

编号: (79) 016

内 部

# 出国参观考察报告

西德、法国电渣炉设备和工艺

科学技术文献出版社

# 目 录

|                                                                |       |
|----------------------------------------------------------------|-------|
| 一、概况.....                                                      | ( 1 ) |
| 二、电渣炉设备.....                                                   | ( 4 ) |
| (一) 西德 Leybold-Heraeus 公司电渣炉 .....                             | ( 4 ) |
| (二) Böhler 公司电渣炉 .....                                         | (17)  |
| (三) 美国 Consarc 公司电渣炉.....                                      | (21)  |
| (四) 苏式电渣炉.....                                                 | (23)  |
| (五) 对西德、法国电渣重熔设备的评价.....                                       | (24)  |
| 三、工艺部分的几个问题.....                                               | (28)  |
| (一) 电极的准备.....                                                 | (28)  |
| (二) 炉渣的选择和准备.....                                              | (29)  |
| (三) 重熔过程参数的选择.....                                             | (32)  |
| (四) 结晶器和底板的准备.....                                             | (33)  |
| (五) 炉气的控制和排烟.....                                              | (34)  |
| (六) 氢气的控制.....                                                 | (34)  |
| (七) 脱氧.....                                                    | (35)  |
| (八) 测温 and 取样.....                                             | (35)  |
| (九) 熔化率的控制.....                                                | (36)  |
| (十) 热渣起动和冷渣起动.....                                             | (36)  |
| (十一) 抽锭和保温.....                                                | (36)  |
| (十二) 补缩.....                                                   | (37)  |
| (十三) 重熔记录.....                                                 | (37)  |
| (十四) 脱锭和保温.....                                                | (38)  |
| 四、电渣重熔的研究和发展.....                                              | (38)  |
| 五、附录.....                                                      | (41)  |
| (一) 含氟化物渣系中氢量的测定.....                                          | (41)  |
| 附: 译文——含氟炉渣中氢的测定.....                                          | (43)  |
| (二) Röchling-Burbach 厂用 $\phi 2300$ 毫米的电渣锭生<br>产大型锻件的工艺现状..... | (46)  |
| (三) Böhler公司的B.E.S.T工艺简介 .....                                 | (57)  |
| (四) 钢包精炼.....                                                  | (61)  |

# 西德、法国电渣炉设备和工艺

电渣炉考察组

## 一、概 况

### 1. 前言

我们电渣炉考察组从一九七八年十一月九日到一九七八年十二月二十日对西德、法国的有关钢厂、企业、研究机关和大学的电渣炉设备和工艺状况,进行参观和了解,目的是对大型电渣炉的设计制造和重熔工艺,以及对中、小型电渣炉的炉型选择,有所借鉴。

考察组在西德共参观了十六个工厂、二个研究所、一个大学;即在Düsseldorf的奥地利Böhler公司的子公司,在Essen的Krupp钢厂,在Hattingen的Thyssen Henrichshütte Werk钢厂,在Düsseldorf西德钢铁协会的Betriebsforschunsinstitut 研究所和Max-Planck 工艺研究所,在Hanau的Leybold-Heraeus公司,在Kehl的Badische钢厂,在Bochum的Bochum钢厂,在Siegen的Südwestfalen钢厂,在Osnabrück的Kloeckner钢厂,在Remscheid的AEG-Elotherm公司,在Witten的Thyssen Edelstahl钢厂,在Völklingen的Rochling-Burbach钢厂,在Siegen的Waldrich Siegen和在Burbach的Schloemann-Siemag 钢厂,在Hückeswagen的Beché和Grohs锻造设备厂,在Aachen的Aachen大学,和在Krefeld的Thyssen Krefeld钢厂。其中十一个单位有电渣炉设备。

考察组在法国参观了四个工厂,即在Parmier的Usine de Parmiers厂,在L'ondaine的Usine de L'ondaine厂,在Le Creusot的Le Creusot厂和在Metz的东方优质钢公司(Soier' des Acirs Fins de L'est)。其中两个厂装有电渣炉设备。

除了参观电渣炉设备以外,根据商定的日程,我们还对炉外精炼设备、高功率电炉、电站设备的大型铸锻件生产、连续铸锭设备、感应炉等新工艺,新设备作了一般性的参观。

由于参观时间和技术专利的限制,我们对西德、法国两个国家的电渣炉的了解,是很肤浅的,表面的,所述及的数据有的来自介绍人员的口述,有的来自书面资料,它们的确切性,不一定真实,有待我们研究、分析,去伪存真,所以只能作为参考。

### 2. 普通炼钢方法的缺点

近代的机器制造业、燃汽轮机制造业、宇航技术和核能技术等新技术领域迅速发展,需要大量高度可靠和耐久的,能在各种条件下工作的,并且具有特殊性能的新型金属材料;但是,金属零件在使用中的质量,可靠性,首先决定于制造这些零件的钢锭质量,也就是说,决定于钢锭内部物理、化学的均匀程度,以及有害杂质的含量。

众所周知,普通的钢锭生产由两个工序组成:第一,在电炉(或平炉、感应炉、转炉)中,冶炼出所需化学成分的钢液;第二,将钢液浇注入钢锭模中,冷凝成钢锭。在冶炼过程中,钢液和炉衬,互相进行化学反应和机械碰击,使钢液受到非金属夹杂物的污染;钢液与

熔池空间的大气作用，钢液可能吸收气体，这些气体的一部分，也参与钢水的化学反应，生成又一批非金属夹杂物；除此以外，由于炼钢原材料不纯的原因，钢水中，也不同程度地残留着有害杂质（如：硫、磷、气体、非金属夹杂物等）。

钢锭质量，很大程度上，决定于浇注这道工序。从炼钢炉出钢到钢包，再从钢包浇注到钢锭，浇注时，由于钢流、钢液面和空气接触的原因，发生钢液的二次氧化，并且也吸收了氮气，结果，钢锭为这些氧化膜等所污染；加上出钢槽耐火衬、钢包包衬和中注管系统的冲刷，钢液也受到大量的污染。最后，钢锭模中钢液冷凝时，由于发生偏析和收缩，产生一些疵病，显著地降低了物理、化学的均匀性，出现如中心疏松、裂纹、区域偏析、缩孔、皮下气泡等疵病。

多年来，冶金工作者为了提高钢的纯度，作了巨大的努力，也取得了不少的成就，如革新熔炼工艺，特别是出钢前的脱氧技术，使钢液中的夹杂物，气体和有害杂质，达到了相当低的含量；在真空感应炉中进行真空熔炼，达到了脱气目的，并且也除去一部分有色金属夹杂质；采用各种炉外真空处理（从钢包中或从钢包浇注到钢锭模中，采用电磁搅拌金属或者采用吹惰性气体搅拌金属，或从钢包到钢包的钢流脱气，或采用重新造渣进行渣洗处理，以及向钢水中吹惰性气体和附加混合物等措施），使钢水得到净化，显著地提高了钢液的质量。

但是，所有上述方法，都不能完全保证钢锭组织的实际改善，因为，这些措施对钢锭冷凝结晶过程，不发生任何显著的作用。

多年来，为了改善钢锭的组织，冶金工作者也进行了改善浇注工艺、改进锭型、采用发热冒口、电热冒口、电渣铸等办法，也得到了有益的结果；但是这些措施，也只是提高了钢锭头部（冒口部）的致密度、或者改善了钢锭的表面，主要方面只是提高了钢锭的利用率，从根本上说，并没有改善钢锭的结晶组织，也就是说，没有得到较理想的物理、化学均匀性。

这样，普通炼钢方法，甚至在采用上述新技术的条件下，也不能保证钢的质量足以满足新兴技术领域提出的要求。

### 3. 电渣重熔法的优点

电渣重熔技术，就是冶金工作者长期以来在探索解决上述要求时发展起来的新技术之一。电渣重熔的基本原理，早在三十年代末，由美国 Hopkins 首先阐明，但是，较大部分的发展工作是在二十年前，由苏联基辅巴顿研究所的科研人员进行的，随后，英国、奥地利、美国和德国等国家，都先后对电渣重熔的工艺和设备进行了研究和发展，推动了电渣重熔技术的进一步发展。

电渣炉操作的特点：从普通炼钢方法生产出自耗电极（铸造、轧制或锻造），装入电极臂上的夹持器，通电流，将电极的末端，浸入融熔的导电的精炼渣，电流从电极进入渣中，由于渣的电阻大，电流通过渣时，发出大量的热能，使电极自行熔化。渣池内发出的热量，供给：1. 熔化自耗电极，2. 保持融熔和过热状态的渣池温度，3. 保持钢池所必需的热量，4. 补偿辐射和传导所损失的热量。根据著名的公式：

$$Q = 0.24 I^2 R$$

这里， $Q$ ：表示在单位时间内，渣池内电流通过渣池发出的热量；卡/秒；

$I$ ：通过渣池的电流，安培；

$R$ ：渣池的电阻，欧姆。

首先，电流的大小，与渣池的电压  $V$  有直接关系。这样，渣池中放出的热量大小，决定于三个参数（ $I$ 、 $R$ 、 $V$ ），它们是互相联系的。

# 原书缺页

原书缺页

表1 西德工业性生产电渣炉情况

| 技术数据                                                  | 工 厂 | Böehler子公司                                                         | Fried-Krupp                                                        | Klöckner-Werke                                                          |
|-------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                       |     | 1                                                                  | 2                                                                  | 3                                                                       |
| 1. 电渣炉制造厂                                             |     | Böehler                                                            | Böehler                                                            | Leybold-Heraeus                                                         |
| 2. 投产时间                                               |     | 1970*                                                              | 1972*                                                              | 1975*                                                                   |
| 3. 钢锭尺寸 (毫米)                                          |     | $\phi 370 \sim \phi 800$                                           | $\phi 500 \sim \phi 1000$<br>( $\sim 5000$ 长)                      | 到 $\phi 1400 \times 4800$ ;<br>MHKW (中心重熔)<br>到 $\phi 3500 \times 4500$ |
| 4. 最大钢锭 (吨)                                           |     | 14                                                                 | 25                                                                 | 50 (MHKW300)                                                            |
| 5. 变压器功率 (千伏安)<br>二次电压 (伏)<br><br>最大电流 (安)<br>频率 (赫芝) |     | 1560<br>40 $\sim$ 120<br><br>13000<br>50                           | 2 $\times$ 2950<br>30 $\sim$ 110<br><br>29000<br>5                 | 2 $\times$ 3500<br>20 $\sim$ 93<br><br>2 $\times$ 20000<br>0 $\sim$ 5   |
| 6. 电气连结方式                                             |     | 单 相                                                                | 单 相                                                                | 单 相                                                                     |
| 7. 电极数量                                               |     | 1<br>(两个电极臂)                                                       | 1<br>(两个电极臂)                                                       | 1<br>(两个电极臂)                                                            |
| 8. 电极交换                                               |     | 有                                                                  | 有                                                                  | 有                                                                       |
| 9. 结晶器类型                                              |     | 移动式结晶器                                                             | 移动式结晶器                                                             | 移动式 and 固定式                                                             |
| 10. 电极熔炼<br>电极成型<br>电极表面清理                            |     | 电炉 or 中频炉<br>铸 造<br>不清理 or 喷砂                                      | 电 炉<br>铸 锭<br>喷 砂                                                  | 电 炉<br>铸锭 / 锻造<br>喷 砂                                                   |
| 11. 起动方法                                              |     | 冷 起 动                                                              | 冷渣 (用直流起动<br>到渣熔化)                                                 | 冷 渣                                                                     |
| 12. 渣系 (%)                                            |     | 33%CaF <sub>2</sub><br>33%CaO<br>33%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 33%CaF <sub>2</sub><br>33%CaO<br>33%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                                                                         |
| 13. 重熔钢种                                              |     | 结构钢、工具钢<br>不 锈 钢                                                   | 冷 轧 辊<br>汽轮机转子                                                     | 锻 件                                                                     |
| 14. 备注                                                |     |                                                                    |                                                                    |                                                                         |

续表1—1 西德工业性生产电渣炉情况

| 技术数据                       | Stahlwerke-Südwestfalen                                                                                                                         |              |            | Röchling-Burbach                                          | Thyssen Edelstahlwerke Krefeld |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                            | 4                                                                                                                                               | 5            | 6          | 7                                                         | 8                              |
| 1. 电渣炉制造厂                  | Junker-Birlec                                                                                                                                   |              |            | Leybold-Heraeus                                           | Consarc                        |
| 2. 投产时间                    | 1968                                                                                                                                            | 1969         | 1969       | 1971*                                                     | 1970*                          |
| 3. 钢锭尺寸 (毫米)               | 单台时: $\phi 210 \sim \phi 520$ ; $\square 260 \sim \square 460$<br>两台合并时: $\phi 700$<br>三台合并时: $\phi 800 \sim \phi 1000$ ; 并可板锭                  |              |            | $\phi 1000 \sim \phi 2300$<br>$\times 5000$               | $\phi 300 \sim 500$            |
| 4. 最大钢锭 (吨)                | 单台时: 2.8<br>两台合并时, 两根电极: 5.6<br>三台合并时, 三根电极: 8.4                                                                                                |              |            | 165吨                                                      | 3.6                            |
| 5. 变压器功率(千伏安)              | 560                                                                                                                                             | 560          | 560        | $4 \times 1800$                                           | 1050                           |
| 二次电压 (伏)                   | 30~60                                                                                                                                           | 30~60        | 30~60      | 最大100                                                     | ~70                            |
|                            | (16级+微调)                                                                                                                                        |              |            |                                                           |                                |
| 最大电流 (安)                   | 12000                                                                                                                                           | 12000        | 12000      | $4 \times 23000$                                          | 15000                          |
| 频率 (赫芝)                    | 50                                                                                                                                              | 50           | 50         | 0~10                                                      | 50                             |
| 6. 电气连结方式                  | 单 相                                                                                                                                             | 单 相          | 单 相        | 双线式或直联式                                                   | 两 相                            |
| 7. 电极数量                    | 相位: R或S<br>1                                                                                                                                    | 相位: R或T<br>1 | 相位: R<br>1 | 4 或 1<br>(4 个电极臂)                                         | 1                              |
| 8. 电极交换                    | 只有在重熔长钢锭时使用                                                                                                                                     |              |            | 有                                                         | 无                              |
| 9. 结晶器类型                   | 固定式结晶器, 薄层冷却                                                                                                                                    |              |            | 抽锭式, 固定式                                                  | 固定式结晶器、铜、水冷。                   |
| 10. 电极熔炼<br>电极成型<br>电极表面清理 | 平炉及电炉: 0.4~100吨<br>铸锭或轧制、锻造<br>根据需要                                                                                                             |              |            | 电 炉<br>铸 锭<br>喷 砂                                         | 电 炉<br>铸 锭<br>表面打磨             |
| 11. 起动方法                   | 预熔的液态渣                                                                                                                                          |              |            | 冷 渣                                                       | 冷渣和热渣                          |
| 12. 渣系 (%)                 | 40~80% $\text{CaF}_2$ , 0~20% $\text{CaO}$ ;<br>0~10% $\text{MgO}$ , 0~35% $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; (特殊添加剂: $\text{TiO}_2$ , $\text{MgF}_2$ 等) |              |            | $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$<br>(多种渣系) | 各 种                            |
| 13. 重熔钢种                   | 碳及合金结构钢, 不锈钢, 耐酸钢, 耐热钢, 工具钢, 镍基-钴基合金钢                                                                                                           |              |            | 转子发电机轴, 冷轧辊及其他大型试验性设备。目前起重能力80吨, 以后165吨                   | 高速钢、工具钢、不锈钢                    |
| 14. 备注                     | 有一350千伏安三相化渣炉, 可采用移动结晶器, 冷渣。                                                                                                                    |              |            |                                                           |                                |

续表1-2 西德工业性生产电渣炉情况

| 技术数据                       | Thyssen Edel-<br>stahlwerke Krefeld                                                                                             | Thyssen-He-<br>nrichschütte                                                       | Edelstahlwer<br>Dörrenberg                              | Stahlwerke R &<br>H Plate                                     |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|                            | 9                                                                                                                               | 10                                                                                | 11                                                      | 12                                                            |
| 1. 电渣炉制造厂                  | Leybold-Heraeus                                                                                                                 | Leybold-He-<br>raeus                                                              | Leybold-Her-<br>aeus                                    | 自制                                                            |
| 2. 投产时间                    | 1968                                                                                                                            | 1974*                                                                             | 1972                                                    | 1970*                                                         |
| 3. 钢锭尺寸(毫米)                | □240, $\phi 550$ ,<br>$\phi 700$ 及 $\phi 810$                                                                                   | $\phi 600 \sim \phi 1500 \times$<br>$4500$ 及 $1320 \times$<br>$650$               | $\phi 250$                                              | $\phi 300 \sim \phi 550$                                      |
| 4. 最大钢锭(吨)                 | 6.4                                                                                                                             | 60<br>(板锭30吨)                                                                     | 0.4                                                     | 4                                                             |
| 5. 变压器功率(千伏安)              | 1800                                                                                                                            | 4680                                                                              | 300                                                     | 1100                                                          |
| 二次电压(伏)                    | 25~100                                                                                                                          | 20~85                                                                             | 67                                                      | 25~90                                                         |
| 最大电流(安)                    | 18000                                                                                                                           | 35000                                                                             | 4500                                                    | 12000                                                         |
| 频率(赫芝)                     | 50                                                                                                                              | 0~10                                                                              | 50                                                      | 50                                                            |
| 6. 电气连结方式                  | 单 相                                                                                                                             | 单 相                                                                               | 单 相                                                     | 单 相                                                           |
| 7. 电极数量                    | 1                                                                                                                               | 1                                                                                 | 1                                                       | 1                                                             |
| 8. 电极交换                    | 无                                                                                                                               | 有                                                                                 | 无                                                       | 有                                                             |
| 9. 结晶器类型                   | 固定和移动式结晶器                                                                                                                       | 移动式结晶器                                                                            | 固定式结晶器                                                  | 移动式结晶器                                                        |
| 10. 电极熔炼<br>电极成型<br>电极表面清理 | 氧气顶吹转炉或电炉<br>铸 锭<br>喷 砂                                                                                                         | 电炉或转炉<br>铸 锭<br>不清理或喷砂                                                            | 电 炉<br>铸 锭<br>不清理或喷砂                                    | 中 频 炉<br>铸 锭<br>不 清 理                                         |
| 11. 起动方法                   | 冷 渣                                                                                                                             | 冷 渣                                                                               | 冷 渣                                                     | 液 态 渣                                                         |
| 12. 渣系(%)                  | 20%CaF <sub>2</sub> , 40%CaO,<br>40%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 70%CaF <sub>2</sub> ,<br>30%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 30~50%CaF <sub>2</sub> ,<br>20~40% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,<br>10~30% CaO | CaF <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>CaO | CaF <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -CaO<br>各种类型 |
| 13. 重熔钢种                   | 热加工钢、合金结<br>构钢、耐热耐酸钢、不<br>锈钢、高速钢、特殊钢                                                                                            | 碳钢、铬钢、铬<br>钼钒钢、镍铬钼<br>及镍铬钼钒钢                                                      | 工具钢<br>高速钢                                              | 高速钢、工具钢、<br>不锈钢、镍基合金、<br>钴基合金、用石墨电<br>极在结晶器内化渣                |
| 14. 备注                     |                                                                                                                                 |                                                                                   |                                                         |                                                               |

表 2 西 德 试 验 研 究 用 电 渣 炉

| 技术数据          | 工厂、科<br>研单位    | Aachen工程大学<br>钢铁学院   | Aachen工程大学<br>冶金学院 | Max-Planck<br>钢铁研究所 | Fried-Krupp<br>Essen | ThyssenEdelsta-<br>hlwerke Krefeld | Leybold-<br>Heraeus | Thyssen Hen-<br>richshütte |
|---------------|----------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------|----------------------------|
|               |                |                      |                    |                     |                      |                                    |                     |                            |
|               |                | 1                    | 2                  | 3                   | 4                    | 5                                  | 6                   | 7                          |
| 1. 电渣炉制造厂     | Leybold.H      | Arcos                |                    | Leybold.H.          | Leybold.H.           | Leybold.H.                         | Leybold.H.          | 自 制                        |
| 2. 投产时间       | 1971*          | 1966                 |                    | 1976*               | 1970                 | 1970                               | 1972*               | 1968                       |
| 3. 钢锭尺寸 (毫米)  | φ100           | φ60~120              |                    | φ150                | φ250                 | φ100~300                           | φ150~350            | φ600~φ1140<br>和530×1200    |
| 4. 最大钢锭重量(公斤) | 30             | 30                   |                    | 150                 | 400                  | 450                                | 1000                | 13000                      |
| 5. 变压器功率(千伏安) | 120            | 26~50                |                    | 300                 | 350                  | 交流150, 直流360                       | 560                 | 1600                       |
| 二次电压 (伏)      | 10~60          | 34~70                |                    | 100/200             | 70                   | ~70                                | 70                  | 90                         |
| 最大电流 (安)      | 2500           | 1000                 |                    | 3000/1500           | 5000                 | 交流3000, 直流6000                     | 8000                | 10000                      |
| 频率 (赫芝)       | 50             | 50                   |                    | 0/18                | 50                   | 50                                 | 50                  | 50                         |
| 6. 电气连接方式     | 交流单相<br>不同极性直流 | 交流单相<br>直 流          |                    | 单 相                 | 单 相                  | 交流, 两相,<br>直流, 不同极性                | 单 相                 | 单相及三相                      |
| 7. 电极数量       | 1              | 1                    |                    | 1                   | 1                    | 1                                  | 1                   | 1                          |
| 8. 结晶器类型      | 固 定 式          | 移 动 式                |                    | 固定和移动式              | 固 定 式                | 固 定 式                              | 移动和固定式              | 固 定 式                      |
| 9. 备 注        |                | 42伏以上, 可自动<br>控制操作电压 |                    | 1976年底投产            |                      |                                    |                     |                            |

\*指参观过的电渣炉。

表3 法国工业性生产用电渣炉情况

| 技术数据<br>工 厂   | Creusot-<br>Loire<br>Firmi-<br>ny | Creusot-<br>Loire<br>Firminy | Creusot-<br>Loire<br>Parmi-<br>ers | Creusot-<br>Loire<br>Imphy | Ugine<br>Aciers<br>Ugine | Soc.Comma-<br>ntryenne.<br>Commantry | Aubert Du-<br>val Neuilly-<br>surseine |
|---------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
|               | 1                                 | 2                            | 3                                  | 4                          | 5                        | 6                                    | 7                                      |
| 1. 电渣炉制造厂     | 苏 联                               | 苏 联                          | Consarc                            | Consarc                    | Consarc                  | Böhler                               | Consarc                                |
| 2. 投产时间       | 1965*                             | 1969*                        | 1976*                              | 1977                       | 1971                     | 1970                                 | 1973                                   |
| 3. 钢锭尺寸(毫米)   | φ500                              |                              | φ1000                              | ~φ750<br>750×350           | φ200或<br>VAR             | φ450                                 | φ840                                   |
| 4. 最大钢锭(吨)    | 2.5                               | 7                            | 34                                 | 10                         | 0.15                     | 6                                    | 22                                     |
| 5. 变压器功率(千伏安) | —                                 | —                            | 2×1900                             | 1750                       | 350(一)<br>252(二)         | —                                    | 1050                                   |
| 6. 最大电流(安)    | 14000                             | —                            | 2×25000                            | 25000                      | 5000(一)<br>4000(二)       | 12000                                | 25000                                  |
| 7. 频率(赫芝)     | 50                                | (一)                          | 50                                 | 50                         | 50                       | 50                                   | 50                                     |
| 8. 连结方式       | 单 相                               | 双线或直<br>联式                   | 单 相                                | 单 相                        |                          | 单 相                                  | 单 相                                    |
| 9. 重熔钢种       |                                   |                              |                                    |                            |                          |                                      |                                        |
| 10. 备 注       |                                   |                              |                                    |                            |                          |                                      |                                        |

\*指参观过的电渣炉。

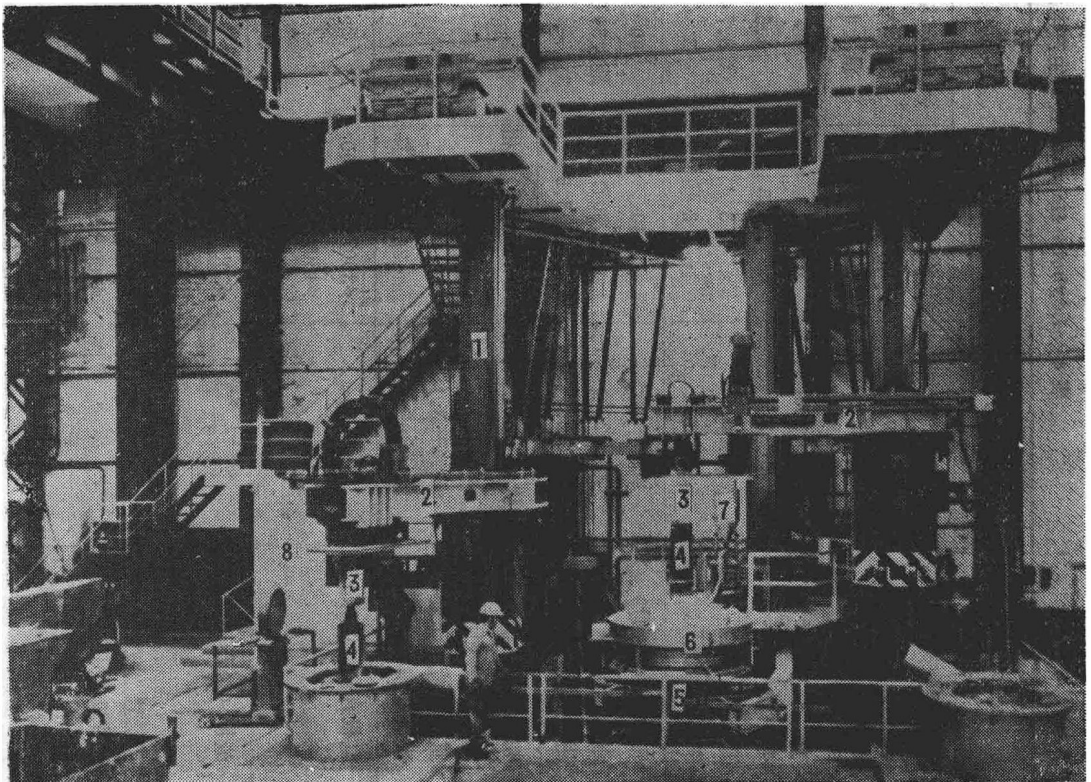


图 2

1. 电极柱; 2. 电极臂; 3. 假电极; 4. 电极; 5. 结晶器; 6. 排烟罩;  
7. 加铝装置; 8. 控制室

表 4 Leybold-Heraeus 公司生产电渣炉类型及其主要技术参数

| 电 渣 炉 型 号        |             | F 250/0.3      | F 500/3 II                                   | F 750/9 II | FB1000/28GI                                    | F 1500/70GI                                       | 165吨             |
|------------------|-------------|----------------|----------------------------------------------|------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------|
| 钢<br>锭           | 直 径 (毫米)    | 最大160          | 最大500                                        | 最大750      | 最大1000                                         | 最大1500                                            | 2300             |
|                  | 长 度 (米)     | 最大0.650        | 最大 2                                         | 最大2.5      | 最大4.5                                          | 5                                                 | 4.2—5.0          |
|                  | 重 量 (吨)     | 最大0.3          | 最大 3                                         | 最大8.7      | 最大28                                           | 70                                                | 160—220          |
| 电<br>极           | 直 径 (毫米)    | 最大160          | 380                                          |            | 最大650                                          | 900                                               |                  |
|                  | 长 度 (米)     | 最大1            | 3.5                                          | 4.5        | 最大2.5                                          | 3.5                                               |                  |
|                  | 重 量 (吨)     | 最大0.1          | 3                                            | 8.7        | 6.5                                            | 15                                                |                  |
|                  | 行 程 (米)     | 最大1.5          | 3                                            | 3          | 7.25                                           | 7.925                                             |                  |
| 冷 却 水            | 耗水量 (吨/时)   | 7—9            | 40                                           | 90         | 82.5                                           | 200                                               |                  |
|                  | 进入水温℃       | 最大35℃          | 最大30℃                                        | 最大30℃      | 最大30℃                                          | 最大30℃                                             |                  |
|                  | 进口水压 (大压)   | 最小2.5          | 2.5—3.5                                      | 3.0—4.5    | 2.5—3.5                                        | 2.5—3.5                                           |                  |
| 电<br>参<br>数      | 初级电压 (伏)    | 380伏, 50赫芝, 单相 | 6kv, 50赫芝, 单相                                |            | 6 千伏, 50赫芝, 单相                                 | 22.9千伏                                            | 10.5千伏           |
|                  | 额定功率 (仟伏安)  | 200            | 1800                                         |            | 3750                                           | 2 × 2500                                          | 4 × 1580         |
|                  | 重熔电流 (千安)   | 1.1—3.1        | 15                                           |            | 25                                             | 2 × 25 (3f)                                       | 4 × 23400(0—105) |
|                  | 次级电压 (伏)    | 65             | 20—120                                       |            | 150                                            | 100                                               | 100              |
| 重<br>熔<br>参<br>数 | 电极直径 (毫米)   |                | φ300/180—200<br>φ450/280—325<br>φ500/350—400 |            | φ600/360—460<br>φ800/475—575<br>φ1000/575—675  |                                                   |                  |
|                  | 渣量 (公斤)     |                | φ300/20—30<br>φ425/45—55<br>φ500/80—90       |            | φ600/120—150<br>φ800/265—325<br>φ1000/500—600  | φ600/125—150<br>φ1000/475—600<br>φ1500/1270—1550  |                  |
|                  | 熔化速度 (公斤/时) |                | φ300/200—250<br>φ425/300—370<br>φ500/370—450 |            | φ600/450—600<br>φ800/640—800<br>φ1000/800—1000 | φ600/450—600<br>φ1000/800—1000<br>φ1500/1350—1600 |                  |
|                  |             |                |                                              |            |                                                |                                                   |                  |
|                  |             |                |                                              |            |                                                |                                                   |                  |

续表 4 Leybold-Heraeus公司生产电渣炉类型及其主要技术参数

| 电渣炉型号      | F 250/0.3 | F 500/3 II                                                           | F 750/9 II | FB1000/28GI | F 1500/70GI                                                            | 165吨 |
|------------|-----------|----------------------------------------------------------------------|------------|-------------|------------------------------------------------------------------------|------|
| 耗电 (千伏安/吨) |           | $\phi 300/1600-1500$<br>$\phi 425/1600-1500$<br>$\phi 500/1600-1500$ |            | 1000—1500   | $\phi 600/1000-1250$<br>$\phi 1000/1150-1400$<br>$\phi 1500/1500-1800$ |      |

表 5 西德 L-H 公司生产的电渣炉分布情况

| 国别 | 安装的工厂名称                                     | 投产日期                     | 钢锭最大重量(吨)   | 国别   | 安装的工厂名称                                                      | 投产日期                     | 钢锭最大重量(吨) |
|----|---------------------------------------------|--------------------------|-------------|------|--------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------|
| 美国 | 1. Union Electric, Burgettstown             | 1967                     | $\phi 800$  | 瑞典   | 16. Uddeholm Hagfors                                         | 1969 试 $\phi 120$        | 30 公斤     |
|    | 2. Teledyne Allvac, Monroe, North Carolina  | 1972                     | $\phi 500$  |      | 17. Königl. Techn. Hochschule Stockholm                      | 1969 试 $\phi 120$        | 30 公斤     |
|    | 3. Bethlehem Steel Corp, Bethlehem          | 1974                     | $\phi 650$  | 西班牙  | 18. Centro, Nacional de Investigaciones Metalurgicas, Madrid | 1973 试 $\phi 120$        | 30 公斤     |
|    | 4. Bethlehem Steel Corp, Bethlehem          | 1974                     | $\phi 1500$ |      | 19. Berg- und Hüttenkombinat Zenica                          | 1973 试 $\phi 250/300$ 公斤 |           |
|    | 5. Cabot Stellite Div., Kokomo, Ind.        | 1975                     | $\phi 600$  | 南斯拉夫 | 20. Metalurski Institut, Ljubljana                           | 1974 试 $\phi 250/300$ 公斤 |           |
| 西德 | 6. Edeltahlwerk Witten TEW Krefeld          | 1967                     | $\phi 700$  | 保加利亚 | 21. Technische Hochschule Sofia                              | 1973 试 $\phi 120$        | 30 公斤     |
|    | 7. Technische Hochschule Aachen             | 1969 试 $\phi 120$        | 30 公斤       | 意大利  | 22. Centro Sperimentale Metallurgico Rom                     | 1974 试 $\phi 400$        | 2         |
|    | 8. Krupp Forschungsinstitut Essen           | 1970 试 $\phi 250/400$ 公斤 |             | 南朝鲜  | 23. Korea Integrated Special Steel, Mosan                    | 1975 $\phi 380$          | 1.75      |
|    | 9. Technische Universität Berlin            | 1971 试 $\phi 120$        | 30 公斤       |      | 24. Pusan Steelpusan                                         | 1976 $\phi 500$          | 2.3       |
|    | 10. Stahlwerke Röchling-Burbach, Völklingen | 1971 $\phi 2300$         | 165         | 巴西   | 25. Acopalma, Belo Horizonte                                 | 1976 $\phi 750$          | 8         |
|    | 11. Edeltahlwerk Dörrenberg. Runderoth      | 1972 试 $\phi 250$        | 300 公斤      | 印度   | 26. Mishra Dhatu Nigam, Hyderabad                            | 1977 $\phi 750$          | 10        |
|    | 12. Leybold-Heraeus, Hanau                  | 1972 $\phi 350$          | 1           |      |                                                              |                          |           |
|    | 13. Thyssen-Henrichshütte AG. Hattingen     | 1973 $\phi 1460$         | 60          |      |                                                              |                          |           |
|    | 14. Klöckner-Werke AG. Osnabrück            | 1973 $\phi 1400$         | 60          |      |                                                              |                          |           |
|    | 15. Max-Planck-Institut.                    | 1976 试 $\phi 150$        | 150 公斤      |      |                                                              |                          |           |

### (1) 电极柱

L-H公司电渣炉按其容量大小，有单、双、三、四立柱，一般单立柱用在不进行交换电极的小设备，随着容量扩大，从8—40吨用双立柱，40吨以上有一单独的结晶器升降立柱，165吨电渣炉有四根电极立柱。立柱埋在基础中，上部用樑架与建筑结构相连，作为辅助支撑。辊轮导向的电极运输车，装有电极臂与夹持装置，垂直地沿着立柱上的导轨，以滚珠丝杠装置（或钢丝绳卷扬系统）进行升降。电极运输车由直流马达（慢速）和交流马达（快速）驱动，二个马达一般装在立柱的下端。

有单独空压机产生压缩空气供夹持电极用，Thyssen Henrichshütte厂是用500立升16大气压空气压缩机。也可用油压装置，它配有专用液压站，放置于电渣炉附近的地下室内，容量为100—120立升，压力为80—100巴。

### (2) 结晶器升降立柱

结晶器升降立柱仅用于较大容量的炉子，它埋在基础内，并在顶部用钢架与建筑结构联结在一起作为辅助支撑。辊轮导向的小车是沿着结晶器升降立柱垂直移动。小车移动是通过滚珠丝杠或钢丝绳牵引的，小车移动速度可在一个很宽的范围内变化，此驱动装置与电极升降驱动相类似。结晶器的升降小车是与一个分叉形臂装在一起，它也和观察平台连在一起，观察平台装有固定梯子。该公司也可提供电液压升降平台及安装在平台上添加铝合金的铝粒发射装置，其容量为15升，添加速度为0.5—15公斤/时。

### (3) 带有底水箱的钢锭小车

轨道轮钢锭小车，装有变速齿轮马达驱动，软线水冷电缆和汇流排管，与电源相连接。

### (4) 水冷系统

对结晶器、底水箱、大电流输送和电极夹持装置进行水冷，水冷系统包括有分配水箱、水循环系统的回水箱等。所有临界流量都有流量开关控制，在出口处用双金属温度计测温，在缺水的情况下可发出信号，并有联锁装置切断熔化电源。水的消耗控制在水的出口温度不超过45℃，以免在结晶器及底水箱内产生有害沉淀。L-H公司电渣炉对冷却水质有明确要求，该公司认为缺水的地方，需要一个封闭再循环系统的外部冷却系统，它包括有：带有一个飘浮控制阀的储水箱、离水泵、维持阀、过滤器、冷却塔及其他控制设备。对电渣炉及熔化动力系统的冷却水质具体要求如下：

机械过滤：筛孔宽0.38毫米、化学中性；

硬度：最大8°德国度；

导电性：最大600US/cm；

pH值：最大7.8；在硬度为8°德国度时；

最大8.1；在硬度为6°德国度时；

最大8.3；在硬度为4°德国度时；

游离：最大8毫克/升在硬度为8°德国度时；

最大4毫克/升在硬度为6°德国度时；

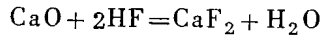
最大3毫克/升在硬度为4°德国度时。

有效(Aggressive)CO<sub>2</sub>：不应测出；NH<sub>3</sub>：不应测出，NO<sub>2</sub>最大0.04毫克/升，Fe最大6.3毫克/升，Mn最大0.05毫克/升，硫酸盐250毫克/升，氯酸盐：最大150毫克/升，KMnO<sub>4</sub>消耗量：最大15毫克/升。

### (5) 排烟系统与废气净化装置

为了保护操作人员及减少氟气等大气污染、电渣炉应有一个排烟系统。L—H公司排烟系统有排烟罩、耐热软管、鼓风管道、鼓风机等组成。排烟罩也可以对结晶器进行气体保护，为此配有一个干空气发生器。

为了集尘及废气净化，该公司设计电渣炉附有集尘净化系统，它主要装有袋式过滤器、一个化学反应器、一个自动净化装置和一个鼓风机。化学反应器内主要装有石灰小粒（其粒度为1~2毫米）它与炉气中HF气发生如下反应：



生成的 $\text{CaF}_2$ 可以回收，作电渣炉返回料用，在60吨电渣炉（钢锭直径 $\phi 1300-1000$ 毫米）石灰粉的耗量为15—20公斤/时。

为了控制氢量，当熔化对白点敏感的钢种时，应有干空气保护。干空气发生系统是将工厂供应的压缩空气进行过冷到+5℃，这时，湿空气析出冷凝水。冷的干空气导进一个空气对空气的热交换器，用来预热已经清除掉水分的干空气。一个过滤器及油分离器和吸收过滤器连接，组成一个管路，用于排除压缩空气中水和油蒸气。

干空气发生器系统的技术参数举例如下：

对用于重熔 $\phi 750$ 毫米锭子，重8.7吨电渣炉时：

在35℃时，处理空气量约100标准米<sup>3</sup>/小时；

压缩空气输入压力约5—6公斤/厘米<sup>2</sup>；

在此压力下的露点约+5℃；

空气中干度1.6克/公斤。

#### （6）电极预热装置

电渣炉采用交换电极技术时，需要对交换电极下端进行预热，两个电极的预热位置，安置在每个电极臂的旋转圈上。它主要由一个绝缘的钢壳、一个在底部的气体燃烧器和顶部的定中心装置所组成。每个位置均可预热最大直径的电极。电极末端约200毫米处，大约在3小时内预热到650℃，大部分预热电极使用的燃料是煤气或天然气。

#### 电气设备

电气设备包括有电气控制系统（控制柜和接触器柜、电气控制柜、中心控制台、遥控板）、大电流输送器和铝排开关、和熔化动力电源。

##### （1）电气控制系统

1）控制柜和接触器柜：它包括有熔断器、马达起动机、过载保护、接触器、继电器、控制变压器及其他操作作用的电子元件。接触器和联锁开关机构是用于电渣炉和有关设备的安全操作，它装在一个开式柜内，安装在一个单独房间内。

2）电气控制柜：包括有电极进给系统、回转控制系统和结晶器升降控制系统。电气控制系统采用固体印刷线路板，这些线路板很容易更换。电极进给系统准确地保持一个预定的参考电压，与其相应的电极埋入深度，但调整电极和更换电极操作时，是用人工控制。电极回转控制系统，为了使更换电极的时间尽可能地短，在重熔过程中，快速控制的回转系统马达是用电子控制，而进行调正是用人工控制。结晶器升降系统是用选择性自动控制起动一个电子结晶器升降控制系统，这个系统将准确地保持一个预选的结晶器升降率，此升降率与重熔钢锭的增长率相适应。而结晶器调正和脱锭操作时，是用手控的。

3）中心控制台：中心控制台包括有整个设备操作全部诸元。装有遥控元件用以控制动力电源和大电流铝排开关，电极进给的选择性人工控制和自动控制操作、电极回转和结晶器

升降系统。目前西德、法两国工厂实际使用的控制基本方式是选用预定的熔化电流、参考电压和结晶器升降速率。L-H公司设计并准备制造新的电渣炉可提供电极重量称重装置 (Load cell System)，它可指示出自耗电极重量与熔化率。称量装置内有应力桥 (Strain ganges)，产生出电气输出信号与重量成正比。电极称量装置系统精度为负荷称量的 $\pm 0.25\%$ 。在十分钟内形成二个值的差数为熔化率，熔化率指示以公斤/时表示。当得到足够的操作经验后，可得到一个对具体条件下，保证质量合适的熔化程序，这个称量系统可与熔化程序计算机组配合，在时间或重量基础上，对熔化电流和电压加以控制。各种不同的指示灯，表示实际的操作状态，下列仪表用于重熔参数的全部测量：安培计、伏特计、KW表、电极位置的数字显示、结晶器位置的数字显示；熔炼电压、电极运动与结晶器运动，电流用的通道纪录器。各种不同的事故将显示在中心控制台上事故通告板上，监视临界冷却水温度和辅助设备的仪表，安装在控制室的单独柜中。

4) 遥控板：当调正和脱锭操作时，用人工操作电极进给和回转系统，以及在熔炼时快速更换电极的遥控板，被安装在熔化位置的附近。这个板，在中心控制台上，专门安装一个选择开关后，亦可以操作。

### (2) 大电流输送器和铝排开关

在熔化动力电源和炉子中间的大电流输送器是铝排所组成。大电流输送器从铝排系统的一端到电极夹持装置和铜底板连接是由水冷铜电缆和铜管所组成。一个马达驱动的大电流铜排开关，可以单独开动或切断两个电极进给系统。为了减少感抗，L-H公司现已设计并准备制造从炉体空心立柱中平行布线。

### (3) 熔化动力电源

熔化动力电源输出频率有两种，一种是工频(50或60赫芝)，另一种是低频(0—10赫芝)，使用低频电源是为了减少感抗，提高功率因素，这种装置首先在L-H公司使用，这种电源是由一个三相变压器加上一个静止变频装置所组成。静止变频器由一组水冷大电流可控硅元件、以及相应的电子控制系统和水冷系统所组成。熔化电源有的用一个变压器供电，这种大部用于吨位较小，单熔炼工位电渣炉上使用。对于大电渣炉，并有二个或三个熔炼位，一般使用两个变压器，例如Klöckner-werke厂，由L-H公司设计的60吨电渣炉是由二台3500千瓦变压器供电，这种装置具有很大灵活性，当使用二台变压器同时供电时，可熔炼直径 $\phi 1370$ 毫米重达60吨大锭。同时它又可以二台变压器分别供电，同时熔炼两个直径为 $\phi 850$ 毫米重13吨钢锭。至于超大型钢锭可同时由四台变压器供电如Röchling-Burbach厂的165吨电渣炉那样。

变压器可有载调压，这种装置有利于重熔操作。

### 165吨电渣炉的结构与设备

165吨电渣炉在建造时，资金上得到西德联邦政府的资助，设备于1971年建成投产，开始时，在机械、电气方面都遇到一些问题，直到1974年才开始正式进行大电渣锭的生产和冶金研究工作，生产了80吨重的电渣锭，当时车间只有80吨的起重能力，1977年，安装了200吨吊车，生产了125吨重的电渣锭，至今没有生产165吨的电渣锭，因水压机车间吊车只有150吨起重能力，但工艺上已无问题，因125吨和165吨的电渣锭直径相同，只要重熔时间增加即可生产165吨的钢锭。

#### (1) 机架

整个重熔装置由四个机架组成。每个机架，主要是一个立式圆柱。圆柱为套筒式，中心

的立柱，套在圆筒形的导柱内，由机械传动，可以使立柱上下伸缩。立柱的上部，装有电极摇臂，摇臂的一端为电极夹持器，夹持器上的气动夹头，可以夹住假电极。

电极摇臂围绕立柱中心转动，摇臂的旋转运动，使电极的圆形轨迹通过结晶器中心。这种安装为的是能采用具有同一圆心的不同直径的结晶器。如重熔直径1000~1300毫米间的钢锭，采用单根电极重熔，双摇臂交替，轮换电极。而重熔更大的电渣锭，则采用四根电极重熔，轮流交换电极。四根导柱的下部，固定在车间地平的基礎上。导柱在上部通过安放结晶器的平台而彼此连接，组成整个重熔装置。

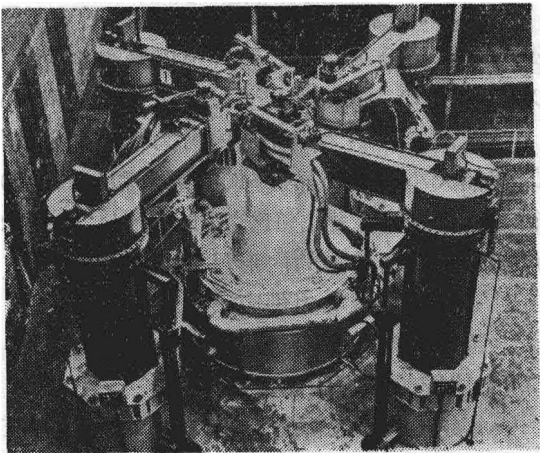


图 3

165吨电渣炉外形图见图3。

(2) 结晶器的安装

结晶器是安装在操作平台上，平台上有定位销，用以固定结晶器的位置。结晶器的直径可以不同，但定位销的位置不变。在结晶器下部装有堵渣装置，用以防止抽锭时漏渣。堵渣装置为8个弓形块组成，由液压传动，在抽锭后或漏渣时，压向钢锭的表面，可阻止渣流和钢液进一步漏出。

底板为水冷铜底板，中心有一圆孔，以便插入加工过的钳把，这样在钢锭锻造时，可以方便地将钳把插入套筒，同时也不必因锻压钳把而浪费电渣钢锭，这一点在生产大电渣锭时是很有好处的。重熔前在水冷底板上放有“垫圈形”的钢垫板，用以保护水冷铜底板，使其在引弧时，不致烧坏水冷铜底板的表面。

抽锭用8根直径约160毫米的丝杆传动，其平面分布见图4。丝杆悬挂在结晶器支承平台上，因而丝杆只承受拉力，见图5。丝杆的传动装置位于导柱下部的圆筒内，这样的设计，可以使传动装置不受漏渣的影响。

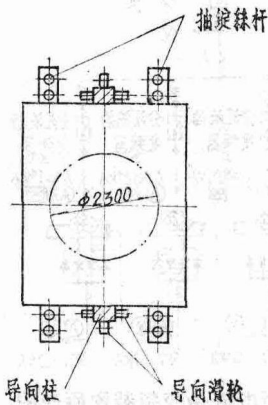


图 4 抽锭丝杆平面分布图

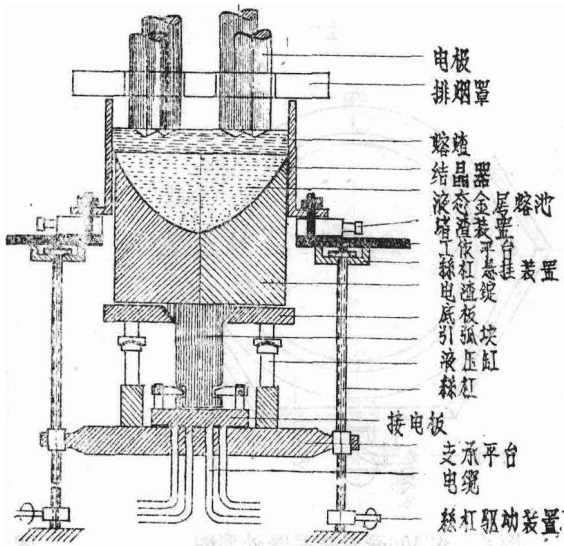


图 5 160吨电渣重熔设备示意图