

# 铜铅锌冶炼设计参考资料

中 册

《铜铅锌冶炼设计参考资料》编写组 编

## 内 容 提 要

《铜铅锌冶炼设计参考资料》包括原料贮存与制备、火法炼铜、湿法炼铜、铅冶炼、火法炼锌、湿法炼锌、收尘、辅助设施、一般设计资料、常用辅助设备共十篇，分上、中、下三册。上册包括原料贮存与制备、火法炼铜、湿法炼铜等三篇，中册包括铅冶炼、火法炼锌、湿法炼锌等三篇，下册包括收尘等四篇及附录。

本书可供铜、铅、锌冶炼设计人员以及从事铜、铅、锌冶炼工作的工人、干部和技术人员参考，也可供专业学校的师生参考。

### 铜铅锌冶炼设计参考资料

#### 中 册

《铜铅锌冶炼设计参考资料》编写组 编

(内部发行)

\*  
冶金工业出版社出版  
新华书店北京发行所发行  
冶金工业出版社印刷厂印刷  
\*

787×1092 1/16 印张 40 1/8 插页 2 字数 970 千字  
1978年6月第一版 1978年6月第一次印刷  
印数 00,001~5,700 册  
统一书号: 15062·3303 定价(科三) 3.80 元

# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第四篇 铅冶炼 .....             | 1   |
| 第一章 鼓风炉炼铅 .....           | 2   |
| 第一节 鼓风炉熔炼 .....           | 2   |
| 第二节 铅水碎渣回转窑挥发 .....       | 24  |
| 第二章 粗铅精炼 .....            | 31  |
| 第一节 粗铅的火法初步精炼 .....       | 32  |
| 第二节 铅电解精炼 .....           | 44  |
| 第三节 硅氟酸制造 .....           | 73  |
| 第四节 浮渣处理 .....            | 81  |
| 第三章 铅冶金计算 .....           | 92  |
| 第一节 烧结焙烧冶金计算 .....        | 92  |
| 第二节 鼓风炉熔炼冶金计算 .....       | 103 |
| 第三节 烟化炉吹炼炉渣冶金计算 .....     | 110 |
| 第四节 铅电解精炼冶金计算 .....       | 116 |
| 第四章 低品位铅锌氧化矿处理 .....      | 119 |
| 第一节 鼓风炉化矿 .....           | 120 |
| 第二节 烟化炉吹炼 .....           | 125 |
| 第五篇 火法炼锌 .....            | 144 |
| 第一章 竖罐炼锌 .....            | 145 |
| 第一节 概述 .....              | 145 |
| 第二节 焦结 .....              | 150 |
| 第三节 蒸馏 .....              | 170 |
| 第四节 冷凝 .....              | 199 |
| 第五节 精馏 .....              | 227 |
| 第六节 冶金计算 .....            | 257 |
| 第二章 竖罐炼锌有价金属回收 .....      | 292 |
| 第一节 从含镉烟尘中提取镉 .....       | 293 |
| 第二节 从含镉物料中提取镉 .....       | 304 |
| 第三节 竖罐蒸馏渣旋涡熔炼 .....       | 314 |
| 第三章 鼓风炉炼铅锌 .....          | 327 |
| 第一节 鼓风炉备料 .....           | 328 |
| 第二节 鼓风炉熔炼 .....           | 337 |
| 第三节 锌蒸气冷凝 .....           | 356 |
| 第四节 浮渣破碎与筛分 .....         | 363 |
| 第五节 鼓风炉的配置及与有关专业的联系 ..... | 365 |
| 第六节 铅锌鼓风炉熔炼冶金计算举例 .....   | 369 |
| 第六篇 湿法炼锌 .....            | 383 |
| 第一章 锌焙烧矿处理 .....          | 386 |

|            |                         |            |
|------------|-------------------------|------------|
| 第一节        | 焙烧矿浸出 .....             | 386        |
| 第二节        | 浓密和过滤 .....             | 406        |
| 第三节        | 硫酸锌溶液净化 .....           | 418        |
| 第四节        | 电解液冷却 .....             | 433        |
| 第五节        | 锌电解沉积 .....             | 471        |
| 第六节        | 阴极锌熔铸 .....             | 494        |
| 第七节        | 锌粉制造 .....              | 506        |
| 第八节        | 浸出渣处理 .....             | 512        |
| <b>第二章</b> | <b>氧化锌处理 .....</b>      | <b>527</b> |
| 第一节        | 氧化锌处理中氟、氯的脱除 .....      | 530        |
| 第二节        | 氧化锌浸出 .....             | 535        |
| 第三节        | 镉、锗富集 .....             | 538        |
| 第四节        | 溶液净化 .....              | 542        |
| <b>第三章</b> | <b>湿法炼锌有价金属回收 .....</b> | <b>544</b> |
| 第一节        | 从铜镉渣中提取镉 .....          | 544        |
| 第二节        | 从黄酸钴渣中制取氧化钴 .....       | 563        |
| 第三节        | 从镉渣中提取镉 .....           | 569        |
| 第四节        | 从脱氟烟尘及贫镉溶液中提取铊 .....    | 585        |
| <b>第四章</b> | <b>湿法炼锌冶金计算 .....</b>   | <b>599</b> |
| 第一节        | 锌精矿沸腾焙烧冶金计算 .....       | 599        |
| 第二节        | 锌焙烧矿浸出冶金计算 .....        | 609        |
| 第三节        | 硫酸锌溶液净化冶金计算 .....       | 613        |
| 第四节        | 锌电解沉积冶金计算 .....         | 615        |
| 第五节        | 焙烧矿浸出渣挥发窑处理冶金计算 .....   | 621        |
| 第六节        | 挥发窑氧化锌处理冶金计算 .....      | 629        |
| 第七节        | 年度综合物料平衡计算 .....        | 634        |

## 第四篇 铅 冶 炼

目前世界各国生产的铅(不包括再生铅),绝大部分是从硫化铅精矿中提取的,只有少量是从氧化矿物中提取。

铅的冶炼方法有两种,即火法(包括电炉炼铅)和湿法,目前世界上以火法为主,电炉炼铅仅为电力资源比较丰富的地区所采用。湿法炼铅尚处于试验研究阶段。

火法炼铅基本沿用烧结-鼓风机还原熔炼流程。据统计,目前世界上生产的粗铅约有90%是用该流程生产的。

炼铅鼓风机在生产和结构上的改进有:预热空气和富氧鼓风以提高生产能力降低能耗;采用汽化冷却充分利用余热,节约用水;采用双排风口及椅型水套改进熔炼制度。

为提高烧结-鼓风机熔炼流程的金属回收率,常采用烟化炉处理含锌高的炉渣。烟化炉较其它烟化法具有挥发率高、处理能力大、适应性强等优点。为了强化烟化炉的生产,国外有的工厂采用富氧鼓风及热风,提高了生产能力,降低了煤耗。目前已有工厂使用液体燃料代替粉煤,烟化炉作业实现连续化,从而使烟化炉处理炉渣具有更大的优越性。国内除用于处理炉渣外,还用烟化炉处理低品位铅、锌氧化矿。实践证明,除对铅、锌挥发较完全外,并能有效地挥发镉、镉等有价金属。

粗铅的精炼方法有火法和电解两种:国外仍以火法精炼为主,近年来,反射炉连续脱铜及真空脱锌等新技术已用于生产。电解精炼的特点是能更好地回收金、银、铋等有价金属,并得到高纯度的电铅。国内工厂都采用此法,国外如加拿大、美国、秘鲁、日本和意大利等国部分工厂也有采用。

建国以来,我国的炼铅工业有了很大发展。在炼铅技术上取得了许多成果。

鼓风机化矿-烟化炉吹炼处理低品位铅、锌氧化矿的实践,不但为充分利用我国氧化矿资源摸索了经验,而且已能综合回收其中的镉。

采用简易法制团-鼓风机熔炼从高锡氧化铅精矿中提取粗铅,使流程简化并改善了劳动条件,提高了金属回收率。

粗铅火法初步精炼的反射炉连续脱铜及电解精炼中的周期反向电解等,均取得了工业规模的试验成果。

铅冶炼过程中产出的铅蒸气、铅粉尘和二氧化硫气体,对工人和居民的健康有危害。近年来,我国采用了鼓风烧结,烟气制酸后,初步解决了烧结机的烟害问题。湿式收尘在炼铅工业中成功地应用,大大地减轻了尘害。始极片、铅阳极和电铅锭的浇铸已初步实现了机械化连续作业,为自动化打下了基础,这将使铅蒸气对工人的危害大为减少。此外,从炼铅过程的各种中间产物中提取有价金属的试验工作,也取得积极的成果,为综合利用提供了有利条件。

# 第一章 鼓风炉炼铅

鼓风炉还原熔炼是较成熟的炼铅方法，经过长期生产实践，工艺过程比较完善，技术操作条件稳定，对原料的成分和性质有较大适应性，而且处理能力大，产品成本低，冶炼回收率高，因此，国内外处理硫化铅精矿的冶炼厂多采用这种方法。

图 4—1—1 为铅鼓风炉炼铅工艺流程图。

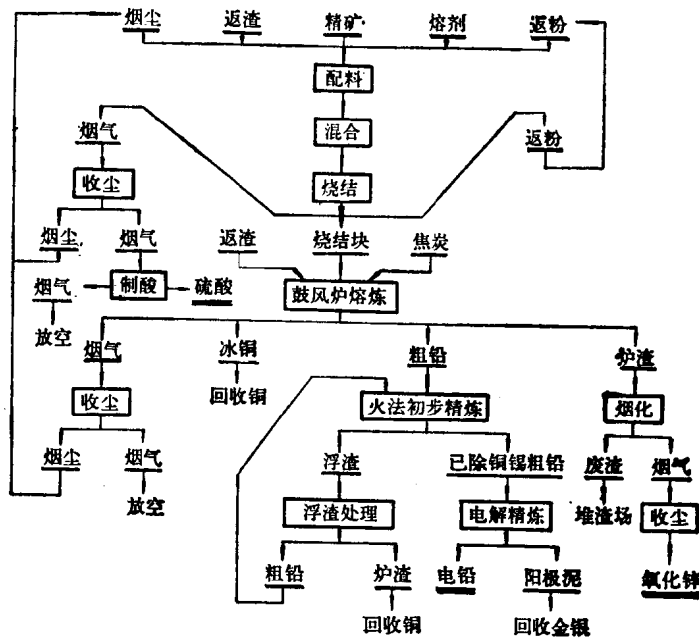


图 4—1—1 鼓风炉炼铅工艺流程图

## 第一节 鼓风炉熔炼

### 一、概述

硫化铅精矿的烧结矿、氧化铅精矿的团矿以及氧化铅的富块矿都可采用鼓风炉进行还原熔炼，其目的是：

1. 使炉料中的铅还原成粗铅，并将贵金属富集其中；
2. 使炉料中的脉石成分造渣，并尽量让锌进入其中；
3. 炉料中的铜，视其含量的高低，可富集于粗铅中或铅冰铜中；
4. 当炉料含镍、钴较高时，可使其富集于黄渣中，但由于黄渣熔点高，易引起熔炼作业紊乱，故一般情况下尽量避免产生。

铅的鼓风炉熔炼主要有以下的新发展。

### 1. 鼓风机结构

采用汽化水套，减少水耗，副产蒸汽；采用双排风口；椅型水套；使鼓风机大型化，提高生产能力，炉结减少。

### 2. 采用热风

以佐贺关铅厂试验为例，采用 200~250°C 热风，使产量提高 30%；燃料率下降 30%；烟尘率下降，渣含锌不升高。

### 3. 采用富氧空气

采用富氧空气，使处理量提高，焦率下降，但渣含铅有所提高。表 4—1—1 为采用富氧鼓风实例。

采用富氧鼓风实例

表 4—1—1

| 厂 别      | 鼓 风 情 况                     | 处理量增加比例(%) | 焦率降低比例(%) |
|----------|-----------------------------|------------|-----------|
| 特累尔(加拿大) | 含氧 23.4%                    | 15~20      | 10        |
|          | 含氧 26.1%                    | 22.5~25    | —         |
| 东海利那(美国) | 含氧 24%①                     | 25.5       | 9.7       |
| 奇姆肯特(苏联) | 含氧 23.5%，风温 377°C           | 38.5       | 29.8      |
|          | 含氧② 27.6~27.9%，风温 405~445°C | 65~70      | 38.7~44.4 |

① 试验数据；

② 鼓入占空气量 4.65~6.6% 的天然气。

### 4. 其他方面

在有价金属的综合利用，消除环境污染，防止铅中毒等方面都有较大的发展。

## 二、炉料与燃料

### (一) 炉料

在鼓风机炉料中，自熔性烧结块一般占 80% 以上。根据情况不同，往往还添加少量熔剂、铁屑、返渣以及其他返料。

#### 1. 烧结块

一般要求烧结块转鼓率①为 28~40%；孔隙率不小于 50~60%；块度为 50~150 毫米，小于 50 毫米部分与大于 150 毫米部分之和不超过 25%。

对烧结块化学组成的要求：

(1) 含铅以 42~48% 为宜(国外个别厂达 52%)；

(2) 造渣成分的含量应符合鼓风机选定的渣型；

(3) 当烧结块含铜 1.5% 以下时，控制烧结块含硫量 1.5~2.0% 为好；当含铜 1.5% 以上时，含硫量应大于 3%。

表 4—1—2 为烧结块化学成分实例。

① 转鼓率：称取 10 公斤粒度大于 20 毫米的试料，置于直径 0.8 米，长 0.25 米的转鼓中，转鼓由圆钢制成，圆钢间隙 5 毫米，以每分钟 20 转的速度转动 5 分钟，称小于 5 毫米量占总重量的百分数为转鼓率。

烧结块化学成分实例

表 4-1-2

| 厂 别 | 化 学 成 分 (%) |           |       |           |                  |         |      |
|-----|-------------|-----------|-------|-----------|------------------|---------|------|
|     | Pb          | Zn        | S     | Fe        | SiO <sub>2</sub> | CaO     | Cu   |
| 1   | 43.50       | 6.27      | 1.48  | 11.44     | 11.18            | 8.45    | 1.0  |
| 2   | 43.39       | 6.45      | 2.06  | 12.88     | 11.56            | 8.28    | 0.80 |
| 3   | 40.05       | 5.75      | 3.13  | 13.00     | 16.28            | 8.50    | 0.50 |
| 4   | 36.60       | 4.00      | 3.19  | 14.81     | 15.68            | 6.77    | —    |
| 5   | 44.13       | 5.58      | 2.40  | 13.50     | 9.92             | 6.79    | 1.09 |
| 6   | 42~45       | 9.66~12.0 | 1.5~2 | 13.2~14.8 | 8.5~9.5          | 5.0~6.0 | —    |
| 7   | 42.5        | 10.20     | 1.90  | 9.60      | 8.90             | 8.80    | <1   |
| 8   | 48.5        | 4.80      | 1.40  | 11.70     | 9.00             | 5.00    | 1    |

2. 返渣(鼓风炉渣)

为了提高金属回收率，通常把沉淀锅底部渣，渣包的渣壳及渣流槽的结块等含铅较高的块状渣返回鼓风炉内。较小的鼓风炉为了稳定炉况，有时在炉料中经常搭配部分鼓风炉渣。返渣块度不宜大于 150 毫米，正常生产时，返渣量不超过加料量 10%。

3. 熔剂

熔炼自熔性烧结块时，一般不在鼓风炉加熔剂。当熔炼氧化铅矿时，需根据造渣要求加入适当熔剂。熔剂块度为 50~100 毫米。

4. 铁屑

当烧结块残硫较高时，为了降低冰铜含铅量，鼓风炉可加入少量铁屑，一般添加量为 1~3%。个别小型炉因烧结块残硫过高，有时铁屑添加量达 5% 以上。表 4-1-3 为小型鼓风炉铁屑配比实例。

小型鼓风炉铁屑配比实例

表 4-1-3

| 厂 别 | 烧结块残硫 (%) | 铁屑配比 (%) |
|-----|-----------|----------|
| 1   | 3~4       | 10       |
| 2   | 3.0       | 10       |

(二) 燃料

炼铅鼓风炉一般均采用焦炭为燃料和还原剂。表 4-1-4 为铅鼓风炉对焦炭的质量要求。

铅鼓风炉对焦炭质量要求

表 4-1-4

| 固定碳 (%) | 灰分 (%) | 发热值 (千卡/公斤) | 着火点 (°C) | 孔隙率 (%) | 抗压强度 (公斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 块度 (毫米) |
|---------|--------|-------------|----------|---------|----------------------------|---------|
| 75~80   | <16    | 6000~7000   | 600~800  | 40~50   | >70                        | 50~100  |



表 4—1—5 为铅鼓风炉焦炭块度和化学成分实例。

铅鼓风炉焦炭性质实例

表 4—1—5

| 厂 别 | 块 度<br>(毫 米) | 焦炭工业分析(%) |       |       |      | 灰分化学成分(%) |                  |                                |      |       |
|-----|--------------|-----------|-------|-------|------|-----------|------------------|--------------------------------|------|-------|
|     |              | 固定碳       | 挥发分   | 灰 分   | 水 分  | FeO       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | 其 它   |
| 1   | 50~100       | 75        | 10.15 | 14.85 | 3.00 | 2.69      | 32.92            | —                              | 0.91 | 63.48 |
| 2   | 40~100       | 82.36     | 3.70  | 13.94 | 3.00 | 16.70     | 48.34            | 12.07                          | 7.77 | 15.12 |
| 3   | 30~100       | 84.07     | 2.31  | 13.62 | 0.87 | 10.25     | 50.80            | 33.08                          | 0.96 | 4.91  |

### 三、技术操作条件选择

#### (一) 加料

##### 1. 加料顺序与批料量

铅鼓风炉的加料顺序一般为：焦炭—返渣—烧结块—其它添加物。

鼓风炉的每批加料量随炉子大小相差较大，大炉可达 1~3.5 吨/批，小炉仅为 100~500 公斤/批。

加料的时间间隔一般为 10~20 分钟，要求加料前后的料面波动为 0.5 米左右。表 4—1—6 为铅鼓风炉每批料量实例。

铅鼓风炉每批料量实例

表 4—1—6

| 项 目                            | 厂 别     |         |         |          |           |       |
|--------------------------------|---------|---------|---------|----------|-----------|-------|
|                                | 1       | 2       | 3       | 4        | 5         |       |
| 鼓风炉风口区断面积<br>(米 <sup>2</sup> ) | 8.6     | 6       | 2.5     | 1.2      | 0.28      |       |
| 加料设备                           | 电动加料车   | 电动加料车   | 卷扬箕斗    | 手推矿车     | 手推矿车      |       |
| 每批料量(吨)                        | 1.5~2.0 | 1.0~2.0 | 1.1~1.2 | 0.39~0.4 | 0.11~0.12 |       |
| 配料比<br>(%)                     | 烧结块     | 95~100  | 95~100  | 90~100   | 90~100    | 85~90 |
|                                | 返 渣     | 0~5     | 0~5     | 0~10     | 0~10      | 4~5   |
|                                | 铁 屑     | —       | —       | —        | —         | 8~10  |

##### 2. 料柱高度

铅鼓风炉生产中有高料柱( 3.6~6 米)与低料柱( 2.5~3.5 米)操作两种，一般多采用前者。当有下列特殊情况时，可考虑采用低料柱操作：

- (1) 烧结块含铅品位较高(50%以上)；
- (2) 烧结块强度较差；
- (3) 为了达到较高的床能率(80~90 吨/米<sup>2</sup>·日)。
- (4) 小型鼓风炉多采用低料柱操作。

表 4—1—7 为鼓风炉高、低料柱操作指标。

鼓风炉高、低料柱操作指标

表 4—1—7

| 项 目       | 单 位                 | 高 料 柱 操 作 | 低 料 柱 操 作 |
|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| 料柱高度      | 米                   | 3.6~5.5   | 2.5~3.5   |
| 床 能 率     | 吨/米 <sup>2</sup> ·日 | 50~55     | 60~70     |
| 焦 率       | %                   | 10~13     | 7.5~10    |
| 炉渣含铅      | %                   | 1~2       | 2~3.5     |
| 冶炼过程脱硫率   | %                   | 30~50     | 60~70     |
| 料面烟气温度    | ℃                   | 100~200   | 300~500   |
| 每吨炉料空气消耗量 | 标米 <sup>3</sup>     | 500~900   | 1440      |
| 烟 尘 率     | %                   | 0.5~1.5   | 3~5       |

表 4—1—8 为鼓风炉料柱高度的实例。

鼓风炉料柱高度实例

表 4—1—8

| 厂 别           | 鼓风炉风口区断面积(米 <sup>2</sup> ) | 从风口至加料平台高度(米) | 料柱高度(米)        |
|---------------|----------------------------|---------------|----------------|
| 1             | 8.6<br>8.0 <sup>①</sup>    | 6<br>5        | 4.0~5.5<br>4~5 |
| 2             | 6.0                        | 6.05          | 4.0~4.5        |
| 3             | 2.5                        | 5.05          | 3.5~4.5        |
| 4             | 1.2                        | 4.3           | 2.8~3.2        |
| 5             | 0.28                       | 3.5           | 2.8            |
| 6             | 0.3                        | —             | 2~2.2          |
| 7             | 6.2                        | 4.2           | 3.5            |
| 希尔姑兰(美国)      | 13.1                       | 5.3           | 5.1            |
| 东海利那(美国)      | 9.25                       | 5.0           | 4.87           |
| 皮里港(澳大利亚)     | 11.7                       | 5.49          | 5.20           |
| 普希布拉姆(捷克斯洛伐克) | 3.14                       | 7.50          | 4.00           |

① 1975年7月改造后的尺寸。

## (二) 供风

### 1. 风量

炼铅鼓风炉的风量主要是根据焦炭燃烧情况确定的。一般按照焦炭中碳量的 50~55% 燃烧成一氧化碳, 其余 45~50% 燃烧成二氧化碳计算鼓风量。在生产中, 当采用高料柱操作时, 鼓风强度约为 25~35 标米<sup>3</sup>/米<sup>2</sup>·分; 低料柱操作时, 鼓风强度可达 40~60 标米<sup>3</sup>/米<sup>2</sup>·分。

### 2. 风压

鼓风炉的风压主要取决于炉内的阻力, 当高料柱操作时, 一般为 80~150 毫米汞柱; 低料柱操作时, 一般为 50~80 毫米汞柱。当鼓风炉风口区宽度较大或选用的风口比较小

时，应选用较高风压。

表 4—1—9 为鼓风炉风量、风压实例。

鼓风炉风量、风压实例

表 4—1—9

| 厂别 | 鼓风炉风口区<br>断面积(米 <sup>2</sup> ) | 风口区宽度<br>(米)   | 风 口 比<br>(%) | 料 柱 高 度<br>(米) | 鼓 风 压 力<br>(毫米汞柱) | 鼓 风 量<br>(标米 <sup>3</sup> /分) | 鼓 风 强 度<br>(标米 <sup>3</sup> /米 <sup>2</sup> ·分) |
|----|--------------------------------|----------------|--------------|----------------|-------------------|-------------------------------|---|
| 1  | 8.6                            | 1.25           | 3.12         | 4.0~5.5        | 85~110            | 200~280                       | 25~35   |
| 2  | 6.0                            | 1.25           | 3.02         | 4.0~4.5        | 80~100            | 180~240                       | 30~40   |
| 3  | 2.5                            | 1.12           | 4.48         | 3.5~4.5        | 60~70             | 60~75                         | 25~30   |
| 4  | 1.2                            | 0.9            | 5.44         | 2.8~3.2        | 60~80             | 45~50                         | 35~40   |
| 5  | 0.28                           | (圆型)<br>φ=0.60 | 2            | 2.8            | 80~100            | 12~14                         | 45~50   |
| 6  | 0.3                            | (圆型)<br>φ=0.62 | 1.9          | 2~2.2          | 50~80             | 20~25                         | 65~75   |
| 7  | 6.2                            | 1.30           | 4.0          | 3.5            | 80~100            | 330                           | 52  |

### (三) 炉温与炉顶负压

铅鼓风炉自上而下可分为六个区域：预热区、上还原区、下还原区、熔化区、风口区及炉缸区。

图 4—1—2 为鼓风炉内区域划分示意图。

铅液放出温度为 800~1000℃，炉渣温度为 1100~1200℃。

为了防止炉顶冒烟和大量漏风，应控制微负压操作，一般为 -1~-5 毫米水柱。

### (四) 供热

铅鼓风炉熔炼过程所需的热量，90% 左右由焦炭燃烧热供给，其余的部分为化学反应热。因此，燃料费约占全部加工费的 21%。

### (五) 鼓风炉水套供水

目前铅鼓风炉多采用全水套型，只有小型炉采用半水套型。水套的冷却方式有水冷却与汽化冷却两种。近年来，后者逐渐代替前者。

当鼓风炉水套采用水冷却时，对供水有以下要求：

- (1) 水套出口水温一般为 60~80℃(当水的硬度较大时，应取较低的温度)；
- (2) 当水套进出口水温差为 40~60℃时，单位水套面积耗水量约为 16 升/米<sup>2</sup>·分(或者按每吨炉料耗水 2~4 米<sup>3</sup>估算)；
- (3) 水质无特殊要求，一般工业用水即可。

表 4—1—10 为铅鼓风炉水套供水实例。

### (六) 出铅与排渣

鼓风炉出粗铅有两种方式：

- (1) 虹吸连续出铅，多用于大型炉子；

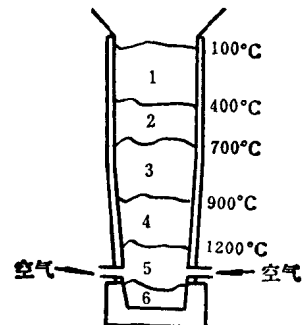


图 4—1—2 鼓风炉内区域划分示意图

- 1—预热区；2—上还原区；
- 3—下还原区；4—熔化区；
- 5—风口区；6—炉缸区

铅鼓风炉水套供水实例

表 4—1—10

| 厂 别 | 鼓风炉风口区断面面积(米 <sup>2</sup> ) | 水套进水温度(°C) | 水套出口水温(°C) | 冷 却 水 消 耗           |                       |
|-----|-----------------------------|------------|------------|---------------------|-----------------------|
|     |                             |            |            | (米 <sup>3</sup> /时) | (米 <sup>3</sup> /吨·料) |
| 1   | 8.6                         | 8~15       | 60~90      | 57                  | 3.3                   |
| 2   | 6.0                         | <35        | 60~90      | 54                  | 3.9~4.7               |
| 3   | 1.2 <sup>①</sup>            | —          | 65~75      | 10                  | 2.5~2.7               |

① 下部水套已采用汽化冷却,故耗水量较小。

(2) 间断出铅 用于风口区断面面积较小的炉子。

当鼓风压力为 100~130 毫米汞柱时,虹吸流口铅液面与炉缸铅液面高差一般为 100~250 毫米。如果炉内铅液面过高,咽喉排渣及冰铜时会将部分铅液带出; 过低则冰铜又不能及时排出, 停留在炉缸内易形成炉结。

鼓风炉放出的粗铅,根据下一步处理的具体情况,可铸成锭或以液体直接运送。表 4—1—11 为鼓风炉粗铅放出情况实例。

鼓风炉粗铅放出情况实例

表 4—1—11

| 项 目                         | 厂 别   |       |     |       |       |
|-----------------------------|-------|-------|-----|-------|-------|
|                             | 1     | 2     | 3   | 4     | 5     |
| 鼓风炉风口区断面面积(米 <sup>2</sup> ) | 8.6   | 6.0   | 2.5 | 1.2   | 0.28  |
| 出铅制度                        | 连 续   | 连 续   | 连 续 | 连 续   | 间 断   |
| 粗铅的运送                       | 铅 液   | 铅 锭   | 铅 锭 | 铅 锭   | 铅 锭   |
| 粗铅脱铜设备                      | 反 射 炉 | 精 炼 锅 | —   | 精 炼 锅 | 精 炼 铅 |
| 精炼车间位置                      | 本 厂   | 本 厂   | 外 厂 | 本 厂   | 本 厂   |

鼓风炉的排渣也有两种方式:

(1) 连续排渣,多用于大型炉子;

(2) 间断排渣,用于渣量少的小型炉。

当鼓风压力为 80~130 毫米汞柱时,咽喉口底一般低于虹吸井铅面 50~100 毫米; 咽喉口渣坝高度一般为 350~450 毫米。

根据炉渣的性质及处理方法不同,炉渣的排放亦有所异:

(1) 当采用烟化炉吹炼炉渣时,为了配合烟化炉的周期作业,采用保温前床贮存熔渣,并使冰铜和铅进一步分离。在不产铅冰铜的情况下,国外工厂多将熔渣直接放入渣包中,再用起重机吊装入烟化炉,渣包结壳可作冷料加入。

(2) 当炉渣不用烟化炉吹炼时,多采用沉淀锅分离出夹带的少量铅,渣经水碎后留待下一步处理。

表 4—1—12 为鼓风炉排渣设备实例。

#### 四、产物

##### (一) 粗铅

鼓风炉产出的粗铅,一般含铅 95~98%,其余为铜、砷、锑、锡、铋、金和银等。

鼓风炉粗铅的产出率与炉料品位和操作制度有关,一般为 35~55%。粗铅的放出温度为 800~980°C。

鼓风炉排渣设备实例

表 4—1—12

| 项 目                         | 厂 别   |         |          |          |         |
|-----------------------------|-------|---------|----------|----------|---------|
|                             | 1     | 2       | 3        | 4        | 5       |
| 鼓风炉风口区断面面积(米 <sup>2</sup> ) | 8.6   | 6.0     | 2.5      | 1.2      | 0.28    |
| 放出制度                        | 连 续   | 连 续     | 连 续      | 连 续      | 间 断     |
| 渣沉淀设备                       | 渣 锅   | 电热前床    | 渣 锅      | 渣 锅      | 渣 锅     |
| 铅冰铜产出情况                     | 无     | 无       | 在渣锅中沉淀分离 | 在渣锅中沉淀分离 | 量少、随渣放出 |
| 炉渣的运送                       | 水 碎   | 熔渣、包子吊运 | 水 碎      | 水 碎      | 水 碎     |
| 炉渣处理设备                      | 回 转 窑 | 烟 化 炉   | 旋 涡 炉    | 堆 存      | 弃 去     |

表 4—1—13 为鼓风炉所产粗铅化学成分实例。

粗铅化学成分实例

表 4—1—13

| 厂 别       | 粗 铅 化 学 成 分 |          |       |           |          |           |         |
|-----------|-------------|----------|-------|-----------|----------|-----------|---------|
|           | Pb(%)       | Sb(%)    | Sn(%) | Cu(%)     | As(%)    | Ag(克/吨)   | Au(克/吨) |
| 1         | 95.73       | 0.76     | 0.003 | 0.69      | 0.54     | —         | —       |
| 2         | 97.23       | 0.36     | —     | 1.17      | —        | 1300~2000 | 2~8     |
| 3         | 97.39       | 0.49     | —     | 0.43      | —        | 1700~1800 | 8~12    |
| 4         | 96.23       | 0.60     | —     | 0.71      | —        | 3700~4000 | —       |
| 5         | 97.4        | 0.033    | 0.08  | 1.4       | —        | —         | —       |
| 6         | 97.01       | —        | 1.35  | 0.22      | 0.20     | —         | —       |
| 皮里港(澳大利亚) | 97~98.15    | 0.5~0.93 | —     | 0.85~1.10 | 0.2~0.25 | 1431      | 1.244   |
| 邦克希尔(美国)  | ~95         | 1.8      | 0.01  | 2.1       | 0.5      | <5000     | <3      |
| 细 仓(日本)   | 98.47       | 0.43     | —     | 0.5       | 0.08     | 1788      | 4.5     |

## (二) 炉渣

铅鼓风炉还原熔炼对炉渣性质的一般要求：

- (1) 为了使黄渣和铅冰铜较好地过热，炉渣的熔点应不低于 1050℃；
- (2) 炉渣的硅酸度应控制在 1.0~1.3；
- (3) 炉渣的粘度在 1200℃(炉缸渣层温度通常为 1200~1250℃)时应为 5 泊左右；
- (4) 炉渣的比重应控制在 3.3~3.6。

鼓风炉渣一般含铅为 1~3%，锌为 5~20%。通常二氧化硅、氧化亚铁、氧化钙、氧化锌之和约占总渣量的 90%。炉渣成分的波动范围大致如下：

|      |        |       |          |
|------|--------|-------|----------|
| 二氧化硅 | 19~35% | 三氧化二铝 | 3~8%     |
| 氧化亚铁 | 28~40% | 氧化镁   | 2~5%     |
| 氧化钙  | 8~20%  | 硫     | 1~3%     |
| 氧化锌  | 5~25%  | 铜     | 0.1~1.0% |

炉渣的产出率一般为 45~60%。

为了降低炉渣含铅量，可在一定范围内提高渣中的氧化钙含量；当处理高锌烧结块时，宜选择高铁渣，有利于氧化锌富集在炉渣中。

图 4—1—3 为炉渣中氧化钙量与渣含铅的关系。

表 4—1—14 为鼓风炉渣成分与氧化锌含量的关系。

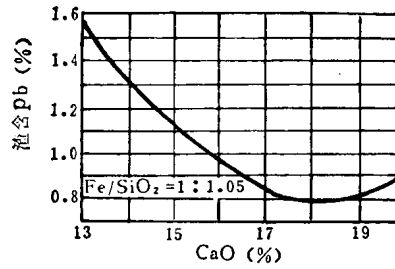


图 4—1—3 炉渣中氧化钙量对渣含铅的影响

鼓风炉渣成分与氧化锌含量的关系

表 4—1—14

| ZnO 含量 (%) | 炉 渣 成 分 (%)      |       |       |
|------------|------------------|-------|-------|
|            | SiO <sub>2</sub> | FeO   | CaO   |
| 0          | 34.20            | 37.80 | 18.00 |
| 5          | 30.62            | 38.26 | 16.12 |
| 10         | 27.05            | 38.72 | 14.23 |
| 15         | 23.47            | 39.18 | 12.35 |
| 20         | 19.89            | 39.64 | 10.47 |
| 25         | 16.31            | 40.10 | 8.59  |
| 30         | 12.73            | 40.57 | 6.70  |
| 35         | 9.16             | 41.02 | 4.82  |
| 40         | 5.58             | 41.48 | 2.94  |

表 4—1—15 为鼓风炉渣产出率及化学成分的实例。

铅鼓风炉渣产出率和化学成分实例

表 4—1—15

| 厂 别       | 炉渣产出率 (%) | 炉 渣 化 学 成 分 (%) |       |                  |       |       |         |         |                                |
|-----------|-----------|-----------------|-------|------------------|-------|-------|---------|---------|--------------------------------|
|           |           | Pb              | Fe    | SiO <sub>2</sub> | CaO   | Zn    | Cu      | S       | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| 1         | 50~60     | 1.47            | 27.54 | 26.54            | 14.40 | 7.43  | 0.25    | 1.89    | 6.95                           |
| 2         | 45~60     | 2.02            | 25.09 | 23.46            | 16.61 | 11.70 | 0.24    | —       | —                              |
| 3         | 45~57     | 1.32            | 28.13 | 23.58            | 17.54 | 12.25 | 0.26    | 1.45    | 5.45                           |
| 4         | 45~55     | 2.84            | 29.65 | 30.05            | 12.42 | 5~7   | 0.1~0.3 | 1.7~2.5 | 1~3                            |
| 5         | 55        | 2.47            | 35.4  | 17.68            | 14.3  | 9.4   | 0.46    | —       | —                              |
| 6         | 54~58     | 1.50            | 29.15 | 24.70            | 17.34 | 3.34  | 0.03    | 0.79    | 6.31                           |
| 皮里港(澳大利亚) | —         | 2.0             | 21.80 | 20.50            | 14.50 | 18.0  | —       | 1.7     | 6.3                            |
| 希尔姑兰(美国)  | —         | 1.85            | 25.6  | 20               | 9.0   | 12.1  | 0.25    | 1.0     | 5.0                            |
| 特累尔(加拿大)  | —         | 2~3             | 27.2  | 21               | 10.0  | 17.7  | 0.15    | —       | —                              |
| 神岗(日本)    | —         | 1.9             | 26.6  | 24.2             | 17.4  | 16.2  | 0.24    | 1.5     | —                              |
| 诺哥尔斯克(苏联) | —         | 1.4             | 20.3  | 21.6             | 14.7  | 16.1  | 0.64    | —       | —                              |

### (三) 铅冰铜

当烧结块含铜小于 1.5% 时，一般大型鼓风炉不产铅冰铜而能维持正常作业，目前只有小型鼓风炉产出铅冰铜。铅冰铜的含铜量取决于烧结块含硫量，当熔炼含锌较低的烧结块时，由于其中含硫量较高，通常产出含铜 5~15% 的低品位冰铜，以提高金属回收率；

当处理高锌炉料时，由于其含硫低，常产出含铜约 25~35% 的高品位冰铜。铅冰铜产出率一般在 10% 以内。为了减少铅的损失，通常鼓风机加入铁屑以置换铅冰铜中的铅。

表 4-1-16 为铅冰铜产出率及化学成分实例。

铅冰铜产出率与化学成分的实例

表 4-1-16

| 厂 别       | 产 出 率<br>(%) | 化 学 成 分 (%) |       |       |       |       |
|-----------|--------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
|           |              | Cu          | Pb    | Fe    | S     | Zn    |
| 1         | 1~2          | 12.56       | 17.18 | 28.54 | 17.6  | 12.76 |
| 2         | 3            | 4.03        | 23.44 | 35.59 | 17.12 | 3.52  |
| 奥凯尔(西德)   | —            | 35          | 20    | 12    | 20    | 8~9   |
| 费利查(罗马尼亚) | —            | 30          | 12.3  | 22    | 25    | 2~4   |

#### (四) 黄渣

铅鼓风机是否产出黄渣，主要取决于烧结矿中砷、锑含量及炉内还原能力的强弱。除炉料含镍、钴较高须造黄渣捕集外，一般鼓风机熔炼都不希望产黄渣。

表 4-1-17 为黄渣化学成分实例。

黄渣化学成分实例

表 4-1-17

| 厂 别 | 化 学 成 分   |       |       |         |       |         |         |       |             |             |
|-----|-----------|-------|-------|---------|-------|---------|---------|-------|-------------|-------------|
|     | As(%)     | Sb(%) | Fe(%) | Pb(%)   | Zn(%) | Cu(%)   | S(%)    | Sn(%) | Au<br>(克/吨) | Ag<br>(克/吨) |
| 1   | 20.7~34.2 | 1.4   | 46~66 | 1.4~4.4 | 1.5   | 4.8~8.3 | 2.9~2.6 | —     | 1.0         | 21.1        |
| 2   | 12.5      | 0.25  | 14    | 20.4    | 1.4   | 38.3    | 6.7     | —     | 6.7         | 1060        |
| 3   | 27.8      | —     | 60.6  | 2.7     | —     | 0.8     | —       | 0.7   | —           | 80          |

#### (五) 烟气

铅鼓风炉的烟气成分和烟气量主要取决于炉内焦炭的燃烧情况。为了既保证焦炭燃烧具有较高的热利用率，又保证炉内具有适当的还原气氛，通常按照料面气体中二氧化碳与一氧化碳含量的比例来控制。当采用高料柱熔炼时，此比值为 2~3:1；低料柱熔炼时，一般以 1~2:1 为宜。

表 4-1-18 为铅鼓风炉烟气成分及烟气量实例。

铅鼓风炉烟气成分及烟气量

表 4-1-18

| 厂 别      | 鼓风机风口区<br>断面积(米 <sup>2</sup> ) | 烟 气 成 分 (%)     |                |           | 烟 气 中<br>CO <sub>2</sub> :CO | 烟 气 量<br>(标米 <sup>3</sup> /分) | 备 注        |
|----------|--------------------------------|-----------------|----------------|-----------|------------------------------|-------------------------------|------------|
|          |                                | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO        |                              |                               |            |
| 1        | 8.6                            | 16.02           | 5.07           | 6.81      | 2.35                         | 480                           | 出炉烟道20米处测定 |
| 2        | 2.5                            | 12~14.8         | 0.4~1.8        | 10~12     | 1~1.1                        | 350                           | 炉顶测定       |
| 3        | 6.26                           | 6.4~10.2        | 7~13           | 0.85~3.35 | 2~3                          | 300~330                       | 出炉烟道15米处测定 |
| 特累尔(加拿大) | 11.5                           | 11.2~19.7       | 1.9~7.9        | 4.5~5.9   | 2.5~3.3                      | —                             | 炉顶测定       |

#### (六) 烟尘

铅鼓风炉的烟尘率与操作条件有关，采用高料柱时为 0.5~2%，低料柱为 3~5%，烟尘中除铅、锌外还含有铟、碲、镉等有价金属。

表 4—1—19 为铅鼓风炉烟尘成分及产出率实例

| 厂 别               | 烟尘率<br>% | 化 学 成 分 (%) |             |         |              |              |                 |         |     |         |       |         |
|-------------------|----------|-------------|-------------|---------|--------------|--------------|-----------------|---------|-----|---------|-------|---------|
|                   |          | Pb          | Zn          | Cd      | Se           | Te           | Tl              | Sb      | Sn  | In      | S     | As      |
| 1                 | 1.5~3    | 67.28       | 9.87        | 4.19    | 0.077        | 0.13         | —               | 0.1     | —   | —       | 7.4   | 0.36    |
| 2                 | 2~3      | 60~70       | 6~8.5       | 1~3     | —            | —            | 0.004<br>~0.02  | —       | —   | —       | 7~8.5 | —       |
| 3                 | 1.5~2    | 70~78       | 1.5<br>~2.5 | 1.5~3   | 0.08<br>~0.2 | 0.2<br>~0.35 | 0.003<br>~0.006 | —       | —   | —       | 10~12 | 0.7~1.5 |
| 4①                | 3~5      | 38~45       | 6~10        | 0.3~0.4 | —            | —            | —               | 1       | 2~3 | 0.05~1  | 3     | 5~15    |
| 奥凯尔(西德)           | —        | 50~54       | 7~14        | —       | 0.2<br>~1.2  | —            | —               | 0.5~1.5 | —   | 0.2~0.4 | 8~9   | 0.5~1.5 |
| 普尔布拉姆<br>(捷克斯洛伐克) | —        | 30          | 7.5         | —       | —            | —            | —               | 3.5     | —   | —       | 10.5  | 2.2     |

① 处理氧化铅精矿。

## (七) 熔炼过程中金属的分布

表 4—1—20 为铅鼓风炉熔炼过程中金属分布实例。

| 元 素 | 厂 别  |      |      |     |     |      |     |     |
|-----|------|------|------|-----|-----|------|-----|-----|
|     | 1    |      |      |     | 2   |      |     |     |
|     | 粗 铅  | 炉 渣  | 烟 尘  | 小 计 | 粗 铅 | 炉 渣  | 烟 尘 | 小 计 |
| 铅   | 95.6 | 2.1  | 2.3  | 100 | 95  | 2    | 3   | 100 |
| 铜   | 76   | 23   | 1    | 100 | 79  | 20.8 | 0.2 | 100 |
| 砷   | 50   | 46.1 | 3.9  | 100 | 82  | 17   | 1   | 100 |
| 锑   | 85.9 | 10.5 | 3.6  | 100 | 96  | 3    | 1   | 100 |
| 铋   | 93.5 | 5.5  | 1.0  | 100 | 93  | 7    | —   | 100 |
| 锆   | 32.7 | 63.3 | 4.0  | 100 | 49  | 49   | 2   | 100 |
| 镉   | 1.5  | 7.6  | 90.9 | 100 | 10  | 11   | 79  | 100 |
| 硒   | 50.8 | 30.8 | 18.4 | 100 | 71  | 16   | 13  | 100 |
| 碲   | 44.1 | 42.1 | 13.8 | 100 | 75  | 10   | 15  | 100 |
| 锌   | 0.3  | 98.5 | 1.2  | 100 | 2   | 95   | 3   | 100 |
| 锡   | —    | —    | —    | —   | 80  | 18   | 2   | 100 |
| 锆   | —    | —    | —    | —   | —   | 99   | 1   | 100 |

## 五、技术经济指标

## (一) 铅回收率

鼓风炉熔炼过程中铅的回收率与烧结块的品位、操作制度以及渣含铅量等有关。当采用高料柱时一般为 95.5~97.5%，直接回收率为 93~95%。

## (二) 床能率

铅鼓风炉的床能率与炉料成分、操作条件等有关，采用高料柱作业时，一般为 50~55 吨/米<sup>2</sup>·日；采用低料柱作业时，一般为 60~70 吨/米<sup>2</sup>·日。如按粗铅产量来衡量鼓风炉生产能力(利用率)时，一般为 15~20 吨/米<sup>2</sup>·日。



### (三) 焦率

高料柱作业时，焦率一般为 10~13%，低料柱则波动于 7.5~10%。在生产中，当鼓风量一定时，可调节焦率来控制鼓风炉的还原气氛。焦率过高，还原气氛强，易引起炉缸积铁和黄渣的形成。焦率过低则还原气氛弱，渣含铅增加。

### (四) 年工作日

铅鼓风炉的年工作日主要取决于水套的寿命和炉结清理情况。通常铅鼓风炉每年大修一次，每月停风清理炉结一次，故年工作日一般定为 330 天。

表 4—1—21 为主要技术经济指标实例。

主要技术经济指标实例

表 4—1—21

| 项 目                        | 厂 别       |           |           |           |           |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                            | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         |
| 鼓风炉风口区断面积(米 <sup>2</sup> ) | 8.6       | 6.0       | 2.5       | 1.2       | 6.2       |
| 从铅精矿至粗铅的铅回收率(%)            | 94~95.5   | 94.3~96.5 | —         | 94.5~96.5 | 95.4~96.1 |
| 鼓风炉铅回收率(%)                 | 95.5~97.5 | 95.5~96.5 | 95.5~97.5 | 95.5~97   | 95~97     |
| 床能率(吨/米 <sup>2</sup> ·日)   | 45~60     | 47~55     | 60~70     | 70~85     | 50~55     |
| 利用率(吨/米 <sup>2</sup> ·日)   | 15~23     | 19~22     | 17~18.5   | 13.4~18.2 | 16~18     |
| 焦率(%)                      | 11~13     | 11.5~13   | 9~10      | 9.5~10.5  | 7~9.5     |
| 年工作日(日)                    | 320       | 320       | 季节性生产     | 季节性生产     | 300~320   |

## 六、主要设备选择

### (一) 鼓风炉

#### 1. 风口区的宽度(或直径)

由于炼铅鼓风炉是采用较低的风压(60~150 毫米汞柱)进行熔炼作业，为了使气流达到料柱中心，宽度(或直径)受到了限制。圆形炉直径一般为 0.8~1.25 米，而矩形炉风口区宽度广泛采用 0.8~1.4 米，国外有达 1.6 米的，但其风压相对增高。因此宽度通常是根据工厂实际数据确定。

#### 2. 炉子的总高度

炉子的总高度是指炉缸底面至加料平台的距离，可按下式计算：

$$H = H_{缸} + H_{底} + H_{料} + H_{空} \quad (1-1)$$

式中  $H$ ——炉子的总高度(米)；

$H_{缸}$ ——炉缸的深度(米)，炉缸深度与炉料含铅量有关。一般波动在 0.5~0.8 米之间。如炉料含铅较富，炉缸宜深些，反之，炉缸应浅些；

$H_{底}$ ——风口中心至水套底的距离(米)，一般为 0.3~0.45 米，国外有高达 0.61 米的。小型炉可取偏低值，大型炉可取 0.4~0.45 米；

$H_{料}$ ——料柱高度(米)，高料柱一般为 3.6~5.5 米；低料柱为 2.5~3.5 米。在一般情况下，应尽量采用高料柱；

$H_{空}$ ——料面至加料平台的空高度(米)，一般为 0.8~1.5 米。

#### 3. 铅鼓风炉的风口及风口比

国内铅鼓风炉风口均为单排，国外则有两排的。风口的直径一般为 80~100 毫米，风