

钨的选矿

冶金工业出版社

鎢 的 选 矿

江西省冶金工业管理局 主編

冶 金 工 业 出 版 社
13590

鎢的选矿

江西省冶金工业管理局 主编

冶金工业出版社出版（地址：北京市灯市口甲 45 号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第 093 号

五三五工厂印 新华书店发行

1960 年 5 月第一版

1960 年 5 月北京第一次印刷

印数 平装 2,415 册
精装 325 册

· 开本 850×1168· $\frac{1}{32}$ ·490,000 字·印张 16 张·插页 15

统一书号 15062·1863 定价 平 2.30 元
精 3.10 元

出版者的話

“錫的选矿”是一本系統闡述我国建国十年来錫的选矿技术發展的科学技术專著。我国的錫矿儲量居世界首位；可是解放前錫矿工业却处于極端落后的境地。解放后在党的领导下，錫矿工业才得到了蓬勃的發展。不仅在产量上跃居世界首位，在技术上也积累了許多宝贵的經驗。几年前就开始醞釀組織編写一本选錫方面的專著，到1959年才由江西省冶金局等十几个單位用集体力量完成了这一工作。因此，可以說这本书是大跃进的产物，是写作工作中大搞群众运动和大协作的成果。

本書系統地介紹了錫矿石的各种选矿方法，特別是結合我国矿石特点对重选和浮选法做了全面的闡述。書中对粗精矿的精选、試选，人工选矿以及国内外选錫厂的生产实践也做了系統地叙述。

本書基本上反映了我国錫选矿事业的全貌。

我們相信，本書的出版将有助于我国选錫事业的进一步发展。本書不仅对选錫工作者，而且对选矿工作者将是一本有益的讀物。

前 言

本書總結了建國十年來我國鎢選礦工業生產發展中的實際經驗，並適當地介紹了一些國外實例。

書中首先概括性的介紹了有關鎢的發現、性質和用途、世界鎢礦生產簡況、鎢礦的類型，以及礦石開采對選礦的影響等，然後着重地敘述了黑鎢礦石的選礦，特別是它的重選、精選和綜合利用，對白鎢礦石的選礦，黑鎢礦石的浮選，以及人工選礦、鎢選礦的室內及現場試驗研究工作的方法等也有所敘述。此外，為了便於讀者參考，特匯集了一些有關選礦的重要技術資料，置於附錄內。

本書可供從事選礦工業生產、設計、科學研究等工作人員的參考，並可作高等學校及中等專業學校選礦專業師生的參考。

本書由江西省冶金工業管理局（包括所屬冶金研究所、冶金設計院、冶金學院和各鎢礦）主編。並有中南礦冶學院、湖南省冶金工業管理局（包括所屬各鎢礦）、長沙有色冶金設計院、東北工學院等協同編寫。由江西省冶金工業管理局吳威孫工程師、江西冶金研究所孫善掄工程師、中南礦冶學院李浴風副教授三人擔任總執筆，參加編寫的有吳方樓、周翰夫、詹普清、蔡運榮、黃澤藩、盧子軍、張艾冬、王志英、余邦林、陳啓仁、李有林、羅 倩、陳桂云、王寶貴、呂楚峙、黃晏云、周開菊、蘇繼國、彭榮哲、王 威、雷 捷、程淑蘭等。

廣東省冶金廳、中國科學院礦冶研究所等參加了本書的手稿審查工作。冶金工業部有色金屬研究院、選礦研究院、有色冶金設計總院、冶金部地質研究所等擔任了本書的定稿審查工作，又在編寫過程中，承中國礦產公司、長沙地質勘探公司、北京圖書

館、衡陽冶金機械廠等提供了資料，特此致謝。

鎢選礦的專著，在國內外尚未見到，這還是第一部專門闡述鎢選礦方面的書籍，由於作者理論水平和技術水平有限，加上編寫時間短促，書中不完善和不正確之處在所難免，希望讀者多提意見和批評，以便今後補充修正。

序

我国錫矿的儲量和产量居世界第一位，但解放前在封建主义和官僚资本主义的統治下，在帝国主义的殘酷掠夺下，錫矿工业長期沒有得到發展。無論采矿或选矿，設備簡陋，几无技术可言。我国錫矿工业，是在解放后建立和發展起来的。在短短的十年里，由于錫矿全体职工在党和毛主席的正确领导下，以无比的斗志、冲天的干劲，贏得了资本主义社会所梦想不到的發展速度。1958年錫精矿的产量比1950年增長了4.7倍。1959年錫精矿的生产，又在1958年的基础上，跨出了新的更大的一步。在产量成倍增長的同时，产品质量和品种，也在不断地提高和扩大。这一切都展示了我国錫矿工业欣欣向荣、无限美好的光明远景。

在旧中国的年代里，錫矿工人的劳动果实，开始是被把头矿商压价收購，反动政府大肆收稅，地方軍閥买办勾結出口。1936年后国民党反动派全面管制錫矿，錫精矿的生产純为帝国主义服务。剝削工人更加殘酷。

当时錫矿生产是由分散的手工业的民窿經營，劳动生产率低，金属損失極为严重，国民党反动派管制錫矿十三年，連一座机械选矿厂也未建設。解放前的选矿，开始是手揀富矿，而后工人从生产实践中才逐步采用了以鉄錘、竹篩、桶洗、柯槽等工具为主的洗选方法。劳动条件很坏。在选矿过程中只能处理富矿塊和高品位矿石，对低品位矿石和矿泥，根本未加处理或无法处理。对伴生有用矿物，除回收了少量錫石外，其余全部丢弃。采矿方面，則專挖富矿，窿洞遍地皆是，矿山形成百孔千疮，使祖国宝贵資源，慘遭破坏。

1949年新中国诞生了，錫矿工业也获得了新生，开始以飞跃的速度向前發展。建国十年来，經過了三个重要历史时期。

三年恢复时期（1950—1952年）。解放后，党和政府从国民党反动派手中接管了錫矿工业，紧紧地依靠工人阶级，开展了一系列的民主改革和生产改革的群众运动，激发了广大职工的劳动积极性和创造性，使生产得到迅速的恢复与發展。不仅积极帮助民窿恢复和發展了生产，还建立和發展了国营矿山企业，并在国营矿山兴建了第一个机械化錫选厂。在赣州还建立了选矿試驗所。这都为以后的錫矿生产和建設，提供了有利条件。1952年錫精矿产量达到了1950年的二倍，大大超过了解放前的最高生产水平。

第一个五年计划时期（1953—1957年）。随着恢复时期的結束，一个规模更大的有计划的建設到来了。錫矿工业的改造，被提到重要地位。党和政府对錫矿工业进行了一系列的改造工作。对资源已经查清的大、中型矿山收归国营；对分散的资源不清的小型民窿矿山，則組織起来走合作化的道路，通过上述两种办法，到1956年，就全面而胜利地完成了民窿矿山的社会主义改造。生产关系的改变，不仅促使生产力發展了，并为后来錫矿工业进行技术改造發展生产，創造了更加有利的条件。

在技术改造方面，貫徹了党的方針，即“机械化选矿建設与人工选矿改进相結合”以及“边勘探、边設計、边建設、边生产”，“由小到大逐步發展”等一系列正确的方針，積極地有计划地开展了矿山地質勘探工作，与机械化采矿和选矿厂的建設。在苏联和各兄弟国家的无私援助下，錫矿的中小型选厂，有如雨后春笋，紛紛建立，投入生产。大型选厂，亦在第一个五年计划期間开始兴建，这样就在很短的几年中，广泛地發展了錫的机械化选矿。

在發展机械选矿的同时，对人工选矿流程、設備、操作等，均認真地積極地进行了改进，破碎、篩分等繁重体力劳动，絕大部分采用了机器設備，选矿指标得到了不断的提高。

試驗研究工作的開展，特別是結合生產廠礦的關鍵問題所做的試驗研究工作，有效地促進了生產的發展和選礦技術水平的提高。在第一個五年計劃期間，除加強贛州試驗所外，各主要礦山都建立了選礦試驗室，並不斷地集中力量，進行重點生產試驗，總結經驗，全面推廣。1954年在第九鎢礦總結了礦石分等分級處理，採用鋪布溜槽、勻分槽等處理礦泥等經驗。同年贛州試驗所試驗粒浮選礦成功。在生產上推廣後改善了精選作業，提高了產品質量，並綜合回收了粗精礦中的有用礦物。1955年和1956年，以第二鎢礦機選廠為重點，進行的技術測定，制訂操作規程，採用窄級差搖床選別，提高篩分和水力分級效率，推廣水力旋流器、自動溜槽和礦泥搖床，處理礦泥和精選的精工細作等技術革新和技術改進工作，帶動了各機選廠選礦指標的普遍提高。試驗研究與生產實踐相結合的技術革新工作，廣泛地展開了，各選礦廠流程不斷地改進，礦石綜合利用工作不斷地擴大，同時生產的發展更有力地推動了科學研究工作。

在第一個五年計劃期間，我國鎢的選礦工業獲得了巨大的發展。鎢精礦的產量，1957年比1950年增長了3.1倍。鎢礦的機械化選礦比重，在不斷地擴大，1953年只占2.6%，1957年就占72.14%了。機械選礦回收率達到80—85%，人工選礦回收率亦達60—65%。鎢精礦的質量，更有顯著的提高，1953年以前，只能生產三級品精礦，而1957年，生產的一級品精礦即達36.71%，三級品只占25.75%了。資源綜合利用方面，由於開展和加強了鎢精礦的精選作業，產品種類由第一個五年計劃初期的8種增到15種了。我國鎢的選礦面貌，從此得到了根本的改變。

大躍進的年代（從1958年開始）。在黨的鼓足干劲、力爭上游、多快好省地建設社會主義的總路線的光輝照耀下，我國鎢礦工業出現了史無前例的發展速度。全體職工發揚了敢想、敢說、敢干的共產主義風格。鎢礦選廠開展了一系列的技術革命和技術革新運動，生產能力大為提高。1958年鎢精礦產量比1957年又

增加了52%，有的选厂，生产能力比设计能力提高一倍，产品质量也有显著改善，钨精矿一级品的比率有了更大的增长。机械选矿回收率平均已达86%左右，人工选矿回收率亦达70%左右，大型现代化选矿厂的基建速度也大为加快，并相继投入了生产。

必须指出，中国共产党第八次全国代表大会在发展国民经济第二个五年计划的建议中指出，“五年内应该努力加强工业中的薄弱环节，开辟新的领域，例如……稀有金属的开采和提炼……等等，同时还应该注意资源的综合利用，特别是其中有色金属的全面利用”，这一指示对选矿工作者起了巨大的鼓舞作用，钨选矿的综合利用方面，也展开了一系列的工作，创造性地解决了不少技术问题，使产品品种大为增加，特别是增加了一些稀有金属新品种。1958年不少有色和稀有金属矿物的精矿产量，较第一个五年计划末期，有了成倍的增长。

1959年，我国钨的选矿工作，又在1958年的基础上继续跃进。

建国十年来，我国钨的选矿工业，能得到了如此迅速恢复和高速度的发展，生产技术达到了较高的水平，这首先应当归功于伟大的中国共产党和全国各族人民的伟大领袖毛主席的英明领导，也是钨选矿工业坚决执行和贯彻党的总路线和用“两条腿走路”一整套方针的结果。

其次，是由于依靠了群众，大搞群众运动的结果。恢复生产期间，依靠群众进行了一系列的改革工作，通过历次政治运动，钨矿全体职工的政治觉悟水平不断提高，充分发挥了职工的劳动积极性和创造性，开展了群众性的技术革命和技术革新运动，以及广泛地开展了增产节约和合理化建议运动，挖掘了企业的潜力。1958年以来实行的“种试验田”、“两参、一改、三结合”等崭新的社会主义企业管理方法，更促进了钨矿生产的突飞猛进。

第三，我国钨选矿工作的成就，是与苏联和各兄弟国家的无私援助分不开的，几年来通过認真地向苏联和各兄弟国家学习，

使我国鑛选矿技术水平，在原来薄弱的基础上，得到了迅速的提高。

十年来，鑛选矿的巨大收获，也是在党的领导下，生产、勘探、設計、施工、设备制造、科学研究和教育等部門共同协作的结果。

可以断言，我国鑛矿工业在党的领导下，今后将会获得更大的发展。

我国鑛选矿工业发展到现阶段，已获得了巨大的成就，为了进一步提高鑛矿工业的生产水平，满足冶金工业日益发展的需要，根据十年来的經驗，还必须进一步做好以下儿項工作。

1. 加强党的领导，繼續貫徹大中小型企业同时并举，洋法生产与土法生产同时并举的方針，結合各类型选矿厂的特点，注意經濟合理的充分利用資源，大中型选矿厂必須繼續改进提高，小型机选厂具有投資少、收效快、設備簡單、技术操作容易等优点，应予以应有的重視，并加以提高，有条件的人工选矿厂应向小型机选厂發展，同时对人工选矿仍須重視，充分發揮其作用。

2. 大搞群众运动，鑛的选矿工作同其他部門工作一样，必須在党的领导下，繼續大搞群众运动，开展技术革命和技术革新运动，認真学习苏联和各兄弟国家的經驗，以促使我鑛选矿工业更迅速的發展。

3. 注意总结生产經驗，在选矿工作上，应进一步搞好采、运、选、水、电、材料、备品等部門的平衡；注意文明生产和劳动保护；加强基層记录和生計統計；健全技术监督和金屬平衡工作；开展經濟活动分析等，以提高管理水平。进一步改进流程，設備和技术操作条件，健全操作規程；加强設備維修，保証安全运转，以提高技术水平。在企业基本建設上，应进一步提高設計經济技术指标，充分吸取过去經驗，特别是在生产改进中的經驗；并根据各矿山具体情况，采用新技术。

4. 加强科学研究工作，貫徹科学研究为生产服务的方針，

对白鎢矿，特别是硅矽岩型白鎢矿的选矿；黑鎢矿与綠柱石的浮选；重介質选矿等試驗成果，迅速应用于生产。更深入細致地研究各类型鎢矿石的性質，进一步改进工艺过程，采用多种选矿法的联合流程；繼續改进現場設備和操作；进行复杂矿石、貧矿石、难选矿物的选矿研究，并开展新設備和新藥剂的研究和試制。

选矿工作和其他科学技术工作一样，是由粗到細，由簡到繁，由不完整到完整的。十年来的生产实践，充实了不少理論，这些理論又进一步推进生产。同时选矿工作也和其他工作分不开的，随着我們祖国經濟建設和科学技术的高速度發展，鎢的选矿工作，将会繼續跃进。

目 录

前言 序

第一章 緒 論	1
第一节 鎢的發現、性質和用途	1
第二节 世界鎢矿生产簡况	6
第三节 鎢选矿的要求与选矿方法概述	11
第二章 鎢矿的类型及开采	14
第一节 鎢矿物	14
第二节 鎢矿的分布和矿床工业类型	16
第三节 矿物組合、近矿圍岩蝕变种类和伴生稀散元素	26
第四节 鎢矿的开采	51
第三章 重 选	64
第一节 矿石准备	64
第二节 重选設備	101
第三节 重选流程	128
第四节 流程选择	148
第四章 浮 选	155
第一节 白鎢浮选	155
第二节 黑鎢浮选	163
第三节 伴生矿物的浮选	171
第五章 鎢粗精矿的精选	177
第一节 概 述	177
第二节 磁 选	183
第三节 粒浮选矿	196
第四节 电 选	217
第五节 化学处理	222
第六章 生产实例	245

第一节	国内部分 (第十五錫矿—坑口选矿厂; 第八錫矿选矿厂; 第十錫矿选矿厂; 第四錫矿选矿厂; 第二錫矿选矿厂; 第九錫矿白錫选矿厂; 赣州錫矿精选厂)	245
第二节	国外部分 (美国依思采矿公司选矿厂; 南非联邦拿巴比南錫选矿厂; 美国赫的生錫选厂; 法国蒙敏錫錫选矿厂; 法国波尤依——列——維尼选矿厂; 加拿大采矿公司选矿厂; 华昌公司錫精选厂)	317
第七章	人工选矿	351
第一节	人工选矿流程及主要设备	351
第二节	人工选矿实例	366
第三节	人工选矿评述	368
第八章	试选	370
第一节	试选前的准备	370
第二节	黑錫矿石选矿試驗	380
第三节	白錫矿石选矿試驗	397
第四节	現場試驗和測定	418
附录		421
参考文献		509
索引		515

第一章 緒 論

第一节 鎢的發現、性質和用途

一、鎢的發現

在自然界沒有自然金屬鎢。鎢存在於各種含鎢礦物中。由於鎢礦物常與錫礦物共生，古人煉錫時很早就遇到鎢礦物，但當時不知它是什麼。我國江西大畚洪水寨相傳在五代時期（公元十世紀）就有人開采鎢錫礦，礦石中黑鎢礦與錫石含量相近，而古人當時只用礦石煉錫〔3〕。

在歐洲古代煉錫者把所遇到的黑鎢礦叫做“狼沫”（Wolf-ram）。意思是這種礦物象狼吞羊一樣的把錫吞入泡沫（煉渣）中。至今黑鎢礦英文為“Wolfram”或“Wolframite”。鎢元素的化學符號“W”，也就來源於這個字的字首〔1, 2, 5, 83, 84, 85〕。

1781年瑞典化學家希利氏（C.W. Scheele）研究一種當時認為是錫礦或鐵礦被稱為“重石”（“tungsten”即英文“鎢”字）〔瑞典文“tung”作“重”解，“sten”作“石頭”解〕的白色礦石，他發現那裏面並沒有錫或鐵，而證明是鈣與一種前所未有的酸的化合物，他就稱那種酸為“重酸”（tungstic acid），實際這白色礦石就是白鎢礦（鎢酸鈣礦）。英文稱白鎢礦為“Scheelite”俄文稱為 Шеелит 皆為紀念希利氏而得名〔1, 2, 83, 84〕。

1738年兩位西班牙化學家得爾徐埃爾兄弟（d'Elhugar）發現彼時被稱為“狼沫”的礦物中有與希利氏在“重石”中所發現的相同的酸化合物，他們並以木炭還原鎢酸得出了金屬鎢粒，這是鎢元素的發現和金屬鎢的最初獲得〔1, 83, 84〕。

鎢元素發現後，研究它的人逐漸增多，1900年在巴黎舉行的

世界博覽會上展出以鎢鋼制成的工具鋼，它的高速切削生產率，引起了世界各國廣泛的注意，從此鎢工業得到了迅速的發展〔4, 5〕。

據稱我國遠在康熙年間（1662—1722年）江西景德鎮曾制出多種瓷器塗有特殊的被稱為“美人霽”的鮮艷的桃花紅色釉。這種色釉經德國科學家保·格倫費爾德（Paul Grunfeld）分析證明是鎢制成的顏色。究竟我們祖先是怎樣把鎢應用到色釉上去的，尚待研究考據〔2, 84〕。

二、鎢的性質〔2, 4, 5, 6, 84, 85, 86〕

鎢是門捷列夫元素周期系第六族副族中的元素，與鉻、鉕、鈾同族。它的原子序數為74，原子量為183.92。茲將其物理、化學性質等分述如下。

物理性質。鎢的比重為19.3，與黃金比重相同。金屬鎢為鋼灰色，外形與鉬或鈾相似，致密的金屬鎢有較強的光澤；鎢粉為暗灰色。

鎢的熔點為 $3410 \pm 20^{\circ}\text{C}$ ，比一切金屬的熔點都高，在所有元素中僅次於碳；沸點在760毫米汞柱時約為 5930°C 。

鎢可以軋壓成薄片或拉成極細的絲。

鎢的膨脹系數及壓縮系數是所有金屬中最小的，鎢的導電率只有銅的三分之一。在高溫下鎢的电子發射及表面輻射熱能大為增加。

鎢與鐵易成為合金。鎢與其他金屬，如銅、銀、鎳、鈷等也能成為合金，並保持其一定的特性。

化學性質。鎢的化合價有+2、+3、+4、+5、+6，其中+6價化合物最為重要。在常溫下，鎢在空氣中是穩定的，在 $400-500^{\circ}\text{C}$ 時鎢開始顯著地氧化；當空氣中有水份時，鎢粉會逐漸被氧化。

在低於熔點時，鎢與氫實際上不起作用。這樣，金屬鎢熱處理的全部操作過程便可以在氫氣氛中進行。

鎢与固体碳及含碳气体 (CO , CH_4 , C_2H_2) 在 $800\sim 1000^\circ\text{C}$ 下, 發生反应而生成性質極为坚硬的鎢的碳化物 (W_2C 和 WC)。

鎢是具有抗蝕性能的金屬。酸对鎢几乎不起作用。濃硝酸和王水使鎢表面氧化, 鎢迅速地溶解于氢氟酸及硝酸的混合液中。

碱溶液 (NaOH 或 KOH) 对鎢不起作用, 可是当有氧化剂, 如过氧化氢或过硫酸氨存在时, 鎢能溶解于氨溶液中。鎢在碱或苏打熔融物中, 当通入空气时或有氧化剂时生成鎢酸盐。

鎢主要化合物。鎢的氧化物有十几种, 其中只有三种是稳定的, 即檸檬黃色的三氧化鎢 (WO_3); 褐色的二氧化鎢 (WO_2); 藍紫色的五氧化二鎢 (W_2O_5)。

三氧化鎢或称鎢酐 (WO_3) 是最重要的鎢化合物, 在自然界中以鎢華或鎢精石的矿物形态存在, 除氢氟酸外, 它不溶于王水和其他任何酸中, 三氧化鎢能溶解在苛性碱、铵和苏打的溶液中而生成鎢酸盐。

鎢酸是加酸于鎢酸盐水溶液中沉淀析出的产物。从热鎢酸盐溶液中析出的是黃色的鎢酸; 从冷溶液中析出的白色胶状鎢酸。

鎢酸钠 (Na_2WO_4) 是在工业技术上重要的鎢酸盐之一, 是由苛性鈉或苏打与三氧化物相互作用而生成的, 是鎢的湿法冶金过程中必經的鎢化合物。鎢酸鈣、鎢酸鉄、鎢酸錳則在自然界以矿物形态存在。

三、鎢的用途 [2, 4, 5, 6, 84, 85, 86, 87]

鎢在現代工业及国防工业中起着極为重要的作用。其用途大致分为五类, 茲分別簡要介紹如下。

含鎢合金鋼, 最主要的是高速切削工具鋼。这类鋼中含 8—20%W; 2—7%Cr; 0—2.5%V; 1—5%Co; 0.5—1%C。高速切削工具鋼的特点, 是在空气中能自动硬化, 并且其回火温度高 ($700\sim 800^\circ\text{C}$); 在每分鐘几十米的切削速度下, 温度升高到 $600\sim 650^\circ\text{C}$ 时, 仍能保持有較大的硬度与抗磨性; 而一般碳素工具鋼的切削速度每分鐘只有几米。当切削温度升高到 200°C 以上