

有色金属行业职业技能培训用书

火法冶炼工岗位培训系列教材

合成炉工

HECHENG LUGONG

主 编	万 爱 东		
副主编	李 光 明	蒲彦雄	齐红斌
	付	杨贵严	



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

内 容 简 介

全书共分7章,其主要内容包括:铜冶炼一般知识;有色金属冶金原理基础知识;铜冶炼基本原理;精矿蒸汽干燥工艺;合成炉熔炼工艺;转炉吹炼工艺;阳极炉精炼工艺。在全书的最后附有复习题及答案。

本书可作为冶金企业从事火法冶炼工种的工人培训教材,也可供有色冶金及相关专业的工程技术人员和现场操作人员以及科研院所的研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

合成炉工/万爱东主编. —北京:冶金工业出版社, 2013. 1
(2013. 6 重印)

(有色金属行业职业技能培训用书)

火法冶炼工岗位培训系列教材

ISBN 978-7-5024-6194-2

I. ①合… II. ①万… III. ①有色金属冶金—反应炉(化工)
—岗位培训—教材 IV. ①TF8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013) 第 014685 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨盈园 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6194-2

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2013 年 1 月第 1 版, 2013 年 6 月第 2 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 14.25 印张; 342 千字; 215 页

38.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

《火法治炼工岗位培训系列教材》

编委会

主 任 万爱东

副主任 温堆祥 张永武 王崇庆 李 光

蒲彦雄 汤红才 刘 明

委 员 齐红斌 岳占斌 张明文 李金利

付 明 王武生 吴庆德 赵福生

张正位 张英建 杨贵严 吝 凯

· 前 言 ·

金川集团股份有限公司熔炼系统，最早设计采用老式鼓风炉进行熔炼，于1965年试生产。1968年有2台16500kV·A矿热电炉、4台50吨转炉及2台20吨转炉的熔炼系统正式投产，主要承担着集团公司自产镍精矿的处理任务，年产高镍铈6000吨。随着公司的不断发展，1983年新增加1台16500kV·A矿热电炉，年产高镍铈增长为16000吨。1999年生产能力不断扩大，高镍铈产量上升至20000吨。2000年，生产格局发生重大变化，1号、2号电炉转产炼铜；3号电炉继续炼镍。同时将2台20吨转炉拆除，新建1台110吨转炉。2003年陆续将4台50吨转炉扩能改造至86吨。2005年随着公司综合实力的增加，总投资11.76亿元的铜合成炉于2005年9月12日正式投料试生产，与铜合成炉配套生产的2台110吨转炉及2台300吨阳极炉也随之投产，形成了年产30万吨铜阳极板的合成炉熔炼系统。2009年3台矿热电炉全部转产炼铜，形成合成炉熔炼和电炉熔炼两大生产系统的格局，具备年产40万吨铜阳极板的生产能力。

处于对生产实践和技术改造的系统总结以及职工培训所需，公司组织编写了本培训教材。全书主要介绍了铜冶炼一般知识、有色冶金基础知识、铜冶炼基本原理、精矿蒸汽干燥工艺、铜冶金炉设备及工艺配置、生产操作实践和经济技术指标等内容。

本书是在2009年培训教材的基础上，结合系统扩能改造后的实际情况编撰而成，可作为合成炉工、干燥工、转炉工和阳极炉工的培训教材，也可供企业工程技术和管理人员阅读参考。参加本书编写工作人员有：董旭、刘杰、张涛、雷国强、陶广山、张连民、喻勇、严吉录、李自玺、吴海云、

刘兴军、许登祥、于吉军、白连强、杨述凯、陶川银、欧阳斌、郑清山、杨思文、刘杰、张涛、李海荣、张寿如、丁天生、李春梅、张玉会等，由于编者水平有限，时间紧迫，书中不妥之处在所难免，诚望各界人士不吝赐教。

万爱东

2012年12月3日

• 目 录 •

1 铜冶炼一般知识	1
1.1 概述	1
1.2 铜及其主要化合物的性质	1
1.2.1 铜及其主要合金的性质	1
1.2.2 铜的主要化合物及其性质	2
1.2.3 铜的用途	4
1.3 炼铜原料	5
1.3.1 铜矿资源特点	5
1.3.2 资源地质特征	6
1.3.3 常见铜矿物	7
1.4 铜精矿组成与冶炼工艺关系	9
1.5 铜冶炼方法	9
1.5.1 火法冶炼	9
1.5.2 湿法炼铜	11
1.6 炼铜方法评价	13
2 有色金属冶金原理基础知识	15
2.1 冶金炉渣基础知识	15
2.1.1 概述	15
2.2 化合物的离解-生成反应	18
2.2.1 概述	18
2.2.2 氧化物的离解和金属的氧化	18
2.2.3 碳酸盐的离解	19
2.3 氧化物的还原	20
2.3.1 燃烧反应	20
2.3.2 氧化物用 CO 、 H_2 气体还原剂还原	22
2.3.3 氧化物用固体还原剂 C 还原	22
2.4 硫化矿的火法冶金	23
2.4.1 金属硫化物的热力学性质	23
2.4.2 硫化矿的氧化富集熔炼——造钼熔炼	24
2.5 粗金属的火法精炼	26
2.5.1 粗金属火法精炼的目的、方法及分类	26

2.5.2	熔析精炼	26
2.5.3	萃取精炼	27
2.5.4	氧化精炼	27
2.5.5	硫化精炼	27
2.6	耐火材料基本知识	28
2.6.1	概述	28
2.6.2	耐火材料的分类及性质	28
2.6.3	耐火材料的高温使用性能	30
2.6.4	耐火砖的生产过程	32
2.6.5	常用耐火砖	32
2.6.6	不定型耐火材料	33
2.7	重油的基本知识	34
2.7.1	重油的燃烧机理	35
2.7.2	提高重油燃烧效率的措施	36
2.7.3	重油资源分布	36
2.7.4	重油的利用	37
2.7.5	重油——未来的重要能源	37
2.7.6	我国重油工业现状	38
3	铜冶炼基本原理	40
3.1	合成炉熔炼基本理论	40
3.1.1	概述	40
3.1.2	合成炉熔炼特点	40
3.1.3	合成炉熔炼基本原理	40
3.1.4	造钼熔炼的其他方法	44
3.2	转炉吹炼基本理论	44
3.2.1	概述	44
3.2.2	转炉吹炼特点	45
3.2.3	转炉吹炼基本原理	45
3.2.4	铜钼吹炼的其他方法	51
3.3	阳极炉精炼基本理论	53
3.3.1	概述	53
3.3.2	阳极炉精炼基本原理	54
3.3.3	阳极炉精炼的其他方法	58
4	精矿蒸汽干燥工艺	62
4.1	蒸汽干燥基本原理及工艺流程	62
4.1.1	蒸汽干燥基本原理	62
4.1.2	蒸汽干燥工艺流程	62

4.1.3 蒸汽干燥技术优势	62
4.2 蒸汽干燥工艺配置	62
4.2.1 原料输送	62
4.2.2 湿精矿配料	65
4.2.3 精矿干燥	65
4.2.4 精矿输送	67
4.3 蒸汽干燥系统主体设备简介	68
4.3.1 回转式干燥机	68
4.3.2 干燥系统布袋收尘器	68
4.3.3 48m 平面干精矿仓布袋收尘器	70
4.3.4 仓式泵	70
4.4 蒸汽干燥系统附属设备简介	71
5 合成炉熔炼工艺	73
5.1 合成炉炼铜设备及工艺配置	73
5.1.1 合成炉主体设备	73
5.1.2 合成炉主要结构性能	77
5.1.3 合成炉工艺配置	78
5.2 合成炉生产操作实践	92
5.2.1 合成炉工艺控制、作业监控参数	92
5.2.2 合成炉生产工艺作业程序	93
5.2.3 合成炉生产工艺控制程序	95
5.2.4 合成炉生产特殊作业程序	96
5.2.5 常见故障或事故状态	98
5.2.6 合成炉洗、停炉及升温复产作业	102
5.3 合成炉主要经济技术指标	107
6 转炉吹炼工艺	108
6.1 转炉吹炼设备及工艺配置	108
6.1.1 转炉主体设备	108
6.1.2 转炉工艺配置	110
6.2 转炉生产操作实践	112
6.2.1 概述	112
6.2.2 转炉吹炼作业制度	113
6.2.3 转炉生产工艺作业程序	114
6.2.4 转炉生产工艺特殊作业程序	116
6.2.5 转炉常见故障及处理方法	117
6.3 转炉主要经济技术指标	121
6.3.1 送风时率	121

6.3.2	铜的直收率	122
6.3.3	转炉寿命	122
6.3.4	生产效率	123
6.3.5	耐火材料消耗	124
7	阳极炉精炼工艺	125
7.1	阳极炉精炼设备及工艺配置	125
7.1.1	阳极炉主体设备	125
7.1.2	圆盘浇铸主体设备	127
7.1.3	阳极炉工艺配置	129
7.1.4	回转精炼阳极炉的特点	133
7.2	阳极炉生产操作实践	133
7.2.1	概述	133
7.2.2	阳极炉生产作业参数	133
7.2.3	阳极炉生产工艺控制参数	135
7.2.4	阳极炉生产工艺作业程序	135
7.2.5	阳极炉精炼产物及控制指标	137
7.2.6	圆盘生产工艺作业程序	138
7.2.7	阳极炉铸模生产工艺	139
7.2.8	阳极板外形质量与修整	140
7.2.9	阳极炉特殊作业程序	144
7.2.10	阳极炉常见故障及处理方法	145
7.3	阳极炉主要经济技术指标	148
	复习题	150
	复习题答案	192
	参考文献	215

[illegible]

铜是人类发现和使用最早的金属之一。在古代，人们最初发现使用的可能是天然铜。天然铜通常是柴绿色或紫黑色的“石块”。后来人们发现这种“石块”在摩擦和刻画过的地方会呈现黄红色，如果再经锤打，其光泽则更好，还可以经过熔化、模铸、锻造等而制成武器、工具及做成装饰物品。自此以后，随着铜器的出现，在世界文化史上便标志着石器时代的结束和青铜器时代的开始。我国早在公元前两千年就已经大量生产、使用青铜，现北京故宫博物院还存有公元前 1700 年铸成的青铜铸钟。在 1637 年，明朝的《天工开物》一书中就详细记载了我国劳动人民在铜的铸造、锻造、机械加工、热处理、冶炼等方面的成就。在 18~19 世纪，欧洲是铜的主要供给地，19 世纪末美国开始开采大的铜矿，炼铜工业开始逐渐发展。在 20 世纪，前苏联、智利、非洲和加拿大也兴起了炼铜工业。

我国铜矿资源储量居世界第四位。主要矿区分布在江西、湖北、安徽、云南、四川、山西和甘肃等省及西藏东部。我国矿山规模一般不大，比较分散，矿石含铜一般低于1%。我国是最早用湿法炼铜的国家。1698年英国开始采用反射炉炼铜，真正引起炼铜工艺大变革的是19世纪后期即1880年出现转炉以后，用转炉吹炼铜锍，简化了流程，缩短了冶炼周期。20世纪30年代以前世界上一直使用鼓风炉炼铜，但由于传统鼓风炉的炉顶是敞开的，炉气量大，含二氧化硫浓度低，不易回收，造成污染，在50年代中期，出现了直接处理铜精矿的密闭鼓风炉熔炼法。从19世纪末到20世纪20年代，鼓风炉熔炼占主导地位，而20年代到70年代则以反射炉熔炼为主。自60年代以来，以闪速熔炼为代表的一批强化冶炼新工艺逐渐取代了反射炉熔炼。

1.2 铜及其主要化合物的性质

铜在元素周期表中是属于第一副族的元素，原子序数为 29，相对原子质量为 63.57。

铜是一种重要的有色金属，在常温下为固体，新口断面呈紫红色。铜是优良的导电导热体，其导电和导热能力在金属中仅次于银。

铜在常温（20℃）时的密度为 8.89g/cm^3 ，熔点（1083℃）时为 8.22g/cm^3 ，液态（1200℃）时为 7.81g/cm^3 ，铜及其化合物无磁性。

铜熔点 1083℃，沸点 2310℃，在熔点时的蒸气压低于 $1.3 \times 10^{-1}\text{Pa}$ ，因此，在冶炼温度下，铜几乎不挥发。

液态铜能溶解很多气体，如 H_2 、 O_2 、 SO_2 、 CO 、 CO_2 、水蒸气等，因此，精炼铜在铸锭之前，要脱除溶解的气体，否则铜锭中会产生气孔。

铜在常温、干燥的空气中不起变化，在温度高于 458K 时开始氧化，温度低于 623K 时生成红色的氧化亚铜（ Cu_2O ），高于 623K 时生成黑色氧化铜（ CuO ）。长期放置在含有 CO_2 的潮湿空气中表面会生成碱式碳酸铜（ $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ）薄膜，俗称铜绿，这层膜能阻止铜再被腐蚀，铜绿有毒。

铜能溶于王水、氰化物、氯化铁、氯化铜、硫酸铁以及氨水中。铜能与氧、硫及卤素等元素直接化合。

铜能与多种元素形成合金，从而大大改善铜的性质，使之易于进行冷、热加工，并增加抗疲劳强度和耐磨性能。目前已能制备 1600 多种铜合金，主要的系列有：

黄铜为铜锌合金，含 Zn 5% ~ 50%，若黄铜含 Sn 为 1%、含 Zn 30% ~ 40% 则称为锡黄铜，这种合金抗蚀能力强，广泛用于船舶制造。

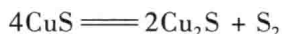
青铜为铜锡合金，含 Sn 为 1% ~ 20%、含 Zn 1% ~ 3%，若合金中含一定量的 P 或 Si，则可称为磷青铜、硅青铜。青铜在机械制造、电器等行业中有广泛的用途。

此外，还有白铜（铜镍合金）、锰铜（锰铜合金）、铍铜合金等。

1.2.2 铜的主要化合物及其性质

1.2.2.1 硫化铜（ CuS ）

硫化铜呈墨绿色，以铜蓝矿物形态存于自然界中，纯固体硫化铜密度为 4.68g/cm^3 ，熔点为 1110℃。硫化铜为不稳定化合物，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 CuS （铜蓝）即可完全分解，生成的 Cu_2S 进入钨中。

1.2.2.2 硫化亚铜（ Cu_2S ）

硫化亚铜是一种蓝黑色物质，在自然界中以辉铜矿形态存在，固态硫化亚铜的密度为 5.87g/cm^3 ，熔点为 1130℃。在常温下， Cu_2S 稳定，几乎不被空气氧化，但加热到 200 ~ 300℃ 时，可氧化成 CuO 和 CuSO_4 ，加热到 330℃ 以上时，可氧化成 CuO 和 SO_2 ，在高温（1150℃）下，向熔融的 Cu_2S 中吹空气时， Cu_2S 可强烈氧化，最终产出金属铜和二氧化硫：



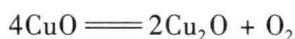
由于铜对硫的亲合力大，在有足够硫（如 FeS ）存在的条件下，铜均以 Cu_2S 形态存

在。在冰铜吹炼的过程中正是利用这一特性使铁、镍先氧化造渣，然后再把 Cu_2S 吹炼成粗铜。 Cu_2S 若与 FeS 及其他金属硫化物共熔，即结合成冰铜，冰铜是炼铜过程的中间产品。

Cu_2S 不溶于水，几乎不溶于弱酸，能溶于硝酸。 Cu_2S 与浓盐酸作用时，逐渐溶解时放出 H_2S 。 Cu_2S 能很好地溶于 FeCl_3 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 CuCl_2 和 HCN （需氧）。

1.2.2.3 氧化铜 (CuO)

氧化铜是黑色无光泽的物质，在自然界中以黑铜矿形态存在，固体氧化铜的密度为 $6.3 \sim 6.48 \text{ g/cm}^3$ ，熔点为 1447°C ，在高温（超过 1000°C ）下， CuO 可分解成暗红色的氧化亚铜和氧气。



在高温下 CuO 易被 H_2 、 C 、 CO 、 C_xH_y 等还原成 Cu_2O 和 Cu （精炼原理）。在冶炼过程中还可被其他硫化物和较负电性金属如锌、铁、镍等还原。

CuO 呈碱性，不溶于水，但能溶于 FeCl_2 、 FeCl_3 、 $\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_3$ 及硫酸、盐酸等稀酸中。

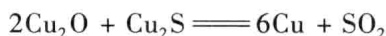
1.2.2.4 氧化亚铜 (Cu_2O)

致密的氧化亚铜成樱红色。有金属光泽。粉状 Cu_2O 成洋红色，在自然界中以赤铜矿形态存在。固态 Cu_2O 的密度为 $5.71 \sim 6.10 \text{ g/cm}^3$ ，熔点为 1235°C 。

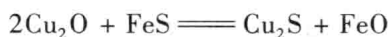
Cu_2O 只有在空气中加热至高于 1060°C 时才稳定。低于这个温度时，部分氧化成 CuO ，当在 800°C 和长久加热时可以使 Cu_2O 几乎全部变成 CuO 。

Cu_2O 易被 H_2 、 C 、 CO 、 C_xH_y 等还原成金属。其他如锌、铁或对氧亲和力大的元素，在赤热时也可使 Cu_2O 还原成金属。

Cu_2O 与某些金属硫化物共热时，发生交互反应：



（这是冰铜吹炼成粗铜的理论基础）



（这是冰铜熔炼的基本反应）

Cu_2O 不溶于水，能溶于 HCl 、 H_2SO_4 、 FeCl_2 、 FeCl_3 、 NH_4OH 等溶剂中，这是氧化矿湿法冶金的基础。

1.2.2.5 铜的铁酸盐

铜的铁酸盐有两种：铁酸铜 ($\text{CuO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) 和铁酸亚铜 ($\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)。铜的铁酸盐不溶于水、氨水及一般溶剂，易被强碱性氧化物或硫化物所分解。



1.2.2.6 铜的硅酸盐

在自然界中，铜的硅酸盐呈硅孔雀石 ($\text{CuSiO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 和透视石 ($\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 的矿物形态存在。这两种矿物在高温下形成稳定的硅酸亚铜 ($2\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$)。硅酸亚铜在 $1100 \sim 1200^\circ\text{C}$ 下融化。硅酸亚铜易被 H_2 、 CO 及 C 还原，也容易被较强的碱性氧化物（如 FeO 、 CaO ）及硫化物（如 FeS 、 Cu_2S ）分解。



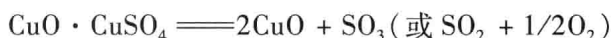
工业上往往向含铜的熔渣中加黄铁矿 (FeS_2) 回收铜，正是基于此反应。硅酸亚铜可溶于浓硝酸及乙酸中，易溶于盐酸，微溶于硫酸。

1.2.2.7 铜的碳酸盐

在自然界中呈孔雀石 [$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$] 和蓝铜矿 [$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$] 的矿物形态存在。这两种化合物在 220°C 以上时完全分解为 CuO 、 CO_2 和 H_2O 。

1.2.2.8 硫酸铜 (CuSO_4)

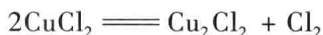
在自然界中以胆矾 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 的矿物形态存在。 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 呈蓝色，失去结晶水变成白色粉末。硫酸铜加热时分解：



硫酸铜易溶于水，可用 Fe 、 Zn 等比铜更负电性的元素从硫酸铜水溶液中置换出金属铜。

1.2.2.9 铜的氯化物

铜的氯化物有两种： CuCl_2 和 CuCl （或 Cu_2Cl_2 ）。 CuCl_2 无天然矿物，人造 CuCl_2 为褐色粉末，熔点为 489°C ，易溶于水。加热至 340°C 分解，生成白色的氯化亚铜粉末。



Cu_2Cl_2 熔点为 $420 \sim 440^\circ\text{C}$ ，相对密度为 3.53，是易挥发化合物。这一特点在氯化冶金中得到应用。 Cu_2Cl_2 的食盐溶液可使 Pb 、 Zn 、 Cd 、 Fe 、 Co 、 Bi 和 Sn 等金属硫化物分解，形成相应的金属氯化物和 CuS 。可用 Fe 将 Cu_2Cl_2 溶液中的铜置换沉淀出来。

1.2.3 铜的用途

铜和铜合金广泛用于电气、机械、建材工业和运输工具制造等。直到 20 世纪 60 年代，铜的重要性和消费量仅次于钢铁。就世界范围而言，铜产品半数以上用于电力和电子工业，如制造电缆、电线、电机及其他输电和电信设备。80 年代后，铜在电信上的部分用途被光导纤维所代替。铜也是国防工业的重要材料，用于制造各种弹壳及飞机和舰艇零部件。

铜能与锌、锡、铝、镍、铍等多种形式合金。黄铜（铜锌合金）、青铜（铜锡合金）用于制造轴承、活塞、开关、油管、换热器等。铝青铜（铜铝合金）抗振能力很强，可用以制造需要强度和韧性铸件。

铜还是所有金属中最易再生的金属之一，目前，再生铜约占世界铜总供应量的40%。

铜可锻、耐蚀、有韧性。铜易与其他金属形成合金，铜合金种类很多，具有新的特性，有许多特殊用途。例如，青铜 [$w(\text{Cu}) = 80\%$ ， $w(\text{Sn}) = 15\%$ ， $w(\text{Zn}) = 5\%$] 质坚韧，硬度高，易铸造；黄铜 [$w(\text{Cu}) = 60\%$ ， $w(\text{Zn}) = 40\%$] 广泛用于制作仪器零件；白铜 [$w(\text{Cu}) = 50\% \sim 70\%$ ， $w(\text{Ni}) = 18\% \sim 20\%$ ， $w(\text{Zn}) = 13\% \sim 15\%$] 主要用作刀具。

铜也存在于人体内及动物和植物中，对保持人的身体健康是不可缺少的。现已知铜的最重要生理功能是人血清中的铜蓝蛋白，它有催化铁的生理代谢过程功能。铜还可以提高白细胞消灭细菌的能力，增强某些药物的治疗效果。铜虽然是生命攸关的元素，但如果摄入过多会引起多种疾病。

铜的化合物是农药、医药、杀菌剂、颜料、电镀液、原电池、染料和触媒的重要原料。

我国是一个铜资源严重不足的国家，各类铜矿山年生产能力约50万吨左右，而铜的冶炼能力在150万吨以上，铜的加工能力则在250万吨以上。2000年以来，我国对铜的需求量大幅提升，成为铜原料和成品铜的进口大国。

1.3 炼铜原料

铜的生产原料分为铜矿物和铜的二次回收料。由前者生产的铜称为矿铜，由后者生产的铜一般称为再生铜。

1.3.1 铜矿资源特点

中国铜矿资源从矿床规模、铜品位、矿床物质成分和地域分布、开采条件来看具有以下特点：

(1) 中小型矿床多，大型、超大型矿床少。大型铜矿床的储量大于50万吨，中型矿床10万~50万吨，小型矿床小于10万吨。超大型矿床是指五倍于大型矿床储量的矿床。按上述标准划分，铜矿储量大于250万吨以上的矿床仅有江西德兴铜矿田、西藏玉龙铜矿床、金川铜镍矿田、云南东川铜矿田。在探明的矿产地中，大型、超大型仅占3%，中型占9%，小型占88%。

(2) 贫矿多，富矿少。中国铜矿平均品位为0.87%，品位大于1%的铜储量约占全国铜矿总储量的35.9%。在大型铜矿中，品位大于1%的铜储量仅占13.2%。

(3) 共伴生矿多，单一矿少。在900多个矿床中单一矿仅占27.1%，综合矿占72.9%，具有较大综合利用价值。许多铜矿山生产的铜精矿含有可观的金、银、铂族元素和铟、镓、锗、铊、镉、硒、碲以及大量的硫、铅、锌、镍、钴、铋、砷等元素，它们赋存在各类铜及多金属矿床中。在铜矿床中共伴生组分颇有综合利用价值。铜矿石在选冶过程中回收的金、银、铅、锌、硫以及铟、镓、镉、锗、硒、碲等共伴生元素的价值，占原料总产值的44%。中国伴生金占全国金储量35%以上，多数是在铜金属矿床中，伴生金

的产量 76% 来自铜矿, 32.5% 的银产量也来自于铜矿。全国有色金属矿山副产品的硫精矿, 80% 来自于铜矿山, 铂族金属几乎全部取之于铜镍矿床。不少铜矿山选厂还选出铅、锌、钨、钼、铁、硫等精矿产品。

(4) 坑采矿多, 露采矿少。目前, 国营矿山的大中型矿床, 多数是地下采矿, 而露天开采的矿床很少, 仅有甘肃白银厂矿田的火焰山、折腰山两个矿床, 而且露天采矿已闭坑转入地下开采, 露采的还有湖北大冶铜山口、湖南宝山、云南东川矿田的汤丹马柱铜矿区。

1.3.2 资源地质特征

1.3.2.1 铜矿床分类

矿床是指由地质作用形成的, 有开采利用价值的有用矿物聚集体。地质矿业工作者为了研究矿床的成因和开发利用则进行矿床分类。

1.3.2.2 铜矿床类型简述

中国铜矿具有重要经济意义、有开采价值的主要是铜镍硫化物型矿床、斑岩型铜矿床、矽卡岩型铜矿床、火山岩型铜矿床、沉积岩中层状铜矿床、陆相砂岩型铜矿床。其中, 前四类矿床的储量合计占全国铜矿储量的 90%。这些类型矿床的成矿环境各异, 有各自的成矿特征。

A 斑岩型铜(钼)矿

该类型是我国最重要的铜矿类型, 占全国铜矿储量的 45.5%, 矿床规模巨大, 矿体成群成带出现, 而且埋藏浅, 适于露天开采, 矿石可选性能好, 又共伴生钼、金、银和多种分散元素, 可综合开发、综合利用。此类矿床成岩成矿时代较新, 主要为钙碱性系列。中国斑岩型铜矿多数矿床是大型贫矿, 铜品位一般在 0.5% 左右。

B 矽卡岩型铜矿

中国矽卡岩型铜矿与国外大不相同, 国外矽卡岩型铜矿占的比例很小, 而中国却占较大的比例, 现已探明矽卡岩型铜矿储量占全国铜矿储量的 30%, 成为我国铜业矿物原料重要来源之一, 仅次于斑岩型铜矿, 而且以富矿为主, 并共伴生铁、铅、锌、钨、钼、锡、金、银以及分散元素等, 颇有综合利用价值。此类岩石系列属于钙碱性—碱钙性系列。

C 火山岩型铜矿

该类型也是我国铜矿重要类型之一, 探明的铜矿储量占全国铜矿储量的 8%, 其中海相火山岩型铜矿储量占 7%, 陆相火山岩型铜矿占 1%。早古生代为我国海相火山岩型铜矿最重要的成矿期, 多为大型铜多金属矿床。

D 铜镍硫化物型铜矿

镁铁质—超镁铁质岩中铜镍矿床既是我国镍矿资源的最主要类型, 也是铜矿重要类型之一。铜矿储量占全国铜矿储量的 7.5%。

该类型矿床成矿环境主要产于拉张构造环境, 受古大陆边缘或微陆块之间拉张裂隙带控制, 在拉张应力支配下, 岩石圈变薄甚至破裂, 引起地幔上涌, 而导致镁铁质—超镁铁

质岩石在地壳浅成环境侵位。中国铜镍硫化物矿床的成矿作用以深部熔离—贯入成矿为主，与国外同类型或类似类型矿不同，岩体小，含矿率高。

E 沉积岩中层状铜矿床

这类矿床是指以沉积岩或沉积变质岩为容矿围岩的层状铜矿床，容矿岩石既有完全正常的沉积岩建造，也包括有凝灰岩和火山凝灰物质（火山物质含量一般不高于 50%）的喷出沉积建造。

F 陆相杂色岩型铜矿床

《中国矿床》称陆相含铜砂岩型铜矿床。这类矿床通常称为红层铜矿。该类型铜矿，目前虽然探明的储量不多，仅占全国铜矿储量的 1.5%，但铜品位较高，以富矿为主，铜品位 1.11% ~ 1.81%，并伴生富银、富硒等元素，有的矿床可圈出独立的银矿体和硒矿体，具有开采经济价值，而且还有一定的找矿前景，值得重视勘察与开发。目前，发现的矿床主要分布于我国西南部和南部中—新生代陆相红色盆地（简称红盆地）。主要成矿地质特征：

（1）陆相含矿杂色岩建造具有独特的结构，通常下部为含煤建造，中部为含铜建造，上部为膏盐建造。

（2）矿床分布于供给矿源的陆源剥蚀区一侧的红层盆地边缘。

（3）矿体产于紫色交互带浅色带一侧。

（4）矿体呈似层状、透镜状。

（5）矿体中金属矿物具有明显的分带性，从紫色一侧到浅色一侧矿物的变化为自然铜矿带→辉铜矿（硒铜矿）带→斑铜矿带→黄铜矿带→黄铁矿带。

矿物是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，能够为人类利用的矿物成为有用矿物。矿石是有用矿物的集合体，其中金属的含量在现代技术经济条件下能够回收和加以利用。

矿石由有用矿物和脉石两部分组成。矿石按其成分可分为金属矿石和非金属矿石。金属矿石是指在现代技术经济条件下可以从其中获得金属的矿石。而在金属矿石中按金属存在的化学形态可分为自然矿石、硫化矿石、氧化矿石、混合矿石。

自然矿石是指有用矿物是自然元素的矿石，如自然金、银、铂、硫等元素。硫化矿石的特点是有用矿物为硫化物的矿石，如黄铜矿、闪锌矿、方铅矿；氧化矿石中有用矿物为氧化物矿石，如赤铁矿、赤铜矿等，混合矿石是指有用矿物既有硫化物也有氧化物的矿石。

矿石中有用成分的含量成为矿石的品位，用百分数表示，矿石品位越高越好，由此可以降低冶炼费用。工业上采取各种选矿方法用于提高矿石品位，以便在冶金工艺中分别处理，简化工艺流程及冶炼费用。

1.3.3 常见铜矿物

铜是一种典型的亲硫元素，在自然界中主要形成硫化物，只有在强氧化条件下形成氧化物，在还原条件下形成自然铜。目前，在地壳中已发现铜矿物和含铜矿物约计 250 多种，主要是硫化物及氧化物、自然铜以及铜的硫酸盐、碳酸盐、硅酸盐类等矿物。常见铜矿物见表 1-1。

表 1-1 常见铜矿物

矿 物	组 成	w(Cu)/%	颜 色	晶 系	光 泽	密度/g·cm ⁻³
斑铜矿	Cu ₅ FeS ₄	63.3	铜红至深黄色	立 方	金 属	5.06~5.08
黄铜矿	CuFeS ₂	34.5	铜黄色	正 方	金 属	4.1~4.3
黝铜矿	Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	45.8	灰至铁灰色	立 方	金 属	4.6
砷黝铜矿	Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	51.6	铅灰至铁黑色	立 方	金 属	4.37~4.49
辉铜矿	Cu ₂ S	79.8	铅灰至灰色	斜 方	金 属	5.5~5.8
蓝 铜	CuS	66.4	靛蓝或灰黑色	立 方	半金属至树脂状	4.6~4.76
赤铜矿	Cu ₂ O	88.8	红 色	立 方	金刚至土色	6.14
黑铜矿	CuO	79.9	灰黑色	单 斜	金 属	5.8~6.4
孔雀石	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	57.3	浅绿色	单 斜	金属至土色	3.9~4.03
蓝铜矿	2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₃	55.1	天蓝色	单 斜	玻璃状近于金刚	3.77~3.89
水胆矾	CuSO ₄ ·(OH) ₆	56.2	绿 色	单 斜	玻璃状	3.9
氯铜矿	Cu ₂ Cl(OH) ₃	59.5	绿 色	斜 方	金刚至玻璃	3.76~3.78
硅孔雀石	Cu ₂ SiO ₃ ·2H ₂ O ₃	36	绿至蓝色	立 方	玻璃至土色	2.0~2.4
自然铜	Cu	100	铜红色	立 方	金 属	8.95

硫化矿分布最广，属原生矿，主要有辉铜矿（Cu₂S）、铜蓝（CuS）、黄铜矿（CuFeS₂）等，炼铜的主要原料。氧化矿属于次生矿，主要矿物有赤铜矿（Cu₂O）、黑铜矿（CuO）、孔雀石[CuCO₃·Cu(OH)₂]等。自然铜在自然界中存在较少，够得上冶炼经济品位的氧化矿当今也越来越少，世界铜产量的 90% 来自硫化矿，约 10% 来自氧化矿，少量来自自然铜。常见的具有工业价值的铜矿物见表 1-2。

表 1-2 常见的具有工业价值的铜矿物

类 别	矿 物	组 成	w(Cu)/%	颜 色	密度/g·cm ⁻³
硫化铜矿	辉铜矿	Cu ₂ S	79.8	铅灰至灰色	5.5~5.8
	铜 蓝	CuS	66.4	靛蓝或灰黑色	4.6~4.76
	斑铜矿	Cu ₅ FeS ₄	63.3	铜红色至深黄色	5.06~5.08
	砷黝铜矿	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	51.6	铜灰至铁黑色	4.37~4.49
	黝铜矿	Cu ₂ As ₄ S ₁₃	45.8	灰至铁黑色	4.6
	黄铜矿	CuFeS ₂	34.5	黄铜色	4.1~4.3
氧化铜矿	赤铜矿	Cu ₂ O	88.8	红 色	6.14
	黑铜矿	CuO	79.9	灰黑色	5.8~6.4
	蓝铜矿	2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	68.2	亮蓝色	3.77
	孔雀石	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	57.3	亮绿色	4.03
	硅孔雀石	CuSiO ₃ ·2H ₂ O	36.0	绿蓝色	2.0~2.4
	胆 矾	CuCO ₃ ·4H ₂ O	25.5	蓝 色	2.29

现金开采的铜矿石品位为 1% 左右，坑内采矿的边界品位为 0.4%，露天采矿可降至 0.2%。矿石一般先经过浮选，得到含铜 w(Cu) = 20%~30% 的精矿后再冶炼。