

有色金屬科學技術



74.92

# 有色金属科学技术

《有色金属科学技术》编委会 编

冶金工业出版社

## 内 容 简 介

本书由三部分组成。第一部分概述古今中外有色金属的科技发展概况及今后发展的趋势；第二部分按地质、采矿、选矿、冶炼、新材料等专业全面地介绍国内外最新科技成就、生产情况及研究动向；第三部分介绍国内外有色金属科技体制及我国有色金属主要的科研、设计单位概况。各章节分别由相应专业的专家执笔编写。

本书适合从事有色金属工作的科技人员、管理人员、大专院校师生阅读。

## 有色金属科学技术

《有色金属科学技术》编委会 编

\*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

\*

850×1168 1/32 印张 14 1/2 字数 381 千字

1990年 9 月第一版 1990年 9 月第一次印刷

印数00,001~1,700册

ISBN 7-5024-0726-X

---

TF·160 定价13.65元

**向中华人民共和国  
成立40周年献礼**

## 《有色金属科学技术》编委会

顾 问：王鹤寿 吕 东 袁宝华 高扬文  
徐 驰 邱纯甫 林泽生 叶志强  
郭 超 刘学新 茅 林 费子文  
吴建常 黄寄春 何伯泉 武 恭

主 编：章伯垠

副主编：朱寿康 毛云辉

编委（依姓氏笔划排列）：

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 马家驛 | 马福康 | 王淀佐 | 孙传尧 |
| 刘兴利 | 刘万岭 | 朱寿康 | 孙延绵 |
| 李凤楼 | 李名岩 | 汪贻水 | 周晋华 |
| 钟俊辉 | 贾龙光 | 章伯垠 | 曹士倬 |
| 黄业英 |     |     |     |

特约审稿（依姓氏笔划排列）：

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 毛月波 | 韦涵光 | 朱定军 | 周 立 |
| 张卯均 | 胡克智 | 康永孚 | 曹蓉江 |
| 潘家柱 |     |     |     |

## 序 言

党中央和国务院十分关心科学技术的发展。1978年3月18日，邓小平同志在全国科学大会开幕式上的讲话中，高瞻远瞩地阐明了“科学技术是生产力”这一马克思主义的观点。

中华人民共和国成立以来的40年，是我国有色金属工业依靠科学技术进步、自力更生、奋发图强、开拓前进的40年。40年来取得重大科技成果2000多项。10种有色金属产量突破200万吨，比1949年增长了150多倍。中国已成为举世瞩目的有色金属产品比较齐全的少数国家之一。尤其可喜的是，我国已从过去单纯引进外国技术，转变为有进有出，我国有180多项有色金属科技成果可供出口。这是在中国共产党领导下，艰苦创业取得的丰硕成果。

为了介绍国内外有色金属科学技术，适应读者的需要，由有色金属科技界专家编写的《有色金属科学技术》一书，即将出版问世。全书包括三个部分：

第一部分概述国内外古代有色金属科技成就及当代有色金属科技发展趋势；

第二部分按专业介绍国内外有色金属领域的先进技术；

第三部分介绍国内外有色金属科技体制的状况。

本书内容丰富，材料翔实，是建国以来全面介绍国内外有色金属科学技术的专著。它的公开出版必将有助于国内外人士了解有色金属科技的过去、现在和今后的发展趋势，特此推荐给读者。

“海阔凭鱼跃，天高任鸟飞”。在进一步改革开放的新形势下，我们广大科学技术工作者和各界人士要保持清醒的头脑，坚持四项基本原则，坚持改革开放，进一步贯彻执行中央“依靠”、“面向”的战略方针，团结协作，奋发图强，锐意改革，锲而不

舍，不断更新知识，学习新东西，提高科技队伍的素质，开创科技工作的新局面，为加快我国有色金属工业的发展作出应有的贡献。

林学

1989年7月于北京

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 回顾中国有色金属科技40年 .....      | 1  |
| 第一章 有色金属科技历史和发展趋势 .....  | 7  |
| 第一节 有色金属与人类文明 .....      | 7  |
| 第二节 国外古代有色金属生产技术 .....   | 11 |
| 一、早期冶金业的兴起 .....         | 11 |
| 二、有色金属生产技术的进展 .....      | 13 |
| 第三节 中国古代有色金属的生产技术 .....  | 15 |
| 一、铜 .....                | 17 |
| 二、锡 .....                | 21 |
| 三、铅 .....                | 22 |
| 四、金 .....                | 23 |
| 五、银 .....                | 25 |
| 六、汞 .....                | 26 |
| 七、锌 .....                | 27 |
| 第四节 当代有色金属工业技术发展趋势 ..... | 28 |
| 一、地质 .....               | 29 |
| 二、采矿 .....               | 29 |
| 三、选矿 .....               | 30 |
| 四、轻金属冶炼 .....            | 31 |
| 五、重金属冶炼 .....            | 36 |
| 六、稀有金属冶炼 .....           | 42 |
| 七、半导体材料 .....            | 43 |
| 八、粉末冶金 .....             | 45 |
| 九、有色金属材料加工 .....         | 45 |
| 第二章 矿产地质科学技术 .....       | 48 |
| 第一节 矿床地质研究 .....         | 48 |
| 一、成矿理论研究的进展 .....        | 48 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 二、成矿模式研究方兴未艾 .....         | 51  |
| 三、矿产勘查新进展 .....            | 61  |
| 第二节 矿床地质研究技术方法 .....       | 68  |
| 一、同位素地球化学 .....            | 68  |
| 二、流体包裹体温压地球化学的应用 .....     | 73  |
| 三、成岩成矿实验 .....             | 74  |
| 四、岩矿测试 .....               | 75  |
| 第三节 矿产勘查技术方法 .....         | 76  |
| 一、地球物理探矿 .....             | 76  |
| 二、地球化学探矿 .....             | 77  |
| 三、遥感地质 .....               | 79  |
| 四、钻探技术 .....               | 80  |
| 第四节 矿产勘查发展趋势 .....         | 82  |
| 一、重视矿产资源保证程度的研究 .....      | 82  |
| 二、重视成矿环境和深部地质的研究 .....     | 84  |
| 三、重视超大型矿床研究及其找矿问题 .....    | 85  |
| 四、重视海洋矿产调查 .....           | 86  |
| 五、高技术勘查仪器设备将要有新的突破 .....   | 87  |
| 第三章 采矿科学技术 .....           | 89  |
| 第一节 有色金属矿山的发展概况 .....      | 89  |
| 第二节 有色金属矿山的特点和面临的问题 .....  | 91  |
| 一、有色金属矿床的赋存条件及开采技术特点 ..... | 91  |
| 二、矿山面临的困难和主要问题 .....       | 92  |
| 第三节 矿床开拓技术 .....           | 95  |
| 一、露天矿开拓 .....              | 95  |
| 二、地下矿开拓 .....              | 100 |
| 第四节 露天开采技术与装备 .....        | 108 |
| 一、采剥工艺技术的发展 .....          | 109 |
| 二、露天矿采剥设备 .....            | 118 |
| 第五节 地下矿山开采技术与装备 .....      | 126 |
| 一、井巷掘进技术与装备的发展 .....       | 126 |
| 二、采矿方法与设备 .....            | 134 |
| 三、矿山岩层的控制与支护技术 .....       | 146 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第六节 爆破技术与器材 .....           | 152 |
| 一、爆破技术的发展 .....             | 152 |
| 二、爆破材料的发展 .....             | 156 |
| 第七节 矿山安全技术与环境保护 .....       | 159 |
| 一、矿山安全技术 .....              | 159 |
| 二、矿井环境保护 .....              | 162 |
| 第八节 采矿基础理论及新技术的发展 .....     | 166 |
| 一、矿山岩体力学研究 .....            | 166 |
| 二、岩石破碎力学和破碎技术 .....         | 167 |
| 三、固体物料管道水力输送机理的研究 .....     | 168 |
| 四、放矿理论研究 .....              | 169 |
| 五、矿山自动化及仪表 .....            | 169 |
| 六、系统工程和电子计算机技术在矿业中的应用 ..... | 170 |
| 七、溶浸采矿技术 .....              | 170 |
| 八、海洋采矿的前景 .....             | 172 |
| 第四章 选矿科学技术 .....            | 175 |
| 第一节 选矿工艺新进展 .....           | 175 |
| 一、预选技术 .....                | 175 |
| 二、多金属复杂硫化矿分离技术 .....        | 178 |
| 三、铜、铅、锌氧化矿选别技术 .....        | 182 |
| 四、镍矿选矿技术 .....              | 185 |
| 五、钨锡矿选矿技术 .....             | 186 |
| 六、稀有金属选矿技术 .....            | 189 |
| 七、金矿选矿技术 .....              | 191 |
| 第二节 选矿新设备 .....             | 192 |
| 一、重选设备 .....                | 192 |
| 二、浮选设备 .....                | 196 |
| 三、磁选设备 .....                | 199 |
| 四、电选设备 .....                | 201 |
| 五、破碎、筛分、磨矿、分级设备 .....       | 202 |
| 第三节 选矿药剂 .....              | 205 |
| 一、捕收剂 .....                 | 206 |
| 二、调整剂 .....                 | 209 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 三、起泡剂 .....            | 210 |
| 第四节 选矿自动化 .....        | 211 |
| 一、碎矿过程自动控制 .....       | 212 |
| 二、磨矿过程自动控制 .....       | 212 |
| 三、选矿过程自动控制 .....       | 213 |
| 第五节 选矿理论研究 .....       | 214 |
| 一、破碎、磨矿理论 .....        | 214 |
| 二、浮选理论 .....           | 214 |
| 三、重选理论 .....           | 217 |
| 四、磁选理论 .....           | 218 |
| 第五章 冶炼科学技术 .....       | 221 |
| 第一节 重金属冶炼 .....        | 221 |
| 一、概述 .....             | 221 |
| 二、铜冶炼新技术 .....         | 224 |
| 三、铅冶炼技术 .....          | 243 |
| 四、锌冶炼技术 .....          | 248 |
| 五、锡锑汞冶炼技术 .....        | 254 |
| 六、镍冶炼技术 .....          | 260 |
| 七、钴冶炼技术 .....          | 263 |
| 第二节 轻金属(铝、镁)冶炼 .....   | 264 |
| 一、铝生产的技术发展 .....       | 265 |
| 二、镁冶炼的技术发展 .....       | 271 |
| 第三节 稀有金属冶炼 .....       | 273 |
| 一、稀土冶炼新工艺 .....        | 273 |
| 二、钛钒锆铪冶炼新工艺 .....      | 275 |
| 三、钨钼冶炼新方法 .....        | 280 |
| 四、钽铌锂冶炼技术的进展 .....     | 282 |
| 五、半导体硅和稀散金属冶炼新技术 ..... | 285 |
| 第四节 金银冶炼 .....         | 286 |
| 一、国外金银冶炼技术的发展 .....    | 286 |
| 二、国内金银冶炼技术的发展 .....    | 289 |
| 第六章 有色金属新型材料 .....     | 294 |
| 第一节 电子信息用有色金属材料 .....  | 294 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 一、超大规模集成电路材料 .....         | 294 |
| 二、信息记录材料 .....             | 298 |
| 三、光电材料及光学材料 .....          | 304 |
| 四、红外传感材料 .....             | 315 |
| 第二节 新型能源用有色金属材料 .....      | 319 |
| 一、原子能发电材料 .....            | 319 |
| 二、核聚变发电站材料 .....           | 322 |
| 三、磁流体发电 (MHD) 材料 .....     | 323 |
| 四、太阳能材料 .....              | 324 |
| 五、新型电池材料 .....             | 327 |
| 六、储氢材料 .....               | 328 |
| 第三节 新型结构用有色金属材料 .....      | 330 |
| 一、航空航天结构材料 .....           | 330 |
| 二、正在研制的宇航用新材料 .....        | 332 |
| 三、纤维和颗粒增强的金属基复合材料 .....    | 336 |
| 四、海洋用材料 .....              | 337 |
| 第四节 新型陶瓷材料 .....           | 337 |
| 一、结构陶瓷材料 .....             | 338 |
| 二、电子陶瓷材料 .....             | 340 |
| 第五节 超导材料 .....             | 355 |
| 一、金属、合金系超导材料 .....         | 356 |
| 二、化合物系超导材料 .....           | 356 |
| 三、陶瓷超导材料 .....             | 358 |
| 四、超导材料的应用 .....            | 360 |
| 第六节 新型功能材料 .....           | 362 |
| 一、形状记忆合金 .....             | 362 |
| 二、非晶态金属材料 .....            | 365 |
| 三、超细粉末材料 .....             | 367 |
| 四、高性能永磁材料 .....            | 369 |
| 五、超塑性材料 .....              | 372 |
| 六、高纯金属材料 .....             | 376 |
| 第七章 有色金属的科技体制 .....        | 386 |
| 第一节 中国有色金属科技事业的创建和发展 ..... | 386 |

---

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 一、创建 .....                | 386 |
| 二、成长 .....                | 390 |
| 三、改革与发展 .....             | 392 |
| 第二节 中国有色金属科技体制 .....      | 395 |
| 一、中国有色金属科技体制概况 .....      | 395 |
| 二、重点科研单位的实力和特点 .....      | 409 |
| 第三节 世界有色金属主要生产国科研概况 ..... | 429 |
| 一、美国 .....                | 429 |
| 二、苏联 .....                | 435 |
| 三、日本 .....                | 439 |
| 四、加拿大 .....               | 444 |
| 本书中主要人名、地名、公司名中外文对照 ..... | 447 |
| 后记 .....                  | 451 |

## 回顾中国有色金属科技40年

中华人民共和国成立以来的40年，是我国有色金属工业依靠科技进步，披荆斩棘，开拓前进的40年。

### 惊人的步伐

有色金属对促进人类历史的发展起过重要作用，锡青铜的出现加速了社会前进，中国是最早使用青铜器的国家之一。3000余年前，我们的祖先——勤劳勇敢睿智的中华民族创造了灿烂的青铜文化，掌握了铜、铅、锡、金、汞、银、锌等金属的提取、加工找矿、采矿等技术。

新中国成立之前，民族矿业奄奄一息，1949年我国有色金属生产技术十分落后，产量仅1.33万吨，在世界上排为第25位。

中华人民共和国成立以来的40年，在中国共产党的领导下，全行业130多万职工自力更生，艰苦创业，从建国前只能生产极少量的铜、铅、锌、锡、锑、汞、铝、金、银，到64种有色金属全部都能生产和回收；1988年10种主要有色金属产量突破200万吨，比1949年猛增152倍，成为世界上有色金属产品比较齐全的少数国家之一；由过去单纯引进国外技术转变为有进有出，现有180多项科技成果可供出口，享誉全球。

由于广大地质工作者的辛勤劳动，地质勘探工作卓见成效。探明的钨、锑、钛、锌、钒、锂、稀土金属储量居于世界首位，铅、钼、镍、汞、铌探明储量也居世界前列，为新中国有色金属工业的发展提供了可靠的矿产资源基础。

40年来，国家为开发有色金属工业以巨额投资，加强了中南、西南、西北地区有色金属工业的建设，使内地和沿海形成大致各半

的生产能力。当前中华大地有色金属企业星罗棋布，工业布局日趋合理，促进了各地区经济的发展。

## 奋进的历程

中国有色金属的科技事业是紧紧围绕国民经济发展的需要，逐渐发展起来的，40年来大致经历了四个发展阶段。

### 形成和创建时期（1949～1956年）

新中国的有色金属科技事业起步于组织原有企业技术力量研究解决现实生产问题。一些大中型企业陆续成立了中心实验室，配合生产开展研究工作。如在这个时期，沈阳冶炼厂研究成功湿法炼锌，山东铝厂试验成功碱石灰烧结法生产氧化铝工艺，几个有色金属加工厂也发展了有色金属材料的试制研究。在北京组建了中国第一个专门从事有色金属科学研究的重工业部有色金属工业综合试验所，以重金属采矿、选矿、冶炼工艺和药剂研究为主，并开展稀有金属的选矿研究。

### 快速发展时期（1957～1966年）

这个时期建成了从中央到地方的各级科研机构。中央级科研机构有为稀有金属材料研制作出重大贡献的北京有色金属研究院；为开发矿业和选冶作出重大贡献的北京矿冶研究院、北京地质研究所（经过迁建，现名中国有色金属工业总公司矿产地质研究院）、长沙矿山研究院。地区性研究院、所有西北矿冶研究院，四川、昆明、湖南、江西、辽宁冶金研究所，上海有色金属研究所宝鸡稀有金属加工研究所等。

在此期间，根据国家12年科技发展规划，结合有色金属行业的特点，尤其是对稀有金属材料的要求具体安排了30项重点科研课题。

### 曲折前进时期（1966～1977年）

1966～1976年正值世界科学技术迅猛发展时期，我国的有色金属科研事业遭到严重破坏，我国有色金属科技水平本来与国际先进水平正在缩小的差距又拉大了。在此艰难岁月，广大科技工

作者坚持科研，为军工和民用工业提供了急需的材料，尤其是身处三线建设的稀有金属冶炼、加工厂和研究所的同志们在极其困难的条件下，坚持科研工作，及时研制、提供了军工所需的锆、钎、钛、铍等多种金属材料，保证了核潜艇等胜利下水。在此期间研究机构也相应地发生某些变动。

### 蓬勃发展的新时期（1978年至今）

党的十一届三中全会以来，我国的经济建设和科学技术走上了改革、开放的正确轨道，在党的正确路线指引下，迎来了科学的春天。1983年经国务院批准，中国有色金属工业总公司成立，加强了对有色金属科技工作的领导，科技体制改革逐步走向深入。主要反映在加深对科学技术是生产力的认识；坚决贯彻“经济建设必须依靠科学技术，科学技术工作必须面向经济建设”的方针，编制了有色金属工业科技发展规划及有关政策，使资源优势逐渐向产品优势发展；组织重大资源综合利用的科技攻关；实行对外开放方针，引进先进技术和装备，提高了有色金属的科技水平；推进拨款制度的改革，中国有色金属工业总公司根据国家的有关规定制定了具体政策，实行经费的分类管理的办法；科研院所从实际出发，以多种适合自己的形式逐步长入经济，如西北矿冶研究院进入白银有色金属公司，密切了科技与生产的联系；院所在保证科研正常进行的前提下，适当开展综合经营，1988年院所创收相当于全年事业费支出金额的70~80%，提高了经济自立能力，正在从单一科研型向科研-开发-综合经营型转变；科研成果实行有偿转让，加速应用于生产，增强了院所的活力。

## 巨大的进步

新中国成立以来，从事有色金属的科技人员解放思想，刻苦钻研，研究成功一大批新工艺、新技术、新设备和新产品，获重大成果2000多项，其中包括185项全国科学大会奖、55项国家发明奖，收到了良好的社会效益和经济效益。以下事实证明，科学

技术不仅是生产力，而且是第一生产力，实现我国有色金属工业的腾飞，有赖于科技进步。

陈国达教授创立的“地洼学说”，突破了传统的地质理论，与国际上的“板块学说”并列为当今地质科学两个新的理论。我国运用“地洼学说”有效地指导了有色金属找矿；苏联也给予该学说以很高的评价。

50年代末，北京有色金属研究院的科研人员掌握了35种稀有金属提取方法，60年代初实现了稀有金属的工业化生产，为我国的原子弹、氢弹、人造卫星、火箭、导弹、核潜艇、核反应堆等尖端技术提供了不可缺少的材料。

结合中国有色金属矿山开采技术条件复杂的特点，先后试验研究并推广了留矿法、分段崩落法及胶结充填法，研制出30多种适合我国矿山特点的高效、安全、可靠的采掘设备；加强基础应用理论的研究，岩石力学理论应用于生产，保证了湖南锡矿山南矿区的安全生产，多回收金属锑1.42万吨。

1960~1962年，北京矿冶研究院的科技人员首创了以石蜡为原料研制成氧化石蜡皂，取代以大豆油为原料生产的脂肪酸硫酸化皂，解决了当时选矿与人争食用油的矛盾。

根据我国资源的特点，发展和创造了具有中国特色的碱石灰烧结法和混合联合法生产氧化铝工艺，使氧化铝的实收率、碱耗和生产成本等重要技术经济指标达到了世界先进水平，尤其是赤泥的综合利用、镓的综合回收和高白度氧化铝的生产工艺有独到之处。

矿产资源三大基地之一的金川镍基地，经过科技攻关取得99项科技成果，72项成果先后成功地用于生产和建设，现在可综合回收13种元素。1970~1989年镍产量增长了3.2倍，共实现利税17.8亿元，其中44.5%是依靠科技进步取得的。例如，研究成功了回收铂、钯、钼、钨、钽、铈和钴的新工艺，比原有工艺缩短周期五分之四。

我国发明的“白银炼铜法”，减少了环境污染，与原有反射