

贾安东 编著

# 焊接结构及生产设计

天津大学出版社

# 焊接结构及生产设计

贾安东 编

天津大学出版社

## 内 容 提 要

本书介绍焊接结构和焊接生产设计的内容、步骤与方法,包括焊接结构设计的基本理论,典型焊接结构(容器、梁、柱和桁架、焊接机器零件、车船壳体结构等)的设计或结构特点,焊接生产设计类别及其特点,典型焊接结构的制造工艺,组织焊接生产,进行焊接车间设计和装配焊接辅助机械装备设计等内容。

本书可作为高等院校焊接专业教材,也可作为焊接结构课程设计、毕业设计的教学参考书,还可供从事焊接工作的工程技术人员参考。

032:56

### 焊接结构及生产设计

贾安东 编

天津大学出版社出版

(天津大学内)

天津大学出版社印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 22<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 字数: 562千字

1989年9月第一版 1989年9月第一次印刷

印数: 1—3400

ISBN 7-5618-0143-2

TM·11

定价: 4.80元

## 前 言

由于焊接技术的发展,焊接结构近年来已成为机械制造业(包括重型机械、化工石油设备、锅炉及压力容器、发电设备、船舶、汽车、拖拉机、冶金建筑、航空及航天器等广义的机器制造业)向国民经济建设和国防建设提供重要装备的主要组成部分,焊接结构的生产已经成为机械制造业的支柱产业,并且还在发展,例如机械电子部组织“七五”攻关项目中就有机械产品的拼焊结构,为发展机床焊接结构专门召开了论证会。又如解决我国能源紧缺、电力不足,我国已经开始核电起步,建设核电站必须解决容器和反应堆等焊接结构的设计与制造。要继续发展焊接结构,组织现代化生产,不仅需要焊接冶金、工艺、力学、焊接结构应力与变形、强度和断裂以及焊接检验等方面的知识,还需要有进行焊接结构设计计算和组织焊接生产方面的专门知识,这也是培养焊接专业学生成为合格的焊接工程师所必需具备的知识,为此编写了本书。

本书包括典型焊接结构的设计方法和制造工艺,以及车间设计和装配焊接辅助机械装备设计等内容,引用了国内外目前通行的主要设计规范。可作为高等院校焊接专业教材,也可作为学生进行焊接生产实习、焊接结构课程设计和毕业设计的主要教学参考书,还可供焊接工程技术人员从事焊接结构设计、焊接车间设计和组织生产时参考。

本书编写过程中得到孟广喆教授、凌天成教授、王政副教授、尹文博、甘继堃主任工程师的指导和帮助,许多内容取自孟、凌、王等编写的讲义,尹、甘等为车间设计提供了许多有价值的资料。孙维善副教授对本书初稿进行了详细的审校,对不足之处进行了一些修改,在此一并表示衷心的感谢。由于作者实际经验不足,理论知识有限,书中错误在所难免,敬请读者多多指正!

作者1988年1月于天津大学

# 目 录

<b>第一章 绪论</b>	
一、焊接结构的发展	( 1 )
二、焊接结构的特点	( 2 )
1. 焊接结构的分类	( 2 )
2. 各类焊接结构的一般特点	( 3 )
三、焊接生产的特点	( 3 )
1. 焊接生产及其在工业生产中的地位	( 3 )
2. 焊接生产的组成及设计的基本任务	( 5 )
3. 焊接生产的类别及其特点	( 6 )
4. 焊接生产设计的步骤及内容	( 8 )
<b>第二章 焊接结构和生产设计的内容、步骤与方法</b>	( 10 )
一、焊接结构的设计特点	( 10 )
二、交变应力下结构疲劳计算的发展	( 11 )
三、概率论为基础的极限状态法	( 13 )
四、压力容器应力分析设计准则	( 20 )
五、焊接结构生产工艺过程设计内容、步骤与方法	( 23 )
1. 焊接生产工艺过程设计的内容	( 23 )
2. 焊接生产工艺过程设计的步骤	( 24 )
3. 焊接生产工艺过程分析	( 28 )
六、焊接结构生产的材料加工工艺	( 33 )
1. 钢材矫正	( 33 )
2. 放样、划线与号料	( 35 )
3. 切割	( 36 )
4. 弯曲及成形	( 38 )
5. 清理	( 40 )
七、焊接结构生产的装配工艺	( 43 )
八、焊接结构生产的焊接工艺	( 46 )
1. 几种主要焊接方法的生产特点	( 46 )
2. 焊接工艺评定	( 48 )
3. 确定合理的焊接参数及热参数	( 49 )
<b>第三章 焊接容器</b>	( 50 )
一、焊接容器的用途与结构特点	( 50 )
1. 焊接容器按用途分类	( 50 )
2. 压力容器的分类与常见高压容器的结构	( 57 )
二、焊接容器结构设计的基本理论	( 60 )
1. 薄壁容器设计计算理论	( 60 )

2. 厚壁圆筒应力分析和设计计算.....	( 67 )
3. 我国容器设计计算规定.....	( 71 )
三、典型焊接容器的焊接生产.....	( 77 )
1. 立式圆柱容器的焊接生产.....	( 77 )
2. 卧式圆柱容器的焊接生产.....	( 82 )
3. 球形容器的焊接生产.....	( 88 )
4. 高压容器的焊接生产特点.....	( 93 )
<b>第四章 焊接梁、桁架和焊接柱</b> .....	( 98 )
一、焊接梁.....	( 98 )
1. 焊接梁的用途与结构特点.....	( 98 )
2. 焊接梁的设计.....	( 101 )
3. 焊接梁的生产.....	( 132 )
二、焊接柱和桁架.....	( 141 )
1. 焊接拉杆、压杆、桁架和焊接柱的用途及结构特点.....	( 141 )
2. 焊接柱和桁架的设计特点.....	( 144 )
3. 焊接柱和桁架的焊接生产.....	( 165 )
<b>第五章 复合结构及焊接机器件</b> .....	( 167 )
一、复合结构及焊接机器件的结构特点.....	( 167 )
1. 复合结构及其优越性.....	( 167 )
2. 焊接机器零件的特点.....	( 168 )
3. 某些焊接机器零件的设计.....	( 170 )
二、复合结构及焊接机器件的焊接生产.....	( 180 )
1. 水轮机转轮的制造.....	( 180 )
2. 60000kN 自由锻造水压机下横梁的焊接生产.....	( 181 )
3. 40000kN 冲压机床身的装配焊接.....	( 185 )
4. 焊接汽轮机(燃气轮机)零件的制造.....	( 186 )
5. 4000 马力柴油机机体和汽车传动桥的焊接生产.....	( 187 )
<b>第六章 车、船的壳体结构</b> .....	( 189 )
一、客车、货车(敞车)及槽车(罐车)的结构特点.....	( 189 )
二、客车车体的制造特点.....	( 190 )
三、敞车(货车)的焊接生产.....	( 192 )
1. 敞车侧墙和端墙的制造特点.....	( 193 )
2. 底架的结构及其装配焊接工艺.....	( 193 )
四、罐车的焊接生产.....	( 197 )
五、船体结构及其受力特点.....	( 197 )
六、船体结构的焊接生产.....	( 199 )
1. 船体结构的分段建造法.....	( 199 )
2. 船体结构分段建造法的装配和焊接工艺.....	( 199 )
<b>第七章 焊接车间设计</b> .....	( 206 )
一、装配焊接车间设计内容、步骤与要求.....	( 206 )
1. 装配焊接车间设计内容.....	( 206 )

2. 装配焊接车间设计的步骤	( 206 )
3. 对焊接车间设计总的要求	( 207 )
二、各种生产规模下焊接生产组成部分的确定	( 207 )
1. 工作制度与年时基数	( 207 )
2. 劳动量的确定	( 209 )
3. 设备及工作地的确定	( 224 )
4. 车间工作人员的确定	( 229 )
5. 材料及动力需要量的确定	( 230 )
三、车间平面布置	( 234 )
1. 装配焊接车间平面布置方案	( 234 )
2. 焊接车间平面布置	( 240 )
<b>第八章 装配焊接辅助机械装备</b>	( 256 )
一、装配焊接辅助机械装备的分类、功用及设计特点	( 256 )
1. 装配焊接辅助机械装备的分类	( 256 )
2. 装配焊接辅助机械装备的功用	( 256 )
3. 装配焊接辅助机械装备的设计特点	( 257 )
二、装配焊接夹具	( 259 )
1. 装配焊接夹具中零件的定位和定位器	( 259 )
2. 压夹器和推撑、拉紧夹具及装置	( 263 )
3. 由多种夹具组成的装配焊接夹具	( 284 )
三、装配焊接机械和装置	( 287 )
1. 焊机变位机械	( 287 )
2. 焊件变位机械	( 294 )
3. 焊工变位机械	( 303 )
4. 装配焊接机器人	( 305 )
5. 装配焊接机械装置的综合应用	( 308 )
四、装配焊接机械和装置的设计	( 308 )
1. 设计内容与步骤	( 308 )
2. 悬臂平台式焊接操作机设计	( 309 )
3. 手动焊接变位机的设计	( 310 )
4. 双柱式翻转机的设计	( 314 )
5. 滚轮架的设计	( 315 )
<b>附录一 压力容器焊接工艺评定 (JB 3964—85)</b>	( 318 )
<b>附录二 梁的整体稳定系数</b>	( 342 )
<b>附录三 受压构件稳定系数、许用长细比及截面塑性发展系数</b>	( 345 )
<b>参考文献</b>	( 351 )

# 第一章 绪 论

## 一、焊接结构的发展

自1880~1900年一些重要发明问世以来,焊接技术获得迅猛发展。1910年发明厚药皮焊条电弧焊,使焊接技术用于制造金属结构。第一次世界大战前后已用电弧焊方法制造全焊远洋轮,其他焊接结构也相继诞生。焊接生产获得稳步发展是与焊接技术的发展,焊接结构设计方法的进步,最终是与政治—经济发展的要求密切相关。

今天焊接结构已经基本上取代铆接结构,并部分代替铸造和锻造结构,表1列出截止1976年苏联为机械行业提供的毛坯量所占的百分数,由表可见,除焊接结构外,都是下降的趋势。这个统计结果与目前焊接结构占全部钢产量的45%是相符的。在工业发达国家中,焊接结构扩大应用是一个十分明显的趋势,预计到2000年将超过钢产量的50%。

表1-1 各种工艺制造零件毛坯所占的百分比

类 别	年 代				
	1960	1965	1970	1975	1976
焊接结构	35.5	40.5	45.5	48.3	49.23
冲 压 件	10.1	8.6	8.1	8.03	8.01
锻 件	2.5	2.4	2.2	2.1	2.1
铸 件	51.9	48.5	44.2	41.57	40.66

焊接结构的发展与其一系列优点相关,这已载入有关著作中<sup>[1,2]</sup>。目前焊接结构已经运用于几乎国民经济的一切部门,如工业中冶金建筑、起重机械、石油化工设备、锅炉及压力容器、各种锻压机械等;交通运输业中的船舶、车辆、汽车、拖拉机等;农业机械;能源工业中水轮机全套设备、汽轮机、核能工业设备等;军事工业中的常规兵器、火箭武器、深潜设备等。随便就可以举出一些典型例子,如5080m<sup>3</sup>的巨型高炉炉体结构;420t氧气顶吹转炉炉体钢结构;1200000kW核电站全套设备,包括核容器,高参数锅炉(32.36MPa, 650℃),汽轮机等焊接结构;75000t水压机;480000t超级油轮(油轮长382m,宽68m,高28.6m,目前最大的超级油轮是56万吨);国外已制造大容量水轮机组是675000kW;海洋石油开发用的钻井平台,包括导管架及全套钻采、储藏及海底输油管线等全部都是焊接结构;海洋开发用,也可作为军用的深潜器是用高强度钢HY-130焊制的,可深潜至1830m。目前正在建造用HY-180制造的深潜搜索器,可深潜至6100m。火箭和宇航器中许多重要部件均采用焊接结构,如液体火箭发动机推力室,推进剂贮箱,宇航器的壳体等。阿波罗飞船及其运载火箭有40多个钛制焊接压力容器,其中球形容器最多,最大直径为1270mm,而最大圆筒直径为2440mm,长7320mm。

我国焊接结构应用和生产是解放后才开始的。30多年来,为国民经济建设提供了各种关键设备、零部件等。我国已经能制造运载火箭及核潜艇中的各种焊接结构,年处理2500000t



原油的炼油设备, 300000t 乙烯成套设备, 成批制造 400、1000、2000m<sup>3</sup> 球形压力容器, 30 万千瓦锅炉机组试制成功后仅一年, 又制成 60 万千瓦机组 (锅筒压力达 19.6MPa, 最高工作温度 623℃), 12000t 锻造水压机及各种轧钢机焊接结构, 自制并出口万吨远洋轮及各种工程船, 制造海上石油钻采设备中的大型焊接结构, 如钻井船、海上采油平台导管架结构等, 还成功地制造了 15~22 万千瓦水轮机结构等。总的看来, 我国焊接技术、焊接结构及其生产发展较快, 但目前还存在一些问题, 焊接结构应用面还有待扩大。据国家机械工业委员会系统统计, 焊接结构占钢材消耗量的 22%, 与国外相差甚远。这与我国焊接技术发展情况有关, 虽然在各种先进工艺方法的研究方面基本上没有空白, 但一些先进工艺方法的投入生产、制造产品却很不够。例如我国电子束焊机不少, 但真正投入正常开机, 制造焊接产品的不多。低真空电子束焊已见研究情况的报导, 但和国外已用该工艺制造锅炉联箱差距颇大。高强度钢、铝、钛及其合金等的焊接材料和方法的研究虽有进展也仍有差距。另外焊接结构产品设计和工艺过程设计的研究差距相当大。真正懂得焊接又搞结构设计的人不多。而学焊接的又很少学习各类焊接结构的设计理论和方法、它们的制造工艺和机械化自动化生产方法。

本书将介绍一些典型焊接结构的设计方法和其制造工艺, 以及包括车间设计、装配焊接辅助机械装备设计在内的焊接生产设计内容。

## 二、焊接结构的特点

### 1. 焊接结构的分类

焊接结构设计和生产的特点与焊接结构本身的特点有关。焊接结构有多种分类方法, 如按板厚不同, 分薄板结构和中厚板结构; 按零件毛坯或原材料加工工艺不同, 分为板 (轧材) 焊结构、冲焊结构、锻焊结构和铸焊结构; 按原材料种类分为钢、铝及其合金和钛及其合金结构等等。但较为习惯, 也是较好反映焊接结构设计和生产特点的分类, 是根据结构承载、工作条件和结构的特征来分类。

**梁** 在一个或两个主平面内承受弯矩的构件, 它是焊接结构中最主要的构件之一。例如作为起重机金属结构的关键件, 通常拼焊成工字梁和箱形梁。梁是高层楼房钢结构及工业厂房钢结构框架的主要部分, 还是各种机器结构的基本受弯构件。

**柱** 轴心受压和偏心受压 (带有纵向弯曲) 的构件。轴心受拉和偏心受拉的构件称为拉杆, 其设计计算与柱类似, 而无需考虑整体失稳问题。柱和梁一起组成厂房及高层房屋的钢骨架。

**桁架和塔桅结构** 承受弯矩并由许多杆件组成的大跨度结构属于桁架结构, 用于大跨度工业及民用建筑 (如飞机库、大型公共建筑物金属结构), 还用于大跨度桥式起重机、门式起重机、装载桥及桥梁等。塔桅结构如广播电视塔 (兼作大气监测塔、旅游瞭望塔)、高压输电铁塔、石油钻井塔、火箭发射塔等。

**板壳结构** 用作承受内压、要求密闭的焊接容器, 包括压力容器、锅炉、管道等。还有大型壳体构造物, 如大型储罐 (石油储罐、煤气柜等)、成套冶金设备壳体结构 (高炉炉壳、热风炉、除尘器、洗涤塔、转炉炉体以及钢水包壳等)、水泥窑炉炉壳、大型水轮发电机蜗壳、运送液体或液化气体的罐车罐体等。

另一类壳结构用作运输装备, 有船体 (超级油轮是最大的焊接结构)、军用舰艇、客车

车箱、汽车箱体及深潜器等。

机器结构 包括机器的机体、机座、床身及大型机器零件（如滚筒、齿轮、轴）。

## 2. 各类焊接结构的一般特点

焊接结构的共同特点在有关文献中已作了许多介绍<sup>[1,2,3]</sup>。概括起来，一类是焊接结构的优点，一类是焊接结构的缺点。焊接结构的优点是：相对铆接结构，其接头效能较高，重量较轻，节省金属；铆接厚度在50mm以下，而焊接厚度理论上是没有限制的，这就为制造大厚度的巨型结构创造了条件；焊接结构制造周期短，据统计建造一条200000t油轮，可在三个月内下水，而用铆接法建造时，将需要一年多的时间；焊接结构有很好的水气密性，这是储罐、压力容器、船壳等所必须具备的性能；焊接结构多用轧制钢材制造，承受冲击载荷，过载能力强；对于复杂接头，铆接结构连接复杂，而焊接接头较为简单；训练有素的焊接结构设计人员可灵活地进行结构设计，并有多种满足使用要求的结构形式可供选择，采用简单的对接或角接焊缝构成线型流畅、外形美观、力线传递均匀的焊接结构。综上所述，制造焊接结构工时省，生产准备快，占地小，工艺工序调整容易等，使焊接结构生产投资和管理费用较低，特别当利用铸锻焊综合工艺制造复合结构时，可以制造单一工艺难于生产的结构和不用巨型设备生产大型高级设备的构件，使它达到很高的经济效益。

焊接结构制造中存在的问题和缺点大体有如下几点：焊接难免产生各类缺陷，虽然大多能修复而废品率极低，但是一旦漏检，或修复不当则可能带来严重问题，形成应力集中，降低结构承载能力；特别由于焊接结构是整体的大刚度结构，一旦开裂则很难像铆接结构（或栓接结构）那样在由一零件往另一零件过渡（铆钉）处被制止住，因此焊接结构对于脆断、疲劳、应力腐蚀、蠕变破坏都较为敏感；结构经过焊接，其中必然存在焊接残余应力和变形，不仅影响外形尺寸和外观质量，还对强度有影响，而且对焊后的加工也带来很多麻烦；焊接也改变了材料的部分性能，使结构中性能不均匀；一些高强材料和特种材料施焊困难，易产生裂纹等缺陷；到现在为止，仍缺乏经济而又十分可靠的无损探伤手段。

## 三、焊接生产的特点

### 1. 焊接生产及其在工业生产中的地位

焊接生产和所有生产一样，按照马克思主义的观点，也由生产的要素所组成，即由劳动者（既有体力劳动者，也有脑力劳动者）利用工具、机器设备，在一定生产场所，将原材料或零件毛坯，经过一系列的加工过程，其中包括装配焊接过程，制成焊接结构——焊接生产的产品。其中许多是最终的产品，如大型球罐、广播电视钢塔、煤气柜、热风炉、洗涤塔、钢水包等。更多是最终产品的主要部件，如焊接船壳、压力容器承压壳、油槽车的油槽及底架、工业锅炉炉体、龙门起重机的钢桥架等。也可以是最终产品的零件，如内燃机车柴油机的机体、核电站压力壳、水轮机的主轴、转轮和座环等。

这些产品的加工工艺过程包括：原材料的检验（复验）入库，按产品技术要求合格的材料才许可转入下一道工序；接着是按图纸划线（号料）、下料（冲剪或切割）、校正、坡口加工、卷板（弯曲）或冲压（成型）以及号孔、钻孔等零件加工的过程；再将上述加工合格的零件、毛坯实行装配焊接。这一步充分体现了焊接生产的特点，是其中心环节。由产品结构、生产规模以及焊接技术的发展情况决定采用何种装配焊接工艺和方法。如汽车驾驶室是

薄板结构，大量生产、大多采用冲压件，它决定了应采用专用胎卡具的高效率装配，应采用快速、高质量的电阻焊焊接工艺。又如对于水轮机转轮这种单件生产的巨型铸焊复合结构，采用高生产率的电渣焊焊接工艺较为合理，如果限于工厂条件也可应用手工焊、半自动及自动焊工艺。装配焊接工艺对前期加工提出了要求，如轿车外壳，为外形美观、做到准确的装配焊接和高生产效率，必须采用冲压工艺加工零件。改进装配焊接工艺则可大大提高整个焊接生产的水平，达到高质量、低消耗，所谓“低投入、高产出”——获得好的经济效益。水轮机转轮由手工焊改为电渣焊就是这方面的一个明显例证。

贯穿整个生产过程的还有检验工序。在生产加工的各工序之后都要进行检验，称为工序间的检验。最后，制成品还要进行总检——成品检验。检验是对生产实行有效监督，从而保证产品质量的重要手段。目前工业生产（包括焊接生产）的质量管理已经由最初的质量检验阶段（1920~1945）经质量控制阶段（1945~1960）发展到全面质量管理阶段（1961年以后）。工业产品从生产到消费（使用），包括设计、准备、制造、销售、使用的全过程，全面质量管理（TQC—Total Quality Control）就意味着对这个全过程进行管理（控制）。主要的内容有：①“设计过程的质量管理”包括制定产品质量目标（产品应达到的质量标准，为达到该标准需进行的技术改进措施等）；设计（达到质量目标的）审查和工艺验证；组织新产品的鉴定；产品质量的经济分析以及技术文件的质量保证。②“制造过程的质量管理”主要包括质量“把关”和“预防”。所谓“把关”即通过各种技术检验，保证不合格的原材料、毛坯和半成品不投产，不合格的零部件不转下道工序，保证最终产品达到质量标准；所谓“预防”就是在检验工件的基础上通过工序、工艺质量控制和验证、质量分析等手段减少不合格品，形成稳定生产合格品的制造过程。它通过严格执行工艺规程、合理选择检验方式方法、选用合格的检验人员和掌握质量动态进行工作。③“辅助过程的质量管理”指物质供应的控制、工具供应质量管理和设备保养维修质量等。④“使用过程的质量管理”，指所谓售后服务，如对用户技术服务、产品使用效果和用户需要的调查等。上述全面质量管理内容和任务是每个焊接工程师应当通晓的。

焊接生产质量检验中发现的不合格工艺、工序及成品，一般可以进行改进或修整。在推行全面质量管理的条件下，依靠改进生产工艺、修改设计、改进原材料供应等措施，返修率可缩减到最小。

产品的涂饰和包装通常是焊接生产过程的最后一个环节。这样整个生产过程可以用图 1-1 表示。

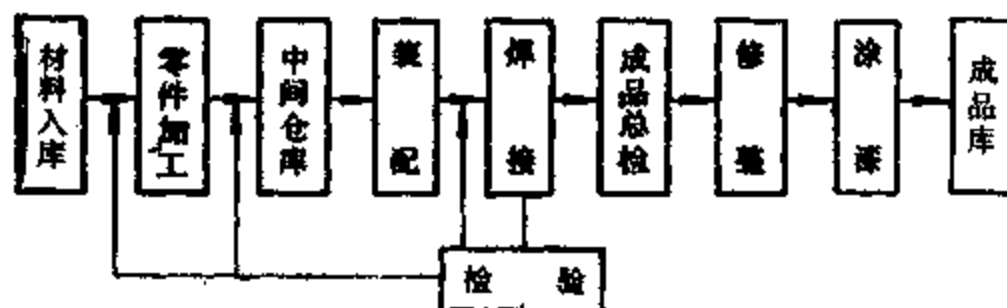


图 1-1 焊接生产过程图

焊接生产已成为一些工业部门的主体或最主要的加工部门之一。如锅炉、化工石油机械、金属结构、船舶、车辆、汽车及拖拉机等。其装配焊接车间或金属结构车间成为最主要的车间之一，它往往是工厂的准备车间、机加工车间、金属及某些仓库的“消费者”，又是

工厂最终产品总装加工车间或成品库的“供应者”、有如图 1-2 所示的关系。车间之间联系密切程度可用物品周转量（吨/单位时间）来表示，联系密切、物品周转量大的车间应距离较近，便于运输，总的制品流向应当比较顺，没有折返运输和回流，这要由工厂总平面设计来决定。

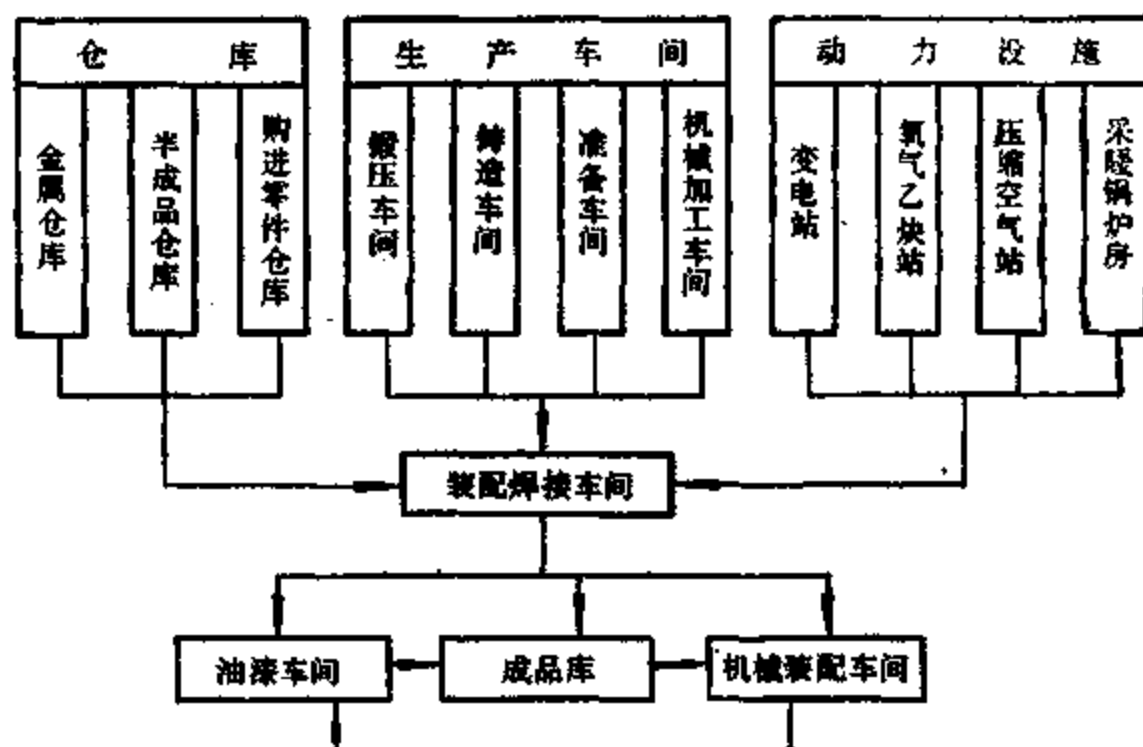


图 1-2 工厂中装焊车间和其他车间关系图

总结前面的讨论，焊接生产已成为供应国民经济各部门各种机器、设备、装备、结构的最主要的生产环节之一，并随焊接技术的发展，铆接的被取代，焊接结构的日益大型化、高强度、高参数化以及各种复合结构的出现，焊接生产在工业生产中占有愈益重要的地位。

## 2. 焊接生产的组成及设计的基本任务

焊接生产的基本组成是：制造产品所需的材料；加工产品（改变金属形状、尺寸、性能和状态）以及保持流水生产必需的设备；供开动生产及运输设备和进行金属加工的各种动力；进行上述各项工作并合理组织在一起的工作人员；以及供产品、设备、工作人员等组织生产的场地面积。

“材料”包括成为焊接结构主体的金属材料及填充材料、辅助材料。其中有各种金属板材和型材；其他加工及外购的零件毛坯和标准件；焊丝、焊条、焊剂、保护气体、燃烧气体以及为冷却机器所用的水。

“设备”不仅有主要的生产设备，如各种下料、成型机床，各种焊机，清除机械及检验机器等，还有辅助设备，如装配焊接用的辅助器具和工艺装备。

“动力”指各种形式的能量。如开动各种机器、焊接设备的电能；金属热成形的燃料；压缩空气；蒸气等。

“工作人员”包括①直接生产人员：基本工人——电焊工、气焊（割）工、铆工（放样、剪切、下料、成形、装配等）等；辅助工人——设备维修工，运输起重工、电工等；工程技术人员——工程师、助理工程师、技术员、技师等。②非直接生产人员：管理人员；服务人员——勤杂工、仓库保管员、后勤人员等。③技术检验人员：检验工；检验技术人员等。

完成生产工艺过程，制造产品全部必需的材料、设备和工作人员必须在一个严格按生产

合理布置的场地里组织起来，以完成焊接生产、制造焊接结构。该组成生产的总空间包括安置生产设备和工人工作地的生产面积；布置通道、车道、储藏室、仓库、行政管理办公室、生活服务设施等的辅助面积；以及与这些面积相应的车间空间高度。

上述生产组成部分内容相当繁多，但都是围绕生产出某种达到一定生产量和规定质量的焊接结构的目的而组成的。它们由生产的工艺过程有机地联系起来。

由以上讨论可知，焊接生产及焊接车间设计主要包括以下内容：

(1) 拟定生产工艺过程（工艺设计），包括选择技术经济合理的产品制造工艺方法、技术检验方法、车间内部零件毛坯、半成品及产品的运输等。

(2) 确定保证制造产品所必需的全部生产组成部分的质量和数量。

(3) 拟定全部生产组成部分在车间里的布置计划。在进行车间平面布置之前，需要预先拟定生产组织管理系统；平面布置决定（车间宽度随之确定）之后再决定车间高度。

(4) 进行非标准设备和装备设计，包括装配焊接的辅助器具及工艺装备，其它生产设备改装等等。

(5) 确定基本的，实现所拟定焊接生产必需的投资，从而决定产品的成本，进行财务分析和经济评估。

上述设计内容中拟定生产工艺过程，特别是装配焊接工艺过程是最关键的问题。由于它是完成其它设计的根据，不仅影响日后生产产品的质量，而且决定整个焊接生产和工厂的经济效益。例如压力容器筒体纵、环缝焊接工艺，可采用手弧焊、气体保护焊、埋弧焊和电渣焊来完成。从劳动生产率和焊接接头质量来看，后三者较高，但电渣焊虽然焊厚壁筒的生产率最高，但焊后接头有粗大魏氏组织，必须经过正火一回火热处理。而圆筒容器的环缝在没有大型井式炉的条件下，进行上述热处理可能造成超限的椭圆变形。在进行了各种比较之后，可以选择纵缝电渣焊（热处理后校圆）、环缝窄间隙气体保护焊的工艺。

按此工艺，相应的其它生产组成部分也确定了。例如设备应是电渣焊机和气电焊机，辅助装备应是焊接滚轮架和焊接变位机；辅助和填充材料主要是焊丝、焊剂和保护气体；材料的准备加工，如坡口的加工应该准确，最好采用机械设备；基本工人及辅助工人也随之确定；由焊接胎位决定的生产面积及布置形式也基本确定。

### 3. 焊接生产的类别及其特点

根据不同类型产品的数量和每种产品的重复生产数，可以把焊接生产分为①单件小批、②中批；③大批和大量生产。当所设计的焊接生产愈接近大批和大量生产时，生产产品的数量愈多，类型愈少（表1-2<sup>[10]</sup>，表1-3，表1-4）；生产工艺过程应拟定得很详细，以便于采用专门、复杂而高效率的设备和装备，采用高生产率的装配焊接方法，采用各种机械化的起重运输设备，快速移动生产的结构和部件；生产设备负荷愈大也愈均衡；生产的组织与调整也更先进。所有这些都导致获得较高的技术—经济指标。

愈接近单件生产，产品数量愈少、类型愈多，因而大多采用通用的装配焊接或起重运输设备及各种用途的其它装备；由于工人对产品熟悉程度和经验不足，从而需要技术等级较高的工人，设备负荷也不均衡，这些都使其技术—经济指标较低。

工业生产常按产品组织生产，组成车间。如汽车厂，往往分为总装配车间（分厂）、车身车间（分厂）、底盘车间（分厂）、发动机车间（分厂）、车箱车间（分厂）等等。在这些车间里往往设有焊接作业线、焊接工段或焊接工位，这些作业线、工段、工位和其他加工

表1-2 根据年生产产品明细表(年纲领)决定的生产类别表(全苏国立机械  
制造工厂建筑设计院)

单件产品 总重(t)	生产类别			
	单件小批	中批	大批	大量
0.025以下	5000以下	5001~200000	200001~400000	400000以上
0.025~0.1	2000以下	2001~100000	100001~200000	200000以上
0.1~0.5	500以下	501~30000	30001~70000	70000以上
0.5~1	300以下	301~5000	5001~50000	50000以上
1~5	200以下	201~3500	3501~25000	25000以上
5~25	100以下	101~2000	2001~10000	10000以上
25~100	50以下	51~1000	1001~2500	2500以上
100以上	10以下	大于10	—	—

表1-3 我国汽车工业生产性质表

生产对象: 载重汽车(t)	生产类别 万辆/年		
	小中批	大批	大量(流水)
2~4	0.5~1.0	2.0~4.0	>5
8~15	0.2~0.5	1.0~2.0	>2

工艺(如冲压、成形、清洗、喷漆等)的作业线、工段和工位混杂排列,组成产品总的流水线,这是大批和大量生产按流水作业法制造产品时采用的生产组织方式。而在单件小批(有时中批)生产条件下,大多以生产工艺组成车间,如大电机厂、压力容器厂、金属结构厂等。全厂的主要焊接工作都是在装焊车间里完成。如前所述,由于单件小批生产技术经济指标低,故为使工厂企业的生产类型升级,可以采用以下措施,以争取较好的经济效益。①组织同类型零件集中生产,并实行工艺典型化。工厂整个产品可能属单件小批生产,但具体到某类型零件,如果集中生产之后,也可能属大批或大量生产,如表1-4中,按年产量属

表1-4 汽车、拖拉机冲压生产性质表

划分方法	单位	生产类别			
		小批	中批	大批	大量
按年产量	台	<10000	10000~50000	50000~150000	>150000
按每台压力机承担工序数	序数	25~50	15~25	3~15	1~3
按连续生产班数	班	<1	1~6	6~15	>15
按零件分					
大型零件展面积>0.6m <sup>2</sup>	件	<10000	10000~50000	50000~150000	>150000
中型零件展面积0.1~0.6m <sup>2</sup>	件	<20000	20000~100000	100000~500000	>500000
小型零件展面积<0.1m <sup>2</sup>	件	<50000	50000~250000	250000~750000	>750000

于小批,而按零件分属于大批或大量的,可在这种零件的生产作业线上组织流水生产;②扩大与其他企业的生产协作,即所谓横向联系,以减少本厂制造的零部件种类;③加强计划

性，在保证按期交货前提下，减少某个时期内生产产品的品种；④加强日常生产调度工作，改进劳动组织，实行“定人、定机、定活”；⑤加强标准化工作，扩大标准件和通用件的范围，达到减少零部件类型数。

#### 4. 焊接生产设计的步骤及内容

焊接生产（包括焊接车间）设计通常有两种情况：①原有工厂或车间在改革或调整过程中，产品改变、产品型号和结构改变、产量改变、或工艺改变（采用新工艺和新设备），从而须进行设计；②筹建新厂设计。

由于设计的复杂性和大工作量，设计质量对基建投资和尔后的施工建设有重大影响。对这种设计工作要分阶段进行，实行逐段审批和严格的多方面监督。过去学习苏联方法，将设计分三个阶段，即初步设计、技术设计和施工设计。当有标准设计或类似企业的现成设计可供参考时，设计可分二阶段：扩大初步设计（包括初步设计和技术设计）和施工设计。党的十一届三中全会以来，随着改革和开放的逐步实行，为加速经济建设速度，避免建设中的失误，在建设工厂的决策确定下来，设计任务书下达之后，通常要进行可行性研究，提出可行性报告，然后才可进行初步设计（相当于两阶段设计的扩大初步设计）、施工设计，所以差不多仍分三个阶段。

根据国家计划，或有关部委的委托，由专门设计院（或有关工程公司）编制可行性研究报告。可行性报告包括编制的依据，拟建工厂的位置、自然条件；拟建工厂的规模，生产技术方案，相应工艺原则，是否考虑引进国外先进工艺及设备；工作制度和年时基数；生产组成部分的概略估算；包括设备和人员，主要物料供应（规格和来源），动力消耗量；产品质量标准；总平面布置；运输及道路；公用设施（如供电、给排水、电信、空压站、乙炔站、中心实验室、供热等）和土建工程；投资估算和资金筹措；财务分析和经济评价——提出拟建项目的技术经济指标；项目实施规划等原属于初步设计的内容，实质上也是决定在当时、当地条件下建设该项目是否合算。

和过去不同的是，考虑到改革开放，我们实行的是社会主义有计划的商品经济，可行性报告还要包括市场情况部分，有国内外生产现状、市场需求调查结果和预测（需求或消费量分析，需求量计算，国外和国内发展趋势），这样就可能避免盲目性。此外，由对控制生态环境的认识，国家制定了相应法规，故可行性报告中还要就工厂建成后对环境的影响加以说明，如有害因素的防止、三废的处理等都要编入报告，总图上对绿化应有所说明等。按社会主义建设一切都是为了人，使建设者生活更美好，享受更高的物质文明和精神文明，可行性报告除总图中应有生活福利设施规划外，还要有劳动安全及防火篇章。

可行性报告附有大量表格，如最重要的技术经济指标表、主要设备装备一览表、投资估算表等等，通过这些指标的比较，可得出经济评价及最终可行性的结论，上报有关领导机关审批，一旦可行性报告被批准，即进入扩大初步设计——现简称初步设计阶段。

在初步设计阶段需将可行性报告所提的原则及有关规定深化和具体化。设计目的是解决建厂中的一系列具体问题。

如生产工艺部分，要根据拟定的工厂产品明细表（产品的质量 and 数量）——生产纲领进行折算，按规定的工作制度、年时基数决定生产组成部分（详细决定其质量和数量）；拟定生产工艺过程，编制工艺文件；进行车间平面布置的设计；提出所需设备装备的规格、技术说明或草图、略图，提出订货明细表。

工艺平面布置及总图设计决定了各车间位置、面积、高度，据此进行土建设计，提出土建平面和剖面草图，还应附有供电、给排水、供热、运输、通风等公共设施的建筑设计。

确定工厂的生产组织及管理系统，详细进行技术经济指标的计算。总之，它是可行性报告的具体化，通常由各有关专业人员合作进行。焊接工艺及车间设计人员主要负责工艺部分的设计。详细拟定工艺过程时要充分考虑生产的性质，确定各工艺工序上加工方法、劳动量、设备及原材料的规格数量，生产产品流动路线、合理的布置等等。

在初步设计完成之后，应能提供主要设备和材料的订货、征用土地、场地施工准备、工厂生产准备的依据。初步设计是一份较为完整的设计文件，它较可行性报告提供更详细的、成套的建厂资料，包括更详细确切的表格，如生产纲领表、工作制度和年时基数表、各种产品的劳动量表、主要设备及平均负荷率表、设备分类明细表、工作人员表、胎具工具夹具及非标准设备和装备表、动力消耗量表、车间组成和面积表、投资概算表及主要数据和技术经济指标一览表等等。

与可行性报告仅提供投资估算不同，初步设计由设计单位负责编制总概算。各车间的概算，工艺部分由工艺设计人员负责编制，土建及公用部分由土建、公用设计人员负责编制，最后由总概算设计人员负责汇总。设计概算是编制基本建设计划，控制建设项目（基本建设）投资、工程拨款和交工验收等的依据，它应与整个设计一道由主管机关（如部局或委托设计单位的上级）审批。经主管机关审批的总概算，不得任意突破，如因设计变更，对总概算有较大变更时，应编制修正概算。

工艺部分概算包括：设备原价、设备运杂费、设备安装费、旧设备拆除费、设备基础费、工具器具及生产用家具费。最后一项费用，通常由总概算设计人员根据全厂设备总投资的百分数来计算，而不用工艺设计人员编制，但属于工具器具范围之内而需要订货的，应列入设备明细表以便订货，但不必填写价格，以免重复。

施工图设计按已批准的初步设计文件及审批意见进行。设计前还应具备水文、地质勘探资料和地形图，落实好施工单位，供电、供水与排水、供热、铁路专用线等协议和规定、关键大型设备定货合同（以取得设备资料等）。

施工图设计包括绘制工艺设备平面安装图及填写设备明细表；车间管道汇总及绘制管线布置图；提供土建及公用等专业任务书和设计资料，这些资料应能满足建筑、公用等专业施工图设计的要求；进行非通用设备、装备及机械化装置的设计，将初步设计中没有解决或解决得不彻底的工艺技术问题、设备问题都妥善解决，以满足当时当地建设施工、设备安装及试运转、装备加工及制造的要求。

施工图设计要符合编制施工预算的需要。施工图由设计部门领导批准即可实施。对施工图的修改也需经一定手续，一般问题的修改由施工配合人员负责解决，并发施工图修改通知单。重大问题及与其他专业密切相关部分的修改，需设计人员、主任设计师在现场解决。

施工图可采用标准设计，但需要注意与总体的配合，与非标准部分的合理衔接、防止盲目套用。



## 第二章 焊接结构和生产设计的内容、步骤与方法

### 一、焊接结构的设计特点

现在国内还没有一本专门介绍焊接结构设计书。钢结构、压力容器、船舶结构、起重运输机械金属结构、工程机械、铁路车辆、汽车拖拉机中的结构物等的设计大多依据有关规范(程) [4, 11, 12, 13] 进行, 并有大量的专著 [5, 6, 7] 对这些结构的设计问题进行讨论。使得这些以焊接结构为主体或全部就是典型的焊接结构的构造物得以发展, 并且继续不断地进步。

根据我国目前的管理状况, 各种焊接结构大致可分为: ①一般建筑焊接结构, 大多依据《钢结构设计规范》进行设计, 这里包括梁、柱、桁架等。近十多年来, 我国推广应用网架结构, 它是按《网架结构设计施工规定》(JGJ7—80) 设计和制造的; ②压力容器依据《钢制石油化工压力容器设计规定》进行设计; ③船舶、海上采油平台按《钢质海船入级与建造规范》、《海上平台入级与建造规范》进行设计、建造和检验; ④起重运输机械、工程和矿山机械中的焊接结构设计都按相应的部标准、厂标准、行业设计规程进行。

一般来说, 各类焊接结构设计步骤大致都是首先根据使用要求(包括技术和经济条件)参照类似结构选择和确定整体方案, 这整体结构方案常常要拟定出几个, 通过对比分析选定一个最优方案; 然后确定其承受的各种载荷; 在选择材料基础上进行结构内力分析; 进一步进行结构元件的计算(包括强度、刚度和稳定性等的计算); 进行结构细节的设计, 包括焊接连接的设计和计算; 绘制施工图, 图中要规定产品技术条件、工艺要求等; 最后就设计结构的构造合理性和技术经济先进性进行论证, 并编写设计说明书。

设计焊接结构应满足以下基本要求:

- (1) 结构在运输、安装和使用过程中必须安全合用, 即满足强度(静载和动载—疲劳强度)、刚度和稳定性(局部稳定和整体稳定性)的要求, 并且使用方便性能优良;
- (2) 结构自重小, 省钢材, 不仅可以降低造价而且节省基础投资和运输费用;
- (3) 制造工艺性好, 可在尽可能短的时间内制造安装完成, 节省劳动量, 降低成本;
- (4) 结构便于运输、安装、维修和保养;
- (5) 外形尽可能美观。

目前包括焊接机器、压力容器等在内的大多数焊接结构采用许用应力法进行设计。按许用应力法进行设计是基于结构应力不得超过屈服限, 保证在弹性范围内工作。即按下式建立焊接结构静强度条件:

$$\sigma \leq [\sigma], \tau \leq [\tau] \quad (2-1)$$

式中  $\sigma$ 、 $\tau$ ——根据结构特点和有关强度理论, 由外加载荷计算出的结构(构件或焊接连接)中的最大应力;  $[\sigma]$ 、 $[\tau]$ ——材料的许用应力。它是根据材料的屈服限(或强度限)除以安全系数  $n_s$  (或  $n_b$ ) 而得出的。表 2-1 所示的为压力容器设计规范中给出的安全系数表。由表可见, 安全系数都是大于 1 的, 这就使得结构有一定的安全储备。当结构的计算应力低于许用应力时, 结构就处在弹性范围内工作。设计规定中许用应力  $[\sigma]$  都是这样计算决

表2-1 安全系数

材 料	对常温下最低强度限 $\sigma_b$	对常温和设计温度下的屈服限 $\sigma_s$ 或 $\sigma_s'$	对设计温度下经10万小时断裂的持久强度		对设计温度下的蠕变极限(10万小时蠕变率1%) $\sigma_n'$
			$\sigma_D'$ 平均	$\sigma_D'$ 最小	
碳素钢、低合金钢 铁素体不锈钢	$n_b \geq 3$	$n_s \geq 1.6$	$n_D \geq 1.5$	$n_D \geq 1.25$	$n_n \geq 1$
奥氏体不锈钢	—	$n_s \geq 1.5^{(1)}$	$n_D \geq 1.5$	$n_D \geq 1.25$	$n_n \geq 1$

注①当容器的设计温度不到蠕变温度范围，且允许有较大永久变形时，许用应力值可适当提高到  $2\sigma_s/3$ ，最高不超过  $0.9\sigma_s'$ （此时可能产生0.1%的永久变形），此规定不适用于法兰或其他有微量变形就产生泄漏和故障的场合。

定的。一些机器焊接结构还需考虑载荷类型来决定安全系数。而剪切许用应力  $[\tau]$  可由  $[\sigma]$  决定，例如通常  $[\tau] = 0.6[\sigma]$ 。

焊接结构中由于焊接连接，新型栓—焊联合结构中的高强度螺栓联接，都会产生包括焊接缺陷在内的不连续，造成应力集中，使承载能力下降，因此焊接连接（栓连接）许用应力应当加以折减。有的规范给出焊缝的折减系数，如压力容器设计规范<sup>[4]</sup>根据焊接接头型式和焊缝无损探伤检验条件，规定了焊缝（折减）系数  $\phi$ ：

双面对接焊焊缝：

100% 无损探伤  $\phi = 1.0$

局部无损探伤  $\phi = 0.85$

不作无损探伤  $\phi = 0.70$

单面对接焊焊缝带金属垫板：

100% 无损探伤  $\phi = 0.90$

局部无损探伤  $\phi = 0.80$

不作无损探伤  $\phi = 0.65$

单面对接焊缝，不带垫板：

局部无损探伤  $\phi = 0.70$

不作无损探伤  $\phi = 0.60$

另外一些规范，如《钢结构设计规范》则直接给出各种条件下焊缝的许用应力（或设计强度）和螺栓连接的许用应力（或设计强度）供设计时选用。

直接承受变动载荷的焊接结构除了计算静强度以外，还必须对结构进行疲劳强度的验算，随力学（工程力学、结构力学和断裂力学）、数学（工程数学包括概率论和数理统计）的发展，以及实验技术的逐步提高，不仅结构疲劳问题的研究及计算，而且一般钢结构和压力容器的设计方法都获得很大发展，有的已经形成新的设计规范（如 GBJ-86《钢结构设计规范》），有的正着手编写（如“以应力分析为基础的石油化工压力容器规范”）。

## 二、交变应力下结构疲劳计算的发展

焊接结构承受动载时，疲劳强度的计算采用降低静载许用应力的方法。即动载许用应力

$$[\sigma_\rho] = \gamma[\sigma] \quad (2-2)$$

式中  $[\sigma_\rho]$ ——动载许用应力，下标  $\rho$  代表应力循环特性， $\rho = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ ；

$[\sigma]$ ——静载许用应力；

$\gamma$ ——动载折减系数；

$$\gamma = \frac{1}{(0.6K_f + 0.2) - (0.6K_f - 0.2)\rho} \leq 1$$

式中  $K_f$  为随接头形式而变的有效应力集中系数，可见参考文献<sup>[2]</sup>表4-4。

按无内应力的小型试件或按实物模拟缩尺做疲劳试验总结得出的疲劳许用应力与应力循环特性（应力比） $\rho$ 、应力循环次数、材料种类、应力集中等因素有关。以拉应力为主的交变应力，其疲劳许用应力 $[\sigma_\rho^b]$ 可用下式表示：

$$[\sigma_\rho^b] = \frac{[\sigma_0^b]}{1 - k\rho} \quad (2-3)$$

该式可由 $\sigma_{\max}$ — $\sigma_{\min}$ 疲劳图推导出来<sup>[1]</sup>。

式中  $[\sigma_0^b]$ —— $\rho = 0$ 时； $N = 2 \times 10^6$ 时的疲劳许用应力；

$k$ ——与疲劳图中临界线有关的常数。

现行钢结构设计规范(TJ17—74)以及铁路钢桥设计规范，考虑疲劳的设计都用式(2-3)决定许用应力，然后按最大交变应力验算，

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma_\rho^b] \quad (2-4)$$

有关规范提供了按式(2-3)决定疲劳许用应力 $[\sigma_\rho^b]$ 的有关常数 $k$ 、 $[\sigma_0^b]$ 等的的数据。这些数据是在缩小尺寸的模拟试件的疲劳试验中所得数据基础上总结得出的。由于实验技术的发展，人们已获得和实际结构尺寸完全相似、各种条件完全相符的疲劳试验大量数据。例如Lehigh大学J.W.Fisher教授领导的研究组，进行了约500根焊接板梁的试验，这些板梁分别具有不同的构造细节（如带盖板、结点板、加筋板等）涉及A-36、A-441及A-514等钢材。大量试验资料表明：对焊接结构而言，影响疲劳强度的最重要因素是应力幅 $\Delta\sigma$ 和构造细节、应力循环次数、钢材、焊材及焊接质量等。由于焊接接头中焊缝附近存在很大的接近屈服限 $\sigma_s$ 的拉伸残余应力，故在 $\sigma_{\max}$ 到 $\sigma_{\min}$ 之间变动的名义交变应力实际是在 $\sigma_s$ 的残余应力之上的一个变动应力，该焊件的疲劳性能直接与应力幅 $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ 有关，而与循环特性 $\rho (= \sigma_{\min}/\sigma_{\max})$ 关系不大。不同构造细节应力集中大不相同，故对疲劳性能影响的差别也很大。焊接梁实验结果表明，它们的应力幅和循环次数的关系（ $\Delta\sigma$ — $N$ ）曲线随构造细节不同而不同，但大体平行。于是根据构造细节的差异对疲劳性能进行分级。得出新的更为合理的用应力幅决定的疲劳强度验算式（GBJ—86《钢结构设计规范》）

$$\Delta\sigma \leq [\Delta\sigma] \quad (2-5)$$

式中  $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ ，非焊接结构 $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - 0.7\sigma_{\min}$

$[\Delta\sigma]$ ——许用应力幅，可用下式决定：

$$[\Delta\sigma] = \left(\frac{C}{N}\right)^{1/p} \quad (2-6)$$

式中  $N$ ——循环次数； $c$ ， $p$ 为由构造细节差异分级决定的常数，如GBJ—86分为8

级, 各级  $c$ ,  $P$  如表 2-2。

表 2-2 系数  $C$ 、 $P$  值

构造和连接 细节分类	1	2	3	4	5	6	7	8
$C$	$1.94 \times 10^{15}$	$8.61 \times 10^{14}$	$3.26 \times 10^{12}$	$2.18 \times 10^{12}$	$1.47 \times 10^{12}$	$9.64 \times 10^{11}$	$6.46 \times 10^{11}$	$4.06 \times 10^{11}$
$P$	4	4	3	3	3	3	3	3

另有些规范如美 AASHTO 和 AREA 规范, 则直接由构造细节不同分 A、B、C、D、E、F 等 6 级确定  $[\Delta\sigma]$  [11]。我国钢结构设计规范 (GBJ—86) 的分级如表 2-3。

注意到对非焊接结构  $\Delta\sigma = \sigma_{max} - 0.7\sigma_{min}$ 。这是因为对于一般非焊接钢结构来说, 应力比的影响很大, 为了仍可用由应力比  $\rho$  决定疲劳许用应力, 以避免在一个规范中使用两种不同的计算方法, 因而采用了上式的近似处理。

### 三、概率论为基础的极限状态法

1956年底国家建委曾建议在我国推广使用1955年正式颁布实行的苏联钢结构设计标准及技术规范 (НИТУ121—55) [8], 该规范采用以结构不符合使用要求的状态作为结构计算的极限状态。根据结构使用可靠性, 从多种可能的极限状态中, 选出下列两种极限状态进行计算:

- (1) 按承载能力 (包括强度、稳定性和疲劳) 的极限状态计算;
- (2) 按变形的极限状态计算

在按照第一种极限状态计算结构时, 需使结构具有必要的承载能力而不破坏。因此基本上要求验算承载能力, 即使结构在计算载荷最不利的组合作用下所产生的计算内力小于结构的承载能力。考虑到载荷的随机性, 载荷可能比结构在正常使用条件下所允许的外部载荷最大值 (即标准值) 大或小, 故需设超载系数; 考虑到材料力学性能的不均匀性, 即比标准中规定的材料的力学性能指标发生偏差, 设置了材料匀质系数; 此外, 结构工作时的应力集中、介质环境、脆性破坏的可能性等都是计算方法中所不能考虑到的因素, 因而设置了结构的工作条件系数。这样就比早期的单一许用应力计算方法考虑得细致, 而且部分地考虑了数理统计原则 (载荷和材质的随机性, 并研究了他们的统计分布)。但有些系数, 如工作条件系数的考虑仅是象征性的。如大部分钢结构的工作条件系数都采用 1, 仅少数结构构件小于 1 (如贮液库外壳和底, 民用屋柱、水塔支座、剧影院等重要公共建筑桁架受压构件、房屋檩条等), 此外, 作出规定的客观依据不足, 同时计算方法较为繁杂。

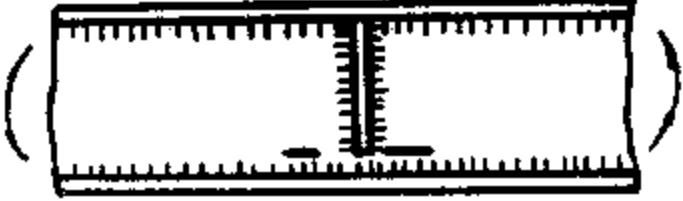

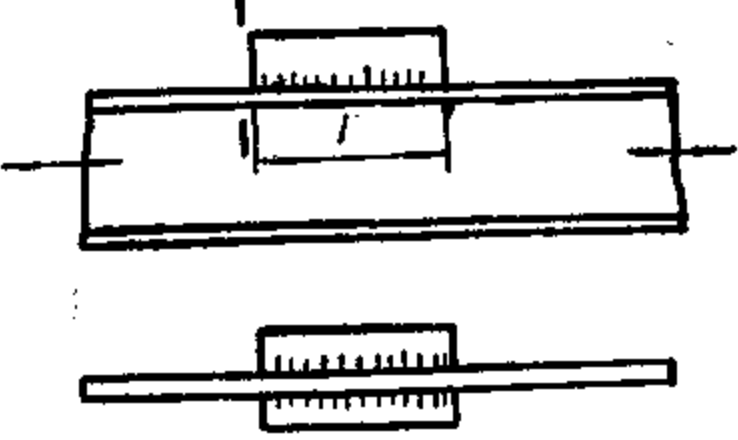

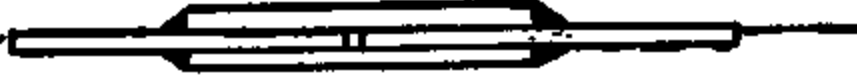
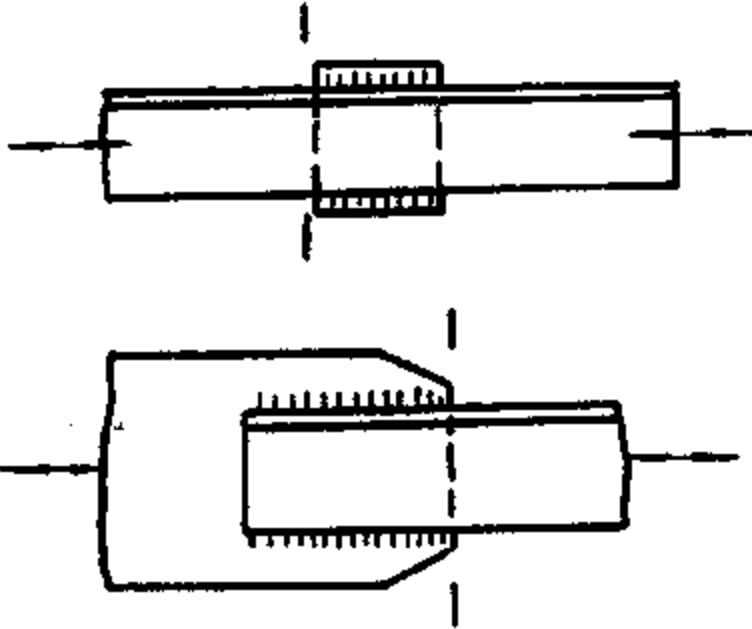
按照第二种极限状态法, 要对使用可能性受变形限制的结构进行验算。由标准载荷作用产生的变形要小于结构的允许变形。有时这两种极限状态的计算要同时进行。

1974年以来实施的《钢结构设计规范》(指TJ17—74)规定采用许用应力法进行设计。这和一开始介绍的许用应力法是一致的, 但不同于早期的以材料最大强度除以一个笼统的安全系数确定许用应力的方法, 它是以结构的极限状态 (强度、刚度——变形、稳定等) 为根据, 对各种影响因素进行数理统计, 并结合我国30多年的工程实践, 进行多系数分析而求出

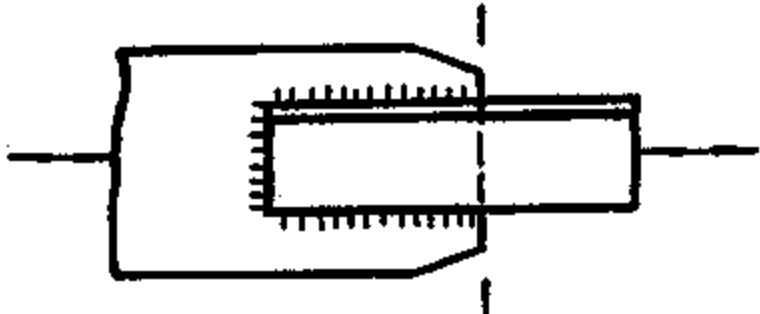
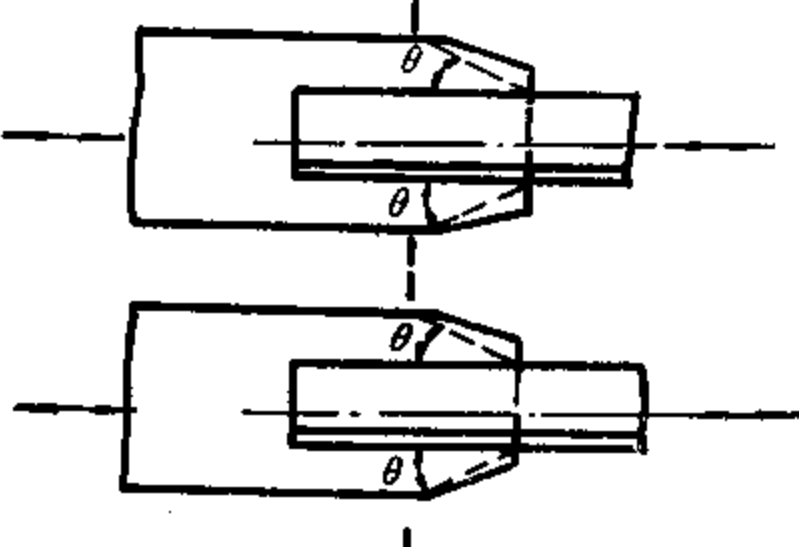


表2-3 构造和连接细节分类表

序号	简 图	说 明	类别
1	2	3	4
1		<p>无连接处基本金属</p> <p>1) 轧制工字钢</p> <p>2) 钢板</p> <p>a) 两侧为轧制边或刨边</p> <p>b) 两侧为自动、半自动气割边 (符合一级标准)</p>	<p>1</p> <p>1</p> <p>2</p>
2		<p>横对接焊缝附近基本金属</p> <p>1) 焊缝经加工、磨平及无损检验 (符合一级标准)</p> <p>2) 焊缝经检验, 外观尺寸符合一级标准</p>	<p>2</p> <p>3</p>
3		<p>不同宽(厚)度横向对接焊缝附近基本金属, 焊缝经加工平滑过渡, 并经无损检验符合一级标准</p>	<p>2</p>
4		<p>纵对接焊缝附近基本金属焊缝经无损检验及外观质量检查符合二级标准</p>	<p>2</p>
5		<p>翼板—腹板连接焊缝附近基本金属 (焊缝质量经无损检验符合二级标准)</p> <p>1) 单层翼板</p> <p>a) 自动焊</p> <p>b) 手工焊</p> <p>2) 双层翼板</p>	<p>2</p> <p>3</p> <p>3</p>

续表

1	2	3	4
6		<p>横向加筋端部附近基本金属</p> <p>1) 筋板端部不断弧 (包焊)</p> <p>2) 端部中断</p>	<p>4</p> <p>5</p>
7		<p>梯形节点板对焊于梁的翼板或腹板处的基本金属, 过渡处在焊后铲平、磨光, 圆滑过渡, 没有焊接起弧、灭弧缺陷。</p>	<p>5</p>
8		<p>矩形节点板用角焊缝连于构件翼板或腹板处的基本金属</p> <p><math>l &gt; 150\text{mm}</math></p>	<p>7</p>
9		<p>翼板中断处基本金属 (板端有正面焊缝)</p>	<p>7</p>
10		<p>正面角焊缝过渡处基本金属</p>	<p>6</p>
11		<p>两侧面角焊缝连接端部基本金属</p>	<p>8</p>

续表

1	2	3	4
12		<p>有正侧面角焊缝端部基本金属</p>	7
13		<p>三面（正侧面）角焊缝连接的节点板基本金属（节点板计算宽度按<math>\theta</math>角等于<math>30^\circ</math>考虑）</p>	7
14		<p>K形对接焊缝（十字接头）基本金属，两板轴偏心<math>&lt;0.15s</math>，焊缝无损探伤，且焊趾角<math>\alpha &lt; 45^\circ</math></p>	6
15		<p>十字接头角焊缝处基本金属，两板轴偏心<math>&lt;0.15s</math></p>	7
16	角 焊 缝	按有效截面确定的应力幅计算	8

注：所有对接焊缝均需焊透，角焊缝应满足规范要求。

的单一安全系数决定的许用应力，所以可认为实质是半概率、半经验的极限状态计算法<sup>[6]</sup>。但这些系数都依据经验确定为一个定值，所以对结构可靠程度的研究仍处在以经验为基础的定性分析阶段。

大多数载荷以及由此而引起的应力  $S(t)$  和材料的抗力  $R(t)$ ，本质上是随机的，即是随时间  $t$  和空间而变动的随机变量，因而结构的可靠性也可用随机变量来表示。进而采用与时间、空间有关的随机过程来记述这些基本变量，建立明确而科学的“结构可靠度”也称为“幸存概率”概念，使其推进到以概率论、数理统计为基础的定量分析阶段。新的《钢结构设计规范》（GBJ—86）即采用了以概率论为基础的一次二阶矩极限状态法，但由于数据不足，故一些基本变量分布仍是相当程度近似。为简化计算又将一些复杂关系线性化，故仍是

一种近似的概率设计法。但已经搭好架子，经过今后不断积累数据和充实发展，将建立起科学的完整的概率设计法。

按此设计方法，确定4种极限状态。但归结起来，要反映结构使用安全可靠——安全性，良好的工作性能——适用性和耐久性的要求。

如以结构功能函数  $Z = g(R, S)$  来描述其工作可靠性（它是安全性、适用性和耐久性的统称）， $Z$  是影响结构可靠性各随机变量的函数。为简化起见，上式只列出荷载效应  $S$  和抗力  $R$  这两个基本随机变量。结构达到极限状态，即由可靠工作转为失效的临界状态，此时  $Z$  由大于零转到小于零，即

$$Z = g(R, S) = R - S = 0 \quad (2-7)$$

此即称为极限状态方程。

按照概率论给结构可靠度（“幸存概率”）可下这样的定义：结构在规定时间内和规定条件下，完成预定功能的概率，也就是满足各极限状态要求的基本功能  $\{Z \geq 0\}$  的事件的概率，用  $P_s$  表示则为

$$P_s = P\{Z \geq 0\} \quad (2-8)$$

当结构处于失效状态时， $Z < 0$ ，则事件  $\{Z < 0\}$  的概率即失效概率（破坏概率） $P_f$  可表示为

$$P_f = P\{Z < 0\} \quad (2-9)$$

并有

$$P_s = 1 - P_f \quad (2-10)$$

由式（2-10）可知，知道了失效概率便可计算出结构可靠度。而绝对安全可靠，即  $P_f = 0$  和  $P_s = 1$  的结构是没有的。

由式（2-7）可知失效概率  $P_f = P\{Z < 0\} = P\{(R - S) < 0\}$  是随机变量  $R$  和  $S$  的联合分布函数。如已知其概率密度  $f(R, S)$ ，根据概率论有

$$f(R, S) = f(R)f(S)$$

这是因为  $R, S$  是相互独立的随机变量。并有

$$P_f = P\{(R - S) < 0\} = \iint_{(R-S) < 0} f(R, S) dR dS = \iint_{(R-S) < 0} f(R)f(S) dR dS \quad (2-11)$$

即已知随机变量  $R, S$  的概率密度  $f(R), f(S)$ ，由式（2-11）即可计算出失效概率和可靠度。可惜还不能给出  $R$  和  $S$  的理论概率密度，也就不能获得完整的概率设计法。

结构功能函数  $Z = R - S$  中， $R, S$  可能为独立的服从正态分布的随机变量，则  $Z$  也服从正态分布。设  $Z, R, S$  的均值为  $m_Z, m_R, m_S$  则其标准差为  $\sigma_Z, \sigma_R, \sigma_S$ ，其方差为  $\sigma_Z^2, \sigma_R^2, \sigma_S^2$ ，则失效概率

$$P_f = P\{Z < 0\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_Z} \int_{-\infty}^0 e^{-\frac{(Z-m_Z)^2}{2\sigma_Z^2}} dZ$$

令

$$u = \frac{Z - m_Z}{\sigma_Z}, \quad du = \frac{dZ}{\sigma_Z}, \quad \text{代入上式}$$



则

$$P_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{0-m_z}{\sigma_z}} e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

当令  $\beta = \frac{m_z}{\sigma_z}$  时, 则上式变为

$$P_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\beta} e^{-\frac{u^2}{2}} du = \phi(-\beta)$$

可见它为一标准正态分布<sup>[9]</sup>,  $\beta$  与  $P_f$  有一一对应关系,  $\beta$  越小,  $-\beta$  越大,  $P_f$  愈大。  $\beta$  被称为可靠指标。根据随机变量数字特征的性质有

$$m_z = m_R - m_S, \quad \sigma_z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$$

故

$$\beta = \frac{m_R - m_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (2-12)$$

可看出, 虽不知  $R, S$  的理论概率密度, 但只要求出  $R, S$  的数字特征, 如均值和方差, 就可求得可靠指标  $\beta$ 。既然  $P_f = \phi(-\beta)$  是标准正态分布, 就可通过正态分布表查得  $P_f$ <sup>[9]</sup>, 从而决定  $P_s$ 。这样就进到提供结构可靠指标  $\beta$ , 失效 (破坏) 概率、可靠度 (幸存概率) 的定量分析阶段。

应用概率设计法, 必须选择确定结构的最优可靠度或失效概率、可靠指标, 以达到结构在技术上可靠与经济上节省。可靠指标 ( $\beta$ ) 的选择可用事故发生概率推算人们可接受的结构失效概率, 或将失效概率与直接造价、维修费及投资风险挂钩, 以及以长期工程实践为基础, 通过对原有规范的反演分析找出今后设计的可靠指标的所谓校准法。我国规范的可靠指标是通过后者确定的。

由于许多原因, 包括随机变量统计参数的近似性, 有些还是非正态分布, 还缺乏各种形式的载荷、材料性能、结构构件抗力的全部统计数据, 难于直接用可靠指标  $\beta$  进行设计; 同时为了避免过于复杂的设计计算, 新规范采用分项系数表达形式进行结构设计, 即

$$r_R R_K \geq r_S S_K \quad (2-13)$$

式中  $R_K$  和  $S_K$  —— 抗力  $R$  和载荷效应  $S$  的标准值;

$r_R$  和  $r_S$  —— 按概率设计法 (包含可靠指标、变异系数、均值和标准差, 以及与小于或大于抗力和载荷效应的标准值的概率有关的变量值等因素) 决定的分项系数。

例如承载能力极限状态 (指结构或构件达到最大承载能力或达到不适于承载的变形的状态) 按载荷效应基本组合进行强度和稳定性设计时, 设计表达式可写作<sup>[6]</sup>:

$$r_0 (\sigma_{G_d} + \sigma_{Q_{1d}} + \psi_c \sum_{i=2}^n \sigma_{Q_{id}}) \leq \sigma_f \quad (2-14)$$

式中  $r_0$  —— 结构重要性系数, 对一、二、三级安全等级的结构件分别取为 1.1, 1.0, 0.9;

$\sigma_{G_d}$  —— 恒载 (如自重) 的设计值  $G_d$  在结构截面或连接中产生的应力,  $G_d = r_G G_K$ ;

$r_G$  —— 恒载的分项系数, 采用 1.2 或 1.0 (当恒载的载荷效应对结构承载有利时);

$G_K$  —— 恒载的标准值;

$\sigma_{Q_{1d}}$  —— 第一个变载的设计值  $Q_{1d}$  在结构截面和连接中产生的应力 (大于其他变载

产生的应力),  $Q_{id} = r_{Qi} Q_{iK}$

$r_{Qi}$ ——变载的分项系数(如下标 1 表示第 1 个, 下标  $i$  表示第  $i$  个变载), 取 1.4;

$Q_{1K} \sim Q_{iK}$ ——第 1 个和第  $i$  个变载的标准值;

$\sigma_{Qid}$ ——第  $i$  个变载设计值  $Q_{id}$  在结构截面和连接中产生的应力,  $Q_{id} = r_{Qi} Q_{iK}$

$\psi_c$ ——变载组合值系数, 无风载时取 1.0, 有风载时取 0.6;

$\sigma_f$ ——结构构件和连接的设计强度  $\sigma_f = \frac{1}{r_R} \sigma_{fK}$ ;

$\sigma_{fK}$ ——材料(如为焊缝, 则指焊缝金属)强度标准值;

$r_R$ ——抗力分项系数。

钢结构设计规范提供了常用钢材及相应焊缝的设计强度值, 如表 2-4 和表 2-5 所示。

表 2-4 钢材(包括铸钢件)的设计强度 (N/mm<sup>2</sup>)

钢 材			抗拉、压和抗弯	抗 剪	端面承压 (刨手低紧)
钢 号	组 别	厚度或直径 (mm)	$\sigma_f$	$\tau_{fv}$	$\sigma_{fc,d}$
3 号 钢 <sup>①</sup>	1	②	215	125	320
	2		200	115	320
	3		190	110	320
16Mn 钢	—	≤16	315	185	445
16Mn <sub>q</sub> 钢	—	17~25	300	175	425
	—	26~36	290	170	410
15MnV 钢	—	≤16	350	205	450
15MnV <sub>q</sub> 钢	—	17~25	335	195	435
	—	26~36	320	185	415
ZG 15	—	—	150	90	255
ZG 25	—	—	185	105	285
ZG 35	—	—	215	125	320
ZG 45	—	—	245	140	370

注① 3号镇静钢钢材抗拉、压、弯及抗剪设计强度可按表中数值增加5%

② 3号钢按下表分组 (mm)

组 别	圆、方、扁钢的直径或厚度	角、工形、槽钢的厚度	钢板厚度
1	≤40	≤15	≤20
2	>40~100	>15~20	>20~40
3		>20	>40~50

对于正常使用极限状态(对应于结构或构件达到正常使用某项规定极限值的极限状态), 结构或构件按荷载的短期效应组合进行设计计算,

表 2-5 焊缝的设计强度 (N/mm<sup>2</sup>)

焊条型号 (自动及半自动焊 配用相应焊丝、焊 剂, 保证熔敷金属 强度不低于手工焊)	构件钢材			对接焊缝			角焊缝	
	钢 号	组 别	厚 度 或 直 径 (mm)	抗压 $\sigma_{fc}^w$	满足钢结构施工及 验收规范的质量标 准时, 抗拉和抗弯 $\sigma_{ft}^w$		抗剪 $\tau_{fv}^w$	抗拉、压 和抗剪 $\tau_{ft}^w$
					I II 级	III 级		
自动、半自动焊和 T42型焊条的手工 焊	3号钢	1	见表 1-3	215	215	185	125	160
		2		200	200	170	115	160
		3	附表	190	190	160	110	160
自动、半自动焊和 T50型焊条的手工 焊	16Mn 钢	—	≤16	315	315	270	185	200
	16Mnq 钢	—	17~25	300	300	255	175	200
		—	26~36	290	290	245	170	200
自动、半自动焊和 T55型焊条的手工 焊	15Mnv 钢	—	≤16	350	350	300	205	220
	15Mnvq 钢	—	17~25	335	335	285	195	220
		—	26~35	320	320	272	185	220

$$f = f_{GK} + f_{Q_{1K}} + \psi_c \sum_{i=2}^n \sigma_{Q_{iK}} \leq [f] \quad (2-15)$$

式中  $f$  —— 结构或构件中产生的变形值;

$f_{GK}$  —— 恒载的标准值在结构或构件中产生的变形值;

$f_{Q_{1K} \sim Q_{iK}}$  —— 第 1 个、第  $i$  个变载的标准值在结构或构件中产生的变形值 (第 1 个变载标准值产生的变形值是最大的);

$[f]$  —— 结构或构件许用变形值, 如梁的许用挠度等。

由式 (2-14) 和 (2-15) 的比较可见, 计算强度和稳定性设计时, 采用的是载荷设计值 (标准值乘分项系数), 计算变形以及疲劳时采用的是载荷标准值。

#### 四、压力容器应力分析设计准则

1977年以来我国颁布了三部 (石化总公司、化学工业部、机械工业部) 《钢制石油化工压力容器设计规定》, 它是具有法定效力的部级压力容器设计标准, 并为国家压力容器安全监察规程认可, 作为设计计算依据。该设计规定是按许用应力法进行设计的, 它主要考虑静载荷, 也考虑风及地震载荷。如考虑设计内或外压力, 包括工作介质重量的静压力, 容器上附加设备、物件、保温层等产生的外载、风载和地震载荷, 温差和热膨胀产生的热应力等等。但不计及机械振动及脉动载荷。在上述载荷作用下, 用平面力系解 (即不考虑三维), 以弹性失效准则来判定容器的强度。即对载荷引起不同应力 (拉压、弯曲、扭转、剪切等或其组合) 均给予相同的许用应力值。对于实际存在的差别, 采用调整计算公式中有关系数的方法予以考虑。按此准则不允许结构出现塑性变形, 即最大应力不许超过弹性范围内某一许

用值。这种设计方法简单，没有对容器中的应力按强度准则分类并建立分析方法的数学模型。如容器中存在的一次局部膜应力、弯曲应力、二次应力及它们的组合等则采用一些分析准则将其控制在与使用经验相吻合的安全水准之上，用应力增大系数、形状系数等加以考虑。设计规定中也没有给出疲劳设计的细节要求，仅个别部件给出疲劳曲线估计疲劳寿命，对结构不连续处要求圆滑过渡以减小峰值应力。总的看，设计规定虽然应用应力分析法对封头、管板以及容器开孔及开孔补强等进行了分析计算，对重要容器设计规定进行校核，并拟定了相应的各项系数，但是设计规定并未强调采用应力分析方法。

随着石化、原子能工业的发展，焊接压力容器趋向高参数，对其设计提出更高的要求，用“常规设计”或“规则设计”的上述设计规定就显得不够了。例如，在几何或载荷不连续处存在应力集中，系数可达3~10，按最大应力进行设计，使其小于许用应力显得太保守，壁厚尺寸也太大，如不考虑最大应力，则可能存在疲劳或脆断的危险。还有，实际操作过程中存在机械应力和热应力，用统一的许用应力也难于考虑等。这样就产生了建立在弹塑性理论、数值分析和电算技术、实验力学及其测试技术发展基础之上的应力分析设计规范。世界上第一部应力分析设计规范（ASME Section III—1965 “Rules for Construction of Nuclear Vessels”）是供核容器设计用的，经过15年使用，不断发展完善已于1979年为国际标准化组织（ISO）采纳为草案。除美国外，英、日、法等工业发达国家也都制定了相应的设计规范，我国的应力分析设计规范也在拟定之中。

应力分析设计准则与“常规设计”最大不同点在于除了进行必需的按平均应力进行的常规强度设计计算外，还提供了容器构件及其连接部位进行详细应力分析的规则。此时将载荷和应力进行分类，按类别的不同，许用的应力极限不同，按不同类别和不同的许用应力并考虑将应力进行组合，然后加以评定。主要类别有：一次应力（包括总体一次膜应力、局部一次膜应力、一次弯曲应力）、二次应力、峰值应力。使这些应力及其组合都小于规定的许用应力值，从而达到：

1. 控制一次应力极限，以防止过分弹性变形（包括弹性失稳）；
2. 控制一次应力极限和二次应力极限的迭加，防止过分弹性变形和塑性不稳定性，并防止增长性破坏；
3. 控制峰值应力极限，以防止由于周期性载荷引起的疲劳破坏。

所谓一次应力也称为基本应力，即第一位的、首要的应力。它与外部机械载荷相平衡（按静力平衡条件）、分布范围大，具有总体性，是导致结构破坏的直接原因。随着塑性流动的增加它还不断增加，称为无自限性。按厚度分布情况，一次应力又可分为沿壁厚均布的一次薄膜应力及沿厚度线性分布的一次弯曲应力。这两者虽均属一次应力，但由于后者先是上下表面屈服，中部仍为弹性区可继续承载，应力沿壁厚可以重新分布和调整，故对其进行极限载荷概念的分析与控制时，允许有比一次膜应力高的许用应力。局部膜应力是在局部区域内，由于几何、材料或载荷方面的不连续而产生的薄膜应力，作用区域小，限于局部。

所谓二次应力是满足变形协调所需要的应力。它同一次应力一起满足变形连续的要求。若把结构——约束系统作为整体考虑，则二次应力构成自平衡力系，它所引起的局部塑性流动将被周围低应力区的弹性变形或边界约束所限制。在载荷一定，结构各部分之间弹性变形不协调而引起的不连续量也一定，则达到协调需要附加的总变形量也随之确定。变形一达到协调，塑性流动就停止，二次应力具有自限性。但是当载荷多次循环，二次应力导致结构丧

失安定性时，便进入缓慢的破坏过程。如边缘效应区的应力、整体热应力、焊接残余应力等都属二次应力。

峰值应力是附加于一次与二次应力总和之上的应力增量，是更局部、更集中的应力，作用范围与壁厚同一量级，对结构的承载能力几乎没有影响，仅是形成疲劳裂纹或脆断的可能原因。峰值应力同样具有自限性，又有集中性。

采用应力分析法进行设计计算时，应用强度理论对所求各项应力进行评定。

首先是将总应力分解成一次、二次及峰值应力，例如承受内压的厚壁筒（第三章还要详细介绍）此时沿壁厚应力分布不均，并有厚度方向的应力，即应力是三向的。在一个方向上可以分解出均布的、平衡内压所必需的一次应力，以及沿厚度线性分布的弯曲应力（属二次应力，因它使断面变形协调而产生），非线性分布的二次应力等。同一方向上同一类型应力合并，所得同一类型三方向应力可利用应力状态理论计算折合应力，此时和“常规设计”主要采用最大正应力理论（第一强度理论）不同，而是采用第三强度理论——最大剪应力理论。即当存在三向主应力 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 且 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ 时，则按此理论，破坏条件是： $\sigma_1 - \sigma_3 > \sigma_0$ 。其中 $\sigma_0$ 是单向加载时的破坏应力。用 $S$ 表示应力差，则 $S = \sigma_1 - \sigma_3$ ，相应强度准则为：

$$S \leq [\sigma]$$

此外，考虑到结构材料是一无应变硬化的理想弹塑性材料，结构一点的应力强度达到屈服限时，整个结构并未失效，只有当全截面上各点应力都达到屈服时，结构才达到其极限承载能力。以一矩形截面梁受纯弯曲作用情况为例，其表面达到屈服（图 2-1a），中间还远未屈服时，载荷可以继续增加（图 2-1b），表面应力不增加而使相邻面陆续进入屈服，直到全截面都达到屈服（图 2-1c），此时所承担的弯矩比仅表面屈服的弯矩大 1.5 倍，见图 2-1。相当于使最大应力等于 1.5 倍许用应力为其强度条件，即

$$\sigma_{max} \leq 1.5[\sigma]$$

这就是说按极限分析局部膜应力和弯曲应力的强度可以等于 1.5 倍许用应力。这个矩形截面梁推导的理论，对圆形截面梁和菱形截面梁还有所不同（分别增大到 1.7 和 2.0 倍）取 1.5 是一种粗略的估计。

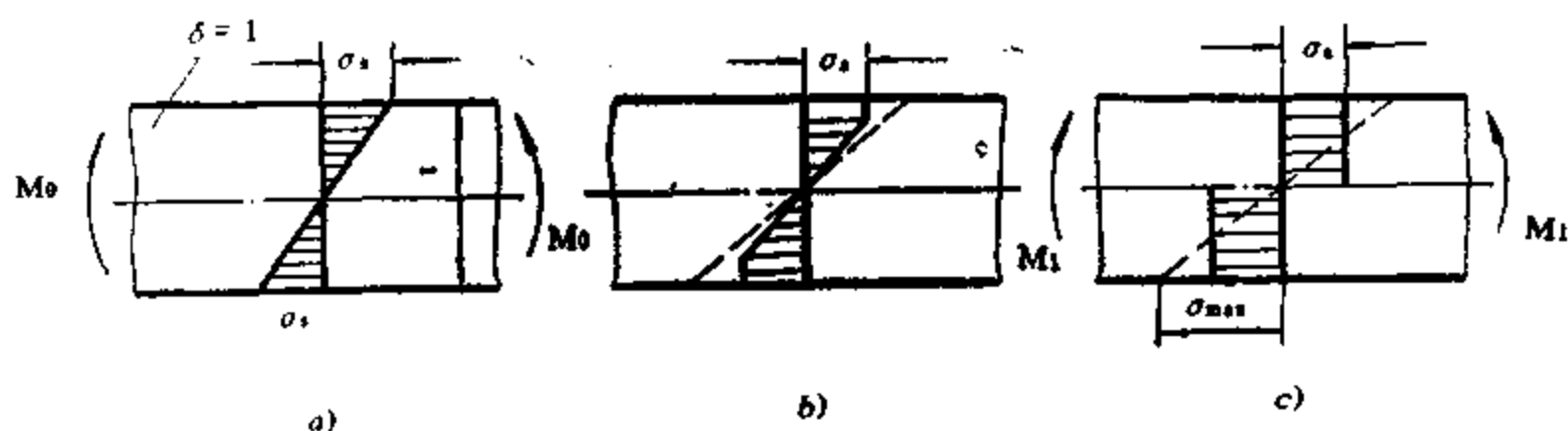


图 2-1 理想弹塑性截面正应力

a) 表面刚进入屈服，受 $M_0$ 弯矩，按弹性公式有 $\sigma_s = \frac{6M_0}{t^2}$

b) 与表面相邻面陆续屈服，实际应力不大于 $\sigma_s$ ，但按弹性公式计算，应力如虚线所示。

c) 全截面屈服，承担弯矩增至 $M = \sigma_s \cdot \frac{t}{2} \cdot \frac{t}{2}$ ，则按弹性公式计算应力如虚线所示，增至

$$\sigma_{max} = \frac{6M_1}{t^2} = \frac{6\sigma_s \cdot \frac{t^2}{4}}{t^2} = 1.5\sigma_s$$

在一次、二次应力作用下、局部达到屈服，材料发生流动，卸载后，必须加相反方向的应力，变形才能完全消失。经几次反复之后，变形趋于协调，塑性流动就自动停止，以后的加卸载应力应变关系仍是弹性的，此时称为结构安定。当多次循环，结构失去了安定性，屈服过大形成塑性（应变）疲劳，或棘轮损伤，造成缓慢破坏，故应对二次应力迭加后进行安定性评价。分析表明，对于单向应力状态，虚拟应力不得大于  $2\sigma_s$ 。当取安全系数  $n_s = 1.5$  时，虚拟应力应小于  $2\sigma_s = 2 \cdot \frac{\sigma_s}{1.5} \times 1.5 = 2 \times 1.5 \times [\sigma] = 3[\sigma]$ 。故安定性分析要求一次加二次应力小于  $3[\sigma]$ 。

对于峰值应力可按其影响，由疲劳曲线确定许用应力幅，安全条件是限制一、二次应力加峰值应力不得超过许用应力幅。

这样，在压力容器应力分析规范中，对各类应力都分别加以限制，如表 2-6 所示。

表 2-6 各类应力及许用值

应力类别	各规范通用符号	许用值
一次薄膜应力	$P_m$	$[\sigma]$
局部一次薄膜应力	$P_l$	$1.5[\sigma]$
一次弯曲应力	$P_b$	$1.5[\sigma]$
一次薄膜（或局部一次薄膜）应力加一次弯曲应力	$P_m(P_l) + P_b$	$1.5[\sigma]$
一次应力加二次应力	$P_m(P_l) + P_b + Q$	$3[\sigma]$
一次应力加二次应力加峰值应力	$P_m(P_l) + P_b + Q + F$	不超过由疲劳曲线所确定的许用应力幅 $S_s$

## 五、焊接结构生产工艺过程设计内容、步骤与方法

工艺过程设计是焊接生产设计（包括焊接车间设计）的核心。一方面工艺过程设计贯穿于焊接生产设计的始终，如在可行性报告中，提出生产技术方案，制定相应的工艺原则；在初步设计阶段，拟定生产工艺过程、编制工艺文件；在施工图设计阶段则要彻底解决全部生产工艺技术问题，以达到试生产和试运转要求。另一方面工艺过程设计又决定了车间设计和非标准工艺装备设计的水平和要求，是进行后者的依据。工艺设计的好坏直接影响产品的质量、决定着焊接生产设计的综合技术经济指标。

### 1. 焊接生产工艺过程设计的内容

总的说来，工艺过程设计就是根据生产任务的性质（由生产纲领所决定）、产品的图纸及技术条件、工厂的条件（老厂新产品工艺设计）运用现代焊接技术及相应的金属材料加工和保护技术、无损检测技术等，来拟定产品的全部生产工艺，解决全部生产技术问题。这些问题是：

(a) 将产品分解成总成、部件、组件、零件，确定他们加工方法、各工艺参数及相应的工艺措施。

(b) 确定产品的合理生产过程, 包括各工艺工步的次序。

(c) 决定每一加工工序所需用的设备、装备的规格型号, 对非标准设备, 则应提出其结构原理图。

(d) 拟定生产流程的起重运输方式并选定其设备。

(e) 计算产品的工时定额, 金属材料、辅助材料、填充材料的消耗, 从而决定各工艺工序所需工人数量及等级、动力消耗等, 这也是进行车间设计的重要依据。

由于研究出各种新的、先进的焊接工艺方法, 焊接冶金学和焊接材料科学的发展, 焊接应力和变形得到进一步控制, 焊接结构强度和断裂问题的研究不断取得进展, 使上述生产技术问题得到了妥善解决。

## 2. 焊接生产工艺过程设计的步骤

### (1) 准备工作

首先要研究将要生产的产品清单。清单中按产品结构分成若干类、组并注明产品的年产量, 这就是生产纲领。如前所述, 生产纲领决定了生产的性质, 而它又是决定生产工艺技术水平的重要依据。

其次要研究产品的图纸和技术条件, 了解产品的结构特点, 为什么要这样设计, 制造时有何困难, 能否用更好的设计对其加以改进等, 特别要注意产品各部分之间的连接、各接头的设计及其重要程度。研究产品技术条件还应包括产品的成品检验及各工艺工步的检验、成品验收的技术条件。

工艺设计师总是考虑是否有工艺性更强的、更完善的结构去代替原设计, 当然在作这种改进的时候, 不能降低其承载能力和其他工作性能, 这就要求工艺设计师不仅熟悉生产工艺, 而且有足够的结构设计知识并了解产品使用条件。例如, 油罐车的罐体(见第三章), 原设计筒体的上板与底板为搭接形式, 这种接头影响了焊接工艺的自动化, 滚轮(支座)架无法正常工作。当结构由搭接改为对接时, 每台车可节约钢材 150 余公斤, 使自动焊占油罐总焊接量 80% 以上, 焊接生产效率提高了 2 倍多, 而且提高了罐体的强度。与此类似, 大型立式储罐的环缝也设计成搭接。由于施工方面的原因, 对于工地建造的这种结构, 仍采用搭接接头。当使用金属结构工厂预制立式储罐的筒体、罐顶和罐底时, 预制件可在电磁平台上全部采用埋弧自动焊对接, 然后卷成筒状, 运往工地展开, 焊接最后的安装焊接缝(详见第三章立式储罐的工厂建造), 这无疑大大提高了结构制造的机械化和自动化程度, 有很高经济效益, 而且经过试验研究证明卷曲罐体不会降低结构的承载能力。

工艺设计师除对新建工厂的产品进行生产工艺设计之外, 在许多情况下, 还对已建工厂的新产品进行工艺设计, 此时准备工作还要包括对工厂生产条件和生产能力的调查。

### (2) 产品的工艺过程分析

在上述准备工作的基础上, 可以对产品的制造工艺过程进行分析和计划, 并制定出工艺原则。对一个设计可能提出几个方案, 都列出其利弊, 以供主管部门选择和批准。

在进行工艺分析时, 首先要注意待制产品的结构和技术要求, 工艺上有何特点, 参考类似产品(包括国外的)工厂的生产工艺, 依据所进行工艺设计的工厂的具体条件(现有生产设备、厂房条件、工人技术水平等)初步确定加工工艺和相应的技术水平。同时对重要的零部件和关键工艺工序进行深入的分析 and 比较, 从保证焊接产品的质量、满足和超过其技术条件要求、降低劳动量和成本(对采用现代化、机械化和自动化的先进工艺的可能性进行分

析), 提出几个方案。最后, 经过选择批准一个方案, 制定出工艺过程。

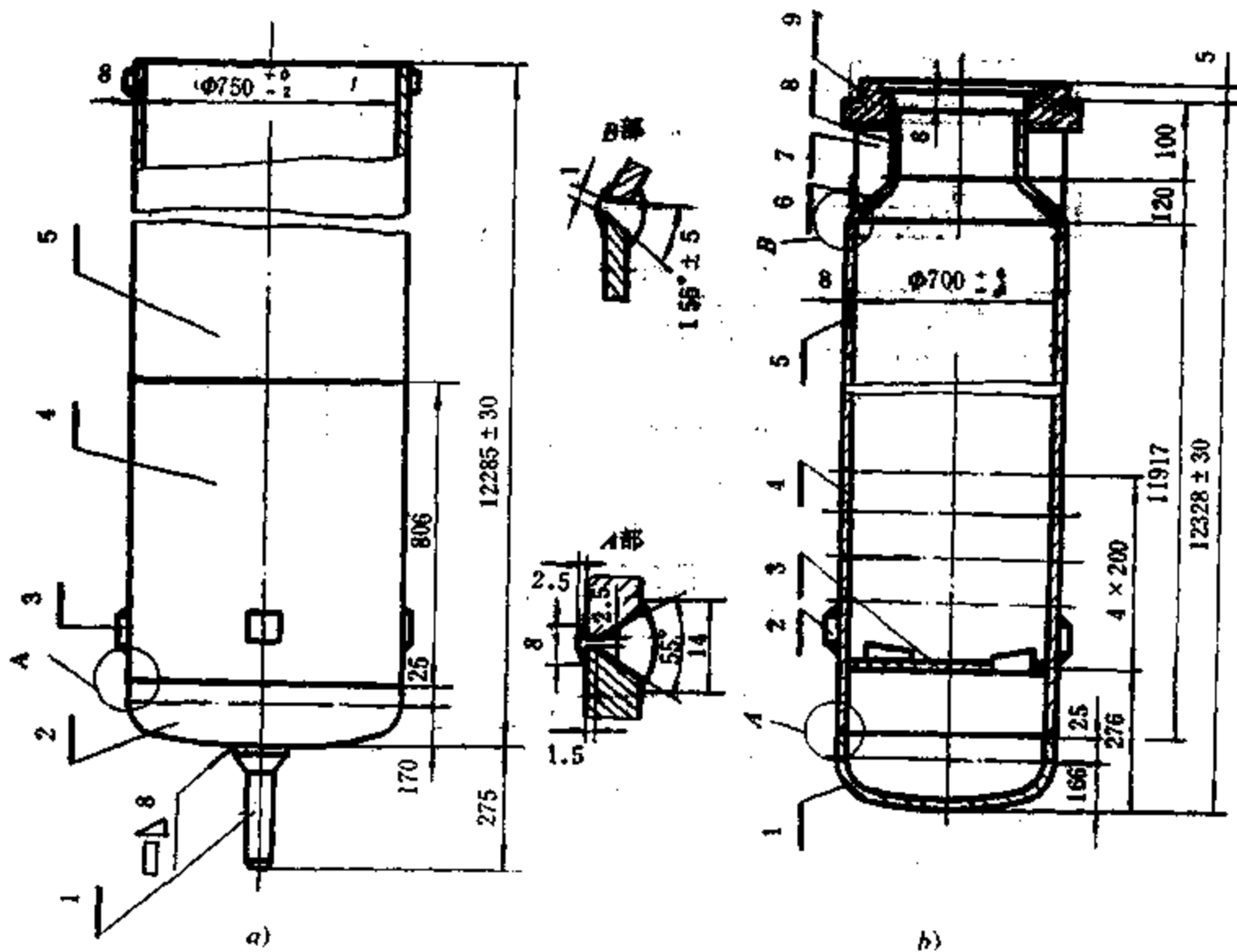
### (3) 制定工艺过程

在所确定的最优工艺方案基础上, 进行工艺过程的编制。焊接生产过程包括各种制造工艺、检验工序和运输工步。装配——焊接车间(金属结构车间或焊接结构车间)产品制造工艺过程往往包括非常不同的两个过程: 一为零件加工制造; 一为零件、部件及产品的装配和焊接。如前所述, 对产品制造起主导和决定性作用的是装焊过程, 前一过程服务(和服从)于后一过程, 提供达到质量和数量的零件毛坯。

在编制工艺过程时, 总是由初步的(粗略的)到详细的(最终的)。在现有工厂进行新产品工艺过程编制时, 总是在工艺方案基础上, 初步地制定工艺过程, 包括:

- (a) 按产品图纸及技术要求将产品分解为总成、部件、组件和零件, 并确定其加工次序。
- (b) 确定各零件、组件、部件和总成的合理的连续加工方法, 包括零件的准备及装配焊接工艺、检验方法等, 以及在各工艺工序上的要求, 还要进一步拟定达到这些要求的工艺措施。
- (c) 进行必要的经济活动分析和成本的初步核算。
- (d) 选择装配焊接下料及机加工所用设备、机床和装备的规格型号。

在编制过程中同时提供工艺技术路线图和生产过程综合(一览)表。图 2-2 所示为尿素合成塔的不锈钢内套筒及外套筒的工艺路线图。表 2-7 为生产过程一览表的格式示意图。工艺路线图主要表示零件、组件、部件和结构的装配焊接次序, 有的还注明零件加工工艺次





序；而工艺过程一览表则记载了加工工艺的简要说明，包括组成的零件名称、材料、重量、工人、设备及装备，以及劳动量和消耗定额。

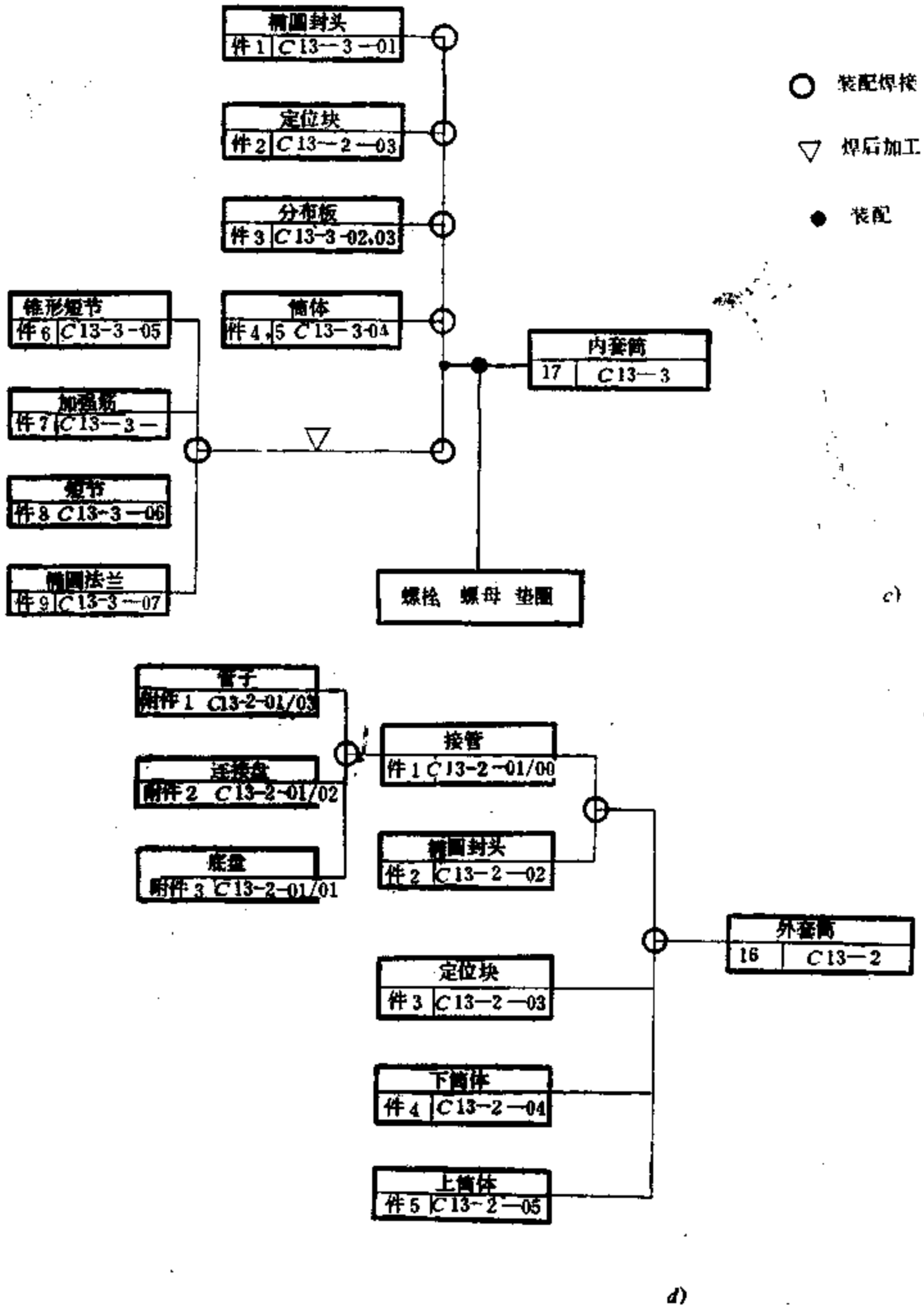


表 2-7 生产过程综合表 (一览表) 示例

序号或 工位号	总成、部件、 组件名称	零件 名称	工艺过程简要说明 (附图)	工人 (工种及时 间定额)	设 备 (名称、数量、 型号)	非 标 (名称、数 量)	工卡量具 (名称及数 量)	注 备	工厂			
									车间	校对	拟定	

在上述工作的基础上，在工厂的工艺技术部门、设计部门和劳动管理部门参与下，由生产车间组织产品的试生产。试生产过程中对产品的设计和技术条件进行全面检查，对工艺过程设计进行实践检验，不当之处进行修改，最后拟定出最终的（详细的）工艺。详细制定的工艺过程以工艺文件形式固定下来，经过会签和领导批准，作为以后组织生产的依据。最终的工艺文件还包括工艺卡片。工艺卡片又分为装配综合卡片和焊接卡片，它比一览表更详细地规定了每道工序的工步加工次序、工艺方法、所用的生产设备、辅助设备、加工工艺参数、劳动量、延续时间、工人的工种等级与数量、材料（主要和辅助的）及其消耗、动力消耗等。工艺卡片上应该有工艺说明简图。见表 2-8 和表 2-9。

许多焊接结构由于非常重要，在选定焊接方法和制定焊接工艺参数时，需要按国家或部或企业的有关标准（规程）进行工艺评定，参见附录一。

最终制定的工艺过程应该达到：

(a) 全部生产工序和工步（包括装配、焊接以及机械和热加工过程）有最小的劳动量。这要通过合理地采用高生产率的、机械化和自动化的装配和焊接方法，应用现代化设备和装备，防止焊接应力、变形及其他缺陷，保证最好的质量来达到的。

(b) 制造产品延续时间最短，该产品的循环节拍应与其生产纲领相适应。

(c) 利用多面手，兼职进行多工位、多机床管理，提高机械化水平等方法，压缩工人数量到最低。

(d) 使设备、装备（包括起重运输的）有最高的负荷，使其利用率最高、总数最少。

(e) 降低废料率，使材料消耗最少。

(f) 生产的能源消耗最低等等。

在进行新厂的设计时，视工厂（车间）的生产性质不同，生产工艺过程编制的深度不同。对成批和大量生产的，适用上述过程。而对于单件小批生产性质，只编写初步工艺，提出工艺技术路线图和一览表，说明整个生产过程，为下面的设计和尔后组织生产准备条件即可。

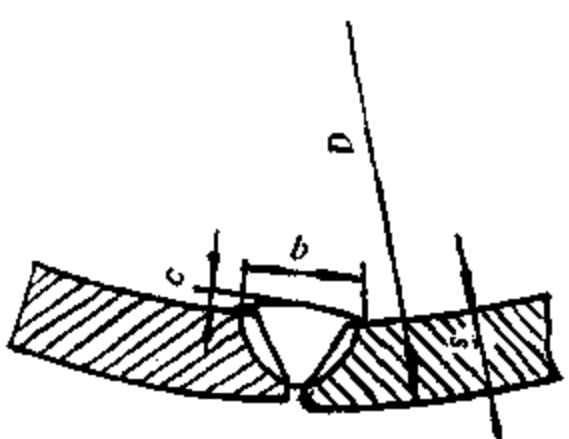
### 3. 焊接生产工艺过程分析

#### (1) 焊接生产工艺分析的原则

工艺分析一般应遵循在保证产品技术条件的前提下，取得最高经济效益的原则。在取得工艺设计全部原始资料，开始工艺分析时，首先要考虑的是采用何种工艺方法和措施，使产品达到设计技术条件的要求，产品质量是好的，而且工人的劳动条件应该是优越的——起码是可以接受的。另一方面，这些方法和措施应有较高的劳动生产率，低的劳动量、材料和动力消耗，使产品的成本较低，投入市场有较强的竞争力，从而取得高的经济效益。就是说要选择技术和经济效果都较好的措施，这两方面常常是矛盾的。例如，工作在动载下的一些重型机械焊接结构，为消除焊接应力应进行退火处理。但热处理工艺会大大增加产品的成本。若不采用这个工序，则结构使用一年到一年半左右，在靠近焊缝的基本金属中会出现裂纹，经修补后在临近的新的地点再度出现裂纹。许多结构经再三修补，仍出现新的裂纹，只好拆下报废。故采用热处理工艺是提高产品质量的重大措施，它提高了产品竞争力，增加了社会效益，非常值得。当采取降低产品成本的措施时，须进行经济核算，如确实能达到预期效果，才能决定采用。根据采用工艺装备的目的，有的工厂将所需工艺装备分为几种序列：零序列——没有这种工艺装备，产品根本没法制造，这种装备须迅速安排设计，在产品试制之前就



表2-9 焊接工艺卡示例

工厂	焊接工艺卡	工步	工步号	车间工段	工艺过程号								
车间		自动焊	12	5									
		零件、组件、部件名称: ...外壳			图纸号: NO. C13-3								
		每批数量	50台件		设备及工作地:								
		材料	A3		自动焊小车 MA-1000-2								
		焊接种类	埋弧自动焊		焊接变压器 TC-1000-3								
		工人工种	自动焊工		工作地: 2-2号								
		工人数量	1										
		工种级别	6级										
工序工步号及说明	辅助材料及装备	电流	电压	焊丝	焊速	板厚	500	750	1000	1250	2000	焊缝尺寸 (mm)	
		I (A)	U (V)	直径d (mm)	(mm/s)	(mm)	焊成筒节时间 (min)					b	c
1.调整待焊焊缝至下部便于水平焊	焊剂 350	600	36~38	5	14	6	7.4	8.2	8.9	9.6	11.4	12	20
	焊接滚轮架	650	38~40	5	12.4	8	7.5	8.3	9.0	9.8	12.0	13	2.5
2.对中焊机后,撤布焊剂、设焊剂垫	焊丝 H08A	700	38~40	5	12.5	10	7.6	8.4	9.1	9.8	12.2	14	2.5
		750	40~42	5	11	12	7.6	8.4	9.2	10.0	12.4	14	3.0
3.调整焊接参数需要值启动焊机		775	40~42	5	7.8	14	7.8	8.7	9.6	10.5	13.2	14	3.5
		800	40~42	5	6.4	16	7.8	8.8	9.8	10.8	13.8	15	3.5
4.收集未熔化焊剂													
更改号	号	编制		校对		批准							
	签名												

要制造出来; 1序列——提高产品质量必需的工艺装备; 2序列——提高产品生产率而采用的工艺装备, 对于后者, 要计算生产率提高后, 产品成本因工资支出减少而降低的值, 此值要大于制造装备的支出分摊到每台产品上的成本增加值, 否则是不适宜的。

在进行工艺分析时, 还应贯彻国家当前的方针政策(如制造产品的重要性、迫切性)生产厂如是新设计工厂, 还应考虑工厂投资及偿还期、重点工程还是一般工厂、建厂进度要求和生产纲领等。

(2) 焊接生产工艺分析的方法

与其他加工工艺分析方法一样, 焊接工艺分析通常从以下两个方面考虑: ①保证焊接结构的技术条件; ②采用先进工艺的可能性。

满足产品技术条件的要求是产品质量合格的前提, 因此是最起码的。要做到这一点, 首先根据对产品结构特点和工艺特点的研究, 估计制造过程中可能遇到的困难, 密切注意与技术条件要求有关的那些工艺工序, 它们就是工艺分析中的主要对象。

例如, 桥式起重机桥架结构, 属于工作在动载下的重要焊接结构, 工作条件较为恶劣, 破坏后会产生严重后果, 故要求焊接接头有优良的质量。由于基本金属为焊接性优良的低碳钢和普通低合金钢, 这方面困难不大。桥架技术条件中对其外形尺寸有较高要求, 这也是强

度和稳定性方面的要求，因为是防止整体失稳所必需的。鉴于产品尺寸大，焊缝分布上下不对称的特点，可以判断焊接应力变形是个关键问题。

对用焊接性较差的中碳钢、低合金结构钢及合金钢制造的焊接结构，工艺分析的关键问题往往是需获得所要求的接头性能（包括机械性能、高温或低温性能、抗腐蚀性能等），包括金相组织和焊缝化学成分。

从以上简单讨论可以认识到，保证产品技术条件，实质是两个方面，其一是结构接头（包括焊缝）的质量，第二是，结构外形尺寸是否满足要求，公差是否在规定值之内，是否有严重的残余应力等。影响接头质量的首先是焊接缺陷，在焊接原理及工艺学、焊接结构、焊接结构强度及断裂等专著中对缺陷的产生、影响及防止办法已进行了详细的讨论，因此进行工艺分析时，需要把这些理论与具体产品、具体结构、具体材料结合起来，进行分析，作出判断。

现代焊接结构的材料由低强的低碳钢，逐渐发展到中碳、高碳及合金结构钢，由钢发展到应用铝及铝合金、钛及钛合金、铜及铜合金等金属。这些金属材料在焊接热作用下，发生一系列变化，产生缺陷的可能性比低碳钢要严重得多。因此分析金属材料本身的特点，寻找获得优质接头的加工方法是焊接制造低碳钢以外金属材料的结构所首先要考虑的。

焊接结构的大刚度，出现空间应力状态，过快的、不均匀冷却条件等是造成裂纹等缺陷的重要原因；坡口准备不当是造成气孔及一些情况下焊不透的重要原因。在动载下工作的结构，要求焊透及避免咬肉，因而需要加以特别注意。

各种工艺方法都具有各自特点。如埋弧自动焊，对焊丝清理除锈和焊剂烘干要求较高，否则会产生气孔等缺陷，要在生产准备环节中加以安排；电渣焊产生粗大魏氏组织，需安排正火——回火处理；窄间隙焊则容易产生夹渣和边缘未熔合，需要选用正确的焊接参数以便获得优质接头。

关于影响结构外形尺寸问题，实质是控制产品的应力（它还促使产生裂纹）和变形的问題。焊接应力变形的理论，以及控制变形和应力的措施都在焊接结构学等专著中讨论过，工艺分析时要结合具体产品特点、生产条件，灵活地运用这些理论，提出适当措施，保证产品技术条件的要求。

工艺师除对产品结构设计提出减小应力与变形的修改意见之外（这是在对产品进行工艺审查时进行的），更多的是利用生产工艺过程来控制 and 减小焊接应力与变形。例如生产中减少和控制焊接残余变形，常用下述方法：

选择正确的装配焊接次序。因为变形大小与焊道距中性轴的距离和焊件截面惯性矩大小有关，焊接次序改变，这两个因素都可以改变，这是调节焊后残余变形的最方便方法。

选择焊缝焊道的次序。焊道的线能量可以控制塑性变形区的尺寸；焊接方向也对焊接残余变形有影响。

刚性加固的方法是利用刚性装配焊接夹具，用增加焊缝及近缝区的塑性变形来抵偿焊件的残余变形。

在构件焊接之前，预先将构件向将发生焊接变形的相反方向施以反变形，以抵消焊接时引起的变形。在施焊过程中，每焊完一道焊缝对冷却的焊道施行锤击，使金属延展，发生塑性变形，因而可减少焊形变形。这就是所谓反变形法和锤击焊缝法。后者还可能减少焊接残余应力，但这道工序会增加产品劳动量，同时对于锤击规则也要加以仔细规定，否则可能会带来不良后果。

控制和降低焊接产品的残余应力不仅是动载结构的需要，也是防止产生缺陷的需要，为尔后产品加工获得准确的外形尺寸，及使用过程中外形尺寸不会发生改变所要求。

除以上介绍的锤击焊缝可以减少焊接残余应力外，合理的施焊次序是首先要考虑的。这方面常采取先焊收缩量大的焊缝、错开的短焊缝，后焊收缩量小的焊缝和直通长焊缝；先焊工作时受力大的焊缝，后焊受力小的焊缝，使后者对前者造成压应力。此外，焊前预热是减小应力的重要措施。当有些需减少焊接应力的焊接产品既不能采用预热，又不宜锤击时，可以采用小线能量的焊接，焊后补充加热以及重迭退焊等方法减小焊接应力。

为减小和消除残余应力除用焊后热处理方法外，还可用机械的超载法、热塑法和机械振动法，最后一种方法是近年发展起来的，现在已有商品设备出售。这些都可供工艺分析时考虑采用。

希望所设计的焊接生产过程每一工序工步都处在最佳的生产条件下，从而获得最佳的质量，并且大大节省劳动量，特别是手工体力劳动量，改善劳动者的工作条件，获得最佳的经济指标，这是工艺分析时考虑采用先进工艺的出发点。由于先进工艺具有这些优点，我们进行新厂设计选择生产工艺时，总是结合设计对象的条件，尽量采用当时是先进的工艺。即使对已投产的老厂，由于焊接生产技术飞跃发展，原来比较先进的工艺，逐渐变得落后，此时需要进行工艺更新，淘汰落后的工艺，使产品质量进一步提高，更具有竞争力。

设计的工艺过程首先考虑的问题是采用先进的焊接工艺方法，这不仅因为焊接工作量占整个焊接生产的30%，还因为焊接工艺在焊接生产中起主导作用，焊接前后对许多工序的要求在很大程度上决定于焊接工艺方法。如手工电弧焊，埋弧自动焊，窄间隙焊、电渣焊等几种常用焊接工艺方法，焊前坡口尺寸（包括间隙、坡口角和钝边尺寸）是不同的，坡口加工、清理等要求也不一样；生产前的准备工作也不同，如焊接材料及其准备工作，分别是焊条、焊丝、焊剂、保护气体等的烘干、除锈、提纯等。对与这些工艺相适应的工艺装备的要求也不相同。焊后，是否要进行消除应力热处理及其它处理，在一定程度上也决定于焊接工艺，如电渣焊一般都要进行正火——回火热处理。

采用先进的工艺方法，使焊接生产有较高的劳动生产率，使焊接工作量在整个焊接生产中所占份额进一步降低。采用先进的焊接工艺方法使焊接产品质量进一步提高，因为整个产品质量在极大程度上决定于焊接质量，先进的工艺方法一般都具有高效优质的特点。

由于焊接工艺在整个焊接生产中所占的份额是有限的，大量的工作包括准备工序、装配工序以及运输工序，特别是采用了先进的焊接工艺方法之后，要提高整个焊接生产率，极需考虑生产过程的综合机械化和自动化。不仅包括基本生产工序：毛坯准备、装配、焊接和涂饰工序，而且包括辅助工序：检验和运输工序的机械化和自动化，还要设计与之相适应的生产组织和安排（工艺平面布置），即生产布置要合理化。以上这些又与生产性质有关。

在大批、大量生产条件下，采用专用设备和装置，组织成流水生产，能带来很高的经济效益。而对于单件小批生产就不适宜采用专用设备和装置，此时应考虑将结构划分为工艺部件、组件和零件，利用标准化和统一化，并通过调查，适当地调整结构形式，从而增加其中部件（组件、零件）的生产批量，以便部分地组织成采用专用设备和装置的流水线生产。划分结构部件、组件、零件还可能使一些只能在工地恶劣条件下制造的巨型结构，大大缩小工地工作量；便于质量检验和控制焊接应力和变形；还可使结构避免复杂的整体热处理，而代之以部件的热处理等。故工艺分析时考虑将结构合理划分为部件、组件、零件也是一项重要

工作。

在单件小批生产条件下的综合机械化和自动化要考虑采用通用的万能设备和装置。我国目前绝大多数机械化和自动化的设备和装置，除焊机以外，都是由有关焊接结构制造工厂自行设计和制造的，这不利于建立新的流水自动焊接生产线。而国外则有专门公司生产这类设备和装置。

成熟的工艺设计师善于总结国内外的经验，设计出全新的焊接生产工艺过程。既要学习先进经验，又不盲目照搬，结合自己条件，进行设计和试验，创造出先进的工艺过程。油罐车罐体和立式圆筒储罐的焊接生产就是典型例子（详见第三章）

## 六、焊接结构生产的材料加工工艺

焊接结构的零件绝大多数以金属轧制材料(板料和型材)为坯料，少部分以铸件、锻件和冲压件为毛坯。后者除部分需机加工外，大多数可直接焊接，而不需要准备工序。但用轧制材料制造焊接结构零件毛坯，在装配焊接之前必须经过一系列的加工，包括矫正(校直)、划线(号料)、切割(下料)、边缘加工、成形及弯曲、焊前坡口清理等等。这些工序是必不可少的，其重要性在于材料准备加工的质量将直接或间接影响产品质量和生产效率。

零件毛坯加工质量不良时，将增加装配工作的困难。有些毛坯件不符合图纸要求，缺乏互换性，装配前需要修整，这将大大降低生产效率。装配质量不好及坡口不合适(角度、钝边、间隙等不符合要求)使焊接质量降低，还可使结构的外形尺寸、形状不符合要求。当采用先进的焊接工艺时，要求尤为严格，否则将产生焊接缺陷。因此为获得优良的焊接产品和稳定的焊接生产过程，应制定合理的材料加工工艺。

金属材料加工的工作量在焊接生产中占有相当大的比重，如在重型机械焊接结构中，约占全部加工工时的25~60%。因此提高材料加工工艺的机械化水平，采用先进的加工方法，改善加工质量，对提高整个生产的劳动生产率有着重要作用。

下面分述各种材料加工工艺。


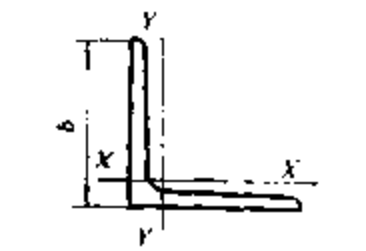
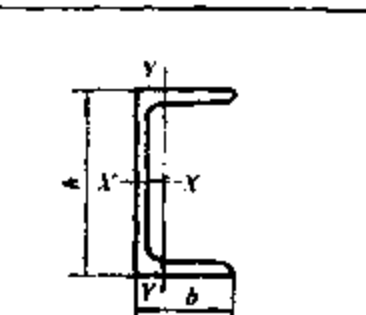
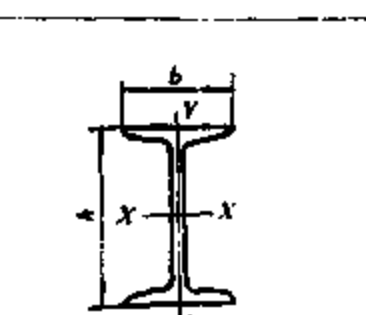
### 1. 钢材矫正

送到工厂或焊接结构车间的轧制钢材，由于冷却、储存及运输等环节组织不当使轧制材料发生所不希望的变形，如局部凸起，波浪、整体弯曲、板边折弯，局部折弯等。变形的钢材会影响到后续的划线、号料、切割等工序的精确度。因此在制造结构之前需对钢材进行矫正。根据工厂经验，10~100%的钢板和扁钢(依厚度而不同)和15~20%的型材(角钢、槽钢、工字钢)需要矫正。而材料加工过程中可能引起零件毛坯产生变形(如切割加热引起的扭曲变形)，对这种变形的矫正称为第二次矫正。经矫正，下料成形后送往装配焊接工序的零件就是符合图纸要求的零件。

矫正是利用钢材局部发生塑性变形来消除原来所不希望的变形。由于矫正通常是在冷态下进行，为避免钢材冷矫量过大而丧失其塑性，钢结构制造规范<sup>[4]</sup>中对冷矫正和冷弯曲量作出了限制。通常规定冷矫正和冷弯曲的延伸率不得大于某一数值，如冷矫正相对变形量不大于1%，由此决定冷矫正和冷弯曲的允许最小曲率半径 $r$ 、最大弯曲矢高 $f$ ，如表2-10所示。表中 $L$ 为弯曲弦长，序号1框中 $b$ 为扁钢宽度，其他符号如示意图。



表 2-10 冷矫正和冷弯曲的最小曲率半径和最大弯曲矢高的允许值

序号	钢材类别	示意图	x-x y-y	矫正		弯曲	
				r	f	r	f
1	钢板扁钢		x-x	50	$\frac{L^2}{400}$	25	$\frac{L^2}{200}$
			y-y (仅对扁钢轴线)	100b	$\frac{L^2}{800b}$	50b	$\frac{L^2}{400b}$
2	角钢		x-x	90b	$\frac{L^2}{720b}$	45b	$\frac{L^2}{360b}$
3	槽钢		x-x	50h	$\frac{L^2}{400h}$	25h	$\frac{L^2}{200h}$
			y-y	90b	$\frac{L^2}{720b}$	45b	$\frac{L^2}{360b}$
4	工字钢		x-x	50h	$\frac{L^2}{400h}$	25	$\frac{L^2}{200}$
			y-y	50	$\frac{L^2}{400b}$	25b	$\frac{L^2}{200b}$

为防止低温下矫正和弯曲发生脆裂，规范还规定普通碳素结构钢在低于  $-16^{\circ}\text{C}$ ，低合金结构钢在低于  $-12^{\circ}\text{C}$  时，不得冷矫正和冷弯曲。

超过上述范围的矫正和弯曲，材料变形过大会影响其机械性能并使矫正和弯曲机床负荷过大，此时可采用加热矫正和弯曲。通常加热不超过  $900^{\circ}\text{C}$ 。加热矫正后的低合金钢必须缓慢冷却，使金属发生重结晶，塑性不会降低。

加工或施焊过的毛坯进行二次矫形时，为了限制对接接头区域的塑性变形量，焊缝的余高应限制到最小或将余高去除。

现代焊接生产中多使用机床进行矫正。极少情况下用手工矫正，因为后者不仅劳动条件不良，还因为直接用大锤锤击，会产生局部的严重塑性变形，导致局部钢材塑性变坏和脆化。

钢材厚度从  $0.5\sim 50\text{mm}$ ，通常利用多辊钢板矫正机进行矫正，如图 2-3 a) 所示，辊子数目为  $5\sim 11$  个。钢板在空隙较板厚略小（可以调节）的两排辊子中间通过，如图所示，

在垂直板的平面内反复弯曲，使钢板整个得到均匀的伸长，此伸长消除原有的不平处，达到矫正的目的。有一些钢板（如4.5mm厚板）是从工厂成卷供应的，在投入焊接生产之前必须经钢板矫正机进行矫正。板厚小于0.5mm的钢板则利用相应的压力机进行辗压延伸或在专门拉伸机上矫正。

矫正小的或中等的型材和轧制型材的机床同钢板矫正机类似，如图2-3 b)所示。图中是角钢的矫正，对于两翼分开或并合，局部弯曲都可以使用该矫正机。但是对于工字钢和槽钢这种机床仅用于惯性矩很小的面内的矫正，其他面内的矫正通常在调直压力机（顶床）上进行，如图2-3 c)所示。被矫正的

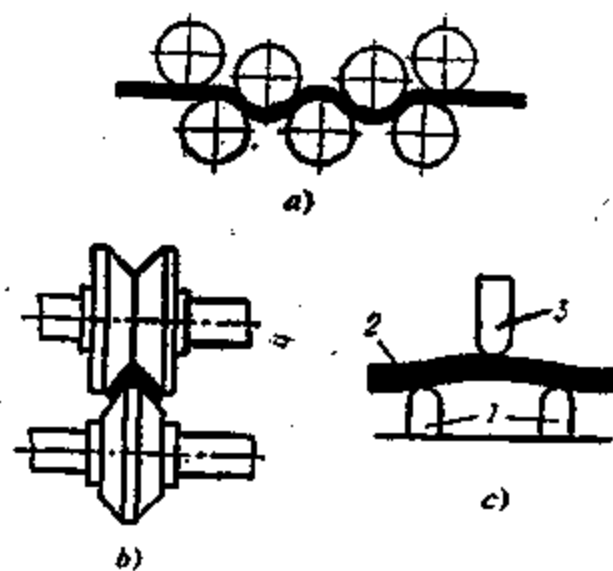


图2-3 钢板及型钢矫正示意图

- a) 在多辊钢板矫正机上矫正钢板，b) 角钢多辊矫正；  
c) 型钢在调直压力机上矫正。

槽钢、工字钢、Z形钢等安置在两支承之间，在冲头作用下使它弯曲，利用塑性变形，型钢弯曲部分得到调直，矫正质量和效率与操作工人的熟练程度有密切关系。

剪切的小零件（如各种三角筋板、隔板、角板等）进行二次矫正时，通常将其放置在较厚的钢板（20~25mm）上，并一起通过钢板矫正机得到矫正。也可用摩擦压力机或其他类型压力机进行矫正。

## 2. 放样、划线与号料

放样是在制造金属结构之前，按照设计图纸，在放样平台（间）上用1:1比例，绘出结构图来，放样的目的是：

(a) 检查设计图纸的正确性，包括所有零件，组件、部件尺寸以及他们之间的配合等。

(b) 确定零件毛坯的下料尺寸。一方面，许多曲面构件需钣金展开，绘制毛坯下料图；另一方面，考虑焊接生产加工工艺的特点，如焊接的收缩变形，不同焊缝（如纵向焊缝和横向焊缝、电弧焊缝和电渣焊缝）有不同的收缩变形量，下料前要放出变形量，也需要绘出毛料下料尺寸。曲面构件毛坯用不同方法成形，即使同一零件，其下料尺寸也将不同。

(c) 制作样板。复杂的或曲面构件（圆柱面、圆球面、圆锥面等）制造时，其外形尺寸是用样板来检验的。成批和大量生产，或虽为小批生产却有多多个相同外形的零件时，为减轻划线工作量、使零件外形准确、有互换性、对简单外形零件也可制作样板。这些样板是按放样平台上已经放好的图形制作的。

由上看来放样工作要求高度的精确，否则结构的下料尺寸、成型样板、检验样板都会出现差错，以致产生废品，造成生产失误和混乱。

划线是将待加工零件毛坯尺寸划在金属上。划线必须准确，以保证加工的零件或结构有要求的精度。划线要恰当排料，使原材料得以充分利用，将边角废料降到最低限度。利用样板进行划线和排料，比较容易做到这一点。用样板进行划线称为号料。

为保证号料的正确，样板制造精度很重要。样板制造精度应满足技术条件要求，并经检验员严格检查，在合格的样板上打上钢印，并注明产品编号、零件号、断面尺寸，件数等。

样板要轻便耐用，选择合适材料制造，也是保证样板精度的条件之一。根据样板使用频繁程度、零件精确度及尺寸大小来选择样板的材料。通常钢质样板由 1.0~1.5mm 的金属板制作，也有用薄铁皮（如镀锌薄铁皮）制作的。还可以用松木板或青壳纸板制作。无论用哪一种材料，都要求使用过程中不能伸缩变化，以免影响精度。

在焊接生产组织中，划线和号料工作必须有划线平台，而且划线平台的位置要在车间桥式起重机活动范围以内。通常划线台的高度为 500~800mm，宽度为 2000~4000mm，划线平台必须坚固并且能支承 1.0~2.5T/m<sup>2</sup> 的负载，使大型钢材可在平台上进行划线作业。

放样平台通常设置在放样间里，已放好的结构图样通常要保留到结构样品制出之后。

随着计算机的推广和应用，上述工作可以大大减少，精度可以大大提高。当用仿形样板气切下料或者采用数控气割机自动切割下料时，划线和号料工序可以免作。

### 3. 切割

制造焊接结构时，切割金属（钢板和型钢，材料有碳钢、不锈钢、低合金钢和有色金属等）的方法分为两类，一类为机械切割，包括剪床、圆盘剪床、冲床、联合冲剪机等的切割；另一类为热切割，包括氧—乙炔焰切割、等离子切割及电弧切割等。

#### (1) 机械切割

用得最多的是剪床。剪床被用来切割钢板。切割厚度最大可达 40mm（指一般碳素结构钢，如 A3 等；对于低合金钢，可切最大厚度要薄一些），剪床切割示意于图 2-4 a）。

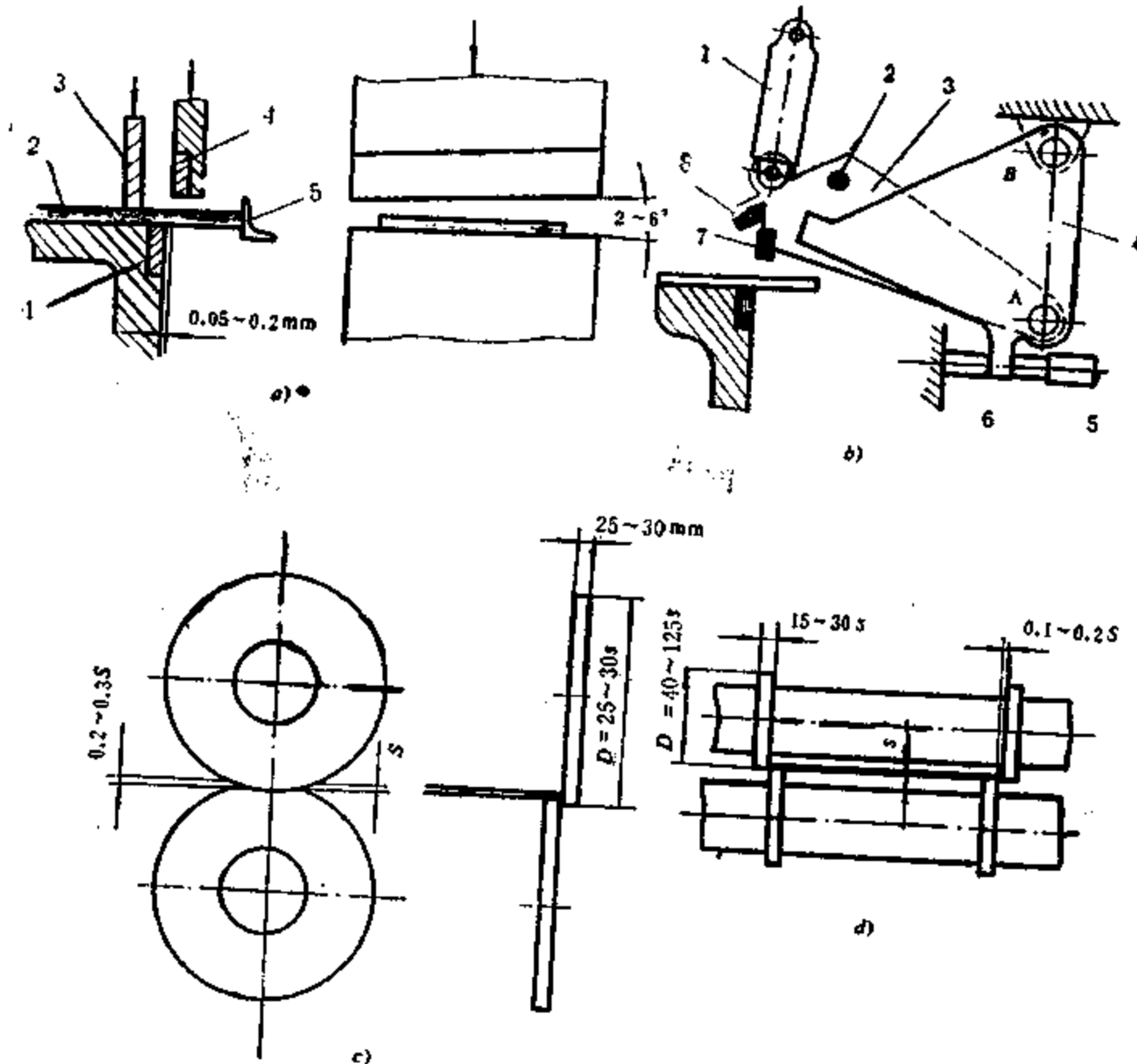


图 2-4 用不同剪床剪切钢板示意图

钢板 2 送到上下刀口 4, 1 之间, 由挡铁 5 定位, 压紧器 3 压紧钢板之后, 上刀 4 向下运动, 切口处金属发生挤压、弯曲最终剪断。在切口处产生冷作硬化区, 同时被切开的金属发生整体的扭曲塑性变形。在采用挡铁切割时, 切割尺寸误差为  $\pm 1.5 \sim 2.5 \text{mm}$ , 按划线切割时, 切割误差在  $\pm 2.0 \sim 3.0 \text{mm}$ 。采用专门剪床可以切出焊接坡口的斜边, 如图 2-4 b) 所示。液压缸 1 使可摇动的刀架 3 绕轴 A 回转, 由刀片 7 切断金属; 当刀架 3 上的挡铁 2 碰到零件 4 上的凸起时, 它们一起绕轴 B 回转, 带动压紧器 5 离开调整挡铁 6, 刀片 8 切出坡口。

上述剪床只能切割直线切口。采用圆盘剪, 如图 2-4 c) 可以非直线切口, 切割板厚最大可达  $20 \sim 25 \text{mm}$ 。为切割规定宽度的毛坯, 还可以采用双圆盘剪, 如图 2-4 d) 所示。

切割边缘产生塑性变形, 并形成冷作硬化区, 其宽度通常在  $1.5 \sim 2.5 \text{mm}$ 。钢材塑性越好, 钢板越厚, 此区越宽; 而压紧器的压紧力越大, 上下刀片越锋利, 该区越窄。此外, 剪刀片之间的间隙应尽可能小, 间隙增加, 变形区也增加。如切割边缘随后要进行焊接, 则由于焊接热作用, 可完全消除冷作硬化的不良影响, 钢材性能几乎完全恢复, 故可不必处理; 如果剪切边缘是自由边, 结构工作在动载或低温脆断危险条件下, 则要求用机加工刨去冷作硬化层, 刨削厚度通常为  $3 \sim 6 \text{mm}$ 。

工厂除使用上述大型剪床 (剪刀片长  $1.5 \sim 2.5 \text{m}$ )、圆盘剪床、专用剪床之外, 还采用联合冲剪机冲剪钢板 (剪刀长  $300 \sim 600 \text{mm}$ )、型钢 (如角钢、圆钢、方钢、工字钢等) 和进行零件冲孔, 故又称为万能冲剪机。不规则曲线形状的切断, 也可用冲床或联合冲剪机, 其冲剪刀口 (冲头) 也具有不规则曲线形状。此外, 还有使用圆盘无齿摩擦锯, 工具钢带锯床, 或接触电弧火花锯加工型材。

为提高机械切割的效率和改善工人劳动条件, 大型剪床、冲剪机应配有单独的起重机械及轨道, 并且应该在车间起重机工作范围之内。详见车间起重运输平面布置示例。

## (2) 热切割

热切割比剪床等机械切割的生产率低, 而且经常性费用如气体、燃料造成消耗高。但热切割可以用在各种不同厚度、各种直线、曲线外形的切割上, 具有很高的通用性, 除氧-乙炔焰切割 (一般割矩可切低碳钢厚达  $100 \text{mm}$  以上) 外, 现代又发展了等离子弧切割。这种方法可以切割任何金属及其合金, 目前已取代了切割不锈钢、铸铁、铝等必须采用的氧熔剂切割。而且这种切割工艺已经由使用惰性气体、氮气发展到当今大量使用压缩空气、水作为离子气、保护气。这种方法不仅经济而且技术上有一系列优点, 和氧-乙炔焰切割一样具有万能性, 并且工人劳动条件较好——不必搬动沉重的钢板, 可以加工坡口, 设备投资低, 切割后零件变形小, 切口质量好, 且生产效率高 (特别是厚度小于  $60 \text{mm}$  的钢板)。但空气等离子弧切割有一缺点, 即切割边缘可能被氮所饱和, 在随后焊接时可能形成气孔。在大多数场合, 边缘需进行机械加工或用钢丝刷、砂轮打磨。这是不及氧-乙炔焰切割的地方。

手工和半自动热切割通常按划线进行。自动切割除电磁仿形外, 近年来发展了光电跟踪和数控自动切割。电磁仿形切割是将切割物形状制成样板, 电磁头沿样板行走, 割矩切出所需形状毛坯。光电跟踪自动切割机需绘制准确的被切毛坯图形 (仿形图), 光电头沿此图形前进, 自动切出所需形状毛坯。数控自动切割机相当于微计算机绘图装置, 当在其一绘图笔上安装割矩后就能进行自动切割。数控自动切割机输入所切毛坯图形数据后, 还可实现自动绘图, 由所绘图形检查数据正确与否。所绘图形还可作为光电跟踪切割的仿形图。采用上述

自动切割机不仅提高了切割效率，而且大大提高了切割毛坯的准确度。

热切割法在切断的同时，可以加工出焊接坡口，此时需在不同方向上布置数把割炬，例如V型坡口（带钝边）需两把，X型坡口需3把。

最近发展起来的激光切割，切口极窄（毫米的几分之一），目前已用于很薄（0.05mm）金属的切割上。

在机械切割和热切割都可以完成的工件上，到底选用哪一种切割方法，应通过技术经济比较决定。包括：①进行经常费用计算。计算被加工零件的直接成本（切割与校正的工时费用、动力消耗、废料边角料的利用等）和间接成本（与设备投资费相联系的设备折旧费、维修费，辅助设备和车间其他费用；②加工质量（切口质量和切割毛坯精度）和生产效率的比较。通过以上比较，一般可得出这样的结论：当被切钢材厚度增加时，剪切缺点显得突出。通常，钢板厚度在20~25mm以下用剪切较经济（实际上厚度超过14~18mm就采用热切割了）。为提高热切割法的生产效率，可将数张乃至十数张钢板迭在一起切割，总厚度可达100mm。

切割下料以后的金属毛坯，在下列情况下还需进行边缘加工：①为保证装配的精确度；②为了去除不良的金属边缘；③复杂形状毛坯倒角或加工坡口等。许多机加工设备都可用作边缘加工，但焊接结构车间多采用专用设备——刨边机和铣边机。目前国产刨边机加工边缘长为6、9、12m等多种。

#### 4. 弯曲及成形

在金属结构制造中，弯曲及成形工作占有很大的比重。制造某些焊接结构时，金属材料的80%~90%需经过弯曲及成形加工。如输送管线，锅炉、压力容器和化工设备等都属于这一类结构。

大多数金属材料的弯曲及成形是在冷态下进行的。当变形量过大，金属产生过大塑性变形，从而引起冷作硬化，使机械性能下降时，则可采用加热弯曲和成形。按规范<sup>[14]</sup>规定，允许的冷弯最小曲率半径 $r$ 和最大弯曲矢高 $f$ ，可见表2-10，其冷弯曲相对变形量不大于2%。在上表范围之外采用加热弯曲。热成形和弯曲的加热温度为1000~1100℃。普通碳素结构钢温度下降到500~550℃之前，低合金结构钢温度下降到800~850℃之前，应结束加工，并使工件缓慢冷却。

即使允许冷弯和成形的工件，为防止发生脆裂，与冷矫正一样规定了不得冷弯的最低温度。

钢材弯曲成圆筒形和圆锥形都是在辊式弯板机（又称卷板机、辊床）上进行。目前制造的辊式弯板机可冷弯曲钢板最大厚度达60mm和长13m（分为1.5~2m，2.5~3m，8~13m几种系列）。这种弯板机有三辊和四辊两种，目前我国工厂大多是用三辊弯板机。这种弯板机结构简单，但钢板的两端有一直边不能弯曲，如图2-5 a）所示。直边的宽度决定于三辊弯板机下面两辊的中心距离，如图2-5 b）所示。三辊弯板机的上辊轴承是可拆卸的，以便调节上辊与下辊间的距离。当上辊与下辊平行时，可加工出圆筒形工件；如上辊中心线与下辊中心线成一角度时，则加工出圆锥形工件，如图2-5 d）所示。这种弯板机由下部辊子驱动，依靠摩擦力带动上部辊子转动。

为消除滚圆的直边，钢板弯曲加工前必须用手工或压力机预先加以弯曲，也有用预先制好的圆柱形厚钢板模，在三辊弯板机上预弯钢板头，如图2-5 b）所示。采用四辊弯板机

可以使滚圆直边大大减小,此时直边  $a$  相当于  $1 \sim 2$  倍板厚如图 2-5 c) 所示。利用两辊弯板机, 可以不用预弯钢板头, 这种弯板机下部辊子有一用聚氨酯制造的弹性外套, 弹性外套夹住钢板, 使其围绕上部刚性轴旋转, 使整个板均匀弯曲如图 2-5 e) 所示。这只能用于板厚较小 (小于  $6 \text{ mm}$ ) 工件的弯曲成形。

需热弯曲加工和成形时, 工件加热炉应该布置在弯板机或水压机附近。根据所加工工件

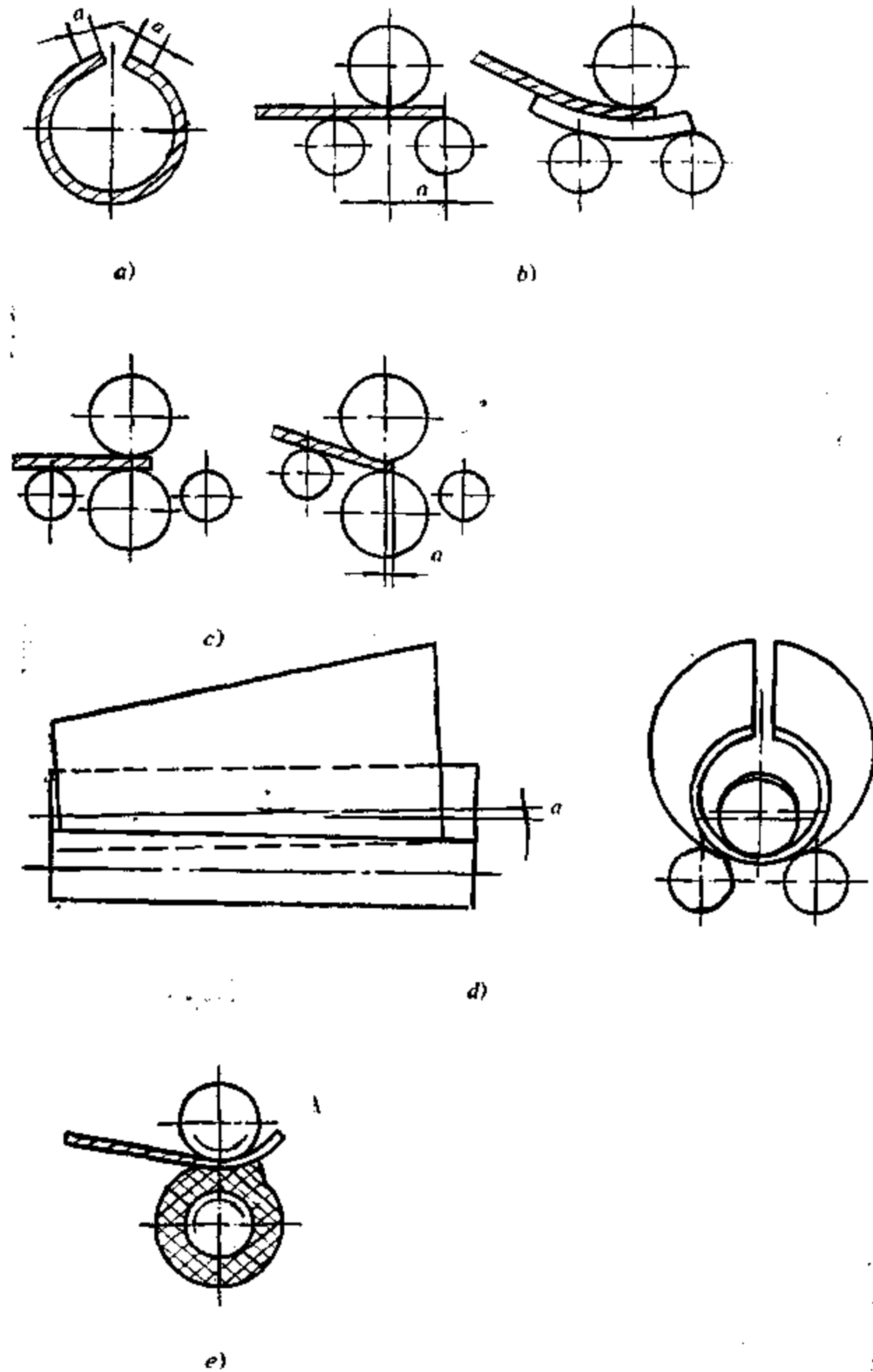


图 2-5 弯板机弯曲工件示意图

- a) 三辊弯板机加工出带直边工件; b) 三辊弯板机; c) 四辊弯板机;  
 d) 三辊弯板机加工圆锥工件; e) 两辊弯板机。

尺寸及机器尺寸，这一距离在6~10m左右。整个工作场地应在车间最大起重能力的桥式起重机工作范围内，并且往往还配置有专用的立柱式起重机。

当用焊接结构制造重型机器中的齿轮、卷扬机鼓轮、绳轮、减速器和压力机零件时，需弯曲厚度很大的金属板，这通常在压力机上进行。

冷弯曲加工型钢和钢管，需在辊子上带有相应沟槽的型钢弯曲机和弯管机上进行。在生产量不大的车间内，由于设备负荷不足，装置这种专门弯曲机是不经济的。此时，可在加热状态下，在平台上用手工进行弯曲，为防止手工弯曲管子发生坍塌，弯曲前管子内充满砂子等填充物。

复杂曲面形状的成形加工通常在压力机上进行。如压制球形封头或大型球罐的球瓣片，通常冷或加热成形。在大型水压机上，利用上下模正确定位，加压成形。冲模可以更换，以满足不同形状工件的需要。焊接车间所用冲压机，例如水压机，和一般锻造车间水压机不同，在同样压力下，工作台面要求更大。因为冲压机生产率一般都非常大，往往生产负荷不足，此时应组织成形加工中心，同时为若干个工厂完成加工。

大批、大量生产中，形状十分复杂的工件采用冷冲压（如汽车工业）。此时冷冲压成形工件多是薄板（最大厚度可达10mm）。其特点是高生产率，十分精确的外形尺寸、低的成本，总之有高的技术—经济指标。

大型复杂形状工件，批量不是非常大，可以采用爆炸成形加工。爆炸成形只需要下模，设备也很简单，是一种很有前途的高能加工工艺。

在一些结构中，常采用平板零件，如车箱壁、轮船舱壁等。为增加其刚度，采用冲压起棱板（或称为波纹板），它也是在冲压机上冲压成形的。

焊接结构中开孔工作不太多。主要是栓焊结构供穿高强螺栓的螺栓孔，个别的铆钉孔（如铁路车辆），锅炉和化工设备中的管孔（如锅炉汽包和换热器管板）等。大多数孔采用钻孔，通常配置摇臂钻。高强螺栓孔还需铰孔工序，有些孔是用冲孔法完成的，如汽车中梁上的部分孔。

## 5. 清理

清除零件表面上的锈、氧化物和油污是焊接生产中常被忽视的一项工作。这项工作没有彻底进行或被省略，结果使正常的生产遭受破坏，尤其在成批大量生产，采用点、缝焊，以及自动焊时，是造成质量问题，甚至产生废品的重要原因之一。

清理方法主要有两类：

### （1）机械清理

包括喷砂或喷丸处理，手动风砂轮机或钢丝刷清理，砂纸打光，刮刀刮光及抛光等。喷砂喷丸是将干砂或铁丸由专门压缩空气装置中急速喷出，被轰击的金属表面氧化物、污物被打落。这种方法清理较彻底，效率较高，但粉尘大，需在专门车间或工段进行。

机械清理的缺点是不够均匀，劳动条件较差。

### （2）化学清理

即用溶液进行清理，这种方法生产效率较高，质量均匀并且比较稳定。

**酸洗** 将钢板浸入盛有2~4%硫酸液的耐酸槽内。取出后放入盛有1~2%温石灰液槽内，经石灰液洗去钢板上残留的硫酸液，取出干燥，钢板上留有一层薄薄的石灰粉，它防止金属表面再发生氧化。在焊前将这层石灰擦去。

低碳钢冲压零件的清理（如汽车制造厂）冲压零件焊前要清理油污。步骤为：先在90℃以下热碱水中（ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ）冲洗；然后在90℃以下热水中第二次清洗；继续在90℃热水中进行第三次清洗（在雨季为防止零件生锈，可在热水中加入重铬酸钠）；最后在200℃下进行烘乾，尔后送入中间仓库。

不锈钢零件的清理 为清理油污采用以下程序：①在苛性钠90克、碳酸钠20克加1升水配成并加热至80~90℃的碱液中清洗10分钟；②用45~50℃热水冲洗掉全部残液；③用冷水冲洗。

用铅锌模或铝锌模冲压的不锈钢毛坯，应清除工件表面的铝、铅、锌附着物。除用上述清油程序外，接着应用浓度为100~150ml/l的盐酸进行清洗。

铝合金在氩弧焊前也要清理。清理步骤如下：①除油污，用磷酸钠（40~60g/l）、碳酸钠（40~50g/l）及水玻璃（25~30g/l）的溶液，在60~80℃温度下，清洗10~30分钟；②用40~60℃流动的热水洗3~5次；③用冷水洗3~5次；④用硝酸（250~400g/l）溶液在60~65℃下洗光（气焊时在室温下洗光）；⑤用流动冷水洗3~5次；⑥用苛性钠（50~60g/l）溶液在50~70℃下腐蚀0.5~3分钟；⑦用流动的40~60℃水洗3~5次；⑧用流动的冷水洗3~5次；⑨同（4）再一次进行光泽处理；⑩同（8）再一次冲洗；⑪在60~70℃下干燥。清洗后5天内必须焊接。

此外，供电阻焊的铝、钛合金、镁合金、铜及铜合金零件（包括铜网）的化学清理规范可见表2-11。工厂中遇到厚大工件，需作应急清理时，可采用氧-乙炔火焰表面清理。用火焰烧烤工件表面，去除油污、铁锈和氧化皮。但此法不经济、不宜大量采用。

表2-11 部分金属及合金化学清理溶液与规范

材 料	焊前清理溶液及规范 (g/l)		注
铝 合 金	(1) 除油污 (60~70℃)	磷酸三钠 40~50 硅酸钠 25~35 苛性钠 8~12 清 洗 10min	供电阻焊用
	(2) 水清洗	40~50℃ 热流水洗 室 温 流水洗	
	(3) 酸洗光	硝 酸 500~580 室 温 清洗出光亮	
	(4) 水清洗	室 温 流水洗	
	(5) 酸腐蚀	硫 酸 165~200 氟化钠 9~11 室温腐蚀	
	(6) 重复	(2) (3) (4) 工序	
	(7) 自然干燥或吹干		
钛 合 金	(1) 除油污	亚硝酸钠 225 苛性钠 750 清 洗 20~30min	
	250~300℃		
	(2) 水清洗	流动热水洗 室温流动水洗	



续表

材 料	焊前清理溶液及规范 (g/l)	注
钛合金	(3) 酸洗      硝 酸      400 氢氟酸      25~30 水            574~570 25~30°C 清洗      2~3 min (4) 水清洗      流动冷水洗 (5) 干 燥	
镁合金	(1) 除油污      苛性钠      10~25 磷酸钠      40~60 硅酸钠      20~30 溶液在60~90°C下清洗 5~15min (2) 水清洗      50~90°C 热流水洗 2~3 min 室温水洗            2~3 min (3) 碱腐蚀      , 苛性钠      360~450 溶液在70~80°C下清洗 5~15min (4) 重复(2) 工序 (5) 铬酸处理      铬酐            150~250 硫酸            <0.4 溶液在室温下清洗      5~15min (6) 水清洗      室温水清洗      2~3 min 热水流清洗      1~2 min (7) 干 燥      热压缩空气吹干 (50~70°C)	
铜及铜合金	(1) 除油污      磷酸钠      40~60 碳酸钠      40~50 硅酸钠      25~30 溶液在60~80°C下清洗 10~30 min (2) 水清洗      流动热水洗 洗净 (40~60°C) 室温流水洗净 (3) 酸除锈      铬酐            158~167 锑酸            58~60 硫酸            53~56 硝酸            81.6~86 磷酸            391~412 溶液 15~30°C下清洗 20~60 S (4) 水清洗      室温流水洗净 (5) 钝 化      铬酐            300 硝酸            5 硫酸            5 溶液在室温下, 清洗 20~60 S (6) 水清洗      室温冷流水洗净 (7) 干 燥      60°C 热压缩空气吹干	

## 七、焊接结构生产的装配工艺

焊接结构生产的装配工艺是将组成结构的零件以正确的相互位置加以固定成组件、部件或结构的过程。装配时零件的固定通常用点固焊和装配（或装配焊接）夹具或装置来实现。在用点固焊固定零件时，对点固焊有强度和刚性要求，即当点固好的零件，从装配夹具中取出并运到焊接工位后不能开焊或超过规定的变形。点固焊点还应能减少焊接变形。点固焊点的位置和尺寸应以不影响焊接接头和结构的质量和工作能力为原则。因此点固焊点的截面尺寸不宜太大，尽量布置在基本焊缝所在位置，以便焊缝施焊后能将其全部重熔。如果点固焊必需布置在将来不设焊缝的位置，则结构焊完后，应将点固焊清除掉，并仔细清理表面。由于在装配焊接夹具中装配完后，并不取出结构即进行焊接，所以在很多场合不需要点固焊。

装配工序是焊接结构制造中的重要工序，又是一项繁重的工作，它约占结构制造总工时的25~35%。它的下一道工序是焊接，因此装配质量直接影响到焊接质量，进而影响整个焊接结构的制造质量。例如焊缝装配间隙大小不均会影响自动焊过程的稳定。对气保焊、手工焊也有不利影响。它还会由于焊缝填充金属量不均匀，引起意外收缩变形。总之焊接工艺愈是机械化和自动化，对装配质量的要求也愈高。

装配工作通常在平台、支架、专门装配台或装配夹具（或装置）中进行。利用专门夹具或装置来进行装配不仅提高了劳动生产率，而且改善了装配质量。采用或不用以及用何种装配或装配焊接夹具取决于产品结构、技术条件、采用何种制造工艺以及产品生产性质等因素。

对于单件小批，结构简单的产品，往往利用划线来进行装配。按设计图纸，在零件相互之间划线，再利用简单的螺旋夹紧器或楔形、凸轮夹紧器来固定零件、符合图纸要求之后加以点定。这种方法目前已获得广泛的应用。如起重机桥架金属结构的装配，桁架结构在产量不大时也用此法装配，它们零件之间相互位置常常划在装配平台上。

在成批或大量生产情况下，往往装配前的划线工作用预先做好的样板来完成或由定位装置取代。这样使繁重的、提高质量必须有熟练技术的划线装配工作被装配胎卡具代替，从而有更高质量和生产率。有时可将重复生产的部件本身作为样板，例如成批生产的焊接桁架。通常按大样装配好桁架的一半，放置在装配平台上，再在这半个桁架上依次放置连接板、弦杆、腹杆等元件，依据先装配点固好的半片桁架各元件位置用螺旋、楔形等夹紧器固定，施予点固焊，然后取下这半片桁架，再在其上按相应位置布置和点固焊其余元件，直到全部装置完毕，进行焊接。而第一个半片桁架就这样不断的被作为样板，直到完成全部装配。大量生产情况下，一些部件、组件，甚至结构的装配是在专用胎卡具上进行的，如C62A型敞车中梁部件生产线上就有若干专用装配胎卡具（详见第七章）。

即使小批生产条件下，也可采用通用的装配夹具，这类装置可见图2-6。用这套装置可组织专业生产。它的基础是带纵横向T形槽的装配平台（图2-6a），在其上装置通用的，可以拆卸替换的档铁（图2-6b），带定位销的档铁（图2-6d、e），螺旋压紧器（图2-6f），带嵌套的压板（图2-6e），紧固零件等等。

除以上按装配方法分类为划线装配法和利用胎卡具装配法外，还可按装配焊接的次序，

分为：

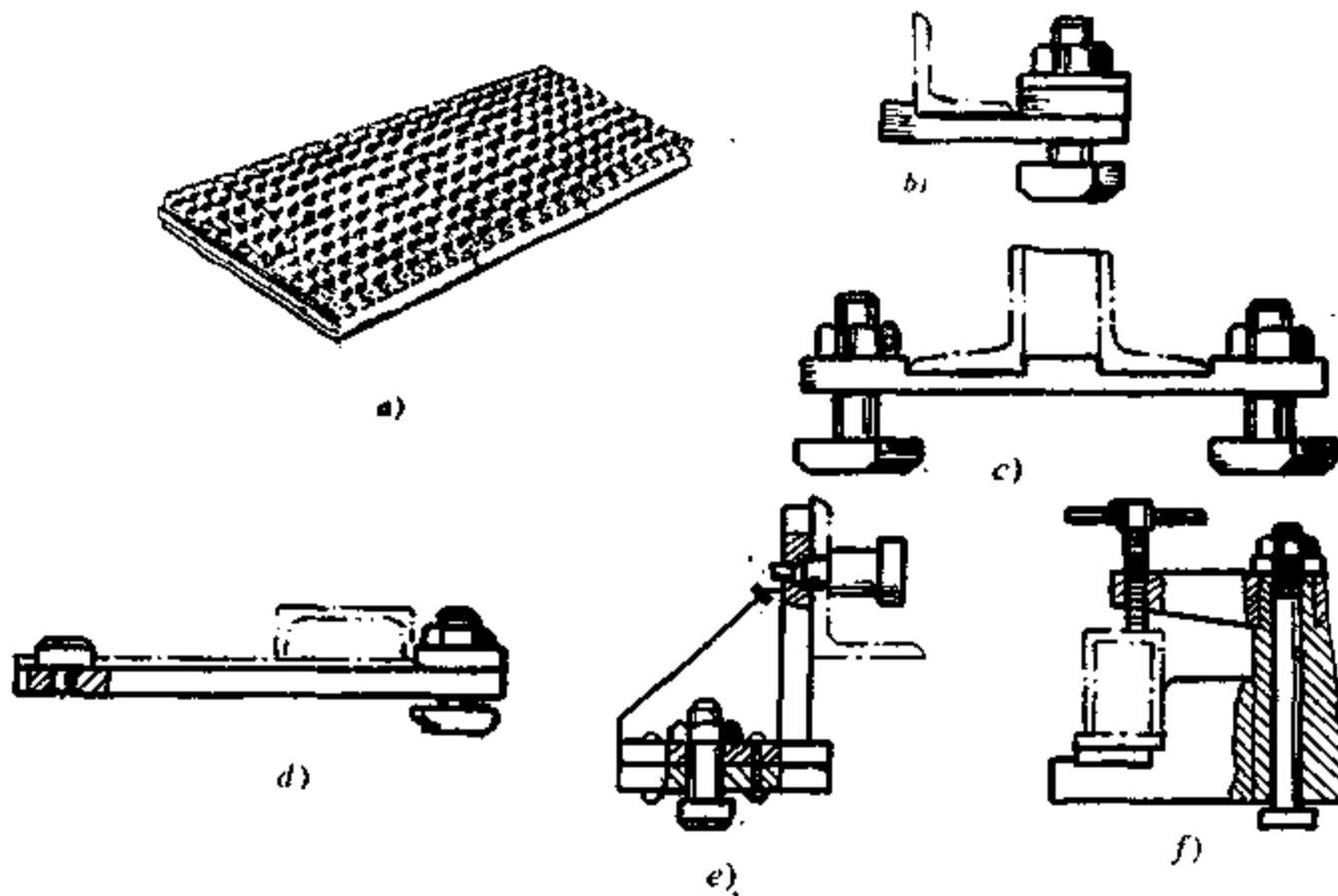


图 2-6 通用装配夹具

a) 基础平台；b) ~f) 各种定位、夹紧元件

(a) 由单独零件逐件组装成结构之后再行焊接。这是单件小批生产、结构简单的产品常用的方法，如每片桁架的装配，一些机器结构的装配。

(b) 一些复杂的结构，由单独零件逐件组装，并且焊接再装配，即装配焊接交替进行，逐渐完成整个结构的制造。许多单件小批生产的结构都用这种办法进行装配，如大型立式储油罐的工地建造，球形容器的工地建造等。

(c) 由部件组装成结构的装配过程。结构分成若干组件、部件，将各个组件、部件单独装配焊接合格后，再将其总装配成结构，焊接总装配焊缝。这种方法有一系列优越性已如前述。所以在大批大量生产条件下，如铁路油罐车、敞车、汽车驾驶室的生产都采用这种分部件装配法。即使一些小批生产的结构，也尽量创造条件采用这种装配法，如巨型轮船的钢结构装配焊接。

按装配工作地还可分为：

(a) 固定地点的装配 装配工作在固定的工作位置上进行。各工种工人和工作队轮流为特制产品服务。这种装配方式一般用在重型产品上，或是产品产量不大的情况下。例如重型水压机的下横梁焊接生产。

(b) 流动装配 焊接工件顺着固定的工作位置（工作胎位）流动，在各工位上进行装配，工位上有装配胎卡具和相应工种工人。这种形式用于大量流水生产，但也不限于轻小型的产品上。有时为了凑用固定在某些工作地点上的专用设备，也经常采用此种装配形式。

装配工艺过程的制定：

(1) 装配工艺过程制定的内容

装配工艺过程制定的内容包括：零件、组件、部件的装配次序；在各装配工艺工序上采用的装配方法；选用何种提高装配质量和生产率的装备、胎卡具和工具。

由于装配和焊接是密切联系的两个工序，在很多场合下是交错进行的，故在制定装配工艺过程时，要全面分析，使所拟定的装配工艺过程对以后各工序都带来有利的影响。如使施焊处于有利位置，各焊缝的可焊到性好，并有利于控制应力与变形等。当装配焊接带有筋板的工字梁时，可以先装配筋板后，再焊接翼板与腹板的角焊缝（腰缝），这将有利于防止翼板的角变形，但却不便利用埋弧自动焊、CO<sub>2</sub>气体保护自动焊等高效、高质量焊接方法焊接通长的腰缝。反之，先自动焊接腰缝再装配筋板，可使生产率和质量大为提高，而翼板角变形需采用反变形方法加以控制。

制定装配工艺时，还要注意定位基面和零件公差的选择。例如轧制型材（如角钢、槽钢）不宜用内缘面作定位基面，焊接结构装配常以外缘为准。故零件、组件、部件外缘精确度常常影响装配质量，必须予以注意。按结构的规定公差，拟定相应的零件、组件、部件的公差。

## （2）分部件装配法

该内容在工艺分析时已经提及。大批大量生产时需将结构划分为零件、组件和部件，采用分部件装配法。这种方法不仅适用于不预先分割为部件就不能生产的各种焊接结构（如桥式起重机的桥架结构），而且对于某些复杂的，即使单件小批生产的结构采用分部件装配法亦有很大优越性，前面已经简单讨论过，可总结如下：

（a）提高装配、焊接工作质量，改善工人劳动条件。将大型复杂结构，分为轻的、尺寸较小的，较为简单的零件、组件、部件，便于装配焊接。如使一些只能在工地进行装配焊接的结构分为可在工厂制造的部件，减小工地劳动量。分部件后一些空间位置焊缝变为平焊焊缝，平角焊可变为船形位置焊，这些都改善了劳动条件。

由于划分部件时可以考虑焊缝的相互位置和数量，这些对焊接应力和变形有重要影响的因素的恰当控制，使部件应力变形得以减少。通过尽量减小总装配焊接量，使结构总的应力变形减少。

分部件装配可以较方便地采用装配焊接胎卡具。这都对提高产品质量和改善工人劳动条件发生有利的影响。

（b）提高劳动生产率和缩短生产周期。分部件后便于实行专业化流水生产，工人需要掌握的生产过程相对简单，而且多采用胎卡具，使劳动生产率得以提高。在提高生产率的同时，分部件使各工件工序间相互等待的时间减小，各部件可平行进行生产，总装工作量大为减小，这些都有利于缩短生产周期，减小生产面积，或使各工序工位负荷比较均衡，获得较高的生产效益。

（c）简化胎卡具的设计和制造，降低了生产成本。由于分部件，使胎卡具大为简化，设计和制造简单的、专用胎卡具比复杂的、万能的胎卡具快而且成本低。

部件合理划分通常应考虑以下原则：

（a）结构上的合理性。部件划分应不影响结构的强度，不宜把受力最大的焊缝留待总装时施焊。还应使划分的部件有足够的刚性、形式单一。

（b）工艺上的合理性。要考虑接头的形式，施工工艺的可能性及装配焊接是否合理。充分增大部件工作量、缩短生产周期、节省生产占地面积、容易控制应力变形和进行质量检验、容易采用简单胎卡具等。

（c）制造工厂的条件。如工厂的设备和规模，包括热处理能力、起重运输能力、劳动

组织情况等。

带有机械加工零件的焊接结构的装配工艺有其自己特点。这类带有机械加工面，并要与其他零件配合的结构有两种装配工艺：

(a) 整个结构装配焊接好，热处理消除内应力后再进行机加工完成结构制造。例如内燃机车的内燃机体、水轮机座环、六千吨水压机的三个梁等，这种方法能保证满足要求，质量好，但需大型设备，造价昂贵。

(b) 先加工好零件，然后利用专门的、有足够刚度的装配装置进行装配和合理的焊接。这类例子如挖掘机的框架，汽车吊的臂杆等。

## 八、焊接结构生产的焊接工艺

焊接工艺的制定包括解决以下问题：

(a) 待制产品各焊接接头合理的焊接方法的选择并确定相应的焊接材料。

(b) 制定合理的焊接工艺参数。例如在手弧焊时，包括焊条直径、焊接电流和电压（弧长）、焊接速度、焊缝施焊次序、每条焊缝中焊接层数、每层焊道数目及其施焊次序等；在埋弧焊时还应包括熔剂的种类；在 $CO_2$ 等气体保护焊时，还包括气体种类、焊丝干伸长度、气体流量等。

(c) 制定其他的热参数。如层间温度、是否要预热、后热、中间加热及焊后热处理，以及其加热温度、加热时间、加热部位及冷却要求等。

(d) 拟定焊接工艺中所需采用的措施及选用的焊接胎卡具与辅助装置。

制定焊接工艺应遵循以下原则：获得合格的焊接接头，包括外形尺寸、强度、刚度等方面的要求；焊接变形小于技术条件的规定；焊接应力应当尽可能小；翻转工件次数少，或利用胎卡具及焊接辅助装置使焊缝处在最有利的施焊位置；可焊到性好，焊工施焊方便；生产效率，且生产成本低，有好的经济效益等。

### 1. 几种主要焊接方法的生产特点

前面已论述过焊接工艺方法的选择在焊接生产设计中的重要性。焊接工艺方法选择的原则和制定焊接工艺应遵循的原则是一样的。但工艺方法的选定更多取决于结构尺寸形状及接头型式，有的设计图纸规定了工艺方法，这是在设计接头型式及接头结构要素时，结构设计师和工艺师商量后拟订的。为在规定的（或现有的工厂）生产状况下，选择最经济、最方便、高效率，高质量的焊接工艺方法，了解主要工艺方法的生产特点十分必要。这里所述主要工艺方法的生产特点系指：此种工艺方法适用的范围，包括焊件厚度、焊接位置、焊缝的长度等；对材料加工工艺及装配工艺的要求，如坡口准备、焊前清理等；焊前焊后热处理要求；焊接所需辅助装备、辅助工序的要求；焊接接头的质量及其稳定程度；其经济指标，如劳动生产率，设备投资等影响下的生产成本；工人的劳动条件等等。

#### (1) 手工电弧焊

手工电弧焊应用灵活方便，适用于短小焊缝及空间全位置焊缝，焊件厚度在2mm以上，最大厚度可以说不受限制，但考虑到经济指标，当厚度特大时，显然不如埋弧自动焊和电渣焊，而且厚度过大施焊过程中产生缺陷的危险也增加了。这种焊接方法对装配工作要求不太严，边缘清理也较别的工艺方法要求低。当选择合适等级的持证焊工，使用合适的焊条时，

可以优质地完成各种金属焊接结构的焊接。

综上所述，这种方法所具有的优点，使得它不但是目前生产中一种主要焊接方法，今后也仍有广阔的前途。其缺点是生产效率低，工人劳动强度大，影响工人的健康（烟尘和弧光）。针对其缺点，可采用重力焊、高效率的铁粉焊条提高其生产率，为改善劳动条件，目前模拟高水平熟练焊工的操作，设计了全位置自动焊机和焊接机器人，这种自动化焊接方法保留了手工焊的各项优点。

为在我国焊接生产中进一步提高手工焊的质量，需提供稳定质量的焊条和焊接设备；普遍进行焊工培训和考核发证工作；研制更加安全方便的劳动保护用具等。

### （2）埋弧自动焊与半自动焊

此种方法一般适用厚度在4mm以上平焊缝的焊接位置，特别适合于长焊缝。自动焊对于规则的（通长或圆形）特长焊缝尤其能体现其高生产率、优良焊缝质量和良好劳动条件的优点。在中等厚度情况下，可以不开坡口，并同时有高的焊接速度、低的焊丝焊剂等辅助材料的消耗，因而具有比手工焊高得多的生产率，及较低的焊接成本（包括节省坡口加工费用）

这种具有机械化和自动化工艺特点的焊接方法，对焊前的准备工作要求严格，在焊接时间大大缩短的同时，辅助时间却增加了。

（a）要求焊件有精确的装配质量。如对接间隙一定按照要求全长保持不变，并随板厚增加而加大；边缘加工需严格，重要的焊接结构装配前，各零件的焊接边都要经过加工。

（b）焊前坡口附近要彻底清理油污和铁锈，因为埋弧焊对此十分敏感，清理不彻底，是导致焊缝产生气孔的重要原因。焊接材料准备不当（如焊剂烘干不够、焊丝上有铁锈或油污，或焊丝、焊剂牌号弄错等等），生产组织和管理不善（如烘干的焊剂、清理过的焊丝和坡口边缘未能及时施工，焊丝和工件边缘重新生锈，焊剂受潮等），都会影响焊接质量，产生焊接缺陷。

（c）焊接前，要进行焊接参数的选择。每道焊缝施焊前，都要校对自动焊机与焊道的相互位置，焊后要回收焊剂。

（d）自动焊需要焊接辅助装置，即使平板对接，一般也还需要焊车轨道。大多数情况下，需要焊接操作机、焊接变位机或回转台、焊接滚轮架、翻转机、焊药垫、电磁平台等。

为克服自动焊不宜焊接不规则的曲线焊缝的缺点而设计的埋弧半自动焊，需要工人有较熟练的技艺，且劳动强度较大，目前已逐渐为气体保护焊所代替。

埋弧既是优点，没有刺眼的弧光，又是缺点，不如明弧可观察焊缝成形及施焊质量。

决定采用埋弧焊还是手工焊时，最好进行经济分析和论证，焊接工艺评定应当在此之后进行。

### （3）气体保护焊

本世纪50年代以来，气体保护焊获得发展，目前已经在焊接生产中得到广泛应用。在我国应用于生产的气体保护焊主要是两类：熔化极气体保护焊和不熔化极气体保护焊。前者主要是CO<sub>2</sub>气体保护焊，熔化极氩弧焊（包括富氩的混合气体保护焊、脉冲氩弧焊、窄间隙焊等）。后者主要指钨极氩弧焊。

气体保护焊具有以下共同特点：

（a）明弧，电弧可见性好，便于工人观察焊缝成型（其中窄间隙焊稍差）。焊缝质量好，如CO<sub>2</sub>气保护焊，Ar、O<sub>2</sub>或Ar、CO<sub>2</sub>混合气体保护焊对生成气孔的敏感性小，对无风

的露天作业特别有利。解决了某些金属焊接的困难，如钨极氩弧焊、熔化极氩弧焊接铝及其合金、镁及其合金、钛及其合金、一部分不锈钢、高强钢及耐热钢的焊接。

(b) 可以进行空间全位置的焊接，施焊工件厚度没有限制，既适用于通长直焊缝、规则形状焊缝，也适用于不规则焊缝。如 $\text{CO}_2$ 气体保护焊接薄板可完全代替气焊，而且目前也用 $\text{CO}_2$ 气体保护焊接中厚度以上，低碳钢、低合金结构钢重要结构。脉冲氩弧焊更是焊接合金钢薄板（不锈钢）、铝镁合金、镍合金零件的优良工艺。

(c) 生产效率高。如 $\text{CO}_2$ 焊生产率可比手工焊高1~4倍，比埋弧半自动焊高1.5倍；熔化极氩弧焊比钨极氩弧焊生产效率高十几倍；

(d) 除药芯气体保护外，其它气体保护焊后不需清渣； $\text{CO}_2$ 焊等对焊接边缘清理及装配精度要求不高，但有色金属及不锈钢、耐热钢、合金钢的氩弧焊除外。窄间隙则对清理和装配质量（间隙和坡口）有严格的要求。

(e)  $\text{CO}_2$ 保护气来源广、价格低、氩气价格也在下降。

综合以上优点可见，气体保护焊的焊接成本低。如 $\text{CO}_2$ 焊只有埋弧焊和手工焊成本的40~50%，窄间隙焊与常规手工焊相比，国外有资料介绍，其人工费仅为后者的20%。

#### (4) 电渣焊

此种方法适用于50~60mm以上厚度金属的焊接，特别适用于大厚度大截面工件的焊接，有很高生产率，所以在重型机器制造业得到广泛应用。

电渣焊的一个特点是焊缝必须处于垂直位置，对复杂的重型焊接结构，在选用和拟定电渣焊工艺时必须注意这一点。

电渣焊常用丝极、板极及熔嘴电渣焊几种。丝极电渣焊适用于长度较大（1m以上）、厚度小于600mm的环形、直通接缝的焊接；熔嘴电渣焊适于变断面或复杂断面，断面积大于 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的焊缝的焊接；而板极电渣焊应用在矩形断面，面积小于 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的焊缝的焊接。

电渣焊后一般需正火处理以消除焊接接头中的粗大晶粒组织，正火后必须回火，消除残余应力。这都是选用电渣焊必须考虑的。

各种焊接方法适用的金属材料及厚度可见表2-12。

## 2. 焊接工艺评定

当焊接结构制造工艺（包括工艺方法和全部参数）拟定好后，接着要通过工艺评定来确定所焊制出来的接头是否满足要求的性能。所以工艺评定就是用所选定的方法和全部参数，根据标准规定的焊接试件、检验试样测定接头的各项性能，包括拉伸、冷弯、冲击、硬度及金相分析。工艺评定提出的评定报告及结合实践经验制定的焊接工艺规程，是编制工艺文件的基本依据。

我国目前已颁布《压力容器焊接工艺评定》标准（JB3964-85见附录一）此标准是参照美ASME《锅炉及压力容器规范》第Ⅴ卷（1983年版）“焊接评定”，并根据我国情况作适当修改制定的。标准规定了每种材料及各种厚度条件下，采用几种主要焊接方法（手工焊、埋弧自动焊、气体保护焊、电渣焊及气焊）焊后进行工艺评定的方法。它把所有工艺因素分为钢材类别、热处理类别、金属厚度、基本因素、补加因素和次要因素。除最后一项外，每一项发生改变都要重新评定，重新提出“工艺评定报告”；当规定不要重新评定或变更次要因素而不需要重新评定焊接工艺时，只需修订焊接工艺规程。

评定合格的焊接工艺，必须在基本和补加因素一致的条件下才能用于结构制造。

表 2-12 各种钢种和金属适用的焊接方法一览表

适用厚度 工艺方法	材料									
	低碳钢	普通低合金钢	不锈钢	耐热钢	高强度钢	铝及其合金	钛及其合金	铜及其合金	镍及其合金	镁及其合金
气 焊	薄板	薄板	很少用							
手工电弧焊	用于各种厚度					很少用				
埋弧自动焊	4 mm 以上					很少用				
CO <sub>2</sub> 焊	1 mm 以上									
钨极氩弧焊	4 mm 以下及打底焊					✓	4 mm 以下		✓	
熔化极氩弧焊	中等厚度以上少用					中等厚度以上				
窄间隙焊	高热输入适于50mm以上, 50mm以下为全位置焊					国内尚未见应用				
Ar+CO <sub>2</sub> 混合气熔化极气保焊	✓				✓					
Ar+CO <sub>2</sub> 混合气熔化极气保焊	✓				✓					
Ar+H <sub>2</sub> 混合气熔化极气保焊						✓	✓	✓		
熔化极脉冲Ar 弧焊	薄 板									
电 渣 焊	50 mm 以 上									

注：打✓适于各种厚度

JB3964—85标准已作为三部（公司）发布的有法律效力的规定，压力容器制造时必须遵守。目前还正在拟定《锅炉焊接工艺》评定标准。其他重要的焊接结构也应进行这类评定，以便所拟定的工艺更加科学，产品质量更加可靠。

### 3. 确定合理的焊接参数及热参数

编制焊接工艺过程，要对产品的材料及其结构形式做深入的分析，讨论材料的焊接性和结构因素的共同作用。预先选定焊接方法、焊接材料，详细地确定各项焊接参数，组织对工艺评定试件的施焊，经试件检验，获得合格的，符合图纸要求的焊缝和接头。经过各项试验，工艺评定通过之后，工艺方才成立。接着可以进行工艺规程、工艺卡片等工艺文件的编制。

如果恰当运用焊接原理及工艺、熔焊方法及焊接结构的有关理论，认真地进行了上述分析工作，选择的焊接方法及参数都是正确的，工艺评定常可一次获得通过。如果出现未估计到的情况，或未认识到的原因，工艺评定的一些项目未获得通过，这也是正常的。此时，则需针对问题，重新修改有关参数、甚至改变焊接方法、焊接材料，重新组织试验，直到获得满意的结果。所以说合理的焊接参数及热参数是在工艺评定的试验过程中确定的。

生产中所依据的工艺文件应同工艺评定完全一致。但结构生产时，还有一些条件不同于工艺评定，例如结构的刚度条件；有些因素在工艺评定中不可能包括，如各条焊缝施焊的先后次序等。这些在编制工艺文件时都要加以考虑，通过试生产的检验，作适当的修改，形成正式的工艺。到此为止焊接结构生产工艺过程设计大致完成。



# 第三章 焊接容器

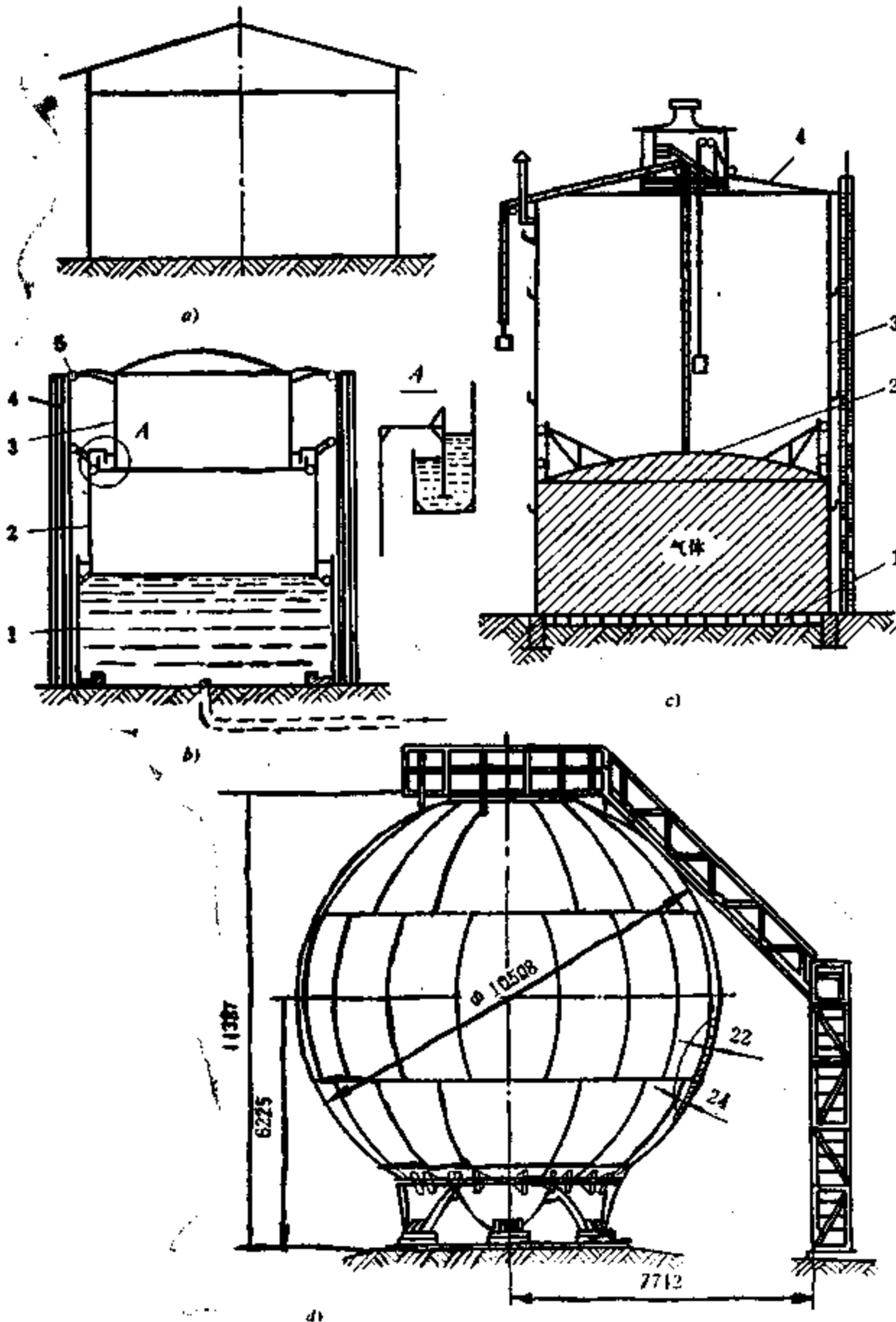
## 一、焊接容器的用途与结构特点

焊接容器是由板材成形加工并焊接而成的，承受内外压的结构，又称板（壳）结构。焊接容器是应用最广泛的焊接结构之一，最体现焊接结构的优点——连续和密闭。

### 1. 焊接容器按用途分类

#### (1) 贮罐类焊接容器

图 3-1 是部分贮罐结构示意图。立式圆柱形贮罐，如图 3-1 a) 所示，常用作储存



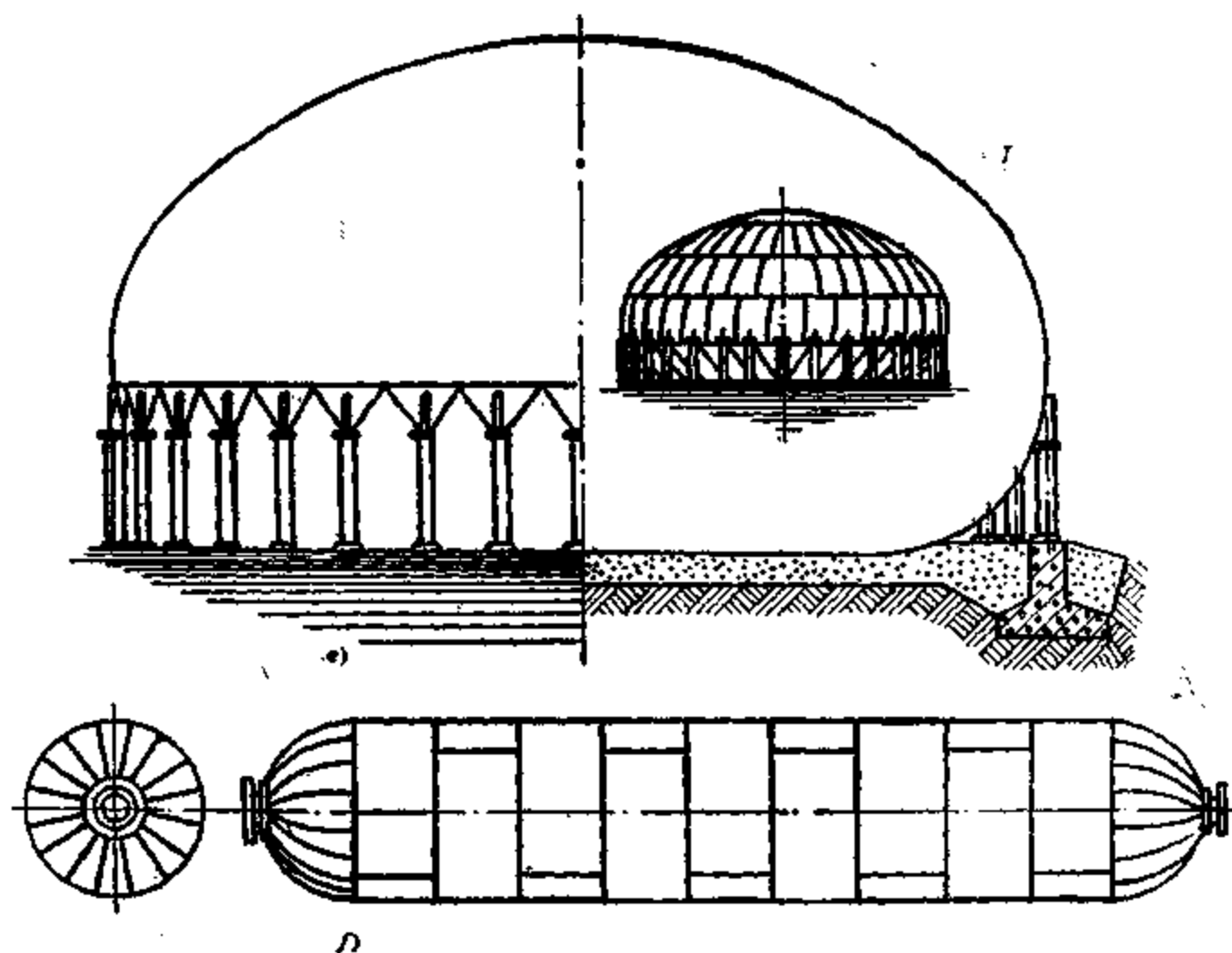


图 3-1 贮罐结构示意图  
 a) 立式贮罐；b) 湿式贮气罐；c) 干式贮气罐；  
 d) 球罐；e) 水滴状贮罐；f) 卧式贮罐

石油及其制品，贮罐高一般不超过12~18m。分为贮罐底、壁和顶三部分，容器容积最大达200000m<sup>3</sup>。贮罐承受液体静压力及挥发气体的分压，罐顶上部开孔安装安全阀，整个罐体建在砂质、沥青或水泥地基之上。由于体积庞大，超过运输界限，通常在工地建造，但也有在工厂制成部件，卷成筒卷状，运到工地安装，用这种方法建造的贮罐质量好而生产率高。

浮筒式气体贮罐分为两类，一类为湿式贮气罐，如图3-1 b)所示，供作易燃易爆或有毒气体的储存，如城市煤制气柜。它由贮罐1和带有可伸缩的筒节2和不可与筒节2相对伸缩的钟形罩3组成。钟形罩和伸缩筒节沿导轨4移动是依靠滚轮5在导轨中滚转实现的。联结部用水实现密封。

另一类为干式贮气罐，如图3-1 c)所示，壳体3是不动的，与底板1、顶盖4密闭连接，壳内有可上下移动的活塞2。湿式贮气罐容积达50000m<sup>3</sup>，而干式的还要大一些。

球罐如图3-1 d)所示，常用来储存液化石油气，液化天然气、乙烯、丙烯、氮、氧等气体及化工原料。国内目前储存介质的最高压力达2.94MPa (30kgf/cm<sup>2</sup>)。这类容器都由加工成球瓣状的壳板采用对接装配焊接起来。由于体积庞大不便于焊后对整个结构进行热处理，壁厚一般不超过36mm。以此为限，选用强度达490MPa (50kgf/mm<sup>2</sup>)级高强度钢，设计制造了直径33m，容积为20000m<sup>3</sup>，压力为0.49MPa (5kgf/cm<sup>2</sup>)的巨型球罐。由于同样容积下球罐最节省材料，工作应力较小，虽然制造比较复杂，但目前仍获得广泛应用。

水珠状贮罐如图3-1 e)所示，也是作为储存石油及其制品用，压力可达0.04~0.06 MPa。采用水珠状可减少材料消耗，减少石油制品储存期间的挥发损失。但加工曲率变化的壳板及其装配焊接十分复杂，这种贮罐在我国尚未见应用。

卧式圆形贮罐如图3-1 f)所示，其容积大小不一，封头形状各异，有平底封头（内

压 $<0.039\text{MPa}$ ), 锥形封头, 圆柱面封头、椭圆封头及球形封头(图3-1f)等。图中所示为直径3.25m气体贮罐, 长度相当大, 最大壁厚接近球罐最大壁厚(不大于40mm)。运送石油制品、酸和水、酒精等化学物品的罐车上的贮罐, 其容积为 $50\sim 60\text{m}^3$ , 直径为2.6m和2.8m, 国外有载重90t和120t, 直径达3m的贮罐。制造酸罐车有时使用双层钢、铝合金并加保护层。为了储存和运输液化(石油、氮等)气体, 制有双层壁卧式圆柱形容器, 如图3-2所示。其内筒由铝锰合金制造, 用链子固定在20号钢制外部容器上, 在两层之间填满气凝胶并抽去空气。

家用液化石油气罐是小型的圆柱贮罐, 如图3-3所示。与上面各类贮罐一样接缝也采用对接, 需要单面焊双面成形, 内部采用垫板。图示容器设计压力为 $1.57\text{MPa}(16\text{kgf/cm}^2)$ , 装存50kg液化石油气。乙炔气贮罐结构与其非常类似。

另有一些卧式圆柱形贮罐, 只存在液体静压, 罐壁很薄, 为装配方便采用部分搭接接头, 如图3-4所示。图中贮罐用作加油站储存石油制品时, 常常埋在地下。

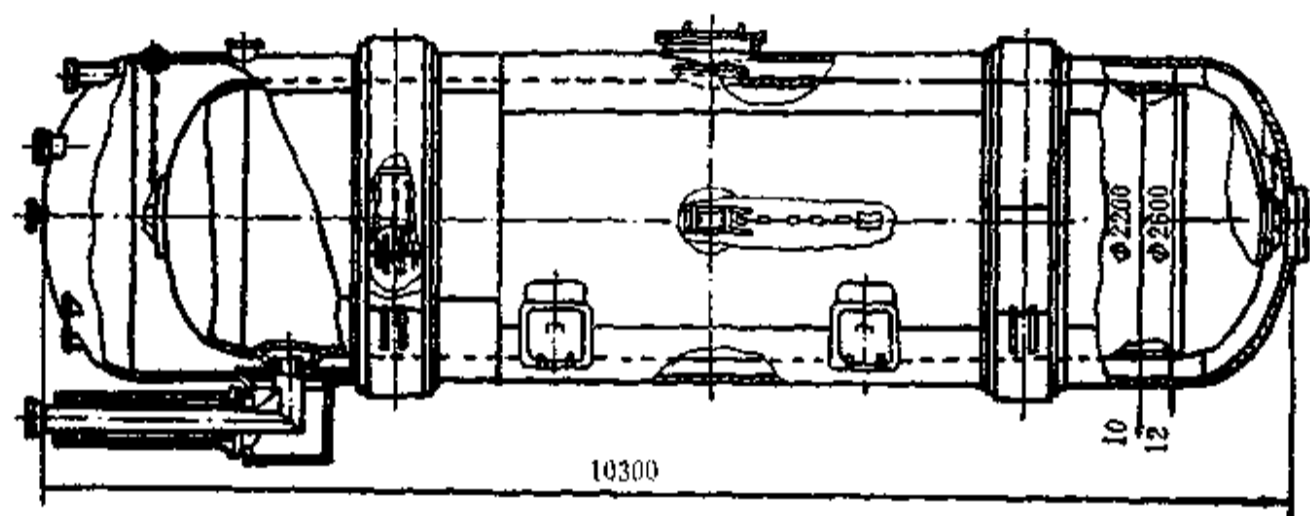


图3-2 液氮贮罐

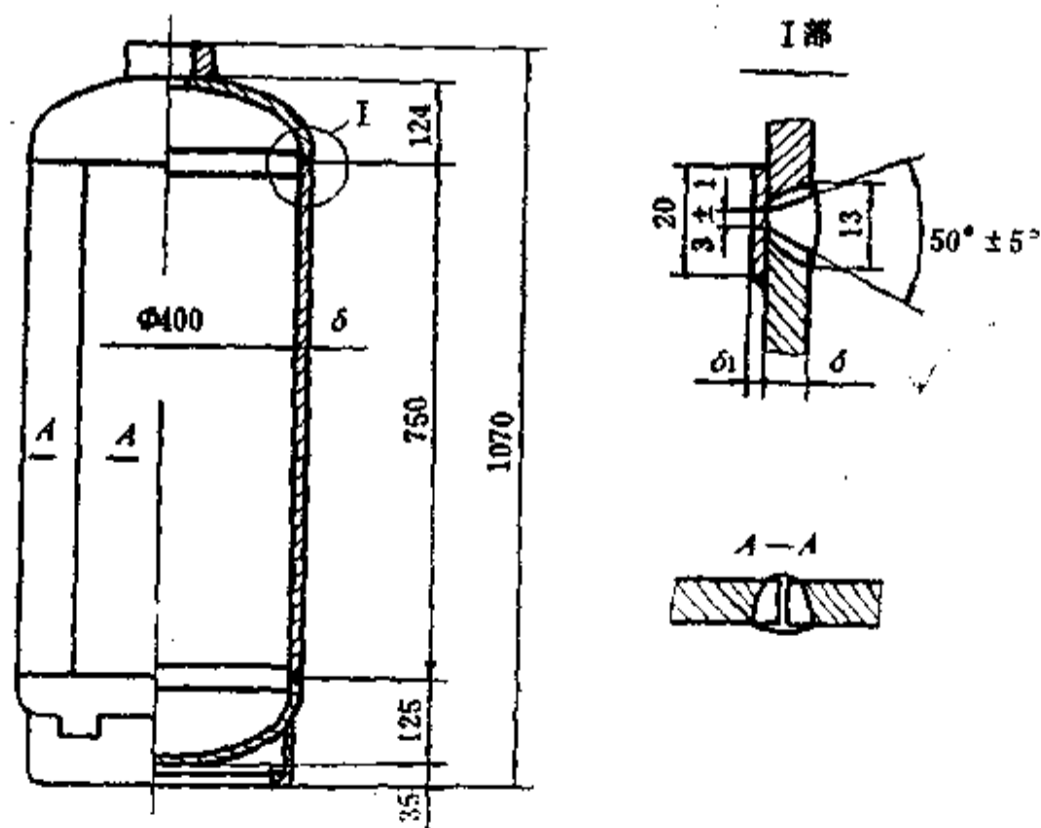


图3-3 液化石油气罐

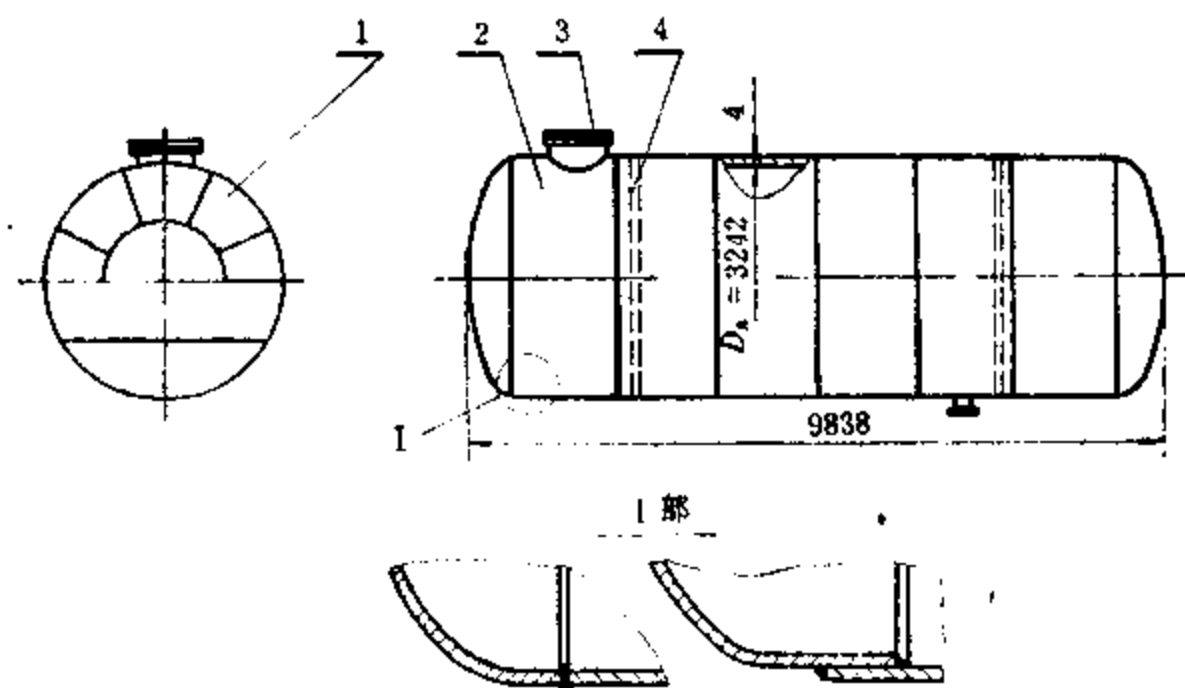
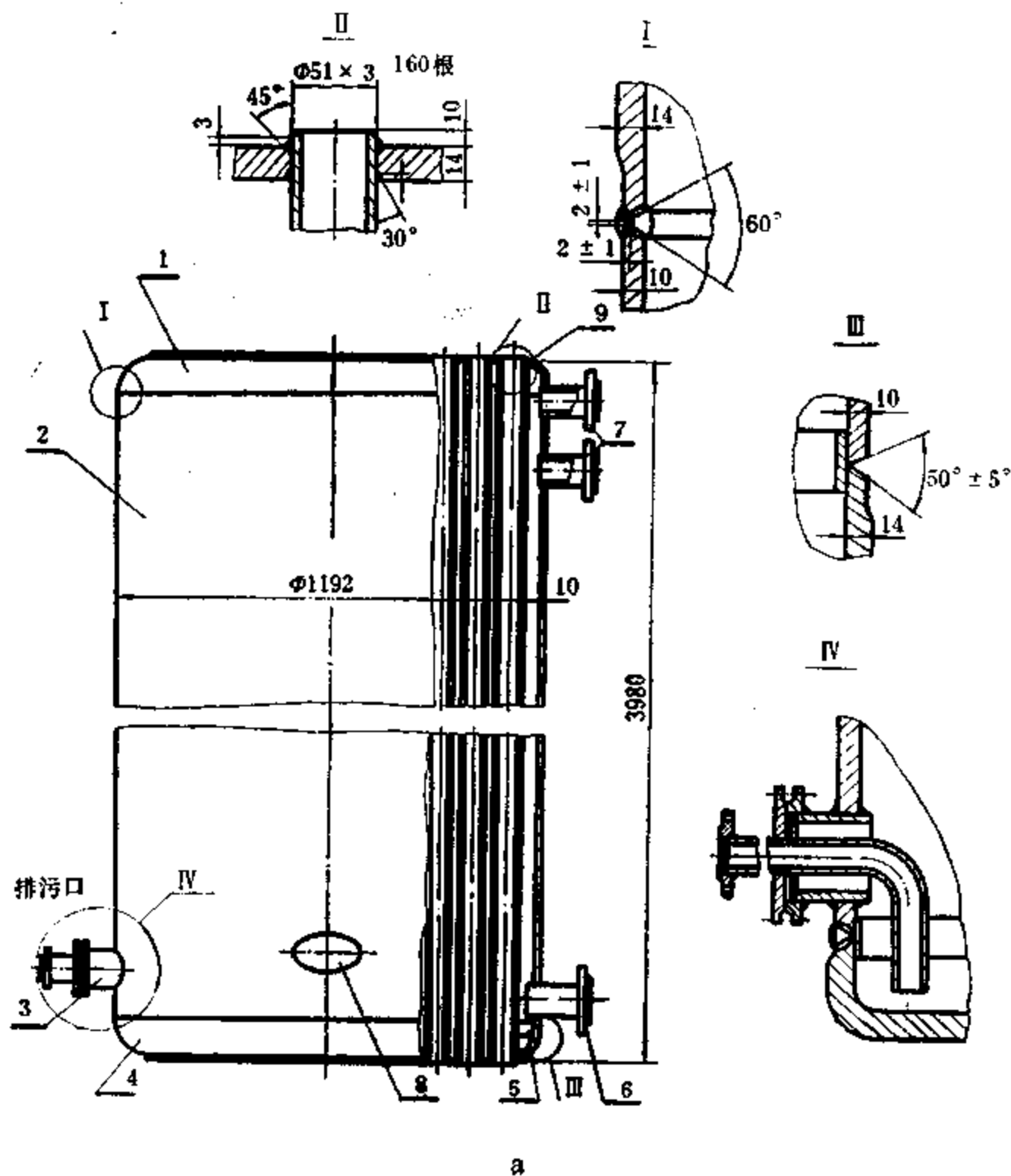
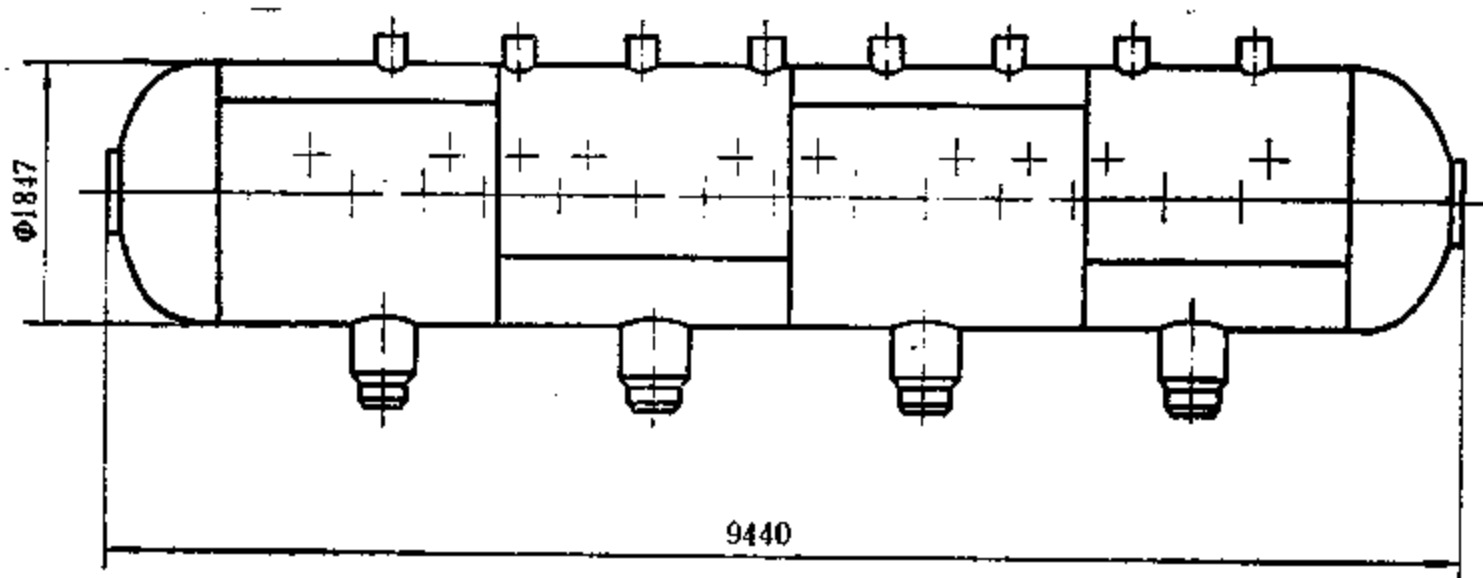


图 3-4 卧式石油贮罐

1—封头；2—筒体；3—人孔；4—内部支撑。

(2) 小型锅炉（工业锅炉）及大型（电站）锅炉的汽包  
 如图 3-5 所示，其中 a) 图为蒸发面积为  $100\text{m}^2$  的废热锅炉的蒸汽发生器，类似于直





b

图 3-5 锅炉和电站锅炉汽包

a) 工业废热锅炉蒸气发生器; b) 锅炉汽包。1—上管板; 2—筒体; 3—排污管;  
4—下管板 5—垫环; 6—软水下降管; 7—汽液出口接管。

接受火的火管锅炉, 工作压力  $0.59\text{MPa}$  ( $6\text{kgf/cm}^2$ ) (壳程), 工作温度  $164^\circ\text{C}$  (设计温度  $166^\circ\text{C}$ ), 水介质。火管温度达  $200\sim 600^\circ\text{C}$ , 但不直接受火, 其介质为煤气。筒体壁厚  $10\sim 14\text{mm}$ 。由图可以看到由于制造原因, 有一条环缝是带垫板的。图 3-5 b) 为壁厚  $90\text{mm}$  的电站锅炉汽包。由直流式排管加热使水变为蒸汽, 汇入汽包, 工作压力达  $10.79\text{MPa}$  ( $110\text{kgf/cm}^2$ )。在汽包内使汽水分离, 水由下降管 (下部 4 根管) 回到联箱中, 下降管孔径  $480\text{mm}$ , 采用插入式管接头。

由图可见锅炉或锅炉汽包都是一种承受内压的直接受火的容器, 由于工作条件恶劣 (常处于高温高压下), 因此都装有球形或椭球形封头, 只是安装排管时, 才采取管板状, 而且均匀过渡 (图 3-5 a)。锅炉类容器的壁厚可以很大, 而且不仅用锅炉钢, 还采用低合金结构钢制造; 如图 3-5 b) 所示, 筒体用  $19\text{Mn5}$  钢制造, 接管用 20 号钢。因为焊接工作量大, 且焊缝比较规则, 故大量采用埋弧自动焊、电渣焊等高效焊接方法。

由于锅炉是否安全运行关系到国民经济发展和人身安全, 故其设计制造及安装使用都要接受国家劳动安全部门的监督, 遵守国家劳动人事部颁布的锅炉安全监察规程<sup>[14]</sup>的规定。

(3) 化工石油设备中的反应釜、反应器 (罐)、蒸煮球、合成塔等

图 3-6 a) 所示为套管式热交换器, 其结构主要是壳体, 为一圆柱形两端带椭圆封头的内压容器, 内部有管板, 上焊有各种截面和形状的管子。

图 3-6 b) 为国产加氢反应器。它是一个双层热套的圆柱形受压容器, 由于强度的原因 (下面还要分析), 外层环缝大多不焊接, 即轴向应力主要由内筒承担, 环向应力由内外筒共同承担。故外筒好像套箍, 套合过盈量为  $0.13\sim 0.22\% D$  (约  $3\sim 5\text{mm}$ ) 套合面经机械加工, 加工后外筒壁厚不小于  $75\text{mm}$ , 内筒壁厚不小于  $85\text{mm}$ 。该反应器工作介质为油、氢、硫化氢, 故内层采用  $20\text{CrMo}$  抗氢钢制造; 外层不与介质接触, 采用  $18\text{MnMoNb}$  普通低合金钢制造, 因此节省了昂贵的抗氢钢。设计工作压力为  $20.6\text{Mpa}$  ( $210\text{kgf/cm}^2$ ), 设计壁温为  $300^\circ\text{C}$ , 总容积  $80\text{m}^3$  (有效容积  $50\text{m}^3$ )。

图 3-6 c) 为尿素合成塔壳体结构图。它为一层板包扎式高压容器。为抵抗介质的腐



蚀，内部衬有超低碳不锈钢（00Cr18Ni12Mo2），承压力的筒体由13mm内筒包扎焊接13层6mm层板组成，材料为15MnV低合金钢。这是小型化肥厂用尿素合成塔，设计工作压力为21.57MPa(220kgf/cm<sup>2</sup>)设计工作温度为180~190℃，有效容积4.5m<sup>3</sup>，工作介质为尿素、氨基甲酸铵溶液等。

(4) 冶金建材、水电等行业所用设备中的高炉、平炉、转炉体（壳）热风炉、洗涤塔；水泥窑炉的炉体、水电站的蜗壳等。

如图3-7所示都是巨型焊接容器（壳体）。图3-7 a)所示为成套高炉设备示意图，

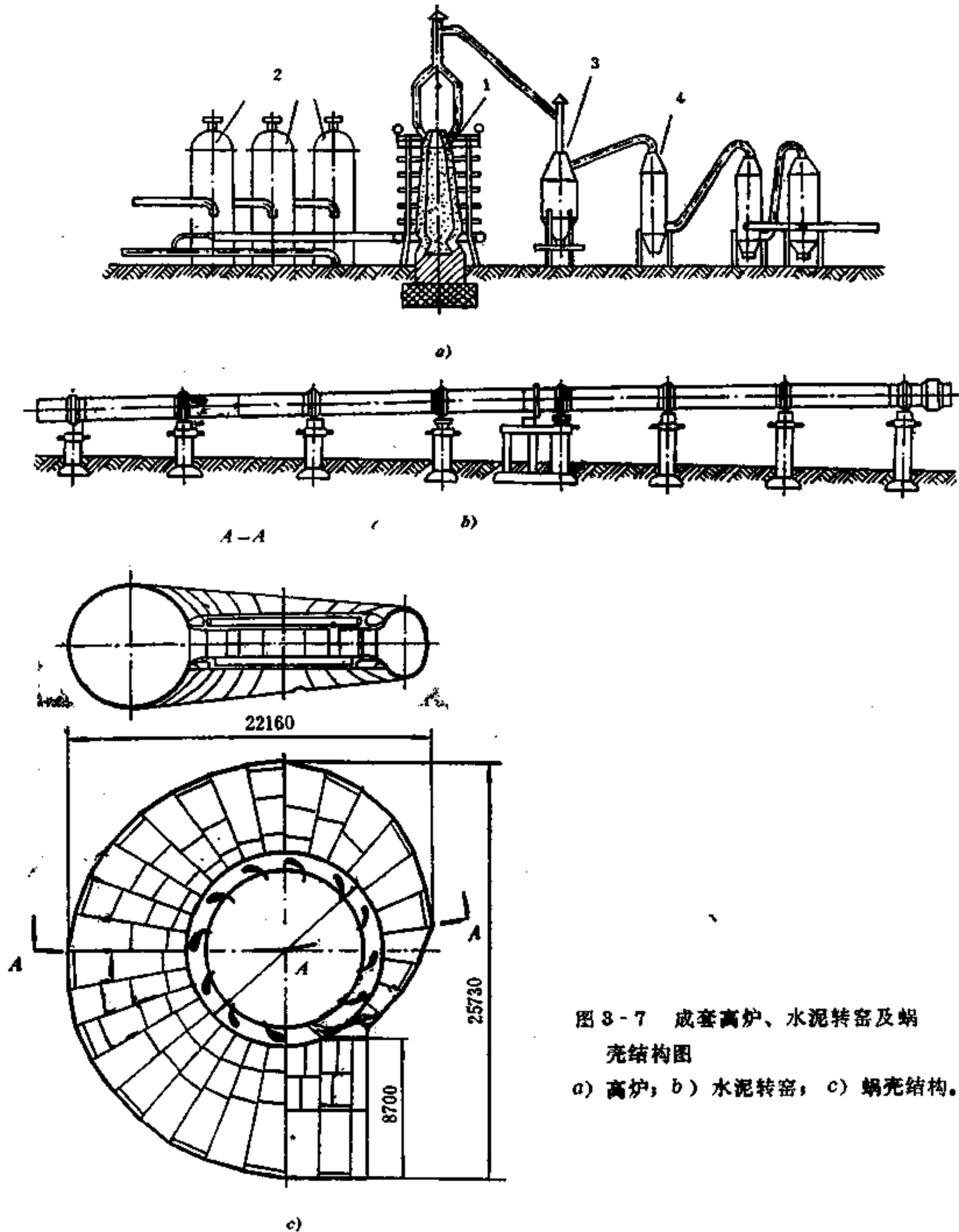


图3-7 成套高炉、水泥转窑及蜗壳结构图  
a) 高炉；b) 水泥转窑；c) 蜗壳结构。

大多为圆筒状内压力容器。包括高炉炉体 1, 空气预热器 (热风炉) 2, 除尘器 3 和洗涤塔 4。高炉炉体要求密闭, 还需要承担很大的内压 (由耐火衬里、矿石、焦炭等原料和铁水形成)。最大厚度可达 60mm, 直径达 15m, 高度 40m 以上。这是目前高炉向大型化方向发展的结果。如日本高炉容积最大达 5000m<sup>3</sup>, 苏联达 5580m<sup>3</sup>, 美国也在 3000m<sup>3</sup> 以上。热风炉、除尘器和洗涤塔等类圆筒容器, 直径 7~11m, 壁厚 10~20mm, 两端有锥形或球形封头, 它们承受内压, 全部焊缝采用对接。

图 3-7 b) 是生产水泥的窑炉壳, 为圆柱形, 直径 4.7~7 m, 长 120~230m 筒体上焊有箍环, 使整个结构支承在辊轮支柱上。

大功率水轮发电机的蜗壳是由空间渐变曲率的曲面对接而成的复杂结构, 如图 3-7 c) 所示。由于尺寸大, 通常在工地建造。壳板是在工厂预制好的, 因为装配的困难, 对备料精度要求极为严格。

### (5) 特殊用途的焊接容器

如核容器, 是一种厚壁压力容器; 火箭及航天器上的容器, 如储存燃料的环状容器 (图 3-8), 可以绕液体燃料火箭发动机配置, 是一种薄壁压力容器。也有圆柱形和球形的压力容器, 都采用高强材料 (合金钢或高强铝合金) 制造为减轻重量壁很薄。

潜艇及深海探测器实际上也是一种压力容器, 是承受外压的压力壳。

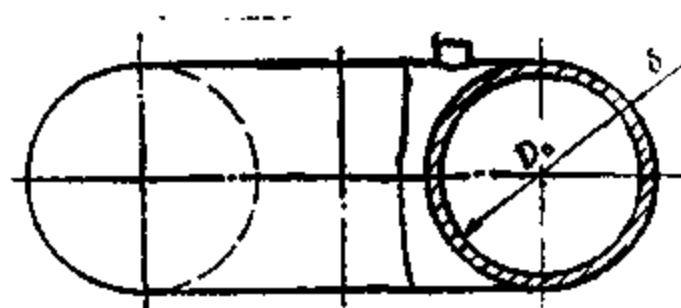


图 3-8 环状容器

## 2. 压力容器的分类与常见高压容器的结构

上述大多数容器实质上都是压力容器, 这里仅讨论符合国家颁布的《压力容器安全监察规程》规定的压力容器<sup>[15]</sup>。即具有最高工作压力 ( $P_g$ )  $\geq 0.098\text{MPa}$  ( $1\text{kgf/cm}^2$ ), 容积 ( $V$ )  $\geq 25\text{l}$ , 且  $P_g \cdot V \geq 19.6\text{MPa}$  ( $200\text{l} \cdot \text{kgf/cm}^2$ ), 工作介质为气体、液化气体和最高工作温度高于标准沸点的液体的容器。同时具备这三个条件, 但不应是核能容器、船舶上的专用容器和直接受火加热的容器 (如锅炉)。这些例外情况另有相应适用规程。

按容器的压力 ( $P$ ) 可将容器分为低压 ( $0.08 \leq P < 1.57\text{MPa}$ )、中压 ( $1.57 \leq P < 9.81\text{MPa}$ )、高压 ( $9.81 \leq P < 98.1\text{MPa}$ ) 及超高压 ( $P > 98.1\text{MPa}$ ) 四类。

按容器在生产工艺过程中的作用原理又可分为反应容器——用来完成介质的物理、化学反应的容器 (如: 反应器、发生器、反应釜、分解塔、合成塔、高压釜、超高压釜、蒸煮球等); 换热容器——用来完成介质的热量交换的容器 (如废热锅炉、热交换器、冷却器、冷凝器、加热器、硫化锅、消毒锅等); 分离容器——用来完成介质的流体压力平衡和气体净化分离等的容器 (如分离器、过滤器、集油器、贮能器、洗涤塔、吸收塔、铜洗塔、干燥塔等); 贮运容器——用来盛装生产和生活用的原料气体、液体、液化气体等 (如各种贮槽、贮罐、罐车等)。当然有些容器不是起一种工艺过程作用, 此时应按主要作用来划分。

和锅炉一样, 压力容器的安全经济运行, 关系到保护人民生命、财产安全和社会主义四化建设, 其设计、制造、安装、使用和检修都必须遵守安全监督规程<sup>[15]</sup>的规定。各工业国家都有这类具有法律效力的规程。按我国压力容器监察规程, 根据容器的压力渐次增高和介质危害程度逐渐增大, 将容器分为一、二、三类:



一类容器 非易燃或无毒介质的低压容器、易燃或有毒介质的低压分离容器和换热器等。

二类容器 中压容器；剧毒介质的低压容器，易燃或有毒介质的低压反应容器和贮运容器；内径小于1m的低压废热锅炉。

三类容器 高压、超高压容器；剧毒介质且  $P_c \cdot V \geq 196 \text{ MPa}(2,000 \text{ l} \cdot \text{kgf}/\text{cm}^2)$  的低压容器（表明容积较大）或剧毒介质的中压容器；易燃或有毒介质且  $P_c \cdot V \geq 490.3 \text{ MPa}(5,000 \text{ l} \cdot \text{kgf}/\text{cm}^2)$  的中压反应容器，或  $P_c \cdot V \geq 4903 \text{ MPa}(50,000 \text{ l} \cdot \text{kgf}/\text{cm}^2)$  的中压贮运容器；中压废热锅炉或内径大于1m的低压废热锅炉。

规程对于有毒、剧毒、易燃等都作出了规定<sup>[15]</sup>。

规程规定设计、制造一、二、三类压力容器都需要取得合格证，这就保证了设计和制造的质量，保证将来容器安全经济的运行。

属于三类容器的高压容器，除以上介绍的层板包扎结构（尿素合成塔）和热套式容器（加氢反应器）以外，还有多种结构形式，如：

#### （1）单层厚板卷板式高压容器

如图3-9所示，它是高压容器的最简单形式。图中所示为一水压机蓄势器，其壁厚达150mm，使用22号锅炉钢板制造，全部壳体焊缝都采用电渣焊完成。除支座与底的焊缝、吊耳与封头的焊缝采用角焊缝外，其余都是对接焊缝。

这种结构的高压容器构造简单，制造也不复杂，而且筒壁传热好，适用于化学工业要求筒壁传热的压力容器。

从这种容器的制造工艺可以看出，制造厂必须有大型设备——大型的压力机、弯板机和热处理设备，大吨位起重运输设备等。具备上述条件的工厂大量制造这种广泛用途的高压设备。如图3-5b) 锅炉汽包、核容器<sup>[1]</sup>、一些化工反应器实质都是单层厚板卷板式高压容器。

#### （2）扁平绕带式高压容器

通常在卷焊好的内筒（厚30mm，并带有焊好的封头）上以一定的预紧力缠绕截面  $4 \times 80 \text{ mm}^2$  的扁平带钢，带钢以  $\pm 25^\circ \sim 30^\circ$  螺旋角交叉缠绕，带钢两端部与封头（底）用对接焊缝连接，带钢之间不设置焊缝，其结构如图3-10所示。焊缝短（80mm），焊接工作量小，且预紧力可以调节，有层板包扎式容器（焊缝收缩应力构成层板预紧力）的特点，而且生产周期短（比层板包扎便利），成本较低。常用于内径小于500mm的高压容器。图3-10所示容器为水压机蓄势器，工作压力  $31.38 \text{ MPa}(320 \text{ kgf}/\text{cm}^2)$ ，水压试验压力为  $41.2 \text{ MPa}(420 \text{ kgf}/\text{cm}^2)$ ，内筒及带钢材质皆为16Mn钢。带钢共绕18层，总壁厚为  $30 + 18 \times 4 \approx 102 \text{ mm}$ 。

#### （3）绕板式（卷板式）高压容器

这种高压容器的筒节是先焊好内筒，再在内筒上一次缠绕厚为  $3 \sim 4 \text{ mm}$  的卷绕层；重复卷绕至达到规定的厚度，外面再包裹一外筒；制好的筒节与筒节，筒节与封头（底）再用深槽环形焊缝焊接起来。故这种高压容器有扁平绕带式及层板包扎式的共同特点。即制造简化，生产周期短、生产率高，容器安全性高等优点；但仍存在深槽环形焊缝，施焊比较困难，质量检测和控制也比较困难。

国外用此方法生产的典型结构参数如下：

$L$ （长）：1200mm；

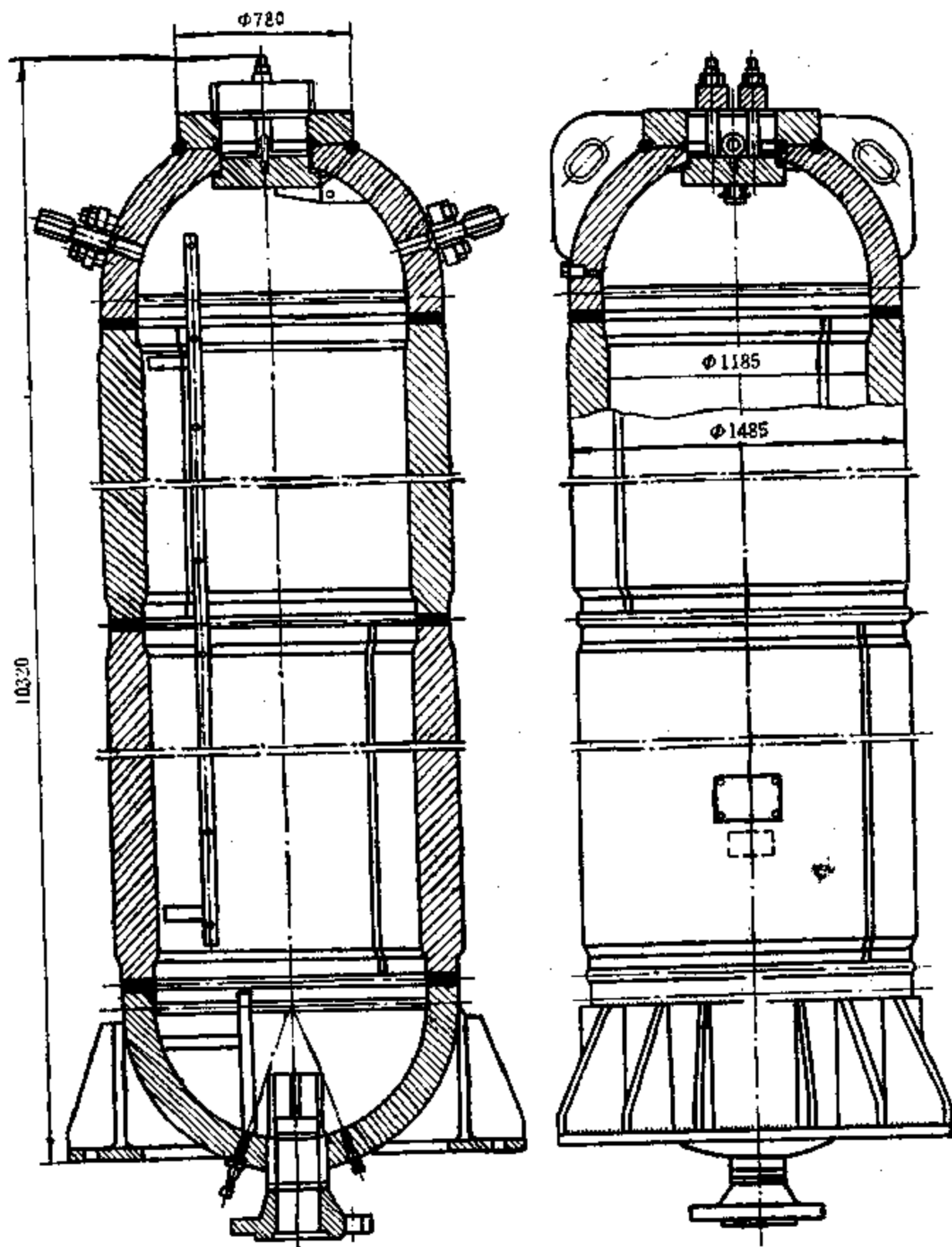


图 8-9 单层卷板式水压机蓄势罐

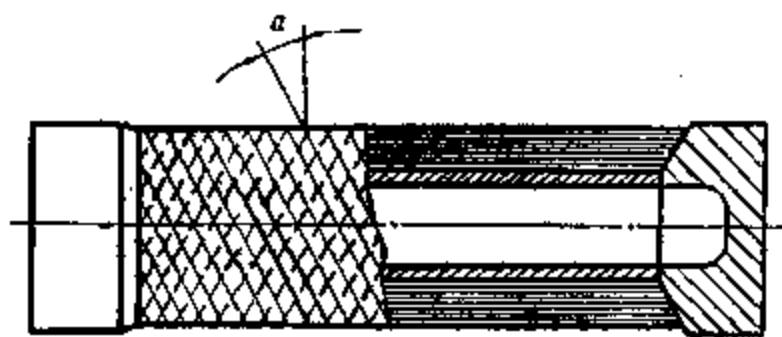


图 8-10 扁平绕带式高压容器

$D_n$ (内径) : 610mm;

$\delta$ (壁厚) : 57.6mm; (内筒厚 + 卷层厚 + 外筒厚 = 10 + 3.2 × 13 + 6)

$P_d$  (设计工作压力) : 16.67MPa(170kgf/cm<sup>2</sup>) ;

材质: 内筒: SUS27; 外筒: SS41; 卷板: SPH3; 封头: SB49与SUS27。

我国也在1965年试制了这种高压容器。

#### (4) 电渣熔成高压容器

这是国外最新的一种利用电渣熔炼方法制造高压容器筒体的工艺。图3-11所示是边焊接(电渣熔成),边旋转工件,同时进行工件加工。工件厚度为30~300mm,电渣熔成厚度(长度方向)一次达30~50mm。由图可见,这种方法制造的容器壳体成分可调,同时利用电渣重熔焊机比制造单层厚壁容器的其他方法所需的设备要简单和便宜,且不需要熟练的工人,工时消耗也低(如制造直径1.2m,壁厚50mm,长3m的筒体只需2名工人,80小时即可完成);生产自动化程度较高。其生产过程,包括电极(扁平板状)进给、转盘旋转,焊接电流、焊接电压进行自动控制,其筒身直径和壁厚可按精确确定的尺寸加工。综上特点,使整

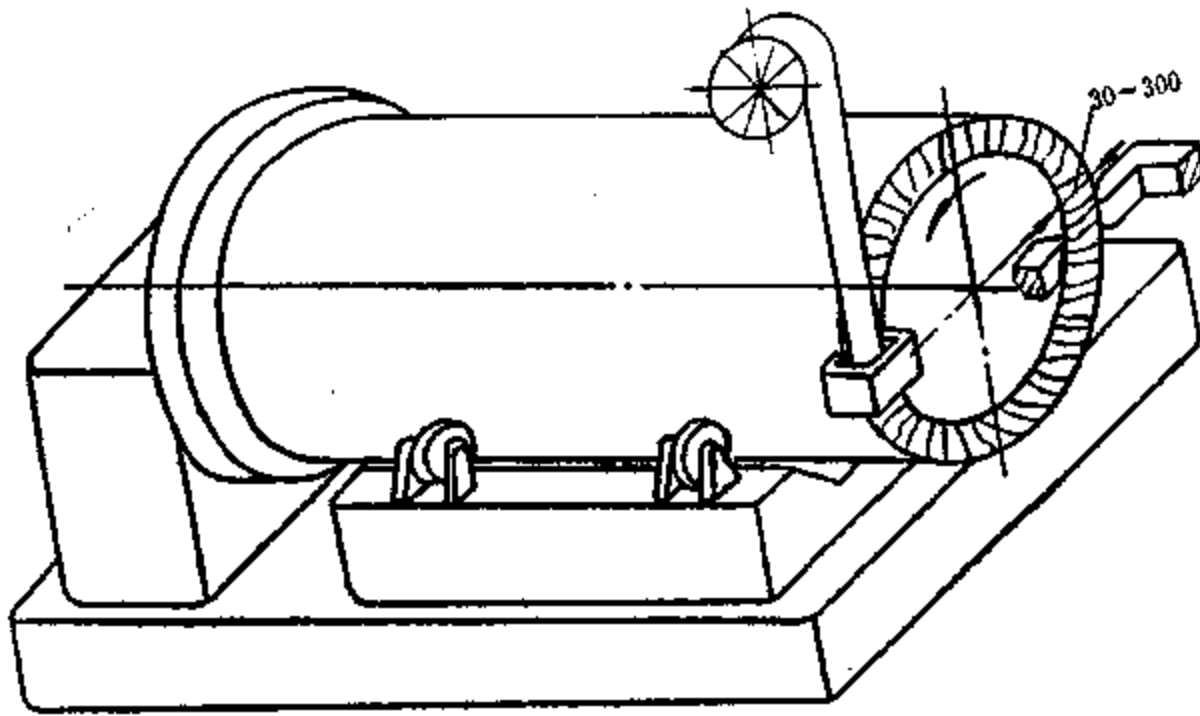


图3-11 电渣熔成高压容器示意图

个制成品的造价低(相当于整体锻造高压容器成本的50%;厚板单层卷板式高压容器成本的64%;多层包扎式高压容器成本的82%),而质量高(沿厚度材质均匀,不存在夹渣与分层,爆破用这种方法制造的高压试验容器,发现容器发生相当大流动才破坏)。

## 二、焊接容器结构设计的基本理论

### 1、薄壁容器设计计算理论

薄壁容器设计计算理论适用于设计计算以薄壳和薄板为基本元件的容器,如大多数贮罐类容器、锅炉壳体、大多数化工石油设备中的各类容器、冶金建材设备的壳体、部分特殊用途的容器、大直径管道,以及锥面壳体、平板封头、封底板等。薄壁容器的应力分析建立在(薄)膜应力理论的基础之上。这种分析结果得出薄壁容器的设计计算式。所谓(薄)膜应力理论,即假定应力沿板厚分布均匀,好象承受压力的薄膜,因此板愈薄愈精确。通常规定其适用条件为 $K = D_w/D_n \leq 1.1 \sim 1.2$ ,还有规定 $\delta/r \leq 1/20$ 就更苛刻一些。式中 $D_w$ ,  $D_n$ 代表外径和内径, $r$ 代表中半径, $\delta$ 代表壁厚。我国设计规范 $K$ 可达1.5。

假定在膜应力理论条件下，壳体只承受两向应力（面内应力），即垂直板壳作截面，只有垂直于截面的应力，而无平行截面应力。这种近似计算在规定的条件下有足够精确度。

在承受集中载荷的区域、板厚发生急骤变化的区域（如壳体的交叉接头处），容器上布置各种附加设备和装置的地方（如各种支座、支承、管接头等处）常处于三向应力条件下。实验研究表明，这种三向应力分布的情况局限于一个很小的区域，在离开一段距离之后，三向应力很快减小和消失。故整体容器仍可用膜应力公式进行计算，而局部可考虑采用加强设计。

### （1）回转壳体的无力矩理论（膜应力理论）

按上述膜应力理论的假定，壳体只能承受两向拉压应力，不能承受面外弯曲及扭转力矩，而且应力沿壁厚均匀分布。根据这些特点，利用截面法和平衡条件确定应力计算式。

作为一般情况，回转壳体由一任意曲线（ $DBC$ ）绕回转轴（ $x-x$ ）旋转而成，（如图 3-12 a）所示。该曲线称为母线。如通过回转轴作一纵切面，该面交壳体于一线，该线被称为“经线”。如图所示经线上曲率处处不同。取单元体  $A$ ，过  $A$  之经线在  $A$  点处曲率半径为  $r_1$ 。如作与壳体曲面垂直的曲面，此曲面必为圆锥面。该圆锥面与回转曲面的交线被称为“纬线”。此圆锥面母线的长度即纬线的曲率半径  $r_2$ 。 $r_1$  和  $r_2$  分别称为  $A$  点的第一和第二主曲率半径。由于单元体取得足够小，在此单元体内各点  $r_1$  和  $r_2$  处处不变。如再作一平面垂直于  $X-X$  轴并与纬线相交，形成圆，该圆的半径为  $r_0$ 。

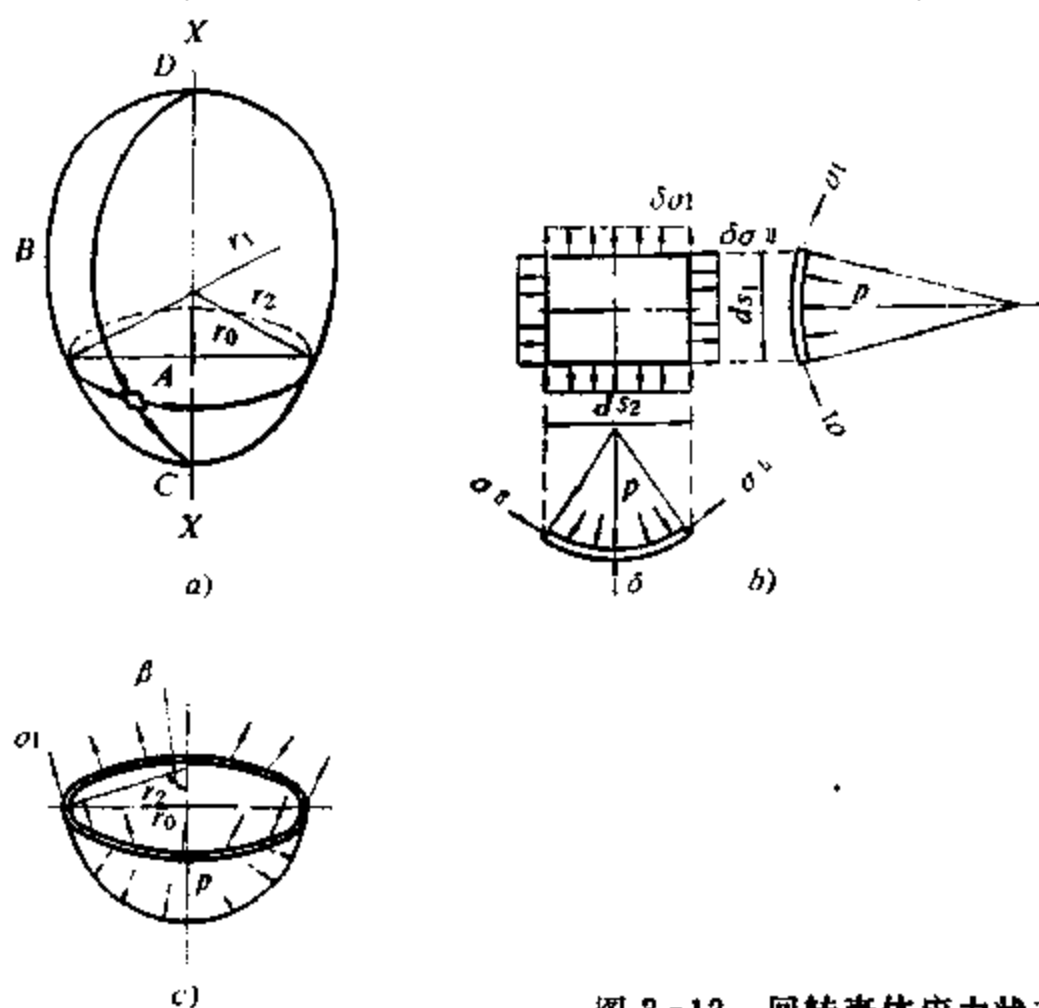


图 3-12 回转壳体应力状态图

取出承受两向应力的单元体（如图 3-12 b），单元体承受经向应力设为  $\sigma_I$ ，纬向应力设为  $\sigma_{II}$  壳体承受的内压  $p$  作用于单元体。作用在单元体上的力互相平衡，则得平衡方程式

$$2\sigma_I ds_2 \cdot \sin \frac{ds_1}{2r_1} + 2\sigma_{II} ds_1 \sin \frac{ds_2}{2r_2} = p ds_1 ds_2$$

考虑到单元体足够小，则

$$\sin \frac{ds_1}{2r_1} = \frac{ds_1}{2r_1}; \quad \sin \frac{ds_2}{2r_2} = \frac{ds_2}{2r_2}$$

从而有

$$2\delta\sigma_I \frac{1}{2r_1} + 2\delta\sigma_{II} \frac{1}{2r_2} = p$$

化简后得到著名的Laplace方程:

$$\frac{\sigma_I}{r_1} + \frac{\sigma_{II}}{r_2} = \frac{p}{\delta} \quad (3-1)$$

式中  $\sigma_I, \sigma_{II}$ ——分别为径向应力和纬向应力;

$r_1, r_2$ ——分别为第一和第二主曲率半径;

$p$ ——薄壳(回转壳体)单位面积上的压力;

$\delta$ ——壳体厚度。

如沿圆锥面切开回转体, 则如图 3-12

c) 所示, 可得平衡方程式

$$p \cdot \pi r_0^2 = 2\pi r_0 \cdot \delta \cdot \sigma_I \sin\beta$$

而

$$r_0 = r_2 \cdot \sin\beta$$

故有

$$pr_2 = 2\delta\sigma_I \quad (3-2)$$

将式(3-2)代入式(3-1)得

$$\sigma_{II} = \sigma_I \left( 2 - \frac{r_2}{r_1} \right)$$

$$\sigma_I = \frac{pr_2}{2\delta}$$

(3-3)

这就是用来计算各种形状薄壳应力的通用方程式。

### (2) 应用无力矩理论求薄壁容器应力

应用上述理论可求典型薄壁容器壳体的两向应力。例如对于圆柱容器,  $r_1 = \infty$ ,  $r_2$  为圆柱半径; 对于球形容器则  $r_1 = r_2 =$  球半径; 对于椭球壳(椭球封头)和锥形壳(锥形封头)则要复杂一些。总之, 求出待求应力壳体的第一和第二主曲率半径, 代入式(3-3)即可求出壳体的两向应力。

**圆柱壳体** 如图 3-13 a) 所示, 圆柱壳的外径为  $D_w$ , 内径为  $D_n$ , 中径为  $D$ ,  $r_2 = D/2$ , 承受内压  $p$ , 则纵向(径向)应力  $\sigma_I$  及周向(纬向)应力  $\sigma_{II}$  为

$$\sigma_I = \frac{pr_2}{2\delta}$$

$$\sigma_{II} = \frac{pr_2}{\delta}$$

或

$$\sigma_{\text{I}} = \frac{pD}{4\delta} \quad (3-4)$$

$$\sigma_{\text{II}} = \frac{pD}{2\delta}$$

如圆柱壳体盛装液体，且上部支承，如图 3-13 b) 所示，这时壳体承受的是液体静压力  $p$ ， $p$  随液体深度不同而异，故 A 点处周向应力可用下式表示

$$\sigma_{\text{II}} = \frac{\nu r(H-Y)}{\delta} \quad (3-5)$$

纵向应力在各处都相等，可表示如下

$$\sigma_{\text{I}} = \frac{\nu r H}{\delta} \quad (3-6)$$

式中  $\nu$  —— 液体比重；  
 $r$  —— 简体中半径；  
 $H$ 、 $Y$  —— 液体深和测点液深；  
 $\delta$  —— 简体壁厚。

如圆柱壳体下部支承，如立式圆柱贮罐，则全部液体自重由地基承担，贮罐壁只承受周向应力而不承担液体产生的纵向应力。

球壳体 如图 3-13 c) 所示，球的外径为  $D_w (= 2r_w)$ ，内径为  $D_n (= 2r_n)$ ，中径  $D (= 2r)$ ，由于此时  $r_1 = r_2 = r$ ，式 (3-3) 变为

$$\sigma_{\text{I}} = \sigma_{\text{II}} = \frac{pr}{2\delta} \quad (3-7)$$

对于球形底盛液体的容器，如图 3-13 d) 所示，则最大应力在容器的最低点处，此处有

$$\sigma_{\text{I}} = \sigma_{\text{II}} = \frac{\nu r(H+r)}{2\delta} \quad (3-8)$$

式中  $r$  —— 容器球底中半径；  
 $H$  —— 液体柱高；  
 $\nu$ 、 $\delta$  —— 同式 (3-6)。

比较式 (3-4) 和式 (3-7) 可见，在同样曲率半径的圆柱壳体和球壳体条件下，其周向应力 ( $\sigma_{\text{II}}$ ) 前者是后者的两倍。

椭球壳 主要用做各种容器的椭球封头。它可由  $1/4$  椭圆曲线 (长短轴分别为  $2a$  和  $2b$ ) 绕中心轴回转而成。同样可用式 (3-3) 求解径向和纬向应力，如图 3-13 e) 所示。应用式 (3-3) 主要问题是求解第一和第二主曲率半径  $r_1$  和  $r_2$ 。根据待求点的坐标，及椭圆曲线的长短轴  $2a$ 、 $2b$ ，可解得任意点 A 的  $r_1$  和  $r_2$ ，

$$r_1 = (a^4 y^2 + b^4 x^2)^{3/2} / a^4 b^4$$

$$r_2 = (a^4 y^2 + b^4 x^2)^{1/2} / b^2$$

代入式 (3-3) 可得

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\text{I}} &= \frac{p}{2\delta} \frac{(a^4 y^2 + b^4 x^2)^{1/2}}{b^2} \\ \sigma_{\text{II}} &= \frac{p}{\delta} \frac{(a^4 y^2 + b^4 x^2)^{1/2}}{b^2} \left[ 1 - \frac{a^4 b^2}{2(a^4 y^2 + b^4 x^2)} \right] \end{aligned} \right\} \quad (3-9)$$

公式符号除 A 点坐标 X、Y 及椭球长短轴 2a, 2b 外其余同前。由式 (3-9) 可见, 椭球上各点应力不等, 与其坐标 X, Y 有关; 椭球壳 a/b 也影响应力大小, 显然当 a = b 时, 椭球壳变成球壳, 受力最小, 当 b = 0 时, 则变为平底封头, 应力最大。

椭球壳顶点 B 处, x = 0, y = b, 代入式 (3-9) 可解得

$$\sigma_{\text{I}} = \sigma_{\text{II}} = \frac{pa^2}{2b\delta} \quad (3-10)$$

而点 c, x = a, y = 0, 代入式 (3-9) 可解得

$$\sigma_{\text{I}} = \frac{pa}{2\delta} \quad (3-11)$$

$$\sigma_{\text{II}} = \frac{pa}{\delta} \left( 1 - \frac{a^2}{2b^2} \right) \quad (3-12)$$

按我国规范<sup>[4]</sup>, 标准椭圆形封头的 a/b = 2, 代入式 (3-10) 求得顶点处应力

$$\sigma_{\text{I}} = \sigma_{\text{II}} = \frac{pa}{\delta} \quad (3-13)$$

由式 (3-11)、(3-12) 可求得底点处应力

$$\sigma_{\text{I}} = \frac{pa}{2\delta} \quad (3-14)$$

$$\sigma_{\text{II}} = -\frac{pa}{\delta} \quad (3-15)$$

**锥形壳** 以一与回转轴成角度相交直线为母线所形成的回转壳体为锥壳, 用它单独制造容器很少见。但锥形壳体常用来制造封头 (锥形封头), 如化工设备中的收缩器或扩大器的锥形封头, 用以改变气液的速度以及固体、粘性物料的投入和卸出。由图 3-13 f) 所示,

$r_1 = \infty$ ;  $r_2 = r_0 / \cos \alpha$  代入式 (3-3) 可得

$$\sigma_{\text{I}} = \frac{pr_0}{2\delta} \frac{1}{\cos \alpha} \quad (3-16)$$

$$\sigma_{\text{II}} = \frac{pr_0}{\delta} \frac{1}{\cos \alpha} \quad (3-17)$$

式中  $r_0$  —— 是所求应力点到回转轴的垂直距离;

$\alpha$  —— 为锥顶角的一半。

由式 (3-16)、(3-17) 可见, 锥形壳中的应力随  $r_0$  的增加而增加。

### (3) 薄壁容器的设计计算

强度计算是使结构中工作应力和许用应力之间满足一定的关系, 以保证结构安全可靠的工作。按无力矩理论薄壁容器处在两向应力作用下。在多向应力状态下, 结构强度校核应当利用强度理论计算当量应力。根据材料力学, 有四种强度理论, 第一、二强度理论是早期发展起来的, 认为最大正应力超过一定限度 (第一强度理论) 或变形超过一定限度 (第二强度理论) 材料不能工作。这两种理论建立在断裂的强度条件基础之上, 比较适合于脆性材料。

而第三、四强度理论则认为由于最大剪应力或单位体积的歪形能（亦即统计平均剪应力或八面体上的剪应力）超过一定限度，因而不能工作。最大剪应力和八面体剪应力的强度条件是塑性条件，因而比较适于塑性状态的材料，如钢和有色金属等。但是第一强度理论公式简单，有很长的使用历史，积累了丰富的经验，故沿袭应用至今。

圆柱壳体 根据其主应力 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ，可见其第一主应力 $\sigma_1 = \sigma_{II} = \frac{pD}{2\delta}$ ；第二主应力 $\sigma_2 = \sigma_I = \frac{pD}{4\delta}$ ；第三主应力 $\sigma_3 = 0$

则有第一强度理论的当量应力

$$\sigma_{(1)} = \sigma_1 = \frac{pD}{2\delta}$$

在两向应力条件下，第三强度理论的当量应力 $\sigma_{(3)}$ 与之相同，即

$$\sigma_{(3)} = \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{pD}{2\delta}$$

于是按第一、三强度理论建立圆柱壳体计算公式有

$$\frac{pD}{2\delta} \leq [\sigma]$$

和

$$\delta \geq \frac{pD}{2[\sigma]}$$

将中径换算为内径 $D_n = D - \delta$ 代入上式，并考虑焊接连接的折减系数 $\phi$ （第二章）则

$$\delta \geq \frac{pD_n}{2[\sigma]\phi - p} \quad (3-18)$$

考虑到材料负偏差，加工（如矫正和弯曲成形）的减薄量、防腐蚀等，壁厚应增加附加量 $c$ ，则得

$$\delta = \frac{pD_n}{2[\sigma]\phi - p} + c \quad (3-19)$$

按第四强度理论计算当量应力

$$\begin{aligned} \sigma_{(4)} &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1} \\ &= \sqrt{\left(\frac{pD}{2\delta}\right)^2 + \left(\frac{pD}{4\delta}\right)^2 - \frac{p^2 D^2}{8\delta^2}} \\ &= \frac{pD}{2.3\delta} \end{aligned}$$

同样可得圆柱壳体计算公式

$$\frac{pD}{2.3\delta} \leq [\sigma]$$

$$\delta = \frac{pD_n}{2.3[\sigma]\phi - p} + c \quad (3-20)$$

上列各式中

$p$ ——设计压力 (MPa)；

$D_n, D$ ——容器内径和中径 (mm)；

$[\sigma]$ ——材料在设计温度下的许用应力 (MPa)；



$\phi$  —— 焊缝系数或许用应力折减系数 ( $< 1$ ) ;

$c$  —— 壁厚附加量 (mm) ;

$\delta$  —— 计算壁厚 (mm) 。

球壳体 根据式 (3-7),  $\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{pr}{2\delta} = \frac{pD}{4\delta}$ , 故根据第一、三、四强度理论, 所得结果一致。

$$\delta = \frac{pD_n}{4[\sigma]\phi - p} + c \quad (3-21)$$

式 (3-21) 中各符号意义同前 (仅  $D_n$  为球壳内径) 。

椭球封头 对于标准椭圆形封头最大应力在顶点  $B$  处, 根据式 (3-13), 可得  $\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{pa}{\delta}$  将  $a$  换算成封头内径  $D_n$ , 按强度理论可得

$$\delta = \frac{pD_n}{2[\sigma] - p} + c \quad (3-22)$$

对于非标准封头则加以适当修正。修正系数  $K$  与  $a/b$  有关, 又叫形状系数。当用  $h_n$  表示椭圆短轴内半径 (图 3-14 a), 则  $D_n/2h_n = a/b$ , 此时有 (ASME 规范)

$$K = \frac{1}{6} \left[ 2 + \left( \frac{D_n}{2h_n} \right)^2 \right]$$

式 (3-22) 变为

$$\delta = \frac{pD_n}{2[\sigma] - p} K + c \quad (3-23)$$

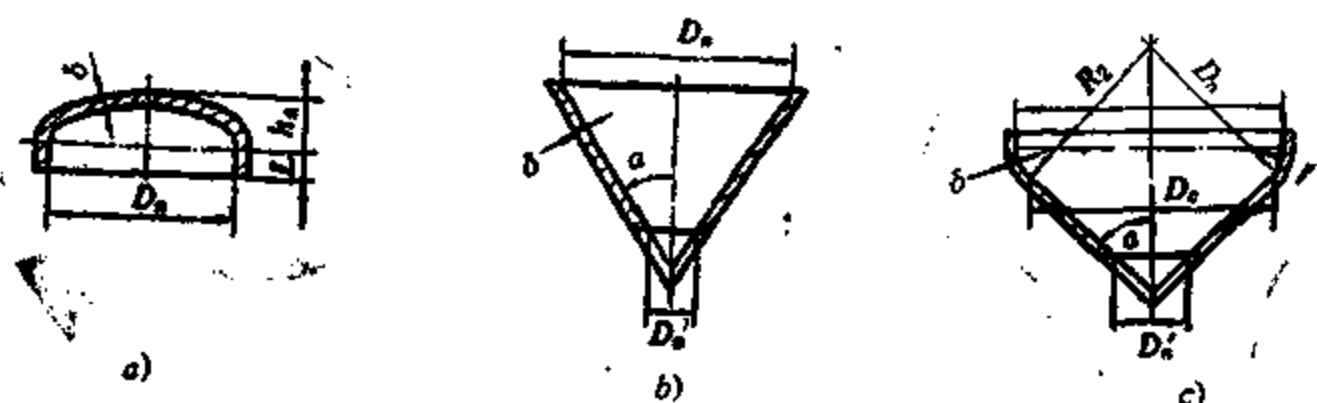


图 3-14 椭圆形封头和锥形封头

a) 椭圆形封头; b) 无折边锥形封头; c) 有折边锥形封头。

锥形封头 锥形封头和筒体相连, 由于结构不连续必然产生大的局部应力。锥半顶角  $\alpha$  愈大, 此局部应力愈大。故规定  $\alpha \geq 30^\circ$ , 超过此值, 则要采用圆弧过渡, 形成有折边锥形封头。  $\alpha \leq 30^\circ$  时采用无折边锥形封头, 分别如图 3-14 b), c) 所示。

对于无折边锥形封头利用式 (3-16) (3-17) 即有  $\sigma_1 = \sigma_{II} = \frac{pr_0}{\delta} \frac{1}{\cos\alpha}$  和  $\sigma_2 = \sigma_I =$

$\frac{pr_0}{2\delta} \frac{1}{\cos\alpha}$ ,  $\sigma_3 = 0$ , 根据第一、三强度理论, 并考虑  $2r_0 = D_n + \delta$  可以解得

$$\delta = \frac{pD_n}{2[\sigma]\phi - p} \cdot \frac{1}{\cos\alpha} + c \quad (3-24)$$

式中  $\alpha$  ——半锥顶角，其余符号同前。

上述公式既可计算大端的壁厚，也可计算小端的壁厚，只把  $D_n$  分别代入大、小端内径即可。

即使  $\alpha \leq 30^\circ$ ，如计算所得  $\delta$  很小时，局部应力仍可能超过容许范围。而且分析表明，控制因素不再是薄膜应力而主要是轴向弯曲应力，此属二次应力的范围（见第二章），需采用应力分析方法进行补强设计，对于折边锥壳更是如此。为此在常用参数范围内，利用电子计算机进行计算，将数据整理成曲线供设计用。

## 2. 厚壁圆筒应力分析和设计计算

前面所述为  $K = D_w/D_n \leq 1.1 \sim 1.2$  的薄壁容器，但是焊接容器中有一部分，如高压容器  $K > 1.1 \sim 1.2$ ，这类容器及管道等相应称为厚壁容器。精确计算这类容器的应力，应采用厚壁圆筒的强度理论和公式。

### (1) 厚壁圆筒的应力分析

如图 3-15 所示，从厚壁圆筒中取出单元体，此单元体不再仅承受切向应力  $\sigma_t$ ，轴向应力  $\sigma_z$ ，还承受第三方向应力  $\sigma_r$ 。根据材料力学理论，如果单元体距离圆筒中心轴距离为  $r$ ，圆筒内半径为  $r_n$ ，外半径为  $r_w$ ，则

$$\sigma_t = \frac{r_n^2 p}{r_w^2 - r_n^2} \left( 1 + \frac{r_w^2}{r^2} \right) \quad (3-25)$$

$$\sigma_r = \frac{r_n^2 p}{r_w^2 - r_n^2} \left( 1 - \frac{r_w^2}{r^2} \right) \quad (3-26)$$

$$\sigma_z = \frac{r_n^2 p}{r_w^2 - r_n^2} \quad (3-27)$$

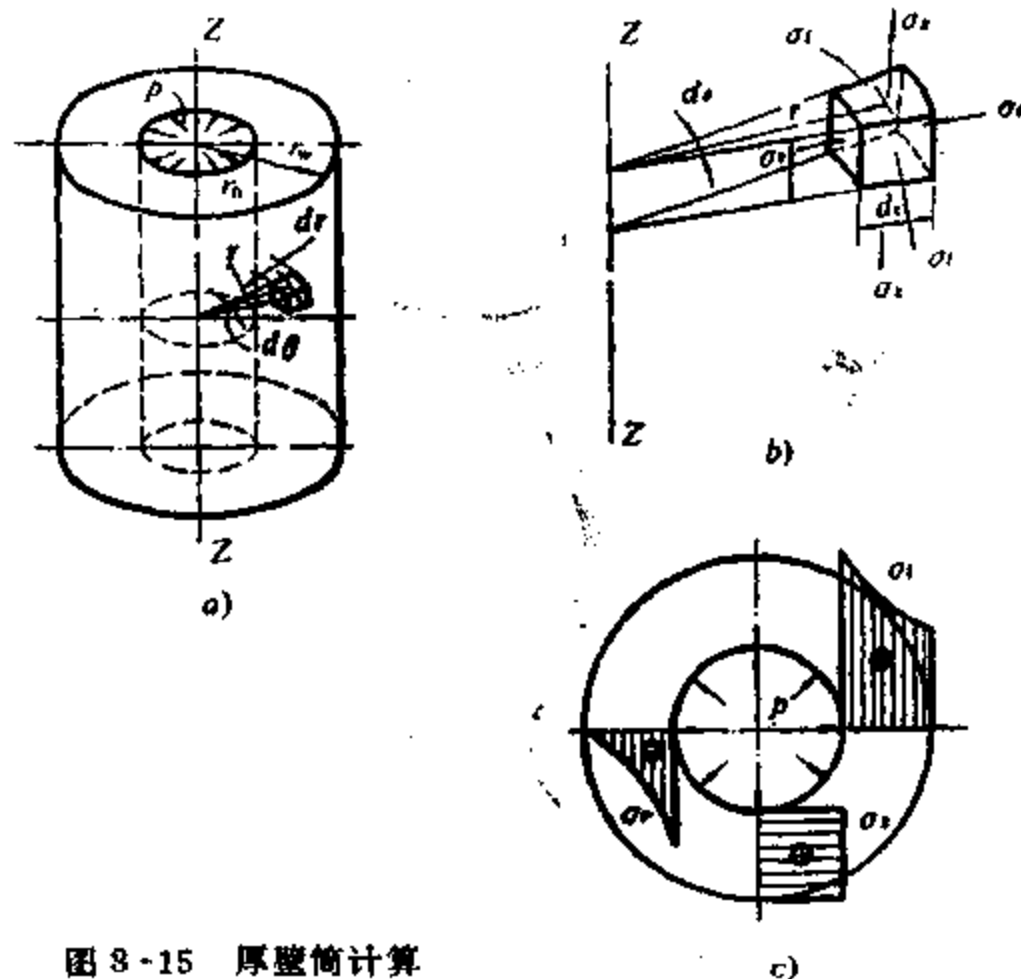


图 3-15 厚壁筒计算

式中  $p$  ——容器承受的内压力。

由式 (3-25), (3-26) 可见, 因  $r_w/r > 1$ , 故  $\sigma_r > 0$ ,  $\sigma_t < 0$ , 且沿壁厚是变化的, 如图 3-15c) 所示, 呈二次曲线分布, 而内表面上有最大应力;  $\sigma_z$  是常量。如用  $K = r_w/r$  代入上述公式, 则内表面应力为

$$\sigma_t = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} p \quad (3-28)$$

$$\sigma_r = -p \quad (3-29)$$

$$\sigma_z = \frac{1}{K^2 - 1} p \quad (3-30)$$

如果厚壁筒承受内压  $p_2$ , 外压  $p_1$  则根据材料力学解得

$$\sigma_t = \frac{r_2^2 p_2 - r_w^2 p_1}{r_w^2 - r_2^2} + \frac{(p_2 - p_1) r_2^2 r_w^2}{r^2 (r_w^2 - r_2^2)} \quad (3-31)$$

$$\sigma_r = \frac{r_2^2 p_2 - r_w^2 p_1}{r_w^2 - r_2^2} - \frac{(p_2 - p_1) r_2^2 r_w^2}{r^2 (r_w^2 - r_2^2)} \quad (3-32)$$

$$\sigma_z = \frac{r_2^2 p_2}{r_w^2 - r_2^2} - \frac{r_w^2 p_1}{r_w^2 - r_2^2} \quad (3-33)$$

由式 (3-31)~(3-33) 与式 (3-28)~(3-30) 比较可以看出, 内压厚壁筒应力公式是承受内、外压厚壁筒应力公式的特例, 即代入  $p_1 = 0$ , 于是式 (3-31)~(3-33) 变为式 (3-28)~(3-30), 同样令  $p_2 = 0$ , 则可计算得仅承受外压厚壁筒的应力。

## (2) 厚壁圆筒的设计计算

大量容器试验表明, 塑性很好的材料如钢及有色金属制成的容器, 从开始承受压力到发生爆破完全破坏, 通常经历三个阶段。和一般钢结构一样, 第一阶段壳体的应力(变形)随承受压力的增加成正比例增加, 称为弹性变形阶段。第二阶段材料发生屈服。按以上讨论表明内表面应力大, 由于上述公式适用于各种有一定壁厚的容器, 是相应于比较简单、近似的薄膜应力公式的一种精确的公式, 因此屈服总是先由内壁开始。随承受压力增加, 屈服区逐渐由内向外扩展, 直至整个截面完全屈服, 此时承受的压力不再增加, 但变形却不断增大, 此时的压力称为屈服压力  $p_s$ , 这是屈服阶段。第三阶段是强化和爆破阶段, 当压力达到屈服压力, 变形增大经过一定时间之后, 压力又开始增加, 此时屈服終了, 开始强化, 变形(应力)和压力都继续增长, 直至最后发生爆破破裂。

这种破坏过程是实际容器失效过程, 只是由于钢材性能不同, 某些阶段不明显(如屈服不显著)。为防止容器失效甚至破坏, 进行强度设计计算时存在三种观点。

### (a) 弹性失效观点

按这种观点, 器壁上受力最大点应力达到材料的屈服限时, 在内压条件下, 即内壁金属材料的应力超过其屈服限, 就认为该容器已经失效而不能使用。这是最早也是最常用的强度设计准则, 目前大多数国家(美 ASME《锅炉压力容器规范》、西德 AD 规范、日本 JISB 8243《压力容器的构造》以及英、法、意等国家)规范都采用该观点。

### (b) 塑性失效观点

这种观点认为容器最大应力点应力超过屈服限, 并不会导致容器破坏, 因为其它部分金属仍处弹性阶段, 已进入屈服阶段的材料还会受到这一弹性变形阶段金属材料的约束, 而不能自由塑性变形, 只有压力继续升高, 塑性区继续扩展, 整个截面发生屈服, 容器才失去正

常工作能力, 这种失效准则称为塑性失效破坏准则。日本焊接学会制定的《多层容器焊接标准》草案就是采用按 Mises 屈服条件的塑性失效观点; 苏联《高压容器、材料、强度计算标准和方法》(暂行技术指导资料) 按 Tresca 屈服条件的塑性失效观点决定计算公式。

(c) 爆破失效观点

这种观点认为制造壳体的材料都不是理想塑性体, 并且都有明显硬化现象, 即使壁整体屈服后, 壳体并不一定破坏, 只有压力升至一定水平, 壳体发生爆破才破坏。

日本1969年制定的 JISB8284《压力容器用多层卷圆筒》以及1966年制定的《高压设备和机器壁厚计算基准》都以此观点作为基准。

我国容器设计规定采用弹性失效观点, (如前述薄壁容器计算公式)。同样厚壁圆筒也可以以弹性失效为破坏准则建立强度计算公式, 以及以塑性失效和以爆破为破坏准则建立计算公式。

(a) 以弹性失效为破坏准则的计算公式

根据主应力的观点, 第一主应力  $\sigma_1 = \sigma_r = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} p$ ; 第二主应力  $\sigma_2 = \sigma_\theta = \frac{1}{K^2 - 1} p$ , 第三主应力  $\sigma_3 = \sigma_z = -p$ 。故根据第一强度理论, 可计算出当量应力

$$\sigma_{(1)} = \sigma_1 = \sigma_r = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} p$$

建立设计(校核)方程式

$$\frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} p \leq [\sigma] \quad (3-34)$$

根据第三强度理论计算出当量应力

$$\sigma_{(3)} = \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} p + p$$

设计(校核)方程式为

$$\frac{2K^2}{K^2 - 1} p \leq [\sigma] \quad (3-35)$$

根据第四强度理论计算当量应力

$$\begin{aligned} \sigma_{(4)} &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1} \\ &= \sqrt{\left(\frac{K^2 + 1}{K^2 - 1}\right)^2 + \left(\frac{1}{K^2 - 1}\right)^2 + 1 - \frac{K^2 + 1}{(K^2 - 1)^2} + \frac{1}{K^2 - 1} + \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1}} p \\ &= \frac{\sqrt{3}K^2}{K^2 - 1} p \end{aligned}$$

则设计(校核)方程式为

$$\frac{\sqrt{3}K^2}{K^2 - 1} p \leq [\sigma] \quad (3-36)$$

筒壁厚度计算公式为

$$\delta = \frac{D_2}{2} \left( \sqrt{\frac{[\sigma]\phi}{[\sigma]\phi - \sqrt{3}p}} - 1 \right) + c \quad (3-37)$$

式中各符号同薄壁容器计算式。

(b) 以塑性失效为破坏准则的计算公式

进行塑性失效评定时, 对筒体材料作了理想弹塑性体的假定<sup>[1]</sup>, 然后分别按 Tresca 和

Mises屈服条件，根据与弹性失效条件类似的平衡方程式，最后解得强度计算公式分别为

$$p \leq [\sigma] \ln K \quad (3-38)$$

和 
$$p \leq \frac{2}{\sqrt{3}} [\sigma] \ln K \quad (3-39)$$

式中  $p$  —— 内压；  
 $[\sigma]$  —— 许用应力；  
 $K$  ——  $D_w/D_n$ 。

式(3-38)为按Tresca屈服条件导出的计算式，已为苏联《高压容器材料，强度计算标准和方法》(暂行技术指导资料)引为壳体设计计算式，考虑焊缝系数 $\phi$ 和操作条件修正系数 $\eta$ (如表3-1)，则有下式，

表3-1 苏联高压容器计算标准有关系数

焊缝系数 $\phi$			
钢种	钢号	焊接方法	
		电渣焊	埋弧自动焊
中碳合金钢	25X3HM 15X2MΦA	0.85	0.95
低碳合金钢	22K、10Γ2 16ΓCMΦ	0.90	1.00

操作条件修正系数 $\eta$ 值		
操作等级	系数 $\eta$	
	处理或贮存有爆炸性、易燃性及极毒产品的容器	用于其它产品的容器
受外热容器	0.75	0.90
不受外热容器	0.90	1.00

$$p \leq [\sigma] \eta \cdot \phi \ln K \quad (3-40)$$

式中其他符号同前。

(c) 以爆炸时效为破坏准则的计算公式

筒体屈服之后发生强化直至爆破，此时所能承担的爆破压力大都是根据经验公式进行计算，主要是因为爆破失效理论尚不成熟。例如 Faupel 公式

$$p_b = \frac{2\sigma_s}{\sqrt{3}} \left( 2 - \frac{\sigma_s}{\sigma_b} \right) \ln K \quad (3-41)$$

式中  $p_b$  —— 爆破压力；  
 $\sigma_s, \sigma_b$  —— 材料屈服限和强度限；  
 $K$  —— 为  $D_w/D_n$ 。

爆破压力 $p_b$ 和材料屈服比 $\sigma_s/\sigma_b$ 有很大关系。上述公式比较简单，便于设计计算，已为日本JIS B8248—1969《压力容器用多层卷圆筒》等标准所采用。式(3-41)还常用来估算爆破失效试验的压力，和实际试验爆破压力进行比较，以确定容器安全性。

### 3. 我国容器设计计算规定

关于焊接容器设计计算, 应依其用途遵照有关的规定(规范)进行, 如《钢制石油化工压力容器设计规定》(1985)、《水管锅炉受压元件强度计算》、《锅壳式锅炉受压元件强度计算标准》等<sup>[4, 18, 19]</sup>。绝大多数按薄壁容器设计计算理论, 即采用膜应力公式如式(3-18)、(3-19)、(3-20)、(3-21)、(3-22)、(3-23)及(3-24)等进行设计。

锅炉炉壁绝大多数属薄壁容器, 计算误差很小。即使对化工石油高压容器, 按照规定<sup>[4]</sup>  $K \leq 1.5$ , 即  $P \leq 0.4[\sigma]'\phi$  (其中  $[\sigma]'$  为设计温度  $t$  下的许用应力,  $\phi$  为考虑焊接的折减系数) 时, 仍用上述公式。但随  $K$  增大, 按膜应力公式计算出的应力误差增大。以内压圆筒为例, 按膜应力公式计算得出筒体沿壁厚不变的应力(平均应力), 而实际内表面上的应力比这要大。如  $K = 1.5$  时, 内壁上的实际应力以精确公式(3-36)算得为  $3.12p$ , 按膜应力理论算得为  $2.5p$  ( $\sigma = \frac{K+1}{K-1} \frac{p}{2}$ ), 故内壁实际应力是设计应力的1.25倍。但按表2-1,  $n_s \geq 3.0$ ,  $n_r \geq 1.6$ , 即使水压试验时压力  $P_{s,t} = 1.25P_s$  时, 筒体内壁表面最大应力为

$$\sigma_{max} = 1.25 \times 1.25\sigma_{(m)} = 1.56\sigma_{(m)}$$

式中  $\sigma_{(m)}$  为按薄膜理论计算出的应力, 若设计取  $\sigma_{(m)} = [\sigma] = \sigma_s/n_s$ , 则

$$\sigma_{max} < \sigma_s$$

故内表面应力仍小于屈服限。所以选用公式依据的理论公式属于那一种失效准则, 以及安全系数  $n$  等都影响设计壳体的安全性。

#### (1) 外压容器设计问题

上面所述容器都是承受内压的, 如果容器承受外压, 特别是薄壁容器则将发生失稳。其壁厚不是依据薄膜应力理论决定(此时计算结果为压应力), 而是依据发生失稳的临界应力(压力)决定。例如对于外压圆筒, 失稳临界压力和筒体几何尺寸参数、材料性能有关, 筒体壁厚  $\delta$  愈大, 材料弹性模量愈大 ( $E$  大), 筒体长度  $l$  与直径愈小, 达到失稳时可承受的临界压力  $P_{cr}$  愈大, 于是有下列筒式

$$P_{cr} = kE \left( \frac{\delta}{D_w} \right)^3 \quad (3-42)$$

式中  $k$  ——与  $l/D_w$  和筒体发生曲屈失稳形成波形数  $n$  有关的系数;

$\delta, D_w$  ——壁厚和筒体外径;

$E$  ——材料弹性模量。

在临界压力  $P_{cr}$  下的应力用  $\sigma_{cr}$  表示, 则临界应力

$$\sigma_{cr} \approx \frac{P_{cr} \cdot D_w}{2\delta} = \frac{k}{2} E \left( \frac{\delta}{D_w} \right)^2 \quad (3-43)$$

当以  $A$  表示  $\sigma_{cr}/E$  时, 则

$$A = \frac{k}{2} \left( \frac{\delta}{D_w} \right)^2 \quad (3-44)$$

式(3-44)表示圆筒几何尺寸一定, 所承受的失稳临界应力与弹性模量的比, 即应变。为设计方便绘成图线, 对于一切材料制圆筒容器都适用。即已知设计圆筒  $\delta/D_w$  和  $l/D_w$ , 由图8-16可查得  $A$  值。

为使受外压圆筒工作中不致失稳, 常使许用外压力小于临界压力, 即许用外压力  $[P] = P_{cr}/m$ ,  $m$  为稳定安全系数。当取  $m = 3$  时,  $[P] = P_{cr}/3$ 。

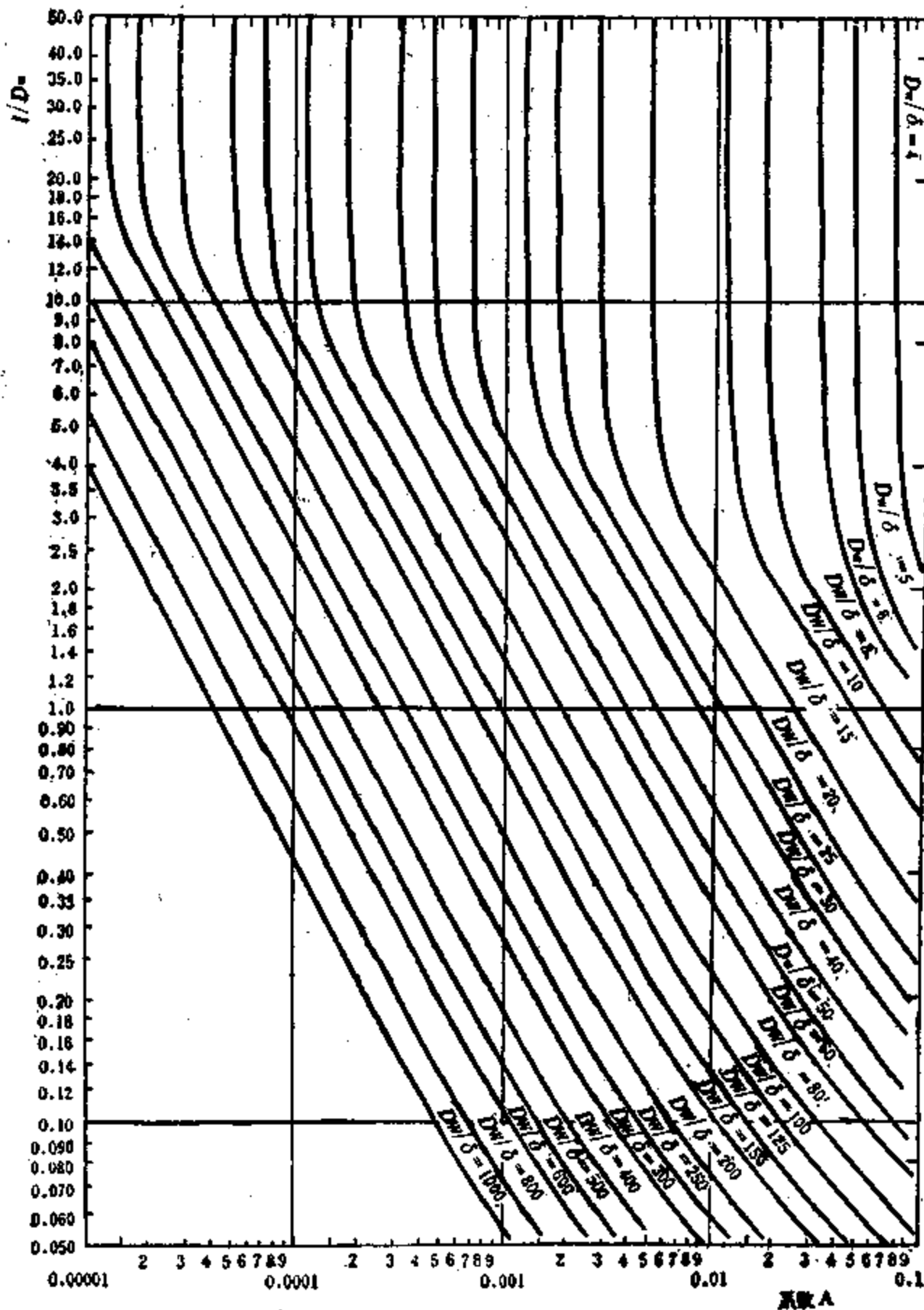


图 3-16 用于所有材料的受外压或轴向受压圆筒几何参数的计算图

设  $\sigma_{cr}/0.5m = B$ ，通过试验可测得容器材料在各温度下（即不同  $E$  条件下） $A$  值所对应的  $B$  值。图 3-17 为 16MnR 钢的  $A-B$  线图。

查得  $B$  值，可按下式计算许用压力  $[P]$ ：

$$[P] = \frac{p_{cr}}{m} = \frac{20\sigma_{cr}}{D_w \cdot m} = \frac{\delta}{D_w} \cdot B \quad (3-45)$$

将实际承受压力  $P$  与  $[P]$  比较，若  $P > [P]$ ，则需再假定  $\delta$ ，重新试算。

上面所述是压力容器设计规定<sup>[4]</sup>中关于外压圆筒的一种设计计算方法。外压圆筒的其他计算方法，以及受外压球壳的设计计算方法、为防止失稳增设的加强圈及其计算、受外压的锅炉炉胆（直胆和波纹胆）、火管等的设计计算可参照有关设计规定<sup>[4, 16, 17]</sup>进行。

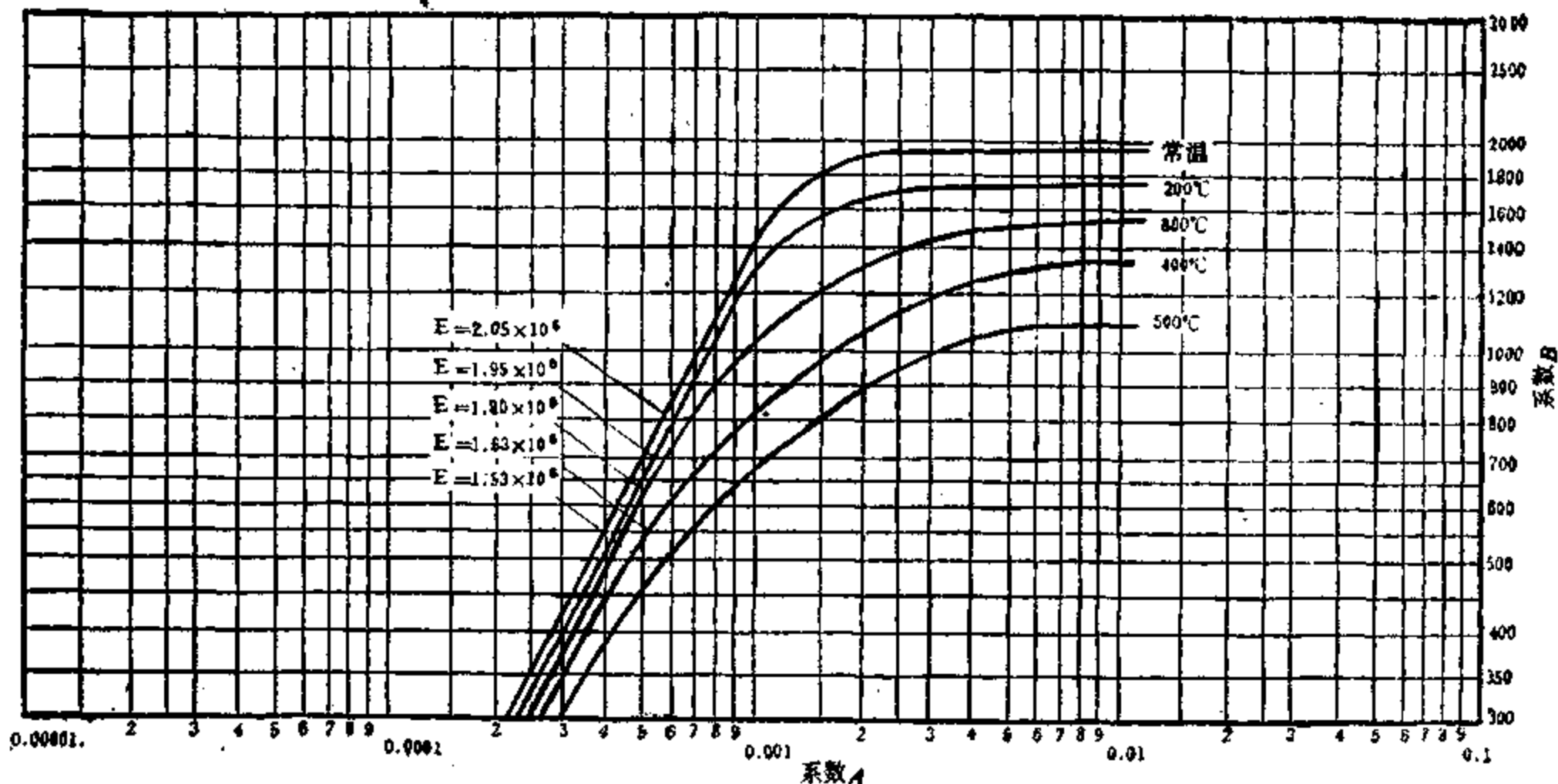


图 3-17 16MnR 钢外压壳计算图

### (2) 开孔及补强设计

各类容器由于工艺操作、制造和维修都需要开孔。如仪表和泵阀的接孔及接管，生产工艺过程的检查孔，制造和维修所需的人孔、手孔、操作孔等。

由于开孔会造成容器壁的削弱和产生新的应力集中，导致局部的大应力，加上外部载荷产生的应力、热应力，以及开孔与接管焊接容易产生缺陷，而这些缺陷的检出比较困难，这一切都使开孔及接管附近成为容器的薄弱部位，许多容器的事故往往由此引发。

过去一个时期为避免开孔造成容器的损伤和破坏而采取保守的办法，即少开孔或不开孔，尽量开小孔。但这是办不到的。近年来石化工业以及原子能工业所需容器不仅需开孔，而且孔径愈来愈大，这促进了对开孔应力集中问题、补强问题等的研究。

对于容器上必须开的孔，现在采取减少应力集中的办法：如只许开应力集中较小的圆形、椭圆形、长圆形孔，后两种孔长径与短径之比应不大于 2，否则要采取特别加强措施；开孔应尽力避开焊缝，距离不小于 3 倍壳体实际壁厚（并不小于 100mm），如必须经焊缝开孔时，距孔中心两侧各不少于 1.5 倍孔径范围内的焊缝需经 100%（射线或超声波）探伤；开孔的削弱要进行补强。补强实际也起到减少应力集中的作用。

开孔之后，孔附近产生的峰值应力常能达到平均（薄膜）应力的 3~4 或 5~6 倍。图 3-18 a) 为一球壳开孔后，焊有接管管嘴的

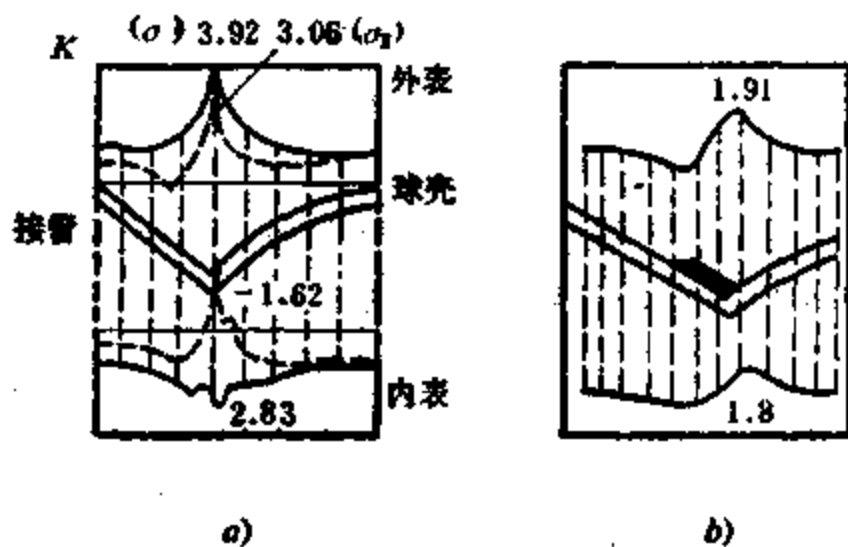


图 3-18 壳体接管处实测应力集中  
a) 补强前；b) 补强后。



应力实测曲线，图中 $K$ 为应力集中系数。接管没有进行补强的情况下，最高应力为一般膜应力的3.92倍。如果进行了补强（如图3-18b）则应力集中大大降低。

由于容器本身能承受一定应力集中，管壁和器壁有一定强度裕度，故对小于一定口径的开孔可不进行补强。容器设计规范对不另行补强的最大孔径都作出了规定。

开孔愈大，对容器的削弱愈烈，应力集中也愈大，故对容器最大开孔也作了规定。超过规定的孔要作特殊补强设计，并都需作水压试验验证。

图3-18b)示出采用补强后，应力集中下降的情况。开孔引起的应力集中具有明显的局部性质，孔边最高，随着与孔边距离的增加，迅速衰减到一般薄膜应力水平。这表明只要将接管或壳体壁厚适当增加，并采取其他一些相应措施，则应力集中可降低到许可水平。这些补强措施，对于必须开孔的容器是十分必要的。

常见的补强形式有：

(a) 母体的加强，即开孔的削弱用增加壳体壁厚的办法来补偿。

(b) 加强圈补强，如图3-19a)、b)，其中a)是采用搭接形式，又称补强圈，用来补偿开孔削弱的金属部分，由于补强圈金属板与壳体之间有间隙，导热差会产生过大热应力；补强区域分散，补强效果不佳；搭接焊缝产生过大焊接应力及应力集中，易在焊缝、焊趾处产生裂纹，并使其抗疲劳性能降低。由于上述原因，虽然这种补强形式有成熟经验、制造方便、造价低，并在中低压容器及锅炉等结构中广泛采用，但在现今各国规范中都已限制其使用，如我国压力容器设计规定限其使用于 $\sigma_s \leq 392.2\text{MPa}$  ( $40\text{kgf/mm}^2$ )，补强圈厚度 $\geq 1.5\delta$  ( $\delta$ ——容器厚)，并且在 $\delta \leq 38\text{mm}$ 条件下。图3-19b)是插入加强圈，使开孔附近金属为加强圈——又称加强元件所加强，以补偿开孔的削弱，它与壳体以全焊透或局部焊透方式相连。

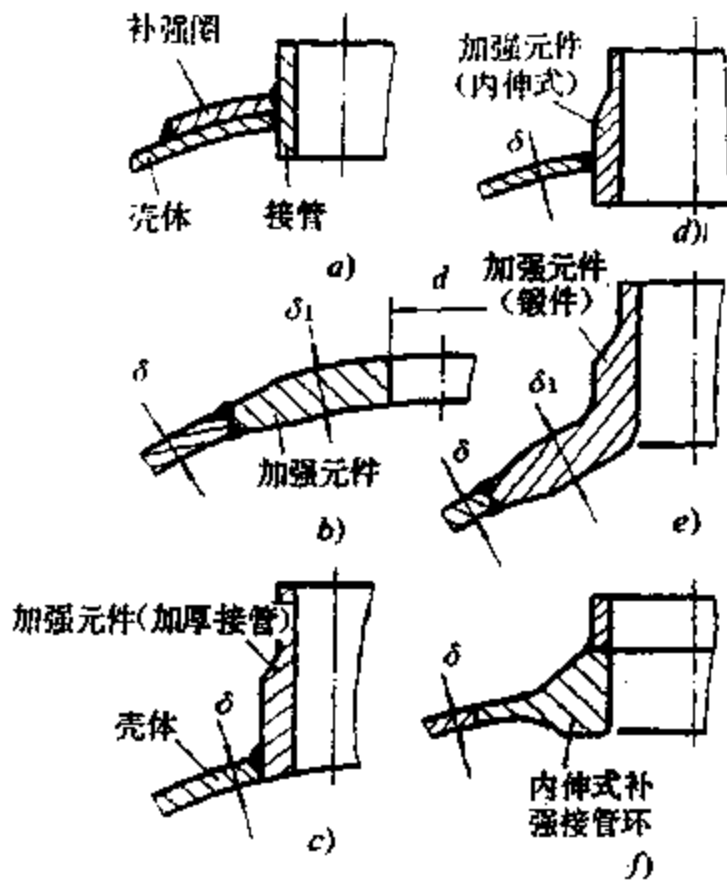


图3-19 开孔补强的结构形式

(c) 加强管补强，如图3-19c)~f)所示。其中c)、d)是将管子内伸（并增厚）或管子加强，作成加强元件；e)、f)为锻造节点，它们都与壳体以全焊透方式相连。

上述补强形式从其补强部位看，可分为：加厚接管，图3-20b)示出外部加厚(强)，也可作成内部加强；加厚壳体，如图3-20d)所示，也可作成内部加强；同时加厚壳体和接管，如图3-20f)所示；加厚内伸式接管（凸出接管对称补强，如图3-20a)所示），图中只加厚接管；密集补强，如图3-20c)、e)、g)所示，这是一种效果很好的补强形式，因为密集补强部位在应力集中的接管和壳体连接处，此处补强金属使应力集中大大下降。据试验，在同样补强效果下，例如 $K$ 由3.0降至2.0时，(外)加厚接管补强所需补强金属约比密集补强大2倍。仅次于密集补强形式的是加厚内伸式接管补强，第三是内部加强的补强形式，外部加厚的补强效果最差。

容器开孔强补设计方法主要有：①等面积法：其原则是在邻近开孔处所加补强金属的截面积应与壳体由于开孔而减小的截面积相等，故称等面积法。等面积法有很久的历史，丰富的实践经验，而且简单易行，对小直径孔安全可靠，还适用于并联开孔及不规则的结构。缺点是过于简化，某些情况可能过于保守，补强材料可能过大，而另一些情况下，又嫌不足，如疲劳强度不够。薄壁大孔时更为严重。②极限分析法：这种方法是根据塑性失效准则，假定材料为理想弹——塑性体（无硬化），当受载后，开孔处材料开始弹性变形，载荷加大某处屈服，继续加载，屈服层扩展以至在恒定载荷下产生流动，此时载荷便是极限载荷，这种分析法由此得名。此种方法是在确定接管开孔处应力集中系数曲线的基础上，用图解法进行

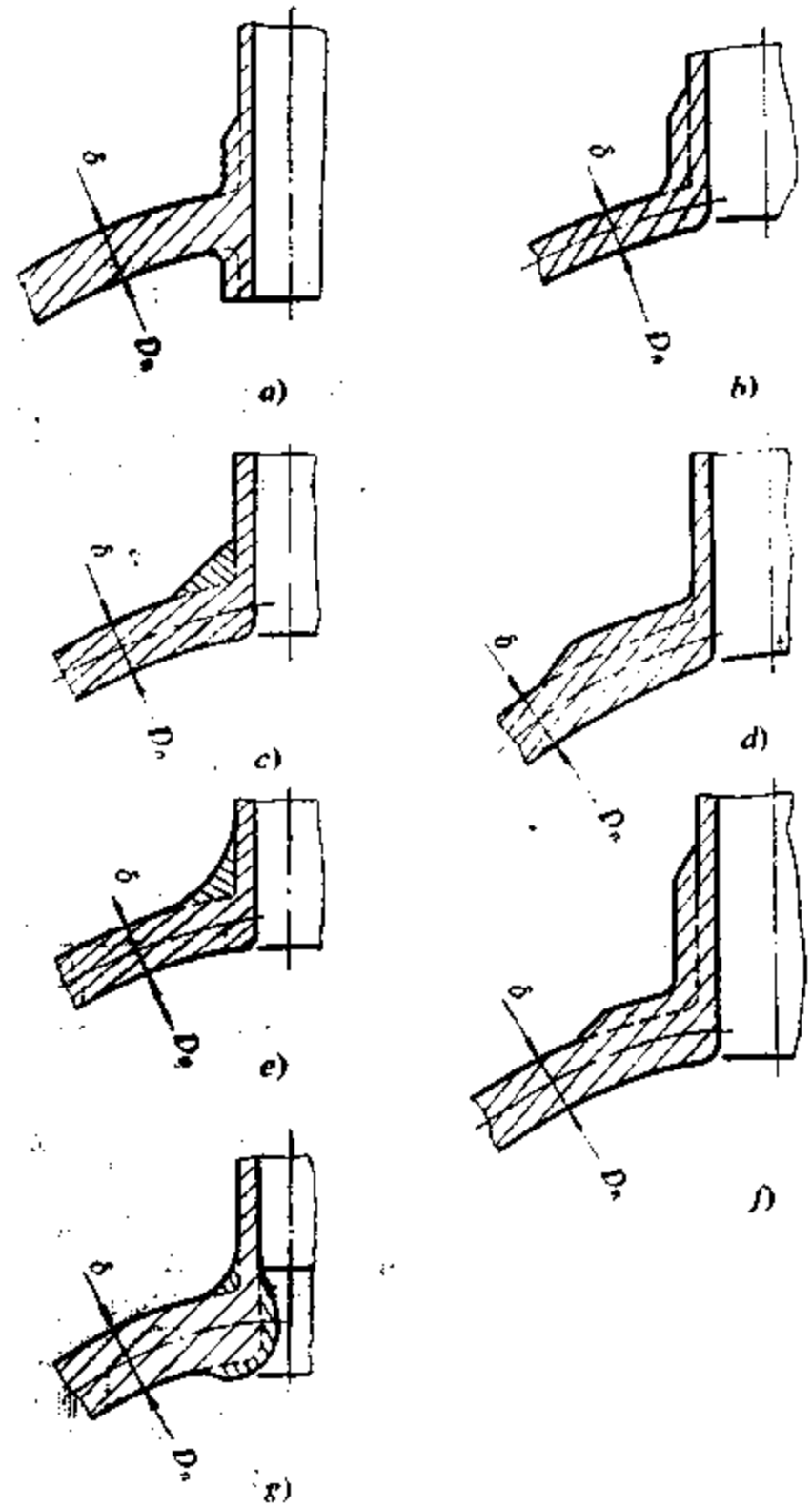


图 3-20 补强结构形式

- a) 加厚内伸式接管；
- b) (外) 加厚接管补强；
- c) 斜面密集补强；
- d) (外) 加厚壳体补强；
- e) 圆弧面密集补强；
- f) (外) 加厚接管和壳体补强；
- g) 光滑任意截面补强。

设计计算的。③以安定性理论作为设计准则的补强设计方法：这种方法是安定性要求作为设计准则。该设计方法即允许补强后在容器开孔附近地区出现塑性变形，但必须保证在第一次加载出现塑性变形之后，第二次及以后各次重复加载不再产生新的塑性变形，即所谓安定性。我国规范尚未采用此种设计方法。此外还有其他一些方法，但用得很少。下面就简要介绍最常见的等面积补强设计法。

首先确定补强范围，即图 3-21 所示的矩形  $WXYZ$  范围。其宽度  $B = 2d$ ， $d$  为开孔内径，加两倍腐蚀裕度  $C$ ，即  $d = d_n + 2C$ ；取其外侧高度

$$h_1 = \sqrt{d(\delta_1 - C)}$$

或  $h_1 =$  接管实际外伸高度，取两者较小值。

取其内侧高度

$$h_2 = \sqrt{d(\delta_1 - C - C_2)}$$

或  $h_2 =$  接管实际内伸高度，取两者较小值。

式中  $C_2$ ——如图示，也是腐蚀裕度；

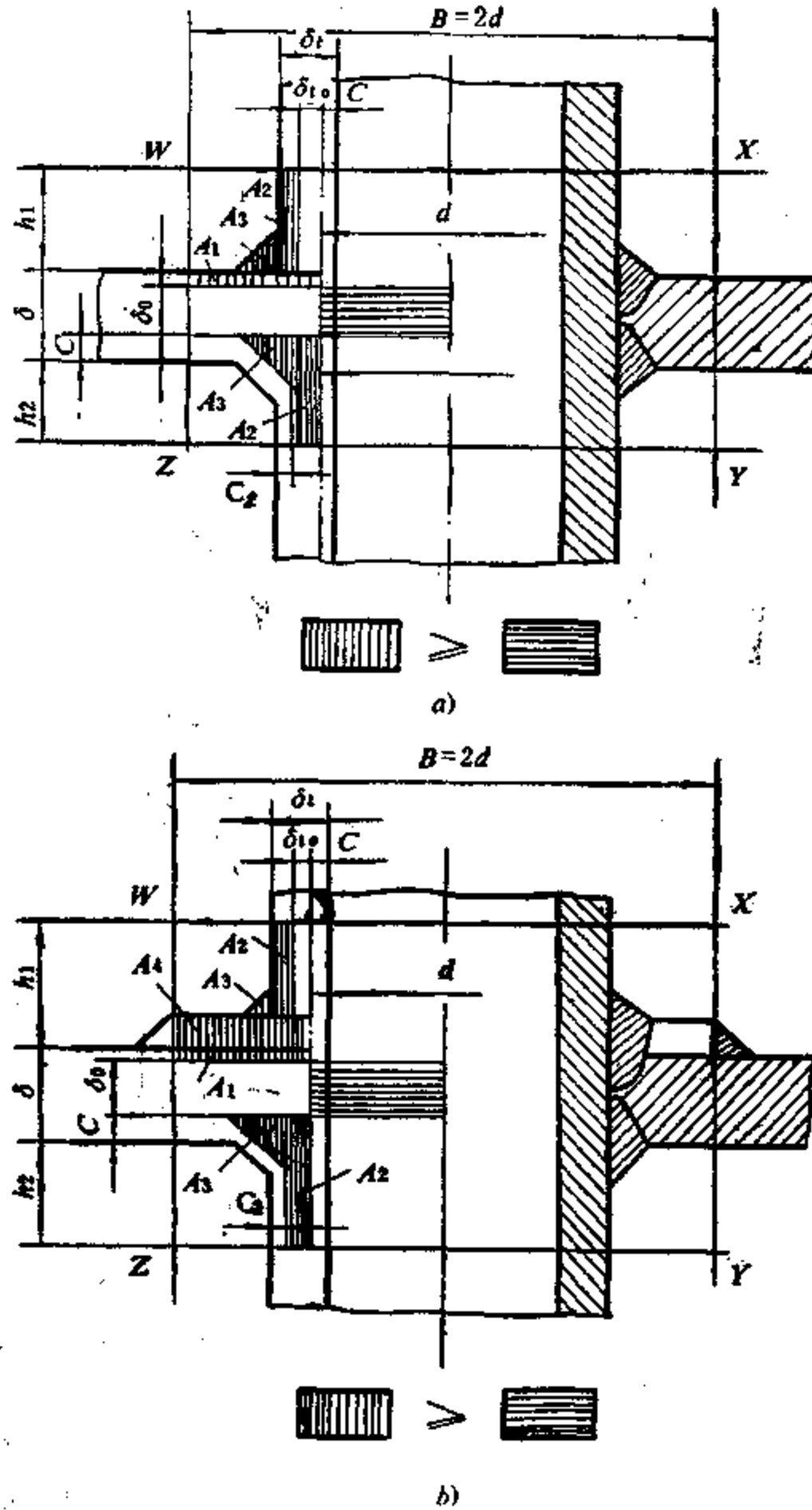


图 3-21 有效补强范围示意图  
a) 不带补强圈的; b) 带补强圈的。

$\delta_1$  ——接管实际壁厚 (包括腐蚀裕度)。

在补强范围内,除承受内压和外压所必需的接管和壳体的计算壁厚及腐蚀裕度等不能作为补强金属外,接管、壳体、补强结构及焊缝等的面积都可作为补强金属面积。如图中带垂直影线部分。这可分为两种情形,仅带接管的,如图 3-2(a);附加补强圈的,如图 3-2(b)。

在有效补强范围内,补强金属的面积由以下几部分组成:

(a) 有效补强区内壳体承受内(外)压所需计算壁厚及壁厚附加量(如腐蚀裕度)之

外的多余金属 $A_1$ ,

$$A_1 = (B - d)(\delta - C - \delta_0) \quad (3-45)$$

式中  $\delta$  ——壳体的实际壁厚 (包括腐蚀裕度);

$\delta_0$  ——壳体的计算壁厚;

$B - d = d$ ,  $B$ ,  $d$  如上所述;

$C$  ——壁厚附加量, 如腐蚀裕度。

(b) 有效补强区内接管承受内 (外) 压所需厚度和壁厚附加量之外的多余金属 $A_2$ ,

$$A_2 = 2h_1(\delta_1 - \delta_{10} - C) + 2h_2(\delta_1 - C - C_2) \quad (3-46)$$

式中  $\delta_1$  ——包括壁厚附加量的接管实际壁厚;

$\delta_{10}$  ——接管计算壁厚;

$h_1, h_2$  ——有效区外侧高度和内侧高度;

$C, C_2$  ——壁厚附加量 (如图 3-21)。

(c) 在有效补强区焊缝截面积 $A_3$  (如图 3-21)。

(d) 在有效补强区内另加的补强截面积 $A_4$ , 例如补强圈面积 (图 3-21所示)。

然后根据强度设计公式和容器使用的工艺要求, 确定壳体和接管的壁厚 (包括 $\delta_0, \delta_{10}, C, C_2, \delta, \delta_1$  及 $d$ 等) 然后计算 $B, h_1, h_2, A_1, A_2, A_3$ 。若用 $A$ 表示需要补强的金属面积, 则

$$A = d\delta_0 \quad (3-47)$$

式中  $\delta_0$  ——计算壳体壁厚, 按前述公式计算。当开孔不通过焊缝时, 其公式中 $\phi = 1$ ; 若开孔位于焊缝上, 则 $\phi$ 按第二章取;

$d$  ——开孔内直径 $d = d_n + 2C$ 。

若 $A_1 + A_2 + A_3 \geq A$ , 则开孔不需要另外补强; 若 $A_1 + A_2 + A_3 < A$ , 则需另外补强, 补强面积为 $A_4$ ,

$$A_4 \geq A - (A_1 + A_2 + A_3) \quad (3-48)$$

实际设计时, 选择 $\delta, \delta_1$ 使 $A_1 + A_2 + A_3 = A$ , 而不必过大, 往往要反复试算才能达到。

当采用极限设计法进行开孔补强设计时, 对于图 3-20所示各种补强结构形式可参考有关规范进行。

### 三、典型焊接容器的焊接生产

#### 1. 立式圆柱容器的焊接生产

立式圆柱容器中的贮罐如图 3-1 a) 所示。以立式石油贮罐为例介绍其制造工艺, 对于其他类型贮罐也可参考。这类容器承受液体静压或气体分压, 压力都不高, 板壳较薄, 容积大。

如前所述, 立式石油贮罐由顶盖、罐壁、底板三部分组成, 比较详细的结构如图 3-22所示。

一个容积为 $5,000\text{m}^3$ 的石油贮罐, 高近 $12\text{m}$ , 直径达 $22.7\text{m}$ , 由于贮存石油, 焊缝必须密闭。贮罐多是露天工作, 在夏季高温下, 石油蒸气压可能大于液体静压, 而在冬季的低溫下 (如东北地区可达 $-40^\circ\text{C}$ ), 焊接结构存在脆断危险, 这些在设计 and 制造时都应加以注

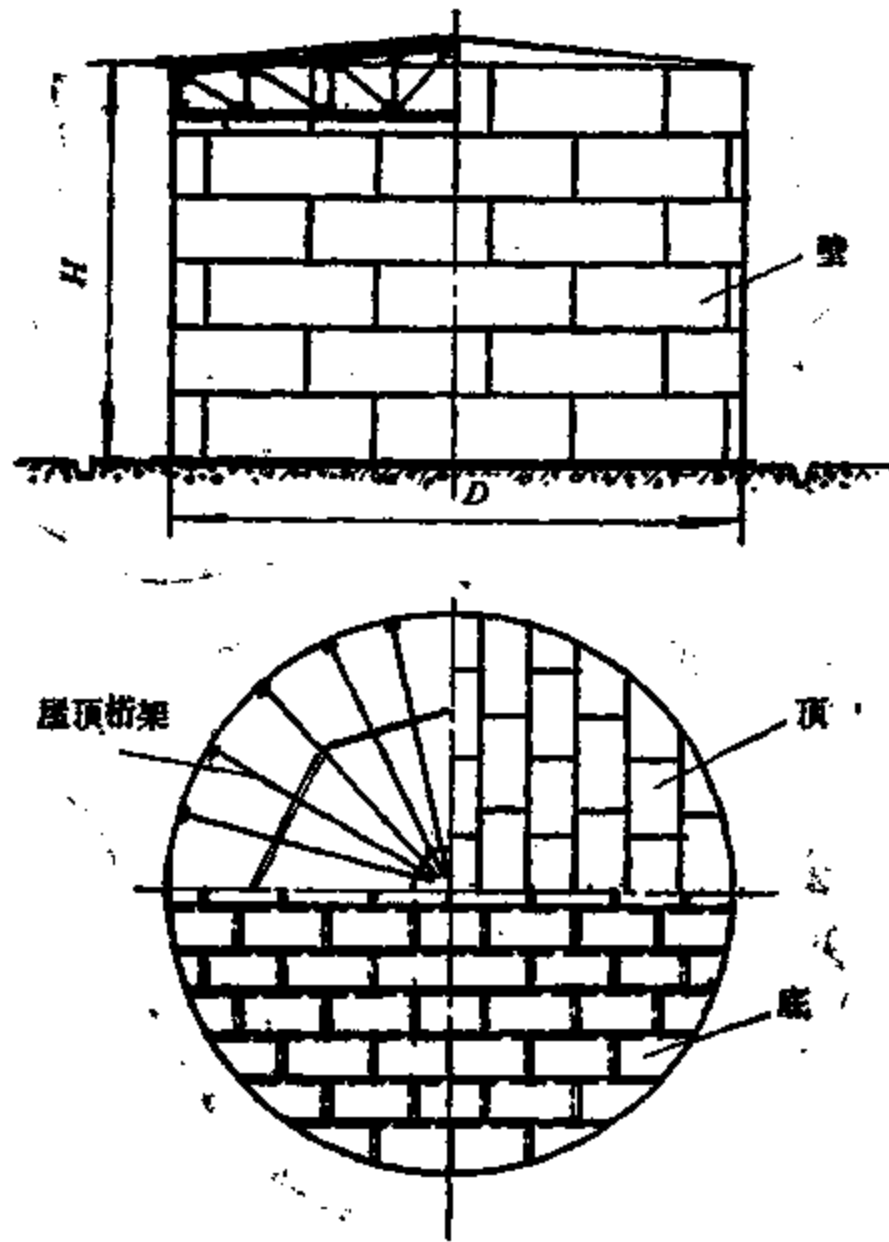


图 8-22 立式贮罐结构示意图

意。根据这种条件，贮罐所用的材料多为热轧镇静钢——碳素钢如A3R，低合金钢如16Mn等。

低碳钢及低合金钢的焊接性能良好，易于保证焊接质量，然而贮罐焊接工作量大，特别由于贮罐体大，超过铁路运输界限，一般都在工地建造。大量空间位置的焊缝，缺乏机械化装备，依靠手工成形、切割下料和装配焊接，所以工人劳动条件差、生产率低而且产品质量不稳定。总之工艺分析表明，努力改善劳动条件，减少手工劳动量，获得稳定的、最佳的装配焊接质量，是首要问题。这个问题可考虑采用先进工艺加以解决，如增加工地建造贮罐的机械化作业量。但根本改进贮罐的制造工艺是使大部分工作量在工厂内完成。

#### (1) 立式贮油罐的工地建造

立式贮油罐的底（厚度4~6mm，不是按工作载荷来选取，而是按工艺条件选定板厚）直接在已准备好的地基（如砂质基础）上进行装配焊接。全部焊缝采用搭接，而且仅焊上面的一面。

装配工作是从铺设中央板条开始，然后从中央向两边依次装配相邻的板条。装配的同时，进行焊接。由于只能从一面焊接，对焊接质量应有严格要求。为保证焊接质量，只允许具有熟练技术的焊工焊接底板，同时还要选择合适的焊缝质量检查方法（通常采用氨气检验法，也可用着色法）进行焊后检查。大部分焊缝焊两层，在双层搭接的地方要焊三层。在焊接第二层之前要仔细清除前一层的熔渣。

焊接次序是先焊中央板条各张板之间的搭接焊缝，然后焊接两边板条，再焊接两边板条

和中央板条之间的搭接焊缝，由中央向两边对称施焊；逐渐往外装焊其余的板条，最后装配边板。边板与罐壁连接，厚度较大（常用8mm）。边板条之间采用对接，边板与底板之间焊缝在焊完第一节罐壁之后施焊。

罐底的大量搭接焊缝可以采用埋弧自动焊完成，此时要特别注意装配间隙。根据实际经验，如采用点定焊，板条之间装配间隙小于1mm可以保证获得满意质量。工地条件下，焊剂的烘干和焊丝除锈尤其要注意。对接焊缝如果采用垫板（如现广泛采用的焊接软垫）也可以采用半自动焊。

贮罐罐壁的厚度是按照贮存液体的内压确定的。随液体深度不同，液体静压力变化，计算板厚亦改变。即式（3-5）中Y改变；因每圈板厚是一样的，故规定Y值为这一筒节距下边缘300mm处至底的高度，式（3-5）可变为：

$$\delta = \frac{\nu(H-Y)r}{\phi[\sigma]} + C \quad (3-49)$$

式中  $\phi$  ——焊缝折减系数；

C——考虑腐蚀的裕度（壁厚附加量）。其他符号与式（3-5）相同。由式（3-49）计算所得的壁厚每一节都不一样，因此备料及生产管理都不方便。为减少板厚类型，有时上一节板厚取与下一节相同。图3-23为5,000m<sup>3</sup>油罐壁的实际板厚，其中两节板厚为4mm，两节板厚为5mm。

在工地安装的贮罐壁筒节板采用对接焊缝连接，节与节之间采用搭接角焊，并且两面焊，朝上的一面（在外面）是连续焊缝（俯焊位置），另一面是断续焊缝（仰焊位置）。

贮罐壁的工地装焊分正装和倒装两种。前者是从最下面的一节与底板的装焊开始，以后逐次向上一节节的装配焊接，像建造房屋墙壁一样。这种装焊方法需采用多种设备和装配夹具，如挺杆起重机，汽车起重机和专门为之设计的吊架，它可以贮罐中心为轴旋转，所用装配卡具如第八章所示。图8-3所示楔形夹具用得较多，其他定位器和夹紧器也获得广泛运用。大多数装配焊接都需要搭脚手架，在采用专门吊架时，也可以省去搭脚手架的麻烦。此时，装配工在吊架吊台上工作，而外部有沿装配好的罐板边缘上移动的小车作工作台。

倒装法也称为接高法或顶（吊）升法。按此法建造石油贮罐是在已装配焊接好的底板上进行。先安装罐顶桁架并铺设罐顶板，顶板最薄（≤3mm），顶板和罐顶为1:20的斜度，全部采用搭接。然后由对称布置的若干个桅杆起重机将罐顶吊升，升到最上一节罐壁高度，再开始装配最上一节罐壁，并焊接角钢圈。罐体纵缝采用对接，先在外面连续焊，内部清根后再封底焊。然后装配焊接下一节罐壁，罐壁之间用搭接焊缝连接。重复这一操作直至完成全部罐体的装配焊接。这种施工方法不用搭脚手架，并且操作工人总是在地面工作，安全感增加，有利于提高工程质量。

无论倒装和正装，顶板与底板的施焊次序皆相同。有时将顶板分成若干“组片”，预先在下面装焊好，再上桁架组装。罐顶桁架也是先成片装焊好再往上吊装。

## （2）立式贮油罐的工厂建造

工地建造贮油罐的方法，虽然已有了很大改进，取得了许多经验，生产效率和产品质量都有了提高，但其根本缺点如空间位置施焊，在工地条件下施工是无法改变的。50年代初，苏联研制出在工厂拼焊完成罐体的底、壁并卷成圆筒形，运至工地建造贮油罐的方法，与此同时还进行了一系列应用研究工作，如卷曲塑性变形是否对材料韧性发生不良影响，焊缝是

否弯曲不均匀等，这些问题后来都一一获得解决。此法已扩大应用到其他薄壁圆筒贮罐上，如煤气罐及卧式石油贮罐等。

工厂建造贮油罐也是将油罐分成几个部分，每部分装配焊接完后卷成卷，其大小应能适应火车运输（其重量一般不超过40~65t，长同罐壁高度相当，约12~18m）。图3-23所示为5000m<sup>3</sup>油罐壳壁的拼焊布置图。由于在工厂装配焊接，可以大量采用对接。图中a)表

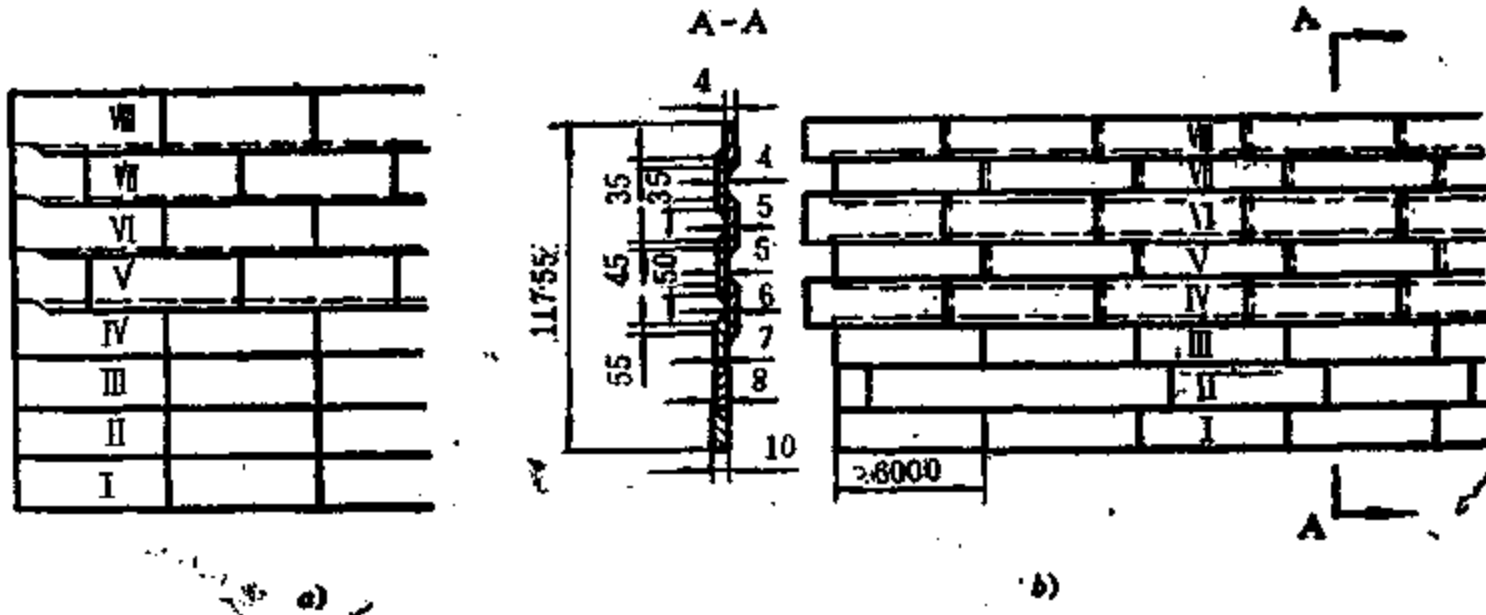


图3-23 容积为5000m<sup>3</sup>贮油罐壁的工厂拼接布置图

示下部对接板的纵缝不错开，而b)则表示下部和上部纵接缝都是错开的。在板厚 $\geq 7 \sim 8$  mm时采用对接接头，而小于7~8 mm时采用搭接接头。板的装配和焊接在专门的双层台架上进行，台架示意于图3-24。在一层上装配焊接板的一面，经卷筒3将板改变180°，

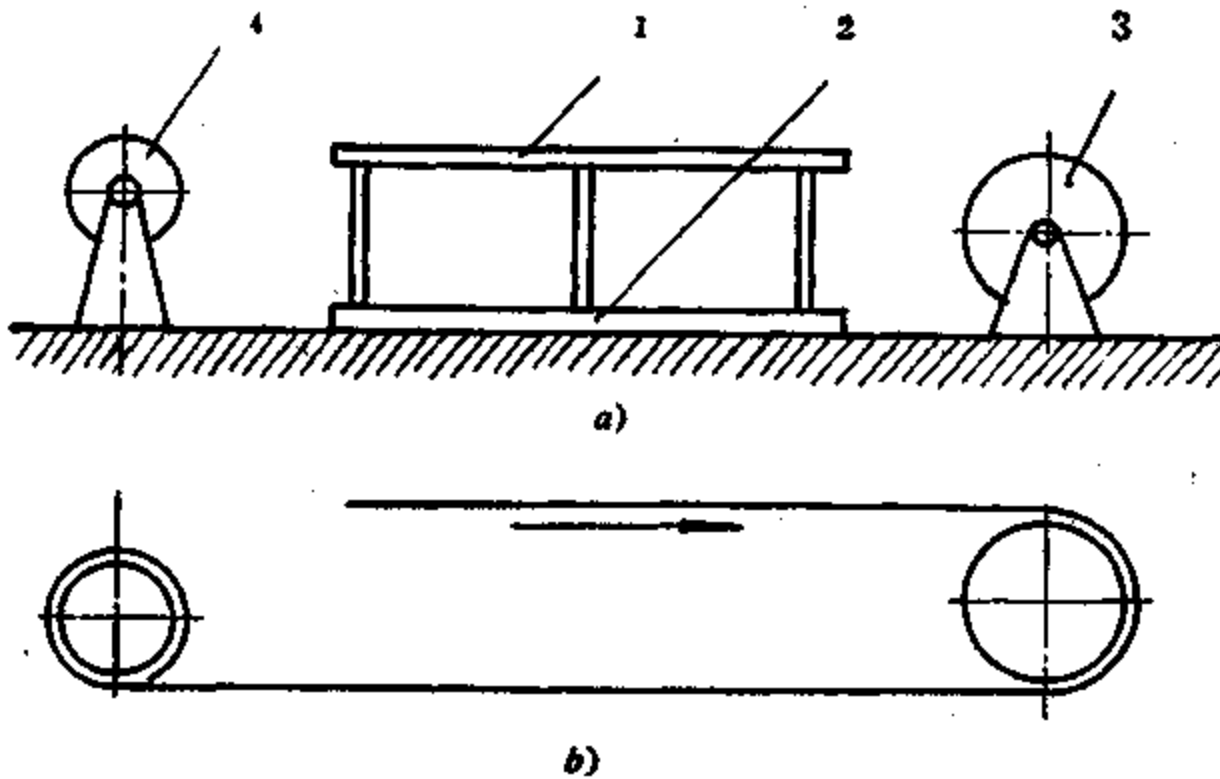


图3-24 双层台架示意图

a) 双层台架；b) 板幅运动路线。

完成另一面的焊接。检验并修复缺陷的工作在两层上都可同时进行的。合格的板在卷筒4上卷成可发往工地的板卷。板在装配前进行规定的备料，如矫形、刨边，圆盘剪下料。装配完后进行埋弧焊接。采用分开电极（双弧）埋弧焊，在局部间隙为2~3 mm时，仍可获得合格的接头。为保证焊缝始末端质量，要在接口两端装引弧和引出板。

当应用这种方法制造更大尺寸的板幅时，需用改进的双层台架，使其有更高机械化水平，板的装配更加方便。全部焊缝采用对接。为此装置了自动焊的压紧对齐装具和垫板。

焊好的板幅卷在中心钢骨架上。中心钢骨架常常是贮罐的工作梯、支撑柱和安装桅杆等。

板卷在工地的安装按以下次序进行。先将底板卷安放在预先准备好的地基上，展开并滚平，将几个底板幅对好，焊接组成底板的各卷幅之间的搭接焊缝。可采用埋弧自动焊。在底板上立起侧壁卷，用卷扬机或拖拉机靠钢缆牵引将其展开，如图 3-25 所示。罐壁卷逐渐展开，其下部由点焊在罐底上的挡块定位并进行点固焊。罐壁卷的上部展开后与罐顶的元件固定，此后焊接侧壁对接焊缝。底和罐壁之间的环状角焊缝在完全焊好底板之后焊接，则可能因收缩变形而使底板鼓胀发生失稳。正确做法是在侧壁和边板角缝完成之后，再焊接边板同底板的焊缝。

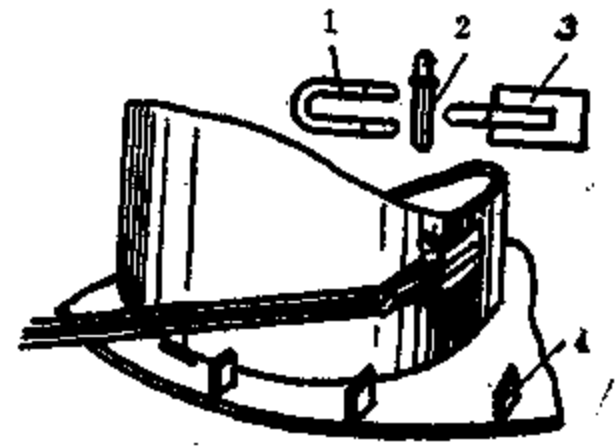


图 3-25 用钢缆将罐壁卷展开

贮油罐的顶厚度较薄，有时和罐顶上的部分骨架组成火车运输界限所允许的构件，如图 3-26 所示。

采用这种预制成卷以便在工厂制造较薄的大型贮罐的方法，在苏联获得了广泛的应用。

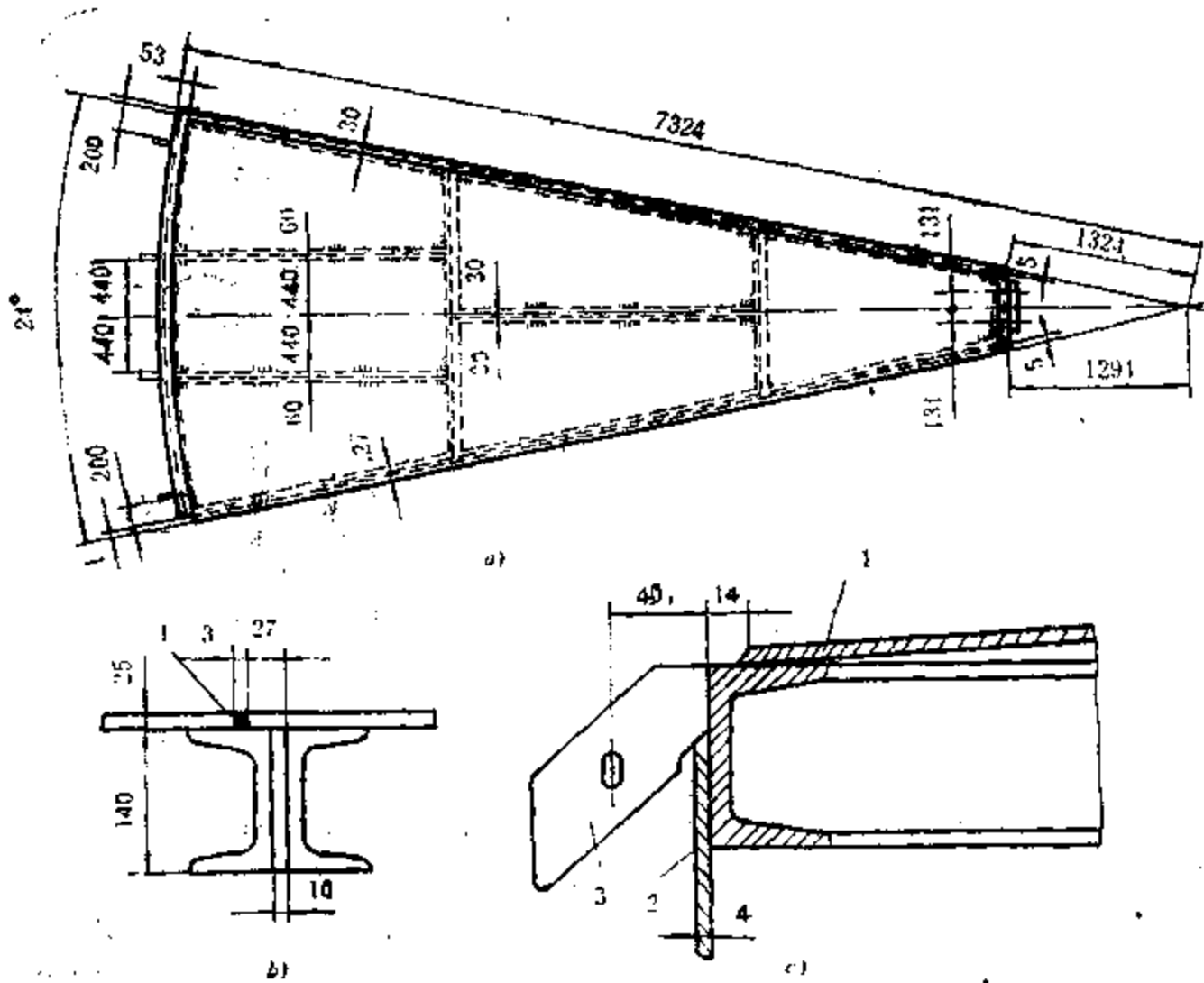


图 26-3 罐顶标准构件 a) 及其安装接头 b), c)



这种方法不仅用来制造贮油罐，还用于制造高炉系统的空气加热器、煤气贮罐和洗涤塔等。实践表明，在一些没有铁路支线的地方，采用这种方法制造容器也是有可能的，即在现场组织这种类型的生产。

## 2. 卧式圆柱容器的焊接生产

属于这类中、薄板制的圆柱容器有：①各类罐车的贮液罐、圆柱形贮罐等，如图 3-1 f)、3-2、3-4、3-29；②工业废热锅炉及其汽包，如图 3-5 a) 及图 3-27；③一部分化工石油设备、套管式热交换器等，如图 3-3 及图 3-6 a)；④工业锅炉的炉体。这类圆筒容器的共同特点是体积适合在工厂里制造（比立式贮罐小得多）。其制造分两部分：封头和筒体，然后合拢。如有焊接排管则还有管板的加工。

封头大多采用球形和椭球形（少数为圆柱形、锥形和平底），利用半自动或手工热焰切割下料，一般碳钢或低合金结构钢用氧-乙炔焰气割；铜、铝、不锈钢等采用等离子切割。很少采用全自动切割。封头下料后进行拼焊，然后用冲压水压机成形（常是加热冲压成形），检验合格后，才切割边缘并加工坡口。边缘切割常常利用类似于焊接回转台的装置，割炬不动，工件在回转台上水平放置并以切割速度回转，完成切割和坡口加工。精确下料和冲压成形后，可在端面车床上切削加工坡口。

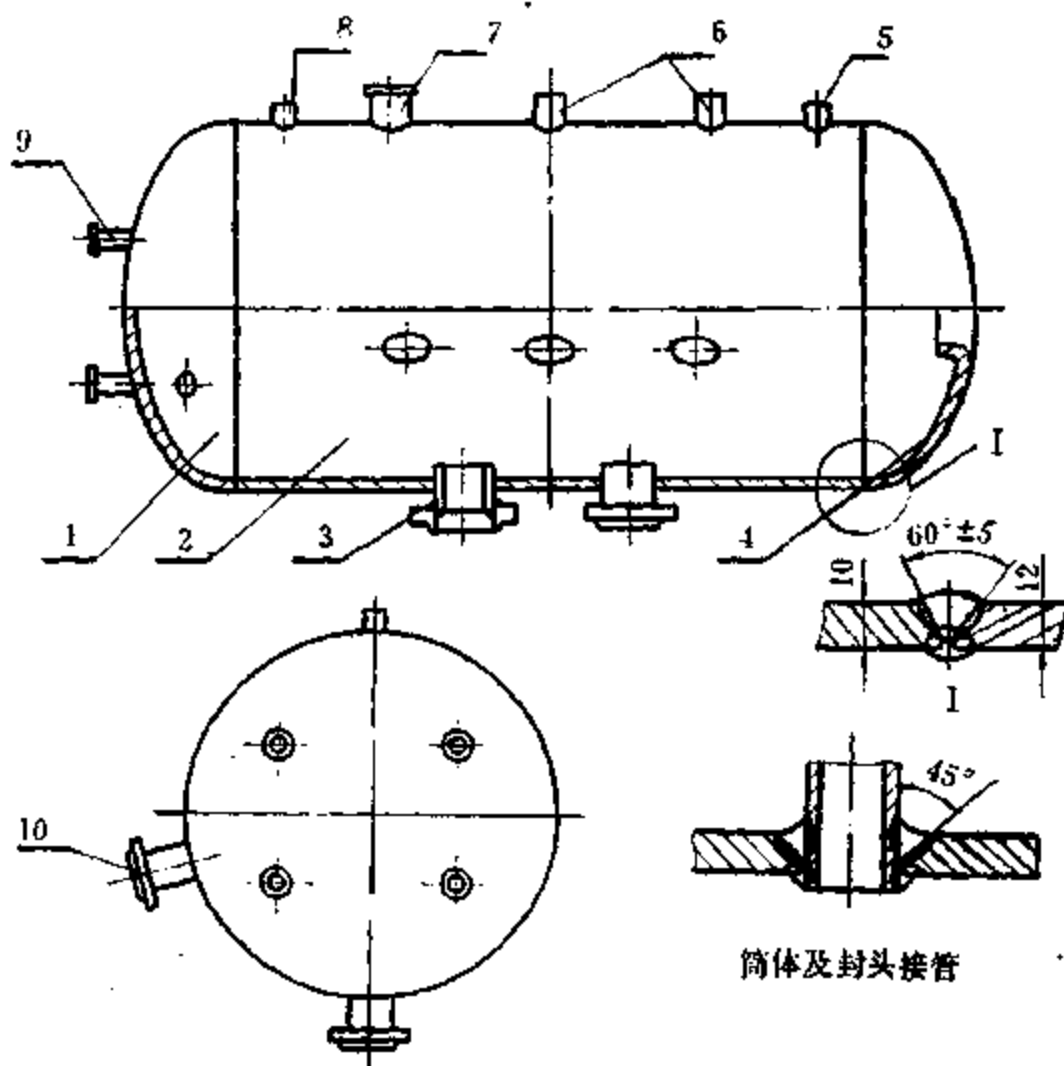


图 3-27 工业废热锅炉汽包示意图

1—左封头；2—筒体；3—下水管口；4—右封头；  
5~8 阀座；9—水位表座；10—进口座。

筒体材料划线后多利用剪床下料（这里所讨论的容器的板厚，大多在剪床下料的工作范围之内），坡口加工使用刨边机，随后在三辊或四辊弯板机上滚圆成形。如用三辊弯板机滚圆，通常有直边，还需在拼焊好纵焊缝之后，再用弯板机校圆。筒体的周向一般取为钢板轧

制方向，这是因为筒体周向应力较大，而材料轧制方向的性能较为优越之故。板宽常不能满足筒体长度要求，故由数节组成。可以采取两种装配焊接工艺工序：①先拼焊好各个筒节，再组装焊接各筒节的环焊缝。此时焊缝处在空间位置，为实现自动焊必须有滚轮架、焊接操作机等工艺装备。②是在平台上装配筒体板，在俯焊位置焊接全部焊缝，一次滚圆，焊接总纵缝。该方案有较高的生产率，焊接质量优良，但必须有自行设计制造的超长辊子弯板机。

#### (1) 废热锅炉的制造

图 3-5 a) 是这种锅炉蒸汽发生器的结构。全部锅炉还有图 3-27 的汽包、进气室和出气室等。

以蒸汽发生器和汽包为例简述焊接生产过程如下：

蒸汽发生器的筒体和汽包的筒体都由常规的装焊工艺过程来完成，即材料检验、剪切下料、刨边机加工坡口、弯板机滚圆、装配焊接纵缝、校圆、x 光检验、装配另一筒节、焊接筒体环缝等。汽包筒体较短，故无最后两道工序。全部焊缝都采用对接埋弧自动焊。先在焊剂垫上焊接内缝，外部清根后使用悬臂式焊接操作机焊接外缝。

蒸汽发生器的管板和汽包封头的制造工艺过程与筒体类似，都需经材料检验，划线、气割下料、热压成形、划线、切割直边缘、修磨坡口、摇臂钻打孔、检验等工序才可完成。当然汽包封头没有打孔的工序。

准备好接管、加热管之后即可进行蒸汽发生器和汽包的总装配焊接，其工艺路线如图 3-28 所示。图中所示蒸汽发生器上管板与筒体环缝是内部开坡口，手工焊，外部清根后自动焊；下管板采用内部设置垫板，外部埋弧自动焊的工艺。这两条环缝的施焊工艺都值得改进，如采用可伸悬臂焊接操作机，则筒体与上管板环缝内部也可采用不开坡口的埋弧焊。筒体与下管板的环缝如采用单面焊双面成形工艺，则可取消内部垫板。目前已获得成功的焊剂软垫是用作环缝自动焊、单面焊双面成形的好装置。同样，汽包封头环缝如果采用焊剂软垫，亦可实现单面焊双面成形，可以大大提高生产率。类似的，一些工业锅炉，如带有内炉胆的火管锅炉，其炉胆和管板封头的环焊缝，因为炉胆不与炉筒同心，难于采用埋弧自动焊，过去都采用双面手工焊。内焊缝中有一段因炉胆靠近炉筒，工作位置太窄，手工焊也很困难。目前有的工厂已采用焊剂软垫上的  $\text{CO}_2$  气体保护焊，以实现单面焊双面成形。

蒸汽发生器加热管的焊接多采用手弧焊，目前已有工厂用  $\text{CO}_2$  半自动焊焊接这类管板焊缝。

上述生产工艺是中厚板容器常用的，代表了我国目前这类容器生产的现状。除废热锅炉、工业锅炉、大多数单层石油化工容器外，图 3-4 所示的卧式石油贮罐也基本上是这样制造的。

#### (2) 油罐车罐体的焊接生产

油罐车和运送酒精、水、酸及其他化学品的罐车结构一样，其车体即油罐和一些附属装置。底架是由中梁、端梁、枕梁等组成的一个框架结构，由于其载荷由卧在枕梁木槽托上的油罐传来，传给枕梁下的心盘、转向架，故油罐车的底架比一般铁路车辆简单得多，它取消了横梁和中侧梁。由于油罐的刚性很大，可以把车钩及缓冲装置焊在罐体上，形成无中梁罐车。油罐车的罐体为一卧式圆筒容器，如图 3-29 所示。当运输原油时，如图所示是容积为  $50\text{m}^3$  的油罐，内径为  $2.6\text{m}$ ，总长  $10$  余米。如内径为  $2.8\text{m}$ ，长度一样，则成为  $60\text{m}^3$  罐体。美国和苏联采用  $90$  和  $100\text{m}^3$  (t) 罐车。

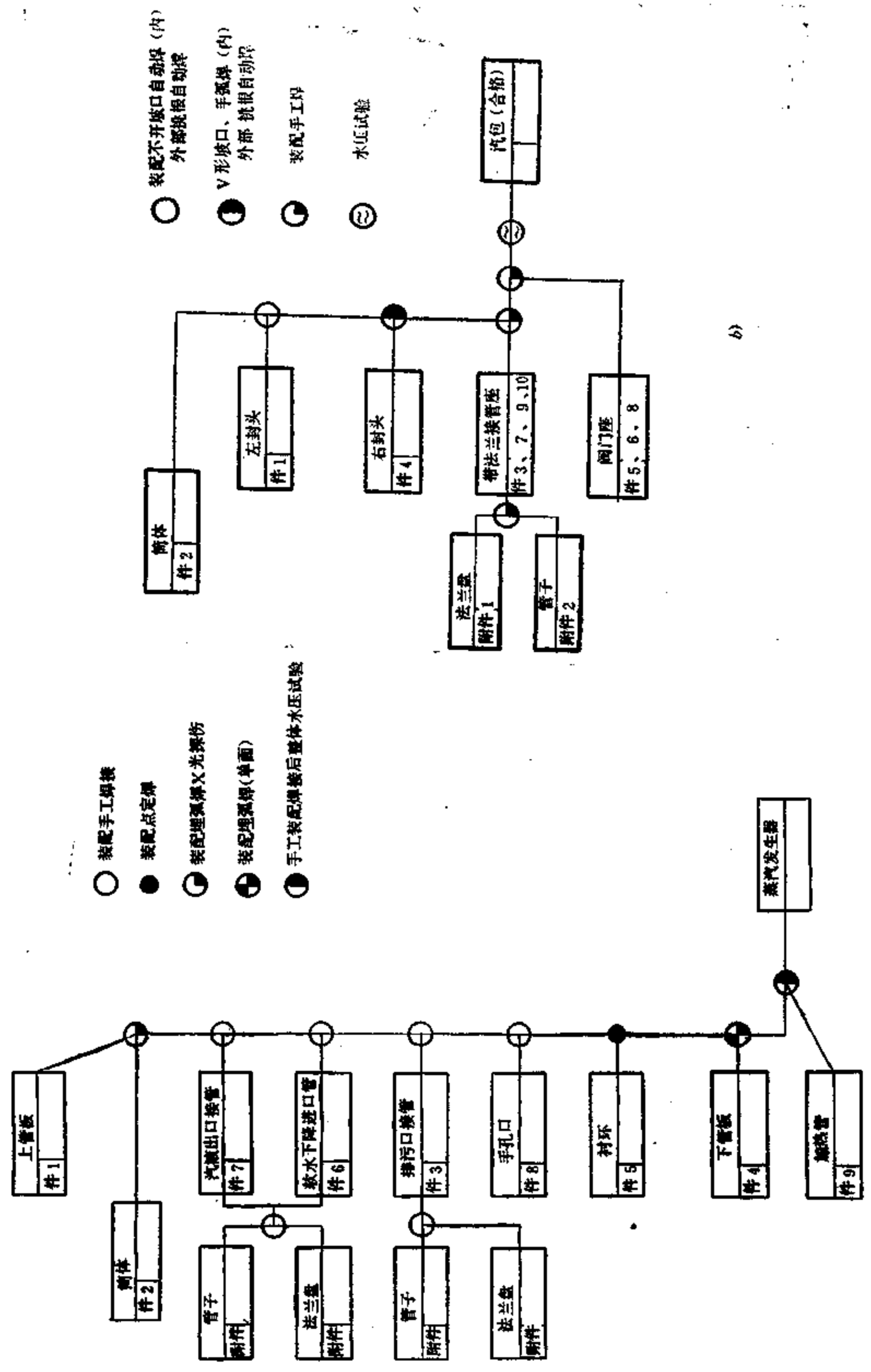


图 3-28 工业废热锅炉蒸汽发生器 (a) 和汽包 (b) 的工艺路线图

我国在60年代就已形成比较先进的油罐车按部件装配焊接生产。它分成罐体和底架两大部件。底架比一般车辆（如敞车和客车）简单，以后要介绍敞车的生产。这里主要介绍罐体的制造工艺。

油罐车运行时如果漏油，可能造成列车起火，故焊接质量可靠是罐体生产的首要条件。其次为排油方便，油罐应略有下挠（+7~-10mm）对罐体椭圆度、周长及凹凸不均度等几何尺寸也都作了相应的规定。

由图 3-29 罐体结构可见，罐体的装焊工艺过程可以采用以下三种方案：①由相同宽度

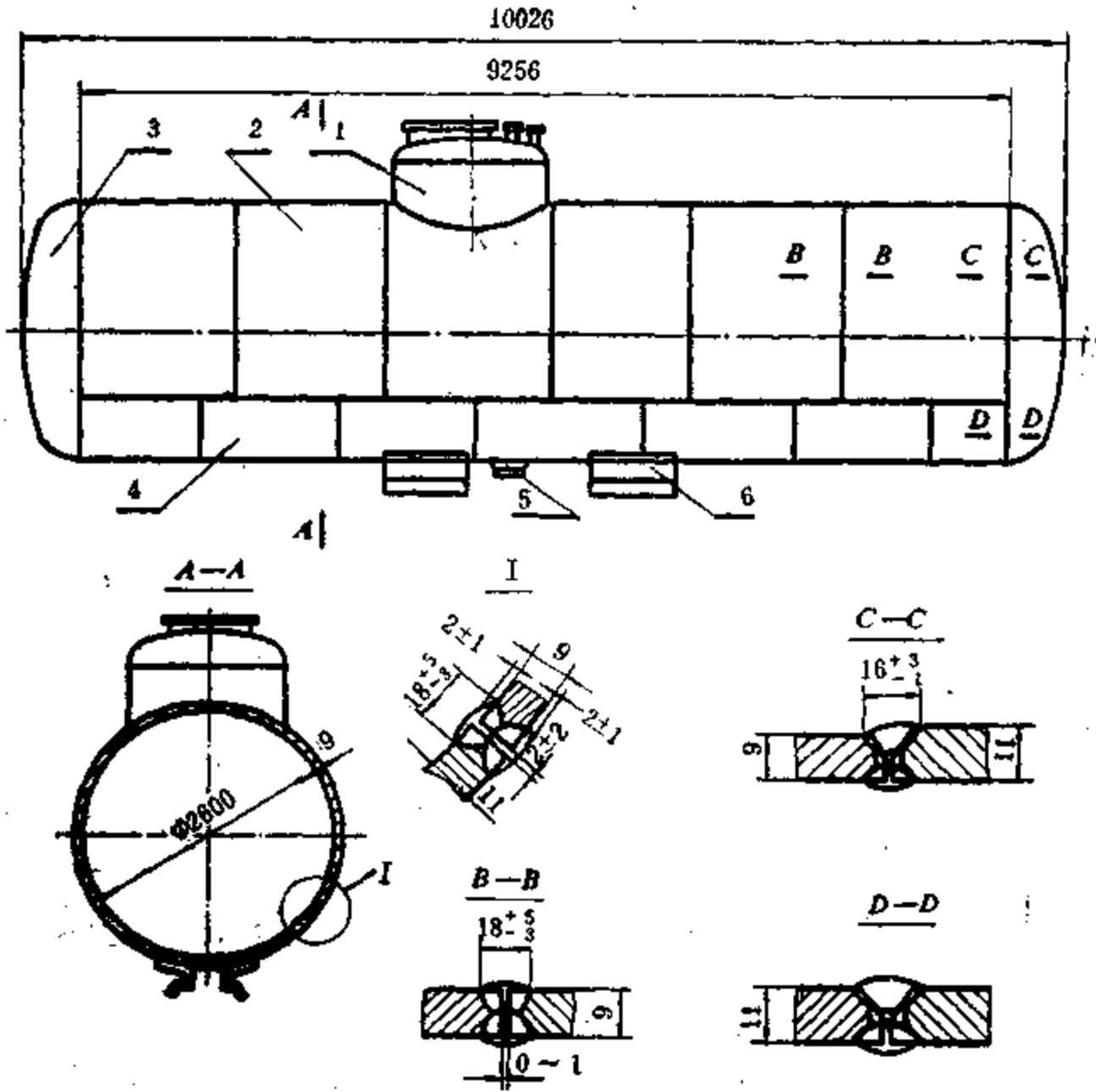


图 3-29 油罐车罐体结构示意图

- 1—空气包；2—上板；3—端板；4—底板；  
5—聚油窝-排油阀；6—罐体托板。

的上板和底板拼接成筒节板，焊接纵缝、滚圆成形、装配时可令各纵缝错开（图 3-30 a），装配点定焊后，可手工或埋弧自动焊接环缝。该方案中全部环缝皆为空间焊缝，且由于椭圆及直径的差异都给装配带来困难。这是常见圆筒容器装配焊接工艺，不是最佳方案。②将上板和底板平板对接，拼焊全部焊缝，形成整个筒体板幅，然后滚圆并焊接最后一条纵缝。为保证罐筒下挠，有两种办法。第一是将底板零件预先滚圆，在专用的留有挠度的胎具（图 3-31）上装配瓦片状底板零件，使底板有预留下挠，然后与拼成板幅并滚圆后的上板部件装配，焊接底板环缝，再焊接两条纵缝。另一办法是在预先拼接并滚圆的上板与底板装配时，在罐体内部用液压千斤顶强制造成下挠。这两种方法都可行，也已分别被采用。③由数块纵

向上板与一块纵向底板进行平板对接,焊若干条纵缝(图3-30c)所示为4条纵缝)成整个筒体板幅,再滚圆,焊接最后一条纵缝。该方案最为先进,但需要特宽、特长的钢板。该方案可减少约70m焊缝。但目前供应这种钢板尚有困难。

上述方案中要求预制下挠的原因是,当制成平直罐体(底板环缝尚未焊接)后,焊接环缝、纵缝及零部件(大多在罐体下部)等都会造成上挠,不预制下挠则难于保证技术条件。

根据上面的分析及现有条件,宜采用第二方案,该方案的装配焊接过程如下:

**上板拼接工艺** 包括小张板装配焊接,上板拼接装配,在焊剂垫上埋弧焊接正面,然后在大型双柱式翻转机上翻转工件并焊接另一面,最后在大型弯板机上滚圆。

**底板装配工艺** 将下料并刨边的底板条滚圆,在如图3-31所示的装配胎具上进行装配并点定焊。

**罐筒的装配焊接** 将滚圆合格的上板和装配好的底板部件装配成罐筒,清理焊口,在焊剂垫上埋弧自动焊接底板内环缝,尔后焊外环缝;在纵向焊剂垫上埋弧自动焊接罐筒内纵缝,尔后焊外纵缝;装配焊接大小筋板,气切罐筒上各孔(如排油孔,空气包处人孔等),并进行质量检验。装配端板(封头),在焊剂垫上埋弧自动焊接内环缝;装配另一端板,手工焊接端板内环缝,外部清根;埋弧自动焊接两条外环缝。

**空气包的装配焊接** 冲压成型的包盖(封头)与拼焊滚圆合格的包体装配,手工焊接环

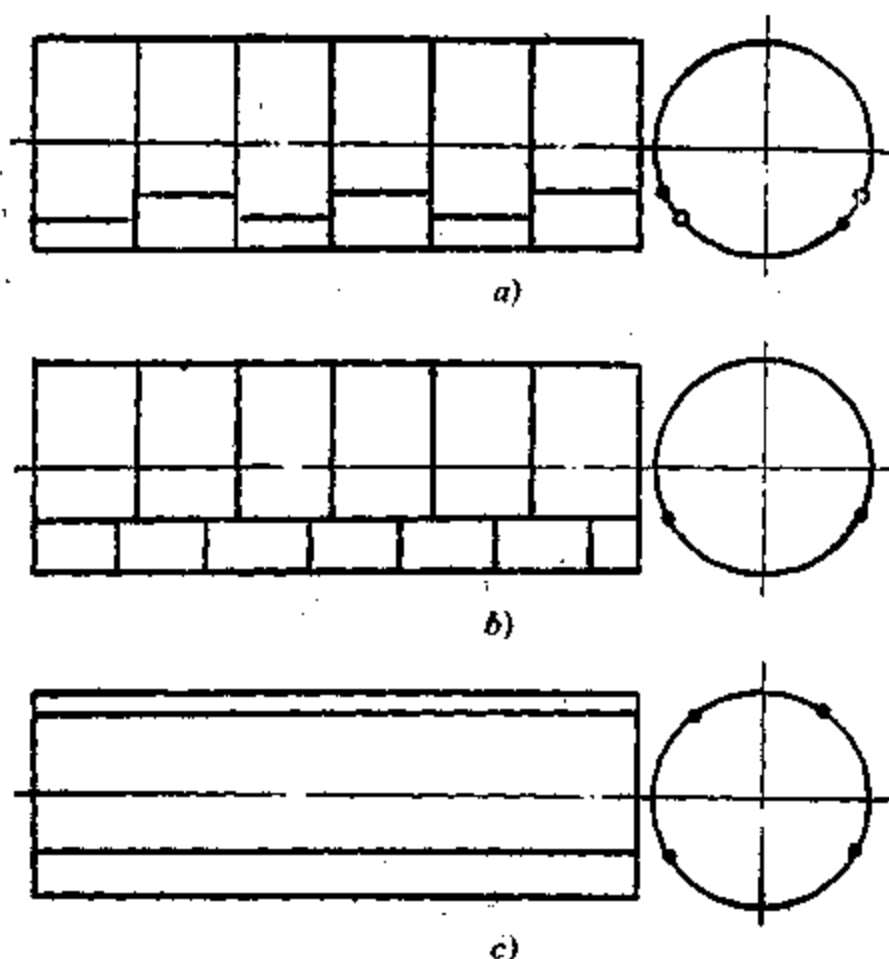


图3-30 罐体装配方案



图3-31 板在胎具上的装配

焊缝;用样板切割空气包上的孔、包体曲线;然后装配、手工焊接零部件(如人孔座、安全阀座、进空气孔座等)。

**焊成罐体** 将装配焊接好且检验合格的罐筒装配焊接罐体托、排油阀和空气包,以及内外梯、走台架,经水压试验,合格的罐体进行加温套的装配焊接(粘油罐车)。

现行罐车罐体的工艺路线如图8-32所示。按此工艺制造,可保证达到技术条件要求并能提高生产率。采取的主要措施如下:①底板在图3-31的胎具上装配,保证有要求的下挠。②装配筒体时利用工艺板卡兰保证周长在8220~8230mm之间,全长凹凸不大于15mm,300mm长度之内凹凸不大于2mm。③在筒内设内圆支撑后焊接,保证下挠。④焊缝全部为双面焊,其中大部分采用埋弧自动焊在熔剂垫上施焊,少部分采用手工焊(端板内环缝)。⑤焊接环缝时采用滚轮支座焊件变位机械;焊接外环缝及外纵缝时采用悬臂式焊机变位机械。⑥拼接上板时,采用回转架可取下的双柱式焊接翻转机翻转工件。翻转过程是:用起重

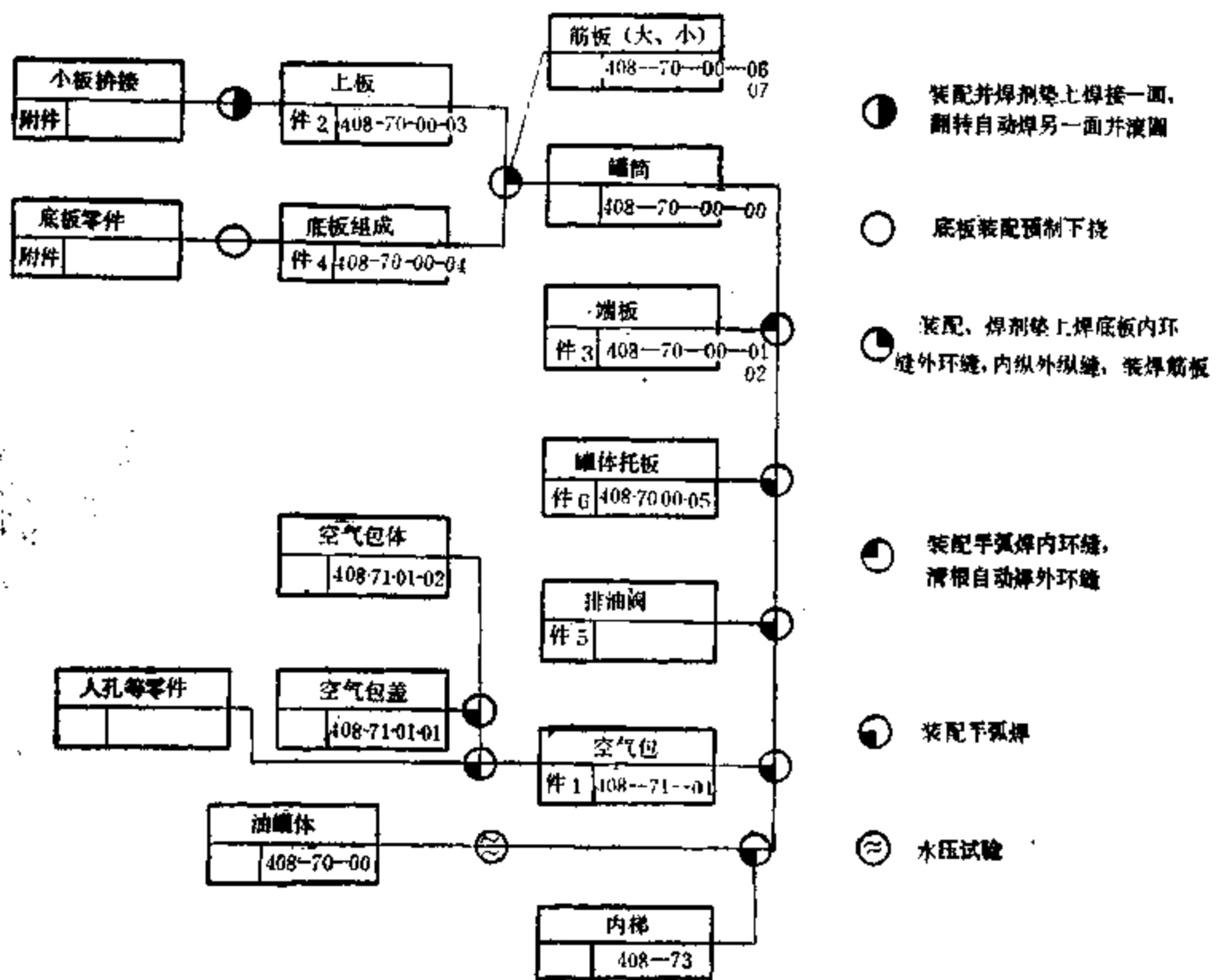


图 3-32 罐体工艺路线图

机将回转架吊到在焊剂垫上已焊完正面焊缝的上板幅上方，用四周的卡具将两者卡固，吊运到有地坑的翻转机支座上，翻转机翻转，使焊件反面向上，自动埋弧焊后，运往大型弯板机滚圆成形。⑦为上板滚圆设计了10m宽大型弯板机。⑧装配端板使用压紧钢箍，保证接口平齐、错牙在规定范围之内。⑨罐体托板、聚油窝、排油阀等零件使用专门的定位器装配，效率高而且能保证几何位置及尺寸准确。

还应指出，罐筒环缝及端板与罐筒之间焊缝的装配效率较低。如采用图 3-33 所示的装置，可提高生产效率、改善装配质量，对采用图 3-30 a) 所示方案进行圆筒容器生产时，多用图 3-33 a) 所示装置装配环缝。待装配筒节（最大宽度达 3.5m）支承在滚轮支座 6 上，装置小车 5 沿滚道 7 送进。弓形臂上有两个支点 12, 13，液压缸 11 与支点 12 夹紧第一筒节，液压缸 10 与支点 13 对平焊缝。液压缸 2 使待装筒节靠近第一筒节。推杆 4 确定弓形臂在垂直平面内位置，弓形臂还可绕轴 3 转动，调整间隙合适后进行点定。图 3-33 b) 由辐射分布的 26 个气动缸对平焊缝，筒体由滚轮送进，而端板另有专门卡具固定定位。这种装置对于装配油罐体及图 3-4 的卧式石油贮罐等中小壁厚圆筒容器是很有效的。

目前国内已有相当数量的螺旋管焊接生产线。在该线上将卷成卷的板料展开、校平、两边切边、呈螺旋送进、焊接、切断成管。与该方式相同的，专用于制造圆筒容器筒体的螺旋焊接生产线在国内一些厂家也已建立起来。如图 3-4 所示贮罐壁就有专门的螺旋焊接生产线，其机械化程度较高，质量较好。其工艺过程示意于图 3-34 采用高效的  $\text{CO}_2$  气体保护

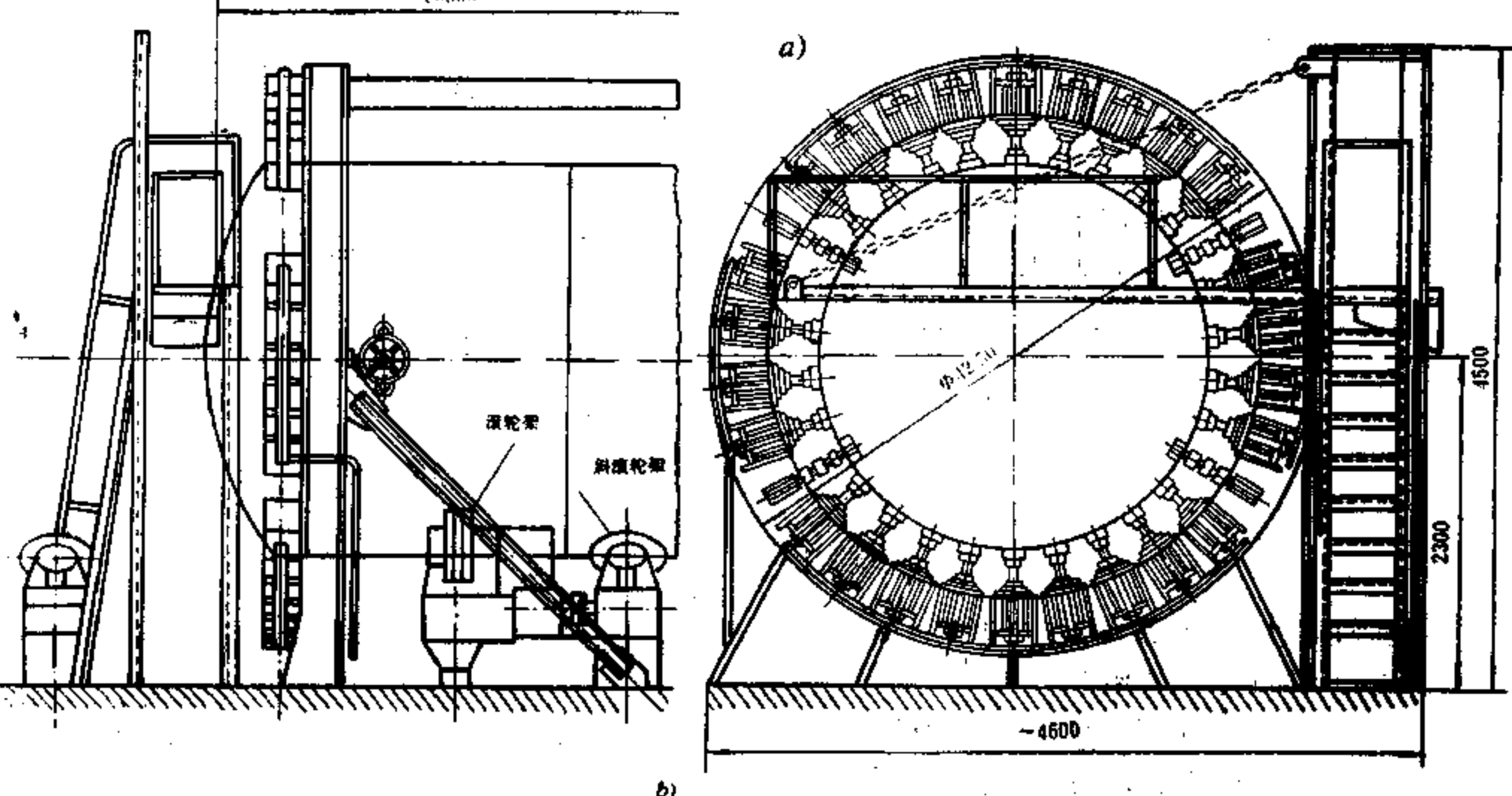
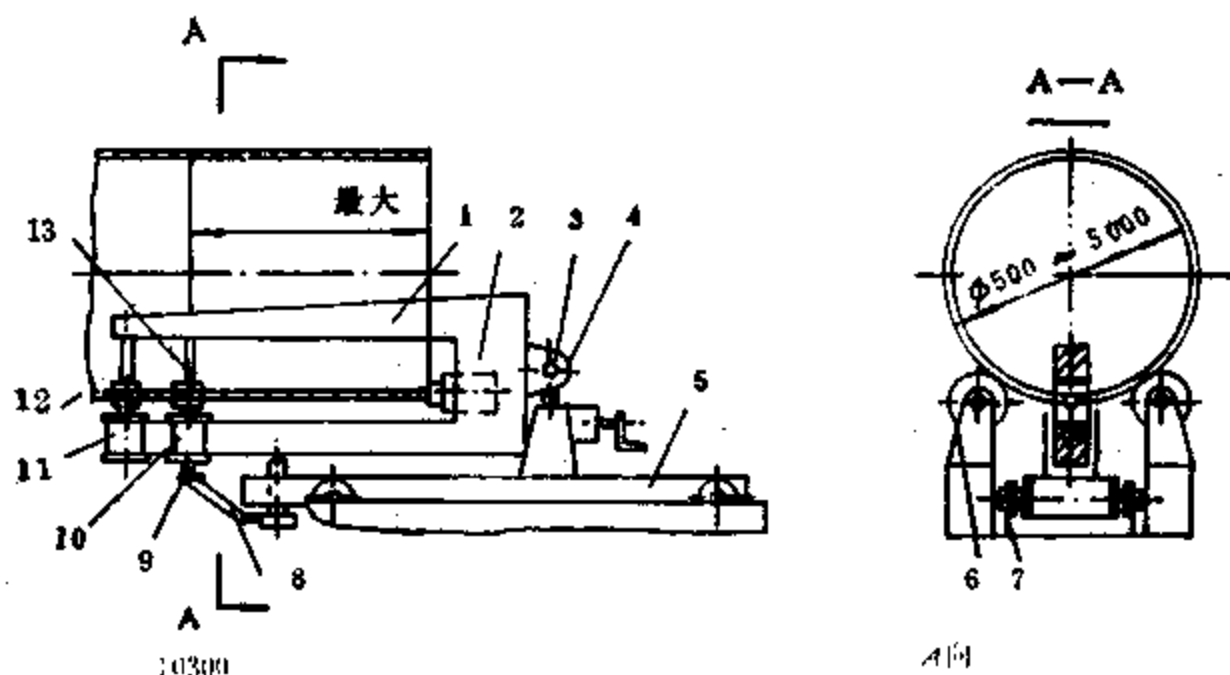


图 3-33 罐筒环缝及端板装配的装置  
 a) 装配环缝装置; b) 装配端板装置。

焊, 旋转筒体并送进而焊接机头固定不动, 可实现连续焊接。达到规定长度之后, 随动气切工具切断筒体。检验合格的筒体送至下一工位装配焊接封头、人孔及阀座, 最后进行整体密闭性试验。

### 3. 球形容器的焊接生产

球形容器是一种优良的压力贮罐, 在具有同样贮存体积时, 球表面积最小, 因而节省材料。同样压力同样直径条件下, 球壳应力较小, 为圆筒容器周向应力的 1/2。壁厚按式 (3-21) 计算。

随着装配焊接技术的提高, 球罐的制造变得容易了, 加上以上优点, 所以它获得了广泛应用。它是使用钢材最多的一种压力容器, 特别是低温钢。例如在露天盛装危险介质的容器, 钢材要承受冬天低气温和介质的低温 (如盛装乙烯等需耐  $-35^{\circ}\text{C}$  的低温, 所以需用低温

钢。) 下面讲述大型球形贮罐的制造工艺。

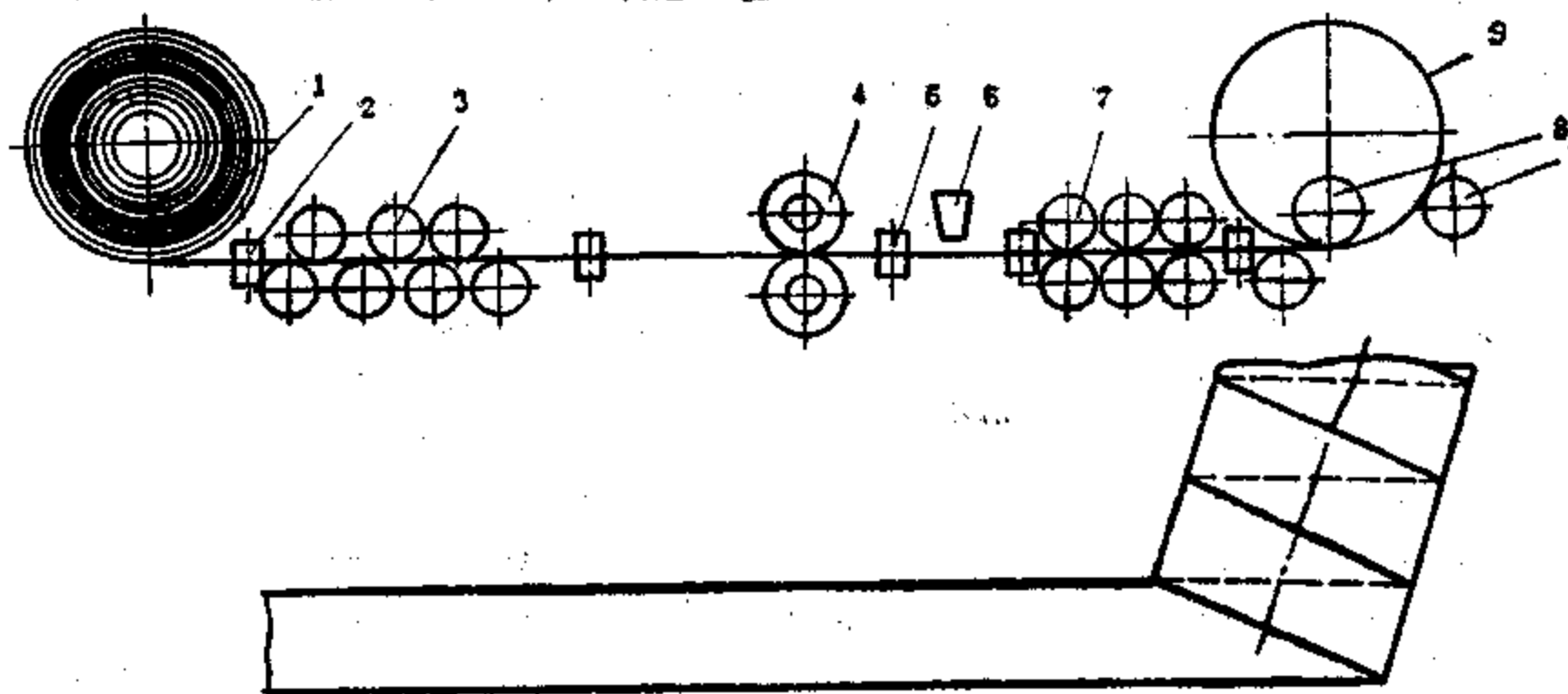


图 3-34 圆筒容器螺旋焊接生产示意图

1—材料卷；2—定位送进轮；3—矫平机；4—纵向剪边圆盘剪；  
5—铣边；6—喷气嘴；7—压紧送进轮；8—成形装置；9—焊好圆筒。

#### (1) 球形贮罐的结构特点

大容量的球形容器多用作贮罐。如前所述，球形贮罐系由钢板压成球瓣拼焊而成。球壳分成若干个环带，球壳体积愈大，分成的环带愈多。图 3-35 所示为容积  $2000\text{m}^3$  球形贮罐，它分为南北极（片）、南北寒带、南北温带和赤道带。球罐顶部设有安全阀、顶部和底部还设有人孔及各种阀座。

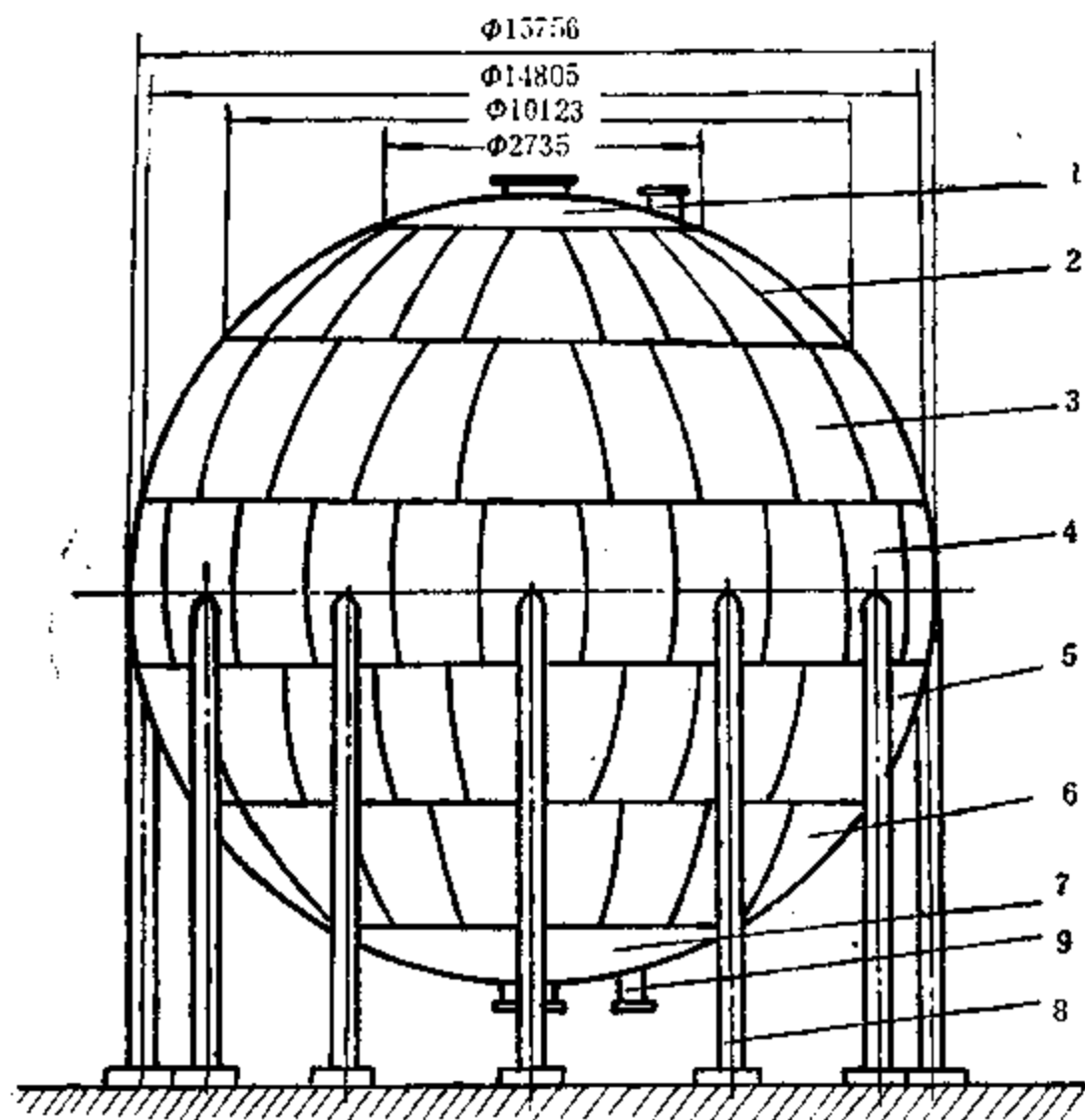


图 3-35  $2000\text{m}^3$  球形贮罐

1—北极；2—北寒带；3—北温带；  
4—赤道带；5—南温带；6—南寒带；  
7—南极；—8 支柱；9—人孔及接管



球壳有多种固定方式,图 3-35 为最常见的一种支柱支撑形式。图中所示 12 根支柱支撑在球壳的赤道带上,有些大型球罐支柱间还有斜撑,并在赤道带有环架,对球壳进行补强,防止支撑的集中力使球壳变形。除图 3-35 的赤道正切式支撑外,还有裙式支座(图 3-1d)、半埋式支座及 V 形支座等。

为了维护和检查,球罐上装有梯子和步廊,如图 3-1d) 所示。为了安全,球罐顶部设有避雷针。

采用大容量球罐可以减少球罐个数,节省占地。而容量加大,罐壁厚度增加。厚度达到一定数值必须退火以消除焊接应力。如前所述,以不用热处理方法处理的最大厚度(36mm)确定最大容积。如果材料强度级别提高,则板厚可减薄。则达到最大厚度时,球罐容积增加,可提供如表 3-2 的经济比较。该表按日本《高压气体管理法》,内压 0.98MPa (10kgf/cm<sup>2</sup>)、容量达 40000 标准 m<sup>3</sup> 下,当采用不同强度级别的钢种时,所需球罐的个数、消耗钢材量及占地面积都不相同。国内供球罐采用的调质钢或正火钢有较高强度级别(490~588 MPa),可望获得较高经济效益。此外,国外已经采用爆炸法消除残余应力,国内也有了研究报告。但该法是以消耗部分钢材塑性变形能力为代价的,是否可用于提高球罐安全壁厚,仍值得研究。从表 3-2 的比较看出,采用大球罐比较经济,但随着球罐体积增大,在工厂建造的可能性减小。目前国内球罐容积在 200m<sup>3</sup> 以下的才在工厂建造,体积再大的球罐都在工地建造。

表 3-2 低碳钢和高强钢制球罐比较

比较参数	软 钢 SM41B	高 强 钢	
		HW 50 588MPa级(60公斤级)	HW 70 785 MPa级(80公斤级)
必需球罐数 (达 40 000m <sup>3</sup> )	16	3	1
每个罐几何容积 (m <sup>3</sup> )	2 500	13 333	40 000
球罐直径 (mm)	16840	29 430	42 440
球板厚度 (mm)	37	34	38
钢板总重 (t)	4 140	2 180	1 690
投影总面积 (m <sup>2</sup> )	3 560	2 040	1 410
钢材重与总面积比	2.45/2.52	1.29/1.45	1/1

#### (2) 2000m<sup>3</sup>球形贮罐的工地建造

该球罐已示于图 3-35,是目前国内自行设计建造的较大型球罐。它由南北极各一块、南北寒带各 16 块、南北温带及赤道带各 24 块,总计 106 块球瓣所组成,支承在 12 根外径 529 mm,壁厚 8mm 的钢管柱脚上。焊缝总长 650m。除南北极外,每两块板在工厂预先拼焊好,以减少工地焊接工作量。工地总焊接量约占全部焊接量的 2/3。该容器的主要技术参数如下:

内径  $D_i = 15.7\text{m}$ ;

板厚  $\delta = 25、28$  (赤道带) mm 两种;

体积  $V = 2000\text{m}^3$ ;

设计压力  $P = 0.69\text{MPa}$  ( $7\text{kgf/cm}^2$ );  
工作压力  $P_g = 0.64\text{MPa}$  ( $6.5\text{kgf/cm}^2$ );  
水压试验压力  $P_{st} = 1.03\text{MPa}$  ( $10.5\text{kgf/cm}^2$ );  
气密试验压力  $P_q = 0.72\text{MPa}$  ( $7.35\text{kgf/cm}^2$ );  
介质 丁烯、丁二烯;  
立柱数 12;  
自重 162t;  
水压总重 2200t;  
设计温度 常温

钢制球罐按 JB1127—82 制造。该技术条件对制造球壳钢板的检查作了较为严格的规定;对球壳瓣片的成形要求,如曲率允差、几何尺寸允差、球壳组装及焊后允差等都作了严格的规定(如装配间隙、错边量、角变形、直径允差等);特别对于焊接质量有严格的要求,如双面焊的对接焊缝需经 100% 射线或超声波探伤检查,全部焊缝进行表面裂纹检查等。

根据上述要求,为保证产品质量采取以下措施:(a) 原材料需进行逐张逐块板复验。超声波探伤要符合压力容器用钢板超声波探伤标准(JB1150—73),合于Ⅲ级者才可使用(JB741—80:《钢制焊接压力容器技术条件》);钢材机械性能及化学成份要符合有关标准或规定。

(b) 防止球瓣片的加工脆化。在冷压成型之前,钢板需进行低温( $550\sim 580^\circ\text{C}$ )回火,且一次下料切割出坡口。

(c) 冲压好的球瓣要逐块进行坡口磁粉检查,以便及时发现切割、冲压产生的微裂纹。

(d) 为减少焊接应力与变形,除球瓣加工形状需经严格检查合乎要求外,还需将球瓣整圈在工厂进行预装配,留好间隙,以防止工地装配时间隙不合要求而采用强制装配。

(e) 为减少工地焊接工作量,每两块板先行焊接。焊接在球形焊接夹具上进行。夹具分凹凸两种,前者焊内焊缝,后者焊外焊缝。用装配马和圆弧形加强板点固焊缝,减小焊接变形。焊后检查,有超过规定之变形,可用水压机进行校正。

(f) 工地装配各球带后开始焊接。装配时,除使用上述装配马和圆弧形加强板外,球内安装中心轴并连接各片的拉杆,用螺栓调整使球板固定在中心轴四周。

(g) 为保证不致因应力过大产生裂纹,需采用预热及后热措施,并在第一层或第一、二层采用逆向分段焊。为防氢裂,焊条应严格烘干。

(h) 为使变形均匀,应力较小,每条纵缝由两名焊工施焊,每球带上全部纵缝同时施焊。如赤道带、南北温带,由 24 名焊工同时焊接。全部环缝也分段同时施焊。

(i) 工序间质量检验需在焊完一面,反面拆除装配马、圆弧形加强板、清除焊根、排除未焊透等缺陷、砂轮磨光后进行。用磁粉探伤检查有无裂纹。焊缝质量合格后才可继续施焊。

全部焊完,后热结束后 24 小时以上,进行超声波和 x 光探伤。使延迟裂纹不致漏检。

水压试验前后,都需进行焊缝表面的磁粉探伤。

球形贮罐的其他焊缝,例如支柱与赤道带连接的焊缝也采用同样的工艺措施。

(j) 由于工地建造易受自然条件如风、雨的影响,加之高温高空作业,工人的劳动安全必须切实加以保障,使工人操作时有安全感,这也是提高焊接质量的重要措施。

球罐的装配焊接工艺路线如图 3-36 a) 所示, 罐体对接焊缝为不对称 X 坡口, 如图 3-36 b) 所示。按此工艺路线, 焊接次序为: 赤道外纵缝、南北温带外纵缝、赤道带上下外环缝、北寒带内纵缝、南北寒带外纵缝、南北寒带和温带之间外环缝、赤道带内纵缝、南北温带内纵缝、赤道带上下内环缝、南寒带内纵缝、南北寒带内环缝、南北极外环缝、南北极内环缝。

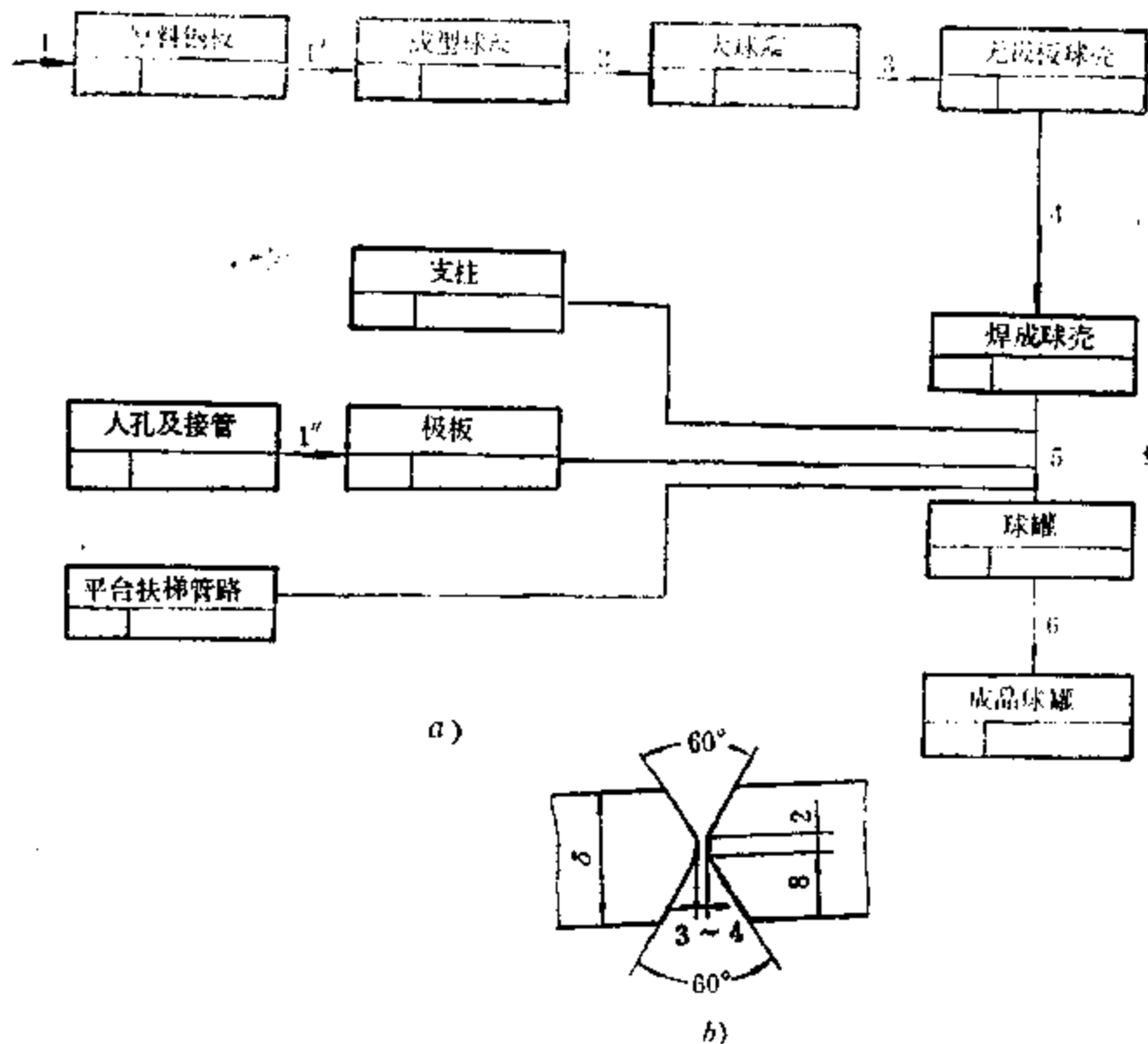


图 3-36 球罐焊接工艺路线 (a) 及焊缝坡口图 (b)

- a) 1—原料板超声探伤、机械性能、化学成分复验;  
 1'—回火后下料, 冷压成形、坡口磁粉探伤;  
 1''—往极板上装配及焊接; 2—工厂内试装两两拼焊;  
 3—校正后工地装配 (由下往上) 并安装脚手架  
 4—焊接 (由中间向南北寒带, 先纵后环, 先内后外);  
 5—探伤后装焊各件; 6—水压试验及验收。

施焊前用丙烷喷管预热, 火焰对准焊缝中心, 从施焊反面加热, 待坡口两侧 50mm 内温度高于 100℃ 时, 才可开始焊接。注意清渣, 及时检查有无缺陷, 并控制层间温度在 100℃ 左右。焊接完毕, 用火焰继续加热半小时后缓冷, 冷至常温 24 小时后做全焊缝超声波探伤。控制施焊线能量在 10~50KJ/cm 之内。立、仰、平焊采用多道摆动多层焊, 而横焊则采用多道不摆动多层焊。

### (8) 球形贮罐的工厂整体建造

大型球罐的工地建造是国内外石化工程、乙烯工程、化肥工程、冶金工程大批球形容器的主要建造方法, 采用上述方法进行工地建造可以满足球罐的质量要求。但该法的一个主要

缺点是自动化、机械化程度低，球罐质量及生产率都受自然条件影响。而在工厂建造则可避免这一影响，进一步采用自动焊，有利于生产率和质量的提高。我国目前已成功地在工厂内制造了容积为 $200\text{m}^3$ 的球罐，其内径为 $7100\text{mm}$ ，壁厚 $34\text{mm}$ ，材料为 $16\text{MnR}$ ，由16块球瓣（10块赤道带，南北极各8块）组成。

该球罐制造也应符合JB1127—82技术条件的要求，原材料的检验、下料、成形、拼接等都和工地建造球罐相同，球罐的焊接采用先焊内，后焊外的次序。三个球带（北南极和赤道带）中以赤道带为基准。三球带之间的接口依据赤道带周长修正两极，然后切割人孔，打磨坡口，开始装配。装配时将北极固定，使接口处于水平位置，再装赤道带、南极带。手工焊内环缝，从外部清根并且预热后进行自动焊。球壳自动焊在滚轮支座上用焊接变位机进行，先焊纵缝、后焊环缝。

球体焊完检验合格后，从水路运至工地安装并焊接附件。

#### 4. 高压容器的焊接生产特点

由前述各类高压容器的结构特点和用途可见，这类容器多是石化工业的关键装置，是电站和其他使用这类容器的部门的核心部件，因而质量要求极严格，一旦出现事故后果极为严重。另一方面这类容器制造的劳动量，如焊接工作量（单层厚板卷板式高压容器等）极大，或装配工作量大，需要特殊的专门装置来进行制造。下面以几种主要高压容器的焊接生产特点为例，介绍如何高效优质地生产高压容器。

##### （1）单层厚板卷板式高压容器

这类容器壁很厚，因而焊接量很大，如何高效、优质地完成焊接工作，是这类容器工艺分析提出的主要问题之一。壁厚 $50\text{mm}$ 以上被认为采用电渣焊是合理的，因此这类容器在许多工厂采用电渣焊完成。图3-5b)所示的电站锅炉汽包，壁厚达 $90\text{mm}$ ，其筒体纵缝没有采用电渣焊时，制造工艺相当复杂，需经过两次滚圆成形，第一次加热( $1000\sim 1050^\circ\text{C}$ )，在巨型弯板机上，弯曲基本成圆（留有 $300\sim 350\text{mm}$ 间隙）后，进行坡口加工，然后再次加热滚圆；进行表面清理并装配焊接定位板（装配马）、引弧板和引出板。用手弧焊在内部进行底焊，底焊时工件要进行预热，底焊完毕，外部切除定位板，用刨床清根（采用成形刀），然后外部进行多层埋弧自动焊（约 $18\sim 20$ 层）。为确保质量，不出现裂纹，仍要预热，并且每道焊后必须清渣，并马上进行回火处理。切除内部定位板，完成内部焊缝，机加工和风铲切去余高。至此完成筒节纵缝，它经过14道工序，并经 $5\sim 6$ 次加热。可见工艺复杂，劳动条件差。

采用电渣焊工艺后，锅筒板一次滚圆，清理氧化皮后即可装配焊接装配马，其坡口是用半自动切割完成的（直坡口），间隙 $26\sim 28\text{mm}$ ，并装焊电渣引弧渣板和引出板。为了电渣焊滑块严密贴合，工件滚圆后要留有直边，如图3-37所示。工件在垂直位置电渣焊，一次焊完后，切除装配马，立即入炉进行正火，之后在弯板机上进行校圆，后回火处理，清除氧化皮。采用此工艺可省去约一半加

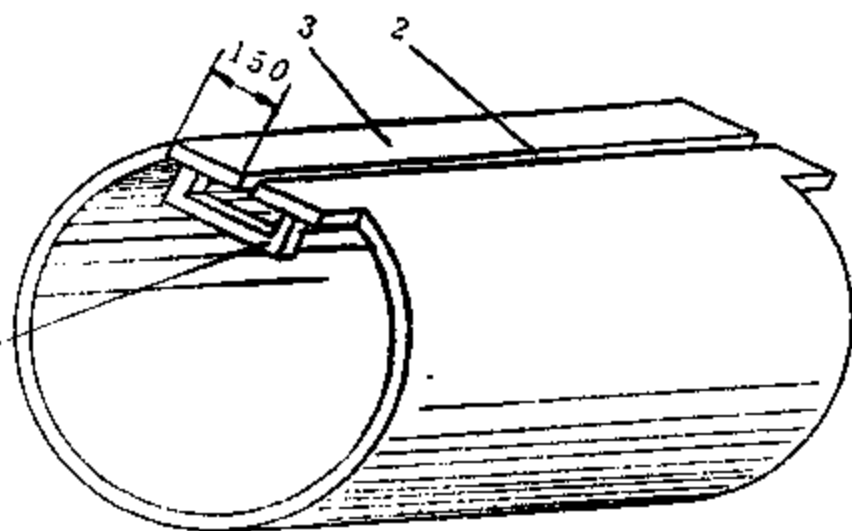


图3-37 电渣焊卷板筒体纵缝装配图

1—装配马；2—焊缝间隙；3—直边。

工工序。据有关厂家统计，劳动生产率提高一倍，质量大为提高（返修率由自动焊的15~20%降至5%）成本降低了25%左右。

单层厚板容器的环缝可采用埋弧自动焊和电渣焊以及窄间隙焊来完成。工厂能否采用效率很高的电渣焊，往往取决于工厂能否进行随后的正火回火热处理，并且不产生超过规定的热处理后变形。因为或者是焊接了封头环缝不能再进行滚圆矫形，或者是筒节之间环缝焊完后筒节接长，进行滚圆困难。这就要求工厂有巨大的井式热处理炉。当然如果工件焊完后再精加工则不受此限。

单层厚板容器环缝电渣焊可以6000吨锻造水压机工作缸的环缝为例。该水压机工作缸如图3-38所示，其工作压力为31.4MPa (320kgf/cm<sup>2</sup>)，采用20MnV合金钢锻件拼焊而成。全部环缝采用电渣焊完成。

工作缸套净重25t，由5节锻造毛坯拼焊成。毛坯经初加工，内径为900mm和930mm两种尺寸，外径有三种尺寸，如图3-38所示。焊口两侧必须有宽70~100mm以上的相同直

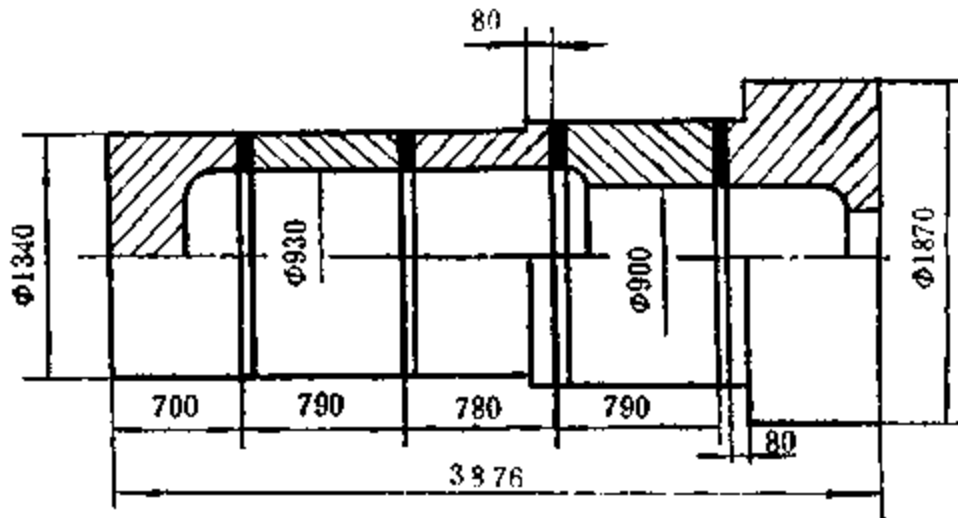


图 3-38 水压机工作缸锻焊件

径段，以便电渣焊冷却铜滑块很好地贴合。工作缸一次装配4节毛坯，焊接3道环缝之后，再装配第5节（外径最大的）。工作缸毛坯在平台上立式装配点焊，用32~36mm厚垫块（1）保证焊缝间隙，然后用装配马（2），焊接固定好。吊往工作地的焊接滚轮架（9）上，如图3-39a所示。然后切去起焊处垫块及上方装配马、装配引弧板和缸内固定冷却滑块三脚架（4），见图3-39b和c）。待安装好内冷却滑块后即可开始引弧造渣，形成稳定电渣过程，逐渐旋转工件并装置外部冷却铜滑块，待焊完1/4以上，可以切去引弧板，修理间隙，以便完成焊接时引出渣池用。切割时应彻底清除未焊透，以免造成电渣焊缺陷，切割过程和切割完毕如图3-39d）和e）。如判断引出面和内圆相切有困难，可以制造切割样板。待焊接进行到将装配马和垫块全部切除以后，装配引出钢模（8）。待工件转至引出面切向线为垂直位置后，停止转动工件，进入电渣焊引出阶段，如图3-39e）。随着渣池上升，焊机由原来位置提升，待引出部分焊约1/3以后可减小工艺参数为收尾工艺参数。采用较小电流以防止产生收尾裂缝（收尾时渣池散热不良，温度升高，杂质多可能导致产生裂纹），焊接结束后立即切去引出模。

为提高生产率，可以随板厚增加采用多丝电渣焊。工作缸的电渣焊采用三丝。在电渣焊开始引弧形成电渣、正常焊接及收尾三个阶段的工艺参数都不相同，工作缸的焊接工艺参数如表3-2所示。

应当指出，电渣焊内部成形装置除使用本例可倒换的固定冷却铜滑块外，还可以采用整

表 8-2 工作缸环缝电渣焊工艺参数

工艺参数	引 弧	正常焊接	收 尾
焊接方式	1~8 丝	8 丝摆动	8 丝摆动
焊接电流 (A)	300~400	450~480	400~440
焊接电压 (V)	50~52	46~48	46~48
三焊丝间距 (mm)	65~75	65~75	65~75
焊丝摆动距离 (mm)	45~50	45~50	45~50
焊丝摆动速度 (m/h)	57	57	57
焊丝与滑块距离 (mm)	15	15	15
焊丝在滑块边停留时间 (S)	3	3	3
渣池深度 (mm)	50~60	50~60	50~60
焊丝干伸长度 (mm)	60~70	60~70	60~70
焊丝直径 (mm)	8	8	8

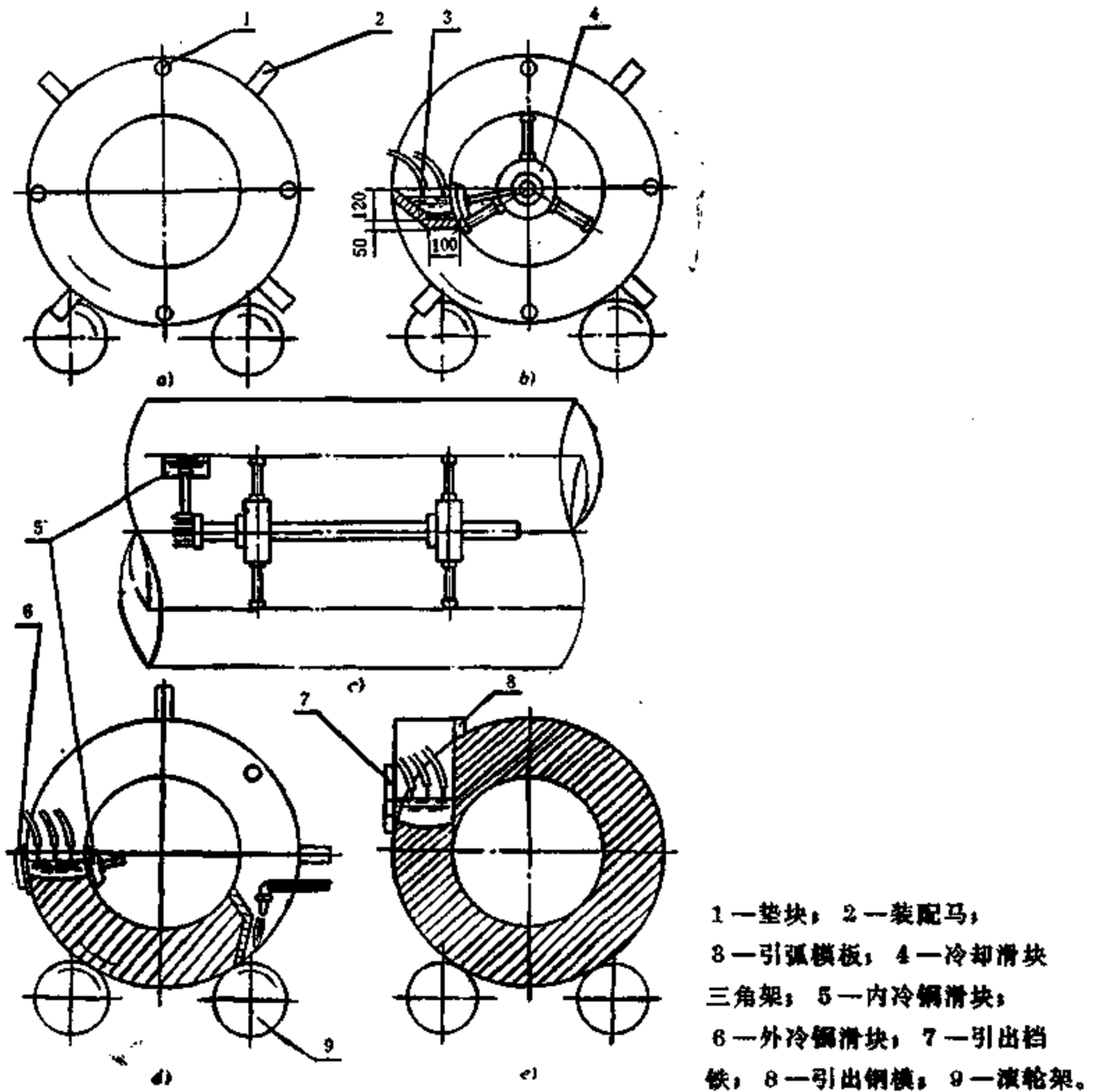


图 8-39 工作缸环缝电渣焊过程图

圈环缝内部固定冷却铜成形块<sup>[13]</sup>，以及和外部一样的可移动式冷却铜滑块。环缝外部则多采用滑动式冷却铜滑块。引出部分除用钢模外，也可用铜模。

工作缸4条环缝完成后，立即入炉进行正火回火热处理。

环缝采用埋弧自动焊，焊后可以不用进行正火热处理，但壁厚大，清渣困难。采用窄间隙焊没有清渣问题，而且由于窄间隙，焊丝消耗减少，生产率能够大大提高。但该工艺对设备及操作都有更高的要求，目前还未大量应用在生产上。

### (2) 层板包扎式高压容器 (图 3-6)

这类容器如前所述，由于制造设备简单，特别适合于缺乏大型设备的容器制造厂家。为充分利用材料，内筒，特别是衬里需采用耐工作介质腐蚀的材料，层板则用强度较高并且可焊性良好的钢材。

层板高压容器的内筒和一般薄板圆筒容器的制造工艺相同。内筒节卷焊完成，经消除应力热处理并刨去纵焊缝余高之后，可以开始进行层板包扎。层板（如6mm薄板）预先在弯板机上滚圆呈瓦片状，用钢丝绳捆扎在内筒上，待间隙合适进行点定焊，点定焊完去掉钢丝绳。手工电弧焊接层板纵缝，用砂轮磨去余高，接着包扎第二层。包扎时应使各层纵缝错开，直至达到规定厚度为止。

圆筒节完成之后，焊接筒节之间、筒节和封头之间的环缝。如焊缝只能采用手弧焊、埋

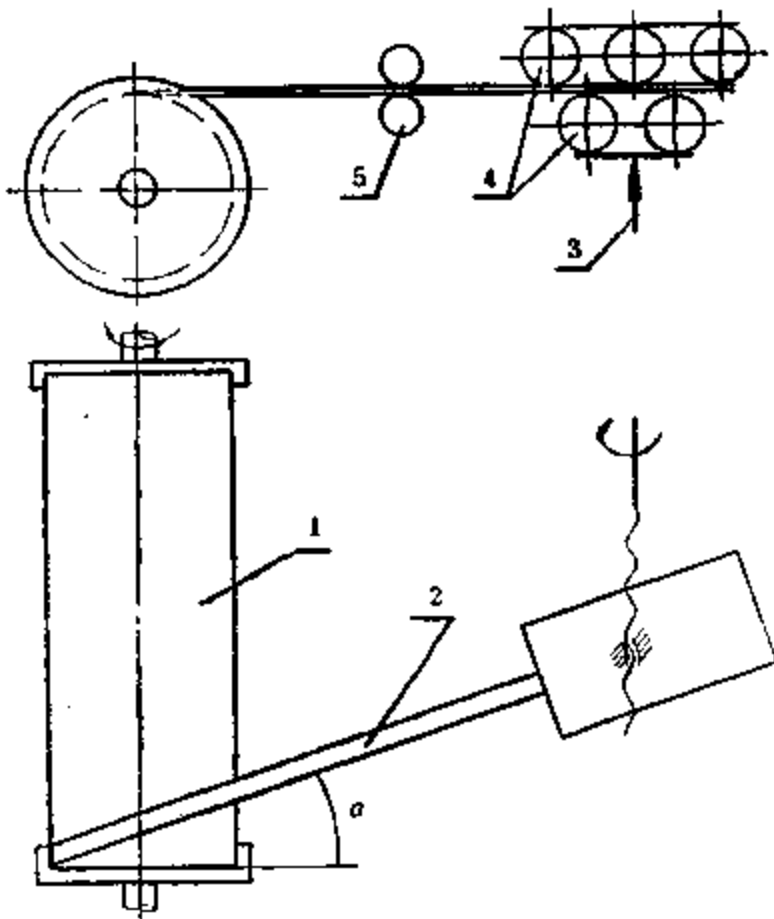


图 3-40 绕制扁平绕带式高压容器示意图  
1—内筒；2—钢带；3—千斤顶；4—压紧滚轮；5—前导轮。

弧自动焊或窄间隙焊，因为焊后不能再进行热处理，否则层板之间的预紧力将被消除。环缝完成后装焊衬板，衬板与内筒采用塞焊连接。最近研究采用爆炸焊或爆炸胀紧装置内衬板。

### (3) 扁平绕带式高压容器

如图 3-10 所示的扁平绕带式高压容器是在内筒上缠绕  $4 \times 80(\text{mm}^2)$  的扁平钢带。钢带由特制的绕制机缠绕在内筒上，如图 3-40 所示。钢带一端焊在内筒上，另一端由千斤顶压在两排压紧滚轮之间，内筒在专用机床上转动时，钢带即绕在内筒之上。图中示出钢带按螺旋角缠绕，即扁平钢带的轴线与内筒横截面的夹角  $\alpha$  为  $\pm 25^\circ \sim 30^\circ$ ，使各层钢带呈交叉状，即左右螺旋状，偶数层与奇数层相反。从图中可看出钢带具有预紧力。它比层板包扎容器生产周期短，因而成本较低。由于钢带预紧力可以调节，可作到内外筒受力均匀。目前内径为 500mm 以下的这类容器已经获得应用。

### (4) 绕板式 (卷板式) 高压容器

绕板式高压容器具有层板式高压容器和扁平绕带式高压容器两者的优点。国外于本世纪 60 年代开始研制，我国从 1965 年开始试制。试制的绕板式高压容器内筒厚为 10mm，绕板厚为 4mm。制好的内筒刨去余高之后包绕卷板，该过程示意于图 3-41，绕制过程是连续进行的。为消除开始绕制时的间隙，开始缠绕处加一楔形板头，如图 3-41b) 所示。楔形板头焊在

内筒上，卷板与楔形板头焊在一起。

绕板式高压容器对卷板的轧制质量要求较高，以保证间隙均匀。

#### (5) 热套式高压容器

热套式高压容器在国外制造与使用已有几十年历史，如60年代美海军舰艇研究中心(NSRDC)在深海探测模拟装置上采用了内径3m，长8.2m工作压力为68.64MPa(700kgf/cm<sup>2</sup>)，按疲劳寿命( $N = 2 \times 10^6$ )设计的锻焊热套式套箍容器。法国某公司用液压使内筒产生有限的塑性膨胀，使与外箍紧密贴合，以提高强度。外箍是滚轧圆环，或是用特制的各种截面钢丝缠绕而成。更早，如50年代末，英国制成直径15m，重千吨以上的原子能工业用大型套箍式容器，套箍是由钢板包扎而成的。

图3-6 b)所示热套式加氢反应器是分两段制造的。整个制造过程包括：钢板逐张进行化学成份检验，部分作机械性能试验，对机械性能强度指标偏低的(外筒套箍用18MnMoNb钢)要进行正火回火热处理；全部钢板逐张进行超声波探伤，合格后才准投入生产；下料成形包括封头下料(边缘削薄加工)和冲压成形，筒体下料和滚圆成形，内外筒分别为12节和16节，焊纵缝后，需经校圆和热处理(回火)再经探伤合格后，加工外圆(内筒)和内圆(外筒)；内筒环缝焊接，内筒6节和封头环缝焊接，进行退火、探伤和打磨余高。由于内筒外表套进外筒，故环缝不允许有余高，也不允许筒体中心发生歪斜，即保证母线平直度。工艺分析表明必须控制环缝错边量和弯曲度，进而需控制内筒环缝坡口精度，保证两端面的平行度和外圆对坡口的垂直度，控制装配点定焊时错边量和坡口间隙均匀性。实际上总是存在一定错边量，故打磨时要磨去错边量使平缓过渡。打磨采用打磨机，筒体在滚轮架上旋转，磨头旋转并沿筒体轴线左右移动。

筒体的焊接分别采用电渣焊(纵缝)、手工封底自动焊(内筒环缝)。由于筒体壁厚较大(85~95mm)采用加热后在弯板机上滚圆的工艺，电渣焊后校圆也是加热后进行，故将电渣焊的正火处理和校圆合并进行。故校圆后只需进行回火处理。

焊好的两段内筒经检验合格即可进行外筒套合。采用卧式套合，每段内筒上套8节外筒，套合有 $4 \pm 1$ mm的过盈量(相当于 $0.13 \sim 0.22\% D_w$ )。将外筒加热至500℃在专门的套具上进行热套。

两段套合了外筒的筒体进行总装，焊接总装的环缝，该环缝如图3-6 b)所示。内筒焊好后，加10mm厚的垫板再焊外筒的环焊缝。加垫板的目的是使内外筒环缝不致熔合在一起。其他外筒环缝紧密贴合并不焊接。焊完后局部退火并进行水压试验，最后进行涂饰。

国内已用该方法生产了多台化工石油设备。

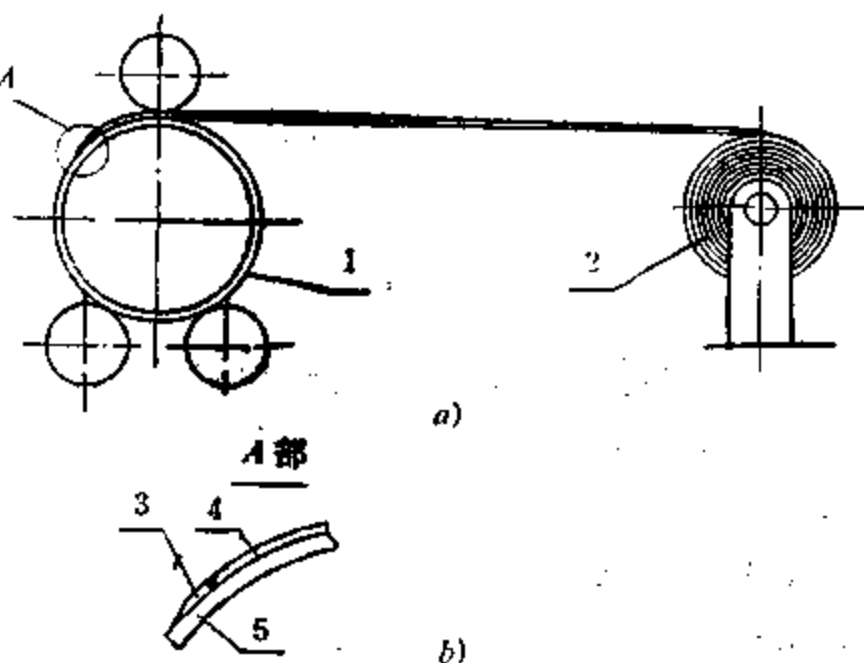


图3-41 绕板式高压容器生产过程示意图

a) 绕制过程；b) 楔形板头安装示意。

1—绕板式高压容器；2—钢板卷；

3—楔形垫；4—卷板；5—内筒。



## 第四章 焊接梁、桁架和焊接柱

### 一、焊 接 梁

#### 1. 焊接梁的用途与结构特点

如第一章所述，梁主要工作在横向弯曲载荷作用下，是钢结构中最主要的一种构件形式，是组成各种建筑钢结构的基础。例如，可用组合梁（钢梁分为型钢梁和组合梁两类）来制造桥梁（包括栈桥主梁）；用梁与梁组成格栅制作工厂的工作平台的基础，还是高层建筑钢结构的楼层盖。梁格栅结构有简式的（只有主梁，适合于小跨度、轻载）、普通式的（有主梁和次梁，次梁支承到主梁上）和复式的（除主梁外，还有互相垂直的纵向和横向次梁，后者支承于前者上）。焊接梁又是机器构件的主要组成部分，例如，用于制作起重运输机械的主体金属结构。象通用桥式起重机最主要的金属结构是大车架（桥架）和小车架，它们都是焊接梁再联结而成。

图4-1是常见焊接梁的截面形式，其中工字形截面和箱形截面用得最多（图4-1 a），b）及b'））。由工字形和箱形截面梁组成的桥式起重机主梁的截面形式如图4-1 h），i），j），k），l）等。箱形截面结构简单，设计和制造省工时，通用性好，水平刚度及抗扭刚度都较工字形截面高，所制成的起重机桥架机构安装及检修都较为方便。现已制成5~80t系列起重机金属结构。较大吨位起重机可采用偏轨箱形结构（图4-1 i））、偏轨空腹箱形结构（图4-1 k）），当在大跨度、低起重重量情况下。可采用桁架结构。既充分利用箱形梁的优点，又节省材料的单主梁结构示于图中j），这种结构起重机国内已设计了5~50t系列，生产的最大起重量已达80t。图中m）为型钢和钢板拼焊的单腹板主梁桥架结构，n）和o）为管形主梁结构的起重机桥架截面。g）也是管形截面，用于电葫芦小车的桥式起重机（门式起重机）上。类似于m）的型钢拼焊钢梁及工字梁大量用于房屋钢结构及工业建筑钢结构（如电站锅炉承重结构）。c），d），e）在车辆的中梁中得到应用，f）用于汽车类车辆大梁中。

焊接梁由于载荷变化，截面沿梁长相应改变，如图4-2所示。大多数情况下，如载荷不十分大，跨度也不大，可根据梁的最大载荷选截面，并且全长保持不变；但对大跨度、重型梁，如冶金工厂的重型吊车梁，桥式起重机主梁，为省材料、减轻自重则设计成变截面梁。对于起重机主梁可采用鱼腹和曲腹箱形工字形梁（图4-2 b）c），后者施工不便现已很少使用。分级的鱼腹形梁常为1~2级，分级愈多愈省材料，但制造费用提高。图4-2 a）和d）是盖板厚度变化的变截面梁，一般用于重型不变载荷的梁，在动载时板厚要采取过渡措施，以提高疲劳寿命。还有改变盖板宽度的变截面梁，目前已很少用。

为了使梁能承受局部载荷（如梁的支承处，及承受集中载荷处）不致发生平面外的弯曲，这些部位都要布置加筋板。图4-3所示桥式起重机的箱形主梁，其上盖板上铺有起重小车行走轨道，传递起重载荷的集中力；设置大小筋板，特别是小筋板，主要是将此集中力在梁中合理传递。另外布置筋板使构件的“自由长度”减小，提高失稳的临界应力及构件抗局部失稳的能力，同时还提高了梁的抗扭刚度、水平（垂直）刚度及梁的整体稳定性。图4-3中水平加筋和大加筋都起这种作用。

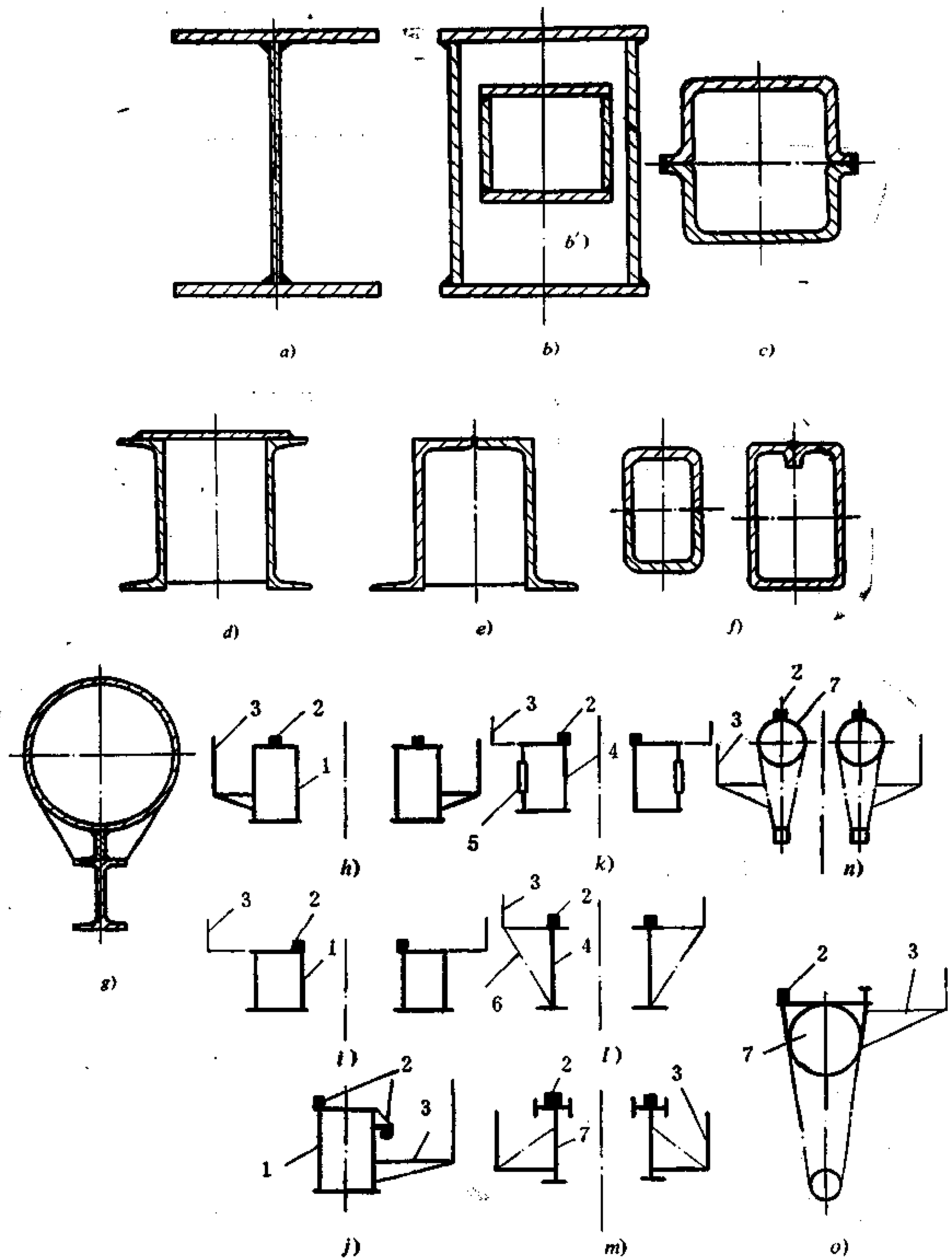


图 4-1 梁的截面形状

1—箱形主梁；2—轨道；3—走台；4—工字形主梁；  
5—空腹梁；6—斜撑；7—管形主梁（单和双主梁）。

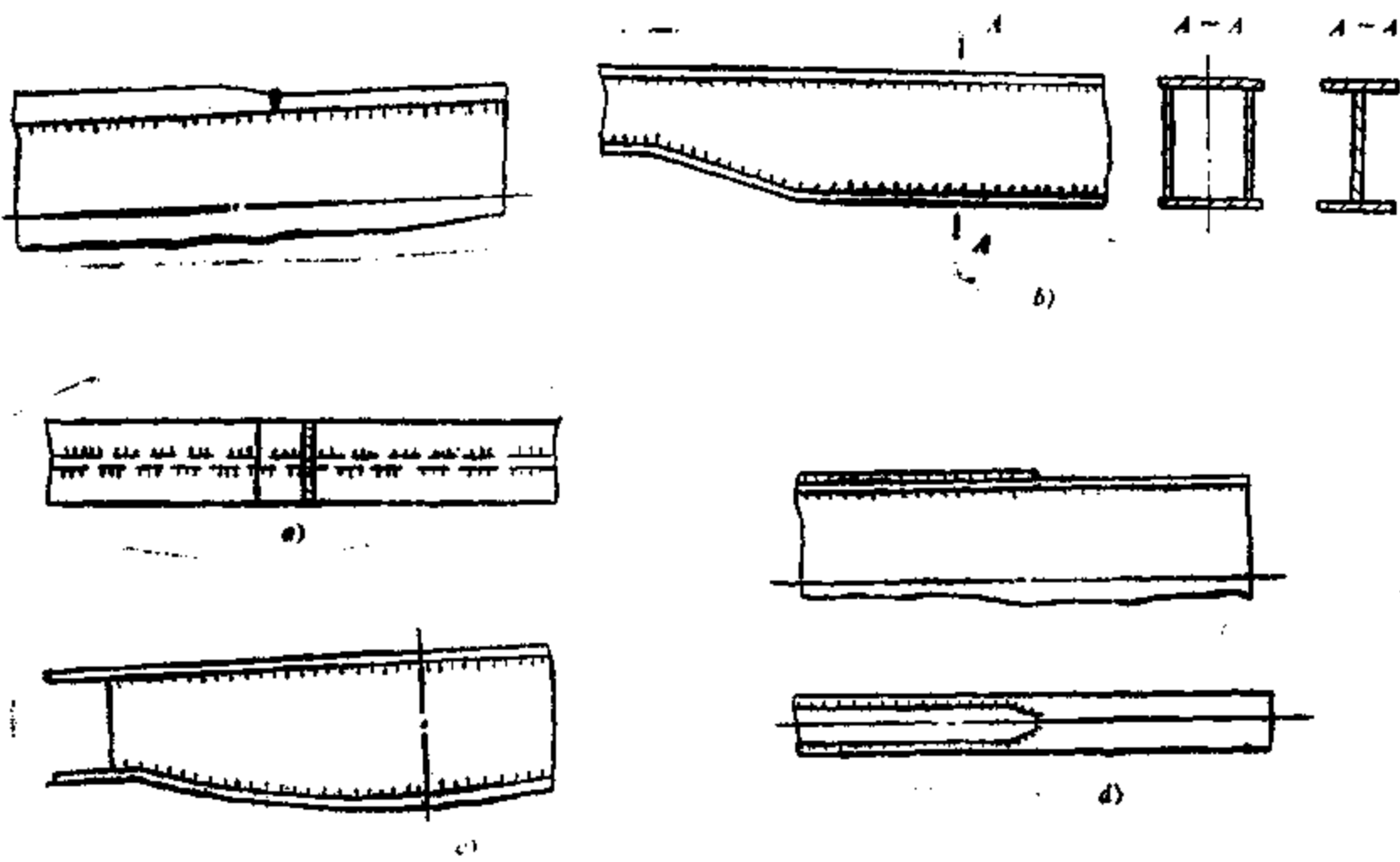


图 4-2 变截面梁

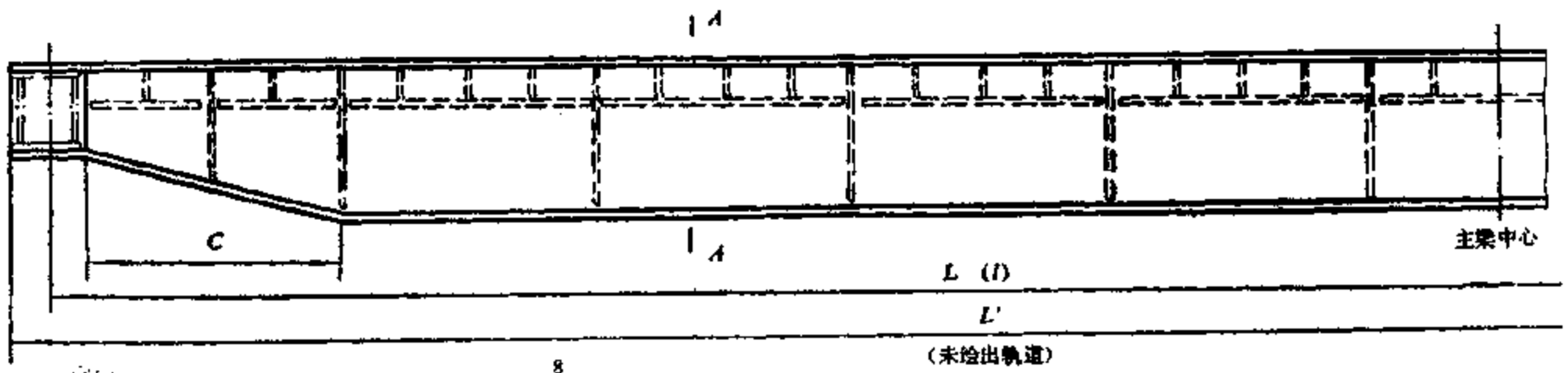


图 4-3 主梁结构图



二章) 或材料强度标准值  $\sigma_{fs}$ 、设计强度值  $\sigma_f$  (当按极限状态法进行设计时, 见第二章),

(b) 选择焊接梁的结构形式和截面;

(c) 进行梁所承受载荷的分析和计算;

(d) 为保证梁的安全和合用, 必须考虑梁的强度、刚度和稳定性。

通常焊接梁在弹性状态下工作, 即以最大边缘应力达到屈服限作为强度极限状态的标志。按此设计, 则梁内正应力、剪应力和局部应力均不应超过许用应力或设计强度值。梁的盖板和腹板结合部 (往往是焊缝)、盖板截面改变处和连续梁支座等处, 上述三种应力都比较大, 应验算其折合应力 (包括焊缝的验算)。

梁的刚度太差。即便满足了强度和稳定性要求, 但往往因变形太大而不能正常工作。如吊车梁挠度过大, 轨道不平引起起重机运行困难; 平台楼板梁挠度过大, 产生不安全感, 并影响设备使用。

梁的变形常因突然偏离原弯曲平面, 而发生扭转和弯曲, 即整体失稳。提高侧向刚度和抗扭刚度, 缩短侧向支承距离则可提高其整体稳定性。封闭截面梁及双腹板箱形梁比工字梁有较大抗整体失稳能力, 用它制作除承受重物的垂直载荷, 还有水平及扭转载荷的起重机主梁是很合适的。

当压应力达到失稳临界应力 (或因板太薄, 或因板宽、板高过大) 时, 梁的受压盖板及腹板的受压区则产生局部失稳。

(e) 进行梁的整体和细节设计, 如支承及其加固、加筋、梁的连接, 布置焊缝与焊接接头等;

(f) 绘制梁的施工图。

上述大致步骤在第二章已经提及, 除安全可靠、满足技术要求外, 还要有较好的经济效益, 即节省材料, 制造省工, 安装简便。下面以极限状态法介绍梁的截面选择和验算, 包括强度、刚度和整体稳定性验算, 至于梁的局部稳定性和加筋板的设计, 以起重机箱形梁的计算为例介绍许用应力法。

(1) 梁的截面选择和验算

通常按刚度和强度条件, 并使截面积最小 (经济条件), 满足建筑条件要求 (如吊车梁及平台焊接梁的最大高度受建筑条件限制), 来确定梁的高度, 然后初步估算梁的腹板、盖板厚度, 进行截面几何特性的计算, 最后进行验算, 经适当调整, 直到全部合格。

(a) 确定梁高

例如对于受均布载荷  $q$  的简支梁 (如图 4-5 所示), 其最小高度  $h_{min}$  可由刚度及强度条件确定。

设梁的截面全长不变 (工字形或箱形, 如图 4-5 b)、c), 载荷分项系数为  $r_q$  (可取为 1.3), 则载荷标准值  $q_k = q/r_q$ , 载荷标准值在梁中产生的最大挠度为

$$f = \frac{5q_k l^4}{384EJ_x} = \frac{5ql^4}{384r_q EJ_x}$$

在均布载荷  $q$  作用下, 梁内最大弯矩  $M_{max} = \frac{ql^2}{8}$  代入上式则得

$$f = \frac{5}{48} \frac{M_{max} l^2}{r_q EJ_x}$$

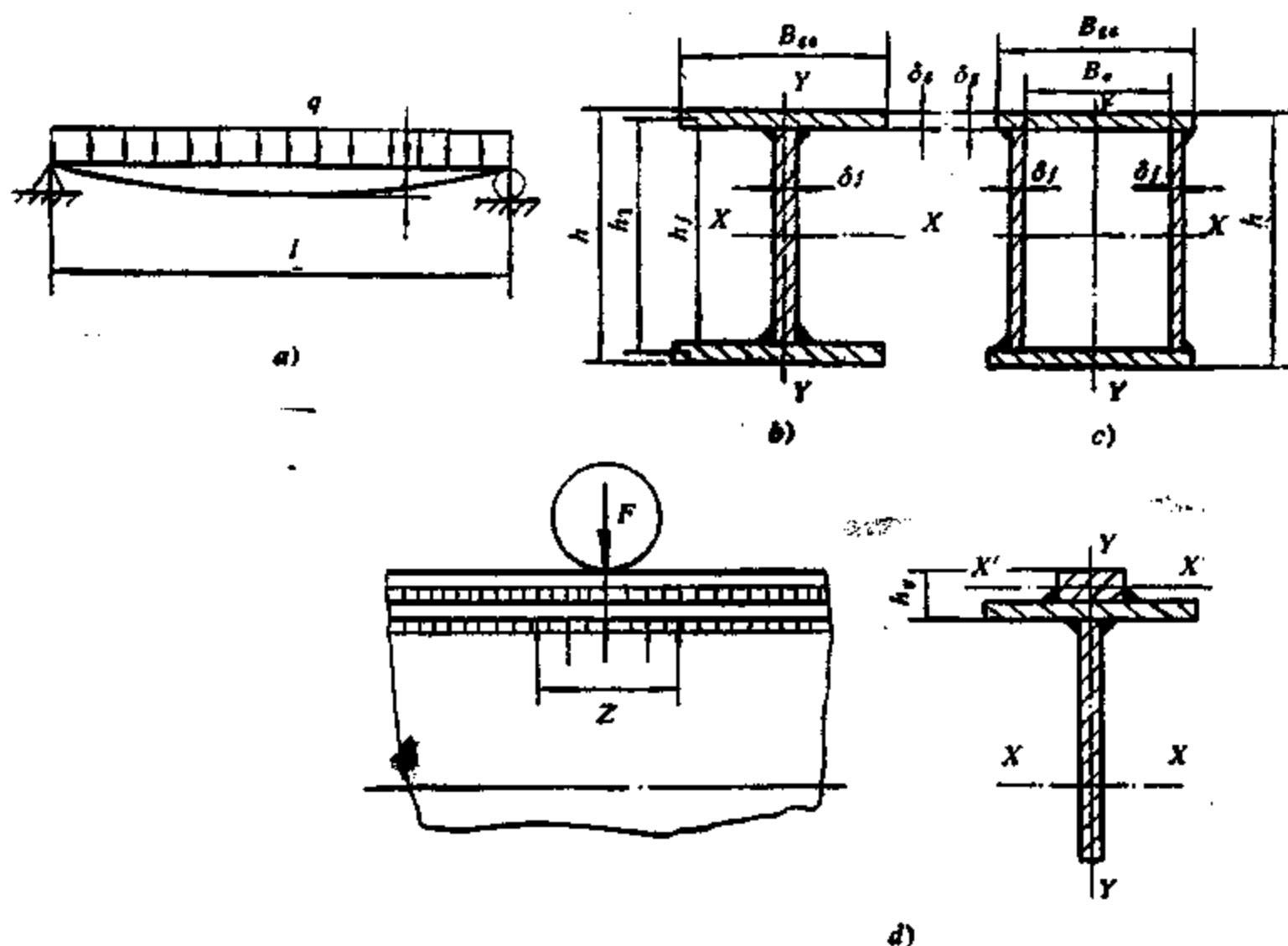


图 4-5 焊接梁计算

代入应力条件  $M_{max} = W_x \sigma_f$  及  $W_x = \frac{J_x}{\frac{h}{2}}$  则有

$$f = \frac{5}{24} \frac{\sigma_f l^2}{r_e E h}$$

或

$$f/l = \frac{5}{24} \frac{\sigma_f l}{r_e E h} \leq \frac{[f]}{l} \quad (4-1)$$

式中  $\sigma_f$  —— 钢材设计强度 (见表 2-5) ;

$l$  —— 梁长;

$[f]$  —— 许用挠度值; 表 4-1 列出最大许用挠度限值;

$E$ 、 $r_e$ 、 $J$  —— 分别为弹性模量、载荷分项系数及惯性矩。故有

$$h_{min} = \frac{5}{24} \frac{l}{[f]} \frac{\sigma_f l}{r_e E} \quad (4-2)$$

式 (4-2) 对于表 4-2 中各种支承及载荷情况可写成

$$h_{min} = \psi \frac{\sigma_f l^2}{[f] r_e E} \quad (4-3)$$

式中  $\psi$  —— 决定于载荷和支承情况的系数。

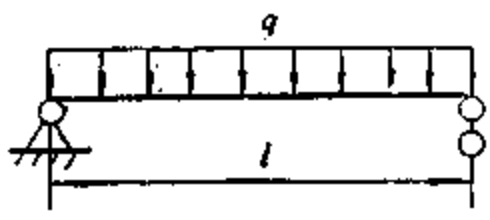
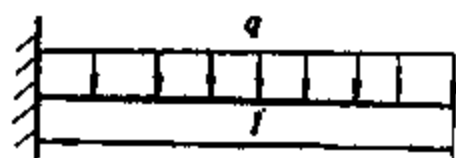
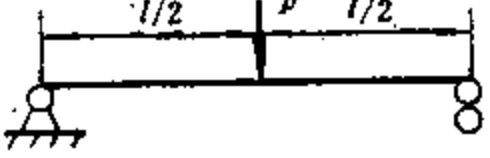
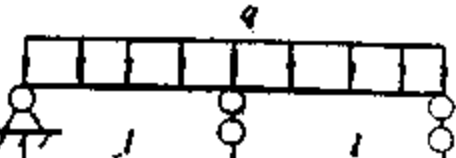
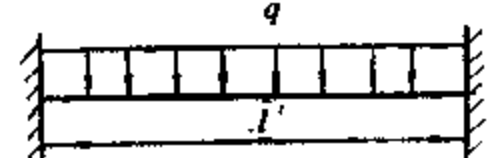
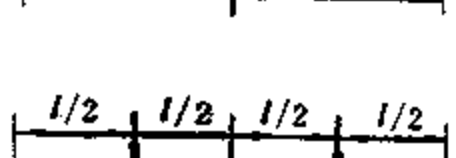
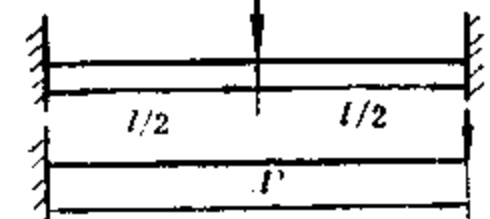
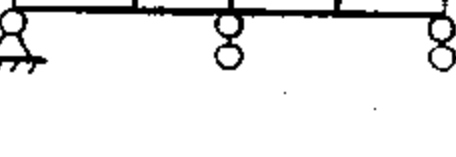
可见表 4-2, 其他符号同式 (4-2)。

按最小重量, 即梁截面最小条件确定梁高 (经济高度) 之后, 则梁截面为

表4-1 受弯构件挠度限值

构件类别	挠度限值
吊车和吊车桁架	
1. 手动吊车和单梁吊车 (包括悬挂吊车)	$l/500$
2. 轻级工作制和起重量 $Q < 50t$ 的中级工作制吊车	$l/600$
3. 重级工作制和起重量 $Q \geq 50t$ 的中级工作制吊车	$l/750$
没有悬挂电动梁式吊车的屋面梁或屋架 (仅用活动荷载计算)	$l/500$
手动或电动葫芦的吊车梁	$l/400$
有重轨 (重量 $\leq 38kg/m$ ) 道工作平台梁	$l/600$
有轻轨 (重量 $\leq 24kg/m$ ) 道工作平台梁	$l/400$
楼层盖和工作平台梁、平台板	
1. 主梁 (包括设有悬挂起重设备的梁)	$l/400$
2. 抹灰顶棚的梁 (仅用活载计算)	$l/350$
3. 其他梁 (包括楼梯梁)	$l/250$
4. 平台板	$l/150$
房屋檩条	
1. 无积灰瓦楞铁、石棉瓦等屋面	$l/150$
2. 压型钢板, 有积灰上述屋面	$l/200$
3. 其他屋面	$l/200$
墙架构件	
1. 砌体墙横梁 (水平方向)	$l/300$
2. 压型钢板等墙的横梁 (水平方向)	$l/200$
3. 带玻璃窗的横梁 (两方向)	$l/200$

表4-2 决定于荷载和支承的系数 $\Psi$

支承和荷载图	$\Psi$	支承和荷载图	$\Psi$
	0.208		0.500
	0.167		0.083
	0.063		0.083
	0.083		0.098

$$A = 2A_{g_0} + KA_f = 2A_{g_0} + 1.2\delta_f h_f \quad (4-4)$$

式中  $A$ ——梁的截面积；

$K$ ——考虑腹板上有加筋板系数  $K$  取为 1.2；

$A_f$ ——腹板截面积， $A_f = h_f \delta_f$

根据图 4-5 中梁的截面尺寸，可计算梁的抗垂直面内弯曲的截面模数（抵抗矩） $W_x$ 。

$$W_x = \frac{2J_x}{h} = \frac{\delta_f h_f^3}{6} + A_{g_0} \frac{h_1^2}{h} \quad (4-5)$$

式中  $J_x$ ——梁截面对  $X$  轴的惯性矩；

$h$ 、 $h_f$ 、 $h_1$ ——分别为梁全高、腹板高、盖板中心距，近似地  $h = h_f = h_1$ ；

$\delta_f$ ——腹板厚；

$A_{g_0}$ ——（一个）盖板的截面积。

由式（4-5）可得

$$A_{g_0} = \frac{W_x}{h} - \frac{\delta_f h}{6} \quad (4-5)'$$

代入式（4-4），得

$$A = 2 \frac{W_x}{h} - 2 \frac{\delta_f h}{6} + 1.2 \delta_f h$$

则  $A$  最小条件为

$$\frac{\partial A}{\partial h} = 0 \text{ 即 } -\frac{2W_x}{h^2} - \frac{\delta_f}{3} + 1.2\delta_f = 0$$

故

$$h = \sqrt{\frac{6}{2.6} \frac{W_x}{\delta_f}} \text{ 或 } h = \sqrt{2.31 \frac{M_{max}}{\delta_f \sigma_f}} \quad (4-6)$$

据资料[15]梁经济高度可按下式取。

$$\text{对于工字梁 } h = 1.3 \sim 1.4 \sqrt{M_{max} / \delta_f \cdot [\sigma]}$$

$$\text{对于箱形梁 } h = \sqrt{M_{max} / \delta_f [\sigma]} \quad (4-7)$$

据资料[6]梁经济高度可取为：

$$\text{按计算的近似公式 } h \approx 3W_x^{2/5}$$

$$\text{按经济高度经验公式 } h = 7 \sqrt[3]{W_x} - 30 \text{ cm} \quad (4-8)$$

实际选取的截面高度应大于按式（4-2）由强度、刚度条件决定的梁高，接近于按式（4-6）～（4-8）计算的经济高度，并应符合建筑法规。注意式（4-7）是按许用应力法考虑的；式（4-8）中假定  $\delta_f = \frac{1}{11} \sqrt{h_f}$ 。

（b）确定其他尺寸

腹板的厚度 薄一些比较经济，但不利于抗局部失稳。通常可按经验选取，即  $\delta_f = \frac{1}{11} \sqrt{h_f}$ ，此处  $h_f \approx 0.95h$ 。选定时考虑抗剪强度，可以近似地假定最大剪应力为腹板平均剪应力的 1.2 倍，即有

$$\tau_{max} = 1.2 \frac{Q_{max}}{h_f \delta_f} \leq \tau_{IV}$$



式中  $Q_{max}$ ——梁内最大剪力；  
 $\tau_{fv}$ ——抗剪设计强度（表 2-4）。

由此可得

$$\delta_f \geq \frac{1.2Q_{max}}{h_f \tau_{fv}} \quad (4-9)$$

资料[15]和资料[5]推荐下列经验式

$$\delta_f = \sqrt{10h_f}/12.5, \text{ 重型梁 } \delta_f = 7 + 0.005h_f \quad (4-10)$$

或 
$$\delta_f \geq \left( \frac{1}{160} \sim \frac{1}{240} \right) h_f \quad (4-10)'$$

式(4-10)是代入mm数计算的,选取的 $\delta_f$ 不得小于式(4-9)的值,以及 $\sqrt{h_f}/11$ 。选择较厚的 $\delta_f$ 有利于抗锈蚀及局部失稳,制造时不易产生波浪变形,但太厚不经济。计算结果要圆整为钢板厚度系列,起重机箱形梁腹板一般厚度不超过8mm,小跨度和小吨位梁采用6mm;工字梁腹板厚6~10mm,重型梁可达12~18mm,一般不应超过22mm。

盖板尺寸 确定腹板尺寸后,由式(4-5)'即可确定所需盖板。通常盖板宽度 $B_{gc} \approx \left( \frac{1}{3} \sim \frac{1}{5} \right) h$  (或10~20倍 $\delta_{gc}$ ),进一步可确定盖板厚度 $\delta_{gc}$ 。焊接梁的盖板尽量用一层钢板,不能满足设计施工要求时,可用两层,尽量不用图4-4b)所示复杂截面形式。采用两层时,外层板厚为内层的0.5~1倍。为防止盖板局部失稳,其自由外伸宽厚比应小于 $15\sqrt{235/\delta_{gc}}$ 。对于吊车梁,上盖板的宽度不宜小于300mm,以便固定轨道。同样所选尺寸要符合钢板规格系列,宽度通常取100mm的倍数,厚度取2mm的倍数。

上面主要介绍了工字梁的截面设计方法,箱形梁与之完全类似。但要注意,腹板对X轴的惯性矩和抵抗矩与工字梁不同,当每块腹板厚度为 $\delta_f$ 时,则其 $J_x$ 和 $W_x$ 分别为(腹板部分):  
 $2\delta_f h_f^3/12$ 和 $\delta_f h_f^2/3$ 。

在近似估算和初步选定梁截面各部分尺寸后还必须进行验算。

### (c) 梁截面的验算

#### 强度验算

正应力计算 按确定的截面各部分尺寸到算出 $W_x$ ,  $J_x$ , 则垂直(主)平面内在弯矩 $M_x$ 作用下有

$$\sigma = \frac{M_x}{\gamma_x W_x} \leq \sigma_f \quad (4-11)$$

式中  $\sigma_f$ ——钢材设计强度(表 2-4);

$\gamma_x$ ——截面塑性发展系数。

即梁截面在弹性状态下工作(弹性设计),而在一定条件下允许考虑塑性变形的发展,称为塑性设计,此时整个截面应力均等于屈服限,形成塑性铰,达到承载极限。则极限弯矩为

$$M_p = \sigma_s W_p$$

式中  $W_p$ ——与弹性状态下抗弯抵抗矩相对应的净截面抵抗矩,它当然大于弹性抵抗矩。净截面塑性抵抗矩与弹性抵抗矩的比值 $\gamma$ 称为截面塑性发展系数。限制该系数则起到限制梁的塑性变形不致过大。如矩形截面 $\gamma \approx 1.5$ ,圆形实体截面 $\gamma$ 可达1.7,圆管形截面 $\gamma$ 可达1.27。但设计时取较低值,对于工字截面梁 $\gamma_x = 1.05$ ,  $\gamma_y = 1.20$ ;对箱形梁 $\gamma_x = \gamma_y = 1.05$ 。

当在水平平面内同时还作用有 $M_y$ 时则正应力

$$\sigma = \frac{M_x}{\gamma_x W_x} + \frac{M_y}{\gamma_y W_y} \leq \sigma_f \quad (4-11)$$

式中  $\sigma_f$ ——钢材抗弯设计强度；

$M_x$ 、 $M_y$ ——对  $x$  和  $y$  轴的弯矩；

$\gamma_x$ 、 $\gamma_y$ ——截面塑性发展系数；

$W_x$ 、 $W_y$ ——对  $x$ 、 $y$  轴的净截面抵抗矩。

剪应力计算 按材料力学，工字形截面最大剪应力在腹板中部即

$$\tau = \frac{QS}{J_x \delta_f} \leq \tau_{fv} \quad (4-12)$$

式中  $S$ ——计算处以上截面对中性轴的静矩（面积矩）；

$Q$ ——计算截面的剪力；

$\tau_{fv}$ ——抗剪设计强度。

局部压应力 当焊接梁受有局部集中载荷，该载荷作用于腹板平面内（如起重机大车的轮压，如图 4-5d），或次梁传来的集中力等）时，则应验算腹板上边缘，即腹板顶部或腹板与盖板之角焊缝受到的挤压应力（如盖板与腹板并未靠紧，则该压力将大部分通过焊缝传递）。

假定图 4-5d) 所示集中力  $F$  的作用区域为  $Z$ ，则根据资料<sup>[13]</sup>有

$$Z = 3.25 \sqrt{J_{e0} / \delta_f} \quad (4-13)$$

式中  $J_{e0}$ ——盖板对其中性轴的惯性矩，如有轨道，则包括轨道和盖板对其中性轴（如图 4-5d) 的  $x'$  轴）的惯性矩。

根据资料[6]有式 (4-14)，但支座处  $Z$  需根据支座尺寸确定。

$$Z = a + 2h_y \quad (4-14)$$

式中  $a$ ——集中载荷支承长度，如吊车梁可取为 5cm 或次梁的宽度；

$h_y$ ——轨道顶至腹板端部，或次梁顶面至腹板端部距离（见图 4-5d)）。

腹板顶部所承受的局部压应力可用下式表示

$$\sigma_c = \frac{\Phi F}{\delta_f Z} \leq \sigma_f \quad (4-15)$$

式中  $\Phi$ ——考虑工作制的系数，重级工作制吊车梁  $\Phi = 1.35$ ，也有取 1.5<sup>[13]</sup> 的轻型工作制其他梁  $\Phi = 1.0$ ；在支座处验算局部压应力  $\Phi$  取 1.0；

$Z$ ——由式 (4-14) 或 (4-13) 决定的  $F$  作用区。

焊接梁中，常常最大  $M$  和最大  $Q$  在同一部位，而且在腹板顶点处正应力和剪应力都相当大，此时应按强度理论进行折合应力的验算，故有

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \beta \sigma_f \quad (4-16)$$

或  $\sqrt{\sigma^2 + \sigma_c^2 - \sigma\sigma_c + 3\tau^2} \leq \beta \sigma_f \quad (4-16)'$

式中  $\sigma$ ——腹板上（下）边缘处正应力， $\sigma = M_x y / J_x$ ，此处  $y$  是计算点至梁中性轴距离；

$\tau$ 、 $\sigma_c$ ——同一点的剪应力和压应力，分别按式 (4-12) 和 (4-15) 计算；

$\beta$ ——考虑到折合应力仅作用于梁的局部，对梁的危险性较小，而将钢材设计强度予以提高的系数。 $\sigma$  与  $\sigma_c$  同号或无  $\sigma_c$  时取 1.1， $\sigma$  与  $\sigma_c$  异号时取 1.2；

用式 (4-16) 与 (4-16)' 计算时  $\sigma$  应带进符号，拉为正，压为负。

刚度验算 设计梁的挠度值应当小于许用挠度限值, 即有

$$f \leq [f] \quad (4-17)$$

式中  $f$  为计算挠度值。一般梁的设计要考虑全部 (包括均布和集中的) 载荷, 按力学公式进行  $f$  的计算。

在起重机梁的设计验算时, 除计算主梁在起重小车轮压下在垂直和水平方向的最大挠度外, 还要验算它不得超过规定的许用值, 即满足式 (4-17) 和 (4-17'),

$$f_{,h} \leq [f_{,h}] \quad (4-17)'$$

式中  $f_{,h}$  ——水平方向挠度值;

$[f_{,h}]$  ——水平方向许用挠度值。

起重机在加载和卸载时, 主梁在垂直方向上将产生衰减振动。这种振动虽对结构强度影响不大, 但对起重机操作和生产率不利, 故对高速运行的起重机和要求精确安装的起重机都要验算空载的自振周期  $T$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \leq [T] \quad (4-18)$$

式中  $M$  ——桥架和小车换算质量, 对于桥式起重机  $M = (0.5ql + F)/g$  ( $\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{cm}$  或  $\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{cm}$ ),  $q$  为主梁自重的均布载荷,  $l$  ——跨度,  $F$  ——小车重,  $g$  ——重力加速度;

$K$  ——桥架垂直平面内的刚度, 对于桥式起重机,  $K = \frac{96EJ_x}{l^3}$ ;

$[T]$  ——许用自振周期(s), 对于桥式起重机规定为  $[T] = 0.2 \sim 0.3(\text{s})$ 。

对于其他类型起重机 (门式起重机、挠性支腿门式起重机、装卸桥等),  $M$ 、 $K$  等可查起重机设计手册 [27]。

上述自振周期的验算称动刚度验算, 梁的挠度验算称为静刚度验算。

整体稳定性 前面已经简单提到梁的整体稳定性的问题, 按钢结构设计规范, 符合下列情况之一时, 可不计算梁的整体稳定性: 有刚性铺板密铺在梁的受压盖板上, 与之牢固相连, 并能阻止梁截面的扭转 (阻止受压盖板侧向位移); 工字形截面简支梁受压盖板自由长度  $l$  与其宽度  $B_{,h}$  之比不超过下表所规定的数值。

对于箱形简支梁, 如不满足上述第一项阻止梁截面扭转的条件, 其截面尺寸 (图4-5c)

表 4-3 工字形截面简支梁不需计算整体稳定性的最大  $l/B_{,h}$  值

钢 号	跨中无侧向支承点的梁		跨中有侧向支承点的梁 不论载荷作用于何处
	载荷作用在上盖板	载荷作用在下盖板	
A3	13	20	16
16Mn, 16Mnq	11	17	13
15MnV, 15MnVq	10	16	12

$l$  ——对于跨中无侧向支承点的梁, 为其跨度; 跨中有侧向支承点的梁, 为受压盖板侧向支承点间距。

注: 1. 除上述第一种情况外, 简支梁的端部支承处, 应采取构造措施防止梁端面的扭转。

2. 其他钢号时, 最大  $l/B_{,h}$  值可按表中A3数值乘以  $\sqrt{\frac{235}{\sigma_s}}$ 。

应满足  $h/B_0 \leq 10$ , 且  $l/B_0$  不应超过下列规定的数值

A3钢	95
16Mn和16Mnq钢	65
15MnV和15MnVq钢	57

注: 其他钢号梁  $l/B_0$  应  $> 95 (235/\sigma_s)$

符合上述规定的箱形截面简支梁(如大多数桥式起重机的主梁), 可不计算整体稳定性。不满足上列要求时, 应按下式计算梁的整体稳定性。

只承受垂直平面内弯曲时

$$\sigma = \frac{M_{x_{max}}}{\varphi_w W_x} \leq \sigma_f \quad (4-19)$$

式中  $\varphi_w$ ——梁的整体稳定系数, 可查设计规范的附表(附录二);

$M_{x_{max}}$ 、 $W_x$ ——垂直面的最大弯矩和毛截面的抵抗矩(接受压盖板截面对  $x$  轴确定)。

当梁承受两平面内弯曲时

$$\sigma = \frac{M_{x_{max}}}{\varphi_w W_x} + \frac{M_y}{\gamma_y W_y} \leq \sigma_f \quad (4-19)'$$

式中  $W_y$ ——接受压盖板截面确定的对  $y$  轴的抵抗矩;

$M_y$ ——水平面内最大弯矩;

$\gamma_y$ ——截面塑性发展系数;

$M_{x_{max}}$ 、 $\varphi_w$ 、 $W_x$ ——同式(4-19)。

#### (2) 梁的局部稳定性问题和加筋的设计

上面已经提及由于腹板太高太薄、盖板过宽过薄则可能在腹板受压、剪应力作用区, 以及在盖板受压区产生侧向波浪状屈曲, 即所谓局部失稳。

局部失稳后梁内应力重新分布, 虽不致立即出现危险破坏, 但会使梁的强度和整体稳定性降低, 刚度减小, 因此设计时要加以防止。

局部失稳的研究是从研究矩形板的失稳条件开始的。在不同支承和受载情况下, 矩形板失稳的临界应力为  $\sigma_{cr}$ 。梁在工作时各部位应力都小于屈服限, 故只要  $\sigma_{cr}$  大于屈服限, 就能保证局部稳定, 否则需要设置加筋, 以提高失稳临界应力, 保证局部稳定。

#### (a) 矩形板稳定性问题

这里只讨论与梁的构件相当的支承和受力情况的矩形板稳定问题。

三边简支与压力平行的一边自由的矩形板 工字形截面梁的受压盖板就可作为这种矩形板。这种板的失稳临界应力可用以下近似公式计算

$$\sigma_{cr} = \frac{\sqrt{\eta} k \pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{d}{b} \right)^2 \quad (4-20)$$

式中  $\eta$ ——剪切弹性模量和弹性模量的比, 由材料力学可知其比为  $\frac{1}{2(1+\nu)} \approx 0.4$ ;

$\nu$ 、 $E$ ——波桑系数  $\nu = 0.3$ , 弹性模量  $E = 2.06 \times 10^5 \text{MPa}$ ;

$k$ ——稳定系数, 对于较长板  $k = 0.425 + \frac{b^2}{l^2}$  其中  $l$ ——盖板长, 有横向加筋即加筋距离  $a$ ;  $b$ ——受压盖板外伸长(工字梁相当于  $B_{z_0}/2$ ),  $l \gg b$ ,  $k \approx 0.425$ ;

$\delta$  —— 盖板厚, 即  $\delta_{ca}$ 。

假定  $\sigma_{cr} = 0.95\sigma_s$  时, 保证受压盖板不会失稳, 由式 (4-20) 可得

$$\frac{b}{\delta} \approx 14.59 \sqrt{\frac{235}{\sigma_s}}$$

故钢结构设计规范规定受压盖板不会局部失稳的条件是 (见图 4-6)

$$\frac{b}{\delta_{ca}} \leq 15 \sqrt{\frac{235}{\sigma_s}} \quad (4-21)$$

纵向不均受压下矩形板 对于梁的腹板, 受纯弯曲作用时 (图 4-6a), 由于盖板对腹板有弹性嵌固作用, 因此其临界应力比四边简支的矩形板临界应力高。其临界应力表示为

$$\sigma_{cr} = k_1 \frac{k\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{\delta_f}{h_f} \right)^2 \quad (4-22)$$

式中  $k_1$  —— 弹性嵌固系数, 受纯弯曲时  $k_1$  取 1.61,

$k$  —— 稳定系数, 取为 23.9,

$\delta_f, h_f$  —— 分别为腹板厚和高。

当  $\sigma_{cr} \geq \sigma_s$  时, 腹板不会局部失稳, 则

$$\sigma_{cr} = 1.61 \frac{23.9\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{\delta_f}{h_f} \right)^2 \geq \sigma_s$$

即 
$$715 \left( \frac{100\delta_f}{h_f} \right)^2 \geq \sigma_s \quad (4-22)'$$

可得 
$$h_f/\delta_f \leq 174 \sqrt{\frac{235}{\sigma_s}} \quad (4-23)$$

剪应力作用下的矩形板 如图 4-6 中 a) 所示在筋板和盖板之间的腹板受剪应力  $\tau$ , 由于盖板的嵌固作用, 则临界剪应力比四边简支的矩形板要大。同样用嵌固系数乘四边简支矩形板的临界应力来表示, 即

$$\tau_{cr} = k_2 \left( 5.34 + \frac{4}{(l_{max}/l_{min})^2} \right) \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{\delta_f}{l_{min}} \right)^2 \quad (4-24)$$

式中  $k_2$  —— 弹性嵌固系数, 取为 1.24,

$l_{max}, l_{min}$  —— 板的较大和较小边长, 图 4-6a) 中分别为  $a$  和  $h_f$ 。

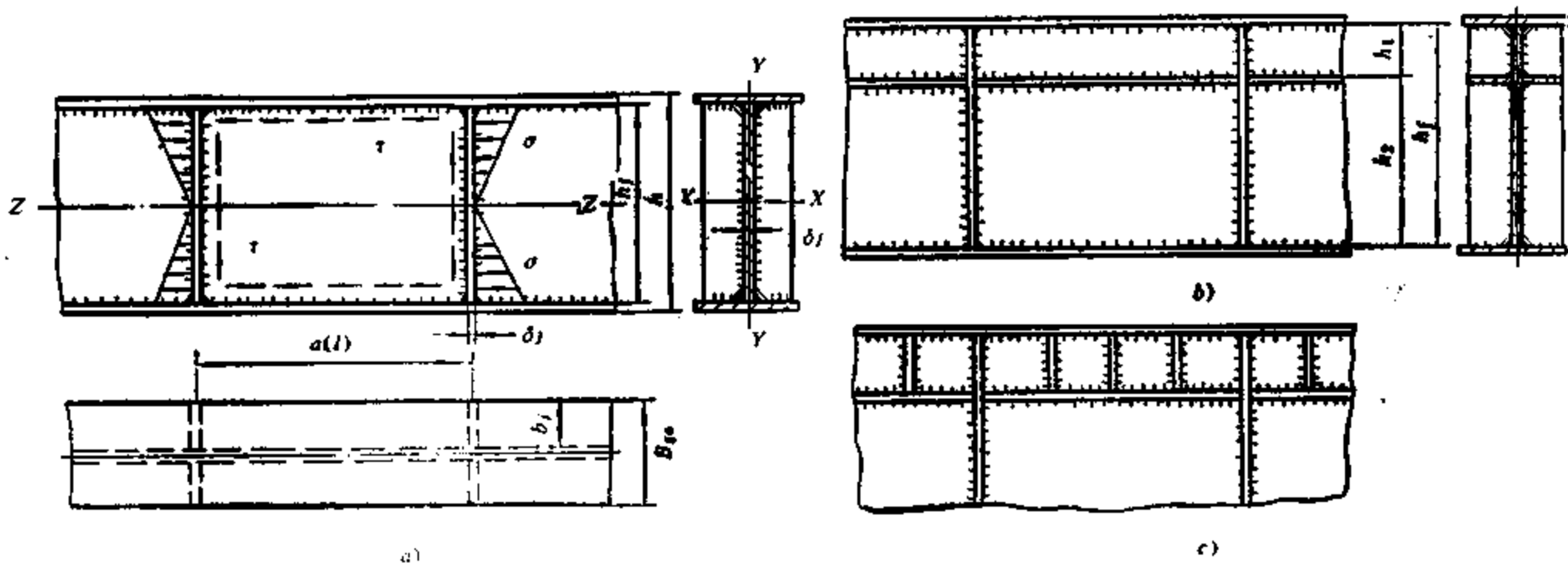


图 4-6 梁的局部稳定及加筋布置图

代入各常数, 并令  $\tau_{cr} \geq \tau$ , 则式 (4-24) 变为

$$\left(123 + \frac{93}{(a/h_f)^2}\right) \left(\frac{100\delta_f}{h_f}\right)^2 \geq \tau_{cr} \quad (4-24)'$$

假定  $a/h_f \approx 2$ ,  $\tau_{cr} = \sigma_{cr}/\sqrt{3}$ , 则由上式可得

$$h_f/\delta_f \leq 104 \sqrt{\frac{235}{\sigma_{cr}}} \quad (4-25)$$

和式 (4-23) 比较可知, 满足式 (4-25) 则既不会因剪应力, 也不会因弯曲应力而局部失稳。

横向压应力作用下的矩形板 如梁的腹板上边缘受横向压应力  $\sigma_c$  作用, 其失稳临界应力可表示为

$$\sigma_{cr..c} = c_1 \left(\frac{100\delta_f}{h_f}\right)^2 \quad (4-26)$$

表 4-4 系数  $C_1$  值

$a/h_f$	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$C_1$	792	640	461	354	274	229	199	180	166

式中  $c_1$ ——由表 4-4 查得的系数。

令  $\sigma_{cr..c} \geq \sigma_c$ , 则由  $a/h_f = 2.0$ ,  $c_1 = 166$  代入上式, 得到

$$166 \left(\frac{100\delta_f}{h_f}\right)^2 \geq \sigma_c \quad (4-26)'$$

可得

$$h_f/\delta_f \leq 84 \sqrt{\frac{235}{\sigma_c}} \quad (4-27)$$

满足上式, 表示在压应力下不会局部失稳。由以上分析可知, 满足式 (4-27), 亦满足式 (4-25) 及式 (4-23), 即  $h_f/\delta_f \leq 84 \sqrt{235/\sigma_c}$  时, 腹板在剪应力、弯曲应力和局部压应力单独作用下均不会局部失稳。

几种应力同时作用下的矩形板 在几种应力 ( $\sigma, \tau, \sigma_c$ ) 同时作用下较只有一种应力作用更容易失稳。这几种应力作用于四边简支的矩形板, 稳定的临界条件可用以下式表示, 对于其他支承条件的矩形板, 这些稳定条件仍可近似应用。

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_c}{\sigma_{cr..c}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2 \leq 1 \quad (4-28)$$

和

$$\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_c}{\sigma_{cr..c}} + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2 \leq 1 \quad (4-29)$$

式中  $\sigma, \tau, \sigma_c$ ——表示作用应力;

$\sigma_{cr}, \sigma_{cr..c}, \tau_{cr}$ ——表示  $\sigma, \sigma_c, \tau$  单独作用的临界应力。

式 (4-28) 适用于弯曲应力  $\sigma$ 、剪应力  $\tau$  和横向压应力  $\sigma_c$  同时作用的临界条件, 而式 (4-29) 是在纵向均匀压应力  $\sigma$ 、剪应力  $\tau$  和横向压应力  $\sigma_c$  同时作用的临界条件。这两种受力情况分别如图 4-7a)、b) 所示。

### (b) 加筋的布置

考虑到几种应力同时作用的情况，钢结构设计规范中依据工程设计经验，对梁上的加筋布置作如下规定：

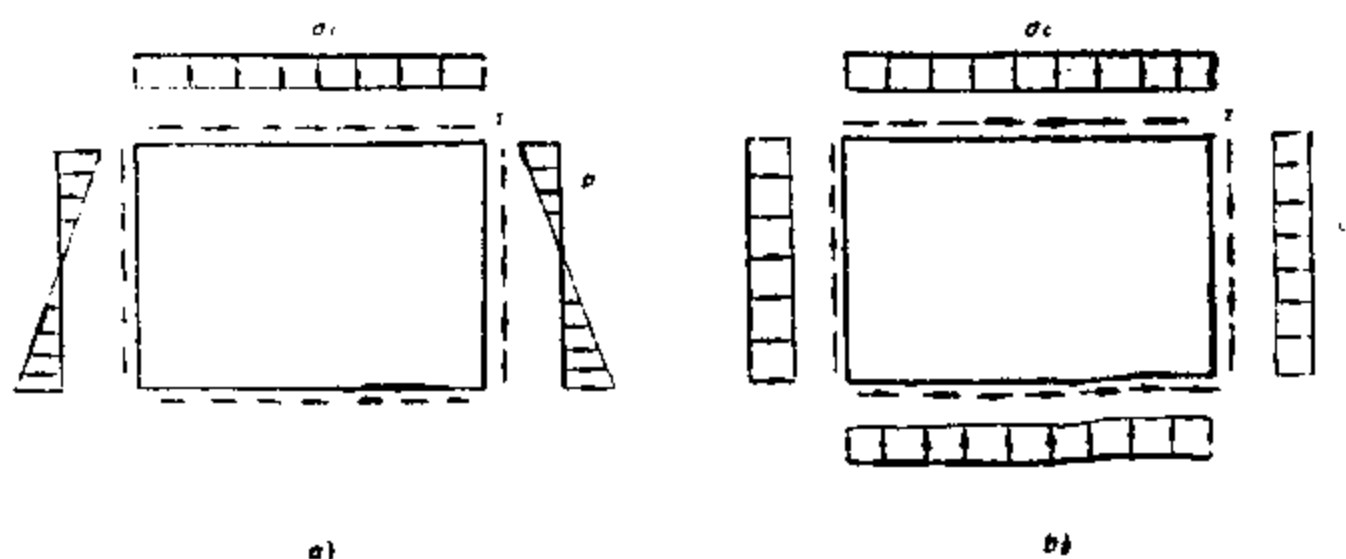


图 4-7 几种应力同时作用的矩形板

当  $h_f/\delta_f \leq 80\sqrt{235/\sigma_c}$ ，无局部压应力 ( $\sigma_c = 0$ ) 的梁可不布置加筋；有局部压应力 ( $\sigma_c \neq 0$ )，宜按构造配置横向加筋 (图 4-6a)；

当  $80\sqrt{235/\sigma_c} < h_f/\delta_f \leq 170\sqrt{235/\sigma_c}$ ，则应配置横向加筋，并计算其间距或腹板的局部稳定性；

当  $h_f/\delta_f > 170\sqrt{235/\sigma_c}$  时，应配置横向加筋并在受压区配置纵向加筋 (图 4-6b)；必要时需配置短加筋 (图 4-6c)，同时均应计算加筋间距或局部稳定性；

梁的支承 (座) 处和上盖板受有较大固定集中载荷处，宜布置支承加筋并应计算支承加筋的稳定性。

规范还规定了加筋间距的计算，给出梁腹板局部稳定的简化计算方法。

无局部压应力 ( $\sigma_c = 0$ ) 的梁腹板仅用横向加筋加强时，横向加筋间距  $a$  为

当  $h_f\sqrt{\eta\tau}/\delta_f \leq 1500$  时，

$$a \leq \frac{500h_f}{\frac{h_f}{\delta_f}\sqrt{\eta\tau} - 1000} \quad (4-30)$$

当  $h_f\sqrt{\eta\tau}/\delta_f > 1500$  时，

$$a \leq \frac{1000h_f}{\frac{h_f}{\delta_f}\sqrt{\eta\tau} - 500} \quad (4-31)$$

式中  $\tau$  ——所考虑梁段内最大剪力产生的腹板平均剪应力 (MPa)， $\tau = Q_{max}/(h_f\delta_f)$ ；

$\eta$  ——与  $\sigma$  有关的系数，由表 4-5 查得；

$\sigma$  ——与  $\tau$  同一截面腹板上边缘的弯曲压应力 (MPa)， $\sigma = My_1/J_x$ ， $y_1$  为腹板受压边缘至中性轴距离， $J_x$  为毛截面惯性矩。

式 (4-30) 右端计算结果若大于最大间距，或分母为负值时，取  $a$  不超过最大间距。当  $h_f\sqrt{\eta\tau}/\delta_f \leq 1200$  时，则由式 (4-30) 可得  $a \geq 2.5h_f$ ，此时可按构造布置加筋。

无局部压应力 ( $\sigma_c = 0$ ) 的梁，腹板同时用横向和纵向加筋加强时 (图 4-6b)，纵向加筋

表 4-5  $\eta$  值

$\sigma(h_f/100\delta_f)^2$		0	100	140	180	200	220	240	260	280	300	320		
$\eta$		1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.09	1.10	1.12		
340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	640
1.14	1.16	1.18	1.21	1.24	1.27	1.31	1.35	1.40	1.46	1.53	1.61	1.71	1.84	2.24

至腹板受压边缘的距离 $h_1$ 用下式计算

$$h_1 \leq \frac{1120\delta_f}{\sqrt{\sigma}} \quad (4-32)$$

式中  $\sigma$  ——所设计区段内最大弯矩处腹板计算高度边缘的弯曲压应力  $\sigma = My_1/J_x$ 。

纵向加筋应布置在 $h_f/4 \sim h_f/5$ 处, 则 $h_1 = h_f/4 \sim h_f/5$ 。

此种情况下, 横向加筋间距仍可用式(4-30)及(4-31)计算, 但应以 $h_2$ 代替 $h_f$ (图4-6b), 并取 $\eta = 1$ 。

简支吊车梁的腹板仅用横向加筋时, 根据以 $\tau$ 和 $\sigma_c$ 为主要的最大剪力处, 和以 $\sigma$ 及 $\sigma_c$ 为主要的最大弯矩处, 分别可得横向加筋间距 $a$

$$a \leq \frac{k_1 h_f}{\frac{h_f}{\delta_f} \sqrt{\tau} - k_2} \quad (4-33)$$

$$a \leq \frac{k_3 h_f}{\frac{h_f}{\delta_f} \sqrt{\sigma} - k_4} \quad (4-34)$$

式中  $k_1, k_2, k_3, k_4$  ——决定于 $\sigma_c/\tau, \sigma_c/\sigma$ 的系数, 由表4-6、表4-7查得;

$\tau$  ——梁内最大剪力处平均剪应力 (MPa),  $\tau = Q_{max}/(h_f \cdot \delta_f)$  计算;

$\sigma$  ——梁内最大弯矩处腹板计算高度边缘弯曲压应力 (MPa),  $\sigma = My_1/J_x$ ;

$\sigma_c$  ——梁腹板上边缘局部压应力 (MPa), 按式(4-15)计算, 但 $\Phi$ 取为1.0。

式(4-33)和(4-34)应同时满足。当按该式计算所得值若大于 $2h_f$ 或分母为负时, 应取 $a \leq 2h_f$ 。

对变截面吊车梁(变截面区段长不超过梁跨度 $1/6$ )(图4-2b), 其端部变截面区段内加筋距离 $a$ 由式(4-33)决定, 式中 $h_f$ 取该区段腹板平均计算高,  $\tau$ 取梁端部腹板最大平均剪应力; 不变截面区段仍按式(4-33)、(4-34)计算,  $\tau$ 取两区段交界处腹板平均剪应力。

除上述梁高变化的吊车梁外, 盖板截面变化的吊车梁(如图4-2a, d)端部至变截面处区段 $a$ 值, 同样由式(4-33)、(4-34)确定, 但 $\sigma$ 取变截面处腹板边缘弯曲压应力, 并且 $k_3, k_4$ 值应乘以0.75; 不变截面区段 $a$ 值仍用上法计算。

简支吊车梁的腹板同时用横向加筋和纵向加筋加强时(图4-6b, c), 考虑到集中载荷产生的局部压应力, 将式(4-32)加以变化, 得到简化计算纵向加筋至腹板受压边缘的距离 $h_1$ 的公式

$$h_1 \leq \frac{1120\delta_f}{\sqrt{\sigma + \sigma_c}} \quad (\text{当 } \sigma_c/\sigma \leq 0.4) \quad (4-35)$$

和



表4-6  $K_1, K_2$ 值

$\sigma_c/\tau$	$k_1$	$k_2$	$\sigma_c/\tau$	$k_1$	$k_2$	$\sigma_c/\tau$	$k_1$	$k_2$
$\leq 0.2$	712	700	1.4	618	580	3.2	487	414
0.3	709	697	1.5	606	566	3.4	480	402
0.4	706	691	1.6	596	554	3.6	471	390
0.5	700	685	1.7	587	542	3.8	462	378
0.6	694	676	1.8	578	530	4.0	453	368
0.7	685	666	1.9	569	520	4.2	444	359
0.8	676	654	2.0	560	511	4.4	435	350
0.9	667	642	2.2	541	493	4.6	426	341
1.0	658	630	2.4	529	475	4.8	417	332
1.1	649	618	2.6	517	457	5.0	408	323
1.2	640	606	2.8	505	439			
1.3	630	593	3.0	494	426			

表4-7  $K_3, K_4$ 值

$\sigma_c/\sigma$	$k_3$	$k_4$	$\sigma_c/\sigma$	$k_3$	$k_4$	$\sigma_c/\sigma$	$k_3$	$k_4$
$\leq 0.05$	21	2362	0.55	310	1394	1.10	450	900
0.10	42	2292	0.60	331	1324	1.20	450	870
0.15	64	2219	0.65	352	1254	1.30	450	840
0.20	107	2076	0.70	371	1199	1.40	450	810
0.25	152	1933	0.75	387	1147	1.50	450	780
0.30	189	1808	0.80	402	1096	1.60	450	750
0.35	219	1710	0.85	417	1044	1.70	450	720
0.40	248	1613	0.90	429	1001	1.80	450	690
0.45	267	1540	0.95	450	965	1.90	450	660
0.50	289	1467	1.00	450	931	2.00	450	630

$$h_1 \leq \frac{1400\delta_f}{\sqrt{\sigma + 3\sigma_c}} \quad (\text{当 } \sigma_c/\sigma > 0.4) \quad (4-36)$$

式中 $\sigma$ 、 $\sigma_c$ ——意义及计算同式(4-33)、(4-34)；同样， $h_1$ 值应取为 $h_f/4 \sim h_f/5$ 。当用公式算得的 $h_1$ 值小于 $h_f/5$ 时，应在腹板受压区配置短加筋(图4-6c)。

确定 $h_1$ 后，横加筋之间距 $a$ 依据纵向加筋至腹板受拉边缘之间腹板不失稳来考虑，可按式(4-33)计算，同样应以 $h_2$ 代替 $h_f$ (图4-6b)，以 $0.3\sigma_c$ 代替 $\sigma_c$ 。若计算得的 $a$ 值(公式

4-33的右端值) 大于 $2h_2$ 或分母为负值时, 取 $a \leq 2h_1$ 。

变截面, 如腹板高度变化的吊车梁, 在确定有纵向加筋的梁端部横加筋 $a$ 值时, 应取被纵加筋隔开的下区段腹板平均高作为 $h_2$ ,  $\tau$ 取该区腹板平均剪应力; 在确定不变截面区段 $a$ 值时,  $\tau$ 取两区段交界处腹板平均剪应力。当盖板截面变化, 确定 $a$ 值时,  $\tau$ 取梁端腹板平均剪应力。

### (c) 加筋的构造细节和截面尺寸

加筋除增加腹板和盖板的稳定性、梁的刚度之外, 还起到传递集中载荷的作用, 如集中力作用处梁的支承处都布置有加筋。前者称为间隔加筋(将腹板间隔, 提高稳定性), 后者称支承加筋。

按钢结构设计规范, 加筋宜在腹板两侧成对配置, 也允许单侧配置, 但支承加筋和重级工作制吊车梁加筋不应单侧配置。横向加筋距 $a \leq 0.5h_1$ 和 $a \geq 2h_1$ 。可用钢板和型钢制作加筋, 钢板横向加筋尺寸如下: (参见图4-6)  $b_1 \geq \frac{h_1}{30} + 40$ ,  $\delta_1 \geq b_1/15$ 。

同时用纵横向加筋加强腹板时, 横向加筋除满足以上尺寸规定外, 其截面对梁轴(Z)惯性矩 $J_z \geq 3h_1\delta_1^3$ , 纵向加筋截面对腹板垂直轴(y)惯性矩应满足

$$J_y \geq \left(2.5 - 0.45 \frac{a}{h_1}\right) \left(\frac{a}{h_1}\right)^2 h_1 \cdot \delta_1^3 \quad \left(\text{当} \frac{a}{h_1} > 0.85\right)$$

$$J_y \geq 1.5h_1\delta_1^3 \quad \left(\text{当} \frac{a}{h_1} \leq 0.85\right) \quad (4-37)$$

短加筋最小间距为 $0.75h_1$ , 钢板短加筋外伸宽度, 应取为 $b_1$ 的 $0.7 \sim 1.0$ 倍, 厚度 $\leq$ 短加筋外伸宽度的 $1/15$ 。

图4-8所示为几种加筋的布置和构造细节。由图可见横加筋可以不与下盖板焊接(如图中a), b)和c)), 在梁的受拉盖板(下盖板)中没有横向焊缝, 不致由于焊接残余应力, 降低疲劳强度。但横向加筋与上下盖板焊接可提高梁的抗扭刚度, 为此可采用变通办法。如加筋与上下盖板刨平抵紧, 与上盖板焊接, 而与下盖板可不焊, 如图c); 也可加垫板, 横加筋与垫板(也可用短角钢)焊好, 垫板压紧在下盖板上, 如图中d); 也可将横向加筋与下盖板的焊缝变为纵向, 如图中e)和f); e)是另加一连接板, 切成均匀过渡形状(图中m为其侧视图), 没有横向焊缝, f)是利用角钢作横加筋, 角钢的另一肢被切去一角, 可达到同样目的; 也可用钢板拼成T形截面横向加筋, 如图4-4b)的300t吊车梁; 此外, i)、j)、k)是各种型钢作加筋的示意图。

为了避免焊缝的交叉和集中, 减少焊接应力, 横加筋应切出斜角, 以利盖板角焊缝通过, 下部斜角更大些, 可进一步缩短横焊缝。

梁的支承处及有集中力作用处应布置支承加筋, 如图中g)、h)、n)。支承加筋除满足刚度要求外, 还应按所承受的支座反力或集中载荷计算其稳定性和端面承压应力。

支承加筋的稳定计算是假定在集中载荷或支座反力作用下, 加筋连同附近腹板不致失稳时, 按压杆稳定条件计算,

$$\frac{N}{\Phi A} \leq \sigma_f \quad (4-38)$$

式中  $N$  —— 支承处承受的集中载荷或支座反力;

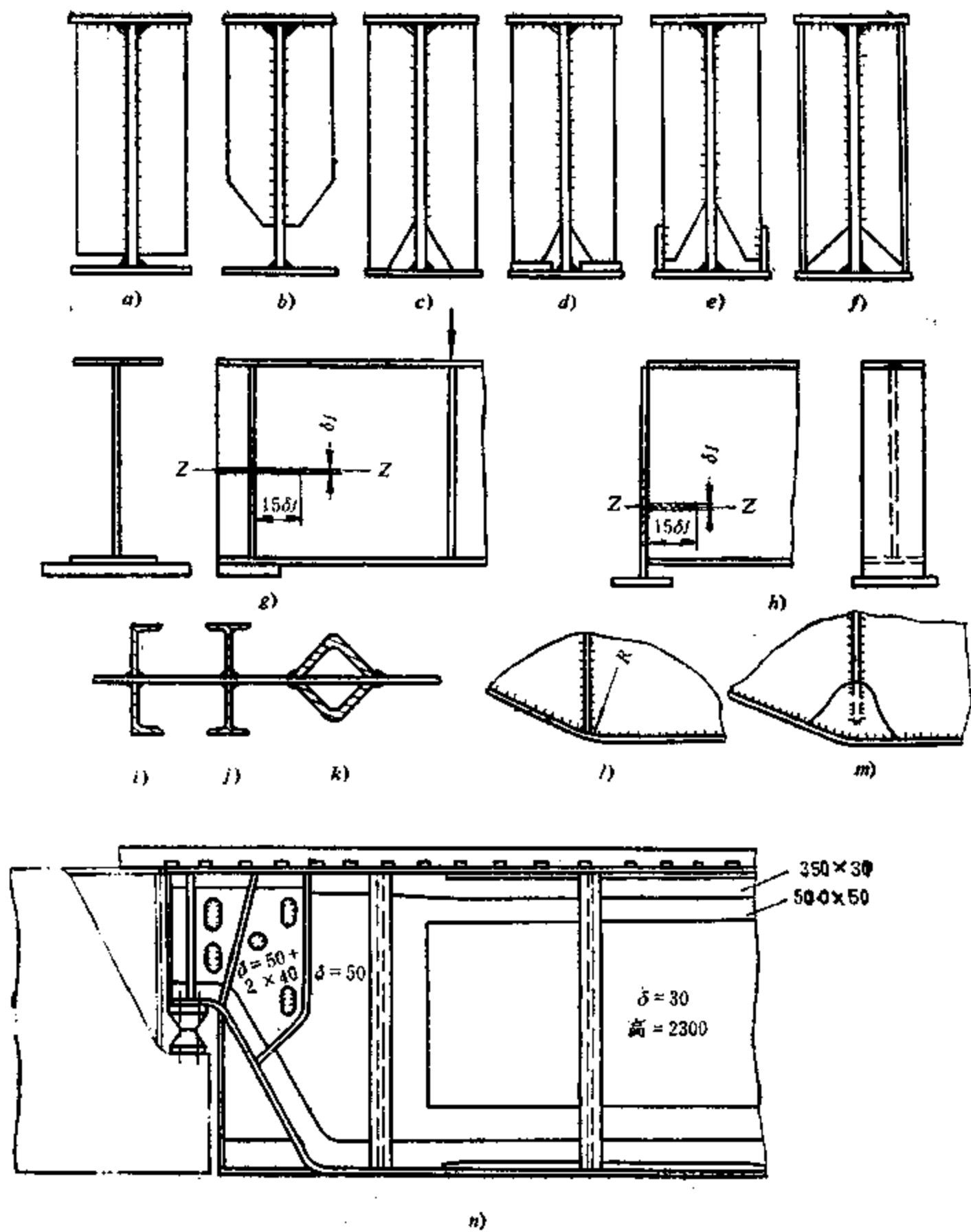


图 4-8 加筋构造示意图

$A$  —— 支承加筋和加筋每侧  $15\delta_l \sqrt{235/\sigma_s}$  范围内腹板的面积，即图  $g$ )、 $h$ ) 中阴影线的面积；

$\varphi$  —— 轴心受压杆稳定系数，由长细比  $\lambda$  决定。依据钢结构设计规范在本书附录三中列出。表中截面分类可见表 4-15。 $\lambda = l_0/r_z$ ， $l_0$  为计算高度，可取为  $h_l$ ， $r_z$  为绕  $z$  轴回转半径。

支承端面的承压力是按支承加筋刨平抵紧于盖板（图中  $g$ ）或柱顶（图中  $h$ ）的情况计算的，计算式如下

$$\sigma_{c,d} = \frac{N}{A_{c,d}} \leq \sigma_{1,c,d} \quad (4-39)$$

式中  $\sigma_{c,d}$  —— 支承端面承压应力；

$N$ ——支承加筋所承受的支座反力或集中载荷；

$\sigma_{jcd}$ ——钢材端面承压（刨平抵紧）设计强度（见表 2-4）；

$A_{cd}$ ——端面承压面积，即支承加筋与盖板或柱顶接触面积。

如支承加筋与盖板焊接时，应进行焊缝时设计计算。加筋与腹板的焊缝应按全部承受支座反力或集中载荷计算（可参见焊接梁焊缝的设计）。

图 4-8 l), m), n) 示出了鱼腹吊车梁变高度处加筋的设计，l) 表示下盖板在此处不允许断开，并且下盖板最好圆弧过渡；m) 表示用纵向焊缝实现横加筋与下盖板的连接（用了另加的连接板）即与 e) 相同的连接。n) 示出吊车梁（可行走 300t 桥式吊车）在支座处加固情形（该吊车梁的中部截面如图 4-4b）所示）。其腹板由两块 50mm 厚 500mm 高的钢板和一块 30mm 厚、2300mm 高的板拼成，到支座附近，全部由 50mm 厚板作腹板，并且腹板两侧面各加一块 40mm 厚补板，与中心腹板用塞焊缝和搭接角焊缝连接，另外每面还各加上三条支承加筋。为了防止柱子承受偏心载荷，头两柱之间和另两柱之间的吊车梁，其支承中心同柱子中心在一个垂直平面内<sup>[24]</sup>。

### (3) 焊缝及焊接接头的设计与计算

#### (a) 梁盖板和腹板的角焊缝

盖板和腹板的角焊缝是主要的工作焊缝之一。一般情况下，采用的是不开坡口的角焊缝，采用埋弧自动焊和  $CO_2$  气体保护焊可获得较大的熔深。无论采用哪一种工艺方法，该角焊缝都采用连续焊缝。只有在承受动载的重要结构中（如图 4-4b），才要求腹板边缘开坡口，个别情况下要求焊透。

角焊缝同时承担三种应力，即由集中载荷产生的剪应力、由弯矩产生的正应力，以及由于腹板和盖板间未靠紧，集中载荷的压力通过角焊缝传递，在角焊缝中产生的剪应力。

当角焊缝在腹板边缘双面开坡口焊透情况下，可用式 (4-12)' 计算剪力  $Q$  产生的剪应力

$$\tau_Q = \frac{Q \cdot S}{J_x \delta_f} \leq \tau_{fj}^w$$

式中  $S$ ——盖板截面对中性轴的静矩；

$Q$ ——计算截面的剪力；

$J_x, \delta_f$ ——对  $x$  轴的惯性矩和腹板厚；

$\tau_{fj}^w$ ——角焊缝抗拉、压、剪设计强度（表 2-5）。

当采用不开坡口的角焊缝时

$$\tau_Q = \frac{QS}{2K_0 J_x} \leq \tau_{fj}^w \quad (4-40)$$

式中  $K_0$ ——角焊缝计算厚度，为  $0.7K$ ，自动焊时因熔深大， $K_0 \approx 0.8 \sim 1K$ ， $K$  是焊脚尺寸；其他符号同式 (4-12)'。

集中载荷产生的剪应力只存在于应力作用区  $Z$  内，故剪应力  $\tau_F$  为

$$\tau_F = \frac{\Phi F}{2K_0 Z} \leq \tau_{fj}^w \quad (4-41)$$

式中  $F$ ——集中载荷；

$\Phi$ ——与式 (4-15) 相同的系数。

### 验算折合应力

$$\tau = \sqrt{\tau_Q^2 + \tau_F^2} \leq \tau_{ji}^w$$

即

$$\tau = \frac{1}{2K_0} \sqrt{\left(\frac{QS}{J_x}\right)^2 + \left(\frac{\Phi F}{Z}\right)^2} \leq \tau_{ji}^w \quad (4-42)$$

(b) 加筋和腹板, 加筋和盖板的连接焊缝除部分横向间隔加筋及纵向加筋有时采用断续角焊缝外, 全部支承加筋、大部分横向间隔加筋都采用连续角焊缝。断续焊缝连接的横向加筋, 在不焊段要开切口, 以便于涂漆。

当验算支承加筋与盖板焊缝时, 可假定全部集中载荷由加筋与盖板, 以及加筋两侧各  $15\delta_f \sqrt{235/\sigma_s}$  长的腹板与盖板角焊缝传递。则有

$$\tau = \frac{N}{K_0 \Sigma l} \leq \tau_{ji}^w \quad (4-43)$$

式中  $N$ ——支承处集中载荷或支座反力;

$\Sigma l$ ——上述角缝全长。

验算支承加筋与腹板的连接焊缝是假定它承担全部支座反力与集中载荷, 并且在焊缝全长上均匀分布, 可采用式(4-43)计算。

### (c) 梁的接头

焊接梁的原材料尺寸不够时, 需要进行拼接; 由于运输或安装条件的限制, 焊接梁常要在工地进行拼接。

生产厂进行梁的钢材拼接, 形成工艺接头, 接头位置由钢材尺寸确定。为了避免焊缝密集, 梁的盖板和腹板的拼接焊缝应该错开, 并避免与加筋或端梁、次梁连接处重合。各厂已根据供料情况制订出规范, 规定错开距离。如资料[24]指出不小于100mm, 资料[6]规定不小于  $10\delta_f$ 。这些工艺接头全部采用直缝对接(如图4-9a)所示)。在目前焊接技术条件下, 完全能满足要求。必要时, 可进行焊缝的验算。

个别情况下也允许采用斜焊缝及加盖板的对接接头, 见图4-9b), 由于斜焊缝可达到与母材等强, 当计算焊缝强度不足(如焊缝设计强度有较大的折减条件下)时可考虑采用。但应优先考虑用先进的焊接工艺和材料, 提高焊缝和接头的强度。而图4-9b)所示接头中加盖板的办法是陈旧的, 不适于在变载荷下工作的结构, 应避免采用。资料[24]介绍为了加强, 可以用腹板上加盖板的办法, 这种办法有较高的疲劳强度。图中c), d)是将腹板局部加厚, 由于厚板需切出过渡斜面(图中带·的板), (与图4-2a)的盖板接头一样), 因而比较麻烦。

图4-9f)~h)是焊接梁的工地拼接接头, 工地拼接接头一般布置在工作应力较低处。图中f)是用得最多的盖板和腹板在同一截面断开的形式, 由于端部平齐, 不易碰损。但g)图形式受力情况有所改善。为了减小焊接应力, 工字梁的角焊缝在接缝两侧各留一段不焊, 工地拼接时, 应先焊盖板对接焊缝, 后焊腹板对接焊缝, 最后焊接盖板与腹板的角焊缝, 如图中数字表示的施焊顺序。这样可以使盖板受到有利的残余压应力, 腹板受拉应力, 并且应力较低。图h)是巨型工字梁工地拼接接头。为了装配方便, 其中一块腹板及一块上盖板是在装配下盖板以后选配的, 故装配间隙容易保证, 其施焊次序与f)图一样。

### (4) 起重机箱形主梁的计算示例

如第二章所指出, 大多数焊接结构仍然采用许用应力法进行设计。有起重量为20t跨度

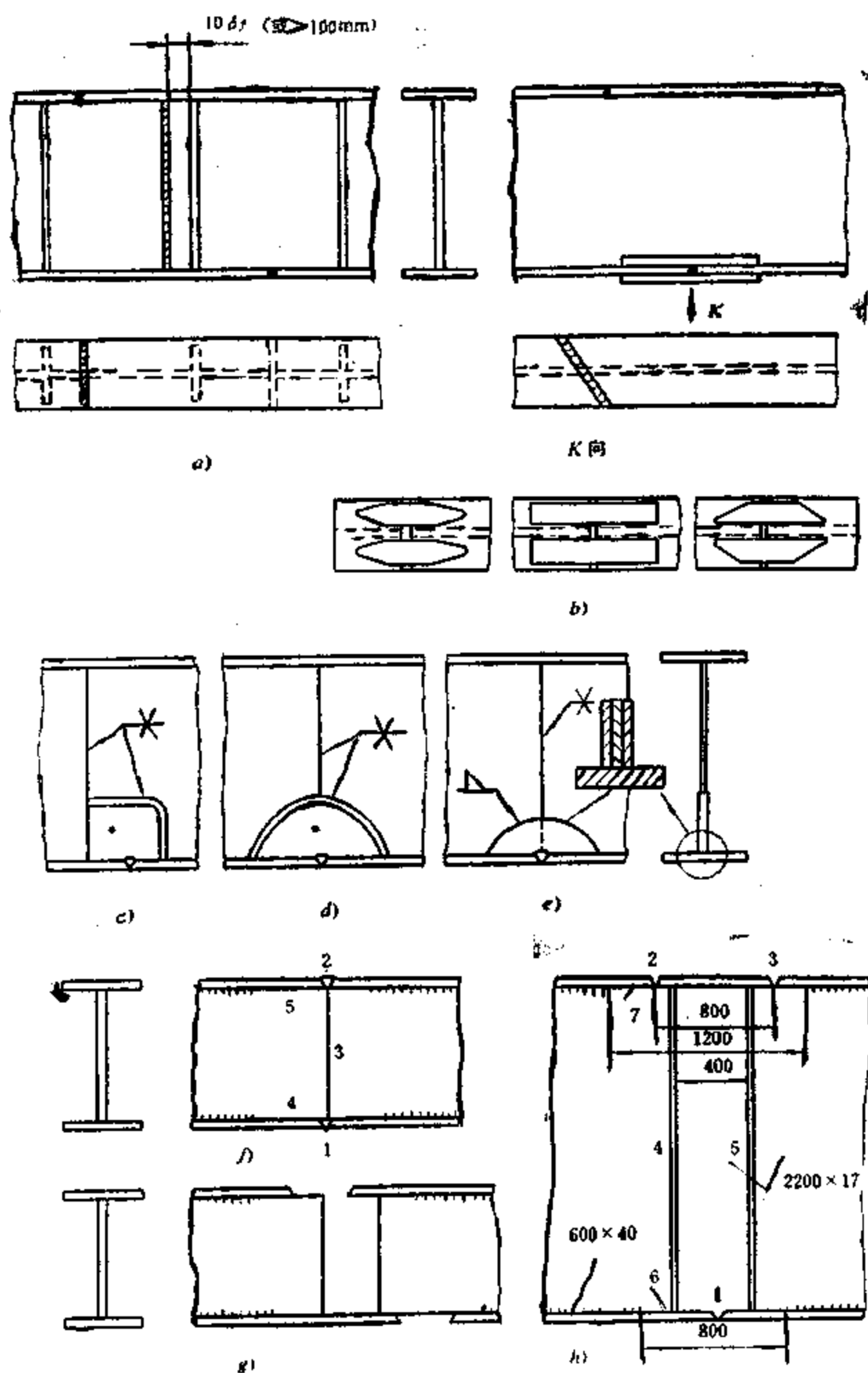


图 4-9 焊接梁的接头

$l = 22.5\text{m}$ , 中级工作制 ( $JC\% = 25$ ), 小车轨距  $B_c = 2\text{m}$ , 小车轮距  $B_1 = 2.4\text{m}$ , 大车轮距  $K = 4.1\text{m}$ , 小车轮压  $F_1' = 71.58(\text{kN})$ ;  $F_2' = 65.70(\text{kN})$  的桥式起重机采用两箱形主梁, 桥架结构截面如图 4-1 h) 主梁结构如图 4-3 所示。

计算两箱形梁桥式起重机主梁时, 一般应计算负载较大的一根。在设计计算时总是先认真研究已有的这类起重机设计及其优缺点, 估算固定载荷时必须参考同类起重机的尺寸。表 4-9 是 1973 年大连起重机等厂箱形双梁桥式起重机系列产品尺寸, 可供设计参考。

表 4-9 (1) 通用桥式起动机主梁截面尺寸 (一)

(mm)

跨 度 (m)	起 重 量 (t)																	
	5		10		15/3		20/5		30/5		50/10		75/20		100/20			
	中、重级	中、重级	中 级	重 级	中 级	重 级	中 级	重 级	中 级	重 级	中 级	重 级	中 级	重 级	中 级	重 级		
10.5	300×8×6 600×6	350×8×6 600×6	400×10×10 750×6	400×10×10 750×6	400×12×10 750×6	400×12×10 750×6	400×12×10 750×6	400×12×10 750×6	450×12×10 850×6	450×12×10 850×6	450×16×16 825×6	450×16×16 825×6	450×12×10 850×6	450×12×10 850×6	450×16×16 825×6	450×16×16 825×6	—	
13.5	350×8×6 750×6	400×8×6 750×6	400×10×10 750×6	400×10×10 750×6	400×12×10 850×6	400×12×12 750×6	450×14×14 750×6	450×14×14 750×6	450×12×12 850×6	450×16×16 850×6	450×16×16 1000×6	450×16×16 1000×6	450×14×14 850×6	450×16×16 850×6	500×18×18 1000×6	500×18×18 1000×6	700×8×8 1550×8	800×10×8 1700×8
16.5	400×8×6 850×6	450×8×6 750×6	450×10×10 850×6	450×10×10 850×6	450×12×10 850×6	450×12×12 850×6	450×14×14 850×6	450×14×14 850×6	450×12×12 850×6	500×14×14 1000×6	500×22×22 1000×6	500×22×22 1000×6	500×14×14 1000×6	500×16×16 1000×6	500×24×24 1000×6	500×24×24 1000×6	800×8×8 1700×8	800×12×10 1700×8
19.5	450×8×6 1000×6	500×8×6 1000×6	500×10×10 1000×6	500×10×10 1000×6	500×12×10 1000×6	500×12×12 1150×6	500×14×14 1000×6	500×14×14 1000×6	500×12×12 1150×6	550×14×14 1150×6	550×22×22 1150×6	550×22×22 1150×6	550×14×14 1150×6	550×16×16 1150×6	550×24×24 1150×6	550×24×24 1150×6	800×12×12 1700×8	800×14×14 1700×8
22.5	500×8×6 1150×6	550×8×6 1150×6	550×10×8 1150×6	550×10×8 1150×6	550×10×10 1150×6	550×12×10 1000×6	550×14×12 1150×6	550×14×12 1150×6	550×12×10 1000×6	550×14×14 1300×6	550×22×22 1300×6	550×22×22 1300×6	550×14×14 1300×6	550×16×16 1300×6	550×24×24 1300×6	550×24×24 1300×6	800×14×14 2000×8	800×18×18 2000×8
25.5	550×8×6 1300×6	550×8×8 1300×6	550×10×8 1300×6	550×10×8 1300×6	600×10×10 1300×6	550×12×10 1150×6	550×14×12 1300×6	550×14×12 1300×6	550×12×10 1150×6	600×14×14 1450×6	600×22×22 1450×6	600×22×22 1450×6	600×14×14 1450×6	600×16×16 1450×6	600×24×24 1450×6	600×24×24 1450×6	800×14×14 2000×8	800×20×18 2000×8
28.5	600×8×6 1450×6	600×8×8 1450×6	600×10×8 1450×6	600×10×8 1450×6	600×10×10 1450×6	600×12×10 1450×6	600×14×12 1450×6	600×14×12 1450×6	600×12×10 1450×6	600×14×14 1600×6	600×22×22 1600×6	600×22×22 1600×6	600×14×14 1600×6	600×16×16 1600×6	600×24×24 1600×6	600×24×24 1600×6	800×16×16 2000×8	800×22×20 2000×8
31.5	600×8×6 1600×6	600×8×8 1600×6	600×10×8 1600×6	600×10×8 1600×6	600×10×10 1600×6	600×12×10 1600×6	600×14×12 1600×6	600×14×12 1600×6	600×12×10 1600×6	650×14×14 1700×6	600×22×22 1700×6	600×22×22 1700×6	650×16×16 1700×6	650×16×16 1700×6	650×24×24 1700×6	650×24×24 1700×6	800×18×18 2000×8	800×24×24 2000×8

注: 1. 表列尺寸为大连起重机厂1973年通用桥式起重机系列产品的主梁截面尺寸。

2. 表中数字表示为  $\begin{cases} B_{t_1} \times \delta_{t_1,1} \times \delta_{t_1,2} \\ h_t \times \delta_t \end{cases}$  见图 4-10a,  $\delta_t$  下标 1, 2 表示上下盖板。

表 4-9 (2) 通用桥式起重机主梁截面尺寸 (二)

截面尺寸 (mm)	跨度 (m)	起 重 量 (t)					
		5	10	15/3	20/5	30/5	50/10
		中、重级	中、重级	中、重级	中、重级	中、重级	中、重级
表中数字表示 同表4-9(1)	10.5	300×6×6 650×6	350×6×6 650×6	400×8×6 750×6	400×10×10 750×6	450×10×8 870×6	500×10×10 1000×6
	13.5	300×6×6 800×6	350×6×6 800×6	450×8×8 870×6	450×10×10 870×6	500×10×8 1000×6	500×10×10 1256×6
	16.5	400×6×6 870×6	450×6×6 870×6	500×8×8 1000×6	500×10×10 1000×6	500×10×8 1250×6	550×10×10 1400×6
	19.5	450×6×6 950×6	500×8×6 950×6	500×8×8 1150×6	550×10×10 1150×6	550×10×8 1400×6	600×10×10 1600×6
	22.5	500×6×6 1100×6	500×8×8 1300×6	500×8×8 1300×6	550×10×10 1300×6	550×10×8 1600×6	600×12×12 1700×6
	25.5	550×8×6 1300×6	500×8×8 1450×6	500×8×8 1450×6	550×10×10 1450×6	600×12×10 1700×6	650×14×14 1800×6
	28.5	550×8×6 1400×6	550×8×8 1550×6	550×8×8 1550×6	600×10×10 1550×6	650×12×10 1700×6	700×14×14 1900×6
	31.5	550×8×6 1550×6	550×8×8 1700×6	550×8×8 1700×6	600×10×10 1700×6	650×12×12 1800×6	700×18×18 1900×6

注：表列尺寸为上海起重运输机厂1973年通用桥式起重机系列产品的主梁截面尺寸。

表 4-9 (3) 通用桥式起重机主梁截面尺寸 (三)

截面尺寸 (mm)	跨度 (m)	起 重 量 (t)					
		5及8	12.5	16/5	20/5	32/8	50/12.5
		中、重级	中、重级	中、重级	中、重级	中、重级	中、重级
表中数字表示 同表4-9(1)	10.5	300×6×6 650×6	350×8×6 650×6	350×6×6 750×6	350×8×6 750×6	450×8×8 850×6	500×8×8 1000×6
	13.5	300×6×6 750×6	400×8×6 750×6	450×6×6 870×6	450×8×8 870×6	500×8×8 1050×6	500×8×8 1250×6
	16.5	350×6×6 870×6	450×8×6 870×6	500×8×6 1000×6	500×8×8 1000×6	500×8×8 1250×6	550×8×8 1400×6
	19.5	450×8×6 1000×6	500×8×6 1000×6	500×8×6 1150×6	500×8×8 1150×6	550×8×8 1400×6	600×8×8 1600×6
	22.5	500×8×6 1100×6	500×8×6 1100×6	500×8×6 1300×6	500×8×8 1300×6	550×8×8 1600×6	600×10×10 1700×6
	25.5	500×8×6 1300×6	500×8×6 1300×6	550×8×6 1450×6	550×8×8 1450×6	600×10×10 1700×6	650×12×12 1800×6
	28.5	550×8×6 1400×6	550×8×6 1400×6	550×8×8 1500×6	550×10×10 1500×6	650×10×10 1700×6	700×12×12 1900×6
	31.5	550×8×6 1500×6	550×8×6 1500×6	660×8×8 1600×6	600×10×10 1600×6	650×12×12 1800×6	700×16×16 1900×6

注：表列尺寸为上海起重运输机厂1972年通用桥式起重机系列产品(按新起重量系列)的主梁截面尺寸。



(a) 初步确定梁截面尺寸

确定梁高。按刚度条件用式(4-3)决定梁高,注意这里是按极限状态法确定梁的应力条件,即 $M_{max} = W_x \sigma_f$ 。如用许用应力法则有 $M_{max} = W_x [\sigma]$ ,也可以导出与式(4-3)类似刚度条件的最小梁高。应指出起重机主梁上有两个移动的集中载荷(小车轮压),但其距离相对跨度 $l$ 来说不大,初步估算时,可按一个集中载荷考虑,式(4-3)中 $\Psi = 0.167$ 。此外主梁弯矩不仅由移动的集中载荷产生( $M_F$ ),还由均布载荷(自重)产生( $M_G$ ),初步估算时有

$$\sigma_f W_x = k M_G + \Phi M_F = \Phi(1 + \alpha) M_F$$

式中  $\alpha = k M_G / \Phi M_F$ , 可取为0.6;  
 $k$  ——梁受到冲击作用的系数;  
 $\Phi$  ——动力系数,可取为1.3。

故  $M_F = \sigma_f W_x / \Phi(1 + \alpha)$

则式(4-3)可变为式(4-3)

$$h_{min} = \Psi \frac{\sigma_f \cdot l^2}{[f] \cdot \gamma_F \Phi(1 + \alpha) \cdot E}$$

设所用材料为3号钢,查表2-4, $\sigma_f = 190\text{MPa}$ ,  $\Phi = 0.167$ ,  $[f]$ 按规范规定为 $\frac{l}{1000} \sim \frac{l}{700}$ ,

载荷分项系数 $\gamma_F = 1.3$ ,  $\Phi = 1.3$ ,  $\alpha = 0.6$  则

$$\begin{aligned} h_{min} &= 0.167 \times 190 \times l \times 1000 / 1.3 \times 1.3 \times 1.6 \times 2.06 \times 10^5 \\ &= \frac{l}{17.6} \end{aligned}$$

按动态刚度条件有

$$h_{min} > \frac{1}{18} l$$

所以,一些规范中推荐的合适的箱形主梁高度为一范围,即

$$h_{min} = \left( \frac{1}{16} \sim \frac{1}{20} \right) l \quad (4-44)$$

取  $h = \frac{l}{19} \approx 1.184(\text{m})$  初选  $h = 1180(\text{mm})$

计算腹板厚度 可按式(4-9)初定,但按此计算的壁厚太小。按经验公式 $\delta_f = \frac{1}{11} \sqrt{h_f}$  计算,此时 $h_f = (95 \sim 98\%)h = 1121 \sim 1156$ 如选取 $h_f = 1150(\text{mm})$ 。则

$$\delta_f = \frac{1}{11} \sqrt{h_f} = \frac{1}{11} \sqrt{1150} \approx 3.1(\text{mm})$$

按式(4-10)则有(重型梁)

$$\delta_f = 7 + 0.005h_f = 7 + 0.005 \times 1150 = 12.75(\text{mm})$$

则箱形梁两腹板厚度各取为6mm

计算盖板尺寸 选用箱形梁作为桥式起重机的主梁,是考虑箱形梁有较高的水平刚度、较高的整体稳定性,按此要求主梁两腹板内壁的间距 $B_0$ (图4-5c)不能太小,一般可取为

$$B_0 \geq \frac{h}{3} \quad \text{且} \quad B_0 \geq \frac{l}{50} \quad (4-45)$$

由于两腹板间设有筋板,  $B_0$  必须大于施焊所需最小距离 350~400(mm), 则

$$B_0 = \frac{h}{3} = \frac{1180}{3} \approx 393.3(\text{mm})$$

并且

$$B_0 = \frac{l}{50} = 22500/50 \approx 450(\text{mm})$$

按照箱形梁外角缝的要求, 盖板宽度为

$$B_{\text{盖}} = B_0 + 2(\delta_f + 10) \quad \text{或} \quad B_{\text{盖}} = B_0 + 2(\delta_f + 20) \quad (4-46)$$

则

$$B_{\text{盖}} = 482 \sim 502(\text{mm})$$

取盖板宽度为

$$B_{\text{盖}} = 500(\text{mm})$$

在确定了盖板宽度之后, 即可按式 (4-5)' 确定盖板的面积以计算板厚, 即  $\delta_{\text{盖}} = A_{\text{盖}}/B_{\text{盖}}$ 。但箱形梁受压盖板的厚度可按局部稳定条件的经验公式决定。如对 3 号钢有  $\delta_{\text{盖}} \geq B_0/60$ , 对 16Mn 钢有  $\delta_{\text{盖}} \geq B_0/50$ , 故盖板厚度  $\delta_{\text{盖}} = 450/50 = 9$ , 取为 10mm。则已确定的箱形主梁截面尺寸可如图 4-10 所示。主梁截面几何特性如下:

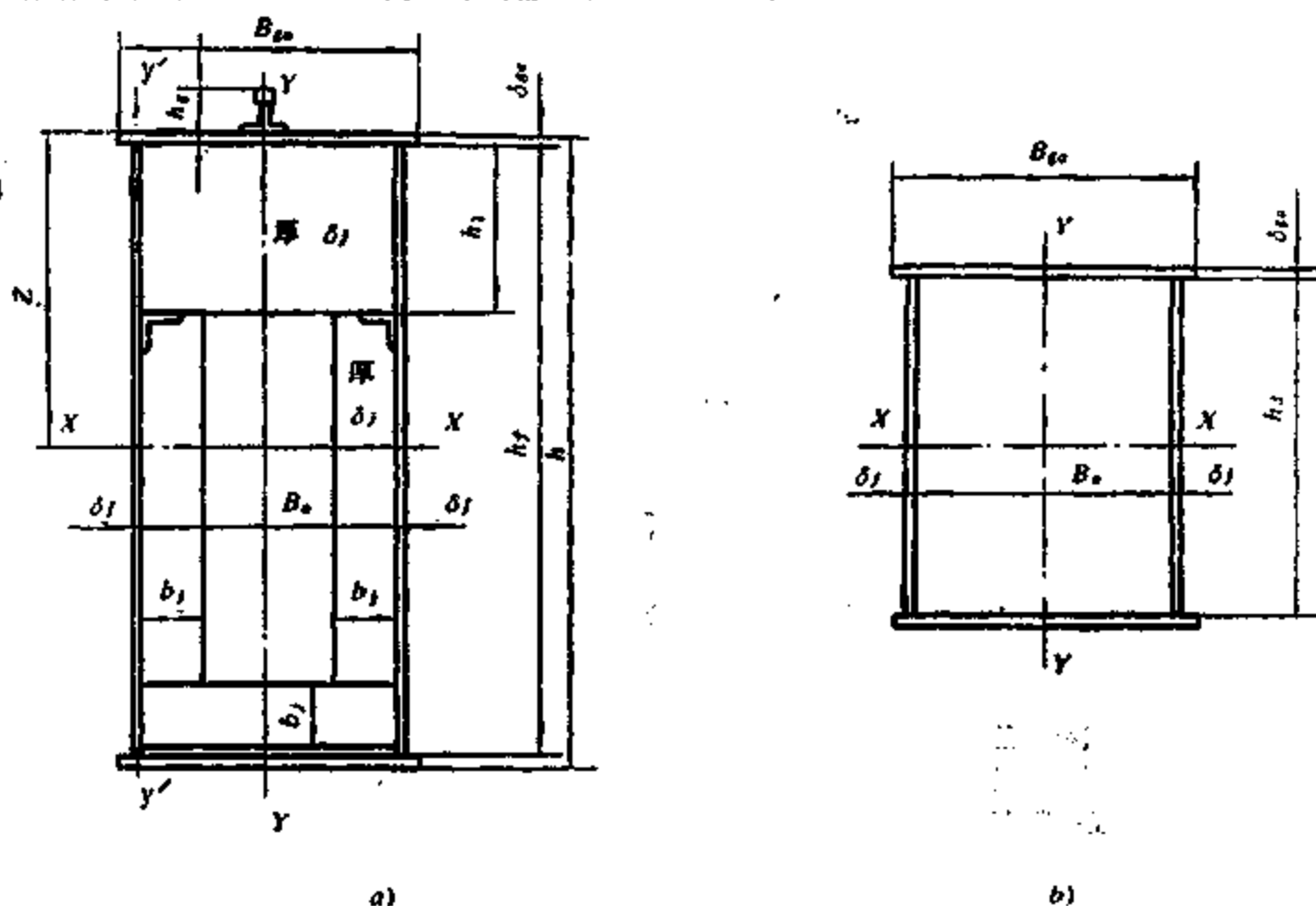


图 4-10 选定主梁截面图

a) 中部截面; b) 端部截面。  $B_{\text{盖}} = 500$ ,  $\delta_{\text{盖}} = 10$ ,  $h_1 = 1150$ ,  
 $\delta_f = 6$ ,  $B_0 = 448$ ,  $Z = 58.5$ ,  $h_2 = 290$ ,  $b_1 = 80$ ,  $\delta_f = 6$ ,  $h_2 = 580$ ,  
 $h_3 = 107$ , 纵加筋  $\angle 63 \times 6$

截面积  $A = 2\delta_f h_1 + 2\delta_{\text{盖}} B_{\text{盖}} = 2 \times 6 \times 1150 + 2 \times 10 \times 500 = 23800(\text{mm}^2)$

中性轴至梁最外边缘距离  $Z = (2\delta_{\text{盖}} + h_1)/2 = (2 \times 10 + 1150)/2 = 58.5(\text{cm})$

对  $x$  轴和  $y$  轴的惯性矩  $J_x$  和  $J_y$  为

$$\begin{aligned} J_x &= \frac{1}{12} (2\delta_f) h_1^3 + \frac{2}{12} B_{\text{盖}} \delta_{\text{盖}}^3 + 2B_{\text{盖}} \cdot \delta_{\text{盖}} \cdot \delta_{\text{盖}} \cdot (Z - \delta_{\text{盖}})^2 \\ &= \frac{1}{12} \times 2 \times 6 \times 1150^3 + \frac{1}{6} \times 500 \times 10^3 + 2 \times 500 \times 10 \times (585 - 10)^2 \\ &= 488495.8(\text{cm}^4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_y &= \frac{1}{12}(2\delta_{\text{cs}})B_{\text{ca}}^3 + \frac{2}{12}h_f \cdot \delta_f^3 + 2 \cdot h_f \cdot \delta_f [(B_0 + \delta_f)/2]^2 \\
 &= \frac{1}{12}(2 \times 10)500^3 + \frac{2}{12} \times 1150 \times 6^3 + 2 \times 1150 \times 6 \left( \frac{448+6}{2} \right)^2 \\
 &= 91947.44(\text{cm}^4)
 \end{aligned}$$

抵抗矩（抗弯截面模数）为

$$W_x = J_x / Z = 488495.8 / 58.5 = 8350.4(\text{cm}^3)$$

$$W_y = J_y / B_{\text{ca}} / 2 = 91947.44 / 50.0 / 2 = 3677.9(\text{cm}^3)$$

### (b) 主梁载荷及其组合的计算

起重机桥架主梁承受的载荷主要有：固定载荷、移动载荷、水平惯性载荷及大车运行歪斜产生的车轮侧向载荷等。

**固定载荷** 固定载荷主要是自重产生的载荷，实际上也有均布和集中两种。主梁、轨道、走台和拉杆等组成的半个桥架结构自重，以及走台上如果安装集中驱动的大车运行机构，则该机构的长传动轴系统的重量，都属于均布载荷。如前所述，设计前不知道自重大小，故需参考同类产品初步估计，或利用图4-11所示国产桥式起重机半个桥架结构重量（不包括端梁）曲线，由  $l = 22.5\text{m}$ ，起重量20t查得  $G_1 = 9.6\text{t}$ ，故自重均布载荷  $q_1$  为

$$q_1 = G_1 / l = 9.6 \times 9806 / 22.5 \times 10^2 \approx 42\text{N/cm}$$

本设计桥式起重机采用集中驱动，运行系统产生均布载荷（如分别驱动则无此均布载荷），其大小可由表4-10查得，

$$q_2 = 0.082(\text{t/m}) = 8(\text{N/cm})$$

则均布载荷为

$$q = q_1 + q_2 = 42 + 8 = 50(\text{N/cm})$$

集中驱动部件产生固定集中载荷查表4-10，有  $G_2 = 1\text{t}$

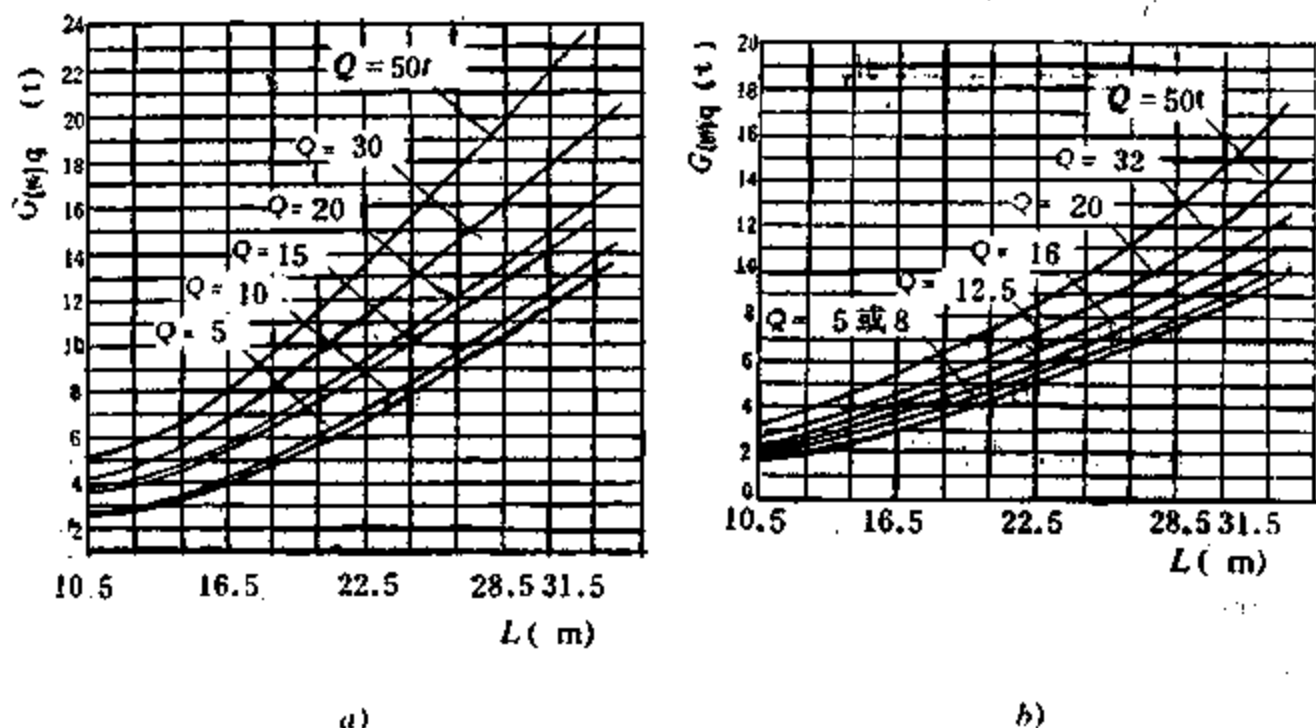


图4-11 锥形梁桥架结构重量<sup>[27]</sup>

a) 曲线适合中级工作制；重级工作制的吊钩及电磁盘桥式起重机应增大5%；抓斗起重机则据吨位增大，5t增大5%，10t增大10%，15~20t增大25%（据大连起重机厂，吊钩式起重机统计）；

b) 上海起重机厂新起重机系列的统计。

表 4-10 大车运行机构估计重量

起重量 (t)	集中驱动		分别驱动	
	均布重量 $q_2$ (t/m)	集中重量 $G_2$ (t)	一套机构重 $G_2$ (t)	重心作用位置 $l_2$ (m)
5	0.06~0.065	0.7	0.45	1.5
10	0.065~0.07	0.75	0.45	1.5
15, 15/3	0.07~0.075	0.85	0.5	1.5
20/5	0.08~0.085	1.0	0.5	1.5
30/5	0.09~0.01	1.2	0.8	1.5
50/5	0.12~0.15	2.0	0.8	1.5

固定集中载荷中还有司机室重量  $G_0 \approx 1 \sim 1.5t$ , 取为  $1.3t$ , 作用位置距梁一端约为  $l_0 = 2.8m$ 。

由于起重机运行轨道不平造成桥架和主梁的振动, 从而引起集中的和均布的固定载荷产生动力(振动)加载作用, 也应估计在固定载荷中。动力加载作用可按乘一个冲击系数  $k$  来考虑,  $k$  可由表 4-11 查出。本例取  $k = 1.1$ , 则有集中载荷  $G'_2 = 1.1G_2 = 1.1 \times 1 = 10.78$  kN,  $G'_0 = 1.1G_0 = 1.1 \times 1.3 = 14.02$  kN; 均布载荷  $q' = 1.1q = 1.1 \times 50 = 55$  (N/cm)。

表 4-11 冲击系数值

运行速度 (m/s)	<1.0	1.0~1.5	1.6~3.0	>3.0
$k$	1.0	1.1	1.2	1.3

移动载荷 即小车轮压。包括小车自重、起重量和起升机构启动的惯性力。后者用一个动力系数  $\Phi$  来考虑,  $\Phi$  值可查表 4-12 来确定, 有

$$F = F_{x_i} + \Phi F_{z_0} \quad (4-47)$$

式中  $F_{z_0}$ ——起重载荷量,  $20t$ ;

$F_{x_i}$ ——小车自重, 在缺乏现有数据情况下, 可由经验公式决定。

吊钩式  $F_{x_i} = 0.35F_{z_0}$

电磁盘式  $F_{x_i} = 0.45F_{z_0}$

抓斗式  $F_{x_i} = F_{z_0}$

$\Phi$ ——动力系数, 本例取  $\Phi = 1.2$

则每个轮子上的轮压

$F_1 = F_2 = F/4 = (0.35 + 1.2)20/4 = 7.75t = 76$  kN 小车自重产生的轮压还可由现有产品近似估算。表 4-13 中列出的数据是一概略值, 乘以动力系数  $\Phi$  才可作为小车轮压。

$$F_1 = \Phi F'_1 = 1.2 \times 71.58 = 85.9 \text{ (kN)}$$

$$F_2 = \Phi F'_2 = 1.2 \times 65.70 = 78.8 \text{ (kN)}$$

水平惯性载荷 起重机桥架运行时启动或制动, 小车运行时启动或制动, 将分别产生垂直作用于主梁和沿主梁轨道方向作用于端梁的水平惯性载荷。

垂直主梁的惯性载荷包括两部分, 一是桥架质量引起的, 以均布载荷方式作用于主梁上; 二是满载起重小车的质量引起的, 以集中力方式作用在跨度中间, 通过小车轮与轨道侧

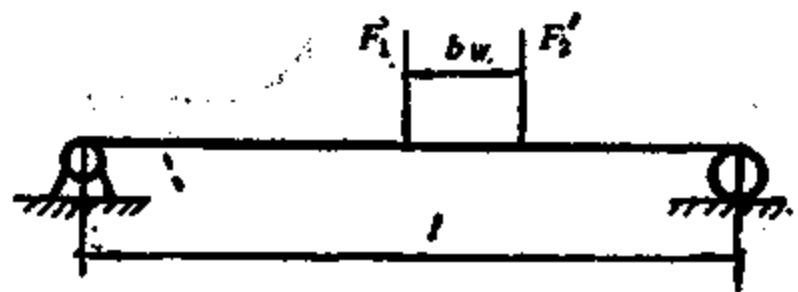
表 4-12 动力系数  $\phi$  值

起重机种类	工作类型			
	轻 级	中 级	重 级	特重级
桥式和门式起重机	1.1	1.2	1.3	1.4(1.6)
装卸桥	—	—	1.3	1.4~1.6
门座起重机	1.1	1.3	1.4	1.5
塔式起重机	1.1	1.2	1.3	—
汽车和轮胎起重机	—	1.2	1.3	—
浮式起重机	—	1.3	1.4	—

表 4-13 桥式起重机小车的轮压概略值

吊具型式	主起重量 (t)	轮 压 (kN)		轮 距 (mm) $b_w$
		$F'_1$	$F'_2$	
吊钩式	5	20.59	17.65	1100
	10	36.28	35.30	1400
	15	54.91	55.89	2400
	20	71.58	65.70	2400
	30	107.87	104.92	2700
	50	171.61	166.70	3850
电磁盘式	5	20.59	17.65	1100
	10	39.22	38.24	1500
	15	53.93	52.95	1700
	20	84.33	83.35	2950
	30	119.63	90.22	3150
抓斗式	5	25.50	24.52	2300
	10	52.95	43.15	2900
	15	87.27	70.60	3500
	20	104.92	90.22	4000

简 图



向接触传给主梁。两部分载荷都不超过主动车轮与轨道的摩擦力。该惯性力可用质量与启、制动加速度之乘积求得，也可用动力系数加以考虑。因车轮和轨道的滑动摩擦系数约为0.14，按最危险情况，水平惯性载荷为各垂直载荷的  $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{7}$ 。

故水平均布载荷

$$q_{sh} = \frac{1}{10}q = 5 \text{ (N/cm)},$$

水平集中载荷

$$F_{sh} = \frac{F_1 + F_2}{10} = 16.5 \text{ (kN)}.$$

载荷的组合 设计中使用的载荷称为载荷的组合。上述载荷并不都是同时出现，考虑各种载荷出现的机率，按对结构最不利的情况，把可能出现的载荷组合起来进行结构设计。按许用应力法进行载荷组合可如表 4-14。

表 4-14 桥式起重机主梁和端梁的载荷组合

载荷情况 载荷种类		主 梁		端 梁		
		I	II	I	II <sub>a</sub>	II <sub>b</sub>
垂直 载荷	桥架自重	$G_1$	$KG_1$	$G_1$	$G_1$	$KG_1$
	小车自重	$F_{xi}$	$F_{xi}$	$F_{xi}$	$F_{xi}$	$F_{xi}$
	起升载荷	$\Phi' F'_{z0}$	$\Phi F_{z0}$	$\Phi' F_{z0}$	$\Phi F_{z0}$	$\Phi F_{z0}$
水平 载荷	大车起、制动时惯性载荷	—	$q_{sh}, F_{sh}$	—	—	—
	小车起、制动时的惯性载荷	—	—	—	$F'_{sh}$	—
	大车运行歪斜时的侧向载荷	—	—	—	—	$S$

表中 I 类载荷组合是供进行疲劳设计用的正常载荷的组合。计算最大应力  $\sigma_{max}$  时，小车处在自重及等效起升载荷  $F'_{z0}$  作用下，此时小车所在位置导致该计算部位发生最大应力的载荷；计算最小应力  $\sigma_{min}$  时，取空载小车距跨度一端  $l/4$  部位的最小应力。等效起重量  $F'_{z0} = \Phi' \Psi_1 F_{z0}$ 。式中  $\Psi_1$  为等效系数 (0.75~0.9)， $\Phi'$  为计算等效载荷时的动力系数， $\Phi' = \frac{1}{2}(1 + \Phi)$ 。但中级和轻级起重机金属结构不进行疲劳计算。

II 类载荷组合是起重机工作状态下的最大载荷，用于结构件的静强度计算。

表中  $F'_{sh}$  是小车制动时产生的顺轨道作用的载荷，它作用于端梁。 $S$  是大车运行啃轨 (歪斜) 时的侧向载荷，它以力偶形式作用在一侧端梁的两个车轮上。

### (c) 主梁的设计验算

在确定箱形主梁的截面尺寸之后，便可按照表 4-14 中第 I 类载荷组合情况进行强度、刚度和稳定性的验算。

主梁端部截面的确定 为了减轻梁的重量和节省钢材，箱形主梁应该做成等强度梁，即腹板的下边缘和下盖板应该做成抛物线形的鱼腹梁，但因制造困难，故通常是中部截面不变，两端成梯形向上倾斜，到主梁的两端部梁高减小到  $h_d$  (图 4-3)。逐渐减小的距离 (梯形的高) 为  $c$ ，据经验

$$c = \left( \frac{1}{5} \sim \frac{1}{10} \right) L \quad (\text{通常 } c = 2 \sim 3\text{m}) \quad (4-48)$$

$$h_d = (0.4 \sim 0.6) h \quad (4-49)$$

取  $c = 2\text{m}$ ， $h_d = 600\text{mm}$ ，则端部腹板高度  $h'_d = 580\text{mm}$ 。

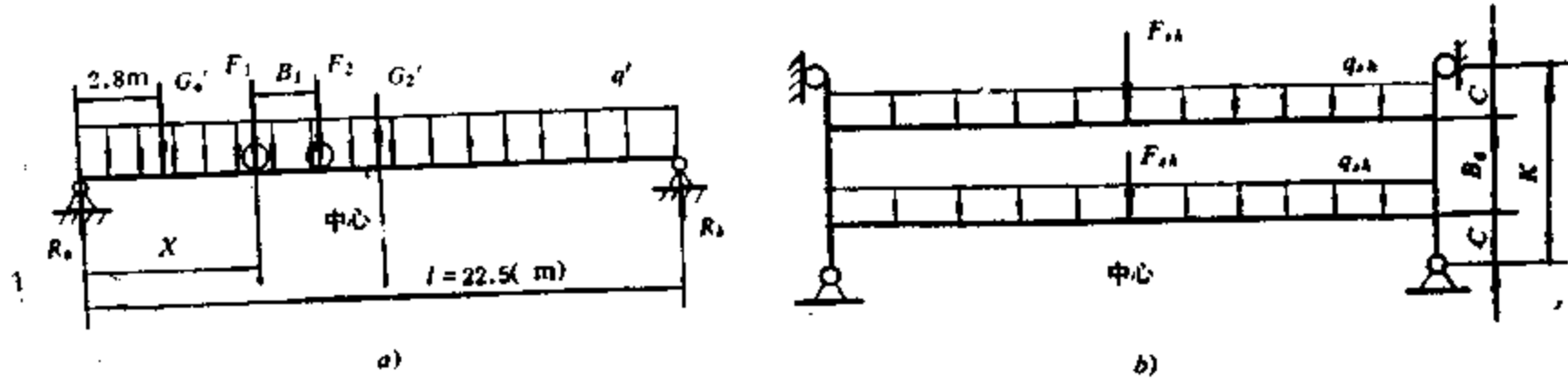
主梁强度验算 支座反力 $R_0$ 。(图4-12a) 包括两部分:

固定集中载荷引起的支座反力

$$R_{G_0} = \frac{q'l}{2} + \frac{G'_2}{2} + \frac{G'_0(l-l_0)}{l} \quad (4-50)$$

则主梁距左支座 $x$ 处由固定载荷引起的弯矩为

$$M_G = \frac{q'l}{2} x - \frac{q'x^2}{2} + \frac{G'_2x}{2} + \frac{G'_0(l-l_0)}{l} x - G'_0(x-l_0) \quad (4-51)$$



a) 垂直载荷; b) 水平载荷

图4-12 主梁载荷计算图

移动载荷 $F_1$ 、 $F_2$ 引起的支座反力为

$$R_{F_0} = F_1 \frac{l-x}{l} + F_2 \frac{l-(x+B_1)}{l} \quad (4-52)$$

式中 $x$ 为集中载荷 $F_1$ 距支点的距离,在此集中载荷下的截面有最大弯矩。

移动载荷在 $x$ 截面的弯矩为

$$M_F = R_{F_0}x = F_1 \frac{l-x}{l} x + F_2 \left[ \frac{l-(x+B_1)}{l} \right] x \quad (4-53)$$

由移动载荷和固定载荷共同作用引起距支座 $x$ 处的截面的弯矩为

$$M_{(F+G)} = \left( F_1 + F_2 - F_2 \frac{B_1}{l} + \frac{G'_2 + q'l}{2} - \frac{G'_0 l_0}{l} \right) x - \left( \frac{F_1 + F_2}{l} + \frac{q'}{2} \right) x^2 + G'_0 l_0 \quad (4-54)$$

将上式对 $x$ 求导,并令

$$\frac{dM_{(F+G)}}{dx} = 0$$

可解得

$$x = \frac{F_1 + F_2 - F_2 \frac{B_1}{l} + \frac{G'_0 + q'l}{2} - \frac{G'_0 l_0}{l}}{2 \left( \frac{F_1 + F_2}{l} + \frac{q'}{2} \right)} \quad (4-55)$$

$$x = \frac{85.9 + 78.8 - 78.8 \frac{2.4}{22.5} + \frac{10.78 + 55 \times 22.5 \times 10^{-1}}{2} - \frac{14.02 \times 2.8}{22.5}}{2 \left( \frac{85.9 + 78.8}{22.5 \times 10^2} + \frac{55 \times 10^{-3}}{2} \right)} = 221.8 / 0.2014 \approx 1101.3(\text{cm})$$

将此  $x$  值代入式 (4-54), 则可求得主梁最大弯矩

$$\begin{aligned} M_{(F+G)max} &= \left( 85.9 + 78.8 - 78.8 \frac{2.4}{22.5} + \frac{10.78 + 55 \times 22.5 \times 10^{-1}}{2} \right. \\ &\quad \left. - \frac{14.02 \times 2.8}{22.5} \right) \times (1101.3) - \left( \frac{85.9 + 78.8}{22.5 \times 10^2} + \frac{55 \times 10^{-3}}{2} \right) \\ &\quad \times 1101.3^2 + 14.02 \times 2.8 \times 10^2 \\ &= 221.8 \times 1101.3 - 0.1007 \times 1101.3^2 + 3925.6 \\ &= 126058.8 (\text{kN} \cdot \text{cm}) \end{aligned}$$

当小车的一个车轮处于左支座上时, 主梁截面上最大剪力为  $R_{F0} + R_{G0}$ , 并且  $x = 0$

则

$$\begin{aligned} Q_{(F+G)max} &= F_1 + F_2 \frac{l - B_l}{l} + \frac{q' l + G'_2}{2} + G'_0 \frac{l - l_0}{l} \\ &= 85.9 + 78.8 \frac{22.5 - 2.4}{22.5} + \frac{55 \times 22.5 \times 10^{-1} + 10.78}{2} \\ &\quad + \frac{14.02(22.5 - 2.8)}{22.5} \\ &= 235.8 (\text{kN}) \end{aligned}$$

如前述, 作用于主梁的水平惯性载荷是由桥架及载重小车制动时产生的, 它们分别为  $q_{sh}$  及假定作用在主梁跨中的集中载荷  $F_{sh}$ 。计算水平方向的弯矩时, 可以认为桥架是一个超静定刚架结构 (如图 4.12 b), 最大弯矩可按下式决定

$$M_{shmax} = \frac{F_{sh} l}{4} \left( 1 - \frac{l}{2\gamma} \right) + \frac{q_{sh} l^2}{24} \left( 3 - \frac{2l}{\gamma} \right) \quad (4-56)$$

$$\gamma = l + \frac{8c^3 + B_c^3}{3K^2} \times \frac{J_y}{J'_y}$$

式中  $c = \frac{K - B_c}{2}$ ;

$K$  —— 大车轮距;

$B_c$  —— 小车轨距;

$J_y, J'_y$  —— 分别为主梁和端梁对垂直轴的惯性矩。

作为简化计算, 可令  $M_{shmax} = 0.1 M_{(F+G)max}$ , 则有

$$M_{shmax} = 12605.88 (\text{kN} \cdot \text{cm})$$

这样, 由  $M_{(F+G)max}$  和  $M_{shmax}$  产生的主梁跨中截面的正应力分别为

$$\sigma_{(F+G)} = \frac{M_{(F+G)max}}{W_x} = \frac{126058.8}{8350.4} = 150.96 (\text{MPa})$$

$$\sigma_{shmax} = \frac{M_{shmax}}{W_y} = \frac{12605.88}{3677.9} \approx 34 (\text{MPa})$$

故水平和垂直弯矩同时作用时, 在主梁上下盖中引起最大正应力为

$$\sigma = \sigma_{(F+G)} + \sigma_{shmax} = 150.96 + 34 \approx 185 (\text{MPa})$$

$< [\sigma]$  (16Mn钢  $[\sigma]$  约为 225.5 MPa) 故安全。



主梁支座处截面最大剪应力计算 主梁截面最大剪应力在腹板中部,

$$\tau_{max} = \frac{Q(P+G)_{max} S}{J_{x,d} \times 2\delta_f} \quad (4-57)$$

式中  $S$  ——主梁端部截面对水平 ( $x$ ) 轴的静矩;

$$S = \frac{2h_d^f \cdot \delta_f}{2} \cdot \frac{h_d^f}{4} + B_{\epsilon_0} \delta_{\epsilon_0} \left( \frac{h_d^f}{2} + \frac{\delta_{\epsilon_0}}{2} \right) = 1979.6(\text{cm}^3)$$

$J_{x,d}$  ——主梁端部截面对  $x$  轴的惯性矩;

$$\begin{aligned} J_{x,d} &\approx W_{x,d} \cdot \frac{h_d}{2} = \left( \frac{h_d^f \delta_f}{3} + B_{\epsilon_0} \delta_{\epsilon_0} \right) h_d^f \times \frac{h_d}{2} \\ &= \left( \frac{58 \times 0.6}{3} + 50 \times 1 \right) 58 \times \frac{60}{2} = 107184(\text{cm}^4) \end{aligned}$$

则

$$\tau_{max} = \frac{235.8 \times 10^3 \times 1979.6}{107184 \times 2 \times 0.6} = 36.3(\text{MPa}) < [\tau]$$

(16Mn钢 $[\tau]$ 约为137.3MPa) 故安全。

主梁稳定性验算

整体稳定性问题 由于  $h/B_0 = 1170/448 < 10$ ;  $l/B_0 = 22500/448 = 50.2 < 65$ , 故可以不考虑整体失稳问题。

局部稳定性问题 由于  $h_f/\delta_f = 1150/6 = 191.7 > 170\sqrt{235/\sigma_s}$ , 故应配置横向和纵向加筋。

横向加筋之间距可按式(4-33)和(4-34)计算决定, 而纵向加筋至腹板受压边缘的距离 $h_1$ 可由式(4-35)和(4-36)决定。也可按工程实践经验决定。通常 $h_f/\delta_f > 100$ 时,  $a \geq 2h_1$ 或3m, 取 $a = 2\text{m}$ 。由于  $160 < h_f/\delta_f < 240$ , 需设置纵向加筋一根, 布置在距受压盖板(上盖板)  $(0.2 \sim 0.25)h_f$ 处。本例布置在距上盖板下平面29cm处。

横向加筋宽 $b_f$ 应满足 $b_f \geq \frac{h_f}{30} + 40 \approx 78.3$ , 取 $b_f = 80(\text{mm})$ (图4-10); 横向加筋厚 $\delta_f \geq b_f/(15 \sim 12) \approx 5.3 \sim 6.6$ , 取 $\delta_f = 6(\text{mm})$ 。

纵向加筋取 $6.3 \times 5$ 等边角钢, 它对 $y'$ 轴的惯性矩为

$$J_{i,y'} = J_i + A_i e^2 \quad (4-58)$$

式中  $J_{i,y'}$  ——纵向加筋对腹板垂直轴 $y'$ 的惯性矩(图4-10);

$J_i$  ——纵向加筋(角钢)对本轴惯性矩, 由手册查得 $J_i = 23.17\text{cm}^4$ ;

$e$  ——由角钢形心至 $y'$ 轴距离,  $e \approx 6.3 - 1.74(\text{cm})$ ;

$A_i$  ——角钢截面面积,  $A_i = 6.143(\text{cm}^2)$ 。

故  $J_{i,y'} = 23.17 + 6.143(6.3 - 1.74)^2 = 150.9(\text{cm}^4)$

又因为  $a/h_f = 2/1.15 = 1.74 > 0.85$ , 故由式(4.37)可知

$$J_{i,y'} \geq \left( 2.5 - 0.45 \frac{2}{1.15} \right) \times \left( \frac{2}{1.15} \right)^2 \times 115 \times (0.6)^3 = 129.2(\text{cm}^4)$$

由于上盖板上作用有集中载荷, 故在腹板上需设置短横加筋, 其长度与纵加筋相连, 其间隔 $a_1 \leq (40 \sim 50)\delta$ , 此处 $\delta$ 为筋板厚, 取为6mm, 则 $a_1 = 240 \sim 300$ 之间, 取为250(mm), 在支座附近同样布置短加筋。

安置加筋之后, 还应进行局部稳定性验算。通常对于支座处(腹板受剪应力最大, 弯曲

正应力趋于零)、跨中处(腹板受正应力最大,剪应力趋近于零)及距支座 $\frac{1}{4}$ 跨度处(腹板同时受弯曲正应力和剪应力)都应将筋板隔开的矩形腹板进行局部稳定性验算。可利用式(4-24)与(4-24)'、式(4-26)与(4-26)'及式(4-28)与(4-29)进行验算,此处从略。

主梁刚度的验算 包括静刚度和动刚度两个部分。本例不必进行动刚度验算。主梁在满载小车轮压下,在跨中产生最大垂直挠度,可按下式进行简化计算

$$f = \frac{(F_1 + F_2)l^3}{48EJ_x}$$

简支梁垂直下挠度的精确计算可按下式进行

$$f = \frac{F_1' l^3 [1 + \alpha(1 - 6\beta^2 + 4\beta^3)]}{48EJ_x} \quad (4-59)$$

式中  $\alpha = F_2'/F_1' = 65.70/71.58 \approx 0.92$

$$\beta = \frac{B_1}{l} = 240/2250 \approx 0.107$$

则

$$f = \frac{71.58 \times 2250^3 [1 + 0.92(1 - 6 \times 0.0114 + 4 \times 1.22 \times 10^{-3})]}{48 \times 2.06 \times 10^4 \times 488495.8} \\ \approx 3.14(\text{cm}) < [f] \quad (16M_n \text{ 钢选 } [f] = l/700 \approx 3.21[\text{cm}])$$

水平刚度按超静定刚架计算

$$f_{,h} = \frac{F_{,h} l^3}{48EJ_y} \left(1 - \frac{3l}{48}\right) + \frac{q_{,h} r^4}{384EJ_y} \left(5 - \frac{4l}{\gamma}\right) \leq [f_{,h}] \quad (4-60)$$

式中  $\gamma$  ——同式(4-56),即

$$\gamma = l + \frac{8c^3 + B_2^3}{3K^2} \times \frac{J_y}{J'} \approx 2250 + \frac{8 \times \left(\frac{410-200}{2}\right)^3 + 200^3}{3 \times 410^2} \times 2 \\ = 2286$$

则

$$f_{,h} = \frac{16.5 \times 2250^3}{48 \times 2.06 \times 10^4 \times 91947.4} \left(1 - \frac{3 \times 2250}{4 \times 2286}\right) \\ + \frac{5 \times 2250^4 \times 10^{-3}}{384 \times 2.06 \times 10^4 \times 91947.4} \left(5 - \frac{4 \times 2250}{2286}\right) \\ = 0.54 + 0.187 \approx 0.73(\text{cm}) < [f_{,h}]$$

$$([f_{,h}] = \frac{l}{2000} \approx 1.125\text{cm})$$

焊缝的设计和验算 盖板和腹板的连接角焊缝通常不开坡口,平角焊缝,焊脚 $K$ 不大于腹板厚,如取 $K = 6\text{mm}$ ,则角焊缝计算厚度 $K_0 = 0.7K = 0.42(\text{cm})$ ,如为气体保护焊或自动焊 $K_0 = (0.8 \sim 1)K = 0.48 \sim 0.6(\text{cm})$ 。则剪力 $Q_{(F+G)max}$ 作用下(支座附近),角焊缝最大剪应力为(与式(4-12)'类似)

$$\tau_{Q_{(F+G)max}} = \frac{Q_{(F+G)max} \cdot S}{2K_0 J_{x,d}} \quad (4-61)$$

式中  $S$  ——主梁端部上盖板对 $x$ 轴的静矩,

$$S = B_{g,d} \cdot \delta_{g,d} \frac{h_d^j + \delta_{g,d}}{2} = 50 \times 1 \times (58 + 1) \times 0.5 = 1475(\text{cm}^3)$$

$K_0$ ——角焊缝计算厚度。其余同式(4-57)。

$$\tau_{Q(F+G)max} = \frac{235.8 \times 10^3 \times 1475}{2 \times 0.42 \times 107184} = 38.63(\text{MPa}) < [\tau]'$$

(16Mn钢焊缝 $[\tau]'$ 约为142.2MPa)

集中载荷产生的剪应力可用下式计算(与式(4-41)相似)

$$\tau_F = \frac{\Phi F_1}{2K_0 Z} \quad (4-62)$$

式中  $\Phi$ ——同式(4-15)系数, 此处取 $\Phi = 1$ ;

$F_1$ ——小车轮压 $F_1 = 85.9(\text{kN})$ ;

$Z$ ——按式(4-14),  $Z = a + 2h_y$ , 选用24kg/m

轻型轨,  $h_y = 10.7 + 1 = 11.7(\text{cm})$ , 故 $Z = 5 + 11.7 = 16.7(\text{cm})$

则有

$$\tau_F = \frac{85.9}{2 \times 0.42 \times 16.7} = 61.23(\text{MPa}) < [\tau]'$$

验算折合应力

$$\tau_{\text{折合}} = \sqrt{\tau_Q^2 + \tau_F^2} = 72.4(\text{MPa}) < [\tau]'$$

大小横加筋在纵加筋以上部分与腹板的焊缝, 大小横加筋与上盖板的焊缝, 全部采用 $K = 6\text{mm}$ 连续角焊缝。这些焊缝的验算从略。

小车钢轨的验算和小筋板弯曲应力的验算 验算小车钢轨时, 假定轮压全部由轨道承受, 得到

$$\sigma_x = \frac{F_1 \cdot a_1}{6W_x} \leq [\sigma]_x \quad (4-63)$$

式中  $F_1$ ——最大轮压,  $F_1 = 85.9(\text{kN})$ ;

$a_1$ ——小加筋距离,  $a_1 = 50(\text{cm})$ ;

$W_x$ ——轨道对自身水平轴( $x$ )的最小抗弯截面模数,  $W_x = 90.12\text{cm}^3$

则

$$\sigma_x = \frac{85.9 \times 50}{6 \times 90.12} = 79.4(\text{MPa}) < [\sigma]_x \text{ (轻轨 } [\sigma]_x = 196.12\text{MPa)}$$

筋板弯曲应力与钢轨计算类似, 即小横加筋弯曲力矩 $M_x = F_1 \cdot B_0/6$ , 而抗弯截面模数按T形截面计算(T形截面水平板宽为 $16\delta_{x0}$ )。该计算从略。

### 3. 焊接梁的生产

#### (1) 焊接工字梁的制造

工字梁(也称H型梁)是应用最广泛的焊接梁, 这种由两块盖板和一块腹板组成的焊接梁已经组成多种生产流水线, 实行专业化生产, 有很高的生产率和制造质量, 以及很高的经济效益。

最常见的工字梁生产是在不同的工作地将材料准备、装配及焊接由一些通用或专用设备加工完成的。例如采用埋弧焊制造不同断面的工字梁的生产线就是这样组织的。钢材库接受运入的钢材后, 按炉号分别堆放。根据用户要求, 逐张的或抽样的进行无损探伤, 钢板尺寸如果不够, 可在专门工位进行钢板拼接。由气体火焰切割机自动切割成需要的宽度后, 送往喷丸工段进行喷丸处理。这些过程可以组成全部自动化生产流水线。

经喷丸清理的半成品钢板用磁盘起重机运输到工字梁组装机组, 进行组装。工字梁装配需要保证盖板中线与腹板中心的相对位置。大多数工字梁的盖板中心与在腹板中心重合, 盖

板和腹板相互垂直，图 4-13 示出工字梁装配公差。工字梁的装配机组应能满足这一要求。图 4-14 a) 所示是这类装配机组的示意图。它可用液压千斤顶调整盖板的位置，故也可以生产上下盖板错开的、上下盖板不一样断面的非对称工字梁和变断面工字梁。定位焊时顶紧力可达数十吨。装配机组配备两台自动定位焊（点定焊）专用 MIG 焊机，定位焊可连续进行，也可间断进行。

点定焊好的工字梁运到焊接平台，由专门焊机进行上下盖板与腹板角焊缝的连续自动埋弧焊接。其中一种是龙门式焊机进行全平焊位置焊接，焊机不动，而梁在工作地的轨道上拖

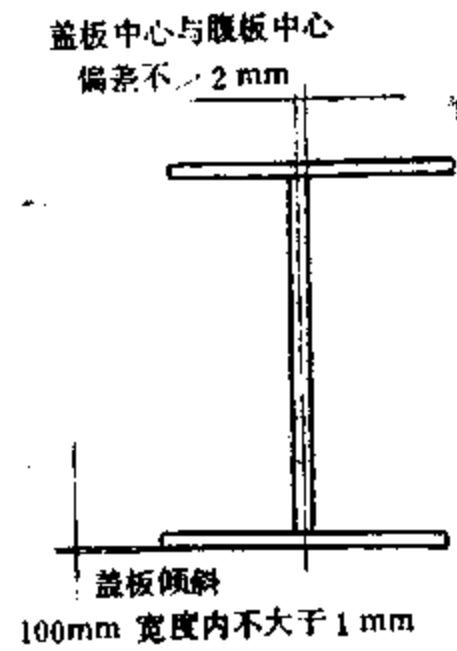


图 4-13 H型梁装配公差

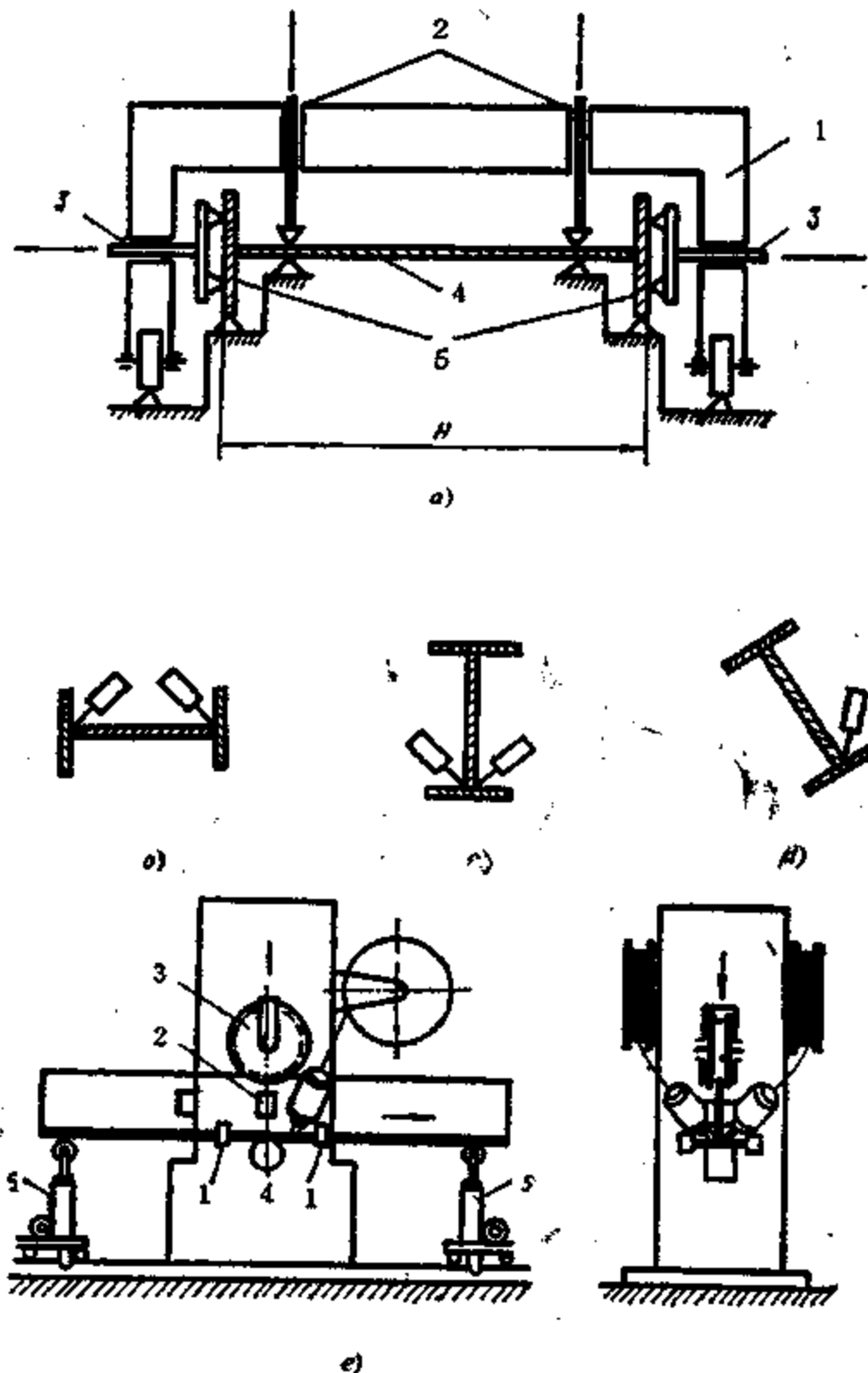


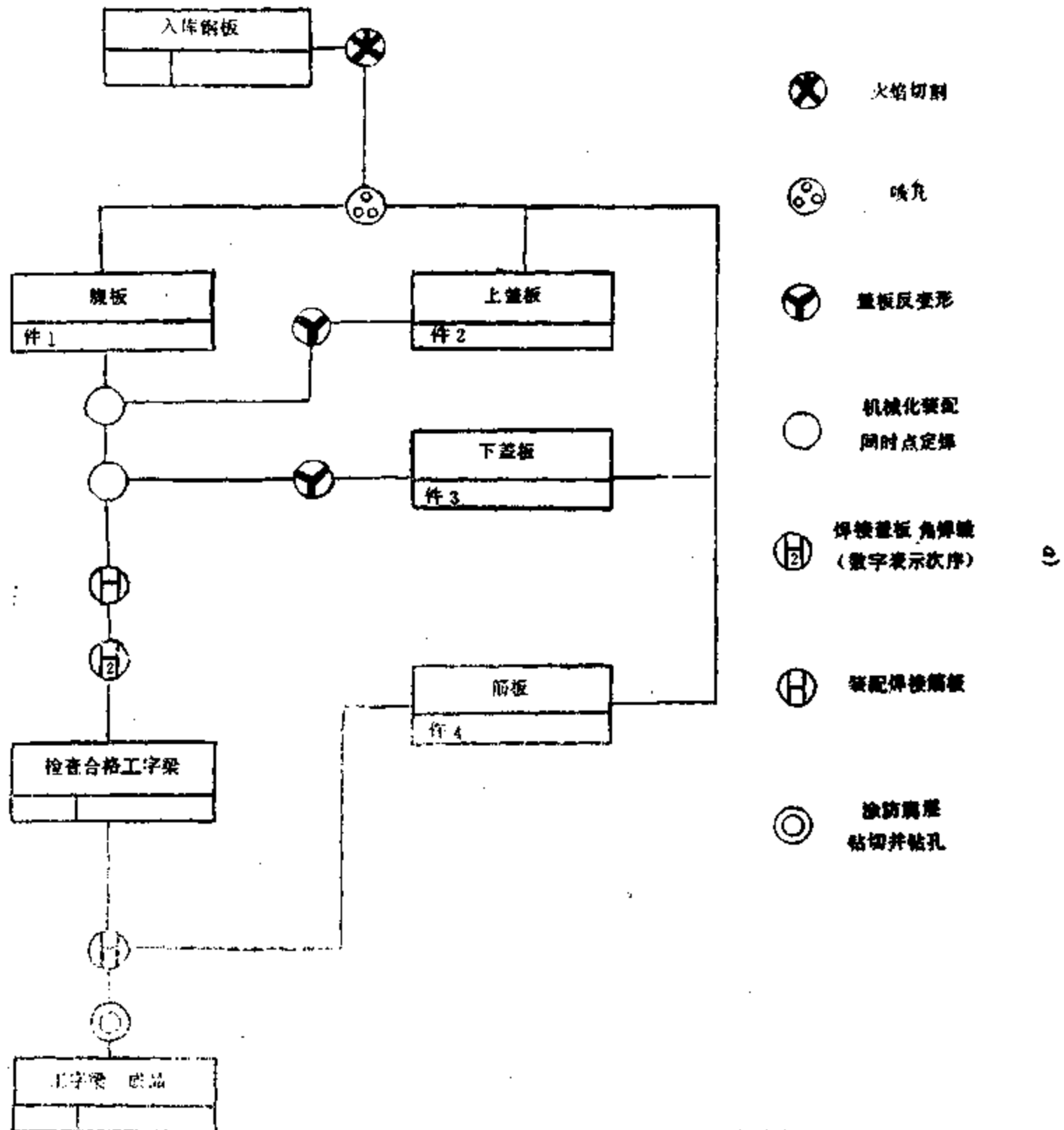
图 4-14 工字梁装配机及焊接示意图  
a) 工字梁装配机；b) ~d) 角焊缝焊施三种次序；e) 专用焊机。

动, 此时通常是双丝埋弧焊接, 两个机头同时焊两条角焊缝如图 4-14b) 所示, 每个机头有前后两焊丝, 以达高的生产效率。焊完一面之后, 梁自动翻身, 由另一台门式焊机进行反面焊缝的焊接。另外一种也是平焊位置, 但同时焊接一块盖板和腹板的两条角缝, 如图 4-14c) 所示, 这种专用焊机如图 4-14e) 所示 (此时正在焊接 T 形梁)。当然如能进行如图 4-14d) 所示的船形位置焊接, 则可获得最佳的焊缝, 但效率较低。非流水线上焊接大型工字梁常用这种位置焊接, 并使用链式焊接变位机 (如图 8-44)。

焊完的工字梁送到另一工作地, 自动装配筋板并焊接。

焊接工字梁的工艺路线如图 4-15 所示。该图特别注明了各零件加工工艺方法和次序。按图所示工艺路线, 零件经过喷丸, 而焊后不再进行喷丸处理即进行涂饰, 其防腐效果不如成品整体喷丸效果好。如采用后者, 必须在盖板和腹板焊接区进行局部清理 (局部喷丸) 后再进行装配焊接, 但局部喷丸装置成本高 [28]。

工字梁焊接时, 盖板的角变形是主要的变形之一。除按图 4-15 所示工艺路线实行反变形



之外，现也采用不预先反变形，而焊后采用专用多辊矫正机矫正的办法。矫正原理如图4-16 a)所示。工件一边送进矫正机，一边加压进行矫正，这种矫正方法效率高而质量好（与加热矫相比）。

美国 Thermatool 公司组成高频电阻焊生产不同断面轻型工字梁的生产线，可生产梁高为100~610mm；盖板宽38~305mm，厚2.4~19mm；腹板厚1.6~12.7mm 的对称截面、非对称截面、高强和普通碳钢制成的工字梁。焊机频率 960、3000 及 10000Hz，焊接高为 350

mm的梁功率为280kW，焊接高为533mm的工字梁功率为 560kW。它可以采用成卷带钢产生工字梁。在这种条件下，生产线有三个（一个腹板和两个盖板）钢板开卷机和矫正机、板件输送装置，腹板边缘（冷）镢粗机、盖板校直装置、高频焊机，精整焊缝后纵向校直及盖板矫正机、锯切机及成品输出装置，盖板和腹板进入焊机时，盖板与腹板边缘呈 $4^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 角，并利用接触子1，2导电，如图4-17所示。接触电阻焊工字梁焊前准备有如图4-18所示的三个方案。a)方案只能保证焊合板厚的85%；c)方案难于生产中实现，采用腹板镢粗的b)方案较好，焊后在焊口尚处于高热状态时，及时用刮刀清除毛刺，完成焊缝精整，矫正后，通过定尺装置把工字梁切断成要求长度，再进行最后的涂饰加工出厂。

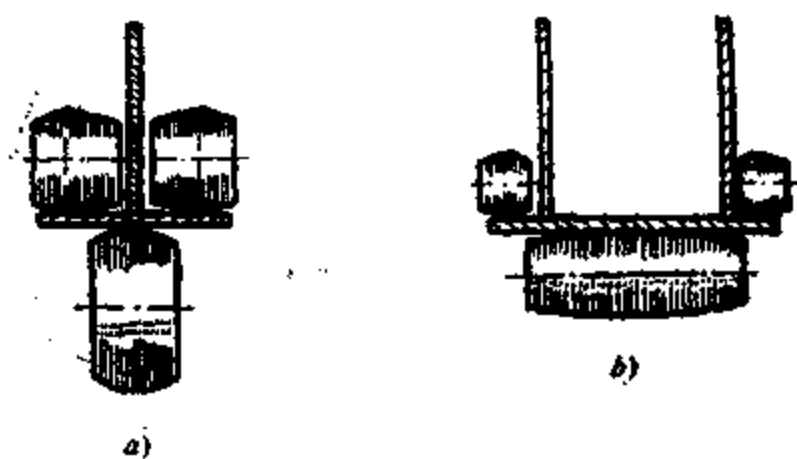


图4-16 焊接梁角变形矫正机  
a) 工字梁矫正机；b) 箱形梁矫正机。

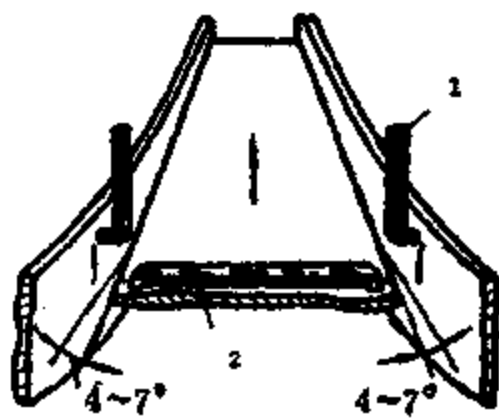


图4-17 高频焊机电流导流图

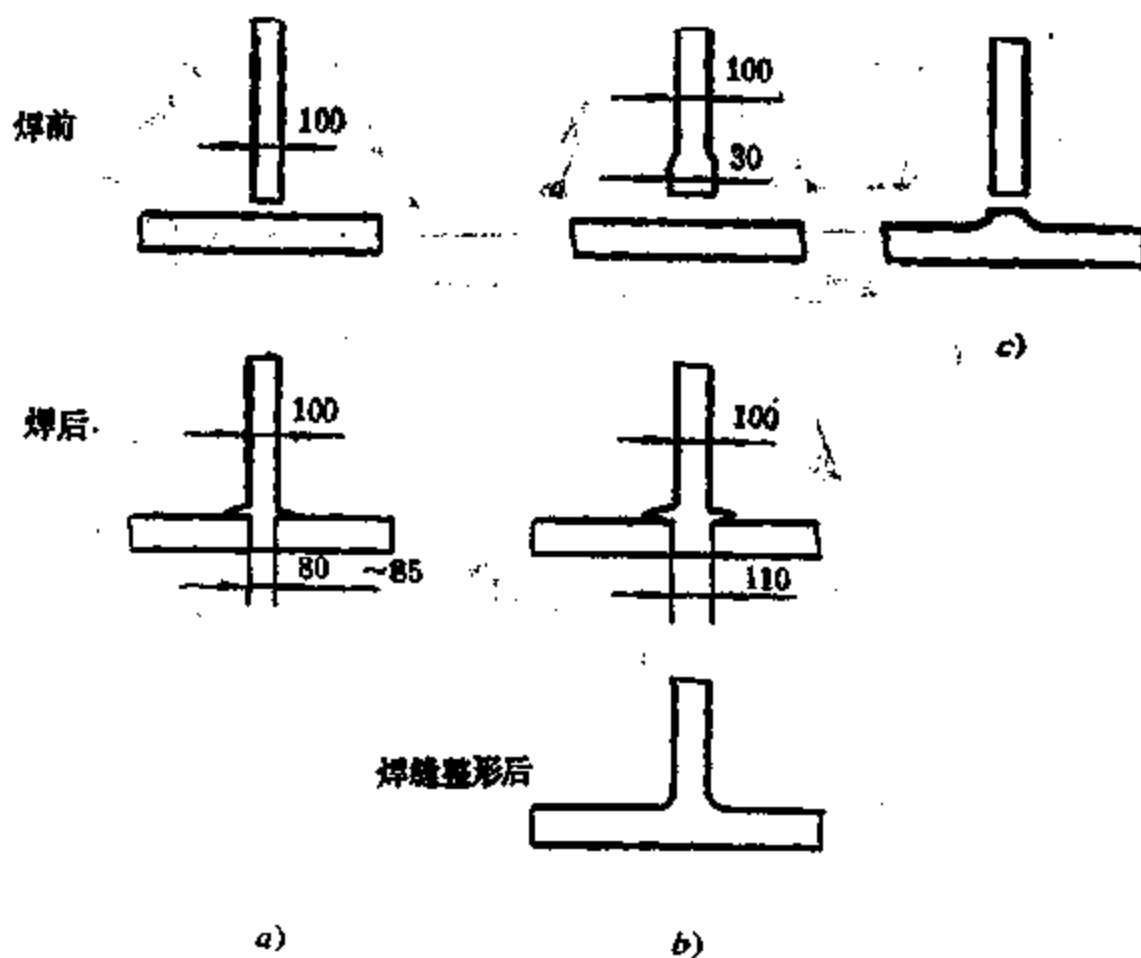


图4-18 工字梁焊前焊接边缘准备方案

## (2) 箱形结构桥式起重机的生产

图 4-1 h) 所示截面箱形结构主梁的桥式起重机, 其端梁也是箱形结构。下面主要介绍这类起重机主梁及端梁的焊接生产, 包括其工艺分析和装配焊接工艺。

### (a) 箱形结构桥架主要技术要求

桥架装配焊接的主要技术要求有:

$$\text{上挠 } F = (L(l)/1000) \begin{matrix} +0.3F \\ -0.1F \end{matrix}$$

跨度偏差  $\Delta L = \pm 8(\text{mm})$  (对  $L > 19.5\text{m}$ );

对角线偏差  $\Delta D = D_1 - D_2 = \pm 5(\text{mm})$ ;

主梁腹板倾斜度  $\alpha_1 < H/200$ ;

小车轨道 (主梁上) 高低差  $d < 2(\text{mm})$ ;

小车轨距偏差  $\Delta B_s = 5 \sim 7(\text{mm})$  (中心部分);

端梁倾斜 (向内)  $\alpha_2 < H_d/200$ ,  $H_d(h_d)$  为端梁高;

腹板波浪变形的限制同于主梁技术要求。

以上技术要求可如图 4-19 所示。

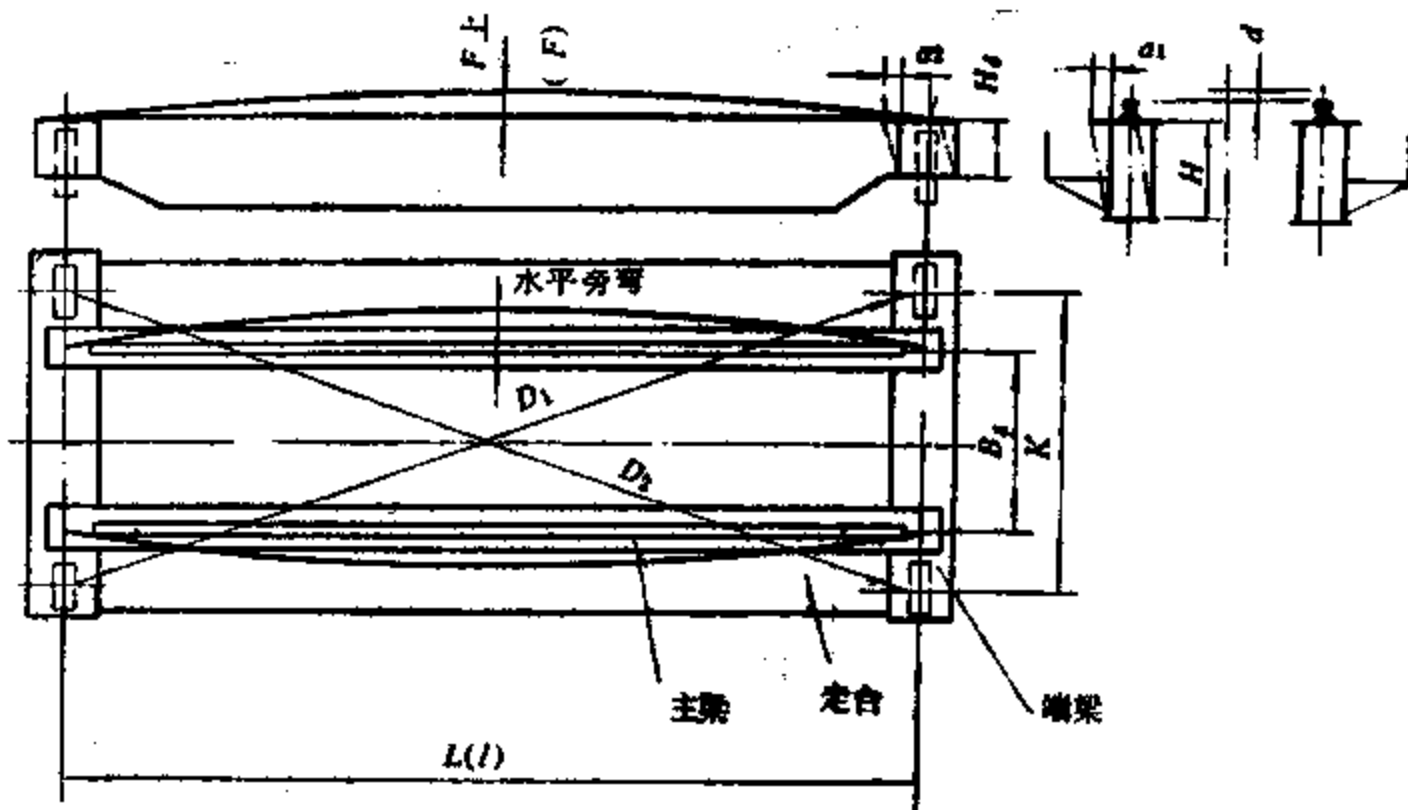


图 4-19 箱形结构桥式起重机桥架主要技术要求

桥架最主要的受力元件是主梁。主梁的严格技术要求是保证桥架技术条件得到满足的前提, 主梁的制造是桥架金属结构制造的关键。因此, 工艺分析从主梁入手。主梁的主要技术要求有:

上拱度 (上挠)  $L/1000$  (或  $L/700 \sim L/1000$ ) 即  $F = L/700 \sim L/1000$ ,  $L(l)$  为起重机主梁的跨度。起重机有上拱度的原因, 是当受载后, 可抵消按主梁刚度条件产生的下挠变形, 避免承载小车爬坡;

水平旁弯 (向走台侧)  $L(l)/1500 \sim L/2000$ , 规定向走台侧旁弯的原因是在制造桥架时, 走台侧焊后有拉伸残余应力, 当运输及使用过程中残余应力释放后, 导致两主梁向内旁弯; 而且主梁在水平惯性载荷作用下, 按刚度条件允许有一定侧向弯曲, 两者迭加会造成过大侧弯曲变形。当两梁向内旁弯时, 可能导致车轮子与轨道咬合, 使起重机不能正常工作。

腹板波浪变形，受压区 $<0.7\delta_1$ ，受拉区 $<1.2\delta_1$ 。规定较低的波浪变形对于提高起重机的稳定性和寿命都是有利的。

上盖板水平度 $\leq B_{g_0}/250$ ，腹板垂直度 $\leq H(h)/200$ ， $B_{g_0}$ 为盖板宽度， $H(h)$ 为梁高。

#### (b) 工艺分析

焊接生产工艺分析要从保证上述技术条件入手。采取适当装焊工艺，上述桥架的主要技术条件是不难满足的。唯有主梁外形尺寸要求最难满足。主梁结构详图如图4-3所示。由于主梁内部有大量加筋板，加筋板的焊缝分布上下不均，横向大筋板与下盖板不焊接，而小加筋全部连续角焊缝都在水平中心线以上，因此，中心线以上焊缝数量多于中心线以下，这样极易造成主梁下挠。由于主梁在未焊走台件以前焊缝对垂直中心线（ $y$ 轴）左右对称，产生旁弯的可能性较小。故主梁上挠的要求是个关键。于是分析并保证如何使下挠最小，并且能预制上挠和造成一定旁弯（在焊接走台件之前）则是制定工艺的依据。

#### (c) 箱形结构桥架的装焊工艺

桥架主梁是由钢板拼焊而成的。下料通常采用龙门剪床。较薄的板和以卷状供应的薄板要经过矫平机矫平后再剪切下料。腹板下料时，预制 $L/300\sim L/500$ 上挠，因为采用剪切，腹板上挠呈折线。

将剪切下料并且拼接好的上盖板置于平台上，并加压板固定，然后装配横加筋和短加筋，如图4-20所示。随后焊接这些筋板，焊接时都由一侧向另一侧施焊，以便造成所需要的旁弯。这种装焊方式使可能造成最严重下挠的大小筋板和上盖板的焊缝先行施焊，从而焊接变形只有盖板的收缩而不会产生挠曲。

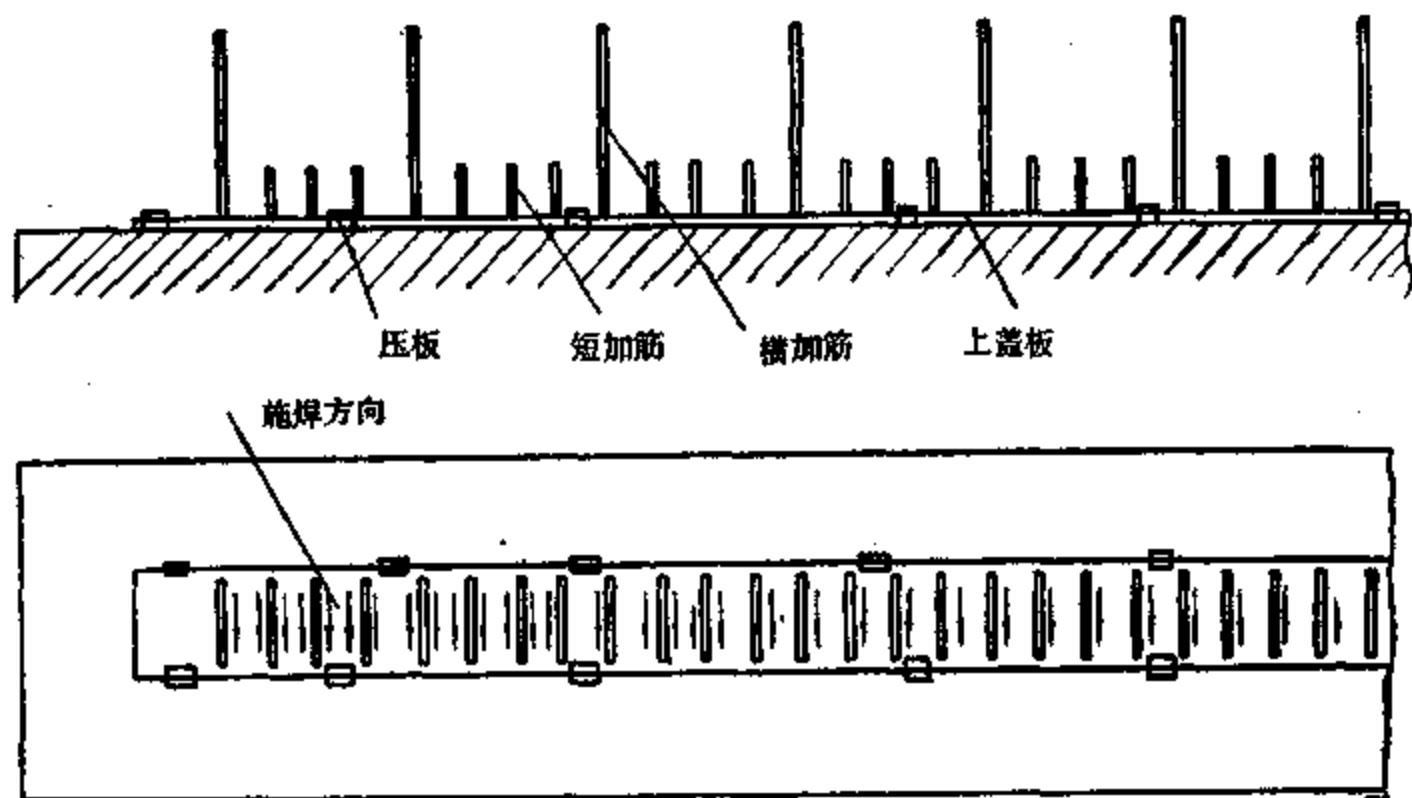


图4-20 横加筋和短加筋的装配

随后装配腹板，因为腹板有预制上挠，装配时需使盖板与之贴合严密后点定焊，形成没有下盖板的 $\Pi$ 形梁，侧放躺下，焊接腹板与筋板之间的焊缝，先集中焊接一侧，以造成向另一侧的有利旁弯。

装配下盖板。在装配压紧力作用下预弯成所需形状（当预制挠度 $>14\text{mm}$ 时，用油压机加载），由于加筋板规定了矩形形状公差，较容易控制盖板的倾斜度和腹板的垂直度，然后



点定焊。控制上挠度要考虑到卸载后的回弹变形。由于腹板预制了较大的上挠，点定下盖板的压紧力使主梁上挠度减小，从而在腹板中造成拉应力，有利于防止波浪变形。

最后焊接四条长角焊缝。采用埋弧焊或二氧化碳气体保护自动焊，这些焊缝一般不要求焊透；但图 4-1 i)、j) 等偏轨箱形梁的这类焊缝常常要求焊透。图 4-21 为角焊缝的两种焊接方式：船形焊（图 4-21 a)），主梁不动，靠焊接小车移动完成焊接工作。根据经验，主梁支点距离约等于  $0.586L$  时，上挠最小。平焊位置焊接（图 4-21 b)），主梁随小车移动，而焊头不动，该方式采用  $CO_2$  气体保护焊，目前一些工厂已采用了该方案。焊接这四条角焊缝时，利用梁的自重还可作挠度的适当调节。

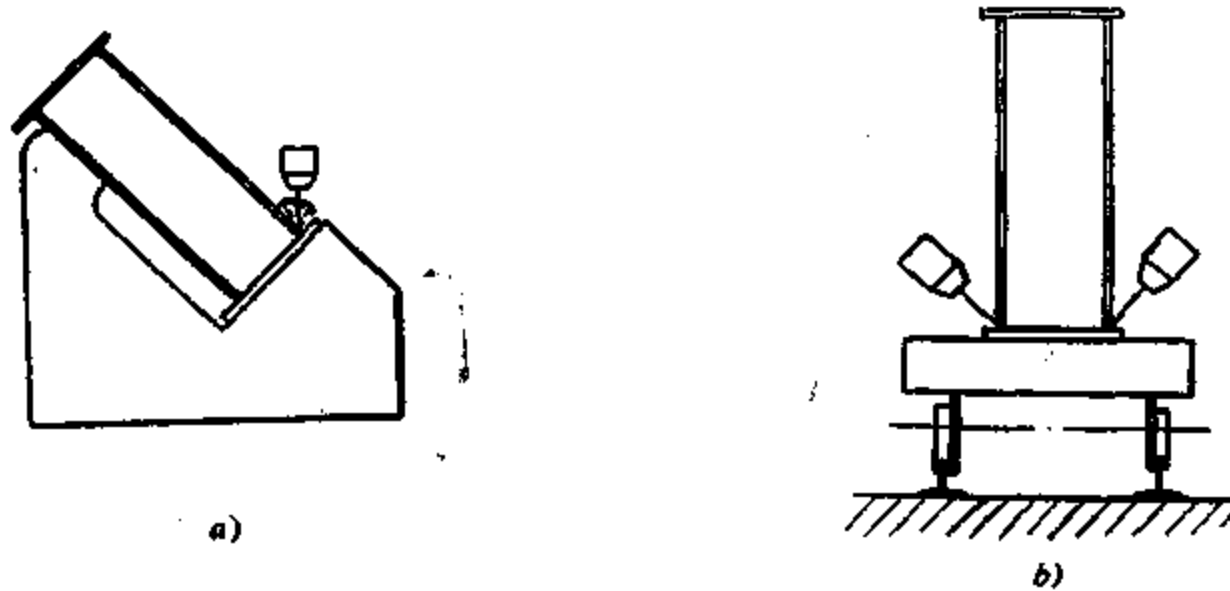


图 4-21 主梁角焊缝的焊接

主梁制成后，如有超出规定的挠曲变形，需进行修理。较原始的办法是锤击和重压，通常在加热后进行。但应用最多的是火焰矫形。火焰矫形加热温度一般不大于  $800^{\circ}C$ 。据一些用户反映，火焰矫形造成的上挠，在起重机运行过程中会逐渐消失，因此有些技术条件规定不允许火焰矫正。

以目前我国生产的起重量  $5t$ ，跨度  $19.5m$  的主梁为例，采用上述工艺，外形控制情形如下：

腹板下料时，预制上挠  $60mm$ ；

装焊成  $\Pi$  形梁，上挠减小  $10mm$ ；

装配下盖板、调正梁的倾斜，点定下盖板，上挠又减小  $10mm$ ；

焊接四条角焊缝后，上挠回升  $5mm$ ，故剩余上挠  $45mm$ ；

焊接走台板角钢，修理腹板过大波浪变形使上挠下降  $5mm$  左右。故单根主梁交验时，有上挠  $40\sim 45mm$ （符合工厂规定的合格标准  $42mm$ ）。

端梁的典型结构如图 4-22 a) 所示。端梁分为两段，中间用螺栓连接。当端梁较长超过运输界限时也可将端梁分为三段，中间段不与主梁连接。满足端梁技术要求不十分困难，故工艺过程从略。

合格的主梁和端梁装配成桥架，一般的装配次序如下：

摆放主梁，调整水平、划线；

端梁划线；

往主梁上装配端梁，按划线找正，点定焊；

焊接主、端梁焊缝及连接板焊缝；  
装配焊接走台件；

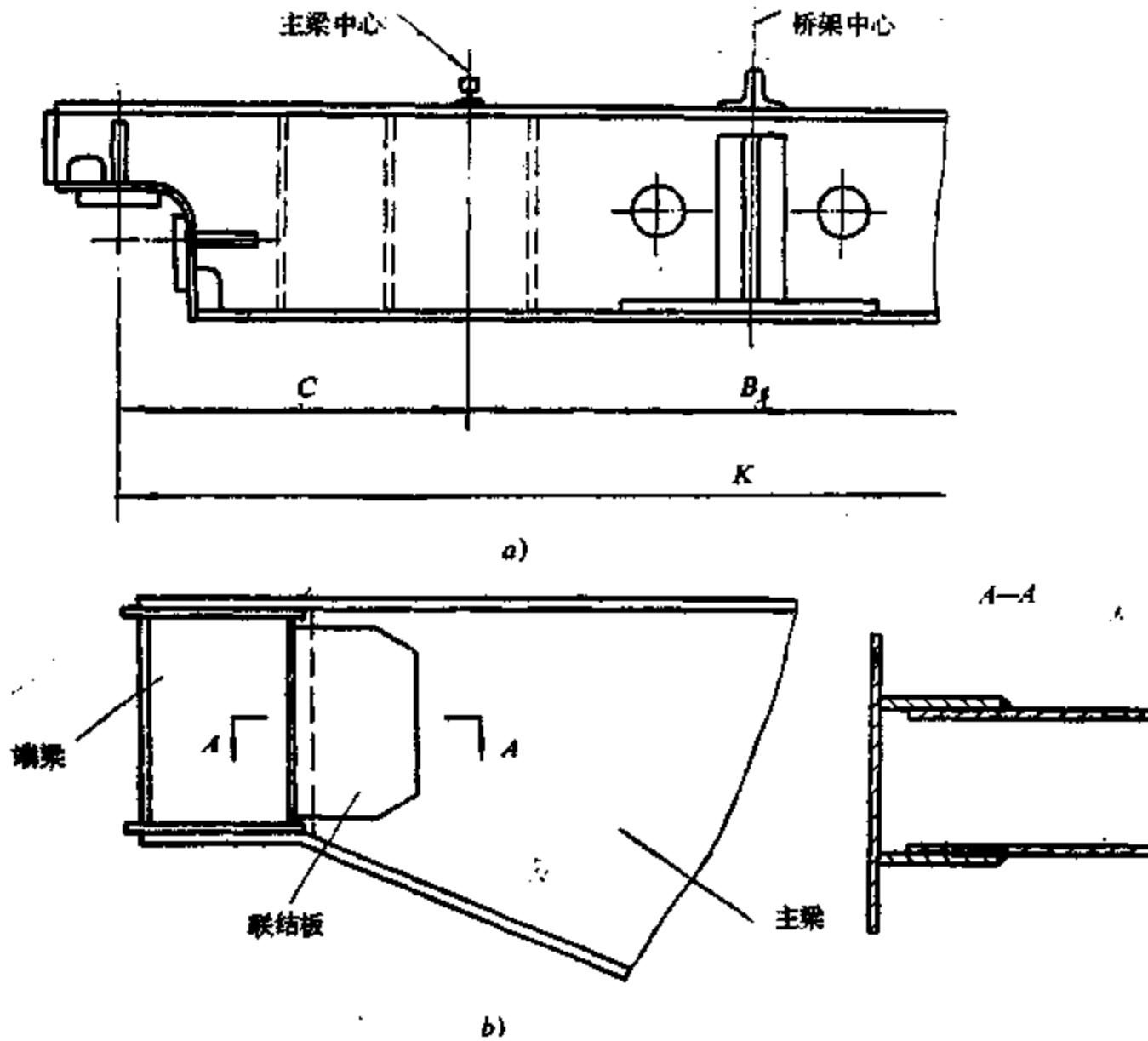


图 4-22 端梁结构及主梁和端梁的连接  
a) 端梁结构； b) 主梁与端梁的连接。

装配小车轨道；  
检查并修理。

#### (8) 门式起重机金属结构的焊接生产

当门式起重机由使用单位自行设计和制造时，常常用外购的电动葫芦作运行小车，所以整个门式起重机的制造变为仅有门架运行机构及金属结构的设计制造，因而比较简单。下面介绍载重量5t，支腿间跨距18m，两悬臂各5m的门式起重机的结构特点，该设计受到一些单位的欢迎。

##### (a) 管形主梁 L 型门式起重机的结构及其主要技术要求

这种门式起重机结构简图如图 4-23 所示。

由图可见这种门式起重机桥架主要由主梁、支腿、横梁及电动葫芦组成。横梁上装有大车运行机构，在地面的轨道上实现桥架的纵向运动。除主梁外，支腿和横梁都是箱形结构，技术要求不难满足。比较复杂的管形主梁的结构如图 4-24 所示，主梁由直径 630mm 壁厚 7mm 的焊接管，厚 10mm 的联结板及工字钢等组成。其主要技术条件是：在 18m 跨度  $L$  内应有  $L/1000$  的上挠，即有 18mm 上挠；两悬臂处上挠度为  $l/500$ ，此处  $l$  为悬臂长，故悬臂上挠 10~11mm；旁弯不得大于  $L/2000$ 。

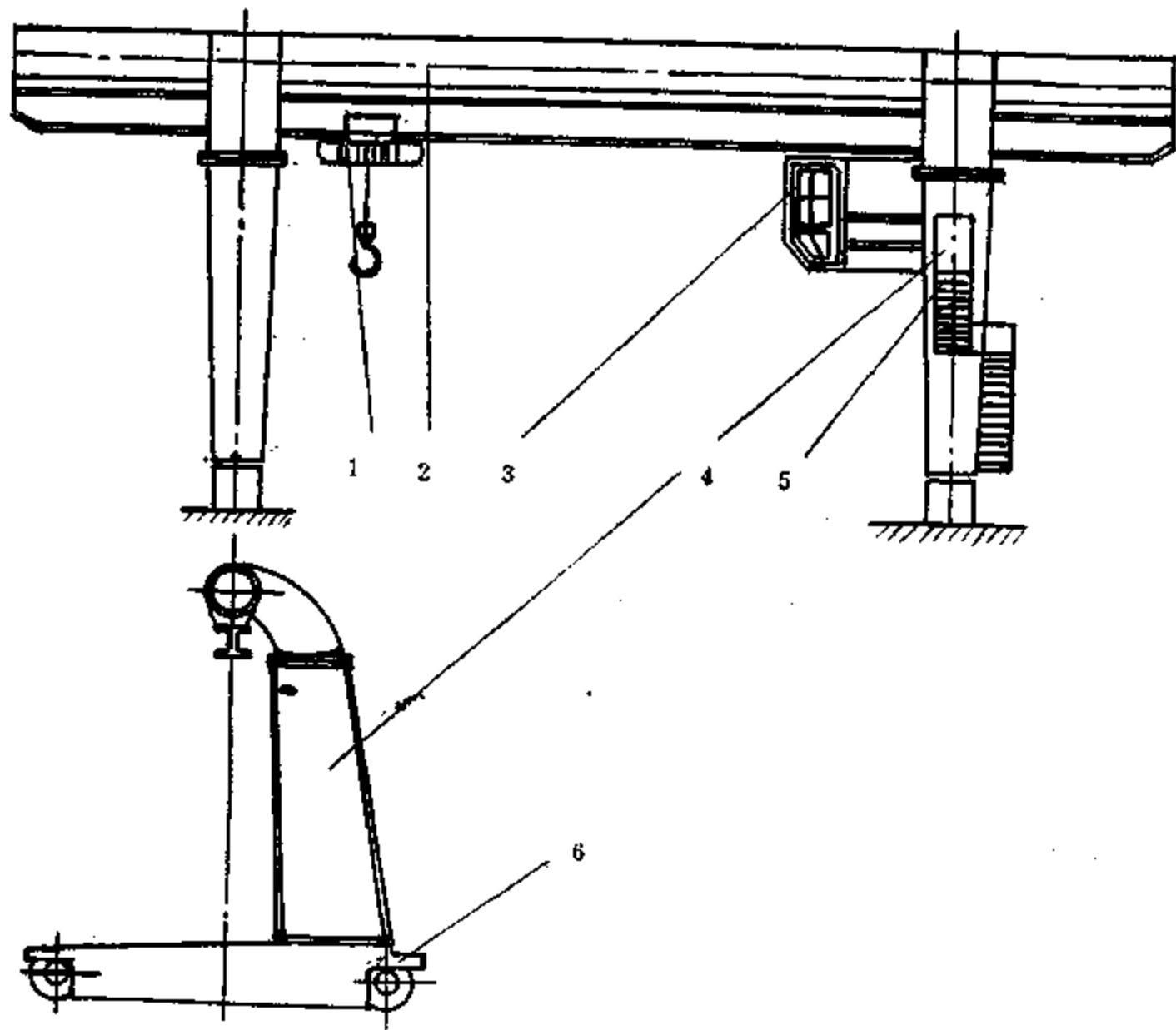


图 4-23 门式起重机简图

1—电动葫芦；2—主梁；3—驾驶室；4—走梯；  
5—支腿；6—横梁。

#### (b) 主梁的工艺分析

由于支腿和横梁易于满足技术条件，故工艺分析集中在保证主梁外形尺寸的要求上。从图 4-24 可见，主梁截面左右对称，因此旁弯要求不难满足。这种主梁有三种施焊次序：①卷焊好的钢管（采用通用焊接煤气钢管）和联结板、工字钢一道装配点定焊后，进行焊接；②先将工字钢用火焰预制上挠，然后装配焊接联结板，最后装配点定焊钢管，焊接钢管与联结板的焊缝。③先焊接钢管与联结板焊缝，再将其装配到已用火焰加工预制好上挠的工字钢上，再焊接联结板与工字钢之间的焊缝。采用方案①很难预制上挠，而更困难的是需要大吨位起重机翻转工件，否则联结板与钢管和工字钢的四条角焊缝必须有两条需要仰焊，这在起重设备不足的现场（如仓库）很困难。方案②在装配联结板之后，焊接联结板和工字钢之间的角焊缝将使预制上挠有所减小。方案③焊接钢管与联结板焊缝，可使钢管联结板部件产生所希望的上挠，而且焊缝可在船形位置施焊。将一段段的分部件往工字钢上装配，工件重量较轻，施工较易。工字钢与联结板的焊缝可在平焊位置施焊，不用搬动工件，而且该焊缝已在梁的总形心之下，只能造成上挠。故最后决定采用方案 (c)。

#### (c) 主梁的焊接生产

因为是单件生产，现场施工，所以采用手工电弧焊。钢管采用焊接煤气管，是外购半成品。大部分筋板（圆管中有两种筋板，一种大于管外径，外部角焊缝连接，一种等于管内

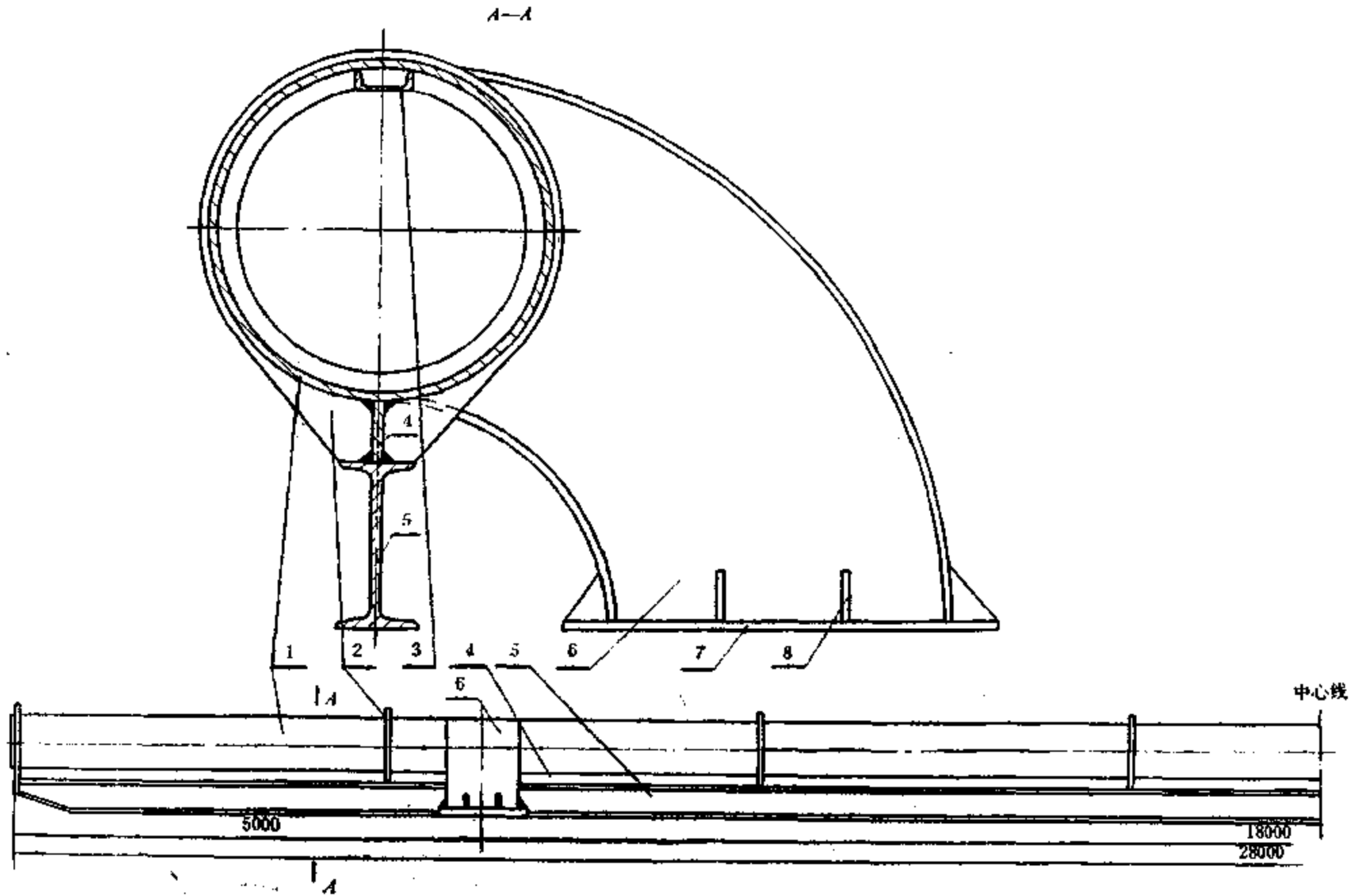


图 4-24 门式起重机管形主梁

1—钢管 ( $\phi 630 \times 7$ )；2—四种筋板；3—槽钢 ([10])；  
4—联结板 ( $\delta = 10\text{mm}$ )；5—工字钢梁 (300号)；6—与  
支腿相联的弯头；7—法兰板；8—三角筋板。

径，与管壁用断续角焊缝连接)是气切下料的。箱形截面两弯头的双腹板(扇形)也是气切下料的，盖板下料后滚圆，然后装配点定，焊接全部角焊缝。矩形法兰盘(板)应与支腿法兰盘(板)一起下料并打孔。

用氧炔焰将工字钢预制出22.5mm上挠，悬臂预制10mm上挠。

在分段钢管上装配点定联结板，在船形位置施焊。(按大于圆管直径的大筋板分段——约4m长)。将预制出上挠度的工字梁平放于地面(中部及两悬臂的上挠度要垫好)，往其上吊装带有联结板的钢管分部件，同时点焊大圆筋板(两悬臂内部的加强槽钢及各分段内与圆管内径相同的小圆筋板已在分段施工时焊好)，手工对称施焊，最后装配焊接弯头。

## 二、焊接柱和桁架

### 1. 焊接拉杆、压杆、桁架和焊接柱的用途及结构特点

拉杆和压杆指构件受轴心拉或压力，或同时受弯矩作用，以及偏心受拉或压的杆件。前者也称轴心拉(或压)杆，后者称拉弯(或压弯)构件。偏心受拉或压的构件实际上也是一

种拉弯（压弯）构件。

桁架和梁一样，受横向弯曲。在大跨度下用桁架作梁具有节省钢材、重量轻、材料得到充分利用的优点。在小载荷大跨度结构上，如用板梁（实腹梁），为保证刚度，梁高较大，但腹板易失稳，并且自重加大。而桁架的刚度大，这种情况下应用桁架十分有利。桁架运输和安装方便，制造时易于控制变形。但桁架节点处均用短焊缝连接，装配费工，难于采用自动化、高效率的焊接方法（大多都采用手工焊），这增加了制造成本。因此一般认为跨度大于30m，载荷较小时，使用桁架是比较经济的。

桁架是由拉杆和压杆组成的。这些杆件的连接点称为节点。若载荷作用在桁架的节点（图4-25 a）则桁架的所有杆件都可作为轴心拉杆或压杆。若节点之间还作用有载荷（图4-25 h），则受到节间载荷作用的那些杆件就属于压弯构件和拉弯构件。

常见桁架是由三角形单元构成的，如图4-25 a）、c）、d）所示。有时采用无斜杆的带刚性节点（一般桁架节点都认为是铰接的）的矩形单元构成，这种桁架结构称为空腹桁架，也叫空腹架（图4-25 b）），其节点需做成能承担弯矩的扩大节点，其杆件也较粗大。

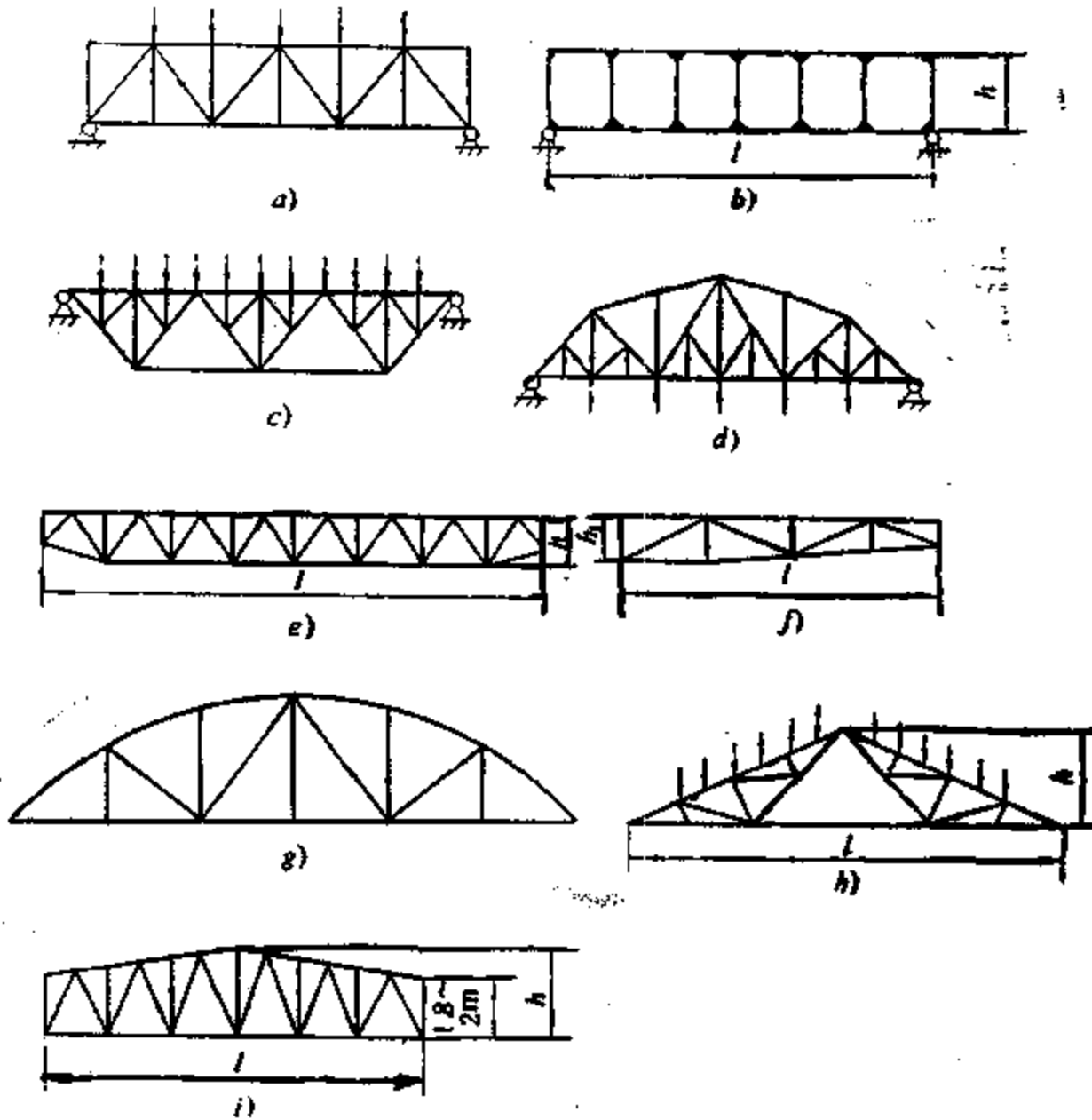


图4-25 桁架

桁架的载荷可以作用在上部（如图4-25 c）），也可作用于下部（图4-25 d））。受力点附近用较短的杆件来制造（又称再分式腹杆）。按桁架杆件位置分弦杆和腹杆两类。弦杆分为上弦和下弦。桁架大多由平行的上下弦杆组成，如用于桥式起重机、装卸桥和桥梁。有时起重机桁架的下弦为鱼腹折线形，如图4-25 e）所示。形成折线的桁架用作屋架、塔式起重机和门式起重机的臂架。塔式起重机的悬臂还可以做成单面坡的，如图4-25 f）所示。大跨

度结构（厅、堂、馆和桥梁）多采用弓形桁架，如图4-25g所示。

屋顶桁架在静载下工作，杆件主要采用轧制的和焊接的封闭截面的型材和管子。这类桁架由成对的角钢组成杆件占了将近90%。这些杆件或直接联结或借助辅助元件焊接成节点，将来有可能采用接触焊来联结成节点。

起重机和桥梁桁架在变载荷下工作，后者常常在露天，低气温下工作，对应力集中很敏感，在设计和制造时需要加以注意。

桁架的用途甚广，除上述主要承受横向载荷的梁类结构之外，还可作机器的骨架，各种支承塔架（如第一章所述的塔桅结构：电视塔、高大钢烟囱的铁塔骨架等）因为高度很大，风载荷不可忽视。这类结构多采用管子类型的杆件来制造。由于这些结构尺寸很大，大大超过铁路运输界限，通常在工厂里分段制造，分段之间用端部法兰在工地安装，采用螺栓联结。海洋石油开发用的钻井平台，桩腿采用大直径管组成的桁架，管子直径可达6.3m，壁厚64mm。它们在特别恶劣的条件下工作（冬季低温、海浪冲击、冰载荷、冲击载荷、海水腐蚀等）。

桁架的主要参数是跨度和高度。起重机桁架的跨度指桥架两轨道之间的距离，桁架弦杆轴线之最大间距为桁架高度。对于屋顶桁架其节间长约1.5~3m，其高 $h = \left(\frac{1}{10} \sim \frac{1}{14}\right) l$ 。

但对于不同形式屋顶桁架该值出入相当大，例如三角形屋架（图4-25h）， $h = \left(\frac{1}{4} \sim$

$\frac{1}{6}\right) l$ ，而对梯形屋架（工业厂房屋架的基本形式） $h = \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{10}\right) l$ 。起重机桁架的上弦

承受小车轮压产生的集中移动载荷，其节间长度为1.5~2.5m，其高度 $h = \left(\frac{1}{18} \sim \frac{1}{12}\right) l$ 。

由于弦杆中内力与高度 $h$ 成反比，故 $h$ 增大，弦杆截面可减小，但腹杆需加长。一个重量增加，一个减小，故总重量决定桁架的经济高度，即最小重量高度由梁高一梁重的函数决定。

据分析，当弦杆总重等于腹杆总重时，可得到经济高度 $h \approx \left(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{12}\right) l$ （对于图4-25e）

平行弦起重机桁架而言）。资料[5]推荐桥式起重机桁架 $h \approx \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{16}\right) l$ ，而装卸桥 $h \approx$

$\left(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{14}\right) l$ 。据经验，当高度与经济高度相差20~30%时，桁架重量变化不大。桁架支承

处的高度由使用要求、支承结构及刚度条件等决定。如悬臂桁架（图4-25f）的支承高

$h_1 \approx \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}\right) l_1$ 。桁架的总高还必须小于运输界限（约3.2m）。

桁架的高度一定要满足刚度条件，故 $h$ 总是在经济高度和刚度条件确定的最小高度之

间。桥梁桁架的跨度较大，其节间尺寸也较其他桁架大得多，要求具有较大刚度，因此 $h \approx$

$\left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{8}\right) l$  [15]。

柱是主要承受压力的构件，广泛用于建筑工程结构和机器结构。例如作为支承梁和桁架等并将载荷传至基础的构件，起重机的臂（支臂）和龙门起重机的支腿、自升式钻井船的桩腿等。

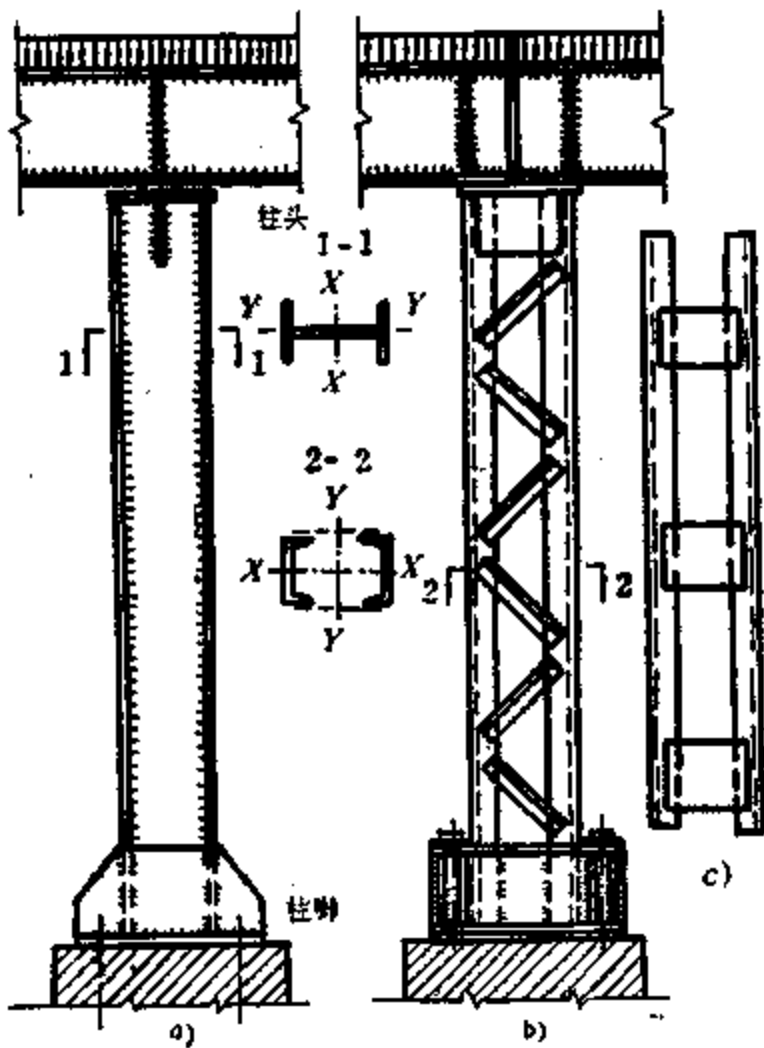


图 4-26 焊接柱

柱的工作性质与压杆没有区别，只是比压杆结构复杂，截面尺寸大。作为独立的结构和构件，柱与压杆一样，分为轴心受压和压弯（包括偏心受压）柱，除强度和刚度要求外，还要具有整体稳定性和局部稳定性。

柱由柱头、柱身和柱脚组成（图 4-26）。柱头承受施加的载荷并传给柱身，它再将载荷传至柱脚、基础。按柱身的构造可分为实腹柱（图 4-26 a）和格构柱（图 4-26 b），后者还分为缀条式和缀板式两种（图 4-26 b 与 c）。柱头按构造分为支承板传力和支托传力。按传力性质分为铰接和半刚接。梁的载荷通过柱顶板传给柱子，顶板厚一般 16~30mm（图 4-23 所示龙门吊车支腿上部矩形法兰盘即柱顶板），通常用角焊缝与柱身联结而梁与柱顶板则用普通螺栓相连，如图 4-27 c 所示。有时梁支承于柱侧（如吊车梁支承在牛腿上），因此柱侧应焊接牛腿（见图 4-27 b、d），用焊接与高强螺栓将梁与柱连接起来。刚性（半刚性）联结能传递部分弯矩。

柱脚也分铰接和刚接两种，如图 4-27 e)、f)、g) 所示。大多是铰接的，柱脚与地基的连接能够传递弯矩则为刚接的，虽无铰，不能传递弯矩不一定是刚接的。水泥基础强度较钢材低得多，所以必须把柱的底部放大，以降低接触压力。底板与基础相连，受力较小时，柱端用角焊缝直接焊在底板上（图 4-27 e），为增加底板抗弯刚度可焊接一些加筋（图 g）。最常用的是靴梁形式的柱脚，柱端通过垂直角焊缝将载荷传给靴梁，靴梁通过水平角焊缝再将载荷传给底板（图 4-27 f）。

## 2. 焊接柱和桁架的设计特点

焊接柱和桁架的设计包括以下内容：

- (a) 选择制造柱和桁架的材料，包括型材和焊接材料，从而确定许用应力 $[\sigma]$ 或材料强度标准值 $\sigma_{fk}$ 、设计强度值 $\sigma_f$ （见第二章）；
- (b) 进行载荷分析和内力的计算；
- (c) 选择柱和桁架的形式与杆件的截面；
- (d) 验算杆件强度和刚度；
- (e) 验算整体稳定和局部稳定；
- (f) 设计细节，包括柱头和柱脚的设计；如为格构柱还有缀条和缀板的设计；如为桁架则包括垫板的布置、节点的构造、焊接连接设计等；
- (g) 绘制柱和桁架的施工图，并提出技术条件。

限于篇幅，本书将主要介绍桁架杆件内力的分析方法，柱与桁架杆件的截面以及强度、刚度和稳定验算的要点，部分细节设计的特点。

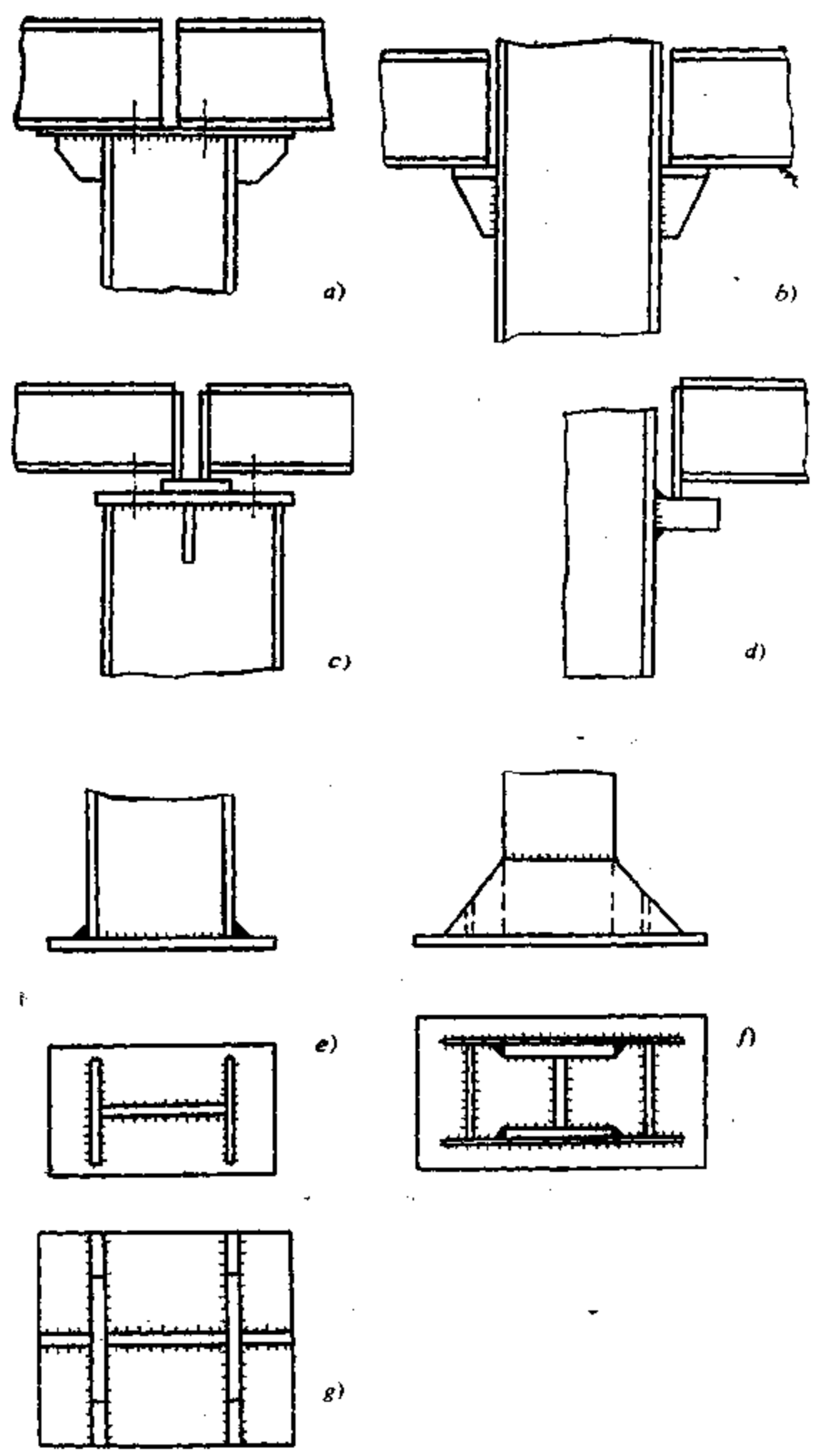


图 4-27 柱头与柱脚

(一) 焊接柱的设计

前面已经提到，柱与压杆在受力性质及计算方法方面并无区别，因此这里所述内容同样适用于压杆。

(a) 截面选择

柱的截面形式很多。如前所述，焊接柱分实腹柱和格构柱，前者柱身由整体截面组成，后者由多个截面组合而成，分为两肢柱、三肢柱和四肢柱（见表 4-17）。根据载荷大小分为



轻型、中型和重型柱；根据荷载通过轴心与否，分为轴心受压柱和压弯柱等。这些都对确定柱的截面有影响。图 4-28 是常用柱的截面形式。在选择确定截面形式时，主要考虑三点，一是面积分布尽量远离轴线，以增大惯性矩和回转半径，提高刚度和柱的整体稳定性；二是两个主轴方向的长细比应尽可能相同，即 $\lambda_x \approx \lambda_y$ ，以充分利用材料；主要便于连接其他构件，简单、省工、省料，型钢种类少等。

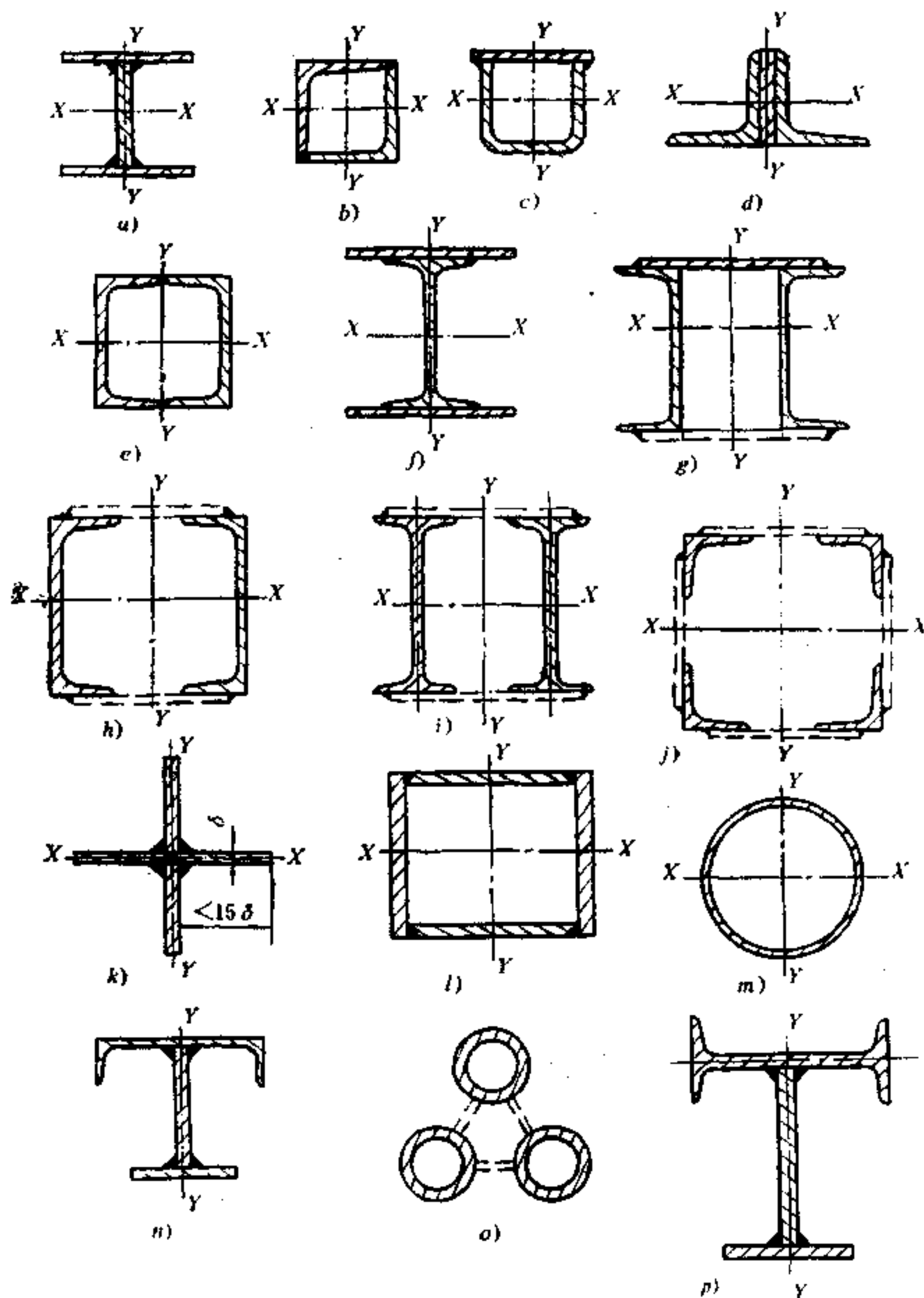
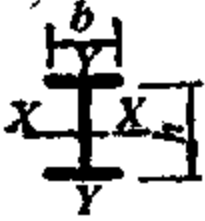



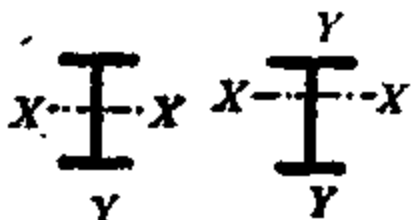
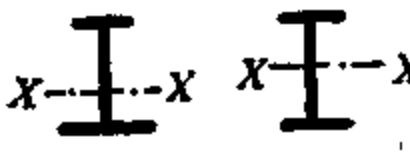
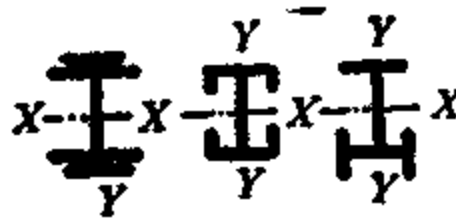
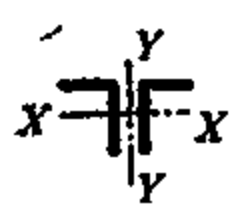



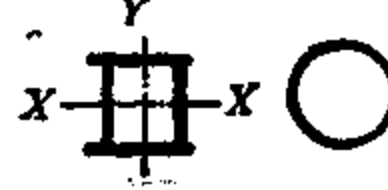
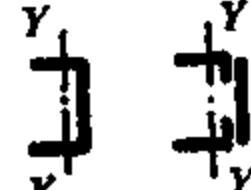
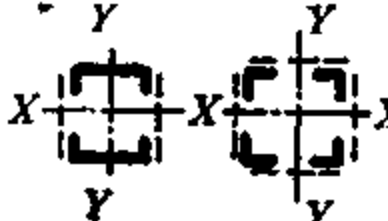
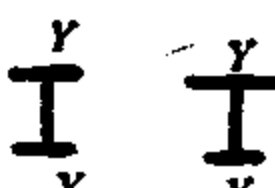
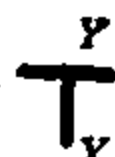
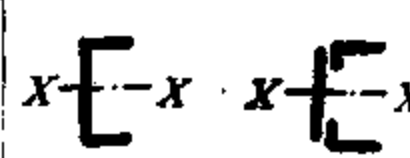


图 4-28 柱的截面形式

轴心受压柱通常选用对称的截面形式。焊接工字钢（图 4-28 a）可以做成双轴对称截面，达到最佳截面特性，且截面组合灵活，分布合理，并可用埋弧自动焊制造。大型柱可用型钢组成工字截面，如图 4-28 f）、n）等，但用料较多一些。十字形柱制造简单，易于

表 4-15 轴心受压杆件的截面分类表

类别	截面形式对应轴	
a 类	 <p>轧制 <math>b/h \leq 0.8</math> 对 X 轴</p>	 <p>轧制 对任意轴</p>
	 <p>轧制 <math>b/h \leq 0.8</math> 对 Y 轴</p>	 <p>轧制 <math>b/h &gt; 0.8</math> 对 X、Y 轴</p>
b 类	 <p>焊接盖板（翼板）边为火焰切割对 X、Y 轴</p>	 <p>焊接盖板为轧制、剪切边对 X 轴</p>
	 <p>焊接 对 X、Y 轴</p>	 <p>轧制 对 X、Y 轴</p>
	 <p>轧制 对 X、Y 轴</p>	 <p>轧制或焊接 对 X 轴</p>
	 <p>轧制（等边角钢） 对 X、Y 轴</p>	 <p>焊接 对任意轴</p>
	 <p>轧制或焊接 对 Y 轴</p>	 <p>格构式 对 X、Y 轴</p>
	 <p>焊接、盖板（翼板）为轧制或剪切边对 Y 轴</p>	 <p>轧制或焊接 对 Y 轴</p>
	 <p>轧制或焊接对 X 轴</p>	<p>无任何对称截面</p> <p>板件厚 <math>&gt; 40\text{mm}</math>，焊接实腹截面，对任意轴</p>
c 类		

实现等稳定性要求，而且在同样截面积时，比工字截面刚度大（图K）；圆形或箱形截面（图中l）和m）两个方向的回转半径可以相等或接近，抗扭刚度大，但和其他构件连接（指圆截面）困难一些。其他封闭截面，如b），是两角钢组成的，c）是钢板和冲压件组成的，e）是两槽钢组成的等，它们都有结构紧凑，刚度大和外形美观等优点。当偏心受压时，受载较大的压弯柱可用型钢、钢板等做成非对称截面形式，如图d）、n）所示，还可用工字钢拼成。

格构柱常用角钢（图4-28j）、槽钢（图4-28h）、工字钢（图4-28i）以缀条或缀板连接而成。每个构件截面为一个柱肢，柱肢间距可以调整，能做到等稳定性要求，截面比较经济，但制造较费工。轴心受压格构柱常做成具有两个对称轴形式（如图4-28h）、i）、j）；偏心受压柱的截面还可做成具有一个对称轴的形式（如图g），它是铁路油槽车底架中梁的截面）。

采用工字钢作柱肢适于大载荷的柱。受载较小而长细比大的柱宜用角钢作柱肢，槽钢作柱肢（如图h）布置较好，外形整齐，刚度大。柱肢间采用缀条连接的刚度较缀板连接的好一些。缀条多用角钢，并成三角形布置（图4-26）。大型柱也有用槽钢作缀条的。缀板采用钢板。缀板格构柱外形整齐，适于载荷较小的柱。

柱主要承受压力，有时也承受弯矩和剪力甚至承受扭矩。柱可以是全长等截面的，也可以是变截面的，目的是做到等强、节省钢材并满足构造要求。

(b) 初步确定截面形式

在选定截面形式，已知载荷（如轴力N）、确定材料及两轴方向的计算长度 $l_{0x}$ 和 $l_{0y}$ 后，即可初步确定截面形式。

对于轴心受压实腹柱和格构柱，按整体稳定条件来确定截面尺寸，步骤如下：

a) 假定长细比 $\lambda$ 。初步计算时可在50~100范围内选取。如轴心受压、 $N \leq 1500\text{kN}$ 时取 $\lambda = 80 \sim 100$ ； $N \geq 3000\text{kN}$ 时取 $\lambda = 50 \sim 70$ ； $N$ 不大时，甚至可取 $\lambda = 120$ 。根据 $\lambda$ 查附录三可得到受压构件的稳定系数 $\Phi$ （表中a、b、c类截面分类可按表4-15，由所选截面形式决定），按下式初定截面面积

$$A = \frac{N}{\Phi \cdot \sigma_f} \quad (4-64)$$

所需回转半径

$$r_x = \frac{l_{0x}}{\lambda}; \quad r_y = \frac{l_{0y}}{\lambda} \quad (4-65)$$

式中  $\lambda$  —— 初选长细比。也可以初选稳定系数 $\Phi = 0.6 \sim 0.7$ ，再反算 $\lambda$ ；

$N$  —— 轴心压力；

$\Phi$  —— 由 $\lambda$ 查表得到的稳定系数；

$\sigma_f$  —— 钢材的抗压设计强度；

$A$  —— 杆件所需截面积；

$l_{0x}, l_{0y}$  —— 杆件计算长度 $l_0 = \mu l$ ， $l$

为柱（杆件）几何长度， $\mu$ 为依两端支承情况决定的长度系数，如图4-29所示。

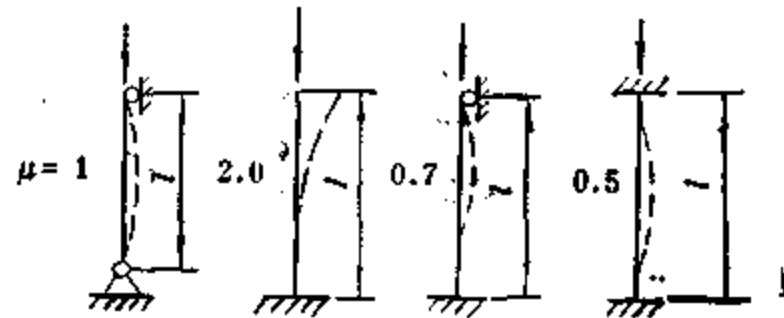


图4-29 柱的长度系数

b) 在已确定回转半径，并选定截面形式条件下，可查表4-16决定外廓尺寸 $b$ 和 $h$ 。

c) 由截面积 $A$ 及外廓尺寸 $b, h$ 和初选截面形式，考虑构造要求，局部稳定及现有钢

材规格等，确定截面所有尺寸。

d) 对于格构柱按实轴的整体稳定条件，采用与以上相同步骤，确定柱肢件截面的所有尺寸；然后以对虚轴整体稳定条件（即使实轴和虚轴有等稳定性）来决定肢间距离。使柱整体对实轴的长细比 $\lambda_x$ 等于对虚轴换算长细比 $\lambda_{0y}$ ，即 $\lambda_x = \lambda_{0y}$ （假定 $x$ 为实轴， $y$ 为虚轴）。再由 $\lambda_{0y}$ 按表4-17中表达式解出柱对虚轴长细比 $\lambda_y$ ，之后可由式（4-65）决定 $r_y$ ，由表4-16查得柱子尺寸 $b$ 。

表4-16 各组合截面对各轴回转半径与外形尺寸近似关系

	$r_x = 0.30h$ $r_y = 0.90b$ $r_z = 0.195h$		$r_x = 0.21h$ $r_y = 0.21b$ $r_z = 0.185h$		$r_x = 0.43h$ $r_y = 0.24b$		$r_x = 0.44h$ $r_y = 0.32b$
	$r_x = 0.30h$ $r_y = 0.215b$		$r_x = 0.45h$ $r_y = 0.24b$		$r_x = 0.38h$ $r_y = 0.60b$		$r_x = 0.44h$ $r_y = 0.38b$
	$r_x = 0.32h$ $r_y = 0.20b$		$r_x = 0.40h$ $r_y = 0.21b$		$r_x = 0.38h$ $r_y = 0.44b$		$r_x = 0.40h$ $r_y = 0.24b$
	$r_x = 0.28h$ $r_y = 0.24b$		$r_x = 0.43h$ $r_y = 0.43b$		$r_x = 0.32h$ $r_y = 0.58b$		$r_x = 0.32h$ $r_y = 0.19b$
	$r_x = 0.29h$ $r_y = 0.29b$		$r_x = 0.42h$ $r_y = 0.22b$		$r_x = 0.32h$ $r_y = 0.40b$		$r = 0.35d$

对于压弯实腹柱，其荷载除轴心压力  $N$  外，还有弯矩  $M$ 。在确定材料、选择截面形式、确定构件计算长度  $l_{0x}$  和  $l_{0y}$  之后，按以下步骤决定截面全部尺寸：

a) 假定长细比  $\lambda_x$ ，则由式 (4-65) 可计算得  $r_x = l_{0x} / \lambda_x$ ；

b) 由已选截面形式及  $r_x$  查表 4-16，决定外廓尺寸  $h$ ；

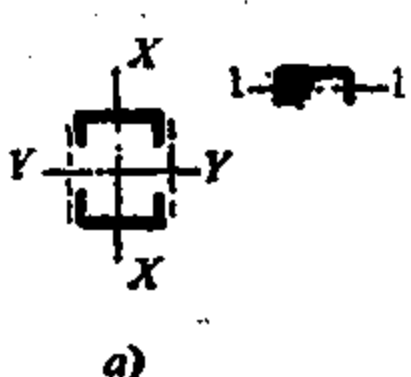
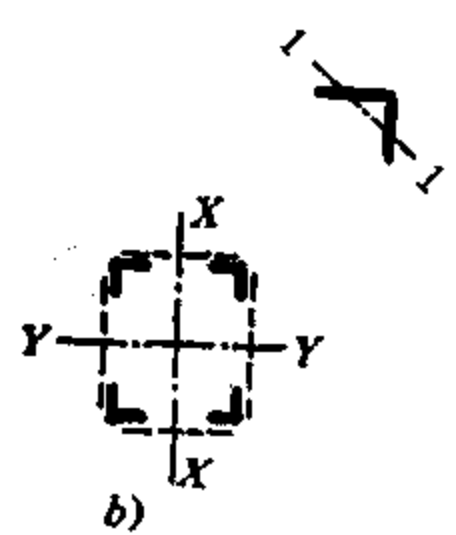
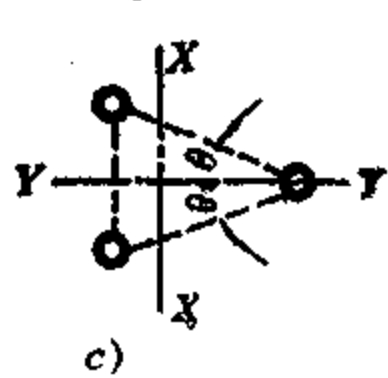
c) 确定柱的截面积  $A$ 。根据钢结构规范 [13]，满足实腹式压弯构件的整体稳定条件，弯矩作用平面内稳定式计算公式为

$$\frac{N}{\Phi A} + \frac{\beta_m M}{\gamma W_1 (1 - 0.8N/N_E)} \leq \sigma_f \quad (4-66)$$

则

$$A = \frac{N}{\sigma_f} \left( \frac{1}{\Phi} + \frac{A}{W_1} \frac{\beta_m M}{N\gamma(1 - 0.8N/N_E)} \right) \quad (4-67)$$

表 4-17 格构式构件的换算长细比  $\lambda_0$  的计算公式

构件截面形式	缀材类别	计算公式
 <p>a)</p>	缀板	$\lambda_{0Y} = \sqrt{\lambda_Y^2 + \lambda_1^2}$
	缀条	$\lambda_{0Y} = \sqrt{\lambda_Y^2 + 27 \frac{A}{A_{1Y}}}$
 <p>b)</p>	缀板	$\lambda_{0x} = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_1^2}$ $\lambda_{0Y} = \sqrt{\lambda_Y^2 + \lambda_1^2}$
	缀条	$\lambda_{0x} = \sqrt{\lambda_x^2 + 40 \frac{A}{A_{1X}}}$ $\lambda_{0Y} = \sqrt{\lambda_Y^2 + 40 \frac{A}{A_{1Y}}}$
 <p>c)</p>	缀条	$\lambda_{0x} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{42A}{A_1 \cos^2 \theta}}$ $\lambda_{0Y} = \sqrt{\lambda_Y^2 + \frac{42A}{A_1 (1.5 - \cos^2 \theta)}}$

式中  $N$ 、 $M$ ——轴心压力、弯矩；

$\Phi$ ——构件在弯矩作用平面内、轴心受压稳定系数，即 $\Phi_x$ ，在初选 $\lambda_x$ 后查附录三可得 $\Phi_x$ ；

$N_E$ ——欧拉临界力， $N_E = \pi^2 EA / \lambda^2 = \pi^2 EJ_x / l_0^2$ ；

$\beta_m$ ——构件的等效弯矩系数；当弯矩作用平面内，端部有侧移的构件及悬臂构件时 $\beta_m = 1.0$ ；弯矩作用平面内，端部无侧移的两端支承构件：①无横向载荷作用时 $\beta_m = 0.65 + 0.35(M_1/M_2)$ ， $M_1$ 和 $M_2$ 是作用于两端的弯矩，产生同向曲率时取同号，反之取异号，且 $|M_2| \geq |M_1|$ ；②只有横向均布载荷或几个横向集中载荷作用的无端弯矩的构件 $\beta_m = 1.0$ ；

③只有一个跨中横向载荷作用且无端弯矩的构件 $\beta_m = 1.0 - 0.2 \frac{N}{N_E}$ ；④当有横向载荷和端弯矩同时作用，构件反向弯曲时 $\beta_m = 0.85$ ，构件同向弯曲时 $\beta_m = 1.0$ ；

$W_1$ ——弯矩作用平面内，最大受压纤维的毛截面拉弯截面模数（抵抗矩）；

$\gamma$ ——截面塑性发展系数，可查附录三。

$$\text{式(4-67)中 } \frac{A}{W} = \frac{A}{J_x} \times \frac{h}{2} = \frac{h}{2r_x^2}$$

d) 确定抵抗矩， $W = 2Ar_x^2/h$ ；

e) 确定宽度 $b$ 。根据在弯矩作用平面外整体稳定条件，实用计算公式如下<sup>[13]</sup>：

$$\frac{N}{\Phi_y A} + \frac{\beta'_m M}{\Phi_b W_1} \leq \sigma_f \quad (4-68)$$

则

$$\Phi_y = \frac{N}{A \left( \sigma_f - \frac{\beta'_m M}{\Phi_b W_1} \right)} \quad (4-68)'$$

式中  $\Phi_b$ ——受弯构件的整体稳定系数，对工字钢和T形截面按附录二选用，对箱形截面取 $\Phi_b = 1$ ；

$\Phi_y$ ——构件在弯矩作用平面外的轴心受压稳定系数；

$\beta'_m$ ——等效弯矩系数。当弯矩作用于平面外有支承的构件，应根据两支承点间构件的载荷及内力情况确定；构件不受横向载荷作用时， $\beta'_m = 0.65 + 0.35(M_1/M_2)$ ，但 $\beta'_m$ 不得小于0.4， $M_1$ 、 $M_2$ 是构件在弯矩作用平面内的端弯矩（与式(4-67)一样处理）；构件有端弯矩和横向载荷作用时，使构件产生同向曲率的 $\beta'_m = 1.0$ ，使构件产生反向曲率的 $\beta'_m = 0.85$ ；构件段内无端弯矩，但有横向载荷作用时 $\beta'_m = 1.0$ ；悬臂构件的 $\beta'_m = 1.0$ ；

其他符号意义同式(4-67)。

由式(4-68)'计算得 $\Phi_y$ ，则查得 $\lambda_y$ ，并由 $r_y = l_{0y}/\lambda_y$ ，可由表4-16查得 $b$ ；

f) 根据 $A$ 、 $h$ 、 $b$ 确定截面所有尺寸，由于 $\beta_m$ 、 $N_E$ 、 $\Phi_b$ 等涉及待求量，所以仍要作近似估计，如近似取 $\beta_m/\gamma(1 - 0.8N/N_E) \approx 1$ ，选出截面再做调整。

(c) 截面验算

(d) 强度验算

对轴心受压柱

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq \sigma_f \quad (4-69)$$

式中  $A_n$ ——柱（压杆）的净截面积，对格构柱不应计入缀板或缀条的截面积；

$N$ ——轴心压力；

$\sigma_f$ ——钢材抗压设计强度（见表 2-4）。

对压弯实腹柱

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M}{\gamma W_n} \leq \sigma_f \quad (4-70)$$

式中  $A_n$ 、 $W_n$ ——为净截面积和净抗弯截面模量；

$\gamma$ ——截面塑性发展系数，直接承受动力荷载时， $\gamma = 1$ ，其余情况可由附录二查得。

但当  $M$ 、 $N$  的取值和整体稳定验算取值相同，且截面无削弱时，不必进行强度验算。

b) 整体稳定验算

对轴心受压柱有

$$\frac{N}{\Phi A} \leq \sigma_f$$

应同时验算两个主轴方向的整体稳定性。格构柱应按实轴和虚轴进行，在对虚轴作整体稳定验算时， $\Phi$  应根据换算长细比  $\lambda_{0y}$  查出。将格构柱在两缀条（缀板）节点之间的每个柱肢都视为单独轴心受压实腹杆件，将缀条之节点间距作为计算长度  $l_{01}$ （或缀板间净距）。由单肢最小回转半径  $r_1$  计算得其长细比  $\lambda = l_{01}/r_1$ 。使  $\lambda_1$  不大于整个构件最大长细比  $\lambda_{max}$  的 0.7 倍（ $\lambda_{max}$  为  $\lambda_x$  和  $\lambda_{0y}$  中较大者）对于缀板柱，由于失稳时单肢会受弯， $\lambda \geq 40$ ，且  $\geq \lambda_{max}$  的 0.5 倍（当  $\lambda_{max} < 50$  取  $\lambda_{max}$  为 50）；

对压弯实腹柱 在弯矩作用平面内有式（4-66），对于单轴对称截面，若两翼面积相差较大，则当偏心位于较大翼一边时，还应符合下式

$$\left| -\frac{N}{A} + \frac{\beta_m M}{\gamma W_2 (1 - 1.25N/N_E)} \right| \leq \sigma_f \quad (4-71)$$

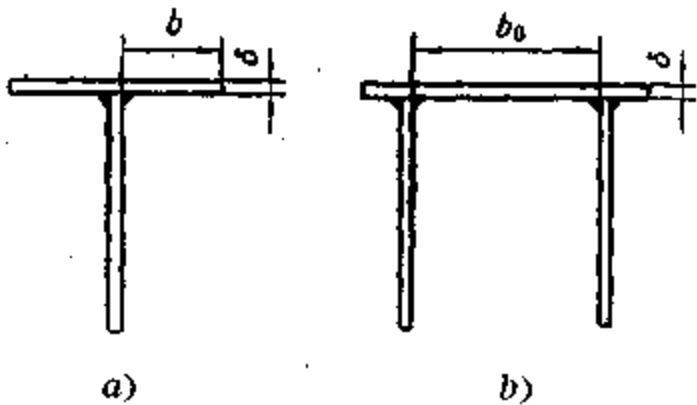


图 4-30 轴心受压件翼板尺寸

式中  $W_2$ ——弯矩作用平面内，较小翼的最外纤维毛截面抵抗矩；其他符号同式（4-66）。

在弯矩作用平面外用式（4-68）进行验算。

c) 局部稳定验算

对轴心受压柱要进行翼板（盖板）外伸部分局部稳定验算，与梁盖板局部稳定条件类似有

$$(b/\delta) \leq (10 + 0.1\lambda) \sqrt{235/\sigma_s} \quad (4-72)$$

式中  $b$ ——翼板自由外伸宽度（见图 4-30a）；

$\delta$ ——翼板厚度；

$\lambda$ ——构件最大长细比，当  $\lambda < 30$  时，取  $\lambda = 30$ ； $\lambda > 100$  时，取  $\lambda = 100$ ；

$\sigma_s$ ——钢材屈服限。

对于箱形截面有

$$(b_0/\delta) \leq 40 \sqrt{235/\sigma_s} \quad (4-73)$$

式中  $b_0$ ——箱形截面两腹板间宽度（图 4-30b），其他符号与式（4-72）相同。

轴心受压柱的腹板，对于工字形截面有

$$(h_f/\delta_f) \leq (25 + 0.5\lambda) \sqrt{235/\sigma_s} \quad (4-74)$$

式中  $h_f$  ——腹板计算高；

$\delta_f$  ——腹板厚度，其余符号同式(4-72)。

对于箱形截面仍用式(4-73)，只是将  $b_0$ ， $\delta$  换成  $h_f$ ， $\delta_f$ 。

如果此项要求不能满足，则可用加厚腹板（不一定经济）、增加纵向加筋等办法解决。

对于轴心受压圆管截面局部稳定的规定：

$$(D/\delta) \leq 100(235/\sigma_s) \quad (4-75)$$

式中  $D$  ——圆管管径；

$\delta$  ——圆管壁厚。

对于实腹式压弯柱，其工字形截面翼板局部稳定验算与工字梁相同，即

$$(b/\delta) \leq 15 \sqrt{235/\sigma_s} \quad (4-76)$$

对箱形截面两腹板之间的翼板仍用式(4-73)进行验算。

工字形截面腹板局部稳定验算按规范有

$$(h_f/\delta_f) \leq [16\alpha_0 + 0.5\lambda + 25] \sqrt{235/\sigma_s} \quad (4-77)$$

$$\text{和} \quad (h_f/\delta_f) \leq [48\alpha_0 + 0.5\lambda + 26.2] \sqrt{235/\sigma_s}$$

式中  $\alpha_0 = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/\sigma_{max}$

$\sigma_{max}$  ——腹板计算边缘最大压应力；

$\sigma_{min}$  ——腹板计算高度另一边相应应力，压应力冠正号，拉应力冠负号，当  $0 \leq \alpha_0 \leq 1.6$  时用第一式， $1.6 \leq \alpha_0 \leq 2$  时用第二式；

$\lambda$  ——构件在弯矩作用平面内的长细比，当  $\lambda < 30$  取  $\lambda = 30$ ；当  $\lambda > 100$  取  $\lambda = 100$ 。

对箱形截面双腹板， $h_f/\delta_f$  不应大于按式(4-77)算得值的0.8倍；当式(4-77)计算结果小于式(4-73)时， $h_f/\delta_f$  不应大于式(4-73)结果。不符合上述要求时，腹板需加固，与轴心受压杆（柱）相同。

d) 刚度的验算

按规范规定，柱的长细比应小于许用长细比  $[\lambda]$ ，即有

$$\lambda_{max} = \left( \frac{l_0}{r} \right)_{max} \leq [\lambda] \quad (4-78)$$

式中  $\lambda_{max}$  ——柱的最大长细比， $l_0$  为计算长度， $l_0 = \mu l$ ， $r$  为回转半径；

$[\lambda]$  ——许用长细比，由附录三查得。

对于压弯柱，当弯矩绕虚轴作用时，应取换算长细比来验算。

e) 格构柱的缀条和缀板的设计

格构柱的缀条和缀板受力情况不易确定，设计时可以估计柱挠曲产生的剪力，由剪力设计缀条和缀板。按规范规定，（对于各钢号）剪力按下式求得：

$$Q = \frac{A\sigma_s}{85} \sqrt{\frac{\sigma_s}{235}} \quad (4-79)$$

式中  $A$  ——构（柱）件全部肢件毛截面积；其他符号同前。

缀条的内力与桁架腹杆一样计算。

缀板使格构柱形同多层刚架。格构柱挠曲使缀板受剪力和端部弯矩；



$$Q_b = Q_1 \frac{a}{c} \quad (4-80)$$

$$M_b = Q_1 \frac{a^2}{2c} \quad (4-81)$$

式中  $Q_1$  ——作用在一个缀板上的剪力；  
 $a$  ——缀板中心间的距离（图 4-31 b）；  
 $c$  ——肢件轴线间的距离。

缀板强度及连接缀板与肢件的角焊缝的强度应按承受上述载荷计算，且缀板沿柱轴方向的宽度  $b_b$  不应小于  $2c/3$ ；厚度不应小于  $c/40$ ，且  $\geq 6 \text{ mm}$ 。

#### f) 有关构造的规定

当实腹柱腹板计算高度  $h_f$  与厚度  $\delta_f$  之比大于 80 时，应设置横向加筋，该加筋间距不得大于  $3h_f$ ，加筋外伸宽度  $b_f \geq (h_f/30) + 40 (\text{mm})$ ；厚度  $\delta_f \geq \frac{1}{15} b_f$ ，即和工字梁横向加筋一样（图 4-31 a）。

工字钢截面以外的实腹柱应在受有较大水平力处、运输单元的端部及其他需要处设置横隔，其间距不得大于柱截面较大宽度的 9 倍，也不得大于 8 m。对于宽大的实腹压弯柱，每隔 4 ~ 6 m 设置横隔；格构柱也同样设置横隔，如图 4-31 b) ~ d) 所示。横隔可用钢板或角钢做成。

#### (D) 计算示例

a) 如图 4-32 a) 所示，两端为铰接的柱，压力  $N = -940 \text{ kN}$ ，选取柱的材料为 16Mn 钢（查表 2-4  $\sigma_f = 315 \text{ MPa}$ ），截面为工字形，试设计柱的截面。

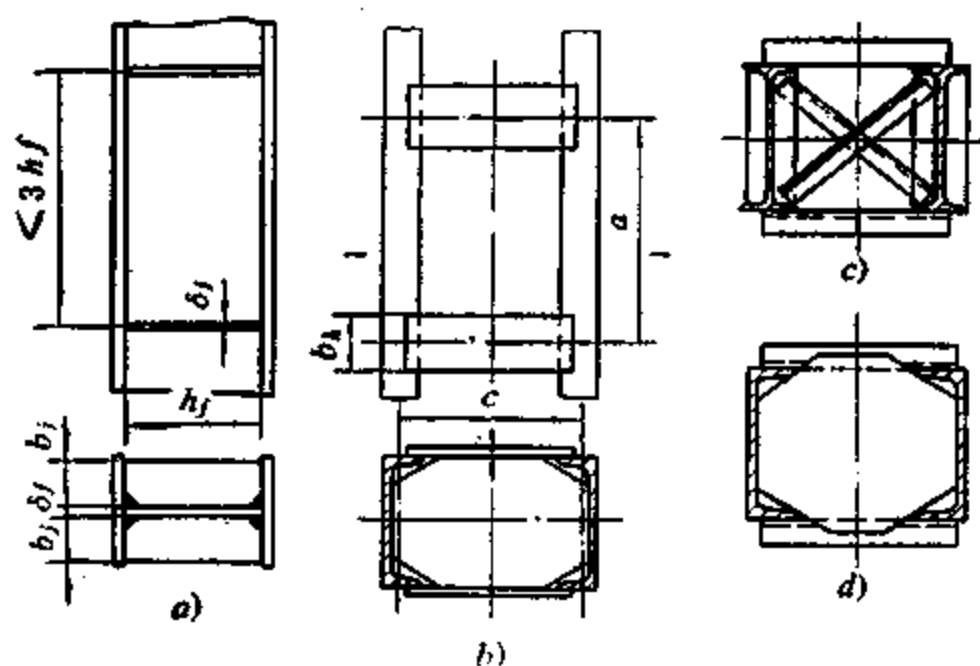


图 4-31 柱的加筋、缀板和隔板

初选  $\Phi = 0.6$ ，则由式 (4-64) 可得所需截面积

$$A = \frac{N}{\Phi \cdot \sigma_f} = \frac{940 \times 10^3}{0.6 \times 315} = 49.74 \text{ cm}^2$$

查表 4-15，该钢板火焰切割，拼焊，属 b 类；查附录三附表 3-5，由 16Mn 钢，b 类得  $\lambda = 70.7$ （对应  $\Phi = 0.599$ ）。

所需回转半径

$$r_x = r_y = \frac{l_{ox}}{\lambda} = \frac{l_{oy}}{\lambda} = \frac{\mu l}{\lambda} = \frac{1 \times 8 \times 10^2}{70.7} = 11.32 \text{ (cm)}$$

查表 4-16 可得

$$h = \frac{r_x}{0.43} = \frac{11.32}{0.43} \approx 26.33 \text{ (cm)}$$

$$b = \frac{r_y}{0.24} = \frac{11.32}{0.24} \approx 47.17 \text{ (cm)}$$

选用尺寸

腹板  $250 \times 8$  (mm); 翼板  $300 \times 10$  (mm), 2 块。

截面几何性质计算

截面积  $A = 25 \times 0.8 + 2 \times 30 \times 1 = 80 \text{ (cm}^2\text{)}$

惯性矩  $J_x = \frac{1}{12} (0.8 \times 25^3 + 2 \times 1^3 \times 30) + (2 \times 30 \times 1 \times 13^2) = 11186.7 \text{ (cm}^4\text{)}$

$$J_y = \frac{1}{12} (2 \times 1 \times 30^3 + 25 \times 0.8^3) = 4501.1 \text{ (cm}^4\text{)}$$

最小惯性半径  $r_y = \sqrt{J_y/A} = \sqrt{4501.1/80} = 7.5 \text{ (cm)}$

最大柔度 (长细比)

$$\lambda_{max} = l_0/r_y = 8 \times 10^2/7.5 \approx 106.7$$

查附录三附表 3-7

$$\Phi = 0.389$$

截面验算 因截面无削弱, 强度可不验算。

整体稳定验算 按  $\Phi = 0.389$  则有

$$\sigma = \frac{N}{\Phi \cdot A} = \frac{940 \times 10^3}{0.389 \times 80 \times 10^2} = 302.1 \text{ MPa} < \sigma_f$$

局部稳定验算

翼板  $\frac{b}{\delta} = \frac{146}{10} = 14.6 < (10 + 0.1\lambda) \sqrt{\frac{235}{\sigma_s}}$

$$= (10 + 0.1 \times 100) \sqrt{\frac{235}{345}} = 16.5$$

腹板  $\frac{h_f}{\delta_f} = \frac{250}{8} = 31.25 < (25 + 0.5\lambda) \sqrt{\frac{235}{\sigma_s}}$

$$= (25 + 0.5 \times 100) \sqrt{\frac{235}{345}} = 41.3$$

刚度验算 由附录三查得许用长轴比  $[\lambda] = 150$ ,

$$\lambda_{max} = 106.7 < [\lambda]$$

b) 压弯柱, 如图 4-32b), 两端铰支, 受有中心压力  $N_1 = 1000 \text{ kN}$ , 偏心压力  $N_2 = 50 \text{ kN}$ , 偏心距离  $e = 0.6 \text{ m}$ , 材料为 A3 钢 ( $\sigma_s = 240 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_f = 215 \text{ MPa}$ ) 选定截面为箱形, 试设计该柱。

载荷计算

轴力  $N = N_1 + N_2 = 1000 + 50 = 1050 \text{ (kN)}$

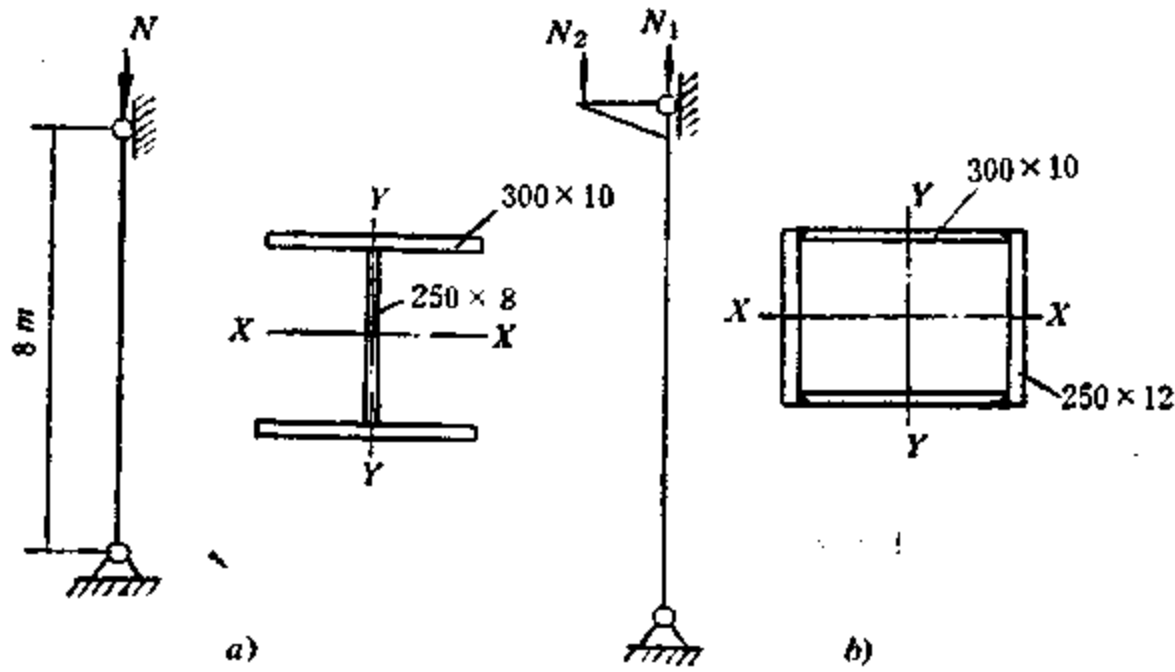


图 4-32 柱的计算实例

弯矩  $M = N_2 \cdot e = 50 \times 0.6 = 30 (\text{kN} \cdot \text{m}) = 30 \times 10^5 (\text{N} \cdot \text{cm})$

初选截面

设弯矩平面内  $\lambda_y = 65$ , 由附录三附表 3-2 查得  $\Phi_y = 0.780$ , 则  $r_y = l_{0y} / \lambda_y = 10 \times 10 / 65 = 15.38 (\text{cm})$

查表 4-16 可得  $b = \frac{r_y}{0.40} = \frac{15.38}{0.40} \approx 38.45 (\text{cm})$ ,

则  $A/W_y = b/2r_y^2 = \frac{38.45}{2 \times 15.38^2} = 0.0813 (1/\text{cm})$

则由式 (4-67)

$$A = \frac{N}{\sigma_f} \left( \frac{1}{\Phi_f} + \frac{A}{W_f} \frac{\beta_m M}{N \gamma (1 - 0.8N/N_E)} \right)$$

假定  $\beta_m / [\gamma (1 - 0.8N/N_E)] = 1$

则有  $A \approx \frac{1050 \times 10^3}{215} \left( \frac{1}{0.780} + 0.0813 \frac{30 \times 10^5}{1050 \times 10^3} \right)$   
 $\approx 73.96 (\text{cm}^2)$

$$W_y = 2Ar_y^2/b = 2 \times 73.96 \times 15.38^2 / 38.45 = 909.94 (\text{cm}^3)$$

设弯矩平面外长细比  $\lambda_x = 80$ , 查附表 3-2 得  $\Phi_x = 0.688$

则  $r_x = \frac{l_{0x}}{\lambda_x} = \frac{10 \times 10^2}{80} = 12.5 (\text{cm})$

查表 4-16 可得  $h = \frac{12.5}{0.40} = 31.25$

选截面构成为 2 块  $38 \times 1$  ( $b = 38.45$ )

2 块  $30 \times 1$  ( $h = 31.25$ )

初算面积  $A = 38 \times 2 + 30 \times 2 = 136 (\text{cm}^2)$

与计算面积  $A (73.96 \text{cm}^2)$  相差太大, 需作一次调整, 调整后选 2 块腹板  $30 \times 1 (\text{cm})$  和 2 块翼板  $25 \times 1.2 (\text{cm})$  如图 4-32b)。

### 截面几何性质计算

$$A = 30 \times 1 \times 2 + 25 \times 1.2 \times 2 = 120 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$J_y = \frac{1}{12} \times 1 \times 30^3 \times 2 + \frac{1}{12} \times 25 \times 1.2^3 \times 2 + 25 \times 1.2 \times 15.6^2 \times 2$$

$$= 19108.8 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$J_x = \frac{1}{12} \times 1.2 \times 25^3 \times 2 + \frac{1}{12} \times 30 \times 1^3 \times 2 + (30 \times 1) \times 12^2 \times 2$$

$$= 11770 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{19108.8}{120}} = 12.62 \text{ (cm)}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{11770}{120}} = 9.90 \text{ (cm)}$$

$$W_y = \frac{2J_y}{b} = \frac{2 \times 19108.8}{32.4} = 1179.56 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{r_y} = \frac{10 \times 10^2}{12.62} = 79.24$$

由附录表 8-2 查得

$$\Phi_y = 0.694$$

$$\lambda_x = \frac{l_{0x}}{r_x} = \frac{10 \times 10^2}{9.9} = 101$$

则

$$\Phi_x = 0.549$$

### 截面验算

因为截面没有削弱，强度验算可不进行。

弯矩平面内整体稳定用式 (4-66) 验算，有

$$N_E = \frac{\pi^2 E J_y}{l_{0y}^2} = \frac{\pi^2 \times 2.06 \times 10^7 \times 19108.8}{(1000)^2} = 3885.084 \text{ (kN)}$$

$$\frac{N}{N_E} = \frac{1050}{3885.084} = 0.2703$$

$\beta_m$  可取为 1，塑性发展系数  $\gamma$  由附表 8-12 查得， $\gamma = 1.05$ ，则代入式 (4-66)：

$$\frac{N}{\Phi_y A} + \frac{\beta_m M}{\gamma W_y (1 - 0.8N/N_E)}$$

$$= \frac{1050 \times 10^3}{0.694 \times 120 \times 10^2} + \frac{1 \times 30 \times 10^6}{1.05 \times 1179.56 \times 10^3 \times (1 - 0.8 \times 0.2703)}$$

$$= 156.99 \text{ (MPa)} < \sigma_f = 215 \text{ (MPa)}$$

在弯矩作用平面外，由式 (4-68) 有

$$\frac{N}{\Phi_x A} + \frac{\beta'_m M}{\Phi_x W_y} = \frac{1050 \times 10^3}{0.549 \times 120 \times 10^2} + \frac{1 \times 30 \times 10^6}{1 \times 1179.56 \times 10^3}$$

$$= 184.8 \text{ (MPa)} < \sigma_f \approx 215 \text{ (MPa)}$$

### 局部稳定验算

$b_0 = 230$ ， $\delta = 12$ ， $h_f = 300$ ， $\delta_f = 10$ ，则有

$$b_0/\delta = 230/12 = 19.2 \leq 40\sqrt{235/\sigma_s} = 40\sqrt{235/240} = 39.58;$$

$$b_f/\delta_f = 300/10 = 30 \leq 39.58 \quad \text{都合格。}$$

### 刚度验算

许用  $[\lambda] = 150$   
 $\lambda_{max} = 101 < [\lambda]$  合格。

### (e) 某些构造细节及焊缝的计算

如上两例中工字形和箱形截面柱，翼板和腹板之间的焊缝，属联系焊缝，一般不计算，焊脚  $K$  的选择依据工艺条件和板厚条件而定。

但是缀条和缀板与柱肢连接的焊缝需进行验算。验算按角焊缝进行，依据所承担的剪力和弯矩计算强度。例如缀板由式 (4-80) 得到其承受的剪力；由式 (4-81) 得到其承受的弯矩。如图 4-31 所示之缀板，都是三面角焊缝，计算时只考虑垂直角缝  $b_h$ 。则由剪力  $Q$  产生的应力为

$$\tau_Q = Q_b / k_0 \cdot b_h \quad (4-82)$$

式中  $Q_b$  —— 缀板承受的剪力；  
 $k_0$  —— 计算焊脚， $k_0 = 0.7K$ ；  
 $b_h$  —— 缀板垂直焊缝长。

由弯矩  $M$  产生的应力为

$$\tau_M = \frac{M_b}{W_h} = \frac{M_b}{\frac{1}{6}k_0 b_h^2} \quad (4-83)$$

式中  $M_b$  —— 缀板承受的弯矩；其余同式 (4-82)。

### 合成应力

$$\tau = \tau_M + \tau_Q \quad \text{或} \quad \tau = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_Q^2}$$

当柱的长度不足时，可以采用对接。对垫板的对接，如图 4-33 所示。在格构柱中，在对接处加缀板可起加强作用 (图 4-33c)；加热板的对接 (图 4-33d) 采用角焊缝。

柱脚结构如前所述，加大的底板的尺寸 ( $B \times L$ ) 可按式 (4-84) 进行计算

$$L \times B \geq (N/\sigma'_{fc_d}) + A_0 \quad (4-84)$$

式中  $L \times B$  —— 底板长  $\times$  宽；  
 $\sigma'_{fc_d}$  —— 钢筋混凝土局部设计承压强度；  
 $A_0$  —— 地脚螺栓孔削弱的面积。

柱脚底板的厚度及偏心受压柱脚的计算可参考有关标准和资料 [5, 6]。

### (2) 焊接桁架的设计

#### (a) 桁架杆件的内力分析要点

桁架的结构形式和主要参数确定之后，就可根据作用的外载荷进行桁架的内力分析。进行桁架内力分析时，总是将空间的桁架分解成独立的平面桁片，并且忽略各片桁

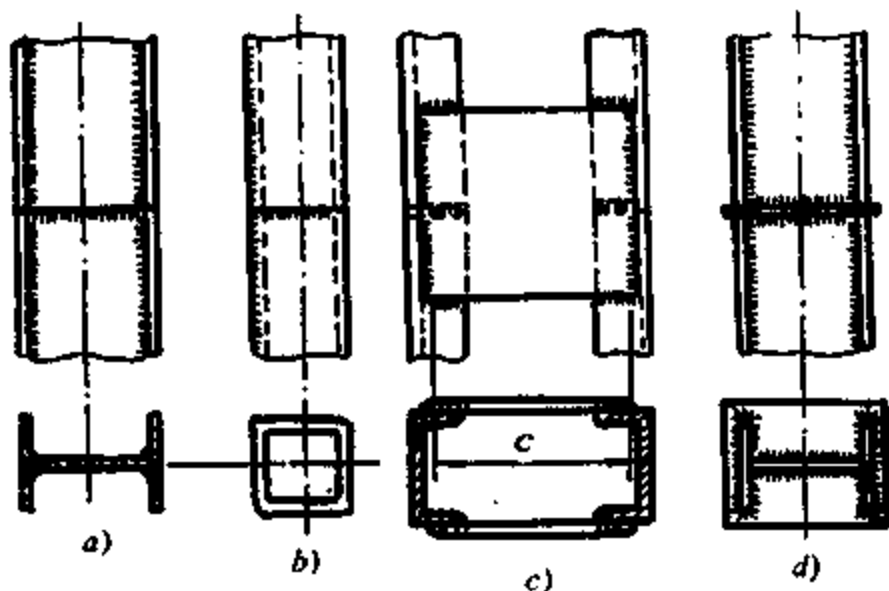


图 4-33 柱的连接

架之间的相互联系和影响，故是一种近似的方法。对于应用最广泛的三角单元的桁架片进行内力分析时，通常假定：

a) 桁架各杆件的轴线皆在同一平面之内，各轴线在节点处交于一点，构成桁架几何图形。

b) 载荷通常作用在桁架节点上，作用于节点之间的载荷，按杠杆原理分解换算到相邻节点上，按节点载荷来分析内力，并考虑弦杆在节间的局部弯曲作用。

c) 可将桁架节点视为理想的铰接点，忽略各点刚性产生的附加应力，因而杆件都是二力杆（仅受轴力），使计算大为简化。这种假定在杆长与截面高度之比大于10时误差不大，故桁架杆件截面高度小于杆件长度的1/10。

d) 内力分析时将固定载荷及自重载荷（换算成节点载荷）用图解法和数值解法、力法（用于超静定桁架）及有限元法计算。对于桁架上有移动载荷（如起重机小车轮压），杆件内力需用影响线法来决定。

(b) 桁架杆件截面选择和计算

桁架杆件截面的形式如图4-34所示。该形式随工作性质不同而异。图中a)~h)是用作

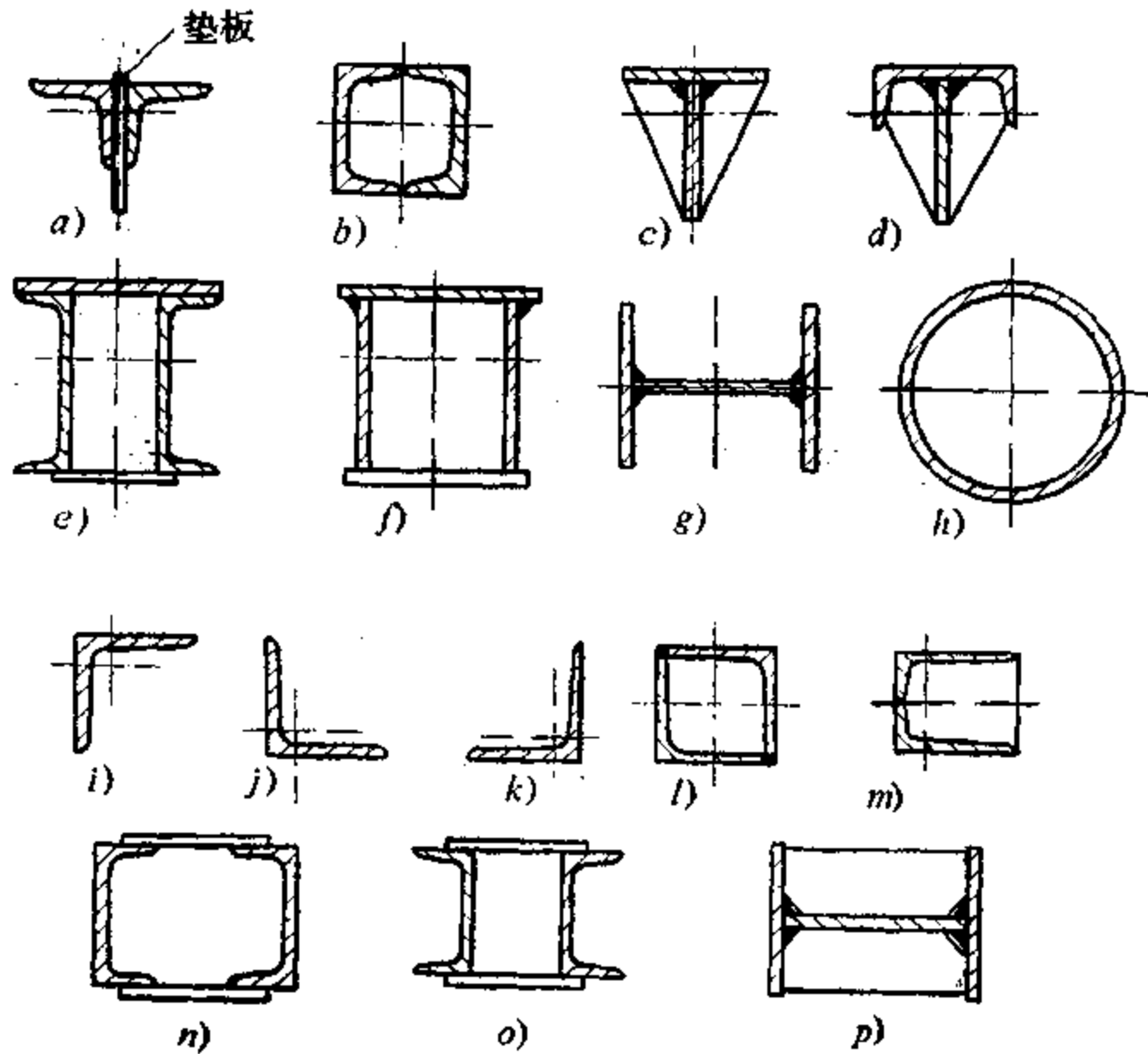


图4-34 桁架的杆件截面形式

上弦杆（压杆）的横截面，单角钢 i) 也是作上弦杆的截面，只能用于刚度要求不严的轻型桁架和非工作截面。双角钢（图a)）中用垫板连接，是屋顶桁等常用截面形式，也可用于腹杆及下弦杆，作下弦杆时应倒过来放置。c), d), e), f), g), h) 也可作下弦杆，其中c),

d), e), f)也要倒过来布置, 同一角钢不同布置, 如j), k)则分别作下弦杆及腹杆。l)~p)用作腹杆。c), d), m), p)等在受压时(如上弦杆及腹杆)要布置加筋, 以防局部失稳。H形截面杆件用于桥梁桁架; 而管形截面刚度大, 风阻小, 适于塔桅、栈桥等轻型大刚度桁架, 以及特重型桁架(如海上采油平台导管架等)。

从制造方便及满足使用刚度要求等, 截面选择应遵循以下原则:

a) 同一桁架中所用型钢种类愈少愈好, 最多不要超过5种。

b) 杆件所用角钢一般不得小于  $L50 \times 50 \times 5$ , 钢板厚度不小于5mm, 钢管壁厚不小于4mm。

c) 杆件截面宜用宽而薄的型钢组成, 以增大刚度。

d) 杆件可采用组合截面, 如图4-34a)、e)、f)、n)、o)等所示。其中图a)用垫板将两角钢连缀起来, 垫板间距  $l$  应小于  $40r$  (压杆) 或  $80r$  (拉杆),  $r$  系单件型钢对平行于垫板形心轴的回转半径; 对双角钢十字截面杆件,  $r$  为角钢对  $Y-Y$  和  $X-X$  轴的最小回转半径, 如图4-35所示。这种杆件按实腹杆计算, 而e)、f)、n)、o)等按格构杆件计算。

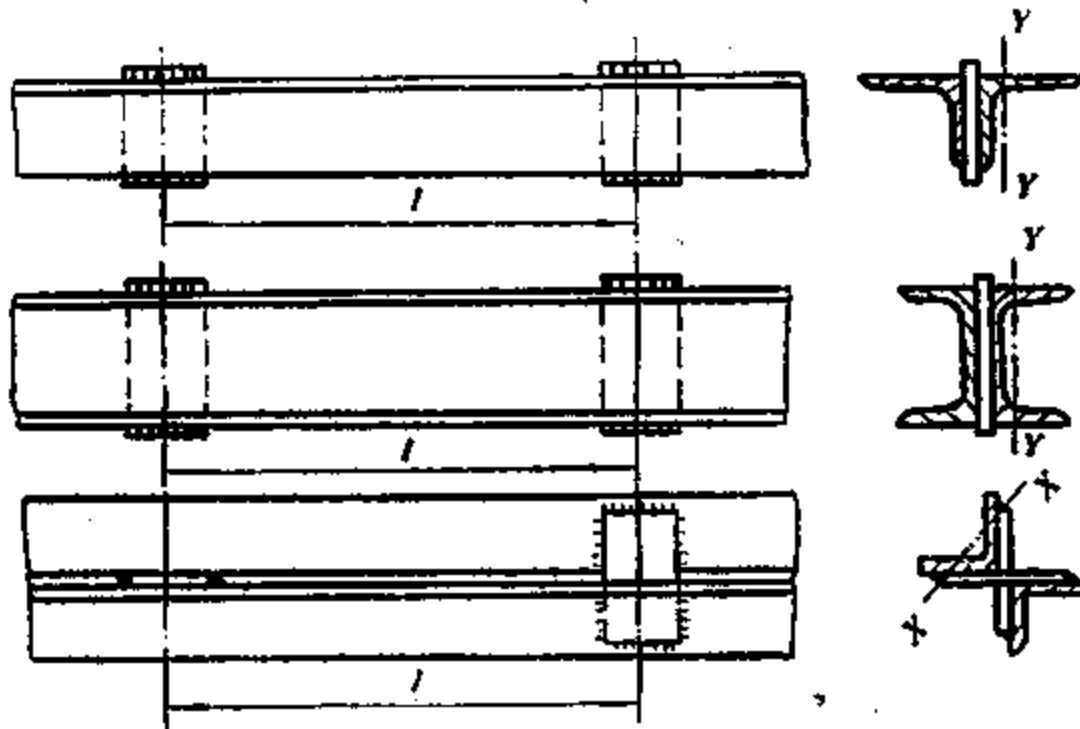


图4-35 组合杆件用垫板连缀

杆件的截面形式选定之后, 再根据内力分析得到各杆件的轴力和弯矩进行截面计算。通常有四种受力情况: 压和偏心压, 拉和偏心拉。前两种情况同轴心受压柱及偏心受压柱的计算没有区别, 故不赘述。

轴心拉杆按强度条件有

$$\frac{N}{A_n} \leq \sigma_t \quad (4-85)$$

故截面积  $A = N/\beta \cdot \sigma_t \quad (4-86)$

式中  $A, A_n$  ——截面的毛面积和除去钉孔等削弱的净截面积, 全焊时  $A = A_n$ ;

$\beta$  ——面积削弱系数,  $\beta = 1$  (焊接) 或  $0.8$  (栓接或铆接);

$N$  ——轴力;

$\sigma_t$  ——设计(抗拉)强度。

设计的截面还应满足刚度条件

$$\lambda_{max} \leq [\lambda] \quad (4-87)$$

式中  $\lambda_{max}$  ——为拉杆最大长细比,  $\lambda_{max} = l_0/r$  即为最大计算长度与回转半径之比;  
 $[\lambda]$  ——许用长细比, 按附录三选用。

上述强度计算没有考虑由于截面变化(开孔削弱)而产生的局部应力增大现象, 因此该式适用于材料有良好塑性变形能力的条件下。

偏心拉杆既受拉又受弯, 亦称拉弯构件, 同时受拉与弯的桁架下弦杆和腹杆皆属此类。当弯矩作用于一个主轴平面内即为单向拉弯构件, 当弯矩作用于两个主轴平面内则为双向拉弯构件。当弯矩较小时, 可采用与轴心拉杆同样的截面形式, 以减少桁架杆件的类型。当弯矩很大时, 则应在相应方向布置较大惯性矩的截面。

按钢结构设计规范, 如不直接承受动力载荷的实腹拉弯构件, 可按式计算

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \pm \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq \sigma_t \quad (4-88)$$

在直接承受动力载荷的条件下, 拉杆不容许出现塑性变形, 此时塑性发展系数  $\gamma_x$  和  $\gamma_y$  等于 1。式(4-88)中除  $\gamma$  以外,

$N$  ——轴力;

$M_x, M_y$  ——对主轴  $x$  和  $y$  的弯矩;

$W_{nx}, W_{ny}$  ——对主轴的净截面抗弯模量;

$A_n$  ——拉杆净面积。

拉弯构件除按式(4-87)验算刚度条件外, 当弯矩很大时, 还应同受弯构件一样验算挠度。

拉弯构件受压翼板还应注意局部稳定的问题, 工字截面和箱形截面翼板外伸部分及两腹板之间翼板的局部稳定问题, 可用式(4-76)及(4-73)进行验算。

### (c) 桁架节点

待桁架杆件选定并验算合格之后, 即可进行桁架节点及其他细节设计, 该项工作和最后绘制施工图同时进行。桁架节点根据其连接杆件的截面大小、传递载荷情况, 布置和连接的要求决定其形式和尺寸, 即桁架节点的构造要满足以下要求:

a) 节点所连接杆件的几何轴线应汇交于节点中心, 如图 4-36 a) , 即桁架杆件轴线确实与桁架计算的几何图线相重合, 反之, 如图 4-36 b) 则将在节点处产生偏心矩, 引起挠度增加和承载力下降。为此, 绘制节点图时, 先绘各杆交汇的轴线, 再沿轴线绘出弦杆、腹杆的轮廓线。为制造方便取轴线到一边距离为 5mm 的倍数, 如距离 23.7 则取 25(mm) 等。

b) 节点中内力的传递应力求平顺, 焊缝中所传递的合力应与所连杆件重心线相重合, 并且应力集中愈小愈好。

c) 节点中的焊缝应避免密集, 防止交叉和重合, 以防产生过大焊接残余应力和焊接缺陷。焊缝的布置应考虑可焊到性, 好的施焊条件常常有高的焊接质量。

d) 在铆接结构中桁架的节点必需采用节点板, 而焊接桁架则既可以无节点板, 也可以采用节点板。无节点板的桁架节点构造简单, 应优先采用, 如图 4-36 中 a) , c) ~ g) 都是无节点板节点, 它们是将桁架的杆件直接焊接起来完成的。这种节点可减轻结构重量、节省钢材, 还可节约制造工时, 有高的劳动生产率。这种无节点板节点有型材连接的(图中 a) , c) , d) , 也有管材连接的, 其中 e) 称为 K 形, f) 称为 T 形, g) 称为 Y 形管节点,



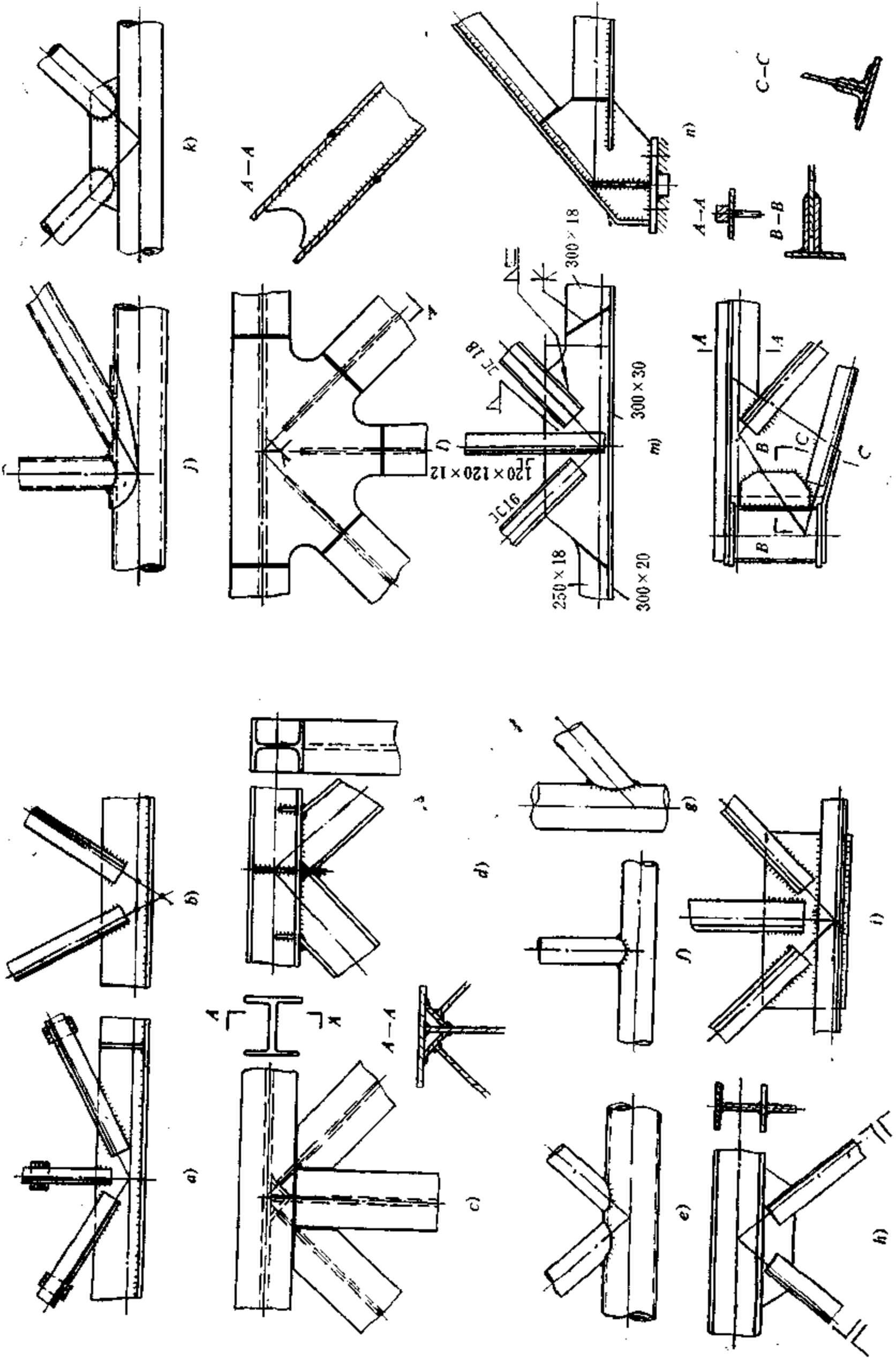


图 4-36 常用桁架节点形式

它们都是海上采油平台导管架常用的节点形式。当管壁较薄时，可用不开坡口的角焊缝焊接管节点，当管壁较厚时则采用开坡口的角焊缝连接管节点。图c), d)都是H形杆件的节点，为避免焊缝交叉，H形杆件腹板交叉处布置了挡板（图c)A-A截面），d)图表明斜腹杆与弦杆交接处布置了加筋板，以防集中力作用于盖板发生失稳变形。有时管节点采用压扁的管端腹杆和弦杆相连，这样就不需制作曲线形状的切口，比较简单，但桁架强度较差。

为使焊缝不致太密集，并有足够长度，以满足强度要求，桁架节点处多设置节点板。常见节点板形式如图4-36h)~m)。其中h), k)是加了接长板的节点，接长板以T形接头形式焊在弦杆（型钢或钢管）上。为使这类节点有较好的动载强度，接长板侧边缘与弦杆最好不要正交（成90°）图中所示接长板侧边缘与弦杆成锐角。如果成弧形过渡则更好一些（如图l)嵌板），但弧状节板加工麻烦。管状弦杆与腹杆相交处设置的接长板还有增加弦杆局部刚度的作用。图j)加一补板也起到增加局部刚度的作用。大直径的管子弦杆在节点处内部布置环状加筋也起同样作用。图l), m)是加嵌板的节点，嵌板加入弦杆中，或是作为弦杆的腹板一部分（图m），或是作为盖板（翼板）的一部分（图l）。图示的形式，特别是l)结构，各腹杆的腹板呈圆滑过渡（A-A剖视）并且不相交，避免了密集角焊缝。这种节点结构有高的疲劳强度，但制作较麻烦，适用于重型（如桥梁）桁架。由角钢、槽钢等作杆件的桁架多采用垫板节点板（如图i)），用角焊缝连接。图n), o)是桁架支承节点的构造示例。n)是屋顶桁架结构，o)是起重机主梁桁架和端梁连接结构。

e) 节点焊缝的计算 在可能条件下，桁架节点板愈小愈好，但要依据杆件内力算得最大焊缝长度而定。焊缝计算长度

$$l_h = \frac{kN}{2 \times 0.7K\tau_f^w} \quad (4-89)$$

式中  $l_h$ ——焊缝长（或角钢杆件、角钢背或肢与节点板之间的角焊缝长度）；  
 $k$ ——荷载分配系数，在用角钢作杆件时，等边角钢背和肢  $k = 0.7$ 和 $0.3$ ，不等边角钢短边搭接时  $k = 0.75$ 和 $0.25$ ，长边搭接时  $k = 0.65$ 和 $0.35$ ；  
 $N$ ——杆件传递的内力；  
 $K$ ——焊脚；  
 $\tau_f^w$ ——角焊缝抗剪设计强度（表2-5）。

当节点焊缝承受弯矩时，需进行组合应力计算，依据具体情况决定焊缝长度和布置。

f) 节点板的形状和尺寸 如上所述，节点板尺寸由连接焊缝长度、节点处杆件宽度、夹角等所决定。节点板的形状愈简单、切割次数愈少愈好，最好用矩形（图4-36i)）梯形（图4-36k), m)）和平行四边形。节点板厚度按腹杆最大内力，并依经验决定。桁架所有节点板厚度都相同。

$N < 100\text{kN}$ ,  $\delta = 6\text{mm}$ ;  $N < 200\text{kN}$ ,  $\delta = 8\text{mm}$ ;

$N = 200 \sim 300\text{kN}$ ,  $\delta = 10 \sim 12\text{mm}$ ;  $N = 300 \sim 400\text{kN}$ ,  $\delta = 12 \sim 14\text{mm}$ ;

$N > 400\text{kN}$ ,  $\delta = 14 \sim 20\text{mm}$ 。

#### (D) 杆件的拼接

当跨度足够大，型材长度不能满足要求时，就需要进行拼接。拼接应保证接头与杆件等强度，并且杆件不能发生轴心偏移。常见拼接形式有正对接、斜对接（如图4-37a, b）、搭接和角接（T形接），（如图4-37c), d)）。轴心受力的对接接头按下式计算焊缝强度：

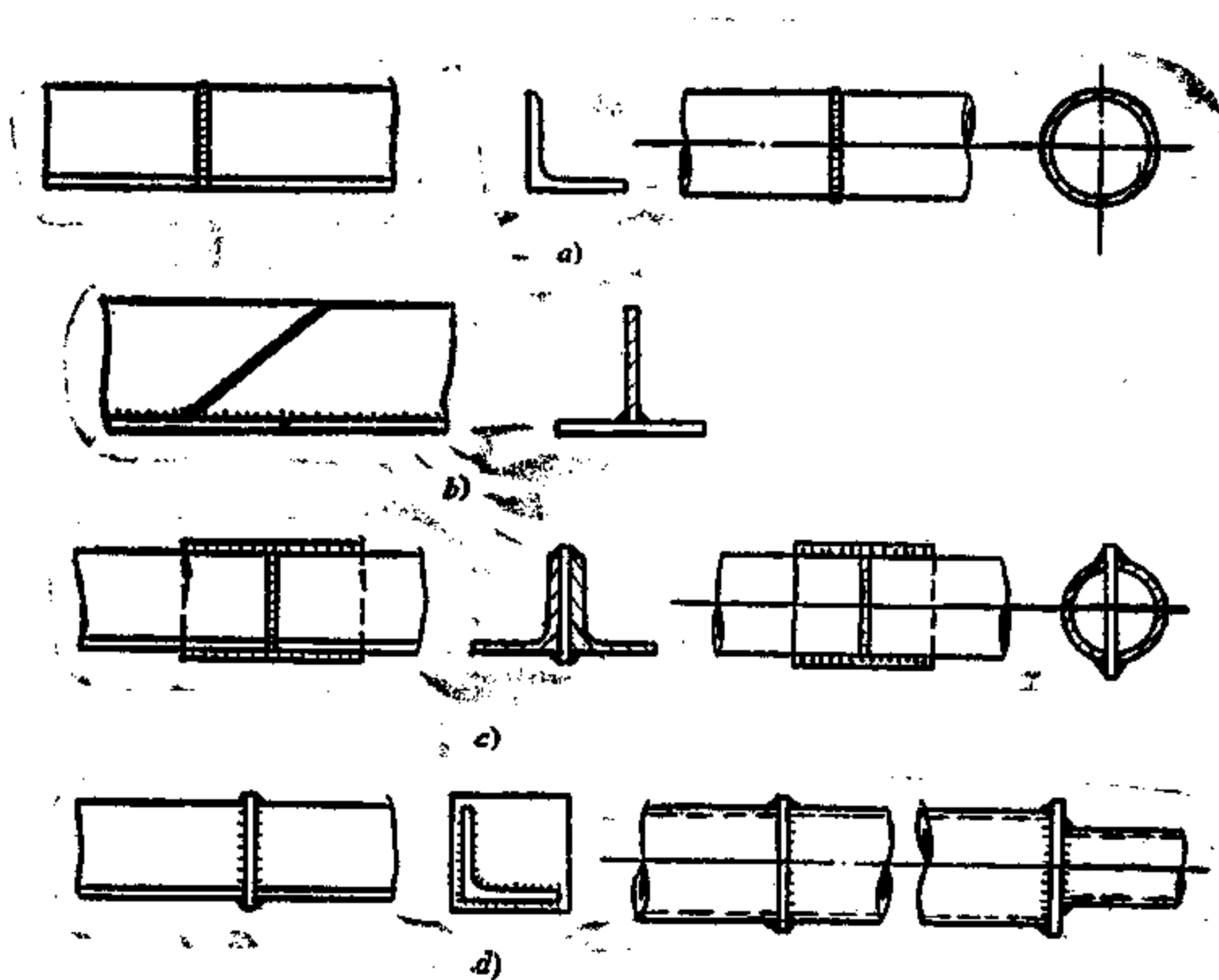


图 4-37 桁架杆件的拼接

$$\sigma = \frac{N}{l_h \cdot \delta} \leq \sigma_{f,t}^w \quad (4-90)$$

式中  $N$  ——轴力；  
 $l_h$  ——焊缝计算长度；  
 $\delta$  ——焊接连接件中较小的厚度；  
 $\sigma_{f,t}^w$  ——对接焊缝的抗拉和抗弯设计强度，见表 2-5。

斜对接时，如焊缝倾斜角为  $\theta$ ，则应分别验算正应力和剪应力。

$$\sigma = \frac{N' \sin \theta}{l_h \cdot \delta} \leq \sigma_{f,t}^w$$

$$\tau = \frac{N' \cos \theta}{l_h \cdot \delta} \leq \tau_{f,v}^w \quad (4-91)$$

式中  $\tau_{f,v}^w$  ——对接焊缝抗剪设计强度，见表 2-5，其他符号同式 (4-90)。  
 对接接头除轴力  $N$  外，还有弯矩  $M$  作用时，则应验算最大应力。

$$\sigma_{max} = \sigma_N + \sigma_M = \frac{N}{l_h \cdot \delta} + \frac{M}{W_h} \leq \sigma_{f,t}^w \quad (4-92)$$

式中  $W_s$ ——焊缝计算截面抗弯截面模数，其他符号同前式。

在塔接和T形接头条件下，应按角焊缝计算强度。如仅受轴力并且连接如图4-37c)所示角钢杆件，则可用式(4-89)式验算焊缝，如同时承受轴力与弯矩，则需验算折合应力。

### 3. 焊接柱和桁架的焊接生产

实腹焊接柱的制造和梁的生产没有太大的区别，如H形梁也是H形柱。关于梁的生产前面已作了介绍，实腹柱的制造与之类似。格构柱的制造则与桁架类的结构制造类似，故这里主要介绍桁架的生产。

在某些金属结构工厂中，桁架，有时占产品的25%。由于桁架产品的焊缝多为短的角焊缝，实行焊接自动化比较困难，故目前国内主要采用手弧焊及 $CO_2$ 气体保护焊，后者有较高的生产率，值得推广。

桁架结构的焊接一般都是在结构装配完成之后进行的。由于桁架装配焊接后需保证杆件轴线与几何图形线重合，在节点处交于一点，以免产生设计载荷之外的偏心矩，故装配要有较高的准确度。桁架装配比较费工，提高桁架装配速度是提高整个桁架生产率的重要途径。

在单件小批量生产桁架条件下，产品尺寸规格经常变动，采用专门胎具生产不合适，而多采用划线和仿形装配方法，这在第二章已作过粗略介绍。划线装配法是按照桁架的施工图，将切割下料好的角钢置于装配平台上；然后在角钢上沿轴线划线，在上下弦杆上除绘制轴线外，还要绘出腹杆轴线（竖直准线）位置，并在水平和竖直线交点处打上洋冲眼，再用白漆圈上（作标记），然后在节点板上划线，将划好线的弦杆与之按线装配，然后将两端划好中心线的腹杆与带有节点板的弦杆装配，装配时使用万能夹具（如螺旋压紧器等），全部位置合适后进行点定焊；接着将已完成装配点定的半片桁架吊起，翻转放置在平台上（图4-38a），再以这半片桁架作为仿模，在对应位置放置对应的节点板和各种杆件，用万能夹具卡紧后（图4-38b），点定焊；已完成的新的半片桁架，吊下翻转 $180^\circ$ ，放置平台上，则可布置垫板，装配另外一半桁架各杆件（图4-38c），点定焊完成之后，即可到焊接工作地，进行全部焊缝的焊接。

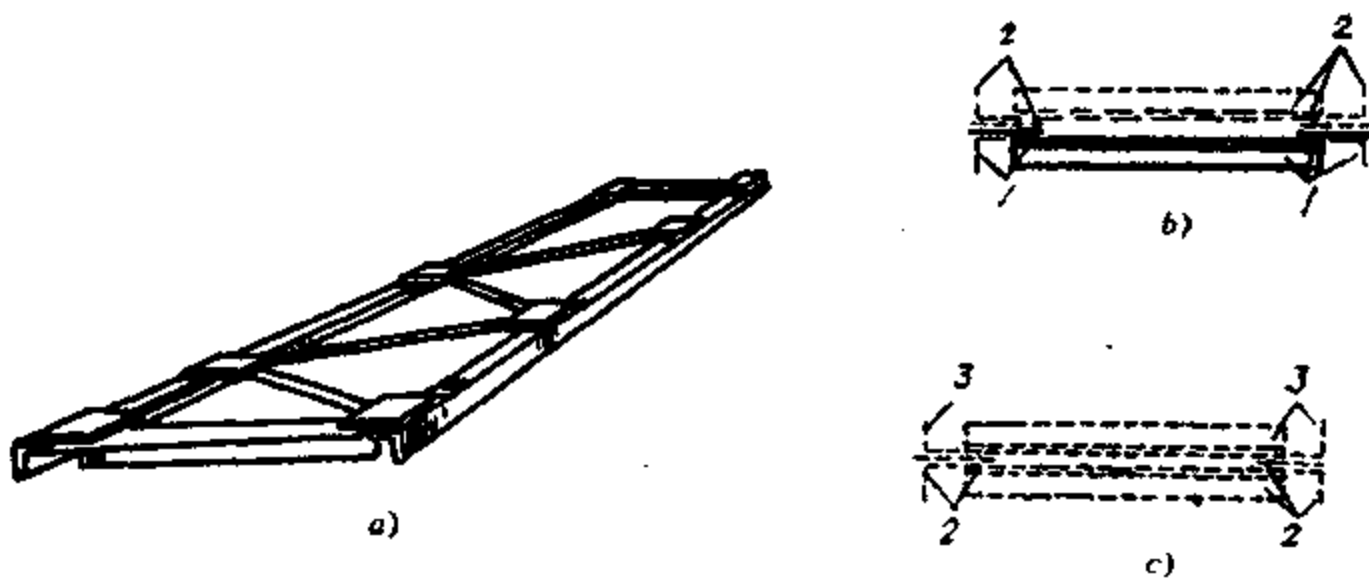


图4-38 桁架仿形装配法示意图

除采用角钢槽钢等杆件轴心划线法之外，也有在平台上先划几何图形线，依据几何图形线绘制型钢杆件轮廓线，按此线装配的。

在上述装配方法中，局部尺寸要求严格的部位，例如屋顶桁架和柱相交接处采用了定位

器。装配半片桁架的靠模定位器如图 4-39 所示。图中 I 为底座，II 是固定靠模 III 的定位器，IV 是定位器立柱。图 b) 是正在装配新桁架情况。桁架支承垫板装配在立柱定位器上，位置被螺栓准确固定。当这种定位器布置较多，就组成了装配桁架的模架，形成所谓桁架结构模架装配法。这种模架除了做成平面的，适于平面桁架之外，也常制成空间的桁架装配模架，如装配起重机的桁架（空间桁架）。这种模架是由槽钢拼成的，模架上带有定位器和夹紧器，当桁架生产批量小时，制造模架的经济效益较差。

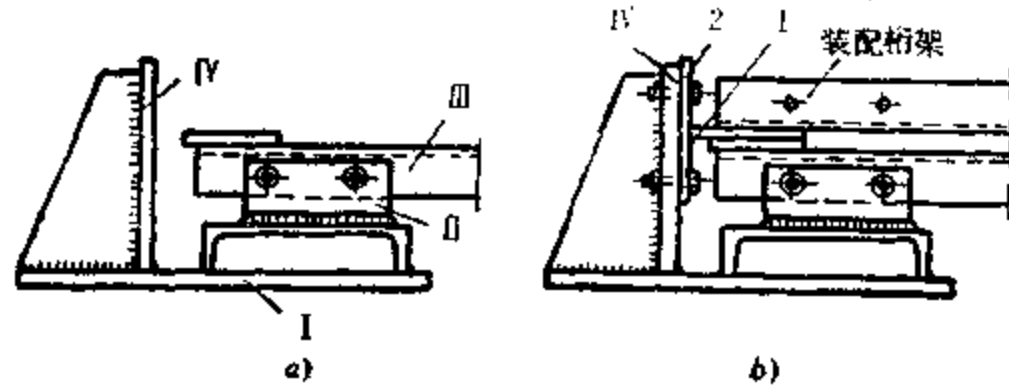


图 4-39 固定桁架端部（支承部）的定位器

综上所述，焊接桁架的工艺分析首先考虑保证产品几何形状（装配位置正确），然后希望提高生产率，首要的是装配效率，焊接工艺要采用半自动的、灵活的熔焊工艺，如CO<sub>2</sub>气保护焊等。

## 第五章 复合结构及焊接机器件

### 一、复合结构及焊接机器件的结构特点

#### 1. 复合结构及其优越性

采用各种不同的工艺过程（如铸造、锻造、冲压及轧制型材）制成各种金属毛坯，并用焊接方法连接而成的结构，叫做复合结构。

由于复合结构对不同工作条件和不同承载要求的部位，分别采用不同工艺方法和金属毛坯制造，这既充分满足了结构使用条件的要求，充分利用了材料的性能，又减少加工裕量，节约贵重金属。复合结构改善了结构制造条件，使整铸、整锻十分困难的结构，化整为零，使毛坯制造容易，并且缺陷少而质量优，使整个产品制造周期大为缩短。

四化建设需要的新型重型机器结构（如大型锻压机床、大型水轮发电机，高压锅炉及容器、冶金设备等）在已有生产条件下采用整铸、整锻件制造有些是不可能的。例如70年代在天津制造6000t（59000kN）自由锻造水压机，以当时天津的铸锻能力是不可能完成其主要件的铸（其中一件重215t，当时不具备如此重大铸钢件的铸造能力）、锻（如水压机立柱直径745mm，长16375mm，需6000t锻造水压机才能整锻出来）加工的，而采用复合工艺就顺利完成了该项产品的制造任务。60年代初我国制造的1.2万t自由锻造水压机、72500kW水轮机主轴、1200mm薄板轧机机架以及水轮机转轮等也都是采用这种工艺制造的。

采用复合工艺制造的汽车传动轴和后桥如图5-1所示，桥盒3与法兰盘1、轴肩法兰4、轴套5都是用不同材料制造的。作为充分利用不同材料性能并节约贵重金属的典型例子，还有各种复合工艺制造的金属工具。

上述7.25万千瓦水轮机主轴采用复合工艺制造，可作为复合结构节约钢材的典型例子。原工艺需用104t钢锭，经自由锻成60t重毛坯，这样有近一半钢材变成氧化皮和料头，毛坯再加工成工件重仅30.6t，即有20多吨钢料变为切屑，总共损失近70t。如果采用铸钢法兰盘（12t）和锻造轴（24t）经粗加工后，组装焊接。焊后精加工成件重24t，即损失12t左右钢材，这仅是整锻方式的1/6。

复合结构的设计应慎重选择结构材料和焊前加工工艺，以保证复合结构满足各项工作性能要求；选择适当的结构形式（包括合理分部件和零件、合理布置焊缝，以及选择先进的焊接工艺方法），以保证复合结构有良好工艺性（劳动量小、易机械化和自动化）并且有高的产品质量，发挥用小型设备加工大型机器的特点。

复合结构按其制造工艺可分为：铸—焊、锻—焊、铸—锻—焊、铸—轧制—焊、锻—轧制—焊等结构；按其材料可分为轧材（冲压及锻钢）—铸钢结构、堆焊复合结构等。

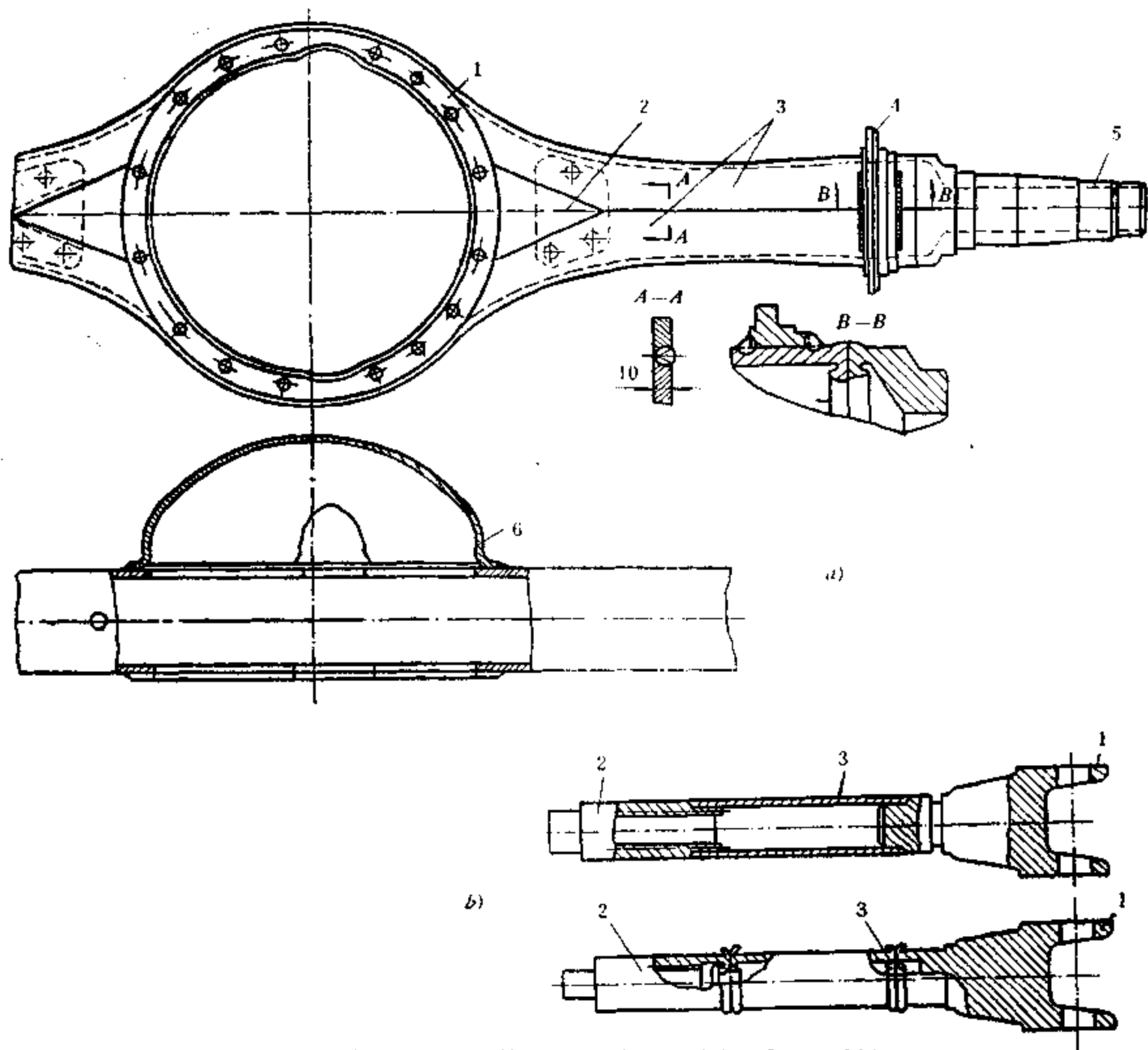


图 5-1 复合工艺制造的汽车传动轴（万向轴）b) 和后桥a)

## 2. 焊接机器零件的特点

焊接机器件绝大多数是复合结构，所以复合结构的特点及设计的注意问题同样适用于焊接机器件。

由轧制材料焊接的机器零件应用十分普遍，如各种机器基座、巨型减速机箱体、大型卷扬机鼓筒、齿轮等。前一章介绍的桥式起重机的小车架就是典型机器框架。许多巨型机器的床身主要由轧制材料、部分零件是铸件或锻件经焊接而成。图 5-2 示出 6000t 水压机下横梁（图 a）和 40000kN 冲压机的床身（图 b）。水压机下横梁的柱套提升缸和顶出器座是铸钢毛坯，其余为 50、70、80、100、120mm 厚的轧制钢板。与其类似，冲压机床床身的上部巨型横梁和管子是铸钢和锻钢毛坯，其余为轧制厚板，所以它们也是铸—焊和铸—轧—锻—焊结构。

主要由锻件焊成的机器零件常在动载荷或冲击载荷下工作，如各种焊接曲柄、杠杆、拉、推杆等。小锻件组成的零件可以采用电阻对焊或摩擦焊来完成，这类零件如图 5-3 所示。图 5-1 中的汽车传动轴也属于这类零件。与巨型复合结构机器床身和梁不同，它尺寸不大

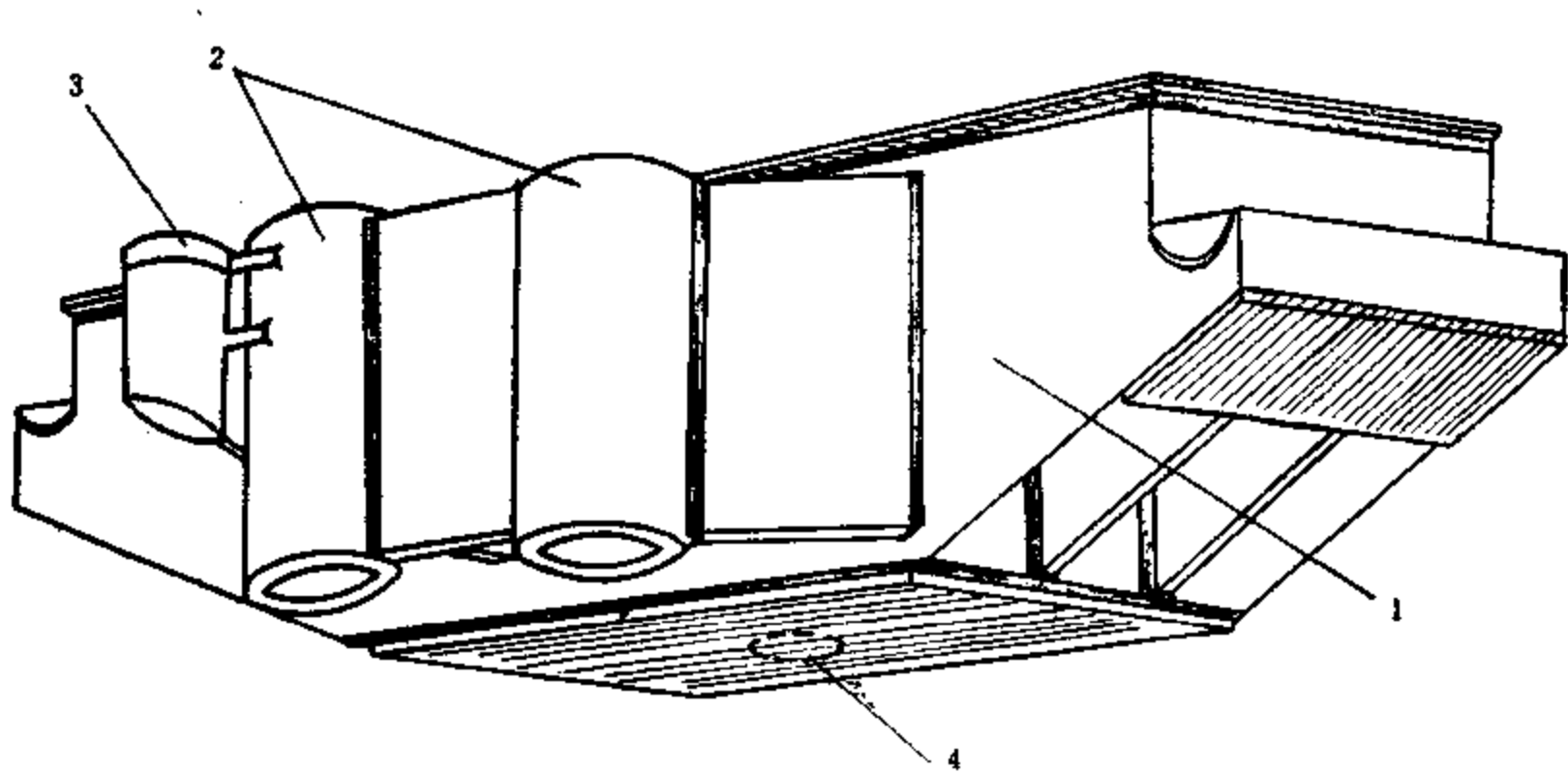


图 5-2 铸—轧—焊锻压机床身结构

a) 冲压机床身 1, 2—厚板件; 3—铸钢上横梁;  
4—锻钢管子。

b) 水压机下横梁 1—厚轧板焊接件; 2—铸钢柱套;  
3—提升缸套; 4—顶出器座。

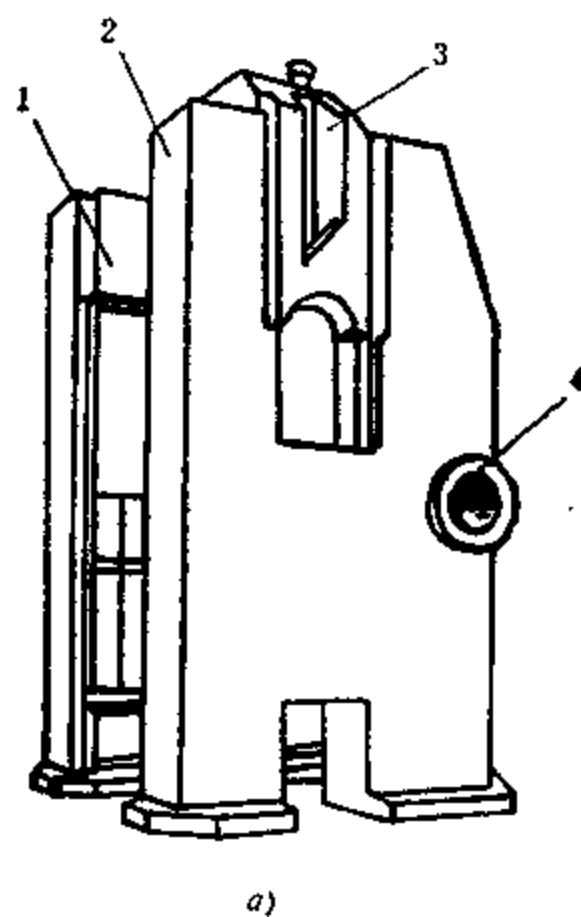
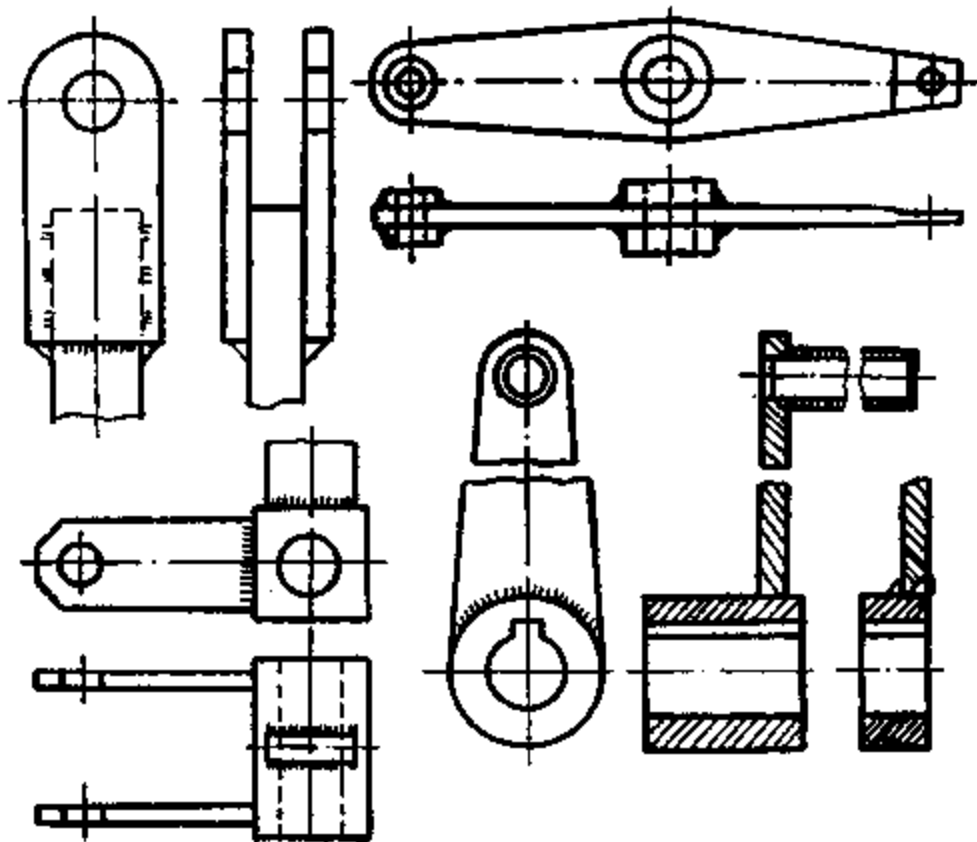


图 5-3 焊接推、拉杆和曲柄





而需要量大，通常成批大量生产。与使用要求及生产特点相适应，多为冲压或模锻的毛坯与轧制的板材、型材（如钢管）用高效的 $CO_2$ 气体保护焊、埋弧焊、电阻焊或摩擦焊等方法制成，并且常常组成自动流水线生产。除一部分焊后精加工，要求尺寸精度较高和需改善组织性能的零件需要进行焊后热处理外，有许多是不经过热处理的。

巨型复合结构的机器床身、锻造水压机的梁，系由厚大铸钢（锻钢）件毛坯、特厚的轧材拼焊而成，它们的大多数焊缝是采用电渣焊、窄间隙焊和埋弧自动焊等熔焊方法完成的，焊接边缘开X、K、双U或直边（电渣焊）坡口并且熔透，如图5-4 a~e）。当有圆筒和直板焊接时，可采用图5-4 g)所示电渣焊形式的接头；如果是铸钢毛坯，改为图5-4 f)形式，在筒体上铸出接头焊接的凸台，使焊缝避开了应力集中处。有限于尺寸，也可布置成如图5-4 h)所示的形式，部分载荷由肩或凸台、类似榫及销子的结构承担，结合部应经过机加工，配合紧密。

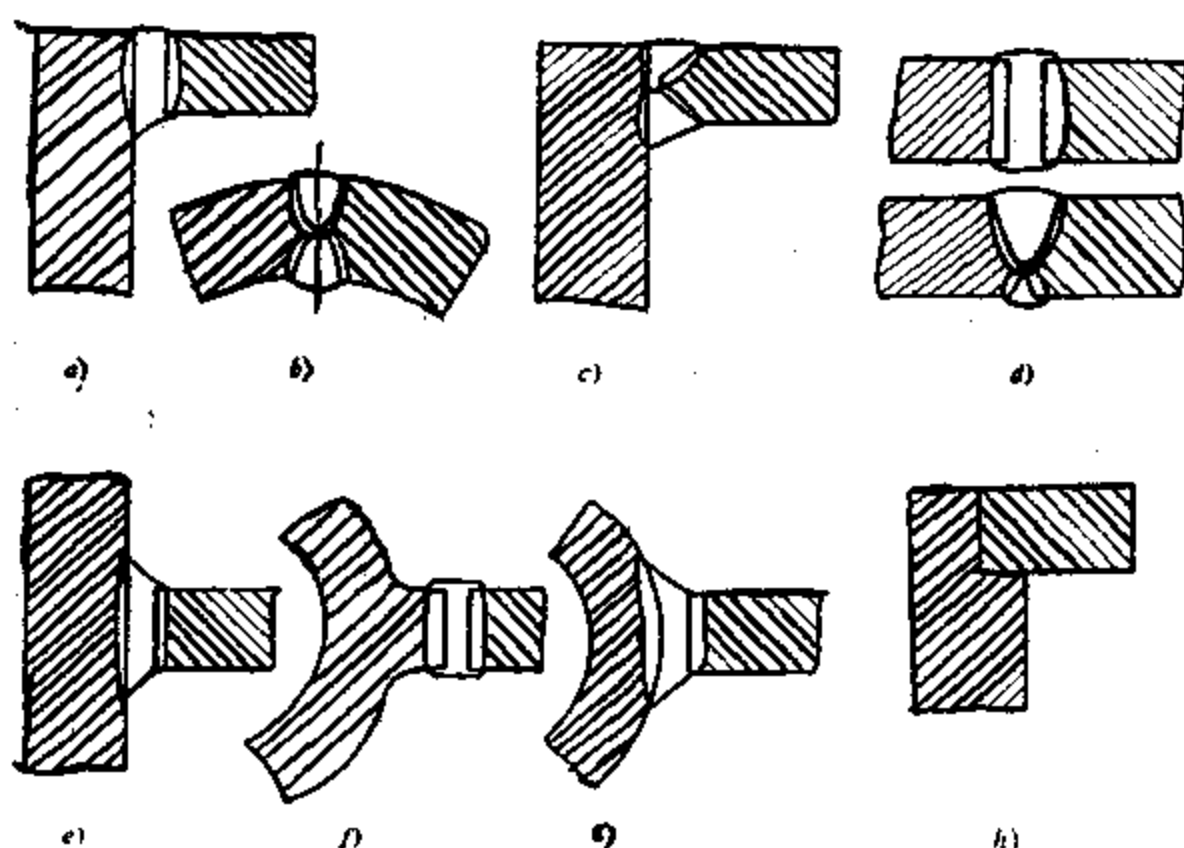


图5-4 大厚度复合结构的焊接接头

### 3. 某些焊接机器零件的设计

进行焊接机器件的设计，应该考虑以下问题：

(a) 焊接机器件所用材料比一般焊接结构所用材料种类多，不仅采用低碳钢、普通低合金结构钢，而且还应用不同热处理状态下的合金钢，以满足焊接机器件的各种要求。因此选择合适的结构材料、焊接工艺及焊接材料，以解决复杂的合金钢、铸钢及低合金结构钢等的焊接（包括异种钢接头的焊接）问题是焊接机器件设计首先要考虑的问题。

(b) 焊接机器件的尺寸不仅决定于强度条件，而且取决于刚度条件。许多场合下满足了刚度条件，往往使结构中工作应力大大低于许用应力。

(c) 在焊接机器零件中，零件精度有重要意义。而焊接结构中存在焊接残余应力，该应力可能在加工过程中释放出来，当零件加工完从夹具中取出时，形状尺寸发生变化，也可能在使用过程中尺寸发生改变。因此对于有严格尺寸要求的焊接机器件，通常需在焊后采取特殊的加工工艺及必要的热处理后再进行加工。

(d) 某些低合金结构钢或合金钢制焊接机器件焊后产生过冷奥氏体组织, 这种过冷奥氏体组织将在随后使用过程中, 缓慢的变化成马氏体。这种在焊缝金属及近缝区中发生的组织变化会引起焊件的变形, 并且过大的组织膨胀(奥氏体转变为马氏体)会引起很大的拉伸应力, 这对于焊接机器件是不允许的。为消除这种有害的现象, 需对上述焊接机器件采取一系列措施, 其中之一是进行恰当的热处理。热处理不仅可以降低或消除焊接残余应力, 而且可以使焊件局部产生塑性变形, 以加速获得稳定的金相组织, 从而获得稳定的构件尺寸和性能。

(e) 某些焊接机器件采取先加工后装配焊接的办法制造, 并且焊完后不再进行机加工, 因此这类零件的装配焊接要特别注意。

(f) 焊接机器件常常工作在动载或冲击载荷作用下, 在设计时要选用应力集中小的结构形式和接头形式以减小应力集中。在设计计算时, 动载荷的影响类似于第四章, 用动力系数加以考虑, 即总作用力。

$$F = F_j + \Psi F_d \quad (5-1)$$

式中  $F$  ——设计计算总作用力;

$F_j$  ——静载作用力(如结构自重等);

$F_d$  ——有效动载荷(如卷扬机焊接鼓筒的牵引力等);

$\Psi$  ——动力系数, 对于电机、磨、粉碎机、旋转压缩透平机可取1~1.1; 内燃机活塞泵和活塞压缩机取1.2~1.5; 拉床、杠杆压力机、锯床取1.5~2.0; 锻压机、碎石机等取2.0~3.0。

下面根据文献[15]介绍几类典型焊接机器件的设计特点。

#### (1) 回转体类焊接机器件

回转体类机器零件应用焊接结构很普遍, 可以举出许多实例, 如焊接鼓筒, 它是球磨机的主要零件, 也是起重机和卷扬机的重要零件; 焊接齿轮是巨型工程机械、船舶、轧机中不可缺少的重要零件; 各类焊接轴、曲轴; 水轮发电机系列的零件(电机、电机轴、转轮、座环等); 汽轮机零件(转子等); 汽车的传动轴和后桥等。

图5-5是焊接鼓筒的结构示例。焊接鼓筒的轴可以连通成一体, 也可以分开(如图中a), b)。小直径的鼓筒可以铸成。用作起重卷扬的鼓筒时, 鼓筒表面加工了钢丝绳缠绕的沟槽, 在钢丝绳的压力下, 鼓筒可能失稳破坏(图中c)。此时钢板卷制的鼓筒内部可以设置筋板(如图中b), 少数情况下焊接鼓筒由型钢骨架外蒙钢板构成。鼓筒的底(两端)板和鼓筒的焊缝是主要受力焊缝, 可以采用d)~f)的接头形式。挖掘机用巨型鼓筒如图5-5j)所示, 其两端为铸钢法兰盘, 中部由厚钢板卷焊而成, 焊缝采用电渣焊完成。

如钢丝绳拉力为 $P$ , 在筒体中产生压缩载荷为 $N$ (如图g), 该力作用在宽为 $d$ , 厚为 $s$ 的截面上(如图中h), 产生压缩应力为

$$\sigma = P/ds \quad (5-2)$$

按弹性理论, 鼓筒发生失稳的临界压力 $q_{cr}$ 可表示为(图5-5中i))

$$q_{cr} = \frac{3EJ}{R^3} \quad (5-3)$$

式中  $E$  ——弹性模量;

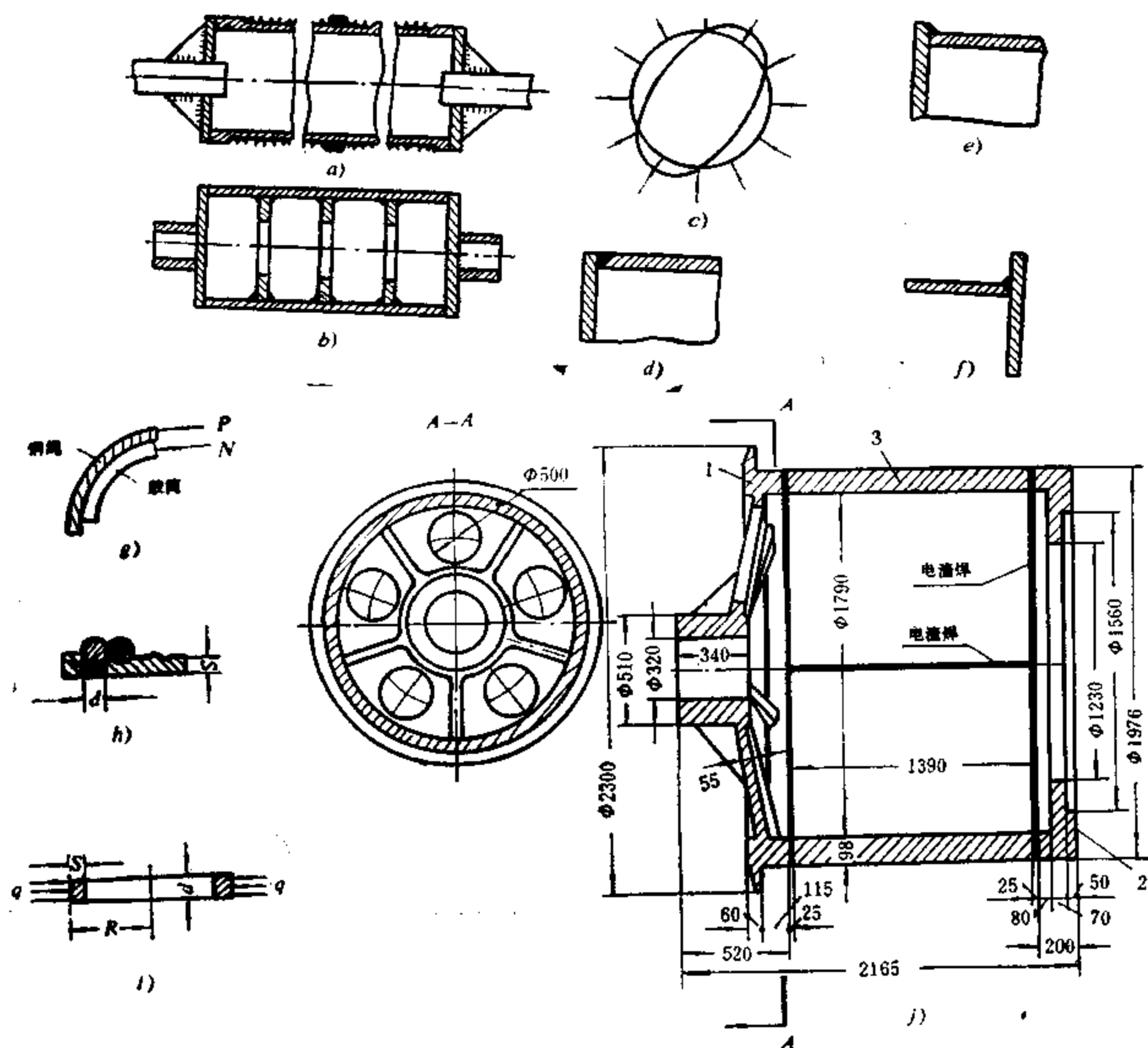


图 5-5 焊接鼓筒

$J$  ——单位截面对截面重心轴的惯性矩  $J = \frac{1}{12} ds^3$ ;

$R$  ——筒体外半径。

$q_{cr}$  相当于鼓筒筒体承受的外压力，由第三章可知，圆柱形鼓筒筒体直径为  $2R$ ，则筒体承受的周向力  $N$  (图 5-5 g)) 为

$$N = q_{cr} R = P_{cr}$$

上式代入式 (5-3) 则有

$$\frac{P_{cr}}{R} = \frac{3Eds^3}{12R^3}$$

即临界拉力  $P_{cr}$  为

$$P_{cr} = \frac{1}{4}(Eds^3/R^2) \quad (5-4)$$

考虑 2 倍安全系数，则容许作用的拉力为

$$P = \frac{1}{8}(Eds^3/R^2) \quad (5-5)$$

通常应使计算拉力  $P_1 < 0.5P_{cr}$ ，否则鼓筒内部应安置加筋。

除按鼓筒体压缩稳定计算壁厚之外，鼓筒还应按弯曲力矩及扭转力矩进行强度（正应力和剪应力）的校核。如假定载荷  $P$  作用在鼓筒中部，则产生弯矩为  $M = Pl/4$ ，其中  $l$  是两支点距离，则应力可表示为

$$\sigma = M/W$$

式中  $W$ ——为截面抗弯截面模数，

$$W = J/R, \quad R \text{ 为鼓筒外半径。}$$

鼓筒承受的扭矩为  $M_k = PR$ ，则有  $\tau_k = M_k/W_k$  等。按强度校核应力都很小。

图 5-6 是焊接齿轮、滑轮、皮带轮类的结构示例。图 5-6 a) 是巨型减速机的焊接齿轮，其轮缘厚 70mm，内轴孔  $d = 920\text{mm}$ ；轮毂部厚 150mm，由两半环用电渣焊的方法对接起来，不用在边缘开坡口，轮缘也用同样方法连接；轮辐板厚 30mm，由 V 形坡口手工焊对接完成，轮辐板和轮缘及轮毂都是单面坡口半自动焊完成（可以用焊接回转台实现自动埋弧焊接），两辐板之间的筋板用不开坡口的丁字接头连接。为便于施焊和减轻重量，辐板上开孔，整个焊接齿轮重 13.7t，比铸造齿轮（26.2t）要轻得多。焊接齿轮使要加工轮齿的轮缘部分可采用优质合金钢制造，而轮辐板和轮毂部分可采用低碳钢制造。

图 5-6 b), c) 所示为焊接的滑轮，其轮缘可用角形（图 b）和槽形截面（图 c）型钢煨弯而成，其轮辐

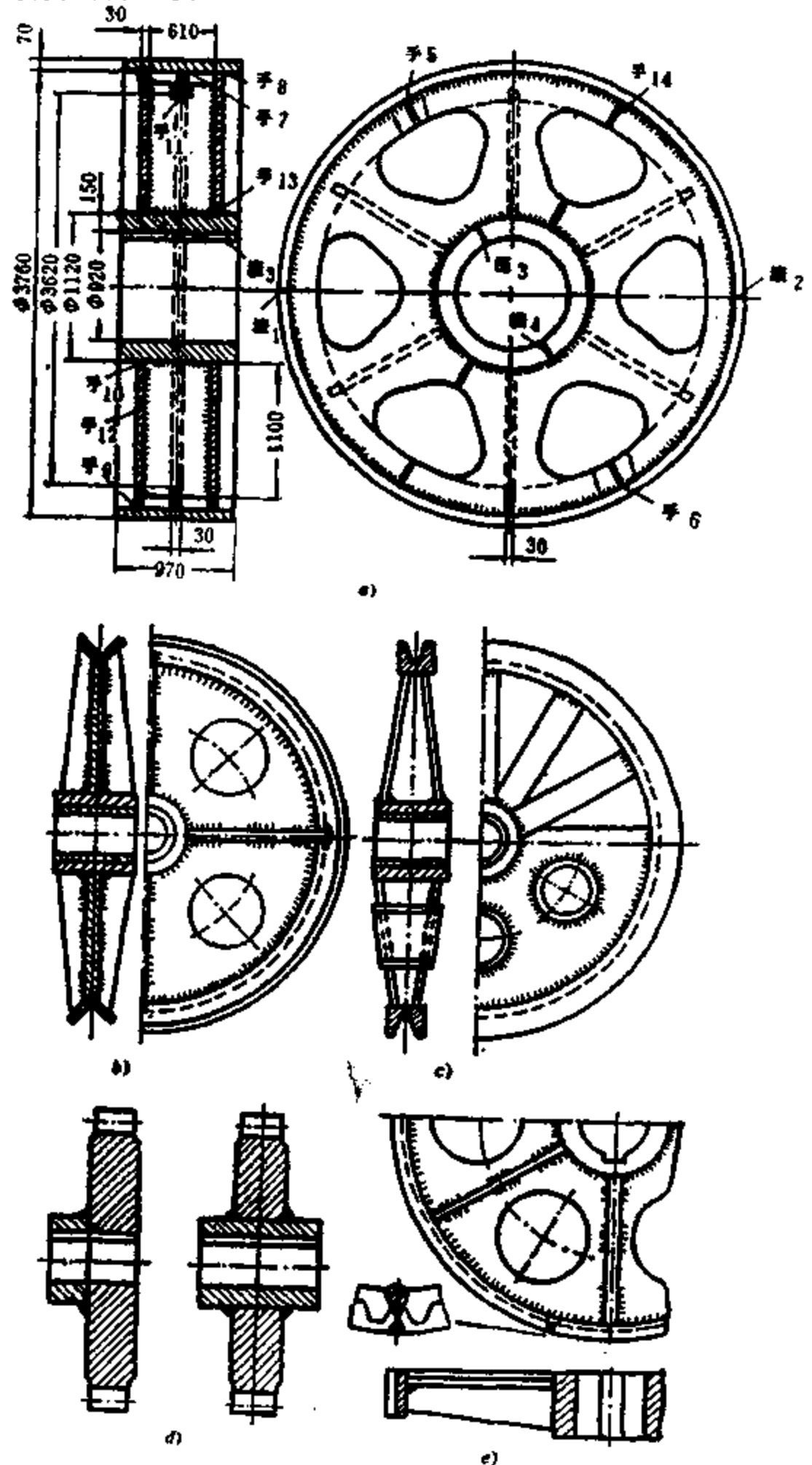


图 5-6 焊接齿轮、滑轮等结构  
a) 图中焊接代号说明：手—手工角焊缝和手工 V 形对接，渣—电渣焊] [形对接。

采用辐板（图 b）和图 c）下部），也可用辐条（c）图上部）焊接而成。后者重量更轻。图 5-6 d）、e）是直径较小齿轮的结构示意图。

辐条式齿轮的焊缝要进行弯曲正应力和剪应力的计算，而辐板与轮毂和轮缘的焊缝则按传递的扭矩进行验算。

焊接齿轮在加工齿廓之前，通常要进行消除应力热处理，以保证轮齿的加工精度，轮缘和轮齿部分用合金钢制造时，还需进行焊前焊后的热处理（如焊后机械加工完毕进行调质处理）。滑轮和皮带轮则没有这么高的要求。

图 5-7 为焊接轴类的例子，都是采用电渣焊来完成的。图 a）所示为 60000kN 自由锻造水压机的立柱毛坯，是由 20MnV 钢锻件毛坯经粗加工并开好内孔后，用丝极环缝电渣焊完成的。由于内外孔径相差太大，丝极电渣焊时渣池流动很激烈，电渣焊有很大困难。这类零件比较合理的是由矩形（正方形）断面熔嘴电渣焊（或丝极电渣焊）来完成焊接，再打孔较好。由于工件太长，因而打孔困难，不能用矩形截面焊接来完成。图 b）是矿井起重机的轴，由 45 号钢制成，分为三段锻造后进行热处理，矩形断面电渣焊后，再一次热处理。该轴毛坯（锻件）重 53t，轴的净重 41.9t。图 c）是水压泵的焊接曲轴，轴头 1、2，拐柄 3、4 和轴颈 5 分别用 45 号钢制成毛坯，用接触电渣焊的方法焊接起来。由于采用电渣焊接，全轴重 1.15t，耗用 112 工时，价值 5400 卢布，而整锻曲轴重 2.5t，消耗 158 工时，价值 15800 卢布。可见锻改焊既节约钢材又降低成本。图 d）是另一个锻焊的泵曲轴，35 号钢锻造的轴头 1、2，根部轴颈 3，曲柄轴颈 4，曲拐 5 等均由电渣焊而成。全部焊完后进行整体热处理，锻—焊轴重 4.22t，整锻轴重 9.8t。

图 5-1 b）所示的汽车传动轴可利用下式计算可能承载的扭矩：

$$M_k = (1.5 \sim 2.0) M_F i \quad (5-6)$$

式中  $M_F$  —— 发动机输出矩；

$i$  —— 传动比。

故焊缝承受的扭转剪应力为

$$\tau_k = M_k / W_k = 2M_k r_1 / [\pi(r_1^4 - r_2^4)] \quad (5-7)$$

式中  $r_1, r_2$  —— 分别为传动轴环形截面外、内半径。

按第三强度理论的折合应力为

$$\sigma_{z,k} = 2\tau_k \leq \sigma_s \cdot \varphi / n \quad (5-8)$$

式中  $\varphi$  是决定于轴径的系数， $d = 30\text{mm}$  时  $\varphi = 0.85$ ； $d = 100\text{mm}$ ， $\varphi = 0.76$ ；

$n$  —— 安全系数，当  $\sigma_s / \sigma_b = 0.6 \sim 0.85$  则  $n = 1.5 \sim 2.0$ ；当  $\sigma_s / \sigma_b = 0.45 \sim 0.6$  则

$$n = 1.15 \sim 1.6。$$

实践表明，摩擦焊焊成的接头可与传动轴基本金属等强度。

汽车的前（后）桥可看作架起来的空心梁，在板簧中心的截面上，考虑冲击作用的弯矩为

$$M = (2 \sim 2.5) Q B' \quad (5-9)$$

式中  $Q$  —— 作用于轮胎的载荷；

$B'$  —— 两轮子之间距离  $L$  减去板簧之间距离  $B$  的  $1/2$ ，如图 5-8 所示。

设计应力  $\sigma = 100\text{MPa}$ ，如对苏联 ЗИЛ—130 载重汽车，轮子上作用载荷  $Q = 34.75\text{kN}$ ， $B' = 387\text{mm}$ ，则  $M = 13.45\text{kN}\cdot\text{m}$ ，而  $W = 144\text{cm}^3$ ，则  $\sigma = 93.2\text{MPa}$ 。例如采用 17MnSi

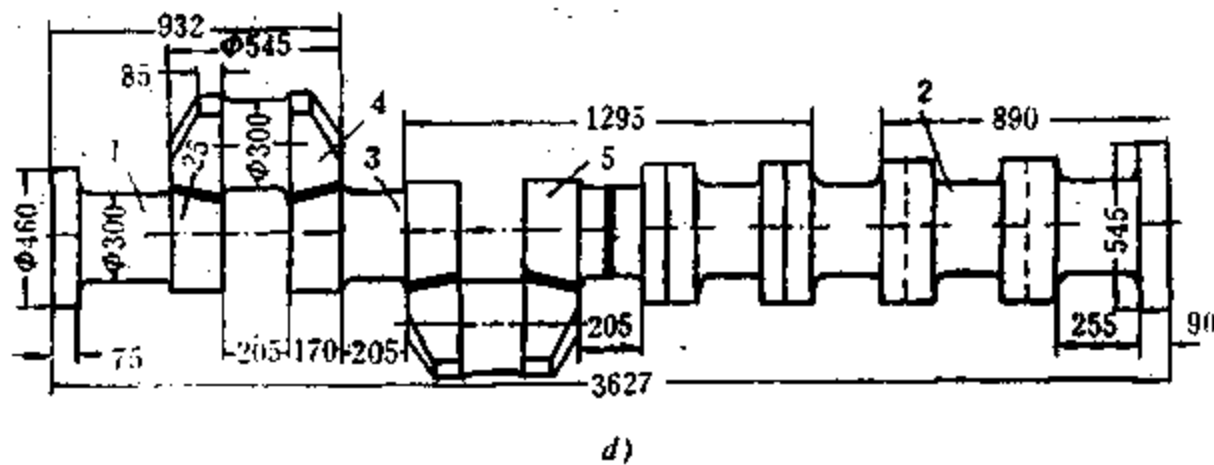
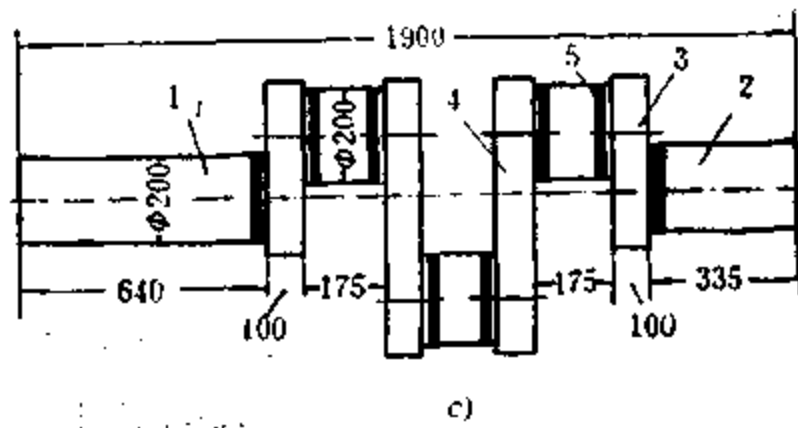
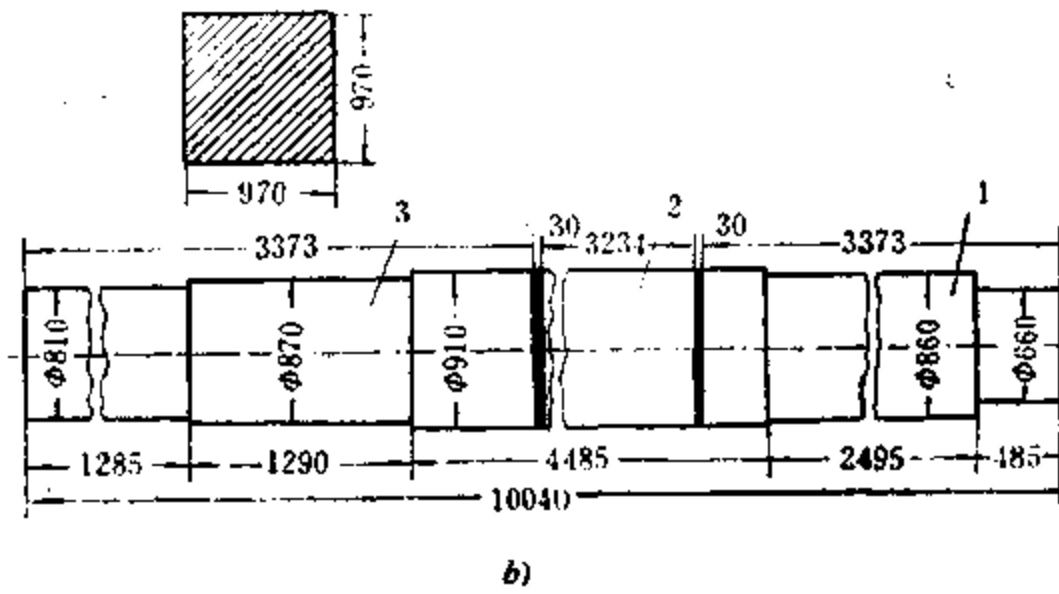
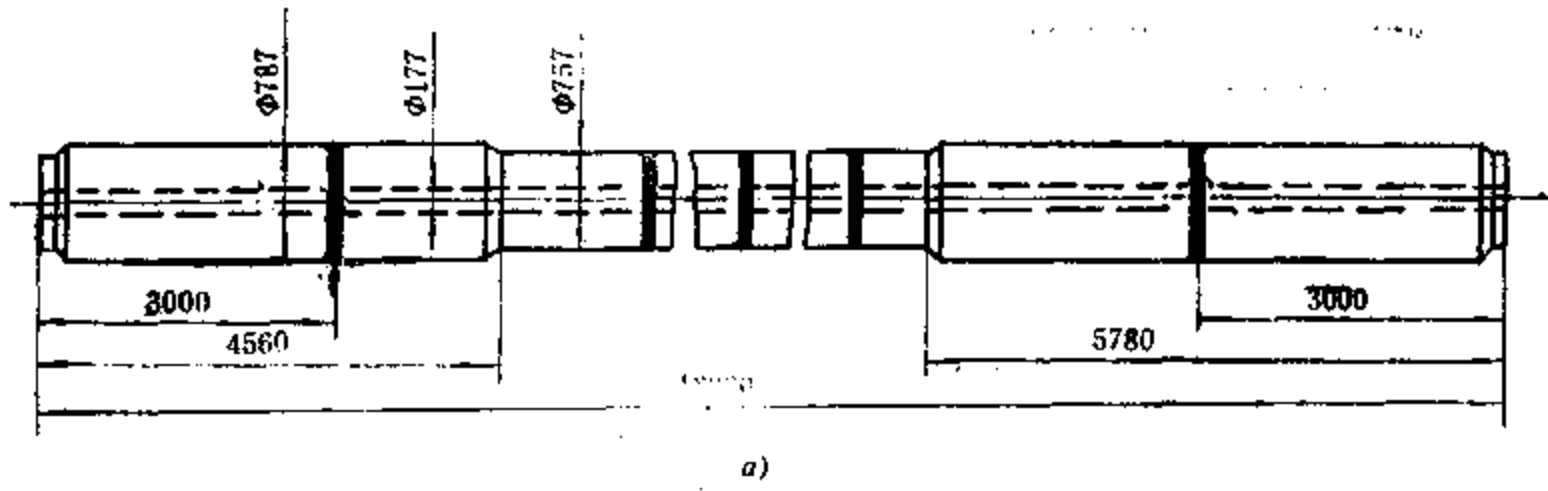


图 5-7 电渣焊完成的轴类零件

(17ГC) 钢制造传动桥, 该钢材屈服限  $\sigma_s = 320\text{MPa}$ , 则安全系数  $n = 320/93.2 \approx 3.43$ , 故焊缝是安全的。图 5-8 b) 所示传动桥纵焊缝 1 是联系焊缝, 需验算的是焊缝 2, 可按上述承受弯矩进行验算, 所承受弯矩将小于式 (5-9) 的值。该焊缝采用摩擦焊来完成。

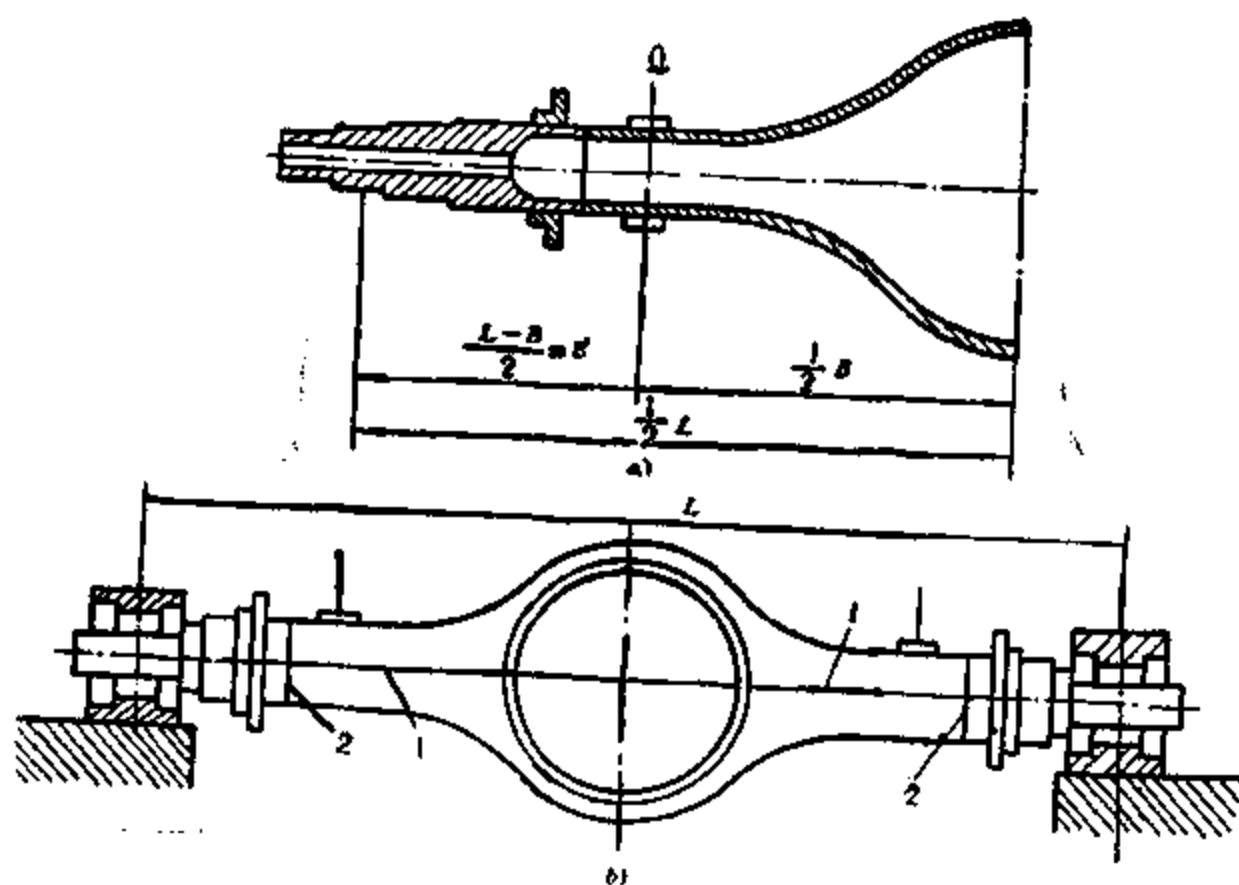


图 5-8 载重汽车主（传）动桥套

水轮发电机制造业的各式各样回转工件中，许多采用焊接结构，其中最典型的是水轮机转轮，无论其尺寸之大、制造之复杂都具有代表性。图 5-9 是直径 8 m 以上，由上冠 1，叶片 2 和下环 3 所组成的辐轴流式水轮机转轮。上冠由 2 块 500 mm 厚的 20MnSi 钢铸件毛坯焊接而成，叶片是由 20MnSi 钢一片片铸造而成，比整体铸造易于保证精确的外形。其下环是由 4 片厚 190 mm，高 1200 mm 的 22k 钢板拼焊而成。叶片和上冠的焊缝采用电渣焊完成，叶片和下环焊缝是由  $\text{CO}_2$  气体保护焊完成。

与上述方案类似，还可以采用另一种水轮机焊接转轮的结构方案，如我国制造的 30 万千瓦辐轴流式水轮发电机转轮（直径 6 m 以上）焊接结构，考虑到运输界限，将水轮机的转轮分两瓣在工厂中制造，其上冠用螺栓连接，下环对接焊缝用手工焊在工地完成，采用预热多层焊施工方案。

焊接汽轮机叶轮工作条件也很恶劣，通常工作在  $550^\circ\text{C}$  的高温和蒸气压力达 24 MPa 下。因此这类结构材料选择很重要，低碳钢件只能用于工作温度  $T_w \leq 400^\circ\text{C}$  条件下， $T_w > 400^\circ\text{C}$  时，则需采用铬钼钢、铬钒钢及奥氏体铬镍钢（12Cr18Ni10Ti），后者是一种热强钢，其可焊性很好。燃气轮机壳体受热达  $800^\circ\text{C}$  高温，燃烧室达到  $1000 \sim 1050^\circ\text{C}$ ，通常由 20X23H18 和 XH78T 合金制造。为确保安全可靠，材料进行了重熔（如电渣重熔和真空电弧炉重熔）。电弧焊接，焊丝成分接近于基本金属。焊接结构由轧制材料，个别情况下由高温回火材料制成。采用铸造毛坯的焊接结构总是要经过热处理。大多用对接接头只有载荷很小的情况下才允许采用搭接接头。

典型的焊接汽轮机件有本体、焊接叶片隔板及焊接转轮等。图 5-10 所示为圆盘类型（图 a）、鼓筒类型（图 b）和焊上半轴（图 c）的焊接转轮；图 5-10 d）为带叶片的隔板。焊接隔板由外缘 1，上部和下部箍带 2、4，隔板体 5 及导向叶片 3 所组成。其制造精度要求很高，叶片间距允差为  $\pm 0.15\text{mm}$ 。通常叶片安装在箍带上凹深 2 ~ 3 mm 的槽中，用角焊缝将它们焊在一起，如图 5-10 e）所示。

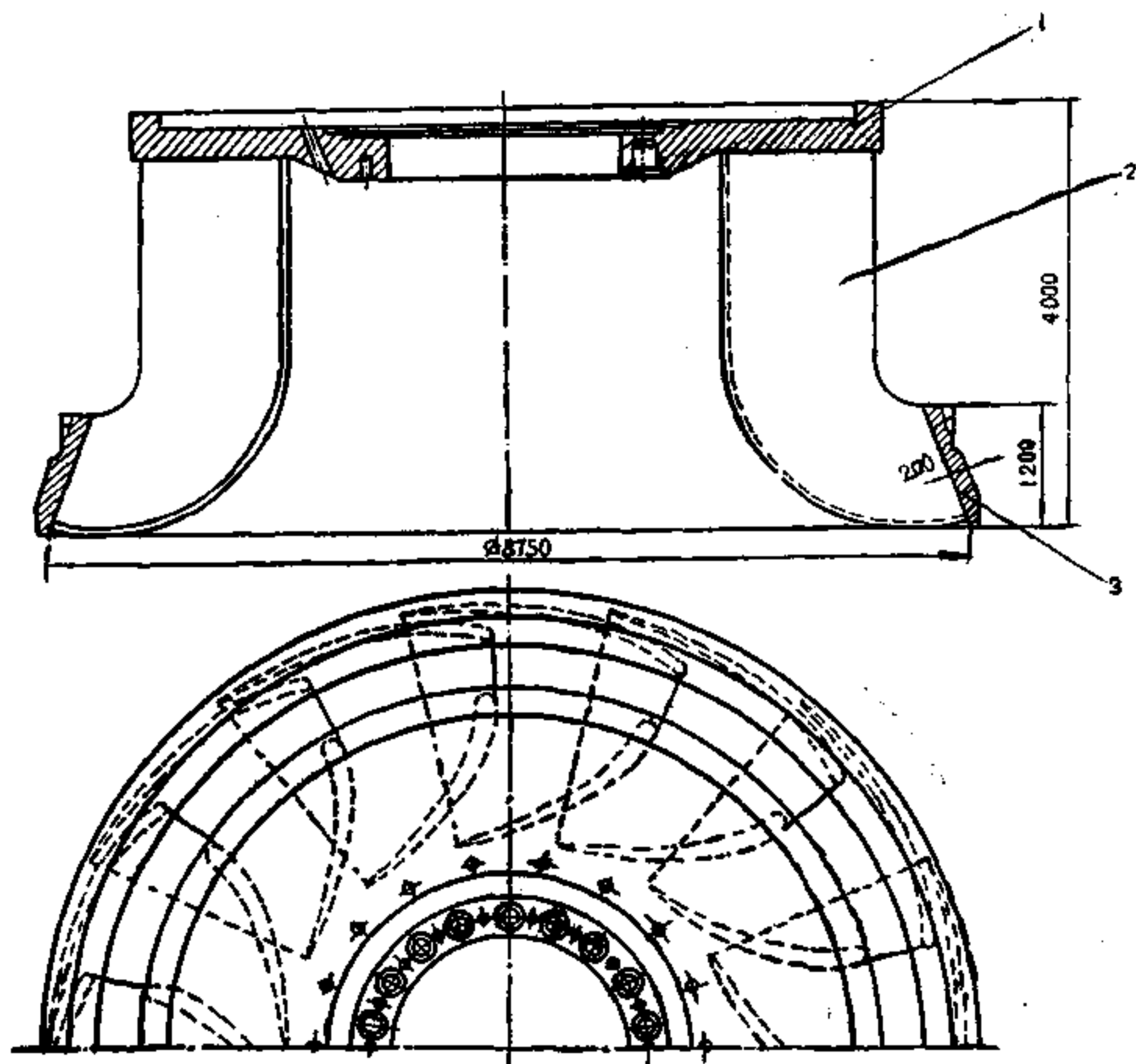


图 5-9 辐轴流式水轮机转轮结构

1—上冠， 2—叶片， 3—下环。

焊接汽轮机零件的安全系数  $n = \sigma_s / \sigma_w$  一般随工件不同而异，圆筒及壳体  $n = 1.65$ ，焊接转轮  $n = 2.30$ ；焊接隔板  $n = 1.65$ ，叶片  $n = 1.25$ 。焊接转轮的设计可分成内盘、筒体和外盘三个部分，承受的是离心载荷，每部分处在平衡条件下，按各部分之间位移相等（工作时变形）的条件，由静不定方程决定工作应力。

#### (2) 焊接箱、梁体类类型机器件的结构特点

这类焊接结构的典型例子是减速机壳（齿轮箱）。这类箱体过去多采用铸造结构，铸造箱体比焊接箱体的金属用量几乎大两倍。在大型、单件生产条件下，采用焊接减速机箱体，更具有优越性。

焊接减速机箱体传递由传动轴通过轴承传来的支承力，该支承力大小可由减速机传递的功率计算出的齿轮切向力决定，在蜗轮减速机中还有轴向力。将减速机箱壁作为筒支梁，绘制其剪力和弯矩图，从而进行强度和刚度的计算。为了防止箱壁发生失稳破坏，可采取多种形式加筋。为承受蜗轮减速器的轴向力，有的设计了双层壁。

大型锻造机器及大型机床的床身、机架和横梁是这些重型机械的基础件。如图 5-11 所示是 40000kN 冲压机床身（机架）和 60000kN 自由锻造水压机的下横梁的结构示意图。

由图 5-11 a) 可见冲压机床身外形尺寸为 6355 × 3200 × 3600 (mm)，由各不相同的



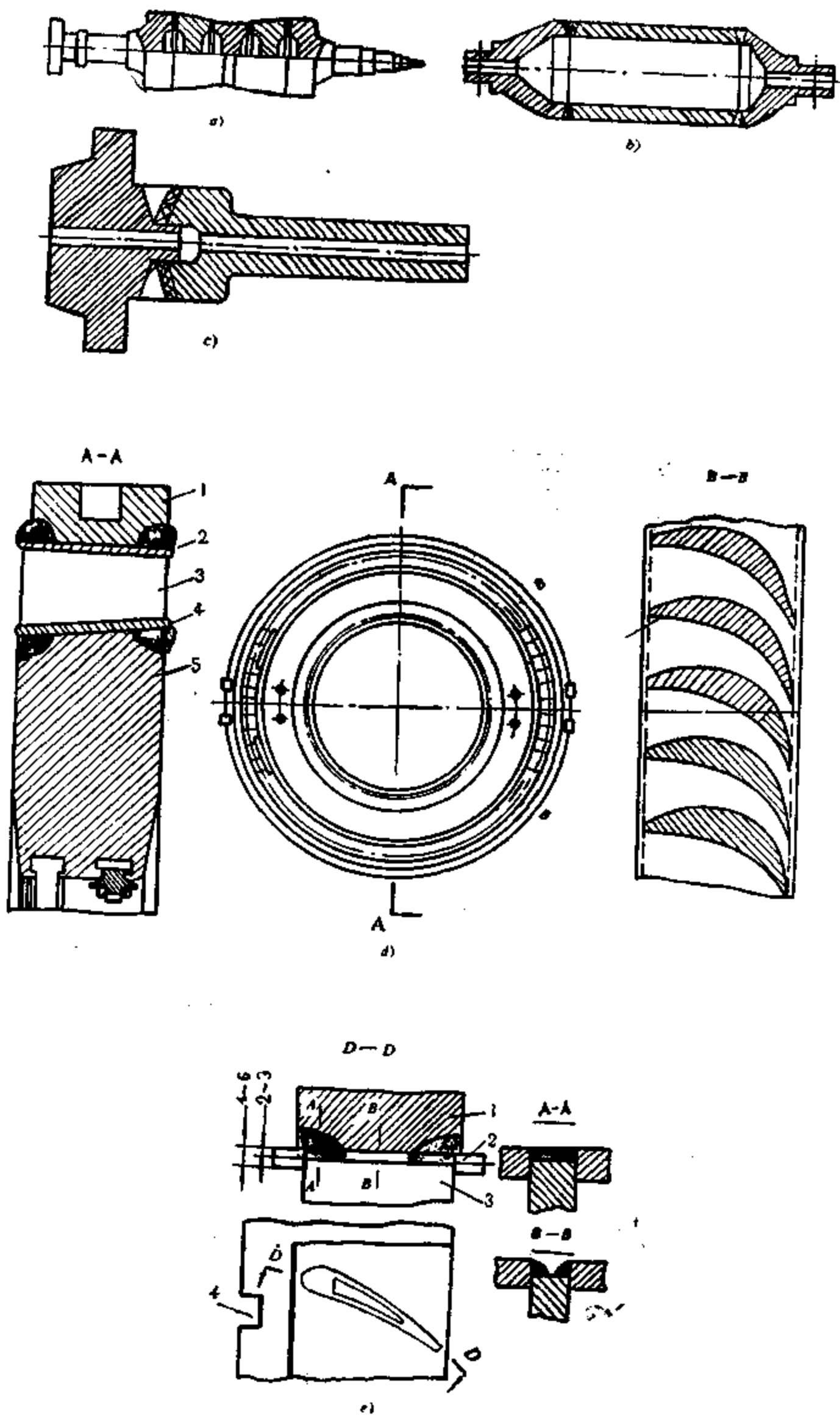


图 5-10 焊接汽轮机零件

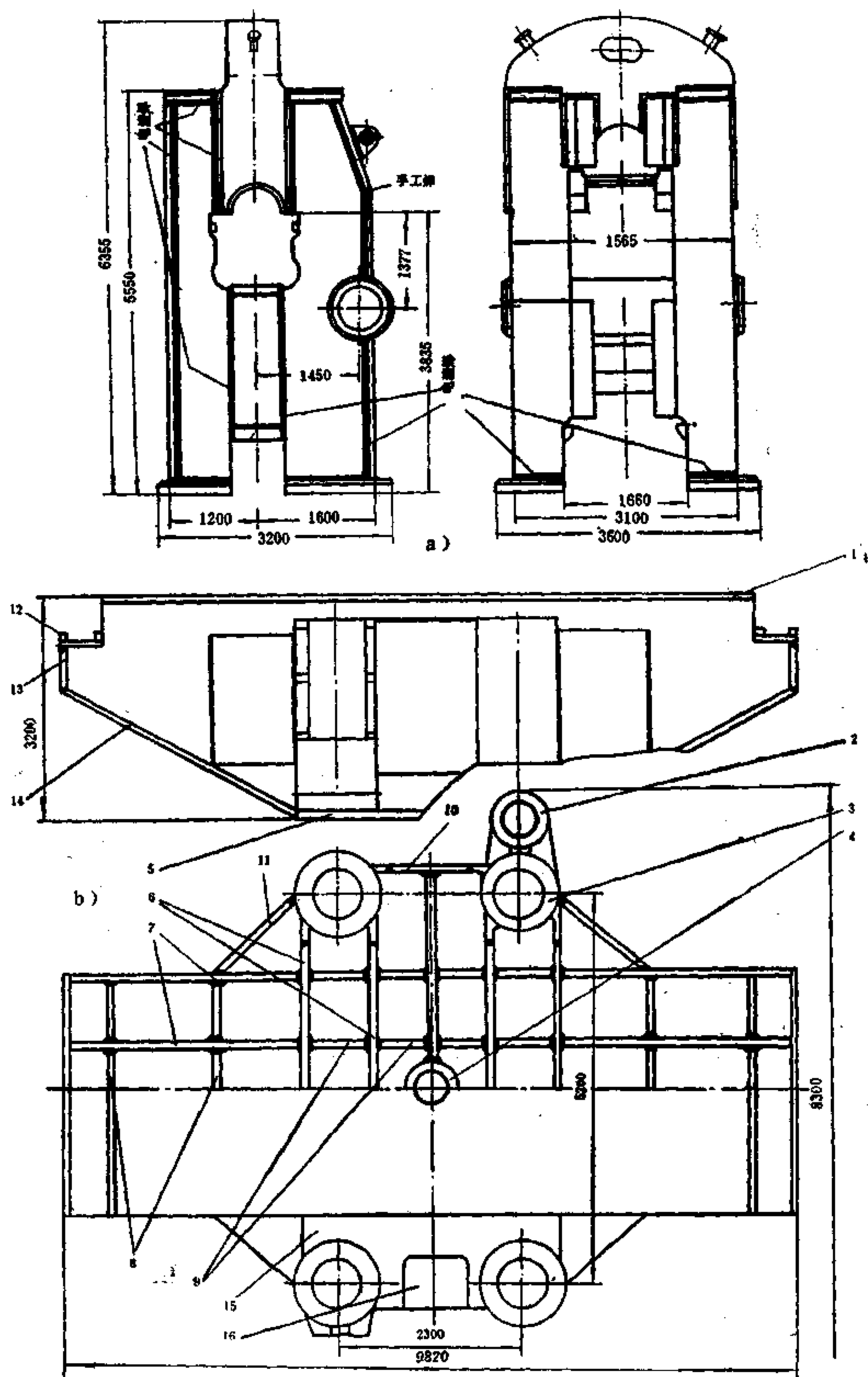


图 5-11 大型机床床身及下横梁结构  
 a) 模锻冲压机床身, b) 水压机下横梁

12类电渣焊缝和一些V形焊缝连接而成。水压机下横梁的尺寸为 $9820 \times 8300 \times 3000$  (mm), 如图5-11b)所示, 主要由厚轧制板与15号铸钢的4个柱套, 两个提升缸套及顶出器座焊接而成, 大部分为对接、角接和T形电渣焊接头, 极少采用埋弧自动焊。

## 二、复合结构及焊接机器件的焊接生产

许多复合结构和焊接机器零件都是单件或小批生产的(如锻压机床的横梁、床身、水轮机的转轮、汽轮机的零件等), 但为了获得好的质量和高的生产率, 仍然大量采用电渣焊、埋弧焊,  $\text{CO}_2$ 气体保护焊等先进的工艺方法。另外一些焊接机器零件(如汽车零件: 传动(万向)轴、桥壳体、拖拉机的焊接滚筒(轮), 内燃机车的柴油机的焊接机体等)则是大量或大批生产的, 由于流水生产的需要, 有时设计了专用机床进行自动化的装配和焊接。

### 1. 水轮机转轮的制造

图5-9所示辐轴流式水轮机转轮的焊接如图5-12所示。两片上冠经加工后, 进行电渣焊接, 只要能将上冠转至使焊缝处在垂直位置, 焊接是没有任何困难的。水轮机叶片是流线形截面, 各处厚度不等, 它和上冠、下环的焊接都是这种变化曲线和不等厚截面的焊接, 因此工艺分析认为主要困难是叶片焊缝的焊接。解决不等厚截面的焊接最适宜的方法是熔嘴电渣焊。为保证该工艺的正确实施, 并有优良焊接质量, 必须采取以下措施: ①设计并制造能使装配点定焊好的转轮(一百几十吨)回转的双柱式翻转机, 以便将欲焊的焊缝转到垂直位置施焊(如图5-12c)和d); ②熔嘴的宽度应大于工件宽, 以保证边缘熔透, 成形良好(如图5-12d)的C-C视图); ③施焊时, 适当提高焊接工作电压; ④采用圆弧形滑块以保证成形有圆滑过渡。并选用合适的焊接材料; ⑤为减小焊接应力使收缩均匀, 应采用对称跳焊施焊次序; ⑥焊后进行整体正火一回火热处理。上述装配焊接工艺过程如图5-12所示。上冠铸造毛坯经加工后(外圈未加工)装配, 并使之处于垂直位置以便施焊。为补偿上下收缩不均匀, 对接装配时上部间隙为 $50 \sim 54\text{mm}$ , 而下部为 $25 \sim 27\text{mm}$ 。焊后经过高温回火处理, 并继而进行机加工, 内表面进行最终的加工, 其余仍留有余量。

转轮的叶片也是用20MnSi铸钢制成。为了提高叶片抗气蚀破坏的稳定性, 在叶片凸面上堆焊一薄层不锈钢。为保证叶片的尺寸准确, 依靠堆焊、切削并用空间成形样板进行检查。表面磨光的叶片装配并点定于上冠之上(图5-12a)), 然后点定装配马、各拉杆、定位器(图5-12b)), 装上翻转架, 即可开始焊接。熔嘴电渣焊工艺措施已如前述。为补偿变形, 下部装配间隙为 $37\text{mm}$ , 上部间隙为 $47\text{mm}$ 。转轮叶片焊完经高温回火后, 在大型立式车床上加工叶片的端面(与下环接合部), 并加工出K形坡口。

下环由四片装配组成并用电渣焊连接起来, 如图5-12e)。焊后进行高温回火、表面加工, 然后如图5-12f)所示利用千斤顶将下环装配(套)在转轮叶片上并进行 $\text{CO}_2$ 气体保护焊, 焊后进行最后的正火一回火处理, 然后进行机加工。

我国东方电机厂制造的30万千瓦水轮机转轮全部采用电渣焊, 即不仅上冠与叶片的焊缝, 叶片与下环的焊缝也都是电渣焊完成的。

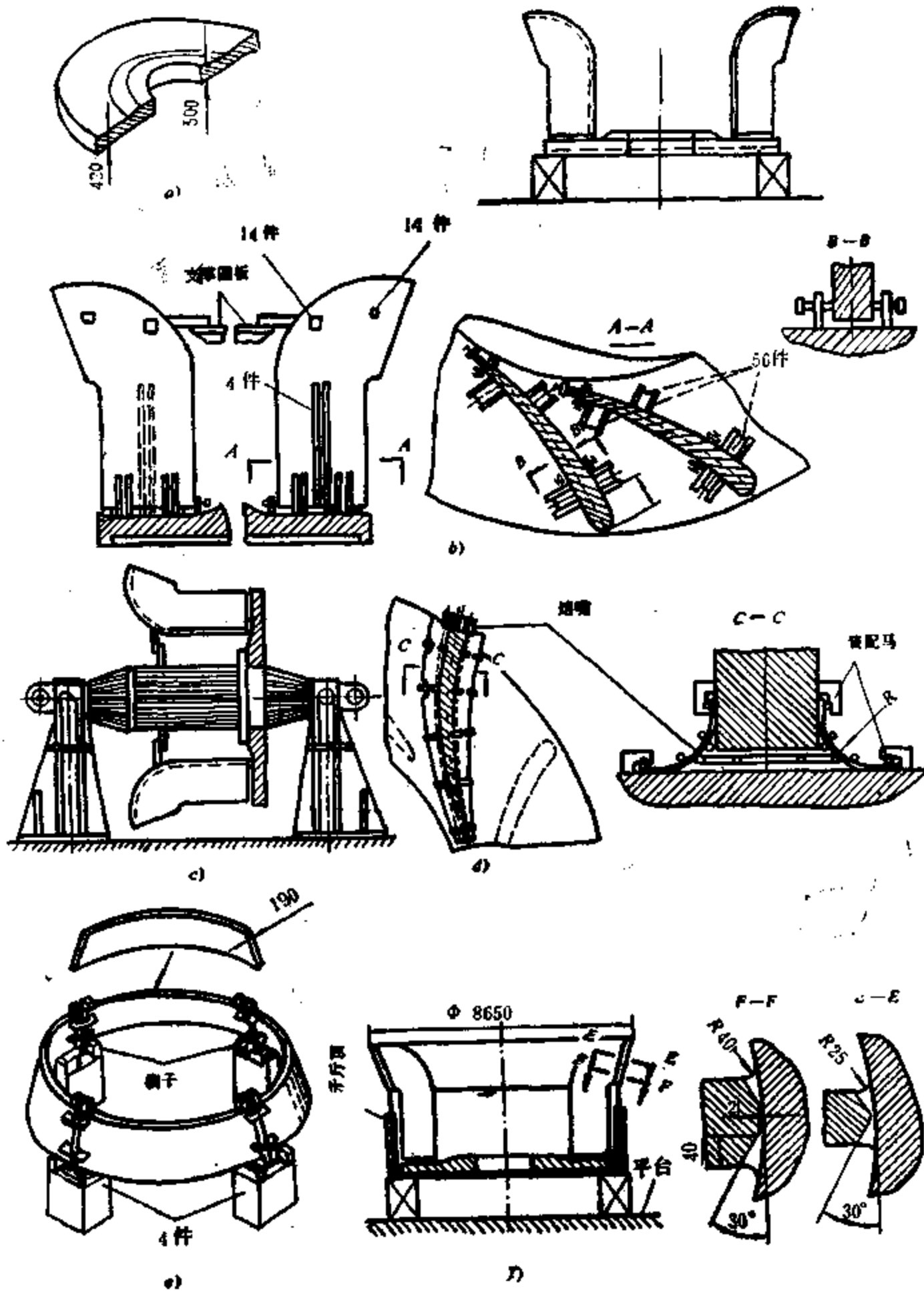


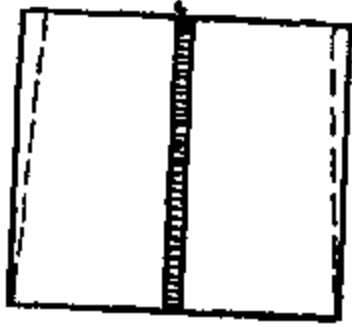
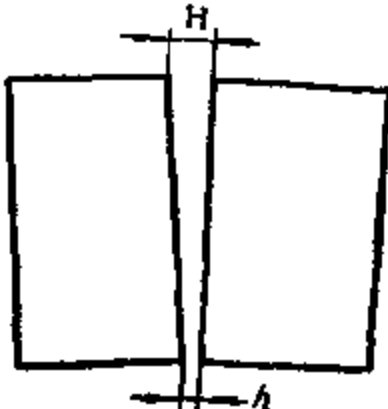
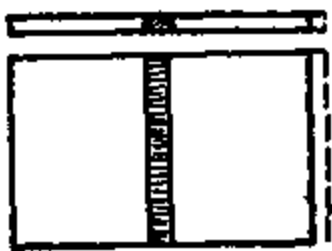
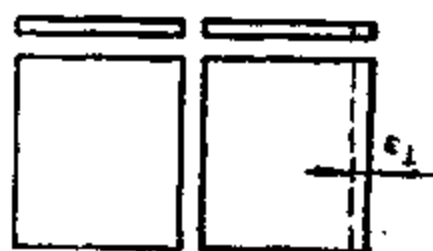
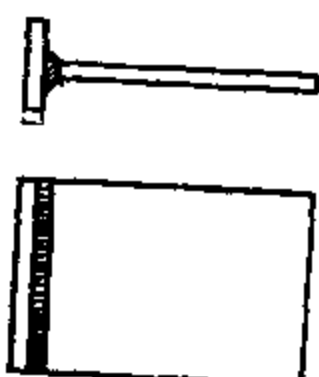
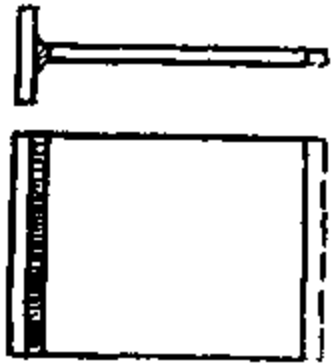
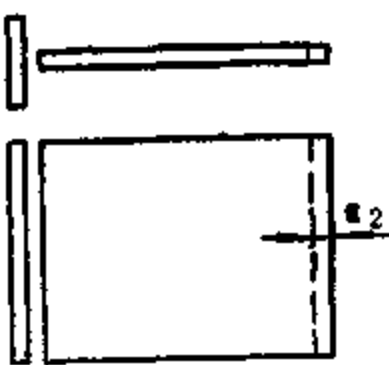
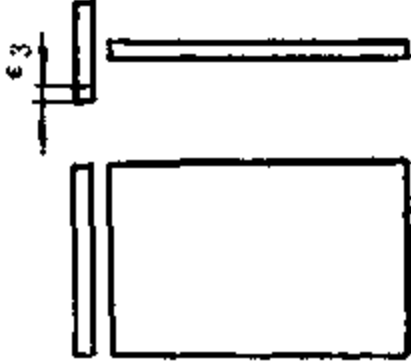
图 5-12 水轮机转轮焊接工艺过程示意图

## 2. 60000kN自由锻造水压机下横梁的焊接生产

图 5-11b) 所示的水压机下横梁是该水压机最大的工件，重 215t，材料为 A3 轧板和 15 号铸钢 (ZG15)。工艺分析表明焊接工作量极大。采取高生产率的电渣焊方法是正确的手段，所有立板焊缝采用电渣焊困难不大，而面板 1 和底板 5 与各立板之间的 T 形焊缝工作量很大，采用电渣焊的困难是如何使这些焊缝转到垂直位置施焊；再一困难是在立板交叉处，如何保持渣池不泄漏，维持电渣过程稳定。通过在工件上焊接回转轴，在专门制造的下横梁回转架上，将工件转至焊缝处于垂直位置，并将与待焊焊缝相垂直的焊缝之间隙中加

上与立板厚度相同的钢垫块，以防渣池泄漏，用这种方法成功地解决了上面板1、底板5与各立板之间T形焊缝的电渣焊困难。由于4个柱套及2个提升缸套均为铸钢毛坯，经过粗加工后，进行装配焊接，虽然有精加工的裕量，但必须控制中心距的误差，故控制电渣焊变形及采用反变形方法是获得一定误差尺寸的下横梁的重要条件。经过实验，电渣焊的收缩变形及反变形量可如表5-1所示。由表中可以查得应留出的收缩裕量。例如柱套中心距纵向要求尺寸为5200mm，柱套凸台和立板对接各2个接头，立板有4个丁字接头，查表可得收缩量 $\epsilon = 2 \times \epsilon_1 + 8 \times \epsilon_2 = 2 \times 4 + 8 \times 1.5 = 20\text{mm}$ ，装配时留出28mm收缩裕量，焊后还剩7mm收缩裕量，即实际收缩了21mm。表中所给出的角变形是因为用丝极电渣焊时，冷却滑块需沿工件滑动，焊机一面不能布置装配定位块，收缩阻力在两面不同，因而发生了角变形。

表5-1 水压机横梁电渣焊变形类别及反变形量

收缩变形种类	接头形式	收缩变形示意图	反变形示意图	反变形量
电渣焊缝始末端不同收缩量	各种接头			$H - h$ $= 1.5 \sim 2$ (mm/m)
横向收缩	对接接头			$\epsilon_1 = 2 \sim 4$ (mm)
	丁字接头	 	 	$\epsilon_2 = 2 \sim 3$ (mm) $\epsilon_3 = 1 \sim 1.5$ (mm)

续表

收缩变形种类	接头形式	收缩变形示意图	反变形示意图	反变形量
纵向收缩	各种接头			$\epsilon_5 = 0.5 \sim 1$ (mm/m)
角变形	对接接头			$\epsilon_5 = 1 \sim 1.5$ (mm/m)
	角接头			$\epsilon_6 = 3 \sim 4$ (mm/m)

下横梁的装配焊接过程系统如图5-13所示, 板材的拼接包括中央构架(图5-13e)的横向立板6, 上下盖板1、5(图5-11b)及一切需拼接的板拼板时, 焊缝不得在同一平面上, 拼接焊缝和构架焊缝不得重合。下料时板材按表5-1留出收缩裕量。如中央构架的纵向立板9(图5-11b)高度方向需留30mm裕量, 而横向按尺寸下料; 翅架(图5-13d)纵向立板7(图5-11b)高度方向留出40mm裕量, 长度方向留出50mm裕量, 并且斜角先不切割; 中央构架横向立板高度方向留出30mm裕量, 长度方向留出50mm裕量等等。

铸件准备指铸钢毛坯焊前的粗加工。

柱套合件(如图5-13a)是由粗加工的柱套毛坯与外侧纵向立板10用电渣焊接而成。为保证柱套中心距符合技术条件关于尺寸公差的要求, 装配时中心距比要求尺寸大10mm, 焊后经消除应力热处理, 中心距比要求尺寸小了6~7mm, 即实际焊两条电渣焊缝, 共收缩(横向)16mm左右, 即比表5-1值大, 亦即预留反变形不足。原因是焊缝间隙较大, 且工件处于自由状态(只在柱套铸造凸台之间加弹性支承, 以防止柱套回转), 故收缩量超过预计值。

两侧立板构件(图5-13h)的装配焊接过程, 是将横向立板和纵向立板二次装配点定焊, 然后同时焊接每块纵向立板两端的电渣焊缝。

将焊好的中央立板与顶出器构架(图5-13b)同两侧立板构件装配在一起, 采用对称跳焊的办法完成8条电渣焊缝, 得到中央构架。再与经消除应力热处理的柱套合件整体合拢, 此时要注意保证两柱套合件间的中心距。预留的反变形量如前所述。

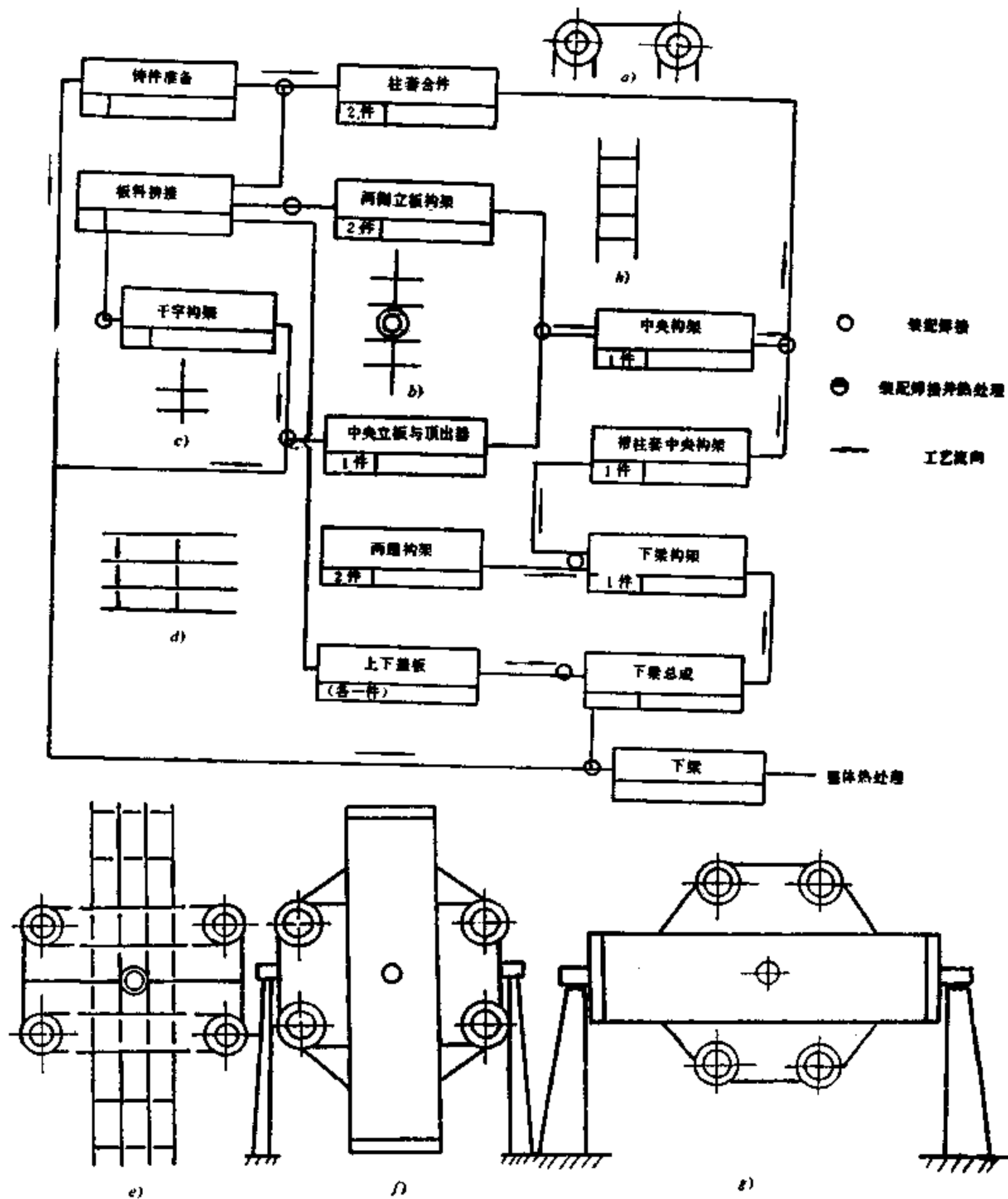


图 5-13 下横梁装焊过程系统图

将焊好柱套的中央构架和焊后经消除应力热处理的两翅构架（图 5-13d）合拢，尔后焊接它们之间的立板电渣焊缝，获得下梁构架。下梁构架同时装配上、下盖板，并在中央构件的外侧纵向立板上焊上直径400mm的回转轴，如图 5-13 f）所示。采取加垫块等措施后，用熔嘴电渣焊完成 4 条 10m 长的电渣焊缝。由于顶出器左右空间窄小，无法布置水冷铜滑块，因而此处设置了垫铁。与此类似，焊接下盖板与立板的焊缝。

随后焊接上、下盖板与横向立板的焊缝，此时回转轴处于两翅构架端部，如图 5-13g），用气割将十字立板处纵向立板与盖板的焊缝（已焊好）割穿，以便实现盖板与横向立板焊缝的连续焊接。

下梁转平后，于工作位置装配提升缸套2（图5-11b），焊接缸套2与柱套3之间的电渣焊缝。此焊缝甚宽（200mm），因此采用两个熔嘴。分阶段引弧造渣的办法完成。装配焊接其他零件，如侧立板11（图5-11b）与柱套的焊缝；铰链座12，横向端板13、下斜筋板14之间的焊缝（自动焊）；侧盖板15与制动装置座16之开坡口的角焊缝（熔嘴电渣焊）。最后，进行下横梁的整体热处理（910℃退火）。

### 3. 40000kN冲压机床身的装配焊接

图5-11a)所示巨型冲压机床身的装配焊接过程与上例类似，因为其接头类型相似，都是由对接、角接和T形电渣焊接头组成；这些接头的预装配也都采用了角形、桥形等装配马（作为定位器），在局部不能放置水冷铜滑块的地方也设置不可拆卸的钢垫块；通过反变形补偿电渣焊缝的收缩；为防止角变形都使所焊工件截面呈封闭形；为将电渣焊缝从工件中引出，需将复杂工件分为部件进行装配焊接等等。

该床身实施的装配焊接过程如图5-14所示。最先焊接小台柱1（图5-14a），b），的（1）、（2）、（3）、（4）电渣焊缝；然后同两个半支柱2，3装配，焊接（5）、（6）、（7）、（8）电渣焊缝，组成了冲压机床身的两个立柱（图c），此时装焊圆筒的缺口尚未切出来，以便电渣焊缝（8）能连续进行。尔后装配铸钢横梁4，焊接（9）、（10）、（11）、（12）四条电渣焊缝（图d）。然后放倒，装配圆筒5，及底板9、10，其V形焊缝（14）、（15）采用埋弧半自动焊焊接（图e）；将工件翻转90°，装配板件6、7、8，用电渣焊完成焊缝（16），用手工焊完成（17）~（22）V形焊缝（图5-14f）。

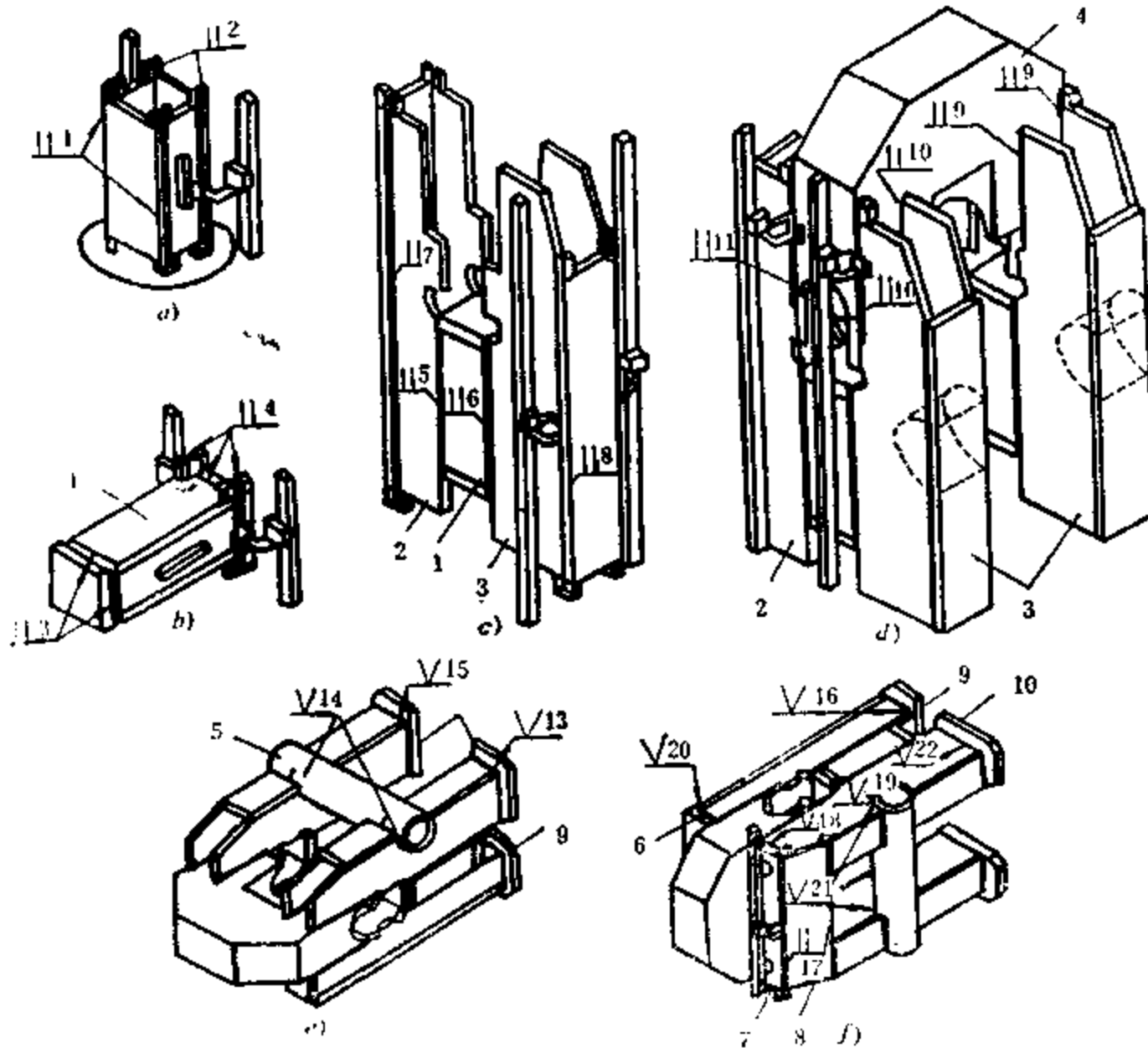


图5-14 冲压机床身装配焊接示意图



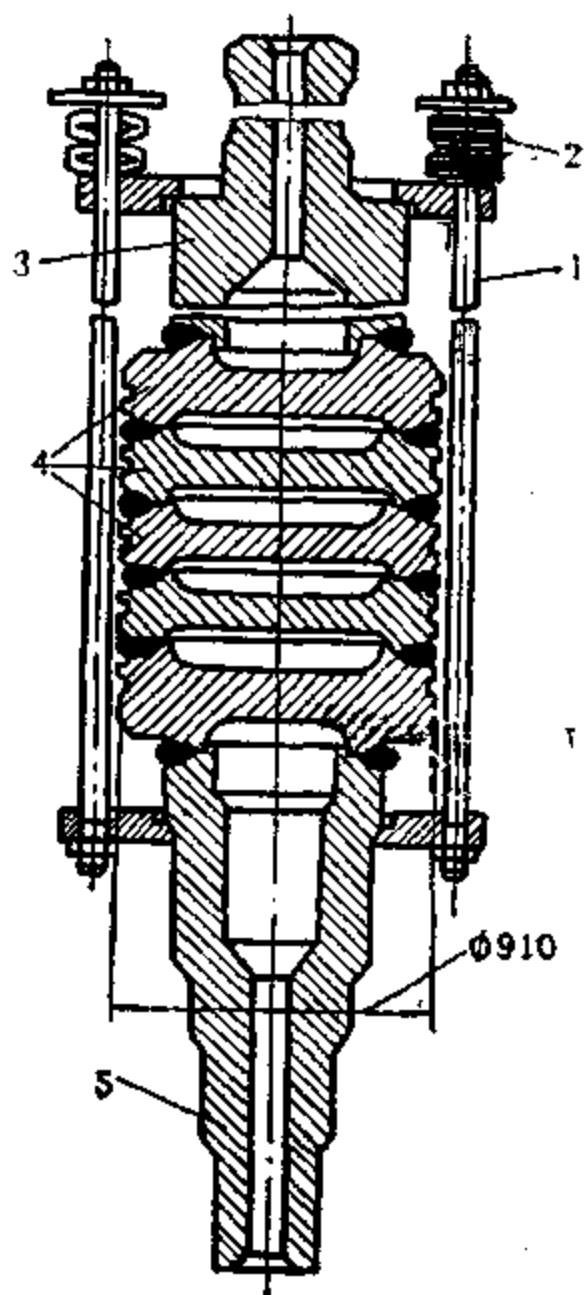


图 5-15 燃气轮机转轮装配焊接

拉杆 1 装配。拉杆上有补偿收缩的弹簧 2，以便在发生焊接收缩时仍有适当的装配夹紧力。

单道焊不可能保证整圈焊缝均匀收缩，所以焊缝都是多层焊的。为保证焊缝根部熔透，设计了专门的坡口形式。单面焊使根部熔透的办法很多，例如可采用加垫，但不如图 5-16 a) 所示的结构形式。这种精确加工的接头坡口形式，由于具有凸台而装配准确；设置的嵌环（厚 2 mm）利于减小收缩阻力，这对防止根部裂纹是很重要的。接口下面加工出斜沟槽有利于减小收缩阻力，也有利于防裂，并且可保证超声波检验根部焊缝的有效性。

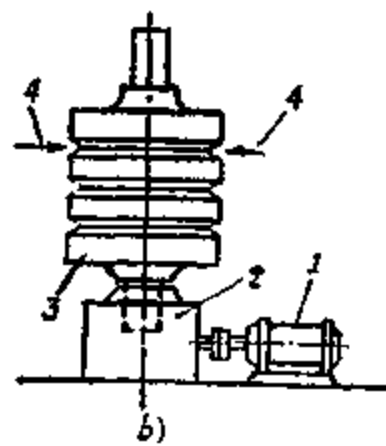
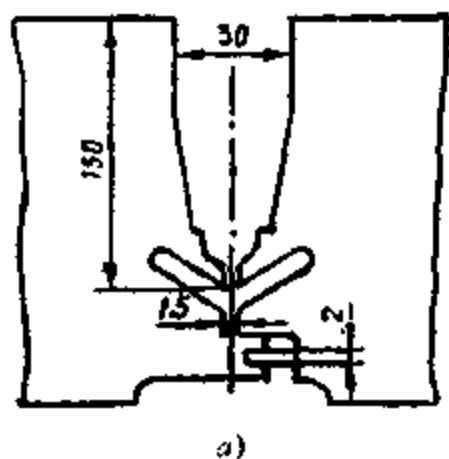


图 5-16 转轮焊接示意图

a) 转轮轴环缝结构； b) 焊接示意图。

#### 4. 焊接汽轮机（燃气轮机）零件的制造

图 5-10 和 5-15 示出的汽轮机和燃气轮机零件在很苛刻的条件下工作，故对其制造要求很严格，接触高温部分都是由耐热钢（热强钢）制造的。由于尺寸巨大，很难通过铸造或锻造单一工艺方法获得毛坯。所以需由锻造制成相对尺寸不太大的零件，而后组装焊接成所需尺寸的零件，这是汽轮机（燃气轮机）的主要生产方式。图 5-15 所示即是由若干圆盘 4 和轴 3、5 焊接而成的燃气轮机转轮。

在制定产品结构细节和焊接工艺时，通过工艺分析，首先注意到转轮内部有许多空腔，无法机加工，也无法反面施焊。因此能否单面焊透，是保证产品质量的重要条件之一。这类零件是高速旋转的，其轴向弯曲有极严格的公差要求，否则封闭空腔相对轴向的偏心将引起轴旋转的动不平衡。这种不平衡在高速转动的轮机中引起损坏是不许可的，故必须严格控制焊接转轮的轴向弯曲。由于不可能在焊后利用机加工消除轴向弯曲，所以必须采用精确的装配工艺及合理的焊接工艺。

锻造毛坯，经精加工后，将其精确对中。

圆盘间依靠装配凸台对中，用图 5-15 所示的

转轮的第一层焊缝是在工件处于垂直位置施焊的（如图5-16b）。工件在焊接回转台2上旋转，同时由2~3把焊枪对称施焊（图5-16b）中4）。打底用钨极氩弧焊。工件处于垂直位置施焊，是为免受重力的影响；对称施焊使变形也对称。打底焊后，用CO<sub>2</sub>气体保护焊在同样位置进行以后焊层的填充焊。精确加工的坡口被填充到一定厚度，转轮有了一定刚度后，再将其放至水平位置。坡口的主要部分是在该位置下，工件绕水平轴旋转过程中，利用埋弧自动焊填满的。该工艺使焊成的转轮弯曲变形在要求范围内（在5m长度内，径向跳动不超过0.5mm）。

#### 5. 4000马力柴油机机体和汽车传动桥的焊接生产

4000马力柴油机用作铁路干线动力机车（内燃机车）的主机。其结构的断面示意于图5-17a），为一铸焊复合结构。其下半部1（主轴承座）是铸钢件（25号铸钢）长3582mm，宽1000mm，高698mm。上半部分有左右对称的14块垂直板11和两端板，这些板（垂直板和端板）下部与铸钢件1焊接，上部与厚73mm左右顶板6相连接。此外纵向还有外侧板4，中侧板7，内侧板10，顶板8，隔板9，水平板3，支承板5。由图可见外、中、内侧板下端和主轴承座相连，上部和顶板焊在一起。纵向的各板和垂直板都是正交的，而且各板又是连续的，因此垂直板11、水平板3、中侧板7都开有槽口，（图b），正交板彼此相插再焊

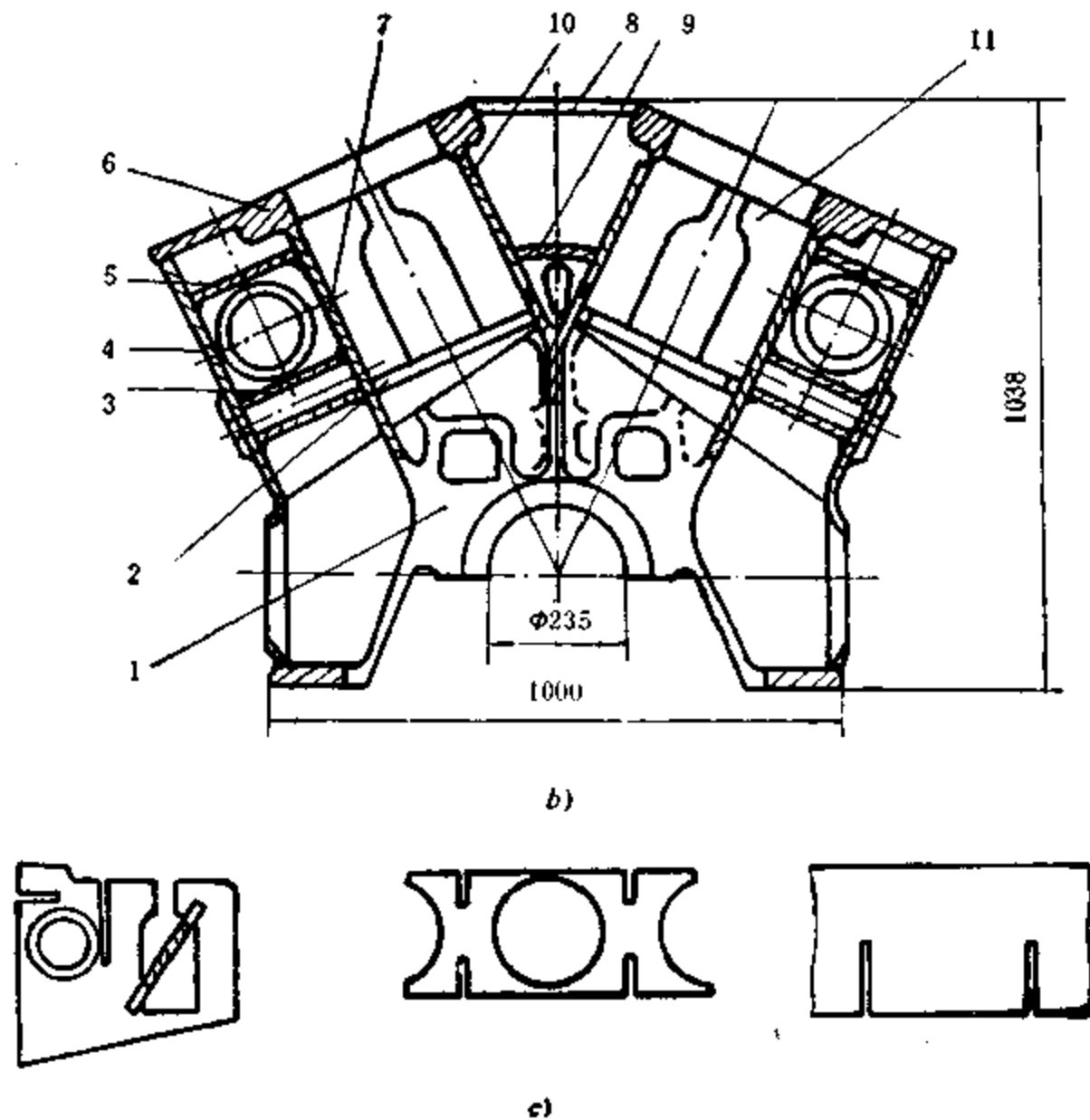


图5-17 4000马力柴油机机体图

- a) 断面图 1—主轴承座；2—套管；3—水平板；4—外侧板；5—支承板；  
6—左顶板；7—中侧板；8—中顶板；9—隔板；10—内侧板；11—垂直板；  
b) 垂直板（左）水平板（中）中侧板（右）。

接,这样既便于装配、焊接,结构强度也比较高。最重要的焊缝是顶板(左右顶板)与中侧板、内侧板,以及各板与主轴承座之间的焊缝,都是对接的,前者还在左右顶板上加工出10mm高的凸台。垂直板和顶板之间为角焊缝。此外,左右内侧板和中顶板、主轴承座之间构成一个空腔,并被隔板9分成两部分,上腔为增压空气稳压腔,下腔为主油道。机身上可安装16个汽缸,分为两排并呈V形布置,安装在顶板和水平板的圆孔中,并被固定在左右顶板上。故左右顶板及主轴承座(9个主轴承)承受主要的冲击载荷,对焊缝质量要求很高。所有钢板牌号皆为16MnR,它有好的可焊性。

汽车传动桥构造如图5-1所示,比较简单。

以上两个产品可以作为成批(机身)和大量生产的典型示例。

大型柴油机机身焊接结构具有刚度大,重量轻、承受交变载荷性能好,工艺性好等优点,总重4.5t,焊缝总长约334m。对于这种铸—焊框格式箱形复合结构(图5-17)的工艺分析表明,铸造的主轴承座系探伤合格并经过粗加工的,又是最重的零件,因此可以以它作为基准,以垂直板为支架,从内向外进行装配;所有焊缝中很少规则的长焊缝,而且各种位置都有,为获得高质量高生产率焊缝,应采用先进的焊接工艺方法。本结构是应用CO<sub>2</sub>气体保护焊解决的。由于被焊的板件厚度为8~73mm,焊缝截面变化也很大,故采用了短路过渡、颗粒状过渡以及颗粒加潜弧过渡等形式。表5-2是已经用到生产柴油机机身复合结构的CO<sub>2</sub>焊接参数表。为进行全位置焊缝焊接,且考虑到本结构是成批生产,因而采用了专门的装配台和双向焊接翻转机。

机身的装配是在专门装配台车上进行的。以主轴承座为基础,装配滑油支管、放水管、左右中侧板、左右顶板和端板等。装配完毕,有一部分就在装配台车上施焊,大部分送到焊接翻转机上,将焊缝转到合适位置施焊。焊完后清理渣壳,检查后进行水压试验,然后再装配左右外侧板、中顶板等,第二次上焊接翻转机,焊接外侧板与垂直板、端板,外侧板与轴承座等焊缝。焊接翻转机是双向的,可以把焊缝转平或转到船形位置施焊。还有一部分焊缝是从翻转机上卸下后施焊的。装配完毕,进行第二次水压试验、煤油检验等。合格后,进行整体热处理(600~650℃)和喷丸处理,最后进行精加工。

表5-2 柴油机机身CO<sub>2</sub>保护焊工艺参数

过渡方式	焊丝直径	I <sub>b</sub> (A)	U <sub>b</sub> (V)	U <sub>b</sub> (mm/min)	Q(dm <sup>3</sup> /min)	干伸长	极性
短路过渡	1.2	150~200	20~24	500~800	10~25	10d	反极性
颗粒过渡	1.6	350~400	36~38	400~500	15~25		
颗粒十三管弧过渡	5	750~850	40~42	300~400	30~40		

由于批量生产,所有装配、焊接水压试验台等的位置都是固定的、专用的。

图5-1所示的汽车传动桥是在按节拍组织的流水线上生产的。其装配焊接过程是:在自动化装配台架上装配两个17MnSi板热冲压的传动桥盒8,下一个自动化装置上装配楔形插入板2,焊缝都是用CO<sub>2</sub>保护焊完成的。然后自动装配法兰盘1(35号钢)和桥盖6(20号钢),焊接完毕,装焊轴套法兰4,最后摩擦焊接轴套5。吉尔(ЗИЛ)汽车传动桥的流水线共有8个工作段,30个工作位置。

## 第六章 车、船的壳体结构

### 一、客车、货车（敞车）及槽车（罐车）的结构特点

一般的铁路车辆大多由以下几部分组成：车体、车底架、车钩及缓冲装置、行走部分（包括转向架、减震器轴承与车轮）及制动装置等。

全焊结构的车辆即指车体和底架是全焊结构的。如全焊的客车体是由顶盖、侧墙、端墙和门墙等预制好的大尺寸构件装配焊接而成；而车底架和钢地板焊接在一起，最后两者焊接成为一个封闭的车箱。顶盖、侧墙、端墙、门墙等大尺寸构件皆由格栅骨架及外蒙皮而成，如图6-1 a)所示。格栅骨架由Z形冲压型材组成，外蒙皮是厚度为1.5~4mm的钢板。为增加外蒙皮的刚度，常将蒙皮板冲压起棱，如图6-1 b)所示。焊接引起波浪（翘曲）变形不仅破坏外形美观，而且降低其抗压稳定性，因此最佳的蒙皮和骨架连接是采用电阻点焊。

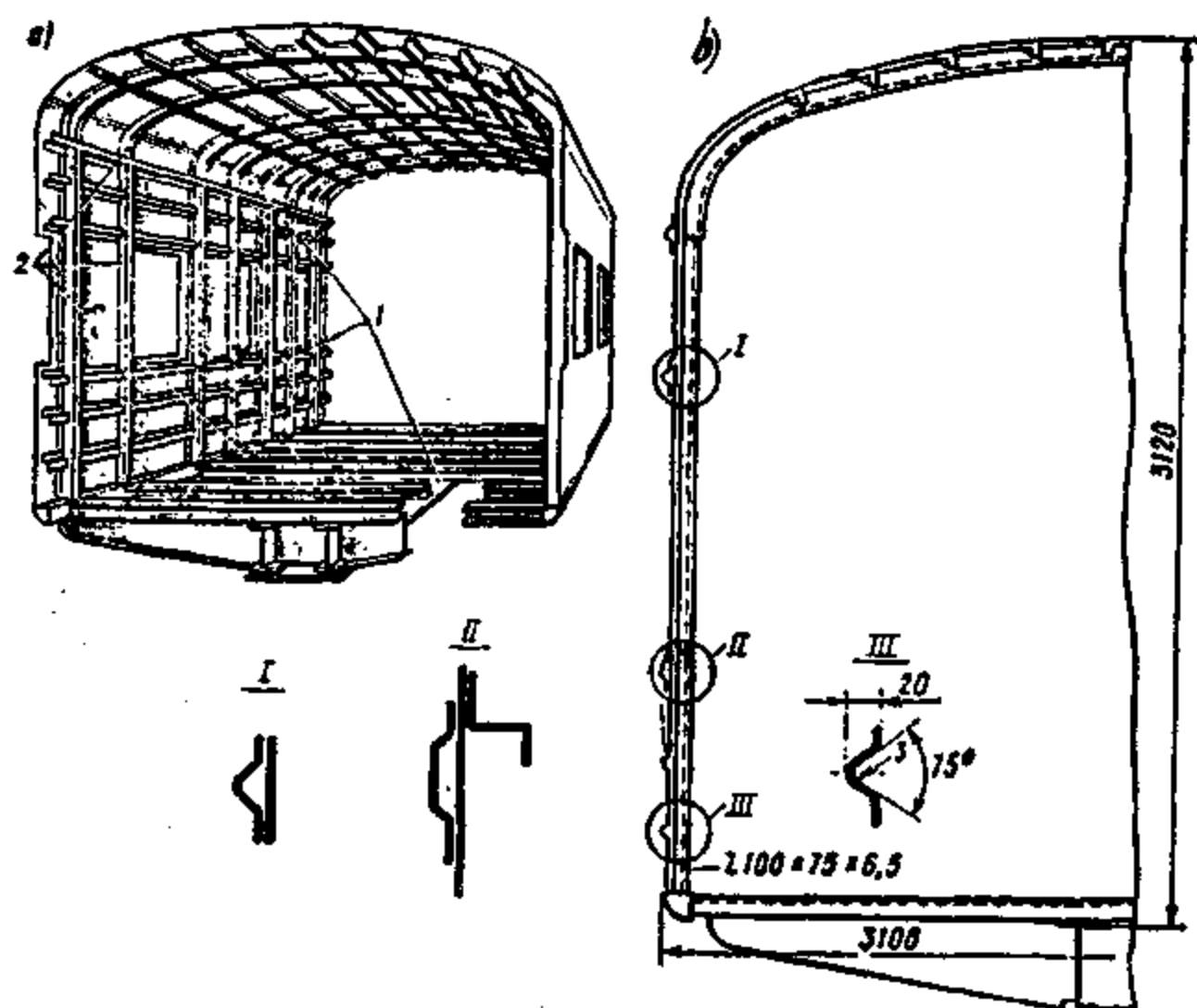


图6-1 全焊客车箱结构示意图

客车的底架结构如图6-2 a)所示，它由中梁1、侧梁2、主横梁3、枕梁5、小横梁4、端梁7、过台端梁9、过台侧梁8及端梁对角撑6等组成。如前所述，底架上再蒙上钢地板或钉上木地板。其中梁由轧制工字梁或乙型钢组成，主横梁、枕梁等常由6~8mm钢板拼接而成，而侧梁、小横梁等则由轧制槽钢制作。由图可见，它们组成一个框架结构。

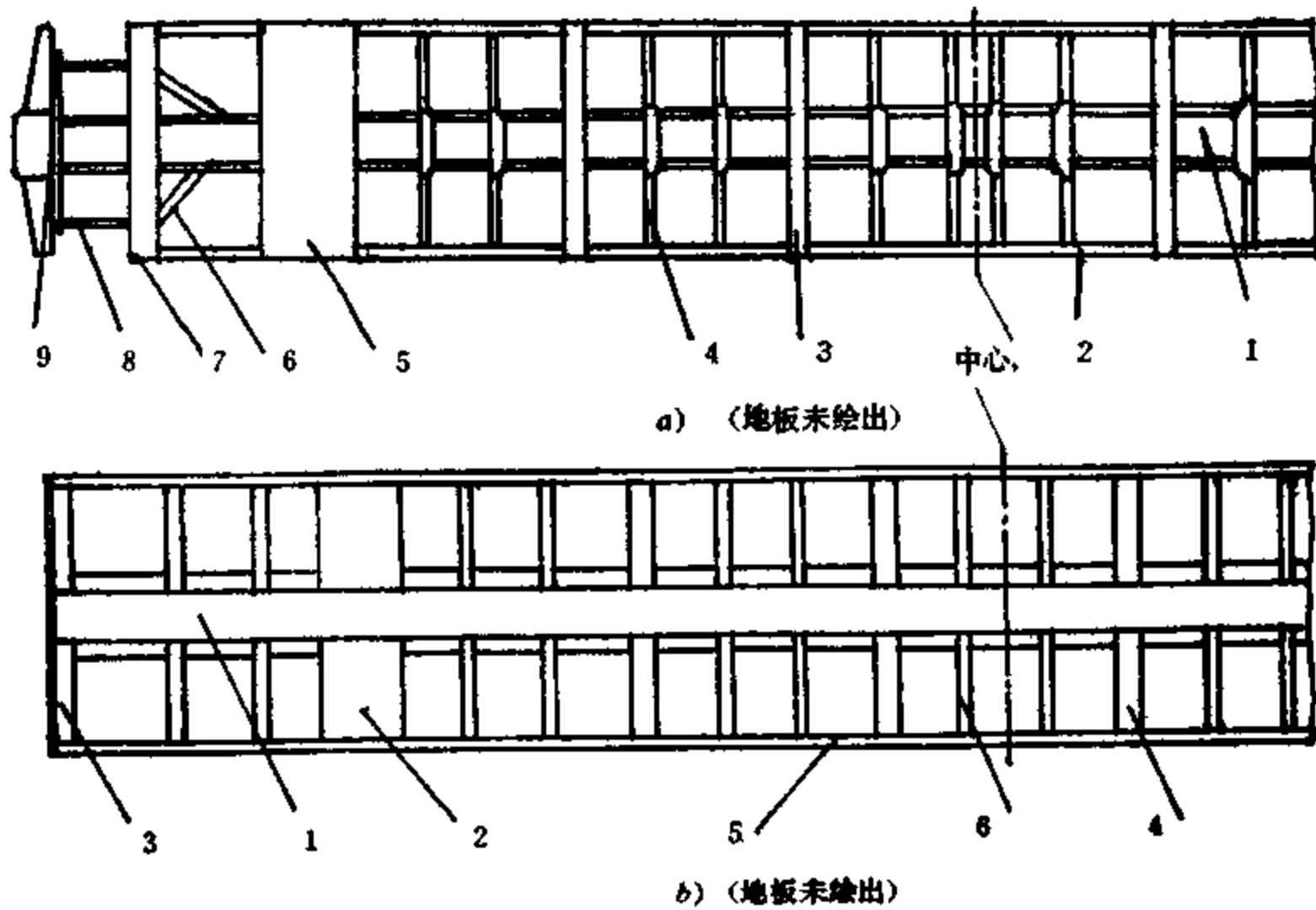


图 6-2 车辆底架结构 a) 客车; b) 货车。

敞车的全焊车体没有顶盖，侧墙和端墙由 5 mm 以上厚的钢板冲压成钢柱与冲压起棱的墙板装配焊接而成。其底架和客车的类似，如图 6-2 b) 所示，但比客车底架简单，由中梁 1、枕梁 2、端梁 3、横梁 4、侧梁 5 等组焊而成，上面覆盖 8 mm 厚的地板。

槽车的车体是一卧式圆筒容器，在第三章已作介绍。除无中梁的罐车外，槽车的底架是单独制作的，它没有中部侧梁、小横梁等，所以最简单。

车辆底架是超静定结构，承受空间力系，许多情况下与车体共同承担载荷，所以十分复杂。其设计是参考原有车辆结构，选定形式和几何尺寸，再加以详细概算，计算时采用假定和简化方法进行。

减轻车辆自重与车体的设计计算有很大关系，合理的车辆结构节省材料、强度大并便于制造与检修。车体按承受载荷情况可以分为三类：主要由底架承载，底架和两侧墙承载以及底架、侧墙、顶盖与端墙成一封闭壳结构承载。下面将介绍的货（敞）车车体属于第二类承载结构；客车车体可以按第二类侧壁承载计算，也可以按第三类整体承载计算。由于整个车体是一个复杂的空间结构，受空间力系的作用，精确的计算相当困难，目前正在研究用有限元方法提高计算精确度。工程上常用简化计算方法。

## 二、客车车体的制造特点

目前我国客车（包括地铁）车体（箱）的格栅骨架广泛采用粗丝半自动  $CO_2$  气体保护焊接，这与该产品为成批生产，产品多为短焊缝相适应。

客车车体（箱）是分成平面部件装配焊接的。通常分为顶盖、侧墙、端墙和门墙等部件，这些平面部件最好是采用点焊和缝焊连接。与其成批（小批）生产的特点相适应，平面

部件生产的个别工位采用局部机械化装置，大量采用车间的起重运输设备，而不象大量生产（如汽车驾驶室生产线）那样采用专用机械化装备和运输工具。这些平面部件装配焊接在专用的胎架上进行（如图6-3），以保证装配质量和便于焊接。专用胎架由装配平台2、两个装配门架4和焊机1等组成（图6-3a）。焊机从一个平台到另一个平台进行装配后的焊接工作。装配工作按下述方式进行：先按照定位器铺设外蒙皮板，然后放置增加刚性的元件，压紧外蒙皮并使其预弯，此项工作由门架1（图6-3b）的支架6上所安装的一系列装配压紧器来完成。门架可以沿装配平台纵向移动，移到设计规定的位置将其固定。固定门架时用定位气缸装置2，它将带销子的机构7插入轨道下面的工字钢中的定位装置8中。门架固定之后，顺序动作气动杠杆压紧器3、5（如图6-3b）A-A及B-B）将元件与蒙皮压紧，并用气动压紧器9造成预弯，然后进行点定焊。点定完毕，各压紧器回复原位，门架移动到下一个装配位置。

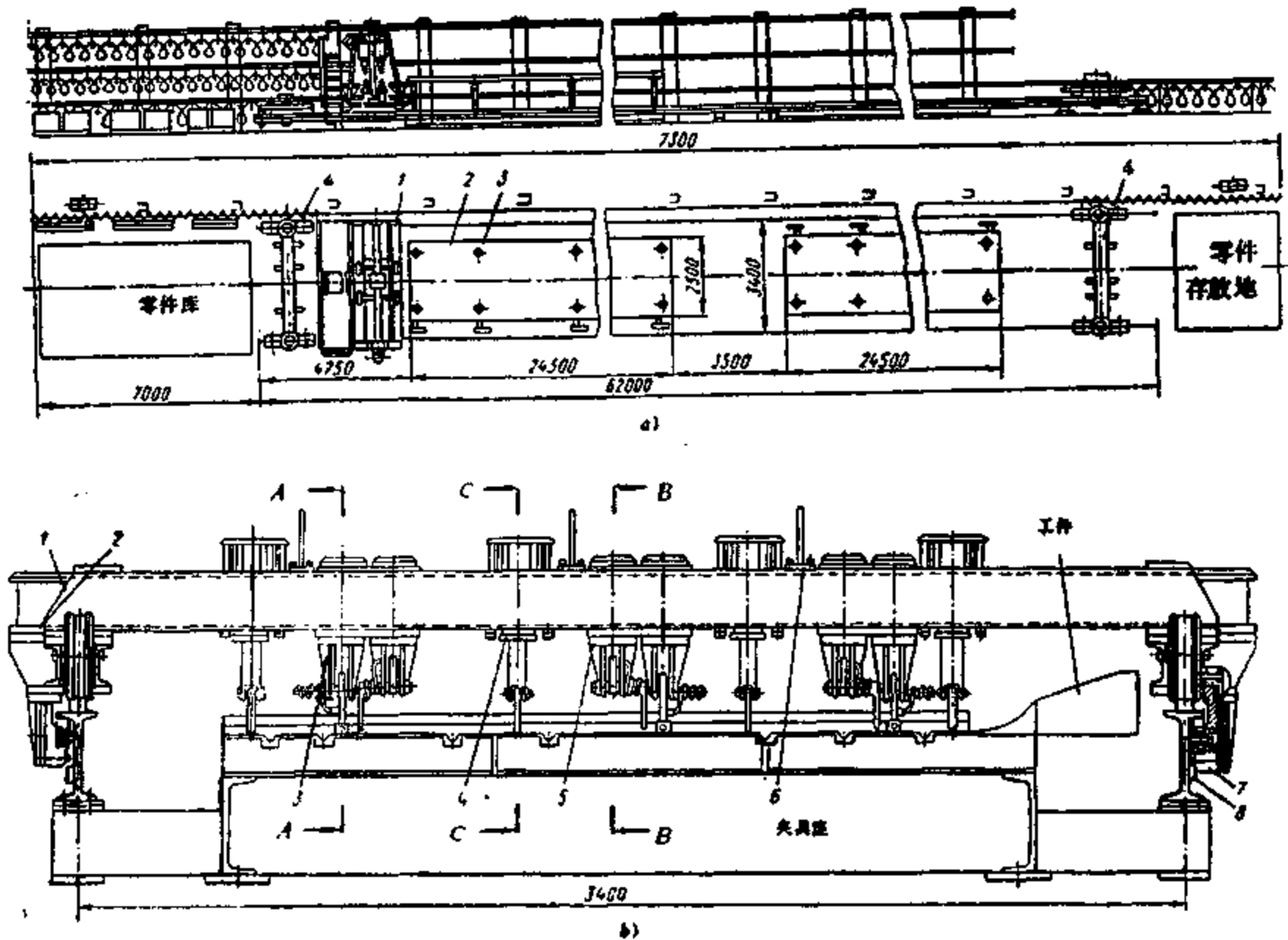


图6-3 机械化装配焊接客车平面构件的装置

蒙皮和刚性元素利用双柱式接触点焊机双面接触点焊接，焊好的平面构件由装配平台下面的起升支柱抬高。在纵向焊缝焊接时，三点接触点焊机沿轨道纵向移动，横向焊缝则是将装在门架上、下的焊接装置沿门架同步移动达到同时焊接。上部焊接装置有三个焊接头，并装有带共用变压器的托架，下部焊接装置与之类似，三个焊接头中同时有两个工作。无论沿纵向或横向，依据点焊缝布置，每两个焊接头轮流工作。焊完工件，起升支柱下降，焊机通过。

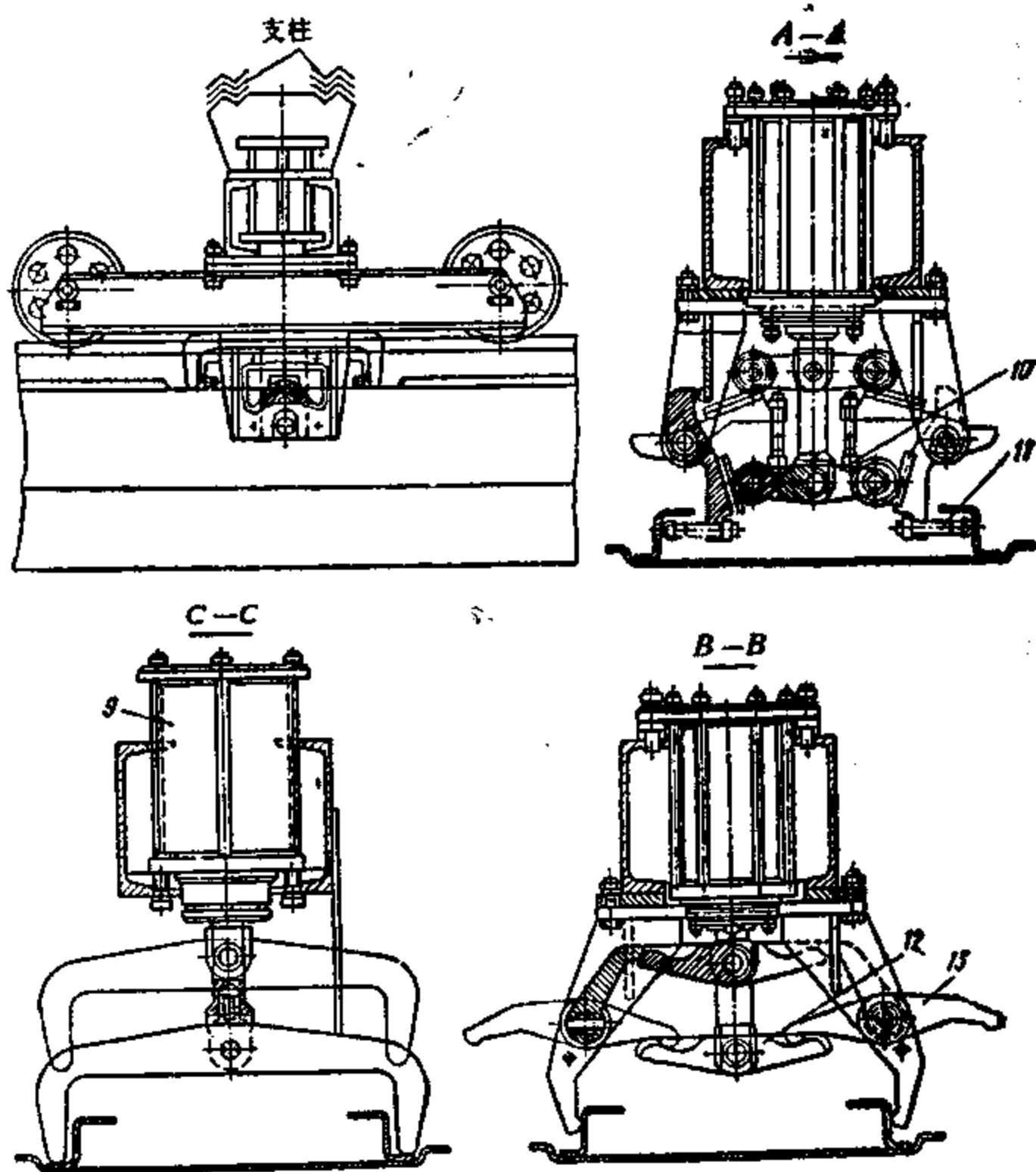


图 6-3 机械化装配焊接客车平面构件的装置

与平面构件不同，顶盖是槽形并带有 Z 形截面刚性元件的构件，也可在流水线上生产。其蒙皮的拼接是在弧形装配台上进行的，按定位器位置先放置中部板，再放置两边弧形板，其搭接直焊缝是在铜垫板上用带气动压紧器的门架压紧之后，由电弧焊接完成。在弧形装配台上，完成四种不同结构形式的顶盖装配和焊接。弧形顶盖安装在弧形铜排上，由气动压紧器压紧，铺放了蒙皮之后，将其用单面接触焊（成对电极）焊上刚性骨架。焊机安装在弧形门架上，按定位销确定门架的位置之后，顺序焊接。各顶盖部件的装配焊接可互不干扰同时进行。

### 三、敞车（货车）的焊接生产

这里以 C62A 型金属敞车全焊结构的车体和底架为典型，介绍其装配焊接工艺过程。车体由侧墙、端墙并以带有金属地板（厚 8mm）的底架为基础装配而成。车体与底架是敞车的最主要部分，车钩及缓冲装置安装在底架中，整车坐在转向架上，就成为成品车。

### 1. 敞车侧墙和端墙制造特点

敞车有两扇侧墙和两扇端墙。侧墙有310个零件，焊缝总长约241m；端墙有95个零件，焊缝总长约78m。全部焊缝都采用CO<sub>2</sub>半自动气体保护焊，全部焊缝按所选择焊丝直径采用统一的工艺参数。

侧墙和端墙全部由冲压的非标准型钢和钢板拼焊而成。例如端墙由角柱1和端墙壁（端板）2搭接而成（图6-4）。它是一个片状结构，两面都有搭接角焊缝。为使端板有足够的刚度，端墙布置有起加筋作用的横带。原设计横带为冲压件，后用槽钢代用。端墙上部还有用槽钢焊接的篷布护铁。端墙尺寸要求严格，如图6-4所示。

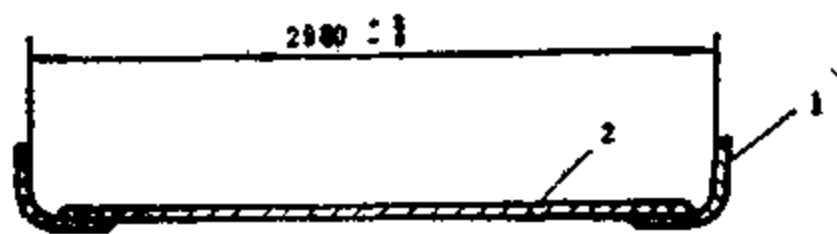


图6-4 端墙截面

侧墙构造较复杂。它由侧柱、横柱（与底架横梁相对应）、枕柱（与底架枕梁相对应）、门柱等钢板冲压型钢、若干加强板、斜撑角钢、侧柱连铁（槽钢）、上侧梁（槽钢）、上侧板等组成。侧墙焊成后，通过端墙角柱与端墙相联，底部通过侧柱内补强座、枕柱内补强座等与底架相连。

为了保证焊件的尺寸精度，提高装配焊接效率和施焊质量，采用专门的带有定位器、压紧器的双柱式装配焊接翻转机，一次将零件全部装配和点定焊，然后翻转，使焊缝转到合适的位置进行焊接（大部分焊缝采用下行焊接）。

相对于侧墙和端墙，敞车的底架要复杂得多，这由底架的结构和其技术条件所决定。底架的技术条件与由焊缝位置（决定于结构条件）不对称所引起的变形产生了矛盾，必须采用适当的工艺措施才能满足产品要求。

### 2. 底架的结构及其装配焊接工艺

底架的结构如图6-2b所示，是一带蒙皮——地板的框架（图中未示出地板），由中梁1、端梁3、小横梁6、枕梁2、横梁4、侧梁5、前后从板座、上心盘等以及冲击座、上旁承、脚蹬、绳栓、左右侧门搭扣、副风缸与降压气室吊架等底架零附件（图中未能示出）装配焊接而成，装配焊接好的底架框架上铺设地板。

中梁是底架的脊柱，传递全部牵引力，冲击力和将底架上承受的全部垂直载荷通过上心盘传给转向架。中梁结构如图6-5所示。由图可见，中梁由两根Z型钢和隔板、下盖板和中间垫板等连接而成。中梁以中心线对称，全长为12486mm，两心盘中心距为 $8700 \pm 7$ mm，技术条件规定了前后从板座距离差，不平行度（这是安装挂钩及缓冲装置所必需的）及其对下平面的不垂直度（两者都不大于1mm），特别要求中梁有25~30mm的上挠，全长旁弯不大于6mm，每米不大于2mm等。

枕梁结构如图6-6所示，它由两腹板和枕梁隔板组成，共有四件，左右对称。图6-6中示出了枕梁和中梁、侧梁的连接及小筋板的位置。

横梁和枕梁结构类似，但为单腹板。

端梁由钢板冲压成T形，再焊上盖板，形成F截面而成。

其余零件由槽钢、钢板冲压件和铸钢件组成。

最后组装成底架框架，上面装配焊接地板。焊完地板后，底架应有适当上挠，至少应为



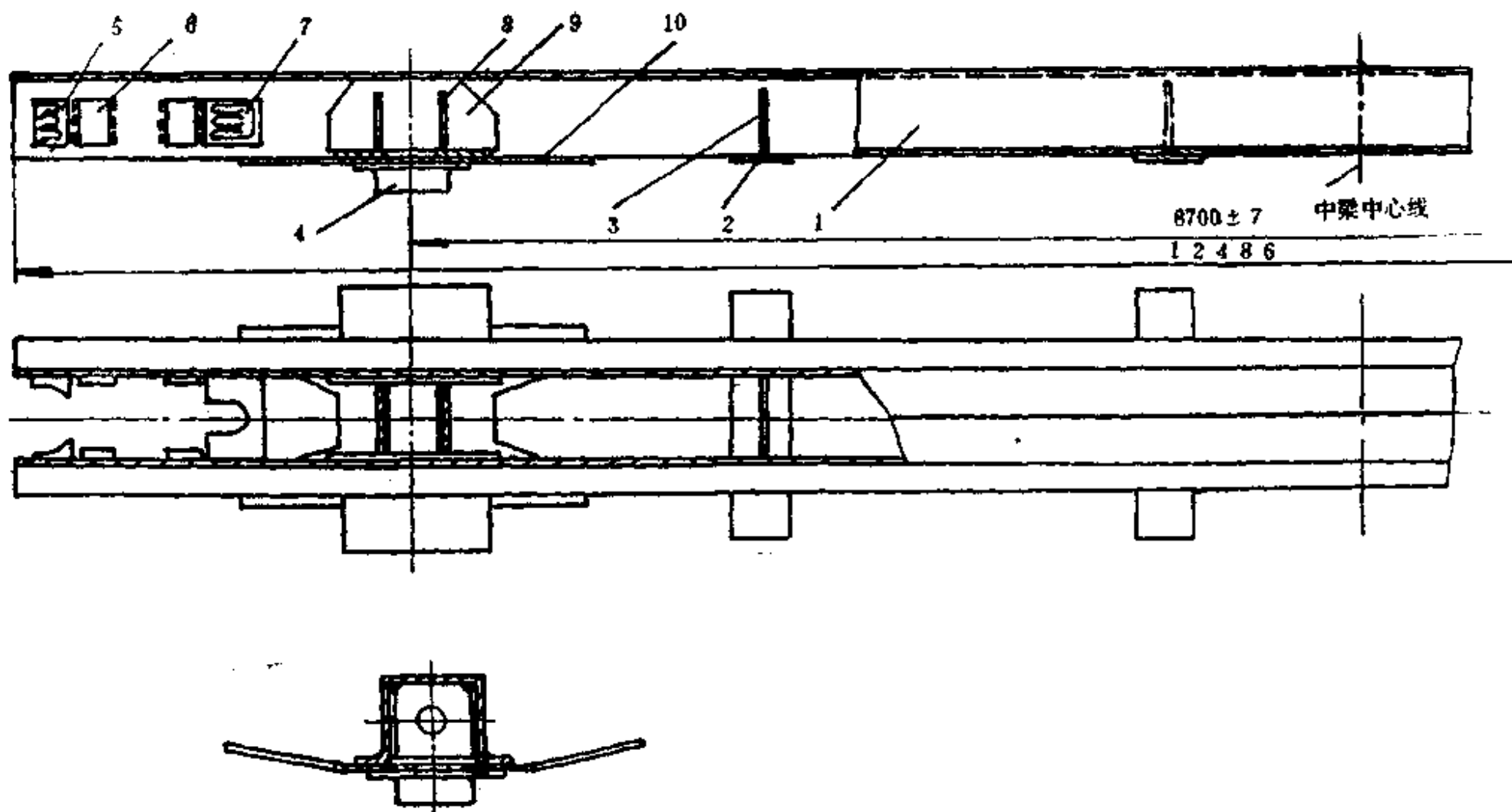


图 6-5 底架中梁

1—中梁 Z型钢；2—横梁下盖板（中）；3—（横梁处）隔板；4—上心盘；5—前从板座；6—中间垫板；7—后从板座；8—（枕梁处）隔板；9—补强板；10—（枕梁处）下盖板。

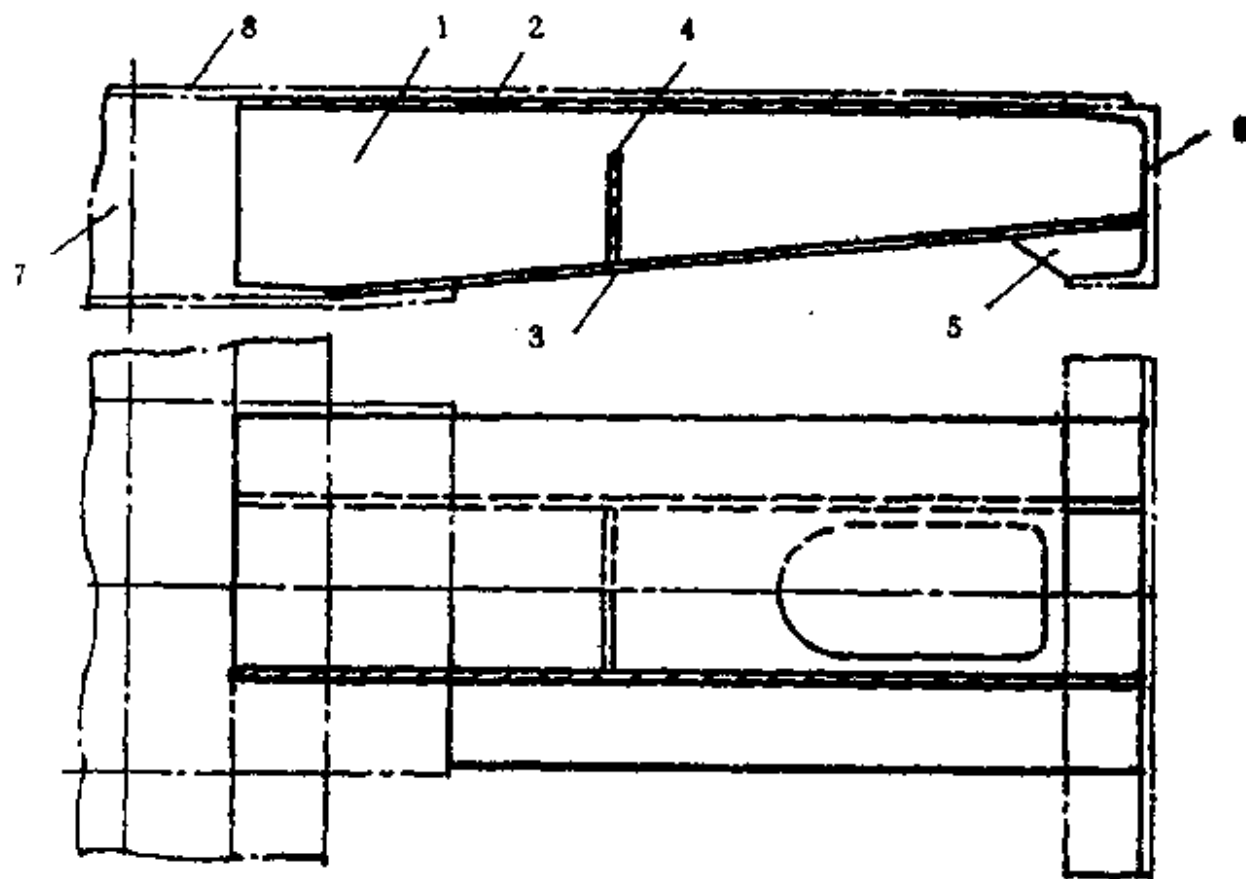


图 6-6 枕梁结构和与中梁、侧梁的连接

1—腹板；2—上盖板；3—下盖板；4—枕梁隔板；5—小筋板；6—侧梁；7—中梁；8—地板。

平面。此外，还有长度、对角线、旁弯等偏差要求。

地板及钢板冲压件采用耐候钢09MnCuPTi，其他型材为A3钢，少量零件采用铸钢ZG15，ZG25制造。

工艺分析表明：由于底架左右对称，可以预计为保证侧梁旁弯（全长不大于6mm，每米旁弯不大于3mm）、对角线偏差（ $\leq 10\text{mm}$ ）、同一横断面中梁与侧梁的高低差（ $\geq 6\text{mm}$ ）、中梁应高于侧梁等要求，当采用合适的夹具进行装配时，焊接后达到这些要求困难不大。但要保证地板平直（不允许有下挠），却因底架有大量焊缝在中心线以上，而有很大困难，必须采用控制变形的措施。如采用分部件的装配焊接工艺，大量采用夹具并加以反变形，在部件及总装配焊接过程中都进行这样的控制，才能获得满意的产品。

底架生产分为端梁、横梁、枕梁、侧梁、中梁等部件生产线及总装生产线。这些部件除中梁外都很简单，但为满足大批生产敞车的要求，端梁、枕梁和横梁各有一条生产联动线，并最后与中梁生产线汇合，制成敞车底架。图6-7为底架的装配焊接系统图。

由图6-7可见，中梁生产按以下步骤进行：中梁Z型钢调直下料，Z型钢装配，Z型钢之间内纵缝的焊接、装配各种零件（心盘座和从板座等）、焊接、钻孔和铆接、最后焊接外纵缝、隔板和其他先行工序未能完成的焊缝。上述有关中梁的形状尺寸要求，特别是上挠的要求应特别注意。由于在中梁部件生产时，Z型钢对接纵缝处于中梁的上部，焊接变形将造成中梁下挠，故需在装焊夹具及机械装置帮助下才能达到上挠的要求。

中梁的装配在专用的装配夹具上进行。夹具可保证两Z型钢的距离，对口处的间隙、错边，以及两Z型钢翼板的水平度。内纵缝的焊接在另一个焊接夹具中进行。焊接夹具中的液压装置使中梁在施行埋弧焊前有60~70mm上挠反变形。装配枕梁下盖板、心盘座、隔板等零件也是在专用夹具上进行的，以保证各零件间的位置准确。两上心盘的位置公差（中心距为 $8700 \pm 7\text{mm}$ ）及平行度要求是比较严格的，故采用液压升降装配夹具装配上心盘。为提高钻孔效率，采用14台单机组成的多头钻，加工出116个孔。采用油压铆接心盘座和从板座，使有较高效率和较低噪声。焊接隔板等零件是在双柱式焊接翻转机上进行的，将各焊缝转到方便位置施焊，并由夹具保证中梁有20~25mm反变形。底架生产线共采用了外纵缝焊接、隔板焊接、上心盘装配、心盘座焊接、零件装配、内纵缝焊接、Z型钢装配等近10个翻转机和带有装配夹具的固定装置。

底架总装配焊接按以下步骤进行：①在底架装配夹具上装配并点定焊各梁零件。大型装配夹具多为气动夹具，它们可保证底架有30mm上挠、全长 $12500 \pm 5\text{mm}$ 、全宽 $2900 \pm 3\text{mm}$ 、对角线差小于8~12mm、侧梁旁弯小于6mm。②用CO<sub>2</sub>气体保护半自动焊焊接各梁及其附属件相互连接的正面平焊缝和立焊缝。③在专门夹具上采用液压压紧及推撑装置装配地板，可保证装配好的底架有50~60mm上挠度，并使地板与各梁贴合紧密。④在CO<sub>2</sub>气体保护专用自动焊机上焊接地板正面焊缝。⑤在底架焊接大型翻转机上，装配各零件并焊接底架反面所有焊缝。⑥检查装配焊接质量，送敞车总装配。

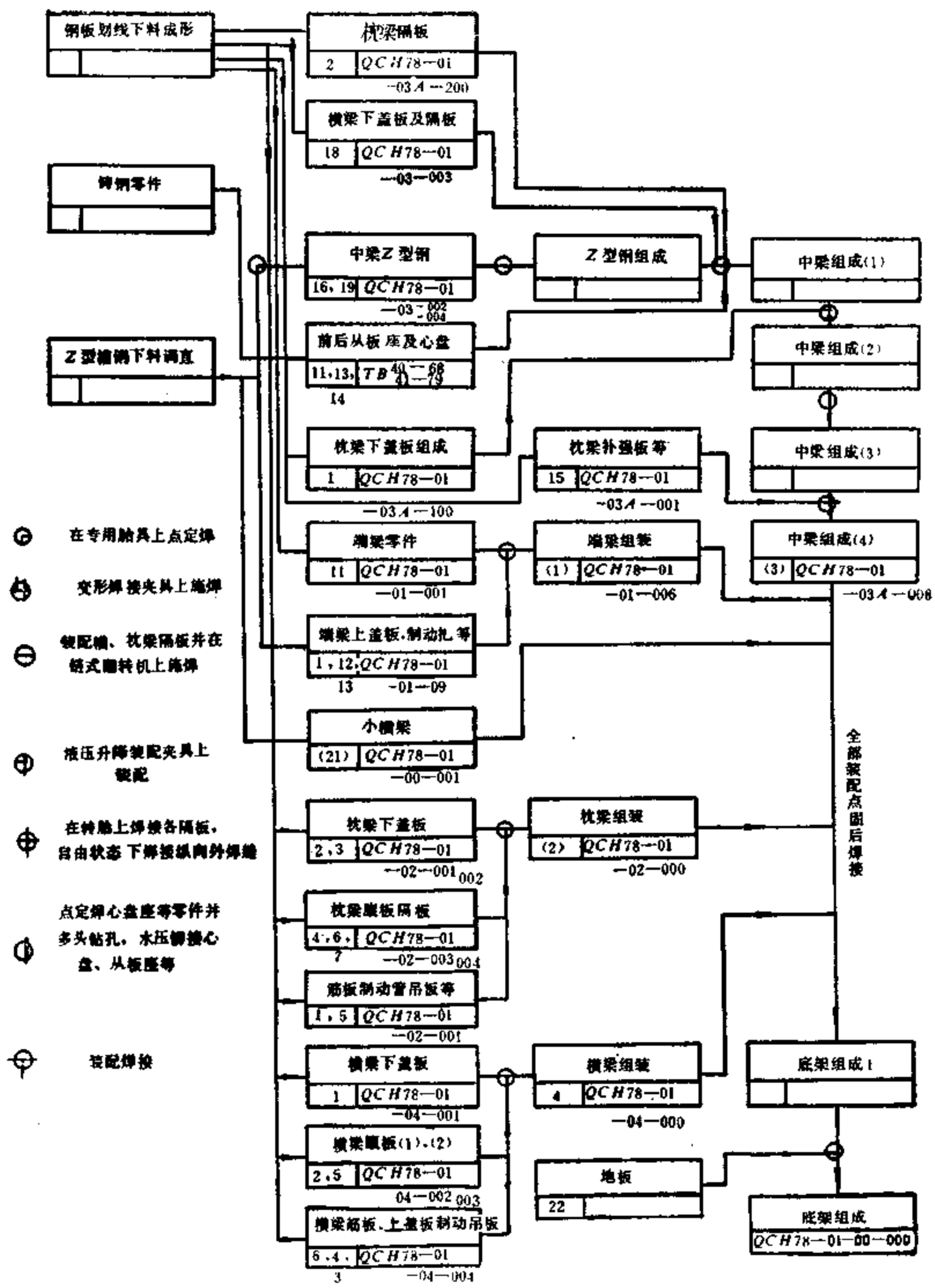


图 6-7 底架装配焊接系统图

## 四、罐车的焊接生产

槽车（罐车）主要贮存和运送液体或液化气体，加油罐车、酸车、水车、酒精和液化石油气等。我国从60年代起就成批生产带加温套的运送原油的罐车和不带加温套的轻油罐车。罐车分两大部件，即罐体和底架。罐体部分的制造在第三章已经介绍过；罐车底架与敞车底架类似，而且更简单些。

如前所述，罐底车架没有中部侧梁、横梁，也没有地板，但在枕梁上有木座槽体托，在中梁中部有下鞍，与以支承罐体的槽体托板相对。罐车底架的制造与敞车底架类似，它也是分为中梁、端梁、枕梁等部件装配焊接后，总装成底架的，不再重述。

## 五、船体结构及其受力特点

现代巨型船舶是最庞大的全焊接结构。焊接结构具有整体性和可靠的水密性，这正是船舶的必需要求，也正因为如此，它淘汰了铆接船舶。

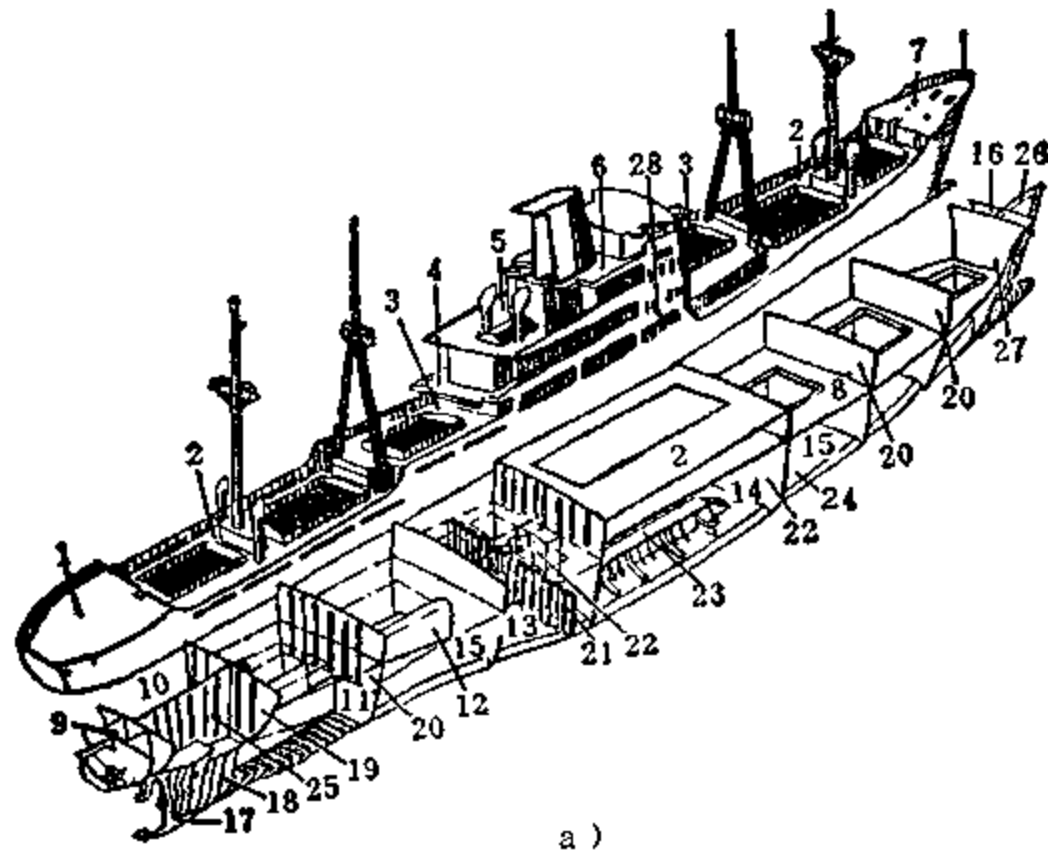
船体结构是一个具有复杂外形和空间结构的焊接结构。按其结构特点，从下到上可以分为主船体和上层建筑两部分，两者以船体最上层贯通首尾的甲板——上甲板为界。上层建筑包括尾楼、桥楼、首楼、甲板室等。主船体由船底、舷侧、上甲板等形成水密的空心结构，用水平和垂直隔板分成许多舱室，可以充分合理地利用船体内部空间并保证船舶的安全。其中首尾贯通的水平隔板称为甲板，垂直隔板称隔舱壁，其中沿长度方向的舱壁称纵舱壁，沿船宽方向的舱壁称为横舱壁。首尾端的横舱壁称为首尖舱壁（防撞舱壁）、尾尖舱壁。为加强首尾端的结构强度，设置了首柱、尾柱（如图6-8a）。

船体外板及甲板形成主船体的水密外壳。外板包括平板龙骨、船底板、舭列板、舷侧板、舷顶列板等。船体板承受垂直于板平面的水压力，故必须给予加固。加固的骨架分为纵向（沿船长方向）和横向（沿船宽方向）骨架。同一条船，加固骨架总是一个方向密，另一个方向稀，同一方向上骨架间距相同。因而又分为纵骨架式（横向骨架较稀）和横骨架式。骨架多为T形截面梁。上述结构可见图6-8b）。

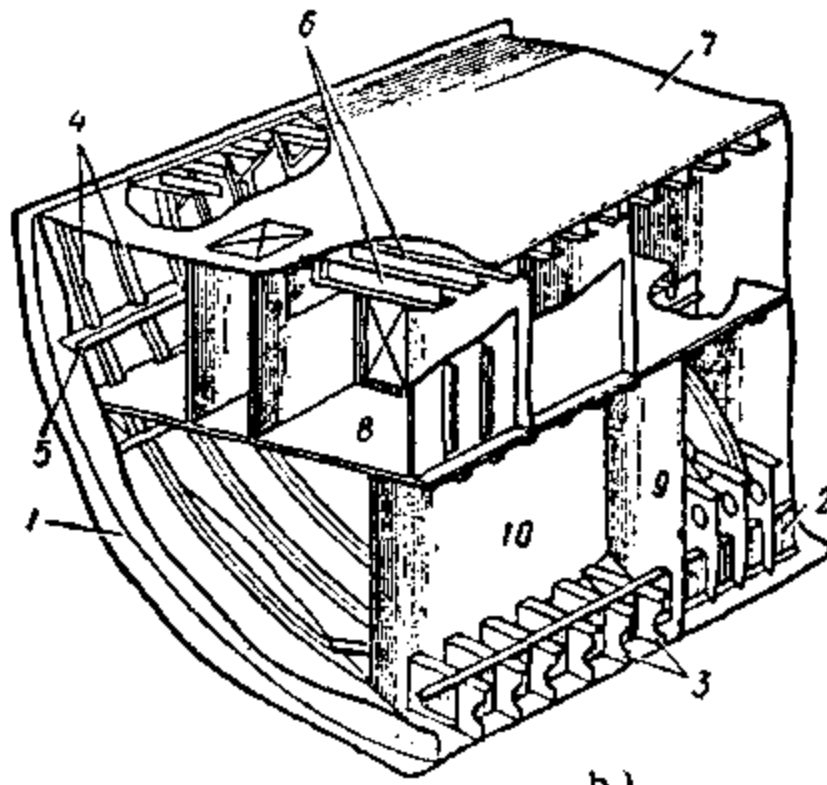
船舶结构受力复杂，在建造、下水、运营坞修等状态下都承受不同的载荷，在意外状态下（如碰撞、搁浅、触礁等），载荷更有很大不同。但船舶结构主要是根据运营状态下受载条件进行强度设计的。在这种状态下，船体主要承受重力和水压力，重力指空船重量（船体结构、舾装设备、动力装置等）和装载重量（货物、旅客、燃油、水等），水压力由吃水深度决定，因水深相同处压力相同，故平底水压力呈矩形分布，舷侧呈三角形分布。垂直向上总压力之和称之为浮力。

在静止的水中整个船体重力和浮力大小相等，方向相反，作用在一条垂直线上。但船体各区段的重力和浮力并不平衡，如在船体首尾区段内装载，虽然总浮力和总重力仍然平衡，但首尾区段重力大于浮力，而中部相反，这样就出现了重力与浮力沿船长分布不均匀，使船发生纵向弯曲，这种弯曲称为总纵弯曲。上述条件下，会出现中间上拱——中拱。反之，出现中垂弯曲。

除加载的不平衡外，在波浪中航行的船舶，当波峰在船中，或波谷在船中（波浪长度与



a)



b)

图 6-8 船体结构

- a) 船体各部 1—尾楼甲板；2—上甲板；3—桥楼甲板；4—游步甲板；5—艇甲板；  
6—驾驶甲板；7—首楼甲板；8—下甲板；9—舵杆筒；10—船尾水舱；  
11—船侧水舱；12—轴隧；13—深舱；14—机舱；15—货舱；16—锚链舱；  
17—尾柱；18—升高肋板；19—尾尖舱舱壁；20—水密舱壁；21—槽形舱壁；  
22—舱壁龛；23—机座；24—双层底；25—纵中舱壁；26—甲板纵桁；  
27—首尖舱舱壁；28—上层建筑。
- b) 船体局部 1—外板；2—中内龙骨；3—肋板；4—肋骨和强肋骨；5—舷侧纵桁；  
6—横梁；7—上甲板；8—下甲板；9—横隔壁；10—纵隔壁。

船长大致相等时) 浮力沿船长分布发生最严重的不均匀, 船体弯曲得最厉害, 分别产生严重的中拱和中垂。

把船体当作不等截面空心梁, 总纵弯曲由船体的强力构件, 如外板、甲板、纵舱壁及各纵向连续骨架 (如龙骨、纵桁等) 来承担, 这就是船体设计建造中必须首先考虑的船体总纵强度, 该强度不够, 船体破损, 可以一折二段是最为危险的破坏。

当首尾货舱中货物堆放在不同舷侧, 或首尾波浪表面具有不同的倾斜方向时, 重力和浮

力的分布不均会引起整个船体扭转，当船体上甲板开有长大开口时，则需认真设计，保证其总扭转强度。

除以上总强度（总纵弯曲和总扭转强度）外，还有涉及局部结构的变形和破坏，如舱口应力集中、舷侧结构在横舱壁之间内凹、外板及甲板骨架变形、支柱压弯等等，可造成局部变形和破坏。局部破坏有时也会引起全船断裂事故。

船体在外力作用下（如水压及重力作用），还可能产生横向弯曲变形。船体中心集中装载引起的横向变形，受横向波浪作用可能引起肋骨框架横向歪斜。船体必须有抵抗这类变形的能力——横向强度。保证船体横向强度的构件有肋骨、横舱壁、横梁、肋板以及与之相连的外板、甲板等。

船体强度要靠合理设计，但正确选材和优良的建造质量无疑也是保证船体结构强度的重要条件。

## 六、船体结构的焊接生产

### 1. 船体结构的分段建造法

为提高船体结构生产效率和质量（如保证船体复杂外壳的精确性，将许多空间位置的焊缝转成俯焊位以提高施焊质量和生产率等），现代船体结构的制造都采用分段建造法，即将船体结构划分为部件、分段和总段，它们是平面和立体的结构。这些部件、分段和总段都有足够的刚度，它们的装配焊接工作可在车间条件下，利用装配焊接夹具及机械化装置进行。工艺工序生产易于实现专业化，且便于组织连续流水生产，提高船舶生产率和质量。由于船台上（或船坞里）只进行船体结构的总装配焊接，因而大大缩短了船台生产周期，提高了船台的生产率。采用上述建造方法后，工人在露天环境下焊接空间位置焊缝的时间和数量都大大减少了，这不仅能提高工作质量，也大大改善了工人劳动生产条件。

划分部件、分段或总段时，即进行工艺分析和制定工艺方案时，应着眼于：

(a) 结构的合性。应考虑船体的总强度，并保证部件和分段有足够的刚度。因此要避免在最大应力截面划分部件和分段；通常可按横舱壁、机舱壁等划分，而首尾部分常以整个立体分段形式划分。

(b) 船厂的设备和厂房条件。如起重机和运输工具的能力，船台造船下水方式、装配焊接设备和施焊条件等。

(c) 制造的经济性。如节省钢板、减少焊缝长度，尽可能减少装焊夹具及机械化装置，节约劳动力、动力的消耗等。

(d) 船舶的型式、吨位、生产的批量、交船期等。

按照现代船舶的分段建造方法，船体结构装配和焊接分为下列几个阶段：

(a) 部件（组件）的装配和焊接；

(b) 分段和总段（平面和立体分段）的装配和焊接；

(c) 船台的装配和焊接。

### 2. 船体结构分段建造法的装配和焊接工艺

(1) 部件（组件）的装配和焊接

多数部件由简单的板状零件、轧制材料、组合梁或桁架组成，其中大批是 T 形截面梁。

T形截面梁中有的是直梁（如中内龙骨、旁内龙骨、各种纵桁、横纵舱壁的加强材、部分肋骨等），还有一些是曲梁（如甲板横梁、肋骨与强肋骨、肋板等），这些T形梁如图6-9所示。

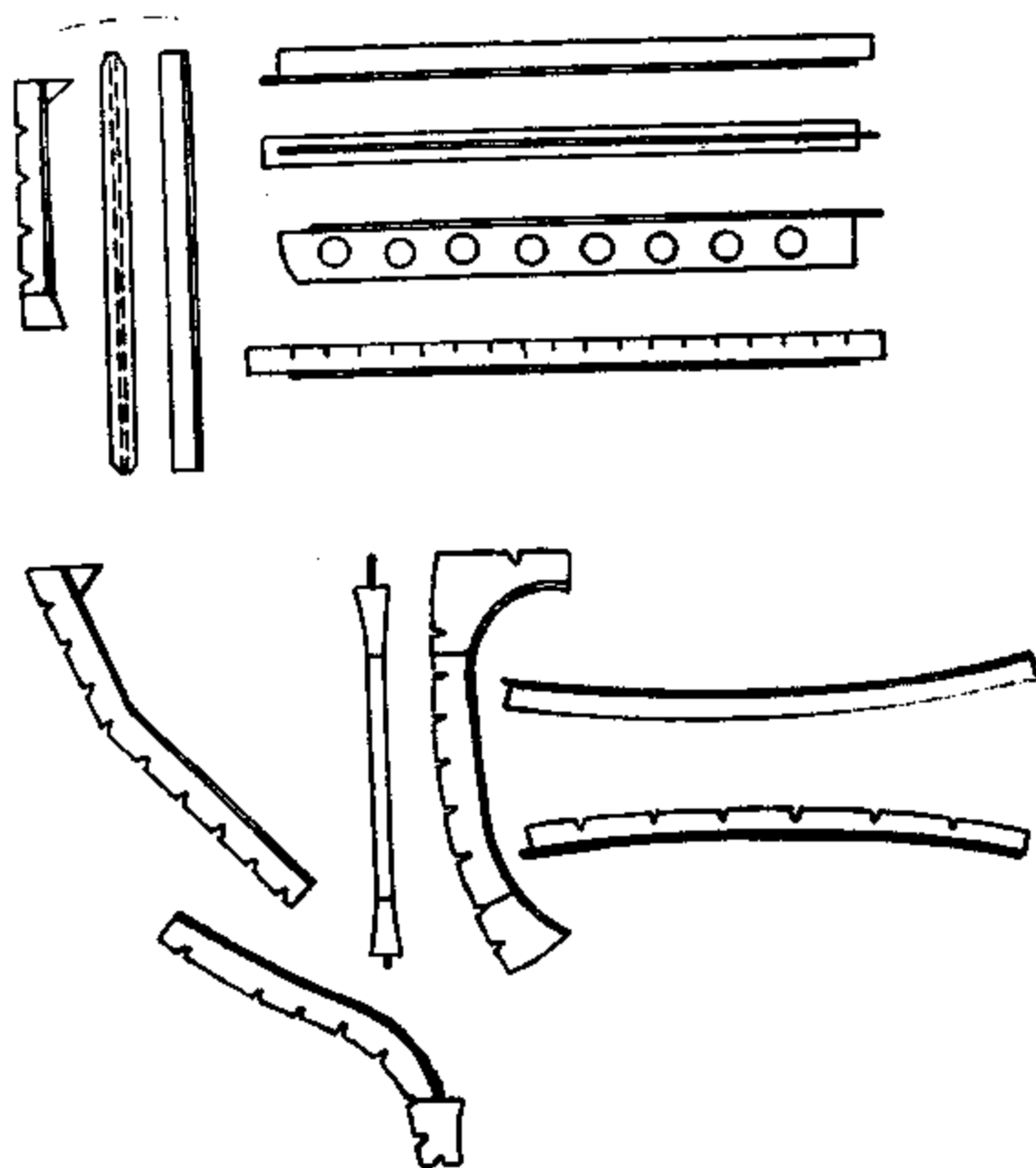


图6-9 船舶结构的T形截面梁

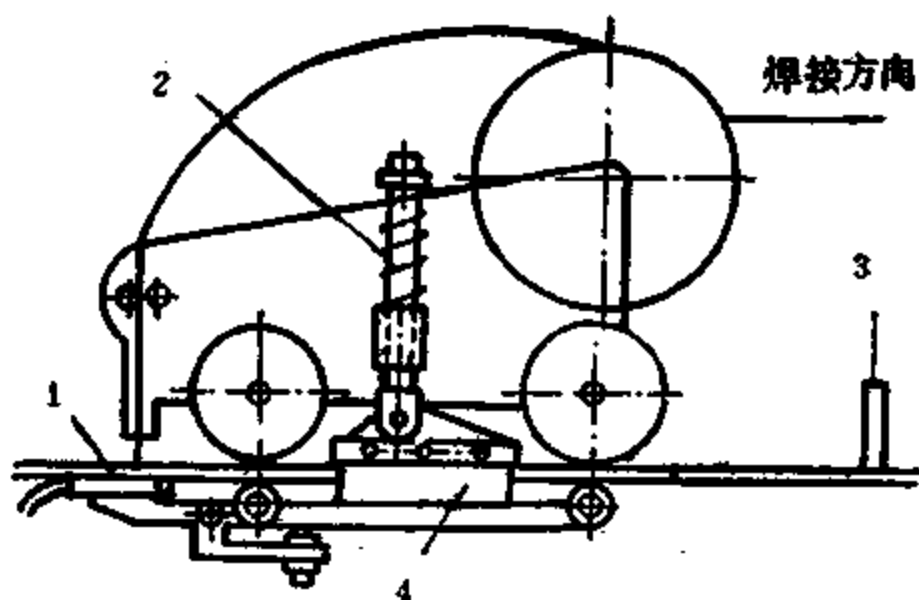


图6-10 带垫板的自动焊机示意图

在部件装配阶段要进行钢板的拼接，特别是甲板与外板，要用 $1800 \times 6000$ 钢板拼接成分段（例如 $12000 \times 12000$ ）。有的造船厂采用电磁平台，有的厂采用焊剂软垫工艺以实现单面焊双面成形。还有的厂应用带铜垫板的焊接小车实现拼板单面焊双面成形（如图6-10所示）。所焊钢板厚度为 $10\text{mm}$ ，装配时留有 $2 \sim 3\text{mm}$ 间隙，用装配定位器（装配马）3固定钢板边缘，由悬挂装置2，通过连接板4，将铜垫板1压紧在焊接坡口背面。在施焊过程中，随时敲掉装配马3，以便焊机通过。

大多数T形梁的装配焊接可以实现机械化和自动化。第四章讲述的焊接工字梁的装配焊接机械同样适用于船舶T形梁的装配焊接。有些T形构件的角焊缝采用交错断续焊缝，常用

手工焊和半自动焊焊接，现已广泛推广CO<sub>2</sub>气体保护半自动焊。当T形截面构件有工艺接头时，应留接头处一段焊缝暂时不焊，待最后焊完工艺接头后再施焊。

有些船舶将肋骨、肋板、梁肘板、横梁等组成肋骨框架，这类框架的装配焊接和桁架的装配焊接相类似，可以单个装配，也可用专用模架进行装配。

(2) 分段和总段的装配和焊接

由装配焊接好的部件，及未经装配焊接但经下料和成形(弯曲成船体外廓形状)的型材、钢板，经装配形成平面或立体分段，由这些分段和部件、构件组成很大的立体分段即称为总段。

小型船舶通常采用立体分段即可组成船体。例如最少可分为首、尾、中段。大型船舶则可分为底板平面分段、双重底平面分段、隔壁平面分段、舷侧平面分段、甲板平面分段、主辅机座立体分段、首尖舱与尾尖舱立体分段、上层建筑立体分段、轴隧立体分段等等。这些分段是按前述原则划分的。图6-11示出了船体分段示意图，将船体分上甲板部、舷侧部和船底部，用数字表示平面分段，罗马数字表示立体分段。

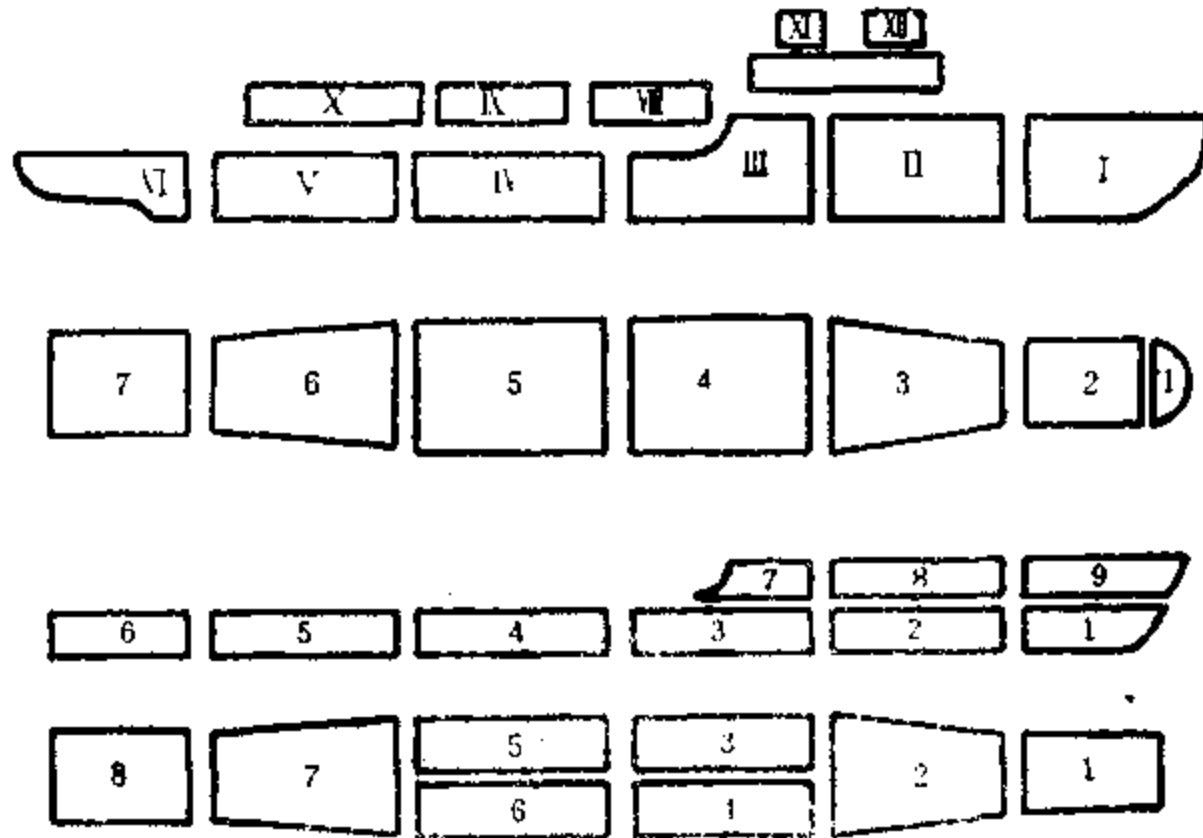


图6-11 船体分段示意图

一些平面分段是在外板上装配焊接纵横向T形梁和其他骨架的。这种纵横向骨架的装配有两种方式，一种是同时装配并点定焊好全部骨架，然后用手工及半自动焊工艺完成T形截面梁和外板的焊接。另一种是先装配焊接纵向(或横向)骨架，这样可以扩大自动焊接的工作量，然后再装配焊接横向(或纵向)的骨架，如图6-12所示。但这种装配焊接方法可能使装配工作复杂化。

许多平面分段具有弯曲形状，如舷侧分段，双层底分段等。为了保证分段有准确的外形轮廓，常利用装配台架。图6-13示出固定装

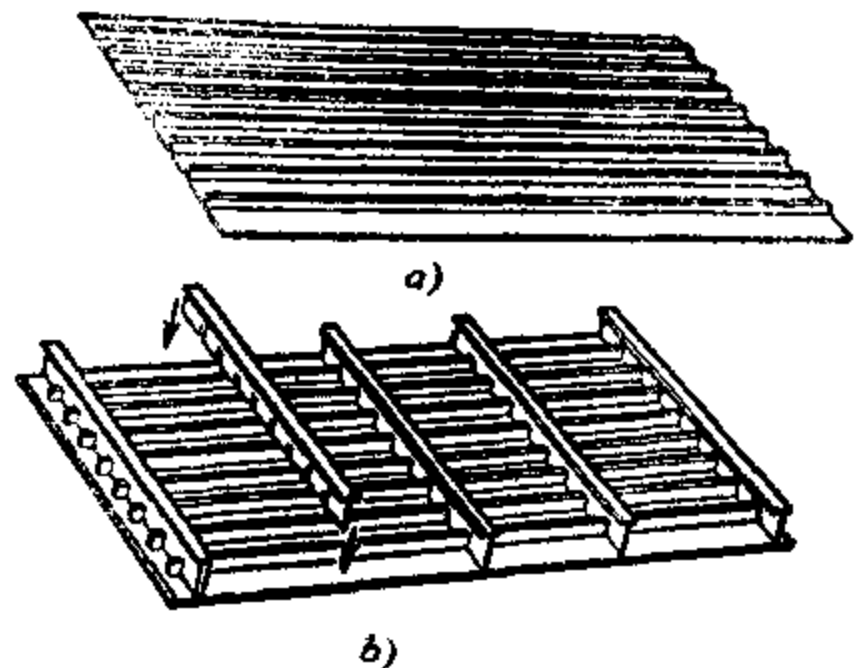


图6-12 带纵横向T形梁的平面分段装焊次序



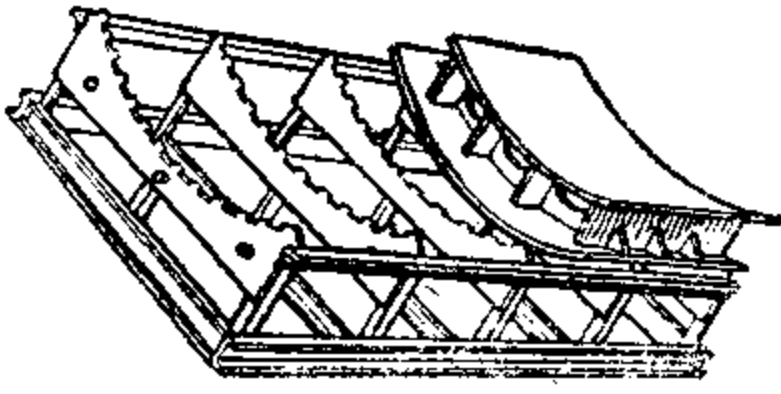


图 6-13 装配平面分段的固定胎架

配合架，它在刚性基础上装配焊接了一系列形状与装配工件外形形状相同的模板，在有焊缝的地方模板开出缺口。由图可见这类固定装配架只适合一种曲率的分段的装配焊接，因而使整个生产成本提高。故在船体分段的建造中又设计了多种万能（可调）的装配胎架。一类可供装配船体中部船底、舷侧板、甲板分段的胎架，这类分段弯曲不大，基本上是平的。一类是船体首尾端的立体分段，有相当大的曲率。

还有供装配小曲率的分段的胎架，如全部甲板分段的加工都可在这个胎架上进行而不必更换模板。在这种胎架上利用套筒式调节支柱组成高度可调节的模板。图 6-14 所示即是这类万能的可装配焊接不同尺寸和不同曲率船体双层底分段的胎架。万能胎架由可动的模板 1、轨道 2 和使它们沿船体纵轴移动的移动系统 4（系统由传动装置 3 驱动）等所组成。按制造的船体双层底的曲率配置两侧模板架 6，并调节（回转）单元 7 至所需角度，最后调整支承 5。

在这类胎架上装配焊接带曲率的分段，例如船底分段，过程概述如下：首先将外板以最

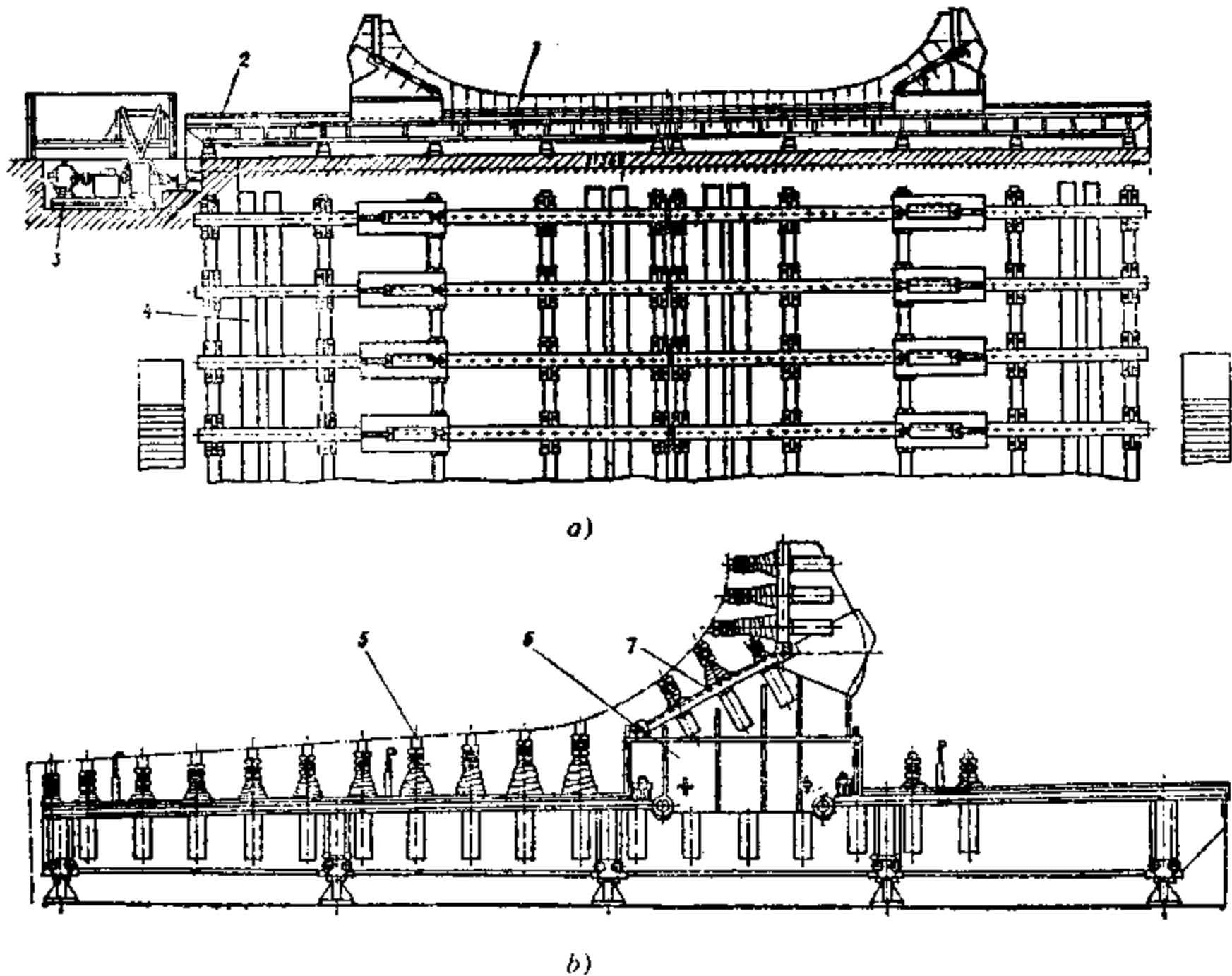


图 6-14 万能装配胎架

小间隙装配并点固焊，将其固定在胎架模板上，然后利用自动焊完成全部对接焊缝；装配并焊接全部骨架；铺放内底板，再单独进行焊接。为便于进行埋弧自动焊，胎架有时带有熔剂垫，且胎架可倾斜或转动。焊接结束之后，壳体从夹固状态解除并从胎架中取下。如胎架不能转动，则只进行一侧焊接，而后再将分段从胎架上取下，翻身后，刨焊根，然后进行封底焊。

为了提高船舶的生产率和整船质量，要大力发展立体分段的生产。对于首尾立体分段采用刚性固定模架，分段由下到上，按全高在模架上装配。有的立体分段由一个个平面分段所组成，所以制造这些平面分段及双层底的工作量相当大，因此有的工厂将其组成流水生产线。

### (3) 船台的装配和焊接

船体分段或总段在焊接车间装配焊接完成之后，即可运往船台进行船体的合拢，船体合拢的焊缝称为大接缝。根据船舶大小和工厂生产条件，在船台的合拢可以采用总段建造法，即将整船分成几个巨型的总段，在船台上进行装配焊接。图 6-15 分了四个总段。对于一些大型船舶或受工厂起重设备能力的限制，是将平面及立体分段运到船台上装配焊接成整船。此时又可以采用所谓塔式和岛式建造法。塔式装配法是将各船体分段从下到上由中间向首尾进行装配焊接，岛式装配方法是将船体沿船长选定几个基准段，后分别由下到上，由中到首尾装配焊接，形成几个总段再合拢。



图 6-15 接总段法在船台上进行船体大合拢

采用总段建造法进行船体大接缝的装配时，需将总段放在起重运输小车上，切齐接口、开好坡口并留有恰当间隙后点定焊。提高装配质量是采用先进焊接工艺方法的前提，因此接口最好采用全位置半自动切割，并且要仔细清理切口的油锈等污物。

大接缝的焊接目前采用了全位置自动焊和垂直气电焊等先进的焊接方法。国外资料介绍，当板厚大于 14mm 时，可采用电渣焊方法进行立焊缝的焊接。当采用手工焊接大合拢焊缝时，采用如图 6-16 所示焊接次序。为使整个接缝收缩均匀，通常采用成对的焊工（如 I

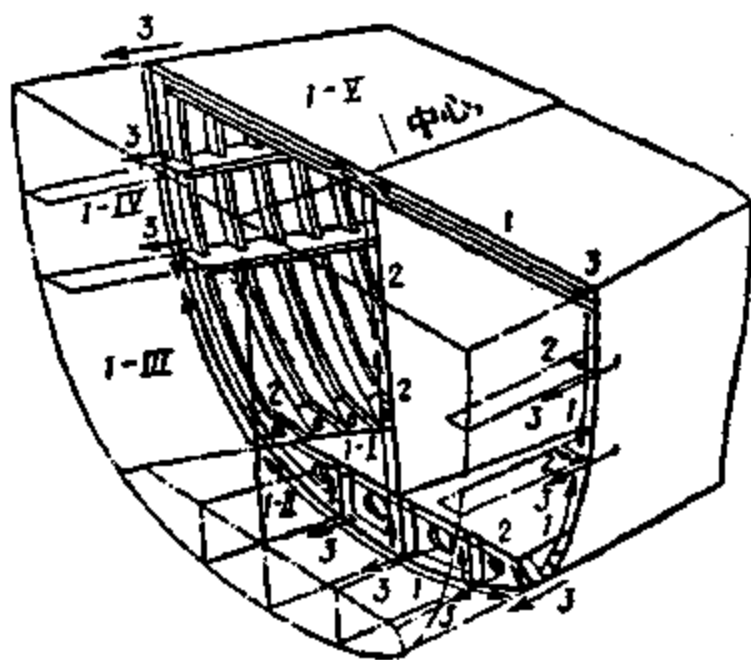


图 6-16 船体大合拢焊缝焊接的次序

~V对焊工), 每对焊工先后焊接1~3条焊缝。施焊对称地按如下次序进行: ①先同时焊接内部各对接安装接缝1; ②外面清理焊根之后, 进行封底焊; ③进行纵向及横向骨架(T形梁)和纵隔壁各对接焊缝2的焊接; ④完成这些骨架和外板的接缝3(分段焊接时预留的未焊段)的焊接。

船体焊接变形的控制是船体结构质量的重要保证。船体主尺寸在规定公差范围之内是船体完工精度的要求之一。船体主尺寸包括总长、水线长、型宽、型深等。船体结构变形主要有首尾端高、船体龙骨挠度、船体中心线的偏移等。船体主尺寸一般都有缩小趋势。如由于大接缝的横向收缩、众多内部纵向骨架和构件对接缝的收缩等, 使总长缩短, 宽度减小。由于焊缝相对于形心不对称, 因而船体结构挠曲变形不可避免。常见的是龙骨基线下挠。如果船台墩木垫得不平, 或发生不均匀的下沉, 也会引起船体挠曲变形。

控制主尺寸和变形除在部件、分段和总段装配焊接中要严格控制尺寸精度外, 在船台装配焊接阶段还需采取如下工艺措施<sup>[29]</sup>:

(a) 尽量减少船台工作量。例如, 扩大分段和总段的划分尺寸, 加大中合拢阶段的装焊工作量, 减少船台装焊工作量; 保证每个总段精度都在规定范围之内, 减少船台切割与修理工作量; 上层建筑采用整体建造而后吊装的方法等。

(b) 提高分段精度。可采用前述装配焊接胎架、加放反变形等措施, 要使大接缝处线型光滑、坡口磨光等。

(c) 为补偿总长方向焊接收缩, 制造分段时, 每理论肋距加放0.5~1mm收缩余量; 分段大接缝处加放5~10mm的收缩余量; 在大合拢最后装配首尾段时, 按实际船长加以调整, 使总长符合要求;

船宽方向加放收缩余量。对小型船舶加放3~5mm, 中大型船舶加5~10mm余量; 首尾段余量略小。

(d) 船台装配时, 各总段装配定位要正确。为减少首尾上翘, 需留反变形。如按总段法建造时, 每米反变形为-0.8~-1.0mm; 塔式建造法时, 每米反变形为-0.5~-0.9mm。还要选择正确的施焊次序。

#### (4) 船体两段建造法

船体除在船台上进行合拢之外, 还可在船坞及浮船坞内进行合拢。目前还发展了一种两段造船法, 即在船台上(或船坞内)分别建好船体的前段和后段, 然后分别下水, 最后在水上把两段船体连接起来。这是一种先进的造船技术, 可以提高造船能力, 用小船台造大船, 缩短造船周期, 改建船舶(如接长船体)。

如荷兰一家船厂利用总长205.45m的船台, 在1968年建成一艘21万载重吨的巨型油轮。该油轮长325.319m, 型宽47.168m, 型深24.5m, 吃水18.981m, 就是在船台上分两段建造后下水合拢建成的。进行船体两段水中合拢需解决:

(a) 大合拢时两段配合良好。包括两段对接口位于垂直船体纵轴线平面内、两船段的接头间隙和夹角相等。为达到这些要求, 必须采用精密的测量技术。该船建造中采用了五角棱镜和激光束光源、经纬仪等, 并用复滑车、液压缸、绞车和制动器等设备对装配间隙进行校正;

(b) 采用密封装置将船体连接区与水隔开, 以保证焊接、检验、油漆等工作的进行, 密封船体连接区可采用浮箱法和防水罩法。前者结构庞大制作复杂, 只能在深水区使用, 但

工作条件较好，可完成全部大合拢工作；后者简单，可在浅水区施工，但工人不能进入，只能单面施焊，焊后还要短时进坞检验和涂饰。本油轮是采用浮箱法建造的。

(c) 合拢的操作。船体两段下水后，在码头进行舾装；移进浮箱并进行船体压载，保证接头处吃水、纵倾相同并有小的变形；移近两段船体合拢后，浮箱排水、调整压载；检查间隙合格后进行焊接，焊接从接缝四周同时进行；焊后 X 光检验、清理焊缝并进行油漆工作，这些工作都结束后移去浮箱。

该油轮的建造成功证明，这种造船方法十分有效。

对于一些旧船进行加长、加深改造也可采用类似的方法。先进行旧船的切断，通过在切割区外部(临水面)设置防水罩，和在陆上切割一样进行水上切割；然后加入中间的一段，再在水上大合拢。日本一船厂在1966年曾对一艘4万吨级油轮采用该法进行加深和加长，效果很好。

## 第七章 焊接车间设计

### 一、装配焊接车间设计内容、步骤与要求

#### 1. 装配焊接车间设计内容

由以上典型结构生产可知，焊接生产工艺过程的设计详细规定了焊接结构如何生产出来，即工艺方法、各工艺工序所用工艺参数、材料和动力消耗及设备的需要量、工人数量、工种及技术等级等，这些都由劳动量给予规定，并都记载到工艺文件中去了。但对已建成的工厂组织生产和新建工厂的基建来说还是远不够的。此时需要做以下装配焊接车间的设计工作。具体讲即有：

(a) 通过计算确定车间所需生产工人、辅助工人的工种、等级和数量，进而确定行政管理人员和工程技术人员的职别和数量；确定所需各种主要生产设备、辅助设备、装配焊接机械化装置和胎卡具的规格、型号及数量；计算制造产品所需基本材料、辅助材料、各种动力（即能源——电力、压缩空气、煤气、氧和乙炔气等）的消耗量等等。总的说即是在质量和数量上确定所设计的生产组成部分。

(b) 进行车间平面布置，即按照确定的生产组成部分、产品结构、生产量（生产纲领）和工艺（生产）要求将其绘制在平面图上，以便调整设备和人员（对于老厂），组织生产，并据此确定车间的剖面、确定建筑物的基本尺寸（对于新厂设计）。

(c) 根据产品结构、生产工艺要求及车间平面布置图选择确定车间内部、车间与车间之间运输方式及所用起重运输设备种类数量等。

#### 2. 装配焊接车间设计的步骤

装配焊接车间的设计按以下步骤进行：

##### (1) 确定所设计的生产组成部分

根据工艺设计，工艺设计最主要成果——工艺文件（工艺规程）、工艺卡片，每件产品每个工序所需劳动量、原材料及能源消耗，以及产品的年生产量（由年生产纲领所规定），计算出一年所需劳动量，将相同设备、同工种同级别工人所需年劳动量相合并，进一步则可计算出各种设备、各种工人需要量。提出设备（包括胎卡具）和原材料及能源需要清单，各种工人数量明细表，以便进行生产的准备工作（老厂）和为下一步设计（新厂）作准备。

##### (2) 进行车间平面布置

它是根据确定的生产组成部分，按车间、工段或生产组把它画到平面图上。在车间建筑完成后，根据平面布置结果，安装设备组织生产；对于老厂，则可据此调整车间，进行生产前的准备。另外根据平面布置才能确定车间的基本尺寸，如有几个跨度（几个开间），车间需要多长、多宽、多高，为尔后建筑设计提供依据。

进行车间平面布置时通常先选择总体车间生产布置方案。下面将提供一些生产实践中采用的生产线布置方案，在设计中可根据生产工艺的要求套用或修改后采用。

方案选定后则按先装配焊接部分。后材料加工及准备部分的顺序进行平面图的布置。通

常要提出数个平面布置方案，进行比较后，找出最经济、最合理的一个，绘成平面布置图。

上述主要工部的平面布置图完成之后，再进行车间辅助部分和非生产部分（如产品检查和试验工段、修整工段、油漆涂饰工段、仓库和生活间等）的计算和平面布置。这些辅助和非生产部分是为前述装配——焊接、材料准备等生产部分服务的，它们应当互相协调和适应。

在平面布置基础上，确定车间横剖面图，以便确定车间各跨厂房的高度。

根据几个方案比较后确定的最佳方案绘制平面图和剖面图，通常还要考虑其他方案的长处对最佳方案进行一些修改，最后确定最佳平面图和剖面图。

### （8）计算经济效益

进行技术经济指标计算，这是衡量设计优劣的指标。好的设计，产品质量高、性能好，各项技术指标先进；设计工厂或车间投资额低并且能较快收回投资，工厂有盈余，没有国家允许的亏损等都反映经济效益高。通常可以和国内外现有先进工厂进行比较，没有特殊理由，经济效益和技术指标低则需对设计进行修改或重新设计。

### 3. 对焊接车间设计总的要求

（a）要充分实现工艺设计的要求。即所设计的焊接车间组织生产时，能满足生产工艺的要求，且方便合理。

（b）使在所设计车间中从事生产的工人有较好的劳动条件，有足够的劳动防护，能够安全生产。这和实现高的劳动生产率有密切的联系，同时也是党和国家对劳动者关怀的具体体现。

（c）充分节约。在满足以上两点要求的前提下，精打细算，点滴节约，尽量提高设备的负荷率，减少设备投资，缩小车间面积，节约土建投资，从而使设计有较高经济效益。

## 二、各种生产规模下焊接生产组成部分的确定

焊接生产组成部分要在进行焊接车间设计及平面布置之前确定。

### 1. 工作制度与年时基数

为了确定所需工人等级和数量、设备的规格和数量，除了根据工艺设计确定的总劳动量外，必须知道工人及设备一年的可能工作量，即一年内工人、设备和工作场所工作小时数，这就是年时基数。年时基数是根据一年的总天数减去休假天数，以及每天工作班数和每班工作小时数来计算，这是由国家规定的，称为“工作制度”。各国工作制度不同，我国规定除节日7天，星期日52天外，全年工作日为306天。我国机械制造厂中焊接车间一般采用两班工作制，每班工作8小时，第三班可用来做准备工作，如设备维修，机床（冲床）调整等。但有个别的工段也采用三班工作制，如大型关键贵重设备，大型热处理炉，由于断续工作热处理炉能源浪费太大，并且影响设备寿命，故宜连续按三班生产，并且常常节假日不间断。由于第三班工作条件较差，工作小时数常低于8。这样按全年工作日数乘以工作班数和每班工作小时数，就计算出日历年时基数。可是设备将有停修损失，工人有请假、社会活动及其他缺勤，引起工时的损失，故实际年时基数比日历年时基数低。设计时，可按表7-1选取。

表 7-1 工人、设备、工作地年时基数

工作性质 或设备类型	全年工 作日	时间 损失 %	年时基数工作制度*					工作范围或 设备类型
			1班 8	2班 8	3班* 6.5 7		8	
一般工作条件								
1.女工占25%以下	306	8	2250	2250	1850	2000	2250	冷加工(机工、装配)、 工具、机修、木工、包装、 冷冲压
2.女工占50%以下	306	10	2200	2200	1800	1950	2200	
3.女工占75%以下	306	12	2150	2150	1750	1900	2150	
较差工作条件								
1.女工占10%以下	306	10	2200	2200	1800	1950	2200	电气焊、热加工、装配(铆 焊)、烘干、电焊条车间配 料压制工
2.女工占25%以下	306	12	2150	2150	1750	1900	2150	
3.女工占50%以下	306	14	2100	2100	1700	1850	2100	
特殊工作条件			1班 6	2班 6	3班 6		4班 6	喷砂、油漆、x线探伤、 船舶焊接、容器内电焊等
	306	12	1600	1600	1600		1600	
机器设备								
1.中小型一般设备	306 306 306 358	4 6 8 8	2350	4600	6300		7800	不太复杂的机床、电弧焊设 备、气焊设备、木工机床、 400t以下压床、剪板机、弯板 机、校直机、3t以下锻锤、 造型压铸设备、喷砂、油 漆、电镀
2.重型、稀有、精密和复 杂、昂贵设备	306 306 306 358 365	8 12 16 23 25	2250	4300	5800		6600 6600	修理复杂的机床，400t以上 的压床，点、对、缝焊机， 3t以上锻锤，平锻机，精密 (一级精度)齿轮、螺纹机 床，20t以上桥式起重机、 拔丝机等
3.加热炉								
小型简单的	306	4 6 8	2350	4600			6750	室式加热炉等
大型复杂的	306	10 12	—	1400			6450	台式加热炉、推杆和输送式 机械化加热炉等。
4.热处理炉								
小型简单的	306	4 5 7	2350	4650			6850	室式炉、盐浴炉、电阻 炉、电极炉等
大型复杂的	306	7 10	—	4550			6600	台式炉、大型井式炉

续表

工作性质 或设备类型	全年工 作日	时间 损失 %	年时基数工作制度*					工作范围或设备类型
			1班 8	2班 8	3班*			
					6.5	7	8	
高温(1000°C 以上)炉	306	6 8 12	2300	4500			6450	推杆和机械化炉、铸工退 火炉
连续运转炉 (高温)	358	14					7400	大型台式炉
连续运转炉 (低温)	358	8.5					7850	大型井式炉
工作位置	306	—	2448	4896			7038	7344

\* 按我国规定分为平行工作制、阶段工作制和连续工作制，则第3班工人工作小时数对应为6.5，7，8；连续工作制的设备除国家规定休息的节日外，星期日也照常工作，但工人轮休。全年连续工作制的设备所有假日一律不停工，工人轮休。设备相应分为一班制皆开工8小时，二班制亦开工8小时，三班制每班工作小时数分别为8，7，6.5。

## 2. 劳动量的确定

根据完成规定生产任务需要的全部劳动量及年时基数即可确定生产各个组成部分。该全部劳动量指全年劳动量。即为工艺文件所记载的在各个工序上，单件产品劳动量——即某工序上生产一件零、部件或产品所花费的时间——乘以全年的产量而得到的。工艺文件中某工序上单件生产时间又是如何规定的呢？这是计算劳动量的基础，是在编制生产工艺过程时制定出来的时间定额，它反映了工艺过程消耗劳动量的大小，反映企业生产速率，企业的管理水平。时间定额（以及产量定额）应能促进和推动生产力的发展。随着生产发展、企业技术装备日益现代化和工人技术水平不断提高，原有的时间定额会落后于生产力的发展，因而要不时修订。时间定额的制定有两种方法，一是经验统计法；它是根据有经验的老工人、技术人员和定额员，按经验，结合对产品图纸和工艺分析，并考虑设备、材料、工艺装备和其他生产技术、组织管理条件来估计工时，或利用过去积累的实际消耗工时的统计资料 and 同类企业的定额资料，经分析比较后制定的。二是技术定额法。这是一种通过技术测定、总结先进经验、观察记录合理的生产和工艺操作方法、积累完整可靠的时间计算资料计算出的时间定额。

经常采用的是经验统计法。所使用的统计资料可见于一般机械工厂焊接车间设计资料。表7-2为制定备料时间定额可采用的剪板机平均生产率资料，适于大量生产。表7-3是一些焊接工艺劳动量统计指标，比较粗略，详细设计时要用更准确更详细的时间定额数据。如表7-4～表7-11。

表7-2 剪板机平均生产率 (t/h)

剪切长度 (mm)	板厚 (mm)	条料宽度 (mm)					
		≤100	≤200	≤400	≤600	≤800	≤1000
≤1 000	0.5	0.15	0.30	0.55	0.80	—	—
	1.0	0.30	0.50	1.00	1.50	—	—
	2.0	0.50	1.00	1.75	2.50	—	—



续表

剪切长度 (mm)	板厚 (mm)	条 料 宽 度 (mm)					
		≤100	≤200	≤400	≤600	≤800	≤1000
≤2 000	1.0	0.45	0.80	1.20	1.80	2.30	—
	2.0	0.65	1.20	2.20	3.00	4.00	—
	3.0	0.90	1.65	3.00	4.40	5.50	—
	4.0	1.20	2.00	3.80	5.60	7.00	—
	6.0	1.50	2.80	5.00	7.00	9.40	—
	8.0	2.00	3.70	6.70	9.70	12.00	—
	10.0	2.20	3.90	7.20	10.00	13.00	—
≤3 150	4.0	2.30	4.00	7.00	11.20	14.00	16.00
	6.0	3.00	5.60	10.00	14.80	18.00	22.00
	8.0	4.00	7.40	13.00	19.00	22.00	26.00
	10.0	4.40	7.80	14.40	20.00	26.00	31.00
≤4 000	4.0	3.40	6.00	11.00	16.00	20.00	24.00
	6.0	4.50	8.00	14.00	20.00	26.00	30.00
	8.0	5.50	10.00	18.00	25.00	32.00	40.00
	10.0	6.50	12.00	22.00	32.00	40.00	48.00
	12.0	7.00	13.00	26.00	38.00	50.00	55.00

注：用于批量生产时，乘以系数：大批0.8~0.9，中批0.7~0.8，小批0.6~0.7。

表 7-3 焊接车间一些工艺工序劳动量指标

工序及设备		工作密度	设备或场地	指标及单位	备 注
手弧焊		1	场地	10~13 min/m	
半自动埋弧焊		1	场地	7~9 min/m	
自动埋弧焊		1	设备	5~6 min/m	
CO <sub>2</sub> 保护焊		1	场地	6~8 min/m	
CO <sub>2</sub> 保护自动焊		1	设备	4~5 min/m	
电铆焊		1	场地	120~150 点/h	
固定点焊机		1	设备	500~600 点/h	
悬挂点焊机		2	设备	300~400 点/h	
缝焊机		1	设备	40~50 m/h	
对焊机		1	设备	80~100 头/h	
磨擦焊机		1	设备	100~120 头/h	
气焊	钢板	1	场地	13~15 m/h	φ<25mm
	铜板	1	场地	15~18 m/h	
	管接头	1	场地	60 头/h	
钎焊	铜焊	1		15 min/m	φ<25mm
	管接头	1	场地	60 头/h	
	锡焊	1		7~8 m/h	
手工铆接		1		60 只/h	
螺钉装配		1	场地	80~100 只/h	
焊缝磨平		1		20 min/m	

表 7-4 固定点焊机时间定额

零件焊点数	零件(合)重量 (kg)					
	1	3	6	8	10	15
	单件时间定额 (min)					
1	0.25	0.30	0.36	0.44	0.50	0.65
3	0.28	0.34	0.40	0.53	0.60	0.76
5	0.31	0.38	0.48	0.63	0.70	0.86
7	0.35	0.46	0.56	0.72	0.78	0.96
9	0.41	0.54	0.65	0.81	0.88	1.07
12	0.52	0.65	0.78	0.95	1.04	1.22
15	0.62	0.77	0.90	1.09	1.18	1.37
20	0.79	0.96	1.11	1.32	1.42	1.61
25	0.98	1.15	1.32	1.55	1.66	1.89
30	1.15	1.34	1.54	1.78	1.90	2.15
35	1.29	1.54	1.75	2.02	2.14	2.39
40	1.48	1.75	1.96	2.26	2.37	2.65
45	1.65	1.97	2.17	2.49	2.62	2.90
50	1.82	2.19	2.38	2.72	2.90	3.18

表 7-5 悬挂点焊时间定额

零件焊点数	零件(合)重量 (kg)					
	5	10	15	25	35	50
	单件时间定额 (min)					
5	0.72	0.84	0.95	1.05	1.28	1.58
10	1.03	1.16	1.25	1.35	1.58	1.88
15	1.36	1.45	1.54	1.65	1.88	2.05
20	1.67	1.75	1.84	1.95	2.17	2.48
25	1.88	2.06	2.15	2.26	2.48	2.77
30	2.27	2.36	2.44	2.55	2.78	3.08
35	2.56	2.66	2.75	2.86	3.08	3.38
40	2.86	2.97	3.04	3.15	3.38	3.68
50	3.46	3.56	3.64	3.76	3.97	4.28
60	4.06	4.16	4.25	4.36	4.58	4.87
70	4.66	4.76	4.84	4.96	5.18	5.48
80	5.27	5.36	5.44	5.55	5.78	6.08
100	6.48	6.56	6.64	6.76	6.88	7.28
120	7.68	7.76	7.85	7.96	8.18	8.48

注：以上二表以两个零件组合为准，当为  $n$  件组合，以焊点数  $(n-1)$  查表得单件定额，再乘以  $(n-1)$  作为其定额。悬挂点焊标准以一机一钳为基础。

表 7-6 缝焊时间定额 (以 m/min 速度计, 如改变焊速, 相应调整)

焊缝长度 (m)	零件 (合) 重量 (kg)			
	5	10	25	35
	单件时间定额 (min)			
0.5	0.76	0.86	1.00	1.24
1.0	1.28	1.38	1.52	1.78
1.5	1.82	1.92	2.06	2.32
2.0	2.36	2.46	2.60	2.84
2.5	2.88	2.98	3.14	3.38
3.0	3.42	3.52	3.63	3.92
3.5	3.95	4.05	4.30	4.46
4.0	4.50	4.68	4.72	5.00
5.0	5.66	5.98	6.10	6.41
6.0	6.82	7.06	7.18	7.46

表 7-7 手工电弧焊时间定额

焊缝长度 (mm)	零件 (合) 重量 (kg)							
	1	3	5	10	15	25	35	35以上
	单件时间定额 (min)							
50	0.97	1.11	1.21	1.35	1.68	1.76	2.02	2.33
80	1.20	1.33	1.46	1.57	1.82	1.98	2.24	2.54
120	1.50	1.64	1.74	1.87	2.12	2.27	2.54	2.98
160	1.85	2.00	2.10	2.23	2.46	2.60	2.85	3.28
200	2.10	2.24	2.34	2.48	2.73	2.88	3.14	3.44
250	2.47	2.61	2.72	2.86	3.09	3.25	3.51	3.84
300	2.91	3.03	3.15	3.28	3.53	3.68	3.95	4.23
350	3.34	3.47	3.59	3.72	3.94	4.12	4.37	4.66
400	3.72	3.58	3.96	4.08	4.33	4.50	4.75	5.03
450	4.08	4.23	4.34	4.46	4.72	4.88	5.13	5.42
500	4.46	4.61	4.70	4.84	5.09	5.25	5.50	5.82
550	4.91	5.03	5.15	5.29	5.52	5.70	5.90	6.25
600	5.29	5.42	5.52	5.67	5.90	6.04	6.32	6.48
700	6.09	6.22	6.32	6.48	6.70	6.89	7.13	7.42
1000	8.41	8.53	8.66	8.82	8.94	9.21	9.45	9.78
1250	10.40	10.50	10.62	10.82	11.00	11.24	11.53	11.80
1500	12.35	12.42	12.58	12.75	12.95	13.08	13.35	13.65

表 7-8 埋弧 CO<sub>2</sub> 气体保护 自动焊时间定额

焊缝长度 (mm)	零件(合)重量 (kg)							
	手工上下料					吊车上料		
	3	5	8	12	20	30	50	100
单件时间定额 (min)								
300	1.40	1.44	1.48	1.52	1.57	1.69	2.29	2.59
400	1.70	1.74	1.78	1.82	1.87	1.94	2.59	2.89
500	2.00	2.04	2.08	2.14	2.19	2.24	2.89	3.19
650	2.45	2.49	2.53	2.57	2.62	2.69	3.34	3.64
800	2.90	2.94	2.97	3.02	3.07	3.14	3.79	4.09
1000	3.50	3.54	3.58	3.62	3.67	3.74	4.39	4.69
1250	4.25	4.29	4.33	4.36	4.41	4.49	5.14	5.44
1500	5.00	5.04	5.08	5.12	5.17	5.24	5.89	6.19
1750	5.75	5.79	5.83	5.87	5.92	5.99	6.04	6.94
2000	6.50	6.54	6.58	6.62	6.67	6.74	7.39	7.69
2500	8.00	8.04	8.08	8.12	8.17	8.24	8.89	9.19
3000	9.50	9.54	9.58	9.62	9.67	9.74	10.39	10.69

注：本表以 $V_b = 20\text{m/h}$ 计算。对于CO<sub>2</sub>气体保护焊，表中值乘系数0.7（CO<sub>2</sub>气体保护焊 $V_b = 30\text{m/h}$ ，焊速改变，系数值改变）。

表 7-9 CO<sub>2</sub> 气体保护半自动焊时间定额

焊缝长度 (mm)	零件(合)重量 (kg)							
	1	3	5	10	15	25	35	35以上
	单件时间定额 (min)							
50	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40
80	1.15	1.38	1.57	1.75	1.95	2.18	2.40	2.64
120	1.38	1.60	1.80	1.98	2.18	2.40	2.62	2.90
160	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.82	3.12
200	1.80	2.02	2.24	2.41	2.60	2.81	3.05	3.32
250	2.10	2.30	2.53	2.70	2.90	3.10	3.32	3.60
300	2.35	2.58	2.80	2.98	3.17	3.40	3.60	3.90
350	2.62	3.85	3.08	3.25	3.44	3.66	3.90	4.18
400	2.90	3.12	3.35	3.52	3.71	3.92	4.15	4.45
450	3.18	3.40	3.61	3.80	4.00	4.20	4.41	4.73
500	3.46	3.68	3.90	4.08	4.28	4.50	4.70	5.04
550	3.75	3.96	4.20	4.36	4.56	4.79	5.00	5.30
600	4.00	4.22	4.50	4.63	4.85	5.05	5.30	5.60
700	4.56	4.80	5.05	5.20	5.42	5.60	5.82	6.18
800	5.10	5.35	5.60	5.71	5.95	6.18	6.40	6.72
1000	6.25	6.50	6.72	6.85	7.10	7.30	7.00	7.90

表 7-10 闪光对焊  
摩擦焊 时间定额

焊接表面尺寸		对焊机 名义功率 (kw)	零件(合)重量(kg)						
直径 (mm)	断面积 (mm <sup>2</sup> )		1	3	5	8	12	15	>15
单件时间定额 (min)									
6	30	10	0.31	0.33	0.37	0.41	0.46	0.52	0.59
8	50	10	0.33	0.35	0.39	0.43	0.48	0.54	0.61
10	80	10	0.35	0.37	0.41	0.45	0.50	0.56	0.63
12	120	30	0.37	0.39	0.43	0.47	0.52	0.58	0.65
14	150	30	0.40	0.42	0.46	0.50	0.55	0.61	0.68
16	200	30	0.42	0.44	0.48	0.52	0.57	0.63	0.70
18	250	60	0.45	0.47	0.51	0.55	0.60	0.66	0.73
20	300	60	0.48	0.50	0.54	0.58	0.63	0.69	0.76
22	400	60	0.51	0.53	0.57	0.61	0.66	0.72	0.79
25	500	100	0.57	0.59	0.63	0.67	0.72	0.78	0.85
28	600	100	0.64	0.66	0.70	0.74	0.79	0.85	0.92
30	700	100	0.70	0.72	0.76	0.80	0.85	0.91	0.98
32	800	100	0.76	0.78	0.82	0.86	0.91	0.97	1.04
36	1000	250	0.90	0.92	0.96	1.00	1.05	1.11	1.18
40	1200	250	0.95	0.97	1.00	1.04	1.09	1.15	1.22
50	2000	350			1.06	1.10	1.15	1.21	1.27
60	2800	400			1.10	1.16	1.21	1.27	1.34
70	3800	450					1.29	1.35	1.42
80	5000	450							1.64
100	7850	500							2.24

表 7-11 气割时间定额

切割方法	切割厚度 (mm)	时间定额 (m/h)
手 工	4~8	19~15
半 自 动	10~30	20~15
自 动	5~30	22~13

按技术定额法, 将工人生产活动中工时消耗分定额时间和非定额时间。前者是完成生产所必需的时间消耗, 由作业时间(基本作业时间和辅助时间)、照料和布置维护工作地时间、工人休息和生理自然需要时间、以及准备和结束时间等四部分组成。而非定额时间是指与完成生产任务无关的时间消耗或停工损失, 这类时间不计入时间定额之内。单件工序的时间定额用  $T_{d_0}$  表示, 则:

$$T_{d_0} = t_{z_0} + t_{b_u} + t_{z_1} \quad (7-1)$$

式中  $T_{d_0}$ ——单件工序时间;

$t_{z_0}$ ——作业时间, 又分两项,  $t_j$ ——用于实际工序过程的时间, 称基本时间;  $t_f$ ——用于为完成工艺过程创造条件的辅助时间;

$t_{b_u}$ ——布置和照料工作地的时间;

$t_{2i}$ ——工人休息和生理自然需要时间。后两个时间 ( $t_{bu}$  和  $t_{2i}$ ) 常用作业时间的百分数来表示, 于是有:

$$T_{do} = t_{2o} \left( 1 + \frac{a_1 + a_2}{100} \right)$$

或

$$T_{do} = (t_j + t_f) \left( 1 + \frac{a_1 + a_2}{100} \right) \quad (7-2)$$

式中  $a_1, a_2$ ——布置、照料工作地和休息、生理自然需要时间占作业时间系数。

通过调查积累大量可靠时间消耗资料之后, 制定了按式 (7-2) 计算时间定额所需要的  $t_j$  和  $t_f$  以及  $a_1, a_2$  系数表。作为示例, 举出电阻焊的上述数据见表 7-12~表 7-22。弧焊及装配、备料检验等工艺工序的上述数据可查阅有关设计资料<sup>[24, 25]</sup>的定额表。

表 7-12 点焊和缝焊的基本时间

点焊的基本时间 ( $t_j$ ) 定额标准												
焊机型号	焊接钢板总厚度											
	1.0	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
焊一个点的时间 (min)												
DN <sub>2</sub> -75	—	0.010	0.012	0.013	0.015	0.017	—	—	—	—	—	—
DN <sub>2</sub> -100	—	—	0.013	0.014	0.015	0.018	0.020	0.023	0.026	—	—	—
DN <sub>2</sub> -150	—	—	—	—	0.015	0.018	0.020	0.022	0.024	0.026	0.028	—
DN <sub>2</sub> -200	—	—	—	—	0.015	0.018	0.020	0.021	0.023	0.025	0.027	0.030
焊枪 50kVA 气动操作焊	0.015	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
钳: 50kVA	0.012	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100kVA	—	0.015	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150kVA	—	—	0.020	—	—	—	—	—	—	—	—	—
脚踏式或电传动式	—	0.015	0.018	0.021	0.024	0.028	0.033	—	—	—	—	—

缝焊的基本时间 ( $t_j$ ) 定额标准			
焊机功率 (kVA)	焊件总厚度 (mm)	焊接速度 (m/min)	每米焊缝时间 定额 ( $t_j$ ) 标准 (min)
60	1.6	1.2	0.83
	2.0	0.8	1.25
100	2.0	1.0	1.00
	3.0	0.8	1.25
150	2.0	1.75	0.57
	3.0	1.5	0.66
	4.0	0.9	1.12
200	2.0	2.5	0.4
	3.0	1.75	0.57
	4.0	1.0	1.0

表 7-13 闪光对焊基本时间 ( $t_1$ )

焊件 直径 (mm)	表面尺 寸横断 面积 (mm <sup>2</sup> )	名义 功率 (kVA)	焊 接 方 法			
			连 续		断 续	
			规 范			
			一般	强规范	一般	强规范
每一接头焊接时间 (min)						
6	30	10	0.05			
8	50	10	0.06		0.16	
10	80	10	0.08		0.18	
12	120	30	0.10		0.20	
14	150	30	0.12		0.23	
16	200	30	0.15		0.25	
18	250	60	0.17		0.28	
20	300	60	0.19	0.13	0.31	0.21
22	400	60	0.21	0.14	0.34	0.24
25	500	100	0.25	0.17	0.40	0.29
28	600	100	0.28	0.20	0.46	0.34
30	700	100	0.31	0.22	0.52	0.38
32	800	100	0.31	0.24	0.58	0.46
36	1000	250	0.39	0.28	0.72	0.53
40	1200	250				0.60
50	2000	350				0.68
60	2800	350				0.71
70	3800	350				0.87
80	5000	350				1.20
100	7850	425				1.30

注：从移动板到顶锻的时间都包括在基本时间内。

表 7-14 接触焊的辅助时间 ( $t_2$ )

在固定式点焊机上点焊的辅助时间

工作内容	被焊零件 (合) 的重量 (kg)									
	<0.5	<0.1	<3.0	<5.0	<8.0	<10.0	<12.0	<15.0	25.0	35.0
时间 (min)										
拿下焊件转 90°置于电极下	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	
拿下焊件转 180°置于电极下	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.08	0.08	0.10	

续表 7-14

在固定式点焊机上点焊的辅助时间											
工作内容	被焊零件(合)的重量(kg)										
	<0.5	<1.0	<3.0	<5.0	<8.0	<10.0	<12.0	<15.0	<25.0	<35.0	
时间(min)											
按准线、边缘孔、 样板或夹具装备两零件 并将它置于电极下	时间定额见表 7-15										
接通或断开焊机	0.015(站着)或0.010(坐着)										
焊接下一 点时将部 件移动下 列距离	50(mm)	0.005	0.007	0.009	0.011	0.013	0.015	0.016	0.017	0.019	0.022/0.04
	100(mm)	0.007	0.009	0.012	0.014	0.016	0.018	0.019	0.020	0.022	0.025/0.028
	200(mm)	0.012	0.014	0.016	0.018	0.020	0.022	0.023	0.025	0.028	0.033/0.033
	300(mm)	0.018	0.021	0.024	0.027	0.030	0.033	0.035	0.037	0.041	0.046/0.050
	500(mm)	0.024	0.028	0.032	0.036	0.040	0.044	0.046	0.049	0.054	0.060/0.065
取下焊好的部 件,堆置于堆 放处(中间库)	时间定额见表 7-15										

注:移动零件的距离小于50mm时,移动时间与电极回程重迭;在移动装在夹具上的零件时,用零件和夹具总重量。

表 7-15 接触焊辅助时间( $t_f$ )

无夹具手工操作,焊机上点焊时,装配零件(对准零件于电极下)、取走堆积好焊成零件的辅助时间												
工作内容	零件长 (mm)	零件重量(kg)										
		0.5	1.0	3.0	5.0	8.0	10.0	12.0	15.0	25.0	>25.0	
时间(min)												
拿一个零件放到 另一个零件之上, 按准线边缘线或 孔对齐,并置于 电极下,	200	方便	0.03	0.04	0.05	0.06	—	—	—	—	—	—
		不便	0.04	0.05	0.06	0.07	—	—	—	—	—	—
	500	方便	0.035	0.045	0.055	0.065	0.075	—	—	—	—	—
		不便	0.045	0.055	0.065	0.075	0.085	—	—	—	—	—
	750	方便	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	—	—
		不便	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	—	—
	1000	方便	—	—	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18
		不便	—	—	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21
	1000 以上	方便	—	—	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
		不便	—	—	0.09	0.10	0.12	0.15	0.17	0.19	0.21	0.24
	把一个零件放在另 一个零件之上按样 板对齐并置于电极 下	200	方便	0.065	0.07	0.08	0.09	—	—	—	—	—
			不便	0.075	0.08	0.09	0.10	—	—	—	—	—
500		方便	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	—	—	—	—	
		不便	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	—	—	—	—	
750		方便	0.075	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	—	—
		不便	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	—	—
1000		方便	—	—	0.11	0.12	0.13	0.15	0.17	0.20	0.22	0.24
		不便	—	—	0.13	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.25	0.27
1000 以上		方便	—	—	—	0.15	0.14	0.16	0.18	0.21	0.23	0.25
		不便	—	—	—	0.15	0.17	0.20	0.22	0.25	0.27	0.30



续表 7-15

无夹具手工操作, 焊机上点焊时, 装配零件 (对准零件于电极下), 取走堆积好焊成零件的辅助时间													
工作内容	零件长 (mm)	零件重量 (kg)											
		0.5	1.0	3.0	5.0	8.0	10.0	12.0	15.0	25.0	>25.0		
时 间 (min)													
从电极中拿出 零件放到架上 箱内	200	方便	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04	—	—	—	—	—	—
		不便	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	—	—	—	—	—	—
	500	方便	0.025	0.03	0.035	0.035	0.045	0.05	—	—	—	—	—
		不便	0.04	0.05	0.06	0.06	0.08	0.09	—	—	—	—	—
	750	方便	0.03	0.035	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	—	—
		不便	0.05	0.06	0.07	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14	—	—
	1000	方便	—	—	0.05	0.05	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.15	—
		不便	—	—	0.08	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	—
	1000 以上	方便	—	—	—	—	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	—
		不便	—	—	—	—	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	—

表 7-16 接触焊辅助时间 ( $t_f$ )

在夹具上点焊时, 装配零件和堆放焊好部件的辅助时间					
紧固方法	工作 内容	被焊部件重量 (kg)			
		3	5	10	15
时间定额 (min)					
手柄气动或偏 心夹紧	紧固	0.02	0.02	0.02	0.02
	松开	0.02	0.02	0.02	0.02
手柄铰链夹紧	紧固	0.02	0.03	0.04	0.05
	松开	0.02	0.02	0.03	0.03
手柄弓形夹	紧固	0.03	0.04	0.05	0.06
	松开	0.02	0.03	0.04	0.05
元宝螺帽夹紧	紧固	0.02	0.02	0.03	0.03
	松开	0.01	0.02	0.02	0.02
链轮或手轮	紧固	0.04	0.05	0.06	0.07
	松开	0.03	0.04	0.05	0.06
把有零件的夹具置于电极上		0.03	0.03	0.04	0.06
从电极中取出装有零件的夹具		0.02	0.02	0.03	0.04

注: 指在一个夹具上紧固和松开一个零件的时间。

表 7-17 接触焊的辅助时间 (安装和从电极上取下装有工件的夹具) ( $t_f$ )

工 作 内 容	装有工件夹具的重量 (kg)					
	5	10	15	20	35	>35
	时间定额 (min)					
安 装	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
取 下	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10

表 7-18 接触焊的辅助时间 (取工件安装于夹具上, 并取下工件重新放好)

工件安装方法		工件重量及相应时间定额 (min)						
		1	3	5	8	10	15	>15
安在孔内或销钉上	安 装	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.10	0.12
	取 下	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.08	0.10
按外形安装	安 装	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.11	0.13
	取 下	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.09	0.10
按冲压形状安装	安 装	0.05	0.06	0.07	0.09	0.09	0.12	0.15
	取 下	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.10	0.12

表 7-19 用锤调正工件的辅助时间 (包括取锤、将工件调平并放还锤) ( $t_f$ )

工件重量 (kg)							
5		10		15		>15	
锤 击 次 数							
1~2	3~4	2~3	3~5	3~4	5~6	4~5	6~8
时间定额 (min)							
0.06	0.08	0.10	0.12	0.12	0.15	0.15	0.18

表 7-20 点焊钳或焊枪手工操作辅助时间 ( $t_f$ )

工 作 内 容	工具种类	时间 (min)
取焊接工具 (焊机) 移到焊接位置上	点 焊 钳	0.10
	焊 枪	0.05
用按钮接通和断开焊机		0.05
旋转或倾斜点焊工具		0.02
升起或降下一级		0.02
从焊接位置移开焊机	点 焊 钳	0.05
	焊 枪	0.03

续表 7-20

工 作 内 容		工具种类	时间 (min)
将点焊钳在方便位置移开如下 距离 (mm), 达到下一点	50	点焊钳	0.010
	100		0.012
	250		0.015
	500		0.025
将点焊钳在不方便的位置移开如下 距离 (mm), 达到下一点	50	点焊钳	0.015
	100		0.020
	250		0.025
	500		0.030
将焊枪在方便位置移开如下 距离 (mm), 达到下一点	50	焊 枪	0.005
	100		0.008
	250		0.010
	500		0.015
将焊枪在不方便的位置移开如下距 离 (mm), 达到下一点	50	焊 枪	0.008
	100		0.012
	250		0.015
	500		0.020

注: 焊前装配零件辅助时间见表 7-15~表 7-19; 在焊接过程中, 如果焊工必须弯着身子工作, 即认为“不方便”。

表 7-21 缝焊的辅助时间 (t<sub>1</sub>)

工 作 内 容	被焊零件 (部件) 重 (kg)						
	3	5	8	10	15	25	35
	时间定额 (min)						
从堆放地拿起零件并放在下面滚轮电极上	0.04	0.05	0.06	0.08	1.10	0.15	0.20
放下上面滚轮电极	0.03						
接通焊机或关闭焊机	0.01						
上滚轮电极抬起	0.025						
从滚轮中取出工件转90°再放到滚轮上	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08
从滚轮中取出工件转180°再放到滚轮上	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11
从滚轮中取出工件并放到堆放地	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.10	0.15

表 7-22 接触焊时布置和照料工作地及休息和生理自然需要时间占作业时间系数

焊机类型	$a_1\%$		$a_2\%$	
	组织的	技术的	部件重 (kg)	
			<7.5	>7.5
固定点焊机	2	6.5	2	3
固定脚踏加压点焊机	1.5	5	3	4
悬挂点焊机 (钳)	2	9	4	4
多点焊机 (压床式)	2	4	2	3
多点焊机 (多轴式)	2	10	2	3
杠杆推动对焊机	1.5	$\frac{6^{①}}{8}$	$\frac{2^{①}}{4}$	$\frac{3^{①}}{6}$
杠杆推动及机动或气动压紧对焊机	2	$\frac{8^{①}}{10}$	$\frac{3^{①}}{4}$	$\frac{5^{①}}{6}$
机械推动及机动压紧对焊机	3	$\frac{8^{②}}{10}$	$\frac{2^{②}}{3}$	$\frac{3^{②}}{5}$
机械断续器的缝焊机	1.5	$\frac{7^{③}}{10}$	2	3
机械断续器焊机	2	$\frac{4.5^{③}}{7}$	2	3
调幅及电子管式断续器缝焊机	2	$\frac{4^{③}}{6}$	2	3

注：①分子是平均每小时焊接次数小于40次，分母大于40次；②分子是平均每小时焊接次数小于20次，分母是大于20次；③分子是自动修整滚轮，分母是手工修整滚轮。

如上所述，得到单件产品劳动量，再乘以全年产量，就可得到全年劳动量。这种计算应将可能在不同工作地由各种设备和工人完成的各工序中采用相同的设备和工作地，同工种和等级工人所完成各工序劳动量相加。这样就得到一种设备、一个工作地和某工种及等级的工人制造一台产品时的劳动量。

进行相同设备、工作地、工人的相加——合并劳动量，应考虑工艺上是合理的，生产组织上是可能的。例如备料工段，多按加工特点组织生产，如门剪机可剪8~16mm厚钢板，则将一台产品需剪切的各零件工序剪切工时总和起来，从而计算出该门剪机的全年劳动量。这样做工艺上是合理的，组织生产是可行的。但对装配焊接工段，在按产品组织生产时，有些相同设备、工作地和工人完成的工序相距甚远，或其他原因不一定能合并，则应单独计算。

工人劳动量的单位是工时（工分），设备劳动量是台时（台分）工作地则以位置一时（位置一分）表示。

上述确定劳动量的工作，不论是概略的（如在单件小批量生产条件下），还是详细的（如在大批大量生产条件下），都是在工艺设计、编制工艺文件及随后车间平面布置时进行的。在拟定可行性报告、进行项目的技术论证时，只能更加粗略的计算。此时可以参表7-

23~表7-25计算。这些表给出了大批大量生产时,一台(套、吨)产品的劳动量和单件小批生产重型焊接件的劳动量,也可作设计后进行比较的参照,但要注意这些表的不完整性和先进性。

表7-23 国内几个主要汽车厂的劳动量(1976年)

厂名	生产产品	生产纲领	劳动量(每车)	
			台时	工时
第一汽车厂 车身分厂	驾驶室总成及分总成、车前板各总成、油箱、油底壳、消声器、贮气筒各总成、车架总成及分总成	CA-10解放30000辆	14.10	7.94
第二汽车厂 车身分厂	驾驶室总成及分总成、车前板各总成及分总成(附件及底架除外)	EQ-240 25000 EQ-250 20000 EQ-150 55000 辆	5.20	2.69
北京二里沟 汽车厂	驾驶室总成及分总成、车架、车箱之总成,及分总成(除油箱、消声器之外的杂品)	BJ-130 6,000辆(包括备品)	66.5	24.3

表7-24 大批大量生产时几种焊接部件的劳动量

产品类型	一台产品焊接部件的重量(kg)	年生产量为下列值(千台套) <sup>①</sup> 时的劳动量 $\left( \frac{\text{一台产品劳动量}}{\text{一吨焊接部件的劳动量}} \right)$ (工时)										
		2.5	5	10	15	25	50	100	150	200	300	400
小轿车	250	—	—	—	—	—	$\frac{13.6}{54.5}$	$\frac{11.2}{45.0}$	$\frac{10.3}{41.1}$	$\frac{9.4}{37.5}$	$\frac{8.9}{35.6}$	$\frac{8.4}{33.4}$
	400	—	—	—	—	—	$\frac{21}{52.5}$	$\frac{17}{42.5}$	$\frac{15}{37.2}$	$\frac{14.5}{36.0}$	$\frac{13.4}{33.6}$	$\frac{13.0}{32.5}$
	630	—	—	—	—	$\frac{48.8}{77.5}$	$\frac{37.0}{59.0}$	$\frac{30.0}{47.8}$	$\frac{27.6}{44.0}$	$\frac{25.2}{40.0}$	—	—
载重汽车	500	—	—	—	—	$\frac{10.2}{20.4}$	$\frac{7.4}{14.7}$	$\frac{6.5}{13.0}$	$\frac{5.8}{11.5}$	$\frac{5.7}{11.2}$	—	—
	800	—	—	—	—	$\frac{13.0}{16.0}$	$\frac{10.0}{12.5}$	$\frac{8.0}{10.0}$	$\frac{7.2}{8.8}$	$\frac{7.0}{8.5}$	—	—
	1250	—	—	—	$\frac{19.6}{15.5}$	$\frac{15.7}{12.5}$	$\frac{12.9}{10.3}$	$\frac{11.1}{8.8}$	$\frac{10.5}{8.3}$	—	—	—
	1600	—	—	—	$\frac{23.2}{14.5}$	$\frac{19.6}{12.2}$	$\frac{15.3}{9.4}$	$\frac{13.1}{8.1}$	$\frac{12.4}{7.7}$	—	—	—
公共汽车、 大型带棚汽车	1000	—	—	—	$\frac{51.2}{51.2}$	$\frac{45.1}{45.1}$	$\frac{34.7}{34.7}$	$\frac{27.8}{27.8}$	—	—	—	—
	1600	$\frac{103}{65}$	$\frac{80}{50}$	$\frac{66}{41}$	$\frac{57.5}{36}$	$\frac{54}{34}$	—	—	—	—	—	—
	2500	$\frac{160}{64}$	$\frac{135}{54}$	$\frac{120}{43}$	$\frac{119}{46}$	$\frac{111}{44.5}$	—	—	—	—	—	—

续表 7-24

产品类型	一台产品焊接 部件的重量 (kg)	年生产量为下列值(千台套) <sup>①</sup> 时的劳动量 $\left(\frac{\text{一台产品劳动量}}{\text{一吨焊接部件的劳动量}}\right)$ (工时)										
		2.5	5	10	15	25	50	100	150	200	300	400
拖车和半 拖车	1000	—	—	—	$\frac{12.9}{12.9}$	$\frac{11.9}{11.9}$	$\frac{10.8}{10.8}$	—	—	—	—	—
	1600	—	—	—	$\frac{15.2}{9.5}$	$\frac{14.1}{8.8}$	$\frac{12.7}{8.0}$	—	—	—	—	—
	2500	—	—	$\frac{23}{9.2}$	$\frac{21.8}{8.7}$	$\frac{20.2}{8.1}$	—	—	—	—	—	—
	4000	—	—	$\frac{32.8}{8.2}$	$\frac{31.4}{7.9}$	$\frac{28.8}{7.2}$	—	—	—	—	—	—
载重量40~60吨 的大型自卸汽车	8000	$\frac{80}{10}$	$\frac{70}{8.7}$	$\frac{65}{8.1}$	$\frac{61.1}{7.6}$	$\frac{57.8}{7.2}$	—	—	—	—	—	—

① 一台小轿车的焊接部件包括：框架、车箱（驾驶室）、尾翼、底盘（油箱、压缩空气罐、消音器及其它），不包括散热器、缓冲器、后桥箱壳体、发动机和传动系统（传动轴及其它部件）的焊接部件。

表 7-25 单件、小批和成批生产的重型焊接部件的劳动量

焊接部件的最大重量 (t)	当年产量为下列值(千吨)时一吨部件的劳动量							
	5	10	15	20~25	30~35	40~50	70~80	100
1.6	—	—	—	—	—	—	—	11.2 <sup>11</sup>
2.5	—	14.9 <sup>12</sup>	—	—	—	13.1 <sup>11</sup>	—	—
4	—	20.2 <sup>12</sup>	—	—	—	9.4 <sup>17</sup>	9.1 <sup>17</sup>	—
6	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	13.3 <sup>13</sup>	—	—	11.6 <sup>17</sup>	—	—	—
16	—	19.6 <sup>14</sup>	—	—	—	—	—	—
25	—	17.5 <sup>17</sup>	24.3 <sup>15</sup>	16.8 <sup>17</sup>	15.9 <sup>15</sup>	—	—	—
40	26.3 <sup>9</sup>	—	23.0 <sup>19</sup>	—	17.0 <sup>18</sup>	—	—	—
60	—	—	12.8 <sup>17</sup>	—	—	—	—	—
100	—	10.1 <sup>16</sup>	—	18.4 <sup>18</sup>	—	—	—	—
160	—	33.0 <sup>19</sup>	—	17.6 <sup>16</sup>	—	15.0 <sup>18</sup>	9.8 <sup>18</sup>	—
250	—	—	—	30.3 <sup>19</sup>	28.3 <sup>19</sup>	—	—	—
焊接部件种类 <sup>1</sup>	最大焊接部件外形尺寸(m)							

续表 7-25

	年产量为下列值 (千吨)							
	5	10	15	20~25	30~35	40~50	70~80	100
11 车辆制造中框架-车箱部件		—				25×3.15 ×0.4		13.8×3 ×0.4
锅炉制造部件:								
12 汽室		8.1×3.1 ×0.32		—			—	
13 管形省煤器		4.9×3.4 ×1.5	—		—	—		
14 金属结构	—	12×4 ×0.5						
15 焊接的机体		3×12×2		3×12×2				—
16 焊接的气包		φ1.8× 22.7		φ1.8× 22.7				
17 起重运输设备		60×4.5 4.5	33×3.5×1.8		23×1× 1.6	29×1.6×0.7		
18 冶金设备		—		3×12×2		φ3.5×15		
19 透平机和内燃机	11.3×2 ×5.2	12×10 ×5	11.3× 4.2× ×5.2	8.6×8.6×4		—		

1: 下注数字与劳动量指标的脚注相对应。

### 3. 设备及工作地的确定

设备的选择包括确定设备的种类、型号和计算设备的数量两个方面。前者根据拟定的工艺过程来选择, 后者则根据生产任务计算确定。有了设备的实际年基数(小时)、此种设备全年的劳动量(台时), 则该种设备的台数 $n_{s,h}$ 可按式(7-3)决定:

$$n_{s,h} = \frac{T_{s,h}}{\phi_{s,h}} \quad (7-3)$$

式中  $T_{s,h}$ ——该种设备全年劳动量(台时);

$\phi_{s,h}$ ——设备实际年时基数(表7-1)。

用公式计算的结果, 大多数情况下不是一个整数。通常向上圆整成整数。如 $n_{s,h} = 4.83$ 台, 则可取5台。当小数额很小时, 也可考虑向下圆整, 如 $n_{s,h} = 2.21$ 台, 取为2台。但此时必须在修改工艺、缩短该设备台时方面采取措施, 否则正式投产后将会给生产带来困难。在大批量专业化流水生产条件下, 产品明确, 设备确定也是很明确的, 如汽车制造厂车体车间。但对于单件、小批量生产条件下, 产品门类较多, 而且工厂产品不时更换, 则不仅要考虑现时生产任务规定的产品, 还要考虑今后可能遇到的其他类型产品, 则宜选用通用性强的设备, 如一般金属结构工厂的焊接车间。

设备的选用还要考虑先进性和经济性。如交流焊机能满足要求, 则不必选择投资和维修都要贵得多的直流焊机。对于待割零件形状复杂而且变化很多的船厂、采油平台制造厂等的金属备料车间, 采用价格贵重的、电子计算机控制的自动切割机、数控管子自动切割机则是合理的。因为这种设备投产后, 有较高的生产率, 产品质量好, 为后继工序准备了良好条件, 从而可以提高整台产品的质量, 带来巨大的经济效益。

工作地包括工件或装卡工件的胎具及操作工人工作位置所占有的面积。工作地的计算与设备数量的计算类似，

$$n_{gz} = \frac{T_{gz}}{\phi_{gz}} = \frac{T_g}{n_m \cdot \phi_g} \quad (7-4)$$

式中  $T_{gz}$ ——工作地全年劳动量；

$T_g$ ——该工作地上工人全年劳动量；

$\phi_{gz}$ ——工作地实际年时基数；

$\phi_g$ ——工作地上工人实际年时基数；

$n_m$ ——工作地工人密度，通常由工艺卡片作出规定、推荐的工作密度如表 7-26 及表 7-27 所示。

表 7-26-1 按设备平均工作密度

设备名称	平均密度	设备名称	平均密度
3mm 以下剪板机	1~3	1600~3500t 双点压力机	5~7
6~13mm 剪板机	3~5	折弯压力机	2~3
20 mm 剪板机	4~6	3mm 以下折边机	1~2
冲剪机、双盘剪切机联合冲剪机	1~2	精压机摩擦压力机	1~2
63t 以下压力机	1	液压打包机	2~3
80~100t 压力机	1~2	缝、点、对焊机	1~2
160~400t 单点压力机	2	摩擦焊机	1
500~800t 单点压力机	2~4	清洗机	2~4
160~400t 双点压力机	.	半自动切割机	1
1000t 以上单点压力机	3~5	电弧焊机	1
630~1000t 双点压力机	4~6	埋弧焊机	2
		CO <sub>2</sub> 半自动焊机	1

表 7-26-2 按工种的工作密度 (成批和小批生产)

焊接部件的平面尺寸 (m)	按 工 种 的 工 作 密 度				
	装 配	焊 接			
		非机械化和半自动化焊接	自动焊	电渣焊	接触焊
小型的 1×1.5 以下	1	1	1	见表 7-27	
中等的 2×3.5 以下	1~2	1~2	1		
大型的 3×6 以下	2		1~2		
特大的 3×6 以上	3	2~3	3~4		

对于专业化大批量流水生产的条件下，加工的前一道工序和紧接的下一道工序间不停顿，或很少停顿，应按产品加工过程排列加工设备及工作地，各工作地和设备实行专业化，按产品组成车间；产品在各工序之间、各车间之间实行有节奏的流动。由于这样组织生产，可使工序加工单一（专业化）、生产率高而质量好，并且提高了设备的负荷率，减少在制品



表 7-27 推荐的工作密度

产 品 特 点			工作位置上的设备和装备名称	工作密度 $n_m$
重 量 (kg)	外形尺寸(m) (不大于)			
	宽	长		
<b>设 备</b>				
<b>电弧焊设备</b>				
和重量及尺寸无关			软管半自动焊机	1
≤15	—		自动机:	1 1~2 0.5~1
			手工装卸	
>15			机械装卸部件 自动装卸部件	
<b>接触焊设备</b>				
≤15	—		没有自动夹具的固定式设备	1
>15				1~2
和重量及尺寸无关			悬挂设备	1
<b>多点焊机</b>				
≤15	—	—	从设备的正面装卸	1~2
>15			从设备的正面装上, 从背面卸下	2~3
≤15				2~3
>15				3~4
和重量及尺寸无关				自动装卸部件
<b>工作位置和装备</b>				
<b>固定式的 (不动的)</b>				
—	≤0.6	1	部件装配和定位焊夹具	1
		2		1~2
		4		≤4
		8		≤6
	>0.6	1	部件装配和定位焊接台	1
		2		≤3
		4		≤6
		8		≤8
	≤0.6	2	部件终焊焊接架	1
		4		1~2
		8		≤4
		2		1~2
	>0.6	4	部件终焊的主焊架与焊台	≤4
		8		≤6

续表 7-27

产品特点			工作位置上的设备和装备名称	工作密度 $n_m$
重量 (kg)	外形尺寸 (m) (不大于)			
	宽	长		
旋 转 式 的				
—	≤0.6	2	夹具、变位器和翻转装置	1
		4		1~2
		8		≤4
	>0.6	2	大型多工位夹具和有水平转轴的翻转装置	1
		4		1~2
		8		≤4
	≤2.5	4	输送装置 (与回转的和成椭圆形水平封闭生产线的随动机构) 的工作位置不停地移动	1.5~1.8
		8		≤4
		12		≤6

注: 1. 在旋转夹具上装配一焊接宽度0.6m以下的部件时从一面 (长的一面) 进行工作, 宽度0.6m以上的部件从两面工作。

2. 一般应采用大的 $n_m$ 数值, 当工作位置的负荷不满时 (即负荷小于60%) 则采用小的数值。

数量, 增加产品产量、节约生产面积 (厂房面积), 从而降低成本。同时在技术上和企业管埋上 (如加强了产品工艺管理和监督, 提高了产品的互换性, 降低了废品率; 生产组织和计划工作简单, 劳动纪律加强等) 的一系列优点使其具有很高的经济效益。

对于专业化流水生产, 在保证产品节奏条件下确定设备数量, 总生产节奏 (或生产周期)  $\tau_s$  可由下式确定:

$$\tau_s = \frac{\phi_{s,h}}{N_{s,h}} \quad \text{或} \quad \tau_s = \frac{\phi_{s,h}}{N_{s,h}} \eta \quad (7-5)$$

式中  $\phi_{s,h}$  —— 设备实际年时基数;

$N_{s,h}$  —— 年生产纲领、年产量 (件);

$\eta$  —— 在连续流水生产线上由于设备意外故障造成实际年时基数的损失所致的利用系数<sup>[24]</sup>,  $\eta = 0.7 \sim 0.8$ 。

每种设备上加工一件产品的工序延续时间为  $T_{d,s}$ , 则设备数量可用下式确定:

$$n_{s,h} = \frac{T_{d,s}}{\tau_s - t_{y,s,h}} \quad (7-6)$$

式中  $t_{y,s,h}$  —— 运输占用的与生产节奏不重合时间。

若计算出  $n_{s,h}$  正好为整数, 则该工序延续时间  $T_{d,s}$  除以设备数  $n_{s,h}$ , 称为工作节奏  $\tau_k$ 。此

$$\tau_k = \frac{T_{d,s}}{n_{s,h}}$$

时正好等于总节奏减去运输占用与生产节奏不重合时间。通常计算出  $n_{s,h}$  不为整数。可采用上述方法予以圆整, 则此时  $\tau_k \neq \tau_s - t_{y,s,h}$ , 即不能满足流水生产的要求, 需要进行同步化调整。一般情况下  $\tau_k < \tau_s - t_{y,s,h}$ , 若此时  $n_{s,h} = 1$ , 可考虑进行工序合并, 增加在这台设备上加工的工序, 使  $\tau_s$  增加, 接近  $\tau_s - t_{y,s,h}$ , 而使  $\tau_k = \tau_s - t_{y,s,h}$ 。若此时  $n_{s,h} > 1$ , 则可考虑

减少设备数量，但必然使 $\tau_k > \tau_s - t_{k,un}$ ，此时可进行工艺改进，或工种兼合，调整一些工序到别种设备上，使此种设备上加工一件产品工序延续时间降低，达到使 $\tau_k = \tau_s - t_{k,un}$ 的目的。

经同步化后，允许 $\tau_k$ 比 $\tau_s$ 大10~15%和小5~10%，这个差别要待投产后，以更精确的同步化（如改变工艺条件，改进夹具，改进工作位置的布置等）方法调整流水线，以期实现完全同步。平衡只是暂时的，因此要经常进行这种调整工作。

设备及工作地确定之后，通常要进行负荷系数（设备计算数量和选取数量之比值）的计算。好的设计应有较高的负荷系数。可以采用合并工作量，如取消某些设备而移一部分工作量到其他设备上去完成等办法提高设备负荷率。由于生产中发生意外事故，产生废品，停工待料，工人缺勤而引起设备不能开动等，所以负荷率不可能达到百分之百。如焊接设备负荷达到60~70%以上就可以，个别可以高一些或低一些。为评定设备工作地确定的是否合理，要绘制设备及工作地负荷图表，如图7-1及表7-28，并计算平均负荷系数 $\eta_p$ ，

$$\eta_p = \frac{\sum \eta_{k,h}}{\sum \eta_{k,u}} \quad (7-8)$$

式中  $\eta_{k,u}$  —— 选取的设备数量。

表7-28 国内汽车厂焊接车间生产设备数量及负荷率①

工厂车间	部门工作内容	年纲领 (辆/年)	设 备									负荷率 (%)
			总数	弧焊机	缝焊机	固定焊机	悬挂焊机	自动焊机	铆接机	多点焊机	其他	
一汽冲压车间施工设计	驾驶室、车架、汽油箱、储气筒、油底壳、消声器、车前板	30 000	175	12	2	25	42	1	20	8	65	48
二汽车身厂焊接车间扩初设计①	驾驶室、车前板 EQ-240, 250 (不包括车架)	100 000	119	6		25	48			13		86.9
北汽2万辆扩初设计	BJ-212 车身总成、车架总成及八大件总成	24 000	163	80		28	30	4	1	9	11	68
长沙汽车厂焊接车间5千辆扩初设计②	BJ-130 汽车车身、车架、车箱、桥壳总成	6 000	113	50		12	19				32	40
北京二里沟汽车厂5千辆扩初设计②	BJ-130 车身、车架、车箱总成	6 000	86	47		11	14				9	
南京汽车厂25 000辆改造扩初设计	“跃进”车车身、车架总成	25 000	123	11		32	27		14	5	34	
济南汽车厂扩初设计	车身装焊	6 000	48	9		8	19		8	9	③	

注①此表取自80年代以前的资料。②资料不全。③原为17

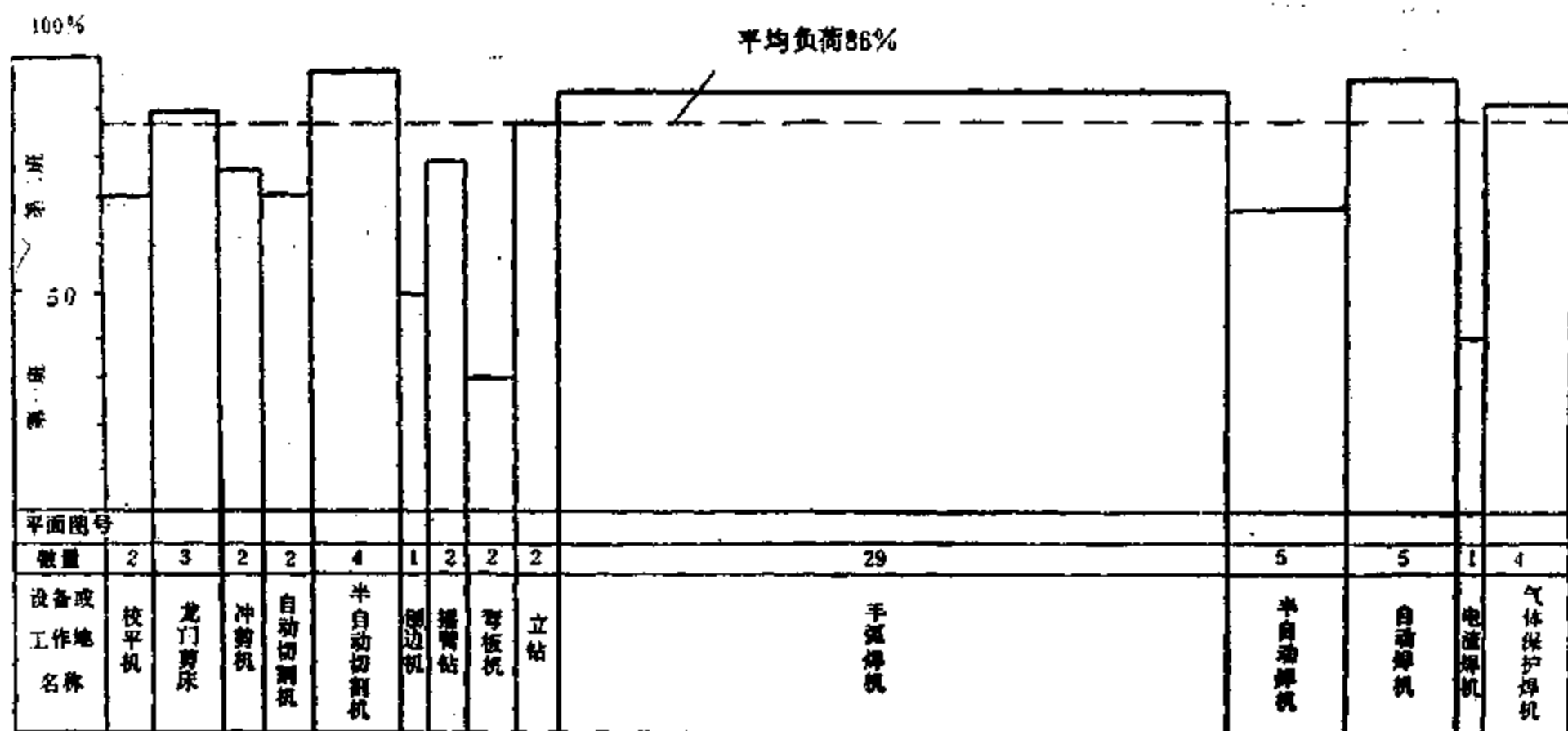


图 7-1 车间设备及工作地负荷

#### 4. 车间工作人员的确定

车间工作人员分直接和非直接生产人员。前者包括生产工人、辅助工人、工程技术人员等直接从事生产活动的人员。后者包括行政管理人员、服务人员等直接为生产服务的人员。工作人员中生产工人占绝大多数。生产工人指直接参加产品制造的工人，例如各种电焊工、气焊（气割）工、铆工（放样、划线下料、装配等的总称）、机加工工人、油工、自动化流水生产的调整工等。辅助工人包括：仓库管理工、工卡具收发、配套与制件分送工、清理工以及调整维修工艺设备的工人、起重工、运输工、电工等。

生产工人工种和等级是根据加工工艺和产品技术要求确定的，在设计时参考有关生产工人技术等级标准来决定。在这类标准中（如机械工业部颁布的机械工人技术等级标准）规定了各级工人应知应会，可承担加工的典型产品，以便设计时参考。选择的结果都载入工艺文件中。

生产工人数量 $n_z$ 则可按下式计算，但要注意，计算确定工人数量应该与设备、工作地允许有几个人同时工作相适应，设计时可参阅工作密度（表 7-27）。

$$n_z = \frac{T_z}{\phi_z} \quad (7-9)$$

式中  $T_z$ ——某工序工种工人全年劳动量（工时）；

$\phi_z$ ——工人实际年时基数。

$n_z$ 的计算结果也常常不是整数，必须圆整成整数，为使生产工人的工时利用率达到规定高度，可以采用工种兼职和多机床管理的办法。焊接车间主要是采用工种兼职。非流水生产情况下，按生产小组计算工人数量，实质也是按工种兼职办法提高工时利用。中小批生产时，工时利用率可按0.8~0.9考虑，大批大量生产时，工时利用率可按0.7~0.8考虑。

其他人员基本上都依据生产工人数决定，例如辅助工人约占生产工人的25~30%，具体数可参照表 7-29 确定。其他工作人员参照表 7-30 决定。需要注意此两表仅作参考，因为工程技术人员数目目前在上升，应依据当时有关规定进行。

表 7-29 辅助工人工种及数量表

工 种	数 量								
	生 产 工 人 数								
	≤50	75	150	250	350	450	550	650	
搬运工	4	6	12	15	18	20	22	24	
电保养工	2	4	6	10	14	18	22	26	
仓库管理员	中间库	—	2	4	6	7	8	10	14
	成品库	1	2	4	4	6	8	10	12
	原材料库	1	2	3	6	7	8	10	12
	辅助材料库	1	2	3	4	5	6	8	10
样板工人	—	—	1	2	3	4	6	8	
工具管理员	1	2	3	4	5	6	8	10	
吊车司机	按吊车配——每台吊车配 2 人								
起重工	每台吊车配 2 人								

表 7-30 其他人员数量表<sup>[10]</sup>

人员类别	指 标
辅助工人	占生产工人数 25~30% (焊接) 30~40% (冲压)
工程技术人员	占全部工人数 (生产和辅助工人) 8%
行政管理干部	占全部工人数 3%
服务人员	占全部工人数 2%
质量监督人员	占全部工人数 1%

在车间还有直接属技术检查部门领导的车间检查人员，以及用户代表，它们负责产品的质量检查，鉴定、废品的分析及处理，协助车间贯彻执行工艺文件等。这类检查人员不汇总在车间人员总数内。

### 5. 材料及动力需要量的确定

为了完成规定的生产任务，必须在产品正式投产之前，提出材料及能源（动力）需要量的清单，以便进行生产准备工作，调整变电站、空压机站、制氧站和乙炔房、供水站的负荷，有的可能要扩容。对于新厂设计，上述清单是计算产品成本的原始资料之一，也是计算车间材料仓库、中间品仓库、储存室面积的依据。

材料分为主要材料——包含在产品组成中的材料，如各种金属轧制材料，铸、锻件等其他车间所制造的毛坯和零件；外购半成品和金属非金属制品，电焊条，焊丝等。辅助材料——制造产品必备，但不包括在产品组成中，如各种焊剂，保护气体，气焊、切割的气体，燃料，润滑材料，涂拭材料等。

通常，焊接结构的图纸中提供了零件明细表，提出有关重量，但这是净重，可作为计算制造焊接结构所需轧制材料的基础。按生产任务和名细表中零件重量，计算出各种轧制材料总净重。如某一种轧材的这种总净重为  $\Sigma g$ ，则该种材料的需要量  $G$  为

$$G = \frac{\Sigma g}{1 - 0.01P_f} \quad (7-10)$$

式中  $G$ ——某种轧材需要量；

$\Sigma g$ ——某种轧材按图纸计算总净重；

$P_f(\%)$ ——该种轧制材料的废料率，这根据下料工艺文件和图纸是不准确定的。新厂概略设计时，可根据表 7-31 选择平均废料量进行计算。当然，从节约金属材料出发，切割后所剩下脚料（边角“废料”）应尽可能地加以利用，应使实际投产后平均废料量小于表 7-31 的值。

表 7-31 焊接结构产品平均废料量<sup>[10]</sup>

轧材品种	平均废料 $P_f$ (%)
板 材	4~8
宽带材、带材和角钢	4~6
管子、圆材和方材	2~4
槽钢、丁字钢和工字钢	3~5
其他钢种	2~3

电焊条需要量的计算可依据工艺卡片进行。各厂因为工艺不同，有时出入相当大。根据工艺卡片中一件产品（部件、零件）的焊着金属量  $G_h$ ，乘以生产任务（生产纲领）数  $N_{\text{生产}}$ ，就得到一年所需净焊条数，再考虑飞溅及焊条头损失  $k_h$ ，此时获得不包括涂料的焊条重。考虑焊条药皮重量系数  $k_{dh}$ ，则焊条总量为

$$G_{dh} = \Sigma \frac{G_h \cdot N_{\text{生产}}}{k_h} (1 + k_{dh}) \quad (7-11)$$

式中  $G_h$ ——一件产品焊着金属重量；

$N_{\text{生产}}$ ——生产纲领规定产量总数；

$k_h$ ——飞溅损失系数；

$k_{dh}$ ——焊条药皮重量系数。

表 7-32 飞溅损失系数  $k_h$ <sup>[10]</sup>

电焊条 厚药皮	0.65~0.75
薄药皮	0.80~0.95
埋弧自动焊焊丝	0.92~0.99
平均值	0.96
简化值	1.00
气体保护焊填充焊丝 (CO <sub>2</sub> 焊、Ar弧焊)	0.95~0.98

药皮重量系数（对电焊条）可取为  $k_{dh} = 0.4$ ，对自动焊、气保焊  $k_{dh} = 0$ 。

为了快速估计焊着金属重量以便进行上述计算，可利用概略计算表（表 7-33），也可以按年生产纲领百分比直接估计焊条重量，或按每米焊缝消耗焊条 0.3~0.5(kg) 计算。

焊剂的需要量可按焊丝需要量（由上式计算）和使用条件估算，若焊剂需要量为  $G_f$ ，则  $G_f/G_{dh}$  可查表 7-34 确定。

表 7-33 焊着金属重量占焊件重量百分比

焊件名称	%
板结构	1.0~1.5
油槽车、底开货车、敞车	1.1~1.2
固定式薄壁容器	0.6~1.5
固定锅炉	1.2~1.7
带薄板包皮的格状结构	1.7~2.1
梁、柱	0.6~1.8
钢架结构	1.5~4.0
机器结构及机床	2.0~5.0

表 7-34 焊剂需要量估算表<sup>[10]</sup>

生产条件	$G_j/G_{sh}$
一般生产条件	1.1~1.8
同上, 平均值	1.4
带仔细收集焊剂装置并且加以利用; 埋弧自动焊	1.0~1.1
埋弧半自动焊	1.2~1.4
半自动电钎焊	2.7~3.0
电渣焊	0.05~0.10

气电焊的辅助材料估算如下:

不熔化极氩弧焊,  $\phi 2\sim 4\text{mm}$  钨电极消耗 (在焊接电流接近 50A) 为 0.04g/m 焊缝。

氩气消耗量为 0.03~0.05dm<sup>3</sup>/s, CO<sub>2</sub> 气消耗量为 0.03dm<sup>3</sup>/s。

电阻焊时, 需按表 7-35 估计电极消耗量, 电极的消耗与接头形式和尺寸有关。

电力的消耗是最主要的能量消耗, 电力的消耗可按表 7-36 进行估算。除表中所列外, 电阻焊电能消耗也很大, 估算方法不同, 列于表 7-37。

表 7-35 仔细清理的低碳钢电阻焊时冷变形铜电极的单位消耗量<sup>[10]</sup>

焊接方法	焊接零件尺寸	计量单位	消耗量
对 焊	横截面 (mm <sup>2</sup> )	每1000个接头 消耗电极 (克)	24~30 56~67 140~170
	250		
	700		
点 焊	送板总和厚度 (mm)	每1000个焊点 消耗电极 (g)	10~27 15~35
	小于 3		
	大于 3		
缝 焊	送板总和厚度 (mm) 到 4	每1000m焊缝 消耗电极 (g)	7~9

注: 采用专门铜电极时, 电极消耗量大大降低。如用局部镀铬直径为 16mm 的铬青铜点焊电极则有: <sup>[15]</sup>

焊机型号	被焊厚度 (mm)	每1000个焊点平均消耗电极 (g)
固定式点焊机	0.8~1.2	0.8
	2.0~2.5	3.8
多点焊机单面焊	0.9~1.2	6.5
	1.5	8.0
双面焊	0.9~1.5	6~7
	1.5~2.5	7~8

表 7-36 电弧焊焊接钢时的电能消耗<sup>[10]</sup>

焊接方法	电 极	电能单位消耗		注
		计量单位	数值	
手工焊使用弧焊变压器	金属极 (熔化)	MJ/kg熔敷金属	12.6~14.4	设备效率0.8~0.86 $\cos\varphi = 0.43\sim 0.52$
手工焊使用单独焊接发电机			21.6~25.2	设备效率0.44~0.57 $\cos\varphi = 0.6\sim 0.7$
手工焊使用弧焊整流器				
手工焊使用多站焊接发电机			36.0~39.6	设备效率0.71~0.75 $\cos\varphi = 0.8\sim 0.85$
埋弧自动焊			10.8~14.4	设备效率0.85~0.89 $\cos\varphi = 0.6\sim 0.64$
手工氩弧焊	不熔化金属极			

表 7-37 电阻焊电能消耗量的计算<sup>[10]</sup>

对焊钢零件 (闪光焊)

对接接头横截面积 (mm)	100	200	300	500	1000	1500	2000	2500
每接头电能消耗量 (MJ)	0.022	0.086	0.216	0.45	1.44	2.97	4.58	6.20
点焊钢零件								
焊件总厚度 (mm)	2	4	6	8	10	12		
每一百个焊点电能消耗量 (MJ)	0.14	0.29	0.49	0.93	1.37	2.23		
缝焊酸洗钢零件								
焊件总厚度 (mm)	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0		
每焊1m 焊缝电能消耗 (MJ)	0.14~0.29	0.29~0.50	0.36~0.72	0.43~0.86	0.90~1.80	1.80~3.60		



其他设备，如备料设备（剪床、滚板机、刨边机、矫直机、水压机、各种机床及辅助设备）的电力消耗量按其技术规格并考虑设备的负荷量来进行计算。用类似方法确定压缩空气的消耗量及冷却水的消耗量。

气焊和气割的氧气与乙炔气需要量可根据工艺文件规定的数量进行迭加计算，而工艺文件规定的数量是根据工艺技术规范参数确定的。

### 三、车间平面布置

通过焊接车间平面布置的设计，编绘车间平面图，这样就确定了实现生产工艺过程的平面布置，包括车间中所有的生产工段和辅助部门的相互配置、全部设备、装备和焊接工作位置、工作地、材料和零件的存放地的确定，这样就为充分保证工艺设计的完满实现准备了条件。通过平面布置，车间内部各部分、车间与车间之间的联系、起重运输能力的配备等都一一确定下来了。因此编绘平面图是车间设计最主要的一项工作，也是车间设计的主要结果。它不仅是安装设备、调整设备、组织生产的依据，而且也是进行车间建筑设计的原始资料。因为编绘平面图的同时提供车间的主要尺寸，如每跨厂房高度、跨度、长度和宽度、共有几跨等等，同时还提出对建筑结构设计的要求。

工艺过程平面布置应力求使车间所有各跨间中工艺过程直线化，即没有折返运输，无论是装配、焊接和材料、零件的加工，都没有回流，且每个跨间之间的运输（横向运输）也减到最低限度。当然平面布置应当充分满足生产工艺的要求，最大限度地利用车间建筑面积，即在满足工艺过程要求的条件下，生产方便，面积减小，这就大大节约了国家投资，是提高设计经济效益的有效途径。

焊接车间平面图按一定的比例尺绘制。例如 1 : 100 或 1 : 200 适于较大型的车间；1 : 50 用于绘制生产工段等局部的平面图。车间的大分块、标明工段的概略图（不标明设备的位置）可用 1 : 1000 或 1 : 500 的比例尺绘制，或标志在平面布置图中。车间平面图用符号表示各种设备、工作地、存放地以及门、窗、柱等，这些符号示于表 7-38。

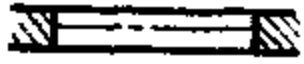





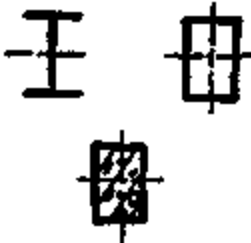



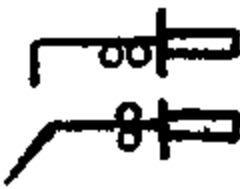
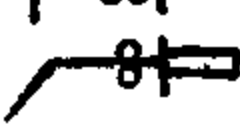


#### 1. 装配焊接车间平面布置方案

制造金属结构的装配焊接车间与工厂其他部门有密切的联系，可见第一章。曾提到它既是零件制造车间又是装配车间，它既直接生产产品，又供应其他车间以零件和部件；还接受其他车间的铸件、锻件作为焊接结构的零部件进行装配焊接。因此，在整个工厂的位置布置上应当协调，原材料和零件搬运应尽可能方便，没有或很少折返运输。

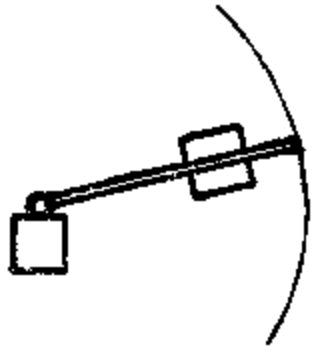



此外，在装配焊接车间中生产部分（如装焊工段、零件加工、备料工段）之间，以及生产部分和辅助部分（如产品检验、修理、涂饰工段等）之间联系紧密，工序很多，因此使其配置协调，工艺流向合理乃是设计好坏的重要标志。这些都对选择车间平面布置方案提出了要求，在选择方案时，必须考虑下述问题：①工艺路线是否最短，最流畅；②在总平面布置上，车间相互联系及运输是否合理；③对于车间扩大等长远考虑能否适应；④对于采光、采暖、通风要求，建筑结构方面的要求能否满足。

下面介绍国内外装焊车间平面布置的一些典型方案及其特点，可作为选择参考。

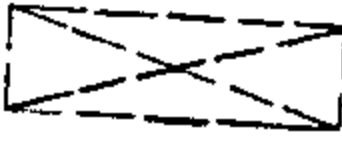

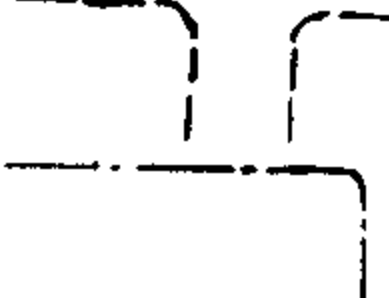
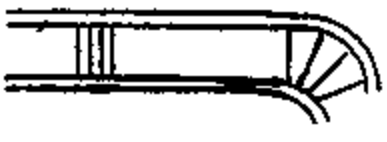
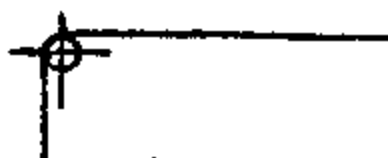
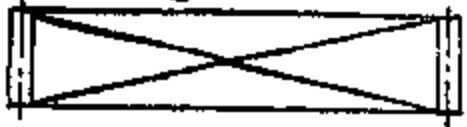
表 7-38 车间平面图的图形符号

图 例	内 容 及 说 明
<b>1. 建筑物</b>	
	墙和墙上所开窗洞（按比例采用实线及细实线绘制）
	墙上开洞
	墙上开门（双摺门或大门）
	普通隔墙
	恒温（绝热）隔墙
	带金属支柱的隔墙（小圆柱用 $\phi 2\text{mm}$ 圆绘制）
	钢 柱 在不标明柱子材料时，绘制中心线 钢筋混凝土柱
<b>2. 设备、工作位置等</b>	
	设备、装备（非标及胎卡具等）和在设备旁的工人工作位置（前者按比例绘制，后者圆圈按 $\phi 500$ 实际大缩成图纸比例绘制）
	矫正平板（装配平板）。大小形状按比例绘制（内部符号为：QT表示钳工台，ZM表示震动铆钉机）
	乙炔发生器（按比例绘制）
	手工气割站
	手工气焊站
	固定点焊机（大小按比例绘制）
	固定点焊机（或其他焊机）控制箱（大小按比例绘制）

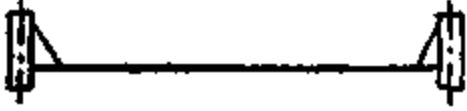

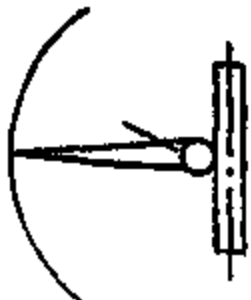

续表 7-38

图 例	内 容 及 说 明
   	<p>悬臂固定槽钢柱上，可以回转，焊机沿悬臂移动的悬挂式点焊机（悬臂长短，柱子形式、焊机大小都按比例绘制）</p> <p>CO<sub>2</sub>保护焊机，大小按比例绘制（内部画~为交流焊机；=为直流焊机）</p> <p>配电盘（大小按比例绘制）</p> <p>加热炉、烘干炉或热水（碱水）清洗机（大小按比例绘制）</p>

3. 存放地点、运输设备、车道通道等

	<p>存放地点（大小按比例绘制）</p>
	<p>通道、车道（按比例用虚线绘制）</p>
	<p>车间各生产部门、辅助部门的假定界线（用点画线绘制）</p>
	<p>辊道及其拐弯（大小按比例绘制）</p>
 <p>Q = ...</p> <p>L = ...</p>	<p>悬挂运输链（按中心线绘制，棘轮大小按比例绘制）</p>
	<p>桥式吊车（按比例用细实线绘制）</p>

续表 7-38

图 例	内 容 及 说 明
  	<p>单梁吊电葫芦 (大小按比例绘制)</p> <p>单轨电葫芦 (轨道绘中心线, 电葫芦大小按比例绘制)</p> <p>沿轨道行走的悬臂式吊车 (按比例绘制)</p>
<p>4. 气液进排接口及电力输入输出点</p>	
	<p>6 大气压压缩空气进接口 (<math>\phi 5\text{mm}</math>圆<math>120^\circ</math>)</p> <p>交流电源进接口 (<math>\phi 5\text{mm}</math>圆)</p> <p>冷水进接口 (<math>\phi\text{mm}</math>圆)</p> <p>水龙头 (<math>\phi 4\text{mm}</math>圆)</p> <p>排水口 (<math>\phi 5\text{mm}</math>圆)</p> <p>乙炔进接口 (<math>\phi 5</math>及<math>\phi 3\text{mm}</math>圆)</p> <p>氧气进接口 (<math>\phi 5</math>及<math>\phi 3\text{mm}</math>圆)</p> <p>蒸气进接口 (<math>\phi 3\text{mm}</math>圆)</p> <p>局部抽风 (三角形边长各为<math>5\text{mm}</math>)</p> <p>36V照明插座 (半圆直径<math>6\text{mm}</math>)</p> <p>三相插座</p> <p>单相插座</p>

(1) 纵向生产线平面布置方案

该方案示意于图 7-2 a)。车间产品的流动方向和工厂总平面图上规定的方向一致。图中有四个跨间，跨间内部所加工的金属及其制成品沿纵向运输采用桥式吊车（在仓库里），横向运输采用电动平车或手推车。材料加工与零部件准备均按加工材料的种类实行专业化生产（即按型钢、钢板下料，以及气切、剪切等专门分工分组进行）。而在装配焊接工段则按产品类型、尺寸实行专业化生产。

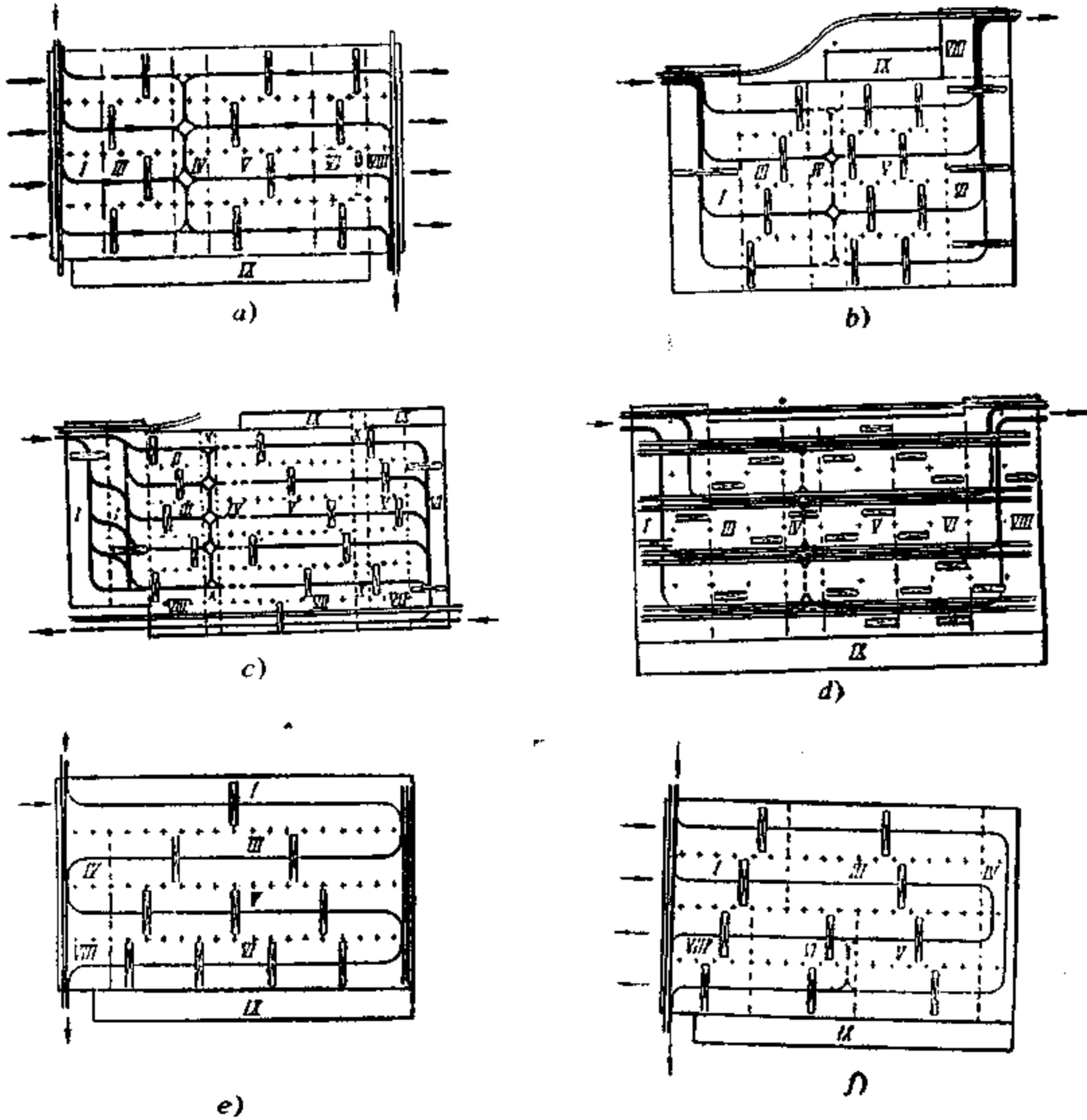


图 7-2 典型车间平面布置方案

- a) 纵向生产线；b) 混向生产线；c) 同b)；d) 纵横向生产线；  
e) 波状生产线；f) 环状生产线；

该生产线平面布置方案是用得最多的。例如第二汽车厂生产载重汽车驾驶室的车体车间就基本属于这种类型。这种布置方案适于各种不太复杂的产品，组成各种规模的生产，并且一般是在一个跨间里生产一种产品或零件。图 7-2 中的符号代表：I——金属仓库；II——锻压工段；III——备料工段；IV——中间品库；V——零部件的装配焊接工段；VI——

总装配焊接工段；Ⅶ——产品涂饰修整工段；Ⅷ——成品库；Ⅸ——行政管理、生活服务用房；X——消防车道。

该平面布置方案最大优点是生产路线紧凑，空运路程少。但如果产品复杂，则可能使车间过长；在车间两端设有露天桥吊的仓库时，一般无法再扩充。当跨度较多，且共用工位（装配焊接工段）和共用设备（如产品备料工段）时，零部件需越过跨间进行加工，否则各跨间的设备应具有成套性，加大了基建投资。此外，由于同一跨间中既有材料加工又有装配焊接，而两者对厂房要求相差悬殊时，也会造成浪费。如总装配焊接工段需用重型起重设备，因此厂房应按此要求处理，但这对材料加工工段来说就有些浪费。

#### （2）混向生产线布置方案

混向生产线布置方案如图7-2b)所示。零部件装配焊接、备料生产线与工厂计划规定流向相同，而总装配焊接生产线与它垂直。在横向金属材料库中排列一些具有相同工艺的零件的备料加工，如剪切、刨边、气割下料等。此后按照不同的加工工艺在各纵向跨间里实行专业化生产（包括备料和零件部件的装焊），最后到总装配焊接的横向跨间。各跨间可按不同产品进行排列，分成几个工段，生产若干产品；或各跨间按横向总装焊次序排列，生产大批量、复杂的单一产品。例如天津锅炉厂的金属结构车间就基本属于这种类型。图7-2c)所示也是混向生产线布置方案，它与7-2b)不同的是增加了锻压工段并且有很大面积的产品涂饰和修整工段及两条消防车道。

#### （3）纵横向生产线布置方案

车间中整个生产线的方向与工厂总平面图上规定的方向一致。同时生产线的一部分经常横向流动，即跨间是横向设置的，如图7-2d)所示。零部件或产品在生产线的纵向流动是跨过跨间的，用电动平板车（在轨道上）移动。横向运送可用跨间内的桥式起重机进行，车间采用大柱跨建筑。按此生产线布置，一些重型备料加工设备在两跨间之间可以共用，减少了跨间之间运输。跨间各有特点，皆为同类型加工设备，便于调整负荷。装焊工段按产品轻、中、重型在不同跨间排列，最接近成品库的是重型产品跨间。这种方案适用于重型和笨重产品，其中包括建筑金属结构。

#### （4）波浪生产线布置方案

车间生产线的方向和工厂总平面图上所规定的方向相同和相背，如图7-2e)所示。生产的流向多次折转，不同情况下折转次数也不相同。各跨间各工段可按专业化组织生产，此方案适于单件和成批生产的较复杂产品。由于这类产品生产工序多，生产路线长，使得各生产工段占据尺寸很大，利用此布置方案保证车间不很长，面积布置紧凑。但此方案对于结构尺寸较大的产品不适用，因大尺寸零部件和产品多次折转运输极不方便。例如客车车厢的尺寸很长，采用纵向生产线方案较合理。长春客车厂客车车间，是目前我国最长的焊接结构车间。

#### （5）环状生产线布置方案

此方案和前一方案一样，车间中生产线的方向和工厂总平面图上所规定的方向相同和相背。车间内备料生产与装配焊接生产的工艺流向相反，如图7-2f)所示，因而布置在不同的跨间里。在备料部分按加工材料种类组别实行专业化生产（如有的跨间专门对各类型钢加工，有的则对钢板进行加工，包括下料、成形—滚圆或水压机冲压成形等）；在装配焊接工段，可以组织几种产品或部件在不同的跨间里生产，也可在同一跨间分部件或零件组成专

业化生产。重型机械厂焊接车间常采用这种布置方案，适于不太复杂的重型结构。由于不同备料要求的设备、轻重装焊零件和部件、产品分别布置在不同跨间，可分别采用不同起重量的吊车，车间尺寸高度也可以不同，这样能充分发挥各跨间的建筑能力；只要总平面图许可，车间两端可以接长；设备的利用也较好，而且厂房结构可以简化。但长零件通过跨间的运输不方便，对于一些装焊生产线较短产品，产品空程运输严重，常出现所谓“赶吊车”现象。

除上述主要平面布置方案外，可能还有一些方案。实际车间平面布置不会完全和某一方案相同，而总是有所修改，以便满足生产工艺技术和节省投资的要求。

## 2. 焊接车间平面布置

此项工作是在生产工艺、生产组成部分及车间平面布置方案都选定的基础上进行的。也就是平面布置方案的细化和具体化，需要进一步确定跨间的数量，确定生产组成部分在车间中的合理位置，从而确定各跨间的跨度、长度和高度，这些工作要通过布置已确定的各种加工设备、装配焊接装置和工作地来完成。当然这种布置要尽量保证生产过程直线化、每跨间合理的专业化，充分利用厂房建筑及起重运输设备能力。为此在不破坏生产工艺产品流向合理的条件下，尽量使轻、重型产品分别布置在不同的跨间里，以便按各自要求选择起重运输设备，设计厂房建筑。

在进行这项工作时，总是先进行部件的装配焊接部分及总装配焊接部分的设计，然后进行备料工段的设计及其他平面布置。

### (1) 跨间数量的确定

跨间数量的确定与所选定的平面布置方案有关，原则上应使各跨间加工专业化。

对于图7-2 a)的纵向生产线方案，其原则是各种产品零部件装配焊接和总装配焊接，甚至材料准备工作都在同一跨间内，即每跨间往往按所制产品专业化生产。因此这种车间所需跨间数量应由生产纲领（任务）规定的产品品种决定。当某些产品生产路线较短时，可以适当合并；当产品复杂，或生产量很大时，则可以按产品的部件数确定跨间数。

对于图7-2 b)所示的混向生产线布置方案中，头一个横跨为金属材料库，末一个横跨为总装配焊接工段，与之衔接的各纵跨生产产品的各个部件，因此应按总装的次序排列，纵向跨间数量参照总装时大部件的数量确定，使之合理专业化生产，并使总装没有折返，相互协调。

对于图7-2 d)所示的纵横向生产布置方案，当产品不甚复杂时，生产工艺过程不十分长，可取跨间数量与生产任务规定产品种类相当（加上金属材料库和材料加工部分的跨间），当产品较复杂，加工工艺长则可考虑一个产品占两个跨间以上。

对于图7-2 e)的波浪式布置方案，一般可考虑按一种工段（如金属材料库、材料加工、部件装焊、总装配焊接等）占一个跨间，当然这是很粗略的估算。图7-2 f)环状方案也与其类似。但上述所有跨间数量初步的概算都要根据详细布置后才能最后确定下来。

### (2) 跨间宽度的确定

每个跨间宽度的确定首先要依据跨间内布置作业线的数目。一般有双列、单列和三列布置。通常采取双列布置，中间是通道；而三列布置的则有两个通道，单列布置则通道占用面积相对大一些。作业所占有效面积以双列的最大（按通道——车道宽与作业线宽度差不多相等考虑），故尽量采用双列布置。

平面图上还应有存放地。存放地可以布置在车道两旁，也可布置在工作位置之间。采用后者布置工件要转90°，这对于尺寸庞大的工件不合适，但生产面积的利用较好。这两种布置示意于图7-3。

概算车间宽度时可用图7-3。其中 $B_1$ ——从工作位置到纵列柱子中心线（或到车间墙壁）的距离，此距离一般为1m。采用1m的距离是为了不使柱子的基础与设备基础相碰，同时操作工人可有通道，操作时能自由行动。若工作位置外有帆布幔（屏风）构成焊接室，并且焊接室中已留有不小于1m的通道（即设备距柱子中心线、墙壁、屏风不小于1m）时，则焊接室与柱子中心线距离可为零。

$B_2$ ——工作位置（或焊接室屏风、隔墙）与存放地点（存放运到该工作位置的零部件以及从该处要运到下一个工作位置的零部件）之间的距离，采用1.0~1.6m。

$B_3$ ——工作位置宽度。工作位置指装配焊接设备、装备（各式焊接机器、自动焊胎卡具、装配胎卡具等）的宽度。概略估计时，按最宽的加工部件宽度每边加0.2~0.3m留量及0.8~1.0m工作通道宽度来计算。

$B_{cA}$ ——跨间内两条作业线之间的车道宽度，该宽度一般为3~4m。由保证车间内部地面运输工具自由移动的需要决定，详细设计时可参考表7-39。

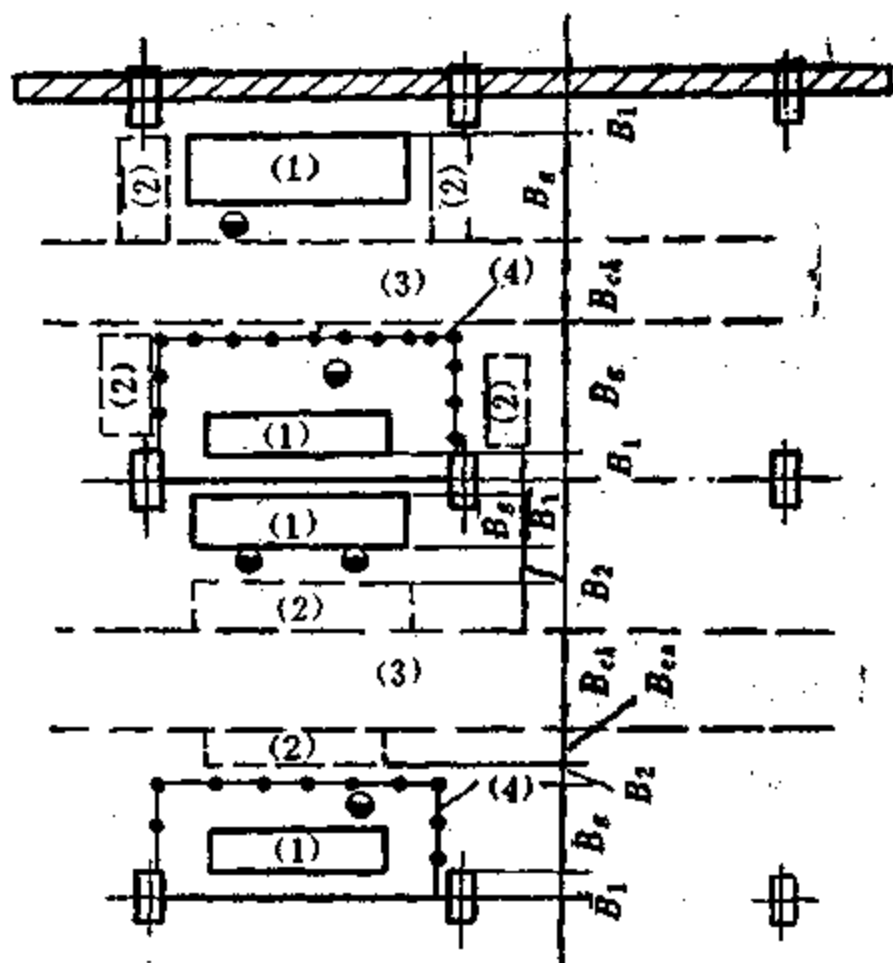


图7-3 决定车间宽度的略图  
(1) 工作位置；(2) 存放地；(3) 通道；  
(4) 屏风或隔墙。

表7-39 装配焊接车间中通道车道及门尺寸(m)

通道或车道布置	物品移动方向	电瓶车类自行 小车(0.5~0.7m)	宽1.2m自卸 车、堆料车	从侧面卸货宽1.7m 载重车
设备工作地存放地	单向	1.1~1.3	1.8	2.3
背面之间(侧面之间)	双向	1.6~2.0	3.0	4.0
设备工作地一列正	单向	1.8~2.0	2.5	3.0
面一列背面之间	双向	2.5~2.9	3.9	—
两列设备和工作	单向	2.7~2.9	3.4	3.9
地正面之间	双向	3.4~3.8	—	—

通行火车钢大门尺寸4.2×5.1，消防车及大型卡车钢门3.6×4.2，一般载重车钢门尺寸3.3×3.0，电瓶车、自行搬运车门2.1×2.4，手推车门尺寸1.8×2.7(或1.5×2.1)，行人门1.0×2.1(宽×高)

$B_{cn}$ ——存放地的宽度，由存放工件宽度及其数量决定。

这些数值相加得到开间宽度极限值。最后选定的开间宽度要圆整成建筑法规规定的标准值。此标准值也是与桥式起重机系列相适应的，即：18m以下为3的整数倍，即9、12、15、



18 (m) ; 18m以上为6的整数倍, 即24、30等。如工艺上有特殊要求或限于总图布置要求, 拟采用21、27、33 (m) 跨时, 应与土建设计人员结合具体条件协商确定。

(3) 跨间长度的确定

跨间长度应待平面布置完最后确定。布置平列的几个跨间时, 要使其长度相近。长度应该为已标准化的柱网格距 ( $l = 6m$ ) 的整数倍。对于纵横向生产线方案, 柱距加大为12m, 故跨间长度应为12m的整数倍。需采用12m或12m以上柱距时, 也应与土建设计人员协商, 在这种条件下, 多采用钢结构托架梁。

(4) 跨间高度的确定

车间高度是由最高(大)零件或最高设备工作的最大高度(包括检修需要)与上部运输工具所需要高度、生产卫生条件、自然环境条件等确定的, 如图7-4所示。如没有吊车等上部运输工具, 则车间高度  $H_k$  由下式决定:

$$H_k \geq h_1 + h_2 \geq 4.5 \text{ (m)} \quad (7-12)$$

式中  $h_1$  —— 开间设备或带工件的装配焊接支架转胎等的最大高度, 不得小于2.3 (m) ;  
 $h_2$  —— 上述高度距屋顶结构最低点距离, 一般为0.4~1m。同时根据卫生标准, 生产厂房从地面到屋顶的高度不能小于4.5m (图7-4 a)。

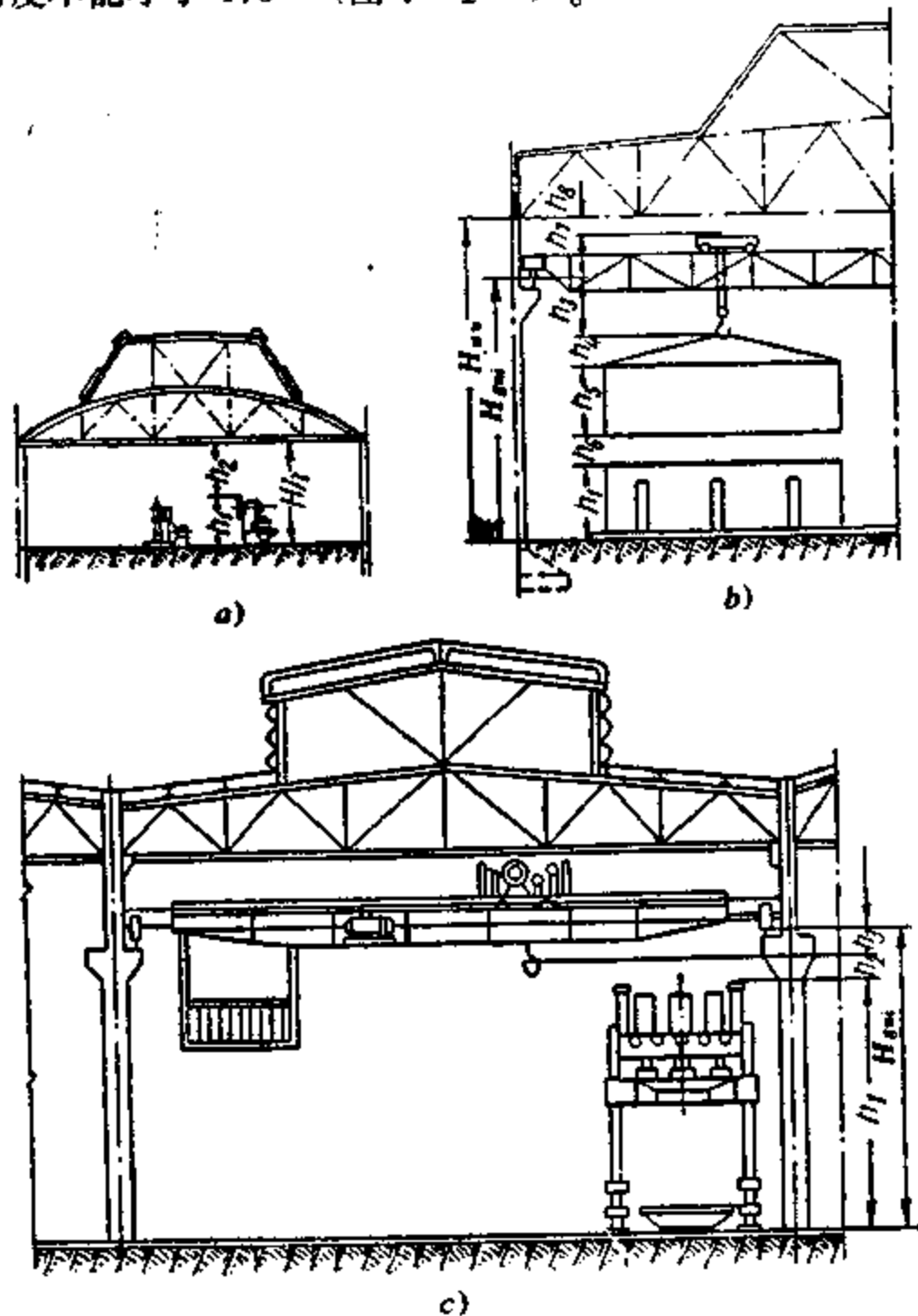


图7-4 决定车间高度的横截面图  
 a) 无上部起重设备的车间; b) 装配焊接工部; c) 零件备料工部。

如上部有运输工具, 则轨道高度 $H_{z.v.i}$ 和屋架下弦高 $H_{w.v}$ 分别为

$$H_{z.v.i} = h_1 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 \quad (7-13)$$

$$H_{w.v} = H_{z.v.i} + h_7 + h_8 \quad (7-14)$$

式中  $h_5$ ——工件最大高度;

$h_6$ ——工件吊离工作台之距离, 此距离与式(7-12)中 $h_2$ 相当, 取0.5~1m;

$h_7$ ——吊车最高点至吊车轨顶的距离, 根据桥式或单梁起重机标准确定;

$h_8$ ——吊车最高至屋架最低的距离, 取0.4~1m或0.6~1.2m;

$h_3$ ——吊钩中心至吊车轨顶高, 按起重机标准确定(不小于0.75m);

$h_4$ ——吊钩中心最低至被吊物最高之距离, 为0.3倍工件宽度, 但不小于1m。

在某些情况下, 需要将上部运输设备布置成两层, 但大多为一层布置。按式(7-13)、(7-14)计算得 $H_{z.v.i}$ 应为600mm的整数倍,  $H_{w.v}$ 应为300mm的整数倍。在布置吊车时, 要使吊车司机室对着重型设备, 如多点焊机、大型胎具、水压机等。原因是一方面这些设备比较高, 可以躲开司机室充分利用车间高度; 另一方面, 这些设备是频繁使用吊车的, 司机便于操作。

概略确定车间高可使用公式 $H = h_1 + (2 \sim 2.5)m$ 。当铁路平车(敞车)和车辆需要进入车间时, 此车间的 $H_{z.v.i}$ 应不小于6m。

由公式计算的车间高度应符合工业企业防尘防毒劳动保护标准。按卫生标准最低要求, 每个工作人员所占有生产厂房体积应不小于 $15m^3$ 。

装配焊接车间跨间尺寸常采用表7-40所示数值。

表7-40 大批大量生产时厂房参数和起重机起重量建议

焊接部件规格		厂房参数 (m)			桥式和悬挂式起重机的最大起重量 (t)
重量 (t)	最大外形尺寸 (m)	柱网	到屋架下弦的高度	到起重机轨顶的高度	
单层厂房					
车架车间					
≤ 3	10.5 × 2.5	24 × 24 24 × 12	8.4	—	5
3 ~ 10	15.0 × 3.5	24 × 24	10.8	8.15	15/5
		24 × 12	12.6	9.65	
10 ~ 25	16.0 × 4.7		24 × 12	10.8	8.15
		12.6		9.65	30/5
生产立体复杂的冲压焊接结构的车间 (汽车车身等)					
≤ 1	9.5 × 2.5	24 × 24 24 × 12	8.4	—	3
≤ 8	12.5 × 2.5	24 × 24	9.6	—	5
		24 × 12			

续表 7-40

焊接部件规格		厂房参数 (m)			桥式和悬挂式起重机的最大起重量 (t)
重量 (t)	最大外形尺寸 (m)	柱网	到屋架下弦的高度	到起重机轨顶的高度	
杂件工部					
≤0.3	2.5×1.0	24×24 24×12	8.4	—	3
双层厂房					
第 I 层					
各种杂件工部、制造梁架和小容器等、仓库					
—	—	12×6	到第二层的地板 7.2、8.4	—	3
第 II 层					
生产空间立体复杂的冲压-焊接结构的车间 (车身及其它)					
≤0.6	6.0×2.5	24×12	8.4	—	3

注: 1. 不采用起重量 5 t 吨以下的桥式起重机。  
 2. 跨间内的悬挂起重机应按跨间宽度布置成一排和两排。  
 3. 对没有起重机的跨间, 到屋顶结构的底部高度允许 4.8、6 和 7.2 m。宽度可以采用 12 m 和 18 m。  
 4. 有地面运输工具和起重量为 1.5~2 t 的悬挂起重机的多层厂房, 其柱网应该是 6×6 和 9×6 m。

#### (5) 跨间内的平面布置

上面介绍了车间平面布置中确定跨间数量及长、宽、高的方法。一般是先概略的确定, 然后进行车间各生产组成部分的平面布置, 平面布置完成才能将这些数据最后确定下来。进行平面布置是根据工艺设计, 工艺设计所编制的工艺文件 (如工艺过程卡片、工艺简要说明、工艺流程图等) 进行的。为使平面布置方便生产、工艺合理、车间面积经济, 通常要经过若干布置方案的比较和选择。为节省平面布置方案的绘制工作, 通常用与图形一样的比例将工艺过程所需全部设备、装备和工作地绘制于卡片纸上, 然后仔细剪下来。一般装配焊接工作位置 (工作地) 取为长方形, 设备、装备取边缘简化的规则形状。然后在跨间的框图内将上述装备、设备及工作地的卡片精细而合理地进行布置。采用卡片可以方便地调整它们之间的位置。经过一系列试摆和调整, 直至获得一个满意的平面布置方案, 然后将其外形描绘在平面图上, 拿去卡片, 平面图即告完成。

在绘制设备、工作地及装备的位置时, 也绘制操作工人的位置, 采用表 7-38 所示的各种符号。

进行平面布置除生产路线尽量直线化、最短化、尽量少折返运输, 还要力求避免零部件横穿跨间和跨间内的通道, 以防止将来生产时发生紊乱现象。采用双列布置时, 可在通道两侧布置两个工段或生产小组各生产一种部件, 是防止跨通 (车) 道的有效措施。

在进行平面布置时, 设备和工作地、装备的布置还应注意劳动安全、劳动卫生、工作便

利以及设备的安装规程等。故设备与设备之间、它们与建筑物之间、与工人通道之间等的间隔都有一定要求，这些要求的最小值可见表 7-41。

表 7-41 设备、工作地、装备以及建筑物之间最小允许距离

规定最小距离的对象	允许最小距离 (m)
车间靠墙的柱子与设备 (车床) 侧面或装配焊接台架之间	0.5~2.6
相邻跨间之间中心线上的柱子和设备 (车床) 侧面或台架之间	0.5~2.0
车间靠墙的柱子与设备 (车床) 或台架的背面之间	0.5~2.6
相邻跨间之间中心线上的柱子与设备 (车床) 或台架背面之间	0.5~2.2
车间靠墙的柱子与 (车床) 设备或装备 (台架) 正面之间	1.2~2.4
相邻跨间之间中心线上的柱子和设备或装备正面之间	1.8~2.2
一个设备或装备的正面与另一个背面之间	1.0~3.0
一个设备或装备的背面与另一个侧面之间	0.5~1.6
两个设备或装备的背面之间	1.0~1.6
两个设备或装备的侧面之间	0.5~3.0
两个设备或装备的正面之间	2.0~3.2
设备或装备正面与存放地之间	1.0~1.6
相邻两存放地之间	1.0~1.4
设备背面与存放地之间	1.0~1.2
设备的侧面与存放地之间	1.0~1.6

注：较小设备与装备适用较小允许距离

布置时还有以下注意事项：

(a) 使用吊车比较频繁的设备，工作位置和装备不宜布置在跨间同一横断面上，以免造成一个位置使用吊车，而另一设备正好需要吊车时，只好停工等待的现象。例如进行钢板成形的滚板机使用吊车较为频繁，则不宜在它同一横断面上布置需要吊车的设备或工作地。不得已时，可以增加布置悬臂吊车。设备或工作地布置在车间端头或两侧靠边时，要注意起重钩能否为其服务。

(b) 频繁使用吊车的设备、装备和工作地一般要布置在吊车司机室的对面，还要考虑设备连同被加工物的高度不要与上行起重设备发生相碰。

(c) 要尽量使零件或部件送入设备或装备的方向与车间总的工艺流向相一致。工艺上联系紧密的设备或工作地要相邻集中布置，如装配和焊接、滚圆设备与预弯边设备，加热炉和冲压机等。加热炉应避免布置在吊车司机室下方，加热炉门避免朝向操作人员位置，并尽量布置在靠墙和主导风的下风侧，避免加热炉距机加工设备、水泵、无损检测设备过近，因为它会加速这些设备或机器的磨损。

(d) 为充分利用厂房面积，加工件不大和基础不大的设备，同时不影响车间整个工艺流程时，可以布置在靠墙边或柱间。

(e) 对采光要求高的工作位置和设备等应尽量布置在靠外墙光线好的一侧。

(f) 在布置时，跨间最后会出现未被占用的面积，可用它来布置各种辅助面积，如电工室、机修室、工具间、焊条焊剂库等。

图 7-5 是接触点焊和缝焊机的布置示例。图中 1—基本设备；2—控制柜；3 和 4 分

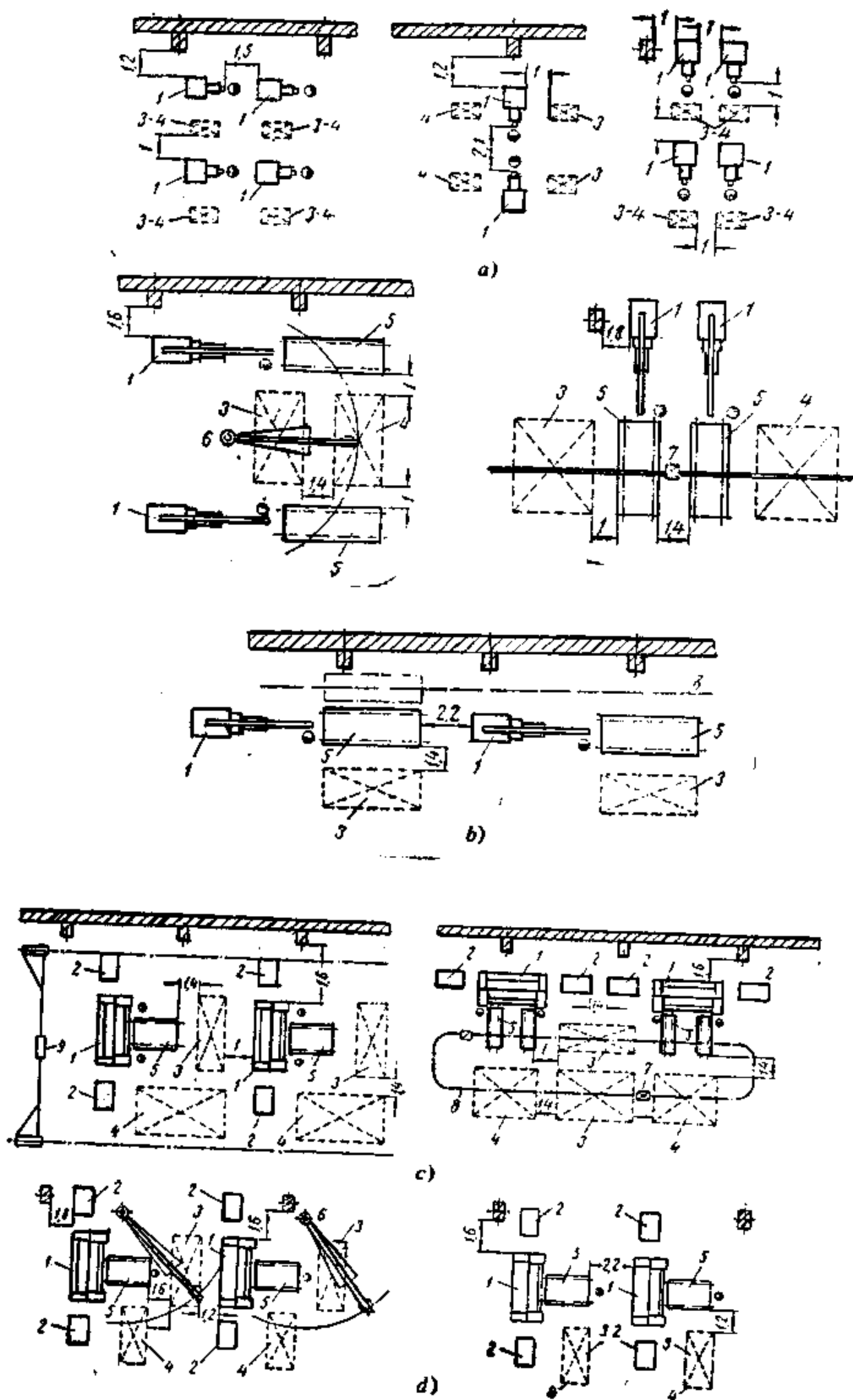


图 7-5 电阻焊平面布置图

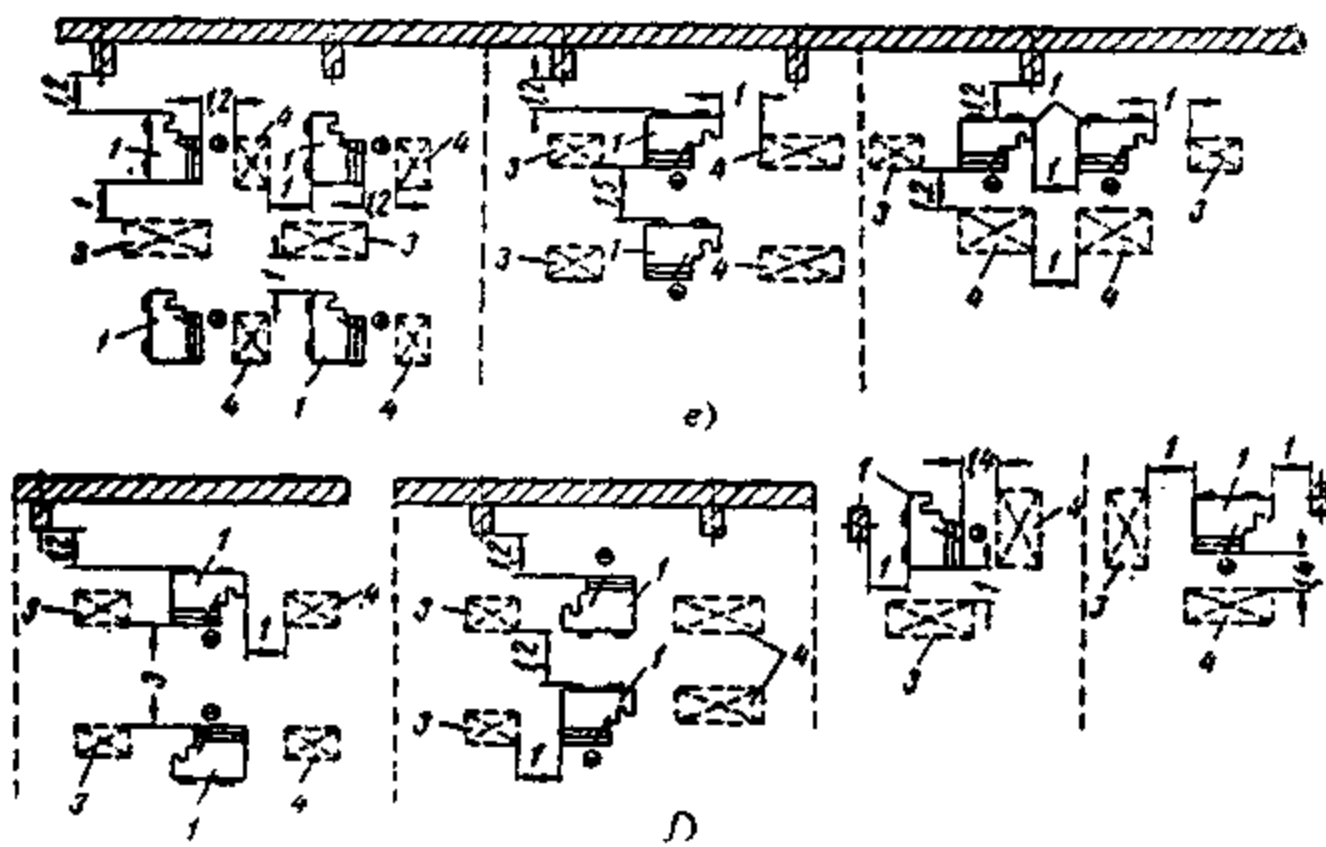


图 7-5 电阻焊平面布置图

a) 点焊; b) 滚焊 (缝焊); c), d) 多点焊; e), f) 对焊。

别代表未焊和焊好的零件存放地; 起重运输设备有 5—辊道; 6—悬臂起重机; 7—电动葫芦; 8—轨道; 9—单梁吊。图中标出了墙和柱子以及工作人员位置。其中图 a) 和 b) 为点焊和缝焊平面布置示例, c) 和 d) 为多点焊平面布置示例, e) 和 f) 为对焊平面布置示例。

在车间与车间之间柱子附近, 或靠墙的柱子之间常常布置弧焊电源及焊机, 如图 7-6 所示。

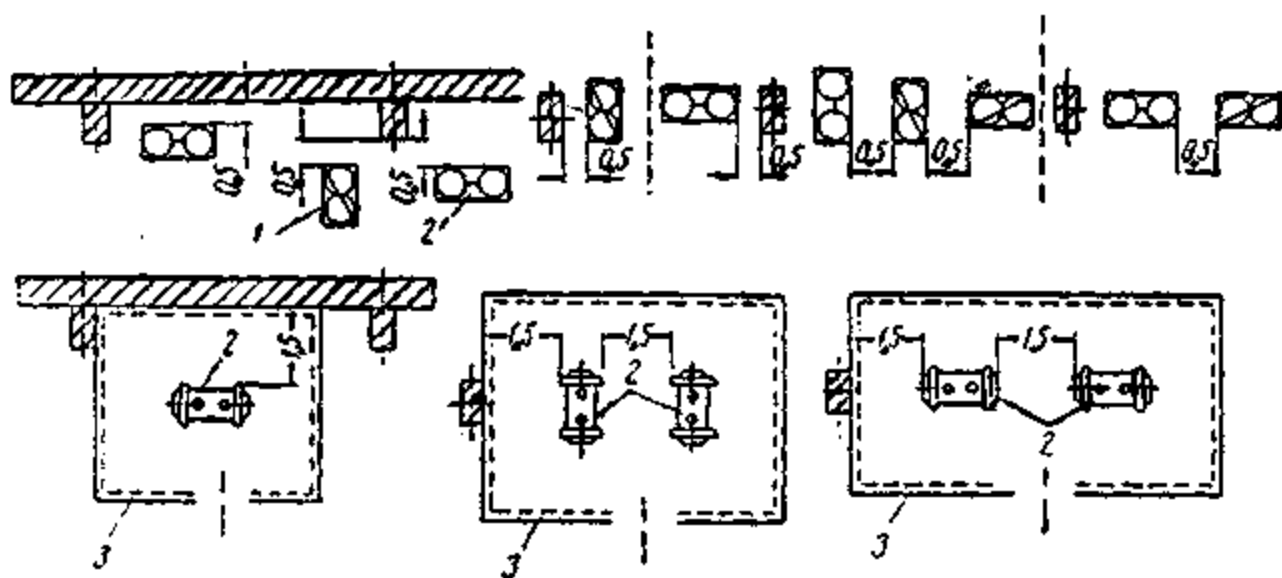


图 7-6 弧焊电源布置图

1—焊接变压器; 2—弧焊整流器或直流发电机; 3—网状栅格。

图 7-7 所示为埋弧自动焊圆柱产品的环缝和纵缝装备的平面布置图。图 7-8 所示为装配和自动焊接梁及其他类型产品的装备平面布置图。图 7-9 所示为双柱式装配焊接翻转机的布置图。图 7-10 为焊接变位机的布置图。图 7-11~图 7-13 为其他一些装焊工段的布置实例, 可作参考。

图 7-7 埋弧自动焊接圆柱产品的环缝和纵缝工作地布置示例

- a) 带有悬壁操作机 1 的;  
 b) 带自动式龙门焊接架 3 的;  
 2—轨道; 4—自动焊机机头;  
 5) 焊接滚轮架; 6) 产品;  
 7—待焊零件存放地; 8—焊件存放地。

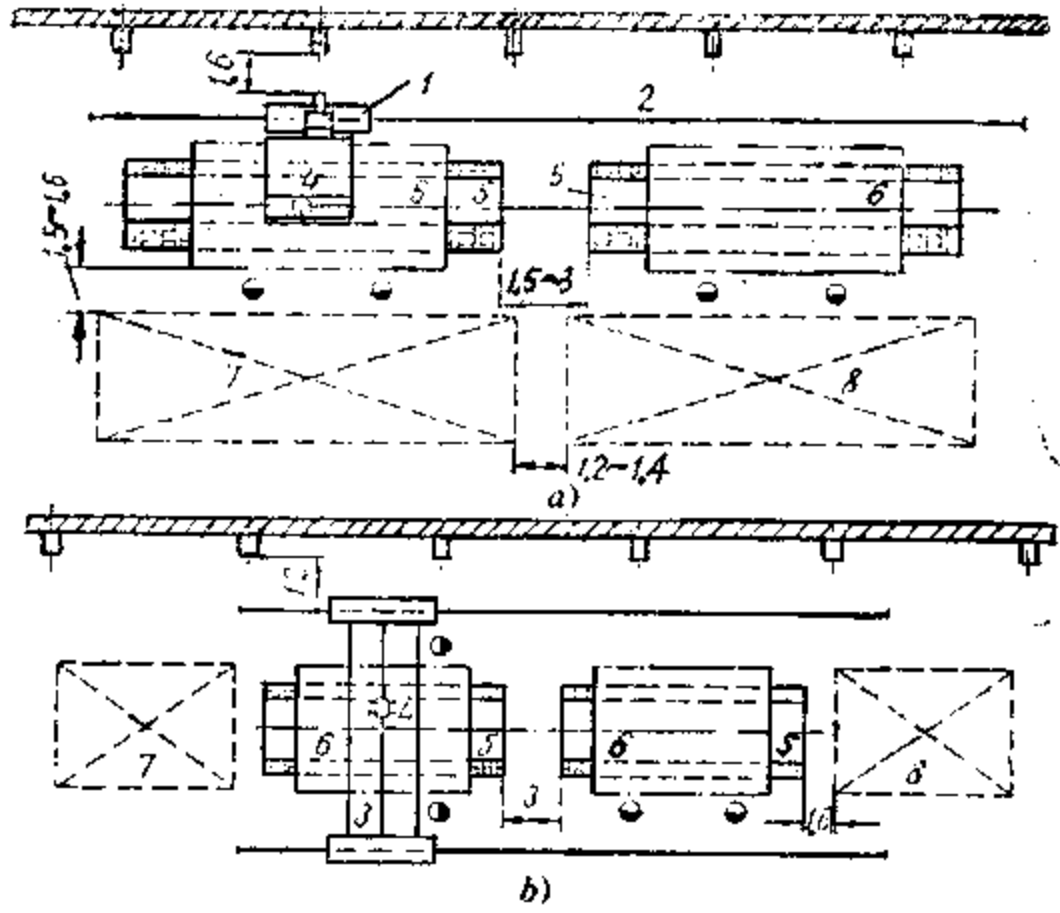


图 7-8 装配焊接梁及其他金属结构的工作地布置示例

- 1—焊接翻转机; 2—轨道; 3—万能焊接翻转机;  
 4—龙门自动焊接架; 5—待焊零件; 6—焊件存放地; 7—柱式起重机;  
 8—焊接产品。

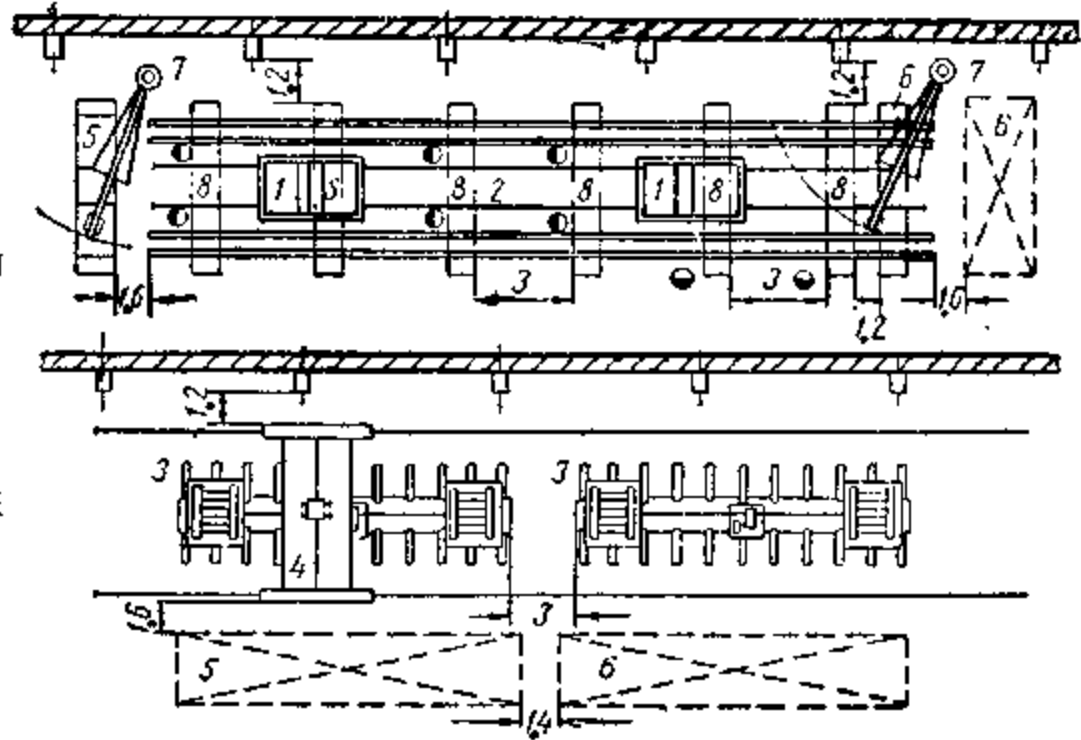
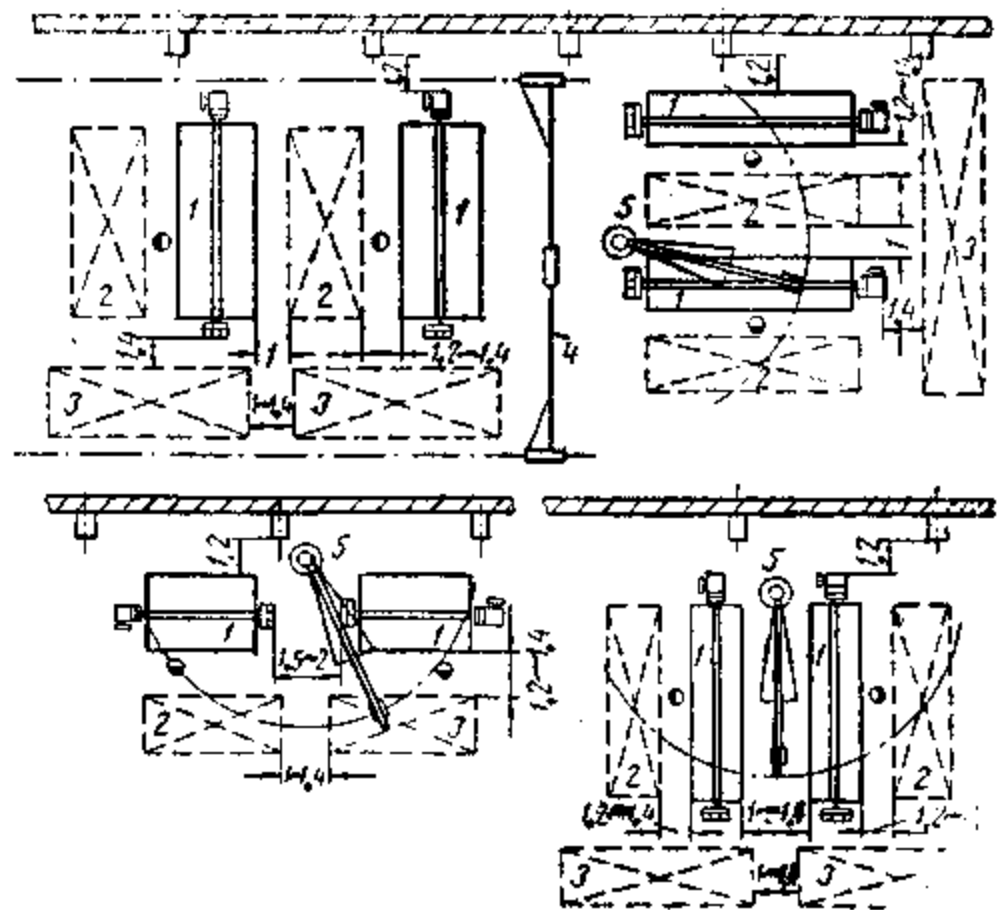


图 7-9 可移动的双柱式焊接翻转机平面布置图

- 1—双柱式翻转机; 2—零件存放工作地;  
 3—焊件存放工作地; 4—单梁吊车;  
 5—柱式吊车。



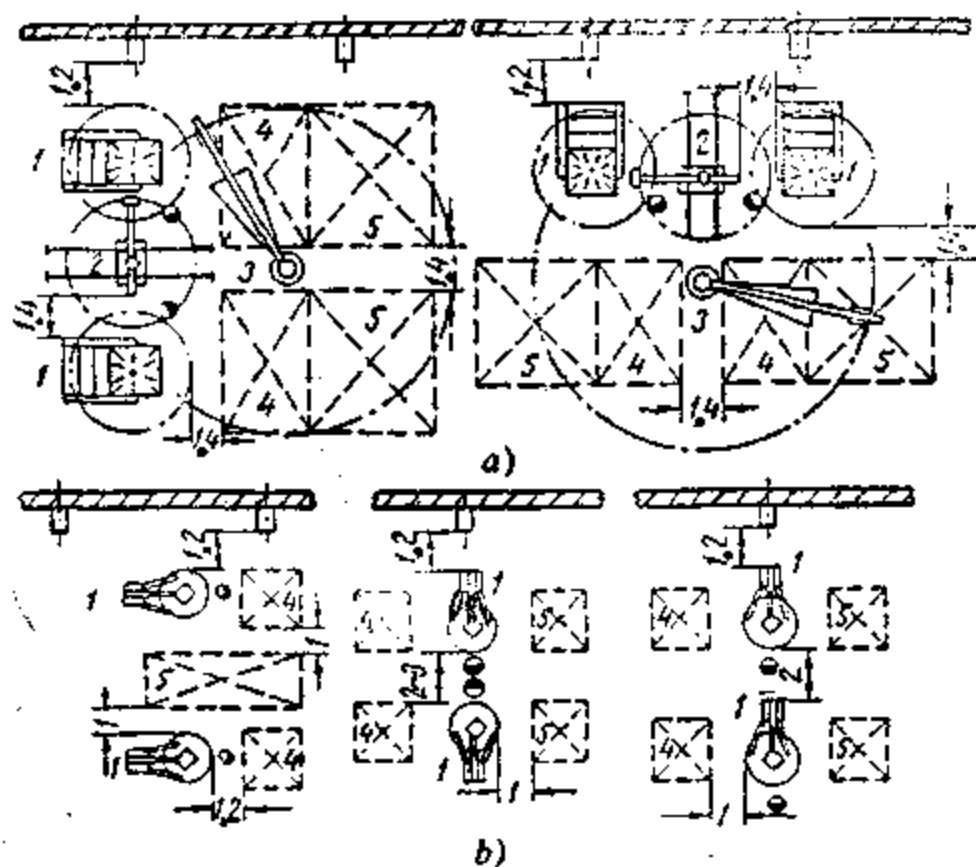


图 7-10 焊接变位机平面布置图

a) 环形焊缝用变位机;

b) 手工焊用变位机;

1—变位机; 2—圆柱回转机械;

3—柱式起重机; 4; 5—零件和焊件存放工作地。

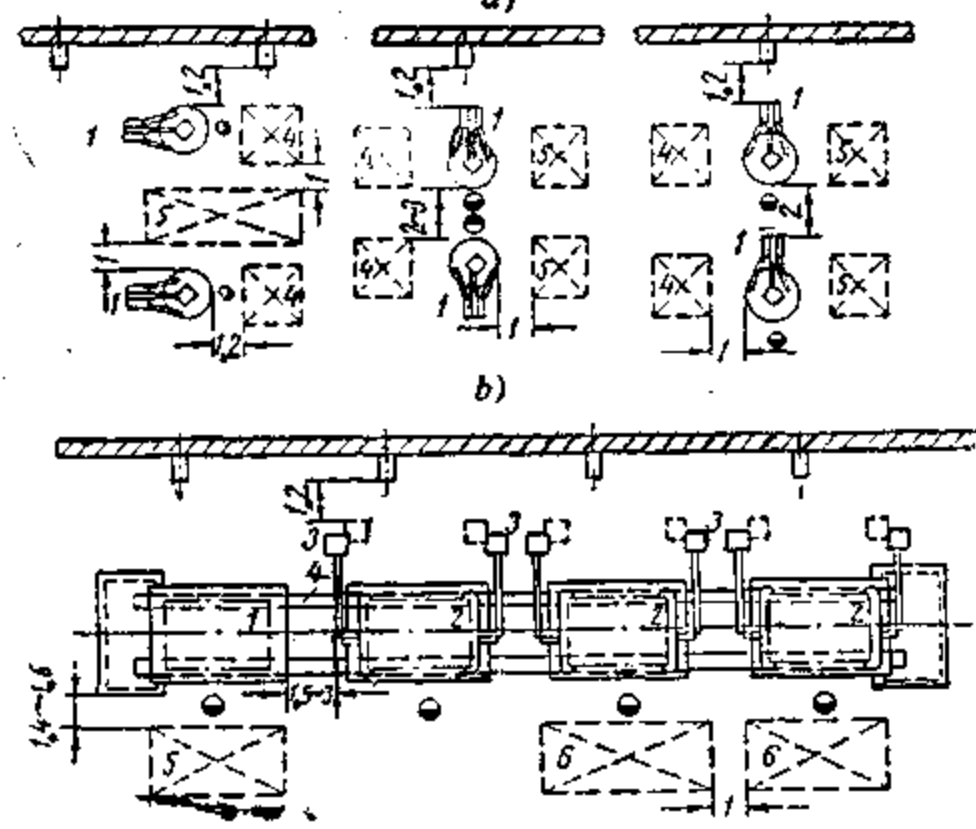


图 7-11 装焊框架构件流水线布置图

(装配焊接工作在垂直封闭的传送带上进行, 并带有悬臂翻转机)

1—装配工作地; 2—焊接工作地;

3—固定架悬臂翻转机; 4—垂直封闭循环传送带;

5—零件存放地; 6—产品存放地。

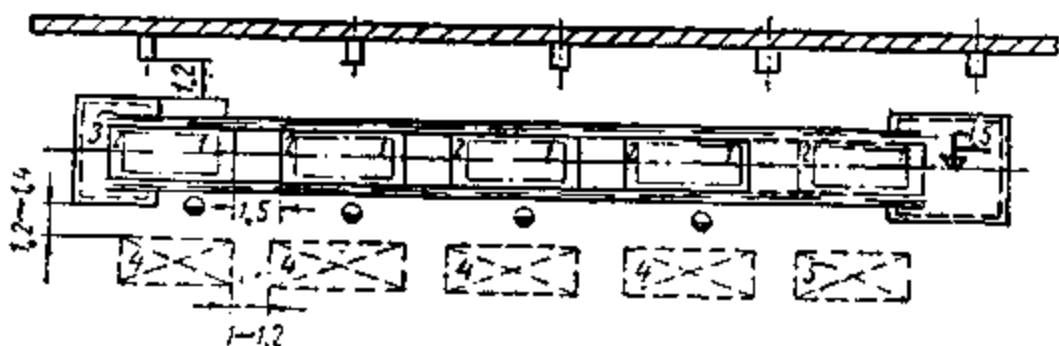


图 7-12 装焊流水线平面布置图

(带有可移动卡具及垂直封闭的传送带)

1—产品; 2—安装在传送带上的卡具;

3—垂直封闭传送带; 4、5—零件和产品存放地。

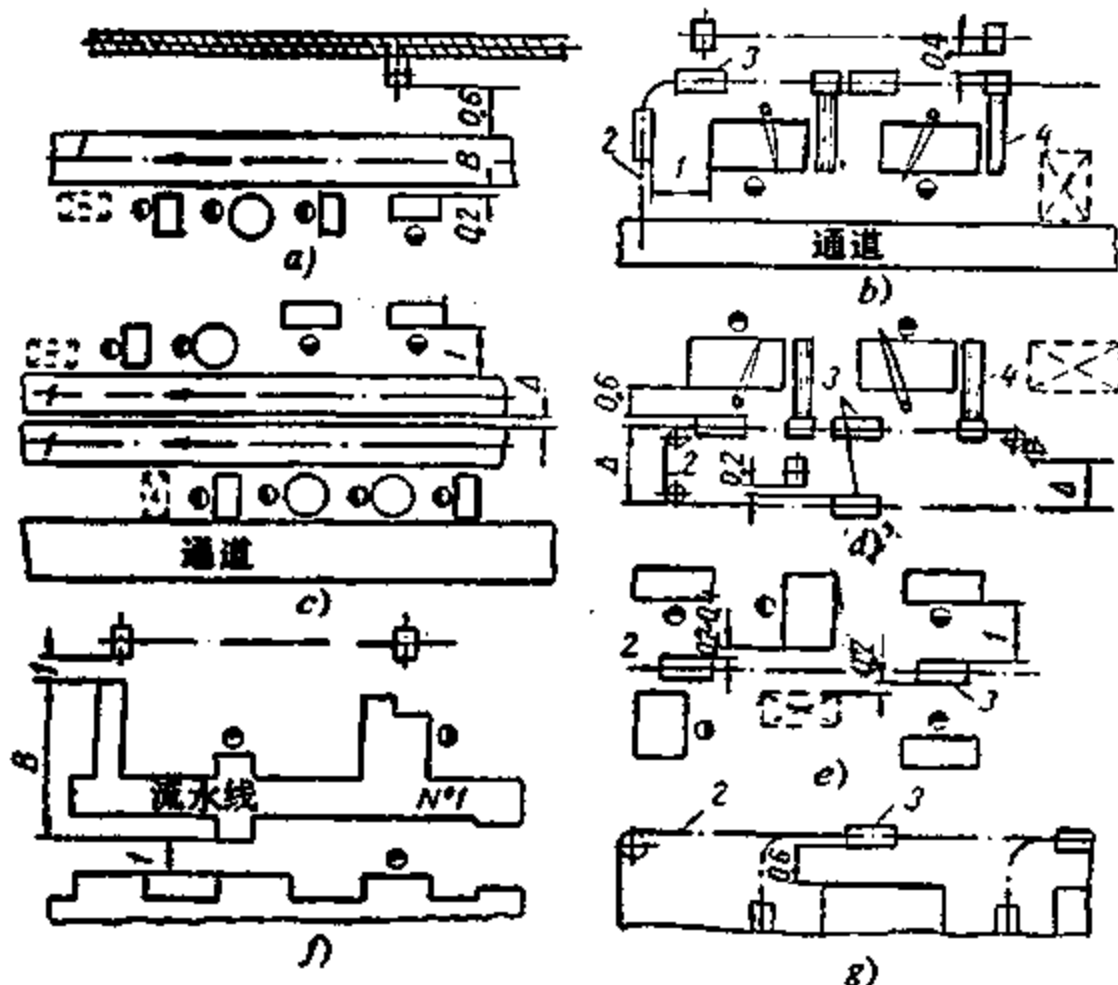


图 7-13 流水线、传送带、设备和制造产品之间最小允许距离

制造产品之间最小允许距离

1—传送带; 2—悬挂起重机;

3—吊架; 4—带气动起重装配辊道;

5—流水线; 6—悬挂推力传送带。



材料准备及加工的工段布置实例如图 7-14~图 7-24 所示。

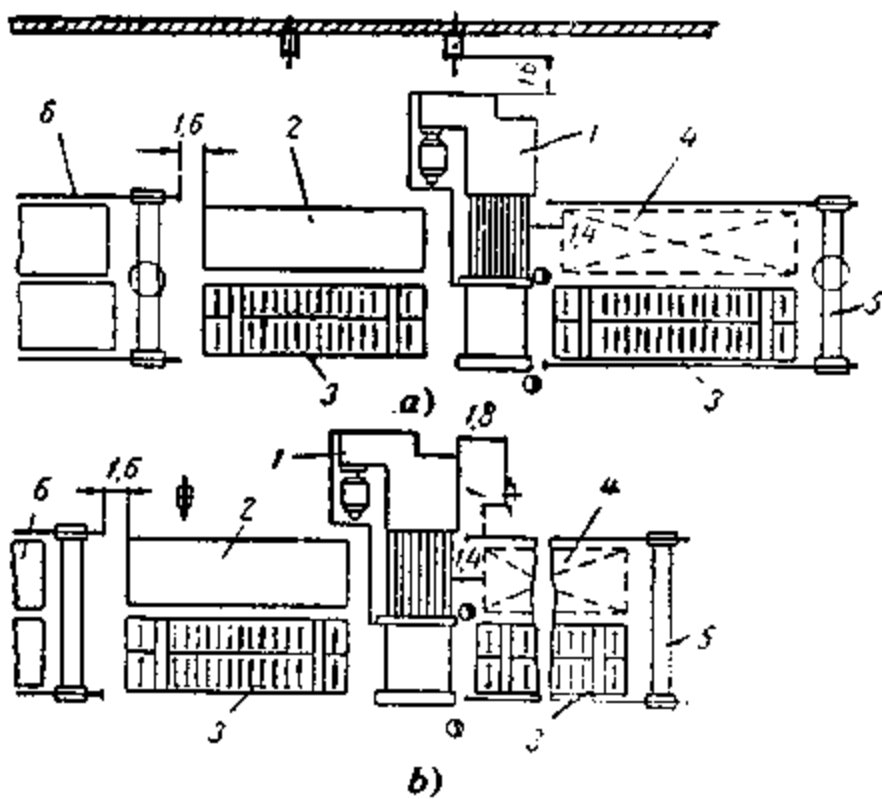


图 7-14 多辊钢板矫平机平面布置图

- a) 顺车间墙壁布置方案;  
 b) 部分控制设备在柱子之间的布置方案。  
 1—矫正板厚 16~22mm 矫平机; 2—平台;  
 3—辊道; 4—准备矫正工件存放地;  
 5—单梁吊; 6—相邻设备。

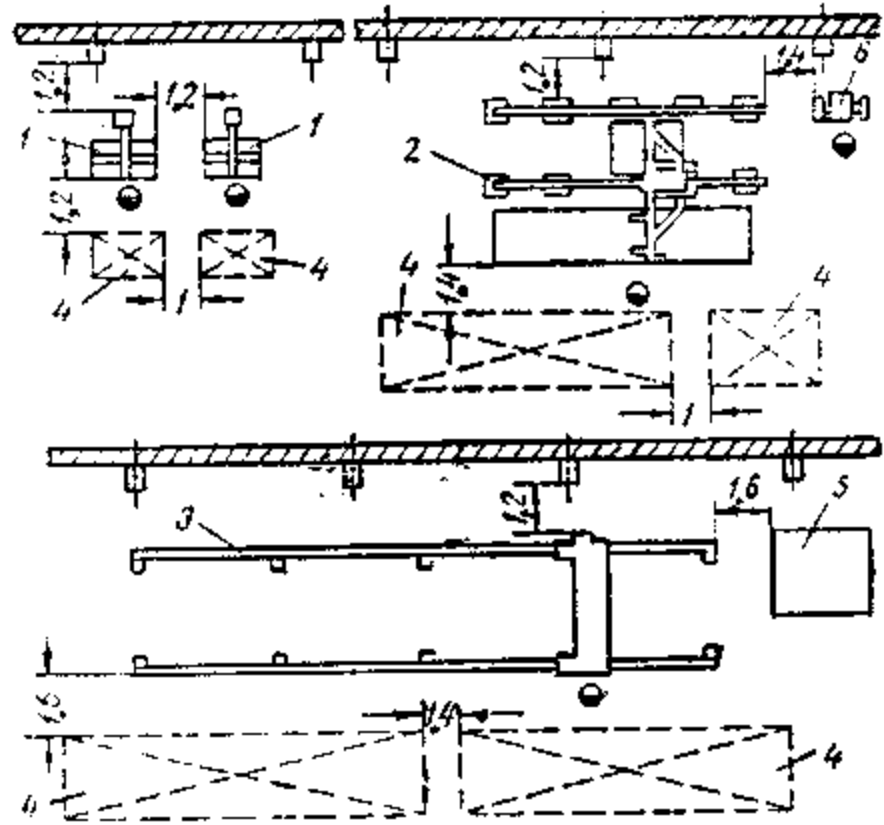


图 7-15 切割机平面布置图

- 1—切厚 5~100mm 的铰接式自动切割机;  
 2—切厚 5~100mm 直角坐标切割机;  
 3—切厚 5~200mm 卧式龙门切割机;  
 4—存放地; 5—用可移动磨床进行清理的工作地; 6—相邻设备。

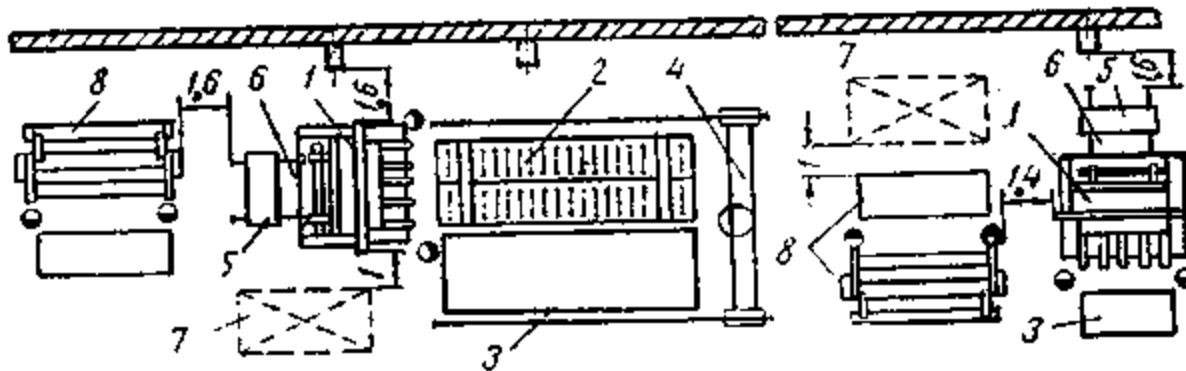


图 7-16 曲柄剪板机平面布置图

- 1—切厚 6.3~16mm, 切宽 2.5~3.2m 的剪床; 2—辊道; 3—矫平用平台; 4—单梁吊车;  
 5—剪床; 6—轨道; 7—存放地; 8—邻近设备。

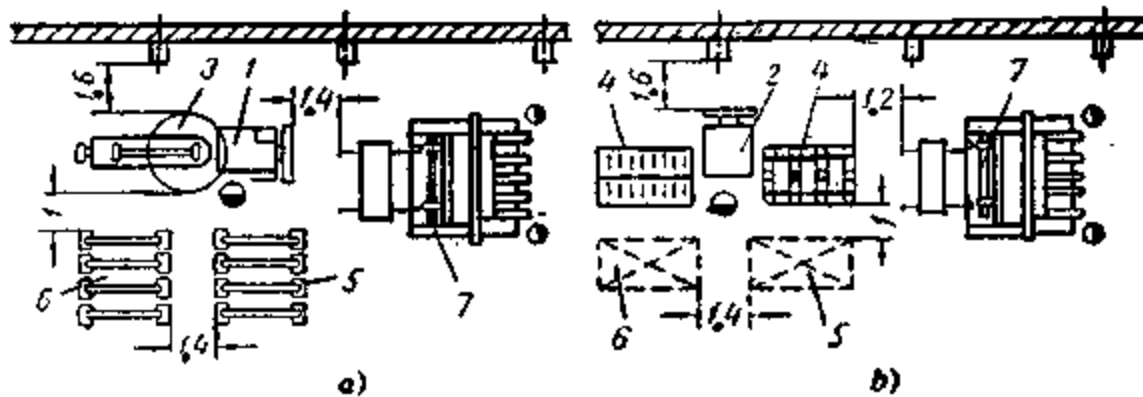


图 7-17 剪切圆形 a) 和切割纵条 b) 的双圆盘单立柱剪板机平面布置图

- 1—切圆形双盘剪; 2—切纵条的圆盘剪; 3—切圆盘和环的定心装置; 4—辊道;  
 5、6—产品和零件存放地; 7—相邻设备。

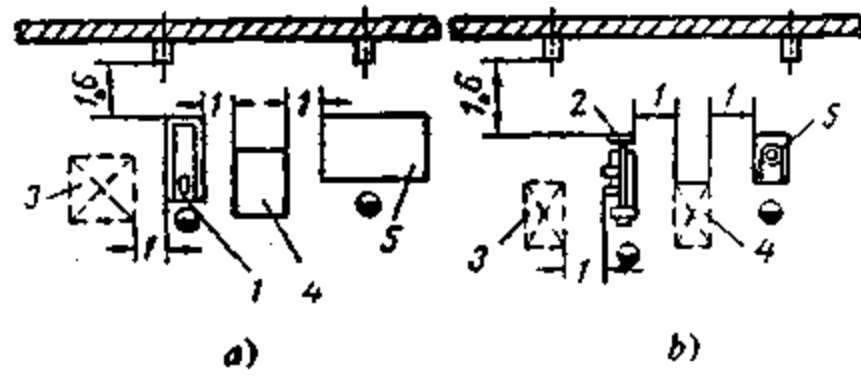


图 7-18 冲剪机a) 和冲压机b) 的平面布置图。

1—冲剪机；2—冲压机；3—板材存放地；4—零件存放地；5—相邻设备。

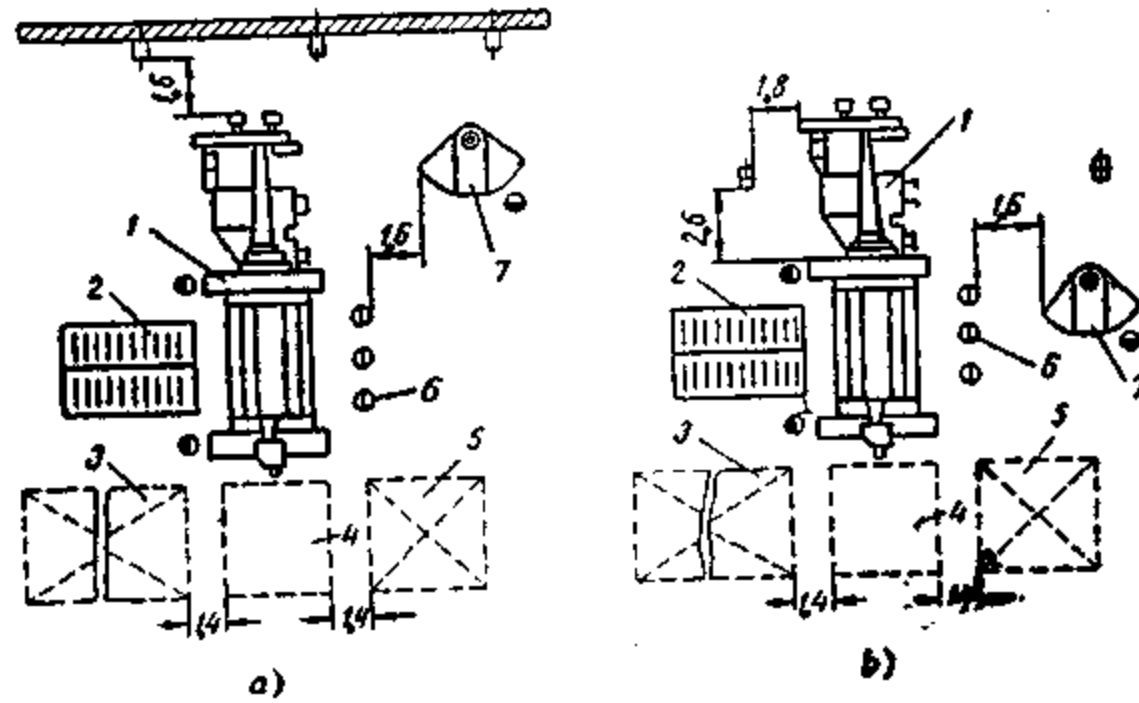


图 7-19 厚板弯板机（滚床）平面布置图（三辊和四辊）

1—弯板；2—辊道；3—待加工零件存放地；4—取出工件地方；5—加工零件存放地；6—保持装置；7—相邻设备。

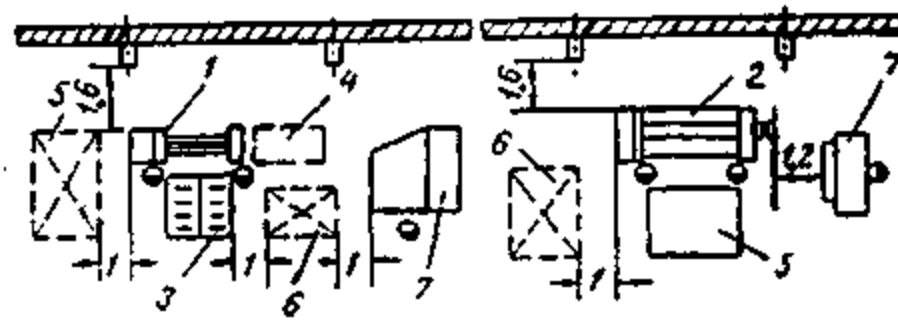


图 7-20 中薄板弯板机平面布置图

1—可弯板厚12mm，宽1.8mm的弯板机；2—可弯板厚2.5~6mm，宽2m的弯板机；3—辊道；4—取出工件地点；5、6—存放地；7—相邻设备。

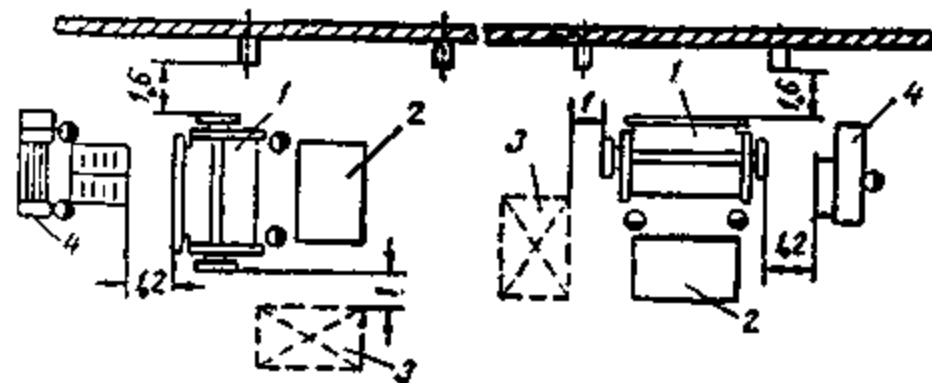


图 7-21 曲柄弯板机（折边机）平面布置图

1—弯板机（压力0.63或1.0MN）；2—毛坯工作台；3—毛坯存放地；4—相邻设备。

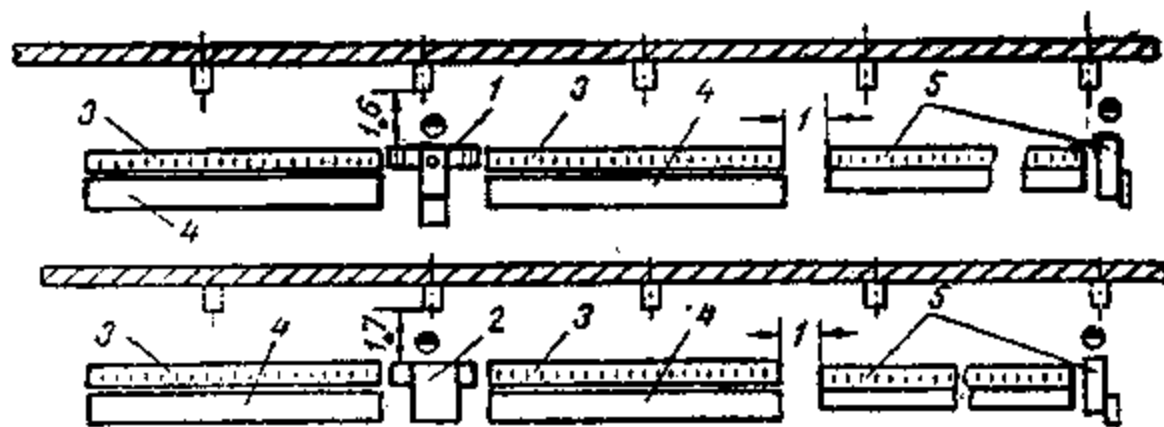


图 7-22 单柱式矫正压力机平面布置图

1—水压矫正压力机；2—单曲线压力机；3—滚道；4—毛坯工作台；5—相邻设备。

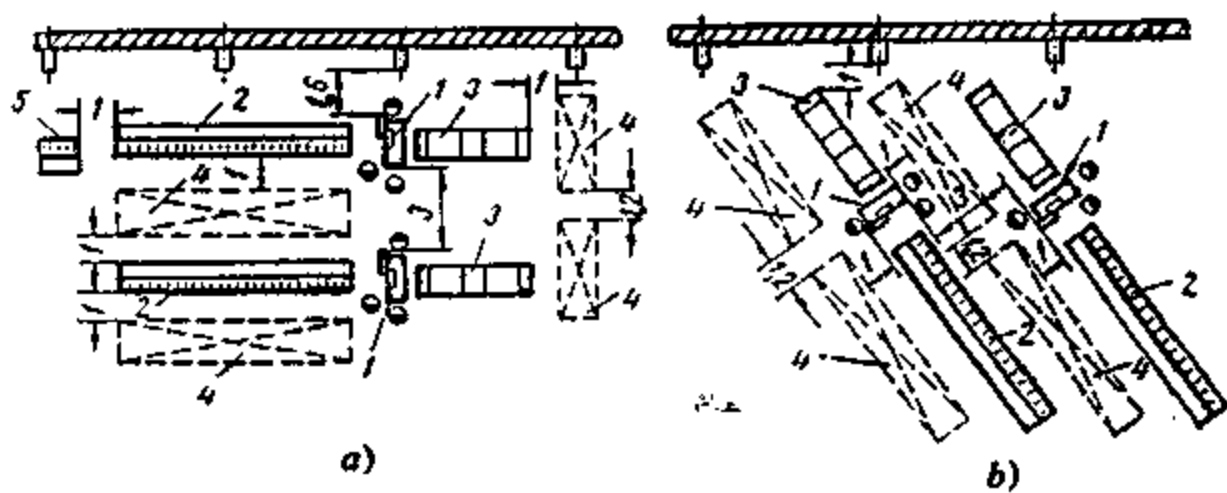


图 7-23 型钢多辊矫正机平面布置图

a) 在跨间内纵向布置； b) 布置在两跨之间。

1—75×75角钢和钢和 $\phi 25\sim 60$ 圆钢矫正机；2—毛坯工作台；3—辊道；4—相邻设备。

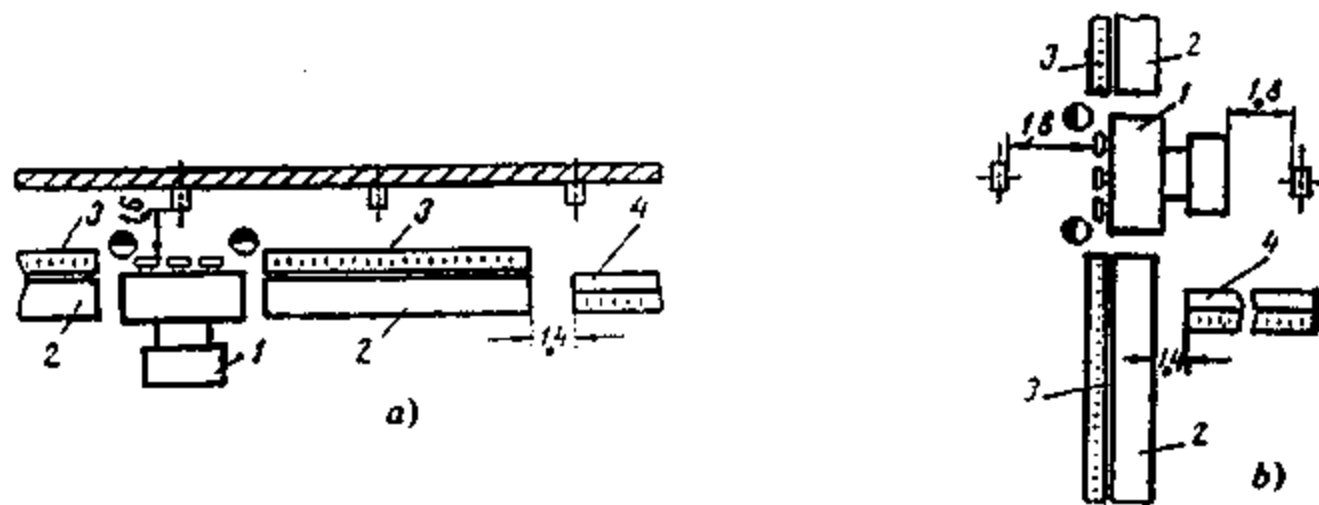


图 7-24 联合冲剪机平面布置图

a) 顺开间纵向布置； b) 与车间轴线成一角度。

1—可切断圆钢 $\phi 10$ 、角钢 $60\times 60\times 8$ 和12号槽钢的联合冲剪机；2—辊道；3—存放地；4—毛坯存放地；5—相邻设备。

表 7-42~表 7-45 绘出一台设备占有面积和单位面积的产量，可供粗略估计车间面积及检测平面布置用。表 7-46 给出仓库和检验站计算定额参考数据。

表 7-42 单件、小批生产时，一台设备和一个工作位置占有的平均面积

焊接部件的最大外形尺寸 (m)	按焊接部件类型，一台设备和一个工作位置占有的面积 <sup>①</sup> (m <sup>2</sup> )								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6 × 4 × 1.6	—	—	200	—	—	—	—	120~180	180
10 × 6 × 2.5	—	200	—	—	200~280	—	—	160~220	200
16 × 6 × 2.5	100	—	—	200	—	—	—	220	—
25 × 2.5 × 1.6	120	—	—	—	—	—	—	—	—
40 × 4 × 1.6	—	—	—	—	—	140	140	—	—
60 × 4 × 4	—	—	—	—	—	—	160	—	—

① 和焊接部件类型栏的数字相应 1—机车制造中的大型车架车身部件；2—汽室；3—管形预热器；4—金属结构；5—焊接的机座；6—焊接的汽包；7—起重运输设备部件；8—冶金设备部件；9—汽轮机和柴油发动机部件。

表 7-43 焊接车间一台设备占有的单位生产面积  
(大批、大量生产)

焊接部件的类型	一台焊接设备占有的面积 (m <sup>2</sup> )							
	电弧焊		点焊和凸焊	多点焊	滚焊	对接焊	气焊	钎焊
	CO <sub>2</sub> 自动和半自动焊	熔剂层下焊						
小型	14	20	13	40	20	20	12	12
中型	20	23	15	100	30	25	15	15
大型	25	30	18	120	40	30	20	20

表 7-44 单件、小批和成批生产时，重型部件的1m<sup>2</sup>总面积年产量

焊接部件的最大重量 (t)	1m <sup>2</sup> 总面积的年产量，在年产为以下值 (kt) 时							
	5	10	15	20~25	30~35	40~50	70~80	100
1.6	—	—	—	—	—	—	—	6.17 <sup>①</sup>
2.5	—	1.2 <sup>②</sup>	—	—	—	—	—	—
4	—	1.2 <sup>②</sup>	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	3.1 <sup>①</sup>	3.5 <sup>⑦</sup>	—
10	—	1.67 <sup>①</sup>	—	—	—	× 3.3 <sup>⑦</sup>	—	—
16	—	1.67 <sup>④</sup>	2.9 <sup>⑦</sup>	—	3.2 <sup>⑦</sup>	—	—	—
25	—	—	1.58 <sup>⑤</sup>	3.1 <sup>⑦</sup>	—	—	—	—
40	1.4 <sup>⑥</sup>	—	2 <sup>⑨</sup>	—	1.8 <sup>⑤</sup>	—	—	—
60	—	—	3 <sup>⑦</sup>	—	2 <sup>⑧</sup>	—	—	—
100	—	1.64 <sup>⑥</sup>	1.9 <sup>②</sup>	1.7 <sup>⑧</sup>	1.8 <sup>⑧</sup>	—	—	—
160	—	—	—	—	—	2.2 <sup>⑧</sup>	2.7 <sup>⑧</sup>	—
250	—	—	—	2.1 <sup>⑨</sup>	2.16 <sup>⑨</sup>	—	—	—

续表 7-44

焊接部件的类型 <sup>①</sup>		部件的最大外形尺寸 (m), 在年产为以下值 (kt) 时							
		5	10	15	20~25	30~35	40~50	70~80	100
钢 炉 制 造	①车架—车身的车厢制造	—	—	—	—	—	25×3.15 ×0.4	—	13.8×3 ×0.4
	②汽室	—	8.1×3.1 ×0.32	—	—	—	—	—	—
	③管形预热器	—	4.9×3.4 ×1.5	—	—	—	—	—	—
	④金属结构	—	12×4 ×0.5	—	—	—	—	—	—
	⑤焊接的机座	—	3×12×2	—	—	3×12×2	—	—	—
	⑥焊接的汽包	—	φ1.8 ×22.7	—	φ1.8 ×22.7	—	—	—	—
	⑦起重运输设备	—	60×4.5 ×4.5	33×3.5 ×1.8	33×3.5 ×1.8	23×1 ×1.6	23×1.6 ×0.7	29×1.6 ×0.7	—
	⑧冶金设备	—	—	—	3×12×23×12×2	—	φ3.5×15	φ3.5×15	—
	⑨汽轮机和柴油发动机	11.3×2 ×5.2	12×10 ×5	11.3× 4.2×5.2	8.6×8.6 ×4	8.6×8.6 ×4	—	—	—

① 以下数字和按上面的1m<sup>2</sup>年产量的每一指标指明的注脚相对应。

表 7-45 大批、大量生产中, 几种焊接部件的1m<sup>2</sup>总面积的年产量

产 品	一套焊接部 件的重量 (kg)	1m <sup>2</sup> 总面积的年产量 (套/吨), 在年产为以下值 (千套) 时:										
		2.5	5	10	15	25	50	100	150	200	300	400
小轿车	250						$\frac{3.7}{0.92}$	$\frac{5.0}{1.25}$	$\frac{5.7}{1.42}$	$\frac{6.3}{1.57}$	$\frac{7.0}{1.75}$	$\frac{7.7}{1.92}$
	400						$\frac{2.8}{1.1}$	$\frac{3.6}{1.45}$	$\frac{4.1}{1.65}$	$\frac{4.5}{1.8}$	$\frac{5.0}{2.0}$	$\frac{5.5}{2.1}$
	630					$\frac{1.9}{1.20}$	$\frac{2.1}{1.32}$	$\frac{2.8}{1.76}$	$\frac{3.2}{2.02}$	$\frac{3.5}{2.2}$		
载重汽车	400					$\frac{6.3}{2.5}$	$\frac{9.0}{3.6}$	$\frac{12.5}{5.0}$	$\frac{14.6}{5.8}$	$\frac{16.7}{6.7}$		
	630					$\frac{5.1}{3.2}$	$\frac{7.5}{4.7}$	$\frac{10.1}{6.4}$	$\frac{11.8}{7.4}$	$\frac{13.5}{8.5}$		
	1000				$\frac{2.3}{2.3}$	$\frac{3.6}{3.6}$	$\frac{5.1}{5.1}$	$\frac{7.0}{7.0}$	$\frac{9.1}{9.1}$			
	1600				$\frac{2.0}{3.2}$	$\frac{2.4}{3.8}$	$\frac{3.3}{5.3}$	$\frac{4.5}{7.2}$				
公共汽车、大型 带棚载重汽车	1000				$\frac{1.65}{1.65}$	$\frac{1.8}{1.8}$	$\frac{2.5}{2.5}$	$\frac{3.3}{3.3}$				
	1600	$\frac{0.83}{1.32}$	$\frac{1.0}{1.6}$	$\frac{1.2}{1.9}$	$\frac{1.32}{2.1}$	$\frac{1.7}{2.7}$						
	2500	$\frac{0.31}{0.77}$	$\frac{0.37}{0.92}$	$\frac{0.43}{1.18}$	$\frac{0.54}{1.35}$	$\frac{0.76}{1.90}$						

续表 7-45

产 品	一套焊接部件 的重量 (kg)	1 m <sup>2</sup> 总面积的年产量 (套/吨), 在年产为以下值 (千套) 时:										
		2.5	5	10	15	25	50	100	150	200	300	400
拖车和半拖车	1000				$\frac{3.4}{3.4}$	$\frac{3.7}{3.7}$	$\frac{4.8}{4.8}$					
	1600			$\frac{2.0}{3.2}$	$\frac{2.3}{3.7}$	$\frac{2.8}{4.5}$						
	2500			$\frac{1.7}{4.3}$	$\frac{1.9}{4.8}$	$\frac{2.15}{5.4}$						
	4000	$\frac{0.3}{1.3}$	$\frac{0.4}{1.6}$	$\frac{0.5}{2.0}$								
载重量为40~60 t 的大型自卸载运车	800	$\frac{0.4}{3.2}$	$\frac{0.6}{4.8}$	$\frac{0.7}{5.6}$	$\frac{0.8}{6.4}$	$\frac{1.0}{8.0}$						

表 7-46 焊接车间仓库和检验站的面积计算定额

名 称	用 途	单位面积 <sup>①</sup> m <sup>2</sup>	
		成批生产	大批生产
工具分发室	保存与发出工具、仪器、设备的可换工作构件 1) 每一工艺设备 2) 每一工作地点	0.4~0.6 0.7	0.3~0.5 0.6
辅助材料库	保存与发出辅助材料 每一工艺设备	0.15~0.2	0.1~0.5
焊接材料仓库	保存与发出焊条、熔剂、把焊丝绕到焊丝盘盒中, 每一工艺设备 1) 电弧焊和气焊 2) 半自动和自动焊	0.15~0.25 0.5	0.1~0.2 0.4
夹具库	保存与发出夹具与设备的可换工卡具 每一产品的焊接部件 每100吨年产量	0.4~0.6 0.2	0.2~0.4 0.15
检验站	定时测量焊接部件、保存与发出样板、标准样件, 每一产品焊接部件	0.8	0.7

① 不包括维修辅助面积。大量生产时采用小的数值。

## 第八章 装配焊接辅助机械装备

### 一、装配焊接辅助机械装备的分类、功用及设计特点

在焊接生产中除了装配焊接前的生产准备工作之外，占劳动量最多的是装配焊接过程。依据产品结构和装配焊接工艺的不同，装配和焊接各占用的劳动量也不相同。按照比较早期的统计，焊接工作占全部生产时间的10~80%，其余为装配和其他辅助作业时间。在手弧焊时，这类时间消耗占总劳动量的50%；自动焊时，占70%；电渣焊时，占80%。显然，欲缩短生产周期、节约劳动时间、提高产品质量和降低产品成本，以便取得好的经济效益，除了采用自动化焊接工艺外，还要靠采用先进的装配工艺，靠缩短装配及焊接辅助工序时间来达到。需使整个焊接生产过程（包括焊接过程和装配及其他辅助工序）全盘机械化和自动化。即除采用埋弧自动焊、气保焊、气电焊、电渣焊、电阻焊等机械化和自动化的焊接方法外，在工件装配、工件翻转变位、焊机移动和对中、焊件运输等过程都要实行机械化和自动化，广泛采用各种机器人。这些都要求采用装配焊接辅助机械装备，以达到预期的效果。

进行装配焊接辅助机械装备的设计是焊接生产准备工作的重要内容之一，也是焊接生产设计的主要任务之一。通常在工艺设计时，就提出了需要的装备的合理类型、结构草图和简要说明，在此基础上由装备设计组（在设计院进行施工图设计时）或由专门的焊接机械装备设计科室（在大型工厂中）的工程师们完成详细结构和零件的设计计算及全部图纸。对于多数中小型工厂来说，设计任务则主要由工艺工程师进行。

#### 1. 装配焊接辅助机械装备的分类

与种类繁多工艺复杂的装配焊接工作相适应的辅助机械装备也是多种多样的。按其用途不同，装配焊接辅助机械化装备可以分为以下几大类：

（1）装配焊接夹具 装配焊接夹具是将工件准确定位并夹紧，以便进行装配或焊接的工艺装置、装备和工具。它包括各种定位器、压夹器、拉撑器、组合夹具及专用夹具等。

（2）装配焊接机械 按其不同用途又可分为：

移动焊件的机械化装置，包括各种焊接变位机、翻转机、滚轮架等；

移动焊机的机械化装置，包括各种焊接操作机械，如各种龙门式、悬臂式、可伸缩悬臂式、平台式的焊接架；

移动焊工的机械化装置，如焊工升降台等；

装配焊接的综合机械化装置，如一些自动化生产线的装置；

焊接机器人。

（3）焊接辅助装备 包括各种焊剂回收、输送装置，如焊剂垫、焊剂回收器；焊丝处理装置，如焊丝除锈机、焊丝盘丝机等。

#### 2. 装配焊接辅助机械装备的功用

正确的选用装配焊接辅助机械装备带来如下好处：

(1) 提高了产品质量和生产率 由于采用装配焊接机械装备不仅提高了装配的质量和生产率,而且对焊接的质量和生产率也有同样效果。

例如采用定位器和专用夹具进行焊接结构的装配,则可不需划线或很少划线而准确的装配各种零件,又快又准确。如油槽(罐)车及全金属敞车底架上装配各种零件,油罐车罐体空气包上各阀座的装配,用定位器和专门的装配夹具(胎具),使所安装的零件迅速处于正确的位置,使装配零部件的精度提高了,并且有互换性,缩短了装配时间,从而提高了生产率。

采用机械装备辅助进行焊接,可以使焊缝处于最方便的施焊位置,工人劳动条件大大改善,防止和减少焊接变形,这些都使焊接质量和效率大为提高。例如手工电弧焊时采用焊接变位机之后,工时消耗可以减少17~30%,因为此时工件可迅速翻转到最便于施焊的位置,进行最高质量和生产率的、需要焊工水平较低的俯焊位焊接。一些工件在采用焊机或焊件变位机械之后,方能进行埋弧自动焊,如圆筒的纵缝和环缝自动焊。

(2) 改善劳动条件、减轻工人的劳动强度,促进焊接生产的机械化和自动化 由于采用装配焊接机械装备,减轻了装配零件定位和夹紧的繁重劳动;装配焊接工件的翻转实现了机械化,使其迅速变位,使劳动条件较差的空间位置焊缝变为俯焊位置焊缝,这些都减少了焊工的劳动。

采用装配焊接机械装备,扩大了先进工艺方法和设备的使用范围,使焊接生产的综合机械化和自动化得以实现。

(3) 简化焊接结构的装配焊接工艺。某些焊接产品,例如带有机加工结构,必要的装配焊接胎卡具是完成生产任务所必需的。

### 3. 装配焊接辅助机械装备的设计特点

在进行装配焊接机械装备的设计时,通常应当满足技术和经济方面的要求,这包括用装备所生产的焊件能满足装配焊接技术条件,设计的装备工作可靠、操作方便,即工人易于操作、省力、使用安全。

其次,采用这些装备后应能带来经济效益。即经济上应当是合理的。通常重大的装配焊接机械装备的设计必须进行经济分析和计算。由于这些装备的设计和制造费用最后都要摊入产品制造成本,故在设计时需要进行方案比较。通常制造费用低廉的,自然可使产品成本降低。但综合经济分析远比这种简单计算要复杂。例如那种使产品质量提高的方案,那种使用方便,能降低工人劳动强度的装备,工人愿意使用,从而使生产效率更高。质量高的产品可使产品增值,高效率的生产可降低产品的成本。一般都要计算装备的投资回收期,这是新产品生产准备过程中的经济分析的重要内容,也是整个企业经济分析的内容之一。

采用何种类型的装配焊接机械装备除了决定于产品的结构、制造所采用的工艺(包括材料的准备工艺、装配工艺和焊接工艺)外,还决定于产品的生产规模,这是由生产纲领所决定的。万能装置通常供生产多品种、单件或小批生产的产品的装配和焊接。除此而外,单件、小批生产时,还利用通用的、标准的装配焊接工艺装备零件和组件,在国外有专门工厂生产并提供现货,焊接生产工厂只需将这些零件和组件加以不同组合,就可适应不同结构焊接产品的装配焊接。在大批大量生产条件下,每道装配焊接工序都应采用专门装置来完成。据统计,当采用专用装配机械装置进行金属结构的装配时,装配时间可缩短30~40%<sup>[18]</sup>。但专用装置并不都是合理而经济的,即需进行如上所述的经济分析。表8-1示出在冲焊结



表 8-1 在冲压-焊接结构、机器焊接零件生产中,按生产批量确定焊接生产机械化程度<sup>[18]</sup>

生产速率和批量	冲压-焊接和薄板-立体结构、大型复杂的部件 (500~1000公斤以下)	机器焊接零件、简单小部件 (25~50公斤以下)
(年产 3 千件以下)	对于不便于运输的部件,采用带有移动的通用手工焊、半自动焊、自动焊设备和工具的固定连续流水线	按工艺原则配备的标准通用设备。器具种类有样板、夹钳和楔子等
5~10件/小时 (每年20~40千件)	对于可运输的部件,采用带有适于成组工艺的通用辅助机械化设备的直线流水生产线	带手工夹具的胎具
10~20件/小时 (每年40~70千件)	带有工序间通用运输设备的可调整的和不可调整的机械化流水线,固定式和悬挂钳式点焊机、半自动电弧焊机、有高周波变压器的多点焊机、手动的和机械化的装配工具及整修工具	具有可换卡具和夹头的固定式标准接触焊机。带工作台和半自动电弧焊机的工作间、手动样板、台式旋转夹具
20~50件/小时 (每年60~160千件)	同上,(按增长速度)分配式输送装置、回转式输送装置和椭圆形小车水平封闭式输送装置 具有非贯穿的运输设备和程序控制的通用焊接设备,立式专用多头焊机生产线。具有贯穿的运输系统和步进运输装置的生产线,有随动装置和没有随动装置的半自动线,在其毗邻的工段里或者平行的工段里制造分总成	同上,手工装料的专用多头半自动焊机。快动机械手和风动夹紧的专用夹具,又可分为转动的和多工位的
50~700件/小时 (每年150~2500千件)	具有连续的和平行的工序组合的半自动和自动线,具有半自动或机械化调节的综合性机械化和自动化专用生产线,为使分总成与总成装配和焊接自动化而采用自动操作机和机器人	同上,带料斗和箱式加料装置。在短自动线上配套的自动机。程序控制的自动调整装置
500~1500件/小时 (每年1.5~5.0百万件)	自动线有平行组合或交叉组合的,工序间有充裕备品储备量(用料斗和料箱储藏),采用制造分总成的焊接工段,采用模拟控制系统操作、自动调整规范和检验自动装配和焊接的质量	带跟踪系统、自动调节系统和其它模拟控制系统操纵的专用多工位自动机
1500件以上/小时 (每年 5 百万件以上)	同上,但分为独立的和互相联系平行工作的自动线,可制造任何系列的分总成,车间自动机由电子计算机管理和控制	旋转式自动线

构及机器焊接零件生产中,由生产批量确定焊接生产机械化的程度。它表明按生产纲领规定的批量,可选用的装配焊接机械化装置及焊接设备,可作为焊接生产设计的参考。

最后,采用的装配焊接机械装备应当有良好的工艺性,便于制造、维护和修理,如易损零件容易更换,容易恢复其使用精确度,寿命较长等等。

满足上述各项要求,需对装配焊接机械化装备的特点有所了解。

(a) 在装配焊接机械装备中进行装配和焊接的零件有多个,它们的装配和焊接按一定的顺序逐步进行,其定位和夹持也都是分别的单独的或是一批批联动地进行,其动作次序和功能显然与制造工艺过程相符合。

(b) 焊接结构或部件、零件在装备中比机加工零件在胎卡具中受有较小的夹持力,而

且不同零件，不同部位的夹持力也不相同。有些零件仅利用装备中定位装置定位，而不受什么力；一些零件为防止某个方向的焊接变形而被刚性固定；一些零件则为避免过大焊接应力，以及由此而产生缺陷，仅被挠性固定，它在某个方向上甚至是自由的。这样，装配焊接装备（如胎卡具）上经受焊接应力部分则承受巨大载荷，要求设计刚度大大超过被焊工件的刚度；另一些则只承受零件重力、夹紧的反力等作用，当然只要有适当的强度和刚度就可以了。

(c) 装配焊接机械装备常常是焊接电极之一，因此被设计为二次回路的一部分；有时为了防止电流流过机件而使其烧坏或寿命缩短，又需要进行绝缘。所以焊接机械装备（特别是有一些在相对运动中传导电流）的导电和绝缘是一个重要而特殊的问题。

(d) 装配焊接装备的制造精度决定于它的用途和生产产品的精确度；装备中各个部分所起作用不同，其制造精度也不尽相同。例如装配焊接夹具中定位装置应有好的制造精度，而夹紧装置或装备的底座则应有足够的强度和刚度。

(e) 制造装备的材料多采用低碳钢或低合金结构钢。不仅材料容易获得，而且制造也较为方便（一般装配焊接机械装备底座等都采用焊接结构）。但是装备上的定位销钉、V形挡铁、钳口等则应采用45~50号能淬火钢或合金钢（如40Cr等），以保证其精度和不易磨损。

## 二、装配焊接夹具

装配焊接夹具完成工件的准确定位和夹紧。它通常由定位元件、夹紧机构以及夹具体几部分组成。

### 1. 装配焊接夹具中零件的定位和定位器

自由物体在空间有6个自由度，即绕X、Y、Z轴的移动和转动。要使其完全固定，需加上6个支撑，如在水平面（XOY平面）内布置3个支撑点，在一个垂直面（XOZ平面）内布置2个支撑点，在另一个垂直面（YOZ平面）内布置1个支撑点。这称为6点定位法。很多场合下没有必要配置这么多支撑点。当工件放在支撑平面上，这即是三点支撑；而用销轴或型钢棱线的支撑，都是线支撑，相当于二点支撑；球面的支撑相当于一支撑。有时一个结构上各零件之间也可以互相作为支承，可以大大减少定位元件。

装配焊接夹具中常用的定位方法有沿平面（如挡铁）的、沿圆柱面（如销钉）的，还有沿斜面（如V形铁）的。

#### (1) 沿挡铁和圆柱面定位

配置在装配零件周边上的矩形块、板、销钉、型钢的棱边等都可作为挡铁，如图2-6中那些附件多采用挡铁定位。图中b)、c)、f)是使用矩形块、板定位，而图中d)、e)则使用销钉定位。这是通用装配焊接夹具中使用定位器的例子。图8-1是夹具的定位器元件，有格子式挡铁（图8-1a)和d)、)、焊接挡铁（图8-1b)、)、销钉（图8-1c)、e))及可活动挡铁（图8-1f))。

上图在夹具中压入销子（图8-1c)）或焊上定位销子（图8-1e)），将工件（零件）已加工好的孔套上，以达到零件定位的目的。这是利用圆柱面的定位。定位销可用一个或两个。定位销的直径和相互位置一定要与零件孔径相互位置及其公差相适应。

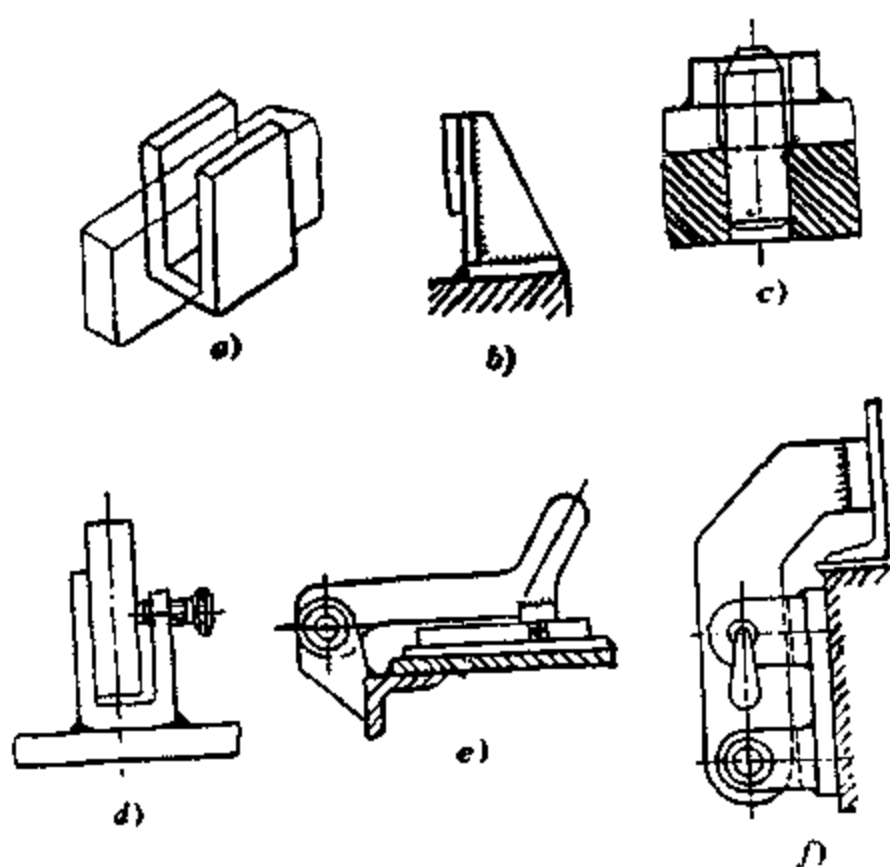


图 8-1 装配夹具的定位元件

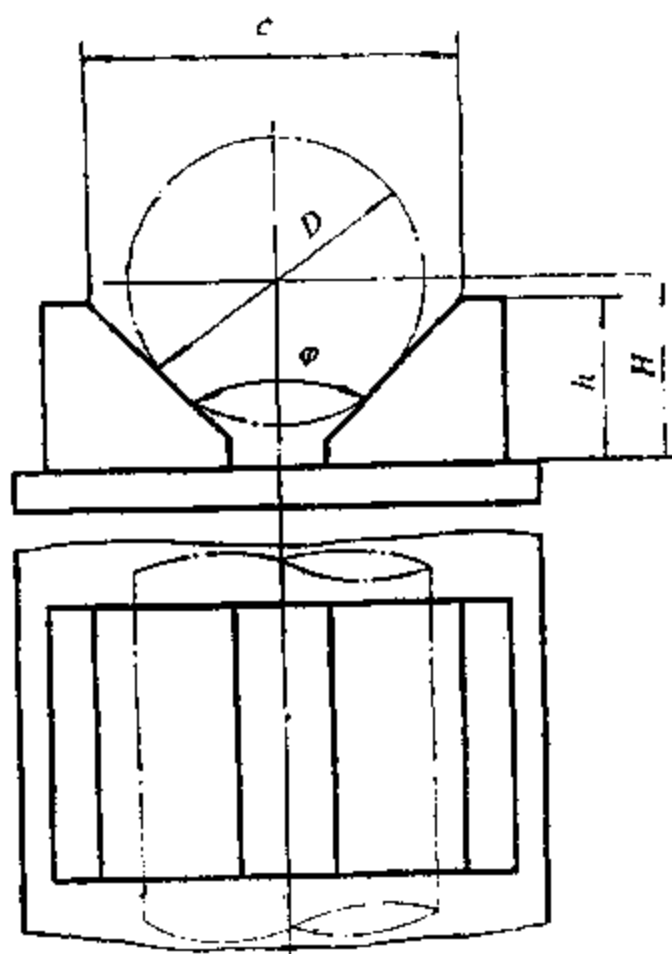


图 8-2 V形铁元件

(2) 在V形铁上定位

管子、轴及小直径圆筒节等圆柱形零件的固定和定位都可以使用V形铁。V形铁是由两个互成 $90^\circ$ 或 $120^\circ$ 的平面所构成，中间常有凹槽，有时也可没有槽，如图8-2所示。图中V形铁的尺寸可参考夹持（定位）工件（圆柱体）的直径 $D$ 来决定。一般 $h \leq 0.8D$ ， $C$ 值则需视 $\varphi$ 大小而定，当 $\varphi = 90^\circ$ 时， $C = 1.41D - 2(H - h)$ ；当 $\varphi = 120^\circ$ 时， $C = 2D - 3.46(H - h)$ 。

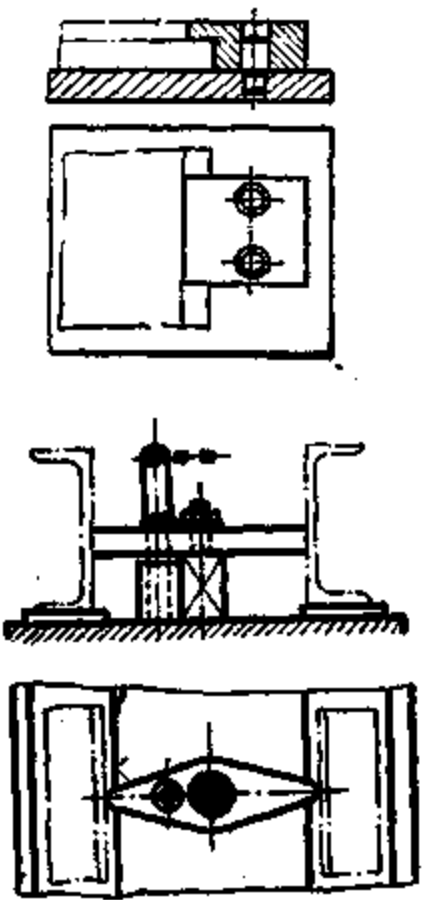
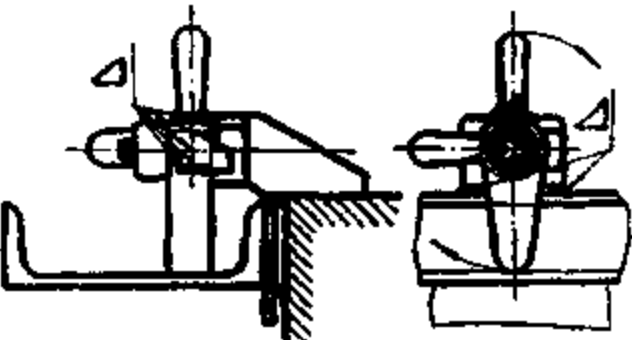
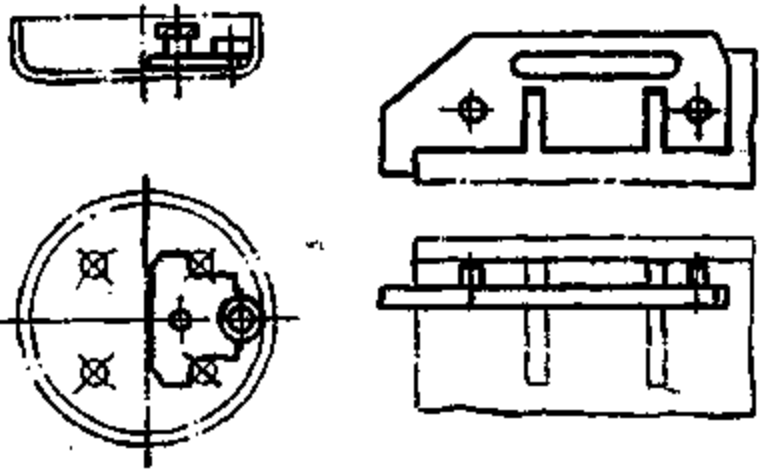
实际上，大多数焊接结构进行装配时不需要专门的定位器和夹具，但在另外一些情况下，没有定位器和夹具，零件则无法装配和焊接。这种情况并非经常遇到。所以使用定位器和夹具大多为省去划线等工序，使装配焊接过程又快又好。

定位器应该配置在零件加工表面附近。对型钢类装配焊接零件，如角钢、槽钢等，定位器要布置在背面或棱边上，避免布置在内侧斜面上。布置的定位器应不妨碍切割和焊接操作。布置定位器时，应对装配焊接零件的变形有所估计，以防止装配焊接完成后零件取不下来。

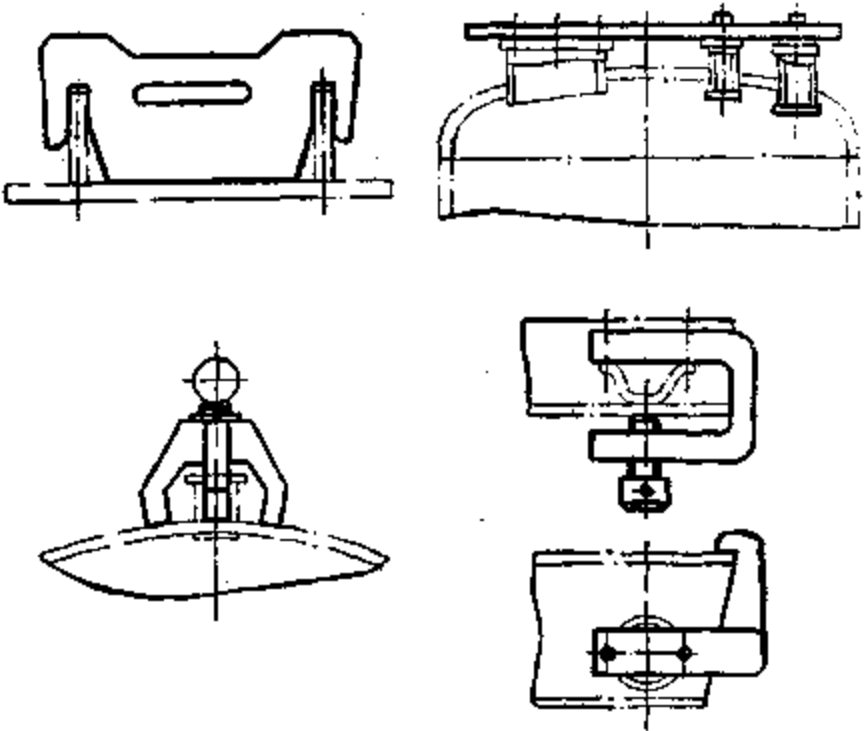
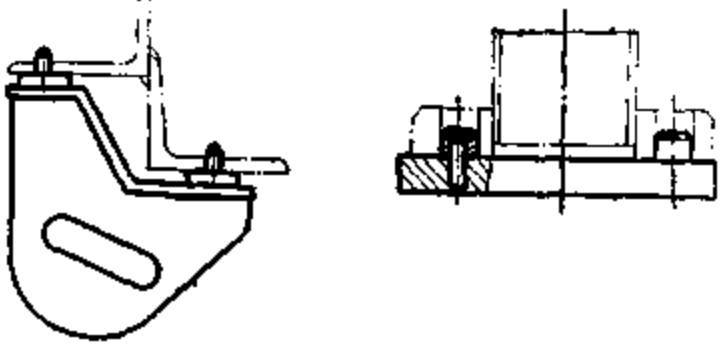
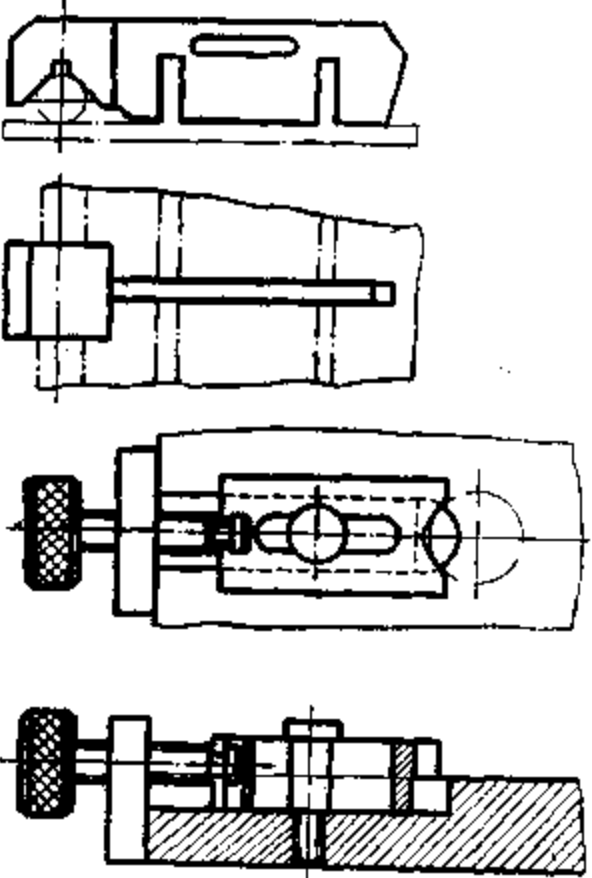
表8-2示出几种类型定位器的特点及其应用，提供设计参考，以便设计出充分满足装配焊接需要的定位器。

表 8-2 定位器的主要类型及其说明

名称	结构示意图	说明
固定挡铁	<p>图 8-1 中 b) 及</p>	<p>固定挡铁，装配焊接夹具中应用最广泛。可使零件在水平面或垂直面内固定</p>

名称	结构示意图	说明
可拆挡铁	<p>图 2-6 中 b)、c)、d)、e) 及</p>  <p>图 8-1 中 f) 及</p> 	<p>可拆挡铁。当固定挡铁使零件安装和拆卸都十分不便时，可使用螺栓固定的挡铁、销子固定的挡铁等可拆挡铁，以及铰接式可退出挡铁。挡铁零件可以是焊接的，也可以是铸造的。角形挡铁两面加工成 <math>90^\circ</math> 或其它角度。承受零件重力和焊接应力的挡铁应当加固。可按零件厚度考虑。挡铁与固定零件接触线长应大于零件厚度的一倍</p>
样板		<p>样板定位是利用被装件的轮廓进行定位，可以节省装配时间和提高装配精度，左图中所示分别为：</p>

续表 8-2

名称	结构示意图	说明
样板		<p>装配凸台用样板                      装配筋板用样板（两种）                      装配管接头用样板（两种）                      装配其他零件用样板</p>
定位销	<p>图 8-1 中 c) 及</p> 	<p>定位销定位常利用零件上机加工过的孔来进行。定位销和夹具可压紧配合，也可用螺栓固定。当装配和由夹具上卸下已装配好的部件时，定位销可作成可拆卸的</p>
V形铁		<p>V形铁有刚性的和可调的、敞开的和带有螺旋压紧器的</p>

## 2. 压夹器和推撑、拉紧夹具及装置

压夹器和推撑装置是装配焊接夹具最重要的部分，是大型、复杂夹具的基本组成部分。一些小型的通用装配焊接夹具或组件往往就是一个压紧器、撑圆器或拉紧器。其分类可见表 8-3。

表 8-3 压夹器和推撑装置分类

机械式的	螺旋压夹和推撑器 凸轮及偏心夹紧器 楔形和斜槽夹紧器 杠杆和肘关节夹紧器 弹力压紧器
磁力式	
机电传动式	机械电力传动压夹器和推撑装置
气压和液压式	真空夹紧器 气(液)压夹紧和撑圆器

常见机械式压夹器和推撑装置如图 8-3 所示。其中 a)~d) 为螺旋压夹器，e)~f) 为偏心凸轮夹紧器，g)~h) 为楔形和斜槽夹紧器，i)~k) 为杠杆和肘关节夹紧器，l)~m) 为弹力夹紧器。

### (1) 螺旋压夹器和推撑器

螺旋压夹器和推撑器是用得最多的一种压夹和推撑装置，具有通用性强、结构简单，制造方便，夹紧力大、使用可靠等优点。但螺旋压夹器行程小（每转一圈前进一个螺距）、动作缓慢、效率较低，故在单件小批量生产中应用较多。

由图 8-3 可见，螺旋压夹器由主体、螺杆、螺母等三部分组成。绝大多数靠旋转螺杆实现夹紧，少数情况靠旋转螺母实现压紧（图中 b、c）。

为了保护和压紧工件表面，防止工件在螺杆转动时被摩擦推动发生位移并均匀分布压紧力，在螺旋压紧器及其他一些类型压紧器上，采用了各种形式的压脚（抵靴）以与工件直接接触。压脚可分为定向式及摇动式（如可自调其角度）几种，如图 8-4 所示。图中 a) 为定向式（注意压脚处为左旋），b)、c)、d) 为摇动压脚，e) 为用摇动式压脚自调角度完成角铁零件的压紧，f) 用三点式压脚支撑压紧曲表面或不平表面。

螺旋压紧器动作慢行程小、效率低的缺点可通过下述方法加以调整。如采用活动轴销（图 8-5 a)、b)）只需将螺栓松两扣，尔后将压紧器主体转一角度，即可退出工作。压紧时也可快速动作。又如采用铰接（图 8-5 c)、d)），其中 c) 是转动筒形螺母实现夹紧工件的。再如采用垂直插入，如图 8-5 e)、f)），可以将螺栓很快推进，快挨上工件时，利用手把销（图 e)）或矩形销紧（图 f)），再用螺旋旋进压紧工件。图 8-5 g) 是利用夹具体旋转插入实现快速动作的，图 8-5 h) 是利用螺母外套筒实现快速夹紧动作的。螺母 2 可沿套筒 4 在垂直方向自由地移动，螺母内有四个纵向槽和五个环形槽，销钉 5 在螺母环形槽和套筒孔形槽之间，转动到使销钉进入纵向槽后，即可快速推进或退出压紧。

螺旋压紧器用途很多。用于装配工字梁、对齐对接钢板错边、装配压力容器人孔等，如图 8-6 a)、b)、c) 所示。

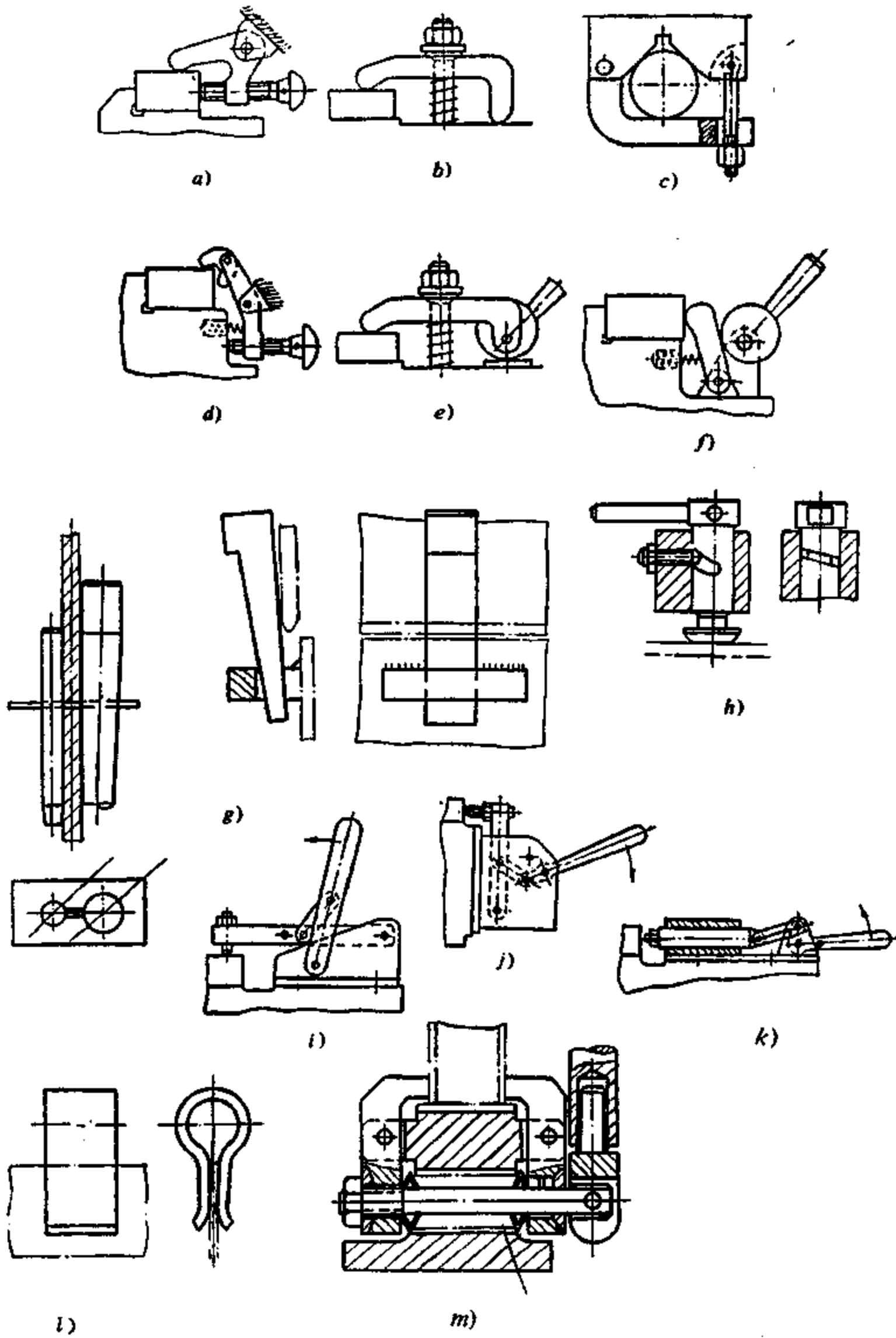


图 8-3 常见机械式压夹器

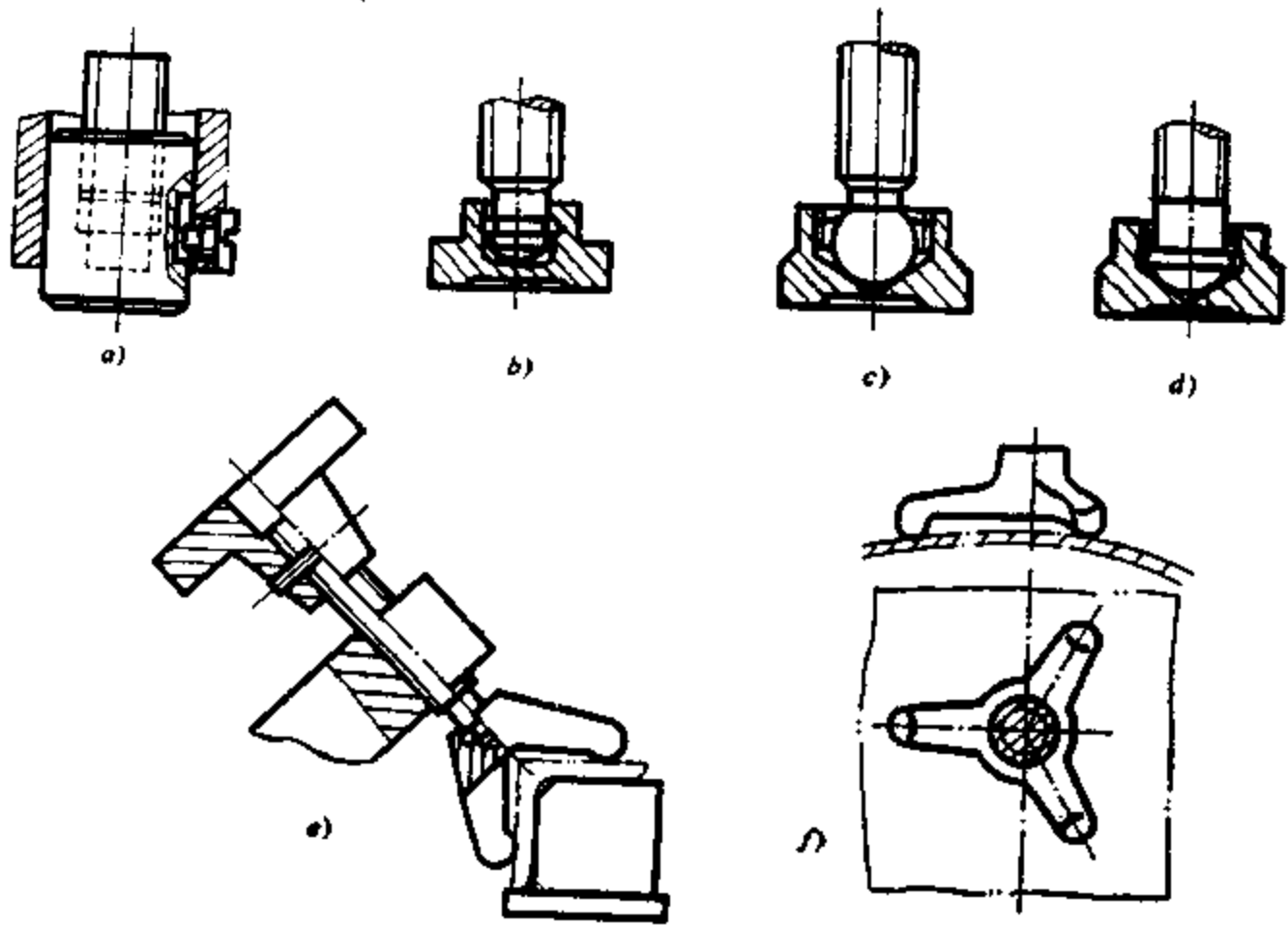


图 8-4 螺旋压脚器的压脚

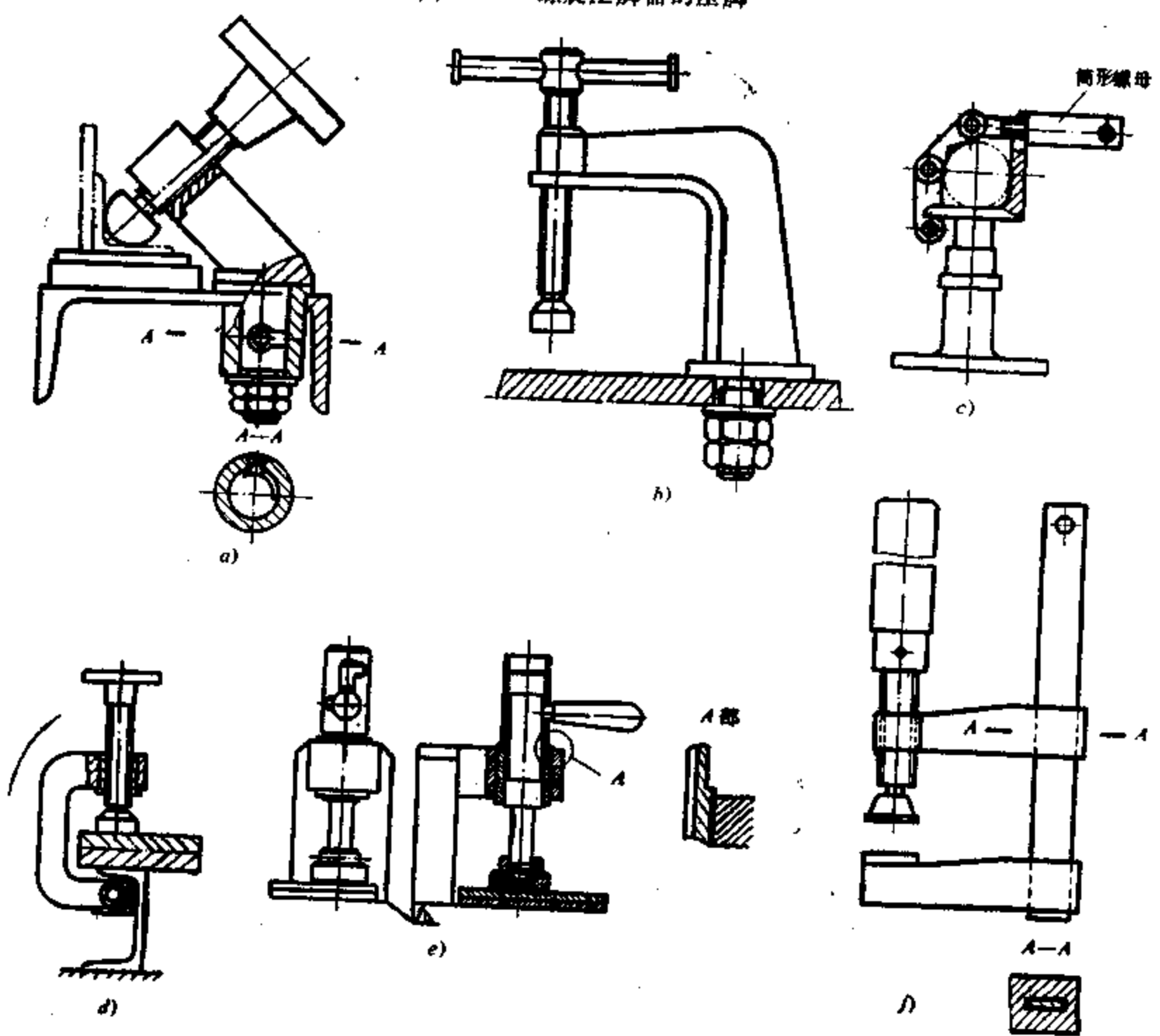


图 8-5 快速动作的螺旋压紧器



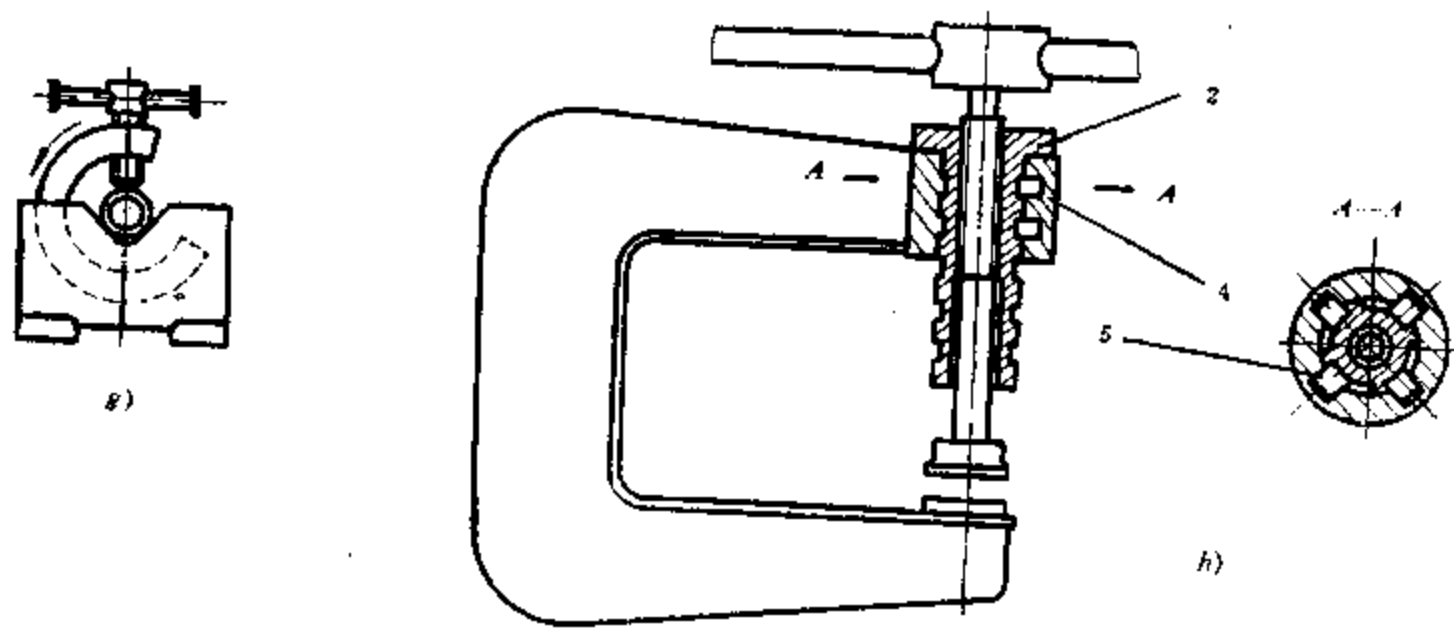


图 8-5 快速动作的螺旋压紧器

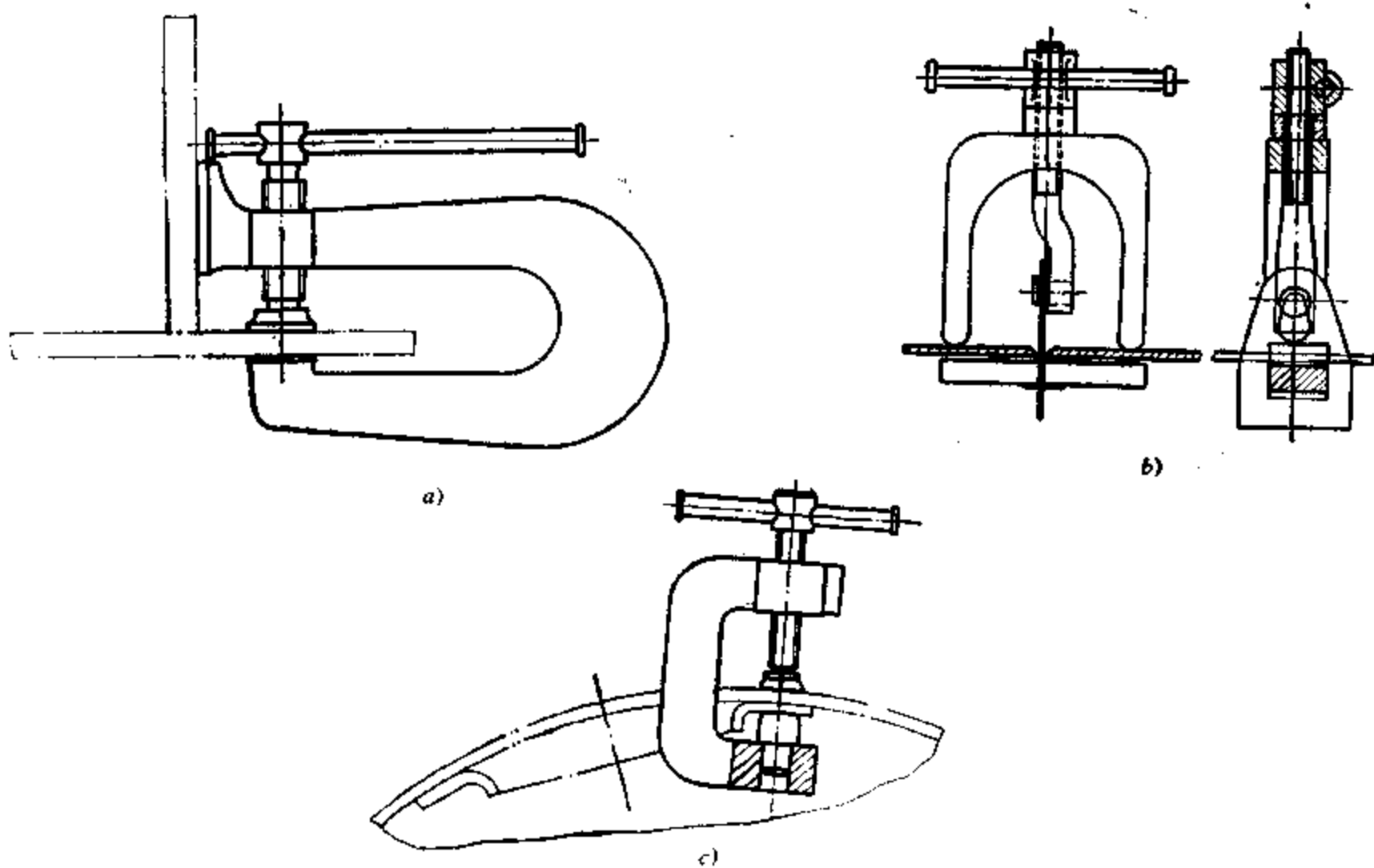


图 8-6 螺旋压紧器的应用举例

最简单的螺旋推撑器是螺旋千斤顶。在焊接生产中螺旋千斤顶应用很多，尤其是单件小批生产中更是如此，多作为支撑工件、矫正工件形状、进行装配和防止焊接变形。图 8-7 所示推撑器用于圆筒容器的装配。当利用左右旋两个螺杆的螺旋推撑器时动作可以快一倍。为了消除焊接圆筒节和圆筒形制品中的椭圆、凹陷以及其他类似的缺陷，可以采用带有几个径向配置螺旋千斤顶的环形推撑器。这种推撑器可以进行厚度在 15mm 以下圆筒壁的矫正。图 8-8 a) 所示的推撑器可用于两筒节对接处的装配，可以消除错边。当需要造成很大推力时，可以使用槽钢环所作的环形推撑器，该推撑器环的开口端与左右旋螺栓、螺母相连，(如图 8-8 b))。螺栓也可由棘轮推转，实行推撑。需要时可参阅资料[19]进行设计。

主要用于装焊作业中拉紧工件、矫正工件形状、防止焊接变形所使用的螺旋拉紧器示于

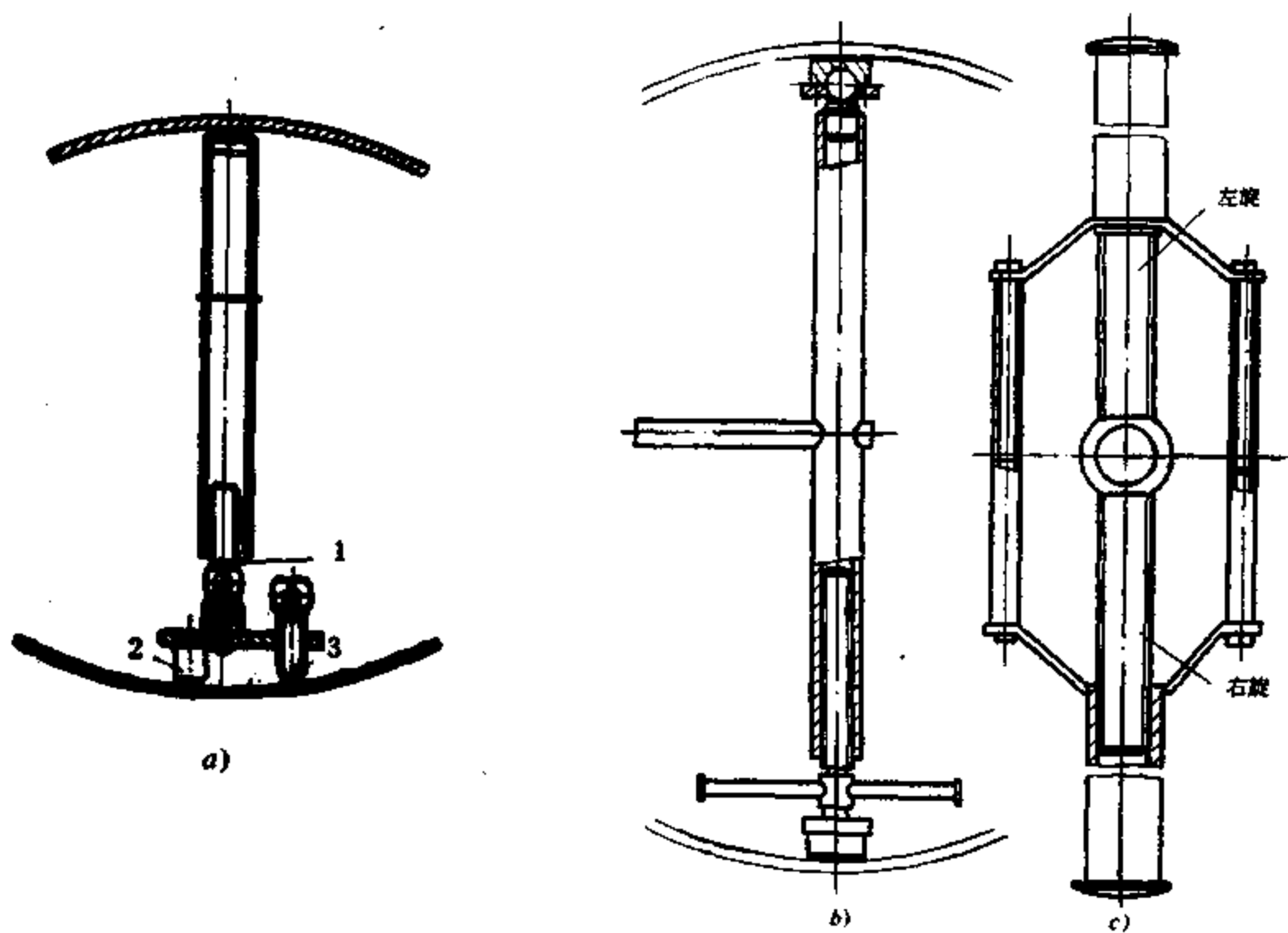


图 8-7 螺旋推撑器用于圆筒容器的装配

a) 装配圆筒纵缝; b) 矫形并消除纵缝对接错边; c) 左右旋螺旋推撑器。

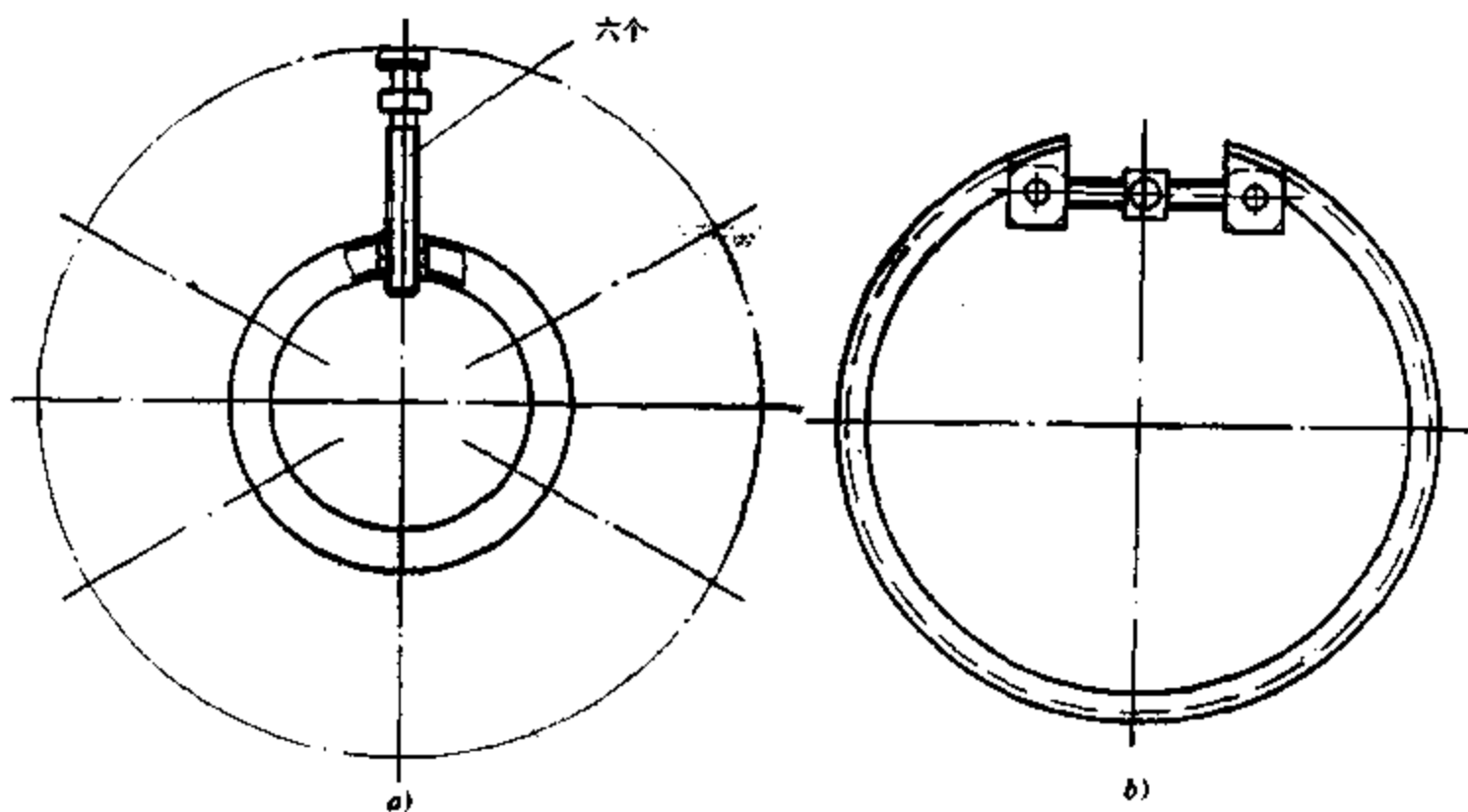


图 8-8 环形螺旋推撑器

图 8-9。其中 a) 所示为装配板件用最简单的拉紧器，两角钢与被装配板件用点定焊固定，穿螺栓于孔中，旋紧螺母使板件拉紧，接口间隙合适后点定焊，随后敲掉角钢。图中 b) 用于各种板形构件的拉紧，其尺寸系列如表 8-4 所示。图中 c) 用于装配筒节，它由多个螺旋所组成，可实现筒节间隙大小、错边的调整。图中 d) 类似于多个螺旋推撑器，但只能在筒端进行拉紧作业。

螺旋压夹器和推撑器是经常受力的构件，应当有足够的强度和刚度。一般情况下难以估

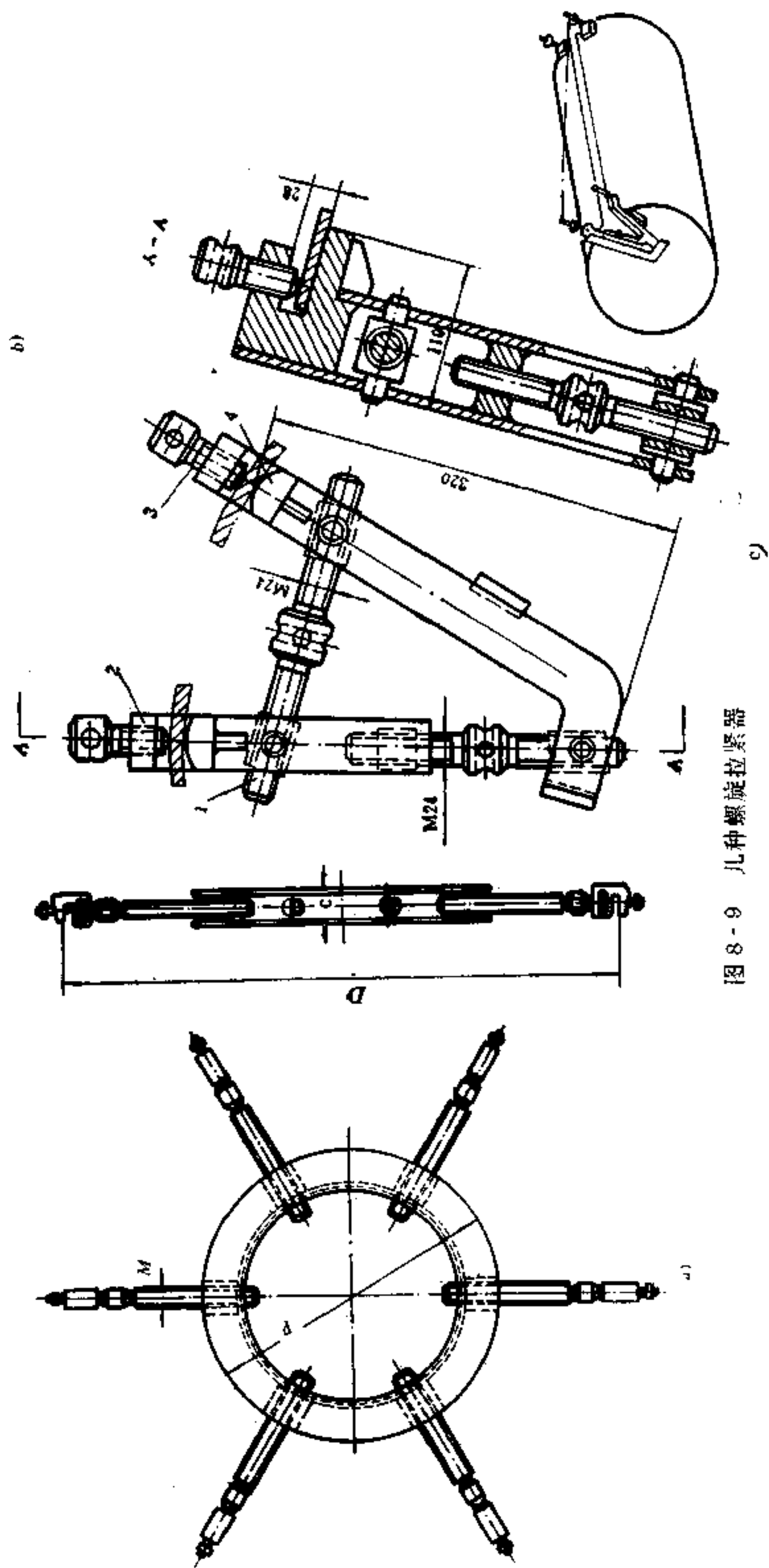
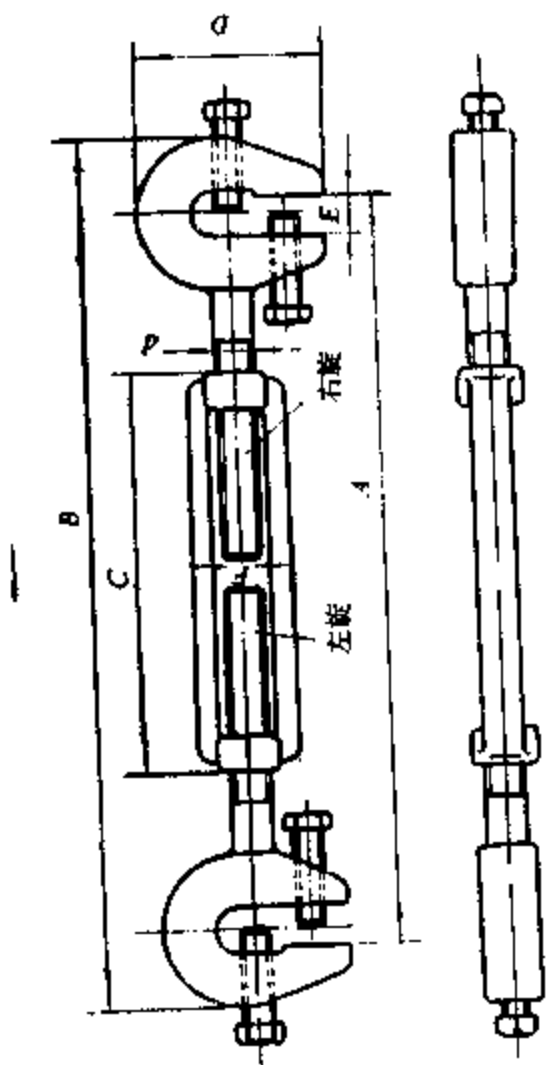


图 8-9 几种螺旋拉紧器

表 8-4 用于板形构件的螺旋拉紧器系列

拉紧器号	A	B	C	D	E	F	d	重量 (kg)
1	840~1080	758~1198	350	176	50	84	M36	20
2	640~850	730~946	300	148	35	72	M30	11
3	470~650	548~728	250	116	25	60	M24	5.5
4	310~480	358~528	200	78	20	42	M16	2.0

计夹紧（推撑）力，因此设计这类装置时通常是参考图册，选用标准件，尔后类推决定各部分尺寸。但对于已知或预先规定夹持力并且用于很重要场合时，则应该进行必要的计算。主要计算螺栓、螺母及本体，按强度进行设计，并且要保证自锁。可参阅有关资料进行[18、20]。

### (2) 凸轮及偏心夹紧器

在成批和大量生产情况下，需要夹具快速动作，在装配夹紧薄的、精度比较高的零件时，常采用凸轮及偏心夹紧器。这种夹具手柄转动一次就能迅速的夹紧所装配的构件，但行程不大，夹紧力、扩力及通用性不如螺旋压紧器。

凸轮及偏心夹具既可以垂直作用也可以水平作用，既可作压紧器也可作推撑器，如图 8-10 所示。图中 a) 为垂直压紧，b)，c) 为水平方向压紧，d) 为偏心拉紧。由图中可见偏心轮（凸轮）工作面不断和工件摩擦，为此偏心轮面应该进行处理，使其有高的耐磨性。此外为防止工件表面为偏心轮磨坏，可在偏心轮与工件之间加隔板。这种夹紧器示例如图 8-11。上述都是利用凸轮（偏心轮）的外表面压紧工件的，也可利用内表面实现压紧，如图 8-12 所示，该压紧器十分简单。

凸轮及偏心压紧器都作成自锁的，自锁条件如图 8-13 所示，即设压紧力反力为  $Q$ ，摩擦力  $F$ ，两力对凸轮回转中心取矩之和为零，故有

$$Qe = F \frac{D}{2} \quad (8-1)$$

因为  $F = Qf$  (8-2)

式中  $f$  —— 凸轮与工件之间摩擦系数，

$D, e$  —— 凸轮外径及偏心距。

于是得出

$$e = f \frac{D}{2} \quad (8-3)$$

对于钢—钢干燥表面， $f = 0.15$  则有

$$e \leq 0.075 D$$

如果考虑到偏心轮轴的摩擦力，则  $e \leq 0.05 D$  时也可保持平衡（自锁）。由于焊接件装配时表面粗糙，且无润滑油，故一般不会自生退程。当要求行程为 6~12mm 时，偏心距为 3~6 mm，偏心轮直径应为 40~80mm。

为克服凸轮偏心压紧器压紧力不大、行程小的缺点，可将其与杠杆—肘节压紧器结合，如图 8-14 所示。此处将凸轮作为压紧的杠杆，增大了压紧的动作行程。凸轮偏心压紧器利用杠杆扩力将在下面介绍。凸轮偏心压紧器也可以和螺旋压紧器相结合，如图 8-3 e) 所

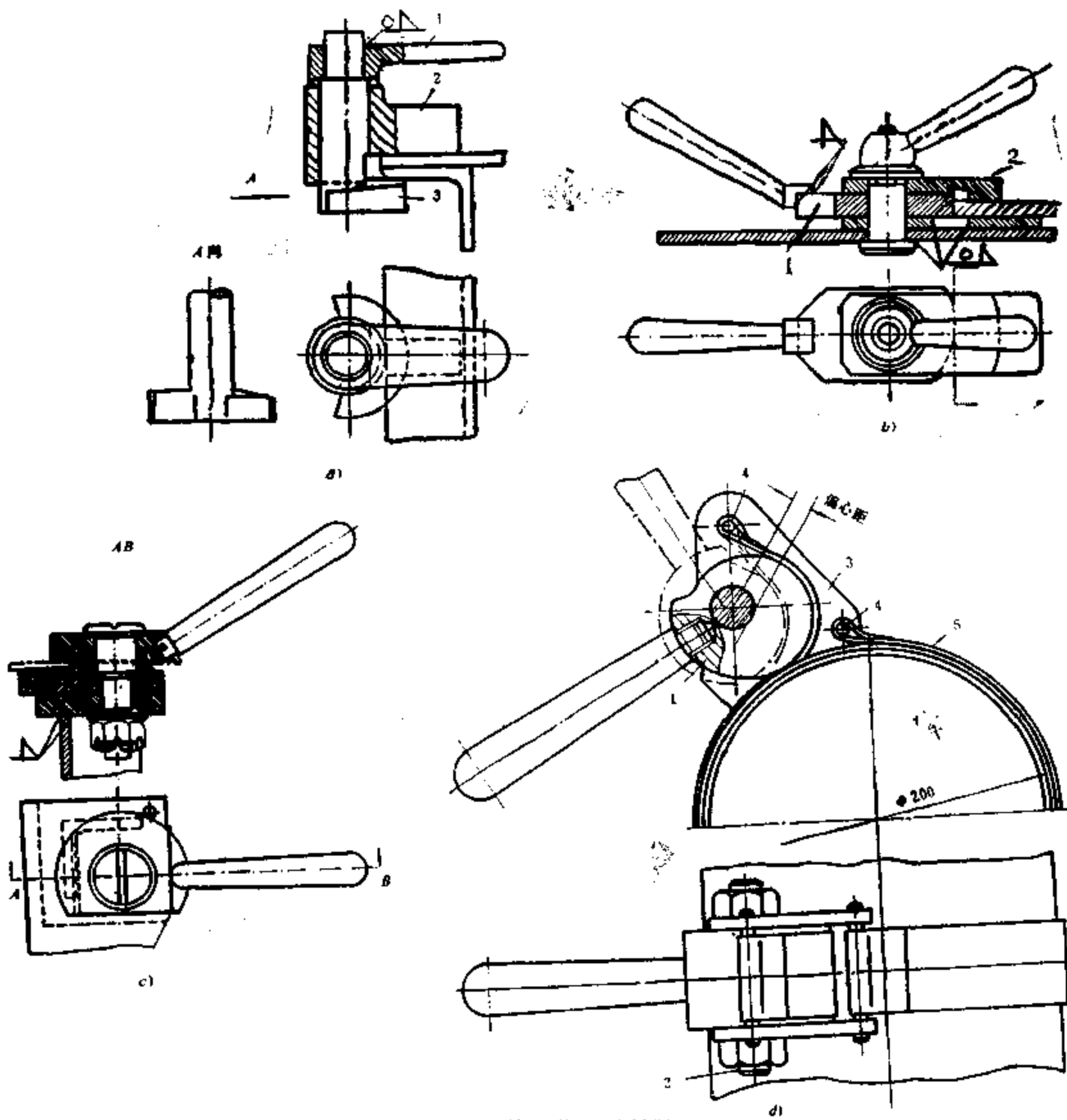


图 8-10 凸轮及偏心压紧器

120°

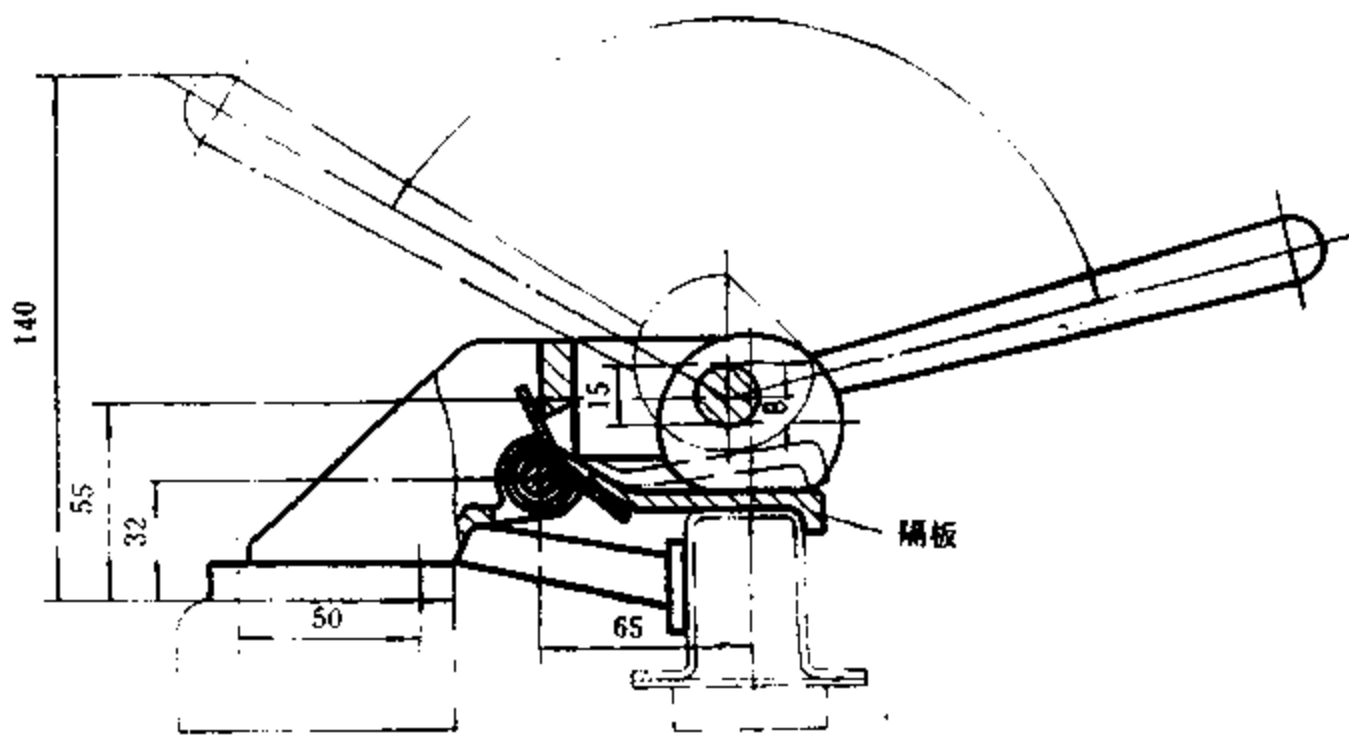


图 8-11 带隔板的凸轮压紧器

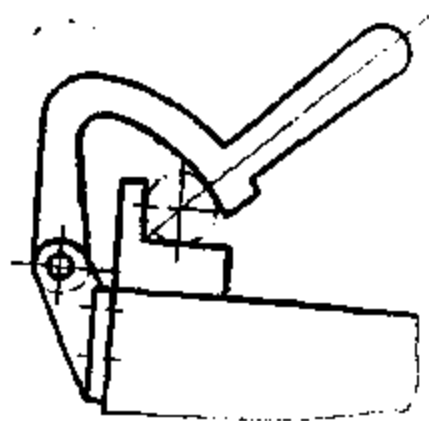


图 8-12 用偏心轮内表面压紧

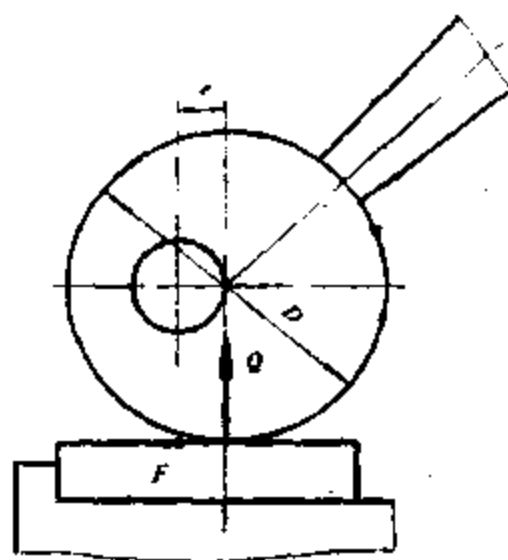


图 8-13 偏心装置自锁条件示意图

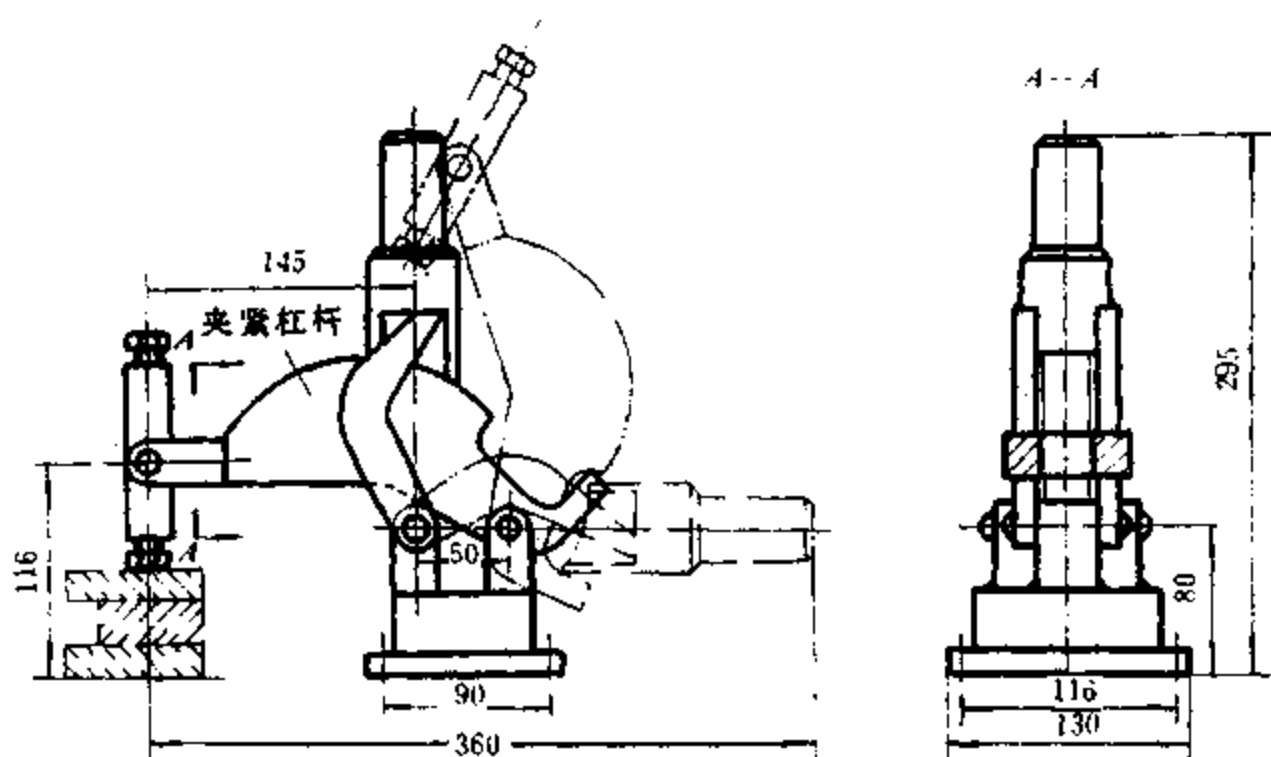


图 8-14 凸轮—杠杆压紧器

示。图 8-3 f) 是凸轮和杠杆压紧器结合，扩大压紧器行程的例子。

### (3) 楔形和斜槽压紧器

楔形和斜槽压紧器如图 8-3 g), h) 所示。g) 图所示的楔形压紧器制造容易，使用简单。在单件小批生产时，供手工装配用得比较普遍。从本质上讲，楔形压紧器和凸轮压紧器一样，都是利用斜面原理实现压紧（推紧）的。楔形压紧器和斜槽压紧器的区别在于夹紧力、行程及动作快慢不同。前者行程小，压紧力大；后者行程大，进退快，是一种快速的压紧器，用于压紧力不大的场合。

这类压紧器应设计得能够自锁，不至于松滑退出。由摩擦力和斜面与水平面夹角决定自锁条件。对于钢质的压紧器，已知摩擦系数，其斜面夹角应不大于 6 度。

斜槽压紧器也可以和其他类型压紧器配合使用。图 8-15 所示，是用螺旋压紧器推动楔子，实现压紧的，只要螺纹是自锁的，它就不会松滑退出。图 8-16 所示为柱簧压紧器，其柱簧是推动楔形槽实现压紧的。许多气压和液压夹紧器也是通过楔来传力的。

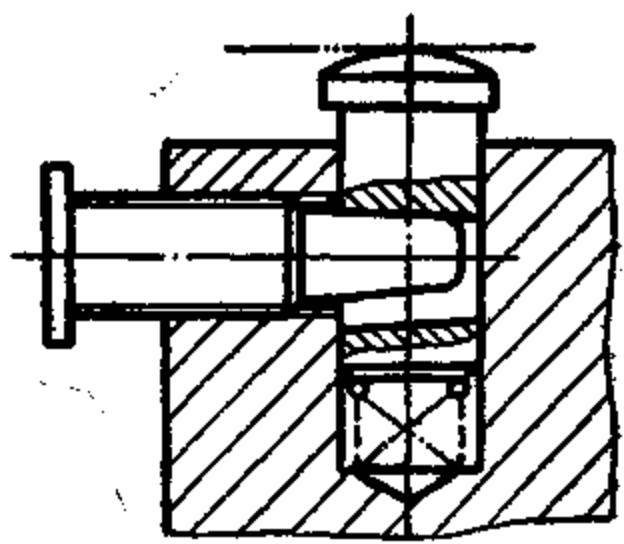


图 8-15 螺旋斜槽压紧器

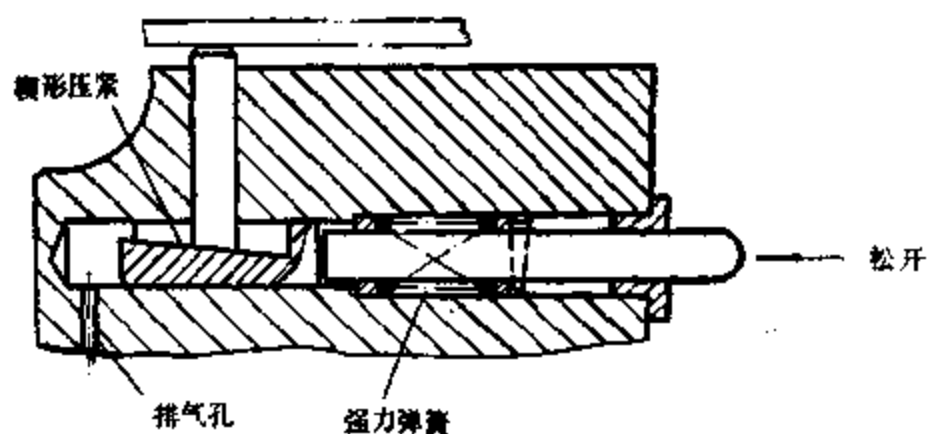


图 8-16 弹力压紧器示例

#### (4) 杠杆和肘节压紧器

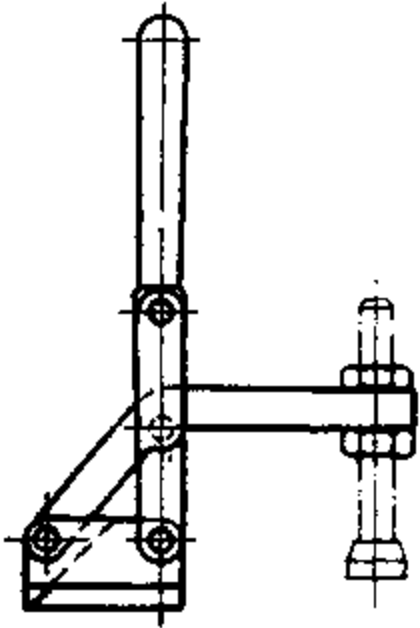
图 8-3 i, j, k) 所示压紧器特点是动作快速, 结构形式多样, 通用性强, 使用方便, 常用来夹紧或压紧薄的工件, 如装置在汽车生产装配焊接作业线上。图 8-3 中所示为常见的几种形式, 它们都在开启位置。从多种多样的杠杆和肘节压紧器中, 列举若干种具有特色的例子列于表 8-5 中。

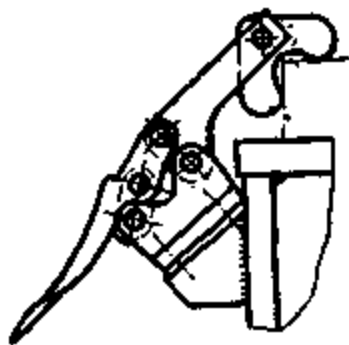
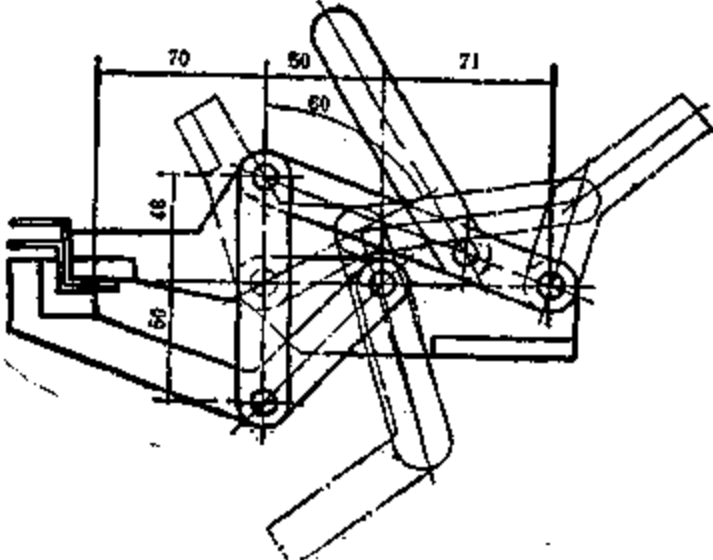
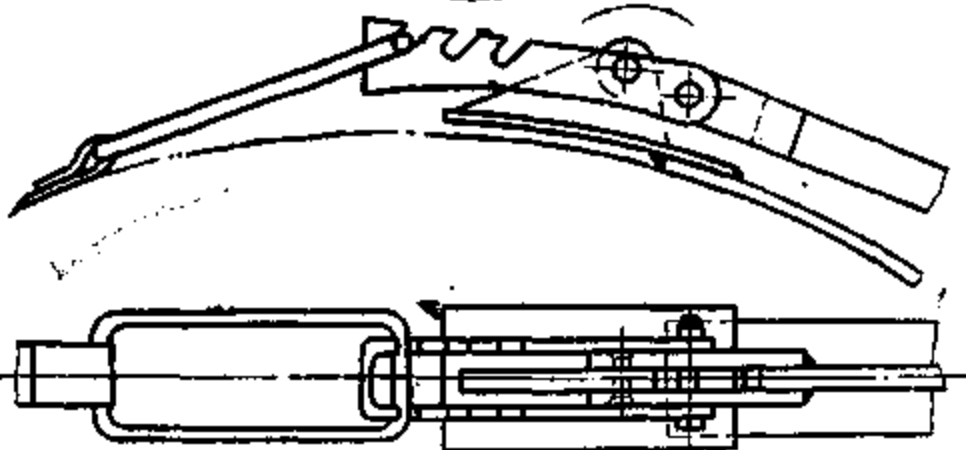
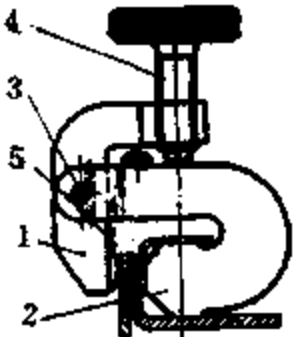
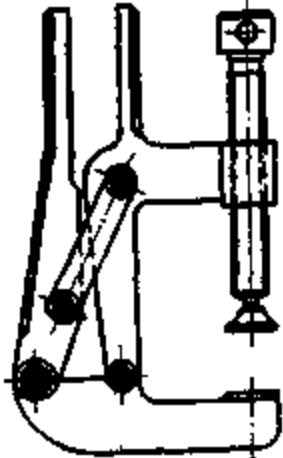
#### (5) 弹力压紧器

一般情况下, 直接将弹簧力转换成夹紧力的夹具元件, 即弹力压紧器, 弹簧原始力即为夹紧力, 有时则加以扩力。常用弹簧为圆柱螺旋弹簧, 若要压紧力很大, 轴向尺寸较小时, 则采用碟簧。

图 8-3 所示为, 几种代表性的弹力夹紧器。其中 l) 是最简单的只能卡紧薄板的弹力卡紧器。图 8-16 为利用楔形槽的斜面来扩力的弹力压紧器, 推进顶杆, 实现工件的松卡。图 8-3 m) 是利用碟形簧直接夹紧工件, 搬动手柄, 利用凸轮压紧碟簧, 以便松开工件。

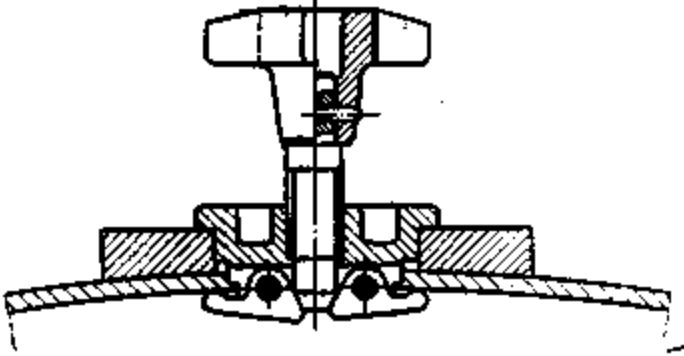
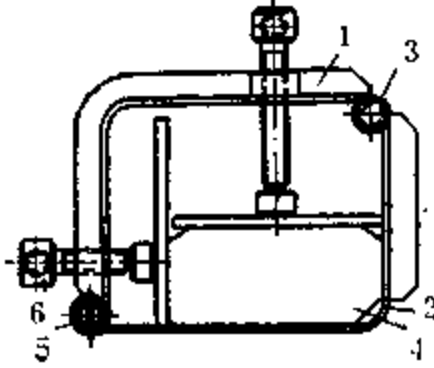
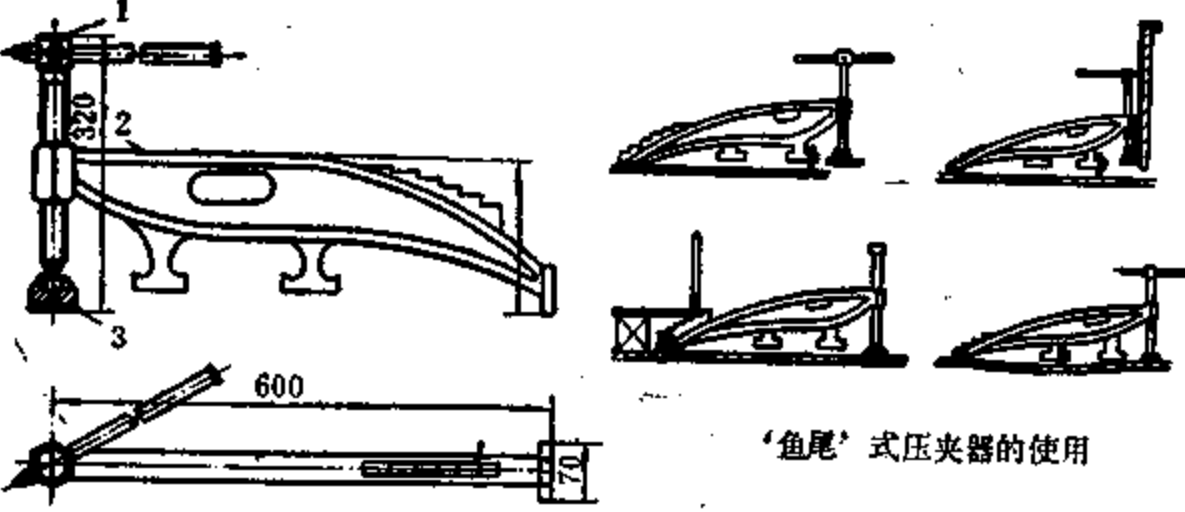
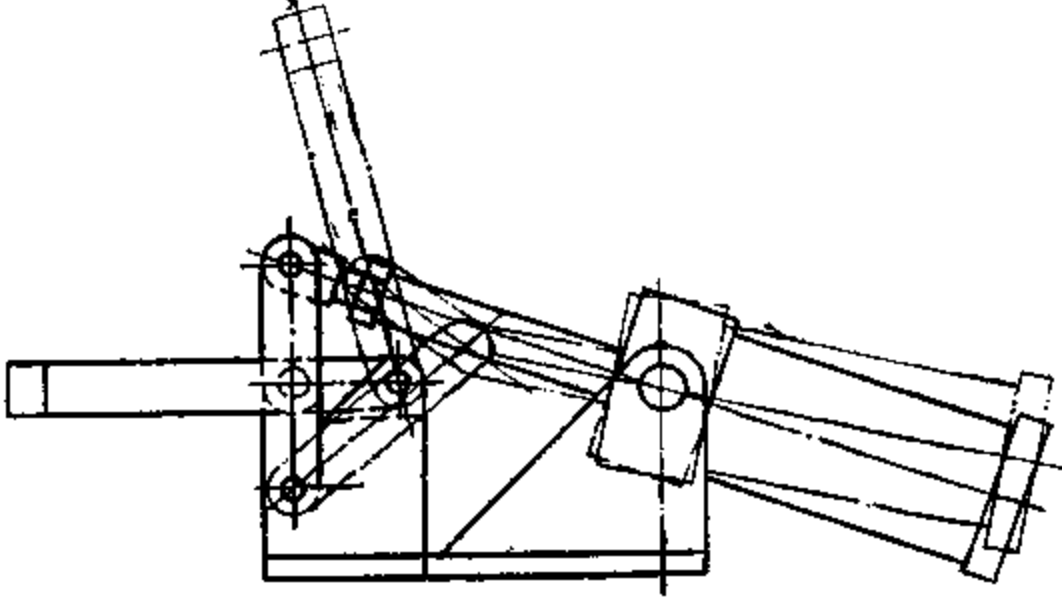
表 8-5 几种肘节、杠杆压(夹)紧器

杠杆、肘节压紧器示意图	说 明
<p data-bbox="485 1861 689 1899">图 8-3 i) 及</p>  <p>The diagram shows a lever mechanism with a vertical rod on the left, a horizontal connecting rod in the middle, and a clamping arm on the right. The clamping arm has a threaded end with a nut and washer. The vertical rod is pivoted at the bottom and has a stop at the top.</p>	<p data-bbox="1347 1875 1740 2266">这类杠杆压紧器用得最多, 其压紧间隙可利用螺旋(栓)调节。图示位置处于机构的死点, 实现了自锁。但振动时可能自行打开</p>

<p>杠杆、肘节压紧器示意图</p>	<p>说 明</p>
<p>图 8-3 j) 及</p> 	<p>为了防止压紧力过大将工件(薄板件)压坏或夹具本身损坏,应使其中一段杠杆具有一定的弹性或减小刚度。为保证自锁,夹紧器安装时,应使手柄处于自重作用下有进一步夹紧趋势的位置上 图 8-3 j) 中的销钉防止过死点,自重又保证不会松脱</p>
	<p>该夹具可以同时带动两夹头动作,实现双向夹紧</p>
	<p>作成拉紧器,装配圆筒用</p>
	<p>和螺旋压紧器组成杠杆螺旋压紧器,此夹紧器销钉连接了杠杆 1 和 2, 2 作定位元件, 1 为压紧体,由螺钉旋转实现压紧,弹簧 5 为退出夹紧用</p>
	<p>图中示出快速作用的可移动夹紧器</p>



续表 8-5

<p>杠杆、肘节压紧器示意图</p>	<p>说 明</p>
	<p>该杠杆螺旋夹紧器用来装配法兰</p>
	<p>用于装配T形梁的杠杆螺旋压紧器, 其中5是可拆卸的销轴, 腹板的位置由挡铁和螺旋加以固定</p>
	<p>具有多种用途的鱼尾式杠杆螺旋压紧器结构及使用示例</p>
	<p>杠杆肘节压紧器还可和其它压紧器(如斜槽)相配合。大量地组成气动(液压)杠杆压紧器, 图中示出最简单的一种, 其它多种形式可见气动(压液)压紧器</p>

(6) 磁力压紧器

为借助磁力压紧工件而设计了磁力压紧器。它分为永磁和电磁压紧器两种。用永久磁铁制作的永磁压紧器适合于压紧力不大, 不受冲击, 电源不便的场合。使用时间久了永久磁铁的磁力会下降, 受到多次冲击后则磁力加快消失。常用铝—镍—钴铁合金。铝—镍合金制造的永

久磁铁吸力约为  $0.67\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，价格较贵。目前市售一种锶钙铁氧体磁性材料制作的永久磁铁，吸力较大，可达  $3.015\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，而且成本低廉，结构简单，各项指标都已达到或超过世界先进水平，已用作全位置焊时固定空间位置焊机轨道，压紧无损探伤照像底片及用于装焊夹具。

在夹紧力要求较大的场合，多采用电磁压紧器。如图 8-17 所示为苏联设计的一种电磁铁<sup>[20]</sup>，直径165mm，高170mm，自重12kg，计算吸力 7840N (800kgf)，使用55V直流电源，工作电流1.5A，功率为82.5W。该电磁铁可由直流焊机供电。电磁铁安放在所需位置后，通过倒顺开关接通电源，电磁铁进入工作状态。

电磁铁用作压紧器示于 b)，依次为：对齐错牙后代替点定焊；矫正工件变形（与螺旋压紧器相配合）；与鱼尾式压紧器配合用于装配；对齐角铁间隙；压紧临时人孔盖；与鱼尾式压紧器配合装配立板。

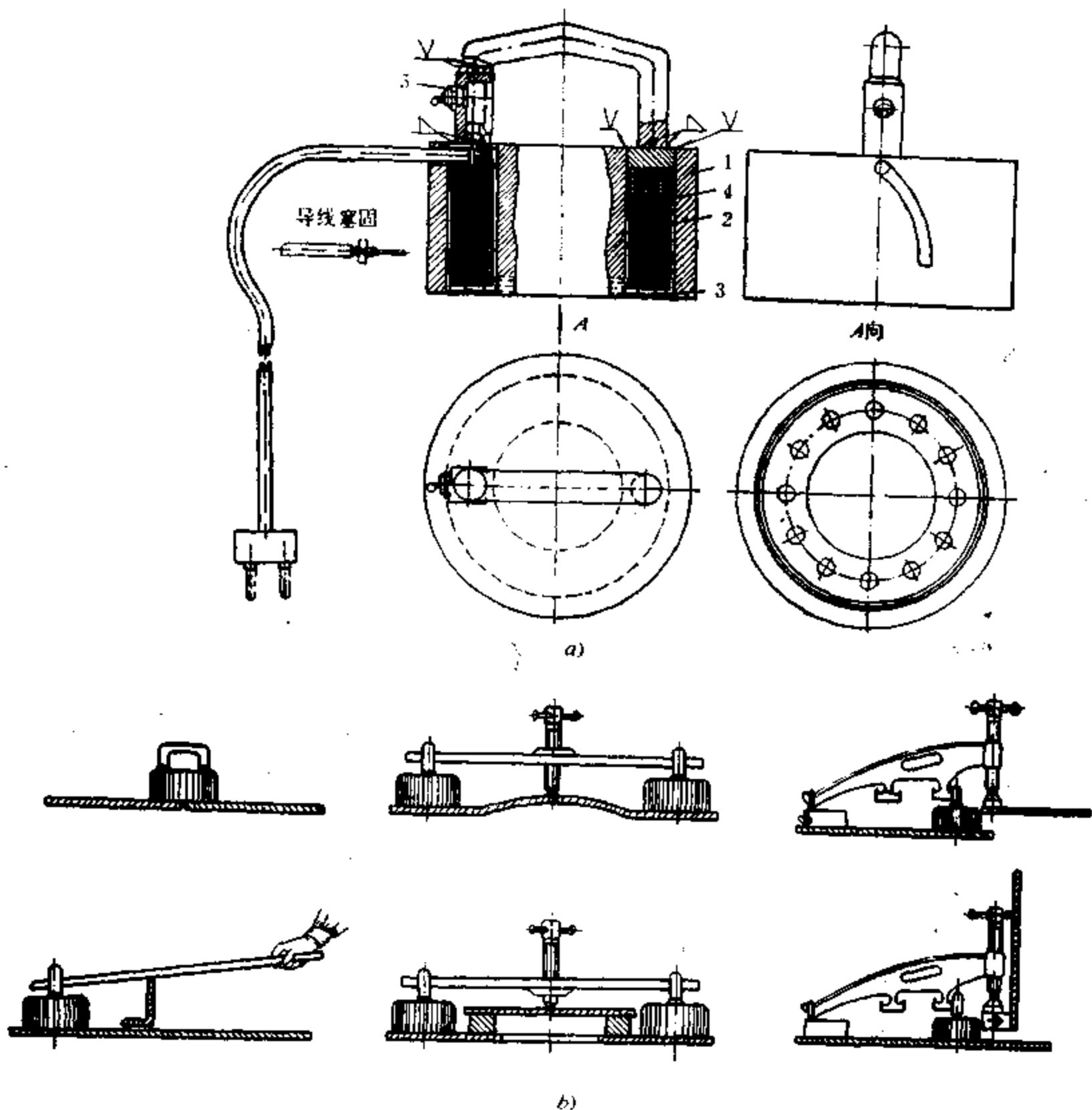


图 8-17 电磁压紧器

a) 电磁铁结构； b) 电磁铁作压紧器的用法。

焊接生产中经常使用的电磁装配焊接平台是多个电磁压紧（拉紧）器的组合。

各种磁力压紧器都只适用于铁磁材料即普通碳钢和合金钢，不适用于不锈钢、铝、铜等有色合金焊接。

#### (7) 机电传动压（夹）紧器

这是一种与弹力、磁力压紧器一样本身带动力的装置，以电机为动力。与气液压压紧器比较有以下优点：

压紧和退出工件作用时间短；

成本较低，因不需建空压站（或液压源）及建立管网系统、不需要集中的管理调节系统。

压紧元件都有可靠的制动装置，工作时安全可靠，特别是工件紧固在回转的焊接（装配）变位机械中时；

压紧后不消耗能量；

外形尺寸比较小，因而减少材料消耗和降低装置的成本；

工作时没有噪音；

安装容易、比较耐用。

机电传动压（夹）紧器通常由电机、连轴节（往往采用弹性连轴节）、减速器、螺旋（蜗轮）付和压（夹）紧、拉紧装置等所组成。

图 8-18 是两种机电传动压紧器传动结构示意图。图 8-18 a) 是利用杠杆或压板 1 压紧工件的，压板能绕轴回转和送进。马达启动后，通过齿轮减速器，传给蜗轮付 4。蜗轮带动齿形离合器 6 旋转，它使带内螺纹的螺母 7 转动，从而使压板 1 绕轴转动压紧工件，压紧达到要求后，终点开关 3 断开，马达停转。压板的送进和退出由齿轮齿条付 2 来实现。

图 8-18 b) 是为了将工件固定在焊接操作机上的机电传动压紧器的传动示意图。马达传力给两级齿轮付，再传力给蜗轮付，其蜗轮有传力的内螺纹，它的旋转将力传给有螺纹的联结杆 5，联结杆的上部装置了弹簧 7，由它将力传给曲柄连杆机构，使压头 2 压紧工件

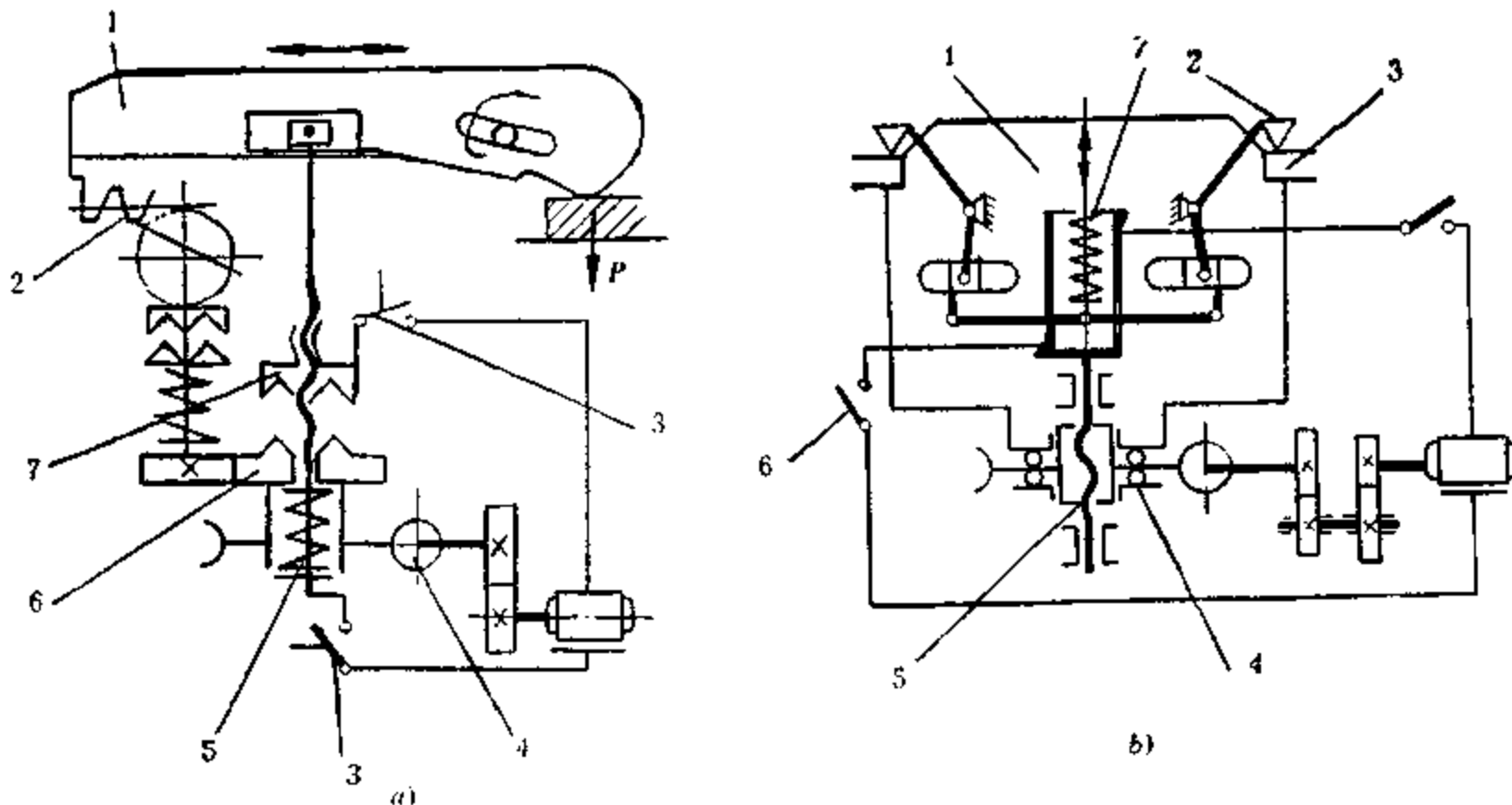


图 8-18 机电传动压紧器示意图

3, 工件 3 以支承表面中心的孔 1 来定心。实现压紧后, 断开终点开关 6, 电机停止。为提高效率并防止楔住联结杆 5, 在蜗轮盘表面和减速器壳之间装置了滚珠 4。

#### (8) 气压(动)夹紧器

以压缩空气作为动力源各类压(夹)紧器, 包括气体供应系统(如管道、各种阀等)、压缩空气作动头(如气缸、气马达)、压(夹)紧机构(如直接作用的有抵靴等, 大多数通过杠杆、杠杆和楔、斜槽等和气动压紧器配合)等几部分所组成。气动夹紧器的特点有, ①作用快速。液压夹具的油液在管道中流速为 $2.5\sim 4.5\text{m/s}$ , 而压缩空气可达 $180\text{m/s}$ , 故而动作快, 一般作用时间为 $0.5\sim 1.2\text{s}$ (视气缸大小, 行程长短而改变)。②在具有自动制动环节条件下, 压紧力比较稳定, 温度变化对其影响不大(而液压装置的油温变化时压紧力变化)。③和普通手动夹具比较大大减轻了劳动量, 因为只需搬动气阀而无需手动施加夹紧力。④夹(压)紧力可以调节, 可集中管理, 易于实现自动控制等。在采用顺序控制器、单板或微型计算机控制后, 可以制成自动机、机械手或机器人等, 很适合成批大量生产, 在生产线上使用。缺点是因速度快, 有时造成冲击, 故要采用缓冲机构; 管道压力通常为 $4\sim 6\text{kgf/cm}^2$ ( $0.39\sim 0.59\text{MPa}$ ), 因而压力不够高, 当设计产生大压力夹具时, 气缸体积需要很大。

压缩空气作动头是将压缩空气的能变为夹具的直线运动或回转动作。最常用的是气缸, 气缸按压缩空气作用在活塞端面上的方向, 分为单向气缸(回程靠自重或弹簧)和双向气缸(工作过程和回程都靠压缩空气), 如图 8-19 所示。气缸按安装形式分固定式气缸(耳座式, 凸缘式和直接固定式)和摆动式气缸, 一般设计手册上都有介绍。按气缸结构特征分为活塞式, 如图 8-19, 是用得最多的; 气压室式(薄膜式), 用橡皮膜板代替气缸的活塞, 见图 8-20 a)。所以也是单向的, 其结构十分简单, 由于利用膜板代替活塞, 消除了空气泄漏及其所引起的一些后果, 生产中的维护也大为简化。膜板通常用夹纤维橡胶制成, 寿命可达 100 万次以上。这种相对体积小巧而可获得大的夹紧力的作动头缺点是行程较小; 摆动式的, 利用刮片在圆形气缸中的摆动, 完成夹紧动作, 如图 8-20 b) 所示。这种气缸要解决好密封问题, 目前用得不多。

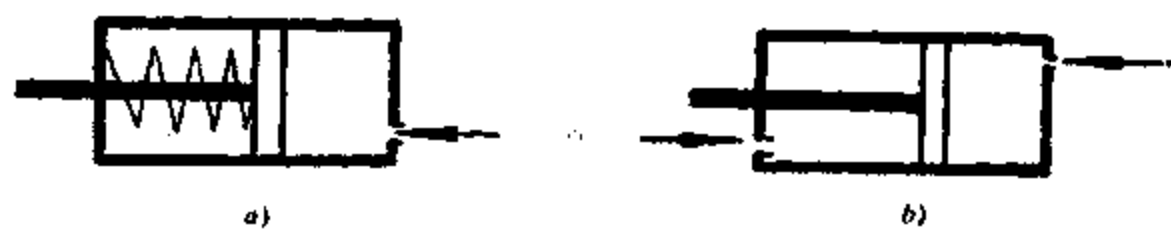


图 8-19 单向 (a) 和双向 (b) 气缸示意图

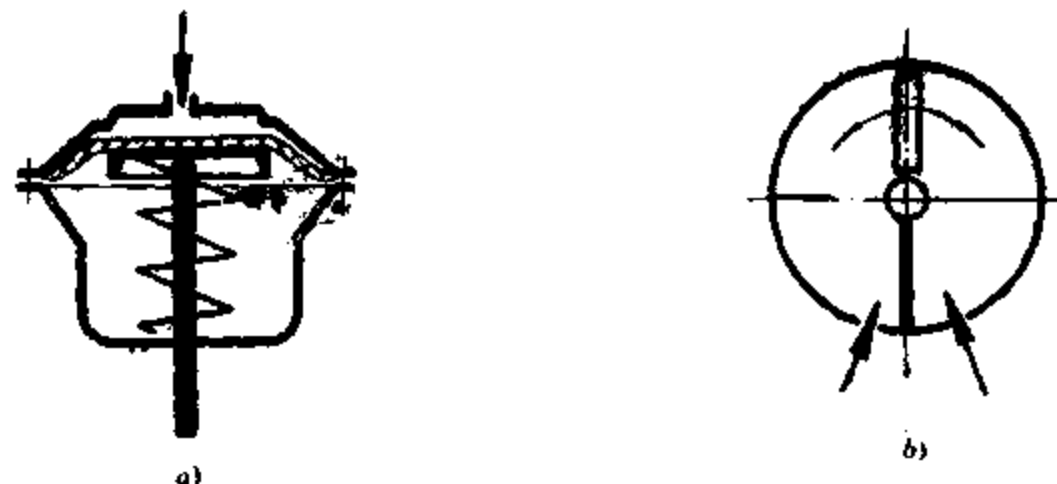
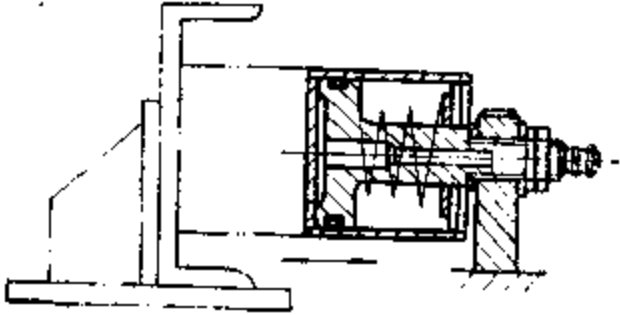
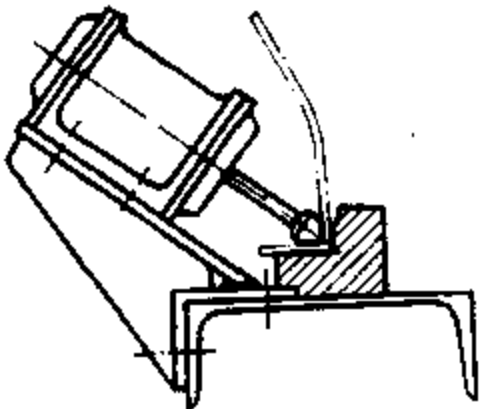
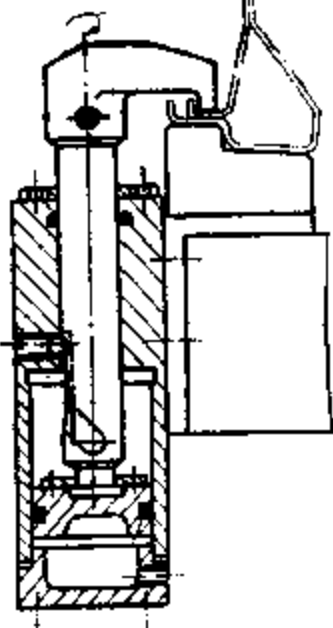


图 8-20 气压室式 (a) 和摆动式 (b) 气缸示意图

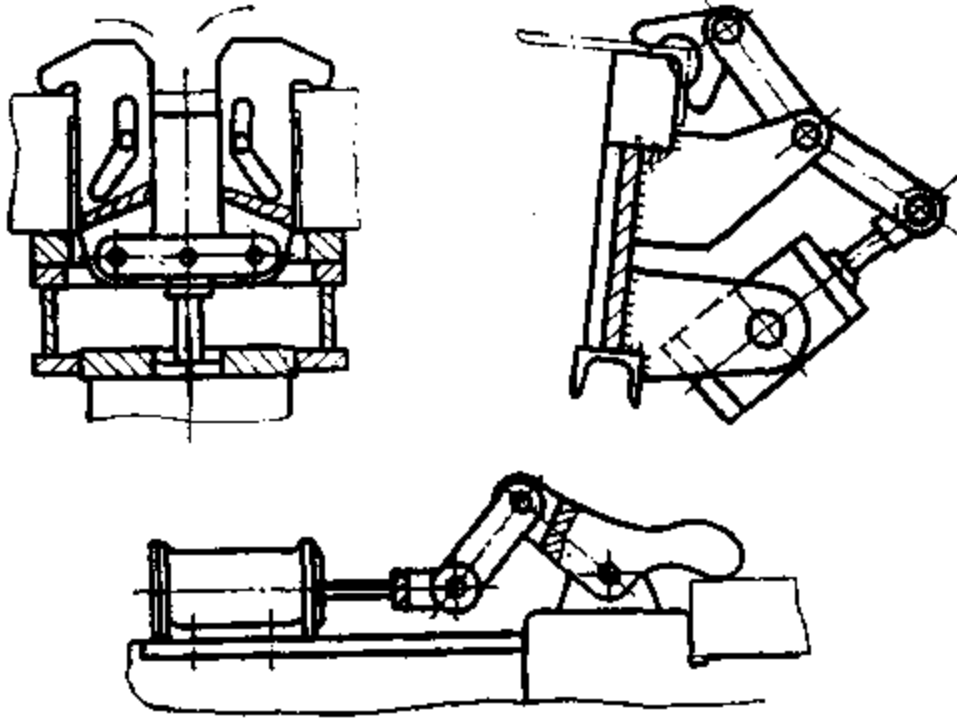
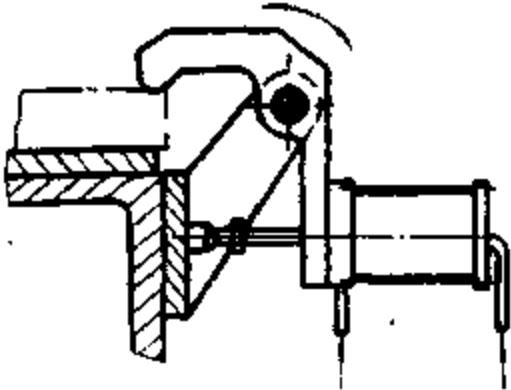
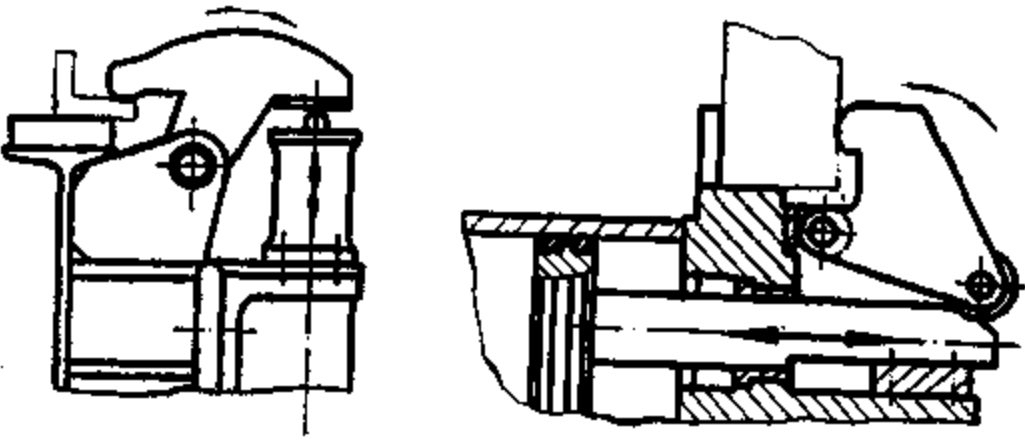
选择何种形式的气动压紧器，包括何种气缸、执行机构和压缩空气的供给方式等，要根据产品结构条件，生产规模等来决定。有时直接使用气缸夹紧，但更多通过杠杆、楔或凸轮等执行机构将力改变（方向或大小）后夹（压）紧工件，各类气缸压紧器示例于表 8-6。表中还给出了由于夹具回转，压缩空气需要通过压紧器回转轴颈引入的结构。除一般气动压紧器外，气动夹具还可以设计成矫正焊接变形的调直机械、进行反变形的机械，以及矫圆和撑圆的机械等。

进行气动夹具的设计还包括气体供应系统，如管道、油水分离器、截门、滤气器、减压阀、油雾器及配气阀等。压缩空气输送管路已经标准化了。

表 8-6 各类气缸压紧器的典型示例

各类气缸压紧器简图	说 明
	<p>气缸体直接作用压紧工件。活塞固定、缸体活动</p>
	<p>气缸体直接作用压紧工件。气缸固定、活塞动作</p>
	<p>活塞带动钩形压头压紧工件、上部通气、钩形压头转动、加压，下部通气开启、复位</p>

续表 8-6

各类气缸压紧器简图	说 明
	<p>与表 8-5 中四图结构类似，利用油缸推力加上杠杆扩力从而压紧工件，图中都是气缸的活塞杆出力</p>
	<p>同上类似，但是气缸缸体出力</p>
	<p>气缸压紧器靠自重复位，故气缸可以是单向的，也可以是双向的</p>

各类气缸压紧器简图	说 明
	<p>利用气缸活塞杆收缩进气缸后压紧工件，可避免焊接飞溅损坏活塞杆光洁度</p>
	<p>经楔扩力后的压紧器。当楔自锁压紧工件后，不会因压力波动，焊接变形等原因使工件松脱，形成所谓自动制动环节</p>
	<p>图示为压缩空气引入回转夹具的回转轴颈，类似的还有将压缩空气引入回转式气缸的导气接头，可见一般设计手册</p>

气缸结构大都已经标准化。大量使用气动压紧器、气动工夹具的工厂，如汽车制造厂，气缸结构都已列为厂标。故略去典型气缸结构图。表 8-7 列出引自手册的气缸的基本参数和尺寸。气缸多用铸铁（如HT15-33）、A3钢、Al合金、45号钢和无缝钢管制造，活塞与缸体之间的密封主要有V形截面密封环或两皮碗（老式的），以及“O”形密封圈。过去“O”形圈密封只限于小直径气缸，现已能可靠用于大直径气缸（如200~300mm直径），特点是简单、摩擦阻力小。而V形截面（和皮碗）密封结构随压缩空气压力增加，摩擦阻力也增加。但对精度要求较低、润滑稍差、环境尘埃较多、及行程较大的场合，可采用V形截面密封结构。

活塞杆一般采用45号钢或40Cr钢制造。

表 8-7 气缸的基本参数和尺寸

气缸直径 D (mm)	活塞杆直径 d (mm)	供气孔直径 do (in)	气缸固定方式				工作面积		无负荷起 动压力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	工作压力 (kgf/cm <sup>2</sup> )						
			直接固定式		耳座式		无活塞杆端 (cm <sup>2</sup> )	有活塞杆端 (cm <sup>2</sup> )		1	2	3	4	5	6	
			I	II	I	II										
			气缸与活塞密封形式				行程			活塞推力/活塞拉力 (不计效率) (kgf)						
50	16	1/4	400	200			19.6	17.6	0.3	20/18	39/35	59/53	78/70	98/88	118/106	
60	16	1/4	400	200			28.3	26.3	0.3	28/26	57/53	80/79	113/105	141/131	170/158	
75	20	3/8	500	200			44.2	41.1	0.3	44/41	88/82	133/123	177/164	221/205	265/247	
100	25	3/8	500	200	200	300	200	78.5	73.6	0.2	78/74	157/147	235/221	314/294	392/368	471/412
125	30	1/2	700	200	300	500	200	122.7	115.6	0.2	123/116	245/231	368/347	491/462	613/578	736/694
150	30	1/2	700	200	300	500	200	176.7	169.6	0.2	177/170	353/339	530/509	707/678	883/848	1060/1018
200	40	3/4	1000	200	500	200	600	314.2	301.6	0.2	314/302	628/603	943/905	1257/1206	1571/1508	1885/1810
250	50	3/4	1400	500		600	490.9	471.3	0.2	491/471	982/943	1473/1414	1964/1885	2454/2356	2945/2828	
300	55	1	1400	500		600	706.9	683.1	0.2	707/683	1414/1316	2121/2049	2828/2732	3534/3115	4241/4099	

注 1. 本资料取自设计手册;

2. 直接固定指直接用螺钉固定在气缸端盖上;

3. 密封形式 I 指用两个“V”形密封环 (或两皮碗) 的密封结构, 其寿命长, 推荐用于行程大于100mm以上的气缸; II 指一个“O”形密封环的结构, 尺寸小, 推荐用于充分润滑, 周围较清洁的场所。



表中活塞推力和拉力是根据以下公式计算的：

$$P = p_0 \frac{\pi}{4} D^2 \quad (\text{推力}) \quad (8-4)$$

$$P = p_0 \frac{\pi}{4} (D^2 - D_1^2) \quad (\text{拉力}) \quad (8-5)$$

式中  $D$ ——气缸直径；  
 $D_1$ ——活塞杆直径；  
 $p_0$ ——进入气缸的空气压力。

对于单作用（向）气缸，利用弹簧复位的（如表 8-6 图一），则需减去弹簧的抗力。

$$P = p_0 \frac{\pi}{4} D^2 - p_1 \quad (8-6)$$

式中  $p_1$ ——是弹簧压紧后的抗力。

所得力应乘以效率，才能获得真实的推拉力，一般效率可取 0.85。

当自行设计气动夹具时，采用市售气缸将加快夹具的设计和制造工作。表 8-8 是摘自烟台气动元件厂三种系列气缸说明书的气缸的基本技术参数。其中 QGB I 和 QGN 系列的设计参数、安装形式和安装尺寸均采用了 ISO 国际标准；而 QGA I 系列为短型，结构简单，轴向尺寸短。QGB I 系列和后两者还有一点不同，就是它带有缓冲，防止气动夹具的冲击作用。三种气缸都有六种安装形式：前法兰、后法兰、尾部单耳、尾部双耳、脚架式和中间摆动式，如图 8-21 所示。由于理论推拉力未考虑效率，故选择时要按需要推（拉）力增大 15% 选择缸径。

压紧器气缸从通气到压紧的时间  $t$  与行程大小、缸径、压缩空气流动速度、管道直径大小有关，可用下式表示：

$$t = \frac{DL}{d^2v} \quad (8-7)$$

式中  $D$ ——气缸直径；  
 $L$ ——活塞杆行程；  
 $d$ ——压缩空气管道直径；  
 $v$ ——压缩空气流速，通常取 1500~2500cm/s。

表 8-8 三种系列气缸基本技术参数

气缸 内径	工作压力 MPa(kgf/cm <sup>2</sup> )	工作 介质	介质 温度	活塞理论推力①		行程范围L(mm)	
				活塞理论拉力		QGB II	QGN, A II
32	≤10	经过净化 加入油雾的 压缩空气	-10~80	314/265(32/27)		50~500	0~500
40				500/422(51/43)		50~500	0~500
50				775/657(79/67)		60~500	0~500
63				1236/1118(126/114)		10~800	0~800
80				2000/1755(204/179)		80~1200	0~1200
100				3128/2883(319/294)		80~1200	0~1200
125				2932/4579(299/467)		100~3000	0~3000
160				8031/7404(819/755)		120~3000	0~3000
200				12.5×10 <sup>3</sup> /11.9×10 <sup>3</sup> (1279/1215)		120~3000	0~3000
250				19.6×10 <sup>3</sup> /18.6×10 <sup>3</sup> (1999/1899)		120~3000	0~3000
320				32.1×10 <sup>3</sup> /30.6×10 <sup>3</sup> (3276/3123)		120~3000	0~3000

① 在 0.39MPa (4kgf/cm<sup>2</sup>) 下的推（拉）力 N(kgf)

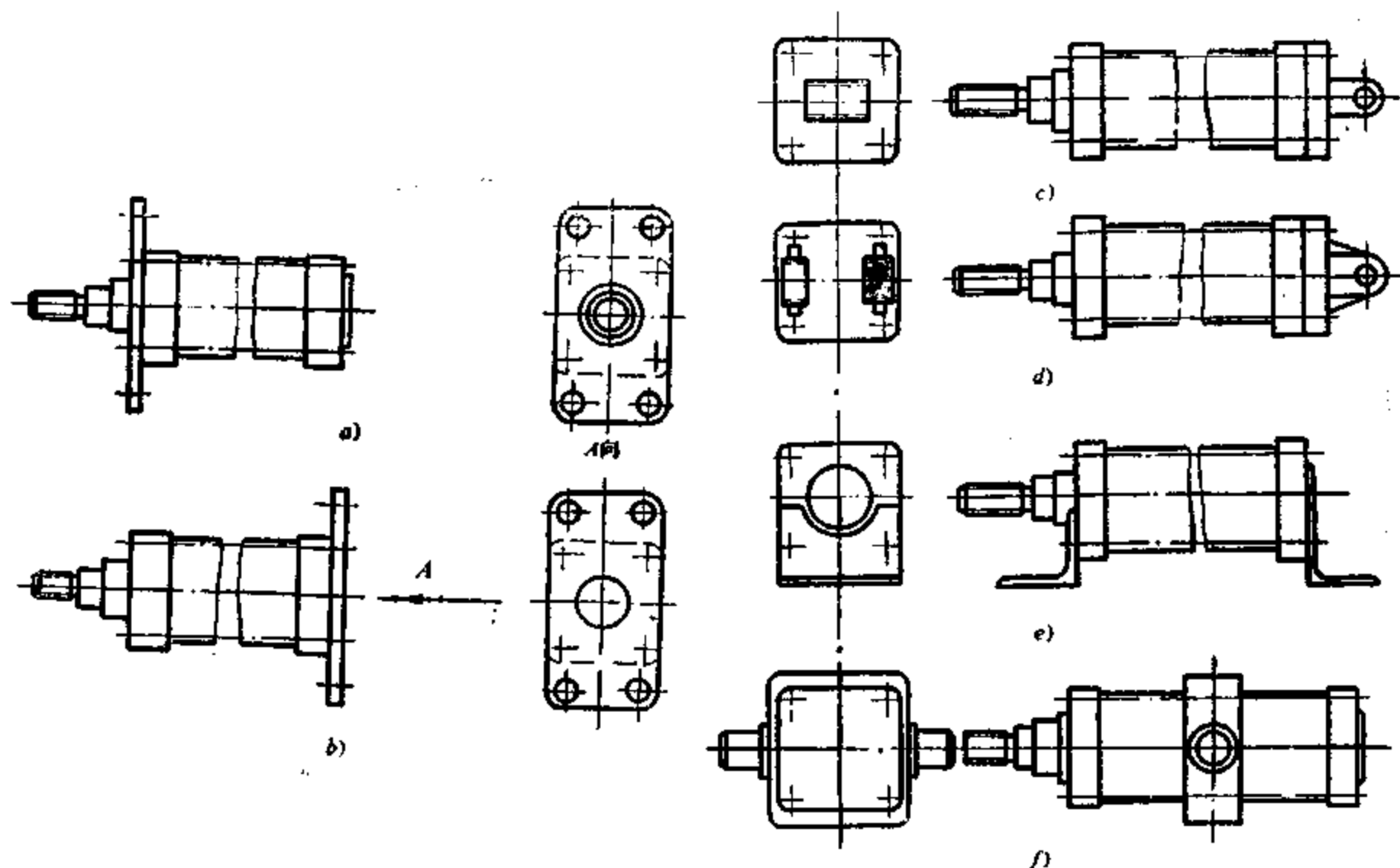


图 8-21 气缸的六种安装形式

a) 前法兰式; b) 后法兰式; c) 尾部单耳; d) 尾部双耳; e) 脚架式; f) 中间摆动式。

压缩空气管道的管径由下式决定:

$$d = 2\sqrt{\frac{V}{\pi vt}} \quad (8-8)$$

式中  $V$  ——管道输送压缩空气的体积;

$v$  ——空气流速 (1500~2500cm/s);

$t$  ——由式 (8-7) 决定的作用时间。

前述气压室式气缸, 克服了活塞式气缸易磨损(需经常维护和更换)且笨重的缺点, 这种气缸推力计算比式 (8-4) ~ (8-6) 要复杂一些。表 8-9 给出汽车刹车用薄膜式气缸性能, 可供选用, 这种气缸也可在市场上购得。

表 8-9 薄膜式气缸

最大外径 D (mm)	活塞杆行程 L (mm)	在 0.39MPa (4kgf/cm <sup>2</sup> ) 下 推力 N (kgf)
180	45	$2.45 \times 10^3$ (250)
206	50	$3.92 \times 10^3$ (400)

利用压缩空气或真空泵造成的负压, 可以产生吸力, 用来制造在焊接生产中吸紧工件的装置。这种装置适合于薄板及薄件冲压的夹持和搬运, 并常作为机械手的执行元件——吸盘、进行焊接毛坯冲压加工的自动送料及落活等。图 8-22 即是两种吸盘示意图。图 8-22 a)

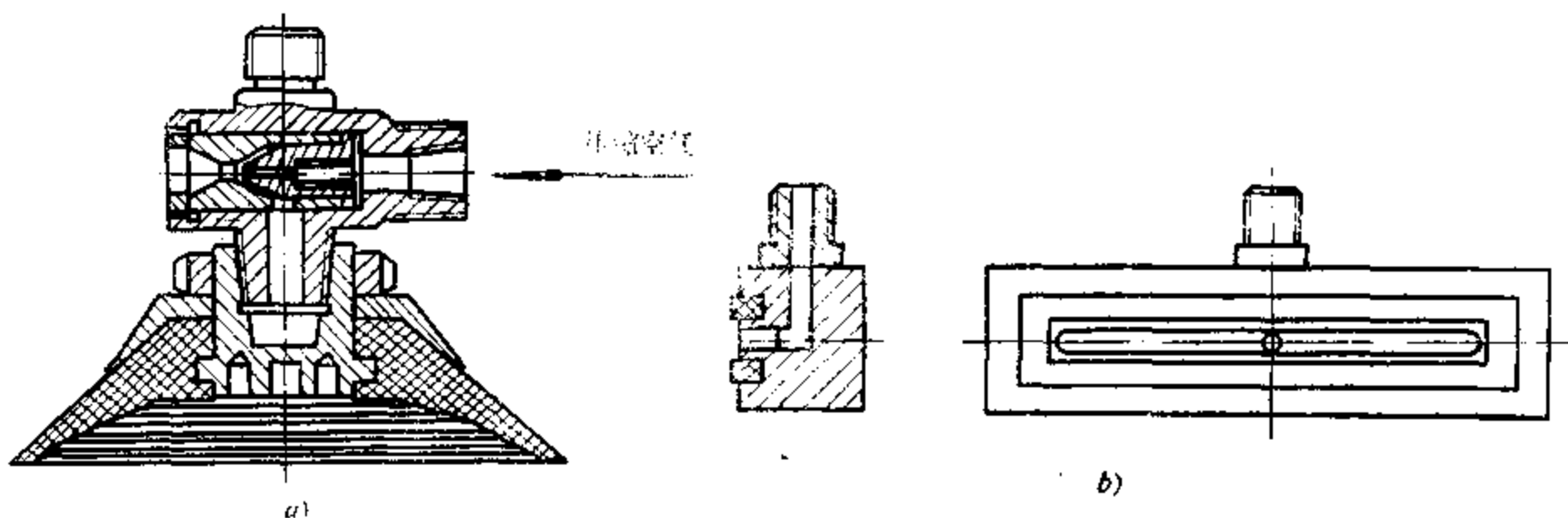


图 8-22 吸盘示意图

是利用压缩空气喷管造成负压做的吸盘，工件吸盘为橡胶零件。图 8-22 b) 是用真空泵造成负压的吸盘，金属吸盘四周镶有橡胶衬垫。

### (9) 液压压（夹）紧器

液压夹紧器的传力件——液压作动头（液压缸、液压马达等）和气动作动头具有基本相同的结构，但传力介质不同，液压压紧器多以液压油作为传力介质。液压工作介质的工作压力比气压大得多，因而产生比气压大得多的力。在相同结构尺寸下，液压作动头产生比气动作动头大十几倍，甚至几十倍的夹持力，并且动作平稳，没有大的冲击，结构尺寸可以减小，在一些要求压（夹）紧力大、而空间尺寸受限制的地方可以应用。

### 3. 由多种夹具组成的装配焊接夹具

由定位器、压（夹）紧器、拉紧和推撑夹具及夹具体可组成专用的或通用的装配焊接夹具。图 8-23 为一种 2 吨载重汽车驾驶室地板的装配焊接夹具，它由型钢夹具体、气压杠杆

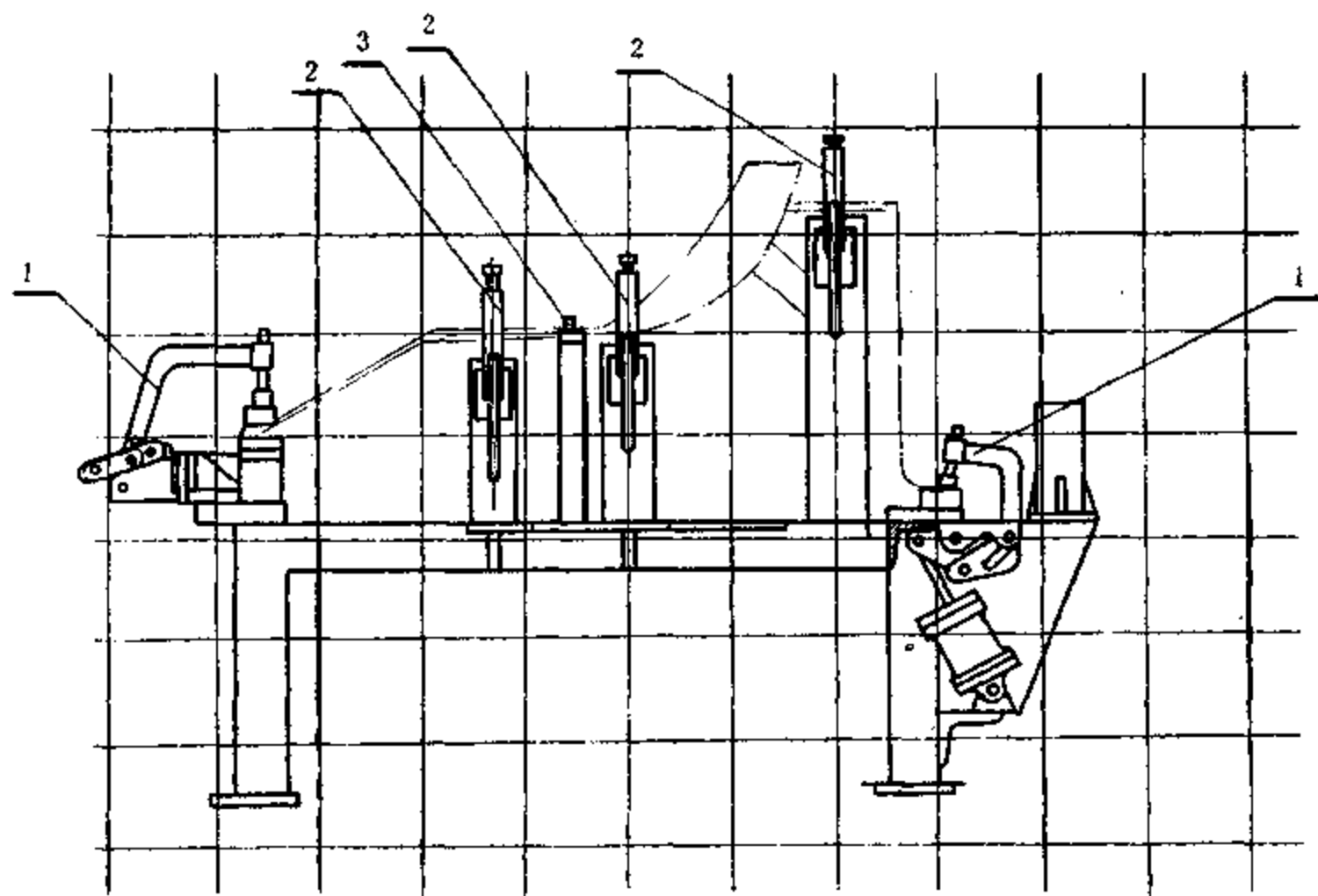


图 8-23 汽车驾驶室地板总装焊夹具示意图（局部）

1—气动夹具；2—手动杠杆夹具；3—柱销定位器。

夹紧器、手动杠杆夹紧器、柱销式定位器、挡铁定位器等组成。将地板总成的主要部件在该夹具上定位、夹紧，并进行装配焊接。图 8-21~图 8-26 是另外几种实用例子。图 8-24 是装配点定焊箱形梁的夹具的局部，夹具的底座 1 上安置箱形梁的下盖板，箱形梁的两腹板由电磁夹紧器 4 吸附在两侧立柱 2 上，上盖板由杠杆液压压紧器 3 压紧，点定焊后工件由油缸 5 顶出。图 8-25 为外箍式筒体自动焊气动夹具，专为焊接贮气筒纵缝用。贮气筒滚圆弯曲成形后，套入夹具的内胎，胎内的气缸活塞 6 将上模体 8 和下模体 7 推开，使筒体撑圆。双活塞气缸 13 推动杠杆—肘节压紧器(12、11)卡环 5 闭合，箍紧筒体，使其和内模体(8, 7)紧贴，筒体定型后并施焊。焊毕，卡环 5 打开，上下模 7, 8 收拢，工件即可取出。该卡具只用于焊接一种直径筒体，可充分保证装配精度和焊接质量。图 8-26 是装在翻转机上的轿车底盘骨架的装焊夹具，和图 8-23 类似，利用了多种定位元件和气动、手动杠杆、压紧器，工件装卡定位好之后，作为夹具具体的翻转机可使工件处在最有利的位罝进行装配和焊接。

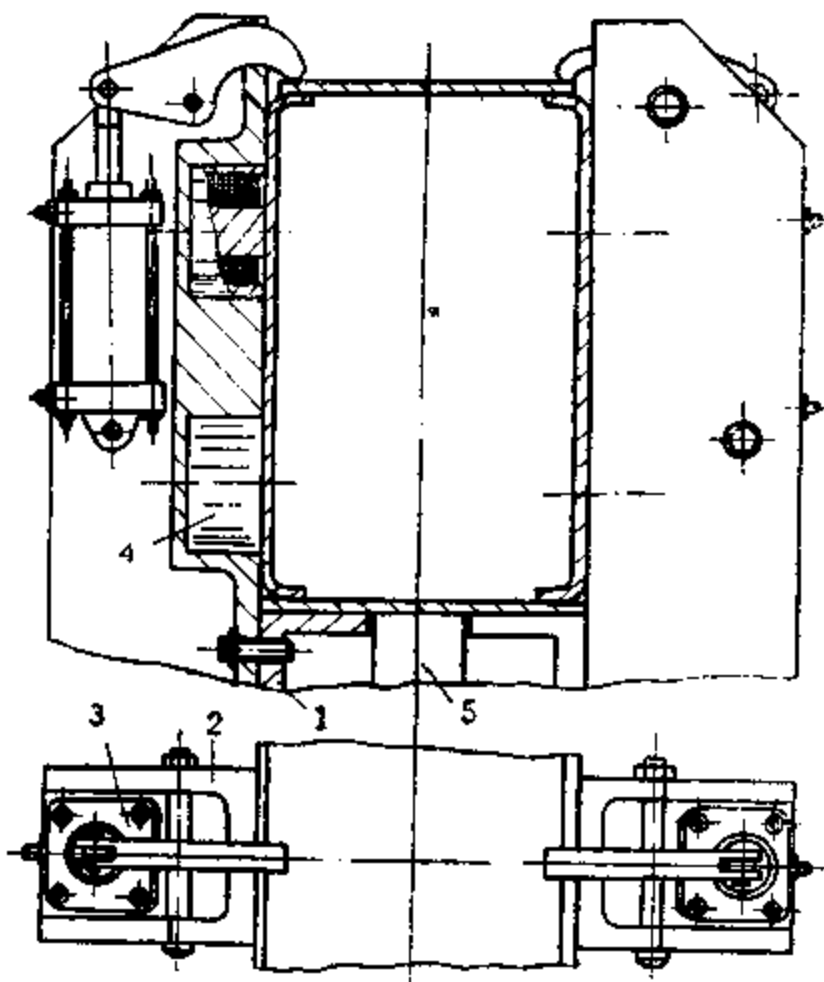


图 8-24 箱形梁的装配焊接夹具

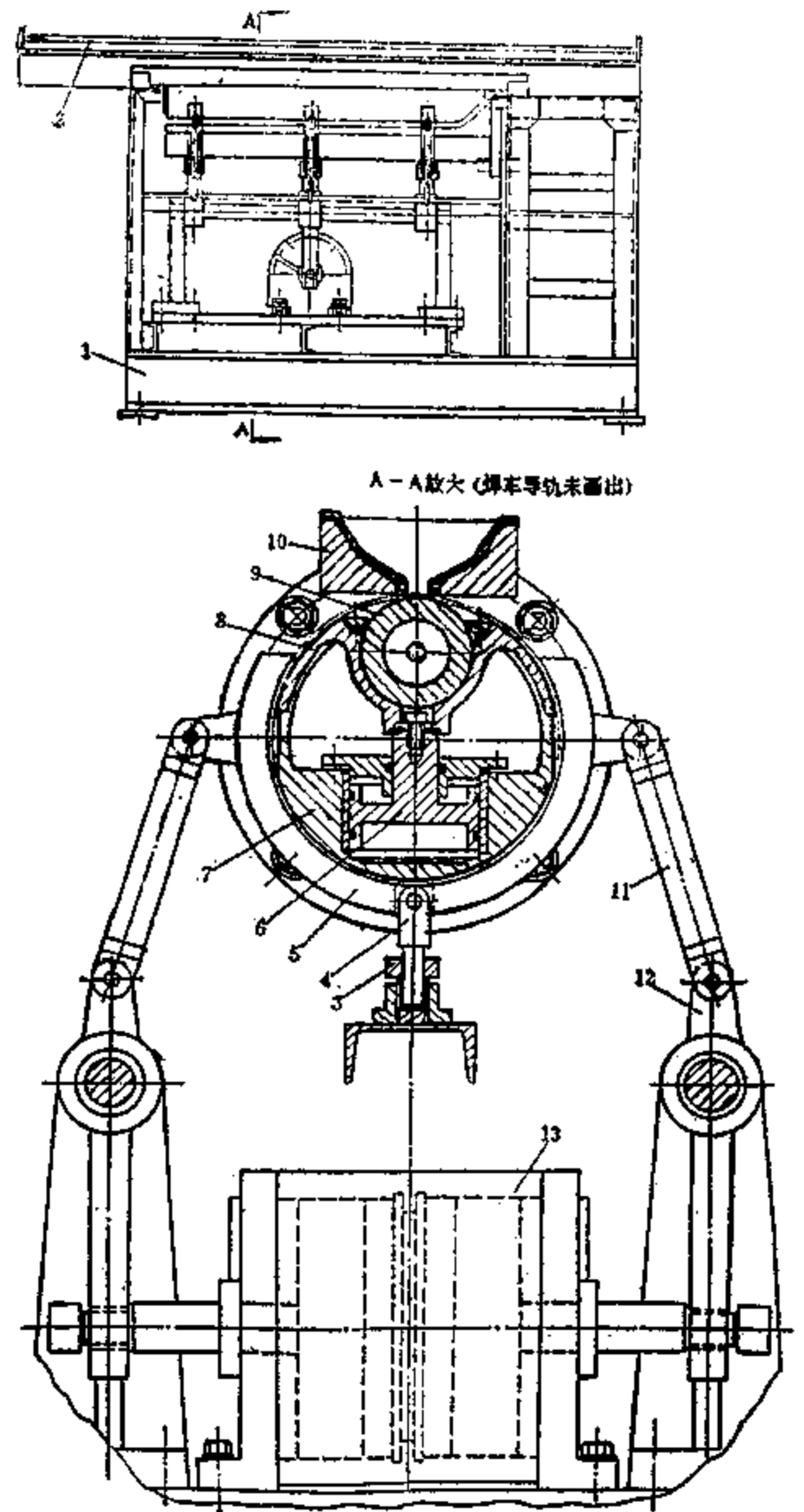


图 8-25 筒体自动焊夹具

- 1—机架；2—焊车导轨；3—调节螺母；  
 4—支杠；5—卡环；6—活塞；7—下模体  
 8—上模体；9—水冷垫；10—承压板；  
 11—肘杆；12—杠杆；13—双活塞气缸。

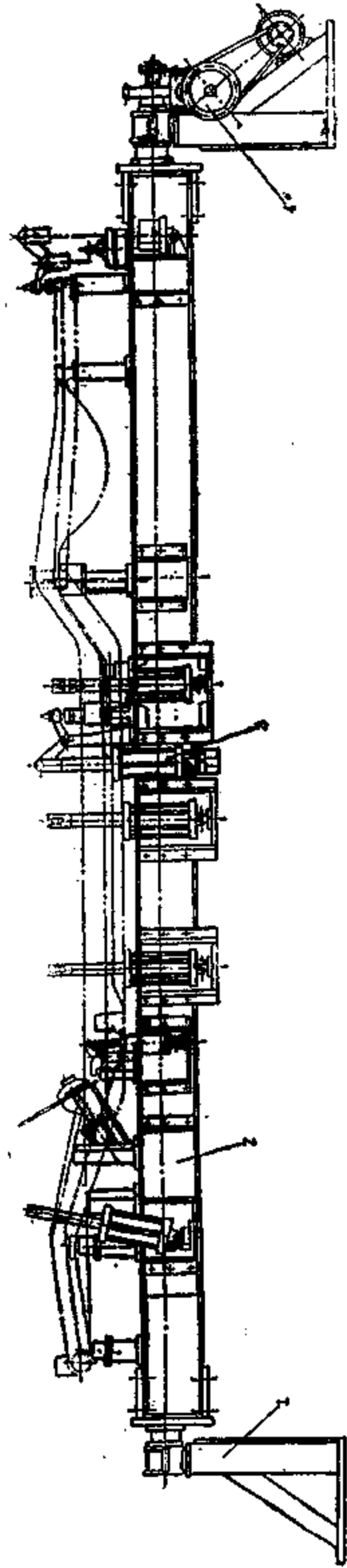


图 8-26 桥车底盘骨架装焊夹具

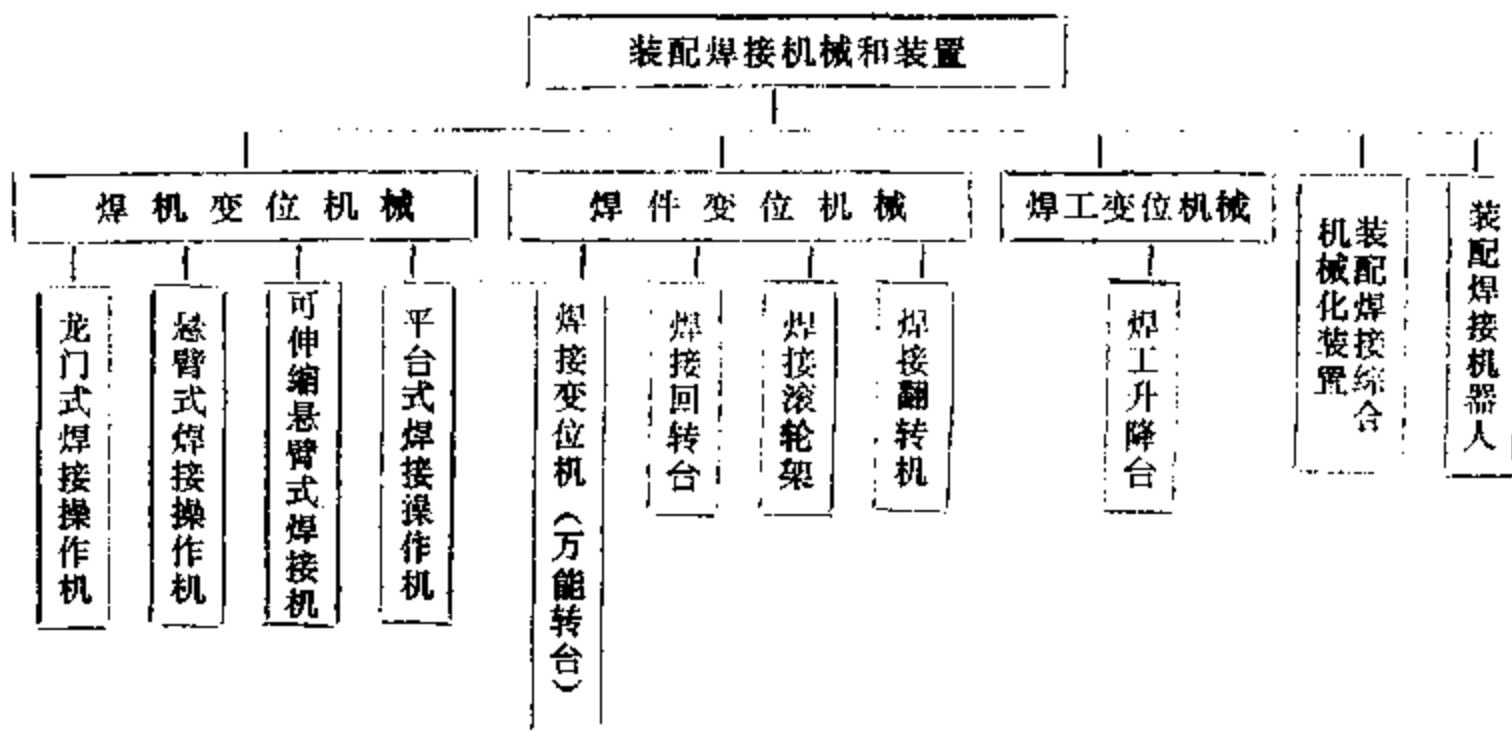
1—支架；2—翻转工作平台；3—气动夹紧器；4—翻转驱动装置。

### 三、装配焊接机械和装置

装配焊接机械和装置供机械化和自动改变焊件、焊机或焊工的位置，以缩短装配焊接过程中焊件翻转变位的辅助时间，提高劳动生产率、减轻工人的劳动强度；同时保证机械化自动化高效率焊接方法能够顺利进行并充分发挥其优越性能，这些都大大改善了焊接质量，降低了产品成本。为组织全自动化的焊接生产过程，设计自动化的生产线甚至无人车间，需要装配焊接综合机械化装置和装配焊接机器人。

按上述内容，可将装配焊接机械和装置分类如表 8-10：

表 8-10 装配焊接机械和装置的分类



#### 1. 焊机变位机械

焊机变位机械是将焊机准确地送到并保持在待焊位置，或以规定的速度（如焊速）沿一定焊缝轨迹移动焊机的机械装置。也称为焊接操作机。

焊机变位机械常常与焊件变位机械如焊接变位机、焊接回转台、焊接滚轮架和翻转机配合使用，完成多种焊缝，如纵缝、环缝、对接焊缝、角焊缝及任意曲线焊缝的焊接，也可进行工件表面的自动堆焊。

焊机变位机械多用于埋弧自动焊、气体保护焊、电渣焊、气电焊、等离子弧焊、真空电子束焊以及自动切割。

##### (1) 门式焊接操作机

焊机安装在门式焊接架上，门架上设有焊机轨道，供焊机沿门式焊接架移动，门架可以垂直于焊机方向移动，图 8-27 所示为一种最简单的门式焊接操作机。它与厂房没有联系，可以比较任意地装设，也可用于露天作业场。门架式焊接操作机可以用于大面积钢板的拼接，也可以进行筒体纵缝和环缝的焊接。一般设计的门式焊接操作机，门架横梁不能升降（如图 8-27）。带升降横梁的门架式焊接操作机结构较为复杂，体积庞大。图 8-28 所示为可升降横梁的门式焊接操作机，其横梁是利用伞齿轮推动丝杠来带动的，这种设备目前应用不多。

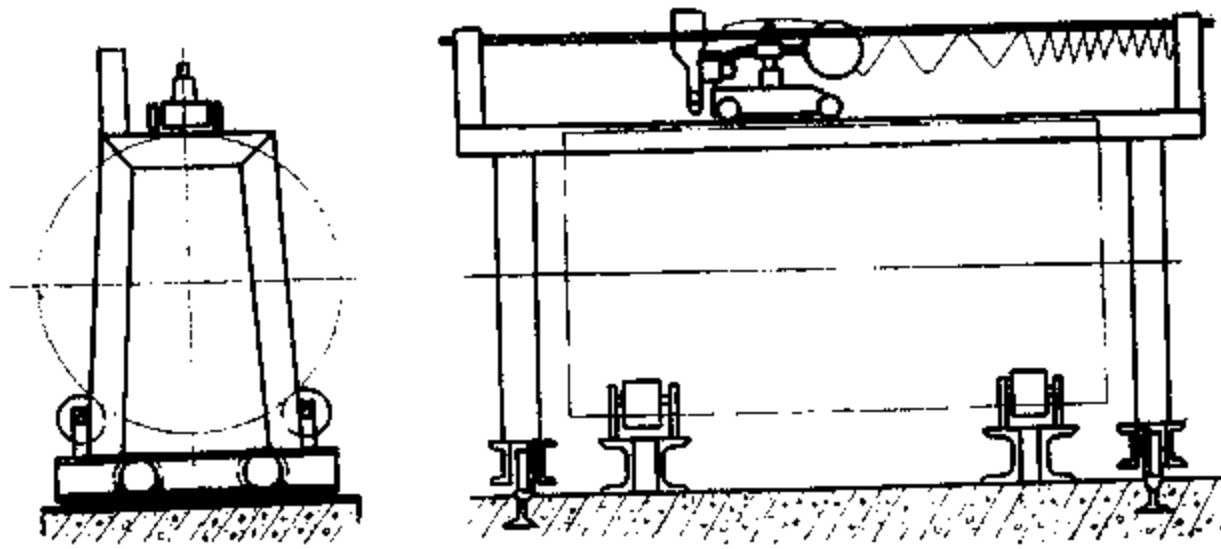


图 8-27 门式焊接架上焊接圆筒纵缝

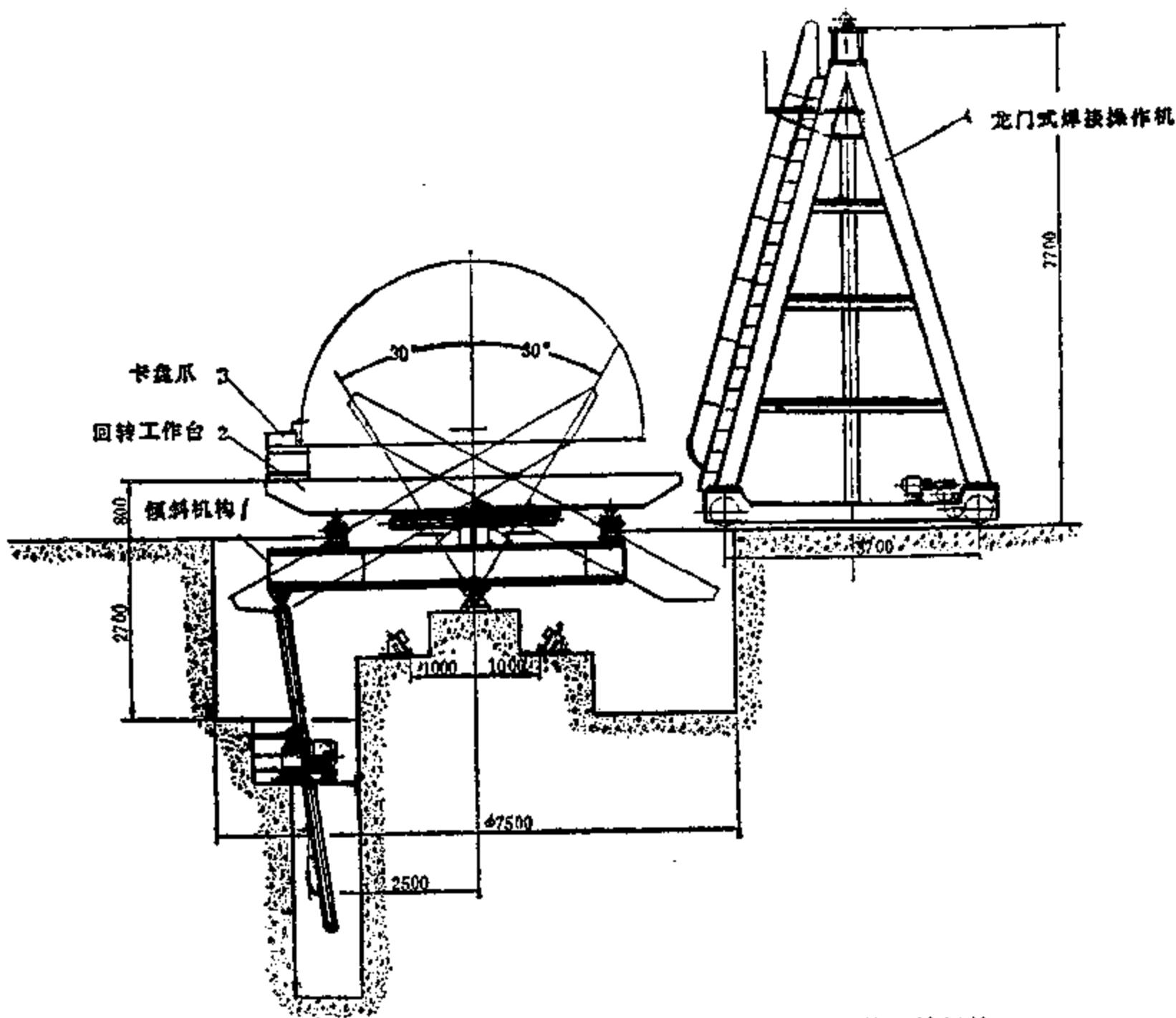


图 8-28 用横梁可升降的门式焊接架进行外环缝焊接

1—倾斜机构；2—回转工作台；3—卡盘爪；4—门式焊接操作机；5—工作台回转机构。

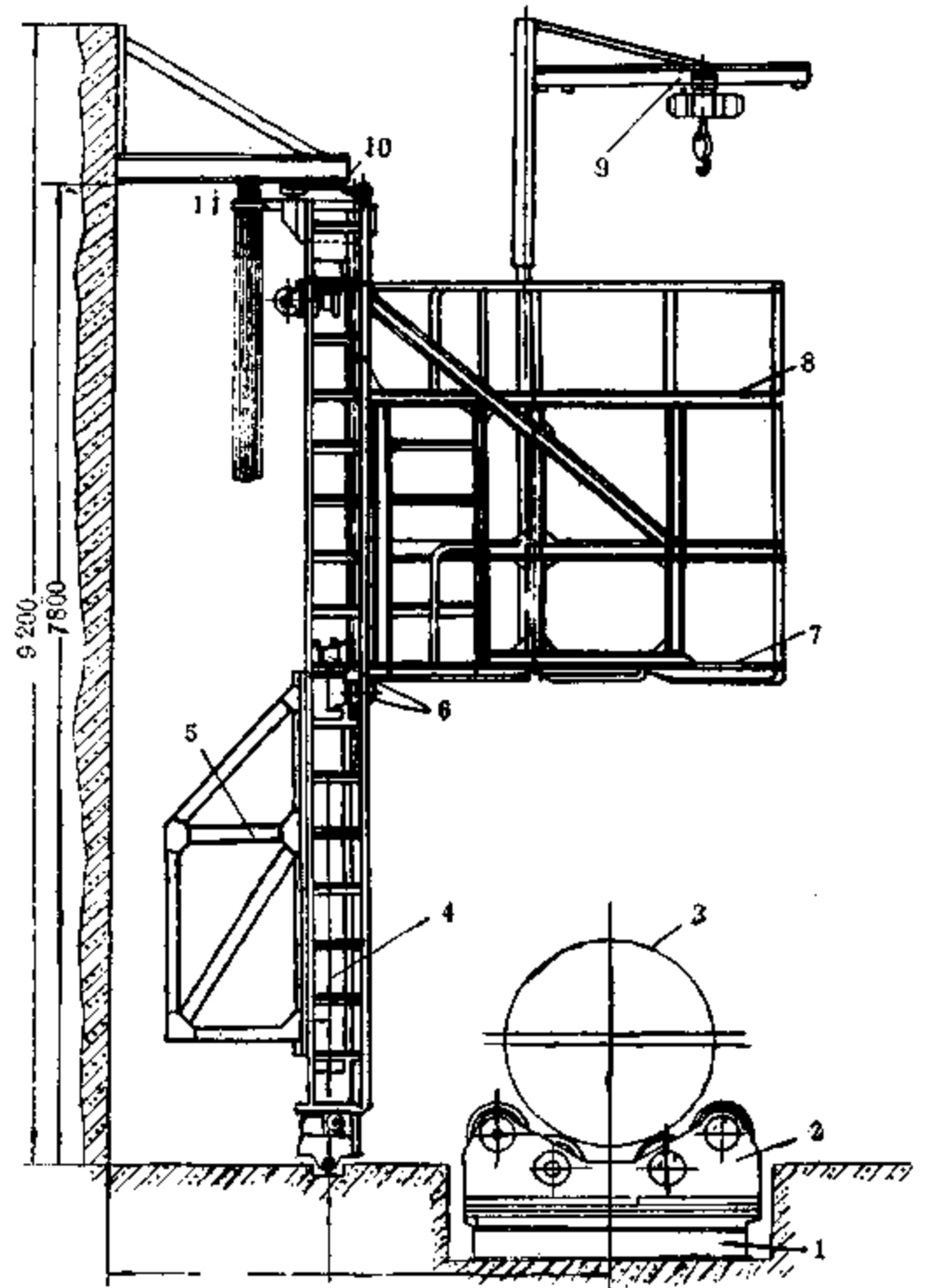
### (2) 平台式焊接操作机

焊机放置在悬臂的平台上，并可沿平面移动，平台安装在立架上，悬臂安装的平台可沿立架升降，立架座落在台车上，载有立架的台车可沿固定在车间柱子上和地面上的轨道运动。如图 8-29 所示，这种设备较之龙门式焊接架节省车间占地面积，作业范围较大，国内

广泛用于圆筒构件外环缝（如图 8-29 和滚轮架相配合）和外纵缝（焊接操作机以焊接速度沿轨道运行完成焊接纵缝）。有的悬臂平台式焊接操作机可以设计得相当简单，如图 8-30 是一种手动式焊接操作机，其悬臂平台的升降，立架和台车的运行皆为手动。拉动导链使链轮旋转，与其同轴的伞齿轮带动丝杠，使平台升降。而立架和台车的行走则是通过转动手柄来实现的，因为手动均匀性不够，故不适于焊接纵向焊缝。

图 8-29 用于焊接锅炉汽包的悬臂平台焊接操作机

- 1—滚轮架底盘； 2—滚轮架；
- 3—工件； 4—悬臂架行走小车；
- 5—小车尾架； 6—悬臂平台升降导轮；
- 7—悬臂平台底层；
- 8—悬臂平台上层； 9—旋臂吊；
- 10—上部导轨； 11—电缆小车。



当操作机上带自动焊机头时，这类操作机仅有悬臂而没有平台。图 8-31 所示为用于焊接工字梁或箱形梁的悬臂焊接架。臂架由电机、减速器驱动，可实现工作行程——焊速与空程——快速的转换。

如果悬臂平台式焊接操作机轨道固定在车间柱子（或墙壁）上，当车间内桥式起重机经过焊接工位时，将引起操作机轮子的颤动，导致悬臂和平台的振动，严重时，对焊接质量产生不良的影响。

### （3）悬臂（摇臂）式焊接操作机

载有焊机（或自动焊机头）的悬臂安装在立柱上，并可绕立柱转动，焊机可沿悬臂上的刚性轨道移动而完成焊接工作，或焊机头沿刚性导轨移动完成焊接工作；也可以在焊机（头）



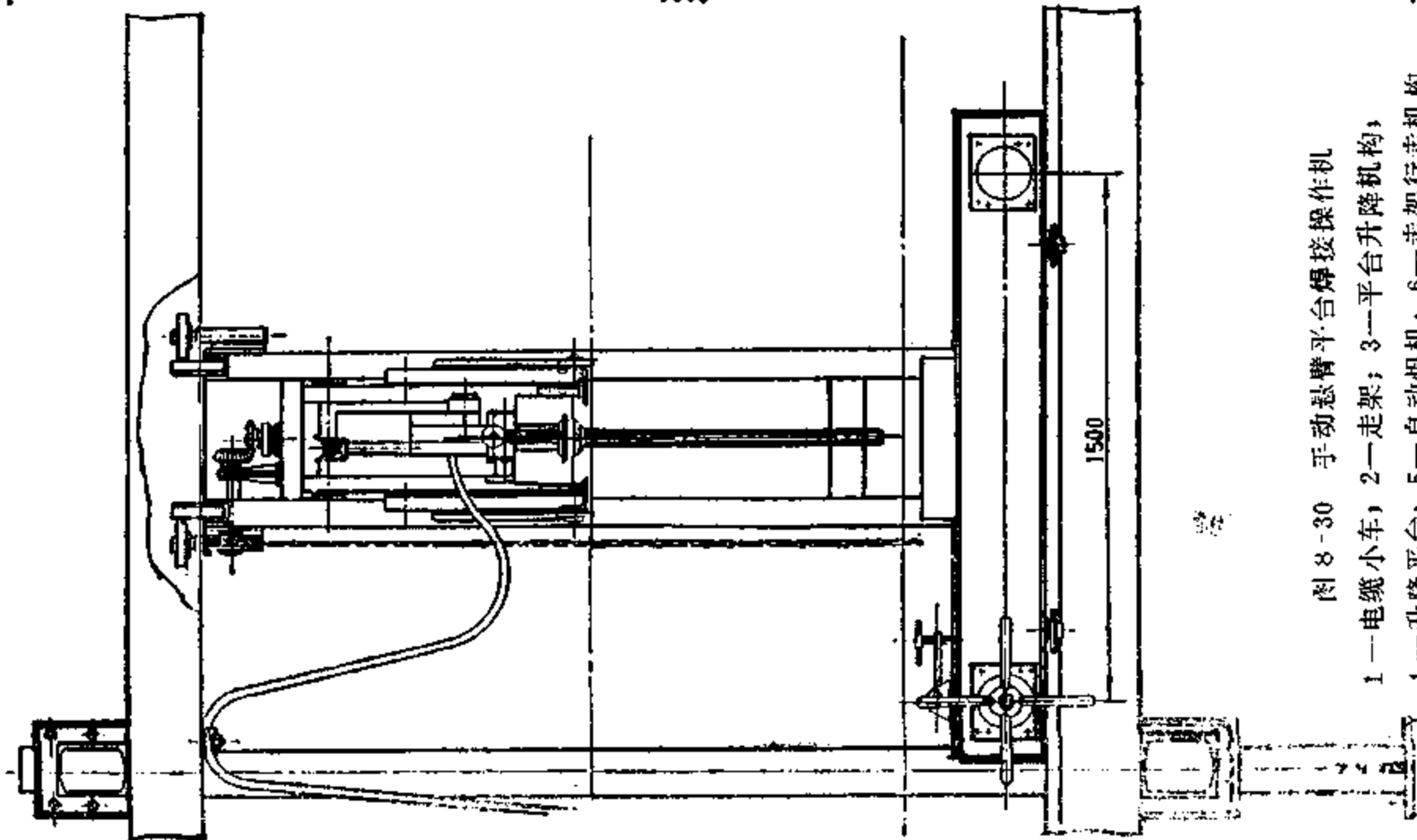
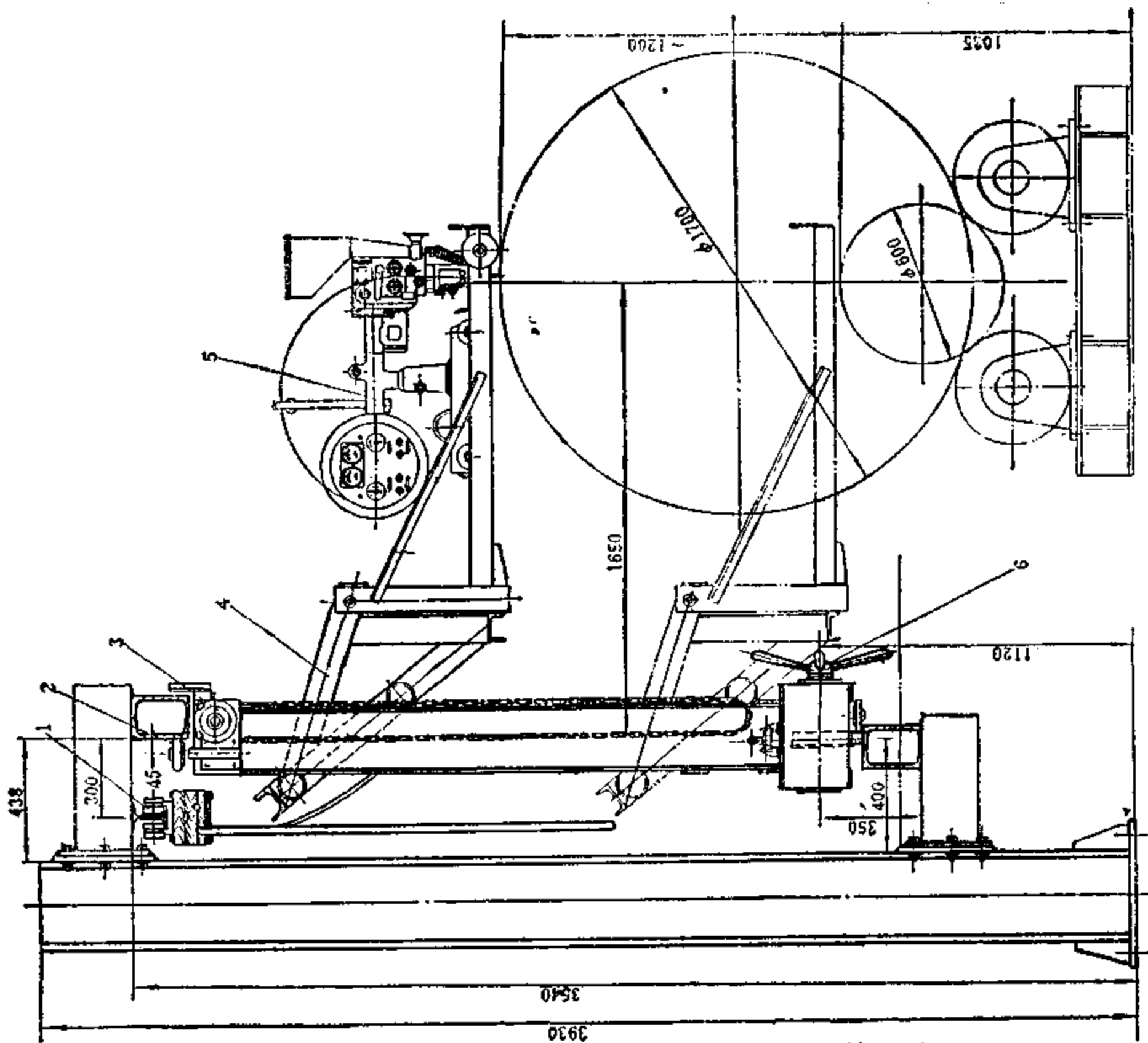


图 8-30 手动悬臂平台焊接操作机  
 1—电缆小车；2—走架；3—平台升降机构；  
 4—升降平台；5—自动焊机；6—走架行走机构。

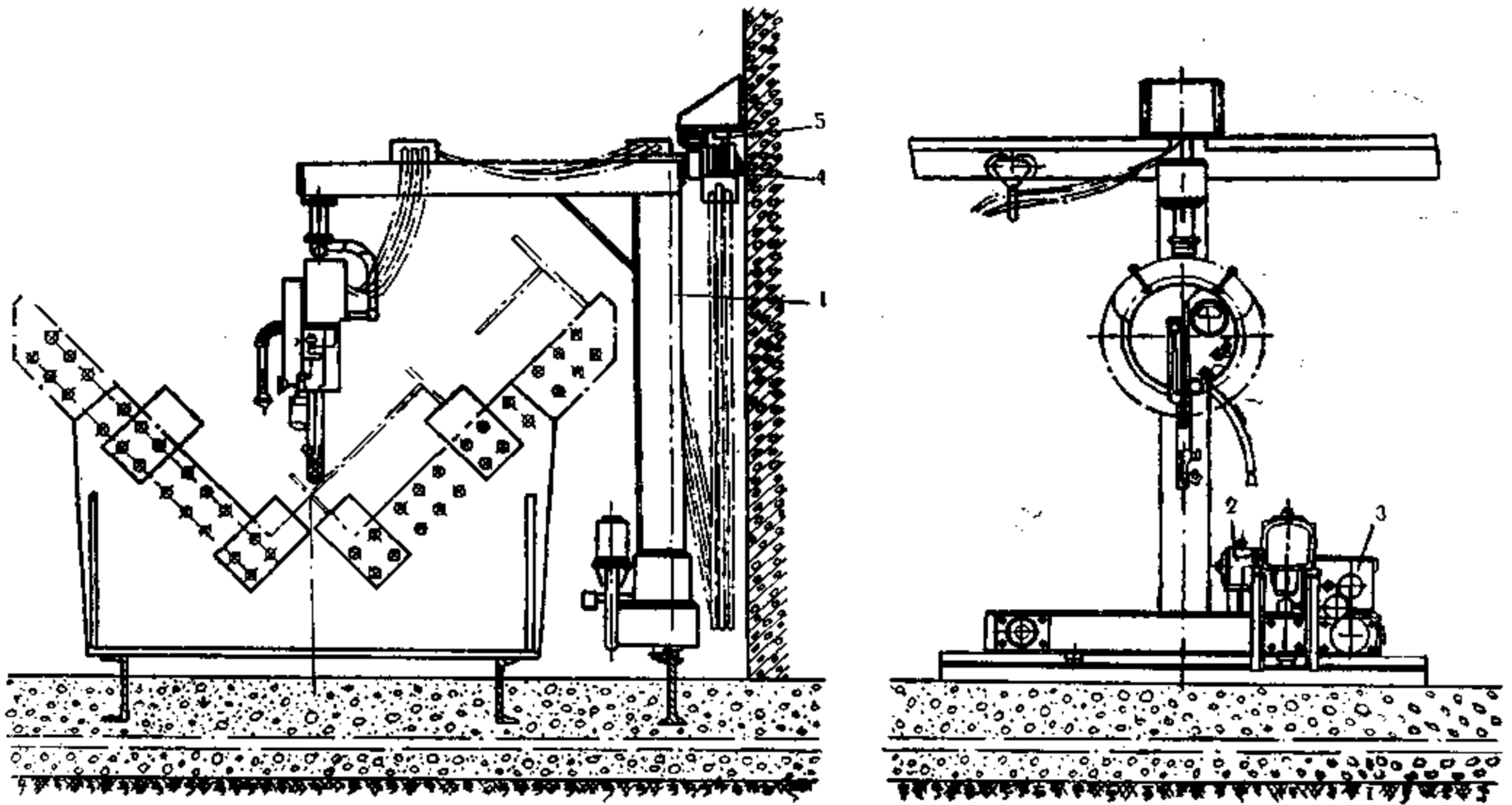


图 8-31 焊接工字梁纵缝的悬臂架式操作机

不动情况下，依靠焊件变位机械，使焊件运动来完成焊接工作。悬臂可以上下移动，以适应不同直径圆筒纵环缝的焊接，这种焊接操作机称为悬臂或摇臂式。悬臂式焊接操作机臂架的升降多为电动的，而悬臂绕立柱的转动多是手动的，也有升降与转动都是手动的。当焊机头沿刚性导轨移动完成焊接时，则机头的移动为焊速，故多为机动的。图 8-32 是这种悬臂式操作机的例子。由于臂架上仅能放置自动焊小车，当焊接大型工件时，为操作方便，应配置焊工升降台。图示立柱是固定的，也可将立柱固定在台车上沿地面轨道运行，并且做成悬臂可伸缩的，这种悬臂可伸缩的焊接操作机示意于图 8-33。由于其结构轻巧、移动灵活、可远距离控制，故能在多工位上进行内外环缝、内外纵缝的焊接，也可进行工件表面的堆焊；若与焊接变位机械配合，还可进行螺旋焊缝及其它曲线焊缝的焊接。由于其适用性强、用途广，是一种有发展前途的焊接机械，目前国内若干厂家已能系列制造这类焊接操作机。图 8-33 所示焊接操作机的立柱能回转，横臂伸缩有焊速和空程快速两种速度，其它件只有一种空程速度。

图 8-32 及图 8-33 所示焊接操作机，都与车间墙壁和柱没有联系，所以其工作不受车间桥式起重机运行的干扰。

上述各种焊接操作机械，当需要利用机械运动完成焊接时，为保证焊接质量，要求这些运动（悬臂伸缩、立柱回转、臂架移动等）平稳，无冲击，无颤动。因此，进行设计时，对构架的截面形式、材料、加工精度的选取、固定轨道方法的确定等都要精细和慎重。通常由于载荷不大，构架不按强度设计，主要考虑刚度，使挠度变化和构架颤动小于电弧稳定所允许的值。否则花了很大投资设计制造出的机械，可能因不能保证焊接质量而不能使用。此

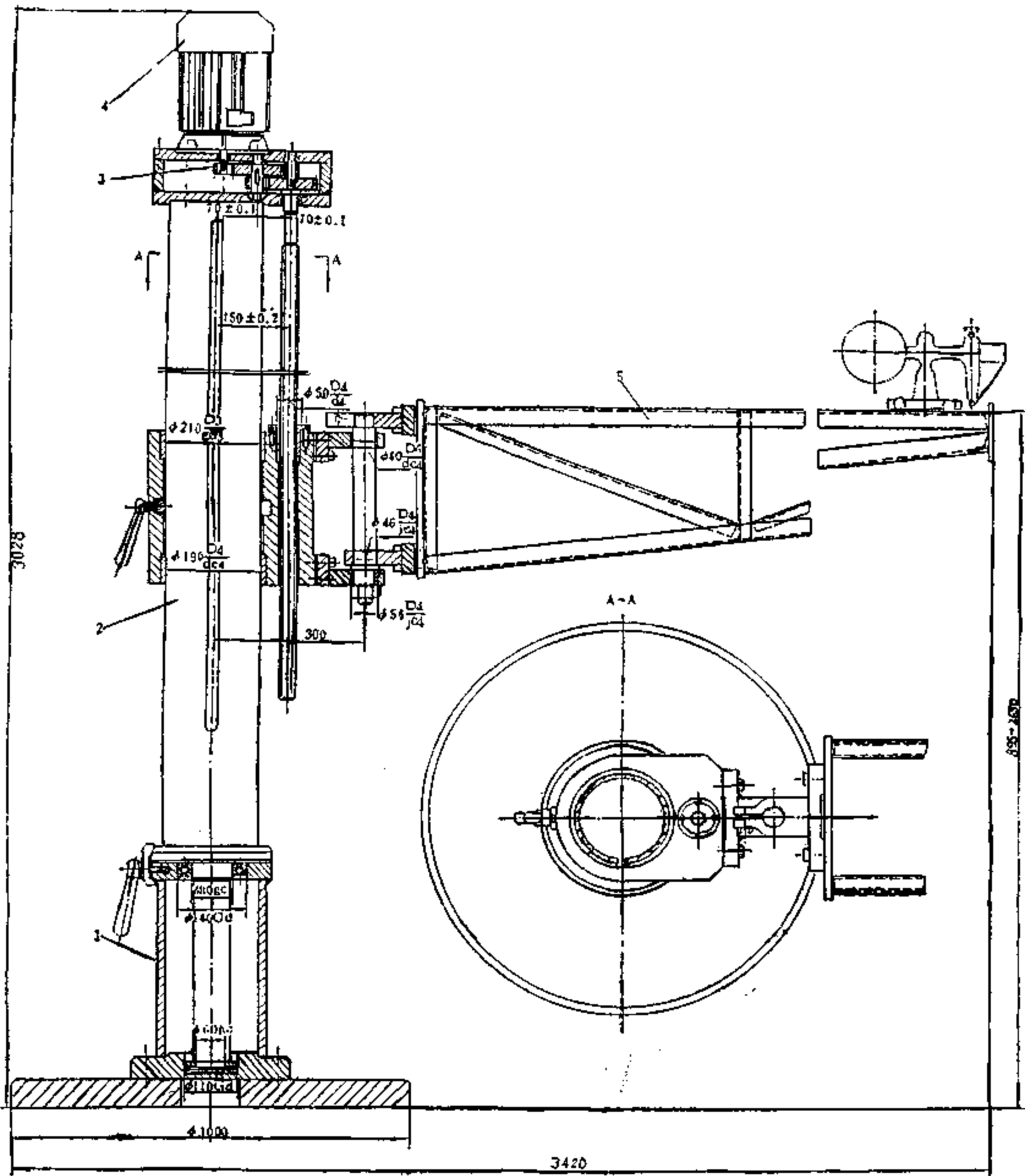


图 8-32 立柱固定的摇(悬)臂式操作机

1—底座；2—立柱；3—悬臂升降机构；4—电动机(JD<sub>2</sub>-21-4)；5—悬臂。

外，设计焊接工艺参数自调节功能大的焊机则更为有利。

#### (4) 电渣焊立架

进行电渣焊时，焊缝处于立焊位置，焊机在专用轨道上，由下而上运动。为使电渣焊正常进行必须有供焊机上下运动的辅助装置，该装置也是一种焊接操作机。通常电焊机厂提供立柱式的装置。但由于高度不够，或其他需要，一般自行设计可提升焊机连同焊工的电渣焊立架。这种立架可供电渣焊接立缝，与滚轮架配合也可焊接环缝。立架装置在台车上，台车可沿轨道移动到焊接位置。也有设计成悬挂式的电渣焊立缝的装置，这种装置的结构是：在车间柱子的上部安装一个可以回转的悬臂梁，梁上悬挂附有焊机垂直导轨的立柱，立柱安装在可沿悬臂梁移动的小车上，这种立柱可以是伸缩管结构的。

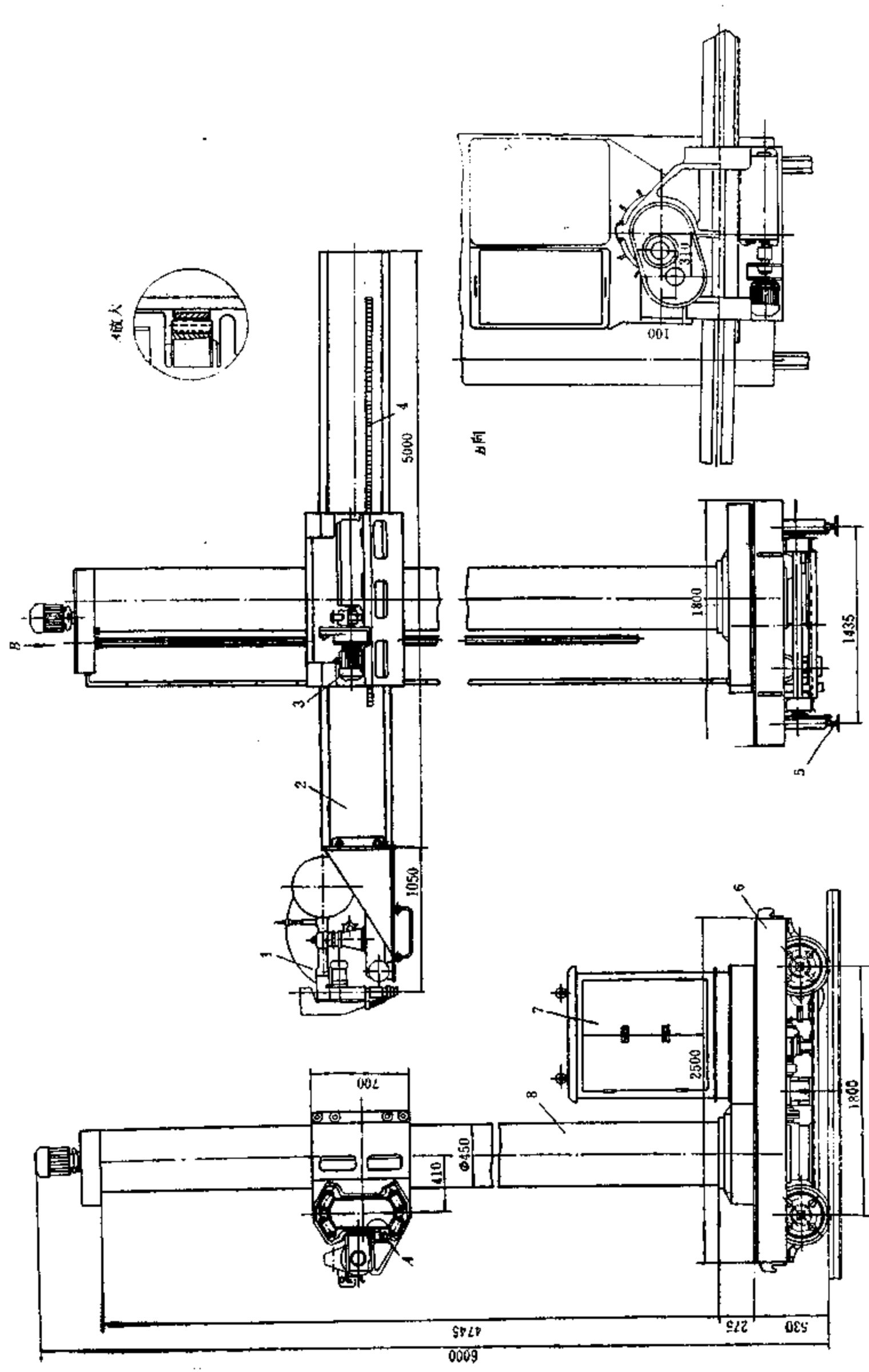


图 8-33 可伸缩的摇(悬)臂式焊接操作机

- 1—自动焊机; 2—横臂; 3—横臂进给机构; 4—齿条; 5—钢轨; 6—行走台车;
- 7—焊接电源及控制箱; 8—立柱总成。

## 2. 焊件变位机械

移动焊件的机械化装置可以使焊件移动、翻转，以便使工件上焊缝转到最适于施焊的平焊或船形焊位置；或者使工件按所需施焊速度绕水平轴、垂直轴或倾斜轴转动的同时完成焊接。

焊件变位机械还和焊接操作机（如前述）配套使用，从而大大提高焊接质量和生产效率。根据焊件变位机械的构造特点及所服务的对象，可以把这类机械分成表 8-10 所示的焊接变位机（万能回转台）、焊接变位转台、焊接回转台、焊接滚轮支座、焊接翻转机等。

### (1) 焊接变位机

这类机械使工件回转或以焊接速度回转，同时使工件倾斜与翻转变位将其调整到便于施焊的水平或船形位置，实现了工件在任意平面内以焊速旋转，以便焊接环形焊缝。这种变位机又称为万能转台，它主要用于机架、机座、机壳法兰等非长形零件的焊接。

图 8-34 为载重量 0.5t 的伸臂式焊接变位机，就是一种万能转台，它允许加工工件尺寸

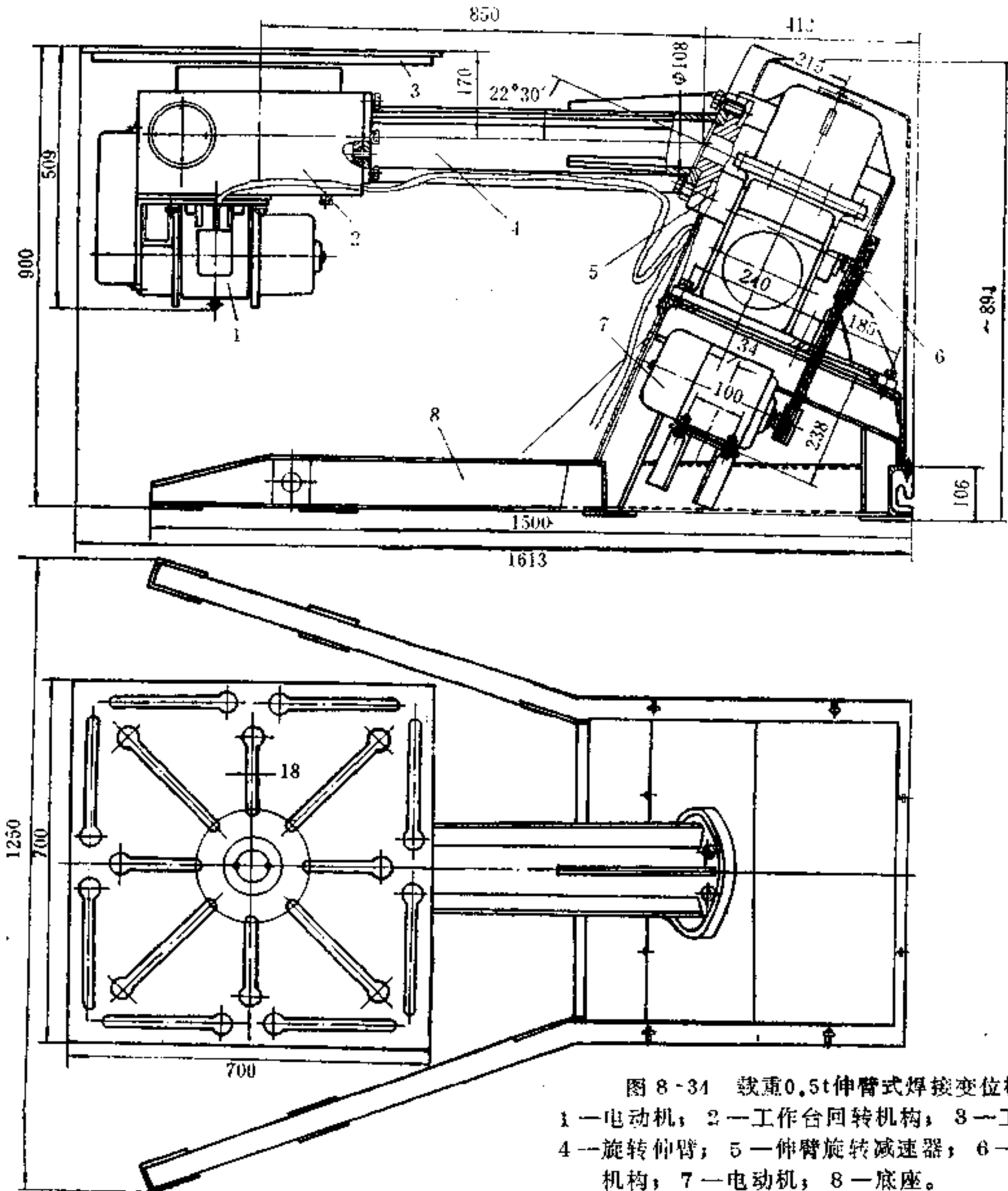


图 8-34 载重 0.5t 伸臂式焊接变位机

- 1—电动机；2—工作台回转机构；3—工作台；  
4—旋转伸臂；5—伸臂旋转减速器；6—皮带传动机构；7—电动机；8—底座。

为 $\phi 300 \sim 1500\text{mm}$ 。工作台由电动机 1 经回转机构 2 带动回转，回转速度为 $0.05 \sim 1\text{r/min}$ ，以充分满足不同焊接速度的要求。伸臂由电动机 7 经皮带传动机构 6 和伸臂旋转减速器 5 带动，以 $0.72\text{r/min}$ 的回转速度旋转。伸臂旋转时，其空间轨迹为圆锥面，因此在改变工件倾斜位置时将伴随工件的升高或下降。由于工作台回转机构中安装了测速电机，可进行回转速度反馈，以保持工作台回转速度稳定。工作台专门安装了导电装置，以防止焊接电流使各级机械传动装置造成电弧灼伤，影响设备精度和寿命。

图 8-35 为苏制焊接变位机使用情形。由图可见该机主要用于筒形工件环缝的自动焊和手工焊，如加一特殊夹具（装置），也可以完成球形表面上圆形焊缝的焊接。该机与图 8-34 不同之处在于伸臂的回转与工作台回转由同一电机带动，并且可以无级调速；伸臂回转与水平面成 $20^\circ$ ，故回转锥顶角为 $40^\circ$ （图 8-34 变位机的角度分别为 $22^\circ 30'$ 和 $45^\circ$ ）。特殊夹具的作用是使球形工件球心为伸臂回转轴穿过，这样伸臂旋转就可以完成球表面环形焊缝的焊接，如图 8-35 d) 所示为了扩大设备的服务范围，提高利用率，可如图 8-35 e) 所示将设备通过托架 1 安装在转盘 2 上，使其同时为几个工作地服务。

为防止这种伸臂式焊接变位机侧向倾覆以及结构尺寸过大，其载重量通常在 $1\text{t}$ 以下，最大不超过 $3\text{t}$ 。对于大吨位的工件，可采用座式焊接变位机。图 8-36 为国内若干厂家生产的

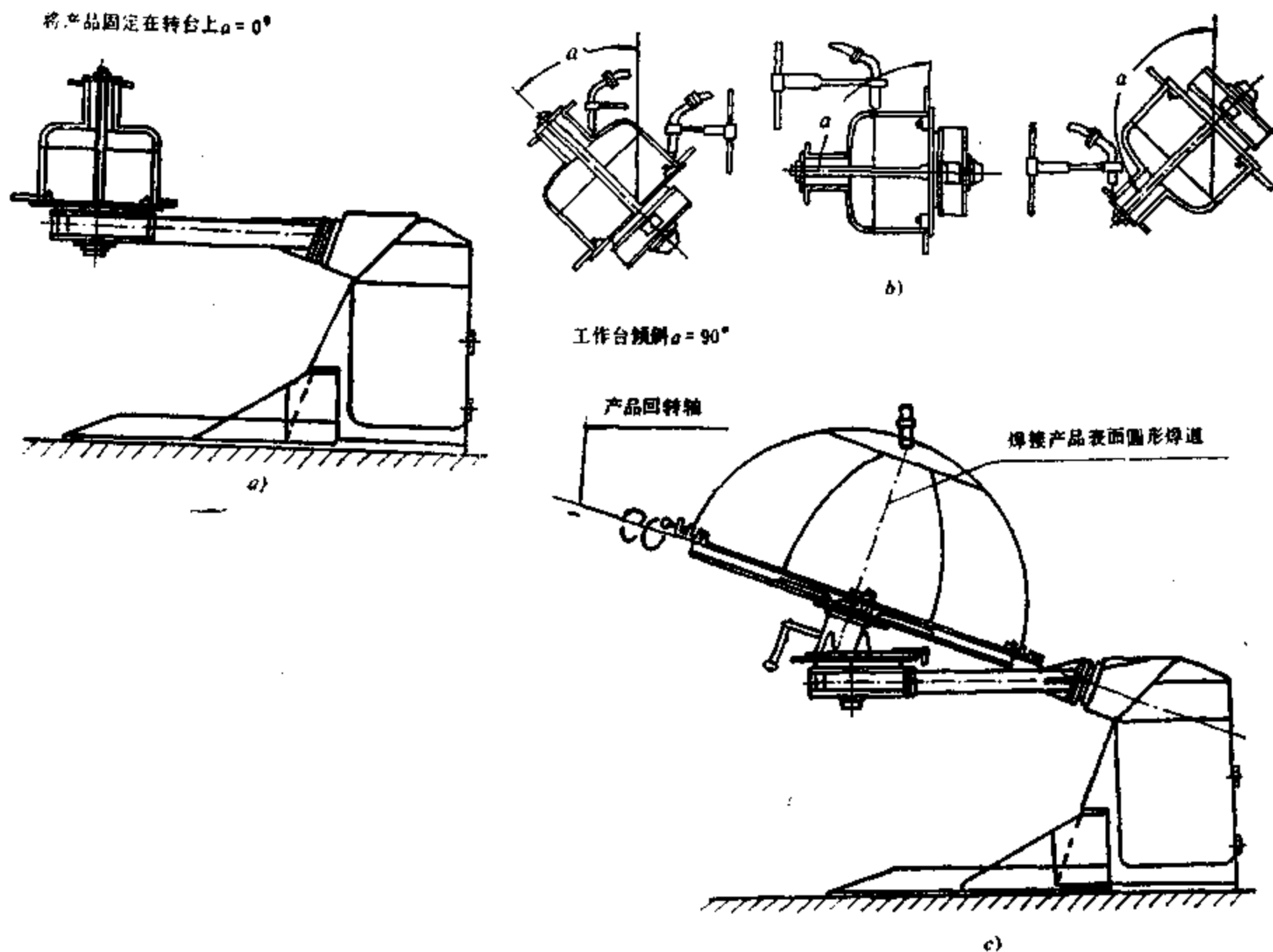


图 8-35 YCM—500 焊接变位器各种工位



1.5t座式焊接变位机。由图可见其工作台回转和倾斜由各自传动系统完成。分别为：双速电动机带宽皮带无级变速器经两级蜗轮减速器、三级齿轮变速、伞齿轮对至回转工作台；以及电机、皮带传动、两级蜗轮减速器、倾斜机构齿轮对至工作台倾斜。工作台面回转可以无级调速，而倾斜速度不可调。导电采用碳棒压紧在锥齿轮端面方式，结构简单、使用可靠，这种方式在许多焊接变位机中都成功的采用了。这种座式焊接变位机在一些厂家的产品样本上已有1.5, 3, 20, 40t系列，资料[19]也介绍了1.5, 3, 5, 10, 20t等单座式以及100t双座式焊接变位机的图纸。大部分是机械传动，一部分采用了液压传动，构造上多有差别，但动作功能相同。这种机器以组织专业化工厂生产为佳。

### (2) 焊接转台和焊接变位转台

工作台回转不是无级调速的，变位机不能完成环缝自动焊，而其他功能与前述相同，这种变位机称为变位转台。这种变位机当工件较小较轻时，还常常设计成手动的。

当变位机只能使工件以焊接速度回转，或虽然也可以按调位速度回转，但回转轴不变（或以垂直轴回转，或绕斜轴回转），这类变位机称为转台。焊接转台通常供焊接高度不大，有环形焊缝的工件的焊接。也可作切割及X光检验等的辅助装置。图8-37就是一台回转轴成 $45^\circ$ 的转台。两转台同时为一台自动焊机头服务。

### (3) 焊接滚轮架

焊接滚轮架是借助工件与主动轮之间，或非圆工件的支承环与主动轮之间的摩擦力，带动工件旋转的机械装置。主要用于回转体工件及固定于支承环内的非回转体工件的装配焊接。

滚轮架按传动类型分为机动和手动的两类，绝大多数为机动的，因为它可满足自动焊接速度要求（工件能保持严格的、均衡的回转速度）。有一些零件重心与回转轴心不重合，回转需要克服巨大的扭转力矩。还有的零件装配焊接需频繁回转，回转时间占作业大部分时间，要求回转有较高的效率。

滚轮架按其构造分为整体式和组合式，两排滚轮有一排或两排由长轴串联在一起。图8-38 a)所示，一排为传动长轴联结的主动滚轮，另一排为可调节位置（两排滚轮距离）。

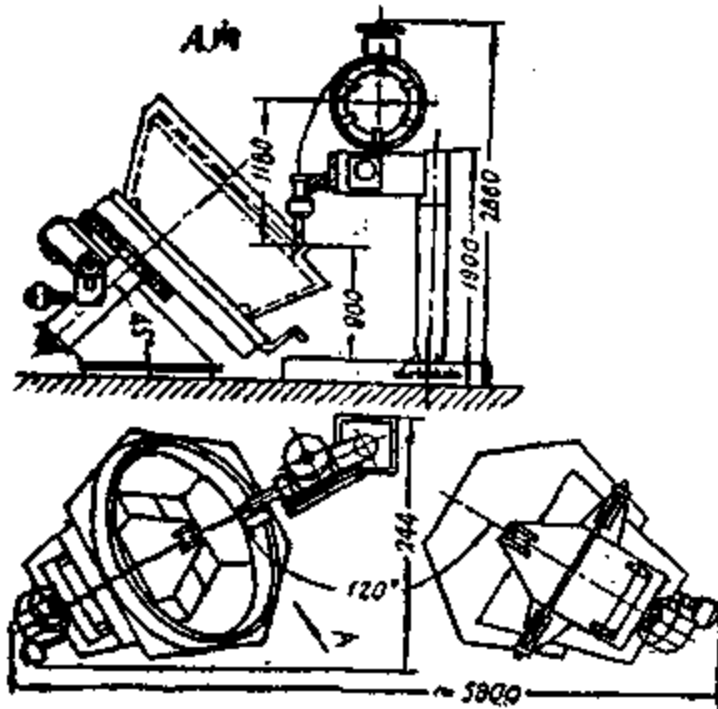


图8-37 倾斜回转轴的转台在工作

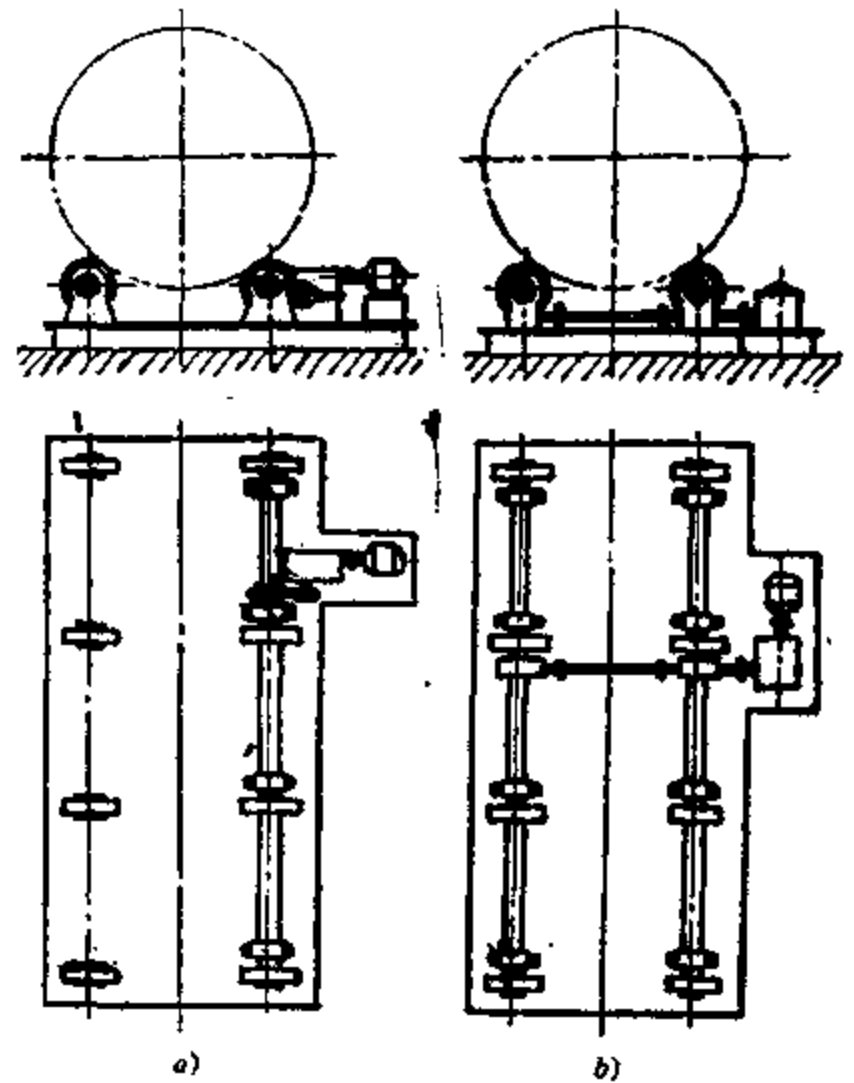


图8-38 长轴整体滚轮架



以适应不同直径回转工件装配焊接的从动滚轮。当工件重心与回转轴不重合时，可能发生因偏心力矩产生工件与主动滚轮之间打滑现象。采用图 8-38 b) 所示双排长轴串联的主动滚轮架可能克服打滑现象。因为此时产生了比单排主动滚轮架大一倍的摩擦力。当然如果偏心严重，偏心力矩过大，工件仍然打滑时，则应考虑工件加配重，使之平衡，从而减小或消除偏心力矩。整体式滚轮架适于长筒形零件的装配焊接。这种设备安装好后，临时调整工作量小，但设备占地大，特别在闲置时，工作地不易作他用。

组合式滚轮架由一对对滚轮所组成，有主动的主动滚轮对，也有从动滚轮对。如图 8-39 所示为 50t 焊接滚轮架，由一对主动、一对从动滚轮架组成。每对滚轮轮距可调，当滚轮中心距为 1000mm 时，适用于直径为 1000~2000mm 的工件；当中心距为 1500mm 时，适用于直径为 2000~3000mm 的工件。该主动滚轮座采用整体式焊接结构，减速器下箱体与电机及主动滚轮机座连成一体，然后用螺栓固定在主动滚轮座焊接结构之上。该传动布置合理、元件少、重量轻、结构紧凑，并便于整个滚轮对挪动。从动滚轮对采用固定心轴，轴向尺寸小，比较滚轮和轴一起转动的结构，轴的受力状态大为改善。根据工件长度和重量，这种分体式组合滚轮架对数可以增减。当筒形零件上有凸出零件或孔，妨碍在整体滚轮架上回转

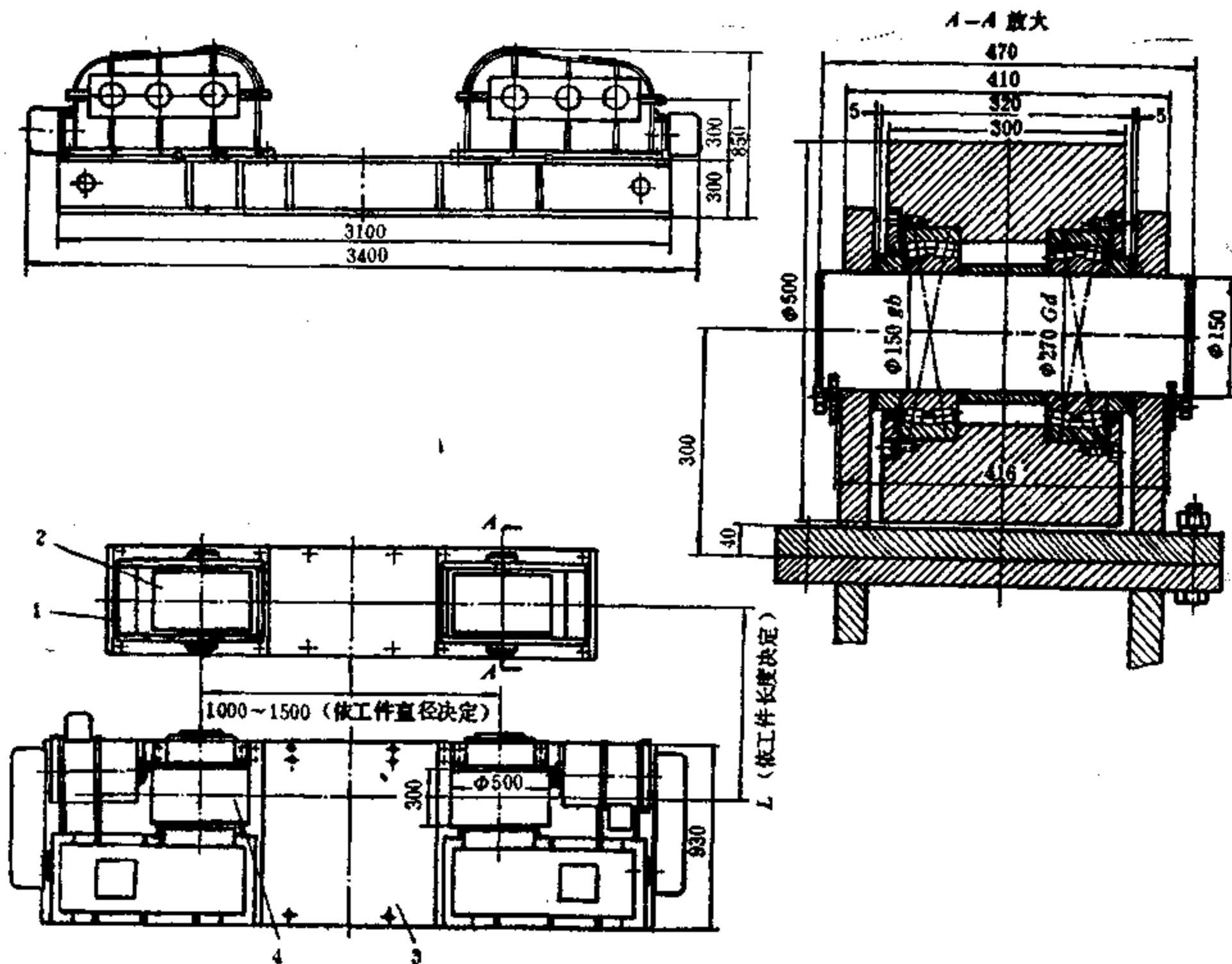


图 8-39 50t 组合式滚轮架

1—从动底座； 2—从动滚轮； 3—主动底座； 4—主动滚轮。

时，则必须采用组合式滚轮架。此外，组合式滚轮架在不工作时，易于移开，不占工作地。

为适用于不同直径圆筒装配焊接，且不用调节滚轮中心距，可采用如图 8-40 所示的自调式组合滚轮架（又称元宝式滚轮架）。滚轮装在摆架上，不用调中心距，即可对于不同直径工件自调获得平衡。对于小直径工件，利用摆架的定位装置使左右两组滚轮固定在同一水平位置上，此时支承工件的不再是 4 个滚轮，而是两个滚轮。这样，工件直径愈大，重量愈大，支承滚轮多，工件受到轮压小，可避免在工件表面压出印痕或冷作硬化。图 8-40 所示滚轮架可承工件重达 20t，工件直径 900~4000mm，滚轮圆周速度 20~60m/h，滚轮直径 450mm，滚轮宽度  $2 \times 120\text{mm}$ ，由交流整流子可调速电机 JZS51 驱动。这种滚轮架的缺点是结构比较复杂，维修保养也较以上滚轮架麻烦。

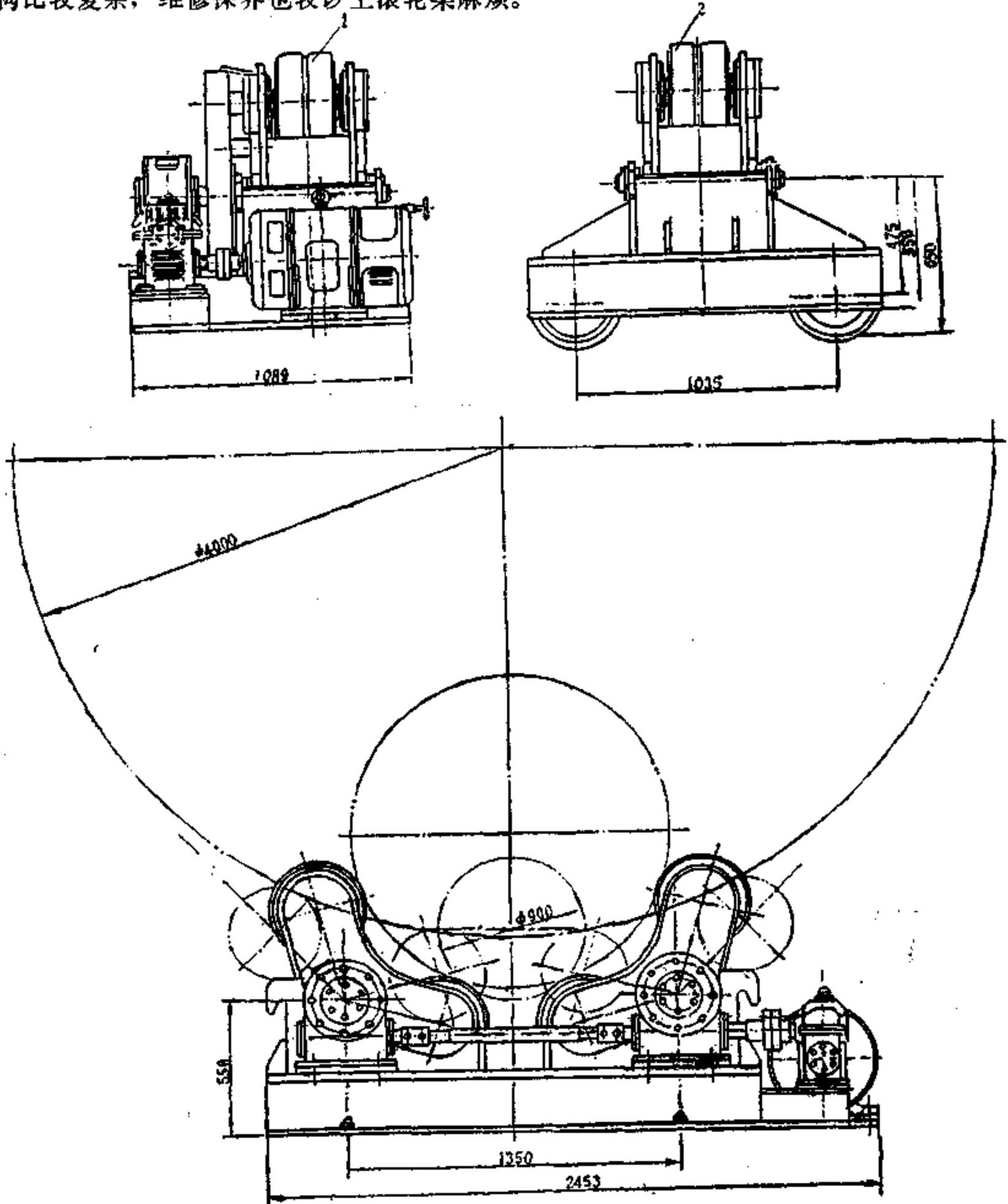


图 8-40 自调式组合滚轮架

1—主动滚轮架， 2—从动滚轮架。

组合滚轮架由单独滚轮组成，构成可调式焊接滚轮架，如图 8-41 所示。这种滚轮架具有更大的灵活性。

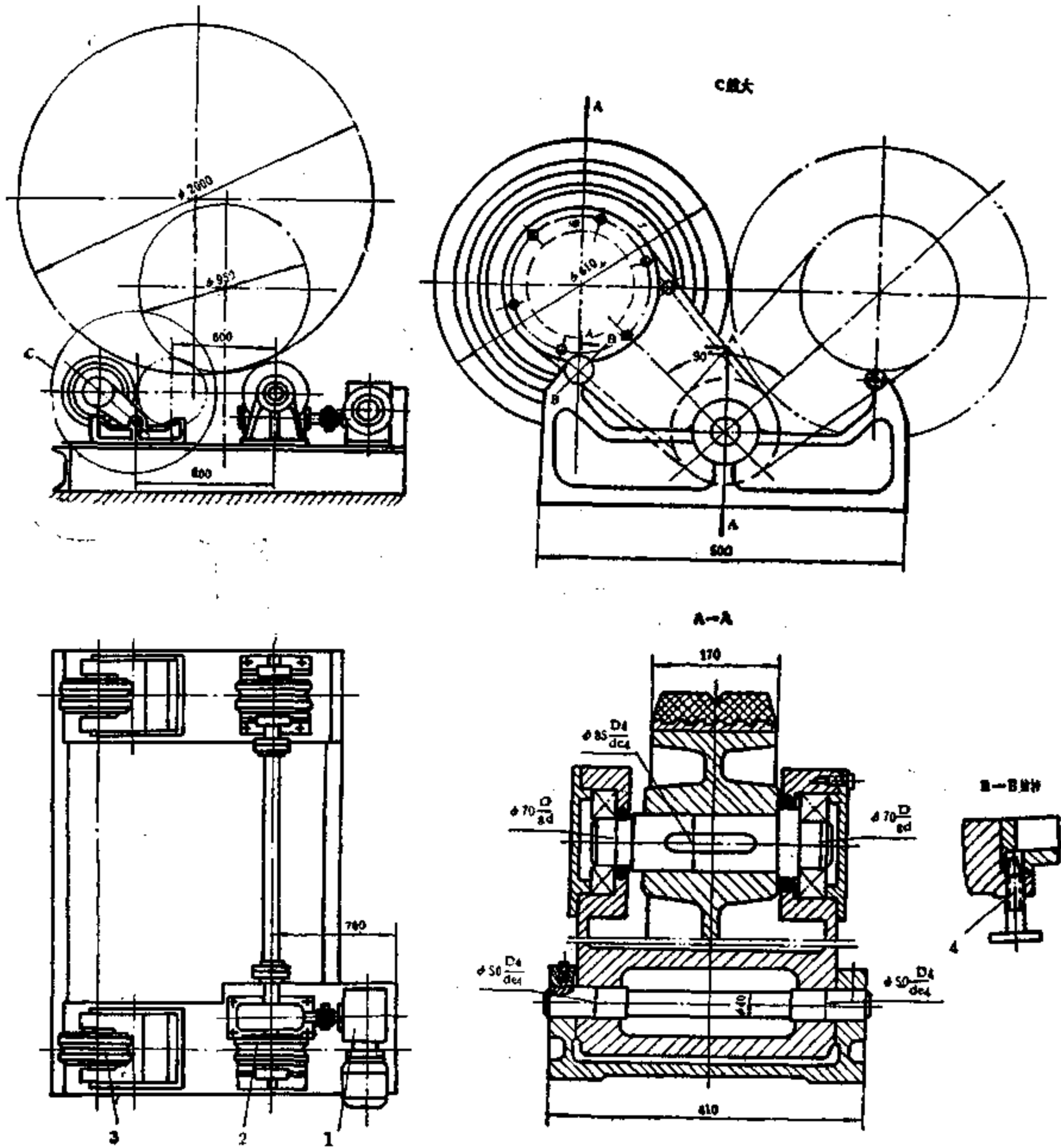


图 8-41 可调式（由单独滚轮组成）滚轮架  
1—传动机构；2—主动轮；3—从动轮；4—锁紧螺钉。

为了焊接球形容容器，可采用呈 $90^\circ$ 布置的滚轮架，两对滚轮架是固定的，另外两对滚轮架是安装在可起升的框架上，当球形容容器落在固定滚轮上时，可绕一个轴回转。当框架提升，球体与起升滚轮架接触，球形容容器可绕与先前轴成正交的另一轴回转。

#### (4) 焊接翻转机

焊接翻转机是用于调整梁、柱、框架及非圆容器等长形焊接结构，使之处在有利于施焊位置进行装配和焊接的机械。焊接翻转机种类很多，常用的有单柱、双柱框架式翻转机、链式、环式及多向翻转机。

双、单柱框架式翻转机可以手动也可以机动，图 8-42 所示为机械升降双柱式翻转机，特别适合于梁架结构的焊接工作，也适合于制造较宽的、两面都需要焊接的结构，可将其施焊焊缝都方便的转到平或船形焊位置。图中工件装卡在回转框架 2 上，框架 2 两端安有两个回转轴，轴插入滑块中，滑块可以沿左右两支柱 1 及 3 上下移动，动力由马达 7 减速器 6 带动丝杠旋转，进而使与滑块固定在一起的丝杠螺母升降。框架的回转是由另一马达 4 经减速器 5 带动光杠，光杠上蜗杠（可上下滑动）旋转，使与之啮合的蜗轮及与蜗轮刚性固定的框架旋转，实现工件的翻转。对于这类宽型工件，当翻转机不能升降时，则必须将翻转机回转部位的地面做成浅坑，以降低翻转机的使用高度和总高度，如油罐拼板的大型翻转机（第三章），就是安装在回坑之上的。也有不开地坑的，但需有平台或梯子来进行制品的装配和焊接，如敞车、客车及油罐车底架的总装焊接翻转机。

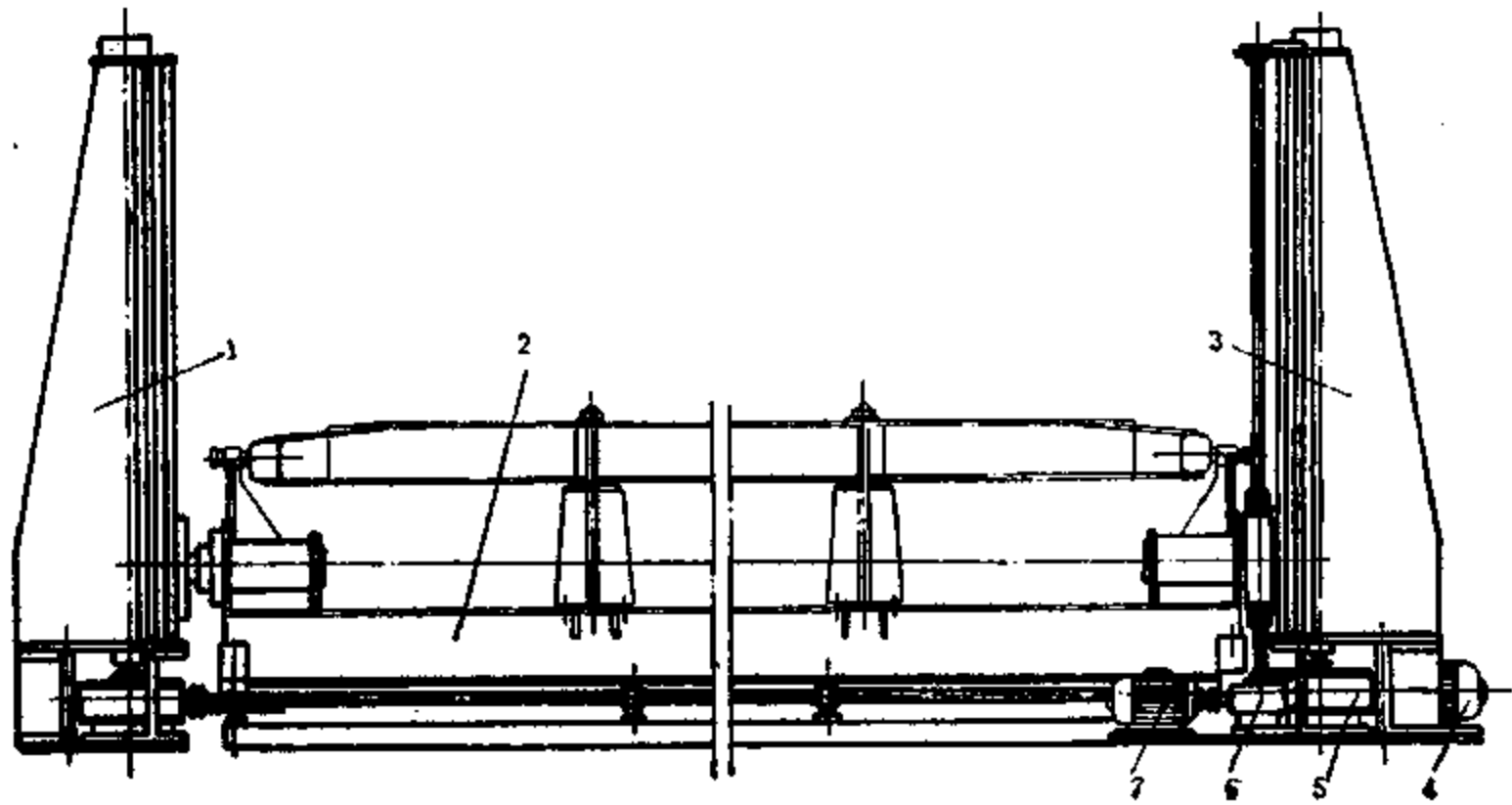


图 8-42 机械升降双柱式翻转机

当翻转机不止绕一个轴回转时，则造成多轴翻转机。如当框架内另装一台框架，该框架可在头一个框架内回转，且回转轴与头一个框架回转轴正交，使工件可在两个平面内回转，如图 8-43 a) 所示。图 8-43 b) 是 30t 供球形容容器装配焊接的翻转机。两图表明，除框架可绕轴 2 倾斜外，装卡工作的工作台可以绕中心轴，由回转机构 5 驱动回转。图中 3 为夹紧机构，4 为平衡重（是为防止重心偏离回转中心，造成过大回转阻力矩而设置的）。

链式翻转机如图 8-44 所示。该图是利用焊接机头（装在悬臂式焊接变位机上）正在进行工字梁角缝的船形焊。这种翻转机不设置装卡机构，工件安装及拆卸十分方便，结构十分

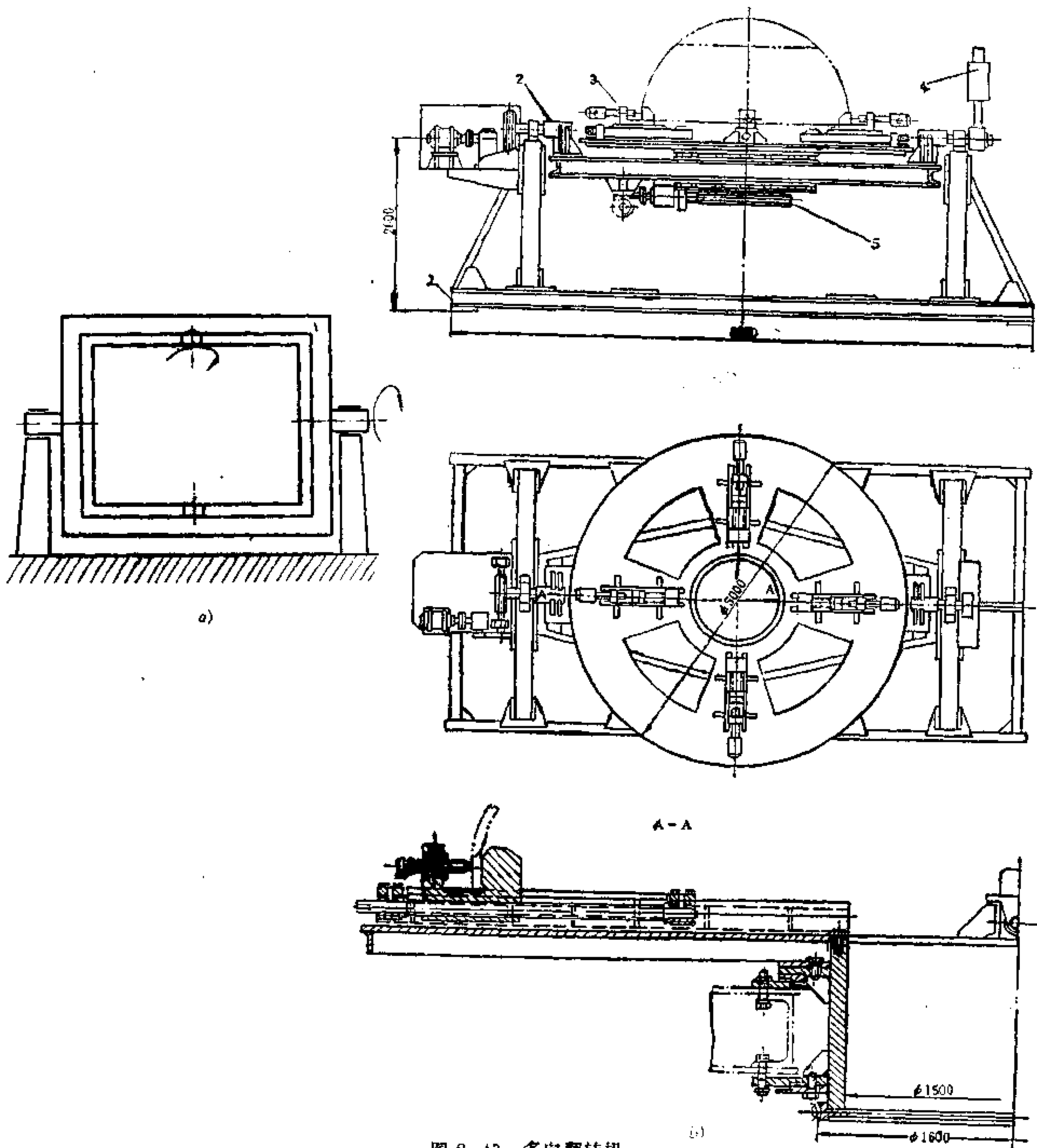


图 8-43 多向翻转机

1—机架，2—倾斜机构，3—夹紧机构，4—平衡块，5—回转机构。

简单，重量轻，对各种截面、不同长度梁类构件都可用。缺点是工件位置不易很快调整到完全合适；工件翻转时产生冲击，并要求工件有较好刚性；工件在完全自由状态下焊接，不能控制变形；工件翻转速度不均匀，同时还会产生歪斜和位移；为防止在自重作用下工件下滑，从动链上必须设制动装置。

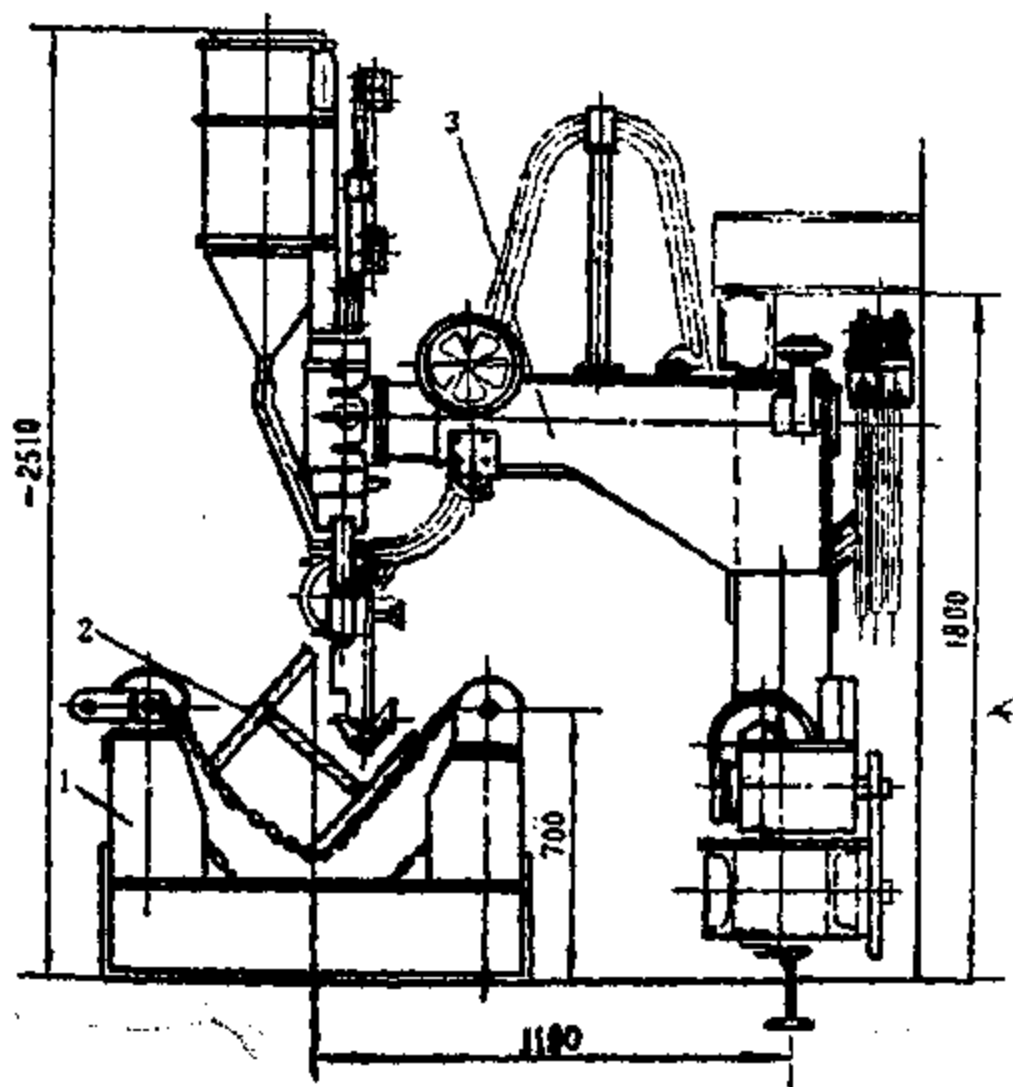


图 8-44 链式翻转机

1—链式翻转机；2—工件；3—焊接操作机。

由于上述缺点，这种翻转机应用不多。

环式翻转机适用于长度和重量都相当大、非圆的、截面不对称的和梁式构件的焊接。翻转机可以整周翻转，并停留在任何位置，焊件在支承环内，并由夹紧系统将它固定住，夹紧装置可以机动也可以手动。图 8-45 为一大型环式翻转机，有水平和垂直二套夹紧装置，可以夹紧和调整工件位置，使支承环处于平衡状态。为使支承环能适应多种截面工件的焊接，夹紧装置应是可拆卸的。工件有时不易调节到完全平衡位置，为防止在偏心力矩作用下环的自转，环式翻转机设有制动装置或锁紧装置。如图所示支承圈为滚子架支持，滚子在支承环的沟槽内，还起到防止水平串动作用，支承环依靠啮合传动。当工件刚性不足时，可以在支承环内加型钢支承。支承环一般是一个主动，一个从动。

支承环可能妨碍自动焊机通过，不利于自动焊接的应用，装卡工件必须打开支承环，比较麻烦。这种翻转机在批量生产大型长构架焊接结构工厂中得到应用。

多向翻转机包括如前介绍的多轴翻转机已获得广泛应用。图 8-46 a) 所示为行走式多向侧倾翻转机。一些专用翻转机，如图 8-46 b) 所示气动工字（箱形）梁专用翻转机，在一些工厂也获得应用。气动工字梁专用翻转机将在 I 位置的工件顶起时，气缸开始节流排气，工件自重使气缸活塞复位，工件翻转到 II 位。这种设计比较巧妙。

### 3. 焊工变位机械

常指将焊工及其用具升降到一定高度的焊工升降台。主要用作高大工件的手工焊和半自动焊，也可用于装配工作，与消防用的云梯类似，不过不是装在消防车上，而是装在可行走的底座上。构架有管结构、型钢结构及板结构等形式。升降有液压肘臂式、套筒式和机械式多种。还有双柱式工作走台，和车站等公共场所进行清洁工作的高架工作走台相似。

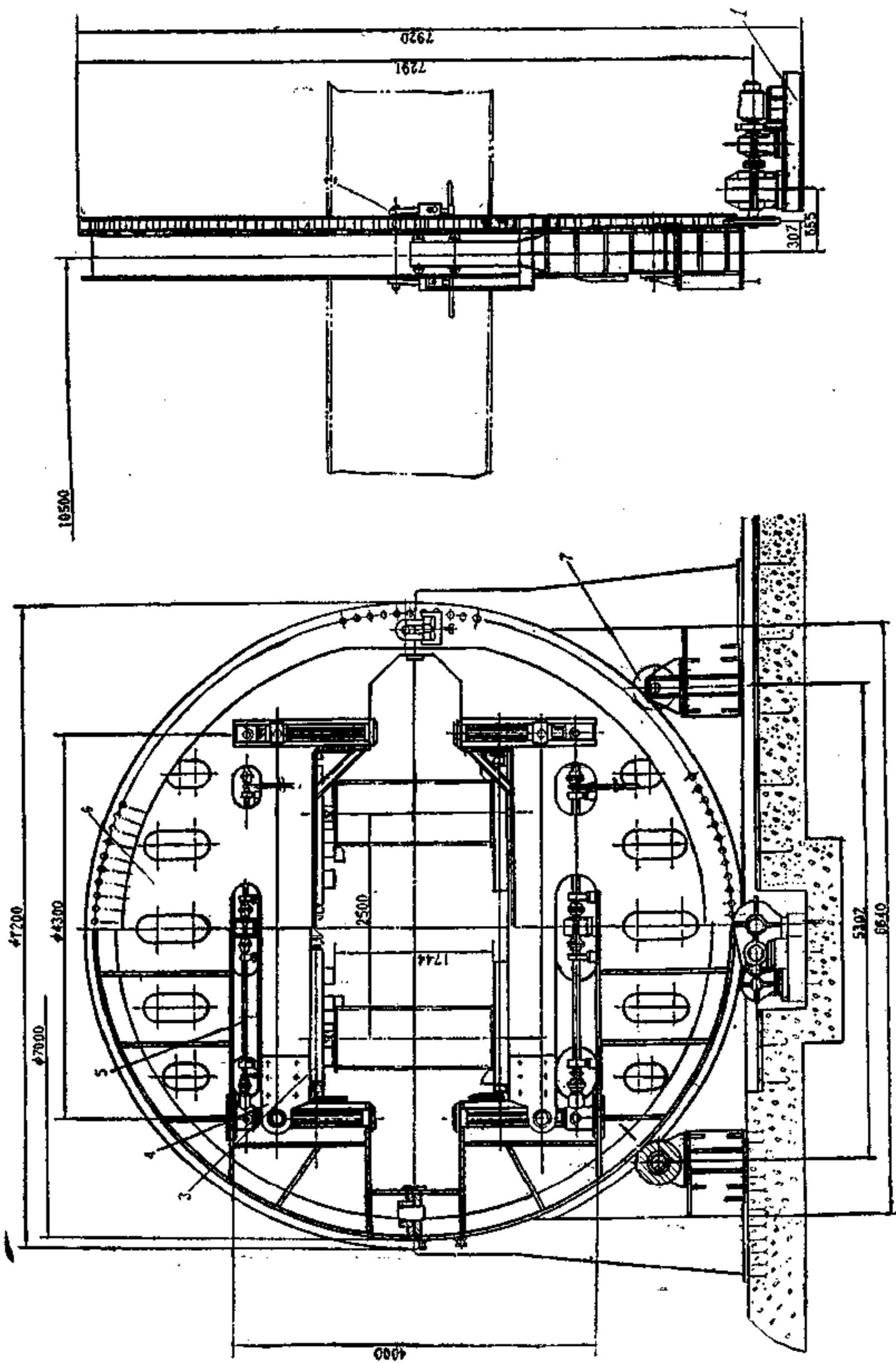


图 8-45 大型环式翻转机  
 1—针轮传动装置，2—锁紧装置，3—水平夹紧装置，4—垂直夹紧螺旋传动，  
 5—垂直夹紧驱动装置，6—支撑环，7—支撑滚轮。

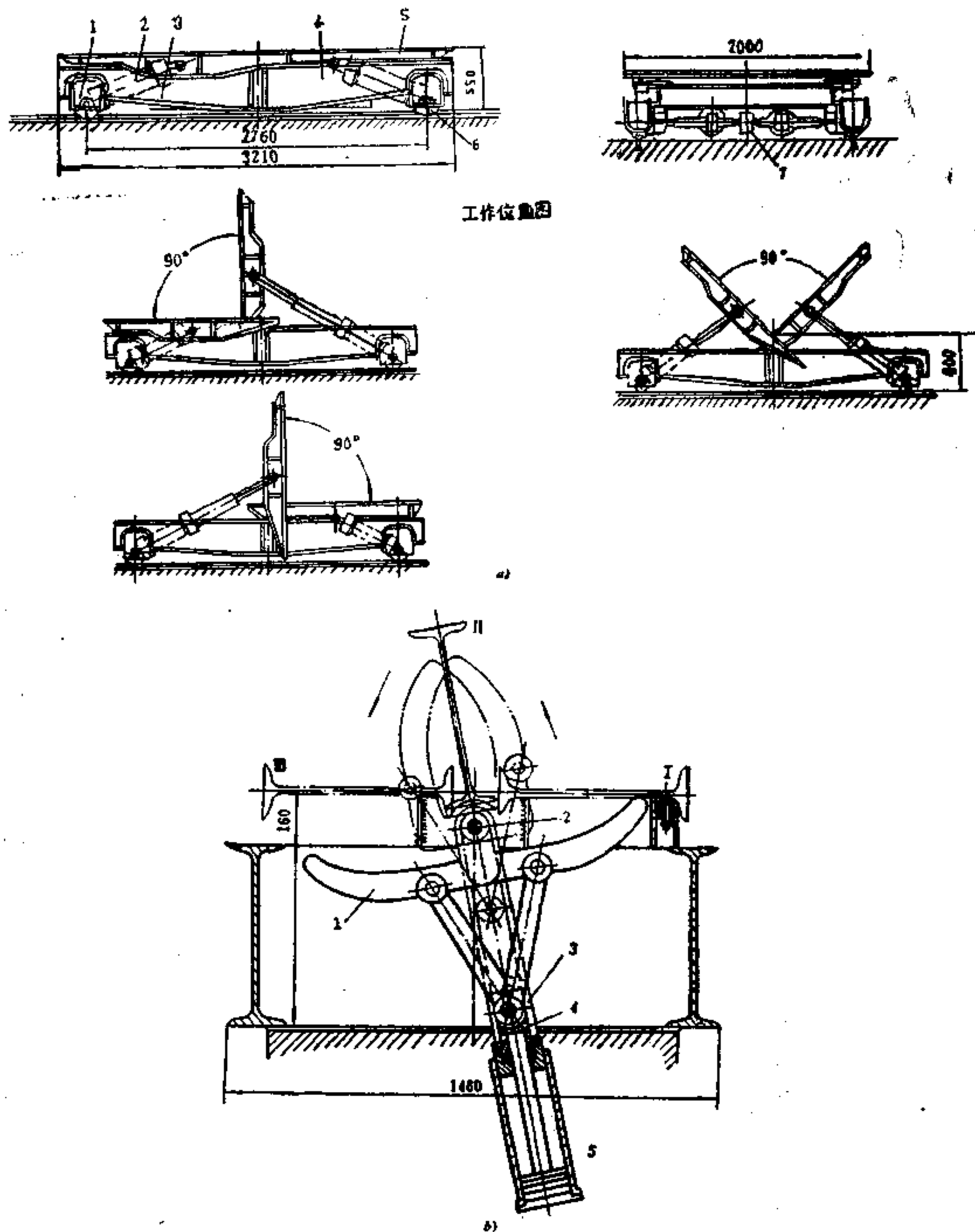


图 8-46 多向翻转机

- a) 多向侧翻翻转机, 1—主动行走轮, 2—举升油缸, 3—油泵机组, 4—行走台车  
5—翻转平台; 6—从动行走轮; 7—液压马达。
- b) 气动工字梁翻转机 1—回转臂 2—铰接支座 3—导槽 4—滑块 5—气缸。

#### 4. 装配焊接机器人

工业机器人是把人们进行重复操作的机能加以机械化的自动机器。它的出现开创了生产过程全盘自动化的崭新局面, 从60年代初第一台工业机器人问世以来, 它便获得迅速发展



展。由于工业机器人的应用，不仅工人离开繁重的危险的劳动，而且大大提高了产品的质量和生产效率，使无人车间的设想有可能实现。据介绍，1983年日本就有工业机器人80000台左右，日本是世界拥有机器人最多的国家，而且有40%用于焊接。拥有机器人的国家还有美、苏、英、西德、法、瑞典、意等国。

装配焊接机器人是工业机器人的一种。这种初级的，被称为第一代的机器人，若在它上面装上简单的视觉、触觉就能更扩大其应用范围，如美国利用有视觉的机器人，将车轮装到轮毂上。现代机器人研究已向人工智能方向发展，不仅有知觉（感觉）、记忆，而且有想象、识别、判断、推理等功能，这就是所谓的人工智能机器人，亦即所谓第二、三代机器人。

实际上，工业机器人就是程序控制的自动操作机。它并不与“人”相象，但有能在空间自由活动的“臂”和“手”，类似于人类的手臂，可以以人类手工劳动的动作来做工，这个过程完全在内部安装的控制系统的指挥下，自动地进行。控制系统具有存储给定程序（指令）的功能。

工业机器人在结构上应有：机械部分——固定在底座上的具有几个自由度（动作）的操作机，其形状和尺寸完全取决于所完成的工艺过程的要求；驱动部分，是机械动作的动力源；控制部分，具有控制机器人自动动作，保证机器人同有关设备联系（根据需要，机器人的动作可作为外部指令，同被管设备及其他机器人联系）和示教时完成程序编制。前两部分是一般装配焊接操作机都具有的，但控制系统要复杂得多，是一般操作机所没有的。

工业机器人的控制系统在控制机器人自动动作时，依靠控制装置从存储装置中取出程序，加以处理，然后将指令传给执行机构——驱动系统，使机器人动作。

编制控制程序是一件复杂而费力的工作，工业机器人复杂的动作，高的精度要求使该工作更费力。但目前机器人的控制系统具有所谓“示教”功能，即操作者用手控机器人完成需要的动作，手操纵传给驱动系统的讯号被储存、记忆，下一次即可自动工作，依靠控制装置，使机器人和手操纵一样动作。因此现代工业机器人的控制系统大多采用计算机，比普通自动机要复杂得多，但操纵都十分简单。

对于已有较成熟使用经验的工业机器人，可以举出美国《Unimate》型工业机器人。该机器人操作机有5个自由度，示意于图8-47。即有臂伸缩（I），臂倾斜（II），臂回转（III），爪倾斜（IV）和爪回转（V）。其动作速率分别为625mm/s和30°/s, 100°/s, 110°/s, 110°/s。可见动作很快

这种机器人的操作机的结构示意于图8-48。支柱3用轴承安装固定在机器人底座上。

安装在立柱上的横臂1依靠液压缸6，推动齿条2带动齿轮4，使其绕立柱回转。由液压缸5推动横臂在垂直平面内倾斜。液压缸8推动臂（爪）伸缩。工作爪7相对轴10的倾斜，和绕轴12的回转是利用安装在7和圆柱状杆9中液压缸和齿轮实现的。这种机器人用来进行接触焊接，在初次进行该项工作时要进行《示教》。该机器人有引出的示教操纵盘，用插件电

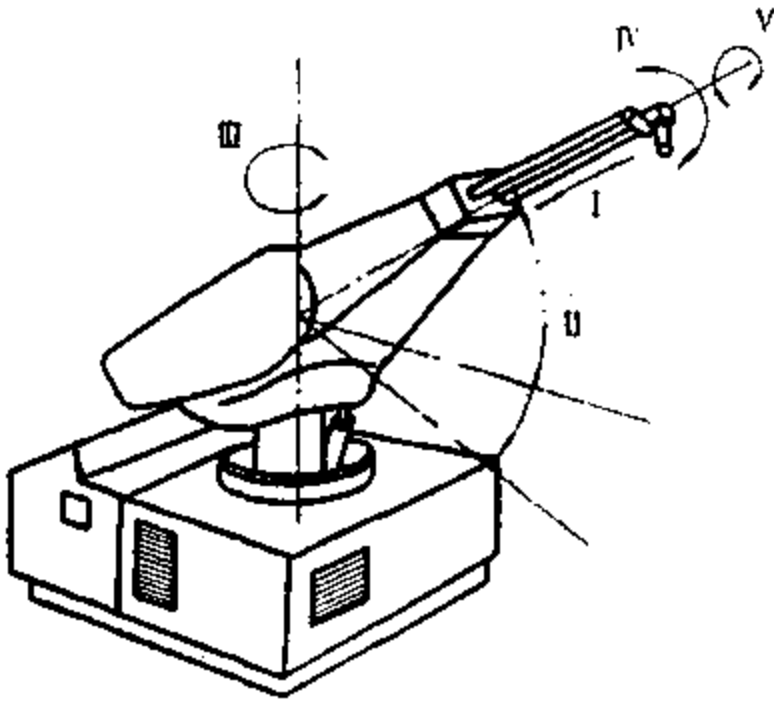


图8-47 《Unimate》工业机器人

缆接至机器人，该盘上有5个座标手控运动的按钮、精度转换开关、加速运动按钮、存入存储按钮等。当按下钩钥开关就接通盘上的控制机构，操纵有关按钮，使机器人的工作机构到达给定位置；然后按下“存入”按钮，将这一位置的动作记入机器人存储器；接着再移到下一位置，完成全部动作，并逐一记入存储器。示教结束后，断开示教盘，机器人作好连续重复存入的运动循环准备，则可以自动进行规定的操纵接触焊钳的动作，完成接触焊生产的任务。

《Unimate》的操作机控制系统、液压驱动系统（液压泵及驱动电机、液压系统各元件等）都装在共同的底座上成为一体（如图8-47所示）。底座有地脚螺栓固定在基础上。

应用《Unimate》机器人，将接触焊焊钳换成弧焊的焊炬或夹紧装置，则可以作为他用。实际上，在接触焊的流水生产线上，机器人可以很快移动相当重的接触焊钳，在由一个位置到另一个位置时发生很大的惯性载荷。与此相反，工业机器人进行弧焊时，焊炬重量小（3~5kg），而移动速度较小，但应满足焊接工艺参数的要求（速度为3~50mm/s）。从表面看，焊工操作很简单，实际上是一种围绕复杂轮廓（焊缝）的复杂运动，因此利用接触焊的相对来说比较简单的控制系统去完成连续的（接触点焊是间断的跳跃的动作）、不规则曲线的缓慢弧焊运动是不合适的。

图8-49是能满足弧焊要求的机器人，型号为ASEA。采用刚性机械部分与自动控制相配合，其动作位置偏差很小（±0.2mm），使焊炬可沿曲线形状（空间）以不同速度移动。

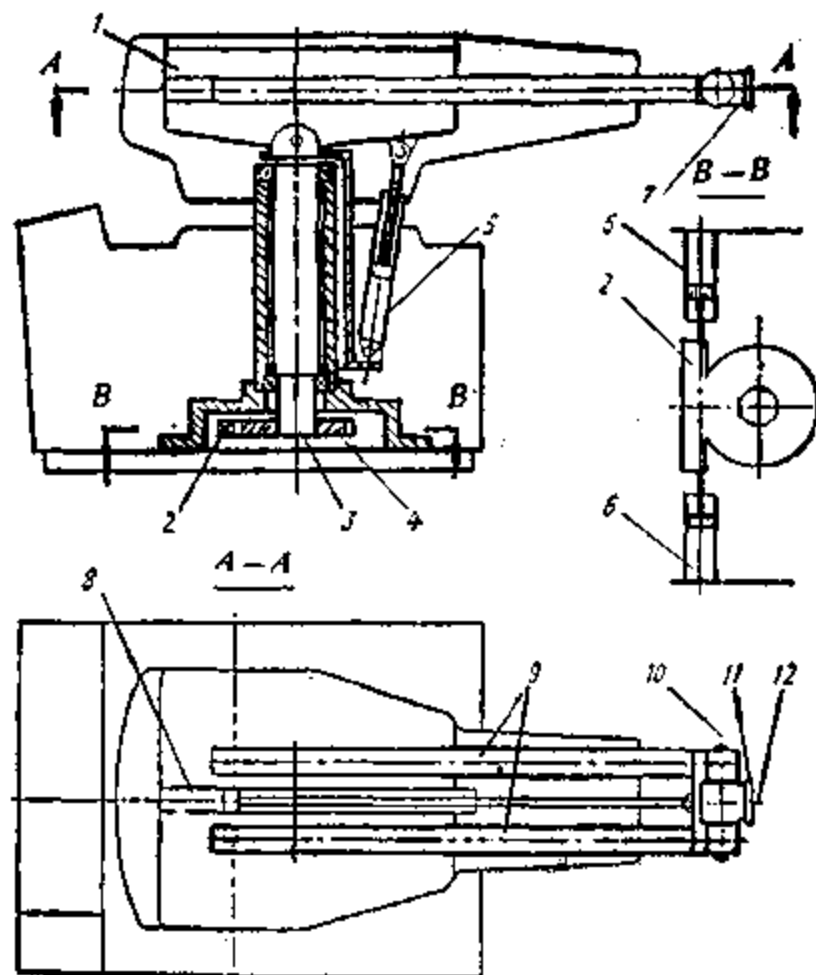


图8-48《Unimate》工业机器人操作结构示意图

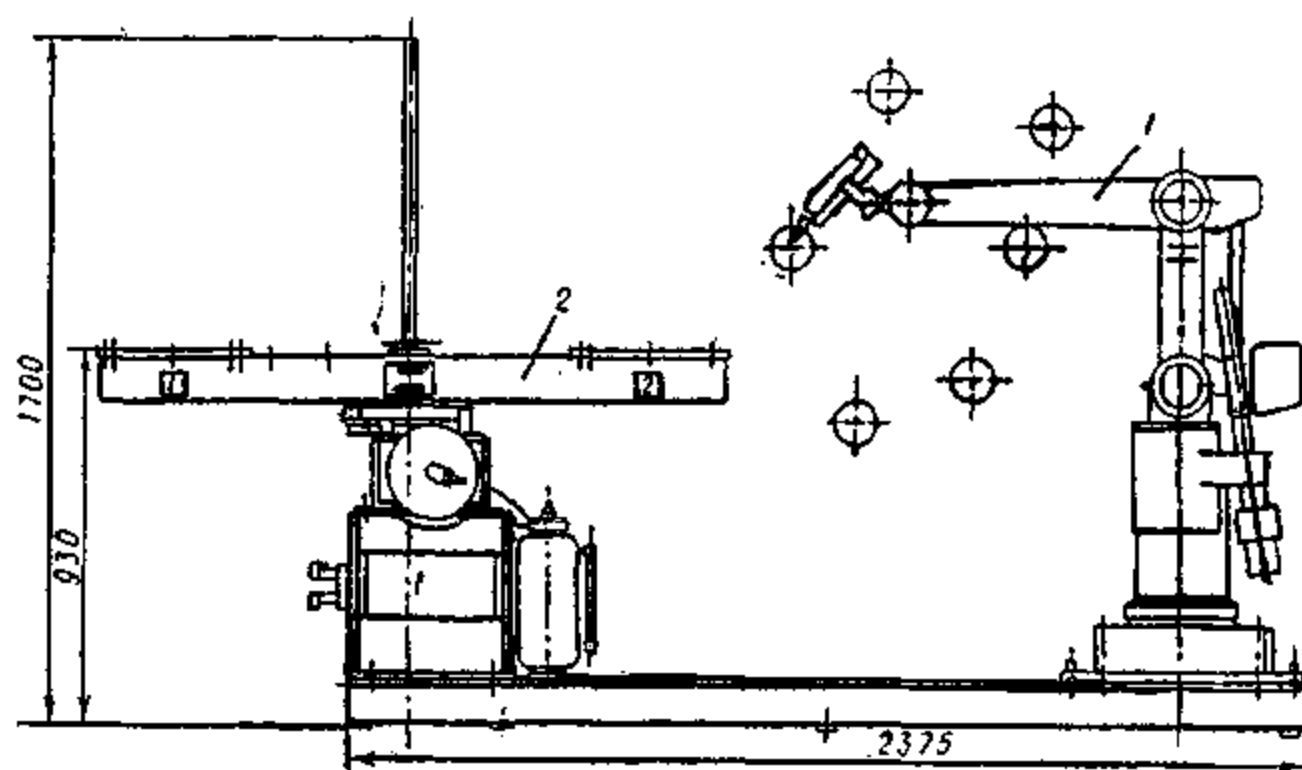


图8-49 弧焊机器人ASEA与焊接变位机

这种机器人用于成批和小批生产，配合两个焊接变位机（万能转台）或回转台2（上有两个工位，一个装配，一个焊接），进一步提高了设备和工作地的利用率。

#### 5. 装配焊接机械装置的综合应用

在焊接生产中，装配焊接机械往往是组合运用的。组合形式多种多样，但本质上都是焊件和焊机移动装置组合，可以为某种单一产品服务，也可为同一焊缝形式的不同产品服务，也可以固定工位布置这些机械或以生产工艺要求而定。采用这些组合，能充分发挥各种焊接机械的作用，以提高焊接生产机械化水平，高质量高生产率地组织生产。

如图8-27是门式焊接架和滚轮架的组合；图8-28是用可移动横梁门式焊接架进行半球焊件外缝焊接；图8-29~8-30都是同悬臂平台焊接操作机与滚轮架组合焊接圆筒的实例；图8-37示出了焊接回转台和悬臂式焊接操作机的组合；图8-44示出链式翻转机和悬臂式焊接操作机配合焊接工字梁；而图8-49则是机器人和焊接变位机配合的示意图。此外，为组织焊接生产的综合机械化自动化，仅有以上装配焊接机械是不够的，还必须配有高效率焊机及焊接辅助装备，如焊剂垫、焊剂自动回收装置等。

### 四、装配焊接机械和装置的设计

#### 1. 设计内容与步骤

与一般的机器一样，装配焊接机械设计内容包括：

##### (a) 机械结构及传动方案的确定

产品（焊接结构）的工艺设计提供了所需装配焊接机械的设计草图、设计任务书。在此基础上了解了所设计装备的要求、使用条件，经过周密调查研究，包括对类似装备性能、优缺点的考察，从而提出了供选择的一个或数个方案，并应有科学论证和说明，以及分析比较。

##### (b) 设计计算及编写各种说明材料

在批准方案的基础上进行上述工作。

(c) 绘制所设计机械的设计装配图，在此基础上，绘制零件工作图——拆图，以便核对设计并组织加工制造。

装配焊接机械的设计是根据实际的要求，综合运用机械设计（机械零件、机械原理）、制图、金属工艺学及有关专业知识的过程，设计过程中根据实际情况不断修正，以便设计制造出合用的、经济的机械装备。

装配焊接机械设计按以下步骤进行：

(a) 确定机械设备的结构方案及传动方案，如结构由哪些部件组成？结构的主体（构架）是采用焊接的、栓接的还是铸造的？采用几级传动？各级都采用何种传动付？

(b) 进行金属构架及传动元件的设计计算。包括电机的选择或原动机的选择，确定传动比，计算机器的效率，确定电机的功率，各级传动比分配，各级传递的功率等；进而进行各级机械零件的设计计算并同时绘制零件草图；进行金属结构（通常采用钢结构）的设计计算。

(c) 编写设计计算说明书。整理上述内容编撰成计算说明书，并应用分析和论证。

(d) 绘制设计装配图及零件工作图。

(e) 编写机械装备的使用说明书, 包括机器的性能, 使用注意事项等。

下面介绍某些装配焊接机械设计的一些特点, 以供设计参考。

## 2. 悬臂平台式焊接操作机设计

图 8-29, 8-30 所示的悬臂平台式焊接操作机的钢结构按桁架进行设计计算, 可参考悬臂式起重机金属结构的计算及第四章进行设计。

与图 8-30 类似的非落地式悬臂式焊接操作机, 在用电机驱动的情况下, 当用作埋弧自动焊时, 若焊机及焊丝、焊剂重为  $G_0$ , 工人重量为  $G_1$ , 机架自重为  $G$ , 并分别作用在不同位置, 如图 8-50 所示。他们将对垂直轨道 1 产生作用力  $F_1$ , 且有

$$F_1 = G_0 + G_1 + G \quad (8-9)$$

对于水平轨道 2, 3 也将产生如下作用力

$$F_2 = \frac{(G_1 + G_0)a + GC}{h} \quad (8-10)$$

式中  $h$  —— 两水平轨道中心线距离;  
 $a$  —— 机架重心至轨道面的距离;  
 $c$  —— 工人、焊机等重心至轨道面的距离;

悬臂运行时, 须克服垂直和水平各对滚轮轴承摩擦阻力及滚动摩擦阻力。  
 车轮轴承之摩擦阻力可按下式计算

$$F_3 = \frac{F_1 f_1 \frac{d_1}{2}}{D_1} + \frac{2F_2 f_1 \frac{d_2}{2}}{D_2} \quad (8-11)$$

式中  $d_1$  —— 垂直滚轮轴直径;  
 $d_2$  —— 水平滚轮轴直径;  
 $D_1$  —— 垂直滚轮直径;  
 $D_2$  —— 水平滚轮直径;  
 $f_1$  —— 轴承的诱导摩擦系数 (可取 0.08~0.1)。

车轮滚动摩擦阻力可按下式计算

$$F_4 = \frac{F_1 f_2}{D_1} + \frac{2F_2 f_2}{D_2} \quad (8-12)$$

式中  $f_2$  —— 车轮和轨道的滚动摩擦系数 (0.05~0.07mm)。考虑到车轮边缘和轨道 (如图中 1 轨道与垂直滚轮) 也有摩擦力, 此力用系数  $\beta$  来考虑

$$F_5 = \beta(F_3 + F_4) = \beta_1 \left( F_1 \frac{f_1 d_1 + 2f_2}{D_1} + 2F_2 \frac{f_1 d_2 + 2f_2}{D_2} \right) \quad (8-13)$$

根据焊接工艺要求, 移动速度即为焊速  $v$ , 则可计算出电机功率

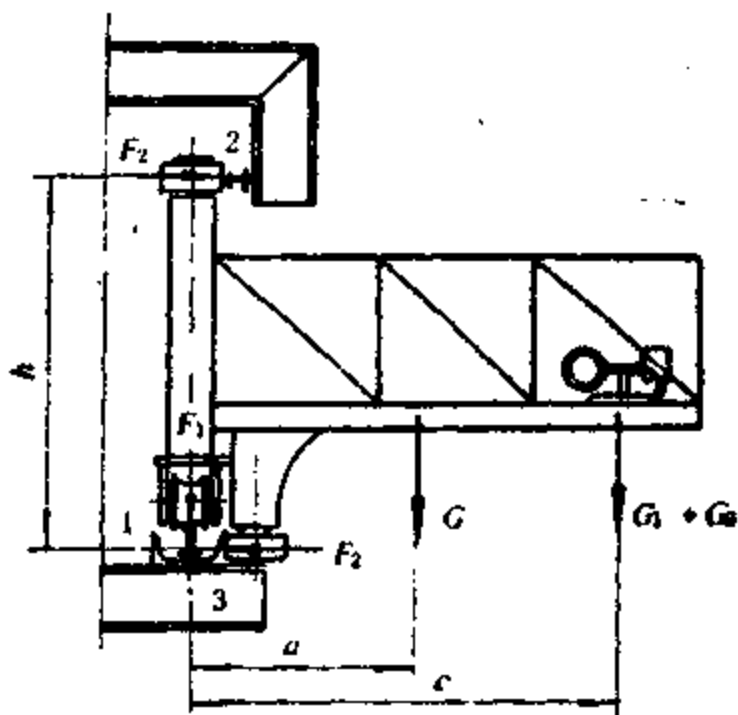


图 8-50 悬臂式焊接操作机计算简图

$$N = \frac{F_s v}{1021\eta} \text{ (kW)} \text{ 或 } N = \frac{F_s v}{10001\eta} \text{ (kW)} \quad (8-14)$$

式中  $v$  ——运行速度 (m/s) ;

$\eta$  ——机构效率;

$F_s$  ——运行总阻力 (单位为kgf或N) 。

### 3. 手动焊接变位机的设计

图8-34~图8-37的焊接变位机的设计是比较复杂的,需要若干种专业设计人员共同合作完成,实际上这类焊接变位机通常具有两种运动,一为回转台的平面旋转,一为回转工作台的倾斜。在设计过程中通常在确定这两种运动的阻力矩之后,即可确定电机功率(在初选各级传动之后)、确定各级传动,并进行其设计。现以手动焊接变位机(如图8-51a)为例说明该过程。

图示手动焊接变位机工作台的回转是依靠蜗轮蜗杆付2推动的,蜗杆上装有手动手柄5。工作台1的回转轴采用滚动轴承。工作台的倾斜是由另一对蜗轮蜗杆付3来完成,手柄6驱动该机构。全部机构装在机架4上,该变位机可承载400kg重构件,工作台可倾斜135°。

设计的原始资料有:待制构件重量;构件重心位置( $a$ 和 $b$ );工作台转数( $r/\text{min}$ );工作台倾斜时间 $t$ (min或s)。

由于工作台倾斜达135°,因此有下列受载方案:①工作台成水平位置(图8-51b);②工作台倾斜90°(图8-51c);③工作台倾斜135°(图8-51d)。

工作台回转驱动力矩计算可按两种轴承(滚动和滑动)来设计。当采用滚动轴承(锥形滚柱轴承),工作台成水平位置时,驱动力矩 $M$ 主要克服工件重量 $G$ 、工作台自重 $Q$ 在轴承中引起的轴向摩擦阻力矩 $M_1$ 以及工件偏心在轴承中所引起的径向摩擦阻力矩 $M_2$ (由轴承的径向力 $N$ 所引起),故驱动力矩大小为

$$M = M_1 + M_2 \quad (8-15)$$

而

$$M_1 = (G + Q) f R_0 \quad (8-16)$$

$$M_2 = N f (r_A + r_B) \quad (8-17)$$

式中  $f$  ——滚动摩擦的诱导摩擦系数(单列圆锥滚柱轴承 $f = 0.008$ ,双列向心球面球轴承 $f = 0.0015$ ,双列向心球面滚子轴承 $f = 0.004$ ,短圆柱滚子轴承 $0.002$ 等);

$R_0$  ——滚动轴承中心线至滚子的平均截面中心的距离;

$r_A, r_B$  ——轴的半径,通常 $A, B$ 处取相同值 $r$ ;

$N$  —— $A, B$ 轴承处反力,  $N = \frac{Gb}{H}$ 。

故式(8-15)可写作

$$M = (G + Q) f R_0 + 2 \frac{Gb}{H} r f \quad (8-18)$$

工作台倾斜90°时;驱动力矩 $M$ 主要克服工件重量 $G$ 和工作台自重 $Q$ 在轴承中所引起的径向摩擦阻力矩 $M_2$ (由轴承径向反力 $N$ 及 $N'$ 所引起),以及工件回转偏心矩 $M_3$ ,故驱动力矩大小为

$$M = M_2 + M_3 \quad (8-19)$$

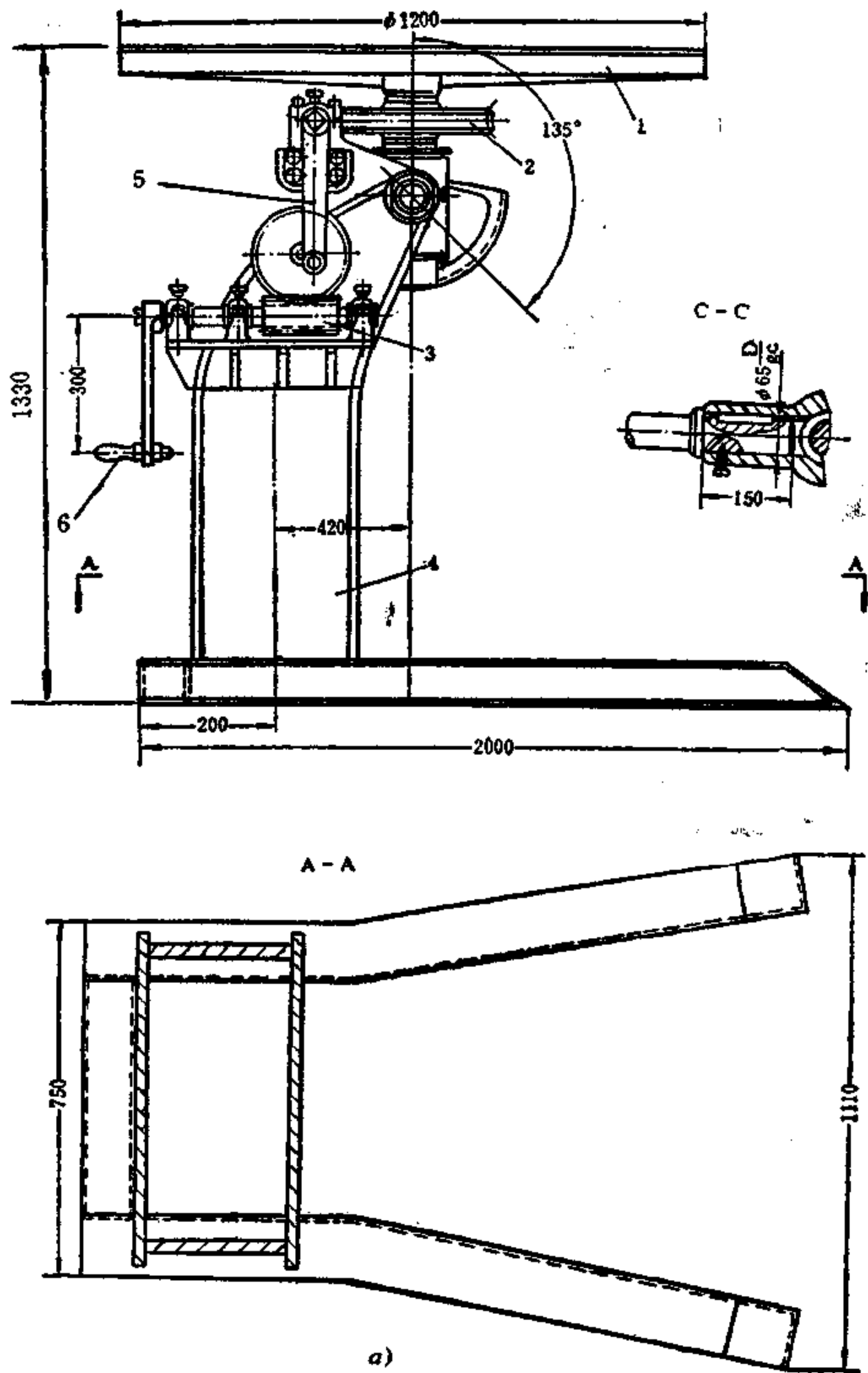


图 8-51 手动焊接变位器a) 及受载简图b)

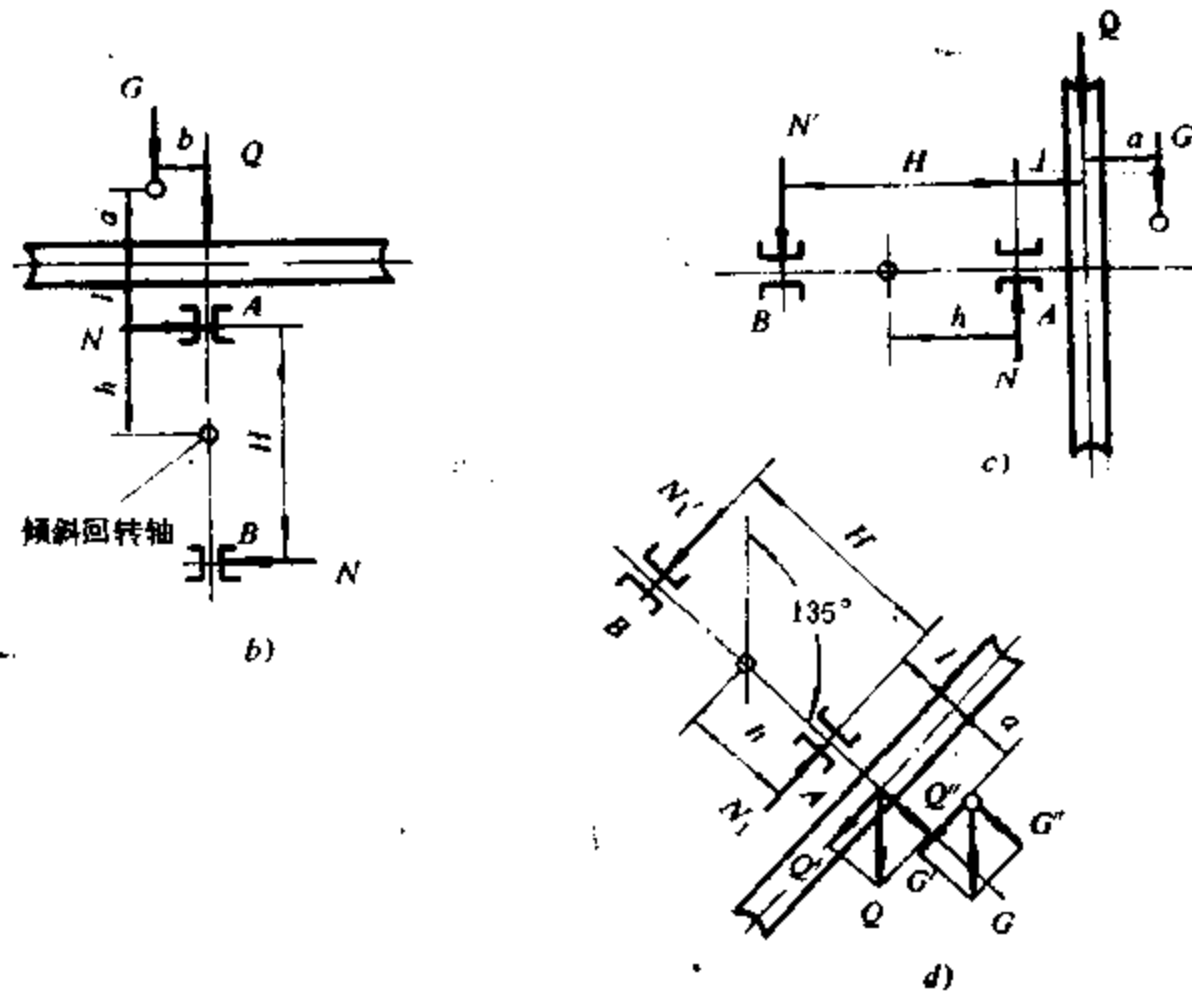


图 8-51 手动焊接变位机a) 及受载简图b)

且有

$$M_2 = Nfr_A + N'fr_B \quad (8-20)$$

$$M_3 = Gb \quad (8-21)$$

式中  $f$ 、 $G$ 、 $b$  同前各式,  $r_A = r_B = r$  即轴半径,

$$N' = \frac{G(a+l) + Ql}{H}$$

$$N = N' + Q + G \quad (\text{见图 } 8-51c)$$

故式 (8-19) 可写作

$$M = Gb + \frac{G(a+l) + Ql}{H} fr + \left[ \frac{G(a+l) + Ql}{H} + Q + G \right] fr \quad (8-22)$$

工作台倾斜 $135^\circ$ 时, 驱动力矩 $M$ 主要克服工件和工作台重量的轴向分力 $G''$ 和 $Q''$ 在轴承中所引起的轴向摩擦阻力矩 $M_1$ , 工件重和工作台自重的径向分力 $G'$ 与 $Q'$ 在轴承中所引起的径向摩擦力矩 $M_2$  (由轴承径向反力 $N$ 及 $N'$ 所引起), 以及分力 $G'$ 所引起的偏心力矩 $M_3$ , 故驱动大小为

$$M = M_1 + M_2 + M_3 \quad (8-23)$$

且有

$$M_1 = (G'' + Q'')fR_0 \quad (8-24)$$

$$M_2 = N_1fr_A + N_1'fr_B \quad (8-25)$$

$$M_3 = G'b \quad (8-26)$$

$$\text{式中 } N_1' = \frac{G'(a+l) + Q'l + G''a}{H},$$

$$N_1 = N_1' + Q' + G';$$

$r_A$ 、 $r_B$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $l$ 、 $R_0$ 、 $f$  等同前各式。

故式 (8-23) 可写作

$$M = (G'' + Q'')fR_0 + G'b + N_1fr + N_1'f'r \quad (8-27)$$

当采用滑动轴承时，轴向力由止推轴颈来承受，止推轴颈的半径为  $r_0$ ，工作台成水平位置时，则驱动力矩  $M$  类似于式 (8-18)

$$M = (G + Q)f'r_0 + 2\frac{Gb}{H}rf' \quad (8-28)$$

式中  $r_0$ ——止推轴颈半径；

$f'$ ——滑动轴承的诱导摩擦系数，如液体摩擦  $f' = 0.001 \sim 0.008$ ，半液体摩擦  $f' = 0.008 \sim 0.08$ ，半干摩擦  $f' = 0.1 \sim 0.5$ ；

其余同式 (8-18)。

工作台倾斜  $90^\circ$  时，公式同 (8-22)，只将  $f$  改为滑动轴承的诱导摩擦系数即可：

$$M = Gb + \frac{G(a+l) + Ql}{H}f'r + \left[ \frac{G(a+l) + Ql}{H} + Q + G \right]f'r \quad (8-29)$$

工作台倾斜  $135^\circ$  时，将式 (8-27)  $R_0$  换作止推轴颈半径  $r_0$ ， $f$  换为滑动轴承的诱导摩擦系数，则有

$$M = (G'' + Q'')f'r_0 + G'b + N_1f'r + N_1'f'r \quad (8-30)$$

由上面的公式可以看出，工作台回转的阻力矩是变化的，不仅在不同倾斜位置该阻力矩不同，而且在一个位置时，偏心矩也是变化的。如工作台倾斜  $90^\circ$ ，工件重心由下转到上部时，偏心矩是阻力矩；重心由上往下转时，则是驱动力矩。故设计计算时，要依靠最大阻力矩  $M_{max}$  来决定所需电机功率，这在初选传动付，决定传动比之后进行。在本例手动焊接变位机条件下，设手柄长为  $L$ ，手柄作用力  $N_{sh}$ ，则所能提供的驱动力矩为

$$M_{sh} = N_{sh}L \quad (8-31)$$

则传动比为

$$i = \frac{M_{max}}{M_{sh}\eta} \quad (8-32)$$

式中  $\eta$ ——从手柄到工作台整个传动链的效率。 $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdots$ ， $\eta_1$  轴承效率； $\eta_2 \cdots$  各级传

动付的效率。对蜗轮付  $\eta = \frac{\text{tg}\varphi}{\text{tg}(\varphi + \rho)}$ 。 $\varphi$ —蜗轮螺旋角， $\rho$ —摩擦角。

此外，传动比可以表示为

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (8-33)$$

式中  $n_1$ ——工作台回转转数 (45~60r/min)；

$n_2$ ——手柄转数 (3~5 r/min)。

因此  $i \approx 9 \sim 20$ 。

工作台倾斜驱动力矩的计算

工作台倾斜驱动力矩克服工件重量  $G$  所形成的阻力矩  $M_1$ 、回转装置自重  $Q$  所形成的阻力矩  $M_2$ ，以及  $G$  和  $Q$  在倾斜回转的轴承中所形成的摩阻力矩  $M_3$ 。

注意到工件重心即  $G$  作用点与回转轴（倾斜回转轴）的垂直距离是变化的，如在工作台



水平位置时, 该值为  $b$ ;  $90^\circ$  时则为  $a + l + h$ ;  $135^\circ$  时则为  $(a + l + h) \cos 45^\circ$  (见图 8-51 b), c), d))。回转装置自重重心, 即  $Q$  作用点与回转轴的垂直距离同样也是变化的, 如工作台在上述三个位置时, 这个距离分别为  $0$ ,  $l + h$ ,  $(l + h) \cos 45^\circ$ 。故  $M_1$ ,  $M_2$ , 也都是变化的, 而且倾斜方向也变化 (如顺时针和逆时针), 则  $M_1$ ,  $M_2$  有时是驱动力矩, 有时又成为阻力矩。按最大阻力矩考虑, 当取图 8-51 c) 位置逆时针旋转时

$$M_1 = G(a + l + h) \quad (8-34)$$

$$M_2 = Q(l + h) \quad (8-35)$$

$$M_3 = (G + Q)f \frac{d}{2} + \frac{M_1 + M_2}{f} f \frac{d}{2} \quad (8-36)$$

式中  $a, l, h$ ——如图 8-51 b), c), d)) 所示;

$f$ ——倾斜回转扇齿轮节圆半径;

$d$ ——轴承处轴径;

$f$ ——轴承处诱导摩擦系数。

故总阻力矩为

$$M = M_1 + M_2 + M_3 \quad (8-37)$$

与回转驱动力计算类似以式 (8-37) 计算得最大总阻力矩来决定所需电机功率。在本例条件下, 手柄长为  $L$ , 手柄作用力  $N_{s,t}$ , 则驱动力矩为

$$M_{s,t} = N_{s,t} L = \frac{M}{i\eta} \quad (8-38)$$

式中  $i$ ——所选定的传动链传动比;

$\eta$ ——传动链的效率。

按初始条件, 转  $135^\circ$  需  $t$ s, 则转一圈 ( $360^\circ$ ) 时间为

$$t' = \frac{t \cdot 360}{135} \text{ (s)}$$

则每分钟转数为

$$n_3 = 60 \frac{1}{t'} \text{ (r/min)}$$

故倾斜机构手柄的回转数为

$$n_4 = i n_3 \text{ (r/min)}$$

#### 4. 双柱式翻转机的设计

这类翻转机用得很多, 包括图 8-42 可升降的双柱式翻转机, 其翻转部分的设计很重要, 是各种双柱式翻转机都要进行的。

设计时要合理的确定卡固工件的构架结构, 如 8-26 装配轿车底盘的翻转机构架上安装有多种卡具, 相当复杂, 构架本体由槽钢、角钢、钢板等拼焊而成。大多数翻转机构架与之相类似, 多由型钢拼焊而成, 保证有足够的强度和刚度。此外, 还应尽量使回转中心与重心重合, 该重心为回转构架与工件之总和的重心。求重心可用作图法 (如索多边形), 也可计算确定, 在重心确定之后, 即可确定翻转阻力矩。

双柱式翻转机的翻转需克服轴承和轴颈的摩擦力矩  $M_1$  及静不平衡力矩  $M_2$  (即上述重心与回转中心不完全重合而产生的偏心矩), 如构架及产品 (工件) 的总重为  $G$ , 轴颈半径为  $r$ , 滑动轴承的诱导摩擦系数为  $f'$ , 则有

$$M_1 = Gf'r \quad (8-39)$$

$$M_2 = Gl \quad (8-40)$$

则总阻力矩为

$$M = K(M_1 + M_2) \quad (8-41)$$

式中  $l$  ——重心与回转中心之偏心距离；

$K$  ——考虑到起动惯性力所加的系数。

在初步选定传动付，获得整个传动链的效率  $\eta$ ，翻转机转数  $n$  之后，则可求所需电机功率

$$N = \frac{M \cdot n}{\eta} \times \frac{0.7355}{71620} \quad \text{或} \quad = \frac{M \cdot n}{\eta} \times 10^{-4} \quad (8-42)$$

式中  $M$  ——总的需用驱动力矩即总阻力矩 ( $kgf \cdot cm$  或  $N \cdot cm$ )；

$n$  ——转数 ( $r/min$ )；

$\eta$  ——机构总效率。

### 5. 滚轮架的设计

装配焊接滚轮架用于制造圆柱形容器时，工件直接放置在滚轮架上，对于非圆工件的翻转在采用环形翻转器之后，也广泛运用滚轮架。滚轮架的设计包括：确定滚轮架方案（采用长轴整体式、组合式、自调组合式、还是单独滚轮架）、驱动机构的布置方案及各级传动付。如果采用环式翻转器则还需确定翻转环结构；然后确定驱动力矩、电机功率，并继续进行机构零件的设计等。整个设计步骤已如前述，这里介绍滚轮架设计一些特殊问题。

#### (1) 摩擦传动滚轮架驱动力矩的确定

工件或支承环直接支持在滚轮架的滚轮上，靠工件或支承环与滚轮的摩擦使其回转，典型情况示于图 8-52 a)。圆形工件直接为滚轮支承，一边为驱动滚轮、一边为支承滚轮。假定滚轮直径相等，轴心高度相同，工件重心和回转中心（即圆心）不重合，有偏心距  $e$ ，则驱动滚轮主轴上的驱动力矩应大于：驱动滚轮和支承滚轮沿工件滚动的滚动摩擦力矩  $M_1$ ，工件的偏心矩  $M_2$ （或支承环的偏心矩），滚轮轴承的滑动摩擦力矩  $M_3$ ，惯性力矩  $M_4$  等之和。当工件均匀回转时，可作为平衡力系考虑，分别对驱动滚轮、工件、支承滚轮写出平衡方程式如下（图 8-52 b)）

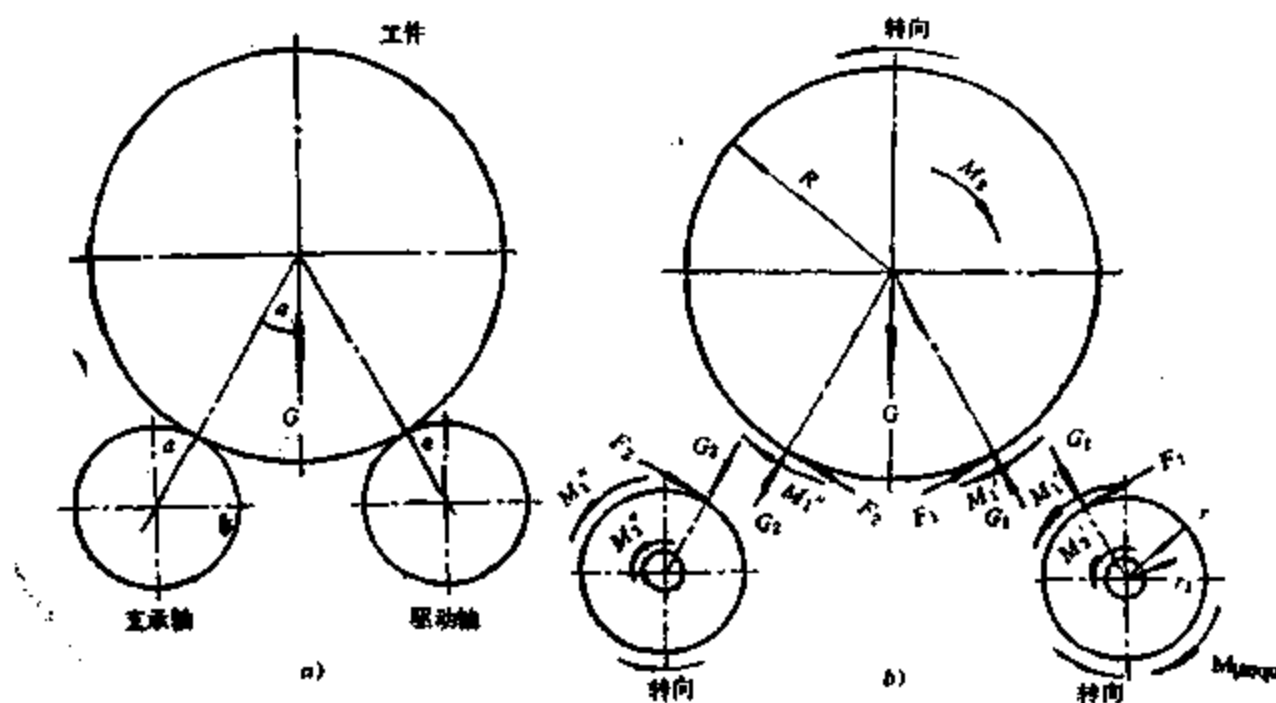


图 8-52 滚轮架支承受力分析

$$M_{Q_0} = F_1 r + M_1' + M_3' \quad (8-43)$$

$$F_1 R = M_1' + M_1'' + M_2 + F_2 R \quad (8-44)$$

$$F_2 r = M_1'' + M_3'' \quad (8-45)$$

式中  $M_{Q_0}$ ——驱动总阻力矩；

$M_1'$ ,  $M_1''$ ——驱动轮与支承轮在筒体上滚动的摩擦力矩及工件在两种轮上滚动摩擦力

矩,  $M_1' = G_1 f$ ,  $M_1'' = G_2 f$ ;

$f$ ——滚动摩擦系数；

$M_3'$ ,  $M_3''$ ——滚轮轴承的滑动摩擦力矩,  $M_3' = G_1 r_1 f_0$ ,  $M_3'' = G_2 r_2 f_0$ ;

$f_0$ ——轴承的诱导摩擦系数；可取0.08~0.1, 如果是滚动轴承,  $f_0$ 应取滚动轴承诱导摩擦系数；

$r_1, r_2$ ——轴的半径, 本例条件下  $r_1 = r_2$ ;

$M_2$ ——工件的偏心矩,  $M_2 = Ge$ ;

$G_1, G_2$ 滚轮上正压力, 本例条件下

$$G_1 = G_2 = \frac{G}{2 \cos \alpha};$$

$F_1, F_2$ ——依靠摩擦传递的使工件和支承滚轮回转的切向力；

$R, r$ ——分别为工件和滚轮半径。

从式(8-43) — (8-45) 中消去  $F_1$  和  $F_2$

$$M_{Q_0} = \frac{M_1' + M_1''}{R} r + M_1' + M_1'' + M_3' + M_3'' + M_2 \frac{r}{R} \quad (8-46)$$

将  $M_1'$ ,  $M_1''$ ,  $M_2$ ,  $M_3'$ ,  $M_3''$  及  $G_1$ ,  $G_2$  代入, 则

$$M_{Q_0} = \frac{G}{\cos \alpha} f \left( \frac{r}{R} + 1 \right) + \frac{G}{\cos \alpha} f_0 r' + Ge \frac{r}{R} \quad (8-47)$$

式中  $r' = r_1 \approx r_2$ , 通常情况下驱动和支承滚轮有同样轴径。式(8-47) 第一项表示作用在驱动滚轮上的滚动摩擦阻力矩；第二项表示滚轮轴承的摩擦力矩；第三项为偏心阻力矩。

惯性力矩可用1.2~1.3的系数加以考虑；对于频繁起动和停止的情况, 则应计算角加速度和转动惯量, 并考虑偏心来加以确定。

为了防止工件和驱动滚轮的打滑, 由  $M_{Q_0}$  所产生的工作圆周力, 必须小于工件与驱动轮之间的最大滑动摩擦力, 即有

$$(1.2 \sim 1.3) F_1 < f_1 G_1 \quad (8-48)$$

式中  $f_1$ ——为滚轮表面与工件(或支承环)表面之间的滑动摩擦系数。如不满足上式关系, 则需改换滚轮材料。

电机功率为

$$N = \frac{M_{Q_0} n}{97500 \eta} \quad \text{或} \quad \frac{M_{Q_0} n}{\eta} \times 10^{-4} \quad (8-49)$$

式中  $n$ ——驱动滚轮转数,  $n = \frac{V}{60 \cdot \pi \cdot d}$ ;

$V$ ——工件线速度即焊速 (cm/s 或 m/s) ;

$d$  ——驱动滚轮直径（单位相应为cm或m），

$M_{\text{总}}$  ——总驱动力矩（kg·cm或N·cm）。

机械部第二设计院[21]提出，工件椭圆度产生附加偏心矩，工件纵缝通过滚轮时会产生另一个相当大的附加力矩，而且起很大作用，使椭圆产生的偏心矩可以不考虑，并提出了如图8-52a) 情况下力矩的计算公式，经实测误差较小。其计算除如图8-52a) 所示假定一边支承滚轮、一边驱动滚轮外，纵缝和滚轮相遇是错开的，计算中按三个滚轮与工件接触，一个与工件纵缝接触，于是有

$$M_1 = \frac{3}{4} \frac{G}{\cos\alpha} f \left( \frac{r}{R} + 1 \right) \quad (8-50)$$

$$M_3 = \frac{G}{\cos\alpha} f_0 r' \quad (8-51)$$

以及纵缝通过滚轮的阻力矩

$$M_2 = \frac{1}{4} \frac{G}{\cos\alpha} f_1 \left( \frac{r}{R} + 1 \right) \quad (8-52)$$

式中  $f_1$  ——纵缝和滚轮接触的当量摩擦系数，它与焊缝高度有关， $f_1 = \sqrt{\frac{2rh}{\frac{r}{R} + 1}}$ ，

$h$  ——为焊缝冗高。其他符号与前相同。

$$M_{\text{总}} = M_1 + M_3 + M_2$$

当取  $r/R = 0.25$ ， $\alpha = 35^\circ$ ，焊缝冗高  $h$  取 3 (mm)，可得简式

$$M_{\text{总}} = 0.016G \text{ (kgf}\cdot\text{m)} \quad (8-53)$$

上式为滚轮架总驱动力矩可能出现的最大值，大部分时间是在低负荷下运转。当采用自调式时，上式应乘以系数1.15。

## (2) 滚轮直径和宽度的确定

滚轮直径影响工件和滚轮之间的接触应力值 $\sigma_j$ ，即有

$$\sigma_j = 0.418 \sqrt{\frac{G_1 E (R+r)}{B R r}} \quad (8-54)$$

式中  $G_1$  ——滚轮上压力， $G_1 = \frac{G}{2\cos\alpha \cdot m}$ ， $m$  为滚轮对数；

$E$  ——弹性模量（滚轮和工件的）；

$R, r$  ——工件和滚轮半径；

$B$  ——轮子宽度；

$\sigma_j$  ——接触应力，定应小于许用接触应力。

此式尚不能决定两未知量  $r$  和  $B$ 。按滚轮的线压力小于许用压力的条件可决定  $B$

$$p = \frac{G_1}{B} \leq [p_0] \quad (8-55)$$

式中  $[p_0]$  ——许用线压力，钢轮  $[p_0] = 1471 \text{ (N/mm)} = 150 \text{ (kgf/mm)}$ ；铸铁轮  $[p_0] = 1177 \text{ (N/mm)} = 120 \text{ (kgf/mm)}$ ；橡胶轮  $[p_0] = 490.3 \text{ (N/mm)} = 50 \text{ (kgf/mm)}$ ；

$G_1, B$  ——轮上压力及轮宽。

## 附录一 压力容器焊接工艺评定 (JB3964—85)

本标准规定了焊接工艺评定规则、检验方法和合格指标,适用于石油、化学工业用钢制压力容器的焊接工艺评定。

### 1. 基本原则

1.1 焊接工艺评定就是按照所拟定的焊接工艺,根据标准的规定焊接试件、检验试样,测定焊接接头是否具有所要求的性能。经过焊接工艺评定提出“焊接工艺评定报告”,并结合实践经验制订“焊接工艺规程”作为焊接生产的依据。

压力容器焊接工艺的目的在于获得焊接接头机械性能符合要求的焊接工艺。

1.2 使用本标准时,必须同时遵守《钢制石油化工压力容器设计规定》、JB741—80《钢制焊接压力容器技术条件》等有关标准或技术文件。

1.3 焊接工艺评定因素分为基本因素、补加因素和次要因素。

基本因素是指影响焊接接头机械性能(冲击韧性除外)的焊接条件。

当规定不进行冲击韧性试验时则增添补加因素,补加因素是指影响焊接接头冲击韧性的焊接条件。

次要因素是指不影响焊接接头机械性能的焊接条件。

当规定要重新评定焊接工艺,或因变更任何一个基本因素或补加因素而需要重新评定焊接工艺时,都要填写“焊接工艺评定报告”,制订“焊接工艺规程”。

当规定不要重新评定焊接工艺、或因变更次要因素而不需要重新评定焊接工艺时,只需修订“焊接工艺规程”。

1.4 评定对接焊缝焊接工艺时,采用对接焊缝试件;评定角焊缝焊接工艺时,采用角焊缝试件。

当基本因素和补加因素不变时,评定合格的对接焊缝焊接工艺适用于各种焊接接头中的对接焊缝;评定合格的角焊缝焊接工艺适用于各种焊接接头中的角焊缝。

1.5 当进行焊接工艺评定时,所用设备应处于正常的工作状态,钢材、焊接材料必须符合相应标准的规定。施焊者技术要熟练。

### 2. 焊接工艺评定规则

#### 2.1 通用规定

2.1.1 改变焊接方法,需重新评定。

2.1.2 关于钢材的规定

为减少焊接工艺评定的数量,将钢材划分为五类,每类中再划分组,见附表 1-1。

2.1.2.1 钢材的类别号改变时,需重新评定。

2.1.2.2 当改用同组别号的钢材时,不需重新评定。

2.1.2.3 在同类别号中,高组别号钢材的评定适用于低组别号钢材。

2.1.2.4 当两种类别号或两种组别号的钢材组成焊接接头时,即使这两种钢材各自都已评定合格,其组合焊接接头仍需重新评定。但2.1.2.5和2.1.2.6项所列情况可免去重新评定。

附表1-1 钢材分类

类别号	组别号	钢号	相应标准号	类别号	组别号	钢号	相应标准号	
I	I-1	A <sub>3</sub>	GB700-79	I	I-1	25	JB755-85	
		A <sub>3</sub> F	GB700-79		I-2	09Mn2V 09Mn2VR	YB231-70	
		A <sub>3</sub> R	YB530-69				JB755-85	
		AY <sub>3</sub> E	GB700-79				YB536-69	
		AY <sub>3</sub>	GB700-79		I-3	16Mn	GB1591-79	
		10	YB237-70				YB231-70	
		20	YB237-70				JB755-85	
		20	YB800-70					
		20	JB755-85		16MnR	YB536-69		
		20g	GB713-72					
A <sub>4</sub>	GB700-79							
AY <sub>4</sub>	GB700-79	16Mngc	YB363-69					
II	II-1	15MnV	YB231-70 YB800-70	III	III-3	12Cr1MoV	YB231-70	
		15MnVR	YB536-69			Cr2Mo	YB237-70	
		15MnVgc	YB363-69			12Cr2Mo1		
		20MnMo	JB755-85	III-4	Cr5Mo	YB277-70 JB755-85		
	15MnVNR	YB536-69	IV			IV-1	1Cr18Ni9Ti	GB2270-80 JB755-85
	II-3	18MnMoNb		YB536-69	0Cr18Ni9 0Cr18Ni9Ti		GB2270-80	
		15MnMoV		JB755-85	00Cr18Ni10		GB2270-80	
		20MnMoNb		JB755-85	0Cr18Ni12 Mo2Ti		GB2270-80	
	III	III-1	16Mo	YB231-70, 化学成分参照 YB6-71			0Cr18Ni12 Mo3Ti	GB2270-80
			12CrMo	YB237-70, 化学成分参照 YB6-71			00Cr17Ni14 Mo2	GB2270-80
III-2		15CrMo	YB237-70, 化学成分参照 YB6-71			00Cr17Ni14 Mo3	GB2270-80	
				V	V-1	0Cr13		

注：类别号为IV、V的薄板（厚度不大于4mm）应符合GB3280-82《不锈钢及耐热钢薄板技术条件》的规定；厚板（厚度大于4~25mm）应符合GB3281-82《不锈钢及耐热钢厚板技术条件》的规定。

2.1.2.5 在同类别号中, 高组别号钢材的评定适用于该组别号钢材与低组别号钢材所组成的焊接接头。

2.1.2.6 除类别号为Ⅳ和Ⅴ的钢材外, 高类别号钢材的评定适用于该类别号钢材与低类别号钢材组成的焊接接头。

2.1.3 改变焊后热处理类别, 需重新评定。

试件应当经受基本上相当于焊件与母材在制造过程中的热处理。在热处理温度下, 其保温时间不得少于制造过程中累计保温时间的80%。

除气焊外, 对有冲击韧性要求的焊件, 当改变焊后热处理的温度范围和保温时间时, 需重新评定。

2.1.4 板材试件的评定也适用于管材焊件, 管材试件的评定也适用于板材焊件。

2.1.5 焊接工艺经评定合格后, 根据试件的厚度确定适用于焊件的厚度范围。若2.2条中各种焊接方法的焊接工艺评定规则中没有规定, 则按下列各项所述:

2.1.5.1 对接焊缝试件取拉伸和横向弯曲试样时, 适用于焊件的厚度范围应符合附表1-2的规定。

附表1-2 (mm)

评定用试件的母材厚度T	适用于焊件母材厚度的范围		适用于焊件焊缝金属厚度范围的最大值
	最小值	最大值	
<1.5	T	2T	2t
1.5 ≤ T ≤ 10	1.5	2T	2t
10 < T < 20	4	2T	2t
20 ≤ T < 40	4	2T	2t(当t < 20)
20 ≤ T < 40	4	2T	2T(当t ≥ 20)
≥ 40	4	200	2t(当t < 20)
≥ 40	4	200	200(当t ≥ 20)

注: ① t为试件的每种焊接方法(或焊接工艺)所熔敷的焊缝金属厚度。

② 表中最后一行只适用于弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊(熔滴呈短路过渡除外)、钨极气体保护焊的多道焊工艺

2.1.5.2 对接焊缝试件取拉伸和纵向弯曲试样时, 适用于焊件的厚度范围应符合附表1-3的规定。

附表1-3 (mm)

评定用试件的母材厚度T	适用于焊件母材厚度的范围		适用于焊件焊缝金属厚度范围的最大值
	最小值	最大值	
<1.5	T	2T	2t
1.5 ≤ T ≤ 10	1.5	2T	2t
>10	4	2T	2t

2.1.5.3 除气焊外, 若试件经超过临界温度的焊后热处理, 则适用于焊件焊缝金属最大厚度为1.1T。

- 2.1.5.4 某一尺寸角焊缝试件的评定适用于各种尺寸的角焊缝。
- 2.1.5.5 某一尺寸对接焊缝试件的评定适用于相应焊缝金属厚度（见附表 1-2 或附表 1-3）的角焊缝。
- 2.1.5.6 若焊件焊缝为不完全焊透的对接焊缝，仍按附表 1-2 或附表 1-3 的规定评定其母材与焊缝金属厚度范围。
- 2.2 各种焊接方法的焊接工艺评定规定和因素。
- 2.2.1 气焊
- 2.2.1.1 厚度规定  
焊件母材的最大厚度等于试件的厚度。
- 2.2.1.2 基本因素
- a. 焊丝钢号。
  - b. 可燃气体的种类。
- 2.2.1.3 次要因素
- a. 坡口形式。
  - b. 增加或取消钢垫板。
  - c. 在同组别号内选择不同钢号的钢材作垫板。
  - d. 坡口根部间隙。
  - e. 填充金属的横截面积。
  - f. 焊接位置。
  - g. 预热温度。
  - h. 不摆动焊或摆动焊。
  - i. 从氧化焰改为还原焰，不需要重新评定。
  - j. 左向焊或右向焊。
  - k. 焊前清理和层间清理方法。
  - l. 有无锤击焊缝。
- 2.2.2 手弧焊
- 2.2.2.1 厚度规定
- a. 若焊件母材厚度大于 200mm，则试件厚度应大于或等于焊件焊接接头的厚度除以 1.3，而适用于焊件母材和焊缝金属的最大厚度为 1.3T 和 1.3T。
  - b. 单道焊或多道焊时，其中任一焊道的厚度大于 13mm，则适用于焊件母材最大厚度应为 1.1T。
  - c. 当规定进行冲击韧性试验时，若焊件母材的厚度小于 16mm，则试件厚度应是焊件的最小厚度；而焊件母材的厚度大于或等于 16mm 时，试件的最小厚度为 16mm，适用于焊件母材的最小厚度为 16mm。
  - d. 焊件母材和焊缝金属厚度超出 2.1.5 款所列的范围，需重新评定。
- 2.2.2.2 基本因素
- a. 焊条牌号（焊条牌号中第三位数字除外）。  
当焊条牌号不变时，用非低氢型药皮焊条代替低氢型药皮焊条，需重新评定。
  - b. 预热温度比评定合格值降低 50℃ 以上，需重新评定。



### 2.2.2.3 补加因素

- a. 焊条的直径改为大于6mm, 需重新评定。
- b. 从评定合格的焊接位置改变为向上立焊, 需重新评定。
- c. 最高层间温度比评定合格值高50℃以上, 需重新评定。
- d. 电流的种类和极性。
- e. 增加线能量或单位长度焊道的熔敷金属体积超过评定合格值, 需重新评定。  
若焊后热处理细化了晶粒, 则不必测定线能量或熔敷金属体积。

### 2.2.2.4 次要因素

- a. 坡口形式。
- b. 取消单面焊时的钢垫板, 不需重新评定。
- c. 坡口根部间隙。
- d. 增加或取消非金属或非熔化的金属焊接衬垫。
- e. 焊条直径。
- f. 焊接位置。
- g. 需作清根处理的根部焊道向上立焊或向下立焊。
- h. 施焊结束后至焊后热处理前, 改变原预热规定, 不需重新评定。
- i. 电流种类或极性。
- j. 电流值或电压值。
- k. 不摆动焊或摆动焊。
- l. 焊前清理和层间清理方法。
- m. 清根方法
- n. 手工操作, 半自动操作或自动操作。
- o. 有无锤击焊缝。

### 2.2.3 埋弧焊

#### 2.2.3.1 厚度规定

- a. 若焊件母材厚度大于200mm, 则试件的厚度应大于或等于焊件焊接接头的厚度除以1.3, 而适用于焊件母材和焊缝金属的最大厚度为 $1.3T$ 和 $1.3t$ 。
- b. 单道焊或多道焊时, 其中任一焊道的厚度大于13mm, 则适用于焊件母材最大厚度应为 $1.1T$ 。
- c. 当规定进行冲击韧性试验时, 若焊件母材的厚度小于16mm, 则试件厚度应是焊件的最小厚度; 而焊件母材的厚度大于或等于16mm时, 试件的最小厚度为16mm, 适用于焊件母材的最小厚度为16mm。
- d. 焊件母材和焊缝金属厚度超出2.1.5款所列的范围, 需重新评定。

#### 2.2.3.2 基本因素

- a. 焊丝钢号。
- b. 焊剂牌号; 混合焊剂的混合比例。
- c. 焊缝金属中重要合金元素含量超出评定合格的范围, 需重新评定。
- d. 添加或取消附加的填充金属; 附加填充金属的数量。
- e. 预热温度比评定合格值降低50℃以上, 需重新评定。

### 2.2.3.3 补加因素

- a. 最高层间温度比评定合格值高 $50^{\circ}\text{C}$ 以上, 需重新评定。
- b. 电流的种类和极性。
- c. 增加线能量或单位长度焊道的熔敷金属体积超过评定合格值, 需重新评定。  
若焊后热处理细化了晶粒, 则不必测定线能量或熔敷金属体积。
- d. 焊丝摆动幅度、频率和两端停留时间。
- e. 由每面多道焊改为每面单道焊, 需重新评定。
- f. 单丝焊或多丝焊。

### 2.2.3.4 次要因素

- a. 坡口形式。
- b. 取消单面焊的钢垫板, 不需重新评定。
- c. 坡口根部间隙。
- d. 增加或取消非金属或非熔化的金属焊接衬垫。
- e. 焊丝直径。
- f. 焊剂商标名称或制造厂。
- g. 焊接位置。
- h. 施焊结束后至焊后热处理前, 改变原预热规定, 不需重新评定。
- i. 电流种类或极性。
- j. 电流值或电压值。
- k. 不摆动焊或摆动焊。
- l. 焊前清理和层间清理方法。
- m. 清根方法。
- n. 焊丝摆动幅度、频率和两端停留时间。
- o. 导电嘴至工件的距离。
- p. 由每面多道焊改为每面单道焊, 不需重新评定。
- q. 单丝焊或多丝焊。
- r. 焊丝间距。
- s. 半自动操作或自动操作。
- t. 有无锤击焊缝。

### 2.2.4 熔化极气体保护焊

#### 2.2.4.1 厚度规定

- a. 若焊件母材厚度大于 $200\text{mm}$ , 则试件的厚度应大于或等于焊件焊接接头的厚度除以 $1.3$ , 而适用于焊件母材和焊缝金属的最大厚度为 $1.3T$ 和 $1.3t$ 。
- b. 单道焊或多道焊其中任一焊道的厚度大于 $13\text{mm}$ , 则适用于焊件母材最大厚度应为 $1.1T$ 。
- c. 当熔滴呈短路过渡时, 适用于焊件母材最大厚度应为 $1.1T$ 。
- d. 当规定进行冲击韧性试验时, 若焊件母材的厚度小于 $16\text{mm}$ , 则试件厚度应是焊件的最小厚度; 而焊件母材的厚度大于或等于 $16\text{mm}$ 时, 试件的最小厚度应为 $16\text{mm}$ , 适用于焊件母材的最小厚度为 $16\text{mm}$ 。

e. 焊件母材和焊缝金属厚度超出 2.1.5 款所列的范围, 需重新评定。

#### 2.2.4.2 基本因素

a. 焊丝钢号。

b. 实芯焊丝或药芯焊丝。

c. 添加或取消附加的填充金属; 附加填充金属的数量。

d. 焊缝金属中重要合金元素含量超出评定合格的范围, 需重新评定。

e. 预热温度比评定合格值降低 $50^{\circ}\text{C}$ 以上, 需重新评定。

f. 保护气体种类, 混合保护气体配比。

g. 从单一的保护气体改用混合保护气体, 或取消保护气体, 需重新评定。

#### 2.2.4.3 补加因素

a. 从评定合格的焊接位置改变为向上立焊, 需重新评定。

b. 最顶层间温度比评定合格值高 $50^{\circ}\text{C}$ 以上, 需重新评定。

c. 电流的种类和极性。

d. 增加线能量或单位长度焊道的熔敷金属体积超过评定合格值, 需重新评定。  
若焊后热处理细化了晶粒, 则不必测定线能量或熔敷金属体积。

e. 焊丝摆动幅度、频率和两端停留时间。

f. 由每面多道焊改为每面单道焊, 需重新评定。

g. 单丝焊或多丝焊。

#### 2.2.4.4 次要因素

a. 坡口形式。

b. 取消单面焊的钢垫板, 不需重新评定。

c. 坡口根部间隙。

d. 增加或取消非金属的或非熔化的金属焊接衬垫。

e. 焊丝直径。

f. 焊接位置。

g. 需作清根处理的根部焊道向上立焊或向下立焊。

h. 施焊结束后至焊后热处理前, 改变原预热规定, 不需重新评定。

i. 保护气体的流量比评定合格值减少不超过 $10\%$ , 不需重新评定。

j. 熔滴过渡种类(颗粒过渡、喷射过渡、脉冲喷射过渡或短路过渡)。

k. 电流种类或极性。

l. 电流值或电压值。

m. 不摆动焊或摆动焊。

n. 焊前清理和层间清理方法。

o. 清根方法。

p. 焊丝摆动幅度、频率和两端停留时间。

q. 导电嘴至工件的距离。

r. 由每面多道焊改为每面单道焊, 不需重新评定。

s. 单丝焊或多丝焊。

t. 焊丝间距

u. 半自动操作或自动操作。

v. 有无锤击焊缝。

### 2.2.5 钨极气体保护焊

#### 2.2.5.1 厚度规定

a. 若焊件母材厚度大于200mm, 则试件的厚度应大于或等于焊件焊接接头的厚度除以1.3, 而适用于焊件母材和缝隙金属的最大厚度为 $1.3T$ 和 $1.3t$ 。

b. 单道焊或多道焊时, 其中任一焊道的厚度大于13mm, 则适用于焊件母材最大厚度应为 $1.1T$ 。

c. 当规定进行冲击韧性试验时, 若焊件母材的厚度小于16mm, 则试件厚度应是焊件的最小厚度; 而焊件母材的厚度大于或等于16mm时, 试件的最小厚度应为16mm, 适用于焊件母材的最小厚度为16mm。

d. 焊件母材与焊缝金属厚度超出2.1.5款所列的范围, 需重新评定。

#### 2.2.5.2 基本因素

a. 焊丝钢号。

b. 添加或取消预置填充金属; 预置填充金属的化学成份范围。

c. 增加或取消填充金属。

d. 预热温度比评定合格值降低 $50^{\circ}\text{C}$ 以上, 需重新评定。

e. 保护气体种类; 混合保护气体配比。

f. 从单一的保护气体改用混合保护气体, 或取消保护气体, 需重新评定。

#### 2.2.5.3 补加因素

a. 从评定合格的焊接位置改变为向上立焊, 需重新评定。

b. 最高层间温度比评定合格值高 $50^{\circ}\text{C}$ 以上, 需重新评定。

c. 电流的种类或极性。

d. 增加线能量和单位长度焊道的熔敷金属体积超过评定合格值, 需重新评定。  
若焊后热处理细化了晶粒, 则不必测定线能量或熔敷金属体积。

e. 钨极摆动幅度、频率和两端停留时间。

f. 由每面多道焊改为每面单道焊, 需重新评定。

g. 单丝焊或多丝焊。

#### 2.2.5.4 次要因素

a. 坡口形式。

b. 增加钢垫板, 不需重新评定。

c. 在同组别号内选择不同钢号的钢材作垫板。

d. 坡口根部间隙。

e. 增加或取消非金属或非熔化的金属焊接衬垫。

f. 填充金属横截面积。

g. 焊接位置。

h. 需要清根处理的根部焊道向上立焊或向下立焊。

i. 保护气体的流量比评定合格值减少不超过10%, 不需重新评定。

j. 在直流电源上叠加或取消脉冲电流。

- k. 电流种类或极性。
- l. 电流值或电压值。
- m. 钨极的种类或直径。
- n. 不摆动焊或摆动焊。
- o. 喷嘴尺寸。
- p. 焊前清理和层间清理方法。
- q. 清根方法。
- r. 钨极摆动幅度、频率和两端停留时间。
- s. 由每面多道焊改为每面单道焊；不需重新评定。
- t. 单丝焊或多丝焊。
- u. 钨极间距。
- v. 手工操作，半自动操作或自动操作。
- w. 有无锤击焊缝。

## 2.2.6 电渣焊

### 2.2.6.1 厚度规定

焊件母材最大厚度应为 $1.1T$ 。

### 2.2.6.2 基本因素

- a. 增加或取消非金属或非熔化的金属成形滑块。
- b. 焊剂牌号；混合焊剂的混合比例。
- c. 丝极或板极；丝极或板极钢号。
- d. 熔嘴或非熔嘴；熔嘴钢号。
- e. 电流值或电压值超过评定合格值15%。
- f. 电极摆动幅度、频率和两端停留时间。
- g. 单丝焊或多丝焊。

### 2.2.6.3 次要因素

- a. 坡口形式。
- b. 焊接面的装配间隙。
- c. 填充金属的横截面积。
- d. 焊前清理方法。
- e. 焊丝间距。
- f. 有无锤击焊缝。

## 2.3 几种情况的规定

2.3.1 当焊件的同一焊接接头使用一种以上焊接方法（或焊接工艺）时，则：

2.3.1.1 按每种焊接方法（或焊接工艺）所焊母材和焊缝金属的厚度范围分别进行评定；或与焊件相同；使用一种以上焊接方法（或焊接工艺）焊接试件，进行组合评定。

2.3.1.2 分别评定时，每种焊接方法（或焊接工艺）所适用于焊件母材和焊缝金属的厚度范围应符合表2或表3的规定。

2.3.1.3 在确定适用于焊件焊接接头的最大厚度时，不能把每种焊接方法（或焊接工艺）评定后适用的厚度范围叠加。

- 2.3.1.4 组合评定合格后用于焊件时，可以去掉一种或几种焊接方法(或焊接工艺)，但要保证余留的每一种焊接方法(或焊接工艺)所熔敷的焊缝金属厚度都经过评定。
- 2.3.1.5 组合评定中的每一种焊接方法(或焊接工艺)可以单独使用。
- 2.3.2 焊件中厚边母材和薄边母材的厚度都在2.1.5款规定的范围内，则对接焊缝试件的评定适用于不同厚度母材之间的对接焊缝焊件(若试件厚度大于或等于40mm，则不限制厚边母材的最大厚度)。
- 2.3.3 符合下列各项条件时，对接焊缝试件的评定适用于对接焊缝和角焊缝焊件的返修、补焊。
- 2.3.3.1 焊件焊缝金属最小厚度不限
- 2.3.3.2 焊件母材和焊缝金属最大厚度符合2.1.5款规定的范围。但试件的厚度大于或等于40mm时，不限制焊件母材最大厚度。
- 2.4 耐蚀层堆焊
- 在进行焊接工艺评定时应遵照技术文件或图样中关于堆焊耐蚀层的规定。
- 如焊件的厚度大于或等于25mm，则试件基体的厚度可小于焊件厚度，但不得小于25mm；如焊件厚度小于25mm，则试件厚度应等于或小于焊件厚度。
- 2.4.1 堆焊的通用基本因素和规定
- 2.4.1.1 焊接方法。
- 2.4.1.2 从一种焊接方法改变为几种焊接方法的联用，需重新评定。
- 2.4.1.3 基体钢材的类别号；基体钢材的类别号为Ⅲ的组别号。
- 2.4.1.4 焊条牌号(焊条牌号中第三位数字除外)；焊丝(或钢带)钢号。
- 2.4.1.5 除以下规定外，对评定合格的焊接位置增加其它焊接位置，需重新评定。
- 横焊、立焊或仰焊位置的评定也适用于平焊位置。管接头水平固定焊5G(附图1-1)的评定也适用于平焊、立焊和仰焊位置。横焊、立焊和仰焊位置的评定也适用于所有焊接位置。管接头45°固定焊6G(附图1-1)的评定也适用于所有焊接位置。
- 特殊位置的焊接的焊件可以在此特殊位置下进行评定，其结果仅对实际焊接的位置有效。
- 2.4.1.6 预热温度比评定合格值降低50℃以上或提高层间温度，需重新评定。
- 2.4.1.7 焊后热处理类别。
- 2.4.1.8 焊后热处理温度下总保温时间比规定延长25%或更多，需重新评定。
- 2.4.1.9 多层堆焊或单层堆焊。
- 2.4.1.10 电流种类或极性。
- 2.4.2 手弧焊堆焊的基本因素和规定。
- 2.4.2.1 堆焊首层所用焊条直径。
- 2.4.2.2 首层施焊电流比评定合格值增加10%以上，需重新评定。
- 2.4.3 埋弧焊、熔化极气体保护焊或钨极气体保护焊堆焊的基本因素和规定。
- 2.4.3.1 埋弧焊所用焊剂牌号；混合焊剂的混合比例。
- 2.4.3.2 作用在同一熔池上的焊丝根数。
- 2.4.3.3 添加或取消附加的填充金属。
- 2.4.3.4 增加或取消焊丝的摆动。

- 2.4.3.5 焊丝或附加的填充金属公称横截面积的变化超过10%，需重新评定。
- 2.4.3.6 线能量或单位长度焊道内熔敷金属体积比评定合格值增加10%以上，需重新评定。
- 2.4.3.7 对熔化极气体保护焊和钨极气体保护焊来说，保护气体种类；单一保护气体或混合保护气体；混合保护气体配比。
- 2.4.3.8 取消保护气体，保护气体流量比评定合格值降低10%以上，需重新评定。

#### 2.4.4 次要因素

除 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3 款以外的工艺因素都是次要因素。

### 3. 试件制备

3.1 必须按焊接工艺评定要求准备母材、焊接材料、加工坡口和施焊。

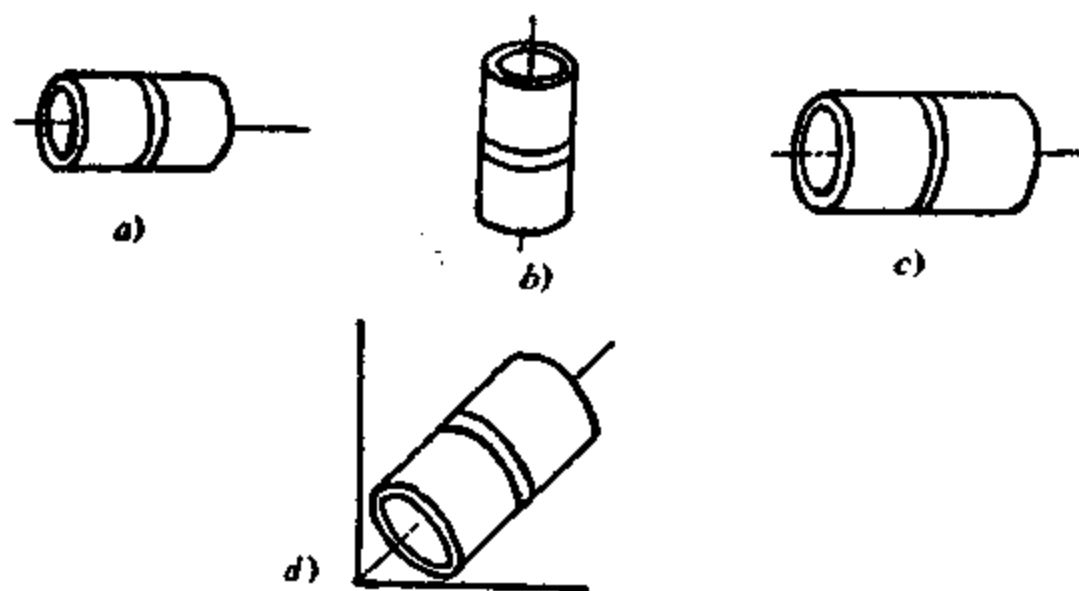
3.2 试件的尺寸应足够切取所要求的试样。

3.3 如果一份焊接工艺规程经过评定，除冲击韧性外各项要求均已满足。当再要求冲击韧性时，只需按同样的基本因素，增加所要求的补加因素，增作一个试件，其尺寸足够切取冲击韧性试样即可。

如果一份焊接工艺规程经过评定，包括冲击韧性在内均已满足要求，若其中补加因素有所变更，则只需按同样的基本因素和补加因素，增加变更的补加因素增作一个试件，其尺寸足够切取冲击韧性试样即可。

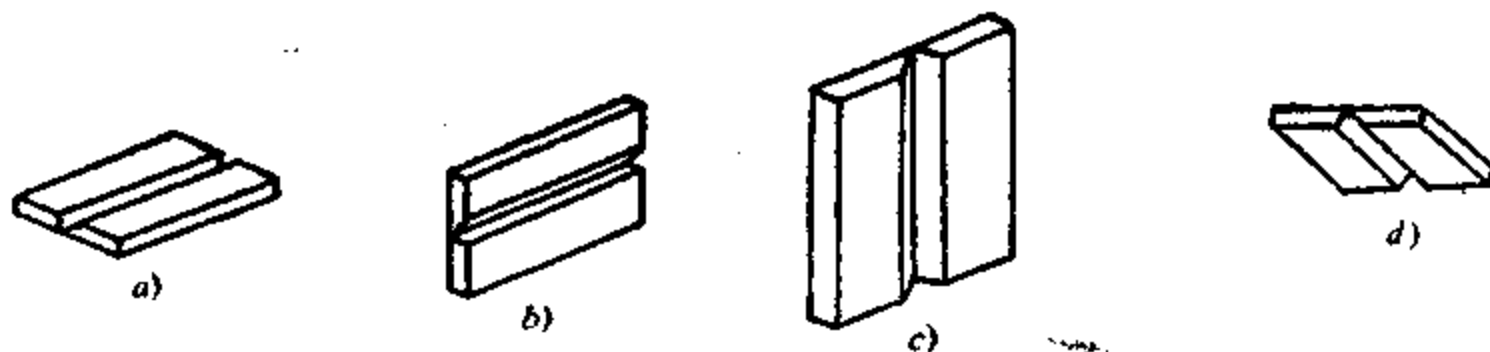
3.4 各类试件焊缝的焊接位置如下列各款所述，焊接位置的规定范围见附录 1 - B。

3.4.1 管材对接焊缝试件的焊接位置见附图 1 - 1。



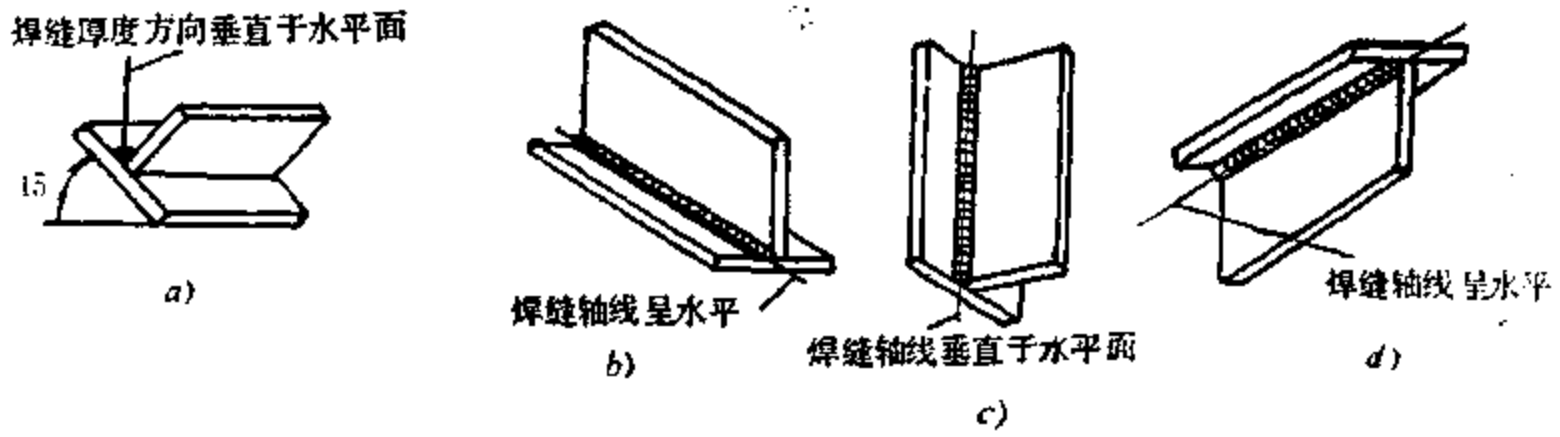
附图 1 - 1 a) 平焊位置 (管接头水平转动焊) 1G      b) 横焊位置 (管接头垂直固定焊) 2G  
c) 多位置 (管接头水平固定焊) 5G      d) 多位置 (管接头45°固定焊) 6G

3.4.2 板材对接焊试件的焊接位置见附图 1 - 2。



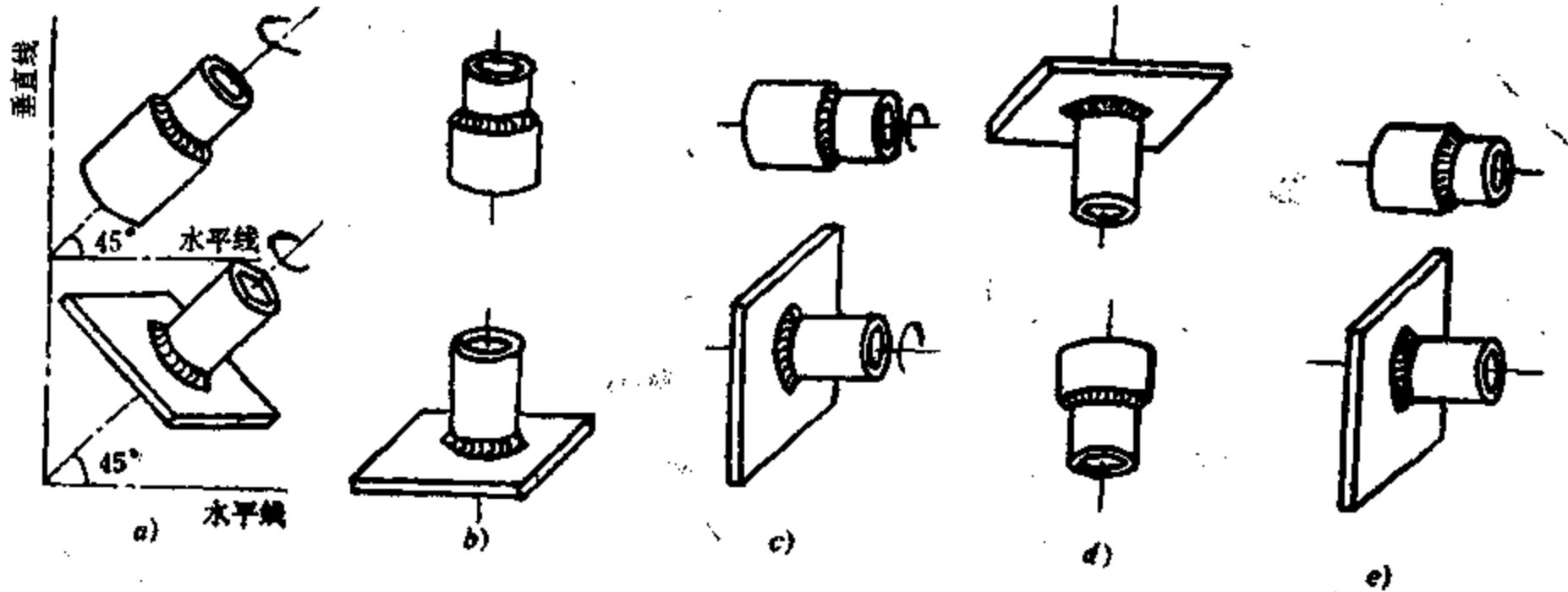
附图 1 - 2 a) 平焊位置1G    b) 横焊位置2G    c) 立焊位置3G    e) 仰焊位置4G

3.4.3 板材角焊缝试件的焊接位置见附图 1-3。



附图 1-3 a) 平焊位置 ( “船形” 焊) 1F b) 横焊位置 (平角焊) 2F  
c) 立焊位置 (立角焊) 3F d) 仰焊位置 (仰角焊) 4F

3.4.4 套管和管板角焊缝试件的焊接位置见附图 1-4。



附图 1-4 a) 平焊位置 (45° 转动焊) 1F; b) 横焊位置 (垂直固定平角焊) 2F;  
c) 横焊位置 (水平转动焊) 2FR; d) 仰焊位置 (垂直固定角焊) 4F;  
e) 多位置 (水平固定焊) 5F。

3.4.5 特殊位置焊接的焊件, 可以在此特殊位置下评定, 其结果仅对实际焊接的位置有效。

#### 4. 试件和试样的检验

若技术文件或图样没有规定, 则试件和试样的检验按本标准执行。所规定的每一项检验都合格, 方认为焊接工艺评定合格。

##### 4.1 对接焊缝试件机械性能试验

###### 4.1.1 机械性能检验项目

- 拉伸试验;
- 弯曲 (面弯、背弯、侧弯) 试验;
- 冲击韧性试验 (当规定时)。

4.1.2 若试件使用一种以上的焊接方法 (或焊接工艺) 完成时, 则:

- 拉伸试样和弯曲试样的受拉面应包括每一种焊接方法 (或焊接工艺) 的焊缝金属,



b. 当规定作冲击韧性试验时, 则对于每一种焊接方法 (或焊接工艺) 都是作冲击韧性试验。

#### 4.1.3 机械性能检验的试样类别和数量

4.1.3.1 对接焊缝试件取拉伸或横向弯曲试样的类别和数量应符合附表 1-4 的规定。

附表 1-4

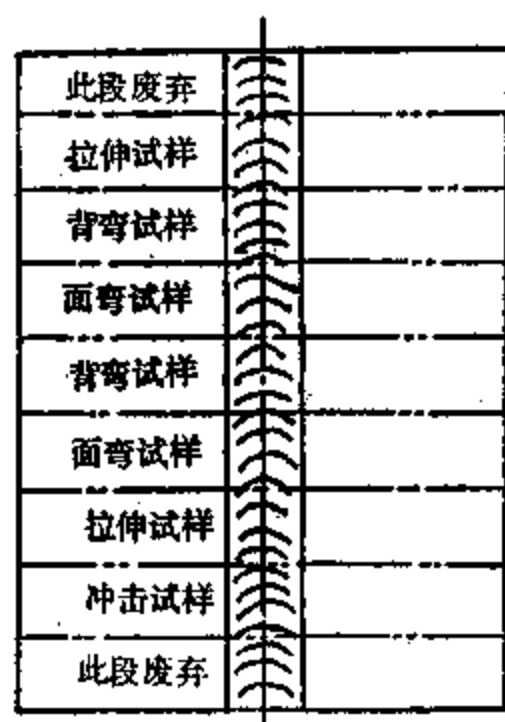
评定用试件母材的厚度 $T$ (mm)	试样的类别和数量 (个)			
	拉 伸	侧 弯	面 弯	背 弯
$<1.5$	2	—	2	2
$1.5 \leq T \leq 10$	2	—	2	2
$10 < T < 20$	2	—	2	2
$20 \leq T < 40$	2	2	2	2
$\geq 40$	2	2	2	2

4.1.3.2 冲击韧性试样根据 GB2650—81《焊接接头冲击试验法》规定, 缺口开在焊缝金属和开在近缝区, 同一部位所取试样数量为 3 个。

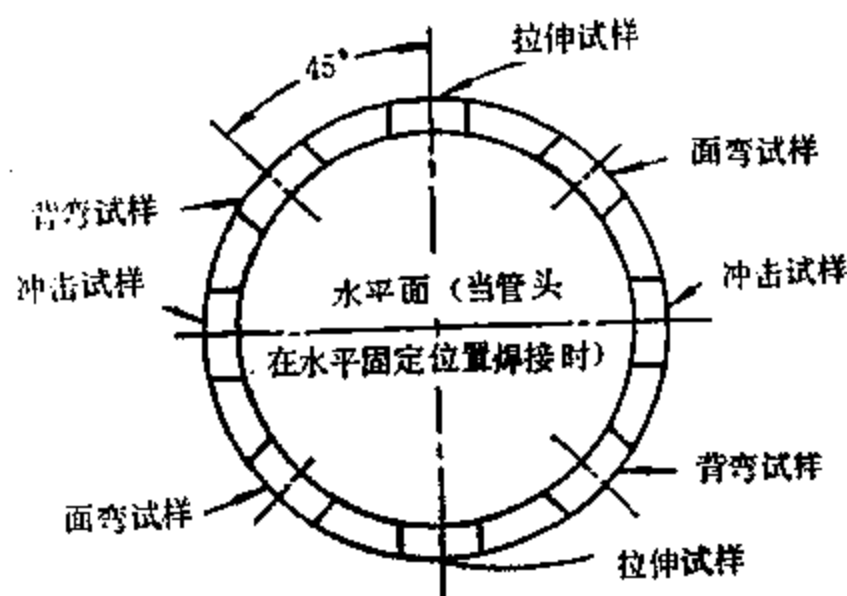
#### 4.1.4 机械性能检验取样顺序

4.1.4.1 板材对接焊缝试件作拉伸和横向弯曲试验时的取样顺序见附图 1-5。

4.1.4.2 管材对接焊缝试件的取样顺序见附图 1-6。



附图 1-5



附图 1-6

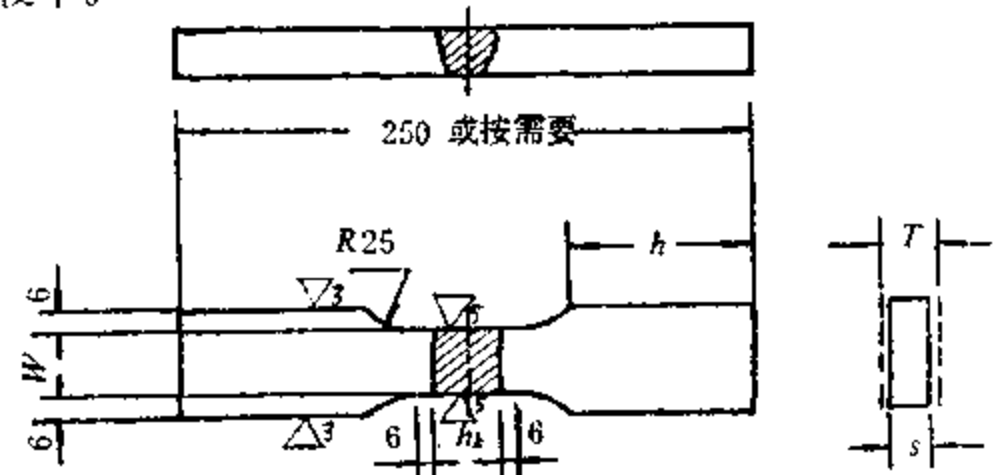
#### 4.1.5 拉伸试验

拉伸试验测定焊接接头的抗拉强度。试样焊缝余高应以机械方法去除, 使之与母材齐平。根据试件种类、拉伸试验条件和本标准规定, 从下列五种试样中选择一种进行拉伸试验。

4.1.5.1 带肩板形试样见附图 1-7、附表 1-5。适用于所有厚度板材的对接焊缝试件。去除焊缝余高前允许对试件进行冷校平。

S	W
$\leq 25$	40
$> 25$	25

注：当  $S \leq 25\text{mm}$  时，若取  $W = 40\text{mm}$  有困难，可适当减小但不能小于  $25\text{mm}$ 。



附图 1-7

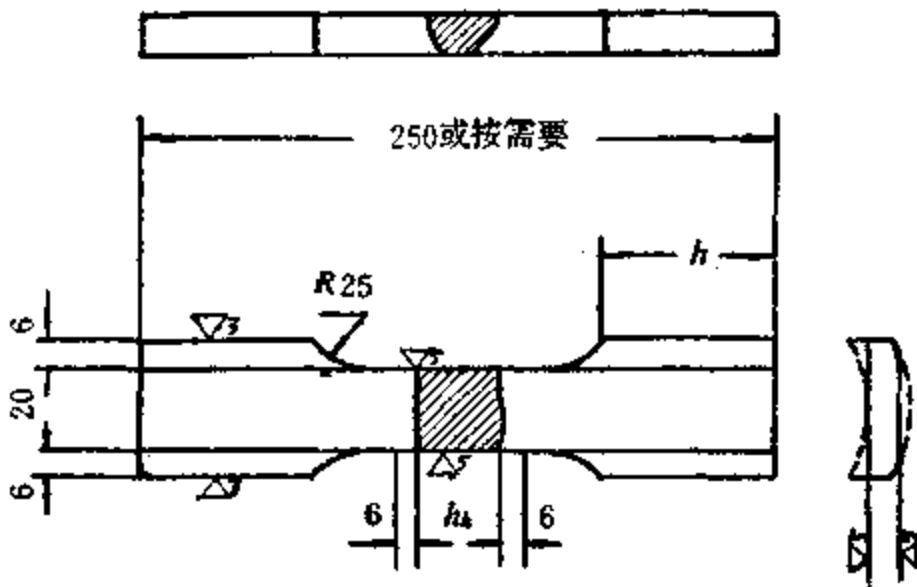
$T$ —试件厚度, mm;  $S$ —试样厚度, mm;  
 $W$ —试样受拉伸平行侧面宽度, mm;  
 $h_k$ —焊缝最大宽度, mm;  
 $h$ —夹持部分长度, 根据试验机夹具而定, mm。

- 板材厚度小于或等于  $25\text{mm}$  的试件, 采用全板厚作单个试样。
- 板材厚度大于  $25\text{mm}$  的试件, 根据试验条件可采用单个试样, 也可以采用多个试样。
- 当采用多片试样时, 应使用机械方法沿试件厚度方向切割出能够在现有设备上进行试验的、尺寸近似相等且数量最少的试样。

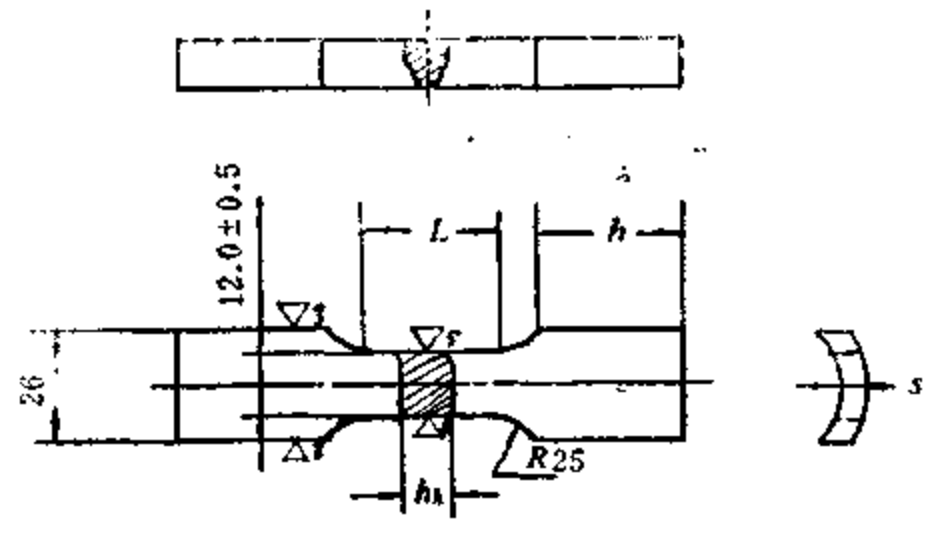
4.1.5.2 管接头带肩板形试样之一见附图 1-8。适用于外径大于  $75\text{mm}$  的所有壁厚管材对接焊缝试件。为取得图中宽度为  $20\text{mm}$  的平行平面, 壁厚方向上的加工量应最少。

- 壁厚小于或等于  $25\text{mm}$  的试件, 采用全壁厚作单个试样。
- 壁厚大于  $25\text{mm}$  的试件, 可采用单个试样, 或按 4.1.5.1c 规定采用多片试样。

4.1.5.3 管接头带肩板形试样之二见附图 1-9。适用于外径小于或等于  $75\text{mm}$  的管材对接焊缝试件。



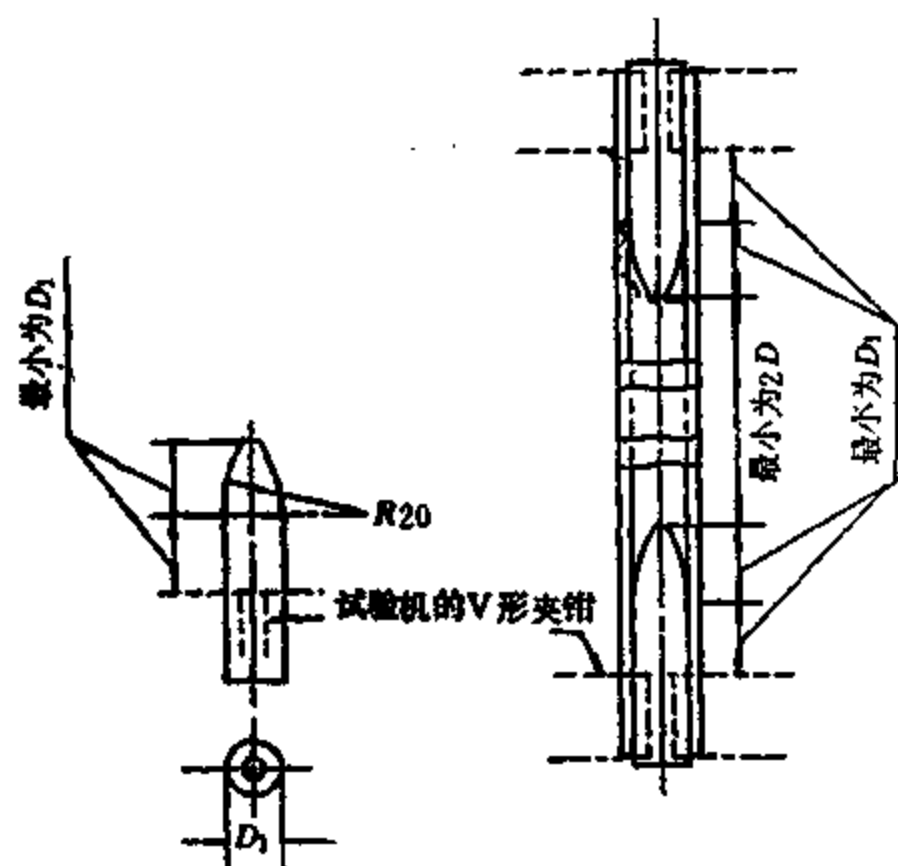
附图 1-8



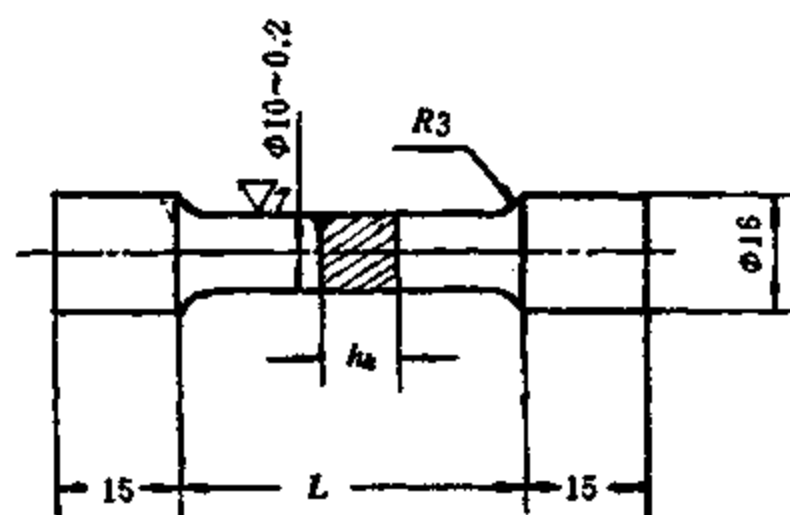
附图 1-9  $L$ —受拉伸平行侧面长度, 大于或等于  $h_k + 2S$ , mm。

4.1.5.4 管接头的全断面试样见附图 1-10, 对于外径小于或等于  $75\text{mm}$  的管材对接焊缝试件也可采用如附图 1-10 试样及试验方法。

4.1.5.5 单肩圆形试样见附图 1-11。取样方法按 GB2649—81《焊接接头机械性能试验取样法》规定。



附图 1-10



附图 1-11  $L$ —大于或等于 $k_t + 20$ , mm。

#### 4.1.5.6 拉伸试验方法

按 GB228—76《金属拉力试验法》，GB2651—81《焊接接头拉伸试验法》的规定进行拉伸试验。

#### 4.1.5.7 拉伸试验合格指标

如试样的抗拉强度不低于下列规定之一，则该拉伸试验评为合格。

- 产品图样设计规定值。
- 钢材标准规定的最低抗拉强度。
- 如果采用最低抗拉强度不同的两种钢材，则为两种钢材标准规定的最低抗拉强度中的较低值。
- 如属技术文件或图样规定，选用室温强度低于钢材的焊缝，则为标准规定的焊缝金属最低抗拉强度。

若采用多个试样，则将多片试样组成一组，拉伸试验时应检验完整的一组试样，每片试样都应进行试验，并符合合格指标。

#### 4.1.6 弯曲试验

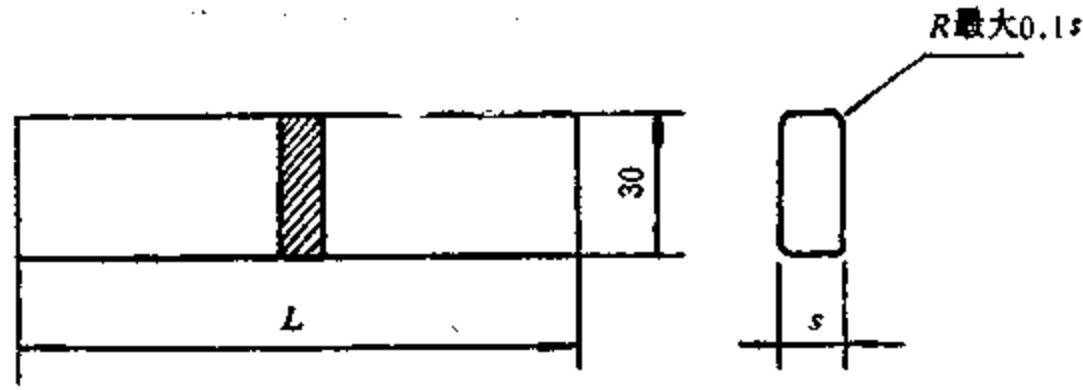
弯曲试验测定对接接头的致密性和塑性。

焊缝余高应以机械方法去除，试样的拉伸面应保留母材的原始表面。

##### 4.1.6.1 横向面弯和背弯试样

若试件厚度大于 20 mm 时，则从弯曲试样的受压面用机械方法去除多余厚度。

- 试件为板材时的面弯和背弯试样见附图 1-12、附表 1-6。  
当试件厚度允许时，面弯和背弯试样可沿同一厚度方向切取，如附图 1-13 所示。
- 试件为管材时的面弯和背弯试样见附图 1-4。



附图 1-12  $L = D + 2.5S + 100, \text{mm}$ 。式中  $D$  为弯轴直径。

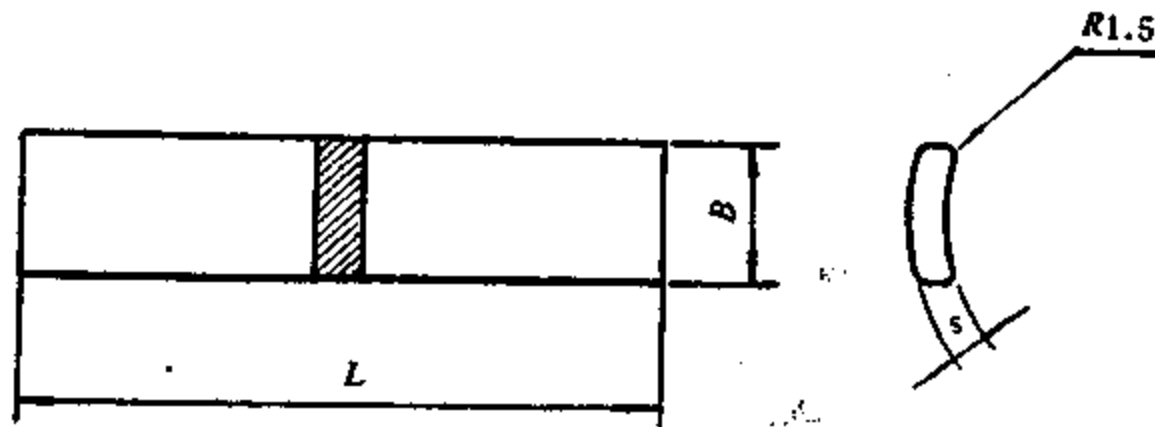
附表 1-6 (mm)

$T$	$S$
$\leq 20$	$T$
$> 20$	20



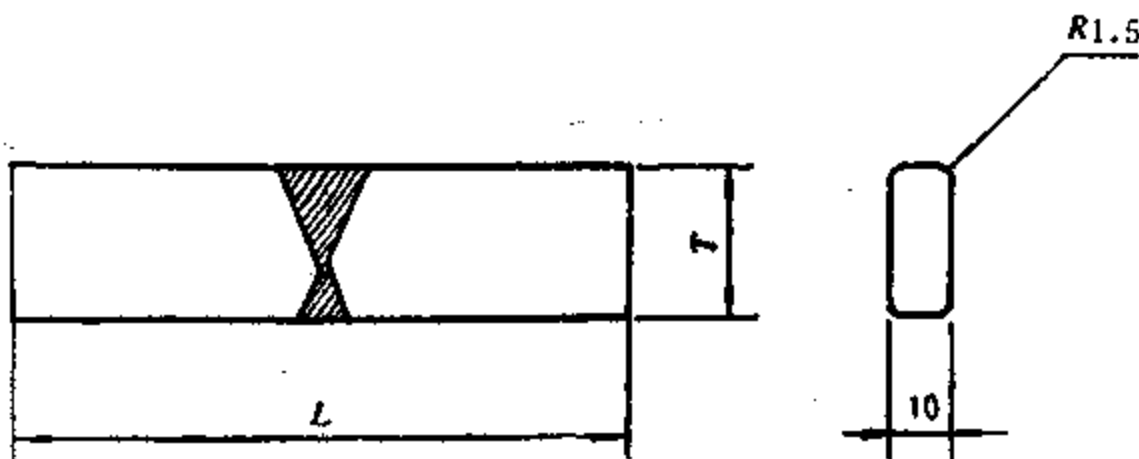
附图 1-13

当管壁厚度小于或等于 20mm 时, 试样的上下弧面不必加工平面; 管壁厚度大于 20mm 时, 允许从受压面加工。



附图 1-14  
 $L = D + 2.5S + 100 \text{mm}$ ,  
 $B = S + \frac{D_0}{20}$ , mm, 且  $10 \text{mm} \leq B \leq 38 \text{mm}$ 。  
 $D_0$  为管子外径。

4.1.6.2 侧向弯曲试样见附图 1-15, 附表 1-7



附表 1-7

钢材类别	$D$ (mm)
碳素钢、奥氏体不锈钢	20
低合金钢、铬钼钒钢	30

附图 1-15  $L = D + 105, \text{mm}$ 。

#### 4.1.6.3 弯曲试验方法

按附表 1-8 和 GB232-63《金属冷热弯曲试验法》规定进行弯曲试验。试样焊缝轴线需对准弯轴轴线。

附表 1-8

焊接方式	钢 种		弯轴直径 (mm)	支座间距离 (mm)	弯曲角 (度)
双面焊	碳素钢	母材抗拉强度 <math>< 44\text{kgf/mm}^2</math>	2S	4.2S	180
		规定值下限 44~54kgf/mm <sup>2</sup>	3S	5.2S	180
	普通低合金钢		3S	5.2S	100
	铬钼钢和铬钼钒钢		3S	5.2S	50
	奥氏体钢		2S	4.2S	100
单面焊	碳素钢和奥氏体钢		3S	5.2S	90
	其它合金钢		3S	5.2S	50

#### 4.1.6.4 弯曲试验合格指标

弯曲试样冷弯到附表 1-8 规定的角度后, 其拉伸面上若有长度大于 1.5mm 的横向 (沿试样宽度方向) 裂纹或缺陷, 或长度大于 3mm 的纵向裂纹或缺陷时为不合格。试样的棱角先期开裂不计。

#### 4.1.7 冲击韧性试验

4.1.7.1 冲击试样形式、尺寸等应符合 GB2650-81 的规定。如技术文件或图样没有要求, 冲击试样缺口轴线一律垂直于焊缝表面。

#### 4.1.7.2 冲击试验方法

按 GB229-84《金属材料夏比 (U 型缺口) 冲击试验方法》YB19-64《金属低温冲击韧性试验法》和 GB2106-80《金属 (V 型缺口) 夏比冲击试验方法》的规定执行。

#### 4.1.7.3 冲击韧性试验合格指标

按技术文件或图样要求确定

#### 4.2 角焊缝试件检验

组别号为 I-3、类别号为 III 的钢材角焊缝应进行对接焊缝试件机械性能检验和角焊缝试件检验。

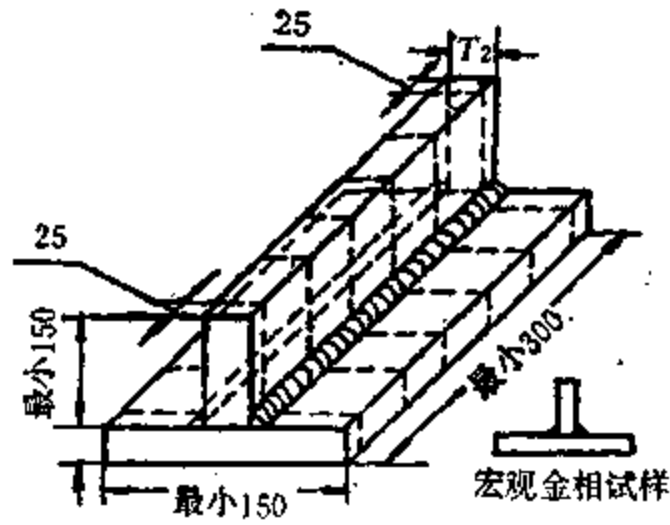
除上述钢材以外的角焊缝应进行对接焊缝试件机械性能检验, 仅有角焊缝试件检验则只适用于非承压角焊缝。

#### 4.2.1 板材角焊缝试件及试样见附图 1-16 和附表 1-9。

- 如附图 1-16 所示将试件横向五等分切开, 每块试样长 50mm, 两端长各 25mm 废弃。
- 每一块试样取一个面进行宏观金相检验 (浸蚀剂和浸蚀方法见附录 1-c)。

#### 4.2.2 套管和管板角焊缝试件及试样见附图 1-17。这两试件的评定结果可互相通用。

- 依图示位置处取试件的四分之一, 作宏观金相试样;
- 焊缝的起始和终止位置应在试样的中部;



附图 1-16

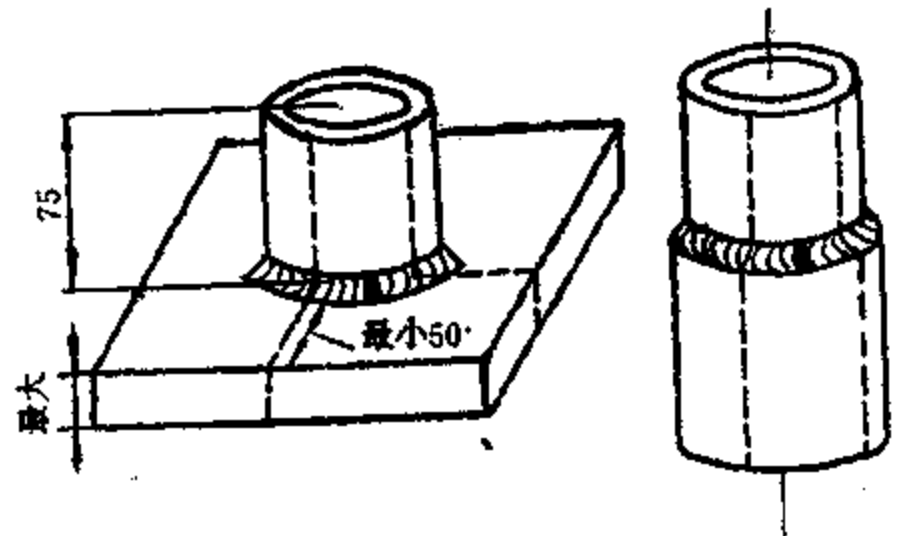
附表 1-9

$T_2$	$T_2$
$\leq 8$	$T_1$
$> 8$	$\leq T_1$ , 但不小于 3

- c. 取试样的一个面作宏观金相检验;
- d. 若以套管或管板角焊缝评定板材角焊缝, 则应切取 1~4 个试样, 每个试样取一个面作宏观金相检验

#### 4.2.3 合格指标

- a. 对于 4.2.1 款, 焊脚等于  $T_2$ , 且不大于 20mm; 对于 4.2.2 款, 最大焊脚等于管壁厚。
- b. 焊缝表面不应有任何可见裂纹。
- c. 宏观金相检验时, 焊缝根部应熔合, 焊缝金属和热影响区不得有裂纹, 两焊脚之差不少于 3mm。



附图 1-17  $t_1$  最大—最大管壁厚, mm。

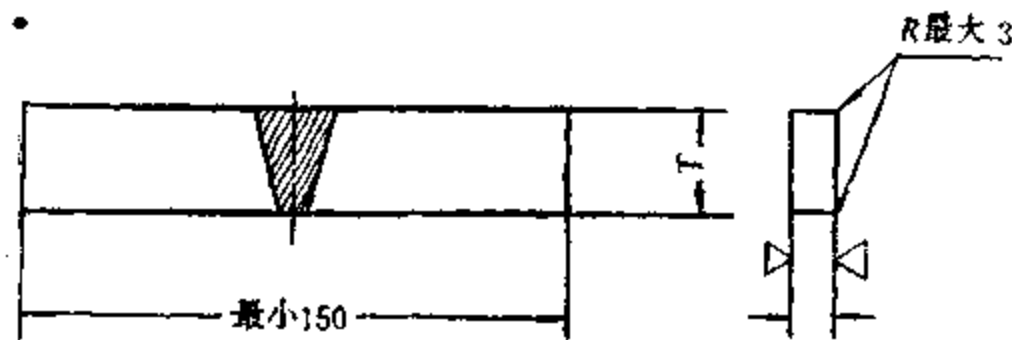
#### 4.3 耐蚀堆焊试件检验

##### 4.3.1 渗透探伤

按 JB741-80 附录六“渗透探伤”的规定执行。

##### 4.3.2 弯曲试验

渗透探伤合格后在堆焊试件上切取四个侧弯试样, 其取法是平行和垂直于焊接方向各两个, 或者四个试样都垂直于焊接方向。试样尺寸参照附图 1-18。



附图 1-18 T—试件厚度 (此时为侧弯试样的宽度方向), mm。

按附表 1-10 和 GB2653-81《焊接接头弯曲及压扁试验法》的规定进行弯曲试验。对着支持辊的试样面在作面弯试验时应是试样的正面; 在作背弯试验时应是试样的背面; 在作侧弯试验时如果试样有缺陷则是缺陷较严重的一侧。

横向弯曲试样试验后焊缝和热影区应在拉伸部位内。

当按附图 1-18 所示试样宽度大于 40mm 时, 弯轴长度至少比试样宽度多 6mm。

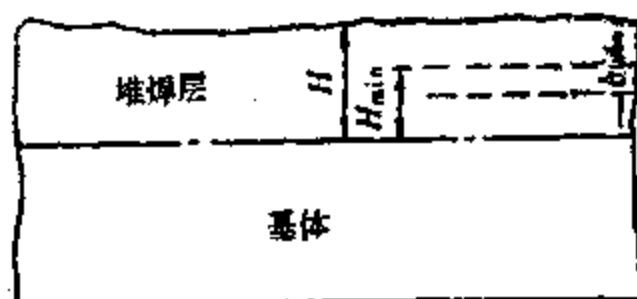
附表 1-10

试样厚度 S	弯轴直径 (mm)	支持辊间距	弯曲角 (度)
10	40	63	180
<10	4S	6S+8	180

弯曲试验后在试样拉伸部位内的任何方向测量不得有超过1.5mm长的开裂缺陷,在熔合线上不得有超过3mm长的开裂缺陷。

#### 4.3.3 化学成分检验

化学分析取样部位如附图 1-19所示。



附图 1-19 H—总熔敷厚度, mm;  $H_{min}$ —经平定后,堆焊层允许的最小厚度, mm; b—化学分析取样厚度, 最大为0.5mm。

## 附录 1-A 标准使用说明(参考件)

A.1 《压力容器焊接工艺评定》标准是确保压力容器安全可靠运行标准体系中的一个,在评定焊接工艺时还应遵守标准体系中的有关标准规定,特别是《钢制石油化工压力容器设计规定》和《JB741-80》。为了确保压力容器的焊接质量,焊接生产时除了执行“焊接工艺规程”外,还应执行有关焊接标准和技术文件的规定。

A.2 钢材的焊接性能试验为焊接工艺评定创造了条件。通过焊接性能试验应当提出保证焊接接头接合性能和使用性能的工艺规范,在进行焊接工艺评定时必须遵守。本标准对工艺因素变更后按其对焊接接头机械性能的影响,作为是否要重新评定的判断准则。对于对接焊缝和角焊缝试件检验主要提出机械性能检验,这只是对焊接接头性能最起码、最基本的要求,本标准并不妨碍技术文件或图样对焊接工艺评定增加检验项目,但需同时规定出检验方法和合格指标。

A.3 基本因素、补加因素和次要因素是相对于某种焊接方法而言的。有的因素对这种焊接方法可能是基本因素,对另一种焊接方法可能是次要因素,而对于第三种焊接方法可能是根本不需要的。

当规定进行冲击韧性试验时,补加因素当作基本因素;当不规定进行冲击韧性试验时,补加因素当作次要因素。

当评定焊接工艺时,对某一焊接条件及变更要全面、综合考虑,不仅要注意到焊接条件本身的变更,还要考虑到可能引起相应工艺因素的改变。

有时在同一焊接方法中同一工艺因素既列于补加因素类,又列于次要因素类,这是因为当有冲击韧性要求时该因素为补加因素,而没有冲击韧性要求时则为次要因素。

A.4 焊接工艺评定报告是按本标准规定通过焊接试件和检验试样来评定焊接工艺,并将焊接工艺因素和试验记录整理成的报告。

经过焊接工艺评定应该评出合格的焊接工艺。

根据焊接工艺评定报告和实践经验制订的焊接工艺规程，作为制造符合标准规定的压力容器焊接工艺文件。

焊接工艺评定报告包括基本因素、补加因素和各项检验结果、测定报告。

焊接工艺规程包括基本因素、补加因素、次要因素和认为有必要填入的工艺因素。

焊接工艺评定报告中的规范参数是试验记录值，数值变化范围比较窄；而结合实践经验的焊接工艺规程中的规范参数数值应允许有一定的范围。

A.5 为了减少焊接工艺评定数量，本标准对钢材按其化学成分、机械性能和焊接性能等特性加以合理分类、分组，并规定了各类别各组别钢材在评定时的替代关系。但这种分类分组并不能作为同类（组）钢材在设计、制造或维修时代用的依据。

如果对焊接接头有冲击韧性要求时，母材必须满足冲击韧性规定。

对于未列入表 1 中的钢材，根据必要的试验研究与实际使用经验，在企业标准中可列入相应的类别和组别中，或增加类别或组别并规定评定替代关系。

A.6 焊条、焊剂牌号编制方法按原第一机械工业部编《焊接材料产品样本》（1977 年）中的规定。焊接用钢丝钢号按 GB1300-77《焊接用钢丝》规定。

A.7 试件指焊接工艺评定用试件，即按焊接工艺要求进行焊接，准备作各种检验的焊接接头。本标准列出对接焊缝试件（包括板材对接焊缝试件、管材对接焊缝试件），角焊缝试件（包括板材角焊缝试件、套管角焊缝试件、管板角焊缝试件）和堆焊试件。

试样是从试件上按规定切取的供不同试验目的用的样品，如拉伸试样、弯曲试样、宏观金相试样等。

焊件指制造压力容器时需要焊接的对象，如：拼装件、组装件、修补件等。

A.8 横向弯曲：弯轴的加载方向垂直于焊缝轴线，并产生垂直于焊缝轴线的应力的弯曲。

纵向弯曲：弯轴的加载方向垂直于焊缝轴线，并产生平行于焊缝轴线的应力的弯曲。

侧向弯曲：弯轴的加载方向平行于焊缝轴线，并产生垂直于焊缝轴线的应力的弯曲。

焊缝正面：焊后，从焊件的施焊面所看到的焊缝表面。

焊缝背面：焊后，从焊件的施焊面的背面所看到的焊缝表面。

焊缝侧面：垂直于焊缝轴线的截面。

弯曲试样根据上述定义及其哪个面（正面、背面或侧面）成为弯曲后的凸面而分为五类：横向正面弯曲试样、横向背面弯曲试样、横向侧面弯曲试样、纵向正面弯曲试样、纵向背面弯曲试样。

A.9 线能量和增加熔敷金属体积的表示方法：

$$\text{线能量} = \frac{\text{电流(A)} \times \text{电压(V)} \times 60}{\text{焊接速度(cm/min)}} \quad (\text{J/cm})$$

焊道熔敷金属体积的增加等于焊道宽度的增加或单位长度焊条（焊丝）熔敷道长度的缩短，或焊接速度的降低。

## 附录 1-B 各类焊接位置的规定范围(补充件)

对接焊缝焊接位置的规定范围见表 1-B<sub>1</sub>，角焊缝焊接位置的规定范围见表 1-B<sub>2</sub>。



表 1-B1

焊接位置	焊缝倾角 (度)	焊缝转角 (度)
平焊位置	0~15	0~30
横焊位置	0~15	30~100
仰焊位置	0~80	100~180
立焊位置	15~80 80~90	0~100 0~180

表 1-B2

焊接位置	焊缝倾角 (度)	焊缝转角 (度)
平焊位置	0~15	0~30
横焊位置	0~15	30~55
仰焊位置	0~80	55~180
立焊位置	15~80 80~90	0~55 0~180

### 附录 1-C 浸蚀剂和浸蚀方法(参考件)

宏观金相试样用机械方法切取后,经过磨光再进行浸蚀,对碳钢和低合金钢的浸蚀溶液及使用方法如下:

#### C.1 盐酸

溶液中盐酸和水的体积相等。在浸蚀过程中,溶液应保持沸点或接近沸点。试样在溶液中应浸泡足够长的时间以显露其横截面上可能存在的各种缺陷。

#### C.2 过硫酸铵

一份过硫酸铵与九份水按重量配制。溶液应在室温下使用,用一块浸透该溶液的棉花用力擦试浸蚀表面。浸蚀过程应继续到清楚地分辨出焊缝组织为止。

#### C.3 碘和碘化钾

一份碘粉(固态),两份碘化钾粉和十份水均按重量配制。溶液应在室温下使用并将其涂刷在需浸蚀的表面直到清楚分辨焊缝或显现出焊缝轮廓为止。

#### C.4 硝酸

一份硝酸和三份水按体积配制。该溶液应在室温下使用并借助玻璃棒涂在需浸蚀的表面,试样也可以放在沸腾的酸溶液中,浸蚀过程应延续足够长的时间以显露焊缝横截面上可能存在的所有缺陷。

### 附录 1-D 焊接工艺规程和焊接工艺 评定报告表格推荐格式(参考件)

表 1-D<sub>1</sub>为“焊接工艺规程”的推荐格式,表 1-D<sub>2</sub>为“焊接工艺评定报告”的推荐格式。以上两种表格适用于手弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊、钨极气体保护焊或上述方法的组合。

其它焊接方法的表格形式可根据表 1-D<sub>1</sub>,表 1-D<sub>2</sub>拟定。

表 1-D1 焊接工艺规程

单位名称 \_\_\_\_\_ 批准人签字 \_\_\_\_\_  
 焊接工艺规程编号 \_\_\_\_\_ 日期 \_\_\_\_\_ 焊接工艺评定报告编号 \_\_\_\_\_  
 焊接方法 \_\_\_\_\_ 机械化程度 \_\_\_\_\_  
 (手工、半自动、自动)

续表

焊接接头:

详图:

坡口形式: \_\_\_\_\_

垫板 (材料及规格) \_\_\_\_\_

其它 \_\_\_\_\_

应当用简图、施工图、焊缝代号或文字说明待焊部件的总体布置、接头形式、焊接坡口尺寸、焊缝层次和焊接顺序。

母材:

类别号 \_\_\_\_\_ 组别号 \_\_\_\_\_ 与类别号 \_\_\_\_\_ 组别号 \_\_\_\_\_ 相焊或标准号 \_\_\_\_\_

钢号 \_\_\_\_\_ 与标准号 \_\_\_\_\_ 钢号 \_\_\_\_\_ 相焊或化学成分与机械性能 \_\_\_\_\_

和化学成分与机械性能 \_\_\_\_\_ 相焊

厚度范围:

母材: 对接焊缝 \_\_\_\_\_ 角焊缝 \_\_\_\_\_ 焊缝金属 \_\_\_\_\_

管子直径、壁厚范围: 对接焊缝 \_\_\_\_\_ 角焊缝 \_\_\_\_\_

其它 \_\_\_\_\_

焊接材料:

焊条类别 \_\_\_\_\_ 其它 \_\_\_\_\_ 焊条标准 \_\_\_\_\_ 牌号 \_\_\_\_\_

填充金属尺寸 \_\_\_\_\_ 焊丝钢号、焊剂牌号 \_\_\_\_\_ 焊剂商标称焊 \_\_\_\_\_

焊条 (焊丝) 熔敷金属化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti

焊接位置:

对接焊缝的位置 \_\_\_\_\_

焊接方名: 向上 \_\_\_\_\_ 向下 \_\_\_\_\_

角焊缝位置 \_\_\_\_\_

焊后热处理:

加热温度 \_\_\_\_\_ 升温速度 \_\_\_\_\_

保温时间 \_\_\_\_\_ 冷却方式 \_\_\_\_\_

预热:

预热温度 (允许最低值) \_\_\_\_\_

层间温度 (允许最高值) \_\_\_\_\_

保持预热时间 \_\_\_\_\_

加热方式 \_\_\_\_\_

气体:

保护气体 \_\_\_\_\_

混合气体组成 \_\_\_\_\_

流量 \_\_\_\_\_

电特性:

电流种类 \_\_\_\_\_ 极性 \_\_\_\_\_

焊接电流范围 (A) \_\_\_\_\_ 电弧电压 (V) \_\_\_\_\_

应当对每种规格的焊条, 所焊位置和厚度, 分别记录电流和电压范围, 这些数据可列入下表中。

续表

焊缝层次	焊接方法	填充金属		焊接电流		电弧电压范围 (V)	焊接速度 (cm/min)	其它
		牌 号	直 径 (mm)	极 性	电 流 (A)			

钨极规格与类型

(钽钨极或铈钨极等)

熔化极气体保护焊熔滴过渡形式

(喷射过渡、短路过渡等)

焊丝送进速度范围

操作技术:

摆动焊和不摆动焊

摆动参数

喷嘴尺寸

焊前清理或层间清理

背面清根方法

导电嘴至焊件距离(每面)

多道焊或单道焊(每面)

多丝焊或单丝焊

焊接速度(范围)

其它

编 制		日 期		审 核		日 期	
-----	--	-----	--	-----	--	-----	--

\* 对每一种母材——焊接材料的组合均需分别填表

表 1-D2 焊接工艺评定报告

单位名称 \_\_\_\_\_ 批准人签字 \_\_\_\_\_

焊接工艺评定报告编号 \_\_\_\_\_ 日期 \_\_\_\_\_ 焊接工艺规程编号 \_\_\_\_\_

焊接方法 \_\_\_\_\_ 机械化程度 \_\_\_\_\_ (手工、半自动、自动)

接头:

用简图画出口形式、垫板、焊缝层次和顺序等。

<p>母材:</p> <p>钢材标准号 _____</p> <p>钢号 _____</p> <p>类别号 _____ 与类别号 _____ 相焊</p> <p>厚度 _____</p> <p>直径 _____</p> <p>其它 _____</p>	<p>焊后热处理:</p> <p>温度 _____</p> <p>保温时间 _____</p> <p>气体:</p> <p>气体种类 _____</p> <p>混合气体成分 _____</p>
<p>填充金属:</p> <p>焊条标准 _____</p> <p>焊条牌号 _____</p> <p>焊丝钢号、尺寸 _____</p> <p>焊剂牌号 _____</p> <p>其它 _____</p>	<p>电特性:</p> <p>电流种类 _____</p> <p>极性 _____</p> <p>焊接电流(A) _____ 电压(V) _____</p> <p>其它 _____</p>

续表

焊接位置： 对接焊缝位置 _____ 方向(向上、向下) _____ 角焊缝位置 _____	操作技术： 焊接速度 _____ 摆动或不摆动 _____ 摆动参数 _____ 多道焊或单道焊(每面) _____ 单丝焊或多丝焊 _____ 其它 _____
预热： 预热速度 _____ 层间温度 _____ 其它 _____	

拉伸试验

试样号	宽 (mm)	厚 (mm)	面积 (mm) <sup>2</sup>	断裂载荷 (kgf)	抗拉强度 (kgf/mm <sup>2</sup> )	断裂特点和部位

弯曲试验

试样号	试样类型	试样图号	试验结果

冲击韧性试验

试样号	缺口位置	缺口型式	试验温度(°C)	冲击值 (kgf-M/cm <sup>2</sup> )

角焊缝检验

检验结果：合格 \_\_\_\_\_ 不合格 \_\_\_\_\_ 根部熔合 \_\_\_\_\_  
 未熔合 \_\_\_\_\_ 裂纹类型和性质(表面) \_\_\_\_\_ (宏观金相) \_\_\_\_\_  
 两焊脚尺寸差 \_\_\_\_\_

其它检验

检查方法 \_\_\_\_\_  
 焊缝金属化学成分分析 \_\_\_\_\_  
 其它 \_\_\_\_\_

结论：本评定按 JB3964-85 规定进行焊接试件、检验试样、测定性能，确认试验记录正确，评定结果 \_\_\_\_\_ (合格，不合格)

施焊者	日期	填表人	日期	审核人	日期
-----	----	-----	----	-----	----

## 附录二 梁的整体稳定系数

### 1. 焊接工字形等截面简支梁

焊接工字形等截面（附图 2-1）简支梁的整体稳定系数  $\varphi_b$  应按下列公式计算：

$$\varphi_b = \beta_b \frac{4320}{\lambda_y^2} \cdot \frac{A \cdot h}{W_x} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{\lambda_y \delta_1}{4.4h} \right)^2} + \eta_b \right] \frac{235}{\sigma_s} \quad (\text{附 } 2-1)$$

式中  $\beta_b$ ——系数，按附表 2-1 采用；

$\lambda_y = l_1 / r_y$ ——梁在侧向支承点间对截面  $y-y$  轴的长细比， $l_1$  为梁的受压盖板侧向支承点间的距离。 $r_y$  为梁截面对  $y$  轴的回转半径；

$A$ ——梁的毛截面面积；

$h, \delta_1$ ——梁截面的全高和受压盖板厚度；

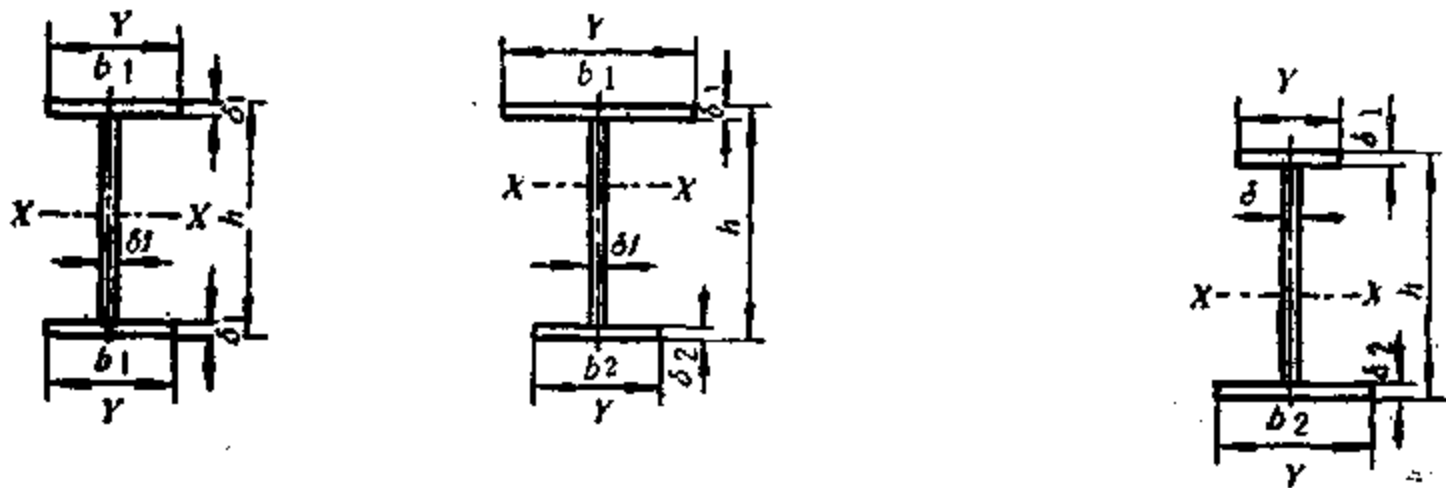
$\eta_b$ ——截面的不对称影响系数；

对双轴对称工字形截面（附图 2-1 a）） $\eta_b = 0$

对单轴对称工字形截面（附图 2-1 b, c））时：

加强受压盖板  $\eta_b = 0.8(2\alpha_b - 1)$

加强受拉盖板  $\eta_b = 2\alpha_b - 1$



附图 2-1 焊接工字形截面

- a) 双轴对称工字形截面梁；b) 加强受压盖板的单轴对称工字形截面；  
c) 加强受拉盖板的单轴对称工字形截面。

$$\alpha_b = \frac{J_1}{J_1 + J_2} \quad \text{—— } J_1 \text{ 和 } J_2 \text{ 分别为受压盖板和受拉盖板对 } y \text{ 轴的惯性矩。}$$

当按公式（附 2-1）算出的  $\varphi_b$  大于 0.60 时，应按附表 3-2 查出相应的  $\varphi_b'$  代替  $\varphi_b$  值。

注：公式（附 2-1）适用于宽盖板工字梁和等截面铆接（高强螺栓连接）简支梁，后者的受压盖板厚度  $\delta_1$  包括盖板角钢厚度在内。

附表 2-1 工字形截面简支梁的系数 $\beta_b$ 

项次	侧向支承	载 荷	$\xi = \frac{l_0}{B_x h}$		适用范围	
			$\xi > 2.0$	$\xi \leq 2.0$		
1	跨中无侧向支承	均布载荷作用在	上盖板	$0.69 + 0.13\xi$	0.95	附图 2-1 a, b 截面
2			下盖板	$1.73 - 0.2\xi$	1.33	
3		集中载荷作用在	上盖板	$0.73 + 0.18\xi$	1.09	
4			下盖板	$2.23 - 0.28\xi$	1.67	
5	跨度中点有一个侧向支承点	均布载荷作用在	上盖板	1.15	附图 2-1 中的各截面	
6			下盖板	1.40		
7		集中载荷作用在截面高度上任意位置	1.75			
8	跨中有不少于两个等距离侧向支承点	均布载荷或侧向支承点间的集中载荷作用在	上盖板	1.20		
9			下盖板	1.40		
10	侧向支承点间无横向载荷		$1.75 - 1.05 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^2$ 但 $\leq 2.3$			

注：①  $\xi = \frac{l_0}{B_x h}$  —— 系数，其中  $l$  和  $B_x$  见第四章表 4-3。

②  $M_1, M_2$  为侧向支承点间梁段的端弯矩，使梁发生同向曲率时， $M_1$  和  $M_2$  取同号，产生反向曲率时取异号并  $|M_2| \geq |M_1|$ 。

③ 项次 3, 4, 7 的集中载荷系指一个或少数几个集中载荷位于跨中央附近的情况；对其他情况的集中载荷按 1, 2, 5, 6 数值采用。

④ 载荷作用在上盖板，指作用点在盖板表面，方向指向截面形心，载荷作用在下盖板，指作用点在盖板表面，方向背向截面形心。

⑤ 对  $\alpha_b > 0.8$  时的加强受压盖板工字形截面，下列情况的  $\beta_b$  值应乘以下系数：

项次 1：当  $\xi \leq 1.0$  时， 0.95；

项次 3：当  $\xi \leq 0.5$  时， 0.90；

当  $0.5 < \xi \leq 1.0$  时， 0.95。

## 2. 双轴对称工字形等截面悬臂梁

双轴对称工字形等截面悬臂梁的整体稳定系数，仍按式（附 2-1）计算，但式中系数  $\beta_b$  应按附表表 2-3 查得， $\lambda_y = l_1/r_y$  中的  $l_1$  为悬臂梁的悬伸长度，当求得的  $\varphi_b$  大于 0.6 时，应按附表 2-2 查出相应的  $\varphi'_b$  代替  $\varphi_b$  的值。

附表 2-2 整体稳定系数  $\varphi'_b$  值  $\left( \varphi'_b = 1.1 - \frac{0.4646}{\varphi_b} + \frac{0.1269}{\varphi_b^{3/2}} \right)$ 

$\varphi_b$	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10
$\varphi'_b$	0.600	0.627	0.653	0.676	0.697	0.715	0.732	0.748	0.762	0.775	0.788
$\varphi_b$	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.60	1.80	2.00
$\varphi'_b$	0.799	0.809	0.819	0.828	0.837	0.845	0.852	0.859	0.872	0.894	0.913
$\varphi_b$	2.25		2.50		3.00		3.50		$\geq 4.00$		
$\varphi'_b$	0.931		0.946		0.970		0.987		1.000		

附表 2-3 双轴对称工字形等截面悬臂梁的系数 $\beta_b$ 

项次	载 荷 形 式	$\xi = l_1 \delta / B_x h$		
		$0.60 \leq \xi \leq 1.24$	$1.24 \leq \xi \leq 1.96$	$1.96 < \xi \leq 3.10$
1	自由端一个集中载荷作用在上盖板	$0.21 + 0.67\xi$	$0.72 + 0.26\xi$	$1.17 + 0.03\xi$
2	自由端一个集中载荷作用在下盖板	$2.94 - 0.65\xi$	$2.64 - 0.40\xi$	$2.15 - 0.16\xi$
3	均布载荷作用在上盖板	$0.62 + 0.82\xi$	$1.25 + 0.31\xi$	$1.66 + 0.10\xi$

注：按支承端为固定的情况确定的，当用于邻跨延伸出来的伸臂梁时，应在构造上采取措施以加强支承处的抗扭能力。

### 3. 受弯构件整体稳定系数的近似计算

受均布弯矩作用的受弯构件，当 $\lambda_y \leq 120 \sqrt{\frac{235}{\sigma_s}}$ 时，其整体稳定系数 $\varphi_b$ 可按下列近似公式计算。

#### (1) 工形截面

双轴对称时

$$\varphi_b = \frac{14000}{\lambda_y^2} \times \frac{235}{\sigma_s} \quad (\text{附 2-2})$$

单轴对称时

$$\varphi_b = (2a_b + 0.1) \frac{4320}{\lambda_y^2} \times \frac{Ah}{W_x} \times \frac{235}{\sigma_s} \quad (\text{附 2-3})$$

按以上两式算得 $\varphi_b$ 大于0.60时，应按附表 2-2 查出相应 $\varphi'_b$ 代替 $\varphi_b$ 。

#### (2) T 形截面（弯矩作用在对称轴平面、绕 x 轴）

(a) 弯矩使盖板受压时：

双角钢的 T 形截面

$$\varphi_b = 1 - 0.0017\lambda_y \sqrt{\frac{\sigma_s}{235}} \quad (\text{附 2-4})$$

两板组成 T 形截面

$$\varphi_b = 1 - 0.0022\lambda_y \sqrt{\frac{\sigma_s}{235}} \quad (\text{附 2-5})$$

(b) 弯矩使盖板受拉时：

$$\varphi_b = 1.0 \quad (\text{附 2-6})$$

用公式（附 2-4）~（附 2-6）计算得出的 $\varphi_b$ 不需换算成 $\varphi'_b$ 。

# 附录三 受压构件稳定系数、许用长细比及截面塑性发展系数

附表 3-1 3号钢 a类截面轴心受压构件的稳定系数  $\varphi$

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.996
10	0.995	0.994	0.993	0.992	0.991	0.989	0.988	0.986	0.985	0.983
20	0.981	0.979	0.977	0.976	0.974	0.972	0.970	0.968	0.966	0.964
30	0.963	0.961	0.959	0.957	0.955	0.952	0.950	0.948	0.946	0.944
40	0.941	0.939	0.937	0.934	0.932	0.929	0.927	0.924	0.921	0.919
50	0.916	0.913	0.910	0.907	0.904	0.900	0.897	0.894	0.890	0.886
60	0.883	0.879	0.875	0.871	0.867	0.863	0.858	0.845	0.849	0.844
70	0.839	0.834	0.829	0.824	0.818	0.813	0.807	0.801	0.795	0.789
80	0.783	0.776	0.770	0.763	0.757	0.750	0.743	0.736	0.728	0.721
90	0.714	0.706	0.699	0.691	0.684	0.676	0.668	0.661	0.653	0.645
100	0.638	0.630	0.622	0.615	0.607	0.600	0.592	0.585	0.577	0.570
110	0.563	0.555	0.548	0.541	0.533	0.527	0.520	0.514	0.507	0.500
120	0.494	0.488	0.481	0.475	0.469	0.463	0.457	0.451	0.445	0.440
130	0.434	0.429	0.423	0.418	0.412	0.407	0.402	0.397	0.392	0.387
140	0.383	0.378	0.373	0.369	0.364	0.360	0.356	0.351	0.347	0.343
150	0.339	0.335	0.331	0.327	0.323	0.320	0.316	0.312	0.309	0.305
160	0.302	0.298	0.295	0.292	0.289	0.285	0.282	0.279	0.276	0.273
170	0.270	0.267	0.264	0.262	0.259	0.256	0.253	0.251	0.248	0.246
180	0.243	0.241	0.238	0.236	0.233	0.231	0.229	0.226	0.224	0.222
190	0.220	0.218	0.215	0.213	0.211	0.209	0.207	0.205	0.203	0.201
200	0.199	0.198	0.196	0.191	0.192	0.190	0.189	0.187	0.185	0.183
210	0.182	0.180	0.179	0.177	0.175	0.174	0.172	0.171	0.169	0.168
220	0.166	0.165	0.165	0.162	0.161	0.159	0.158	0.157	0.155	0.154
230	0.153	0.152	0.150	0.149	0.148	0.147	0.146	0.144	0.143	0.142
240	0.141	0.140	0.139	0.138	0.136	0.135	0.134	0.133	0.132	0.131
250	0.130									

附表 3-2 3号钢 b类截面轴心受压构件的稳定系数  $\varphi$

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.994
10	0.992	0.991	0.989	0.987	0.985	0.983	0.981	0.978	0.976	0.973
20	0.970	0.967	0.963	0.960	0.957	0.953	0.950	0.946	0.943	0.939
30	0.936	0.932	0.929	0.925	0.922	0.918	0.914	0.910	0.906	0.903
40	0.899	0.895	0.891	0.887	0.882	0.878	0.872	0.870	0.865	0.861
50	0.856	0.852	0.847	0.842	0.838	0.833	0.828	0.823	0.818	0.813
60	0.807	0.802	0.797	0.791	0.786	0.780	0.774	0.769	0.763	0.757
70	0.751	0.745	0.739	0.732	0.726	0.720	0.714	0.707	0.701	0.694
80	0.688	0.681	0.675	0.667	0.661	0.655	0.648	0.641	0.635	0.628
90	0.621	0.614	0.608	0.601	0.594	0.588	0.581	0.575	0.568	0.561
100	0.555	0.549	0.542	0.536	0.529	0.523	0.517	0.511	0.505	0.499
110	0.493	0.487	0.481	0.475	0.470	0.464	0.458	0.453	0.447	0.442
120	0.437	0.432	0.426	0.421	0.410	0.411	0.406	0.402	0.397	0.392
130	0.387	0.383	0.378	0.374	0.370	0.365	0.361	0.357	0.353	0.349
140	0.345	0.341	0.337	0.333	0.329	0.326	0.322	0.318	0.315	0.311
150	0.308	0.304	0.301	0.298	0.295	0.291	0.288	0.285	0.282	0.279
160	0.276	0.273	0.270	0.267	0.265	0.262	0.259	0.256	0.254	0.251
170	0.249	0.246	0.244	0.241	0.239	0.236	0.234	0.232	0.229	0.227
180	0.225	0.223	0.220	0.218	0.219	0.214	0.212	0.210	0.208	0.206
190	0.204	0.202	0.200	0.198	0.197	0.195	0.193	0.191	0.190	0.188
200	0.186	0.184	0.183	0.181	0.180	0.178	0.176	0.175	0.173	0.172
210	0.170	0.169	0.167	0.166	0.165	0.163	0.162	0.160	0.159	0.158
220	0.156	0.155	0.154	0.153	0.151	0.150	0.149	0.148	0.146	0.145
230	0.144	0.143	0.142	0.141	0.140	0.138	0.137	0.136	0.135	0.134
240	0.133	0.132	0.131	0.130	0.129	0.128	0.127	0.126	0.125	0.124
250	0.123									



附表 3-3 3号钢 c类截面轴心受压构件的稳定系数  $\varphi$ 

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.993
10	0.992	0.990	0.988	0.986	0.983	0.981	0.978	0.976	0.973	0.970
20	0.966	0.959	0.953	0.947	0.940	0.934	0.928	0.921	0.915	0.909
30	0.902	0.896	0.890	0.884	0.877	0.871	0.865	0.858	0.852	0.846
40	0.839	0.833	0.826	0.820	0.814	0.807	0.801	0.794	0.788	0.781
50	0.775	0.768	0.762	0.755	0.748	0.742	0.735	0.729	0.722	0.715
60	0.709	0.702	0.695	0.689	0.682	0.676	0.669	0.662	0.656	0.649
70	0.643	0.636	0.629	0.623	0.616	0.610	0.604	0.597	0.591	0.584
80	0.578	0.572	0.566	0.559	0.553	0.547	0.541	0.535	0.529	0.523
90	0.517	0.511	0.505	0.500	0.494	0.488	0.483	0.477	0.472	0.467
100	0.463	0.458	0.454	0.449	0.445	0.441	0.436	0.432	0.428	0.423
110	0.419	0.415	0.411	0.407	0.403	0.399	0.395	0.391	0.387	0.383
120	0.379	0.375	0.371	0.367	0.364	0.360	0.356	0.353	0.349	0.346
130	0.342	0.339	0.335	0.332	0.328	0.325	0.322	0.319	0.315	0.312
140	0.309	0.306	0.303	0.300	0.297	0.294	0.291	0.288	0.285	0.282
150	0.280	0.277	0.274	0.271	0.269	0.266	0.264	0.261	0.258	0.256
160	0.254	0.251	0.249	0.246	0.244	0.242	0.239	0.237	0.235	0.233
170	0.230	0.228	0.226	0.224	0.222	0.220	0.218	0.216	0.214	0.212
180	0.210	0.208	0.206	0.205	0.203	0.201	0.199	0.197	0.196	0.194
190	0.192	0.190	0.189	0.187	0.186	0.184	0.182	0.181	0.179	0.178
200	0.176	0.175	0.173	0.172	0.170	0.169	0.168	0.166	0.165	0.163
210	0.162	0.161	0.159	0.158	0.157	0.156	0.154	0.135	0.152	0.151
220	0.150	0.148	0.147	0.146	0.145	0.144	0.143	0.142	0.140	0.139
230	0.138	0.137	0.136	0.135	0.134	0.133	0.132	0.131	0.130	0.129
240	0.128	0.127	0.126	0.125	0.124	0.124	0.123	0.122	0.121	0.120
250	0.119									

附表 3-4 16Mn钢、16Mnq钢 a类截面轴心受压构件的稳定系数  $\varphi$ 

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.999	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.997	0.996	0.994
10	0.993	0.992	0.990	0.988	0.986	0.984	0.982	0.980	0.978	0.975
20	0.973	0.971	0.969	0.967	0.964	0.962	0.960	0.957	0.955	0.952
30	0.950	0.947	0.944	0.941	0.939	0.936	0.933	0.930	0.927	0.923
40	0.920	0.917	0.913	0.909	0.906	0.902	0.898	0.894	0.889	0.885
50	0.881	0.876	0.871	0.866	0.861	0.855	0.850	0.844	0.838	0.832
60	0.825	0.819	0.812	0.805	0.798	0.791	0.783	0.775	0.767	0.759
70	0.751	0.742	0.734	0.725	0.716	0.707	0.698	0.689	0.680	0.671
80	0.661	0.652	0.643	0.633	0.624	0.615	0.606	0.596	0.587	0.578
90	0.570	0.561	0.552	0.543	0.535	0.527	0.518	0.510	0.502	0.494
100	0.487	0.479	0.471	0.464	0.457	0.450	0.443	0.436	0.429	0.423
110	0.416	0.410	0.404	0.398	0.392	0.386	0.380	0.374	0.369	0.363
120	0.358	0.353	0.348	0.343	0.338	0.333	0.328	0.342	0.319	0.315
130	0.310	0.306	0.302	0.298	0.294	0.290	0.286	0.282	0.278	0.275
140	0.271	0.268	0.264	0.261	0.257	0.254	0.251	0.248	0.245	0.242
150	0.239	0.236	0.233	0.230	0.227	0.224	0.222	0.219	0.217	0.214
160	0.212	0.209	0.207	0.204	0.202	0.200	0.197	0.195	0.193	0.191
170	0.189	0.187	0.184	0.182	0.180	0.179	0.177	0.175	0.173	0.171
180	0.169	0.167	0.166	0.164	0.162	0.161	0.159	0.157	0.156	0.154
190	0.153	0.151	0.150	0.148	0.147	0.145	0.144	0.142	0.141	0.140
200	0.138	0.137	0.136	0.134	0.133	0.132	0.131	0.129	0.128	0.127
210	0.126	0.125	0.124	0.123	0.121	0.120	0.119	0.118	0.117	0.116
220	0.113	0.114	0.113	0.112	0.111	0.110	0.109	0.108	0.107	0.106
230	0.106	0.105	0.104	0.103	0.102	0.101	0.100	0.0996	0.0988	0.0980
240	0.0972	0.0964	0.0957	0.0949	0.0942	0.0934	0.0927	0.0919	0.0912	0.0905
250	0.0898									

附表 3-5 16Mn 钢、16Mnq 钢 b 类截面轴心受压构件的稳定系数  $\varphi$ 

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.993	0.991
10	0.989	0.987	0.984	0.981	0.978	0.975	0.972	0.968	0.964	0.960
20	0.956	0.952	0.948	0.943	0.939	0.935	0.931	0.926	0.922	0.917
30	0.913	0.908	0.903	0.899	0.894	0.889	0.884	0.879	0.874	0.869
40	0.863	0.858	0.853	0.847	0.841	0.835	0.829	0.823	0.817	0.811
50	0.804	0.798	0.791	0.784	0.778	0.771	0.764	0.756	0.749	0.742
60	0.734	0.727	0.719	0.711	0.704	0.696	0.688	0.680	0.672	0.664
70	0.656	0.648	0.640	0.632	0.623	0.615	0.607	0.599	0.591	0.583
80	0.575	0.567	0.559	0.551	0.544	0.536	0.528	0.521	0.513	0.506
90	0.499	0.491	0.484	0.477	0.470	0.463	0.457	0.450	0.443	0.437
100	0.431	0.424	0.418	0.413	0.406	0.400	0.395	0.389	0.384	0.378
110	0.373	0.307	0.362	0.357	0.352	0.347	0.343	0.338	0.333	0.329
120	0.324	0.320	0.315	0.311	0.307	0.303	0.299	0.295	0.291	0.287
130	0.283	0.280	0.276	0.273	0.269	0.266	0.262	0.259	0.256	0.253
140	0.249	0.246	0.243	0.240	0.237	0.235	0.232	0.229	0.226	0.224
150	0.221	0.218	0.216	0.213	0.211	0.208	0.206	0.204	0.201	0.199
160	0.197	0.195	0.193	0.190	0.188	0.186	0.184	0.182	0.180	0.178
170	0.176	0.175	0.173	0.171	0.169	0.167	0.166	0.164	0.162	0.161
180	0.159	0.157	0.156	0.154	0.153	0.151	0.150	0.148	0.147	0.145
190	0.144	0.142	0.141	0.140	0.138	0.137	0.136	0.135	0.133	0.132
200	0.131	0.130	0.128	0.127	0.126	0.125	0.124	0.123	0.122	0.120
210	0.119	0.118	0.117	0.116	0.115	0.114	0.113	0.112	0.111	0.110
220	0.109	0.108	0.108	0.107	0.106	0.105	0.104	0.103	0.102	0.101
230	0.101	0.0998	0.0990	0.0982	0.0974	0.0966	0.0959	0.0951	0.0943	0.0936
240	0.0929	0.0921	0.0914	0.0907	0.0900	0.0883	0.0886	0.0879	0.0873	0.0866
250	0.0859									

附表 3-6 16Mn 钢、16Mnq 钢 c 类截面轴心受压构件的稳定系数  $\varphi$ 

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.998	0.997	0.996	0.994	0.992	0.990
10	0.988	0.985	0.982	0.979	0.976	0.972	0.968	0.962	0.974	0.946
20	0.939	0.931	0.924	0.916	0.908	0.901	0.893	0.885	0.858	0.870
30	0.862	0.855	0.847	0.839	0.832	0.824	0.816	0.808	0.800	0.702
40	0.785	0.777	0.769	0.761	0.752	0.745	0.737	0.729	0.721	0.713
50	0.705	0.697	0.689	0.681	0.673	0.665	0.657	0.649	0.641	0.633
60	0.625	0.617	0.609	0.601	0.594	0.586	0.578	0.571	0.536	0.556
70	0.548	0.541	0.533	0.526	0.519	0.512	0.505	0.498	0.491	0.484
80	0.478	0.471	0.465	0.460	0.455	0.449	0.444	0.439	0.434	0.428
90	0.423	0.418	0.413	0.468	0.403	0.398	0.393	0.389	0.384	0.379
100	0.374	0.370	0.365	0.361	0.356	0.350	0.348	0.343	0.339	0.335
110	0.331	0.327	0.323	0.319	0.315	0.311	0.307	0.304	0.300	0.295
120	0.293	0.289	0.286	0.282	0.279	0.276	0.272	0.269	0.266	0.263
130	0.260	0.257	0.254	0.251	0.248	0.254	0.242	0.239	0.237	0.234
140	0.231	0.229	0.221	0.224	0.221	0.219	0.216	0.214	0.211	0.209
150	0.207	0.205	0.202	0.200	0.198	0.196	0.194	0.192	0.199	0.188
160	0.186	0.184	0.182	0.180	0.178	0.176	0.175	0.173	0.171	0.169
170	0.168	0.166	0.164	0.163	0.161	0.159	0.158	0.156	0.155	0.153
180	0.152	0.150	0.149	0.147	0.146	0.145	0.143	0.142	0.141	0.139
190	0.138	0.137	0.136	0.134	0.133	0.132	0.131	0.129	0.128	0.127
200	0.126	0.125	0.124	0.123	0.122	0.121	0.120	0.118	0.117	0.116
210	0.115	0.113	0.113	0.113	0.112	0.111	0.110	0.109	0.108	0.107
220	0.106	0.104	0.104	0.104	0.103	0.102	0.101	0.100	0.0994	0.0986
230	0.0979	0.0971	0.0963	0.0956	0.0948	0.0941	0.0933	0.0926	0.0919	0.0912
240	0.0905	0.0898	0.0891	0.0885	0.0878	0.0871	0.0865	0.0858	0.0852	0.0846
250	0.0839									

附表 8-7 15MnV 钢、15MnVq 钢 a 类截面轴心受压构件的稳定系数  $\varphi$ 

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.994
10	0.992	0.990	0.989	0.987	0.985	0.982	0.980	0.978	0.975	0.973
20	0.971	0.968	0.966	0.963	0.961	0.958	0.956	0.953	0.950	0.947
30	0.945	0.942	0.939	0.936	0.932	0.929	0.926	0.922	0.919	0.915
40	0.911	0.907	0.903	0.899	0.895	0.890	0.885	0.881	0.876	0.870
50	0.865	0.860	0.854	0.848	0.842	0.835	0.828	0.822	0.814	0.807
60	0.800	0.792	0.784	0.775	0.767	0.758	0.749	0.740	0.731	0.722
70	0.712	0.703	0.693	0.683	0.674	0.664	0.654	0.644	0.634	0.624
80	0.614	0.604	0.595	0.585	0.576	0.566	0.557	0.548	0.539	0.530
90	0.521	0.512	0.504	0.495	0.487	0.479	0.471	0.463	0.455	0.448
100	0.441	0.433	0.426	0.419	0.413	0.406	0.399	0.393	0.387	0.381
110	0.375	0.369	0.363	0.357	0.352	0.347	0.341	0.336	0.331	0.326
120	0.321	0.316	0.312	0.307	0.303	0.298	0.294	0.290	0.286	0.282
130	0.278	0.274	0.270	0.266	0.263	0.259	0.256	0.252	0.249	0.245
140	0.242	0.239	0.236	0.233	0.230	0.227	0.224	0.221	0.218	0.215
150	0.213	0.210	0.208	0.205	0.203	0.200	0.198	0.195	0.193	0.191
160	0.188	0.186	0.184	0.182	0.180	0.178	0.176	0.174	0.172	0.170
170	0.168	0.166	0.164	0.162	0.161	0.159	0.157	0.155	0.154	0.152
180	0.150	0.149	0.147	0.146	0.144	0.143	0.141	0.140	0.138	0.137
190	0.136	0.134	0.133	0.132	0.130	0.129	0.128	0.127	0.125	0.124
200	0.123	0.122	0.121	0.119	0.118	0.117	0.116	0.115	0.114	0.113
210	0.112	0.111	0.110	0.109	0.108	0.107	0.106	0.105	0.104	0.103
220	0.102	0.101	0.100	0.0995	0.0987	0.0978	0.0970	0.0962	0.0954	0.0946
230	0.0938	0.0930	0.0922	0.0914	0.0907	0.0899	0.0892	0.0884	0.0877	0.0870
240	0.0863	0.0856	0.0849	0.0842	0.0836	0.0829	0.0823	0.0816	0.0810	0.0803
250	0.0797									

附表 8-8 15MnV 钢、15MnVq 钢 b 类截面轴心受压构件的稳定系数  $\varphi$ 

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.998	0.997	0.996	0.994	0.996	0.990
10	0.988	0.985	0.982	0.979	0.976	0.972	0.968	0.964	0.959	0.955
20	0.951	0.946	0.942	0.937	0.933	0.928	0.923	0.929	0.914	0.909
30	0.904	0.899	0.894	0.889	0.883	0.878	0.872	0.867	0.861	0.855
40	0.849	0.843	0.837	0.831	0.824	0.818	0.811	0.804	0.797	0.790
50	0.783	0.776	0.769	0.761	0.753	0.746	0.738	0.730	0.722	0.714
60	0.705	0.697	0.689	0.680	0.672	0.663	0.654	0.646	0.637	0.629
70	0.620	0.611	0.603	0.594	0.586	0.577	0.569	0.560	0.552	0.544
80	0.535	0.527	0.519	0.511	0.504	0.496	0.488	0.481	0.473	0.466
90	0.459	0.452	0.445	0.438	0.431	0.424	0.418	0.411	0.405	0.399
100	0.393	0.387	0.381	0.375	0.370	0.364	0.359	0.353	0.348	0.343
110	0.338	0.333	0.328	0.323	0.319	0.314	0.310	0.305	0.301	0.297
120	0.293	0.289	0.285	0.281	0.277	0.273	0.269	0.266	0.262	0.259
130	0.255	0.252	0.248	0.245	0.242	0.239	0.236	0.233	0.230	0.227
140	0.224	0.221	0.218	0.216	0.213	0.210	0.208	0.205	0.203	0.200
150	0.198	0.196	0.193	0.191	0.189	0.187	0.184	0.182	0.180	0.178
160	0.176	0.174	0.172	0.170	0.168	0.167	0.165	0.163	0.161	0.159
170	0.158	0.156	0.154	0.153	0.151	0.150	0.148	0.146	0.145	0.143
180	0.142	0.140	0.139	0.138	0.136	0.135	0.134	0.132	0.131	0.130
190	0.128	0.127	0.126	0.125	0.123	0.122	0.121	0.120	0.119	0.118
200	0.117	0.116	0.114	0.113	0.112	0.111	0.110	0.109	0.108	0.107
210	0.106	0.105	0.105	0.104	0.103	0.102	0.101	0.100	0.0992	0.0983
220	0.0975	0.0967	0.0958	0.0950	0.0942	0.0934	0.0926	0.0919	0.0911	0.0904
230	0.0896	0.0889	0.0882	0.0874	0.0867	0.0860	0.0853	0.0847	0.0840	0.0833
240	0.0827	0.0820	0.0814	0.0807	0.0801	0.0795	0.0789	0.0783	0.0777	0.0771
250	0.0765									

附表 3-9 15MnV 钢、15MnVq 钢 c 类截面轴心受压构件的稳定系数  $\phi$ 

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.996	0.995	0.993	0.991	0.989
10	0.986	0.983	0.980	0.976	0.973	0.968	0.962	0.954	0.945	0.937
20	0.929	0.921	0.913	0.905	0.897	0.889	0.880	0.872	0.864	0.856
30	0.848	0.840	0.831	0.823	0.815	0.807	0.798	0.790	0.781	0.773
40	0.765	0.756	0.748	0.739	0.731	0.722	0.714	0.705	0.697	0.688
50	0.679	0.671	0.662	0.654	0.645	0.637	0.629	0.620	0.612	0.604
60	0.595	0.587	0.579	0.571	0.563	0.555	0.547	0.539	0.531	0.524
70	0.416	0.409	0.401	0.494	0.487	0.479	0.472	0.466	0.460	0.455
80	0.449	0.443	0.438	0.432	0.427	0.421	0.416	0.411	0.405	0.400
90	0.395	0.390	0.385	0.380	0.375	0.370	0.365	0.360	0.355	0.351
100	0.346	0.342	0.337	0.333	0.328	0.324	0.320	0.316	0.312	0.308
110	0.304	0.300	0.296	0.292	0.288	0.285	0.281	0.278	0.274	0.271
120	0.267	0.264	0.261	0.257	0.254	0.251	0.248	0.245	0.242	0.239
130	0.236	0.233	0.230	0.228	0.225	0.222	0.220	0.217	0.214	0.212
140	0.203	0.207	0.205	0.202	0.200	0.198	0.195	0.193	0.191	0.186
150	0.187	0.185	0.183	0.181	0.179	0.177	0.175	0.173	0.171	0.169
160	0.617	0.166	0.164	0.162	0.160	0.159	0.157	0.155	0.154	0.152
170	0.151	0.149	0.148	0.146	0.145	0.143	0.142	0.140	0.139	0.138
180	0.136	0.135	0.134	0.132	0.131	0.130	0.129	0.127	0.126	0.125
190	0.124	0.123	0.121	0.120	0.119	0.118	0.117	0.116	0.115	0.114
200	0.113	0.112	0.111	0.110	0.109	0.108	0.107	0.106	0.105	0.104
210	0.103	0.102	0.102	0.101	0.0998	0.0990	0.0981	0.0973	0.0965	0.0957
220	0.0949	0.0941	0.0933	0.0925	0.0918	0.0910	0.0903	0.0896	0.0888	0.0881
230	0.0874	0.0867	0.0860	0.0854	0.0847	0.0840	0.0834	0.0827	0.0821	0.0814
240	0.0808	0.0802	0.0796	0.0790	0.0784	0.0778	0.0772	0.0766	0.0760	0.0755
250	0.0749									

附表 3-10 受拉构件的许用长细比  $[\lambda]$ 

序 号	构 件 名 称	承受静载荷或间接承受动载荷		直接承受动载荷
		无吊车和有轻、中 级工作制吊车厂房	有重级工作制 吊车的厂房	
1	桁架的杆件	350	250	250
2	吊车梁以下的柱间支撑	300	200	—
3	支撑(序号 2 和圆钢除外)	400	350	—

- 注：1. 凡需计算疲劳或在计算中考虑动力系数的结构属直接承受动力载荷的结构，否则属承受静力载荷或间接承受动力载荷的结构。
2. 承受静力载荷的结构中，可仅计算受拉构件在竖向平面内的长细比。
3. 在直接或间接承受动力载荷的结构中，计算单角钢受拉杆件的长细比时，应采用角钢的最小回转半径。但在计算单角钢交叉受拉杆件平面外的长细比时，应采用与角钢肢边平行轴的回转半径。
4. 中、重级工作制吊车桁架下弦长细比不宜超过 200。
5. 在没有夹钳或刚性料耙吊车的厂房中，支撑（除序号 2 以外）的长细比不宜超过 300。
6. 受拉构件在永久载荷与风载荷组合作用下受压时，长细比不宜超过 250。

附表 3-11 受压构件的许用长细比 $[\lambda]$

序号	构件名称	许用长细比
1	柱、桁架和天窗架构件	150
	柱的缀条、吊车梁或吊车桁架以下柱间支撑	
2	支撑（吊车梁或吊车桁架以下的柱间支撑除外）	200
	用以减少受压构件长细比的杆件	

注：在桁架（包括空间桁架）结构中的角钢受压腹杆，当其内力等于或小于承载能力的 50% 时，长细比限值可取为 200。

附表 3-12 截面塑性发展系数  $\gamma_x, \gamma_y$

序号	截面形式	$\gamma_x$	$\gamma_y$
1		1.05	1.2
			1.05
2		1.05	1.05
			1.05
3		$\gamma_{x1} = 1.05$	1.2
4		$\gamma_{x1} = 1.2$	1.05
5		1.2	1.2
6		1.05	1.05
7		1.0	1.0
			1.0

## 参 考 文 献

- [1] 孟广喆 贾安东. 焊接结构强度和断裂, 北京: 机械工业出版社, 1986.
- [2] 田锡堂等. 焊接结构, 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [3] Masubuchi. Analysis of Welded Structures, New York, 1980.
- [4] 中国石油化工总公司 化学工业部 机械工业部. 钢制石油化工压力容器设计规定, 全国压力容器标准化技术委员会, 1985.
- [5] 徐克晋. 金属结构, 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [6] 欧阳可庆等. 钢结构, 上海: 同济大学出版社, 1986.
- [7] B.O. Kuzmanovic & N. Willems. 钢结构设计 (Steel Design of Structural Engineers, 1977), 北京: 人民交通出版社, 1984.
- [8] 苏联部长会议国家建设委员会. 钢结构设计标准及技术规范 (НСТУ121—55), 北京: 中国工业出版社, 1962.
- [9] 浙江大学数学系高等数学教研组编. 概率论与数理统计, 北京: 人民教育出版社, 1979.
- [10] А. И. Красовский. Основы Проектирования Сварочных Цехов, Москва, 1965.
- [11] 中华人民共和国船舶检验局. 海上固定平台入级与建造规范 (ZC-1983), 北京: 人民交通出版社, 1983.
- [12] 中华人民共和国船舶检验局. 钢质海船入级与建造规范, 北京: 人民交通出版社, 1983.
- [13] 国家建设委员会. 钢结构设计规范 (GBJ-86)
- [14] 国家标准. 钢结构工程施工及验收规范 (GBJ205-83), 北京: 中国建筑工业出版社, 1984.
- [15] Г.А. Николаев 等. Сварные Конструкции, Москва: Высшая Школа, 1983.
- [16] 国家劳动总局. 蒸气锅炉安全监察规程, 北京: 劳动出版社, 1980.
- [17] 国家劳动总局. 压力容器安全监察规程, 北京: 劳动出版社, 1981.
- [18] 第一机械工业部、国家劳动总局. 水管锅炉受压元件强度计算 (JB2194-77).
- [19] 第一机械工业部. 锅壳式锅炉受压元件强度计算标准 (JB3622-84).
- [20] Герман, А. Евстцореев, И.С. Веретенников. Средства Механизации Сварочного Производства, 1977.
- [21] 甘肃工业大学焊接教研室. 焊接机械装备图册, 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [22] В.А. Таубер. 装配焊接夹具及机械装置, 北京: 机械工业出版社, 1963.
- [23] 机械工业部第二设计院. 焊接滚轮架系列及力矩计算 (初稿), 1976.
- [24] 天津大学焊接教研室. 焊接生产设计参考资料, 1965.
- [25] Е.С. 杨波尔斯基. 机械制造工厂和车间设计手册 (第三册) (Проектирование Машиностроительных Заводов и Цехов) 北京: 机械工业出版社, 1974.
- [26] F. 法尔杜斯. 焊接结构设计原理 北京: 中国工业出版社, 1961.
- [27] 北京起重机研究所. 起重机设计手册, 北京: 机械工业出版社, 1977.
- [28] 曾乐. 焊接工程学, 北京: 新时代出版社, 1986.
- [29] 李志彬等. 船体完工精度问题. 造船技术, 1984, 1.