

新中國有色金屬

稀有金屬工業

《當代中國有色金屬工業》編委會

一九八七年·北京

编号

新中国有色金属

稀有金属工业

《当代中国有色金属工业》编委会

一九八七年·北京

新中国有色金属稀有金属工业

· 内部发行 · 注意保存 ·

编辑出版：《当代中国有色金属工业》编辑部
印 刷：北京昌平百善印刷厂

850×1168毫米 32开本 9.5印张 249千字

1988年10月印刷

前 言

遵照中央宣传部一九八二年十一月十二日中宣发文〔1982〕44号“关于编写出版《当代中国》丛书的通知”，中国有色金属工业总公司组成了《当代中国有色金属工业》编委会，组织力量、汇集资料、进行编写的准备工作。在工作过程中，收集到有关有色金属工业各方面的大量素材。为了把这些材料系统整理起来，按专业编成十七卷，定名为《新中国有色金属工业》丛书，做为编写《当代中国有色金属工业》一书的基础资料，付印内部发行。各卷的名称是：

1. 新中国有色金属地质事业
2. 新中国有色金属采矿工业
3. 新中国有色金属选矿工业
4. 新中国有色金属铝镁工业
5. 新中国有色金属铜工业
6. 新中国有色金属镍钴工业
7. 新中国有色金属铅锌工业
8. 新中国有色金属锡工业

9. 新中国有色金属锑汞工业
10. 新中国有色金属钨钼工业
11. 新中国有色金属贵金属工业
12. 新中国有色金属稀有金属工业
13. 新中国有色金属合金加工工业
14. 新中国有色金属环境保护与安全卫生
15. 新中国有色金属基本建设
16. 新中国有色金属科学研究
17. 新中国有色金属教育事业

本丛书不公开发行，仅供内部参考使用，故在保密上和文字上未做过多的处理，对一些问题也仅是提出初步看法，敬希保管使用本丛书的单位或个人，要注意这一点。

本丛书的编撰过程中，有色金属工业各部门抽出大量人员参与提供素材，撰写成书，在此谨向他们表示感谢。本丛书编撰出版时间短促，不妥和错漏之处在所难免，敬希读者同志提出宝贵意见。

《当代中国有色金属工业》编委会

一九八五年十月

《新中国有色金属稀有金属工业》

编 辑 说 明

《新中国有色金属稀有金属工业》是新中国建国以来第一本介绍稀有金属冶炼工业发展的史书。本书叙述了新中国稀有金属冶炼工业的发展历程和成就并使人们了解创业者和建设者所做的贡献，以从中取得经验、得到启迪、指导未来。

由于稀有金属种类繁多、涉及面广，而资料又难得齐全，编写者遇到许多困难；错误、遗漏与不足之处在所难免、欢迎读者批评指正。

在编写过程中，得到了北京有色金属研究总院、北京有色冶金设计研究总院等单位的大力支持；许多单位及个人提供了资料，有关领导、专家参加审稿工作。在此，仅向各单位、领导、专家致以深切的谢意。特别是对一些提供资料及参加审稿的单位、领导、专家未能一一列出，请鉴谅。

编 者

一九八八年四月

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 稀有金属在国民经济及新技术中的重要作用	(1)
第二节 稀有金属冶炼工业的建立与发展	(3)
第三节 基本经验教训	(18)
第二章 稀土金属 冶炼工业	(28)
第一节 新中国稀土金属冶炼工业发展史	(30)
第二节 稀土金属冶炼工业现状	(45)
第三节 稀土产品的应用与消费	(55)
第三章 钛冶炼工业	(63)
第一节 为发展我国钛工业开展海绵钛生产工艺的研究	(64)
第二节 抚顺铝厂建成海绵钛试验车间——标志着我国 海绵钛生产进入工业化阶段	(66)
第三节 我国海绵钛工业的前进与发展	(67)
第四节 金属钛生产中新技术的开发与应用	(77)
第五节 合理利用我国丰富的钛资源开展新技术与新工 艺的研究	(80)
第六节 冶金系统钛白的研究与生产	(86)
第七节 我国钛冶炼工业水平及展望	(88)
第四章 半导 体材料工业	(90)
第一节 锗	(92)
第二节 半导体硅	(105)
第三节 化合物半导体	(129)
第四节 我国半导体材料生产水平与国外水平的对比	(135)
第五章 钽铌冶炼工 业	(139)
第一节 我国钽铌冶炼工业基本建设	(140)
第二节 我国钽铌冶炼工艺的发展	(155)

第六章	锂铷铯冶炼工业	(169)
第一节	我国锂铷铯冶炼工业的建立.....	(170)
第二节	我国锂铷铯冶炼工业的成就与技术进步.....	(173)
第七章	铍冶炼工业	(182)
第一节	我国铍冶炼工业矿产资源.....	(183)
第二节	我国铍冶炼工业的科研成果和生产成就.....	(184)
第三节	安全与防护.....	(195)
第四节	我国铍冶炼工业的现状与国外的差距.....	(197)
第五节	关于我国铍冶炼工业发展的设想与建议.....	(198)
第八章	锆铪冶炼工业	(200)
第一节	概况.....	(200)
第二节	我国锆铪冶炼的科研和工业试验.....	(204)
第三节	我国海绵锆工厂生产概况.....	(212)
第四节	我国铪的科研与生产.....	(217)
第五节	我国锆铪冶炼工业取得的成绩和存在的问题.....	(219)
第九章	稀散金属冶炼工业	(221)
第一节	我国稀散金属的储量和产量.....	(222)
第二节	我国稀散金属冶炼工业的生产发展与成就.....	(223)
第十章	稀有金属冶炼工业分析	(236)
第一节	稀土金属冶炼工业分析.....	(239)
第二节	钛冶炼工业分析.....	(244)
第三节	半导体材料与高纯金属分析.....	(247)
第四节	钽铌冶炼工业分析.....	(257)
第五节	锂铷铯冶炼工业分析.....	(260)
第六节	锆铪冶炼工业分析.....	(264)
第十一章	新中国稀有金属工业大事记	(267)

第一章 概 论

第一节 稀有金属在国民经济及新技术中的重要作用

随着世界科学技术的进步，特别是新技术的发展，出现了一系列新的技术领域，稀有金属作为新型材料的重要组成部分，引起人们很大的注意。如在原子能工业中，铀、钍、钷是原子裂变反应堆燃料，铍及其化合物为中子减速及反射材料；铪、锆、钇、铈、钐及其合金是控制材料，锆、铌及其合金为结构材料。锂是核聚变反应堆燃料，铌、钛、锆、钒、钨、钼及其合金、金属间化合物用于作核聚变反应装置高场强磁体的超导材料。在航空、航天工业中，钛、钨、钼、铌、钽、钒及其合金是飞机、导弹、人造卫星、航天飞机的重要结构材料。在电子技术方面，特别是以电子计算机和集成电路及现代化的通讯手段为基础的信息技术中，硅、锗及砷化镓等化合物半导体材料（特别是单晶硅片）是当前集成电路、大规模集成电路及超大规模集成电路的基础；砷化镓是引人注目的新型半导体材料。又如电子技术中钽、铌高比容微型电容器材料，钐钴合金、钕铁硼合金用作永磁材料、磁记录材料，钇铋光存储材料，钇铋电子显示荧光粉材料，锂微型电池材料。此外，锗用作红外夜视材料，钛合金用作核潜艇结构材料，钨合金作为穿甲弹材料等。随着民用工业的发展，稀有金属在民用各个领域的使用正在扩大。如稀土金属广泛用于石油工业的催化剂；稀土用于石油以及玻璃、陶瓷工业；钒、钛、锆、铌、钨、钼大量用于合金钢的添加剂；钛白是优良的涂料；钛、锆、铌、钽是化学工业优良的耐蚀结构材料；锂盐用于电解铝工

业及医药工业、玻璃陶瓷工业、油脂工业；此外，稀土、钛、钼等用作农用微肥，对于提高农作物的产量有特殊的作用。因之，在国外稀有金属被认为是“战略金属”的重要组成部分。稀有金属的发展水平与用量，在一定程度上反映着一个国家的技术水平。随着新技术、高技术的发展，稀有金属在国民经济中也将占有越来越重要的地位。

稀有金属在地壳中的含量不都是很少的,许多稀有金属如钛、锆、钒在地壳中的含量大于常用有色金属镍、铜、锌、钴、铅、锡。世界上不少种稀有金属已探明储量是相当丰富的。从其储量与在新技术及国民经济中的重要性来看,有人认为目前被列入稀有金属的钛,将来要成为用量仅次于铁、铝的“第三金属”。还有人认为,锂将成为二十一世纪能源主要供应来源的“能源金属”。中国稀有金属资源丰富,品种比较齐全。如已探明的钨、稀土、钒、钛、铌、钼等金属储量都居于世界前列⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。可以说,从资源上看,在有色金属中稀有金属属于中国优势产业之一。

按照中国划分的六十四种有色金属中，稀有金属占四十二种〔4〕。习惯上将其分为五类：

- [illegible]

在本章中不包括稀有放射性金属及钒、钨、钼（因已列入其他篇章），但包括半导体材料（硅、锗及化合物半导体）。

解放前，旧中国的有色金属工业十分薄弱。其中稀有金属冶炼工业可以说是空白，中华人民共和国成立后的三十五年，是稀有金属冶炼工业从无到有，从小到大，自力更生艰苦创业的三十五年；也是奋发图强获得巨大发展的三十五年。现在中国已经建立

起以稀土、钛、半导体材料、钽铌、锂、铍、锆铪及分散金属等所构成的，技术上有中国特色的，具有一定规模和水平的稀有金属冶炼工业体系。基本上满足了原子能工业，航空航天工业，造船工业，化学工业，电子工业等的需要^{〔1〕}；并且正在比较迅速地向更多的民用和新技术领域扩展。一些稀有金属产品，如稀土、钛、锂、铍、钽、铌、镓、锗、锑等还有出口，其中一些产品的出口量正在增加。如稀土产品“六·五”期间出口达1亿美元。一九八五年向日本出口的稀土产品达4000万美元，占日本进口稀土产品的首位，为国家创造了外汇。生产能力方面，中国冶金系统稀有金属冶炼工业的生产规模（吨/年）为：稀土（氧化物计）12,500吨，海绵钛3,600吨，钛白3000吨，多晶硅200吨，单晶硅50~60吨，单晶锗30吨，金属钽60吨，金属铌80吨，铌铁500吨，锂盐5000吨，金属锂30吨，氧化铍85吨，铍铜470吨，金属锆240吨，金属钨9吨，分散金属80~95吨。

经过多年的培养与实践，稀有金属冶炼工业已经形成一支从提取、冶炼、分析检测、专业设备设计制造、环境保护、相关应用理论以及工程设计、施工和企业管理的专业队伍，为稀有金属冶炼工业的发展打下了基础。

第二节 稀有金属冶炼工业的建立与发展

中国稀有金属冶炼工业大体上经历了三个发展时期：一九五三年到一九六二年是创业时期。打破了大国封锁，加强科学研究，攻克稀有金属堡垒，全部掌握了六十四种常用有色金属及稀有金属的提取、冶炼工艺，完成了全部稀有金属工艺方法的实验室研究，有的还进行了半工业及工业试验，或建成实验车间，形成了批量生产能力。这是中国有色金属工业发展史上一项重大突破^{〔1〕}；一九六三年到一九七六年是工业化阶段。遵照中国共产党及国务院提出的调整、巩固、充实、提高方针，经过调整，稀

有金属冶炼工业面临实现工业化的大好形势。冶金工业部决定成立稀有金属工业公司（即第三有色金属工业公司）。从一九六三年到一九七六年期间新建、改建稀有金属冶炼工厂或车间二十六个。科研、设计、生产相结合，建立了中国的稀有金属冶炼工业，为国民经济、国防工业及新技术的发展，提供了各种规格的稀有金属产品。但由于十年动乱的严重干扰与破坏，使稀有金属冶炼工业的建立与发展受到了很大的挫折，拉大了与世界先进水平的差距；一九七七年到一九八五年进入了新发展时期。粉碎“四人帮”以后，特别是中国共产党十一届三中全会以来，对外开放，对内搞活，在改革的洪流中，稀有金属冶炼工业依靠方针政策，依靠科学技术，提高了技术水平，管理水平有很大改善。除个别稀有金属外，产量质量稳步上升，品种规格增加，技术经济指标不断进步，大力组织攻关，加强综合利用与民用推广，扩大了出口，已初步建立起中国的稀有金属工业体系。稀有金属工业进入了新的发展时期。

一、自力更生，艰苦创业（一九五三——一九六二年）

由于稀有金属材料与军事技术、新技术关系密切，所以国外对于稀有金属新的提取工艺，甚至专用设备、分析检测方法都是保密的，能够看到的仅仅是一些公开发表的零星资料。在五十年代到六十年代初期，美国等军事强国对中国更是严密封锁。另方面中国许多稀有金属矿都是多金属共生矿，伴生元素多，不易分离。如四川攀西地区的钒钛磁铁矿中，除铁、钛、钒外，还有锰、铬、钴、钼、钨、镓等多种金属元素；包头稀土铈铁矿中，还有氟、锰、磷、锆、钽、铋等有用元素。江西宜春地区钽铌锂矿还伴生有铷、铯、钾等有价值金属。又如镓、铟、铊、锗、硒、碲、镉等分别伴生于铝矾土矿、铜矿、铅锌矿、辉钼矿等矿物中。这些伴生金属经济价值高，但原矿品位往往偏低，矿物结构比较复杂，选矿、提取冶金工艺难度较大。一些稀有金属还需解决防护问题。因此，稀有金属的提取、冶炼、综合利用、环境保护要综合考虑，

这就增加了工艺的难度^[3]。由于中国矿物存在着结构、组成、品位等方面的特点和工艺的复杂性，国内使用部门对于材料的一些特殊要求，以及国外的保密封锁，这就使得中国稀有金属冶炼工业的建立与发展，一直是与科学研究紧密结合进行的。

一九五三年，中国第一个五年计划开始，即着手加强有色金属的科学技术研究工作。重工业部有色金属工业综合试验所开始了稀有金属选矿、冶炼方面的研究工作。一九五六年一月，在党中央召开的知识分子问题会议上，周恩来总理作了重要讲话。其中特别讲到当时科学技术的新发展。后来很快在全国出现了“向科学进军”的热潮。周恩来总理亲自领导并组织了六百位科学家、技术人员和一些苏联专家，经过半年的讨论，制订了“一九五六年——一九六七年科学技术发展远景规划纲要(草案)”^[8]。一九五六年六月确定了五十七项国家科学技术重要任务。其中第十六项为“钛冶金及其合金”^[5]，包括三个中心问题：掌握并改进钛的现行冶炼技术，同时探索新方法；研究钛合金的结构和性能，建立钛合金系统；掌握并改进钛合金的加工工艺。第二十五项为“稀有元素和分散元素的开采、提取和利用”^[6]。”中心问题之一为：研究矿石中提炼稀有金属(以钽、锆、钨、铌、钼、铍、锂、铯为主)的方法，建立生产流程；研究从工业副产物及废料中提取锗、镓、铟、铊、碲、镉、镭、钴及铂系金属。另一个中心问题为：研究稀土元素的分析、提取、分离及其化学，并探索新用途；掌握并改进超纯元素的制备、检验方法并研究其物理结构性质；研究稀有元素原料、中间产品及成品的化学分析、快速分析、定量光谱分析、X射线分析及其它重要分析方法；研究稀有元素及其化合物的性质、制备方法和新用途；研究中国丰产元素及稀有元素在合金中的利用，扩大其应用范围；研究铍、硒、碲、铊元素及其化合物对人体毒害的防护及治疗。第四十项“半导体技术的建立”^[7]。其中一个中心问题是：半导体原料资源的勘探，超纯单晶半导体制备工艺的掌握及其发展等。另一个中心问题为：半导体材

料制备方法的掌握和半导体基本性质的研究等。周恩来总理又组织专家门进行进一步讨论，在上述五十七项重要科学技术任务的基础上，提出重点任务十二项，即：（一）、原子能的和平利用；（二）、喷气技术；（三）、电子学方面的半导体、计算机、遥控技术；（四）、生产自动化和精密机械、仪器、仪表；（五）、石油等重要资源的勘探；（六）、建立中国自己的合金钢系统和冶炼新技术；（七）、重要资源的综合利用；（八）、新型动力机械和大型机械；（九）、长江、黄河的综合开发；（十）、农业的机械化、电气化和化学肥料；（十一）几种主要疾病的防治；（十二）农业重要基本理论的研究^[8]。在一九五六年有预见地提出这十二个方面的重要任务，对于中国的科学技术、国民经济和国防的发展带来极为重大的影响。可以说，从一九五六年开始，中国的科学技术走上了现代化的轨道。中国稀有金属冶炼工业也是沿着这个轨道前进的。中国的一些有识之士已经看到了稀有金属对于发展国民经济和国防尖端技术的重要性，从一九五六年起，在老专家的指导下，依靠自己的力量，开始建立一支稀有金属的科学研究队伍⁽¹⁾。五十年代中期，冶金工业部从全国有色金属系统的厂矿、研究单位抽调了一大批干部和技术骨干，充实重工业部有色金属综合试验所，并在一九五五年将该试验所改为重工业部有色金属综合研究所（李锦刚担任所长）。为开展一些稀有金属的提取研究进行了技术和物质准备。如制定提取锂、锆、铈等稀有金属的探索性试验方案、分析检测方法研究等。五十年代中期开始，中南矿冶学院（现中南工业大学）、东北工学院、北京钢铁学院等筹建稀有金属冶炼专业教研室。一九五四年至一九五七年，在苏联专家尤哈达诺夫的建议下，重工业部有色金属综合研究所开展了钛、铍、锂、锆、钽、铌、等金属提取方法的探索试验，获得了样品。在此期间，中国科学院上海冶金陶瓷研究所、长春应用化学研究所，化学研究所以及北京大学、复旦大学等也开展了钒钛等稀有金属基本性质和冶炼方法

等的探索试验。一些有色金属冶炼厂进行了从工业废料中综合回收稀有金属的工作。例如山东铝厂从氧化铝生产系统中回收镓，沈阳冶炼厂从炼锌残渣和铜阳极泥中回收铟、硒和碲。在第一个五年计划期间，获得了钛、铍、锂、锆、钽、铀、硒、碲、镓、钨、钼、钽、铌十三种稀有金属及其化合物的样品，但金属纯度不高，一些提取流程不适于工业生产⁽³⁾。

一九五八年冶金工业部向中国共产党中央毛泽东主席和国务院报告，建议国家把重点发展稀有金属工业作为第二个五年计划的一个方针问题来考虑，要用最大的努力拿下六十四种有色金属品种的生产工艺技术。这个建议得到了中国共产党中央的赞同⁽¹⁾。同年一月，冶金工业部决定扩大有色金属综合研究所为冶金工业部有色金属研究院（孙鸿儒为党委书记兼院长）。有色金属研究院全面开展稀有金属的研究，由院长孙鸿儒，副院长高鹏，总工程师李东英直接领导这项重要的科研任务。一九五八年三月，朱德委员长亲临北京有色金属研究院视察稀有金属的科研进展，观看了展品，并鼓励科技人员努力工作，加快研制军工急需的稀有金属和材料。国家科委和国防科委主任聂荣臻元帅亲自抓稀有金属，多次召见冶金工业部和有色金属研究院的领导同志，直接布置任务，为大力发展稀有金属创造条件⁽³⁾。一九五八年聂荣臻元帅为有色金属研究院调来一批转业军人，并从全国调拨急需的各种稀缺材料，如镍板、钼片、不锈钢、石英管及特种有机试剂与化学试剂等，还从全国各地调来和调运各种稀有金属矿石，如一九五八年河北省宣化地区发现有含锆较高的沥青质煤，在国家科委的安排下，中国人民解放军驻张家口部队派两个团上山挖煤。冶金工业部有色金属研究院以这种煤为原料，进行提取锆的研究，同年制得锆42公斤，并拉制出以国产锆为原料的第一根锆单晶。聂荣臻元帅派国防科委秘书长安东少将经常到有色金属研究院检查帮助工作。一九六四年聂荣臻副总理亲自主持召开了包头矿综合利用和稀土推广应用会议。

攻占稀有金属堡垒的战斗打响后，有色金属研究院全体同志在院党委的领导下，千方百计克服各种困难，在中国科学院、高等学校研究工作及有关资料的基础上，从一九五八年至一九六二年，在冶金系统内首先研制并完成了钪、铈、铈、钒、铈和十六种单一稀土金属的实验室制备。在此期间，沈阳冶炼厂从铅烧结机烟尘中回收并制得金属铈。从一九五八年至一九六二年，有色金属研究院与国内有关单位共同协作，在冶金系统内攻占了全部六十四种有色金属的提取工艺，提前五年达到全国十二年科学技术规划中对稀有金属的全部进度要求。一九六三年，有色金属研究院对这项工作向冶金工业部写了汇报，对这项工作做了评价：（一）在此期间，对稀有金属进行了大量的资源勘探工作，证明中国稀有金属资源是丰富的，品种比较齐全，可以大规模发展稀有金属工业；（二）在研究发展过程中，将稀有金属的科研工作分为四个领域，即：稀有金属选矿、提取、熔炼、；半导体材料；稀有金属合金及加工；高纯金属、半导体材料及新型材料的物理检测与化学分析；（三）完成六十四种有色金属，其中主要是稀土金属的实验室制备方法；（四）为几种主要稀有金属如锆、硅、铍、锂、钛、钽、铌、锆、等提取、冶炼工艺的工业化创造了条件。六十四个有色金属堡垒的全部攻占，被认为是中国有色金属工业发展史上的一个重大突破^{〔1〕}。冶金工业部有色金属研究院对此作出了重大贡献。周恩来总理一九五八年在全国群英会上授予该院一面锦旗，题词为“为把我国建成一个具有现代化工业、现代农业和现代科学文化的伟大社会主义国家而奋斗”。

为了满足军工及新技术需要的稀有金属材料，为稀有金属工业化创造条件，冶金工业部决定建立一批具有实验性质的稀有金属冶炼工厂及车间。从五十年代末到六十年代初，先后建成有色金属研究院稀有金属试验工厂（包括锂、铍、钽、铌、锆、钪、稀土的提取、冶炼），抚顺铝厂钛车间，上海第二冶炼厂钛车间、铍车间及硅材料车间，上海东升金属厂钛白车间，新疆一一

五厂（生产锂盐），水口山矿务局六厂镓车间，株洲硬质合金厂钽铌车间，长沙六〇二厂稀土车间，上海跃龙化工厂（生产稀土产品），包头七〇四厂（生产稀土合金）等，并于一九六〇年实现了镓、铟、铊、锗、硒、碲、铼综合利用的工业化。这些工厂、车间的建立，不仅提供了急需的稀有金属产品，积累了设计数据和生产经验，也培养了一批技术人员、管理人员和工人。但总的来看，也存在着产品成本偏高，技术经济指标不完全合理，工艺和设备未完全定型以及一些安全防护、环境保护、三废处理未完全解决等问题，尚不能达到工业化生产的规模。

二、科研、设计、生产相结合，实现工业化（一九六三年—一九七六年）

一九六三年中央对十二年科学规划的执行情况进行了检查，五十七个主要项目已经完成了五十项，可以说基本上完成了。在此基础上，国家科委、国防科委又分别制定了“一九六三——一九七二的十年科学技术规划（草案）”。当时制定新的十年规划，总的目标就是要赶上六十年代世界先进的科学技术水平。国防方面在继续突破尖端武器的同时，强调了常规武器在补缺配套的基础上逐步赶上外国同类武器的先进水平。民用方面强调了要使农业、工业现代化，建立自己的先进工业体系，填补重点基础科学、基础技术的空白。在这十年中，进一步建立起强大的、又红又专的科学技术队伍来⁽⁸⁾。根据这个总的要求，稀有金属工业化，建立中国先进的稀有金属工业成为紧迫而又重要的任务。在“一九六三——一九七二年十年科学技术发展规划”⁽⁸⁾中，“冶金工业稀有金属选矿及冶炼和冶金工业新型材料”任务书⁽¹⁰⁾内，规定有关稀有金属的发展目标是：（一）实现稀有金属的工业化生产。要求科学技术研究工作加速作好工业化的准备工作，要使选矿和冶炼的工艺流程、设备、防护设施，原料供应、产品检验等方面存在的问题都得到解决，以保证提供现代化国防急需的稀有金属材料；（二）加速研究稀有金属选冶的新