



中国有色金属工业协会专家委员会组织编写

有色金属系列丛书

中国钛业

A circular emblem with a metallic, three-dimensional appearance. Inside the circle, the chemical symbol 'Ti' is written in a serif font, representing titanium.

Ti

ZHONGGUO TAIYE



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



中国有色金属工业协会专家委员会组织编写

有色金属系列丛书

中国钛业

北 京

冶金工业出版社

2014

内 容 简 介

本书简要介绍了钛工业的发展简史,钛的性能和应用,钛资源的分布和利用,钛的选矿技术和装备,钛的冶炼和加工技术,新型钛合金的研究,钛制设备的设计与制造,中国钛工业的产能、产量、消费及钛行业的资本运作,钛及其合金产品的标准,以及国内外的主要钛企业和主要的消费国等内容。

本书适合钛业工作者和关心钛工业发展的人士阅读,也可作为大专院校相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

中国钛业/中国有色金属工业协会主编. —北京:冶金工业出版社, 2014. 6

(有色金属系列丛书)

ISBN 978-7-5024-6586-5

I. ①中… II. ①中… III. ①钛—有色金属冶金—冶金工业—中国 IV. ①F426.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 101677 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 张熙莹 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6586-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2014 年 6 月第 1 版, 2014 年 6 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 8.875 印张; 172 千字; 256 页

36.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《有色金属系列丛书》

编辑委员会

主任委员 陈全训

常务副主任委员 高德柱

副主任委员 赵家生 丁学全 贾明星

尚福山 王健 文献军

潘文举 王琴华

总 编 贾明星

副 总 编 张洪国 王华俊 李宴武

王恭敏 潘家柱 钮因健

周菊秋 吴金生

编 辑 王惠芬 孙秀敏 徐国端

王繁滨 张龙 钟琼

刘华 邵朱强 杨鹏

《中国钛业》编辑委员会

主	编	邹武装		
副	主	编	胥 力	谢湘云 王向东
编	辑	人	员	逯福生 贾 翊 郝 斌
				邓宁嘉 邓 炬 邓国珠
				王桂生 史书春 许广和
				刘禹明 吕培成 张 红
				张 军 杨凯宇 李俊文
				陈志强 杨新达 郑永利
				林 英 周 慧 胡廷波
				郭志军 高 峰 阎守义
编	审	潘家柱	李宴武	

序



为适应有色金属工业发展的需要，普及和提高有色金属知识，提升全国有色金属战线广大干部职工的思想业务素质，促进我国从有色金属生产大国向有色金属工业强国的转变，中国有色金属工业协会组织编写了《中国铜业》等《有色金属系列丛书》（共21本）。《丛书》集中了全行业的智慧和力量，汇集了当今中国乃至世界有色金属领域的最新知识和信息，深入浅出，通俗易懂，融知识性、实用性为一体，是社会各界学习和提高有色金属知识的好教材和实用工具书。

有色金属是经济社会发展必不可少的基础材料和重要战略物资。有色金属作为功能材料和结构材料而广泛应用于人类生活的各个领域，成为当今高新技术发展和国防军工的重要支撑。有色金属的生产和消费水平已经成为衡量一个国家社会进步的重

要标志。

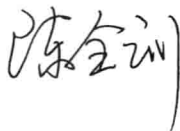
中国是生产有色金属品种最全的国家，门捷列夫化学元素周期表中的 64 种元素的有色金属都能生产。中国是世界生产和消费有色金属最多的国家，到 2011 年十种有色金属产量已达 3438 万吨（快报数），连续 10 年位居世界第一，年消费有色金属已达 3580 万吨以上，连续 9 年位居世界第一。目前全国已有有色金属企业、事业单位 3 万多家，就业人员 360 多万。

有色金属涵盖的金属品种多。在元素周期表中，除了黑色金属铁、锰、铬，铜系和超铜系放射性金属元素外，余下 64 种都为有色金属元素。有色金属成矿条件复杂，矿床类型多样，矿体形态变化大，元素组合多样，勘探难度大，而且需要综合勘探、综合评价。有色金属结构复杂，多种矿物相嵌共伴生关系密切，选矿和冶炼的技术、装备复杂，工艺流程长。有色金属应用领域广，用途千差万别，材料的研制和加工复杂。有色金属元素在原矿中含量低，富集比都在几十、几百、几千甚至几万，导致在采矿、选矿和冶炼过程中固体废物多，节能环保压力大，工艺技术复杂。综合上述不

难看出，有色金属产业是固体矿产资源开发利用领域最复杂的产业，有色金属知识领域宽广、博大精深。

建设现代化的有色金属工业强国是全行业 360 多万职工为之奋斗的目标。我相信，《丛书》的出版发行，对增进全社会对有色金属工业的了解，推动全行业广大干部职工学习和掌握有色金属知识必将发挥积极重要的作用。让我们行动起来，为促进我国有色金属工业的持续、稳定发展，为实现有色金属工业发展的既定目标而奋勇前进。

中国有色金属工业协会会长



2012 年 8 月于北京

前 言



钛及其合金具有熔点高、密度小、强度大、耐腐蚀、生物相容性好、超导、形状记忆和储氢等一系列重要特性，在航空、航天、船舶、核电、医疗、化工、冶金、电子、体育休闲、建筑等领域有广泛的用途，而被人们誉为“第三金属”、“空中金属”、“海洋金属”。

钛氧化物的化学位很低，很稳定，不能像铁那样简单用碳还原的方式制得，而必须通过氯化转型，精馏精制除杂，然后在真空中（或惰性气体保护下）用金属镁还原蒸馏制得。钛及其合金材的加工过程也极为精细复杂。因此，金属钛的冶炼和加工过程是高技术。

目前，中国是世界上少有的几个已具备钛的采选、冶炼、加工、应用和研究这一完整的钛工业体系的国家之一。中国的钛业工作者为国家的国防军工和国民经济重要部门提供了大量优质的钛材料、

钛产品和钛装备。这是中国的骄傲。

中国钛工业起步于 20 世纪 50 年代，在新中国成立不久，百废待兴之时，老一辈党和国家领导人是真正的历史巨人，他们站在历史的高度，作出了发展中国钛工业的决策。经过几代人的不懈努力，中国钛工业终于大器晚成，步入了世界钛工业大国之林。2011 年中国生产海绵钛 6.50 万吨，钛加工材 5.10 万吨，均占世界总产量的 1/3 以上，双双居于世界第一位。

目前，中国钛工业处在一个关键的发展时期，一方面是国家“十一五”以来提出了大飞机计划、嫦娥计划、天宫轨道站计划和核电建设计划等重大工程，对高质量高性能钛材料提出了现实的需求；另一方面国家还提出了科学发展、绿色发展、转变经济增长方式的大战略。因此，大力加强钛行业的技术攻关和科学管理，不断开发新产品和提高产品质量，显著降低钛制品的能耗和各个环节的生产成本，有效减少“三废”排放，就成为中国钛工业“十二五”期间的发展主旋律。

为了向全社会宣传、普及钛的知识，推动、促进钛业的技术发展，推广、扩大钛在各领域的应用，中国有色金属工业协会钛锆钎分会组织百余位

在生产、科研第一线的工程技术人员，共同编写了《钛手册》和《中国钛业》两本专著，以奉献给那些关心关注中国钛工业发展的人士。

《中国钛业》是具有系统性、权威性、科学性、实用性的中国钛工业全貌性描述的技术专著，适合每一位正在从事或未来将要从事钛生产、科研工作的人士阅读，也可作为高等院校的教学参考书。

感谢本书的每一位作者，他们为中国钛工业的发展做了一件极有意义的工作。

邹武装

2012年4月于北京

目 录



第一篇 绪论	1
第一章 世界钛工业发展概况	1
第二章 中国钛工业发展历程	2
第三章 中国钛产业的未来	8
参考文献	9
第二篇 钛的性能与应用	11
第一章 钛的基本特性	11
第一节 概述	11
第二节 钛的物理性能	11
第三节 钛的力学性能	12
第四节 钛的耐蚀性能	13
第二章 钛及钛合金的应用	15
第一节 钛在航空航天领域的应用	15
第二节 钛在舰船领域的应用	17
第三节 钛在化工领域的应用	18
第四节 钛在石油化工领域的应用	18

第五节 钛在真空制盐行业的应用	19
第六节 钛在电力行业的应用	20
第七节 钛在冶金行业的应用	20
第八节 钛在建筑行业的应用	21
第九节 钛在海洋工程和海洋建筑行业的应用	21
第十节 钛在车辆行业的应用	22
第十一节 钛在医药行业的应用	22
第十二节 钛在体育及休闲用品行业的应用	23
第十三节 钛在生活用品行业的应用	23
参考文献	24
第三篇 钛资源的分布和利用	26
第一章 钛矿物种类和钛矿床类型	26
第一节 钛矿物种类	26
第二节 钛矿床类型	28
第二章 钛资源	30
第一节 世界钛资源	30
第二节 中国钛资源	31
第三章 钛矿的开采和应用	32
第一节 国外钛矿的开采和应用	32
第二节 中国钛矿的开采及供需状况	33
第三节 国内各地产钛矿组成和中国钛矿标准	35
参考文献	36
第四篇 钛矿的选矿技术与装备	37
第一章 砂矿钛铁矿的选矿技术与装备	37

第一节 砂矿钛铁矿的矿石性质	37
第二节 砂矿的采矿方法	38
第三节 砂矿钛铁矿选矿	40
第四节 砂矿钛铁矿主要选矿设备	42
第五节 砂矿钛铁矿选矿实例	43
第六节 精矿和尾矿处理	45
第二章 岩矿钛铁矿的选钛技术与装备	46
第一节 岩矿钛铁矿的特征	46
第二节 岩矿钛铁矿的选矿技术与装备	46
参考文献	48
第五篇 钛的冶炼技术与装备	49
第一章 概述	49
第一节 钛的制取方法及工艺流程	49
第二节 国内海绵钛生产情况	50
第三节 主要技术经济指标	52
第四节 主要科研成果、存在的主要问题及 未来发展	54
第二章 高钛渣的生产	55
第一节 概述	55
第二节 主要原料	55
第三节 工艺流程和主要设备	56
第四节 产品质量及技术经济指标	58
第三章 四氯化钛的制取	59
第一节 概述	59

第二节 工艺流程和主要设备	61
第三节 技术经济指标	62
第四章 四氯化钛的精制	63
第一节 概述	63
第二节 除钒工艺流程和主要设备	64
第三节 技术经济指标	65
第五章 镁还原法制取海绵钛	65
第一节 概述	65
第二节 工艺流程和主要工艺技术条件	66
第三节 产品质量及技术经济指标	68
第六章 海绵钛后处理	69
第七章 镁电解及粗镁精炼	69
第一节 概述	69
第二节 镁电解生产工艺	71
第三节 粗镁精炼	71
第四节 产品质量及氯镁循环经济效益	72
第八章 “三废”治理、安全生产及职业健康	73
第一节 “三废”治理	73
第二节 安全生产	75
第三节 职业健康	76
第四节 环境保护	77
参考文献	77
第六篇 加工技术、装备与产品	79
第一章 钛及钛合金加工技术概述	79

第一节 钛及钛合金加工工艺流程	79
第二节 钛及钛合金加工的主要特点	79
第二章 钛及钛合金铸锭熔炼	81
第一节 概述	81
第二节 自耗电极的制备	82
第三节 铸锭熔炼	82
第三章 钛及钛合金的铸造	83
第一节 概述	83
第二节 造型材料和造型工艺	84
第三节 铸造用钛金属液的熔炼方法	85
第四章 钛及钛合金锻造	86
第一节 概述	86
第二节 钛及钛合金锻造前的加热	88
第三节 钛及钛合金的锻造工艺	89
第五章 钛及钛合金棒、线、型材的轧制	91
第一节 概述	91
第二节 典型棒线材热连轧生产线	92
第三节 轧制工艺	93
第六章 钛及钛合金管材及挤压制品	94
第一节 概述	94
第二节 钛及钛合金无缝管材	95
第三节 焊接管材	96
第七章 钛及钛合金板材加工技术	97
第一节 概述	97
第二节 板、带、箔材生产	98

第八章 钛及钛合金层状金属复合材加工技术	99
第一节 概述	99
第二节 常规复合方法	99
第九章 钛及钛合金特种加工技术	100
第一节 钛的粉末冶金	100
第二节 超塑性成型与扩散连接	102
第十章 钛及钛合金残料回收技术	103
第一节 概述	103
第二节 钛及钛合金残料的净化处理	103
第三节 钛及钛合金返回炉料的回收利用方式	104
参考文献	106
第七篇 钛合金研究	108
第一章 钛合金概述	108
第一节 工业纯钛与钛合金	108
第二节 钛合金分类	112
第二章 国内外钛合金研究现状及发展趋势	125
第一节 宇航用钛合金的研究进展	125
第二节 耐蚀钛合金的研究进展	131
第三节 船用钛合金的研究进展	133
第四节 生物医用钛合金	136
第五节 低成本钛合金研究进展	138
第六节 其他合金	139
第七节 超高强新型钛合金成分定量 设计与研究	142