

# 有色金属提取冶金

〔美〕C.B. 吉尔 著

陈远望 等 译

## 内 容 提 要

本书译自美国威利公司出版的拉斐特学院C.B.吉尔教授著《Nonferrous Extractive Metallurgy》一书。全书分五篇，按非活性金属与活性金属归类，分别论述铜、镍、铅、钴、金、银和锌、铝、镁、钛、铀的火法与湿法提取工艺，最后还讨论了烟尘回收、余热利用和废水净化等环保措施。本书列举了一些国家的典型冶炼生产流程及生产数据。适合有色冶金系统管理和技术人员阅读，大专院校有关师生也可参考。

本书第一篇由陈远望、梁凤有、黄孔宣翻译，第二篇由陈革涛、包晓波翻译，第三篇由白日明翻译，第四篇由蔡显弟翻译，第五篇由蒋豪杰翻译。

## 有 色 金 属 提 取 冶 金

(美) C.B.吉尔 著

陈远望等 译

\*

冶金工业出版社出版

(北京北四环中路南侧北巷33号)

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 18 1/4 字数429千字

1988年2月第一版 1988年2月第一次印刷

印数00,001~2,500册

ISBN7-5024-0135-0

---

TF·42 定价4.50元

# 目 录

|                              |   |
|------------------------------|---|
| 绪言 有色金属现代提取冶金的实践、方法和工艺 ..... | 1 |
|------------------------------|---|

## 第一篇 非活性金属的火法冶炼

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 焙烧 .....             | 5  |
| 第一节 焙烧方法 .....           | 6  |
| 第二节 焙烧工艺 .....           | 9  |
| 一、硫化铜精矿的焙烧 .....         | 9  |
| 二、硫化镍精矿的焙烧 .....         | 11 |
| 三、硫化铅精矿的焙烧 .....         | 11 |
| 第二章 熔炼 .....             | 15 |
| 第一节 熔炼方法 .....           | 15 |
| 第二节 熔炼工艺 .....           | 20 |
| 一、硫化铜焙砂的熔炼 .....         | 20 |
| 二、硫化铜生精矿的熔炼 .....        | 24 |
| 三、硫化镍焙砂的熔炼 .....         | 35 |
| 四、硫化镍生精矿的熔炼 .....        | 40 |
| 五、硅镁镍矿的熔炼 .....          | 42 |
| 六、氧化镍矿的熔炼 .....          | 43 |
| 七、硫化铅精矿烧结块的熔炼 .....      | 45 |
| 八、硫化铅生精矿的熔炼 .....        | 50 |
| 九、氧化钴矿与焙砂的熔炼 .....       | 53 |
| 十、砷钴矿与精矿的熔炼 .....        | 54 |
| 第三章 吹炼 .....             | 55 |
| 第一节 吹炼方法 .....           | 55 |
| 第二节 吹炼工艺 .....           | 60 |
| 一、硫化铜冰铜的吹炼 .....         | 60 |
| 二、冰铜与精矿相结合在转炉内直接吹炼 ..... | 64 |
| 三、硫化铜精矿的连续熔炼与吹炼 .....    | 66 |
| 四、顶吹转炉吹炼 .....           | 74 |
| 五、冰镍的吹炼 .....            | 74 |
| 六、含硫金属铅的吹炼 .....         | 78 |
| 第四章 精炼 .....             | 79 |
| 第一节 火法精炼 .....           | 79 |
| 第二节 火法精炼方法 .....         | 79 |
| 第三节 火法精炼工艺 .....         | 81 |
| 一、粗铜精炼 .....             | 81 |
| 二、镍冰铜精炼 .....            | 82 |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 三、粗铅精炼          | 84  |
| 第四节 电解精炼        | 90  |
| 第五节 电解精炼方法      | 91  |
| 第六节 电解精炼工艺      | 95  |
| 一、阳极铜电解         | 95  |
| 二、金属镍阳极电解       | 97  |
| 三、镍冰铜阳极电解       | 101 |
| 四、铅阳极电解         | 103 |
| 第七节 化学精炼        | 104 |
| 第八节 化学精炼方法      | 104 |
| 第九节 化学精炼工艺      | 105 |
| 一、羰基法精炼镍        | 105 |
| 二、钴黄渣精炼         | 106 |
| 三、含钴白合金精炼       | 107 |
| 第十节 非活性金属火法冶金工艺 | 108 |

## 第二篇 非活性金属的湿法冶金

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 第五章 焙烧          | 113 |
| 第一节 焙烧方法        | 113 |
| 第二节 焙烧工艺        | 113 |
| 一、镍红土矿的焙烧       | 113 |
| 二、硫化钴精矿的焙烧      | 114 |
| 三、硫化铜精矿的焙烧      | 116 |
| 第六章 浸出          | 117 |
| 第一节 浸出方法        | 118 |
| 第二节 浸出工艺        | 123 |
| 一、氧化铜矿的浸出       | 123 |
| 二、硫化铜矿的浸出       | 127 |
| 三、天然铜和碳酸铜的浸出    | 130 |
| 四、镍红土矿的浸出       | 131 |
| 五、硫化镍矿的浸出       | 132 |
| 六、硫化钴矿的浸出       | 133 |
| 七、氧化钴矿的浸出       | 135 |
| 八、银和金的浸出        | 136 |
| 第七章 沉淀          | 138 |
| 第一节 沉淀方法        | 138 |
| 第二节 沉淀工艺        | 142 |
| 一、氧化铜矿浸出液的沉淀    | 142 |
| 二、硫化铜矿浸出液的沉淀    | 149 |
| 三、天然铜和碳酸铜浸出液的沉淀 | 149 |
| 四、镍红土矿浸出液的沉淀    | 149 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 五、硫化镍浸出液的沉淀·····        | 150 |
| 六、硫化钴浸出液的沉淀·····        | 151 |
| 七、氧化钴浸出液的沉淀·····        | 153 |
| 八、银和金浸出液的沉淀·····        | 153 |
| 第八章 精炼·····             | 157 |
| 第一节 精炼方法·····           | 157 |
| 第二节 精炼工艺·····           | 157 |
| 一、氧化铜浸出液沉淀物的精炼·····     | 157 |
| 二、硫化铜浸出液沉淀物的精炼·····     | 158 |
| 三、天然铜和碳酸铜浸出液沉淀物的精炼····· | 158 |
| 四、镍红土矿浸出液沉淀物的精炼·····    | 158 |
| 五、硫化镍浸出液沉淀物的精炼·····     | 159 |
| 六、硫化钴浸出液沉淀物的精炼·····     | 159 |
| 七、氧化钴浸出液沉淀物的精炼·····     | 160 |
| 八、银和金的精炼·····           | 160 |
| 第三节 非活性金属的湿法冶金工艺·····   | 163 |
| <b>第三篇 活性金属的火法冶金</b>    |     |
| 第九章 焙烧·····             | 167 |
| 第一节 焙烧方法·····           | 168 |
| 第二节 焙烧工艺·····           | 171 |
| 一、硫化锌精矿的焙烧·····         | 171 |
| 二、碳酸镁的焙烧·····           | 177 |
| 三、二氧化钛的焙烧·····          | 177 |
| 第十章 熔炼·····             | 180 |
| 第一节 熔炼方法·····           | 180 |
| 第二节 熔炼工艺·····           | 180 |
| 一、硫化锌焙砂的熔炼·····         | 180 |
| 二、氯化镁的熔炼·····           | 192 |
| 三、氧化镁的熔炼·····           | 193 |
| 四、四氯化钛的熔炼·····          | 194 |
| 五、氧化铝的熔炼·····           | 197 |
| 第十一章 精炼·····            | 204 |
| 第一节 火法精炼·····           | 204 |
| 第二节 火法精炼方法·····         | 204 |
| 第三节 火法精炼工艺·····         | 205 |
| 一、锌的竖罐精馏·····           | 205 |
| 二、锌的熔析精炼·····           | 207 |
| 第四节 电解精炼·····           | 208 |
| 第五节 电解精炼方法·····         | 208 |
| 第六节 电解精炼工艺·····         | 208 |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 一、铝的电解精炼        | 208 |
| 第七节 活性金属的火法冶金工艺 | 210 |

#### 第四篇 活性金属的湿法冶金

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 第十二章 焙烧         | 213 |
| 第一节 焙烧方法        | 213 |
| 第二节 焙烧工艺        | 213 |
| 一、硫化锌精矿的焙烧      | 213 |
| 二、氧化铀矿的焙烧       | 214 |
| 第十三章 浸出         | 216 |
| 第一节 浸出方法        | 217 |
| 第二节 浸出工艺        | 218 |
| 一、氧化锌焙砂的浸出      | 218 |
| 二、氧化铀矿及其焙砂的浸出   | 222 |
| 三、铝土矿的浸出        | 227 |
| 第十四章 沉淀         | 229 |
| 第一节 沉淀方法        | 229 |
| 第二节 沉淀工艺        | 230 |
| 一、硫酸锌浸出液的沉淀     | 230 |
| 二、硫酸铀酰溶液的沉淀     | 231 |
| 三、碳酸铀酰溶液的沉淀     | 238 |
| 四、铝酸钠溶液的沉淀      | 240 |
| 第十五章 精炼         | 241 |
| 第一节 精炼方法        | 241 |
| 第二节 熔化和精炼工艺     | 241 |
| 一、金属锌的熔化和精炼     | 241 |
| 二、重铀酸铵或重铀酸钠的精炼  | 241 |
| 三、氢氧化铝的精炼       | 243 |
| 第三节 活性金属的湿法冶金工艺 | 243 |

#### 第五篇 环境保护

|              |     |
|--------------|-----|
| 第十六章 收尘器     | 247 |
| 第一节 沉降室      | 248 |
| 第二节 旋风收尘器    | 249 |
| 第三节 多管式旋风收尘器 | 250 |
| 第四节 布袋收尘器    | 251 |
| 第五节 喷洗塔      | 252 |
| 第六节 文丘里洗涤器   | 253 |
| 第七节 静电收尘器    | 254 |
| 第八节 湿式收尘器    | 257 |

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| 第十七章 | 烟气净化                | 259 |
| 第一节  | 二氧化硫烟气净化            | 259 |
| 第二节  | 氟化物烟气净化             | 263 |
| 第三节  | 氯化物烟气净化             | 263 |
| 第四节  | 高烟囱排放烟气             | 263 |
| 第十八章 | 热回收                 | 265 |
| 第一节  | 热交换器                | 265 |
| 第二节  | 发热量高的炉气的利用          | 265 |
| 第十九章 | 水的净化处理              | 267 |
| 第一节  | 水中固体颗粒的分离           | 267 |
|      | 一、浓缩                | 267 |
|      | 二、真空过滤              | 267 |
| 第二节  | 水中重金属化合物的分离         | 269 |
| 第三节  | 酸性矿山废水的净化           | 269 |
| 第二十章 | 几种金属的处理方法           | 270 |
| 第一节  | 铜                   | 270 |
| 第二节  | 镍                   | 274 |
| 第三节  | 铅                   | 274 |
| 第四节  | 锌                   | 276 |
| 第五节  | 铝                   | 278 |
| 第六节  | 钴                   | 280 |
|      | 本书使用的基本单位与国家计量单位换算表 | 282 |

## 绪 言

### 有色金属现代提取冶金的实践、方法和工艺

为了从矿石和精矿中回收和生产高纯金属，人们不断地研究各种提取金属的方法。

大多数金属以化合物的形态存在于自然界，更确切地说，它们以硫化物、氧化物、碳酸盐和硅酸盐的复杂混合物形态而存在。偶尔也发现较纯的不需要大量预处理的高品位矿，但大多数矿石都是低品位的，必须通过选矿富集，以便在提炼金属之前把矿石与脉石分离开。选矿通常包括：把矿石破碎和研磨到足够小的粒度，以便把矿物晶体从脉石中分离出来，然后用重选、磁选和浮选法等不同的联合流程把这些有价矿物收集起来。脉石作为废料抛弃，含矿物化合物的精矿送往火法冶金或湿法冶金处理，产出金属。

火法冶金是指在高温下应用冶金炉把有价金属和精矿中的大量脉石分离开的各种作业。脉石通常生成炉渣而废弃。湿法冶金是用水溶剂把有价金属从矿石或精矿中浸出，留下的是不溶残渣作为废料弃去。

含有待提取的金属的化合物，通常不是以一种简单的工艺就能轻易而经济地把金属提取出来的形态存在。因而，首先必须将金属化合物进行化学处理，使它转变成更易于处理的形态，亦即使硫化物转变成氧化物、硫酸盐或氯化物；使氧化物转变成硫酸盐或氯化物；使碳酸盐转变成氧化物。

我们选择实用的提炼和精炼的单元过程，应使这些单元过程构成一个完整的流程，即第一单元过程的产物成为第二单元过程的原料，依此类推，各不同的单元过程连接起来便构成整个流程。

从一种矿石或精矿中制取一种金属往往可以采用多种工艺流程，这要依据具体条件适当选择。矿石中某些类型的金属化合物用某种方法提取较用另一种方法容易些。例如，氧化物和硫酸盐易溶于浸出液中，但硫化物却难溶解。另一个应考虑的条件是对制取金属的纯度要求，用某套提炼工艺比用另一套可以获得更纯的金属。例如，同是浮选硫化锌精矿，经火法蒸馏制得的锌与湿法浸出制得的锌纯度不同。蒸馏锌还含有铅、砷和铁等杂质，只适用于镀锌或生产黄铜；而电积浸出液获得的阴极锌，纯度高，适用于生产某些锌基合金。

在选择金属冶炼流程时，还必须考虑把矿石或精矿中的个别杂质作为重要的有价副产品来回收。例如，当我们考虑铜的精炼方法时，就应当想到火法精炼虽可除去许多杂质，但它不可能回收贵金属，而电解精炼却能把贵金属作为副产品收集。因而，含少量或不含贵金属的粗铜，适宜采用成本较低的火法精炼工艺，而含有足够数量贵金属的粗铜，采用费用更高的精炼法如果有利，那么就应当电解精炼。

主要有色金属的提取工艺，不论是火法冶金还是湿法冶金，都有许多共同点。有色金属的提取工艺可分成处理非活性金属和活性金属的工艺。非活性金属包括：铜、镍、铅、钴、金和银；活性金属包括：铝、钛、镁、锌和铀。非活性金属可以方便地在大气中进行处理，其金属氧化物用碳还原或有价金属从浸出液中沉淀时，反应过程中均不存在氧化问

题。但活性金属则往往需要特殊的冶炼设备或工艺，以使它们与空气隔离，避免氧化，并且由于用碳难以还原其氧化物或者不可能进行水溶液电积，从而活性金属经常需要在密封的真空炉或惰性气氛炉中进行冶炼。

本书按下述三个顺序系统地讨论每类非活性金属和活性金属的冶炼工艺：首先，概述该类金属的处理总流程所包括的各单元过程；然后叙述每个单元过程一般可采用的几种不同方法；最后详细讨论某种金属所采用的特殊单元过程。这种安排既考虑了同一单元过程应用于某些特定金属的主要相似处，又考虑了所存在的差别，重点叙述了主要有色金属的提取和精炼的单元过程。

为了比较各种单元过程，把它们归为两大类，即：非活性金属和活性金属。每一大类又分为火法冶金和湿法冶金，分类如下：

非活性金属：铜、镍、铅、钴、金、银：

1. 火法冶金——焙烧，熔炼，吹炼，精炼。
2. 湿法冶金——焙烧，浸出，沉淀，精炼。

活性金属：铝、钛、镁、锌、铀：

1. 火法冶金——焙烧，熔炼，精炼。
2. 湿法冶金——焙烧，浸出，浓密，净化，沉淀，精炼。

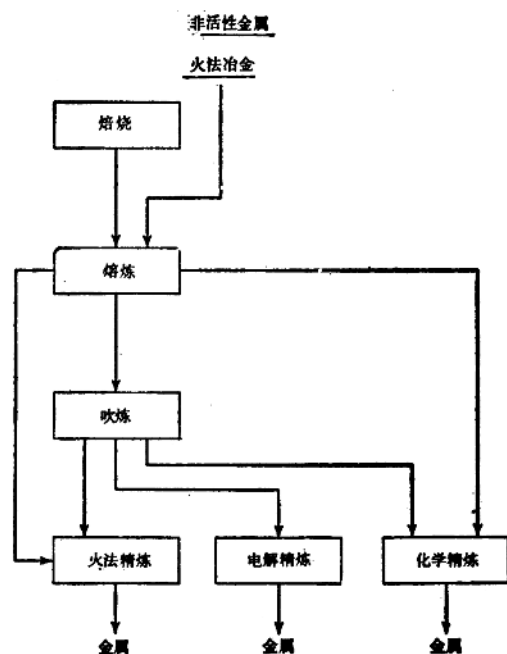


图 1 非活性金属火法冶金流程

非活性金属湿法冶金流程

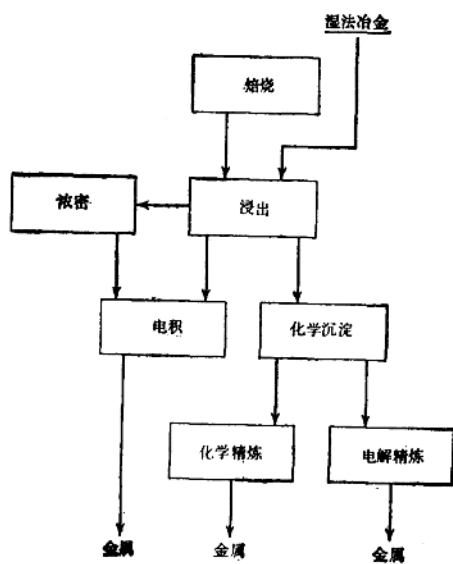


图 2 非活性金属湿法冶金流程

活性金属火法冶金流程

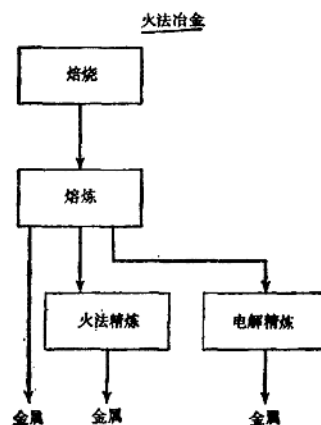


图 3 活性金属火法冶金流程

湿法冶金流程

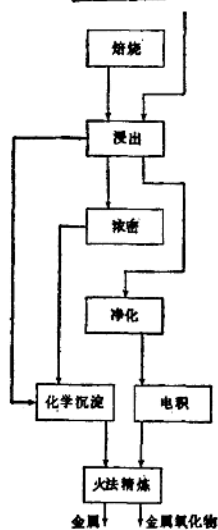


图 4 活性金属湿法冶金流程

# 第一篇 非活性金属的火法冶炼

火法冶炼是提取和提纯金属最古老、最常用的方法。最常用的金属,包括铜、镍、铅、钴,就是采用火法冶炼制得的。火法冶炼所采用的步骤有焙烧、熔炼、吹炼、火法精炼、电解精炼以及化学精炼。

焙烧是火法冶炼的第一步,其目的是改变金属化合物的形态,使之更有利于下步工序处理。同时,还使那些易挥发的杂质随焙烧烟气除掉。熔炼和吹炼是使金属化合物熔化,并生成新的液态化合物的过程,这些新的化合物可以分离成重的有价金属层和由废石组成的轻渣层。经过熔炼和吹炼所得到的金属已经除去了原来含有的绝大部分杂质,再用火法精炼、电解精炼或化学精炼进一步提纯。上述处理方法分成几个主要类型列在表1·1中。

表 1.1 非活性金属的火法冶炼方法

## 焙烧方法

1. 硫化铜精矿—多膛炉、沸腾焙烧炉、烧结机焙烧
2. 硫化镍精矿—多膛炉、沸腾焙烧炉、烧结机焙烧
3. 硫化铅精矿—烧结机焙烧

## 熔炼方法

1. 硫化铜焙砂—反射炉、电炉、鼓风炉熔炼
2. 硫化铜生精矿—反射炉、富氧反射炉、电炉、闪速炉、连续熔炼炉
3. 硫化镍焙砂—反射炉、富氧反射炉、电炉、闪速熔炼炉
4. 硫化镍生精矿—电炉、闪速炉、鼓风炉
5. 硅镁镍矿—矮高炉熔炼
6. 氧化镍矿—鼓风炉熔炼
7. 硫化铅烧结矿—鼓风炉熔炼
8. 硫化铅生精矿—电炉熔炼
9. 氧化钴矿石和精矿—电炉熔炼
10. 砷钴精矿—鼓风炉熔炼

## 吹炼方法

1. 铜冰铜—吹空气
2. 铜冰铜和浮选精矿—吹富氧空气
3. 铜的浮选精矿—熔炼与吹炼相结合的反应器连续吹炼
4. 镍冰铜—吹空气、吹富氧空气、吹氧气的转炉
5. 含硫的金属铅—吹空气

## 火法精炼方法

1. 转炉粗铜—阳极炉熔炼
2. 镍转炉冰镍—焙烧和提纯、缓冷—焙烧和还原
3. 粗铅—撇渣—软化—脱银——脱锌——脱铋

## 电解精炼方法

1. 阳极铜—复联系统
2. 镍阳极——复联系统——隔膜槽——低电压
3. 镍冰铜阳极——复联系统——隔膜槽——高电压
4. 软铅阳极——复联系统

## 化学精炼方法

1. 金属镍—羰基法提取镍
2. 钴黄渣—亚硫酸盐—化学净化
3. 白钴合金—浸出—化学提纯

## 第一章 焙 烧

在大多数情况下,含有金属的精矿不是以能用简单的直接还原方法轻易而经济地提取出来的化合物形式存在。因此,首先就必须把精矿变为其它某种容易处理的化合物焙烧是一种常用的化学预处理方法,更准确地说,是硫化物氧化焙烧成氧化物,因为许多有色金属是以硫化矿形态存在的。

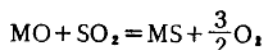
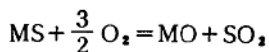
硫化物的焙烧是一种气-固反应过程,在这个过程中,大量的空气(有时为富氧空气)送入炉内与硫化矿精矿接触。焙烧在高温下进行,氧与硫化物中的硫生成二氧化硫气体,与金属生成金属氧化物。焙烧所得的固态产物叫做焙砂。

焙烧时的氧化反应必须在炉料不熔化的情况下进行,因为熔化会减少炉料颗粒与氧气反应所需要的最大表面积。以某种方式搅拌炉料,也可以保证所有的炉料颗粒的表面暴露在氧化气体中。鼓风烧结焙烧是唯一的例外,烧结焙烧时,炉料颗粒表面一部分熔化,不用搅拌。

焙烧脱硫程度取决于焙烧炉供风量,以及矿物中的元素对氧和硫的亲合力。因此,象硫化铁这样的矿物,因铁对氧的亲合力大于对硫的亲合力,硫化铁就可能完全被氧化,而同一焙烧炉料中的铜矿物,因铜对硫的亲合力大于对氧的亲合力,铜仍以硫化铜的形态存在于焙砂中。

在焙烧过程中不存在这种明显的阶段,即硫化铁完全氧化成氧化铁,而对氧的亲合力较低的硫化铜等矿物仍以硫化物形态保留下来。这时,各种反应是交错进行的,并且许多反应以不同的速度同时进行。

实际上焙烧是一种表面反应,首先在硫化矿物颗粒表面上生成多孔的氧化层。氧气通过这个氧化层进入颗粒内部还未反应的部分;颗粒内部反应生成的二氧化硫气体,也通过这个氧化层逸出。这种多孔的氧化层愈厚,气体通过愈困难。随着颗粒内部的二氧化硫气体的浓度增大,还可能有某些逆反应发生:



这样,除去颗粒最内层的硫就变得更困难。炉料颗粒的大小也是很重要的因素,颗粒大,反应需要较长的时间才能达到中心。

硫化精矿的氧化焙烧是放热反应——放出热量。这种反应热有益于焙烧炉维持在所需要的焙烧温度下进行作业。因此,往往焙烧过程不需要另加燃料提供热量就可以维持。有时,高硫炉料的氧化反应放出的足够热量,自行维持反应,不需外加燃料,从而可实现自热焙烧。由于经济的原因和节约燃料,总是在焙烧炉料所允许的范围内尽可能采用自热焙烧。

## 第一节. 焙 烧 方 法

把硫化物精矿氧化, 以生成金属氧化物; 把粉状精矿制团, 以适合鼓风炉熔炼, 是焙烧所要实现的两个过程。

焙烧方法的选择取决于焙烧产物将要采用的熔炼方法。多膛炉焙烧和沸腾炉焙烧, 要求装入粉状炉料, 并产出粉状焙砂, 然后在反射炉、闪速炉或电炉内熔炼。多膛焙烧炉是最老式的焙烧炉, 是在十九世纪九十年代末发展起来的, 一直广泛采用。沸腾焙烧炉是二十世纪五十年代初新发展起来的, 它的特点是生产能力大, 沸腾炉的生产能力为相同面积多膛炉的 8 倍。由于多膛炉的生产能力有限, 在大规模生产时需要多台, 而沸腾炉的出现消除了这种需要。

既需要脱硫又需要制团的硫化精矿, 通常在烧结机上进行焙烧, 而不用多膛炉或沸腾炉, 所得产品是粗大多孔的氧化物烧结块, 是经一次焙烧作业而成的鼓风炉易熔炉料。

**多膛焙烧炉** 多膛焙烧炉由多个叠加的卧式圆形耐火炉床组成, 外边包有钢壳。炉料由炉顶加入顶层炉床, 由上至下运动, 焙烧好的焙砂由底层炉床卸出。位于炉中心缓慢旋转的主轴带动每层炉床上的空冷或水冷耙臂。这样做有两个作用: 旋转的耙齿翻动焙烧炉料, 把生料翻到表面, 便于焙烧, 即气-固之间进行的氧化反应; 耙齿也将炉料推动, 穿过炉床到达下降孔, 落到下一层炉床上。各层炉床的下料孔不是上下相对的, 而是一层的下料孔位于外缘周边部位, 而另一层位于中心部位。这样, 炉料在焙烧炉中经过一个长的锯齿形的路线往下运动, 因而有足够的时间进行氧化反应。

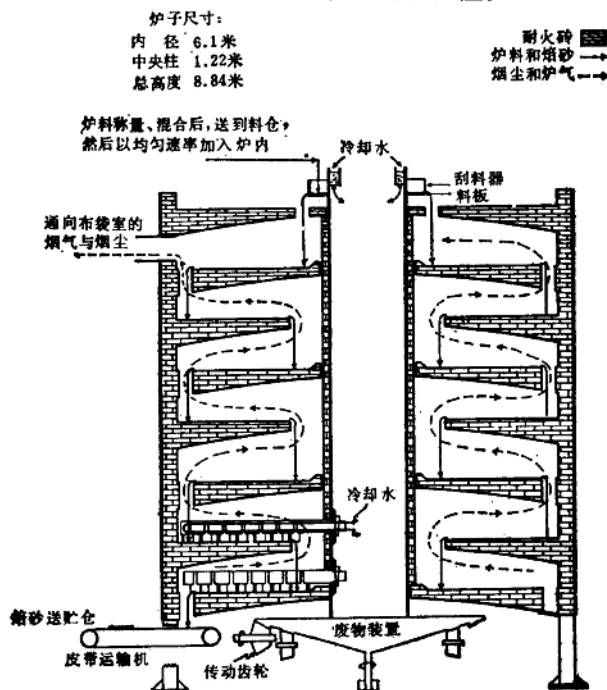


图 1.1 多膛焙烧炉

由于炉料是自上而下运动，它被下层炉床放热熔烧反应所放出的上升热气加热，直至炉料被加热到反应温度，开始燃烧，并迅速氧化。这种反应一直进行到焙砂从焙烧炉的底层卸出，并在空气中冷却到焙烧反应温度以下为止。

在焙烧炉较低的炉床上安装煤气燃烧器，以保证在焙烧不能自热进行时，达到反应温度。进入焙烧炉中的空气量，靠打开较低层的炉床上的炉门来调节，自然通风提供空气，供给炉料氧化需要的氧气。

多膛焙烧炉每天每平方米炉床面积可焙烧2.8吨黄铁矿（或等量硫含量）。多膛炉尺寸范围是4层~12层，直径3.05~7.32米。焙烧气体中 $\text{SO}_2$ 浓度为4.5~6.5%。

沸腾焙烧炉 沸腾焙烧炉的组成如下：一个衬有耐火砖的圆柱形钢壳，其底部密排着炉箅。炉箅下面装有一个风箱。风箱向炉内鼓入足够量的空气，经过炉箅均匀分配，使固体颗粒炉料处于悬浮状态，所有炉料表面都能达到良好的气-固接触。

需经焙烧的料浆（固体在水中的悬浮液），其最大的颗粒为6.3毫米，经加料管连续加入到炉内沸腾层。这种悬浮固体颗粒的沸腾层，具有流体的流动特点，如果炉料大小不一，比重各异，则最小的和最轻的颗粒被吹到层顶，较大的和较重的颗粒汇集在底层。

焙砂的一部分从焙烧炉侧面的卸料溢流管流出，一部分随烟气进入烟气净化系统作为烟尘收集。冷却蛇形管将沸腾层中过量的反应热吸收。这些热量多用来生产蒸气，为此焙烧炉的冷却系统与余热锅炉相连。

沸腾焙烧的氧化反应是自热的，而且悬浮物料的湍流度高，因而，炉料的气-固接触良好，热交换充分，这些造成过程的高反应速度和高生产率。每天每平方米的炉箅面积可处理22.2吨黄铁矿。炉气中 $\text{SO}_2$ 浓度达9~12%。

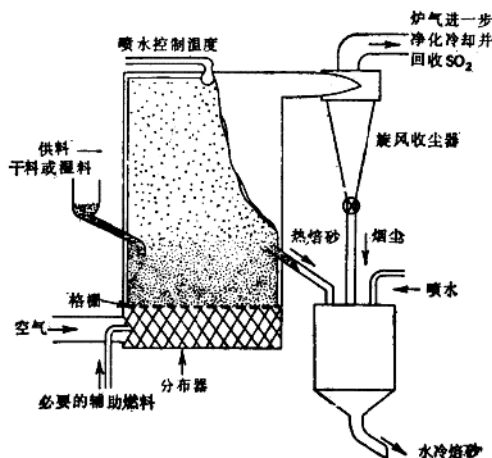


图 1.2 运行中的沸腾焙烧炉

烧结机 烧结机由许多链形炉箅部件组成，形成一个环状的、由一大转动轮带动的传动带。在每个链形炉箅下面有一个风箱。传动带的速度可以调节。

烧结炉料通常直径为12.5毫米或更小的细料，或预制成的12.5毫米团块，经过增湿、混合，加到位于风箱前面的运动小车上，其厚度达几英寸。已经装好炉料的小车经过风箱

时，炉料中的硫化物被位于小车上边的燃烧器点着。焙烧过程无需另加燃料，焙烧的反应温度由吸入炉料的空气氧化硫化物时放出的热量来维持。

当小车的炉算通过分段的风箱时，车上炉料的焙烧区由上向下蔓延，焙烧区也逐渐从顶层到底层，遍及全部料层。至烧好的炉料从烧结机上卸下。

焙烧时产生的高温足够使炉料发粘，使它们相互粘在一起，形成一种坚硬多孔的团块。但是，炉料层薄和吸入风箱里的空气的冷却作用，防止了炉料熔化，而只是在颗粒表面层变软和粘结而已。只要有熔化的炉料出现，就会阻止空气渗透，中断焙烧，所以，必须避免焙烧温度过高。

当炉算水平运动到烧结机末端，小车上的炉料底层已完全焙烧时，炉算在烟尘罩里翻倒。从炉算上翻下的烧结块过筛，粗块送去作冶炼炉料或蒸馏罐料，细粒作返料送回烧结机。

烧结机的生产能力变化范围相当大，从宽1.06米、长13.5米的小型机每平方米炉算面积每天处理18吨炉料，到宽3.6米、长50.4米的大型机每平方米每天处理0.3吨炉料。

上述烧结机是“吸风”型的，这种烧结机的风箱在小车炉算下面，空气是通过炉料的顶层向底层穿透。另外还有第二种型式，叫“鼓风”型烧结机。这种烧结机也在工业上广泛采用。鼓风烧结机的风箱位于小车炉算上面，鼓入的空气是通过小车炉算上的炉料的底层向顶层穿透。开始先在炉算上铺一层薄炉料进行点火，点火之后，再在已燃烧的炉料上加上一层厚层炉料。小车在吸风箱下面向卸料端运行，炉料由底层向顶层燃烧。

两种烧结机的炉算运行速度的变化范围都很宽，每分钟25至120厘米。这取决于所要求的焙烧和（或）烧结程度、料层厚度及烧结机长度。

有些冶炼厂采用这两种烧结机中的一种，另一些冶炼厂则两种混用。铅生产主要趋向于采用鼓风型烧结机，锌生产则采用吸风型烧结机。

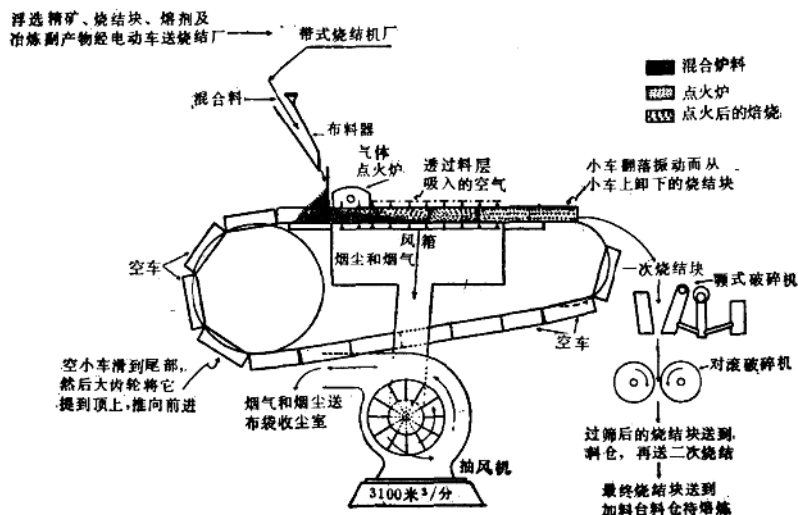


图 1.3 带式吸风型烧结机

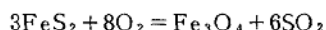
## 第二节 焙 烧 工 艺

### 一、硫化铜精矿的焙烧

硫化铜精矿的焙烧，根据其类型和将要采用的熔炼方法采用多膛炉、沸腾炉、烧结机焙烧。所有这三种焙烧方法都完成相同的化学反应，主要是氧化一些结合态的硫，并排除生成的二氧化硫气体。

焙烧后准备送往反射炉或电炉熔炼的粉末状浮选精矿，使用多膛炉和沸腾炉焙烧，因为这些熔炼要求焙烧产物仍呈细粉末状态。而只有要求物料焙烧时脱硫并成团才使用鼓风烧结（烧结机烧结）。焙烧所得的粗烧结块送鼓风炉熔炼。浮选精矿或粉矿通常送入鼓风烧结机烧结。

焙烧炉料中硫化铜的稳定性高于它所含的硫化铁的稳定性。氧对铁的亲和力大于对铜的亲和力。这样，如果供氧不足以使物料中的硫化物全部氧化，那么可用的氧在和物料中的铜结合之前，就优先和铁结合。因此，相当数量的铁（大约50%）被氧化，在随后的熔炼过程中作为氧化渣的成分被除去。而全部铜实际上仍以硫化物( $\text{Cu}_2\text{S}$ )形态存在于焙砂中：



多膛焙烧炉 约需六个多膛焙烧炉，才能供应一座反射炉的焙砂。用皮带运输机将精矿从矿仓运到焙烧炉。普通的多膛焙烧炉中有两层用于干燥，十层用于焙烧。多膛焙烧炉的钢壳用12.5毫米厚的钢板做成，各层炉床和炉墙都用高铝耐火砖砌成。十二层的多膛炉的直径6.7米，高12.2米。

炉内耙臂的转速约为1.5转/分，从耙臂的空冷系统中逸出的大量空气供作硫化物氧化所需要的一部分氧气。其余的空气通过底层的炉门吸入炉内。

多膛炉平均每天焙烧250吨含硫22%的湿精矿（即每平方米的炉床面积处理0.5~1.0吨炉料）。熔炼需要的熔剂通常加到焙烧炉料中与焙砂混合、预热。760°C的焙砂从炉底卸出。

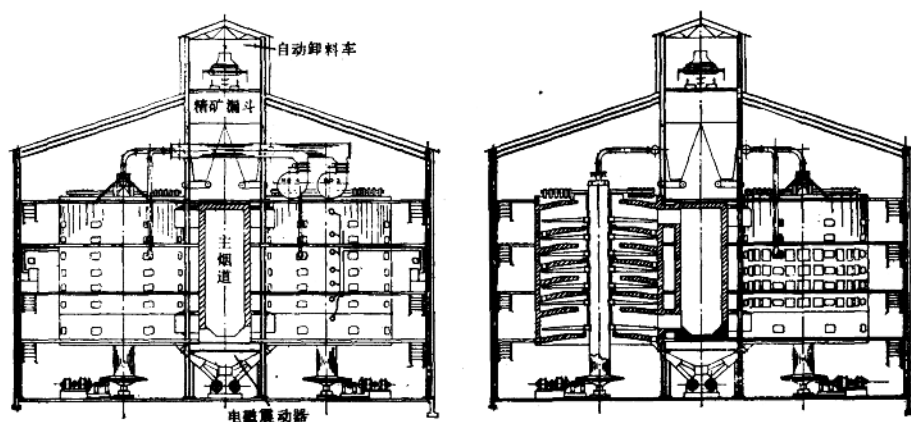


图 1.4 多膛焙烧炉车间

焙烧的气体送到除尘设备，除尘设备回收的烟尘送到反射炉熔炼。因为焙烧过程中吸进了大量空气，排出的炉气中的二氧化硫浓度低至4.5~6.0%。

**沸腾焙烧炉** 因为沸腾焙烧炉的生产能力比较大，一个沸腾焙烧炉能代替八个多膛焙

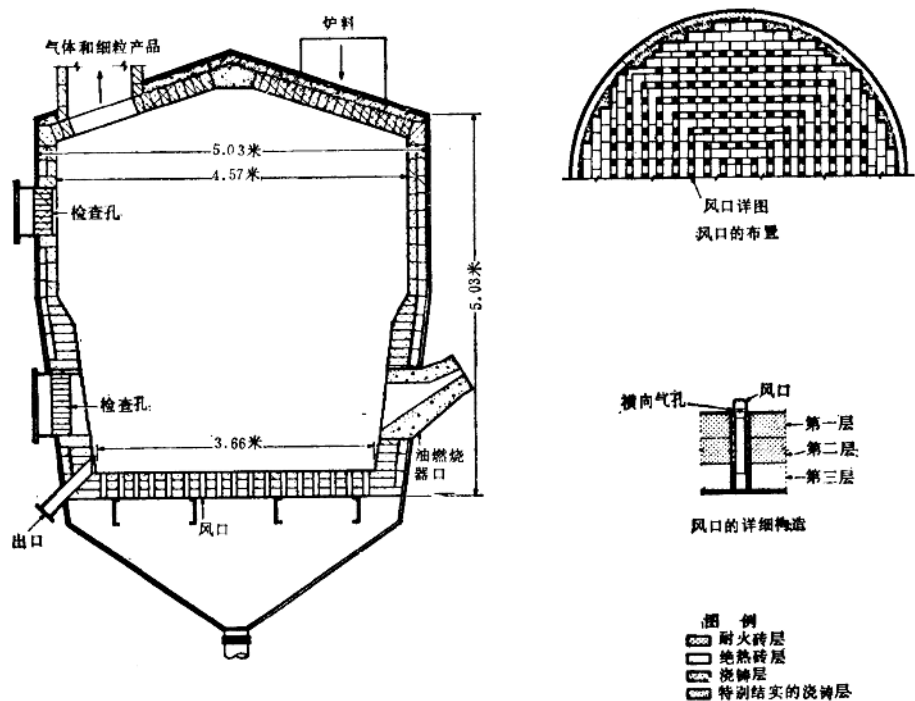


图 1.5 沸腾焙烧炉剖面图

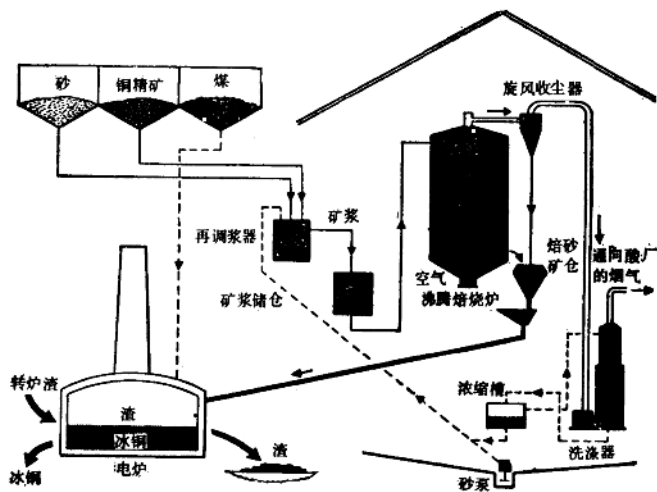


图 1.6 铜山厂的沸腾焙烧炉和电炉熔炼