



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

中国镁业



ZHONGGUO MEIYE



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



中国有色金属工业协会专家委员

有色金属系列丛书

中国镁业

北 京

冶金工业出版社

2013

内 容 简 介

本书由中国有色金属工业协会组织编写。全书共十篇，以镁的新技术、新装备、新成果和新应用的发展为主线，介绍了镁的资源、冶炼、加工、连接（焊接）、表面处理、回收、安全与防护等有关技术及应用的最新进展，包括“十五”、“十一五”、“863”计划、“973”计划项目的应用成果和镁合金功能材料一些最新的制备及加工技术、应用，同时还介绍了相关产业政策、发展规划与法规，以及中国镁工业近 10 多年来的经济运行情况。

本书可供从事镁合金生产、研究、开发和应用的工程技术人员、科研人员、管理人员及相关从业人员阅读，也可供高校有关专业本科生、研究生及教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国镁业/中国有色金属工业协会主编. —北京: 冶金工业出版社, 2013. 10

(有色金属系列丛书)

ISBN 978-7-5024-6381-6

I. ①中… II. ①中… III. ①镁—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 (2013) 第 241665 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 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 李 臻 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 978-7-5024-6381-6

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

2013 年 10 月第 1 版, 2013 年 10 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 8.25 印张; 163 千字; 242 页

32.00 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

《中国镁业》编辑委员会

主 编 孟树昆

副主编 徐晋湘 吴秀铭

编 辑 孙 前 章红宇 范玉仙 王华丽

曹佳音 李 煜 弓维英

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。

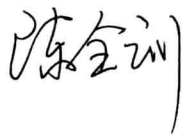
中国是生产有色金属品种最全的国家，门捷列夫化学元素周期表中的 64 种元素的有色金属都能生产。中国是世界生产和消费有色金属最多的国家，到 2011 年十种有色金属产量已达 3438 万吨（快报数），连续 10 年位居世界第一，年消费有色金属已达 3580 万吨以上，连续 9 年位居世界第一。目前全国已有有色金属企业、事业单位 3 万多家，就业人员 360 多万。

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



镁是英国化学家戴维在 1808 年从氧化镁中分离出来的，而铝是在 1825 年被英国化学家戴维制得的。虽然镁和铝是同时代被制得的，但近 200 年来铝的发展速度远远超过了镁。2011 年我国铝的产量为 1806 万吨，铝材产量为 2346 万吨，其应用已深入到人们生活的各个领域；而镁 2011 年产量为 66 万吨，消费量 27.68 万吨，与铝相差甚远。但同时也要看到，氧化铝部分依靠进口，而镁资源取之不尽、用之不竭。镁合金作为结构材料，不仅比铝轻 $1/3$ ，还具有高比强、高比模、高阻尼、减振性好、电磁屏蔽好以及优异的铸造与切削加工性能和易于回收等优点，在汽车、电子、航空航天、国防军工等领域具有重要的应用价值和广阔的应用前景，被

誉为“21 世纪绿色工程材料”。20 世纪 80 年代以来，出于对环境和能源问题的考虑，工业发达国家相继制定了各自的镁研究计划，并投入了巨额资金。

2000 年 7 月 6 日，师昌绪、李依依、王淀佐、左铁镛、李恒德五位院士高瞻远瞩地向国家科技部提出“关于加速发展我国金属镁工业的战略意义和建议”后，国家科技部自 2001 年开始制定了《“十五”镁合金开发应用及产业化》重大项目，2006 年制定了《“十一五”镁及镁合金关键技术开发与应用》科技支撑计划项目。国家自然科学基金委、“973”计划、“863”计划中也都有关于镁的研发项目。

正是由于五位院士的建议，适时地点燃了中国镁业科技进步的引擎，为科技工作者指引了方向，为未来中国镁业科技发展跻身世界前列奠定了基础。借本书出版之际，我们向老一辈材料科学家对镁工业的倡导与支持深表敬佩并致以诚挚的感谢。

为了使广大从事镁及镁合金冶炼、加工、应用

工作的企业的相关人员，以及包括研究院所、大学、检测部门、咨询服务机构和市场贸易机构等行业在内的相关人员能够方便地查阅镁合金的有关技术和信息，在中国有色金属工业协会组织领导下，镁业分会于2011年7月开始组织编写《中国镁业》一书。

借出版之机，对参与本书编写并提供资料的专家和相关企业致以诚挚的谢意。

由于镁合金材料以及中国镁工业仍处在发展中，一些基础理论和技术远不如铝合金成熟，所以本书的局限性和疏漏之处在所难免，真诚希望同行专家、读者给予批评指正并提出宝贵意见。

编 者
2013年8月

目 录



第一篇 概论	1
第一章 镁的发现和镁业发展	1
第一节 镁的发现和世界镁业的发展	1
第二节 新中国金属镁从无到有	2
第二章 镁及镁合金的性能	5
第一节 纯镁的性能	5
第二节 镁合金的分类	6
第三节 镁合金的特性	7
第二篇 镁资源的分布及采选	10
第一章 地壳中镁的分布及含镁主要矿物	10
第二章 中国镁矿的分布与采选	12
第一节 中国白云石矿储量分布	12
第二节 中国菱镁矿资源	13
第三节 盐湖及沿海的水氯镁石、光卤石、 卤水资源及海水等	14
第四节 采选技术与装备	15

第三篇 镁冶炼工艺技术与装备	17
第一章 镁冶炼工艺技术	17
第一节 氯化熔盐电解法	17
第二节 热还原法	18
第二章 皮江法炼镁主要装备	19
第三章 镁合金生产工艺与装备	20
第一节 镁合金生产工艺流程	21
第二节 镁合金生产用设备	23
第四章 中国皮江法炼镁技术与装备的创新发展	24
第一节 调整能源结构, 采用清洁能源	24
第二节 提升皮江法镁冶炼技术与装备 水平, 节能减排	25
第三节 粗废镁无熔剂连续复合精炼技术	31
第四节 新型节能竖罐还原的研发与试用 取得新成果	32
第五节 皮江法炼镁的各项技术经济指标 进步明显	33
第五章 镁冶炼走低碳循环经济发展模式	34
第一节 低碳循环经济的落实路径	35
第二节 余热利用大有可为	35
第三节 镁还原渣的综合利用	36
第六章 电解法炼镁技术水平有进展	37
第一节 引进技术消化创新, 改善电解指标	37
第二节 利用青海盐湖资源, 引进国外脱水	

电解技术, 建 10 万吨电解镁厂	37
第三节 氯化物体系熔盐电解法制备稀土镁 中间合金技术与装备	38
第七章 镁合金新材料的研发与应用新进展	39
第一节 高性能稀土镁合金新材料研发与应用	39
第二节 低成本非稀土镁合金新材料	59
第三节 镁锂合金研发进展	61
第四节 镁功能材料研发新进展	65
第四篇 镁加工技术与装备	73
第一章 铸造镁合金成型技术与装备	73
第一节 压铸	73
第二节 镁合金的半固态成型	76
第三节 挤压铸造	76
第二章 镁合金塑性加工技术与装备	77
第一节 镁合金挤压	78
第二节 镁合金轧制	79
第三节 镁合金锻造	83
第四节 镁合金拉拔	84
第五节 镁合金超塑成型	85
第三章 镁合金加工成型技术与装备研发新进展	85
第一节 镁合金铸造	85
第二节 镁合金铸轧	97
第三节 镁合金挤压	101
第四节 镁合金锻造	105

第五节 镁合金轧制	109
第六节 镁合金加工成型装备向大型化发展	114
第四章 高性能镁合金加工与制备中的关键 基础问题研究的重要进展	116
第一节 项目研究单位组成	116
第二节 项目四大关键科学问题研究取得 显著成效	116
第五篇 镁合金连接（焊接）技术及新进展	118
第一章 镁及镁合金材料的焊接技术	118
第一节 焊接特性	118
第二节 焊接设备及材料的选择	120
第二章 镁及镁合金材料的粘接技术	120
第三章 镁合金材料的机械连接	121
第一节 铆接	121
第二节 螺纹连接	121
第四章 镁合金连接（焊接）技术新进展	122
第一节 镁合金 MIG 焊	124
第二节 高沸点低污染镁合金焊丝	125
第三节 优质高效镁合金焊接装备开发及应用	128
第四节 镁合金焊接技术应用	129
第六篇 镁及镁合金的腐蚀与防护（表面处理） 技术及新进展	133
第一章 影响镁及镁合金耐蚀性的因素	133

第二章 提高镁及镁合金耐腐蚀性的途径	134
第三章 镁及镁合金材料的表面处理	134
第一节 表面清理和预处理	135
第二节 化学氧化 (转化膜) 处理	135
第三节 阳极氧化 (电化学) 处理技术	135
第四节 微弧氧化处理	136
第五节 电镀技术	136
第六节 表面热喷铝扩散处理工艺	136
第七节 有机涂层工艺与颜料着色	137
第四章 镁及镁合金表面处理技术的新进展	137
第一节 高耐蚀镁合金的发展	137
第二节 镁合金表面防护技术的新发展 及其应用	139
第七篇 镁及镁合金废料回收	158
第一章 镁合金废料的产生	158
第二章 镁合金废料的分类	158
第三章 镁合金废料的回收工艺	160
第四章 镁合金废料的回收方式	160
第一节 厂内回收	160
第二节 厂外回收	161
第三节 废旧汽车上镁合金零部件的回收	161
第五章 镁合金废料的前期处理	161
第六章 镁合金废料的熔炼方法	162
第七章 镁合金废料在熔炼中的质量控制	162

第一节 降低镁合金中铁的含量	162
第二节 降低镁合金中非金属杂质的含量	164
第三节 预防外来杂质	164
第八章 镁合金压铸废料的绿色回收	165
第九章 镁合金压铸工艺废镁的现场重熔 精炼再生技术与装备	167
第十章 高危劣质废镁的蒸馏再生系统	168
第八篇 镁及镁合金的应用	170
第一章 镁的应用	171
第一节 镁在冶金领域的应用	171
第二节 镁在化学工业的应用	172
第三节 镁在电化学工业、牺牲阳极上的应用	172
第四节 用于烟火	173
第二章 镁合金的应用	173
第一节 镁合金在航空航天、国防军工领域 的应用	173
第二节 镁合金在交通运输工具中的应用	179
第三节 镁合金在电子器材中的应用	196
第四节 镁合金在其他民用领域中的应用	201
第九篇 安全与防护	202
第一章 皮江法炼镁的生产安全与防护	202
第一节 危险源	202
第二节 主要防护措施	202