



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

中国铍业



ZHONGGUO PIYE



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

中国铍业

北 京

冶金工业出版社

2015

内 容 提 要

全书共分十三篇,简要介绍了铍的发展史,铍及主要含铍材料的性质与用途,铍矿资源、采矿、选矿,铍的提取冶金与粉末冶金成型工艺技术,铍铜合金的冶金与加工工艺技术,铍铝合金生产工艺技术,氧化铍陶瓷的生产工艺技术,铍及含铍材料近二十年来的技术进展与创新,铍的贸易与价格,铍金属的国家政策,铍金属的循环利用,铍的毒性与防护,世界主要的铍生产企业等内容。

全书浅显易懂,有利于客观全面地了解铍及含铍材料,适合于关注、从事铍行业的社会各界人士阅读,也可供铍行业广大学者、科研人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国铍业/中国有色金属工业协会主编. —北京:冶金工业出版社, 2015. 4

(有色金属系列丛书)

ISBN 978-7-5024-6875-0

I. ①中… II. ①中… III. ①铍—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 (2015) 第 057824 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn—电子信箱 yjcs@cnmp.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 978-7-5024-6875-0

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

2015 年 4 月第 1 版, 2015 年 4 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 8.375 印张; 167 千字; 248 页

34.00 元

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

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

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

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

《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

《中国铍业》编辑委员会

主 编 钟景明

编 辑 许德美 孙本双 李 彬 王战宏
朱文斌 赵 飞 李 峰 黄 涛
刘柳辉

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

陈全训

2012 年 8 月于北京

前 言



为了满足社会各界人士快速了解和掌握有色金属品种科学知识的需要，推动有色金属行业从业人员素质和业务能力的提高，中国有色金属工业协会组织编撰融知识性、实用性为一体的《有色金属系列丛书》。根据协会的统一部署，由我国唯一的铍材研制和生产基地——西北稀有金属材料研究院负责本书的编写。

铍作为一种战略金属，是世界各主要军事大国十分关注的敏感金属。我国的铍产业经过 50 多年的自主发展，已经基本形成完整的工业体系。在这条产业链上，用量最少但最重要的是金属铍，它在国防军工、航空航天和战略核能等领域有着关键的应用，是一种关系着国家安全的战略性、关键性物资；铍铝合金结合了铍的刚性和铝的韧性，有望成为下一代航空航天结构材料；氧化铍陶瓷属于特种陶瓷，是构成现代电子装备的物质基础；铍铜合金在所有铜合金中综合性能最好，用于几乎所有的工作领域；铍镍合金的工作温度比铍铜合金还高出 $250 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 。因此，铍金属系列产品直接关系着一

个国家国防尖端技术和战略性新兴产业的发展。

西北稀有金属材料研究院根据丛书编委会提出的大纲要求,历经两年的讨论、编写和修改,完成了本书。全书共分十三篇,较系统、全面地介绍了世界铍资源的分布、铍及含铍材料的性质与用途、生产工艺技术及其进展、贸易、国家政策、毒性与防护、循环利用以及未来铍产业的发展趋势。

本书浅显易懂,可作为科普性读物,有利于客观全面地了解铍及主要的含铍材料,适合于关注、从事铍行业的社会各界人士阅读,也可供广大学者、科研人员学习参考。

本书由钟景明主编,许德美、孙本双、李彬、王战宏、朱文斌、赵飞、李峰等参加编写。特别是许德美同志为本书的定稿付出了大量心血,先后三次逐字逐句地对文稿进行了校对。在此,对以上同志的辛勤劳动表示诚挚的谢意!

希望本书的出版有助于我国铍事业的良性发展,推动铍及含铍材料的应用进程,为国防军工事业和国家相关产业的发展作出贡献。

由于编者水平所限,书中不足之处,恳请各位读者批评指正。

编 者

2014年11月

目 录



第一篇 铍工业概况	1
第一章 铍的发现发展简史	1
第二章 世界各国铍工业现状	2
第一节 美国的铍工业	2
第二节 哈萨克斯坦的铍工业	6
第三节 俄罗斯的铍工业	8
第四节 中国的铍工业	9
第五节 日本的铍工业	11
第六节 其他国家的铍工业	12
第三章 铍工业的发展趋势	13
第二篇 铍及主要含铍材料的性质与用途	18
第一章 铍产业链上分布的主要市场产品	18
第二章 氧化铍粉末的性质与用途	20
第三章 金属铍的性质与用途	22
第一节 金属铍的基本性质	22
第二节 金属铍的应用	29

第四章 铍铜合金的性质与用途	53
第一节 铍铜合金的性能与牌号	53
第二节 铍铜合金的应用	56
第五章 铍铝合金的性质和用途	62
第一节 铍铝合金的牌号	62
第二节 铍铝合金的性质	63
第三节 铍铝合金的应用	64
第六章 氧化铍陶瓷的性质和用途	70
第一节 氧化铍陶瓷的性质	70
第二节 氧化铍陶瓷的应用	72
第七章 其他含铍材料	76
第一节 铍镍合金	76
第二节 铈铍芯块	77
第三节 氟化铍	77
第四节 氢化铍	78
第五节 铍硅合金	78
第三篇 铍矿资源与采冶	79
第一章 铍矿的形成与分布	79
第一节 铍矿物和矿床	79
第二节 铍矿产资源的储量与分布	81
第二章 铍矿石的采选	88
第一节 铍矿石的选矿工艺	88
第二节 主要铍矿山开采现状	91
第三节 世界铍矿石的产量	97

第四节 铍矿石的可供性	99
第三章 铍矿石的冶炼	100
第一节 工业氧化铍的制取工艺	100
第二节 高纯氧化铍的制取工艺	111
第四篇 金属铍的冶炼与加工	114
第一章 金属铍的冶炼	114
第一节 氟化铍镁热还原法	114
第二节 氯化铍的熔盐电解法	119
第二章 金属铍的粉末冶金	121
第一节 金属铍的熔铸	121
第二节 金属铍的制粉	123
第三节 金属铍的成型固结	128
第三章 金属铍的压力加工	131
第一节 铍板(箔)的轧制	131
第二节 铍的挤压	131
第三节 铍材的锻造	132
第四节 铍的深冲	132
第四章 金属铍的机械加工	133
第五章 金属铍的热处理	133
第一节 铍的去应力退火	134
第二节 铍的再结晶退火	134
第三节 铍的冷热循环处理	134
第四节 铍的固溶时效处理	135
第六章 金属铍的连接	135

第一节 钎焊技术	136
第二节 熔化焊技术	136
第三节 扩散焊接技术	137
第七章 金属铍的分析检验	137
第五篇 铍铜合金的冶炼与加工	141
第一章 铍铜中间合金的生产方法	141
第二章 铍铜合金的生产工艺	142
第一节 铍铜合金的熔铸	142
第二节 铍铜合金的锻造	144
第三节 铍铜合金的压力加工	144
第四节 铍铜合金的热处理	149
第五节 铍铜合金的表面处理	150
第六篇 铍铝合金的生产	152
第一章 铍铝合金的粉末冶金生产工艺	152
第二章 铍铝合金的精密铸造生产工艺	153
第七篇 氧化铍陶瓷的生产	155
第一章 氧化铍陶瓷料的制备	155
第二章 氧化铍陶瓷的成型	156
第一节 热压铸成型	157
第二节 干压成型	157
第三节 挤压成型	158
第四节 轧膜成型	159

第五节 等静压成型	159
第三章 氧化铍陶瓷的烧结	159
第四章 氧化铍陶瓷的金属化与封接	161
第一节 烧结金属粉末法金属化	161
第二节 气相沉积金属化	162
第三节 氧化铍陶瓷的连接	164
第八篇 铍及含铍材料的技术进步与创新	166
第一章 国外铍及含铍材料的技术进步与创新	166
第一节 金属铍工艺技术进展	167
第二节 铍铝合金工艺技术进展	172
第三节 新型铍材料的开发和应用	175
第二章 我国铍及含铍材料的技术进步与创新	183
第一节 铍材粉末冶金工艺技术进步	184
第二节 新型铍及铍合金的研制	185
第三章 我国未来铍行业的重点发展方向	190
第一节 惰性气体雾化制取金属铍及铍合金 粉末技术	190
第二节 铍近净成型技术和快速近净成型 技术	191
第三节 新型铍材的合金设计与制备	191
第九篇 铍金属的贸易与价格	193
第十篇 铍工业的国家政策	196

第十一篇 铍金属的循环利用 201

第十二篇 铍金属的毒性与防护 203

第一章 铍的毒性 203

第一节 铍致敏 204

第二节 急性铍病 204

第三节 慢性铍病 205

第四节 铍的致癌性 206

第二章 铍的职业接触限值 206

第三章 铍毒的防护 210

第一节 工程控制手段 210

第二节 管理控制措施 211

第三节 个人防护措施 212

第四节 铍作业人员职业病状况 213

第四章 铍的环境保护 215

第一节 含铍空气的污染治理 215

第二节 含铍废水的处理 215

第三节 废渣和固体废弃物的处理 216

第四节 废气的处理 216

第五节 环境监测 217

第六节 我国铍环境保护现状 217

第十三篇 世界主要铍生产企业 224

第一章 氧化铍和金属铍的生产企业 224

第一节	Materion 公司	224
第二节	乌尔巴冶金厂	225
第三节	西北稀有金属材料研究院	226
第四节	湖南有色铍业有限公司	226
第五节	恒盛铍业有限责任公司	227
第二章	铍铜合金主要生产企业	227
第一节	国外主要铍铜合金生产企业	227
第二节	中国主要铍铜合金生产企业	230
第三章	铍铝合金的生产企业	233
第一节	Materion 公司	233
第二节	IBC 先进合金公司	234
第三节	西北稀有金属材料研究院	235
第四章	氧化铍陶瓷的生产企业	235
参考文献		237
附 录		246
附录一	64 种有色金属元素	246
附录二	元素周期表	248