题 学校某教室长 9.7m, 宽 7.2m, 高 3.6m, 试用单位容量法进行照明计算, 并合理布置室内灯具。

解 教室一般宜选用简易带反射罩荧光灯, 查表 16-11, 教室的推荐照度为 75~150lx, 故按  $E = 100\text{lx}$  计算。

灯具初步选用  $YG_{2-1}$  1×40W, 查表 16-10, 其最大距高比  $L/h$  为: a-a 方向中  $L_a/h = 1.46$ , b-b 向  $L_b/h = 1.28$ 。如图参图 16-11 取被照工作面高度  $h_f = 0.8\text{m}$ , 灯具悬吊垂度  $h_c = 0.8\text{m}$ , 即采用链吊安装, 所以计算高度为:

$$h = H - h_f - h_c = 3.6 - 0.8 - 0.8 = 2\text{m}$$

从而计算得 a-a 方向灯距为:

$$L_a = 1.46h = 1.46 \times 2 = 2.92\text{m}$$

b-b 方向灯距为:

$$L_b = 1.28h = 1.28 \times 2 = 2.56\text{m}$$

由于教室内靠墙处也有工作面, 荧光灯属于线型灯具, 灯距与墙壁之间的距离一般为  $(0.3 \sim 0.5)L$ 。所以有

$$L_{a1} = (0.3 \sim 0.5)L_a = (0.3 \sim 0.5) \times 2.92 = 0.9 \sim 1.5\text{m}$$

$$L_{b1} = (0.3 \sim 0.5)L_b = (0.3 \sim 0.5) \times 2.56 = 0.8 \sim 1.3\text{m}$$

由计算结果并结合房间尺寸, 取  $L_a = 2.6\text{m}$ ,  $L_b = 2.5\text{m}$ ,  $L_{a1} = 1\text{m}$ ,  $L_{b1} = 1.1\text{m}$ , 初步选用  $n = 12$  盏  $YG_{2-1}$  1×40W 荧光灯, 灯具布置如图 16-13 所示。

校验: 设计要求  $E = 100\text{lx}$ , 计算高度  $h = 2\text{m}$ , 室内面积  $S = 9.7 \times 7.2 \approx 70\text{m}^2$ 。查表 16-14, 带反射罩荧光灯单位面积安装功率  $\omega = 6.8\text{W}/\text{m}^2$ , 所以该教室灯具总安装功率为:

$$P_{\Sigma} = \omega S = 6.8 \times 70 = 476\text{W}$$

故选用 12 盏  $YG_{2-1}$  1×40W 链吊式带反射罩荧光灯, 可满足设计要求。

## (二) 利用系数法

所谓利用系数, 是表征对照明光源光通量利用程度的一个参数, 即

$$\eta = \phi_s / \phi \quad (16.4.3)$$

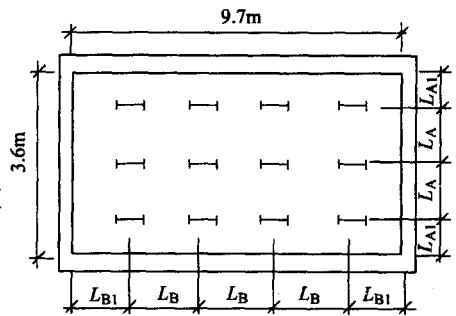


图 16-13 某教室荧光灯布置平面图

式中  $\phi_s$ ——投射到工作面上的光通量(包括直射和反射到工作面上的所有光通量)  $\text{lm}$  ;  
 $\phi$ ——灯具光源发出的总光通量  $\text{lm}$  ;  
 $\eta$ ——利用系数。

利用系数法进行照度计算公式为 :

$$E = \frac{\phi n \eta}{k S} \quad (16.4.4)$$

式中  $E$ ——工作面上的平均照度  $\text{lx}$  ;  
 $S$ ——被照工作面的面积  $\text{m}^2$  ;  
 $\phi$ ——每盏灯具光源发出的总光通量  $\text{lm}$  ;  
 $k$ ——减光补偿系数 ;  
 $n$ ——灯具盏数。

我们知道,灯具使用一段时间后积尘而使灯交效率降低,会引起工作面的照度减小,故引入减光补偿系数  $k$ ,见表 16-15。

表 16-15 减光补偿系数  $k$  参考值

照明场所及环境特点		在电力消耗上允许值			在电力消耗上最佳值		
		灯具清扫次数 (次/每月)	白炽灯	荧光灯	灯具清扫次数 (次/每月)	白炽灯	荧光灯
稍有粉尘、烟、灰的生产车间		1	1.4	1.5	2	1.3	1.4
粉尘、烟、灰较多的生产车间		2	1.5	1.6	4	1.3	1.4
有大量粉尘、烟、灰的生产车间		4	1.5	1.5	6	1.4	1.5
办公室、休息室及其他类似场所		2	1.3	1.4	—	—	—
室 外	普通照明灯具	2	1.3	—	—	—	—
	投 光 灯	2	1.3	—	—	—	—

利用系数  $\eta$  与室内被照面积及空间尺寸有关,室内面积越大,越接近正方形,由于直射光通量增多,而使利用系数增大。室内被照面积及空间尺寸可用室形指数来描述,即

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} \quad (16.4.5)$$

式中  $i$ ——室形指数 ;  
 $A$ ——室内净长度  $\text{m}$  ;  
 $B$ ——室内净宽度  $\text{m}$  ;  
 $h$ ——灯具的计算高度  $\text{m}$ 。

同时利用系数  $\eta$  还与室内建筑装饰材料的反射系数有关,这是由于室内工作面上的照度有来自灯具的直射光,也有来自天棚、墙壁和地面的反射光。部分建筑装饰材料表面反射系数在表 16-16 中列出,以供选用参考。

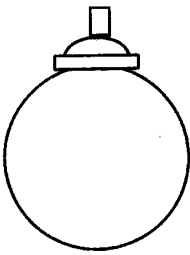
这样,综合考虑灯具类型及其配光曲线,室内建筑材料的反射系数和室形指数等诸多因素的影响,而得到某灯具在特定场所内安装的利用系数。在表 16-17~16-19 中列出了几种常用灯具的利用系数,花灯本身的利用系数  $\eta_0$  参见表 16-20,其他类型的灯具利用系数可查阅有关气照明设计手册。考虑了灯具本身的利用系数  $\eta_0$  后,将式(16.4.4)修正为 :

$$E = \frac{\phi n \eta \eta_0}{k S} \quad (16.4.6)$$

表 16-16 常用建筑材料表面反射系数表

名 称	反 射 系 数 ( % )
抹灰并用大白粉刷	70 ~ 80
砖墙或混凝土屋面板喷白( 白灰、大白 )	50 ~ 60
瓷釉面砖	
白 色	75 ~ 80
粉 色	60 ~ 70
乳 黄	83
浅 黄	80
中黄色	72
天蓝色	55
水磨石	
白色	69
白间黑	65
白间绿	50 ~ 57
白间赭	38
淡黄色乳胶涂料	35 ~ 67
大理石	
艾叶青	32 ~ 35
墨 玉	8
雪 花	60 ~ 62
桃 红	31 ~ 33
调和漆	
白色或米黄色	70
乳黄色	71
中黄色	57
深绿色或红色	8
中灰色	20
塑料壁纸	
黄白色	0.72
蓝白色	0.61
浅粉色	0.65
普通玻璃	0.09
广漆地板	0.10
马赛克地砖	
白 色	0.59
浅蓝色	0.42
浅咖啡色	0.31
绿 色	0.25
深咖啡色	0.20

表 16-17 乳白玻璃球形灯の利用系数表

容量(W)	尺寸 (mm)											
	D		H									
60	180											
100	200											
150	250											
200	300											
灯具本身的效率 $\eta_0 = 67\%$												
$\rho_{\text{q}}(\%)$	50				70							
$\rho_{\text{d}}(\%)$	30		50		30		70					
$\rho_{\text{t}}(\%)$	10	30	10	30	10	30	10	30				
$i$	利用系数 (%)											
0.6	12	13	16	17	15	16	19	20				
0.7	16	17	20	21	19	20	23	24				
0.8	18	19	22	23	22	22	26	27				
0.9	20	21	24	25	24	25	28	30				
1.0	22	23	26	27	26	27	30	32				
1.1	23	24	27	28	27	29	32	34				
1.25	24	26	29	30	29	31	34	36				
1.5	26	28	31	33	33	35	36	40				
1.75	28	30	33	35	34	37	38	42				
2.0	30	32	35	37	36	39	40	44				
2.25	31	34	36	38	38	41	42	46				
2.5	33	35	38	40	39	43	43	48				
3.0	36	38	40	42	42	46	45	51				
3.5	38	40	41	44	44	49	48	53				
4.0	40	43	43	46	46	51	49	55				
5.0	43	46	46	49	50	55	52	59				

注 表中  $\rho_{\text{q}}$  - 墙壁反射系数;  $\rho_{\text{d}}$  - 地面反射系数;  $\rho_{\text{t}}$  - 天棚反射系数。

表 16-18 嵌入式扇形平板乳白玻璃光盒荧光灯的利用系数表

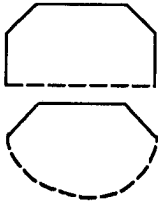
容量 (W)								
1 × 40								
2 × 40								
3 × 40								
$\rho_k$ (%)	30		50			70		
$\rho_d$ (%)	10	30	30	50	70	30	50	70
$i$	利用系数 (%)							
0.5	12	14	14	17	22	14	16	22
0.6	16	18	19	21	25	19	22	26
0.7	19	21	22	25	29	22	25	29
0.8	22	24	24	26	30	24	27	31
0.9	24	25	25	28	31	26	28	31
1.0	25	26	27	29	32	27	29	32
1.25	27	28	29	31	34	29	31	35
1.5	29	30	30	32	35	31	33	36
1.75	31	32	32	34	37	33	35	38
2.0	32	33	34	36	38	34	36	39
2.5	35	36	36	38	40	37	39	41
3.0	36	37	37	39	41	38	40	42
3.5	37	38	38	40	42	39	41	43
4.0	38	39	39	41	43	40	42	44
5.0	39	40	40	42	43	41	43	44



表 16-20 花灯灯具本身的利用系数  $\eta_0$ 

灯具配光特性	灯具组装结构 简单, 组装数量 在 3 个以下时	灯具组装结构 一般, 组装数量 在 4~9 个时	灯具组装结构 复杂, 组装数量 在 10 个以上时	吸顶组装灯具	
				组装数量在 9 个以下时	组装数量在 10 个以上时
漫射配光灯具	0.95	0.85	0.65	—	—
半反射配光灯具	0.9	0.8	0.5	—	—
反射配光灯具	0.8	0.7	0.4	0.8	0.7

- 注 1. 漫射配光灯具——用乳白玻璃制成的包合式灯具。  
 2. 半反射配光灯具——用乳白或磨砂玻璃制成的向上开口的灯具。  
 3. 反射配光灯具——用不透光材料制成的向上开口的灯具。

例 有一小餐厅, 室内净长 8m、宽 5.5m、高 4.2m, 拟采用六盏小花灯做照明, 每盏花灯装有 220V 的 4 个 25W 和 1 个 40W 的白炽灯泡, 其安装高度为 3.3m, 天棚采用白色调和漆刷白, 墙壁采用淡黄色乳胶漆涂粉刷, 地板为墨玉色大理石铺地, 试计算其可达到的照度。如果该房间改作阅览室, 并采用 6 盏嵌入式平板乳白玻璃光盒荧光灯, 每套灯内装有  $2 \times 40W$  荧光灯管, 重新计算其可达到的照度。

解: 已知室内面积  $S = AB = 8 \times 5.5 = 44m^2$ , 灯具布置图如图 16-14 所示。依题给出的天棚、墙壁与地板的颜色, 查表 16-16 得  $\rho_t = 0.7$ ,  $\rho_q = 0.5$ ,  $\rho_d \approx 0.1$ , 查表 16-15 取减光补偿系数  $k = 1.3$ , 设工作面高度为 0.8m, 计算高度  $h = 3.3 - 0.8 = 2.5m$ , 则室形指数为:

$$i = \frac{S}{k(A+B)} = \frac{44}{2.5(8+5.5)} = \frac{44}{33.75} \approx 1.3$$

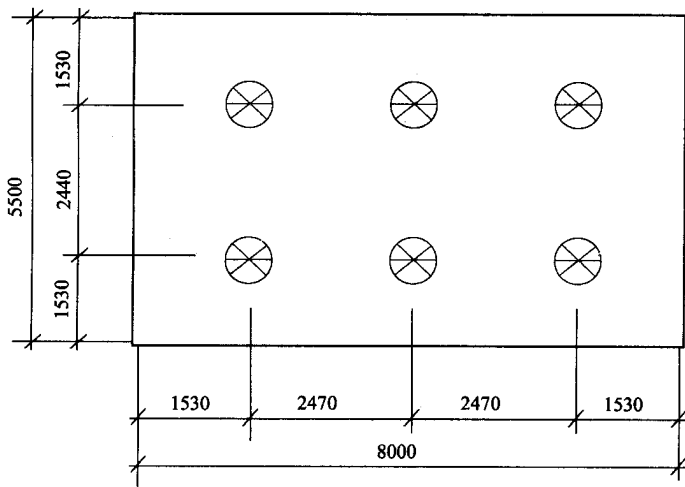


图 16-14 花灯布置示意图

查表 16-20, 设本花灯为漫射配光灯具, 其本身的利用系数  $\eta_0 = 0.85$ , 由表 16-19 查得:  $i_1 = 1.25$  时,  $\eta_1 = 0.47$ ;  $i_h = 1.5$  时,  $\eta_h = 0.52$ , 用内插法计算出在  $i = 1.3$  时,  $\eta$  为:

$$\eta = \eta_h - \frac{i_h - i}{i_h - i_1} (\eta_h - \eta_1) = 0.52 - \frac{1.5 - 1.3}{1.5 - 1.25} \times (0.52 - 0.47) = 0.48$$

从有关照明设计手册查得 25W 白炽灯泡光通量 220lm, 40W 白炽灯泡光通量 350lm, 故每盏灯具的总光通量为  $\phi = 220 \times 4 + 350 \times 1 = 1230lm$ 。

## 第五节 照明电路故障检测与维护

一般情况下,照明装置的线路并不复杂,但因为线路分布面较广,而影响电路、电气设备正常工作的因素很多,因此,必须掌握本单位的供电系统图、安装接线图、电源进线、各闸箱、配电盘位置、闸箱内设备装置情况、线路分支、走向及负荷情况等,对分析故障,排出线路故障很有必要的。

### 一、检查故障的方法

#### (一)观察法

问:在故障发生后,应首先进行调查,向出事故时在场者或操作者了解故障前后的情况,以便初步判断故障种类及发生的部位。

闻:有无因温度过高绝缘烧坏而发出的气味。

听:有无放电等异常响声

看:沿线路巡视、检查有无明显问题,如导线破皮、相碰、断线、灯丝断、灯口有无进水、烧焦等,特别大风天气中,有无碰线、短路放电火花,起火冒烟等现象,然后,再进行重点部位检查。

##### 1.熔断器熔丝

(1)熔丝一小段熔断,由于熔丝较软,安装过程中容易碰伤,同时熔丝本身也有可能粗细不均匀,较细处电阻较大,负荷过载时首先在这里熔断。熔丝刚熔断时,用手触摸保险盖,就会感觉出温度比较高。

(2)熔丝爆熔,使整条熔丝均被烧断,一般是由于线路上有短路故障所造成。

(3)断路,一般由熔丝的压接螺钉松动造成的。

##### 2.熔断器、刀开关过热

(1)螺钉孔上封的火漆熔化,有流淌痕迹。

(2)紫铜部分表面生成黑色氧化铜并退火变软,压接螺钉焊死无法松动。

(3)导线与刀开关、熔断器、接线端压接不实;导线表面氧化,接触不良;铝导线直接压接在铜接线端上,由于电化腐蚀作用,使铝导线被腐蚀,接触电阻变大,出现过热,严重时导致断路。

#### (二)测试法

对线路、照明设备进行直观检查后,应充分利用试电笔、万用表、试灯等进行测试。但应注意当有缺相时,只用试电笔检查是否有电是不够的,如线路上相线间接有负荷时,如变压器、电焊机,测量断路相时,试电笔也会发光而误认为该相未断,这时应使用万用表交流电压档测试,才能准确判断是否缺相。

#### (三)支路分段法

可按支路或用“对分法”分段进行检查,缩小故障范围,逐渐逼近故障点。

对分法即在检查有断路故障的线路时,大约在一半的部位找一个测试点,用试电笔、万用表、试灯等进行测试。如该点有电,说明断路点在测试点负荷一侧,如该点无电,说明断路点在测试点电源一侧。这时应在有问题的“半段”的中部再找一个测试点,依此类推,就能很快趋近找出断路点。

## 二、照明电路常见故障

#### (一)短路

1.短路现象 熔断器熔丝爆断,短路点处有明显烧痕,绝缘碳化,严重时会使导线绝缘层烧焦甚至引起火灾。



## 2. 短路原因

(1) 安装时多股导线未拧紧、涮锡、压接不紧、有毛刺。

(2) 相线、零线压接松动、距离过近, 当遇到某些外力时, 使其相碰造成相对零短路或相间短路, 若螺纹灯头, 顶芯与螺纹部分松动, 装灯泡时扭动, 使顶芯与螺纹部分相碰。

(3) 恶劣天气, 如大风使绝缘支持物损坏, 导线相互碰撞、磨擦, 使导线绝缘损坏, 引起短路, 雨天, 电气设备防水设施损坏, 使雨水进入电气设备造成短路。

(4) 电气设备所处环境中有大量导电尘埃, 如防尘设施不当或损坏, 使导电尘埃落入电气设备中引起短路。

(5) 人为因素, 如土建施工时将导线、闸箱、配电盘等临时移动位置, 处理不当, 施工时误碰架空线或挖土时挖伤土中电缆等。

3. 故障检查 查找短路故障时一般采用分支路、分段与重点部位检查相结合的方法, 可利用试灯进行检查。

(1) 将有故障支路上所有灯开关都置于断开位置, 并将插座熔断器的熔丝都取下, 再将试灯接到该支路的总熔断器两端(熔丝应取下), 串接到被测电路中, 如图 16-15 所示。然后合闸, 如试灯发光正常, 说明短路故障在线路上, 如试灯不发光, 说明线路无问题, 再对每盏灯、每个插座进行检查。

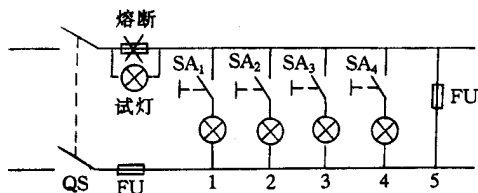


图 16-15 用试灯检查短路故障(一)

(2) 检查每盏灯时, 可顺序将每盏灯的开关闭合, 每合一个开关都要观察试灯发光是否正常。当合至某盏灯时, 试灯发光正常, 说明故障在此盏灯, 应断电后进一步检查。若试灯不能正常发光, 说明故障不在此灯, 可断开该灯开关, 再检查下一盏灯, 直至找出故障点为止。

(3) 也可按(1)方法检查线路无问题后, 换上熔丝并闭合通电, 再用试灯顺次对每盏灯进行检查。将试灯接到被检查开关的两个接线端子上, 如图 16-16 所示, 若试灯发光正常, 说明故障在该灯处, 如试灯发光不正常, 说明该盏灯正常, 再检查下一盏灯, 直至找出故障点为止。

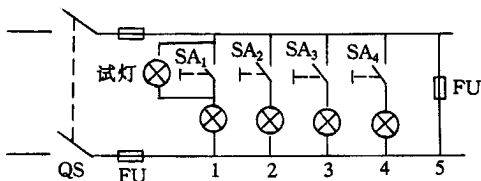


图 16-16 用试灯检查短路故障(二)

4. 用试灯检查时应注意事项 使用试灯检查短路故障, 应注意试灯与被检测灯实为串联连接, 且灯泡功率应相近, 最好是一样, 这样当该灯无短路故障时, 试灯与被检测灯发光都暗。如试灯与被检测灯功率相差很大时, 就容易出现错误判断。

5. 用万用表代替试灯 用同样的方法测量试灯两端的电压, 如与电源电压一样, 说明有短路故障。

## (二) 断路

1. 断路现象 相线、零线断路后, 负荷将不能正常工作, 如三相四线制供电线路负荷不平衡时, 当零线断线会造成三相电压不平衡, 负荷大的一相电压低, 负荷小的一相电压高, 当负荷是白炽灯, 会出现一相灯光暗淡, 而接在另一相上的灯又变得很亮, 同时零线断口负荷侧将会出现对地电压。

### 2. 断路原因

(1) 负荷过大而使熔丝烧断。

(2) 开关触头松动, 接触不良。

- (3) 导线断线,接头处腐蚀严重(特别是铜、铝线未用铜铝过渡接头而直接连接)。  
 (4) 安装时接头处压接不实,接触电阻过大,使接触处长期发热,造成导线、接线端子接触处氧化。  
 (5) 大风恶劣天气,使导线断线。  
 (6) 人为因素,如搬运过高物品将电线碰断,因施工作业不注意将电线碰断及人为碰坏等。

3. 故障检查 可用试电笔、万用表、试灯等进行测试,采用分段查找与重点部位检查结合进行,对较长线路可采用对分法查找断路点。

$$E = \frac{\phi n \eta \eta_0}{k S} = \frac{1230 \times 6 \times 0.48 \times 0.85}{1.3 \times 44} = 52.6 \text{lx}$$

如改用 6 盏嵌入式平板乳白玻璃光盒荧光灯,不考虑地面反射系数影响,则由表 16-18 查得  $i_1 = 1.25$  时,  $\eta_1 = 0.31$ ;  $i_h = 1.5$  时,  $\eta_h = 0.33$ , 同样,用内插法计算出  $i = 1.3$  时,  $\eta = 0.314$ 。从照明设计手册查得 40W 荧光灯管光通量为 2200lm, 故每盏灯具的总光通量为  $\phi = 2200 \times 2 = 4400 \text{lm}$ 。故由式 16.4.4 计算室内工作面平均照度为:

$$E = \frac{\phi n \eta}{k S} = \frac{4400 \times 6 \times 0.314}{1.4 \times 44} = 134.6 \text{lx}$$

## 第六节 照明光源使用与维护

照明用灯种类繁多,外观各异。照明用灯由灯具和电光源两部分组成,根据其不同的特性及功能用于各种不同的建筑环境中。电光源是照明灯的核心部分,各种电光源的特性是照明设计必不可少的基础知识。本章主要介绍电光源的种类,主要性能指标,并在此基础上介绍各种常用电光源的结构、工作原理和基本特性。重点要求读者了解电光源的主要性能,以便在照明设计中能正确地选用电光源。

### 一、电光源的分类及性能指标

#### (一) 电光源的分类

根据光的产生原理,电光源主要分为两大类。(见表 16-21)

表 16-21 电光源的分类



一类是以热辐射作为光辐射原理的电光源,包括白炽灯和卤钨灯,它们都是以钨丝为辐射体,通电后使之达到白炽温度,产生热辐射。这种光源统称为热辐射光源,目前仍是重要的照明光源,生产数量极大。

另一类是各种气体放电光源,它们主要以原子辐射形式产生光辐射。根据这些光源中气体的压力,又可分为低压气体放电光源和高压气体放电光源。

低压气体放电光源包括荧光灯和低压钠灯。因为这类灯中气体压力低,组成气体(主要是汞蒸气和钠蒸气)的原子距离比较大,互相影响较小,因此它们的光辐射可以看作是孤立的原子产生的原子辐射,这种原子辐射产生的光辐射是以线光谱形式出现的。例如荧光灯,由原子辐射主要产生的是紫外辐射(线光谱),但因荧光灯管壁上涂有荧光粉,在紫外辐射作用下,形成光致发光,形成了连续光谱和线光谱并存的复合光,且主要是可见光。

高压气体放电光源的特点是灯中气压高,原子之间的距离近,相互影响大,电子在轰击原子时不能直接与一个原子作用,从而影响了原子的辐射。即使在轰击原子时产生了光辐射,又有可能被其他原子吸收,形成另外的光辐射。因此这类辐射与低压气体放电光源有较大的区别。但高压气体放电光源的辐射原理仍是气体(或汽体)中原子辐射产生光辐射,但产生的辐射将包括强的线光谱成分和弱的连续光谱成分。

高压气体放电光源管壁的负荷一般比较大,也就是灯的表面积不大,但灯的功率较大,往往超过  $3W/cm^2$ ,因此又称为高强度气体放电灯,简称 HID 灯。

### (二)电光源的性能指标

电光源根据其名称就可知它主要有电与光两方面的性能指标,这两方面的性能指标当然有着密切的联系。但作为光源,主要还是光的性能指标,而对电的指标也往往注重于它对光性能的影响。

#### 1. 光通量

光源的光通量表征着光源的发光能力,是光源的重要性能指标。光源的额定光通量是指光源在额定电压、额定功率的条件下工作,并能无约束地发出光的工作环境下的光通量输出。

光源的光通量随光源点燃时间会发生变化,即点燃时间愈长,光通量因衰减而变得愈小。大部分光源在燃点初期光通量衰减较多,随着燃点时间的增长,衰减也逐渐减小。因此光源的额定光通量有两种情况:一种是指电光源的初始光通量,即新光源刚开始点燃时的光通量输出,它一般用于在整个使用过程中光通量衰减不大的光源,例如卤钨灯;另一种情况是指光源使用了 100h 后的光通量输出,它一般用于光通量衰减较大的光源,例如荧光灯。

#### 2. 发光效率

光源的光通量输出与它取用的电功率之比称为光源的发光效率,简称光效,单位是  $lm/W$ 。在照明设计中应优先选用光效高的光源。图 16-17 所示的是近 30 年来各种光源光效提高的发展进程。

#### 3. 显色性

显色性是光源的一个重要性能指标。通常情况下光源用一般显色指数衡量其显色性,在对某些颜色有特殊要求时则应采用特殊显色指数。

室内照明用光源的显色指数应用示例如表 16-22 所示。

#### 4. 色表

光源的色表是指其表现颜色,它和光源的显色性是两个不同的概念。例如荧光高压汞灯的灯光从远处看又白又亮,色表较好,但该灯光下人的脸部呈现青色,说明它的显色性并不很好。色表同样是电光源的重要性能指标。

光源的色表虽然可以用红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等形容词来表示,但为了定量表示,常用相关色温来度量。光源的色表可以根据它们的相关色温分成三类,如表 16-23 所示。

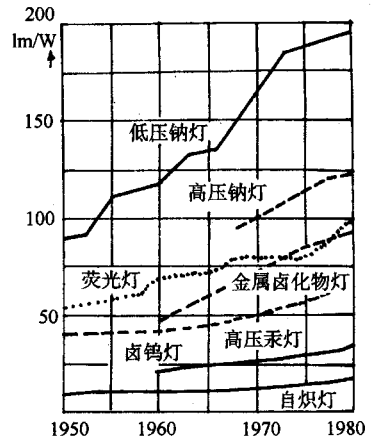


图 16-17 各种电光源光效发展过程

表 16-22 光源的显色指数应用示例

显色性组别	显色指数范围	色表	应用示例	
			优先的	允许的
1A	$R_a \geq 90$	暖 中间 冷	颜色匹配, 医疗诊断, 画廊	
1B	$90 > R_a \geq 80$	暖 中间	家庭、旅馆、餐馆、商店、办公室、学校、医院	
		中间 冷	印刷, 油漆和纺织工业, 视觉费力的工业生产	
2	$80 > R_a \geq 60$	暖 中间 冷	工业生产	办公室 学校
3	$60 > R_a \geq 40$		粗加工工业	工业生产
4	$40 > R_a \geq 20$			粗加工工业 显色性要求低的工业生产

表 5-3 光源的色表分组

色表组别	色表	相关色温(K)
1	暖	< 3300
2	中间	3300 ~ 5300
3	冷	> 5300

一般来说,第2组色表的光源在工作房间应用最普遍,第1组适用于居住类场所,特殊作业或寒冷气候,而第3组仅用于高照度水平、特殊作业或温暖气候。色表与照度的关系见表16-24。

表 16-24 不同照度时色表的效果

照度(k)	光源的色表及其效果		
	暖	中间	冷
$\leq 500$	舒适	中等	冷
500 ~ 1000	↓	↓	↓
1000 ~ 2000	刺激	舒适	中等
2000 ~ 3000	↓	↓	↓
$\geq 3000$	不自然	刺激	舒适

## 5. 寿命

电光源的寿命是电光源的重要性能指标,用燃点小时数表示。

### (1) 平均寿命

光源从第一次点燃起,一直到损坏熄灭为止,累计燃点小时数称为光源的全寿命。电光源的全寿命有相当大的离散性,即同一批电光源虽然同时点燃,却不会同时损坏,它们将有先有后陆续损坏,且可能有较大的差别,因此常用平均寿命的概念来定义电光源的寿命。

取一组电光源作试样,从一同点燃起计时,到50%的电光源试样损坏为止,所经过的小时数就是该组电光源的平均寿命。图16-18表示了电光源的全寿命曲线和额定平均寿命的确定。

一般光通量衰减较小的光源常用平均寿命作为其寿命指标,例如卤钨灯。

## (2)有效寿命

电光源在使用过程中光通量将随使用时间的增加而逐渐衰减,如图16-19所示。有些电光源的光通量衰减在它全寿命中相当显著,当光源光通量衰减到一定程度时,虽然光源尚未损坏,但它的光效明显下降,继续使用极不经济。

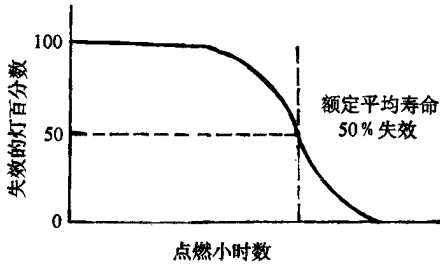


图 16-18 电光源全寿命曲线

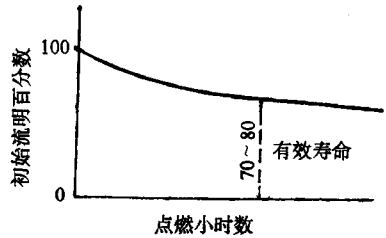


图 16-19 光源光通量衰减曲线

电光源从点燃起,一直到光通量衰减到某个百分比所经过的燃点时数就称为光源的有效寿命。一般取70%~80%额定光通量作为更换光源的依据。荧光灯一般用有效寿命作为其寿命指标。

## 6. 启燃与再启燃时间

电光源启燃时间是指光源接通电源到光源达到额定光通量输出所需的时间。热辐射光源的启燃时间一般不足1秒钟,可认为是瞬时启燃的;气体放电光源的启燃时间从几秒钟到几分钟不等,取决于光源的种类。

电光源的再启燃时间是指正常工作着的光源熄灭后再将其点燃所需要的时间。大部分高压气体放电光源的再启燃时间比启燃时间更长,这是因为再启燃时要求这种光源冷却到一定的温度后才能正常启燃,即增加了冷却所需要的时间。

电光源的启燃和再启燃时间影响着光源的应用范围。例如频繁开关光源的场所一般不用启燃和再启燃时间长的光源,且启燃次数对光源寿命的影响很大。又如应急照明用的光源一般应选用瞬时启燃或启燃时间短的电光源。

## 7. 其他

电光源还有其他一些特性,且光源性质不同,对其他性能的要求也不同。

### (1)电压特性

当电源电压产生偏移,也即电源电压与光源要求的额定电压不符时,会对光源的使用造成影响。例如电源电压偏高,对有些光源影响极大,主要是影响光源的使用寿命。而电源电压过低时有些光源会较大地影响其光通量输出,而有些光源会影响其启燃时间,甚至无法启燃。因此这些光源常常要规定最低启燃电压值。

当电源电压产生波动,也即电源电压忽高忽低时,往往会造成光源闪烁,影响视觉环境。因此对电压波动较敏感的光源常规定其波动幅度和频率。

### (2)温度特性

有些光源对环境温度比较敏感,温度过高或过低都会影响到这种光源的光效。大部分气体放电光源在环境温度较低时会影响其启燃性能。

有些光源表面温度很高,使用时要采取防燃和防溅措施,以免引起火灾或因水的溅射导致光源爆裂。

## 二、光源选择的依据

### (一) 按照高效、长寿命原则选择光源

1. 选用效率高的光源可以减少灯具数量,从而使电气设备费用下降、安装费且减少,因而降低了初投资。
2. 使用高效、长寿命光源可以降低用电量,减少灯泡更换次数,降低运行费用,如减少年电力费、灯泡耗用费、设备清扫维护费、设备折旧费等。其中电力费及维护费用占的比重较大。
3. 对于高大建筑、车间等维护工作较困难的场所,尤其应选用长寿命光源,以减少维护工作量。

### (二) 按照环境对显色性的要求选择光源

各类光源的显色性好坏用显色指数  $R_a$  表示。由于高显色指数的灯(如白炽灯)效率不高,而显色性差的灯(如高压钠灯)效率却很高,因此选择光源时应兼顾显色性和效率。各类场所对光源的显色要求不同,可以分别选用显色性不同的光源,不宜处处追求光源的高显色性。我国照明标准中对显色性做出规定,具体场所选择光源时可以参考这些标准,详见表 16-25、表 16-26 及表 16-27。常用光源显色指数及使用场所见表 16-28。

表 16-25 显色指数的分级

$R_a$	显色性能主观评价
80 ~ 100	优良
50 ~ 79	一般
< 50	较差

表 16-26 光源的一般显色指数类别(GB50034—92)

显色类别	显色指数范围	应用场所举例
IA	$R_a \geq 90$	颜色匹配、颜色检验等
IB	$90 > R_a \geq 80$	印刷、食品分检、油漆涂刷等
II	$80 > R_a \geq 60$	机电装配、表面处理、控制室等
III	$60 > R_a \geq 40$	机械加工、热处理、铸造等
IV	$40 > R_a \geq 20$	仓库、大件金属库等

表 16-27 光源的显色指数(GBJ133—90 民用建筑照明设计标准)

显色指数分组	一般显色指数 $R_a$	适用场所举例
I	$R_a \geq 80$	客房、卧室、绘图等辨色要求很高的场所
II	$60 \leq R_a < 80$	办公室、休息室等辨色要求较高的场所
III	$40 \leq R_a < 60$	行李房等辨色要求一般的场所
IV	$R_a < 40$	库房等辨色要求不高的场所

注 运动场地电视转播用光源显色指数不应小于 65。

表 16-28 常用光源显色指数及使用场所选择

光源种类	一般显色指数 $R_a$	适用场所举例
日光色荧光灯	70 ~ 80	住宅, 旅馆, 商店, 办公室, 学校, 医院, 印刷车间, 实验室, 计算站, 纺织车间, 控制室, 设计室, 绘图室, 装配车间, 电镀车间
紧凑型荧光灯	85 以上	饭店, 旅馆, 住宅, 走廊, 通道, 厅堂
白炽灯	95 ~ 99	客房, 卧室, 住宅, 医院, 厅堂, 画廊, 装饰照明, 颜色检验, 颜色匹配, 局部照明
显色改进型高压钠灯	60 ~ 65	工业生产车间, 厅堂
高光效金属卤素灯, 钨钠灯	60 以上	大型体育场馆, 生产车间, 庭院, 夜景
荧光高压汞灯	30 ~ 40	动力站, 道路, 仓库
高压钠灯	23 ~ 25	仓库, 道路, 隧道, 港口, 码头, 广场, 庭院, 夜景
低压卤钨灯		商店, 橱窗, 博物馆, 住宅, 厅堂装饰

### (三) 按光源的色表(颜色)选择光源

选择光源的颜色应考虑两个因素:一是环境气氛;二是环境照度。低色温的暖色调光源能在室内创造亲切轻松的气氛,适用于住宅、旅馆等;希望紧张、活跃、精神振奋地进行工作的房间,宜于采用高色温的冷色光。不同色温的光适用的场所见表 16-23。

人对光色的爱好与照度水平有关。低色温光在低照度时使人感到舒适,高照度时使人感到燥热。高色温光高照度时感到舒适,低照度时感到昏暗、寒冷。

## 三、白炽灯与卤钨灯

### (一) 白炽灯

凡是根据热辐射原理工作的光源都可称为白炽灯。目前常用的白炽灯分两类,即普通白炽灯和卤钨灯。

#### 1. 白炽灯的结构

白炽灯泡是由钨丝、玻璃泡、灯头、支架和填充气体等构成,见图 16-20。

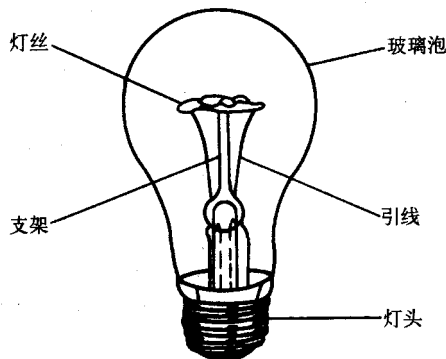


图 16-20 普通白炽灯结构图

灯丝是白炽灯发光的主要部件,常用的灯丝形状有直线灯丝、单螺旋灯丝、双螺旋灯丝等。灯丝的形状和尺寸大小对于白炽灯的寿命、发光效率都有直接的影响,同样长短粗细的钨丝绕成双螺旋型比绕成单螺旋型的光效高。一般来说,灯丝结构紧凑,发光点小,利用率就高。

玻璃壳的形式很多,但一般都采用与灯泡纵轴对称的形式,如梨形、圆柱形、球型等,仅有很少的特殊灯泡是不对称的(如全反射灯泡的玻壳等)。玻壳的尺寸及采用的玻璃材料则视灯泡的功率和用途而定。玻壳一般是透明的,但有些特种用途的灯泡则采用各种有色玻璃。为了避免眩光,玻壳可以进行“磨砂”或“内涂”,使其能形成漫反射,还有些灯泡为了加强在某一方向上的发光强度,在玻壳上蒸镀了反射铝层。图 16-21 给出了各种功率、用途的白炽灯的外形。

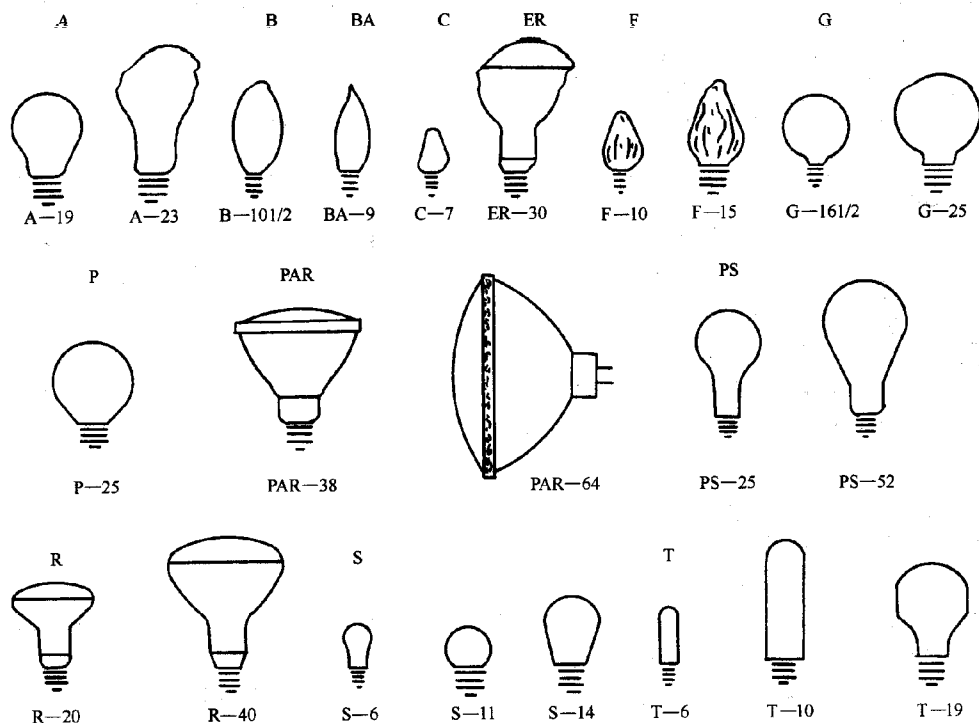


图 16-21 各种普通白炽灯的外形

普通白炽灯玻璃泡内一般先抽成真空,然后充以一定比例的氩、氮混合气体。充气的主要作用是抑制灯丝上钨的蒸发,减小白炽灯光通量的衰减。40W 及以下的普通白炽灯,由于其工作温度不高,一般不填充其他混合气体,仅抽成真空即可。

普通白炽灯的灯头起着固定灯泡和接通电源的作用。常用的灯头形式有插口(B15、B22)与螺口(E14、E27、E40)两种。插口灯头接触面较小,灯功率大时接触处温度较高,所以常用于小功率普通白炽灯。反之,螺口灯头接触面大,可用于大功率灯泡。图 16-22 是几种常用白炽灯头的外形。

## 2. 白炽灯的工作原理

白炽灯泡是利用通过电流的钨丝被加热到白炽状态而发光的一种热辐射光源。普通白炽灯点燃时随着钨丝的温度上升和长时间的工作,钨丝逐渐蒸发变细,灯泡壳发黑,最后灯丝细到一定的程度就会熔断。特别是在白炽灯开灯的瞬间电流很大,由于温度的快速变化而产生机械应力,更容易使灯丝损坏。

为了防止钨丝氧化,抑制钨丝的蒸发,常在大功率白炽灯的玻璃壳中充入惰性气体,提高白炽灯的光效,增加白炽灯的寿命。

## 3. 白炽灯的分类



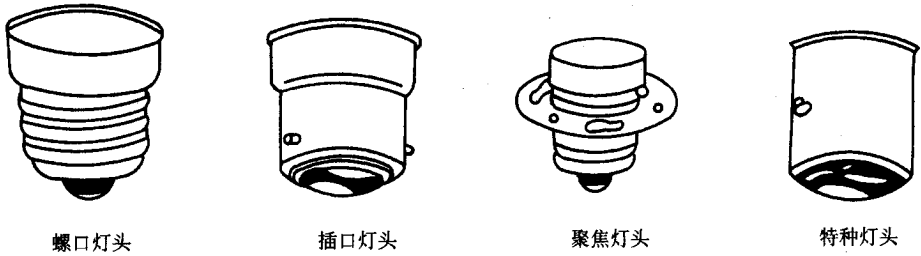


图 16-22 几种白炽灯头的外形

白炽灯的规格很多,分类方法不一,总的可分为真空灯泡和充气灯泡。但白炽灯的分类方法较多的是根据其白炽灯的特性和用途来分的,如普通白炽灯、舞台灯、照相灯、矿用灯、装饰灯、反射灯、信号灯等。

#### 4. 白炽灯的特性及参数

白炽灯是建筑和其他照明用得最广泛的一种光源,为了便于选择和使用,对其白炽灯的主要特性参数介绍如下:

##### (1) 额定电压( $U_N$ )

灯泡上标注的电压即为额定电压。它说明光源(灯泡)只有在额定电压下工作,才能获得各种规定的特性。白炽灯在工作时对电压的变化比较敏感,如果低于额定电压工作,光源的寿命虽可延长,但发光强度不足,发光效率降低;如果在高于额定电压下工作,发光强度变强,但寿命将缩短。

##### (2) 额定功率( $P_N$ )

白炽灯的额定功率是指灯泡上标注的功率,也是指所设计的灯泡在额定电压下工作时应能输出的功率。

##### (3) 额定光通量( $\Phi$ )

白炽灯参数中所给出的光通量是指灯泡在其额定电压下工作时,光源所辐射出的光通量是额定光通量。它一般也是指光源在工作 100h 后的初始光通量。白炽灯泡的光通量会随着使用时间的增长、灯泡真空度的下降、钨丝的蒸发而衰减。

##### (4) 发光效率( $\eta$ )

白炽灯泡的发光效率是指灯泡消耗单位电功率所发出的光通量(简称光效),单位为流明(lm)。

##### (5) 使用寿命( $\tau$ )

白炽灯泡的使用寿命是指从开始使用到点燃失效的累计时间。由于使用时情况比较复杂,条件不尽相同,使其每个灯泡的使用寿命也不一样。因此参数中所列使用寿命通常是指平均使用寿命,即在规定的条件下,同批寿命实验所测得的寿命算术平均值。

影响灯泡使用寿命的主要因素是电压。

##### (6) 色温、显色指数

白炽灯的色温较低,一般为 2400~2900K,但显色性较高,显色指数  $R_a$  高达 99~100。普通白炽灯的光电参数见表 16-29。

表 16-29 常见普通白炽灯的光电参数

光源型号	电压/V	功率/W	初始光通量/lm	平均寿命/h	灯头型号
PZ 220—15	220	15	110	1000	E27 或 B22
25		25	220		
40		40	350		
100		100	1250		
500		500	8300		
PZS220—36	220	36	350		E27 或 B22
60		60	715		
100		100	1350		
PZM 220—15	220	15	107		E27 或 B22
40		40	340		
60		60	611		
100		100	1212		
PZQ 220—40	220	40	345	E27	
60		60	620		
100		100	1240		
JZS 36—40	36	40	550	E27	
60		60	880		

注：PZ 指普通白炽灯泡，PZS 指双螺旋普通白炽灯泡，PZQ 指球形普通白炽灯泡，JZS 指双螺旋低压 36V 普通白炽灯泡。

如前所述，当电压变化时，白炽灯除了其使用寿命有很大变化外，对光通量、发光效率等都有较大影响。图 16-23 给出了白炽灯光电参数与电源电压的关系。

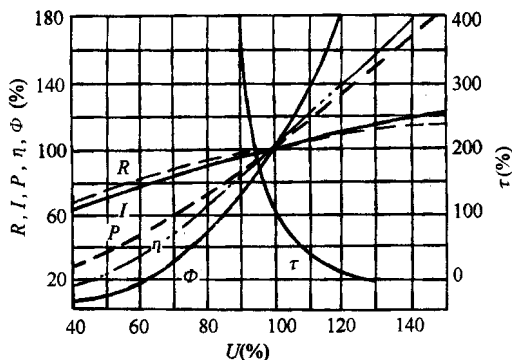


图 16-23 白炽灯光电参数与电压的关系

### 5. 白炽灯的应用

白炽灯是各类建筑和其他场所照明应用最广泛的光源之一，它作为第一代电光源已有一百多年历史，虽然各种新光源发展很迅速，但白炽灯仍然是在不断研究和开发中的光源。这是因为白炽灯具有体积小、结构

简单、造价低、不需要其他附件,使用时受环境影响小,而且方便、光色优良、显色性好、无频闪现象等优点。所以,普通白炽灯常用于日常生活照明,工矿企业照明,剧场、宾馆、商店、酒吧等照明。

装饰白炽灯是利用白炽灯玻璃壳的外形变化和色彩的不同,工作时起到一定的照明和装饰效果。通过装饰白炽灯不同的排列组合安装,能形成多种灯光艺术风格。装饰白炽灯常用于会议室、客厅、节日装饰照明等。

反射型灯泡是在白炽灯玻璃泡的内壁上涂有部分反射层,能使光线定向反射。反射型白炽灯适用于灯光广告、橱窗、体育设置、展览馆等需要光线集中的场合。

## (二) 卤钨灯

卤钨灯属于热辐射光源,工作原理基本上与普通白炽灯一样,但结构上有较大的差别。最突出的差别就是卤钨灯泡内所填充的气体含有部分卤族元素或卤化物。

### 1. 卤钨灯的结构

卤钨灯是由钨丝、充入卤素的玻璃泡和灯头等构成。卤钨灯有双端、单端和双泡壳之分。图 16-24 为常用卤钨的外形。

图 16-24 为双端管状卤钨灯的典型结构,灯呈管状,功率为 100~2000W,灯管的直径为 8~10mm,长 80~330mm。两端采用磁接头,需要在磁管内还装有保险丝。这种灯主要用于室内外泛光照明。

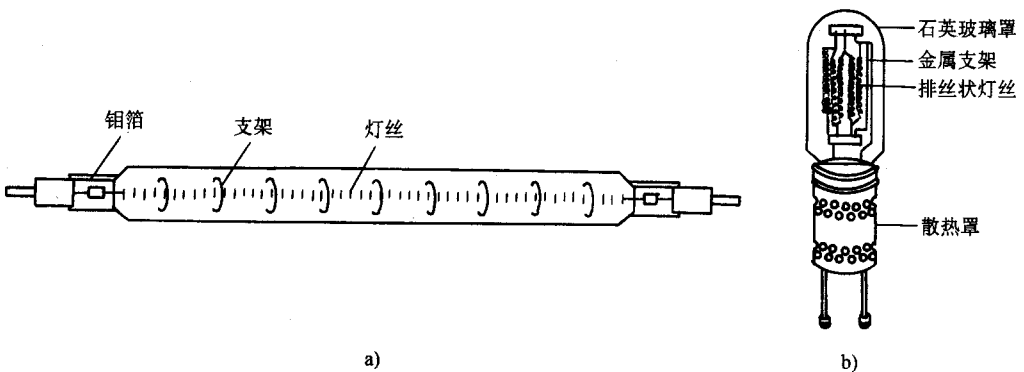


图 16-24 卤钨灯外形

a) 两端引出 b) 单端引出

图 16-24 为单端引出的卤钨灯,这类灯的功率有 75W、100W、150W 和 250W 等多种规格,灯的泡壳有磨砂的和透明泡的,单端型灯头采用 E27。

500W 以上的大功率卤钨灯一般制成管状。为了使生成的卤化物不附在管壁上,必须提高管壁的温度,所以卤钨灯的玻璃管一般用耐高温的石英玻璃或高硅氧玻璃制成。

目前国内用的卤钨灯主要有两类:一类是灯内充入微量的碘化物,称为碘钨灯;另一类是灯内充入微量的溴化物,即为溴钨灯。

### 2. 卤钨灯的分类

卤钨灯按充入灯泡内的不同卤素可分为碘钨灯和溴钨灯。

卤钨灯按灯泡外壳材料的不同可分为硬质玻璃卤钨灯、石英玻璃卤钨灯。

卤钨灯按工作电压的高低不同可分为市电型卤钨灯(220V)和低电压型卤钨灯(6V/12V/24V)。

卤钨灯按灯头结构的不同可分为双端、单端卤钨灯。

### 3. 卤钨灯的工作原理

当充入卤素物质的灯泡通电工作时,从灯丝蒸发出来的钨,在灯泡壁区域内与卤素化合,形成一种挥发性的卤钨化合物。卤钨化合物在灯泡中扩散运动,当扩散到较热的灯丝周围区域时,卤钨化合物分解成卤素和钨,释放出来的钨沉积在灯丝上,而卤素再继续扩散到其温度较低的灯泡壁区域与钨化合,形成卤钨循环。

由于卤钨循环有效地抑制了钨的蒸发,所以可以延长卤钨灯的使用寿命,同时可以进一步提高灯丝温度,获得较高的光效,并减小了使用过程中的光通量的衰减。

#### 4. 卤钨灯的工作特性

##### (1) 发光效率

卤钨灯与普通白炽灯相比,其光效要比普通白炽灯高出许多倍。另外,由于卤钨灯工作时是采用卤钨循环原理,较好地抑制了钨的蒸发,从而防止卤钨灯泡的发黑,使得卤钨灯在寿命期内的光维持率基本维持在100%。

##### (2) 色表和显色性

卤钨灯属低色温光源,其色温一般在2800~3200K之间,与普通白炽灯相比,光色更白一些,色调更冷一些,但显色性较好,显色指数 $R_a = 100$ 。

##### (3) 调光性能

卤钨灯也可以进行调光,但当灯的功率下调到某一值时,由于其玻璃泡的温度下降较多,于是卤钨循环不能进行,这时相当于做白炽灯使用。同时由于卤钨灯的玻璃泡很小,此时玻璃泡容易发黑,另外游离的溴要腐蚀灯丝,因此一般不主张对卤钨灯进行调光。常见卤钨灯参数见表16-30。

表 16-30 常见卤钨灯电光参数

灯头型号	功率/W	电压/V	光通量/lm	平均寿命/h	灯头型号	直径/mm	全长/mm
LZG220—300	300	220	4800	1000	R7s/Fa4	10	117.6/141
500	500		8500	1000		10	117.6/141
1000	1000		22000	1500		12	189.1/212.5
1500	1500		33000	1000		12	254.1/277.5
2000	2000		44000	1000		12	330.8/334.4

#### 5. 卤钨灯的应用

由于卤钨灯与白炽灯相比,具有光效高、体积小、便于控制且具有良好的色温和显色性、寿命长、输出光通量稳定、输出功率大,所以在各个照明领域中都具有广泛的应用,尤其是被广泛地应用在大面积照明与定向投影照明场所,如建筑工地施工照明、展厅、广场、舞台、影视照明和商店橱窗照明及较大区域的泛光照明等。

卤钨灯在使用时应注意以下问题:

(1) 为了在灯泡壁生成的卤化物处于气态,卤钨灯不适用于低温场合。双端卤钨灯工作时,灯管应水平安装,其倾斜角度不得超过 $4^\circ$ ,否则会缩短其使用寿命。

(2) 由于卤钨灯工作时产生高温(管壁温度 $600^\circ\text{C}$ ),因此,卤钨灯附近不准放易燃物质,且灯脚引入线应用耐高温的导线。另外,由于卤钨灯灯丝细长又脆,卤钨灯使用时,要避免震动和撞击,也不宜作为移动照明灯具。

## 四、荧光灯与霓虹灯

### (一) 荧光灯

荧光灯是一种低压汞蒸气放电灯。灯管内水银蒸气的原子在放电时激发出253.7nm紫外线。紫外辐射被管壁上的荧光粉吸收,转变成可见光。转换效率和灯的颜色主要取决于荧光粉的种类和性质。目前我国生产的荧光灯有三种:

(1) 肤色荧光灯色温为6500K,与微阴的天空光相似;

(2) 冷白色荧光灯色温为4500K,与日出2h以后的太阳直射光相似;

(3) 暖白色荧光灯色温为2900K,和白炽灯近似(100W白炽灯色温为2740K)。

不同荧光粉可制成各种颜色光的荧光灯,如蓝、黄、绿、黄绿、淡红、粉红、深红、橙色等。

荧光灯的特点是光效高、寿命长、光线柔和、发热少等。彩色荧光灯是极好的装饰照明灯具。荧光灯的缺点是光通随电压变化而周期变化,因而有闪烁效应,对运动物体有明显的影晌。此外,这种灯的功率较小,照明范围较小。

1. 工作特性

图 16-25 示出荧光灯工作特性和电压变化关系。

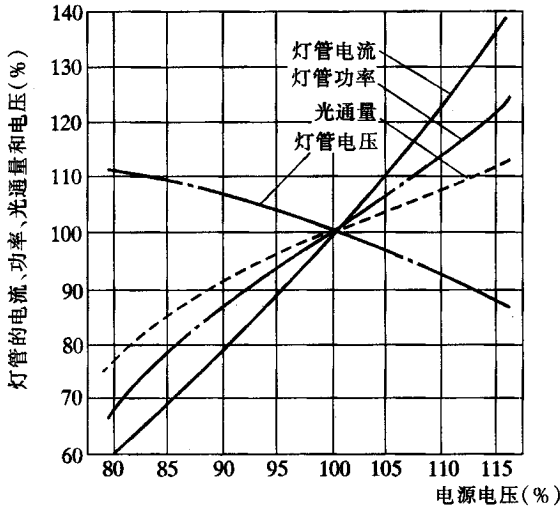


图 16-25 荧光灯光电特性随电压变化的关系

从图中看出,加在荧光灯上的电压升高时,工作电流增大,电极温度升高,会引起电极和灯管过热,从而使阴极物质蒸发加快,管子迅速变黑,导致寿命降低。如果电压过低,荧光灯启动困难,启辉器工作次数增加,会加剧阴极物质的溅射,也会使寿命缩短。

2. 开关次数对寿命的影响

荧光灯频繁启动会大大消耗阴极物质,从而使寿命降低。通常,荧光灯寿命是指每开关一次点燃 3h 的总使用时间。连续工作时间越长,寿命随之越长,如图 16-26 所示。因此,在频繁开关灯具的场所不宜使用荧光灯。

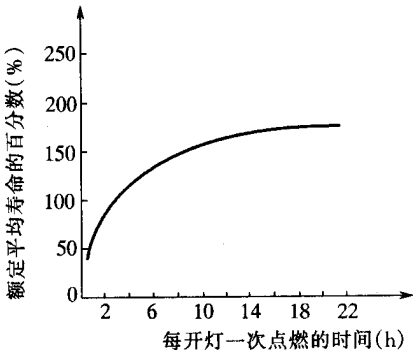


图 16-26 寿命与每次连续点燃时间的关系

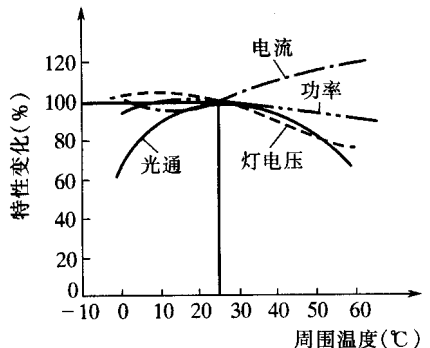


图 16-27 环境温度对荧光灯发光效率等因素的影响

3. 环境温度对荧光灯的影响

环境温度对灯管的汞蒸气压力影响较大。当温度过低时,汞蒸气压力下降,汞原子电离率下降,启动困难,同时紫外线的辐射量减少。当环境温度过高,管内汞蒸气压力增高,紫外线反而减少,其他谱线增加。因

此,环境温度过低和过高都会影响荧光灯的发光效率(图 16-27)。荧光灯不宜用在户外。

#### 4. $D_{65}$ 高显色性荧光灯

普通荧光灯一般显色指数仅有 70 左右,使被照明的物体颜色失真。三基色荧光灯显色指数为 85,但对光源质量要求较高的场合仍然太低。尤其因这种灯是线状光谱,与识别样品色调的线状光谱并不完全一致,因此,不适于颜色的识别。

1985 年复旦大学与海盐灯泡厂研制出  $D_{65}$ 高显色荧光灯,模拟 CIE 照明体  $D_{65}$ 光谱非常接近日光。灯管内含有易激活的硼磷酸锶、卤磷酸钙及其他荧光粉,这些荧光粉按适当比例混合制成。灯的指标见表 16-31。

表 16-31  $D_{65}$ 高显色荧光灯数据

P = 40W T = 6 500 ± 300K $R_a \geq 95$														
$R_a$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_7$	$R_8$	$R_9$	$R_{10}$	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	$R_{14}$
98	98	99	95	98	99	99	98	97	97	96	99	94	98	96

高显色荧光灯主要用于迫切需要高显色的场所,如纺织、印染、彩色印刷、绘画、展览等场所和高级宾馆、商场等处。

#### 5. 细管径直管荧光灯(高效荧光灯)

细管径直管荧光灯(又称 TLD 灯)直径为 26mm(传统荧光灯管径为 38mm)。它是 20 世纪 80 年代初由荷兰飞利浦公司研制、生产和销售的,系列产品已被 IEC-81-84 国际标准采纳。目前,该系列灯在欧洲已占荧光灯产量的 70%,在 15 个国家和地区市场平均占有率为 63.5%。1991 年我国的南京 741 厂与飞利浦合资生产 TLD 灯。

##### (1) TLD 高效荧光灯的优点

① TLD 灯充有氩氦混合气体,使气体放电的体积损耗降低,减小了放电电流,耗电比普通荧光灯节省 10%。

② TLD 灯使用高质量荧光粉,发光效率比普通荧光粉高 20%。

③ TLD 灯管内两端装有内防护环,用于防止灯在启动和工作时,灯丝上的发射物质蒸发溅射而引起端部发黑,并可防止管内气体离子对灯丝的轰击,因此提高灯管寿命 30%。

④ TLD 灯管的直径小,可让更多的光从灯管透出,对灯具遮光减少,照明效率提高。

##### (2) TLD 灯规格数据

TLD 荧光灯管的光电参数见表 16-32。TLD 灯的颜色特性见表 16-33。

表 16-32 TLD 灯和普通荧光灯(38mm TL 荧光灯)的光电参数

类型	功率(W)	灯极电压(V)	灯管电流(A)	色温(K)	光通(lm)	发光效率(lm/W)
TLD						
18 W/33	18	57	0.37	4 100	1 150	64
18 W/54	18	57	0.37	6 200	1 050	58
TL 20 W	20	50 ~ 64	0.37	6 200	880	44
TLD						
36 W/33	36	103	0.43	4 100	3 000	83
36 W/54	36	103	0.43	6 200	2 500	69
TL 40W	40	93 ~ 113	0.43	6 200	2 300	57.5

注: TLD 灯寿命 10 000h。

表 16-33 TLD 灯颜色特性

颜色/编号	色温(K)	显色指数 $R_a$
暖白/29	2 900	52
柔白/33	4 100	66
日光/54	6 200	77

### (3) TLD 灯特性

TLD 灯与普通直管荧光灯(TL 灯)的长度、管脚尺寸、工作电压、工作电流完全相同,因此可以互换。

①启动特性 由于 TLD 灯充填氙、氦混合气体,使 TLD 灯获得很高的发光效率,但也使 TLD 灯需要较高的启动峰值电压和稍长的启动时间。在电源电压为 220V 时,启辉器峰值电压为 500~600V,这时可以正常启动。试验表明,有 10% 国产启辉器峰值电压达不到要求,不能使 TLD 灯管可靠启动,影响 TLD 灯管的使用寿命。对启辉器的要求是:截止电压为 140~180V,峰值电压大于和等于 800V,最大启动时间 10s(198V)。因此最好选用  $S_{10}$  型飞利浦启辉器。

②线路特性 TLD 灯的方波电压和峰值电流畸变稍大于 TL 灯。因此,TLD 灯管电压和电流基波分量的相位差稍大于 TL 灯管,使功率因数约下降 0.1。例如 40W TL 灯功率因数为 0.55,TLD 灯功率因数为 0.450。

③温度特性 TLD 灯管的温度特性影响其他一些参数,主要有:①TLD 灯在较低温度下光输出减少较快(图 16-28),因此使用密闭式灯具有利于提高效率;②环境温度对启动特性有一定影响,启动时电源和温度的关系见图 16-29;③熄灭电压与环境温度的关系见图 16-30,图示 TLD 灯在较低温度工作时的熄灭电压低于 TL 灯,在高于 20℃ 时熄灭电压高于 TL 灯,约为 145V。

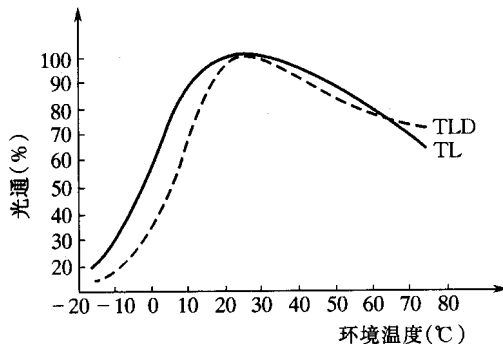


图 16-28 环境温度与光输出的关系

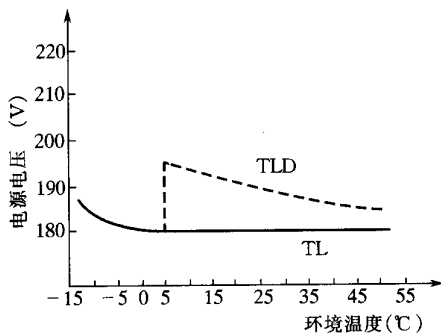


图 16-29 启动特性与温度的关系

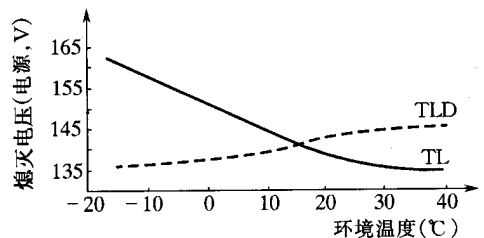


图 16-30 熄灭电压与环境温度的关系

#### ④TLD灯的应用范围

TLD灯节能、亮度高、寿命长,适合于家庭、办公室、厂房、隧道、地铁、商店、宾馆、学校、图书馆、医院等场所照明。尤其在照明规模大的场所,可以降低工程费、运行费。

#### 6. 荧光灯工作线路

镇流器 B 用来克服负阻效应和限制正常工作时的电流,以使灯管稳定工作,启动器 S 完成预热启动工作(图 16-31)。当接通电源时,电源电压加在启动器 S 的两极间隙上,间隙被击穿,产生辉光放电。该电极由双金属片做成,受热变形后使金属片闭合。此时,电源通过镇流器、灯丝、启动器构成回路,灯管开始加热。经过 1~3s,由于双金属片两端电压为零,金属片冷却后迅速分开。在此瞬间,镇流器 B 上产生很高的反电势与电源电压叠加。这个脉冲电压加在已预热的灯管电极上,使灯管放电并进入工作状态。此时灯管工作电压低于启动器放电电压,因此启动器停止工作。

另外一种电感式镇流器为快速启动镇流器(图 16-32)。它也是预热式的,但它分别配低阻和高阻灯管两种。高阻灯管即市售普通灯管。它的特点如下:

- (1)不用启辉器,减少了维护工作量和故障几率;
- (2)功率因数较高,在 0.85~0.9 之间,如 40W 灯管输入工作电流仅为 0.23A,减少了无功损耗,节能;
- (3)在低温(-20℃)低电压(170V)下可正常启动。

需要抑制这类镇流器工作电流的波形畸变,才能保证灯管正常使用和正常寿命。

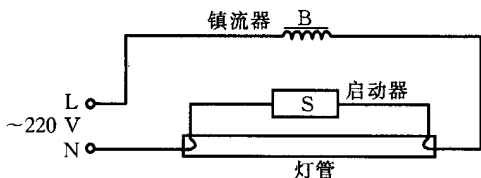


图 16-31 预热式荧光灯工作线路

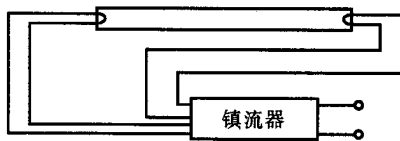


图 16-32 快速启动荧光灯镇流器线路

#### 7. 荧光灯的特点及应用范围

荧光灯的特点如下:

- (1)发光效率高,是白炽灯的三倍,节能效果显著;
- (2)显色性较好, $R_a$  为 70~80,高显色荧光灯可达 98;
- (3)涂有不同荧光粉的灯管可以制成不同颜色或不同光色的荧光灯;
- (4)表面亮度低,约为  $6 \times 10^3 \sim 8 \times 10^3 \text{cd/m}^2$ ,眩光程度较轻;
- (5)光输出受环境温度影响较明显,高温和低温环境都不适用;
- (6)开关次数影响灯管寿命,不适于频繁启动的场所。

荧光灯的应用范围如下:

- (1)适用于精细视觉工作场所、长时间连续工作的场所(如仪表电器装配、试验室、印刷车间、缝纫车间、表面处理车间等)以及办公楼、教室、医院、商店、设计室、制图室、阅览室、住宅等场所;
- (2)需要正确识别色彩的场所,如化学试验室、表面处理检验处、柜台等;
- (3)日光色荧光灯适用于无天然采光场所的照明,如主控室照明、地铁车站照明等;
- (4)适用于悬挂高度为 4m 以下的场所。

### (二)霓虹灯

霓虹灯又称氖气灯,也有叫霓虹灯的。霓虹灯并不是照明用光源,但常用于建筑装饰,在娱乐场所、商业装饰及广告中应用尤其普遍,是一种用途极广泛的装饰用光源。

#### 1. 结构与原理

霓虹灯是一种辉光放电光源,主要由灯管、电极和引入线组成。

霓虹灯的灯管是一根密封的玻璃管,管径在 5~45mm 之间,但常用的管径是 6~20mm。灯管内抽成真空后充入氖、氩、氦等惰性气体中的一种或多种,还可充入少量的汞。灯管的玻璃可以是无色的,也可以是彩色



的,管内壁还可以涂上荧光粉。根据充入的气体、管玻璃的色彩和荧光粉性质,可得到多种不同光色的霓虹灯。霓虹灯的光色与充入气体、管玻璃色彩和荧光粉有无的关系见表 16-34。

玻璃管的两端装有电极,电极较多采用铜制做,表面经过一定的化学处理,可防止被腐蚀。由电极引出与电源相接的导线称为引入线,要求与玻璃具有基本相同的热膨胀性能,为防止玻璃破裂,一般采用镍铁合金制做。

当通过变压器将 10~15kV 高压加在霓虹灯两端时,管内气体被电离激发,使管内气体导通,发出彩色的辉光。加在霓虹灯两端的电压大小取决于灯管的直径和长度,并与管内所充气体的种类和气压有关。应加的电压基本上反比于灯管直径,正比于灯管长度,管内气压越高,所需电压也越高,一般霓虹灯灯管中的气压约为 10~15 托。

霓虹灯用的变压器是高漏磁的变压器,有高的开路电压,保证霓虹灯灯管的导通。一旦导通后,由于漏磁的存在,电压会下降,限制了灯管电流,其作用类似于荧光灯的镇流器。这种变压器即使次级短路,由于漏磁增大,短路电流也仅比正常工作电流高约 15%~25%。当变压器次级开路电压高于 7500V 时,因次级绕组一般设有中心抽头,并接地,这可以减小变压器次级在工作状态下的对地电压,因而可减小危险性。变压器的原理图如图 16-33 所示。

表 16-34 霓虹灯色彩与管内气体、玻璃管色和荧光粉的关系

光色	管内气体种类	玻璃管颜色	有无荧光粉	
红 色	氖	无 色	无	
桔红色		绿 色		
玻璃色		蓝 色		
火黄色		奶黄色		
淡玫瑰色	氩、少量汞	淡玫瑰色		
玉 色		玉 色		
绿 色		绿 色		
蓝 色		蓝 色		
白 色		白 色		
黄 色		黄 色		
金黄色		金黄色		
淡绿色	氖、氩、少量汞	无 色		有
淡红色		无 色		
淡红色		黄 色		
金黄色	氩	黄 色	无	

例如常用的霓虹灯变压器容量为 450VA,初级电压 220V、电流 2A;次级电压 15 000V、工作电流 24mA,短路电流 30mA。这种变压器能点亮管径为 12mm,长约 12m 的充气气灯管。若改用充氩气和少量汞时可点亮同直径的 14.5m 长灯管,或充氦气的 8m 长灯管。

## 2. 控制方法

为了使由多个霓虹灯组成的图案不断变化,可以用不同的控制方法。

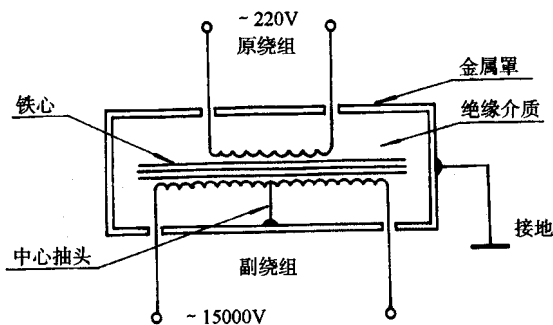


图 6-33 霓虹灯变压器原理图

### (1) 热控式

热控式的基础是采用双金属片,利用双金属片接入电路中受热变形,引起触点的断开或闭合,达到改变电路连接方法,从而使霓虹灯的电源接入与切断。因控制简单,价格低廉,应用比较广泛。

### (2) 滚筒控制式

利用滚筒的旋转(可由电动机驱动)达到电路换接的目的,从而改变霓虹灯组成的图案。

### (3) 凸轮控制式

旋转凸轮换接电路,改变霓虹灯电路。

### (4) 电子控制式

利用电子线路来改变电路接通方式,能使复杂的霓虹灯图案按要求变换形式。

## 五、高压钠灯与汞灯(HIO类)

### (一) 高压钠灯

钠灯是利用钠蒸气放电的气体放电灯,按钠蒸气的工作高压钠灯、低压钠灯两大类。

#### 1. 低压钠灯

##### (1) 低压钠灯的结构

低压钠灯是由抽成真空的玻璃壳(内壁涂以氧化钨红外反射层)放电管、电极和灯头构成。如图 16-34 所示,把抗钠玻璃管制成的 U 形放电管放在圆桶形的外套管内,放电管内除放入钠以外,还充入氖氩混合气体以便于启动。为减少热损失提高发光效率,外套管内部抽成真空,且在管内壁上涂上氧化钨之类的透明性红外反射层;在放电管内封入一对电极,电极是三螺旋结构,能储存大量的氧化物电子发射材料。低压钠灯的灯头采用插口灯头。



图 16-34 低压钠灯结构

1—固定弹簧 2—玻璃壳 3—放电管 4—电极 5—灯头

##### (2) 低压钠灯的工作原理

低压钠灯是在低气压钠蒸气放电中钠原子被激发而产生放电发光,放电时大部分辐射能量都集中在共振线上,钠的共振线波长为 589nm 和 589.6nm。低压钠灯的启动电压高,目前大多数钠灯利用开路电压较高

的漏磁式变压器直接启动,触发电压在 400V 以上。从启动到稳定需要 8 ~ 10min。

### (3) 低压钠灯的特点

低压钠灯的光色呈现橙黄色,显色性差,但发光效率很高(150lm/W 以上),低压钠灯是现今所有电光源中光效最高的一种光源。低压钠灯的使用寿命较长,可达 2000 ~ 5000h。低压钠灯的光电参数见表 16-35。

表 16-35 低压钠灯的光电参数

型号	额定功率/W	光源电压/V	工作电流/A	光通量/lm	灯头型号
ND35	35	220	0.60	4800	B22
ND55	55		0.59	8000	
ND90	90		0.94	12500	
ND135	135		0.95	21500	

### (4) 使用场所

由于低压钠灯具有耗电省、发光效率高、穿透云雾能力强等优点,常用于铁路、公路、广场照明。

### 2. 高压钠灯

高压钠灯是利用高压钠蒸气放电发光的一种高强度气体放电光源,广泛应用于对显色性要求不高的场所。

#### (1) 高压钠灯的结构

高压钠灯是由放电管、硬玻璃外壳、双金属片、钨帽金属支架、电极和灯头构成。

放电管是用半透明的氧化铝陶瓷或全透明刚玉制成,耐高温。放电管两端各装有一个工作电极。管内排除空气后充入钠、汞和氙气。在放电管外还套装一个透明的玻璃外管,并抽成真空。双金属片继电器是由两种膨胀系数不同的金属材料压制而成。高压钠灯的灯头和普通白炽灯相同,因此可以通用。高压钠灯结构见图 16-35。

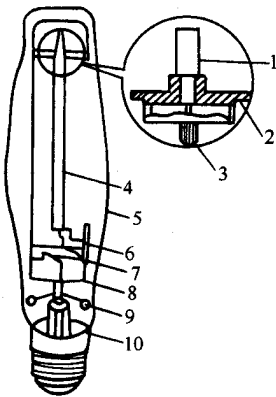


图 16-35 高压钠灯结构

- 1-金属排气管 2-钨帽  
3-电极 4-放电管 5-玻璃外壳  
6-管脚 7-双金属片  
8-金属支架 9-钨消气剂  
10-焊锡

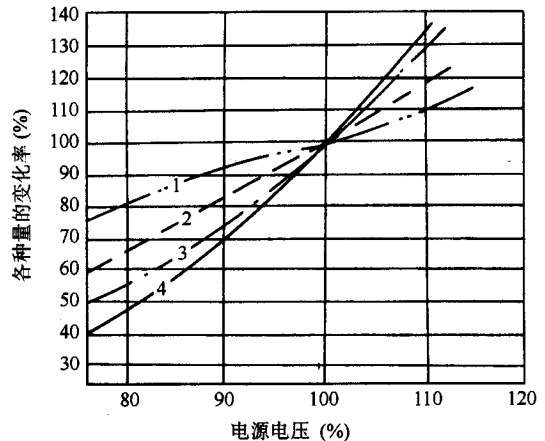


图 16-36 高压钠灯各参数与电压的关系

- 1-灯管电流 2-灯管电压 3-功率 4-总光通量

#### (2) 高压钠灯的工作原理

高压钠灯启动时,附件和镇流器产生 3kV 的脉冲电压将钠灯点亮,开始时通过氙气和汞进行放电,随着

放电管内温度的上升,氙气和汞放电向高压钠蒸气放电转移,钠蒸气气压升高,钠的共振辐射线加宽,光色改善,约5min左右趋于稳定,在稳定工作时可发出一种金白色的光。当工作电流、工作电压均稳定在额定值时,启动过程结束。图16-36为高压钠灯各参数与电压的关系。

高压钠灯的触发方式可分为内触发、外触发两种。

外触发高压钠灯泡是采用电子触发器在电源接通瞬间,灯管两端获得高压脉冲将灯管点燃。

内触发高压钠灯是在灯泡壳内安装一双金属片开关和加热电阻丝。其工作原理是当接通电源时,电流经过加热电阻丝和双金属片开关时对其加热,由于双金属片正反面的膨胀系数不同,在达到一定温度时,双金属片产生弯曲变形,触点分离,在分离的瞬间,在镇流器电感线圈上产生数千伏自感电动势加在灯的两端,将钠灯点亮。灯工作后,由于电弧管的热辐射,外壳内温度升高,使开关触点维持在断开状态。钠灯接线原理见图16-37。

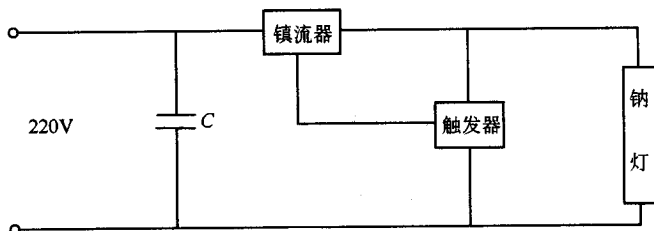


图 16-37 钠灯接线原理

### (3) 高压钠灯的基本性能

高压钠灯工作蒸气压力为26.67kPa,光色为金黄色,色温为2100K,显色指数为 $R_a = 30$ ,故显色性较差,但发光效率比较高。国产高压钠灯的光效可达70~130lm/W。高压钠灯的特点是光效接近低压钠灯,光色优于低压钠灯,体积小、功率密度高、亮度高、紫外线辐射少、寿命长,属于节能型电光源,但光色偏黄、透雾性能好。

### (4) 高压钠灯的应用

由于高压钠灯的发光效率高、寿命长、透雾性能好,所以被广泛用于高大厂房、车站、广场、体育馆,特别是城市道路等处照明。常用高压钠灯的主要特性见表16-36。

高压钠灯在使用时应注意的问题是:电源电压波动对灯的正常工作的影响较大,电压升高易引起灯的自行熄灭,电压降低则光通量减少,光色变坏;灯的再启动时间较长,一般在10~20min以内,故不能作应急照明或其他需要迅速点亮的场所,高压钠灯不宜用于需要频繁开启和关闭的地方,否则会影响其使用寿命。

表 16-36 常用高压钠灯主要特性

型号	额定功率/W	光通量/lm	灯头型号	电源电压/V	寿命/h
NC100	100	6000	E27/35 * 30	220	10000
NG250	250	25500	E40/45		
NG360	360	32400	E40/45		
NG400	400	38000	E40/45		
NG1000	1000	100000	E40/75 * 54		

## (二) 高压汞灯

荧光灯以外的气体放电灯都属于第三代光源。荧光灯中汞蒸气的压力极小,不足1托,因此是一种低压汞灯。此处讨论的光源其汞蒸气的压力将是荧光灯汞蒸气压力的数千倍,甚至更高,因此称为高压汞灯。

由于高压汞灯中汞蒸气压力高,原子间有着较强的相互作用,因此像荧光灯中汞原子与电子直接撞击而被激发的机会大大减小,高压汞灯中汞原子主要通过热激发产生辐射的。热激发与热辐射并不是一回事,它仍然属于原子辐射,只是激发的原因是由热引起的。热辐射产生的是连续光谱的辐射,而热激发引起的原子辐射产生的主要是线光谱的辐射。

汞原子辐射在高压蒸气下与在低压蒸气下是有很大差别的,后者主要产生的是紫外辐射,而前者可见光辐射大大增加。高压汞蒸气下仍存在着紫外辐射,例如 185.0nm 和 253.7nm 的紫外线,但由于这些紫外辐射能量较大,容易被其他或自身汞原子吸收,产生二次激发,从而产生可见光辐射,所以进一步提高了可见光辐射的比例。高压汞蒸气中还存在着离子与电子的复合,复合过程中会产生连续光谱的辐射,虽然在高压汞灯中所占比例不大,但对灯的光学性能有很大的影响。

高压汞灯中的辐射效率与汞蒸气的压力有很大关系,一般来说辐射效率随压力的增高而提高。普通高压汞灯的蒸气压力约为 2~6 大气压,超高压汞灯可达到 10~20 大气压。

### 1. 结构与原理

高压汞灯的核心部件是放电管。放电管由耐高温的石英玻璃制成,管内抽真空后充入氙气和汞,两端装有钨丝主电极,电极上涂有钡、锶、钙的金属氧化物作为电子发射物质,在放电管的一端还装有辅助电极,与同端的主电极非常接近。

当高压汞灯接通电源时,首先在同端的主辅电极之间发生放电,产生电子与离子,从而引发两个主电极间的放电。但开始的放电只是在氙气中进行,产生的是白色的光。随着放电时间的增长,放电管的温度不断地提高,汞蒸气的压力也逐渐上升,于是放电也逐渐转移到在汞蒸气中进行,发出的光也渐渐地由白色变为更明亮的蓝绿色。

放电管在工作时中心温度可达到 5500~6000K,管壁温度也可达到 400~600℃。为了减小热量的损失,使放电管稳定地工作,一般高压汞灯的放电管封装在硬质玻璃制成的外泡中,外泡还能起到防止金属零件的氧化和防止有害的紫外线外泄。外泡内也要抽成真空,并充入惰性气体。外泡内壁根据需要可以涂敷荧光粉,以提高高压汞灯的发光效率或改善光色。

### 2. 基本性能

#### (1) 启燃与再启燃

上文已叙述了高压汞灯的启燃过程,即首先在主辅电极之间形成氙气的辉光放电,再转移到两个主电极之间的氙气弧光放电,此时灯管被加热,汞蒸气的压力不断上升,一直到放电在汞蒸气中进行,启燃过程结束。高压汞灯的启燃过程大约需要 4~8 分钟,启燃过程中的光电特性如图 16-39 所示。

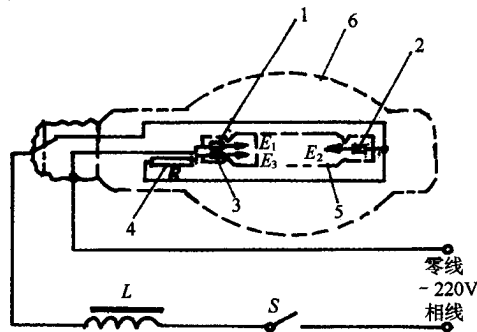


图 16-38 高压汞灯的结构

1—第一主电极 2—第二主电极 3—辅助电极;

4—限流电阻 5—石英玻璃内管 6—硬质玻璃外泡

高压汞灯熄灭后不能立刻再启燃,而必须等到灯冷却后才能启燃,所以再启燃时间要比启燃时间长一些,约 5~10min。当灯熄灭后,放电管内离子迅速复合,但温度仍很高,汞蒸气的压力也很高,原子密度大,电子的平均自由程较小,因此这时难以再使原子电离,也就不能形成放电。只有等放电管温度下降,汞蒸气压

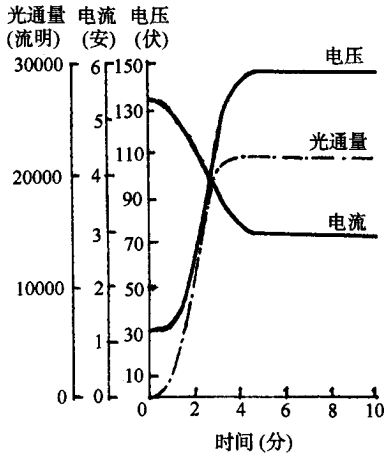


图 16-39 高压汞灯的启燃特性

力减小,管内主要只有氩气时才能再次启燃。这个冷却过程大约需要 1~2min。

(2) 光性能

高压汞灯根据外泡内壁是否涂有荧光粉可以分为两类:一类是外泡具有透明玻璃,即无荧光粉;另一类外泡内壁涂有荧光粉,改称为荧光高压汞灯。无论是那一类高压汞灯,其原子辐射产生的光辐射均可看成有两部分组成:一部分是线光谱成分,主要是 365.6nm、407.9nm、435.8nm、546.1nm 和 577.0~579.0nm 的谱线,荧光高压汞灯还将增加红色谱线;另一部分是连续光谱成分。高压汞灯(无荧光粉)的连续光谱成分比较小,色温约为 5400K,显色指数仅为 22~25。而荧光高压汞灯的连续光谱成分较大,且增加了红色谱线,显色指数明显提高,可达 40~45,色温有所下降,约为 5000K。

国内照明用的高压汞灯主要是荧光高压汞灯,发光效率可以达到约 50lm/W。荧光高压汞灯的寿命较长,国际先进水平可达到 24 000h,我国的产品一般约为 5000~6000h。影响荧光高压汞灯寿命的主要因素有:管壁的黑化引起的光衰,电极电子发射物质的消耗,它将导致管壁的急剧黑化,启燃电压升高,甚至无法启燃;启燃频繁程度,寿命试验时规定每 5 小时开关一次,若开关频率增大,则将降低高压汞灯的寿命。

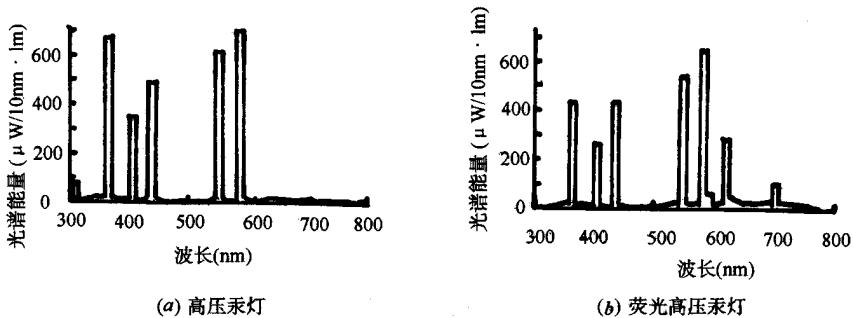


图 16-40 高压汞灯的光谱能量分布

(3) 电源电压对光电特性的影响

高压汞灯对电源电压的偏移非常敏感,会引起光通量、电流和电功率的较大幅度的变化。例如电压变化  $\pm 5\%$ ,则光通量也随之变化约  $\pm 15\%$ 。电压升高时对灯的寿命影响也很大。当电压降低较多时,会引起启燃和再启燃的困难。

3. 自镇流荧光高压汞灯

串联在荧光灯电路中的镇流器除了起稳定灯管电流的作用外,还与启辉继电器合作,担负启燃荧光灯的

功能。荧光高压汞灯的启燃功能完全由辅助电极来完成,因此串联在灯电路中的镇流器只起稳定灯电流的作用。若用一个电阻替代镇流器,那么同样能起到稳定电流的作用,但电阻将消耗电功率,经济性不好。如果串接的电阻也能产生可见光,经济性就可改善,自镇流荧光高压汞灯就是在此原理基础上产生的。

在荧光高压汞灯的放电管和外泡之间装一钨丝电阻,它可以作为灯的镇流器,同时也能像白炽灯那样产生可见光。周此自镇流荧光高压汞灯相当于一个混光光源,它集荧光高压汞灯和白炽灯于一身。但高压汞灯的寿命较长,而白炽灯的寿命很短,一旦白炽灯灯丝烧断,整个灯就报废了。为了延长起镇流器作用的钨丝白炽灯的寿命,必须降低它的光效。由于自镇流荧光高压汞灯中存在着白炽灯,显色性能将有所改善,但光效将有所下降,寿命也低于同功率的非自镇流荧光高压汞灯。

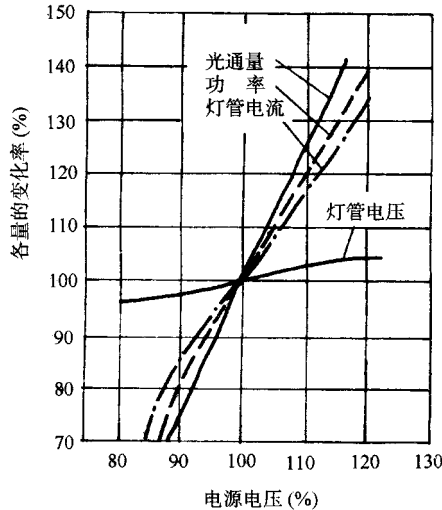


图 16-41 400W 荧光高压汞灯的光电特性

## 六、其他照明光源

### (一) 氙灯

氙灯是利用高压氙气放电产生强光的电光源,其显色性很好,发光效率比较高,功率大。氙灯需要触发器启动。氙灯有“小太阳”的美称。氙灯由于功率大、发光效率高、显色性好,常用于建筑施工现场、广场、车站、码头等需要高照度、大面积照明场所,如“长空探照灯”、“空中玫瑰”、“城市之光”等灯具。

氙灯的放电管是由耐高温的石英玻璃制成。放电管的两端装有钨棒状电极,管内充入高纯度的氙气。氙灯分为长弧和短弧两种,长弧灯是圆柱形石英玻璃管,短弧灯则为椭圆形石英玻璃管,但两端仍有圆柱形伸长部分。

氙灯是一种弧光放电灯,光的辐射包括了在放电过程氙被激发而产生的线光谱辐射和被电离的离子与电子复合产生的连续光谱辐射。因此,氙灯的辐射光谱是在连续光谱上重叠着线光谱。

氙灯有直流和交流两种形式,在交流下工作会产生频闪现象,在直流下工作则可避免频闪。

氙灯的发光效率只有 20~50lm/W,使用寿命一般为 1000~5000h。

氙灯在启燃时需要较高的电压,故启燃时应采用触发器。灯管工作时还应接入镇流器。

氙灯在使用时应注意:当作为室内照明时,为了防止紫外线对人体的伤害,应装置滤光玻璃。因为该光源亮度较高,为避免眩光,应装置在视线不及的高度。一般 3kW 灯管不低于 12m,10kW 不低于 20m,20kW 不低于 25m。电压波动限制在  $\pm 5\%$ 。氙灯安装时要注意参考说明书,使用时必须和相应的附件配套。

## (二) 金属卤化物灯

金属卤化物灯属第三代光源,是近年发展起来的新光源。天色很好,接近天然光,常用于电视、摄影、印染工作中,体育场、体育馆、高大厂房、较繁华的街道、广场以及要求高照度显色性好的室内建筑照明。户外交通要道路口或车站、码头、停车场、立交桥等高杆照明也多使用此种光源。显色性好的氯化锡灯还适用于美术馆、展览馆、饭店、公园等室内外照明。

金属卤化物灯的灯泡构造,是由一个透明的玻璃外壳和一根耐高温的石英玻璃内管组成。壳管之间充氮气或惰性气体,内管充惰性气体、汞蒸气、卤化物。卤化物是碘或溴与锡、钠、铊、钨、钽、铈、钇、铪等金属的化合物。在灯泡的正常工作状态下,被电子激发的是金属原子,而不是汞原子,发出的是与天然发光谱相近的可见光。这种灯的发光效率高,约  $80\text{lm/W}$ 。

金属卤化物灯尺寸小、功率大,发光效率高,但寿命较低。金属卤化物灯的起动电流较低,如国产  $400\text{W}$  钠铊铟灯为额定电流的  $1.7$  倍,  $1000\text{W}$  约  $1.4$  倍。它有一个较长时间的起动过程,在这个过程中灯的各个参数均发生变化。从起动到光电参数基本稳定一般需  $4\sim 8\text{min}$ ,而完全达到稳定需  $15\text{min}$ 。金属卤化物灯在关闭或熄灭后,须等待约  $10\text{min}$  左右才能再次起动,这是由于灯工作时温度很高,放电管气压很高,起动电压升高,只有待灯冷却到一定程度后才能再起。采用特殊的高频引燃设备可以使灯能够迅速再起,但灯的接入电路却因此而复杂。

金属卤化物点燃位置变化时,管内蒸气压和最冷点温度也不同,从而使光通和天色发生较大的变化。有些金属卤化物灯由于安装方式不同,其放电管的结构也不一样,如钠灯若不按要求使用,有烧坏灯泡的可能。

金属卤化物灯是弧光放电灯,需要镇流器才能稳定地工作,它的起动电压比较高。较高的起动电压可以借助变压器或谐振电路取得,也可用能产生高频高压脉冲的电路取得。

图 16-42 为钠灯工作接线图,电源电压采用  $380\text{V}$  或  $220\text{V}$  两种规格。用  $380\text{V}$  电源时,需用专制镇流器。用  $220\text{V}$  电源时,需用漏磁器变压方式,图中为 DDG-250W、400W 工作线路图。

图 16-43 为钠铊铟灯 NTI-1000W 型的工作线路图,这种灯使用触发器起动,在起动时产生高压脉冲冲击穿灯管点燃。它的工作过程是合上开关  $K_1$ ,按下起动按钮  $K_2$ ,电源经  $L$  向  $C_1$  充电。同时在  $L$  中产生磁场吸引簧片,使火花触点  $J$  断开,当外电压通过零点时  $J$  又接通,此时  $C_1$  向脉冲变压器  $T$  的初级线圈  $L_1$  产生谐振式放电,在下半周时又使  $J$  断开并对  $C_1$  反向充电,如此不断循环。由于  $L_1$  上的振荡电压峰值可达电源电压的数倍,再经脉冲变压器升压,使  $L_2$  输出端能获得  $10\text{kV}$  高压脉冲,将灯管击穿进入工作状态。 $K_2$  自动恢复后触发器即不再工作。

图 16-44 为金属卤化物灯触发器线路,触发器线路分手动触发与自动触发两种形式。

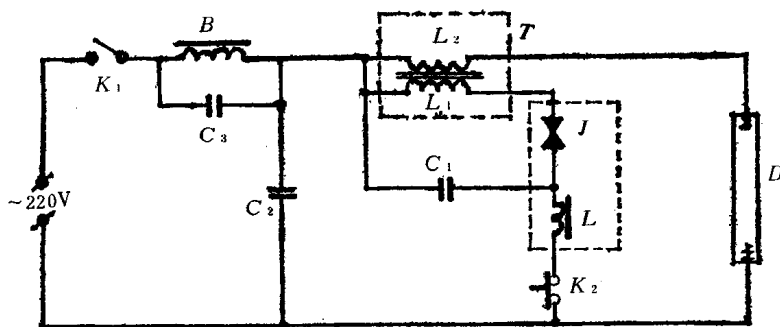


图 16-42 钠灯 DDG-250W、400W 工作线路图

$L$ —专用镇流器;  $B$ —专用漏磁变压器;  $D$ —灯泡;  $R$ —起动限流电阻

金属卤化物灯的技术数据和规格见表 16-37。



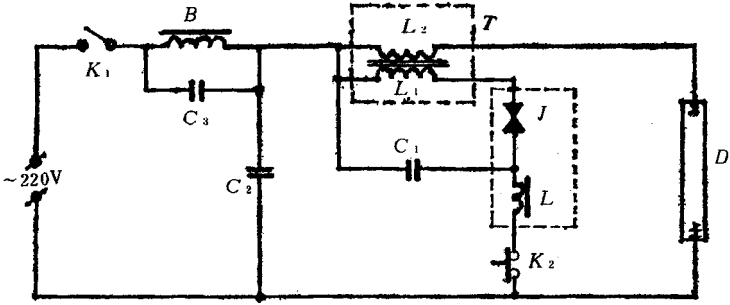


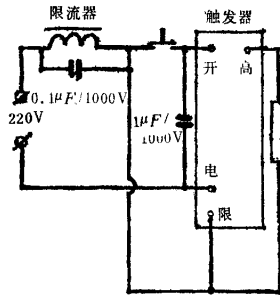
图 16-43 钠灯、钨灯 NTI—1000W 型工作线路

$D$ —灯管;  $B$ —镇流器;  $T$ —脉冲变压器;  $L$ —振子线圈;  $J$ —振子触点;  $C_1$ —谐振电容器;

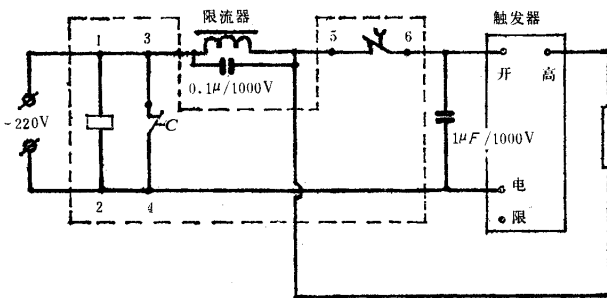
$C_2$ —高频旁路电容器;  $C_3$ —镇流器旁路电容器;  $K_1$ —电源开关;  $K_2$ —按钮开关;

金属卤化物灯的镇流器数据见表 16-38。

金属卤化物灯的触发器数据和规格见表 16-39。



手动触发



自动触发

图 16-44 金属卤化物灯触发器线路

表 16-37 金属卤化物灯的技术数据和规格

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	工作电压 (V)	工作电流 (A)	光通量 (lm)	色温 (K)	传色指数 Ra	主要尺寸		燃点位置及安装高度 (m)	平均寿命 (h)	参考价 (元)	生产厂
								直径 D	全长 L				
DDG-1000	220	1000	130	8.3	70000	500 ~70000	70	91	370	水平 ± 15°		100	上海亚明灯泡厂
DDG-2000	380	2000	220	10.3	150000		75	111	450				
DDG-3500		3500		18.0	280000		80	122	485				
DDG-3500A				18.0	4500 ~6500	70	倾斜 45 ± 15°						
DDG-250	380/1220	250	220	1.25	17500	6000	80	91	230	垂直 ± 15° 水平 ± 30°	1000	60	南京灯泡厂
DDG400		480		2.75	336001	± 1000	80	122	292		1500	70	
DDF-250		250		1.25		46000	175	180	257		1000	72	
DDF-400		480		2.75		95000					1000	82	
DDG-1000	220	1000	120	10	7500	6000 ± 1000	70	20	210	15 米	300		上海灯泡厂
DDG-1000A								380	2000		220		
DDG-2000	18	280000	60	80	380		10 ~ 15 米			1000			
DDG-3500	400	3.6							24000		200		
NTY-400	220	1000	120	10	75000		80	380	25 米				
NTY-1000		1000	220	18	240000					100	490		
NTY-1000A	380	3500		10.3	140000								
NTY-3500A		2000											
NTY-2000A													
KNG-1500	220 或 380	1500	灯管 400 ~ 500	3.6	120000		3500		17	225		1000	
KNG-750		750		1.7	100000	~ 5500	15		170	35			
KNG-1000	220	1000	135	3.5	70000	5000 ~ 7000	60				1000	100	上海亚明灯泡厂

注 1. DDG 为充铊的金属卤化物灯—管形镝灯, NTY 为钠铊铈的金属卤化物灯—铊铈镝灯管, KNG 为充钨钠的金属卤化物灯, 南京灯泡厂 DDF 为反射型日光灯(俗称“生物效应灯”);  
 2. 灯必须与相应的触发器和镇流器配套使用;  
 3. 灯泡开始燃点时经 10min 后才能达到稳定状态, 熄灭后再启动为 10 ~ 15min。

表 16-38 DDG 型镇流器数据

灯泡型号	镇流器			触发器		灯具		生产厂
	阻抗 (Ω)	型号	参考价 (元)	型号	参考价 (元)	型号	参考价 (元)	
DDG-1000	17.6	DDG-1000-Z	190	1kW 火花型	145	ZMD-1000-1	600	上海亚明灯泡厂
DDG-2000	26.8			3.5kW 火花型	150	ZMD-3500-1	720	
DDG-3500		15	DDG-3500-Z					
KNG-1000		DDG1000-Z	190	1kW 火花型	145	ZMD-1000-1	600	

表 16-39 DYC-LIA 触发器数据

钠铊镨灯 管触发器型号	电压 (V)	触发频率 (kHz)	触发时间 (3)	触发极限 时间(s)	触发输出 脉冲电压 (kV)	外形尺寸 (mm)	生产厂
DYG-LIA	22	305	1~3	10	10	340×260×230	上海曙光灯具厂

KNG 型钠铊灯使用时应注意 (1) 钠铊灯光效高, 约为卤钨灯的 4 倍, 显色性能胜过高压汞灯和高压钠灯。为了发挥其优点, 应采用相应的镇流器和灯具。灯管应水平燃点, 倾角不能大于  $15^\circ$ 。灯的装置参考高度 1500W 为 15m 左右, 750W 为 10m 左右。(2) 安装时应选用合适的保险丝。(3) 灯管两端的白色保温层用以改善灯的性能, 使用时不必揩去。为延长灯管寿命, 建议定期将灯管旋转  $90^\circ$ , 可防止灯管上部局部失透。

### (三) 混光灯

混光灯的光源是利用荧光高压汞灯与高压钠灯通过多棱晶面反光罩混光而进行照明的。混光灯是当今世界第三代新光源的配套灯具, 是国内节能省电的最新最佳照明光源。

混光灯采用钢化玻璃透光面罩, 外装金属防护罩。铝合金多棱晶面反光罩壳体, 内表面电解抛光氧化处理, 外表面喷烤漆。灯具壳体与透光面罩间嵌软性橡胶圈。高压汞灯与高压钠灯分别装入反光罩壳内。透光面罩和灯具壳体有四个金属卡钩连接, 灯具壳体顶部装有两个安装环。混光灯的结构尺寸见图 16-45。

混光灯的照明高度, 安装在 8~10m 高度, 平均照度可达 200~300lx。光色均匀柔和, 透雾性能好。眩光小, 其眩目率在  $30^\circ$  和  $40^\circ$  方向分别降低 27% 和 20%。安装维修方便, 并不易受尘、灰的污染。混光灯适用于体育场、体育馆、工矿企业高大厂房等处的照明。混光灯的技术参数见表 16-40, 光强度分布曲线见图 16-46。照度率见表 16-41。

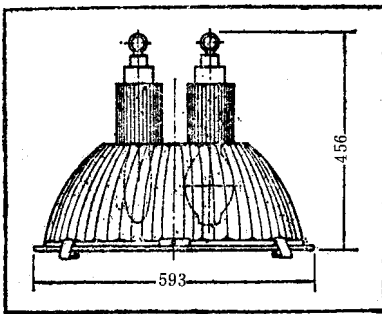
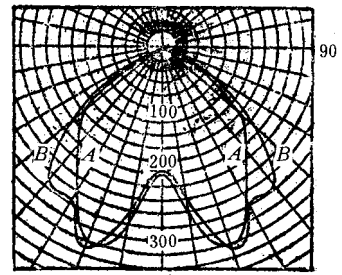


图 16-45 混灯结构尺寸



光强度分布曲线  
(光源光通量 1000 流明)

图 16-46 光强度分布曲线

表 16-40 混光灯技术参数

型号规格	结构	电压	功率	灯具效率	灯头形式	重量
HGND-2 400/250	封闭式 开放式	220V	汞灯 400W 钠灯 250W	70%	E40	$\leq 6.5\text{kg}$

注 生产厂为江苏常州红联灯具厂。



# 第十七章 电气配电装置安装运行与维修

## 第一节 高低压配电装置的基本要求

### 一、配电装置的检查

#### (一) 母线颜色标志

1. 三相交流电母线  $L_1$  相 黄色  $L_2$  相 绿色  $L_3$  相 红色。
2. 单相交流母线与引出相颜色相同 单立的单相母线 :一相为黄色 ;一相为红色。
3. 直流母线 正极 赭色 ;负极 蓝色。
4. 直流均衡汇流母线和交流中性汇流母线 不接地者 紫色 ;接地者 紫色带黑色条纹。
5. 封闭母线 母线外表面和外壳内表面 无光泽黑色 ;外壳外表面 无光泽灰色。
6. 模拟母线涂色的规定(见表 17-1)

表 17-1 模拟母线涂色的规定

电 压 /kV		颜 色	电 压 /kV		颜 色
直 流		褐	交 流	6	深 蓝
交 流	0.22	深 灰		10	绛 红
	0.38	黄 褐		13.8~8	浅 绿
	3	深 绿		35	鲜 黄

#### (二) 判断带电状态

配电装置中的电气设备是否带电 ,可用下列方法来判断 :

1. 有明显断开点的开关 ,可从分闸或合闸状态清楚地区分是否断电。对于油断路器 ,可从操作机构的指示牌上看出其实际位置 ,而有时因指示牌松动造成指示失误 ,应结合相关的隔离开关来判断。
2. 从电压表的指示可以判断电气设备是否带电 ,但要注意仪表是否失灵 ,接线是否正确 ,以免造成误判断。
3. 从信号灯显示来判断电气设备是否带电。
4. 用验电器或试电笔直接测试 ,但验电器或试电笔的电压等级必须与所测试电气设备或线路的电压等级相符。

### (三) 检查和试验

送电前对高、低压电气设备应进行下列检查和试验：

1. 对高、低压电气装置和绝缘油进行耐压试验。
2. 测量各元器件的绝缘电阻 核对定相是否正确。
3. 检查触点的接触情况是否良好 ,各种开关的接通和断开动作是否正确。
4. 熔断器的熔体是否符合规定。
5. 断电保护装置的动作是否正常 联锁装置是否可靠。
6. 接地装置是否符合要求。
7. 信号和指示装置的显示是否正确 ,直流系统是否可靠。
8. 安全用具和消防器材是否齐全。

### (四) 母线检查

1. 清扫母线上的粉尘和污垢。
2. 测量母线的绝缘电阻 ,一般 0.4kV 母线的绝缘电阻应不小于 100MΩ 6~10kV 母线应不小于 200MΩ。
3. 检查母线是否完整无损 ,紧固是否牢靠 ,观察绝缘子有无损伤现象。
4. 检查接头接触情况是否良好。
5. 检查母线上的油漆有无剥落 ,在检修中消除的变色漆或示温蜡片 ,应贴补齐全。

## 二、配电装置的距离

### (一) 屋外高压配电装置的允许距离

屋外高压配电装置的各项主要间隔距离 ,应不小于表 17-2 所列数值。

表 17-2 屋外高压配电装置的允许距离

(mm)

额定电压/kV		10	20	35	60	110	154	220
不同相的导体间及带电部分至接地部分间		200	300	400	600	1000	1400	2000
带电部分至网状遮栏		250	300	400	600	1000	1400	2000
带电部分至栅栏		1000	1000	1000	1250	1750	2000	2500
无遮栏裸导体至地面高度		3000	3000	3000	3250	3750	4000	4500
不同时间停电检修的 无遮栏裸导体间	水平距离	2000	2000	2000	2500	3000	3500	4000
	垂直距离	1000	1000	1000	1250	1750	2000	2500

### (二) 屋内高压配电装置的允许距离

屋内高压配电装置的各项主要间隔距离 ,应不小于表 17-3 所列数值。

表 17-3 屋内高压配电装置的允许距离

(mm)

额定电压 /kV	1~3	6	10	20	35	60	110
不同相的导体间及带电部分至接地部分间	75	100	125	180	290	460	800
带电部分至无孔遮栏	105	130	155	210	320	490	830
带电部分至网状遮栏	175	200	225	280	390	560	900
带电部分至栅栏	500	500	500	700	800	1000	1300
无遮栏裸导体至地(楼)板高度	2500	2500	2500	2750	2750	3000	3500
不同时停电检修无遮栏裸导体间	2000	2000	2000	2200	2200	2500	3000
架空出线至地面	4500	4500	4500	4750	4750	5500	5500
架空出线至屋顶	2750	2750	2750	2750	2750	3750	3750

### (三) 屋内低压配电装置的距离

屋内低压配电装置的距离见表 17-4。

表 17-4 屋内低压配电装置的距离

(mm)

名称		距离	名称		距离
不同极性的裸导体间及至接地部分间	沿绝缘表面的距离	30	正面或后面的维护通道	通道净宽度	800
	空气中距离	15		通道净高度	1900
由裸导体至	栏杆或保护网	100		通道门宽度	750
	可拆卸的遮蔽式围栅	50		通道门高度	1900
	外人能触及的网状围栅	700			

## 三、配电装置的其他要求

1. 隔离开关和相应的开关间应有联锁装置, 确保高压隔离开关只有在同一电路的高压断路器分闸的情况下才能进行操作, 以防止高压隔离开关带负荷误操作。

2. 选用电气设备时, 除了按正常工作条件下的额定电压、额定电流等来选择外, 还应按可能最大的短路电流所产生的电动效应和热效应(即动稳定和热稳定)来校验。

3. 若在电压互感器的二次侧回路可能另有电源时, 而它的二次回路应用连动的辅助接头和一次回路的开关设备同时切开。

4. 连在一起的配电装置, 应使各回路的相序排列一致。

5. 用熔断器保护的电气设备, 可不进行短路电流的校验。

6. 不允许照明、电信和信号线路在屋外配电装置导电部分的上面或下面架空跨越或穿过。

7. 低压配电装置, 除熔断器、断路器及所保护的电器及导体不校验其短路动稳定和热稳定外, 其他选择校验条件与高压电气设备相似, 如低压电气设备也要按其正常工作条件下的额定电压、额定电流等来选择。

## 第二节 低压配电装置的安装与维护

低压配电箱有开关厂或电器厂制造的成套配电箱和自制的非成套配电箱。非成套配电箱有明式和暗式两种。

### 一、低压木配电箱的制作

木配电箱的制作分配电板(盘面)和箱体两大部分。木制配电板的形式很多,图 17-1 就是一种形式。

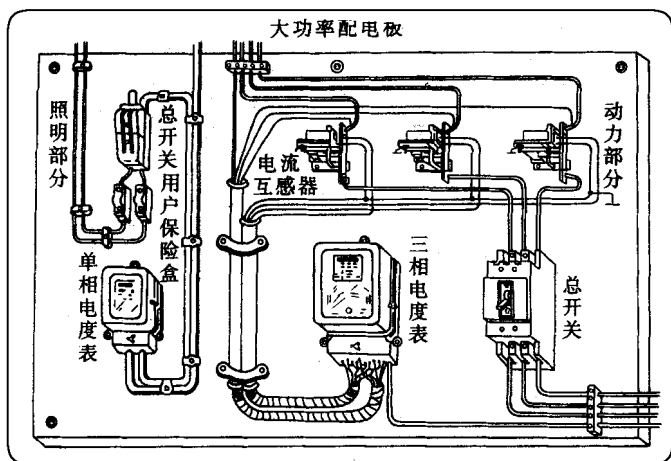


图 17-1 木制配电板

木制配电板的木板应选用厚 25mm 以上、质地良好的木板,并涂上防潮漆。

木制配电板的制作主要是根据设计的配电箱回路数和电器设备布置来决定。木制配电板上各电器之间必须有一定间距,如图 17-2 和表 17-5 所示。

表 17-5 木制配电板电器元件间距

(mm)

间 距	最 小 尺 寸		
A	60 以上		
B	50 以上		
C	30 以上		
D	20 以上		
E	电器规格	10~15A	20 以上
		20~30A	30 以上
		60A	50 以上
F	80 以上		



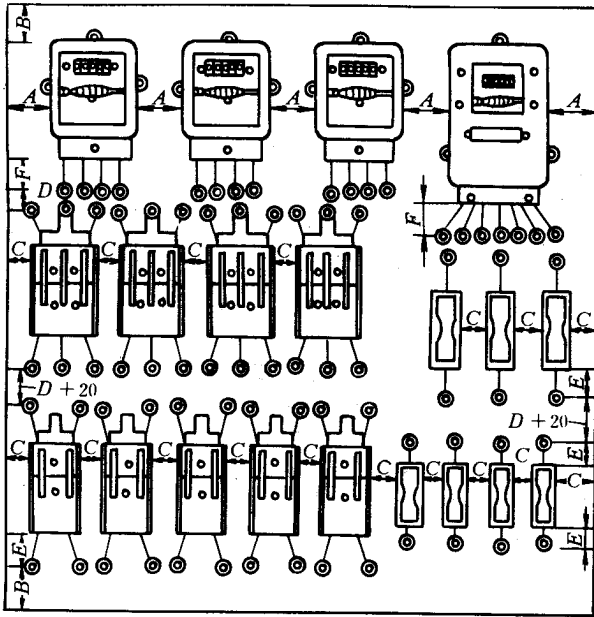


图 17-2 木制配电板电器元件的排列间距

木制配电箱的尺寸主要取决于配电板的尺寸。木制配电箱有木制明式配电箱和木制暗式配电箱两种。

## 二、低压成套配电箱

1. XL-10 型动力配电箱 XL-10 型动力配电箱系户内装置、防尘式,采用钢板结构。内装组合开关及 RL1 系列或 RT0 系列熔断器 组合开关的手柄露在箱壳外。箱正面的下部有门,门开启后可更换熔断。适用于工厂车间,交流 380/220V 50Hz 的三相四线制电力系统中控制电动机、电气设备及照明等。

XL-10 型动力配电箱外形及安装如图 17-3 所示。

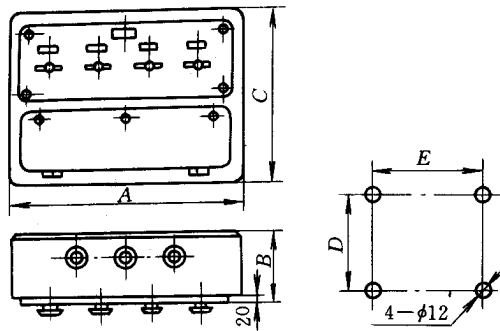


图 17-3 XL-10 型动力配电箱外形及安装图

XL-10 型动力配电箱的安装尺寸如表 17-6 所示。

2. XI(F)-15 型动力配电箱 XI(F)-15 型动力配电箱系户内装置,箱体可分保护式、防尘式两种,用薄钢板弯制焊接而成。箱的门上装有一只电压表,指示汇流母线电压。打开箱门,箱内全部电器敞露,便于检修,RT0 系列熔断器装在由角钢焊成的框架上,框架用螺钉固定在箱壳上。用作工厂作为 500V 以下的三相交流系统动力配电等。

表 17-6 XL-10 型动力配电箱安装尺寸

型号	安装尺寸					组合开关型号	数量	熔断器 型号	数量
	A	B	C	D	E				
XL-10-1/15	300	540	210	465	225	H <sub>z</sub> 10-25/3	1	RL1-15	3
XL-10-1/35	340	630	235	555	265	H <sub>z</sub> 10-60/3	1	RL1-60	3
XL-10-1/60	340	630	248	555	265	H <sub>z</sub> 10-100/3	1	RT0-100	3
XL-10-2/15	440	540	210	465	365	H <sub>z</sub> 10-25/3	2	RL1-15	6
XL-10-2/35	505	630	235	555	430	H <sub>z</sub> 10-60/3	2	RL1-60	6
XL-10-2/60	505	630	248	555	430	H <sub>z</sub> 10-100/3	2	RT0-100	6
XL-10-3/15	570	540	210	465	495	H <sub>z</sub> 10-25/3	3	RL1-15	9
XL-10-3/35	670	630	235	555	595	H <sub>z</sub> 10-60/3	3	RL1-60	9
XL-10-3/60	670	630	248	555	595	H <sub>z</sub> 10-100/3	3	RT0-100	9
XL-10-4/15	740	540	210	465	665	H <sub>z</sub> 10-25/3	4	RL1-15	12
XL-10-4/35	835	630	235	555	760	H <sub>z</sub> 10-60/3	4	RL1-60	12
XL-10-4/60	835	630	248	555	760	H <sub>z</sub> 10-100/3	4	RT0-100	12

XI(F)-15 型动力配电箱外形及安装如图 17-4 所示。

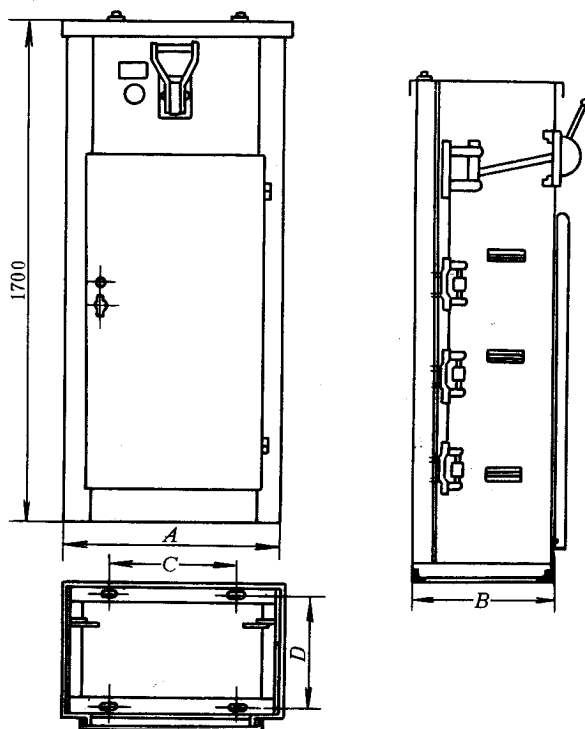


图 17-4 XI(F)-15 型动力配电箱外形及安装图

XI(F)-15 型动力配电箱安装尺寸如表 17-7 所示。

3. XI(R)-20 型动力配电箱 XI(R)-20 型动力配电箱系户内装置,有嵌入式、挂墙式两种。箱体用薄钢

板弯制焊接成封闭形,主要有箱、面板、低压断路器、母线及台架等。面板可自由拆下,面板上开有小门。主要用于工厂交流 500V 以下、50Hz 三相三线及三相四线电力系统,作动力配用电。有过载及短路保护。

XI(R)-20 型动力配电箱外形及安装如图 17-5 所示。

表 17-7 XI(F)-15 型动力配电箱安装尺寸

型 号	刀开关 额定电流 /A	回 路 数	安装尺寸/mm				回路数×该回路 额定电流 /A	
			A	B	C	D		
XI(F)-15-2200	400	4	500	370	346	300	2×60+2×100	
XI(F)-15-2020							2×60+2×100	
XI(F)-15-0040							4×200	
XI(F)-15-0202							2×100+2×400	
XI(F)-15-0042		6					4×200+2×400	
XI(F)-15-6000							6×60	
XI(F)-15-0060							6×200	
XI(F)-15-0420							4×100+2×400	
XI(F)-15-2220		8		700	370	496	300	2×60+2×100+2×200
XI(F)-15-8000								8×60
XI(F)-15-0800								8×100
XI(F)-15-3500								3×60+5×100
XI(F)-15-5300								5×60+3×100
XI(F)-15-6200								6×60+2×100
XI(F)-15-6020								6×60+2×200
XI(F)-15-5030								5×60+3×200
XI(F)-15-0620								6×100+2×200
XI(F)-15-4040								4×60+4×200
XI(F)-15-4220								4×60+2×100+2×200
XI(F)-15-0080								8×200

XI(R)-20 型动力配电箱安装尺寸如表 17-8 所示。

### 三、低压配电箱的安装

1. 低压配电箱的安装高度,除施工图中有特殊要求外,暗装时底口距地面为 1.4m,明装时为 1.2m,但明装电度表应为 1.8m。

2. 在 240mm 厚的墙内暗装配电箱时,其后壁用 10mm 厚石棉板及直径为 2mm 的铅丝、孔洞为 10mm 的铅丝网钉牢,再用 1:2 水泥砂浆抹好以防开裂。

3. 配电箱外壁与墙有接触的部分均需涂防腐油,箱内壁及板面均涂灰色油漆两道。铁制配电箱应先涂樟丹油再涂油漆。

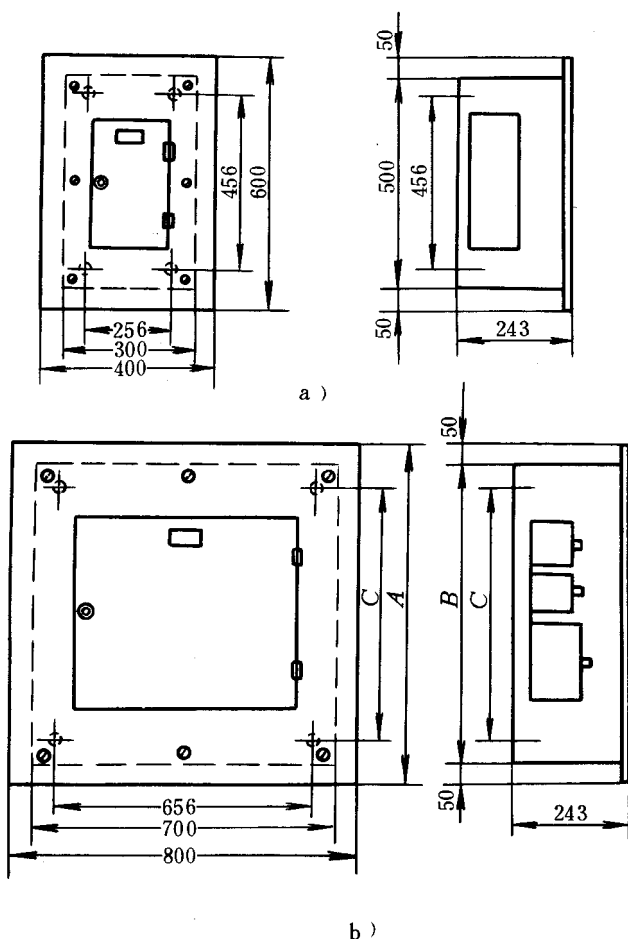


图 17-5 XI(R)-20 型动力配电箱外形及安装图

表 17-8 XI(R)-20 型动力配电箱安装尺寸

型 号	低压断路器数量		安装尺寸/mm			主母线允许载流量/A
	DZ10-100	DZ10-250	A	B	C	
XLR-20-1-1		1				47(250)
XLR-20-2-1	4		600	500	456	47(350)
XLR-20-3-1	8		800	700	656	47(350)
XLR-20-3-2	4	1	800	700	656	47(350)
XLR-20-3-3	2	2	800	700	656	47(350)
XLR-20-4-1	12		1000	900	856	53(350)
XLR-20-4-2	8	1	1000	900	856	53(350)
XLR-20-4-3	6	2	1000	900	856	53(350)
XLR-20-4-4	2	3	1000	900	856	53(350)

4. 为了防止木制配电板因电火花烧伤 根据电流值和使用情况的不同 按下列情况确定加包铁皮。

(1) 平时操作不频繁的一般照明配电盘 其额定电流在 60A 以下的可不包铁皮 但对操作较频繁的照明

配电板,均应包铁皮。

(2) 动力配电盘的额定电流在 30A 及以上者要加包铁皮,在 30A 以下及盘上装有铁壳开关时可不包铁皮。

(3) 凡安装在重要负荷及易燃场所的配电盘,不论其电流大小均应采用铁盘或木盘包铁皮。

(4) 需加包铁皮的配电箱,其包铁皮的部位为盘板的前后两面,箱身及箱内壁不包铁皮。

5. 配电盘上装有计量仪表、互感器时,二次侧的导线使用截面不小于  $1.5\text{mm}^2$  的铜芯导线。

6. 盘后导线应按相位颜色套上软塑料套管,A 相用黄色,B 相用绿色,C 相用红色,零线用黑色。

7. 导线穿过盘面时,木盘需套瓷管头,铁盘需装橡胶护圈。工作零线穿过木盘面时,可不加瓷管头,只套以塑料管。

8. 配电盘上的刀开关、熔断器等设备,上端接电源、下端接负荷。横装的插入式熔断器等应从面对配电盘的左侧接电源,右侧接负荷。

9. 零线系统中的重复接地应作在引入线处,在末端配电盘上也应作重复接地。

10. 零母线在配电盘上不得串接。零线端子上分支路的排列需与相应的熔断器对应,面对配电盘从左到右编排 1、2、3、……。

## 四、室内线路安装竣工后的验收及试验

### (一) 室内线路安装竣工后的验收

1. 检查工程施工与设计是否符合;
2. 工程材料和电器设备是否良好;
3. 施工方法是否恰当,质量标准是否符合各项规定;
4. 检查可能发生危险的场所;
5. 配线的连接处是否采取合理的连接方法,是否作到可靠连接;
6. 配线和各种管路的距离是否符合安全规定,和建筑物的距离是否符合标准;
7. 配线穿墙的瓷管是否移动,各接触点接触是否良好;
8. 电线管的接头及端头所装的护线箍是否有脱离的危险;
9. 所装设的电器和电器装置的容量是否合格。

### (二) 室内线路安装竣工后的试验

#### 1. 绝缘电阻试验

(1) 导线绝缘电阻的测试 测试前应先断开熔断器、用电设备、电器和仪表,在相邻的两个熔断器间或在最末一个熔断器后面,导线对地或两根导线间绝缘电阻不应小于  $0.5\text{M}\Omega$ 。

(2) 配电装置每一段的绝缘电阻值应不小于  $0.5\text{M}\Omega$ 。电压为 24V 以下的设备,应使用电压不超过 500V 的摇表。

#### (3) 二次回路的绝缘电阻测量

- ① 直流小母线和控制盘的电压小母线,在断开所有其他联接支路时,应不小于  $10\text{M}\Omega$ ;
- ② 二次回路的每一支路和开关、隔离开关操作机构的电源回路,应不小于  $1\text{M}\Omega$ ;
- ③ 接在主电流回路上的操作回路、保护回路和 500~1000V 的直流发电机的励磁回路,不应小于  $1\text{M}\Omega$ ;
- ④ 在较潮湿的地方,第②、③两项的绝缘电阻允许降低到  $0.5\text{M}\Omega$ ;

(4) 绝缘电阻应用 2500V 以上摇表测定;当额定电压为 3~15kV 时,绝缘电阻应在  $1000\text{M}\Omega$  以上,额定电压为 20~220kV 时,绝缘电阻应在  $3000\text{M}\Omega$  以上。

#### 2. 交流耐压试验

(1) 电流互感器、电压互感器和开关的交流耐压试验必须符合表 17-9 所示的规定。

表 17-9 电流、电压互感器及开关耐压试验标准

额定电压/kV	3	6	10	15	20	35	
试验电压/kV	22	28	38	49	60	85	

(2) 二次回路的交流耐压试验标准为 1kV。

(3) 电压为 1kV 以下的配电装置, 交流耐压试验标准为 1kV。

(4) 动力和照明配线当导线的绝缘电阻的数值小于  $0.5M\Omega$  时, 应进行耐压试验, 试验电压为 1kV。

## 五、配电装置的其他要求

1. 隔离开关和相应的开关间应有联锁装置, 确保高压隔离开关只有在同一电路的高压断路器分闸的情况下才能进行操作, 以防止高压隔离开关带负荷误操作。

2. 选用电气设备时, 除了按正常工作条件下的额定电压、额定电流等来选择外, 还应按可能最大的短路电流所产生的电动效应和热效应(即动稳定和热稳定)来校验。

3. 若在电压互感器的二次侧回路可能另有电源时, 而它的二次回路应用连动的辅助接头和一次回路的开关设备同时切开。

4. 连在一起的配电装置, 应使各回路的相序排列一致。

5. 用熔断器保护的电气设备, 可不进行短路电流的校验。

6. 不允许照明、电信和信号线路在屋外配电装置导电部分的上面或下面架空跨越或穿过。

7. 低压配电装置, 除熔断器、断路器及所保护的电器及导体不校验其短路动稳定和热稳定外, 其他选择校验条件与高压电气设备相似, 如低压电气设备也要按其正常工作条件下的额定电压、额定电流等来选择。

## 第三节 高压配电装置的安装与维修

高压配电装置是指 1kV 以上的电气设备, 按一定接线方案, 将有关一、二次设备组合起来。用于控制发电机、电力变压器和电力线路, 也可作为大型交流高压电动机的起动和保护用。

高压配电装置是接受和分配电能的电气设备, 由开关设备、监察测量仪表、保护电器、连接母线和其他辅助设备等组成。

### 一、高压配电装置的选择

#### (一) 基本要求

1. 配电装置应保证工作的可靠性、维护方便和安全。当电气设备发生故障或火灾等事故时, 能局限在一定范围, 并宜于迅速消除。运行经济合理、技术先进并预留发展和扩建的余地。

2. 配电装置的布置和导体、电器、构架的选择应满足正常运行、短路和过电压的要求, 且不应危及人身安全和周围设备。

3. 绝缘等级应和电力系统额定电压相同, 3~10kV 的屋外重要变电所的支持绝缘子和穿墙套管应采用比受电电压高一级电压的产品。

4. 各回路的相序排列应尽量一致, 并涂色标明。

5. 间隔内的硬母线及接地线,应留未涂漆的接触面和连接端子,以备装接携带式接地线。
6. 隔离开关和相应的断路器之间,应装设机械或电磁联锁装置,以防误操作。
7. 在污秽地区的高压配电设备及绝缘子等,应有防尘、防腐等措施,并能便于清扫。
8. 周围环境温度低于绝缘油、润滑油、仪表等的允许温度时,应采取相应的有效措施。
9. 导线、悬式绝缘子和金具所采用的强度安全系数,正常运行时不得小于4,安装检修时不得小于2.5。
10. 没有导电尘埃、没有破坏金属和绝缘的气体、没有爆炸危险的场所、没有剧烈振动的地方及倾斜不超过 $5^{\circ}$ 的场所。
11. 安装地点的海拔高度不超过1000m,环境温度为 $-5 \sim +40^{\circ}\text{C}$ ,允许在 $-30^{\circ}\text{C}$ 时储运,室内相对湿度不超过85%。

## (二) 高压配电设备的选择

高压配电设备主要根据工作电压、工作电流、断流容量来选择。

1. 电气设备的额定电压应大于或等于回路的工作电压。
2. 电气设备的额定电流应大于或等于回路最大长期工作电流。
3. 对断路器和熔断器的选择,除满足以上两条外,还要使器件的额定断流容量大于或等于短路容量。
4. 为保证电气设备的可靠运行,在通过最大可能的短路电流不致受到损坏,除按以上三条原则选择外,还应按短路电流所产生的电动效应和热效应来进行校验。
5. 下列情况不需进行短路电流校验
  - (1) 用熔断器保护的电气设备及导体。
  - (2) 用限流电阻保护的电器及导体(电压互感器的引线)。
  - (3) 架空电力线路。
  - (4) 本身已满足短路时通断能力要求的电气设备。
6. 选择高压开关时,应根据变电所一、二次接线图和运行维护的要求,确定开关柜的型式和方案及一、二次设备的型号规格。

## 二、高压配电装置的操作

高压配电装置的操作及注意事项是根据各种线路的具体情况而不同,每种高压配电装置都有自己的特定操作程序和注意事项,现仅作一般性介绍。

1. 高压电气设备的操作人员必须确切掌握变配电系统的接线情况,重要设备的性能及操作方法,事故照明的装置情况及使用操作方法。
2. 送电前后都应按规定检查某些电气设备,测量绝缘电阻。
3. 高压电气设备的操作必须由二人进行,其中一人负责监护,操作完毕后,应有相应的指示信号或悬挂标示牌。
4. 操作人员不准口头约定停电或送电,必须有工作票,并严格按工作票的程序进行操作。
5. 操作人员应按电气设备的电压等级戴好绝缘安全保护用品,按操作要领进行操作。
6. 雷雨或潮湿天气在室外操作时,如果没有特殊装置的绝缘棒和绝缘夹及必要的防护措施,不准工作。
7. 使用500V以上验电器时,必须穿戴好绝缘防护用品。在强烈日光下验电时,验电器应装有特殊的管型灯罩。
8. 高压设备不论是否带电,未经许可,任何人不得单独移开遮栏或越过遮栏及警戒线进行操作和巡视。
9. 巡视和检查高压配电系统线路时,不能在未搞清楚的情况下,攀登电气设备或扳动操作机构。
10. 如果设备发生异常现象,值班人员应迅速判明情况,按规程切除有关电源,切勿乱拉闸,以免扩大事故范围。

### 三、高压配电装置的运行与维修

高压配电装置运行前应做相应的检验,运行中对电气开断元件及机械传动、机械联锁等部位要进行定期或不定期的检修。而正确的检修方法是保证装置的安全运行及延长使用寿命的重要条件,必须按照规定的程序进行操作,维修人员才能进入断路器室等进行检修,这样方能确保维修人员的人身安全。

#### (一)运行前的检查

1. 检查柜内是否清洁,所装电气元件其型号和规格是否与图纸相符。
2. 检查一、二次配线是否符合图纸要求,接线有无脱落及二次接线端头有无编号,所有紧固螺钉和销钉有无松动。
3. 检查各电气元件的整定值有无变动,并进行相应的调整。
4. 检查所有电气元件安装是否牢固,操作机构是否灵活,联锁机构是否正确、可靠,各程序性动作是否准确无误。
5. 对断路器、隔离开关等主要电器及操作机构,按其操作方式试验5次。
6. 各继电器、指示仪表等二次元件的动作是否正确。
7. 检查保护接地系统是否符合技术要求,检验绝缘电阻是否符合要求。
8. 待所有检验没有异常现象后,才能投入运行。
9. 对于手车式高压配电装置应将手车推到试验位置并锁紧,断路器手车可进行试验,试验无异常现象,可使断路器断开,解除锁紧,用蜗轮蜗杆将手车推进至工作位置并锁紧,可把断路器断开。

#### (二)运行中注意事项及检修

1. 保持柜内清洁,定期检查全部紧固螺钉和销钉有无松动,端子及其他部位接线是否牢靠,有无脱落现象。
2. 运行中要特别注意柜中的电气开断元件等是否有温升过高或过烫、冒气、异常的响声及不应有的放电等不正常现象。若发现异常现象,应及时停电检修,排除故障因素,防止事故发生。
3. 经常监视油断路器主、副油筒中油标油面,高于或低于界线都将降低油断路器的开断能力。在开断产生短路电流后,油色会变黑,不一定会影响继续运行,可按规定的4次开断短路电流或累计开断电流数及完成操作循环后,再进行检修。特别注意油中有渗水、积水现象时,必须及时进行处理,否则将会发生事故。
4. 定期检查一次动静触点接触面有无烧伤,对烧伤者应预更换。
5. 对二次回路的继电保护等元件,应定期进行整定,平时不得开盖检修。
6. 所有开断元件的触点弹簧长期使用后,弹力可能减小,应定期的检查和维修,调整其压缩量,使其处于最佳工作状态。
7. 传动机构、机械联锁机构应定期进行调整,使其保持灵活、并能有效地工作。
8. 定期检查保护接地系统的安全可靠性。
9. 开断元件等经检修后装配时,必须严格按照规定的装配顺序进行。应注意开断元件灭弧片的喷口方向、引弧触点相对吹弧口的方向等。调整各运动部件的间隙,特别在更换零件后,更应对静件的配合间隙,动件的行程高度等项进行校验。拆卸过程中不得损伤零件的密封面,保证其精度及粗糙度,装配前将密封面清洗干净,检查有无损伤或锈蚀,装配时不能损伤油密封圈,若由于质量问题而引起膨胀变形,必须更换新密封圈,若原来零部件涂有密封胶或硅脂,装配时也必须涂上胶或脂。

10. 修复或更换手车上故障部位的零部件并经调整试验合格后,仍以本柜原配手车推入柜内运行,备用手车仍用来备用。

#### (三)正常运行

1. 高压开关柜的各项参数(电压、电流、断流容量)应在额定允许范围之内。
2. 各连接点温度不超过70℃。



3. 各元件声音正常,瓷件无闪络放电现象。
4. 仪表和信号指示准确无误。

## 第四节 变配电所运行与维护

电能输送到工厂后,都要进行变电或配电,进行接电、变压和配电的场所称为变电所。如果只进行接电和配电,而不进行变压的场所称为配电所。只有用电量在 1000kW 以下的工厂,才采取低压供电。

### 一、电气设备的倒闸操作

电气设备的投入和退出运行以及系统运行方式的改变都必须通过倒闸操作来实现。如交直流回路的投入与拉开、自动装置的投入或停用、备用或检修后的设备投入运行、汇流母线由分段运行变为并列运行等都需要通过断路器、隔离开关或刀开关进行操作。

倒闸操作是供用电系统运行过程中一项重要而复杂的工作,倒闸操作的正确与否,关系到供用电系统中人身和设备安全,因此对倒闸操作的操作技术和方法有严格的要求,必须按操作项目、顺序、方法去进行操作。否则将会造成非同期并列、带负荷拉合隔离开关、带电挂地线或未拆地线就送电等误操作,从而导致发生恶性事故。

#### (一) 母线的倒闸操作

在母线倒闸操作前应做好充分准备工作,操作时要严格执行预定的操作方案,并注意下列问题:

1. 在双母线接线中,进行倒母线操作的顺序是:先合母联隔离开关和母联断路器,并将断路器改为非自动,再操作线路隔离开关,即先逐一合上备用母线上的隔离开关,再逐一拉开工作母线上的隔离开关。在操作过程中应注意电流分布情况,防止母联断路器过负荷。
2. 当接通热备用设备的电源进行倒母线操作时,要先拉后合,防止发生通过两组母线隔离开关合环的误操作。
3. 对运行中的双母线需要停一组时,要防止由电压互感器低压侧倒充电。
4. 线路倒母线后,要把线路上的电压互感器电源作相应切换。有母差保护的线路应按母差保护的有关规定执行。
5. 若母线上已有一组电容器运行,不允许将另一组电容器投入,以免倒充电。

#### (二) 停、送电操作

##### 1. 停电

- (1) 停电前要明确工作(操作)票内容,核对停电的设备。
- (2) 根据工作需要,穿戴绝缘靴和绝缘手套。
- (3) 在专人监护下进行操作。
- (4) 停电后要认真检查,并采取接地线、装设遮栏、悬挂警告牌等安全措施。
- (5) 无论高压或低压,一合闸即送到工作地点的断路器,其手柄要上锁并挂警告牌。

##### 2. 送电

- (1) 应有工作负责人签署的送电工作票,或领导的送电命令。
- (2) 送电前要明确工作(操作)票内容,核对送电的设备。
- (3) 穿戴绝缘鞋和绝缘手套。
- (4) 拆除临时接地线、遮栏等设施。
- (5) 在专人监护下摘下停电警牌,合闸送电。

### (三) 强送电和试送电

强送电是指无论跳闸设备有无故障,立即强行合闸送电的操作。在以下情况下,应立即强送电:

1. 投入自动合闸装置的送电线路,跳闸后而未重合者(母线的保护装置动作跳闸除外)。
2. 投入备用电源自动投入装置的厂用工作电源,跳闸后备用电源未投入者。
3. 误碰、误拉和无任何故障征象而跳闸的断路器,并确认对人身和设备的安全无威胁者。

试送电是指在设备跳闸后,只进行外部检查和只对保护装置的动作情况进行分析判断而未进行内部检查,或者不进行外部检查(如送电线路跳闸),经联系即试行合闸送电的操作。在以下情况下,一般可以试送电:

1. 保护装置动作跳闸,而无任何事故征象,判定该保护装置误动作,可不经检查,退出误动作保护装置试送电(但设备不得无保护装置试送电)。
2. 后备保护装置动作跳闸,外部故障已切除,可经外部检查或不经外部检查(视负荷情况和调度命令而定)试送电。

### (四) 环网的并、解列操作

环网一般由同一电压等级的线路组成,有时也包括变压器的不同电压等级的线路,操作时注意下列事项:

1. 在并、解列之前,应详细了解各处的接线方式、电压、潮流分布和继电保护等情况。对操作中可能出现的问题应进行充分估计和准备对策。
2. 并列操作的前提是相位一致,一般在初次并列或检修后进行并列操作之前,都必须测定相位;并列以后,应注意各元件不能过载,各接点电压不超过规定值,继电保护装置能适应环网运行方式。
3. 解列操作应满足解列的各元件不过载,各接点电压不超过规定值。一般解列操作引起的事故都发生在解列后,如设备的潮流过大引起继电保护装置误动作,末端电压过低使电气设备不能正常运行。因此,解列操作后,应加强对线路各环节的维护检查。

### (五) 双回路电源倒换和备用电源投入

如果对双路电源处理不当,将会造成严重危害,因此应严格遵守操作制度:

1. 两路高压进线分段运行的变、配电所,两路进线开关和母联开关(或刀开关)应作为电网调度设备,操作时必须按电力部门的调度命令进行,不得擅自操作。
2. 电网和自发电并列运行的变、配电所,电网进线开关应作为电网调度设备,不得擅自操作。
3. 两路高压进线一用一备的变、配电所,如果两路进线开关无可靠的机械联锁装置来保证一通一断,则两路进线开关应作为电网调度设备,不得擅自操作。
4. 一高一低(一备一用)、两路低压(一用一备)或不并网的低压备用自发电,都应在低压侧用双投刀开关投切。

### (六) 操作注意事项

1. 倒闸操作必须有二人执行,指定对设备较为熟悉者作监护。
2. 停电拉闸操作必须按开关、负荷侧刀开关、母线侧刀开关的顺序依次操作,送电合闸的顺序与此相反,严禁带负荷分断刀开关。
3. 操作中发生疑问时,不准擅自更改操作票,必须弄清楚后再进行操作。
4. 用绝缘棒分合刀开关或经传动机构分合刀开关或开关,都应戴绝缘手套;雨天操作室外高压设备时,绝缘棒应有防雨罩,并要穿绝缘鞋,雷电时禁止进行分合闸操作。
5. 装卸高压熔断器,应戴护目眼镜和绝缘手套,必要时可使用绝缘夹钳,并站在绝缘垫或绝缘台上。
6. 电力设备停电后,即使是事故停电,在未分断有关刀开关并做好安全措施之前,不得触及设备或跨越遮栏,以防止突然来电。

## 二、变配电所的运行与维修

### (一) 送电前的准备工作

变、配电所值班员收到送电工作票(或命令)后,应做好下列准备工作:

1. 认真检查工作现场是否清扫整理完毕,作业人员是否全部撤离现场。
2. 值班员应了解送电的目的和内容,并考虑设备送电后,对运行方式有无影响,对重要的用电设备,在送电前要通知用电单位做好接电准备工作。
3. 准备并检查送电操作所需的安全用具。
4. 根据送电工作票(或命令)填写送电操作票,并参照停电操作票的内容,检查核对应拆除的临时接地线数量,以及收回的工作票与停电期间发出的工作票是否相符。
5. 按送电操作票的操作步骤,核对要送电的设备,模拟预演检查操作步骤。
6. 准备好停电时加锁的开锁钥匙,拆除所有接地线,临时遮栏和警告牌,恢复常设遮栏。
7. 穿、戴好绝缘鞋和绝缘手套,在专人监护下准备操作。

### (二) 运行日志与分析

#### 1. 运行日志

- (1) 一、二次系统的电压、电流和功率的记录,有功、无功电量的小时记录,功率因数和负荷率等的记录。
- (2) 各路线的负荷记录。
- (3) 主设备的温度、冷却系统的运行情况和充油设备的油位指示的记录。
- (4) 异常现象和事故处理的记录。
- (5) 接、发令操作任务记录。

#### 2. 分析运行日志

- (1) 根据运行日志中负荷记录,可了解设备的利用率,确定设备负荷的调整幅度和变压器的运行方式。
- (2) 根据运行日志的各项记录,可确定电气设备的检修内容,并适时安排检修、试验工作。
- (3) 分析运行日志的记录,可调整生产工艺流程,合理开停设备。
- (4) 根据有功、无功功率的比例,可确定补偿设备的容量和补偿部位。
- (5) 根据负荷记录,可制定合理的发展规划,并对现有运行系统的薄弱环节进行合理的技术改造。

#### 3. 运行分析

(1) 设备的异常现象,如放电、发热、异常响声、油位变化、电压高低、熔体熔断、仪表指示异常、断路器和继电保护装置误动作等。

- (2) 设备绝缘降低、绝缘油变化或色谱分析发现的问题。
- (3) 执行规章制度、安全运行中出现的问题。
- (4) 检修和试验中发现的问题。
- (5) 经济运行情况。

### (三) 特殊巡视检查

- (1) 严寒,重点检查充油设备的油面是否过低,有无假油面,导线是否拉得过紧。
- (2) 降雪,检查室外设备上的积雪情况,并检查绝缘子上的结冰情况,在雨雪交加的天气,如冰柱过长,可用电压等级合适的绝缘杆将其轻轻打掉。
- (3) 高温,着重检查充油设备的油面是否过高,变压器等设备的油温有无超过规定值,导线接头是否发热。
- (4) 大风,大风前应清除室外导线或设备附近的高草、草堆等杂物,大风时要注意导线摆动幅度是否过大,接头有无断裂。
- (5) 大雨,下大雨时检查开关室和控制室的门窗有无渗入雨水,屋顶、墙壁等处有无漏雨。

(6)雷击,雷击后应检查避雷器,绝缘子、瓷套管等有无闪络放电痕迹。

(7)雾天,检查设备的瓷绝缘有无放电、电晕等异常现象。

(8)过负荷,电气设备过负荷运行时,重点检查各部连接点的发热情况。

(9)事故后,除按事故处理规定,检查保护装置的动作情况和事故设备的伤损程度外,还应检查事故影响的线路、设备和绝缘,如导线有无烧伤、断股,设备有无损坏、喷油、绝缘子有无闪络、断裂现象。

## (四)事故处理原则

### 1. 一般原则

(1)尽一切可能限制事故的发展,消除事故根源,解除事故对人身和设备安全的威胁,设法尽可能保持设备继续运行。保证对用户正常供电,调整变、配电系统的运行方式,使其恢复正常,并尽快对已停电的用户恢复供电。

(2)运行人员应根据仪表指示和设备的外部征象,判断事故的全面情况。若事故对人身和设备有威胁,应立即设法解除,必要时使设备停止运行,若事故对人身和设备没有直接威胁,应尽力保持或恢复设备的正常运行。并将未直接受到损害的设备予以隔离,使之正常运行。

(3)初步采取以上措施后,应迅速进行检查和试验,判断故障性质、地点及范围,按现场事故处理规程进行处理。

(4)只有逐项认真查明原因,并完全消除故障,变、配电设备方可继续投入运行。

2. 紧急操作 如果事故威胁到人身和设备安全,值班人员可不必等待调度命令,先进行下列操作:

(1)将直接威胁人身安全的设备停电。

(2)使发生事故的设备停止运行,以免事故扩大。

(3)将已损坏的设备进行隔离。

(4)运行中的设备受到损伤的威胁时,可根据现场事故处理规程将其隔离。

(5)当母线上的电压消失时,将该母线上的断路器拉开。

(6)变电所内停电时,迅速恢复其电源。

## (五)故障分析与处理

### 1. 变、配电所的配出架空线路的开关掉闸

(1)装有一次重合闸而重合未成功者,1min后允许试送一次。如果试送成功,应立即巡视线路,找出事故原因,如试送失败,只有排除故障后方可送电。

(2)装有两次重合闸而重合两次未成功者,不允许试送电(若重合闸未动作,可试送一次)。

(3)无重合闸或重合闸失灵者,允许手动试送两次,但第二次试送应在第一次试送掉闸后隔1min进行。

(4)装有重合闸的开关,手动试送前应解除重合闸。

(5)开关掉闸时,若喷油严重,不允许试送。

### 2. 变、配电所突然断电或开关越级掉闸

(1)突然断电,应先拉开有关电源开关,并对电气设备和电源进线巡视检查,若确认断电非本所引起,可采取下列措施:

①双电源受电时,按倒闸操作有关规定,切换备用电源受电,若是单电源受电,可与供电部门联系,等待来电。

②若发现本所电气设备有故障迹象,应迅速拉开有关断路器和刀开关,检查电源开关柜动作原因,并报告供电部门。在未断开或无法断开故障设备时,不准启用备用电源。

③若有发电机,可起动发电机,但严禁向系统倒送电。

### (2)开关越级跳闸

①分跳开关的保护装置未动作掉闸,造成主变压器或电源的开关掉闸者,应先拉开所有分路开关,试送主变压器或电源的开关,再试送无故障的各分路开关。并对有故障的分路开关试送前,要查明原因。

②分路开关与主变压器或电源的开关同时掉闸者,应先拉开无故障的分路开关,试送主变压器或电源的开关,再试送各分路开关。在试送有故障的分路开关前,应检查两级继电保护的配合情况。

## 第十八章 蓄电池安装与维护

### 第一节 蓄电池的选择

#### 一、常用蓄电池的型号

常用蓄电池有铅酸蓄电池和碱性蓄电池两种。铅酸蓄电池有 KQ、1K、2K、4K 多型号(新型号统一为 GGF、GGM),每片正极板 10h 放电率之额定容量分别为 12、36、72、144A·h。

常用的有 1K-3、1K-4、1K-5、1K-3、1K-4、1K-5 等型号。例如 2K-4 型蓄电池,此种类型每片正极板 10h 放电率之额定容量为 72A·h,后面的数字 4 表示每个电池有 4 片正极板。这样 2K-4 型蓄电池的容量(在 25℃时)为

$$Q_{25} = 72 \times 4 = 288(\text{A} \cdot \text{h})$$

对应新型号为 GGF-288。

碱性蓄电池有 TN 型和 GN 型两种。TN 表示铁镍蓄电池,GN 表示镉镍蓄电池。例如 GN-100 型,G 表示镉,N 表示镍,后面的数字 100 表示额定容量,即额定容量为 100A·h 的镉镍蓄电池。

#### 二、蓄电池的容量

蓄电池的容量表示充足电的蓄电池在放电期间端电压降低约 10% 时的电量,通常采取蓄电池在 25℃ 时 10h 放电率容量作为电池的额定容量,也就是正极片数与每片极板的额定容量的乘积,通常用放电电流与放电时间乘积表示容量。

影响蓄电池容量的因素如下:

##### (一) 放电率与容量的关系

放电率越高则容量越小。因高放电率放电时,极板表面的有效物质强烈发生变化,生成的硫酸铅容易堵塞极板的小孔,硫酸不易进入极板深层,极板深层的有效物质不参加反应,内阻增加,电压下降快,使电池不能放出全部容量。以铅酸蓄电池为例:10h 放电率放出容量为 100%,而 3h 放电率放出容量近 75%,1h 放电率放出容量为 51.4%。

放电电流与容量的关系可由下式决定

$$Q = Q_N \left( \frac{I_N}{I} \right)^{n-1}$$

式中  $Q_N$ ——10h 放电率的额定容量(A·h);  
 $I_N$ ——10h 放电率的额定放电电流(A);  
 $I$ ——非 10h 放电率放电电流(A);

$Q$ ——放电电流为  $I$  时的容量 (A·h);

$n$ ——蓄电池放电容量指数, 当  $\frac{I}{I_N} > 3$  时,  $n = 1.313$ ,

当  $\frac{I}{I_N} \geq 3$  时,  $n = 1.414$ 。

## (二) 温度与容量的关系

温度越高, 稀硫酸粘度越低, 活动力越强, 内阻越小, 使蓄电池的有效电压升高, 增加输出的能量。温度每升高  $1^{\circ}\text{C}$ , 容量增加  $8\%$ 。

容量与温度的关系是

$$Q_{25} = \frac{Q_t}{1 + 0.008(t - 25)}$$

式中  $Q_{25}$ ——电解液平均温度为  $25^{\circ}\text{C}$  时容量 (A·h);

$t$ ——放电过程中电解液的实际平均温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

上式适用于电解液温度在  $-15 \sim 35^{\circ}\text{C}$  之间。若温度降低, 则容量的减少更为显著, 但当温度超过  $35^{\circ}\text{C}$  时, 则容量反而减少。

## (三) 电解液的数量及浓度与容量的关系

适当地增加电解液和提高电解液的浓度, 使酸增多, 可以增加蓄电池容量 (但必须在允许范围内), 电解液面过低及密度低, 则电池容量减少。

## (四) 极板面积与容量的关系

对于一定厚度的极板, 面积越大, 则参加反应的有效物质总数量越多, 容量越大。

## (五) 欠充电与容量的关系

多次欠充电时, 极板深层的硫酸铅不能还原, 变成惰性硫酸铅, 使极板的有效物质减少从而使容量减小, 甚至使极板损坏。

# 三、变电站常用蓄电池的构造及工作原理

变电站常用的蓄电池有两种: 固定式铅酸蓄电池和碱性蓄电池。

铅酸蓄电池安装维护工作复杂, 寿命短 (一般在 10 年左右), 但是造价较低, 货源较广, 故采用蓄电池的变电站大部使用这种型式。碱性蓄电池维护工作较少, 寿命较长 (一般能用 20 年以上), 但造价高, 容量小, 故变电站中较少采用。除此之外, 根据变电站的具体情况或技术革新的需要也可采用汽车蓄电池或微型电池。现将多见的固定式铅酸蓄电池及碱性铁镍蓄电池的简单构造和工作原理分述如下:

## (一) 固定式铅酸蓄电池 (涂浆式)

构造:

1. 极板是用氧化铅粉 (一氧化铅  $\text{PbO}$ , 四氧化三铅  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  等) 与稀硫酸拌合成糊膏, 填涂在铅锡合金的基架上, 经过形成法使正极板化成为二氧化铅  $\text{PbO}_2$ , 负极板化成为海绵状铅  $\text{Pb}$ 。

2. 盛电解液的容器为玻璃缸或塑胶盒。

3. 电解液为稀硫酸  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液, 一般相对密度 (比重) 为  $1.215$  ( $15^{\circ}\text{C}$ )。

4. 绝缘隔板将正负极板隔开, 一般用木隔板或微孔塑胶隔板。

5. 弹簧将极板固定在容器内, 一般用铅的或塑料的。

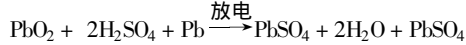
6. 其他部件, 如玻璃盖绝缘垫、基础架等。

工作原理:

蓄电池是一种能量转换设备, 充电时将电能转换成化学能储存起来, 放电时又将化学能转换成电能。

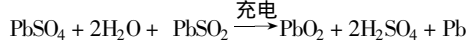
放电时, 正极板的二氧化铅  $\text{PbO}_2$  与电解液中硫酸  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的氢离子  $2\text{H}^+$  结合生成硫酸铅  $\text{PbSO}_4$ , 负极板

的铅 Pb 与电解液中的硫酸根离子  $\text{SO}_4^{2-}$  结合生成硫酸铅,其化学反应式为



在放电过程中因吸收了电解液中两个分子的硫酸而释放出了两个分子的水,所以电解液的浓度减小,密度下降,内阻加大,端电压降低。正极板由原来的深棕色变成红褐色,负极板由原来的淡灰色变成深灰色。

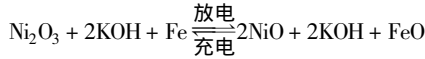
在充电时正、负极板的硫酸铅分别还原为二氧化铅(正极板)和铅(负极板),其化学反应式为



由于蓄电池在充电过程中吸收了两个分子的水而释放出了两个分子的硫酸,故电解液的浓度增加,密度升高,内阻减小,电池端电压上升,正、负极板的颜色由暗淡变的鲜明。

## (二)固定型碱性铁镍蓄电池

电池的正极板是三氧化二镍  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ,负极板是铁 Fe,正、负极板用耐碱绝缘板隔开,浸于相对密度为 1.19 ~ 1.21 的氢氧化钾 KOH 溶液中。在充电后,正极板是三氧化二镍  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ,负极板是铁 Fe,放电后正极板变为氧化镍 NiO,负极板变为氧化铁  $\text{FeO}$ ,其充放电的反应式为



从以上反应可知,氢氧化钾在充放电过程中只作这一化学反应的媒介,而不参与化合,电解液中氢氧化钾的成分不增加也不减少,因此判断电池运行情况的主要依据是电池的端电压。

## 四、电池电解液的密度与液温关系

当电池电解液的温度升高时,体积增大,密度降低。电解液密度随温度变化的关系如下式

$$\rho_{15} = \rho_t + 0.0007(t - 15)$$

式中  $\rho_{15}$ ——液温 15℃ 时的密度;  
 $\rho_t$ ——液温为  $t$  时的密度。

按制造厂规定,电池电解液的温度为 15 ~ 35℃ 最为适合。但为了减少维护运行费用,简化附属设备,根据铅酸蓄电池的特点和负荷性质,在不损坏设备及保证负荷需要的原则下,通常把电池电解液的运行温度规定在 -5 ~ 40℃ 范围内。电解液的相对密度在 1.15 时, -15℃ 结冰,相对密度在 1.2 时, -27℃ 结冰。冬季电池室内温度在 0℃ 左右时,电池室一般可以取消采暖设备。

## 五、蓄电池初充电

初充电应严格按照制造厂的规定进行。一般初充电方法为:

1. 注入配好的电解液,液面高出极板 10 ~ 15mm。
2. 静止 3 ~ 5h,待液温降至 30℃ 时,即可充电。注酸后到充电的间隔不能超过 24h。
3. 充电时电池组的正极接电源正极,负极接电源负极。
4. 按制造厂规定的初充电电流及时间进行充电。初充电分两个阶段:开始用第一阶段电流充电,时间约 12 ~ 16h;当电池产生气泡,电压在 2.4V 以上时改用第二阶段电流充电,时间约 45 ~ 50h。当电解液激烈沸腾,电压升到 2.6 ~ 2.75V,密度、电压保持 3h 不变时,则表示电已充足。
5. 在充电过程中,每隔 1 ~ 2h 测量各电池的密度、温度和充电电流值,并做好记录。

充电过程中液温超过 45℃ 时应加强通风,设法降低室温,如温度过高、化学反应过于激烈,则应减小充电电流,但须相应延长充电时间。

## 六、蓄电池初充电要求

初充电是决定蓄电池使用寿命长短的关键。万一发生初充电中途断电,断电期间蓄电池内部发生化学反应生成硫酸铅,硫酸铅的导电特性很差,极板内部的活性物质不能充分发挥作用,既影响容量也影响寿命。发生初充电中途断电只能靠增加充电率来弥补。

## 七、铅酸蓄电池的初放电终期

蓄电池的初放电也是决定蓄电池寿命的关键。放电终期电压为 1.8V(衰落电压)时,如继续放电在正、负极板上都会生成很多硫酸铅,电压会骤然下降,实际能放出的容量已经很小并导致蓄电池的容量降低和寿命缩短。

## 八、初放电终期的蓄电池

1. 电解液的密度逐渐降低;
2. 两极板间的电压(无论有无负荷)逐渐降低;
3. 蓄电池内阻逐渐增加;
4. 如果继续放电蓄电池的温度将逐渐升高。

## 九、电池充电的目的和方法

### (一)浮充电

充电后的电池,由于电解液及极板中有杂质存在,会在极板上形成局部放电,这种现象叫做电池的自放电。它随电池的老化程度而加剧。

为使电池能在饱满的容量下处于备用状态,电池常与充电机并联,接于直流母线上,充电机除负担经常的直流负荷外,还给电池一适当的充电电流,以补充电池的自放电。这种运行方式叫浮充电。

电池使用寿命的长短与电池质量优劣和初充电是否适当有很大关系,但这些都与制作、运输及安装质量有关。对运行维护来说,能否管理好浮充电是决定电池寿命的关键。

浮充电流大,会使电池过充电,反之将造成欠充电。过充电和欠充电对电池都是不利的。

决定浮充电流大小的因素很多,其中最主要的是电池电压。对铅酸蓄电池来说,应该在 2.1~2.2V 之间,对碱性蓄电池来说,应该在 1.35~1.45V 之间。电池电压比上述高是过充电,反之就是欠充电。目前硅整流器已在电力系统中普遍应用,这种设备随一次系统电压的变化,其输出电压亦变化,从而影响了浮充电流。应该设法使蓄电池浮充电流随系统电压的波动变化最小,一般说来在 24h 内电流平均值适当就可以了。

### (二)定期充放电

定期充放电也叫演习性充放电,或叫核对性充放电。以浮充电运行的电池,经过一定时间要使其极板的物质进行一次比较大量的充放电反应,用于检查电池容量,发现落后电池并及时维护处理,以保证电池的正常运行。

定期充放电一般是 1 年不少于 1 次。具体方法是:

1. 铅酸电池先用 10h 放电率电流进行放电,当电池电压降为 1.8V,电解液相对密度降到 1.18 或放出容量达到额定值的 50%~60% 时即进行充电。充电时电流先以 10h 放电率电流进行,待电池电压升至 2.45V 后即将电流降为额定值的 2/3,以后随电池电压的上升及电池内气泡的大量出现,可将电流降为额定值的 1/



2 或  $1/3$  原则是电池的气泡不能很大(沸腾)。电解液密度 3h 以上不变化,密度的绝对值不能低于放电前的水平,充进的容量不少于放出容量的 120% 表示电池已经充足电。

2. 碱性电池放出的容量及使用电流按 8h 放电率计算,当放出容量为额定值的 60% 或电压达到 1V 时,即进行充电。充电电流以 8h 率电流进行,当电池电压升到 1.8V 以上,且 3 小时不变即可结束,充入的容量应不低于放出容量的 150%。

### (三)均衡充电

以浮充电方式运行的电池,在长期的运行中,由于每个电池的自放电不相等,但浮充电流是一致的,结果就会出现部分电池处于欠充状态。为使电池能在健康水平下工作,每月须对电池进行一次均衡充电。具体方法是将浮充电流增大,使电池电压保持在 2.35V(铅酸电池)或 1.5V(碱性电池),持续一定时间(不少于 5h)。对铅酸蓄电池,待电解液密度较低的电池电压升起后,即恢复正常浮充方式运行。对碱性蓄电池,观测每个电池的电压均接近后,即转为正常浮充。

### (四)个别电池补充电

运行中的电池会出现个别电池落后,其原因一般是个别电池自放电较大、极极短路等,因为有这样一个或几个电池而对整组电池进行均衡充电或过充电是不合适的。为使这种电池能及早恢复正常,要以低电压的整流器(20A,0~10V)对个别电池在不退出运行的情况下进行补充电处理。补充电选用的电流以使电池电压保持在 2.35~2.45V 为宜,待电池恢复正常时为止。

## 第二节 镉镍碱性蓄电池安装

蓄电池作为二次回路的直流操作电源,常使用在高压配电装置中。常用蓄电池主要有铅酸蓄电池和镉镍蓄电池。铅酸蓄电池由于在充电时要排出氢和氧的混合气体,有爆炸危险,而且随着气体带出硫酸蒸气,有强腐蚀性,对人身健康和设备安全都有很大影响,所以已很少使用。而镉镍蓄电池除不受供电系统运行情况的影响,工作可靠外,还有大电流放电性能好,功率大,机械强度高,使用寿命长,腐蚀性小,可组装于房内,配以测量、监察、信号等装置,组成镉镍电池直流屏,与其他柜(屏)同置于控制室内。因此在供电系统中应用比较普遍。本节主要介绍镉镍蓄电池的安装。

### 一、镉镍蓄电池安装前的外观检查

蓄电池组的安装应按已批准的设计进行施工。蓄电池运到现场后,应在规定期限内作验收检查,并应在产品规定的有效保管期限内进行安装和充电。安装前应按下列要求进行外观检查:

1. 蓄电池外壳应无裂纹、损伤、漏液等现象。清除壳表面污垢时,对用合成树脂制作的外壳,应用脂肪烃、酒精擦拭,不得用芳香烃、煤油、汽油等有机溶剂清洗。
2. 蓄电池的正、负极性必须正确,壳内部件应齐全无损伤,有孔气塞通气性能应良好。
3. 连接条、螺栓及螺母应齐全,无锈蚀。
4. 带电解液的蓄电池,其液面高度应在两液面线之间,防漏运输螺塞应无松动、脱落。

### 二、镉镍蓄电池安装要求

镉镍蓄电池组的安装要求如下:

1. 蓄电池放置的平台、基架及间距应符合设计要求。

2. 蓄电池安装应平稳,同列电池应高低一致,排列整齐。每个蓄电池应在其台座或外壳表面用耐碱材料标明编号。

3. 连接条及抽头的接线应正确,接头连接部分应涂以电力复合脂,螺母应紧固。

4. 有抗震要求时,其抗震设施应符合有关规定,并牢固可靠。

5. 镉镍蓄电池直流系统成套装置应符合国家现行标准的规定。盘柜安装应符合《电气装置安装工程盘、柜及二次回路布线施工及验收规范》(GB50171—92)中的有关规定。蓄电池引线电缆的敷设,应符合《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》(GB50168—92)中的有关规定。电缆引出线应采用塑料色带标明正、负极的极性,正极的赭色,负极的蓝色。

蓄色池室内裸硬母线的安装,应符合《电气装置安装工程母线装置施工及验收规范》(GBJ149—90)中的有关规定,并应采取防腐措施。

### 三、电解液的配制和灌注要求

配制电解液应采用符合现行国家标准的三级即化学纯的氢氧化钾(KOH),其技术条件应符合表 18-1 的规定,和蒸馏水或去离子水。所用器具均为耐腐蚀器具。

表 18-1 氢氧化钾技术条件

指标名称	化学纯	指标名称	化学纯
氢氧化钾(KOH)	/%	硅酸盐(SiO <sub>3</sub> )	/%
	≥80		≤0.1
碳酸盐(以K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 计)	/%	钠(Na)	/%
	≤3		≤2
氯化物(Cl)	/%	钙(Ca)	/%
	≤0.025		≤0.102
硫酸盐(SO <sub>4</sub> )	/%	铁(Fe)	/%
	≤0.01		≤0.002
氮化合物(N)	/%	重金属(以Ag计)	/%
	≤0.001		≤0.003
磷酸盐(PO <sub>4</sub> )	/%	澄清度试验	合格
	≤0.01		

配制是应先将蒸馏水倒入容器,再将碱慢慢倾入水中,严禁将水倒入碱中。配制好的电解液应加盖存放在容器内沉淀 6h 以上,取其澄清液或过滤液使用。对电解液有怀疑时应化验,应符合表 18-2 所规定的标准。

电解液注入蓄电池时应注意:①电解液温度不宜高于 30℃,当室温高于 30℃时,不得高于室温。②注入蓄电池的电解液的液面高度应在两液面线之间。

蓄电池注入电解液之后,宜静置 1~4h 方可进行初充电。镉镍、铁镍蓄电池的电解液组成见表 18-3。

表 18-2 镉(铁)-镍蓄电池电解液组成

循环温度/℃	25℃密度/g·cm <sup>-3</sup>	电 解 液 的 组 成	
		碱水重量比	LiOH·H <sub>2</sub> O/g·L <sup>-1</sup>
+10~+45	1.18±0.02	NaOH:H <sub>2</sub> O=1:5	20
-10~+35	1.20±0.02	KOH:H <sub>2</sub> O=1:3	40
-25~+10	1.25±0.01	KOH:H <sub>2</sub> O=1:2	-
-40~-15	1.28±0.01	KOH:H <sub>2</sub> O=1:2	-

表 18-3 碱性蓄电池用电解液标准

项 目	新 电 解 液	使 用 极 限 值
外 观	无色透明,无悬浮物	
密 度	1.19 ~ 1.25(5℃)	1.19 ~ 1.2(25℃)
含 量	KOH240 ~ 270g/L	KOH240 ~ 270g/L
Cl <sup>-</sup>	< 0.1g/L	< 0.2g/L
CO <sub>2</sub> <sup>=</sup>	< 8g/L	< 50g/L
Ca·Mg	< 0.1g/L	< 0.3g/L
氨沉淀物 Al/KOH	< 0.02%	< 0.02%
Fe/KOH	< 0.05%	< 0.05%

## 四、镉镍蓄电池充放电方法

由于各制造厂规定的碱性蓄电池初充电的技术条件有一定差异,故蓄电池的初充电应按产品的技术要求进行,并应符合下列要求:

1. 充电电源应可靠。

2. 室内不得有明火。因在充电期间,特别是在过充时,电解液中的水被电解,放出氢气和氧气,为防止爆炸,故规定室内不得有明火。

3. 装有催化栓的蓄电池应将催化栓旋下,待初充电全过程结束后重新装上。催化栓的作用是将蓄电池放出的氢和氧生成水再返回电池本体去,以达到少维护的目的,但它处理氢、氧的能力是按浮充方式时设计的,故初充电时要取下,否则要损坏壳体。

4. 带有电解液并配有专用防漏运输螺塞的蓄电池,初充电前应取下运输螺塞换上有孔气塞,并检查液面不应低于下液面线。

5. 充电期间电解液的温度宜为  $20 \pm 10^\circ\text{C}$ ,当电解液的温度低于  $5^\circ\text{C}$  或高于  $35^\circ\text{C}$  时,不宜进行充电。

当蓄电池初充电时间达到产品技术条件规定的时间,充入容量和电压也达到产品技术条件的规定,即可认为充电结束。

蓄电池初充电结束后,应按产品技术条件规定进行容量校验,高倍率蓄电池还应进行倍率试验,并应符合下列要求:

(1) 碱性蓄电池在初充电时要经过多次充放电循环才能达到额定容量。一般在 5 次充、放电循环内,放电容量在  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  时应不低于额定容量。当放电时电解液初始温度低于  $15^\circ\text{C}$  时,放电容量应按制造厂提供的修正系数进行修正。

(2) 用于有冲击负荷,例如断路器的操作电源的高倍率蓄电池倍率放电,在电解液温度为  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  条件下,以  $0.5C_5$  电流值先放电 1h 情况下继以  $6^\circ\text{C}$ 。电流值放电 0.5s,其单体蓄电池的平均电压应为:超高倍率蓄电池不低于 1.1V,高倍率蓄电池不低于 1.05V。

(3) 按  $0.1C_5$  电流值放电终结时,单体蓄电池的电压应符合产品技术条件的规定,电压不足 1.0V 的电池数不应超过电池总数的 5%,且最低不得低于 0.9V。

## 五、充放电的其他要求

1. 蓄电池初充电达到规定时间时,单体蓄电池的电压应符合产品技术条件的规定。

2. 充电结束后,应用蒸馏水或去离子水调整液面至上液面线。
3. 在整个充、放电期间,应按规定时间记录每个蓄电池的电压、电流及电解液和环境温度,并绘制整组充、放电特性曲线。

## 六、蓄电池使用方法

1. 蓄电池充电时间和充电电流应根据蓄电池外壳上的标注按规定要求进行充电,一般采用5h率或10h率恒流放电,充电速度可以快一点,可采用4h或2h。
2. 认准蓄电池及充电器的正、负极性,将电池正确放进充电器内(正对正、负对负)。
3. 蓄电池不宜长期存放在铁盒内,以防电池短路。对备用蓄电池要轮换使用,不能长期搁置不用。
4. 不能将放电后电压较低的蓄电池与新充电的蓄电池混合使用。也不应将不同型号、不同容量、国产的与进口的蓄电池混合使用。
5. 多个蓄电池使用后,大多数蓄电池实测电压值各不相同。充电时可将电压低的蓄电池先充1~2h,电压高的蓄电池晚充1~2h,这样可使电压一致,又可防止电压高的蓄电池过充电。
6. 长期搁置不用的蓄电池,电压为1V以下,甚至降到0.5V左右,充电时充电电流可先大后小,反复进行3~5次的再充电,再放电,就可恢复正常容量。
7. 较大容量的新蓄电池,电压较高,应注意先使用后充电,以免电池损坏。
8. 长期使用的电解液会吸收二氧化碳,生成碳酸钾,影响电池性能。一般充放电循环次数在100~200次之后,应更换电解液。

## 第三节 蓄电池安装

### 一、安装要求

1. 蓄电池必须安置在专用室内,室内的门窗、墙、木架、通风设备等必须涂有耐酸油保护,地面应铺耐酸砖,并保持一定温度,室内应有上下水道。
2. 蓄电池室内应保持严密,门窗上的玻璃涂有带色油漆,以免太阳光直射在电池上。
3. 蓄电池室内的照明线应为铅皮线,采用防爆型灯具和开关。
4. 蓄电池室内的风道口应设有过滤网,并应有独立的通风道。
5. 蓄电池室内取暖设备,在室内不允许有法兰连接和汽门,距离去电池不得小于750mm。
6. 充电设备不准设在蓄电池室内。
7. 蓄电池的木架和玻璃瓶安放及排列应保持水平,并要考虑到便于日常维护。
8. 新安装蓄电池的绝缘电阻(110~200V)为 $0.1M\Omega$ 。

### 二、安装前的检查

1. 蓄电池槽应无裂纹、损伤,槽盖应密封良好。
2. 蓄电池的正、负端柱必须极性正确,且应无变形,防酸柱、催化栓等部件应齐全无损伤,滤气帽的通气性能应良好。
3. 对透明的蓄电池槽,应检查极板无严重受潮和变形,槽内部件应齐全无损伤。

4. 连接条、螺栓及螺母应齐全。
5. 温度计、密度计应完整无损。

### 三、蓄电池组的安装方法

1. 蓄电池放置的平台、基架及间距应符合设计要求。
2. 蓄电池安装应平稳,间距均匀,同一排、列的蓄电池槽应高低一致,排列整齐。
3. 连接条及抽头的接线应正确,接头连接部分应涂以电力复合脂,螺栓应紧固。
4. 有抗振要求时,其抗振设施应符合有关规定,且牢固可靠。
5. 温度计、密度计、液面线应放在易于检查的一侧。

### 四、蓄电池引出电缆的敷设方法

蓄电池引出电缆的敷设,除应符合现行国家标准 GB50168—1992《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》中的有关规定外,还应符合下列要求:

1. 宜采用塑料外护套电缆,当采用裸铠装电缆时,其室内部分应剥掉铠装。
2. 电缆的引出线应用塑料色带标明正、负极的极性。正极为赭色,负极为蓝色。
3. 电缆穿出蓄电池室的孔洞及保护管的管口处,应用耐酸材料密封。

### 五、其他安装要求

1. 清除蓄电池槽表面污垢时,对用合成树脂制作的槽,应用脂肪烃、酒精擦拭,不得用芳香烃、煤油、汽油等有机溶剂擦洗。
2. 蓄电池室内裸硬母线的安装,除应符合现行国家标准 GBJ149—1990《电气装置安装工程母线装置施工及验收规范》中的有关规定外,还应采取防腐措施。
3. 每个蓄电池应在其台座或槽的外表面用耐酸材料标明编号。

### 六、常用电解液配制与注液

#### (一) 电解液配制

各种电解液的配制数据见表 18-4。配制或灌入电解液时,必须采用耐酸、耐高温的干净器具。应将浓硫酸缓慢地倒入蒸馏水中,严禁将蒸馏水倒入浓硫酸中,并应使用相应的劳保用品及工具。

表 18-4 电解液中纯水与硫酸的比例及浓度

15℃电解液密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	纯水与硫酸 体积比	纯水与硫酸 质量比	电 解 液 浓 度	
			按质量分数 $\alpha(\%)$	按体积分数 $\alpha(\%)$
1.10	9.80:1	6.82:1	14.3	8.5
1.11	9.80:1	5.84:1	15.7	9.5

15℃电解液密度 /g·cm <sup>-3</sup>	纯水与硫酸 体积比	纯水与硫酸 质量比	电 解 液 浓 度	
			按质量分数 α (%)	按体积分数 α (%)
1.12	8.00:1	5.00:1	17.0	10.3
1.13	7.28:1	4.40:1	18.3	11.2
1.14	6.68:1	3.88:1	19.6	12.1
1.15	6.15:1	3.50:1	20.9	13.0
1.16	5.70:1	3.15:1	22.1	13.9
1.17	5.30:1	2.85:1	23.4	14.9
1.18	4.95:1	2.60:1	24.7	15.8
1.19	4.63:1	2.42:1	25.9	16.7
1.20	4.33:1	2.36:1	27.2	17.7
1.21	4.07:1	2.22:1	28.4	18.7
1.22	3.84:1	2.09:1	29.6	19.6
1.23	3.60:1	1.97:1	30.0	20.6
1.24	3.40:1	1.86:1	3.20	21.6
1.25	3.22:1	1.76:1	33.2	22.6
1.26	3.00:1	1.66:1	34.4	23.6
1.27	2.85:1	1.57:1	35.6	24.6
1.28	2.75:1	1.49:1	36.8	25.6
1.29	2.60:1	1.41:1	38.0	26.6
1.30	2.47:1	1.34:1	39.1	27.6
1.40	1.60:1	1.02:1	50.0	28.6

## (二) 配制电解液注意事项

1. 不允许先将纯硫酸倒入容器内,然后再加入蒸馏水,这样会由于发热飞溅造成烫伤的危险。
2. 配制电解液或往电池内加水时,如没有蒸馏水,不得已的情况下也可用干净雨水或雪水来代用,但不允许用河水或井水。
3. 不可让硫酸或电解液溅在身上,以免烧伤皮肤或烧坏衣服。
4. 配制电解液前先将所用的容器洗刷干净,并用蒸馏水冲洗一次再用。
5. 检验密度时,必须记录溶液温度和密度值,然后进行换算。

## (三) 材质和电解液标准

1. 配制电解液应采用符合现行国家标准 GB4554-1984《蓄电池用硫酸》规定的硫酸,且有制造厂的合格证。若采用其他品级的硫酸时,其物理及化学性能应符合表 18-5 的规定。

表 18-5 铅酸蓄电池用材质及电解液标准

指 标 名 称	浓硫酸	使用中电解液	蒸馏水
$\omega_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ (%)	≥92	40~15	-
$\omega$ 灼烧残渣 (%)	≤0.05	≤0.02	≤0.01
$\omega_{\text{Mn}}$ (%)	≤0.0001	≤0.00004	≤0.00001
$\omega_{\text{Fe}}$ (%)	≤0.012	≤0.004	≤0.0004

指标名称	浓硫酸	使用中电解液	蒸馏水
$\omega_{As}$ (%)	$\leq 0.0001$	$\leq 0.00003$	
$\omega_{Cl}$ (%)	$\leq 0.001$	$\leq 0.0007$	$\leq 0.0005$
$\omega$ 氮氧化物 (以 N 计) (%)	$\leq 0.001$	-	-
$\omega$ 还原高锰酸钾物质 (O) (%)	$\leq 0.002$	$\leq 0.0008$	$\leq 0.0002$
色度测定/ml	$\leq 2.0$	-	-
透明度/mm	$\geq 50$	透明无色	无色透明
25℃电阻率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	-	-	$\geq 10 \times 10^4$
$\omega$ 硝酸及亚硝酸盐 (以 N 计) (%)	-	$\leq 0.0005$	$\leq 0.0003$
$\omega_{NH_4}$ (%)	$\leq 0.005$	-	$\leq 0.0008$
$\omega_{Ca}$ (%)	-	$\leq 0.002$	-
$\omega$ 碱土金属氧化物 (CaO 计) (%)	-	-	$\leq 0.005$
$\omega_{SO_4}$ (%)	$\leq 0.007$	-	-

2. 蓄电池用水应符合现行国家标准 GB84004—1989《铅酸蓄电池用水》的规定,新配制的稀酸仅在有怀疑时才进行化验。

#### (四)注液

1. 注入蓄电池电解液时,其温度不宜高于 30℃。当室温高于 30℃时,不得高于室温。注入液面的高度应接近上液面线,全组蓄电池应一次注入。

2. 注入电解液 2h 后,应进行一次电压测量,如果测量不出电压,应经 8~10h 再测量一次,若仍测不出电压或电压很低,说明电池是坏的,应调换电池和电解液。

3. 注入电解液 2h 后,应测量液面高度,液面高度必须高于极板 100~150mm。

## 七、蓄电池充放电要求

### (一)蓄电池的初充电及首次充电

1. 初充电前应对蓄电池组及其连接条的连接情况进行检查。
2. 初充电期间,应保证电源可靠,不得随意中断。
3. 充电过程中,电解液温度不应高于 45℃。

### (二)蓄电池初充电时的要求

1. 采用恒流充电法充电时,其最大电流不得超过制造厂规定的允许最大电流值。
2. 采用恒压充电法充电时,其充电的起始电流不得超过允许最大电流值,单体电池的端电压不得超过 2.4V。
3. 装有催化栓的蓄电池,当充电电流大于允许最大电流值充电时,应将催化栓取下,换上防酸栓,充电过程中,催化栓的温升应无异常现象。

### (三)蓄电池初充电结束时的要求

1. 充电容量应达到产品技术条件的规定。
2. 恒流充电法,电池的电压、电解液的密度应连续 3h 以上稳定不变,电解液产生大量气泡,恒压充电法,

充电电流应连续 10h 以上不变,电解液的密度应连续 3h 以上不变,并符合产品技术条件规定的数值。

#### (四)蓄电池组首次放电終了时的要求

1. 蓄电池的最终电压及密度应符合产品技术条件的规定。
2. 不符合标准的蓄电池的电压不得低于整组蓄电池中单体蓄电池的平均电压的 2%。
3. 电压不符合标准的蓄电池数量,不应超过该组蓄电池总数的 5%。
4. 温度为 25℃ 时的放电容量应达到额定容量的 85% 以上。当温度不为 25℃ 而在 10~40℃ 范围内时,其容量可按下式进行换算:

$$C_{25} = \frac{C_t}{1 + 0.008(t - 25)}$$

式中  $t$ ——电解液在 10h 率放电过程中最后 2h 的平均温度(℃);

$C_t$ ——当液温为  $t$ ℃ 时实测的容量(A·h);

$C_{25}$ ——换算成标准温度(25℃)时的容量(A·h);

0.008——10h 率放电的容量温度系数。

#### (五)其他要求

1. 电解液注入蓄电池后,应静置 3~5h,液温冷却到 30℃ 以下,室温高于 30℃ 时,待液温冷却到室温后方可充电。但自电解液注入第一个蓄电池内开始至完电之间的放置时间,应符合产品说明书的规定,当产品说明书无规定时,不宜超过 8h。

蓄电池的防酸栓、催化栓及波孔塞,在注液完毕后应立即回装。

2. 蓄电池充电时,严禁明火。
3. 初充电结束后,电解液的密度及液面高度需调整规定值,并应再进行 0.5h 的充电,使电解液混合均匀。
4. 首次放电完毕后,应按产品技术要求进行充电,间隔时间不易超过 10h。
5. 蓄电池组在 5 次充、放电循环内,当温度为 25℃ 时,放电容量不应低于 10h 率放电容量的 95%。
6. 充、放电结束后,对透明槽的电池,应检查内部情况,极板不得有严重弯曲、变形或活性物质严重剥落。
7. 在整个充、放电期间,应按规定时间记录每个蓄电池的电压、电流及电解液的密度、温度。充、放电结束后,应绘制整组充、放电特性曲线。

## 第四节 蓄电池的运行与维护

### 一、铅蓄电池的运行与维护

#### (一)初充电

蓄电池在新装或大修后的第一次充电叫初充电。初充电的好坏直接影响蓄电池的寿命。初充电应按制造厂规定进行,无制造厂的规定,则可按下列程序进行。

1. 灌注温度不高于 35℃ 的硫酸溶液,对于 Q 系列蓄电池,密度应为  $1.280 \pm 0.01 \text{g/cm}^3$  (25℃);对于 G 系列蓄电池,密度应为  $1.215 \pm 0.005 \text{g/cm}^3$  (25℃)。液面应高出极板 10~20cm。静置 2~3h,不超过 12h。充电前蓄电池温度要低于 35℃,如果温度过高,应待温度下降或采取降温措施后方可进行充电。

2. 分两个阶段进行充电,第一阶段的电流值是蓄电池额定容量的 1/20(Q 系列蓄电池)或 1/10(G 系列蓄电池),待蓄电池充到单格端电压 2.40V 时,改为第二阶段充电,第二阶段是第一阶段电流值的一半。



3. 判断蓄电池是否充足电的主要标志,一是充入电量已达到预定值;二是电解液中气泡析出明显;三是端电压和电解液密度已长时间保持稳定。停充前,用纯水或酸液对电解液的密度和液面高度进行调整。使之达到规定值。

## (二)运行方式

### 1.“充电-放电”方式运行

按“充电-放电”方式运行的蓄电池,在下列情况时应进行普通充电:

(1)电解液密度降到  $1.15\text{g}/\text{cm}^3$  时。

(2)电压降到  $1.80\text{V}$  以下时(或灯光暗淡时),若电池是完全放电,必须及时进行充电。如电池是间歇性放电或较小电流放电。在放电容量的  $1/2$  时(以  $10\text{h}$  率的  $1/5$  电流放电,其终止电压为  $1.95\text{V}$ )需要进行完全充电,充电电流应为  $10\text{h}$  率的数值。

普通充电中,当电池电压达到  $2.5\text{V}$  以上,两极出现大量气泡时,应减小充电电流并继续充电。普通充电终期必须具备下列条件:

各单格电池端子电压升到  $2.5 \sim 2.7\text{V}$  以上且连续  $3\text{h}$  保持稳定;

电解液密度恢复到原来的数值,并在  $2 \sim 3\text{h}$  稳定不变;

正负两极发生大量气泡,电解液呈白浊色者。

在充电时,若电解液温度上升到  $40^\circ\text{C}$  时,应适当减小充电电流。待电解液温度下降到  $35^\circ\text{C}$  时再加大充电电流。在充电停止时,各单格电池的电解液密度应为  $1.21 \pm 0.005\text{g}/\text{cm}^3$  否则,应用蒸馏水或  $1.40\text{g}/\text{cm}^3$  密度的硫酸调整之。

### 2.“浮充电”方式运行

(1)“浮充电”就是把蓄电池与浮充电源并联,负荷由“浮充电”电源供给。此充电值约等于  $0.03 \times P_N/36$ ,  $P_N$  为电池的额定容量,此值,以补偿电池的自放电。

(2)按此方式运行的电池,应经常处于充满电状态,以保证失去浮充电源时,供给直流电源的需要,防止极板生盐(硫化)。

(3)每个电池在浮充时,电压为  $2.15\text{V}$ (波动范围为  $2.1 \sim 2.2\text{V}$ ),密度为  $1.20 \sim 1.21\text{g}/\text{cm}^3$ ( $15^\circ\text{C}$  时)。

(4)按此法运行的蓄电池,每三个月必须进行一次核对性的放电,放出电池容量的  $50\% \sim 60\%$  终期电压达  $1.9\text{V}$  为止,或进行全容量放电(以  $10\text{h}$  放电率),放到终期电压为  $1.75 \sim 1.85\text{V}$ 。放电完后,应立即进行充电(均衡充电)。

如果在该期内曾因浮充电源故障,而使蓄电池做过强迫放电,则可不再进行核对性放电。

(5)当只有一组蓄电池,根据安全可靠条件,如不许可放电至额定容量  $50\%$  时,可只进行过充电,而不做核对性的放电,此时不切断负荷,但浮充电电压应提高至每瓶电池为  $2.3 \sim 2.33\text{V}$ 。

(6)向蓄电池进行过充电时,先按前述均衡充电充好,然后将蓄电池静止  $1\text{h}$  后再进行充电(充电电流为  $10\text{h}$  充电率的  $0.5 \sim 0.75$ )。这样的过充电要进行  $1\text{h}$ ,如此反复进行。直到充电后,马上发生强烈的电解液沸腾为止。此时电解液温度不准大于  $35 \sim 30^\circ\text{C}$ 。

## 二、过充电操作

蓄电池在使用中,常因长期充电不足,生成大量硫酸铅,容量逐渐减小。充电时电池电压不易上升,除由于电池发生故障以外,还有以下几种情况,这时均应以过充电处理。

1. 蓄电池放电至终止电压以下时还继续放电。
2. 放电超过限度。
3. 蓄电池休止时间过久未进行充电。
4. 蓄电池检修后。
5. 极板状态不良(生成硫酸铅),充电时密度不易上升。

凡上述情况,均应在普通充电之后,再用普通充电之 $1/2$ 电流进行过充电。每充2h停1h,如此循环数次(5~6次),直至蓄电池电压、电解液密度达到规定值不变为止。

### 三、补充充电操作

1. 通常表现出比其他蓄电池充电缓慢,而放电时却又过早地达到终期的蓄电池,即所谓“落后”蓄电池,应作补充充电。
2. 对于平时充电不足,极板硫酸化尚不严重的“落后”蓄电池,可在普通充电完毕后,将其延长充电时间。
3. 若硫酸化已较严重,延长充电时间仍不能“沸腾”,且蓄电池电压也达不到规定值时,应以不大于普通充电的电流值对“落后”蓄电池作单独充电,一直到具备充电终期各项条件时为止。

### 四、充电操作要点

1. 严格按照规范充电,并用不断调整充电电压的方法来维持充电电流不变。
2. 充电过程中,电解液温度超过 $40^{\circ}\text{C}$ 时要降低充电电流,如温度继续上升至 $50^{\circ}\text{C}$ 时,应停止充电,并采取人工冷却。
3. 充电时,一定要将加液孔盖打开,充电后,要过一段时间再盖盖。以利于充电时产生的气体由蓄电池内逸出。
4. 充电电路中各接头要连接牢固,以防发生事故。

### 五、蓄电池的放电

#### (一) 放电方法

1. 蓄电池放电是否终了,主要决定电池端电压的变化。不同用途的蓄电池使用不同的放电率(不同的放电电流值)时,其放电终止电压见表18-6。

表 18-6 各种蓄电池不同放电率的终止电压

蓄电池类别	起动机			固定型防酸隔爆式			固定型开口式				
	20	起 动		10	1	大电流	10	5	3	1	大电流
$30 \pm 2^{\circ}\text{C}$		$-18 \pm 2^{\circ}\text{C}$									
单格电池终止电压(V)	1.75	1.50	1.00	1.80	1.75	1.70	1.80	1.75	1.70	1.60	1.60

2. 蓄电池的放电容量随着放电电流的增大而急剧减少。在不同放电率下的蓄电池容量见表18-7。

表 18-7 在不同放电率下的蓄电池容量

放 电 率(h)	保 证 容 量(%)
10	100
7.5	97.7
5	83.3
3	75
2	61.1
1	51.4

### 3. 鉴别蓄电池放电终止的方法

(1) 连续放电到达终止电压的数值,参照表 18-6。

(2) 输出容量已达规定值(见表 18-7 中数值),但通常只使用表 18-7 中规定物 4/5 的容量值,而不是全部放完。

(3) 电解液密度下降(随放电率而变化)。

(4) 对于使用透明容器的蓄电池,还可以从观察极板的颜色来判断放电情况。随着放电的深入,正极板由深棕色变成棕色(颜色变浅),负极板由深灰色变成浅灰色(颜色变浅)。这是由于放电时,正、负极板的活性物质部分转变成硫酸铅的缘故。

正确掌握放电深度,是保证蓄电池良好的工作性能、延长其使用寿命的一个关键。因此,对蓄电池组(如固定型蓄电池组)的放电过程,应定时检查和记录它的放电电压、电流、电解液密度和液温等,分析和确定其放电深度,及时进行充电工作。

## (二) 蓄电池的维护

1. 保持蓄电池清洁,保持电极接线柱干燥。加液孔盖必须旋紧,通气孔要保持通畅。

2. 接线时蓄电池的电极极性不得搞错。

3. 采用起动电动机起动发动机时,按电钮的时间不得超过 5s。如一次起动不成,应间隔 2min 后再起动。

4. 定期检查电解液的液面高度。一般夏季每 5 天、冬季每 15 天左右检查一次,保持液面高出极板 10~15mm。液面过低时,应添加蒸馏水,严禁使用井水、河水、自来水等。

5. 蓄电池单格电压降低到 1.7V 时不得继续使用,应及时充电,不能长期搁置不管。

6. 蓄电池的座架上要放置塑料、橡胶等防震材料。拆卸导线时,不能敲打极柱,以免损坏极柱或极板。蓄电池上不能放置金属物件,以免造成短路。

7. 冬季使用蓄电池,停车后应将蓄电池卸下,搬入温暖的房间内存放,以防冻坏。此外,还应经常保持完全充电状态,以防电解液密度过低而冻结。

8. 更换蓄电池时,必须型号规格相同。如换用了额定容量小的蓄电池,在起动时会使蓄电池因过载而损坏。

9. 备用的硫酸、蒸馏水必须放在干净的玻璃、陶瓷、耐酸塑料等容器中,以防腐蚀容器或混入杂质,造成蓄电池短路。

10. 配制电解液时,应先将蒸馏水倒入容器,再将硫酸缓缓倒入水中,并不断用玻璃棒搅动。严禁将蒸馏水倒入浓硫酸,以免硫酸飞溅,伤害人体或损坏设备。

## 六、碱性蓄电池的充放电规定

1. 铁-镍和镉-镍蓄电池均采用恒电流充电。正常充电率为 5h 率,也可按情况选用不同的充电制(见表 18-8)。正常放电制为 5h 率或 10h 率。根据需要也可采用其他放电率,但终止电压不能低于表 18-9 中的规定。

表 18-8 铁-镍和镉-镍蓄电池的充电制

类别	正常充电	过充电	快速充电	浮充电
充电电流(A)	$C/4$	$C/4$	$C/2$	不定
充电时间(h)	7	9	4	不定

注: 电池所需充电的电源电压, 一般情况按 1.9V 计, 但寒冷地区可按 2.2V 计。

表 18-9 碱性蓄电池的终止电压

放电方法	电流(A)	时间(h)	终止电压(V)
1h 率放电	C	1	0.5
1h 率放电	$C/2$	2	0.7
3h 率放电	$C/3$	3	0.8
5h 率放电	$C/5$	5	1.0
8h 率放电	$C/8$	8	1.1
10h 率放电	$C/10$	10	1.1
20h 率放电	$C/20$	20	1.15

注: 表中 C 为电池的额定容量。

2. 锌-银蓄电池采用三种充电制:

- (1) 正常充电, 采用 10h 率充电, 电压到 2.05V 为止, 不得超过 2.1V, 严防过充电
- (2) 快速定时充电, 采用 7~8h 率大电流充电(相当充到额定容量), 电压达到 2.05V 就应停止。
- (3) 小电流充电, 指储存较长时间的电池, 先用小电流充电恢复其容量。终止电压也应控制在 2.05V。

# 第十九章 起重和运输设备 安装与维修技术

## 第一节 起重机运行与维修

起重机是从事起吊、空中搬运的一种设备。常用的起重机有桥式起重机、门式起重机、塔式起重机、汽车起重机等。

桥式起重机是工矿企业中用得最广泛的一种起重机械,是横架在固定跨间上空用来吊运各种物件的设备。根据起吊装置不同,分为吊钩桥式起重机、电磁盘桥式起重机、抓斗桥式起重机,在实际生产中吊钩桥式起重机应用较多。桥式起重机对减轻劳动强度、提高生产率、实现自动化都起着重要作用。为了保证起重机的安全运行,应用完善的行程控制、过电流保护等保护装置,这些保护装置都是用电气的方法实现的。因此,电气设备是起重机的一个重要组成部分。

桥式起重机一般由桥架、升降机构和运行机构的小车、大车运行机构、操纵室、小车导电装置、总电源导电装置等组成。

大车运行机构由电动机、制动器、传动轴、联轴节、车轮等部件组成。小车运行机构主要用来驱动小车,使其沿着主梁上的轨道运行,它由电动机、制动器、联轴节、减速器和角型轴承及车轮等组成。起升机构用来吊运重物,吊钩及悬挂物件随卷筒的旋转绕放钢丝绳上升和下降。并在吊钩上升到极限位置而自行切断电源的限位器。操纵室内主要装有大小车运行机构和起升机构的操纵系统和有关装置,如控制器、控制屏及照明开关箱及有关安全开关(紧急开关、电铃开关等)。为了保证安全,舱口处装有安全开关,避免司机或维修人员上车发生触电事故。

### 一、电气设备

#### (一)电气设备的组成

桥式起重机电气设备的组成如图 19-1 所示,它由电动机、制动电磁铁、控制电器和保护电器等电气设备组成。电动机是将电能转换为机械能,带动大车、小车、主钩和副钩工作。制动电磁铁是配合电动机工作的,当通电时,电磁铁吸合而放闸,断电时,电磁铁释放而抱闸。控制电器主要起开关作用,操作和控制电动机。保护电器是根据运行安全要求,通过控制电器发挥作用的。信号和照明装置是辅助电气设备。

#### (二)电气设备的特点

1. 工作繁重、控制要求多,在移动中工作,工作环境较差。
2. 起重机是重复短时工作的,要求电气设备能短时承受过载,且操作频繁、工作繁重。
3. 起重机属于多电动机拖动,起动、反转、制动要求较高,保护种类较多,使得控制比较复杂。
4. 起重机电气设备随着起重机在移动中工作,又有滑动接触,要求可靠性较高。
5. 起重机电气设备在空中工作,灰尘、烟尘较多,温度变化大,在室外工作的,还受日晒雨淋等。

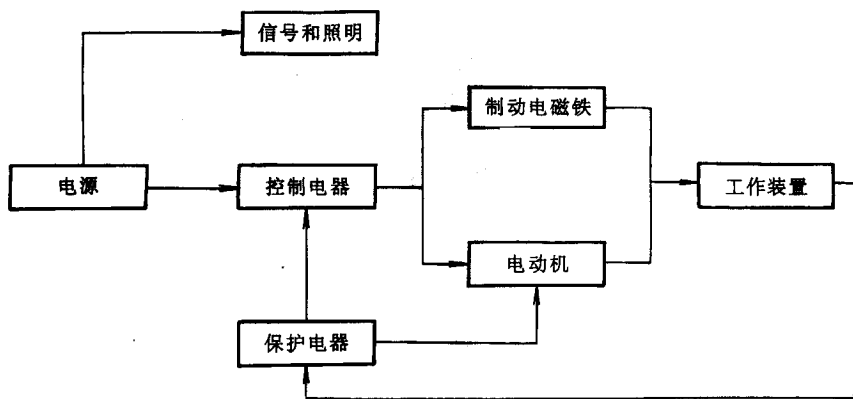


图 19-1 起重机电气设备组成方框图

### (三) 起重电动机

起重电动机应具有较高的机械强度和过载能力,并能适应频繁启动、反转、制动等要求。最常用的是绕线式异步电动机,但要求高、容量大的场合也用直流电动机,小型起重机可用深槽式双笼型异步电动机。

1. 电动机的过载能力 它是最大转矩与额定转矩之比,一般为 3 左右。

起重用电动机重复短时工作的额定暂载率与实际工作的暂载率不同时,实际功率可按下式进行计算,即

$$P_s = P_e \sqrt{\frac{J C_e}{J C_s}}$$

式中  $P_s$ ——电动机实际功率(kW);

$P_e$ ——电动机额定功率(kW);

$J C_s$ ——实际暂载率;

$J C_e$ ——额定暂载率,对 JZ、JZR 系列电动机,一般取  $J C_e = 25\%$ 。

2. 电动机转矩 绕线式电动机是采用转子外接电阻启动,可限制启动电流,并能提供足够的启动转矩。起重用电动机是分级启动的,即转子外接电阻在启动过程中是分级切除的。在重物下降时,适当选配转子外接电阻,能得到良好的制动特性。

3. 电动机运行 在运行中起重用电动机不考虑过载保护,但温升不应超过允许值,绝缘电阻应不低于  $0.5M\Omega$ ,电压波动应不超过  $-5\% \sim +10\%$ ,集电环和电刷接触处只允许微弱的不连续的火花,应能防止水、油等异物进入,并保持清洁。

### (四) 制动电磁铁

制动电磁铁与电动机配合工作,作制动停车用。制动电磁铁工作繁重,要防止不能吸合或吸合不严,引起电流过大,而烧坏线圈。

### (五) 控制电器

控制电器是用来操纵电动机的启动、调速、换向、制动和停止。

控制电器类型较多,一般由刀开关、电磁接触器、控制器、电阻器等电气设备组成。要求电气设备应有足够的容量,能承担繁重的工作,有足够的开闭能力,触点部分应保持良好接触,灭弧罩应完整无损,操作机构应灵活、可靠。

电阻器串接在电动机转子回路中,是用来限制电动机的启动电流和调节电动机的转速。电阻器应有足够的导电能力,各部分连接要可靠。使用时要特别注意,启动电阻器是按短时工作设计的,不允许长时间连续使用,以免烧断电阻元器件。

### (六) 起重电磁铁

有些场合为提高工作效率,起重机的吊具不是吊钩,而是起重电磁铁(电磁吸盘),这是一种直流电磁铁,

线圈浸在绝缘油里,并由带散热筋的铸铁外壳和非磁性钢保护板密闭起来,下方有内、外极靴。

起重电磁铁在运行中,供电必须可靠,被吊运物温度一般不应超过 $200^{\circ}\text{C}$ ,应有去磁装置消去剩磁,并有放电装置防止产生冲击。

## (七)导电装置

导电装置包括起重机电源集电器、导电滑触线和小车导电装置及滑触线。大车滑触线一般采用角钢制作,近几年来开始采用安全滑导装置,小车常用软电缆。

# 二、保护电器及保护方式

起重机应有过电流保护、零压保护、限位保护、零位保护等保护方式。

## (一)过电流保护

过电流保护主要包括短路保护、过载保护。而过电流保护主要是采用熔断器和电磁式电流继电器。

起重用电磁式过电流继电器,也兼短路保护的作用。线圈串联在主线路中,监测主线路中的电流,触点串联在控制线路中,实现过电流控制。当主线路电流过大时,衔铁被吸起向上运动,撞开触点,控制电路断开,主接触器释放而停车。

过电流继电器的动作电流不应超过电动机额定电流的 $2.25\sim 2.5$ 倍。用于几台电动机公用线路上的过电流继电器的动作电流不应超过几台电动机额定电流之和的 $1.5$ 倍。在不影响电动机正常工作的情况下,应尽量将动作电流值整定得小一些。

## (二)零压保护

零压保护也包括欠电压保护。欠电压保护是依靠主接触器来实现的,当接触器线圈失去电压或电压太低时,接触器释放而断电,自动停车,即使再来电时也不能突然起动。

## (三)限位保护

各机构的行程限位开关是限制桥式起重机各机构在一定范围内工作,起到限位保护作用的电器开关。

限位保护是限制起重机各运动部件的行程,当运动部件到达极限位置时,自动停车,停车后不能重新向前进方向起动,而只能向相反方向起动。限位保护是通过行程开关来实现的,可将行程开关的常闭触点串联在控制线路中,当常闭触点打开时,主接触器线圈断电,起重机停止运行。

大车和小车的行程开关均装在大车上,不用滑触线连接;提升机构的限位开关装在小车上,随小车一起运动,同控制线路需用滑触线连接。

行程开关和操作顶杆的安装位置应保证提升机构离限位位置 $0.1\text{m}$ ,平移机构离极限位置 $0.2\text{m}$ ,两台起重机相互间的距离为 $0.4\text{m}$ 时,断电停止运行。

## (四)零位保护

零位保护是指各控制器不在零位时,不能起动电动机开始工作的保护,这样可以防止电动机突然起动和起动时产生强烈的电气和机械冲击。它是借助控制器串联在控制线路中的专用零位触点来实现的。

## (五)安全开关

为了防止在起重机的主要电气设备带电时,有人从驾驶室进入大车桥架或从大车两头跨入大车桥架而发生危险,在驾驶室上方舱门及大车两头栏杆门上装有安全开关,其触点串联在控制线路中,当门打开时,触点也打开,防止接通电源。

## (六)紧急开关

紧急开关是供司机在遇到紧急情况时,切断起重机电源用的电器开关。

为了在紧急情况下能够实现停车,在驾驶室便于操作的地方装有紧急开关,其触点串联在控制线路中,按动开关即可切断接触器的控制线路,实现停车。正常时不应使用紧急开关作停车用。

## 三、运行与维修

### (一) 电气线路安全运行的要求

1. 电气线路 由于起重机上电气设备较多,控制和保护的要求比较高,使得电气线路比较复杂。

(1) 主线路,主要由主刀开关、主接触器触点、过电流继电器线圈及电动机定子绕组等元器件组成。主线路是直接驱动各电动机工作的电路,主线路由控制线路所控制,只有在控制线路正常工作时,主线路才能工作,以保证运行安全。

(2) 转子线路,主要有电动机转子绕组及外接电阻器等元器件组成。

(3) 控制线路,是指主接触器线圈的控制线路,控制线路由起动按钮、控制器的零位保护触点、安全开关、紧急开关、过电流继电器的常闭触点、控制器的限位保护触点、限位开关等组成。当任一过电流继电器动作,或任一安全开关未闭合,或紧急开关断开,或行程开关动作时,主接触器均释放,切断主电路,起到安全保护作用。

对于容量较大的起重电动机,多数采用主令控制器并通过磁力控制屏来控制,而用接触器较多,使控制线路比较复杂。

(4) 照明线路,电源取自于保护箱内刀开关的进线端,自成独立系统,在切断动力设备电源时仍有照明用电,有利于检修工作。

#### 2. 安全运行注意事项

(1) 滑触线要平直,光滑并无锈蚀,保持良好的导电性能,集电器应有足够的压力,保证接触良好。

(2) 为了防止偶然触及主滑线,必要时应装设防护装置。

(3) 滑触线与地面及其他设施应保持必要的安全距离:离地面 3.5m,离汽车通道 6m,离一般管道 1m,离一般设备 1.5m,离煤气和乙炔管道 3m,离氧气管道 1.5m。

(4) 户外起重机配线一律采用管配线,户内宜采用保护式配线,无损害的地方可采用明敷绝缘线。当用管配线时,同一管内只能穿设同一电动机的导线。

(5) 起重机配线宜采用 500V 绝缘铜线,其截面不宜小于  $1.5 \sim 2.5 \text{mm}^2$ 。

(6) 起重机照明电源应接到动力总闸前面,以便起重机动力部分切断电源时,仍保持照明供电。

(7) 修理用照明插座电源电压必须是安全电压。

(8) 起重机轨道两端应接零或地。

### (二) 操作注意事项

1. 在操纵控制手柄时,不允许从正转突然扳到反转,使运行机构产生反转急刹车。由于起重机本身很重,在运行时惯性很大,当起重机正常运行时,立即反转急刹车,会使电动机产生很大的转矩,破坏电动机的运转特性,产生很强的电流,严重时烧坏电动机或电器。对大功率电动机的迅速反转,还会引起电网电压的降低,影响周围用电设备的正常运行。因此在工作中,除为了避免发生事故的特殊危险情况外,不允许反转急刹车。

2. 停车时,控制器手轮可由任何一级迅速扳回零位,不必中间停留。对惯性下运行的起重机,向同一方向重新起动机时,可以根据大、小车当时的惯性大小,适当缩短加速时间。如由正转方向向反转方向转动时,必须在起重机完全停止后,才能向相反方向开车。

3. 起重机构的负载是方位负载。位能负载有以下特点:上升时是阻力负载,加上传动机构的摩擦阻力,需要较大的电动机转矩才能驱动;下降时是动力负载,负载在自重作用下能克服传动机构的摩擦阻力,只需要较小的电动机转矩的驱动。同一负载在下降时的电动机转矩约为上升时电动机转矩的(0.85)。

4. 当电源电压变化时,电动机的机械特性也是变化的,当电源电压低于额定电压时,会出现正常时能吊起的物件吊不起来的情况,电压降低后还能吊得起来的物件其上升速度也显得降低(下降速度显著增加),因此,起重机司机在操作时应考虑电压变化的因素。



5. 对称电路的起升机构,下降速度总是较快的,所以在要求微距离精确下降时,就不容易掌握,容易发生由于下降速度快、落得多而导致的事故。对15t以上起重机的起升机构,广泛采用主令控制器控制的具有两级反接制动的不对称电路,或具有单相制动和反接制动的电路,都是为了实现微距离低速下降的目的。

单相制动下降,只能作轻载低速微距离下降用,如果负载重量大于电动机额定负载的62%,用单相制动下降时,会造成电动机失控。这时的下降速度可能比电动机额定转速高很多,会导致电动机转子绕组松动,发生“扫膛”事故。

在操作中有低速下降要求时,必须把负载吊到一定高度,先进行点动操作试验,如果在下降第二级不能得到低速,就应转到下降第一级。

6. 起升机构制动器突然失效时,如果是电气原因造成的就应迅速拉开保护箱刀开关,使制动器电磁铁断电,制动抱闸。

7. 当控制器(主要是鼓形控制器)的定子电路触点在上升最后一级接触不良,起升机构定子电路滑线接触不良,主令控制电路定子电路接触器主触点接触不良时,都会导致电动机定子绕组单相接电。由于控制器停在最后一级时,电阻被全部切除,这时单相接电就会造成重负载时失去控制。

### (三) 电气设备的安全技术检查

电气设备在安装使用前必须进行安全技术检查,以免发生意外事故。

#### 1. 电动机

(1) 安装前必须用兆欧表检查电动机的绝缘性能,定子绝缘电阻应达 $2M\Omega$ ,转子绝缘电阻应达 $0.8M\Omega$ ,否则必须进行干燥处理。在使用期间定子绝缘电阻应达 $0.5M\Omega$ ,转子绝缘电阻应达 $0.15M\Omega$ 。

(2) 电刷压力应调到 $15\sim 20\text{KPa}$ ,同一台电动机所有电刷压力必须一样,电刷与刷握之间隙不应大于 $0.2\text{mm}$ ,电刷应与集电环全面接触,电动机不得在低于额定电压的85%的电压下使用。

(3) 电动机在运行中,要防止水、油等浸入电动机内,视察窗盖和接线盒要盖好。

(4) 电动机温升不要超过规定值,否则就会加速绝缘老化,缩短使用寿命,甚至烧坏电动机,所以必须加强温度监视。

(5) 要经常打扫电动机的灰尘和油垢并擦拭干净,但不得用汽油、机油、煤油等液体去擦洗电动机绕组。

2. 控制器 桥式起重机各个机构的工作,都是通过操纵各种控制器进行的,其作用是:

(1) 控制电动机的起动、停止和制动。

(2) 改变电动机的旋转方向。

(3) 调节电动机的转速。

(4) 使保护装置投入工作。

常用控制器有:凸轮控制器和主令控制器。

在安装起重机电路时,应使控制器手轮握持部位的转动方向与大、小车运动方向一致。

采用凸轮控制器的起升机构,应使手轮(或手柄)顺时针方向转动时吊钩上升,逆时针方向转动时吊钩下降。若可卧装的主令控制器,则应手柄往前推为下降,往里扳为上升。控制器的正确握持部位是手轮上的凸凸标记处。

3. 制动电磁铁 制动电磁铁是用来控制各机构的电动机,使其准确的停车。

当线圈通电时,衔铁被吸合到铁心上,这时衔铁通过停档压在制动杆上,迫使制动杆移动,从而使制动器松闸,当电源切断时,制动杆在弹簧的作用下,使衔铁离开铁心,则制动器又将机构制动。

更换三相制动电磁铁时应注意事项:

(1) 制动器的制动杠杆是通过牵引杆与动铁心联接的,联接时要防止由于电磁铁底座安装偏斜,使牵引杆在吸合过程中与底座产生过大摩擦力。

(2) 电磁铁的外壳要牢固地固定在底座上。

(3) 动铁心与牵引杆及牵引杆与制动器制动杆的联接部位,应能灵活转动。

4. 电阻器 在起重机用的绕线式交流异步电动机的转子电路中接有电阻器,其作用是限制电动机起动、制动电流和调速。使用时把电阻器串联在绕线式电动机的转子电路中,为了获得不同的转速,电动机转子电路通过控制器接通和断开不同的电阻,达到电动机平稳起动和调速。

电阻器常见故障：

- (1) 控制器手轮在第一档时,由于总电阻太小,得不到所需要的低速。
- (2) 控制器手轮在第二档时,由于第一段电阻太大,而其他段电阻过小,使电动机有很大的转速。
- (3) 控制器手轮在第一档位时,由于电阻过大或断路,使电动机空载都不能起动。
- (4) 应经常检查电阻器有无断裂,若发现断裂,应及时修复并保持电阻器的清洁。
- (5) 各电阻片需保持平直和一定间隔,若发现有电阻片相互接触时,应调整螺钉或垫石棉纸来校正。
- (6) 电阻器温升不宜超过 $300^{\circ}\text{C}$ ,电阻面应保持清洁,易于散热,如发现有氧化层时,应用锉刀除去。
- (7) 电阻器与引入线的接触是否良好,同时注意引入线的绝缘不致被高热破坏。

5. 导电器和滑线装置 当小车在主梁中间位置时,应使导电器拖板在水平状态,并使导电器滑块和角铁有良好的接触。起重机运行中,集电器不应有跳动现象。安装完毕后,应测量全部滑线绝缘电阻不低于 $0.4\text{M}\Omega$ 。

6. 行程开关 行程开关是桥式起重机的保护装置,它限制起重机各机构在一定范围内工作。

- (1) 行程限位器,当起重机顶杆触开限位开关时,就切断电源,起重机停止工作。
- (2) 起升限位器,当吊钩上升到极限位置时,滑块触动开关切断电源,从而达到控制起升高度的目的。
- (3) 安全开关,是具有绝缘外壳的安全开关,主要是在发生事故或紧急情况下,用来切断联锁保护电路。

7. 保护箱 保护箱是与凸轮控制器相配合的,在保护箱内装有低电压及过电流保护装置。低电压保护装置的作用是在供电电路中的电压显著下降或停电时,自动切断电动机电源。过电流保护装置是在短路及机械、电气设备发生故障(如卡住,制动器由于失调而不能打开,起动太快等)时,切断电源。在保护箱的外接联锁保护电路中,串联各控制器的零位触点和各机构的行程开关,这样当控制器没有停在零位时或某一运行机构处于极限位置时,电动机不能起动。

8. 检修时注意事项

(1) 在发生事故之后和检查故障之前,必须切断电源,拉下刀开关,不允许带电打开电气护罩。若只是停电而不拉开刀开关,一些电气,如控制器的零位触点,不拉下刀开关仍然带电,不小心就会发生触电或短路事故,只有拉开刀开关,才能避免事故发生,确保安全。

(2) 在检修时,必须取下控制线路的熔断器,并挂上警告牌,以防止有人送电发生事故,绝对不允许在运行时检修。

(3) 检修时,必须保证足够的照明,检修时需要行灯时,行灯电压要在安全电压范围之内(即 $36\text{V}$ ),并在灯泡外应加保护罩,绝对不允许采用一相一地制的 $220\text{V}$ 作为行灯电源。

(4) 检修过程中,若需要带电测试或检修时,必须有专人监护,防止违章发生事故,做到一旦发生危险应立即切断电源的准备。并带好橡皮手套、穿好绝缘鞋,在靠近导电部分的地方,用橡皮遮盖或用木栅围起来。

(5) 检修完毕,必须认真检查接线有无错误,严格遵守电工的安全操作规程。

## (四) 各控制装置的使用规则和保养方法

1. 刀开关

- (1) 闭合时必须推实,即刀开关与刀口接触良好,拉闸时要迅速,防止电弧烧坏刀开关。
- (2) 熔丝的规格必须与其保护电器的容量相适应。
- (3) 定期对刀开关转轴加油润滑,但必须切断电源。

2. 交流接触器

- (1) 主触点的静、动触点间的压力要调整适当。
- (2) 主触点上的球状残渣要用细锉锉平,严禁用砂布打磨,以防残存的砂粒影响动、静触点的接触。
- (3) 灭弧罩应安装正确,严防与主触点相碰撞,并应完整无缺,防止电弧短路和引起火灾。
- (4) 磁铁极面应保持清洁,如有污垢立即清除,动磁铁不得与线圈碰撞。
- (5) 对各转动的轴孔部位应定期加油润滑,确保转动灵活。

3. 凸轮控制器

- (1) 不工作时,手柄必须回归零位。
- (2) 工作时,应逐级推转,不可加速过快,以免损坏起重机的机件。

(3) 动、静触点间的压力要调整适当,当触点有磨损时应及时修整,以保证导电良好。

(4) 定期检查触点的表面状况,对其表面烧灼部分和球状残渣要用细锉锉平,使静、动触点保持接触良好。

(5) 定期对所有转动部分加油润滑,凸轮工作表面应涂凡士林等润滑脂,减小阻力,防止磨损。

## (五) 电动机和制动器的运行与维护

### 1. YZR 系列电动机的运行及维护

(1) 电动机启动时,转子电路必须串接电抗器或电抗器,限制启动电流的平均值不超过额定电流的 2 倍。

(2) 运行中电动机出线盒、观察窗盖及未用的出线孔要盖好,并紧固螺钉,防止水及污物进入,必要时用防护罩将其罩上。

(3) 电动机在运行中各部分温升、温度值与相同绝缘等级的 YZR 系列电动机相同,引起温度过高的原因是:

1) 电动机过载,如启动次数、飞轮矩、负载持续率及工作制不符合技术要求或风路堵塞。

2) 定、转子绕组及涡流制动器励磁绕组接地,轴承磨损严重或定、转子相擦。

3) 涡流制动器未按规定使用,通电时间过长。

4) 电源电压及频率偏差范围超过规定值。

(4) 当发现电动机温升超过允许值时,应立即停止运转,待查明原因或排除故障后才能恢复工作。

(5) 电动机使用期间应经常检查固定涡流制动器的电枢的挡圈或螺母是否松动脱落,以保证安全可靠运行。

(6) 集电器的清扫、电刷更换、轴承清洗等与 YZR 电动机相同。

### 2. 涡流制动器的运行及维护

(1) 运行中检查接线盒是否盖牢,防止水及污物进入。

(2) 运行中各部的允许温升或温度与 YZR 电动机的涡流制动器相同,引起温升过高的原因是:

1) 通电时间长、负载持续率大于规定值或风路堵塞。

2) 电枢与磁极相擦,励磁绕组接地。

3) 控制电器整定时间不合理。

(3) 当发现涡流制动器温升超过允许值时,应停止运行,待查明原因及排除故障后方可恢复工作。

(4) 涡流制动器应经常清扫,每年定期进行检修,清洗轴承并更换润滑油。

(5) 长期闲置不用的涡流制动器,在使用前必须用 500V 兆欧表测量励磁绕组与底座间的绝缘电阻,其阻值不低于  $0.5\text{M}\Omega$ ,否则应进行干燥处理。

(6) 安装时应调整涡流制动器,使其与电动机在同一轴线上。

(7) 涡流制动器必须可靠接地。

## (六) 故障分析

1. 小车电动机发出“呜呜”声响而不运转 对于桥式起重机一般都有多台电动机,当转动小车控制器手柄时,小车电动机发出“呜呜”声响而不运转,一般为单相启动,这时应将小车控制器的手柄拉回零位,同时转动大车和卷扬控制器的手柄,试一下大车和卷扬是否正常运转,若大车和卷扬正常运转,可将故障发生的部位集中在小车线路上进行检查。

若故障出现于转子开路,电动机也会有异常响声,但与单相启动的“呜呜”响声有差异,这样就可将故障的范围缩小到定子火线上。

因定子火线是很长的一段导线(从定子接线板到控制器,由控制器到过电流继电器,再由过电流继电器到线路主接触器),这时可进行逐段查找,使范围渐渐缩小。在检查故障之前,先将制动电磁铁线圈与电动机绕组接线分开。可以用通电流法使线路接触器接通,用试电笔检查各段的火线触点,当检查到哪个触点试电笔不显示时,即可判断直通火线有断路处,一般是联接铜排脱落造成断路,修复后试车。若仍不能正常,说明有两处以上断路,应继续进行检查,直到运转正常。

2. 起升机构电动机不运转 首先应确定用控制器控制的电动机,如大车、小车、副卷扬电动机运转是否

正常,然后再判断控制盘系统中是主回路,还是控制回路发生故障。

由于三相刀开关控制主回路,两相刀开关控制控制回路,应先拉开三相刀开关,切断主回路的电源,使电动机不能投入工作。通电后在正常情况下,各磁力控制盘上的接触器应能投入工作,这样既可以保证电动机不运转,又能检查控制回路有无故障。

这时拉开主令控制器的手柄,使其档位逐档推进,如果磁力控制盘上各接触器(正反向接触器、电阻反向接触器、电阻加速接触器、制动电磁铁接触器)不按主令控制器的档位投入工作(电动机不运转的故障发生在控制回路时,一般各接触器都不投入工作),可以判定故障在控制回路。若各接触器工作正常,可先排除控制回路,再去检查主回路。

一般是由某处断线,二相刀开关的熔断器熔丝烧断,如果是单向运转,若正向运转正常,而反向主接触器不能吸合,就可能是:

- (1)反向接触器的吸引线圈电路中,常闭联锁触点接触不良。
- (2)主令控制器反向触点接触不良。
- (3)反向控制回路有故障。
- (4)反向接触器线圈坏了,使反向接触器不能投入工作。

### 3. 控制回路不能送电

- (1)线路无电压、信号灯不亮,应用试电笔测试保护配电盘三相刀开关的固定刀片上是否有电。
- (2)应检查刀开关是否未合或未合紧。
- (3)控制器手柄不在零位。
- (4)紧急开关未合或未合严。
- (5)门、舱安全开关未压合或压合不严,没有接通闭合。
- (6)控制线路熔断器的熔丝烧断,接触不良或熔断器脱落。
- (7)过电流继电器的常闭触点未闭合。
- (8)线路主接触器的吸合线圈烧坏或断线。
- (9)控制线路上的零位保护和安全联锁的线路某处断开。
- (10)安全联锁和零位保护的各开关接线脱落或松开。

## (七)常见故障与处理

### 1. 整个电动机均发热

- (1)由于接电时间超过规定值而超载,应更换合适电动机或降低起重机工作的繁忙程度。
- (2)由于被推动的机械有故障而超载,应检查被推动的机械状态,消除卡住故障或加润滑油。
- (3)在降低的电压下运转,应减轻负载,当电压低于额定电压10%要停止工作。
- (4)灰尘堵塞风道,应清理风道的灰尘。
- (5)电源电压过高或过低,应调整电源电压,使其保持在额定电压的 $\pm 5\%$ 范围之内。

### 2. 电动机不能发出额定功率,旋转缓慢

- (1)制动器未完全松开,应检查并调整制动器。
- (2)转子或电枢电路中的起动电阻未完全切除,应检查控制器并调整接触器。
- (3)机械卡住,应检查机构并消除故障。
- (4)线路电压下降,应消除引起电压下降值超过规定的原因。

### 3. 交流制动电磁铁线圈发热

- (1)电磁铁的牵引力过载,应调整弹簧压力或重锤位置。
- (2)在工作位置上,电磁铁可动部分与静止部分有间隙,应调整制动器的机械部分,消除间隙。
- (3)制动器的工作条件与线圈的特性不符合,应换上符合工作条件的线圈。
- (4)线圈电压与线路电压不符合,应更换线圈,如为三相电磁铁可改变接法。

### 4. 电磁铁不能克服弹簧力及重锤重量

- (1)电磁铁过载,应调整制动器的机械部分。
- (2)线路中的电压显著降低,应消除引起线路中电压下降的原因。

- (3) 所采用的线圈电压大于线路电压,应更换线圈或将星形联结改成三角形联结。
5. 控制器工作时发生卡住和冲击现象
- (1) 定位机构发生故障,应检查并修复固定销。
- (2) 控制器触点粘在铜片上,应调整触点位置。
6. 运行中控制器手柄转不动
- (1) 定位机构有故障或凸轮卡住,应检修定位机构及凸轮。
- (2) 触点烧蚀粘连住,应拉闸停车修理触点或更换触点。
7. 控制器触点与铜片间冒火
- (1) 触点与铜片间接触不良,应调整触点与铜片的压力。
- (2) 控制器过载,应改变工作规范或更换控制器。
8. 控制器在工作中声音不正常
- (1) 触点焊住,应修复或更换触点。
- (2) 定位机构故障,应检查并修理固定销。
- (3) 定位不正确,可调整定位。
9. 线路主接触器不能接通
- (1) 线路无电压,应检查线路电压。
- (2) 控制线路的熔断器烧断或脱落,应检查熔断器或更换熔丝。
- (3) 刀开关未合或未合紧。
- (4) 紧急开关未合或未合紧。
- (5) 舱口安全开关未合或未合紧。
- (6) 控制器手柄在工作位置。
- (7) 过电流继电器的联锁触点未压合,应调整触点及弹簧压力。
- (8) 吸引线圈烧断或断路,应更换线圈。
- (9) 零位保护和安全联锁部分线路断路,应找出断线处并接好。
- (10) 零位保护安全联锁部分开关的接线脱落,应找出脱落点并消除故障。
10. 控制器合上后,过电流继电器动作
- (1) 过电流继电器的整定值不符合规定,应调整继电器的电流为电动机额定电流的 2.25 ~ 2.5 倍。
- (2) 定子线路中有接地,应用兆欧表找出绝缘损坏处并予以处理。
- (3) 机械部分某一环节卡住或损坏,应检修机械卡住部分,消除故障。
11. 控制器合上后,电动机仅能往一个方向转
- (1) 定子电路或终端开关电路的触点与铜片接触不良,应检查控制器并调整触点。
- (2) 终端开关发生故障,应检查终端开关并恢复接触。
- (3) 配电线路发生故障,应找出故障处进行修复。
- (4) 控制器反向触点接触不良或控制转动机构有故障,应检修控制器并调整触点。
- (5) 反向接触器线圈烧断或引线折断,应更换线圈或重接引线。
12. 终端开关的杠杆动作时,相应的电动机不断电
- (1) 终端开关的电路发生短路现象,应检查引至终端开关的导线。
- (2) 接至控制器的导线次序错乱,应检查接触器的线路。
13. 液压电磁铁通电后推杆不动作
- (1) 推杆卡住,应消除卡塞。
- (2) 电源电压低于额定电压的 85%,应提高电源电压。
- (3) 时间继电器延时过短或常开触点不动作,应调整修理继电器,使其延时为 0.5s 左右。
- (4) 整流装置损坏,应修复或更换。
- (5) 严重漏油,应补充油或修理密封。
14. 电阻器阻值变更

(1) 电阻片断裂,应更换电阻片或用气焊焊接。

(2) 接触处氧化,接触处用砂纸打磨。

(3) 夹紧螺钉松动,应紧固螺钉。

#### 15. 电阻器一段烧红

(1) 起动时间过长,应检查机械部分是否灵活。

(2) 电阻接错,应检查各段电阻的接线是否正确。

#### 16. 起重机运行中接触器经常掉闸。

(1) 触点压力不足,应调整触点压力。

(2) 触点烧坏,可用锉刀锉平或更换触点。

(3) 触点脏污,应进行清洗。

(4) 过负荷造成电流过大,应减轻负荷。

(5) 轨道不平,影响滑触线接触,应修整轨道。

(6) 门开关松动,应检查门开关是否接触良好。

(7) 吊车滑块与滑触线接触不良,应检查滑块与滑触线接触情况。

## 第二节 电梯安装运行与维修

### 一、电梯配电设计

1987年由国家标准局发布了发布实施的《电梯制造与安全规范》(Safety rules for the construction and installation of lifts and service lifts)。该标准的目的是为乘客电梯、载货电梯和杂物电梯规定安全准则,以防电梯运行时发生伤害乘客和损坏货物的事故。用于运输货物电梯的轿厢尺寸和结构允许人员进入,它属于“电梯”而不属于“杂物梯”。

#### (一) 电梯制造与安装安全有关规定

为保证电梯电气装置的安装质量,促进安装技术进步,确保电梯安全运行,在作电梯供电设计和施工中必须按照规范要求的标准执行。国标规范通常用于额定速度不大于 $2.5\text{m/s}$ 、电力拖动的用绳轮曳引驱动的各类电梯电气装置安装工程施工及验收。

##### 安装电梯的前期工作

1. 电梯电气装置的安装应按已批准的设计进行施工。

2. 设备验收检查的要求,设备验收检查的要求首先要三查:

(1) 包装及密封应完好,在运输中没有出现外伤。

(2) 开箱检查清点,规格应符合设计要求,附件、备件齐全,外观应完好。

(3) 下列文件应齐全:文件目录、装箱单、产品出厂合格证、电梯机房井道和轿厢平面布置图、电梯使用和维护说明书、电梯电气原理图、符号说明及电气控制原理说明书、电梯电气接线图、电梯部件安装图、安装调试说明书、备品及备件目录。

3. 设备和器材的运输、保管,应符合国家有关物资运输、保管的规定。当产品有特殊要求时,尚应符合产品的要求。

4. 采用的设备和器材均应符合国家现行技术标准的规定,并应有合格证件。设备应有铭牌。

5. 制定安全施工计划。对于电梯安装工程中重要工序,尚应事先制定安全技术措施。与电梯电气装置有关的建筑物和构筑物的建筑工程质量,除应符合国家现行的建筑工程施工及验收规范中的有关规定外,尚应符合现行国家标准 GB7588《电梯主参数及轿厢、井道、机房的型式与尺寸》的有关规定。

## (二) 电梯的电源及照明设计

1. 电梯电源应设置专用电源, 并应由建筑物配电间直接送至机房。机房照明电源应与电梯电源分开, 并应在机房内靠近入口处设置照明开关。轿厢照明和通风回路电源可由相应的主开关进线侧获得, 并在相应的主开关近旁设置电源开关进行控制。

2. 每台电梯的主开关均应能够切断该电梯最大负荷电流。但是, 主开关不应切断轿厢照明、通风和报警、机房通向隔层和井道照明、机房通向轿顶和底坑电源插座。主开关位置应能从机房入口处方便、迅速地接电。

3. 轿厢顶部应装设照明装置, 或设置以安全电压供电的电源插座。电梯机房内应有足够的照明, 其地面水平照度不应低于 200lx。

4. 在同一机房安装多台电梯时, 各台电梯主开关的操动机构应装设识别标志。

5. 轿厢顶部应装设检修用 220V 电源插座(2P+PE 型)应装设明显标志。

6. 电梯电源的电压波动范围不应超过  $\pm 7\%$ 。

7. 每台电梯或自动扶梯的电源线, 应装设隔离电器和短路保护电器。有多路电源进线的电梯机房, 每路进线均应装设隔离电器, 并应装设在电梯机房内便于操作和维修的地点。

## (三) 电梯井道照明设备

1. 电源井道在检修时需要照明, 其照明电源宜由机房照明回路获得, 且应在机房内设置有短路保护功能的开关进行控制。

2. 照明灯具应固定在不影响电梯运行的井道壁上, 其间距不应大于 7m。

3. 在井道的最高和最低点 0.5m 内各装设 1 盏照明灯。

4. 轿厢的照明电源, 可从电梯动力电源隔离电器前取得, 并应装设隔离电器和短路保护电器。向电梯供电的电源线路, 不应敷设在电梯井道内。除电梯的专用线路外, 其他线路不得沿电梯井道敷设。在电梯井道内明敷电缆应采用阻燃型。明敷的穿线管、槽应该是阻燃的。

## (四) 电梯的配管配线要求

1. 电梯电气装置的配线, 应使用额定电压不低于 500V 的铜芯绝缘导线。

2. 机房和井道内的配线应使用电线管或电线槽。铁制电线槽沿机房地面敷设时, 其厚度不得小于 14.5mm, 不易受机械损伤的分支线路可使用软管保护, 但长度不应超过 2m。

3. 电线管、电线槽、电缆架等与可移动的轿厢、钢绳等的距离: 机房内不应小于 50mm, 井道内不应小于 20mm。

4. 轿厢顶部配线应该走线合理, 要特别注意防护安全可靠。

5. 电线管安装应符合以下线路规定

(1) 电线管应用卡子固定, 固定点间距均匀, 且不应大于 3m。

(2) 与电线槽连接处应用锁紧螺母锁紧, 管口应装设护口。

(3) 安装后应横平竖直, 其水平和垂直偏差在机房内不应大于 0.2%, 井道内不应大于 0.5%, 全长不应大于 50mm。

(4) 暗敷时, 保护层厚度不应小于 15mm。

(5) 电线槽安装应牢固, 每根电线槽固定点不应少于 2 点。并列安装时, 应使槽盖便于开启。盖完后应横平竖直, 接口严密, 槽盖齐全平整无翘角。出线口应无毛刺, 位置正确。

(6) 金属软管安装应无机械损伤和松散, 与箱、盒、设备连接处应使用专用接头。同时, 金属软管安装应平直, 固定点均匀, 间距不大于 1m, 端头固定应牢固。

(7) 电线管、电线槽均应可靠接地或接零, 但电线槽不得兼作为保护线使用。

(8) 接线箱、盒的安装应平正、牢固、不变形, 其位置应符合设计要求。当设计无规定时, 中线箱应安装在电梯正常提升高度的 1/2 加高 1.7m 处的井道壁上。

6. 电梯安装导线电缆的敷设应符合下列规定

(1) 线槽配线时, 应减少中间接头。中间接头宜采用冷压端子规格应与导线匹配, 压接可靠, 绝缘处理良好。

(2)敷设于电线管内的导线总面积不应超过电线管内截面积的 40% ,敷设于电线槽内的导线总截面积不应超过电线槽内截面积的 60%。

(3)接地保护线宜采用黄绿相间的绝缘导线。

(4)电线槽弯曲部分的导线、电缆受力处 ,应加绝缘衬垫 ,垂直部分应可靠固定。

(5)配线应绑扎整齐 ,并有清晰的接线编号。保护线端子和电压为 220V 及以上的端子应有明显的标记。

(6)动力线和控制线应该隔离敷设。有抗干扰要求的线路应符合产品要求。

(7)配线应留有备用线 ,其长度应与箱、盒内最长的导线相同。

## (五) 电梯的信号电路

### 1. 呼梯信号系统

电梯在每层都设有召唤按钮和显示运行工作的指示灯 ,信号控制电路如图 19-2 所示。

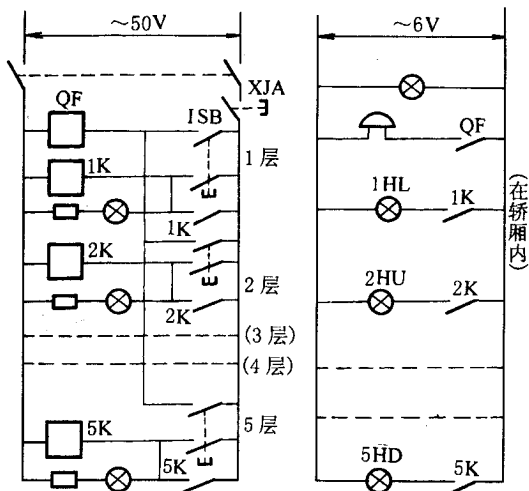


图 19-2 信号控制电路

例如在 2 楼呼叫电梯时 ,按下召唤按钮 2SB ,召唤继电器 2K 得电接通并自锁 ,按钮下面的指示灯亮 ,同时轿厢内召唤灯箱上代表 2 楼的指示灯 2HL 也点亮 ,线圈 DLJ 通电 ,电铃响 ,通知司机 2 楼有人呼梯。司机明白以后按解除按钮 SB 则铃停灯灭。

### 2. 楼层指示装置

当电梯停放在 2 站以上时 ,应该装设楼层指示装置。将它安装在井道外面每站厅门的上方或侧旁 ,有时和召唤按钮安装在一起。楼层显示装置的画板上有代表停站的数字和显示电梯运行方向的箭头。有亮的数字表示轿厢所在楼层的层数 ,亮箭头表示轿厢运行方向。

表示楼层数的装置是一个可以转动的电刷 ,用链条和主曳引机伸轴相连 ,对应于每层楼的停站。如图 19-3 是一栋 5 层楼的层数指示装置示意图。指示器上有 5 个固定点(有几层楼就有几个固定点) ,当轿厢从 1 层楼达到 N 层楼时 ,电刷能同步从一固定点转动到代表 N 层的固定点 ,以接通 N 层的指示灯。根据需要可以做成多排接点 ,以控制每层楼所需的各种信号。例如担任召唤用的继电器到站复位的信号等。

## (六) 电梯控制电路的控制过程

现以按钮自平层式 AP 电梯控制原理图为例 ,简述普通电梯的工作过程。曳引机采用双鼠笼异步电动机。

当闭合线路开关 CK 及 1DK ,由司机手动开门 ,乘客进入轿厢以后用电锁钥匙开关 VR 接通主接触器 ZKC 的线圈 ,SUK 和 XUK 是向上和向下的极限开关。正常运行时 ,ZKC 通电 ,接通主电路 ,电源变压器得电 ,零压继电器 YJ 通电接通直流控制回路使快速继电器 1SJ 吸合 ,同时使交流控制电路接通。当轿厢承重以后 ,司机手动将门关好 ,使各层的厅门接触开关 1TMC ~ 5TMC 及轿厢门接触开关 JMC 都闭合。在运行正常时 ,安全钳开关 AJK 及限速断绳开关 XTK 是闭合的 ,所以门连锁继电器 MJ 通电 ,交流接触器接通电源。如



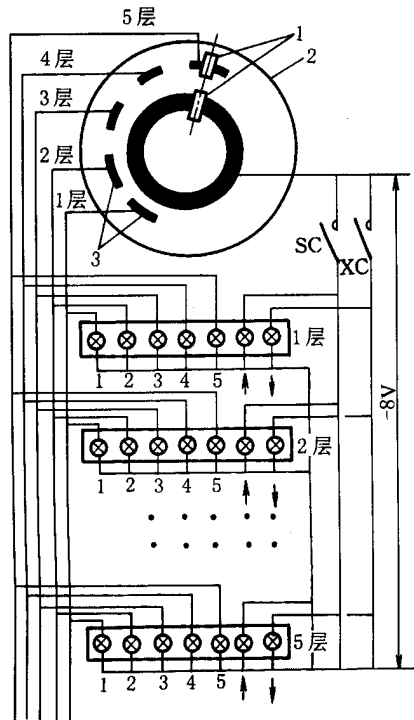


图 19-3 楼层指示器原理示意图

1—电刷 2—楼层指示器 3—固定触点

果此时轿厢内的N层指示灯亮,指示N层传呼梯。譬如在4层,司机一面按下XJA解除呼梯信号,再按下4层开车的按钮4LA,这时楼层继电器4LJ通电并自锁。因为层楼转换开关4LK是左边接通,因此上行继电器SJ通电通过30-K4106接通,触点S<sub>1</sub>(24-106)闭合,KC接通,S<sub>2</sub>(38-106)闭合,SC通电。而KC(50-52)又使运行继电器YXJ通电,SC和YXJ均自锁供电。KC和SC主触点闭合。电动机快速绕组通过启动电阻器接通,电动机正向降压启动,制动器线圈ZSD得电松闸,同时1JS断电,触点延时闭合接通KJC,将电阻器切除,电动机快速上升。当轿厢经过各楼层的时候,轿厢上的切换导板将各层楼的转换开关2LK和3LK等触点转换,令左断右通。

在轿厢刚刚进入所要达到的4层楼的平层减速区的时候,4LK转换使SJ和KC断电(注意在这时SC有电)。电动机定子断电,ZSD同时也断电,绕组放电,这时制动器提供一定的制动力矩使电动机迅速减速。当电动机速度降到250r/min的时候,速度开关SK将MC接通,电动机的低速绕组接通,则电动机第2次得电,同时ZSD也又有电,从而制动器松开,2SJ延时接通MJC,将启动电阻短接,电动机低速运行,以便到平层停车。在轿厢到达4层平层就位时,正好是井道内顶置铁块进入向上平层感应器SBJ的磁路空隙,使YXJ断电,电动机停车,同时ZSD断电,制动器抱闸,开门上下人。

综上所述,轿厢正常运行属于快速,轿厢慢速只是作为减速而准确停车。而在检修电梯的时候,经常需要慢速地升降,而且停车的位置不受平层感应器的限制,可以使用慢速点动控制按钮MSA完成。

## 二、电梯安装

电梯安装实质上是电梯的总装配,这种工程必须在电梯投入运行的地方进行。安装工程质量的好坏直接决定着电梯是否能够正常运行。制造质量好的电梯若安装质量不好,也不可能正常工作,而良好的安装质

量往往还能弥补或改善电梯制造中的某些缺点。电梯安装工程通常分为以下步骤进行。

### (一) 安装的准备工作

对于交流双速信号电梯和集选控制电梯的安装在机械部分安装工艺操作方法与其他电梯是相似的,而是它们的电路原理及安装则区别比较显著。

#### 1. 机械安装的准备工作

安装的准备工作主要是人力准备、材料设备准备和熟悉图纸及有关电梯安装规范等。当建筑楼层在 10 层以下的小规模电梯安装工程配备 3~4 名有合格证的技术工人。并且应该配备起重工、电焊工、架子工和瓦工等辅助工种工人。其中应有中级以上电工 2 名作为负责人。向委托单位索取电梯随机资料,认真阅读,熟悉所装电梯的技术要求、平面图、电路、电气图纸。对机房井道的各种尺寸进行核对。检查轿厢规格尺寸、开门方式与土建配合是否正确无误,核对机房电源线用量和位置是否合适。

对建设单位提供的图纸资料要进行复核,检查有无问题,重点检查电梯层门口、牛腿、井道底坑的深度、井道顶高、机房的高度及面积、搁机大梁或工字钢的尺寸与要求是否符合实际情况等。对所发现的问题应与建设单位研究协调解决,要把研究结果写入合同中,使之发生法定效力以备日后进行工程施工和结算。

对电梯设备开箱清点要有建设单位人员参加,校核电梯型号规格及各种配件是否齐全,对于缺欠东西要有落实办法,清点完毕要双方签字认可。

初步确定电源照明、限位开关位置、控制柜位置和机房井道和机房井道内电线管或线槽敷设方法。核定和确定限速器装置、平层转速传感器、限位开关、减速开关、井道总线箱、电缆架等在机房或井道内的具体位置。若发现实际情况与合同不符,应同委托方协商,签定补充合同。

#### 2. 定货

对高层建筑的设备投资来说,电梯是占投资比重较大的一个。电梯订货时除对电梯型号、产地、控制系统要求,速度、载重量、井道尺寸等与土建的配合条件应详细列出外,还应列出在签订合同时容易忽视的某些技术问题,以避免因增加功能而追加投资。

电梯轿厢及门是整个电梯的脸面,脸上的事情,往往要听自己的,其装修标准甲方往往有所要求。这些装修标准最好在订货时明确表述,以免扯皮。因多数电梯厂家要直接参与施工,所以在签订合同时明确各种安装细节的费用支付办法,如施工调试电费、井道脚手架安装费等。

#### 3. 电梯电气装置安装前,建筑工程应具备的条件

(1) 基本结束机房、井道的建筑施工,包括完成粉刷工作。

(2) 电梯机房的门窗应装配齐全。

(3) 预埋件及预留孔符合设计要求。

(4) 电梯的专用电气设备和继电器、选层器、随行电缆等附件更换时,必须符合原设计参数和技术性能的要求。

(5) 电气装置的附属构架、电线管、电线槽等非带电金属部分,均应涂防锈漆或镀锌。

### (二) 机械、电器和随行电缆安装

1. 机械部分安装包括安装支架和导轨。安装承重梁、曳引机、导向轮或增加发电机组。组装轿厢与安全钳。安装层门与门锁。安装限速器装置。安装缓冲器和对重装置。安装曳引钢丝绳,计算长度、下料,做绳头花环结和浇铸巴氏合金,挂好曳引绳并将绳头椎套定位。

2. 电器部分安装包括安装控制柜和井中间的接线箱。安装分接线箱和敷设电线槽或电线管。安装极限位置开关、限位开关和端站强迫减速装置。视需要安装层楼指示器和选层器。安装召唤箱、指层灯箱干簧管换速平层装置,固定电缆架、挂软电缆和配线接线。安装电气控制系统的保护接地或接零装置。

3. 随行电缆的安装是很重要的项目,安装过程中应特别注意以下几点:

(1) 随行电缆安装前,必须预先自由悬挂,消除扭曲。

(2) 井道内的随行电缆安装要特别注意紧凑而安全,随行电缆两端以及不运动部分应可靠固定。如图 19-4 所示。

(3) 随行电缆的敷设长度应使轿厢缓冲器完全压缩后略有余量,但不得拖地。多根并列时,长度应一致。

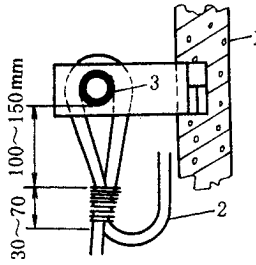


图 19-4 井道内随行电缆绑扎方法

1—井道壁 2—随行电缆 3—电缆架钢管

(4)当设中线箱时 随行电缆架应安装在电梯正常提升高度的 1/2 加 1.5m 处的井道壁上。

(5)圆型随行电缆应绑扎固定在轿底和井道电缆架上 绑扎长度应为 30~70mm。绑扎处应离开电缆架钢管 100~150mm。轿厢底部随行电缆绑扎方法如图 19-5 所示。

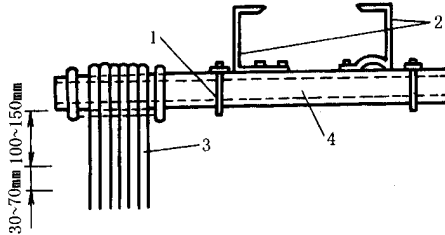


图 19-5 轿厢底部随行电缆绑扎方法

1—轿厢底部电缆架 2—电缆底梁；

3—随行电缆架 4—电缆架钢管

(6)扁平型随行电缆可重叠安装 重叠根数不宜超过 3 根 每两根间应保持 30~50mm 的活动间距 如图 19-6 所示。扁平型电缆的固定应使用楔形插座或卡子。

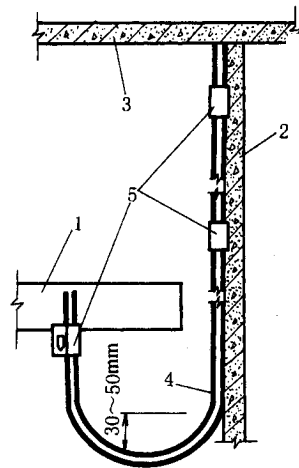


图 19-6 扁平随行电缆安装方法

1—轿厢底梁 2—井道壁 3—机房地板；

4—扁平电缆 5—楔形插座

(7)随行电缆在运动中可能与井道内其他部件挂碰时 必须采取防护措施。

(8) 圆形随行电缆的芯数不宜超过 40 芯。

### (三) 配电柜、屏、箱的安装

1. 机房内配电柜、控制柜应用螺栓固定于型钢或混凝土基础上,基础应高于地面 50~100mm。

2. 屏、柜与机械设备的距离不应小于 500mm。当设计无要求时,安装位置应尽量远离门窗,其与门窗正面的尽量不应小于 600mm。

屏、柜的维修侧与墙壁的距离不应小于 600mm,其封闭侧宜不小于 50mm。双面维修的屏、柜成排安装时,当宽度超过 5m 时,两端均应留有出入通道,通道宽度不小于 600mm。

3. 电梯的控制柜(屏、箱)的安装应布局合理,固定牢固,其垂直偏差不应大于 0.15%。

### (四) 电梯的控制设备安装

1. 选层器的安装

(1) 安装要牢固,其垂直偏差不应大于 0.1%。

(2) 机械选层器的安装位置要使用方便合理,而且便于维修检查。

(3) 机械选层器的安装应按机械速比和楼层高度并比检查调整动、静触头位置,使之与电梯运行、停层的位置一致。

(4) 换速触头的提前量应按电梯减速时间和平层距离调节。

(5) 触头动作和接触应可靠,接触后应留有压缩余量。

2. 电梯井道和轿厢顶部传感器的安装

(1) 安装后应紧固、垂直、平整,其偏差宜不大于 1mm。

(2) 支架应用螺栓固定,不得焊接。

(3) 应能上下左右调整,调整后必须可靠联锁,不得松动。

(4) 安装位置符合图纸要求,配合间隙按产品说明进行调整。

3. 电梯层门(厅门)召唤盒、指示灯盒及开关盒的安装

(1) 具有消防功能的电梯,必须在基站或撤离层设置消防开关。消防开关盒宜装于召唤盒的上方,其底边距地面的高度宜为 1.6~1.7m。见图 19-7 电梯层门指示灯及召唤盒安装位置。

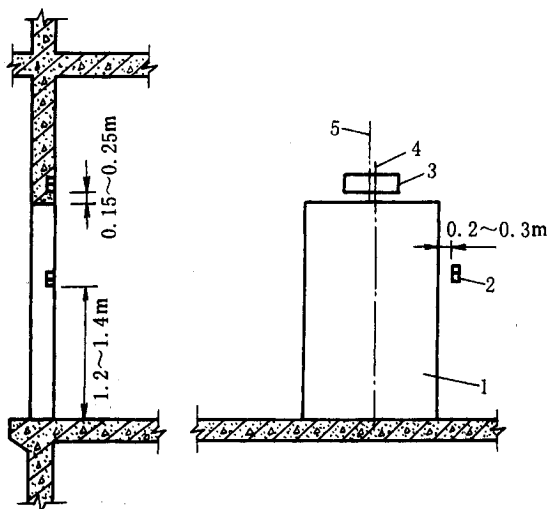


图 19-7 电梯层门指示灯及召唤盒安装位置

1—厅门 2—召唤盒 3—电梯层门指示灯;

4—层门中心线 5—层门指示灯中心线

(2) 安装位置当无设计规定时,层门指示灯盒应装在层门口以上 0.15~0.25m 的层门中心处。指示灯在召唤盒内的除外。层门指示灯盒安装后,其中心线与层门中心线偏差不应大于 5mm。召唤盒应装设在层门

右侧距地 1.2~1.4m 的墙壁上,且盒边与层门边的距离应为 0.2~0.3m。并联、群控电梯的召唤盒应装在 2 台电梯的中间位置。

(3)在同一候梯厅有 2 台及以上电梯并联或相对安装时,各层门对应装置的对应位置应一致,要求并联梯各层门指示灯盒的高度偏差不应大于 5mm;并联梯各召唤盒的高度偏差不应大于 2mm;各召唤盒距层门边的距离偏差不应大于 10mm;相对安装的电梯,各层门指示灯的高度偏差和各召唤盒的高度偏差均不应大于 5mm。

(4)箱体应平正、牢固、不变形,埋入墙内的盒口不应突出装饰面。面板安装后应与墙面贴实,不得有明显的凹凸变形和歪斜。

(5)层门闭锁装置应采用机械-电气联锁装置,其电气触点必须有足够的断开能力,并能使其在触点熔接的情况下可靠断开。

(6)层门闭锁装置的安装应该固定可靠,驱动机构动作灵活,且与轿门的开锁元件有良好的配合。层门关闭后,锁紧元件应可靠锁紧,其最小啮合长度不应小于 7mm。层门锁的电气触点接通时,层门必须可靠地紧锁在关闭位置上。层门闭锁装置安装后,不得有影响安全运行的磨损、变形和断裂。

## (五)电梯安全保护设备与接地安装

### 1. 接地接零保护

(1)电梯机房、轿厢井道的接地机房和轿厢的电气设备、井道内的金属件与建筑物的用电设备采用同一接地体。轿厢和金属部件应采用等电位体连接。当轿厢接地线采用电缆芯线时,不得少于 2 根。

(2)所有电气设备的外露可导电部分均应可靠接地或接零。当在 TN-S 方式供电系统中采用接 PE 线。在 TN-C 供电系统中因为保护线与中性线共用时,所以应在电梯电源进入机房后将保护线与中性线分开,形成 TN-C-S 系统。其分离点的接地电阻不大于 4Ω。

(3)在采用三相四线制供电的接零保护(即 TN-C)系统中,严禁电梯电气设备单独接地。

(4)电梯轿厢可利用随行电缆的钢芯或芯线作保护线。当采用电缆芯线作保护线时不得少于 2 根。

### 2. 采用计算机控制的电梯

其逻辑性应严格按照产品要求处理。当产品无要求时,可按下列方式之一进行处理:①接 PE 线。同上述 1 的方法。②悬空逻辑地。③与单独的接地装置连接。该装置的对地电阻不得大于 4Ω。

### 3. 安全保护开关的安装

(1)与机械相配合的各安全保护开关,在下列情况时应可靠断开,使电梯不能启动或立即运行:

任一曳引绳断开时;电梯载重量超过额定载重量 10%时;任一厅、轿门未关闭或锁紧时;安全窗开启时;选层器钢带(钢绳、链条)张紧轮下落大于 50mm 时;限速器配重轮下落大于 50mm 时;限速器配重轮接近其动作速度的 95%时;对额定速度 1m/s 及以下的电梯最迟可在限速器达到其动作速度时;安全钳拉杆动作时;液压缓冲器被压缩时。

(2)电梯的各种安全保护开关必须可靠固定,不得采用焊接固定。安装后不得因电梯正常运行时的碰撞和钢绳、钢带、皮带的正常摆动使开关产生位移、损坏和误动作。

### 4. 电气系统中的安全保护装置应进行下列检查

(1)急停、检修、程序转换等按钮和开关,动作应灵活可靠。

(2)开关门和运行方向接触器的机械或电气联锁应动作灵活可靠。

(3)错相、断相、欠电压、过电流、弱磁、超速、分速度等保护装置应安装产品要求检验调整。

### 5. 极限、限位、缓速开关碰轮和碰铁的安装要点

(1)轿厢自动门的安全触板安装后应灵活可靠,其动作的碰撞力不应大于 5N。光电及其他型式的防护装置功能必须可靠。

(2)开关、碰铁应安装牢固。在开关动作区间,碰轮与碰铁应可靠接触,碰轮边距碰铁边不应小于 5mm。碰铁应无扭曲变形,开关碰轮动作灵活。碰轮与碰铁接触后,开关触点应可靠断开,碰轮沿碰铁全长位移不应有卡阻,且碰轮应略有压缩余量。

(3)碰铁安装应垂直,允许偏差为 0.1% 全长不应大于 3mm。碰铁斜面除外。

(4)交流电梯极限开关的安装钢绳应横平竖直,导向轮不应超过 2 个。轮槽应对成一条直线,且转动灵

活。导向轮架加装延长杆时,延长杆应有足够的强度。上下极限碰轮应与牵动钢绳可靠固定。

牵动钢绳应沿开关断开方向在闸轮上复绕不少于 2 圈,且不得重叠。安装后应连续试验 5 次,均应动作灵活可靠。

(5) 极限和限位开关的安装位置应符合设计要求。当设计无要求时,碰铁应在轿厢超越上下端站地槛 50~200mm 范围内。接触碰轮,使开关迅速断开,且在缓冲器被压缩期间开关始终保持断开状态。

#### 6. 疏散功能及安装

电梯有一个疏散功能,能够在停电时自动平层开门放人,以避免关人,这一功能往往甲方是非常需要的,但该功能在合同时如不写明,有些电梯厂家会据此追加造价。

#### 7. 视频及音频电缆监视系统

在设置有保安监控系统的大厦内,往往需要在电梯轿厢内设有摄像机。如果订货时不提及,供应商是不提供相关设备及电缆的。如电梯内摄像机要使用,只能另行敷设电缆,但该电缆的重量、材质等性能参数很可能与电梯轿厢随行电缆不匹配,有些电梯厂家也不让其敷设在随行电缆上。故应要求电梯厂家在其随行电缆中设有视频、音频电缆。

#### 8. 楼层显示、对讲系统

这 2 个系统在订货时如不注明,供应商往往是不提供的,但甲方往往是需要的,如在停电或火灾情况下电梯关人时,需要在控制室控制电梯时。订货时宜要求提供这 2 个系统,而且要指明安装设备的地点,这就包含了从电梯机房到控制室的电缆供应,敷设相应的设备安装费用。

电梯除了设备本身的各种信号与监控装置以外,一般还应该在电梯的轿厢内设置与机房或值班室对讲的专用电话和应急等通信信号设备。在设有多台群控梯群的建筑物内还经常设有事故运行操作盘,用以监视电梯的异常情况和进行紧急操作,所有上述装置的线路都应该和电梯动力配线分开布线。

### (六) 试运行

#### 1. 做好运行前的准备工作

准备工作应包括清扫机房、层站的垃圾杂物,对机电零部件进行清洁检查。对电动机滑动轴承、减速器按规定的品种和数量换油加油,对导轨、缓冲器、限速器等部件上润滑油。清理曳引轮和曳引钢丝绳上的油污,检查导向轮、反绳轮、限速器张紧轮等转动摩擦部位,使之处于良好的润滑状态。

使所有的电器元件保持清洁,内外配接线的焊点要求牢固可靠,压紧螺钉无松动。在底坑内将对重装置用导木支撑牢固,机房内用手拉葫芦吊起轿厢,摘除悬挂在曳引轮上的所有钢丝绳。

#### 2. 进行静态通电试车

电梯技工 2 人以上共同进行,2 名技工在机房。轿厢内人员按机房技工指令模拟司机或乘客的操作程序,逐项进行通电操作。机房内技工检查控制柜中各电气元件动作程序是否正常、是否符合电气控制说明和电路原理的要求,曳引电动机运转情况是否良好、运动方向是否正确,若发现问题应及时予以调整。上限限速器的钢丝绳,检查安全钳开关的联动性能是否可靠,曳引机能否制动停车。试验安全钳的杠杆系统动作是否灵敏可靠,能否将安全钳楔块正常上升。

上述工作完成后,可将曳引绳挂上曳引轮,放下轿厢撤去手拉葫芦,使各曳引绳均匀受力。然后用手轮通过松闸将轿厢下移一段距离,拆去对重的垫木,并清除井道内所有垃圾杂物,才能进行通电试运行。

#### 3. 动态试运行及调整

(1) 在机房内用手动松闸,手轮盘车,将轿厢再下移一定距离,如情况正常才可通电试车。首先做平衡试验,将轿厢以检修速度下行到基站,向轿厢内放入标准砝码,其重量为  $K_p \times Q$ 。其中  $K_p$  为对重平衡系数,根据具体电梯要求,通常取 0.4~0.5; $Q$  为电梯额定载重量,单位为 kg。此时曳引轮两侧拉力基本平衡,将轿厢上升到一半行程与对重底相平。在机房内用手动松闸,手盘手轮测定曳引轮左转、右转时手感是否相同。然后在对重架上加减对重块,直到两侧手感相同,即为符合平衡要求。

可以让 1 名电梯技工到轿厢顶负责试运行的指挥。通过轿内所发慢上慢下运行指令控制电梯慢车上下往复运动,并逐层调整考虑。运行指令也可由轿厢顶部的检修箱按钮发出。逐层检查的项目有:层门地坎与轿厢地坎层门锁滚轮与开门刀间隙,各层一致并符合平层要求。干簧管平层传感器和换速传感器与轿厢的间隙,隔铁板与传感器盒的凹口底部和侧面间隙符合要求。

极限开关的上下端站限位开关等安全装置应动作可靠。采用楼层指示器或机械式选层器的电梯应同时检查校正触头或托板与各层站固定触头或托板相互位置是否合适。对于双速电梯,慢车运行时间每次通电不超过 3min。

(2) 经过慢车试运行和调整没有问题以后,额定速度的试运行和调试。将轿厢内操纵箱转入额定速度运行状态。使用轿厢内指令按钮和层门召唤按钮,控制电梯上下往复快车运行。对有/无司机控制的电梯,分别进行试验。在电梯运行过程中,通过启动、加速、平层、单层和多层运行、到站提前换速、开关门等过程,根据随梯文件和国家有关标准,全面考核电梯的各项功能、调整电梯的关门、启动、加速、换速、平层停的准确度。调整自动开门机在开关门过程中的速度和噪声水平,提高电梯运行过程中各项综合性能指标。

(3) 最后进行生产前的试验和测试。根据 GB10060 电梯安装验收规范的规定,作好测试工作,写出具体报告,交付用户单位使用。

### 三、电梯的调试、安全使用和维护保养

电梯一旦投入运行,往往 24h 使用,对于其机电元件要求经常检查和维护,建立严格的管理制度,配备合格的电梯安装维修技工和司机承担有关工作,加强电梯的定期检修,积累资料指导电梯维护检修计划的制定和实施。电梯的安全使用和维护保养对电梯的使用寿命至关重要。

#### (一) 调整试车和工程交接验收

##### 1. 试运转前应按下列要求进行检查

(1) 电气设备导体间及导体与地间的绝缘电阻值,动力设备和安全装置电路不应小于  $0.5M\Omega$ ,低电压控制回路不应小于  $0.25M\Omega$ 。

(2) 机房温度应保持在  $5\sim 40^{\circ}\text{C}$  之间,在  $25^{\circ}\text{C}$  时环境相对湿度不应大于 85%。

(3) 继电器、接触器动作应正确可靠,触点接触应良好。

##### 2. 检修速度调试

(1) 全程点动运行应无卡阻,各安全间隙符合要求。检修速度不应大于  $0.63\text{m}/\text{s}$ 。自动门运行应平稳、无撞击。平衡系数应调整为 40%~50%。

(2) 制动器力矩和动作行程应按设备要求调整,制动器闸瓦在控制时应与制动轮接触严密。松闸时与制动轮应无摩擦,且间隙的平均值不应大于  $0.7\text{mm}$ 。

##### 3. 额定速度调整运行符合下列要求

(1) 轿厢内置入平衡负载,单层、多层上下运行,反复调整,升至额定速度,启动、运行、减速应舒适可靠,平层准确。

(2) 在工频下,曳引电动机接入额定电压时,轿厢半载向下运行至行程中部时的速度应接近额定速度,且不应超过额定速度的 5%。加速段和减速段除外。

##### 4. 运转试验应符合下列条件

(1) 空载、半载和满载试验要求在通电持续率为 40% 情况下,往返升降各 2h。电梯运行应无故障,启动应无明显的冲击,停层应准确平稳。

制动器应可靠动作。制动器线圈温升不应超过  $60^{\circ}\text{C}$ ,减速机油的温升不应超过  $60^{\circ}\text{C}$ ,且温度不得超过  $85^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 调整上下端站的换速、限位和极限开关,使其位置正确、功能可靠。

(3) 运转功能应符合设计要求,指令、召唤、选层定向、程序转换、启动运行、截车、减速、平层等装置功能正确可靠,声光信号显示清晰正确。

##### 5. 超载试验

应在轿厢内置入 110% 的额定负载,在通电持续率为 40% 的情况下,往返运行各 0.5h。电梯应可靠地启动、运行。减速机、曳引电动机应工作正常,制动器动作应可靠。

##### 6. 平层准确度符合表 19-1 的规定。

表 19-1 平层准确度

电梯类别	额定速度( m/s )	平层准确度( mm )	电梯类别	额定速度( m/s )	平层准确度( mm )
交流双速	≤0.63	± 14	交直流双速	≤2.00	± 14
交流双速	≤1.00	± 30	交直流双速	≤2.50	± 10

### 7. 技术性能测试应符合下列规定

(1) 电梯的加速度和减速度的最大值不应超过  $1.5\text{m/s}^2$ 。额定速度大于  $1\text{m/s}$ 、小于  $2\text{m/s}$  的电梯,平均加速度和平均减速度不应小于  $0.5\text{m/s}^2$ 。额定速度大于  $2\text{m/s}$  的电梯,平均加速度和平均减速度不应小于  $0.7\text{m/s}^2$ 。

(2) 乘客、病床电梯在运行中,水平方向的振动加速度不应大于  $0.14\text{m/s}^2$ ,垂直方向的振动加速度不应大于  $0.25\text{m/s}^2$ 。

(3) 乘客、病床电梯在运行中的总噪声不应大于  $80\text{dB}$ 。轿厢内噪声不应大于  $55\text{dB}$ 。开关门过程中噪声不应大于  $65\text{dB}$ 。

### 8. 在交接验收时,应提交下列资料 and 文件

(1) 电梯类别、型号、驱动控制方式、技术参数和安装地点。

(2) 制造厂提供的随机文件和图纸。

(3) 变更设计的实际施工图及变更证明文件。

(4) 安全保护装置的检查记录。

(5) 电梯检查及电梯运行参数记录。

## (二) 电梯安全使用基本常识

建立一套完备可行的管理制度是电梯安全运行的首要条件。

1. 要求配置专门的管理人员。对有司机的电梯,应使专职司机受过技术培训,具备必要的电梯知识,能够正确操纵电梯和处理运行中出现的紧急情况,并能够排除常见故障。应有专职的维修保养人员,建立值班制度。维护人员应该受到技术培训,掌握电梯工作原理、各部分的主要构造和功能,能够及时处理和排除各种故障,对电梯进行日常性的维护保养。

2. 建立严格的检查保养制度,定期进行日检、月检、季检、年检和各种临时检查。每天要求对机房进行清扫和巡视检查,及时发现和排除各种不正常现象。保持厅门清洁,避免门槽中落有杂物影响门的正常开合。每日司机应先试运行电梯并写好交接班记录。

每月应对电梯的主要安全装置进行检查,对各润滑部位视需要进行补油。在季度检查中,要对曳引机、导向轮、曳引绳、轿顶轮、导靴、门传动系统、电磁制动器、安全钳等限速装置、各种接触器和电路接线端子进行全面视察,进行必要的调整。如果电梯停运较长时间或发生了可能危及电梯正常运行的其他事故和灾难,也必须对电梯进行全面检查才允许投入运行。

3. 制定维护保养的工作规程。进行季度检查和年度检查应由 2 人以上进行,以确保工作的安全可靠。电梯在检修和加油时,应在基站悬挂停运指示牌。在做检修运行时,不允许载客、载货。进入底坑检查时,应将底坑检修箱的急停开关断开,进行轿顶检查则需将安全钳或轿顶检修箱的急停开关断开。

检修的工作照明灯应使用安全电压。严禁维修人员在井道外探身到轿顶或处于厅门与轿门之间进行工作。在开启厅门的情况下,若轿厢以检修速度运行时其上离厅门踏板的距离不应超过  $0.4\text{m}$ 。

## (三) 使用时注意事项

### 1. 平时使用

专职司机在开启厅门进入轿厢前,应看清轿厢是否确实停在该层。有司机操纵的电梯必须由专职司机操纵,司机离开时应关闭轿厢开关并关闭厅门。应保证电梯在额定载重范围内工作,对无超载保护装置电梯,更应小心。客梯不应做货梯使用。轿厢内不允许装运危险品,包括易燃易爆品,凶猛动物等。不要在轿



厢内做各种剧烈运动,不要靠门,轿厢停靠层站时不允许停留在轿厢和厅门之间。司机在每日工作完毕后应将电梯返回基站,断开轿厢电源并关好厅门。

### 2. 故障状态

电梯出现不正常情况时应予以足够的重视,不可粗心大意。如电梯门关闭但不能启动应首先按下开门按钮,如门打开,表示门锁未能关闭,电梯控制电路没有接通,此时可重复关门动作,如不见效果,应通知维修人员。如果不能打开电梯门,则要按急停按钮,断开电梯控制电路,用人工打开轿厢门,电梯停运并通知维修人员。

### 3. 危险时刻

当电梯失去控制,按下急停按钮也无济于事时,梯内人员应保持冷静,不要打开轿门,盲目跳出轿厢。如果电梯在行驶中突然停车时,轿厢内人员应用警铃、电话等联系设备通知维修人员。由维修人员在机房设法移动轿厢到附近厅门口,然后按下急停按钮,用人工开门撤离轿厢。当电梯在安全钳动作停车时,应用电话通知维修人员并按下急停按钮。在机房中用人工驱动曳引机使轿厢移动时,必须断开电动机电源。

## (四) 电梯修理计划的制订与实施

电梯的修理目的在于恢复电梯的工作性能和各项技术指标。修理指修复电梯整机和各部分工作能力而采取的整套措施。修理时,进行个别零件和部件的修复或更换,并给予安装和校正。电梯修理分为小修、中修、大修和急修,定期检查按需修理,保证电梯安全可靠运行。

项目划分为小修、中修、大修和急修 4 种。

例如小修是最基本的修理,其目的在于消除电梯使用过程中因零件磨损或操作保养不当造成的局部损失,从而维持电梯的正常运行。一般电梯实际运行 800 ~ 1000h 后安排一次小修,具体内容包括调整电磁制动器和减速器两方面。调整电磁制动器指合闸时闸瓦与制动轮应接触平稳无剧烈震动或颤动,松闸间隙符合要求。更换断裂的闸瓦瓦托或磨损超限的瓦衬。重新作电气调整,消除线圈过热情况,更换有裂纹的制动臂、弹簧、紧固连接螺栓等。

关于减速器要求检查减速器的蜗轮与蜗杆的啮合及磨损情况,用手感检查蜗轮齿侧间隙,检查主轴及套筒的轴向窜动,更换已经失效的端盖垫片、油封圈或油浸盘片。打开开蜗轮轴承盖,检查轴承保持架、滚动体,如有损坏立即更换。检查曳引轮、轿顶轮、导向轮、对重轮的绳槽磨损情况,用垫片调整各轴的水平角度或调整轴承座向安装位置,使各绳槽对中。检查曳引钢丝绳的磨损和断丝情况,作出详细记录。调整层门门锁的锁沟,用垫片调整间隙使门锁工作正常。若锁沟磨损过量,应补焊修锉成型或更换新钩。调整曳引绳受拉情况,使之受力均匀,必要时可截短曳引绳重做绳头。检查电动机与减速器联轴节的同轴度,对弹性联轴器应检查和更换失效的弹性圈。清洁电气元件上的灰尘,修理或更换已经烧蚀的触头和绝缘下降的导线。调整电梯的平层准确度。

## 第三节 工程装载机运行与维修

装载机是一种多用途和高效率的工程机械,它的工作装置有铲斗、推土板、吊钩等,需要时可以方便的更换。可从事砂石、泥土等散状物料的装卸和短距离运输、推土、平地及铲挖、起重、牵引等作业。具有液力机械传动、液压换档、前后桥四轮驱动、铰接式车架、全液压转向和气顶油钳盘式制动等特点。下面以 ZLM-30 轮式装载机为例作简要介绍。

### 一、电气系统

#### (一) 蓄电池组

本机使用 6Q-120 型 12V 蓄电池二组,串联连接,第一组蓄电池负极和第二组蓄电池正极相连,第二组

蓄电池负极经电源刀开关搭铁,第一组蓄电池正极(即正极)经钥匙开关,接到熔断器,然后连接到用电设备。蓄电池正极同时用粗导线直接接到起动电动机,从而合上电源刀开关,打开电锁后,即可给用电设备供电。

蓄电池使用中应注意事项:

1. 安装在车架后部两侧的蓄电池,必须固定牢靠,以免在行驶中颠簸损坏,与蓄电池极柱相连接的接线头必须紧密连接。

2. 经常保持蓄电池外部清洁干燥,以免漏电。

3. 注液孔塞子必须拧紧,以免振动时电解液溢出,并要保持塞子上透气孔畅通。

4. 每隔 10~15 天检查蓄电池内电解液高度,液面应高出极板 10~20cm,如果液面低落应补充蒸馏水,不能补充硫酸电解液。

5. 如果蓄电池耗电太多,而使电解液密度下降较多,如低于 1.18 时,应立即进行充电,或拆下充电,不能长久放置,以免极板硫化损坏。

6. 蓄电池上不能放置金属物品,以免造成短路。禁止用旋具等金属工具或导线直接在蓄电池极柱上,用短路产生火花的方法来检查蓄电池是否有电,以免烧坏蓄电池极柱以及使蓄电池容量损失较多。

7. 在电气系统上进行任何工作之前,或拆下蓄电池线的时候,为避免短路或着火,应先打开电源刀开关。

## (二) 硅整流发电机和调压器

安装的 JF12 型硅整流发电机和 FT211 调节器,发电机在正常情况下,一边向蓄电池充电,同时向用电设备供电。硅整流发电机和调节器维护使用注意事项:

1. 发电机要求蓄电池必须负极接地,不可接反,如果接反蓄电池将通过二极管成短路状态放电,使发电机中的二极管立即烧坏,并将有关线路也烧坏。

2. 调节器上标有“点火”、“磁场”接线柱,其接线不能接反,不然调节器由于频繁断开负荷电流使接点烧坏,调节器毁损。

3. 发电机在运行中不允许用发电机“电枢”接线柱与外壳短接一下,看是否有火花的办法来检查发电机是否发电,以免烧坏二极管。

4. 不要将发电机“磁场”接线柱搭铁,以免烧坏调节器。

5. 检查发电机绝缘性能时,若使用 220V 交流电或兆欧表,应将二极管引线与各部分连接处分开,否则只能使用万用表高阻档来检查。

6. 发电机使用 1200h 左右,应拆开发电机检修一次。

(1) 清洗发电机外部及内部,除去油污。

(2) 清洗检查轴承、集电环,轴承如有松动应更换,滑环用 0 号砂布打光。

(3) 检查电刷磨损情况,磨损较多应更换。

(4) 检查电刷架是否良好,与外壳是否绝缘,电刷弹簧失去弹性应更换。

(5) 逐个检查二极管,用万用表高阻档进行检查,正向电阻为  $10\Omega$  左右,反向电阻为  $10k\Omega$  以上为正常值,若正反向阻值相近或相差极大,说明二极管已损坏应更换。

(6) 检查内部各接线头接触是否可靠。

(7) 调节器有故障应打开外盖,检查触点有无烧蚀,若有轻度烧蚀,可用砂纸打磨光,若调压器电压过低,应重新调整,间隙大小应按规定调整。

## (三) 起动电机

柴油机起动电机型号为 ST614,起动电机起动系采用电机附带的电磁开关进行起动。

起动电机在使用时应注意事项:

1. 经常检查接线是否良好,接线螺钉是否紧固。

2. 使用中应保持清洁,避免水汽浸入。

3. 起动电机应定期进行保养,可在机器修理时结合进行,用汽油擦净内部油污,用砂纸打磨换向器和电磁开关触点。

## (四) 灯光装置

装载机配有前后大灯、工作灯、前小灯、尾灯、前后转向灯、刹车灯、倒车蜂鸣器、驾驶室顶灯、仪表盘照明灯、转向指示灯、刹车指示灯等。

# 二、运行与维修

## (一) 试运行

新的装载机必须先经过 50h 的试运转,并在 50h 以内逐渐增加负荷,使装载机各部分的零件相互磨合。在试运转期间必须细心驾驶,经常检查和换油,否则就会引起零件的迅速磨损,甚至损坏。

### 1. 试运转前的准备工作

- (1) 检查机器各部分安装是否牢固,附件是否齐全,有无损坏。
- (2) 检查各操纵手柄连接有无松动,杆系损坏等情况。
- (3) 检查燃油、冷却、制动、变矩器和变速箱及液压和气压系统中的所有管路及接头有无松动和损伤。
- (4) 检查发动机和传动带的张紧是否合适。
- (5) 检查轮胎充气是否合乎规定压力。
- (6) 检查蓄电池的电解液和接线头。
- (7) 按规定牌号、数量加满润滑油、水和燃料。

### 2. 无载荷运转(前 5h)

(1) 各操纵杆放在中间位置,拉紧手制动,使发动机空转 1h,前 0.5h 以 800~1000r/min 运转,然后再加速至正常转速运转 0.5h,检查各仪表指示及声音是否正常。

(2) 松开手制动,依次从 I、II、III 档前进、后退走合各 1~1.5h,经常平稳地转向和操纵工作位置,检查工作位置动作是否正确,各系统有无漏水、漏油现象,检查制动是否可靠,转向是否灵活,各种仪表读数是否正常,灯光和转向信号是否正常。

(3) 5h 走合后,按规定进行保养,全面检查各部分螺栓、螺母紧固情况,并清洗发动机机油滤清器和燃油滤清器。

### 3. 50% 额定载荷试运转(5~30h)

- (1) 起重量为额定量的 50%,发动机可以在额定转速下运转。
- (2) 进行抓举或铲装的动作不得过急过猛。
- (3) 试运转中和运转后,应定期进行保养检查。
- (4) 要清洗液力变速系统,工作液压系统和发动机的滤油器及空气滤清器。

### 4. 70%~80% 额定载荷试运转(30~50h)

- (1) 经过前 20h 试运转,检查装载机正常,即可增加 70%~80% 额定载荷进行各种工作。
- (2) 试运转中应严格执行定期技术保养规定,50h 结束后进行一次全面检查。
- (3) 更换发动机机油,并用柴油清洗发动机的润滑系统和空滤芯,更换变矩器、变速箱及油路系统中的用油,清洗滤清器,更换工作液压系统用油,清洗滤油器,清洗前后桥箱及轮边减速箱,更换新油。
- (4) 50h 试运转期满,经检查认为各部正常后,才允许按规定装载量进入正常工作阶段。
- (5) 在试运转中作好记录,如发现有不合格的情况或不能处理的技术问题,可与厂方联系解决。

## (二) 安全操作

(1) 起动工作之前,应按规定进行车辆检查和做好准备工作,如发现部件有故障,应进行修复,否则不应出车。

(2) 起步或操作前,应观察车辆周围有无人员和阻碍行车的材料,同时鸣喇叭发出信号。

(3) 发动机在运转时,不要去检修和保养车子,确实需要在发动机运转情况下进行检查时,车上必须由熟练的驾驶员监视。

- (4) 发动机在运转时, 车子的前后轮胎之间、动臂与前车架之间、铲斗里、抓具上严禁站人。
- (5) 装载机在行驶时, 禁止任何人上、下车。
- (6) 装载机在行驶时, 除驾驶室以外, 任何地方不得乘坐人员。
- (7) 装载机在行驶时, 应避免不适当的高速与急转弯, 特别是在道路条件不好或山区路窄、坡陡、弯多的情况下行驶时, 只允许用 I、II 速, 在平直公路上行驶时用 III 速。
- (8) 下坡行驶时, 严禁发动机熄火脱档滑行, 否则液压转向失灵, 将造成重大行车事故。
- (9) 装载机在进行装卸等作业时, 只宜使用 I 速, 绝不允许车子用高速向料堆冲去。
- (10) 作业时严禁人员在举起臂和抓具或铲斗下站立或走动。
- (11) 抓举或铲运时, 应避免物料过多地偏重一侧及提升到最高位置运输物料。如有障碍必须举升通过时, 应细心驾驶, 通过后立即将动臂降低到离地面 400mm 左右的正常运输位置。
- (12) 在检修发动机时, 电气系统应先切断电源, 可拉开接地开关或拆下蓄电池接地线。
- (13) 工作完毕离开驾驶室前, 要将铲斗或抓具放到地面并关掉发动机, 拉下电源开关。

### (三) 使用

#### 1. 起动

- (1) 应进行出车前的检查后, 方可进行起动。
- (2) 将方向操作手柄和液压操纵杆放在中间位置, 手制动操纵杆放在制动位置。
- (3) 将电动钥匙插入电门开关, 顺时针方向转到接通位置。
- (4) 油门踏板踏下一半, 将起动开关钥匙顺时针方向转到起动位置, 接通起动机, 柴油机即可起动, 应注意发动机起动后, 应立即松开起动开关, 以免打坏齿轮, 烧坏起动机。
- (5) 每次起动时间不应超过 10s, 起动间隔时间为 2min, 如连续数次起动失败, 应检查并找出故障原因, 排除后方可起动。

(6) 起动后逐渐加大油门, 使发动机在 800 ~ 1000r/min 的转速下, 进行预热运转, 同时对储气筒充气, 应注意在发动机变热和仪表显示读数达到正常以前, 不要让它进行高转速和满负荷运转, 特别是在冬天更要如此。

(7) 冬天起动困难时, 应对柴油机预热进气, 将起动开关逆时针转至预热位置再起动, 如连续数次起动失败, 要向散热器加注 70 ~ 90℃ 的热水, 必要时将规定机油加热至 60 ~ 100℃ 后注入壳内油底, 再进行起动。

#### 2. 起步

(1) 发动机起动后, 空运转 5min 左右, 进行预热, 当水温、油温达到 45℃ 以上时, 检查各仪表读数均为正常状态即可起步工作。应注意在刹车气压表未达到 0.6MPa 之前, 不要起步。

- (2) 将铲斗或抓具升至运输位置(离地面 400mm)。
- (3) 松开手制动操纵杆。
- (4) 根据地面和作业情况, 将档位操作杆推到需要的档位。
- (5) 将方向操纵杆拉到前进或后退位置。
- (6) 鸣喇叭、起步行驶。

#### 3. 换档

(1) 由于采用了液力变矩器, 可进行无级调速, 在行驶中遇到阻力或坡度时, 机器可自行减速。同时增大牵引力以克服阻力, 因此不需要经常换档。相反, 为了减少机器的磨损和动力中断, 要尽量避免不必要的换档。

(2) 在条件较好的公路上行驶时, 可选用 III 速; 在山区公路上行驶时, 选用 II 速; 在越野和装载作业时, 以及在坡陡、弯急的恶劣条件下行驶时, 应使用 I 速。

(3) 由于采用液压换档, 换档时必须将发动机转速调至 1000r/min 左右, 达到换档平稳。

(4) 变换前进、后退方向时, 也应将发动机转速调至 1000r/min 左右, 踩刹车, 并在停车后进行换向, 否则变速箱要受到剧烈的冲击力。

(5) 换档时, 要注意观察离合器压力表所示压力是否正常。

4. 转向, 使用的全液压转向器与一般机械转向操纵相似, 但须注意发动机转速降低时, 转向油泵供油量

减少 转向速度也要受影响 特别是发动机熄火 转向油泵不供油 此时转向操作就会失灵 因此在急转弯时 必须使用低速档( I 档 ) 同时发动机转速不能过分减低 特别要防止熄火。

#### 5. 停车与熄火

- (1) 降低发动机转速并踩下脚制动踏板即可停车。
- (2) 将方向操纵杆拉到中间位置 将手制动操纵杆拉紧。
- (3) 需要熄火时 发动机转速应降至 500 ~ 800r/min 的情况下运转一段时间 然后再拉出停车拉手 发动机即可熄火。
- (4) 熄火后 铲斗或抓具应放平到地面 操纵手柄放到中间位置 开关钥匙转回到断开位置 并取下钥匙。
- (5) 气温低于 - 10℃ 时 间隙时间内不要停车 作业后停车应放净冷却水。

### (四) 常见故障与处理

#### 1. 柴油机起动不起来

- (1) 蓄电池电力不足 应进行充电。
- (2) 电气线路接头脱落 应检查后接好。
- (3) 起动电机有故障 齿轮不转或转动无力 应拆下检查并调整起动电机或进行更换。
- (4) 燃油箱内柴油少 应补充新油。
- (5) 柴油机故障 应检查柴油机故障并排除。

#### 2. 发电机不发电或充电电流很小(指蓄电池充电未充足情况)

- (1) 传动带过松打滑 应调整传动带松紧度。
- (2) 调节器故障 应在柴油机低速运转时 将调节器二个接线端子“点火”及“磁场”用导线短接一下 看断开火花 如出现火花 而且电流表示为充电 证明调节器有故障 须更换。

#### (3) 发电机故障

1) 用直流电压表检查发电机是否发电 电压表( + )接发电机“电枢”接线柱 电压表( — )搭发电机外壳 发动机运转时 电压表指示电压为 28V 左右 说明发电机工作正常 如果电压表读数不变 说明发电机不发电。

2) 用灯泡检查发电机是否发电 先将接到发电机“电枢”接线柱上的导线拆下 然后将车上灯泡(如仪表盘照明灯)的火线接“电枢”接线柱 另一接线端不需再接(已搭铁) 发动机低速运转时灯泡点亮 表示发电机发电 如不亮则发电机不发电 发电机有故障应拆开修复。

#### 3. 蓄电池的电消耗快

- (1) 开车时钥匙长时间不在“接通”位置上 应注意转到“接通”位置上。
- (2) 电路漏电 应找出漏电处进行修理 并保持蓄电池表面清洁干燥。
- (3) 装载机工作循环时间太短 而蓄电池充电不足 应做些辅助工作让蓄电池充电或拆下进行充电。

#### 4. 柴油机起动困难

- (1) 蓄电池电力不足 应充电或更换蓄电池。
- (2) 起动电动机接线头松动 应将螺钉拧紧。
- (3) 电刷磨损过多或接触不良 应检修或更换电刷。
- (4) 起动开关损坏 应更换开关。
- (5) 线路上有断路或接触不良现象 应检查修复。

#### 5. 电流表指针摆动过大

- (1) 发电机电刷接触不良 应拆下修复。
- (2) 调节器触点烧毛接触不良 应拆下修复。

#### 6. 充电电流过大

- (1) 调节器调节电压过高 应重新调整到规定范围。
- (2) 调节器触点烧坏 应拆开检修或更换。
- (3) 调节器线圈末端脱落失去调节作用 应打开调节器重新焊牢。

#### 7. 喇叭不响

- (1) 喇叭继电器接点烧坏,应更换。
  - (2) 喇叭线圈烧断,应检修或更换。
  - (3) 线路故障,应检查修复。
8. 转向灯不亮,线路故障,应检查熔丝、闪光器及灯泡。
9. 其他照明灯及指示灯不亮,线路故障,应检查熔丝、灯泡、线路并进行修复。

## 第二十章 接地防雷装置安装与维护

### 第一节 雷电的危害与防雷措施

#### 一、雷电及其危害

雷云放电称为雷电。大气中的饱和水蒸气在上、下气流的强烈摩擦和碰撞下,形成带正、负不同电荷的雷云。当带电的云块临近地面时,由于静电感应,大地感应出与雷云极性相反的电荷,两者就组成了一个巨大的“电容器”。当云中电荷密集处对地的电场强度达到  $25 \sim 30 \text{ kV/cm}$  时,就会使周围空气的绝缘击穿,云层对大地便发生先导放电。当先导放电的通路到达大地时,大地上的电荷与雷云中的电荷就产生强烈的中和,出现极大的电流,这就是所谓的主放电阶段。主放电存在的时间极短,约  $50 \sim 100/\mu\text{s}$ ,但放电电流异常强大,可达数千安至数百千安,放电时温度可达  $20000^\circ\text{C}$ ,放电瞬间出现耀眼的闪光和震耳的轰鸣。

有时雷云很低,周围又没有带异性电荷的雷云,就会在地面的凸出物上感应出异性电荷,继之可能造成雷云与地面凸出物之间的放电,引起强大的电流导入大地,这就是通常所说的直击雷。

在雷云放电的附近,还有雷电感应,分为静电感应和电磁感应两种。静电感应是由于雷云放电前在地面凸出物的顶部感应出大量异性电荷。在雷云放电后,凸出物顶部的电荷顿时失去束缚,凸出物顶部对地呈现很高的电压,电荷以极高的速度流回地中。电磁感应是由于雷击时,巨大的雷电流在周围空间产生迅速变化的强大电磁场,这种电磁场也会在附近的金属导体上感应出很高的电压。

直击雷和雷电感应伴随出现的极高电压和极大电流,具有很大的破坏力,其破坏作用是多方面的。

##### (一) 电作用的破坏

雷电的数十万伏乃至数百万伏的冲击电压可能毁坏电气设备的绝缘,造成大面积、长时间的停电事故。绝缘损坏引起的短路火花和雷电的放电火花还可能引起火灾和爆炸事故。电气绝缘的损坏以及巨大的雷电流流入地下,在电流通路上产生极高的对地电压和在流入点周围产生的强电场,还可能导致人身触电伤亡事故等等。

##### (二) 热作用的破坏

热方面的破坏作用,主要表现在巨大的雷电流通过导体,在极短的时间内转换成大量的热能,造成易燃品的燃烧或造成金属熔化飞溅而引起火灾或爆炸。如果雷击在易燃物上,更容易引起火灾。

##### (三) 机械作用的破坏

巨大的雷电流通过被击物时,瞬间产生大量的热,使被击物内部的水分或其他液体急剧气化,剧烈膨胀为大量气体,致使被击物破坏或爆炸。此外,静电作用力和电动力也具有很强的破坏作用。雷击时的气浪也有一定的破坏作用。

以上的破坏作用是综合出现的,其中尤以伴有爆炸和火灾最为严重。

## 二、防雷措施

防雷包括电力系统的防雷和建筑物与其他设施的防雷。根据不同保护对象的危险程度和重要性,对于直击雷、雷电感应和雷电侵入波均应采取各自相应的防雷措施。

### (一) 直击雷的防护

装设避雷针、避雷线、避雷网、避雷带是防护直击雷的基本措施。这些避雷装置由接闪器、引下线和接地装置组成。

1. 接闪器。高耸的针、线、网、带都是接闪器。接闪器高于被保护设施而更接近雷云,在雷云对地面放电前,接闪器在电场的作用下,上面积累了大量的异性电荷,它们与雷云之间的电场强度超过附近地面被保护设施与雷云之间的电场强度。放电时,接闪器承受直接雷击,强大的雷电流通过引下线和接地装置泄入大地,使被保护设施免遭直接雷击。

2. 接地引下线。它是接闪器与接地装置之间的连接线,它将接闪器上的雷电流安全地引入接地装置,使之尽快地泄入大地。

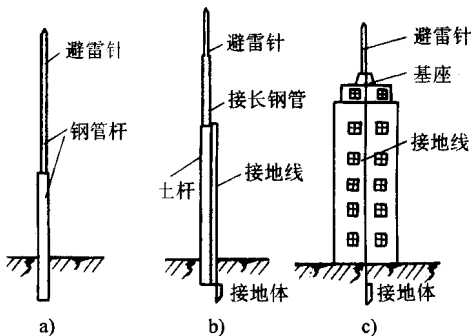
3. 接地装置。接地装置是埋在地下的接地导线和接地体的总称,其作用是将雷电流直接泄入大地。

避雷针(线、网、带)等都有一定的保护范围。所谓保护范围是指保证被保护物不会受雷击的空间。被保护物应完全置于避雷针(线、网、带)的保护范围内,才能避免遭受直接雷击。

避雷装置承受雷击时,在雷电流通道上呈现的很高冲击电压,可能击穿与之邻近的导体之间的绝缘而发生放电,这就叫做反击。反击可能导致火灾事故和爆炸事故。为了防止反击事故的发生,必须保证接闪器、引下线、接地体与邻近的设施之间保持一定的距离。作为建筑物或构筑物上的避雷装置,如不能保证要求的最小距离时,为防止其对不带电体产生反击,往往把邻近的不带电金属导体与避雷装置连接起来,即采取等化其间电位的方法。

4. 避雷针。专用来接受雷云放电,称为受电尖端。通常采用直径不小于20mm、长为1~2m的镀锌圆钢,或采用直径不小于25mm的厚壁镀锌钢管制作。圆钢或钢管的头部制成针尖状。

图 20-1 避雷针



a) 落地全金属体避雷针 b) 落地混凝土电杆避雷针 c) 避雷针装在建筑物顶部

避雷针一般应

用于各级变电站、危险品库房,作为输变电设备和建筑物的防雷保护装置。避雷针的一般结构和安装形式,如图 20-1 所示。

单根避雷针的保护范围如图 20-2 所示,避雷针对地面的保护半径  $r = 1.5h$  ( $h$  为避雷针高度)。从针的顶点向下作  $45^\circ$  角的斜线旋转一周形成的曲面内,构成锥形保护空间的上部;从距针的底部两边各  $1.5h$  处向上作斜线,与上述  $45^\circ$  角斜线相交,交点(为  $h/2$ )以下的斜线旋转一周形成的曲面内,构成了锥形保护空间的下部。

如果用公式表达保护空间,则在被保护物高度  $h_x$  的  $x-x$  平面上,保护半径  $r_x$  为:

$$\text{当 } h_x \geq h/2 \text{ 时, } r_x = (h - h_x)P$$

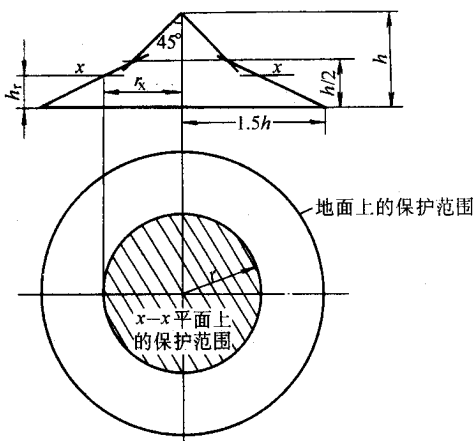


图 20-2 单根避雷针的保护范围



当  $h_x < h/2$  时,  $r_x = (1.5h - 2h_x)P$

式中  $P$  是与避雷针高度有关、由运行经验确定的修正系数。当  $h \leq 30m$  时,  $P = 1$ ; 当  $h > 30m$  时,  $P = 5.5/\sqrt{h}$ 。

独立的避雷针应有自己专用的接地装置,接地电阻应小于  $10\Omega$ 。接地装置与其保护物地下导体(接地体)之间的地中距离,不宜小于  $3m$ 。

5. 避雷线。避雷线的功用和避雷针相似,主要用来保护电力线路,通常用在  $35kV$  以上的高压架空线路上,这时的避雷线也叫架空地线,如图 20-3 所示。避雷线采用镀锌钢绞线制作。

6. 避雷带和避雷网。避雷带和避雷网主要用于工业和民用建筑物对直击雷的防护,其保护范围无需进行计算。避雷网的网格大小可根据具体情况选择。对于工业建筑物,根据防雷的重要性可采用  $(6m \times 6m) \sim (6m \times 10m)$  的网格或适当距离的避雷带;对于民用建筑物,可采用  $6 \sim 10m$  的网格。应当注意,不论是什么建筑物,对其屋角、屋脊和屋檐等易受雷击的凸出部位都应装设避雷带。

### (二) 雷电感应的防护

雷电感应(特别是静电感应)也能产生很高的冲击电压。在电力系统中应与其他过电压情况同样考虑。在建筑物和构筑物中,主要应考虑放电火花引起的爆炸和火灾事故。

为了防止静电感应产生的高电压,应将建筑物内的金属设备、金属管道、结构钢筋等进行接地,接地装置可以和其他接地装置共用,接地电阻应在  $5 \sim 10\Omega$  以内。建筑物在采取防静电感应的措施时,对于金属屋顶,应将屋顶妥善接地;对于钢筋混凝土屋顶,应将屋面钢筋焊成  $6 \sim 12m$  的网格,连成通路并予以接地;对于非金属屋顶,应在屋顶上加装边长为  $6 \sim 12m$  的金属网格,并予以接地。

为防止电磁感应,平行管道相距不到  $100mm$  时,每  $20 \sim 30m$  须用金属线跨接;交叉管道相距不到  $100mm$  时,也应用金属线跨接;管道与金属设备或金属结构之间距离小于  $100mm$  时,也应用金属线跨接。此外,管道接头、弯头等接触不可靠的地方,也应用金属线跨接,其接地装置也可和其他接地装置共用,接地电阻应不大于  $10\Omega$ 。

雷电感应的防护措施主要是针对有爆炸危险的建筑物和构筑物,其他建筑物和构筑物一般不作考虑。

### (三) 雷电侵入波的防护

当架空线路或管道遭到雷击时,雷击点要产生高电压,如果雷电荷不能就地导入地中,高电压将以波的形式沿着线路或管道传到与之连接的设施上,危及设备和人身安全。沿线路或管道传播的高压冲击波叫做侵入波,雷电侵入波造成的危害事故很多,所以必须对雷电侵入波采取防护措施。防护雷电侵入波的措施有:

1. 装置避雷器。安装避雷器是防雷电侵入波的主要措施。避雷器装设在被保护物的引入端,如图 20-4 所示,其上端接在线路上,下端接地。正常时,避雷器的间隙保持绝缘状态,不影响系统运行。当遭受雷击,有高压冲击波沿线路袭来时,避雷器间隙击穿而接地,从而强行切断侵入冲击波。这时,能够进入被保护物的电压,仅为雷电流通过避雷器及其引下线和接地装置后的残压。雷电流通过以后,避雷器间隙又恢复绝缘状态,以便系统正常运行。

避雷器有管型避雷器、阀型避雷器和磁吹避雷器,其中以阀型避雷器使用最广泛。阀型避雷器由装在瓷套内的一组串联的火花间隙和一组串联的阀型电阻盘组成。火花间隙组是由多个单间隙串联组成的,每个单间隙由上、下黄铜电极构成,电极中间用  $0.5 \sim 1mm$  厚的云母垫片隔开,每个单间隙的击穿电压为  $2.5 \sim 3.0kV$ (有效值),其结构如图 20-5a 所示。阀型电阻盘(阀片)是由金刚砂(碳化硅)颗粒和水玻璃混合后,经模型压制成饼状,在低温下焙烧而成,它是一个非线性电阻,阻值随电流的大小不同而变化。 $10kV$  阀型避雷器的结构形状如图 20-5b 所示。

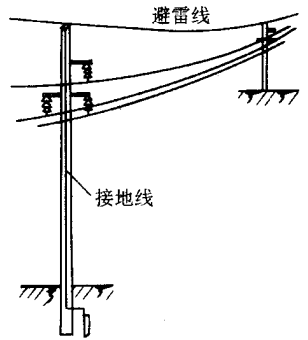


图 20-3 避雷线

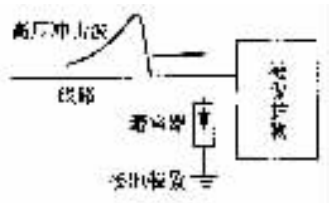


图 20-4 避雷器的装设

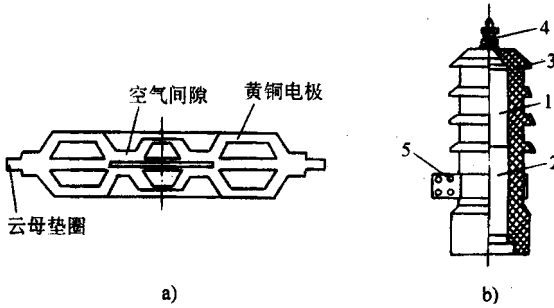


图 20-5

a) 火花间隙的结构 b) 10kV 阀型避雷器的结构

1 - 火花间隙 2 - 阀型电阻片

3 - 瓷套 4 - 接线鼻 5 - 抱箍

高压冲击波袭来时，避雷器的火花间隙被击穿，巨大的雷电流通过电阻阀片只遇到很小的电阻便被很快地泄入地中，进入被保护物的只是不大的残压，因此被保护物可免遭危害。而随之而来的工频电流在电阻阀片上将遇到很高的电阻，有限的工频电流很快被火花间隙阻断，系统恢复正常工作。

避雷器按使用处的电气设备额定电压选择，架空线路终端及变配电装置的母线上都需装置避雷器进行保护。避雷器的接地可与电气设备共用接地装置，接地电阻应不大于  $5 \sim 10\Omega$ 。安装避雷器时应尽量靠近被保护物。

管型避雷器由产气管、内部间隙和外部间隙三部分组成，如图 20-6 所示。产气管可用纤维、有机玻璃或塑料制成，内部间隙  $s_1$  装在产气管内部，一个电极为棒形，另一个电极为环形，外部间隙  $s_2$  装在管型避雷器与带电的线路之间，正常情况下它将管型避雷器与带电线路绝缘。

当线路上遭受雷击时，大气过电压使管型避雷器的外部间隙和内部间隙击穿，雷电流通入大地。接着电力系统的工频电流在管子内部间隙处发生强烈电弧，使管子内壁材料燃烧，产生大量灭弧气体。由于管子容积很小，这些气体的压力很大，因而从管口喷出，强烈吹弧，在电流经过零值时，电弧熄灭，外部间隙  $s_2$  的空气恢复绝缘，系统恢复正常运行。

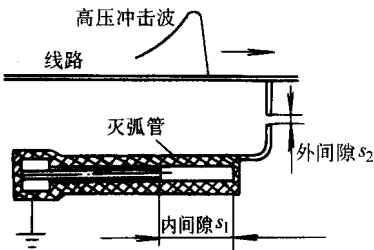


图 20-6 管型避雷器的构造

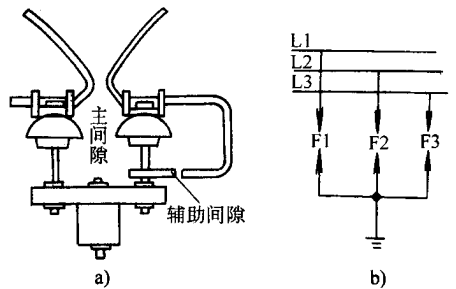


图 20-7 保护间隙

a) 外形 b) 电路图

保护间隙是较简单的防雷设备，它由两个金属电极构成，其中一个电极固定在绝缘子上，而另一个电极则经绝缘子与第一个电极隔开，并使这一对空气间隙之间保持适当的距离，如图 20-7a 所示。固定在绝缘子上的电极的一端和带电部分相连，而另一个电极则通过辅助间隙与接地装置相连接，其电路图如图 20-7b 所示。

在正常运行的情况下，间隙对地是绝缘的，而当架空电力线路遭受雷击时，间隙的空气被击穿，将雷电流泄入大地，使线路绝缘子或其他电气设备的绝缘件上不致发生闪络，从而起到了保护作用。

保护间隙结构十分简单,成本低,维护方便,但保护性能差(灭弧能力弱)。所以,只有在缺少阀型避雷器或管型避雷器的参数不能满足要求时,才采用保护间隙来代替。

2. 接地。接地可以降低雷电侵入波的陡度。在架空管道进户处及邻近的 100m 内,采取 1~4 处接地措施,可防止沿架空管道传来的雷电侵入波,接地体可与附近的电气设备接地装置合用,接地电阻应不大于  $10 \sim 30\Omega$ 。

容易遭雷击的较重要的低压架空线路,除使用避雷器外,还辅以接地来保护。即将进户处的绝缘子铁脚接地,降低绝缘,在雷电侵入波袭击时,使雷电流入户前即全部泄入地中,以保护室内人身和设备的安全。

## 三、防雷装置的运行维护

为了确保被保护的设备、建筑物、构筑物防雷的安全可靠,使被保护的设施正常运行,要对运行中的防雷装置进行巡视检查和维护,并进行定期检修和试验。

防雷装置的巡视检查包括外观检查和测量两个方面。10kV 以下的防雷装置每三年检查一次。但每次雷雨,应进行特殊巡视。避雷器应在每年雷雨季节前检查一次。

外观检查主要包括检查接闪器、引下线等各部分的连接是否牢固可靠,检查各部分腐蚀和锈蚀情况,若腐蚀和锈蚀超过 30%,应进行更换。阀型避雷器应检查瓷套有无裂纹、破损,表面是否清洁等,管型避雷器应检查表面有无裂纹、闪络和烧伤痕迹,排气孔有无杂物堵塞,排气孔的正前方是否有障碍物阻挡等,保护间隙应检查间隙距离有无变动,间隙有无被鸟巢或冰雪堆积而存在发生短路的可能,支持电极的绝缘子有无闪络放电痕迹等。

测量检查有避雷器的测试和接地电阻测量。避雷器的测试包括绝缘电阻测量、泄漏电流测量、工频交流放电电压的测试(只对 FS 型避雷器进行)。

## 第二节 接地装置安装

电气设备的任何部分与土壤之间作良好的电气连接,称为接地。接地是利用大地为电力系统正常运行、发生故障和遭受雷击等情况下提供对地电流构成回路,从而保证电力系统中各个环节(包括发电、变电、输电、配电和用电的电气设备,电气装置和人身)的安全。

接地按其作用的不同,分为工作接地、保护接地、防雷接地、重复接地等。

### 一、工作接地

在电力系统中,凡是因设备运行上的需要而进行的工作性质的接地,即叫做工作接地。工作接地可直接接地或经过一些专门装置(如消弧线圈、击穿熔断器等)与大地相连接。

配电变压器低压侧中性点的接地,能为低压线路或低压用电设备发生对地短路时提供回路,使线路上的保护装置(如熔断器等)迅速动作,及时切断对地短路电流,从而保证设备和人身的安全。避雷器的接地,能使雷电流迅速泄入大地,使设备免遭破坏,这些都是为了运行上的需要而进行的接地。工作接地的示意图如图 20-8a 所示。

## 二、保护接地和保护接零重复接地

### (一) 保护接地

电气设备的金属外壳由于绝缘损坏而有可能带电,为了防止这种情况危害人身安全,将正常情况下不带电的金属外壳或构架同接地体相连接,这种因保护性质需要而进行的接地,叫做保护接地,如图 20-8b 所示。

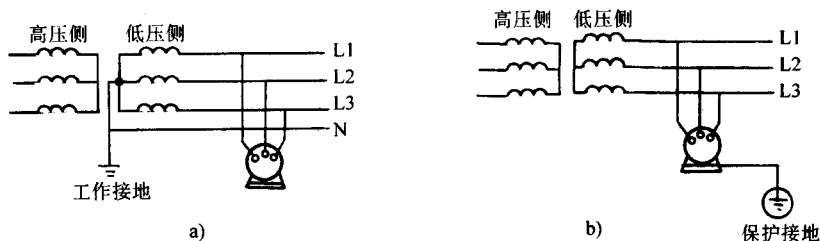


图 20-8 工作接地和保护接地示意图

a) 工作接地 b) 保护接地

在中性点对地绝缘的电网中,带电部分意外碰壳时,接地电流将通过接触碰壳设备的人体、电网与大地之间的电容构成回路,如图 20-9a 所示。流过人体的电流主要是电容电流,在一般情况下,此电流不是很大的。但如果电网分布很广,而且电网绝缘强度显著下降,这个电流有可能达到危险的程度,就需要采取安全措施。如果设备的外壳进行了保护接地,则由于人体的电阻远比接地装置的电阻大,所以带电设备一相碰壳时,人即使接触外壳也没有多大危险。因为电流主要由接地装置分流了,流经人体的电流是非常小的,对人比较安全,如图 20-9b 所示。

### (二) 保护接零

在中性点接地的低压电网中,把电气设备的金属外壳、框架与中性线或中干线(三相三线制电路中所敷设的接中干线)相连接,称保护接零。因为电气设备绝缘一旦损坏而碰壳时,构成“相—中”线短路回路,由于中性线电阻很小,短路电流很大。很大的短路电流将使电路中的保护开关动作或使电路中的保护熔丝熔断,从而切断了电源,这时外壳便不带电,由此防止了触电的可能。

但应该注意的是,用于保护接零的中性线或专用保护接地线上不得装设熔断器或开关;对于同一台变压器或同一段母线供电的低压线路,通常不对一部分设备采用接零保护,而对另一部分设备则采用接地保护,以免当采用接地的设备一旦发生故障形成外壳带电时,将使采用接零的设备外壳均带电。一般具有自用配电变压器的用户,都采用接中性线的保护接零方式。

### (三) 重复接地

为了提高安全性,还可采用重复接地方式,如图 20-10 所示。在中性点直接接地的低压三相四线制系统中,将零线(接地中性线)上的若干点(例如图中 B 点)与大地再次作电气连接。这样,当零线即使在 A 点断开,接地保护也能起到可靠的保护作用。

## 三、接地装置的组成和对接地装置的要求

接地装置是由接地体和接地线两部分组成。埋入地下直接与大地接触的金属导体,叫做接地体(或接地极);将电气设备的接地部位与接地体连接的金属导体,叫做接地线。接地体和接地线的总和,称为接地装

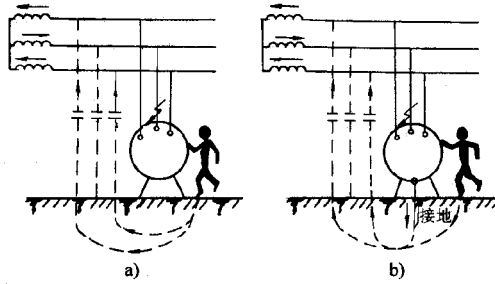


图 20-9 说明保护接地作用的示意图

- a) 没有接地保护的电机 - 相碰壳时  
b) 装有接地保护的电机 - 相碰壳时

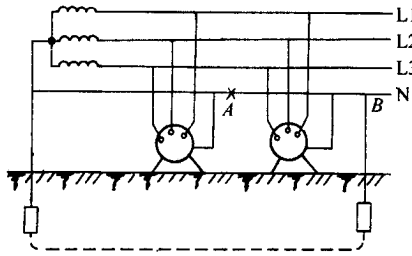


图 20-10 重复接地系统

置。

对接地装置的要求主要有：

1. 接地电阻要小于该设备所要求的接地电阻值。多个设备共用的接地装置，它的接地电阻应以接地要求最高（即接地电阻最小）的设备为标准。
2. 接地体顶端埋设深度应不小于 0.6m，接地体与建筑物的距离不宜小于 1.5m。
3. 垂直接地体的间距不宜小于其长度的 2 倍，水平接地体的间距应根据设计规定，不宜小于 5m。
4. 不得在地下利用裸铝导体作为接地体或接地线，不得使用蛇皮管、保温管的金属外皮或金属网以及电缆金属护层作接地线。
5. 电气装置的每个接地部分应以单独的接地线与接地干线相连接。不得在一个接地线中串联几个需要接地的部分。
6. 低压电气设备地面上外露的接地线的截面积，应不小于表 20-1 所列的数值。

表 20-1 低压电气设备地面上外露的接地线的最小截面积

mm<sup>2</sup>

名称	铜	铝	钢
明敷的裸导体	4	6	12
绝缘导体	1.5	2.5	
电缆的接地芯或与相线包在同一保护外壳内的多芯导线的接地芯	1	1.5	

7. 接地装置宜采用钢材，在腐蚀性较强的场所，应采用热镀锌的钢接地体或适当加大截面积，接触装置的导体截面积应不小于表 20-2 所列的规格。

表 20-2 钢接地体和接地线的最小规格

种类规格及单位		地上		地下
		室内	室外	
圆钢直径( mm )		5	6	8( 10 )
扁钢	截面积( mm <sup>2</sup> )	24	48	48
	厚度( mm )	3	4	4( 6 )
角钢厚度( mm )		2	2.5	4( 6 )
钢管管壁厚度( mm )		2.5	2.5	3.5( 4.5 )

注(1)表中括号内的数值系指直流电力网中经常流过电流的接地线和接地体的最小规格。(2)电力线路杆塔的接地体引出线的截面积应不小于 $50\text{mm}^2$ ,引出线应热镀锌。

### 第三节 接地线的安装

接地线是统称,在具体的接地线路上,它又有接地线、接地干线和接地支线之分。

接地线是接地干线和接地支线的总称。如果仅有一副接地装置而不存在接地支线时,其接地体与设备接地点之间的连接线,叫做接地线,如图 20-11b 所示。

接地干线是接地体与接地体之间的连接导线,或是指一端连接接地体,另一端连接各接地支线分支的连接导线,如图 20-11a、c 所示。

接地支线是接地干线与设备接地点之间的连接导线,如图 20-11a、c 所示。

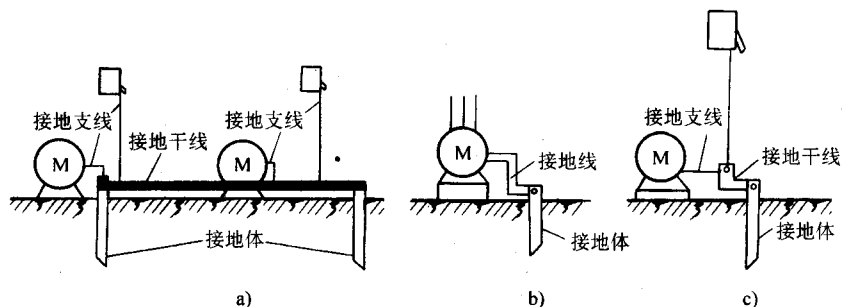


图 20-11 接地线、接地干线和接地支线

a) c) 接地干线和接地支线 b) 接地线

#### 一、工作接地线的选择

应用于输配电系统的接地线,应满足下列规定:

1. 10kV 避雷器的接地支线,宜采用多股导线,可选用铜芯或铝芯绝缘电线和裸导线;也可选用扁钢、圆钢和多股镀锌钢绞线,根据不同要求及使用环境选配,它的截面积不应小于 $16\text{mm}^2$ 。用作避雷针或避雷线的接地线,截面积不应小于 $25\text{mm}^2$ 。接地干线通常用扁钢或圆钢,扁钢的截面积不应小于 $4\text{mm} \times 12\text{mm}$ ,圆钢直径不应小于 $8\text{mm}$ 。

2. 用作配电变压器低压侧中性点的接地支线, 一般应采用裸铜绞线, 截面积应不小于  $35\text{mm}^2$ 。但变压器容量在  $100\text{kVA}$  及以下时, 接地支线截面积可采用  $25\text{mm}^2$ 。避雷器接地干线通常与变压器接地干线共用, 不另规定。变压器的外壳保护接地所用材料和规格要求, 见表 20-3。

表 20-3 保护接地线的截面积规定

 $\text{mm}^2$ 

	接地线类别	最小截面积	最大截面积
铜	移动电具引线的接地线芯	生活用 0.2 生产用 1.0	25
	绝缘铜线	1.5	
	裸铜线	4.0	
铝	绝缘铝线	2.5	35
	裸铝线	6.0	
扁钢	户内: 厚度不小于 $3\text{mm}$	24	100
	户外: 厚度不小于 $4\text{mm}$	48	
圆钢	户内: 直径不小于 $5\text{mm}$	19	100
	户内: 直径不小于 $6\text{mm}$	28	

## 二、保护接地线的选用

1. 保护接地线所用材料的最小和最大截面积, 见表 20-3。

2. 当接地线最小截面积的安全载流量适应不了表 20-3 的规定时, 则接地支线须按相应的电源相线的截面积的  $1/3$  选用, 接地干线须按相应的电流相线的截面积的  $1/2$  选用, 如图 20-12 所示。但接地线的最大截面积不必超过表 20-3 中最大截面积的规定, 因为一般场合的对地短路电流不会超过规定的最大截面积的承受能力。

3. 移动电具的接地支线必须采用铜芯绝缘软线, 不准采用单股铜芯, 也不准采用铝芯绝缘导线, 更不准采用裸导线。

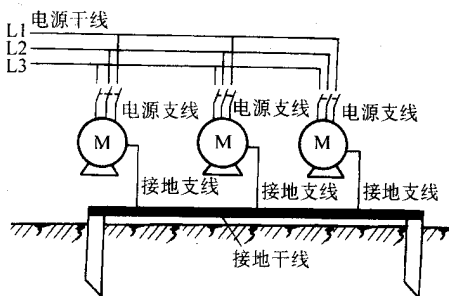


图 20-12 接地干线、支线截面积的选用

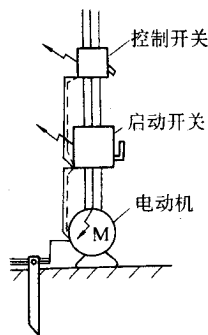


图 20-13 接地干线与接地体连接

a) 角钢顶端装连接板 b) 角钢垂直面装连接板 c) 钢管垂直面装连接板

### 三、接地线的安装技术

接地线的连接应采用焊接,焊接必须牢固无虚焊。连接应采用搭接焊,其焊接长度:扁钢与扁钢连接时,为扁钢宽度的2倍,而且至少焊接三个棱边;圆钢与圆钢连接时,连接长度为圆钢直径的6倍;圆钢与扁钢连接时,其长度为圆钢直径的6倍;扁钢与钢管(或角钢)焊接时,为了连接可靠,除应在其接触部位两侧进行焊接外,并应焊以由钢带弯成的弧形卡子(或直角形镶块),或直接由钢带本身弯成弧形(或直角形)与钢管(或角钢)焊接,如图20-13所示。

有色金属接地线不能采用焊接时,可用螺栓连接,但螺栓连接的接触面应作表面处理(如搪锡等),螺栓两侧都应有垫圈,螺母侧应装有弹簧垫圈或锁紧螺母。

接至电气设备上的接地支线应用螺栓连接,每一个设备接地点必须用一根接地支线与接地干线单独进行连接。切不可用一根接地支线把几个设备接地点串接在一起;也不可把几根接地支线并接在接地干线的一个连接点上,因为万一这个连接点出现松散,而又有一台设备外壳带电时,就会使被连在一起的其他设备外壳也都同时带电,因而会增加触电事故的发生,如图20-14所示。

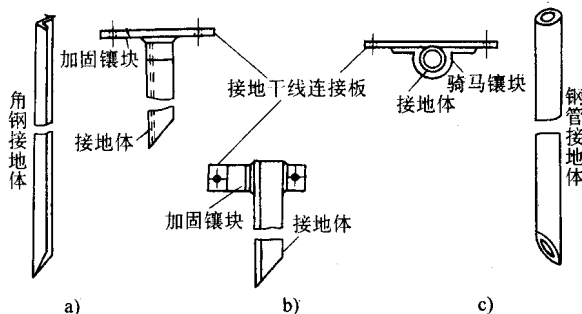


图 20-14 一根接地支线串接多台设备的危害

明敷的接地线,敷设位置要便于检查,且不应妨碍设备的拆卸与检修。支持件间的距离在水平直线部分一般为1~1.5m,垂直部分为1.5~2m,转弯部分为0.5m。接地线沿建筑物墙壁水平敷设时,不应有高低起伏及弯曲,离地面宜保持250~300mm的距离,与建筑物墙壁间应有10~15mm的间隙。明敷的接地线表面应涂以黑漆,以便识别。

禁止在地下用铝导体(线或排)作为接地线或接地体。

## 第四节 人工接地体的制作安装

接地体分自然接地体和人工接地体。

### 一、自然接地体

自然接地体是利用与大地有可靠连接的建(构)筑物的钢结构和钢筋,行车的轨道,上、下水的金属管道和其他工业用的金属管道(可燃液体和可燃可爆气体的管道除外)等做接地体。利用自然接地体时,一定要保证有良好的电气连接,利用自然接地体可节约材料,降低接地电阻,节省施工费用。



## 二、人工接地体

人工接地体是利用钢材(钢管、角钢、圆钢和扁钢)埋入地下而成,有垂直埋设的棒形接地体和水平埋设的带形接地体两种基本结构形式,如图 20-15 所示。

### (一) 带形接地体的制作安装

水平安装的接地体一般较少应用,通常只用于土层浅薄的地方。安装时挖沟填埋,应尽量选择土层较厚的地方埋设,地沟要挖得平直、深浅一致。接地体埋入土壤的深度应大于 0.6m。覆土时,接地体周围的土壤要随时夯实,回填土内不应夹有石块、建筑材料或垃圾等,以保证接地体与土壤之间有良好的接触。通常采用 40mm×4mm 的扁钢或直径 16mm 的圆钢制作。

### (二) 垂直接地体的制作安装

垂直埋设的棒形接地体,是利用钢管、角钢、圆钢制作的,主要是用钢管和角钢制作。制作时先将钢管(或角钢)截成一定的长度(一般为 2.5m),用锤击打入地下。用作接地体的钢材,不应有严重的锈蚀,弯曲的材料须经校直后方可使用。用来制作接地体的钢材应进行热镀锌。

垂直安装的棒形接地体,其下端应加工成尖形。用角钢制作的,其尖点应在角钢的角脊线上,而且两个斜边应该对称;用钢管制作的,要单边斜削,保持一个尖点。

垂直埋设的棒形接地体,安装时通常是采用打桩法将接地体打入地下,接地体应与地面垂直,不可歪斜。用锤敲打角钢时,锤应敲打角钢端面角脊处,锤击力即顺着角脊线直传到另一端的尖端,这样容易打入和打直,如图 20-16a 所示。若接地体是钢管,则锤击力应集中在尖端的切点位置。否则,不但打入困难,而且不易打直,接地体与土壤间会产生缝隙,使接触不良,增加接地电阻,如图 20-16b 所示。

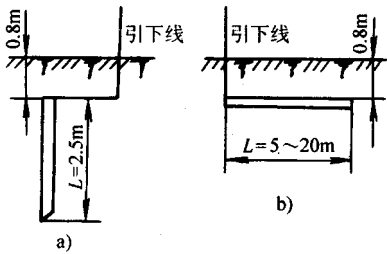


图 20-15 人工接地体  
a) 棒形接地体 b) 带形接地体

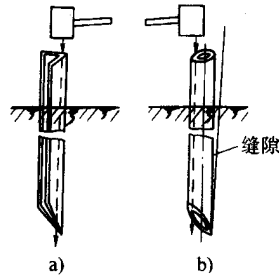


图 20-16 接地体打入土壤情况

a) 角钢接地体 b) 钢管接地体

人工接地体埋入地下的深度应不小于 2m。在特殊场所安装接地体时,如果深度不到 2m 时,应在接地体周围放置食盐 8kg,木炭约 30kg 并加水,用以降低接触电阻。

当有多根接地体时,接地体之间会产生屏蔽作用,由于屏蔽作用会使接地装置的利用率下降。因此,为减少相邻接地体之间的屏蔽作用,垂直接地体的间距应不小于接地体长度的 2 倍。例如,接地体长度为 2.5m,其间距不宜小于  $2.5 \times 2 = 5\text{m}$ 。水平接地体的间距,应按设计规定,但也不宜小于 5m。

把接地体打入地下后,在其周围用土回填并夯实,以减少接地电阻。若接地体与接地线在地面下连接,要先将接地体与接地线用焊接法接好后再覆土并夯实。为减小自然因素对接地电阻的影响,接地体上端埋入深度一般不小于 600mm,并应在冻土层以下。

## 第五节 接地电阻的测量和接地装置的维护

### 一、接地电阻的测量

接地电阻是检验接地装置质量的主要项目,必须按照技术要求规定的标准进行检验,不可任意降低标准值。各类接地装置的接地电阻合格值见表 20-4。接地电阻的大小,主要决定于允许的对地电压值。

测量接地电阻宜在每年 3~4 月份或其他土壤电阻率较高的季节、土壤干燥时停电进行。接地电阻的测量方法,主要采用接地电阻测定仪(接地摇表)进行测量。常用的国产接地摇表有 ZC-8 型和 ZC-29 型等几种。

ZC-8 型接地摇表有三个端钮(E、P、C),它由一只高灵敏度的检流计、手摇发电机、电流互感器以及调节电位器等组成,量限有 0~1~10~100Ω 和 0~10~100~1000Ω 两种。它带有一根电位探测针和一根电流探测针,如图 20-17 所示。使用接地摇表测量接地电阻的方法和步骤如下:

1. 将接地装置的设备停电,拆开接地线与接地干线的连接点。
2. 把两根探测针分别插入地中,一根距接地装置 20m,另一根距离 40m(即接地装置、两根探测针之间彼此相距 20m),如图 20-18 所示。两根探测针都需要垂直插入地下 400mm 以上,而且接地装置和两根探测针应在同一直线上。
3. 将接地摇表放置到水平位置,检查检流计的指针是否指在中心线上(如不在中心线上,应调整到中心线上)。

表 20-4 各类接地装置的接地电阻合格值

种类	接地装置使用条件		接地电阻 (Ω)	注
1kV 及以上的 电力设备	大电流接地系统		0.5	一般应符合 $R \leq 2000/I$ 。当 $I > 4000A$ 时,可采用 $R \leq 0.5\Omega$
	小电流接地系统	高、低压电气设备共用的接地装置	4	$R \leq 120/I$
		仅用于高压电气设备的接地装置	10	$R \leq 250/I$

种类	接地装置使用条件		接地电阻 ( $\Omega$ )	注
低压电力设备	中性点直接接地与非直接接地系统	并联运行电气设备的总容量为 100 kVA 时	4	在采用保护接零的低压电力网中,系指变压器的接地
		并联运行电气设备的总容量不超过 100kVA 时	10	电力设备接地电阻,而用电设备只进行接零,不做接地
		配电线路零线每一重复接地装置	10	在电力设备接地装置的接地电阻允许达到 $10\Omega$ 的低压电力网中,每一重复接地装置的接地电阻不应超过 $30\Omega$ ,但重复接地应不小于 3 处

4. 将接地装置用连接线接至接地摇表的接线桩 E 上,距接地装置 40m 的探测针连接线接至接地摇表的接线桩 C 上,将距接地装置 20m 的探测针连接线接至接地摇表的接线桩 P 上。

5. 将接地摇表的粗调旋钮置于最大倍数位置,慢慢转动发电机的摇柄,同时调节粗调旋钮,使检流计指针接近中心线,再加快发电机摇柄的转速使达到  $120\text{r}/\text{min}$ ,再调节细调拨盘,直至指针居中为止。用测量标度盘(表头)的读数乘以粗调旋钮的定位倍数,即为所测接地装置的接地电阻值。例如,粗调旋钮的定位倍数是 10,表头上的读数为 0.4,所测接地装置的接地电阻即为  $0.4 \times 10 = 4\Omega$ 。接地电阻的测量方法和测量接线图如图 20-18 所示。

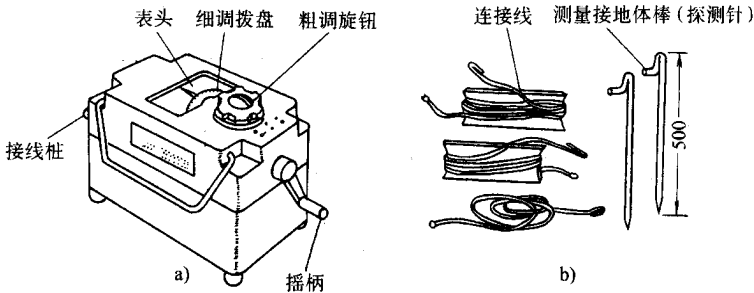


图 20-17 ZC-8 型接地电阻摇表

a) 接地电阻摇表 b) 使用附件

6. 为保证测得的接地电阻值更准确可靠,应在测量完毕后移动两根探测针,更换另一个方向进行再次测量,一般每次所测得的接地电阻值不会完全相同,最后取几个测得值的平均数,确定为该接地装置的电阻值。

另外,还可以用万用表进行测量,其测量方法是:

在距接地体 A 约 3m 处,插入两根测试棒 B、C,如图 20-19 所示,插入地面深度为 500mm 左右。将万用表拨到电阻量程  $R \times 1$  挡,测量并记录 AB 间、BC 间和 AC 间的阻值,通过计算求得接地体的接地电阻。如测

得  $R_{AB} = 7\Omega$  (即  $R_A + R_B = 7\Omega$ ),  $R_{BC} = 12\Omega$  ( $R_B + R_C = 12\Omega$ ),  $R_{CA} = 11\Omega$  ( $R_C + R_A = 11\Omega$ ) 则接地体 A 的接地电阻  $R_A = (R_{AB} + R_{CA} - R_{BC}) \div 2 = 3\Omega$ 。

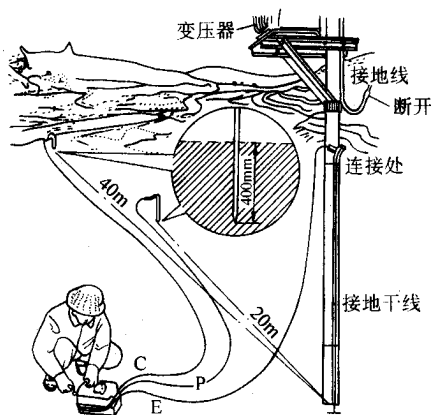


图 20-18 接地电阻测量

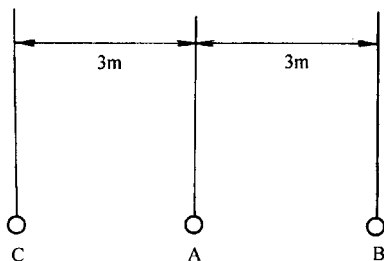


图 20-19 万用表测接地电阻法

## 二、接地装置的检查和维修

接地装置如同其他电气设备和电气装置一样,必须进行定期检查和维修,以确保其可靠性。

1. 定期检查维修,对于变、配电所的接地网,一般每年检查一次,对于车间电气设备的接地线(或接零线),每年至少应检查两次,对于各种防雷装置的接地引下线,每年在雷雨季节前应检查一次。通过巡视检查发现的问题和缺陷应及时处理,以确保运行中的安全。

2. 接地装置的每一个连接点,特别是采用螺钉压接的连接点,应每隔半年至一年检查一次。若连接点出现松动,必须立即拧紧。采用焊接的连接点,也要定期检查焊接是否完好。

3. 应定期检查接地体和连接接地体的接地干线是否出现严重锈蚀情况,对含有重酸、碱、盐或金属矿岩等化学成分的土壤地带的接地装置部分,一般每五年应挖开局部地面进行检查,观察接地体受腐蚀的情况,如有严重锈蚀,应及时进行修复或更换。

4. 明装接地线的每个支持点都应定期进行检查,发现有松动或脱落的,应及时重新固定好。当用螺栓连接时,应检查是否有弹簧垫圈松脱。

5. 当发现运行中接地装置的接地电阻不符合要求时,可采用降低接地电阻的措施,如将接地体引至土壤电阻率较低的地方、另外装设接地体等。

6. 对于移动式电气设备的接地线,在每次使用前应检查其接地线情况,观察有无断股等现象,如发现缺陷应消除后再使用设备。

7. 除专门检查外,外观检查还应与设备的大修、中小修同时进行,发现问题及时处理。

# 第二十一章 并联电容器安装与维护

## 第一节 并联电容器及其成套设备

### 一、并联无功补偿原理

图 21-1 为电力负载的等值电路与相量图。由图可见，闭合开关 S 将并联电容器投入电网后，由于电容器的容性电流  $I_c$  的相位正好与电抗 L 的感性电流  $I_L$  的相位相差  $180^\circ$ ，线路电流从  $I_0$  减少到  $I$ ，功率因数从  $\cos\theta_0$  提高到  $\cos\theta_1$ ，线路损耗和电压降落随之减小，设备的有效容量和裕度相应增大。

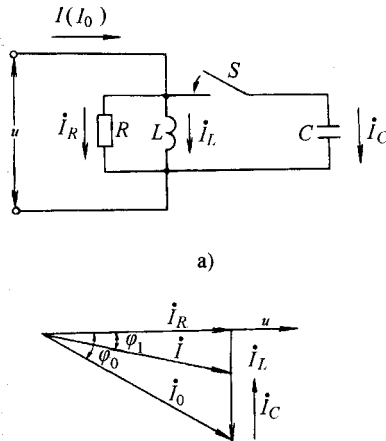


图 21-1 电力负载的等效电路与相量

a) 等效电路 b) 相量图

### 二、并联电容器的结构与工艺

电容器的结构见图 21-2。

电容器的主要工艺流程：

元件卷制→芯子压装→预烘→装配→真空干燥浸渍→封口

电容器的工艺要求很高，元件、绝缘件的制造和装配均应在高度洁净的环境中进行，按工艺要求对电容器进行严格的真空干燥浸渍处理，除去水分和空气，经过预处理的洁净绝缘油进行充分的浸渍，最后封口。

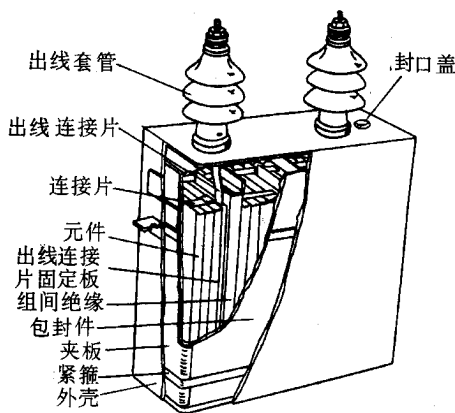


图 21-2 并联电容器的结构

各道主要工序之间尚有各项中间试验,最后有出厂前的检查试验。生产环境对电容器质量有很大的影响。此外,保持电容器的密封性对电容器的使用寿命和可靠性是十分重要的。

### 三、确定无功补偿容量的方法

电网或感性负荷进行无功补偿所需的并联电容器的容量  $Q_c/\text{kvar}$  为

$$Q_c = aP(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \text{ kvar}$$

式中  $\tan\varphi_1$  和  $\tan\varphi_2$ ——补偿前、后功率因数角的正切值;

$P$ ——电网或负载的负荷(有功功率  $\text{kW}$ );

$a$ ——年平均有功负荷系数,一般为 0.7~0.75。

### 四、并联电容器装置组成的结线

并联电容器成套装置通常由主电容器、串联电抗器、放电线圈、熔断器、断路器、断电保护和控制屏等部分组成,其主接线见图 21-3。为避免电容器击穿造成相间短路而引发箱壳爆炸的恶性事故发生,高压并联电容器装置通常采用星形结线,选用单相、额定电压为线电压  $1/\sqrt{3}$  的电容器作为主电容。低压并联电容器装置经常分散装在负载附近,在电容器内连接成三角形,带内部熔丝。

高压并联电容器装置中加入串联电抗器主要是为了防止输配电系统中因直接投入并联电容器组引起谐波分量放大。此外,还能有效地抑制电容器投入电网时产生的涌流,以及有助于防止和减轻开断电容器组时发生重燃。其容量可按下式选取:

$$Q_1 \geq (Q_c/n^2) \times 100\%$$

式中  $Q_c$ ——电容器组容量;

$n$ ——高次谐波次数。

从安全以及限制涌流和过电压的要求出发,在并联电容器内部应设置放电电阻,此电阻能在 10min 内把电容器上的残留电压自  $\sqrt{2}U_n$  降到 75V 或更低。当电容器可能在很短的时间间隔内投、切时,在电容器组的端子上应如图 21-3a 所示并接放电线圈,使电容器再次接入时,端子上的电压不高于其额定电压有效值的 10%。放电线圈的二次线圈还可作电压测量和继电保护用。

电容器组投入时,电容器两端会产生暂态过电压和电容器流过数倍额定电流的涌流;电容器组开断时,如果断路器触头间发生重燃,电容器要经受高倍数的过电压。因此,选取断路器时要求触头间绝缘恢复时不

发生重燃 ,能耐受合闸时的高频涌流。

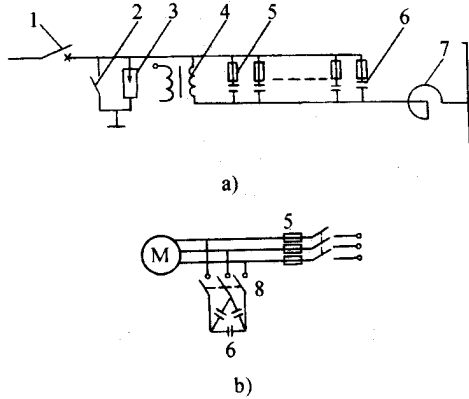


图 21-3 并联电容器装置的主接线原理图

a) 高压并联电容器装置主接线

b) 低压并联电容器主接线

- 1—断路器 2—接地开关 3—避雷器 4—放电线圈
- 5—熔断器 6—电容器 7—串联电抗器 8—开关

## 五、静止无功补偿装置

由并联电容器组和并联电抗器组及晶闸管开关组成。晶闸管对电抗器进行快速相控 ,调节无功输出 ,具有反应迅速的特点 ,可消除或减轻大功率闪变负载所引起的电压波动。

## 第二节 并联电容器的使用、与维护

可根据网络电压、功率因数和无功功率进行自动投切电容器 ,也可按规定的时间表进行自动投切或手动投切。

为了保护电容器 ,应装设过电压、过电流和失电压等保护装置以防止因系统异常现象损坏电容器。发生故障时 ,应及时检出故障 ,并用参数相近的电容器来取代故障电容器。

应对电容器进行定期停电检查和清扫电容器的箱壳、注意套管和接线端子是否松动、油漆脱落、渗漏油及外壳变形 ,并进行必要的处理。

## 第三节 并联电容器的运行与维修

### 一、电容器安装及使用

#### (一) 电容器安装环境的要求

1. 适用于普通气候条件 ,即周围空气温度为  $-40 \sim +40^{\circ}\text{C}$  ,空气相对湿度不大于 80%。

2. 周围环境不含有对金属和绝缘有害的侵蚀性气体和蒸气,不受油、水、尘埃、雨雪的侵袭。
3. 周围环境无易燃易爆危险,无剧烈的冲击及振动。

## (二) 电容器室的要求

1. 电容器室最好为单独建筑物,其耐火等级不低于二级。
2. 电容器室应保持通风良好,百叶窗应加装铁丝网,防止小动物进入室内。
3. 电容器室不许有窗户,门应朝北或东。
4. 室内温度不应超过 40℃,电容器表面温度不应超过 50℃。
5. 对额定电压在 1kV 以上的电容器应单独设置电容器室,数量较少时,也可设置在高压配电室内。额定电压在 1kV 以下的电容器可设置在符合环境要求的厂房内或低压配电室内。

## (三) 电容器安装的要求

1. 进行必要的外观检查和试验,保证所用元器件的质量,铭牌符合设计要求。
2. 电容器分层安装时,一般不超过三层,层间不应加设隔板,电容器母线对上层架构的垂直距离不应小于 200mm,下层电容器的底部距地面应大于 300mm。
3. 电容器架构间的水平距离不应小于 500mm,每台电容器之间的距离不应小于 50mm,电容器的铭牌应面向通道。
4. 要求接地的电容器,其外壳应与金属架构共同接地。
5. 电容器应在适当部位设置温度计或贴示温蜡片,以便监视运行温度。
6. 电容器组及电容器内部应装设相间故障的保护装置或熔断器,高压电容器组容量超过 600kvar 时,可装差动保护或零序保护,也可分台装设专用熔断器保护。
7. 电容器应有合格的放电装置。
8. 户外安装的电容器应尽量安装在台架上,台架底部距地面不应小于 3m;采用户外落地式安装的电容器组,应安装在变、配电所围墙内的混凝土地面上,底部距地面应不小于 0.4m。同时,电容器组应装设高度不低于 1.7m 的固定遮栏,并采取防止小动物进入的可靠措施。

## (四) 安装方式及地点

1. 并联接于 6.3kV、10.5kV 及 35kV 高压配电网。
2. 集中并联接于 0.4kV 低压汇流母线上。
3. 分组并联接于各低压配电线上。
4. 与单台异步电动机并联,作分散补偿。

## (五) 电容器使用时注意事项

1. 运输,电容器在运输时,应直立放置,装卸时禁止搬拿套管。
2. 环境温度,电容器安装处的环境温度一般不应超过 40℃,当超过规定温度时,要求采取通风降温措施。电容器最低温度,要根据使用何种类型绝缘剂而定,如用矿物油作绝缘的电容器,其绝缘在 -35℃ 以上时不会冻结,氯化联苯电容器最低温度为 -25℃,五氯联苯作绝缘时温度在 0℃ 左右就发生冻结,冻结后的电容器如再闭合,就容易击穿。
3. 使用温度及允许温升,电容器外壳温度不应超过 50~60℃(温升 25℃),可在外壳 2/3 高度处用桐油灰将温度计粘在外壳大面中间进行温度监视或用试温蜡片进行监视。
4. 使用电压,电容器允许在 1.1 倍额定电压下短期运行。但是,不能和最高允许温度同时出现。当电容器在较高电压运行时,一定要采取降低周围温度的措施。
5. 允许使用电流,电容器允许在 1.3 倍额定电流下长期运行。

## 二、电容补偿装置保护

为保证电容补偿装置及供电系统的安全运行,必须设置必要的保护装置。



### (一) 电容补偿装置的特点

1. 闭合时冲击电流可达到额定电流的 5~10 倍, 当有串联电抗器时, 其冲击电流可降低 2/5。
2. 正常运行时, 未有过负荷的可能, 如电压升高时, 就会引起过电流, 但过电流不应大于额定电流的 30%。
3. 电容器内部故障较多, 容易引起电容器鼓肚损坏, 严重时发生爆炸起火。

### (二) 对电容补偿装置的要求

1. 在电容补偿装置的供电系统发生异常现象时, 能迅速将补偿装置从运行电网中切除, 使其得到保护, 并防止事故扩大。
2. 在电容补偿装置内部发生故障或运行不正常时, 能使它部分或全部切除, 将事故局限于设备内部, 不至涉及其他电气设备和影响系统正常运行。

### (三) 电容补偿装置的保护

1. 过电压保护, 电容补偿装置只能允许在 1.05 倍额定电压下长期运行, 在 1.1 倍额定电压下一昼夜能运行 6h, 高于 1.1 倍额定电压的运行时间只容许持续数分钟。对于切合电容器时出现的操作过电压, 对于所连母线上的过电压都应采取措施。对电容器进行保护, 一般是采用定时限的过电压保护。
2. 欠电压保护, 在系统电压降低或瞬间消失后又恢复的过程中, 要将大量的用电负荷甩掉, 当电压恢复时负荷不能立即投入, 在近似于空载情况下投入电容器。如果不事先断开电容器, 将有可能造成由于母线电压过高, 对电容器充电, 使电容器鼓肚或严重喷油。当电容器投入后, 因无功功率向系统倒送, 会使母线电压更高, 电容器损坏更严重, 这对电力系统和电容器的运行极为不利。所以, 设置在母线上的电容器应装设带时限起动的欠压保护, 通常电压整定为额定电压的 50%, 以保证有较长的动作掉闸时间。
3. 熔断器保护, 根据电容器容量可在每组电容器上装设熔断器, 台数较少时, 也可在每台电容器上装设, 这样可有选择的切除故障电容器, 其余电容器照常运行, 亦能容易发现有故障的电容器。  
对电容器的内部故障及引出线短路时, 一般采取熔断器保护, 其熔丝为:  
(1) 每台电容器安装熔断器时, 熔丝容量可按电容器额定电流的 1.5~2.5 倍选择。  
(2) 每组电容器安装熔断器时, 熔丝容量可按每组电容器额定电流的 1.3~1.8 倍选择。

## 三、电容器运行与维修

### (一) 电容器运行特点

1. 电容器是用绝缘油或其他绝缘液体浸渍的电气元器件, 对安装地点及使用条件都有严格要求。
2. 电容器是储能元器件, 当投入或切离电网时, 都存在过渡过程, 有过电压和涌流产生, 对设备和人身安全都有危险。
3. 电容器在运行中, 容易产生过电压及过负荷现象, 影响电容器的使用寿命和安全。
4. 电容器对系统运行电压要求较严, 只能在 1.05 倍额定电压下长期运行, 在 1.1 倍额定电压下, 只能运行 6h, 对电容器的各种故障应有可靠的保护。
5. 对电容器必须制定必要的运行规程和观察监视制度, 定期清扫检查, 完善防火、防爆措施, 以保证电容器的安全运行。

### (二) 新安装电容器组投入运行前的检查

1. 电容器组投入运行前应按交接试验项目检查, 电容器是否完好, 试验是否合格。
2. 检查电容器及放电装置外观良好, 无渗漏油现象。
3. 电容器组应接线正确, 其电压与电网电压相符。
4. 电容器组三相间的容量平衡, 误差不超过一相总容量的 5%。
5. 电容器组的各接点应接触良好, 外壳及架构接地与接地网的连接应牢固可靠。

6. 放电装置的电阻值和容量应符合规程要求。
7. 与电容器组连接的断路器、熔断器、电缆等元器件是否完好, 试验是否合格。
8. 电容器组的继电保护装置 继电器整定值应正确, 并置于投入运行位置。
9. 安装有专用接地刀开关时, 其刀开关应在断开位置。
10. 检查电容器组安装处的建筑结构、通风设施是否符合规程要求。

### (三) 电容器组投入后和退出运行的规定

1. 正常时, 电容器组的投入和退出运行应根据系统功率因数的大小及电压的高低来决定。当系统功率因数低于规定值(一般为 0.9~0.95)或系统电压较低时, 应及时投入电容器组; 当系统功率因数趋近于 1 且有超前的趋势或系统电压偏高时, 应适量退出部分电容器组。

2. 当电源电压高于电容器额定电压的 1.1 倍、运行电流超过额定电流的 1.3 倍、电容器室的温度超过 40℃、电容器外壳温度超过 60℃时, 应将电容器组从系统中退出。

3. 当发生下列情况之一者, 应将电容器立即退出运行。

- (1) 电容器发生爆破。
- (2) 电容器喷油、起火、冒烟。
- (3) 瓷套管发生严重放电闪络。
- (4) 接头严重过热或熔化。
- (5) 电容器内部或放电装置有严重的异常响声。
- (6) 电容器外壳严重膨胀变形。
- (7) 环境温度超过 40℃。

### (四) 电容器组的操作

1. 正常运行时, 停、送电的操作程序

- (1) 全站停电操作时, 先拉开电容器组的开关, 后拉开各路出线开关。
- (2) 全站恢复送电时, 先合各路出线开关, 后合电容器组开关。

2. 事故情况下, 操作注意事项

(1) 全站无电后, 必须将电容器组的断路器拉开, 来电后应先将各路配线送电后, 再根据电源电压高低情况投入电容器。

(2) 运行中, 电容器组的断路器跳闸后不准强送。

(3) 运行中, 保护熔丝熔断后, 未查明原因及排除故障之前, 不准更换熔丝送电。

(4) 电容器组禁止带电合闸, 电容器组再次合闸送电, 必须在电容器组停电后, 放电 3min 后, 才能再次合闸送电。

3. 具体操作时注意事项

(1) 任何额定电压的电容器组禁止带电荷合闸, 电容器组每次重新合闸必须在其放电完毕后方可进行。

(2) 为了防止电容器组带电荷合闸和操作人员触电而发生危险, 应在电容器与电源断开时, 立即对电容器组进行放电, 必要时应用装于绝缘棒上的接地金属棒对电容器单独放电。

(3) 操作过电压是运行电容器断开时所产生的, 它对电容器的使用寿命和安全运行影响很大。所以, 在未采取有效的降低操作过电压措施之前, 应尽量减少操作次数。

### (五) 电容器组的巡视检查

电容器在运行中出现的故障, 除产品质量不良的原因外, 大多是由于运行、维护不当造成的。通常电容器组不需要频繁监视和配备专门的值班维护人员, 但运行中必须经常进行外表观察, 并定期断开电容器进行电路检查。外表观察可在每天巡视其他电气设备时顺便进行, 定期检查每年不得少于一次, 可在停机检修时进行。在运行中发现不正常现象, 应将电容器立即脱离电源进行检查。

1. 电容器组在运行中的观察和监视

- (1) 电容器油箱壁是否鼓肚、有无渗漏油痕迹。
- (2) 熔丝是否完好。

- (3) 电压表、电流表、功率因数表、温度计的指示是否正常。
- (4) 电容器有无过热现象(贴有试温蜡片的应注意蜡片是否熔化)。
- (5) 瓷套管是否松动和发热,有无放电痕迹。
- (6) 电容器外壳有无膨胀变形。
- (7) 电容器内部有无异常响声。
- (8) 电容器放电回路有无异常现象。
- (9) 接地线是否牢固可靠,放电变压器或电压互感器是否完好。
- (10) 运行中线路中有无火花现象。
- (11) 电容器回路内电流是否相应于其端电压下的电流值。
- (12) 电容器端点电压是否相应于额定值。
- (13) 电容器组的每相负荷是否相等。
- (14) 放电指示灯是否熄灭。

## 2. 电容器的定期检查

(1) 用 1000V 或 2500V 兆欧表,逐个或全部检查电容器端头与其箱身之间有无短路现象。双极对外壳绝缘电阻应不低于 1000M $\Omega$ ,否则为绝缘不良或有短路。

(2) 电容器的额定电压在 1kV 以上时,应测量每台电容器的电容,测量值与标称值的误差不得超过  $\pm 1\%$ 。

- (3) 用兆欧表检查电容器的放电回路和熔丝是否完好。
- (4) 检查电容器联接螺钉的紧固程度。
- (5) 检查风道有无积尘,并清扫电容器外壳、绝缘套管、电容器油箱、仪表及支架等处的尘土。
- (6) 检查电容器外壳的保护接地线。
- (7) 检查电容器组继电保护装置的動作情况。
- (8) 检查电容器组的断路器、馈线等是否完好。

## 3. 电容器的维护保养

(1) 经常清擦电容器表面、绝缘子、壳体,保持表面无灰尘及油垢,检查箱体有无凹凸现象。

(2) 对运行中的电容器要经常检查外观,并做好运行情况记录,发现温升过高、箱壳膨胀及渗漏油严重等异常现象时,应撤出运行,但更换不能使用的电容器不得超过总数的 30%。

(3) 周围空气温度不应超过电容器的允许范围,否则应将电容器与网路断开。可用温度计检查外壳上最热点的温度,或用示温蜡片来监视电容器的过热。

(4) 经常检查电容器的工作电压和电流,不应超过其允许值,以免影响使用寿命。在轻负荷下电压过分升高时,应将部分或全部电容器组从网路断开。

(5) 电容器回路中的任何连接处接触不良时,都可能引起高频振荡的电弧,将使电容器过热和场强过高而早期损坏,严重时会使整个设备发生故障。所以,必须使所有连接处接触牢靠,拧紧紧固螺钉。

(6) 外壳或焊接式套管漏油时,可用锡铅焊料补焊,应注意不能过热,以免瓷套上的银层脱落。

(7) 对损坏的绝缘子、导线,应及时更换。

(8) 对壳体必要时应进行油漆。

## (六) 电容器异常运行

1. 外壳渗漏油,由于搬运不当或提拿瓷套管使焊接处产生裂缝,接线时紧固螺钉用力过大,造成瓷套管焊接处损伤,运行时温度变化剧烈,内部压力增大,运行后外壳漆层剥落,铁皮锈蚀,都会造成电容器渗漏油现象。不严重时,可将渗漏处除锈、焊接、涂漆。严重时,应更换电容器。电容器缺油时,可对外壳侧壁敲击而发生的空声来判断。

2. 外壳膨胀变形,在密封的外壳中,由于内部介质在电压作用下,部分元器件被击穿,电极对外壳放电,均会使介质析出气体,这些气体将会引起压力增加,使外壳膨胀。电容器外壳膨胀,是电容器发生故障或故障前的征兆,运行中发现外壳膨胀应及时采取措施,膨胀严重时,应停止使用,更换新的电容器。

3. 瓷套管表面放电闪络,电容器在运行中,由于缺乏清扫和维护,其瓷绝缘表面因污秽可能会引起放电,

对运行中的电容器组,应进行定期的清扫检查。在污秽严重地区,还应采取有效的反污措施。

4. 电容器爆破起火,当电容器内部元器件发生极间或极对外壳击穿时,与它并联的其他电容器将一齐向故障电容器进行放电,这时因释放能量极大,可能造成电容器爆炸,还可能会危及其他电气设备,严重时因一个电容器起爆可能引起其余电容器的群爆、流油、燃烧起火,导致电容器室发生火灾,影响其他电气设备的正常运行。为了防止电容器的爆炸事故发生,除应加强运行中的巡视检查外,最主要的是安装电容器内部元器件的保护装置,把电容器在酿成爆炸事故前,及时从电网中切除。如已发生电容器爆炸事故,应查明原因,并采取有效的防范措施,更换电容器,清理现场。

5. 电容器内部有异常响声,电容器在运行中发现有吱吱声或咕咕声,这是电容器内部有局部的放电现象,是内部绝缘崩溃的先兆,应停止运行,找出故障电容器并更换。

6. 电容器运行中温升过高,由于电容器长时间过电压运行,内部元器件击穿、短路及介质老化,损耗不断增加,都会使电容器温升过高,严重影响使用寿命,导致绝缘击穿,使电容器损坏,所以,温升值在一定程度上反映内部损坏情况。运行中应严格监视和控制其环境温度,如发现电容器运行温度过高,应改善通风散热条件,串入电抗器防止过电流,淘汰绝缘老化的旧电容器。当不能有效地控制过高的运行温度时,应将电容器退出运行。

7. 开关掉闸,电容器组的开关掉闸,不准强行试送,必须顺序检查电容器开关,电流互感器、电力电缆。检查电容器有无爆炸、严重发热、鼓肚或喷油,接头是否过热或熔化,套管有无放电痕迹。若无上述情况,是由外部故障造成的母线电压波动使开关掉闸,可以试送。否则应进一步对保护作全面通电试验,对电流互感器作特性试验。如果仍检查不出故障原因,就需拆开电容器逐台进行试验,未查明原因前不得试送。

## (七)处理电容器故障时注意事项

1. 要设专人监护。
2. 要确认故障电容器已停电,并确保不会误送电。所以,必须严格执行保证安全的有关技术措施和组织措施。
3. 必须对电容器做反复、充分对地及极间的人工放电,保证确无残余电荷。
4. 即使已经对电容器进行彻底放电,处理时仍需戴绝缘手套。
5. 特别注意人体各部要始终保持对周围带电体的距离,不得小于安全距离。
6. 处理故障时,应首先拉开电容器组的断路器及上、下隔离开关。如果采用熔断器保护,还应取下其熔丝管。此时,电容器组虽然放电电阻已经自行放电,但仍会有部分残余电荷,所以,必须再进行人工放电。放电时,应先将接地线的接地端与接地网固定好,再用接地棒多次对电容器放电,直至无火花和放电声为止,最后将接地线固定好。
7. 在处理以氯化联苯为浸渍介质的故障电容器时,必须戴防毒口罩和橡胶手套,工作时应注意避免氯化联苯液体沾污衣服和皮肤。
8. 电容器如果是内部断线、熔丝熔断或引线接触不良,其两极间还可能有余电荷,这样在自动放电或人工放电时,它的残余电荷是不会被放掉的。因此,运行或检修人员在接触故障电容器前,还应戴好绝缘手套,用短路线短路故障电容器的两极,使其放电。另外对串联接线的电容器也应单独进行放电。

## (八)电容器常见故障及处理

并联电容器常见故障及处理方法见表 21-1。

表 21-1 并联电容器常见故障与处理

序号	故障现象	故障原因	处理方法
1	瓷套破裂 外壳损伤	运输及装卸时不小心,有碰撞现象等	运输时应妥善包装、直立放置、搬放小心,防止碰撞,瓷套破裂应更换,外壳损伤渗漏油时应补焊
2	验收试验时击穿	1. 产品有缺陷或损坏 2. 试验电压过高或持续时间过长 3. 测量电压的方法错误	1. 更换产品、损坏时应修复 2. 应按规定的数值和试验方法验收 3. 按验收规范进行
3	渗漏油	1. 搬运时提拿瓷套,使法兰焊接处产生裂缝 2. 接线时紧固螺钉用力过大,造成瓷套焊接处损伤 3. 产品质量缺陷 4. 日光曝晒,温度变化剧烈 5. 漆层剥落、外壳锈蚀	1. 严禁提拿瓷套搬运,已渗漏油的用铅锡焊料补焊,应防止过热,以免瓷套上银层脱落 2. 接线时不要扳摇瓷套,紧固时防止用力过猛 3. 严格控制瓷套金属涂敷及焊接工艺、外壳焊接及成品试漏工艺 4. 采取有效措施,尽量防止曝晒 5. 选用质量好的油漆,使用中应及时补漆
4	外壳膨胀	1. 介质内产生局部放电,使介质分解析出气体 2. 部分元器件击穿或极对壳击穿使介质析出气体	运行中应对电容器进行外观检查,发现外壳膨胀时应及时采取措施,膨胀严重的应立即停止使用
5	爆炸	电容器内部发生极间或极对壳击穿而又无适当保护时,与它并联的电容器组对它放电、能量极大,引起爆炸	低压并联电容器用内部熔丝保护,一般可避免爆炸,高压并联电容器每台应采用快速熔断器保护或用继电器保护
6	温升过高	1. 环境温度过高,电容器布置太密 2. 高次谐波电流影响 3. 频繁切合,电容器反复过电压和涌流作用 4. 介质老化	1. 改善通风条件,增大电容器间的间隙 2. 加装串联电抗器 3. 采取有效措施,限制操作过电压和涌流 4. 停止使用

## 第二十二章 特殊场所电气安装与维护

场所按照环境特性可分为一般场所、有爆炸危险的场所和有火灾危险的场所三大类。特殊场所下电气设备安装除满足一般场所下工艺要求外,还有一些特殊要求,应在施工时特别注意。

### 第一节 线路的敷设

在爆炸危险场所的电气线路配线一般有电缆配线和钢管配线。以下主要介绍钢管配线的敷设。使用的电缆和绝缘导线必须不低于工作电压,且不得低于500V,工作中性线的绝缘的额定电压应与相线电压相等,并应在同一护套管或管子管内。

#### 一、钢管配线的敷设

##### (一)爆炸和火灾危险场所的划分

根据发生事故的可能性和后果,按危险程度和易燃、易爆物质状态的不同,将爆炸和火灾危险场所划分为三类八级,以便采取相应措施防止事故的发生。

###### 1. 第一类

气体或蒸汽爆炸性混合物的爆炸危险场所,划分为三级:

- (1) Q-1级场所。正常情况下能形成爆炸性混合物的场所。
- (2) Q-2级场所。正常情况下不能形成,仅在不正常情况下能形成爆炸性混合物的场所。
- (3) Q-3级场所。在不正常情况下,只能在场所的局部地区形成爆炸性混合物的场所。

###### 2. 第二类

粉尘或纤维爆炸性混合物的爆炸危险场所,划分为二级:

- (1) G-1级场所。正常情况下能形成爆炸性混合物的场所。
- (2) G-2级场所。正常情况下不能形成,仅在不正常情况下能形成爆炸性混合物的场所。

###### 3. 第三类

火灾危险场所,按可燃物质的状态,划分为三级:

(1) H-1级场所。在生产过程中产生、使用、加工、贮存或搬运闪点高于场所环境温度的可燃液体,在数量和配置上能引起火灾危险的场所。

(2) H-2级场所。在生产过程中不可能形成爆炸性混合物的悬浮状态或堆积状态的可燃粉尘或可燃纤维,在数量和配置上能引起火灾危险的场所。

(3) H-3级场所。有固体可燃物质,在数量和配置上能引起火灾危险的场所。

爆炸危险场所划分中所说的正常情况,是指正常的开车、运转和停车等情况;不正常情况,指装置设备事故损坏及拆卸检修、误操作等。

与爆炸危险场所相邻,用有门的墙隔开的场所,按表22-1划分其等级。

表 22-1 与爆炸危险场所相邻的场所等级的划分

爆炸危险场所等级	毗连而用有门墙相隔的场所等级	
	相隔一道有门的墙	通过走廊或套间隔开、经过两道有门的墙
Q-1	Q-2 级	无爆炸和无火灾危险
Q-2	Q-3 级	
Q-3	无爆炸和无火灾危险	
G-1	G-2 级	无爆炸危险
G-2	无爆炸危险	

## (二)按场所等级选择电气设备

### 1. 防爆电气设备的类型及标志

电气设备按其防爆性可分类如下：

#### (1) 增安型“e”

在正常运行时不产生火花、电弧或危险温度，以提高安全程度的电气设备。

#### (2) 隔爆型“d”

这类电气设备内部发生爆炸时，不致引起外部爆炸性混合物爆炸。

#### (3) 充油型“o”

这类电气设备把可能产生火花、电弧或危险高温的带电部件浸在变压器油中，使其不致引起爆炸性混合物进入内部引起爆炸。

#### (4) 正压型“p”

这类电气设备向外壳内通入新鲜空气或充入惰性气体，使其保持正压，以阻止外部爆炸性混合物进入内部引起爆炸。

#### (5) 本质安全型“i”

这类电气设备在正常或故障情况下产生的火花，都不致于引起爆炸性混合物爆炸。

### 2. 爆炸及火灾危险场所电气设备的选择

(1) 电气设备特别是正常运转时能产生电火花的设备，应尽可能布置在爆炸危险场所以外；当必须设在危险场所内时，应布置在危险性小的地点。爆炸危险场所内应尽可能少用携带式电气设备。

(2) 在气体或蒸汽爆炸性混合物的爆炸危险场所内，防爆电气设备的级别和组别，应不低于场所内爆炸性混合物的级别和组别。

(3) 在粉尘或纤维爆炸性混合物的场所内，电气设备外壳表面温度不宜超过 125℃；当必须超过时，其外壳表面温度不应超过以下温度之一：①粉尘在堆积 5mm 厚时的自然温度减 75℃，有更厚的粉尘堆积时，则采用相应允许的表面温度值。②粉尘、纤维爆炸性混合物自然温度的 2/3。

(4) 爆炸危险场所电气设备的选型参见表 22-2。

表 22-2 爆炸危险场所电气设备的选型

场所等级 种类 (使用条件)		Q-1	Q-2	Q-3	G-1	G-2
		电 器 和 仪 表	固定安装	隔爆型、充油型、正压型、本质安全型	任何一种防爆类型	防尘型、防水型
移动式	隔爆型、正压型、本质安全型		除充油型以外任意一种防爆类型	除充油型以外任意一种防爆类型,尚可选用密封型、防水型	任意一级隔爆型、正压型	
携带式	隔爆型、本质安全型					
照 明 灯 具	固定安装及移动式	隔爆型、正压型	任意一种防爆类型	防尘型	任意一级隔爆型	
	携带式	隔爆型	隔爆型	隔爆型、本质安全型		
变 压 器		隔爆型、正压型	任意一种防爆类型	防尘型	隔爆型、充油型、正压型	
电 机		隔爆型、正压型		封闭式		封闭式
通 信 电 器		隔爆型、充油型、正压型、本质安全型		密封型	隔爆型、正压型	防尘型
配 电 装 置		隔爆型、正压型			任意一级隔爆型、正压型	

### (三) 操作步骤

#### 1. 选用合适管材和配件

(1) 所用钢管应用低压流体输送用镀锌焊接钢管及其连接件。所用配件(盒子和箱子)的型式应符合爆炸介质的级别、组别,盒子和箱子应有厂家的防爆标记。

常用的防爆接线盒有 AH 系列电缆布线安全型四通可吊灯接线盒,其外形见图 22-1。

这种接线盒适用于周围介质中含有爆炸性气体为 3 级 d 组及以下的场所。接线盒的标记为 Aod 和 B3d 两种形式。Aod 型为安全接线盒,仅适用在事故情况下,才会含有爆炸危险气体的场所;B3d 型为隔爆型接线盒,适用在非事故情况下,含有爆炸危险气体的场所。按其出线方式分为:一通、直角二通、直三通、三通、四通以及底部有通道的二通等几种,按吊灯的吊灯盖上又分为 G15 和 G20 两种出线口。

#### 2. 敷设管路

爆炸场所内的钢管配线的操作方法与一般场所相同,但按其环境特性,在技术上有一些特殊要求。

(1) 暗敷设时,在 Q-1、Q-2 和 G-1、G-2 类场所,管子应埋在混泥土地面内,距离地面不少于 20mm,任何情况下不得将管子沿地面敷设。

(2) 明敷设时,在 Q-1 和 G-1 类场所,管子应当采用管夹固定,管子在其支撑结构或建筑部件上,不应有纵向或横向的移动,任何情况下不得把管子焊在支承面或结构上。

(3) 在明敷管路与工艺管道共同敷设时,电线管路的布置应遵循以下原则:

1) 沿危险程度较低的管道一侧。

2) 当易燃物质比空气重时,在管道上方;比空气轻时,在管道下方。

(4) 在所有各类场所中,敷设的电线管之间及工艺管道与墙顶棚的距离应符合以下要求:



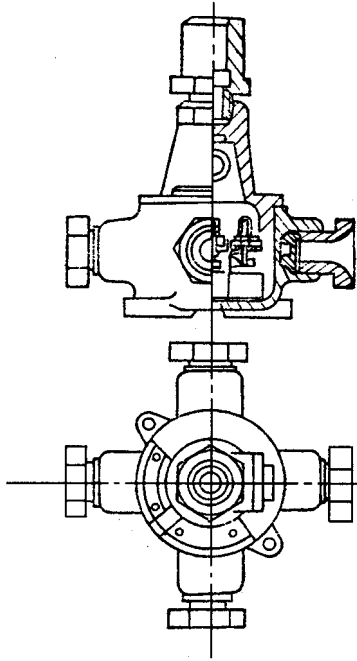


图 22-1 AH 系列防爆接线盒

1) 当管径大于 25mm 时, 不小于一个管的直径。

2) 当管径小于 25mm 时, 不小于 2 倍管径。

(5) 在所有各类场所中, 敷设的电线管, 其固定点距离应符合以下要求:

1) 距电机和电器不大于 0.8m, 距灯具 1.0m。

2) 距盒子、箱子和管子的个别连接零件(在支撑点间的管接头、三通和四通)不小于 0.3m。

3) 固定管子和管夹, 其间距不大于 2.5m。

(6) 钢管连接均采用螺纹连接。螺纹应无滑扣, 需涂导电性防锈脂或涂磷合膏、204 号润滑油、工业凡士林油, 不得缠麻涂其他油漆。对 DN25mm 及以下的钢管螺纹旋合不应少于 5 扣, 对 DN32mm 及以上的钢管螺纹旋合不应少于 6 扣。

用长螺纹连接的管子(带有管接头或异径接头的套管)应装置防松螺母(紧锁螺母), 以防因振动或摆动而自松。

## 二、装设爆炸危险场所隔离密封

### (一) 确定隔离密封的装设位置

1. 凡进入防爆场所或由防爆场所引出的管线, 其通过地板、墙壁和楼板处, 均应采取密封措施, 使具有爆炸危险的空气不能逸出。

隔离密封的装设位置, 应根据场所的类别来决定。当管路由类别高的爆炸危险场所进入类别低的爆炸危险场所或无爆场所, 一般在类别高的一侧靠近穿墙处装设。当管子穿过墙板时, 管子与墙、楼板及管内皆装设隔离密封, 在墙、楼板内的一段管子上不得装置任何连接零件。

2. 钢管配线在下列各处必须做隔离密封:

(1) 导体引入装有开关、空气断路器、熔断器、继电器、电阻器或其他可能产生电弧、火花或危险高温的电气设备外壳的接头部件(如进、出线盒)处前, 如电气设备本身的接头部件中无隔离密封时, 隔离密封盒必须

安装在距进、出设备外壳处不大于 45cm 处,并尽量靠近电气设备。

(2) 直径 50mm 及以上钢管距引入内有接头、分接头的接线箱 45m 以内处。

(3) 钢管直径 50mm 及以上管线每相距 15m 处。

## (二) 隔离密封技术要求

1. 隔离密封盒应适合于爆炸危险环境防爆等级要求。

2. 隔离密封盒不应作为导线的连接或分线用,也不应将其他作有接头或分接头的配件用胶灌。

3. 应按照管线的实际位置选择纵向型、横向型或通用型隔离密封盒。在可能引进凝结水的地方,应选择排水型的隔离密封盒。

## (三) 操作步骤

1. 安装防爆隔离密封盒按设计及规范要求正确可靠地安装在规定的位置上。盒与电线管螺纹啮合应紧密,扣数为 2 对 DN25mm 及以下不应少于 5 扣,对 DN32mm 及以上的不应少于 6 扣。做好防腐处理。盒的内壁均应清扫干净,不能有油污、铁锈或其他杂质,以免影响性能。

2. 穿导线。穿线时切勿损伤外皮绝缘,检查导线型号规格是否符合设计要求。

3. 填充密封料:

(1) 打开防爆隔离密封盒操作口盖,用刮勺将导线分开。

(2) 填充填料。用刮勺将密封纤维按顺序填充在导线周围。首先填导线的后面,再堵各导线之间,最后填堵导线的前面。密封纤维必须严密地压入防爆隔离密封盒堵口的颈口部位。用纤维作填充层的底层或隔离以防止密封混合物流出。纵向型盒只堵下部,横向型两侧均应堵塞。填充层的有效厚度必须大于钢管的内径。

(3) 堵料填好后,拧紧操作口盖。横向型的注入口应朝上。排水型只需要上挡板,不必拧上操作口盖。

(4) 打开注入口,做好浇注前的准备。

4. 调配粉剂密封填料:

(1) 将容器清洗干净,按制造厂产品说明书的用量倒入清水。

(2) 逐步均匀地倒入适量的粉剂填料在水中浸透。

(3) 粉剂密封填料完全被水浸透后,稍微振动容器,然后用搅拌棒以 60r/min 的速度,缓慢地搅拌 1~2min,使之全部均匀混合。

5. 浇注密封填料:

(1) 将混合好的密封填料,边搅拌边注入盒内。注入 80% 左右用量,敲打防爆隔离密封盒,使密封填料均匀,然后注满。浇注过程中,密封填料如开始硬化,不能再加水强行搅拌,应即停止浇注,余料不能再用。注料后填料在开始硬化前保持不动。

(2) 密封填料的常温初凝时间为 40min 左右,终凝时间约 1h,确认粉剂密封填料完全硬化后,将注入螺栓拧紧。排水型的要将排水螺旋盖拧紧。

(3) 密封填料的填充高度或长度,需严格按照要求执行,一般不应小于管径,并应不小于 20mm。

## 第二节 防爆电器安装

安装防爆电器前,应对防爆电器的外观进行检查,核实防爆电器的类型、级别、组别在外壳上的标志,检查铭牌中是否有国家检验单位签发的“防爆合格证号”。

### 一、灯具安装操作步骤

在爆炸危险场所,根据场所类别不同,应采用各种防爆灯具。防爆灯具主要依靠防爆外壳和防火花电路

等来达到其防爆性能。常用的防爆灯有 CB3C—200G 隔爆型,其外壳用不含镁的铝合金材料铸成,结构坚固,在外壳与外壳之间,以及外壳与灯罩之间专门设计有间隙隔爆面,即使照明器内爆炸,所产生的燃烧物也会经过间隙和隔爆面冷却到安全的温度后传出,并能依靠这种间隙减低灯内的爆炸压力。灯具的玻璃罩,一般在出厂时都作过压力 1MPa 冲击、温差等物理性能试验。灯座内设有关弧装置,灯具外壳设有散热装置,壳内设有关离屏,使照明器工作时有良好的散热性能。

安装防爆灯具时,灯具附近的管口和吊管上部都要作好隔离密封。对于 CB3C—200G 型防爆灯,灯头内的管口也要作隔离密封,安全型防爆灯及防爆高压水银灯的隔离密封方法见图 22-2 和图 22-3。隔离密封的做法是用细棉绳在导线外面缠绕,缠绕圈数视管径和导线直径大小而定,要求绕至与管子内径接近为止。如果管内有很多根导线,则应先以单根交叉绕 3~4 圈后再绕绕缠。管口处要填充沥青混合物密封填料。

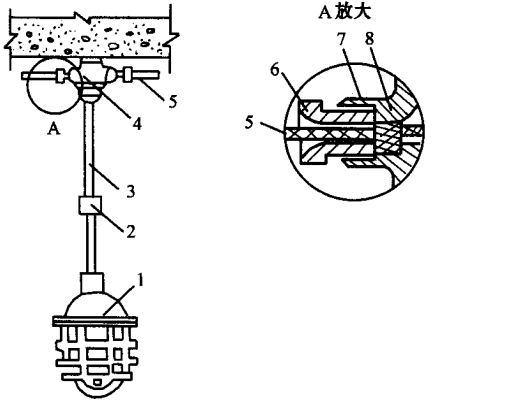


图 22-2 安全型防爆灯隔离密封

- 1—防爆灯具 2—密封漏斗 3—钢管;  
4—接线盒 5—电缆 6—压紧螺母;  
7—垫圈 8—橡皮封垫

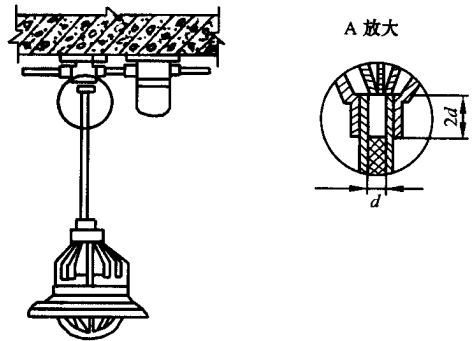


图 22-3 防爆高压水银灯的隔离密封

## 二、安装防爆电器、防爆电机和接地装置注意事项

### (一) 防爆电器、防爆电机

在防爆场所装设的电器通常有防爆按钮、防爆插销、防爆信号灯等,电机常采用防爆电机。这些电气设备的外壳都应坚固,密封性能良好。对这些电气设备安装应注意以下两点:

1. 要求密封,使爆炸空气不致与易发生火花的带电部分接触,避免引起爆炸。
2. 要求所有带电接触点或机械摩擦部分,在正常运转或短时间的操作不致产生火花而引起爆炸。

因此凡是电气接头,不但要接触紧密,而且必须有防止自松脱的措施,如采用防松螺母、止退垫片等措施。为了保证装置的密闭性,对其进线口必须做好隔离密封,出线口如不出线时,应用闷头堵死。防爆电动机和防爆电器的隔离密封做法见图 22-4 和图 22-5。

### (二) 接地装置

有爆炸危险场所的接地装置安装方法与一般场所基本相同,但根据其环境特性,对于防爆场所的接地装置有一些特殊要求。为了防止静电产生火花,在防爆危险的场所内,所有不带电的金属部分,都要可靠接地,同时只能利用专用接地线。灯具的金属部分接地,应采用专用接地线接到照明干线的零线上,不得用引至灯具分支线的零线或吊灯钢管以及其他金属部分作接地线。

## 三、自动报警系统施工安装

### (一) 概述

#### 1. 发生电气火灾的主要原因

据统计资料,发生火灾的主要原因是由抽烟烟头及火柴棍造成的,约占40%~50%。电气火灾为第2位,约占15%~30%。发生电气火灾的主要原因是乱接线、乱接插座、负载严重超载、线路或电器设备受潮、绝缘老化、漏电导致短路、接触不良、电器设备或电热设备靠近易燃物等。

电气火灾,据近5年来的统计与电气线路火灾有关的短路(包括接地故障短路)、过负荷、接触不良等原因所占的百分比比较大,大约60%,其统计见表22-3。

表 22-3 北京地区电气火灾具体原因及所占的百分比统计表

序号	原因	次数	%	序号	原因	次数	%
1	短路	212	44.3	4	忘记断电	110	23.0
2	过负荷	44	9.2	5	其他	79	16.5
3	接触不良	34	7.0		总计	149	100

从以上统计材料可以看出,重视安全用电,特别是消除电气线路火灾隐患,对保证经济的健康发展、安全、人民生活有着极其重要的意义。和其他火灾一样,电气火灾的发生需要具备3个条件:氧气、可燃物质和火源。电气线路不正常的高温 and 电弧、电火花则构成火源。电气线路的火灾原因概括为短路、长时间过负荷、接触不良。

#### 2. 预防火灾的办法

在高层建筑中,设计火灾报警系统是按层、段划分为若干个消防区域,并设消防中心。每个消防区域安装区域报警器,从区域报警器中又引出许多支路到各个房间部位的探测器上。探测器能把感知的信号传到区域报警器的。通过电气联动装置发出指令使消防水泵启动、关闭送风机和通风阀、开放排风机和排烟阀、开启干粉灭火装置、切断火灾区域电源、关闭防火卷帘门、回降电梯等。高层建筑供电设计一般配电室尽量不设在地下室,以防不测。在高层建筑配电系统设计方面普遍采用TN-S三相五线制配电系统,有专用的保护线PE线,并装设漏电保安器等防护设备。

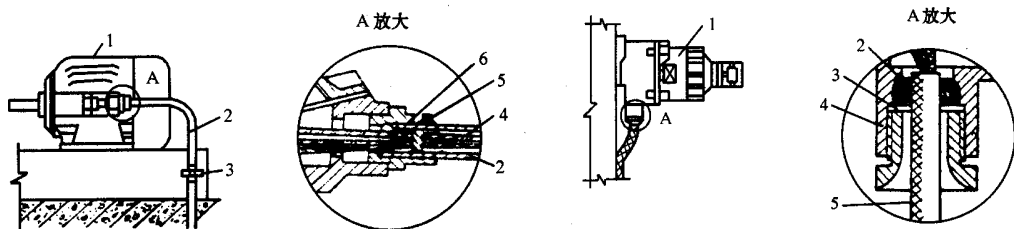


图 22-4 防爆电动机钢管配线的隔离密封

1—防爆电动机 2—钢管 3—活接头 4—料堵;  
5—连接片 6—密封填料(沥青混合物)

图 22-5 防爆电器的隔离密封

1—防爆按钮 2—橡皮密封 3—垫圈;  
4—压紧螺母 5—电缆

#### 3. 建筑消防系统的组成

建筑消防系统主要由探测器、区域报警器、集中报警器和自动灭火系统组成。方块图组成如图22-6。

一般高层建筑都有的报警系统、湿式灭火系统和干式灭火系统。有的高层建筑房间内不能用湿式灭火系统时则可用干式灭火系统。

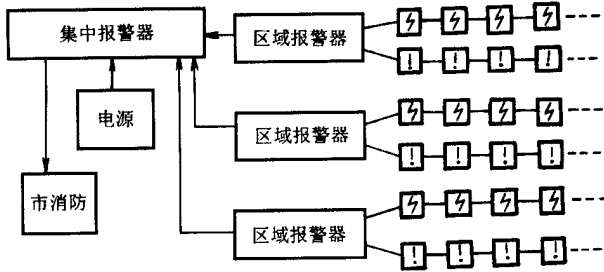


图 22-6 火灾自动报警系统的方块图

#### 4. 报警区域和探测区域的划分

报警区域应按防火分区或楼层划分。1 个报警区域宜由 1 个防火分区或同楼层的几个防火分区组成。探测区域应按独立的房间划分。1 个探测区域的面积不宜超过  $500\text{m}^2$ 。从主要出入口能看清其内部,且面积不宜超过  $1000\text{m}^2$  的房间,也可划分为 1 个探测区域。

符合下列条件之一的非重点保护建筑,可将数个房间划分为 1 个探测区域。①相邻房间不超过 5 个,总面积不超过  $400\text{m}^2$ ,并在每个房间门口设置灯光显示装置。②相邻房间不超过 10 个,总面积不超过  $1000\text{m}^2$ ,并在每个房间门口均能看到其内部,并在门口设置灯光显示装置。

#### 5. 探测器简介

探测器俗称探头,有 20 多种。通常分为 4 类:感烟式火灾自动探测器、感温式火灾自动探测器、光电式火灾探测器、可燃气体式火灾自动探测器等。它们都是把烟雾浓度、温度、光亮度等物理量转变为电的信号,通过导线传到控制机构。

#### 6. 自动报警装置

(1)区域报警器 它的作用是把探测器发来的信号接收后,用声音、光、数字等显示出火灾的区域、房间号码,同时把信号转送给集中报警器。它的功能还可以设有控制各种消防设备的输出接点,可以和其他的消防设备联动,以达到报警和灭火之目的。自动报警装置内装有镍镉电池,平时向电池组浮充电。当市电停电时,它能自动接通应急电源。

(2)集中报警器 它的工作原理和区域报警器一样,它还可以设置电话机,可以和市消防中心取得联系。还可以接通消防水泵等与灭火设备联动,实现自动控制。有的还和录像机、自动记录器等联网以便日后分析火灾情况。

## (二)探测器的安装要点

### 1. 探测器安装位置的确定

探测器安装地点的确定因素很多,主要有以下几点:

(1)从预报火灾的角度考虑,应把探测器设置在最能反应出火灾迹象的地方,但又不影响人们工作活动和便于安装,通常安装在室内屋顶上容易检测到烟气或高温的地方。不宜设在连烟气也难扩散到的屋角旮旯。一般距墙不小于  $0.5\text{m}$ 。大梁净高超过  $0.6\text{m}$  时也视为隔墙,水平距离不宜大于  $0.5\text{m}$ 。当梁的净高小于  $0.6\text{m}$  时,可以装在梁下边。

(2)在空调机送风口处,因为进风口是干净的空气,所以探测器宜远离进风口  $1.5\text{m}$  以上。

(3)距防火门、防火卷帘门的距离为  $1\sim 2\text{m}$ 。距自动喷水灭火喷头的净距不应小于  $0.3\text{m}$ 。距装扬声器的净距不应小于  $0.1\text{m}$ 。距暗装灯具的净距不应小于  $0.2\text{m}$ 。

(4)在管道、竖井内宜装在顶部,因为一般烟气、热气都往上飘。

(5)在楼道、走廊、过道等处可以设在顶部中轴线上。

(6)可燃气体探测器的气体比空气重时,安装的高度应该很低,不大于  $0.3\text{m}$  处。

(7) 感温探测器距高温灯具, 比如采用卤钨灯或光源功率大于 100W 的白炽灯, 净距不应小于 0.5m。在与厨房、开水间或浴室等房间的通道上安装探测器时, 应避开房间入口边缘 1.5m 以上。

(8) 探测器周围 0.5m 以内不应有遮挡物, 如书架文件柜等。净高  $\leq 2.2\text{m}$  且面积不大于  $10\text{m}^2$  的狭小房间, 应将探测器安装在入口附近。当梁间净距小于 1m 时, 可视为平顶棚, 探测器宜安装在梁下。装有大于  $100\text{mm} \times 100\text{mm}$  格栅吊顶时, 探测器可安装在吊顶上侧。但安装在吊顶上侧的探测器距格栅吊顶下表面的距离不宜大于 1m。

#### 2. 探测器的线路

(1) 探测器的导线用铜芯线, 截面不小于  $0.75\text{mm}^2$ , 用多股或单股都可以。

(2) 感温探测器通常使用的三色线为红色接电源, 棕色接信号, 绿色是检查线。

#### 3. 区域报警器的安装

一般都采用壁式安装方法, 用螺栓固定, 30kg 以上用  $\phi 10 \times 120$  螺栓, 小于 30kg 时用  $\phi 8 \times 120$  螺栓。

#### 4. 集中报警器的安装

通常采用落地式安装方法。用 2 根基础型钢。系统接地电阻不大于  $4\Omega$ 。

### (三) 接地故障引起火警分析

接地故障是一种短路, 但它专指相线和设备外壳、敷线钢管、线槽以及水暖等金属管道和大地之间的短路。各种接地系统引起的电气火灾的危险情况不一样, 分别概述如下:

#### 1. 各型接地系统中, 在正常工作时电气火灾危险分析

(1) TN-C 系统在正常工作时仍然有较大的火灾危险性。因为 TN-C 系统正常工作时有三相不平衡电流 (以及有时存在的谐波电流) 而产生的电压降。使电气装置设备金属外壳及敷设钢管等外露导电部分带有一定的电压。如果外露导电部分与水暖管道、建筑结构等导电良好的接地体相碰撞极容易产生电火花, 引燃电弧。两带电导体之间击穿电场强度为  $30\text{kV}/\text{cm}$ , 而维持电弧的电场强度为  $20\text{kV}/\text{cm}$ , 仅 2~20A 的电弧电流就可能产生  $2000 \sim 4000^\circ\text{C}$  的高温, 如果附近有可燃性物质, 完全可能引起电气火灾。

(2) TN-C-S 系统电源线路中的 PEN 线上也产生电压降, 但其值较小。如果在建筑物内设置了等电位体连接, PEN 线上的电压降, 不再在建筑物内形成电压降, 所以正常工作时不会引起火灾的危险。

(3) TN-S、TT、IT 系统的 PE 线不通过工作电流, 外露导电部分的正常工作时相对地电压, 所以也不存在这类电气火灾的危险。

#### 2. 各型接地系统中, 在故障情况下的电气火灾危险分析

电气线路火灾的起因与接地的形式有关, 也和选用的保护电器类别、PE (PEN) 线的截面以及接地回路是否导电良好有关。

(1) TN 系统中: TN 系统的对地故障电流通常为数百以至数千安培, 这样大的电流能够使熔断器、断路器动作, 迅速切断电源, 防止电气火灾的发生。但是, 如果 PE (PEN) 线截面过细、过电流保护电器选择不当, 不能及时切断电源, 将使导体产生高温, 能使线路绝缘损坏, 所以也能引燃周围的可燃物质, 导致火灾事故。如图 22-7 中 PE 线断线碰壳造成 PE 线带电, 对其他金属放电。

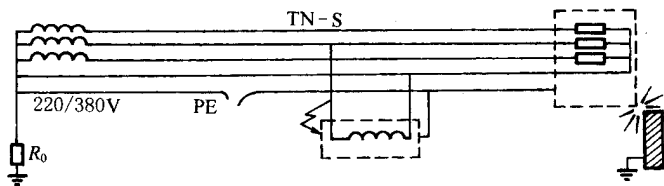


图 22-7 在 TN-S 系统中 PE 线断线的后果

在 TN-C 和 TN-C-S 系统当 PEN 线完好时, 负荷侧中性点电位接近电源中性点电位和零电位。但是, 如果 PEN 线断线后, 如图 22-8 所示。三相负荷各相电压按照各相负荷的阻抗分配。如果三相负载严重不平衡或电机缺相运行时, 负荷侧的中性点电位将发生漂移, 与 PEN 线相连的电气装置内的外露导电部分的对地电位随之增高。当到达一定的危险值时, 可能电击伤人或引起电气火灾。

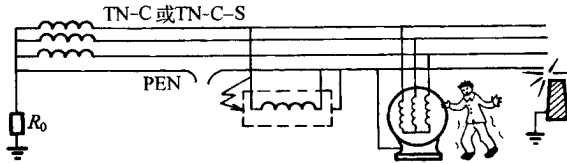


图 22-8 在 TN-C 或 TN-C-S 系统中 PEN 线断线的后果

当电气装置以单相电源线路供电时,如果 PEN 线断线,如图 22-9 所示。设备不能通电工作。但 220V 电源的相线对地电压却通过设备内的绕组传导到外露导电部分,由于电压高,电击或火灾的危险更大。

PEN 线断线后带来的危险很大,必须采取措施提高 PEN 线的机械强度和采用机械保护装置来解决。上述相线相对大地的短路和 PEN 线折断引起的火灾危险可以通过在建筑物内作总的等电位体联结来减少。

(2)TT 系统中:TT 系统故障回路的 2 个接地电阻限制了故障电流,所以不存在如 TN 系统电流过大故障电流引起的火灾危险。但故障电流小也带来不利的影响,它不能使过电流保护电器及时动作。一般来说 0.5A 的电流已经足以使电弧产生高温,引起火灾。

为了防止 TT 系统配电线路和设备引起接地故障而引起的火灾,必须安装额定动作电流不大于 0.5A 的漏电断路器,其保护范围应包括全部电气装置。我国现在的设备还不能满足这个要求。

(3)接地回路设置不当引起的危险 接地回路中如果 PE 线或 PEN 线连接不实往往成为电气火灾的原因之一。如果电气回路中存在连接不实的接点,没有发生接地故障时,PE 线上无电流,PEN 线上只有工作电流通过而微微发热,此虚连点只是作为事故隐患潜伏。一旦发生接地故障,如图 22-10 所示,不实的连接点 B 处的大阻抗限制了故障电流,使得保护电器不能及时动作,持续高温或电火花将使附近的可燃物质起火。

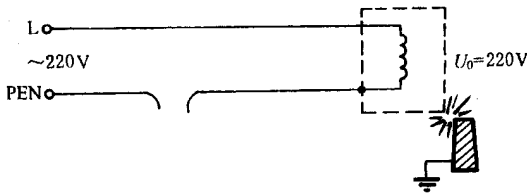


图 22-9 单相负载零线与保护线共用的 PEN 断线的后果

(4)保护电器动作迟缓分析 保护电器必须在小于 5s 时间内解除接地故障才能避免火灾。当 PE 截面应足够大,能保证其热稳定,即在切断故障电流的时间内保证线路绝缘能承受高温而完好无损。但是,如果故障点处引燃了电弧,则成为电弧短路,电弧的高阻抗限制了故障电流,即使过电流保护电器选择正确,若不及时动作,仍然会发生火灾。所以在 TN 系统中,如果过电流保护电器的灵敏度不能保证在 5s 内切断接地故障,则需要装设漏电断路器。

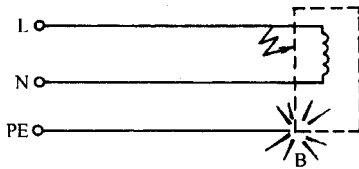


图 22-10 接触不良处打火

### (四) 过负荷引起火警分析

线路内通过的电流超过其允许的载流量时,该线路即被过负荷。过负荷并不直接引起火灾,但是它能损坏线路绝缘,从而间接引起火灾。很短时间内一定的过负荷不对电气线路绝缘产生影响,例如电动机的启动。

为了能够安全地使用电线电缆,保证其使用寿命,产品标准规定了绝缘持续工作的温度,如对聚氯乙烯绝缘规定为 70℃,此温度指环境温度加负荷电流引起的温升。电线电缆的允许载流量就是在不超过此温度

运行条件下允许持续通过的电流。

熔断器、断路器不能对线路的少量过负荷起保护作用。例如使用额定电流为 80A 的熔体保护载流量为 80A 的电线时,当负荷电流为 80A 时,熔体永远不熔断才算合格。但实际上 85A 或至 90A 的电流时,熔体也不会熔断。长时间的这种少量过负荷将缩短电线的使用寿命,对于这种过负荷国际上还没有很好的解决办法,有经验的人选择熔丝规格时时常尽量取下限。

由于线路过负荷能间接引起火灾事故,我国《低压配电设计规范》规定低压配电线路都应设置保护来切断过负荷配电线路。但是这个规定有几个例外,比如给消防泵供电的配电线路,宁可让线路过载也必须保证消防用电不间断;又如电铃变压器、干电池供电的配电线路,由于其容量有限,不可能使线路过载,也无须使用过负荷保护装置。

我国新编《低压配电设计规范》采用 IEC 标准规定的过负荷保护应同时满足 2 个条件。

$$(1) I_B \leq I_n \leq I_z$$

$$(2) I_2 \leq 1.45 \cdot I_z$$

式中  $I_B$ —计算负荷电流, A;

$I_n$ —断路器长延时整定电流或熔体电流, A;

$I_z$ —电线电缆允许载流量, A;

$I_2$ —断路器约定时间内动作电流或熔体约定时间内的熔断电流, A。

## (五) 接触不良引起火警分析

线芯与线芯之间,线芯与设备之间,插头与插座之间等 2 个导体之间的接触如果存在氧化膜,形成的接触电阻过大,则通过工作电流时的局部温度过高,而温度过高又使氧化膜增厚,这样正反馈引起的热量足以熔化线路绝缘,造成短路电气火灾。如果接触处连接不紧密而存在空隙,则电流通过时伴随火花的发生,局部温度可达数千度,能直接引起火灾。

### 1. 常见铝线接头起火原因分析

(1) 铝表面极易氧化,形成铝表面的氧化层,在施工接头时氧化层虽被刮净,但在几秒钟之内又能迅速形成新的氧化层。氧化层的厚度尽管只有  $3 \sim 5 \mu\text{m}$ ,却有较高的电阻,大电流通过时会产生高温,引燃可燃性物质。此高电阻增加了回路阻抗,减小了短路电流,妨碍了过电流保护电器的快速动作,增加了起火的危险。

(2) 铝和铜的膨胀系数不同,当将铜端子用于铝线的连接时,因为铝的膨胀系数比铜大 36%,在通过负荷电流时,铝线比铜端子膨胀得多,铝线受压,断电后,接线端子冷却,铝线和铜端子之间连接松弛。铝线表面又被氧化,这些都使接触电阻增加。通过电流时,发热更剧烈,形成恶性循环。

(3) 铝和铜的电解作用。铝为 3 价,铜为 2 价,铝比铜价高。如果铜铝接触的地方进入潮汽,形成局部电池,发生电解作用,结果铝被腐蚀,形成的铜盐也能腐蚀铝,最终造成接触电阻的增加。

(4) 氯化氢的产生和影响。因为线路过载或上述连接不良的原因,铝线连接处的温度可能超过  $75^\circ\text{C}$ 。如果此温度持续时间过长,铝线聚氯乙烯绝缘将分解出氯化氢气体,此气体能腐蚀铝线表面,从而增加接触电阻。

### 2. 为了防止接触不良引起的火灾事故,应该采取以下措施

在敷设电气线路前,必须先将线路连接处表面清除干净,不应存在氧化层或杂质尘土。连接处应紧密可靠,导电良好,不能松动。连接铝线时清除表面后应立即连接,大截面铝线应用压接、熔焊等连接方法。铜导线和铝导线之间的连接应采用铜铝过渡接头。 $10\text{mm}^2$  以下的小截面连接可采用塑料压接帽。其中的钢丝弹簧将绞紧的连接处箍紧,无论线芯热膨胀或冷收缩均可使线芯处于压紧状态,防止进入空气和潮汽。在爆炸和火灾危险场合以及手提式、移动式设备和工作时振动的设备上应该采用铜芯的电线、电缆。经常对线路连接处的温度进行检查,根据不同情况可采用手感检查,也可采用放置试温片或涂变色漆等方法检查。

开关电器的刀极触头是电气线路中的活动连接点,其接触不良同样会产生高温、电火花、电弧,但其引起火灾的机理要复杂得多。在电气工程设计中应尽量减少不必要的开关层次。在三相四线系统运行中相线上的开关接触不良较难发现,引起电气火灾的危险性也较大。

防止火势蔓延的方法是采用绝缘材料,氧指数高的阻燃型电线电缆。但这种电缆往往由于种种原因不



能广泛采用。比如聚四氟氯乙烯和聚酰亚胺都有良好的阻燃性,但前者燃烧有毒气,后者造价太高。对于一般场所,切实可行的办法是采用普通电线电缆,在线路敷设上想办法阻止火势蔓延。

常用的套钢管敷设措施已不能满足要求,而且钢管超过 30mm 以上时已经难以限制火势蔓延。常见的防止火势蔓延的方法有:

(1) 缩短可燃线的长度,避免不同通道间的线路互相交错并列,以免火势乱窜。

(2) 将易燃线路完全封闭在不燃的建筑材料中(包括套比较细的钢管)。

(3) 线路穿过地板、墙壁、天花板、隔板等建筑构件时应注意将过孔的空隙堵死塞实,封堵材料也和建筑材料属于同一防火等级。

(4) 套管直径大于 30mm 时,管内也要求用和建筑材料同一防火等级的材料堵死。

## (六) 湿式消防系统

### 1. 湿式消防系统的组成

主要由消防栓泵、管网、高位水箱、室内消防栓箱、室外露天消防栓箱、水泵接合器等组成。为了防止消防水泵加压时破裂,有的还在管网上设置安全阀。

### 2. 湿式消防设备的应用

室外消防栓位置应便于消防车使用。室内消防栓的位置宜在各层中间,人员取用方便的地方,如楼梯、走廊、大厅入口处。在下列建筑内应设置消防给水:

(1) 在 6 层或 6 层以上的住宅及民用建筑;

(2)  $\geq 5000\text{m}^2$  的火车站、展览馆、商店、医院;

(3)  $\geq 800$  个座位的电影院、体育馆、1200 座位的礼堂;

(4) 重要的厂房和库房。在电影院的舞台与观众之间或 2 个车间之间可以采用水幕消防给水系统。

### 3. 不能采用湿式消防系统的场所

如图书馆房、精密仪器室、档案资料库房、水泥库房、柴油机房、变压器室、中央控制室、通信机房、可燃气体或易燃等场所。这些地方宜用干式消防系统。

## (七) 消防配电的要求

高层民用建筑的消防控制室、消防水泵、消防电梯、防排烟设施、火灾自动报警、自动灭火装置、火灾应急照明、疏散指示标志和电动的防火门窗、卷帘、阀门等消防用电设备一类建筑按现行的有关电力设计规范的规定,一级负荷要求供电,二类建筑的上述消防用电应为二级负荷的两回线方式供电。

1. 消防用电设备应采用单独的供电回路。消防用电设备的 2 个电源、2 个回路或供电线路应在末端切换。

2. 配电电源不得设置漏电保护,当电源发生接地故障时,可以设单相接地报警装置。有火灾时温度高,导线电阻大,导线截面适当放宽。

3. 火灾事故照明和疏散指示标志,可采用蓄电池作备用电源,但其连续供电时间不应小于 20min(超高层 30min)。

4. 从配电箱至各设备应用放射式配电,每个回路保护设备分开,互不影响。

5. 消防用电设备的配电线路暗敷时应敷设在非燃烧体结构内,应采用穿金属管保护(不包括火灾自动报警系统传输线路),其保护厚度不应小于 3cm;明敷时必须要在金属管上采取防火措施。采用绝缘和护套为非延燃性材料的电缆时,可不采取穿金属管保护,但应敷设在电缆井内。

6. 消防配电应按消防区进行,配电箱和器件要用耐热型,如果在耐火的室内方可用一般配电箱。管线应用耐火的钢管和导线。

7. 消防控制室的接地电阻值要求:①工作接地电阻值应小于  $4\Omega$ 。②采用联合接地时,接地电阻值应小于  $1\Omega$ 。当采用联合接地时,应用专用接地干线由消防控制室引至接地体。专用接地干线应用铜芯绝缘导线或电缆,其线芯截面积不应小于  $16\text{mm}^2$ 。由消防控制室接地板引至各消防设备的接地线,应选用铜芯绝缘软线,其线芯截面积不得小于  $4\text{mm}^2$ 。

## 第二十三章 电气控制设备的安装与维护

### 第一节 电气控制设备的安装与调试

#### 一、电气控制设备的安装

##### (一) 配电柜和按钮站的安装

###### 1. 配电柜的安装

###### (1) 机床床身的基座框架作配电柜

对于电动机较少, 电器元件较少的机床, 可就近以机床床身的机座框架作为配电柜, 从而可以节省安装地位及节约导线。图 23-1a 为普通车床的电器配电柜, 图 23-1b 为平面磨床的电器配电柜。

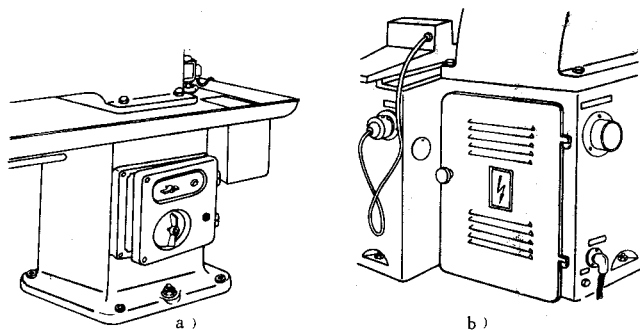


图 23-1 机床床身的基座框架作配电柜

a) 普通车床电器配电柜 b) 平面磨床电器配电柜

###### (2) 单独的电器配电柜

有些机床因电动机和控制电器元件较多, 控制线路较复杂或机床在工作时会产生一些有害的介质侵入电气设备使绝缘击穿, 或机床在工作时由于冲击性负荷产生强烈的振动而容易使继电器、接触器发生误动作等原因, 就应该采用单独的电器配电柜, 将其和机床分开, 安装在机床附近的适当位置。

配电柜一般采用 1.5~2mm 钢板焊接而成, 其容各应为配电板上全部电器元件体积总和的 5~10 倍, 配电柜要求平整、油漆、箱门合拢紧密、门锁灵活好用。单独的电器配电柜如图 23-2 所示。

###### 2. 按钮站的安装

按钮站又称控制台。按钮站的式样很多, 可斜装、立装和悬挂式安装, 如图 23-3 所示。

按钮站面板的布置应整齐, 不要过分拥挤, 并应遵循一定的规律, 如电动机的正转、反转、停车用绿、黑、红三种颜色的按钮, 又如根据电动机起动的先后次序从上到下或从左到右排列。同一台机床运动部件的几

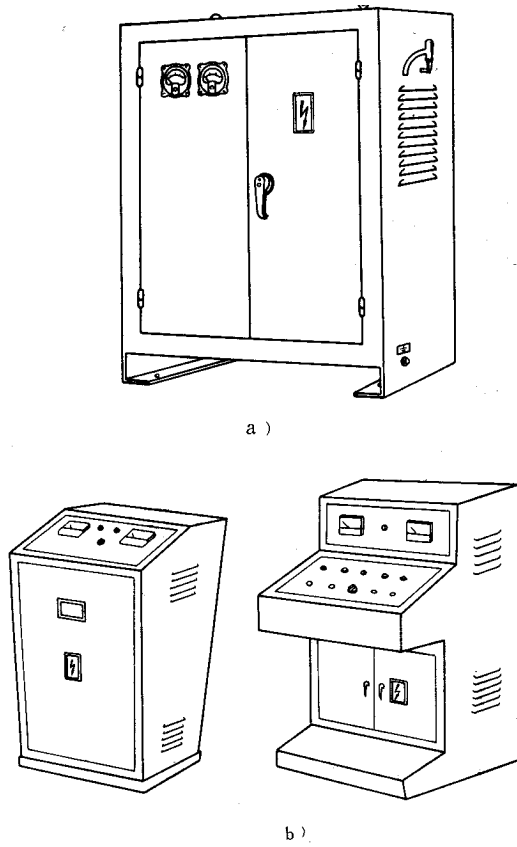


图 23-2 单独的配电柜

a) 磨床的配电柜 b) 数控机床的配电柜

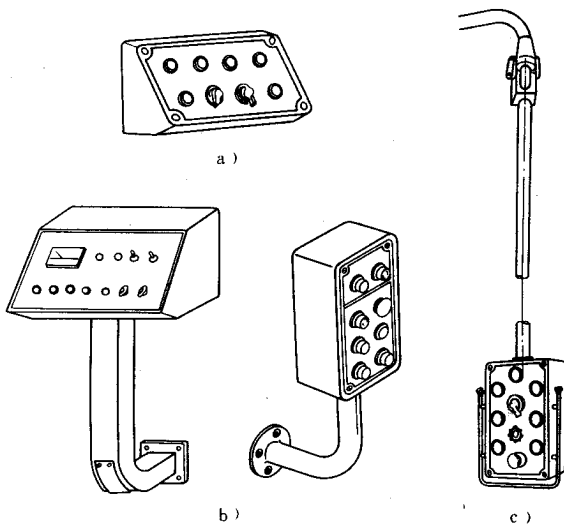


图 23-3 按钮站

a) 斜台式 b) 立式 c) 悬挂式

种不同的工作状态(如上、下、前、后、左、右、松、紧等)应使每一对相反状态的按钮分布在一组。为了应付紧

急情况,在出现突然的故障危及人身和设备的安全时,应设置停止按钮或拨钮。当按钮板上的按钮数较多时,应采用红色蘑菇头的总停止按钮,把它安装在显眼而易操作的地方,一旦出现紧急情况,即可切断总电源。

每只按钮都应在其上方钉以铭牌标出它的用途。

## (二) 电器元件的安装和配线

### 1. 配电板的安装

配电柜中各个电器元件都应安装在配电板上。配电板可用 2.5 ~ 3mm 左右的铁板制作,上面可以覆盖一张 1mm 左右的布质或纸质酚醛层压板以防止电器元件工作时对地飞弧短路。为了节约材料,也可不用层压板,只将铁板涂以防锈漆。配电板的尺寸略小于配电柜门框的尺寸,以便在安装时能自由进出柜门。

电器元件在配电板上的布局要合理,力求连接导线短,各电器排列的顺序应符合其动作的规律。根据习惯,总电源开关应安装在配电柜右侧上方不易触碰到的角落里。总熔断器及分路熔断器安排在配电板的上方,以下是主接触器,依次是其他类型的接触器、继电器,最下面或侧面是接线端子板等。

### 2. 配电板的配线

配电板配线常用的有明配线和暗配线两种。

明配线又称板前配线,它是将电器元件之间的连线全部安装在板前。主电路的连接线一般采用较粗的  $2.5\text{mm}^2$  的单股塑料铜芯线,控制电路一般采用  $1 \sim 1.5\text{mm}^2$  的单股塑料铜芯线,并且要用不同的颜色导线来区别主电路、控制电路和地线。明线安装的特点是线路整齐美观,导线去向清楚,便于查找故障。

暗配线又称板后配线。当各电器元件在配电板上的位置确定后,在每个电器元件的接线端处钻出比连接导线外径略大的孔,并在孔中插进塑料套管,即可穿线。暗配线的特点是配线速度较快,容易长时间保持板面的整洁。缺点是维修时如线号磨损或线号管脱落时,查对线号较困难。

配电板配线时应注意下述事项:

① 配电板上导线应配置整齐美观、横平竖直,转弯处尽可能是直角。成排、成束的导线应有线夹固定在配电板上。

② 明配线时,配电板上的导线敷设不应妨碍电器元件的拆卸。

③ 导线端头上都应套上异形塑料管或白色塑料管,并用紫色或黑色墨水在套管上标上线号,线号要用印刷体写工整,防止误读。墨水的配方为:龙胆紫 3g,醋酸 1.5 ~ 3g,过氯乙烯树脂 0.2 ~ 0.5g,二氯乙烷 500mL。将它们放入杯中摇匀即可使用。

④ 导线至接线端子处要留有两次以上剥线端重压的余量。备用导线要单独盘卷,端头要保留绝缘。

⑤ 在同一接线端子上压两根以上不同截面导线时,大截面放下层、小截面上放上层。

⑥ 所有压接螺栓需配置镀锌的平垫圈、弹簧垫圈并牢固压紧防止松动。

⑦ 接线完毕,应根据接线图或原理图仔细检查各电器元件与接线端子之间及它们相互之间接线是否正确。

## 二、电气控制设备的调试

### (一) 调试前的准备工作

1. 用 500V 摇表对交直流电机、电器元件及线路进行绝缘电阻的测量,一般不应小于  $1\text{M}\Omega$ ,测量时应将电器、半导体元件等不能承受摇表输出电压的元件从线路中断开或短接。

2. 对于不能反向运转的机械则应与钳工配合将电机与机床部件的靠背轮、齿轮、带等传动装置分离开,待电机转向校正后再连接传动装置。

3. 各行程开关放在待调整的位置。

4. 有调速器的装置应把调速器手柄扳到最低位置。

5. 有主令控制器和凸轮控制电器的装置,均应将手柄扳到零位。

## (二) 通电试车和调整

合上总电源开关,观察机床配电柜内电压表、电流表及信号灯指示元件是否正常。如无异常情况,可将主电路电源断开,接通控制电路电源进行空操作试车,并检查下述各项动作是否正确。

1. 检查各电器元件能否按要求动作,动作是否灵活,有否机械卡阻,有否过大的噪声,线圈有否过热现象。

2. 调整行程开关时,可先将其与机械动作脱离开,然后用模拟的方法粗略的调整好行程开关的动作位置,待机械一起动作时,再准确的调整好行程开关和挡块的位置。

3. 对某些不能多次动作的电器元件,如油断路器、快速开关、大容量自动开关的合闸线圈等,当需要对这些电器进行空操作试车时,应将其线圈一端断开,先用手动操作使其合闸。检查合闸机构是否灵活,如发现合闸机构有故障,应排除故障后再进行通电操作。

空操作试车是否正常,可接通主电路对电动机进行空载试验,观察各电机运转是否正常后,并校正各电机应符合箭头所示的转向。

然后连接各传动装置试验机床空载工作情况,准确调整好行程开关和挡块的位置,同时调整好热继电器、过电流继电器、欠电流继电器、电压继电器等保护电器的参数。

最后进一步带负载进行试车,观察各机械部件和各电器元件是否按要求动作,同时调整好时间继电器等控制电器的整定值及测量装置的工作点等。

对于不同类型的机床不同的调整内容,必须按实际情况来处理调整中遇到的问题。在一般情况下,机床带负载调试时应注意下述事项。

1. 带负载试车时,均应有机修钳工和操作工人配合。

2. 送电时,应先送主电路,再送控制电路。在按下控制按钮后,应注意观察电机的起动及旋转方向是否正确和正常,如有异常状况应立即停车检查原因。停车时,应先断开控制电器电源再断开主电路电源。

3. 串励电动机不允许空载或轻载起动,并励电动机的励磁绕组应有失磁保护装置。

4. 在带负载试车时,应按照机床的使用说明书,先开环后闭环,先静态后动态,先磁场后电枢,先低速后高速,先单机后多机的原则进行。

机床电气设备试车调整后,即可进行最后的整理工作,如用红油漆涂记调整螺钉,用塑料丝或尼龙丝捆扎配电柜内接出的导线等。

## 第二节 可编程序控制器

可编程序控制器简称 PC,是 20 世纪 70 年代以来在集成电路、计算机技术基础上发展起来的一种新型工业自动控制装置。各种机床设备、自动生产线已越来越多地采用 PC 技术,它是电气工程技术人员必须掌握的一门新技术。

### 一、可编程序控制器的组成及工作过程

#### (一) 可编程序控制器的基本工作原理

任何一个继电器—接触器控制系统,都由三个基本部分组成,如图 23-4 所示。其中输入部分是指各种开关信息,逻辑部分是由若干继电器及其触点组成的有一定逻辑功能的控制电路,输出部分则是各种执行元件,如继电器、电磁阀、照明灯等。

根据被控对象发出的开关信息或操作命令,逻辑电路就按规定的动作要求判断该做什么,然后驱动输出执行电器。由于逻辑部分是许多继电器按某种固定方式接好的线路,故程序不能灵活变更。

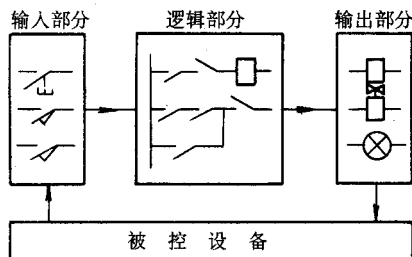


图 23-4 继电器-接触器控制系统

相应地,可编程序控制器也具有输入、逻辑控制和输出部分,其中逻辑部分采用大规模集成电路的微处理器和存储器及存储的用户程序来代替继电器逻辑线路(大型 PC 还具有数值运算、过程控制等复杂控制功能),通过编程,可以灵活地改变控制程序,就相当于改变了继电器控制线路的接线。这就是“可编程序控制器”名称的由来。

## (二)可编程序控制器的组成及作用

可编程序控制器主要由输入/输出接口组件、控制组件和编程器三大部分组成,如图 23-5 所示。它们被安装在适当的构架和机箱里,以使它们能够承受车间的环境。现将各组成部分的作用说明如下:

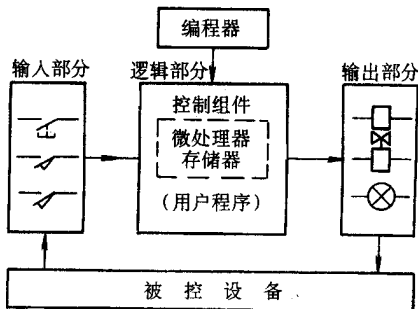


图 23-5 PC 控制系统的组成

### 1. 输入/输出接口组件

可编程序控制器与被控设备相连接,是借助于输入/输出接口来完成的。输入接口组件能接受被控设备的信号,如按钮、行程开关和各种传感器的信号,信号通过输入组件的光电隔离器件和输入电路(如图 23-6a 所示)驱动内部电路接通或断开,输入电路导通相当于继电器线圈受电,它驱动的内部电路通断相当于继电器触点通断。因此,每一个输入单元电路可以等效成一个输入继电器,如图 23-6b 所示。

输出接口组件把微处理器的内部电路通断信号转换成继电器 K 常开触点的通断,用它接通外部负载电路。这里,一个输出单元可以等效于一个输出继电器,其实际电路和等效电路如图 23-7a、b 所示。

输出组件有三种输出方式:一是继电器接点输出,交直流两用;二是三极管输出,用于直流负载;三是晶闸管输出,专用于交流。

除开量输入/输出组件外,还有模拟量输入/输出组件。

PC 的每一个输入/输出组件都对应 PC 面板上一个输入输出接线柱,称为一个输入/输出(I/O)点。根据工业控制的特点,I/O 点数之比约为 3/2 或 4/3,如 32 点输入、24 点输出,12 点输入、8 点输出等。

输入/输出组件常做成模块式,用户可以根据需要选择不同种类(如开关量 I/O 模块、模拟量模块、快速响应模块等)不同 I/O 点数(如 8 点、16 点、32 点)的模块。

### 2. 控制组件

控制组件由微处理器和存储器组成。

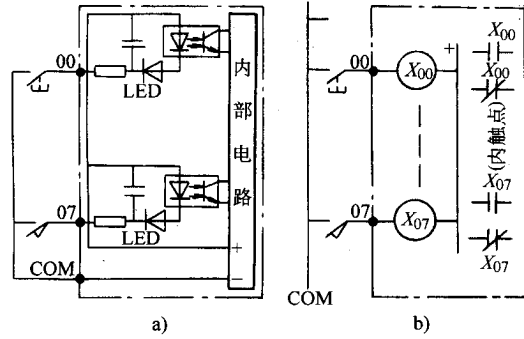


图 23-6 输入接口组件

a) 实际电路 b) 等效电路

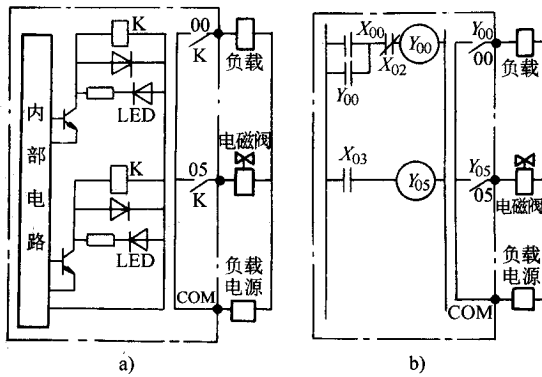


图 23-7 输出接口电路

a) 实际电路 b) 等效电路

微处理器(CPU)是PC的核心元件,其作用相当于人体的神经中枢,它的作用是:

- 1) 按PC中系统程序赋予的功能,接收并存储从编程器输入的用户的数据;
- 2) 诊断电源及PC内部电路工作状态和编程过程中的语法错误;
- 3) 在PC进入运行状态后,从存储器中逐条读取用户程序,经过命令解释后,按指令规定的任务,产生相应的控制信号去启、闭有关的控制电路,分时分渠道地执行数据的存取、传送、组合、比较和变换等动作,完成用户程序中规定的逻辑或算术运算等任务,根据运算结果,更新有关标志和输出寄存器状态表的内容,再由输出状态表的位状态或数据寄存器的有关内容,实现输出控制或制表打印、数据通讯等功能。

PC常用的CPU主要采用通用微处理器(如Z80A)、单片机(如8051)或位片式微处理器(如AM2903)。

存储器分为系统存储器和用户存储器两种,前者用以存放系统工作程序(监控程序)、模块化应用功能程序、命令解释功能子程序的调用管理程序及按对应定义(I/O、内部继电器、定时计数器、移位寄存器等)存储系统参数等等。系统程序关系到PC的性能,出厂时已固化在ROM或EPROM芯片上,不能由用户直接存取。后者存储用户编制的梯形图程序,PC的用户存储器常以字(16位/字)为单位来表示存储量,PC产品说明书中所列存储器型号或容量就是指用户存储器而言。用户程序常是“易失”的,如果机器停电,所存内容就会消失,通常采用低功耗CMOS-RAM及后援电池——锂电池供电,只要用户程序及数据送入内存,即使电源产生故障或断电,也能完整地保存程序,直至用户需要改变为止。

### 3. 编程器

编程器用作用户程序的编制、编辑、调试和监控,还可通过它的键盘去调用和显示PC的一些内部状态和

系统参数,它通过通讯接口与 CPU 联系,完成人一机对话连接。编程器有简易型和智能型两类。编程器上有键盘和显示器,键盘采用梯形图语言键符或命令语言助记键符,也有采用软件指定的功能键符,通过屏幕对话方式进行编程。

PC 除了以上三个主要组成部分外,还有电源部分以及盒式磁带机、打印机、EPROM 写入器等外部设备。

### (三) 可编程序控制器的工作过程

PC 对用户程序的执行过程是通过 CPU 的周期循环扫描并采用集中采样、集中输出的方式来完成。当 PC 开始运行时,首先清除输入输出寄存器状态表的原有内容,然后进行自诊断,自检 CPU 及 I/O 组件,确认其工作正常后,开始循环扫描。循环扫描分三个阶段:

#### 1. 输入处理阶段

扫描全部输入端,读取其状态并写入输入状态寄存器状态表内;

#### 2. 程序处理阶段

扫描用户程序,它按梯形图的次序(从左到右、从上到下)逐步扫描,并根据各 I/O 状态和有关数据进行逻辑运算,最后将运算结果写入输出寄存器状态表;

#### 3. 输出处理阶段

当所有指令都扫描并处理完毕时,把输出状态表中所有输出继电器的通(1)、断(0)状态转存到输出锁存电路,以驱动输出继电器线圈,控制被控设备的相应动作。

CPU 又返回去进行下一循环扫描,每次从读入输出状态到发出输出信号,这段时间称为扫描周期,其时间长短随 PC 本身的时钟频率及用户程序的长短而有所不同,由于扫描速度很快,大约完成每条指令(每步)只需  $3 \sim 60\mu\text{s}$ ,一个扫描周期通常为十到几十毫秒,对被控对象来说,扫描过程几乎是同时完成的。

值得注意的是,在一个扫描周期中,输入采样工作只在输入处理阶段进行,对全部输入端扫描一遍并记下它们的状态后,即进入程序处理阶段,这时不管输入端的状态如何改变,都予以理会(输入状态不会变化),直到下一个循环的输入处理阶段才根据当时扫描到的状态予以刷新。这种集中采样、集中输出的工作方式使 PC 在运行中的绝大部分时间实际上和外部设备是隔离的,这就从根本上提高了 PC 的抗干扰能力,提高了可靠性。可编程序控制器程序执行过程示意图如图 23-8 所示。

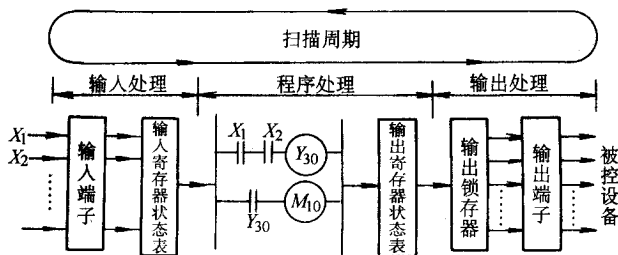


图 23-8 PC 程序执行过程示意图

## 二、可编程序控制器的编程语言

PC 是为工业自动控制开发的装置,它的主要使用者是广大电气操作人员,考虑到他们的传统习惯和掌握能力,一般都采用能与现场图样对应的编程方法。目前,各种 PC 的编程方法主要有两种:

### (一) 梯形图 LD(LadderDiagram)

它从固定式继电器—接触器控制电路演变而来,它形象、直观、实用,为广大电气人员所熟悉,是中、小型 PC 的主要编程语言。



## (二) 指令表 II (Instruction List)

这是一种与汇编语言类似的助记符编程表达式。用这种方法时,也是根据梯形图,用规定的逻辑语言描述控制任务。实际上梯形图就是逻辑式的一种图示法,也是最主要、最基本的编程语言。梯形图的表示方法在各种 PC 上大同小异。如图 23-9 所示是一个启动、保护、停电止路及其梯形图和指令表的典型格式。

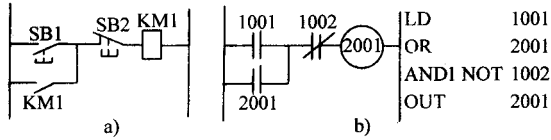


图 23-9 梯形图与指令表

a) 实际电路 b) 梯形图及指令表

梯形图与继电器—接触器控制电路的异同：

相同之处：电路结构形式大致相同，元件符号也较接近；信号输入及经过处理后信息输出控制的功能相同。

不同之处：

### 1. 组成器件不同

继电器—接触器电路是由许多继电器、接触器元件组成，而梯形图则由许多“软继电器”组成，它实质上是存储器中的触发器。继电器触点易磨损，而软继电器无此现象。

### 2. 工作方式不同

在继电器—接触器电路中，电源接通时，线路中各继电器都处于受制约状态，即该吸合的继电器均同时吸合，不应吸合的都因受某种条件限制不能吸合；而在 PC 的梯形图中，各软继电器都处于周期性循环扫描接通中，从客观上看，每个继电器受条件制约，接触时间是短暂的。

### 3. 触点数量不同

继电器的触点数量有限，而梯形图中的每只软继电器的数量可无限使用，因为在存储器中的触发状态（电平）可取用任意次。

## 三、可编程序控制器的特点

PC 最初是为替代继电器—接触器系统而研制的。由于引进计算机技术，它的功能在许多方面已远远超过继电器—接触器系统。但它仍然保留着继电器—接触器系统某些原有的特点，同时又表现出它优于继电器—接触器系统和微机系统的许多独有优点。

### (一) 可靠性高

由于采取了屏蔽、滤波、光电隔离等一系列抗干扰措施，PC 平均无故障率时间一般在 20 000h 以上，有的产品可达 50 000h，甚至更长。另外，PC 完善的自诊断功能使检查判断故障迅速方便，采用模块式结构也有助于对故障的快速修复。

### (二) 便于编程，改变程序灵活方便

PC 的硬件虽然和计算机基本相同，但使用的语言却完全不同，PC 采用梯形图编程，方便易学，不懂计算机的人很快能掌握，便于推广。当生产流程需要改变时，可以现场更换程序，极大地减少了停机时间。

### (三) 功能强

PC 采用微处理器并向多微处理器发展，处理速度快，控制精度高，不仅有逻辑运算、定时、计数等顺序控制功能，而且在较高档次的 PC 上能完成数学运算、数据处理、模拟量控制和生产过程监控。由于它的通讯功能发展迅速，用 PC 可构成分布式控制系统，与计算机一起组成工厂的局部网络，把个别的自动化过程综合成一个整体。

#### (四)通用性好

PC 是针对工业控制系统特点并扩大应用面而发展起来的,硬、软件均有其专用的特点,可以运用于各种工业控制系统而不需要用户进一步开发软件及硬件系统。许多 PC 都制成模块式,可以灵活组合,以适应不同控制对象对控制功能和控制规模的要求,而且这些模块的品种和功能还会随着工业控制的实际需要不断发展,标准化程度也会得到提高。

#### (五)体积小、质量轻、功耗低,对环境的适应性强

它能适应各种工业环境,不需要专用的机房和空调,能在高温、振动大、粉尘多等恶劣环境下正常工作,能与现场的强电线路直接连接,它很容易装入机械设备内部以形成整体,是实现机电一体化较理想的控制设备。

### 四、ACMY—S256 型小型可编程序控制器

#### (一)主机外形及各部分名称

如图 23-10 所示,图中分列两排的 56 个输入和输出端采用螺钉压接,右边 60 个指示灯分别显示各个输入、输出和主机工作状态,中间是一个外围设备插入口,可插入编程器或 EPROM 写入器、EPROM 用户卡、A/D 卡和 D/A 卡等,右侧下部是连接 I/O 扩展机的插座。

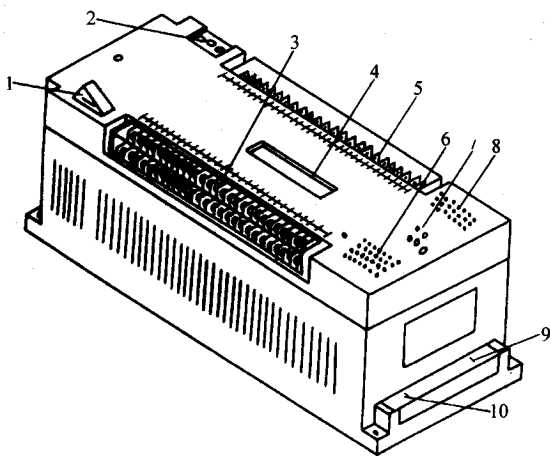


图 23-10 ACMY—S256 主机外形图

- 1—电源开关 2—输入电源端子 3—  
—输入端子 4—外设接口 5—输出端子 6—输入指示灯  
7—CPU 状态指示灯 8—输出指示灯 9—I/O 上接口 10—I/O 下扩展口

#### (二)硬件结构

ACMY—S256 的硬件结构如图 23-11 所示。其基本系统与单板机相同,以电源、中央处理单元 CPU、时间控制 CTC、监控 EPROM、工作区 RAM、带电维持的用户区 8kRAM(或再加上 8kEPROM)为主体,其优于单板机的硬件方面的特点是配备了完善的输入单元及输出单元,从而构成了一个完整的工业控制系统。

输入信号先经光电耦合器进行隔离,并以 8 个输入端为一组,经“8 线选 1”多路数据选择器芯片进行 8 选 1,再经 4—16 译码芯片对各分路进行选择,故共有  $8 \times 16 = 128$  个输入点,Z80—CPU 可分别检测它们的开关状态。

输出部分与之类似,CPU 的输出信号先经 4—16 芯片译码对各分路进行选择,再由“1 线/8 线选 1”输出多路分配器芯片对每一组的 8 个输出端分别送出输出信号并锁存,最后用小型继电器输出。

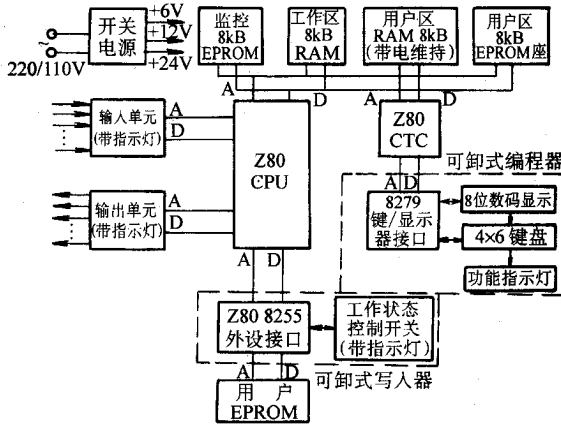


图 23-11 ACMY—S256 硬件结构图

为便于检查和维修保养,每个输入输出端都有相应的发光二极管作为指示灯,指示其开关状态。

PC最基本的外围设备有编程器和写入器,以供编程和调试程序、监控运行及保存程序或装入程序时使用,在正常运行后就不需要了,故制成可卸式,以简化最基本的工业控制系统,并使拥有多台PC的用户只配备1~2个编程器和写入器就可以了。

编程器由8279可编程键盘/显示接口及4×6键盘、8位的数码显示及功能指示灯组成,其功能是用键盘把常用的继电器逻辑线路图,用“与(AND)”或“或(OR)”等逻辑语言,键入主机的用户RAM区(带电维持的),并具有编辑、修改、监控及带编程器运行等功能。

写入器由8255可编程外设接口、写入器工作状态控制开关等组成,具有程序读出、写入、验证、检查全“1”等功能,并配有出错、执行等指示灯,其功能是在用户对程序已确定无疑时或为防止意外而保存调试到一定阶段的程序时,可用写入器将用户RAM区的内容写入到用户EPROM2764中,当插入用户EPROM到PC的相应插座中后,PC即执行EPROM中的程序。虽然用户RAM是具有双重带电维持的,具有相当高的可靠性,但考虑到意外,最好采用EPROM更为安全可靠。

### (三)主要技术指标

ACMY—S256—PC的主要技术指标列于表23-1中。

表 23-1 ACMY—S256 主要技术性能

电源电压		AC 50 Hz 220V(或110V) ± 15% ,能正常工作
功耗		≤ 25 W
输入	开关量	光电耦合,DC 24V,由机内提供 输入阻抗 1.8 kΩ,输入电流 > 7 mA,输入响应 < 20 ms 扩展后最大输入点数为 128 点
输入	模拟量	(A/D)精度为 8 位,0~5 V 可调 最大输入通道为 8 路

电源电压		AC 50 Hz 220V(或 110 V) $\pm 15\%$ ,能正常工作
输出	开关量	继电器 AC 220 V/DC 24 V 2 A ( $\cos\varphi = 1$ ) ,最大 128 点 晶体管 DC 24 V 1 A ,时滞 < 1.5 ms 晶闸管 AC 85 ~ 250V 1 A ,时滞接通时 < 1.5 ms ,断开时 > 10 ms
	模拟量	(D/A)精度为 8 位 0 ~ 5 V ,通道一路(可扩) 配有 BCD 码输出口 ,供数显用
编程方式		梯形图 指令表
指令条数		21 条
用户程序量		1 kB
扫描时间		20 ms/1 kB
可靠性措施	RAM 程序保持	锂电池 25℃时寿命 3 ~ 5 年 BAT 指示灯亮后一周内应更换电池 ,更换时间 $\leq 30\text{min}$
	自诊断功能	CPU 故障、CTC 故障、RAM 故障、电池故障
	抗干扰强度	1 000V 脉冲 10 $\mu\text{s}$ 矩形波
	耐压实验	1 500 V 50 Hz 1 min( I/O 端子和接地端 )
	绝缘电阻	> 50M $\Omega$ ( I/O 端子和接地端 )
	振动实验	16.7Hz, 3 mm 双振幅( x、y、z 三个方向各 30 min )
环境温度		工作时为 0 ~ 55℃ ,储藏时为 20 ~ 65℃
环境湿度		35% ~ 85% RH 不凝结
环境要求		无腐蚀性气体

## 第三节 微机控制系统的安装与调试维护

### 一、微机控制系统

由于计算机具有运算、记忆、比较、判断功能 ,且能储存大量数据和信息 ,因而能很好地适应生产自动化的要求 ,从而构成种类繁多的计算机控制系统。

#### (一) 微机控制系统的种类

##### 1. 生产过程的巡回检测 and 数据处理

微机对生产过程的各种参数进行巡回检测 ,并显示打印记录 ,对于间接指标和参数则可进行计算处理。

##### 2. 操作指导和监督控制

计算机根据生产过程中测得的各种参数进行计算、分析 ,向操作者提供一些参考性数据 ,并打印或显示

出来,供操作人员参考并执行,称为操作指导。

若计算机用计算,分别得来的数据直接去改变控制器的整定值或模拟调节器的给定值,则称为监督控制。

### 3. 直接数字控制(DDC)

计算机根据现场测得的各有关变量,按一定的算法,计算闭合回路的给定值,对生产过程发出直接的控制作用,称为直接数字控制。

### 4. 多级控制

即分级控制。最低一级的计算机是控制单一设备或几台设备的 DDC 计算机,高一级的计算机不承担直接控制的职能,而是对整个控制系统的运行情况进行分析,做出最优决策,并对系统中的多台 DDC 计算机进行管理、监督,还可接受管理人员的其他决策,并将其贯彻下去。

## (二) 微机控制系统的组成

微机控制系统由主机、人机联系设备、过程输入输出通道组成。

### 1. 主机

主机由中央处理器(CPU)、内存储器等部分组成,是控制系统的中枢,它根据生产过程的运行情况,及时进行运算、比较、分析、判断,然后发出各种控制命令,通过执行机构去对生产过程发生影响,当生产过程发生不正常情况时,主机及时进行事故处理和报警。

### 2. 人机联系设备

人机联系设备包括键盘、数码显示器、屏幕显示器、纸带输入机、电传打字机、行式打印机等。

### 3. 过程输入输出通道

在微机控制系统中,控制和检测对象的被测和被控参数尽管是多种多样的,但一般都变换成电信号,其形式有模拟量、数字量、开关量三种。因此过程输入输出通道也就包括模拟量输入输出通道、数字量及开关量输入输出通道。

## 二、微机控制系统的安装

微机控制系统的安装主要有机房安装、信号线和接地线安装等一系列工作。

### (一) 机房安装

#### 1. 机房的位置要求

- (1) 应尽可能靠近被控设备,使信号传输和控制比较容易实现。
- (2) 应尽可能避开大干扰源,同时还要考虑隔离、屏蔽等防止干扰的措施。

#### 2. 机房的布置

- (1) 工艺布置应考虑操作与维修。
- (2) 设备之间要有规定的间距、良好的视野,并留有一定的操作空间和维修通道。

#### 3. 机房配电系统安装要求

- (1) 按低压配电系统要求安装。
- (2) 机房全部设备均应接到具有专用馈电线的配电盘上,而遥控设备可接到靠近安装位置的公用电源线上。

- (3) 机房四周设置供维修机器用的万能插座,一般每隔 5~7 m,离地 0.2~0.3 m 高度安装一个。
- (4) 导线应穿入钢管或金属软管敷设,且线管要可靠接地,以起屏蔽作用。

- (5) 电源线与信号线应分管敷设,以防信号线感应出干扰电压。

#### 4. 机房照明要求

- (1) 照度要求 在距地板 0.85 m 高度处,照度不应小于 500lx。
- (2) 灯具要求 采用发光天棚、发光带、荧光灯或白色的嵌入式灯具,避免出现阴影。

## (二) 信号线的安装

1. 信号线与电源线 模拟信号线与数字信号线分开布线 ,不能共管共缆。
2. 信号线平行布线时 ,应分别穿入钢管或分别使用屏蔽线。
3. 信号线应尽量避免靠近强电线路。
4. 信号线中间接头要加焊 ,然后用塑料胶布包好防潮并要恢复其屏蔽层。

## (三) 接地线的安装

1. 为安全、防干扰 ,各种接地线必须分别装设。
2. 要与大地相连的地线(如保护地线、屏蔽地线、电源地线以及某些信号地线)分开装设 ,但必须在同一点接地。
3. 信号线的屏蔽层接地时 ,要将模拟信号输入线的屏蔽层在现场接地 ,如图 23 - 12a 所示 ,而将数字信号输入线的屏蔽层在计算机输入端接计算机地 ,如图 23 - 12b 所示。

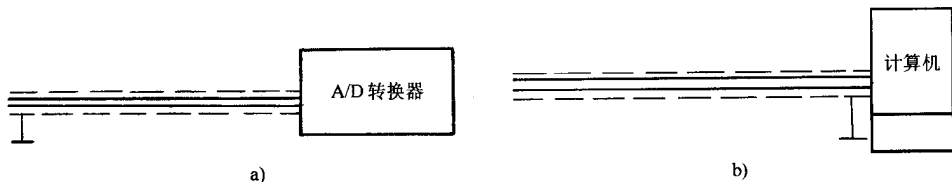


图 23 - 12 信号线屏蔽层接地

a) 模拟信号输入线屏蔽层在现场接地 b) 数字信号输入线屏蔽层接计算机地

## 三、微机控制系统的现场调试程序

1. 调试前 ,先仔细阅读图样、技术文件、使用说明书 ,弄清系统工作原理。
2. 熟悉系统中各种设备及元器件的基本结构、性能、使用和操作方法及其他注意事项。
3. 准备好调试所需的仪器、仪表和工具 ,并检查确认其完好 ,置于适当位置。
4. 穿戴好安全防护用品。
5. 检查系统各设备、线路的安装情况
  - (1) 接线是否正确 ,接头是否牢靠 ,各种控制开关是否正常。
  - (2) 接地线安装是否正确可靠。
  - (3) 电气或机械执行部件动作是否灵活。
  - (4) 被控设备的强电线路接线是否正确可靠 ,强电电器动作是否符合要求 ,机械部分是否调整到位。
  - (5) 通电前 ,先检查各部分电源电压是否符合要求。
6. 将系统设置为手动方式通电试验 ,通电后 ,观察系统有无异常现象 ,按操作程序一步一步地进行操作 ,发现异常现象 ,立即断电检查。
7. 将系统切换到自动方式 ,使整个系统在微机控制下自动工作 ,并仔细检查各部分工作是否达到预期的效果。
8. 试运行。

## 四、微机控制系统的维护

### (一) 维护的组织管理工作

1. 建立健全维护管理制度 ,如设备管理制度、设备操作规程、设备维护制度等。
2. 建立设备技术档案 ,图样资料、技术文件要存档。
3. 建立维修责任制度 ,责任到人 ,做好记录并存档。

4. 准备充足的备品、备件。
5. 重视对维修人员的技术培训,不断提高其技术水平。

## (二)日常维护工作

1. 保持环境清洁卫生,定期用吸尘器清除设备内外灰尘。
2. 经常检查各设备的温度,发现异常要分析原因,采取措施加以解决。
3. 定期检查元器件及线路,注意其连接是否牢靠,插头是否松动,绝缘是否良好,线管及其附件是否完好,元件是否有老化、烧焦、变质等现象。缺陷要及时纠正,老化、损坏的元器件应更换。
4. 定期检查屏蔽及接地,若发现接头松动、腐蚀等现象要及时处理。
5. 检查电气或机械执行部件是否灵活,注意定期加油或清洗换油。

## 第二十四章 弱电系统安装与维护

### 第一节 共用天线电视系统

#### 一、电视接收与图象质量

电视是现代社会传播信息的重要工具,它为社会提供富有意义的娱乐节目,还能迅速传递政治、经济、科技、文化、治安等信息。在高层建筑、宾馆酒店、办公楼等民用建筑中,都应设置电视,并能保证有4级以上的收看效果,表24-1是对电视图象质量的分析。

表24-1 电视图象质量五级评分法

图像等级	主观评价	干扰和杂波造成的影响
5	优	同步稳定,无干扰,对比度强,清晰度好。
4	良	同步稳定,稍有干扰,对比度尚有余量,能良好收看。
3	中	同步可靠,干扰明显,对比度不强,清晰度一般。
2	差	勉强维持同步,干扰严重,对比度差,清晰度差,能接收。
1	劣	噪声淹没信号,难于同步,不能成像,无法接收。

电视信号在传播过程中遇到山峦、森林、建筑物等的吸收和阻挡作用时,会使接收点的信号强度降低较多,同时,电磁波遇到障碍物产生反射,由于直射波和反射波之间有相位差,使电视机接收的图象出现重影,在城市高层建筑密集的地区,“高楼重影”已成为电视收看的严重公害,各种电气杂波干扰也是影响电视机收看质量的原因。

为解决影响电视收看问题,用户将天线架设在建筑物的最高处,造成到处天线林立,杂乱不堪,严重影响市容,且这种天线造价高,效果也不佳。为了根本解决城市民用建筑电视图象收看质量的问题,现在普遍采用的方法是安装共用天线电视系统,简称为CATV系统,它是在一幢建筑物或在一建筑群中,选择最佳位置安装天线和前端设备,经传输分配系统传送到各个用户的电视接收机,各用户都能均等地获得良好的收看效果。



## 二、CATV 的发展与功能

### (一) CATV 系统的发展

在本世纪 40 年代,美国为解决远离城市的边远地区能收看到电视节目,创建了世界上第一个共用天线电视系统,当初的 CATV 系统的功能,仅限于把天线接收到的电视信号经传输电缆分配给电视接收机,本质上只起到了一个电视“转播台”的作用。60 年代以后,为了解决城市收看电视节目时的重影、阻挡、干扰影响等难题,将 CATV 系统引入城市。城市和工矿区各种射频干扰源的存在,也使接收图象上出现射频干扰影响电视图象质量。由于采用了 CATV 系统,提高了电视信号的传输质量,使图象稳定并能传送多套电视节目。在这阶段的 CATV 系统既保持了接收和分配电视台节目的基本功能,还增加了自办节目和其它服务,形成电缆电视网。实际上,大中型的 CATV 已成了“有线电视台”。

70 年代后,随着科学技术的飞速发展,使用通信卫星的电缆电视独立网络及双向通信引入电缆电视系统,使 CATV 的功能开始由量变到质变,它不单是用户收看电视新闻和娱乐欣赏的工具,而且还为用户提供通讯、信息咨询、保安防盗等业务。

我国的 CATV 起步较晚,到 70 年代才开始研制第一套共用天线电视系统,由于改革、开放,使电视事业有了较大的发展,全国大中城市中的共用天线电视系统到处可见。我国正在开拓 CATV 系统的新功能研究,使它与通讯、电子计算机、光缆技术相结合,发展成为先进的综合系统工程。

### (二) CATV 系统的作用与功能

(1) 解决电视“弱场强区”和“阴影区”的信号接收 电视发射台所发射的高频电视信号,是以额定的功率向空中辐射电磁波能量,其能量随着传播距离的增加而减弱。当信号的场强低于电视接收机的接收灵敏度时,所接收的图象变差,甚至会收不到信号,这类地区称为电视的弱场强区,如远离电视台的矿区或边远地区。

电磁波是直线传播的,当遇到障碍物时,就产生电磁波的反射与吸收,因此即使电视接收机距离电视发射台很近,但收看效果也不好,这类区域称为电视接收的“阴影区”,障碍物有高山、高层建筑,它们使电视信号的场强急剧下降,尤其是背离电视台发射方向的一侧,或大楼的底层内,衰减更严重,使接收场强低于标准,无法正常收看电视节目。

解决“弱场强区”和“阴影区”的办法是采用高增益的天线,并架设在楼顶或最高点,可提高接收信号的增益,或接入专用频道放大器,将信号强度提高后通过 CATV 系统分配到各用户,使电视机都能获得标准电视场强,提高收看效果。

(2) 削弱和消除重影干扰和电气杂波干扰 在城市收看电视要比农村或旷野地区所接收到的干扰要多,主要是重影干扰和电气干扰。重影干扰的产生,是由于电视信号在传播过程中遇到建筑物或高山等的反射,产生反射波。因为反射波要比直射波到达接收天线滞后一段时间,因而在电视机的屏幕上图象的右侧出现一个亮度稍低的图象,这就是“重影”。城市高层建筑日益增多,电视信号在传播过程中受到阻挡而形成反射波,则使“重影”干扰日趋严重。

电气干扰是由于城市使用高频电气设备造成的,如高频电炉、高频热合机、汽车点火装置等,它们的存在影响电视图象的正常收看。

对于“重影”干扰,CATV 系统可采用高增益、方向性强的天线,或用抗重影天线来消除,对于电气干扰,在 CATV 系统中采用各种滤波器,减小其影响,使图象清晰、稳定。

(3) 美化市容,利于安全 随着我国电视广播事业的迅速发展,电视机的拥有量与日俱增,在城市或同一地区同时播放几套彩色电视节目时,用户在收看时难以达到满意的效果,即使在室外楼顶架设天线,也难以解决同时收看几套电视节目的质量。况且城市楼顶天线林立,不但影响市容,还耗费大量金属材料 and 资金,对于建筑物的承重及防雷等安全问题均不能妥善解决。安装了 CATV 系统,城市居民区中只需安装一组天线,就可使几十户,几百户,甚至上万户居民得到满意的收看效果,还可以节省大量的金属材料,美化了市容,

因为 CATV 系统天线的安装必须采取避雷针等安全措施,所以用户的安全也有了保障。

除上述所介绍的功用外,CATV 还可用于通讯、自办节目、收看卫星电视广播,以及防盗、报警等方面,最终可发展成为综合性和多功能的服务系统。

### 三、CATV 系统的组成及其规模区分

#### (一) CATV 系统的基本组成

CATV 系统的组成与接收地区的场强、楼房密集的程度和分布有关,同时还与配接电视机的多少、接收和传视频道的数目有关。当电场强度弱、配接电视机台数多、接收和传视频道多,其组成就复杂,反之则简单。基本组成如图 24-1 所示,主要有:天线及其信号源设备、前端设备和传输分配系统等部分。

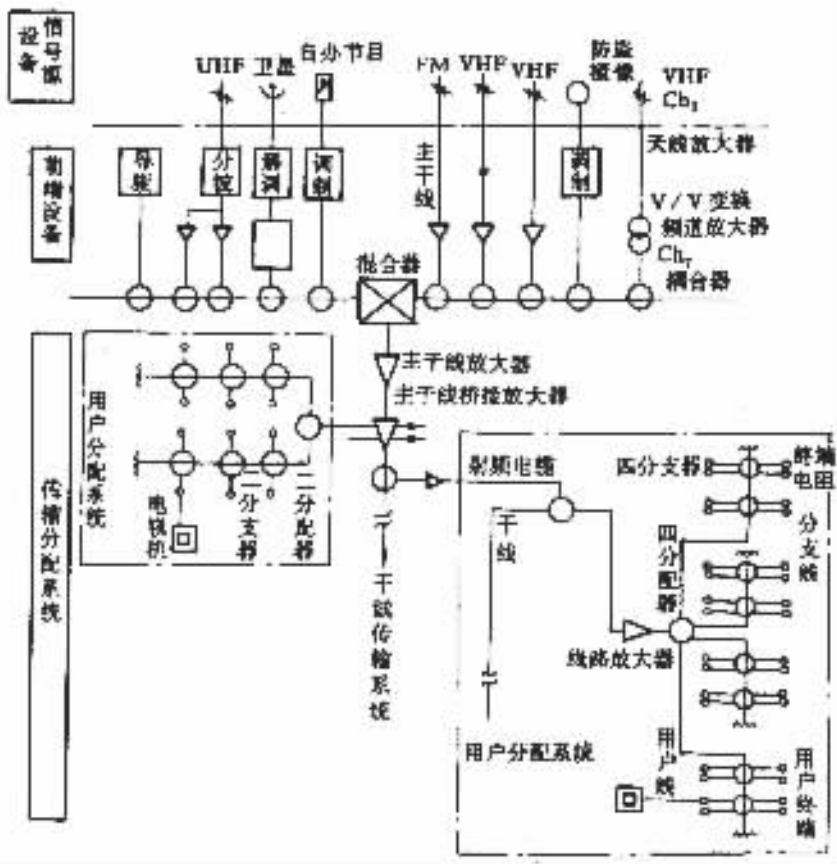


图 24-1 CATV 系统示意图

#### (二) CATV 系统的规模区分和经济估价

目前我国 CATV 系统的设计,常以一座高楼或某一建筑群,甚至住宅小区为装设单位,一般在 100 户以下为小型系统,每个用户估算造价 120 元左右;中型系统 100~400 户,每用户造价约 100~110 元;大型系统 400~1000 户,每用户造价约 80~90 元;极少数几千至万户的特大型系统,适用于大型企业职工住宅区或居住小区,每用户造价 70~80 元。由此看来,系统越大,造价越低。目前国内多数高层楼房对 CATV 系统的功能要求还不高,前端和信号源不甚复杂,从管理和经济综合考虑,不宜将系统搞得太大。随着卫星电视转播技术的普及,社会生活水准的提高,系统的功能也不断升级,到那时采用特大型 CATV 系统将是必然的趋向。

## 四、CATV 系统天线的安装与防雷

### (一) 接收天线安装位置与选择

在共用天线系统中,天线的选型及其安装位置的选择极为重要,既要考虑系统的要求,又要结合现场的条件,避开天线入射方向的障碍和各种干扰,提高接收信号强度和减少噪声强度。在弱场强区,可采用高增益天线或多个天线合成的大型天线。

几付天线同杆安装时,宜将超高频(UHF)段天线放在高处,把甚高频(VHF)段天线装在低处;或将场强弱的接收频道天线装在高处,场强强接收频道天线装在低处。在高楼之间,要考虑周围建筑物的接收天线相互干扰,应调整天线的安装高度和位置,使各付天线在水平与垂直方向相互错开 1.5~2m。

### (二) 天线的安装

天线的安装根据建筑结构来布置,通常是安装在建筑物的楼顶。图 24-2 是常见形式,供设计时参考。

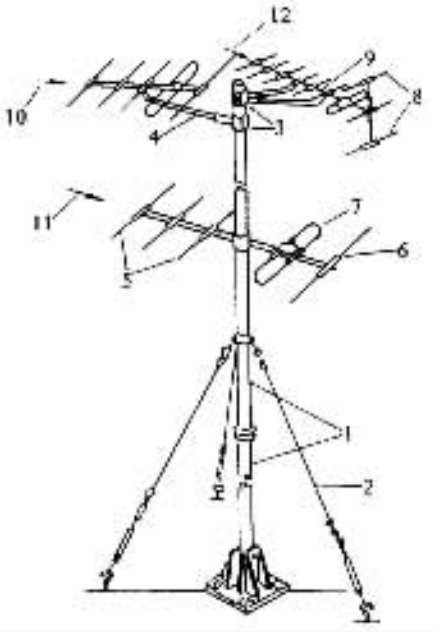


图 24-2 天线安装示意图

1—竖杆 2—钢丝绳 3—固定夹板 4—夹臂 5—引向器;

6—反射器 7—有源振子 8—角反射器 9—模杆;

10—电视台 1 电波方向,11—电视台 3 电波方向,12—电视台 2 电波方向;

图中主杆用 M20×14cm 螺栓固定在基础上,拉绳的拉耳环应在土建施工时预埋,主杆管径与拉线,根据当地风力确定。基座采用铸铁铸造,用 4 个地脚螺栓与基础紧固,此地脚螺栓应与建筑物钢筋焊连,并须与接地系统焊连。

### (三) 天线防雷

CATV 系统的接收天线都安装在建筑物的最高处,当雷击时高电位直接经天线侵入,通过信号系统、前端设备、分配系统,最终经用户终端入地;另一种可能是电视机和系统的电源线路的感应雷的电位引入。这两种情况都会使系统或电视机遭到破坏,甚至引发人身伤亡事故。

由于雷击天线会引入高电位,给设备和人身带来危害,所以必须采取对天线的防雷措施。将天线竖杆与接地网可靠焊连,即可起到避雷作用,防雷接地电阻应不大于 10Ω。CATV 系统的全部干线和分支线应穿钢

管敷设,其保护管应与接地系统焊连,既可防止高电位引入,又对系统外的高频信号起到屏蔽作用。

## 五、CATV 系统设计实例

这里介绍一个中型 CATV 系统的设计实例,供理解系统的组成时参考。有关用户终端接收信号强度的计算从略。

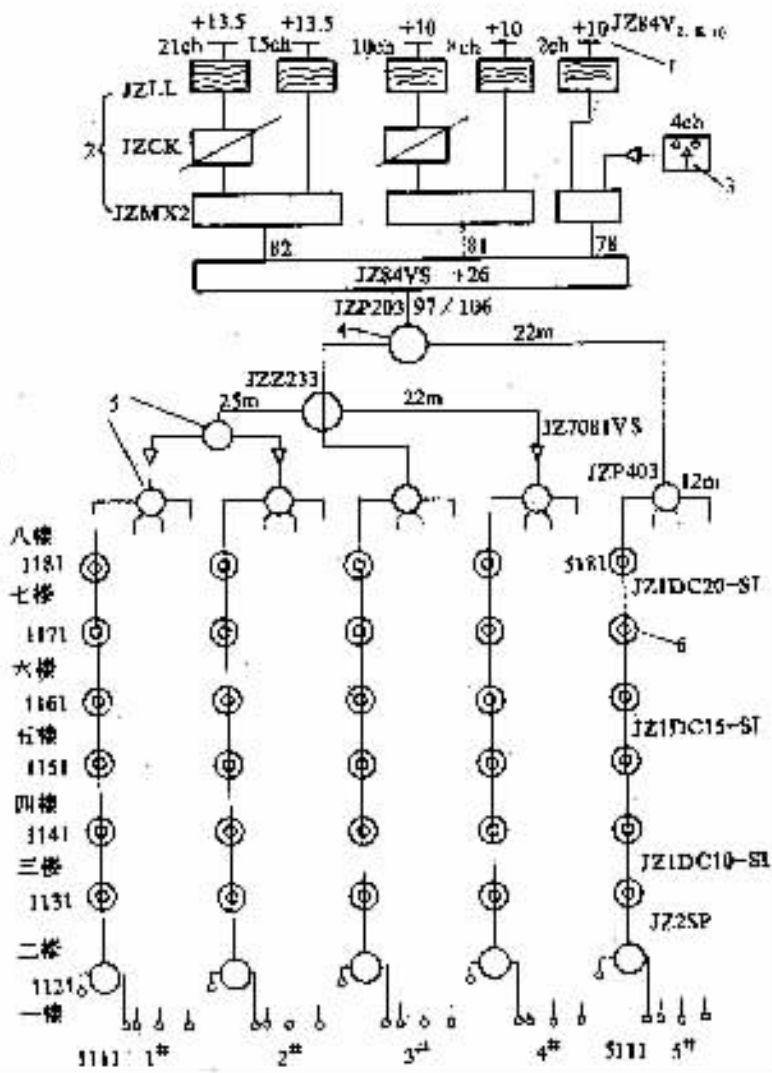


图 24-3 某宿舍区的 CATV

- 1—天线 2—前端设备 3—录象机 4—分配器 5—分支器
- 6—用户插座 ;JZLL—滤波器 ;JZCK—衰减器 ;JZMX2—混合器

例 某宿舍区有 5 幢住宅楼,编号 1#—5#。每幢 8 层,2 单元,每单元 2 户,每幢 32 户,共有 160 户。要求接收 2、8、10、15、21 频道电视节目和 4 频道自办节目,设计该宿舍区 CATV 系统,如图 24-3 所示。前端设备及天线设在宿舍区 3# 楼,这 5 幢都是 8 层,每层 4 户,系统有 20 条支线。前端设备输出电视信号大致均等地分配到各用户。

## 第二节 闭路电视系统的安装

### 一、闭路电视系统的组成

图 24-4 表示了典型闭路电视系统的组成。

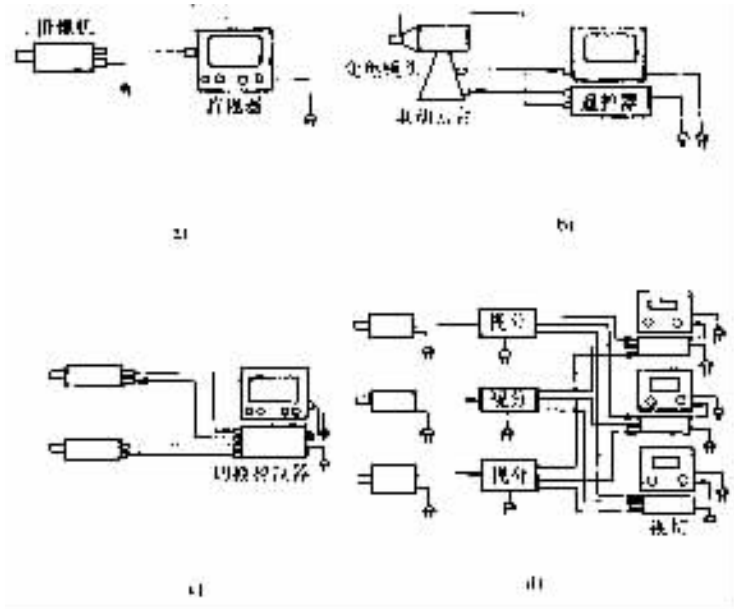


图 24-4 典型闭路电视系统

- a)基本单元 b)加遥控制器 c)配切换控制器
- d)多摄像机异地切换 e)光纤传输方式
- f)VTR 放像、录像互相转录系统 g)单缆半双工系统
- h)加中继放大器的半双工系统

### 二、安装作业流程

如图 24-6 所示 给出了闭路电视系统安装作业流程。

#### (一)安装前的准备工作

##### 1. 认真审阅图纸

认真审阅图纸 根据图纸做好施工前的人员、材料、设备等各项准备工作 核对土建、水暖、电气、装修等施工图 分析空间交叉位置 提出走线、安装位置方案 不宜或不便布线时要相互协商 寻找解决办法 必要时可提请设计部门变更方案。按工期和各工种施工计划 排出可行的施工方案。

##### 2. 查勘现场

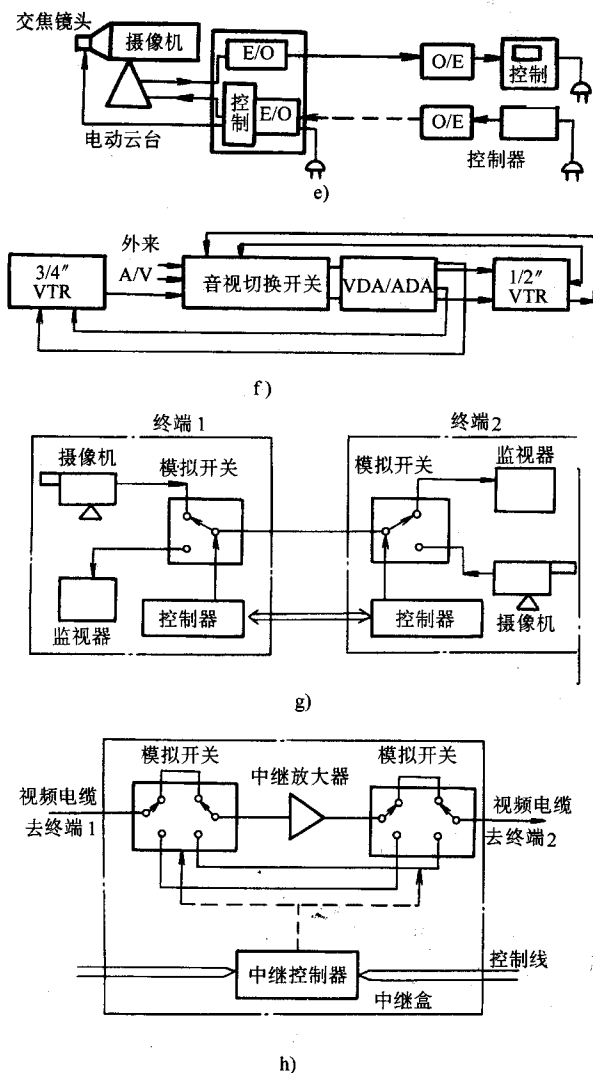


图 24-5 (续)

现场测量场地尺寸,对摄像机的安装位置、安装支(吊)架尺寸、电缆桥架位置、线槽(钢管)尺寸及走向等仔细核对画出草图。

### 3. 支、吊架制作

按现场确定的支、吊架数量、尺寸、形状制作,外观应尽量美观,涂装颜色要考虑与环境的协调。

## (二) 预埋管线、支架和线路敷设

土建施工浇注混凝土时,暗配管、分线箱、接线盒、穿墙管、桥架支架、设备支吊点等要进行预埋。布线分3类:220V电源供控制台、摄像机、监视器。24V直流电源由控制台供摄像机。视频电缆由摄像机至控制台,再经分配器、切换器至监视器。信号线不宜与电源线同管或平行敷设。

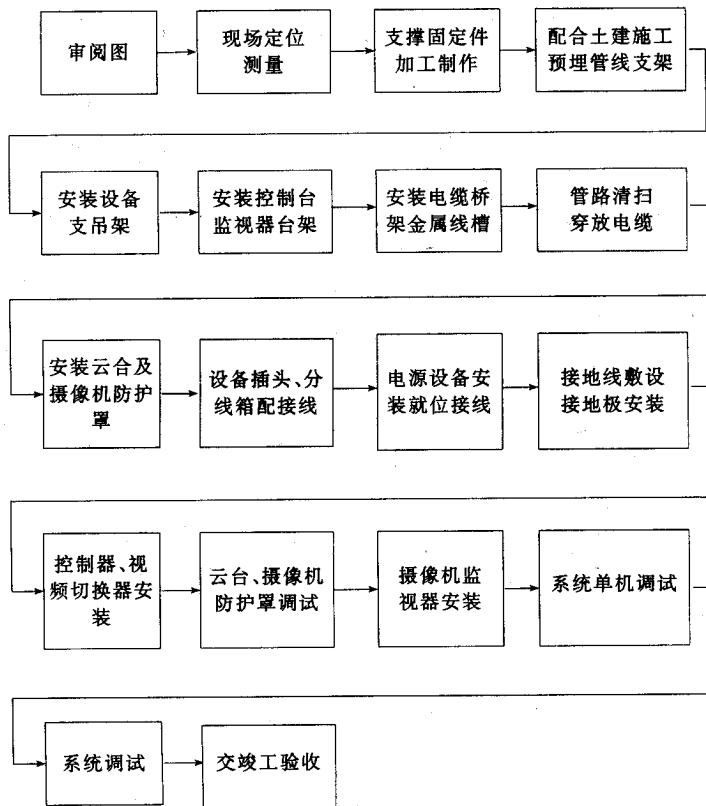


图 24-6 闭路电视系统安装施工流程图

### 三、云台的安装

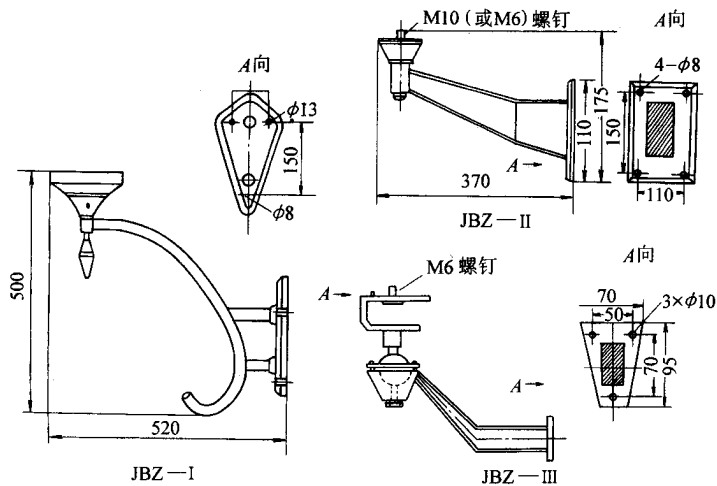


图 24-7 壁装支架示意图

## (一) 支、吊架的安装

支架是安装在墙壁、梁、柱上用来支撑云台、摄像机的支持件,其形状如图 24-7 所示。在砖或混凝土墙壁上固定时,一般用膨胀螺栓固定,在复合型壁板墙面上固定时,用垫板夹固,如图 24-8 所示。

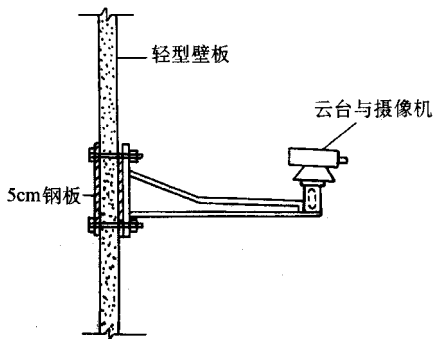


图 24-8 复合壁板上支架固定方法

若云台支架臂长不能满足需要时,可根据现场情况自制支架。云台与支架的连接一般用螺栓,也可将云台的方形轴直接插入支架端部的方孔中。为保证摄像机和云台正常工作,云台安装处 0.5m 范围内不得有障碍物。

吊架是固定在屋顶、吊顶、梁上用来支持云台和摄像机的金属附件,其形状如图 24-9 所示。吊架用膨胀螺栓固定在屋顶上,有吊顶时,也不能固定在龙骨上。吊架长度不足时,可加长吊架,如图 24-10 所示。吊架不能影响摄像机的视野。

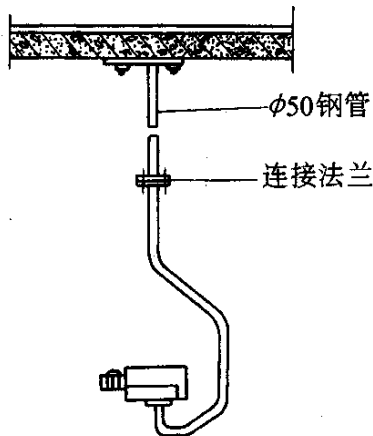


图 24-9 吊架安装尺寸

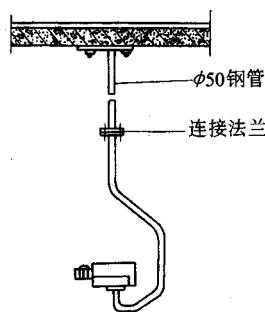


图 24-10 吊架接长方法

### 2. 云台的安装

手动式云台结构简单,安装方便,使用广泛。如图 24-11、图 24-12 所示,给出两种半固定式手动云台的安装尺寸。可手动调节水平、垂直两个平面内的倾斜角度,调整后要旋紧固定螺母。半固定式云台安装在支、吊架或平台、凸台上。

悬挂式手动云台和横臂式手动云台如图 24-13 所示。这种云台通过有自锁能力的万向节调节水平、垂直两个平面内的角度,调节后拧紧旋钮即可。手动云台的应用,如图 24-14 所示。

图 24-15 是一种室内电动云台,可以水平旋转  $320^\circ$  垂直旋转  $\pm 45^\circ$ 。摄像机可直接安装在云台上,也可以通过摄像机防护罩安装。如图 24-16 所示,是室外安装的大型电动云台,负载能力强、防水性能好,供全天候防护外罩的摄像机使用。水平转角  $350^\circ$ ,垂直转角  $\pm 45^\circ$ 。



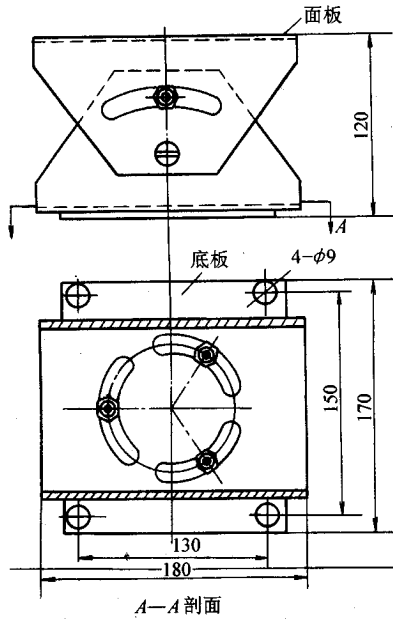


图 24-11 YTB-I 型半固定云台安装尺寸

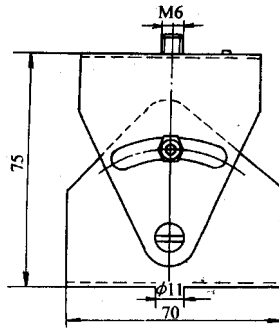


图 24-12 YTB-II 型半固定云台安装尺寸

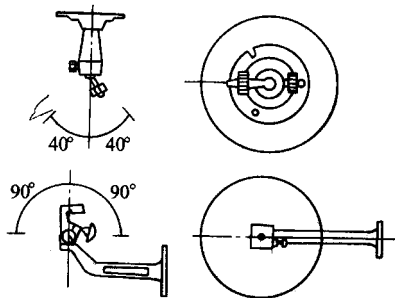


图 24-13 悬挂式、横臂式手动云台示意图

云台的旋转方位应充分考虑摄像监视范围,其旋转死角应在支、吊架和引线电缆一侧,由于重量较大,支、吊架应保证强度和刚度。

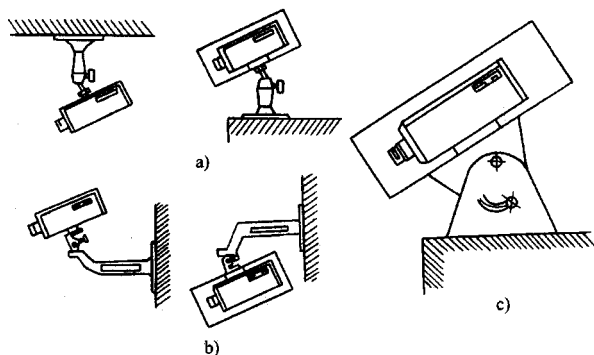


图 24-14 手动云台安装

a) 悬挂式手动云台安装 b) 横臂式手动云台安装  
c) 半固定式手动云台安装

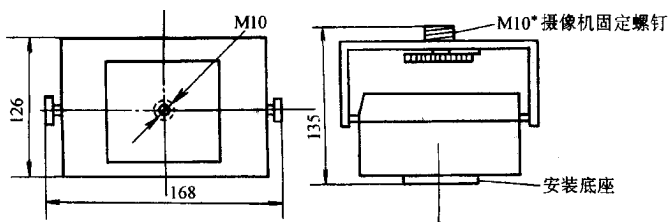


图 24-15 YT-I 型电动云台安装尺寸

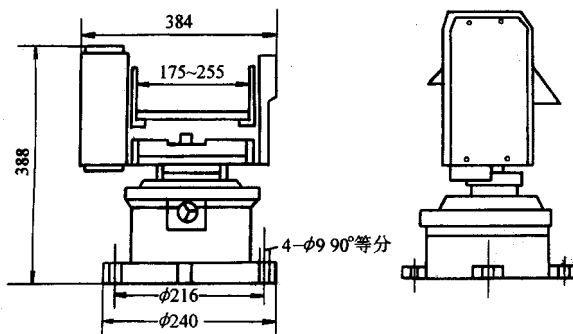


图 24-16 YT-25 型电动云台安装尺寸

## 四、摄像机的安装

### (一) 摄像机防护罩的安装

如图 24-17 所示,为水冷防护罩安装尺寸。用于环境温度  $40 \sim 70^{\circ}\text{C}$  时观察现场静止或活动目标的工业电视摄像机。用循环水为摄像机降温。当罩内温度高于  $40^{\circ}\text{C}$  时,自动切断摄像机电源。

如图 24-18 所示为低温防雷防护罩安装尺寸。用于寒冷地区室外或野外,防冻、防霜、防雨雪、防雷、防晒、防尘,当罩内温度低于  $0^{\circ}\text{C}$  时,自动加温。凝霜时,自动除霜。适应温度范围  $-50 \sim 45^{\circ}\text{C}$ 。

### (二) 摄像机的安装

现场清理完毕后,将摄像机用螺栓固定在云台或防护罩内即可。应注意以下几点。

1. 安装前摄像机应逐台加电进行检测和调整。

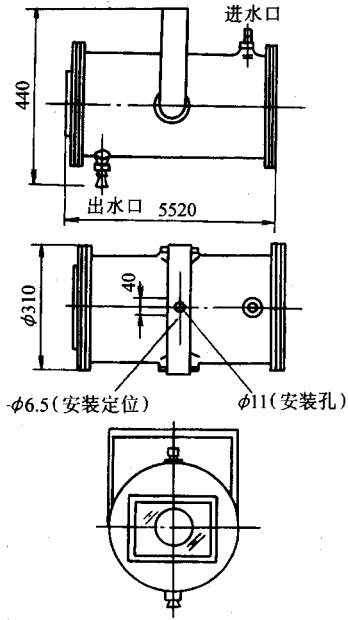


图 24-17 SC-1 水冷防护罩安装尺寸

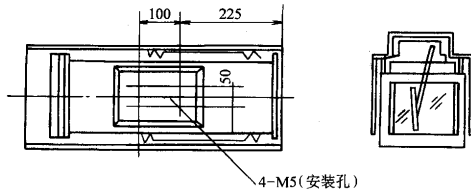


图 24-18 DW-1 型低温防护罩安装尺寸图

2. 检查防护罩冷却、加热、雨刷等功能是否良好。
3. 检查云台水平、垂直角度是否合适，控制是否正常，调整旋转起点位置是否合适。
4. 摄像机就位，安装牢固。
5. 电源线和电缆长度应有 1m 的余量，以不影响云台的转动为准。不得利用电缆或电源插头承载电缆自重。
6. 摄像机应安装在监视目标附近不易受到外界损伤的地方。安装位置不得影响现场人员的正常活动和工作。室内安装高度以 2.5~5m 为宜，室外以 3.5~10m 为宜。室内净空间较小时，如电梯轿厢内，应安装在顶部。
7. 摄像机镜头要避免强光直射，避免逆光安装。必须逆光安装时，应尺量补光，保证最低的对比度。
8. 当摄像机视野内明暗反差较大时，应充分考虑摄像机的拍摄方向和照明条件。

## 五、监控台、柜的安装

在监控中心，监控台上一般设有监视器、视频切换器、控制器、录像机等，如图 24-19 所示。监控台的安装应在土建内装修完毕、电源入室后进行。开箱后要认真清点各种部件、配件、备件紧固件及技术资料等。仔细阅读安装使用说明书。

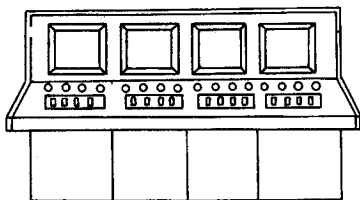


图 24-19 闭路电视监控台示意图

监控台安装时,监视器不得面向窗户,以免阳光影响图像质量。台背面与墙的距离应大于 0.8m,以便于检修。正面与墙的距离应大于 1.2m。与其他设备的距离,主要过道不小于 1.5m,次要过道不小于 0.8m。

控台一般不须固定在地面上。就位后,按安装说明书要求进行监视器、控制器和切换器安装,并完成接线。要求设备固定牢靠、按钮旋钮动作灵活、接线连接可靠、准确、整齐。柜体可靠接地。

## 六、监视器的安装

监控用监视器安装在监控台上,安装简单。供多人同时观看的监视器安装时要求如下。

1. 应避免外来光直射监视器屏幕。
2. 监视器应安装在特制的支、吊架上。支、吊架一定要牢固可靠,吊架尺寸及安装方法如图 24-20 所示。

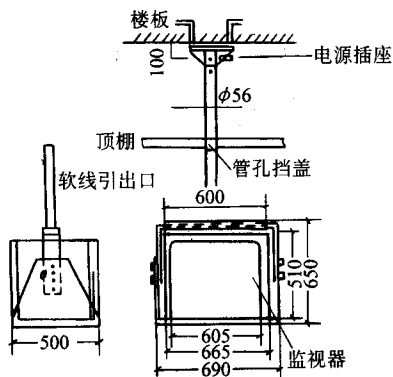


图 24-20 监视器在顶棚上的悬挂方式

注 图中监视器尺寸为 51cm

3. 监视器观看范围及水平、垂直视角如图 24-21 所示。其中  $d$  为监视器显像管尺寸。

## 七、配接线

闭路电视系统视频信号的传输有不平衡电缆(同轴电缆)传输、平衡对电缆(电话电缆)传输和光纤传输等方式。其比较见表 24-2。同轴电缆和电话电缆的敷设不再重复,对光缆的敷设做一简单介绍。

### (一) 光缆敷设

敷设光缆前应用光时域反射计和光纤衰耗测试仪检查光缆是否有断点,衰耗值应符合要求。

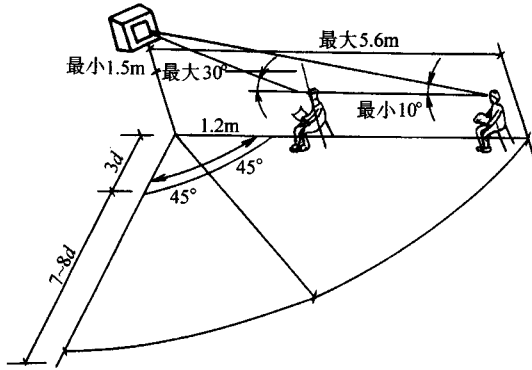


图 24-21 监视器观看范围

表 24-2 有线电视传输方式

分类	传输介质	传输距离	特点
视频基带	同轴电缆	SYV—75—5 电缆加电缆补偿达 2.5km SYV—75—9 电缆加电缆补偿距离达 5km	比较经济 易受外界电磁波干扰
	电话电缆	0.9mmPEF 电缆加一级中断达 2km 0.9mm 宽频对绞电缆加一级中断 3km 0.9mm 宽频对绞电缆加多级中断 30km	不宜受外界干扰 易实现多级中继补偿放大传输 有自动增益控制功能
视频信号调制	同轴电缆	用低载波残留边带调频传输方式或低载波调幅传输方式,加电缆补偿后可达 20km	抗干扰杂波能力较强 高频补偿容易实现 设备较复杂
	共用天线同轴电缆	用广播电视频道共用天线方式传输,经多级中断设备,可达 20km	可实现单线多路传输,用普通电视机接收,设备较复杂
	光缆	把电信号变成光信号通过光缆传输,不用中继设备可达 20km 以上	完全不受外界电气干扰,传输频率特性好

布放光缆时,最小弯曲半径应大于光缆外径的 20 倍,光缆接头预留长度不小于 8m,光缆接头应由专门人员制作,做好接续保护,检查接续损耗。室内布线时,光缆可与信号电缆同槽(管)。要注意光缆应顺直无扭绞,敷设完成后要检查全程衰减特性曲线。

## (二)设备配接线

线、缆应根据图纸做好线号标记,引入室内或引出室外的线缆应在出入口处做防水弯。视频电缆尺量不要有中间接头,必须有接头时接续要可靠,信号衰减弱不能太大,连接处必须焊接。做插头时,线芯和屏蔽层都要焊牢,插头与线径要配套。控制电缆连接时要注意核对线号。控制室电源用 200V 50Hz 市电。

闭路电视系统的金属保护管、电缆桥架、配线柜、分线箱、设备等都要可靠接地。

## 第三节 民用建筑电讯系统与 设计

随着科学技术的迅速发展及人类社会信息化的需要,推动着近代通讯技术发生新的变革,使得民用建筑电讯系统已不再是原有概念的单纯电话系统,现已发展到包括电话传真、电传和无线传呼等电讯技术和设备所组成的系统。

### 一、电话通信系统

#### (一) 电话通信的发展

电话通信技术从发明电话到现在,已经有一百多年的历史,虽然这方面技术有了很大的发展,但直到 20 世纪 60 年代,电话通信还属于模拟通信,无论是传输还是交换,都是在模拟基础上进行的。所谓模拟通信,是指通信信号是以模拟的电信号传输的。如电话通信最基本的设备是电话机,电话机中有发话器和受话器,发话器将人讲话的声波信号转换为相应的电信号,该电信号的振幅和声波成一定的比例关系,即电信号的振幅模拟声波,故称为模拟电信号。图 24-22 为甲、乙之间模拟通信的示意图,甲讲话的声波由发话器变成模拟电信号,传至乙的受话器后还原成声波为乙方收听。实际上通话是双向的,即乙至甲也要经声波、模拟电信号、声波的变换。上述通话是简单描述,实际情况要复杂得多,还需经传输线路、电话局交换设备等环节。目前我国绝大多数省市还在采用各种机械式或电子式的模拟传送电话设备。

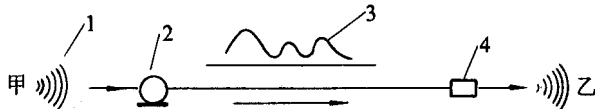


图 24-22 模拟电信号的通信示意图

1—声波 2—发话器 3—模拟电信号 4—受话器；

自从 1960 年逐步出现数字通信后,先是传输设备数字化,以后交换设备也数字化了。所谓数字通信,是指在模拟电信号的基础上,将它变为一系列的“0”和“1”组成的数字信号再传送。图 24-23 示出了甲、乙之间数字通信的示意图。它与图 24-22 比较,增加了两个设备:一是模数转换设备,其作用是将模拟电信号转换成“0”和“1”数字信号;另一个是数模转换设备,是将数字信号还原为原来的模拟电信号。数字通信都是双向的,即同时可进行双向通信。目前发达国家已普遍采用数字程控交换机,它是在数字通信的基础上发展而成的。我国随着经济的发展,模拟设备已远不能适应发展的需要,故推广使用数字程控电话技术已势在必行。

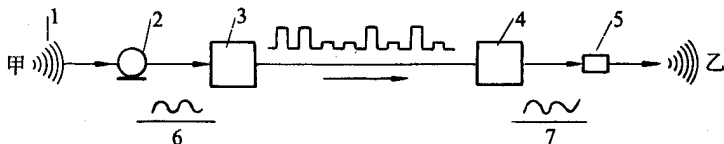


图 24-23 数字信号通信示意图

1—声波 2—发话器 3—模数转换器 4—数模转换器；

5—受话器 6—模拟电信号 7—模拟电信号

#### (二) 电话工程设计与设备选择

##### 1. 电话用户数量的计算和电话设备的选择

电话用户的数量应以建设单位提供的用户表为设计依据,结合其它方面的实际需要数,以及将来发展的远景规划,确定 3~5 年内的近期初装容量和 10~20 年后的远期终装容量。

电话设备按以下所述内容进行选择：

②交换机的制式和类型。电话交换机的制式和类型较多,主要有磁石交换机、共电式交换机、纵横制自动交换机、电子式自动交换机和数字式程控交换机等。数字式程控交换机将是城市民用建筑中推广应用的交换机。数字程控交换机产品系列繁多,从基本原理来看,主要由话路系统、中央处理系统和输入输出系统三部分组成。它预先把交换动作的顺序编成程序,集中存放在存储器中,然后按程序自动控制交换机的交换接续动作,以完成用户之间的通话。

数字程控交换机的服务功能一般都有数十项,这是其它制式的交换机所难以相比的,在众多的功能中;有的是基本的,有的是供选用的,是根据交换机的容量级别和服务对象的不同来配置的。选型时需要参考各种程控机的产品说明书,以便确定应选交换机必须具有的功能。

②辅助设备。程控交换机的辅助设备,主要包括交流配电盘、直流配电盘、蓄电池组及总配线架。这些辅助设备可以随交换机配套提供,但个别设备如蓄电池组,也可由建筑单位另购。

对于400门以下话务量较小的电话站,在交流电源可靠、建筑物功能要求许可时,可考虑交流直接供电方式。整流设备有稳压及滤波装置,并设有备用整流器和备用蓄电池组。对于400门以上电话站,应采用浮充制供电,由两组蓄电池并联。

③话机。主要有拨盘式、按键式和多功能式等。模拟制电话网络常配用拨盘式和按键式脉冲话机。采用程控交换机时,仍可使用上述话机,但通话质量难以保证,宜配用双音多频按钮式话机。此外,在要求较高的场所,还可配备留言电话机和多功能话机。

图24-24系部分话机外形及其连线芯数。图中标准型电话机是含8功能键的多功能话机,豪华型话机是含8功能键兼有扬声器对讲功能的话机。这两种话机都采用4芯线联接,双音多频按钮式话机采用2芯线联接。

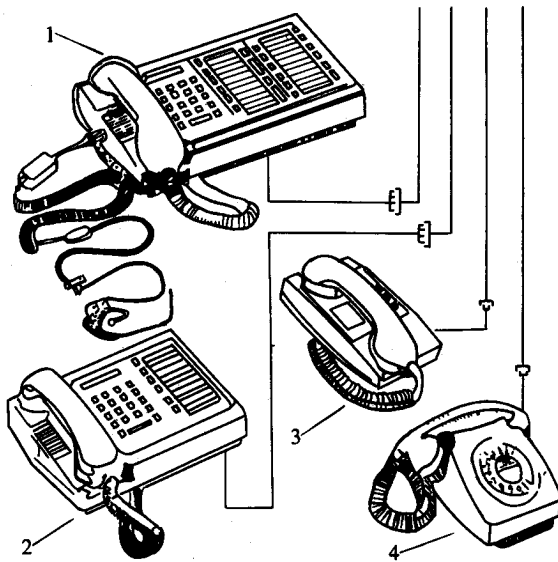


图24-24 话机外形及其接线

1—话务台豪华型电话 2—标准型电话；

3—按键电话 4—拨盘式电话

## 2. 电话站房的设计

①电话站位置的选择。电话站的位置应根据建筑物的规划和布局,以及环境条件和进出线方便等因素来选择。从电话站的功能着想,一般置于建筑物的一层或二层,不宜设在四层以上,更不可设在地下室。环境要求宁静、清洁、干燥,远离人流嘈杂和多尘的场所。不宜设置在厕所、浴室等潮湿房间的附近,或设在它们的下层,也不可设在空调机房、冷库等振动噪音大的场所附近。为了电话站的安全,不应设置在变压器、柴

油发电机房的楼上、楼下或隔壁。为配线和管理需要,电话站房应在建筑物主体或与其相连的裙房内。

②电话站的平面布置。应根据设备装机容量,并考虑以下原则来确定:

- a. 使用安全,有利于维护管理;
- b. 根据近、远期规划,预留增容位置;
- c. 总配线架或配线箱应靠近用户侧,便于进出线;
- d. 话务台尽量与主机相近,或用电缆与主机相连;
- e. 蓄电池组应布置在主机室隔壁或在下层的专用房间内,若采用镉镍蓄电池时,可与配电屏和充电设备置于同一房间内;
- f. 400 门以上的电话站应设置维修室,800 门以上应设置电缆进线室。

图 24-25 为程控交换机的一种典型布置图,供设计时参考。

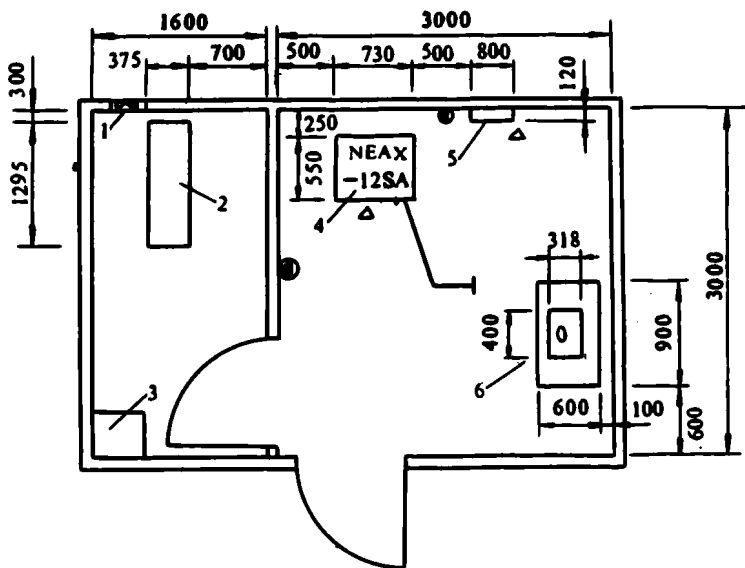


图 24-25 12SA-192L/64 平面布置图(单位:mm)

1—通风机 2—蓄电池组 3—水槽 4—主机 5—挂墙式配线箱 6—话务台

③电话站接地。电话站通信用接地装置包括直流电源接地,电信设备机壳的保护和屏蔽接地,入站通信电缆的金属护套或屏蔽层的接地,以及电缆入站避雷器的接地等。这几种接地均应与全电话站共用的通信接地装置相连。若通信接地单独设置,其工频接地电阻值一般不应大于  $4\Omega$ 。如因条件限制,需与建筑物的防雷接地和工频供电系统的接地互连共用接地体时,则工频接地电阻值不应大于  $1\Omega$ 。

④程控交换机机房的土建工艺要求。程控电话交换机机房的土建条件和工艺要求,应根据机房设备和建筑物的具体情况来确定,表 24-3 所列各项仅供工程设计时参考选定。

表 24-3 程控电话交换机机房的土建工艺要求

机房名称	主机室	话务配线室	蓄电池室(铅酸电池)
楼层净高, m	2.8	2.8	2.8
楼板荷重, kg/m <sup>2</sup>	450~500	450~500	600
地 板	水磨石地板、木地板或水泥地面铺地漆布		耐酸瓷砖



机房名称	主机室	话务配线室	蓄电池室(铅酸电池)
墙 壁	内墙涂		白色耐酸漆 2m 以下贴耐酸瓷砖
天花板	白色内墙涂料		白色耐酸漆
门	严密防尘,门高 2.1m、宽 1.5m	严密防尘	良好防尘,涂耐酸漆
窗	双层窗、严密防尘	双层窗 良好防尘	双层窗,外层窗装 磨砂玻璃
环境温度,℃	15 ~ 30		> 10
相对湿度	35% ~ 65%		
其 它			应设通风排气装置

⑤电话电缆及线路敷设。高层或大型民用建筑电讯电缆进楼时,应在楼外进线点设手孔或人孔,预埋穿墙钢管的大小应根据装机容量而定,并需留有 50% 的余地,中继线按总容量的 8% 考虑。根据建筑规模,必要时设弱电井,其位置应考虑进出线方便,且与电气、管道井分开。

从楼层电话分线盒引至用户电话出线座的线路,可采用穿管暗敷。在使用程控电话的建筑物中,为便于用户加设电话线路或采用多功能话机,应采用四芯塑料胶线馈送,并宜用组合式话机插座;一般电话机用双芯馈线。

## 二、电话传真系统

### (一)电话传真的作用及功能

电话传真是使用传真收发机,利用普通电话网络传送图片和文字的电讯设备。电话传真和电话机可公用一对线路,可以适用于公共电话交换网络和双向传输线路。电话传真,是在商业性建筑、高级宾馆、重要办公楼中设置的供远距离传送图文资料的现代化通讯设备。

### (二)电话传真机型号

日本电气公司(NEC)生产的 NEFAX-22/27 型和 NEFAX-17 型传真收发机是目前较好的机种。NEFAX-22/27 型为高速传真收发机,这种传真机可以通过可编程序实现自动拨号,文件内容可存入存储器,并自动发送至可编程序自动拨号器所指定的地址。机中设有文件输送器,每次可存放几十页。并有文件缩放功能。收发时可分别记录月、日、开始时间、张数和情况报告等。

## 三、电传系统

### (一)电传的作用与原理

电传又称用户电报,电传机又称自动电报终端机或用户电报机。

电传(TELEX)是将用户电报终端机发出的电码信息,通过电讯市话网络内的电传专线,联接到地区的电传交换总台,由此可借助电讯网络将电码信息传送给对方的用户电报终端机。凡是装有用户电报终端机的用户,都可直接拍发电报给拥有同类设备的国内外用户,同理,亦可以接收对方用户终端机拍来的电报。

### (二)电传设备的组成

用户电报终端机一般由四个部件组成:显示屏幕、电子键盘、处理器和打字机。

显示屏幕用来显示用户电报的内容。

电子键盘的键盘排列结构和标准打字机相似,但增多部分功能键,用它输入指令和信息。处理器是一部专用计算机,并包括存储器和固定程序,是终端机的控制中心和存储设备。打字机用来打印输入和输出的报文内容,同时亦可打印显示屏幕的信息内容。

### (三)电传对建筑电气设计的要求

在商业与金融性建筑设计中,建设单位常提出装设电传的要求,设计中根据建设单位提供的需设数量,由建设单位向市话局申请电传专线。电传线路的要求与普通市话线路相同,每个电传用户只需配一对 $2 \times 0.5\text{mm}$ 芯线即可,同时配备一只单相220V电源插座供给电传机电源。随着经济发展和对外联系的日益增多,电传用户也必将日益增多。虽在普通电话线路中已留有备用电传专线对,但对于一般办公楼或公寓式办公楼及住宅中,亦应预留供电传机专用的管线、出线座及电源插座。

## 四、无线传呼

无线传呼一般分为室内传呼系统和室外传呼系统。若按传呼程式,又可分为无对讲传呼系统和有对讲传呼系统两种。

### (一)无对讲传呼系统

在高层商业建筑或大型酒店、宾馆的管理部门和服务部门,以及公安警界、大型企事业单位的领导成员,日益普遍地配备了无线传呼寻人系统,即无对讲传呼系统。

无对讲传呼系统主要由如下设备组成:

#### 1. 中央控制台

一般为台式,配上操作键盘和显示信号,设置在总机房或保安中心等场所,视使用单位的性质及管理方式而定。当无线传呼系统是为全市各申请用户服务时,则其总控制台一般应在市中心的电信业务楼内。这类无线传呼系统的有效传呼半径视发射器功率大小不等而不等,一般在5~20km范围内。

#### 2. 发射器及无线系统

用以发射FM调频信号,经无线系统向空间辐射。

#### 3. 袋式接收器

用作传呼信号的接收和显示。袋式接收器系袖珍型随身携带,它称为无线寻踪器或“BB机”。

#### 4. 接收器贮藏架

供存放接收器用。平时把接收器集中存放。当公务外出时携带接收器,以供随时了解去向和必要时取得寻呼联系。

### (二)有对讲传呼系统

所谓有对讲传呼系统是指可以直接进行两方或多方面的无线传呼系统,它主要由主机(外形与普通按钮电话机类似)和无线分机(袋式或小型携带式)组成。主机可与若干分机对讲,分机可与分机对讲。

有对讲功能的无线传呼系统主要用于野外作业场所、大型基建工地和港口码头,也可使用在商业建筑的消防、保安及机电维修部门。

## 第四节 有线广播系统

有线广播是一种通讯和宣传的工具,由于它的设备简单,维护和使用方便,听众多,影响大,所以在一些公共性民用建筑中得到广泛的应用,商业性民用建筑中所设置的有线广播,一般分为公众广播和客房音乐两项。公众广播同时可兼作紧急广播用,客房音乐可采用直接输出到各客房的有线广播系统,或经专用调制器混入公用天线电视(CATV)系统。

## 一、系统的组成

公众广播与客房音乐一般都合用一个播送室。在播送室里设有前级增音机,并具有多路信号输入,有调频(FM)与调幅(AM)收音、录音、录放、电唱、钟鸣、警报以及分区广播控制盘等。具有紧急广播优先的功能,一旦火警等紧急信号发出后,不论分区控制盘上的各路输出是否处于切除或正在传送背景音乐,都将自动转入紧急广播状态,并自动接通各个预定消防分区的广播支路,作全音量播送。民用建筑有线广播系统的一般组成形式如图 24-26 所示。

## 二、扬声设备的选择与配置

公众广播系统平时主要播送背景音乐。在办公室、生活间、更衣室、楼层走道等处宜装设 0.5~1W 的纸盆扬声器,房间内按  $0.05\text{W}/\text{m}^2$  装设。走道场扬声器的间距按房屋层高的 2.5 倍左右来考虑,一般宜吸顶安装。在楼层走道的两端、门厅、一般会议室、餐厅、商场等处,凡纳入公众广播系统的,可装设 1~3W 的纸盆扬声器或小型声柱。房屋层高为 2.5m 左右时,采用 1W 扬声器,此时间距为(2~2.5)倍层高,层高为 4m 及以上时,采用 3W 的扬声器(或小型声柱),此时间距为(2~2.75)倍的层高,扬声器宜结合建筑装饰,吸顶安装,等距布置。

客房音乐扬声器可按每间客房设置一只 0.5~1W 的纸盆扬声器来考虑,安装在床头控制柜或其它地方。

民用建筑的有线广播线路,尤其是高层建筑有线广播线路,一般应采用铜芯塑料绝缘线穿管暗敷,广播线路的馈电电压一般为 120V 以下。

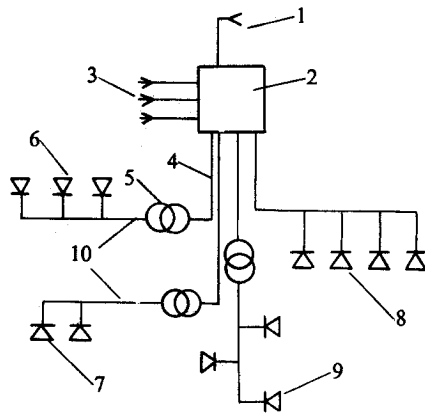


图 24-26 有线广播系统示意图

- 1—天线 2—播送室 3—多路信号输入端；  
 4—馈电线 5—变压器 6—公众广播（小功率用户点）；  
 7—客房等用户点 8—公众广播（大功率用户点）9—消防分区广播支路；  
 10—用户线

# 第三篇 电气运行技术篇

## 第二十五章 发电厂与电力系统

### 第一节 发电厂的生产流程

发电厂是把其它形式的能量(如燃料的化学能、水能、风能、原子能等)转换为电能的特殊工厂。发电厂根据所利用的能量形式可分为如下几种:

- (1)火力发电厂;
- (2)水力发电厂;
- (3)原子能发电厂;
- (4)风力发电厂;
- (5)其它,如太阳能、地热、潮汐发电厂等。

目前我国电力系统中主要是火力发电厂和水力发电厂,其它形式的发电厂,由于建设条件的限制,在电力系统中占的比例是很少的。

火力发电厂是以煤、石油、天然气等作为燃料,燃料燃烧时的化学能被转换为热能,再借助汽轮机等热力机械将热能变为机械能,并由汽轮机带动发电机将机械能变为电能。

火力发电厂按其作用来分,有单纯供电和既供电又兼供热的两种类型,前者称为凝汽式发电厂,后者称为供热式发电厂(简称热电厂)。

下面以中小型供热式发电厂为例,简介火力发电厂生产过程。图 25-1 为火力发电厂生产过程示意图。

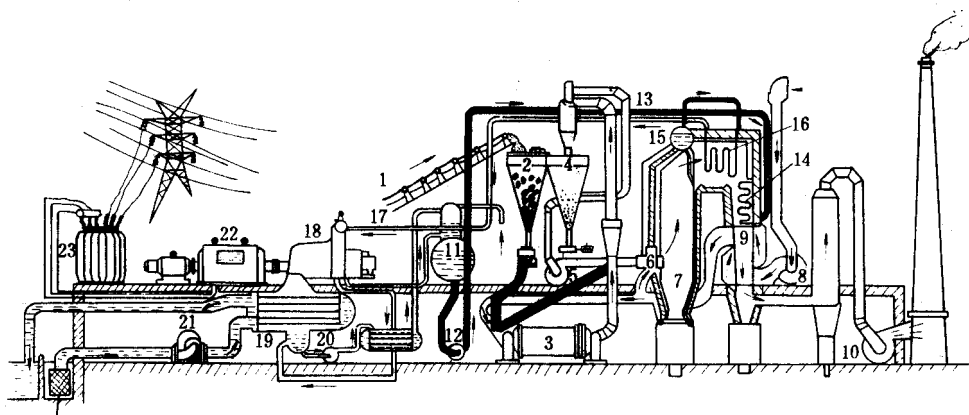


图 25-1 火力发电厂生产过程

- 1—输煤皮带 2—原煤仓 3—钢球磨煤机 4—煤粉仓 5—排粉机 6—喷燃器 7—炉膛 8—送风机 9—空气预热器 10—引风机 11—除氧器 12—给水泵 13—给水管 14—省煤器 15—汽包 16—过热器 17—过热蒸汽管 18—汽轮机 19—凝汽器 20—凝结水泵 21—循环水泵; 22—发电机 23—变压器

## 一、火力发电厂主要设备与功能

### (一) 锅炉部分

锅炉部分是由锅炉本体、过热器、省煤器、炉膛、空气预热器、磨煤机、排粉机、送风机、引风机和除尘器组成,它们的作用如下。

1. 锅炉本体:吸收炉膛中的热量,产生饱和蒸汽。
2. 过热器:将饱和蒸汽进一步加热,提高蒸汽温度为过热蒸汽。
3. 省煤器:利用烟气的余热提高给水温度,可以节约燃料 10% ~ 15%。
4. 炉膛:是供给燃料与空气混合、预热与燃烧的场所。
5. 空气预热器:利用排烟的余热,对进入炉膛的冷空气进行加热,这样可提高锅炉的效率和改善炉膛的燃烧条件。
6. 磨煤机:将原煤研磨成煤粉。
7. 排粉机:向炉膛输送煤粉空气混合物。
8. 送风机:从锅炉房内吸入空气,升压后经空气预热器送入炉膛。
9. 引风机:把烟气从锅炉尾部抽出,排入烟道,使炉膛中形成负压。
10. 除尘器:它可以清除烟气中的飞灰。

### (二) 汽轮机部分

汽轮机部分是由汽轮机本体、调速系统、危急保安器及油系统组成。

1. 汽轮机本体:由锅炉输出的高温高压蒸汽吹动叶轮转动,将热能变换为机械能。
2. 调速系统:使汽轮机在负荷变化时,自动增大和减小蒸汽的进汽量,保持汽轮机在额定转速(3000r/min)下稳定运行。
3. 危急保安器:当汽轮机调速系统失灵,转速超过 3300r/min,危急保安器动作,将主汽门关闭,防止汽轮机损坏。
4. 油系统:它是供给汽轮机和发电机各处轴承的润滑油和调速系统用油。

### (三) 电气部分

电气部分是由发电机、变压器、高低压配电装置、输电线路及厂用电系统组成。

1. 发电机:将机械能转换为电能。
2. 变压器:将发电机输送出的电能的电压升高或降低。
3. 高低压配电装置:它是按主接线的要求,由开关设备、保护测量电器、母线和必要的辅助建筑构成的总体,其作用是在正常时用来接收和分配电能,在系统故障时迅速切断故障部分,恢复正常运行。
4. 输电线路:向用户输送电能和与系统联络,以保证供电的可靠性。
5. 厂用电系统:供给发电厂生产用电、照明、机修等的自用电。

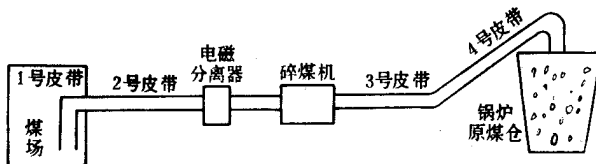


图 25-2 输煤系统示意图

## 二、火力发电厂主要生产流程

### (一) 输煤系统

煤矿里的煤是用火车或轮船运至发电厂,煤卸至煤场,然后经过各路皮带由碎煤机将煤打碎,再将煤运至锅炉的原煤仓,如图 25-2 所示。

### (二) 磨煤制粉系统

原煤仓里的煤是由给煤机运至磨煤机进口,而后随着热风进入磨煤机,进行磨制和干燥。磨制的煤粉经粗粉分离器分离,较粗的煤粉返回磨煤机,而细煤粉进入旋风分离器作气粉分离,旋风分离器中的热风送入排粉机口,其细煤粉运入锅炉煤粉仓。热风通过排粉机,带上从给粉机送来的煤粉,由喷燃器喷入炉膛燃烧,如图 25-3 所示。

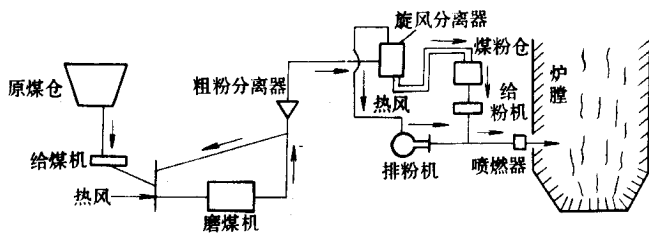


图 25-3 磨煤制粉系统

### (三) 风烟系统

冷空气经送风机打入空气预热器加热后,一部分热风送到喷燃器(二次风)喷入炉膛,另一部分送到磨煤机干燥煤粉,并经旋风分离器送入排粉机口,再经喷燃器(一次风)喷入炉膛。在炉膛中热风与煤粉混合燃烧,其热量先后传给锅炉的水冷壁管、过热器、省煤器和空气预热器,再进入除尘器除尘,最后烟气被吸风机引到烟囱,排入大气,如图 25-4 示。

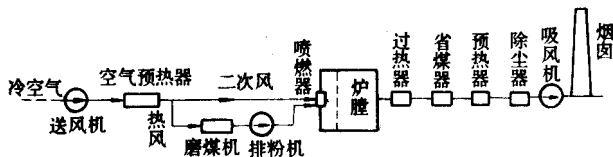


图 25-4 风烟系统示意图

### (四) 汽水系统

由给水泵打出的水经高压加热器、省煤器加热后,进入汽包后再进入水冷壁吸收热量,逐渐被加热汽化,汽水混合物上升到汽包进行汽水分离,水再次循环进入水冷壁吸热,而饱和蒸汽则进入高压过热器继续吸热,变成过热蒸汽,然后经蒸汽管道送入汽轮机中,为了防止汽轮机发生水冲击,使叶片损坏,所以进入汽轮机中必须是过热蒸汽。蒸汽不断膨胀,高速流动的蒸汽冲动汽轮机转子叶片,带动发电机发电。

在汽轮机内作完一部分功的蒸汽从中段抽出,再把蒸汽引到给水加热器加热,供热用户的用水,或把蒸汽直接送给用户,如图 25-5 所示。这样,提高了效率。热电厂的效率可达 60%~70% 以上,从供热和供电全局来看,可节约燃料 20%~25%。

### (五) 电气系统

发电机发出的电,除电厂自用电外,一般由主变压器升高电压后,经高压配电装置和输电线路向广阔的地区供电。发电厂自用电部分通常由厂用变压器或电抗器供给厂内各种负荷的用电,如图 25-6 所示。

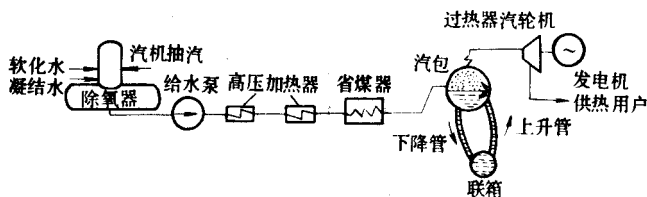


图 25-5 汽水系统示意图

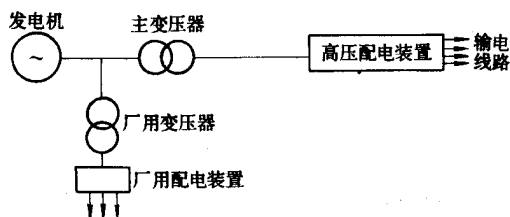


图 25-6 电气系统示意图

## 第二节 发电厂电气主接线的基本要求

### 一、主接线的内涵及其要求

在发电厂和变电所中发电机、变压器、断路器、母线隔离开关以及线路等相互之间的连接,必须满足一定的要求,以保证电能的生产、变换和输送。它们的连接方式对供电可靠性、运行灵活、检修方便以及经济合理等起着决定性的作用。所谓主接线就是指由上述高压电器通过连接线,按其功能要求组成接受和分配电能的通道,成为强电流、高电压的网络,又称为一次接线或电气主系统。

主接线是发电厂和变电所电气部分的主体,它对发电厂和变电所的建设投资、安全经济运行有着重大的影响,直接关系到发电厂和变电所的技术经济指标。主接线常用主接线图来表示,它是一种用规定的设备文字和图形符号并按电流通过顺序排列,详细地表示电气设备或成套装置的全部基本组成和连接关系的单线接线图,各设备图形符号如附录中所示。

由于主接线作用重要,同时在设计过程中与诸多因素有关,要正确、合理地设计主接线就必须综合处理各方面的因素,并经过深入的经济、技术比较论证后最终确定。

通常发电厂和变电所的电气主接线应满足下列基本要求。

#### (一) 可靠性

供电可靠是电能生产、分配的首要任务,主接线应满足这一要求。包括要求发生事故可能性小及发生事故后要求停电范围小,恢复供电快。

由于可靠性与投资经济性之间存在的矛盾,使得在主接线设计中应充分考虑到各地实际情形和供电负荷对可靠性要求,即要求注意以下几个问题:

##### 1. 主接线可靠性要与系统及负荷对供电可靠度的要求相适应

负荷作用、地位不同,对供电可靠性要求也不相同,必须根据负荷重要程度、停电对负荷造成损失的大小,分清主次、轻重,对不允许短时停电的一类、二类负荷采用高可靠度的主接线方式,而对那些对供电连续性要求不高的负荷则可以考虑降低主接线可靠性标准以提高其经济性。因而那种一味认为主接线的设计应



越可靠越好的想法是错误的和不可取的。

#### 2. 对主接线可靠性的评价应客观、科学、全面

为保证用户可靠供电,常需要考虑设置备用电源、备用设备、线路等,但这并不意味着简单地依靠增加设备、采用复杂的接线就能显著提高可靠性,相反在某些情况下,由于接线复杂会导致较复杂的操作及切换程序繁琐,可能会因此引起错误操作机率上升,反而降低了可靠性;同时电力系统从可靠性计算角度可简化为有一定故障概率的元件的串并联网络,设备数量的增加在一定条件下也会引起系统供电中断可能性的增大,因而应结合设备具体参数以及运行人员运行经验、水平等多种因素全面、客观地评价主接线的可靠性。

#### 3. 主接线的可靠性程度是相对的

由于系统容量、规模、作用的不同和用户对供电可靠性要求标准不同,在实际运行时对同一主接线的可靠性评价可能不同,因而必须针对用户具体情况对某种主接线是否满足其可靠性要求作出具体分析、评价,而不能一味推荐采用可靠性很高而经济性较差的接线方式。

#### 4. 主接线的可靠性是发展的

随着设备生产制造水平的提高(如 GIS 开关柜及 SF<sub>6</sub> 开关的使用)以及自动重合闸的采用和不停电快速检修技术的出现,使得过去一贯被认为不够可靠的那些主接线如单母分段接线方式等具有足够高的可靠度,而广泛地应用于很多电压级中。故不应以一成不变的观点去看待主接线的可靠性而应根据当前的设备制造水平、运行水平以发展的眼光去对主接线可靠性作出评价。

## (二) 灵活性、方便性、适应性

主接线应满足在调度、检修及发展扩建时的操作方便及运行灵活的要求,并能适应一定时期内没有预计到的负荷水平变化。

1. 调度时,要能灵活地投、切某些机组、变压器或线路,调配电源和负荷,满足系统在事故运行方式、检修运行方式及特殊运行方式下的调度要求;

2. 检修时,可以方便地停运检修断路器、母线及其继电保护设备,而不致过多地影响对用户的供电和电力系统的运行;

3. 扩建时,可以容易地从初期接线过渡到最终接线。在不影响供电或停电时间最短的情况下,投入新机组、变压器或线路,完成过渡方案的实施,并对一次和二次接线部分的改建工作量最少。

## (三) 经济性

主接线在满足可靠性、灵活性要求的前提下尽可能做到经济合理。它包括以下几方面内容:

1. 投资省。主接线应力求简单清晰,以节省开关电器、电压互感器和电流互感器、避雷器等一次设备,降低投资;要使继电保护和二次回路不过于复杂,以利于运行和节约二次设备及电缆的安装;要适当采用限制短路电流的措施,以便可选择廉价的电器或轻型电器;

2. 占地面积小。主接线设计要为配电装置布置创造节约占地面积的条件;同时也应注意节约搬迁、安装和外汇等费用,经济发达的大城市这一点尤为重要;

3. 年运行费用少。在发电厂或变电所中要合理选择主变压器的容量和台数,以节省电能损耗等费用。

由于主接线设计中,其可靠性与经济性之间往往会有较大矛盾,因而须注意在一定程度上加以协调解决。

#### 4. 简化接线,有利于电网自动化的实现

配电网自动化、变电所无人化是现代电网发展的必然趋势,主接线形式要为这一技术的实施创造条件。

#### 5. 标准化

相近类型的厂、站应采用一样的主接线形式,使接线规范化、标准化,有利于发展和运行检修。

对主接线形式的评价结合具体的地区政治、经济条件和地理环境,不能完全以单一标准,而应从电网和用户两方面来综合考察各项指标。

## 二、主接线设计的依据

主接线是决定整个发电厂、变电所的性质、特点和技术性能的主要因素。因此,对主接线的理解不能只局限于它是若干电气设备连接生成的电能回路,而应考虑到在选择主接线形式的同时,还要确定设备和装置的参数、型式和数量,而且首先要确定主变压器、断路器等设备的参数、型式和数量,然后再决定相关的保护、控制、自动化程度及发电厂、变电所内部运行管理等问题。因此主接线的设计是个极其复杂的任务。

主接线不仅决定着基建投资、年运行费和计算费用的多少,而且还决定着它们在多年连续运行中的运行性能,甚至将对整个电网的可靠性、稳定性产生影响,因而选择合理的发电厂、变电所主接线是整个电网或地区网络设计中最重要的工作。

为了建设合理的电力系统,各发电厂、变电所的主接线设计必须有一个全局的、总体的指导原则,如果发电厂、变电所的主接线设计脱离了它们在整个电网中的位置、用途、地位,势必会导致不合理现象,有时甚至会造成技术上的错误。因此,在选择主接线、设备和装置以及在配置它们之前,应先进行系统或区域电网的发展和设计。

作为主接线设计的原始依据,要求地区电网发展的接线设计中应解决以下问题:

1. 待设计的发电厂、变电所的地理位置及其在系统中的地位和作用;
2. 待设计的发电厂、变电所与系统的连接方式和推荐的主接线形式;
3. 待设计的发电厂、变电所的出线回路数、用途及运行方式、传输容量;
4. 发电厂、变电所母线的电压等级,自耦变压器各侧的额定电压及调压范围;
5. 装设各种无功补偿装置的必要性、型式、数量和接线;
6. 高压、中压及低压各侧和系统短路电流及容量,以及限制短路电流的措施;
7. 变压器的中性点接地方式;
8. 本地区及本电厂或变电所负荷增长的过程。

上述资料是主接线设计必不可少的依据,缺少任一数据或当它们发生变化时,必须深入研究有关问题,以及时、正确地对主接线的设计作出修正。

## 三、主接线设计程序

主接线设计内容繁多,作用重要,为保证设计的有条不紊和方案的合理、科学,一般应遵循下列步骤:

1. 对包括待设计发电厂、变电所的负荷等在内的基础数据进行搜集、整理和综合分析;
2. 选择和确定发电机、变压器的容量、台数、型式,并拟定可能采用的主接线形式;
3. 发电厂、变电所自用电源的引接;
4. 计算短路电流及设备的选择;
5. 各方案的经济技术比较;
6. 确定最终方案;
7. 确定相应的配电布置方案。

## 第三节 电力系统及其运行

### 一、电力系统的定义

为了提高供电的可靠性和经济性,目前广泛地将许多发电厂并联起来运行。

各发电厂、变电所、输电线路、电力用户和热力用户所组成的总体叫动力系统,电力系统是动力系统的一部分,是指发电厂电气部分、变电所、输电线路及电力用户,电力网是电力系统的一部分,是由变电所、输电线路(不包括用电设备)所组成。

发电厂是电力系统的中心环节,区域性发电厂多兴建在动力资源附近,如具有大量水力资源或煤矿蕴藏的地方。这种发电厂发出大量电力,通过超高压输电线路远距离输送,向大片区域供电。这样可以经济合理并充分地利用国家的动力资源,因为输送电能要比输送燃料经济、方便。地方性发电厂一般为中小型供热电厂,多建在供热负荷中心或作为重要的大工厂的自备电厂。这种发电厂生产效率低于大型发电厂,但它不仅可以供电而且可以集中供热,使总的热效率提高了。同时,由于它可以取代大量效率低、污染严重的小型供热锅炉,不仅可以节约能源,改善城市的生态环境,而且对重要的大厂矿企业和电力系统起后备保安作用,所以近来许多城市纷纷兴建。

辽宁省工业集中,根据工业生产和人民生活的需要,全省共投产了 108 家中小型热电厂,总装机容量达 210 万 kW,对辽宁工业稳步发展起了重大的作用。随着辽宁经济的腾飞,中小型热电厂必得到迅猛的发展。

建立电力系统有许多优点,第一可以充分利用动力资源和充分发挥各类电厂的作用,例如夏季是丰水期而用户用电量较少,可由水电厂担任系统基本负荷,冬季是枯水期而用电量又较大,此时可由火电厂担任主要的发电任务。这样可以合理的使用水力和煤的资源。第二可以减少备用机组容量,例如单独工作(孤立运行)的发电厂,为了代替损坏或检修机组工作,必须装设备用机组,建立系统后,就不必在每个发电厂中都装设备用机组,只需要系统中有总的备用机组,便减少了设备的投资。第三可以大大提高供电的可靠性,因为当一个发电厂发生故障时,其所带负荷可由其它发电厂供电。

电力系统的运行必须满足下列基本要求;

1. 保证完成国家的生产计划(发电量和热能供应)满足规定的最大负荷。
2. 保证供电的可靠性。
3. 保证电能质量。电压和频率应在允许的范围内变化。
4. 保证运行的最大经济性。
5. 保证运行人员和设备的安全。

## 二、额定电压

国家根据国民经济发展的需要、技术经济的合理性以及便于电气设备标准化批量生产等因素,规定了电气设备统一额定电压等级,如 25-1 所示。

表 25-1 电力网额定电压等级

网络额定电压 (kV)	发电机电压 (kV)	变压器 (kV)		网络额定电压 (kV)	发电机电压 (kV)	变压器(kV)	
		一次侧	二次侧			一次侧	二次侧
0.22	0.23	0.22	0.23	10	10.5	10~10.5	10.5~11
0.38	0.40	0.38	0.40	35	13.8	35	38.5
3	3.15	3~3.15	3.15~3.3	110	15.75	110	121
6	6.3	6~6.3	6.3~6.6	220	18.00	220	242

我国电力网额定电压有 0.22、0.38、3、6、10、35、60、110、220、330、500kV 等。

电力网的电压分布情况如图 25-7 所示。发电机发出的电能需要通过线路远距离输送时,由于沿线路

有电压损失,所以负荷 1~4 点将接于不同的电压,线路首端电压  $U_1$  大于末端电压  $U_2$ 。如果负荷分布均匀,则线路上的电压变化如斜直线  $U_1 \sim U_2$  所示。设备的额定电压不可能按照上述斜直线的变化来制造,而电力网中各点电压也不可能是恒定不变的,所以用电设备的额定电压力求接近于实际的工作电压,它允许在额定值的  $+5\%$  范围内变化。通常,采用该直线首端和末端电压的算术平均值  $1/\sqrt{2}(U_1 + U_2)$  作为用电设备的额定电压,这个电压也就是电力网的额定电压,故用电设备额定电压等于电力网的额定电压。

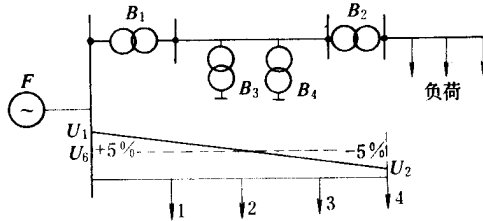


图 25-7 电力网中电压的变化

$F$ —发电机;  $B_1$ —升压变压器;  $B_2$ 、 $B_3$ 、

$B_4$ —降压变压器; 1、2、3、4—受电器

发电机和升压变压器均处于电源端,所以发电机额定电压比电力网的额定电压高  $5\%$ ,升压变压器的额定电压比电力网额定电压高  $5\% \sim 10\%$ 。

### 三、发电厂与变电所主要电气设备

发电厂与变电所的主要工作是生产和分配电能,这就需要有直接生产和输配电能的设备,包括发电机、变压器、调相机、断路器、隔离开关、自动开关、接触器、闸刀开关、熔断器、母线和电力电缆等。通常将承受动力电压和动力电流的设备,统称为一次设备。另外,一次设备还包括避雷器、电压互感器、电流互感器等。

为了保证一次设备正常可靠地运行,就必须装设对一次设备进行控制、测量、监察以及在发生故障时能迅速切除故障的继电保护装置、自动控制和信号装置等设备,如继电器、测量仪表、控制、自动及信号装置、控制电缆等,这些电气设备称为二次设备。

### 四、电气运行的一般知识

#### (一) 电气运行组织

电力系统是一个有机的整体,系统中任一个主要设备运行情况的改变,均将影响整个电力系统,因此设置调度机构和调度员来统一指挥电力系统的运行。值班调度员是系统运行中技术上的领导人,他可以直接对所管辖系统内发电厂、变电所的运行领导人发布命令。

在发电厂中,燃料、锅炉、汽机、化学和电气分场有值班人员,各班都设有班长,在同一值内负责领导各运行班的是值长(值班工程师)。

电气运行的值班人员有:班长、副班长(技术员)、值班电工、厂用值班电工、值班员及副值班员。

#### (二) 电气运行工作的主要任务

电气运行的主要任务就是保证电力生产的安全运行和经济运行。

电力生产的特点是连续生产,发电、供电、用电同时完成。所以电力系统的安全生产是十分重要的,发生重大事故,不仅使本企业的设备和人身受到损害,而且直接影响到用户,甚至造成国民经济的严重损失。

安全生产是指在保证经济、满发和正常供电的前提下,电力生产必须做到安全发电和供电,才能降低成本,即降低电厂的煤耗、厂用电率和输电线路的损失。并要大力推广计划用电和节约用电,降低单位产品的

耗电量,坚决克服浪费现象,做到少用电,多生产。

### (三) 值班人员的任务及要求

#### 1. 值班人员的任务

值班员在工作时间,应严肃认真执行有关的规章制度,确保电气设备安全、经济运行,其任务如下。

(1) 值班员在接班前 30min,到主控制室听取交班班长对其设备运行情况介绍,其后按交班规定的检查项目到现场检查设备及系统的运行情况,并在接班会上向班长汇报,接受班长布置任务。

(2) 在值班时间内,抄录发电机、变压器和输电线路等主控室内全部表计指示的数值。

(3) 监盘调整。监盘人员必须精力集中,不闲谈,不得擅自离开岗位,不做与监盘无关的事情,按要求及时调整有功电力和无功电力。监盘调整是保证发电机安全满发的重要措施之一。

监盘人员应首先发现系统异常和设备事故,并应及时向值班长和值长报告。在事故处理时,监盘人员的主要任务是监视和调整发电机有功和无功负荷,监视系统电压和周波的变化情况,并按规程规定处理发电机事故。

接监盘前应抄表和计算电量,检查各设备的运行情况,分析负荷分配和各表计指示正确性,做好事故预想。交监盘时,应交清各机组有功及无功负荷的任务和注意事项。

(4) 在值班领导人的监护下,进行倒闸操作。

(5) 在发生事故时,应正确迅速地处理事故。

(6) 为检修、试验工作人员办理工作票的开工和结束手续。

(7) 巡回检查设备。按照本厂规定的巡回检查设备的周期和路线,对运行中的设备进行巡回检查,并正确掌握设备的运行情况,及时发现设备缺陷,消除故障隐患,对有缺陷及检修后或新投入的设备,特殊天气及事故处理后都应增加对设备的巡回检查次数。

(8) 做好备品、安全用具、图纸、资料及测量仪表的保管工作。

(9) 交班前 1h,做好运行日志记录及清扫工作。

(10) 交班时,向接班人员讲解本班设备运行情况和注意事项。

(11) 对备用设备和运行中的信号及自动装置应定期试验。

为了保证备用设备始终处于良好状态,工作设备一旦故障,备用设备能立即投入运行,保证发电生产安全稳定。另外,当系统有异常情况时应能及时、正确地报警,并将事故处理于萌芽状态。因此,要定期对备用设备和信号进行预防性试验。

① 备用发电机每半个月,测定绝缘电阻一次,若停机不超过 10 天可免测。

② 备用变压器每月测试绝缘电阻一次,若停运不超过 10 天可免测。

③ 厂用各备用电源自动重合闸装置,每季度配合实验班做一次联动试验。

④ 主控中央信号闪光装置、发电机指挥信号,每 24h 联系试验一次。

⑤ 发电机转子对地绝缘情况每 24h 测试一次。

⑥ 事故照明自动切换装置,每月试验一次。

⑦ 厂用备用电动机每月测试绝缘电阻一次,若停运时间不超过 20 天可免测。

(12) 电气设备检修后的验收。

为了保证电气设备在运行中可靠稳定地工作,在电气设备检修后和移交运行前,运行人员应根据检修记录到现场进行验收,其验收项目如下:

① 检查设备和系统变化情况。

② 检查设备标志应清楚准确长久,如断路器、隔离开关、操作把手、仪表、操作直流、继电器、故障指示器和压板等。

③ 检查现场地面清洁、无工具和仪器等,安全设施完整,操作端子箱的门完好,折页、锁、门好用。

④ 注油设备油标玻璃透明,油位在标准线处,无渗油、漏油现象。

⑤ 隔离开关操作灵活。

⑥ 断路器的操作、闭锁、信号回路试验良好,保护装置、自动装置动作正确。

⑦ 设备外清洁完好,无遗留工具、破布及其它不相干的物件。

⑧检修记录清楚,并有明确的检修后结论,技术数据符合规程要求,设备接线更改后,还应画出系统图,写清楚运行注意事项。

⑨验收时和检修人员产生异议时,应请示值长及分场领导,并做好检修记录。

## 2. 电气值班人员的要求

- (1)了解发电厂的全部生产过程。
- (2)熟悉电气安全规程及运行规程。
- (3)熟悉发电厂的接线系统及其运行方式,包括主系统、厂用电系统、直流系统及照明系统。
- (4)熟悉发电厂主要电气设备的规范、用途、特性及发电机与变压器的冷却方式。
- (5)熟悉配电盘上的信号、中央信号装置及所有表计。
- (6)熟悉发电机、变压器、母线、线路及电动机的继电保护和自动装置。
- (7)掌握安全工具和测量仪表的使用方法。
- (8)能分析和处理事故。

## (四)运行中主要参数及计算

### 1. 电量(kW·h)

电量计算有发电量、厂用电量、受电量(发电厂与系统并列时发电厂从系统接受电量)、送出电量、平均电量、最大电量和最小电量等的计算。发购电量是发电量和受电量之和,送出电量是发购电量与厂用电量之差。

### 2. 电力(kW)

电力计算有发电电力、受电电力、送出电力、厂用电力、最大负荷和最小负荷的计算。

### 3. 几种指标

厂用电率、负荷率、煤耗率的计算。

平均发电功率

$$P_p = A/t$$

负荷率

$$K = P_p/P_{\max} \times 100\%$$

厂用电率

$$a = Q_a/A \times 100\%$$

实际煤耗率

$$B = \frac{W}{A} \times 10^6$$

标准煤耗率

$$b_b = b \frac{q}{q_b}$$

式中  $P_{\max}$ ——最大发电功率(kW);

$A$ ——总发电量(kW·h);

$t$ ——运行时间(h);

$Q_a$ ——厂用电量(kW·h);

$W$ ——实际燃煤量(t);

$q$ ——燃煤发热量(kJ/kg);

$q_b$ ——标准煤的发热量( $q_b = 7000\text{kJ/kg}$ );

## 五、电力负荷及其分类

### (一)电力负荷

电力系统中有各种不同的用电部门(简称用户),如工业、农业、交通运输、国防、科研、市政、生活等,所用的功率统称为负荷。

发电厂任一时刻所发出的总功率是与负荷相平衡。如果发电厂输送出的有功功率大于负荷需要的有功功率,则频率升高;反之,则频率降低。如发电厂输送的无功功率大于负荷需要,则使电压升高;反之,则电压降低。为了保证电能的频率和电压的稳定,则需采取调频调压措施。

## (二) 电力负荷的分类

根据对供电的重要性的和可靠性的要求,负荷分为三类:

(1) 第一类负荷 这类负荷如中断供电,将造成人身伤亡,设备的严重损坏,造成巨大的经济损失,如钢铁厂、重要的矿井等。所以,对第一类负荷必须采用两个独立电源供电。

(2) 第二类负荷 这类负荷中断供电,将造成产量严重下降或产生次品,如机械加工厂、制药厂等。因此,该类负荷较为重要,可采用两个电源供电。

(3) 第三类负荷 这类负荷可以非连续性地供电,如一般的城市民用照明,机关、学校用电,修配车间等,对三类负荷,可用一个电源供电。

## 第四节 发电厂电气主接线

主接线是以电源(发电机或变压器)和引出线为基本环节,以母线(汇流排)为中间环节构成的电能通道。其基本形式按有无汇流母线通常可分为有汇流母线(简称有母线)的接线和无汇流母线的接线两大类,也有看法认为此外还有介于二者之间的第三类接线——混合接线。有汇流母线的主接线,由于汇流排的存在能起到汇总和分配电能的作用,故可以在进出线数目较多时使得整个主接线以母线为分界,分为进线部分与出线部分,接线简单明了、运行方便,也较便于发展和扩建,同时还可以在在一定程度上提高运行可靠性。该类主接线形式主要有:单母线、单母线分段、双母线、双母线分段、增设旁路母线或旁路隔离开关等接线。与有汇流母线的主接线相比,无母线的主接线形式省去了母线这一环节,整个配电装置占地较省,并避免了因母线或母线隔离开关故障而引起的供电中断,同时也降低了造价,但不易发展和扩建。典型的无汇流母线的接线有:桥形接线、发电机—变压器单元接线、变压器—线路单元接线、扩大单元接线、多边形(角形)接线等。

以下将按接线形式从简到繁的顺序对上述几种基本接线进行简单分析。

### 一、有汇流母线的主接线

有汇流母线的主接线是我国目前广泛采用的接线形式,按母线设置组数的不同,又可分为单母线接线和双母线接线两类。

#### (一) 单母线接线

典型的单母线(又称普通单母线)接线形式如图 25-8 所示(两组电源,三组出线),由于接线中仅有一组母线故称为单母线接线,是有汇流母线的主接线中结构最为简单一类。在这种接线中所有电源和引出线回路都连接于同一组母线上,为便于每回路(进、出线)的投入或切除,在每条引线上均装有断路器和隔离开关。

紧靠母线的隔离开关称为母线隔离开关,如图中 QS1~QS5,靠近线路侧的隔离开关为线路隔离开关,如 QS6~QS8。在本书第七章中,曾经对断路器和隔离开关结构、功能作了比较详细的分析,知道了由于结构上的差异使得断路器有灭弧能力,可以用于开断和接通回路,而隔离开关则不能。这就决定了二者在运行操作时,必须严格遵守操作规程,即保证隔离开关“先通后断”或在等电位状态下进行操作,不能用作操作电器断开电路。设置断路器是为了实现线路和电源等设备的投切,而隔离开关的存在只是为了在检修设备(如断路器)时,使需检修的设备和电源分隔开来,以保障检修人员的安全和避免对正常运行设备运行的影响。例如在检修图 8-1 中的断路器 QF4 时,可首先断开 QF4,然后断开与其相连的两隔离开关 QS7 和 QS4,使 QF4 两侧形成明显隔离带电断口以进行安全检修。在双端电源供电网络或多雷击地区,为避免雷电波过电压的侵袭和误操作的出现给检修人员带来不安全因素,常在 QF4 两侧(尤其是线路侧)挂上接地线,检修完成后再进行拆除。

单母线接线的主要优点是:接线简单、清晰,采用设备少,投资省,操作方便,便于扩建和采用成套配电装

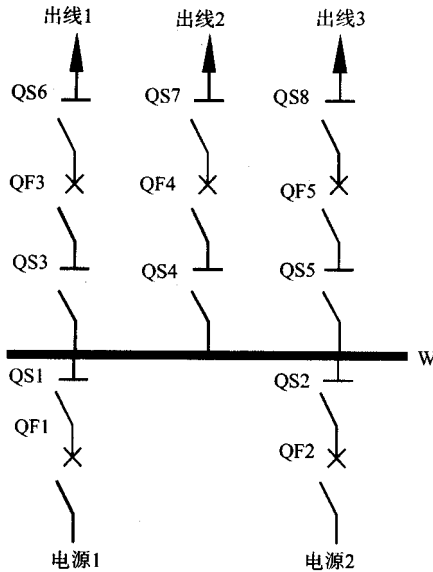


图 25-8 单母线接线

置。

该种接线主要缺点有：

1. 母线、母线隔离开关故障或检修期间，连接在母线上所有回路都需长时间停止工作；
2. 检修电源或出线回路断路器时，该回路须停电。

因此其工作可靠性和灵活性均较差，无法满足重要用户的供电要求。单母线接线一般只适用于一台发电机或一台主变压器或出线回路不多的小容量发电厂、变电所中：

1. 6~10kV 配电装置出线回路数不超过 5 回；
2. 35~63kV 配电装置出线回路数不超过 3 回；
3. 110~220kV 配电装置出线回路数不超过 2 回。

单母线上上述缺点可通过母线分段或加装旁路母线等措施的采用来克服，于是有了单母线系列中的其他几种接线方式。

## (二) 单母分段主接线

单母分段主接线是通过在母线某一合适位置处装设断路器后，将母线分段而形成的，如图 25-9 所示为单母分段接线，QF3 称为分段断路器。母线分段后，有条件情况下，对重要用户（一类用户）可由分别接于两段母线上的两条出线同时供电，当任一组母线故障或检修时，重要用户仍可通过完好段母线继续供电，而两段母线同时故障检修的机率很小，大大提高了对重要用户的供电连续性。

由于单母线分段接线既保留了单母线接线本身的一些优点，如简单、经济、方便等，又在一定程度上克服了它的缺点，故这种接线目前应用广泛。其主要适用于：

1. 6~10kV 配电装置出线回路数为 6 回及以上时；
2. 35~63kV 配电装置出线回路数为 4~8 回及以上时；
3. 110~220kV 配电装置出线回路数为 3~4 时。

但该接线仍不能改变某一回路断路器检修时，该回路要长时间停电的显著缺点，同时这种接线在一段母线或母线隔离开关故障或检修时，该段母线所连接回路在检修期间将全部停电。在实际运行时可采用增设旁路母线的办法来解决。

## (三) 单母线带旁路接线

图 25-10 所示为单母线带旁路接线。图中母线 W2 为旁路母线，断路器 QF5 为旁路断路器，QS9、QS10、



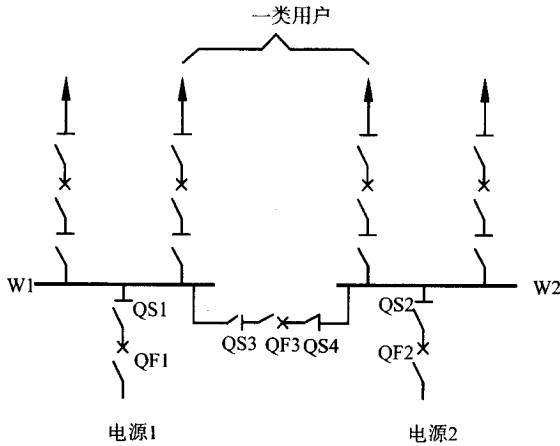


图 25-9 单母线分段接线

QS5、QS8、QS13 为旁路隔离开关。正常运行时，旁路母线 W2 不带电，所有旁路隔离开关及旁路断路器均断开，以单母线方式运行。若检修任一出线断路器时，如检修断路器 QF4 时，先闭合 QF5 两侧的隔离开关 QS9 和 QS10，再闭合 QF5 对旁路母线充电，然后在等电位的状态下闭合 QS8，使得由 QF4 供电回路可通过旁路母线进行供电，此时再断开 QF4 及其两侧隔离开关 QS6 和 QS7 进行安全检修。以上操作既不影响出线回路的正常供电，又能对经过长期运行和切断数次短路电流后的断路器进行检修，大大提高了供电可靠性。

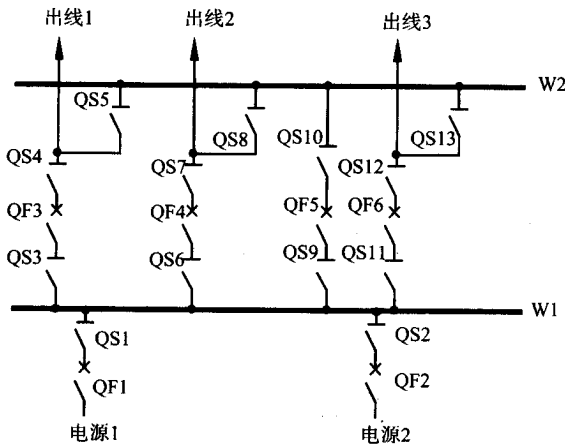


图 25-10 单母线带旁路接线

这种接线除了能以上述操作实现不停电检修出线断路器外，还可以不停电检修电源回路断路器，只需在电源回路加装与旁路母线相连的隔离开关即可。

设置了旁路母线的单母主接线由于提高了供电可靠性，广泛地用于出线数较多的 110kV 及以上的高压配电装置中，而 35kV 级及以下的配电装置一般不设旁路母线，尤其是采用了 SF<sub>6</sub> 断路器后，断路器本身检修次数大大减少，同时回路供电负荷较少，较易获得备用电源，故无论从运行可靠性方面还是降低配电装置造价方面来看，都不必设旁路母线。只有在向特殊重要的 I、II 类用户负荷供电，不允许停电检修断路器时，才考虑设置旁路母线。

图 25-10 中采用了专用的旁路断路器，虽然这样提高了供电可靠性但却增加了投资。若条件允许可以采用不设专用旁路断路器的接线，如图 25-11 所示，以单母分段兼旁路的接线。

断路器 QF5 即为 W1、W2 段分段断路器，同时又兼做公用旁路断路器。这种接线形式，在进出线回路数不多的情况下，具有足够高的可靠性和灵活性，较多地用于容量不大的中、小型发电厂和电压等级为 35 ~

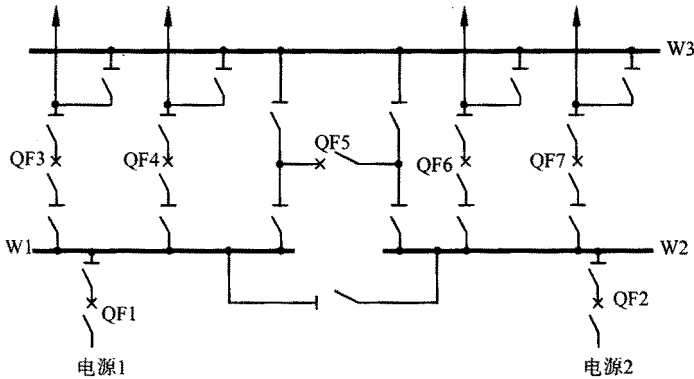


图 25-11 单母线分段兼旁路接线

110kV 的变电所中,但对于在电网中没有备用线路的重要用户以及出线回路数较多的大、中型发电厂和变电所,采用上述接线仍不能保证供电的可靠性,因此,需要采用双母线接线方式。

### (四)双母线接线

双母线接线是针对单母线分段接线的缺点而提出的。双母线接线与单母接线相比从结构上而言,多设置了一组母线,同时每个回路经断路器和两组隔离开关分别接到两组母线上,两组母线之间通过母线联络断路器连接起来。

普通的单断路器双母主接线见图 25-12。这种接线有两组母线,即母线 W1 和 W2,其间通过断路器 QF 连接起来,称 QF 为母联断路器。

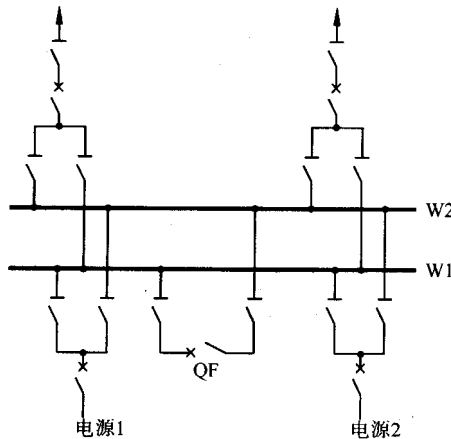


图 25-12 单断路器的双母线接线

正常运行时一组母线工作(如 W1),各回路中连接在工作母线上的隔离开关是闭合的。而另一组母线称为备用母线(如 W2),所有连接在备用母线上的隔离开关均断开,运行中的双母线接线其任一组母线都可以作为工作母线或备用母线。

采用双母线接线具有如下特点:

1. 可靠性较高

- (1) 检修任一组母线时,不会中断对用户的供电;
- (2) 检修任意回路的母线隔离开关时,只需断开该回路两侧相关元件,在检修期间使该回路停电;
- (3) 工作母线故障时,可将全部回路转移到备用母线上,使用户在经历短暂倒排时间后迅速恢复供电;

- (4) 检修任意工作回路断路器时,可用母联断路器来替代,而不致使该供电回路供电长期中断;
- (5) 对需要单独进行实验的任意回路,只需将该回路切换到备用母线上。

## 2. 运行灵活

各个电源和备用回路负荷可以任意分配到某一组母线上,通过倒排操作组成各种运行方式。其常用运行方式有:

- (1) 单母线分段运行。母联断路器闭合,进出线分别接在两组母线上;
- (2) 单母线运行。母联断路器断开,一组母线运行,另一组母线备用,全部进出线均接在运行母线上;
- (3) 固定连接方式。两组母线同时工作,通过母联断路器并联运行,电源与负荷平均分配于两组母线上,且按继电保护要求,电源进线及负荷出线只能固定地连接在某一组特定母线上。

## 2. 扩建方便

可不影响两组母线的电源和负荷自由组合,向母线任意方向扩建。

双母线接线具有可靠性较高、运行方式灵活多变的特点。这一切的基础都是双母线运行和故障、检修时的倒闸操作。所谓倒闸操作是指运行中变更主接线方式的操作。下面以检修工作母线和出线断路器为例来说明其一般操作步骤。

## 3. 双母线操作程序

检修工作母线操作:图 25-12 中若母联断路器处于断开状态,所有电源、负荷均接在工作母线上,另一组母线 W2 为备用母线不带电,即双母线接线以单母方式运行。为了检修工作母线,必须把所有电源、负荷均切换到 W2 母线,这一操作称为倒排操作。倒排时,首先应合上母联断路器,对备用母线充电。若备用母线有故障,母联断路器会在继电保护作用下跳闸断开,然后可进行备用母线的维修,待故障消除后重复这一操作。当备用母线完好时,备用母线充电成功后,两组母线处于等电位状态,允许用隔离开关进行切换操作。此时,先合上与备用母线相连所有隔离开关,再断开与工作母线相连的所有隔离开关。母线切换完成后断开母联断路器及其两侧的隔离开关,即可开始对原工作母线进行检修,同时仍维持系统的正常运行。

检修任意回路断路器操作:当检修任一出线断路器,同时又要求不能对该回路长时间停电时,应严格遵照下面列出的操作顺序:

- (1) 合上母联断路器对备用母线充电,检查其完好与否,若备用母线完好,则进入②,否则断开母联,直至备用母线故障消除,然后断开母联和需要检修的断路器及其两侧隔离开关;
- (2) 使欲检修断路器及其所在线路接地;
- (3) 将断路器两侧用临时跨条短接,并移走需检修的出线断路器;
- (4) 拆除线路接地,合上线路侧隔离开关和合上断路器的检修回路与备用母线相连的隔离开关;
- (5) 合上母联断路器,使该回路重新进行供电。

完成上述操作后,该回路可通过母联由工作母线经临时跨条、备用母线继续获得供电,并解决了出线不能无断路器运行的矛盾。

尽管双母线主接线有较多优点,但在上述的分析中不难看出这种接线仍存在某些缺点:

- (1) 接线复杂,操作繁琐。在倒闸操作中用隔离开关作操作电器进行切换,很容易造成误操作,引起重大事故;
- (2) 以单母方式运行时,工作母线的故障会引起整个配电装置短时停电;
- (3) 检修出线断路器时,会短时停止该回路供电;
- (4) 使用母线隔离开关数目较多,整个配电装置结构复杂,占地面积和投资费用较大,经济性较差。

针对上述缺点,在实用中可采取以下措施:

(1) 为避免隔离开关误操作引起事故,要求隔离开关与对应断路器间装设闭锁装置(机械闭锁或电磁闭锁),并要求运行人员按严格操作制度进行操作;

(2) 为避免工作母线故障会造成全装置停电的不利现象,可以采取正常运行时两组母线均带电的并列运行的方式。这样当任一组母线故障时,通过继保装置作用,将母联断开,并将所有回路均切换至正常母线上,使原装置所有回路能继续维持运行;

- (3) 采用将母线分段的方式来减少母线故障时造成的损失,缩小了停电范围,如图 25-13 所示(图中省

去了一台旁路断路器)；

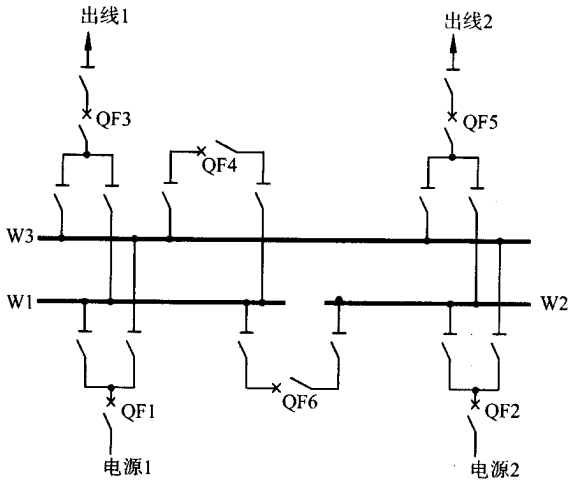


图 25-13 带分段的双母线主接线

(4)为了避免在检修线路断路器时造成该回路短时停电,可采用加设旁路母线的接线方式,如图 25-14 所示。正常运行时,旁母不带电,旁路断路器断开。需要不停电检修出线断路器时的操作与单母带旁路主接线形式中基本相同,这里不再赘述。

由于系统短路容量方面或提高供电可靠性等方面因素,大规模电力系统中电压等级较高,连接多个电源(发电厂或上一级电源变电站)的大容量枢纽变电所常采用双母分段带旁路的接线方式。

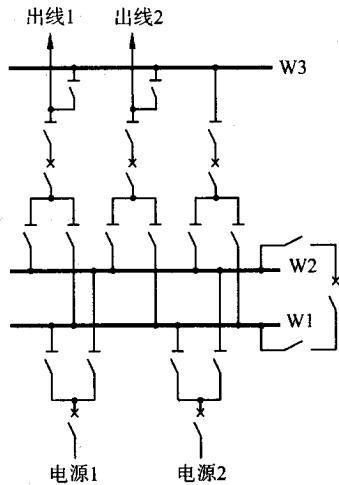


图 25-14 双母带旁路主接线

图 25-15 表示出了双母线四分段带旁路的主接线,它一般适用于 330~500kV 的超高压配电装置进出线 6 回以上时。由图可见,正常运行时电源和负荷均匀分配于各段母线上,当其中任一段母线故障或连在母线上的进出线断路器故障时停电范围仅限于一段母线,不会影响其余部分正常供电,大大缩小了故障范围。

显然,这种接线方式可提高供电可靠性,但经济性较差,同时也增加了母线保护配置的难度。

### (五)双断路器双母接线

在普通双母线接线中,任一进出线回路都仅通过一台断路器与母线相连(又称单断路器双母接线),因而在断路器本身故障检修时,会造成该回路一定时间内的停电,对一些供电可靠性要求非常高的用户,即使

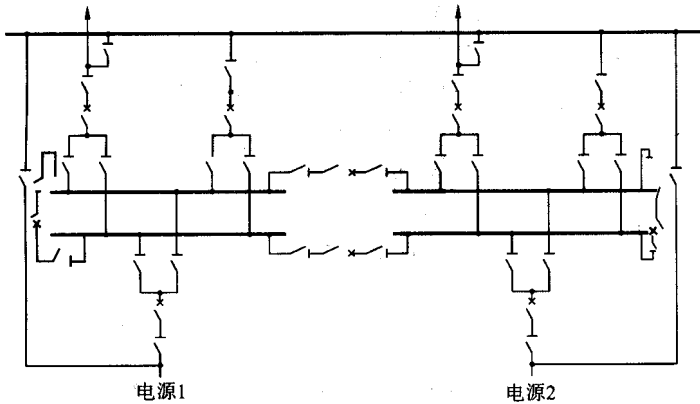


图 25-15 双母线四分段带旁路母线接线

较短时间的停电也不允许。此时可考虑采用所有元件均有备用的双断路器双母线接线，如图 25-16 所示。

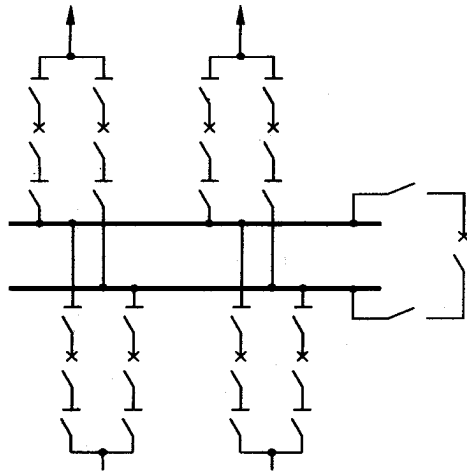


图 25-16 双断路器双母线接线

这种接线正常运行时所有断路器均闭合，两组母线同时工作。它的主要优点是：任何一组运行母线或断路器发生故障或进行检修时，都不会造成装置停电，同时在倒闸切换操作中用断路器来操作，隔离开关仅用作隔离电器。因此它运行灵活、可靠，检修操作方便。但由于使用的断路器台数及隔离开关数目较多，造成设备投资和占地面积增加，经济性较差，只有在一些超高压系统或大容量发电厂或极重要的枢纽变电所中，对运行可靠性要求很高，传输功率很大，突然停电造成巨大损失的场所才考虑采用这种接线。

### （六）一个半“断路器接线（3/2 接线）

图 25-17 为 3/2 接线示意图。由此可见，这种接线方式中在两组母线间装有三台断路器。可引接两个回路，断路器数与回路数之比为 3/2，故又称为 3/2 接线。这一接线优点如下：

1. 可靠性很高。任一组母线故障或检修时，极端情况下，两组母线同时故障时也不会影响所有回路的工作。仅当中间的联络断路器故障时才会影响该串上回路的工作；
2. 运行调度灵活。正常运行时两组母线、全部断路器均投入，从而形成多环形供电，运行调度灵活；
3. 检修操作方便。隔离开关仅用作隔离电器，不需进行复杂的倒闸操作。

其缺点为：

1. 一个回路故障要跳开两台断路器，增加了维修工作量；
2. 继电保护整定复杂；

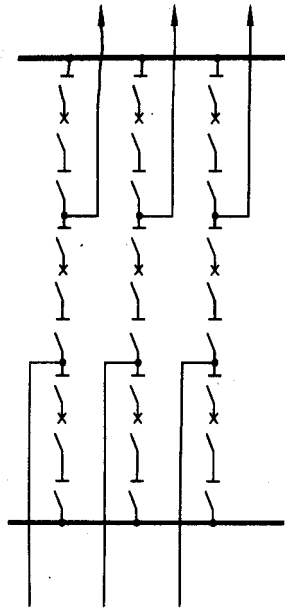


图 25-17 一个半断路器接线

3. 为防止一台断路器故障会同时切掉连于一串上的所有电源, 往往要求采用“同名不同串”的布置, 造成配电装置布置上的困难;

4. 经济性较差。

以上特点使得  $3/2$  接线较多地使用于超高压电网中。

## 二、无汇流母线的主接线

前面分析的各种有母线的主接线形式中所采用的断路器的数目一般都大于连接回路的数目。因而造成整个配电装置占地面积大, 建设成本高。对于一些对经济性要求较高的场合, 在满足主接线可靠性要求的前提下, 可考虑采用无汇流母线主接线。

### (一) 桥形接线

桥形接线有内桥和外桥接线两种, 它们的典型接线可见图 25-18(a) 及 (b)。这两种接线从结构至适用范围上有一定的相似, 也有较大差异, 它们的命名是依据横向桥联断路器位于线路断路器的内侧还是外侧来确定的。特点如下:

#### 1. 内桥接线

- (1) 只适用于两台变压器、两条线路的接线;
- (2) 该接线适用于线路较长、变压器不需经常切换的情形;
- (3) 线路的故障不会影响变压器的正常运行, 而变压器的投切会造成线路退出工作;
- (4) 适用于穿越功率不大或几乎无穿越功率的变电所的主接线设计。

#### 2. 外桥接线

- (1) 只适用于两台变压器、两条线路的接线;
- (2) 变压器的故障不会影响线路的运行, 而线路的故障会使变压器退出工作;
- (3) 适用于较小容量的发电厂和变电所, 且变压器需频繁切换或线路较短的情况;
- (4) 可允许适用于有穿越功率通过时的变电所的主接线设计。

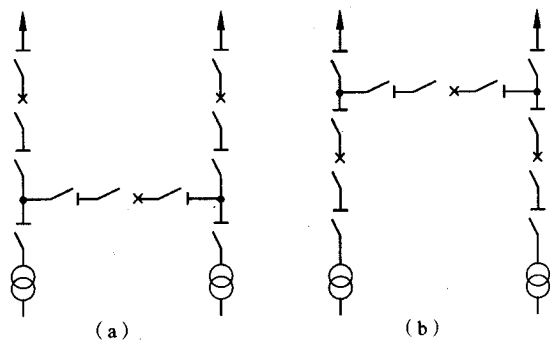


图 25-18 桥形接线

(a)内桥 (b)外桥

通过前面分析可以知道,桥形接线的可靠性不高,同时有时需用隔离开关作操作电器。但由于布置简单、具有一定的可靠性和灵活性,使用设备少、造价低,布置合适,较易发展成为双母线或单分段主接线,故它适合于用作初期工程过渡接线方式,目前在一些 35~220kV 发电厂、变电所接线中也得到应用。

## (二)单元接线

在单元接线中,几个主要电气元件(发电机、变压器、线路、母线)直接串联,其间无任何横向联系,从而减少了电器数目,大大降低了造价和发生故障的可能性。同时随着电力工业的不断发展,发电机组单机容量不断增大,供电可靠性要求也在上升,因此开始考虑采用单元接线,以简单、清晰的结构获得可靠、经济的结果。它有以下几种接线方式:

### 1. 发电机—变压器单元接线

图 25-19(a)(b)(c)所示为发电机、变压器直接相连构成的发电机—变压器单元接线。由于发电机和变压器组成了一个工作单元,只有当二者同时可用时方能保证该单元的工作。所以可不必在二者间设置断路器,以提高单元经济性。同时这种接线的采用也在一定程度上缓解了大机组、大容量系统的短路电流过大问题,是一种比较经济、可行的短路电流限制措施。

这种接线方式主要缺点是当单元中任一元件故障、检修,会引起整个单元的停运,但随着电器制造技术的日渐成熟及电网运行管理水平的提高和系统备用容量的充足,这已不足以再构成对系统运行的较大威胁。目前我国一些大容量、且当地负荷很少的机组常采用这种接线方式。

图(a)和(b)为简单的发—变单元接线图。要注意的是,为了保证三绕组变压器或自耦变压器在某一电压侧检修、退出运行时,仍能维持其他两电压等级间的联系,在发电机与变压器之间应装设出口断路器,而在双绕组变压器构成的此类单元接线中则可以省去断路器而代之以隔离开关以便于发电机试验。

图(c)代表由两台发电机—台变压器连接构成的扩大单元接线。这种接线的采用主要是为了减少变压器的台数和高压侧断路器的数目以及节省配电装置的占地面积,例如有些水电厂由于地形所限,为尽量减少土石方开挖量,可考虑采用扩大单元接线。这种接线方式运行灵活性较差,当主变停运会影响两台发电机组的运行,当主变轻载仅一台机组运行时又会造成很大的空载损耗。故它一般用于容量不大的中小型水电厂中。

### (2) 发电机—变压器—线路单元接线

发电机—变压器—线路单元接线方式的采用可省去发电厂或变电所中的高压配电装置,减少占地面积,降低造价,同时也方便了运行管理,其接线图见图 8-1(d)。运行中发电机、线路或变压器的故障或检修会造成单元中其他元件的停运,因而实用中受到一定限制。

## (三)多角形接线

多角形接线是一种将各断路器互相结合连接成闭合环形的一种接线方式,其中没有集中母线,又称为多边形接线或单环形接线。在设计现代电力系统的接线时,对于变电所和线路的一定组合方式,在所有带断路器接线方式中,环形接线是一种具有高度的可靠性,同时又经济有效的接线。按角的多少,多角形接线可分为

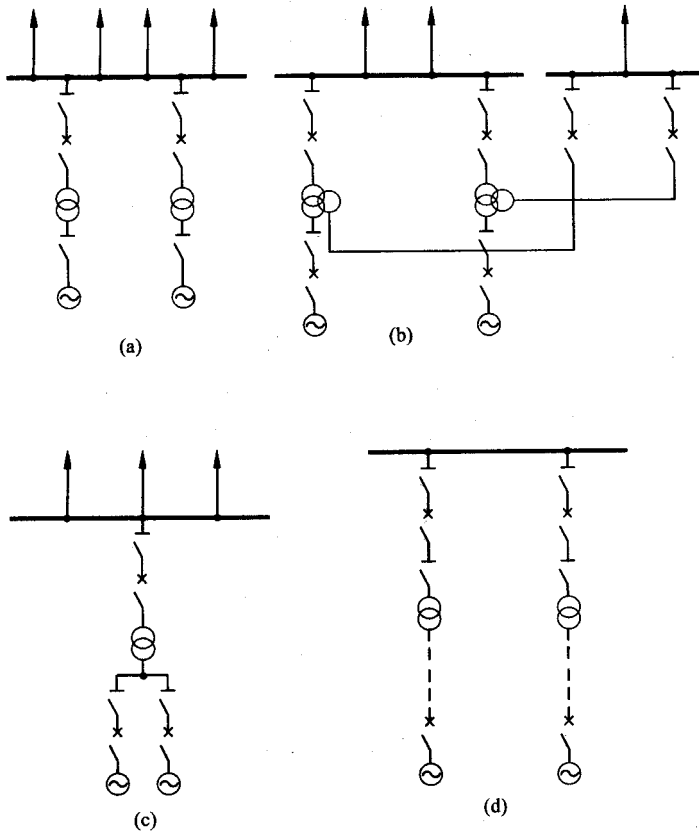


图 25-19 单元接线

(a)(b)(c)发电机-变压器单元接线 (d)发电机-变压器-线路单元接线

三角形接线、四角形接线、五角形接线等,如图 25-20 所示。这种接线最大的优点是:

1. 所用断路器台数与回路数相等,而每个回路都与两台断路器相连和进行操作。因此,在可靠性程度方面,该接线相当于双断路器连接的接线,但费用则小一倍;
2. 任何一台断路器检修,不需要中断供电,也不需设置专门旁路装置,从而进一步节约了投资;
3. 不以隔离开关作操作电器,设备的投入、切除操作方便,不影响其他元件的正常工作,即具有运行灵活、操作方便的特点。

与有汇流母线的主接线相比,多角形接线也有显著的缺点:

1. 任一台断路器检修时均需开环运行,此时降低了系统可靠性;
2. 电器选择困难,继保整定复杂;
3. 不易发展和扩建。

多角形接线的上述特点使得它一般用于引出线较长、系统接线发展、扩建可能性很小的高压和超高压配电装置中,如某些水电厂中。

从形式上看,主接线的发展过程是由简单到复杂,但不能由此得出结论,认为复杂接线总比简单接线优越,复杂接线可代替简单接线。对技术的评价也要考察时代背景,在当时的电气设备制造技术、通信技术和控制技术条件下产生了从简单到复杂的主接线演变过程。在当今的技术环境中主接线不会越来越复杂,在某些条件下采纳简单接线比采用复杂接线反而优越,不能笼统肯定或否定,要根据所研究的发电厂、变电所在系统中的地位和作用、电压等级、地理位置、厂站内变压器台数、容量、进出线数、电缆电网还是架空线电网等统一决定。



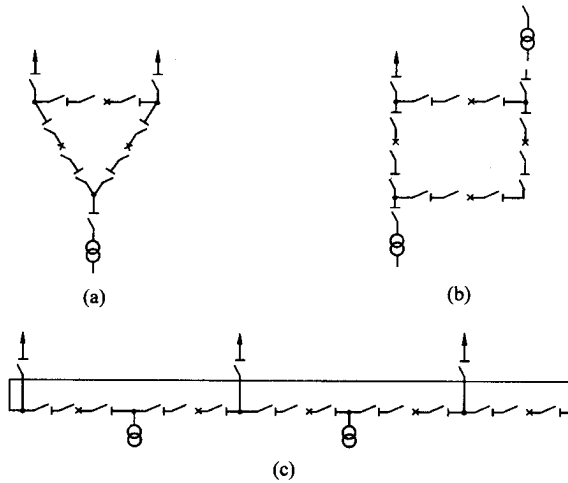


图 25-20 多角形接线  
(a)三角形接线 (b)四角形接线 (c)环形接线

### 三、城市电网常用的变电所主接线形式

表 25-2 和表 25-3 是发达国家大城市电网变电所高压侧和中压侧主要采用的主接线形式。

表 25-2 国外部分大城市电网变电所高压侧主接线

城市名	电压/kV	电网线路类型	变电所主接线形式
东京	275	架空, 电缆	双母线单分段或双分段
关西	275	架空, 电缆	$\frac{3}{2}$
伦敦	225	电缆	双母线单分段或双分段
纽约	138	电缆	$\frac{3}{2}$
巴黎	225	电缆	双母线分段或环形
东柏林	110	电缆	环形
西柏林	110	电缆	单母线

表 25-3 国外部分大城市电网变电所中压侧主接线

城市名	电压/kV	电网线路类型	变电所主接线形式
伦敦	33	架空, 电缆	单母线或单母线分段
巴黎	33	架空, 电缆	单母线或单母线分段
纽约	25~33	电缆	单母线单元
东京	22~66	架空, 电缆	单母线或单母线分段

从表 25-2 和表 25-3 可以看出,多数发达国家城市电网高压系统不再采用双母线带旁路接线形式,而是采用简化形式,如单元接线、角形接线等。这是基于以下原因:

1. 城市土地资源十分宝贵,大型变电所的用地难以落实;
2. 由于电器设备制造技术的发展,设备可靠性提高;
3. 网络规划水平提高,布局日趋合理,增强了供电区之间互为备用的能力,减轻了对单个变电所可靠性的依赖。

对于超高压变电所及高压电网中的枢纽变电所,英法等欧洲国家的城市电网 220kV 变电所多采用“ $\frac{3}{2}$ ”接线和角形接线;日本是混合型电网,东京电力公司主要采用双母线分段接线,关西电力公司主要采用“ $\frac{3}{2}$ ”接线。

母线-变压器组接线方式在国外得到广泛应用。随着变压器制造技术的提高,大型变压器故障率大大降低,已达到 1~2 次/(台·100 年),因此,俄、美、加等国在高压、超高压电网中较多采用了变压器通过隔离开关接到母线,组成母线-变压器组接线的方式。其可靠性高于用断路器带旁路的双母线接线,不会发生如多角形接线的开环问题。

## 第五节 倒闸操作

发电厂电气设备有三种运行状态,即运行、备用与检修。要改变电气设备的运行状态或改变系统的运行方式,是要通过一系列的倒闸操作来实现的。所谓倒闸操作主要是指拉开或合上某些断路器和隔离开关,同时还包括拉开或合上某些直流操作回路,改变某些继电保护装置或自动装置的整定值,拆开或装设临时接地线以及检测设备的绝缘。

倒闸操作是件很重要的工作,若发生误操作事故,将会导致设备的损坏,危及人身安全,甚至造成大面积停电,将会给国民经济造成巨大的损失。为了防止误操作事故发生,必须采取有效的措施加以防止,确保发电厂的安全生产。

倒闸操作工作,只允许由电气值班员进行。值班人员必须熟练掌握电气主接线及其运行方式,熟悉保护装置和自动装置的整定值等。在进行倒闸操作时,必须按运行领导人员(如系统值班调度员、发电厂值长等)的命令进行,在执行操作任务时,操作人员必须集中精力,严格遵守电气设备倒闸操作的规定,如认真执行操作票制度和监护制度等。

在各发电厂主控室要设正规的模拟系统图,使用统一的操作技术用语,电气设备应有统一的命名及明显的标志。另外,断路器与隔离开关之间及隔离开关与接地刀闸之间都应装设机械或电气闭锁装置。

运行经验证明,上述的有关措施和规定,如果认真执行,对防止误操作事故起了很大的作用。

### 一、倒闸操作票

发电厂的电气设备众多,操作频繁,所以容易误操作。一旦发生误操作事故,将给发电厂生产及人身安全带来极大的危害。为了避免误操作事故,必须严格执行操作票制度和监护制度,在倒闸操作前要填写操作票,并且要一人监护,一人操作。

操作票是保证倒闸操作正确进行的有效措施之一。根据误操作事故的分析,大部分是由于操作票使用不当或操作票填写不正确而造成的。因此在填写操作票时,要认真负责,操作内容正确,步骤不能颠倒,不漏项目,字迹工整清晰,不得任意涂改。

#### (一) 操作票的使用范围

1. 1000V 以上的电气设备,在正常情况下进行任何操作时,均应填写操作票。

2. 处理事故时,不需填写操作票,这是为了迅速切除故障点,以限制事故发展,能及时恢复供电。但事故处理结束后,应尽快向运行领导人汇报,并作好记录。

3. 简单设备上进行单一操作时,可以不用操作票。

## (二) 操作票填写的有关规定

1. 操作票应根据值班调度员或值班负责人下达操作计划和综合命令填写。调度发布操作计划和倒闸操作命令时,必须要双重名称(设备名称和编号)同时要录音。运行单位要由值班负责人或有操作监护权的值班员受令,认真地进行复诵,并将接受的操作计划和倒闸操作命令及时记录在操作记录簿中。

2. 发电厂、变电所根据调度下达的操作计划填写操作票时,在需要得到调度命令后才能执行的操作项目,要注明“联系调度”字样,防止造成误操作事故。

3. 操作票规定由操作人填写,特殊情况下,需要由前一班人员填写时,实际进行操作人员必需认真细致地审查,由前一班以填写完毕的操作票,确认无误后,由操作人、监护人、值班负责人(值长、值班长)签字后执行。二人值班者,由操作人、监护人签字,大型或复杂操作(如改变运行方式、倒母线、全所停电、多回路同时停电等等),所长(运行专责工程师)必须认真审核操作票并签字。

4. 操作票内所填写的操作项目必须采用双重名称,即设备名称和编号。

5. 拆除、装设接地线要注明确切地点和接地线编号。

6. 填入操作票内的检查项目(要单列一项)。

7. 拉、合隔离开关前,检查相关的断路器实际开、合位置。

(2) 倒闸操作需要开(合)的隔离开关,在操作前,已经开(合)的,在操作票中也应列入检查实际开、合位置。

(3) 在操作中拉开、合上断路器或隔离开关后,要检查实际开、合位置(系指在操作地点看不见的断路器或隔离开关实际开、合位置)。

(4) 并、解列(包括系统并、解列,变压器并、解列,双回线并、解列,用旁路送电,倒母线)要检查负荷分配情况(检查三相电流平衡)并在该相的末尾记上实际电流数值。

(5) 设备检修后,合闸送电前,检查送电范围内的接地刀闸确已拉开和接地线确已拆除。

(6) 备用母线投入运行前,要检查母线完好无异物,可以投入运行(首先用联络断路器向备用母线充电)。

(7) 旁路母线(侧路母线)投入运行时,在送电前检查全部旁路隔离开关位置,可列一总检查项目,例如“检查所有侧路刀闸均在开位”,特殊的要单列一项。

7. 倒闸操作的技术用语。

(1) 操作断路器、隔离开关用“拉开”、“合上”,并写在操作项目之前。例如“拉开青云线 2054 断路器”。

(2) 检查断路器、隔离开关位置用“检查在开位”、“检查在合位”。

(3) 验电用“验电确无电压”。

例如“在青云线 2054 断路器至甲隔离开关间三相验电确无电压”。

(4) 装、拆接地线用“装设”、“拆除”。

例如“在青云线 2054 断路器与甲隔离开关之间装设 1 号接地线”。

(5) 检查接地线拆除用“检查确已拆除”。

(6) 检查负荷分配用“指示正确”。

例如“检查 1 号母线 2100 断路器表计指示正确  $\times \times \text{A}$ ”。

(7) 取下、装上控制回路和电压互感器的保险器用“拉开”、“取下”、“合上”、“装上”,对转换开关切换用“切至”。

(8) 启、停某种继电保护跳闸压板,用“投入”、“退出”。

例如 a. 投入  $\times \times \times$  线  $\times \times$  断路器的  $\times \times$  保护压板;

b. 退出  $\times \times \times$  线  $\times \times$  断路器的  $\times \times$  保护压板。

8. 设备检修后,合闸送电前,检查送电范围内多组接地线是否拆除,可列一总的检查项目,写明全部接地线编号,并写明“共  $\times$  组”,可不写设备名称和装设地点。每检查完一组接地线应在其接地线编号上打  $\checkmark$ 。

例如“检查  $\times$  号、 $\times$  号、 $\times$  号共三组接地线确已拆除”,拉开接地刀闸应每拉开一组,即检查一组确已拉开。

9. 填写操作票严禁并项(如验电和装设地线不合在一起填写),严禁添项及用勾划的方法颠倒操作顺序。

在操作中需要操作的防误装置项目不得填入操作票中,调度发布的操作计划顺序号要填入操作票的指令项栏,但操作项目可以不必填写。

10. 操作票填写要字迹工整、清楚,提倡用仿宋体,不得任意涂改。如有个别错字、漏字要修改时,必须保证清晰,应在原字上划“—”并在旁边写上正确字,漏字以“√”符号加在漏字处,每页修改超过三字以上,要重新填写。

11. 未填写的操作票由工区(分场)预先统一编号,填写错误作废或未执行的操作票,要盖“作废”章,并与执行的操作票统一按编号顺序保管。

12. 操作票填写完后,其空余部分应盖“以下空白”章以示终结,备注栏内不许填写操作项目。

13. 操作票填写的内容。在操作票上除填写断路器和隔离开关的操作步骤外,还应填写以下内容:

- (1) 切断或合上断路器的操作电源(取下或装上操作熔断器)。
- (2) 切断或合上电压互感器的隔离开关及其熔断器。
- (3) 检查断路器和隔离开关的开、合位置。
- (4) 使用验电器检验需接地部分是否确无电压。
- (5) 投入或切除继电保护及自动装置改变其定值,切断或合上它们的电源。
- (6) 需进行同期操作的各项步骤。
- (7) 装接地线并检查有无接地线。

## 二、倒闸操作的程序

1. 发布和接受命令。当值班调度员或值班负责人在布置任务时,应讲清目的和操作设备的状况。值班员在接到操作命令后,应复诵一遍,确认无误后将此操作任务记入操作记事簿。

2. 填写操作票。在操作前由操作人,根据操作命令的要求,填写操作票。并认真检查,以保证操作票的正确。

3. 逐级审核。操作人填写好操作票后,由监护人、值班长及值长逐级审核。对操作票进行严格把关。

4. 对照模拟盘进行模拟操作。在正式操作前,由监护人按照操作票的项目顺序唱票,由操作人翻正模拟盘,并在操作票模拟预演栏内打个蓝色“√”,进一步核对其操作票的正确性后并由操作人、监护人、值班长、值长分别在操作票上签字方可执行。

5. 发布正式操作命令。在实际操作时,由值长或值班长,发布正式操作命令,并在操作票上填写发令时间。

6. 正式对设备进行操作。操作中每进行一项应严格执行“四对照”,即对照设备名称、编号、位置和拉合方向。由监护人高声唱票,操作人必须做到声音宏亮认真复诵,监护人确认无误,发出“对!可以操作!”执行命令后,操作人方可操作。每操作完一项,在操作票顺序栏左侧空格中打一个红色“√”,严禁操作完一起打勾或提前打勾。

7. 检查设备。全部操作项目进行完毕,操作人在监护人的监护下,对照操作票检查操作结果,以防遗漏或设备操作未到位的现象。

8. 汇报。操作完毕后,监护人向发令人汇报××号操作票执行情况及已经操作结束。发令人认可后,在操作票上盖“已执行”的图章。

9. 记录。监护人将操作任务及起、终时间记入操作记录簿。

## 三、操作票执行中的有关规定

为了防止误操作的发生,操作票在执行中应严格遵守下列规定。

1. 操作必须按操作票的顺序依次操作,不得跳项、漏项,不得擅自更改操作顺序。在特殊情况(如系统运行方式改变等)需要跳项操作或不需要的操作项目,必须有值班调度员的命令或所长(运行负责人)的许可,

值班负责人的批准,确认无误操作的可能,方可进行操作。不需要操作的项目盖上“作废”小戳,并在操作票的备注栏内注明作废原因。在操作中严禁穿插口头命令的操作项目。

2. 执行一个倒闸操作任务,中途严禁换人。在执行倒闸操作时严禁做与操作无关的事。在操作过程中,监护人应自始至终认真监护,不得离开操作现场和进行其它工作,没有监护人的命令和监护,操作人不得擅自操作。

3. 当值的值班负责人要注意考查每个值班人员的思想、精神状态,发现有不正常现象,必须及时地进行安全思想教育,提醒注意。执行操作的人员必须做到精神集中,不得思想溜号,马虎从事。

4. 一份操作票(一个操作任务)规定由一组人员操作,监护人手中只能持一份操作票,但由于操作项目过多,现场距主控室较远,可以分两组人员操作。分组操作时,要填写一式两份总的操作顺序的操作票,值班长按上述操作票统一指挥进行操作。这样操作只适用于有良好通信对话联系装置的单位,并要认真履行复诵。两份操作票均填写操作时间,严禁用手示等方法进行联系操作。

5. 防误操作联锁的解锁钥匙应妥善保管,制定解锁管理规定,每次使用要经有关领导批准并登记。

6. 操作票的检查、保管。

(1) 各运行班组在每周安全活动中对操作票要互相检查,对发现的问题和提出的改进意见,要认真地记入安全活动记录簿中。变电所所长、专责工程师以及分场、供电局、工区的领导每月进行检查和考核。

(2) 已执行的操作票,必须按月整理,按编号顺序装订成册妥善保管(包括作废的操作票)。装订成册的操作票封皮上应统计出操作票的合格率(作废的票不作统计)和存在问题。

(3) 已执行的操作票最少要保存一年,以便备查。

## 四、倒闸操作的基本原则和要求

断路器具有接通及断开负荷电流和切断短路电流的能力,而隔离开关因为无灭弧结构,所以不能用来切断负荷电流和短路电流。因此在一般情况下,将断路器作为操作电器,即用它来接通和切断有负荷的电路。隔离开关仅作为隔离电源之用,也就是使停电设备与电源有明显的断开点。

### (一) 倒闸操作的原则

为了避免造成带负荷拉、合隔离开关,因此,在倒闸操作时,一定要遵循下列原则进行。

1. 在断、合闸时,必须用断路器合上或断开负荷电流及切断短路电流,绝对禁止用隔离开关切断或接通负荷电流。

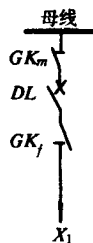


图 25-21 线路接线图

DL—断路器; GX—隔离开关

在合闸时,应先从电源侧进行,在检查断路器确在断开位置,先合上母线侧隔离开关  $GK_m$ ,后合上负荷侧隔离开关  $GK_f$ ,再合上断路器 DL,如图 25-21 所示。

因为在线路送电时,万一断路器在合闸位置未检查出来,若先合线路侧隔离开关,而后合母线侧隔离开关,此时造成带负荷合闸,在隔离开关触头间产生强烈电弧,将烧坏设备,甚至造成母线短路,从而影响其它设备的正常运行。如先合母线侧隔离开关,后合线路侧隔离开关,虽然同样是带负荷合闸,但由于该线路断路器继电器保护动作,使其自动跳闸,切除故障点,不影响其它设备的运行,同时线路侧隔离开关检修时,只需

停该线路,而母线侧隔离开关检修时,母线必须停电,影响面积大。

2.对两侧均有断路器的双绕组变压器,在送电时,应先合电源侧断路器  $DL_1$  或  $DL_2$ ,后合负荷侧断路器  $DL_3$  或  $DL_4$ ,如图 25-22 所示。 $B_1$  和  $B_2$  两台变压器中,假设变压器  $B_1$  停止运行,而变压器  $B_1$  的负荷侧存在隐患( $D$  点短路),这时若先合变压器  $B_1$  负荷侧断路器  $DL_3$ ,则会使变压器  $B_2$  的断路器  $DL_4$  跳闸,造成大面积停电事故。若先合电源侧断路器  $DL_1$ ,则因继电保护动作而跳闸,立即切除故障点,不会造成事故的扩大。

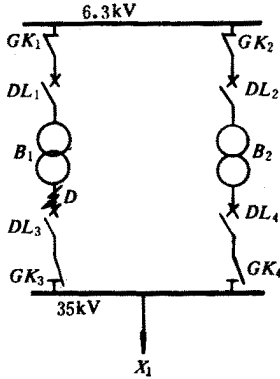


图 25-22 两台变压器并列运行接线

$DL$ —断路器; $GK$ —隔离开关; $B$ —变压器

3.在拉闸时,应先从负荷侧进行,断开断路器后,检查断路器确在断开位置,先拉开负荷侧隔离开关,再拉开电源侧隔离开关。对两侧均有断路器的变压器而言,在停电时,应先断开负荷侧断路器,后断开电源侧断路器。

4.允许用隔离开关进行下列操作。

- (1)接通和断开电压互感器和避雷器。
- (2)接通或断开变压器的中性点接地开关,但当变压器中性点接有消弧线圈时,只有在系统中没有故障时才可进行。
- (3)接通或断开励磁电流不超过 2A 的空载变压器及电容电流不超过 5A 的空载线路(10.5kV 以下)。
- (4)接通或断开无故障母线和直接连在母线上设备的电容电流。
- (5)可以利用等电位原理进行倒母线操作。

## (二)倒闸操作的基本要求

1.操作断路器的基本要求

- (1)断路器不允许带电手动合闸。这是因为手动合闸速度慢,易产生电弧。在事故情况下例外。
- (2)遥控操作断路器时,不得用力过猛,以防损坏控制开关,也不得返回太快,以保证断路器的足够合、断闸时间。
- (3)断路器操作后,应检查有关表计和信号的指示,以判断断路器动作的正确性。

2.操作隔离开关的基本要求

- (1)手动合隔离开关时,必须迅速果断,但在合到底时不得用力过猛,以防合过头及损坏支持瓷瓶。在合闸时,动、静触头刚刚接触时,如发生弧光,则应将隔离开关快速合上。隔离开关一经操作,不得再拉开。因为带负荷拉开隔离开关,会使弧光扩大,造成设备更大的损坏。
- (2)在手动拉开隔离开关时,应缓慢。特别是刀片刚离开刀嘴时,如发生电弧,应立即合上,停止操作。
- (3)经操作后的隔离开关,必须检查隔离开关的开、合位置。因为可能由于操作机构失灵或调整不当,经操作后,实际上未合到位或拉开的角度不够。

## (三)倒闸操作的注意事项

- (1)在电气设备送电前,必须收回有关的全部工作票,拆除安全措施,如拉开接地刀闸或拆除临时接地

线、遮栏、标示牌等,然后进行测量绝缘电阻。

(2)应注意设备的保护及自动装置整定值是否符合要求,防止因保护和自动装置误动或拒动而造成事故。

(3)备用电源自动投入装置、重合闸装置、自动励磁装置必须在所属主设备停运前退出工作,在所属主设备送电后投入工作。

(4)在进行倒闸操作中,应注意操作设备表计指示情况的变化。

(5)下列情况,应将断路器操作电源切断,即取下直流操作熔断器。

①检修断路器。

②在二次回路及保护装置有人工作时。

③倒母线过程中,应将母联断路器操作熔断器取下,以防带负荷拉、合隔离开关。

④在操作隔离开关前,应取下相应断路器的操作熔断器。

⑤在继电保护故障情况下,应将断路器的操作熔断器取下,防止保护误动作造成事故。

⑥油断路器缺油或漏油时,应取下断路器操作熔断器,以防在发生故障跳开该断路器时,造成断路器爆炸。

(6)在操作过程中应使用合格的安全工具。

## 五、常用倒闸操作票的实例

为了将前面讲述内容与实际操作相结合,现举几例仅供参考。

### (一)直配线路送电操作

如图 25-23 所示,某直配线路的断路器及其它设备需要定期进行检修或试验,因而需要停电操作。作业结束及故障处理后还需要进行送电操作。下面仅提供图 25-23 中化肥甲线路恢复送电操作票(见表 25-4)供参阅。

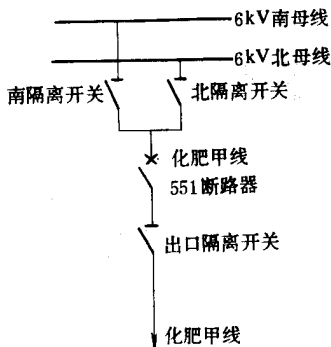


图 25-23 某直配线路操作接线图



表 25-4 操作票

变电所

年 月 日

编号

模拟 预演	下令时间		调度指令 号		下令人：		受令人：		
	操作时间		年 月 日 时 分		终了时间		年 月 日 时 分		
	操作任务		化肥甲线路恢复送电的操作						
V	V	顺序	指令项	操作项目				时	分
		1		接受值长命令后,收回全部工作票					
		2		按工作票拆除化肥甲线路全部安全措施(地线两组)					
		(1)		拆除化肥甲线 551 断路器至南北隔离开关间 × × 号接地线					
		(2)		拆除化肥甲线 551 断路器至 551 出口隔离开关间 × × 号接地线					
		3		检查 × × 号、× × 号共两组接地线确已拆除					
		4		测量化肥甲线绝缘良好					
		5		检查化肥甲线 551 断路器在开位					
		6		合上化肥甲线 551 北(或南)隔离开关					
		7		合上化肥甲线 551 出口隔离开关					
		8		合上化肥甲线 551 断路器合闸熔断器					
		9		合上化肥甲线 551 断路器操作熔断器					
		10		检查化肥甲线 551 断路器表计指示正确 0A					
		11		合上化肥甲线 551 断路器					
		12		检查化肥甲线 551 断路器合闸良好					
		13		全面检查、记时、记录、汇报					

备注：

操作人： 监护人： 值班负责人： 所长(运行专工)

## (二) 倒母线操作

如图 25-24 所示的双母线接线,其正常运行方式为双母线并列运行,母联 600 断路器在合位,发电机  $F_1$  (10 断路器)、主变压器  $B_1$  (61 断路器)、厂用电工作电源 I 段 (611 断路器)、厂用备用电源 (601 断路器)、化肥甲线 (511 断路器) 均在北母线运行,而发电机  $F_2$  (20 断路器)、主变压器  $B_2$  (62 断路器)、厂用电工作电源 II 段 (621 断路器)、化肥乙线 (512 断路器) 均都在南母线运行。为了对北母线(南母线)作定期检修及清扫,或者在运行中母线或母线隔离开关发生故障需要检修时,需将北母线(或南母线)上各运行设备切换至南母线(或北母线)工作,这种母线的切换操作可以在运行中进行,所有的运行设备无需停电,其操作票如表 25-5 所示。



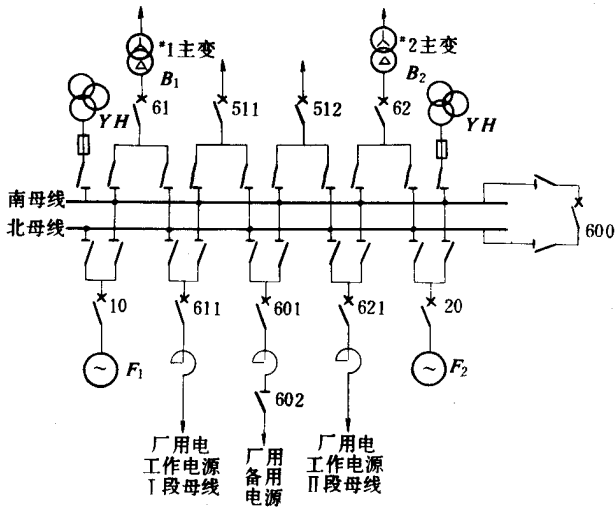


图 25-24 双母线接线图

B—变压器；YH—电压互感器；F—发电机

表 25-5 操作票

变电所

年 月 日

编号

模拟预演	下令时间		调度指令 号		下令人：		受令人：		
	操作时间		年 月 日 时 分		终了时间		年 月 日 时 分		
	操作任务		北母线负荷倒至南母线运行 北母线停电操作						
V	V	顺序	指令项	操作项目				时	分
		1		接受值长命令					
		2		检查母线联络 600 断路器在合位					
		3		拉开 6.3kV 母联 600 断路器操作熔断器					
		4		合上发电机 F <sub>1</sub> 10 南隔离开关					
		5		合上主变 B <sub>1</sub> 611 南隔离开关					
		6		合上厂用电 I 段工作电源 611 南隔离开关					
		7		合上化肥甲线 511 南隔离开关					
		8		合上厂用备用电源 601 南隔离开关					
		9		检查上述南隔离开关在合位					
		10		拉开发电机 F <sub>1</sub> 10 北隔离开关					
		11		拉开主变 B <sub>1</sub> 61 北隔离开关					
		12		拉开厂用电工作电源 I 段母线 611 北隔离开关					
		13		拉开化肥甲线 511 北隔离开关					

		14		拉开厂用备用电源 601 北隔离开关		
		15		6.3kV 北母线除 YH 一次隔离开关和母联 600 北隔离开关在合位外,检查其余隔离开关均在开位		
		16		检查发电机 $F_{110}$ 断路器及主变 $B_{161}$ 断路器同期良好		
		17		合上 6.3kV 母联 600 断路器操作熔断器		
		18		检查母联 600 断路器电流表指示正确 $\times \times A$		
		19		拉开母联 600 断路器		
		20		拉开母联 600 断路器操作熔断器		
		21		检查母联 600 断路器在开位		
		22		拉开母联 600 断路器合闸熔断器		
		23		拉开母联 600 南隔离开关		
		24		拉开母联 600 北隔离开关		
		25		拉开 6.3kV 北母线 YH 一次隔离开关		
		26		拉开 6.3kV 北母线 YH 二次熔断器		
		27		在 6.3kV 北母线验电确无电压		
		28		按工作票要求布置安全措施		
		29		全面检查(对照操作票)记时、记录和汇报		

备注：

操作人：            监护人：            值班负责人：            所长（运行专工）

### (三) 发电机的起动和并列操作

为了保证电力系统供电可靠性和运行的稳定,供电质量的提高及合理分配负荷,必须将各发电厂的发电机连接起来并列运行。但发电机必须进行周期性的检修或试验,而且必须停电才能进行。因此,在发电机检修和试验完成或故障排除后,应根据电力系统的需要,将发电机重新投入系统运行。图 25-24 为发电机接线,若发电机需并入系统,则其操作票见表 25-6(图 25-24 中未表示出它的二次回路)。

### (四) 双绕组升压变压器的送电操作

变压器因计划检修,或变压器本身及变压器回路内发生故障,需要从运行转为停电检修。当检修工作完成后,需由检修状态转入运行。图 25-25 为双绕组变压器操作接线图,其操作票,见表 25-7 所示。

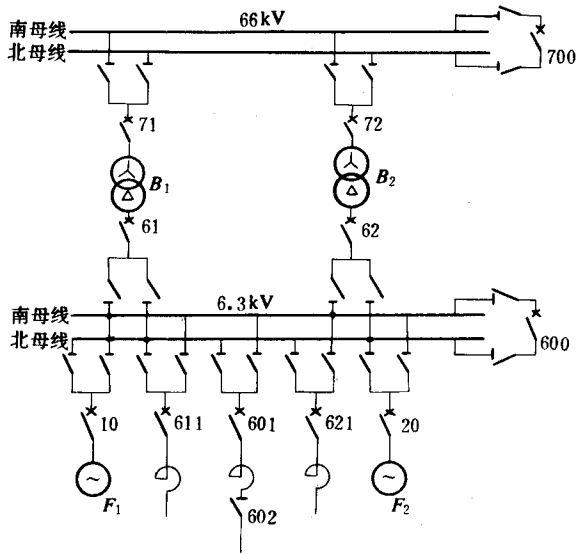


图 25-25 双绕组变压器操作接线图

表 25-6 操作票

变电所

年 月 日

编号

模拟预演	下令时间		调度指令	号	下令人：	受令人：
	操作时间	年 月 日 时 分			終了时间	年 月 日 时 分
	操作任务	发电机 $F_1$ 自动准同其并列的操作				
V	V	顺序	指令项	操作项目	时	分
		1		接到值长命令		
		2		拆除发电机 $F_1$ 全部安全措施		
		3		测定发电机 $F_1$ 绝缘良好		
		4		合上发电机 $F_1$ 表计电压互感器 $YH$ 一次隔离开关		
		5		合上发电机 $F_1$ 表计电压互感器 $YH$ 二次熔丝		
		6		合上发电机 $F_1$ 调压器电压互感器 $YH$ 一次隔离开关		
		7		检查发电机 $F_1$ 励磁断路器在开位		
		8		合上发电机 $F_1$ 励磁隔离开关		
		9		合上发电机 $F_1$ 中性点避雷器隔离开关		
		10		复归汽轮机发来“注意”可并列”信号(此时发电机已达到额定转速可以并列)		
		11		检查发电机 $F_1$ 10 的断路器在开位		

		12		合上发电机 $F_1$ 的 10 北(南)隔离开关		
		13		合上发电机 $F_1$ 的 10 断路器合闸熔断器		
		14		检查发电机 $F_1$ 磁场电阻在最大位置		
		15		合上发电机 $F_1$ 励磁开关		
		16		调整磁场电阻升压,使发电机定子电压、慢慢升至 6.3kV		
		17		按接地按钮使零序电压表指示为零		
		18		投入发电机 $F_1$ 连锁压板及过流跳 600 断路器压板		
		19		合上发电机 $F_1$ 强磁开关		
		20		合上发电机同期开关		
		21		检查直流母线电压在 220V		
		22		将同期装置开关切至同期侧		
		23		检查同期闭锁开关在闭锁位置		
		24		合上自动准同期开关 检查装置正常时		
		25		调整周波、电压接近于母线周波、电压		
		26		合上自动准同期起动开关		
		27		待发电机 $F_1$ 10 断路器红灯闪光时 将同期开关断开		
		28		将发电机 $F_1$ 10 断路器把手切至合闸位置		
		29		向汽机发出“注意”已合闸”信号,待信号复归后		
		30		接带无功负荷		
		31		将同期装置开关切至表侧		
		32		断开自动准同期装置启动开关		
		33		断开自动准同期开关		
		34		接带有功负荷		
		35		全面检查、记时、记录和汇报		

备注：

操作人： 监护人： 值班负责人： 所长： （运行专工）

表 25-7 操 作 票

变电所

年 月 日

编号

模拟预演	下令时间		调度指令 号		下令人：		受令人：		
	操作时间		年 月 日 时 分		终了时间		年 月 日 时 分		
	操作任务		主变压器 B <sub>1</sub> 送电的操作						
V	V	顺序	指令项	操作项目				时	分
		1		接到值长命令后					
		2		拆除主变压器 B <sub>1</sub> 安全措施(接地线两组)					
		(1)		拆除主变压器 B <sub>1</sub> 61 断路器至南、北母线隔离开关间 × × 号接地线					
		(2)		拉开主变压器 B <sub>1</sub> 71 北接地隔离开关					
		3		测量主变压器 B <sub>1</sub> 绝缘良好					
		4		检查主变压器 B <sub>1</sub> 71 开关在开位					
		5		合上主变压器 B <sub>1</sub> 71 北隔离开关					
		6		合上主变压器 B <sub>1</sub> 71 断路器合闸熔断器					
		7		检查主变压器 B <sub>1</sub> 61 断路器在开位					
		8		合上主变压器 B <sub>1</sub> 61 隔离开关					
		9		合上主变压器 B <sub>1</sub> 61 开关合闸熔断器					
		10		合上主变压器 B <sub>1</sub> 61 及 71 开关操作直流					
		11		合上主变压器 B <sub>1</sub> 同期开关					
		12		将同期装置开关切至同期侧					
		13		视电流表合上主变压器 B <sub>1</sub> 71 断路器向主变压器充电					
		14		检查充电良好					
		15		检查整步表接近同期位置					
		16		视电流表合上主变压器 B <sub>1</sub> 61 断路器进行并列					
		17		将同期装置开关切至表侧					
		18		检查并列良好					
		19		全面检查、记时、记录和汇报					

备注：

操作人：          监护人：          值班负责人：          所长：（运行专工）

## 第六节 输电网接线

电力系统接线中另一主要方面是电网的接线方式,本书将就输电网接线及配电网接线分别加以介绍。

### 一、对输电网接线的基本要求

输电网设计的目的在于确定相关电网的电压等级、网络结构,作为输电线路及变电所设计的依据,在进行电网设计时应考虑下述要求:

#### (一)可靠性

所设计的电网应满足正常工况及个别设备故障时不引起其他线路或变压器过负荷,不引起母线电压超出规定的上、下限,设计电网须估计输电线路的允许容量(参见表 1-10),然后选择接线方案,并在各种运行方式下校验安全性。

#### (二)投资

电网投资包括线路投资及变电所投资两部分,并应区分同杆并架与分杆架设,新建走廊与利用已有走廊以及不同电压等级等情况进行投资比较。

#### (三)运行费

包括管理、维修及网络损失费用。进行经济比较时,对于不同的接线方案产生的网损是小同的。

#### (四)灵活性

设计方案应能在各种情况下安全可靠地运行。这些情况包括不同的运行方式以及检修情况。

#### (五)发展适应性

当负荷增长或新增用户时,电网须易于扩建,电网发展后短路电流也会增大,因此,电网接线应计及短路电流的限制。

正确选择方案是考虑上述诸多因素进行全面分析的结果。

### 二、输电网的规划设计方法

进行电网规划设计采用的方法分为启发式和数学优化方法两类。

#### (一)启发式方法

常规电网设计采用技术经济比较方法,设计人员首先根据自己的判断提出几种接线方案,然后通过技术分析改善这些方案的技术指标,使之在技术上是先进的,最后通过经济比较确定最终方案。这种方法的决策过程依赖于工程师的经验。这类启发式方法直观、灵活、计算时间短,便于人工参与决策,且能够给出符合实际的较优解,因而得到了比较广泛的应用。其计算过程可归纳为以下三个部分:

##### 1. 过负荷校验

对于设计人员提出的接线方案,最重要的问题是输送容量是否足够,即线路是否会出现过负荷?设计者不仅要保证系统在正常情况下各线路不发生过负荷,还要保证在任一条线路故障断开时,各线路也不出现过负荷。为校验线路是否过负荷,网络中的正常潮流分布和断线计算结果将成为重要的分析依据。

##### 2. 灵敏度分析

它主要是通过分析某项运行指标与控制变量的关系来确定该变量对系统的影响,从而提出改善该项运

行指标的措施。如负荷增长对线路潮流与节点电压的灵敏度分析。

### 3. 方案形成

通过过负荷校验,找出网络中的薄弱环节。如网络中存在过负荷线路,则计算待选线路的综合指标,选择最“有效”的线路优先加入网络,直到网络中不存在过负荷线路,最终形成符合要求的网络。

## (二) 数学优化方法

电网规划的数学优化方法就是将电网规划的设计要求归纳为在约束条件下的目标函数求解问题。与启发式方法相比,数学优化方法在理论上更严格。但由于电网规划的变量很多,约束条件复杂,而求解大规模的规划问题存在不少困难,因此,不得不对具体问题作大量简化,且有些因素难以用数学模型表达,从而不能计入规划模型内。因此,数学上的最优解未必是完全符合工程实际的最优方案。

常用的数学优化算法有线性规划(LP)、非线性规划(NLP)、整数规划(IP)及动态规划(DP)等。

## 三、输电网的接线方式

电网接线的基本方式可分为无备用开式接线、有备用开式接线、简单闭式接线与复杂闭式接线四类,分别叙述如下。

### (一) 无备用开式接线

电网中电源用单回线路向变电站供电时称为开式电网。开式电网可分为辐射型和干线型两类。图 25-26(a)为辐射型接线,25-26(b)为干线型接线。干线型接线的可靠性低于前者,这是由于当线路故障时辐射型线路并不相互影响,而干线型中接近于电源的线路故障时将影响后续线路的供电。

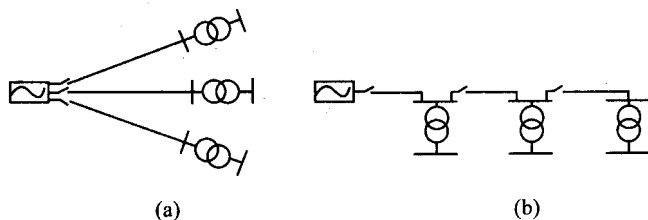


图 25-26 无备用开式接线图

(a) 辐射型 (b) 干线型

### (二) 有备用开式接线

无备用接线可靠性不高,只能用于向不太重要的用户供电。有备用开式接线如图 25-27 所示,其中图 25-27(a)为辐射型供电的一个分支,图 25-27(b)为干线型。由图 25-27 可见,在该图中无论是线路还是变压器均有备用,因而可以显著提高可靠性。

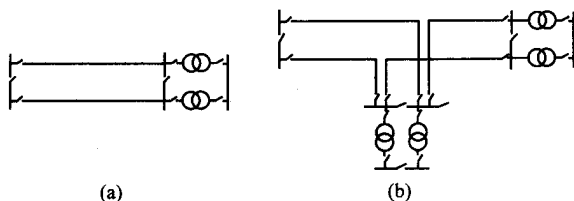


图 25-27 有备用开式接线

(a) 辐射型(分支) (b) 干线型

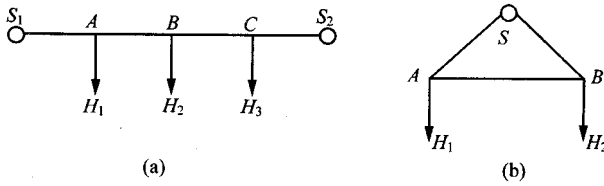


图 25-28 简单闭式网  
(a) 两端供电网 (b) 环形电网

### (三) 简单闭式接线

简单闭式接线有环形接线与两端供电网两种,如图 25-29 所示。这类接线中的每个变电站可从两个方向供电,因而有较高的可靠性。相对于有备用的开式接线,线路长度较短,可节约线路投资。

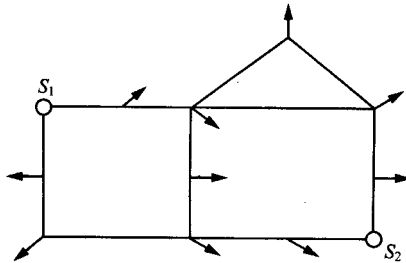


图 25-29 复杂闭式网

### (四) 复杂闭式接线

由多环电网和多回路线路构成的电网称为复杂闭式网。此类电网输送容量较大,可靠性较高,但运行管理与继电保护整定比较复杂。图 25-29 为复杂闭式网的示例。

## 第七节 厂用电接线

### 一、厂用电率

为了保证发电厂、变电所在正常运行方式下的运行以及机组起停过程的顺利完成,必须向一些必要设备供电。这些必要设备包括为发电厂、变电所主要设备(锅炉、汽轮机、发电机等)和辅助设备服务的以电动机拖动的厂用机械,以及照明、检修、试验等设备。

发电厂、变电所内拖动电机及全厂的运行操作、试验、修配、照明、电焊等用电设备的总耗电量,称为厂用电或自用电。

厂用电量占同一时期内全厂总发电量的比值是一个能较好反映电厂运行经济技术水平的重要指标,常用厂用电率  $K_p$  来表示:

$$K_p = \frac{S_c \cos \varphi_{av}}{P_N} \times 100\%$$



式中  $K_p$  为厂用电率 ;  $S_c$  为厂用计算负荷 , kVA ;  $\cos\varphi_{av}$  为年均功率因素 , 一般取为 0.8 ;  $P_N$  为发电机额定功率 , kW。

厂用电率是发电厂运行经济性的重要指标之一 , 降低厂用电率不仅能降低发电成本 , 还能相应地增大对系统的供电量。厂用电量的多少直接取决于发电厂类型、机械化和自动化程度、燃料种类及其燃烧方式、蒸气参数等因素。例如一般凝汽式火电厂厂用电率为 5% ~ 8% , 热电厂为 8% ~ 10% , 而水电厂则仅为 0.3% ~ 2%。

## 二、厂用负荷分类

厂用负荷种类繁多 , 根据它们在生产中的作用及突然停电对设备、人身造成危害的大小 , 常将厂用负荷分为以下四类 :

### (一) I 类负荷

这类负荷即使短时停电也会造成设备损坏、危及人身安全、以及主机停运或出力减少等严重后果。如火电厂的给水泵、凝结水泵、循环水泵等锅炉给水系统和送风机、引风机等燃烧系统 , 水电厂的调速系统等属于 I 类负荷 , 考虑到该类负荷对可靠性的要求 , 通常配置两套设备 , 互为备用 , 分别接至两独立电源 , 自动投切进行供电。

### (二) II 类负荷

这类负荷允许较短时间的停电(几秒至几分) , 恢复供电后 , 不致引起生产紊乱。电厂中属于该类负荷的主要有 : 火电厂中的工业水泵、疏水泵、灰水泵、输煤设备等设备。对于 II 类负荷可以考虑采用两个电源供电 , 手动切换来满足供电连续性要求。

### (三) III 类负荷

这类负荷长时间停电也不会直接影响生产 , 如中央修配厂、试验室等负荷 , 通常只设一个电源供电。

### (四) 事故保安负荷

事故保安负荷是一类机组在停机过程中及停机后一段时间内仍需保证供电的负荷。按对电源要求的不同 , 可分为以下三类 : ① 允许短时停电的交流保安负荷 , 例如汽轮机、盘车电动机、顶轴油泵 ; ② 不允许停电的交流保安负荷 , 例如计算机控制系统、程序控制装置 ; ③ 直流保安负荷 , 如发电机的直流润滑油泵等。

为满足事故保安负荷的供电要求 , 对于容量较大的机组须设置事故保安电源 , 一般由蓄电池组、柴油发电机组、燃气轮机组、可靠外部独立电源充当。

## 三、厂用电接线方式

随电厂类型、容量及地位的不同 , 厂用电的重要性也不尽相同 , 但要求厂用电接线应满足正常运行方式下安全、可靠、灵活、经济、检修、维护方便、操作灵活 ; 以及要求缩小厂用电系统故障影响范围 , 便于分期扩建等。鉴于此 , 必须合理地确定厂用电电源的取得方式 , 厂用电接线方式及继电保护和自动装置的配合等问题。

厂用电接线确定的基本原则与一般电气主接线相类似 , 而厂用电接线中还须考虑厂用电电压等级的确定和厂用电源的引接。

### (一) 厂用电电压等级

由于现代电厂的厂用电一般均通过厂用变压器、电抗器经电缆线路从主回路中引接 , 因而发电厂厂用电电压等级是根据发电机额定电压、厂用电电动机的电压、厂用电网络的可靠运行等各方面因素综合经济、技术比较分析后确定的。

发电厂中厂用电动机容量范围很广,小到几千瓦,大到几兆瓦的电动机均有,因而采用单一厂用电电压等级无法满足要求,必须根据所拖动设备的功率以及电动机的生产情况来确定厂用电电压等级。运行经验和分析比较表明,电动机容量在 75kW 以下,电压宜采用 380V 等级;100~200kW 电动机,电压采用 6kV 等级;容量为 1000kW 以上的电动机,电压可采用 10kV 等级。

为了简化厂用电接线,且减少运行维护工作量,电压等级不宜过多,目前广泛采用 6kV 和 380/220V 两种电压等级作为大中型火电厂厂用供电电压。这样厂用高压供电系统可根据发电机机端电压分别采用经厂用高压变压器或电抗器进行供电。而一般水电厂厂用电系统由于负荷容量不大,通常只采用 380/220V 一个厂用电电压等级供电。对于坝区水利枢纽点,一般可能有较大负荷,因而需另设专用变压器以 6~10kV 电压进行供电。对于中小容量发电厂、变电所选用 380/220V 一级电压供电均可满足要求。

## (二) 厂用电电源及其引接

按厂用电电源在运行中作用的不同,厂用电电源有厂用工作电源、备用电源、事故保安电源三类,它们有各自不同的引接方式。

### 1. 厂用工作电源

工作电源是保证发电厂、变电所正常运行的基本电源。通常,为保证供电可靠性,厂用工作电源应不少于两个。

由于现代电力系统运行可靠性的上升,厂用电电源已几乎全部从与系统直接相连的发电机本机或本厂取得。厂用电电源的取得方式对厂用电可靠性、经济性有重要影响,它与发电机出口电压及主接线形式关系密切。当发电机电压级采用有母线的主接线时,厂用高压工作电源一般直接从母线上引接(图 25-30(a,b));若发电机和主变压器为单元接线时,则厂用高压工作电源从主变低压侧引接(图 25-30(c));若发电机电压级采用扩大单元接线时,则厂用高压工作电源应从发电机出口或主变低压侧引接(图 25-30(d))。厂用低压工作电源一般由低压厂用变压器从厂用高压母线上引接,也可从小容量发电机电压母线或发电机出口经一次降压获得。

采用这种接线方式,即使在电厂内全部发电机停运时,也可从电力系统中倒送功率满足要求。因此可靠性较高,操作简便,投资及运行费用较低。

### 2. 厂用备用电源及其引接

厂用备用电源是厂用工作电源事故失电时起后备作用的电源,又称为事故备用电源。在备用电源中有一种在厂用工作电源完全消失情况下,为保证机组快速启动,向必要辅助设备供电的电源,称为启动电源。启动电源的实质也是一种备用电源,只是其可靠性要求更高,我国一般对容量为 200MW 以上的大型机组,需要考虑设置厂用启动电源,并以启动电源兼做事故备用电源。

备用电源除了要求有足够供电容量外,还须保证它对工作电源的独立性,从而真正实现事故备用的功能。为此备用电源常采用以下引接方式(图 25-31)。

- ① 从发电机电压母线的不同分段上,通过厂用备用变压器(电抗器)引接;
- ② 从与电力系统联系紧密,供电可靠的最低一级电压母线引接;
- ③ 从联络变压器低压绕组引接;
- ④ 当技术经济合理、条件允许情况下,可设专用外部线路供给。

## (三) 厂用事故保安电源

该类电源是对 300MW 以上的大容量机组,当厂用工作电源和备用电源都消失时,为确保在事故状态下能安全停机,事故消除后又能及时恢复供电而设置的电源,以满足事故保安负荷的供电需求。

发电厂中常采用蓄电池组、柴油发电机组、可靠外部独立电源作为事故保安电源。图 25-32 是交流事故保安电源的例子。

现代发电厂厂用电系统往往由主发电机进行供电,为提高该系统供电可靠性,厂用电系统接线通常采用单母线分段并配以成套配电装置以降低电力系统及厂用设备本身故障带来的影响。

由于火电厂厂用电负荷中锅炉相关负荷占厂用电量的 60% 以上,为便于厂用电系统的灵活调度并提高其供电可靠性与经济性,火电厂厂用系统母线按锅炉台数进行分段(见图 25-33)。若锅炉容量较大,辅助负

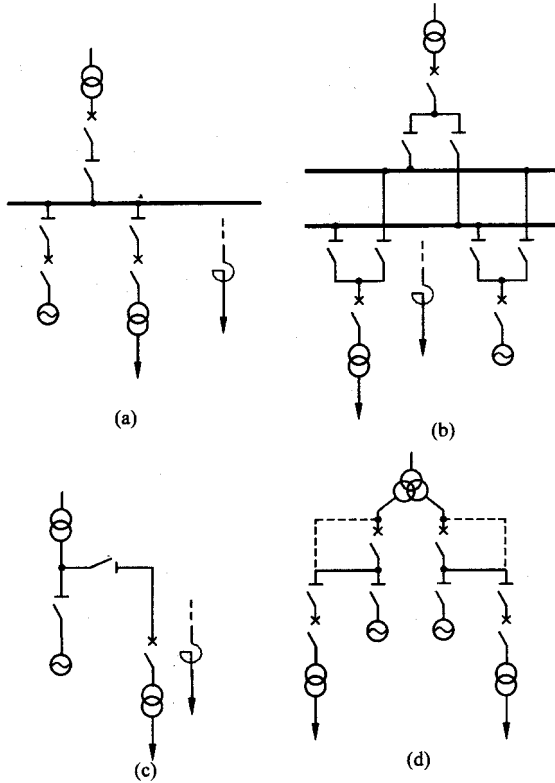


图 25-30 厂用工作电源的引接

(a)发电机电压级为单母线接线 (b)发电机电压级为双母线接线  
 (c)发电机电压级为单元接线 (d)发电机电压级为扩大单元接线

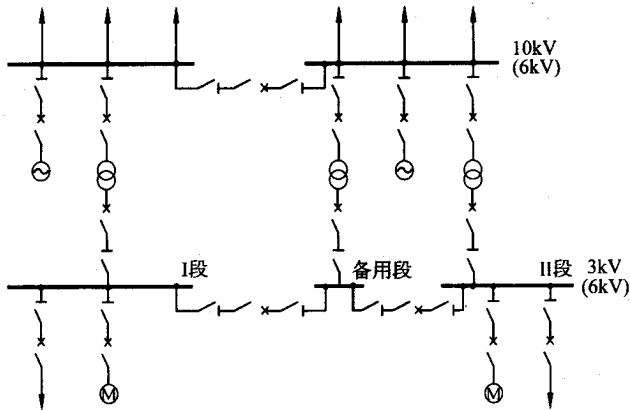


图 25-31 厂用备用电源接线方式示意图

荷相应也容量较大时,每台锅炉可由两段厂用母线供电。

而水电厂因厂用负荷一般容量较小,故常采用单母线按水轮机组台数分段的接线方式供电。

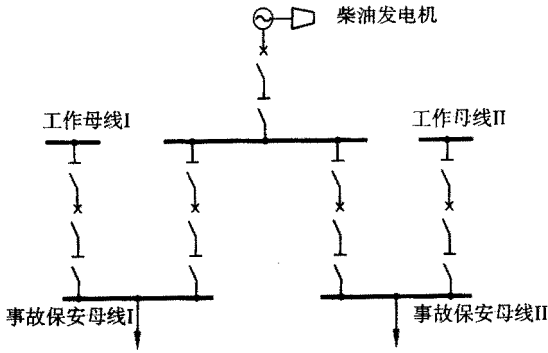


图 25-32 交流事故保安电源示例

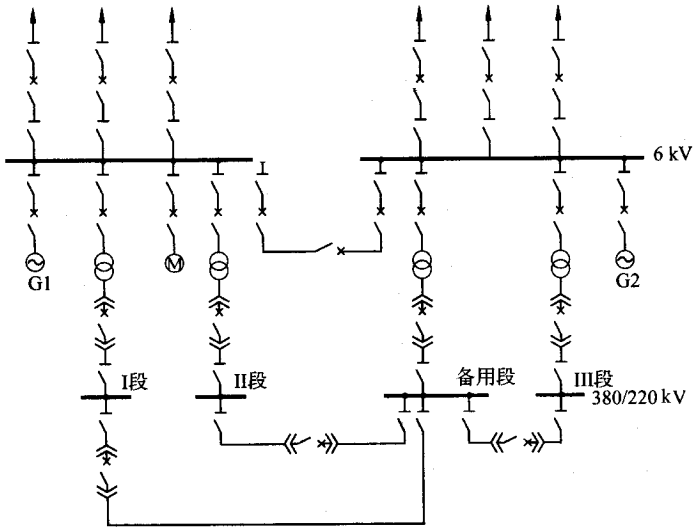


图 25-33 火电厂厂用电接线

### 四、变电所所用电接线

与同容量的发电厂厂用电系统相比,变电所的所用电负荷较小。在有人值班的、中小型变电所中,所用负荷主要为:变压器冷却、风扇、硅整流设备、取暖通风、断路器油加热设备、照明、检修车间用电等。而大型变电所中所用电负荷主要有:变压器冷却装置(包括风扇、油泵、水泵)、蓄电池充放电设备、油处理设备、采暖通风、照明、检修等用电。

大、中型区域性变电所为保证所用负荷供电,应设两台变压器经两独立电源对所用电系统供电;小型变电所往往只需采用一台变压器进行供电,并根据所用负荷的大小及重要程度,以低压成套配电装置供电。

## 第二十六章 二次回路

### 第一节 断路器控制回路

#### 一、控制开关

安装在配电装置中的断路器,其合闸和跳闸的操作通常是在主控制室进行的。主控制室与断路器之间的距离,一般约数十到数百米。主控制室中的控制屏上,装有对断路器进行合闸和跳闸控制的转换开关。转换开关与断路器操作机构箱之间用控制电缆联系。操作转换开关即可控制断路器的跳闸与合闸。

为了减少主控制室的运行监视面,可将某些不重要回路的断路器操作,设置在配电装置的断路器旁,并称之为就地控制。

控制断路器用的转换开关,根据其用途有各种形式,图 26-1(a)是 LW2-Z-1a A 6a A0 20 20/F8 型转换开关的外形图。控制屏正面看到的是转换开关的面板及手柄。在图 26-1(b)触点图表中,示出了手柄 6 个位置及其相应的位置名称。

转换开关有多个触点盒,每一个触点盒有 4 个接线螺钉,在触点盒内部有 4 个固定接触点和可动触刀。触点盒的结构型式多种多样,图 26-1(b)所示的第一个触点盒是 1a 型。当手柄在跳闸后位置时,2—4 触点接通;手柄顺时针方向旋转 90°到预备合闸位置时,1—3 触点接通。从触点图表中可见,1a 触点盒,仅当手柄在竖直向上和水平向左位置时,才有触点接通。因此,1a 触点盒仅有 1—3 和 2—4 两对触点,1—3 触点在预备合闸和合闸后位置接通,2—4 触点在预备跳闸及跳闸后位置接通,其它位置均断开。其它触点盒,由于可动触头的结构形式不同,所以有不同的触点对数。利用转换开关的触点在不同位置时的通和断,便组成了断路器的控制电路。

#### 二、断路器控制信号回路

断路器控制回路一般由指令电器(控制开关)、执行电器(合闸接触器线圈及跳闸线圈)和信号指示(红、绿灯)三部分组成,如图 26-2 所示。

##### (一)合闸状态

在断路器原处于合闸状态时,KK 手柄在合闸后位置。此时断路器的操作机构箱中辅助开关的常开触点  $DL_2$  是闭合的,KK 的 13—16 触点是接通的,这样红灯 HD 经附加电阻和断路器常开辅助触点  $DL_2$  及断路器操作机构箱中的跳闸线圈 TQ 形成通路,红灯亮平光。这时虽然跳闸线圈 TQ 有电流通过,但因回路中串接了红灯及附加电阻,故电流很小,电磁力不足以将跳闸铁芯吸上,断路器不会动作跳闸。灯泡所以带附加电阻,是防止其两端短接,造成断路器误跳闸。红灯亮平光,一方面指示断路器在合闸位置;另一方面指示跳闸线圈回路完好。运行中红灯熄灭,则表明跳闸线圈回路断线,下一步操作跳闸时断路器将拒绝动作,必须

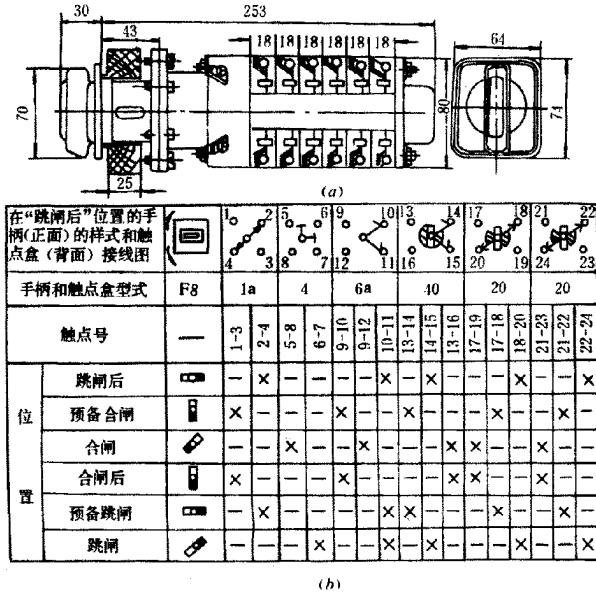


图 26-1 转换开关

(a) 外表图; (b) 触图表

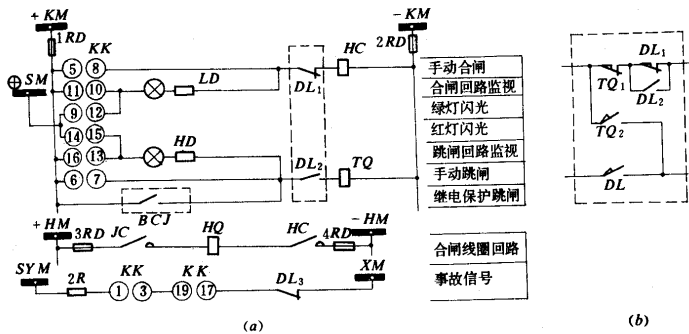


图 26-2 断路器控制电路

(a) 没有电气防跳设施的断路器控制电路 (b) 利用跳闸线圈辅助触点防跳的控制电路

KM—控制母线 ; SM—闪光母线 ; KK—控制开关 ; RD—熔断器 ; LD—绿灯 ; HD—红灯 ; HC—合闸接触器 ; TQ—跳闸线圈 ; HQ—合闸线圈 ; BCJ—保护出口继电器 ; SYM—事故音响母线 ; XM—信号母线

检查修复。因此,这种电路称为具有灯光监视的控制电路。

## (二) 跳闸操作

在进行断路器跳闸操作时,将 KK 手柄旋转到预备跳闸位置,13—14 触点接通,红灯 HD 闪光,继续旋转到跳闸位置。这时 KK 的 6—7 触点接通,将红灯及附加电阻短接,因而流过跳闸线圈电流增大,电磁力能吸引跳闸铁芯,使操作机构脱扣,断路器跳闸。断路器跳闸后,其辅助常开触点 DL<sub>2</sub> 断开,使跳闸线圈断开。辅助常闭触点 DL<sub>1</sub> 接通,使合闸接触器线圈 HC 及绿灯 LD 所形成回路经 KK 的 10—11 触点接通。这样绿灯亮平光,指示断路器已经跳闸。随后手柄弹回到跳闸后位置。此时 KK 的 6—7 触点断开, KK 的 10—11 触点仍接通,故绿灯一直亮平光。虽然合闸接触器线圈 HC 有电流流过,但因串联有绿灯及附加电阻,故电流很小,不足以使合闸接触器动作,因而不会造成断路器误合闸。绿灯亮平光,一方面指示断路器在跳闸位置;另一

方面监视合闸接触器回路完好。

### (三)合闸操作

在进行断路器合闸操作时,旋转手柄到预备合闸位置,9—10触点接通,绿灯LD闪光,继续旋转到合闸位置。此时KK的5—8触点接通,将绿灯和附加电阻短接。流过合闸接触器的线圈HC电流增大,因而合闸接触器动作,使断路器的合闸线圈HQ接通电源,将断路器合闸。为什么KK的5—8触点不直接接通HQ呢?这是因为HQ线圈的导线很粗电阻很小,合闸电流可达数百安培,假如KK的触点直接接通HQ,将会烧坏KK的触点。为避免此缺点,将KK的5—8触点先接通一个中间接触器的线圈,再通过中间接触器触点接通断路器的合闸线圈。此外由于合闸电流很大,因此不能由控制小母线KM经熔断器1RD和2RD供电,而是采取由直流屏顶上的合闸母线HM经合闸电缆送到断路器端子箱供电。3RD和4RD是合闸熔断器,它们装于断路器端子箱内。

断路器合闸以后,辅助常闭触点DL<sub>1</sub>断开,HC断路,因而合闸接触器触点断开,使合闸线圈HQ断开。因KK的13—16触点在合闸位置时接通,合闸后辅助常开触点DL<sub>2</sub>接通,故红灯HD亮平光,红灯亮指示断路器已合闸。随后手柄弹回到合闸后位置,KK的5—8触点断开,而13—16触点仍接通,故红灯一直亮平光。

### (四)事故跳闸

当运行中一次系统发生事故,装在继电保护屏上的保护出口继电器BCJ的触点闭合,因而将红灯及附加电阻短接,断路器跳闸。

断路器事故跳闸后,发出音响信号(喇叭叫)和事故跳闸断路器绿灯闪光。音响告知出了事故,绿灯闪光指示出是哪一台断路器发生事故跳闸。由于手柄仍在合闸后位置,KK的1—3和17—19触点接通,断路器辅助常闭触点DL<sub>3</sub>接通,故负极信号小母线—XM通过电阻2R与事故音响小母线SYM接通,经事故音响装置发出事故音响,告知有事故跳闸。同时KK的9—10触点接通,断路器辅助常闭触点DL<sub>1</sub>接通后,将绿灯右边接到负电源,左边接到控制屏顶的闪光小母线 $\odot$  SM,绿灯LD闪光,指示出是哪一台断路器跳闸。

值班人员处理事故时,首先停止音响信号,但保留闪光,以便处理事故过程中知道是哪一回路断路器发生了事故跳闸。在事故处理完毕,将手柄旋转到跳闸后位置,KK的9—10触点断开,闪光便解除。同时KK的1—3、17—19触点断开,于是事故信号回路随即断开。

### (五)防跳

所谓防跳,其含义如下:当操作断路器合闸时,旋转KK的手柄到合闸位置,KK的5—8触点接通,断路器合闸。如果在合闸瞬间电力系统有短路事故,则继电保护立即动作跳闸。但此时因为操作人员仍把手柄在合闸位置,KK的5—8触点仍在接通状态,合闸接触器又会重新动作使断路器再次合闸。接着继电保护又再次动作跳闸,如此循环形成断路器跳跃现象,一直到手柄弹回,才停止跳跃。这样的跳跃是不允许的,一方面使断路器损坏,另一方面使一次系统工作受到严重影响。为了防止这种跳跃发生,在开关机构本身不具有机械防跳装置时,必须采用电气防跳回路。如图26-3所示。

它的作用是:KK的5—8触点接通使断路器合闸。若系统发生事故,继电保护动作,使TQ回路接通,一方面跳跃闭锁继电器TBJ的电流线圈带电,其触点TBJ<sub>2</sub>断开合闸回路。触点TBJ<sub>1</sub>闭合,因而经KK的5—8触点使跳跃闭锁继电器电压线圈带电,并使跳跃闭锁继电器电压线圈自保持。另一方面TQ带电,使断路器跳闸,跳闸后虽然断路器辅助常开触点断开,使跳跃闭锁继电器电流线圈失电,但因电压线圈已自保持,这样断路器不会发生跳跃,手柄弹回后,KK的5—8触点断开,TBJ复归。

图26-3中加了一对TBJ<sub>3</sub>触点,并且串接电阻R,作用是:继电保护出口继电器触点BCJ闭合使断路器跳闸,跳闸后断路器辅助常开触点DL断开TQ回路,切断跳闸电流。假如在辅助常开触点DL未断开之前,继电保护出口继电器触点就断开,则由于切断跳闸电流会烧坏触点。为此并接TBJ<sub>3</sub>,跳闸电流在保护出口继电器触点断开后仍有通路,只有断路器辅助常开触点才能切断跳闸电流。TBJ<sub>3</sub>串接电阻R的作用是:当保护出口继电器触点串有电流型信号继电器线圈XJ时,触点闭合使信号继电器流过跳闸电流,但其还来不及掉牌,TBJ<sub>3</sub>就已经闭合,若无电阻R将使信号继电器线圈失电而不能掉牌。为此串接R,使TBJ<sub>3</sub>闭合后,信号继电器线圈仍有电流流过能够掉牌。电流型信号继电器线圈电阻一般是0.7Ω和0.2Ω两种,故R阻值

只需  $1\Omega$  即可。当保护出口继电器触点不串接信号继电器线圈时,可取消  $R$ 。

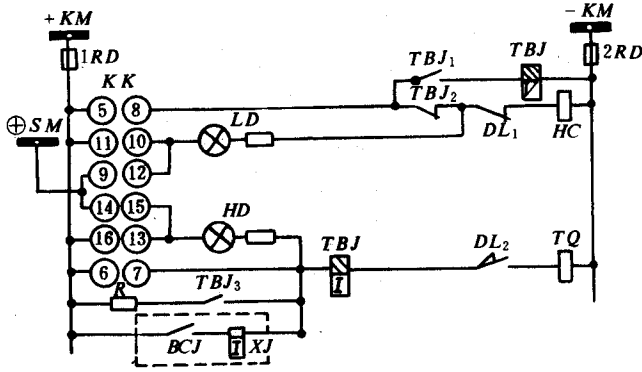


图 26-3 具有跳跃闭锁继电器防跳接线的断路器控制回路图  
 KM—控制母线;RD—熔断器;KK—控制开关;TBJ—跳跃闭锁继电器;  
 LD—绿灯;HD—红灯;HC—合闸接触器;BCJ—保护出口继电器

### 三、闪光装置

闪光装置一般均装在直流屏上,每段直流母线上有一套。它由闪光继电器  $SGJ$ 、试验按钮  $YA$ 、白灯  $BD$  组成。其电路如图 26-4 所示。

其作用是:当断路器事故跳闸时使绿灯闪光。母线正极经按钮常闭触点、白灯  $BD$  至小母线负极,白灯  $BD$  亮平光。按下试验按钮  $YA$ ,则负极经白灯  $BD$  到闪光小母线  $\oplus SM$ ,再经闪光继电器  $SGJ$  到正极,该回路接通。电容器  $C$  充电,加到继电器线圈上电压逐渐升高,升高到一定数值,继电器动作,常闭触点断开,白灯  $BD$  灭。断开后,电容器经线圈放电,电压逐渐下降。降到一定数值,常闭触点又闭合,白灯  $BD$  亮,电容器又充电。如此反复充电和放电,使得常闭触点时断时合,因而使接到闪光小母线与负极之间的灯  $BD$  闪光。

控制回路的红绿灯经开关辅助触点、 $KK$  触点均接至闪光母线,只要某回路的负极经灯至闪光母线接通,则某回路的灯闪光。

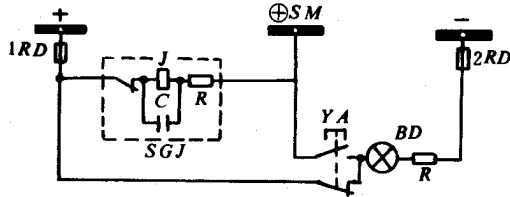


图 26-4 闪光装置电路图  
 SM—闪光母线;RD—熔断器;SGJ—闪光继电器;YA—试验按钮;BD—白灯



## 第二节 同期回路

### 一、同期并列的意义

发电机和电力系统间的并列是靠同期装置来实现的。在小型发电厂一般采用手动准同期装置,因发电机在并列前已励磁,所以要求发电机相序与电网相同、发电机电压与电网电压大小相等、发电机频率与电网频率基本相等,合闸瞬间要求发电机电压相位与电网相位相同。否则将产生较大的冲击电流,甚至影响电网的稳定运行。

### 二、分散手动准同期回路

分散手动准同期原理接线回路见图 26-5,图中发电厂的一次部分为双母线接线,发电机断路器和母联断路器均可进行同期并列操作。通常中央同期开关 1STK、同期闭锁开关 STK、组合同步表 H—s—V 等装于中央信号屏上,控制开关 KK 和同期开关 TK 装于该设备的控制屏上,同期检查继电器 TJJ 装于保护屏上。

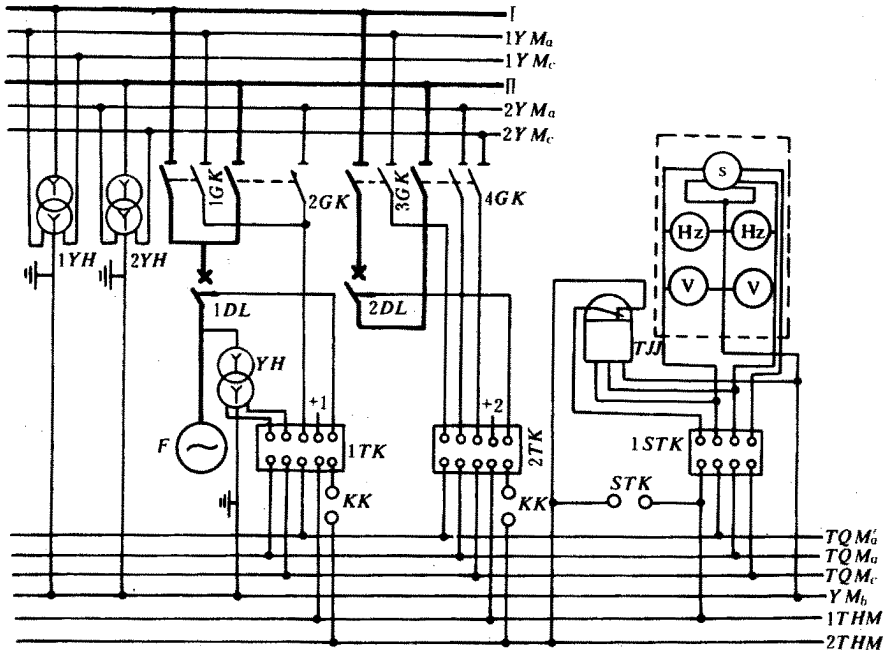


图 26-5 分散手动准同期回路原理接线图

YM—电压母线;YH—电压互感器;GK—隔离开关;DL—断路器;F—发电机;  
TK—同期开关;1STK—中央同期开关;STK—同期闭锁开关;TJJ—同期  
监视继电器;TQM—同期母线;THM—同期合闸母线

#### (一) MZ10 型组合式同步表

它是由频率差、电压差和同步表三个测量机构组成的组合式仪表,其原理接线如图 26-6 所示。

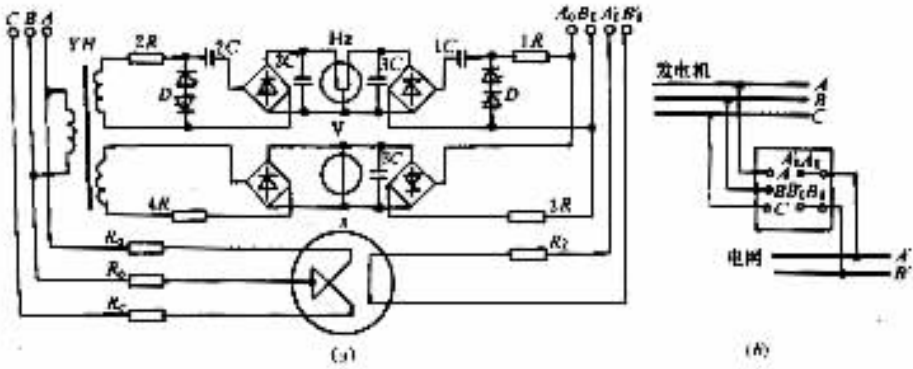


图 26-6 MZ10 型同步表原理接线图  
(A) 内部接线图 (B) 外部连接图

### 1. 频率差表测量机构

频率差表测量机构是采用定电压微分电路,将输入的正弦波电压经晶体稳压管削波整形,再经由电容、电阻组成的微分电路,和二极管桥式整流器,使交流电流转换成直流电流。当待并和已运转两电源分别传输到磁电系流比计的两个可动线圈中时(两个线圈是分别绕在同一个铝框架上),在恒定磁场里的两个线圈即产生一对反向的转矩。如两电源频率相同时,转换后的直流电流亦相等,两者产生的转矩相量和为零,指针不偏转并指在零的位置。如两电源频率不相同,其转矩相量和不等于零,指针便产生偏转,直到与游丝所产生的反作用力矩相平衡为止。指针偏转方向取决于两电源频率差的极性,偏转角的大小取决于频率差的大小。

### 2. 电压差表测量机构

电压差表测量机构采用整流电路,两电源分别经过全波桥式整流器,变换成直流。然后将两者组成回路,用磁电系微电流表作指示器,当两电源电压相等时,回路电流差值等于零,指针不偏转。当电压不相等时,回路电流不平衡,差值电流通过电流表可动线圈,产生转矩。指针偏转,其方向由两电压差值的极性决定。

### 3. 电磁系同步表

待并三相电压 A、B、C 经 3 个电阻接入两个互相垂直的固定线圈,适当调整 3 个电阻阻值,使两线圈的电流相位差为 90°,从而产生旋转磁场。另一线圈与附加电阻串联接至已运行电网电压 A'、B',产生一个交变磁场,使其中连接指针的 Z 形铁片磁化。当旋转磁场的频率与交变磁场的频率不同时,Z 形铁片连同指针不停的转动,若两者频率相同时,则 Z 形铁片连同指针停留在某一位置。

当发电机与电网的频率不同时,同步表不停地转动,转动速度的快慢反映了频率差的大小。当待并发电机频率高于电网频率时,指针顺时针转动,反之将逆时针转动。当指针转至正上方,表示待并发电机和电网在此刻相位一致。

## (二) 中央同期开关 1STK

从同期小母线 TQM 引至组合式仪表 H—s—V 仍然是 4 根线(即 TQM<sub>a</sub>、TQM<sub>c</sub>、TQM'<sub>a</sub>、YM<sub>b</sub>)。在同期小母线 TOM 与组合式仪表 H—s—V 之间,加装了 LW2-H-2、2、2、2、2、2/F7-8X 型手动准同期转换开关 1STK,它的触点状况见表 26-1。1STK 的手柄有 3 个位置,中间为断开位置,其所有触点皆不接通。手柄反时针旋转 45°的位置为粗略同期位置(又称粗调位置),此时,所有偶数触点接通。在并列操作中,经值班人员调整频率差及电压差接近为零时,再将 1STK 转至顺时针方向 45°的精确同期位置(又称细调位置),此时,所有奇数触点接通,H—s—V 全部投入,可进行同期监视,并进行精确调节,使其同步表顺时针缓慢转动,同时 1—3 触点将 TJJ 和合闸准备回路接通。

表 26-1 LW2-H-2、2、2、2、2、2/F7-8X 型转换开关接线图表

触点盒型式		2		2		2		2		2		2		2	
触点号		1-3	2-4	5-7	6-8	9-11	10-12	13-15	14-16	17-19	18-20	21-23	22-24	25-27	26-28
手柄位置	断开	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	精确同期	↗	×	-	×	-	×	-	×	-	×	-	×	-	×
	粗略同期	↖	-	×	-	×	-	×	-	×	-	×	-	×	-

### (三) 同期检查继电器 TJJ

图 26-5 中采用 JBJ-1B/200 型电磁式继电器作同期检查继电器 TJJ 之用,用 TJJ 的触点来控制进行并列操作的断路器的合闸回路,当待并侧与系统侧电压相位大于整定值时,不允许合闸。继电器可在 20°~40° 范围内进行整定,当两侧电压相位差小于整定值时,继电器 TJJ 触点 3—11 闭合,可允许合闸。此时所产生的电流冲击对发电机是允许的。TJJ 仅起防止相位差过大的断路器合闸。实际操作时,主要靠值班人员依据同步表进行。

### (四) 同期闭锁开关 STK

STK 采用 LW2-H-1、1/F7-X 型转换开关。当手柄在断开位置,其 1—3 触点打开,使 TJJ 投入工作,处于同期闭锁状态。只有当两侧电压相位相同时才能合上断路器。当需要非同期合闸时(如断路器一侧有电压,另一侧无电压时)则需将 STK 投入,使 1—3 触点接通,否则合不上断路器。

TK 为与同期点断路器控制开关 KK 相对应的同期开关。TK 投入即将断路器两侧的电压送入同期母线,同时接通同期合闸母线。为防止将其它同期点电压送入同期母线,造成电压互感器二次的误并列。全厂所有 TK 共用一个可抽出的手柄,此手柄只有在 TK“断开”时才能抽出。这样就可保证在同期母线上最多只能存在由一个 TK 所引入的同期电压。为防止非同期合闸,TK 同时控制了断路器的合闸回路。

## 三、同期操作程序

以 1DL 断路器为例,在 I 母线与系统并列,并且 I 母线已运行,1G 隔离开关投入,发电机已励磁,如图 26-5 所示。

(1) 当发电机已升压并一切正常以后,合上发电机的同期开关 1TK,则发电机及母线电压互感器二次电压经 1TK 送至同期母线 TQM。

(2) 把 1STK 手柄放在粗调位置,H—s—V 中频率差表及电压差表接入工作。

(3) 按 H—s—V 表对待机进行调整,当频率差表及电压差表读数接近零时,将 1STK 手柄置于细调位置,则同步表和 TJJ 的线圈投入。

(4) 把 STK 手柄放在断开位置,即将 TJJ 投入工作(其触点加入 1THM 与 2THM 之间)。

(5) 将发电机的控制开关 KK 的手柄置于“预备合闸”位置,绿灯闪光。当同步表指针向快方向(表明待并机频率稍高)缓慢转动,快到零位时,迅速将 KK 手柄扭至“合闸”位置,手柄放手后自动弹回到“合闸后”位置。提前一点时间合闸是考虑到从 KK 合闸触点 5—8 接通到断路器主触头闭合有一段断路器操动机构的动作时间。要求待并发电机频率稍高是因为并列后能立刻带上少许负荷,使发电机迅速拉入同步。

(6) 同期并列后,将 TK、1STK、STK 手柄恢复原位,则同期小母线及 H—s—V 全部脱离电源。

如需非同期合闸,应将 1STK 投到细调位置,STK 和 TK 均投入,再操作 KK 把手,即可实现非同期合闸。

### 第三节 监察回路

#### 一、绝缘监察概述

我国 60kV 及以下电压等级均采用中性点不直接接地系统。

图 26-7 (a) 示出网络在正常情况下的相量图,网络是对称、平衡的,中性点( $n$ 点)的电位和大地电位是一样的,实际上  $n$  点与大地没有连接,如果连接,这连接线中是没有电流流过的。图 26-7 (b) 示出了 A 相金属性接地情况,即相当于 A 相导线与大地用金属导线连接起来,A 相电位就是大地电位,而  $n$  点电位不再是大地电位,而相对地升高了一个相电压。此时若将  $n$  点与大地连接,即相当于大接地电流电网的单相短路,就有短路电流流过了。B、C 相对中性点电位未变,仍是相电压,B、C 相对 A 相的电位也未变,仍是线电压。因为 A 相接地了,所以 B、C 两相对大地的电位与图 26-7 (a) 所示的正常情况比较升高了  $\sqrt{3}$  倍,如图 26-7 (b),在金属性接地时,相量图向上移动了一个相电压的高度。从以上分析可得出下列两个结论。

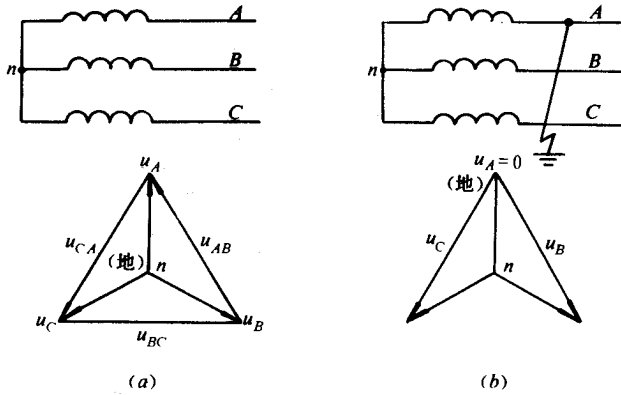


图 26-7 小接地电流电网正常时及单相接地时相量图  
(a) 正常情况 (b) A 相金属性接地情况

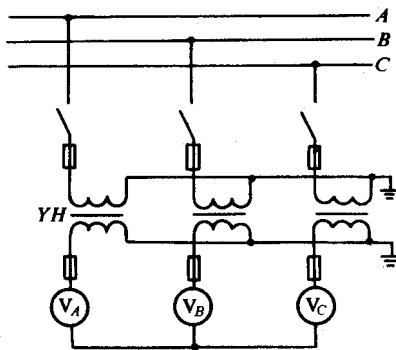


图 26-8 用三个单相电压互感器和三个电压表的绝缘监察装置  
YH—电压互感器 V—电压表



(1) 发生接地后, 线电压不变, 因此可以继续向用户供电, 所以单相接地情况列为不正常状态。

(2) 发生接地后, 中性点电位升高, 若是金属性接地则升高为相电压, 接地相对地电压为零, 非接地相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍。

由于非接地相对地电压升高, 所以可能又发生(第二点)接地, 即形成两点接地短路, 尤其是发生电弧性间歇接地而引起网络过电压时, 这种可能性更大, 因此要及时地发现单相接地情况, 即必须装设绝缘监察装置检查判别接地情况, 并要及时处理(根据规程规定接地时间不得超过 $1\sim 2\text{h}$ )。

## 二、绝缘监察装置

### (一) 用电压表监察

绝缘监察装置就是根据在发生接地时, 接地相对地电压降低、非接地相对地电压升高这个特征来作成的。图 26-8 示出了用三个单相电压互感器和三个电压表的绝缘监察装置, 其中电压互感器一、二次侧皆为星形接法, 电压表从二次侧接入相电压, 电压互感器一次绕组中性点接地是为了测量相对地之间的电压, 二次绕组中性点接地是为了工作人员的安全。当网络发生接地时, 如 A 相接地, A 相电压表指示数值下降, B、C 两相电压表数值上升, 这样就可判别出是 A 相发生接地。为了当接地发生时发出音响信号告知运行值班人员, 可以采用图 26-9 的接线, 在发电机中性点和大地之间接入一个单相电压互感器, 互感器的二次侧接一个过电压继电器, 网络在正常时中性点和大地之间电压为零, 互感器二次输出电压为零, 继电器是不会动作的。发生接地后, 由图 26-7(b) 可知中性点电位升高, 互感器二次有输出电压, 输出电压足够大时, 过电压继电器动作, 其触点闭合, 发出警铃信号, 同时也发出灯光信号。

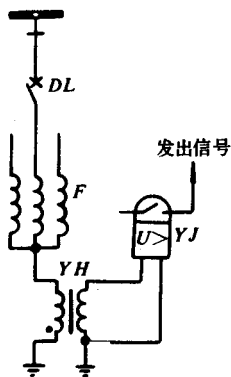


图 26-9 在发电机中性点接单相互感器的接线图

DL—断路器; F—发电机;

YH—电压互感器; YJ—电压继电器

### (二) 用电压互感器监察

在实际中(如 $6\sim 10\text{kV}$ 电压级网络)还常采用三相五芯式电压互感器来构成的绝缘监察装置代替图 26-9 的信号装置。三相五芯式电压互感器在母线上连接, 或在发电机引出线回路中连接, 它的内部结构及装置的接线如图 26-10 所示, 它每相有一个一次绕组, 两个二次绕组。第一个二次绕组的接线同图 26-8 一样用 3 个电压表(接入相电压)监视接地情况, 第二个二次绕组接成开口三角形, 用来接发出信号的过电压继电器。下面具体地分析一下第二个二次绕组的工作原理。网络在正常情况时, 三相电压是对称和平衡的, 也就是说 3 个相电压大小相等、相位互差 $120^\circ$ , 那么在开口三角形的 3 个绕组中的电压 $u_a$ 、 $u_b$ 、 $u_c$ 也是大小相等、相位互差 $120^\circ$ , 见图 26-11(a), 三相电压相量和是零, 即第二个二次绕组的输出电压 $U_{1N}$ 为零, 过电压继电器不会动作。当网络中发生单相接地时, 如图 26-7(b) 所示, A 相金属性接地,  $\dot{U}_A = 0$ ,  $\dot{U}_B$  和  $\dot{U}_C$  在数值上升高 $\sqrt{3}$ 倍,  $\dot{U}_B$  和  $\dot{U}_C$  在相位上相差为 $60^\circ$ 了, 开口三角形的 3 个绕组的电压 $\dot{U}_a$ 、 $\dot{U}_b$ 、 $\dot{U}_c$ 相加不为零, 即第二个二次

绕组有了输出电压  $\dot{U}_{LN}$  ,如图 26-11(b)所示。单相金属性接地时,输出电压  $\dot{U}_{aLN}$  是 100V(是正常时第二个二次绕组一相电压的 3 倍)。实际上,当发生非金属性(经过渡电阻)的接地时,输出电压  $\dot{U}_{LN}$  将小于 100V,通常也足以使继电器(动作值一般定为 15V)动作而发出信号。

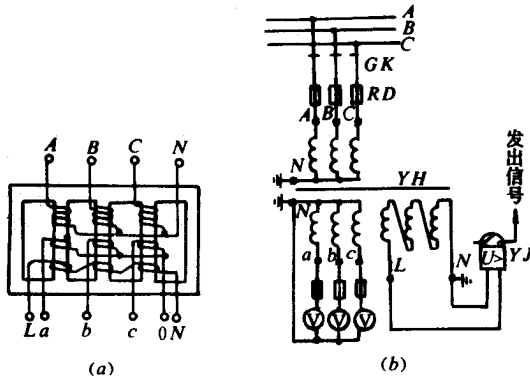


图 26-10 采用三相五芯电压互感器的绝缘监察装置

(a)内部结构图 (b)装置接线图

GZ—隔离开关 ;RD—熔断器 ;YH—电压互感器 ;YJ—电压继电器 ;V—电压表

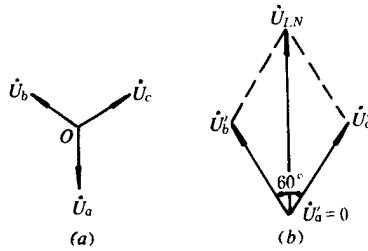


图 26-11 解释第二个二次绕组工作原理的相量图

(a)正常时,  $\dot{U}_{LN} = \dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c = 0$ ;

(b)A相金属性接地时,  $\dot{U}_{LN} = -\dot{U}'_a + \dot{U}'_b + \dot{U}'_c \neq 0$

目前 6~10kV 电压级绝缘监察装置采用三相五芯式电压互感器,35kV、电压级绝缘监察装置则采用 3 个单相电压互感器。必须指出,三相三芯式互感器因为不能提供零序磁通通路,所以不能作为绝缘监察装置之用。

### 三、人工寻找接地点

各电压等级的小接地电流电网及其各母线分段,通常皆装设一套绝缘监察装置。当发生单相接地时,借助绝缘监察装置,即借助仪表指示、灯光及音响信号,可以识别哪一电压等级网络中有接地情况发生,但是,这时并不知道接地点具体在何处?通常还需由运行值班人员采用“拉合断路器”的办法来寻找接地点。比如,断开某线路断路器后,绝缘监察装置的仪表指示恢复正常,就说明该线路有接地。拉合断路器的一般顺序如下:

1. 拉合分段断路器,以区别接地点在哪一母线段上,但断开分段断路器以前,须调整发电机负荷,使分段断路器回路中基本上不通过负荷电流。

2. 拉合绝缘性能较差,防雷性能较弱,不重要负荷的线路断路器。如线路装有自动重合闸,可用重合闸查找接地点。

3. 倒换厂用变压器或重要负荷线路,即用厂用备用变压器代替工作变压器运行,重要负荷线路改由备用线路供电。

4. 转移发电机负荷,解列发电机或停机检查。

具体的拉合顺序,还应根据各厂接线情况、用户情况及接地时现场巡视情况而定。顺便指出,若配电间隔有电缆进线段,还可使用钳形电流表或零序变流器测定接地电流的方法,来寻找接地点。接地点寻出后,是否停机或停电,也应视具体情况而定。根据运行经验,在雷雨季节里,对于绝缘及防雷性能弱的线路上常会发生接地,而且可能是暂时性的,所以可不急于停电。

## 第四节 中央信号回路

信号系统是为了在正常运行和事故处理过程中帮助运行人员正确判断设备的运行情况,所以可以说它是运行人员的“耳目”。

### 一、分类

#### (一)位置信号装置

指示断路器工作于合闸状态还是跳闸状态的红绿信号灯,分散在各个断路器的操作回路中,习惯上把它作为控制电路的一部分,但是它的性质应该属于信号系统,因此通常称这些信号装置为“位置信号装置”。

#### (二)中央事故信号装置

当断路器事故跳闸时,应及时发出音响信号并且用灯光(一般是绿灯)闪光来判别事故跳闸断路器的位置,这套信号系统称为“事故信号装置”。全厂仅装设一个能在任一台断路器事故跳闸时都发出音响的蜂鸣器,而指示跳闸断路器位置的绿灯则分散在各个断路器的操作回路中,这种信号系统只是在发生断路器事故跳闸时发出信号,而且全厂只有一套音响装置,所以称为“中央事故信号装置”。

#### (三)中央预告信号装置

在发电厂发生不正常运行状态时,也应该有一套信号系统能及时发出音响信号向运行人员报警,并且通过光字牌向运行人员显示出故障的性质、发生的地点,以便运行人员及时处理,这套信号系统也是全厂只有一套,称为“中央预告信号装置”。

## 二、对中央信号系统的基本要求

#### (一)声响

事故音响信号和预告音响信号应该有不同声响,这是因为断路器跳闸事故的后果比一般设备故障的后果严重得多,如果两种情况采用相同的声响,将会给运行人员带来很多不必要的心理紧张状态。目前事故音响采用蜂鸣器,而预告音响则用电铃,使运行人员听到信号后就能够判断出故障的严重程度。

#### (二)音响与字牌

音响信号和光字牌信号同时出现,便于运行人员及早确定故障性质,并采取措施,恢复正常供电。

#### (三)停止音响

发生音响信号后,信号装置应能够手动或自动停止音响,以保持现场安静,但是显示故障性质或位置的

指示灯光则应保留,直到故障消失或运行人员手动复归。

#### (四)检查

对信号系统的设备工作情况应能进行检查。

### 三、中央事故信号装置

#### (一)简单的事故信号装置

在发生事故时,通常希望音响信号能够很快地解除,以免干扰值班人员进行事故处理,而灯光信号则需要保留一段时间,以便判断故障的性质及发生的地点。这就要求音响信号最好能在一个集中的地点手动解除,而不需等到其控制开关的手柄扭转到相对应的位置之后才被解除。

中央复归不重复动作的事故信号装置接线图如图 26-12 所示。

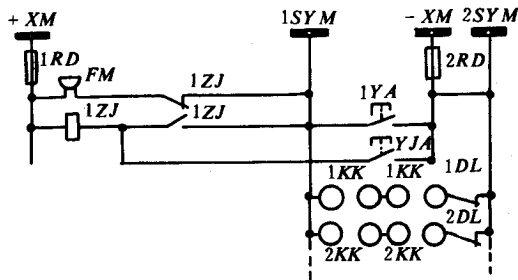


图 26-12 中央复归不重复动作的事故信号装置

*XM*—信号母线;*SYM*—事故音响母线;*RD*—熔断器;  
*FM*—蜂鸣器;*ZJ*—中间继电器;*YA*—试验按钮;  
*YJA*—音响解除按钮;*KK*—控制开关;*DL*—断路器

当某一台断路器发生事故跳闸时,或值班人员利用试验按钮 *1YA* 进行试验时,通过 *KK* 和 *DL* 的不对应回路或 *1YA* 起动蜂鸣器 *FM*。值班人员听到音响后,按一下音响解除按钮 *YJA*,中间继电器 *1ZJ* 的线圈中有电流流过,*1ZJ* 动作并通过自身的常开触点实现自保持,其常闭触点将蜂鸣器 *FM* 回路切断,使音响解除。继电器 *1ZJ* 的自保持回路在不对应回路复归后即自行还原。

该接线图的缺点是不能重复地动作,即第一次音响发出后,值班人员利用按钮 *YJA* 将音响解除,而不对应回路尚未复归,此时如果因连续事故又有第二台断路器发生事故跳闸,事故信号不能再次起动,因而第二台断路器的跳闸可能不被值班人员所注意。因此只适用于断路器数量较少的发电厂内。

#### (二)中央复归能重复动作的事故信号装置

中央复归能重复动作的事故信号装置在发电厂中被广泛应用。信号装置的重复动作是利用冲击继电器(亦称信号脉冲继电器)来实现的。冲击继电器有各种不同的型号,但其共同点是都有一个脉冲变流器和相应的执行元件。图 26-13 为事故音响信号的起动回路图,图中 *BL* 为脉冲变流器,*J* 为执行继电器。当接于事故音响小母线 *SYM* 和负信号电源小母线—*XM* 之间的任一路不对应起动回路接通时(图 26-13 中为 *1DL* 与 *1KK* 回路接通),在变流器 *BL* 的一次绕组中将流过一个持续的直流电流,而在 *BL* 的二次绕组中只在一次侧电流从初始值达到稳定值的瞬变过程中才有感应电势产生,二次侧电流是一个尖峰的脉冲电流,此电流使执行继电器 *J* 动作。*J* 动作后即起动事故音响装置。当变流器 *BL* 一次绕组中流过的电流达到稳定值后,铁芯中的磁通不再变化,二次绕组中的感应电势即消失,继电器 *J* 可能返回,也可能不返回,视所选用的执行元件的类型而定。不论继电器 *J* 是否复归,音响信号将靠本身的自保持回路继续发送,直至发出音响解除命令为止。当前次发出的音响信号已被解除,而 *1DL* 与 *1KK* 的不对应回路尚未复归之前,断路器 *2DL* 也自动跳闸时,则 *2DL* 与 *2KK* 的不对应回路接通,在小母线 *SYM* 与—*XM* 之间又并联上一个起动回路,由于在每



一个并联支路中都有串联电阻  $R$  ,每多并联一个支路 ,都将引起流过变流器  $BL$  一次绕组中的电流产生变化 ,在二次绕组中感应脉冲电势 ,继电器  $J$  再次动作并起动作音响信号装置。由此可见 ,脉冲变流器在此起两个作用 :①将起动作音响装置的脉冲由连续脉冲转变为短时脉冲 ;②将起动回路 with 音响装置分开 ,以保证音响装置一经起动之后 ,即与原来起动它的不对应回路的状态无关 ,因而达到能重复动作的目的。

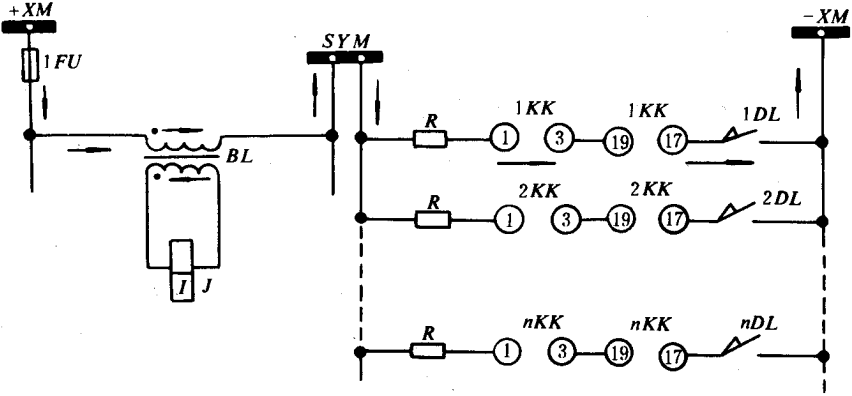


图 26-13 事故音响信号的起动回路图

$XM$ —信号母线 ; $SYM$ —事故音响母线 ; $BL$ —脉冲变流器 ;

$J$ —执行继电器 ; $DL$ —断路器 ; $KK$ —控制开关

串联电阻  $R$  的数值 根据直流操作电压及冲击继电器的参数而定 ,例如对  $ZC-23$  型冲击继电器 ,变流器  $BL$  的最大稳定电流为  $4A$  ,继电器的冲击动作电流为  $0.2A$  ,因此电阻  $R$  的选择应保证每多并联一个支路 ,流过  $BL$  一次绕组的电流应至少增加  $0.2A$  。由于  $BL$  一次绕组的直流电阻很小(约  $5\Omega$  ) ,所以对  $220V$  直流操作电压 , $R$  一般选用  $1000\Omega$  。

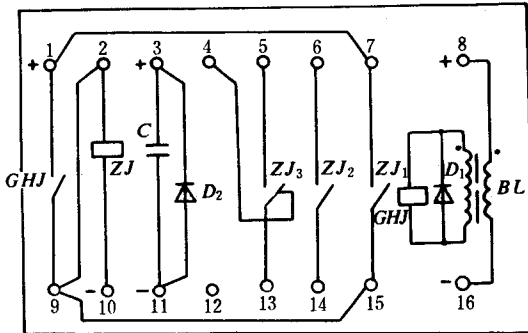


图 26-14  $ZC-23$  型冲击继电器的内部接线图

$GHJ$ —干簧继电器 ; $ZJ$ —中间继电器 ; $D_1$ —二

极管 ; $BL$ —脉冲变流器 ; $C$ —电容器

图 26-14 为  $ZC-23$  型冲击继电器的内部接线图 ,图中  $BL$  为脉冲变流器 , $GHJ$  为执行元件(单触点干簧继电器) , $ZJ$  为出口中间元件(多触点干簧继电器) , $D_1$ 、 $D_2$  为二极管 , $C$  为电容器。执行元件  $GHJ$  的结构原理如图 26-15 所示 ,它主要由线圈和干簧管所组成。干簧管是个密封的玻璃管 ,其舌簧触点是烧接在舌簧片热膨胀系数相适应的红丹玻璃管中 ,管内通常充以氮气等惰性气体 ,以减少触点的污染与电腐蚀。舌簧片由铁镍合金(也称坡莫合金)做成 ,它具有良好的导磁性能 ,又富有弹性 ,在触点的接触面上镀有金、铯、钽等 ,以保证优良的接通与断开电路的能力 ,并延长使用寿命。舌簧片既是导体 ,又是磁体。当在线圈中通入电流时 ,在线圈内部有磁通穿过 ,使舌簧片磁化 ,其自由端所产生的磁极性正好相反。当通过的电流达到继电器的起动作值时 ,干簧片靠磁的“异性相吸”而闭合 ,将外电路接通 ;当线圈中电流降低到继电器的返回值时 ,舌簧片靠本身的弹性而返回 ,使触点断开。干簧继电器和电磁型继电器一样 ,不论从线圈的哪一端接入电

源 继电器都一样动作 ,因而动作没有方向性。干簧继电器具有灵敏度高、消耗功率少、动作速度快(约为几个毫秒)结构简单、体积小、经久耐用以及出厂后不需调整等优点 ,因而得到越来越广泛的应用。

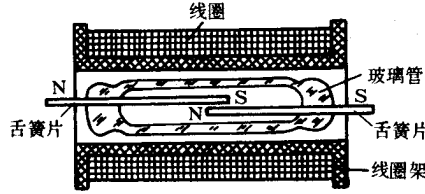


图 26-15 干簧继电器的结构原理图

图 26-16 为用 ZC-23 型冲击继电器构成的中央复归能重复动作事故音响信号装置接线图。图中 GHJ 为干簧继电器 ,做执行元件用 ,并联接于脉冲变流器 BL 一次侧的二极管  $D_2$  和电容器 C 起抗干扰作用 ,并联于 BL 二次侧的二极管  $D_1$  的作用是 :将由于一次回路电流突然减少而产生的反方向电势所引起的二次电流旁路掉 ,使其不流入 GHJ 的线圈。因为干簧继电器不同于极化继电器 ,它本身没有极性 ,任何方向的电流都能使其动作。其动作程序如下 :当事故音响小母线 SYM 与 -XM 小母线之间有不对应回路接通时 ,或值班人员利用试验按钮 1YA 进行试验时 ,在脉冲变流器 BL 一次绕组中有电流流过 ,在二次绕组中感应出脉冲电势使执行元件 GHJ 动作。GHJ 动作后其常开触点闭合 ,起动中间继电器 ZJ(亦为干簧继电器) ,ZJ 有 3 对常开触点 ,其中 : $ZJ_1$  与 GHJ 的触点并联 ,以实现自保持 ,因为 GHJ 继电器在 BL 二次绕组中的脉冲电势消失后即返回 ; $ZJ_2$  起动蜂鸣器 FM ; $ZJ_3$  起动时间继电器 1SJ。值班人员听到音响后 ,可按一下音响解除按钮 YJA ,切断 ZJ 的自保持回路 ,使 ZJ 返回 ,音响停止。1SJ 是为了自动解除音响而设 ,经整定时限后 1SJ 的延时触点闭合 ,起动中间继电器 1ZJ ,1ZJ 的常闭触点切断中间继电器 ZJ 的线圈回路 ,使其返回 ,于是音响停止 ,整套装置复归至原来状态 ,准备下一次动作。自动解除音响用的时间继电器 1SJ 及中间继电器 1ZJ 是事故信号与预告信号公用的 ,中间继电器 2ZJ 的触点是由预告信号回路引来的 ,可见图 26-17。

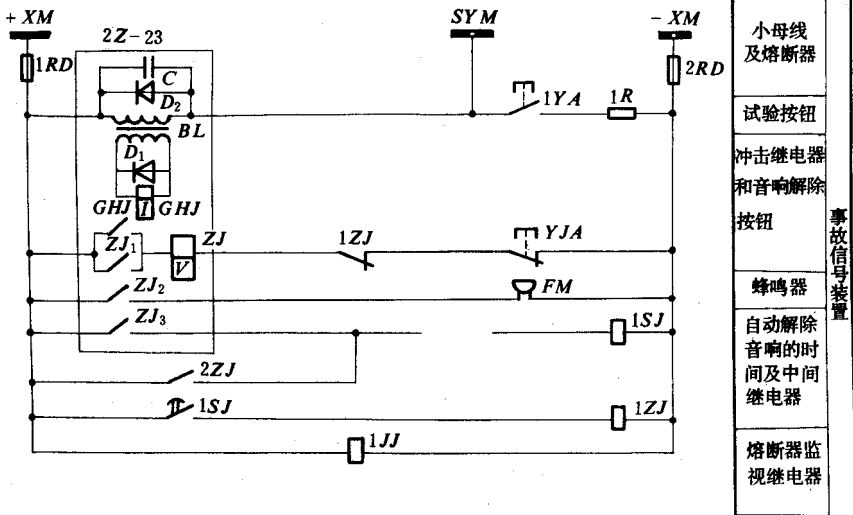


图 26-16 利用 ZC-23 型冲击继电器构成的中央复归能重复动作的事故音响信号装置接线图

XM—信号母线 ;SYM—事故音响母线 ;RD—熔断器 ;BL—脉冲变流器 ;GHJ—干簧继电器 ;ZJ—中间继电器 ;YJA—音响解除按钮 ;FM—蜂鸣器 ;SJ—时间继电器 ;JJ—监视继电器

## 四、预告信号

### (一) 简单预告信号回路

中央复归不重复动作的预告信号装置接线如图 26-17 所示。

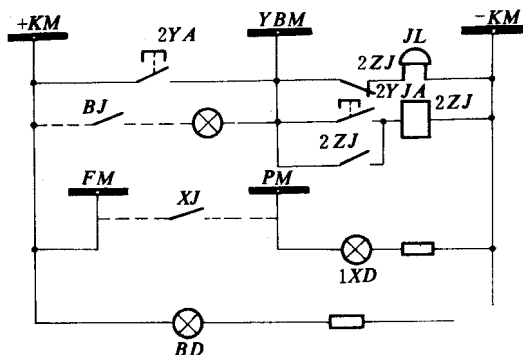


图 26-17 中央复归不重复动作的预告信号装置接线图

KM—控制母线；YBM—预告母线；YA—试验按钮；JL—警铃；YJA—预告解除按钮；ZJ—中间继电器；XD—信号灯；BD—白灯；FM—复归母线；PM—掉牌母线

当某保护装置动作或值班人员利用试验按钮进行试验时，通过保护触点或 2YA 起动警铃 JL。值班人员听到铃声后，按下解除按钮 2YJA，中间继电器 2ZJ 带电，其常开触点闭合自保持，常闭触点打开，音响解除。某保护装置触点返回后装置还原。

信号继电器掉牌，通过其触点接通掉牌未复归光字牌，告诉值班人员还有掉牌没有复归。当值班人员将信号继电器手动复归后，光字牌熄灭。

### (二) 能重复动作的中央预告信号回路

图 26-18 为利用 ZC-23 型冲击继电器构成的中央复归重复动作的瞬时预告信号装置接线图。其起动时的电流途径如图 26-19 所示。图中 1YBM 和 2YBM 为瞬时预告信号小母线，一般将其布置在中央信号屏和各个控制屏的顶部，而光字牌 GP 则布置在屏的正面。当设备发生故障及不正常运行状态时，相应的保护装置动作，其触点将信号正电源 +XM 经光字牌 GP 的灯泡电阻引至预告信号小母线 1YBM 和 2YBM 上，如图 26-18 所示。转换开关 ZK 平时是在“工作”位置，其触点 13—14 和 15—16 是连通的，其余触点都是断开的，此时，冲击继电器的脉冲变流器 BL 的一次绕组中有电流流过，GHJ 继电器起动，往后整个装置的动作程序与能重复动作的事故信号装置基本相同，只是用警铃 JL 代替了蜂鸣器 FM，以示区别。除了铃声之外，还通过光字牌发出灯光信号。当光字牌内的灯泡点亮时，在其玻璃框内可以见到表示故障性质的文字，如“过负荷”、“瓦斯保护动作”和“温度过高”等。值班人员听到铃声后，可以根据点亮的光字牌来判断发生故障的设备及故障的类型。音响信号可以手动解除，也可以利用 2ZJ 的常开触点去起动事故信号装置中的时间继电器 1SJ，1SJ 的延时触点闭合后起动中间继电器 1ZJ，由 1ZJ 的常闭触点自动地解除音响。音响解除之后，光字牌依旧是亮着的，它要在故障消除，起动它的继电器返回之后才能熄灭。

由于采用了冲击继电器，预告信号装置的音响部分是可以重复动作的，图 26-18 中光字牌的灯泡电阻起到了事故信号装置起动回路中电阻 R 的作用。

为了在运行中能经常地检查各光字牌内的灯泡是否完好，可利用转换开关 ZK 进行切换，当将其由“工作”位置切换成“试验”位置时，其触点 1—2、3—4、5—6、7—8、9—10、11—12 接通，13—14、15—16 断开，分别将预告信号小母线 1YBM 和 2YBM 直接接到直流信号电源母线 +XM 和 -XM 上，使所有接在 1YBM 和

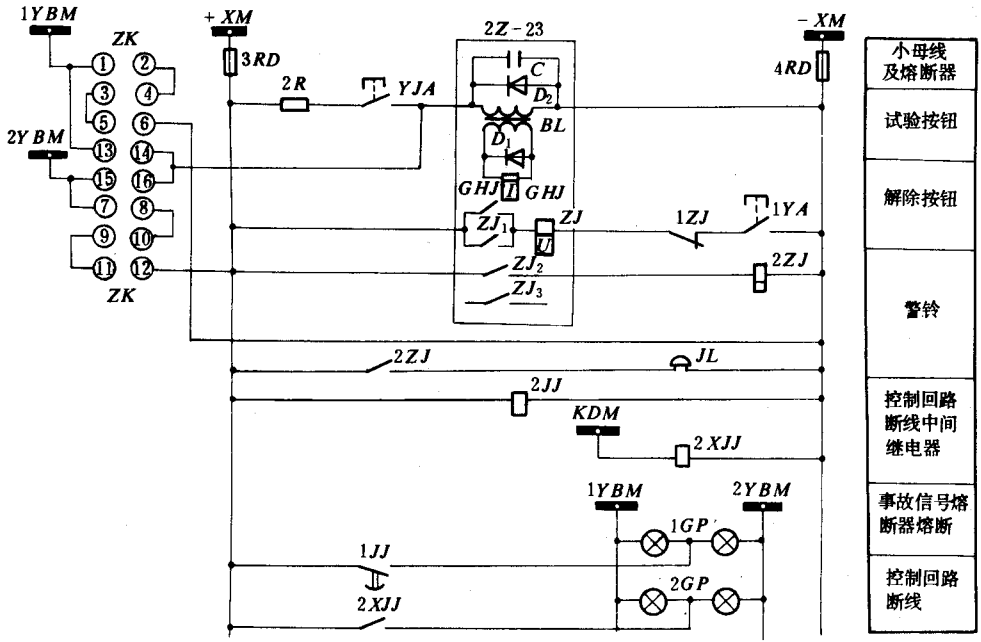


图 26-18 由 ZC-23 型冲击继电器构成的中央复归重复动作的瞬时预告信号装置接线图

YBM—预报母线 ;XM—信号母线 ;RD—熔断器 ;ZK—转换开关 ;YJA—预报解除按钮 ;ZJ—中间继电器 ;BL—脉冲变流器 ;GHJ—干簧继电器 ;YA—试验按钮 ;JL—警铃 ;JJ—监视继电器 ;KDM—控制断线母线 ;XJJ—断线监视继电器 ;GP—光字牌

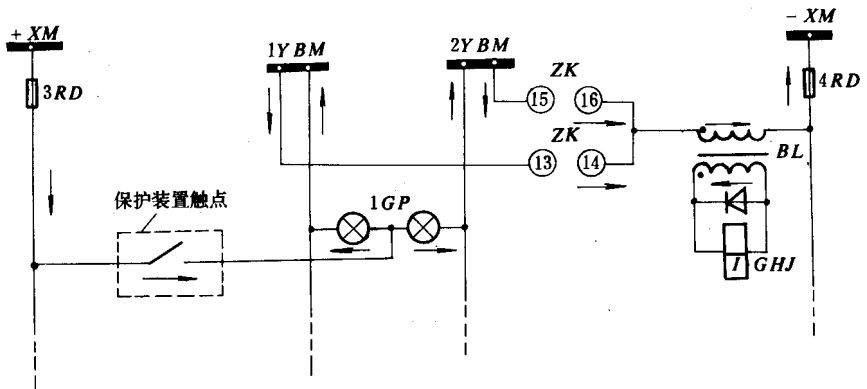


图 26-19 预告信号起动时的电流途径

XM—信号母线 ;YBM—预报母线 ;ZK—转换开关 ;RD—熔断器 ;BL—脉冲变流器 ;GHJ—干簧继电器 ;GP—光字牌

2YBM 小母线上的光字牌都点亮,如图 26-20 所示。应当指出:在发预告信号时,同一光字牌内的两只灯泡是并联的,灯泡上所加的电压是其额定电压,因而发光明亮,而且当其中一只灯泡损坏时仍能显示,在做检验时,两只灯泡是相互串联的,每只灯泡上所加电压是其额定值的一半,灯光发暗,如果其中一只灯泡损坏,则

不发光,这样就可以及时地发现已损坏的灯泡并加以更换。由于接至预告信号小母线的灯光牌数目较多,为了保证在切换过程中转换开关 ZK 的触点不致烧毁,采用了三对 ZK 的触点相串联,以加强其断弧能力。

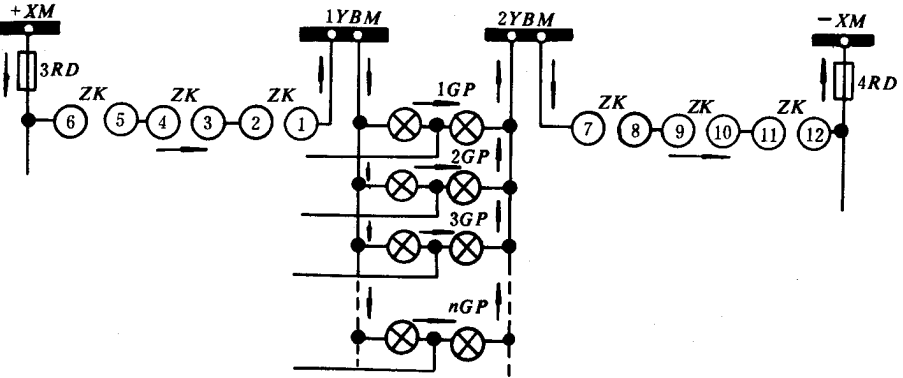


图 26-20 检查光字牌时的电流途径

XM—信号母线;YBM—预告母线;RD—熔断器;ZK—转换开关;GP—光字牌

此外,对有可能误发信号或不需瞬时通知值班人员的信号,应发延时预告信号,而在图 26-18 中只表示了瞬时预告信号部分。在需要装设延时预告信号的情况下,如所使用的冲击继电器具有冲击自动返回的特性,则只要增加一只冲击继电器、一只时间继电器、一个转换开关 ZK 以及相应的延时预告信号小母线 3YBM 和 4YBM 即可。其接线图与图 26-18 基本相同,只是其中冲击继电器动作后,应去起动一个时间继电器,然后利用时间继电器的延时触点去起动中间继电器 2ZJ,由 2ZJ 的触点接通电铃。电铃是两种预告信号共用的。延时预告信号的起动回路与图 26-18 相同,只是其中的小母线 1YBM 和 2YBM 应相应地改为 3YBM 和 4YBM。

当所采用的冲击继电器不具有冲击自动返回特性(如 ZC-23 型)时,则应利用两只冲击继电器按图 26-21 所示的方法连接,以免外部短路时可能误发信号。接线图的工作原理如下:当保护继电器 J 的触点接通时,冲击继电器经光字牌 GP 而起动,此时在脉冲变压器 1BL 和 2BL 的二次侧均感应出脉冲电势,但由于 2BL 是反方向连接的,其二次侧的脉冲电势被二极管 D<sub>1</sub> 所短路,因此只有 1GHJ 继电器动作。1GHJ 动作后起动中间继电器 1ZJ。1ZJ 通过自身常开触点自保持,同时去起动延时预告信号回路的时间继电器,如在时间继电器的延时触点尚未闭合之前,保护继电器的触点 J 已返回(故障消失),则由于流过 1BL 和 2BL 一次绕组的电流突然减少或消失,在 1BL 和 2BL 的二次侧将感应出负的脉冲电势。此时 1BL 二次侧的脉冲电势被二极管 D<sub>1</sub> 所短路,只有 2GHJ 能够动作。2GHJ 动作后起动中间继电器 2ZJ。2ZJ 通过自身常开触点自保持,同时其常闭触点将 1ZJ 的自保持电路切断,使 1ZJ 返回。于是时间继电器亦随之复归,该故障信号未预发出,达到了冲击自动返回的目的。

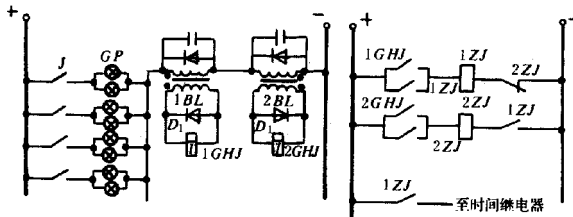


图 26-21 ZC-23 型冲击继电器实现冲击自动返回的接线图

J—继电器;GP—光字牌;BL—脉冲变压器;GHJ—干簧继电器;ZJ—中间继电器

预告信号装置应经独立的熔断器供电,并要求对该熔断器(图 26-18 中的 3RD、4RD)有经常性的监视。因此应装设熔断器监视继电器 2JJ,正常时该继电器带电,其常开触点闭合,使装于中央信号屏上的白色信

号灯点亮。当 3RD 或 4RD 熔断时，继电器 2JJ 失去电源，其常闭触点复归，将信号灯 BD 切换至闪光电源小母线 (+)SM 上，使信号灯闪光。信号灯 BD 正常经专用的熔断器 5RD 和 6RD 由控制回路电源小母线 +KM 和 -KM 供电。熔断器 5RD 和 6RD 直接由信号灯 BD 予以监视，如图 26-22 所示。

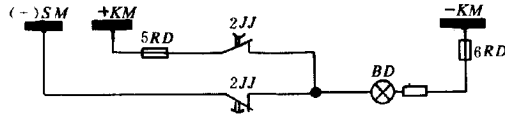


图 26-22 预告信号装置的熔断器监视灯  
SM—闪光母线；KM—控制母线；RD—熔断器；JJ—监视继电器；BD—白灯

## 五、指挥信号

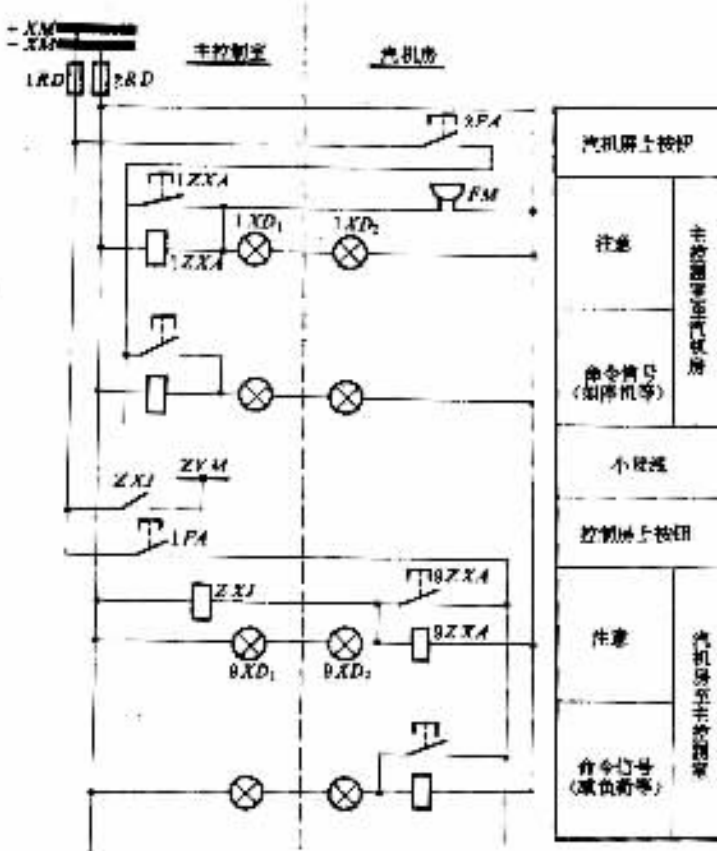


图 26-23 发电机指挥信号的简化接线图

XM—信号母线；RD—熔断器；FA—复归按钮；ZXA—指挥信号按钮；FM—蜂鸣器；XD—信号灯；ZYM—指挥电压母线；ZXJ—指挥信号继电器

发电机指挥信号装置是用于主控室和汽机房之间彼此传送命令和交换机组运行状态的。每一台机组都设有一套完整的指挥信号系统，它由音响信号和灯光信号两部分组成。在主控制室的发电机控制屏台上和在汽机房的汽机控制屏上，各装设一套发送和接受命令的指挥信号装置，其接线图如图 26-23 所示。图



26-23 中 1ZXA ~ 8ZXA 和 9ZXA ~ 14ZXA 为带自保持线圈的按钮,用于发送命令,一般为 14 个,其中 1ZXA ~ 8ZXA 在主控制室,9ZXA ~ 14ZXA 在汽机房;1XD<sub>1</sub> ~ 8XD<sub>1</sub> 和 9XD<sub>1</sub> ~ 14XD<sub>1</sub> 为装于发电机控制屏台上的光字牌,1XD<sub>2</sub> ~ 8XD<sub>2</sub> 和 9XD<sub>2</sub> ~ 14XD<sub>2</sub> 为装于汽机控制屏上的光字牌,用于显示命令的内容;1FA 和 2FA 为复归按钮,分别装于发电机控制屏上和汽机控制屏上。下面以主控制室向汽机房发布命令为例,说明指挥信号的传递程序:为了向汽机房发送命令,主控制室的值班人员必须按下按钮 1ZXA。1ZXA 的常开触点闭合后,同时接通三个回路:汽机控制屏上的蜂鸣器 FM、两端的“注意”光字牌 1XD<sub>1</sub> 和 1XD<sub>2</sub>,本身的自保持线圈 1ZXA。汽机房的值班人员听到音响,并见到标有“注意”的光字牌点亮后,即知道是主控制室要向汽机房发送命令,随即按下复归按钮 2FA,切断 1ZXA 的自保持回路,使 1ZXA 复归,音响停止,两端的“注意”光字牌熄灭,表示汽机房的值班人员已接受召唤,正在等待命令。主控制室的值班人员下一步可发出需要传递的命令,例如需要向汽机房发出“停机”命令,则应按下相应的按钮,使两端的“停机”光字牌点亮,说明主控制室命令汽机房停机。汽机房的值班人员在执行完命令后,按下按钮 2FA,使信号复归。同理,如汽机房要向主控制室发送命令时,应该首先按下按钮 9ZXA,使两端的“注意”光字牌 9XD<sub>1</sub> 和 9XD<sub>2</sub> 点亮,并起动引起主控制室值班人员注意的音响信号。为了区别于事故跳闸,采用电铃发出音响。由于所控制的机组较多,并不需要每台机组都装设单独的音响装置,而是令所有机组公用一个电铃,并将此电铃接于指挥信号音响小母线 ZYM 和信号电源负母线 -XM 之间。当在 ZYM 小母线上有正电源时,电铃即发出音响。因此,当汽机房向主控制室传递命令时,是首先起动一个中间继电器 ZXJ,ZXJ 的常开触点闭合,将信号电源正母线 +XM 与小母线 ZYM 接通,起动主控制室内的电铃。主控制室的值班人员听到召唤后,按下复归按钮 1FA,将音响和“注意”信号复归。于是,下一步汽机房即可发送需要传递的信号。

主控制室发给汽机房的指挥信号,一般有下列 8 种:①注意;②增加;③减少;④发电机已合闸;⑤发电机已断开;⑥停机;⑦更改命令;⑧电话。

汽机房发给主控制室的指挥信号,一般有下列 6 种:①注意;②减负荷;③可并列;④汽机调整;⑤更改命令;⑥机器危险。

## 第五节 直流系统

在发电厂中,为了供给控制、保护、信号和事故等照明用电,除了具备交流的厂用电系统外,还需要装设可靠的、独立的直流电源。这样,即使在发电厂的交流电源完全停电的情况下,也能够保证上述装置具有可靠的电源。否则,在交流电源完全消失的情况下,一切控制、保护装置都将失去作用,甚至在夜间连照明都没有了,这显然不利于安全可靠地运行和进行及时地事故处理。

供电给上述负荷的独立电源,称为操作电源。小型电厂的操作电源一般可采用下列几种方式:

- (1) 48V 起动型铅酸蓄电池组供控制回路,220V 硅整流器供合闸回路;
- (2) 110V 起动型(或 220V 固定型)铅酸蓄电池向整个直流系统供电;
- (3) 220V 硅整流设备和电容储能装置;
- (4) 220V 硅整流设备和复式整流装置。

其中(1)(2)项采用蓄电池供电,可靠性高,当发生交流电源事故甚至全厂停电的情况下,它仍能保证控制、保护装置可靠、连续工作和供给事故照明用电。但其投资大,且维护工作量也大,采用固定型铅酸蓄电池尤为突出。所以仅对于单机容量在 6MW 及以上时,才采用 220V 固定型铅酸蓄电池作为直流操作电源。对单机容量 3MW 或两台 1500kW 或三台 750kW 发电机及以上时可采用 110V 起动型铅酸蓄电池作为直流操作电源。对于一台 1500kW 或两台 750kW 机组的小型电厂则可采用 48V 起动型铅酸蓄电池组,同时设置合闸电源(合闸电源一般采用硅整流设备)。

当电厂与系统并列运行,在交流电源比较可靠的情况下,可取消蓄电池组,采用交流电源整流的操作电源。为保证故障时电压下降继电保护及跳闸回路仍能正确动作,可采用电容储能装置。在交流失压或降压时,硅整流无输出或输出电压降低,这时由已充好电的电容器对保护控制设备放电而保证正确动作。用电流

互感器和电压互感器共同供电的复式整流 A 装置可以保证在故障情况(如电压下降、电流激增)下由电流互感器供电,使整流装置正常工作而使保护、控制回路正确动作。取消蓄电池,可减少投资,简便维护,但当全部失去交流电源时,也就没有了事故照明,故对取消蓄电池的小型电厂可采用便携式电池灯作为事故照明。

## 一、蓄电池直流系统

蓄电池是一种可以再充电并反复使用的电池,其电极反应有很好的可逆性,放电时消耗的活性物质在充电时得以恢复。充电时是电能转变为化学能的过程,而放电时则是化学能转变成电能的过程,故它是一种化学能与电能相互转换的储能装置。

蓄电池分为铅酸蓄电池和碱性蓄电池两类。小型电厂采用的铅酸蓄电池一般为起动型和固定型两种。

起动型蓄电池采用涂膏式薄型极板装配,可以进行大电流放电。它的电解液比重为 1.28 ~ 1.29 的稀硫酸;采用微孔橡胶作隔板;用硬橡胶或塑料作外壳;单体电池的额定电压为 2.0V,蓄电池有 6V 和 12V 两种;额定容量从 40 ~ 150A·h(20h 放电率)等数种规格。

固定型蓄电池为固定使用之设备,因此必须设置专门的蓄电池室。它采用管式结构的正极板,涂膏式负极板,电解液为比重 1.20 ~ 1.21 的稀硫酸,用玻璃和塑料作电池外壳。其电池分为开口式和密闭防酸防爆式两种。

起动型及固定型蓄电池的性能参数,分别见表 26-2 和表 26-3。

新安装的蓄电池要进行“初充电”,初充电的目的,是为了把极板上的硫酸铅使其充分变成为活性物质(即变成  $\text{PbO}_2$  的正极板和绒状铅  $\text{Pb}$  的负极板)。初充电若不彻底,会使极板部分的活性物质不能还原,这样使蓄电池的容量降低,缩短了使用寿命。初充电的延续时间、方式(连续、间断的或分阶段的)、初充电电流的大小、电解比重等都应该按照厂



表 26-2 起动型铅酸蓄电池型号及性能参数表

型 号	外形尺寸 (mm)			额 定 电 压 (V)	20h 放电率 <sup>①</sup>			起 动 放 电				寿命 <sup>②</sup> (充放 循环)	贮存期 (年)		
	长	宽	高		额 定 容 量 (A·h)	电 流 (A)	终 止 电 压 (V)	电 流 (A)	首 次		- 18℃		一 般 电 池	干 荷 电 池	
									持 续 时 间 (min)	终 止 电 压 (V) 一 般 电 池	终 止 电 压 (V) 干 荷 电 池				持 续 时 间 (min)
3-Q-75	197			6.0	75	3.75	5.25	225	3	4	3	500	2	1	
3-Q-90	224	178	250		90	4.5									270
3-Q-105	251				105	5.25									315
3-Q-120	278				120	6.0									360
3-Q-135	305				135	6.75									405
3-Q-150	332				150	7.5									450
6-Q-60	319			12.0	60	3.0	10.5	180	3	8	6	500	2	1	
6-Q-75	373	178	250		75	3.75									225
6-Q-90	427				90	4.5									270
6-Q-105	485				105	5.25									315
6-Q-120		198			120	6.0									360
6-Q-135	517	216	250		135	6.75									405
6-Q-150		234		150	7.5	450									
6-Q-40G	212			40	2.0		160								
6-Q-60G	279	172	250	60	3.0		240								
6-Q-80G	346			80	4.0		320								

①20h 放电率,即在 20h 内放出电池的额定容量,放电电流 = 额定容量/放电时间。

②按 IEC 标准,电池寿命用循环耐久能力单元数来表示,单元数 ≥ 3。

表 26-3 固定型防酸防爆式铅蓄电池的规格及性能参数表

型号	规格		最大外形尺寸 (mm)				10h 放电率		1h 放电率		初充电		经常充电	
							终止电压 1.89V		终止电压 1.75V		第一期 45~60 h 电流 (A)	第二期 30~40 h 电流 (A)	第一期 6~8h 电流 (A)	第二期 4~6h 电流 (A)
	电压 (V)	容量 (A·h)	长	宽	槽高	总高	电流 (A)	容量 (A·h)	电流 (A)	容量 (A·h)	电流 (A)	容量 (A·h)	电流 (A)	容量 (A·h)
GGF-30	2	30	100	123	185	225	3	30	13.5	13.5	3	1.5	4.5	2.5
GGF-50	2	50	138				5	50	22.5	22.5	5	2.5	7.5	4
GGF-100	2	100	120	158	309	366	10	100	45	45	10	5	15	7.5
GGF-150	2	150	157				15	150	67.5	67.5	15	7.5	22.5	11
GGF-200	2	200	194	209	474	544	20	200	90	90	20	10	30	15
GGF-300	2	300	162				30	300	135	135	30	15	45	22.5
GGF-400	2	400	199	292	652	736	40	400	180	180	40	20	60	30
GGF-500	2	500	236				50	500	225	225	50	25	75	38
GGF-600	2	600	169	292	652	736	60	600	270	270	60	30	90	45
GGF-800	2	800	206				80	800	360	360	80	40	120	60
GGF-1000	2	1000	243	292	652	736	100	1000	450	450	100	50	150	75
GGF-1200	2	1200	286				120	1200	540	540	120	60	180	90
GGF-1400	2	1400	323	292	652	736	140	1400	639	639	140	70	210	105
GGF-1600	2	1600	360				160	1600	720	720	160	80	240	120
GGF-1800	2	1800	397	292	652	736	180	1800	810	810	180	90	270	135
GGF-2000	2	2000	434				200	2000	900	900	200	100	300	150

注 表内蓄电池的使用寿命如下:全充放制为3年,半充放制为6年,全浮充制为8年,贮存寿命皆为3年。

家规定进行,一般电解液(稀硫酸)配制好后,先冷却到25℃,然后注入蓄电池内,约需等待4h后,使电池内热度消失,且极板上的物质完全被浸透以后,才可以进行充电。初充电的方式大多是间断性的,开始用厂家规定的初充电电流不间断地进行充电数十小时(根据厂家要求)后,停止充电并静置1h,再继续以较小的电流充电,到剧烈冒气泡时为止,再停止充电1h后,又继续充电直到剧烈冒气泡,如此继续下去,直到间断1h后,接上充电,立即发生沸腾现象时,就可以认为初充电已可结束。

初充电开始前,应将每只电池的电压、比重、温度测量一次,以后必须每隔1h测量一次,充电终了前应每隔0.5h测量一次,并作记录。初充电过程中,最初电压稍有急升现象,至充电终期,电压至2.6~2.8V,逐渐稳定。电解液比重最初会一度下降,而后逐渐上升,至充电终期,也将稳定在一定数值。在初充电过程中,电解液温度是渐渐升高的,如超过40℃,则应该把充电中断,使温度下降后,再继续充电,这是为了防止电池内的化学反应过分剧烈而使极板上的物质脱落,影响电池容量和寿命。不过在第一轮充电时,是不允许中断充电的,这时为了减低温度,只能把充电电流减小一些,如果个别电池温度过高,则可以加强风冷使其热量散出。

蓄电池直流系统的接线与其运行方式有关,一般分为充电—放电方式和浮充电方式。

### (一) 充电—放电方式

充电—放电方式是用充好电的蓄电池组供给直流负荷,除充电时间外,充电装置是断开的。蓄电池组的直流负荷可分为以下3种:

1. 经常性负荷。这些负荷是经常接入的,如信号灯、位置指示器、位置继电器以及继电器保护装置、自动装置与中央信号装置中的长期带电继电器等。

2. 短时负荷。如继电器保护装置和自动装置的直流操作回路、跳、合闸线圈等。

3. 事故负荷。如事故照明灯和事故油泵的直流电动机等。

选择蓄电池容量的计算条件是:

1. 满足全厂(所)事故停电时的放电容量;

2. 满足最大冲击负荷的容量。

与电力系统连接的发电厂,全厂事故厂用电停电时间一般按1h计算。因为交流系统可能在蓄电池任何放电程度下发生故障,为了保证直流系统供电的可靠性,蓄电池放电至一定程度后,应及时进行充电。因此,必须根据使用情况,正确地掌握充放电时期。最好在蓄电池放电到保证容量的75%~80%时,即应停止放电,准备充电。

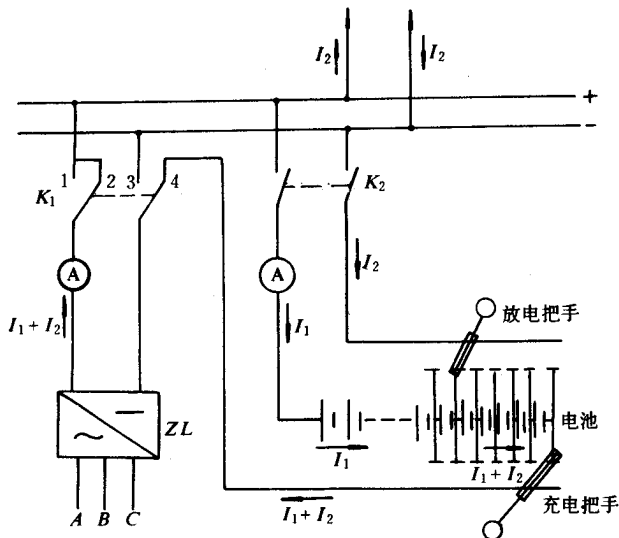


图 26-24 按充电—放电方式运行的蓄电池组的简化直流系统接线图

$K_1$ 、 $K_2$ —开关;A—电流表;ZL—整流器

蓄电池在充电时,直流负荷应由已充好电的另一组蓄电池负担。如无第二组蓄电池,则当充电时,充电装置应兼供直流负荷。为了保证直流母线上电压的稳定,在蓄电池的接线中需装设端电池调整器和可供调整的端电池。

图 26-24 为按充电—放电方式运行的蓄电池组的简化直流系统接线图。

当蓄电池的电压下降后则可以调节放电把手(从左向右)以保持母线电压为230V,直到蓄电池放电完毕后,把充电机也并联到母线上,并调节它的电压稍高于蓄电池的电压,这样一方面对蓄电池充电,另一方面还要供给直流负荷,直到蓄电池充电终了,再将充电机断开,仍由蓄电池向直流母线供电。

这种运行方式在充电过程时,实际上不能保持母线电压为230V。因为蓄电池组在放电终了时(即放电把手已放在最右边位置)母线电压为230V(即 $1.75V \times 130 \approx 230V$ )。要使蓄电池充电,就必须使充电机的电压高于蓄电池组的电压,因而当硅整流设备并于母线上时,母线的电压就相当于硅整流设备的电压,这时直流系统的供电电压就大于230V,显然这是不容许的,由于这个矛盾的产生,迫使把充电电路和放电电路分开,

如图 26-24 所示,充电机的开关是双投开关  $K_1$  当需要对蓄电池充电时,开关投向 2、4 触头,这时充电机总电流由充电机正极流出,至母线后,分为负载电流  $I_2$  和充电电流  $I_1$  两部分,充电电流直接流向蓄电池进行充电,而负载电流,则经过各个二次回路流向负载,并在回来后,通过负母线流向端电池调整器的放电把手,并经过部分端电池(图中画出只经过最后一级端电池)与充电电流汇于端电池调整器的充电把手,然后经过充电母线回到充电机去。由于采用了这种接线,使充电回路与放电回路分开,因而充电机的充电电压并不影响母线的电压,这时母线电压的调整,可以用端电池调整器的放电把手调节,放电把手和充电把手是独立调节的,随着充电过程的持续,最后几级端电池已被充好电,这时就可以用充电把手,把它们从充电回路中切除,因而也避免了过充电的发生。

为了实现上述电路,端电池调整器应该有两个可以各自调节的把手,国产端电池调整器型号为 KP3 和 KP4 两种,分别为手动操作和电动操作。大型电厂一般采用电动操作,其结构有 22 个抽头及两个充放电把手,其结构原理如图 26-25 所示。

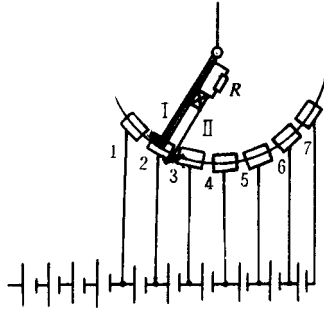


图 26-25 端电池调整器结构原理图

为了使调整过程中,电路不至于断开,就需要把手的宽度能够同时跨接在两个静触头上,但是这样又会使两个静触头之间的电池短路。为了克服这个缺点,我们把把手上的动触头分成 I 和 II 两部分,中间经过电阻  $R$  连接,这样当触头 I 还没有离开静触头 2 时,触头 II 就已与静触头 3 连接了,这样就避免了调整过程发生断路的现象,但是由于有限流电阻  $R$ ,这时触头 2、3 之间的电池也不会有很大的短路电流,然后继续转动把手,把动触头 I 转到静触头 3 位置触头 II 离开了 3,这就完成了一次转换。

以上介绍的充电—放电方式的接线与原理,但它存在着比较严重的缺点,主要有:

1. 蓄电池的自放电不能得到及时的补偿,因而寿命受到影响;
2. 母线电压不容易维持稳定,因而需要经常的监视和调整,给运行带来很大的不方便;
3. 充电次数加多,一般每星期需要充电一次,这样从运行来说是很不安全的(因为在充电过程中,如果发生全所交流停电事故,则蓄电池也不能发挥它的作用)。

## (二) 浮充电方式

目前,直流系统多采用浮充电运行方式。这种方式是选取两台充电用硅整流设备,一台容量较大,只是在充电时应用,另一台容量较小,是按正常的直流负荷和蓄电池的自放电电流来选择的。正常运行方式是浮充电设备与蓄电池组并联在直流母线上,主充硅整流断开,这时浮充设备供应全部直流负荷用电,同时还供给蓄电池一个很小的充电电流,以补偿其自放电的损失,由于蓄电池组经常处于浮充状态,所以它的容量总是处于额定容量状态。

当出现短时大负荷,例如在断路器合闸时,则主要由蓄电池组以大电流放电。这是因为蓄电池组的外特性  $U = f(I_f)$  比浮充硅整流的外特性平坦得多。

在交流电装置中发生事故时,浮充硅整流便停止工作并断开,则蓄电池组转入放电状态,而且担负所有直流负荷。待交流电装置事故消除后,主充硅整流起动接入,给蓄电池组重新充电,并担负所有直流负荷。当蓄电池组充好电后,再转入正常的浮充电状态运行。

采用浮充电方式运行有以下的优点:

1. 蓄电池组经常处于满充电状态,其容量可以被充分利用。
2. 正常运行中,直流母线电压是恒定的,无需调节端电池。
3. 由于补偿了自放电,因而使蓄电池的使用寿命延长。
4. 不需经常充放电,简化了运行,提高了安全性。

但这种浮充电方式仍存在一定缺点,例如,当浮充硅整流投向母线,如图 26-26 所示,则

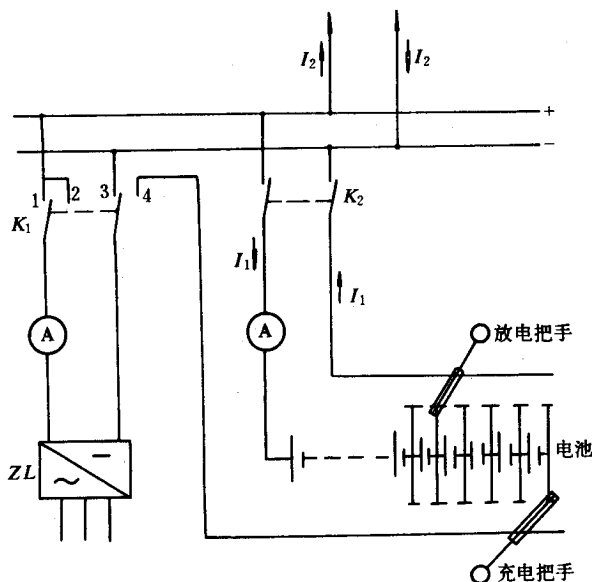


图 26-26 浮充电方式的简化接线图

$K_1$ 、 $K_2$ —开关;A—电流表;ZL—整流器

后面的端电池得不到充电,它的自放电得不到补充。当浮充硅整流投向蓄电池,则放电把手后面的蓄电池充电电流为  $I_1 + I_2$ ,充电电流大于基本蓄电池的充电电流,时间长了可能产生过充电。

为解决上述矛盾,可以取消充电把手(或将充电把手置于最末端位置),在端电池调节器的放电环和蓄电池末端并联一个可调电阻  $R$ ,作为流过端电池浮充电流的并联支路,如图 26-27 所示。如果调节  $R$ ,使该分路电流与负载电流  $I_2$  相等,则可保证流过端电池的浮充电流和流过基本电池的浮充电流相等,均为  $I_1$ ,因而提高了端电池的寿命,防止了它的极板因自放电而形成过多的硫酸铅。

### (三) 运行维护

由于运行方式的不同,则日常运行维护工作也不尽相同。

#### 1. 充电—放电方式运行的蓄电池

充电—放电方式的运行维护应根据放电和使用情况,正确地确定充放电间隔,并且每 3 个月进行一次过充电。

放电电流不应大于该电池的最大保证电流值,放电时应根据电压高低将补充电池逐个接入母线。

放电终了的判断:

(1) 放电至保证容量的 75% ~ 80% (放电 A·h)。

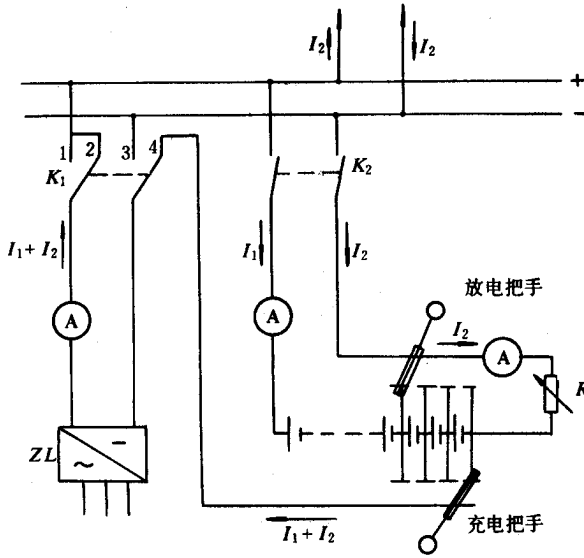
(2) 每个电池电压降至 1.8V。

当采用较小电流(低于 10h 放电率)放电时,即使放电已达保证容量的 75% ~ 80%,电池电压仍高于 1.8V,也应立即停止放电。

(3) 放电终了时,阳极板为棕黄色,阴极板为灰色。

(4) 电解液比重一般降至 1.17 ~ 1.15。

达到以上情况时,应立即进行充电。充电前应检查每个电池电压,电解液的比重、温度及液面高度,并记

图 26-27 并联可调电阻  $R$  后的接线图

$K_1$ 、 $K_2$ —开关； $A$ —电流表； $ZL$ —整流器； $R$ —电阻

入蓄电池运行日志中。充电时充电滑杆应置于终端位置，通风机应全部投入运行。

充电电流可根据电厂允许充电时间决定采用 3h 放电率或 10h 放电率进行充电，要保证在一个白天内完成。当蓄电池内开始发生气泡时，应逐渐减低充电电流，至充电终了，电流应减至最大电流的 40%。

充电过程中电压和电解液的比重逐渐升高，接在切换器上的电池将最先发生气泡。在接近充电终了时，应将这些电池逐个从回路中切除。

在基本电池发生气泡以后，应检查所有电池的沸腾是否均匀。如有落后的电池，则应检查其电压和电解液的比重。如果发现内部短路情形，应迅速消除，不使电池过热。电解液温度，不应超过 35~40℃。

充电完了的判断：

- (1) 两极极板上发生强烈气泡；
- (2) 电解液比重增加到 1.20~1.21，且经 1h 不变；
- (3) 各电池电压增至 2.5~2.75V，且经 1h 不变；
- (4) 阳极板变成褐色，阴极板变成浅灰色。

对正常蓄电池当充电安培小时比前期放电时所放出的容量多 20%，即可认为充电完成。

充电完后，硅整流切除，但通风机仍要运行 1~1.5h，并将氢气全部排出。

充电过程中，每隔 1h 要记录蓄电池电压、电解液比重、充电电流以及不正常的电池，并计算充入的安培小时。

## 2. 浮充电方式运行的蓄电池

浮充电方式运行的蓄电池，正常时补充自放电的浮充电流约等于  $0.03 \times \text{额定安时} / 36$ ，基本蓄电池的电压应为 2.1~2.2V，电解液比重应保持在 1.20~1.21( +15℃ 时)，如测试时温度不同应按下式进行换算

$$d_{15} = d_t + 0.0007(t - 15)$$

式中  $d_t$ ——测试时在温度  $t$  下的比重；

$t$ ——测试时的温度(℃)。

要经常检查电解液面与极板上缘间距离小于 10mm 时，应及时充注电解液。当电解液比重高于 1.2 则应补充蒸馏水，当电解液比重低于 1.2 时，则应查明原因后补加不同比重的硫酸溶液。

对于浮充电方式工作的蓄电池每 3 个月要进行一次核对性放电，放出 50%~60%，终端电压达 1.9V 止，放电完后要立即按前述方法进行充电。

维护中一般从电压、比重、温度、充放电量等方面看正负极板的颜色和状况,看电液的高低和颜色,闻其气味,看沉淀的情况,看室内及电池整洁程度,看运行记录,当发生故障时可参考表 26-4 进行处理。

表 26-4 蓄电池故障处理参考表

现象	特征	可能的原因	处理方法
容量降低	(1)容量逐渐或突然降低 (2)充电末期冒泡不剧烈	(1)初充电不足或长期充电不足 (2)电液比重低、温度低 (3)电液使用过久有杂质 (4)极板硫酸化,隔板电阻大 (5)内部或外部短路,或正极板已经损坏负极板已收缩 (6)长期浮充,未进行放电,活性物凝结,性能衰退,极板钝化	(1)均衡充电并改进运行方法 (2)调整比重及室温 (3)清洁并加强绝缘 (4)检查电液必要时更换 (5)消除硫酸化,调整隔板 (6)检查原因并消除和处理 (7)进行几次充放电,必要时过放过充一次,今后应定期进行放电
电压异常	(1)少数电池比一般的低或高 (2)线路电压大降,内有个别电池反极	(1)落后电池未及时纠正成反极 (2)过放电	(1)均衡充电 (2)检查接头扭紧或并焊接好 (3)更换或修补极板 (4)进行几次充放电,必要时过放过充一次,今后应定期进行放电
冒气异常	少数不冒气	(1)内部短路 (2)极板硫酸化	(1)消除短路,消除硫酸化 (2)检查电液必要时更换

现象	特征	可能的原因	处理方法
比重异常	(1) 充电时比重上升少或不变 (2) 浮充时比重下降 (3) 搁置时比重下降太大 (4) 放电时比重下降过大 (5) 长期浮充电解液上下层比重不一	(1) 电解液中有杂质 (2) 浮充电流过小 (3) 自放电或漏电 (4) 极板硫酸化 (5) 长期充电不足 (6) 加水过多, 或添加了浓硫酸未混匀 (7) 比重表未校正	(1) 检查电解液必要时更换 (2) 改大浮充电流 (3) 消除硫酸化 (4) 均衡充电并改进运行方式 (5) 在充电结束 2h 前调整比重 (6) 校正比重表
电解不清	(1) 初充电时电解液表面有泡沫 (2) 电解液现青绿色 (3) 电解液现微红色 (4) 电解液有气味 (5) 电解液混浊不清	(1) 木隔板处理不当 (2) 极板干燥时可能用直接炭火 (3) 电解液中可能含有锰或铁 (4) 木隔板处理不当或电解液不纯 (5) 极板脱粉或盖板未盖好, 落入灰尘等杂质	(1) 检查电解液, 如杂质过多时应更换电解液 (2) 改进运行方式盖好盖板, 必要时更换隔板
弯曲开裂	(1) 极板弯曲 (2) 极板上有裂纹 (3) 极板上有效物质部分脱落	(1) 过多放电, 内部硫酸铅膨胀 (2) 大电流充放电各部分作用不匀 (3) 高温放电作用深入内部膨胀	(1) 改进运行方法 (2) 充电后取出用同面积木板压平严重者更换极板 (3) 增添降温设施
沉淀变硬	(1) 沉淀由粉状片状变成大块状 (2) 沉淀已触及极板 (3) 舀沉淀时舀不动 (4) 极板与铅衬之间一极为 0, 一极几乎等于端电压 (5) 铅皮衬呈褐色, 铅弹簧呈浅灰色	(1) 沉淀物已触及极板 (2) 极板间有铅渣或其他导电物 (3) 同上, 且玻璃挂板太矮, 极板与铅衬相碰 (4) 铅弹簧脱位, 碰到极板及铅衬 (5) 铅衬邻近两槽相碰	(1) 舀出沉淀, 舀不动时取出极板彻底清除 (2) 消除极板间的铅渣或导电物 (3) 纠正铅弹簧的位置 (4) 隔开或除去相碰物



现象	特征	可能的原因	处理方法
内部短路	(1)开路电压低 (2)容量下降 (3)充电时电压上升少甚至不变 (4)电液温度比一般高 (5)充电时比重上升少甚至不变 (6)放电时电压下降快 (7)不冒气或出现很晚 (8)极板有硫酸化现象	(1)导电物落在极耳或极板之间 (2)极板弯曲相碰,隔板已坏 (3)脱粉较多沉淀已碰到极板 (4)铅弹簧位移碰到极板及铅衬 (5)极板上生毛使正负极板相连 (6)电液浓或温度高使隔板腐坏	(1)除去导电物 (2)用同面积木板压干,更换隔板 (3)舀出沉淀 (4)纠正弹簧位置 (5)检查电液不合格时应更换 (6)清除极板四周的毛状物 (7)调整比重,降温或更换隔板
电槽破裂	(1)电槽附近有电液渗出 (2)电槽中电液很快下降 (3)蓄电池组绝缘下降 (4)漏酸处的木架发生炭化 (5)电解液漏出	(1)电槽本身质量不好 (2)安装不平,一边重一边轻 (3)铅皮底部四角悬空,槽形垫太长,头尾压在角上的是空处,把铅衬压破裂 (4)铅皮或焊缝上有砂眼	(1)调换或修补 (2)填平放稳 (3)排除短路 (4)切短槽形垫放在边上居中的位置 (5)补焊电槽

## 二、直流系统的绝缘监察装置

发电厂的直流系统是控制、信号、保护装置的电源,它的供电可靠性对运行十分重要。为了使控制、信号、保护装置可靠工作,直流系统的正负母线都是对地绝缘的。如图 26-28 所示。

$TQ$  是断路器的跳闸线圈,当操作断路器合闸后,控制开关  $KK$  的 13—16 触点闭合,因而红灯发亮,指示出断路器在合闸状态,这时如果要使断路器跳闸,可以通过控制开关  $KK$  使 6—7 触点闭合,也可以通过接地监视按钮  $JJA$ ,使  $TQ$  带电,作用于跳闸。如果正母线人工接地,断路器在合闸状态,若此时在回路  $G$  点发生了单相接地故障,就相当于通过大地把跳闸线圈接通,因而引起断路器自动跳闸,显然是“因小失大”。由于这个原因,直流系统的正、负电源都是不允许接地的。既然不允许接地,在运行过程中,就应该有一种装置来监察正、负电源对地绝缘情况是否处于良好的状态,这种装置称为“直流系统绝缘监察装置”。

### (一)信号装置

利用电桥原理,能够在极对地绝缘情况变坏时,自动发出声响和灯光信号,以便警告运行人员及时处

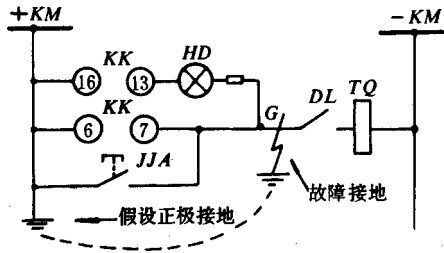


图 26-28 控制回路接地情况

KM—控制母线;KK—控制开关;HD—红灯;  
DL—断路器;TQ—跳闸线圈;JJA—接地监视按钮

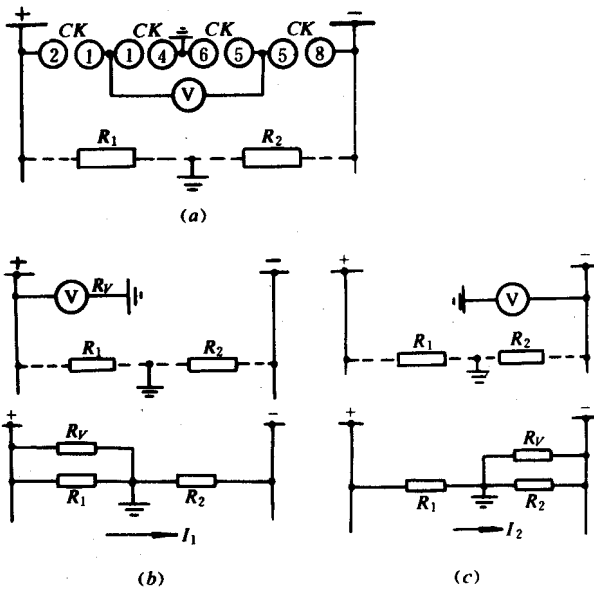


图 26-29 绝缘监察信号装置电路图

XJJ—接地信号继电器;  
 $R_1$ 、 $R_2$ —绝缘等效电阻

理。这部分的电路图如图 26-29 所示,可以把“+”、“-”母线对地的绝缘电阻用  $R_1$ 、 $R_2$  表示,把它们当成电桥的两臂。由于在正常情况下,“+”、“-”母线对地绝缘状态基本一样,所以  $R_1$ 、 $R_2$  值也大约相等。这时我们在母线之间接有两个大小相等的  $1000\Omega$  电阻(ZG11-50 型 50W)又构成直流电桥的另外两个臂,并在电桥的输出端接上灵敏度很高的电流继电器 XJJ(接地信号继电器,DL-11/1.4,1.4mA)这就构成了一个平衡电桥。在正常情况下,由于  $R_1 = R_2$  电桥平衡,所以继电器不动作,没有信号,当“+”母线或“-”母线对地绝缘大减(即  $R_1$  或  $R_2$  的电阻大减)时,则电桥不平衡,有电流通过继电器,使它动作并发出相应的信号。

## (二) 测量母线对地电阻的装置

测量母线对地电阻的装置如图 26-30 所示,这一部分由一个电压表和切换开关 CK 组成。

1. 当需要测量母线电压时,CK 的触点 2—1、5—8 闭合即可,如图 26-30(a) 所示。

2. 当需要测量“+”母线对地电压,则 CK 的 1—2、5—6 闭合,这样就表接在“+”母线和地之间如图 26-30(b) 所示。根据欧姆定律,这时电压表指示应该为

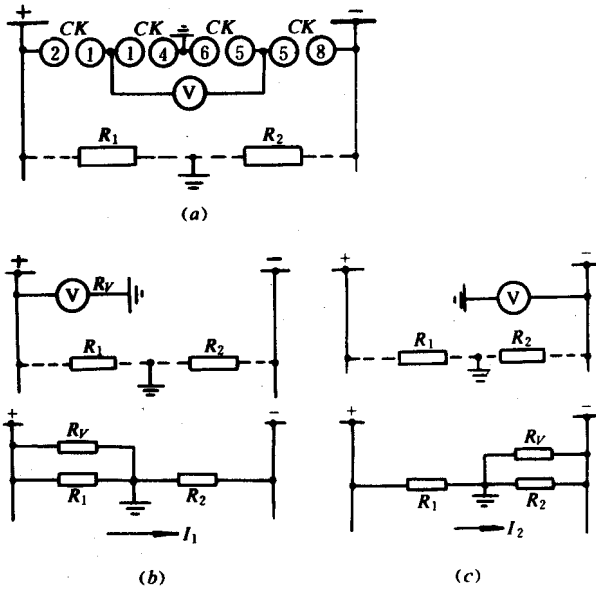


图 26-30 测量母线对地电阻的装置

(a)测“+”、“-”母线电压 (b)测“+”母线对地 (c)测“-”母线对地  
 CK—切换开关 ;V—电压表 ; $R_v$ —电压表内电阻 ; $R_1$ 、 $R_2$ —绝缘等效电阻

$$\begin{aligned}
 U_1 &= I \frac{R_1 R_v}{R_1 + R_v} = \frac{U}{\frac{R_1 R_v}{R_1 + R_v} + R_2} \cdot \frac{R_1 R_v}{R_1 + R_v} \\
 &= \frac{U(R_1 + R_v)}{R_1 R_v + R_1 R_2 + R_2 R_v} \cdot \frac{R_1 R_v}{R_1 + R_v} \\
 &= \frac{U R_1 R_v}{R_1 R_2 + R_v(R_1 + R_2)} \quad (26-1)
 \end{aligned}$$

3. 当需要测量“-”母线对地电压,则CK的1—4、5—8触点闭合,这时电压表接在“-”母线和地之间如图26-30(c)所示。同理,根据欧姆定律,可以写出

$$U_2 = \frac{U R_2 R_v}{R_1 R_2 + R_v(R_1 + R_2)} \quad (26-2)$$

当式(26-1)与式(26-2)相比时,可得出

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{U R_2 R_v}{R_1 R_2 + R_v(R_1 + R_2)}}{\frac{U R_1 R_v}{R_1 R_2 + R_v(R_1 + R_2)}} = \frac{R_2}{R_1} \quad (26-3)$$

式(26-3)说明,通过上述的测量过程就可以初步判断“+”、“-”母线对地绝缘状态,显然, $U_1 > U_2$ 说明“+”母线绝缘状态较“-”母线较好。

如果我们需要了解“+”、“-”母线对地绝缘电阻( $R_1$ 、 $R_2$ )的确切数值,将式(26-3)代入式(26-1)得

$$U_1 = \frac{U R_1 R_v}{R_1 \left( \frac{R_1 U_2}{U_1} \right) + R_v \left( R_1 + \frac{R_1 U_2}{U_1} \right)} = \frac{U(R_1 R_v) U_1}{R_1 R_1 U_2 + R_v U_1 R_1 + R_v R_1 U_2}$$

上式可简化为

$$U R_1 R_v = R_1 R_1 U_2 + R_v R_1 U_1 + R_v R_1 U_2$$

或

$$U R_v = R_1 U_2 + R_v U_1 + R_v U_2$$

故 
$$R_1 = R_v \left( \frac{U - U_1}{U_2} - 1 \right) \quad (26-4)$$

同理 将式(26-3)代入式(26-2)则可得

$$R_2 = R_v \left( \frac{U - U_2}{U_1} - 1 \right) \quad (26-5)$$

有时 需要标出总的绝缘电阻值

$$R_{\text{绝缘}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_v \left( \frac{U}{U_1 + U_2 - 1} \right) \quad (26-6)$$

上式说明 测量出  $U_1$ 、 $U_2$  之值后 根据上述关系 即可计算出  $R_1$ 、 $R_2$  之值。

### 三、电压监察装置

电压监察装置是由一只过电压继电器  $1YJ$  和一只低电压继电器  $2YJ$  所组成,当直流母线上电压高于或低于规定值时,电压继电器动作,通过光字牌发出预告信号。其典型接线图如图 26-31 所示。直流母线电压过高,对长期带电的设备,如继电器、信号灯等,会造成损坏或缩短使用寿命;电压过低,可能使继电保护装置和断路器的操动机构拒绝动作。通常过电压继电器的动作电压整定为  $1.25U_e$ ,低电压继电器的动作电压整定为  $0.75U_e$ ,其中  $U_e$  为直流母线的额定电压。

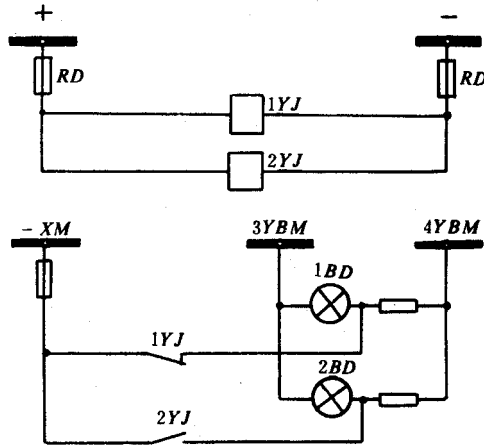


图 26-31 电压监察装置接线图

$1YJ$ —过电压继电器  $2YJ$ —低电压继电器; $RD$ —熔断器; $XM$ —信号母线; $YBM$ —预告母线; $BD$ —白灯

### 四、其它直流电源

目前,虽然在发电厂大都采用蓄电池作为独立的直流系统电源,但是长期运行经验证明,它有很大的缺点:

(1)价格贵,寿命短,并且需要很多辅助设备和专用房间,投资很大;

(2)蓄电池运行复杂,需要经常维护,无法实现无人值班;

(3)使发电厂内形成一个接线十分复杂的直流回路,不但增加了投资和有色金属的消耗,同时由于直流系统接地故障较多,也降低了直流系统供电的可靠性。

针对上述缺点,目前采取了一些新的操作、保护和信号电源,主要有以下几种:

### (一) 装有补偿电容器的直流系统

在直流系统中取消了蓄电池,当发电厂正常工作时(即交流厂用电源正常供电时)通过硅整流装置把交流电变为直流电作为直流系统的电源,同时向并联在直流母线上的电容器组进行充电,一旦交流电源消失后,已蓄电的电容器则可以对需要动作的继电器保护和需切断的断路器跳闸线圈供电,所以电容器的容量应该满足保护装置和断路器跳闸动作所需能量,这种直流系统的接线如图 26-32 所示。

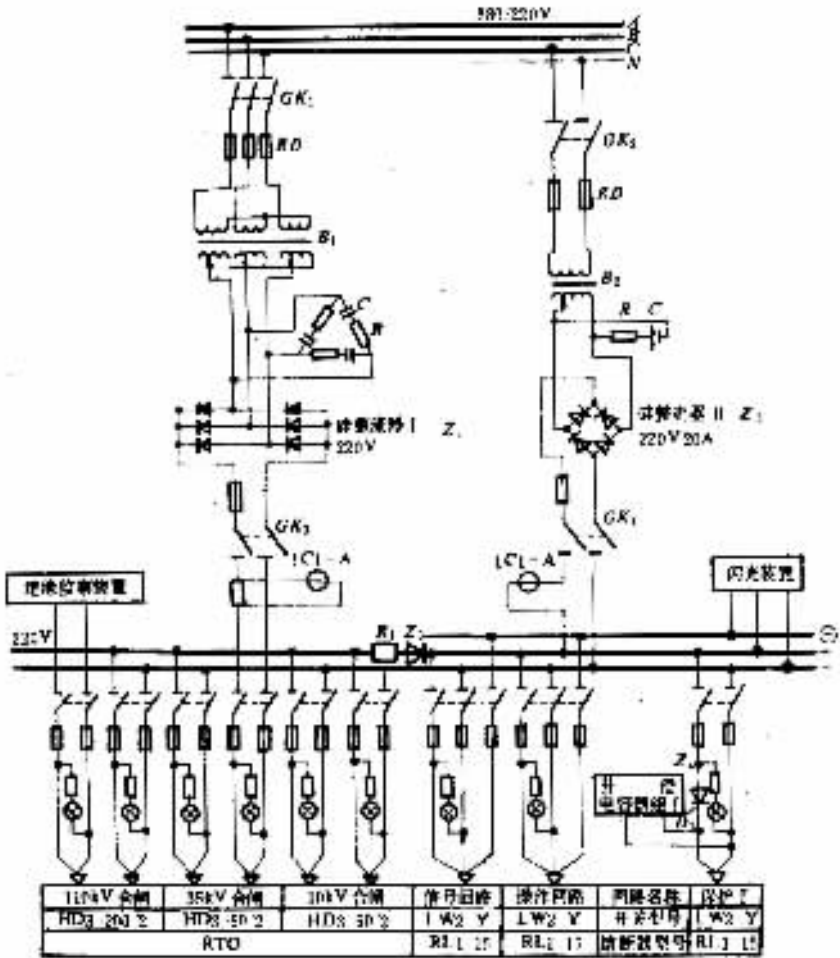


图 26-32 装有补偿电容器的直流系统接线图

GK<sub>1</sub> ~ GK<sub>4</sub>—隔离开关; RD—熔断器; B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>—变压器; Z<sub>1</sub>、Z<sub>2</sub>—硅整流器; A—电流表

该系统一般装有两组硅整流器 Z<sub>1</sub> 供断路器合闸,供操作母线 Z<sub>2</sub> 容量较小,仅用于向操作母线供电,两组母线之间用整流器 Z<sub>3</sub> 隔开,用来防止在合闸或合闸母线侧故障时,整流装置 Z<sub>2</sub> 向合闸母线侧供电,这样就提供了操作母线电源的可靠性,因此称 Z<sub>3</sub> 为逆止元件,一般选用额定电流为 20A 的硅整流元件。为了防止在操作母线侧发生短路故障时,有过大的电流流过 Z<sub>3</sub> 而使元件烧毁,串联了限流电阻 R<sub>1</sub>,它的选择显然应满足两个条件:①在操作母线侧发生短路时,限制流过 Z<sub>3</sub> 的电流,使其不超过 20A;②在正常工作时,压降不超过 220V 的 15%,否则当由 Z<sub>1</sub> 向操作母线供电时,不能保证操作母线的电压质量,因而影响了操作回路的工作。

该系统另一特点是把合闸供电电路与操作、信号和保护回路分设于两组母线,这样合闸冲击时,不至于

严重影响操作母线电压,而且操作母线可以得到两个电源的供电。

补偿电容器装设两组(图 26-32 上只画出一组),它就并联在保护或操作回路的馈电线上,在正常情况下,由操作母线经整流元件  $Z_4$  向它充电。 $Z_4$  的作用是当母线电压消失时,使补偿电容只能向保护和操作回路供电,而不至于把电能送回母线,所以起着导向的作用(或称导向二极管,也可以称逆止元件)。两组补偿电容器,一组专供 6~10kV 线路的保护和跳闸回路,另一组供电给其它元件的保护和跳闸回路,这是为了防止当 6~10kV 线路故障时保护动作而断路器操动机构失灵拒绝跳闸(这时由于跳闸线圈长久接通而将电容器能量消耗完)。这时,起后备作用的上一级保护也无法动作,从而造成事故的扩大。

电容器组都采用电解电容串并联组成,每组电容器的容量主要取决于其供电负荷,主要是中间继电器、时间继电器和跳闸线圈。选择电容器容量的原则应为:①由于电容器放电过程中其电压是按指数规律衰减的( $U = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ ),因此为了保证继电保护和跳闸线圈能够正确动作,必须使电压衰减较慢,使在保护动作或跳闸线圈工作时,其端电压仍在最低允许电压值之上;②电容器所储能量必须大于继电器和跳闸线圈动作时所需的能量。

根据上述两原则,即可确定电容器的电容量。由电工原理得知,电容器的储能可用下式表示

$$W_c = \frac{1}{2} C U_c^2 \quad (26-7)$$

根据断路器制造厂资料,断路器跳闸线圈可靠动作的最低允许电压为 65%  $U_c$  ( $U_c = 220V$ )。为了使断路器可靠跳闸,我们可以取跳闸时加于跳闸线圈的电压不应小于 70%  $U_c$ ,这时跳闸线圈通过的电流也将相应减小,此时跳闸线圈所消耗的功率应为

$$P_{\text{跳闸}} = 0.7 U_c \times 0.7 I_c = 0.49 U_c I_c$$

而跳闸线圈所需的能量则为

$$W_{\text{跳闸}} = 0.49 U_c I_c t$$

式中  $t$ ——断路器跳闸所需时间,一般取  $t = 0.1s$ ,则得到

$$W_{\text{跳闸}} = 0.49 \times 220 \times 2.5 \times 0.1 = 27(J)$$

另外,时间继电器消耗功率为 7.5W,保护动作时间  $t = 1.5s$ ,中间继电器消耗功率为 7W,动作时间  $t = 0.02 \sim 0.03s$ ,这样保护装置消耗量为

$$W_{\text{保护}} = 7.5 \times 1.5 + 7 \times 0.02 = 11.3(J)$$

如果考虑需要同时跳闸两台断路器,则需要的总能量应为

$$W_{\text{总}} = 2 \times (27 + 11.3) = 76.6(J)$$

根据式(26-7)并考虑一定的裕度(裕度系数为 1.5),即可求出所需的电容值

$$C = 1.5 \frac{2W_{\text{总}}}{U_c^2} = \frac{1.5 \times 2 \times 76.6}{220^2} \times 10^6 = 470(\mu F)$$

从目前许多单位的运行情况来看,整流器采用三相桥式,安装 6000 $\mu F$  电容器,即可同时跳开两台断路器。

图 26-33 为装有两组补偿电容器的直流系统接线图,图中的转换开关  $ZK$  和时间继电器  $SJ$ 、电压继电器  $YJ$ 、信号继电器  $XJ$  和白炽灯  $BD$  等,是用来在正常运行时检测电容器的工作是否正常,因为电容器在正常情况下必须充足电压,这样才能在交流电源消失时发挥它应有的作用。

如需要使两组电容器组都与直流系统连接,则  $ZK$  把手放在垂直位置,这时  $ZK$  的触点 1—2、5—6、9—10 闭合,从图 26-33 上可以看出,  $C_{\text{I}}$  电容器组接在  $+KM_1 \dots +KM_n$ 、 $-KM$ (控制小母线)之间,正常时充电,一旦直流母线电压消失,则可以向  $+KM_1$ 、 $-KM$  供电,而  $C_{\text{II}}$  电容器组则接在  $+KM_2 \dots +KM_n$ 、 $-KM$  之间,两组电容器都处于工作状态。

如需检查  $C_{\text{II}}$  的工作是否正常,则把  $ZK$  把手放在  $\blacksquare$  位置,这时触点 2—3、6—7、10—11 闭合,从图 26-33 上可以看出,电容器组  $C_{\text{I}}$  工作于两组操作母线上,而  $C_{\text{II}}$  则经过 10—11 触点接在继电器回路中,如果  $C_{\text{II}}$  上有正常电压,则首先启动时间继电器  $SJ$ (电阻  $R$  和  $SJ$  常闭触点构成热稳定回路),经过一段时间后,  $SJ$  延时触点闭合,启动电压继电器  $YJ$ ,  $YJ$  触点闭合后,使信号继电器  $XJ$  启动,白炽灯发亮,说明  $C_{\text{II}}$  处于完好

的充电状态。

如需检查  $C_I$  的工作状态 则把 ZK 把手放在  $\blacksquare$  位置即可。

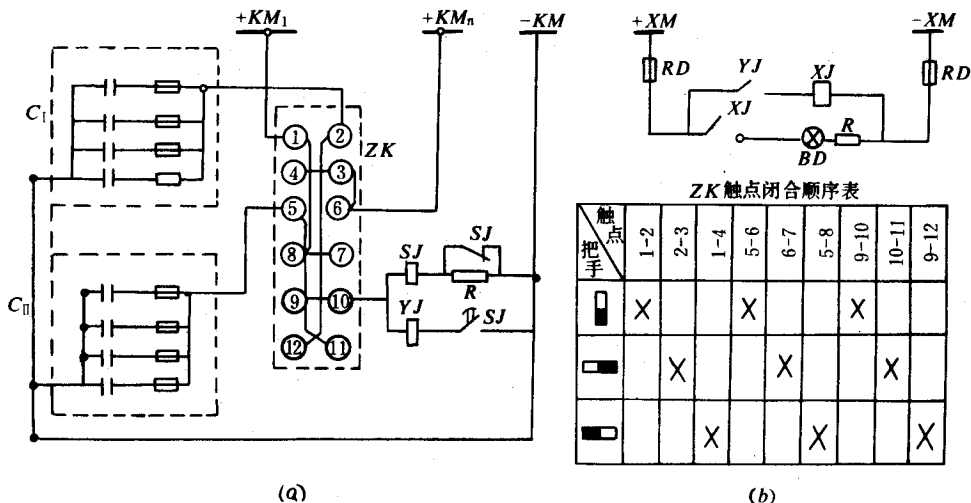


图 26-33 装有两组补偿电容器的直流系统接线图

(a)原理接线图 (b)ZK 位置图

KM—控制母线 ;  $C_I$ 、 $C_{II}$ —电容器 ; ZK—转换开关 ; SJ—时间继电器 ;

YJ—电压继电器 ; XJ—信号继电器 ; BD—白灯

## (二) 复式整流直流系统

上述的补偿电容器直流系统 , 由于补偿容量不能太大 , 因而输出功率也不能太大 , 而且放电过程中电压变化剧烈 , 因此 , 又有复式整流的直流系统。

复式整流装置是指整流装置的电源不但由所用变压器或电压互感器供电 , 还能由反映故障电流的互感器供电 , 这样在正常工作情况下 , 交流电源可以作为整流装置的电源 , 而在线路发生故障时 , 由于故障电流增大 , 而使电流互感器的二次电流也相应增大 , 因此就可以利用电流互感器输出短路电流能量作用于继电保护装置和跳闸线圈 , 使它们可靠动作。

一般“电流源”有两个来源 , 一为主变压器高压侧电流互感器 , 它可以用来作为中压 (35kV) 或低压 (10kV) 侧出线故障的操作电源。另一为取自 110kV 线路的电流互感器 , 它可用来作为 110kV 系统故障时的操作电源。

## (三) 交流操作

不设置直流操作电源 , 操作用电完全取自交流 , 这样就可以避免设置复杂而庞大的直流供电系统 , 这样在正常工作时所用的断路器操作机构和继电保护装置都应该是交流型的。其原理接线 , 如图 26-34 所示。

图 26-34(a) 称为“去分流方式”接线。当线路正常时 , 电流互感器二次电流值不大 , 不足以使电流继电器 LJ 启动 , 因而它的常闭触点把跳闸线圈 TQ 分流 , 断路器不会跳闸 ; 当线路发生故障时 , 电流互感器 LH 二次电流增大 , 使电流继电器启动 , 其常闭触点打开 , 而常开触点闭合 , 使电流流过跳闸线圈 , 使断路器跳闸。目前在交流操作中 , 这种电路应用的最广泛 , 所应用的交流电流继电器型号为 GL-15、16 型。

图 26-34(b) 是用电容器供电的交流操作回路图 , 与补偿电容式直流系统相比 , 这种装置的电容器和充电装置都是分散设置的。从图 26-34(b) 可以看到 , 在正常情况下 , 因为电流互

感器二次电流不大 , 因而不足以起动电流继电器 LJ , 它的触点也处于断开状态 , 充电装置对电容 C 充电 ; 当线路发生故障后 , LJ 继电器启动 , 触点闭合 , 则电容 C 向跳闸线圈放电 , 使断路器跳闸 , 用电容供电的这种交流操作电路对某些保护装置是非常有效的。如瓦斯保护 , 在发生异常现象时 , 并没有大的二次电流出

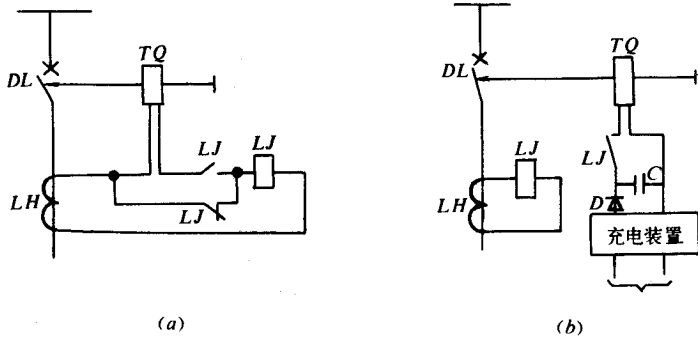


图 26-34 交流操作原理接线图

(a) 分流方式接线图 (b) 用电容器供电的交流操作回路图

DL—断路器 ; LH—电流互感器 ; TQ—跳闸线圈 ;

LJ—电流继电器 ; C—电容器 ; D—二极管

现, 只是瓦斯继电器触点闭合, 这时只要利用瓦斯继电器触点接通电容 C 向跳闸线圈回路供电, 就可以使断路器自动跳闸。



## 第二十七章 电力系统稳定运行技术

电力系统稳定性问题研究的重点是旋转电机的机械运动。稳定性问题就是当系统在某一正常运行状态下受到某种干扰以后,能否经过一段时间回到原来运行状态或者过渡到一个新的稳态运行状态的问题。如果能够回到新的运行状态,则认为系统在正常运行状态下是稳定的。反之,若系统的运行状态没有一个稳态值,而是随时间不断增大或振荡,则系统是不稳定的。应当特别指出的是:电磁暂态过程研究的重点是在假设旋转电机转速不变的情况下暂态过程中电流电压的变化规律,而在稳定性问题的研究中不能假设旋转电机转速不变。

下面结合一个简单系统说明稳定性的概念。图 27-1(a)示出了一发电机经变压器、线路和无穷大系统相连的简单系统。图中忽略了各元件的电阻及线路电纳,假设发电机  $X'_d = X_q$ , 其等值电动势  $\dot{E}'$  的幅值为常数,  $\dot{E}'$  方向代表了发电机转子轴线方向。正常运行时发电机和无限大容量系统是同步的,即在向量图中  $\dot{E}'$  和  $\dot{U}$  以同一速度 ( $\omega_0$ ) 旋转。 $\dot{E}'$  和  $\dot{U}$  之间的相角差  $\delta$  在一定负荷下是常数,即各向量之间的关系维持不变。发电机送出的功率和电流都是  $\delta$  的函数。如果由于某种干扰,如原动机功率突然变化等,使发电机的转速不再保持同步转速,例如比  $\omega_0$  同步速度快了,向量  $\dot{E}'$  旋转的速度比  $\dot{U}$  旋转的速度快,则  $\dot{E}'$  与  $\dot{U}$  之间一直不同步,即  $\delta$  不断地变化,此时电流  $i = \frac{\dot{E}' - \dot{U}}{jX_\Sigma}$  和系统中任一点电压的幅值将不断地振荡,输送功率也不断地振荡以致系统不能正常工作,这种情况称为系统不稳定。若经过一肺时间后角度  $\delta$  能回到扰动前的状态或者回到一个新的稳定状态,则系统稳定。

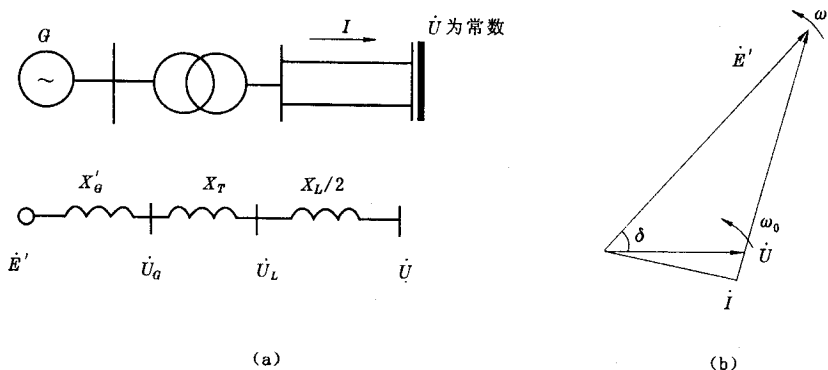


图 27-1 简单系统

(a)系统图 (b)向量图

为了便于研究,一般将电力系统稳定性问题分为两类,即静态稳定性和暂态稳定性。所谓电力系统静态稳定性是指电力系统在某个运行状态下,突然受到任意的小扰动后能恢复到原来或者与原来很接近的运行状态的能力。在小扰动干扰下,可对系统状态方程进行线性化采用特征根方法进行分析。电力系统的暂态稳定性是指电力系统在某个运行状态下,突然受到较大的干扰后能够过渡到新的稳定运行状态或者回到原来运行状态的能力。大扰动下系统状态方程不能线性化,且由于系统结构和参数可能会发生变化而会导致系统状态方程发生变化,通常的分析方法是时域仿真法、等面积法和暂态能量函数法。

电力系统稳定性问题还可按时间长短分为短期、中期和长期稳定。

## 第一节 同步发电机组的机电特性

### 一、转子运动方程

假设发电机的转子以电角速度  $\omega$  旋转 (即发电机的电动势向量以  $\omega$  旋转,如图 27-2 所示),某一参考向量  $\dot{U}$  以同步速度  $\omega_0$  旋转,它们之间的夹角为  $\delta$ 。实际上,  $\delta$  代表的是转子轴线与同步旋转的参考轴夹角,是转子轴线的位参量。可以说电力系统稳定性问题就是要研究功角  $\delta$  随时间的变化趋势。当  $\omega$  不等于  $\omega_0$  时,  $\delta$  不断变化,是时间的函数,显然有以下关系

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= \omega - \omega_0 \\ \frac{d^2\delta}{dt^2} &= \frac{d\omega}{dt} \end{aligned} \right\}$$

转子运动方程为

$$\frac{T_J}{\omega_0} \times \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P_E$$

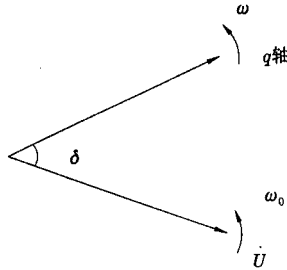


图 27-2 转子旋转示意图

上式中  $T_J$  为发电机组的惯性时间常数,单位为秒,一般手册上给出的  $T_J$  均为以发电机本身额定容量为功率基准值,在系统分析时应转换到系统基准功率下。 $\omega_0$  为同步角速度,且  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ,  $f_0$  为电网频率,单位为 Hz; $\delta$  的单位为弧度; $t$  单位为 s; $P_T$  的单位是标么值,它是原动机功率,近似分析中,可认为  $P_T$  恒定; $P_E$  的单位是标么值,它是发电机电磁输出功率。

### 二、发电机电磁转矩和功率

严格地讲,分析同步发电机受到干扰后的机电暂态过程,必须将转子运动方程式和同步电机回路基本方程式联立求解。但是,在解决工程实际问题时,往往针对要研究的问题进行了某些简化。例如在分析短路电流时,近似认为发电机转速保持同步转速。同样,在分析稳定问题时也作了某些假设。

1. 略去发电机定子绕组电阻。
2. 假设发电机转速接近同步转速,即  $\omega = 1$ 。
3. 不计定子绕组中的电磁暂态过程,不考虑直流,以及高次谐波电流产生的电磁功率。
4. 认为发电机暂态电势在电机受到干扰的瞬间是不变的,近似地认为自动调节励磁装置的作用能补偿暂态电势的衰减,可用恒定的暂态电势作为发电机的等值电动势。

若近似地认为  $X'_d = X_p$ , 由同步电机基本方程式有

$$\left. \begin{aligned} E' &= U_q + I_d X'_{d\Sigma} \\ 0 &= U_d - I_q X'_{d\Sigma} \end{aligned} \right\}$$

将式代入有功功率表达式, 有

$$\begin{aligned} P_{E'} &= \operatorname{Re}(\hat{U} \hat{I}) = (U_d + jU_q)(I_d - jI_q) = U_d I_d + U_q I_q \\ &= \left( \frac{E'_q - U_d}{X'_{d\Sigma}} \right) U_d + \frac{U_d}{X'_{d\Sigma}} U_q = \frac{E' U}{X'_{d\Sigma}} \sin \delta \end{aligned}$$

如果近似地认为  $E'$  恒定, 可将  $P_{E'}$  绘成功角特性曲线(如图 27-3 所示)。

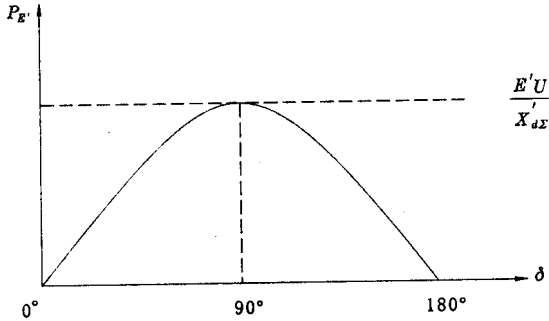


图 27-3 简单系统功角曲线

应当指出的是, 若  $X'_d \neq X_q$ , 此时发电机可用暂态过程中  $E'_q$  恒定来模拟, 发电机输出电磁功率可用暂态电势  $E'_q$ 、无限大电原电压  $U$ 、线路电抗以及功角  $\delta$  表示。

用暂态电势  $E'_q$  表示的电流电压关系如下:

$$\left. \begin{aligned} E'_q &= U_q + I_d X'_{d\Sigma} \\ 0 &= U_d - I_q X_{q\Sigma} \end{aligned} \right\}$$

其电磁功率为

$$PE'_q = \frac{E'_q U}{X'_{d\Sigma}} \sin \delta - \frac{U^2 X_{q\Sigma} - X'_{d\Sigma}}{2 X_{d\Sigma} X'_{d\Sigma}} \sin 2\delta$$

同样可以得出发电机用其它等值电路(电势)模拟时的功角曲线, 可参见有关文献。

## 第二节 网络计算目的与电力线路损耗

本章叙述电力网络稳态行为特性的计算方法。首先引入电力线路的电压降落、功率损耗及电能损耗等基本概念, 进而论述高压线路的输电能力问题。电力系统的潮流计算是稳态分析的主要内容, 也是安全性及经济性评估的基础工作。本节叙述了简单网络潮流的人工计算方法、复杂网络潮流的计算机方法——牛顿-拉弗森方法及简化条件下的直流算法。

### 一、网络计算目的

电力网络由电力线路与变压器等主要输配电元件构成, 这是一种具有许多支路和结点的电气网络, 通常由输(配)电线路构成支路, 而结点实际上即为母线。在发电机母线上功率被注入网络, 而在变(配)电站的母线上则接有负荷, 其间, 功率在网络中流动。对于这种流动的功率, 电力工业部门称之为潮流。

按电力设施分布地域的大小电力网络可区分为区域网与地方网(输电网及配电网)。由电力网络的结构又可区分为开式网与闭式网。以电力网络潮流、电压计算为主要内容的电力网络稳态行为特性计算,其目的在于估计对用户电力供应的质量以及为电力网运行的安全性与经济性评估提供基础数据。配电网潮流算法是配电网分析的基础,配电网的网络重构等工作都需要用到配电网潮流数据。区域电网潮流计算也是一项基础性的工作。潮流分析的一些重要方面如下:

1. 满足系统经济性运行的要求,每一台发电机的输出必须接近于预先设定值,负荷是时刻变化的,其电量需求经历着缓慢的但幅度较宽的变化。一天中各个小时的潮流形态是不同的。运行人员特别关注于系统负荷的高峰与低谷时刻的潮流形态。除政党运行方式外,主要设备检修方式下的潮流状态也是必须检验的;
2. 必须确保联络线潮流低于线路势极限和电力系统稳定极限;
3. 必须保持某些中枢点母线上的电压水平在容许范围内,必要时可用无功功率补偿计划来达到;
4. 区域电网是互联系统的一部分,必须执行合同规定的输送至邻网的联络线功率计划;
5. 用故障前的潮流控制策略使事故扰动效应最小。

电力网络稳态行为特性计算的原始数据来源于用户变电站的容量、电源容量、电源供给的电压、电力网中枢点的电压要求以及由线路和变压器参数形成的等值电路。这类稳态分析是用功率和电压进行计算的,其原因在于实际系统中的电源和负荷通常都以功率形式给出。这不同于基础课程中用电压和电流进行计算,例如对于某一支路用集中参数表示时两端电压可以不同,支路电流只有一个,而支路两端的功率确可以不同,这是因为集中参数存在着功率损耗的缘故。电力网络方程用电压、电流表示时一般是线性的,而用功率、电压表示时则是非线性的,因而后者需要借助于迭代解法。此外,注意到在同一计算系统中,需要一个惟一的参考相量例如电压参考相量通常称之为基准电压以及在将电压与电流的乘积转换为功率时必须将同一种约定(本书采用式(2-20))贯彻始终。

## 二、电力线路损耗

### (一) 电力线路上的电压降落

电压是电能质量的指标之一,电力网络在过行过程中必须把某些母线上的电压保持在一定范围内,以满足用户电气设备的电压处于额定电压附近的允许带段内。但是当电流(功率)在电力网络中的各个元件上流过时,将产生电压降落,直接影响用户端的电压质量。因此,电压降落的计算为分析电力网运行状态所必需。

若将电力线路的 $\Pi$ 形等值电路两端的并联电容暂略去,则有如图27-4所示的简单串联阻抗电路。在该串联支路上的电压降落即为该支路首末两端电压的盯量差:

$$\Delta \dot{U}_\varphi = \dot{U}_{\varphi 1} - \dot{U}_{\varphi 2} = \dot{I}(R + jX)$$

式中 $\Delta \dot{U}_\varphi$ 为1端至2端的相电压降落; $\dot{U}_{\varphi 1}$ 、 $\dot{U}_{\varphi 2}$ 分别为1、2端的相电压相量; $i$ 为串联支路的电流,即线路电流; $R$ 、 $X$ 分别为线路电阻及线路电抗。

在工程实际中常常给定的是结点上的功率而不是支路电流。由图27-4可见

$$i = \left( \frac{\dot{S}_{\varphi 1}}{\dot{U}_{\varphi 1}} \right)^* = \left( \frac{\dot{S}_{\varphi 2}}{\dot{U}_{\varphi 2}} \right)^*$$

式中 $\dot{S}_{\varphi 1}$ 、 $\dot{S}_{\varphi 2}$ 分别为串联阻抗1侧及2侧的单相支路功率。

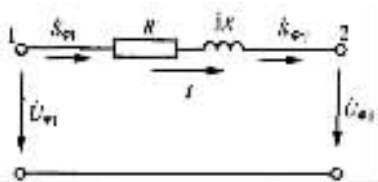


图 27-4 输电线等值电路

利用功率及电压求电压降落时出现两种情况:一是已知末端电压及功率求线路电压降落;一是已知首端电压及功率求线路电压降落。

1. 已知末端电压及功率(  $\dot{U}_{\varphi_2}$ 、 $\dot{S}_{\varphi_2}$  )求线路电压降落

首先设  $\dot{U}_{\varphi_2} = U_{\varphi_2} \angle 0^\circ$  ,即以末端相电压相量为基准相量。由  $\dot{S}_{\varphi_2}$  及  $\dot{U}_{\varphi_2}$  可以求得支路电流及功率因数角,即

$$i = \left( \frac{\dot{S}_{\varphi_2}^*}{\dot{U}_{\varphi_2}} \right) = I \angle (-\varphi_2) = I \cos\varphi_2 - jI \sin\varphi_2$$

则有

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_\varphi &= (I \cos\varphi_2 - jI \sin\varphi_2) \times (R + jX) \\ &= (IR \cos\varphi_2 + IX \sin\varphi_2) + j(IX \cos\varphi_2 - IR \sin\varphi_2) \end{aligned}$$

如图 27-5 所示,定义  $\Delta U_{\varphi_2}$  及  $\delta U_{\varphi_2}$  分别为电压降落  $\Delta \dot{U}_\varphi$  的纵分量及横分量,则有

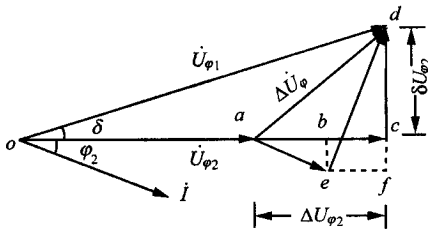


图 27-5 输电线电压降落

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_{\varphi_2} &= \overline{ab} + \overline{bc} = IR \cos\varphi_2 + IX \sin\varphi_2 \\ \delta U_{\varphi_2} &= \overline{fd} + \overline{fc} = IX \cos\varphi_2 - IR \sin\varphi_2 \end{aligned} \right\}$$

将

$$P_{\varphi_2} = U_{\varphi_2} I \cos\varphi_2, Q_{\varphi_2} = U_{\varphi_2} I \sin\varphi_2$$

分别代入式得到

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_{\varphi_2} &= \frac{P_{\varphi_2} R + Q_{\varphi_2} X}{U_{\varphi_2}} \\ \delta U_{\varphi_2} &= \frac{P_{\varphi_2} X - Q_{\varphi_2} R}{U_{\varphi_2}} \end{aligned} \right\}$$

由于

$$\Delta \dot{U}_\varphi = \Delta U_{\varphi_2} + j\delta U_{\varphi_2}$$

则有

$$\dot{U}_{\varphi_1} = \dot{U}_{\varphi_2} + \Delta \dot{U}_\varphi = (U_{\varphi_2} + \Delta U_{\varphi_2}) + j\delta U_{\varphi_2}$$

又因

$$\dot{U}_{\varphi_1} = U_{\varphi_1} \angle \delta$$

故有

$$\left. \begin{aligned} U_{\varphi_1} &= \sqrt{(U_{\varphi_2} + \Delta U_{\varphi_2})^2 + (\delta U_{\varphi_2})^2} \\ \delta &= \tan^{-1} \frac{\delta U_{\varphi_2}}{U_{\varphi_2} + \Delta U_{\varphi_2}} \end{aligned} \right\} \quad (27-1)$$

在工程实际中,常用三相功率及线电压计算,为方便起见,可利用单相电路进行三相计算。如图 27-6 所示,  $\dot{S}_1$  及  $\dot{S}_2$  分别为串联阻抗支路 1 侧及 2 侧的支路三相复功率,  $\dot{U}_1$  及  $\dot{U}_2$  分别为 1 端及 2 端的线电压相量,  $\Delta \dot{U}$ 、 $\Delta U$  及  $\delta U$  分别代表电压降落、电压降落的纵分量及电压降落横分量的线电压量,  $R$  及  $X$  仍为线路每相电阻及电抗,则有

$$\begin{aligned} \Delta U &= \sqrt{3} \Delta U_{\varphi_2} = \sqrt{3} \times \frac{P_{\varphi_2} R + Q_{\varphi_2} X}{U_{\varphi_2}} \times \frac{3}{3} \\ &= \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} \end{aligned}$$

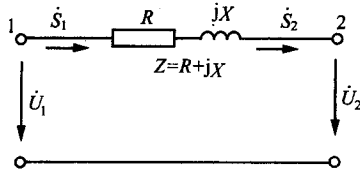


图 27-6 输电线等值电路

同理，

$$\delta U = \frac{P_2 X - Q_2 R}{U_2}$$

于是有

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U} &= \Delta U + j\delta U \\ U_1 \angle \delta &= (U_2 + \Delta U) + j\delta U \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned} U_1 &= \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + (\delta U)^2} \\ \delta &= \tan^{-1} \frac{\delta U}{U_2 + \Delta U} \end{aligned}$$

在一般情况下,  $U_2 + \Delta U \gg \delta U$ , 从而可将有关式子按二项式定理展开, 略去高阶项, 得到

$$U_1 \doteq (U_2 + \Delta U) + \frac{(\delta U)^2}{2(U_2 + \Delta U)} \quad (27-2)$$

进一步简化为

$$U_1 \doteq (U_2 + \Delta U) + \frac{(\delta U)^2}{2U_2}$$

再简化为

$$U_1 \doteq U_2 + \Delta U$$

式(27-1)(27-2)中每相阻抗、电纳的单位为  $\Omega, S$ ; 功率和电压常用 MVA、MW、Mvar 表示的三相功率和以 kV 表示的线电压。在工程计算中 110kV 及以下网络均可按式(27-2)处理, 而在 220kV 及以上电压级网络才需计入电压降落横分量的影响。

2. 已知始端电压及功率, 求线路电压降落

现直接从始端线电压及始端三相功率, 求取末端线电压。取  $\dot{U}_1 = U_1 \angle 0^\circ$ , 即以始端线电压  $\dot{U}_1$  为基准相量。根据图 27-6, 则由

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \sqrt{3} \left( \frac{\dot{S}_1}{\sqrt{3} U_1} \right)^* Z$$

可得

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= U_1 - \frac{P_1 - jQ_1}{U_1} (R + jX) \\ &= \left( U_1 - \frac{P_1 R + Q_1 X}{U_1} \right) + j \left( \frac{P_1 X - Q_1 R}{U_1} \right) \end{aligned}$$

使

$$\Delta U' \equiv \frac{P_1 R + Q_1 X}{U_1}, \quad \delta U' \equiv \frac{P_1 X - Q_1 R}{U_1}$$

故有

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \Delta \dot{U}' = (U_1 - \Delta U') - j\delta U'$$

如图 27-7 所示。且有

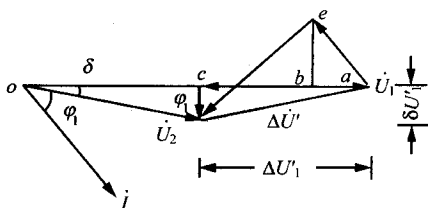


图 27-7 输电线的电压降落

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U')^2 + (\delta U')^2}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{\delta U'}{U_1 - \Delta U'}$$

注意到上述两种计算情况所采用的基准电压相量是各不相同的。如图 27-8 所示,其中  $\Delta U \neq \Delta U'$ ,  $\delta U \neq \delta U'$ , 但  $(\Delta U + j\delta U)$  的模和  $(\Delta U' + j\delta U')$  的模  $\Delta U$  以及两种情况下功角的绝对值  $\delta$  则是相等的。

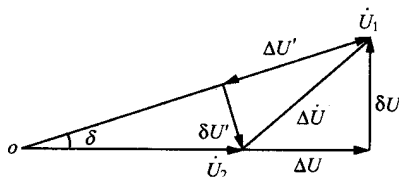


图 27-8 电压降落的分解

还应注意这些计算情况都是在线路末端负荷以滞后功率因数运行下导出的。若负荷以超前功率因数运行,则有关公式中的无功功率负荷应改变符号,这时电压降落的纵分量可能为负值,即线路末端电压可能高于始端。这时需要采取措施,如在高压输电线路空载或轻载时投入并联电抗器,以抑制容性无功功率流动,防止末端电压升高。

在高压架空输电系统中,输电线及变压器的参数常呈现  $R \ll X$ ,从而可在忽略  $R$  的条件下计算电压降落。这时纵分量主要取决于所输送的无功功率,而横分量主要取决于所输送的有功功率,纵分量主要影响电压的大小,横分量主要影响电压的相角。也就是两端电压的数值差主要取决于所输送的无功功率,两端电压的相位差主要取决于所输送的有功功率。

电力变压器等值电路中的阻抗支路参数已知时,计算变压器内部电压降落的方法与上述方法相同。

### 3. 电压质量指标

除线路电压降落(两端电压的相量差)这一电压质量指标之外,电压损耗、电压偏移、电压调整等也是标志电压质量的重要指标。

电压损耗是指线路始末两端电压的数值差,用百分值表示时为

$$\text{电压损耗} \% = \frac{U_1 - U_2}{U_N} \times 100$$

式中,  $U_N$  为线路额定电压。

由图 27-9 可见,电压损耗接近电压降落的纵分量。

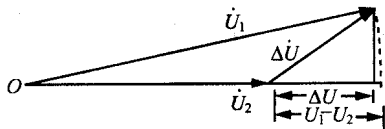


图 27-9 电压损耗与电压降落纵分量

电压偏移是指线路始端或末端电压与线路额定电压的数值差。用百分值表示时为

$$\text{始端电压偏移 } \% = \frac{U_1 - U_N}{U_N} \times 100$$

$$\text{末端电压偏移 } \% = \frac{U_2 - U_N}{U_N} \times 100$$

电压调整是指线路末端空载与负载时电压的数值差。用百分值表示时为

$$\text{电压调整 } \% = \frac{U_{20} - U_2}{U_N} \times 100$$

式中,  $U_{20}$  为线路空载时的末端电压。

## (二) 电力线路上的功率损耗

电流通过阻抗或导纳支路时将在其上产生功率损耗。功率损耗的计算分析涉及输(配)电线路的效率问题。功率损耗分为在电阻或电导上产生的有功功率损耗和在电抗或电纳上产生的无功功率损耗。电力线路的 II 形等值电路由串联支路和并联支路组成, 因而有功功率损耗或无功功率损耗可分为与传输电流(功率)有关的损耗和与结点电压有关的损耗。

如图 27-10 所示, 设已知末端电压  $\dot{U}_2$ , 末端功率  $\dot{S}_2$ , 求线路的功率损耗及始端功率  $\dot{S}_1$ 。

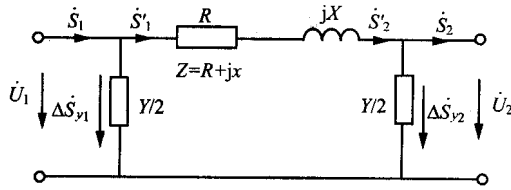


图 27-10 电力线路的电压与功率

先求线路末端导纳支路的功率损耗  $\Delta \dot{S}_{y2}$ 。运用三相等值 Y 形接法的概念可得

$$\begin{aligned} \Delta \dot{S}_{y2} &= 3 \left( \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_2 e^{-j30^\circ} \right) \times \left( \frac{Y}{2} \frac{\dot{U}_2}{\sqrt{3}} e^{-j30^\circ} \right)^* \\ &= \dot{U}_2 \left( \frac{Y}{2} \dot{U}_2 \right)^* = \frac{1}{2} (G - jB) \dot{U}_2^2 \\ &= \frac{1}{2} G \dot{U}_2^2 - j \frac{1}{2} B \dot{U}_2^2 = \Delta P_{y2} - j \Delta Q_{y2} \end{aligned}$$

阻抗支路末端的功率为

$$\begin{aligned} \dot{S}_2 &= \dot{S}_2 + \Delta \dot{S}_{y2} = (P_2 + jQ_2) + (\Delta P_{y2} - j \Delta Q_{y2}) \\ &= (P_2 + \Delta P_{y2}) + j(Q_2 - \Delta Q_{y2}) = P'_2 + jQ'_2 \end{aligned}$$

阻抗支路中的功率损耗为

$$\begin{aligned} \Delta \dot{S}_Z &= 3 \left( \frac{\dot{S}'_2}{\sqrt{3} \dot{U}_2} \right)^2 Z = \left( \frac{\dot{S}'_2}{\dot{U}_2} \right)^2 Z = \frac{P'^2_2 + Q'^2_2}{\dot{U}_2^2} (R + jX) \\ &= \frac{P'^2_2 + Q'^2_2}{\dot{U}_2^2} R + j \frac{P'^2_2 + Q'^2_2}{\dot{U}_2^2} X = \Delta P_Z + j \Delta Q_Z \end{aligned}$$

阻抗支路始端的功率为

$$\begin{aligned} \dot{S}'_1 &= \dot{S}'_1 + \Delta \dot{S}_Z = (P'_2 + jQ'_2) + (\Delta P_Z + j \Delta Q_Z) \\ &= (P'_2 + \Delta P_Z) + j(Q'_2 + \Delta Q_Z) = P'_1 + jQ'_1 \end{aligned}$$

始端导纳支路的功率损耗为

$$\begin{aligned} \Delta \dot{S}_{y1} &= \dot{U}_1 \left( \frac{Y}{2} \dot{U}_1 \right)^* = \frac{1}{2} (G - jB) \dot{U}_1^2 \\ &= \frac{1}{2} G \dot{U}_1^2 - j \frac{1}{2} B \dot{U}_1^2 = \Delta P_{y1} - j \Delta Q_{y1} \end{aligned}$$

始端功率为

$$\dot{S}_1 = \dot{S}'_1 + \Delta \dot{S}_{y1} = (P'_1 + jQ'_1) + (\Delta P_{y1} - j \Delta Q_{y1})$$



$$=(P_1 + \Delta P_{y1}) + j(Q_1 - \Delta Q_{y1}) = P_1 + jQ_1$$

注意到在求取  $\Delta \dot{S}_{y1}$  进而求取  $\dot{S}_1$  时都必须在已知  $\dot{U}_1$  的情况下方能实施。

在求得线路两端有功功率以后,就可求取输电效率:

$$\text{输电效率}\% = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$

虽然  $P_1$  总是大于  $P_2$ ,但线路始端输入的无功功率  $Q_1$  却未必一定大于线路末端输出的无功功率  $Q_2$ 。因线路电容吸取容性无功功率,即发出感性无功功率。线路轻载时,电容中发出的感性无功功率可以大于电抗中消耗的感性无功功率,以致从端点看  $Q_2$  可能大于  $Q_1$ ,由此将引起末端电压升高。必要时在末端接入无功功率补偿装置吸收多余的感性无功功率以抑制末端电压升高。

变压器常用  $\Gamma$  形等值电路表示,也具有串联阻抗支路及并联导纳支路(励磁支路)。其有功功率损耗及无功功率损耗的求取方法与上述方法相同,从而为变压器运行的经济分析提供数据。变压器的有功功率损耗包括绕组铜耗与铁芯损耗,无功功率损耗包括绕组电抗中的损耗和励磁损耗。变压器的无功功率损耗是电力网中无功功率损耗的主要部分。

### (三) 电力线路上的电能损耗

电力线路上的电能损耗是指一定时间段内由线路的功率损耗所导致的电能消耗。由于负荷不断变化,因而功率损耗是时间的函数。线路上的电能损耗可用下述一般式表示:

$$\Delta A = \int_0^t \Delta p(t) \lambda dt$$

式中  $\Delta A$  为线路的电能损耗,  $\text{kW} \cdot \text{h}$ ;  $\Delta p$  为线路的功率损耗,  $\text{kW}$ 。

由于用户负荷特性具有很大的随机性,功率损耗难以用解析函数表达。在电力网络规划设计时,常用制定的曲线估算电能损耗。这类曲线(表格)是根据典型负荷曲线分析而得到的。一种沿用的方法是根据最大负荷利用小时  $T_{\max}$  查取最大负荷损耗时间  $\tau_{\max}$ 。

$T_{\max}$  是指一年中负荷消费的电能  $A$  除以一年中的最大负荷  $P_{\max}$  所得到的利用小时,即

$$T_{\max} = \frac{A}{P_{\max}}$$

不同行业有不同的最大负荷利用小时数。

$\tau_{\max}$  是指全年电能损耗  $\Delta A$  除以最大负荷时的功率损耗  $\Delta P_{\max}$  所得到的时间,即

$$\tau_{\max} = \frac{\Delta A}{\Delta P_{\max}}$$

图 27-11 表示  $\tau_{\max}$  与  $T_{\max}$  的关系曲线。由用户负荷的  $T_{\max}$  及线路传输功率的功率因数  $\cos\varphi$  通过该图上的曲线可查得  $\tau_{\max}$ , 则全年电能损耗即为

$$\Delta A = \Delta P_{\max} \cdot \tau_{\max}$$

当沿线有多个负荷时可用加权平均方法计算  $\Delta A$ 。

式中的  $\Delta P_{\max}$  未包括线路电晕损耗,这是因为 330kV 以下的线路电晕损耗很小的缘故。

应该指出的是上述计算曲线方法精度并非很高。虽然可用于规划设计中,但对于运行中的电力网络未必适用。对于运行中的 35kV 以上供电网电能损耗的计算可运用基于统计分析的结点等效功率法,该法的原始数据主要来源于电度表。对于配电网电能损耗计算可运用回归分析法。

根据电能损耗的计算结果可以求得线损率:

$$\text{线损率}\% = \frac{\Delta A}{A_1} \times 100$$

式中  $A_1$  为线路始端输入电能,  $A_1 = A_2 + \Delta A$ ,  $A_2$  为线路末端输出电能。

变压器中的功率损耗分为铜耗与铁耗。铜耗是可变损耗,铁耗可认为是不变损耗,可用相应的方法求得变压器中的电能损耗。

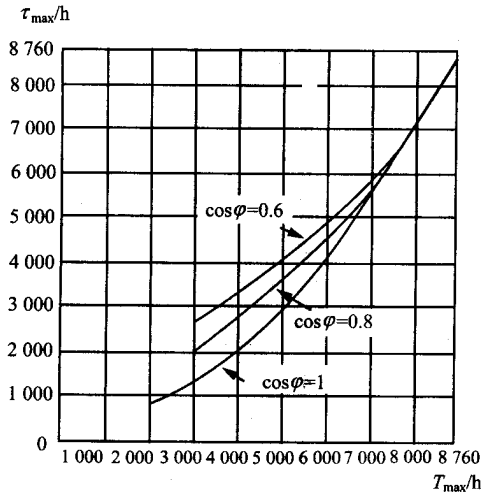


图 27-11 表明损耗时间与最大负荷利用时间关系的曲线

### 第三节 多机系统中发电机的功率

这里假设发电机以一个等值电抗和该电抗后的电动势来表示( $X'_d$  和  $E'$ )。假定除了发电机电势节点以外,已消去了网络中所有其它的中间节点,则任一发电机的电磁功率为

$$\begin{aligned} P_{E'_i} &= \text{Re}(\hat{E}'_i \hat{I}_i) = \text{Re}(\hat{E}'_i \sum_{j=1}^G \hat{E}'_j \hat{Y}'_{ij}) = E'_i \sum_{j=1}^G E'_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \\ &= E'^2_i G_{ii} + E'_i \sum_{j \neq i}^G E'_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \\ &= E'_i G_{ij} + E'_i \sum_{j \neq i}^G E'_j |Y_{ij}| \sin(\delta_{ij} + \beta_{ij}) \end{aligned}$$

式中,  $Y_{ij}$  为发电机电势节点  $i$  和  $j$  之间的互导纳 ( $G_{ij} + jB_{ij}$ ),  $|Y_{ij}|$  为  $Y_{ij}$  的模值;  $G$  为发电机的总台数,  $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$ ,  $\delta_i$ 、 $\delta_j$  为电动势  $\hat{E}_i$  与  $\hat{E}_j$  相对于某一参考量的夹角;  $\beta_{ij}$  为  $\arctan G_{ij}/B_{ij}$ 。对于两机系统,则两机的功率表达式为

$$\begin{aligned} P_{E'_1} &= E'^2_1 G_{11} + E'_1 E'_2 |Y_{12}| \sin(\delta_{12} + \beta_{12}) \\ P_{E'_2} &= E'^2_2 G_{22} + E'_1 E'_2 [G_{12} \sin \delta_{12} - B_{12} \sin \delta_{12}] \\ &= E'^2_1 G_{22} - E'_1 E'_2 |Y_{12}| \sin(\delta_{12} - \beta_{12}) \end{aligned}$$

例 试计算图 27-1X(a) 所示系统在发电机暂态电动势  $E'$  为常数情况下的功率特性。图中的所有参数均以发电机 1 的额定功率为基准值。

【解】1) 根据正常运行方程式计算  $E'_1$  和  $E'_2$

由图 27-1X(b) 得:

$$E'_1 = \dot{U}_{101} + jX'_{d1} \dot{I}_1 = 1 + j0.7 \times \frac{0.9 - j0.4}{1} = 1.28 + j0.63 = 1.43 \angle 26.2^\circ$$

$$E'_2 = \dot{U}_{101} + jX'_{d2} \dot{I}_2 = 1 + j0.1 \times \frac{1.8 - j0.9}{1} = 1.09 + j0.18 = 1.10 \angle 9.38^\circ$$

$$\delta_{12|101} = 26.2^\circ - 9.38^\circ = 16.9^\circ$$

(2) 网络化简, 计算  $Y_{11}$ 、 $Y_{12}$ 、 $Y_{22}$

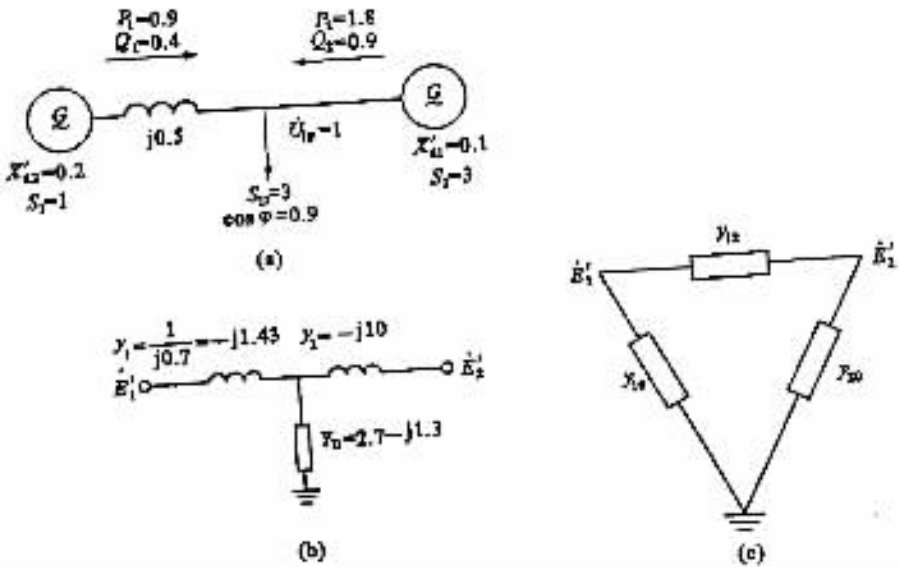


图 27-12 系统图

(a) 系统图 (b) 等值电路 (c) 网络化简

首先计算负荷等值导纳

$$Y_D = \frac{P_D - jQ_D}{U_{10}^2} = 2.7 - j1.3$$

系统的等值星形网络如图 27-12(b) 将其变换为三角形网络如图 27-12(c) 其中三个支路的导纳为

$$y_{12} = \frac{y_1 y_2}{\sum y} = \frac{(-j1.43)(-j10)}{-j1.43 - j10 + 2.7 - j1.3} = \frac{-14.3}{2.7 - j12.73} = -1.1 \angle 78^\circ$$

$$= -0.23 - j1.07$$

$$y_{10} = \frac{(-j1.43)(2.7 - j1.3)}{2.7 - j12.73} = 0.33 \angle -37.7^\circ = 0.26 - j0.20$$

$$y_{20} = \frac{-j10(2.7 - j1.3)}{2.7 - j12.73} = 2.3 \angle -37.7^\circ = 1.82 - j1.4$$

$$Y_{11} = y_{10} + y_{12} = 0.03 - j1.27$$

$$Y_{12} = -y_{12} = 0.23 + j1.07 = 1.1 \angle 78^\circ$$

$$Y_{22} = y_{20} + y_{12} = 1.59 - j2.47$$

(3) 求功率特性

将上述计算结果代入式(2)中得

$$P_{E_1} = E_1'^2 G_{11} + E_1' E_2' |Y_{12}| \sin(\delta_{12} + \beta_{12}) = 0.061 + 1.73 \sin(\delta_{12} + 12^\circ)$$

$$P_{E_2} = E_2'^2 G_{22} - E_1' E_2' |Y_{12}| \sin(\delta_{12} - \beta_{12}) = 0.061 - 1.73 \sin(\delta_{12} - 12^\circ)$$

## 第四节 高压电力线路的输送能力分析

对一般小于 200km 的线路当输送功率不甚大时 输电能力主要取决于允许的电压损失、功率损耗与能量损耗。这与无功功率补偿设备、导线材料和电流密度有关,有时由导线的允许发热程度决定。当输送功率特大以及远距离输电时还将产生电网稳定问题。本节只讨论中、短距离线路的输送能力问题。

## 一、按导线允许持续发热条件决定输送能力

由导线允许的持续发热条件,电力线路的传输容量可按式决定:

$$P \leq \sqrt{3} U_N I_p \cos \varphi$$

式中, $P$ 为三相输送功率, MW; $U_N$ 为线路额定电压, kV; $I_p$ 为按允许持续发热条件确定的安全电流, kA; $\cos \varphi$ 为线路末端负载的功率因数。

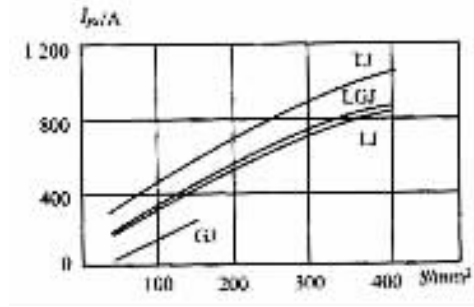


图 27-13 钢、铜、铝及钢芯铝绞线允许载流量<sup>[2]</sup>

GJ—钢绞线; LJ—铝绞线;

LGJ—钢芯铝绞线; TJ—铜绞线

图 27-13 为导线材料在室外架设时环境温度为 25℃ 时,一回线的允许载流量。表 27-1 为钢芯铝线在周围温度为 25℃ 及导线最高允许温度为 70℃ 时,对于不同电压下的导线截面与输送容量的关系。如果导线周围平均气温不是 25℃ 时,则导线允许载流量应该按表 27-2 的温度修正系数进行修正。

表 27-1 单回线按允许持续发热条件的输送容量<sup>[2]</sup>

导线截面/mm <sup>2</sup>		电压/kV		
		35	110	220
		输送容量/MVA		
LGJ	50	13.3		
	70	16.6	52.4	
	95	20.3	63.7	
	120	23.0	72.3	
	150	27.0	85.7	
	185	31.2	98.0	
	240	36.9	116.0	
LGJQ	300		135	270
	400		161	322
	500			368

表 27-2 温度修正系数<sup>[2]</sup>

周围气温/°C	15	20	25	30	35	40
铝质导线温度修正系数	1.11	1.05	1.00	0.94	0.88	0.81

## 二、按线路允许电压损失条件决定输送能力

当输送能力以负荷矩表示时,则有

$$P_2 l = \frac{U_2^2 \Delta U\%}{100(r_0 + x_0 \tan \varphi_2)}$$

式中,  $P_2 l$  为负荷矩;  $P_2$  为末端功率, MW;  $l$  为送电距离, km;  $\Delta U\%$  为线路允许的电压损耗;  $r_0$ 、 $x_0$  分别为每公里线路的电阻、电抗值,  $\Omega/\text{km}$ ;  $U_2$  为线路末端电压, kV;  $\tan \varphi_2$  为末端电压与电流间夹角的正切函数。

按式计算 35、110kV 线路在电压降低 10% 时的  $P_2 l$  值见表 27-3。对于长度在 150km 以上的输电线路,应考虑线路充电功率的影响,在这一条件下  $P_2 l$  值将比式的计算值大,当  $l$  为 200km 时约大 20%。

表 27-3 35、110kV 线路在  $\Delta U\% = 10$  时的负荷矩 (MW·km)<sup>[2]</sup>

导线型号	电压 35kV					电压 110kV			
	$\cos \varphi_2$					$\cos \varphi_2$			
	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.95	0.90	0.85	0.80
LGJ-35	115.8	109.8	104.5	100	95.2				
LGJ-50	143.7	134.8	127	120.2	113.9				
LGJ-70	186	171.8	160	149.3	140	2000	1797	1650	1530
LGJ-95	234.5	212.6	195	180	166.7	2570	2250	2030	1856
LGJ-120	267	239	217.3	199	183	2960	2545	2268	2058
LGJ-150	309	273	246	223	203.4	3490	2948	2585	2320
LGJ-195	347	303	270	244	221	3980	3288	2850	2540
LGJ-240						4580	3710	3180	2792

## 三、按线路允许功率损耗和电能损耗决定输送能力

输电线路的功率损耗由下式计算:

$$\Delta P\% = \frac{3I^2 r}{P_2} \times 100 = \frac{\sqrt{3} j \rho l}{10 U_2 \cos \varphi_2}$$

式中  $\Delta P\%$  为以线路末端输出功率  $P_2$  为基准的功率损耗百分值;  $j$  为电流密度,  $\text{A}/\text{cm}^2$ ;  $\rho$  为导线电阻率,  $\Omega \cdot \text{cm}^2/\text{km}$ ;  $l$  为导线长度, km;  $U_2$  为线路末端电压, kV。

电能损耗按下式计算:

$$\Delta A \% = \Delta P \% \frac{\tau_{\max}}{T_{\max}}$$

式中  $\Delta A \%$  为以全年输送总电量为基准的全年电能损耗百分值。

输电线路的功率损耗通常不应超过  $5\% \sim 6\%$  , 与些对应的电能损耗不宜超过  $4\%$  。

## 第五节 简单电力系统的静态稳定

### 一、单机无穷大系统的静态稳定性

电力系统的静态稳定性问题是研究系统在小干扰下电力系统的行为特征。在图 27-1 所示的一台发电机经变压器、线路与无限大容量系统并联运行的简单系统中, 假设发电机  $x'_d = x_q$ , 则在某运行状态下发电机的向量图如图 27-1(a) 所示, 其中  $X'_{d\Sigma} = X'_d + X'_T + X'_L/2$ 。

发电机输出的电磁功率为

$$P_E = UI \cos \varphi = \frac{E' U}{X'_{d\Sigma}} \sin \delta$$

如果近似考虑发电机的励磁调节器的作用, 即认为发电机的暂态电动势  $E'$  恒定, 则发电机的功角特性曲线为如图 27-1(b) 所示的正弦曲线。

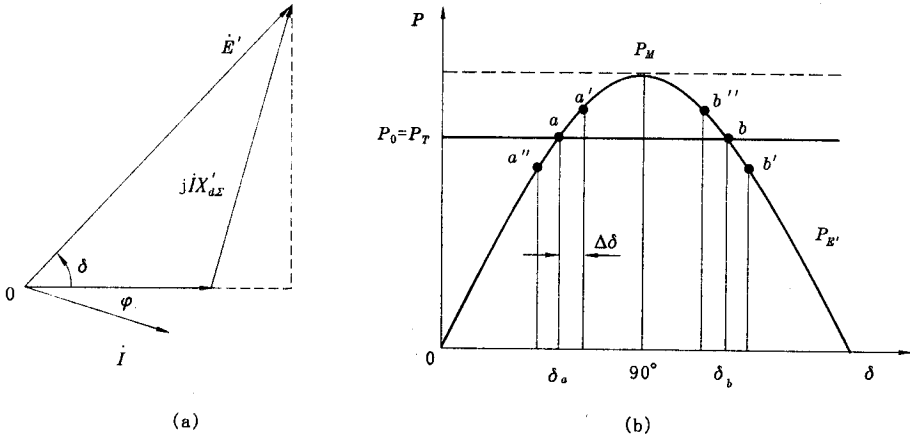


图 27-14 简单系统的功率特性

(a) 向量图 (b) 功率特性

若不计原动机调速器的作用, 则原动机的机械功率  $P_T$  不变。假定在某一正常运行情况下, 发电机向无限大系统输送的功率为  $P_0$ , 由于忽略了电阻损耗以及机组的摩擦、风阻等损耗,  $P_0$  等于原动机输出的机械功率  $P_T$ , 由图 27-1(b) 可见, 当输送  $P_0$  时, 可能有两个运行点  $a$  和  $b$  (即有两个  $\delta$  值, 其  $P_E = P_0 = P_T$ )。考虑到系统经常不断地受到各种小的扰动, 从下面的分析可以看到, 只有  $a$  点是能保持静态稳定的实际运行点, 而  $b$  点是不可能维持稳定运行的, 也就是静态不稳定的。

先分析  $a$  点的运行情况。如果系统中出现某种瞬时的微小扰动, 使功角  $\delta$  增加了一个微小增量  $\Delta\delta$ , 则发电机输出的电磁功率达到与图中  $a'$  相对应的值。这时, 由于原动机的机械功率  $P_T$  保持不变, 仍为  $P_0$ , 因此, 发电机输出的电磁功率大于原动机的机械功率。即转子过剩转矩为负值, 因而, 由转子运动方程可知, 发电机转子将减速,  $\delta$  将减小。由于在运动过程中存在阻尼作用, 经过一系列微小振荡后运行点又回到  $a$  点。

图 27-15(a) 中给出了功角  $\delta$  变化的情形。同样, 如果小扰动使  $\delta$  减小了  $\Delta\delta$ , 则发电机输出的电磁功率为点  $a''$  的对应值, 这时输出的电磁功率小于输入的机械功率, 转子过剩转矩为正, 转子将加速,  $\delta$  将增加。同样经过一系列振荡后又回到运行点  $a$ 。由上可见, 在运行点  $a$ , 当系统受到小扰动后能够自动恢复到原先的平衡状态, 因此是静态稳定的。

$b$  点的情况则完全不同, 如果小扰动使  $\delta_b$  有个增量  $\Delta\delta$ , 则发电机输出的电磁功率将减少到与  $b'$  点对应的值, 小于机械功率。过剩的转矩为正, 功角  $\delta$  将进一步增大。而功角增大时, 与之相应的电磁功率又将进一步减小。这样继续下去, 功角不断增大, 运行点不再回到  $b$  点, 图 27-15(b) 中画出了  $\delta$  随时间不断增大的情形。 $\delta$  的不断增大标志着发电机与无限大系统非周期性地失去同步, 系统中电源、电压和功率大幅度地波动, 系统无法正常运行, 最终将导致系统瓦解。如果小扰动使  $\delta_b$  有一个负的增量  $\Delta\delta$ , 情况又不同, 电磁功率将增加到与  $b''$  点相对应的值, 大于机械功率, 因而转子减速,  $\delta$  将减小, 一直减小到小于  $\delta_a$ , 转子又获得加速, 然后又经过一系列振荡, 在  $a$  点抵达新的平衡。运行点也不再回到  $b$  点。因此, 对于  $b$  点而言, 在受到小扰动后, 不是转移到运行点  $a$ , 就是与系统失去同步, 故  $b$  点是不稳定的, 即系统本身没有能力维持在  $b$  点运行。

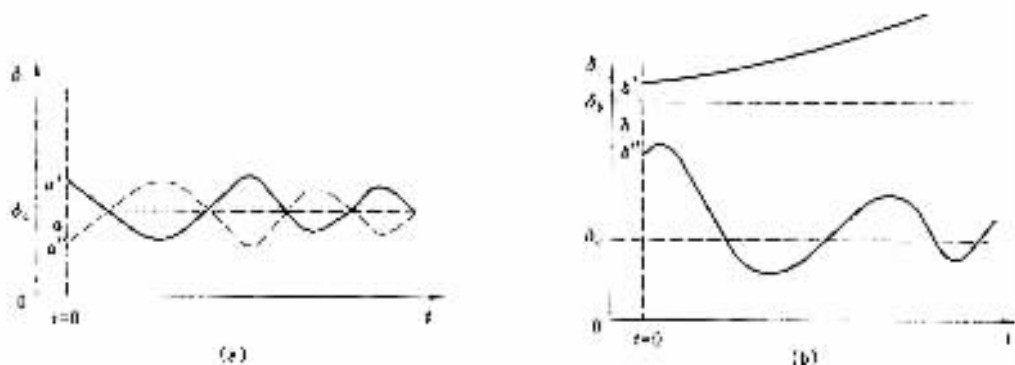


图 27-15 受小扰动后功角变化特性

(a) 运行点  $a$  (b) 运行点  $b$

下面进一步观察  $a$ 、 $b$  两个运行点的异同, 以便得出某些规律来判断系统的稳定与否。 $a$ 、 $b$  两点对应的电磁功率都等于  $P_0$ , 这是它们的共同点。但  $a$  点对应的功角  $\delta_a$  小于  $90^\circ$ , 在  $a$  点运行时, 随着功角  $\delta$  的增大, 电磁功率也增大, 随功角  $\delta$  的减小, 电磁功率也减少。而  $b$  点对应的功角  $\delta_b$  则大于  $90^\circ$ , 在  $b$  点运行时, 随功角  $\delta$  的增大, 电磁功率反而减少, 随功角  $\delta$  的减小, 电磁功率反而增大。换言之, 在  $a$  点, 两个变量  $\Delta P_E$  与  $\Delta\delta$  的符号相同, 即  $\Delta P_E / \Delta\delta > 0$ , 或改写为微分的形式  $dP_E / d\delta > 0$  (可简写为  $dP/d\delta > 0$ )。在  $b$  点, 两变量  $\Delta P_E$  和  $\Delta\delta$  的符号相反, 即  $\Delta P_E / \Delta\delta < 0$  或  $dP_E / d\delta < 0$ , 这是它们的不同点。因此, 可以得出结论:  $dP_E / d\delta > 0$  时, 系统是稳定的;  $dP_E / d\delta < 0$  时, 系统是不稳定的。即根据  $dP_E / d\delta$  是否大于零可以判断系统静态稳定与否。

综上所述, 对于目前所讨论的简单系统, 其静态稳定的判据为

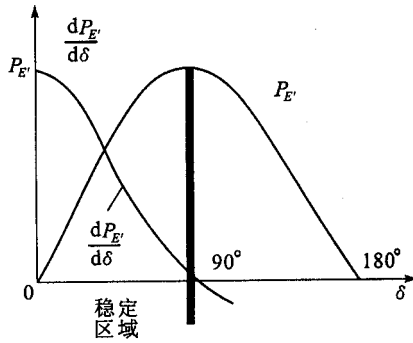
$$\frac{dP_E}{d\delta} > 0$$

导数  $dP_E / d\delta$  称为整步功率系数, 其大小可以说明发电机维持同步运行的能力, 即说明静态稳定的程度。由功率公式可以求得

$$\frac{dP_E}{d\delta} = \frac{E'U}{X'_{d\Sigma}} \cos\delta$$

图 27-16 画出了  $dP_E / d\delta$  和  $P_E$  的特性曲线。当  $\delta$  小于  $90^\circ$  时,  $dP_E / d\delta$  为正值, 在这个范围内发电机的运行是稳定的, 但当  $\delta$  愈接近  $90^\circ$ , 其值愈小, 稳定的程度愈低。当  $\delta$  等于  $90^\circ$  时, 是稳定与不稳定的分界点, 称为静态稳定极限。在所讨论的简单系统情况下, 静态稳定极限所对应的功角正好与最大功率或称功率极限的功角一致。

当然, 电力系统不应经常在接近稳定极限的情况下运行, 而应保持一定的储备, 其储备系数为

图 27-16  $dP_{E'}/d\delta$  的变化特性

$$K_p = \frac{P_M - P_0}{P_0} \times 100\%$$

式中  $P_M$ ——最大功率；

$P_0$ ——某一运行情况下的输送功率。

我国现行的《电力系统安全稳定导则》规定，系统在正常运行方式下  $K_p$  应不小于 15% ~ 20%，在事故后的运行方式下， $K_p$  不应小于 10%。所谓事故后的运行方式，是指事故后系统尚未恢复到它原始的正常运行方式的情况。例如，事故使双回路中的一回路被切除，有待重新投入，这时系统的联系被削弱了，即  $X'_{d\Sigma}$  增大， $P_M$  减小，可以暂时降低对稳定储备的要求。

## 二、负荷的静态稳定

前一节所讨论的是系统中各同步发电机组并列运行的稳定性。它是电力系统静态稳定的主要方面，但不是惟一的方面。这一节将从另一个侧面分析电力系统的稳定问题，即负荷稳定问题。实际上，负荷的稳定性和发电机组并列运行的稳定性是密切相关的。这里为了使过程清晰，将着重讨论异步电动机的稳定问题。图 27-17(a) 示出了一台发电机向负荷——异步电动机供电的情形。图 27-27(b) 为其等值电路。如果  $E'$  幅值保持恒定，电动机的电磁转矩近似地为

$$M_E \approx \frac{2M_{E\max}}{\frac{s_{cr}}{s} + \frac{s}{s_{cr}}}$$

式中  $M_{E\max}$ ——最大转矩， $M_{E\max} = \frac{E'_1}{\chi X'_{d\Sigma} + X}$ ；

$$s_{cr} \text{——临界转差率，} s_{cr} = \frac{r_2}{X'_{d\Sigma} + X}$$

图 27-18 中画出了电动机的转矩特性  $M_E - s$ ，同时还画出了机械转矩特性  $M_m - s$ ，这里假设机械转矩不随转速变化，即  $M_m$  为常数。如图 27-18 所示，电动机可能有两个运行点  $a$  和  $b$ 。可以采用和前面类似的方法分析得知，只有  $a$  点是静态稳定的，而  $b$  点是不稳定的。先分析  $a$  点的情况，如果有某种扰动使转差率  $s$  有一个很小的增量  $\Delta s$ ，则电动机电磁转矩对应于曲线上的  $a'$  点，这时电磁转矩大于机械转矩，电动机轴上出现正的过剩转矩，转子将加速， $s$  将减小。所以运行点仍将回到  $a$  点。同样，当扰动使转差率有个很小的负增量时，电动机也将回到原来的运行点  $a$ 。与  $a$  点的情况相反， $b$  点的运行状态在受到干扰后或者转到  $a$  点运行，或者就是转差率不断增大，最后使电动机停顿下来。所以  $b$  点是不稳定的。

由此可知，电动机静态稳定运行的判据为

$$\frac{dM_E}{ds} > 0$$



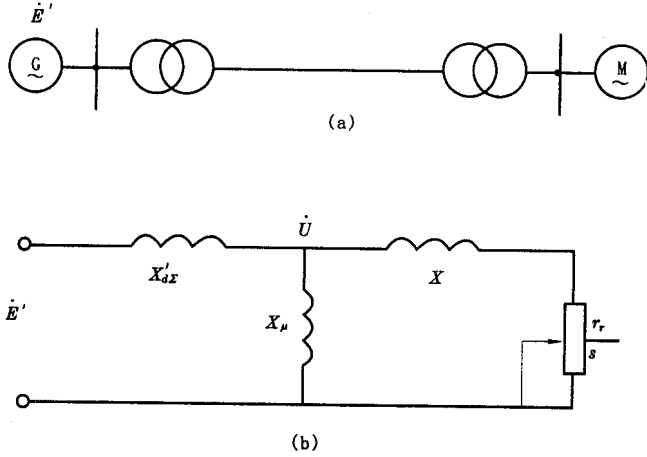


图 27-17 发电机向异步电动机供电系统  
(a)系统图 (b)等值电路

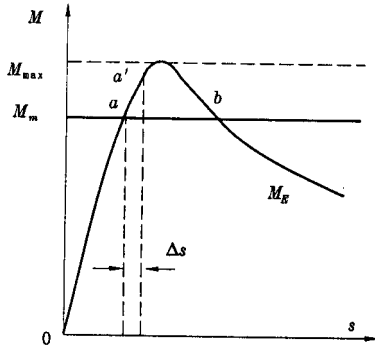


图 27-18 异步电动机的转矩特性

其稳定极限和转矩极限也是一致的。在机械转矩  $M_m$  达到极限值情况(如图 27-18 中虚线)时,其对应的转差率为临界转差率,在这种情况下,只要有一点扰动,电动机的转差率就不断增加而使电动机停顿。

前面从物理概念分析了两种简单系统的静态稳定问题,并得到了静态稳定的判据。下面将从数学上推导出简单系统的静态稳定判据,从而掌握一般的分析方法。

## 第六节 简单电力网络中的潮流分布方式

由电力网络中的电压、电流关系用结点法得到的结点方程或用回路法得到的回路方程都呈线性关系,当用功率、电压代替电压、电流进行计算时,网络中的功率与电压间呈现非线性关系,常用迭代法求解。简单网络方程可用人工计算,复杂网络方程求解则需借助计算机进行。简单网络方程的人工计算方法虽不足以解决复杂的工程问题,但有助于直观地了解计算过程并获得较清晰的潮流、电压分布概念。

## 一、开式电力网的潮流分布

如图 27-19(a) 所示的简单网络, 已知线路及降压变压器的参数。由元件参数可画出等值电路如图 27-19(b) 所示。根据已知条件的不同, 分为两种计算情况: 一种是给定始端(或末端)的功率及电压, 求潮流及电压分布; 另一种是给定末端功率及始端电压(或始端功率及末端电压)求潮流及电压分布。上述已知条件的不同源于电力网的实际状况, 若发电厂是基载厂则发出固定的功率给电网, 若发电厂的高压母线是电力网调压的中枢点则有母线电压规定范围, 若变电所具有调压设备, 6~10kV 母线则有调压要求。

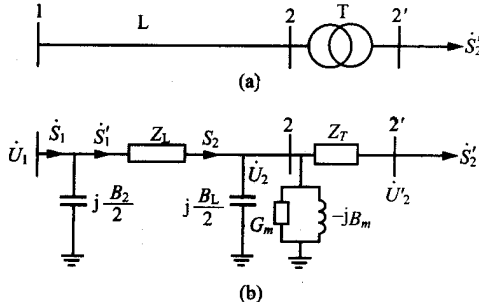


图 27-19 简单开式电网

(a) 开式网 (b) 等值电路

### (一) 已知末端功率及电压, 求潮流分布

如图 27-19(b) 所示, 线路和变压器参数已归算到变压器高压侧。设已知  $S'_2$  及  $U'_2$  求始端功率  $S_1$  及始端电压  $U_1$ 。

由于已知  $S'_2$  及  $U'_2$ , 可用式计算变压器串联阻抗  $Z_T$  上的电压损耗及功率损耗, 进而求得  $U_2$ 。由  $U_2$  求得变压器的励磁功率损耗和线路在 2 侧的充电功率, 从而求得线路串联阻抗后的功率  $S_2$ 。由  $S_2$  及  $U_2$  求得线路串联阻抗  $Z_L$  上的电压损耗、始端的电压  $U_1$  及线路串联阻抗前的功率  $S'_1$ 。由  $U_1$  求得线路 1 侧的充电功率, 进而求得线路的始端功率  $S_1$ 。

可见, 上述方法是将电压和功率由末端向始端逐级推进的计算方法。对于 110kV 及以下网络, 可略去电压降落的横分量, 从而使计算简化。计算中须注意到变压器参数及电压的归算。

例 电力线路长 100km<sup>2</sup>, 额定电压为 110kV, 末端接有一台容量为 20MVA, 变化为 110/38.5kV 的降压变压器。变压器低压侧负荷为 15 + j11.25MVA。正常运行时要求电压达 36kV。试求线路始端母线应具备的功率和电压。

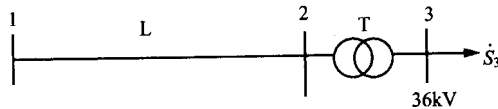


图 27-20 输电网络

线路采用 LGJ-120 导线, 其单位长度参数为

$$r_1 = 0.27\Omega/\text{km}, x_1 = 0.412\Omega/\text{km}, g_1 = 0, b_1 = 2.76 \times 10^{-6}\text{S}/\text{km}$$

归算至 110kV 侧的变压器参数为

$$R_T = 49.3\Omega, X_T = 63.5\Omega, G_T = 4.95 \times 10^{-6}\text{S}, B_T = 4.95 \times 10^{-6}\text{S}$$

解 根据以上数据, 进行网络参数计算如下:

线路用  $\Pi$  形等值电路表示, 其中

$$R_l = r_1 l = 0.27 \times 100 = 27\Omega$$

$$X_l = x_1 l = 0.412 \times 100 = 41.2\Omega$$

$$\frac{1}{2} B_l = \frac{1}{2} b_1 l = \frac{1}{2} \times 2.76 \times 10^{-6} \times 100 = 1.38 \times 10^{-4} S$$

变压器用  $\Gamma$  形等值电路表示, 其中

$$R_T = 4.93\Omega, X_T = 63.5\Omega$$

$$G_T = 4.95 \times 10^{-6} S, B_T = 49.5 \times 10^{-6} S$$

绘制等值电路如图 27-21 所示。

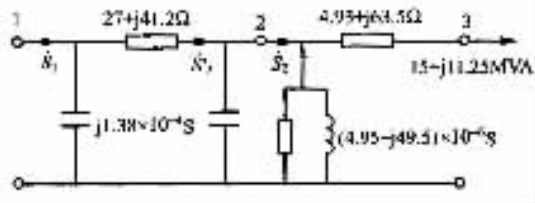


图 27-21 等值电路

$$U_3 = 36 \times 110 / 38.5 = 102.85 kV$$

$$\Delta P_{Z,T} = \frac{15^2 + 11.25^2}{102.85^2} \times 4.93 = 0.16 MW$$

$$\Delta Q_{Z,T} = \frac{15^2 + 11.25^2}{102.85^2} \times 63.5 = 2.11 Mvar$$

$$\Delta U_T = \frac{15 \times 4.93 + 11.25 \times 63.5}{102.85} = 7.6 kV$$

$$\delta U_T = \frac{15 \times 63.5 - 11.25 \times 4.93}{102.85} = 8.71 kV$$

$$U_2 = \sqrt{(102.85 + 7.67)^2 + 8.71^2} = 110.86 kV$$

当忽略  $\delta U_T$  时,  $U_2 = 102.85 + 7.67 = 110.52 kV$

$$\delta_T = \tan^{-1} \frac{8.71}{102.85 + 7.67} = 4^\circ 31'$$

$$\Delta P_{Y,T} = 4.95 \times 10^{-6} \times 110.52^2 = 0.06 MW$$

$$\Delta Q_{Y,T} = 49.5 \times 10^{-6} \times 110.52^2 = 0.6 Mvar$$

$$\dot{S}_2 = (15 + 0.16 + 0.06) + j(11.25 + 2.11 + 0.6) = 15.22 + j13.96 MVA$$

$$\Delta Q_{Y,l_2} = 1.38 \times 10^{-4} \times 110.52^2 = 1.68 Mvar$$

$$\dot{S}'_2 = 15.22 + j(13.96 - 1.68) = 15.22 + j12.28 MVA$$

$$\Delta P_{Z,l} = \frac{15.22^2 + 12.28^2}{110.52^2} \times 27.0 = 0.845 MW$$

$$\Delta Q_{Z,l} = \frac{15.22^2 + 12.28^2}{110.52^2} \times 41.2 = 1.289 Mvar$$

$$\Delta U_l = \frac{15.22 \times 27 + 12.28 \times 41.2}{110.52} = 8.30 kV$$

$$\delta U_l = \frac{15.22 \times 41.2 - 12.28 \times 27}{110.52} = 2.67 kV$$

忽略  $\delta U_l$  时,  $U_1 = 110.52 + 8.30 = 118.82 kV$

$$\delta_1 = \tan^{-1} \frac{2.67}{110.52 + 8.30} = 1^\circ 17'$$

$$\Delta Q_{Y,l_1} = 1.38 \times 10^{-4} \times 118.82^2 = 1.94 Mvar$$

$$\dot{S}_1 = (15.22 + 0.845) + j(12.28 + 1.289 - 1.948) = 16.07 + j11.62 MVA$$

由上述计算可得该输电系统的技术经济指标如下：

$$\text{始端电压偏移 } \% = \frac{118.82 - 110}{110} \times 100 = 8.02$$

$$\text{末端电压偏移 } \% = \frac{36 - 35}{35} \times 100 = 2.86$$

$$\text{电压损耗 } \% = \frac{118.82 - 102.85}{110} \times 100 = 14.5$$

$$\text{输电效率 } \% = \frac{15}{16.07} \times 100 = 93.34$$

由上述计算还可得出一些有用的概念：

① 电压数值计算中略去电压降落的横分量时并不会产生大误差。如略去  $\delta U_T$ ，本例的误差仅 0.3%。

② 变压器电压降落的纵分量值主要取决于变压器电抗与无功负荷的乘积部分。

③ 变压器中无功功率损耗远大于有功功率损耗，是电网中无功功率损耗的主要组成部分。

④ 线路负荷较轻时，线路电纳中吸收的容性无功功率大于电抗中消耗的感性无功功率，这时线路成为感性无功功率源。

## (二) 已知末端功率及始端电压，求潮流分布

如图 27-19(b) 所示，参数已归算到变压器高压侧，设已知  $S'_2$  及  $U'_2$ ，求始端功率  $S_1$  及末端电压  $U_2$ 。

因为给定的电压和功率并不属于同一结点，当用式计算电压损耗及功率损耗时，将出现非线性方程组，原则上必须用迭代解法。一种工程近似方法是先假设全网各结点均为额定电压，由末端向始端推算各元件的功率损耗和全网功率分布而不计算各结点电压。待求得首端功率后，由给定的首端电压，根据网络的基本功率分布，从首端至末端推算各元件的电压损耗和各结点的电压，并不再重新计算全网的功率分布。实践证明，该近似方法具有可以接受的工程计算精度。

例 输电网络如图 27-19 所示。电力线路长 80km，采用 LGJ-120 导线，其 II 形等值电路的参数为

$$Z_L = 21.6 + j33.0\Omega, \frac{B_L}{2} = 1.1 \times 10^{-4}S$$

线路额定电压为 110kV。末端接有一台容量为 20MVA、变比为 110/38.5kV 的降压变压器，归算至 110kV 侧的变压器 T 形等值电路的参数为

$$R_T + jX_T = 4.93 + j63.5\Omega, G_T - jB_T = (49.5 - 4.95) \times 10^{-6}S$$

低压侧负荷为  $15 + j11.25MVA$ 。已知线路首端电压  $U_1 = 117.26kV$ 。求该输电网的潮流、电压分布。

解：先设全网各结点电压为线路额定电压 110kV，求潮流分布。

变压器阻抗中的功率损耗为

$$\Delta S_{ZT} = \frac{15^2 + 11.25^2}{110^2} \times (4.93 + j63.5) = 0.14 + j1.85MVA$$

变压器励磁功率为

$$\Delta S_{YT} = 110^2 \times (4.95 + j49.5) \times 10^{-6} = 0.06 + j0.6MVA$$

线路 2 侧的充电功率为

$$\Delta Q_{Y,2} = 110^2 \times (-j1.1 \times 10^{-4}) = -j1.33Mvar$$

线路串联阻抗后的功率为

$$S_2 = (15 + 0.14 + 0.06) + j(11.25 + 1.85 + 0.6 - 1.33) = 15.2 + j12.37MVA$$

线路串联阻抗上的功率损耗为

$$\Delta S_{ZL} = \frac{15.2^2 + 12.37^2}{110^2} \times (21.6 + j33) = 0.69 + j1.056MVA$$

线路 1 侧的充电功率为

$$\Delta Q_{Y,1} = 110^2 \times (-j1.1 \times 10^{-4}) = -j1.33Mvar$$

线路始端功率为

$$S_1 = (15.2 + j12.37) + (0.69 + j1.056) + (-j1.33) = 15.89 + j11.1MVA$$

由线路始端电压  $U_1$  向末端推算各结点电压：

$$\Delta U_L = \frac{15.89 \times 21.6 + 12.43 \times 33}{117.26} = 6.43 \text{ kV}$$

$$U_2 = 117.26 - 6.43 = 110.83 \text{ kV}$$

$$\Delta U_T = \frac{15.14 \times 4.93 + 13.1 \times 63.5}{110.83} = 8.18 \text{ kV}$$

$$U'_2 = 110.83 - 8.18 = 102.65 \text{ kV}$$

变压器低压侧电压为

$$U'_{(35)} = 102.65 \times \frac{38.5}{110} = 35.93 \text{ kV}$$

## 二、闭式电力网的潮流分布

闭式电力网可以理解为环形电网与两端供电网,如图 27-22 所示。闭式网具有供电可靠性高、运行灵活、电能质量好等优点。在已知结点功率条件下,求取闭式网的潮流、电压分布,需要迭代求解复数方程式。在人工计算的条件下常用近似方法。先假设全网为额定电压,求出变电所的“运算负荷”与发电厂的“运算功率”。如图 27-23 所示的简单环形网络。所谓变电所的运算负荷是指变电所低压侧的负荷功率加上变压器的功率损耗再加上变电所一次母线上所有相联线路的充电功率的一半而得到的运算负荷,如图 27-23(c)中的  $S_2$  及  $S_3$ 。所谓发电厂的运算功率是指发电厂的输出功率减去升压变压器的功率损耗再减去发电厂高压母线上所有相联线路充电功率的一半而得到的运算功率。如图 27-23(c)中的  $S_1$ 。经过这样的化简后,得到如图 27-23(d)所示的仅含串联阻抗支路的等值电路。在假设全网为额定电压下对图 27-23(d)求网络的基本功率分布,即在不考虑网络功率损耗的情况下求取功率分布。在基本功率分布的功率分界点,将闭式网络分解为两个开式网络,然后按照开式网的潮流、电压计算方法从功率分界点向电源点递推求取潮流、电压分布。

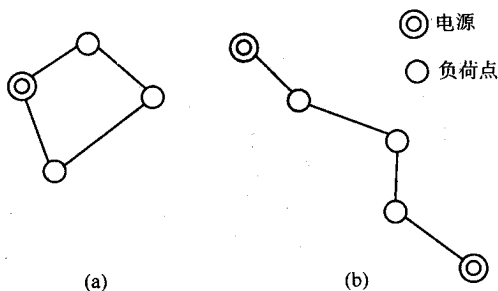


图 27-22 闭式电力网

(a) 环式 (b) 两端供电式

### (一) 环形电网的基本功率分布

如图 27-23(a) 所示的原始环形网络经过简化后已成为图 27-23(d) 所示的仅含串联阻抗支路的网络,待解的只有一个回路电压方程：

$$\sqrt{3} I_a e^{j30^\circ} Z_{12} + \sqrt{3} (I_a - I_2) e^{j30^\circ} Z_{23} + \sqrt{3} (I_a - I_2 - I_3) e^{j30^\circ} Z_{31} = 0$$

式中  $I_a$  为流经阻抗  $Z_{12}$  的支路电流;  $I_2$ 、 $I_3$  分别为结点 2、3 的负荷电流。

对式取共轭并乘以  $\dot{U}_N$  则可得下述近似式：

$$\dot{Z}_{12}^* \dot{S}_a + \dot{Z}_{23}^* (\dot{S}_a - \dot{S}_2) + \dot{Z}_{31}^* (\dot{S}_a - \dot{S}_2 - \dot{S}_3) = 0$$

由上式可解得流经阻抗  $Z_{12}$  支路的功率为

$$\dot{S}_a = \frac{(\dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{31})\dot{S}_2 + \dot{Z}_{31}\dot{S}_3}{\dot{Z}_{12} + \dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{31}}$$

同理 流经阻抗  $Z_{31}$  支路的功率为

$$\dot{S}_b = \frac{(\dot{Z}_{32} + \dot{Z}_{21})\dot{S}_3 + \dot{Z}_{21}\dot{S}_2}{\dot{Z}_{21} + \dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{31}}$$

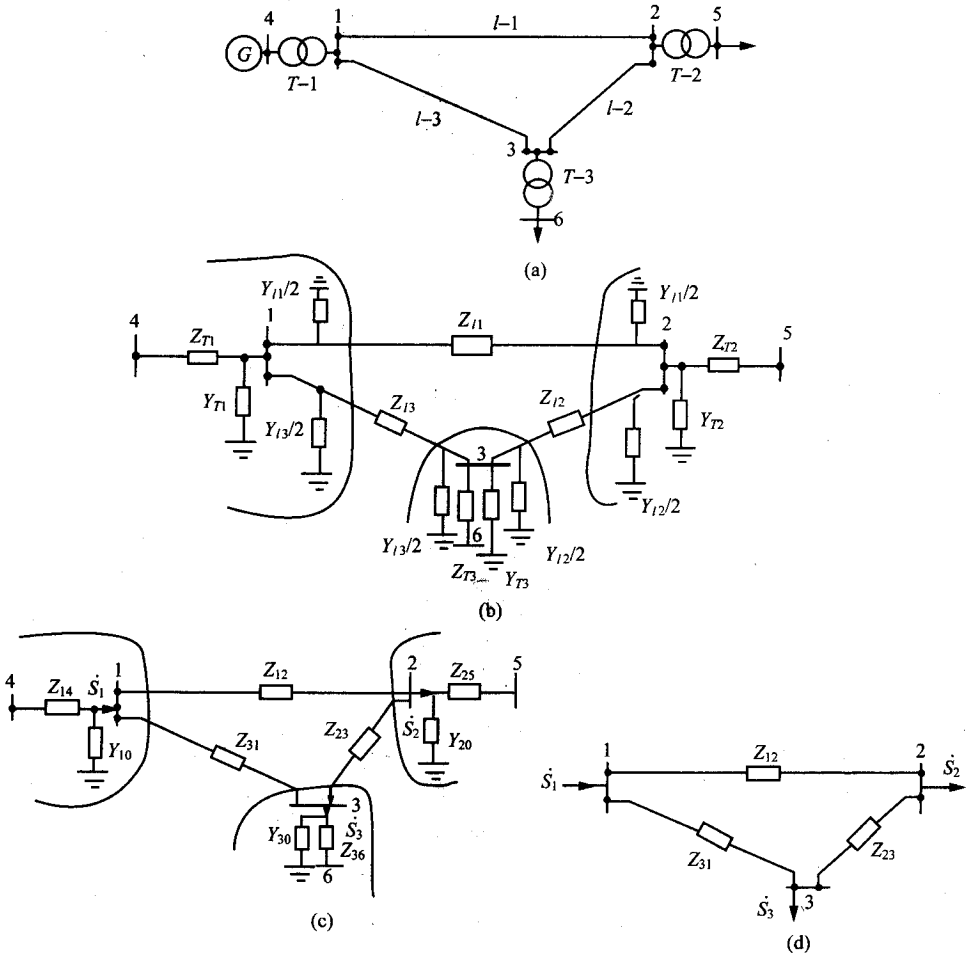


图 27-23 简单环式网络

(a) 网络接线图 (b) 等值电路 (c) 简化等值电路 (d) 运算等值电路

由图 27-23(d) 可得

$$\dot{S}_a - \dot{S}_2 = \dot{S}_{23}$$

或

$$\dot{S}_b - \dot{S}_3 = \dot{S}_{32}$$

且有

$$\dot{S}_a + \dot{S}_b = \dot{S}_2 + \dot{S}_3$$

由式可将图 27-23(d) 看成是两端供电网的待值电路 如图 27-24 所示 其电源端 1 及 1' 的端电压大小相等相位相同。并可式改写为

$$\dot{S}_a = \frac{\dot{S}_2 \dot{Z}_2 + \dot{S}_3 \dot{Z}_3}{\dot{Z}_\Sigma} = \frac{\sum \dot{S}_m \dot{Z}_m}{\dot{Z}_\Sigma} \quad m = 2, 3$$

$$\dot{S}_b = \frac{\dot{S}_2 \dot{Z}'_2 + \dot{S}_3 \dot{Z}'_3}{\dot{Z}_\Sigma} = \frac{\sum \dot{S}_m \dot{Z}'_m}{\dot{Z}_\Sigma} \quad m = 2, 3$$

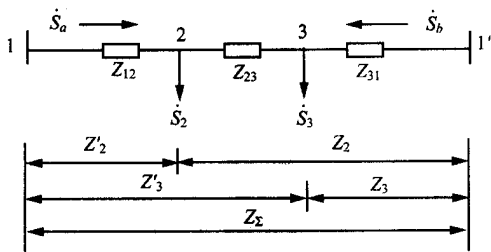


图 27-24 等值两端供电网

环形电网基本功率分布的关系式,它实质上反映了电流的分布。当从叠加原理看这一分布时,可看成是  $\dot{S}_2$  及  $\dot{S}_3$  分别存在时潮流分布的叠加。例如仅有  $\dot{S}_2$  存在时,观察潮流分布则有

$$\dot{S}_{12} = \frac{\dot{S}_2 \dot{Z}'_2}{\dot{Z}_\Sigma}$$

$$\dot{S}_{1'2} = \frac{\dot{S}_2 \dot{Z}'_2}{\dot{Z}_\Sigma}$$

式中

$$Z_\Sigma = Z_2 + Z'_2$$

由式可见,支路潮流分布与其阻抗成反比,我们称这种功率分布为环形电网的自然功率分布。

如将  $P, Q, R$  及  $X$  代入后,则可化成实数式。如果网络中各段线路单位阻抗相同(导线截面及架设型式相同),在上述两组算式中可用长度代替阻抗。

### (二) 两端供电网中的基本功率分布

如图 27-25 的两端供电网络,通常情况是端电压  $\dot{U}_1$  与  $\dot{U}_4$  的大小及相位不等。令  $\Delta\dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_4$ , 则可用类似解环形网的方法求取两端供电网的基本功率分布。因而有

$$\dot{Z}_{12} \dot{S}_a + \dot{Z}_{23} (\dot{S}_a - \dot{S}_2) + \dot{Z}_{34} (\dot{S}_a - \dot{S}_2 - \dot{S}_3) = U_N \Delta\dot{U}$$

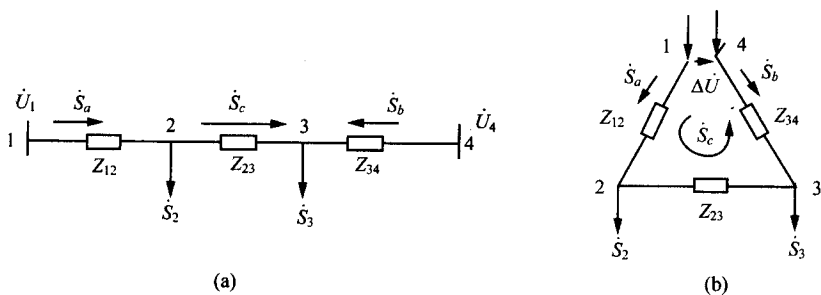


图 27-25 两端供电网络

(a) 两端供电网 (b) 等值环形网

可解得

$$\dot{S}_a = \frac{(\dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{34})\dot{S}_2 + \dot{Z}_{34}\dot{S}_3}{\dot{Z}_{12} + \dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{34}} + \frac{U_N \Delta\dot{U}}{\dot{Z}_{12} + \dot{Z}_{23} + \dot{Z}_{34}}$$

$$\dot{S}_b = \frac{\dot{Z}_{21}\dot{S}_2 + (\dot{Z}_{32} + \dot{Z}_{21})\dot{S}_3}{\dot{Z}_{43} + \dot{Z}_{32} + \dot{Z}_{21}} + \frac{U_N \Delta\dot{U}}{\dot{Z}_{43} + \dot{Z}_{32} + \dot{Z}_{21}}$$

由上式可见,两端供电网络的基本功率分布可看成是两个分量的叠加,一是两端电压相等时的功率分布,一是两端电压差引起的循环功率,因而式可改写为

$$\dot{S}_a = \frac{\sum \dot{S}_m \dot{Z}'_m}{\dot{Z}_\Sigma} + \dot{S}_c \quad m = 1, 2$$

$$\dot{S}_b = \frac{\sum \dot{S}_m \dot{Z}'_m}{\dot{Z}_\Sigma} - \dot{S}_c \quad m = 2, 3$$

式中,  $Z_m$ 、 $Z'_m$  的含义同式;  $S_c$  表示循环功率。

注意到循环功率  $S_c$  决定于两端电压的相量差与供电网总阻抗, 只在两电源间流动并不供给负载。循环功率的正方向与  $\Delta U$  方向一致, 取  $\Delta U = U_1 - U_4$  时, 则循环功率的设定方向由 1 端流向 4 端; 反之, 当取  $\Delta U = U_4 - U_1$  时, 循环功率的设定方向由 4 端流向 1 端。

环形网络中当存在串联电势时, 也有循环功率在环形网中流动。此时循环功率决定于环网的开口电压差与环网的总阻抗。

### (三) 闭式电网中的电压降落和功率损耗

在闭式电网中的基本功率分布求得以后, 必然会出现功率分界点, 如图 27-26 所示。该图中  $\blacktriangledown$ 、 $\nabla$  分别表示有功功率分界点和无功功率分界点。这样, 闭式网就可以在功率分界点解开, 看成两个开式网。运用开式网潮流分布计算方法, 设全网各结点电压为额定电压, 从功率分界点向电源点推算功率损耗, 由此得出的功率分布即为最终的功率分布。再由电源点(通常已知该点电压)向功率分界点推算各段线路电压损耗, 并得出各点电压分布。

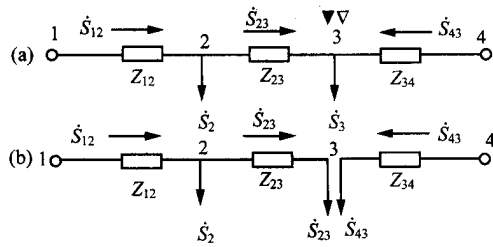


图 27-26 闭式电力网

(a) 闭式网 (b) 等值开式网

有时会出现有功功率分界点与无功功率分界点不在同一点的情况。由于在高压电网中电压损耗通常与无功功率强相关, 无功功率分界点的电压往往低于有功功率分界点的电压, 一般可以无功功率分界点作为闭式电网拆开后的起始计算点。

例 闭式电力网接线图如图 27-2 所示, 发电厂  $G_2$  为一基载厂, 承担固定负荷, 包括高压母线上的负荷, 其运算功率为  $117 - j22$ MVA, 变电所 H 的运算负荷(包括高压母线负荷)为  $440 + j136$ MVA。发电厂  $G_1$  承担除  $G_2$  供给功率以外的系统所需负荷及网络损耗。线路  $L_1$ 、 $L_2$  及  $L_3$  的阻抗分别为  $3.17 + j20.7\Omega$ 、 $5.13 + j27.2\Omega$  及  $7.33 + j48.0\Omega$ 。已知发电厂  $G_1$  的高压母线电压  $U_1$  为 238kV, 试计算潮流分布。

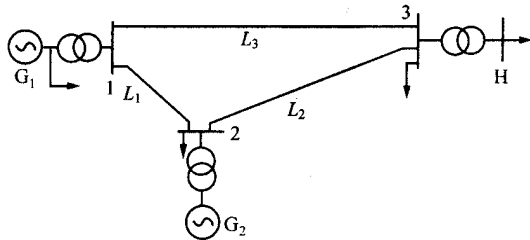


图 27-27 闭式电力网

解: 将闭式网从发电厂  $G_1$  的高压母线处解开得到如图 27-28 所示的等值网络。

先求基本功率分布

在式中令



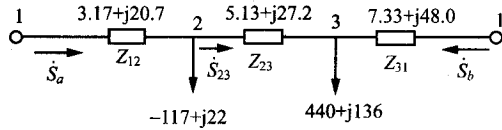


图 27-28 等值网络

$$\frac{1}{Z_{\Sigma}} = \dot{Y}_{\Sigma} = G_{\Sigma} + jB_{\Sigma} \text{ 这里 } G_{\Sigma} = \frac{R_{\Sigma}}{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}, B_{\Sigma} = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}$$

代入式 则有

$$P_a = G_{\Sigma} \sum (P_m R_m + Q_m X_m) + B_{\Sigma} \sum (P_m R_m - Q_m X_m)$$

$$Q_a = B_{\Sigma} \sum (P_m R_m + Q_m X_m) - G_{\Sigma} \sum (P_m R_m - Q_m X_m)$$

同理，

$$P_b = G_{\Sigma} \sum (P_m R'_m + Q_m X'_m) + B_{\Sigma} \sum (P_m X'_m + Q_m R'_m)$$

$$Q_b = B_{\Sigma} \sum (P_m R'_m + Q_m X'_m) - G_{\Sigma} \sum (P_m X'_m + Q_m R'_m)$$

故有

$$P_a = \frac{15.63}{15.63^2 + 95.9^2} [-117 \times 12.46 + 22 \times 75.2 + 440 \times 7.33 + 136 \times 48]$$

$$+ \frac{95.9}{15.63^2 + 95.9^2} [-117 \times 75.2 - 22 \times 12.46 + 440 \times 48 - 136 \times 7.33]$$

$$= 128.74 \text{ MW}$$

$$Q_a = \frac{95.9}{15.63^2 + 95.9^2} [-117 \times 12.46 + 22 \times 75.2 + 440 \times 7.33 + 136 \times 48]$$

$$- \frac{15.63}{15.63^2 + 95.9^2} [-117 \times 75.2 - 22 \times 12.46 + 440 \times 48 - 136 \times 7.33]$$

$$= 82.77 \text{ Mvar}$$

同理，

$$P_b = \frac{15.63}{15.63^2 + 95.9^2} [440 \times 8.3 + 136 \times 47.9 - 117 \times 3.17 + 22 \times 20.7]$$

$$+ \frac{95.9}{15.63^2 + 95.9^2} [440 \times 47.9 - 136 \times 8.3 - 117 \times 20.7 - 22 \times 3.17]$$

$$= 194.26 \text{ MW}$$

$$Q_b = \frac{95.9}{15.63^2 + 95.9^2} [440 \times 8.3 + 136 \times 47.9 - 117 \times 3.17 + 22 \times 20.7]$$

$$+ \frac{15.63}{15.63^2 + 95.9^2} [440 \times 47.9 - 136 \times 8.3 - 117 \times 20.7 - 22 \times 3.17]$$

$$= 75.23 \text{ Mvar}$$

$$\dot{S}_{23} = (P_a + jQ_a) - (P_2 + jQ_2)$$

$$= (128.74 + j82.77) - (-117 + j22) = 245.74 + j60.77 \text{ MVA}$$

校核：

$$\dot{S}_{23} + \dot{S}_b = (245.74 + j60.77) + (194.26 + j75.23) = 440 + j136 \text{ MVA} = \dot{S}_3$$

按上述计算结果绘制如图 27-29 所示。

分解网络，计算功率损耗及电压损耗。

在功率分界点 3 处拆成两个开式网，如图 27-30 所示。其中

$$\dot{S}_{23} = 245.74 + j60.77 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{13} = \dot{S}_b = 194.26 + j75.23 \text{ MVA}$$

设全网各结点电压均为额定电压 220kV，求取各线路段功率损耗。

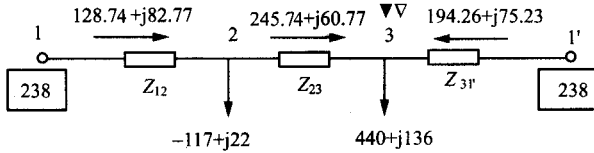


图 27-29 基本功率分布

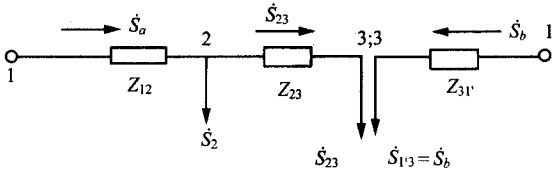


图 27-30 等值开式网

$$\Delta \dot{S}_{Z_{31'}} = \frac{194.26^2 + 15.23^2}{220^2} \times (7.33 + j48.0) = 6.57 + j43.04 \text{MVA}$$

$$\dot{S}_{1'} = (194.26 + j75.23) + (6.57 + j43.04) = 200.83 + j118.29 \text{MVA}$$

$$\Delta \dot{S}_{Z_{23}} = \frac{245.74^2 + 60.77^2}{220^2} \times (5.13 + j27.2) = 6.79 + j36.01 \text{MVA}$$

线路 23 中 2 侧的功率为

$$\dot{S}_{2R} = (245.74 + j60.77) + (6.79 + j36.01) = 252.53 + j96.78 \text{MVA}$$

线路 12 中 2 侧的功率为

$$\dot{S}_{2F} = (252.53 + j96.78) + (-117 + j22) = 135.53 + j118.78 \text{MVA}$$

$$\Delta \dot{S}_{Z_{12}} = \frac{135.53^2 + 118.78^2}{220^2} \times (3.17 + j20.7) = 2.13 + j13.89 \text{MVA}$$

$\dot{S}_1 = (135.53 + j118.78) + (2.13 + j13.89) = 137.66 + j132.67 \text{MVA}$  由结点 1 的电压推算结点 2、3 的电压：

$$\Delta U_{Z_{12}} = \frac{137.66 \times 3.17 + 132.67 \times 20.7}{238} = 13.15 \text{kV}$$

$$\delta U_{Z_{12}} = \frac{137.66 \times 20.7 - 132.67 \times 3.17}{238} = 10.04 \text{kV}$$

$$U_2 = \sqrt{(238 - 13.15)^2 + 10.04^2} = 225.07 \text{kV}$$

$$\Delta U_{Z_{23}} = \frac{252.53 \times 5.13 + 96.78 \times 27.2}{225.07} = 17.17 \text{kV}$$

$$\delta U_{Z_{23}} = \frac{252.53 \times 27.2 - 96.78 \times 5.13}{225.07} = 27.84 \text{kV}$$

$$U_3 = \sqrt{(225.07 - 17.17)^2 + 27.84^2} = 210 \text{kV}$$

校核：由结点 1' 的电压推算结点 3 的电压：

$$\Delta U_{Z_{1'3}} = \frac{200.83 \times 7.33 + 118.27 \times 48}{238} = 13.15 \text{kV}$$

$$\delta U_{Z_{1'3}} = \frac{200.83 \times 48 - 118.27 \times 7.33}{238} = 36.25 \text{kV}$$

$$U_3 = \sqrt{(238 - 13.15)^2 + 36.25^2} = 211 \text{kV}$$

以上计算结果可表示成如图 27-31 所示的潮流、电压分布图。

例 一低压环形电力网如图 27-32 所示，A 为电源点，b 为负荷点。线路段 1 由 2km 电缆敷设，线路段 2 由 2km 架空线架设。电缆和架空线的电阻为  $0.54\Omega/\text{km}$ ，架空线的电抗等于  $0.36\Omega/\text{km}$ ，电缆的电抗为零。b 点的负荷为  $100\text{A}$ ， $\cos\varphi = 1$ 。试求该环网的电流分布。

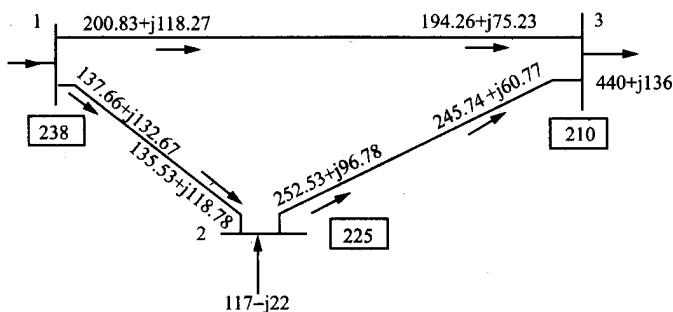


图 27-31 潮流电压分布

解 线路段 1 和 2 中的电流分别为

$$i_1 = 100 \times \frac{(0.54 + j0.36) \times 2}{0.54 \times 4 + j0.36 \times 2} = 55 + j15 \text{ A}$$

$$i_2 = 100 \times \frac{0.54 \times 2}{0.54 \times 4 + j0.36 \times 2} = 45 - j15 \text{ A}$$

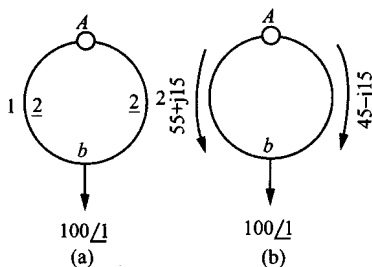


图 27-32 低压环形电力网

校验：

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = (55 + j15) + (45 - j15) = 100 \text{ A}$$

图 27-32(b) 示出了这一电力网的电流分布。由图可见，虽然负荷电流是纯有功电流，但在环网中除有功电流外，还有无功循环电流。这一现象的解释如下：

- ① 当线路段 1 和 2 只具有电阻而负荷是纯有功功率时，求得的  $i_1$  和  $i_2$  也是纯有功电流，电流  $i_1$  和  $i_2$  的分布可按两段线路上电压降相等的条件求出。
- ② 当线路段 1 和 2 只具有电抗而负荷是纯有功功率时，求得的  $i_1$  和  $i_2$  也将是纯有功电流。环网中的电流分布可按两段线路上的电压降相等的条件求出。此时线路段的电压降体现为与之相等的自感电动势。
- ③ 如果线路段 1 只具有电阻，而线路段 2 具有电阻及电抗，那么线路段 2 的自感电动势就不能得到平衡，因而在环形电网中须出现一个循环电流（亦称均衡电流），才可使两段线路中的电压降变成相等。这类电网称为严重不均一电网。

## 第七节 电力系统暂态稳定分析

暂态稳定性是研究电力系统在某个运行情况下突然受到大的干扰后，能否经过暂态过程后达到新的稳态运行状态或恢复到原来状态的问题。所谓大干扰，一般是指短路故障，突然断开线路或发电机等。如果系统在遭受大的干扰后仍能稳态运行，则系统在此情况下是暂态稳定的。反之，如果系统受到大的干扰后不能

达到稳态运行,而是各发电机转子间一直有相对运行,相对角不断变化,系统的功率、电流和电压都不断振荡,以致整个系统不能再继续运行下去,则称系统在这种情况下不能保持暂态稳定。

系统受到干扰以后一般要经过几个过程:①起始过程;②中间阶段;③后期阶段。本课程的电力系统暂态稳定性只涉及前两个阶段。

分析暂态稳定时的假设:

(1)在分析系统的暂态稳定时往往假设在故障后的暂态过程中,系统频率仍为 50Hz。

(2)忽略突然发生故障后网络中的非周期分量电流。

(3)当发生不对称故障时,忽略发电机定子回路中流过的负序和零序电流。这是因为负序电流产生的转矩平均值为零,而零序电流产生的转矩为零。必须指出,暂态稳定是研究电力系统受到大干扰后的过程,因此不能将状态方程线性化。

## 一、简单系统的暂态稳定性

图 27-33 示出了一发电机经线路、变压器向无限大系统送电的简单系统。如果发电机送出的电磁功率为

$$P_I = \frac{E'U}{X_I} \sin\delta$$

这里  $X_I = X_{T1} + X_{T2} + \frac{X_L}{2} + X'_d$ 。

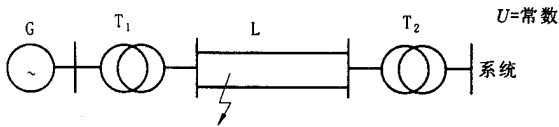


图 27-33 简单系统

如果突然在发电机侧发生不对称短路,只需要在正序网络的故障点上接上一附加电抗( $jX_\Delta$ ),正序增广网络可用于计算不对称短路时的电磁功率

此时

$$X_{II} = (X'_d + X_{T1}) + (\frac{X_L}{2} + X_{T2}) + \frac{(X'_d + X_{T1})(\frac{X_L}{2} + X_{T2})}{X_\Delta}$$

显然

$$X_{II} > X_I$$

若三相短路  $X_\Delta = 0$ ,此时  $X_{II} = \infty$ ,故障情况下发电机输出的电磁功率为

$$P_{II} = \frac{E'U}{X_{II}} \sin\delta$$

三相短路时发电机输出功率为零。

故障后,切除一回线路,则有

$$X_{III} = X'_d + X_{T1} + X_L + X_{T2}$$

此时发电机电磁功率为

$$P_{III} = \frac{E'U}{X_{III}} \sin\delta$$

电磁功率的功角曲线如图 27-34 所示。

故障前,转子角度为  $\delta_0$ ,此时对应 a 点。故障后,由于转子角度不能突变,此时发电机运行在 b 点,显然发电机的原动机功率大于电磁功率,发电机加速,如果当转子加速到  $\delta = \delta_c$  时切除故障,此时发电机运行点

由  $c$  点突变到  $e$  点,之后由于转子惯性,角度继续增大,注意到电磁功率大于原动机功率,发电机将减速,当发电机运行到  $f$  点时,  $\Delta\omega = 0$ ,之后发电机将减速。此时发电机第一摇摆是稳定的。注意到面积  $abcd$  与面积  $efgd$  是相等的。如果故障切除较晚,即  $\delta_c$  较大时,当发电机运行到  $h$  点时,  $\Delta\omega$  仍大于零,发电机越过点  $h$  之后,原动机功率大于电磁功率,转子加速,最终发电机将失去稳定,如图 27-35 所示。

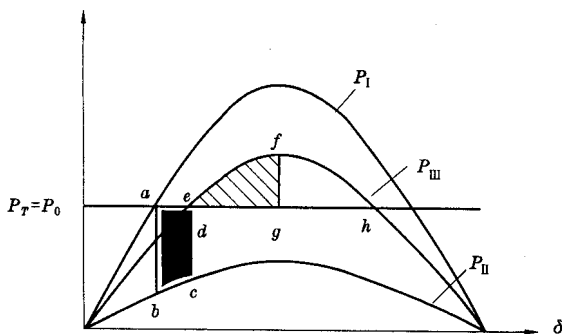


图 27-34 系统正常运行、故障以及故障切除后的功角曲线

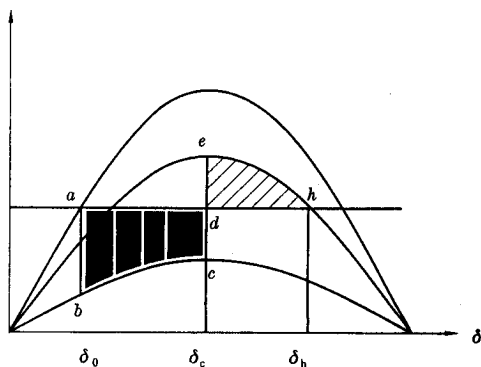


图 27-35 故障切除过晚的情形

可见,快速切除故障是保证暂态稳定的有力措施。下面介绍两种计算系统受扰后系统能否保持暂态稳定的方法。

## 二、等面积定则

由前面的分析可知,  $abcd$  所包围的面积为加速面积,  $defg$  所包围的面积为减速面积,可以证明当

$$\int_{\delta_0}^{\delta_c} (P_T - P_{II}) d\delta = \int_{\delta_c}^{\delta_h} (P_{III} - P_T) d\delta$$

时系统是暂态稳定的。上式(7.24)被称为等面积定则,即当系统受扰后,加速面积等于减速面积时,转子角速度恢复到同步速度,  $\delta$  达到  $\delta_m$  并开始减小。利用等面积定则,可以确定极限切除角度,即最大可能的  $\delta_c$ 。根据前面的分析可知,为了保持系统的稳定,必须在达到  $h$  点以前使转子恢复同步速度。极限情况是正好达到  $h$  点时转子恢复同步速度,这时的切除角度称为极限切除角度  $\delta_{cm}$ 。根据等面积定则有

$$\int_{\delta_0}^{\delta_{cm}} (P_T - P_{II}) d\delta = \int_{\delta_{cm}}^{\delta_h} (P_{III} - P_T) d\delta$$

$$\int_{\delta_{cm}}^{\delta_0} (P_T - P_{\parallel M} \sin \delta) d\delta = \int_{\delta_{cm}}^{\delta_h} (P_{\parallel M} \sin \delta - P_T) d\delta$$

可得极限切除角

$$\cos \delta_{cm} = \frac{P_T (\delta_h - \delta_0) + P_{\parallel M} \cos \delta_h - P_{\parallel M} \cos \delta_0}{P_{\parallel M} - P_{\parallel M}}$$

如果切除角度大于极限切除角度  $\delta_{cm}$ , 则系统失稳; 如果切除角度小于极限切除角度, 则系统稳定。通过时间积分办法可确定极限切除时间  $t_{cr}$ 。

例: 简单电力系统的接线如图 27-36 所示。设输电线路某一回线的始端发生两相接地, 试计算为保持暂态稳定而要求的极限切除角度。

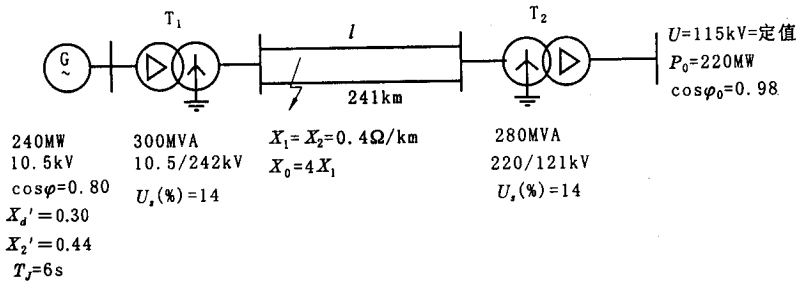


图 27-36 例系统图

【解】1) 选取基准值, 计算参数

取  $S_B = 220\text{MVA}$ ,  $(U_{K220}) = 209\text{kV}$ 。求得正常运行时等值电路和负序、零序等值电路中参数, 如图 27-37

(a) 归算后的  $T_J = 6 \times \frac{300}{220} = 8.18\text{s}$ 。

(2) 计算系统正常运行方式, 决定  $E'$  和  $\delta_0$

此时系统总电抗为

$$X_T = 0.295 + 0.138 + 0.243 + 0.122 = 0.798$$

发电机的暂态电动势为

$$E' = \sqrt{\left( U + \frac{Q_0 X_T}{U} \right)^2 + \left( \frac{P_0 X_T}{U} \right)^2} = \sqrt{(1 + 0.2 \times 0.798)^2 + 0.798^2} = 1.41$$

$$\delta_0 = \arctan \frac{0.798}{1 + 0.2 \times 0.798} = 34.53^\circ$$

(3) 故障后的功率特性

由图 27-37(b) 的负序、零序网络可得故障点的负序、零序等值电抗为

$$X_{2\Sigma} = \frac{(0.432 + 0.138) \times (0.243 + 0.122)}{(0.432 + 0.138) + (0.243 + 0.122)} = 0.222$$

$$X_{0\Sigma} = \frac{0.138 \times (0.972 + 0.122)}{0.138 + (0.972 + 0.122)} = 0.123$$

所以加在正序网络故障点上的附加电抗为

$$X_{\Delta} = \frac{0.222 \times 0.123}{0.222 + 0.123} = 0.079$$

于是故障时等值电路如图 27-37(c) 所示, 故

$$X_{\parallel} = 0.433 + 0.365 + \frac{0.433 \times 0.365}{0.079} = 2.80$$

所以故障时发电机的最大功率为

$$P_{\parallel M} = \frac{E' U}{X_{\parallel}} = \frac{1.41 \times 1}{2.8} = 0.504$$

(4) 故障切除后的功率特性

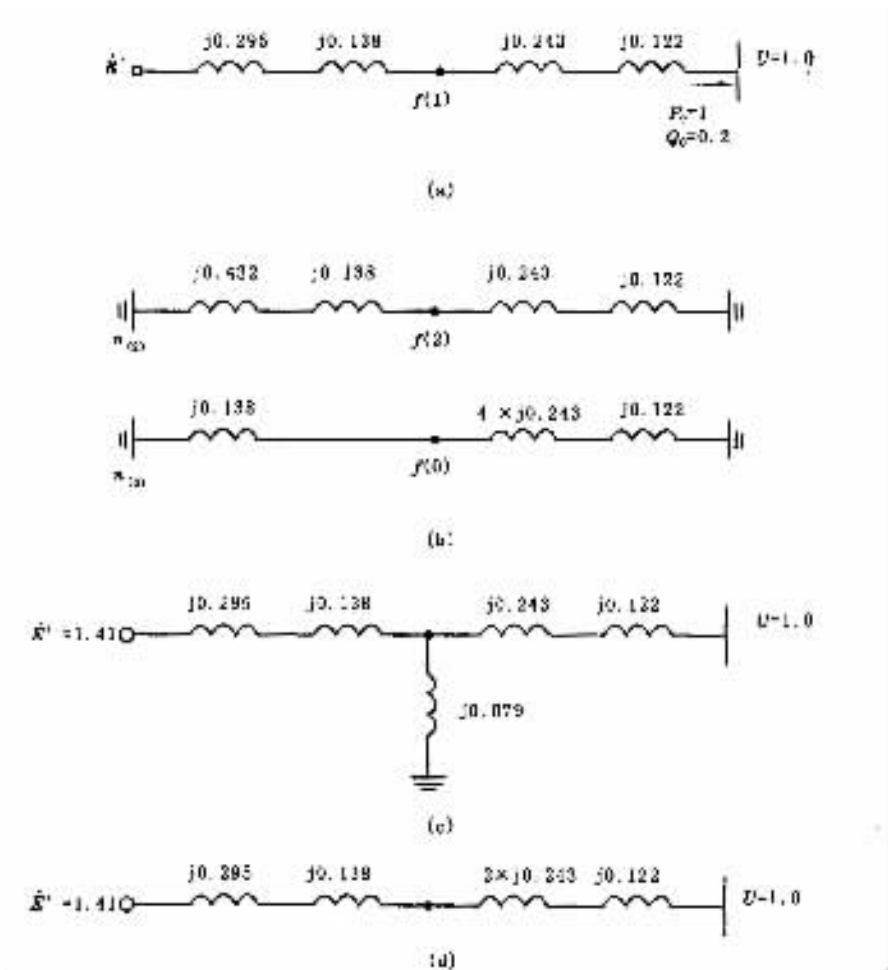


图 27-37 例等值电路

(a)正常等值电路 (b)负序和零序等值电路;  
(c)故障时等值电路 (d)故障切除后等值电路

故障切除后的等值电路如图 27-37(d)

$$X_{III} = 0.295 + 0.138 + 2 \times 0.243 + 0.122 = 1.041$$

此时最大功率为

$$P_{III M} = \frac{E'U}{X_{III}} = \frac{1.41 \times 1}{1.041} = 1.35$$

$$\delta_h = 180^\circ - \arcsin \frac{1}{1.35} = 132.20^\circ$$

(5) 计算极限切除角

$$\cos \delta_{cr} = \frac{P_T(\delta_h - \delta_0) + P_{III M} \cos \delta_h - P_{II M} \cos \delta_0}{P_{II M} - P_{III M}}$$

$$= \frac{1 \times \frac{\pi}{180} (132.2 - 34.53) + 1.35 \cos 132.2^\circ - 0.504 \cos 34.53^\circ}{1.35 - 0.504} = 0.458$$

$$\delta_{cr} = 62.7^\circ$$

### 三、发电机转子运动方程的求解

求解发电机的转子运动方程可以得出  $\delta_{-t}$  和  $\omega_{-t}$  的关系曲线  $\delta_{-t}$  曲线通常称为摇摆曲线。可根据摇摆曲线判断系统的暂态稳定性。若转子角度差随着时间的推移而不断变化且超过  $180^\circ$ ，则系统是暂态不稳定的；若最大转子角度差不超过  $180^\circ$ ，则系统是暂态稳定的。

在上述简单系统中，发生短路故障后故障期间转子的运动方程为

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= (\omega - 1)\omega_0 \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{T_J} \left( P_T - \frac{E'U}{X_{\parallel}} \sin\delta \right) \end{aligned} \right\}$$

这是两个一阶的非线性常微分方程，它们的起始条件是已知的，即

当  $t=0$  时  $\omega=1$ ，

$$\delta = \delta_0 = \arcsin \frac{P_T}{P_M}$$

应用数值积分方法计算出故障期间的  $\delta_{-t}$  曲线后，就可由曲线找到与极限切除角度相应的极限切除时间。

如果是已知切除时间  $t_c$ ，需求出  $\delta_{-t}$  曲线来判断系统的稳定性。当故障切除后，由于系统参数改变，以致发电机功率特性发生变化，则必须求解另一组微分方程

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= (\omega - 1)\omega_0 \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{T_J} \left[ P_T - \frac{E'U}{X_{\parallel}} \sin\delta \right] \end{aligned} \right\}$$

起始条件为：当  $t=t_c$  时  $\delta=\delta_c$ ， $\omega=\omega_c$ 。其中  $t_c$  为给定的切除时间， $\delta_c$ 、 $\omega_c$  为与  $t_c$  时刻相对应的  $\delta$  和  $\omega$  值。一般来说，在故障后几秒内如果  $\delta$  不超过  $180^\circ$ ，且振荡越来越小，则系统是暂态稳定的。可用数值计算方法如分段计算法，尤拉法，隐式梯形积分法等进行上述微分方程的数值求解。下面介绍分段计算法计算简单系统稳定性。

分段计算法计算步骤简单，尤其适用于简单系统的手算。

在计算中，常用度数来表示  $\delta$ ，另外将  $\omega$  换成转差  $\Delta\omega$ （与同步角速度之差），则转子运动方程可改写为

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= \Delta\omega\omega_0 \times \frac{360^\circ}{2\pi} = 360f_0\Delta\omega \\ \frac{d\Delta\omega}{dt} &= \frac{1}{T_J}\Delta P \end{aligned} \right\}$$

式中  $\Delta P$ 、 $\Delta\omega$ ——标幺值。

分段计算法的基本出发点是将转子运动过程分成一系列很小的时间段，并且假定：

(1) 从一个时间段的中点至下一个时间段的中点的一段时间内，过剩功率  $\Delta P$  保持不变，并等于下一个时间段开始时的过剩功率。如图 27-38(a) 所示，从第  $(n-1)$  时段中点至第  $n$  时段中点的过剩功率就等于第  $n$  时段开始时或第  $(n-1)$  时段结束时的  $\Delta P_{(n-1)}$ 。

(2) 每个时间段内的相对角速度  $\Delta\omega$  不变，就等于这个时间段中点的相对角速度。例如图 27-38(b) 中第  $(n-1)$  时段内的  $\Delta\omega$  就等于  $\Delta\omega_{(n-\frac{3}{2})}$ ，第  $n$  时段内  $\Delta\omega$  就等于  $\Delta\omega_{(n-\frac{1}{2})}$ 。

这种假定与实际情况是不一致的，把连续变化的量用阶梯变化的量代替了。但如果时段取得足够小，误差是不大的。一般  $\Delta t$  可取  $0.01 \sim 0.05s_0$ 。

以下介绍应用分段计算法计算  $\delta_{-t}$  曲线的具体步骤。

若已知  $(n-1)$  时段结束时的角度  $\delta_{(n-1)}$ ，则这时的电磁功率  $P_{(n-1)}$  和过剩功率  $\Delta P_{(n-1)}$  均可求得。由式的第二式可得相对速度的变化量为

$$\Delta\omega_{(n-\frac{1}{2})} - \Delta\omega_{(n-\frac{3}{2})} = \frac{1}{T_J}\Delta P_{(n-1)}\Delta t$$



而由式的第一式,每个时段内角度  $\delta$  的变化量等于这个时段内的相对角速度  $\Delta\omega$  乘以  $\Delta t$ 。对于第  $(n-1)$  时间段

$$\Delta\delta_{(n-1)} = \delta_{(n-1)} - \delta_{(n-2)} = 360f_0\Delta\omega_{(n-\frac{3}{2})}\Delta t$$

对于第  $n$  时间段

$$\Delta\delta_{(n)} = \delta_{(n)} - \delta_{(n-1)} = 360f_0\Delta\omega_{(n-\frac{1}{2})}\Delta t$$

由式相减得

$$\Delta\delta_{(n)} - \delta_{(n-1)} = 360f_0[\Delta\omega_{(n-\frac{3}{2})} - \Delta\omega_{(n-\frac{1}{2})}]\Delta t$$

将式代入后得

$$\Delta\delta_{(n)} = \Delta\delta_{(n-1)} + 360f_0\frac{\Delta P_{(n-1)}}{T_J}\Delta t^2 = \Delta\delta_{(n-1)} + K\Delta P_{(n-1)}$$

式是  $\Delta\delta_{(n)}$ 、 $\Delta\delta_{(n-1)}$  为度数;  $\Delta P$  为标么值;  $T_J$ 、 $\Delta t$  的单位均为秒 (s);  $K$  是常数,其值为  $360f_0\frac{\Delta t^2}{T_J}$ 。

求得第  $n$  时段的角度增量后,第  $n$  时段末的角度为

$$\delta_{(n)} = \delta_{(n-1)} + \delta_{(n)}$$

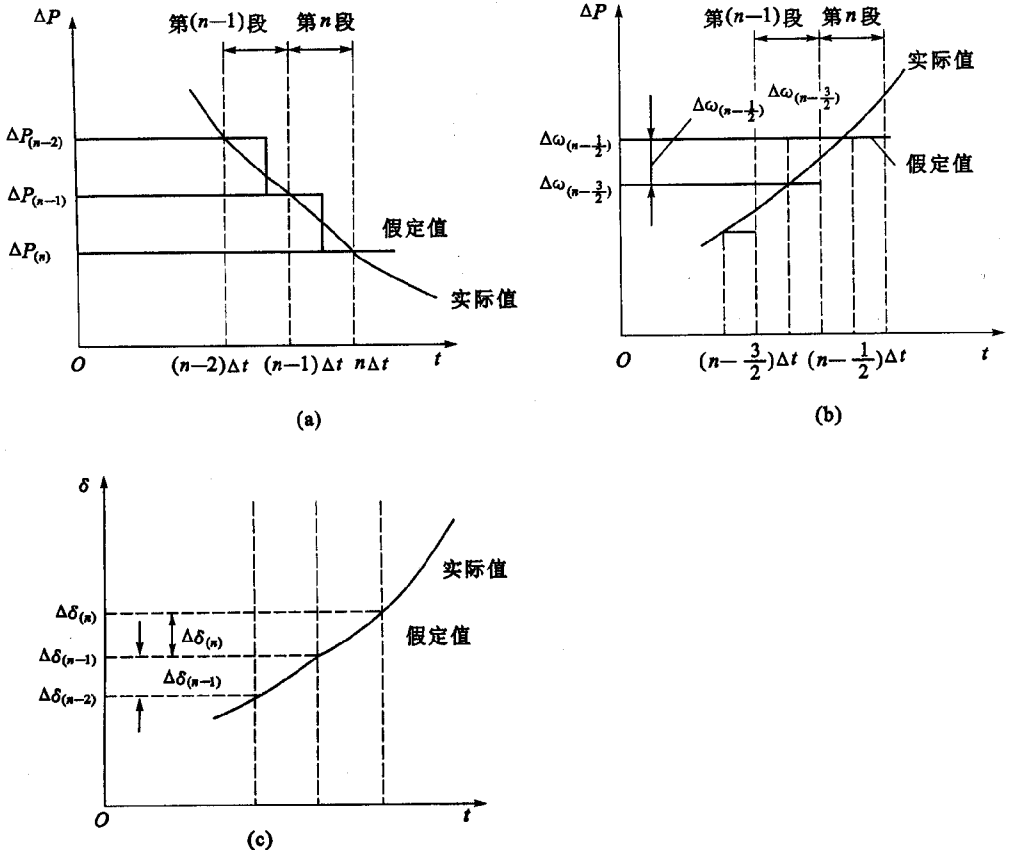


图 27-38 分段计算示意图

(a)  $\Delta P$  分段 (b)  $\Delta\omega$  分段 (c)  $\delta$  分段

而求得  $\delta_{(n)}$  后又可求  $\Delta P_{(n)}$ 、 $\Delta\delta_{(n+1)}$  以及  $\delta_{(n+1)}$ 。继续这样一点一点地计算下去,最后可作出  $\delta-t$  曲线。

在发生故障或切除故障的瞬间,由于运行点跃变,过剩功率也有跃变。计算这个瞬间相对角速度的变化

量时,应当用跃变前后两个过剩功率的平均值。如图 27-39 所示,在第  $n$  段末端处过剩功率有跃变,则

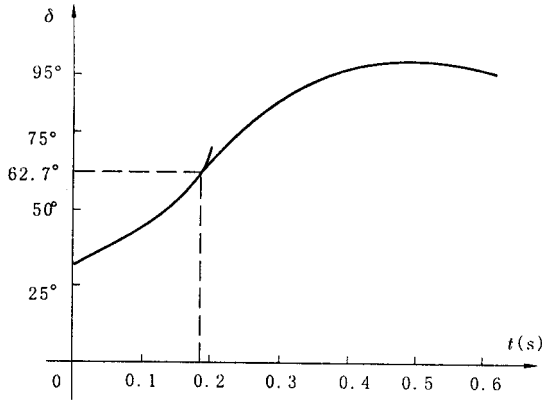


图 27-39 过剩功率突变的处理

$$\Delta P_{(n)} = \frac{\Delta P'_{(n)} + \Delta P''_{(n)}}{2}$$

如果发电机用  $E'$  模拟,也可用上述方法计算多机系统的暂态稳定性。但实际暂态稳定分析中,采用改进尤拉法、隐式梯形积分法求解微分方程的较多。

例:上例的极限切除时间,并作出在 0.15s 切除故障时的  $\delta-t$  曲线。

【解】(1) 计算极限切除时间

先计算故障期间的  $\delta-t$  曲线。取  $\Delta t = 0.05\text{s}$ , 则

$$K = \frac{360f_0\Delta t^2}{T_j} = \frac{360 \times 50 \times 0.05^2}{8.18} = 5.5$$

刚短路时  $\delta_0$  仍为  $34.53^\circ$ , 发电机的输出功率即降低为

$$P_{(0)} = P_{\parallel M} \sin \delta_0 = 0.504 \sin 34.53^\circ = 0.285$$

即在第一个时间段开始时过剩功率从零变为

$$\Delta P_0 = P_0 - P_{(0)} = 1 - 0.285 = 0.715$$

所以经第一个时间段后的角增量为

$$\Delta \delta_{(1)} = 0 + K \frac{0 + \Delta P_{(0)}}{2} = 5.5 \times \frac{0.715}{2} = 1.97^\circ$$

第一时段终了时角度  $\delta_{(1)}$  为

$$\delta_{(1)} = \delta_{(0)} + \Delta_{(1)} = 34.53^\circ + 1.97^\circ = 36.5^\circ$$

第一时段末,即第二个时间段开始时发电机的输出功率为

$$P_{(1)} = P_{\parallel M} \sin \delta_{(1)} = 0.504 \sin 36.5^\circ = 0.3$$

此时过剩功率

$$\Delta P_{(1)} = P_0 - P_{(1)} = 1 - 0.3 = 0.7$$

经过第二时段的角增量为

$$\Delta \delta_{(2)} = \Delta \delta_{(1)} + K \Delta P_{(1)} = 1.97 + 5.5 \times 0.7 = 5.82^\circ$$

所以第二时段终了时角度为

$$\delta_{(2)} = 36.5^\circ + 5.82^\circ = 42.32^\circ$$

如此继续计算下去,在表 27-4 中列出四个时段的计算结果。

表 27-4 例四个时段的计算结果

$t(s)$	$n$	$\hat{\delta}_n(^{\circ})$	$\sin\hat{\delta}_n$	$P_{(n)} = P_{II} \sin\hat{\delta}_n$	$\Delta P_{(n)} = P_0 - P_{(n)}$	$\Delta\hat{\delta}_{(n+1)} = \Delta\hat{\delta}_{(n)} + K\Delta P_{(n)}$
0	0	34.53	0.566	0.285	0.715	1.97
0.05	1	36.50	0.595	0.300	0.700	5.82
0.10	2	42.32	0.673	0.339	0.661	9.46
0.15	3	51.78	0.786	0.396	0.604	12.78
0.20	4	64.56	0.903	0.455	0.545	15.78

由表可见 0.20s 时对应的角度为 64.56°, 已大于极限切除角 62.7°。在图 27-40 中故障期间的  $\delta-t$  曲线(只作到 0.2s)段上查得对应 62.7° 的极限切除时间为 0.19s。

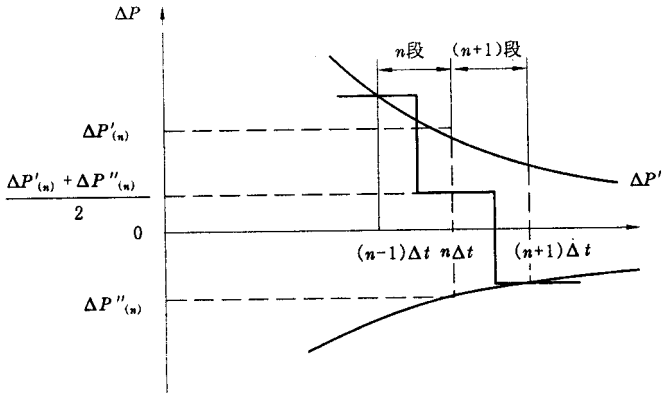


图 27-40 例的  $s-t$  曲线

(2) 当故障切除时间为 0.15s 时计算  $\delta-t$  曲线

前面计算到 0.15s 的结果都继续有效。从第三段末开始,发电机的功率特性为  $P_{III}$ 。 $P_{(3)}$  由表中的 0.396 突变为

$$P_{(3)} = 1.35 \sin 51.78^{\circ} = 1.06$$

其对应的过剩功率为

$$\Delta P_{(3)} = 1 - 1.06 = -0.06$$

因此 0.15s 时过剩功率的平均值

$$\Delta P_{(3)} = \frac{0.604 - 0.06}{2} = 0.272$$

故

$$\begin{aligned} \Delta\hat{\delta}_{(4)} &= \Delta\hat{\delta}_{(3)} + K\Delta P_{(3)} \\ &= 9.46 + 5.5 \times 0.272 = 10.96^{\circ} \\ \hat{\delta}_{(4)} &= 51.78^{\circ} + 10.96^{\circ} = 62.74^{\circ} \end{aligned}$$

第四段末的功率为

$$\begin{aligned} P_{(4)} &= 1.35 \sin 62.74^{\circ} = 1.2 \\ \Delta P_{(4)} &= 1 - 1.2 = -0.2 \\ \Delta\hat{\delta}_{(5)} &= \Delta\hat{\delta}_{(4)} + K\Delta P_{(4)} = 10.96^{\circ} + 5.5 \times (-0.2) = 9.86^{\circ} \\ \hat{\delta}_{(5)} &= 62.74^{\circ} + 9.86^{\circ} = 72.6^{\circ} \end{aligned}$$

如此继续算下去,计算结果列入表 27-5。

表 27-5 例 0.15s 切除故障后的计算结果

$t(s)$	$n$	$\delta(n)$	$\sin\delta(n)$	$P(n)$	$\Delta P(n)$	$\Delta\delta_{n-1}$
0.15	3	51.78°	0.786	0.396	0.272	10.96°
0.20	4	62.74°	0.889	1.2	-0.2	9.86°
0.25	5	72.6°	0.954	1.288	-0.288	8.28°
0.30	6	80.88°	0.987	1.333	-0.333	6.45°
0.35	7	87.33°	0.999	1.348	-0.348	4.54°
0.40	8	91.87°	0.999	1.348	-0.348	2.63°
0.45	9	94.5°	0.997	1.346	-0.346	0.73°
0.50	10	95.23°	0.996	1.344	-0.344	-1.16°
0.55	11	94.07°	0.997	1.346	-0.346	-3.06°
0.60	12	91.01°				

由表 27-5 可知,到 0.55s 时  $\delta$  即开始减小,最大角度为 95°左右,系统是稳定的。图 27-40 画出了  $\delta-t$  曲线。虽然,到 0.6s 已可判断系统能否稳定,但是若要从曲线看出系统达到新的稳态运行(切除一条线路)尚需计算相当一段时间。

## 四、提高暂态稳定性的措施

前面介绍的提高静态稳定的措施对提高暂态稳定也是有作用的。但是,提高暂态稳定的措施,一般首先考虑的是减少扰动后功率差额的临时措施,因为在大扰动后发电机机械功率和电磁功率的差额是导致暂态稳定破坏的主要原因。下面将介绍几种常用的措施。

### (一) 提高发电机输出的电磁功率

#### 1. 对发电机施行强行励磁

发电机都备有强行励磁的装置,以保证当系统发生故障而使发电机端电压低于 85%~90% 额定电压时迅速而大幅度地增加励磁,从而提高发电机电动势,增加发电机输出的电磁功率。强行励磁对提高发电机并列运行和负荷的暂态稳定性都是有利的。

在用直流励磁机的励磁系统中,强行励磁多半是借助于装设在发电机端电压的低电压继电器启动一个接触器去短接励磁机的磁场变阻器,因而称为继电器式强行励磁。在晶闸管励磁中,强行励磁则是靠增大晶闸管整流器的导通角而实现的。强行励磁的作用随励磁电压增长速度和强行励磁倍数——最大可能励磁电压与额定运行时励磁电压之比的增大而愈益显著。

#### 2. 变压器中性点经小电阻接地

变压器中性点经小电阻接地就是接地短路故障时的电气制动。图 27-41 示出了一变压器中性点经小电阻接地的系统发生单相接地短路时的情形。因为变压器中性点接了电阻,零序网络中增加了电阻,零序电流流过电阻时引起了附加的功率损耗。这个情况对应于故障期间的功率特性  $P_{II}$  升高,因为  $r_{X(0)}$  出现在正序增广网络中。与电气制动类似,必须经过计算来确定电阻值。

#### 3. 电气制动

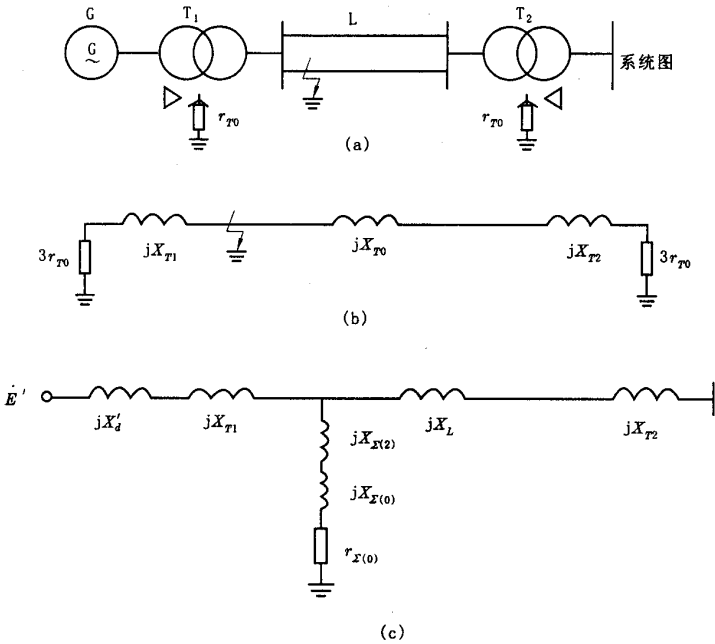


图 27-41 变压器中性点经小电阻接地  
(a)系统图 (b)零序网络 (c)正序增广网络

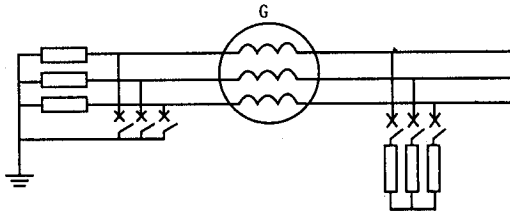
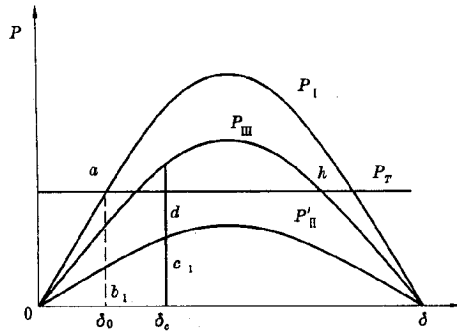


图 27-42 制动电阻接入方式

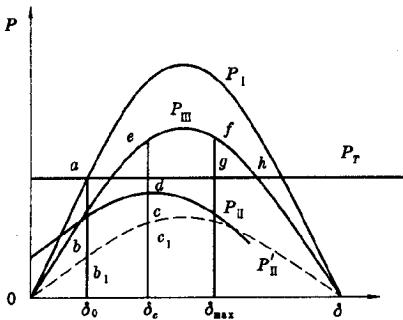
电气制动就是当系统中发生故障后迅速地投入电阻以消耗发电机的有功功率(增大电磁功率,从而减少功率差额)。图 27-42 表示了两种制动电阻的接入方式。当电阻串联接入时,旁路开关正常时闭合,投入制动电阻时打开旁路开关,并联接入时,开关正常打开,投入制动电阻时闭合。如果系统中有自动重合闸装置,则当线路开关重合时应将制动电阻短路(制动电阻串联接入时)或切除(制动电阻并联接入时)。

电气制动的作用也可用等面积定则解释。图 27-43(a)(b)中比较了有与没有电气制动的情况。图中假设故障发生后瞬时投入制动电阻,切除故障线路的同时切除制动电阻。由图 27-43(b)可见,若切除故障角  $\delta_0$  不变,由于采用了电气制动,减少了加速面积  $bb_1c_1d_1$ ,使原来不能保证的暂态稳定得到了保证。

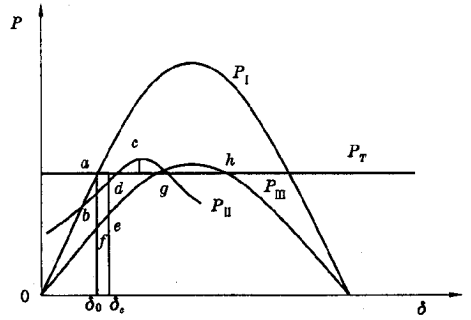
运用电气制动提高暂态稳定性时,制动电阻的大小及其投切时间要选择得适当。否则,或者会发生所谓欠制动,即制动作用过小,发电机仍要失步;或者会发生过制动,即制动作用过大,发电机虽在第一次振荡中没有失步,却在切除故障和切除制动电阻后的第二次振荡中失步。过制动现象也可用等面积定则解释。图 27-43(c)中,故障过程中运行点转移的顺序为  $a-b-d-c-d$ ,即第一次振荡过程中发电机没有失步。在  $d$  点切除故障,同时切除制动电阻,运行点转移的顺序为  $d-e-f-e-g-h$ ,即在第二次振荡过程中发电机失步了。因此,在考虑某个具体系统中采用电气制动时,应通过一系列计算来选择制动电阻。



(a)



(b)



(c)

图 27-43 电气制动的作用

(a)无电气制动 (b)有电气制动 (c)过制动

### (二)减少原动机输出的机械功率

减少原动机输出的机械功率也可以减少过剩功率。

对于汽轮机可以采用快速的自动调速系统或者快速关闭进汽门的措施。水轮机由于水锤现象不能快速关闭进水门,因此有时采用在故障时从送端发电厂中切掉一台发电机的方法,这等于减少原动机功率。当然,这时发电厂的电磁功率由于发电机的总的等值阻抗略有增加(切去一台机)而略有减少。图 27-44(b)中示出在切除故障同时从送端发电厂的四台机中切除一台机后减速面积大为增加的情形。必须指出,这种切机的方法使系统少了一台机,电源减少了,这是不利的。

除了上面三方面的措施外还有不少提高暂态稳定性的办法。例如,对于已装有串联补偿电容的线路,可考虑为提高系统的暂态稳定性和故障后的静态稳定性而采用强行串联电容补偿。所谓强行补偿就是在切除故障线路的同时切除部分并联的电容器组,以增大串联补偿电容的容抗,部分地甚至全部地抵消由于切除故障线路而增加的线路感抗。

### (三)故障的快速切除和自动重合闸装置的应用

这两项措施可以较大地减少功率差额,也比较经济。

快速切除故障对于提高系统的暂态稳定性有决定性的作用,因为快速切除故障减小了加速面积,增加了减速面积,提高了发电机之间并列运行的稳定性。另一方面,快速切除故障也可使负荷中的电动机端电压迅速回升,减少了电动机失速和停顿的危险,提高了负荷的稳定性。切除故障时间是继电保护装置动作时间和断路器动作时间的总和。目前已可做到短路后 0.06s 切除故障线路,其中 0.02s 为保护装置动作时间,0.04s 为断路器动作时间。

电力系统的故障特别是高压输电线路的故障大多数是短路故障,而这些短路故障大多数又是暂时性的。

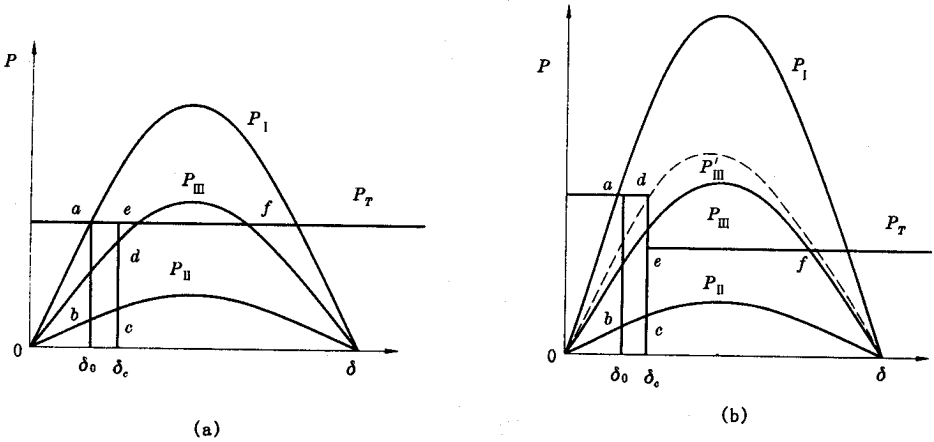


图 27-44 切机对提高暂态稳定性的作用  
(a) 不切机 (b) 切去 1 台机 ( $P_{III}$  变为  $P'_{III}$ )

采用自动重合闸装置,在发生故障的线路上,先切除线路,经过一定时间再合上断路器,如果故障消失则重合闸成功。重合闸的成功率是很高的,可达 90% 以上。这个措施可以提高供电的可靠性,对于提高系统的暂态稳定性也有十分明显的作用。重合闸动作愈快对稳定愈有利,但是重合闸的时间受到短路处去游离时间的限制。如果在原来短路处产生电弧的地方,气体还处在游离的状态下而过早地重合线路断路器,将引起再度燃弧,使重合闸不成功甚至扩大故障。去游离的时间主要取决于线路的电压等级和故障电流的大小,电压愈高,故障电流愈大,则去游离时间愈长。

超高压输电线路的短路故障大多数是单相接地故障,因此在这些线路上往往采用单相重合闸,这种装置在切除故障后经过一段时间再将该相重合。由于切除的只是故障相而不是三相,从切除故障相后到重合闸前的一段时间里,即使是单回路输电的场合,送电端的发电厂和受端系统也没有完全失去联系,故可以提高系统的暂态稳定。图 27-45 所示为单回路输电系统采用单相重合闸和三相重合闸两种情况的对比。图 27-45(a) 为等值电路,其中示出了单相切除时的等值电路,表明发电机仍能向系统送电 ( $P_{III} \neq 0$ )。由图 27-45(b)(c) 可知,采用单相重合闸时,加速面积大大减小。

必须指出,采用单相重合闸时,去游离的时间比采用三相重合闸时要有所加长,因为切除一相后其余两相仍处在带电状态,尽管故障电流被切断了,带电的两相仍通过导线之间的电容和电感耦合向故障点继续供给电流(称为潜供电流),因此维持了电弧的燃烧,对去游离不利。

也可采用柔性输电系统改善系统暂态稳定性。

## 第八节 复杂电力系统潮流分布的计算机解法

电力系统是一种大系统,线路与母线(结点)成百上千。当用功率、电压计算潮流时表现为非线性代数方程组。用上一节阐述的人工计算方法已无法胜任。在 20 世纪五六十年代,国内外曾用交流计算台进行潮流及电压计算。它是一种模拟计算机。由于受到设备规模与精度的限制,逐渐被新兴的电子数字计算机所代替。我国于 20 世纪 60 年代已开始起步,其后得到成功的应用。

采用数字计算机求解电力系统潮流必须满足以下三方面的要求,即建立电力网普遍的数学模型,确定有效的计算方法和编制实用的程序。国际上在 20 世纪七八十年代发表了大量文献,以使数学模型符合实际、计算方法与程序可靠收敛、计算快速以及减少计算机内存需量诸方面的问题。近年来在交互式操作的基础上,成功地采用动画的单线图等可视化技术,直观生动地描绘了电力系统运行的状态。

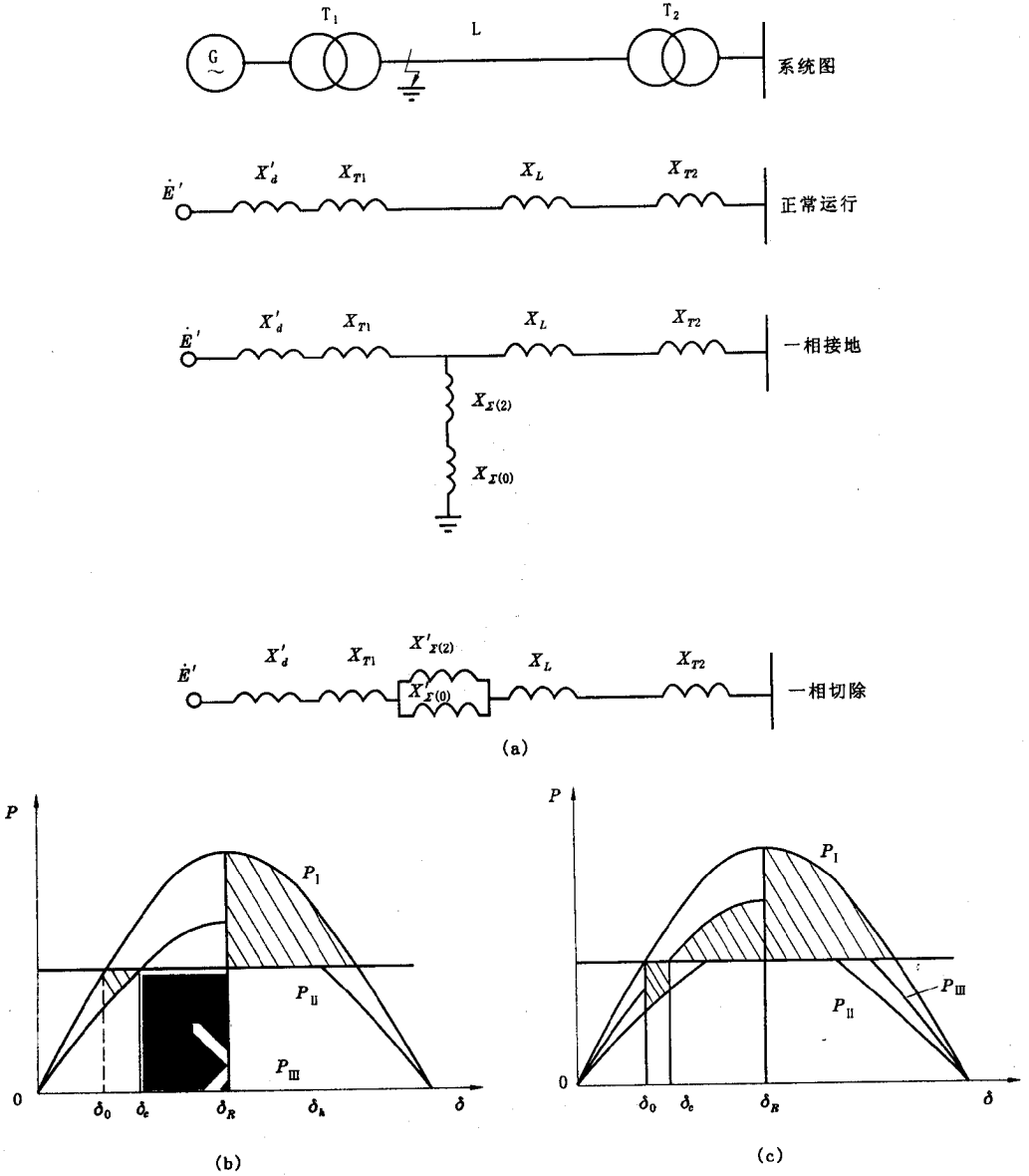


图 27-45 单相重合闸的作用

(a) 等值电路 (b) 三相重合闸 (c) 单相重合闸

本节主要阐述电力网络基本的数学模型与计算方法。

## 一、电力网络方程

本节所述电力网络方程主要是指结点电压方程。先从三母线系统着手,然后叙述多电压级系统中的变压器模型,最后推广至  $n$  母线系统。



### (一) 三母线系统

现以如图 27-46(a) 所示的三母线系统为例, 首先建立全网的等值电路如图 27-46(b) 所示, 并经过整理成为图 27-46(c)。

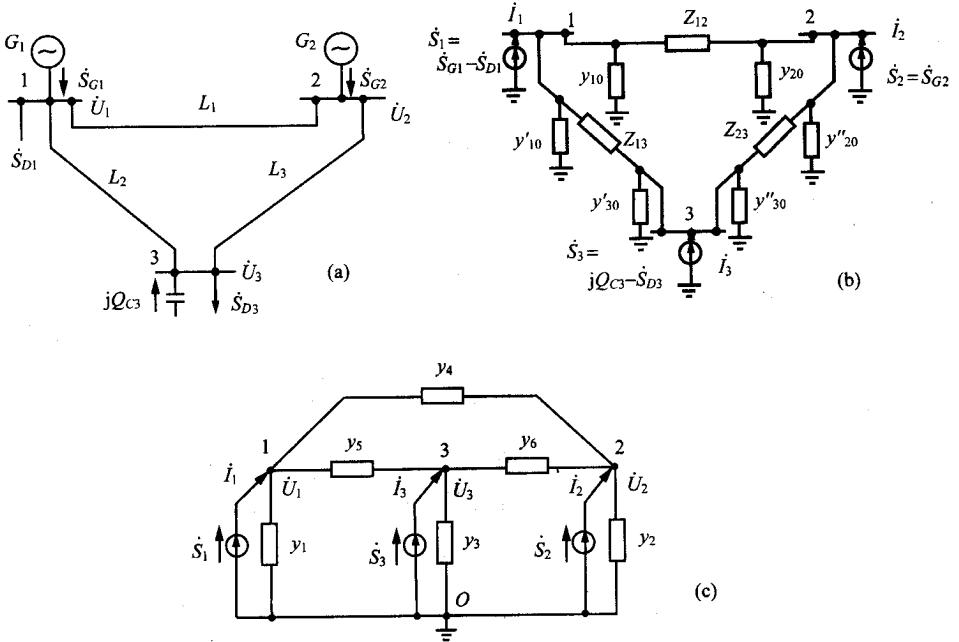


图 27-46 三母线系统及其等值电路

(a) 系统图 (b) 等值电路 (c) 等值电路(整理后)

在讨论计算机解法以前, 采用以下约定:

- ① 等值电路中的参数用标么值表示。
- ② 发电机、电容器等有功电源及无功电源规定向母线注入功率, 如图 27-46(a) 中的  $S_{G1}$ 、 $S_{G2}$  及  $jQ_{C3}$ ; 负荷用恒定功率表示, 规定由母线抽出功率, 如图 27-46(a) 中的  $S_{D1}$ 、 $S_{D3}$ 。

进行潮流计算时, 取注入母线的功率为正, 而取流出母线的功率为负。因而结点功率可表示为

$$\left. \begin{aligned} \dot{S}_1 &= P_1 + jQ_1 = (P_{G1} - P_{D1}) + j(Q_{C1} - Q_{D1}) \\ \dot{S}_2 &= P_2 + jQ_2 = P_{G2} + jQ_{G2} \\ \dot{S}_3 &= P_3 + jQ_3 = -P_{D3} + j(Q_{C3} - Q_{D3}) \end{aligned} \right\}$$

结点功率源也可以转换为电流源。

- ③ 输电线、变压器均用 II 形等值电路代表。

对于图 27-46(c) 的等值电路, 各支路用导纳表示, 并将结点功率源换算为电流源后, 依据结点 K 氏电流定律, 可建立如下的结点电压方程:

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= \dot{U}_1 y_1 + (\dot{U}_1 - \dot{U}_2) y_4 + (\dot{U}_1 - \dot{U}_3) y_5 \\ i_2 &= \dot{U}_2 y_2 + (\dot{U}_2 - \dot{U}_1) y_4 + (\dot{U}_2 - \dot{U}_3) y_6 \\ i_3 &= \dot{U}_3 y_3 + (\dot{U}_3 - \dot{U}_1) y_5 + (\dot{U}_3 - \dot{U}_2) y_6 \end{aligned} \right\}$$

经过整理后得到

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= (y_1 + y_4 + y_5) \dot{U}_1 - y_4 \dot{U}_2 - y_5 \dot{U}_3 \\ i_2 &= -y_4 \dot{U}_1 + (y_2 + y_4 + y_6) \dot{U}_2 - y_6 \dot{U}_3 \\ i_3 &= -y_5 \dot{U}_1 - y_6 \dot{U}_2 + (y_3 + y_5 + y_6) \dot{U}_3 \end{aligned} \right\}$$



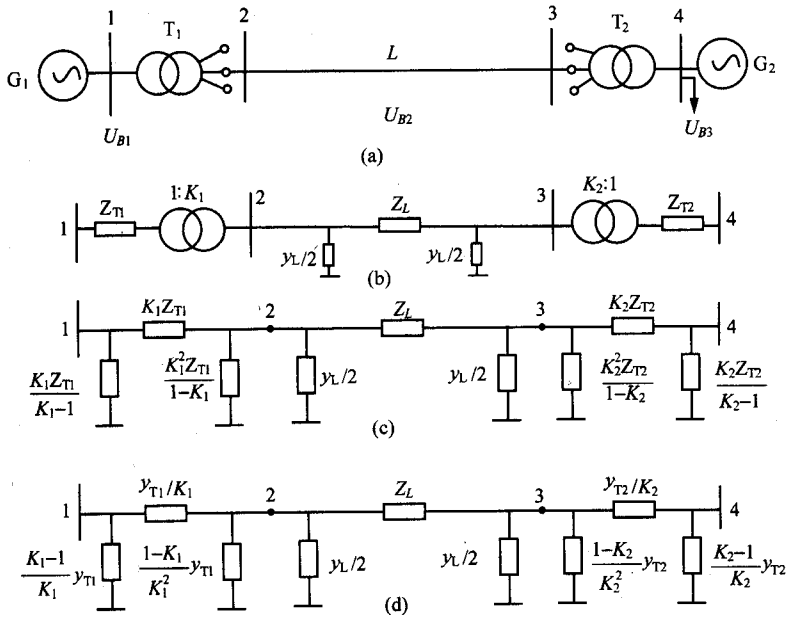


图 27-47 多电压级系统及其等值电路

(a)系统图 (b)等值电路 (c)变压器π形等值电路(阻抗型) (d)变压器π形等值电路(导纳型)

网络方程的另一种形式是回路电流方程。现今潮流分析计算中一般采用结点电压方程。这是由于这类方程有着较多的优点：

- ①同一网络,就独立网络方程的个数而言,结点方程数通常少于回路方程数,这是由于网络中有众多的接地支路的缘故。
  - ②结点电压方程以母线电压为状态变量,结点电流可直接与电源及负荷的功率相联系,便于直观分析,而回路电流则要经过换算才能得到所需数值。
  - ③建立回路方程,需预先选定回路走向,使程序复杂化,增加原始数据量,而应用结点电压方程无选向问题。
  - ④系统结构改变时,结点导纳阵易于修改,而回路阻抗矩阵则要重新计算。
- 在一些特定条件下,如不计接地支路时,回路法将会得到应用。

## 二、结点导纳矩阵的形成与修改

### (一) 结点导纳阵的形成

$n$  阶结点导纳阵如式所示,其中主对角线元素  $Y_{ij}(i=1, 2, \dots, n)$  称为结点  $i$  的自导纳,亦称输入导纳;非对角线元素  $Y_{ij}(i, j=1, 2, \dots, n, i \neq j)$  称为结点  $i, j$  间的互导纳,亦称转移导纳。以下分别叙述  $Y_{ii}$ 、 $Y_{ij}$  的求取方法。

由式若在结点  $i$  上加一单位电压,其余结点都接地,即

$$\dot{U}_i = 1 \angle 0^\circ, \dot{U}_k = 0 (k = 1, 2, \dots, n, k \neq i)$$

则有

$$I_i = Y_{ii} \dot{U}_i$$

于是

$$Y_{ii} = \left. \frac{I_i}{U_i} \right|_{U_k=0, k \neq i} = I_i$$

可见自导纳  $Y_{ii}$  的物理含义是在结点  $i$  上加一单位电压,其余结点都接地时,从结点  $i$  流向网络的电流。 $Y_{ii}$  在数值上等于与结点  $i$  直接相连的所有支路导纳的总和,即结点  $i$  对地的总导纳。

$$Y_{ii} = y_{i0} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n y_{ij}$$

式中  $y_{i0}$  为结点  $i$  的接地导纳;  $y_{ij}$  为结点  $i$  与  $j$  间的支路导纳。

例如,对于图 27-4(c),  $n=3$  结点 1 的自导纳  $Y_{11} = y_1 + y_4 + y_5$ 。

由式若在结点  $j$  上加一单位电压,其余结点都接地,即

$$\dot{U}_j = 1 \angle 0^\circ, \dot{U}_k = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, n, k \neq j)$$

则有

$$\dot{I}_i = Y_{ij} \dot{U}_j$$

于是

$$Y_{ij} = \left. \frac{I_i}{U_j} \right|_{U_k=0, k \neq j} = I_i$$

可见互导纳  $Y_{ij}$  的物理含义是在结点  $j$  上加一单位电压,其余结点都接地,从结点  $i$  流向网络的电流。 $Y_{ij}$  在数值上等于支路导纳  $y_{ij}$  的负值:

$$Y_{ij} = -y_{ij}$$

在上式的右端之所以出现负号是因为从  $i$  结点注入网络的电流规定为正,当  $i$  点接地时,  $\dot{U}_j = 1 \angle 0^\circ$  时,  $I_i$  将自结点  $i$  流出,其方向与规定的正向相反。例如对于图 27-4(c),  $n=3$  结点 1、2 间互导纳为

$$Y_{12} = Y_{21} = -y_4$$

结点导纳阵形成的要点如下:

① 结点导纳阵一般为方阵,其阶数等于网络中除参考结点以外的结点总数  $n$ ,参考结点一般取大地,编号为零;

② 结点导纳阵的对角元  $Y_{ii}$  等于与结点  $i$  所连接的所有支路的支路导纳的和;

③ 结点导纳阵的非对角元  $Y_{ij}$  等于连接结点  $i$ 、 $j$  间支路导纳的负值;

④ 网络中的变压器运用  $\square$  形等值电路代表,并按上述原则处理;

⑤ 结点导纳阵是对称阵,  $Y_{ij} = Y_{ji}$ , 这是由网络的互易特性所决定的;

⑥ 结点导纳阵是稀疏阵,其各行非对角元中的零元表明该  $i$ 、 $j$  结点间无联系,即  $Y_{ij} = 0$ 。

以上原则是根据结点导纳阵的定义直接求取的。另一种方法是由图论中的结点支路关联矩阵求取结点导纳阵。

## (二) 结点导纳阵的修改

由于电力系统运行方式经常发生变化,电力设备投入或退出时有发生,新情况下的结点导纳阵只需在原阵的基础上进行局部修改即可完成。以下介绍一些典型情况:

(1) 在原有网络结点  $i$ 、 $j$  间增加一支路

如图 27-4(a) 所示,在这一情况下,需修改与结点  $i$ 、 $j$  有关的自导纳和互导纳元素:

$$\Delta Y_{ii} = y_{ij}, \Delta Y_{jj} = y_{ij}, \Delta Y_{ij} = \Delta Y_{ji} = -y_{ij}$$

(2) 在原有网络结点  $i$ 、 $j$  间切除一支路

如图 27-4(b) 所示,切除一导纳为  $y_{ij}$  的支路,相当于增加一导纳为  $-y_{ij}$  的支路,这时需修改与结点  $i$ 、 $j$  有关的自导纳和互导纳元素:

$$\Delta Y_{ii} = -y_{ij}, \Delta Y_{jj} = -y_{ij}, \Delta Y_{ij} = \Delta Y_{ji} = y_{ij}$$

(3) 原有网络结点  $i$ 、 $j$  间的导纳  $y_{ij}$  改变为  $y'_{ij}$

如图 27-4(c) 所示,这一情况相当于切除一导纳为  $y_{ij}$  的支路并增加一导纳为  $y'_{ij}$  的支路,因而需修改与

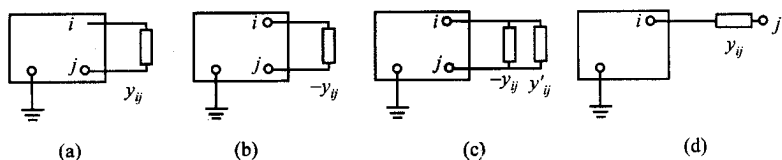


图 27-48 结点导纳阵的修改

(a) 增加链支 (b) 切除链支 (c) 改变链支参数 (d) 增加树支

结点  $i, j$  有关的自导纳和互导纳元素：

$$\Delta Y_{ii} = y'_{ij} - y_{ij}, \Delta Y_{jj} = y'_{ij} - y_{ij}, \Delta Y_{ij} = \Delta Y_{ji} = y_{ij} - y'_{ij}$$

(4) 从原有网络引出一支路，同时增加一结点

如图 27-48(d) 所示，设  $i$  为原有网络结点， $j$  为新增结点，新增支路  $ij$  的导纳为  $y_{ij}$ 。因新增一结点  $j$ ，新的结点导纳阵需增加一阶。且新增对角元  $Y_{jj} = y_{ij}$ ，新增非对角元  $Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij}$ ，同时对原阵中的对角元  $Y_{ii}$  进行修改，增加  $\Delta Y_{ii} = y_{ij}$ 。

(5) 原有网络结点  $i, j$  间为变压器支路，其变比由  $K$  变为  $K'$

如图 27-49 所示，当  $K$  变为  $K'$  时相当于切除一变比为  $K$  的变压器，新增一变比为  $K'$  的变压器。就图 27-49(b) 这一  $\Pi$  形等值电路的局部而言：

$$Y_{ii} = \frac{y_T}{K} + (1 - \frac{1}{K})y_T = y_T$$

$$Y_{jj} = \frac{y_T}{K} + (\frac{1}{K'^2} - \frac{1}{K})y_T = \frac{y_T}{K^2}$$

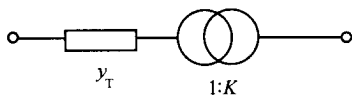
$$Y_{ij} = Y_{ji} = -\frac{y_T}{K}$$

因而当变比由  $K$  变为  $K'$  后，导纳阵的相应元素需作如下变化：

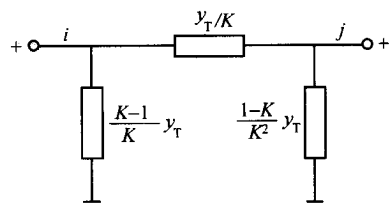
$$\Delta Y_{ii} = 0 \text{ (因 } Y_{ii} \text{ 与 } K \text{ 无关)}$$

$$\Delta Y_{jj} = (\frac{1}{K'^2} - \frac{1}{K^2})y_T$$

$$\Delta Y_{ij} = \Delta Y_{ji} = -(\frac{1}{K'} - \frac{1}{K})y_T$$



(a)



(b)

图 27-49 变压器等值电路

例五母线系统如图 27-50 所示。结点 2、4 之间和结点 3、5 之间分别经非标准变比的变压器相连接。图中所有串联支路参数均为阻抗标么值，所有对地支路参数均为导纳标么值。试形成该网络的结点导纳阵。

解：因结点总数为 5，故为五阶导纳阵。对线路阻抗值需换算成导纳值并对变压器支路求取以导纳值表示的  $\Pi$  形等值电路，然后即可形成该结点导纳阵的各元素。

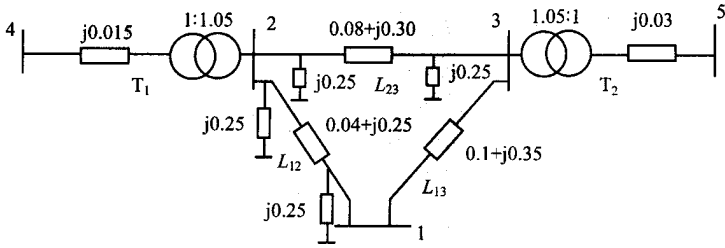


图 27-50 五母线系统

现求取线路的串联支路导纳如下：

$$y_{23} = \frac{1}{0.08 + j0.03} = 0.830 - j3.112$$

$$y_{13} = \frac{1}{0.1 + j0.35} = 0.755 - j2.642$$

$$y_{12} = \frac{1}{0.04 + j0.25} = 0.624 - j3.900$$

求取变压器Π形等值电路参数：

$$y_{42} = \frac{1}{1.05 \times j0.015} = -j63.492$$

$$y_{40} = \left(1 - \frac{1}{1.05}\right) \times \frac{1}{j0.015} = -j3.175$$

$$y_{20} = \frac{1 - 1.05}{1.05^2} \times \frac{1}{j0.015} = -j3.023$$

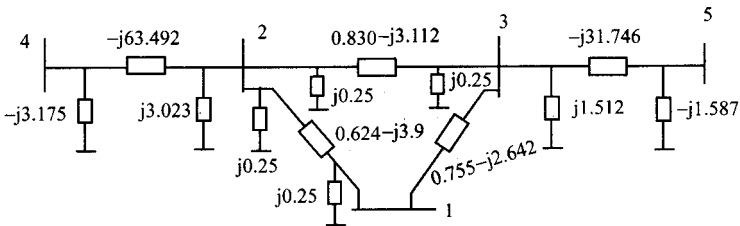


图 27-51 五母线系统等值电路

在上述计算基础上形成如图 27-51 所示的等值电路，图中参数均以导纳标么值表示。由图 27-51 可以很方便地根据定义形成结点导纳阵的各元素：

$$Y_{11} = j0.25 + (0.624 - j3.9) + (0.755 - j2.642) = 1.379 - j6.292$$

$$Y_{22} = j0.25 + j0.25 + j3.023 + (0.624 - j3.9) + (0.83 - j3.112) - j63.492 = 1.454 - j66.981$$

$$Y_{33} = j0.25 + j1.512 - j31.746 + (0.830 - j3.112) + (0.755 - j2.642) = 1.585 - j35.138$$

$$Y_{44} = -j3.175 - j63.492 = -j66.667$$

$$Y_{55} = -j1.587 - j31.746 = -j33.333$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -0.624 + j3.9$$

$$Y_{13} = Y_{31} = -0.755 + j2.642$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -0.830 + j3.112$$

$$Y_{24} = Y_{42} = j63.492$$

$$Y_{35} = Y_{53} = j31.746$$

故有

$$[Y] = \begin{bmatrix} 1.379 - j6.292 & -0.642 + j3.9 & -0.755 + j2.642 & 0 & 0 \\ -0.642 + j3.9 & 1.454 - j66.981 & 0.830 + j3.112 & j63.492 & 0 \\ -0.755 + j2.642 & 0.830 + j3.112 & 1.585 - j35.738 & 0 & j31.746 \\ 0 & j63.492 & 0 & -j66.667 & 0 \\ 0 & 0 & j31.746 & 0 & -j33.333 \end{bmatrix}$$

### 三、功率方程和变量与结点的分类

当以结点注入功率代替结点注入电流时, 电力网络的结点方程就成为功率方程。它是电力系统潮流分析的常用数学模型。功率方程有极坐标与直角坐标之分, 先从两端供电系统(两母线系统)入手, 再讨论  $n$  母线系统。

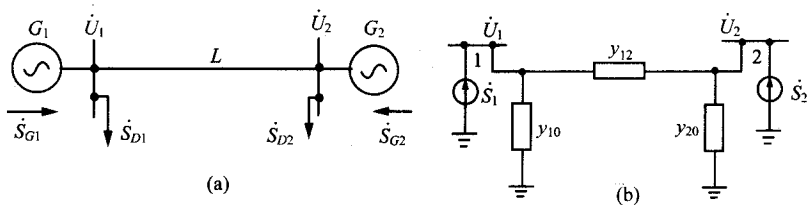


图 27-52 两端供电系统  
(a) 系统图 (b) 等值电路图

#### (一) 两端供电系统

如图 27-52(a) 所示的两端供电系统, 按本节第一部分中关于计算机解法的约定, 则可形成如图 27-52(b) 所示的等值电路。该图中,

$$\begin{aligned} \dot{S}_1 &= (P_{G1} - jP_{D1}) + j(Q_{G1} - Q_{D1}) \\ \dot{S}_2 &= (P_{G2} - jP_{D2}) + j(Q_{G2} - Q_{D2}) \end{aligned}$$

于是可形成结点电压方程如下:

$$\left. \begin{aligned} \left\{ \frac{\dot{S}_1}{\dot{U}_1} \right\}^* &= Y_{11} \dot{U}_1 + Y_{12} \dot{U}_2 \\ \left\{ \frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2} \right\}^* &= Y_{21} \dot{U}_1 + Y_{22} \dot{U}_2 \end{aligned} \right\}$$

式中,

$$\begin{aligned} Y_{11} &= Y_{22} = y_{10} + y_{12} = y_{20} + y_{21} = y_s e^{-j(90^\circ - \alpha_s)} \\ Y_{12} &= Y_{21} = -y_{12} = -y_{21} = -y_m e^{-j(90^\circ - \alpha_m)} \end{aligned}$$

将它们代入式, 且将实部虚部分开, 并已知  $\dot{U}_1 = U_1 e^{j\delta_1}$  和  $\dot{U}_2 = U_2 e^{j\delta_2}$ , 则有

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= P_{G1} - P_{D1} - y_s U_1^2 \sin \alpha_s - y_m U_1 U_2 \sin[(\delta_1 - \delta_2) - \alpha_m] = 0 \\ f_2 &= P_{G2} - P_{D2} - y_s U_2^2 \sin \alpha_s - y_m U_1 U_2 \sin[(\delta_2 - \delta_1) - \alpha_m] = 0 \\ f_3 &= Q_{G1} - Q_{D1} + y_s U_1^2 \cos \alpha_s - y_m U_1 U_2 \cos[(\delta_1 - \delta_2) - \alpha_m] = 0 \\ f_4 &= Q_{G2} - Q_{D2} + y_s U_2^2 \cos \alpha_s - y_m U_1 U_2 \cos[(\delta_2 - \delta_1) - \alpha_m] = 0 \end{aligned} \right\}$$

此即为图 27-52(a) 的两端供电系统的功率方程, 是以极坐标形式表示的。由上式可见:

- ① 功率方程反映了结点注入功率与结点电压间的关系。该方程是各结点电压相量的非线性函数, 一般需用迭代法求解。
- ② 功率方程中结点电压的相位角是以相对角的形式出现的, 必须确定某一个电压相量为参考相量。
- ③ 功率方程中除网络参数  $y_s$ 、 $y_m$ 、 $\alpha_s$ 、 $\alpha_m$  为常数外, 其余均为变量。每个结点有 6 个变量 ( $P_G$ 、 $Q_G$ 、 $P_D$ 、

$Q_D, U, \delta$ ), 两结点系统共有 12 个变量, 但只有 4 个实数方程。因而必须根据运行条件给定其中 8 个变量, 即每个结点给定 4 个变量方能有解。虽然非线性方程组具有解的多值性, 但只有一个解是稳定解。

④ 将式的前两式与后两式分别相加得到全网有功功率和无功功率的平衡方程, 因而该系统的有功功率损耗与无功功率损耗分别为

$$\Delta P = y_s (U_1^2 + U_2^2) \sin \alpha_s - 2y_m U_1 U_2 \sin \alpha_m \cos(\delta_1 - \delta_2)$$

$$\Delta Q = y_s (U_1^2 + U_2^2) \cos \alpha_s - 2y_m U_1 U_2 \cos \alpha_m \cos(\delta_1 - \delta_2)$$

它们也都是结点电压相量的非线性函数。

## (二) $n$ 母线系统

$n$  母线功率方程是这类方程的一般形式。由式并用结点注入功率代替结点电流后可得

$$\frac{P_i - jQ_i}{\dot{U}_i} = \sum_{j=1}^n Y_{ij} U_j \quad i = 1, 2, \dots, n$$

式中  $P_i, Q_i$  分别为结点  $i$  的注入有功功率和注入无功功率, 因而有

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} U_j \quad i = 1, 2, \dots, n$$

使  $U_i = U_i e^{j\delta_i}$ ,  $Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij}$ , 则有

$$P_i - jQ_i = U_i e^{-j\delta_i} \sum_{j=1}^n (G_{ij} + jB_{ij}) U_j e^{j\delta_j} = U_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} + jB_{ij}) U_j e^{-j(\delta_i - \delta_j)}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

由于  $e^{-j(\delta_i - \delta_j)} = \cos(\delta_i - \delta_j) - j\sin(\delta_i - \delta_j)$

故有

$$P_i - jQ_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j \{ G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) + j [ B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) - G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) ] \}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

将上式的实部、虚部分开, 则有

$$\left. \begin{aligned} P_i &= U_i \sum_{j=1}^n U_j [ G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) ] \\ Q_i &= - U_i \sum_{j=1}^n U_j [ B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) - G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) ] \end{aligned} \right\}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

对结点  $i$ ,

$$P_i = P_{Gi} - P_{Di}, Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di}$$

因而有

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= P_{G1} - P_{D1} - U_1 \sum_{j=1}^n U_j [ G_{1j} \cos(\delta_1 - \delta_j) + B_{1j} \sin(\delta_1 - \delta_j) ] = 0 \\ &\vdots \\ f_n &= P_{Gn} - P_{Dn} - U_n \sum_{j=1}^n U_j [ G_{nj} \cos(\delta_n - \delta_j) + B_{nj} \sin(\delta_n - \delta_j) ] = 0 \\ f_{n+1} &= Q_{G1} - Q_{D1} + U_1 \sum_{j=1}^n U_j [ B_{1j} \cos(\delta_1 - \delta_j) - G_{1j} \sin(\delta_1 - \delta_j) ] = 0 \\ &\vdots \\ f_{2n+1} &= Q_{Gn} - Q_{Dn} - U_n \sum_{j=1}^n U_j [ B_{nj} \cos(\delta_n - \delta_j) - G_{nj} \sin(\delta_n - \delta_j) ] = 0 \end{aligned} \right\}$$

上式即为  $n$  母线系统的极坐标功率方程。如前所述, 一个结点有 6 个变量, 那么  $n$  个结点就有  $6n$  个变量, 上式只有  $2n$  个方程, 因而必须给定  $4n$  个变量, 方能有解。

按照控制理论的概念, 结点电压相量  $U_i, \delta_i$  称为状态变量, 负荷功率  $P_{Di}, Q_{Di}$  称为扰动变量(不可控变



量),电源发出的功率  $P_{Gi}$ 、 $Q_{Gi}$ 称为控制变量。似乎进行这样的分类后,即可求解状态变量,其实不然,这是由于这样分类并不完全符合电力系统的实际状况。如前所述,在功率方程中出现结点电压相位角的相对值,从而解不出绝对相位角;系统中的功率损耗是状态变量的函数,在状态变量解出以前,无从确定功率损耗。为解决上述问题,须对变量的给定作如下调整:

在  $n$  结点系统中,只给定  $(n-1)$  对(即  $2n-2$  个)控制变量,余下一对控制变量  $P_{Gs}$ 、 $Q_{Gs}$ 并不是给定的,而是由全系统的电源功率、负荷功率和损耗功率保持平衡的条件确定的。此外,只要求待定  $(n-1)$  对状态变量,余下一对状态变量  $U_s$ 、 $\delta_s$  是给定的,即参考电压相量  $U_s$ 、 $\delta_s$ 。通常使  $U_s$  的标幺值取为 1.0 左右,以使求解后结点电压的水平在额定值附近,而  $\delta_s$  则赋以零值。这样原则上已可以从  $2n$  个方程中解出  $2n$  个状态变量,但潮流计算还应满足正常运行条件下的实际约束:

(1) 发电机出力变动范围约束

$$P_{Gi \min} < P_{Gi} < P_{Gi \max}$$

$$Q_{Gi \min} < Q_{Gi} < Q_{Gi \max}$$

这些  $P_{Gi \min}$ 、 $P_{Gi \max}$ 、 $Q_{Gi \min}$ 、 $Q_{Gi \max}$  的确定在第六章第一节中关于发电机组的运行限额部分已阐述过。

(2) 结点电压相量变动范围约束

$$U_{i \min} < U_i < U_{i \max}$$

$$|\delta_i - \delta_j| < |\delta_i - \delta_j|_{\max}$$

这些  $U_{i \min}$ 、 $U_{i \max}$  由电能质量所决定有关结点电压相角相对最大值是由保证系统运行稳定性所确定的,参见第十五、二十二章。

运用结点功率以后,在功率方程中每个结点有 4 个变量,即  $P_i$ 、 $Q_i$ 、 $U_i$  及  $\delta_i$ ,那么  $n$  结点系统就有  $4n$  个变量,因为只有  $2n$  个方程,必须给定  $2n$  个变量,方能求解。根据电力系统的实际运行条件,必须事先给定这  $2n$  个变量。这样,系统中的结点就因给定变量的不同而分为下述三类:

第一类称为 PQ 结点。对于这类结点,结点注入功率是给定的。待求量是结点的电压  $U_i$  及相位角  $\delta_i$ ,属于这类结点的是定载发电厂的母线和一般变电所的母线。

第二类称为 PU 结点。对于这类结点,结点注入功率  $P_i$  及结点电压  $U_i$  是给定的,待求量是结点注入功率  $Q_i$  及结点电压相角  $\delta_i$ 。属于这类结点的是有无功电源储备的发电厂母线和有无功补偿电源的变电所二次母线。

第三类是  $U\delta$  结点,亦称平衡结点。一般全系统只设一个平衡结点。对于这一结点,结点电压  $U_s$  及其相位  $\delta_s$  是给定的。通常取  $U_s = 1.0$ (标幺值), $\delta_s = 0^\circ$ 。待求量是结点注入功率  $P_s$  及  $Q_s$ 。通常该结点的负荷功率  $P_{Ls}$ 、 $Q_{Ls}$  是给定的,因而电源功率  $P_{Gs}$ 、 $Q_{Gs}$  是待定的,属于这一结点的是调频发电厂的母线。

应该指出上述分类方法是一种典型分类方法,但也并非一成不变。应按照工程问题的物理本质来处理结点分类问题,如新近潮流计算中将平衡结点处理成分布式的,也就是将功率损耗按一定比例分配到各发电厂的母线,这样处理将更趋合理。

## 四、非线性代数方程组的迭代计算方法

非线性代数方程组的迭代解法有雅可比法、高斯-赛德尔法、加速系数法及牛顿-拉弗森法(简称 NR 法)等。其中以 NR 法更为有效,使用更为普遍。它是一种逐次线性化的迭代求解过程。本节先从一维非线性方程的 NR 法求解入手,再讨论  $n$  维系统的求解过程。

### (一) 一维非线性方程

设非线性方程

$$f(x) = 0$$

求解  $x_0$ 。

设  $x$  的真值为  $x^*$ 。现在  $x^*$  的附近选一初值  $x^{(0)}$ ,则  $x^{(0)}$  与真值  $x^*$  的偏差为

$$\Delta x^{(0)} = x^{(0)} - x^*$$

称为对初值  $x^{(0)}$  的修正量。若能找到  $\Delta x^{(0)}$  则

$$x^* = x^{(0)} - \Delta x^{(0)}$$

这样就把求  $x^*$  的问题转化为求  $\Delta x^{(0)}$  的问题。于是可将式代入式得到

$$f(x^{(0)} - \Delta x^{(0)}) = 0$$

围绕  $x^{(0)}$  将上式展成泰勒级数

$$f(x^{(0)} - \Delta x^{(0)}) = f(x^{(0)}) - f'(x^{(0)})\Delta x^{(0)} + f''(x^{(0)})\left[\frac{\Delta x^{(0)}\right]^2 - \dots + (-1)^n f^{(n)}(x^{(0)})\left[\frac{\Delta x^{(0)}\right]^n + \dots = 0$$

式中  $f'(x^{(0)})$ ,  $f''(x^{(0)})$ , ...  $f^{(n)}(x^{(0)})$  分别为函数  $f(x)$  在  $x^{(0)}$  的各阶导数值。

因为  $\Delta x^{(0)}$  很小, 可略去上式中的高阶项, 因而有下列近似式:

$$f(x^{(0)}) - f'(x^{(0)})\Delta x^{(0)} = 0$$

这是一个对于  $x^{(0)}$  的修正量  $\Delta x^{(0)}$  而言的线性方程式, 称为修正方程式。由上式可解得

$$\Delta x^{(0)} = \frac{f(x^{(0)})}{f'(x^{(0)})}$$

由于式是一近似式, 所以  $\Delta x^{(0)}$  并非  $x^{(0)}$  对  $x^*$  的精确修正量, 而只能得到向  $x^*$  逼近了一步的  $x^{(1)}$ , 即

$$x^{(1)} = x^{(0)} - \Delta x^{(0)}$$

将上式代入式得到

$$f(x^{(1)}) - f'(x^{(1)})\Delta x^{(1)} = 0$$

于是有

$$\Delta x^{(1)} = \frac{f(x^{(1)})}{f'(x^{(1)})}$$

$$x^{(2)} = x^{(1)} - \Delta x^{(1)}$$

如此继续下去, 则可得到充分逼近  $x^*$  的解。

$$f(x^{(v)}) - f'(x^{(v)})\Delta x^{(v)} = 0$$

于是有

$$\Delta x^{(v)} = \frac{f(x^{(v)})}{f'(x^{(v)})}$$

$$x^{(v+1)} = x^{(v)} - \Delta x^{(v)}$$

这里  $x^{(v+1)}$  认为是已逼近真值  $x^*$  的最终近似解。其收敛条件是

$$|f'(x^{(v)}) \cdot \Delta x^{(v)}| < \epsilon_1$$

或

$$|\Delta x^{(v)}| < \epsilon_2$$

式中  $\epsilon_1, \epsilon_2$  是预先设定的小正数。

上述逐次线性化的过程其几何解释可表示为图 27-53。由该图可见,  $f(x)$  的解是曲线  $y = f(x)$  与  $x$  轴 ( $y = 0$ ) 的交点。迭代过程就是不断地以切线代替曲线  $y = f(x)$  的过程。因而 NR 法可称为切线法。其求解过程可表示为

$$x^{(v)} \rightarrow f(x^{(v)}) \rightarrow f'(x^{(v)}) \rightarrow x^{(v+1)}$$

这里  $f'(x^{(v)}) = \frac{f(x^{(v)})}{\Delta x^{(v)}} = \tan \alpha_v$

理论上  $x$  的真值  $x^* = x^{(\infty)}$ , 实际上可以根据判别式迭代到满足不等式条件时为止。此外由图 27-53 (b) 可见, 若初值  $x^{(0)}$  选择不当, 有可能不收敛。

### (二) $n$ 维非线性方程组

现将一维非线性方程的 NR 解法推广到  $n$  维多变量非线性方程组的情况。

设非线性方程组

$$\left. \begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ &\vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

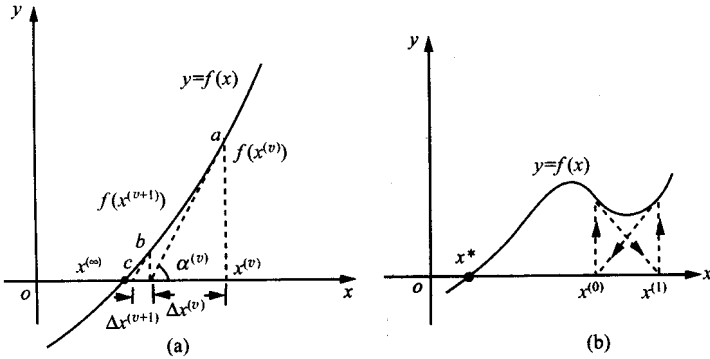


图 27-53 NR 法的几何解释  
(a) 收敛 (b) 不收敛

求解  $x_i (i=1, 2, \dots, n)$

设  $x_i (i=1, 2, \dots, n)$  的真值为  $x_i^* (i=1, 2, \dots, n)$ 。现在选初值  $x_i^{(0)} (i=1, 2, \dots, n)$ 。初值与真值的偏差为

$$\Delta x_i^{(0)} = x_i^{(0)} - x_i^* \quad i=1, 2, \dots, n$$

若能找到该偏差, 则有

$$x_i^* = x_i^{(0)} - \Delta x_i^{(0)} \quad i=1, 2, \dots, n$$

将上式代入式得到

$$\left. \begin{aligned} f_1(x_1^{(0)} - \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} - \Delta x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)} - \Delta x_n^{(0)}) &= 0 \\ f_2(x_1^{(0)} - \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} - \Delta x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)} - \Delta x_n^{(0)}) &= 0 \\ &\vdots \\ f_n(x_1^{(0)} - \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} - \Delta x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)} - \Delta x_n^{(0)}) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

在  $x_i^{(0)} (i=1, 2, \dots, n)$  处将上式展成泰勒级数并略去二阶以上项, 则有

$$\left. \begin{aligned} f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) - \left[ \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \Big|_0 \Delta x_1^{(0)} + \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \Big|_0 \Delta x_2^{(0)} + \dots + \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \Big|_0 \Delta x_n^{(0)} \right] &= 0 \\ f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) - \left[ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \Big|_0 \Delta x_1^{(0)} + \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \Big|_0 \Delta x_2^{(0)} + \dots + \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \Big|_0 \Delta x_n^{(0)} \right] &= 0 \\ &\vdots \\ f_n(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) - \left[ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} \Big|_0 \Delta x_1^{(0)} + \frac{\partial f_n}{\partial x_2} \Big|_0 \Delta x_2^{(0)} + \dots + \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \Big|_0 \Delta x_n^{(0)} \right] &= 0 \end{aligned} \right\}$$

将上式整理后即成为如下的矩阵方程:

$$\begin{bmatrix} f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \\ f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \\ \vdots \\ f_n(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}_0 \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(0)} \end{bmatrix}$$

对上式可解出  $\Delta x_i^{(0)} (i = 1, 2, \dots, n)$  则有

$$\left. \begin{aligned} x_1^{(1)} &= \Delta x_1^{(0)} - \Delta x_1^{(0)} \\ x_2^{(1)} &= \Delta x_2^{(0)} - \Delta x_2^{(0)} \\ &\vdots \\ x_n^{(1)} &= \Delta x_n^{(0)} - \Delta x_n^{(0)} \end{aligned} \right\}$$

对第  $\nu$  次线性化后可得

$$\begin{bmatrix} f_1(x_1^{(\nu)}, x_2^{(\nu)}, \dots, x_n^{(\nu)}) \\ f_2(x_1^{(\nu)}, x_2^{(\nu)}, \dots, x_n^{(\nu)}) \\ \vdots \\ f_n(x_1^{(\nu)}, x_2^{(\nu)}, \dots, x_n^{(\nu)}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(\nu)} \\ \Delta x_2^{(\nu)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(\nu)} \end{bmatrix}$$

解上述矩阵方程可得

$$\Delta x_i^{(\nu)}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

于是得到第  $\nu$  次线性化后的近似解

$$\left. \begin{aligned} x_1^{(\nu+1)} &= x_1^{(\nu)} - \Delta x_1^{(\nu)} \\ x_2^{(\nu+1)} &= x_2^{(\nu)} - \Delta x_2^{(\nu)} \\ &\vdots \\ x_n^{(\nu+1)} &= x_n^{(\nu)} - \Delta x_n^{(\nu)} \end{aligned} \right\}$$

将式写成紧凑形式如下：

$$\begin{aligned} F(x^{(\nu)}) &= J^{(\nu)} \Delta x^{(\nu)} \\ \Delta x^{(\nu)} &= [J^{(\nu)}]^{-1} F(x^{(\nu)}) \\ x^{(\nu+1)} &= x^{(\nu)} - \Delta x^{(\nu)} \end{aligned}$$

上式中  $J$  为向量函数  $F(x)$  对变量  $x$  的一阶偏导数矩阵, 称为雅可比矩阵。上述三式即为一般迭代式。迭代收敛条件可表示为

$$\max | \Delta x^{(\nu)} | < \epsilon_1$$

或

$$\max | F(x^{(\nu)}) | < \epsilon_2$$

上述判别式分别表示向量  $\Delta x^{(\nu)}$  和  $F(x^{(\nu)})$  各分量的绝对值的最大值小于设定的小正数。

例: 用 NR 法求解下述非线性方程组：

$$\left. \begin{aligned} f_1(x_1, x_2) &= 2x_1 + x_1x_2 - 1 = 0 \\ f_2(x_1, x_2) &= 2x_1 - x_1x_2 + 1 = 0 \end{aligned} \right\}$$

给定初值作一次迭代计算。

解: 取初值  $x_1^{(0)} = x_2^{(0)} = 0$

迭代 1:

$$\begin{aligned} J &= \begin{bmatrix} 2 + x_2 & x_1 \\ -x_2 & 2 - x_1 \end{bmatrix} \\ J_0 &= \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}, \quad J_0^{-1} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 \end{bmatrix} \\ F(x^{(0)}) &= \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix}^T \\ \Delta x^{(0)} &= J_0^{-1} F(x^{(0)}) = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$x^{(1)} = x^{(0)} - \Delta x^{(0)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ -0.5 \end{bmatrix}$$

迭代结果如下：

$k$	$x_1^{(k)}$	$x_2^{(k)}$
0	0	0
1	0.5	-0.5
2	0.75	-0.75
3	0.875	-0.875

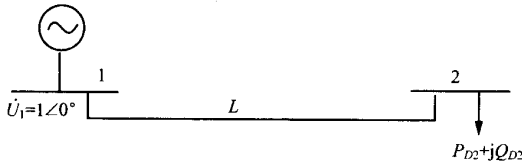


图 27-54 两结点网络

## 五、牛顿 - 拉弗森法潮流计算(直角坐标)

应用牛顿 - 拉弗森法于  $n$  结点系统的潮流计算时, 需要根据各类结点的给定量列出功率方程、相应的修正方程和求出雅可比矩阵的各个元素并注意到变量的约束条件。

### (一) 直角坐标下的功率方程

由结点电压方程式可得

$$P_i + jQ_i = \dot{U}_i \dot{I}_i^* = \dot{U}_i \sum_{j=1}^n \dot{Y}_{ij} \dot{U}_j^* \quad i = 1, 2, \dots, n$$

式中,  $P_i$ 、 $Q_i$  分别为结点  $i$  的注入有功功率和注入无功功率。

$$\text{令} \quad \dot{U}_i = e_i + jf_i, Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij}$$

并代入式则有

$$\Delta S_i = (P_i + jQ_i) - (e_i + jf_i) \sum_{j=1}^n (G_{ij} - jB_{ij})(e_j - jf_j) = 0$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

将上式的实部与虚部分开, 则有

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_i &= P_i - \sum_{j=1}^n [e_i(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j) + f_i(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j)] = 0 \\ \Delta Q_i &= Q_i - \sum_{j=1}^n [f_i(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j) - e_i(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j)] = 0 \end{aligned} \right\}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

式即为  $n$  结点系统在直角坐标下的功率方程, 它是结点电压的非线性函数。这里  $\Delta P_i$ 、 $\Delta Q_i$  是函数名, 在物理上表示功率误差。该式为迭代式, 也就是迭代求解各结点电压, 使  $\Delta P_i \rightarrow 0$  及  $\Delta Q_i \rightarrow 0$ 。

### (二) 结点分类后的功率方程

由于电力系统各结点给定量不同, 其相应的结点方程也有所不同。

对 PQ 结点,  $P_i$  及  $Q_i$  是给定的, 记为  $P_{iF}$  及  $Q_{iF}$ , 代入则有

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_i &= P_{iF} - e_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) - f_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) = 0 \\ \Delta Q_i &= Q_{iF} - f_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) + e_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) = 0 \end{aligned} \right\} \\ i = 1, 2, \dots, m$$

上式表明在  $n$  结点系统中有  $m$  个  $PQ$  结点 因而有  $2m$  个方程。

对  $PU$  结点  $P_i$  及  $U_i$  是给定的, 记为  $P_{iF}$  及  $U_{iF}$ , 因而有功功率误差方程与电压误差方程为

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_i &= P_{iF} - e_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) - f_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) = 0 \\ \Delta U_i^2 &= U_{iF}^2 - (e_i^2 + f_i^2) = 0 \end{aligned} \right\} \\ i = m+1, m+2, \dots, m-1$$

上式表明在  $n$  结点系统中有  $(n - m - 1)$  个  $PU$  结点 因而有  $\chi(n - m - 1)$  个误差方程。

对于平衡结点, 设为第  $n$  个结点。  $e_n, f_n$  是给定的, 记为  $e_s, f_s$ , 不需参加迭代计算。待全网迭代计算完毕得出其余各结点电压后, 可求出平衡结点供给的功率:

$$P_s + jQ_s = \dot{U}_s \sum_{j=1}^n \dot{Y}_{ij}^* \dot{U}_j$$

因此功率和电压的误差方程共有  $\chi(n - 1)$  个, 待求的结点电压变量  $(e_i, f_i)$  也是  $\chi(n - 1)$  个。潮流计算的实质是对给定的  $P_{iF}, Q_{iF}$  及  $U_{iF}$  寻找电压变量  $(e_i, f_i)$  使式的误差  $\Delta P_i, \Delta Q_i$  及  $\Delta U_i$  在允许偏差范围内的过程。

### (三)修正方程式

将上述  $\chi(n - 1)$  个方程在初值下展开成泰勒级数, 并略去  $\Delta e_i, \Delta f_i$  的二次方及以上项后, 可得到如下形式的修正方程:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta Q_1 \\ \dots \\ \dots \\ \Delta P_m \\ \Delta Q_m \\ \dots \\ \Delta P_{m+1} \\ \Delta U_{m+1}^2 \\ \dots \\ \dots \\ \Delta P_{n-1} \\ \Delta U_{n-1}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta P_1}{\partial f_1} & \frac{\partial \Delta P_1}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial \Delta P_1}{\partial f_i} & \frac{\partial \Delta P_1}{\partial e_i} & \dots & \frac{\partial \Delta P_1}{\partial f_{n-1}} & \frac{\partial \Delta P_1}{\partial e_{n-1}} \\ \frac{\partial \Delta Q_1}{\partial f_1} & \frac{\partial \Delta Q_1}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial \Delta Q_1}{\partial f_i} & \frac{\partial \Delta Q_1}{\partial e_i} & \dots & \frac{\partial \Delta Q_1}{\partial f_{n-1}} & \frac{\partial \Delta Q_1}{\partial e_{n-1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \Delta P_m}{\partial f_1} & \frac{\partial \Delta P_m}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial \Delta P_m}{\partial f_i} & \frac{\partial \Delta P_m}{\partial e_i} & \dots & \frac{\partial \Delta P_m}{\partial f_{n-1}} & \frac{\partial \Delta P_m}{\partial e_{n-1}} \\ \frac{\partial \Delta Q_m}{\partial f_1} & \frac{\partial \Delta Q_m}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial \Delta Q_m}{\partial f_i} & \frac{\partial \Delta Q_m}{\partial e_i} & \dots & \frac{\partial \Delta Q_m}{\partial f_{n-1}} & \frac{\partial \Delta Q_m}{\partial e_{n-1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \Delta P_{m+1}}{\partial f_1} & \frac{\partial \Delta P_{m+1}}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial \Delta P_{m+1}}{\partial f_i} & \frac{\partial \Delta P_{m+1}}{\partial e_i} & \dots & \frac{\partial \Delta P_{m+1}}{\partial f_{n-1}} & \frac{\partial \Delta P_{m+1}}{\partial e_{n-1}} \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\partial \Delta U_{m+1}^2}{\partial f_i} & \frac{\partial \Delta U_{m+1}^2}{\partial e_i} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \Delta P_{n-1}}{\partial f_i} & \frac{\partial \Delta P_{n-1}}{\partial e_i} & \dots & \frac{\partial \Delta P_{n-1}}{\partial f_i} & \frac{\partial \Delta P_{n-1}}{\partial e_i} & \dots & \frac{\partial \Delta P_{n-1}}{\partial f_{n-1}} & \frac{\partial \Delta P_{n-1}}{\partial e_{n-1}} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & \frac{\partial \Delta U_{n-1}^2}{\partial f_{n-1}} & \frac{\partial \Delta U_{n-1}^2}{\partial e_{n-1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta f_1 \\ \Delta e_1 \\ \dots \\ \dots \\ \Delta f_m \\ \Delta e_m \\ \dots \\ \Delta f_{m+1} \\ \Delta e_{m+1} \\ \dots \\ \dots \\ \Delta f_{n-1} \\ \Delta e_{n-1} \end{bmatrix}$$

上式中待求变量按  $\Delta f, \Delta e$  顺序排列, 可使雅可比系数阵的主元素都出现在对角线上。对角线占优的阵在运算过程(高斯消去法)中不致发生误差积累现象。为方便地求取雅可比阵的各元素, 现将式展开如下:

$$\Delta P_i = P_{iF} - P_i = P_{iF} - e_i(G_{ii}e_i - B_{ii}f_i) - f_i(G_{ii}f_i + B_{ii}e_i) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n-1} [e_i(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j) + f_i(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j)]$$

$$\Delta Q_i = Q_{iF} - Q_i = Q_{iF} - f_i(G_{ii}e_i - B_{ii}f_i) + e_i(G_{ii}f_i + B_{ii}e_i) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n-1} [f_i(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j) - e_i(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j)]$$

$$\Delta U_i^2 = U_{iF}^2 - U_i^2 = U_{iF}^2 - (e_i^2 + f_i^2)$$

由式中的雅可比阵及式可以求出雅可比阵的各元素。在  $i \neq j$  的情况下,对于某一特定的  $j$ ,只有该特定结点的  $e_i, f_i$  是变量。于是有

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Delta P_i}{\partial f_j} &= -\frac{\partial}{\partial f_j} [e_i(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j) + f_i(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j)] = B_{ij}e_i - G_{ij}f_i \\ \frac{\partial \Delta P_i}{\partial e_j} &= -G_{ij}e_i - B_{ij}f_i \\ \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial f_j} &= -\frac{\partial}{\partial f_j} [f_i(G_{ij}e_j - B_{ij}f_j) - e_i(G_{ij}f_j + B_{ij}e_j)] = G_{ij}e_i + B_{ij}f_i \\ \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial e_j} &= B_{ij}e_i - G_{ij}f_i \\ \frac{\partial \Delta U_i^2}{\partial f_j} &= 0 \\ \frac{\partial \Delta U_i^2}{\partial e_j} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

在  $i = j$  的情况下 则有

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Delta P_i}{\partial f_i} &= B_{ii}e_i - G_{ii}f_i - \text{Im}(I_i) \\ \frac{\partial \Delta P_i}{\partial e_i} &= G_{ii}e_i - B_{ii}f_i - \text{Re} \\ \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial f_i} &= G_{ii}e_i + B_{ii}f_i - \text{Re}(I_i) \\ \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial e_i} &= B_{ii}e_i - G_{ii}f_i + \text{Im}(I_i) \\ \frac{\partial \Delta U_i^2}{\partial f_i} &= -2f_i \\ \frac{\partial \Delta U_i^2}{\partial e_i} &= -2e_i \end{aligned} \right\}$$

上式中  $\text{Re}(I_i), \text{Im}(I_i)$  分别表示结点  $i$  注入电流的实部与虚部,可由下式表示:

$$\begin{aligned} I_i &= Y_{ii}\dot{U}_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n-1} Y_{ij}\dot{U}_j \\ &= (G_{ii}e_i - B_{ii}f_i) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n-1} (G_{ij}e_j - B_{ij}f_j) \\ &\quad + [j(G_{ii}f_i + B_{ii}e_i) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n-1} (G_{ij}f_j + B_{ij}e_j)] = \text{Re}(I_i) + j\text{Im}(I_i) \end{aligned}$$

由以上分析可见,雅可比阵的诸元素都是结点电压的函数,随各结点电压的变化而变化,此外,该阵在数值上是不对称的且具有稀疏性。

#### (四) NR 法潮流计算步骤

用 NR 法进行潮流计算的主要步骤如下:

- ① 给定各结点电压的初值  $e^{(0)}, f^{(0)}$ ;
- ② 将结点电压初值代入式, 求取修正方程式中的误差函数值  $\Delta P^{(0)}, \Delta Q^{(0)}$  及  $\Delta U^{(0)}$ ;
- ③ 将结点电压初值代入式中的雅可比阵部分求取该阵的各个元素, 并形成阵列;
- ④ 解修正方程式, 求出结点电压修正量  $\Delta e^{(0)}, \Delta f^{(0)}$ ;
- ⑤ 修正各结点电压:

$$\left. \begin{aligned} e^{(1)} &= e^{(0)} - \Delta e^{(0)} \\ f^{(1)} &= f^{(0)} - \Delta f^{(0)} \end{aligned} \right\}$$

- ⑥ 将  $e^{(1)}, f^{(1)}$  代入式, 求取  $\Delta P^{(1)}, \Delta Q^{(1)}$  及  $\Delta U^{(1)}$ ;
- ⑦ 检验收敛与否:

$$\begin{aligned} \max | \Delta P^{(v)}, \Delta Q^{(v)} | &< \epsilon_1 \\ \max | \Delta e^{(v)}, \Delta f^{(v)} | &< \epsilon_2 \end{aligned}$$

或

⑧ 若收敛, 计算平衡结点功率及线路功率等, 输出结果, 若不收敛, 转入第③步, 以  $e^{(1)}, f^{(1)}$  代替  $e^{(0)}, f^{(0)}$  进行下一次迭代计算, 直至收敛。如图 27-54 所示, 线路功率计算如下:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{ij} &= U_i^* I_{ij}^* = U_i^* [ U_j^* y_{i0}^* + (U_i^* - U_j^*) y_{ij}^* ] = P_{ij} + jQ_{ij} \\ \dot{S}_{ji} &= U_j^* I_{ji}^* = U_j^* [ U_i^* y_{j0}^* + (U_j^* - U_i^*) y_{ji}^* ] = P_{ji} + jQ_{ji} \end{aligned}$$

因而线路上的损耗功率为

$$\Delta \dot{S}_{ij} = \dot{S}_{ij} + \dot{S}_{ji} = \Delta P_{ij} + jQ_{ij}$$

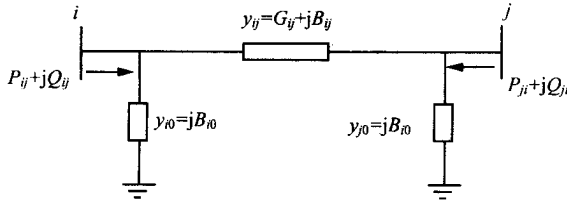


图 27-55 线路上流通的功率

NR 法对初值要求严格。如初值不合适可能不收敛, 这时可用其他迭代法(如雅可比法、高斯-赛德尔法)先算一、二次, 以其结果作为初值。虽然每次迭代要重新计算雅可比阵, 但 NR 法收敛速度快, 且可利用保持雅可比阵的稀疏性的算法以减少存储量与计算量。若取  $\epsilon = 10^{-4}$ ,  $S_B = 100\text{MVA}$ , 则相当于有名值 0.01MVA 的功率误差。迭代过程中 PQ、PU 两种结点可能相互转化, 如 PU 结点的无功功率越界, 此时 PU 结点转化为 PQ 结点, 需重新列式计算。若于 PQ 结点, 若迭代结果  $U_i$  越界, 需修正该结点的无功功率使结点电压维持在允许范围内, 实质上即使该结点转化为 PU 结点, 此时也需对雅可比阵的元素作用相应的修改。

在 NR 法的基础上, 根据电力系统的特点(如高压网络中元件参数的电抗远大于电阻等)可进一步引出计算速度更快的 P-Q 分解法。

例: 三结点系统的数据给出如下(标么值):

线路	阻抗	线路充电电导值
1-2	$0.08 + j0.24$	0.0
1-3	$0.02 + j0.06$	0.0
2-3	$0.06 + j0.18$	0.0

发电量及负荷计划:



结点	电压初值设定	发电量		负荷	
		MW	MVar	MW	MVar
1	1.06 + j0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.0 + j0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
3	1.0 + j0.0	0.0	0.0	0.0	0.25

设结点 1 为平衡结点 结点 2 及结点 3 为 PQ 结点 试运用 NR 方法写出首次迭代的潮流计算修正方程式。

若结点 2 的无功功率限制在  $-0.3 \leq Q_2 \leq 0.3$  试将结点 2 改为 PU 结点(  $P_2 = 0.2, U_2 = 1.04$  ) 其余条件不变 重新写出首次迭代的潮流计算修正方程式。

解：

$$y_{12} = \frac{1}{0.08 + j0.24} = \frac{0.08 - j0.24}{(0.08 + j0.24)(0.08 - j0.24)} = 1.25 - j3.75$$

类似地，  $y_{13} = 5 - j15, y_{23} = 1.6667 - j5.0$

形成该网络的结点导纳阵：

$$Y = \begin{bmatrix} 6.25 - j18.75 & -1.25 + j3.75 & -5 + j15.0 \\ -1.25 + j3.75 & 2.916 - j8.75 & -1.666 + j5.0 \\ = 5 + j15.0 & -1.666 + j5.0 & 6.666 - j20 \end{bmatrix}$$

由上述结点导纳阵中的各元素及对各结点设定的电压初值可以计算各结点的功率  $P_i^{(0)}, Q_i^{(0)}$ ：

$$P_i^{(0)} = \sum_{j=1}^n [ e_i^{(0)} \chi G_{ij} e_j^{(0)} - B_{ij} f_j^{(0)} ] + f_i^{(0)} \chi [ G_{ij} f_j^{(0)} + B_{ij} e_j^{(0)} ]$$

$$Q_i^{(0)} = \sum_{j=1}^n [ f_i^{(0)} \chi G_{ij} e_j^{(0)} - B_{ij} f_j^{(0)} ] - e_i^{(0)} \chi [ G_{ij} f_j^{(0)} + B_{ij} e_j^{(0)} ]$$

$$\begin{aligned} P_2^{(0)} &= 1.0(-1.25 \times 1.06 - 3.75 \times 0) + 0(-1.25 \times 0 + 3.75 \times 1.06) \\ &+ 1.0(2.916 \times 1.0 + 8.75 \times 0) + 0(2.916 \times 0 - 8.75 \times 1.0) \\ &+ 1.0(-1.666 \times 1.0 - 5.0 \times 0) + 0(-1.666 \times 0 + 5.0 \times 1.0) \\ &= -1.25 \times 1.06 + 2.916 - 1.666 \\ &= -1.325 + 2.916 - 1.666 \\ &= -0.075 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_2^{(0)} &= 0(-1.25 \times 1.06 - 3.75 \times 0) - 1.0(-1.25 \times 0 + 3.75 \times 1.06) \\ &+ [ 2.916 \times 1.0 + 8.75 \times 0 ] - 1.0(2.916 \times 0 - 8.75 \times 1.0) \\ &+ 0(-1.666 \times 1.0 - 5.0 \times 0) - 1.0(-1.666 \times 0 + 5.0 \times 1.0) \\ &= -3.75 \times 1.06 + 8.75 - 5.0 \\ &= -3.975 + 8.75 - 5.0 \\ &= -0.225 \end{aligned}$$

类似地，  
于是

$$P_3^{(0)} = -0.3, Q_3^{(0)} = -0.9$$

$$\Delta P_2^{(0)} = P_2 - P_2^{(0)} = 0.2 - (-0.075) = 0.275$$

$$\Delta Q_2^{(0)} = Q_2 - Q_2^{(0)} = 0.0 - (-0.225) = 0.225$$

$$\Delta P_3^{(0)} = P_3 - P_3^{(0)} = -0.6 - (-0.3) = -0.3$$

$$\Delta Q_3^{(0)} = Q_3 - Q_3^{(0)} = -0.25 - (-0.9) = 0.65$$

计算雅可比矩阵中各元素：

对于对角元素  $i = j$ ，

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Delta P_2^{(0)}}{\partial f_2^{(0)}} &= -2G_{22}f_2^{(0)} - (G_{21}f_1^{(0)} + B_{21}e_1^{(0)}) - (G_{23}f_3^{(0)} + B_{23}e_3^{(0)}) \\ &= -2 \times 2.916 \times 0 - (-1.25 \times 0 + 3.75 \times 1.06) - (-1.666 \times 0 + 5.0 \times 1.0) \\ &= -8.975\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Delta P_2^{(0)}}{\partial e_2^{(0)}} &= -2G_{22}e_2^{(0)} - (G_{21}e_1^{(0)} - B_{21}f_1^{(0)}) - (G_{23}e_3^{(0)} - B_{23}f_3^{(0)}) \\ &= -2 \times 2.916 \times 1.0 - (-1.25 \times 1.06 - 3.75 \times 0) - (-1.666 \times 1 - 5.0 \times 0) \\ &= -2.841\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Delta P_3^{(0)}}{\partial f_3^{(0)}} &= -2G_{33}f_3^{(0)} - (G_{31}f_1^{(0)} + B_{31}e_1^{(0)}) - (G_{32}f_2^{(0)} + B_{32}e_2^{(0)}) \\ &= -2 \times 6.666 \times 0 - (-5 \times 0 + 15 \times 1.06) - (-1.666 \times 0 + 5 \times 1) \\ &= -20.9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Delta P_3^{(0)}}{\partial e_3^{(0)}} &= -2G_{33}e_3^{(0)} - (G_{31}e_1^{(0)} - B_{31}f_1^{(0)}) - (G_{32}e_2^{(0)} - B_{32}f_2^{(0)}) \\ &= -2 \times 6.666 \times 1 - (-5 \times 1.06 - 15 \times 0) - (-1.666 \times 1 - 5 \times 0) \\ &= -6.366\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Delta Q_2^{(0)}}{\partial f_2^{(0)}} &= 2B_{22}f_2^{(0)} - (G_{21}e_1^{(0)} - B_{21}f_1^{(0)}) - (G_{23}e_3^{(0)} - B_{23}f_3^{(0)}) \\ &= 2 \times (-8.75) \times 0 - (-1.25 \times 1.06 - 3.75 \times 0) - (-1.666 \times 1 - 5 \times 0) \\ &= -2.991\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Delta Q_2^{(0)}}{\partial e_2^{(0)}} &= 2B_{22}e_2^{(0)} + (G_{21}f_1^{(0)} + B_{21}e_1^{(0)}) + (G_{23}f_3^{(0)} + B_{23}e_3^{(0)}) \\ &= 2 \times (-8.75) \times 1 + (-1.25 \times 0 + 3.75 \times 1.06) + (-1.666 \times 0 + 5 \times 1) \\ &= -8.525\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Delta Q_3^{(0)}}{\partial f_3^{(0)}} &= 2B_{33}f_3^{(0)} - (G_{31}e_1^{(0)} - B_{31}f_1^{(0)}) - (G_{32}e_2^{(0)} - B_{32}f_2^{(0)}) \\ &= 2 \times (-20) \times 0 - (-5 \times 1.06 - 15 \times 0) - (-1.666 \times 1 - 5 \times 0) \\ &= -6.966\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Delta Q_3^{(0)}}{\partial e_3^{(0)}} &= 2B_{33}e_3^{(0)} + (G_{31}f_1^{(0)} + B_{31}e_1^{(0)}) + (G_{32}f_2^{(0)} + B_{32}e_2^{(0)}) \\ &= 2 \times (-20) \times 1 + (-5 \times 0 + 15 \times 1.06) + (-1.666 \times 0 + 5 \times 1) \\ &= -19.1\end{aligned}$$

对于非对角元素  $i \neq j$ ,

$$\frac{\partial \Delta P_2^{(0)}}{\partial f_3^{(0)}} = B_{23}e_2^{(0)} - G_{23}f_2^{(0)} = 5 \times 1 - (-1.666 \times 0) = 5$$

$$\frac{\partial \Delta P_2^{(0)}}{\partial e_3^{(0)}} = -G_{23}e_2^{(0)} - B_{23}f_2^{(0)} = -(-1.666) \times 1 + 8.75 \times 0 = 1.666$$

$$\frac{\partial \Delta P_3^{(0)}}{\partial f_2^{(0)}} = B_{32}e_3^{(0)} - G_{32}f_3^{(0)} = 5 \times 1 - (-1.666 \times 0) = 5$$

$$\frac{\partial \Delta P_3^{(0)}}{\partial e_2^{(0)}} = -G_{32}e_3^{(0)} - B_{32}f_3^{(0)} = -(-1.666) \times 1 - 5 \times 0 = 1.666$$

$$\frac{\partial \Delta Q_2^{(0)}}{\partial f_3^{(0)}} = G_{23}e_2^{(0)} + B_{23}f_2^{(0)} = -1.666 \times 1 + 8.75 \times 0 = -1.666$$

$$\frac{\partial \Delta Q_2^{(0)}}{\partial e_3^{(0)}} = B_{23}e_2^{(0)} - G_{23}f_2^{(0)} = 5 \times 1 - (-1.666 \times 0) = 5$$

$$\frac{\partial \Delta Q_3^{(0)}}{\partial f_2^{(0)}} = G_{32}e_3^{(0)} + B_{32}f_3^{(0)} = -1.666 \times 1 + 5 \times 0 = -1.666$$

$$\frac{\partial \Delta Q_3^{(0)}}{\partial e_2^{(0)}} = B_{32}e_3^{(0)} - G_{32}f_3^{(0)} = 5 \times 1 - (-1.666 \times 0) = 5$$

根据上述计算结果,可形成第一次迭代的修正方程式如下:

$$\begin{bmatrix} 0.275 \\ 0.225 \\ -0.3 \\ 0.65 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8.975 & -2.841 & 5.0 & 1.666 \\ 2.991 & -8.525 & -1.666 & 5.0 \\ 5.0 & 1.666 & -20.9 & -6.366 \\ -1.666 & 5.0 & 6.966 & -19.1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta f_2^{(0)} \\ \Delta e_2^{(0)} \\ \Delta f_3^{(0)} \\ \Delta e_3^{(0)} \end{bmatrix}$$

对于结点 2 转为 PU 结点的情况:

$$[\Delta U_2^{(0)}]^2 = 1.04^2 - [(e_2^{(0)})^2 + (f_2^{(0)})^2] = 1.04^2 - 1^2 = 0.0816$$

$$\frac{\partial [\Delta U_2^{(0)}]^2}{\partial f_2^{(0)}} = -2f_2 = 0, \quad \frac{\partial [\Delta U_2^{(0)}]^2}{\partial e_2^{(0)}} = -2e_2 = -2$$

$$\frac{\partial [\Delta U_2^{(0)}]^2}{\partial f_3^{(0)}} = 0, \quad \frac{\partial [\Delta U_2^{(0)}]^2}{\partial e_3^{(0)}} = 0$$

故第一次迭代的修正方程式变为

$$\begin{bmatrix} 0.275 \\ 0.0816 \\ -0.3 \\ 0.65 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8.975 & -2.841 & 5.0 & 1.666 \\ 0 & -2 & 0 & 0 \\ 5.0 & 1.666 & -20.9 & -6.366 \\ -1.666 & 5.0 & 6.966 & -19.1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta f_2^{(0)} \\ \Delta e_2^{(0)} \\ \Delta f_3^{(0)} \\ \Delta e_3^{(0)} \end{bmatrix}$$

## 六、直流法潮流计算

一种较广泛应用的交流潮流的近似解法即线性化潮流或直流潮流,它变换交流解为一线性电路分析问题。直流法潮流计算速度最为快速。虽然精度较差,但在规划设计中系统数据有不少是不确定性的,而规划方案数甚多,进行大量精确潮流计算很不现实,在某些实时安全分析中,计算速度要求很高,但是在某些情况下对计算结果(如元件过负荷)的精度要求并非甚高,因而直流潮流在规划及在线应用方面仍有广泛应用。

设一输电线路的 \$\Pi\$ 型等值电路如图 27-55 所示。对结点 \$i\$ 计算的通过该线路的潮流方程表示为

$$P_{ij} + jQ_{ij} = \dot{U}_i [(U_i - U_j)y_{ij}]^* + \dot{U}_i [\dot{U}_i y_{i0}]^*$$

取 \$U\_i = U\_i e^{j\theta\_i}\$, \$\dot{U}\_j = U\_j e^{j\theta\_j}\$, \$y\_{ij} = G\_{ij} + jB\_{ij}\$ 及 \$y\_{i0} = jB\_{i0}\$, 并代入式,则有

$$\begin{aligned} P_{ij} + jQ_{ij} &= U_i e^{j\theta_i} [(U_i e^{j\theta_i} - U_j e^{j\theta_j}) (G_{ij} + jB_{ij})]^* - jU_i^2 B_{i0} \\ &= [U_i^2 - U_i U_j \cos(\theta_i - \theta_j) - jU_i U_j \sin(\theta_i - \theta_j)] (G_{ij} - jB_{ij}) - jU_i^2 B_{i0} \end{aligned}$$

因而有

$$P_{ij} = G_{ij} U_i^2 - G_{ij} U_i U_j \cos(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} U_i U_j \sin(\theta_i - \theta_j)$$

设

$$\textcircled{1} U_i = U_j;$$

$$\textcircled{2} x_{ij} = r_{ij}, \text{ 并有}$$

$$G_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2} = 0$$

$$B_{ij} = \frac{-x_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2} = -\frac{1}{x_{ij}}$$

$$\textcircled{3} (\theta_i - \theta_j) \text{ 很小, 并有}$$

$$\begin{aligned}\cos(\theta_i - \theta_j) &\doteq 1 \\ \sin(\theta_i - \theta_j) &\doteq \theta_i - \theta_j\end{aligned}$$

④忽略所有对地支路  $B_{i0} = B_{j0} = 0$  则有

$$\left. \begin{aligned}P_{ij} &= \frac{1}{x_{ij}}(\theta_i - \theta_j) \\ Q_{ij} &\doteq 0\end{aligned} \right\}$$

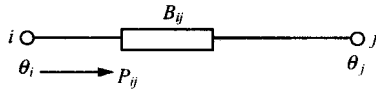


图 27-56 直流法支路等值

参见图 27-56, 因而有

$$\left. \begin{aligned}P_i &= \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n P_{ij} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{1}{x_{ij}}(\theta_i - \theta_j) \\ Q_i &= 0\end{aligned} \right\}$$

这里  $j$  表示连接到结点  $i$  的所有结点。将式的上式表示为矩阵形式：

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} = B \cdot \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix}$$

或

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = X \cdot \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix}$$

式中,

$$\begin{aligned}B_{ij} &= \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{1}{x_{ij}} && \text{对 } i \neq \text{ref} \\ B_{ii} &= 0 && \text{对 } i = \text{ref} \\ B_{ij} &= -\frac{1}{x_{ij}} && i \neq \text{ref } j \neq \text{ref} \\ B_{ij} &= 0 && i = \text{ref 或 } j = \text{ref}\end{aligned}$$

其中 ref 为参考结点。

严格地讲,  $B$  无逆阵, 这是因为相应于参考结点的行和列都为零, 对于  $n$  结点系统, 仅有  $n-1$  个线性化的独立方程, 因此只有  $B$  的  $(n-1) \times (n-1)$  阶子阵有逆。所称  $X$  矩阵意指该阵为  $B$  的子阵的逆阵再加上相应于参考结点的零行和零列。这样, 写  $B$  及  $X$  联系列向量  $P$  和  $\theta$  就可以包含所有结点。注意到通常假设参考结点的相角为零。

由式, 直流法潮流计算中将不考虑各结点的注入无功功率。

例: 三结点系统如图 27-57 所示。已知结点 1、2 的有功功率 (MW) 及线路电抗 (标么值), 结点 3 为平衡结点。试用直流法求有功功率分布。

解: 采用标么值计算,  $S_B$  取 100MVA, 全部相角为弧度。

设  $\theta_3 = 0, P_3$

1.0 - 0.65

0.35 形成线性矩阵方程:

$$\begin{bmatrix} 7.5 & -5.0 & 0 \\ -5.0 & 9.0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.65 \\ -1.0 \\ 0.35 \end{bmatrix}$$

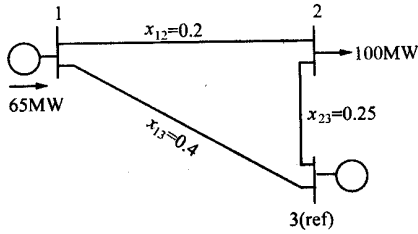


图 27-57 三结点系统

因而有

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2118 & 0.1177 & 0 \\ 0.1177 & 0.1765 & 0 \\ 0.0 & 0.0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.65 \\ -1.0 \\ 0.35 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.02 \\ -0.1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

所以

$$P_{12} = \frac{1}{0.2} \times (0.02 - (-0.1)) = 0.6$$

$$P_{13} = \frac{1}{0.4} \times (0.02 - 0) = 0.05$$

$$P_{32} = \frac{1}{0.25} (0 - (-0.1)) = 0.4$$

上述计算结果表示如图 27-58 所示。

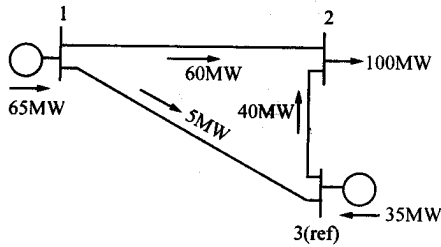


图 27-58 潮流分布

## 第二十八章 配电网控制自动化技术

### 第一节 发电厂的 control 方式

大机组发电厂的 control 方式可分为单元 control 兼网络 control 室及单元集中 control 室与网络 control 室相互独立的两种类型。

#### 一、单元 control 室及网络 control 室的 control 方式

600MW 发电机组通常将一个单元的机、炉、电的所有设备和系统集中在一个单元 control 室 control。大型电厂,为了提高热效率,趋向采用亚临界或超临界高压、高温的机组,其热力系统和电气主接线都是单元制,各机组之间的横向联系较少,在进行启动、停机和事故处理时,单元机组内部的纵向联系较多,因而采用单元 control 室,便于机、炉、电协调 control。

在单元 control 室内电气部分控制的设备和元件主要有:汽轮发电机及其励磁系统、主变压器、高压厂用工作变压器、高压厂用备用变压器或启/备变压器、高压厂用电源线、主厂房内采用专用备用电源的低压厂用变压器以及该单元其他必要集中控制的设备和元件。对全厂共用的设备,集中在第一单元 control 室 control,其他单元 control 室有必要的信号及调节手段。

采用单元制方式的发电厂,当高压网络出线较少或远景规划明确时,电力网的 control 部分可设在第一单元 control 室内,各操作控制在网控屏上进行,当高压网络出线较多或配电装置离主厂房较远时,一般另设网络 control 室。在单元 control 室网控屏或网络 control 室内控制的设备和元件有:联络变压器或自耦变压器、高压母线设备、110kV 及以上线路、高压或低压并联电抗器等,此外,还有各单元发电机-变压器组以及高压厂用备用或启/备变压器高压侧断路器的信号和必要的表计。

高压网络采用一个半断路器接线时,发电机-变压器组设备较重要,为防止误操作,与此有关的两台断路器在单元 control 室 control,而在单元 control 室的网控屏或网络 control 室内,有上述断路器的位置信号,以使网控人员掌握发电机-变压器组的运行状态,尤其是中间断路器的运行状态。

#### 二、单元 control 室的布置

大型电厂单元 control 室通常设计成单机一控或两机一控,布置在主厂房机炉间的适中位置,以热控专业为主。当技术经济比较合理时,单元 control 室也可布置在汽轮机房 A 排柱外侧,使电气 control 离开开关站较近。

control 室内的布置,对两机一控单元 control 室,炉机电屏(BTG)的布置多采用∩型布置,两台机组 control 屏的布置,按相同的炉、机、电顺序排列,整体协调一致。当在单元 control 室布置网控屏时,一般将网控屏布置在第一单元 control 室两台机组 control 屏的中间。由于单元 control 室受面积的限制以及技术经济条件等因素的影响,网络部分的继电保护、自动装置和变压器屏布置在靠近高压配电装置的继电器室内,发电机组的调节器、保护

设备、自动装置及计算机等电子设备屏均布置在主厂房内的电子设备室内。

特别是 600MW 机组的大型电厂,通常采用分布式微机控制系统(亦称集散系统),其 CRT 显示操作器是人机联系的主要手段,因而,通常将集散系统的 CRT 布置在 BTG 屏的前面,以便通过 CRT 实现全厂的控制监视。

图 28-1 为两台 600MW 机组,并有网控屏的单元控制室平面布置的一种布置方式。从值长台看去,BTG 屏、网控屏呈 U 型,网控屏在中间。

### 三、网控屏屏面布置

控制屏通常选用制造厂的定型产品,BTG 屏应统一配套。控制屏上一般有开关控制手柄或按钮、指示灯、光字牌、仪表、调节手柄等设备。操作设备与安装单位的模拟接线相对应,功能相同的操作设备,布置在相对应的位置上,为避免运行人员误操作,操作方向全厂一致。

图 28-2 为网控屏屏面布置的一种布置型式。

此屏模拟接线为 500kV 3/2 断路器接线。发变组有关的 500kV 断路器控制在发电机 BTG 屏,在网控屏上只设模拟灯光信号。500kV 线路母线侧断路器控制开关为手柄带灯的不对应指示接入式操作开关。正常灭灯运行,当被控对象的状态位置与控制开关手柄指示位置不一致时指示灯光亮。

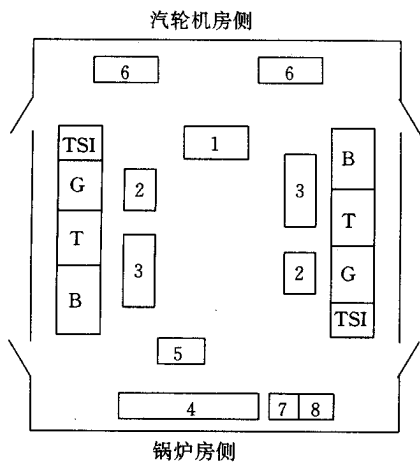


图 28-1 单元控制室的平面布置图

B、T、G—炉、机、电控制屏;TSI—发电机本体监测盘;1—值长台;2—汽轮机电液控制操作员站;3—操作员站(5台CRT);4—网控屏;5—远动通信台;6—打印机;7—消防控制盘;8—暖通报警盘

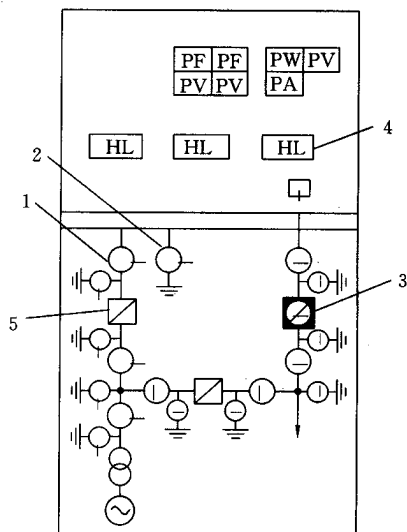


图 28-2 网控屏屏面布置图

1—隔离开关位置指示器;2—接地开关位置指示器;3—同步选择开关(控制开关);4—光字牌;5—500kV 断路器灯光模拟

## 第二节 配电网及其自动化的内容

### 一、配电网自动化的通信方式及要求

#### (一) 通信方式类型

配电网自动化系统需要借助于有效的通信手段,并且将控制中心的控制命令准确传送到为数众多的远方终端,将反映远方设备运行情况的数据信息收集到控制中心。从目前通信技术水平来看,还没有一种单一的通信手段能够全面地满足各种规模的配电自动化的需要,在实际工程中是常将多种通信方式混合使用。配电网可能用到的各种通信方式如表 28-1 所示。

表 28-1 配电网自动化可能用到的各种通信方式

通信方式	传输媒介	传输速率	传输距离	主要用途
配电线载波	高压配电线	50 ~ 300bit/s	< 10km	FTU、TTU 与区域工作站间通信
低压配电线载波	低压配电线	50 ~ 300bit/s	台区内	低压用户抄表
工频控制	配 电 线	10 ~ 300bit/s	较 短	负荷控制
脉动控制	配 电 线	50 ~ 60bit/s	较 短	负荷控制和远方抄表
电话专线	公用电话网	300 ~ 4800bit/s	较 长	FTU 与区域工作站及区域工作站或 RTU 与控制中心通信
拨号电话	公用电话网	300 ~ 4800bit/s 拨号时间长	较 长	远方抄表与远方维护
CATV 通道	有线电视网	300 ~ 9600bit/s	有线电 视网内	负荷控制
现场总线	屏蔽双绞线	几十波特率	< 2km	FTU、TTU 与区域工作站间通信、分散电能采集、设备内部通信等
RS-485	屏蔽双绞线	9600bit/s	< 2km	FTU、TTU 与区域工作站间通信、分散电能采集、设备内部通信等
多模光缆	多模光缆	< 2Mbit/s	< 5km	FTU、TTU 与区域工作站间通信、分散电能采集、设备内部通信等
单模光缆	单模光缆	< 2Mbit/s	< 50km	通信主干线
无线扩频	自由空间	< 128kbit/s	< 50km	通信主干线
VHF 电台	自由空间	< 128kbit/s	< 50km	通信主干线
UHF 电台	自由空间	< 128kbit/s	< 50km	通信主干线
多址微波	自由空间	< 128kbit/s	< 50km	通信主干线
调幅广播	自由空间	< 1200kbit/s	< 50km	负荷控制
调频广播	自由空间	< 1200kbit/s	< 50km	负荷控制
卫 星	自由空间	< 1200kbit/s	全球	时钟同步

图 28-3 是一个典型的配电网自动化系统的数据通信网络。

在配电网自动化系统中,常见的数据终端设备(DTE)有配电网自动化 SCADA 系统、RTU、馈线 RTU(FTU)。



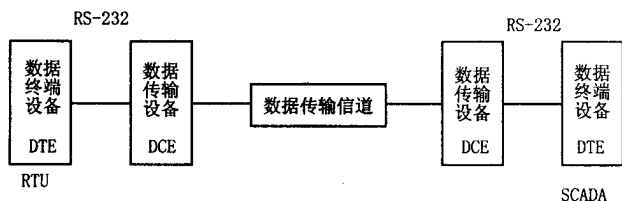


图 28-3 典型数据通信系统的框图

区域工作站、抄表集中器和抄表终端等,常见的数据传输设备(DCE)有调制解调器( Modem )、复接分接器、数传电台、载波机和光端机等。按数据传输媒介的不同,数据传输信道可分为有线信道和无线信道两类,按数据传输形式的不同,数据传输信道可分为模拟信道和数字信道两类。

DCE 和 DTE 之间一般采用 RS-232C 或 RS-485 标准接口。

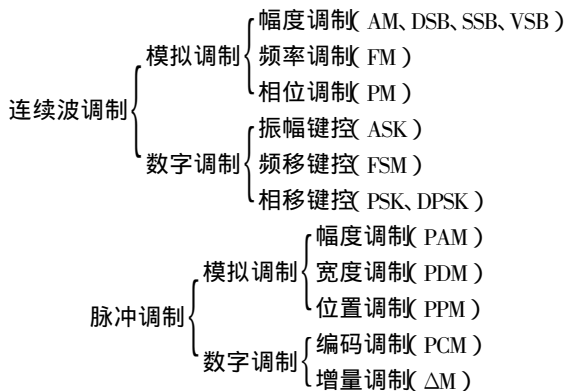
按信道中传输信号的形式,可将通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统两类。

按多路复用的方式,可将通信系统分为频分复用(Frequency Division Multiplex,简称 FDM)、时分复用(Time Division Multiplex,简称 TDM)、码分复用(Code Division Multiplex,简称 CDM)、波分复用和时间压缩复用几类,其中 FDM、TDM 和 CDM 是电力系统数据通信的基本方式。

按传输的方向,可将通信系统分为单工通信系统(Simplex)、半双工通信系统(Half Duplex)和全双工通信系统(Full Duplex)三类。

通信系统根据要传送的信号是否要调制,可分为直接传信号的基带传输和调制传输两大类。

按所使用的载波不同,各种调制方式分为连续波调制和脉冲调制两类,即



## (二) 配电网自动化对通信的基本要求

配电网自动化对通信的基本要求取决于配电自动化的规模复杂程度和预期达到的要求。主要体现在如下:

1. 通信可靠性户外的安装这一特点意味着通信系统要求长期经受不利的气候条件的考验,及易老化的危险,这就要求通信系统通过常规维护能经受住恶劣条件的考验,此外,配电网的通信系统将在较强的电磁干扰下工作,因此,具备抗干扰,并且能跨过故障区和停电区保持通信,这是对系统可靠性的又一要求。

2. 通信系统建设费用选取恰当的通信方式,同时又能节省大笔费用。

3. 通信速率的要求在选择通信方式前,应先估算配电网自动化系统所需要的通信速率,以选取恰当的通信方式和通信网络形式。

4. 双向通信能力配电网的大多数功能需要双向通信,但也有一部分功能(如简单的负荷控制)只需单向通信。但实时检测负荷控制设备是否正常却是需要的,为实现这一功能,就得双向通信。

5. 通信不受停电的影响采用电力线作为通信信息传输媒介的通信方式,必然要受到停电的制约,因此必须考虑到在停电地区的远方通信终端设备和 RTU 的供电问题。一般是提供后备电源。

6. 通信系统易操作及维护问题在配电网自动化的通信系统多采用各种通信方式相结合,因此,要考虑到

尽可能简化通信系统的使用与维护,此外还要对用户人员培训,为今后扩展带来方便,也能降低使用及维护费用。

## 二、配电网自动化的几种通信技术

### (一) 电力线载波通信

电力线载波通信(Power Line Carrier, 简称为 PLC)是将信息调制在高频载波信号上通过已建成的电力线进行传输,主要服务于利用电力传输线、传输继电保护、SCADA 和语音通信所需的信息,不必考虑架设专用线路,而且也不必经过无线电管理委员会(FCC)的许可。

根据电力载波通信所采用不同电压等级的传输线的不同,分为输电线载波通信(Transmission Line Carrier, 简称 TLC)、配电线载波通信(Distribution Line Carrier, 简称为 DLC)和低压配电线载波通信(也称为入户线载波通信)三类。

电力线载波通信的载波频率一般为  $10 \sim 300\text{kHz}$ ,而对于配电线载波通信的载波频率一般为  $5 \sim 40\text{kHz}$ ,对于低压配电线载波通信的频率一般为  $50 \sim 150\text{Hz}$ 。对所要传输信息的调制有幅度调制(AM)、单边带调制(SSB)、频率调制(FM)和移频键控(FSK)以及扩频等 5 种调制方式。

配电线载波通信的系统组成如图 28-4 所示。

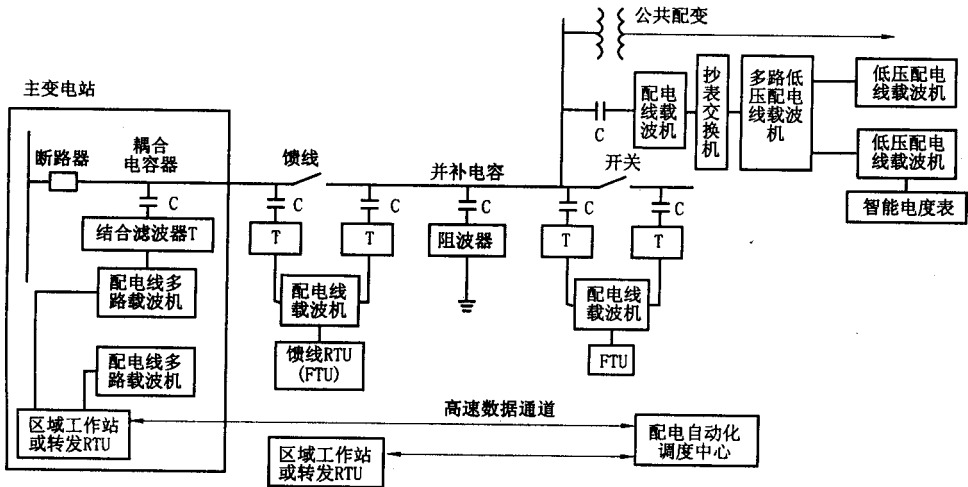


图 28-4 典型配电线载波通信的系统组成图

配电线载波通信的设备有在主变电站安装的多路载波机(称主站设备),在线路各测控对象处安放的配电线载波机(称从站设备)和高速通道。高速通道主要由高频阻波器(简称阻波器)、耦合滤波器和结合滤波器组成。

高频阻波器是用来防止高频载波信号向不需要的方向传输的设备,耦合电容器的作用是将载波设备与馈线上的高电压、操作过电压及雷电过电压等隔开,以防止高电压进入通信设备,同时使高频载波信号能顺利地耦合到馈线上。结合滤波器是与耦合电容器配合将载波信号耦合到馈线上去,并抑制干扰进入载波机的设备,它由接地刀闸 Q、避雷器  $F_B$ 、排流线圈  $L_1$ 、调谐网络  $L_2$ 、 $C_1$  和匹配变压器 T 组成,如图 28-5 所示。

在发送端,载有信息的载波信号经耦合滤波器和结合滤波器注入电力线传往接收端;在接收端,通过耦合滤波器和结合滤波器将调制信号从电力线上分离出来,并经解调装置将信息提取出来。为了阻止高频电流流向变电站而损失掉,还必须加装阻波器。

图 28-4 中,在主变电站安装多路配电线载波机(称主站设备)并与区域工作站相联,在  $10\text{kV}$  馈线的分段开关处安放的馈线 RTU(FTU)采用配电线载波机(称从站设备),经耦合滤波器 C 耦合到馈线,并通过馈

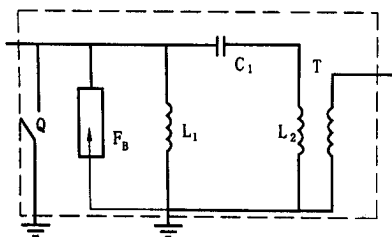


图 28-5 结合滤波器的组成

线与相应的区域工作站相联系,这样就可把分散的 FTU 上报的信息集中到主变电站的区域工作站处,区域工作站再通过高速数据通道将收集到的信息转发给配电自动化中心。为了避免线路开关分断时切断载波通道,可在开关处通过耦合电容器构造载波桥路,为了防止在发生单相接地时影响载波通信,可采取两线对地耦合方式,即通过四台耦合电容器将载波信号分别耦合至开关两侧的两相线上。对于低压用户的抄表信息,可采用低压配电线载波方式将各用户的信息传至公共配变的抄表换机,再通过配电线载波方式传至区域工作站。

从目前的技术水平看,一个典型的配电线载波通信系统可以达到  $150 \sim 300\text{bit/s}$  的波特率,并可以满足双向通信的要求,而且对于远方抄表(AMR)和监测来自馈线的数据信息等应用来说,也是较经济的方式。

对于配电系统自动化来说,由于其信噪比低,因此一般只有采用频率调制(FM)或移频键控(FSK)方式才能实现较为稳定的数据传输。

由于配电系统自动化的测控对象数量巨大,因此希望配电线载波通信系统能传输尽可能的多路信息。但是由于配电线载波通信系统使用的频率低,因此仅采用频分多路复用技术(FDM)往往不能满足要求,一般还要同时采用时分多路复用技术(TDM)。配电线载波通信系统采用频分多路复用方式和时分多路复用方式的比较如下:

{	FDM	优点 互不影响,可同时传输,实时性强
		缺点 频带占用宽,主站设备多
{	TDM	优点 频带利用率高,主站设备少
		缺点 同一时刻只能传输一路信息,实时性差

在实际使用中,应根据需要选用配电线载波系统工作方式,当一条馈线上的测控对象较少且实时性能能满足要求时,可采用 FDM 方式,当一条馈线上的测控对象较多时,则必须采用 FDM 和 TDM 相结合的方式。

在设计配电线载波通信系统方案时,应注意以下技术问题:

- 随着线路结构的变动(分段开关、联络开关和分支开关的动作),载波信号的衰减情况也随之发生变化,在设计时应考虑最坏的情况。
- 随着线路的用电负荷变动,载波信号的衰减情况也随之发生变化,一般负荷越重,衰减越严重,在设计时应考虑最严重的情况。
- 不同的用电设备对载波信号的干扰也不同,直接整流环节和高压激励的气体放电灯对载波信号的干扰较大。
- 地理电缆的线-线、线-地之间的分布电容较大,因此对载波信号的衰减较大,并且频率越高,衰减越大,因此要求在有地理电缆的线路上,使用较低的载波频率。
- 配电线的载波频率越低,线路衰减越小,受 50Hz 工频的谐波干扰越强;其频率越高,线路衰减越大,受 50Hz 工频的谐波干扰越弱。故综合考虑,配电线载波信号的频率范围应为  $5 \sim 40\text{Hz}$ ,在衰减可以接受的情况下,使用  $20 \sim 40\text{Hz}$  最佳。
- 因使用的频率较低,耦合滤波器必须在  $10000\text{pF}$  以上,阻波器和结合滤波器也与 PLC 不同。
- 因线路分支较多,为降低成本,一般不在各分支上加阻波器,为此必须采取以下措施:载波机采用 FSK 方式提高抗干扰能力;增大输出功率以提高信噪比和适应范围;具备一定的输出功率裕量,以保证在最不利的情况下满足使用要求。

8. 对一些非常复杂且信号衰减大的线路, 或对一些能产生强干扰的分支, 应适当加设阻波器以降低信号衰减和减少干扰信号进入载波通道。

9. 对于一些在通信距离上满足不了的环网配电线路, 可以在其当中适当位置加设阻波器, 并将其两侧的设备信息分别上报给两侧相应的主变电所, 如图 28-6 所示为较长馈线载波通信系统的组成。

10. 配电线载波系统由于反射导致驻波, 从而在馈线某些位置可能会存在盲点。

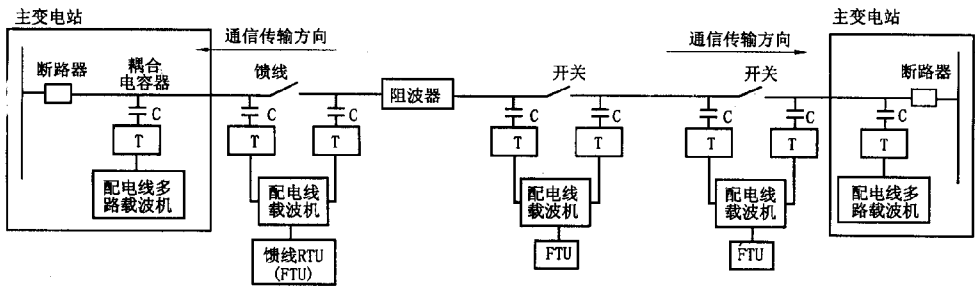


图 28-6 较长馈线载波通信系统的组成

## (二) 工频控制技术

工频控制技术是一种双向通信方式, 它也是利用电力传输线作为信号传输途径, 并利用电压过零的时机进行信号调制。由变电站向外传送信号的工频控制技术是在 50Hz 工频电压过零点附近(  $25^\circ$  左右 )的很窄的区间内( 如图 28-7RN 所示的  $\tau$  区间 )根据需要( 如传输“1”码时 ), 通过调制电路, 产生一个轻微的电波形畸变, 位于远方控制点的检测设备能够检测出这个电压波形畸变, 并还原出所代表的码元。向变电站传送信息的工频控制技术是建立在电流调制的基础上的, 在电压过零点附近的很窄的区间内根据需要( 如传输“1”码时 ), 通过如图 28-7 上侧所示的调制电路, 即在远方控制点准确地控制一个开关产生, 通过一个电感从电力线上吸取一定的电流, 在变电站检测出这个电流变化, 并还原出所代表的码元。据报道, 同时传输 12 个通道的工频控制技术( 如图 28-8 所示 ), 三相信理论数据传输速率为 540bit/s, 因此数据传输速率较高。

工频控制技术的特点是:

1. 信号发生原理是在工频电源电压过零点附近用晶闸管控制电容放电或通过电吸收电流产生脉冲波;

2. 传送速度是通过在过零点同时传送多个通道脉冲, 来实现很高的传送速度;

3. 传送可靠性受负荷阻抗变化的影响, 并注意利用控制相位原理的其它设备所发出的脉冲的干扰。

工频控制技术与脉动控制技术相比, 设备更简单, 投资更节省; 与配电线载波系统相比, 工频控制技术不存在由于驻波而带来的盲点问题。目前这种技术在美国和加拿大已广泛应用于远方自动抄表和零散负荷控制( 如热水器、游泳池水泵、路灯和空调器 )等领域。

同脉动控制技术类似, 工频控制技术存在的问题是当停电时通信将中断, 这妨碍了其应用于配电自动化系统的其它功能中, 但是对于自动抄表和负荷控制却不会受到影响。

## (三) 电话线

电话线已被电力部门应用于 SCADA 和继电保护中, 实践证明它是一种成熟的通信方式。单从技术角度看, 利用电话线通信是很适合于配电自动化系统的, 利用电话线通信可以达到较高的波特率, 而且容易实现双向通信。但是电话专线的租用费高, 并且电力部门无法完全掌握电话线通信的维护以确保其可靠运行。这些缺点降低了在配电自动化中使用电话线通信的积极性。

利用电话线传输数据可分为租用电话专线和公用电话网拨号电话两种方式。

为了利用电话线传输数据, 就必须将数字脉冲信号转换为 300 ~ 3400Hz 的话带信号, 通常可采取两种方法达到这个目的, 一种是通过 Modem( 一般时方式 ), 另一种方式是采用数字音频转换芯片( 如 Motorola 公司的

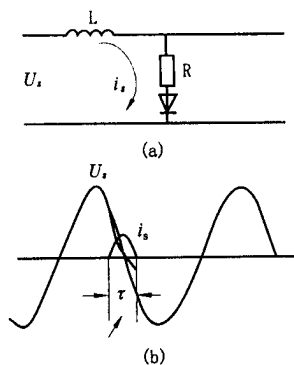


图 28-7 工频控制原理  
(a)接线图 (b)波形图

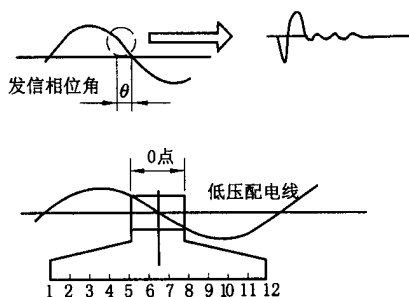


图 28-8 通道工频控制技术的工作原理

MT8880)将数字脉冲信号转换为双音多频信号(DTMF)。

采用 Modem 的方式可以达到更高的速率,但其设备的造价较高;采用双音多频信号(DTMF)方式时,0~9 十个 BCD 码分别可采用两个音频频率的组合代表,并规定每 51ms 或 102ms 发送一个 BCD 码,这样传输速率大致为 50bit/s 或 100bit/s,显然较 Modem 慢,但其设备的造价低。

#### (四)光纤通信

电力系统中已广泛采用光纤通信,光纤通信是以光波作为信息载体,以光导纤维作为传输介质的先进通信手段。与其它通信技术相比光纤通信有以下优点:

1. 传输频带很宽,通信容量大;
2. 传输衰耗小,适合于长距离传输;
3. 体积小,重量轻,可绕性强,敷设方便;
4. 输入与输出间电隔离,不怕电磁干扰;
5. 保密性好,无漏信号和串音干扰;
6. 抗腐蚀,抗酸碱,且光缆可直埋地下。

但是,光纤通信仍存在以下的缺点:

- ①强度不如金属线;
- ②连接比较困难;
- ③分路和耦合不方便;
- ④弯曲半径不宜太小。

光纤通信系统的组成如图 28-9 所示。图中仅表示了一个主向的传输,反方向的传输也是相同的。

图中电端机完成对信息源的处理,如多路复用和复接分接等;光端机的发送端内含有光源,它完成将电信号转换成为光信号,并输入光纤传输至远方;光端机的接收端内含有光检测器,它完成将来自光纤的光信号还原成为电信号,并输入到电端机的接收端;中继器完成将经过长距离传输后被衰减和畸变了的光信号放

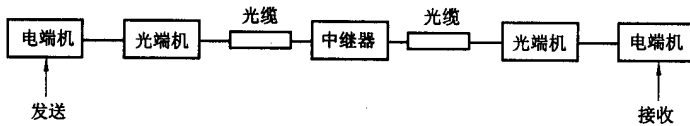


图 28-9 光纤通信系统的组成

大、整形和再生成一定强度后 继续送向远方。

按网络的形式划分 光纤通信系统可分为点对点光纤通信系统、T形光纤通信系统、环形光纤通信系统和星形光纤通信系统几类,分别如图 28-10(a)(b)(c)和(d)所示。

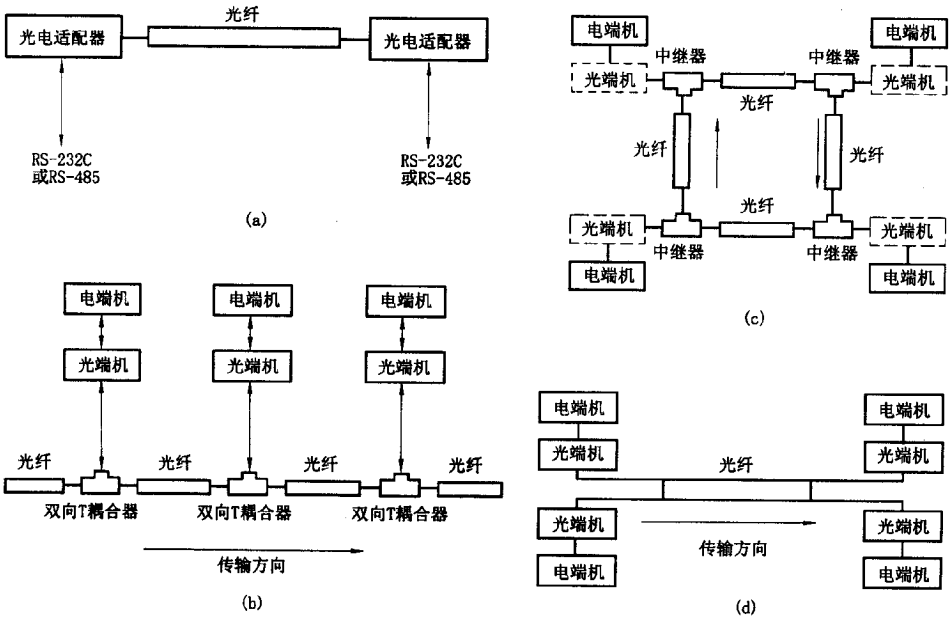


图 28-10 光纤通信系统的网络形式

(a)点对点光纤通信系统 (b)T形光纤通信系统 (c)环形光纤通信系统 (d)星形光纤通信系统

在配电自动化系统中,可以利用供电局和各变电站间开通的公用光纤电话网进行数据传输,此时光纤通过 Modem 将数字脉冲信号转换成话带信号后占用一路通道传输。也可以专门架设光纤通信专用网络传输数据信息,此时除了选用一般光端机外,还可以选用自愈式光端机,当光缆出现故障时,自愈式光端机可以自动选择路由,当故障消失后自动恢复。

对于地理电缆的配电网,光缆可以方便地与配电电缆同沟敷设,因此非常方便。为了保证通信可靠,最好设计成工作和备用两套光缆系统。

对于采用架空线的配电网,由于光导纤维不导电,因此在架设时,可以将它缠绕在电力输电线的相线上直接引到低处,但是往往需要外覆一个绝缘层以免光纤被飞弧污染。光导纤维还可以缠绕在电力输电线的中性线上,这样就无须绝缘层了。用于安装和维护光纤通信系统的工具也是成熟可靠的,并且便于使用。光纤通信系统的终端设备也既紧凑又可靠。

在用于馈线自动化中 FTU 和附近区域工作站间通信时,可选用廉价的多模光纤,并采用低造价的 LED 发送器。

光纤通信系统较其它通信方式所优越之处在于它对于电磁干扰不敏感,这对于电力系统应用尤为重要,因为故障、雷电和开关变位所引起的电磁干扰将不会影响光纤通信系统工作。

经过复用和复接的主干线光纤通信系统的单位通道的架设费用较低。通常需要几百芯的电缆才能在主

干线上传输 10 亿 bit/s 的容量 ,而采用光纤通信时 ,只需要一根光纤就可以了。

由上所述 ,在配电自动化系统中 ,采用光纤通信系统作为通信主干线更合适些。

### (五) 现场总线和 RS - 485

现场总线(Field Bus)是近 20 年来发展起来的新技术 ,它是连接智能现场设备和自动化系统的数字式双向传输、多分支结构的通信网络。

在配电自动化系统中 ,现场总线适合于用来满足 FTU 和附近区域工作站间的通信 ,以及变电站内自动化中智能模块之间的通信。

现场总线具有如下特点 :

1. 全数字化的双向数据传输 ;
2. 智能程度高 ,可以完成差错控制和一些采集与控制算法 ,可以具有一定的报文处理能力 ;
3. 拓扑结构灵活 ,可构成总线型、环形、星形等各种结构 ;
4. 开放式结构 ,便于设备间互连。

现场总线的优越性体现在以下几个方面 :

1. 现场总线的一对传输线上可以共线连接多台设备 ,使现场设备的通信简单化 ;
2. 现场总线采用经打包后的数字信息传输 ,并具有检错和纠错手段 ,因而抗干扰能力强 ;
3. 现场总线是开放式系统 ,它是根据开放互连系统协议(OSI)的七层协议制订的 ,可根据需要将不同厂商的设备互连 ,还可以共享数据库 ;
4. 采用现场总线的所有厂商都采用统一的组态方法 ,因而设备便于掌握。

现场总线并不全部采用七层协议 ,如 CAN BUS、ISP、WORKFIP 和 PROFI BUS 只采用了物理层、数据链路层和应用层 ,SP - 50 还实现了网络层并增加了一个用户层 ,但是现场总线 LON WORK 采用了全部七层协议。

常用的现场总线有 CAN BUS( Controller Area Network )、LON WORKS( Local Operating Networks )和 PROFI BUS ( Process Field Bus )等。

CAN BUS 有如下特点 :

1. CAN BUS 插卡可直接插在 PC 总线上 ;
2. CAN BUS 可按多主方式工作而不分主从 ;
3. CAN BUS 网上的节点可按不同优先级对待 ;
4. CAN BUS 采用非破坏性总线仲裁策略 ,当发生冲突时 ,优先级低的节点主动停止发送 ;
5. CAN BUS 可采用一点多址通信方式 ;
6. CAN BUS 的传输距离可达 10km( < 5kbit/s ) ,最高传输速率可达 1Mbit/s( < 40m ) ;
7. CAN BUS 网的节点可达 2000 个 ;
8. CAN BUS 采用短帧结构( 8byte ) ,且每帧都有 CRC 校验 ;
9. CAN BUS 的节点在错误严重时可切断与总线的联系 ;
10. CAN BUS 的通信介质可采用双绞线。

LON WORKS 的特点是 :

1. LON WORKS 的网络协议和通信介质开放 ;
2. LON WORKS 的协议使任何厂家的产品都可以实现互操作 ;
3. LON WORKS 的帧采用变度( 0 ~ 228byte ) ,最高传输速率可达 1.25Mbit/s( < 130m ) ;
4. LON WORKS 的传输距离可达 2.7km( < 78kbit/s ) ;
5. LON WORKS 网的节点可达 32000 个 ;
6. LON WORKS 的核心采用 NEURON 芯片 ,其中含有三个 8 位 CPU ,具有处理 OSI 的全部七层协议的功能。

PROFIBUS 的特点是 :

1. PROFI BUS 可以在网上增删站点而不影响系统运行 ;
2. PROFI BUS 采用多主令牌环的方式工作 ;
3. PROFI BUS 的物理层采用 EIA - 485 ,每个系统可有四个网段 ,每个网段可挂 32 个节点 ;

4. PROFIBUS 的最远传输距离为 1.2km；
5. PROFIBUS 的最高传输速率为 500kbit/s。

一般局域网技术(LAN)也具有传输速率高的特点,但其较适合于传送大信息量的文件,而配电自动化系统所需传输的信息量相对较小,因此 LAN 的优势发挥不出来,并且配电网的电磁干扰严重,使得 LAN 难以可靠工作。采用现场总线可以较好地解决上述问题。

在配电网自动化系统中的一些对实时性要求不高的场合,比如远方自动抄表,也可以采用 RS-485 方式通信代替现场总线。

RS-485 是一种改进的串行接口标准,其接口环节简单且不含 CPU。与 RS-232C 不同,RS-485 采用双绞线传输信号,在发送时采用差分的方式将逻辑电平。RS-485 最多可支持 64~256 个发送/接收器对,最远传输距离为 2.5km( $< 9600\text{bit/s}$ ),最高传输速率为 2.4Mbit/s。

目前 RS-485 接口芯片的发展已经达到了很高的技术水平,其功能和安全性都能满足基本要求(如输入输出隔离、防雷电、防雷击、低功耗等)。因此,采用 RS-485 方式也是配电自动化通信系统的选择之一。

## (六)无线通信系统

无线通信系统是一种覆盖面广的通信方式,它不需要传输线,而且可以构成双向通信系统。所有的无线通信系统都能够与停电区域通信。配电网自动化中采用无线电通信系统仍具有实用性。传统的无线通信系统包括以下几种:

1. 调幅(AM)广播;
2. 调频(FM)广播;
3. 无线寻呼网;
4. 甚高频通信;
5. 特高频通信;
6. 微波通信;
7. 卫星通信。

几种典型的无线通信方式介绍如下:

### (1)调幅(AM)广播

用于配电自动化的调幅广播采用不干扰现有无线调幅广播电台的频率范围工作,一般应用于对大量的用户进行负荷控制。对负荷控制信号进行相位调制后以幅度调制的形式调制到载波上,通过发射系统发送出去。与甚高频通信相比,调幅广播的波长更长,因而传输距离较长,且不受视距和障碍物的影响,一般没有多路径效应。这使得调幅广播更适用于在地形复杂的区域的配电自动化系统的需要,但是调幅广播是一种单向通信方式。

### (2)调频(FM)辅助通信业务(SCA)

另一种用于配电自动化的无线广播为调频(FM)辅助通信业务(SCA)。本质上讲,辅助通信业务是对一个负载波进行频率调制,而将信号在调频波段分开传输的通信方式。通常的调频收音机是无法检测到这个信号的,但特殊制作的接收机可以收到并解调出传输的信号来。调频(FM)辅助通信业务(SCA)也是一种单向通信方式,适用于和调幅广播相同的场合。但是调频(FM)辅助通信业务(SCA)由于工作频率较高,因此容易受到多路径效应和障碍物的影响,并且往往受到视距的限制。在拥挤且起伏的地形内,调频(FM)通信的覆盖面积较调幅(AM)通信有限。

### (3)无线寻呼网

近年来,无线寻呼系统逐渐在城市中发展起来。无线寻呼系统是一种利用无线电信号单方向传输信息的通信方式。对于城区配电自动化系统中仅需要单向通信的部分功能(如负荷控制等),采用建设专用无线寻呼网的方式,可以使通信问题得以较满意解决。专用无线寻呼系统可实现群呼(用于下达广播命令)、紧急呼叫和优先呼叫等功能。也可以采用具有自动寻呼功能的公用寻呼网,在控制中心通过一台计算机进行拨号和下达控制代码,经过公用电话网沟通公用寻呼网,从而达到单向数据传输的目的。

我国无线电管理委员会安排给无线寻呼业务的频率分布为 152.5~152.7MHz,156.0~156.3MHz,156.5~156.7MHz,属于甚高频段,实际上全国各地寻呼台的工作频率在 138~174MHz 的范围。



无线寻呼业务均采用二进制数字信号作为代码,我国将国际 1 号无线寻呼码(POC - SAG)码作为我国无线寻呼网的标准码,并规定 POCSAG 码的传输速率为 512bit/s,1200bit/s,传输码型为双向不归零,调制方式为移频键控(FSK),调制频偏为  $\pm 4.5\text{kHz}$ ,正偏对应'0'码,负偏对应'1'码;'0'码和'1'码的容限为  $\pm 50\text{Hz}$ 。

POCSAG 码的格式的主要特点如表 28 - 2 所示。

表 28 - 2 POCSAG 码的格式的主要特点

名称	前置码	同步码	地址码	信息码
主要特点	101010..... 共 576bit	SC 共 32bit	第一位是“0”,地址位 2 ~ 19,功能位 20 ~ 21,校验位 22 ~ 31,偶校验位 32	第一位是“1”,信息位 2 ~ 21,校验位 22 ~ 31,偶校验位 32
传送时间	1.125s(512bit/s) 480ms(1200bit/s)	传一码组时间:1.0625s(512bit/s);453ms(1200bit/s)		

(4)微波通信

微波通信的频率在 1GHz 以上,这种通信方式目前广泛应用于继电保护和输电网调度自动化系统中。微波通信方式的传输容量大,质量高,配置灵活,尤其是在一点多址的小微波(TDMA)推出后,其使用性能进一步加强。微波通信一般是点对点的通信方式,因此,如果在配电自动化系统中安全采用微波通信方式,则对于为数众多的测控单元,每个点都要建设一对微波通信设备。微波通信虽然可以省去建设有线传输线的费用,并且具有很宽的带宽,可以实现很高的数据传输速率,但是,对于配电自动化,由于通信距离较短且数据传输速率要求不高,加上建设一套微波通信系统的技术复杂性和造价高等,使得微波通信在配电自动化中不具有吸引力。

(5)卫星通信

一般地说,地面通信线路的成本随着距离的增大而提高,而卫星通信与距离无关。这就使得长距离干线或幅员广大的地区采用卫星通信较合适。

卫星通信是利用位于同步轨道的通信卫星作为中继站来转发或反射无线电信号,在地面站间进行通信,如图 28 - 11 所示。和微波通信相比,卫星通信的优点是不受地形和距离的限制,通信容量大,不受大气层骚动的影响,通信可靠。

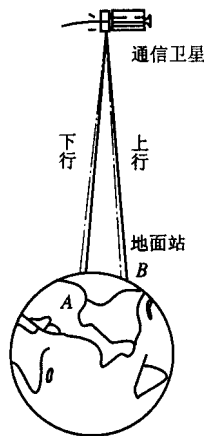


图 28 - 11 卫星通信示意图

要想采用卫星通信方式,必须租用或拥有一个星上应答器,并具有必要的上行和下行联络设备。国外一

些电力公司已成功地采用了卫星通信为 SCADA 服务。由于卫星在同步轨道的超高空上,报文来回一次的时间约为  $1/4s$ ,传输延迟大,所以不能用于响应速度要求很快的场合(如继电保护等)。

采用卫星通信的另一个用途是利用 GPS 全球定位系统来统一系统时间,提高 SOE 站间分辨率指标。在配电自动化系统中,层次较多,设备非常分散,有的设备的访问周期很长,并且配电自动化系统还要做到地调和区调之间,以及配电自动化系统内各子系统之间具有一致的时间。单纯性通过软件对时是难以实现的,必须在系统的适当位置放 GPS 接收机,以减少对时环节,达到系统时钟的统一。

### (七) 无线扩频通信

扩频通信的理论基础可由香农信道容量公式  $C = B \log_2(1 + S/N)$  来描述。该公式表明,在高斯信道中当传输系统的信噪比  $S/N$  下降时,可以通过增大传输带宽  $B$  的方法来保护信道容量  $C$  不变。对于任意给定的信噪比,可以用增大传输带宽来获得较低的信息差错率。扩频通信正是利用这个原理,用高速率的扩频码来达到扩展传输的数字信息带宽的目的。扩频通信系统的带宽比常规通信体制大几百倍至几千倍,故在相同信噪比条件下,具有较强的抗噪声干扰能力。

常用的直接序列扩频技术采用高速伪随机码(PN码),将所要传输信息的带宽拓展 100~1000 倍,使之成为宽频带、低功率、谱密度的信号。接收端利用相关解扩技术实现信号的高精度传输。

目前,专门用于输电网和配电自动化的无线扩频通信设备已经产品化,适合用作通信主干线。它既可以点对点的方式工作,又可以点对多点的方式工作,可满足 CDT 和 Polling 等远程通信规约的需要。点对点方式和点对多点方式工作的无线扩频系统的组成分别如图 28-12 和图 28-13 所示。

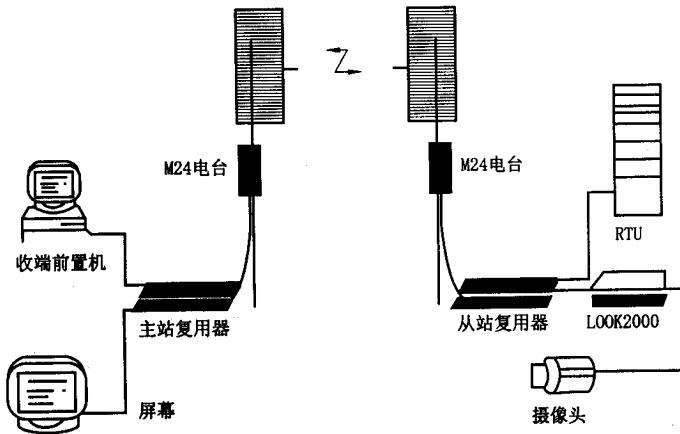


图 28-12 COMLINK 的点对点无线扩频通信系统

应用于输电网和配电自动化的无线扩频通信系统一般工作在 2.4~2.4835GHz 频段,码长可以为 11~31 任选,数据通信速度通常高达几十波特率以上,误码率可高达  $10^{-10}$ ,通信距离可达 50km。通过语音复用器,还可以利用无线扩频通信系统在进行数据通信的同时,传送语音信号。由于无线扩频通信系统的工作频率较高,因此其信号传输受到视距的限制,在遇到障碍物或进行更远距离的传输时,可采用中继器。

无线扩频通信系统比较适合于构成 10kV 开闭所、小区变或用于集结分散测控对象的区域工作站对配电自动化 SCADA 控制中心间的数据通信。由于存在成本方面的原因,在配电自动化系统中,不便于采用无线扩频通信方式和为数众多的分散测控点(如 FTU)通信。

### (八) 混合通信系统

为了用比较经济的方式全面满足配电自动化的要求,通常需要根据配电网的具体情况,在不同层次上采用不同的通信方式,从而构成混合通信系统。混合通信系统的优点在于能够在每一条信道提供最合适的通信方式。在一个具有分层集结的配电自动化系统中,所处的层次越高,则所需要的通道数就越少,所需带宽和可靠性就越高,通常将高层次的通信信道称为通信主干线。在一个大型的配电自动化系统中,不适合于较低层次的通信方式有时对于通信主干线却是很合适的。例如一个配电自动化系统具有 10 个大型变电站,这

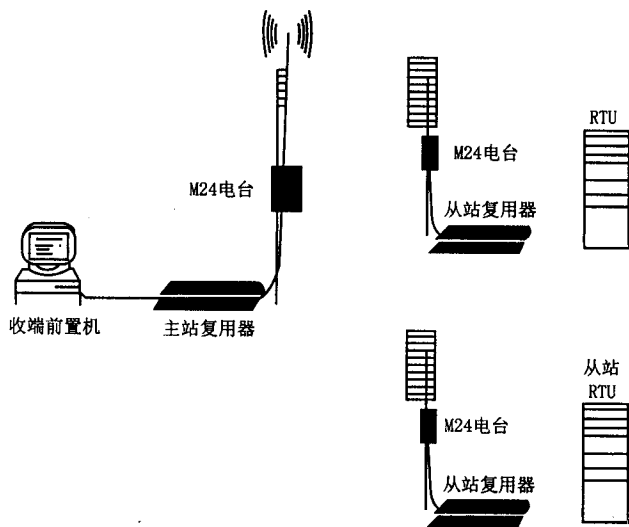


图 28-13 COMLINK 的点对多点无线扩频通信系统

些变电站的 RTU 与控制中心之间可以采用租用电话通信方式或光纤通信方式或无线扩频通信方式;而变电站可作为通信集结点,它与馈线 RTU 之间可采用配电网载波(DLC)方式通信;对于单向负荷控制则可采用调幅或调频无线广播通信方式直接与控制中心相联系,对于双向负荷控制则可采用 230MHz 的无线负荷控制专用通道与控制中心相联系,而远方抄表则采用拨号电话线与控制中心相联系。在这个系统中,不同的通信方式的优点都得以充分发挥,而且注意避免了其缺点。典型混合通信系统的构成如图 28-14 所示。

在混合通信系统中,还可以通过存储-转发中继站来克服障碍物的影响或扩大通信范围。存储-转发中继站通常可以看作节点,它是一个既可作为链路又可为其它站点提供通信服务的单元,比如在远方抄表系统中,可以采用低压配电网载波或 RS-485 及现场总线等方式将分散的电度表加以集结后再与控制中心通信,如图 28-15 所示。

在选择混合通信系统的方式时,应充分利用各地区原有的通信基础设施,从而达到减少投资的作用。

### 三、配电自动化中通信系统规约

配电自动化通信系统中,通信规约的选择也是一个重要问题。

目前普遍运用于电网调度自动化和变电站综合自动化的通信规约大致可以分为应答式规约(如 SC1801、 $\mu$ 4F 和 Modbus 等)、循环式规约(如部颁 CDT、DXF5 和 C01 等)和对等方式规约(如 DNP3.0)三类。

应答式规约又称 Polling 规约。它以主站为主,依次向各 RTU 发出查询命令,各 RTU 依查询命令进行回答,回答信息串的长度是可变的。

应答式规约的特点是:

- ① RTU 有问必答,当 RTU 收到主机查询命令后,必须在规定的时间内应答,否则视为本次通信失败;
- ② RTU 无问不答,当 RTU 未收到主机查询命令时,绝对不允许主动上报信息。

应答式规约的优点有:

① 应答式规约允许多台 RTU 以共线的方式共用一个通道,这样有助于节省通道,提高频道占用率,对于区域工作站和为数众多的 FTU 通信的情形,这种方式是很合适的。

② 应答式规约采用变化信息传送策略,从而大大压缩了数据块的长度,提高了数据传送速度;

③ 应答式规约既可以采用全双工通道,也可以采用半双工的通道;既可以采用点对点方式,又可以采用一点多址或环形结构,因此通道适应性强。

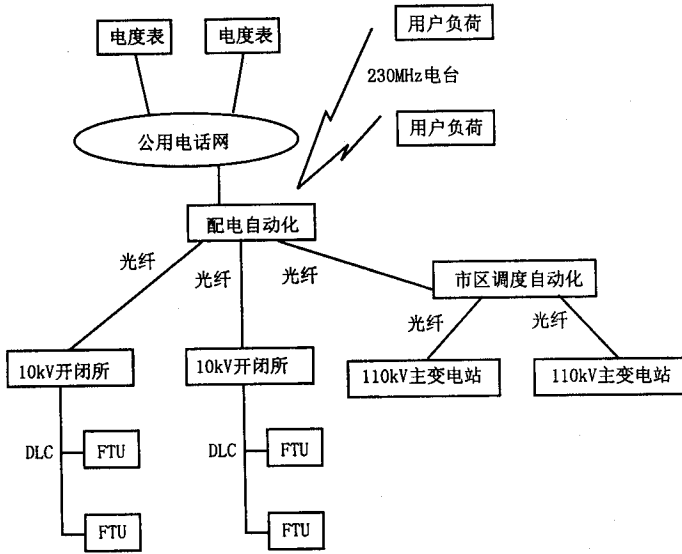


图 28-14 典型混合通信系统的构成

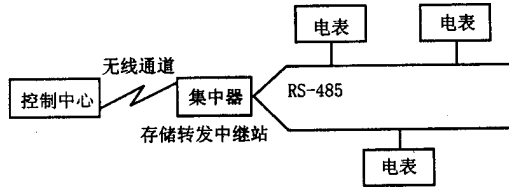


图 28-15 含有存储-转发中继站的混合通信系统

循环式规约又称 CDT 规约,它是一种 RTU 自发地不断循环上报现场数据的规约,上报信息串的长度是可变的。

循环式规约的特点是:

- ①数据传送以现场端为主,RTU 自发地不断循环上报现场数据给主站,而主站被动接收;
- ②数据格式在发送端与接收端事先约定好,按时间顺序首先发送起始同步字,然后依次发送控制字和信息字,如此周而复始,连续循环发送;
- ③重要数据发送周期短,实时性强,一般数据发送周期长,实时性差,遥信变位优先插入传送。

循环式规约的优点有:

- ①由于采用循环式规约的 RTU 不断循环上报现场数据,即使发生暂时通信失败丢失一些数据,当通信恢复正常后,被丢失的信息仍有机会上报,而不致于造成显著危害,因此这种方式对通道的要求不高,适合于在我国质量比较差的通道环境下使用;
- ②循环式规约采用信息字校验的方式,将整帧信息化整为零,当某个字符出错时,只需丢弃相应的信息字即可,而其它校验正确的信息字就可以接收,大大提高了传输数据的利用率,从而更加适合于在我国质量比较差的通道环境下使用;
- ③循环式规约采用遥信变位优先插入传送的方式,大大提高了事故传送的相应速度;
- ④循环式规约的容量较应答式规约大得多,可以传送 512 路遥信量和 256 路遥测量;
- ⑤循环式规约允许多个从站和多个主站间进行数据传输。

DNP 规约系 distributed network protocol(分布式网络规约)的缩写,它是 IEEE 电力工程协会(PES)在 IEC870-5 的基础上制定的美国国家标准。近年来逐渐被引进国内复杂的大规模运动系统中(如 GR90RTU 等)。

但是,在电网调度自动化和变电站综合自动化中成功运用的 Polling、 $\mu$ F、Modbus 和 DNP 等规约并不完全适应配电自动化系统的需要,主要表现在以下几个方面:

① 配电自动化系统中既有容量非常大的区域工作站和无人值班变电站 RTU 等数据传输终端,又有容量很小的馈线开关测控 RTU(即 FTU)和公用配电变压器测控 RTU(即 TTU),而传统的远动规约大都是针对中等规模的数据传输终端设计的,因此不能确保数量极多但容量极小的 FTU 和 TTU 的数据以简捷和迅速的方式传送,并且除了 DNP 规约以外,也难以完成容量很大的站点的数据传输。

② 配电自动化系统由于供用电管理业务的需要,在配电变电站和开闭所中多采用复费率多功能电能表,而传统的远动规约大都不能发挥多功能电能表的功能。比如无法上报分时电度和最大容量等,电度冻结等管理方式也失去了意义,更无法对多功能电能表进行整定,并且除了 DNP 规约以外,不能传送带有时标的电量参数。

③ 配电自动化系统需要向远方站点下达定值。如对 FTU 的故障电流进行远方整定,对 TTU 在配变低压侧投切补偿电容器的条件进行远方整定等,而传统的远动规约大都不支持这些操作。

④ 配电自动化系统需要向远方站点下达命令启动某个过程,如对某条馈线上的 FTU 冻结零序电流录波数据等,而传统的远动规约大都不支持这样的操作。

⑤ 配电自动化系统需要向远方站点召唤录波数据。如为了判断单相接地区段需要分析某条馈线上的 FTU 上报的零序电流录波数据等,而传统的通信规约大都不支持这样的操作。

为此在实施过程中,往往不得不对传统的通信规约进行扩展,如在容量较大的场合,将一台 RTU 分为若干台共线 RTU 采用 SC1801 规约上报以突破 SC1801 的容量极限;对于容量很小的 FTU,可在 Polling 规约基础上去掉组号和槽号,制订出一种新的更有效而又简捷的应答式规约和区域工作站通信;此外可在 CDT、Polling 和 DNP 规约中增加一些扩展帧实现定值下装、故障录波、过程启动和其它一些特殊功能。但是这样做后,会严重威胁配电自动化设备的标准化和互连性,因此有必要制定一套满足配电系统自动化需要的通信规约。

适合于配电自动化的通信系统必须同时满足技术上和经济上的要求,一般需要采用混合通信系统。混合通信系统采用多种不同的通信方式,对应于配电自动化系统中的某些功能或层次。设计人员必须在通信性能和造价两者之间折衷,以便于增大由于自动化而带来的回报。

应答式规约和循环式规约各有利弊,DNP 规约在配电系统自动化中具有比较大的潜力。

## 第三节 信号系统与测量系统

### 一、信号系统

#### 1. 信号系统的分类及要求

在发电厂中设置信号装置,其用途是供值班人员经常监视各电气设备和系统的运行状态,按信号的性质可分为以下几种:

- (1) 事故信号——表示发生事故,断路器跳闸的信号。
- (2) 预告信号——反映机组及设备运行时的不正常状态。
- (3) 位置信号——指示开关电器、控制电器及设备的位置状态。
- (4) 继电保护和自动装置的动作信号。

(5) 全厂事故信号——当发生重大事故时,通知各值班人员坚守岗位、加强监视,并通知有关人员深入现场进行紧急处理。

按信号的表示方式,可分为光信号和声音信号。光信号又分为平光信号和闪光信号以及不同颜色和不同闪光频率的光信号。声音信号又分为不同音调或语音的声音信号。计算机集散系统在电厂应用后,使信

号系统发生了很大变化。

信号装置是值班人员与各设备的信息传感器,对电厂的可靠运行影响甚大,故对发电厂的信号装置提出以下要求:

(1)信号装置的动作要准确可靠。

(2)声、光信号要明显。不同性质的信号之间有明显的区别,动作的和没动作的应有明显区别,在较多信号中,动作的信号属于哪个安装单位,应有明显的标记。

(3)信号装置的反应速度要快。

### 2. 事故信号和预告信号

事故信号和预告信号合称为中央信号。最近引进国外技术建设的发电厂大多采用新型中央信号装置。这些装置除具有常用的中央信号装置的功能外,信号系统由单个元件构成积木式结构,接受信号数量没有限制。现将某电厂采用的信号装置作简单介绍。

信号装置采用微机闪光报警器,除具有普通报警功能外,还具备对报警信号的追忆、记忆信号的掉电保护、报警方式的双音双色、报警音响的自动消音等特殊功能。装置的控制部分由微处理器、程序存储器、数据存储器、时钟源、输入输出接口等组成微机专用系统。装置的显示部分(光字牌)采用新型固体发光平面管(冷光源)。

该装置的特殊功能分述如下:

(1)双音双色:光字牌的两种颜色分别对应两种报警音响,从视觉、听觉上可明显区别事故信号与预告信号。报警时,灯光闪光,同时音响发声,确认后,灯光平光,音响停止,正常运行为暗屏运行。

(2)动合(常开)动断(常闭)触点可选择:可对64点输入信号的动合、动断触点状态以8的倍数进行设定,由控制器内的主控板上拨码器控制。

(3)自动确认:信号报警若不按确认键,能自动确认,光字牌由闪光转平光、音响停止,自动消音时间可控制。

(4)通信功能:控制器具有通信线,可与计算机进行通信,将断路器动作情况通过报文形式报告给计算机。当使用多个信号装置时,通信线可并网运行,由一台控制器作主机,其他控制器分别做子机,且子机计算机地址各不相同。其连接示意图如图 28-16 所示。

(5)追忆功能:报警信号可追忆,按下追忆键,已报警的信号按其报警先后顺序在光字牌上逐个闪亮(1个/s),最多可记忆2000个信号,追忆中报警优先。

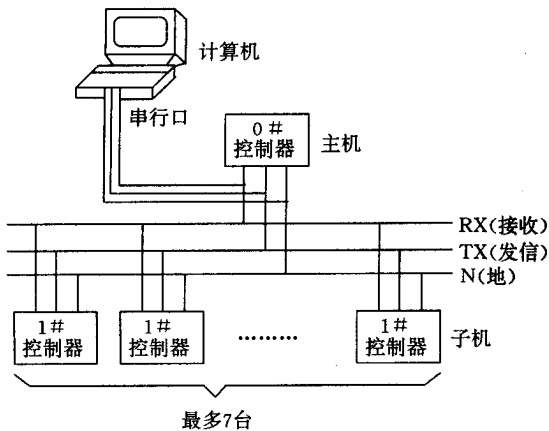


图 28-16 多台控制器连接示意图

(6)清除功能:若需清除报警器内记忆信号,操作清除键即可。

(7)掉电保护功能:报警器若在使用过程中断电,记忆信号可保存60天。

(8)触点输出功能:在报警信号输入的同时,对应输出一常开触点,可起辅助控制的作用。

## 二、测量系统

大型电厂,一般设有远动装置或采用计算机、微处理机实现监控,其模拟输入量都为弱电系列。在同一安装单位的相同被测量可以共用一套变送器,这样不仅简化了测量回路,同时也有利于减轻电流互感器的二次负担和提高测量的准确度。测量表计直接接在变送器的输出端,变送器将被测量转换成辅助量,一般为 $4\sim 20\text{mA}$ 或 $0\sim 5\text{mV}$ ,经弱电电缆送到控制室的毫安表或毫伏表上(表的刻度按一次回路的电流互感器变比折算到一次电流)。

## 第四节 配电所及变电站自动化

变电站及配电所在配电网中具有十分重要的地位,它既是变压侧配电网中的负荷,又是下一级配电网的电源。配电所及变电站自动化是配电自动化的重点,其自动化程度的高低直接反映了配电自动化的水平。近几年来变电站自动化发展十分迅速。

配电变电站和 $10\text{kV}$ 配电所内的自动化与输电网中的变电站自动化所采用的设备类似。 $10\text{kV}$ 的配电所甚至配电站往往无人值班,因而要求站内要安装远动装置(RTU)等设备。概括地说变电站自动化要有如下基本功能:

各种电器设备运行参数的监测;开关就地或远方控制;与继电保护通信;与智能电子装置联接,并实行控制;与上级控制中心或其它控制系统通信,简单的数据处理。

### 一、远动装置的基本功能与要求

远动装置(Remote Terminal Unit简称RTU)主要用来集中收集变电站内的所有信息,同时可以接收上级控制调度中心的命令,输出开关控制信号,增减控制设备信号或调节设备的整定值,并返回已完成操作的信息,归纳起来有如下功能:

#### (一)四遥功能

即遥信(YX)、遥测(YC)、遥控(YK)和遥调(YT)。

##### 1. 遥信

要求采用无源接点方式,即某一路遥信量的输入应是一对继电器的触点,或者是闭合,或者是断开。通过遥信端子板将继电器触点的闭合或断开转换为低电平或高电平信号送入RTU的YX模块。

遥信功能通常用于测量下列信号:开关的位置信号、变压器内部故障综合信号、保护装置的动作信号、通信设备运行状态信号、调压变压器抽头位置信号、自动调节装置的运行状态信号和其它可提供继电器方式输出的信号、事故总信号及装置主电源停电信号等。

##### 2. 遥测

遥测往往又分为重要遥测、次要遥测、一般遥测和总加遥测等。遥测功能常用于变压器的有功和无功采集,线路的有功功率采集,母线电压和线路电流采集,温度、压力、流量(流速)等采集,周波频率采集,主变油温采集和其它模拟信号采集。

##### 3. 遥控

采用无源接点方式,要求其正确动作率不少于 $99.99\%$ 。所谓遥控的正确动作率是指其不误动的概率,一般拒动不认为是错误。遥控功能常用于断路器的合、分和电容器、电抗器的投切以及其它可以采用继电器控制的功能。

#### 4. 遥调

采用无源接点方式,要求其正确率大于 99.99%。遥调常用于有载调压变压器抽头的升、降调节和其它可采用一组继电器控制的,具有分级升降功能的场合。

### (二)事件顺序记录(SOE)

电网调度人员需要及时掌握电网事故发生时各断路器和继电保护动作状况及动作时间,以区分事件顺序,作出运行对策和进行事故分析。

事件顺序记录的一项重要指标是时间分辨率。分辨率可分为 RTU 内(即站内)与 RTU 之间(即站间)两种。

SOE 的站内分辨率,是指在同一 RTU 内,顺序发生一串事件后,两事件间能够辨认的最小时间,在调度自动化中,SOE 的站内分辨率一般要求小于 5ms。其分辨率大小取决于 RTU 的时钟精度及获取事件的方法,这是对 RTU 的性能要求。

SOE 的站间分辨率是指各 RTU 之间顺序发生一串事件后,两事件间能够辨认的最小时间,它取决于系统时钟的误差及通道延时的计量误差、中央处理器的处理延时等,在调度自动化中,SOE 的站间分辨率一般要求小于 10ms,这是对整个自动化系统的性能要求。

为了保证事件记录的精度,对于断路器,应尽量采用断路器辅助接点的输出。对于继电保护,则尽量采用分项保护出口动作信号,而不采用信号继电器的输出。

断路器的动作信号,理论上应从断路器的灭弧室中采集,但这是难以做到的。所以,用辅助接点的动作时间作为断路器的动作依据,有一定误差。

对于配电系统自动化,由于层次多且测控对象分散,要确保上述 SOE 的分辨率很困难。为了追求过高 SOE 分辨率往往不得不大幅度提高系统造价,而这是很不值得的。因此对于配电系统自动化,SOE 分辨率指标应适当放松甚至不做要求。

### (三)系统对时

RTU 站间 SOE 分辨率是一项系统指标,它要求各 RTU 的时钟与调度中心的时钟严格同步。目前,采用措施有:

1. 利用全球定位系统 GPS 提供的时间频率同步对时,有效地确保 SOE 站间分辨率指标。这种方法需要在各站点安放 GPS 接收机、天线及放大器,并通过标准 RS-232 口与 RTU 相连。

2. 采用软件对时,SC1801、CDT、DNP 和 Modbus 等规约均提供了软件对时手段。但软件对时由于受到通信速率等的影响,需要采取修正措施。由于要管理为数众多的测控点,往往需要采取分层集结的方式,使得软件对时的精度更受影响。但是采取软件对时的方法却不需要增加硬件设备。

### (四)电能采集(PA)

采集变电站各条进线和出线以及主变两侧的电度值,传统做法是通过记录脉冲电度表的脉冲来实现,较先进的做法是通过与智能电度表通信获取电度值。

### (五)自恢复和自检测功能

RTU 作为调度自动化系统的数据采集单元,必须确保永不停止地完成与 SCADA 系统的通信,上报当前采集情况并接收 SCADA 系统下达的各项命令。

但 RTU 处于一个具有强大电磁干扰的工作环境中,使用中难免发生程序受干扰“跑飞”或通信瞬时中断等异常情况,甚至有时电源也会瞬时掉电。在上述情形下,若不加特殊处理,均有可能造成 RTU 死机,SCADA 系统将因此无法收到变电站信息。

因此要求 RTU 在遇到上述情形时,要能在较短的时间内自动恢复,重新从头开始执行程序。

另外,为了维护方便,通常要求 RTU 含有自检程序。

### (六)与 SCADA 系统通信

要求 RTU 将能采集的现场信息上报 SCADA 系统,并能接收 SCADA 系统下达的命令。通信规约一般有应答式(Polling)、循环式(CDT)和对等式(DNP)等十余种,RTU 应起码具备其中的一种。通信波特率一般为



150bit/s、300bit/s、600bit/s 和 1200bit/s 等 ,RTU 应具有通信速率的选择功能 ,另外 ,RTU 应有支持光端机、微波、载波、无线电台等信道通信转接功能。

以上六项功能为 RTU 的基本性能要求 除此之外 ,一般还希望 RTU 具有下列功能 :

1. 当地显示与参数整定输入 即在 RTU 上安装一个当地键盘和 LED 或液晶显示器 ,使得 RTU 的采集量在当地就可以显示在显示器上 ,也可通过小键盘输入遥测量的转换系数、修改电度底盘值和定义 SOE 点等。
2. 一点多收。有时一台 RTU 往往要向不同的上级计算机系统发布信息 ,有时通信规约还不相同 ,此时就要实现多规约转发。采用集中式结构的微机远动装置 ,实现一发三收很不容易 ,而分布式多 CPU 的 RTU ,则可方便地解决这个问题。
3. CRT 显示 打印制表。有的 RTU 还具有当地显示功能 ,并能将异常和事故报告打印出来。

## 二、微机远动装置及技术特点

随着电力调动自动化的发展 尤其变电站自动化的发展 ,远动装置也在不断更新 ,不同类型的装置也在不断推出 ,在众多的远动装置中大约有如下类型 :

从体系结构上 ,变电站内的 RTU 可以分为集中式 RTU 和分布式 RTU 两大类 ,分布式 RTU 又可分为工能分布式 RTU 和结构分布式 RTU 两大类。在采样方式上 ,RTU 又可分为直流采样 RTU 和交流采样 RTU 两类。从组屏方式上 ,RTU 还可分为集中组屏和分散布置两类。从结构上 ,还可分作机柜式 RTU、机箱式 RTU、壁挂式 RTU 和单元模块化 RTU 等几类。

### (一)集中式微机远动装置

集中式微机远动装置的典型体系结构如图 28 - 17 所示。图中 ,CPU 为系统中惟一的智能模块 ,它负责管理其它非智能子模块 ,并通过两个 RS - 232C 串行口 ,经调制解调器 Mo den(M)分别为两个调度主机通信 ,另一个 RS - 232C 串行口用于外接 CRT 实现自检。

SI 为遥信模块 ,它可由若干个子模块(即  $SI_1$ 、 $SI_2$ ...)构成 ,AI 为遥测模块 ,它可由若干个子模块(即  $AI_1$ 、 $AI_2$ ...)构成 ,PA 为电能脉冲量采集模块 ,SOC 为遥控模块 ,SOR 为遥调模块 ,KB 为键盘与显示器模块 ,SG 为开关组态模块 ,WDT 为监视实时器模块。

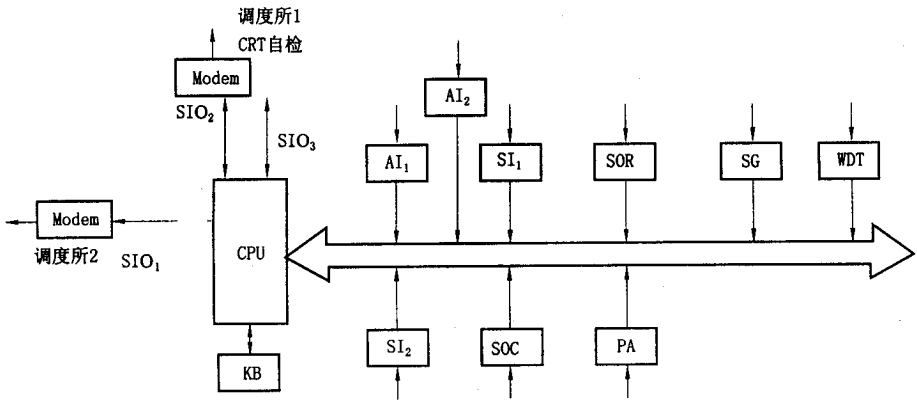


图 28 - 17 集中式微机远动装置的典型体系结构

集中式微机远动装置 ,各模块之间均以并行总线相联系。而并行总线往往不允许传输太长的距离(通常小于 30cm) ,因此 ,集中式 RTU 均是集中布置于一个机箱或机柜中的。

综上所述 ,集中式 RTU 主要特征为单 RTU、并行总线和集中组屏。

### (二)分布式微机远动装置

变电站自动化的不断发展 ,要求 RTU 能够采集更多的开关量、模拟量和电度信息 ,能够进行更多路的遥

控和遥调,能够与更多的调度主机建立联系,此外对事件顺序记录(SOE)的站内分辨率的要求也有提高的趋势。集中式的微机远动装置因采用单处理器,CPU 负荷过重往往不能满足上述要求,同时,采用并行总线的集中式远动装置也不便于采集不在同一现场的参数。而多 CPU 结构、各模块间以串行总线相互联系的分布式微机远动装置则能很好地实现以上功能。

分布式微机远动装置较集中式微机远动装置具有如下优点:布置灵活,便于采集地理上分布的信号;连线简单,可靠性高,便于扩容,容量可以增大,便于采用交流采样方式,便于实现多规约转发和一发多收。但是分布式微机远动装置的最小配置成本较集中式微机远动装置高,因而在小配置情况下,不如集中式微机远动装置经济。

分布式微机远动装置的特征为:多 CPU、串行总线、智能模块,既可以柜中组屏,又可以分布布置。

根据结构上的不同,分布式微机远动装置又可分为功能分布式和结构分布式两大类:

### (1) 功能分布式微机远动装置

功能分布式微机远动装置是按功能划分各模块,RTU 可由智能遥信模块(IYX)、遥测模块(IYC)、智能电度模块(IPA)、智能遥控模块(ISOC)、智能遥调模块(ISO)和 CPU 模块构成,如图 28-18 所示。

图中 KB 为键盘与显示器,M 为调制解调器。

因为各模块间采取串行通信方式,使得模块间连线非常简单(往往只有两条线),而串行通信较并行通信可以传输更远的距离,因而各模块之间可相距很远,甚至不在一个柜内,构成适应采集不同地点信号的分布式体系结构。

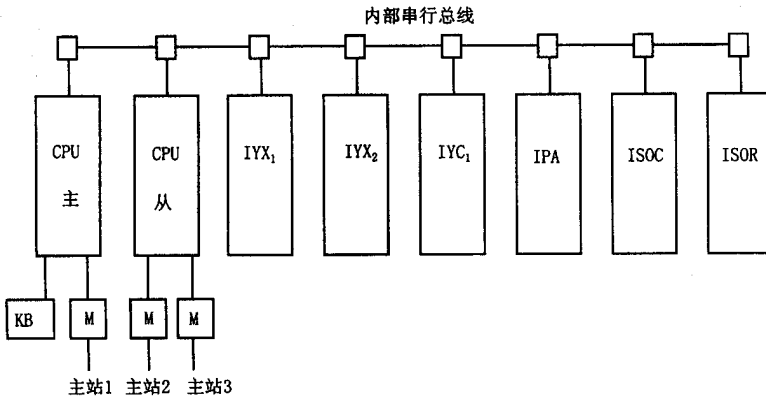


图 28-18 功能分布式微机远动装置的组成

分布式微机的远动装置的各个模块均为智能模块,专门有一个 CPU 独立管理该模板使得该 CPU 功能专一,负荷较轻,因而可靠性高。另外,也可采取一些集中式 RTU 无法采用的处理方法。

分布式微机的远动装置各模块可以任意组合,扩容十分方便。CPU 模块可选用一个或多个,以满足向多个调度端通信的要求,每个 CPU 模块均可选配不同的通信规约。

### (2) 结构分布式微机远动装置

功能分布式的 RTU 只能按功能分布布置,而变电站实际情况是希望将同一台设备或同一面柜子所需的四遥量布置在一个单元模块中,这种模式就是结构分布式微机远动装置,也称之为面向设备对象而设计的 RTU。

这种结构分布式 RTU,具有将 RTU 单元模块分散地布置在开关柜中,节省空间,二次连线少,只需要几条 RS-485 或现场总线连接就满足要求,而且很容易将微机保护与监控部门合二为一成为集中产品,有利于实现综合自动化。图 28-19 为一个典型的配电网变电站结构分布式微机远动装置。

### (3) 采用智能电能表简化微机远动装置的结构

智能化多功能电能表是一类功能性很强的智能电子设备(IED),它不但能采集分时段有功电能和无功电能,还可以获得电压、电流、有功功率、无功功率以及功率因数等参数,并通过 RS-485 接口和其它设备相连。因此采用智能化多功能电能表后,就可以省去微机远动装置的遥测部分,从而简化了 RTU 的结构,如图 28-

20 所示。在这种情况下,通常应选用功能分布式的微机运动装置。

当变电站或开闭所的进出线较多时,采用智能电能表简化微机运动装置的结构后,往往会导致遥测刷新速度降低,但作者认为对于配电系统自动化,这是可以接受的。为了盲目追求某项指标而采取过于复杂和昂贵的方案是非常不可取的。

### 三、变电站自动化的信息采集

变电站自动化的信息通常将采用变送器进行的采集称为直流采样。变送器的作用为:

1. 将强信号(一般为交流 100V、5A)转化为适合于计算机和仪表使用的弱信号(一般为直流  $\pm 5V$ 、 $\pm 1mA$  等);

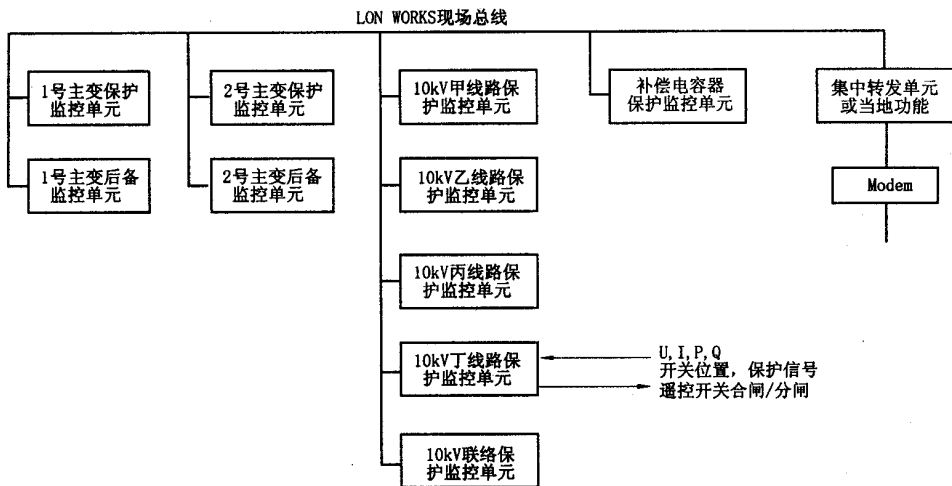


图 28-19 35kV 变电站综合自动化中的结构分布式 RTU

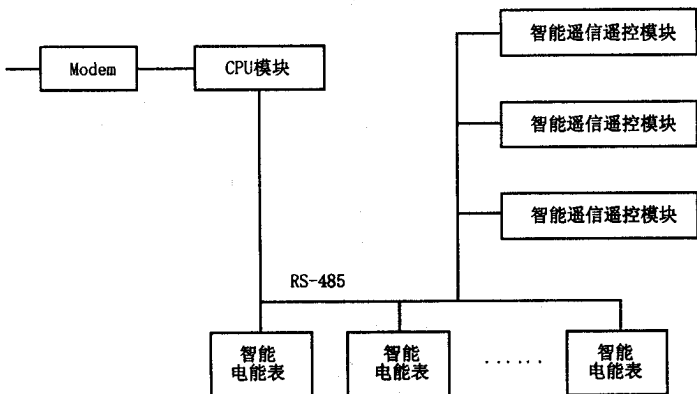


图 28-20 采用智能电能表简化微机运动装置的结构

2. 将交流信号转化为直流信号;
3. 从瞬时信号获得直流信号;
4. 确保输出直流量与输入测量量之间满足线性关系;

5. 实现输入与输出隔离。

变送器输入与输出的隔离作用往往被忽视,对于配电系统自动化由于我国配电网允许在单相接地时供电一段时间,而此时,由于隔离不利造成的变送器之间的相互耦合,会导致接地相电压和其它两相相电压均下降,并没有显著区别,从而和实际情况不相符。因此在配电自动化系统中使用霍尔变送器时,应外加一组1:1.02~1.03的隔离变压器,以实现输出的隔离。

采用变送器的直流采样系统存在如下问题:

- 1. 遥测数据的准确性受变送器稳定性的影响,变送器出现输出不正常的情况时有发生,就影响了遥测准确性。
- 2. 遥测数据的实时性受变送器响应速度的影响。由于滤波电路时间常数的影响,造成变送器的响应时间较长,不能及时反映故障瞬时的情况。
- 3. 变送器的维护工作量比较大。变送器的精度随时间及温度变化会发生漂移,为了保证变送器的精度,必须定时对变送器加以校验,维护工作量较大。
- 4. 通常一个变电站需要大量的变送器,增加了工程造价和占地面积。

鉴于以上这些情况,近年来交流采样方法开始逐渐应用于微机运动装置中。

不经过变送器,按一定规律直接采集交流信号并加以处理,计算出电压、电流有效值以及有功、无功功率的方法就是交流采样。交流采样方法实际上就是用微机取代传统的变送器,充分发挥微机功能强、灵活可靠、使用方便等优点,以克服因使用传统变送器而导致的一系列不良影响。此外,结构分布式RTU采用交流采样还可以兼有微机保护功能。

以监测为目的的交流采样是为了获得高精度的有效值和有功功率、无功功率等,一般采用均方根算法。以保护为目的的交流采样是为了获得与基波有关的信息,并对精度要求不高,一般采用全波或半波傅氏算法。

为了准确地测量有功功率和无功功率,交流采样的关键在于采集的电压和电流信号的同时性,若采集的电压和电流信号有时间差,则相当于改变了功率因数角 $\varphi$ ,从而造成测量误差,为此需要配置一组同时起动的采样保持器(S/H),在微处理器的指令下,将某一时刻三相电压和三相电流的瞬时值保护在相应的采样保持器中,以备A/D转换器分别将它们转换成数字量,并交微处理器进行处理,如图28-21所示。

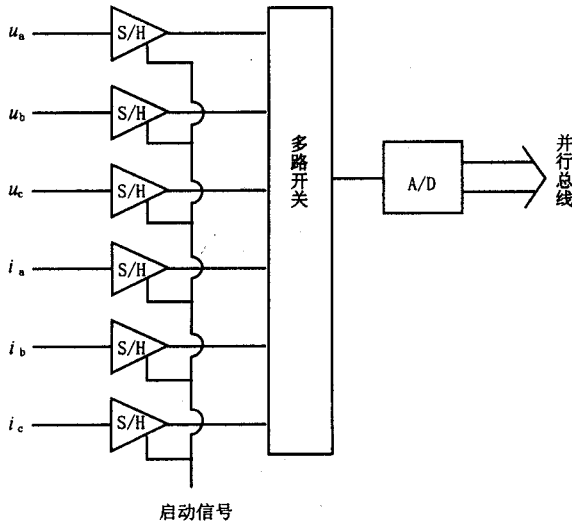


图 28-21 含采样保持器的交流采样电路

## 第五节 同期与同期装置

### 一、简介

火力发电厂大容量机组通常采用准同期方式。发电机投入电力系统同步并列的基本要求是：

- (1)投入瞬间发电机的冲击电流和冲击力矩不超过允许值。
- (2)系统能把投入的发电机拉入同步。

两系统并列的理想条件是两系统电压的三个状态量全部相等,可表达为：

- (1)待并发电机(或系统)与系统频率相等。
- (2)待并发电机(或系统)电压与系统电压幅值相等。
- (3)合闸瞬间,两电压相角相同。

此时,两系统并列后,不但冲击电流等于零,而且并列后发电机与系统立即进入同步运行,不会发生任何扰动现象。

发电厂的主控室或单元控制室应装设自动准同期装置和带有同期闭锁的手动准同期装置。

网控室应装设带有同期闭锁的手动准同期装置。

自动准同期装置有集成电路型。近期引进的一些大型机组,也有微型机数字式同期装置。

### 二、自动准同期装置

#### (一)自动准同期方式

自动准同期有两种方式：一是集中自动准同期方式,即全厂所有需同期的断路器共用1~2台自动准同期装置;另一种是分散自动准同期方式,即每台发电机断路器分别装设一台自动准同期装置。

目前国内使用的自动准同期装置,主要有ZZQ—3A、ZZQ—3B和ZZQ—5型的。ZZQ—3A型的只能自动调频、自动合闸,不能自动调压。ZZQ—3B型的为双通道准同期装置,是ZZQ—3A的改进型。ZZQ—3B型和ZZQ—5型的均能自动调频、自动调压和自动合闸。

#### (二)微机自动准同期装置

微机自动准同期装置以16位单片机为核心,配以高精度交流变换器(小TV),准确快速的交流采样,计算断路器两侧电压、频率及相角差,输入/输出光电隔离,装置能自检、参数设置方便、可实现监控。

#### (三)自动准同期装置与DEH的联合动作

600MW汽轮发电机组均配有DEH(数字电液调节系统),具有从汽轮机冲转直到带满负荷的全过程自动化功能。当转速接近额定转速时,DEH发出信号,自动将自动准同期装置投入,实现自动调节转速、自动调节电压、自动发出合闸脉冲、自动带5%初负荷、……,此时,自动准同期装置成为DEH功能的一个组成部分。

## 第六节 配电网的馈线自动化

馈线自动化是指配电线路的自动化。广义地讲,应包括配电网的高压、中压和低压三个电压等级范围内线路的自动化,它是指从变电站的变压器二次侧出线口到线路上的负荷之间的民线路的自动化,包括对馈线的运行方式和负荷的监视。对于高压配电网其负荷一般是二次降压配电站,对于中压配电网其负荷可能是大电力用户或是配电变压器,对于低压配电网,其负荷是面向广大用户。各电压等级馈线自动化有其自身的技术特点,尤其是低压馈线,从结构到一次、二次设备和功能与高、中压有很大的区别。

概括来说,馈线自动化主要有如下4个方面的功能:

- ①运行状态监测;
- ②远方与就地控制;
- ③故障区隔离,负荷转供与恢复供电;
- ④无功补偿与调压。

### 一、重合器与馈线电气元件的配合

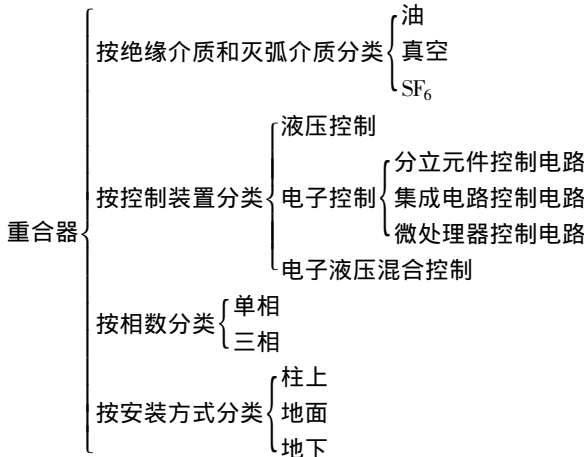
配电网馈线中的电气元件除重合器外还包括分段器、断路器、熔断器及保护装置,对于馈线自动化这些元件的选择,控制策略尤其在工作上有相互配合问题,以达到选择性切除故障的目的。

#### (一)重合器与分段器的功能和类别

##### 1. 重合器

所谓重合器(Reclose)是一种能够检测故障电流,并能在给定时间内遮断故障电流,能按预定的开断和重合顺序自动进行开断和重合操作,并能自动复位或闭锁的控制保护功能的开关设备。

历经几个时期的不断改进和完善已有如下众多类型产品。



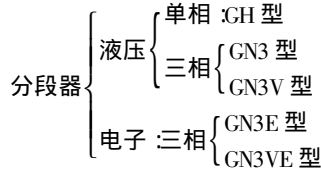
一般重合器的动作特性可以分为瞬时特性和延时动作特性两种。瞬时特性是指重合器按照快速动作时间-电流特性跳闸,延时动作特性则是指重合器按照某一慢速动作时间-电流特性跳闸。通常,重合器的动作特性可整定为“一快二慢”、“二快二慢”和“一快三慢”等。

##### 2. 分段器

分段器(Sectionalizer)是配电网中与电源侧保护装置和开关配合用来隔离线路区段在火压线无电流的情

况下自动分闸的开关设备。分段器不能用来开断故障电流,而当线路发生故障时,由电源侧保护装置切断故障线路,分段器计数达到预先整定的动作次数之后,重合器断开故障线路的瞬间,分段器自动断开,使故障线路隔离开来,若预先整定的次数未达到,重合器再次重合,分段器不分开,如此可恢复线路的供电。

分段器按相分类可分为单相和三相,按控制方法可分为液压和电子的,有如下类型:



分段器的关键部件是故障检测继电器(Fault Detecting Relay,即FDR)。根据判断故障方式的不同,分段器可分为电压-时间型分段器和过流脉冲计数型分段器两类。

(1) 电压-时间型分段器

电压-时间型分段器是凭借加压、失压的时间长短来控制其动作的,失压后分闸,加压后合闸或闭锁。电压-时间型分段器既可用于辐射状网和树状网,又可用于环状网。

电压-时间型分段器有两个重要参数需要整定。其一为X时限,它是指从分段器电源侧加压至该分段器合闸的时延;另一个参数为Y时限,它又称为故障检测时间,它的含义是:若分段器合闸后在未超过Y时限的时间内又失压,则该分段器分闸并被闭锁在分闸状态,待下一次再得电时也不再自动重合。

图28-22为一个典型电压-时间型分段器的原理图。由图可见,分段器的工作电源是通过两个干式变压器和开关电源取自开关两侧的馈线,并且当Y接点闭合时开关的合闸线圈励磁。

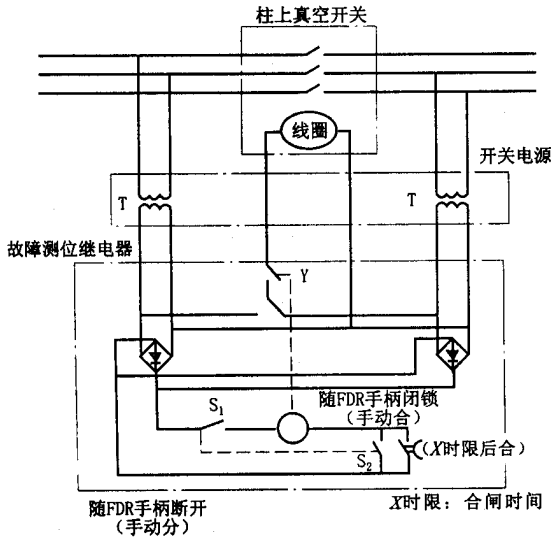


图 28-22 典型电压—时间型分段器原理图

(2) 过流脉冲计数型分段器

过流脉冲计数型分段器通常与前级的重合器或断路器配合使用,它不能开断短路故障电流,但有在一段时间内,记忆前级开关设备开断故障电流动作次数的能力。在预定的记录次数后,在前级的重合器或断路器,将线路从电网中短时切除的无电流间隙内,过流脉冲计数型分段器分闸达到隔离故障区段的目的。若前级开关设备未达到预定的动作次数,则过流脉冲计数型分段器在一定的复位时间后会清零并恢复到预先整定的初始状态,为下一次故障作好准备。

(二) 重合器与其它元件配合方式

1. 重合器与重合器的配合

重合器串联使用可分为三类：

- (1) 各重合器都通过串联分闸线圈操作；
- (2) 有的重合器采用串联线圈，有的采用电压合闸线圈操作；
- (3) 都采用电子控制操作。

第一种和第二种方式要考虑参与配合的重合器的 TCC 曲线，第三种方式除考虑 TCC 曲线之外，还要考虑重合时间。

下面来简要地介绍上述三种操作方式下，重合器间的配合问题。

第一种配合可采用下述方法：

- (1) 不同容量线圈，相同的操作程序；
- (2) 线圈容量相同，操作程序不同；
- (3) 线圈容量和操作程序都不同。

第一种方法的操作程序是相同的，但对于不同容量的重合器，具有不同的安秒特性曲线，因此，可利用重合器之间的时间间隔实现配合，但还要考虑以下三点：

- (1) 特性曲线的时间间隔要是小于  $0.033\text{s}$ ，重合器将同时动作；
- (2) 特性曲线的时间间隔在  $0.033 \sim 0.2\text{s}$  之间可能同时动作；

(3) 特性曲线的时间间隔大于  $0.2\text{s}$  重合器相互配合比较容易实现，所以采用第一种方法进行配合时一定要认真考虑安—秒特性曲线的时间间隔。

第二种方法采用的是容量相同的线圈  $100\text{A}$ ，但操作程序各不相同，如图 28-23 所示。

第三种方法因线圈容量和操作程序皆不同，故可结合起来考虑配合问题。例如，前级重合器可采用大容量线圈，且在程序上多一次延时，而后级可采用小容量线圈，程序上少一次延时。

第三种配合要注意的问题是：应该适当选择恢复间隔，以便在所有故障条件下，每个重合器皆能预先确定的操作程序。后备重合器的恢复时间应大于或等于下一级重合器的恢复时间。

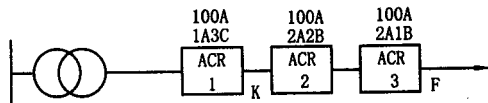


图 28-23 重合器与重合器配合

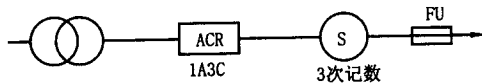


图 28-24 重合器、分段器、熔断器配合

## 2. 重合器、分段器、熔断器的配合

重合器、分段器、熔断器的总体配合如图 28-24 所示。

在这种配合下，应作双重考虑，首先应考虑重合器与熔断器配合，其次还应考虑重合器与分段器的配合。

在配合中，通常重合器采用一快三慢的操作程序，可获得较好的配合效果。当线路故障发生在熔断器的外侧，重合器第一次延时跳闸之前，熔断器熔断，切除故障，而重合器与分段器皆不动作。

这三者相互配合时，重合器一般不采用两次瞬时、两次延序列，这是因为当熔断器外侧有故障时，重合器将按瞬时曲线先动作两次，此时熔断器不熔断，分段器计数两次。如果故障仍未消除，重合器在按延时跳闸之前，熔断器将熔断切除故障段，重合器恢复正常。但熔断器熔断的同时，分段器已第三次计数也同时跳开闭锁，达不到分段器与熔断器配合的目的。如果考虑与其它保护级的配合必须采用两次瞬时、两次延时动作序列时，分段器应配电压抑制装置。

## 3. 断路器与重合器的配合

有些国家的变电所中用断路器作为后备保护与重合器配合使用是比较普遍的。例如两台主变压器的保



护方案就可以采用真空断路器作为重合器的后备保护。

断路器均配备保护继电器,我们将重合器特性曲线和断路器的继电器特性曲线绘于一张图上。若两条曲线不相交且重合器的曲线低于断路器的继电器曲线则能满足配合。在实际中只要适当选择重合器的特性曲线和继电器的特性曲线是完全可以做到的。

配备过流继电器的断路器与重合器的配合,还应考虑到继电器的返回时间。若在继电器完全返回以前重合器重合,故障重新出现,将使继电器从未完全返回地点开始重新启动,趋向跳闸动作地点。

### (三) 在辐射网中自动配电开关隔离故障域的过程

电压型自动配电开关与重合器的配合采用的是逆时差配合原理,因此,在配合中不像重合器与熔断器的配合,或者重合器与分段器配合那样麻烦。在这一节中,自动配电开关应用于辐射网隔离故障域的叙述如下:

#### 1. 辐射网络

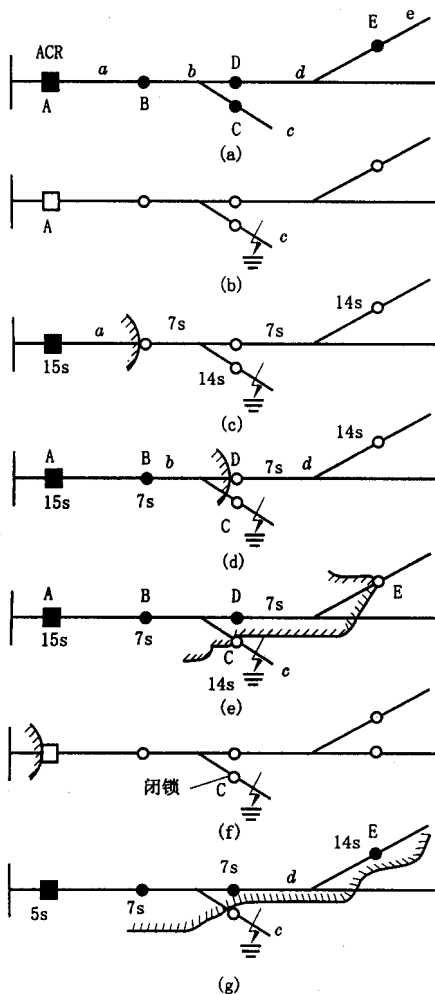


图 28-25 重合器与配电开关分隔辐射网故障域的图形

图 28-25 中示出了由重合器 A 和自动配电开关 B、C、D、E 供电的网络。图中的配电网被自动配电开关分成 a、b、c、d、e 各个分段。图中所示的黑色符号“■”和“●”表示接通,而“□”和“○”符号表示分断。下面来说明其分隔过程。

(1) 正常运行。正常运行时,重合器 A 和所有 PVS 皆处于闭合状态,如图 28-25 中(a)所示。

(2) 重合器 A 第一次跳闸。假定 c 段线路发生永久性短路故障,重合器 A 首次跳闸。因输入端失去电压,所有配电开关的 FDR 皆检测不到电压,故同时分断,如图 28-25 中(b)所示。

(3) 重合器 A 首次重合。首次跳闸后,经 15s 后, A 首次重合, a 段线路恢复供电,如图 28-25 中(c)所示。

(4) 当重合器 A 首次重合后, PVS“B”的 FDR“B”检测到电源侧电压,经  $X = 7s$  时间, PVS“B”自动关合,如图 28-25(d)所示,此时 b 段线路恢复供电。

(5) PVS“D”自动关合。b 段恢复供电后,因为 PVS“D”的 FDR“D”检测到电源侧电压,再经  $X = 7s$  时间, PVS“D”自动关合, d 段线路恢复供电,如图 28-25(e)。

(6) PVS“C”自动关合,重合器 A 二次跳闸。在 PVS“B”自动闭合后, PVS“C”检测到电源侧电压,并开始计时,将其延时整定为  $2X = 14s$  时间, PVS“C”自动关合。因 c 段线路有永久性故障,故当 PVS“C”关合后,重合器 A 二次跳开。

由于 PVS“C”的 FDR“C”在  $Y = 5s$  时间内没能检测到电压而产生甲种闭锁,如图包 28-25(f)所示。

(7) 重合器 A 二次重合。重合器 A 二次跳开后,经 5s 时间,二次重合,因为 PVS“C”闭锁,电压经  $X = 7s$  时间,逐段恢复健康段的供电,如图 28-25(g)示。

(8) FSI 计数。FSI 记录重合器 A 首次重合到其二次跳开的时间,按照所记录的时间,FSI 指示 c 段线路发生故障。

### 2. 时间特性

上述分隔故障域过程的时间特性表示如图 28-26。

(1) 重合器 A 的时间特性。如图 28-26(a)所示,第一次重合时间为 15s,二次重合时间为 5s。

(2) PVS“B”的时间特性。如图 28-26(b)所示。其在重合器 A 首次、二次重合后,经  $X = 7s$  时间关合。PVS“B”关合后,故障检测时间  $Y = 5s$  开始计时,由于在  $Y = 5s$  时间内检测电压正常,故不发生闭锁。

(3) PVS“D”时间特性。如图 28-26(d)所示,其与 PVS“B”的特性一样,只是向后延迟  $X = 7s$  时间。

(4) PVS“C”的时间特性。如图 28-26(c)所示, PVS“C”当 PVS“B”关合后,经 14s 自动闭合;可是,因 c 段为故障线路,故 PVS“C”自动闭合后,重合器 A 二次跳开线路,故 PVS“C”的 FDR“C”所感受电压的时间只是开关的操作时间,这个时间是短暂的,其值小于  $Y = 5s$  的时间,故 PVS“C”发生甲种闭锁。

(5) PVS“E”的特性。如图 28-26(e)所示,其与图 28-26 中(d)相比,后延 14s,其余相同。

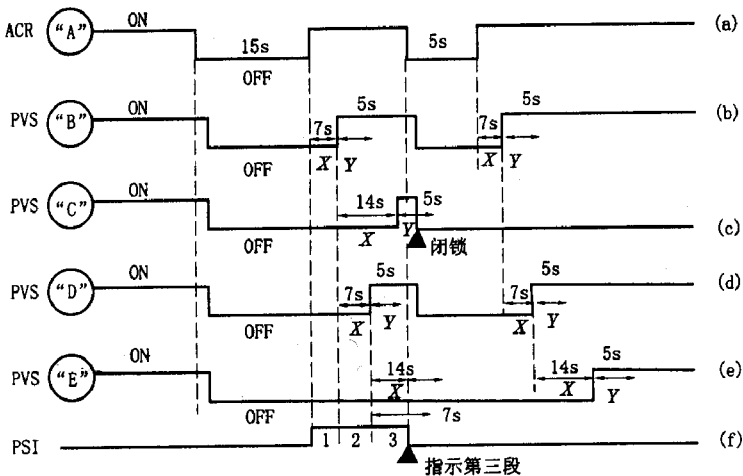


图 28-26 辐射网分隔故障域的时间特性

## 二、具有 FTU 的馈线自动化

具有重合器的馈线自动化系统仅在线路发生故障时能发挥作用,而不能在远方通过遥控完成正常的倒闸操作,不能实时监视线路的负荷,因此,无法掌握用户用电规律,也难于改进运行方式。对于多电源的网格状网,当故障区段隔离后,在恢复健全区段供电,进行配电网重构时,也无法确定最优方案。

基于馈线 FTU 和通信网络的配电网自动化系统较好地解决了上述问题。

### (一) FTU 的功能特点

馈线开关远程终端(FTU)是 FTU 馈线自动化系统的核心设备,FTU 具有如下功能特点:

#### 1. 遥信功能

FTU 应能对柱上开关的当前位置、通信是否正常、贮能完成情况等重要状态量进行采集。若 FTU 自身有微机继电保护功能的话,还应对保护动作情况进行遥信。

#### 2. 遥测功能

FTU 应能采集线路的电压、开关经历的负荷电流和有功功率、无功功率等模拟量。一般线路的故障电流远大于正常负荷电流,要采集故障信息必须能适应输入电流较大的动态化范围。测量故障电流是为了进行继电保护和判断故障区段,因此对测量精度要求不高,但要求响应速度快,而且要滤出基波信号,一般采用全波或半波傅氏算法,测量正常运行情况下的电流对测量精度有很高要求,但响应可以慢些,并且要求的电流有效值是一种平均的概念,一般采用均方根算法。因此用于保护的数据和用于测量的数据一般不能共享,而必须分别独立采集,并且应分别取自保护 TA 和测量 TA 绕组,而目前国产的 10kV 真空开关一般只有一套保护 TA,这是不能满足要求的。

#### 3. 遥控功能

FTU 应能接受远方命令控制柱上开关合闸和跳闸,以及贮能过程等。

#### 4. 统计功能

FTU 还应能对开关的动作次数和动作时间及累计切断电流的水平进行监视。

#### 5. 对时功能

FTU 应能接受主系统的对时命令,以便和系统时钟保持一致。

#### 6. 事件顺序记录(SOE)

记录状态量发生变化的时刻和先后顺序。

#### 7. 事故记录

记录事故发生时的最大故障电流和事故前一段时间(一般是 1min)的平均负荷,以便分析事故,确立故障区段,并为恢复健全区段供电时进行负荷重新分配提供依据。

#### 8. 定值远方修改和召唤定值

为了能够在故障发生时及时地起动作事故记录等过程,必须对 FTU 进行整定,并且整定值应能随着配电网运行方式的改变而自适应。为此,应使 FTU 能接收 DAS 控制中心的指定修改值,并使 DAS 控制中心可以随时召唤 FTU 的当前整定值。

#### 9. 自检和自恢复功能

FTU 应具有自检功能,并在设备自身故障时及时告警;FTU 应具有可靠的自恢复功能,一旦受干扰造成死机,则通过监视定时器(WDT)重新复位系统恢复正常运行。

#### 10. 远方控制闭锁与手动操作功能

在检修线路或开关时,相应的 FTU 应具有远方控制闭锁的功能,以确保操作的安全性,避免误操作造成的恶性事故。同时,FTU 应能提供手动合闸/跳闸按钮,以备当通道出现故障时能进行手动操作,避免上杆直接操作开关。

#### 11. 远程通信功能

FTU 具有远程通信功能,只须提供标准的 RS-232 或 RS-485 接口就能和各种通信传输设备(DCE)相

连,重要问题是 FTU 通信规约,这面临着标准化的迫切需要。

12. 抗恶劣环境。FTU 通常安装在户外,因此要求它在恶劣环境下仍能可靠地工作。恶劣环境通常包括:

雷电、环境温度、防雨防湿、风沙、振动、电磁干扰等。

另有三种扩展功能:

#### (1) 电度采集

FTU 对采集到的有功和无功功率进行积分,可以获得粗略的有功和无功电能值,对于核算电费和估算线损有一定的意义。这样做,瞬间干扰造成的误差会被累计,影响电度测量精度。但在分段开关处测电度的目的在于估算线损,侦察窃电行为,因此这个测量精度一般可以容忍,当然为了进一步提高精度,可以采用状态估计算法。

#### (2) 微机保护

虽然在选用柱上开关时,可以选择过流脱扣型设备,即利用开关本体的保护功能。但利用 FTU 中的 CPU 进行交流采样构成的微机保护,则具有更强的功能和灵活性,因为这样做可以使定值自动随运行方式调整,从而实现自适应的继电保护策略。

#### (3) 故障录波

尽管故障时的电流、电压的波形记录是否具有作用仍是一个有争议的问题,但是对于我国这样的中性点不接地的配电网,对零序电流的录波用来判断单极接地区段显然是十分有效的。

## (二) FTU 的结构与系统组成

FTU 的检测、处理、控制、通信主要由单片计算机等可编程控制单元组成,户外拉上安装的 FTU 要能适应恶劣的环境,在结构上要重点考虑防雷、防雨、防潮和抗电磁干扰问题,图 28-27 是具有内外两个机壳结构形式的馈线 RTU。

设置内外两个机壳的目的,一方面是为了进一步防雨,另一方面是为了维修方便。也便于将 FTU 制造成统一的规范化产品,而不必考虑所控开关设备的种类和电气性能、电源的供应方式以及采用的通信手段等离散因素,可以将针对上述多样性的接口设备(如蓄电池、中间继电器、直流接触器、开关电源、逆变器、无线电台、Modem 和光纤适配器等通信传输设备等)安放在外机箱之内。若 FTU 的 CPU 模块、I/Q 模块或电源模块故障,只需要拔下相应的插件检修即可。一旦底板或互感器发生故障,则可短接试验端子,并拉开刀闸后,将 FTU 整体卸下而不需要停电。

为了防止因开关设备故障(主要是直流储能电机的整流桥击穿)导致 FTU 烧毁,应在 FTU 和开关设备之间加装保险。此外,FTU 的站号和通信波特率应可以设置。

图 28-28 所示框图是一个典型的 FTU 系统组成图,FTU 中的单片机处理器具有 10 位 A/D 转换器进行交流采样测量电压、电流和功率等遥测量。

FTU 由于是面向对象(开关)的设备,一般每台 FTU 中仅有一个对象的遥控出口(合闸和分闸),因此无法采用 RTU 中对遥控进行校验的方式。但在 FTU 中,应采取两路译码输出相以或的方式控制出口继电器,这样可以避免由于器件故障或程序异常等因素,导致出口继电器误动作的现象发生。

典型的具有 FTU 的馈线自动化系统的组成如图 28-29 所示。

在图 28-29 所示的系统中,各 FTU 分别采集相应柱上开关的运行情况,如负荷、电压、功率和开关当前位置、贮能完成情况等,并将上述信息由通信网络发向远方的配电网自动化控制中心。各 FTU 还可以接受配电网自动化控制中心下达的命令进行相应的远方倒闸操作。在故障发生时,各 FTU 记录下故障前及故障时的重要信息,如最大故障电流和故障前的负荷电流、最大功率等,并将上述信息传至 DAS 控制中心,经计算机系统分析后确定故障区段和最佳供电恢复方案,最终以遥控方式隔离故障区段、恢复健全区段供电。区域工作站实际上是一个通道集中器和转发装置,它将众多分散的采集单元集中起来与 DAS 控制中心联系,并将各采集单元的面向对象的通信规约转换为标准的远动规约(如 SC1801、CDT、DNP 和 Modbus 等),这样配电网自动化 SCADA 系统和变电站、开闭所的数据采集装置就可以直接借鉴调度自动化的成熟技术。

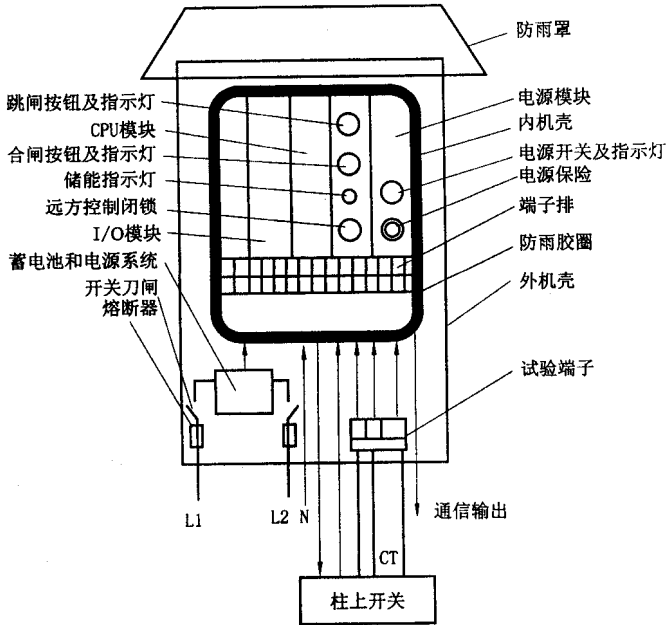


图 28-27 馈线 RTU (FTU) 的结构

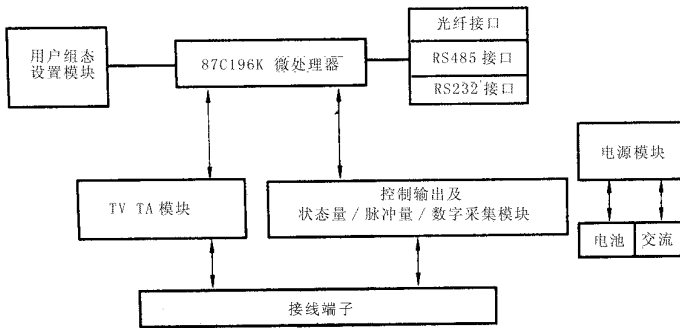


图 28-28 一个典型的 FTU 的系统框图

## 第七节 发电厂微机监控系统

在我国大型电厂中,对于 600MW 机组大多采用了分布式微机控制系统(DCS)对单元发电机组进行数据采集、协调控制、监视报警和联锁保护,在技术上和经济上都已取得良好的效果,使我国火力发电机组的自动控制和技术经济管理水平发展到了一个新的阶段。

### 一、发电厂微机监控系统的组成

在发电厂中,电气设备较多,各种信息也很多。通常将凡涉及发电机、主变、厂变和厂用电的保护信号、

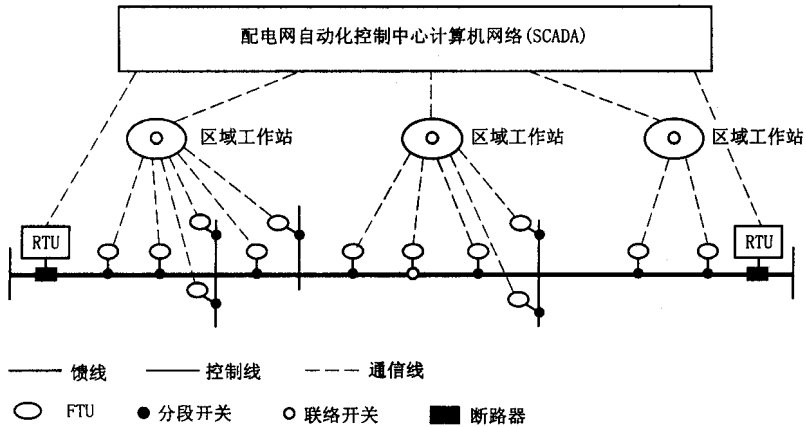


图 28-29 典型的基于 FTU 的馈线自动化的组成

断路器及隔离开关状态信号以及电流、电压、有功/无功、有功电量/无功电量模拟量都送入机组热工 DCS 系统,实现事件记录、打印和画面显示,机组有关电气部分的参数及接线方式在热工 CRT 上实现画面显示。而将在网控屏上控制的与高压系统有关设备的开关量/模拟量显示和记录,通过远动装置 RTU 来实现。DCS 系统与 RTU 之间通过数据通道相连,交换信息。其基本连接框图如图 28-30 所示。

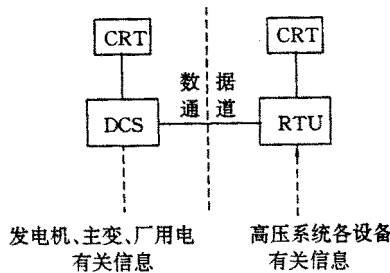


图 28-30 DCS 与 RTU 连接框图

目前,国内 600MW 机组发电厂的电气量(模拟量和开关量)都已进入 DCS 系统。电气系统和设备的调节、控制是否进入 DCS 系统,由计算机控制,虽然在国外已有经验,但在国内尚在试点阶段。

## 二、发电厂微机监控系统的功能

发电厂微机监控系统的功能主要包括:数据采集、一次参数处理、事故报警分析、机组启停监视、二次参数及经济指标计算、直接数字控制和显示、打印等。此外,针对火电厂的特点和要求,还可实现设备的寿命管理、能量损耗分析和运行操作指导等高级处理功能。

发电厂微机监控系统的基本内容在《热工自动化》分册中讲述。

## 第二十九章 发电厂远动与调度通信系统

### 第一节 发电厂运行与系统调度中心的关联

发电厂是电力系统中最重要电源,特别是大容量机组电厂,机组的稳定、经济、可靠运行,对电力系统正常、灵活运行起着至关重要的作用,为此电力系统调度均采用调度自动化系统,将遍布各地的电厂、变电所信息传送至调度中心,以使调度人员统观全局,运筹全网,有效地指挥和控制电网安全、稳定和经济运行。

实现电网调度自动化的作用主要有以下三个方面:

1. 对电网安全运行状态实现监控。电网正常运行时,通过调度人员监视和控制电网的频率、电压、潮流、负荷与出力,主设备的位置状态及水、热能等方面的工况指标,使之符合规定,保证电能质量和用户按计划用电的要求。

2. 按照经济合同,对各电厂的出力曲线进行控制,对电网运行实现经济调度。

3. 对电网运行实现安全分析和事故处理。

信息的及时传送、监控手段的改善以及安全分析,可防止事故发生或及时处理事故,避免或减少事故造成的重大损失。

调度自动化系统主要由三部分组成,即厂所端数据采集与控制子系统、通信子系统、调度端数据采集与处理和统计分析与控制子系统。调度自动化系统的构成如图 29-1 所示。

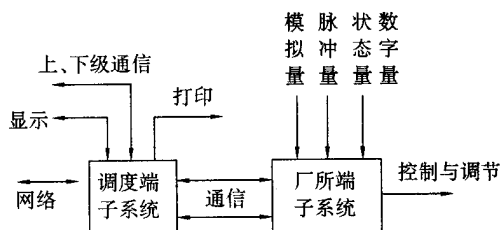


图 29-1 调度自动化系统构成示意图

厂所端子系统习惯的说法是远动系统。所谓远动(Telecontrol)就是运用通信技术传输信息,以监视控制远方运行的设备。该子系统包括远方终端 RTU(Remote Terminal Unit)、测量用变送器、模拟量和状态量、脉冲量二次回路以及控制与调节执行元件。

通信子系统包括载波、微波、无线电台、有线电话、高频电缆、光纤以及卫星通信、程控交换机等提供的数据信道。信道质量直接影响调度自动化系统的可信性和可靠性。

调度端子系统主要内容有:电子计算机、人机会话设备、各种外部设备、开发与维护设备和与之相适应的软件包等。

如上述,调度自动化系统是一个综合系统。从理论的角度来看,该系统的基本理论包含了自动控制论、转换技术、计算技术、编码理论、数据传输原理、网络控制以及信息论等。从物理学的角度来看,我们可用表 29-1 来初识调度自动化系统的构成所含内容。

随着计算机技术的发展,大电网中普遍实现了数据采集与监控(SCADA),有的还实现了自动发电控制(AGC)和经济调度控制(EDC)还有少量的电网实现了安全分析(SA),大大提高了电网调度自动化水平。

大型电厂通常与省调和网调分别相接。

本章着重介绍厂所端子系统和有关的通信子系统。

表 29-1 调度自动化系统的构成所含主要内容

序号	系统部件	主要内容
1	运行环境	不停电电源(整流与逆变、蓄电池)、空调机房(调度端)、防雷接地、消防系统、抗干扰措施
2	调度端子系统	计算机、入/出外设、外存贮器、通信接口、开发与维护设备、人机会话设备、相应软件包
3	通信子系统	有线(载波、电缆、光纤)或无线(微波中继、卫星通信、无线电台)系统
4	厂所端子系统	微机运动及配套软件、测量用变送器、电缆、通信接口、控制或调整执行元件;专用或共用的二次回路;安装环境

## 第二节 配电与用电的管理自动化

由于配电网是直接面向用户,保证配电网安全稳定运行,向用户可靠、经济供电,满足用户需求、提高配电和用电的管理水平以及服务质量是配电自动化的重要内容之一。随着电子技术和计算机技术以及信息管理技术的发展已在配电与用电管理的自动化中得到应用,配电管理中的设备和运行信息与地理信息、自动绘图(GIS/AM)相联系,其中地理信息(GIS)技术十分必要。用电管理中的远方抄表及自动计量计费,业务扩充用户服务等。

### 一、配电管理与地理信息系统

配电管理自动化简单来讲是指用现代计算机、通信等技术和设备对配电网和运行进行管理,从信息的角度看,它是一个信息收集和处理系统。

配电管理自动化可以是集中式,即由一个配电管理自动化主站,实行对整个配电网的数据采集,并和馈线自动化、变电站自动化、用户自动化集成为一个系统,这个系统可以称为配电管理系统(DMS)。配电管理系统也可以是分层、分布式的结构,如前面已讲到的,在变电站中设立二级主站,整个配电自动化由一个一级主站,若干个二级主站以及若干个子系统,如用电管理子系统、负荷管理子系统等集成,这样信息的收集和处理也是分层和分布的,这种结构最适合采用计算机网络技术。

实现配电管理自动化,可以有这样的设计思想,一种思路是从配电自动化的目的提高供电质量和经济性出发,提出对功能的要求,从而确定需要哪些信息;另一个思路是从所能获得的信息出发,对信息加以处理,以获得有用的信息和决策。后一种思路就是从IMS到DM(data mining),因此,归纳起来主要功能有:数据采集与控制,运行状态监控,配电设备管理,停电管理,检修管理,计量计费,负荷管理,网络分析,营业管理,工作管理,网络重构,与相关系统通信。这些功能及其所需要的信息,有的属于馈线自动化、用户自动化和变电



站自动化,这取决于配电管理系统的结构。

功能的划分和名称,以及它所包含的具体内容,不同的人、不同的文献有不同的提法,目前也无权威机构的规定。这些功能所需要的信息,有配电网内变电站、线路、开关、继电保护、自动装置、电杆的所有技术参数,生产厂家以及这些设备的维修记录;有配电网的所有运行实时信息,如电流、电压、功率、电量和电力设备运行状态的实时信息;有称为用户信息(CIS)的用户名称、地址、电话、账号、缴费和供电优先级、用电量和负荷、停电次数、时间、电压水平等;有备品备件及其参数、仪器仪表、工具等;有人员名称、工种、技术等级、操作票记录等。

由于配电网直接面向用户,尤其是城市配电网,电器设备的布局、馈线的走廊与地理位置、城市房屋、街道走向关系密切。如果把配电网的设备和运行信息与地理信息、自动绘图(GIS/AM)相联系,将使配电网信息的含义表示得更直观,也对运行带来极大的方便(而在输电网中,地理位置与输电网的信息关系就较疏远些)。因此与调度自动化系统不同,配电管理自动化中GIS技术十分必要。

从某种意义上说,GIS/AM是计算机平台的一部分,它可以在许多离线和在线的应用功能中使用。

地理信息系统及组成与功能:

地理信息系统(Geographic Information System,简称GIS)是地理信息学(Geomatics)方法的一种实用手段,是以多学科技术集成的基础平台。它是代表用各种现代化方法,来采集、测量、分析、存贮、管理、显示、传播和应用与地理空间分布有关的数据的一门综合和集成的信息科学和技术,是测绘、遥感、计算机、应用数学以及各种应用学科的有机结合。

地理信息系统是由硬件、软件和数据构成的有机结合。

### (一)地理信息系统的硬件配置

典型的地理信息系统(GIS)的硬件配置如图29-2所示,图中配置反映了大量地将地理信息图读入计算机系统的设备和将计算机处理过的图形拷贝输出的设备(如数字化仪、扫描仪、解析绘图仪、打印机和绘图仪等),在此不再详述。

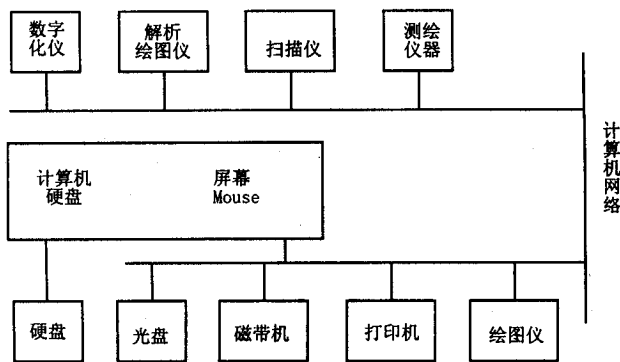


图 29-2 典型的地理信息系统(GIS)的硬件配置

### (二)地理信息系统的软件配置

典型GIS的软件配置如图29-3所示,该图同时描述了软件之间的支持关系。

操作系统是该系统的核心,目前用户工作站一般运用Windows 95、Windows NT、UNIX、X- Windows等;网络操作系统一般选用Windows NT、Novell Netware等。

数据库管理系统(DBMS)用于管理GIS中大量的资料数据和实时动态数据,目前可选用的DBMS有Foxpro、Sybase、Oracle、Informix等关系型数据库管理系统。

商品化的GIS开发平台大约有20种,当前我国用户运用较多的两种开发平台有Arc/Info和Map/Info,开发工具一般选用Visual Basic、VisualC++等第三方符合工业标准的编程语言。

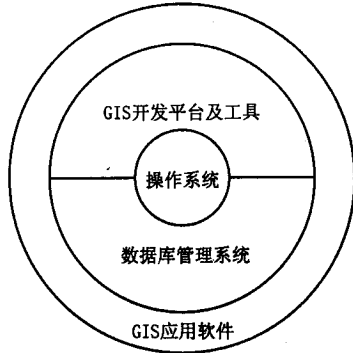


图 29-3 典型地理信息系统 (GIS) 的软件配置

GIS 应用软件是利用 GIS 开发技术实现的具体应用软件系统,如配电网 GIS 就是一种应用软件。应用软件的开发应本着实用化的原则,而不能一味追求超前,这样才可以充分发挥 GIS 的作用。目前由于 Internet 技术广泛运用,利用 Web 技术的组件式 GIS 的开发方法已成为主流。因此,对于正在建设配电网 GIS 的单位应引起重视。

### (三) 配电网地理信息系统主要有如下功能

#### 1. 数据预处理功能

##### (1) 图形数据的录入、转换和编辑

图形数据包括:

① 道路图、建筑物分布图、行政区规划图、地形图等。其中,地形图可从城市规划勘测设计院购买现有的电子地形图,其它图形可通过数字化扫描仪等录入。

② 配电网设备分布图。可通过 GIS 软件数字化或矢量化方式,将配电网设备(包括线路)按其实际地理位置,构造成不同的分层分布图,将它们叠加在地理背景图上,以不同的颜色区分显示。

③ 其它已有的数字化图形(如 CAD 格式)。可通过数据格式的转换纳入 GIS 中,以减少重复劳动,节约开支。上述图形录入后尚需对图形数据进行编辑,其目的在于保证数据的正确和可用。

##### (2) 属性数据的录入、转换和编辑

与线路图形数据对应的还有属性数据,即对图形相关要素的描述信息。如配电网线路的长度、电缆型号、线路编号、额定电流、配变型号、编号、名称、安装位置、投运时间、检修情况、额定电流实验报告表。这些属性数据的用途是为结合图形进行档案资料的查询提供具体信息。对于已在管理信息网 MIS 中录入和使用的部分属性数据,可通过共享途径直接获取,未录入的数据则必须在 GIS 中进行录入和编辑。

##### (3) 属性数据与图形数据的挂接

已经数字化(或扫描)的图形数据和录入(或转换)的属性数据要通过挂接才能相互对应起来,才能实现基于图形的查询和管理功能。

##### (4) 与配电网 SCADA 系统的实时信息接口

包括从 SCADA 系统获取实时信息,并将其动态转换到 GIS 环境下。

#### 2. 图形操作与制图输出

##### (1) 配电网系统的设备分布图的显示(含任意缩放、平移、全图及图层管理等);

##### (2) 配电网系统的设备运行图的数据及运行状态信息显示;

##### (3) 网络沿线追踪显示,以便查看沿线设备及基础地形信息;

##### (4) 无缝图幅实时显示,实现大范围无缝配电网图、基础地形图的无延时漫游显示功能;

(5) 根据系统网络设备分布图(基于地形图背景)的网络结构模型和实时数据,直接自动生成反映网络运行情况的图表;

##### (6) 工程图纸输出功能含有系统网络设备分布图及其属性数据复合生成的工程图,支持工程图与属性表

的混合输出及工程图纸输出,同时还包括按任意比例输出全图和局部图。

### 3. 站内自动化子系统地理信息管理

#### (1) 配电网中配电设备的信息查询

直接在配电网系统图上维护、搜索和查询配电设备(小区变、箱式变、10V 开闭所、柱上开关、电杆、变台等),并能统计任意范围内的配电设备信息。这种查询应能在设备的地理分布图(分层图和合成图)的基础上,经由鼠标圈点或简单的条件输入实现。

#### (2) 站内运行方式分析

各种配电变电站内部是一复杂的拓扑网格结构。利用 GIS 的分析功能和 SCADA 的实时信息对配电站内各种设备的运行状态进行分析,并将开关状态的改变实时反映到配电网线路上(基于地理图形的配电网线路)。运行状态分析还包括开关变位的追踪分析,即事故重演。

#### (3) 配电站供电范围分析与显示

以图形方式显示被选配电站的供电区域,并对该区域内的各项指标进行统计分析。例如,用户数量及其分布、用电量和电压质量等。

#### (4) 故障区域分析与显示

- ① 发生故障时,快速推算出受影响的区域,并将该区域的地理图显示出来;
- ② 变电站故障引起的停电区域显示;
- ③ 变电站故障引起的馈线停电分析;
- ④ 故障数据分析;
- ⑤ 最优化停电隔离点决策。当接收到故障停电报警信号或者某个设备需要检修时,自动分析、决策出最小停电范围的最优化停电隔离点,为开具抢修作业票提供依据,并保证最优的供电可靠性指标。

#### (5) 配电变电站优化选址决策

根据电网分布现状、城市发展规划、人口密度、需电量等要素,确定配电变电站的最佳选址方案。

### 4. 馈线自动化系统的地理信息管理

#### (1) 供电线路系统图的信息查询

包括架空线、地理电缆、通信路由电缆沟、电杆走径等线路参数的查询。

#### (2) 配电线路供电范围的分析与显示

以图形方式显示被选线路的供电区域,并对该区域的各项指标进行统计分析。

#### (3) 区域分析与显示

- ① 快速推算供电线路故障时受影响区域,并将该区域的地理图显示出来;
- ② 过负荷线路地理图的显示。

#### (4) 线路运行辅助管理

根据线路的地理走向分布及其周围的地理情况,确定最合理的巡检路线。特别当供电线路发生故障时,能及时进行分析、定位和辅助抢修指挥。

#### (5) 沿线追踪显示

以图形方式实现设备的快速定位,查看配电网沿线设备的实际地理位置(基础地形信息)和属性数据、图片档案等信息。

#### (6) 资源分配

对主干线进行优化分析,目标是使整个电网投资最小。

#### (7) 设备缺陷管理

对所有发现的线路缺陷、线路薄弱点等信息进行分类管理,合理安排各种缺陷的处理方法及处理时间,按照要求进行各种缺陷的统计,并做出季度缺陷报表。

#### (8) 实时信息处理

根据 SCADA 系统提供的实时信息,在地理图上快速反映主接线的实时运行状况,计算各馈线出线当月累计有功电量与无功电量,并绘制馈线出口处的负荷曲线。

#### (9) 线损计算

根据每回配电线路的当月供电电量,计算理论线损、实际线损,并按馈线区域统计,显示和打印线损报表及统计分析图表。

#### (10) 动态组编辑

可将配电网中不同层的要素(如电杆、变压器、线路等)组成一个动态组,在进行动态调整时,例如对电杆移位时,使该电杆上所有的线路的设备同时自动移位,并保持原有拓扑关系不变,以方便用户编辑和维护。

#### 5. 负荷控制子系统的地理信息管理

结合独立运行的负荷监控实时系统,以用户的负荷控制终端基本数据为依据,实现在地图上创建各类负荷控制终端,并在此基础上,为用户提供各类地理信息的查询、分析功能以及实时数据的显示。

##### (1) 信息元的创建和删除

含负荷中心的创建及删除和负荷终端的创建及删除。

##### (2) 终端信息查询

根据用户提供的条件,查询相应的负荷控制终端,同时闪烁显示其地理位置,统计显示终端信息。主要的查询功能包括:

- ①按控制组查询;
- ②按行业查询;
- ③按变压器容量查询;
- ④中继终端查询;
- ⑤已通和不通的二级终端查询;
- ⑥检测不通的终端查询;
- ⑦按控制状态查询;
- ⑧角度查询。是以负荷中心为基点,按照用户给定的方向及夹角来查询其范围内的负荷终端。

##### (3) 实时数据的显示

单击每个负荷终端图标,系统将自动访问负荷控制与管理子系统的相关数据库,搜索该终端的基本数据信息(端点、地址、主控线路、电压等级、电容量等)和实时数据信息(终端状态、当前功率、当前滑差值、上小时有功电量、上小时无功电量、跳闸计数、违章计数等),并回显到屏幕上,供用户参阅。

##### (4) 高负荷区域显示

指大用户的负荷分布区域显示。

##### (5) 负荷密度分析

包括区域密度分析、线路密度分析和负荷密度率分析等,并实现任意范围的负荷预测,以辅助电网规划。

##### (6) 负荷转移决策

当故障停电或检修需要停电时,均要将部分负荷转移到其它配电变电站或本站的其它出线中。负荷转移决策将为调度人员或抢修人员提供最优化的负荷转移方案。

##### (7) 与用电管理部门接口

根据用户的报装和用户地址信息以及配电系统当前情况,辅助进行负荷审批。

#### 6. 用户抄表与自动计费子系统的处理信息管理

远方抄表与自动计费子系统,应向配电地理信息系统传送用户地址、用户名称、用电负荷等信息,以便地理信息系统可以显示抄表区域和区域负荷情况,使数据更加直观。

## (四) 地理信息系统的框架模式与系统配置

### 1. 系统框架模式

采用组件式 GIS 和 WWW 技术构造配电网 GIS 的基本思想是在 Internet/Intranet 的基础上,通过客户端的浏览器调用 GIS 应用功能,即 Web 浏览器是客户端的主要操作平台,而 GIS 功能的具体实现则由高性能的 Web 服务器和 GIS 服务器协同完成,并将结果回送给客户端。其主要特点是集中管理,也就是说,软件程序、数据库以及其它一些组件都集中在服务器端,客户端除了浏览器及所依存的操作系统外,无需其它软件和相关的管理维护工作。这样,用户需要查询的资料和分析的结果都来自于服务器对同一(或同类)数据库的操作,从而保证了数据的及时性和一致性。从管理的角度看,程序代码的维护及更新、应用功能的扩充和完善、

数据库的备份和日常维护等都可以在服务器端进行。

基于 Web 的地理信息系统的基本框架模式如图 29-4 所示。

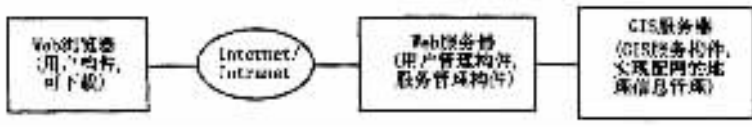


图 29-4 基于 Web 的地理信息系统的基本框架模式

图中,浏览器是 Web GIS 的主要操作平台;用户构件是用户端以 GUI 为中心的 GIS 构件(如数字化构件、图形编辑构件、符号设计构件等)及应用构件。在客户端是否配置用户构件需根据配电网地理信息系统的性能要求而定;Web 服务器驻留在主机上,为客户机提供用户管理构件和服务管理构件;GIS 服务构件包括所有的在 GIS 服务器上的服务构件,如配电网的空间查询服务、空间分析服务、安全服务和制图服务等。

## 2. 系统配置

### (1) 统硬件配置

高性能服务器 :HP LHP4/300(2);

客户机 :业务人员使用一般的 Pentium 系列微机,领导使用或移动使用便携式笔记本电脑;

远程联网设备 :Modem;

数字化仪 :Calcomp, A0 幅面(1),

绘图仪 :HP750(1)。

### (2) 系统软件配置

#### ① 基本 MGE

系统工具:

浏览器 :NetScape 或 IE;

服务器 OS :Windowsnt;

客户端 OS :Windows NT/98、2000;

Web 服务器 :IIS( Internet 信息服务器);

GIS 应用服务器 :Geomedia Web Map 2.0;

关系数据库服务器 :SQL Serve(可选)。

开发工具:

界面设计与集成 :Visual Basic

部分应用程序开发 :Visual C++;

配电网 GIS 应用功能主模块设计 :Geomedia 组件。

#### ② 基于 Arc/Info

系统工具:

浏览器 :NetScape、IE 或 ArcExplorer;

服务器 OS :Windows NT;

客户端 OS :Windows NT/98、2000;

Web 服务器 :IIS 或 Netscape Server;

GIS 应用服务器 :MapObjects IMS;

关系数据库服务器 :SQL Serve(可选)。

开发工具:

界面设计与集成 :Visual Basic;

部分应用程序开发 :Visual C++;

配电网 GIS 应用功能主模块设计 :MapObjects 组件;

复杂空间分析功能模块设计 :SDE 组件。

## 二、用电管理中的自动抄表与远程电能计费系统

配电及用电需要自动计量计费系统,还有直接记录各家各户的自动抄表系统,其内容涉及到计量设备(仪表)数据传输、通信和计费,甚至涉及与费用结算部门(银行)之间的信息交换。

### (一)多功能电子式电能表

#### 1. 电子式电能表的性能及组成原理

目前电子式电能表在国外的使用已比较普遍,特别是在英、美、德、瑞士等发达国家非常普及,年销量已超过机械式电能表,在国内,随着观念的转变和制造技术的日趋完善,电子式电能表的可靠性有所提高,目前已有相当数量的各种类型的进口和国产电子式电能表投入电网运行,并产生显著的效益。

电子式电能表与机械式电能表的性能比较如表 29-2 所示。

电子式电能表在不断更新面世,图 29-5,为一种采用时分割乘法器构成的典型电子式电能表组成框图。

表 29-2 电子式电能表和机械式电能表的性能比较

性能	机械式电能表	电子式电能表	性能	机械式电能表	电子式电能表
准确度	0.5~3.0 级	0.01~2.0 级	外磁场影响	较大	较小
频率范围	45~55Hz	40~1000Hz	安装要求	$\pm 3^\circ$	无特殊要求
过载能力	4 倍	5~10 倍	价格	低	高
功率消耗	大	小	维护	简单	复杂
电磁兼容	好	差	功能扩展性	差	好

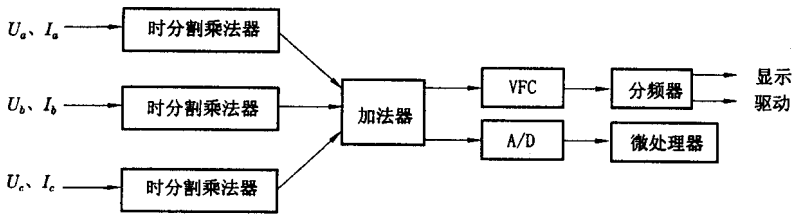


图 29-5 采用时分割乘法器构成的典型电子式电能表的组成

图中三路时分割乘法器的输出电平相加后,可以进行 A/D 转换后进入微处理器,也可以经 VFC 和分频器换成正比于输入平均功率的脉冲后输出。

#### 2. 多功能电子式电能表的功能

由于大部分多功能电子式电能表采用了微处理器技术,一般可以具有十余种基本功能,再加上辅助功能,某些型号的产品的功能多达上百种。

多功能电子式电能表的功能可分为以下几类。

##### ① 用电计测功能

用电计测功能包括累计计量和实时计量两类功能:

##### a. 累计计量功能

累计双向供电的有功电能、无功电能和视在电能的消耗量。其它累计功能还有累计掉电时间、累计掉电

次数和累计超过功率时间等。

#### b. 实时计量

实测各相电流、相电压及线电压和三相有功功率、无功功率、视在功率和功率因数,以及供电频率等。

#### ② 监视功能

主要有最大需量监视(计算窗口通常为 15min,滑差为 1min)和防窃电监视等。其它功能还有缺相指示、断电、恢复供电时间记录和电压异常报警等。

#### ③ 控制功能

主要包括复费率分时计费的时段控制,有的电能表还具有负荷控制功能。

#### ④ 管理功能

主要包括按时段/费率进行计费、抄表以及组网管理等,费率可根据季节、星期、日或特殊节假日或峰谷期而有所不同,费率由供电部门设定。

#### ⑤ 存贮功能

将一段时间采集到的各项参数及事件打上进标存贮在存贮器中,并做到掉电仍不消失。

#### ⑥ 自恢复与自检测

对于基于微处理器的多功能电能表,应加监视定时器(WDT)以确保其在程序出现异常导致死机后,能够及时复位电能表,同时还要尽可能地通过程序进行硬件部分的自检测。

## (二)抄表技术

### 1. 抄表计费的几种方式

抄表电能计费一般有以下几种方式:

#### ① 手工抄表方式

抄表员携带纸和笔到现场根据用户电能表的读数计算电费。

#### ② 本地自动抄表方式

采用携带方便、操作简单可靠的抄表设备到现场完成自动抄表功能。它通过在配备有相应模件的电表和手提电脑之间加入无线通信手段,达到非接触性完成数据传输的目的。依据所采用的无线通信种类的不同又可分为红外线就地自动抄表、无线电自动就地抄表和超声波就地自动抄表等几类。

#### ③ 移动式自动抄表方式

利用汽车装载收发装置和 900MHz 无线电技术以及电表上的模件,不必到达用户现场,在附近一定的距离内能自动抄回电能数据。

#### ④ 预付费电能计费方式

通过磁卡或 IC 卡与预付费电能表相结合,实现用户先交钱购回一定电量,当用完这部分电量后自动断电的管理方法。

#### ⑤ 远程自动抄表方式

采用低压配电线、电话网、无线电、RS-485 或现场总线等多种通信媒体,结合电表上的软件和局内计算机系统,不必外出就可抄回用户电能数据。

### 2. 预付费电能计量方式

收电费难是全国各地普遍存在的现象,也令供电管理部门大伤脑筋,许多用户法律观念淡薄,拖欠电费,使电力工业的发展受到很大的影响。预付费电能计量方式受到了广泛关注。预付费电能表是这种方式的核心设备,按其执行机构的不同,可以分为投币式、磁卡式和 IC 卡式三种。

① 投币式预付费电能表:这是一种在国外使用最早的预付费电能表,由于这种装置容易被窃,并且在管理与维护上也存在一系列问题,目前已被淘汰。

② 磁卡式预付费电能表:磁卡是由磁卡读写器将数据记录在卡片状的磁性材料上而构成的,如日常生活中的电话卡、牡丹卡等。一般认为磁卡系统安全性较低,因为磁卡的复制相当容易,并且它还容易在受热、受压、受折或受强磁场影响而遭到物理损坏。

③ IC 卡式预付费电能表:IC 卡全称为“Integrated Circuit Card”,IC 卡是一种具有微处理器和大容量存贮器的集成电路的集成电路芯片,嵌装于塑料芯片而成的卡,IC 卡是一种高安全性的系统,但成本较磁卡昂贵。

### 3. 鉴于 IC 卡电能表的预付费系统

典型的 IC 卡预付费复费率电能表原理框图如图 29-6 所示。

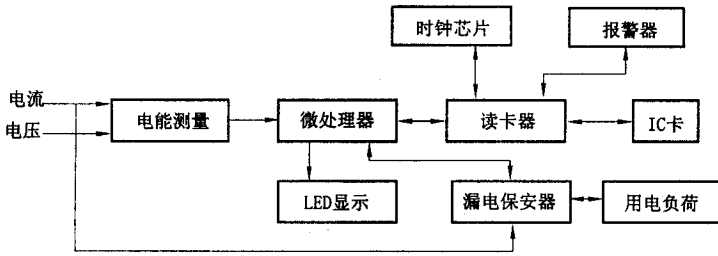


图 29-6 IC 卡预付费复费率电能表的原理框图

图中,电能测量部分完成电度采集,它将测量的功率转换成脉冲形式,功率-脉冲转换有两种模式,一种是全电子式,另一种是机电式。全电子式比较有发展前途,因为目前有许多电能表专用集成电路问世,比如上海贝岭公司的单相式电度表专用电路 BL0931,它实际上是一个模拟乘法器,电压信号经片内厚膜电阻分压,电流信号由片内锰铜电阻取样,然后与分压后的电压信号相乘,就得到与功率成正比的信号,再经  $V-F$  交换后,就得到一个与被测功率成正比的脉冲信号,该脉冲信号经分频后输出提供给微处理器的计数部分。

微处理器是电能表的核心,它主要完成脉冲计数,并与  $E^2PROM$  中存入的 IC 卡电量信息进行比较和相减得出剩余电量。当剩余电量不足  $10kW \cdot h$  时,发出警告信号,提醒用户及时购买,在剩余电量为 0 时,即用户所购电量用完时,发出跳闸信号,通过表内的漏电保安器自动断电。

IC 卡由 5 个功能模块组成,即:

- ①微处理器(CPU);
- ②工作缓冲器,是用户存贮中间数据的 RAM;
- ③程序存贮器(ROM);
- ④数据存贮器,是采用存放用户数据的  $E^2PROM$ ;
- ⑤通信单元,用来实现卡与外部读写装置的串行异步通信。

当 IC 卡插入读卡器时,液晶显示器会显示“读卡”字样,读卡正确后,则将 IC 卡中的电量信息存入串行  $E^2PROM$  中,并消除卡上的电量数据。

IC 卡采用软、硬件加密技术,比如可采用准 DES 随机加密算法,每张卡的密码不同,有的 IC 卡还具有“自锁”功能,即密码尝试错误发生一定次数后,读卡就永远无法读写(即“锁死”了)。典型 IC 卡的组成如图 29-7 所示。

漏电保安器除用作对用户限电和当用户所购电量用完时跳闸之外,还具有人身触电保护和电网漏电保护的作用。

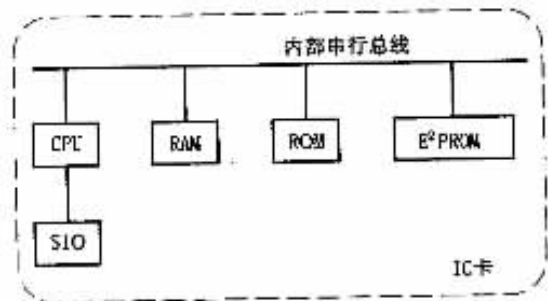


图 29-7 典型 IC 卡的组成

IC 卡复费率电能表一般应具有如下功能:

- ①IC 卡预付电费;



- ②分时(峰、谷、平时段)计量有功电度和无功电度并计费;
- ③分时计量有功最大需量和无功最大需量;
- ④功率因数测量;
- ⑤提醒与跳闸;
- ⑥防窃电。

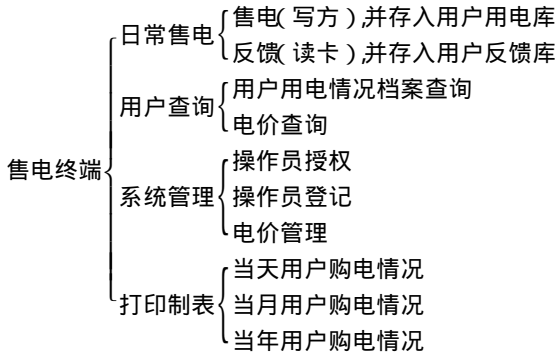
4. 预付费电能计费管理系统

采用 IC 卡电能表后,与之相配套,必须推出一整套电能计费管理系统。该系统的关键部分是售电终端。

①售电终端

在每一供电区域应设置一套售电终端,它一般由一台计算机和工作读写器组成。售电终端可以通过 Modem 和 X.25 协议或电话线与售电管理系统计算机网络相连。

售电终端主要功能有售电(写卡)、记账、反馈信息(读卡)、电价管理、操作员授权管理(口令)等,即



②售电管理系统计算机网络

将所有售电终端联成网络,可使售电管理的安全性和迅速性大大提高,该网一般采取多极结构。

一个典型的售电管理系统计算机网络的组成如图 29-8 所示。

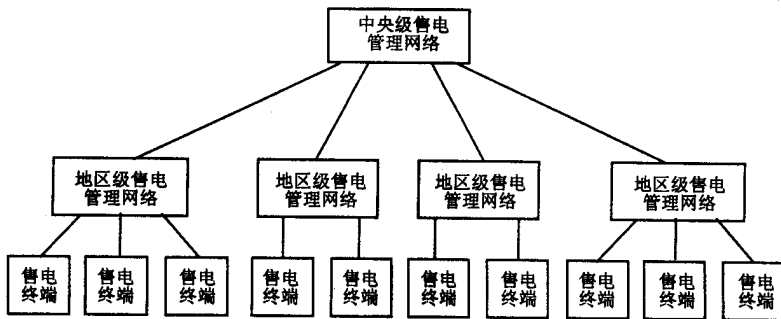


图 29-8 一个典型的售电管理系统计算机网络的组成

地区级售电管理计算机网络专门处理本地售电数据和用户反馈的用电数据。中央级售电管理计算机网络专门处理政策性数据和全国的售电与用电数据。

(三) 远程电能计费系统的设计

目前建立准确及时、安全可靠的远程电能计费系统已成为当前的迫切需要。美国及西方发达国家在电力市场的管理和运营方面积累了丰富的成功经验,但由于国情不同,国内外的实际运行情况有较大差异,引进系统存在着价格高、汉化程度差、售后服务不及时等一系列问题。因此,必须开发研究适用于我国实际情况的电能计费系统,以满足用电商品化、管理现代化的市场需要。

1. 系统的组成及原理

远程计费系统主要由电能表、数据采集器(下位机)、上位监控计算机等组成,系统的总体组成如图 29-

9 所示。

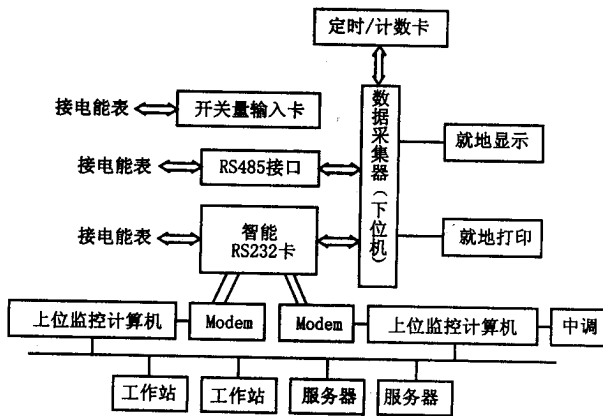


图 29-9 远程电能计费系统示意框图

## 2. 电能表

系统中基础设施是电能表。它可对有功正、反向电量、感、容性无功电量、峰、平、谷费率分时电量等数据进行实时计量与监测，将所得电能数据根据不同需要，存储在相应的存储单元内，通过电能表显示屏就地显示；另外也能通过 RS232、RS485 和脉冲输出方式，将累计的电能值通过数据采集装置传输至上位机，实现远程计量和监测。目前使用的电能表主要有 3 种输出方式：通过串口 RS232、RS485 和脉冲输出。

## 3. 数据采集器(下位机)

针对目前电能表的 3 种输出方式，系统的数据采集器主要由内置开关量输入/输出卡(I/O)、RS485 接口卡、智能 RS232 多串口卡、定时/计数卡的工控机组成。

脉冲输出电能表的输出脉冲信号或输出节点信号通过开关量输入卡接入数据采集器(下位机)，通过实时检测脉冲的跳变，累计记录的脉冲数，依此作为计量电能的依据；为了不造成电能值的损失，对脉冲的计数要求较高。

电能表脉冲输出的脉宽一般在 50~80ms 之间，因此在设计时通过对定时/计数卡进行编程，采用中断方式对输入脉冲进行计数，同时通过硬件设置，实现在一个规定周期内将所计脉冲数存入计数卡的数据存储器。对于带 RS232、RS485 接口的电能表，由工控机定时向电能表发送数据冻结指令，再分时读取数据，从而得到规定周期内的电能值。

为了提高系统的开放性，采用模块化的思想，设计 3 种不同的接口板。在实际应用中，设计 3 种不同的接口板。在实际应用中，由于 RS232 口的局限性，如只能实现点对点的通信模式，而且传输距离近，因此多采用适合远距离传输的 RS485 接口的电能表。由 RS485 组成总线方式，可挂接多块电能表，工控机以广播方式发送数据冻结指令，然后分时读取电能数据，其传输距离可达 1200m，而且抗干扰能力强。

## 4. 上位监控计算机

在大型发电厂、变电站中，需要计量的对象多，因此所需电能表数量大且分散，远方数据采集器(下位机)将本站或附近站的电能表数据先进行集中，经初步分类，按规定的文件格式存入采集器的硬盘内，然后根据主站命令传输相关数据。上位机与下位机之间的通讯可通过公用电话网，按照一定的通信规约传输数据。上位监控机将下位机传送的数据进一步分类处理后，按要求存入相应数据库，为用户进行数据分析、曲线显示、报表生成等提供可靠的电能数据。

另外，上位机部分可实现网络方式，因此服务器是整个电能计费系统的核心，服务器上运行数据定义库、实时数据库、记录数据库等动态和静态数据库。服务器出现故障将导致整个网络系统的运行异常，所以一定要有热备用硬盘或热备用服务器。工作站可以直接访问服务器数据库，完成打印报表、曲线显示等任务，并负责与 EMS、MIS 接口，实现资源共享。

5. 下位机软件设计 ,下位机软件的主要功能包括通过定时/计数卡定时产生中断 ,冻结输入的脉冲数 ,同时通过 RS485 或 RS232 发出数据冻结指令 ,定时冻结电能表中的数据 ,数据按规定的格式存入相应的数据缓冲区中 ,按上位机的指令要求传输相应的数据文件 ,同时把本机状态发给上位机 ,按定义显示不同电能表的数据。系统按不同时序完成不同任务 ,不同任务之间存在优先级的高低。为了实现上述功能 ,整个软件分为以下 3 个模块 :

① 中断子程序

通过定时板产生一个中断 ,系统执行中断子程序的流程图如图 29 - 10 所示。

② 实时调度程序

实时调度周期为 60s ,主要任务和优先级分配可参考如表 29 - 3 所示。

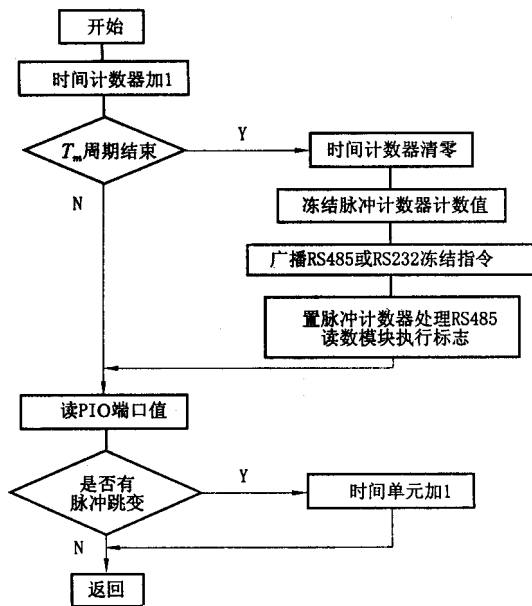


图 29 - 10 中断子程序流程图

表 29 - 3 实时调度程序的主要任务和优先级分配

优先级	任 务	时间
1	对时模块	5s
2	与主站通信模块	5s
3	电量数据缓冲区维护及存盘模块	5s
4	显示模块	5s
5	与当地 RS232 口通信模块	5s
6	RS485 读数模块	5s
7	RS232 读数模块	5s
8	数据转发模块	5s

③ 设置程序运行需要的主要参数

这些参数主要包括主站个数、接入量参数表、 $T_m$  周期、密码、通讯波特率、通信口。

6. 上位机的软件设计

上位机的软件功能包括数据管理、报警显示、与 EMS 系统接口等 3 部分,其功能框图如图 29-11 所示。对下位机传送来的数据作进一步处理是系统软件设计要重点考虑的部分。报警显示(主要为失压报警)亦是系统安全运营的重要环节。因为若出现失压情况,电能表无法正常工作,会造成电能计量损失,并将直接影响经济效益。

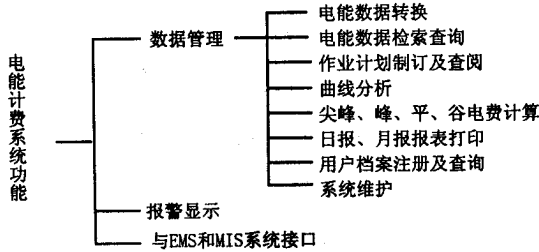


图 29-11 上位机软件功能框图

7. 系统的数据流程图

系统数据流程图如图 29-12 所示,系统按主、备 2 个大容量硬盘存贮同一数据源,主备硬盘可以相互切换,如主硬盘工作不正常时可自动切换到备硬盘。这种设置既提高了冗余度,也提高了远程电能计费系统的可靠性。

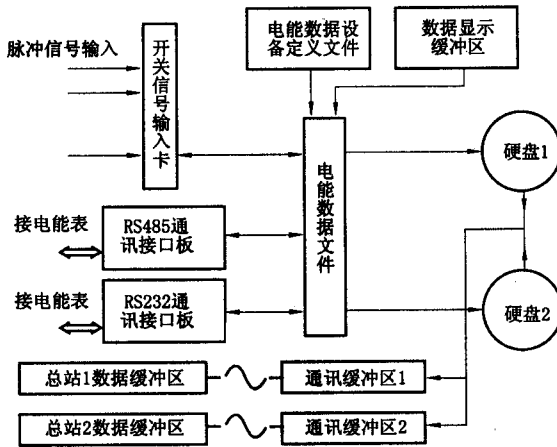


图 29-12 系统数据流程图

8. 上、下位机之间的通信上位机与下位机之间的数据传递可采用电力系统配置(载波、微波)通道或邮电共用网市话通道。发电厂、变电站等大用户多采用系统配置通道,住宅电能量采集多用邮电共用话网。不同厂家的产品可能有不同的通信规约,设计时可视具体要求。每一次完整的通信过程基本包括以下 4 个阶段:

①通信连接

主站呼叫→下位机接到呼叫后发要口令→主站回答下位机编号及对应的口令→下位机对口令的正确性作出应答→结束本阶段通信。

②主站发出读或写数据命令,下位机根据主站命令执行操作

主站命令包括读数据命令、写命令、对读数命令、对写命令。下位机确认无误后执行操作,并向主站发 ACR 或 NAK。

③读命令特征字及对应的编码与地址。

④主站完成通讯任务后或发生通讯故障时发出通讯结束命令,下位机接到此命令后立即结束本次通讯。

## 第三节 电力系统远动通信与 RTU

### 一、电力系统远动通信

#### (一) 传输信道

远动通道是由调制解调器、通信机和传输媒介组成的。通信机和传输媒介一起称为传输信道, 简称为信道。电力系统常用的模拟制传输信道有电力线载波通道、微波通道、特高频通道和通信电缆等。在有些系统中, 在枢纽变电所与调度所之间也使用电缆载波通信。

近年来, 数字通信有了较大发展。大容量的数字微波通信和数字光纤通信已在电力系统通信中应用。

电力系统远动信道的结构是多样化的, 它可能是单一的模拟信道或数字信道, 也可能是由数字和模拟两种信道混合构成的。

下面简要介绍一下各远动信道的特点。

#### 1. 电力载波通信

将 300 ~ 3400Hz 的语音信号以及远动、继电保护信号进行调制, 把它寄载在高频波的某个参量上(如幅度、频率、相位)变成频率为 40kHz 以上的高频信号, 并借助于电力线传送。这种通信方式就称为电力载波通信。其通道由电力载波机、输电线路和耦合装置组成, 如图 29-13 所示。

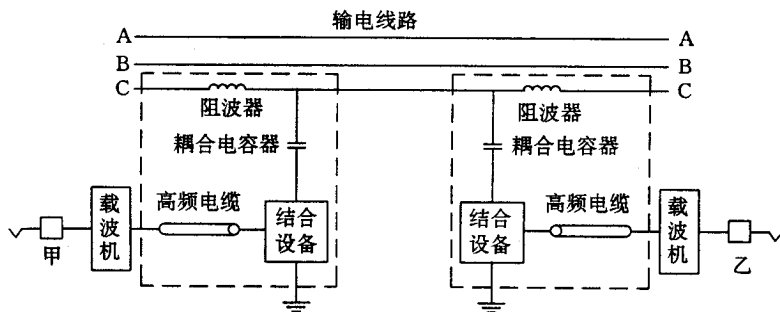


图 29-13 电力线载波通信系统示意图

载波通信的基本原理可以用一句话来概括:即“一变、二分、三还原”。变:就是依靠调制器把话音频带(300 ~ 3400Hz)搬到适合通道传输的高频频带的位置上实现频率变换;分:就是利用滤波器来区分路频带,实现频率分割;还原:就是利用反调制器把高频频带还原成话音频带。

电力载波通信是电力系统特有的通信方式,具有高度的可靠性和经济性,是电力系统基本通信方式之一。但这种通信方式,由于可用频谱的限制,不能满足全部需要。

#### 2. 微波通信

微波通信是一种无线电通信的通信方式。在进行无线电通信时,需要把待传信息转换成无线电信号,依靠无线电波在空间传播。微波一般指频率为 300MHz ~ 300GHz、波长为 1m ~ 1mm 范围的无线电波,传输速度约等于光速。微波在自由空间像光波一样沿直线传播,在地球表面传播距离一般不超过 50km,且中途不得有高山或建筑物挡住。因此,在地球表面上进行远距离通信时,需要采用“中继”方式,一方面保证微波沿地球椭圆球体传播,另一方面收发放大,补充电波传播过程中的能量损耗。由于微波通信传输容量大,可同时传输 300 ~ 960 个话路,有传输质量高、抗干扰、保密性强等特点,现已成为电力系统通信网中主要传输手段。

之一。目前我国已基本形成一个全国性的电力系统微波通信网。

微波通信分为模拟微波通信和数字微波通信两种。

### 3. 卫星通信

利用距地面高度为 36000km 的同步人造地球卫星作为微波通信接力站,一上一下可跨越通信距离上万公里,这种通信方式叫卫星通信。卫星通信目前开放的业务有:电报、电话、数据、会议电视电子邮箱等。目前有些大型发电厂采用 GPS(全球定位系统)实时校正时钟。

### 4. 光纤通信

利用光波作为传输媒介,借助于光导纤维进行通信。光实质上也是电磁波,只不过它的频率很高而已( $3 \times 10^{14}$  Hz 以上),现在的光通信频率在近红外区,将来还要发展在中红外区和远红外区。光纤主要是用玻璃预制棒拉丝成纤维,它包含纤芯和包层,是圆柱形。纤芯直径约  $5 \sim 75 \mu\text{m}$ ,包层有一定厚度,它的外径约  $100 \sim 150 \mu\text{m}$ ,最外面是塑料,作保护用。光波局限在纤芯与包层的界面以内向前传播,故光纤属于光波导。一根光纤就是一个波导,多根光纤组成光缆。光纤通信具有通信容量大、通信质量高、抗电磁干扰、抗核辐射、抗化学侵蚀、重量轻、节省有色金属等一系列优点,因而在电力系统通信中在架空地线上架设光纤也开始得到应用。

### 5. 音频电缆

由多根相互绝缘的导体,按一定的方式绞合而成的线束,其外面包有密闭的外护套,必要时还有外护层进行保护。音频电缆是联系调度所与载波终端站的中间环节,也是调度所与近距离发电厂、变电所之间的主要通信方式。

## (二) 远动数据传输方式

目前电力系统远动通信主要有两种通信制式,即循环式(CDT)和问答式(Polling)的。

1. 循环式。由发送端循环不断地将遥测、遥信信息发往接收端,即数据与信息位必须一位接一位,没有间隔、间断,不能重叠;在采集一定数据的情况下传送速度较快;一台下位机要占用一条通道,在实现遥控、遥调等下行信号时,需占用两条通道。其优点易于实现一发多收。

2. 问答式。由主站端依次查询每台子站有无信息发送,如无,即查询下一台子站,如有,则待该子站信息送完,主站再查询下一台子站。问答式的主要优点是节省通道、且连入通道的方式灵活,包括几台子站可共用一个通道,容易实现各子站间的时间同步。

目前,多数发达国家采用问答式,日、俄两国主要采用循环式 RTU,我国目前是两者并存,但按逐步过渡到以问答式 RTU 为主的方向上积极开展工作。

## (三) 远动通道连接方式

远动通道连接方式可归纳为五种形式,如图 29-14 所示。

对于循环式远动,只能用 1 对 1 和 1 对  $n$  两种点对点的通道方式,如图 29-14(a)和图 29-14(b)所示。如有下行信号时(如 AGC 遥控遥调信号)则须占用两个通道,而且都没有备用通道。

对于问答式 RTU,几台 RTU 可共用一条通道,同一通道上可以传送上行、下行信号。自动切换到备用通道也易于实现。

在图 29-14(c)中,几台 RTU 共用同一通道,也没有备用通道。

在图 29-14(d)中,具有主备通道,在主通道故障时,可用软件控制的开关将其切换至备用通道。

在图 29-14(e)中,具有环形通道,如正常运行时,三台 RTU 通过甲通道接至主站。当甲通道故障时,RTU1 利用软件切断甲通道,RTU2 则投入乙通道,使三台 RTU 与主站的通信得以保持。

## (四) 远动通道工作模式

远动通道的工作模式有单工(用于 CDT)、半双工(用于 POLLING)和全双工三种。具体采用何种模式,由远动系统的功能、规约和可能提供的信道形式决定。

单工工作模式是指信号只能在一个方向上传送,不能反向传送。传统的遥测遥信(CDT(循环制)远动系统,远动数据由厂所端发送到调度所,是单向工作模式,只要求传输信道在一个方向上工作。

半双工工作模式是指通道可以在二个方向上传送数据,但又不能同时传送的模式。当一个方向在传送

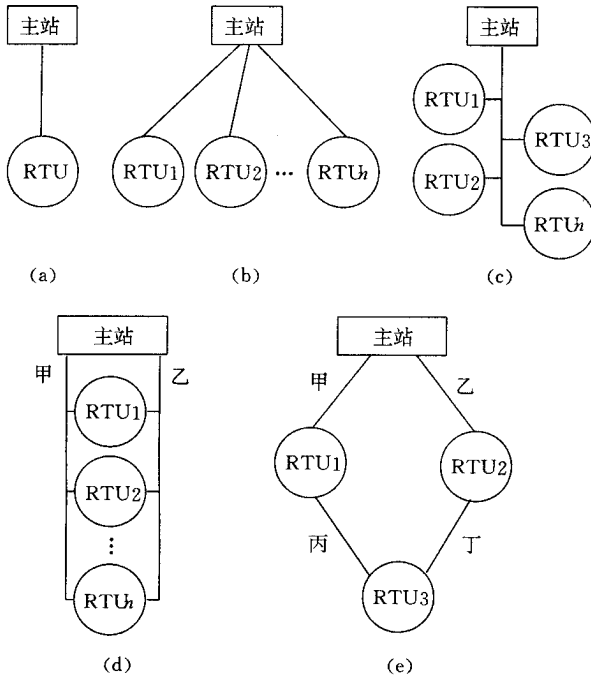


图 29-14 远动通道连接方式

(a) 对 1 通道 (b) 对  $n$  通道 (c)  $n$  台 RTU 共用  
单一通道 (d) 主备二条通道 (e) 环形通道

数据时,另一个方向不传送;当一个方向的传送结束后,另一个方向才开始传送。POLLING(问答式)远动系统要求远动通道提供半双工工作模式。半双工工作模式要求信道具有双向道路。在电缆线路上的半双工工作模式,也只要一对电缆芯线。1:N 特高频远动通道和串联式一点至多点远动通通常构成半双工工作模式。

全双工工作模式是指在两个相反的方向上,能够同时传输数据信号。具有遥控和遥调功能的系统,可以为半双工工作模式,也可以为全双工工作模式。在电缆线路上实现全双工通信需要提供二对芯线。

## 二、远动终端装置(RTU)

远动装置在电力系统调度自动化中担负的任务是实现各层或各级调度的实时数据收集,形成多层次的实时数据网。对构成实时数据网的终端设备,除要求完成传统的遥测、遥信、遥控、遥调基本功能之外,还要求远方终端能同时向两个(或两个以上)调度所发送两种不同规约及不同内容的数据;要求对重要厂所实现事件顺序记录、事故追忆记录及动态数据记录。此外,终端设备应能与计算机接口,并能与数字量设备接口,如水位计、频率计等。上述这些要求,布线逻辑远动装置是无法满足的。由于微型计算机技术的迅速发展,出现了各种微机远动终端装置,即完成远动功能的微型计算机系统,如图 29-15 所示。它含有微型计算机的基本组成部分,即中央处理单元 CPU、随机存储器 RAM、只读存储器 ROM、输入/输出接口 I/O;同时含遥信输入 DI、模拟量输入 AI、脉冲量输入 PI 以及遥控、遥调输入单元和数字量输出单元、传输信息用调制解调器 MODEM。这一系统称作微型 RTU。

### (一) 远动信息

远动信息所包含的基本内容有 遥信、遥测、遥控和遥调信息。

#### 1. 遥信信息

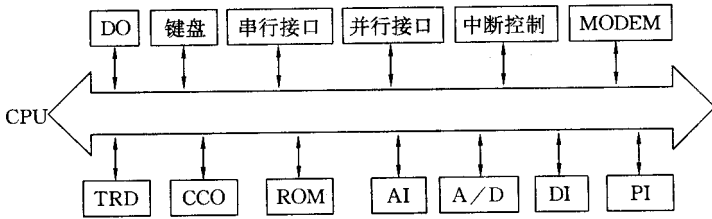


图 29-15 微机远动终端装置构成示意图

遥信信息含发电厂中主要的断路器合闸或跳闸位置状态信号、隔离开关的合闸或分闸位置状态信号、重要继电保护与自动装置的动作信号以及一些运行状态信号。如厂所设备事故总信号、发电机组运行状态的变动信号、远动及通信设备的运行故障信号等。此外,也可用遥信信息传送测量参数的上、下越限告警信号,如频率越限、水位越限和其他设定值的越限信号。遥信对象只有“0”“1”两种状态,故在国际上习惯称为 DI 信号(即数字输入(digital input)),在远动装置内经编码后形成遥信码字。

### 2. 遥测信息

在遥测信息中,功率测量必不可少。对发电厂中的发电机组、调相机组、变压器、线路出口等通过的有功与无功功率进行测量,可以获得电力系统的出力、潮流与负载情况;另外,对电流、母线电压、频率、厂用电和地区负荷、联络线交换电量、功角等的测量也属于遥测范围。

上述被测对象代表的是随时间连续变化的模拟量。这些模拟量一般是通过变送器把实时测量值变成直流电压或电流。在新型综合自动化系统中,已大多采用交流采样,送入远动装置,经标度变换的计算,而编码形成遥测码字送往调度中心。因为遥测信息大部分为模拟量,所以又称为 AI(Analog Input)。

遥测与遥信信息在远动系统中又可概括定义为上行信息。它由厂站向调度中心传送或从下级调度中心向上级调度中心传送。

### 3. 遥控信息

遥控信息的内容是,根据正常或事故时运行操作的需要,通过远程指令遥控厂所内的断路器、投切补偿电容和电抗器、发电机组的启停、自动装置的投退等。为了提高遥控的可靠性、避免误动作,遥控信息中的远程指令都必须附加返送校核功能,只有在核对无误后,才能执行远程指令的具体操作。

### 4. 遥调信息

遥调对象一般是:变压器或补偿器的分接头、机组有功或无功成组调节器、自动装置以及相关闸门等。通过对遥调信息的执行,可以达到增减机组出力和调节系统运行电压的目的。

遥控和遥调信息在远动系统中称为下行信息。它们的传送方向与上行信息相反,即由调度中心向统调的厂所传送,上级调度向下级调度传送。

## (二) RTU 的主要功能与要求

微机 RTU 的功能除包括以往常规远动装置的功能外(例如遥测、遥信、遥控、遥调基本功能),由于微机 RTU 的优越性,通常还具有以下功能。

### 1. 遥信的变位传送

由于发电厂中有大量遥信信息(如断路器位置、隔离开关辅助触点位置、继电器触点位置等),而这些信息在一天中的变化次数不多。因而采用仅当状态变化时才发送遥信的方式,这样可有效地减轻通道负载。

### 2. 遥测的变化率监视

当发电厂处于稳定运行状态时,绝大部分的遥测值不变或只是缓慢地变化。显然,既然遥测值不变,也就不必要传送到通道上去。通常,仅当两次扫描之间遥测值变化超过一定值时,才采用送遥测的方法,这种方法称为变化率监视。采用这种方法可以降低通道负载。据有关文献报导,用 0.25% 的变化率可以滤掉 90% 的通道负载,而 0.25% 的变化率已在测量误差的范围以内。

这种方式的缺点是在正常运行状态下虽然可以有效地减轻通道负载,但当电力系统发生扰动时——即最需要高速传送信息时,通道的负载却最重。因此国外有些公司不采用变化率监视的方法,而是采用循环传



送所有遥测值的方法。

为了防止扫描周期过长,可以采用多重扫描周期,即将遥测值按其重要性分为 2、5、10s 等几种周期来传递。

### 3. 顺序事件记录

RTU 可以自动记录状态变化的时间,并送到主机按时间顺序显示并记录,这种功能对于分析事故非常有用,时间的精度可达毫秒级。

现代化 RTU 的顺序事件记录的时间精度在一个厂内可以达到 1~2ms,全电力系统分辨率可达 3~10ms。

### 4. 通道的监视和自动切换

为了保证实时信息迅速、准确地送到主站,不仅要有可靠的远动设备,还要有可靠的通道,重要的厂、所应当考虑装设备用通道,一旦主通道失效,还可以利用备用通道向主站传送信息。

微机 RTU 可以经常监视通道的正常运行。如果主通道失效(当主站向某台 RTU 询问若干次以后没有回答时,就可以认为是通道失效),可以自动切换到备用通道上继续运行。

### 5. 通道误码的统计和记录

利用计算机可以统计通道的偶然性错误(例如几次误码、几次 RTU 没有回答等),并定时打印,如果偶然性错误突然增加,即说明 RTU 或通道的某些模块可能不正常。根据我国有些电力系统运行经验,RTU 及通道的误码率一般在每天(24h)5 次以下。

### 6. 自恢复和远方诊断

微机 RTU 的可用率通常很高,往往几年不出一次故障(因一般没有外部设备、程序存放在只读存储器里)。为了防止出错,通常在微机里装有自检程序,每隔 1~2s 自动检查一次。在发达国事中 90% 以上的变电所无人值班,所以 RTU 必须具有在断电后自动恢复的能力。既然 RTU 不需要经常的维护,那么一旦出了故障时在主站侧就应有能进行远方诊断的能力(假设通道无故障,RTU 的微机 CPU 能工作),现代 RTU 可以自主站侧进行诊断故障,定位到插件。

### 7. 事故追忆

事件顺序记录只能记录遥信改变状态的时间,为了便于分析事故,希望能把故障前一霎那和故障后一段时间的遥测值记录下来。微机 RTU 可以定时将部分重要遥测量记入 RTU 的缓存中,在缓存内保留 1min 的记录值,定时更新。当发生故障时(例如继电保护动作),自动把故障前和故障后的遥测值与发生时间发送到主站侧打印并记录,这种功能使各台 RTU 占用大量内存容量作为缓存,而且在发生故障后加重通道的负载。

在美国一般不在 RTU 内定时存储遥测量,而是在主站侧把收到的部分遥测量定时记入外存。故障间隔可以把故障前、后的遥测量打印并记录,以作事故后分析用,这种方法的缺点是记录的时间只能是主站侧收到的时间(以秒计),而是发生故障瞬间的时间(可以精确得多),但是实现比较容易,投资较少。



第四篇 电气工程  
安全技术篇

## 第三十章 电气安全与直接接触电击防护

本章首先介绍工业企业供配电的一些基本知识,然后讲述电气事故概要、触电事故的类型及其分布规律,最后重点论述电流对人体的作用。本章内容是电气安全工程的基础知识。

### 第一节 工业企业供配电及电气事故

#### 一、工业企业供配电

工业企业供配电是指工业企业所需电能的供应和分配。由于电能易于由其他形式的能量转换而来,又易于转换为其他形式的能量而被利用,并且,电能传输和分配上简单经济,便于控制,因此,电能成为现代工业生产的重要能源和动力。实际上,电能的生产、输送、分配和使用是在同一瞬间完成的,实现这个全过程的各个环节构成了一个有机联系的整体,这个整体就称为电力系统。

##### (一) 电力系统

###### 1. 电力系统的组成

电力系统由发电厂、送电线路、变电所、配电网和电力负荷组成,图 30-1 是典型的电力系统主接线单线图。图中未画出用户内部的配电网。

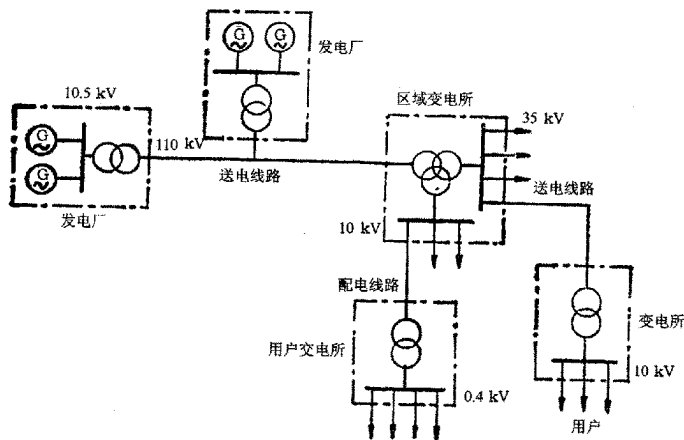


图 30-1 电力系统图

发电厂又称发电站,是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能(二次能源)的工厂。发电厂根据一次能源的不同,分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂以及风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等。在现代的电力系统中,最常见的是火力发电厂、水力发电厂和核能发电厂。

送电线路是指电压为 35kV 及其以上的电力线路,分为架空线路和电缆线路。其作用是将电能输送到各个地区的区域变电所和大型企业的用户变电所。

变电所是构成电力系统的中间环节,分为区域变电所(中心变电所)和用户变电所。其作用是汇集电源、升降电压和分配电力。

配电网由电压为 10kV 及其以下的配电线路和相应电压等级的变电所组成,也有架空线路和电缆线路之分。其作用是将电能分配到各类用户。

电力负荷是指国民经济各部门用电以及居民生活用电的各种负荷。

## 2. 额定电压和电压等级

电气设备都是设计在额定电压下工作的。额定电压是保证设备正常运行并能够获得最佳经济效果的电压。

电压等级是国家根据国民经济发展的需要、电力工业的水平以及技术经济的合理性等因素综合确定的。我国标准规定的三相交流电网和电力设备常用的额定电压如表 30-1 所列。

表 30-1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压

kV

分类	电网和用电设备额定电压	发电机额定电压	电力变压器额定电压	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.22	0.23	0.22	0.23
	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
	6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
	10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	—	13.8, 15.75, 18, 20	13.8, 15.75, 18, 20	—
	35	—	35	38.5
	63	—	63	69
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
500	—	500	550	

我国标准规定 额定电压 1 000V 以上的属高压装置,1 000V 及其以下的属低压装置。对地电压而言,250V 以上为高压,250V 及其以下为低压。

一般又将高压分为中压(1~10kV)、高压(10~330kV)、超高压(330~1 000kV)、特高压(>1 000kV)。电网的电压随着大型电站和输电距离的增加,送电电压有提高的趋势。

在表 30-1 列出的工频高压多个等级中,应用较多的是 10kV、35kV、110kV 和 220kV。

我国工频低压最常用的是 380V 和 220V 电压,在井下及其他场合,常采用 127V 和 660V 电压,在安全要求高的场合,还采用 50V 以下的安全电压。

就直流电压而言,我国常用的有 110V、220V 和 440V 三个电压等级,用于电力牵引的还有 2.50V、550V、750V、1 500V、3 000V 等电压等级。

用电设备的额定电压规定为与同级电网的额定电压相同。考虑用电设备运行时线路上要产生电压降,所以发电机额定电压要高于同级电网额定电压 5%。同样,变压器的二次绕组额定电压高于同级电网额定电压 5%。变压器一次绕组的额定电压分两种情况:当变压器直接与发电机相连时,其一次绕组额定电压应

与发电机额定电压相同,即高于同级电网额定电压的5%;当发电机接在电力网的末端,其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

电力系统的电压和频率是衡量电力系统电能质量的两个基本参数。《全国供用电规则》(1983年)规定,一般交流电力设备的额定频率为50Hz,一般称其为“工频”。设备的端电压与其额定电压有偏差时,设备的工作性能和使用寿命将受到影响,总的经济效果将会下降。例如,当感应电动机的端电压比其额定电压低10%时,其实际转矩将只有额定转矩的81%,而负荷电流将增大5%~10%以上,温升将提高10%~15%以上,绝缘老化程度将比规定增加1倍以上,将明显缩短电动机的使用寿命。此外,由于转矩减小,使转速下降,不仅降低生产效率,减少产量,还会影响产品质量,增加废次品。当感应电动机的端电压偏高时,负荷电流一般也要增加,绝缘也要受损。

用户供电电压允许的变化范围见表30-2,电力网频率允许偏差值见表30-3。

表30-2 用户供电电压允许变化范围

线路额定电压( $U_e$ )	电压允许变化范围
$\geq 35$ kV	$\pm 5\% U_e$
$\leq 10$ kV	$\pm 7\% U_e$
低压照明	$+5\% U_e \sim 10\% U_e$
农业用户	$+5\% U_e \sim 10\% U_e$

表30-3 电力网频率允许偏差

运行情况		允许偏差/Hz	允许标准时钟误差/s
正常运行	中、小容量系统	$\pm 0.5$	60
	大容量系统	$\pm 0.2$	30
事故运行	$\leq 30$ min	$\pm 1$	—
	$\leq 15$ min	$\pm 1.5$	—
	绝不允许	-4	—

## (二)工业企业供电

### 1. 工业企业供电系统的组成

工业企业供电系统由高压配电线路、配电所、低压配电线路等组成。其高压部分如图30-2所示。该图表示了系统的组成及相互关系,具体各部分的设立及连接方式还须根据工业企业的具体情况确定。常见的供电方式有以下四种:

(1)进线电压为35kV,先经总降压变电所变为10kV的配电电压,分送到各车间变电所,再经车间变电所变为0.4kV低压电分送到各配电箱或用电设备。此方式适用于大型企业和大中型企业。

(2)进线电压为10kV,经总配电所分送到各车间,经车间变电所变为0.4kV低压电,分送到各配电箱或用电设备。此方式适用于大中型企业和中型企业。

(3)进线电压为10kV,经变电所变为低压电分送到车间,再送到各配电箱或用电设备。此方式适用于中

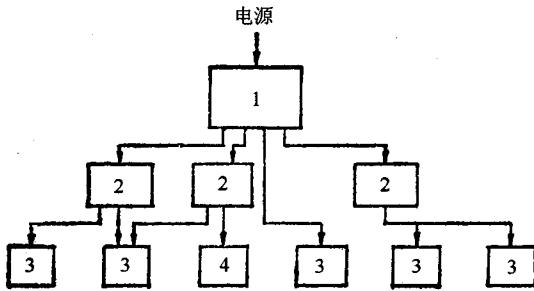


图 30-2 企业高压配电系统

1—总变电所 2—配电所 3—车间变电所；  
4—高压用电设备

型企业 and 中小型企业。

(4) 进线电压为 0.4kV，经配电室分送到各车间或直接送到配电箱或用电设备。此方式适用于小型企业。

## 2. 企业高压供电

高压供电方式由供电可靠性及中断供电在政治、经济上所造成的损失或影响的程度决定，亦即由负荷的性质决定。电力负荷分为下列三级：

(1) 一级负荷，为中断供电将造成人身伤亡，或在政治、经济上将造成重大损失者，如重大设备损坏、重大产品报废、用重要原料生产的产品大量报废、国民经济中重点企业的连续生产过程被打乱需要长时间才能恢复等。

一级负荷中有特别重要的负荷，其供电的中断会造成爆炸、火灾、中毒、混乱等，如在正常电源发生中断供电的情况下，用于处理安全停产的事故照明系统、通信系统及火灾报警设备，保证安全停产的自动控制装置、执行机构和配套装置等。

(2) 二级负荷，为中断供电将在政治、经济上造成较大损失者，如主要设备损坏、大量产品报废、连续生产过程被打乱需较长时间才能恢复、重大企业大量减产等。

(3) 三级负荷，为一般的电力负荷，所有不属于上述一、二级负荷者。

不同级别的负荷对供电电源有不同的要求，一级负荷要求应由两个电源供电，而且要求当任一个电源发生故障时，另一个电源应不致同时受到损坏。除此之外，对一级负荷中特别重要的负荷，还要求增设应急电源。二级负荷要求应由两回路供电，供电变压器也应有两台。在其中一回路或一台变压器发生常见故障时，二级负荷应做到不致中断供电，或中断后能够迅速恢复供电。三级负荷属不重要负荷，对供电电源无特殊要求。

## (三) 工业企业配电

### 1. 企业高压配电

企业高压配电有放射式、树干式、环式等三种基本接线方式。

(1) 放射式，如图 30-3 所示。此方式是由一条母线分别给大型电动机、电炉变压器、电力变压器送电。其优点是各个线路上的故障不产生相互影响，因此可靠性较高，而且便于装设自动装置以实现自动化。缺点是使用高压开关设备较多，使投资增加。

高压放射式配电适用于具有位置分散、大型集中负荷的企业。

(2) 树干式，如图 30-4 所示。此方式是由一条高压配电干线引出若干支线，向用电负荷送电。其优点是线路简化，减少了线路的有色金属消耗量，采用的高压开关数量少，因此投资较少。缺点是供电可靠性低，当高压配电干线发生故障或检修时，接于干线的变电所都要停电，且在实现自动化方面适应性也较差。要提高其供电可靠性，可采用双干线供电或两端供电的接线方式。

(3) 环式，如图 30-5 所示。此方式实质上是两端供电的树干式接线，为了避免环行线路上发生故障时

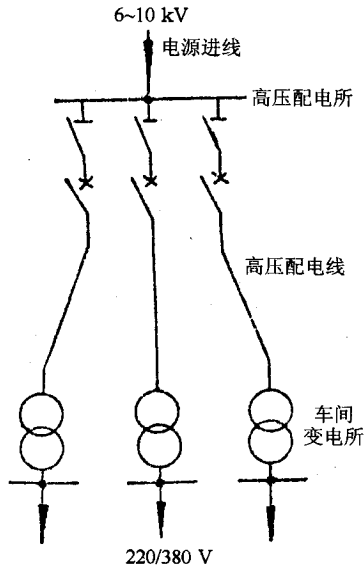


图 30-3 高压放射式线路

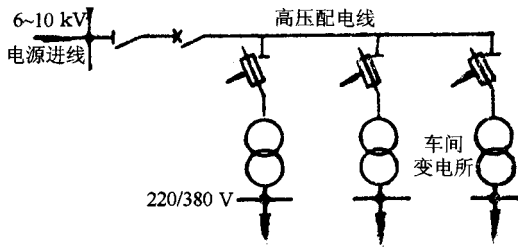


图 30-4 高压树干式线路

影响整个电网,以及便于实现线路保护的选择性,大多数环形线路采用开环运行,即环形线路中有一处开关是断开的。

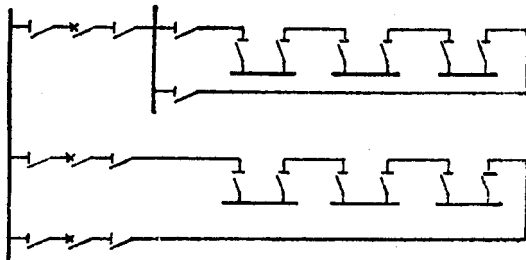


图 30-5 环式配电

实际上,高压配电系统往往是根据具体情况,由上述几种接线方式组合而成。

## 2. 企业低压配电

企业低压配电线路也有放射式、树干式和环式等基本接线方式。

(1)放射式 如图 30-6 所示。此方式的特点是各个引出线在发生故障时相互之间不产生影响,供电可靠性较高。其应用范围主要是用电设备容量大,或负荷性质重要,或潮湿及腐蚀性环境的车间,或有爆炸危险性的厂房等。

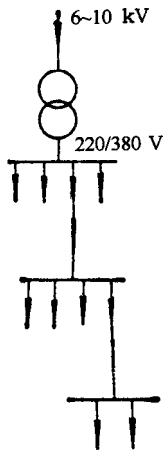


图 30-6 低压放射式接线

(2) 树干式,如图 30-7 所示。此方式在干线发生故障时,影响范围大,供电可靠性较差,适用于供电给容量较小而分布较均匀的用电设备,如机床、小型加热炉等。图 30-7b 所示树干式是“变压器—干线式”接线,由于省去了变电所低压侧整套低压配电装置,使变电所结构简化,投资大为降低。

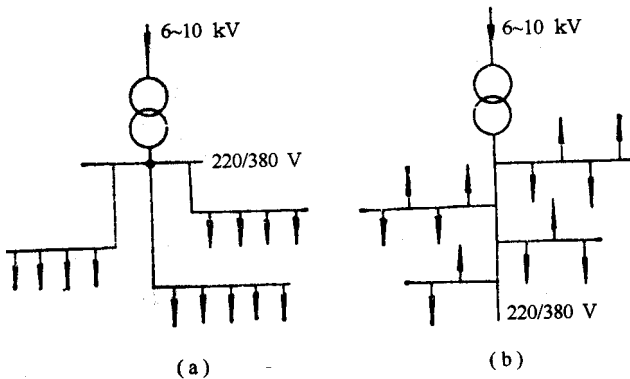


图 30-7 低压树干式接线

- (a) 低压母线放射式配电网的树干式
- (b) 低压“变压器—干线组”的树干式

图 30-8 所示为由树干式变形而得到的链式接线方式,适用于离开供电点较远、用电设备之间相距很近的容量很小的次要用电设备。链式相连的用电设备数量一般限制在 3~5 台以下,或总容量不超过 10kW。

(3) 环式,如图 30-9 所示。它是由一台变压器供电的低压环式接线。此方式的特点是供电的可靠性较高,但其保护装置及其整定比较复杂,若配合不当,易发生误动作。实际上,低压环式接线多采用开环方式运行。

工业企业的低压配电系统,根据具体的情况,往往是由上述几种接线方式进行组合而成。运行经验表明,工业企业电力线路的接线应力求简单。供电系统如果接线复杂,层次过多,使线路中串联的元件过多,既加大投资,又不便于操作和维护,而且因误操作或元件故障而产生的事故概率也随之增大。一旦发生事故,进行事故处理和用于恢复供电的操作也比较烦琐费时,使停电时间延长。此外,由于继电保护的级数增多,相对延长了动作时间,对供电系统的故障保护十分不利。



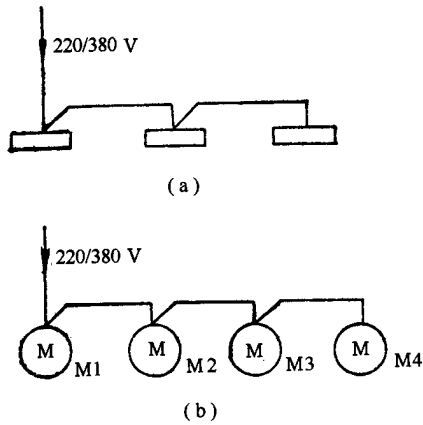


图 30-8 低压链式接线  
(a)连接配电箱 (b)连接电动机

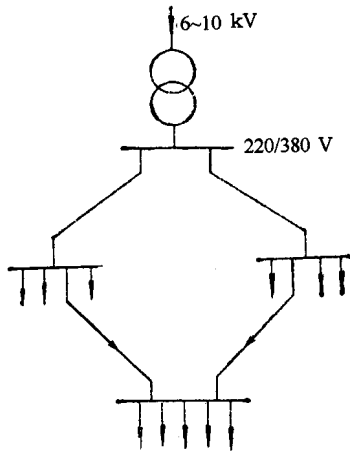


图 30-9 低压环式接线

## 二、电气事故

电气事故是电气安全工程主要研究和管理的对象。掌握电气事故的特点和事故的分类情况,对做好电气安全工作具有重要的意义。

### (一) 电气事故概要

众所周知,电能的开发和应用给人类的生产和生活带来了巨大的变革,大大促进了社会的进步和文明。在现代社会中,电能已被广泛应用于工农业生产和人民生活等各个领域。然而,在用电的同时,如果对电能可能产生的危害认识不足,控制和管理不当,防护措施不利,在电能的传递和转换的过程中,将会发生异常情况,造成电气事故。电气事故具有以下特点:

#### 1. 电气事故危害大

电气事故的发生伴随着危害和损失,严重的电气事故不仅带来重大的经济损失,甚至还可造成人员的伤亡。发生事故时,电能直接作用于人体,会造成电击;电能转换为热能作用于人体,会造成烧伤或烫伤;电能脱离正常的通道,会形成漏电、接地或短路,构成火灾、爆炸的起因。

电气事故在工伤事故中占有不小的比例,据有关部门统计,我国触电死亡人数占全部事故死亡人数的5%左右。

## 2. 电气事故危险直观识别难

由于电既看不见、听不见,又嗅不着,其本身不具备为人们直观识别的特征。由电所引发的危险不易为人们所察觉、识别和理解。因此,电气事故往往来得猝不及防、潜移默化。也正因为此,给电气事故的防护以及人员的教育和培训带来难度。

## 3. 电气事故涉及领域广

这个特点主要表现在两个方面。首先,电气事故并不仅仅局限在用电领域的触电、设备和线路故障等,在一些非用电场所,因电能的释放也会造成灾害或伤害。例如,雷电、静电和电磁场危害等,都属于电气事故的范畴。另一方面,电能的使用极为广泛,不论是生产还是生活,不论是工业还是农业,不论是科研还是教育文化部门,不论是政府机关还是娱乐休闲场所,都广泛使用电。哪里使用电,哪里就有可能发生电气事故,哪里就必须考虑电气事故的防护问题。

## 4. 电气事故的防护研究综合性强

一方面,电气事故的机理除了电学之外,还涉及许多学科,因此,电气事故的研究,不仅要研究电学,还要同力学、化学、生物学、医学等许多其他学科的知识综合起来进行研究。另一方面,在电气事故的预防上,既有技术上的措施,又有管理上的措施,这两方面是相辅相成、缺一不可的。在技术方面,预防电气事故主要是进一步完善传统的电气安全技术,研究新出现电气事故的机理及其对策,开发电气安全领域的新技术等。在管理方面,主要是健全和完善各种电气安全组织管理措施。一般来说,电气事故的共同原因是安全组织措施不健全和安全技术措施不完善。实践表明,即使有完善的技术措施,如果没有相适应的组织措施,仍然会发生电气事故。因此,必须重视防止电气事故的综合措施。

电气事故是具有规律性的,且其规律是可以被人们认识和掌握的。在电气事故中,大量的事故都具有重复性和频发性。无法预料、不可抗拒的事故毕竟是极少数。人们在长期的生产和生活实践中,已经积累了同电气事故作斗争的丰富经验,各种技术措施、各种安全工作规程及有关电气安全规章制度,都是这些经验和成果的体现,只要依照客观规律办事,不断完善电气安全技术措施和管理措施,电气事故是可以避免的。

## (二) 电气事故的类型

根据能量转移论的观点,电气事故是由于电能非正常地作用于人体或系统所造成的。根据电能的不同作用形式,可将电气事故分为触电事故、静电危害事故、雷电灾害事故、电磁场危害和电气系统故障危害事故等。

### 1. 触电事故

(1) 电击。这是电流通过人体,刺激机体组织,使肌肉非自主地发生痉挛性收缩而造成的伤害,严重时会造成破坏人的心脏、肺部、神经系统的正常工作,形成危及生命的伤害。

电击对人体的效应是由通过的电流决定的,而电流对人体的伤害程度是与通过人体电流的强度、种类、持续时间、通过途径及人体状况等多种因素有关。

按照人体触及带电体的方式,电击可分为以下几种情况:

① 单相触电。这是指人体接触到地面或其他接地导体的同时,人体另一部位触及某一相带电体所引起的电击。发生电击时,所触及的带电体为正常运行的带电体时,称为直接接触电击。而当电气设备发生事故(例如绝缘损坏,造成设备外壳意外带电的情况下),人体触及意外带电体所发生的电击称为间接接触电击。根据国内外的统计资料,单相触电事故占全部触电事故的70%以上。因此,防止触电事故的技术措施应将单相触电作为重点。

② 两相触电。这是指人体的两个部位同时触及两相带电体所引起的电击。在此情况下,人体所承受的电压为三相系统中的线电压,因电压相对较大,其危险性也较大。

③ 跨步电压触电。这是指站立或行走的人体,受到出现于人体两脚之间的电压,即跨步电压作用所引起的电击。跨步电压是当带电体接地,电流自接地的带电体流入地下时,在接地点周围的土壤中产生的电压降形成的。

(2) 电伤。这是电流的热效应、化学效应、机械效应等对人体所造成的伤害。此伤害多见于机体的外部,

往往在机体表面留下伤痕。能够形成电伤的电流通常比较大。

电伤属于局部伤害,其危险程度决定于受伤面积、受伤深度、受伤部位等。

电伤包括电烧伤、电烙印、皮肤金属化、机械损伤、电光眼等多种伤害。

电烧伤是最为常见的电伤,大部分触电事故都含有电烧伤成分。电烧伤可分为电流灼伤和电弧烧伤。

电流灼伤是人体同带电体接触,电流通过人体时,因电能转换成的热能引起的伤害。由于人体与带电体的接触面积一般都不大,且皮肤电阻又比较高,因而产生在皮肤与带电体接触部位的热量就较多,因此,使皮肤受到比体内严重得多的灼伤。电流愈大、通电时间愈长、电流途径上的电阻愈大,则电流灼伤愈严重。由于接近高压带电体时会发生击穿放电,因此,电流灼伤一般发生在低压电气设备上。因电压较低,形成电流灼伤的电流不太大。但数百毫安的电流即可造成灼伤,数安的电流则会形成严重的灼伤。在高频电流下,因皮肤电容的旁路作用,有可能发生皮肤仅有轻度灼伤而内部组织却被严重灼伤的情况。

电弧烧伤是由弧光放电造成的烧伤。电弧发生在带电体与人体之间,有电流通过人体的烧伤称为直接电弧烧伤,电弧发生在人体附近,对人体形成的烧伤以及被熔化金属溅落的烫伤称为间接电弧烧伤。弧光放电时电流很大,能量也很大,电弧温度高达数千摄氏度,可造成大面积的深度烧伤,严重时能将机体组织烘干、烧焦。电弧烧伤既可以发生在高压系统,也可以发生在低压系统。在低压系统,带负荷(尤其是感性负荷)拉开裸露的闸刀开关时,产生的电弧会烧伤操作者的手部和面部;当线路发生短路,开启式熔断器熔断时,炽热的金属微粒飞溅出来会造成灼伤,因误操作引起短路也会导致电弧烧伤等。在高压系统,由于误操作,会产生强烈的电弧,造成严重的烧伤;人体过分接近带电体,其间距小于放电距离时,直接产生强烈的电弧,造成电弧烧伤,严重时可能因电弧烧伤而死亡。

在全部电烧伤的事故当中,大部分事故发生在电气维修人员身上。

电烙印是电流通过人体后,在皮肤表面接触部位留下与接触带电体形状相似的斑痕,如同烙印。斑痕处皮肤呈现硬变,表层坏死,失去知觉。

皮肤金属化是由高温电弧使周围金属熔化、蒸发并飞溅渗透到皮肤表层内部所造成的。受伤部位呈现粗糙、张紧。

机械损伤多数是由于电流作用于人体,使肌肉产生非自主的剧烈收缩所造成的。其损伤包括肌腱、皮肤、血管、神经组织断裂以及关节脱位乃至骨折等。

电光眼的表现为角膜和结膜发炎。弧光放电时辐射的红外线、可见光、紫外线都会损伤眼睛。在短暂照射的情况下,引起电光眼的主要原因是紫外线。

## 2. 静电危害事故

静电危害事故是由静电电荷或静电场能量引起的。在生产工艺过程中以及操作人员的操作过程中,某些材料的相对运动、接触与分离等原因导致了相对静止的正电荷和负电荷的积累,即产生了静电。由此产生的静电其能量不大,不会直接使人致命。但是,其电压可能高达数十千伏乃至数百千伏,发生放电,产生放电火花。静电危害事故主要有以下几个方面:

(1)在有爆炸和火灾危险的场所,静电放电火花会成为可燃性物质的点火源,造成爆炸和火灾事故。

(2)人体因受到静电电击的刺激,可能引发二次事故,如坠落、跌伤等。此外,对静电电击的恐惧心理还对工作效率产生不利影响。

(3)某些生产过程中,静电的物理现象会对生产产生妨碍,导致产品质量不良,电子设备损坏,造成生产故障,乃至停工。

## 3. 雷电灾害事故

雷电是大气中的一种放电现象。雷电放电具有电流大、电压高的特点。其能量释放出来可能形成极大的破坏力。其破坏作用主要有以下几个方面:

(1)直击雷放电、二次放电、雷电流的热量会引起火灾和爆炸。

(2)雷电的直接击中、金属导体的二次放电、跨步电压的作用及火灾与爆炸的间接作用,均会造成人员的伤亡。

(3)强大的雷电流、高电压可导致电气设备击穿或烧毁。发电机、变压器、电力线路等遭受雷击,可导致大规模停电事故。雷击可直接毁坏建筑物、构筑物。

#### 4. 射频电磁场危害

射频指无线电波的频率或者相应的电磁振荡频率,泛指 100 kHz 以上的频率。射频伤害是由电磁场的能量造成的。射频电磁场的危害主要有:

(1) 在射频电磁场作用下,人体因吸收辐射能量会受到不同程度的伤害。过量的辐射可引起中枢神经系统的机能障碍,出现神经衰弱症候群等临床症状,可造成植物神经紊乱,出现心率或血压异常,如心动过缓、血压下降或心动过速、高血压等;可引起眼睛损伤,造成晶体浑浊,严重时导致白内障;可使睾丸发生功能失常,造成暂时或永久的不育症,并可能使后代产生疾患;可造成皮肤表层灼伤或深度灼伤等。

(2) 在高强度的射频电磁场作用下,可能产生感应放电,会造成电引爆器件发生意外引爆。感应放电对具有爆炸、火灾危险的场所来说是一个不容忽视的危险因素。此外,当受电磁场作用感应出的感应电压较高时,会给人以明显的电击。

#### 5. 电气系统故障危害

电气系统故障危害是由于电能输送、分配、转换过程中失去控制而产生的。断线、短路、异常接地、漏电、误合闸、误掉闸、电气设备或电气元件损坏、电子设备受电磁干扰而发生误动作等都属于电路故障。系统中电气线路或电气设备的故障也会导致人员伤亡及重大财产损失。电气系统故障危害主要体现在以下几方面:

(1) 引起火灾和爆炸。线路、开关、熔断器、插座、照明器具、电热器具、电动机等均可能引起火灾和爆炸;电力变压器、多油断路器电气设备不仅有较大的火灾危险,还有爆炸的危险。在火灾和爆炸事故中,电气火灾和爆炸事故占有很大的比例。就引起火灾的原因而言,电气原因仅次于一般明火而位居第二。

(2) 异常带电。电气系统中,原本不带电的部分因电路故障而异常带电,可导致触电事故发生。例如:电气设备因绝缘不良产生漏电,使其金属外壳带电,高压电路故障接地时,在接地处附近呈现出较高的跨步电压,形成触电的危险条件。

(3) 异常停电。在某些特定场合,异常停电会造成设备损坏和人身伤亡。如正在浇注钢水的吊车,因骤然停电而失控,导致钢水洒出,引起人身伤亡事故;医院手术室可能因异常停电而被迫停止手术,无法正常施救而危及病人生命;排放有毒气体的风机因异常停电而停转,致使有毒气体超过允许浓度而危及人身安全等;公共场所发生异常停电,会引起妨碍公共安全的事,异常停电还可能引起电子计算机系统的故障,造成难以挽回的损失。

### (三) 触电事故的分布规律

大量的统计资料表明,触电事故的分布是具有规律性的。触电事故的分布规律为制定安全措施,最大限度地减少触电事故发生率提供了有效依据。根据国内外的触电事故统计资料分析,触电事故的分布具有如下规律。

#### 1. 触电事故季节性明显

一年之中,二、三季度是事故多发期,尤其在 6~9 月份最为集中。其原因主要是这段时间正值炎热季节,人体穿着单薄且皮肤多汗,相应增大了触电的危险性。另外,这段时间潮湿多雨,电气设备的绝缘性能有所降低。再有,这段时间许多地区处于农忙季节,用电量增加,农村触电事故也随之增加。

#### 2. 低压设备触电事故多

低压触电事故远多于高压触电事故,其原因主要是低压设备远多于高压设备,而且,缺乏电气安全知识的人员多是与低压设备接触。因此,应当将低压方面作为防止触电事故的重点。

#### 3. 携带式设备和移动式设备触电事故多

这主要是因为这些设备经常移动,工作条件较差,容易发生故障。另外,在使用时需用手紧握进行操作。

#### 4. 电气连接部位触电事故多

在电气连接部位机械牢固性较差,电气可靠性也较低,是电气系统的薄弱环节,较易出现故障。

#### 5. 农村触电事故多

这主要是因为农村用电条件较差,设备简陋,技术水平低,管理不严,电气安全知识缺乏等。

#### 6. 冶金、矿业、建筑、机械行业触电事故多

这些行业存在工作现场环境复杂,潮湿、高温,移动式设备和携带式设备多,现场金属设备多等不利因

素,使触电事故相对较多。

#### 7. 青年、中年人以及非电工人员触电事故多

这主要是因为这些人员是设备操作人员的主体,他们直接接触电气设备,部分人还缺乏电气安全的知识。

#### 8. 误操作事故多

这主要是由于防止误操作的技术措施和管理措施不完备造成的。

触电事故的分布规律并不是一成不变的,在一定的条件下,也会发生变化。例如,对电气操作人员来说,高压触电事故反而比低压触电事故多。而且,通过在低压系统推广漏电保护装置,使低压触电事故大大降低,可使低压触电事故与高压触电事故的比例发生变化。上述规律对于电气安全检查、电气安全工作计划、实施电气安全措施以及电气设备的设计、安装和管理等工作提供了重要的依据。

## 第二节 电流对人体作用分析

电流通过人体内部,对人体伤害的严重程度与通过人体电流的大小、电流通过人体的持续时间、电流通过人体的途径、电流的种类以及人体的状况等多种因素有关,而且各因素之间,特别是电流大小与通电时间之间有着十分密切的关系。就电流种类而言,虽然工频电流、直流电流、高频电流、特种波形电流、冲击电流都能构成伤害,但伤害程度有较大差别。因此,下面分别予以介绍。

### 一、15 ~ 100Hz 交流电流的作用

我国工业频率为 50Hz。这是电气装置应用最多,也是人们接触最多的频率。由于 50Hz 对电击来说属于最危险的频率,而有关研究工作又是在这一频率下进行的,因此,下面介绍的一些按工频试验取得的数据对于偏离 50Hz(包括 60Hz)的频率应当是偏保守的。

#### (一) 电流大小的影响

通过人体的电流越大,人体的生理反应越明显、感觉越强烈,引起心室颤动所需的时间越短,致命的危险就越大。

对于工频交流电,按照通过人体的电流大小不同,人体呈现不同的状态,可将电流划分为以下三个界限:

##### 1. 感知电流和感知阈值

在一定概率下,通过人体引起人的任何感觉的最小电流(有效值)称为感知电流。感知电流的最小值称为感知阈值。人对电流最初的感觉是轻微麻感和微弱针刺感。大量试验资料表明,对于不同的人,感知电流和感知阈值都不相同。感知电流和感知阈值与个体生理特征、人体与电极的接触面积等因素有关。

感知电流的概率曲线见图 30-10。对应于概率 50% 的感知电流成年男子约为 1.1mA,成年女子约为 0.7mA。感知阈值定为 0.5mA,并与时间因素无关。

感知电流一般不会对人体造成伤害,但当电流增大时,感觉增强,反应变大,可能导致坠落等二次事故。

由于感知电流为 1mA 左右,可以建议小型携带式电气设备的最大泄漏电流为 0.5mA,重型移动式电气设备的最大泄漏电流为 0.75mA。

##### 2. 摆脱电流和摆脱阈值

通过人体的电流超过感知电流时,肌肉收缩增加,刺痛感觉增强,感觉部位扩展,至电流增大到一定程度,触电者将因肌肉收缩、发生痉挛而紧抓带电体,不能自行摆脱电极。人触电后能自行摆脱电极的最大电流称为摆脱电流。摆脱电流的最小值称为摆脱阈值。对于不同的人,摆脱电流和摆脱阈值也不相同。摆脱电流和摆脱阈值与个体生理特征、电极形状、电极尺寸等因素有关。

摆脱电流的概率曲线如图 30-11。对应于概率 50% 的摆脱电流成年男子约为 16mA,成年女子约为 10.

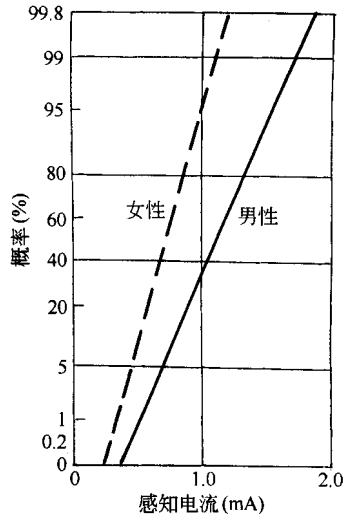


图 30-10 感知电流概率曲线

5mA 对应于摆脱概率 99.5% 的则分别为 9mA 和 6mA。由此可见,摆脱阈值约为 10mA。儿童的摆脱阈值较小。

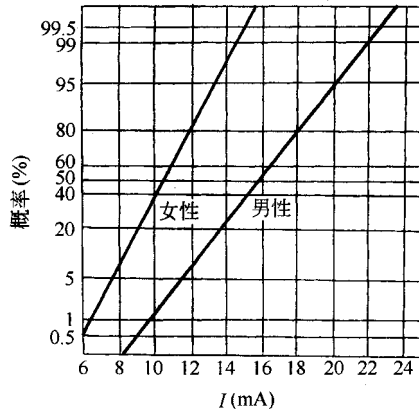


图 30-11 摆脱电流概率曲线

摆脱电流是人体可以忍受而一般不致造成不良后果的电流。电流超过摆脱电流以后,会感到异常痛苦、恐慌和难以忍受;如时间过长,则可能昏迷、窒息,甚至死亡。也有的事例表明,当电流略大于摆脱电流,触电者中枢神经麻痹、呼吸停止时,立即切断电源,即可恢复呼吸并无不良影响。

应当指出,摆脱电源的能力是随着触电时间的延长而减弱的。这就是说,一旦触电后不能摆脱电源时,后果将是严重的。

### 3. 室颤电流和室颤阈值

室颤电流指通过人体引起心室发生纤维性颤动的电流,其最小值即室颤阈值。

在较短时间内危及生命的电流称为致命电流。电击致死的原因是比较复杂的。例如,高压触电事故中,可能因电弧或很大的电流通过人体烧伤而致命;低压触电事故中,前面说过,可能因心室颤动,也可能因窒息时间过长而致命。在电流不超过数百毫安的情况下,电击致命的主要原因,是电流引起心室颤动造成的。因此,可以认为室颤电流是最小致命电流。

室颤阈值除决定于电流持续时间、电流途径、电流种类等电气参数外,还决定于机体组织、心脏功能等人体生理特征。

室颤电流与电流持续时间有密切关系。电流持续时间若超过心脏周期，室颤电流会大大下降，如室颤电流为 50mA 左右，当电流持续时间比心脏周期短时，室颤电流可达数百毫安，在同样电流下，如电流持续时间超过心脏周期的话，可能导致心脏停止跳动。

由实验得出室颤电流和电流持续时间的关系曲线见图 30-12。

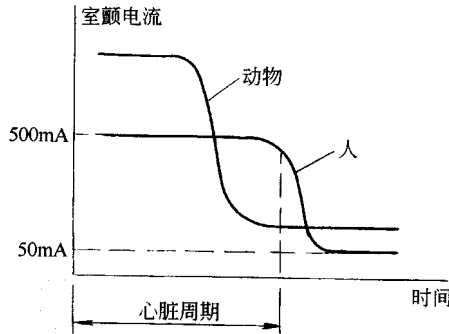


图 30-12 室颤电流—时间曲线

电流对人体的作用，还划分带域，带域划分图见图 30-13。

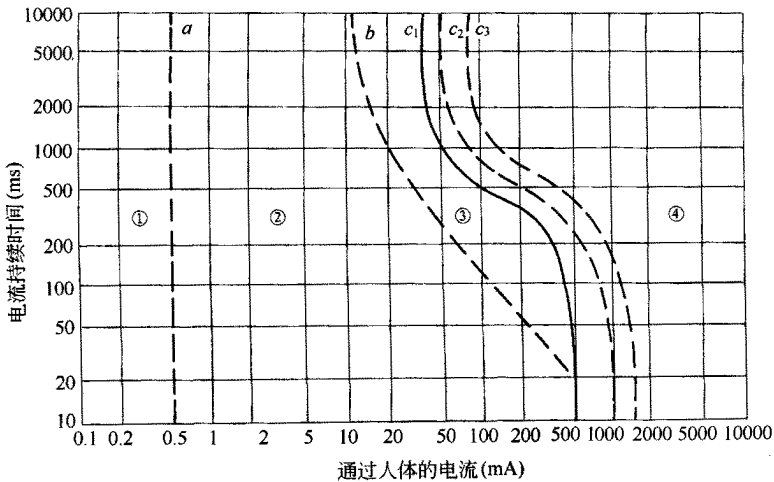


图 30-13 交流电流对人体作用带域划分图

从图中可以看出，有四个区：

(1) 通常是无生理效应、没有感觉的带域。(在 a 线以下)。

(2) b 线与 c<sub>1</sub> 线之间，通常是没有机体损伤、不发生心室颤动，但可能引起肌肉收缩和呼吸困难，可能引起心脏组织和心脏脉冲传导障碍，还可能引起心房颤动以及转变为心脏停止跳动等可变性病理效应的带域。

(3) a 线与 b 线之间，通常有感觉，但没有有害生理效应的带域。

(4) c<sub>3</sub> 线以上为有心室颤动危险的带域。

所有这些带域，是以对于左手到双脚的电流途径来考虑的。

电击时间从 10~100ms 时，室颤电流从 500mA 降至 400mA；在电击持续时间从 1~3s 之间，室颤电流从 50mA 降至 40mA。

对于左手至双脚以外的其他电流途径，电流对人体的作用应按后面介绍的方法修正。

工频电流作用于人体的效应亦可参考表 30-4 考虑。

表 30-4 工频电流的生理效应

对人体的作用	电流(mA)	电流持续时间	生 理 效 应
没有感觉的范围	0~0.5	连续通电	没有感觉
不引起心室颤动,不致产生严重后果的范围	0.5~5	连续通电	开始有感觉,手指手腕等处有麻感,没有痉挛,可以摆脱带电体
	5~30	数分钟以内	痉挛,不能摆脱带电体,呼吸困难,血压升高,是可忍受的极限
	30~50	数秒到数分	心脏跳动不规则,昏迷,血压升高,强烈痉挛,时间过长即引起心室颤动
容易产生严重后果的范围	50~数百	低于心脏搏动周期	受强烈刺激,但未发生心室颤动
		超过心脏搏动周期	昏迷,心室颤动,接触部位留有电流通过的痕迹
	超过数百	低于心脏搏动周期	在心脏搏动周期特定的相位触电时,发生心室颤动,昏迷,接触部位留有电流通过的痕迹
		超过心脏搏动周期	心脏停止跳动,昏迷,可能致命电灼伤

## (二) 电流持续时间的影响

电流持续时间越长,越易引起心室颤动,电击危险越大。其原因分析如下:

### 1. 能量的影响

电流持续时间愈长,能量积累增加,引起心室颤动的电流减小。根据动物实验和综合分析得出,对于体重 50kg 的人,当发生心室颤动的概率为 0.5% 时,引起心室颤动的工频电流与电流持续时间之间的关系可用下式表达:

$$I = \frac{116}{\sqrt{t}}$$

式中  $I$ ——心室颤动电流(mA);

$t$ ——电流持续时间(s)。

该式所允许的时间范围是 0.01~0.5s。

心室颤动电流与电流持续时间的关系也可用下式表达:

当  $t \geq 1s$  时,  $I = 50mA$ ;

当  $t < 1s$  时,  $I \cdot t = 50mA \cdot s$ 。

该式所允许的时间范围也是 0.1~5s。

### 2. 易损期的影响

从心电图可以看出,约 0.2s 的 T 波的时间对电流最敏感,这敏感的特定时间称为易损期。若电流持续时间越长,与易损期重合的可能性越大,电击的危险性越大;当电流持续时间在 0.2s 以下时,与易损期重合的可能性较小,电击的危险性也较小。

### 3. 人体电阻的影响

电流持续时间越长,人体电阻相应降低,导致流过人体的电流进一步增大,电击的危险性也相应加大。



### (三) 电流途径的影响

电流通过心脏会引起心室颤动。较大的电流还会使心脏停止跳动。这都会使血液循环中断而导致死亡。电流通过中枢神经或有关部位,会引起中枢神经系统强烈失调而导致死亡。电流通过头部会使人昏迷,若电流较大,会对脑产生严重损害,使人不醒而死亡。电流通过脊髓,会使人截瘫等。这些伤害中,以对心脏伤害的危险性最大。因此,流过心脏电流越多、电流路线越短的途径,是电击危险性越大的途径。

心脏电流因数可用于粗略估计不同电流途径心室颤动的危险性。心脏电流因数是表明给定电流途径心脏内电场强度(或电流密度)与电流大小相同、电流途径左手至双脚时心脏内电场强度(或电流密度)之间关系的系数。如通过人体某一电流途径的电流为  $I$  通过左手至双脚途径的电流为  $I_0$ ,且两者引起心室颤动的危险程度相同,则心脏电流因数可按下式计算:

$$K = \frac{I_0}{I}$$

不同电流途径的心脏电流因数见表 30-5。

表 30-5 心脏电流因数

序 号	电 流 途 径	心脏电流因数
1	左手 - 左脚、右脚或双脚	1.0
2	双手 - 双脚	1.0
3	左手 - 右手	0.4
4	右手 - 左脚、右脚或双脚	0.8
5	背 - 右手	0.3
6	背 - 左手	0.7
7	胸 - 右手	1.3
8	胸 - 左手	1.5
9	臀部 - 左手、右手或双手	0.7

可以看出,左手至前胸是最危险的电流途径,右手至前胸、单手至单脚、单手至双脚、双手至双脚等也是很危险的电流途径。除外,头至手和头至脚也是很危险的电流途径;左脚至右脚的电流途径也有相当的危险,而且这条途径还可能使人站立不稳而导致电流通过全身,大幅度增加触电的危险性。局部肢体电流途径的危险性较小,但可能引起中枢神经系统失调导致严重后果或可能造成其他的二次事故。

各种电流途径发生的概率也是不一样的。例如,左手至右手的概率为 40%,左手至双脚的概率为 20%,左手至双脚的概率为 17% 等。

### (四) 人体素质的影响

不同的人在同样条件下触电可能出现不同的后果。电流对人体的伤害与人体素质的关系有以下几点应当注意:

1. 性别和年龄。电流对人体的作用,女性较男性为敏感。小孩遭受电击较成人危险。
2. 健康与疾病。身体健康、肌肉发达者摆脱电流较大;体重大者,一般心脏也较大,室颤电流也较大。患有心脏病、肺病、神经系统疾病的人触电的后果往往比较严重。

此外,精神状态和心理因素也对触电的后果有一定影响。

## 二、直流电流的作用

直流电击事故很少。其一方面的原因是直流电流的应用比交流电流的应用少得多,另一方面原因是发生直流电击时比较容易摆脱带电体,室颤阈值也比较高。

直流电流对人体的刺激作用是同电流的变化、特别是同电流的接通和断开联系在一起。对于同样的刺激效应,直流电流约为交流电流的 2~4 倍。

直流感知电流和感知阈值决定于接触面积、接触条件、电流持续时间和个体生理特征。直流感知阈值约 2mA。与交流不同的是,直流电流只在接通和断开时才会引起人的感觉,而在通过不变的相应于感知阈值的电流时是不会引起感觉的。

与交流不同,对于 300mA 以下直接电流,没有可确定的摆脱阈值,而仅仅在电流接通和断开时导致疼痛和肌肉紧缩。大约 300mA 以上的直流电流,将导致不能摆脱或数秒至数分钟以后才能摆脱。

直流室颤阈值也决定于电气参数和生理特征。

电击持续时间超过心脏周期时,直流室颤阈值为交流的数倍;电击持续时间 200ms 以下时,直流室颤阈值大致与交流相同。显然对于高压直流,其电击危险性并不低于交流的危险性。

直流电流对人体作用的带域划分见图 30-14。

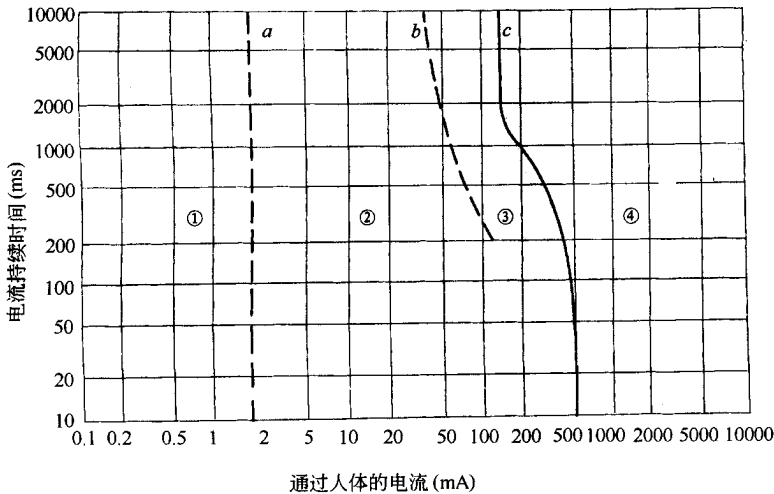


图 30-14 直流电流对人体作用带域划分图

在带域划分图中,分成四个区:

1. a 线以下,通常是没有生理反应的带域。
2. a 线与 b 线之间,通常是没有有害生理反应的带域。
3. b 线与 c 线之间,通常是没有机体损伤,但随着电流增大和时间加长,可能引起心脏脉动功能和传导障碍等可变性病理效应的带域。
4. c 线以右的,是随着电流的增加和时间的加长,除表现有带域 3 的病理效应外,还可能有室颤危险及严重烧伤等病理效应的带域。

带域划分的条件是在沿双脚到左手的上升电流。

直流电流引起生理效应的统计资料见表 30-6。

直流电流以及电流途径对人体的生理效应的试验资料,见表 30-7。

表 30-6 直流电流电流统计资料

生理效应	被试者百分数		
	5%	50%	95%
手表面及手指尖稍有连续针刺感	6	7	8
手表面发热,有剧烈连续针刺感,手关节有轻度压迫感	10	12	15
手关节及手表面有针刺似的强烈压迫感	18	21	25
前肢部有连续针刺感,手关节有压痛,手有刺痛,强烈的灼热感	25	27	30
手关节有强烈压痛,直到肩部有连续针刺感	30	32	35
手关节有剧烈压痛,手上似针刺般疼痛	30	35	40

表 30-7 直流对人体的生理效应

电流	生理效应
300mA 以下	四肢末端有热的感觉
300mA 随着持续时间延长和电流增加	引起心脏节奏加快、有电流痕迹、烧伤、晕眩,甚至昏迷
超过 300mA	很快就引起昏迷

### 三、100Hz 以上交流电流的作用

由于有皮肤电容存在,高频电流通过人体时,皮肤阻抗将明显下降,随着频率的升高,这种趋势越明显,甚至其等效阻抗可以忽略不计,所以,高频电流对人体作用的危险性是可以估计的。

为了评价高频电流的危险性,用频率因数的概念来描写。频率因数是某频率与工频有相应生理效应时的电流阈值之比。感知、摆脱、室颤频率因数是各不相同的。高频时,感知阈值和摆脱阈值都比工频时高。

频率 100 ~ 1000Hz 电流的感知阈值和摆脱阈值见图 30-15。

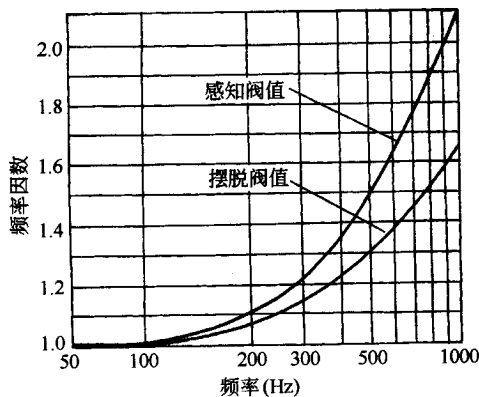


图 30-15 100 ~ 1000Hz 交流的感知阈值和摆脱阈值曲线

频率 100 ~ 1000Hz,对于电击持续时间超过心脏周期、从手到双脚纵向流过人体的电流,室颤阈值见图 30



- 16.

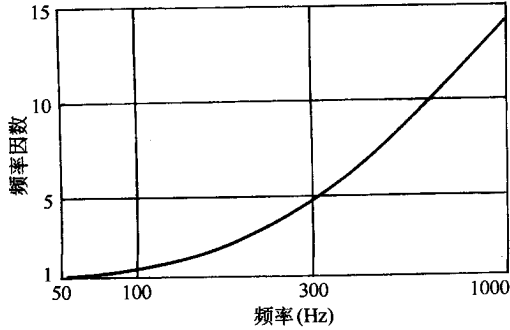


图 30-16 100 ~ 1000Hz 交流的室颤阈值曲线

频率 1 ~ 10kHz 电流的感知阈值和摆脱阈值见图 30-17。

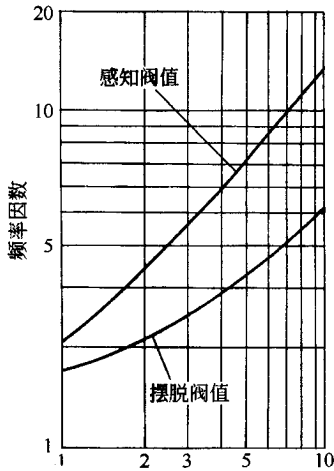


图 30-17 1 ~ 10kHz 交流的感知阈值和摆脱阈值曲线

对于频率 10 ~ 100kHz 的电流,感知阈值约从 10mA 上升到 100mA;频率 100kHz 以上,数百毫安的电流不是引起像低频那样刺痛的感觉,而是引起热的感觉;100kHz 以上,安培级的电流可能引起灼伤,伤害程度与电流持续时间有关。

不同频率的电流对人体的作用显然是不同的,这可以从摆脱电流 - 频率曲线中看出,摆脱电流 - 频率曲线见图 30-18。

在图中有 6 条曲线,其表明的内容如下:

1. 曲线 1—表示感知阈值;
2. 曲线 2—感知概率为 50% 的感知电流线;
3. 曲线 3—感知概率为 99.5% 的感知电流线;
4. 曲线 4—摆脱概率为 99.5% 的摆脱电流线;
5. 曲线 5—摆脱概率为 50% 的摆脱电流线;
6. 曲线 6—摆脱概率为 0.5% 的摆脱电流线。



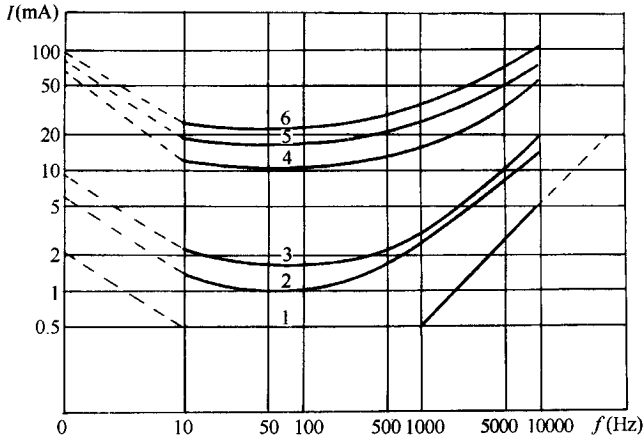


图 30-18 摆脱电流—频率曲线

## 四、特殊波形电流的作用

特殊波形电流是指直流和常见正弦波形以外的波形电流。如在电子设备中的方波、尖波、脉冲波、锯齿波、振荡波形等。因此,特殊波形电流种类繁多。现以带直流成分的正弦电流、相控电流和多周控制电流来进行说明。

这些波形的电流对人体的作用,介于交流电流和直流电流之间。

### (一)带直流成分的正弦电流

带直流成分的正弦电流种类很多,如带有峰—峰值电流及峰值电流的波形,以及半波或全波整流电流的波形。

常见的带直流成分的正弦交变电流波形见图 30-19。

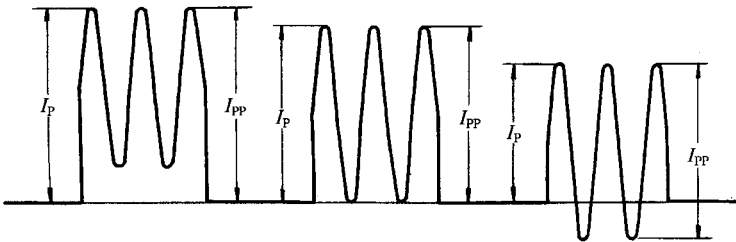


图 30-19 带有直流成分的交流电流波形

在图中, $I_p$ 为峰值电流, $I_{pp}$ 为峰—峰值电流。

整流电流的波形见图 30-20。

在图中, $I_{rms}$ 是相应波形电流的有效值。

对于带直流成分的正弦交流电对人体的作用,可采用等效电流来衡量其对心室颤动的危险性。其等效电流是与该波形电流室颤危险性相同的正弦电流的有效值。对于带有直流成分的交流电流波形图中所示的波形电流,当电击持续时间约超过心脏周期的 1.5 倍时,等效电流  $I_{ev}$  可用下式计算:

$$I_{ev} = \frac{I_{pp}}{2\sqrt{2}}$$

式中  $I_{ev}$ ——等效电流;

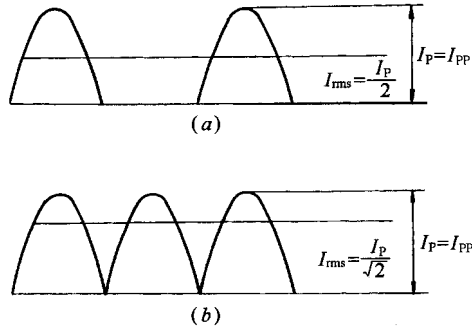


图 30-20 整流电流波形

$I_{PP}$ ——峰-峰值电流。

当电击持续时间约为心脏周期的 0.75 倍以下时,等效电流的计算式为:

$$I_{ev} = \frac{I_P}{\sqrt{2}}$$

式中  $I_P$ ——峰值电流。

当电击持续时间为心脏周期的 0.75 ~ 1.5 倍时,等效电流在上列两计算式所得数值范围之间变化。若当持续时间很短,不超过 0.1s 时,直流室颤电流与交流室颤电流相近,不宜采用以上两个计算式来进行数值的确定。

对于半波整流电流波形,它的峰-峰值电流和峰值电流相等,当电击持续时间超过心脏周期的 1.5 倍时,等效电流的计算式为:

$$I_{ev} = \frac{I_{PP}}{2\sqrt{2}} = \frac{I_P}{2\sqrt{2}} = \frac{I_{rms}}{\sqrt{2}}$$

式中  $I_{ev}$ ——等效电流;

$I_{PP}$ ——峰-峰值电流;

$I_P$ ——峰值电流;

$I_{rms}$ ——半波电流的有效值。

对于全波整流电流波形,和半波一样,其峰值电流和峰-峰值电流必是相等的。当电击持续时间超过心脏周期的 1.5 倍时,其等效电流  $I_{ev}$  则和全波电流的有效值  $I_{rms}$  相等。

对于电流持续时间为心脏周期的 0.75 倍以下时,对于半波整流电流的等效电流  $I_{ev}$  的计算式为:

$$I_{ev} = \frac{I_{PP}}{\sqrt{2}} = \frac{I_P}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} I_{rms}$$

而对于全波整流电流,等效电流  $I_{ev}$  仍然和有效值  $I_{rms}$  相等。

虽然 100Hz 以上交流电流对人体作用确定起来比较复杂,情况也比较复杂。但通等效电流的计算,对于带直流成分的交流电流所引起的危险性就可以估计出来,复杂情况的分析可以得到大大的简化。

## (二) 相控电流

相控电流分对称相控电流和不对称相控电流。其波形如图 30-21 所示,图中  $\alpha$  称相控角。

相控电流的感知阈值和摆脱阈值也决定于接触面积、接触条件、电极形状和尺寸以及个体生理特征等很多因素。相控电流的感知电流和摆脱电流与同样峰值的交流电流大致相同,当相控角超过  $120^\circ$  时,由于电流持续时间缩短,与之对应的交流电流的峰值应有所增加。

相控电流引起心室颤动的危险性也可用等效电流来衡量。

对于对称相控电流,当电击持续时间超过心脏周期的 1.5 倍时,等效电流等于波形与其相应的电流的有效值;当电击持续时间不超过心脏周期的 0.75 倍时,等效电流等于波形与其相应的电流的峰值。当相控角超过  $120^\circ$  时,室颤阈值上升。当电击持续时间为心脏周期的 0.75 ~ 1.5 倍时,等效电流在相应电流的峰值至

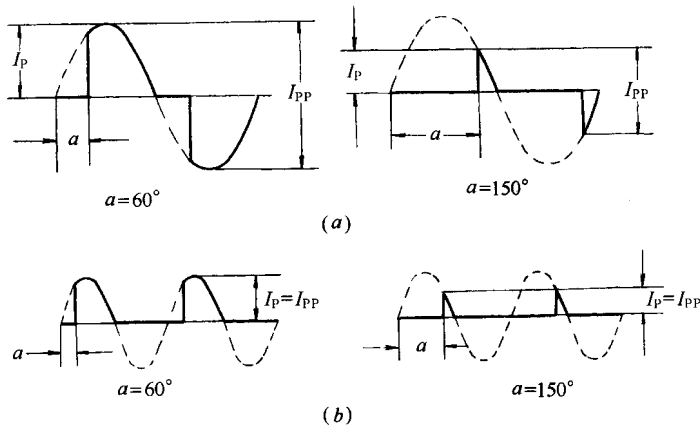


图 30-21 相控电流波形  
(a) 对称相控 (b) 不对称相控

有效值之间变化。

对于不对称相控电流,如电流持续时间不超过心脏周期的 0.75 倍,等效电流也等于相应电流的峰值;相控角超过 120° 时,室颤阈值也上升。此外,应注意不对称相控电流还包含有直流成分,必要时应予考虑。

### (三) 多周控制电流

多周控制电流引起的心室颤动的危险性与电击延续时间和控制度有关,等于或低于同样持续时间和同样电流大小的持续正弦交流的危险性。

多周控制电流有两种有效值,一个为异通时间内有效值,另一个为工作时间内有效值,其波形见图 30-22。

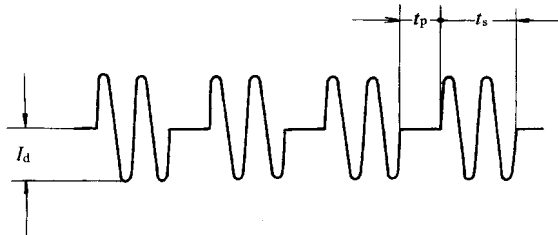


图 30-22 多周控制电流波形

在图中,  $t_s$  为导通时间,  $t_p$  为不导通时间,两者之和为工作时间,其控制度为  $p = \frac{t_s}{t_s + t_p}$ 。

导通时间内有效值的计算式为

$$I_{1ms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}}$$

式中  $I_{1ms}$ ——导通时间内有效值;

$I_p$ ——峰值电流。

工作时间内有效值的计算式为

$$I_{2ms} = I_{1ms} \sqrt{p}$$

式中  $I_{2ms}$ ——工作时间内有效值;

$p$ ——控制度。

当电击持续时间超过心脏周期的 1.5 倍时,室颤阈值决定于控制度。当控制度接近于 1 时,室颤阈值与相同持续时间正弦交流电流的一样;当控制度接近 0.1 时,按导通时间内电流的有效值考虑室颤阈值。当控

制度为 0.1 与 1 之间的中间值时,室颤阈值应比交流电流对人体作用带域划分图中 0.1s 以下的指示值相应提高。当电击持续时间在心脏周期的 0.75 倍以下时,也按导通时间内电流的有效值考虑室颤阈值。

### 五、冲击电流的作用

冲击电流是指作用时间 0.1 ~ 10ms 的短时不定向脉冲电流,包括方脉冲、正弦脉冲和电容放电脉冲。

对于这样的冲击电流,影响心室颤动的主要因素是  $I t$  和  $I^2 t$  的值。在给定电流途径和心脏相位的条件下,相应于某一心室颤动概率的  $I t$  的最小值和  $I^2 t$  的最小值分别叫做比室颤电量和比室颤能量。其感知阈值用电量表示,即在给定条件下,引起人的任何感觉的电量的最小值。冲击电流不存在摆脱阈值,但有一个疼痛阈值。疼痛阈值是手握大电极加冲击电流不引起疼痛时,比电量  $I t$  或比能量  $I^2 t$  的最大值。这里所说的疼痛是人不愿意再次接受的痛苦。当冲击电流超过疼痛阈值时,会产生蜜蜂刺痛或烟头灼痛式的痛苦。

冲击电流的波形见图 30-23。

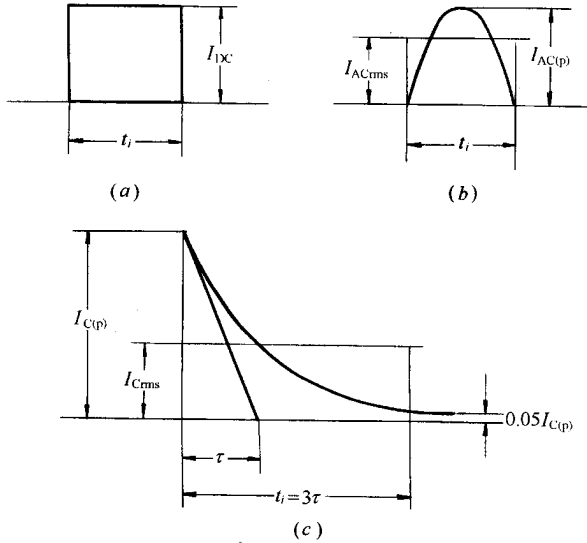


图 30-23 冲击电流波形

(a)方脉冲 (b)正弦脉冲 (c)电容放电脉冲

方脉冲、正弦脉冲、电容放电脉冲的比能量是估计冲击电流的危险性重要因数。比能量的强弱和脉冲持续时间有关,对于方脉冲的比能量还与方脉冲电流幅值成正比,对于正弦脉冲比能量与正弦脉冲电流峰值有效值的平方成正比,对于电容放电脉冲的比能量与电容放电脉冲电流有效值的平方成正比。比能量的计算式如下:

$$F_{eDC} = I_{DC}^2 t_i$$

$$F_{eAC} = I_{AC(rms)}^2 = \frac{1}{2} I_{AC(p)}^2 t_i$$

$$F_{eC} = I_{AC(rms)}^2 t_i = \frac{1}{2} I_{C(p)}^2 \tau$$

- 三式中  $F_{eDC}$ ——方脉冲的比能量;
- $F_{eAC}$ ——正弦脉冲的比能量;
- $F_{eC}$ ——电容放电脉冲的比能量;
- $I_{DC}$ ——方脉冲电流幅值;
- $I_{AC(rms)}^2$ ——正弦脉冲电流峰值有效值;



- $I_{AC(p)}$ ——正弦脉冲电流峰值；
- $I_{cms}$ ——电容放电脉冲电流有效值；
- $I_{C(p)}$ ——电容放电脉冲电流峰值；
- $t_i$ ——脉冲持续时间；
- $\tau$ ——放电时间常数。

在脉冲持续时间相同、比能量相同情况下，三种脉冲的关系为

$$I_{DC} = I_{Acms} = \frac{1}{2} I_{AC(p)} = I_{cms} = \frac{1}{6} I_{C(p)}$$

电容放电电流的感知阈值和疼痛阈值与电极形状、冲击电量和电流峰值有关。在手握住大电极的条件下，感知阈值和疼痛阈值与电量和充电电压的关系见图 30-24。

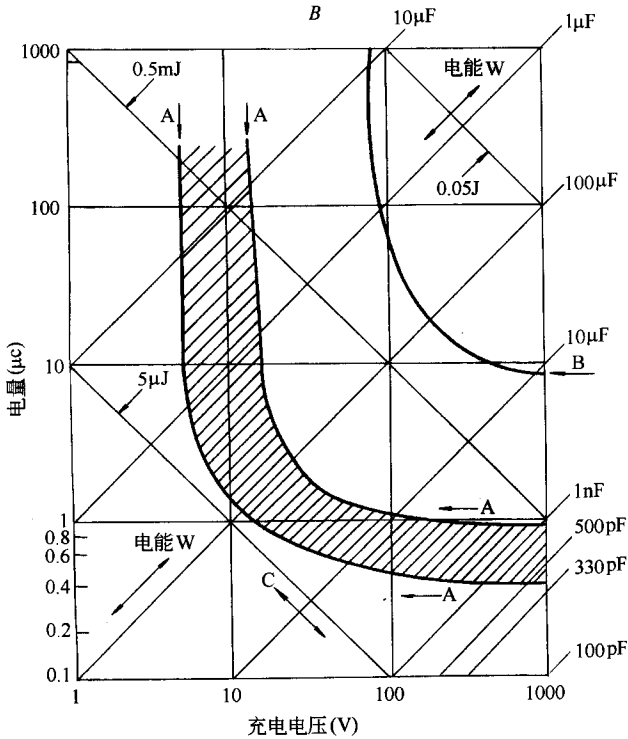


图 30-24 电容放电的感知阈值和疼痛阈值

A—感知阈值；B—典型的疼痛阈值

在图中，两组斜线分别是电容和能量的分度线。只要已知任意两个有关参数，如电量和充电电压，即可在图上找到一个相应的点，并判断是否可能产生感知或疼痛效应。

从比能量的观点考虑，在电流流经四肢、接触面积较大的条件下，疼痛阈值为  $50 \times 10^{-6} \sim 100 \times 10^{-6} A^2 \cdot s$ 。

室颤阈值决定于冲击电流波形、电流延续时间、电流大小、脉冲发生时的心脏相位、人体内电流途径和个体生理特征。

对于短脉冲，通常只在脉冲与心脏易损期重合的情况下发生心室颤动；对于 10ms 以下的短脉冲是由比室颤电量和比室颤能量激发心室颤动的。室颤阈值可以由人体电流和脉冲时间的关系曲线中看出，见图 30-25。

在图中，有三条曲线，即  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$ ，该图相应于左手—双脚的电流途径的条件，共分四个区域：

- ①  $C_1$  线以下：不发生室颤的区域。

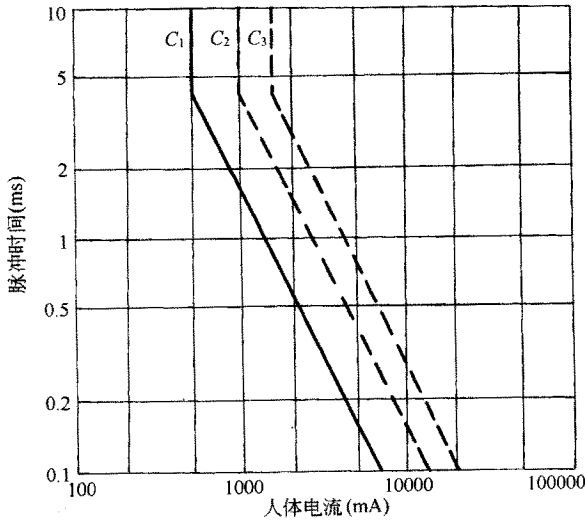


图 30-25 脉冲电流室颤阈值

- ②  $C_1$  线和  $C_2$  线之间 :低度室颤阈值 概率 5% 以下的区域。
- ③  $C_2$  线和  $C_3$  线之间 :中等室颤危险的区域 概率 50% 以下。
- ④  $C_3$  线以上 :为高度室颤危险的区域 概率在 50% 以上。

对于其他电流途径 就需要进行修正。

在图中还可以看出 对于 50% 的室颤概率 经电量约  $0.005A \cdot S$  ;当脉冲持续时间从 4ms 至 1ms 时 比能量大约从  $0.01A^2 \cdot S$  上升到  $0.02A^2 \cdot S$ 。

下面列举两个例子。

例 1 已知电容  $C = 1\mu F$  ,充电电压  $U_c = 10V, 100V, 1000V$  和  $10000V$  ,电流途径为单手—单脚。设人体初始电阻  $1000\Omega$  时间常数  $\tau = 1ms$  ,即电击持续时间  $t_i = 3\tau = 3ms$  ,求对人体的效应。

为简明起见 按表 30-8 逐次计算即可得出电流对人体的效应。

表 30-8 例 1 计算表

充电电压 $U_c(V)$	10	100	1000	10000
放电电流峰值 $I_c(p)(A)$	0.01	0.1	1	10
放电电流有效值 $I_{rms}(A)$	0.004	0.04	0.4	4
比电量 $F_q(AS)$	$0.01 \times 10^{-3}$	$0.1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$10 \times 10^{-3}$
放电能量 $W_c(WS)$	$0.05 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	0.5	50
比室颤能量 $F_d(A^2S)$	$0.048 \times 10^{-6}$	$4.8 \times 10^{-6}$	$0.48 \times 10^{-3}$	$48 \times 10^{-3}$
生产效应	轻 微	难 受	疼 痛	可能室颤

例 2 已知电容  $C = 20\mu F$  ,充电电压  $U_c = 10V, 100V, 1000V$  和  $10000V$  ,电流途径为单手—单脚。设人体初始电阻  $R_i = 500\Omega$  时间常数  $\tau = 10ms$  ,即电击延续时间  $t_i = 3\tau = 30ms$  ,求对人体的效应。

因电击延续时间超过 10ms 室颤危险应按图 30-13 考虑。为简明起见 按表 30-9 逐次计算电流对人体的效应。

表 30-9 例 2 计算表

充电电压 $U_{\zeta}$ (V)	10	100	1 000	10 000
放电电流峰值 $I_{\zeta}$ (pA)	0.02	0.2	2	20
放电电流有效值 $I_{\text{rms}}$ (A)	0.008	0.08	0.8	8
比电量 $F_{\zeta}$ (AS)	$0.2 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	$20 \times 10^{-3}$	$200 \times 10^{-3}$
放电能量 $W_{\zeta}$ (WS)	$1 \times 10^{-3}$	0.1	10	1 000
生理效应	轻 微	疼 痛	危险,但不 可能室颤	危险, 可能室颤

## 第三节 屏护和间距

屏护和间距是最为常用的电气安全措施之一。从防止电击的角度而言,屏护和间距属于防止直接接触电击的安全措施。此外,屏护和间距还是防止短路、故障接地等电气事故的安全措施之一。

### 一、屏护

#### 1. 屏护的概念、种类及其应用

屏护是一种对电击危险因素进行隔离的手段,即采用遮栏、护罩、护盖、箱匣等把危险的带电体同外界隔离开来,以防止人体触及或接近带电体所引起的触电事故。屏护还起到防止电弧伤人,防止弧光短路或便利检修工作的作用。

屏护可分为屏蔽和障碍(或称阻挡物),两者的区别在于:后者只能防止人体无意识触及或接近带电体,而不能防止有意识移开、绕过或翻越该障碍触及或接近带电体。从这点来说,前者属于一种完全的防护,而后者是一种不完全的防护。

屏护装置的种类又有永久性屏护装置和临时性屏护装置之分,前者如配电装置的遮栏、开关的罩盖等;后者如检修工作中使用的临时屏护装置和临时设备的屏护装置等。

屏护装置还可分为固定屏护装置和移动屏护装置,如母线的护网就属于固定屏护装置,而跟随天车移动的天车滑线屏护装置就属于移动屏护装置。

屏护装置主要用于电气设备不便于绝缘或绝缘不足以保证安全的场合。如开关电气的可动部分一般不能包以绝缘,因此需要屏护。对于高压设备,由于全部绝缘往往有困难,因此,不论高压设备是否有绝缘,均要求加装屏护装置。室内、外安装的变压器和变配电装置应装有完善的屏护装置。当作业场所邻近带电体时,在作业人员与带电体之间、过道、入口等处均应装设可移动的临时性屏护装置。

#### 2. 屏护装置的安全条件

尽管屏护装置是简单装置,但为了保证其有效性,须满足如下的条件:

(1)屏护装置所用材料应有足够的机械强度和良好的耐火性能。为防止因意外带电而造成触电事故,对金属材料制成的屏护装置必须实行可靠的接地或接零。

(2)屏护装置应有足够的尺寸,与带电体之间应保持必要的距离。遮栏高度不应低于 1.7m,下部边缘离地不应超过 0.1m,网眼遮栏与带电体之间的距离不应小于表 30-10 所示的距离。栅遮栏的高度户内不应小于 1.2m,户外不应小于 1.5m,栏条间距离不应大于 0.2m。对于低压设备,遮栏与裸导体之间的距离不应

小于 0.8 m。户外变配电装置围墙的高度一般不应小于 2.5m。

表 30-10 网眼遮栏与带电体之间的距离

额定电压/kV	< 1	10	20 ~ 35
最小距离/m	0.15	0.35	0.6

(3) 遮栏、栅栏等屏护装置上应有“止步，高压危险！”等标志。

(4) 必要时应配合采用声光报警信号和联锁装置。

## 二、间距

间距是指带电体与地面之间，带电体与其他设备和设施之间，带电体与带电体之间必要的安全距离。间距的作用是防止人体触及或接近带电体造成触电事故，避免车辆或其他器具碰撞或过分接近带电体造成事故，防止火灾、过电压放电及各种短路事故，以及方便操作。在间距的设计选择时，既要考虑安全的要求，同时也要符合人-机工效学的要求。

不同电压等级、不同设备类型、不同安装方式、不同的周围环境所要求的间距不同。

### 1. 线路间距

架空线路导线在弛度最大时与地面或水面的距离不应小于表 30-11 所示的距离。

表 30-11 导线与地面或水面的最小距离

m

线路经过地区	线路电压		
	< 1kV	1 ~ 10kV	35kV
居民区	6	6.5	7
非居民区	5	5.5	6
不能通航或浮运的河、湖(冬季水面)	5	5	—
不能通航或浮运的河、湖(50年一遇的洪水水面)	3	3	—
交通困难地区	4	4.5	5
步行可以达到的山坡	3	4.5	5
步行不能达到的山坡、峭壁或岩石	1	1.5	3

在未经相关管理部门许可的情况下，架空线路不得跨越建筑物。架空线路与有爆炸、火灾危险的厂房之间应保持必要的防火间距，且不应跨越具有可燃材料屋顶的建筑物。架空线路导线与建筑物的最小距离见表 30-12。

架空线路导线与街道树木、厂区树木的最小距离见表 30-13，架空线路导线与绿化区树木、公园的树木的最小距离为 3m。

表 30-12 导线与建筑物的最小距离

线路电压/kV	≤1	10	35
垂直距离/m	2.5	3.0	4.0
水平距离/m	1.0	1.5	3.0

表 30-13 导线与树木的最小距离

线路电压/kV	≤1	10	35
垂直距离/m	1.0	1.5	3.0
水平距离/m	1.0	2.0	—

架空线路导线与铁路、道路、通航河流、电气线路及管道等设施之间的最小距离见表 30-14。表中特殊管道指的是输送易燃易爆介质的管道,各项中的水平距离在开阔地区不应小于电杆的高度。

表 30-14 架空线路与工业设施的最小距离

项 目				线路电压		
				≤1kV	10kV	35kV
铁 路	标准轨距	垂直距离	至钢轨顶面	7.5	7.5	7.5
			至承力索接触线	3.0	3.0	3.0
	水平距离	电杆外缘至轨道中心	交叉	5.0		
			平行	杆高加 3.0		
	窄 轨	垂直距离	至钢轨顶面	6.0	6.0	7.5
			至承力索接触线	3.0	3.0	3.0
水平距离	电杆外缘至轨道中心	交叉	5.0			
		平行	杆高加 3.0			
道 路	垂直距离			6.0	7.0	7.0
	水平距离(电杆至道路边缘)			0.5	0.5	0.5
通航河流	垂直距离	至 50 年一遇的洪水位		6.0	6.0	6.0
		至最高航行水位的最高桅顶		1.0	1.5	2.0
	水平距离	边导线至河岸上缘			最高杆(塔)高	
弱电线路	垂直距离			6.0	7.0	7.0
	水平距离(两线路边导线间)			0.5	0.5	0.5

项 目			线路电压		
			≤1kV	10kV	35kV
电力线路	≤1kV	垂直距离	1.0	2.0	3.0
		水平距离(两线路边导线间)	2.5	2.5	5.0
	10kV	垂直距离	2.0	2.0	3.0
		水平距离(两线路边导线间)	2.5	2.5	5.0
	35kV	垂直距离	3.0	2.0	3.0
		水平距离(两线路边导线间)	5.0	5.0	5.0
特殊管道	垂直距离	电力线路在上方	1.5	3.0	3.0
		电力线路在下方	1.5	—	—
	水平距离(边导线至管道)		1.5	2.0	4.0

同杆架设不同种类、不同电压的电气线路时,电力线路应位于弱电线路的上方,高压线路应位于低压线路的上方。横担之间的最小距离见表 30-15。

表 30-15 同杆线路横担之间的最小距离

m

项目	直线杆	分支杆和转角杆
10kV 与 10kV	0.8	0.45/0.6 <sup>①</sup>
10kV 与 低压	1.2	1.0
低压与 低压	0.6	0.3
10kV 与 通讯电缆	2.5	—
低压与 通讯电缆	1.5	—

注 ①单回线路采用 0.6m,双回线路距上面的横担采用 0.45m,距下面的横担采用 0.6m。

从配电路到用户进线处第一个支持点之间的一段导线称为接户线。10 kV 接户线对地距离不应小于 4.5 m,低压接户线对地距离不应小于 2.75 m。低压接户线跨越通车街道时对地距离不应小于 6m,跨越通车困难的街道或人行道时,对地距离不应小于 3.5m。

从接户线引入室内的一段导线称为进户线。进户线的进户管口与接户线端头之间的垂直距离不应大于 0.5m,进户线对地距离不应小于 2.7m。

户内低压线路与工业管道和工艺设备之间的最小距离见表 30-16。表中无括号的数字为电缆管线在管道上方的数据,有括号的数字为电缆管线在管道下方的数据。电缆管线应尽可能敷设在热力管道的下方。当现场的实际情况无法满足表 30-16 所规定距离时,应采取包隔热层,对交叉处的裸母线外加保护网或保护罩等措施。

直埋电缆埋设深度不应小于 0.7m,并应位于冻土层之下。直埋电缆与工艺设备的最小距离见表 30-17。当电缆与热力管道接近时,电缆周围土壤温升不应超过 10℃,超过时须进行隔热处理。表 30-17 中的最小距离对采用穿管保护时,应从保护管的外壁算起。

表 30-16 户内低压线路与工业管道和工艺设备的最小距离

布线方式		穿金属管导线	电 缆	明设绝缘导线	裸导线	起重机滑触线	配电设备
煤气管	平行	100	50C	1 000	1 000	1500	1 500
	交叉	100	30C	300	500	500	—
乙炔管	平行	100	1 000	1 000	2000	3 000	3000
	交叉	100	500	500	500	500	—
氧气管	平行	100	500	500	1000	1 500	1500
	交叉	100	300	300	500	500	—
蒸气管	平行	1 000( 500 )	1 000( 500 )	1 000( 500 )	1 000	1 000	500
	交叉	300	300	300	500	500	—
暖热水管	平行	300( 200 )	500	300( 200 )	1000	1 000	100
	交叉	100	100	100	500	500	—
通风管	平行	—	200	200	1 000	1 000	100
	交叉	—	100	100	500	500	—
上、下水管	平行	—	200	200	1 000	1 000	100
	交叉	—	100	100	500	500	—
压缩空气管	平行	—	200	200	1 000	1 000	100
	交叉	—	100	100	500	500	—
工艺设备	平行	—	—	—	1 500	1 500	100
	交叉	—	—	—	1 500	1 500	—

表 30-17 直埋电缆与工艺设备的最小距离

m

敷设条件	平行敷设	交叉敷设
与电杆或建筑物地下基础之间 控制电缆与控制电缆之间	0.6	—
10kV 以下的电力电缆之间或与控制电缆之间	0.1	0.5
10~35kV 的电力电缆之间或其他电缆之间	0.25	0.5
不同部门的电缆(包括通信电缆)之间	0.5	0.5
与热力管沟之间	2.0	0.5
与可燃气体、可燃液体管道之间	1.0	0.5
与水管、压缩空气管道之间	0.5	0.5
与道路之间	1.5	1.0
与普通铁路路轨之间	3.0	1.0
与直流电气化铁路路轨之间	10.0	—

## 2. 用电设备间距

明装的车间低压配电箱底口距地面的高度可取 1.2m, 暗装的可取 1.4m。明装电能表板底口距地面的高度可取 1.8m。

常用开关电器的安装高度为 1.3~1.5m, 开关手柄与建筑物之间应保留 150mm 的距离, 以便于操作。墙用平开关, 离地面高度可取 1.4m。明装插座离地面高度可取 1.3~1.8m, 暗装的可取 0.2~0.3m。

户内灯具高度应大于 2.5m, 受实际条件约束达不到时, 可减为 2.2m; 低于 2.2m 时, 应采取适当安全措施。当灯具位于桌面上方等人碰不到的地方时, 高度可减为 1.5m。户外灯具高度应大于 3m, 安装在墙上时可减为 2.5m。

起重机具至线路导线间的最小距离, 1kV 及 1kV 以下者不应小于 1.5m, 10kV 者不应小于 2m。

## 3. 检修间距

低压操作时, 人体及其所携带工具与带电体之间的距离不得小于 0.1m。

高压作业时, 各种作业类别所要求的最小距离见表 30-18。

表 30-18 高压作业的最小距离

m

类 别	电压等级	
	10 kV	35 kV
无遮栏作业, 人体及其所携带工具与带电体之间 <sup>①</sup>	0.7	1.0
无遮栏作业, 人体及其所携带工具与带电体之间, 用绝缘杆操作	0.4	0.6
线路作业, 人体及其所携带工具与带电体之间 <sup>②</sup>	1.0	2.5
带电水冲洗, 小型喷嘴与带电体之间	0.4	0.6
喷灯或气焊火焰与带电体之间 <sup>③</sup>	1.5	3.0

注 ① 距离不足时, 应装设临时遮栏。

② 距离不足时, 邻近线路应当停电。

③ 火焰不应喷向带电体。

## 第四节 绝缘防护

绝缘是指利用绝缘材料对带电体进行封闭和隔离。长久以来, 绝缘一直是作为防止触电事故的重要措施, 良好的绝缘也是保证电气系统正常运行的基本条件。

### 一、绝缘材料的电气性能

绝缘材料又称为电介质, 其导电能力很小, 但并非绝对不导电。工程上应用的绝缘材料的电阻率一般都不低于  $1 \times 10^7 \Omega \cdot \text{m}$ 。

绝缘材料的主要作用是用于对带电的或不同电位的导体进行隔离, 使电流按照确定的线路流动。

绝缘材料的品种很多, 一般分为: ① 气体绝缘材料, 常用的有空气、氮、氢、二氧化碳和六氟化硫等; ② 液体绝缘材料, 常用的有从石油原油中提炼出来的绝缘矿物油, 十二烷基苯、聚丁二烯、硅油和三氯联苯等合成油以及蓖麻油; ③ 固体绝缘材料, 常用的有树脂绝缘漆、纸、纸板等绝缘纤维制品, 漆布、漆管和绑扎带等绝缘



浸渍纤维制品 绝缘云母制品 电工用薄膜、复合制品和粘带 电工用层压制品 电工用塑料和橡胶 玻璃、陶瓷等。

电气设备的质量和使用寿命在很大程度上取决于绝缘材料的电、热、机械和理化性能,而绝缘材料的性能和寿命与材料的组成成分、分子结构有着密切的关系。

绝缘材料的电气性能主要表现在电场作用下材料的导电性能、介电性能及绝缘强度。它们分别以绝缘电阻率  $\rho$  (或电导率  $\gamma$ ) 相对介电常数  $\epsilon_r$ 、介质损耗角  $\tan\delta$  及击穿场强  $E_B$  四个参数来表示。本节暂先介绍前三个参数,击穿场强将在后面介绍。

### 1. 绝缘电阻率和绝缘电阻

任何电介质都不可能是绝对的绝缘体,总存在一些带电质点,主要为本征离子和杂质离子。在电场的作用下,它们可作有方向的运动,形成漏导电流,通常又称为泄漏电流。在外加电压作用下的绝缘材料的等效电路如图 30-26a 所示;在直流电压作用下的电流如图 30-26b 所示。图中,电阻支路的电流  $I_l$  即为漏导电流;流经电容和电阻串联支路的电流  $I_a$  称为吸收电流,是由缓慢极化和离子体积电荷形成的电流;电容支路的电流  $I_c$  称为充电电流,是由几何电容等效应构成的电流。

绝缘电阻率和绝缘电阻分别是绝缘结构和绝缘材料的主要电性参数之一。为了检验绝缘性能的优劣,在绝缘材料的生产和应用中,经常需要测定其绝缘电阻率,包括体积电阻率和表面电阻率,而在绝缘结构的性能和使用中经常需要测定绝缘电阻。

温度、湿度、杂质含量和电场强度的增加都会降低电介质的电阻率。

温度升高时,分子热运动加剧,使离子容易迁移,电阻率按指数规律下降。

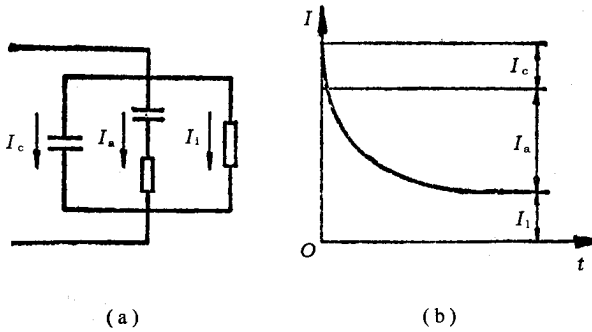


图 30-26 绝缘材料导电

(a) 等效电路 (b) 电流曲线

湿度升高,一方面水分的浸入使电介质增加了导电离子,使绝缘电阻下降;另一方面,对亲水物质,表面的水分还会大大降低其表面电阻率。电气设备特别是户外设备,在运行过程中,往往因受潮引起绝缘材料电阻率下降,造成泄漏电流过大而使设备损坏。因此,为了预防事故的发生,应定期检查设备绝缘电阻的变化。

杂质的含量增加,增加了内部的导电离子,也使电介质表面污染并吸附水分,从而降低了体积电阻率和表面电阻率。

在较高的电场强度作用下,固体和液体电介质的离子迁移能力随电场强度的增强而增大,使电阻率下降。当电场强度临近电介质的击穿电场强度时,因出现大量电子迁移,使绝缘电阻按指数规律下降。

### 2. 介电常数

电介质在处于电场作用下时,电介质中分子、原子中的正电荷和负电荷发生偏移,使得正、负电荷的中心不再重合,形成电偶极子。电偶极子的形成及其定向排列称为电介质的极化。电介质极化后,在电介质表面上产生束缚电荷。束缚电荷不能自由移动。

介电常数是表明电介质极化特征的性能参数。介电常数愈大,电介质极化能力愈强,产生的束缚电荷就愈多。束缚电荷也产生电场,且该电场总是削弱外电场的。因此,处在电介质中的带电体周围的电场强度,总是低于同样带电体处在真空中时其周围的电场强度。

现用电容器来说明介电常数的物理意义。设电容器极板间为真空时,其电容量为  $C_0$ ,而当极板间充满某种电介质时,其电容量变为  $C$ ,则  $C$  与  $C_0$  的比值即该电介质的相对介电常数,即

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0}$$

在填充电介质以后,由于电介质的极化,使靠近电介质表面处出现了束缚电荷,与其对应,在极板上的自由电荷也相应增加,即填充电介质之后,极板上容纳了更多的自由电荷,说明电容被增大。因此,可以看出,相对介电常数总是大于 1 的。

绝缘材料的介电常数受电源频率、温度、湿度等因素而产生变化。

随频率增加,有的极化过程在半周期内来不及完成,以致极化程度下降,介电常数减小。

随温度增加,偶极子转向极化易于进行,介电常数增大;但当温度超过某一限度后,由于热运动加剧,极化反而困难一些,介电常数减小。

随湿度增加,材料吸收水分,由于水的相对介电常数很高(在 80 左右),且水分的侵入能增加极化作用,使得电介质的介电常数明显增加。因此,通过测量介电常数,能够判断电介质受潮程度等。

大气压力对气体材料的介电常数有明显影响,压力增大,密度就增大,相对介电常数也增大。

### 3. 介质损耗

在交流电压作用下,电介质中的部分电能不可逆地转变成热能,这部分能量叫做介质损耗。单位时间内消耗的能量叫做介质损耗功率。介质损耗一种是由漏导电流引起的;另一种是由于极化所引起的。介质损耗使介质发热,这是电介质发生热击穿的根源。

施加交流电压时,电流、电压的相量关系如图 30-27 所示。

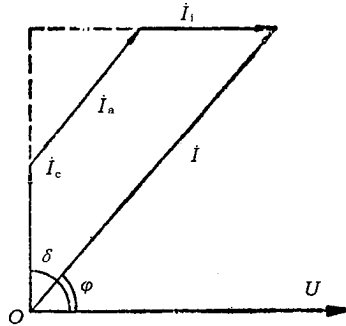


图 30-27 电介质中电流与电压的相量关系

总电流与电压的相位差  $\varphi$ ,即电介质的功率因数角。功率因数角的余角  $\delta$  称为介质损耗角。根据相量图,不难求出单位体积内介质损耗功率为

$$P = \omega \epsilon E^2 \tan \delta$$

式中  $\omega$ ——电源角频率  $\omega = 2\pi f$ ;

$\epsilon$ ——电介质介电常数;

$E$ ——电介质内电场强度;

$\tan \delta$ ——介质损耗角正切。

由于  $P$  值与试验电压、试样尺寸等因素有关,难于用来对介质品质作严密的比较,所以,通常是以  $\tan \delta$  来衡量电介质的介质损耗性能。

对于电气设备中使用的电介质,要求它的  $\tan \delta$  值愈小愈好。而当绝缘受潮或劣化时,因有功电流明显增加,会使  $\tan \delta$  值剧烈上升。也就是说,  $\tan \delta$  能更敏感地反映绝缘质量。因此,在要求高的场合,需进行介质损耗试验。

影响绝缘材料介质损耗的因素主要有频率、温度、湿度、电场强度和辐射。影响过程比较复杂,从总的趋势上来说,随着上述因素的增强,介质损耗增加。

## 二、绝缘的破坏

在电气设备的运行过程中,绝缘材料会由于电场、热、化学、机械、生物等因素的作用,使绝缘性能发生劣化。

### 1. 绝缘击穿

当施加于电介质上的电场强度高于临界值时,会使通过电介质的电流突然猛增,这时绝缘材料被破坏,完全失去了绝缘性能,这种现象称为电介质的击穿。发生击穿时的电压称为击穿电压,击穿时的电场强度简称击穿场强。

(1) 气体电介质的击穿。气体击穿是由碰撞电离导致的电击穿。在强电场中,气体的带电质点(主要是电子)在电场中获得足够的动能,当它与气体分子发生碰撞时,能够使中性分子电离为正离子和电子。新形成的电子又在电场中积累能量而碰撞其他分子,使其电离,这就是碰撞电离。碰撞电离过程是一个连锁反应过程,每一个电子碰撞产生一系列新电子,因而形成电子崩。电子崩向阳极发展,最后形成一条具有高电导的通道,导致气体击穿。

在均匀电场中,当温度一定,电极距离不变,气体压力很低时,气体中分子稀少,碰撞游离机会很少,因此击穿电压很高。随着气体压力的增大,碰撞游离增加,击穿电压有所下降,在某一特定的气压下出现最小值;但当气体压力继续升高,密度逐渐增大,平均自由行程很小,只有更高的电压才能使电子积聚足够的能量以产生碰撞游离,击穿电压也逐渐升高。利用此规律,在工程上常采用高真空和高气压的方法来提高自己的击穿场强。

空气的击穿场强约为  $25 \sim 30 \text{ kV/cm}$ 。

(2) 液体电介质的击穿。液体电介质的击穿特性与其纯净度有关,一般认为纯净液体的击穿与气体的击穿机理相似,是由电子碰撞电离最后导致击穿。但液体的密度大,电子自由行程短,积聚能量小,因此击穿场强比气体高。工程上液体绝缘材料不可避免地含有气体、液体和固体杂质。如液体中含有乳化状水滴和纤维时,由于水和纤维的极性强,在强电场的作用下使纤维极化而定向排列,并运动到电场强度最高处联成小桥,小桥贯穿两电极间引起电导剧增,局部温度骤升,最后导致击穿。例如,变压器油中含有极少量水分就会大大降低油的击穿场强。

含有气体杂质的液体电介质的击穿可用气泡击穿机理来解释。气体杂质的存在使液体呈现不均匀性,液体局部过热,气体迁移集中,在液体中形成气泡。由于气泡的相对介电常数较低,使得气泡内的电场强度较高,约为油内电场强度的  $2.2 \sim 2.4$  倍,而气体的临界场强比油低得多,致使气泡游离,局部发热加剧,体积膨胀,气泡扩大,形成连通两电极的导电小桥,最终导致整个电介质击穿。

为此,在液体绝缘材料使用之前,必须对其进行纯化、脱水、脱气处理;在使用过程中应避免这些杂质的侵入。

液体电介质击穿后,绝缘性能在一定程度上可以得到恢复。

(3) 固体电介质的击穿。固体电介质的击穿有电击穿、热击穿、电化学击穿、放电击穿等形式。

① 电击穿。这是固体电介质在强电场作用下,其内少量处于导带的电子剧烈运动,与晶格上的原子(或离子)碰撞而使之游离,并迅速扩展下去导致的击穿。电击穿的特点是电压作用时间短,击穿电压高。电击穿的击穿场强与电场均匀程度密切相关,但与环境温度及电压作用时间几乎无关。

② 热击穿。这是固体电介质在强电场作用下,由于介质损耗等原因所产生的热量不能够及时散发出去,会因温度上升,导致电介质局部熔化、烧焦或烧裂,最后造成击穿。热击穿的特点是电压作用时间长,击穿电压较低。热击穿电压随环境温度上升而下降,但与电场均匀程度关系不大。

③ 电化学击穿。这是固体电介质在强电场作用下,由游离、发热和化学反应等因素的综合效应造成的击穿。其特点是电压作用时间长,击穿电压往往很低。它与绝缘材料本身的耐游离性能、制造工艺、工作条件等因素有关。

④ 放电击穿。这是固体电介质在强电场作用下,内部气泡首先发生碰撞游离而放电,继而加热其他杂

质,使之气化形成气泡,由气泡放电进一步发展,导致击穿。放电击穿的击穿电压与绝缘材料的质量有关。

固体电介质一旦击穿,将失去其绝缘性能。

实际上,绝缘结构发生击穿,往往是电、热、放电、电化学等多种形式同时存在,很难截然分开。一般来说,在采用  $\tan\delta$  值大、耐热性差的电介质的低压电气设备,在工作温度高、散热条件差时热击穿较为多见。而在高压电气设备中,放电击穿的概率就大些。脉冲电压下的击穿一般属电击穿。当电压作用时间达数十小时乃至数年时,大多数属于电化击穿。

### 2. 绝缘老化

电气设备在运行过程中,其绝缘材料由于受热、电、光、氧、机械力(包括超声波)、辐射线、微生物等因素的长期作用,产生一系列不可逆的物理变化和化学变化,导致绝缘材料的电气性能和机械性能的劣化。

绝缘老化过程十分复杂。就其老化机理而言,主要有热老化机理和电老化机理。

(1)热老化。一般在低压电气设备中,促使绝缘材料老化的主要因素是热。热老化包括低分子挥发性成分的逸出,包括材料的解聚和氧化裂解、热裂解、水解,还包括材料分子链继续聚合等过程。

每种绝缘材料都有其极限耐热温度,当超过这一极限温度时,其老化将加剧,电气设备的寿命就缩短。在电工技术中,常把电机和电器中的绝缘结构和绝缘系统按耐热等级进行分类。表 30-19 所列是我国绝缘材料标准规定的绝缘耐热分级和极限温度。

表 30-19 绝缘耐热分级及其极限温度

耐热分级	极限温度/°C
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	> 180

(2)电老化。它主要是由局部放电引起的。在高压电气设备中,促使绝缘材料老化的主要原因是局部放电。局部放电时产生的臭氧、氮氧化物、高速粒子都会降低绝缘材料的性能,局部放电还会使材料局部发热,促使材料性能恶化。

### 3. 绝缘损坏

绝缘损坏是指由于不正确选用绝缘材料,不正确地进行电气设备及线路的安装,不合理地使用电气设备等,导致绝缘材料受到外界腐蚀性液体、气体、蒸气、潮气、粉尘的污染和侵蚀,或受到外界热源、机械因素的作用,在较短或很短的时间内失去其电气性能或机械性能的现象。另外,动物和植物也可能破坏电气设备和电气线路的绝缘结构。

## 三、绝缘检测和绝缘试验

绝缘检测和绝缘试验的目的是检查电气设备或线路的绝缘指标是否符合要求。绝缘检测和绝缘试验主要包括绝缘电阻试验、耐压试验、泄漏电流试验和介质损耗试验。其中,绝缘电阻试验是最基本的绝缘试验;耐压试验是检验电气设备承受过电压的能力,主要用于新品种电气设备的型式试验及投入运行前的电力变压器等设备、电工安全用具等;泄漏电流试验和介质损耗试验只对一些要求较高的高压电气设备才有必要进

行。现仅对绝缘电阻试验和耐压试验进行介绍。

### 1. 绝缘电阻试验

绝缘电阻是衡量绝缘性能优劣的最基本的指标。在绝缘结构的制造和使用中,经常需要测定其绝缘电阻。通过绝缘电阻的测定,可以在一定程度上判定某些电气设备的绝缘好坏,判断某些电气设备(如电机、变压器)的受潮情况等。以防因绝缘电阻降低或损坏而造成漏电、短路、电击等电气事故。

(1) 绝缘电阻的测量。绝缘材料的电阻可以用比较法(属于伏安法)测量,也可以用泄漏法来进行测量,但通常用兆欧表(摇表)测量。这里仅就应用兆欧表测量绝缘材料的电阻进行介绍。

兆欧表主要由作为电源的手摇发电机(或其他直流电源)和作为测量机构的磁电式流比计(双动线圈流比计)组成。测量时,实际上是给被测物加上直流电压,测量其通过的泄漏电流,在表的盘面上读到的是经过换算的绝缘电阻值。

磁电式流比计的工作原理如图 30-28 所示。在同一转轴上装有两个交叉的线圈,当两线圈通有电流时,两个线圈分别产生互为相反方向的转矩。其大小分别为

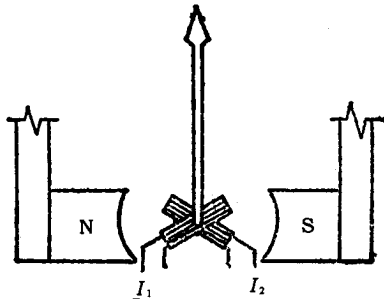


图 30-28 磁电式流比计原理

$$M_1 = K_1 f(\alpha) I_1$$

$$M_2 = K_2 f(\alpha) I_2$$

式中: $K_1, K_2$ ——比例常数;

$I_1, I_2$ ——通过两个线圈的电流;

$\alpha$ ——线圈带动指针偏转的偏转角。

当  $M_1 \neq M_2$  时,线圈转动,指针偏转。当  $M_1 = M_2$  时,线圈停止转动,指针停止偏转,且两电流之比与偏转角满足如下的函数关系,即

$$\frac{I_1}{I_2} = K f(\alpha)$$

兆欧表的测量原理如图 30-29 所示。在接入被测电阻  $R_x$  后,构成了两相相互相联的支路,当摇动手摇发电机时,两个支路分别通过电流  $I_1$  和  $I_2$ 。可以看出

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(R_2 + r_2)}{(R_1 + r_1 + R_x)} = f(\alpha, R_x)$$

考虑到两电流之比与偏转角满足的函数关系,不难得出

$$\alpha = f(R_x)$$

可见,指针的偏转角  $\alpha$  仅仅是被测绝缘电阻  $R_x$  的函数,而与电源电压没有直接关系。

在兆欧表上有三个接线端钮,分别标为接地 E、电路 L 和屏蔽 G。一般测量仅用 E、L 两端,E 通常接地或接设备外壳,L 接被测线路,电机、电器的导线或电机绕组。测量电缆芯线对外皮的绝缘电阻时,为消除芯线绝缘层表面漏电引起的误差,还应在绝缘上包以锡箔,并使之与 G 端连接,如图 30-30 所示。这样就使得流经绝缘表面的电流不再经过流比计的测量线圈,而是直接流经 G 端构成回路,所以,测得的绝缘电阻只是电缆绝缘的体积电阻。

使用兆欧表测量绝缘电阻时,应注意下列事项:

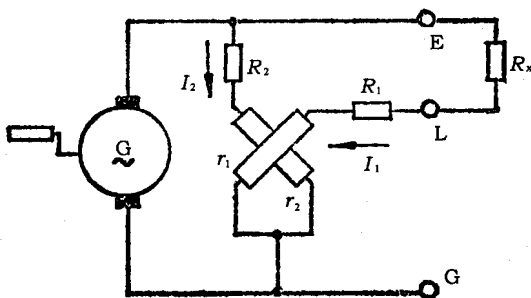


图 30-29 兆欧表测量原理

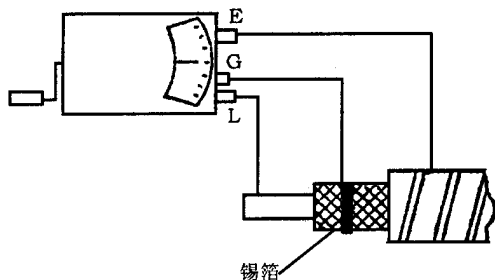


图 30-30 电缆绝缘电阻测量

①应根据被测物的额定电压正确选用不同电压等级的兆欧表。所用兆欧表的工作电压应高于绝缘物的额定工作电压。一般情况下，测量额定电压 500V 以下的线路或设备的绝缘电阻，应采用工作电压为 500V 或 1 000V 的兆欧表；测量额定电压 500V 以上的线路或设备的绝缘电阻，应采用工作电压为 1 000V 或 2 500V 的兆欧表。

②与兆欧表端钮接线的导线应用单线，单独连接，不能用双股绝缘导线，以免测量时因双股线或绞线绝缘不良而引起误差。

③测量前，必须断开被测物的电源，并进行放电，测量终了也应进行放电。放电时间一般不应短于 2~3min。对于高电压、大电容的电缆线路，放电时间应适当延长，以消除静电荷，防止发生触电危险。

④测量前，应对兆欧表进行检查。首先，使兆欧表端钮处处于开路状态，转动摇把，观察指针是否在“∞”位，然后，再将 E 和 L 两端短接起来，慢慢转动摇把，观察指针是否迅速指向“0”位。

⑤进行测量时，摇把的转速应由慢至快，到 120r/min 左右时，发电机输出额定电压。摇把转速应保持均匀、稳定，一般摇动 1 min 左右，待指针稳定后再进行读数。

⑥测量过程中，如指针指向“0”，表明被测物绝缘失效，应停止转动摇把，以防表内线圈发热烧坏。

⑦禁止在雷电时或邻近设备带有高电压时用兆欧表进行测量工作。

⑧测量应尽可能在设备刚刚停止运转时进行，这样，由于测量时的温度条件接近运转时的实际温度，使测量结果符合运转时的实际情况。

(2) 吸收比的测定。对于电力变压器、电力电容器、交流电动机等高压设备，除测量绝缘电阻之外，还要求测量其吸收比。吸收比是加压测量开始后 60s 时读取的绝缘电阻值与加压测量开始后 15s 时读取的绝缘电阻值之比。由吸收比的大小可以对绝缘受潮程度和内部有无缺陷存在进行判断。这是因为，绝缘材料加上直流电压时都有一充电过程，在绝缘材料受潮或内部有缺陷时，泄漏电流增加很多，同时充电过程加快，吸收比的值小，接近于 1；绝缘材料干燥时，泄漏电流小，充电过程慢，吸收比明显增大。例如，干燥的发电机定子绕组，在 10~30℃ 时的吸收比远大于 1.3。吸收比原理如图 30-31 所示。

(3) 绝缘电阻指标。绝缘电阻随线路和设备不同，其指标要求也不一样。就一般而言，高压较低压要求高，新设备较老设备要求高，室外设备较室内设备要求高，移动设备较固定设备要求高等。以下为几种主

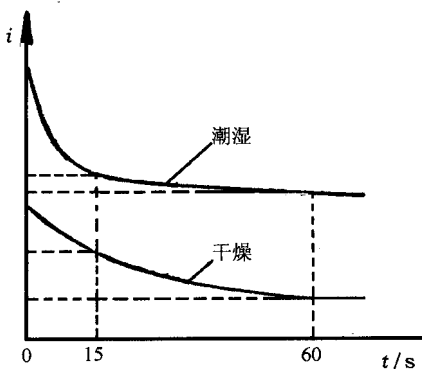


图 30-31 吸收比原理

要线路和设备应达到的绝缘电阻值。

①新装和大修后的低压线路和设备,要求绝缘电阻不低于  $0.5\text{M}\Omega$ ,运行中的线路和设备,要求可降低为每伏工作电压不小于  $1000\Omega$ ;安全电压下工作的设备同  $220\text{V}$  一样,不得低于  $0.22\text{M}\Omega$ ;在潮湿环境,要求可降低为每伏工作电压  $500\Omega$ 。

②携带式电气设备的绝缘电阻不应低于  $2\text{M}\Omega$ 。

③配电盘二次线路的绝缘电阻不应低于  $1\text{M}\Omega$ ,在潮湿环境,允许降低为  $0.5\text{M}\Omega$ 。

④ $10\text{kV}$  高压架空线路每个绝缘子的绝缘电阻不应低于  $300\text{M}\Omega$ , $35\text{kV}$  及以上的不应低于  $500\text{M}\Omega$ 。

⑤运行中  $6\sim 10\text{kV}$  和  $35\text{kV}$  电力电缆的绝缘电阻分别不应低于  $400\sim 1000\text{M}\Omega$  和  $600\sim 1500\text{M}\Omega$ 。干燥季节取较大的数值,潮湿季节取较小的数值。

⑥电力变压器投入运行前,绝缘电阻应不低于出厂时的  $70\%$ ,运行中的绝缘电阻可适当降低。

## 2. 耐压试验

电气设备的耐压试验主要用以检查电气设备承受过电压的能力。在电力系统中,线路及发电、输变电设备的绝缘,除了在额定交流或直流电压下长期运行外,还要短时承受大气过电压、内部过电压等过电压的作用。另外,其他技术领域的电气设备也会遇到各种特殊类型的高电压。因此,耐压试验是保证电气设备安全运行的有效手段。耐压试验主要有工频交流耐压试验、直流耐压试验和冲击电压试验等。其中,工频交流耐压试验最为常用,这种方法接近运行实际,所需设备简单。对部分设备,如电力电缆、高压电机等少数电气设备因电容很大,无法进行交流耐压试验时,则进行直流耐压试验。

图 30-32 所示为工频高压试验装置电路。该装置由调压器  $T_1$ 、试验变压器  $T_2$ 、测量及过电压保护装置(球隙  $S$ 、保护电阻  $R_1$ 、 $R_2$  组成。 $Z_x$  是被试品。

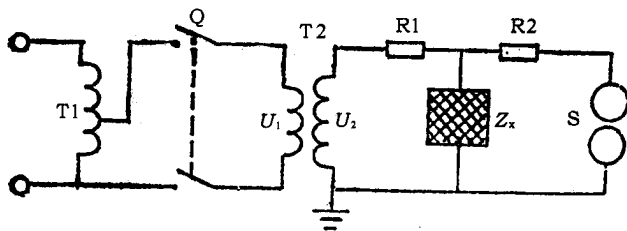


图 30-32 工频高压试验装置

图中,调压器  $T_1$  用于调节试验电压,试验变压器  $T_2$  用于将电压升高。球隙  $S$  既可以测量放电电压,又可以限制球隙间电压不超过某一限值,对被试品起到保护作用。

工频耐压试验的试验电压为被试设备额定电压的一倍多至数倍之间,但不得低于  $1\text{kV}$ 。

进行工频耐压试验时,先以任意速度加压至试验电压的  $40\%$  左右,再以每秒  $3\%$  试验电压的速度升高到

试验电压,并持续规定时间,然后在 5 s 内将电压降至试验电压的 25% 以下,再切断电源。

通常,耐压试验的加压时间对瓷质和液体为 60s,对以有机固体作为主要绝缘的设备为 300s,但根据被试设备、线路种类的不同,也有其他不同的加压时间情况。

耐压试验应注意如下事项:

①耐压试验须在绝缘电阻试验合格之后方能进行。

②要确保高电压试验回路与接地物体和工作人员的距离不小于安全距离,试验现场应设置围栏,围栏上向外悬挂“止步,高压危险!”的标示牌,围栏应具有机械联锁和电气联锁。此外,还应设置红色信号灯和警铃,给出声、光警示信号。

③试验前应由试验负责人全面检查试验装置的所有接线,确保连接无误。

④控制室、示波器室、电桥操作间和配电柜前,应铺设 5mm 以上厚度的绝缘胶垫。

⑤试验后应使用串联有负载电阻的放电棒,对被试设备进行放电。

⑥为了泄放高压残余电荷,以及当发生误送电源时能迅速作用于自动开关跳闸或使熔断器熔断,保证人员安全,试验后,必须将升压设备的高压部分短路接地。

变配电设备的交流耐压试验电压标准见表 30-20。

表 30-20 电气设备交流耐压试验电压标准

kV

额定电压	最高工作电压	交流耐压试验电压												干式变压器	
		电力变压器		电压互感器		断路器 电流互感器		隔离开关 干式电抗器		支持绝缘子、套管					
		出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接	纯瓷、纯瓷 充油绝缘		固体有机绝缘			
≤0.1		5	4											3	2
3	3.5	18	15	24	22	24	22	24	24	25	25	25	22	10	8.5
6	6.9	25	21	32	28	32	28	32	32	32	32	32	28	16	13
10	11.5	35	30	42	38	42	38	42	42	42	42	42	38	24	20
15	17.5	45	38	55	50	55	50	55	55	57	57	57	50	37	31
20	23	55	47	65	59	65	59	65	65	68	68	68	59	—	—
35	40.5	85	72	95	85	95	85	95	95	100	100	100	90	—	—
60	69	140	120	140	125	155	140	155	155	165	165	165	150	—	—
110	126	200	170(195)	200	180(210)	250	220(260)	250	250(290)	265	265(290)	265	240(280)	—	—
220	252	400	340	400	360	470	425	470	470	470	470	490	440	—	—

注 ①出厂试验电压以 GB311—64 为依据。

②括号内数值适用于小接地电流系统。