

# 铜冶炼工艺

第二版

李明照 许并社 编著

METALLURGY TECHNOLOGY OF CUPPER



化学工业出版社

# 铜冶炼工艺

## 第二版

李明照 许并社 编著

METALLURGY TECHNOLOGY OF CUPPER



化学工业出版社

·北京·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

铜冶炼工艺/李明照, 许并社编著. —2 版. —北京:  
化学工业出版社, 2012. 7  
ISBN 978-7-122-14171-2

I. 铜… II. ①李…②许… III. 炼铜 IV. TF811

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 082699 号

---

责任编辑: 刘丽宏  
责任校对: 周梦华

文字编辑: 汲永臻  
装帧设计: 张 辉

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司  
装 订: 三河市宇新装订厂  
710mm×1000mm 1/16 印张 15½ 字数 313 千字 2012 年 8 月北京第 2 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

# Preface

# 前言

铜是人类最早发现的古老金属之一，早在几千多年前就开始冶炼并使用铜，历史上曾创造过灿烂的青铜文化。在史前时代，人们开始采掘露天铜矿，并用获取的铜制造武器、工具和其他器皿，铜的使用对早期人类文明的进步影响深远。

铜具有许多优良的性能，不但为人类社会进步作出了不可磨灭的贡献，而且随着人类文明的发展不断开发出新的用途。铜既是一个古老的金属，又是一个充满生机和活力的现代工程材料。铜以品种繁多的金属、合金和化合物形式被人们利用，已深深地渗入了生产和生活的各个方面，成为 21 世纪人类社会飞速发展不可缺少的重要金属。

编著者及其课题组成员多年从事铜冶炼的生产和研究，做了大量工作，取得了一定的实践经验。本书自 2006 年出版以来，多次印刷，深受业内读者欢迎。此次修订，对铜冶炼方面已生产化和正在生产化的新技术进行了介绍；结合节能减排要求，突出原来污染严重的鼓风炉、电炉等冶炼工艺改造和正在推广的富氧熔炼节能工艺和设备的介绍等。全书结合铜冶炼企业的实际情况，具体地总结了从精矿到电解铜、湿法炼铜、再生铜生产过程中各个环节的技术内容，工艺详尽、内容实用。可作为从事铜冶炼生产的技术指导用书，更适合作为工厂技术人员的培训用书。

在此书再版之际，编著者首先要感谢书中引用的参考文献作者及为此书再版作出努力的同仁们，同时也要感谢课题组全体成员。对本书不当之处，敬请读者不吝批评指出。

**编著者**

# Contents

# 目 录

<b>第 1 章</b>	<b>概论</b>	1
1.1	铜的概况	1
1.2	铜的性质	1
1.2.1	铜的物理性质	1
1.2.2	铜的化学性质	2
1.2.3	铜的主要化合物及性质	2
1.3	铜的用途	4
1.4	炼铜原料	5
1.4.1	铜的矿物	5
1.4.2	铜矿石	5
1.4.3	铜精矿	6
1.4.4	铜矿资源及储量	6
1.5	铜的生产方法	7
1.5.1	火法炼铜	7
1.5.2	湿法炼铜	8
<b>第 2 章</b>	<b>冰铜熔炼</b>	9
2.1	概述	9
2.2	冰铜熔炼的基本原理	9
2.2.1	熔炼过程的化学反应	10
2.2.2	$\text{Fe}_3\text{O}_4$ 在熔炼过程中的行为	12
2.2.3	熔炼过程中杂质的行为	13
2.3	冰铜的形成与性质	14
2.3.1	冰铜的形成	14
2.3.2	冰铜的性质	15
2.3.3	冰铜的组成	16
2.3.4	冰铜品位的选择	18
2.4	炉渣的形成与性质	19

2.4.1	炉渣的形成	19
2.4.2	炉渣的性质	21
2.4.3	炉渣的组成	24
2.4.4	渣型的选择	25
<b>2.5</b>	<b>冰铜与炉渣的分离及渣含铜</b>	<b>25</b>
2.5.1	冰铜与炉渣的分离条件	25
2.5.2	渣含铜及铜在渣中的损失	26
<b>2.6</b>	<b>冰铜熔炼的热化学及脱硫</b>	<b>27</b>
2.6.1	冰铜熔炼的热化学	27
2.6.2	冰铜熔炼的脱硫	27

### **第3章 密闭鼓风炉熔炼冰铜** 29

<b>3.1</b>	<b>概述</b>	<b>29</b>
3.1.1	鼓风炉熔炼的特点	29
3.1.2	密闭鼓风炉的优缺点	30
<b>3.2</b>	<b>密闭鼓风炉的熔炼原理</b>	<b>30</b>
3.2.1	密闭鼓风炉熔炼的工艺流程	30
3.2.2	密闭鼓风炉内炉料、炉气、温度的分布	30
3.2.3	密闭鼓风炉熔炼过程中的物理化学变化	32
<b>3.3</b>	<b>密闭鼓风炉</b>	<b>36</b>
3.3.1	密闭鼓风炉的构造	36
3.3.2	密闭鼓风炉的配套设备	39
<b>3.4</b>	<b>密闭鼓风炉的熔炼工艺</b>	<b>40</b>
<b>3.5</b>	<b>密闭鼓风炉熔炼的产物及主要技术经济指标</b>	<b>42</b>
3.5.1	熔炼产物	42
3.5.2	主要技术经济指标	43

### **第4章 反射炉熔炼冰铜** 45

<b>4.1</b>	<b>概述</b>	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>反射炉熔炼的基本原理</b>	<b>47</b>
4.2.1	反射炉熔炼的工艺流程	47
4.2.2	炉料的加热和熔化	47
4.2.3	影响反射炉炉料熔化速度的因素	48
4.2.4	炉料在熔炼过程中的物理化学变化	50
4.2.5	转炉渣在反射炉内的脱铜	54
<b>4.3</b>	<b>反射炉</b>	<b>54</b>
4.3.1	反射炉的构造	55

4.3.2	反射炉的配套设备	57
4.4	反射炉的操作工艺	58
4.4.1	炉料的准备	58
4.4.2	燃料及其燃烧	59
4.4.3	正常作业	59
4.5	反射炉熔炼的产物	65
4.6	反射炉熔炼的主要技术经济指标	66

## 第5章 电炉熔炼冰铜 69

5.1	概述	69
5.2	电炉熔炼的基本原理	69
5.2.1	电炉熔炼的工艺流程	69
5.2.2	热能的产生	70
5.2.3	熔炼过程中炉料物理化学变化的特点	71
5.3	电炉	72
5.3.1	电炉的构造	72
5.3.2	电极	73
5.3.3	电炉供电系统	73
5.4	电炉熔炼工艺	75
5.4.1	炉料的制备	75
5.4.2	电炉熔炼	75
5.5	电炉熔炼的产物及主要技术经济指标	77
5.5.1	电炉熔炼的产物	77
5.5.2	主要技术经济指标	78

## 第6章 铜精矿的闪速熔炼 79

6.1	概述	79
6.2	闪速熔炼的基本原理	79
6.2.1	闪速熔炼的工艺流程	79
6.2.2	闪速熔炼的特点	80
6.2.3	闪速熔炼的原理	80
6.2.4	闪速熔炼时伴生元素的行为	82
6.3	闪速炉	83
6.3.1	闪速炉的构造	83
6.3.2	闪速炉的配套设备	87
6.4	闪速熔炼工艺	89
6.4.1	炉料的配料与干燥	89

6.4.2 熔炼 .....	91
<b>6.5 闪速熔炼的产物及主要技术经济指标 .....</b>	<b>94</b>
6.5.1 闪速熔炼的产物 .....	94
6.5.2 闪速熔炼的主要技术经济指标 .....	95
<b>6.6 闪速炉渣的处理 .....</b>	<b>95</b>
6.6.1 电炉贫化法 .....	96
6.6.2 选矿法 .....	97
<b>6.7 闪速熔炼的优缺点 .....</b>	<b>97</b>

## **第7章 冰铜的吹炼 .....** **99**

<b>7.1 概述 .....</b>	<b>99</b>
<b>7.2 冰铜吹炼的基本原理 .....</b>	<b>100</b>
7.2.1 冰铜吹炼的工艺流程 .....	100
7.2.2 冰铜吹炼的热力学 .....	101
7.2.3 冰铜吹炼的第一阶段 .....	102
7.2.4 冰铜吹炼的第二阶段 .....	103
7.2.5 冰铜中其他组分在吹炼过程中的行为 .....	104
7.2.6 冰铜吹炼过程中的鼓风制度和热制度 .....	106
7.2.7 冰铜吹炼过程中炉气成分的变化 .....	106
<b>7.3 转炉 .....</b>	<b>107</b>
7.3.1 转炉的构造 .....	107
7.3.2 转炉的配套设备 .....	108
<b>7.4 转炉吹炼工艺 .....</b>	<b>110</b>
7.4.1 烘炉 .....	110
7.4.2 挂炉 .....	110
7.4.3 吹炼操作 .....	111
7.4.4 吹炼过程中的故障及处理 .....	113
<b>7.5 冰铜吹炼的产物及主要技术经济指标 .....</b>	<b>114</b>
7.5.1 冰铜吹炼的产物 .....	114
7.5.2 主要技术经济指标 .....	116

## **第8章 粗铜的火法精炼 .....** **119**

<b>8.1 概述 .....</b>	<b>119</b>
<b>8.2 粗铜火法精炼的工艺流程及基本原理 .....</b>	<b>119</b>
8.2.1 粗铜火法精炼的工艺流程 .....	119
8.2.2 粗铜火法精炼的基本原理 .....	120
<b>8.3 粗铜火法精炼的设备 .....</b>	<b>126</b>



8.3.1	固定式精炼反射炉 .....	126
8.3.2	回转式精炼炉 .....	142
8.3.3	倾动式精炼炉 .....	144
<b>8.4</b>	<b>粗铜火法精炼工艺 .....</b>	<b>145</b>
8.4.1	反射炉的精炼工艺 .....	145
8.4.2	回转炉的精炼工艺 .....	149
<b>8.5</b>	<b>火法精炼的产物及主要技术经济指标 .....</b>	<b>151</b>
8.5.1	精炼炉的产物 .....	151
8.5.2	主要技术经济指标 .....	152
<b>8.6</b>	<b>降低精炼渣含铜的措施及其处理工艺 .....</b>	<b>153</b>
8.6.1	降低精炼渣含铜的措施 .....	153
8.6.2	精炼渣的处理工艺 .....	155
<b>第9章</b>	<b>铜的电解精炼 .....</b>	<b>157</b>
<b>9.1</b>	<b>概述 .....</b>	<b>157</b>
<b>9.2</b>	<b>铜电解精炼的工艺流程及基本原理 .....</b>	<b>157</b>
9.2.1	铜电解精炼的工艺流程 .....	157
9.2.2	铜电解精炼的基本原理 .....	158
<b>9.3</b>	<b>铜电解精炼的设备 .....</b>	<b>162</b>
9.3.1	电解槽 .....	162
9.3.2	电解液的加热设备 .....	164
9.3.3	电解液循环系统设备 .....	165
9.3.4	电解精炼的配套设备 .....	167
<b>9.4</b>	<b>电解液 .....</b>	<b>167</b>
9.4.1	电解液的选择 .....	167
9.4.2	电解液的组成与性质 .....	168
9.4.3	电解液的温度 .....	169
9.4.4	电解液的循环 .....	169
9.4.5	电解液的净化 .....	171
<b>9.5</b>	<b>电解精炼工艺 .....</b>	<b>174</b>
9.5.1	阳极加工及始极片的制作 .....	174
9.5.2	电铜的精炼工艺 .....	176
9.5.3	添加剂的加入 .....	180
9.5.4	电流密度的选择 .....	184
<b>9.6</b>	<b>电解精炼的主要技术经济指标及计算方法 .....</b>	<b>186</b>
9.6.1	电流效率 .....	186
9.6.2	槽电压 .....	186
9.6.3	电能消耗 .....	187

9.6.4 其他指标 .....	187
<b>9.7 电解精炼的产物 .....</b>	<b>188</b>
9.7.1 电铜 .....	188
9.7.2 阳极泥 .....	188
9.7.3 $\text{CuSO}_4$ 、 $\text{NiSO}_4$ 、再生硫酸 .....	189

## **第 10 章 湿法炼铜 .....** 190

<b>10.1 概述 .....</b>	<b>190</b>
<b>10.2 铜矿直接浸出 .....</b>	<b>191</b>
10.2.1 铜矿浸出的基本原理 .....	191
10.2.2 浸出体系的选择 .....	192
10.2.3 浸出方式 .....	193
10.2.4 浸出-萃取-电积法工艺 .....	195
10.2.5 氨浸-萃取-电积工艺 .....	197
10.2.6 高压氨浸法工艺 .....	197
<b>10.3 硫化铜精矿的焙烧-浸出-电积法 .....</b>	<b>198</b>
10.3.1 硫化铜精矿焙烧-浸出-电积法的工艺流程 .....	198
10.3.2 硫化铜精矿的硫酸化焙烧 .....	199
10.3.3 焙砂的浸出 .....	201
10.3.4 浸出液的净化 .....	202
10.3.5 电积 .....	203
10.3.6 废液及废渣的处理 .....	204

## **第 11 章 再生铜的熔炼 .....** 207

<b>11.1 概述 .....</b>	<b>207</b>
<b>11.2 废杂铜的分类及管理 .....</b>	<b>207</b>
11.2.1 废杂铜的分类 .....	207
11.2.2 废杂铜的管理 .....	208
<b>11.3 再生铜的生产方法 .....</b>	<b>208</b>
11.3.1 杂铜的直接利用法 .....	208
11.3.2 杂铜的间接利用法 .....	211
<b>11.4 鼓风炉熔炼再生铜 .....</b>	<b>212</b>
11.4.1 鼓风炉熔炼的基本原理 .....	212
11.4.2 鼓风炉 .....	216
11.4.3 鼓风炉的熔炼工艺 .....	218
11.4.4 鼓风炉熔炼的产物及主要技术经济指标 .....	219
11.4.5 鼓风炉熔炼的配料计算 .....	222

<b>11.5 转炉吹炼高铅、锡杂铜</b> .....	224
11.5.1 转炉吹炼的基本原理 .....	224
11.5.2 吹炼高铅、锡杂铜的转炉 .....	226
11.5.3 转炉吹炼工艺 .....	226
11.5.4 吹炼产物及主要技术经济指标 .....	226
<b>11.6 反射炉精炼再生铜</b> .....	227
11.6.1 概述 .....	227
11.6.2 黑铜的火法精炼工艺 .....	228
11.6.3 次粗铜的火法精炼工艺 .....	229
11.6.4 残极、铜粒和紫杂铜的火法精炼工艺 .....	230
11.6.5 精炼产物及主要技术经济指标 .....	230
<b>11.7 再生铜的湿法冶金</b> .....	231
<b>参考文献</b> .....	<b>234</b>

# 第1章

## 概 论

### ► 1.1 铜的概况

铜是一种存在于地壳和海洋中的金属，在地壳中的含量约为 0.01%，在个别铜矿床中，铜的含量可以达到 3%~5%。自然界中的铜，多数以化合物即铜矿物存在。铜矿物与其他矿物聚合成铜矿石，开采出来的铜矿石，经过选矿而成为含铜品位较高的铜精矿。

铜具有许多优良的性能，不但为人类社会进步作出了不可磨灭的贡献，且随着人类文明的发展不断开发出新的用途。铜既是一种古老的金属，又是一种充满生机和活力的现代工程材料。铜以品种繁多的金属、合金和化合物形式被人们利用，已深深地渗入到生产和生活的各个方面，成为人类 21 世纪飞速发展不可缺少的重要金属。

自然界中的铜分为自然铜、氧化铜矿和硫化铜矿。自然铜及氧化铜的储量少，世界上 80% 以上的铜是从硫化铜矿精熔炼得到的。硫化铜矿的含铜量极低，一般在 2%~3%。

### ► 1.2 铜的性质

#### 1.2.1 铜的物理性质

纯铜呈玫瑰红色，有金属光泽，表面形成氧化铜膜后，外观呈紫红色，故常称紫铜。

铜的延性和展性好，易于成形和加工，能拉成极细的铜丝，压成极薄的铜片，具有好的导电性能和导热性能，仅次于银居第二位。铜在元素周期表中属第一副族元素，原子系数 29，原子量 63.57。铜有两种原子价，可以形成一价化合物和二价化合物。

液态铜能溶解某些气体，如 H<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 和水蒸气等。气体的溶解不仅包括物理溶解，也包括气体与铜及铜中杂质发生化学作用。气体的溶解使铜的力学性能和导电性能受到影响，当熔融铜凝固时气体从铜中溢出，造成铜铸件的气孔。

铜的合金性能好，能与锌、锡、铅、镍、铍等多种金属制成各种不同特性的合金，如铜锌合金延展性好，铜锡合金耐磨性好，铜镍合金抗腐蚀性和耐磨性好。铜的物理性质见表 1-1。

表 1-1 铜的物理性质

密度/g·cm <sup>-3</sup>	熔点/K	沸点/K	标准电位/V	熔化热/J·g <sup>-1</sup>	汽化热/J·g <sup>-1</sup>	比热容/J·g <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
8.96(293K)	1256	2583	+0.34	204.7	4800	0.3843(293K)

### 1.2.2 铜的化学性质

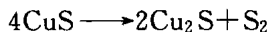
常温下，铜在干燥空气中稳定，加热时生成黑色 CuO。在含有 CO<sub>2</sub> 的潮湿空气中，铜的表面会慢慢生成有毒的铜绿即 Cu(OH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>。这种薄膜能保护铜不被腐蚀。铜绿有毒，因而纯铜不能用作食具。使用铜制器皿时，必须镀锡。高温下，铜不与氢、氮或碳作用。铜与含有 H<sub>2</sub>S 的空气接触时，表面生成硫化物黑色薄膜。

铜在电位序中位于氢后，属正电性金属，不能从酸中置换出氢，因此不能溶解于盐酸和未溶解氧的硫酸。只有在具有氧化作用的酸中铜才能溶解，并生成相应的盐，如铜能溶于硝酸和有氧化剂存在的硫酸。铜能溶于 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 溶液和 FeCl<sub>3</sub> 溶液，并与氧、硫、卤素等元素直接化合。

### 1.2.3 铜的主要化合物及性质

#### (1) 硫化铜

硫化铜 (CuS) 在自然界中呈铜蓝矿物形态存在，颜色为黑绿色或棕色。纯固体硫化铜的密度为 4.66g·cm<sup>-3</sup>，熔点为 1383K。硫化铜不稳定，在中性或还原性气氛中加热时按下式分解：



在熔炼过程中，炉料受热时，其中的硫化铜可完全分解，得到的 Cu<sub>2</sub>S 进入冰铜中。

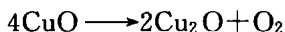
#### (2) 硫化亚铜

硫化亚铜 (Cu<sub>2</sub>S) 是一种蓝黑色物质，在自然界中呈辉铜矿的矿物形态存在。固体 Cu<sub>2</sub>S 密度为 5.785g·cm<sup>-3</sup>，熔点为 1408K。常温下 Cu<sub>2</sub>S 稳定，几乎不被空气氧化，加热到 473~573K 时，可氧化成 CuO 和 CuSO<sub>4</sub>，加热到 603K 以上氧化成 Cu<sub>2</sub>O。

Cu<sub>2</sub>S 不溶于水，几乎不溶于弱酸，能溶于硝酸。与浓盐酸作用时，逐渐溶解释放出 H<sub>2</sub>S。

## (3) 氧化铜

氧化铜 (CuO) 在自然界中以黑铜矿形态存在。CuO 是黑色无光泽的物质。固体 CuO 的密度为  $6.30 \sim 6.48 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，熔点为 1720K。CuO 是不稳定的化合物，加热时按下式分解：

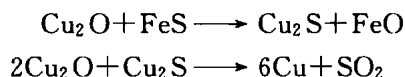


高温下 CuO 易被  $\text{H}_2$ 、C、CO 等还原成  $\text{Cu}_2\text{O}$  或 Cu。

## (4) 氧化亚铜

氧化亚铜 ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) 在自然界中呈赤铜矿的矿物形态存在。高温下  $\text{Cu}_2\text{O}$  是稳定的化合物。致密的  $\text{Cu}_2\text{O}$  呈樱红色，有金属光泽；粉末  $\text{Cu}_2\text{O}$  呈泽红色。固体  $\text{Cu}_2\text{O}$  密度为  $5.71 \sim 6.10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，熔点为 1503K。

高温下， $\text{Cu}_2\text{O}$  与 FeS 及  $\text{Cu}_2\text{S}$  可按下式反应：



这两个反应是铜火法冶金中的主要反应。

## (5) 硫酸铜

硫酸铜 ( $\text{CuSO}_4$ ) 在自然界中呈胆矾即  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  的矿物形态存在。纯胆矾为天蓝色三斜晶系结晶，失去结晶水后为白色粉末。 $\text{CuSO}_4$  易溶于水。用 Fe、Zn 等比铜负电性的元素可从  $\text{CuSO}_4$  水溶液中置换出金属铜。

## (6) 铜的硅酸盐

在自然界中，铜的硅酸盐呈硅孔雀石即  $\text{CuSiO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  和透视石即  $\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  的矿物形态存在。这两种矿物在高温下分解放出水分和氧，形成高温稳定的硅酸亚铜即  $2\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ 。碎块状的  $2\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  呈绿黑色，粉末状的呈浅褐色。 $2\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  易被  $\text{H}_2$ 、CO 及 C 还原，也易被较强的碱性氧化物如 FeO、CaO 及硫化物如 FeS、 $\text{Cu}_2\text{S}$  分解。

## (7) 铜的碳酸盐

在自然界中，铜的碳酸盐呈孔雀石即  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  和蓝铜矿即  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  的矿物形态存在。这两种化合物高温下不稳定，加热至 493K 以上时分解为 CuO、 $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。

## (8) 铜的铁酸盐

铜的铁酸盐有铁酸铜即  $\text{CuO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  和铁酸亚铜即  $\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 。在湿法冶金中，铜的铁酸盐不溶于水、氨水及一般溶剂，它们易被强碱性氧化物及硫化物分解，也易被  $\text{SO}_2$  还原。

## (9) 铜的氯化物

铜的氯化物有氯化铜即  $\text{CuCl}_2$  和氯化亚铜即 CuCl 或  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2$ 。 $\text{CuCl}_2$  无天然矿物，人造  $\text{CuCl}_2$  为褐色粉末，熔点为 762K，易溶于水。 $\text{CuCl}_2$  很不稳定，加热至 613K 即分解，生成白色的  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2$  粉末。

$\text{Cu}_2\text{Cl}_2$  为白色粉末，受日光的作用迅速变为黑色，易挥发。 $\text{Cu}_2\text{Cl}_2$  熔点为

693~713K, 密度为  $3.53\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

## ► 1.3 铜的用途

铜是人类祖先最早应用的金属。早在 6000 年前的史前时期, 人类就开始采掘露天铜矿, 并用获取的铜制造武器、工具和其他器皿。铜的使用对早期人类文明的进步影响深远, 不但为人类社会的进步作出了不可磨灭的贡献, 且随着人类文明的发展不断开发出新的用途。铜具有优良的导电性和导热性, 居所有工程金属材料之冠; 铜还有许多优异的综合性能, 如对大气、海水、土壤及许多化学介质有很强的耐蚀性; 铜具有弹性, 耐摩擦, 抗磨损, 还有多彩的外观。此外, 铜还有一系列良好的加工、铸造、焊接、易切削等工艺性能, 从而得到广泛的应用, 主要用途如下。

### (1) 电气工业

主要用于电力输送、电机制造、通信电缆、住宅电气线路等方面。

### (2) 电子工业

铜的应用已从电真空器件和印制电路, 发展到微电子和半导体集成电路。国际知名计算机公司采用铜代替硅芯片中的铝, 这标志着人类最古老的金属在半导体技术应用方面的最新突破。铜在电气、电子工业中应用最广、用量最大, 占总消费量一半以上。

### (3) 能源及石化工业

主要用于能源、石化和海洋工业等。

### (4) 交通工业

船舶、汽车、铁路和飞机均使用铜及铜合金作为零部件。

### (5) 机械和冶金工业

主要用于机械工程、冶金设备的部件, 并可作为合金添加剂, 改善合金的性能。

### (6) 轻工业

用于空调、冷冻机、钟表、造纸、印刷、酿酒、医药等方面。

(7) 建筑和艺术上应用于管道系统、房屋装修; 此外, 还用于屋内的装修, 如门把手、锁、百叶、灯具、墙饰以及厨房用具等。

### (8) 高科技上的应用

用于计算机、超导和低温材料、航天技术。

### (9) 铜化合物的应用

铜的化合物种类繁多, 主要用于农牧业、工业和医疗卫生等领域。

随着科学技术的发展, 铜的应用范围在拓宽。铜在医学、生物、超导及环境方面开始发挥作用。如当聚氨酯塑料泡沫含有铜或氧化铜时, 能大大减少其燃烧时所释放出的有毒气体即氢氰化物。大量研究资料证明, 铜的杀菌作用可有效降低肺炎

病菌的传播,能抑制细菌生长,保持饮用水清洁卫生,故未来国内建筑业铜管的发展前景将十分广阔。

## ▶ 1.4 炼铜原料

### 1.4.1 铜的矿物

地壳中具有固定化学组成和物理性质的天然化合物或自然元素称为矿物。铜在地壳中主要以各种化合物形态存在。目前自然界中含铜矿物有240种,其中常见的铜矿物可分为自然铜、硫化矿和氧化矿三种类型。自然铜在自然界很少,主要是硫化矿和氧化矿。硫化矿分布最广,是当今炼铜的主要原料。铜在硫化矿中,分布依次为黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿;铜在氧化矿中,以孔雀石分布最广。工业上常见的铜矿物见表1-2。

表 1-2 铜的主要矿物

矿物类别	矿物名称	化学分子式	Cu/%	密度/g·cm <sup>-3</sup>	颜色
自然矿物	自然铜	· Cu	100	8.9	红色
硫化矿物	辉铜矿	Cu <sub>2</sub> S	79.8	5.5~5.8	灰黑色
	铜蓝	CuS	66.7	4.6~4.7	红蓝色
	黄铜矿	CuFeS <sub>2</sub>	34.6	4.1~4.3	黄色
	斑铜矿	Cu <sub>4</sub> FeS <sub>4</sub>	63.5	5.06	红蓝色
	硫砷铜矿	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>	49.0	4.45	灰黑色
	黝铜矿	(Cu,Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	25/45.7	4.6~5.1	灰黑色
氧化矿物	赤铜矿	Cu <sub>2</sub> O	88.8	7.14	红色
	黑铜矿	CuO	79.9	5.8~6.1	灰黑色
	孔雀石	CuCO <sub>3</sub> ·Cu(OH) <sub>2</sub>	57.5	4.05	亮绿色
	蓝铜矿	2CuCO <sub>3</sub> ·Cu(OH) <sub>2</sub>	68.2	3.77	亮蓝色
	硅孔雀石	CuSiO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	36.2	2.0~2.2	绿蓝色
	胆矾	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	25.5	2.29	蓝色

### 1.4.2 铜矿石

含铜品位达到在当地当时的技术经济条件下,具有开采价值的岩石称为铜矿石。铜矿石是铜矿物、其他金属矿物和脉石的聚合体。按矿物性质,铜矿石可分为硫化铜矿石和氧化铜矿石;按脉石性质,铜矿石可分为酸性矿、碱性矿和中性矿;(在酸性矿石中,脉石以二氧化硅为主;在碱性矿石中,脉石主要成分为碱性氧化物如CaO、MgO等);按含铜品位,铜矿石可分为富矿(即含铜量>2%)、中等矿(即含铜量1%~2%)和贫矿(即含铜量<1%)。

在硫化铜矿石中,除了铜的硫化矿物外,还有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、镍黄铁矿等。在氧化铜矿石中,常见的其他金属矿物有褐铁矿、赤铁矿和菱铁矿等。

铜矿石中的脉石,主要为石英,其次为方解石、长石、云母、绿泥石、重晶石



等。脉石主要成分为 SiO<sub>2</sub>、CaO、MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等。

铜矿石中还含有少量的砷、锑、铋、钴、硒、碲和金、银等。矿石的化学成分见表 1-3。

表 1-3 矿石的化学成分

矿石类型	矿石成分/%								
	Cu	Fe	S	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaSO <sub>4</sub>	Zn
含铜黄铁矿	2.53	39.35	45.58	5.28	0.43	0.46	2.38	1.84	1.65
富铜铁矿	5.65	23.01	24.44	23.34	4.0	—	10.21	1.60	6.21
星染硫化矿	1.5	8.5	7.5	52.6	2.2	1.4	10.7	—	—
氧化矿	2.1	0.95	0.1	68.0	—	—	16.0	—	—

### 1.4.3 铜精矿

目前工业开采的铜矿石中铜的品位，不适于冶炼厂直接冶炼，通常采用选矿即浮选法处理，使铜富集在精矿中，而脉石等以尾矿形式弃去。选矿得到的精矿颗粒很小，一般小于 74μm 的占 90%，铜品位为 10%~30%。硫化铜精矿成分见表 1-4。

表 1-4 硫化铜精矿成分

序号	硫化铜精矿成分/%								
	Cu	Fe	S	Pb	Zn	As	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO
1	18~20	25~28	26~30	1~5	1~5	6~12	6~12	2~3	约 4
2	20~24	27~33	28~29	—	—	—	6.5~9	0.5~1.5	0.9~1
3	23.17	28.55	29.11	—	—	—	9.96	1.22	1~2
4	23.70	28.60	27.60	0.90	—	—	8.20	—	—
5	18.80	24.90	30.90	—	—	—	5.30	—	—

硫化铜精矿颗粒小，比表面积大，具有很大的化学反应能，与氧发生氧化反应迅速，同时放出大量的热。故硫化铜精矿不仅是炼铜的原料，而且是一种具有一定发热值的燃料。冶炼过程中利用精矿本身的潜在热能，可降低燃料消耗，甚至使过程实现自热。

### 1.4.4 铜矿资源及储量

世界铜矿的工业类型分为斑岩型、砂页岩型、铜镍硫化物型、黄铁矿型、铜-铀-金型、自然铜型、脉型、碳酸岩型、硅卡岩型共九类。最重要的是前四类，占世界铜总储量的 96%，其中斑岩型矿和砂页岩型矿各占 55%和 29%。世界铜储量超过 500 万吨的巨型铜矿约有 60 个，斑岩矿占 38 个，砂页岩矿占 15 个，合计约占巨型铜矿的 88%。