

第23章 燃烧装置和电热元件的修理

麦润喆 曾正明

燃烧装置有烧煤的燃烧室，燃烧燃料油的油嘴，燃烧各种煤气的烧嘴。

燃烧装置的修理，除了消除缺陷，恢复原设计的设备性能外，在修理时还要经常根据燃料的特点而需不断进行技术完善和技术改进，这是一个非常现实的问题。例如，有的炉子原设计规定使用质量较好的烟煤，但当燃煤供应有变化，改用灰分较高、煤质较差的煤种时，为了避免灰渣与耐火砖烧结成炉瘤，宁可损失一些热量，把炉篦周围的耐火砖墙用铁制水套代替，以减少燃烧室的修理工作。可以认为，这是比较合理的结构和应该采用的技术措施。油嘴和煤气烧嘴，也同样能遇到燃料供应变化的问题，在使用和修理时也应结合实际，注意技术性能的改善。所以，要能做好燃烧装置的修理工作，必须熟悉各种燃料和燃烧装置的性能。

第1节 燃料及其燃烧

(一) 燃料和燃烧装置的选择

1. 燃料选择

根据工厂所在地区的燃料来源情况，并根据国家燃料政策对可能供应的燃料进行热工分析和经济比较，然后选择燃料及燃烧装置。

(1) 固体燃料 常用固体燃料主要为煤，也有使用煤粉的，冲天炉则主要使用焦炭。

各地煤种差异较大，必须因地制宜地选用煤种。

(2) 气体燃料 在大型机械工厂多使用发生炉煤气、焦炉煤气、天然气，少数工厂也有使用混合煤气、油煤气及液化石油气的。

发生炉煤气、焦炉煤气、混合煤气的炉前煤气压力分两种：

1) 高压煤气：工作压力 $\geq 10000\text{Pa}$ ；

2) 低压煤气：工作压力 $\leq 5000\text{Pa}$ 。

中、小工厂，由于炉子规格小，温度制度易于控制，一般适用高压煤气、宜选用高压喷射式烧嘴。它具有过剩空气少($\alpha = 1.03 \sim 1.05$)、燃烧完全、可自动控制空气煤气的混合比、操作简便等特点。但工作空间压力大时，空气量不能保证(吸入空气量减少)，火焰长度不易控制，当混合气体喷出速度小于火焰传播速度，或空气煤气预热温度太高时将产生回火。

大型工厂，炉子规格大，温度不易控制，一般适于采用低压煤气，应选用低压煤气烧嘴。它是空气煤气强制混合，燃烧所需空气量充分，火焰长度能够调节，特别适用于热处理炉及炉底宽大于3 m的加热炉；空气过剩系数不大，一般 $\alpha = 1.05 \sim 1.1$ ，能采用自动控制等特点。

(3) 液体燃料 用于工业炉的液体燃料主要为燃料油，也有工厂在使用渣油。

机械工厂一般采用低压油嘴，其特点是火焰短、噪声小、点火容易、燃烧稳定和便于比例调节等优点。

2. 燃烧装置选择

选用不同类型的燃烧装置，在相当大的程度上决定着炉型结构。普通高、低压煤气烧嘴或油嘴，在相互改变类型时，对炉型结构影响不大，但煤炉选型时，随燃烧装置的不同却有根本性变化。

(1) 普通燃烧室(薄煤层)的煤炉 热制度不稳定，送风情况如图23-1-1。曲线ab表明由一次加煤至另一次加煤间隔内，由于炉篦上煤的燃烧，煤层阻力降低，送入燃烧室内的空气量不断增加；曲线cd为煤燃烧时所需的计算空气量。此曲线说明，每次加煤后析出大量挥发分，而送风量不能及时增加，出现空气不足(冒黑烟)；其后随着煤的

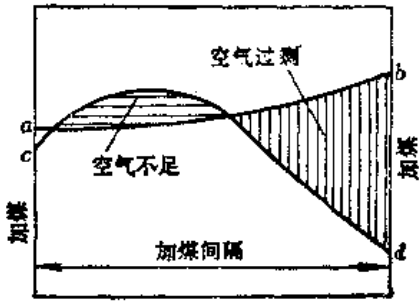


图23-1-1 普通煤炉送风情况

逐渐燃尽，而空气又不能及时减少，出现空气大量过剩（炉温下降、氧化增强）。

(2) 阶梯炉篦、封闭式燃烧室 或采用厚煤层，加二次送风；均有助于改善燃烧过程的稳定和加热质量的提高。

(3) 带有简易煤气化燃烧室的炉子（称煤气化炉或背包炉） 建立小煤气炉（ $\phi 1.5\text{ m}$ 左右）发生热煤气供几台小炉子使用，这些措施都改变了直接烧煤的落后状况。

(4) 平焰烧嘴和高速烧嘴 是近几年来使用的新型燃烧装置，可燃用煤气和油。

1) 高速烧嘴：气体出口速度一般为 $100\sim 200\text{ m/s}$ ，燃烧高速气流直接作用在加热件表面上，强化对流加热；增强炉内气体的再循环，达到均匀炉温的目的。

2) 平焰烧嘴：获得圆盘形的平火焰，火焰直径 $1\sim 1.5\text{ m}$ ，厚度 $100\sim 150\text{ mm}$ ，在相当大的平面内形成均匀的温度场。与一般烧嘴相比，加热件与烧嘴间的布置距离可缩短，烧嘴布置在炉顶时，可较大降低炉膛高度。选用平焰烧嘴，对缩小炉膛尺寸，提高加热质量有很大作用。

(二) 燃料分类和特性

燃料按状态分类：有固体燃料、液体燃料和气体燃料等3种；按来源分，有天然燃料和人造原料两种（表23-1-1）。

1. 固体燃料

固体燃料有煤、可燃页岩和薪柴等，这里只介绍有关煤的资料。

(1) 煤的分类和特性 按煤的挥发分及低发热量划分的煤的分类见表23-1-2。

表23-1-1 燃料分类表

| 物 态 | 来 源 | 名 称 |
|-----|-----|--|
| 固 体 | 天 然 | 泥 煤 褐 煤 无 烟 煤 |
| | 人 造 | 焦 木 炭 灰 |
| 液 体 | 天 然 | 原 油 |
| | 人 造 | 柴 煤 重 油 焦 油 鱼 油 酒 精 |
| 气 体 | 天 然 | 天 然 煤 气 |
| | 人 造 | 焦 炉 煤 气 高 炉 煤 气 发 生 炉 煤 气 水 煤 气 油 气 化 气 液 化 气 |

表23-1-2 煤的分类

| 类 别 | 挥发分 (%) | 低发热量 (kJ/kg) |
|-------|---------|--------------|
| 无 烟 煤 | 3~9 | 22200~29000 |
| 烟 煤 | 25~45 | 18800~29300 |
| 贫 煤 | 9~18 | 12560~27200 |
| 褐 煤 | 30~50 | 4200~12600 |

(2) 煤炭产品分类和质量规格 列于表23-1-3。

(3) 煤的特性数据 列于表23-1-4。

2. 液体燃料

液体燃料包括汽油、煤油、柴油、焦油、酒精等。这里只介绍工业炉常用的燃料油。

(1) 我国重油规格标准 列于表23-1-5。

(2) 重油粘度与合适的加热温度 列于表23-1-6。

(3) 轻柴油规格标准 列于表23-1-7。

(4) 重柴油规格标准 列于表23-1-8。

3. 气体燃料

机械工厂使用的气体燃料主要为各种煤气，包括：发生炉煤气、富氧煤气、焦炉煤气和天然气，少数情况下也使用油气和液化石油气的。

各种煤气的一般组成列于表23-1-9。

表23-1-3 煤炭产品分类和规格

| 产品类别 | 品种名称 | 质 量 | | 产品类别 | 品种名称 | 规 格 | |
|------|---------|---------------|----------|------|------|------------|-----------|
| | | 粒度 (mm) | 灰分 (%) | | | 粒度 (mm) | 灰分 (%) |
| 精煤 | 冶炼用炼焦精煤 | <50, <80或<100 | ≤12.5 | 粒级煤 | 洗粒煤 | 6~13 | ≤40 |
| | 其它用炼焦精煤 | <50, >80或<100 | 12.51~16 | | 粒煤 | 6~13 | ≤40 |
| 粒级煤 | 洗中块 | 25~50, 20~60 | ≤40 | 洗选煤 | 洗原煤 | 不 限 | ≤40 |
| | 中块 | 25~50 | ≤40 | | 洗混煤 | 0~50 | ≤32 |
| | 洗混中块 | 13~50, 13~80 | ≤40 | | 混煤 | 0~50 | ≤40 |
| | 混中块 | 13~50, 13~80 | ≤40 | | 洗混末煤 | 0~25, 0~20 | ≤40 |
| | 洗混块 | >13, >25 | ≤40 | | 混末煤 | 0~25 | ≤40 |
| | 混块 | >13, >25 | ≤40 | | 洗末煤 | 0~13 | ≤40 |
| | 洗大块 | 50~100, >50 | ≤40 | | 末煤 | 0~13 | ≤40 |
| | 大块 | 50~100, >50 | ≤40 | | 洗粉煤 | 0~6 | ≤40 |
| | 洗特大块 | >100 | ≤40 | | 粉煤 | 0~6 | ≤40 |
| | 特大块 | >100 | ≤40 | | 原煤 | 原煤、水采原煤 | 不 限 |
| | 洗小块 | 13~25, 13~20 | ≤40 | 低质煤 | 原煤 | 不 限 | ≥40~49 |
| | 小块 | 13~25 | ≤40 | | 中煤 | 0~50 | ≥32.01~49 |
| | | | | | 煤泥 | 0~1 | ≥16.01~49 |

表23-1-4 煤的特性数据

| 种 类 | 成 分 (重量百分数) | | | | | | | 挥发分 % |
|-------|-------------|-----|------|-----|-----|------|----|-------|
| | C | H | O | N | S | A | W | |
| 泥 煤 | 37.4 | 4.2 | 2.2 | 1.2 | 0.4 | 0.8 | 30 | 70 |
| 褐 煤 | 48.1 | 3.4 | 11.7 | 1.2 | 1.0 | 15.6 | 19 | 41 |
| 烟 煤 | 70 | 4.4 | 2.6 | 1.0 | 2.0 | 8 | 6 | 35 |
| 无 烟 煤 | 84 | 3 | 2 | 1 | 1 | 4 | 5 | 7 |

| 种 类 | 着火温度 (°C) | 低发热量 (kJ/kg) | 理论温度 (°C) | 理论空气需要量 (m³/kg) | 理论燃烧物量 (m³/kg) |
|-------|-----------|--------------|-----------|-----------------|----------------|
| 泥 煤 | 225 | 13900 | 1830 | 3.7 | 4.7 |
| 褐 煤 | 400 | 18420 | 2100 | 4.8 | 5.3 |
| 烟 煤 | 500 | 27420 | 2200 | 7.2 | 7.6 |
| 无 烟 煤 | 700 | 31570 | 2250 | 8.2 | 8.5 |

注: 1. A及W表示灰分和水分;

2. 挥发分是指煤在隔绝空气的情况下加热(干馏), 煤中有机物质热分裂所析出的气体量;

3. 着火温度指煤在这个温度下才开始着火燃烧;

4. 发热量为单位燃料(固体和液体燃料用1kg, 气体燃料用1m³)完全燃烧时能放出的热量(kJ)。燃烧产物中的水以蒸汽状态存在称低发热量, 水全部以冷凝水状态存在则称高发热量。工业炉应用一般均为低发热量;

5. 理论空气量是指燃料在完全燃烧时用理论计算下所需用的空气量。想要达到完全燃烧, 实际上要稍多一些空气。实际空气量与理论空气量之比称为过剩空气系数(常用 α 表示);

6. 理论燃烧产物量是指用理论空气量燃料燃烧的产物量;

7. 理论温度为燃料燃烧在没有热损失的情况下所能达到的燃烧温度;

8. 挥发分对煤的燃烧有较大影响, 含挥发分多的煤燃烧时需要供给较多的二次空气, 火焰长度长, 挥发分少的煤则相反。在同样一台炉子上, 用挥发分不同的煤, 其热效果也不一样, 会产生不同热效率。

(续)

| 项 目 | 质 量 指 标 | | | | | 试验方法 |
|----------------------|---------|----|------|------|------|--------|
| | 10号 | 0号 | -10号 | -20号 | -35号 | |
| 机械杂质 | 无 | 无 | 无 | 无 | 无 | GB 511 |
| 水分 (%) 不大于 | 痕迹 | 痕迹 | 痕迹 | 痕迹 | 痕迹 | GB 260 |
| 闪点 (闭口) (°C) 不低于 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50 | GB 261 |
| 腐蚀 (铜片, 50°C, 3 h) | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | GB 378 |
| 酸度 (mgKOH/100mL) 不大于 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | GB 258 |
| 凝点 (°C) 不高于 | 10 | 0 | -10 | -20 | -35 | GB 510 |
| 水溶性酸或碱 | 无 | 无 | 无 | 无 | 无 | GB 259 |
| 实际胶质 (mg/100mL) 不大于 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | GB 509 |

- 注: 1. 由含硫 0.3% 以上的原油制得的轻柴油, 硫含量许可不大于 0.5%; 由硫含 0.5% 以上的原油制得的轻柴油, 其硫含量许可不大于 1%;
2. 由中间基原油生产或混有催化馏分的各号轻柴油十六烷值允许不小于 40;
3. 本标准适用于由各种石油的真馏柴油馏分, 催化柴油馏分或混有热裂化柴油馏分所制成的轻柴油。产品适用作高速柴油机燃料, 牌号是按凝点划分的。

表23-1-8 重柴油规格标准 (GB445-77)

| 项 目 | 质 量 指 标 | | | 试验方法 |
|---|---------|------|------|--------|
| | 10 | 20 | 30 | |
| 运动粘度(50°C) × 10 ⁻⁶ (m ² /s) 不大于 | 13.5 | 20.5 | 36.2 | GB 265 |
| 残碳 (%) 不大于 | 0.5 | 0.5 | 1.5 | GB 268 |
| 灰分 (%) 不大于 | 0.04 | 0.06 | 0.08 | GB 508 |
| 硫含量 (%) 不大于 | 0.5 | 0.5 | 1.5 | GB 387 |
| 机械杂质 (%) 不大于 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | GB 511 |
| 水分 (%) 不大于 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | GB 260 |
| 闪点 (闭口)(°C) 不低于 | 65 | 65 | 65 | GB 261 |
| 凝点 (°C) 不高于 | 10 | 20 | 30 | GB 510 |
| 水溶性酸或碱 | 无 | 无 | — | GB 259 |

- 注: 1. 由含硫 0.5% 以上的原油炼制的重柴油, 出厂时硫含量许可不大于 2.0%, 残炭许可不大于 3.0%;
2. 海运和河运时水分许可不大于 2%, 但须由总量中扣除水分全部重量。
3. 使用重柴油的设备必须有完善的过滤设备和预热设备。

表23-1-9 各种煤气的一般组成

| 煤 气 名 称 | 干煤气体积成分 (%) | | | | | | | 密度 (kg/m ³) | | 低发热量 (kJ/m ³) |
|-------------|------------------------------------|----------------|-------------------------------|-------|----------------|-----------------|----------------|-------------------------|---------------|---------------------------|
| | CO ₂ + H ₂ S | O ₂ | C _m H _n | CO | H ₂ | CH ₄ | N ₂ | 煤气 | 烟气 | |
| 发生炉煤气 (烟煤) | 3~7 | 0.1~0.3 | 0.2~0.4 | 25~30 | 11~15 | 1.5~3 | 其余 | 1.1 ~1.13 | 1.3 ~1.35 | 5000 ~6000 |
| 发生炉煤气 (无烟煤) | 3~7 | 0.1~0.3 | | 24~30 | 11~15 | 0.5~0.7 | 其余 | 1.13 ~1.15 | 1.34 ~1.36 | 5000 ~5200 |
| 富氧煤气 | 6~20 | 0.1~0.2 | 0.2~0.8 | 27~40 | 20~40 | 2.5~5 | 其余 | 1.09 ~1.12 | 1.28 ~1.33 | 6000 ~7500 |
| 水煤气 | 10~20 | 0.1~0.2 | 0.5~1 | 22~32 | 42~50 | 6~9 | 2~5 | 0.7 ~0.74 | 1.26 ~1.3 | 10500 ~11700 |
| 半水煤气 | 5~7 | 0.1~0.2 | | 35~40 | 47~52 | 0.3~0.6 | 2~6 | 2.7 ~0.71 | 1.28 | 8400 ~9200 |
| 焦炉煤气 | 2~5 | 0.3~1.2 | 1.6~3 | 4~25 | 50~60 | 18~30 | 其余 | 0.45 ~0.55 | 1.21 | 14600 ~18800 |
| 天然气 | 0.1~6 | 0.1~0.4 | 0.5 | 0.1~4 | 0.1~2 | 98 | 1~5 | 0.7 ~0.8 | 1.24 | 33494 ~37681 |
| 高炉煤气 | 10~12 | | | 27~30 | 2.3~2.5 | 0.1~0.3 | 其余 | | | 3730 ~4060 |

注: C_mH_n泛指C₂H₄ C₂H₆ C₄H₁₀等。

(三) 燃料燃烧计算

燃料燃烧计算主要是确定燃料发热量、燃烧时所需的空气量、燃烧产物量和燃烧温度。

1. 低发热量的计算

(1) 固体和液体燃料 按元素分析成分的低发热量计算:

$$Q_{\text{低}} = 339C + 1030H - 109(O - S) - 25W \quad (\text{kJ/kg})$$

例1 烟煤的成分为: C(70%)、H(4.4%)、O(8.6%)、N(1.6%)、S(2.0%)、A(8%)、W(6%)。

$$\begin{aligned} Q_{\text{低}} &= 339 \times 70 + 1030 \times 4.4 - 109(8.6 - 2) - 25 \times 6 \\ &= 23730 + 4532 - 719 - 150 = 27393 \quad (\text{kJ/kg}) \end{aligned}$$

(2) 气体燃料 发热量的计算:

$$Q_{\text{低}} = 126CO + 108H_2 + 358CH_4 + 600C_2H_4 \quad (\text{kJ/m}^3)$$

例2 发生炉煤气的成分为: CO(30%)、H₂(14%)、CH₄(2%)、C₂H₄(0.5%)、CO₂(3.3%)、O₂(0.2%)、H₂S(0.1%)。

$$\begin{aligned} Q_{\text{低}} &= 126 \times 30 + 108 \times 14 + 358 \times 2 + 600 \times 0.5 \\ &= 3780 + 1512 + 716 + 300 = 6308 \quad (\text{kJ/m}^3) \end{aligned}$$

2. 理论空气量及燃烧产物量的计算

(1) 固体和液体燃料 其理论空气量:

$$L_0 = 8.89C + 26.7\left(H - \frac{O}{8}\right) + 3.33S \quad (\text{m}^3/\text{kg})$$

例3 烟煤成分同例1。

$$\begin{aligned} L_0 &= \left[8.89 \times 70 + 26.7\left(4.4 - \frac{8.6}{8}\right) + 3.33 \times 2 \right] + 100 \\ &= (622.3 + 88.1 + 6.6) + 100 = 7.17 \quad (\text{m}^3/\text{kg}) \end{aligned}$$

(2) 固体和液体燃料 其燃烧产物量:

$$V = (a - 0.21)L_0 + 1.867C + 11.2H + 0.7S + 1.244W + 0.8N \quad (\text{m}^3/\text{kg})$$

例4 烟煤成分同例1, $a=1.2$ (空气过剩系数)。

$$\begin{aligned} V &= (1.2 - 0.21)7.17 + 1.867 \times 70 + 11.2 \\ &\quad \times 4.4 + 0.7 \times 2 + 1.244 \times 6 + 0.8 \times 1 \\ &= 7.1 + (130.69 + 49.28 + 1.4 + 7.46 + 0.8) \\ &\quad + 100 = 9 \quad (\text{m}^3/\text{kg}) \end{aligned}$$

(3) 气体燃料 其理论空气量:

$$L_0 = \frac{1}{0.21}(0.5H_2 + 0.5CO + 2CH_4 + 3C_2H_4 - O_2) \quad (\text{m}^3/\text{m}^3)$$

例5 发生炉煤气成分同例2。

$$\begin{aligned} L_0 &= \frac{1}{0.21}(0.5 \times 1.4 + 0.5 \times 30 \\ &\quad + 2 \times 2 + 3 \times 0.5 - 0.2) + 100 \\ &= 1.3 \quad (\text{m}^3/\text{m}^3) \end{aligned}$$

(4) 气体燃料的燃烧产物量:

$$v = 1 + \alpha L_0 - \left[0.5H_2 + 0.5CO - \left(\frac{n}{4} - 1\right)C_nH_n \right] \quad (\text{m}^3/\text{m}^3)$$

例6 发生炉煤气成分同例2, $\alpha=1.05$ 。

$$\begin{aligned} v &= 1 + 1.05 \times 1.3 - [0.5 \times 1.4 + 0.5 \times 30 - 0] \\ &\quad + 100 \\ &= 2.365 - 0.22 = 2.15 \quad (\text{m}^3/\text{m}^3) \end{aligned}$$

理论空气量及燃烧产物量也可以按表 23-1-10 的经验公式计算。

3. 燃料理论燃烧温度计算

在燃料燃烧的全部热量中,除去由于气体分解而引起的化学不完全燃烧的热损失外,此时的燃料燃烧温度称为理论燃烧温度。由于气体分解热损失很小可略去,理论燃烧温度可按下式计算:

$$t_{\text{理}} = \frac{Q_{\text{低}} + C_r t_r + C_k t_k L_0}{C_y V_y} \quad (^\circ\text{C})$$

式中 V_y ——燃烧生成气量 [$\text{m}^3/\text{m}^3(\text{kg})$];

t_r, t_k ——燃料及空气温度 ($^\circ\text{C}$);

C_y, C_r, C_k ——燃烧生成气、燃料及空气热容量 [$\text{kJ}/\text{m}^3(\text{kg})^\circ\text{C}$];

L_0 ——不同空气过剩系数时的单位空气耗量 [$\text{m}^3/\text{m}^3(\text{kg})$];

例7 求烟煤的理论燃烧温度,烟煤成分同例

1。 $Q_{\text{低}} = 27393$ $t_r = 20^\circ\text{C}$ $t_k = 20^\circ\text{C}$ $C_r = 1.26$ $C_k = 1.33$ $L_0 = 8.6$ $C_y = 1.62$

$$\begin{aligned} t_{\text{理}} &= \frac{27393 + 20 \times 1.26 + 1.33 \times 20 \times 8.6}{1.62 \times 9} \\ &= 1896 \quad (^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

例8 求发生炉煤气的理论燃烧温度,成分同例2。

$$\begin{aligned} t_{\text{理}} &= \frac{6308 + 1.36 \times 20 + 1.33 \times 20 \times (1.3 \times 1.05)}{1.60 \times 2.15} \\ &= 1852 \quad (^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

实际上理论温度是不可能达到的。工业炉上能够达到的实际温度按不同炉型而异。通常以表 23-1-11 的系数乘以理论温度 得出可能的实际炉温。

表23-1-10 理论空气量及燃烧产物量的经验计算公式

| 燃料名称 | 低发热量 $Q_{低}$ [kJ/m ³ (kg)] | 理论空气消耗量 L_0 [m ³ /m ³ (kg)] | 燃烧产物量 V [m ³ /m ³ (kg)] |
|-------|--|--|--|
| 固体燃料 | 23000~29300 | $\frac{1.01}{1000}Q_{低} + 0.5$ | $\frac{0.89}{1000}Q_{低} + 1.65 + (\alpha - 1)L_0$ |
| 液体燃料 | 37700~42000 | $\frac{0.85}{1000}Q_{低} + 2$ | $\frac{1.1}{1000}Q_{低} + (\alpha - 1)L_0$ |
| 高炉煤气 | 3800~4200 | $\frac{0.8}{1000}Q_{低}$ | $\alpha L_0 + 0.97 - \left(\frac{0.13}{1000}Q_{低}\right)$ |
| 发生炉煤气 | <5234 | $\frac{0.85}{1000}Q_{低} - 0.01$ | $\alpha L_0 + 0.98 - \left(\frac{0.13}{1000}Q_{低}\right)$ |
| | 5300~5700 | $\frac{0.85}{1000}Q_{低}$ | $\alpha L_0 + 0.98 - \left(\frac{0.13}{1000}Q_{低}\right)$ |
| | >5700 | $\frac{0.85}{1000}Q_{低} + 0.03$ | $\alpha L_0 + 0.98 - \left(\frac{0.13}{1000}Q_{低}\right)$ |
| 混合煤气 | <12600 | $\frac{1.075}{1000}Q_{低}$ | $\alpha L_0 + 0.68 - 0.1\left(\frac{Q_{低} - 4000}{1000}\right)$ |
| 焦炉煤气 | 12600~18800 | $\frac{1.075}{1000}Q_{低} - 0.25$ | $\alpha L_0 + 0.68 + 0.06\left(\frac{Q_{低} - 4000}{1000}\right)$ |
| 天然气 | 33500~37700 | $\frac{1.105}{1000}Q_{低} + 0.02$ | $\alpha L_0 + 0.38 + \left(\frac{0.075}{1000}Q_{低}\right)$ |
| 水煤气 | 8400~11700 | $\frac{0.876}{1000}Q_{低}$ | $\frac{1.08}{1000}Q_{低} + (\alpha - 1)L_0$ |

表23-1-11 高温系数选取表

| 炉型 | 高温系数 (%) |
|---|-------------|
| 室式加热炉 | 0.75~0.8 |
| 连续式加热炉 (产量 500~600kg/ (m ² ·h)) | 0.7~0.75 |
| 连续式加热炉 (产量 200~300kg/ (m ² ·h)) | 0.75~0.8 |
| 均热炉 | 0.68~0.73 |

$$t_{实} = \eta t_{理} (^\circ\text{C})$$

为了使实际炉温提高,通常利用废气温度预热空气或煤气,这不仅提高炉温还能节省燃料。

4. 燃料消耗量的核算

燃料消耗量是考核炉修理质量的重要指标。炉子修理前,由于炉衬损坏等原因,热损失要大,经过炉子修理,应该使炉子有最好的热效率。燃料消耗的计量有各种不同方法,固体燃料可用称量法或容量计量,液体燃料可用油罐标尺测量消耗的办法或油量表计量,气体燃料一般都用流量表测定。

锻造炉、热处理炉、冲天炉等的燃料消耗常以煤耗[kg(标准煤)/kg(钢)]、油耗[kg(油)/kg

(钢)]、气耗[m³(煤气)/kg(钢)]、电耗[kW·h(电)/kg(钢)]、铁焦比[kg(铁)/kg(焦炭)]等指标进行计算比较。由于燃料消耗量与很多因素有关,如炉型、燃料种类、发热量、产品产量、过剩空气系数、燃料与空气的预热情况、金属预热情况、燃烧质量、排烟温度和操作制度等,所以燃料消耗的指标相差较大。但对炉子修理来说,因可以对修理前后的燃耗进行比较,其经济意义可立即显示出来。用单位金属热耗[kJ/kg(钢)]作为燃耗指标也是经常使用的。如一台室式烧煤锻造炉加热钢件,每班用 $Q_{低} = 27000$ kJ/kg的烟煤300kg,加热锻件毛坯1200kg,则单位热耗为:

$$R = \frac{27000 \times 300}{1200} = 6750 \text{ kJ/kg(钢)}$$

产品的单位热耗为:

$$M = \frac{R}{Q_{低}} = \frac{6750}{27000} = 0.25 \text{ kg(煤)/kg(钢)}$$

上例单位煤耗因为煤的发热量各异,不能确切说明热效率,通常还有以发热量29308kJ/kg(煤)

的标准煤作为指标的。

$$\text{即: } M = \frac{6750}{29308} = 0.23 \text{ kg(标准煤)/kg(钢)}$$

作为单位标准煤耗。

因燃料发热量各异、以煤耗、气耗等单位不容易确切反映燃料利用对比，所以在工厂中以单位金属热耗来计算也经常使用的。这就很容易计算炉子的热效率，如已知上例中锻件的加热温度为1250℃，则每千克锻件的有效热为：

$$Q_{\text{有效}} = c_{\text{钢}} \Delta t \text{ kJ/kg(钢)}$$

式中 $c_{\text{钢}}$ ——钢材平均比热容。一般锻钢在1270℃

时， $c_{\text{钢}} = 0.67 \sim 0.71 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{°C)}$

Δt ——锻件由室温加热的温度差(°C)。

$$\text{则 } Q_{\text{有效}} = 0.696 \times 1250 = 870 \text{ kJ/kg(钢)}$$

上例的炉子热效率为：

$$\eta = \frac{Q_{\text{有效}}}{R} = \frac{870}{6750} = 13\%$$

各种燃料油的发热量都在42000kJ/kg(油)左右，焦炭发热量都在27000kJ/kg(焦炭)左右，电的热当量为3600kJ/(kW·h)。由于以上3种发热量比较固定，所以，油耗、铁焦比、电耗等3种指标亦经常使用。

(四) 燃料换算

因某种原因改用另一类燃料，需要重新验算燃料消耗量时；或者设计中采用某一计算参数，其依据的燃料条件改变、而需按新燃料条件重新核算

时，均需进行燃料换算。两类燃料之间的换算关系，与燃料的燃烧效率、燃料的热量利用率、燃料及燃烧所需空气量是否进行预热有直接关系。

1. 换算公式

不同类别、不同发热量的两种燃料，其消耗量之间的换算关系如下式：

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{(Q_{\text{理}} + q_w)_1 \eta_1}{(Q_{\text{理}} + q_w)_2 \eta_2}$$

式中 B_1 、 B_2 ——燃料1、2的消耗量[m³(kg)/h]；

q_w ——燃料及空气预热后带入的热量 [kJ/m³(kg)]

η_1 、 η_2 ——燃料1、2的热量利用率，

$$\eta = \frac{Q_{\text{理}} + q_w - (Q_y + Q_{A_j})}{Q_{\text{理}}}$$

式中 Q_y ——离炉烟气带走的热量；

$$Q_y = V_y C_y t_y \text{ [kJ/m}^3 \text{ (kg)]}$$

V_y ——单位燃料的烟气体积[m³/m³(kg)]；

t_y 、 C_y ——离炉烟气热容量及温度(°C)；

Q_{A_j} ——单位燃料的化学及机械不完全燃烧热损失；

对于煤气： $Q_{A_j} = (0 \sim 0.01) Q_{\text{理}}$

对于燃料油： $Q_{A_j} = (0.01 \sim 0.03) Q_{\text{理}}$

对于煤： $Q_{A_j} = (0.05 \sim 0.1) Q_{\text{理}}$

各种燃料的热量利用率列于表23-1-12。

2. 计算示例

例1 台车式热处理炉，炉底面积18m²，燃烧用 $Q_{\text{理}} = 5530 \text{ kJ/m}^3$ 发生炉煤气，煤气耗量 $B_1 = 1500$

表23-1-12 各种燃料的热量利用率

| 燃料名称 | 低发热量 [$\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3(\text{kg})}$] | 预热温度 (°C) | 下列离炉烟气温度(°C)时的 η 值 | | | | | | | | | | 物理热 q_w [kJ/ m ³ (kg)] |
|-----------|---|-------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| | | | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | |
| 发生炉 煤气 | 5230 | $t_h = 0$ | 0.84 | 0.78 | 0.73 | 0.67 | 0.61 | 0.55 | 0.49 | 0.43 | 0.37 | 0.31 | 0 |
| | | $t_h = 300$ | 0.93 | 0.87 | 0.81 | 0.76 | 0.7 | 0.64 | 0.58 | 0.52 | 0.45 | 0.39 | 427 |
| | | $t_h = t_w = 250$ | 0.98 | 0.92 | 0.86 | 0.81 | 0.75 | 0.69 | 0.63 | 0.57 | 0.5 | 0.44 | 695 |
| | 5530 | $t_h = 0$ | 0.84 | 0.79 | 0.74 | 0.68 | 0.62 | 0.56 | 0.5 | 0.44 | 0.38 | 0.32 | 0 |
| | | $t_h = 300$ | 0.93 | 0.88 | 0.82 | 0.76 | 0.71 | 0.65 | 0.59 | 0.53 | 0.47 | 0.41 | 452 |
| | | $t_h = t_w = 250$ | 0.98 | 0.92 | 0.87 | 0.81 | 0.75 | 0.70 | 0.64 | 0.58 | 0.52 | 0.46 | 716 |
| 6280 | $t_h = 0$ | 0.85 | 0.80 | 0.75 | 0.70 | 0.64 | 0.59 | 0.53 | 0.48 | 0.42 | 0.36 | 0 | |
| | $t_h = 300$ | 0.94 | 0.89 | 0.84 | 0.78 | 0.73 | 0.67 | 0.62 | 0.56 | 0.51 | 0.45 | 532 | |
| | $t_h = t_w = 250$ | 0.98 | 0.93 | 0.88 | 0.82 | 0.77 | 0.71 | 0.66 | 0.60 | 0.55 | 0.49 | 779 | |

(续)

| 燃料名称 | 低发热量 [$\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3(\text{kg})}$] | 预热温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 下列离炉烟气温度 ($^{\circ}\text{C}$) 时的 η 值 | | | | | | | | | | 物理热 q_w [kJ/ $\text{m}^3(\text{kg})$] |
|------|---|--------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | |
| 混合煤气 | 7540 | $t_k = 0$ | 0.86 | 0.82 | 0.77 | 0.72 | 0.67 | 0.62 | 0.56 | 0.51 | 0.46 | 0.41 | 0 |
| | | $t_k = 300$ | 0.95 | 0.9 | 0.85 | 0.80 | 0.75 | 0.70 | 0.65 | 0.60 | 0.55 | 0.49 | 628 |
| 焦炉煤气 | 16750 | $t_k = 0$ | 0.87 | 0.83 | 0.78 | 0.74 | 0.69 | 0.64 | 0.59 | 0.54 | 0.50 | 0.45 | 0 |
| | | $t_k = 300$ | 0.97 | 0.93 | 0.89 | 0.84 | 0.79 | 0.74 | 0.70 | 0.65 | 0.60 | 0.55 | 1637 |
| 天然气 | 35600 | $t_k = 0$ | 0.87 | 0.82 | 0.78 | 0.73 | 0.68 | 0.63 | 0.58 | 0.53 | 0.48 | 0.43 | 0 |
| | | $t_k = 250$ | 0.97 | 0.92 | 0.87 | 0.83 | 0.78 | 0.73 | 0.68 | 0.63 | 0.58 | 0.53 | 3157 |
| 燃料油 | 40200 | $t_k = 0$ | 0.84 | 0.79 | 0.73 | 0.67 | 0.62 | 0.56 | 0.50 | 0.44 | 0.38 | 0.32 | 0 |
| | | $t_k = 250$ | 0.96 | 0.91 | 0.85 | 0.79 | 0.73 | 0.67 | 0.62 | 0.55 | 0.49 | 0.43 | 3400 |
| 煤 | 27210 | $t_k = 0$ | 0.87 | 0.82 | 0.77 | 0.73 | 0.68 | 0.63 | 0.58 | 0.53 | 0.48 | 0.42 | 0 |
| | | $t_k = 250$ | 0.96 | 0.91 | 0.87 | 0.82 | 0.77 | 0.72 | 0.67 | 0.62 | 0.57 | 0.52 | 2360 |

注: 1. t_k 、 t_w —空气及煤气的预热温度;

2. 空气过剩系数: 煤气 $\alpha = 1.05$; 油 $\alpha = 1.1$; 煤 $\alpha = 1.35$;

3. 化学及机械热损失: 煤气 $Q_{k,j} = 0$; 燃料油 $Q_{k,j} = 0.02Q_{2E}$; 煤 $Q_{k,j} = 0.07Q_{2E}$ 。

m^3/h , 改用 $Q_{2E} = 40200 \text{kJ/kg}$ 燃料油时, 求油耗量

B_2 。

解 取离炉烟气温度为 900°C , 查表 23-1-12,

得 $\eta_1 = 0.5$, $\eta_2 = 0.5$

$$\begin{aligned} \text{则油耗量: } B_2 &= B_1 \times \frac{(Q_{1E} + q_{w1})\eta_1}{(Q_{2E} + q_{w2})\eta_2} \\ &= 1500 \times \frac{(5530 + 0)0.5}{(40200 + 0)0.5} \\ &= 206 \text{ (kg/h)} \end{aligned}$$

例 2 同上例, 改用 $Q_{2E} = 6280 \text{kJ/m}^3$ 发生炉煤气且空气煤气同时预热 250°C 时, 求煤气耗量 B_2 。

解 查表 23-1-12, 得 $\eta_2 = 0.66$, $q_w = 779 \text{kJ/m}^3$

则煤气耗量:

$$B_2 = 1500 \times \frac{(5530 + 0)0.5}{(6280 + 779)0.66} = 890 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

例 3 同例 1, 如改用 $Q_{2E} = 27210 \text{kJ/kg}$ 烟煤时, 求煤耗量。

解 查表 23-1-12, 得 $\eta_2 = 0.58$ 。

$$\begin{aligned} \text{则煤耗量: } B_2 &= 1500 \times \frac{(5530 + 0)0.5}{(27210 + 0)0.58} \\ &= 263 \text{ (kg/h)} \end{aligned}$$

第 2 节 固体燃料燃烧装置

(一) 燃煤装置的类型和特性

燃煤装置按照燃烧方法来分类有: 薄煤层燃烧室、半煤气燃烧室、机械加煤往复活动炉排燃烧室与煤粉燃烧室等。按照炉篦结构来分有: 梁式炉条、蜂窝炉篦 (板式与阶梯式) 与水平活动炉篦等。

1. 薄煤层燃烧室

这是一种短火焰操作的普通燃烧室 (图 23-2-1), 其特点是燃烧完全、操作简单, 热负荷分布不均匀, 提高产量时, 加热质量不良。煤层厚度一般在 $100 \sim 150 \text{mm}$, 燃烧室采用梁式炉条, 也有采用板式蜂窝炉篦的。炉条下除灰, 大多数为水封除渣结构, 水封高度通常为 $120 \sim 180 \text{mm}$ 。炉篦下的鼓风压力为 $1000 \sim 1500 \text{Pa}$ 。

2. 半煤气燃烧室

实际上属于厚煤层燃烧室, 只是把加煤门的门坎提高, 因而煤层厚度可增至 $300 \sim 400 \text{mm}$ 或者更厚 (图 23-2-2)。其特点是火焰长, 热量分布较均匀, 波动小, 加热质量好, 但调整燃料时燃烧较差。厚煤层操作时供给一次空气量不足的, 需要供给

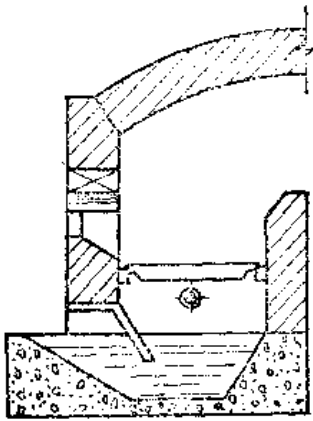


图23-2-1 薄煤层燃烧室

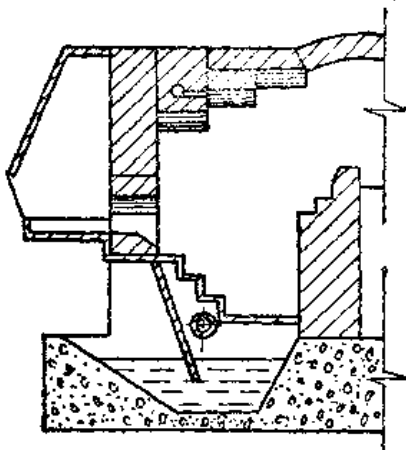


图23-2-2 半煤气燃烧室

二次空气。二次空气占总空气量的15%~25%，二次空气要预热并分成细流股送入。半煤气燃烧室的炉篦，一般采用阶梯式蜂窝炉篦较好。

3. 煤气化燃烧室

它的结构原理是一个简易的煤气发生炉（图23-2-3）。其特点是简易煤气发生炉与炉膛分开，由于它装置简单，大多数是手工操作。煤是一次投入发生炉中，煤层厚度有的为400~600mm，有的为600~900mm，有的甚至达1000mm。煤在发生室内从正常气化产生煤气时始，经过燃料层逐渐被烧穿，最后直至残留的碳燃烧终了时止，往往需要5~6h。

4. 机械加煤往复活动炉排燃烧室

这种燃烧室的送煤机构主要由

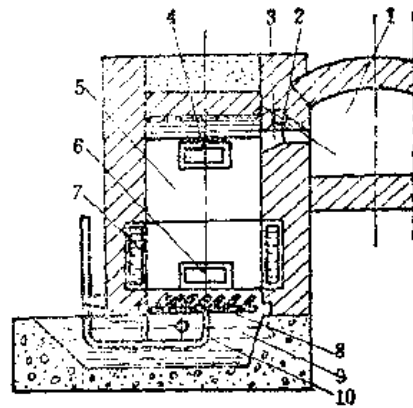


图23-2-3 简易煤气炉示意图

1—加热室 2—二次风管 3—煤气输出口 4—加煤门 5—煤气发生室 6—消渣门 7—水封 8—煤气发生室炉篦 9—水封灰池 10—一次风管

水平炉排、固定炉排、活动炉排和液压缸组成。其中活动炉排又分推煤炉排和推渣炉排两种，分别由两个液压缸推动。固定炉排和活动炉排是交错布置。当煤从煤斗落下后，由活动炉排向前推进。煤的燃烧过程可分成3个区域，即煤的预热干馏区，燃烧区和煤渣余燃区，但是，3个区并没有严格的界限。煤的预热干馏过程，是煤从煤斗被推到第4块炉排时止。这几块炉排未开风眼，由于燃烧室内高温辐射，煤被预热，水分开始蒸发，挥发分开始析出，煤的燃烧过程主要在1至4块炉排上进行。未烧尽的煤和渣被推到水平炉排上，煤继续燃烧，渣最后被推渣炉排推入水池中（图23-5-4）。

机械加煤往复式炉排代替了人工加煤，减轻了

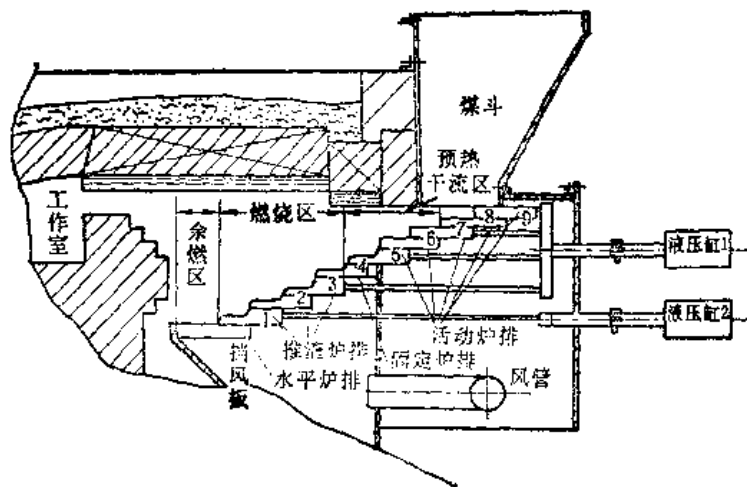


图23-2-4 机械加煤往复活动炉排燃烧室

劳动强度，烟囱、炉门不再冒黑烟，对保护环境卫生、消烟除尘有显著改善。由于送煤均匀、稳定，既保证了加热质量，比人工加煤的炉子可节约煤炭约15%~20%。

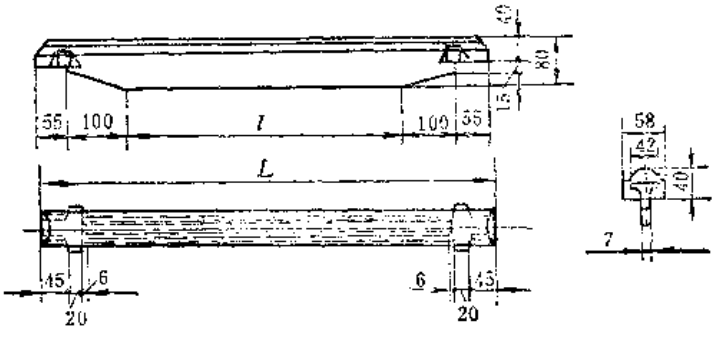
机械加煤往复式炉排占地面积大，活动炉排的使用寿命短。

(二) 炉篦类型和易损零部件

1. 梁式炉条

这种炉条用来组成水平炉篦，其通风面积占炉篦面积15%~30%。梁式炉条和炉条搁铁的尺寸分别列于表23-2-1~表23-2-2。

表23-2-1 梁式炉条尺寸



| 序号 | L | l | 材料 |
|----|------|-----|-------|
| 1 | 454 | 144 | HT150 |
| 2 | 570 | 260 | HT150 |
| 3 | 686 | 376 | HT150 |
| 4 | 744 | 434 | HT150 |
| 5 | 802 | 492 | HT150 |
| 6 | 860 | 550 | HT150 |
| 7 | 918 | 608 | HT150 |
| 8 | 976 | 666 | HT150 |
| 9 | 1034 | 724 | HT150 |
| 10 | 1150 | 840 | HT150 |

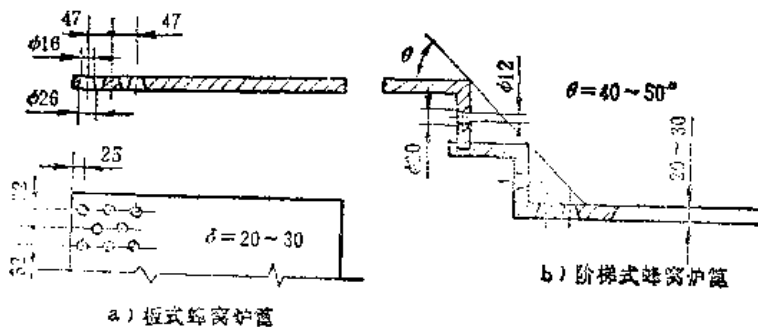


图23-2-5 蜂窝炉篦

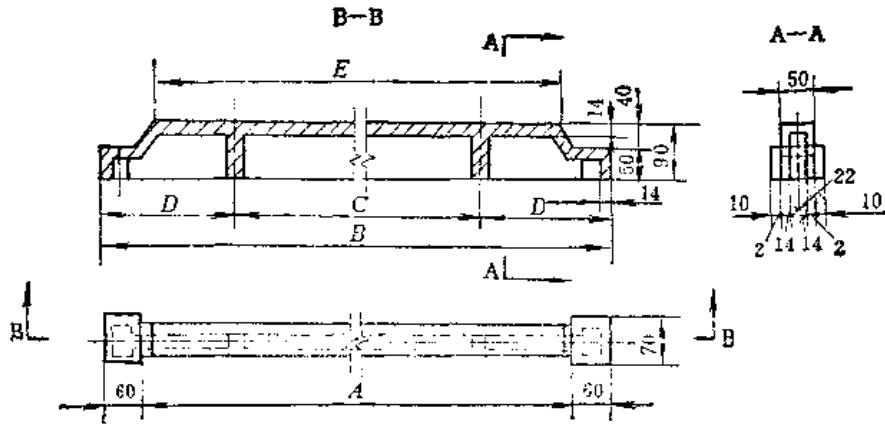
2. 蜂窝炉篦 (板式与阶梯式)

这是目前使用较多的一种，它的优点是煤的机械不完全燃烧损失小，清渣除灰方便，使用效果较好。缺点是更换炉篦比梁式炉条困难。蜂窝炉篦有两种：①板式蜂窝炉篦(图23-2-5)的出风口面积占炉篦总面积约15%，阶梯蜂窝炉篦的出风口面积占炉篦总面积约12%。一般只在垂直面上留一排出口，大燃烧室留两排；②阶梯式蜂窝炉篦的水平部分可以做成翻板式结构(图23-2-6)，便于清灰渣。

3. 水平活动炉篦

它是由左右固定部分炉篦组成的，活动炉篦通

表23-2-2 炉条捣铁的尺寸



| 序号 | A | B | C | D | E | 材 料 |
|----|------|------|-----------------------|-----|------|-------|
| 1 | 464 | 584 | $140 \times 2 = 280$ | 152 | 444 | HT150 |
| 2 | 580 | 700 | $175 \times 2 = 350$ | 175 | 560 | HT150 |
| 3 | 696 | 816 | $200 \times 2 = 400$ | 208 | 676 | HT150 |
| 4 | 812 | 932 | $230 \times 2 = 460$ | 236 | 792 | HT150 |
| 5 | 928 | 1048 | $200 \times 3 = 600$ | 224 | 908 | HT150 |
| 6 | 1044 | 1164 | $230 \times 3 = 690$ | 237 | 1024 | HT150 |
| 7 | 1160 | 1280 | $210 \times 4 = 840$ | 220 | 1140 | HT150 |
| 8 | 1276 | 1396 | $230 \times 4 = 920$ | 238 | 1256 | HT150 |
| 9 | 1392 | 1512 | $210 \times 5 = 1050$ | 231 | 1372 | HT150 |
| 10 | 1508 | 1628 | $230 \times 5 = 1150$ | 239 | 1488 | HT150 |

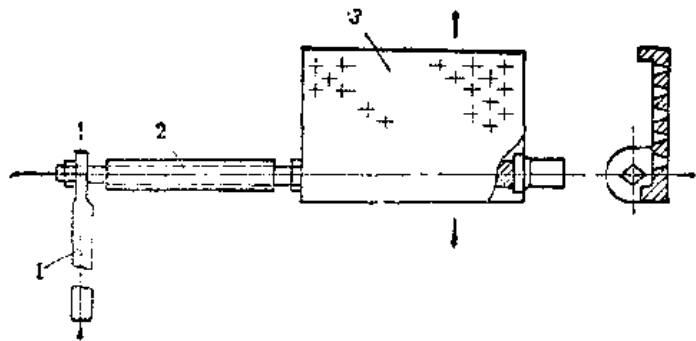


图23-2-6 炉篦翻板
1—拉杆 2—套管 3—水平炉篦

过两端轴套支撑并转动（图23-2-7）。水平活动炉篦可用于锻造加热炉上。

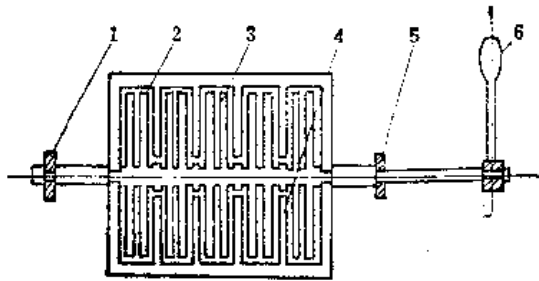


图23-2-7 水平活动炉篦

1—后轴套 2—左固定炉排 3—活动主炉排
4—右固定炉排 5—前轴套 6—拉手柄

（三）煤粉燃烧装置的特性

煤的粉状燃烧是在块状燃烧基础上的一个新发展，粉状燃烧是把煤粉与空气一起用特制的机械装置（粉煤机）和烧嘴吹入燃烧室或炉膛中，煤粉能象液体和气体燃料那样很快着火燃烧。例如锻工加热炉的旋风式燃烧室是一个圆弧平底形的炉膛，砌筑于加热室的侧旁，如图23-2-8。喷粉嘴装置以 27° 的倾斜角由下部吹入旋风燃烧室，与二次风一起混合燃烧，在燃烧室内造成一个旋转的动力场。煤粉在燃烧室内高温下不断旋转而燃烧，促使其充分燃尽。燃尽后的热量，通过反火口射入加热室内。

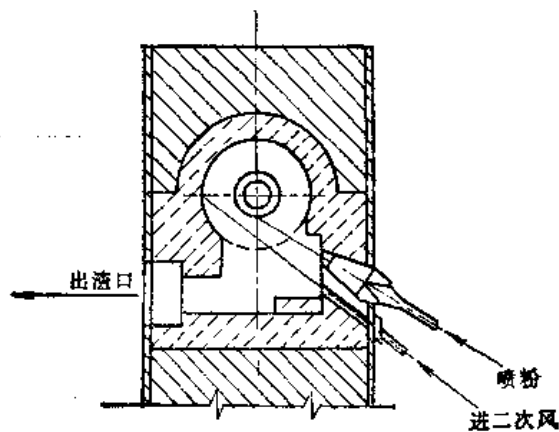


图23-2-8 旋风式燃烧室

煤的粉状燃烧与块状燃烧相比具有下列的特点：

1) 对燃料的适应性较强，能燃用各种劣质煤；燃烧稳定，炉膛温度比较均匀；易于控制和调

节，操作方便；金属烧损少，加热质量好；

2) 煤粉能在最少量的空气过剩系数中快速燃烧，这样就能保证在燃烧过程中得到高温，燃烧温度高达 1800°C ；

3) 燃料的热能利用率高，燃烧比较完全，升温快，生产效率高，降低了燃料消耗量；

4) 容易实现加煤机械化，减轻劳动强度。

但是，煤粉炉也有其缺点，如煤粉炉灰多，在燃烧室和加热室内有积灰，对加热质量受到一定程度的影响。同时，由于煤粉粒微细，易于飞扬，使车间内煤灰弥漫，恶化了环境卫生。另外需要有一套制造煤粉的机械设备，因此，对煤粉炉的普遍推广，使用与发展，受到一定的影响。

（四）安装与维修

煤炉燃烧室的组成包括：加煤炉门、炉门升降机构、炉篦、燃烧室炉墙、炉顶、风管与水封板等。其砌筑与安装根据施工图的设计尺寸进行。

1. 炉门升降机构的安装

炉门升降机构安装的要点如下（图23-2-9），

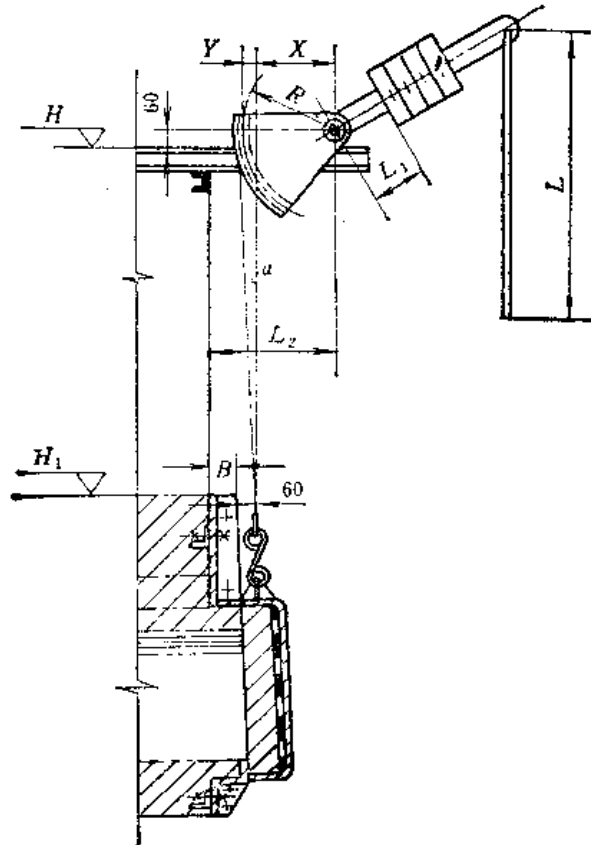


图23-2-9 炉门升降机构

- 1) 炉门上升倾斜角 $\alpha = 2^\circ 30'$;
- 2) H 高度不得低于 2700mm, 具体尺寸在炉架安装时决定;
- 3) 平衡锤安装尺寸 L_1 根据炉门重量由现场安装时调整决定;
- 4) 扇形轮中心离炉墙外缘距离 L_2 见炉架安装图;
- 5) 拉杆长 L 尺寸根据 H 高度选用;
- 6) 扇形轮中心离炉墙外缘距离 L_2 的计算 (图 23-2-9)。

已知: $\alpha = 2^\circ 30'$ $x = R - y$ $y = [H - H_1 + 60] \text{tg} 2^\circ 30'$

则 $L_2 = x + 60 + B = (R - y) + 60 + B = R - [H - H_1 + 60] \text{tg} 2^\circ 30' + 60 + B$

2. 风管安装

为了保证燃烧室炉篦下的风压, 风管伸进炉墙部分的空洞, 在风管放进去以后, 要用耐火泥封严堵牢。另外从鼓风机接到燃烧室炉篦下的管路系统, 要尽力做到少拐弯, 非拐弯不可的地方, 要做到圆滑过渡。

3. 燃烧室的维修

燃煤炉子的最高温度区域是在燃烧室, 因此燃烧室最易损坏, 炉子维修工作的好坏, 常以燃烧室的检修周期来进行考核。有的工厂由于炉子产量不断提高, 燃烧室进行强化操作, 这样使炉内热负荷加大, 因而严重地缩短了检修周期。燃烧室的寿命, 加热炉一般在 1~1.5 年, 热处理炉在 2 年左右, 干燥炉在 2 年以上。燃烧室寿命最低的部位是炉顶, 炉顶损坏的原因有以下几个方面: 一是砌筑质量差; 二是砖缝太大, 经受不住高温火焰的冲刷和侵蚀; 三是耐火材料的质量差。燃烧室的维修范围分为小修、中修和大修。

(1) 小修的范围 包括炉衬砖的掉落, 拆换燃烧室的拱顶; 炉篦与炉篦捆铁的更换。

(2) 中修的范围 包括燃烧室靠炉篦周围的炉墙; 拆换燃烧室的拱顶; 炉篦与炉篦捆铁的更换。

(3) 大修的范围 包括全部拆掉燃烧室的炉墙; 拆换燃烧室的拱顶; 更换炉篦和炉篦捆铁 50% 以上。

(4) 双层炉门排烟拱的砌筑 燃煤锻造加热炉的双层炉门拱是进出料门不冒烟喷火的排烟结构, 也有用在热处理炉上的, 其砌砖图如图 23-2-10。砌筑要点, 外炉门 H_1 低于内炉门 H_2 , 一般压下一块横砖, 厚 116mm, 扩散室 (中间拱环) H 的高度愈大愈好。

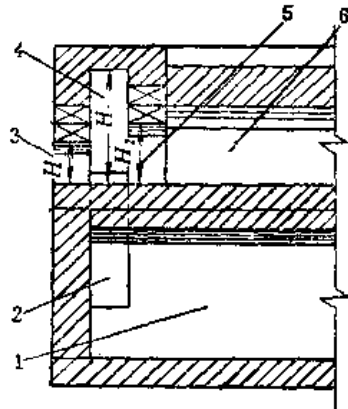


图 23-2-10 双层炉门拱排烟结构
1—炉下烟道 2—排烟道 3—外炉门 4—扩散室 5—内炉门 6—加热室

双层炉门拱排烟结构通常用在加热炉、热处理炉和推杆式连续炉。

4. 常见故障分析

固体燃料燃烧装置的常见故障分析列于表 23-2-3。

表 23-2-3 固体燃料燃烧装置的常见故障分析

| 序号 | 易损部位 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|-------|---------|---|---|
| 1 | 燃烧室拱顶 | 拱环间裂缝冒火 | 1. 砌筑质量差, 耐火砖尺寸不规整。拱环计算有误差, 砌筑用砖号不全 2. 使用前烘炉升温速度太快 | 1. 每砌一环砖, 先对好尺寸, 摆好并编成号, 然后拿下来抹泥再砌 2. 严格遵守砌筑质量和烘炉等制度规定 |
| | | 拱顶砖脱落 | 1. 燃烧室跨段两侧墙的立柱, 所选型钢强度不够 2. 拱脚砖向外移动 | 1. 增加立柱型钢的强度 2. 拱脚砖砌到墙里边, 不能暴露外 |

(续)

| 序号 | 易损部位 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|-------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 燃烧室拱顶 | 拱顶砖脱落 | 3.拱顶砖被烧损, 砖的耐火度不够 | 面被火焰烧损 3.拱顶砌砖用一级耐火粘土砖 |
| 2 | 燃烧室炉墙 | 炉墙靠近炉篦处 结渣 | 砌筑炉墙砖的耐火度不够, 被烧熔了和炉渣粘结在一起 | 易结渣部位做成水套结构 |

第3节 油 嘴

(一) 常用油嘴的类型和特性

现在工业炉上常用的油嘴有K型、C型、R型、RC型、RK型、F型、QRF型低压油嘴及转杯式机械雾化油嘴等。它们的特性、应用范围见表23-3-1。

1. K型低压油嘴

这种油嘴的结构特点是: 空气通过带有角度的叶片喷头, 呈切线方向喷出, 产生强有力的旋转涡流。当与油股相遇时, 油股被打散, 以达到较好的雾化效果。头部带有锥度的控油针, 可通过收缩的油孔调节油量大小, 并可在油嘴不停止工作的情

况下排除油嘴喷头堵塞与结焦现象。因而具有结构简单、调节容易、拆卸与维修方便和漏油少的特点。它适用于小型锻造炉, 油嘴结构及其装配尺寸列于表23-3-2。

2. C型低压油嘴

当移动风柄改变风出口处截面积, 达到调节风量, 油量调节是通过带有V形槽的控油杆前后移动而实现的。这种油嘴结构简单, 便于拆装及维修, 但存在漏油严重、雾化质量较差、容易结焦堵塞等缺点。它适用于大型加热炉和锻造用炉。油嘴结构及其装配尺寸见表23-3-3。

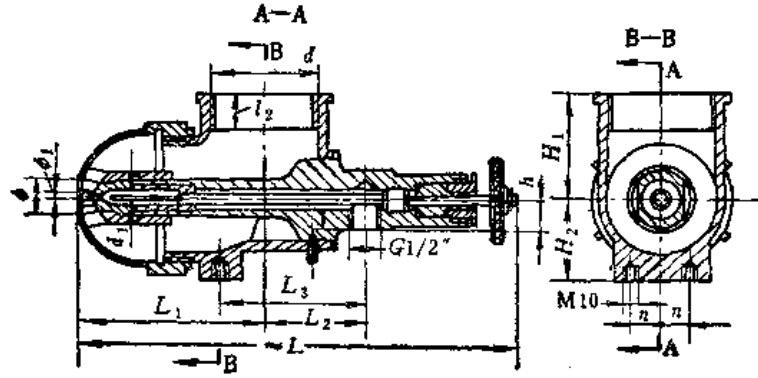
3. R型低压油嘴

它具有三次空气雾化, 风与油是按比例调节的, 采用内回油, 以保证嘴内油温与油量稳定。风量的调节是靠改变二次、三次风出口截面来实现,

表23-3-1 工业炉常用油嘴的性能

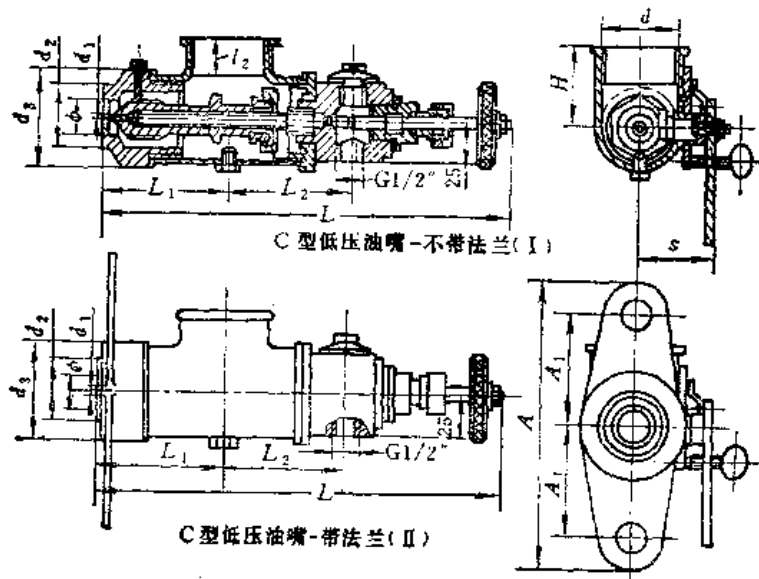
| 序号 | 特 性 | 低 压 油 嘴 | 转杯式机械雾化油嘴 |
|----|--|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 工作原理 | 风压在10kPa以下的空气为雾化剂, 使燃料油雾化 | 油随着高速旋转运动在离心力的作用下, 使燃料油雾化 |
| 2 | 油压力 (kPa) | 49~400 | 30~150 |
| 3 | 燃油量 (kg/h) | 4~200 | 50~500 |
| 4 | 要求油粘度 ($-10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$) | 24~36 | 15~58 |
| 5 | 调节比 | 1:5 | 1:4 |
| 6 | 空气过剩系数 | 1.1~1.15 | 1.1~1.2 |
| 7 | 雾化剂出口速度 (m/s) | 50~80 | — |
| 8 | 雾化剂消耗量 | 75%~100%的理论空气量 | — |
| 9 | 空气最高温度 (°C) | 500 | — |
| 10 | 雾化及燃烧性能 | 雾化质量好, 能使空气全部参加雾化、火焰短 | 雾化质量好, 扩张角较大, 火焰短而宽, 易于控制 |
| 11 | 油嘴结构 | 较简单 | 较复杂 |
| 12 | 助燃空气供给方式 | 较简单 | 较复杂 |
| 13 | 能量消耗量及经常费用 | 较低 | 较少 |
| 14 | 应用范围 | 加热炉、热处理炉、熔炼炉 | 热处理炉, 特适用单台工业炉 |

表23-3-2 K型油嘴结构和装配尺寸



| d | ϕ | ϕ_1 | d_1 | $\sim L$ | L_1 | L_2 | L_3 | h | H_1 | H_2 | l_1 | l_2 | n |
|--------|--------|----------|-------|----------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-----|
| 2 1/2" | 26 | 3 3.5 | 12 | 297 | 127 | 69 | 99 | 20 | 72 | 55 | 12.5 | 27 | 20 |
| | 32 | | | 299 | 129 | | | | | | | | |
| | 35 | | | 301 | 131 | | | | | | | | |
| 4" | 42 | 4 | 17 | 369 | 167 | 83 | 113 | 42 | 100 | 80 | 32 | 36 | 25 |
| | 50 | | | 362 | 170 | | | | | | | | |
| | 56 | | | 366 | 174 | | | | | | | | |
| 6" | 64 | 4 | 20 | 442 | 212 | 120 | 160 | 62 | 140 | 115 | 51 | 42 | 40 |
| | 73 | | | 446 | 217 | | | | | | | | |
| | 86 | | | 453 | 223 | | | | | | | | |

表23-3-3 C型油嘴结构及其装配尺寸



(续)

| 类别 | d | ϕ | d_1 | d_2 | d_3 | S | H | l_1 | l_2 | A | A_1 | L | L_1 | L_2 |
|---------------|--------|--------|-------|-------|-------|-----|-----|-------|-------|----------|----------|------------|------------|------------|
| I II | 1 1/2" | 21 | 25 | 40 | 63 | 48 | 52 | 14 | 22 | — 180 | — 70 | 260 260 | 80 80 | 80 80 |
| I II II | 2 1/2" | 30 | 3 | 75 | 95 | 72 | 72 | | 27 | — 250 | — 100 | 326 334 | 120 128 | 102 102 |
| | | 40 | 3 | 75 | 95 | 72 | 72 | | | — 250 | — 100 | 326 334 | 120 128 | 102 102 |
| I II II | 4" | 52 | 4 | 110 | 135 | 92 | 100 | | 35 | — 280 | — 110 | 405 413 | 165 173 | 136 136 |
| | | 60 | 4 | 110 | 135 | 92 | 100 | | | — 280 | — 110 | 405 413 | 165 173 | 136 136 |
| I II | 5" | 75 | 5 | 110 | 155 | 110 | 125 | | 38 | — 280 | — 110 | 485 493 | 205 213 | 176 176 |
| I II | 6" | 95 | 5 | 150 | 190 | 126 | 150 | | | 42 | — 360 | — 140 | 535 550 | 230 245 |

二次风是切线方向引进，呈旋流状态喷出，三次风与油雾相遇夹角大，冲击和破碎作用强，雾化效果好。油量调节是靠油出口处带有V形眉毛槽的旋塞实现，由于风柄转动也使旋塞转动，从而改变V形眉毛槽的截面积以达到调节油量大小。

这种油嘴雾化质量好，调节范围宽，密封性好，漏油现象少，风量与油量成比例，并可实现自动控制。但油嘴结构复杂，零件加工精度要求高，加工困难，拆卸与维修较难，易于堵塞。它适用于要求较高的热处理炉和无氧化加热炉。它的结构见图23-3-1。

4. RC型低压油嘴

这种油嘴(图23-3-2)与RK型油嘴基本相同，所不同的是将控油针改成C型油嘴带有V形槽控油针。其结构特点和应用范围同RK型油嘴。

5. RK型低压油嘴

它是目前油和空气混合形式较好，雾化质量较为理想的一种燃烧器，这种喷嘴结构简单、使用、维护均很方便。

RK型油嘴是吸取R型油嘴三级雾化的风量调节结构和K型油嘴的油量调节结构而制成的，既改进了K型油嘴一级雾化的缺陷，也简化了R型油嘴结构复杂的缺点。油量调节是通过旋转锥形把手，带动控油杆前后移动，相应改变了喷油孔面积而达到调节油量的目的。空气量调节是通过转动调风轮，在螺旋槽和导向螺钉作用

下使空气喷头前后移动，相应改变了二次风和三次风喷出口面积，从而达到调节空气分配量的目的。一次风量的变化是微小的。

RK型油嘴结构较简单，使用效果良好，但不能实现油、空气的按比例调节。油嘴结构和尺寸见表23-3-4，其性能列于表23-3-5。

6. F型自动比例调节燃油喷嘴

F型系列油压自动比例调节低压燃油喷嘴，系我国自行设计和制造的一种新型燃油喷嘴。它吸取了国内外各种喷嘴的优点，同时创造性地运用油压

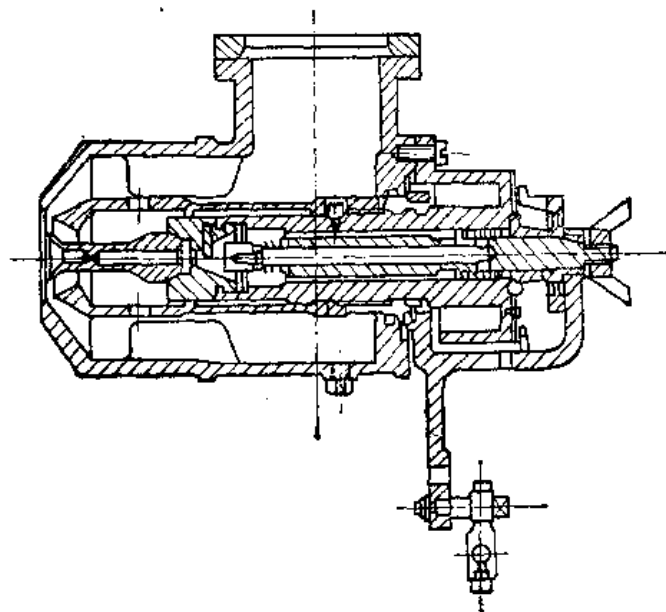


图23-3-1 R型油嘴结构

使油量和空气量自动地按比例进行调节，是一种燃烧性能良好，节油效果好(一般约节油10%~15%)，并且便于生产过程自动化的喷嘴。它不仅烧轻油，加热至一定温度后，还可以烧重油和高粘度的燃油，不会发生雾化不良或冷凝堵塞现象。

喷嘴结构较简单，操作方便，维护和检修容易，适用于各种用途的加热炉、热处理炉和窑炉。

(1) 结构及原理 它是由壳体、空气喷头、油喷头、油缸、柱塞、波纹管、弹簧、比例调节手柄等主要部件构成，其结构见图23-3-3。

当增加燃烧能力时，可使供油压力增高，这时波纹管受到压缩，将带有油槽的柱塞向右推动，弹簧受到压力，并与油压相平衡，结果柱塞产生一定位移。由于油压和油槽长度变化，使油量增加到一定数值。同时与柱塞连在一起的空气喷头也向右移动一定位置，增大空气出口截面积，使空气量也

相应地增加，构成油与空气的自动比例调节动作。

(2) 技术性能 见表23-3-7。

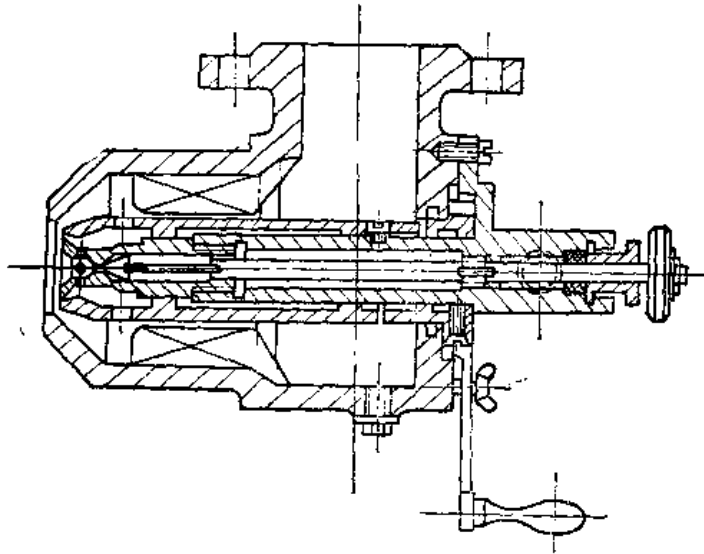
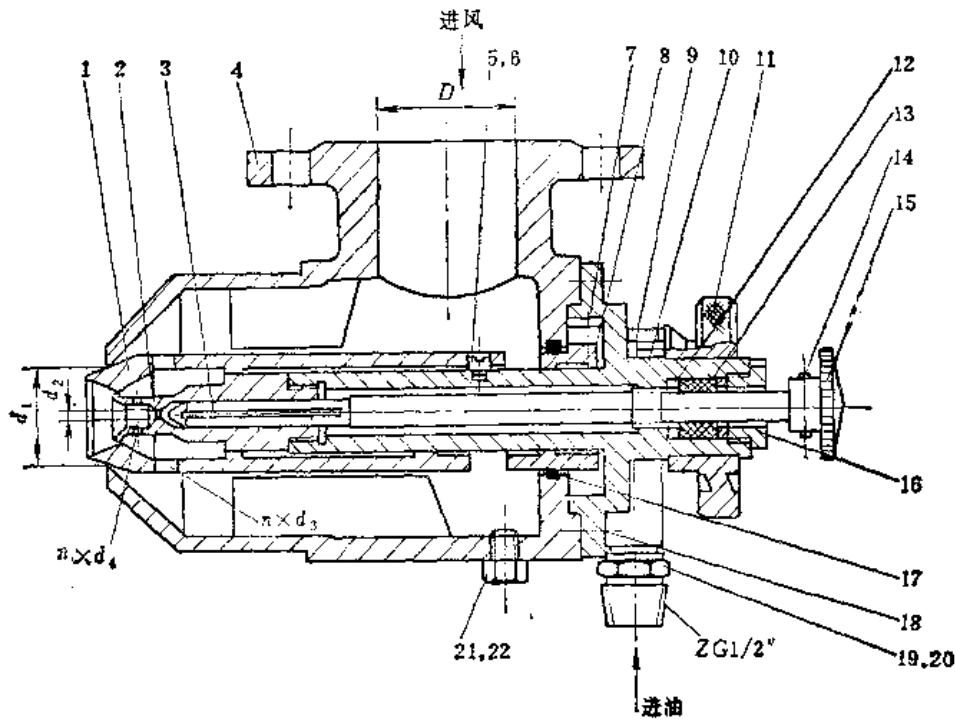


图23-3-2 RC型油嘴结构

(3) 喷嘴安装 喷嘴与喷嘴砖、喷嘴板、空气蝶阀、过渡接头的安装关系见表23-3-8。

表23-3-4 RK型油嘴结构和尺寸



- 1—空气喷头 2—油喷头 3—控油针 4—壳体 5—导向螺钉 6—垫圈 7—螺钉 8—转动轴套
- 9—调风杆 10—油套筒 11—调风论 12—垫圈 14—消 15—锥形把手 16—压紧螺母 17—O形密封圈
- 18—螺钉 19—垫圈 20—管接头 21—垫圈 22—螺塞

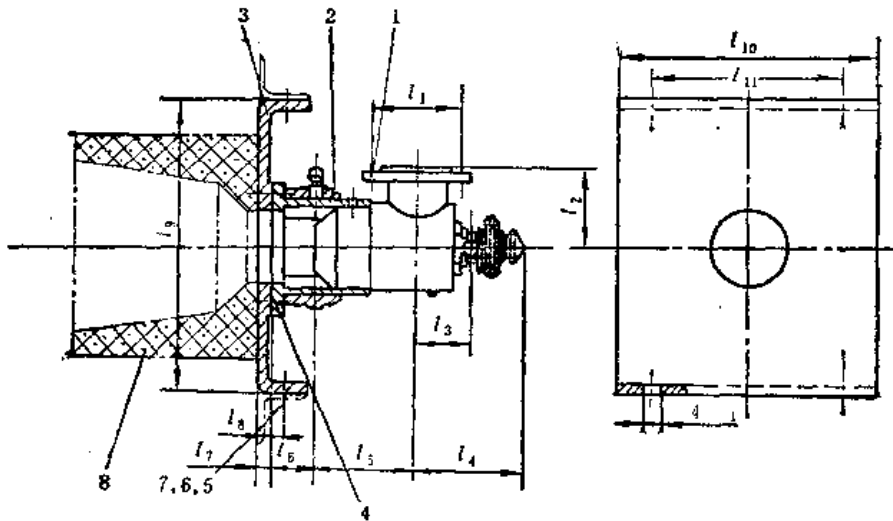
(续)

| 型号 | 代号 数值 | D | d ₁ | d ₂ | n × d ₃ | n × d ₄ |
|-------|----------|-------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | | | | | | |
| RK40 | | φ 40 | φ 30 | φ 2 | 4 × φ 10 | 4 × φ 2 |
| RK50 | | φ 50 | φ 36.5 | φ 2.5 | 8 × φ 8 | 4 × φ 2.5 |
| RK80 | | φ 80 | φ 58 | φ 4 | 8 × φ 13 | 4 × φ 3 |
| RK100 | | φ 100 | φ 72 | φ 5 | 8 × φ 16 | 4 × φ 5 |

表23-3-5 RK型油嘴的性能

| 序号 | 名称 | RK40 | | | RK50 | | | RK80 | | | RK100 | | | |
|----|---------------------------|------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|----|
| | | 1 | 最大喷油量 (kg/h) | 风套全闭 | 10.5 | 13 | 15 | 14 | 17.5 | 20 | 31 | 35 | 43.5 | 54 |
| | 风套全开 | 12 | | 15 | 17 | 16 | 20 | 23 | 35.5 | 40 | 50 | 62 | 75 | 86 |
| 2 | 空气最大耗量(m ³ /h) | 115 | 143 | 164 | 153 | 193 | 220 | 340 | 384 | 476 | 590 | 712 | 820 | |
| 3 | 嘴前空气压力(Pa) | 3920 | 5884 | 7845 | 3920 | 5884 | 7845 | 3920 | 5884 | 7854 | 3920 | 5884 | 7854 | |
| 4 | 油的压力(MPa) | 0.1 | | | 0.1 | | | 0.1 | | | 0.1 | | | |

表23-3-6 RK型油嘴及其安装尺寸



1—油嘴 2—风套 3—紧固板 4—螺柱 5—螺帽 6—螺母 7—垫圈 8—油嘴套

| 尺寸代号 | 型号 | 尺寸(mm) | | | |
|-----------------|----|--------|-------|-------|-------|
| | | RK40 | RK50 | RK80 | RK100 |
| l ₁ | | φ 100 | φ 110 | φ 150 | φ 170 |
| l ₂ | | 80 | 94 | 120 | 140 |
| l ₃ | | 53 | 65 | 85 | 128 |
| l ₄ | | ~124 | ~127 | ~170 | ~200 |
| l ₅ | | 100 | 123 | 170 | 190 |
| l ₆ | | 40 | 50 | 35 | 37 |
| l ₇ | | 16 | 16 | 16 | 20 |
| l ₈ | | 19 | 19 | 24 | 20 |
| l ₉ | | 300 | 360 | 360 | 360 |
| l ₁₀ | | 260 | 320 | 340 | 340 |
| l ₁₁ | | 180 | 240 | 280 | 280 |
| φ ₁ | | 18 | 18 | 18 | 18 |

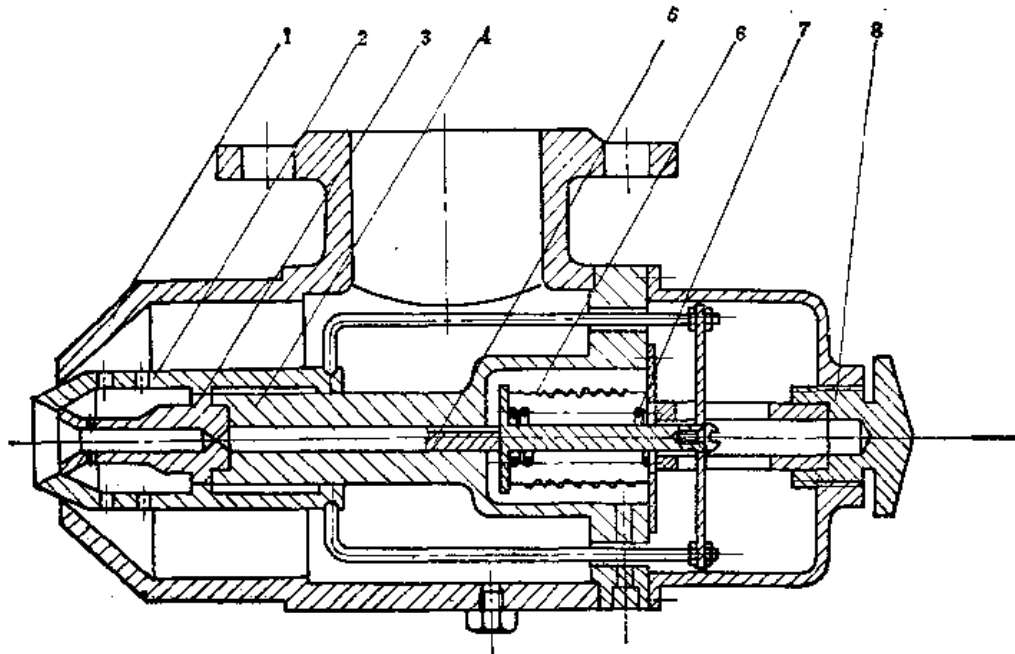


图23-3-3 F型喷嘴结构

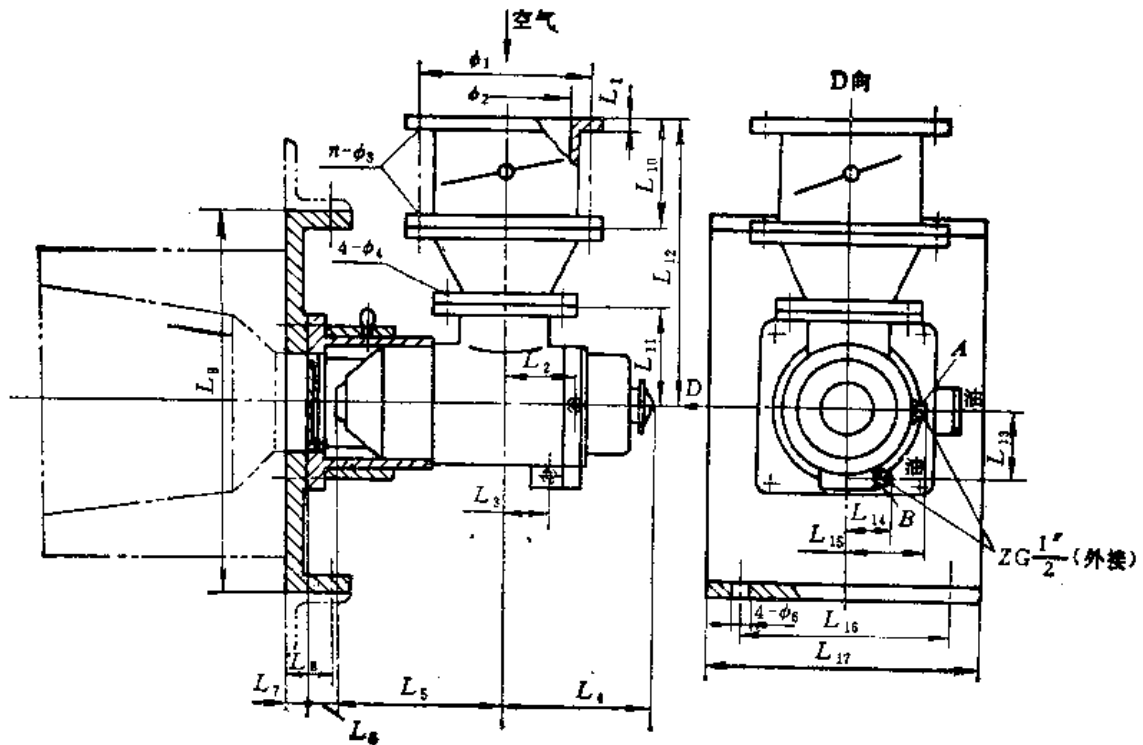
1—壳体 2—空气喷头 3—油喷头 4—油缸 5—柱塞 6—波纹管 7—弹簧 8—比例调节手柄

表23-3-7 F型喷嘴的性能

| 项目 | 数值 | 型号 | F 50(2") | | | | | | F 80(3") | | | | | |
|--------------------------|----|----|-------------------------|------|------|-----|------|------|----------|------|------|------|------|-----|
| | | | 49 | 98 | 147 | 196 | 245 | 294 | 49 | 98 | 147 | 196 | 245 | 294 |
| 供油压力 (kPa) | | | 49 | 98 | 147 | 196 | 245 | 294 | 49 | 98 | 147 | 196 | 245 | 294 |
| 燃油能力 (kg/h) | | | 3.7 | 7.5 | 11.2 | 15 | 18.7 | 22.5 | 7.5 | 15.3 | 23.2 | 30.5 | 38.4 | 46 |
| 空气流量 (m ³ /h) | | | 43.5 | 85.6 | 130 | 174 | 217 | 260 | 39 | 175 | 264 | 355 | 440 | 530 |
| 空气压力 (kPa) | | | 6.9 | | | | | | | | | | | |
| 调节比 | | | 1:6 | | | | | | | | | | | |
| 燃油粘度 (m ² /s) | | | 36.2 × 10 ⁻⁶ | | | | | | | | | | | |
| 火焰张角 (°) | | | 25~30 | | | | | | | | | | | |
| 火焰长度 (m) | | | ≤ 1.5 | | | | | | ≤ 2 | | | | | |

| 项目 | 数值 | 型号 | F 100(4") | | | | | | F 150(6") | | | | | |
|--------------------------|----|----|-------------------------|------|-----|-----|------|-----|-----------|------|-----|-----|------|------|
| | | | 49 | 98 | 147 | 196 | 245 | 294 | 49 | 98 | 147 | 196 | 245 | 294 |
| 供油压力 (kPa) | | | 49 | 98 | 147 | 196 | 245 | 294 | 49 | 98 | 147 | 196 | 245 | 294 |
| 燃油能力 (kg/h) | | | 10.8 | 21.3 | 32 | 43 | 53.7 | 64 | 18.4 | 36.7 | 55 | 74 | 92 | 110 |
| 空气流量 (m ³ /h) | | | 123 | 247 | 370 | 494 | 618 | 740 | 210 | 420 | 630 | 840 | 1050 | 1260 |
| 空气压力 (kPa) | | | 6.9 | | | | | | | | | | | |
| 调节比 | | | 1:6 | | | | | | | | | | | |
| 燃油粘度 (m ² /s) | | | 36.2 × 10 ⁻⁶ | | | | | | | | | | | |
| 火焰张角 (°) | | | 25~30 | | | | | | | | | | | |
| 火焰长度 (m) | | | ≤ 3 | | | | | | ≤ 4 | | | | | |

表23-3-8 F型油嘴及其安装尺寸



| 代号 | 型号 | F50 | F80 | F100 | F150 |
|----|----------|------|------|------|------|
| | 数值 | | | | |
| | L_1 | 15 | 16 | 16 | 18 |
| | L_2 | 60 | — | 95 | — |
| | L_3 | — | 59 | — | 80 |
| | L_4 | ~177 | ~195 | ~226 | ~264 |
| | L_5 | 137 | 185 | 205 | 320 |
| | L_6 | 40 | 23 | 20 | 14 |
| | L_7 | 16 | 16 | 20 | 22 |
| | L_8 | 35 | 40 | 40 | 45 |
| | L_9 | 360 | 360 | 360 | 446 |
| | L_{10} | 100 | 150 | 150 | 200 |
| | L_{11} | 95 | 134 | 140 | 200 |
| | L_{12} | 315 | 404 | 420 | 530 |
| | L_{13} | — | 92 | — | 140 |
| | L_{14} | — | 68 | — | 78 |
| | L_{15} | 80 | — | 111 | — |
| | L_{16} | 240 | 280 | 280 | 336 |
| | L_{17} | 320 | 340 | 340 | 426 |
| | ϕ_1 | 150 | 170 | 225 | 280 |
| | ϕ_2 | 85 | 100 | 150 | 200 |
| | ϕ_3 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| | ϕ_4 | 14 | 18 | 18 | 20 |
| | ϕ_5 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| | n | 4 | 4 | 8 | 8 |

注：F50、F100在位置A进油，F80、F150位置B进油

7. QRF型高温自动比例燃油喷嘴

为了节能,工业炉已广泛采用风油自动比例调节和余热回收的装置,同时可提高燃料的理论燃烧温度,从而提高炉温 and 加快炉子升温速度目的。QRF型系高温全热风油压自动比例调压喷嘴,就是为上述要求而设计的新型节能燃油装置。由于它采用特殊的密封机构和蒸汽伴送,可使用任何种燃料油,在风温高达500℃时也能良好地燃烧而不发生结焦和堵塞。

QRF型喷嘴能够使油与风自动配比,成为一个自动调节器,为燃油工业炉喷嘴集中控制和自动化创造了有利条件。特别对大型炉多喷嘴多段供热的燃油系统,无论手动和自动,均具有群控方便,系统简单,节油,调整容易等优点。同时由于结构较简单,操作方便,维护和检修容易,还适用于各种用途的加热炉、热处理炉和窑炉。

(1) QRF型喷嘴的结构及原理 喷嘴由空气喷头、油喷头、油气芯、风壳、油管体、油缸、波纹管、柱塞、螺旋弹簧、调节手轮等主要部件构成,其结构见图23-3-4。

当需要增加供热负荷时,可将供油压力提高,这时波纹管受到压缩,将有油槽的柱塞向右推动,同时弹簧受到相应的压力,并与油压产生的力相平衡,结果柱塞产生一个与油压变动相对应的一定位移。由于油压增加和油通道的长度减短,使油量按线性关系增加到一定数值,与柱塞连在一起的空气喷头也向右移动一定距离,增加了空气的出口通道

面积,使风量也按线性关系变化,所以经过一定的配合,构成油与风之间自动地按比例地配合变化。

(2) 喷嘴的性能 在额定状况下,其技术性能见表23-3-9(额定状况是指风温500℃风压6.9kPa)。

在非额定情况下使用时,其实际燃油能力可乘上表23-3-10中的系数K,计算得到:

$$B_{\text{实}} = B_{\text{额}} \cdot K \quad (\text{kg/h})$$

例 某台炉子使用QRF-200型喷嘴,其风温400℃,风压4.9kPa非额定情况下的每个油嘴实际燃油能力(供油压力为294kPa)

解 查表23-3-10 得 $K = 0.905$

查表23-3-9 得 $B_{\text{额}} = 110(\text{kg/h})$

则: $B_{\text{实}} = 110 \times 0.905 = 99.55 \text{ kg/h}$

8. JBP型系列燃油平焰烧嘴

JBP型系列燃油平焰烧嘴,是我国自行设计和制造的一种新型燃油喷嘴。它吸取了国内外加热喷嘴的优点,是一种燃烧性能好,加热速度快,氧化烧损少,燃烧稳定较好的新型辐射加热烧嘴。它的结构和尺寸列于表23-3-11,其技术性能见表23-3-12。

9. 转杯式机械雾化油嘴

油嘴结构见图23-3-5。它是由电动机6、进油体8、进油管7、转轴5、风机4、转杯3、一次风嘴1、二次风嘴2组成。它的工作原理是油经过进油管到转杯后,在高速转杯内表面上扩散成很薄的油膜,由于转杯是一个扩张的空心圆锥体,高速转动时产生强大的离心力,薄膜层就沿着转杯内表面快速向前

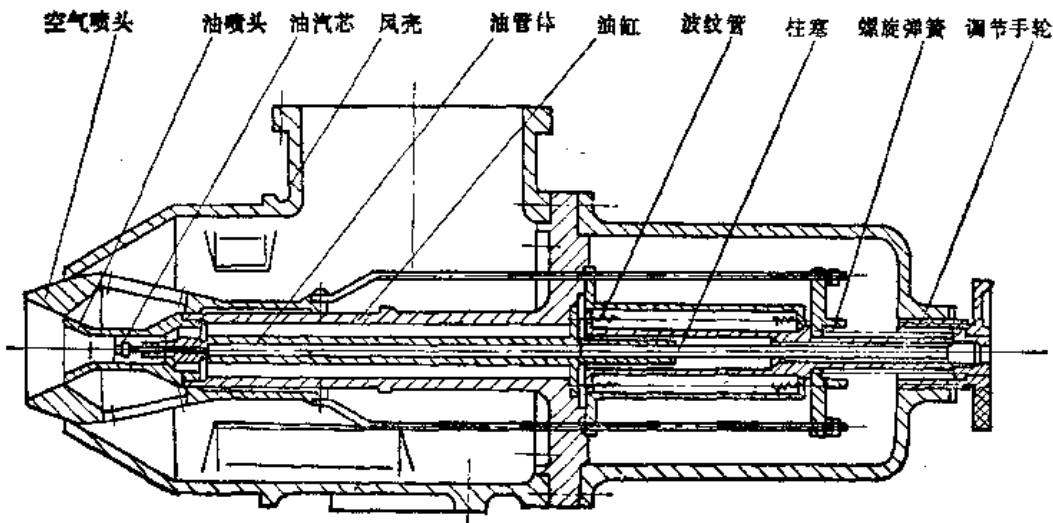


图23-3-4 QRF喷嘴的结构

表23-3-9 QRF型喷嘴在额定状况下的性能

| 数值 项目 | QRF-100 | | | | | | QRF-150 | | | | | | QRF-200 | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|------|-----|------|------|-----|---------|------|-----|-----|------|-----|---------|------|-----|-----|------|------|
| | 49 | 98 | 147 | 196 | 245 | 294 | 49 | 98 | 147 | 196 | 245 | 294 | 49 | 98 | 147 | 196 | 245 | 294 |
| 供油压力 (kPa) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 燃油能力 (kg/h) | 5 | 10.8 | 16 | 20.7 | 24.8 | 30 | 10.8 | 21.3 | 32 | 43 | 53.7 | 64 | 18.4 | 36.7 | 55 | 74 | 92 | 110 |
| 空气流量 (m ³ /h) | 58 | 120 | 174 | 235 | 298 | 345 | 123 | 247 | 370 | 494 | 618 | 740 | 210 | 420 | 630 | 840 | 1050 | 1260 |
| 空气温度 (°C) | 500 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 空气压力 (kPa) | 8.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 蒸汽压力 (kPa) | 49~98 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 蒸汽流量 (kg/h) | ~4.5 | | | | | | ~9.6 | | | | | | ~16.5 | | | | | |
| 火炬张角 (°) | 20~25 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 最大射程 (m) | ≤1.5 | | | | | | ≤2.8 | | | | | | ≤4 | | | | | |
| 燃油粘度 (m ² /s) | 36.2×10 ⁻⁶ | | | | | | | | | | | | | | | | | |

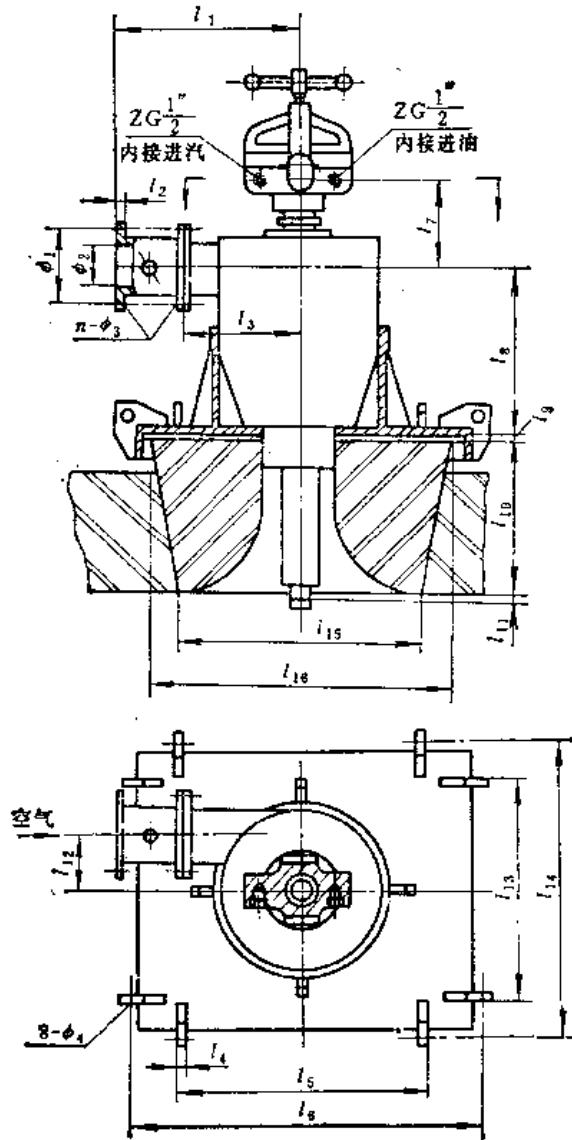
表23-3-10 实际燃料量系数

| 系数 (K) | 风温 (°C) | | | |
|----------|---------|-------|-------|-------|
| | 350 | 400 | 450 | 500 |
| 风压 (kPa) | | | | |
| 3.9 | 0.842 | 0.809 | 0.782 | 0.755 |
| 4.9 | 0.939 | 0.905 | 0.873 | 0.845 |
| 5.9 | 1.03 | 0.99 | 0.957 | 0.927 |
| 6.9 | 1.113 | 1.071 | 1.033 | 1 |

运动,油膜愈来愈薄,最后油膜被雾化成小油粒脱离杯口,呈锥体螺旋线向前运动。随着转杯出口直径增加,速度加快,小油粒的直径也在减小,细小的油粒离开杯口后遇到一次风,在一次风的作用下,形成具有一定外形的雾化炬。

这种油嘴适用于热处理炉,特别适用于只需安装少量油嘴的单台工业炉设备。它结构紧凑,雾化质量好,动力消耗小,不易漏油和堵塞等优点。但制造困难、结构复杂、拆卸和维修困难、噪声大的缺点。其性能见表23-3-18。按供风方式不同,转

表23-3-11 JBP型烧嘴结构和尺寸



(mm)

| 型号 | l_1 | l_2 | l_3 | l_4 | l_5 | l_6 | l_7 | l_8 | l_9 | l_{10} | l_{11} | l_{12} | l_{13} | l_{14} | l_{15} | l_{18} | ϕ_1 | ϕ_2 | $n-\phi_3$ | ϕ_4 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|----------|
| JBP-15 | 250 | 15 | 150 | 6 | — | — | 113~145 | 209 | 10 | 150 | 10 | 50 | 225 | 416 | 270 | 330 | 75 | 130 | 4- ϕ_{14} | 10 |
| JBP-30 | 350 | 16 | 200 | 10 | 380 | 570 | 127~159 | 270 | 10 | 300 | 10 | 65 | 340 | 530 | 420 | 500 | 100 | 170 | 4- ϕ_{18} | 12 |
| JBP-60 | 350 | 16 | 200 | 10 | 380 | 570 | 127~159 | 270 | 10 | 300 | 10 | 65 | 340 | 530 | 420 | 500 | 100 | 170 | 4- ϕ_{18} | 12 |
| JBP-100 | 526 | 18 | 326 | 10 | 464 | 570 | 57~107 | 414 | 10 | 300 | 10 | 174 | 420 | 526 | 420 | 500 | 200 | 340 | 8- ϕ_{18} | 12 |
| JBP-200 | 661 | 20 | 401 | 10 | 464 | 570 | 57~107 | 414 | 10 | 300 | 10 | 174 | 420 | 526 | 420 | 500 | 250 | 395 | 12- ϕ_{18} | 12 |

表23-3-12 JBP型喷嘴性能

| 性能名称 数值 型号 | 燃烧能力 (kg/h) | | | 油压 (kPa) | 额定风压 (kPa) | 蒸汽为恒比 油压力高出 (kPa) | 火焰直径 (m) | 火焰厚度 (mm) |
|------------------|-------------|-----|------|-------------|---------------|-------------------------|-------------|--------------|
| | 最小 | 额定 | 最大 | | | | | |
| JBP-15 | ~7 | 15 | ~25 | 196~392 | 7 | 9.8~98 | ~0.9 | 70 |
| JBP-30 | ~14 | 30 | ~45 | | 7 | | ~1.5 | 120 |
| JBP-50 | ~20 | 50 | ~75 | | 7 | | ~3 | 150 |
| JBP-100 | ~75 | 100 | ~150 | | 7 | | ~4.2 | 190 |
| JBP-200 | ~80 | 200 | ~300 | | 7 | | ~6 | 250 |

选用说明:

1. 本烧嘴由喇叭形喷嘴砖喷出的燃烧气体形成圆盘形火焰;
2. 适宜的进油粘度值低于 $5 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$;
3. 采用蒸汽 (或压缩空气) 作雾化剂, 其压强值必须高于进油压强值 $10 \sim 100 \text{kPa}$ 。

表23-3-13 转杯式油嘴的性能

| 性能数据 | 油嘴型号 | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | ZBF-1 | ZBF-2~3 | ZBF-4 |
| 燃油量 (kg/h) | 50 | 50~250 | 100~500 |
| 空气量 (m^3/h) | 625 | 1790 | 1790 |
| 空气压力 (Pa) | 1900 | 4300 | 4800 |
| 雾化粒度 (μm) | 44.8 | 42 | 48.3 |
| 雾化炬张角 ($^\circ$) | 70 | 75~80 | 70 |
| 雾化流股射程 (m) | 2 | 3~4 | 4 |
| 电动机功率 (kW) | 0.8 | 3 | 4 |
| 转杯转速 (r/min) | 5220 | 4500 | 4700 |
| 重量 (kg) | — | 130 | 140 |
| 外形尺寸 (mm) | 565×450×200 | 915×785×500 | 950×785×500 |
| 燃油压力 (MPa) | 0.03~0.15 | | |

(二) 油嘴安装与维修

1. 油嘴的安装

1) 安装油嘴时要注意油嘴轴线与喷嘴砖孔中心线重合, 偏心误差不超过 1mm。同时, 还要检查油嘴与喷嘴砖规格形状是否相符。

2) 喷嘴板应紧贴喷嘴砖, 并牢固地装在炉体的钢架上。

3) 油嘴有安装板时可将油嘴用螺栓固定在安装板上, 若不用安装板时, 油嘴不准承受任何额外载荷。

4) 空气管路和油管路, 应用标准管接头或标准法兰连接。

5) 油嘴的空气管接口, 要装在油管的上部, 避免油漏到空气管路中去。

6) 安装油嘴时要注意油嘴头部与炉子外壁要

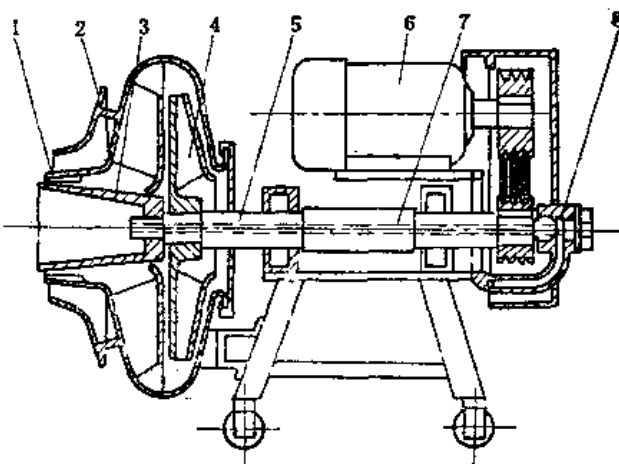


图23-3-5 转杯油嘴结构图

杯式油嘴分为三类:

有一定的距离。

7) 在油管路上, 根据油流动方向要安装: 阀门、油过滤器、油压力调节器及油流量调节阀。

8) 在空气管路上要装有空气调节阀及用来联接测量仪器的支管。

9) 压力调节器应根据喷出油压大小进行安装。

10) 空气阀门的手柄最好处于水平位置, 以避免阀门自动打开或关闭。

11) 要检查油阀门和调节阀的严密性, 必要时要进行研磨。

12) 油管和蒸汽热管最好是套管式安装, 中间通蒸汽, 外面通油。或采用二管平行靠紧敷设, 外包绝热材料保温。

13) 来油必须经过滤油器滤去杂质, 或经过加热器将油加热至所需温度, 保证喷嘴所需油的粘度。

14) 油嘴燃油能力不宜选得过大, 一般不超过所需要耗油量的1~1.5倍。

15) 安装后整个管路系统(空气和油管及蒸汽管)要进行强度和密封性试压。

16) 喷嘴前应装有油压表和油温指示表, 便于操作者控制。

17) 在泵后应有回油管, 一方面起调节油量作用, 另一方面, 在停泵时, 可将油管中的油回到油罐内。

18) 在供油管路上应有蒸汽吹扫, 蒸汽管上应安装单向阀, 以免重油进入蒸汽管路。

19) 蝶阀与喷嘴之间必须安装过渡接头。喷嘴和总风管连接的支风管间必须安装膨胀节, 以免支管变形位移影响喷嘴的安装。

2. 油嘴的维修

1) 发现油嘴结焦时, 应及时将油嘴卸下, 把结焦处清理干净。

2) 油嘴堵塞时, 可用清针将油口处捅开, 而对堵塞严重者就得拆开清理。

3) 对油嘴要执行定期拆洗检查, 将油嘴所有的零件拆开, 用煤油洗刷干净。对易损零件进行检查, 并根据其损坏情况确定是否修复或更换, 保持喷嘴良好性能。

4) 喷嘴在拆修装配时, 空气喷头和油喷头、控油针均应保持同心。

5) 喷嘴在拆修装配时, 对喷嘴原部的压紧螺

母, 不能拧得过紧, 否则控油针被挤住后, 不能旋转, 影响油量调节。

6) 喷嘴停止使用时, 必须在喷嘴前插上挡板, 防止喷嘴受炉内辐射作用而烧坏及结焦。

7) 维修清洗重点放在油喷头和油气芯的配合面, 油缸与空气喷头的滑动面, 柱塞与油管体的配合面以及波纹管体内部。将油污及积炭清除干净, 使其动作灵活, 减少摩擦, 保证实现比例调节动作。

3. 油嘴的验算

在改变燃料油流量、油压、雾化剂的流量和压力时, 即改变了油嘴使用条件, 因此, 对原有油嘴的性能及风、油系统需作必要的核算, 其验算公式如下:

1) 输油管直径:

$$d_y = 18.8 \sqrt{\frac{B}{\rho_y \omega_y}} \quad (\text{mm})$$

式中 B ——烧嘴能力(kg/h),

ρ_y ——重油在实际温度下密度(kg/m³),

ω_y ——重油在管内的流速, 该值根据经验选取, 一般 $\omega_y = 0.2 \sim 0.8$ (m/s)。

当 $d_y > 10$ mm时, 通常采用:

| 输油量(kg/h) | 管径 |
|-----------|----------|
| 30 | 3/8" |
| 200 | 1/2" |
| 500 | 3/4" |
| 750 | 1~1 1/8" |

2) 油喷口直径:

$$d = 15.8 \frac{B}{\mu \sqrt{\rho r_y}} \quad (\text{mm})$$

式中 μ ——流量系数, 根据实验定, 一般取0.2~0.4,

P ——油嘴前油的压力(Pa)。

3) 油嘴喷出油量:

$$B = \frac{d^2 \mu \sqrt{\rho r_y}}{250} \quad (\text{kg/h})$$

4) 雾化剂输送管直径:

$$d_w = 18.8 \sqrt{\frac{V_w}{W_w}} \quad (\text{mm})$$

式中 V_w ——雾化剂消耗量(m³/h),

W_w ——雾化剂流速(m/s),

流速一般选取值:

饱和蒸汽: 20~30(m/s);

过热蒸汽: 30~60(m/s);

压缩空气: 15~20(m/s);

鼓风空气: 10~15(m/s);

5) 鼓风雾化时的喷口断面:

$$f_{\omega} = 196 \frac{V_{\omega}}{\mu \sqrt{\frac{P_{\omega}}{\rho_{\omega}}}} \quad (\text{mm}^2)$$

式中 V_{ω} ——雾化剂(空气)的流量(m^3/h);

P_{ω} ——喷口前雾化剂压力(Pa);

ρ_{ω} ——雾化剂的实际密度(kg/m^3);

μ ——流量系数。一般为0.6~0.8。

4. 油嘴常见故障分析

油嘴的常见故障分析列于表23-3-14。

表23-3-14 油嘴的常见故障分析

| 故 障 | 发 生 原 因 | 防 止 措 施 |
|---------|--|--|
| 点火不燃 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 无油 2. 配管中进了水、油泥, 粘度过大 3. 闪点过高 4. 烧嘴眼堵塞 5. 燃烧加热不够 6. 没有空气 7. 烟道堵塞 8. 一次空气的压力及空气量过大 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 在点火时, 确认有油流出, 才开始下一步操作 2. 务必设置油过滤器, 定期打开容器及配管, 将渣滓去掉 3. 点火用的火焰必须充足, 视情况准备点火器 4. 熄灭时, 要清扫烧嘴; 点火时要确认有油流出 5. 加热燃油, 直至喷雾粒子呈微细状态, 增加喷雾压力 6. 检查通风能力。强制通风时, 确定风门开度 7. 定期清扫吸入口、烟道、排气孔 8. 必须保持适当的喷雾空气流及油的密度 |
| 火焰不稳定 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 油中含有油泥、水及其他夹杂物 2. 粘度过大 3. 烧嘴喷口过大 4. 空气、油压不稳定 5. 油泵吸油不充足 6. 一次空气压力和空气量过大 7. 油配管中有空气 8. 油的加热温度过高 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 一定要设置油过滤器, 定期清除容器及配管中的渣滓 2. 提高加热温度, 增大喷雾压力 3. 设置适当的烧嘴用砖, 以利用辐射热 4. 设置减压阀、辅助阀等, 以保持适当的压力 5. 将泵的容量增大 6. 调节到适当的压力和流量 7. 在管中加装排气设施 8. 为防止产生气泡, 配管中加装排空气设施 |
| 喷射或燃烧不良 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 粘度过大 2. 燃料的预热温度不适宜 3. 喷射过头, 油压过大或不足 4. 空气不足 5. 排气孔面积不够 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 提高加热温度, 增大一次空气压力 2. 将喷雾粒子预热至呈微细状态 3. 很好保养烧嘴喷嘴 4. 根据通风力, 设置适当的空气导入孔 5. 针对燃烧情况, 检查、研究排气量和通风能力 |
| 燃料消耗过多 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 油质过轻 2. 油的发热值太小 3. 油内有水或其他杂物, 或空气非常不足 4. 燃烧器喷口过大 5. 油的加热温度过高 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 即使容量大, 因为热量不充足, 也要适当调节加热温度 2. 使用合适的油 3. 设置油加热器、过滤器等, 在操作中注意经常调节空气量 4. 防止过剩空气 5. 详细地了解油的特性后, 再决定加热的温度 |

(续)

| 故障 | 发生原因 | 防止措施 |
|-----------|--|---|
| 逆火 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 闪点过低 2. 有水及其他夹杂物 3. 油压过大 4. 一次空气压力不够 5. 排气孔堵塞 6. 配管中有空气 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 改换适当的烧嘴, 并且要改变喷射方法 2. 设置过滤器和排污、排空气等设施 3. 注意油粒的大小和喷出速度 4. 绝对禁止未燃粒子的喷射 5. 打开调节风门, 判断通风能力 6. 设置排放空气设施 |
| 烧嘴喷口处积炭结焦 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 粘度过大 2. 喷射不良 3. 油压过大 4. 预热温度过高 5. 油压不稳定 6. 空气不充足 7. 熄火后、烧嘴阀门泄漏 8. 油中的含碳量过高 9. 雾化不均匀 10. 喷火口处装配不良 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 将喷雾粒子弄成微细状态 2. 使用适量的一次空气 3. 调节油压使之适应雾化机构 4. 调节油量、空气量 5. 减压阀保持一定的压力, 将油加热至一定的粘度, 并注意油泵可能发生的故障 6. 增大一次空气量, 防止二次空气在熄火口砖内形成涡流 7. 尽可能将烧嘴内残油吹干净 8. 若能增大一次空气压力和气量, 则采用强制通风 9. 注意喷管是否堵塞及有无伤痕 10. 务必对准中心进行装配 |
| 炉膛处积炭结焦 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 粘度过大 2. 粘度过小 3. 油压过大 4. 一次空气压过大 5. 炉内温度低 6. 炉膛狭小 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 提高加热温度, 增大一次空气压 2. 采用低速喷射 3. 如果一次空气压、气量与油量调节不好, 就燃烧不起来 4. 喷射速度一加大, 着火距离就拉长 5. 要避免大面积的急速燃烧 6. 设计时燃烧量和烧嘴的喷射角度应与炉膛相配合 |
| 烧嘴喷口堵塞 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 有油泥及夹杂物 2. 喷口处积有碳黑, 甚至有碳黑结焦 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 过滤器、加热器等设施要齐备 2. 停炉熄火后必须清扫, 不要长时间使喷口暴露在炉内的辐射之中 |
| 产生黑烟 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 灰分量过大 2. 燃烧不良 3. 油中的重质成分多 4. 空气不足 5. 燃烧量过大 6. 进风不良 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 采用强制通风, 高温燃烧 2. 充分雾化, 喷雾要适当 3. 导入二次空气, 高温燃烧 4. 增大空气量, 以缩短火焰 5. 注意燃烧室的大小和油量之间的关系 6. 增大排气孔面积, 增大通风能力 |
| 过滤器被堵塞 | 被油泥、蜡分及其他夹杂物堵塞或油粘度过大, 油温过低 | 应根据油的性能设置过滤器 |
| 配管堵塞 | 被油泥、蜡分、铁锈、木片、废料及其他异物堵塞, 或是油的凝固粘度过大 | 增大配管直径, 以减少阻力, 将配管保温、设置过滤器等 |
| 油泵不吸油 | 油的温度低或过高, 粘度过大, 有油泥, 过滤器堵塞; 吸入管泄漏, 油泵漏油 | 调节油温, 清理油泥和过滤器; 有漏时应设法堵漏 |

第4节 煤气烧嘴

(一) 煤气烧嘴的分类和特性

烧嘴根据煤气燃烧的火焰状况，通常分为无焰烧嘴和有焰烧嘴两大类。

无焰烧嘴使煤气与空气预先在烧嘴内混合，然后喷出迅速燃烧。这类烧嘴特性是：煤气压力高，燃烧所需的过剩空气量少，燃烧快、火焰短、火焰温度高及具有空气自调性。但也有生产能力低、外形尺寸大、调节范围小，噪声大等缺点。

有焰烧嘴使煤气与空气全部或大部分在烧嘴外混合，边混合边燃烧。这类烧嘴的特点是，煤气压力较低、燃烧时所需过剩空气较大、火焰长、燃烧慢、火焰温度低、需增设空气管路系统和风机，且空气自调性差。

1. DR型低压煤气烧嘴

烧嘴的空气流经煤气喷头与烧嘴壳体之间带有倾斜导向叶片的空隙产生强烈旋转运动，使煤气与

空气强制混合。保证煤气与空气均匀混合的另一条件是应具有一定的气流速度，因而要求进烧嘴前的煤气压力为400~1200Pa，空气压力为2000~2500Pa。

DR型煤气烧嘴可燃用发生炉煤气、混合煤气及焦炉煤气。其性能数据见表23-4-1，烧嘴结构和尺寸见表23-4-2。

2. 高压喷射式烧嘴

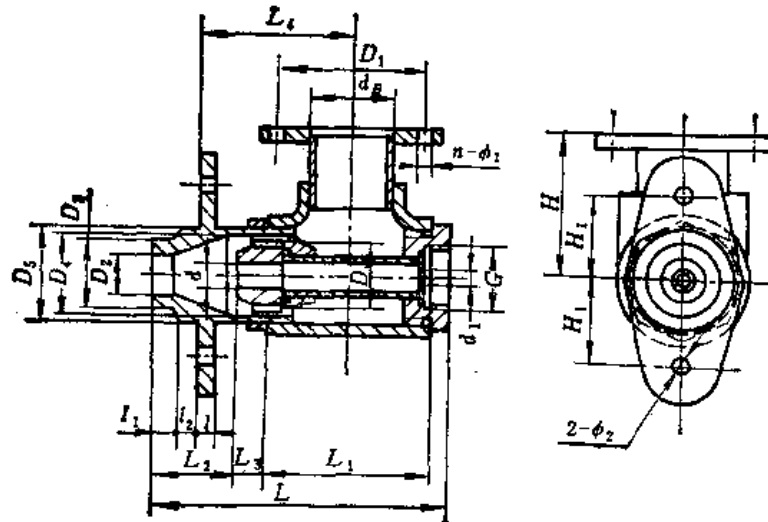
烧嘴根据喷射原理，利用煤气喷头喷出的高速气流将燃烧所需的空气量按比例吸入，可以不装设风机及空气管道系统（采用预热器，系统阻力大于500Pa时除外）。

它的特点是：煤气喷射装置具有自动调节能力，即当煤气压力变化时仍能按比例吸入燃烧所需空气量；空气过剩系数最小， $\alpha=1.03\sim 1.05$ ；煤气与空气混合均匀，因而火焰短、燃烧温度高、容易获得高温燃烧区，对燃用发热量低的煤气最为有利；操作简便，造价低廉。它要求煤气发热量及重度不能有明显变化，适用于喷嘴煤气压力大于10kPa，煤气空气预热温度不高于500℃，调节比可

表23-4-1 DR型煤气烧嘴性能

| 型号 | | 低热值 $Q_{\text{低}}$ (kJ/m ³) | | | |
|------|-----------------------|---|-------------------------------|------|------|
| | | 16750 | 8370 | 6700 | 5440 |
| DR-3 | d (mm) | 15 | 22 | 24 | 26 |
| | D (mm) | 58 | 62 | 63 | 64 |
| | G (in) | 1 ¹ / ₂ | 2 | 2 | 2 |
| | V (m ³ /h) | 25 | 45 | 56 | 60 |
| DR-4 | d (mm) | 21 | 30 | 34 | 36 |
| | D (mm) | 75 | 80 | 82 | 84 |
| | G (in) | 2 | 2 ¹ / ₂ | 3 | 3 |
| | V (m ³ /h) | 50 | 90 | 110 | 120 |
| DR-5 | d (mm) | 28 | 40 | 45 | 48 |
| | D (mm) | 80 | 98 | 102 | 105 |
| | G (in) | 2 | 3 | 4 | 4 |
| | V (m ³ /h) | 85 | 150 | 180 | 200 |
| DR-6 | d (mm) | 33 | 50 | 55 | 58 |
| | D (mm) | 100 | 110 | 113 | 115 |
| | G (in) | 2 ¹ / ₂ | 3 | 4 | 4 |
| | V (m ³ /h) | 125 | 230 | 275 | 300 |
| DR-7 | d (mm) | 42 | 61 | 68.7 | 73 |
| | D (mm) | 121 | 128 | 133 | 135 |
| | G (in) | 3 | 4 | 5 | 5 |
| | V (m ³ /h) | 190 | 350 | 412 | 450 |

表23-4-2 DR型燃气喷嘴结构和尺寸



| 代号 | 型号 | DR-3 | DR-4 | DR-5 | DR-6 | DR-7 |
|----------|----|------------------|-------|-------|-------|-------|
| d_B | | $2\frac{1}{2}''$ | $3''$ | $4''$ | $4''$ | $5''$ |
| D_1 | | 130 | 150 | 170 | 170 | 200 |
| L | | 278 | 325 | 390 | 440 | 505 |
| L_1 | | 150 | 170 | 210 | 240 | 270 |
| L_2 | | 80 | 90 | 70 | 100 | 110 |
| L_3 | | 23 | 40 | 80 | 75 | 90 |
| L_4 | | 133 | 170 | 210 | 250 | 335 |
| H | | 130 | 145 | 165 | 180 | 210 |
| H_1 | | 75 | 85 | 100 | 115 | 130 |
| l | | 16 | 16 | 16 | 16 | 20 |
| l_1 | | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| l_2 | | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| n | | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 |
| ϕ_1 | | 14 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| ϕ_2 | | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| D_2 | | 44 | 62 | 78 | 96 | 115 |
| D_3 | | 75 | 95 | 110 | 125 | 145 |
| D_4 | | 86 | 110 | 120 | 135 | 155 |
| D_5 | | 75 | 100 | 125 | 145 | 170 |

达1:4。

表23-4-3和表23-4-4分别为冷空气冷煤气和热空气热煤气高压烧嘴的结构和尺寸。

3. 煤气平焰烧嘴

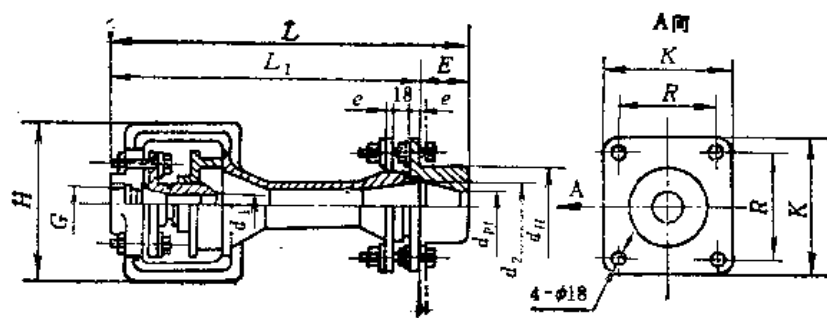
煤气平焰烧嘴是我国近几年生产使用在工业炉上的一种比较先进的燃烧装置。它具有性能良好、加热速度快、氧化烧损少、炉温均匀、燃烧稳定、结构简单、使用方便的辐射加热装置。鼓风式煤气平焰烧嘴有城市煤气和发生炉煤气两种平焰烧嘴，其技术性能见表23-4-5和表23-4-6。

煤气平焰烧嘴是由风壳、旋风嘴、煤气管、烧嘴砖、安装板等主要部件构成。其结构和尺寸见表23-4-7。

4. LYP型引射式平焰烧嘴

引射式平焰烧嘴，是利用高压煤气本身的喷射功能，凭借引射器来吸入燃烧所需全部的(冷或热)空气量，形成可燃混合气体，经旋流器变为旋转气流，通过烧嘴砖，实现稳定的预混—扩散的平焰燃烧。它的特点是不需鼓风实现平焰燃烧，增大火焰黑度，强化了传热，达到了升温快、炉温高和温度

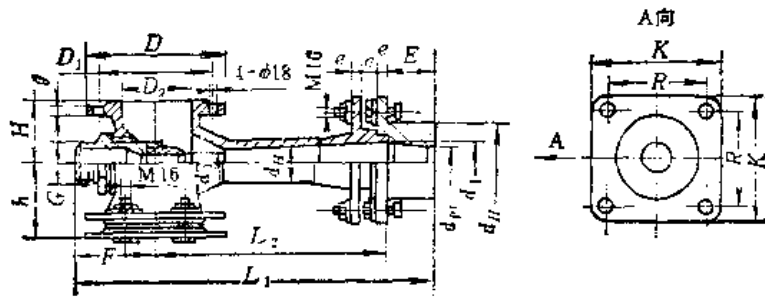
表23-4-3 冷空气冷煤气高压烧嘴结构和尺寸



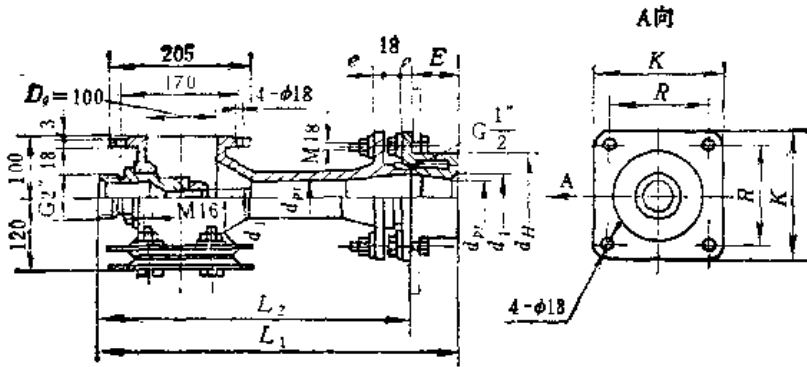
(mm)

| d_{p1} | G | d_1 | d_2 | d_3 | L | L_1 | H | E | e | K | R |
|----------|--------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-----|----|-----|-----|
| 21 | 1" | 26 | 21 | 70 | 326 | 296 | 114 | 30 | 14 | 140 | 100 |
| 24 | | 30 | 24 | | 348 | 314 | | 34 | | | |
| 28 | 1 1/4" | 35 | 28 | 80 | 404 | 365 | 150 | 39 | 16 | 150 | 110 |
| 32 | 1 1/2" | 40 | 32 | | 433 | 388 | | 45 | | | |
| 37 | | 46 | 37 | 473 | 423 | 50 | 165 | 125 | | | |
| 42 | 2" | 52 | 42 | 100 | 495 | 435 | 200 | 60 | 18 | 185 | 145 |
| 48 | | 60 | 48 | 115 | 540 | 470 | | 70 | | | |
| 56 | | 70 | 56 | 130 | 595 | 515 | | 80 | | | |

表23-4-4 热空气热煤气高压烧嘴结构和尺寸



a) 不带水冷喷头



b) 带水冷喷头

| 代号 规格 $d_{p,t}$ | 不带水冷喷头的高压喷射式烧嘴结构尺寸 (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|--------|----------------|----|----|----|-----|-----|-----|----------------|----------------|-----|-----|
| | D | D ₁ | D _K | d _H | G | d ₁ | E | e | g | F | H | h | L ₁ | L ₂ | K | P |
| 32 | 160 | 130 | 70 | 80 | 1 1/2" | 40 | 45 | 16 | 17 | 95 | 85 | 105 | 380 | 240 | 140 | 100 |
| 37 | 185 | 150 | 80 | 90 | 1 1/2" | 46 | 50 | 16 | 17 | 105 | 90 | 110 | 450 | 295 | 150 | 110 |
| 42 | 205 | 170 | 100 | 100 | 2" | 52 | 60 | 18 | 18 | 116 | 100 | 120 | 506 | 330 | 185 | 145 |
| 48 | 205 | 170 | 100 | 115 | 2" | 60 | 70 | 18 | 18 | 116 | 100 | 120 | 550 | 364 | 185 | 145 |

带水冷喷头高压喷射式烧嘴结构尺寸 (mm)

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|--|-----|--|----|----|--|--|--|--|--|--|-----|-----|-----|-----|
| 42 | | | 140 | | 52 | 60 | | | | | | | 506 | 330 | 185 | 145 |
| 48 | | | 140 | | 65 | 70 | | | | | | | 550 | 364 | 185 | 145 |
| 56 | | | 160 | | 70 | 80 | | | | | | | 600 | 404 | 195 | 155 |

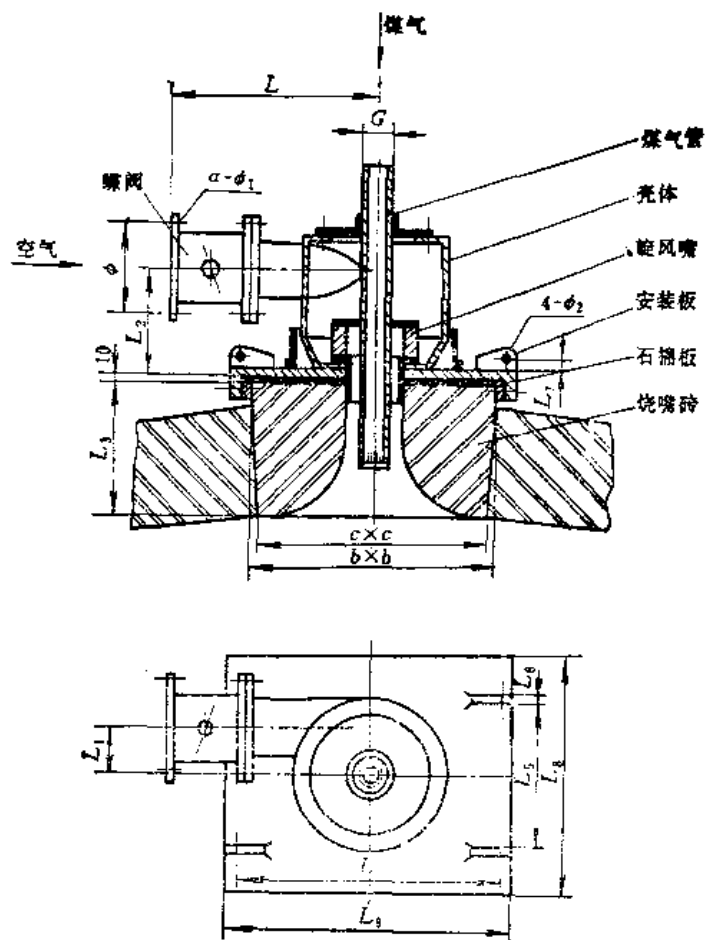
表23-4-5 发生炉煤气平焰烧嘴的性能

| 型号 | SL-100 | SL-200 | SL-300 | SL-400 |
|---------------------------|--------|--------|--------|---------|
| 项目 | | | | |
| 最大燃气量 (m ³ /h) | 17~100 | 36~200 | 70~300 | 100~400 |
| 空气压力 (kPa) | 7 | | | |
| 煤气压力 (kPa) | 2.5 | | | |
| 火盘直径 (m) | ~0.6 | ~0.8 | ~0.95 | ~1.2 |
| 火盘厚度 (mm) | ~70 | ~95 | ~110 | ~125 |

表23-4-6 城市煤气平焰烧嘴的性能

| 项目 \ 型号 | QPY-50 | QPY-100 | QPY-150 | QPY-200 | QPY-300 |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 最大燃气量 (m ³ /h) | 30~50 | 70~100 | 100~150 | 130~200 | 200~300 |
| 空气压力 (kPa) | 2.5~7 | | | | |
| 煤气压力 (kPa) | 1~2.5 | | | | |
| 火盘直径 (m) | ~0.6 | ~0.8 | ~1.2 | ~1.3 | ~1.5 |
| 火盘厚度 (mm) | ~70 | ~100 | ~120 | ~130 | ~150 |

表23-4-7 煤气平焰烧嘴结构和尺寸



(续)

| 名称型号 尺寸代号 | 城市煤气平焰烧嘴 | | | | | 发生炉煤气平焰烧嘴 | | | |
|--------------|-------------------|-------------------|---------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|---------|
| | QPY-50 | QPY-100 | QPY-150 | QPY-200 | QPY-300 | SL-100 | SL-200 | SL-300 | SL-400 |
| L | 250 | 300 | 370 | 370 | 510 | 250 | 300 | 370 | 370 |
| L_1 | 50 | 69 | 74 | 89 | 96 | 50 | 69 | 74 | 89 |
| L_2 | 159 | 210 | 200 | 200 | 187.5 | 159 | 210 | 200 | 200 |
| L_3 | 150 | 300 | 300 | 300 | 300 | 150 | 300 | 300 | 300 |
| L_4 | 416 | 554 | 554 | 554 | 554 | 416 | 554 | 554 | 554 |
| L_5 | 213 | 280 | 280 | 280 | 280 | 213 | 280 | 280 | 280 |
| L_6 | 6 | 15 | 15 | 15 | 15 | 6 | 15 | 15 | 15 |
| L_7 | 14 | 26 | 26 | 26 | 26 | 14 | 26 | 26 | 26 |
| L_8 | 345 | 470 | 470 | 470 | 470 | 345 | 470 | 470 | 470 |
| L_9 | 388 | 590 | 590 | 590 | 590 | 388 | 590 | 590 | 590 |
| G | 1 $\frac{1}{4}$ " | 1 $\frac{1}{2}$ " | 2" | 2" | 2 $\frac{1}{2}$ " | 1 $\frac{1}{4}$ " | 1 $\frac{1}{2}$ " | 2" | 2" |
| ϕ | 130 | 150 | 170 | 170 | 225 | 130 | 150 | 170 | 170 |
| $a-\phi_1$ | 4-14 | 4-18 | 4-18 | 4-18 | 8-18 | 4-14 | 4-18 | 4-18 | 4-18 |
| ϕ_2 | 10 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 10 | 12.5 | 12.5 | 12.5 |
| $c \times c$ | 270×345 | 420×464 | 420×464 | 420×464 | 420×464 | 270×345 | 420×464 | 420×464 | 420×465 |
| $b \times b$ | 330×345 | 500×464 | 500×464 | 500×464 | 500×464 | 330×345 | 500×464 | 500×464 | 500×464 |

均匀性目的。煤气、空气能自动调节，空气过剩系数达到最佳值，实现稳定平焰燃烧，节约燃料，经济效益高。

烧嘴是使用燃料热值为4820~6490kJ/m³，压力为6~15kPa的干净的发生炉煤气。它适用于加热炉和热处理炉上。其结构、技术性能及主要尺寸见表23-4-8。

5. FR型高速调温烧嘴

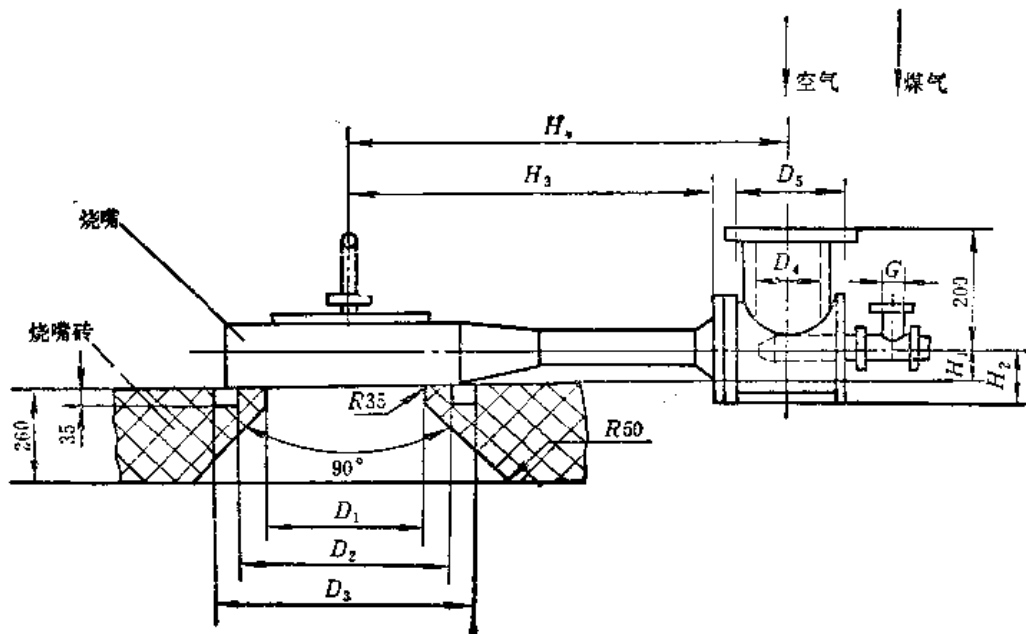
烧嘴的燃烧气体出口速度可达100m/s以上，通过渗入二次空气使出口的燃烧气体温度降低到与工件加热温度相接近的温度。因此它可强化对流传

热，促使炉内气流循环，均匀炉温降低火焰与工件间温度差，对提高炉子生产率，提高工件加热质量和节约能源有利。

FR烧嘴使用发生炉清洗煤气，煤气由前端中心管送入并在管端前设一挡盘，使煤气沿挡盘周边流出，在挡盘后形成负压旋流区，促使空气煤气连续混合并稳定地燃烧，燃烧用的空气由一根供风管接入烧嘴，通过燃烧筒上的两排小孔喷入燃烧筒内，保证煤气的混合燃烧，并达到调温的作用。烧嘴的性能列于表23-4-9。

FR型烧嘴结构和尺寸见表23-4-10。

表23-4-8 LYP型平焰烧嘴结构、技术性能和尺寸



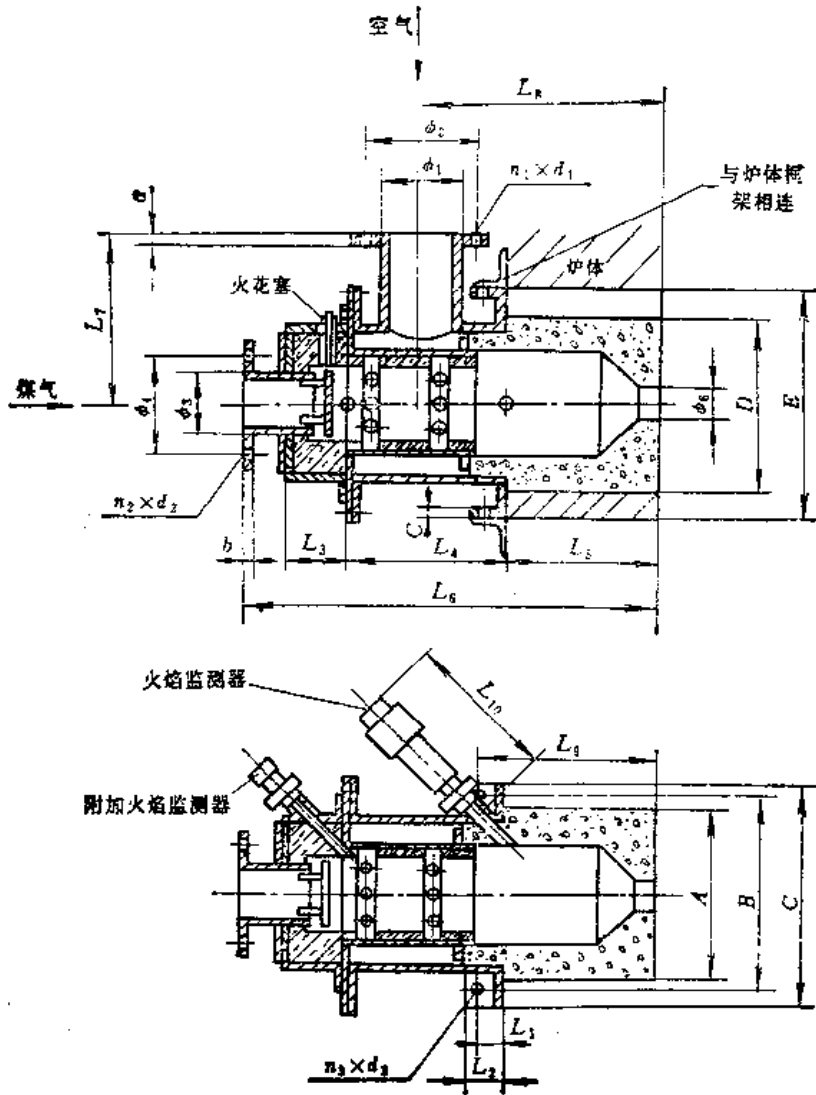
(mm)

| 项目 | 烧嘴能力 ($\times 10^4 \text{kJ/h}$) | | 煤气 流量 (m^3/h) | 喷嘴前煤 气压力 (kPa) | 主 要 尺 寸 | | | | | | | | | |
|--------|---------------------------------------|---------|---------------------------------------|----------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | 额定值 | 波动范围 | | | D_1 | D_2 | D_3 | D_4 | D_5 | H_1 | H_2 | H_3 | H_4 | G |
| 型号 | | | | | | | | | | | | | | |
| LYP-6 | 25 | 20~30 | 45 | 6~20 | 115 | 220 | 270 | 112 | 170 | 51.5 | 103 | 530 | 645 | 2" |
| LYP-10 | 40 | 30~50 | 74 | 6~20 | 130 | 235 | 285 | 112 | 170 | 53.5 | 103 | 550 | 665 | 2" |
| LYP-20 | 85 | 70~100 | 148 | 6~20 | 172 | 315 | 365 | 150 | 225 | 61 | 130 | 660 | 773 | 2" |
| LYP-30 | 130 | 110~150 | 220 | 6~20 | 220 | 395 | 445 | 182 | 255 | 69 | 135 | 750 | 890 | 3" |
| LYP-40 | 170 | 150~190 | 300 | 6~20 | 240 | 455 | 505 | 212 | 280 | 75 | 150 | 845 | 992 | 3" |
| LYP-50 | 210 | 190~230 | 370 | 6~20 | 270 | 475 | 525 | 262 | 335 | 78 | 175 | 905 | 1082 | 3" |

表23-4-9 FR型烧嘴的性能

| | | |
|----------|--------------------|-----------|
| 煤气低发热值 | kJ/m^3 | 5650 |
| 喷嘴前煤气压力 | Pa | 3500~4500 |
| 喷嘴前空气压力 | Pa | 4000~5000 |
| 出口气体最高流速 | m/s | 140 |
| 出口气体温度 | $^{\circ}\text{C}$ | 200~1200 |
| 调节比 | | 1:15 |
| 最低空气过剩系数 | | 1.02~1.05 |

表 23-4-10 FR型烧嘴结构和尺寸



(mm)

| 代号 | 燃气量 V (m³/h) | φ ₁ | φ ₂ | φ ₃ | φ ₄ | φ ₅ | L ₁ | L ₂ | L ₃ | L ₄ | L ₅ | L ₆ | L ₇ | L ₈ | L ₉ | L ₁₀ |
|------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| FR-1 | 60 | 2 1/2" | 130 | 2" | 110 | 40 | 33 | 55 | 90 | 195 | 160 | 515 | 210 | 275 | 205 | 235 |
| FR-2 | 120 | 4" | 170 | 3" | 150 | 55 | 33 | 55 | 90 | 240 | 240 | 635 | 250 | 370 | 280 | 235 |
| FR-3 | 200 | 5" | 200 | 4" | 170 | 75 | 35 | 60 | 95 | 280 | 295 | 735 | 280 | 440 | 335 | 235 |
| FR-4 | 300 | 6" | 225 | 5" | 200 | 90 | 35 | 60 | 100 | 295 | 335 | 795 | 300 | 490 | 375 | 235 |

| 代号 | A | B | C | D | E | a | b | c | n ₁ | d ₁ | n ₂ | d ₂ | n ₃ | d ₃ | 重量 (kg) |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|
| FR-1 | 230 | 255 | 305 | 230 | 305 | 10 | 12 | 14 | 4 | 14 | 4 | 12 | 4 | 18 | 67.4 |
| FR-2 | 270 | 285 | 345 | 270 | 345 | 12 | 14 | 14 | 4 | 18 | 4 | 18 | 4 | 18 | 104.6 |
| FR-3 | 330 | 350 | 410 | 330 | 410 | 12 | 14 | 16 | 8 | 18 | 4 | 18 | 4 | 22 | 149.9 |
| FR-4 | 350 | 365 | 425 | 350 | 425 | 12 | 14 | 16 | 8 | 18 | 8 | 18 | 4 | 22 | 175.8 |

(二) 煤气烧嘴的安装与维修

1. 煤气烧嘴的安装

1) 烧嘴前的阀门在安装前要检查阀杆的灵活性和阀门的密封性, 检查方法示于图23-4-1。压力为20000Pa, 15分钟下降不超过150Pa可以认为密封性合格。

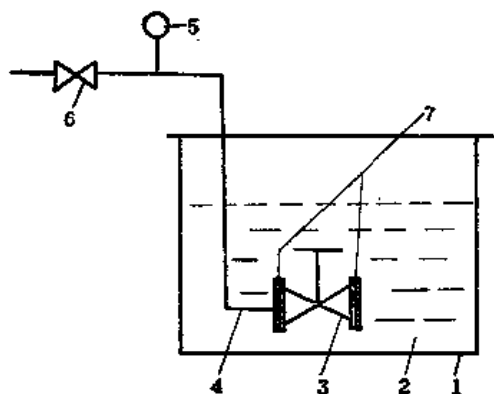


图23-4-1 阀门的密封性试验简图

1—容器 2—水 3—阀门 4—压缩空气管
5—压力表 6—截止阀 7—橡皮垫

2) 安装阀门时, 阀门与法兰盘之间必须垫有橡胶石棉垫。垫的大小要合适, 垫的两侧涂上二硫化钼润滑脂 (或黄油)。

3) 阀门安装时先用螺钉穿在煤气管路一侧的法兰上, 再与烧嘴上的法兰相连接。然后依次调整紧固螺钉。

4) 烧嘴前要装有测压支管和阀门, 测压支管应装在烧嘴前的直管上, 以便测量煤气的压力。

5) 喷嘴与喉管要同心。保证煤气喷入喉管时不外溢, 并与空气混合好 (见图23-4-2)。

6) 高压喷射式烧嘴一次空气调节阀在喷嘴前应调节灵活。

7) 高压喷射式烧嘴的喷嘴伸进喉管的尺寸要

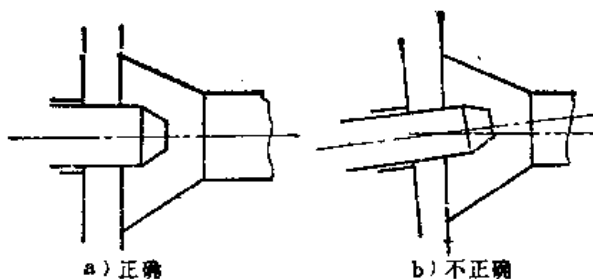


图23-4-2 喷嘴与喉管同心示意图

合适; 伸进太长使空气通路截面减小, 阻力增大, 空气就不能充分吸入, 造成燃烧不完全。伸入太短使喷射气体在混合管口处抽力减小, 使吸入空气减少, 燃烧也不完全 (图23-4-3)。

8) D/d 值要合适: 喷头 D 与喷嘴 d 在安装时要选择合适, 保证燃烧完全, 使火焰短而有力。

9) 喷头与扩散管的连接在法兰处要垫石棉垫, 垫的大小要合适, 连接处4个螺钉一定要拧紧。

10) 要根据烧嘴型号选择配套的烧嘴砖, 以提高烧嘴的使用寿命。

11) 安装烧嘴时要与烧嘴砖同心, 这能提高烧嘴砖的使用寿命, 也提高烧嘴的使用寿命。烧嘴安装时必须紧紧贴在烧嘴砖上, 保证烧嘴砖间的间隙最小, 这对于提高烧嘴砖的寿命是非常必要的。

12) 低压烧嘴的喷嘴与混合室应同心, 以保证煤气、空气混合好。

13) 低压烧嘴安装时必须先固定在烧嘴平板上, 并垫好石棉垫, 防止从此逸出。然后再装阀门、煤气、空气管道, 以免连接时法兰孔对不上。

14) 低压烧嘴前的空气调节阀要求调节灵, 最好是用蝶阀。

2. 煤气烧嘴的维修

烧嘴的修理内容及修理方法见表23-4-11。

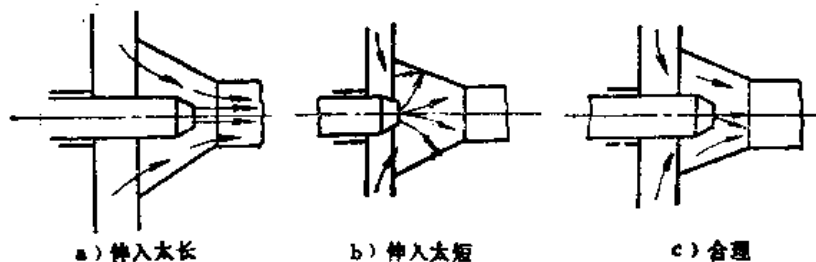


图23-4-3 喉管伸入位置

表23-4-11 烧嘴的修理内容和方法

| 序号 | 修 理 内 容 | 修 理 方 法 | |
|----|--|---|-----------------------|
| | | 无 焰 烧 嘴 | 有 焰 烧 嘴 |
| 1 | 喷嘴 1) 喷嘴堵塞 2) 丝扣碰坏或碰坏 | 1) 清除杂物(用铁丝捅、气焊烤或清洗) 2) 重新车丝扣或更换 | 同无焰烧嘴 |
| 2 | 混合器 1) 混合器堵塞 2) 产生裂纹 | 1) 清除杂物(轻微时用铁钩子刮, 严重时用气焊烤, 绝不能用大锤敲) 2) 有备件时及时更换, 无备件时用铸件焊条焊接 | 同无焰烧嘴 |
| 3 | 喷头 1) 喷头被烧大 2) 喷头堵塞 3) 喷头烧裂 | 1) 更换喷头 2) 清除杂物, 高温炉清除氧化皮和杂物, 低温炉清理煤焦油 3) 及时更换 | 喷头烧裂时可用铸铁焊条焊, 其余同无焰烧嘴 |
| 4 | 耳子 1) 在拆装时耳子被碰坏 2) 烧嘴安装错位, 不同心时被拧裂 | 1) 用铸铁焊条焊接时要保证喷嘴与喉管同心 2) 有备件时也可以更换, 调整各螺钉使其同心 | 同无焰烧嘴 |
| 5 | 烧嘴平板由于烧嘴砖的严重烧损, 火焰直接烧炉壳和烧嘴平板, 使其烧裂或变形 | 更换 | 同无焰烧嘴 |
| 6 | 螺钉严重烧损、螺纹脱扣和变形 | 烧损和脱扣的螺钉要更换, 变形的可以矫直。烧嘴与烧嘴平板连接的螺钉要焊在烧嘴平板的反面上 | 同无焰烧嘴 |
| 7 | 节流圈堵 | | 拆下清洗 |
| 8 | 弯头丝扣被烧损或堵塞 | 更换弯头或清洗 | 更换弯头或打开旋塞捅干净 |
| 9 | 螺钉烧损、螺纹脱扣 | | 扩孔攻丝, 换大螺钉 |

3. 煤气烧嘴的验算

煤气炉在使用过程中, 原始条件常常发生变化(如煤气的热值、压力、煤气与空气的预热温度等), 因而烧嘴的性能也要求相应发生变化。为了保证一定的加热要求, 通常都要对原煤气烧嘴重新验算。低压煤气烧嘴可用表23-4-12公式来核算, 高压煤气烧嘴可用表23-4-13公式来进行验算。

煤气烧嘴核算时的原始数据包括有: 煤气发热量 $Q_m(\text{kJ}/\text{m}^3)$ 、煤气密度 (kg/m^3) 、燃烧器前的煤

气温度 $t_{\text{煤}}(^{\circ}\text{C})$ 、燃烧器前的空气温度 $t_{\text{空}}(^{\circ}\text{C})$ 、燃烧器前煤气压力 $P_{\text{煤}}(\text{Pa})$ 、每个烧嘴能量 $V_{\text{煤}}(\text{m}^3/\text{h})$ 。

使用热煤气、热空气的高压喷射式烧嘴时, 计算可变换各参数为实际温度下的相应值, 代入表中公式进行概略计算。

即: 烧嘴能量: $V_{\text{煤}} = V_{\text{煤}}(1 + a t_{\text{煤}})$

煤气密度: $\rho_{\text{煤}} = \frac{\gamma_{\text{煤}}}{1 + a t_{\text{煤}}}$

喷射比(体积)

$$m = (1 + L_n) \frac{273 + t_{混}}{273 + t_{煤}}$$

式中 $t_{混}$ 、 $t_{煤}$ ——混合气及煤气的温度(°C)

4. 煤气烧嘴常见故障分析

烧嘴的常见故障分析列于表23-4-14。

表23-4-12 低压煤气烧嘴验算

| 序号 | 项 目 | 符号 | 计 算 公 式 | 计算数据 | 单 位 |
|----|---------------------------------------|------------|---|------------------------------------|-----------|
| 1 | 单位煤气所需 空气消耗量 ($\alpha = 1.1$) | L_n | $L_n = \alpha L_0$ (L_0 见表23-1-10) | | m^3/m^3 |
| 2 | 空气量 | $V_{空}$ | $V_{空} = V_{煤} L_n / 3600$ | | m^3/s |
| 3 | 混合气体量 | $V_{混}$ | $V_{混} = V_{煤} (1 + L_n) / 3600$ | | m^3/s |
| 4 | 混合气体温度 | $t_{混}$ | $t_{混} = (t_{煤} + L_n t_{空}) / (1 + L_n)$ | | °C |
| 5 | 混合气体密度 | $\rho_{混}$ | $\rho_{混} = \frac{\gamma_{煤} + 1.293 L_n}{(1 + L_n)(1 + \alpha t_{混})}$ | | kg/m^3 |
| 6 | 混合气体喷口截面 | $F_{混}$ | $F_{混} = \frac{V_{混}}{W_{混}} (1 + \alpha t_{混})$ 预热时 $W_{混} = 20 \sim 50 m/s$ 不预热时 $W_{混} = 10 \sim 15 m/s$ | $W_{混}$ —混合气体流速 (m/s) | m^2 |
| 7 | 混合气体喷口直径 | $d_{混}$ | $d_{混} = 1130 \sqrt{F_{混}}$ | | mm |
| 8 | 燃烧器通道内反压力 | h | $h = 50 \sim 100$ | | Pa |
| 9 | 混合气体出口动压 | $h_{混}$ | $h_{混} = \xi_{混} \frac{W_{混}^2}{2} \rho_{混} + h$ | 出口阻力系数 $\xi_{混} = 1.2 \sim 1.3$ | Pa |
| 10 | 煤气喷口处压力 | $h_{煤}$ | $h_{煤} = P_{混} / \xi_{煤}$ | 煤气喷口阻力系数 $\xi_{煤} = 0.9$ | Pa |
| 11 | 煤气出口速度 | $W_{煤}$ | $W_{煤} = 0.9 \sqrt{\frac{2h_{煤}(1 + \alpha t_{混})}{\rho_{煤}}}$ | $\rho_{煤}$ —煤气密度 (kg/m^3) | m/s |
| 12 | 煤气喷口面积 | $F_{煤}$ | $F_{煤} = \frac{V_{煤}}{W_{煤}} (1 + \alpha t_{混})$ | | m^2 |
| 13 | 煤气喷口直径 | $d_{煤}$ | $d_{煤} = 1130 \sqrt{F_{煤}}$ | | mm |
| 14 | 空气喷口速度 | $W_{空}$ | $W_{空} = 1.2 W_{煤}$ | | m/s |
| 15 | 燃烧器前空气压力 | $P_{空}$ | $P_{空} = \xi_{空} \frac{W_{空}^2}{2} + h_{混}$ | $\xi_{空}$ —空气喷口阻 力系数 | Pa |
| 16 | 空气环喷口面积 | $F_{空}$ | $F_{空} = \frac{V_{空}}{W_{空}} \times (1 + \alpha t_{混})$ | | m^2 |
| 17 | 煤气进口管道直径 | $D_{煤}$ | $D_{煤} = \sqrt{\frac{V_{煤}}{W_{煤}}} \times 1130$ | | mm |
| 18 | 空气进口管道直径 | $D_{空}$ | $D_{空} = \sqrt{\frac{V_{空}}{W_{空}}} \times 1130$ | $W_{空} = 10 \sim 30$ (m/s) | |

表23-4-13 冷气的高压喷射式烧嘴验算

| 序号 | 项 目 | 符 号 | 计 算 公 式 | 计 算 数 据 | 单 位 |
|----|---------------------------------------|----------------|---|---|-------------------------|
| 1 | 单位煤气所 需空气耗量 ($\alpha = 1.05$) | L_a | $Q_{\text{煤}} 900; 1200; 1400; 1600; 1800; 2000$ $L_a = 0.755; 1.10; 1.33; 1.52; 1.76; 1.98$ | $L_a = \alpha L_0$ | m^3/m^3 |
| 2 | 煤气喷嘴面积 | $F_{\text{煤}}$ | $F_{\text{煤}} = \frac{V_{\text{煤}}}{3600\mu\sqrt{2P_{\text{煤}}/\rho_{\text{煤}}}}$ $\mu = 0.85$ | $\gamma_{\text{煤}}$ —煤气密度 (kg/m^3) $P_{\text{煤}}$ —喷嘴压力(Pa) | m^2 |
| 3 | 煤气喷嘴直径 | $d_{\text{煤}}$ | $d_{\text{煤}} = 17.2\sqrt{\frac{V_{\text{煤}}}{P_{\text{煤}}/\rho_{\text{煤}}}}$ | | mm |
| 4 | 体积喷射比 | m | $m = 1 + L_a$ | | |
| 5 | 质量喷射比 | n | $n = 1 + L_a \frac{\rho_{\text{空}}}{\rho_{\text{煤}}}$ | $\rho_{\text{空}}$ —空气密度 (kg/m^3) | |
| 6 | 烧嘴内部阻力系数 | K | $K = 1.07 \sim 1.15$ | | |
| 7 | \sqrt{Kmn} 值 ($\alpha = 1.1$ 时) | | $Q_{\text{煤}} 1000 1200 1300 1400 1500 1600 1700$ $\sqrt{Kmn} 1.92 2.22 2.38 2.5 2.63 2.77 2.94$ | | |
| 8 | 烧嘴喷头直径 | $d_{\text{喷}}$ | $d_{\text{喷}} = d_{\text{煤}}\sqrt{Kmn}$ | | mm |

表23-4-14 煤气烧嘴常见故障分析

| 序号 | 故 障 现 象 | 产 生 原 因 | 排 除 方 法 |
|----|-----------------------------|--|--|
| 1 | 回火：火焰缩进烧嘴内燃烧，混合管发红，烧嘴发出异常声音 | 1) 喷头被烧损 2) 喷射能力降低 3) 煤气压力太低 4) D/d 值太大 | 1) 及时更换喷头 2) 关闭煤气阀门，让喷嘴冷却 3) 注意提高煤气压力 4) D/d 值选择要合适 |
| 2 | 脱火：火焰离开喷头在空间燃烧 | 1) 混合物喷出速度大于混合物燃烧速度 2) 一次空气过剩系数太大 | 1) 关小空气阀 2) 点炉时轻轻开启煤气阀门 |
| 3 | 空气管道，回火爆炸 | 1) 低压烧嘴在使用时没开风门 2) 煤气流入空气管道与空气混合 | 打开鼓风机 |
| 4 | 点不着火，燃烧不稳定 | 1) 燃烧结构不合理，空气不足 2) D/d 值不合理 3) 煤气压力低 | 1) 安装时注意喷嘴的伸进尺寸，而且混合室要足够大 2) D/d 值要合理 3) 低压烧嘴可取消节流孔板 |
| 5 | 不完全燃烧，火焰软而无力 | 1) 一次空气系数太小 2) 烧嘴结构不合理 3) D/d 值不合理 | 1) 增加空气 2) 合理烧嘴结构 3) D/d 值要合理 |
| 6 | 漏气 | 1) 铸件有裂纹或疏松 2) 连接处垫片磨损，或垫太薄或没涂油 3) 螺纹密封烧坏 | 1) 更换铸件 2) 换垫并两面涂油 3) 螺纹处用密封胶布拧紧 |

(三) 油、煤气自身预热烧嘴

我国自行研制的油、煤气的自身预热烧嘴，已在全国十余个省市几十个工厂的 200 多台炉子使用。生产实践中证明，这种烧嘴的较先进的燃烧器，可用于 800~1400℃ 燃油或燃气的锻造、高温退火和熔化等工业炉窑，能使助燃风预热到 500℃ 左右，比一般烧嘴节约燃料 20%~30%。

1. 自身预热烧嘴的结构原理

自身预热烧嘴（图 23-4-4）是利用废烟气中的大量余热预热助燃风，回收物理热，将喷嘴、换热器和排烟装置有机地组合为一体，并充分利用了旋流雾化、空气附面冷却和流量自动补偿等燃烧技术，克服一般烧嘴出口处结焦的缺点，延长了烧嘴使用寿命。经喷嘴雾化的燃油微粒或燃气，与热空气混合燃烧，并高速旋转喷入炉膛。这样使得炉内燃烧状况、传热及炉温均匀性都得到了有效的改善，从而获得明显的节能效果，并有效地减少了环境污染。

2. 自身预热烧嘴的技术性能

自身预热烧嘴的技术性能列于表 23-4-15。

3. 自身预热烧嘴的常见故障分析

自身预热烧嘴的常见故障分析列于表 23-4-16。

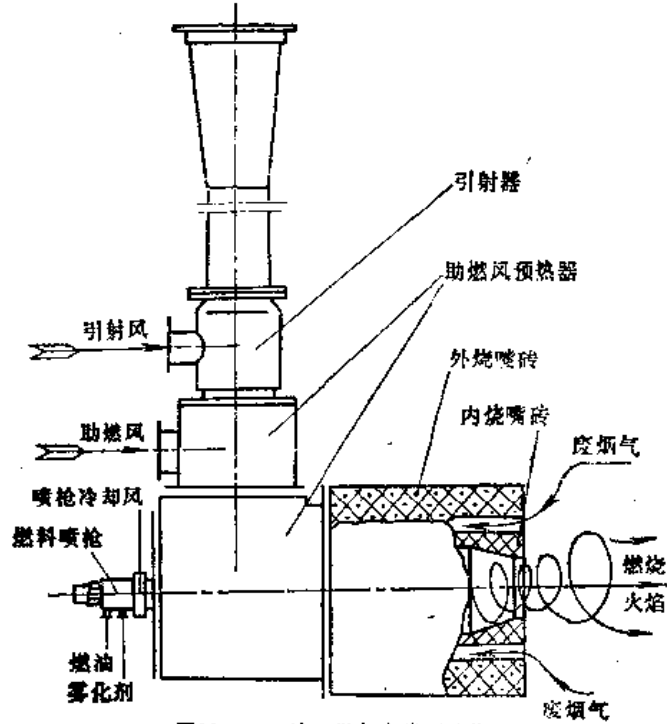


图 23-4-4 油、煤气自身预热烧嘴

表 23-4-15 自身预热烧嘴的性能

| 烧嘴型号 | 能 力 | | 烧嘴前压力 | | 雾化用蒸汽 或压缩空气 压 力 (MPa) | 配用风机压力 (Pa) |
|--|---------------------|--|-------------|--------------------------|--------------------------------|----------------|
| | kJ/h | 燃油 (kg/h) 燃气 (m ³ /h) | 燃油 (MPa) | 燃气 (kPa) | | |
| ZYR-I-20 TQR-I-25 JQR-I-50 FQR-I-150 DFQR-I-150 | 85×10 ⁴ | 燃油 20 天然气 25 焦炉煤气 50 发生炉煤气 150 发生炉煤气 150 | | ≥50 ≥30 ≥8 ≥0.6 | ≥0.5 | ≥8000 |
| ZYR-I-40 TQR-I-50 JQR-I-100 FQR-I-300 DFQR-I-300 | 170×10 ⁴ | 燃油 40 天然气 50 焦炉煤气 100 发生炉煤气 300 | ≥0.25 | ≥50 ≥30 ≥8 ≥0.6 | ≥0.5 | |
| ZYR-I-60 TQR-I-75 JQR-I-150 FQR-I-450 DFQR-I-450 | 250×10 ⁴ | 燃油 60 天然气 75 焦炉煤气 150 发生炉煤气 450 | ≥0.25 | ≥50 ≥30 ≥8 ≥0.6 | ≥0.5 | |

表23-4-16 自身预热烧嘴的常见故障分析

| 序号 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|-------------------------|---|--|
| 1 | 点火时炉口冒灰白色烟不着火 | 1) 油压低, 喷油量少 2) 油温低, 喷油量不足 3) 出油孔被脏物或结焦堵塞 4) 吹扫阀未关严导致气顶油 | 1) 提高油压 2) 打开蒸气套管排汽阀, 或增长套管 3) 用钢丝通油孔或清洗油枪 4) 关严吹扫阀 |
| 2 | 雾化不好, 油滴很大, 烧嘴对面壁上结焦 | 1) 雾化剂压力低于0.25MPa 2) 雾化剂阀开的大小甚至断开 3) 雾化喷头或旋流槽堵塞 (关雾化剂压力不回零) | 1) 提高雾化剂压力 2) 打开或大开雾化剂阀门 3) 拆下油枪清理, 重装时注意雾化剂同隙 |
| 3 | 爆燃严重有明显断火现象 | 1) 油中含水量过大, 造成油断流 2) 油压不稳, 时大时小 3) 吹扫阀未关严或漏气 (汽) | 1) 排除油中水 2) 检查泵和输油系统 3) 关严阀, 修理或更换吹扫阀 |
| 4 | 引射器外壁温度过高 | 1) 油量太大 2) 助燃风太少 3) 引射风太少 | 1) 关小油阀 (控油阀) 2) 开大助燃风 3) 开大引射风 |
| 5 | 火焰发红升温慢, 风温低 | 1) 内烧嘴砖碎裂或掉块 2) 换热器开焊或烧坏导致空气断路 | 1) 更换内烧嘴砖 2) 进行补焊, 或是更换 |
| 6 | 噪声大, 暴响 | 1) 雾化剂压力大 2) 油气 (气) 喷头安装不当等引起共振 | 1) 调小压力 2) 拆下油枪重新安装, 使雾化喷头比油喷头突出 0.5mm左右 |
| 7 | 火焰偏某一边 | 1) 烧嘴喷头内外件不同心 2) 管子弯曲了 | 1) 调整雾化器的角度 2) 将雾化风的管道向火焰偏向的反向弯曲, 或调整喷枪根部 4 个小螺钉 |
| 8 | 控油阀不好用导致冒烟或断火 | 因孔大或灵敏度太大, 导致油量大或关死 | 更换控油阀 (最好采用针形阀) |
| 9 | 火焰直喷对面炉墙不回旋入烧嘴烟道, 导致风温低 | 1) 烟气没有抽力 2) 烟道堵塞 3) 烟道阻力大 | 1) 检查抽烟系统故障 2) 清除管道堵塞物 3) 重新设计安装烟道管路以减少阻力 |
| 10 | 异形内烧嘴砖损坏 | 1) 蒸汽冷凝水滴在内烧嘴上, 引起急冷炸裂 2) 被工件或炉钩子碰碎 | 1) 在蒸汽管中增设疏水阀或采用局部放水 2) 操作者应在装料或使钩时避免碰撞烧嘴砖 |
| 11 | 炉膛内出现大雪花火星 | 油、气管道接反, 导致雾化不良 | 将油、气管路重新正确装配 |

第5节 电热合金元件的修理

(一) 合金元件的制造

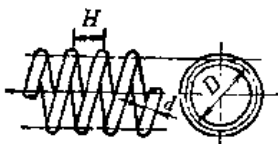
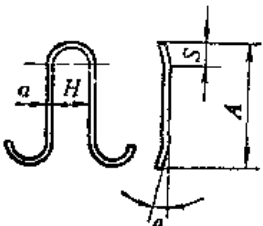
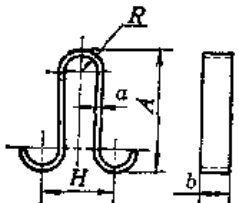
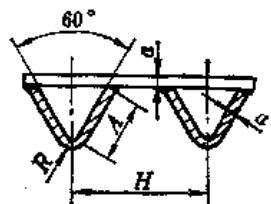
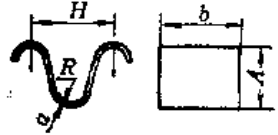
合金元件的制造过程基本上包括电阻丝带的绕制或弯曲、焊接和安装。为了提高电阻板的抗渗碳能力，往往还必须涂釉。

1. 合金元件的加工

(1) 合金元件的结构 合金元件的结构是多种多样的，最常见的是电阻丝制成螺旋形，电阻带制成波纹形，而大功率电阻炉的电热元件可为三角形焊接件、精铸件或电阻板。为了使电阻丝带在高温下具有一定的强度，防止软化、倒塌或下垂，在实际使用中推荐以下结构尺寸（表23-5-1）。

(2) 电阻丝的绕制 绕制前要检查电阻丝的

表23-5-1 电阻丝带的结构尺寸

| 名称 | 结构形状 | 尺寸 比例 | |
|------------|---|--|---|
| | | 镍铬合金 | 铁铬铝合金 |
| 螺旋形 电阻丝 |  | $d \geq 3 \text{ mm}, H \geq 2d$ D值: $< 750^\circ\text{C} (8 \sim 12)d$ $750 \sim 950^\circ\text{C} (6 \sim 8)d$ $> 950^\circ\text{C} (5 \sim 6)d$ | |
| 波纹形 电阻丝 |  | $S = (1/4 \sim 1/6)A, H > 3d, \theta = 10^\circ \sim 20^\circ$ $A = 200 \sim 300 \text{ mm}$ | $A = 150 \sim 250 \text{ mm}$ |
| 波纹形 电阻带 |  | $a \geq 1.5 \text{ mm}, b = (5 \sim 15)a, \text{一般取} 10$ $R \geq 3a$ $H \geq 2b$ 平放在炉底时 $A = 100 \sim 150 \text{ mm}$ 悬挂在炉墙时 $A = 200 \sim 300 \text{ mm}$ | $R = (4 \sim 8)a$ $H = (10 \sim 30)a$ $A = (20 \sim 30)a$ |
| 三角形 电阻带 |  | $a = 1.8 \sim 3 \text{ mm}$ $R = (1 \sim 2)a$ $H = (10 \sim 20)a$ $\theta = 60^\circ$ $2A = (10 \sim 18)a$ $L = 300 \sim 500 \text{ mm}$ (电阻带长度) | |
| 电阻板 |  | | $a \geq 4 \text{ mm}$ $b = (20 \sim 50)a$ $R = (3 \sim 6)a$ $H = (10 \sim 30)a$ $A = (15 \sim 25)a$ |

材质、直径和电阻值是否符合图纸要求，表面不能有裂纹、锈蚀等缺陷。

电阻丝的绕制分手工绕制、夹具绕制和机器自动绕制3种。

1) 手工绕制：当绕制直径 $d < 1\text{mm}$ 的电阻丝时，如图23-5-1所示。在动力头（一般直接用电动机的输出轴）上装有一个钻夹头，在钻夹头上夹有一根芯杆，电阻丝一端与钻夹头固定，当芯杆旋转时，用手夹住电阻丝，手与芯杆和电阻丝间滑动接触，钻夹头旋转时电阻丝就会顺着芯杆外圆紧密缠绕成螺旋形状。

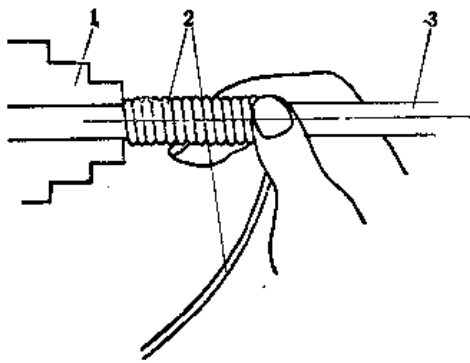


图23-5-1 手工绕制 $d < 1\text{mm}$ 电阻丝
1—动力夹头 2—电阻丝 3—芯杆

当绕制直径 $d 4\sim 6\text{mm}$ 的电阻丝时，可在普通车床上进行，车床倒转，与绕制一般钢丝的工艺基本相似。绕制时必须注意下列事项：

① 导杆可采用夹布胶木或废刀杆制成(图23-5-2)，但不能使用有色金属，如铜材等，因为有色金属微粒容易粘附在电阻丝的表面上，容易拆断和影响使用寿命。导杆上的孔径可比电阻丝直径略大 0.5mm 。

② 车床的转速应根据电阻丝的材料、直径以及元件节距的大小而有所不同，一般为 $40\sim 120\text{r}/\text{min}$ 。但绕制直径 $\geq 7\text{mm}$ 的铁路铝电阻丝时，每分钟约以30转为宜。

③ 由于电阻丝具有刚性，绕制松开后即自行弹开，因此，选择心轴的直径应比电阻丝螺径略小：对镍铬是小 $1\sim 1.5\text{mm}$ ；对铁铬铝是小 $2\sim 2.5\text{mm}$ 。



图23-5-2 绕制电阻丝用导杆

④ 心轴上钻有小孔(图23-5-3)，将电阻丝的一端穿过小孔弯曲卡紧，才可开始绕制。

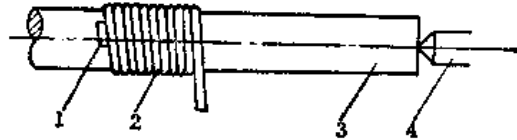


图23-5-3 绕制 $d 4\sim 5\text{mm}$ 电阻丝
1—穿孔 2—电阻丝 3—心轴 4—顶针

⑤ 用卡盘夹紧电阻丝时可以衬垫胶木，注意不要压伤丝的表面。

⑥ 绕制较粗(直径 $d > 7\text{mm}$) 较厚(厚度 $b > 2\text{mm}$) 的铁铬铝时，要加热到 $250\sim 300^\circ\text{C}$ 左右，尤其是电阻丝螺径较小或在冬季绕制时更需加热进行。一般可接在电焊机的两端，采用大电流、低电压，在绕制的同时连续加热。

⑦ 绕丝时应尽量避免反复弯曲，以防加工硬化，最好一次成型，不宜改制或重绕。

⑧ 直径 $d < 2\text{mm}$ 的电阻丝一般采取紧密排列缠绕，而直径 $d > 2\text{mm}$ 的电阻丝，最好在缠绕时自动分开，这样操作电阻丝的节距均匀一致。

⑨ 拉伸电阻丝螺旋圈时，螺径会稍变小。当拉伸紧密排列缠绕的电阻丝时，螺径缩小更多(表23-5-2)，故拉伸时动作要轻，用力要匀。

表23-5-2 铁铬铝电阻丝拉伸时

| 螺径对应缩尺 | | (mm) | | |
|---------|-----|-------|---------|-------|
| 电阻丝螺径 D | <15 | 15~20 | 20~30 | 30~40 |
| 心轴对应缩尺 | 1 | 1.5~2 | 2.2~2.5 | 3~3.5 |

⑩ 一般电热合金丝最好绕成一根螺旋体，然后根据其电阻值或长度的要求切断。

2) 夹具绕制：采用夹具绕制电阻丝如图23-9-4所示。其夹具结构见图23-5-5。把手1和外套8是焊接在一起的，外套上紧固着一个滑块5，移动滑块的位置可以调节螺距尺寸的大小。外套上的顶丝2和6是紧固内套7用的，外套内孔与心轴相配合，内套可以随意更换。把手1上的三个滑轮10的作用是拉紧电阻丝，根据丝径的不同，可以调节滑轮的位置。

(3) 电阻带的弯制 电阻带使用时多半弯制成波纹形，但当炉子功率较大时，则可制成三角形。

1) 波纹形电阻带的弯制：波纹形电阻带的弯

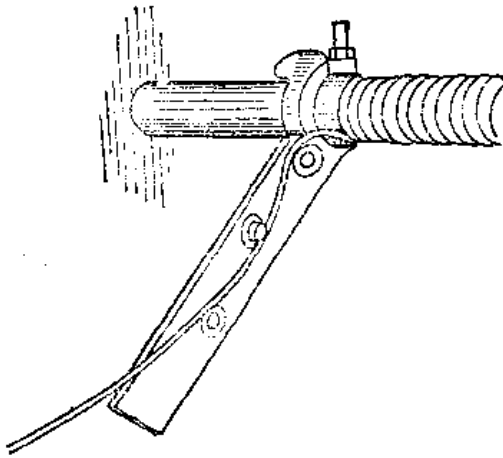


图23-5-4 夹具绕制电阻丝

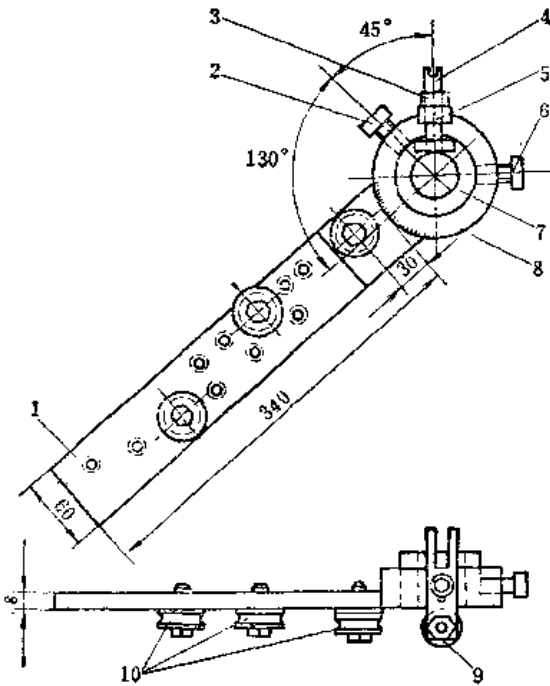


图23-5-5 夹具结构

- 1—把手 2—顶丝 3—锁紧螺母 4—导距螺丝
- 5—滑块 6—顶丝 7—内套 8—外套 9—轴承
- 10—滑轮

制是在专用夹具(图23-5-6)上进行的。弯制专用夹具由工作台、定位轴和手柄组成。工作台可用20mm左右厚的钢板制成,根据电阻带波纹形的宽度和圆角半径钻有一定数量的孔。定位轴的直径和高度应根据波纹形的圆角半径和电阻带的宽度决定。手柄上的活动槽是用于调节波纹形的圆角半径。套筒应能自由转动,其高度应与带宽相适应。

弯制波纹形电阻带时,必须注意下列事项:

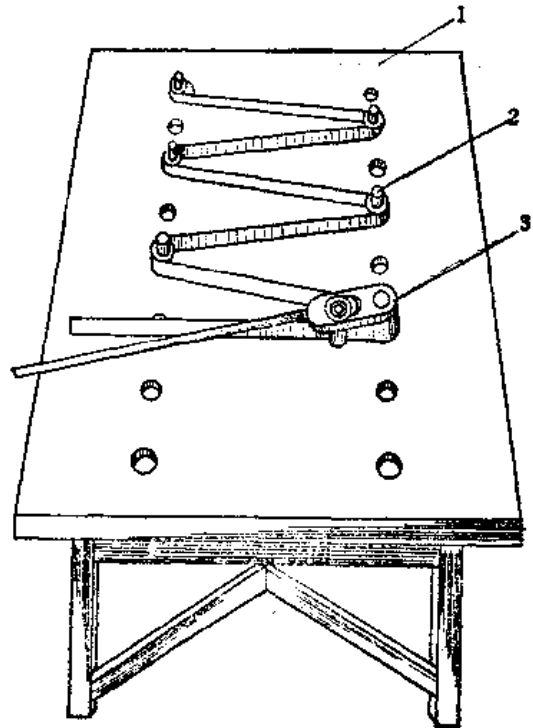


图23-5-6 弯制电阻带专用夹具(一)

- 1—工作台 2—定位轴 3—手柄

- ① 弯曲时必须用力均匀,不能过猛。
- ② 当电阻带厚度较大,弯曲困难时,必须进行热弯。一般采用电焊机通电加热或用气焊局部加热至250~300℃。
- ③ 套筒与被弯电阻带的距离最好不要大于1mm。
- ④ 定位轴必须适当多些,最好一根电阻带一次弯成,以免产生变形。
- ⑤ 如有变形或尺寸不符要求,必须及时在工作平台上用手锤敲正。

当电阻带的厚度较小时,可采用图23-5-7所示的夹具弯制。

瑞典康太尔公司采用图23-9-8所示的夹具来弯制电阻带。卡爪B和B₁必须经常保持在图示的位置。每条波纹都是由拉杆F(F₁)转动大约180°而形成。然后,从A-B位移动到A₁-B₁位,交替移动或变换方向。安装另一种半径的卡爪(A、B),就可改变间距。

2) 三角形电阻带的冲制:对用作三角形电阻带的材料有两点要求:

- ① 带状盘料必须呈退火状态。硬度过高,冲压时则易脆裂;硬度过低,则难以脱模。如料未经

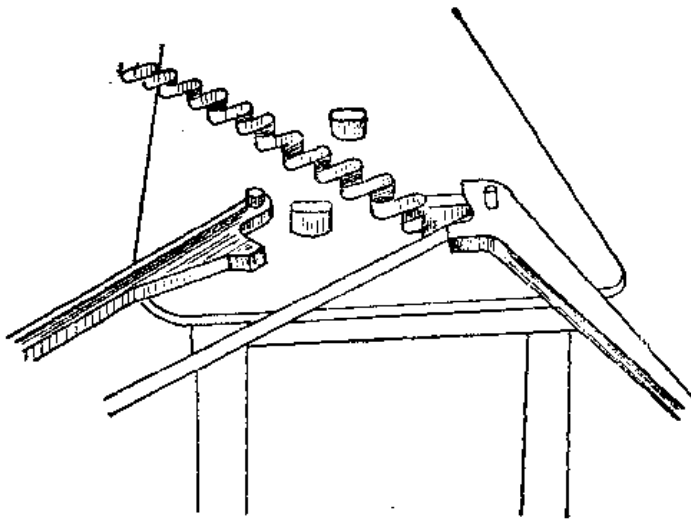


图23-5-7 弯制电阻带专用夹具 (二)

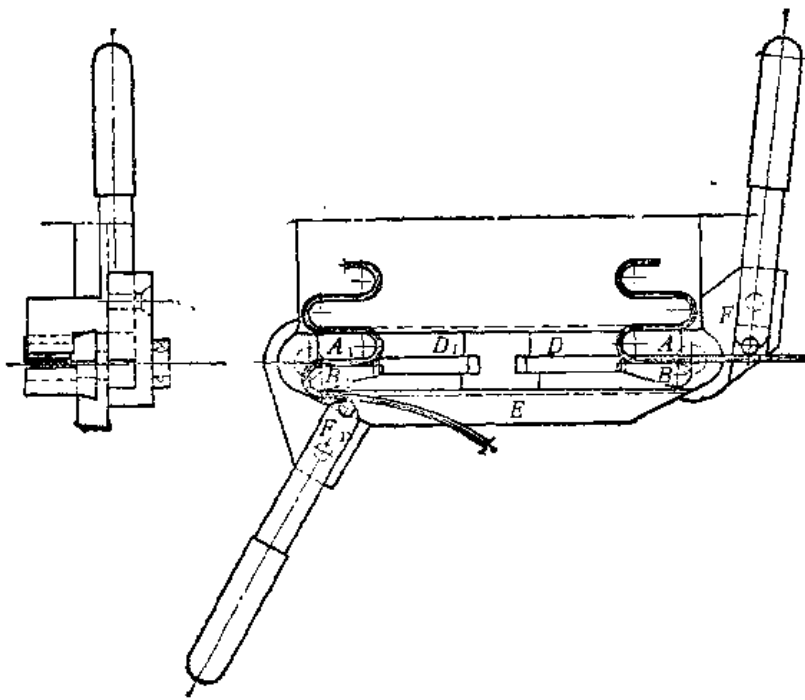


图23-5-8 康太尔公司用弯制电阻带夹具

退火，可在箱式电阻炉内加热至850℃，保温2h即可。

② 侧弯要小，一般不宜超过4mm/m，否则冲压成的三角带不易等边，两边出现高低不平，这不仅造成焊接困难，而且在使用过程中也易变形。

三角形电阻带的冲制工艺如下：

① 下料——如带状盘料的镰刀弯较大，可先在校直机上整形，然后再行平直。在冲床上按规定尺寸下料，要求尺寸准确，两端齐平。

② 模具——模具结构(图23-5-9)比较简单，上模用5mm钢板固定在冲头上即成。安装模具时必须严格保证上面冲板和下模的同心度，以免压偏三角带。

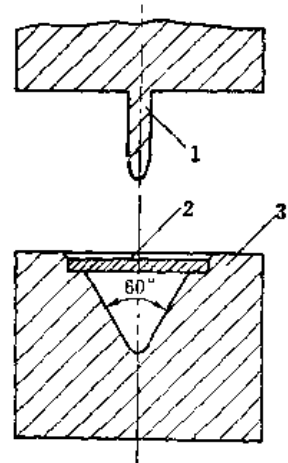


图23-5-9 冲制三角形电阻带用简易冲模
1—冲板 2—电阻带 3—凹模

③ 冲压——在15kN冲床上冲压成形。冲压时必须注意下列事项：

a. 将带料平整地放在凹模的定位槽内，位居正中，以防压偏。

b. 分二次压成，因一次冲压变形量过大，往往容易出现裂纹。

c. 冲压时如脱模困难，可在模上涂薄机油。

④ 焊接——详见“镍铬合金元件的焊接”。

(4) 电阻板的制造：

1) 电阻板的热煨，如某连续式电加热无罐炉使用的电阻板厚4mm，宽200mm(图23-5-10)，弯曲困难，必须热煨。

电阻板应是直形带状，交货时不允许卷成盘状。因为盘状电阻板在煨制前很难平直，往往由于平直得不好而影响煨制的质量及其有效长度。电阻板不应有夹层和厚薄不均的现象。电阻板的尺寸偏



图23-5-10 电阻板

差：厚度 $4 \pm 0.2\text{mm}$ 、宽度 $200 \pm 3\text{mm}$ 。每块板的长度应大于图纸上标明的展开长度。

煨制电阻板的工作台最好采用铸铁件，因为一般钢板受热后较易弯曲变形，这不仅给煨制工作带来困难，而且容易造成侧弯。工作台还要有一定厚度，否则强度差而易变形。每当插入定位轴后，经常由于插入深度不够，也易摇动而影响板的波纹形状。

定位轴必须保持圆直，不得弯曲。往工作台上打入定位轴时，应打到底，并要求稳定垂直。手柄头部与定位轴接触的高度大一些为好。导向杆上应有套筒，煨制时能自由转动，以减少弯曲时的阻力。

热煨时室内温度应在 20°C 以上，最好在气候温暖的季节进行。热煨时必须注意下列事项：

① 用两组气焊枪在电阻板的里外加热。操作时采取上下均匀加热，并力求做到里外、上下、左右温度一致，加热至樱红色（约 800°C 左右）。温度不够煨不动；温度不均煨不圆；温度过高不仅氧化、烧损元素，而且使电阻板变薄，以致出坑、变形。

② 加热范围应大于所需煨圆角的展开长度。加热范围过宽，则热煨时容易敲出圆角；如过窄，则热煨时不仅费劲，而且产生角度不圆或圆角太小，影响元件的散热面积和炉子功率。

③ 电阻板的波纹之间应有一定的角度，如图23-5-11所示，不能平行，否则辐射不好，且易烧坏元件。

④ 热煨时不仅有人搬动手柄，还要有人扶着电阻板顺向推动。这时用力要均衡，速度要一致。

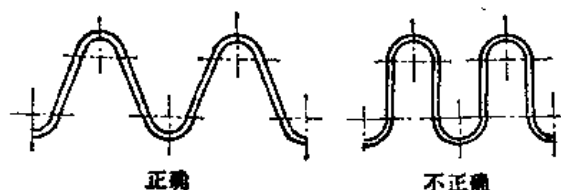


图23-5-11 电阻板的波纹角度

热煨时速度要稍慢，若过快，则煨制角度不易掌握，甚至也易产生裂纹等缺陷。

⑤ 热煨过程中圆角处如有鼓疱、瘪进和出现较大折皱等不规则的地方，应及时用手锤敲正。

煨制后的电阻板不允许有裂纹（尤其是横向裂纹），应是圆角完整、波纹整齐、侧弯小，引出端头平正、切割齐直，且每组电阻板的煨制长度力求一致。煨制后的电阻板还应检查电阻值，其允差不大于10%。

为了消除电阻板的热应力，经热煨后的电阻板，在与引出棒焊接之前，必须进行回火处理。回火温度为 880°C 左右，持续3h，然后随炉自然冷却。电阻板放入炉内时，首先应将其侧放在钢板上，然后将钢板推进炉内，所以要侧放，其目的是不致产生变形。

2) 电阻板涂釉：在电阻板表面喷涂烧结一层在高温下化学稳定好，并有一定绝缘性能的釉料，可以提高其抗渗碳能力，减少因积碳而出现的短路和起弧。对釉料的要求是：

① 熔点不宜过高，一般不超过 1150°C 。

② 与电热元件有良好的结合性，热膨胀系数应相接近，在炉温激烈的变化下无脱落现象。

③ 良好的表面致密性，使渗碳气氛不易渗入元件基体。并与渗碳气氛不发生化学反应。

④ 绝缘性能良好，绝缘电阻不低于 $0.5\text{M}\Omega$ 。

电阻板涂釉的工艺基本上包括釉料配制、熔化、制浆、涂料和烧结。

① 釉料配制——配制釉料时，其组成见表23-5-3。

② 釉料熔化——将按上述配方配制的釉料，搅拌均匀，放入石英坩埚，用高热值的气体加热。 1450°C 加料，2.5h后升至 1520°C ，熔化1h后出料倒入水中，然后捞出烘干。釉料呈棕色的透明玻璃体，软化点为 715°C 。

③ 制浆——调制釉浆时，其组成见表23-5-4。

将上述组成的浆料在球磨机中研磨，过270目筛。然后在室温下静止10天以上，以便排出浆中的气泡，增加釉浆的悬浮性，但需注意不使水分散失。

④ 涂料——釉料的涂料方法，根据元件的大小形状可选用喷涂法或浸涂法。涂料前元件的处理过程如下：

表23-5-3 釉料的组成

| 序号 | 氧化物 | 重量比 (%) | | 技术要求 | 作用 | | |
|----|--------------------------------|---------|-----------|---|---------|----------------------|--|
| | | 第一种 | 第二种 | | | | |
| 1 | SiO ₂ | 41.59 | 42.0~43.0 | 一级石英粉 SiO ₂ >99.5%, Fe<0.03%, 粒度60目 三级 BaCO ₃ , 粒度30目, 115°C烘干 三级, 粒度30目 三级钼酸铵, 粒度80~90 目, 密封保存 三级, 粒度<70目 工业用, 含量>99.5%, 粒 度<30目 三级 Al(OH) ₃ 三级 K ₂ CO ₃ 三级 Na ₂ CO ₃ | 玻璃的骨架材料 | | |
| 2 | BaO | 34.9 | 41.5~42.5 | | | 助熔剂 | |
| 3 | ZnO | 4.52 | 4.6~5.0 | | | 助熔剂 | |
| 4 | MnO | 1.81 | 1.6~2.0 | | | 改善与底材的结合力 | |
| 5 | TiO ₂ | 7.23 | — | | | 加强化学稳定性和提高 可塑性、弹性 | |
| 6 | ZrO ₂ | 5.62 | — | | | 提高稳定性 | |
| 7 | Al ₂ O ₃ | 2.71 | — | | | 降低熔点和调整膨胀 系数 | |
| 8 | K ₂ O | 1.8 | — | | | | |
| 9 | Na ₂ O | 1.81 | — | | | | |
| 10 | CaO | — | 3.8~4.2 | | | | |
| 11 | B ₂ O ₃ | — | 5.5~6.0 | | | | |

表23-5-4 釉浆的组成

| 材料名称 | 重量比 (%) | 技术要求 |
|--------------------------------|---------|----------------------------------|
| 釉料玻璃 | 70 | 三级, 在 900°C 焙烧 1h, 冷后用水洗至无黄色 |
| Cr ₂ O ₃ | 30 | |
| 粘土 | 5(外加) | 苏州一级白泥, 热水淘 洗, 粒度80目, 115°C烘干 |
| 蒸馏水 | 70~105 | |

a. 清洗: 元件表面有油垢、油脂、氧化皮等时, 须用碱水去油或酸洗处理。

b. 喷砂: 通过喷砂, 将元件表面形成致密的麻面, 增加釉层与元件的结合力。

c. 酒精刷洗: 除去元件表面砂尘和其它污物。

涂料时要调整釉浆的密度, 一般波动在1720~1860kg/m³之间。浸涂时密度取上限, 喷涂时取下限。为确保釉层厚度在0.04~0.06mm之间, 一般需涂两次, 第一次比第二次的薄。每涂完一次在室内凉干后就可进行烧结, 烧结完毕再涂第二次。涂料时釉浆必须搅拌均匀, 不允许有气泡。浸涂时将元件轻轻浸入浆中, 稍停后均速取出。喷涂时用1号喷枪, 气压0.2~0.4MPa。喷涂要均匀, 无流痕等缺陷。喷后阴干, 于115°C烘干30min。

⑤ 烧结——烧结方法有两种, 一是用涂釉后的元件本身通电达到烧结温度进行烧结; 另一种方

法是将涂釉后的元件放到烧结炉中进行烧结。烧结必须在氧化性气氛中进行, 烧结温度为1240°C, 保温2min即可取出, 在空气中自然冷却。元件入炉后10min内达到烧结温度, 时间长了发生釉层过烧现象, 严重者釉层剥落。烧结良好的釉层表面应呈鲜绿色, 平整光亮, 并无针孔气泡。其热稳定性要求在1050°C投入水中, 反复3次, 应无严重剥落。釉层的化学稳定性要求在960°C渗碳40h, 经5次试验仍呈绿色, 无剥落和烧蚀; 再在1000°C氧化气氛中放置240h, 颜色变浅棕, 但仍无剥落和烧蚀。釉层的击穿电压为3000~3400V, 密度3000kg/m³, 膨胀系数 $\alpha_{20-500} = 7.65 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

2. 合金元件的焊接

合金元件的焊接与一般金属结构的焊接不同, 它要求焊接接头部分能承受外力而不致折断, 保证电热元件的热稳定性在焊接中不致降低。因此, 应力求采用能缩短焊接时间, 而又能保证焊接质量的可靠办法。

(1) 引出棒 引出棒的断面积要大于或等于元件断面积的3倍, 以降低引出棒温度、减少热量损失和便于联接电源线。焊接面积应大于元件断面积。一般引出棒直径的选用见表23-5-5。

表23-5-5 引出棒直径的选用

| 电阻丝直径 d (mm) | 3~7 | >7 |
|----------------|-----------------|----|
| 引出棒直径 D (mm) | 12 ^a | 20 |

根据炉子使用温度的不同，引出棒材料的选用见表23-5-6。

表23-5-6 引出棒材料的选用

| 使用温度 (°C) | 选 用 材 料 |
|-----------|-------------------------------------|
| <700 | 1Cr13Al4、1Cr13、碳钢 |
| 700~1000 | Cr9Si2、Cr25、1Cr18Ni9Ti |
| >1000 | 0Cr25Al5、Cr23Ni13、Cr23Ni18、Cr25Ni20 |

引出棒上的孔应与电阻丝紧配，插入前可用锉刀或砂布打磨一下。焊接点的孔应靠近中心孔的内端，使之垂直于中心孔。当用低碳钢为引出棒时，元件与引出棒的焊接可用搭焊（图23-5-12）。低碳钢引出棒的允许交流载流量见表23-5-7。



图23-5-12 低碳钢引出棒的搭焊

表23-5-7 低碳钢引出棒允许交流载流量

| 直径 (mm) | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 26 |
|---------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 载流量 (A) | 35 | 45 | 60 | 70 | 80 | 95 | 110 | 125 | 150 |

(2) 连接方法 电阻丝与引出棒的连接有绕制法，如图23-5-13所示，按引出棒的螺纹底径绕成螺旋，再顺着引出棒螺纹旋进去，适用于丝径 $d < 0.3\text{mm}$ 。铣槽冷压法，如图23-5-14所示，在引出棒上铣一个槽口，槽宽为 $1.5d$ ，将螺旋丝端部拉直对折后插到槽中，在电磁牵引冲力下冷压连接，适用于丝径 $d = 0.3 \sim 1\text{mm}$ 。大于 1mm 的电阻丝，往往冷压不牢，故采用冷压后再焊接的工艺，即铣槽焊接法，如图23-5-15所示。钻孔焊接法如图23-5-16，是在引出棒端部钻一中心孔，插入电阻丝，在侧面的预留孔上进行焊接，使焊接所引起的脆性区全部埋在中心孔内，适用于丝径 $d > 1.5\text{mm}$ 。搭焊连接法如图23-5-17，适用于镍铬合金元件。

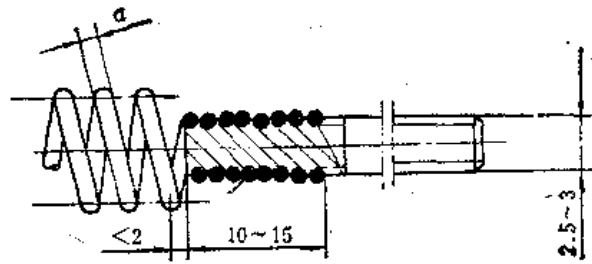


图23-5-13 缠绕连接

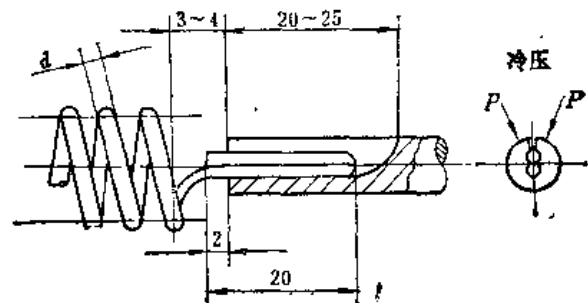


图23-5-14 铣槽冷压

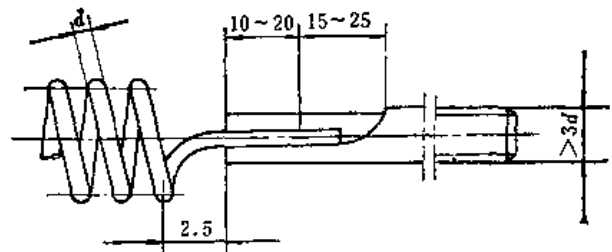


图23-5-15 铣槽焊接

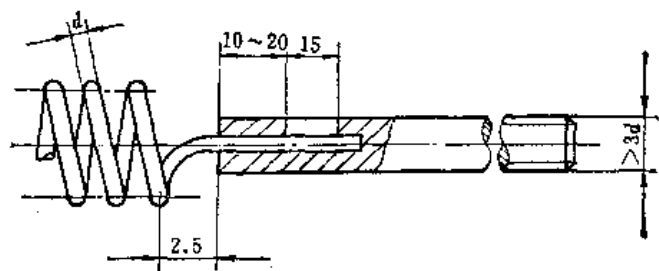


图23-5-16 钻孔焊接

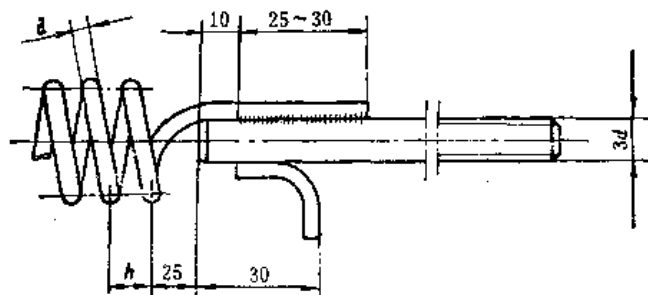






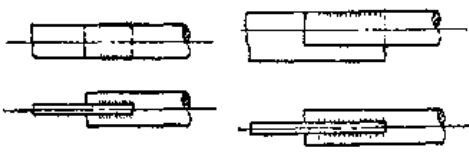

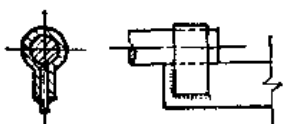
图23-6-17 搭焊连接

镍铬合金元件与引出棒之间的焊接采用搭焊或对焊，比较简单。由于铁铬铝合金焊后变脆，必须适当采用加强措施，以防止安装时折断，因此，一

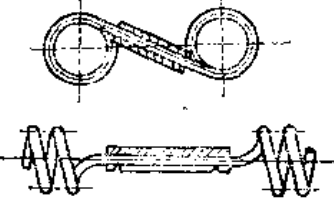
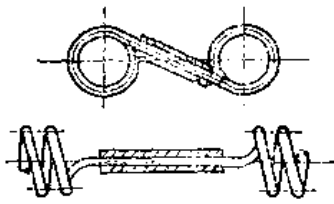

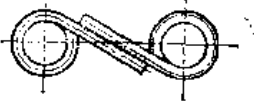
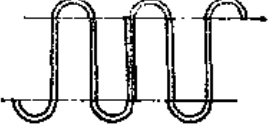
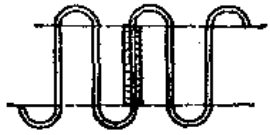
般采用钻孔和铣槽连接方法。工业电炉用合金元件的连接方法见表23-5-8。

(3) 镍铬合金元件的焊接 镍铬合金的焊接

表23-5-8 工业电炉用合金元件的连接方法

| 焊接类型 | 联接方法 | 适用材料 |
|-----------------|---|------|
| 电阻丝 元件与引出棒之间 | 钻孔焊  | 铁铬铝 |
| | 铣槽焊  | 铁铬铝 |
| | 点焊  | 铁铬铝 |
| | 搭焊  | 镍铬 |
| 电阻带 | 铣槽焊  | 铁铬铝 |
| | 搭焊  | 镍铬 |
| | 卡箍焊  | 镍铬 |

(续)

| 焊接类型 | 联接方法 | 适用材料 |
|------|---|--------|
| 元件之间 | 钎孔焊  | 铁铬铝 |
| | 铣槽焊  | 铁铬铝 |
| | 对焊  | 镍铬、铁铬铝 |
| | 搭焊  | 镍铬 |
| 电阻带 | 搭焊  | 镍铬 |
| | 夹焊  | 铁铬铝 |

性能比铁铬铝为好，一般采用气焊，镍铬电阻丝作焊丝。气焊的关键与焊接铁铬铝一样，是掌握好火焰和温度。气焊时宜采用中性焰或轻微碳化焰，因为碳化焰会产生增碳作用，不但脆性增大，而且还容易产生裂纹；氧化焰会造成熔化金属的氧化和合金元素的烧损，致使焊缝产生气孔、夹渣以及机械性能降低。

火焰体积要小，焰心要直，热量要集中，这样不仅便于操作，并能减少焊接接头的热影响区宽度

和焊件变形。温度要掌握好，如温度过高，合金元素烧损多，容易出现夹渣、气孔，影响元件强度，甚至会引起连接板中间断裂。如温度过低，则加热时间就长，也易产生夹渣、气孔和焊不透的缺陷，结果电阻增加，缩短元件的使用寿命。

镍铬合金的焊缝为连续焊缝，其厚度应等于或大于元件之截面。

三角形电阻带的组装焊接是在专用夹具(图23-5-18)上进行的，操作时必须注意下列事项：

1) 将三角带放上专用夹具, 一头找齐, 衬上石棉板后, 压平压紧。

2) 点焊全部连接板。连接板两端应长出1mm, 以利焊接。

3) 由于三角带和连接板的厚度不同, 必须预热到700~800°C后方可焊接。

4) 焊接连接板的顺序是先内侧后外侧(见图23-5-18), 并由外向里焊, 不然则易变形。

5) 如三角带的两边高低不平, 必须烤齐再焊。

6) 焊接连接板时要顺序交叉进行, 否则会产生扇状变形。

7) 操作时采用平面角焊, 倾斜角度约30°, 这样不仅操作方便, 而且有利金属熔液流动焊牢。

8) 焊后必须让其自然冷却, 不能立即从夹具上取下, 否则极易变形。

(4) 铁铬铝合金元件的焊接 铁铬铝合金的金相组织是单相铁素体, 在高温焊接后, 焊口附近由于受高温而晶粒粗大, 塑性降低, 容易脆断, 这一情况无法用热处理方法恢复。在焊接时要求快速焊接, 以防止过热及减少受热范围。

在条件许可的情况下, 最好使用氩弧焊、保护气体焊。一般条件下也可采用电弧焊、气焊、点焊

等方法。但目前采用电弧焊比较普遍, 电弧焊比气焊好, 而电弧焊中采用直流焊接可以得到均匀的电弧。

电焊条最好采用与元件相同型号的铁铬铝焊条, 也可用石墨焊条。用石墨焊条时, 焊条先用砂轮磨尖, 焊时不用熔剂。在无上述焊条, 而元件使用温度又不超过1100°C时, 也可用耐热不锈钢焊条, 如1Cr18Ni9、Cr25Ni20(奥402)进行焊接。

焊芯直径一般为 $\phi 2.5$ 及 $\phi 3.2$ mm两种, 焊接电流为焊芯直径 d 的30~35倍安培数。在焊接处最好在800°C左右(可用火焰加热至樱红色)进行消除内应力的退火处理。

1) 气焊, 采用乙炔-氧焊(简称气焊)时, 必须注意下列事项:

① 焊丝可用成分相同的铁铬铝电阻丝, 焊剂由50%硼砂和50%萤石粉组成。

② 火焰必须是中性焰, 因为碳化焰使电热合金增碳, 致使接头变硬变脆; 氧化焰则使电热合金氧化脱碳。

③ 距焰心4~6mm处进行焊接, 因为该处剪度高, 且完全燃烧成CO₂, 能保护接头不致氧化脱碳, 也不会使其增碳变脆。

④ 气焊时要较快地吹除熔液表面的熔渣, 以免产生气泡。

⑤ 焊后必须清理干净, 因为硼砂在合金晶界处形成含硼的易熔化合物, 使其耐热性能降低, 并在焊缝周围产生热裂。

2) 电焊: 采用直流电弧焊时必须注意下列事项:

① 焊前必须清除氧化皮、铁锈或其它污垢, 最好用锉刀或砂布把焊接部分的金属基体打露出来。

② 采用间断式焊接法较好, 每次只焊一小段, 中间留出一小段不焊, 接着再焊第二段, 从而阻止其受热范围和过热程度。

③ 焊缝的起点与终点需离材料约5mm, 以防该处过热折断。

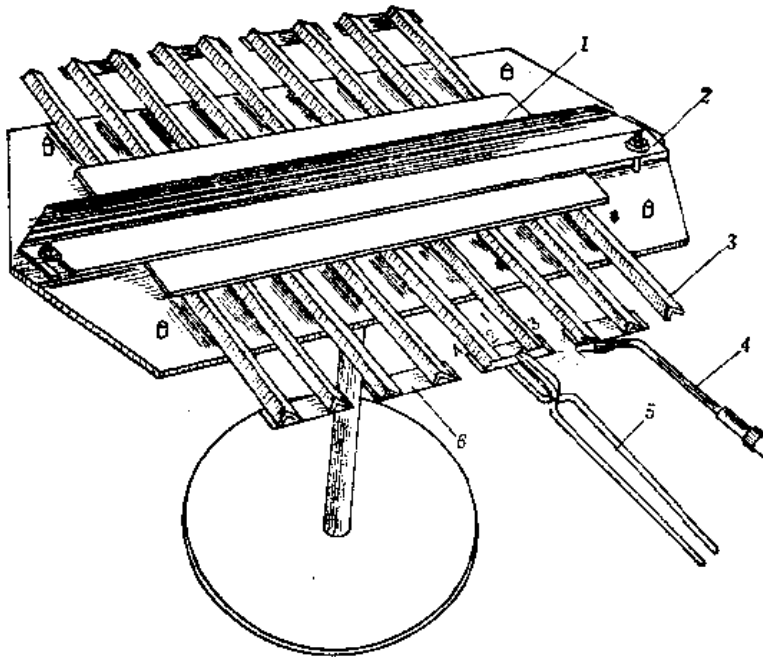


图23-5-18 组装三角形电阻带用夹具

1—石棉板 2—压紧角钢 3—三角形电阻带 4—气焊嘴
5—丁字形钳 6—连接板

表23-5-9 合金元件焊接缺陷分析

| 缺陷名称 | 产生原因 | 防止措施 |
|------|--|--|
| 未焊透 | 1. 对接处不干净, 有氧化物、油垢等 2. 火焰温度不够 3. 焊接速度太快 4. 接头处间隙太小 | 1. 焊接前应将焊丝及接头周围10~20mm处清理干净 2. 掌握好火焰温度, 直径或厚度大的要预热 3. 焊速要合适 4. 调整好间隙 |
| 咬肉 | 1. 操作方法不当 2. 横焊时焊嘴过大或焊嘴和焊丝运动不当 3. 平焊和立焊时, 火焰偏吹 4. 焊丝移动范围过小或熔化面积过大 | 1. 焊枪和焊丝的运动要正确配合 2. 焊嘴要稍向上、向后倾斜 3. 熔化焊丝时, 应偏在焊缝中心线上边(左焊法) 4. 火焰正对焊缝中心, 保持熔池不过大, 且使焊丝运动范围达到熔池边缘 |
| 气孔 | 1. 焊接处不干净 2. 焊丝或焊剂质量不符合要求 3. 焊接終了或中途停焊时迅速冷却 4. 焊接速度过快, 焊接结束时, 过早地撤离熔池 5. 采用氧化焰, 易使焊缝产生气孔 | 1. 清理干净 2. 必须正确选择焊丝和焊剂 3. 火焰要慢慢移开, 让气体充分排出 4. 焊接时应保持熔池热量适当, 焊嘴和焊丝的摆动不能过多过快, 以减少溶解气体数量 5. 采用中性焰或轻微碳化焰 |
| 夹渣 | 1. 焊接材料不符合要求 2. 接缝处或焊丝表面不干净 3. 焊接时采用氧化焰 4. 没有用焊丝将熔池内的熔渣拨出来 | 1. 正确选择焊接材料 2. 焊前清理干净 3. 自始至终保持中性焰或轻微碳化焰 4. 不断地拨除熔渣 |
| 裂纹 | 1. 焊接材料和焊接方法选择不当 2. 焊缝冷却速度过大 3. 焊缝收尾时没填满熔池 | 1. 正确选择 2. 缓慢冷却, 特别要注意风、雨、雪的侵袭 3. 填满熔池 |

④ 收头时注意不要咬肉, 以免减小截面, 增大电阻。

(5) 焊接缺陷 合金元件在焊接过程中, 常见的缺陷及其防止措施见表23-5-9。

焊接良好的焊缝应该是焊肉饱满, 平整光滑, 没有夹渣、气孔和焊不透现象。凡是焊缝截面减小, 势必增加电阻, 引起应力集中, 使接头强度降低, 元件在使用过程中容易过热而烧坏。对电阻丝带焊接质量的检查, 一般可进行外观检查、X射线透视和通电试验。

外观检查不一定只限用肉眼, 也经常用低倍(小于20倍)放大镜进行检查。外观检查不仅可以确定焊缝尺寸偏差是否符合设计要求, 还可发现表面裂纹、咬肉和未焊透等缺陷。

利用X射线对焊缝进行透视, 当射线通过焊缝中的隐蔽缺陷时, 即在底片上的相应位置产生较强的感光效应, 显示出黑色点(气孔、夹渣)或黑色长条(裂纹、未焊透)。

通电试验是现场检查最简单易行的一种方法,

通电后根据焊缝与元件本身的发热情况, 就可确定焊接质量的好坏。焊接不好的地方, 由于电阻较大, 就会出现较强的亮度。

3. 合金元件的安装

电阻丝带多半安装在炉墙上, 但当炉温要求严格或炉子结构需要时, 还经常安装在炉底和炉顶上(图23-5-19和图23-5-20)。电阻丝带在安装时必须注意下列事项:

1) 安装前要按图规定检查冷态电阻, 一般不得超过 $\pm 5\%$ 。

2) 对铁铬铝元件必须轻拿轻放, 尤其是电阻板, 不要碰掉釉层。安装时不能硬别硬拉, 不准在靠近焊接的地方弯折, 不准在元件上敲打。

3) 安装铁铬铝元件前最好在炉外调整合适, 必要的弯曲和压缩应用气焊烤校。

4) 由于铁铬铝合金的高温强度低和蠕变伸长大, 所以螺距不宜过大($H=2\sim 3d$), 并应适当支托, 任其自由伸缩。

5) 元件与耐火砖的接触愈少愈好, 但要靠近

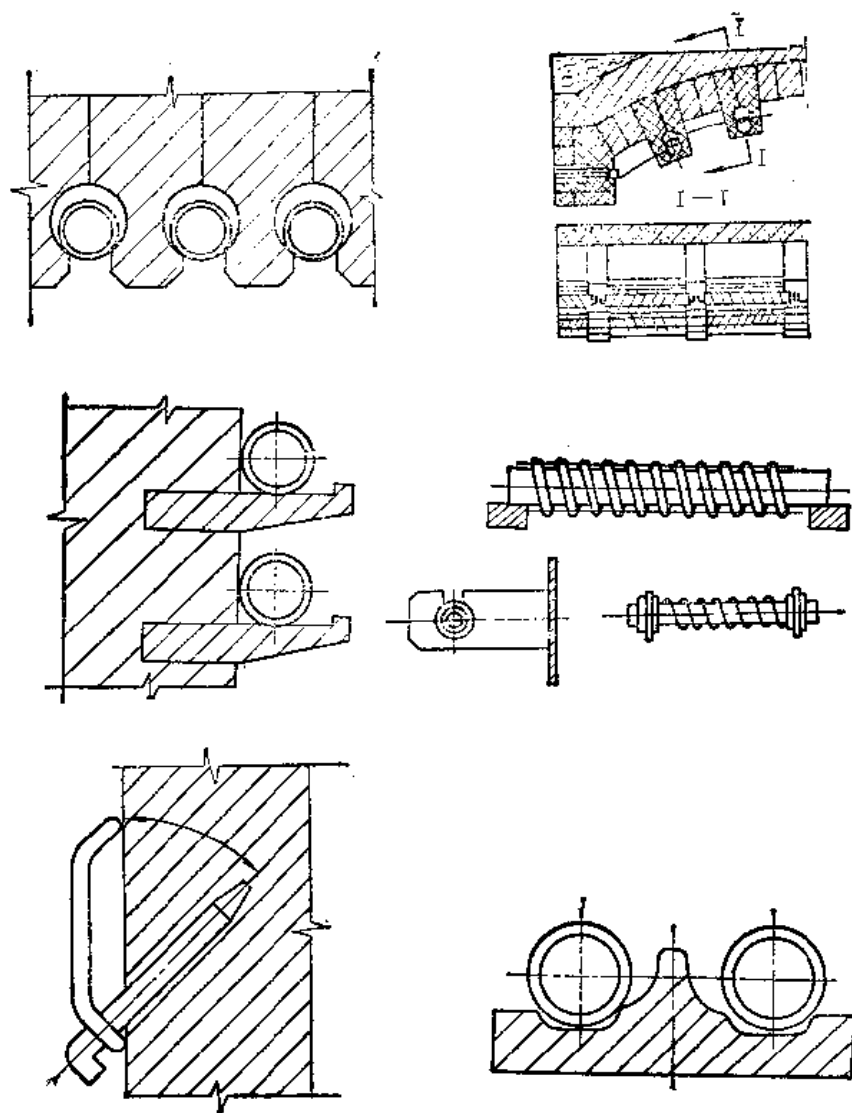


图23-5-19 电阻丝的安装

炉衬，并用耐热钢钩子牢固地钩住。

6) 架设电阻丝带的挂钩必须砌牢、压住、塞紧，不得松动。当钩子较粗，用钳子弯钩困难时，可用气焊烤红后再用弯钩器（图23-5-21）弯曲而成，注意不要动摇钩子或损坏砖体。

7) 在炉底上的元件要托平放稳，在炉墙上悬挂或炉顶上吊挂时，必须钩匀、钩牢、钩紧。

8) 电阻丝的节距应按图纸要求分布均匀，避免疏密不均的现象。

9) 当电阻丝螺旋圈套在瓷管上时，两根瓷管端头必须紧靠，以免电阻丝变形后与心棒接触，而产生断路。发现瓷管断裂掉落后，必须及时更换。

10) 元件与金属构件之间，或元件之间不得相互接触。

11) 三角形电阻带和电阻板是在安装时焊上引出棒，三角形电阻带按图23-5-22 a 焊接比按图23-5-22 b 焊接为好，焊接连接的电阻板比用螺钉连接的电阻板为好。

12) 为了保持引出棒与炉墙的密封，应使引出端与炉壳钢板绝缘。一般采用如图23-5-23所示的固定件，引出棒从该构件穿出，经接线夹与电路连接。引出棒固定件的尺寸见表23-5-10。

13) 引出棒与接线夹必须接触良好，一般常用的接线夹的结构和尺寸见表23-5-11。对于一些较大功率的炉子，则可采用图23-5-24所示的接线夹。

14) 安装完后必须检查引出棒的绝缘电阻，在室温下其绝缘电阻不得小于 $0.5M\Omega$ 。

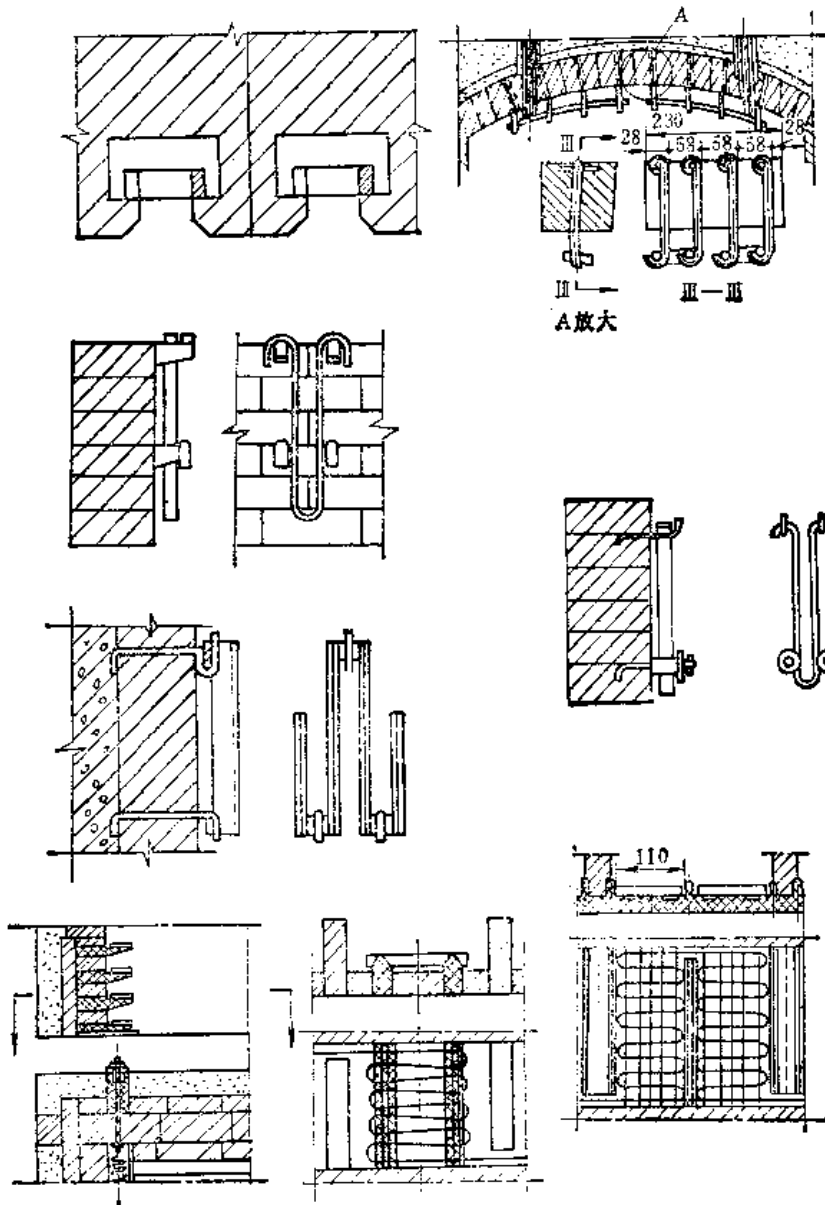


图23-5-20 电阻带的安装

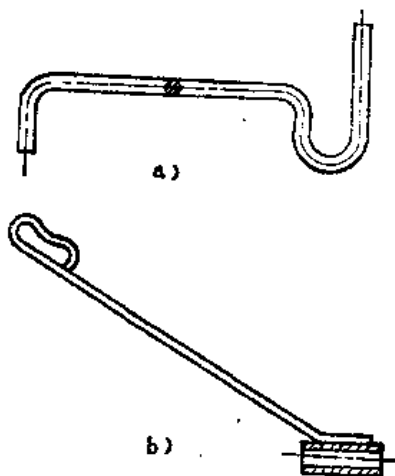


图23-5-21 耐热钢钩子和弯钩器
a) 耐热钢钩子 b) 弯钩器

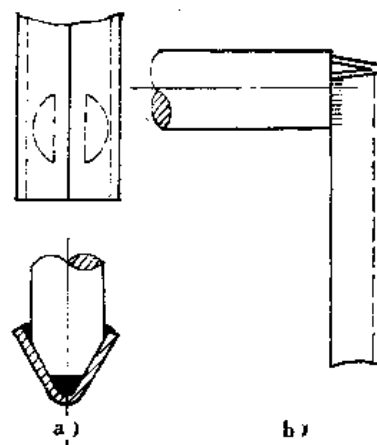


图23-5-22 三角形电阻带引出棒的连接方法
a) 插入式连接 b) 接触式连接

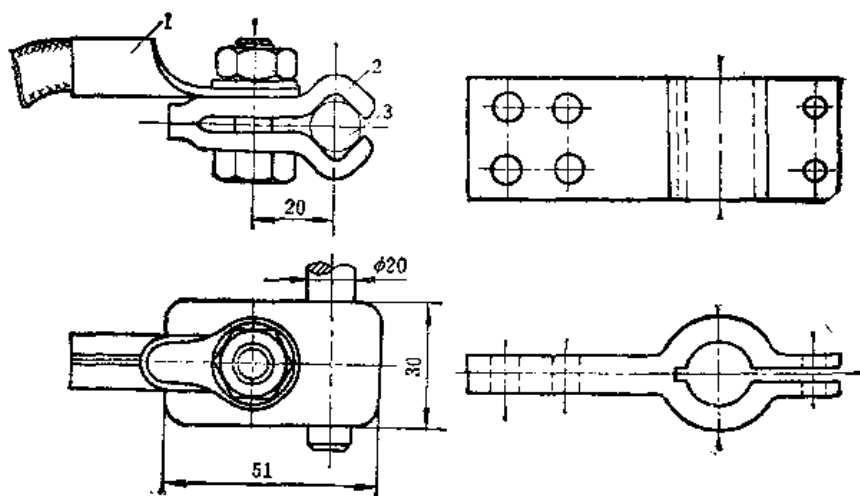


图23-5-24 较大炉子用接线夹
1—电源接头 2—出线夹子 3—引出棒

(二) 合金元件的使用

影响合金元件使用寿命的因素很多，但主要是决定于工作温度，所以通常也是根据炉子工作温度的高低来选用电热材料。合金元件的寿命与炉内介质、炉衬材料、加热冷却速度以及日常维护制度等

有关。

1. 合金元件的选用

合金元件的一个重要特性，是在使用温度下不应被周围介质所侵蚀。表23-5-12中列举了在各种介质中适用的合金元件。

如果合金元件表面形成的氧化膜粘附了其它物

表23-5-12 各种介质中适用的合金元件

| 介质名称 | 不宜使用的元件 | 适宜使用的元件 | 最高使用温度(°C) | 介质名称 | 不宜使用的元件 | 适宜使用的元件 | 最高使用温度(°C) |
|--------------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|--------------------------|--------------|
| 空气或氧化性气氛 | | 镍铬丝带 铁铬铝丝带 | 1150 1350 | 硫化氢、SO ₂ | 含镍多的材料 | 镍铬丝带 (Ni < 30%) 铁铬铝丝带 | 900 950 |
| 氮气 | 铁铬铝合金 | 不含铁的镍铬丝带 | 1150 | 卤族元素 | 含铁多的材料 | Cr20Ni80丝带, 含硅多的材料 | 300 |
| 氯化物 | 含铁多的材料 | Cr20Ni80丝带 含镍多的材料 | 1100 1100 | 碳化硅 | 含铁多的材料 | 含镍和铝多的材料 | 1000 |
| 氢气 | | 镍铬丝带 铁铬铝丝带 | 1150 1350 | 硅藻土 (包括含硫多的材料) | 含镍多的材料 | 铁铬铝丝带 | 800 |
| 水蒸汽 | 含铁多的材料 | 铁铬铝丝带 Cr20Ni80丝带 Cr15Ni60丝带 | 1350 1100 950 | 石棉 | | 镍、康铜、镍铬丝带 | 400 |
| 煤气 | 含铁多的材料, 尤其是含铝量也高时 | Cr20Ni80丝带 铁铬铝丝带 | 1100 1200 | 云母 | | 含铁的镍铬丝带 | 500 |
| 碳氢化合物、CO、CO ₂ | 含铁多的材料 | Cr20Ni80丝带 | 1050 | 玻璃、矿渣、搪瓷 | 含铁的镍铬丝带, 包括含镍多的 | Cr20Ni80丝带 铁铬铝丝带 | 1100 1200 |

注：最高使用温度仅供参考。

质,例如熔融金属(尤其是锌、铝、锡、铅、铜等),或者和熔融盐类、低价氧化物、氧化铁皮、搪瓷、釉药等接触,以致被破坏后,合金元件就会很快损坏。此外,炉子气氛和组成电热元件的金属元素形成了低熔点化合物或金属间化合物而变脆时,则合金元件的寿命也显著缩短。因此,在选定元件的材料时,必须充分考虑周围介质的影响。

为了增强合金元件的抗蚀性,延长元件的使用寿命,下面谈谈预先氧化处理、炉内气氛、盐类及搪瓷、金属及金属氧化物和耐火材料等5个有关问题。

(1) 预先氧化处理 元件在使用前,最好进行预先氧化处理和交替地进行氧化处理,使元件表面生成一层较纯的氧化膜,起到一定程度的保护作用。铁铬铝合金纯的氧化膜呈灰色,主要成分为 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 。镍铬合金纯的氧化膜呈墨绿色,主要成分为 Cr_2O_3 。这种纯的氧化膜组织是致密的,而且是难熔的。它紧密地附着在元件的基体上,具有一定的抗蚀性,因而起到某种程度的保护作用。

合金元件表面生成的氧化膜与合金元件基体的线膨胀系数不是完全一致的,急剧升温和急剧冷

却,都会使氧化膜致密的组织产生裂纹,以致氧化膜脱落,起不到应有的保护作用。

预先氧化处理的方法,是将安装完毕的合金元件,在烘干过的电阻炉内通电加热,使元件表面温度低于其最高使用温度 $100\sim 200^\circ\text{C}$,保温 $7\sim 10\text{h}$,然后随炉缓冷即可。 $0\text{Cr}25\text{Al}5$ 合金元件可在 1050°C 进行之。

(2) 炉内气氛 炉内气氛对合金元件有利与否,是关系元件使用寿命的一个极为重要的因素(表23-5-13)。

1) 干燥空气和纯氢:铁铬铝和镍铬合金元件在干燥空气中使用是最抗氧化的。纯氢对它们没有害处。

2) 含硫气氛:某些气体中,常常含有硫的杂质如 H_2S 、 SO_2 等。还有筑炉用的某些材料,以及被加热工件带入炉内的油等,常常产生硫的污染。在镍铬合金元件中,镍含量愈高,则亲硫愈厉害。在高温和含有硫的气氛中使用,元件表面上通过生成硫化物产生熔液区,硫通过这个熔液区更多地渗入合金内部。因为熔液区抵抗硫及其化合物侵蚀的能力是特别小的,奥氏体晶界逐渐地被硫化物所占

表23-5-13 炉内介质对合金元件的影响

| 介质名称 | 镍铬合金 | 铁铬铝合金 | 介质名称 | 镍铬合金 | 铁铬铝合金 |
|---|--|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 空气或氧化性气氛 | 无影响 | 无影响 | 氟气、氨气 | 影响较小 | 铬铝与氟的亲合力很强,在低温时就被浓氟氧化变脆 |
| 氢气 | 无影响 | 无影响 | 氟、氯、溴、砷及其化合物 | 严重破坏氧化膜 | 同镍铬合金 |
| 水蒸汽 | 不锈蚀 | 锈蚀 | 碱金属盐、硝酸盐、硅酸盐、硼酸盐和碳酸盐等 | 干扰生成或破坏氧化膜,并使铬析出表面 | 同镍铬合金 |
| 酸类蒸汽 | 不耐蚀 | 不耐蚀 | 铜、铝、锌、锡和铅等有色金属熔液或蒸汽 | 发生反应而形成低熔点化合物,破坏氧化膜,严重侵蚀元件 | 同镍铬合金 |
| 含硫气氛(SO_2 、 H_2S 等) | 镍含量愈高,亲硫愈厉害,生成低熔点(810°C)硫化镍,出现泡状突起,通称硫“痘疮”(图23-5-25) | 在含硫的氧化性气氛中无影响,但在含硫的还原性气氛中则寿命降低 | 重金属氧化物 | 生成低熔点的氧化物混合物,严重侵蚀元件,通称“灾难性的氧化” | 同镍铬合金 |
| 含碳气氛(各种煤气 CO 、 CO_2 等) | 生成低熔点($1200\sim 1250^\circ\text{C}$)碳化物共晶体,引起裂纹,甚至熔断 | 生成碳化物,使元件遭受破坏 | | | |
| 碳氢化合物 | 强烈地增碳,表面熔点降低,产生“绿色腐烂”(图23-5-26) | 增碳严重 | | | |

据，直到最后生成低熔点相。

元件中的镍与硫生成低熔点（约 810°C ）硫化镍，出现泡状突起，通称硫“痘疮”，如图23-5-25所示。

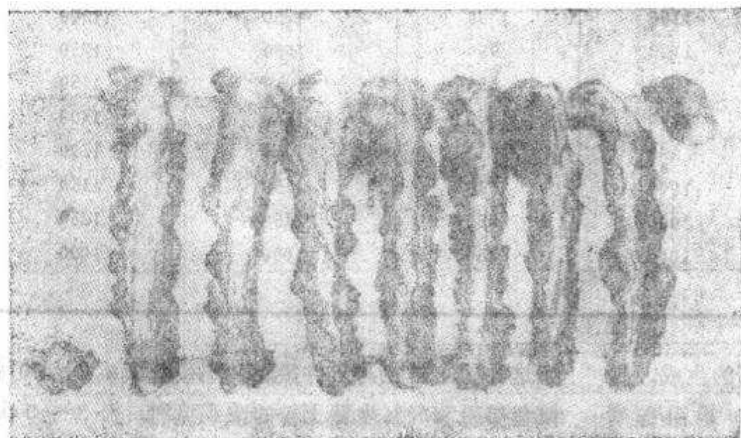


图23-5-25 Cr₂₀Ni₈₀元件生成的硫“痘疮”

铁铬铝合金元件在含硫的氧化性气氛中并无妨害，但在含硫的还原性气氛中则其使用寿命较短。

3) 氮气及氨气：铁铬铝合金元件直接暴露在氮气中使用，其寿命要比在空气中低，因为铁铬铝元件中的合金元素是铬和铝，它们与氮的亲合力很强，正如上述镍和硫的亲合力很强是一样的。高温时在饱和的氮气中使用，氧化膜保护层被破坏了，生成了氮化物，同时还使合金内部的铝又分离出来，也生成了氮化物。

在分解氨中使用，由于含氮量高，其使用寿命同样较低。

4) 含碳气氛：在含碳气氛中，镍铬和铁铬铝合金元件如果使用温度不高，元件表面上生成纯的氧化膜保护层，在一段时间内是能够阻止碳化的。随着使用温度的升高，在某一温度范围内，合金元件的表面发生强烈的渗碳作用，生成了某些碳化物，不管这些碳化物是沉淀在晶界上，还是沉淀在晶体内部，都是有害的。因为这些碳化物的共晶熔点比较低（ $1200\sim 1250^{\circ}\text{C}$ ）。如果继续使用，元件有可能被熔断。即使尚未熔断，碳化或再氧化就会交替地进行，使沉淀在晶体内部的碳化物变成氧化物（如一氧化碳）跑了出来，元件基体的紧密组织因而遭到破坏，以致产生裂纹。

同时，由于碳化物的形成，增加了材料的脆性，并且由单相组织变为多相组织，使电阻值大大增加，电热元件急剧老化。另外，在元件表面积存大量碳黑，由于导电，产生强大的电弧，造成局部烧损。

Cr₂₀Ni₈₀合金元件不能用于 $900\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 温度范围的放热性控制气氛中，否则碳氢化合物的强烈增碳，使其表面熔点降低，产生“绿色腐烂”，见图23-5-26。

若在元件表面涂复与元件无损害的高温无机釉层，使之牢固地粘附在元件表面上，起到比元件本身生成的纯氧化膜保护层更为有效的保护作用，可阻止元件的碳化。

5) 含卤气氛：少量的卤族元

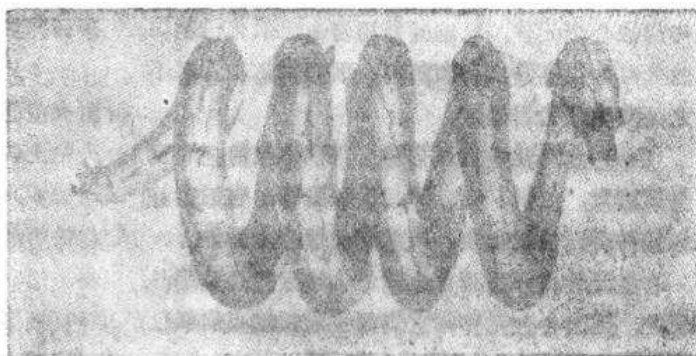


图23-5-26 Cr₂₀Ni₈₀元件生成的“绿色腐烂”

素（氟、氯、溴、碘）会对所有合金元件起腐蚀作用，即使在十分低的温度下，也会这样。

在各种炉子气氛中，可采取下列措施防止合金元件遭受侵蚀破坏：

① 采用耐热钢炉罐，使合金元件不与炉内气氛接触。

② 把合金元件装在辐射管中，使其与炉气隔开。

③ 在合金元件涂以保护釉层。

为防止合金元件在使用过程中表面氧化膜受到炉内气氛的侵蚀破坏，必须适当降低使用温度。在真空中，使用温度也应降低，以免元件在高温下挥发（表23-5-14）。

(3) 盐类及搪瓷 镍铬和铁铬铝合金元件直接接触到碱金属的盐类、卤族盐类、硝酸盐、硅酸盐、硼酸盐和碳酸盐等是不利的，因为这些盐类在

表23-5-14 合金元件在各种气氛中的最高使用温度

| 气氛名称 | 镍 铬 合 金 | | 铁 铬 铝 合 金 | | |
|--------------------------------------|----------|----------|-----------|---------------------------------|----------------|
| | Cr15Ni60 | Cr20Ni80 | 1Cr13Al4 | 0 Cr13Al6 Mo 2 RE. 0 Cr25Al5 | 0 Cr27Al7 Mo 2 |
| 空气或氧化性气氛 | 1000 | 1100 | 1000 | 1250 | 1400 |
| 氮气 | 1000 | 1100 | 950 | 1050 | 1250 |
| 分解氨 | 950 | 1050 | 950 | 1050 | 1150 |
| 干氢 | 1000 | 1100 | 1000 | 1250 | 1400 |
| 含硫气氛 | 900 | 950 | 950 | 1050 | 1100 |
| 含碳气氛 | 950 | 1000 | 950 | 1150 | 1150 |
| 碳氢化合物 | 900 | 1000 | 950 | 1150 | 1250 |
| 真空(真空度高于 4×10^{-2} Torr) | 900 | 1000 | 850 | 1000 | 1000 |

不同程度上干扰元件表面氧化膜保护层的生成。铁铬铝合金在常态下接触水溶性盐类,也能引起腐蚀。

搪瓷常常含有有害的化合物,它们通过蒸汽和飞溅腐蚀合金元件,影响其使用寿命。氧化铅在炉内的低温处很容易汽化和沉积,因而常常在意想不到之处发生氧化铅侵蚀。

(4) 金属及金属氧化物 某些熔化的金属及其金属蒸汽,如铜、铝、锌、锡和铅等,它们能够破坏元件表面的氧化膜,严重地侵蚀合金元件。

合金元件与一系列重金属氧化物直接接触都是不利的,因为合金元件与它们能生成低熔点的氧化物混合物,通常称为“灾难性的氧化”。

氧化铁斑点妨碍了保护层的正常形成,从而造成局部侵蚀。重油灰分中的氧化钒(V_2O_5),其熔点为675°C,对合金元件也有严重影响。

(5) 耐火材料的使用 一般耐火材料中含有 Fe_2O_3 ,在高温下将侵蚀元件表面的氧化层保护膜,形成低熔点化合物。特别是埋伏在耐火材料中的合金元件,一是缺氧的缘故,不能生成足够纯的氧化膜;二是元件产生的热量不能及时散发出去,温度逐渐升高;三是元件表面接触耐火材料面积较大。由于这3个主要原因,一旦耐火材料选用不当,更加剧了这一破坏过程。因此,使用耐火材料时必须注意下列事项:

1) 捆砖必须使用 Fe_2O_3 含量 $<1.5\%$ 、 Al_2O_3 含量 $>48\%$ 的高铝砖。砖的组织应致密,气孔率要低,冷热变化后或承受冲击时不易断裂。

2) 当炉温在1000°C以上使用时,捆砖必须采用 Fe_2O_3 含量 $<1\%$ 、 Al_2O_3 含量 $>70\%$ 的高铝砖。如

无这种砖,可在与元件接触的部位涂刷成分为70%氧化铝粉和30%生粘土粉的浓稠涂料,分2~3次涂刷,每层都要烘干,总厚度约2~3mm。

3) 在渗碳和碳氮共渗气氛中,最好采用抗渗碳砖作炉膛内衬,砖中 Fe_2O_3 含量必须小于1%。

4) 凡靠近螺母、承受紧固压力的绝缘子,如耐火垫圈、耐火套管等,最好由耐热瓷制成,因耐火粘土砖受压后易裂碎。

5) 当元件埋放时,应用氧化铝、氧化镁、氧化锆等高级耐火材料作覆盖涂料,不能采用隔热材料,绝对避免与石棉粉、矿渣棉、硅藻粉和水玻璃等直接接触。

2. 合金元件的代用

更换合金元件时,往往一时找不到同样成分或同一规格的电热材料,必须设法代用。代用时考虑的主要因素是:炉子的工作温度和材料的电阻系数,一定要保证原有的电阻值。

(1) 成分不同时的代用:

1) 如原来使用Cr15Ni60电阻丝,可用Cr20Ni80代用,因为它们的电阻系数差不多,可以直接代用,只要采用同一直径,按照同一长度下料即可。反之,若用Cr15Ni60去代Cr20Ni80,则应注意使用温度,不能超过Cr15Ni60的极限范围($<1000^\circ\text{C}$)。铁铬铝合金的代用方法也是如此。

2) 如原用Cr20Ni80电阻丝,想以0Cr25Al5代用,由于它们的电阻系数不同,必须重新计算。因为电阻系数不同,则采用的长度也不一样。

例 RJJ-25-9TG型井式渗碳炉原用 $\phi 4\text{mm}$ 的Cr20Ni80电阻丝,现要改用 $\phi 4\text{mm}$ 的0Cr25Al5电阻丝,试求需用长度和重量,并验证表面负荷。

已知 RJJ-25-9TG型井式渗碳炉的电源电压为380V, 功率为25kW, 采用三相星形接法, 炉子最高工作温度950°C, 则0Cr25Al5电阻丝的表面温度约1050°C左右, 其电阻系数为1.501Ω。

解

$$\textcircled{1} \text{ 长度 } L_x = \frac{U^2 \times \frac{\pi}{4} d^2}{N_x \cdot 10^3 \cdot \rho l} = \frac{380^2 \times \frac{3.142}{4} \times 4^2}{25 \times 10^3 \times 1.501} = 48.6 \text{ m}$$

$$\textcircled{2} \text{ 总长 } L = L_x \times 3 = 48.6 \times 3 = 145.8 \text{ m}$$

$$\textcircled{3} \text{ 总重 } G = \frac{\gamma S L_x}{10^3} = \frac{7100 \times \frac{3.142}{4} \times 4^2 \times 145.8}{10^3} = 13.0 \text{ kg}$$

$$\textcircled{4} \text{ 验证表面负荷 } W = \frac{N_x \cdot 10^2}{\pi d L_x} = \frac{8.3 \times 10^2}{3.142 \times 4 \times 48.6} = 1.36 \text{ W/cm}^2 \text{ (验算合格)}$$

(2) 规格不同的代用 虽有同样成分的电热材料, 但其规格(丝的直径、带的宽厚)不一样时, 务必重新计算。计算时一是要注意验算表面负荷, 看其是否合适; 二是要注意长度, 在原有炉内能否布置得下。

3. 使用寿命

合金元件在实际使用中, 其寿命的长短与工作温度、炉内介质、元件质量以及操作情况等许多因素有关。合金元件的使用寿命波动在6000~10000h范围或更长(表23-5-15)。一般来说, 镍铬合金较铁铬铝合金为长, 带状较丝状为长, 连续工作的比间断工作的为长。元件在使用过程中的正常损坏现象是氧化; 有的氧化层剥落变细; 有的氧化层增厚变粗; 也有的氧化后出现孔洞。经常是从外表来观察损坏情况, 看其直径有无显著变化, 经折断后即可看出内部的氧化程度, 因未氧化部分呈现银白色。

元件的损坏因素很多, 下面列举数例:

1) 介质接触的危害: 箱式炉内如有含碳可控气氛时, 由于硫的作用, 对元件寿命影响很大。当

表23-5-15 合金元件的使用寿命

| 电 阻 炉 | | 工作温度 (°C) | 炉 内 介 质 | | 合 金 元 件 | | 平 均 使用寿 命 (年) | 备 注 |
|--------|-------|--------------|--|---------|----------|---------|------------------------|------------|
| 名 称 | 用 途 | | 名 称 | 接 触 情 况 | 材 料 | 结 构 形 状 | | |
| 箱式电炉 | 淬火 | 890 | 含碳可控气氛 | 直接接触 | Cr20Ni80 | 螺旋形电阻丝 | 1.5~3 | |
| | 淬火 | 880 | 含碳可控气氛 | 直接接触 | 0Cr25Al5 | 螺旋形电阻丝 | 1~2 | |
| | 回火 | 650 | | | Cr15Ni60 | 螺旋形电阻丝 | 6~8 | |
| 台车式电炉 | 焙烧腊模壳 | 880 | NH ₄ Cl、NaCl | 接触 | Cr20Ni80 | 螺旋形电阻丝 | 1~1.5 | |
| 井式电炉 | 渗碳 | 950 | 渗碳气氛 | | Cr20Ni80 | 螺旋形电阻丝 | 1.5~3 | |
| | 渗碳 | 950 | 渗碳气氛 | | 0Cr25Al5 | 螺旋形电阻丝 | 2~3 | |
| | 碳氮共渗 | 860 | 煤气C ₂ H ₆ 、NH ₃ | | 0Cr25Al5 | 螺旋形电阻丝 | 1.5~2 | |
| | 正火 | 950 | | | 0Cr25Al5 | 螺旋形电阻丝 | 3~4 | |
| | 回火 | 650 | | | Cr15Ni60 | 螺旋形电阻丝 | 8~10 | |
| | 齿条加热 | 900 | | | Cr20Ni80 | 螺旋形电阻丝 | 2~3 | 冷热急 变频繁 |
| 坩埚式盐浴炉 | 淬火 | 880 | BaCl ₂ 、KCl等 | | Cr20Ni80 | 螺旋形电阻丝 | 2~3 | |
| 坩埚式铅炉 | 淬火 | 880 | 熔铅 | | Cr15Ni60 | 螺旋形电阻丝 | 1.5~2 | |
| 固定式坩埚炉 | 熔铝保温 | 720 | 铝合金 | | Cr20Ni80 | 螺旋形电阻丝 | 1~2 | |
| | 熔锌保温 | 430 | 锌合金 | | Cr15Ni60 | 螺旋形电阻丝 | 1~2 | |
| | 黄铜保温 | 940 | 铜合金 | | Cr20Ni80 | 三角形电阻带 | 4~6月 | |
| | 镀锡 | 450 | 锡合金 | | Cr15Ni60 | 电热管 | 1~1.5 | |
| 可倾式坩埚炉 | 熔铝 | 770 | 铝合金 | | Cr20Ni80 | 螺旋形电阻丝 | 3~5月 | 元件经 受振动 |
| 硝酸盐 | 回火 | 400 | KNO ₃ 、NaNO ₃ | | Cr15Ni60 | 螺旋形电阻丝 | 3~4 | |
| | 回火 | 500 | KNO ₃ 、NaNO ₃ | | Cr15Ni60 | 螺旋形电阻丝 | 1~1.5 | |

(续)

| 电 阻 炉 | | 工作温度 (°C) | 炉 内 介 质 | | 合 金 元 件 | | 平 均 寿 命 (年) | 备 注 |
|---------------|------|--------------|--|---------|----------|---------|----------------|------------|
| 名 称 | 用 途 | | 名 称 | 接 触 情 况 | 材 料 | 结 构 形 状 | | |
| 振底式电炉 | 淬火 | 880 | 含碳可控气氛 | 直接接触 | Cr20Ni80 | 螺旋形电阻丝 | 4~5 | 元件经 受振动 |
| 推杆式电炉 | 回火 | 650 | | | Cr15Ni60 | 螺旋形电阻丝 | 8~10 | |
| | 淬火 | 900 | | | Cr20Ni80 | 波纹形电阻带 | 5~8 | |
| 传送带式电炉 | 回火 | 650 | | | Cr15Ni60 | 螺旋形电阻丝 | 2~3 | |
| | 淬火 | 880 | | | Cr20Ni80 | 波纹形电阻带 | 5~8 | |
| | 光亮退火 | 960 | 含碳可控气氛 | 直接接触 | Cr20Ni80 | 波纹形电阻带 | 1.5~3 | |
| 连续式有罐炉 | 渗碳 | 950 | 渗碳气氛 | | Cr20Ni80 | 三角形电阻带 | 4~5 | |
| 连续式电加热 无罐炉 | 渗碳 | 950 | 渗碳气氛 | 直接接触 | 0Cr25A15 | 波纹形电阻板 | 2~3 | |
| | 渗碳 | 950 | 渗碳气氛 | 直接接触 | Cr20Ni80 | 电热辐射管 | 6~8月 | |
| | 碳氮共渗 | 860 | C ₂ H ₆ 、NH ₃ | 直接接触 | Cr20Ni80 | 波纹形电阻板 | 1.5~2 | |
| 升降式电炉 | 退火 | 960 | | | Cr20Ni80 | 三角形电阻带 | 1.5~3 | |
| 电泳浸漆烘干 室 | 浸漆烘干 | 600 | | | Cr15Ni60 | 电阻丝辐射板 | 2~3 | |

渗碳炉的炉罐破裂后，渗碳气氛就会通过裂缝射向元件，使之烧毁。黄铜保温炉的“铜霜”通过炉盖隙缝掉入炉膛，与元件接触后，很快地使其破坏。硝盐漏到元件表面后，其侵蚀作用虽属次要，但由于硝盐导电而发生的短路现象，却往往会使电阻丝局部烧坏。

2) 倾倒时振动的影响：例如，可倾式铝保温炉的元件寿命一般很低，主要原因是：倾倒时的振动会直接破坏铁铬铝元件的强度，由于脆性引起折断；当倾倒时若小钩钩得不牢，元件会触及坩埚发生短路；坩埚上的氧化皮受振动后会掉到元件上，产生短路；坩埚漏炉后，铝合金又漏到元件上，量大时立即引起短路，量小时侵蚀元件也甚严重。

3) 安装位置和散热情况：如贯通式有罐炉、无罐炉、推杆式炉等的一、二区底部较易损坏，主要是炉门开启频繁，温度急剧变化，引起元件的热疲劳以及底部散热情况不好。即使是井式炉，也是底部易坏，这是由于掉入砂子、氧化皮以及散热条件较差所致。

(三) 合金元件的验算

在电阻炉修理过程中或是考虑材料代用时，经常需要对元件的材料尺寸和表面负荷进行验算。

1. 表面负荷

正确选用元件的表面负荷，不仅可以节约材料，而且还能增加元件的使用寿命。如镍铬合金元件的表面负荷过高，熔化的液体自元件内部流出来，并呈葡萄状态积聚在表面上（图23-5-27）。合金元件的表面负荷可以参考图23-5-28和图23-5-29的曲线图进行选择。

对带状元件的表面负荷可以选得比线状的高一些，甚至有时可增加50%。

选用表面负荷时，还应考虑元件在炉用的具体情况：

1) 如元件被安置在密封的瓷管、辐射管或马弗内，冷却条件很不好，其表面负荷应降低40%~50%。

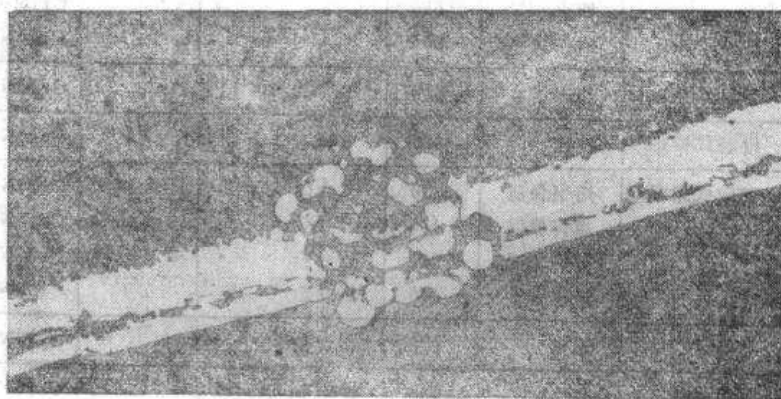


图23-5-27 Cr20Ni80 元件表面负荷过高生成的葡萄

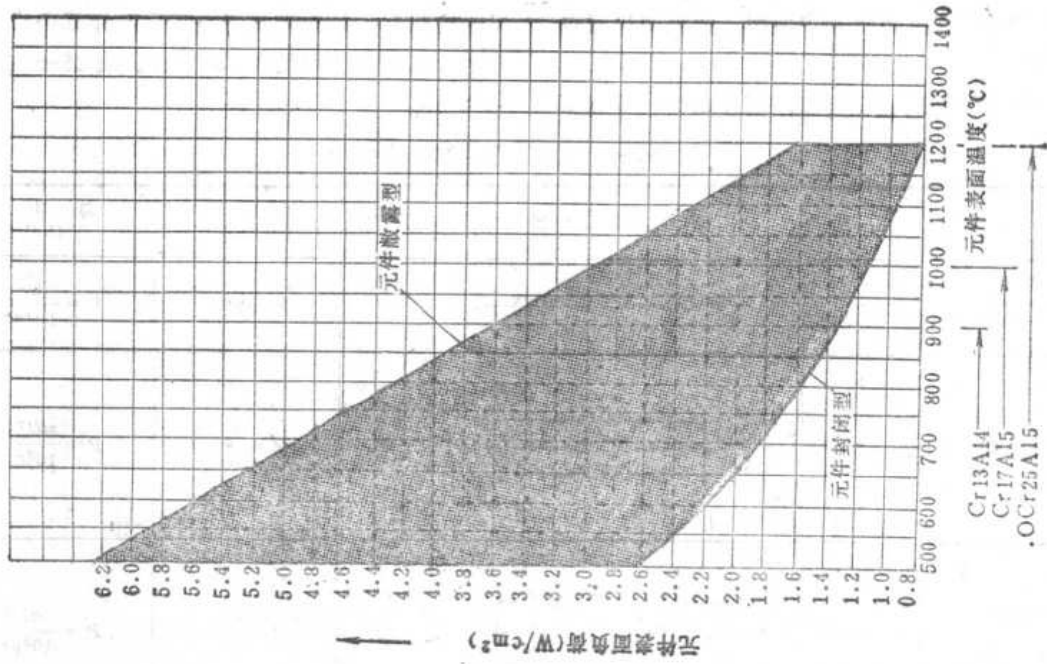


图23-5-29 铁铬铝合金元件表面负荷曲线图

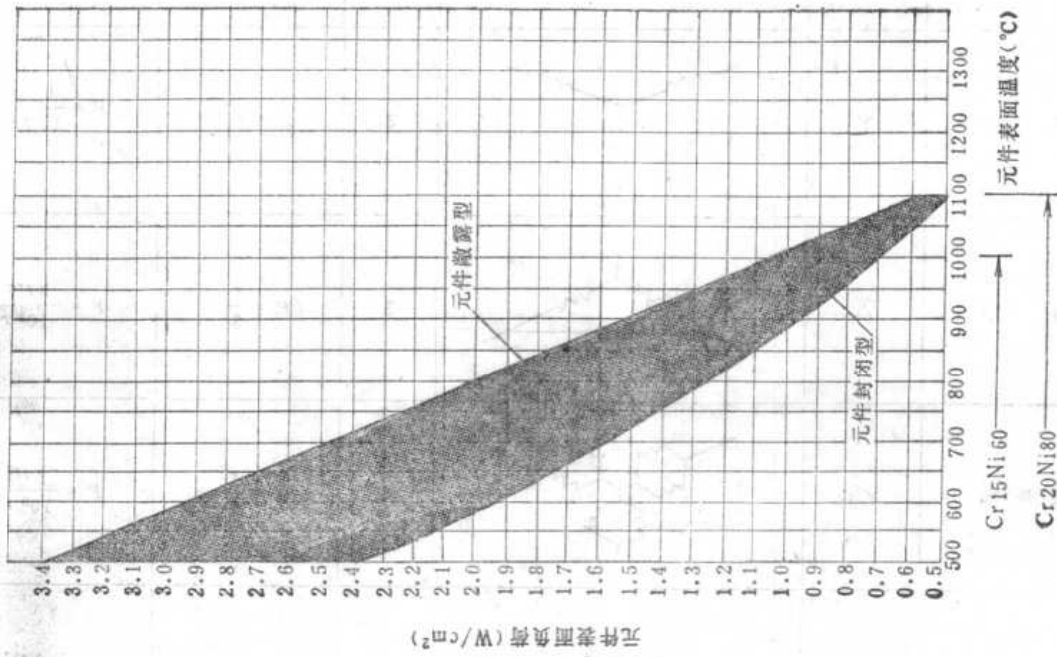


图23-5-28 镍铬合金元件表面负荷曲线图

2) 如炉内安有风扇, 元件在强制对流中散热, 表面负荷可增加30%~50%。但当风扇停止运转时, 必须立即停电。

3) 如元件在有害气氛中使用, 其表面负荷也应取低一些。

4) 如用于熔炼有色金属, 则应比黑色金属为低。

2. 尺寸计算

采用公式计算比较精确, 适用于各种不同情况。电热元件接线方式、电工参数计算公式和合金元件计算公式分别见表 23-5-16、表 23-5-17 和表 23-5-18。

表23-5-16 电热元件接线方式

| 接线名称 | 代号 | 示意图 | 总件数 | 总电阻 (Ω) | 总功率 (kW) |
|-----------------|-----|-----|-----|--------------------|----------------------------|
| 串联 | + | | n | $R = nr$ | $P = \frac{U^2}{10^3 nr}$ |
| 并联 | | | m | $R = \frac{r}{m}$ | $P = \frac{mU^2}{10^3 r}$ |
| 串一并 (先串联后并联) | + - | | mn | $R = \frac{nr}{m}$ | $P = \frac{mU^2}{10^3 nr}$ |
| 并一串 (先并联后串联) | + - | | m n | $R = \frac{nr}{n}$ | $P = \frac{nU^2}{10^3 nr}$ |
| 星形 | Y | | 3 | $R = r$ | $P = \frac{U^2}{10^3 r}$ |
| 角形 | △ | | 3 | $R = \frac{r}{3}$ | $P = \frac{3U^2}{10^3 r}$ |
| 双星形 | YY | | 6 | $R = \frac{r}{2}$ | $P = \frac{2U^2}{10^3 r}$ |
| 双角形 | △△ | | 6 | $R = \frac{r}{6}$ | $P = \frac{6U^2}{10^3 r}$ |

(续)

| 接线名称 | 代号 | 示意图 | 总件数 | 总电阻 (Ω) | 总功率 (kW) |
|-------------------|-------|-----|-----|--------------------|----------------------------|
| 串—星 (先串联后连成星形) | + - Y | | 3n | $R = nr$ | $P = \frac{U^2}{10^3 nr}$ |
| 串—角 (先串联后连成角形) | + - Δ | | 3n | $R = \frac{nr}{3}$ | $P = \frac{3U^2}{10^3 nr}$ |
| 并—星 (先并联后连成星形) | n - Y | | 3n | $R = \frac{r}{n}$ | $P = \frac{nU^2}{10^3 r}$ |
| 并—角 (先并联后连成角形) | n - Δ | | 3n | $R = \frac{r}{3n}$ | $P = \frac{3nU^2}{10^3 r}$ |

注: P —总功率 (kW); U —电源电压 (V); r —元件电阻 (Ω); R —总电阻 (Ω); n —元件数; m —元件组数。

表23-5-17 电参数计算公式

| 电参数 | 星形接法Y | 角形接法Δ | 电参数 | 星形接法Y | 角形接法Δ |
|----------|---|--|--------------|---|---|
| 相功率 (kW) | $P_x = \frac{P}{3}$ | $P_x = \frac{P}{3}$ | 线电流 (A) | $I = I_x = \frac{P}{\sqrt{3}U}$ | $I = \sqrt{3}I_x = \frac{P}{\sqrt{3}U}$ |
| 相电压 (V) | $U_x = \frac{U}{\sqrt{3}}$ | $U_x = U$ | 相电阻 (Ω) | $R_l = \frac{U_x^2}{10^3 P_x}$ | $R_l = \frac{U_x^2}{10^3 P_x}$ |
| 相电流 (A) | $I_x = \frac{P_x}{U_x} = \frac{P}{\sqrt{3}U}$ | $I_x = \frac{P_x}{U_x} = \frac{P}{3U}$ | 20°C时相电阻 (Ω) | $R_{20} = \frac{\rho_{20}}{\rho_l} R_l$ | $R_{20} = \frac{\rho_{20}}{\rho_l} R_l$ |

注: ρ_l —元件在 l °C时的电阻系数 (Ω·mm²/m); ρ_{20} —元件在20°C时的电阻系数 (Ω·mm²/m)。

表23-5-18 合金元件计算公式

| 元件参数 | 电阻丝 | 电阻带 | 元件参数 | 电阻丝 | 电阻带 |
|--------------|--|--|------------------------------|--|---|
| 截面尺寸 (mm) | $d = 34.4 \sqrt[3]{\frac{P_x \rho_l}{U_x^2 \omega}}$ | $a = \sqrt[3]{\frac{10^5 \rho_l P_x^2}{1.88 m(m+1) U_x^2 \omega}}$ | 元件截面积 (mm ²) | $S = \frac{\pi d^2}{4}$ | $S = 0.94ab = 0.94m a^2$ |
| 每相长度(m) | $L_x = \frac{R_l S}{\rho_l}$ | $L_x = \frac{R_l S}{\rho_l}$ | 每相元件重量 (kg) | $G = \rho L_x = \frac{\gamma S L_x}{10^6}$ | $G = \rho L_x = \frac{\gamma ab L_x}{10^6}$ |
| | | | 表面负荷 (W/cm ²) | $\omega = \frac{10^3 P_x}{\pi d L_x}$ | $\omega = \frac{10^3 P_x}{2(a+b)L_x}$ |

注: d —电阻丝直径 (mm); a —电阻带厚度 (mm); b —电阻带宽度 (mm); m —电阻带宽厚比, 通常 $m = \frac{b}{a} = 5 \sim 15$; ρ —每米电阻丝重量 (kg/m); ρ —材料密度 (kg/m³)。

表23-5-19 电阻带计算系数值

| 电阻带宽厚比 $m = \frac{b}{a}$ | 5 | 8 | 10 | 12 | 15 |
|--------------------------|------|-------|------|-------|-------|
| 厚度系数 K_a | 0.11 | 0.081 | 0.07 | 0.063 | 0.054 |
| 宽度系数 K_b | 0.54 | 0.65 | 0.70 | 0.75 | 0.81 |

表23-5-20 电热合金材料在不同温度下的电阻系数 (ρ_t)

| 型号 | 20°C | 100°C | 200°C | 300°C | 400°C | 500°C | 600°C | 700°C | 800°C | 900°C | 1000°C | 1100°C | 1200°C | 1300°C |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Cr15Ni60 | 1.100 | 1.114 | 1.132 | 1.151 | 1.168 | 1.181 | 1.180 | 1.191 | 1.198 | 1.207 | 1.216 | | | |
| Cr20Ni80 | 1.110 | 1.117 | 1.128 | 1.137 | 1.144 | 1.149 | 1.150 | 1.151 | 1.152 | 1.153 | 1.154 | 1.152 | | |
| 1Cr13A14 | 1.260 | 1.279 | 1.297 | 1.315 | 1.334 | 1.353 | 1.372 | 1.391 | 1.411 | 1.429 | | | | |
| 6Cr13A16Mo2R | 1.400 | 1.401 | 1.402 | 1.410 | 1.420 | 1.430 | 1.437 | 1.474 | 1.481 | 1.484 | 1.489 | 1.490 | 1.496 | |
| 0Cr25A15 | 1.450 | 1.453 | 1.457 | 1.462 | 1.469 | 1.475 | 1.482 | 1.488 | 1.497 | 1.497 | 1.498 | 1.500 | 1.508 | |
| 0Cr27A17Mo2 | 1.500 | 1.496 | 1.481 | 1.488 | 1.486 | 1.489 | 1.489 | 1.480 | 1.481 | 1.489 | 1.489 | 1.483 | 1.490 | 1.490 |

当在一般箱式电阻炉、并式电阻炉、台车式电阻炉和罩式电阻炉中采用0Cr25A15元件时,可用下列简化公式计算元件截面尺寸。

采用电阻丝时: $d = 0.336 \sqrt[3]{I^2}$ mm

采用电阻带时: $a = Ka \sqrt[3]{I^2}$ mm

(系数 Ka 见表23-5-19),

$b = Kb \sqrt[3]{I^2}$ mm

(系数 Kb 见表23-5-19)。

计算时,电热合金材料在不同温度下的电阻系数 (ρ_t) 可以采取表23-5-20所列的数值。

例1 已知RJX-15-9型箱式电阻炉的电源电压为380V,功率为15kW,采用单相串联方法,如用Cr20Ni80电阻丝,求其直径、长度和重量。

解 设炉子工作温度为900°C,则Cr20Ni80电阻丝的表面温度约1000°C左右,其电阻系数为1.141 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$,选取表面负荷 $\omega = 1.1 \text{ W}/\text{cm}^2$ 。

1) 求直径

$$d = 34.4 \sqrt[3]{\frac{P \rho_t}{U^2 \omega}} = 34.4 \sqrt[3]{\frac{15 \times 1.141}{380^2 \times 1.1}}$$

= 4.01 mm

取 $d = 4 \text{ mm}$

2) 求长度

$$L_x = \frac{R_1 S}{\rho_t} = \frac{U^2 \frac{\pi}{4} d^2}{10^3 P_x \rho_t} = \frac{380^2 \times \frac{3.142}{4} \times 4^2}{10^3 \times 15 \times 1.141}$$

= 1.06 m

3) 求重量

$$G = g L_x = \frac{\gamma S L_x}{10^6}$$

$$= \frac{8400 \times \frac{3.142}{4} \times 4^2 \times 106}{10^6} = 11.3 \text{ kg}$$

例2 已知RJX-45-9型箱式电阻炉的电源电压为380V,总功率为45kW,采用三相两组串联星形接法,炉子最高工作温度950°C,如用0Cr25A15电阻丝,求其直径、长度和重量,并验证表面负荷。

解 0Cr25A15电阻丝在950°C时的电阻系数为1.501 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

1) 求直径 $d = 0.336 \sqrt[3]{I^2} = 0.336 \sqrt[3]{68.3^2}$
= 5.6 mm

取 5.5 mm

2) 求长度 $L_x = \frac{U^2 \frac{\pi}{4} d^2}{10^3 P_x \rho_t}$

$$= \frac{220^2 \times \frac{3.142}{4} \times 5.5^2}{10^3 \times 15 \times 1.501}$$

= 51 m

3) 求总长 $L = L_x \times 3 = 51 \times 3 = 153 \text{ m}$

4) 求总重 $G = \frac{\gamma S L}{10^6}$

$$= \frac{7100 \times \frac{3.142}{4} \times 5.5^2 \times 153}{10^6}$$

= 25.8 kg

$$\begin{aligned}
 5) \text{ 验证表面负荷 } \omega &= \frac{10^2 P_x}{\pi d L_x} \\
 &= \frac{10^2 \times 15}{3.142 \times 5.5 \times 51} \\
 &= 1.7 \text{ W/cm}^2
 \end{aligned}$$

(验算合格)

例3 已知RJX-75-9型箱式电阻炉的电源电压为380V, 总功率为75kW, 采用三相星形接法, 炉子最高工作温度950°C, 如用0Cr25Al5电阻带, 求带的厚度、宽度、长度和重量, 并验证表面负荷。

解 0Cr25Al5电阻带在950°C时电阻系数为 $1.501\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, 选取电阻宽厚比 $m = \frac{b}{a} = 8$ 。

1) 求厚度和宽度

$$a = K_a \sqrt[3]{I^2} = 0.081 \sqrt[3]{113.6^2} = 1.01 \text{ mm 取}$$

$$a = 2 \text{ mm}$$

$$b = K_b \sqrt[3]{I^2} = 0.65 \sqrt[3]{113.6^2} = 15.3 \text{ mm 取}$$

$$b = 15 \text{ mm}$$

即电阻带的规格为 $2 \times 15 \text{ mm}$ 。

2) 求长度

$$\begin{aligned}
 L_x &= \frac{R_t S}{\rho_t} = \frac{U_t^2 S}{10^3 P_x \rho_t} = \frac{220^2 \times 0.94 \times 2 \times 15}{25 \times 10^3 \times 1.501} \\
 &= 36.5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3) 求总长

$$L = L_x \times 3 = 36.5 \times 3 = 109.5 \text{ m}$$

4) 求总重

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{\gamma S L_x}{10^3} = \frac{7100 \times 0.94 \times 2 \times 15 \times 109.5}{10^3} \\
 &= 21.9 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

5) 验证表面负荷

$$\begin{aligned}
 \omega &= \frac{10^2 P_x}{2(a+b)L_x} = \frac{10^2 \times 25}{2(2+15) \times 36.5} \\
 &= 2.0 \text{ W/cm}^2
 \end{aligned}$$

(验算合格)

3. 常用合金元件参考表

常用标准电阻炉(如中温箱式炉、井式渗碳、井式回火炉、坩埚盐浴炉等), 使用合金元件的参考数据分别列入表23-5-21~表23-5-25。

表23-5-21 中温箱式炉用合金元件的参考数据

| 参数名称 | RJX-15-9 | | RJX-30-9 | | RJX-45-9 | | RJX-60-9 | | RJX-75-9 |
|---------------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | Cr20Ni80 | 0 Cr25Al5 | Cr20Ni80 | 0 Cr25Al5 | Cr20Ni80 | 0 Cr25Al5 | Cr20Ni80 | 0 Cr25Al5 | 0 Cr25Al5 |
| 额定功率(kW) | 15 | | 30 | | 45 | | 60 | | 75 |
| 额定电压(V) | 380/220 | | 380/220 | | 380/220 | | 380/220 | | 380/220 |
| 相数 | 1/3 | | 3 | | 3 | | 3 | | 3 |
| 接线方法 | 串/Y | | Y/Δ | | Y/Δ | | YY/ΔΔ | | YY/ΔΔ |
| 最高工作温度(°C) | 950 | | 950 | | 950 | | 950 | | 950 |
| 冷态相电阻(Ω) | 3.06 | 2.80~3.08 | 4.6 | 4.19~4.61 | 1.53 | 1.40~1.57 | 4.44 | 4.44 | 3.35~3.68 |
| 电阻丝直径d(mm) | φ4 | φ4 | φ4.5 | φ4.5 | φ5.5 | φ5.5 | φ4.5 | φ4.5 | φ5 |
| 螺旋中径D(mm) | φ32 | φ35 | φ35 | φ30 | φ35 | φ35 | φ35 | φ35 | φ35 |
| 螺旋节距h ₁ 侧面(mm) | 9 | 8.5 | 11.4 | 10 | 17.2 | 20.2 | | | 15.8 |
| 底部(mm) | 9 | 8.5 | 10.8 | 10 | 17.2 | 20.2 | | | 16 |
| 相展开长度(m) | 31 | 29 | 58.3 | 55 | 29.1 | 50.2 | 62.6 | 51 | 54.3 |
| 全台长度(m) | 93 | 87 | 174.9 | 165 | 174.6 | 150.6 | 375.6 | 306 | 325.8 |
| 全台重量(kg) | 9.9 | 7.7 | 23.9 | 22.7 | 33.5 | 27.3 | 51 | 34.6 | 45 |
| 引出棒直径和数量(mm) | φ12×6 | φ12×6 | φ12×6 | φ12×6 | φ12×12 | φ12×6 | φ12×12 | φ12×12 | φ12×12 |
| 表面负荷(W/cm ²) | 1.31 | 1.36 | 1.21 | 1.35 | 1.57 | 1.53 | 1.13 | 1.39 | 1.54 |

表23-5-22 井式渗碳炉用合金元件的参考数据

| 参数名称 | RJJ-25 9TG | | RJJ-35-9TG | | RJJ-60-9TG | | RJJ-75-9TG | | RJJ-90-9TG | | |
|---------------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|------|------|
| | Cr15Ni60 | 0Cr25A15 | Cr20Ni80 | 0Cr25A15 | Cr20Ni80 | 0Cr25A15 | 0Cr25A15 | | 0Cr25A15 | | |
| 额定功率 (kW) | 25 | | 35 | | 60 | | 75 | | 90 | | |
| 额定电压 (V) | 380/220 | | 380 | | 380 | | 380 | | 380 | | |
| 相数 | 1/3 | | 3 | | 3 | | 3 | | 3 | | |
| 接线方法 | 串/Y | | Y | | YY (二段加热) | | YY (二段加热) | | YYY (二段加热) | | |
| 最高工作温度 (°C) | 950 | | 950 | | 950 | | 950 | | 950 | | |
| 冷态相电阻 (Ω) | 6.12 | 1.78~5.28 | 3.82 | 3.59~3.73 | 4.09 | 4.18~4.51 | 5.24~5.76 | 2.47~2.71 | 4.18~4.61 | | |
| 电阻丝直径 d (mm) | φ4 | φ4 | φ5 | φ4.5 | φ4.5 | φ4.5 | φ4 | φ6 | φ4.5 | φ4.5 | φ4.5 |
| 螺旋中径 D (mm) | φ32 | φ32 | φ35 | φ32 | φ32 | φ35 | φ32 | φ35 | φ35 | φ35 | φ40 |
| 螺旋节距 h (mm) | 11.4 | 12.3 | | 14.2 | 10.2 | 10.8~16.4 | 10.2 | 15.1 | 12.8 | 19.2 | 9.65 |
| 相展开长度 (m) | 53.2 | 49.5 | 67.5 | 47 | 60.0 | 55 | 54.5 | 58 | 55 | 55 | 55 |
| 全台长度 (m) | 159.6 | 148.5 | 202.5 | 141 | 360 | 330 | 163.5 | 174 | 165 | 165 | 165 |
| 全台重量 (kg) | 16.8 | 13 | 33.6 | 15.8 | 46.5 | 45.4 | 14.5 | 33.5 | 68.3 | | |
| 引出棒直径和数量 (mm) | φ12×6 | φ12×6 | φ12×6 | φ12×6 | φ12×12 | φ12×12 | φ12×12 | | φ12×18 | | |
| 表面负荷 (W/cm ²) | 1.25 | 1.34 | 1.10 | 1.58 | 1.24 | 1.29 | | | | | |

表23-5-23 井式回火炉用合金元件的参考数据

| 参数名称 | RJJ-24-6 | | RJJ-36-6 | | RJJ-75-6 | |
|---------------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| | Cr15Ni60 | 0Cr25A15 | Cr15Ni60 | 0Cr25A15 | Cr15Ni60 | 0Cr25A15 |
| 额定功率 (kW) | 24 | | 36 | | 75 | |
| 额定电压 (V) | 380/220 | | 380/220 | | 380/220 | |
| 相数 | 1/3 | | 1/3 | | 3 | |
| 接线方法 | 串/Y | | Y/Δ | | YY | |
| 最高工作温度 (°C) | 650 | | 650 | | 650 | |
| 冷态相电阻 (Ω) | 1.75 | 1.76~1.94 | 3.52 | 3.53~3.88 | 3.41 | 3.39~3.72 |
| 电阻丝直径 d (mm) | φ5 | φ5 | φ5 | φ4.5 | φ4.5 | φ5 |
| 螺旋中径 D (mm) | φ35 | φ35 | φ35 | φ35 | φ37.5 | φ32 |
| 螺旋节距 h (mm) | 13.2 | 15 | 11 | 14.4 | 28.3 | 22.2 |
| 相展开长度 (m) | 31.8 | 28.2 | 64 | 45.8 | 50 | 54 |
| 全台长度 (m) | 95.4 | 84.6 | 192 | 137.4 | 300 | 324 |
| 全台重量 (kg) | 15.6 | 11.6 | 30.6 | 15.3 | 38.7 | 44.4 |
| 引出棒直径和数量 (mm) | φ12×6 | φ12×6 | φ12×6 | φ12×6 | φ12×12 | φ12×12 |
| 表面负荷 (W/cm ²) | 1.6 | 1.81 | 1.2 | 1.67 | 1.77 | 1.64 |

表23-5-24 坩埚盐浴炉用合金元件的参考数据

| 参 数 名 称 | RYG-10-8 | | RYG-20-8 | | RYG-30-8 | |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Cr20Ni80 | 0Cr25Al5 | Cr20Ni80 | 0Cr25Al5 | Cr20Ni80 | 0Cr25Al5 |
| 额定功率 (kW) | 10 | | 20 | | 30 | |
| 额定电压 (V) | 220 | | 380/220 | | 380/220 | |
| 相数 | 1 | | 3 | | 3 | |
| 接线方法 | 串 | | Y/Δ | | Y/Δ | |
| 最高工作温度 (°C) | 850 | | 850 | | 850 | |
| 冷态相电阻 (Ω) | 4.47 | 4.45 | 2.22 | 2.21 | 4.47 | 4.45 |
| 电阻丝直径 <i>d</i> (mm) | φ4.5 | φ4.5 | φ5 | φ5 | φ4.5 | φ4.5 |
| 螺旋中径 <i>D</i> (mm) | φ35 | φ35 | φ37 | φ35 | φ35 | φ35 |
| 螺旋节距 <i>h</i> (mm) | 10.2 | 13.4 | 9 | 11.3 | 9.25 | 17 |
| 相展开长度 (m) | 64.0 | 48.8 | 39.3 | 29.5 | 64.0 | 48.8 |
| 全台长度 (m) | 64.0 | 48.8 | 118 | 88.5 | 192.0 | 146.4 |
| 全台重量 (kg) | 8.55 | 5.52 | 19.5 | 12.3 | 25.6 | 16.6 |
| 引出棒直径和数量 (mm) | φ12×2 | φ12×2 | φ12×6 | φ12×6 | φ12×6 | φ12×6 |
| 表面负荷 (W/cm ²) | 1.10 | 1.45 | 1.08 | 1.44 | 1.11 | 1.45 |

表23-5-25 常用工业电阻炉用合金元件的参考数据

| 电炉功率 (kW) | 电源电压 (V) | 元件电流 (A) | 元件电阻 (Ω) | 元件相数 | 接线方法 | 炉子温度 (°C) | 合 金 元 件 | | | 全 台 | | 表面负荷 (W/cm ²) |
|-----------|----------|----------|----------|------|------|-----------|----------|-----|----------|---------|----------|---------------------------|
| | | | | | | | 材 料 | 形 状 | 规 格 (mm) | 长 度 (m) | 重 量 (kg) | |
| 10 | 220 | 45.45 | 4.84 | 1 | 串 | 900 | Cr15Ni60 | 线状 | φ4.5 | 63.8 | 8.3 | 1.11 |
| 10 | 220 | 45.45 | 4.84 | 1 | 串 | 1000 | Cr20Ni80 | 线状 | φ4.5 | 66.7 | 8.9 | 1.06 |
| 10 | 220 | 45.45 | 4.84 | 1 | 串 | 1100 | 0Cr25Al5 | 线状 | φ4.5 | 51.0 | 5.8 | 1.39 |
| 15 | 380 | 39.47 | 9.69 | 1 | 串 | 900 | Cr15Ni60 | 线状 | φ4 | 98.1 | 10.0 | 1.22 |
| 15 | 380 | 39.47 | 9.69 | 1 | 串 | 1000 | Cr20Ni80 | 线状 | φ4 | 91.5 | 9.7 | 1.30 |
| 15 | 380 | 39.47 | 9.69 | 1 | 串 | 1100 | 0Cr25Al5 | 线状 | φ4 | 80.5 | 7.2 | 1.49 |
| 20 | 380 | 52.63 | 7.23 | 1 | 串 | 900 | Cr15Ni60 | 线状 | φ4.5 | 94.2 | 12.2 | 1.50 |
| 20 | 380 | 52.63 | 7.23 | 1 | 串 | 1000 | Cr20Ni80 | 线状 | φ4.5 | 99.3 | 13.2 | 1.43 |
| 20 | 380 | 52.63 | 7.23 | 1 | 串 | 1100 | 0Cr25Al5 | 线状 | φ5 | 94.1 | 13.1 | 1.35 |
| 30 | 380 | 45.45 | 4.84 | 3 | Y | 900 | Cr15Ni60 | 线状 | φ4.5 | 191.3 | 24.8 | 1.11 |
| 30 | 380 | 45.45 | 4.84 | 3 | Y | 1000 | Cr20Ni80 | 线状 | φ4.5 | 202.0 | 27.0 | 1.05 |
| 30 | 380 | 45.45 | 4.84 | 3 | Y | 1100 | 0Cr25Al5 | 线状 | φ4.5 | 153.0 | 17.4 | 1.39 |
| 45 | 380 | 68.18 | 3.22 | 3 | Y | 900 | Cr15Ni60 | 线状 | φ5.5 | 191.1 | 37.0 | 1.36 |
| 45 | 380 | 68.18 | 3.22 | 3 | Y | 1000 | Cr20Ni80 | 线状 | φ5.5 | 201.9 | 40.6 | 1.29 |
| 45 | 380 | 68.18 | 3.22 | 3 | Y | 1100 | 0Cr25Al5 | 线状 | φ5.5 | 152.1 | 25.7 | 1.71 |
| 45 | 380 | 34.09 | 6.45 | 3 | YY | 1100 | 0Cr25Al5 | 线状 | φ4 | 322.2 | 28.8 | 1.11 |
| 60 | 380 | 90.91 | 2.42 | 3 | Y | 900 | Cr15Ni60 | 线状 | φ6.5 | 199.5 | 54.0 | 1.60 |
| 60 | 380 | 90.91 | 2.42 | 3 | Y | 1000 | Cr20Ni80 | 线状 | φ6.5 | 210.9 | 59.0 | 1.51 |
| 60 | 380 | 90.91 | 2.42 | 3 | Y | 1100 | 0Cr25Al5 | 线状 | φ6.5 | 160.2 | 37.8 | 1.98 |
| 60 | 380 | 45.45 | 4.84 | 3 | YY | 1100 | 0Cr25Al5 | 线状 | φ4.5 | 306.0 | 34.6 | 1.39 |
| 75 | 380 | 113.6 | 1.94 | 3 | Y | 900 | Cr15Ni60 | 线状 | φ7 | 185.4 | 58.2 | 1.84 |
| 75 | 380 | 113.6 | 1.94 | 3 | Y | 1000 | Cr20Ni80 | 线状 | φ7 | 195.6 | 63.2 | 1.75 |
| 75 | 380 | 113.6 | 1.94 | 3 | Y | 1100 | 0Cr25Al5 | 线状 | φ8 | 194.4 | 69.4 | 1.54 |
| 75 | 380 | 56.8 | 3.88 | 3 | YY | 1100 | 0Cr25Al5 | 线状 | φ5 | 303.0 | 42.3 | 1.58 |
| 75 | 380 | 37.8 | 5.81 | 3 | YYY | 1100 | 0Cr25Al5 | 线状 | φ4 | 335.6 | 38.9 | 1.37 |
| 75 | 380 | 113.6 | 1.94 | 3 | Y | 1100 | 0Cr25Al5 | 带状 | 2×15 | 114.0 | 23.8 | 1.93 |

(四) 合金元件的修理

1. 合金元件的修理

损坏的元件如经修补尚可恢复使用，就一定要坚持修理后再用。对于比较严重的缺陷，且已确实不能再用，方可更换某一段、某一相或某一区，决不可以因为其中有局部不合格就整套报废。

凡具有下列情况之一，可以整套更换电热元件：

1) 由于氧化、侵蚀、截面变小或相变老化，电阻丝带的冷态电阻增加或减少到设计要求电阻值的15%~20%以上。

2) 变形严重，并已失去抗拉和耐压强度，确实无法进行校正。

3) 严重碳化、硫化或是被某些介质侵蚀变质；材质疏松内部空心、表面硬化以及裂纹变脆。

4) 由于化学作用，在元件表面生成一层化合物，且难以除去，直接影响元件的发热量。

在更换整套合金元件时，其中可用部分仍要割下继续使用。引出棒不得报废，一般修正或割短后应重复使用。

更换损坏的电阻丝带时，必须在炉子冷却后进行。

(1) 镍铬电阻丝带的修理 首先必须了解元件的氧化情况，以便决定采用哪种焊补方法。只要将元件折断，就能知道其新旧程度，未氧化部呈银白色。

1) 氧化严重时，银白色的铁芯很细，焊补时容易烧断，即使勉强补上，也用不多久。

2) 氧化不太严重时，应用搭接法。

3) 如元件还比较新时，可采用对接法。

对一般的断头可直接焊补。对倒塌严重，不能整直的，局部过烧一部分或放电弧蚀一大片等，损坏较重，长达数圈或更多，则需局部换取一段。焊补时要注意元件的材质、直径、长度以及螺径。焊补后应检查电阻值，因为电阻值的变更将会使功率发生变化，结果不是温度达不到要求，便是温度太高，使用不久元件又将烧毁。

由于操作习惯的不同，焊补镍铬电阻丝带时既可电焊，也可气焊。冷却后焊补时可拉到炉口，或进入炉膛进行。但在炉膛内就地焊接时只能一面焊补。

1) 气焊修补时必须注意下列事项：

① 焊丝可用成分相同的镍铬电阻丝。

② 采用对接法时最好要用中性焰。焊补氧化较为严重的元件时，要很好地除去氧化膜，使金属熔合在一起。

③ 采用搭接法时，其搭接长度为：电阻丝不得小于直径的10倍，电阻带不得小于带宽的一倍。

2) 电焊修补时必须注意下列事项：

① 焊条成分为Cr25Ni20，其直径为 $\phi 3.2\text{mm}$ ，焊接电流约110~120A，如电流过大，则引弧时易出坑。

② 焊补 $\phi 3\sim\phi 6\text{mm}$ 电阻丝时，将两断头对正，一打火引弧，立即提起约15~20mm，这时电弧未断，但又不继续熔化，由于镍铬合金的流动性差，迅速将电焊条上欲掉而尚未掉落的光滑球状熔液，准确地引至对接处。一般打弧两次，在接头处点上两滴熔液即足以焊接牢固。点上熔滴时要注意距离，否则又易烧掉，若操作不当，反易烧断，这时对接将变得困难。焊补 $\phi 2\text{mm}$ 电阻丝时，将两根电阻丝绞拧靠紧（图23-5-30），垂直放置，打火引弧后要迅速准确地把熔滴引向绞丝上端，即可焊牢。

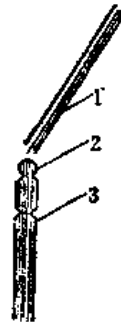


图23-5-30 $\phi 2\text{mm}$ 镍铬电阻丝的焊接

1—焊丝 2—熔滴 3—电阻丝

③ 搭接长度为20~30mm，焊补时引弧的动作要快而稳，以防咬肉出坑。中间稍慢，并要填满。对氧化较为严重的元件进行搭接焊时，容易偏弧或是造成假焊，一般需要重复焊补两次。

(2) 铁铬铝电阻丝带的修理 焊补铁铬铝电阻丝带时一般采用电焊，因为电焊比气焊的速度快，而且可以限制元件的受热范围。在绕制、搬运或安装过程中发生断裂的电阻丝带，因元件尚未使用，其韧性仍然较好，即可依照前述的焊接方法进行焊补。修理已使用过的铁铬铝电阻丝带时，由于

晶粒长大，塑性很低，不允许在冷态弯曲、拉伸或经受剧烈振动。若需整形或展开螺距时，必须加热进行。装卸元件的操作也要特别谨慎，最好能在炉内直接进行焊补。

采用电弧焊修补铁铬铝电阻丝带时，必须注意下列事项：

1) 最好使用稀土铁铬铝焊条，其直径为 $\phi 3.2\text{mm}$ ，焊接电流约 $90\sim 110\text{A}$ 。若无铁铬铝焊条，也可采用 $\text{Cr}25\text{Ni}20$ 焊条。

2) 焊补电阻丝时，轻轻将两断头互相插合（图23-5-31），然后再进行焊接。

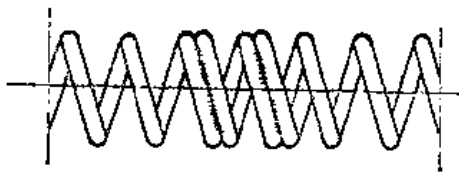


图23-5-31 电阻丝断头插合焊补

3) 如果电阻丝由于某种损坏原因不够长时，可在中间换补一段（图23-5-32），但要注意相互间的材质、直径以及长度，焊补后必须检查电阻值。



图23-5-32 电阻丝换补一段

4) 焊补电阻丝时，同样可以采用铣槽焊、钻孔焊，也可采用铣槽冷压，如图23-5-33所示。

5) 电阻带的焊补可以根据不同情况，采取多种多样的方式，如图23-5-34所示。

6) 焊补时要注意连接处尽可能接触良好，且不损伤交接处元件的截面和表面。元件若需调直和弯曲，都必须加热到暗樱红色方可进行，以防折断。

(3) 铁铬铝电阻板的修理 电阻板在使用过程中损坏的主要原因是断裂，开始时在板的两侧产生裂缝，逐渐向中间或另一侧蔓延扩大，最后断裂两段。一般裂缝多呈横向。电阻板经渗碳后，焊补时在熔池周围铁水不易挂住。根据情况的不同，焊补操作时可以在炉内或炉外进行。

焊补铁铬铝电阻板时，必须注意下列事项：

1) 电焊用稀土铁铬铝焊条或 $\text{Cr}25\text{Ni}20$ 焊条，

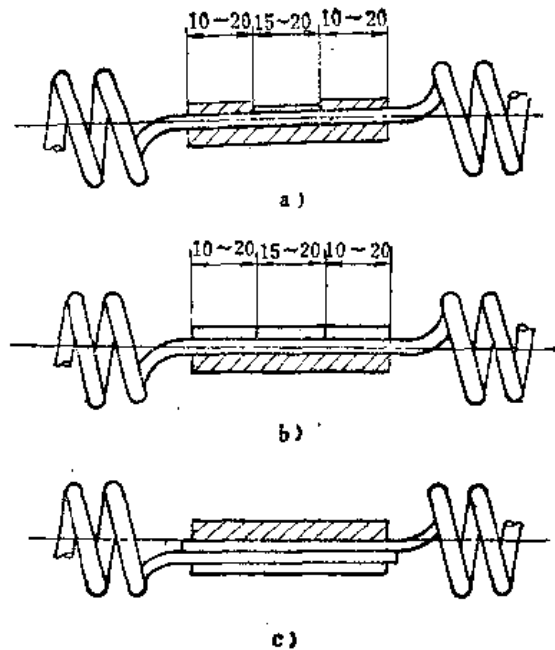


图23-5-33 电阻丝的焊补和冷压
a) 铣槽焊 b) 钻孔焊 c) 铣槽冷压

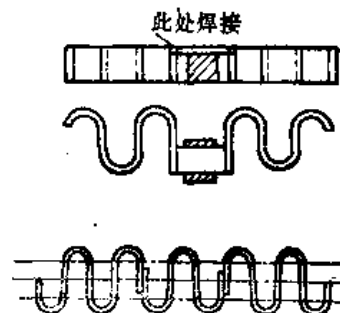


图23-5-34 电阻带的焊补

其直径为 $\phi 3.2\text{mm}$ 。

2) 焊接电流要小，约在 $90\sim 100\text{A}$ 范围内。采用短弧焊接，电弧尽量压得低些，因为长弧温度高，合金元素容易烧损，并产生气孔。

3) 焊补前，首先在裂缝周围约 300mm 范围内预热至 $250\sim 300^\circ\text{C}$ 。预热能减少焊件受热部分之间的温差，降低焊接区的冷却速度和焊接应力。

4) 如在炉内操作，对于裂缝直接采用连续焊缝即可。电焊时必须由下而上焊接，且要运用焊条端部托住铁水，防止掉落。对于断头，对接后即可补焊，但要注意两块电阻板的预热温度必须一致，否则不易熔合，且会造成使用不久再次烧坏。

5) 如在炉外操作, 可在切割机上切去一段, 按原有形状和尺寸再补上一块。最好采用平焊, 由于铁水的流动性不好, 立焊时容易产生疙瘩。

6) 焊补时一定要注意深度, 让其完全焊透。否则由于截面减小, 电阻增大, 在使用过程中又会很快烧坏。

7) 焊补后必须加热到 800°C 左右退火, 以降低硬度, 并可消除焊缝中的内应力, 随后缓慢冷却。

8) 如在炉内操作, 则可将刚焊完的电阻板包上石布, 关严炉门即可; 如在炉外操作, 则应埋设在干燥洁净的石灰粉或石英砂($2\sim 3\text{mm}$)内, 让其自然冷却(约 24h), 以防变形或产生裂纹。

2. 元件的热修

合金元件在使用过程中经常发生事故性的损坏, 一般都是停炉冷却后再行修理。但有时为了保证生产, 不允许停炉冷修, 必须立即进行热炉抢修。热修元件时首先停电, 尽可能采取局部降温。在炉外找准损坏的元件是哪一相或哪一组, 以便进行快速修理。热修时最好采用电焊, 这比气焊要快, 而且比较安全。热修时应用长柄钳、长柄钩以及石棉手套等隔热保护用品。

(1) 小型电阻炉的热修 当箱式炉或井式炉的电阻丝损坏时, 首先取出炉内工件以及炉罐等构件。在炉外用仪表和钳钩找准损坏的准确部位, 条件许可时, 尽可能把它拉到炉口进行焊补。送入炉膛时要放稳钩牢。若小钩也已损坏, 可用泡沫轻质砖锯成的三角块(图23-5-35)堵塞卡紧。

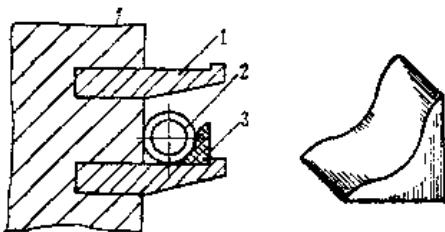


图23-5-35 三角砖塞紧电阻丝
1—捆砖 2—电阻丝 3—三角砖

必须进入炉膛热修时, 一定要使炉内降温, 同时要有相应的冷却措施, 用压缩空气或风机送入冷风。当引出棒端头的电阻丝断了, 热修时可在炉外取出引出棒, 在棒的外端钻上小孔。将电阻丝拉至炉口与引出棒焊接后, 再将一根铁丝穿进引出棒的小孔, 堵紧后, 用长柄钳小心地将铁丝送入引出棒

孔, 然后在此孔即可拉出引出棒。如欲换取整根电阻丝时, 也可采用上述方法。

(2) 大中型电阻炉的热修 当贯通式有罐炉的底部电阻带损坏后, 可直接拉出炉外进行修理。修理有罐炉、推杆式炉的侧面电阻带时, 可以局部吊起炉盖, 在需要修理的周围用耐热钢板或石棉板挡上, 与炉内其它热源隔开, 并用压缩空气强迫冷却, 以造成一个便于操作的“安全区”。当无罐炉的一端或侧门电阻板损坏后, 同样可用耐热钢板堵上, 隙缝处塞上石棉绳, 降温冷却后进行抢修。

当II-650型升降式电退火炉的电阻带损坏后, 在装料小车上架起鼓风机, 面对损坏部分强行冷却, 然后顺着冷空气流置入空中炉膛焊补。元件的热修不仅很不安全, 而且由于强迫冷却对炉衬和元件影响很大, 一般情况下应尽量不用。当元件事故性损坏后, 可以在工艺上采取延长时间或在电气上采取改变接线方法等临时措施来维持生产。

(五) 合金元件的日常维修

日常的操作使用和维护保养的良好与否, 对合金元件的使用寿命有着很大的影响, 必须引起足够的重视。

1. 操作使用方面

1) 操作时不准将潮湿工件装入炉内, 禁止长时间超温、超负荷使用。

2) 炉子升温后不准长时间打开炉门。当温高于 400°C 时, 不得急剧冷却。

3) 有强制通风的炉子, 当风机停止运转后, 绝对禁止使用电炉。

4) 注意装料和出料时切勿触及电热元件, 不要碰撞炉罐和炉架, 同时严禁在元件通电时装、出料。

5) 往外热式盐浴坩埚内加入工件不宜过多, 以免由于外溢熔盐淌到元件而被短路烧毁。

6) 在各种电阻炉内, 如无罐炉的电热元件, 又没涂以保护釉层时, 禁止通入有损元件使用寿命的可控气氛。

7) 炉子在工作时, 应经常注意控制盘上的红绿灯是否正常(即保温时经一段时间, 红绿灯要交换一次), 以免因控制开关失灵而烧毁电热元件。

8) 随时注意仪表的工作情况, 发现炉温与仪表指示不正常时, 必须及时分析处理。

9) 电阻炉容量超过 100kW 时, 每个加热区最

好装有检查用的电流表。对于三相高温电炉，则每相都应装有电流表。

2. 维护保养方面

1) 炉内的氧化皮必须经常用毛刷、扫帚或压缩空气清除干净，以防落在合金元件上而发生短路，一般每月不应少于一次。

2) 底板、坩埚、炉罐等耐热钢构件每经使用一段时间，最好吊起敲击，清除其氧化铁皮，以及崩及或埋没元件。尤其是铬锰氮钢，用到后期时剥落更为严重。

3) 箱式炉炉门的下齿和井式炉炉盖的环刀必须严密插入砂封槽内，砂封内的砂子不能装得过多，并要平正。如掉入炉内砂子，则应及时清理。对于低温炉 ($<650^{\circ}\text{C}$)，则可垫上一层完好的石棉绳衬垫。

4) 外热式盐浴炉应定期吊出坩埚，清除熔盐。元件表面的凝盐可用热水清洗；坩埚上的凝盐则可采用刮除的方法清除。

5) 黄铜保温炉的炉盖必须对接严密，防止“铜霜”掉入炉膛而侵蚀元件。

6) 避免铜、铝、锌、锡、铅等有色金属与电

热元件接触，无论是细粉、熔液或蒸汽，在高温时对元件的侵蚀都是十分有害的。这是因为被侵蚀的部位形成“麻坑”，截面变小，最后由于过热而烧断。

7) 升降式电退火炉用小车盖板应压盖严密，以防铸件退火时掉入砂子，埋没元件而发生过热熔化，必须经常检查，并及时清除积砂。

8) 由于升温停炉时的热胀冷缩以及蠕变伸长等，引出棒接线夹子的螺栓容易发生氧化松动，应该定期检查拧紧。

9) 引出棒孔要堵塞严密，以免漏出保护气体在此燃烧，引起棒体氧化掉皮，造成引出棒与夹子接触不良。

10) 在无罐渗碳炉或采用含CO的可控气氛时，会发生碳的游离而导致短路。故应经常开启炉门或定期用压缩空气进行吹洗，使碳的燃烧物及时烧掉。

3. 常见故障分析

合金元件在使用过程中的正常损坏现象，主要是氧化变细变脆，但经常由于使用不当，引起短路、过烧或是被介质侵蚀等故障。合金元件常见故障分析见表23-5-26。

表23-5-26 常见故障分析

| 序号 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|------|--|---|
| 1 | 短路熔断 | 1. 元件安装不良，耐热钢小钩变形、烧断或没钩紧引起接触短路 2. 炉罐、坩埚、料筐等在炉膛中没有放正 3. 炉底安放元件时，底板压垫不严，掉入氧化铁皮 4. 炉罐、坩埚、底板等材质不好，氧化严重，大块剥落前到元件上 5. 装料时工件碰及元件或堆放不好，倒塌触及元件 6. 盐浴炉装料过满，溢出熔盐或坩埚漏盐 7. 可倾式坩埚炉倾倒时元件易掉出触及坩埚，坩埚上的氧化皮或漏炉时的熔液易掉到元件上 8. 漏盐沿着坩埚下流 9. 渗碳炉内碳层严重，积碳成丝或砖体渗碳而成导体，引起打弧 10. 坩埚损坏没有及时修补，元件下垂 11. 芯棒氧化弯曲，压碎外套的耐火管，致使绕在管上的电阻丝与芯棒接触 | 1. 小钩一定要钩紧钩牢 2. 放正放稳，保持中心位置 3. 压盖严密，定期清理氧化铁皮 4. 选好耐热钢构件材料，并定期吊起清理 5. 注意装料，堆放稳固 6. 注意装料，发现漏盐立即检修 7. 元件要钩牢，经常注意坩埚情况 8. 用石棉绳堵牢 9. 定期清除积碳或更换炉衬 10. 及时修补坩埚 11. 经常检查，发现问题及时修理 |

(续)

| 序号 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|---------|---|---|
| 2 | 过热烧断 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 材料成分不符规定 2. 焊接质量不好 (咬肉、气孔、假焊、焊不透等) 3. 表面负荷过大, 熔化的液体自元件内部流出来, 呈“葡萄”状 4. 耐火管质量不好或久用变质, 失去绝缘能力, 与引出棒的氧化皮熔成一团 5. 盖板、砂封不严, 掉入砂子后埋没元件, 过热熔成团块 6. 介质腐蚀后截面显著减小, 电阻急剧增大而过熔 7. 电热管内螺旋圈分布不均, 管外散热情况又差 8. 仪表出故障或不能正常工作 9. 电气元件工作失灵 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 制造前一定把好材料关 2. 严格焊接质量 3. 选择合适的表面负荷 4. 注意耐火管质量, 定期检查更换 5. 压盖严密, 及时清除掉入的砂子 6. 防止各种介质的侵蚀 7. 螺旋圈必须分布均匀, 并注意散热情况 8. 定期检查, 及时消除故障 9. 发现问题, 及时解决 |
| 3 | 介质腐蚀 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 含硫气体使镍铬合金产生硫“痘疮” 2. 碳氮共渗时如采用烃类 (C_2H_6 等), 则会引起镍铬合金的“绿色腐蚀” 3. 熔炼精铸脱模壳时, 氯化铵和氯化钠对元件腐蚀变脆, 对铁铬钎尤为厉害 4. 碱金属的盐类、卤族盐类、硝酸盐、硅酸盐、硼酸盐和碳酸盐都不同程度地侵蚀元件 5. 铜、铝、锌、锡、铅等有色金属的溶液和蒸汽以及重金属氧化物都严重地侵蚀元件 6. 搪瓷和玻璃侵蚀元件 7. 与绝热材料 (如石棉、矿渣棉、玻璃棉) 接触时, 相互作用而重熔断 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 设法降低炉气的含硫量, 采用低硫或无硫元件 2. 元件表面涂以保护层 3. 不能采用铁铬钎元件, 用镍铬元件也要经常注意腐蚀情况 4. 避免这些盐类与元件直接接触 5. 严禁直接接触 6. 防止相互接触 7. 注意使用温度与接触情况 |
| 4 | 电阻变化 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 当温度高、冷热变化大时容易引起氧化掉皮 2. 气氛影响, 导致氧化膜增厚, 元件老化 3. 各种介质腐蚀引起截面局部减小, 电阻增大 4. 由于金属从单相组织变为多相组织, 电阻增加 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 尽量减少炉门启闭和装料次数 2. 合理选用炉内气氛 3. 避免接触有害介质 4. 超过一定值后应于更换 |
| 5 | 温度不均或发白 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 元件表面损伤或轧制质量不良 (裂纹、砂眼) 2. 元件的表面负荷过大 3. 焊接质量不好, 局部发白 4. 安装时电阻丝螺距严重疏密不均 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 注意材料和元件质量 2. 选择合理的表面负荷 3. 严格焊接质量 4. 保持螺距均匀 |

| 序号 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|---------|--|--|
| 5 | 温度不均或发白 | 5.三相电流不平衡,过流的一相往往发白 6.夹具安放和移动时碰上元件 7.新旧元件配合使用时,阻值不一或粗细不均 8.局部修补的元件,误用其他材料,或其直径、长度符合要求 | 5.设计及安装时应予注意 6.注意夹具位置 7.测量阻值,注意直径大小 8.采用符合要求的材料、直径和长度 |
| 6 | 引出棒发红 | 1.引出棒与元件的截面比例过小 2.引出棒与元件的焊接质量不良 3.引出棒与夹子接触面不光滑,不紧密 4.引出棒使用过久,氧化变细 | 1.合理选用截面比例 2.严格焊接质量 3.经常保持接触良好 4.及时更换引出棒 |
| 7 | 裂断 | 1.材料本身原有的缺陷 2.引出棒与元件联接的结构不合理 3.焊接质量不好 4.铁烙铝元件焊后没有退火或遭受急冷 5.搬运过程中乱掷折断 6.安装时硬拉硬别,用力过猛 7.往炉内加料时乱掷碰断 | 1.制造及安装前须仔细检查 2.改进联接结构 3.注意焊接质量 4.焊后必须退火并注意缓冷 5.搬运时轻拿轻放 6.用力相应,不能硬拉 7.加料必须小心安放 |
| 8 | 电阻丝扒下 | 1.螺旋中径D与电阻丝直径d选择不当 2.长时间炉温过高 3.电阻丝氧化变细,失去强度 4.小钩没有钩牢电阻丝 | 1.选好尺寸比例 2.严禁超过规定温度使用 3.及时更换 4.一定钩住钩牢 |

第6节 钼 丝

(一) 钼丝的绕制和安装

钼丝较脆,不易绕成螺旋状,因此,在使用时一般是聚成一束,在刚玉炉膛四周缠绕。

1. 刚玉炉膛

刚玉炉膛不仅承受高温的作用,而且还要遭到温度剧变、炉气侵蚀以及料盘推动时的碰撞和摩擦等。因此,刚玉炉膛系采用高级耐火材料制成,且应满足表23-6-1中所列的理化指标。

刚玉炉膛应是表面光滑,没有分层,在常温下无开裂现象,尤其是炉膛内壁的底面及两侧面必须平滑。

刚玉炉膛有圆形和马蹄形两种,如图23-6-1所示。由于结构形状不同,其使用温度和寿命也不一样,一般来说圆形的比马蹄形的为好。

表23-6-1 刚玉炉膛的理化指标

| 指 标 名 称 | 数 值 |
|------------------------------------|----------|
| Al ₂ O ₃ (%) | 91~95 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 不大于 0.25 |
| 碱性氧化物 (%) | 不大于 0.5 |
| 耐火度 (°C) | 不小于 1900 |
| 0.2MPa荷重软化开始点 (°C) | 不小于 1600 |
| 线膨胀系数 (%) | 1.4~2 |
| 气孔率 (%) | 22~24 |
| 常温耐压强度 (MPa) | 不小于 35 |

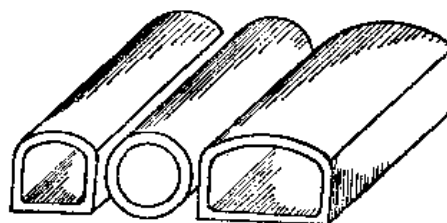


图23-6-1 刚玉炉膛

刚玉炉膛使用前必须在180~220°C下烘烤24

h. 以排除吸附水, 使其充分干燥。

2. 钼丝的绕制

钼丝直径必须小于2.5mm, 过大则不易绕制。将钼丝往刚玉炉膛上绕制时, 考虑到刚玉在高温下的线膨胀系数大于钼丝, 故缠绕不得过紧。为了适当的控制缠绕的松紧度, 每缠绕一环, 在炉膛与钼丝之间沿周用干燥的木棍或竹竿(约4~5mm正方)垫在其中, 每周需用4~6根。高温时木棍或竹竿烧掉, 这就补偿了两种材料在高温下膨胀系数的不同。钼丝的绕制方法见图23-6-2。

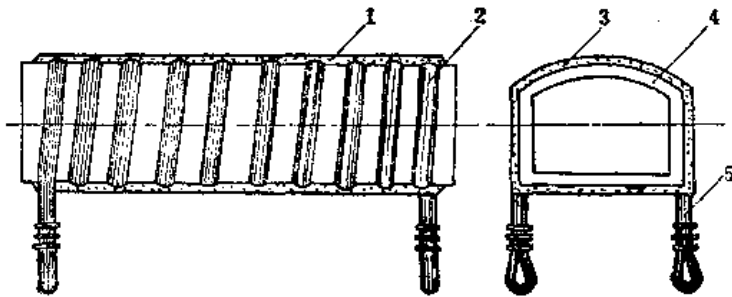


图23-6-2 钼丝的绕制方法

1—保护涂料 2—钼丝 3—木棍或竹竿 4—刚玉炉膛 5—引出线

钼丝是采取绞股或并排, 平铺缠绕在刚玉炉膛的外表面, 在中段相距稍大, 两端相距较小。往炉膛上缠绕钼丝时是在专用的夹具(图23-6-3)上进行的, 否则不易控制钼丝的间隔距离和松紧程度。绕制完毕必须测量其电阻值, 且应符合图纸要求。

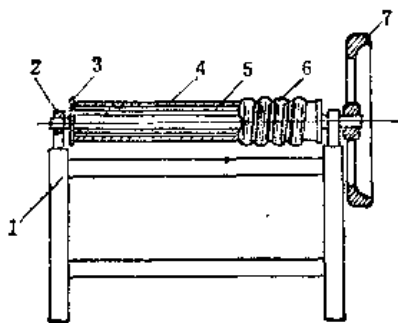


图23-6-3 钼丝绕制用夹具

1—支架 2—轴承架 3—压板 4—拉杆
5—刚玉炉膛 6—钼丝 7—手轮

3. 涂保护涂料

缠绕钼丝后的炉膛, 在钼丝外面还要涂上一层保护涂料, 以保护钼丝免受氧化, 并保持钼丝相互间的距离, 以免发生短路。保护涂料的组成见表23-6-2。

表23-6-2 保护涂料的组成

| 材料名称 | 重量比(%) | 备注 |
|----------|--------|------|
| 刚玉(170目) | 60 | 必须过筛 |
| 刚玉粉(3μm) | 35 | |
| 糖浆和纸浆 | 5 | |
| 蒸馏水 | 适量 | |

将料放在搪瓷桶中混合搅匀, 涂层厚度约5mm, 在烘箱中以30~50°C/h的升温速度, 加热至200~220°C, 保温8h。升温时不得过快, 以防产生龟裂, 尤其不能用火烤或热风吹。若温度过高, 会造成钼丝氧化而改变电阻, 其后果不仅影响钼丝的使用寿命, 甚至达不到工艺温度。

4. 炉膛的安装

安装刚玉炉膛时必须注意下列事项:

1) 安装前要认真检查托板砖和枕砖的水平情况, 刚玉炉膛放置中心, 放平放稳后引出钼丝。

2) 由于钼丝不能焊接, 只能用机械方法连接, 即用螺钉固定在引出棒上, 再与二次导线连接(图23-6-4)。

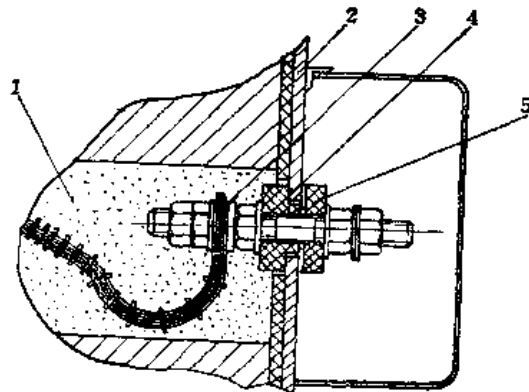


图23-6-4 钼丝与引出棒的连接

1—刚玉砂 2—炉壳 3—钼丝 4—绝缘砖 5—绝缘垫

3) 往炉内充填新刚玉粉时, 必须在1260°C温度下煅烧6h, 以排除结构水, 以免影响钼丝寿命或造成氢混爆鸣事故。

4) 吊上炉盖前铺上绝缘板和密封垫, 逐个拧紧螺栓, 然后再涂抹一层由纸浆和200目刚玉粉混合的密封涂料。

5) 密封两端炉口, 进行炉体打压试验。将氮

气充入炉体，用肥皂水涂在密封口和管路上进行试漏，直至压力达到8000Pa，并在10min内不得下降250Pa时为止。

(二) 钼丝的日常维护

钼丝的电阻在常温时很小，随温度升高而增加很大，到1400℃以上时，其电阻比在20℃时大10倍，所以钼丝炉必须有调节范围很宽的调压装置。如果能用可控硅进行无级调压，则最为理想。开炉时一般用感应变压器来慢慢调整电压，不致因电流急剧增加而熔断钼丝。钼丝在日常使用中必须注意下列事项：

1) 严格按照升温曲线升温，调整电压时，每次调压范围不得超过5V。

2) 钼丝在工作时不得骤冷，停送保护气体的温度应低于200℃。钼丝氧化后成白须状挥发物，经常积聚在炉盖的顶部。

3) 钼丝与耐火粘土砖在1200℃就发生作用，与镁砖则在1600℃开始反应；与SiO₂化合成MoSi₂和Mo₂O₃，严重损坏钼丝元件。

4) 避免与石墨接触，如前所述，由于在高温下钼与石墨会产生激烈的化学反应。

5) 炉子不能过载运转，否则冲天电流太大，以致熔断钼丝。

6) 钼丝经高温使用后变脆，必须严防高温热震。

7) 随时注意刚玉炉膛情况，因为炉膛的损坏必将导致钼丝的报废。

1. 钼丝的验算

钼丝的表面负荷采用范围较宽，一般经验数据取2~3W/cm²。

例 已知钼丝炉的高温带功率为23kW，假设

电压70V，如用φ1.2mm钼丝，求其根数和长度，并验算表面负荷。

解 钼丝在1600℃时的电阻系数

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t) = 0.045(1 + 5.5 \times 10^{-3} \times 1600) = 0.44 \quad \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$\text{电流 } I = \frac{N}{U} = \frac{23000}{70} = 329 \quad \text{A}$$

$$\text{总电阻 } R_{\Sigma} = \frac{U}{I} = \frac{70}{329} = 0.21 \quad \Omega$$

1) 求根数：

$$n = \sqrt{\frac{4 \times 10^5 N_{\Sigma}^2 \rho_t}{\pi^2 d^3 U^2 W}} = \sqrt{\frac{4 \times 10^5 \times 23^2 \times 0.44}{3.14^2 \times 1.2^3 \times 70^2 \times 2}} = 24 \quad \text{根}$$

$$\text{每根功率 } N_{\text{根}} = \frac{N_{\Sigma}}{n} = \frac{23000}{24} = 958 \quad \text{W}$$

$$\text{每根电阻 } R_t = \frac{U^2}{10^3 N_{\text{根}}} = \frac{70^2}{10^3 \times 0.958} = 5.11 \quad \Omega$$

2) 求长度：

$$L = \frac{R_t S}{\rho_t} = \frac{5.11 \times 3.14 \times \left(\frac{1.2}{2}\right)^2}{0.44} = 13.1 \quad \text{m}$$

因考虑引出端的长度，则取L=13.5m。

3) 验证表面负荷：

$$W = \frac{N_{\Sigma} \cdot 10^3}{\pi d L_n} = \frac{23000}{3.14 \times \frac{1.2}{10} \times 13.5 \times 100 \times 24} = 1.9 \quad \text{W/cm}^2$$

(验算合格)

2. 钼丝的常见故障分析

钼丝在1500℃连续使用时，其寿命一般波动在4~6个月范围内。钼丝损坏的主要原因是氧化变脆而折断。钼丝经使用后不能重复绕制，一次损坏后即报废。钼丝常见故障分析见表23-6-3。

表23-6-3 钼丝的常见故障分析

| 序号 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|------|--|--|
| 1 | 氧化 | 1. 氢气供给不足或质量不纯 2. 冷炉时停送保护气体过早 3. 炉内刚玉填料水汽太大 4. 炉体有严重漏气处引进空气 | 1. 保证氢气的数量和质量 2. 冷至200℃以下方可停气 3. 补充新刚玉时要经过烘干 4. 及时检查并堵严 |
| 2 | 断裂 | 1. 砖枕变形，炉膛倾斜或开裂 2. 电压电流过大，产生热震 3. 温度升得太快 | 1. 选好刚玉砖，并注意砌砖质量 2. 随时观察电压、电流情况，不能骤增 3. 严格按照升温曲线升温 |

| 序号 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|------|--|--|
| 3 | 短路 | 1. 刚玉炉膛内局部杂质过多 2. 保护涂料脱落, 致使钼丝位移接触 3. 保护涂料中混有低熔点杂质 4. 填充料内夹有易熔物 | 1. 注意刚玉炉膛质量 2. 烘烤涂料不宜过快, 搬运时要轻拿轻放, 以免碰落 3. 配料和涂料过程中不要混入杂质 4. 尤其要注意刚玉中不要夹杂石棉、粘土等 |

第7节 非金属电热元件

(一) 硅碳棒

1. 硅碳棒的安装

安装硅碳棒时, 必须注意下列事项:

1) 配组安装和断棒补装前对标志电阻值进行严格检查, 如发现电流不平衡, 可用电桥或电流电压表重新测量电阻, 测定温度约 1400°C 。

2) 多支配组使用时, 电阻值允差不得大于 $\pm 20\%$ 。

3) 炉膛内潮湿时, 可先用旧棒烘干后再换安新棒, 以免棒体老化和延长使用寿命。

4) 由于棒体性脆, 无论在安装或拆卸时都应认真操作。如弯曲程度过大, 切勿硬装, 以防折断。

5) 硅碳棒在炉内的安装一般是布置在炉膛四周、炉底或垂直于两侧。硅碳棒的水平安装和垂直安装分别见图23-7-1和图23-7-2。

6) 无论水平或垂直安装都必须严格同心, 引出砖的相对孔径误差不得大于 $2\sim 3\text{mm}$ 。

7) 安装时棒体发热部的长度应相当于炉膛净空尺寸。元件之间的距离应不小于 $2D$ (D 系冷端部直径), 以减少相互辐射。元件与工件之间的距离应在 $1.5D$ 以上。硅碳棒安装的距离要求见表23-7-1。

8) 为保证端部正常导电, 冷端部应伸出炉膛外 50mm 左右。炉墙上的耐火管之内径应为棒体冷端部直径的 1.5 倍左右。

9) 紧固夹头螺母时, 最好使用梅花扳手, 这样不易使棒体受力过大而遭折断。

10) 接线后的硅碳棒应留有轴向膨胀伸缩的余地, 一般夹子接线采用金属编织软线或高温电线, 最好再套上高温瓷柱。

11) 硅碳棒与引出砖之间应填石棉线, 以减少热损失。有时为了密封引出孔, 紧上密封罩后, 再在接缝处涂以桐油石灰涂料。

12) 在冷端部外面安装上冷却水箱, 即可密封炉体, 也可防止端头严重发热。

13) 金属夹子与冷端部要保持良好接触, 以防产生电弧, 烧坏棒头。夹子内可衬垫铝层, 增加接触面积。但不能用铜, 因在使用过程中会使镀铜层氧化而增加接触电阻。

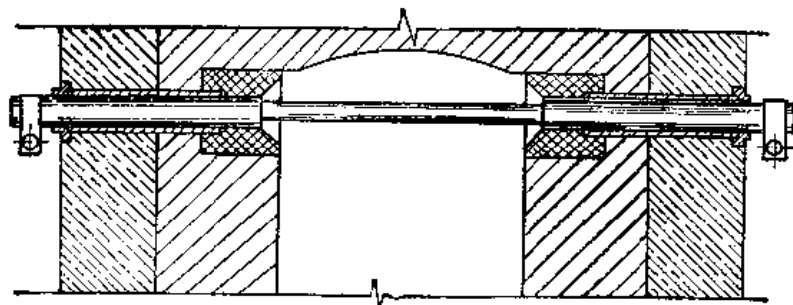


图23-7-1 硅碳棒的水平安装

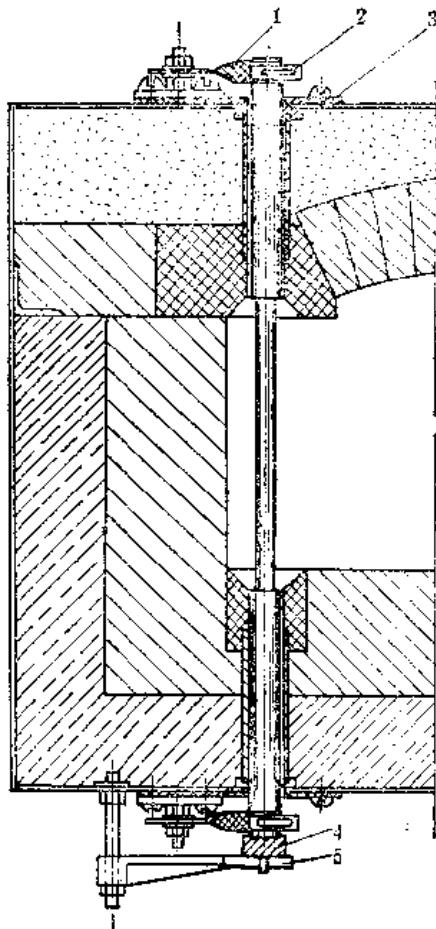


图23-7-2 硅碳棒的垂直安装
1—编织软线 2—弹簧夹 3—绝缘垫板
4—垫砖 5—旋转支架

表23-7-1 硅碳棒安装的距离要求

| 发热部直径 (mm) | 发热部之间最小距离 (mm) | 发热部与炉膛或工 件间最小距离 (mm) |
|---------------|-------------------|----------------------------|
| φ 6 | 25 | 19 |
| φ 8 | 33 | 25 |
| φ 12 | 50 | 30 |
| φ 14 | 58 | 44 |
| φ 18 | 75 | 57 |
| φ 25 | 103 | 79 |
| φ 30 | 124 | 94 |

14) 夹子一般采用镀铬不锈钢带材料制成(图23-7-3),也可采用厚2mm铝片。由于铝片柔软,与硅碳棒接触好,不打火,直至最后损坏时,还不致损坏硅碳棒。常用硅碳棒夹子尺寸见表23-7-2。

2. 硅碳棒的日常维修

硅碳棒在高温下使用时,由于缓慢氧化使电阻

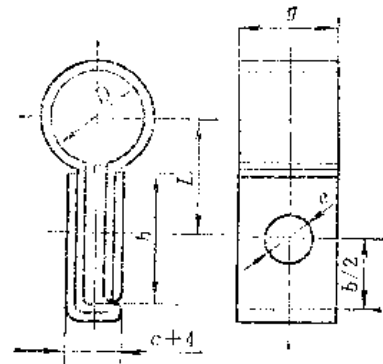
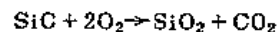


图23-7-3 硅碳棒用引线夹子

表23-7-2 硅碳棒夹子尺寸

| 冷端部直径 D (mm) | 夹子尺寸 (mm) | | | | | |
|-----------------|-----------|----|----|----|---|------|
| | φ | b | c | g | e | L |
| φ 14 | 14 | 20 | 5 | 20 | 5 | 17.5 |
| φ 18 | 18 | 25 | 5 | 20 | 5 | 22 |
| φ 22 | 22 | 25 | 7 | 25 | 8 | 24 |
| φ 28 | 28 | 25 | 10 | 25 | 8 | 29 |
| φ 38 | 38 | 30 | 12 | 30 | 8 | 35 |
| φ 45 | 45 | 30 | 15 | 30 | 8 | 43 |

增大。一般认为,其寿命是指电阻增大到约为安装时电阻值的4倍左右所经历的时间。硅碳棒的氧化反应按下式进行:



高温时反应加快,促使电阻增大。刚开始使用时,元件的表面很快生成 SiO_2 复盖层, SiO_2 保护膜生成后氧化逐渐减慢,然后 SiO_2 的数量增多及其在转化温度附近破裂,都能使电阻剧烈增加,终于达到了变压器的电压补偿极限(电压补偿约2倍),以致不能继续使用。

硅碳棒在使用过程中,其电阻值是随着使用时间的增加而增加,这种现象称之为老化。棒的老化应视为正常现象,棒老化后会使得炉温达不到要求,但可适当提高电压或改变原来的接法,而使炉温得到补偿。图23-7-4系φ8×150棒在炉膛温度为1350°C、炉内气氛为空气中进行试用的老化过程。

硅碳棒使用寿命的长短与炉内温度、气氛、表面负荷、联接方式等有着极为重要的关系。使用温度愈高,老化(电阻增加)愈快。若炉温高于1400°C,寿命显著下降。但在炉温1000°C以下时,则使用寿命可长达5000h之久。硅碳棒最好连续使用,不要间歇使用。连续使用能延长棒的使用寿命,在使用过程中,棒体表面生成的 SiO_2 薄膜,使氧化作用减

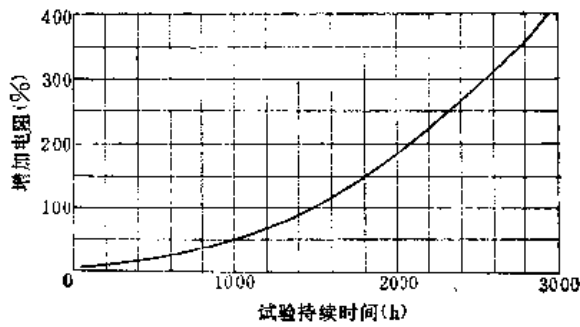


图23-7-4 硅碳棒的老化过程

弱。间歇使用时，棒体上的SiO₂薄膜在反复加热和冷却过程中会被破坏，致使新的碳化硅表面暴露在空气中，而加速氧化，从而缩短了棒的使用寿命。硅碳棒在空气环境中使用，其使用寿命比在封闭条件下使用的寿命能延长一倍左右。

炉内气氛对硅碳棒的使用寿命有重大的影响，因此，对控制气氛的种类和最高使用温度都应有所限制，表23-7-3表示了硅碳棒在各种气氛中的稳定性。

表23-7-3 硅碳棒在各种气氛中的最高使用温度

| 气氛名称 | | 最高使用温度(°C) |
|------|-----|----------------|
| 空气及氧 | | 1650°C以下稳定 |
| | | 1750°C以上开始氧化燃烧 |
| 氢气 | 干氢气 | 1400 |
| | 湿氢气 | 1200 |
| 分解氨 | | 1300 |
| 惰性气体 | 氮气 | 1400 |
| | 氩气 | 1800 |
| 二氧化碳 | | 1600 |
| 二氧化硫 | | 1300 |
| 真空 | | 1200 |

在氧化性气氛中，且表面温度又在1650°C以下时，硅碳棒是稳定的。若气氛中含有水汽，则1000~1200°C是氧化明显加快的不稳定区。

图23-7-5所示为硅碳棒的表面负荷与炉内温度、元件表面温度之间的关系。如图所示，表面负荷愈大，则炉内温度与元件表面温度之间的温差越大，元件的寿命越短。硅碳棒的表面负荷推荐使用图

23-7-6上的数值。在一般空气中使用与在氢气这类有害气体中使用，两者的表面负荷是不一样的。在有害气体中使用时必须降低其表面负荷。

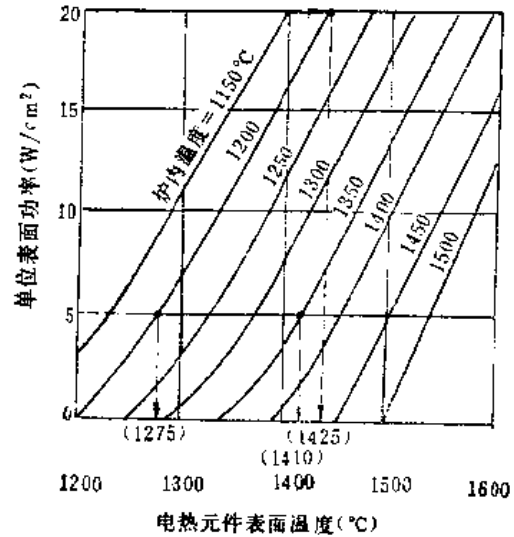


图23-7-5 硅碳棒表面温度、炉内温度和表面负荷的关系

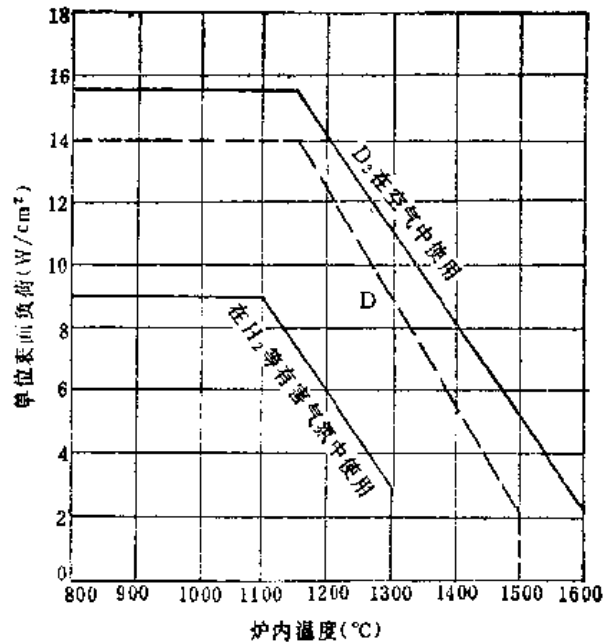


图23-7-6 炉内温度和推荐的硅碳棒表面负荷

硅碳棒与金属电热元件不同，每根棒的电阻并不完全一样。由于串联连接时会出现负荷不平衡，所以以并联连接为宜。一般认为串联时以两根为限。三相接线时，开口式三角形接法（单相三回路）是最好的接线方式。硅碳棒的接线如图23-7-7所示。

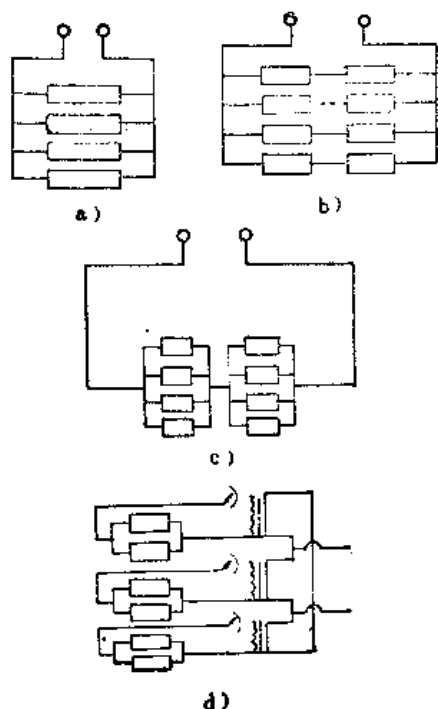


图23-7-7 硅碳棒的接线图

a) 单相并联连接 b) 单相, 两根串联再并联连接 c) 单相并联, 再两相串联连接 d) 开口式三角形接法 (单相三回路)

并联方式所以较串联为好, 这是因为:

1) 当其中一根元件烧坏时, 通常可以利用其余的元件继续工作。如果在串联时, 整个电路将被破坏。

2) 当并联时, 总电阻的分支电阻对电路影响要比串联时小, 甚至各分支电阻渐趋一致, 均衡增长, 因为电阻小的元件上会产生大的电流, 使电阻增加。而串联时正好相反, 分支电阻将会加重。

3) 并联要求较低的电压, 因而常常采用并-串联的方式, 即采用 2 个元件串联, 然后并联的接线法, 且每组元件一般不要超过 12 根。

硅碳棒在日常使用中必须注意下列事项:

1) 在高温使用时不能加入潮湿工件, 加料时不要触及棒体, 防止振动、冲击或引起电弧。

2) 严防碱、碱土金属、石棉、硼化合物及其它低熔物污染棒体。

3) 在还原性气氛中使用, 其寿命比在空气中要低。如含有硫化物, 在 1300°C 以上就有不良作用, 因此, 只能在 1200°C 以下使用。

4) 在引入氢气的条件下使用, 比在空气中电阻增加为快, 且棒体变脆。因此, 最高使用温度应

在 1300°C 以下, 并应适当降低其表面负荷。

5) 在含 CO 控制气氛的炉膛内使用时, 由于碳的游离, 有时会造成元件的短路, 因此, 每经一定时间应敞开炉门, 使碳燃烧挥发。

6) 硅碳棒用于粉末冶金烧结炉时, 往往因其制件混合物中加入硫、硬脂酸锌、铜和其它辅助材料, 在一定温度条件下挥发出较多的络合物集聚在棒体上, 严重影响硅碳棒的正常工作。因此, 每隔 2~3 天要进行一次低温空烧, 即在 $\leq 780^\circ\text{C}$ 温度下, 在空气环境中进行燃烧, 以排除络合物。

7) 不活性的氮气对硅碳棒有保护作用, 电阻增加比在空气中少。但是在 1400°C 以上使用时, 由于生成氯化硅而局部起泡, 因此, 要防止局部过热。

8) 在使用过程中, 要遵守电炉使用升温规范, 严格控制元件的表面负荷, 切忌超温、超负荷运行。

9) 硅碳棒经高温使用后失去韧性, 炉体的振动以及棒体急冷时的热冲击都会引起折断, 因此, 严防骤升高温或停电急冷。

10) 使用大的表面负荷时, 由于产生脉动热应力的结果, 将会引起棒体中心部分温度升高, 加快老化速度。

11) 元件在开始使用时, 电阻值变化较快, 连续进行 60~80 h 后, 阻值增加约 20%, 并趋向稳定。后期阻值增大较慢, 因此, 必须根据电阻增长情况适当提升电压。棒体电阻值大约可以增加到第一次使用的 3~4 倍。采用调压变压器时, 其调压范围应比额定值大 50%。

12) 一般情况下, 硅碳棒全负荷时的端电压不超过 150V。为了避免炉底元件的过热, 当有条件时棒体电压可比炉顶的低 10~12V。

13) 在使用过程中, 如发现棒体断裂或有的部位白炽, 有的部位暗红, 这说明棒的电阻有变化, 应暂停使用, 及时进行调换。

14) 更换元件时, 其电阻应大致相同, 不要超过 0.5 Ω , 而且最好是加热至 300°C 时的电阻值。如无法办到时, 至少必须更换一组 (一个星形)。

15) 新老元件不宜配组使用, 以免负荷集中到某个元件, 使其过载烧毁。

16) 为了随时了解棒的电阻变化情况, 最好每相都装上电流表。电压表上可装换相开关。

17) 如在每相电路装上 PID 自动调节器, 利用

可控硅元件自动补偿电压，对棒体寿命将会有一定的提高。

18) 当硅碳棒电阻增加到外来电压不足使用时，也可改变连接方法继续使用，例如适当地减少串联支数，而增加并联支数。

3. 硅碳棒的验算

硅碳棒的表面负荷随炉温增高而减少，棒体的表面负荷与炉膛温度的关系见图23-7-8。

硅碳棒的验算基本上有两种方法，详见表23-7-4和表23-7-5。

例 已知三相高温箱式电炉的功率为14kW，炉子工作温度1350°C，炉膛尺寸（长×宽×高）为520×250×220mm，元件垂直安放于两侧炉墙，求硅碳棒尺寸，并选择变压器。

解 1) 元件表面负荷 W ，查图23-7-8， $W = 10W/cm^2$ ；

2) 有效辐射面积 $F_{\text{效}} = \frac{14 \times 10^3}{10} = 1400cm^2$ ；

3) 选取硅碳棒为18/250/350， $f_{\text{效}} = 141.4cm^2$ ，1400°C时 $R = 1.3\Omega$ ；

4) 根数 $n = \frac{1400}{141.4} = 9.9$ 根。由于三相电源，

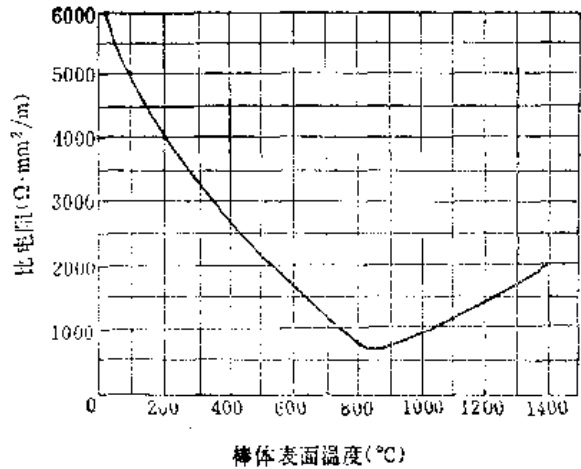


图23-7-8 硅碳棒的表面负荷

根数应为3的倍数，加之两根串联为一相，故应取12根；

5) 每侧炉墙的根数 $= \frac{12}{2} = 6$ 根；

6) 验算间距 $h = \frac{520}{6 + 1} = 75.4mm > 2d$ （接近最小间距75mm）；

7) 元件每相电阻 $R_{\text{相}} = 2R = 2.6\Omega$ （两根串

表23-7-4 第1种算法——已知“有效长度”，确定硅碳棒的直径和数目

| 序号 | 计算项目 | 公式或图表 | 序号 | 计算项目 | 公式或图表 |
|----|--|---|----|------------------------------------|---|
| 1 | 元件表面负荷 (W/cm^2) | 按图23-7-8 | 5 | 每侧炉墙根数 (根) | $\frac{n}{2}$ (只有两侧布置) |
| 2 | 元件有效辐射面积 $F_{\text{效}}$ (cm^2) | $F_{\text{效}} = N_{\text{总}} \times 10^3 / W$ | 6 | 验算元件间距 h (mm) | $h = \frac{\text{炉膛长度}}{(\pi/2 + 1)} > 2d$ |
| 3 | 选取硅碳棒： 1) 元件规格 (mm) 2) 元件有效表面积 $f_{\text{效}}$ (cm^2) 3) 1400°C时电阻值 R (Ω) | 根据有效长度 按表20-5-15 按表20-5-15 按表20-5-15 | 7 | 元件每相电阻 $R_{\text{相}}$ (Ω) | 根据联接方法确定 |
| 4 | 元件根数 n (根) | $n = \frac{F_{\text{效}}}{f_{\text{效}}}$ | 8 | 求全负荷时变压器二次电压 (V) | $E = \sqrt{R_{\text{相}} \times N_{\text{相}} \times 10^3}$ |
| | | | 9 | 求总电流 (A) | $I = \frac{E}{R}$ |
| | | | 10 | 电压调节范围 (V) | (0.35~2.0) E |

表23-7-5 第2种算法——已知元件数目及布置方式，确定硅碳棒的直径

| 序号 | 计算项目 | 公式或图表 |
|----|-----------------------------|--|
| 1 | 确定元件有效长度、根数 | |
| 2 | 求每根元件功率 $N_{\text{单}}$ (kW) | $N_{\text{单}} = \frac{N_{\text{总}}}{n}$ |
| 3 | 求元件直径 d (mm) | $d = \frac{10^3 N_{\text{单}}}{\pi W l}$ (l ——元件有效长度, m) |
| 4 | 选取硅碳棒规格 (mm) | 按表20-5-15 |

联之后接成 $\Delta\Delta$);

8) 变压器全负荷时的二次电压

$$E = \sqrt{2.6 \times 2.33 \times 10^3} = 78 \text{ V} \quad (N_{\text{初}} = \frac{14}{6}$$

$= 2.33 \text{ kW}$);

9) 相电流及线电流: $I_{\text{相}} = \frac{78}{2.6} = 30 \text{ A}$, $I_{\text{线}} = \sqrt{3} I_{\text{相}} = 52 \text{ A}$;

10) 电压调节范围: $(0.85 \sim 2.0)78 = 27.3 \sim 156 \text{ V}$ 。

选取变压器为 ZUDOG35/0.5, 380 V/52 ~ 163.5 V。

例 已知单相高温箱式电炉的功率为 20kW, 23-7-6。

炉膛尺寸(长×宽×高)为 600×280×300mm, 元件垂直安放于两侧炉墙, 求硅碳棒尺寸。

解 1) 元件有效长度为 300mm, 采用 12 根, 每侧炉墙 6 根;

2) 每根元件功率 $N_{\text{棒}} = \frac{20}{12} = 1.67 \text{ kW}$;

3) 元件直径 $d = \frac{10^2 \times 1.67}{3.14 \times 10 \times 0.3} = 17.7 \text{ mm}$;

4) 查表 20-5-9 选取硅碳棒规格为 18/300/250。

4. 硅碳棒的常见故障分析

在日常使用中, 硅碳棒的常见故障分析见表 23-7-6。

表 23-7-6 硅碳棒的常见故障分析

| 序号 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|------|--|--|
| 1 | 折断 | 1. 安装时两冷端部用力不均 2. 两引出砖孔不同心, 加热膨胀, 致使折断 3. 两端接线夹子紧固过紧, 加热后不能自由伸展 4. 耐火砖质量不好, 或引出砖孔径太小 5. 砌砖质量不好, 炉衬变形 6. 加热后两侧炉墙的膨胀不一致, 产生两端孔位偏移 7. 加入工件的碰撞 | 1. 轻拿轻放, 用力合适 2. 砌砖时棒在引出孔内应能自由转动 3. 一端夹紧固, 另一端应能相应伸展 4. 砖的收缩要小, 引出砖的孔径应比棒径略大 2 mm 左右 5. 严格要求砖缝厚度, 不能超过 2 mm 6. 注意砌砖质量 7. 注意投料和出料操作 |
| 2 | 裂纹 | 1. 安装时, 紧固夹子用力过猛 2. 急剧的冷却引起的热冲击 | 1. 紧固螺母时要小心, 用力要均匀 2. 尽量避免炉温的急剧下降 |
| 3 | 短路 | 1. 硅碳棒引出炉壳时未放耐火管或其质量不好 2. 炉底板严重变形或断裂, 造成工件接触棒体 3. 加入工件同时接触两根棒 | 1. 正确安放耐火管, 最好采用高温电线或套上瓷柱 2. 经常注意炉底板情况 3. 注意加入工件不要靠近棒体 |
| 4 | 打弧 | 1. 棒体的发热部与冷端部接触不好 2. 冷端部不圆、不光, 与夹子间引起打弧 3. 夹子不圆或接触不良 4. 碳黑积在引出砖孔与棒体间而产生电弧 | 1. 严格检查棒体质量 2. 填以铅箔, 以改善相互间的接触 3. 保证夹子的圆弧, 并经常检查接触情况, 如有松动, 随时拧紧 4. 经常清除炉内积碳 |

(续)

| 序号 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|------|---|---|
| 5 | 侵蚀 | 1. 控制气氛质量不好 (含硫) 2. 铁基粉末零件烧结时分解出硫、硬脂酸锌等挥发物, 在棒体上形成黄色斑点 | 1. 提高控制气氛质量 2. 将粉末零件进行低温预氧化处理, 并定期空烧排除 |
| 6 | 变形 | 高温使用后, 水平放置的棒体发热部中心下弯变形约10~20mm | 如有可能, 经常改变安放位置 |

(二) 硅钼棒

1. 硅钼棒的安装

硅钼棒在高温时 (1500°C 以上) 有些软化, 低温时又硬又脆, 为了避免温变时产生应力, 有利于元件的热胀冷缩, 最好采用自由垂直的吊挂安装方法, 如图23-7-9所示。吊装元件的拆换也较方便, 不必等炉子冷下来, 可以热换。

吊挂硅钼棒时必须注意下列事项:

1) 炉衬材料应用刚玉砖, 其 Fe_2O_3 含量应小于1%, 因为它与 SiO_2 保护膜相互作用形成易熔的硅酸盐, 从而加速元件的破坏。

2) 冷端部泄漏的炽热炉气, 不仅增加炉子的热损失, 甚至会烧坏铝编织带夹头 (图23-7-10)

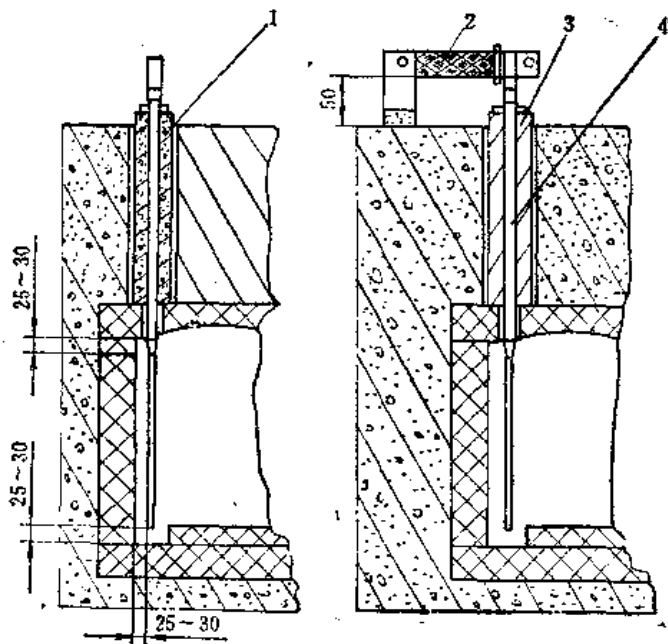


图23-7-9 硅钼棒的吊挂安装

1—铝编织带 2—石棉轧头 3—塞砖 4—硅钼棒

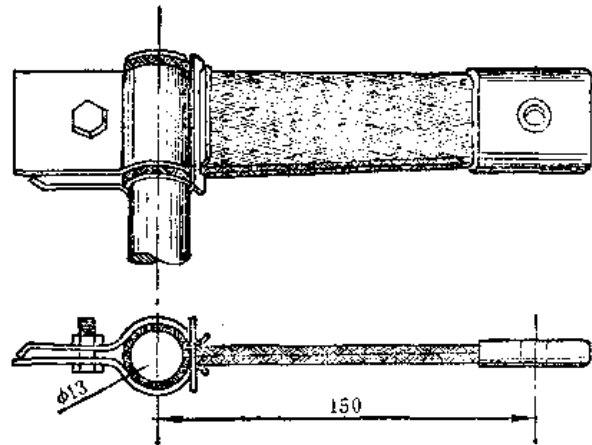


图23-7-10 铝编织带夹头

和引线夹子, 因此, 最好采用石棉夹头 (图23-7-11)。

3) 将硅钼棒装进塞砖 (图23-7-12), 为了避免因装卸移动而产生的机械应力, 塞砖是由泡沫刚玉砖制成的单独块砖。

4) 将装有硅钼棒的塞砖插入炉顶准备好的空档中 (图23-7-13)。塞砖应突出于炉顶的外面, 这样便于拆卸。

5) 将铝编导线同早已准备好的连接支架相联接, 但应避免编织导线紧张和不自然的扭曲机械应力。

6) 为了避免石棉夹头因热胀冷缩而可能使硅钼棒下垂变形, 可用水玻璃拌合的耐火泥浆涂在连接处, 以便固定牢靠。

7) 吊装时发热部的锥体交界处与炉墙相距约25~30mm, 冷端部应露出炉顶外面75mm, 其发热部的下端到炉底应不小于50mm。

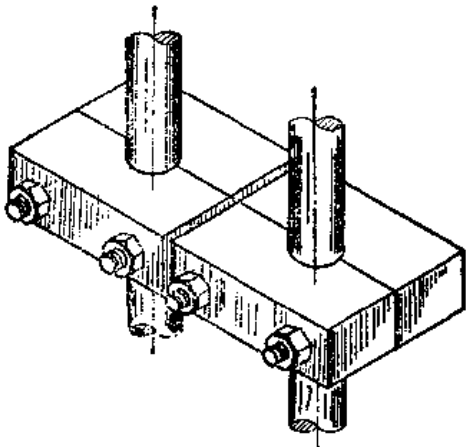


图23-7-11 石棉夹头

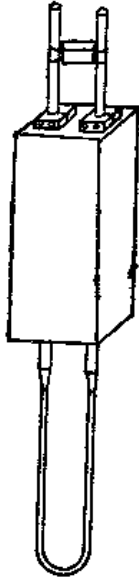


图23-7-12 将硅钼棒装进塞砖

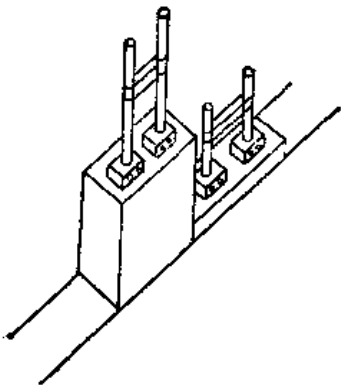


图23-7-13 将塞砖插入炉顶

8) 硅钼棒在炉内的间隔应不小于元件本身的中心间距 D 。

9) 吊装时必须注意两个冷端部和接线部分的

重力平衡, 否则会造成发热部产生弯曲变形。

2. 硅钼棒的日常维修

硅钼棒的使用寿命一般在500~1000 h范围内, 这与元件质量和生产的连续性有关。当温度在1200℃以上, 连续操作使用最好, 因为在间歇式炉内频繁的加热和冷却, 在元件内产生的热应力以及 SiO_2 保护膜部分地剥落, 致使发生破坏。掌握正确的使用方法是延长硅钼棒寿命的主要因素, 因此, 在日常使用及维护保养中必须注意下列事项:

1) 因硅钼棒是脆性材料, 不能承受碰击, 在安装和使用过程中应采取防护措施, 以防折断。

2) 使用新硅钼棒时, 要尽快地(在2~3 h内)通过400~700℃低温氧化区, 并要在1200℃左右保持一昼夜, 以便在高温下进一步烧透。

3) 硅钼棒的电阻随温度的上升而急剧增大, 刚开始使用时, 需要消耗很大的电流, 因此, 应采用低电压。起动电流务必不可超过300 A, 而起动电压则为工作电压的 $1/4 \sim 1/3$ 。这样维持15 min后, 元件已处于热态, 才可供给工作电压。

4) 炉子反复加热冷却的膨胀收缩, 对棒体寿命有直接影响, 因此, 适于连续使用。当炉子不用时, 炉温最好也保持在1000℃左右。

5) 由于硅钼棒不易老化, 电阻值不因使用温度的变化而增大, 因此, 新老元件可以同时并联或串联使用。

6) 冷端部与导线接触不良也会引起元件破坏, 因此, 要经常将接线夹头的紧固螺钉拧紧。

7) 随着炉温的升高, 元件表面负荷下降, 因此, 其表面负荷必须严格控制在图23-7-14所示的阴影范围内。在1500℃炉温时, 最高表面负荷为 $15\text{W}/\text{cm}^2$ 。

8) 硅钼棒不存在硅碳棒那样的老化现象, 所以, 使用日久的硅钼棒可以和未经使用的新棒串联或并联在一起同时使用。

3. 硅钼棒的验算

(1) 硅钼棒电炉的电气性能

1) 硅钼棒的电阻随温度的升高而急剧增大(见图23-7-15)。采用这种电阻特性的元件, 开始加热时, 元件上通过很大的电流, 因此, 应采用从低电压起始操作(约为工作电压的 $1/4 \sim 1/3$)。

2) 在计算时, 电炉变压器的电压一般按单根硅钼棒电压的参数值(见表20-5-18和表20-5-19)增加10%~15%来确定。

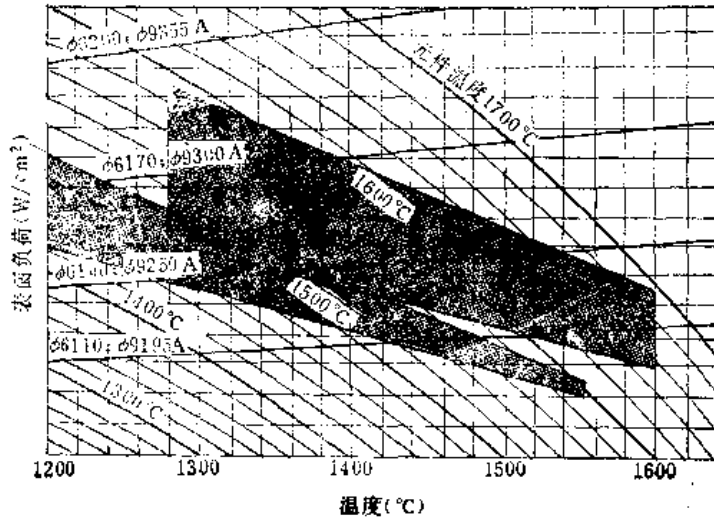


图23-7-14 硅钼棒的表面负荷
 (大块阴影部分为吊挂元件装置, 小块阴影部分为水平元件装置)

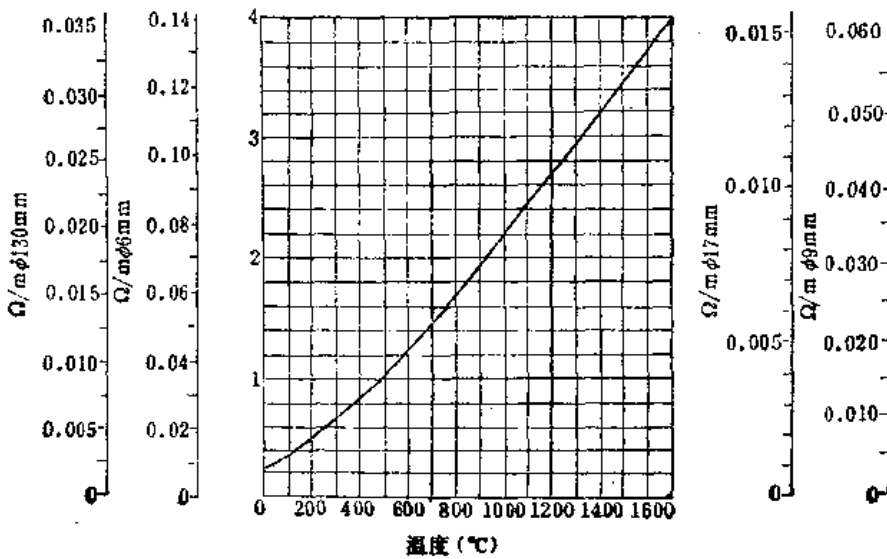


图23-7-15 硅钼棒的电阻特性

3) 由于硅钼棒的工作电压及其电阻和温度的正向特性, 在变压器的前级使用调压, 是非常必要的。对1500°C以下的电炉, 建议用4~6根中心抽头的调压变压器, 而对于1500°C以上的电炉, 建议采用多抽头变压器或无级调压变压器。

4) 硅钼棒的连接方式有串联与并联两种, 如图23-7-16所示。当其串联时, 应适当地与固定的铝排支架相连。

(2) 硅钼棒的验算

1) 选取硅钼棒的工作点: 在一般情况下选取

图23-7-14阴影区的中心点O为工作点。这相当于, 炉膛温度 $T = 1550^\circ\text{C}$, 表面负荷 $\omega = 12\text{W}/\text{cm}^2$, 棒的热端工作温度 $T_R = 1650^\circ\text{C}$ 。一般假定棒的冷端温度 $T_C = 800^\circ\text{C}$ 。从表23-7-7中查出,

热端 1625°C , 电阻率 $\rho_R = 3.80\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$,

冷端 800°C , 电阻率 $\rho_L = 1.70\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

2) 硅钼棒的电流, 因每根硅钼棒的热端功率为

$$P_R = 10\pi d l \omega = I^2 \rho_R \frac{4l}{\pi d^2} \quad (\text{W}) \quad (23-7-1)$$

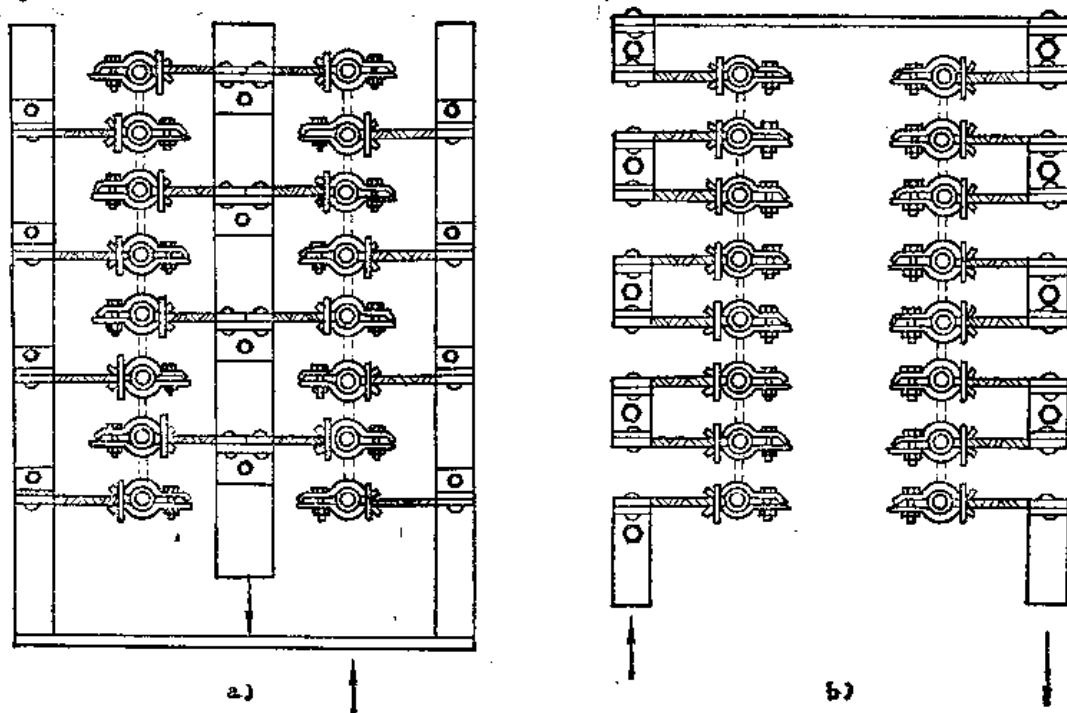


图23-7-16 硅钼棒的接线方式

a) 并联 b) 串联

表23-7-7 硅钼棒在不同温度下的电阻率

| 温度 (°C) | 电阻率 ρ_t ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) |
|---------|--|
| 20 | 0.25 |
| 100 | 0.35 |
| 200 | 0.50 |
| 300 | 0.65 |
| 400 | 0.83 |
| 500 | 1.02 |
| 600 | 1.24 |
| 700 | 1.46 |
| 800 | 1.70 |
| 900 | 1.94 |
| 1000 | 2.20 |
| 1100 | 2.44 |
| 1200 | 2.70 |
| 1300 | 2.96 |
| 1400 | 3.21 |
| 1500 | 3.48 |
| 1600 | 3.73 |
| 1700 | 4.00 |

式中 d —— 硅钼棒热端直径 (mm);
 l —— 硅钼棒热端长度 (m);
 ω —— 硅钼棒热端表面负荷 (W/cm^2);

ρ_R —— 硅钼棒热端电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$).

故电流

$$I = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{10\omega d^5}{\rho_R}} \quad (\text{A}) \quad (23-7-2)$$

把 $\omega = 12 \text{W}/\text{cm}^2$, $\rho_R = 3.8 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, 代入公式 (23-7-2); 当 $d = 6 \text{mm}$ 时, 硅钼棒的电流 $I = 130 \text{A}$; 当 $d = 9 \text{mm}$ 时, 硅钼棒的电流 $I = 238 \text{A}$.

3) 硅钼棒的电工参数见表23-7-8。

表23-7-8 硅钼棒的电工参数

| 参数名称 | 热端 | 冷端 | 每根 |
|------|-----------------------------------|--|-------------------|
| 电阻 | $r_R = \rho_R \frac{4l}{\pi d^2}$ | $r_t = \rho_t \frac{2 \times 4l}{\pi d^2}$ | $r_l = r_R + r_t$ |
| 电压 | $U_R = I r_R$ | $U_t = I r_t$ | $U_l = U_R + U_t$ |
| 功率 | $P_R = U_R I$ | $P_t = U_t I$ | $P_l = P_R + P_t$ |

4) 选取硅钼棒的规格和根数; 由两种棒径算出的长度规格参数分别见表20-5-18和表20-5-19。可根据电炉设计中所要求的总功率 P , 选用合适的规格和硅钼棒根数

$$n = \frac{P}{P_1} \text{ (根)}$$

式中 n ——根数；

P ——总功率 (kW)；

P_1 ——单根功率 (kW)。

对于阴影范围内的其它工作点，也可用同样方法计算。

(三) 碳管

1. 碳管的加工

碳管炉是直接加热式电阻炉，碳管既是电热元件，又是炉膛。碳管是由石墨电极或碳素电极经切削加工或用石墨碳素材料加入少量粘结剂，在真空吸管机上挤压制成。

直管式碳管(图23-7-17)比起两端加粗的碳管加工方便、省料，而且拆修方便。

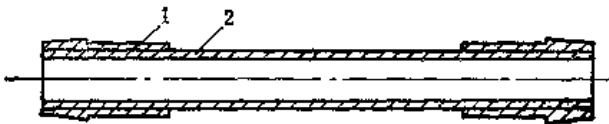


图23-7-17 直管式碳管
1—石墨锥 2—碳管

石墨电极和碳素电极的物理-化学性能见表23-7-9。由石墨电极加工的比由碳素电极加工的碳管使用寿命较长，因其密度较大，抗氧化性较好。但石墨电极的电阻比碳素为小，必须用更低的电压和更大的电流来工作，在1800℃以上时，通常电流在550~900A左右。

表23-7-9 石墨和碳素电极的物理-化学性能

| 性能名称 | | 石墨电极 | 碳素电极 |
|--------------------------------|-----|-------------------|---------|
| 含碳量 (%) | 不小于 | 99 | 90 |
| 灰分 (%) | 不大于 | 0.5 | 6~10 |
| 体积密度 (kg/m ³) | | 1.5~1.7 | 1.5~1.6 |
| 气孔率 (%) | | 22~32 | 20~25 |
| 电阻系数20℃ (Ω·mm ² /m) | | 9~14 | 42~55 |
| 热导率20℃ [W/(m·K)] | | 116.3~208.8 | |
| 线膨胀系数 (×10 ⁻⁶ /℃) | | 纵向1.88, 横向2.97 | |
| 抗压强度 (MPa) | | 16 | 17~20 |
| 氧化开始温度 (℃) | | 600~700 | 450~550 |

石墨和碳素电极的机械加工与一般金属材料的加工方法相似，但由于电极是由大小的无烟煤或焦炭颗粒依赖粘结剂连接在一起的非均质结构的脆性

材料，通常还有20%~30%左右的气孔。因此，切削时刀具对电极的表面不是单纯的剥离作用，而是对电极组织表面颗粒产生冲击、压碎和剥离等多方面的作用。所以，在进行切削加工时刀杆的刚性、刀头的几何参数和切削规范应符合其材料的结构特性，否则不仅表面粗糙，且易产生废品。石墨电极的硬度较小，容易进行切削，加工后表面粗糙度一般也较低。碳素电极则较硬，加工也较困难。切削时不需要用润滑剂。

由于切削时产生大量粉尘，必须有很好的通风装置。为减少加工粉尘，在切削前也可用水泡浸1~2h，取出后因置片刻，让水渗透均匀，这样不仅避免碳粉飞扬，颗粒崩落，也易保证加工精度。碳管形状简单，加工精度要求不高，因此，切削加工可在普通车床上进行。但当大量加工的条件下应考虑制造简易专用机床，以防止硬质碳末对机床的磨损。切削加工时一般采用合金(G8或T5)刀具。

加工碳管时必须注意下列事项：

1) 车削脆性材料时，由于得到的切屑变形不大，并不从刀具前面流过，而集中于刀刃附近。为了保护刀刃，应取较小的前角，如车削石墨的车刀前角 $\gamma = 0^\circ \sim 5^\circ$ ，后角 $\alpha = 7^\circ \sim 8^\circ$ ，偏刃角 $\psi = 2^\circ \sim 4^\circ$ 。

2) 切削规范一般是纵向进刀深度较大(5~10mm左右)，横向走刀量小(0.2~0.6mm左右)，切削速度为8~25m/min。

3) 切削工艺是先精车外圆和内孔，然后精镗加工内孔到设计尺寸。车床上应装有中心架和刀架，电极一端由卡盘或鸡心夹头卡住。另一端在端部半米处由中心架托住。先平端面，后镗内孔。

4) 粗车时要慢，进刀量大；精车时要快，进刀量小。

5) 加工完一端再掉头加工另一端，但一定要严格掌握两端内孔交接处的同轴度。

6) 管壁厚度的偏差，可在车外圆时找正。

7) 镗孔时最好用大刀头，镗刀紧固在长杆上。为了避免长杆在切削时振动，可以尽量加粗，但必须是斜锥形，以减少振动。

8) 如碳管比床身长，可将床头下鞍座移到床尾，装上顶针座，但要严格测准水平和同轴度。

9) 为防止车削时的碳粉研磨导轨，加工过程中要用抹布遮住导轨，车后必须清理干净。

10) 在车削过程中容易产生折断, 其主要原因是: 切削规范选择不当; 刀具几何参数不合理; 碳管长, 中间没有支承; 碳管质量不好。

加工完后的碳管应无裂纹(尤其是横向裂纹)、掉块、壁厚不均和径向刀痕等缺陷。如表面粗糙, 可用砂纸打光。碳管的加工表面粗糙度一般要求 $R_a 12.5\mu\text{m}$, 但碳管与石墨锥的接触面必须认真研配, 并要求达到 $R_a 1.6\mu\text{m}$ 。

2. 碳管的安装和维修

碳管炉的供电一般采用输出端电压为10~20V和输入端电压为220~380V的降压变压器。

安装碳管以及在日常维护中, 必须注意下列事项:

1) 为了减少接触电阻和拆修方便, 在碳管上应套有石墨锥(图23-7-18)。

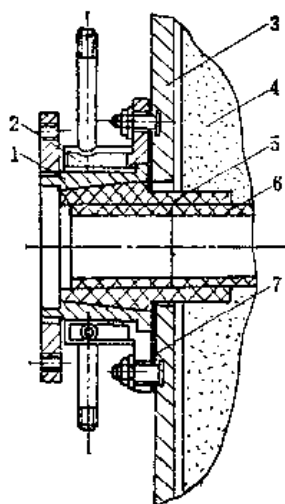


图23-7-18 碳管的装配

1—套管 2—水冷铜套 3—炉壳 4—碳黑
5—石墨锥 6—碳管 7—绝缘垫

2) 装配前要精心研磨石墨锥, 使之紧密与碳管和铜套相配合。研磨锥面时观看光点情况, 接触面不得低于75%。

3) 认真安装各处绝缘螺钉, 安完后要及时检查整个炉体的接触和绝缘情况, 螺钉套管及垫圈均采用石英或云母材料绝缘。

4) 填充炉料碳黑时要均匀致密, 然后将炉盖盖严, 并按规程进行气密性试验, 以防漏入空气, 致使碳管氧化和产生爆鸣事故。

5) 第一次升温不宜过快, 要让碳管内的挥发物充分排出。

6) 使用过程中要经常检查接头的松动情况, 并及时上紧石墨锥。

7) 每当停炉, 必须严格按照降温曲线缓慢冷却, 当冷至300℃以下方可停送保护气体。

8) 为了避免碳管外部遭受气体腐蚀以及方便拆修起见, 可在碳管外部再套上一根保护碳管, 这样还能承受部分压力。一般外套管和炉膛碳管空间距离在10~15mm左右, 其间先用氮气排空, 然后充入氢气进行工作。

3. 碳管的常见故障分析

碳管的使用寿命很低, 如在2200~2300℃连续使用时, 一般为15~20天; 如有套管保护, 则其工作寿命可延长一倍多。碳管在使用过程中报废的主要原因是氧化侵蚀和机械磨损。氢中的水分在高温分解后, 与碳起激烈的氧化作用, 氢又与碳形成碳氢化合物, 强烈的气流冲刷、疏松和剥落碳管表面, 严重侵蚀管壁, 以致管壁上半部的内表面很快地变得粗糙, 截面变小。另是满装(约4~5kg)硬质合金的石墨舟接连不断的沿着碳管滑动, 开始是线接触, 随后变为面接触, 阻力大为增加, 机械磨损则更为严重, 很快地将下部管壁磨薄。由于氧化侵蚀和机械磨损, 碳管截面变小, 电阻急剧增大, 温度局部增高, 从而难以保证工艺温度。管壁变薄后强度随之降低, 碳管也迅速断裂。

在日常使用中, 碳管的常见故障分析见表23-7-10

表23-7-10 碳管的常见故障分析

| 序号 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|------|---|--|
| 1 | 粗糙变薄 | 1. 氢中的水分愈多, 侵蚀愈严重 2. 氢与碳形成碳氢化合物 3. 气流冲刷和碳管内有有机物的挥发 4. 碳黑充填不实, 炉盖压盖不严 | 1. 氢中水分应低于 $0.5\text{g}/\text{m}^3$ 2. 控制流量和观察情况 3. 注意气流速度和碳管质量 4. 填实碳黑, 压严炉盖 |

| 序号 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|------|--|--|
| 2 | 断裂 | 1. 碳管底部严重磨损后, 又遭过大的负载 2. 碳管质量不好, 加工时出现裂纹和管壁不均 3. 开始送电时电流过高, 电流密封过大 | 1. 加套保护碳管, 以增加碳管的承压强度 2. 注意碳管的加工质量 3. 逐步增大电流或检查变压器有否匝间短路 |
| 3 | 打弧 | 1. 冷却铜套与炉壳连接处绝缘不好, 电流明显不稳定 2. 冷却铜套与石墨锥接触不良, 打弧冒烟 3. 石墨锥与碳管研磨配合不紧密, 有间隙 4. 间断使用, 每当冷却后, 由于热胀冷缩容易产生松动现象 | 1. 选好绝缘材料, 注意绝缘质量 2. 注意加工质量, 发现冒烟, 随时打紧石墨锥 3. 认真研磨紧配, 如有间隙, 及时打紧石墨锥 4. 每次开炉前必须打紧石墨锥 |

第 8 节 辐射管的修理

在采用可控气氛的各种热处理炉中, 为了避免燃料燃烧产物与工件的接触, 或是为了避免炉气对电热元件的侵蚀, 将燃料燃烧或电能转变的过程放在耐热钢管中进行, 让热量通过管壁辐射给工件, 这种装置称为辐射管。

用辐射管取代马弗罐进行间断加热的炉子, 一般称为无罐炉。采用辐射管的特点是:

- 1) 可以保证炉内气氛的可控性;
- 2) 由于炉内无马弗罐, 扩大了炉膛容积, 提高了生产能力;
- 3) 辐射管的加热能力强, 比使用马弗罐效率高, 而且维修方便;
- 4) 节约了耐热钢材。

辐射管按能源的不同分为煤气辐射管、燃油辐射管和电热辐射管。由于煤气辐射管与燃油辐射管的结构形式和制造方法基本相似, 主要是喷头不一样, 为此燃油辐射管不再予以介绍。

煤气辐射管与电热辐射管相比较, 用电加热具有温度均匀、易于自控、无噪声、无污染等优点。但是投资高, 而且目前在使用上寿命仍较低。总的说来, 煤气辐射管的经济性好。

(一) 煤气辐射管

煤气辐射管按管体结构形式的不同, 可分为直

管型、U型、套管型等, 如图23-8-1、图23-8-2和图23-8-3所示。

各种辐射管的性能见表23-8-1。

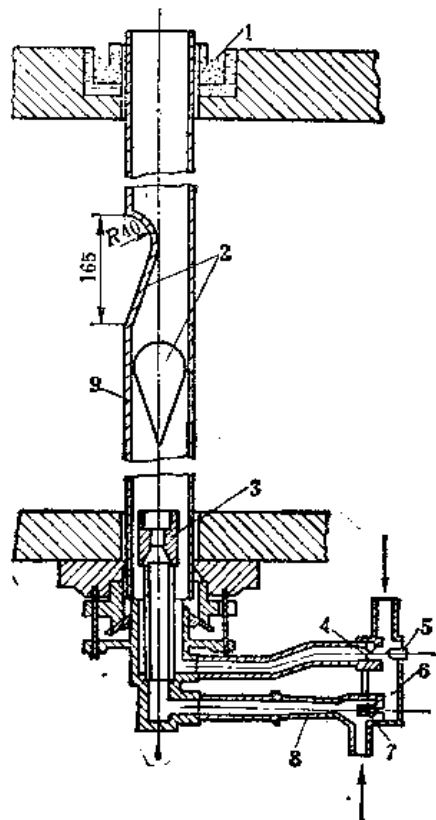


图23-8-1 带水滴形凹坑的直管型辐射管
 1—砂封 2—凹坑 3—烧嘴 4—空气喷口
 5—调节二次空气量的针状阀 6—风箱 7—空气喷口 8—混合器(喷射器) 9—辐射管

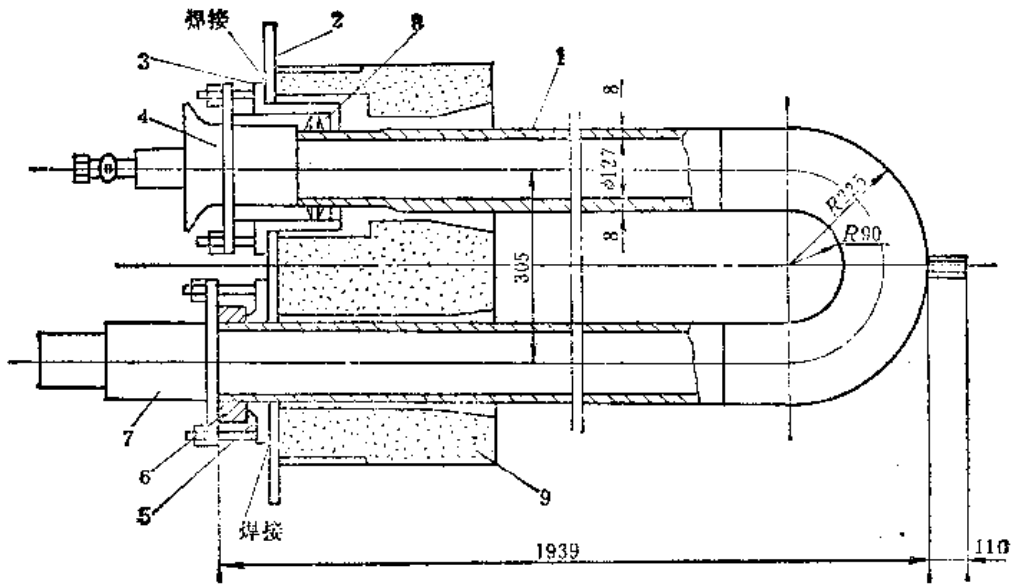


图23-8-2 U型辐射管

1—辐射管本体 2—盖板 3—固定架 4—烧嘴 5—前板 6—垫铁 7—排烟管
8—密封填料 9—耐火材料

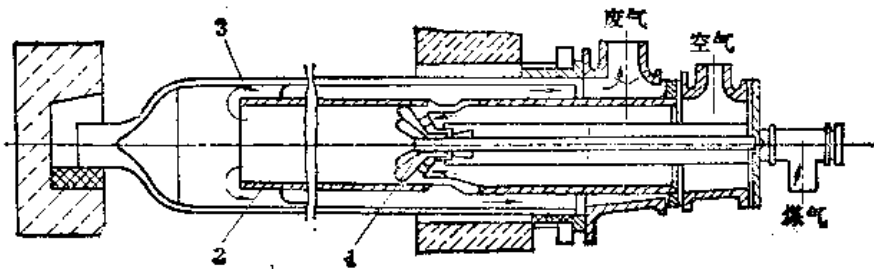

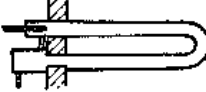



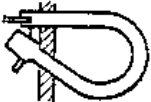
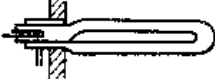

图23-8-3 套管型辐射管

1—煤气烧嘴 2—内管 3—外管

表23-8-1 各种辐射管的性能

| 型式 | 构造 | 尺寸 | 煤气量 (m^3/h) | 效率 (%) | 使用温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 更换管子 |
|-----|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------|--------------------------------|------|
| 直管型 |  | 直径 2"~4" 长度 2~3 m 或 3 m 以上 | 1.5~8 | 60~65 | 500~1000 | 困难 |
| U型 |  | 直径 2"~4" 长度 1~2 m | 1.0~10 | 65~75 | 300~1000 | 稍困难 |

(续)

| 型式 | 构造 | 尺寸 | 煤气量 (m ³ /h) | 效率 (%) | 使用温度 (°C) | 更换管子 |
|-----|---|-----------------------|----------------------------|-----------|--------------|------|
| 套管型 |  | 直径 3"~4" 长度 1~1.5m | 0.8~6.0 | 70~75 | 300~900 | 简单 |
| O型 |  | 直径 3"~4" φ500mm以上 | 1.0~10 | 65~75 | 300~1000 | 困难 |
| SP型 |  | 直径 3"以上 长度 1~1.5m | 1.0~10 | 68~75 | 300~1000 | 简单 |
| LP型 |  | 直径 3"以上 长度 1~1.5m | 1.0~12 | 68~75 | 300~1000 | 稍困难 |

在各种型式的煤气辐射管中,一般均由下列主要部分构成:管体、燃烧器、换热器、弯头、支座或吊架。此外,在某些辐射管内放置有阻碍和干扰气流的填充物、点火器或火焰稳定器等。

1. 辐射管用材料

最初用做辐射管的碳化硅系材料,而近年来,多数使用耐热钢。用于制造辐射管的材料,应考虑具有下列性能:

1) 高温抗氧化性强,并能抵抗炉内气氛的侵

蚀;

- 2) 高温强度大,即蠕变极限和持久强度高;
- 3) 导热系数大,热膨胀系数小;
- 4) 热疲劳强度大,能够抵抗高温下的温度波动。

具有代表性的材料,列于表23-8-2中,而其中最常用的为Cr25Ni20、Cr25Ni35、Cr25Ni20Si2、Cr18Ni25Si2、Cr23Ni18、NA22H等。

通常,辐射管采用轧制和挤压或离心铸造的加

表23-8-2 辐射管的代表材料

| 类别 | 名称 | 主要成分(%) | | | | 0.0001%的蠕变应力(kg/mm ²) | | 热膨胀系数 (×10 ⁻⁶ /°C) | 热导率 (W/(m·K)) | 熔点 (°C) | 最高使用温度 (°C) | | |
|---------|-----------|----------|-------|-----------|-----------------------|-----------------------------------|-------|----------------------------------|------------------|------------|----------------|-------|------|
| | | C | Ni | Cr | 其它 | 871°C | 982°C | | | | 抗氧化性 | 辐射管表面 | 炉内 |
| 耐热铸钢 | HF | 0.2~0.4 | 9~12 | 18~23 | | 2.24 | — | 18.9 | 15.4 | 1400 | 870 | 800 | 750 |
| | HH | 0.2~0.5 | 11~14 | 24~28 | | 2.75 | 1.44 | 18.9 | 14.3 | 1370 | 1100 | 950 | 850 |
| | HK | 0.2~0.6 | 18~22 | 24~28 | | 2.95 | 1.9 | 18.0 | 14.3 | 1400 | 1150 | 1050 | 950 |
| | HL | 0.2~0.6 | 18~22 | 28~32 | | 3.01 | 1.54 | 17.8 | 14.3 | 1425 | 1150 | 1050 | 950 |
| | HN | 0.2~0.5 | 23~27 | 19~23 | | 4.41 | 2.17 | 17.7 | 14.3 | 1370 | 1150 | 1050 | 950 |
| | HP | <0.5 | 30~35 | 26~30 | | 3.2 | 1.9 | 17.6 | 13.3 | 1370 | 1150 | 1050 | 950 |
| | 高级品1 | 0.3~0.9 | 15~35 | 20~30 | W: 3~4 | 4.3 | 2.2 | 17.6 | — | 1360 | 1150 | 1100 | 1000 |
| | 特级品 | 0.4~0.6 | 34~38 | 25~28 | Co: 14~16 W: 4.5~6 | 3.5 | 2.25 | 16.0 | 15.1 | 1340 | 1260 | 1100 | 1000 |
| UMCO-50 | 0.05~0.12 | — | 26~30 | Co: 48~50 | 900°C时 1.2 | — | 16.8 | 10.4 | 1380~1395 | 1200 | 1100 | 1000 | |
| 轧材 | SUS 304 | 0.04~0.1 | 8~11 | 18~20 | | 0.4 | — | 20.2 | 16.4 | 1420 | 870 | 800 | 750 |
| | SUS 309 | <0.15 | 12~15 | 22~24 | | 0.4 | — | 20.7 | 13.8 | 1400 | 1090 | 950 | 850 |
| 非金属 | 碳化硅 | | | | SiC>90 | — | — | 4.7 | 15.9 | >1700 | 1500 | 1250 | 1200 |

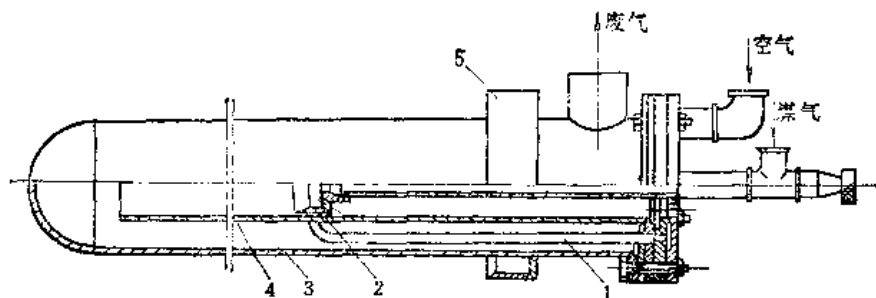


图23-8-4 套管型煤气辐射管

1—空气换热器 2—喷嘴 3—外套管 4—内套管 5—砂封刀

工方法制成。江苏泰基冶金钢管厂能卷制和焊接各种辐射管，四川化工机械厂能离心铸造各种辐射管和弯头。

2. 套管型煤气辐射管的制作

煤气辐射管的断面形状普遍为圆形，管径一般在80~200mm范围内，多数为100~150mm。直管长度对管径的比值一般取10~15，这与管体材料、管壁厚度、管子平均温度以及安装方式等因素有关。

直管尽量采用厚4~6mm的轧制无缝钢管。如果是铸造管，最好采用离心浇注，厚10~15mm。弯头一般都是铸造的。

套管型辐射管的热效率高，温度均匀，吊装方便。第一汽车厂使用的套管型辐射管的燃烧特性列于表23-8-3。

管套型辐射管的结构如图23-8-4所示。内套管

表23-8-3 套管型辐射管的燃烧特性

| 燃 烧 特 性 | 数 值 |
|------------------------------|-----------|
| 燃烧能力 (m ³ /h) | 13~14 |
| 发生炉煤气热值 (kJ/m ³) | 5443~6280 |
| 发生炉煤气压力 | 2500 |
| 空气耗量 (m ³ /h) | 23~25 |
| 空气压力 | 1700 |
| 外套管平均温度 (°C) | 1010 |
| 空气预热温度 (°C) | 930 |
| 废气温度 (°C) | 640 |
| 单管加热能力 (kW) | 16 |

的工作温度高于外套管70~80°C，其两面均在含硫煤气下工作，因此，可以采用1Cr18Ni9Ti钢管。

套管型煤气辐射管是由燃烧器、内套管、换热器和外套管组成。首先各自制成部件，然后再以组装。内套管、外套管或换热器等都是采用耐热

钢管子。由于镍铬钢的韧性高，下料时用手锯下料很困难，最好能用砂轮切割机。

制作辐射管的焊接工作量大，而且对焊接质量要求高。由于焊接质量不好，经常出现焊缝开裂等故障而导致整根辐射管报废。辐射管的全部焊缝均应采用连续焊缝，焊后用煤油检查，不得有渗漏。

(1) 燃烧器的制作 燃烧器管子是由耐热钢管（内端部）与低碳钢管（外端部）对焊而成。焊接时要注意管子的直线性，焊缝严密，不得漏气。喷嘴的几何形状和尺寸公差必须符合图纸要求，然后放在夹具上精心焊接，三点位置务必正确。

将管子与喷嘴和法兰焊接时（图23-8-5）应随时用直角尺检查，使其同心垂直，不得偏斜。即使偏斜不大，也会影响燃烧质量。偏斜太大，则无法组装。空气管要焊接正确，应与法兰相垂直。往往由于空气管的偏斜，而无法安上弯头。

安装三通、弯头时应填塞麻刀和铅油，这样不易锈死，且便于拆装和调整。安装时要注意三通和弯头的方向，使其形成一条直线。

(2) 内套管的制作 内套管与法兰焊接时，将管子插入法兰，且缩进约3mm（图23-8-6）。用直角尺找正，然后以 $\phi 3$ mm焊条连续焊一周。焊接完毕，用风动砂轮清理内壁，否则插入燃烧器会有困难。法兰表面也要清理平整，以免影响组装。

(3) 换热器的制作 换热器必须用耐热钢管弯制，最好用冷弯，因为在热弯过程中容易产生晶

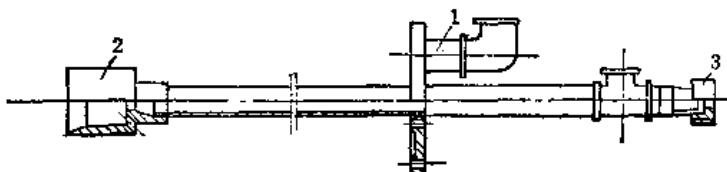


图23-8-5 燃烧器

1—空气管 2—喷嘴 3—窥视孔

间腐蚀。

由于管子曲率半径较小，弯制时要装砂后再进行。用木塞塞紧钢管的下端，上端与砂斗的胶管连接（图23-8-7），稍开阀门，让砂徐徐下流，并用手锤在管壁上轻击振实。当经敲击而砂面不再下降，且发出的声音暗哑，即认为振实。将填满砂的钢管放进弯管器（图23-8-8），用力均衡，徐徐弯制。冷弯时由于钢管的弹性作用，应比规定的角度多弯 $3\sim 5^\circ$ ，弯曲半径应比要求的少 $3\sim 5\text{ mm}$ ，以备弯后的回弹。弯制完毕，即按图纸要求将弯制后的管子两端切齐，以备焊接。焊接前还应逐根用压缩空气吹尽管内的砂子杂物。

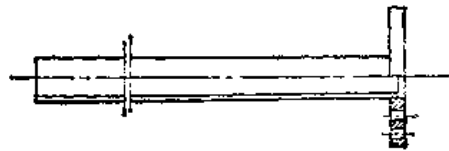


图23-8-6 内套管

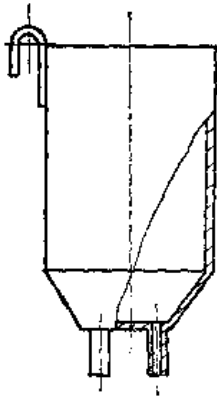


图23-8-7 弯管砂斗

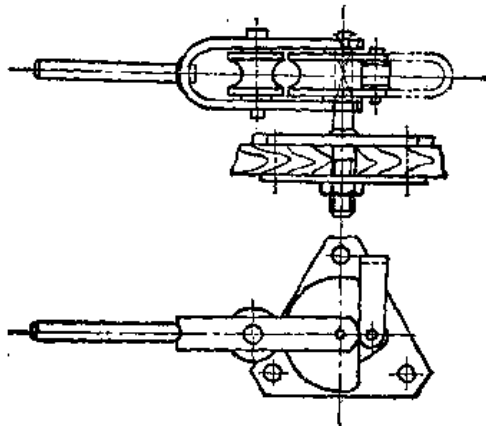


图23-8-8 弯管器

管子时，间隙小，看不清，操作不方便。因此，焊接的要点是：先将5根U型管子插入内层的法兰孔内，点上并经过整形后，采取对角交错焊法（图23-8-9），以防变形。并应随时注意焊件温度，如果温度高了，应待其冷却后方可继续焊接。每焊一根管子都要先焊里边，后焊外边，并要做到稳准快。待内层焊完后，再焊外层的五根管子。

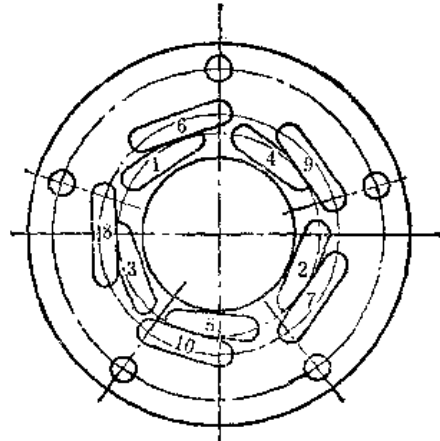


图23-8-9 换热器管子的焊接顺序

(4) 外套管的制作 管底在焊接前必须开设 45° 坡口，与管子的焊接是转动的夹具上进行的。外套管与法兰的焊接，同样要注意相互间的垂直以及法兰表面的平整。

(5) 组装和吊放 组装煤气辐射管时必须注意下列事项：

- 1) 辐射管的组装程序是：在外套管内插入换热器，放上配气盘（图23-8-10），再插入内套管和燃烧器。
- 2) 法兰上的5个 $\phi 11\text{ mm}$ 孔的位置要正确，应能互换。

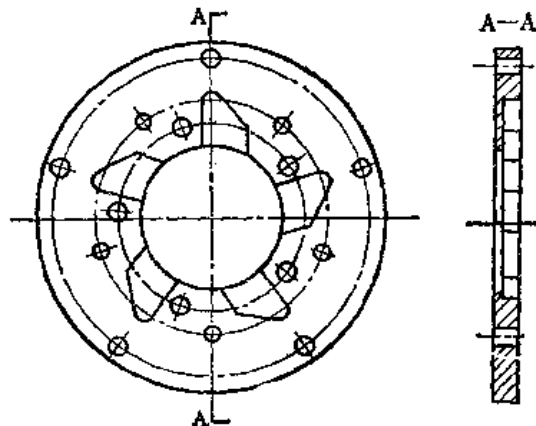


图23-8-10 配气盘

3) 5层法兰之间必须衬垫4层橡胶石棉垫片,不得装错,否则将会混乱整个辐射管的燃烧,甚至烧坏换热器。

4) 注意配气盘的正反方向不要装错。

5) 煤气、空气以及废气的进、排气口必须排列成一条直线,以便往炉上吊放后的接管。

往炉上吊放煤气辐射管时还必须注意下列事项:

1) 吊放前必须用0.3~0.5MPa压力进行试压,且以肥皂水检查不得漏气。

2) 在炉顶上应垂直放置,不得偏斜。

3) 砂封槽内要填满填匀砂子。

3. 煤气辐射管的使用

影响辐射管寿命的因素很多,诸如炉子的工作温度、辐射管的表面负荷、炉内气氛、燃烧条件以及辐射管用材料等。

(1) 表面负荷 表面负荷也叫表面功率,即在单位时间内,辐射管单位表面积所能放出的热量($\text{kJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ 或 W/cm^2)。如果单位表面负荷取得过高的话,虽然辐射管表面的辐射热量增加,每根管子的供热量增加,相应会减少辐射管的数量,节省耐热钢消耗。但是,这样将会提高辐射管表面温度,造成表面过热现象,而使辐射管寿命降低。

因此,必须根据炉子操作温度、辐射管材质,合理确定其表面负荷。一般来说,取 $8.4 \sim 16.7 \text{kJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ (图23-8-11)。辐射管材质的最高允许表面温度与操作温度越接近,则表面负荷应尽量取低些,以提高辐射管的使用寿命。

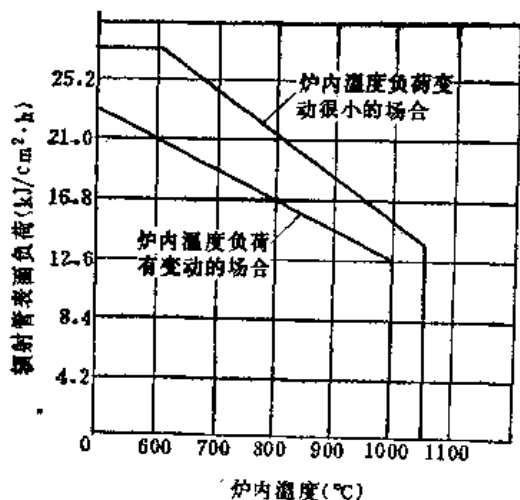


图23-8-11 辐射管表面负荷的极限值
(相当于辐射管材质:HK、HL、HN、HP)

(2) 炉内气氛 在还原性气氛中,长期工作的辐射管表面有渗碳现象发生。渗碳的辐射管壁,强度降低、变脆,使用寿命显著缩短。为了减轻管壁渗碳现象,必须合理地进行炉内碳位控制,控制炉内气氛与工件的碳势平衡关系。此外,在辐射管操作方面,适当地进行低过剩氧燃烧,对于减少增碳现象,也有一定的效果。

气氛中含有三原子气体(CO_2 、 H_2O 等),也对辐射管寿命有一定的影响。这是因为这些气体妨碍辐射管表面与工件之间的正常辐射热交换,往往是引起辐射管表面的温度升高的缘故。

(3) 燃烧条件 燃烧天然气以及在气体渗碳炉上使用的辐射管,经过较长时间,就会在管壁上产生碳素沉积的现象,容易导致辐射管的过热和破坏。产生这种现象的原因,主要是由于炉内气氛、特别是天然气燃料中含有的碳氢化合物,在高温下,尤其是在空气过剩系数小的时候,发生热分解,析出大量碳黑,沉积在管壁表面和弯头处。随着时间的延续,越积越厚,积碳部位的管壁温度升高,温差显著增大,造成局部过热,出现温度应力,导致辐射管的损坏。随着热负荷的降低,混合气体的雷诺数 Re 降低,碳黑的析出强度增大,于是,碳的沉积使燃烧的动力过程遭到破坏,降低了燃烧稳定性。除此以外,碳黑沿管子长度方向及圆周上的沉积不均,久而久之,便导致辐射管的局部破坏。因此,最好采取燃烧自动控制系统,以减少碳黑的产生。

辐射管都是由高镍、铬的耐热钢制成,如果燃料中的硫化氢含量过高,在燃烧时便生成二氧化硫。在高温状态下,管内燃烧产物中的 SO_2 与 Ni 发生反应,局部生成低熔点的 NiS 、 Ni_2S 和 FeS ,它们的熔点比较低,分别为 810°C 、 645°C 和 1193°C 。这些低熔点的硫化物,破坏了 Cr_2O_3 的保护作用,促进了辐射管壁的腐蚀。其机理比较复杂,但总的来说,首先是在局部上形成斑状的低熔点硫化物,后来逐渐扩大,成为坚硬的块状物,随着时间的延续,块状物逐渐剥离,继续向管壁深层渗透和发展,以致烧穿。为了延长辐射管的使用寿命,除了采取措施,消除上述各种因素对辐射管的不良影响外,还应该选择发热量高、含硫量低的燃料。因此,必须采取煤气的脱硫措施,使 H_2S 含量降低到最佳含量 $20 \sim 200 \text{mg}/\text{m}^3$ 。通过净化处理,使煤气中的水分不大于 $10 \text{g}/\text{m}^3$,焦油不大于 $0.3 \text{g}/\text{m}^3$ 。

为了增加辐射管的抗腐蚀性,也可以在冶炼过

程中添加适量的Mo、W或Co元素,无疑这样会延长辐射管的使用寿命。

煤气辐射管的损坏现象主要是严重烧损,烧损的部位以辐射管底部与喷嘴下方200mm处最严重,甚至整个管头被烧掉。内套管的损坏情况重于外套管,往往是内套管先坏。烧损残渣呈灰黑色,质地有轻有重:有的成粉状,形如碳黑,颜色较深,质地较轻;有的成小碎片,颜色较浅,质地较重。采用0Cr20Ni35CuAlTi无缝钢管制成的辐射管,其使用寿命一般在8~10月之间。

4. 煤气辐射管的日常维修

最重要的是要使喷嘴的中心线和辐射管管体的中心线正确地重合。只要稍微偏一点,管壁的圆周方向便产生温度梯度,导致辐射管变形,中心线就越发偏离,这样的恶性循环使辐射管寿命降低。在这种情况下,火焰前沿附近的管壁向外鼓起,最后就烧穿了。辐射管定期检修时,搞好定心是很重要的。在火焰长度的影响方面,一般长火焰的辐射管的寿命要比短火焰的长。

辐射管内部积存碳黑是辐射管出现局部烧穿的另一个原因,所以清扫是重要的维护手段之一。因此,每经一周的使用,最好应用铁棒串通辐射管一次。另外为了消除噪声,在辐射管内部有时插入耐火材料制的消声器。开始点火时耐火材料周围不能

充分加热,容易出现不完全燃烧,并在那里堆积碳黑。碳黑引起局部过热,进一步就造成烧穿,缩短了使用寿命,所以要特别注意。

如上所述,烧嘴的定心、调节火焰长短、清除燃烧的积碳等都是维护工作的重点。

其次是辐射管的安置方式,必须注意受热后的膨胀量是很大的。例如3m长的耐热铸钢管子,加热到1000℃时,其伸长大体上是下面的数据:

$$20 \times 10^{-6} \times 1000 \times 3000 = 60\text{mm}$$

因此,辐射管的支承部位应能相对滑动。如辐射管水平放置时,应定期将其上下翻转,这对延长寿命是会有好处的。

辐射管在日常使用中基本上是一次用坏报废,很少修复再用。但若使用不久,发现外套管开裂等可以焊补。燃烧器的喷头烧坏后,可以更换新的。辐射管经使用一段时间后,由于橡胶石棉垫片与法兰粘结在一起,拆卸时比较困难,必须细心消除。辐射处于炉体外的部分,可以拆下修复再用。

5. 煤气辐射管的常见故障分析

煤气辐射管的常见故障及其排除方法见表23-8-4。

(二) 电热辐射管

电热辐射管分电阻丝和电阻带辐射管两种。一

表23-8-4 煤气辐射管的常见故障分析

| 序号 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|----------|---|--|
| 1 | 堵塞 | 1.空气量不够,底部积碳过多,气流不畅 2.煤气中的杂质太多 | 1.调整好煤气量,并定期清洗 2.净化煤气 |
| 2 | 焊缝开裂 | 1.焊接质量不好 2.燃烧温度过高 | 1.注意焊接质量 2.掌握燃烧温度 |
| 3 | 喷嘴和内套管烧蚀 | 1.高温烧损 2.煤气中含硫气体等的腐蚀 3.喷嘴与内套管管体的中心线偏离 | 1.燃烧温度不应过高 2.净化煤气,尤应除硫 3.定期调整两者的中心线,使其很好重合 |
| 4 | 外套管变形 | 1.管内被堵,燃烧温度不均 2.自重作用或热应力变形 | 1.设法减少堵塞现象 2.选好材料,如发现变形,应及时采取措施 |

| 序号 | 故障现象 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|------|---|--|
| 5 | 燃烧不良 | 1.橡胶石棉垫装错 2.煤气、空气的压力和流量调整不当 3.积聚碳黑过多 4.煤焦油堵塞 | 1.组装辐射管时不要装错 2.严格掌握好煤气、空气的压力和流量 3.设法减少碳黑数量 4.净化煤气,并定期串通 |
| 6 | 点不着火 | 废气排出口被堵 | 及时排除 |

一般为单根圆柱形,外径在80~200mm范围内,长度由1m至2.5m,根据需要而定。

制作电热辐射管时,绕放电阻丝的耐火芯管以及分隔电阻带的耐火隔板较易损坏,因此,对于这些耐火制品必须符合下列要求:

1) 采用高铝耐火材料,其 $Al_2O_3 > 75\%$, $Fe_2O_3 < 1\%$,耐火度不低于1790℃;

2) 机械强度要大,装配时如用力不当或受到碰撞时不致碎裂;

3) 热稳定性要好,接触气焊时的火焰以及通电后的急速加热,都不应炸裂。

电热辐射管在炉内排列的最小间距应为管径的2倍,最大不超过10倍。辐射管在炉内如太多,则密封性不好;如太少,则温度均匀性差。

1. 电阻丝辐射管的制作

电阻丝辐射管的结构形式有单螺旋式、多螺旋式和波折式等,其技术数据列于表23-8-5。

表23-8-5 电阻丝辐射管技术数据举例

| 名称 | | 单螺旋式 | 多螺旋式 | 波折式 |
|--------|--------------------------|----------|----------|-------------|
| 辐射管 | 外径(mm) | φ127 | φ135 | φ114 |
| | 有效长度(mm) | 1600 | 1342 | 1150 |
| 电热元件 | 材料成分 | 0Cr25A15 | 0Cr25A15 | — |
| | 截面(mm) | φ4 | φ5 | φ7 |
| | 长度(mm) | — | — | 12430~12700 |
| 电压(V) | | 380 | 220 | 53~60 |
| 功率(kW) | | 5 | 12.5 | 6~7.5 |
| 表面负荷 | 电热元件(W/cm ²) | 1.39 | 1.38 | 1.71~2.64 |
| | 辐射管(W/cm ²) | — | 2.15 | 1.46~1.82 |

单螺旋式电阻丝辐射管如图23-8-12所示,电阻丝绕在带螺旋槽的耐火芯管上,辐射管的一端封闭,另一端安装法兰和盖板,引出棒从盖板穿出。制作单螺旋式电阻丝辐射管时必须注意下列事项:

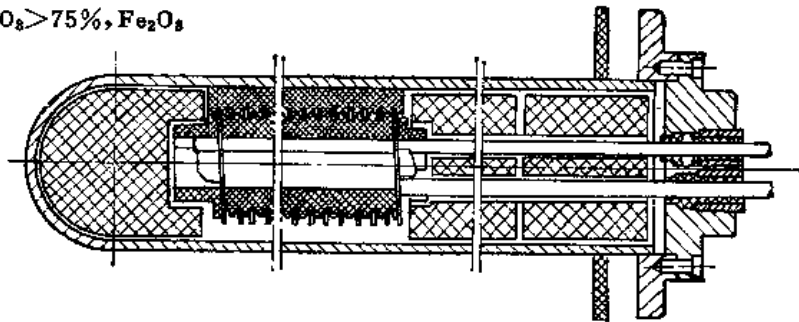


图23-8-12 单螺旋式电阻丝辐射管

1) 在耐火芯管上绕制电阻丝时一定要拉得紧紧的,以免电阻丝弹开触及管壁造成短路。

2) 绕完后,电阻丝的两端应立即焊在芯杆和引出棒上。

3) 安上石棉水泥盖板,用螺母将所有耐火芯管以及轻质垫砖加以固定。放入耐热钢管内,紧固后待用。

4) 如电阻丝的刚性过大,应经退火后再行绕制。

5) 测量绝缘电阻,其值不得小于0.5MΩ。也可采用灯泡检查绝缘情况。

2. 电阻带辐射管的制作

波折式电阻带辐射管(图23-8-13)的功率较大,其元件悬空固定在管内,元件的屏蔽作用大为降低,有利于提高管子的表面负荷。元件截面较大,寿命可以提高,但是加大截面就必须用变压器降压或以几根辐射管串联使用。

波折式电阻带辐射管的技术数据列于表23-8-6。

制作波折式电阻带辐射管时,必须注意下列

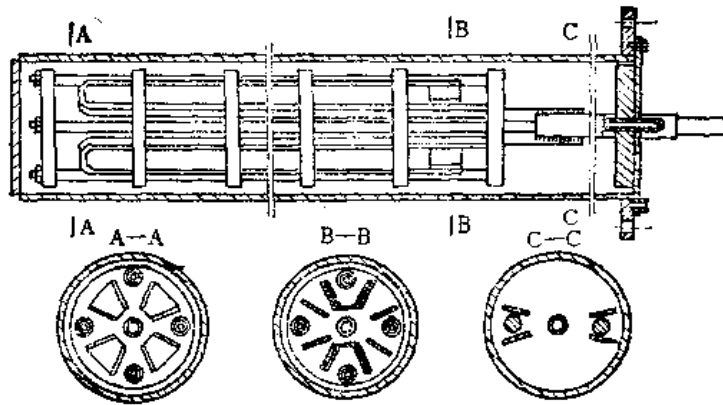


图23-8-13 波折式电阻带辐射管

表23-8-6 波折式电阻带辐射管技术数据

| 名 称 | | 数 值 |
|---------|-------------------|------------|
| 辐射管 | 外径 (mm) | $\phi 152$ |
| | 有效长度 (mm) | 1572 |
| 电热元件 | 材料成分 | Cr20Ni80 |
| | 截面尺寸 (mm) | 2.5×32 |
| | 长度 (mm) | 6132×2 |
| 电压 (V) | | 28×31 |
| 功率 (kW) | | 12.6~15.4 |
| 表面负荷 | 电热元件 (W/cm^2) | 1.6~1.95 |
| | 辐射管 (W/cm^2) | 1.64~1.99 |

事项:

- 1) 按图将电阻带等分成4根, 经平直后弯成U型。
- 2) 芯杆既作固定杆, 又作引出棒。为了节约耐热钢, 芯杆上部可用普通碳素钢, 两者对焊而成。
- 3) 在芯杆上钻孔后, 套上耐热瓷盘, 插入耐热钢丝销子, 并弯曲使之固定。
- 4) 将4根U型电阻带分别插入瓷盘, 相互连接时应将端部稍弯折, 以便对接, 气焊时不能将火焰接触瓷盘, 以免炸裂。
- 5) 轻质耐火粘土砖用水玻璃泥浆粘结牢固, 磨圆钻孔, 注意孔位正确, 然后插入引出棒。
- 6) 衬垫橡胶石棉板。放砂封帽时, 不能与引

出棒接触, 最后用螺母压紧, 且使其相互垂直。

3. 电热辐射管的使用

波折式电阻丝辐射管是较好的一种结构, 在使用中应注意下列事项:

1) 辐射管在使用过程中, 影响其使用寿命的主要因素是表面负荷, 一般不要超过 $1.8W/cm^2$, 尤其是国产电热合金材料, 更应注意。

2) 电阻丝经使用后, 其表皮氧化形成墨绿色的 Cr_2O_3 保护膜, 起着良好的保护作用, 但由于表面负荷过大, 电阻丝芯部的温度过高, 此时已呈熔融状态。在与瓷盘接触处, 由于氧化形成的保护膜不充分, 强度不够, 再加上该处温差大, 受急冷急热的影响, 经常在接触断裂, 并外滴内部熔液, 而形成一空洞现象, 如图23-8-14所示。因此, 在辐射管内应尽量减少起支承作用的瓷盘数量, 并减薄瓷盘的厚度。

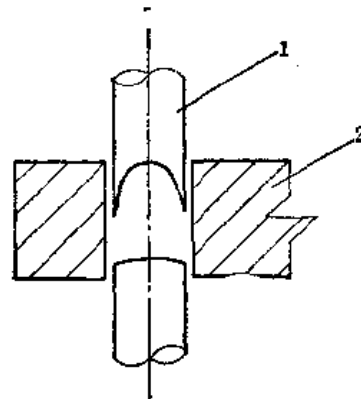


图23-8-14 电阻丝形成空洞现象

1—电阻丝 2—瓷盘

3) 冲击电流对电阻丝的损坏也极为明显。在一个有8根2m长的并焊成U型的波折式辐射管中, 引出棒引入电流一端(连接火线)的第一根电阻丝, 往往首先开始熔化损坏。

4) 有的在U型电阻丝的底部煨弯处断裂, 这主要是电阻丝经弯曲后, 组织受到破坏, 比较疏松, 强度降低, 易于氧化而造成截面变小, 过载熔化而断。

5) 辐射管垂直安放时, 电阻丝氧化后生成的氧化铁皮纷纷下落, 沉入管底, 这也是引起短路的原因之一。

6) 辐射管如由两种不同直径的耐热钢管组成, 而且这两个不同管径的钢管又是用钢板焊制而成, 那末要特别注意这两个焊缝连接的位置。如果两条焊缝在一条直线上, 即直通焊缝, 则耐热钢管使用不久, 就会变弯, 如图23-8-15所示。因此,

应将两条焊缝变换 90° 方向再焊。

7) 用耐火纤维塞紧辐射管的引出棒端处, 氧化腐蚀较为严重, 产生纵向裂纹, 应引起注意。

4. 电热辐射管的常见故障分析

电热辐射管的常见故障列于表23-8-7。

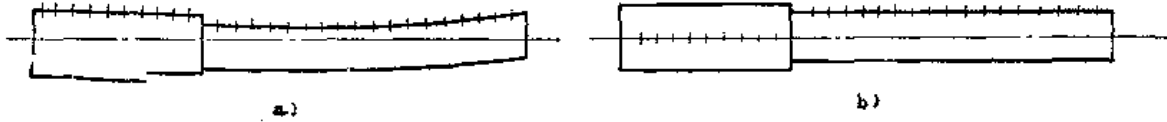


图23-8-15 辐射管的焊接方向
a) 直通焊缝, 变弯 b) 焊缝变换 90° , 不变形

表23-8-7 常见故障分析

| 序号 | 故障分析 | 产生原因 | 排除方法 |
|----|---------|---|---|
| 1 | 元件短路 | 1. 电阻丝、带绕缠或绑扎不紧, 与钢管接触 2. 电阻丝在二根芯管之间过渡不当 3. 耐热芯管或瓷盘断裂 4. 氧化皮掉落管底过多 | 1. 电阻丝应经退火, 并绕紧扎好 2. 采用合理的过渡方式 3. 选好材料, 并注意不使其断裂 4. 在管底安放耐火砖 |
| 2 | 芯管或瓷盘断裂 | 1. 耐热元件质量不好 2. 气焊时火焰接触瓷件 3. 安装时剧烈碰撞或振动 4. 使用时加热过急 5. 电阻丝绕缠过紧, 加热时不能自由膨胀 | 1. 注意元件质量 2. 避免火焰接触瓷件 3. 避免碰撞、振动 4. 选好材料, 改进结构 5. 绕缠电阻丝不能过紧 |
| 3 | 辐射管开裂 | 1. 焊接材料不好 2. 焊接操作不当 | 1. 选好焊接材料 2. 按规程焊接 |
| 4 | 辐射管变形 | 1. 辐射管材质不好 2. 吊放不当或热应力变形 3. 水平放置, 受力不当 | 1. 选好材料 2. 正确吊放, 如有变形, 应及时采取措施 3. 水平放置时, 应设有支承架 |