



十种常用有色金属



铜 与 镍



冶金工业出版社



十种常用有色金属

铜与镍

江苏工业学院图书馆(订本)

藏书章 冶金常识编写组 编

冶金工业出版社

十种常用有色金属
铜与镍
(修订本)

《冶金常识》编写组 编

*

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

*

开本小 32 印张 2 1/8 字数 42 千字
1972年11月第一版 1978年10月第二版第三次印刷
印数 41,471~59,070 册
统一书号: 15062·3014 定价(科二) 0.17 元

前 言

为了适应冶金工业发展的需要，我们编写了《十种常用有色金属》普及性的读物，全书内容包括十种金属：铝、铜、镍、铅、锌、锡、锑、汞、钨与钼。主要介绍十种金属的生产发展概况，采矿与选矿概况，各金属的性能、用途、生产方法、生产的主要设备和主要技术经济指标等。全书分为七个分册：《有色金属的采矿与选矿》；《铝》；《铜与镍》；《钨与钼》；《铅与锌》；《锡、锑、汞》；《有色金属合金与压力加工》。供冶金工人、干部和技术人员参考。

全书从一九七二年起，已陆续出版。现在，为了满足广大读者的要求，我们对书中的内容又作了一次修改和补充，修订再版，仍按七个分册出版。

参加全书编写和协助的单位有：中南矿冶学院、长沙有色冶金设计院、北京有色冶金设计院和冶金工业部情报标准研究所等。

此分册是该书的《铜与镍》部分。

由于我们水平有限，书中可能会有不少的缺点和错误，恳切希望广大读者批评指正。

《冶金常识》编写组

一九七四年一月

目 录

| | |
|-----------------------|----|
| 铜的生产 | 1 |
| 一 概述..... | 1 |
| 二 铜的性质和用途..... | 2 |
| 三 铜的矿物、矿石和精矿..... | 3 |
| 四 铜的生产方法..... | 5 |
| 五 铜的火法冶炼..... | 6 |
| 六 冰铜的吹炼..... | 17 |
| 七 粗铜的精炼..... | 21 |
| 八 铜的湿法冶炼..... | 28 |
| 九 铜冶金发展动向..... | 31 |
| 镍的生产 | 34 |
| 一 概述..... | 34 |
| 二 镍的性质和用途..... | 34 |
| 三 镍的矿物、矿石和精矿..... | 35 |
| 四 镍的生产方法..... | 38 |
| 五 铜镍硫化矿的造锍熔炼..... | 40 |
| 六 铜镍锍的吹炼..... | 45 |
| 七 铜镍高锍的铜镍分离..... | 46 |
| 八 从磨浮镍精矿中制取纯镍..... | 48 |
| 九 氧化镍矿(硅镍矿)的造锍熔炼..... | 53 |
| 十 镍的湿法冶炼..... | 56 |
| 十一 镍冶金的发展动向..... | 59 |

銅 的 生 产

一 概 述

铜是人类发现和使用最早的金属之一。在古代，人们最初发现的可能是天然铜。天然铜通常是紫绿色或紫黑色的“石块”。人们发现这种“石块”在摩擦和刻划的地方会呈现黄红色，经过锤打，其光泽则更好，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。铜器的出现，在世界文化发展史上便标志着石器时代的结束和青铜时代的开始。

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年铸成的青铜铸件。在1637年，明朝的《天工开物》一书中详细记载了我国劳动人民在铸造、锻造、机械加工、热处理、冶炼等方面的成就，其中有一种名叫蜡铸法的铸造技术，直到现在还使用。

在十八、十九世纪，欧洲是铜的主要供给地，十九世纪末美国开始开采大的铜矿，炼铜工业逐渐发展。在二十世纪，苏联、智利、非洲和加拿大也兴起了炼铜工业。

1960年，国外精铜产量约为430万吨，到1972年增至785万吨，其产量超过十万吨的国家有：比利时（31.2万吨），西德（39.9），英国（18.1），扎伊尔（21.9），赞比亚

(61.5), 日本 (81.0), 加拿大(49.6), 美国(198.9), 智利 (42.0), 澳大利亚(16.9), 苏联 (122.4) 南斯拉夫(13.0)。

二 铜的性质和用途

铜是一种重要的金属，在应用上仅次于铁和铝。由于铜具有良好的导电性、导热性、延展性等，在电器、船舶、车辆制造、输电、机械和家庭用具的生产等部门都需要铜。在所有的电气设备中，我们均可以看到铜，从最大的发电机到助听器内头发一般细的小线圈，电线，电缆，所有这些都是用铜制造的。制造一部3000千瓦的发电机约需 580 公斤铜，一条100公里长的150毫米²的输电线约需铜400吨。

铜的原子量为63.57，熔点为 1084°C，沸点为 2310°C，比重为8.89。铜具有良好导电性，在各种金属中仅次于银，所以铜在电力工业中是一种极重要的材料。

铜的导热性好，耐腐蚀性也好。铜的导热性能在金属中仅次于银和金，导热率为银的73%。热水和冷水对铜都不起作用，所以铜制的水管和铜器皿经久不坏。铜的延性、展性都很好，所以铜易拉成细丝，压成薄片和加工成各种形状。

铜易与其他金属组成合金，其合金具有许多优良的特性，使铜的用途更为广泛。铜及铜合金在机械工业中是重要的材料。以锌为主要添加元素的铜基合金叫做黄铜，可以加工成棒材、管材、板材及线材，也可以铸造成各种各样的零件。以镍为主要添加元素的铜基合金叫做白铜。白铜具有良好的机械性能而且光泽白亮，用于制造医疗器械、光学仪

器、发电设备的冷凝器、热交换器及日用艺术品等。除黄铜、白铜以外的铜基合金应提到青铜。青铜的铸造性、抗腐蚀性能均好，所以广泛地使用。无氧铜用于制造超高频电子管。铜粉可用作粉末冶金材料和用于制造防腐油漆。此外，铜的化合物在农业上用作杀虫剂和除草剂，以及在化工、染料、玻璃等工业中得到广泛使用。

由上述可以看出，铜在工业建设上有着重要意义。铜及其合金的应用范围仅次于钢铁，在有色金属中，铜的产量和消耗量仅次于铝。在工业发达的国家，铜铝与钢铁的耗用量有一定的比例，一般来说为百分之一左右。因此，随着钢铁工业的发展，有色金属生产也必须大力发展。

三 铜的矿物、矿石和精矿

铜在地壳中的含量不大，约为万分之一。在自然界中，天然铜产出极少，铜主要是以化合物形态存在。目前，已经发现 170 多种含铜的矿物。铜矿石大致可分为三大类：天然铜、硫化铜矿及氧化铜矿。世界铜产量约有 80% 是由铜的硫化矿制取出来的。

(一) 硫化铜矿

硫化铜矿中的主要铜矿物是黄铜矿。黄铜矿类型的硫化铜矿约占世界铜矿的三分之二，是炼铜最重要的天然原料。矿石中除主要矿物黄铜矿 (CuFeS_2) 以外，通常还含有黄铁矿、磁硫铁矿、闪锌矿、方铅矿等伴生矿物，并常含有硒、碲、金、银等稀贵元素的矿物。矿石中的脉石矿物则以

石英为最普通，方解石、长石、绿泥石及重晶石也常有发现。由此可见，硫化铜矿的成分是复杂的。

从冶金的观点来看，硫化铜矿可认为是由铜和铁的硫化物、某些伴生元素的化合物和脉石三者组合而成。

(二) 氧化铜矿

在自然界中，氧化铜矿常在地表附近形成矿床而产生。它们是由原生硫化铜矿受风化、地下水等作用后，变化或分解而成的。铜的主要氧化矿物是赤铜矿和孔雀石，其次是蓝铜矿。伴生矿物多为铁的氧化物，脉石矿物以石英最为常见。

氧化铜矿分布虽广，但大型矿床少，因此没有硫化铜矿那样重要。

铜矿石按其品位可分为富矿（含铜大于2%）、中等矿（含铜1~2%）和贫矿（含铜小于1%）。这种概念也是相对而言的。随着资源情况和选矿技术的发展，含铜低至0.3~0.5%的铜矿床也可开采。所以，工业上提炼出一吨金属铜往往需要耗用几十吨至上百吨的铜矿石，可见铜矿的采掘量是巨大的。

我国铜矿资源丰富，辽宁、甘肃、四川、云南、江西、湖北、湖南、广东、福建和台湾都有铜矿资源。但高品位铜

硫化铜精矿成分 (%)

表 1

| 精 矿 | Cu | Fe | S | SiO ₂ | CaO | MgO | Zn |
|-------|-------|-------|-------|------------------|------|------|----|
| 1# 精矿 | 15.0 | 26 | 28 | 14 | 4~5 | — | — |
| 2# 精矿 | 16.32 | 26.6 | 24.73 | 17.14 | 2.44 | — | — |
| 3# 精矿 | 17.2 | 24.35 | 24.85 | 17.84 | 1.78 | 0.94 | — |
| 4# 精矿 | 11 | 11 | 8 | 20 | 11 | 4 | — |
| 5# 精矿 | 13 | 31 | 36 | 6 | 2 | — | 4 |

矿发现较少，大多数还是低品位矿，所以送往冶炼的主要是经过浮选的铜精矿。冶炼厂所用的铜精矿一般成分如表 1 所示。

四 铜的生产方法

在古代，人们最初可能是在表露于地面的富氧化铜矿上燃烧篝火时，发现灰烬中有铜粒，从而知道选择富氧化铜矿炼铜。起初，人们只是将氧化铜矿石堆放到燃烧的木柴火堆上而炼出铜。通过劳动实践，又逐步改进方法，把木柴和矿石顺序地一层隔一层的堆起来熔炼，进而人们又发现将木柴和矿石一层一层地堆放到地坑内，并用竹管往地坑内鼓风进行熔炼，这样可使熔炼效果更好。随着对铜的需用量的增加，便要求建立更大的炼铜地坑，并在地坑周围砌起墙，经逐步改进，便产生了用木炭作燃料熔炼氧化铜矿的“熔矿炉”，渐渐便演变成现在采用的鼓风机。

目前，铜的冶炼方法主要有两种，即火法和湿法。火法炼铜是利用铜与脉石在高温条件下的物理化学作用的不同，使它同脉石分离，最后得到金属铜。湿法炼铜则是利用铜与脉石在一定条件下在化学溶剂中的溶解度不同，使它与脉石分离。将浸出溶液作进一步处理后便可得到金属铜及其伴生金属。目前，仍以火法为主，据估计世界产铜总量中有80~90%是采用火法生产的。

五 铜的火法冶炼

火法炼铜有鼓风炉熔炼、反射炉熔炼及电炉熔炼等。目前，国外多用反射炉熔炼，我国反射炉和鼓风炉并用。电炉熔炼耗电较大，仅在电力资源丰富地方或处理难熔矿石才采用。

图1示出的是反射炉熔炼——转炉吹炼——火法精炼——电解精炼的火法炼铜一般流程。

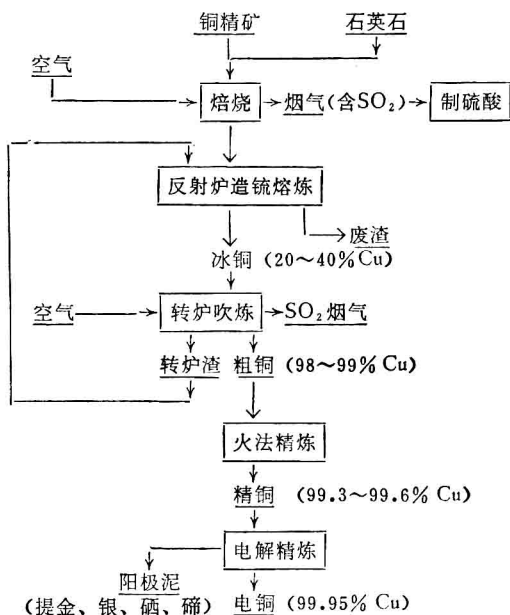


图1 火法炼铜（反射炉熔炼）一般流程

现将从硫化铜精矿生产铜的各主要步骤情况，分别叙述于后。

(一) 铜精矿的焙烧

通常，进入冶炼厂的铜精矿来自多个选矿厂。为了使冶炼过程能获得物理化学性质适合的稳定的炉料，配料是必不可少的工序。根据工厂规模和运输的情况，一般采用料仓-圆盘配料或料场配料，也有的工厂采用矿浆配料。

配好的炉料或铜精矿，常常需要干燥。干燥目的就是加热脱除精矿中的水分。精矿的干燥可以单独进行或结合焙烧进行。当单独进行精矿干燥时，多采用圆筒干燥窑或气流干燥设备。若要求干燥至百分之一左右的水分，则常采用圆筒干燥窑预先干燥后，再继之以气流输送干燥。

有时，为了满足和改善下一步冶炼工序的工艺，还将粉状炉料进行制粒或成块。

低品位的铜精矿常需要进行氧化焙烧，其主要目的是烧去部分或全部硫，以利于熔炼时产出合适品位的冰铜。过去多采用多膛炉进行焙烧，现在有的工厂已采用铜精矿氧化沸腾焙烧。按其脱硫程度可分为部分氧化焙烧和全氧化焙烧。全氧化焙烧所产焙砂须与精矿混合熔炼才能产出冰铜。按焙烧温度的高低又可分为高温（850~930°C）、中温（700~850°C）和低温（630~700°C）三种，前二种属于全氧化焙烧，部分氧化焙烧只能用低温，这是由于沸腾层系氧化物和硫化物混合组成，容易发生熔结。沸腾焙烧炉生产率较高，炉气含SO₂较浓，有利于制酸，并可以利用其余热生产蒸汽。

焙烧产出的焙砂（或烧块），送去进行造钼熔炼。

(二) 造铊熔炼

熔炼是火法炼铜的主要富集工序。由于铜对硫的亲合力大于铁对硫的亲合力，而铜对氧的亲合力却小于铁对氧的亲合力，所以，在有空气中的氧存在和高温度的条件下，硫化铜矿中的铜几乎全部变成为在高温下稳定的硫化亚铜(Cu_2S)，而硫化铁则大部分氧化成为在高温下稳定的氧化亚铁(FeO)。一部分未氧化的硫化亚铁(FeS)，就与硫化亚铜(Cu_2S)相互熔合成为一种硫化物熔体(以 Cu_2S 和 FeS 为主体)，这就是铜铊，通常叫做冰铜，是生产过程中的中间产物。

熔融状态的冰铜对贵金属是一种良好的熔剂，所以在造铊熔炼过程中原料里的贵金属几乎全部进入冰铜。原料含的某些伴生金属硫化物也会熔解到冰铜中。此外，工厂产出的冰铜通常还含有一定量的磁性氧化铁(Fe_3O_4)。

原料中大部分的铁，在造铊熔炼过程最终都会成为氧化亚铁(FeO)， FeO 是一种碱性氧化物，就跟脉石中及熔剂中的酸性氧化物 SiO_2 造成一种以 FeO 与 SiO_2 为主体的氧化物熔体，叫做炉渣。脉石及熔剂中的其它造渣成分(如 CaO ， MgO ， Al_2O_3 等)，也同时进入炉渣。此外，固体燃料(焦炭或煤)中的灰分也进入炉渣。在生产中最值得注意的一个问题，就是如何使铜和贵金属等有价金属尽量少地进入到炉渣。

由此可见，造铊熔炼的目的就是要炼出两种熔融状态的产物：一种是把原料中含有的铜和贵金属都富集在一起的冰铜；另一种是把原料中含有的大部分铁和全部脉石成分及固体燃料灰分都聚集起来的炉渣。前者是我们希望得到的中间

产物，后者是从炉中排除的废弃物。

冰铜熔体和炉渣熔体，由于相互不溶解，故可以在熔池（或前床）中分成两层：上层是比重较小（约3.2~3.8）的炉渣熔体，下层为比重较大（约4.5~5.5）的冰铜熔体。因此，可以达到使原料中的铜与大部分的铁及其它无价值成分实行分离的目的。

由上述可看出，原料中绝大部分的铜是呈 Cu_2S 形态富集在冰铜中，而铁则根据残留在 FeS 中的硫量而分配在冰铜与炉渣之间。残余的硫愈多，转入冰铜中的铁就愈多，冰铜的品位也就愈低。残余硫的多少，决定于不同熔炼条件下的脱硫率。所以，控制过程的脱硫率，就可控制冰铜的品位。

所谓冰铜品位，就是冰铜中的含铜量对冰铜重量的百分比率。例如，100公斤冰铜中含有 30 公斤铜，则冰铜品位等于 $\frac{30}{100} \times 100$ ，即 30%。通常，炼铜厂生产的冰铜，其品位控制在 20~40% Cu。冰铜品位太低，下一步吹炼时除铁除硫就要消耗较多的压缩空气，同时产出的转炉渣量多，炉温也过高；冰铜品位太高，则炉渣中铜的损失就增大。

实践中总结了一条经验：即炉渣中含铜量与冰铜中含铜量之比应保持在 1 : 100，也就是说熔炼得到含铜 30% 的冰铜，炉渣中含铜 0.3% 是正常的。另外，为了使炉渣与冰铜较好地分离，要求造出一种熔点适当、粘度低和比重小的炉渣，所以常在造钼熔炼时把石灰石、石英等作为熔剂配好加在炉料中。

在生产实践中，造钼熔炼通常可在反射炉、鼓风机或电炉中进行。一般，大型铜厂多采用反射炉，中小型铜厂采用

鼓风炉，处理难熔的高镁铜矿也可用电炉。

1. 反射炉（造钽）熔炼 目前，世界上大部分的铜精矿是采用反射炉熔炼，因为反射炉较适合于处理细粒的浮选精矿等。反射炉（图2）是一个用耐火砖砌成的熔炼室，炉头一端装有燃烧器（又叫烧嘴）用于燃烧粉煤或重油，并用预热空气（ $300\sim 500^{\circ}\text{C}$ ）助燃，使炉内高温带达到 $1500\sim 1550^{\circ}\text{C}$ 。高温带炉墙上设有许多装料口，炉料在炉内形成料坡。炉料被加热熔化并发生物理化学变化后，即流入

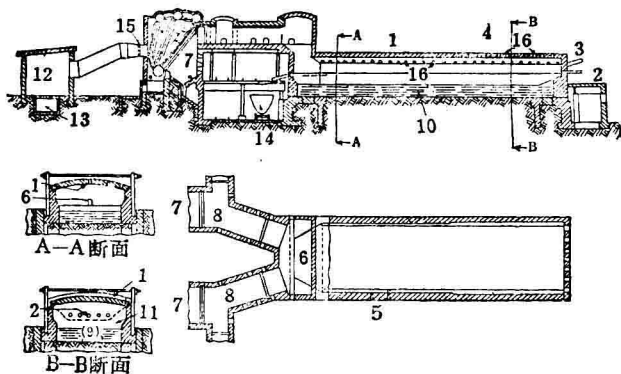


图 2 反射炉构造图

- 1—炉顶；2—烧嘴；3—转炉渣装入口；4—装料带；5—冰铜放出出口；6—放渣口；7—废热锅炉；8—烟道；9—熔池；10—炉床；11—料坡；12—主烟道；13—坑道；14—渣车；15—烟道闸门；16—装料口

熔池，最后在尾部熔池区进行冰铜与炉渣的分层，如图3所示。熔融的冰铜和炉渣按时分别地由冰铜口及放渣口放出。从反射炉尾部出来的炉气，其温度高达 $1250\sim 1350^{\circ}\text{C}$ 。为了利用炉气舍的热，常在炉尾一端设有废热锅炉，废热锅炉后建有换热器，使空气预热到 400°C ，送往炉头一端的烧嘴作为助燃空气。

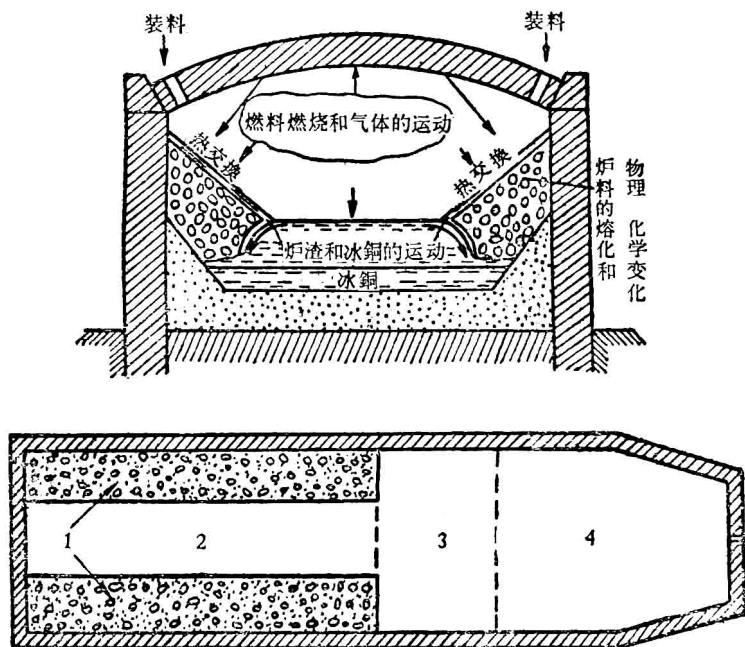


图3 反射炉熔炼示意图

1—料坡区；2—前部熔池区；3—中部熔池区；4—尾部熔池区

铜精矿可以直接送反射炉熔炼，也可以经过沸腾焙烧炉部分脱硫后再进行造钼熔炼。是否预先焙烧，决定于精矿中的铜硫比。一般，铜硫比大于1:1.5就不经焙烧。当熔炼焙烧精矿时，铜精矿首先在沸腾炉内进行氧化脱硫，随后将焙砂趁热装入反射炉内的熔炼区。在此情况下，熔炼的主要脱硫反应是磁性氧化铁的分解和造渣：

$$3\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{FeS} + 5\text{SiO}_2 = 5(2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2) + \text{SO}_2 \text{ (吸热)}$$

熔炼过程的脱硫率较低（15~25%）。炉内熔炼区生成的炉渣，流往沉降区经澄清后，从渣口放出。

焙砂中的铜主要呈 Cu_2S 状态存在，熔炼时就与未氧化造渣的 FeS 一起组成冰铜，原料中的贵金属几乎全部溶解在冰铜中。

熔炼生精矿时，精矿是直接（或干燥后）装入反射炉。熔炼的主要反应是高价硫化物的分解，熔炼过程的脱硫率较高（35~50%）。

关于反射炉熔炼生精矿和熔炼焙砂的比较 表 2

| 指 标 | 精 矿 熔 炼 | | 焙 砂 熔 炼 | |
|----------------------------------|----------------|-----------------|---------------------------|--------------|
| | 美 国 | 苏 联 | 加 拿 大 | 苏 联 |
| 炉料含铜(%) | 24~27 | 12~24 | 12.2 | 12.2 |
| 冰铜品位(%) | 34~36 | 18~32 | 26.3 | 24.1 |
| 渣含铜(%) | 0.41~0.44 | 0.38~0.41 | 0.44 | 0.41 |
| 脱硫率(%) | 35~50 | 35~50 | 15~25 | 15~25 |
| 燃料消耗,占炉料(%) | 22~24 (天然气) | 24~24.6 (粉煤) | 11.2 (粉煤) | 15.8 (粉煤) |
| 熔炼回收率(%) | 96.7~97.7 | 97.5~98.5 | 94.5~96.5 | 93.6 |
| 单位生产率 (炉料吨/米 ² ·天) | 2~2.7 (湿料) | 4.8~5 (干燥料) | 4.9~7.1 (预热至180~300°C) | 7.3 |