

铜的选矿

中南矿冶学院选矿教研组 編

冶金工业出版社

74.948
140
C2

銅 的 选 矿

中南矿冶学院选矿教研組 編

3150/15

冶金工业出版社

鋼的選礦

中南冶學院選礦教研室 編

—— * ——

冶金工業出版社出版 (北京市燈市口甲 45 號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 號

冶金工業出版社印刷廠印 新華書店發行

—— * ——

1959 年 8 月第一版

1959 年 8 月北京第一次印刷

印數 2,520 冊

850×1168·1/32·190,000 字·印張 5 $\frac{10}{32}$

—— * ——

統一書號 15062·1799 定價 0.69 元

內 容 提 要

本書闡述了銅矿石的选矿問題，介紹了这类矿石的破碎、磨矿和分級的知識；着重討論了硫化銅矿石和氧化銅矿石的浮选工艺，並列举了国内外一些选銅厂的实例，关于銅的选矿研究的近况也做了介紹。

本書适于在选銅厂工作的技術人員、工段长和技術工人学习参考，亦可作为訓練班的教材。

目 录

前言	1
第一章 緒論	3
第一节 銅在国民經济中的地位和作用	3
第二节 我国銅的选矿工业的发展情况	4
第三节 銅的矿物和矿石	8
第二章 选別前矿石的准备	14
第一节 概述	14
第二节 破碎	18
第三节 篩分	31
第四节 破碎流程	37
第五节 磨矿	40
第六节 分級	55
第七节 磨矿流程	62
第三章 选矿方法及其設備	64
第一节 概述	64
第二节 浮游选矿	66
第三节 粒浮选矿	98
第四节 水冶法	106
第四章 銅的选矿实践	114
第一节 硫化銅矿的浮选	114
第二节 含銅的多金屬硫化矿的浮选	135
第三节 氧化銅矿的浮选	157

前 言

在“以鋼为綱、全面跃进”的方针推动下，我国銅鋁工业正在迅速发展着。

全国范围内蓬勃开展的全民炼銅运动，使我国的炼銅工业进入了一个新的发展阶段，而銅的选矿問題就显得更加重要了。自去年大跃进以来，全国各地正在加紧建設不少大型的和中型的机械化选矿厂，而洋土結合的小型选矿厂和土法选矿厂則更是遍地开花。

选矿的技术干部队伍也迅速扩大了，迫切需要在最短期间掌握这方面的理論和生产技术。編写一本比較全面而系統的专门書籍来适应这种需要，特别是作为在选矿厂工作的初級技术人員、工段长和技术工人的学习資料，是十分必要的。这便是我們編写本書的动机。

考虑到我国銅矿石的特点是品位低和难选，因此本書內容的重点放在浮选工艺和实践，有关土法选矿的知識只作了简单的介紹。

在本書編写当中，我們力图对我国选銅的实践进行全面的介紹和必要的分析。但是由于我們现有的資料有限，还不能全面反映我国1958年大跃进中选銅方面的成就，为了帮助讀者了解各种类型的銅矿石的选矿方法和实践，在本書中还适当的介紹了一些国外选矿厂的生产实例。

本書是由中南矿冶学院选矿教研組部分教师 and 选矿专业四年級部分学生共同編写的，因此这本书也是在教育革命运动中师生

合作的一个結晶。

由于時間匆促和編者能力所限，書中的錯誤和缺点在所難免，尙希讀者給予指正和批評。

編者

1959年5月15日 于长沙

第一章 緒 論

第一節 銅在國民經濟中的地位和作用

自从党中央和毛主席提出使我国在十五年或者更短的时间內，在鋼鐵和其他主要工业产品的产量方面赶上和超过英国的伟大号召以后，在全国范围内，掀起了一个全民办工业的高潮。

1958年我国工农业生产的大跃进，特别是一千零七十万吨鋼的生产任务超额完成，显示出了我国社会主义制度的无比优越性和伟大的生命力。1958年11月召开的党的八届六中全会根据1958年大跃进的經驗和我們现有的物质基础，制定了更加雄伟的以鋼、煤、粮、棉四大指标为中心的1959年发展国民經济的計劃。

在以鋼为綱全面跃进的方針下，我国的有色金属工业也得到了巨大的发展。但是銅的生产不足，却成了国民經济大跃进中的一个新的薄弱环节。

銅是电力工业和机械工业的重要原料。为满足工农业大跃进的需要。电力工业和机械工业的发展不仅需要大量的鋼鐵，而且需要大量的銅鋁。制造一万瓩发电设备，通常需要五百吨至六百吨銅和鋁。如果把变电设备和輸电綫路計算在內，共需要八百吨銅和鋁。制造一台拖拉机需要31公斤銅，制造一辆解放牌汽車也需要21公斤銅。因此世界上工业发达的国家，銅和鋁的生产都同鋼的生产保持一定的比例，通常每生产一千万吨鋼，就要生产二十五万吨甚至三十万吨銅和鋁。

銅在國民經濟中占據着這樣重要的地位，廣泛应用于各個工業部門，這是由於銅具有一些重要的性質：

(1) 銅的導電度高，仅次于銀。由於銅的價格比銀便宜得多，所以銅是電力工業中最主要的金屬材料。估計用于電力工業方面的銅約占銅的總產量的百分之五十以上。

(2) 銅易導熱，化學穩定性強，能耐腐蝕。銅的這些特性使它廣泛应用于有機化學工業。如制糖用的真空器，釀酒用的蒸餾鍋等都是用銅製造的。

(3) 銅能和其他金屬（鋅、錫、鋁、鎳等）熔成工業上用途很廣的合金。

銅和鋅的合金是黃銅，一般用來製造薄件、管子、子彈壳、鐘表零件和其他精密機械和儀器的零件。銅和錫的合金是青銅，可供製造重要的鑄件和軸承等。銅的其他合金也都是很有用的材料。

以上說明銅的重要意義。隨着我國國民經濟的飛躍發展，銅的需要量將迅速增長。因此，高速度發展煉銅工業，迅速改變目前生產水平的落後狀況，便成為我國人民一項戰鬥的任務。

第二節 我國銅的選礦工業的發展情況

銅是世界上發現最早的金屬之一。在世界文化發展史上銅器的出現标志着石器時代的終結和青銅時代的開始。

根據歷史記載，我國遠在紀元前兩千到兩千五百年的時候就已經開采銅礦，例如在北京故宮博物館還保存着紀元前一千七百年鑄造的青銅鑄件，這足以說明我國的煉銅工業有着悠久的歷史。

然而在封建帝王和國民黨反動派統治的年代里，我國的工業長時期处于十分落後的状态，選銅工業更是毫無基礎。

解放以前，日本侵略者為了掠奪我國的資源，曾經在東北及

台灣建設了几个銅矿选矿厂。这些选矿厂在某种程度上虽然符合现代的要求，但在日本侵略者占领的矿山企业里当时是以純粹的帝国主义掠夺的方式来經營的。这些厂矿的共同特点是：设备陈旧，生产流程不合理，技术落后，生产效率很低，劳动条件恶劣，充分反映了帝国主义掠夺者的本质。而在国民党統治地区，就是在一些有名的銅矿区，如湖北，四川，云南等，也几乎没有近代化的选矿工业。

中华人民共和国成立后，党和政府立即采取了一系列的措施，以便迅速恢复东北被破坏的矿山企业。并开始建設新的矿山企业。自1950年起先后投入生产的有夹皮沟金銅矿，石咀子銅矿，青源銅矿等选矿厂。从此我国銅矿的产量和质量便开始有计划地增长。

经过三年的国民經济恢复时期以后，从1953年起在我国开始了伟大的发展国民經济的第一个五年計劃。在第一个五年計劃建設期間，我国除改建和扩建了原有的銅矿选矿厂外，还完成了湖北、安徽、河北等銅矿基地的建設，开始了在甘肃、云南、山西等銅矿基地的建設，这些企业的建設为我国炼銅工业奠定了基础。

由于旧厂的不断扩建和新厂投入生产，我国銅矿选矿厂的生产能力迅速地增长。如果以1952年的原矿处理量为100%則历年的处理量增长比例如下：1953年为138%，1954年为160%，1955年为243%，1956年为272%，1957年为358%，1958年为475%。这样的增长速度是很高的。

1958年由于我国工农业生产的大跃进，特别是鋼产量加一番以后，要求銅的生产成倍地增长。因此中共中央和国务院发布了“关于大力发展銅鋁工业的指示”，在全国范围内掀起了一个全民炼銅的高潮。根据中央指示的在规模上大中小并举、在技术上洋法生产与土法生产并举的建設方針，我国除加速建設了一些现代化的銅矿选矿厂外，在各地区大量地开展了土法选銅。冶金工

业部有色冶金設計总院在怀柔东风銅矿所設計的土法选銅厂和寿王坟半土半洋小型选矿厂，为在全国遍地开花提供了宝贵的經驗。

我国銅矿选矿厂不仅在数量上迅速地增长，而且在生产技术水平和技术經濟指标方面，也得到了巨大的提高和发展。1952年全国銅矿的平均选矿采收率为83.77%，而1958年則提高到了88.16%，其中石咀子銅矿选矿厂1958年的平均采收率为96.75%，最高曾达到98.17%，銅官山銅矿选矿厂的平均采收率为93.79%，最高曾达到97.77%。

为了适应銅矿生产任务的增長，各个选矿厂在挖掘生产潛力，提高处理量方面，采取了許多有效的措施：例如縮小破碎产品的粒度，一般由10~12公厘降低到6~8公厘；提高磨矿机轉速，最高达到临界轉速的90~95%，现正在现场进行超临界轉速的試驗；推广鉄球合理装入，以及提高磨矿机作业率。寿王坟銅矿选矿厂球磨机的处理能力58年曾达到設計能力的152.4%，华銅銅矿选矿厂球磨机轉率1958年上半年曾达到98.27%，达到了国内最先进的水平。因此选矿厂的处理量普遍都有很大增長，一般較原設計处理量提高了50—100%。

水力旋流器在我国銅矿选矿厂中得到了广泛的应用，石咀子銅矿选矿厂利用水力旋流器作控制分級，采收率提高了1%，处理量提高了10%。某銅矿选矿厂在一段磨矿中增加独立浮选槽，并利用水力旋流器控制分級。这样便在生产实践中提高了磨矿生产能力20%以上，混合精矿中銅的采收率約增加2%，硫的采收率提高了5%以上。該厂在混合精矿再磨循环中采用水力旋流器作預先分級，由于硫精矿中的含銅量由原来的0.13%~0.15%降为0.09%，銅的采收率提高了1~2%；由于銅精矿中含硫量的降低，銅精矿的品位亦由原来的8~9%提高到11~12%。

采用浮选与水冶联合流程处理难选的氧化銅矿，取得了良好的成績，例如用浮选和氨浸联合流程处理云南地区的氧化銅矿，

較单独浮选流程采收率可提高40%左右。湖北某铁矿有相当数量的矿石中含有氧化銅矿，应用单独的浮选方法采收率极低。采用焙烧和浮选联合流程的試驗室研究和半工业性試驗正在加紧地进行，并已取得一定的成果。

矿物原料的综合利用，是社会主义企业的重要特征，1953年以来，我国各銅矿选矿厂在回收黃铁矿，磁铁矿，輝鉬矿、白鎢矿、鎢英石、綠柱石及其他稀有矿物方面，取得了巨大的成績。采用浮选和磁选联合流程，从銅浮选尾矿中回收磁铁矿，在寿王坟銅矿和华銅銅矿等，取得很高的工艺指标。寿王坟磁选后的鉄精矿，含鉄曾达到65.776%，采收率达到93.45%。銅矿中經常伴生的微量的輝鉬矿，已經在生产实践中加以回收，并且根据各矿区矿石的特点，采用了不同的銅鉬混合精矿的分离方法，制定了合理的工艺流程。某矿采用硫化鈉（ Na_2S ）作为抑制剂来分选銅鉬混合精矿，分选作业銅的采收率达到97~98%，鉬的采收率达到92—93%。

从銅浮选尾矿中回收白鎢矿的研究工作証明，可以得到含 WO_3 60~65%的白鎢矿，采收率可达到88%以上。在中南地区的鎢矿重力选矿厂中，采用粒浮和台浮的方法，能够有效地从粗精矿（或中矿）中回收其中伴生的銅。

早在1949年国家就在东北建設了专门生产选矿药剂的选矿剂工厂，1953年增設了药剂研究室，专门从事选矿药剂制造的研究工作。因此一般用的浮选药剂，如：黃药，黑药，松树油等，已能供应生产的需要，并且作了一些新型浮选药剂的研究工作。1958年大跃进中，北京选矿研究院、八〇一厂、广西冶金研究所等单位土法生产黃药的經驗，已經在各选矿厂推广。寻找捕收剂代用品的研究工作，也取得了一定的成效。中南矿冶学院选矿研究室試制的硫化蔥油，經過試驗室試驗証明，它的捕收能力与黃药类捕收剂相似。

解放以前，我国根本没有重型机械制造业。因此选矿的主要

設備，都是從國外進口的。在第一個五年計劃期間，專門製造礦冶設備和重型設備的瀋陽重型機械製造廠、瀋陽礦山機械廠、衡陽礦山機械廠等都先後建成和投入生產。因此目前我國已能自制全部選礦的主要設備，並且制定了破碎篩分，磨礦，分級，浮選等設備的系列，為選礦設備的定型化和標準化創造了條件。

隨著選礦工業的飛躍發展，選礦廠設計的技术力量，也增長很快，在第一個五年計劃期間我們已經掌握了大中小型選礦廠的設計。在1958年有色冶金設計總院設計的，處理硫化銅和硫化銅鉛鋅礦石的日處理量為50、100、200、500、1000噸的選礦廠通用設計，對於我國全民煉銅運動的開展，創造了有利的條件。

在中國科學院和冶金部所屬局、礦都建立了從事選礦研究試驗工作的研究所和試驗室。開展了大量的礦石可選性研究。高等和中等礦冶學校設置的選礦專業，是專門培養選礦干部的基地。

以上情況表明，只有在中國共產黨的領導下，我國的選礦工業才得到了廣泛的發展。

應該指出，我國選礦方面的成就，是與我國選礦工作者艱苦努力，和認真學習蘇聯和社會主義國家的先進經驗，以及蘇聯及社會主義國家對我國無私的幫助分不開的。蘇聯專家在幫助我國建立選礦生產基地和教學科研基地的工作中付出了辛勤的勞動。

第三節 銅的礦物和礦石

銅在地殼內的平均含量約為萬分之一。

按總的儲量來說，蘇聯居世界第一位。超過了北羅得西亞、智利、美國及其他國家。蘇聯銅的儲量比西歐所有國家的儲量總和多好幾倍。根據1957年以前勘探的結果，我國銅的儲量已居世界第六位。1958年由於全民煉銅運動的開展，我國銅的儲量迅速上升，並且在江西、浙江、安徽、青海、寧夏、甘肅等省發現了

許多巨大的銅矿床。証明我国銅矿資源很丰富，而且分布很广。

銅矿物是指天然生成的含銅的化合物，具有一定的化学成分和均一的物理性質。自然界产出的銅矿物和其他矿物的集合体在現时的技术和經濟条件下能用于工业生产者，称为銅矿石。銅矿石中除銅矿物及其他有用矿物外，尚含有一些沒有用处的矿物，一般称为脉石。最普通的脉石为石英，方解石等。

自然界中已知的含銅矿物有 170 多种，而在工业中有价值的銅矿物不过十多种。

銅矿物可以分为自然銅，銅的硫化物和氧化銅三类。其中以硫化矿数量最多。目前全世界生产的銅約有 80% 取自硫化矿，其中大半是輝銅矿，其余为黃銅矿、斑銅矿、黝銅矿和銅蓝。約有 10% 为自然銅。还有約 5% 取自氧化矿，如孔雀石、藍銅矿、矽孔雀石、水胆矾、氯銅矿等。

1. 自然銅 Cu (含銅 95% 左右) 一种紅色富有延展性的金屬，成不規則的粒状、鱗片状、树枝状和浸染状等。表面常呈綠色，俗称銅綠。比重 8.5~8.9。硬度 2~3。金屬光澤，顏色銅紅，常变为黑、藍、綠等色。条痕为光亮的銅紅色。不透明。

2. 硫化銅矿 最普通的具有工业意义的硫化銅矿物有下列几种：

輝銅矿 Cu_2S (含銅 79.83%，硫 20.17%) 一种黑色的有金屬光澤的矿物，常为致密块状。比重 5.5~5.8。硬度 2~3。金屬光澤，风化后变成暗淡或黑色。顏色是淡鉛灰色，常变为深黑色，并有綠色和蓝色斑点。条痕深灰色，不透明。

銅蓝 CuS (含銅 66.44%，硫 43.56%) 一种靛藍色半金屬状的矿物。常成散布的块状、鱗片状、土状、粉末状和壳皮状等附着在黃銅矿的表面上。比重 4.53~4.64。硬度 1~2。光澤呈半金屬状、树脂状（結晶的）、半树脂状。顏色是靛藍色，有时成黑色，且有各种杂色的变色，用水潮湿变成紫色。条痕灰色至黑色。不透明。

作为次生硫化物，唯有銅藍与輝銅矿一样是具有工业价值的矿石，但在数量上則远远較輝銅矿少。

黃銅礦 CuFeS_2 (含銅 34.56%，鉄 30.52%，硫 34.92%) 一种具有光輝的黃銅色矿物。一般系致密块状，浸染成八面体晶体，也有的是腎状或葡萄状的胶状块。比重 4.1~4.3。硬度 3~4。金屬光澤。顏色黃銅色及金黃色，常帶有藍、紫、黑等的彩色（由次生作用造成）。条痕微綠黑。不透明。黃銅矿是最常见含銅矿物。

斑銅礦 化学成份从 Cu_3FeS_3 (含銅 55.5%，鉄 16.4%，硫 28.1%) 到 Cu_7FeS_5 (含銅 63.3%，鉄 11.2%，硫 25.5%)。紫色和深藍色的金屬状矿物。通常为致密或細粒的块状和浸染状等，也偶有成晶体的。比重 4.9~5.2。硬度 3。金屬光澤。顏色在新鮮断面上呈銅紅色或銅褐色的中間色。日久就变成紫色、藍色、暈色和黑色等交織成各种杂色。条痕淡灰黑色。不透明。

任何一种矿石类型的硫化富集带中，都可有次生斑銅矿，但与輝銅矿相比較，則处于次要的地位。

斜方硫砷銅礦 Cu_3AsS_4 或 $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_5$ (含銅 48.36%，砷 19.07%，硫 32.57%) 一种黑色性脆有金屬光澤的矿物，并含有錫、鉄、鋅、銀、金等杂质。形状有柱状、板状、块状和粒状等，間或成晶体。硬度 3~3.5。比重 4.4~4.5。光亮的金屬或半金屬光澤。顏色灰黑到鉄黑色。条痕淡灰黑色，不透明。性脆。

斜方硫砷銅矿是一种銅矿的混合物。

黝銅礦 $\text{Cu}_3\text{Sb}_2\text{S}_5$ 或 $4\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$ (含銅 52.1%，錫 24.8%，硫 23.1%) 一种灰色有金屬光澤的矿物，該矿物中的銅和錫的一部分往往和汞、銀、砷、鉍等元素交換。形状为块状、細粒状和致密状或浸染状。也有成晶体产出的。硬度 3—4.5，比重 4.4~5.1。金屬或半金屬光澤。顏色鋼灰、暗鉛灰、或鉄黑色（鉄黝銅矿）。有时有杂质的变色。条痕暗灰黑或紅褐

色。不透明。性脆。

砷黝铜矿 $\text{Cu}_3\text{As}_2\text{S}_7$ 或 $4\text{Cu}_3\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$ (含铜 57.5%, 硫 25.5%, 砷 17%) 铁黑色有金属光泽的矿物。形状有块状、细粒状、粗粒状和致密的块状。硬度 3~4。比重 4.4~4.9。金属光泽。颜色淡黑灰色或铁黑色, 条痕黑色或深桃色。不透明。性脆。

3. 氧化铜矿 主要的氧化铜矿包括碳酸盐类(石膏和孔雀石), 氧化物(赤铜矿和土状黑铜矿)和矽酸盐类(矽孔雀石)等。

赤铜矿 Cu_2O (含铜 88.8%, 氧 11.2%) 通常成暗红色或褐红色的块状、粒状和土状的块, 有时成针状或毛髮状体产出, 间或成晶体产出。硬度 3.5~4。比重 5.8~6.2。金刚石状、半金属状或土状光泽。颜色暗红或淡褐色, 有时几乎是黑色。条痕是光亮的淡褐红色。透明到不透明。性脆。

硫化矿中的铜经受氧化作用而生成赤铜矿。特别是当辉铜矿和斑铜矿氧化时, 赤铜矿更为发育, 且常与同时生成的褐铁矿相混杂。

黑铜矿(土状黑铜矿) CuO (含铜 79.85%, 氧 20.15%)。常成黑色光亮的薄片状, 或黑色的土状、块状等。也间或成晶体产生。硬度 3~4。比重 5.82~6.25。片状的呈金属状光泽, 土状的呈暗淡状光泽。颜色铜灰到铁黑色(片状的)或黑色到淡灰色(土状), 能污染手指, 条痕黑色。不透明。

黑铜矿是赤铜矿更进一步的氧化产物。当硫化矿物主要是辉铜矿和斑铜矿分解时, 氧化铜转变成溶解状态, 常常与铁和锰的氧化物和氢氧化物以及二氧化硅与碳酸盐等相混杂, 因而形成黑铜矿和瀝青铜矿。

孔雀石 $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ (含铜 57.4%, 其化学成份为 CuO —71.9%, CO_2 —19.9%, H_2O —2%) 一种金刚石状或暗淡状的绿色矿物。通常为晶状、葡萄状、钟乳状、放射状、丝

状、壳皮状、致密状、土状与粒状的块，也有的是晶体。硬度3.5~4。比重3.7~4.1。結晶的是金剛石状光澤，纖維状的是絹絲光澤。其他呈暗淡或土状光澤。顏色有翠綠、草綠和暗綠等色。条痕淡綠色。微透明到不透明。性脆。

孔雀石是各种类型的銅矿石經氧化后所形成的最广泛的矿物，是含銅砂岩的主要金屬矿物。

藍銅矿（又名石青） $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ （含銅55.3%，其化学成份为CuO—69.2%， CO_2 —25.6%， H_2O —5.2%）。一种暗蓝色的矿物。通常是粒状、葡萄状、放射状、瘤状、致密状和土状的块，也有呈晶体产出的。硬度3.5~4。比重3.7~3.9。玻璃状、金剛石状或土状光澤。顏色天蓝或暗蓝色。条痕蓝色。半透明到不透明。性脆。

矽孔雀石 $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ （含Cu 45.2%， SiO_2 34.2%， H_2O 20.5%）由于矿物为胶体二氧化矽所組成，以致矿物成份极不稳定，并含有 Al_2O_3 、氢氧化鉄、磷酸盐及别的盐类等杂质。常成綠色或蓝色蛋白石状或磁釉状的块，也有成葡萄状、腎状和暗綠色的土状块，但没有成晶体的。硬度2~4，比重2~2.2。玻璃状、油状或土状光澤。顏色有綠、浅蓝綠和蓝色等。不純的呈黑色，若与褐鉄矿掺合，則现褐色斑点，或全为褐色。条痕純的是白色，也有的是浅蓝或綠色，微透明或不透明，性脆。

按矿物的成因，可分为原生礦物和次生礦物两类。原生矿物是由地心岩漿噴出后，在地壳中生成的矿床。次生矿物是原生矿物在矿床中經過緩慢的繼續不断的物理化学过程的影响造成的。原生的銅矿物有黃銅矿、斜方硫砷銅矿、砷黝銅矿和黝銅矿。斑銅矿有原生的和次生的，輝銅矿和銅蓝可能是原生的，也可能是次生的。其余的銅矿物都是次生的。

銅矿物常与其他矿物共生在一起。在硫化矿中硫化鉄是銅矿物最常见的共生矿物。主要的是黃鉄矿（ FeS_2 ），其次是磁黄鉄矿（ $\text{Fe}_7\text{S}_8 \sim \text{Fe}_{11}\text{S}_{17}$ ）及磁鉄矿（ Fe_3O_4 ），与銅矿物共生