

高性能结构材料技术丛书

高性能变形镁合金 及加工技术

潘复生 韩恩厚 等著



科学出版社

www.sciencep.com

(TG-0032.0101)

高性能结构材料技术丛书

材料先进制备与成形加工技术

镁合金科学与技术

高性能变形镁合金及加工技术

先进钢铁材料

先进陶瓷及无机非金属材料

高分子科学与工程

先进聚合物基复合材料技术

ISBN 978-7-03-017569-4



9 787030 175694 >

销售分类建议：材料

定价：60.00 元

高性能结构材料技术丛书

高性能变形镁合金及加工技术

潘复生 韩恩厚等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是国家“863”计划高性能镁合金及加工技术方面最新成果的总结,特别注意吸收了近几年国外最新的研究成果。主要内容包括:变形镁合金发展历史和现状概述、变形镁合金中的合金相、变形镁合金的合金系和合金成分、变形镁合金的典型性能、变形镁合金的铸态组织、变形镁合金的热处理组织、变形镁合金的性能表征、高性能变形镁合金板材及其加工技术、高性能变形镁合金型材及其加工技术、变形镁合金的表面处理技术和镁合金数据库及专家系统等。

本书可作为高等学校和科研院所材料专业和冶金专业教师和研究生的教学和科研参考书,对从事镁合金材料发展和应用的科技人员和企业管理人员也有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

高性能变形镁合金及加工技术/潘复生,韩恩厚等著.—北京:科学出版社,2007

(高性能结构材料技术丛书)

ISBN 978-7-03-017569-4

I. 高… II. ①潘…②韩… III. 镁合金-金属加工-技术 IV. TG146.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第073181号

责任编辑:杨震 袁琦 吴伶俐 王国华 / 责任校对:张小霞
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

涿海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007年1月第一次印刷 印张:22

印数:1—2 500

字数:425 000

定价:60.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

“十五”国家 863 计划新材料技术领域
《高性能结构材料技术丛书》编委会

顾 问 (以姓氏拼音字母为序):

杜善义 冯纪春 海锦涛 何天白 黄伯云
廖小罕 刘久贵 刘治国 乔金梁 劭力勤
王新林 吴以成 肖定全 许 京 殷庆瑞
郑燕康 周 廉

主 任: 徐 坚

副主任: 谢建新 李建保

编 委 (以姓氏拼音字母为序):

卞曙光 丁文江 董 瀚 傅殿霞 傅正义
黄世兴 姜振华 李建保 刘 兵 瞿金平
田志凌 王琦安 谢建新 熊柏青 徐 坚
薛忠民 朱衍平 左 良

《高性能结构材料技术丛书》序

材料是人类赖以生存和发展的物质基础,也是社会现代化和高新技术发展的先导。高性能结构材料技术有力地支撑着现代交通运输、能源动力、资源环境、化工、建筑、航空航天、国防军工以及国家重大工程等领域的可持续发展,带动传统产业和支柱产业的升级改造与产品更新换代,促进包括新材料产业在内的高新技术产业的形成与发展。

“十五”期间,国家 863 计划新材料技术领域高性能结构材料技术主题紧密结合国民经济和社会发展重大需求,开展了战略性和前瞻性研究。研究内容主要包括高性能金属材料、先进陶瓷材料、高性能高分子材料、高性能低成本复合材料、先进建筑材料,以及先进制备、成形与加工技术等六个专题和研究开发环境(基地)建设。通过认真调研,制定战略规划,精心组织项目,严格管理规范,以及项目承担单位与研究人员的共同努力,突破了一批结构材料制备关键技术,产生了一批在国内外有较大影响、具有自主知识产权的新材料技术成果,在提升传统产业和支柱产业的国际竞争力,形成新的产业和新的经济增长点,培育具有开拓创新能力、能胜任国家重大攻关任务的新材料技术研发队伍,提高国家综合科技实力、巩固现代国防、保障重点工程建设、提高人民生活质量和促进社会可持续发展等方面,做出了重大贡献。

“十五”期间 863 计划高性能结构材料技术主题研究工作取得的主要成果包括:

申请专利 1412 项,其中发明专利 1195 项,国外发明专利八项,拟立的新材料技术标准和规范十项;

发表论著 5475 篇,主编或参与编写专著 30 部;

获得国家技术发明二等奖四项,国家科技进步二等奖两项,省、市科技进步奖一等奖四项、二等奖三项;

培养研究生 1845 名,一批中青年课题负责人成长为各个单位的学术带头人和技术骨干;

70%以上的课题有企业参与,在 200 家以上企业进行了工程化和产业化,七项课题进入产业化示范工程项目;新材料产值达到 100 亿元以上,牵引社会资源和间接经济效益超过 200 亿元。

为了总结、展现上述成果,推动相关技术的进一步发展和产业化,高性能结构材料技术主题专家组组织部分取得代表性研究成果的课题负责人,编辑出版了

《高性能结构材料技术丛书》，包括《先进钢铁材料》、《高性能轻金属材料》、《镁合金科学与技术》、《先进镁合金材料》、《先进陶瓷及无机非金属材料》、《高分子材料与工程》、《材料先进制备与成形加工技术》七个分册，是一件非常有意义的工作。希望这套丛书的出版，能为广大材料科技工作者提供有益的参考作用。

“十五”863 计划新材料技术领域专家委员会主任

中南大学校长、教授

中国工程院院士

中国科协副主席

黄伯云

2006 年 6 月

前 言

自 19 世纪末叶到 20 世纪, 由于人类文明的快速进步, 金属材料的消耗与日俱增, 重要的金属矿产资源逐渐趋于枯竭。镁是地球上储量最丰富的元素之一, 在地壳表层金属矿中的资源含量在 2% 以上, 位居常用金属含量的第 4 位。此外在盐湖及海洋中, 镁的含量也十分可观, 如海水中镁含量达 $2.1 \times 10^{15} \text{t}$, 可以说取之不尽、用之不竭。因此, 在很多重要金属趋于枯竭的今天, 加速开发镁金属材料是实现可持续发展的重要措施之一。

20 世纪 90 年代以来, 镁合金的应用领域的快速扩展, 已经引起了世界各国的普遍重视。美国、德国、日本和澳大利亚等国相继出台了各自的镁研究计划, 将镁资源作为 21 世纪的重要战略物资, 加强了金属镁及镁合金在资源、加工、应用等方面的研究开发, 并着力扩大应用数量和范围。这些计划的共同点都是以产业化为目标, 以技术集成为特征, 以汽车工业和电子信息工业为主要用户, 由政府组织协调, 以研究单位与生产厂家联合开发为主要形式。这些计划的制定与实施极大地推动了镁合金的开发和应用。

镁合金作为最轻的商用金属结构材料, 具有高的比强度、比刚度, 优良的阻尼性能, 以及防磁、屏蔽、散热等许多特性。用在汽车、摩托车、轨道列车上除了能明显减重、改善车辆动力性能和降低能耗外, 还可显著改善车辆结构和吸收振动及噪声。但是, 镁的现有使用状况远没有充分发挥镁合金材料的潜在优势。主要原因在于: ①大多数的镁结构件都来自于压铸一种加工方式, 这限制了产品品种和类型; ②应用范围小, 镁压铸件的 80% 用于汽车行业, 而且 90% 又是室温使用的结构件, 且主要局限于小体积零件。由于压铸产品变形性差, 不能承受复杂载荷以及体积相对较小, 镁合金的更广泛应用受到限制。

与铸造镁合金相比, 变形镁合金具有优良的综合性能, 更高的强度和塑、韧性, 更适合于制作大型结构件和满足结构多样化的要求。镁合金在大型结构件上的应用是未来应用趋势。从世界镁合金应用领域的发展趋势看, 变形镁合金是未来交通、航空航天、家电等领域的重要结构材料, 这些领域所需要的许多板材、棒材、型材、管材、锻件是无法用铸造产品代替的。开发用于汽车、摩托车、航空航天、3C 等行业的镁合金变形材及其加工技术, 具有重要的商业应用价值。因而, 在发展铸造镁合金的同时, 应投入更多的力量进行变形镁合金及加工技术的研究开发, 以从根本上突破现阶段镁合金产品类别少、应用范围窄的局限, 使镁合金作为理想的轻质材料在更多、更广阔的领域得到应用。

在国家高技术研究发展计划（863 计划）和国家重点科技攻关项目的支持下，重庆大学、中国科学院金属研究所等单位通过 5 年的艰苦努力，在高性能镁合金及加工技术方面取得了重要进展。本书是这一工作的总结，主要内容包括：变形镁合金发展历史和现状概述、变形镁合金中的合金相、变形镁合金的合金系和合金成分、变形镁合金的典型性能、变形镁合金的铸态组织、变形镁合金的热处理组织、变形镁合金的性能表征、高性能变形镁合金板材及其加工技术、高性能变形镁合金型材及其加工技术、变形镁合金的表面处理技术和镁合金数据库及专家系统等。

本书由潘复生和韩恩厚总负责。参加本书撰写的还有汪凌云、丁培道、刘路、单大勇、张丁非、汤爱涛、张静、唐伟、曾荣昌等同志。参加研究工作的还有陈荣石、彭建、左汝林、杨明波、黄光胜、黄光杰、周婉秋、张荣发、彭林、蒋斌、章宗和、曹建勇等同志。师昌绪院士、柯伟院士、左铁镞院士、曾苏民院士、涂铭旌院士、丁文江教授、史文芳教授、谢建新教授、熊柏青教授、K. U. Kainer 教授等对该技术成果的发展提出了很好的建议和意见。在此一并表示感谢。本书部分研究成果已获得了国家发明专利。

由于知识、研究手段等方面的差异，本书可能存在一些不当之处，敬请读者指正。

潘复生 韩恩厚

2005 年 12 月 7 日

目 录

《高性能结构材料技术丛书》序

前言

第 1 章 变形镁合金发展历史和现状概述	1
1.1 金属镁的特点	1
1.2 金属镁资源概述	2
1.3 金属镁的发展概述	4
1.4 变形镁合金材料及加工技术的发展	5
1.4.1 镁-锂合金研究进展	6
1.4.2 快速凝固变形镁合金的研究进展	7
1.4.3 变形镁合金超塑性研究的进展	8
1.4.4 高性能变形镁合金及加工技术新进展	9
1.5 变形镁合金产品应用的发展.....	11
参考文献	12
第 2 章 变形镁合金中的合金相、合金成分和典型性能	15
2.1 变形镁合金中的合金元素及有害元素.....	15
2.2 变形镁合金的合金系和合金相.....	21
2.2.1 Mg-Al 系.....	21
2.2.2 Mg-Zn 系.....	23
2.2.3 Mg-Mn 系	27
2.2.4 Mg-Zr 系	29
2.2.5 Mg-RE 系	30
2.2.6 Mg-Li 系	35
2.2.7 Mg-Ag 系	37
2.2.8 Mg-Th 系	38
2.3 变形镁合金的牌号和化学成分.....	40
2.4 镁合金的典型性能.....	42
参考文献	56
第 3 章 变形镁合金的铸态组织	59
3.1 Mg-Al-Zn 系镁合金的铸态组织和合金元素的影响	59
3.1.1 Al 对 Mg-Al-Zn 系合金铸态组织的影响	59
3.1.2 Zn 对 Mg-Al-Zn 系合金铸态组织的影响	61

3.1.3	Sr 对 Mg-3Al-1Zn 合金铸态组织的影响	66
3.1.4	Y 对 Mg-3Al-1Zn 合金铸态组织的影响	67
3.1.5	其他合金元素对 Mg-Al-Zn 系合金铸态组织的影响	69
3.2	Mg-Zn-Zr 系镁合金的铸态组织和合金元素的影响	70
3.2.1	ZK60 镁合金典型铸态组织	70
3.2.2	锌和锆的含量对 ZK60 镁合金铸态组织的影响	72
3.2.3	锆对 Mg-Zn-Y 镁合金铸态组织的影响	74
	参考文献	78
第 4 章	变形镁合金热处理组织	81
4.1	镁合金热处理过程中第二相析出概述	81
4.1.1	镁合金热处理过程中的基本析出相	81
4.1.2	β 相的析出机理	85
4.2	Mg-Al 系变形镁合金的热处理组织	92
4.2.1	固溶处理对镁合金热处理组织的影响	92
4.2.2	时效处理的影响	97
4.3	Mg-Zn 系变形镁合金的热处理组织	112
4.3.1	Mg-Zn 系变形镁合金的固溶组织	112
4.3.2	Mg-Zn 系变形镁合金的时效组织	114
4.3.3	稀土 Y 对 Mg-5.6Zn-0.54Zr 合金组织的影响	116
	参考文献	119
第 5 章	变形镁合金的性能表征	122
5.1	热-力学性能和微观结构演化	122
5.1.1	热压缩	122
5.1.2	热拉伸	124
5.2	挤压织构及其对变形镁合金性能的影响	125
5.3	镁合金的疲劳寿命和裂纹扩展行为	133
5.3.1	镁合金的疲劳寿命	133
5.3.2	变形镁合金的疲劳裂纹扩展	141
	参考文献	152
第 6 章	高性能变形镁合金板材及其加工技术	154
6.1	板材用镁合金的熔体净化及组织控制	154
6.1.1	熔体净化	154
6.1.2	铸坯晶粒细化	155
6.1.3	均匀化退火	157
6.2	镁合金板材加工技术研究	160
6.2.1	MAZ31 镁合金变形特性和加工图	161

6.2.2	铸锭直接轧制	168
6.2.3	热挤压-轧制	172
6.2.4	MAZ31 镁合金板材的织构及力学性能各向异性	176
6.2.5	高性能 MAZ31 镁合金板材的生产	185
6.3	镁合金冲压技术研究	185
6.3.1	镁合金板材的冲压成形性能	186
6.3.2	镁合金板料的成形极限曲线研究	196
6.3.3	镁合金冲压工艺研究	205
6.3.4	手机外壳和笔记本外壳的冲压工艺研究	210
6.4	镁合金薄板带双辊连铸技术	212
6.4.1	镁合金薄板坯铸轧技术	213
6.4.2	镁合金薄带连铸技术	214
	参考文献	218
第 7 章	高性能变形镁合金型材及其加工技术	225
7.1	镁合金半连续铸机及镁合金铸坯组织研究	225
7.1.1	镁合金半连续铸机	225
7.1.2	镁合金铸棒的熔铸工艺	227
7.1.3	镁合金铸锭组织结构研究	228
7.1.4	冷却速率对 ZK60 镁合金凝固组织的影响	239
7.2	MZK60 和 MAZ31 变形镁合金均匀化、流变行为及挤压工艺研究	242
7.2.1	铸锭组织均匀化研究	242
7.2.2	MZK60 镁合金均匀化退火工艺对成形性影响	246
7.2.3	MZK60 和 MAZ31 变形镁合金流变行为	248
7.2.4	MAZ31 及 MZK60 镁合金挤压试验研究	251
7.3	MAZ61 镁合金流变行为及挤压研究	256
7.3.1	MAZ61 镁合金流变行为	256
7.3.2	MAZ61 镁合金的挤压工艺、组织及性能	260
7.4	高强高韧 Mg-Zn-Zr 系合金	263
7.4.1	成分及热处理对合金力学性能的影响	263
7.4.2	成分及热处理对合金显微组织的影响	266
7.5	镁合金挤压型材的应用开发	266
7.5.1	汽车用镁合金型材	267
7.5.2	镁合金天线异型管材	267
7.5.3	列车用镁合金型材	268
7.5.4	其他镁合金型材	268

参考文献	269
第 8 章 变形镁合金的表面处理技术	270
8.1 变形镁合金的腐蚀行为和电化学特性	270
8.1.1 镁的电化学腐蚀	270
8.1.2 冶金因素对腐蚀性能的影响	271
8.1.3 镁合金的点蚀	272
8.2 防护技术	284
8.2.1 化学转化膜	284
8.2.2 化学镀	290
8.2.3 阳极氧化	294
8.2.4 溶胶-凝胶法	300
参考文献	302
第 9 章 镁合金数据库及专家系统	303
9.1 镁合金数据库系统	303
9.1.1 数据库系统开发概述	304
9.1.2 数据的收集和分析	304
9.1.3 数据库系统功能模块的总体设计	307
9.2 材料专家系统的研究方法及现状	309
9.2.1 材料专家系统的研究方法	309
9.2.2 材料专家系统的研究现状	310
9.3 镁合金神经网络模型	311
9.3.1 神经网络构建的一般性步骤和技术路线	311
9.3.2 模型的初步建立	312
9.3.3 数据的预处理	316
9.4 镁合金神经网络模型预测能力的研究	318
9.4.1 AZ61B 合金室温力学性能预测	318
9.4.2 Mg-Zn-Zr-Y 合金室温力学性能预测	320
9.4.3 Mg-Al-Zn 合金铸态室温力学性能预测	327
9.5 模型分析及应用	328
9.5.1 模型的使用范围	328
9.5.2 模型在变形镁合金中的应用	329
9.6 模型的发展展望	333
参考文献	333

第 1 章 变形镁合金发展历史和现状概述

1.1 金属镁的特点

镁是ⅡA族碱土金属,处在铍与钙之间,+2价,亮银色,25℃时的密度为1736 kg/m³。镁是密排六方结构晶体, $a=0.321\text{ nm}$, $c=0.521\text{ nm}$, c/a 为1.624。这种晶体结构是普通商用镁合金与体心立方的铁和面心立方的铝相比,其加工性能和使用性能较差的重要原因之一。表1-1列出了纯镁的基本性能。

表 1-1 纯镁的基本性能

性 质	温度/℃	数 值	性 质	温度/℃	数 值
原子序数		12	多晶镁泊松比	25	0.35
相对原子质量		24.3	线收缩	20~650	1.9%
熔点		650℃	液-固收缩	650	4.2%
沸点		1090℃	热容 C_p	27	24.86 J/(mol·K)
晶体结构	25	密排六方	熵 S	27	32.52 J/(mol·K)
c/a		1.6236	焓 H	527	14.1 kJ/(mol·K)
密度	25	1736 kg/m ³	热导率	27	156 W/(m·K)
多晶镁电阻率	20	$4.46 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$	热扩散率	27	0.874 cm ² /s
多晶镁杨氏模量	25	45 GPa	电化学位		-2.37 V

在常温下,多晶密排六方结构镁的塑性变形限于基面 $\{0001\}$ $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 滑移及锥面 $\{10\bar{1}2\}$ $\langle 10\bar{1}1 \rangle$ 孪生。因此,在室温塑性变形过程中,镁晶体只有3个几何滑移系和两个独立滑移系,这是较之有12个几何滑移系和5个独立滑移系的铝,镁塑性较差和有较大的Hall-Petch系数的主要原因,也是多晶镁及其合金不产生宏观屈服而在晶界产生应力集中的主要原因。

镁是一种非常活泼的金属,镁在所有结构金属中具有最低的电位,即镁对其他任何结构金属都呈阳性。镁在无水条件下氧化成MgO薄膜,有水条件下生成Mg(OH)₂。表面膜可以减轻或防止金属镁的进一步氧化,但与铝和钛相比,镁的保护膜致密性较差且易被穿透,保护基体的效果相对较差。

镁合金在振动时有较好的吸收能量的能力,表现出高的阻尼本领,是优良的减震材料。此外,镁是所有结构金属中最易加工的材料,加工镁合金所需的能量只有铝合金的一半左右。与加工铝合金相比,切削镁合金的硬质合金刀具寿命可提高5~10倍,且镁合金零件的表面光洁度较好,在工具切削速度低于1000 m/min时无需借助润滑。

1.2 金属镁资源概述

镁是地壳中排位第六的富有元素,其蕴藏量为 2.77%。镁同时也是海水中的第三富有元素,约占海水质量的 0.13%。镁有 60 多种矿产品,其中白云石($MgCO_3 \cdot CaCO_3$)、菱镁矿($MgCO_3$)、氢氧化镁石[$Mg(OH)_2$ 或 $MgO \cdot H_2O$]、光卤石($MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$)、橄榄石($Mg_2Fe_2SiO_4$)和蛇纹石($3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$)最具商业开采价值。含镁的主要矿物见表 1-2。据有关资料介绍,截止到 1993 年底,全世界已探明的菱镁矿储量为 126×10^8 t,主要储存于以下十几个国家和地区。国内外菱镁矿($MgCO_3$)的储量和分布见表 1-3。

表 1-2 含镁的主要矿物

矿物名称		组成	Mg 质量分数/%
碳酸盐类	magnesite 菱镁矿	$MgCO_3$	28.8
	dolomite 白云石	$MgCO_3 \cdot CaCO_3$	13.2
	hydromagnesite 水碳镁石	$MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$	26
硅酸盐类	talc 滑石	$3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	19.2
	olivine 橄榄石	$Mg_2Fe_2SiO_4$	28
	serpentin 蛇纹石	$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	26.3
硫酸盐类	kiesrite 硫酸镁石	$MgSO_4 \cdot H_2O$	17.6
	kainite 钾镁矾石	$MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$	9.8
	langbeinite 无水钾镁矾	$2MgSO_4 \cdot K_2SO_4$	11.7
氯化物盐类	carnallite 光卤石	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$	8.8
	brine 卤水	$NaCl \cdot KCl \cdot MgCl_2$	可变
其他	periclase 方镁石	MgO	60
	brucite 水镁石	$Mg(OH)_2$	41.6
	spinel 尖晶石	$MgO \cdot Al_2O_3$	17
	sea water 海水		0.13

表 1-3 菱镁矿主要分布国家

国家	储量/ 10^8 t	国家	储量/ 10^8 t
中国	30.09	美国	0.66
朝鲜	30	加拿大	0.6~1
前苏联	>22	巴西	0.4
新西兰	6.0	希腊	0.3
捷克	5.0	前南斯拉夫	0.14
印度	1.0	澳大利亚	>0.1
奥地利	0.75		

中国是世界上镁资源最丰富的国家,储量居世界首位,已探明的菱镁矿保有储量 30.09 亿 t,约占世界探明储量的四分之一。符合炼镁要求的一、二级矿占 78%。主要分布在辽宁和山东、山西、宁夏、内蒙古、河南等地,其中辽宁省储量为

25.7 亿 t, 约占全国总储量的 85% 以上, 占世界储量的 20%。仅辽宁大石桥一带的菱镁矿储量占世界的 60% 以上, 矿石品位高达 40%。辽宁菱镁矿资源具有以下特点: ①资源集中矿床巨大, 呈显晶型; ②品位高、杂质少, MgO 含量大于 46% 的一、二级矿石约占总储量的 1/2; ③矿石赋存条件优越, 易剥离, 好开采。我国菱镁矿储量及分布见表 1-4。

表 1-4 全国菱镁矿储量及分布情况

地 区	矿区数	已利用矿区数	储量/ 10^4 t			MgO 质量 分数/%
			总计	A+B+C	D	
辽 宁	12	6	257 676	113 737	143 939	>46
河 北	2	1	1 438	1 000	438	>38
安 徽	1		333		333	
山 东	4	2	28 715	16 932	11 783	>43
四 川	3	1	783	174	609	38~43
西 藏	1		5 710		5 710	44.02
甘 肃	2	1	3 087		3 087	44.05
青 海	1		82	50	32	38.45
新 疆	1		3 110		3 110	45.37
全 国	27	11	300 934	131 893	169 041	

菱镁矿石经过煅烧, 碳酸镁分解为氧化镁和二氧化碳。氧化镁具有较强的耐火性能和绝热性能, 广泛应用于冶金、建材、轻工、化工、医药、航空、航天、军工、电子、农牧等行业。

白云石资源遍及全国各地, 已探明储量在 40 亿 t 以上。白云石的组成见表 1-5。宁夏矿藏丰富, 现已探明白云石矿储量超过亿吨, 其中同心县白云石是国内综合指标最好的矿石之一。镁的主要加工原料白云岩在贺兰山下储量丰富, 品位很高。目前, 全区金属镁生产企业达 14 家, 生产能力由过去的 500 t 增长到现在的 2 万多吨, 金属镁产量 1.17 万 t, 占全国总产量的 10%, 其中约 90% 出口到美国、德国、日本等 20 多个国家, 宁夏与山西、河南两省并列列为我国镁业三强。

表 1-5 白云石组成

产 地	质量分数/%				
	MgO	CaO	R ₂ O ₃	SiO ₂	灼减
海南枫树乡	21.52	30.44	0.64	1.53	45.4
广西贵港	20.45	30.78	0.27	0.32	47.3
贵州乌当下坝	21.85	30.87	0.072	0.54	47.03
江苏南京	21.18	30.93	0.15	0.09	47.5
湖南新化县坪溪乡	21.26	33.27	0.27	0.32	47.3
湖南湘乡棋梓桥	20.05	32.29	0.08	0.50	47.6
湖南临湘城关	20.76	30.0	0.50	1.8	46.2
湖南宜章县	21.76	30.64	0.035	0.37	46.72
湖北石门坎	20.65	30.36	0.63	2.56	45.1

中国青海盐湖含有丰富的镁资源。柴达木盆地拥有丰富的钾、镁盐矿,其中察尔汗盐湖总面积达 5 856 km²,具有储量大、品位高、类型全、资源组合好等特点。据初步探测,柴达木盆地盐湖保有储量为 48.15 亿 t(其中氯化镁 31.43 亿 t,硫酸镁 16.72 亿 t),工业储量 12.72 亿 t(其中氯化镁 12.55 亿 t,硫酸镁 0.17 亿 t)。镁盐储量占我国总储量的 89.3%,其中卤水平均含氯化镁 17.74%,高出海水氯化镁含量 30 倍。

据《中国镁业》统计,2004 年中国原镁产量达 45 万 t,镁合金产量达 13.58 万 t,镁粒(粉)产量达 9.13 万 t,分别比上年同比增长 27.11%、37.45%、33.28%(表 1-6)。镁及其制品出口为 38.37 万 t,比上年增长 28.76%。出口金额 7.3 亿美元。其中山西省金属镁出口量为 20.9 万 t,出口金额 3.93 亿美元,分别比上年增长 22%和 87%。太原市同翔金属镁有限公司、山西万科金润镁品有限公司和闻喜银光镁业集团有限公司等企业位居我国原镁产量 2004 年前 3 位。2004 年中国内地镁主要出口欧洲 11.1 万 t,美国 4 万 t(其中镁粉 2 万 t,合金 2 万 t),南美洲 0.84 万 t 和亚洲地区(日本、韩国和中国台湾省)6.5 万 t。欧盟、日本、加拿大为中国镁最大的进口国,其次为挪威和美国。

表 1-6 2004 年中国镁产量、出口量同比增长

类 别	数量/万 t		同比增长/%
	2003 年	2004 年	
原镁(锭)产量	35.40	45.00	27.11
镁合金产量	9.88	13.58	37.45
镁粒(粉)产量	6.85	9.13	33.28
镁及其制品出口量	29.8	38.37	28.76

1.3 金属镁的发展概述

镁于 1755 年被发现,1808 年英国的 Sir Humphry Davey 首先发明了用金属钾蒸气还原氧化镁而制得金属镁的方法。1863 年法国的 Deville 和 Caron 发明了用钠还原无水氯化镁及氟化钙的混合物制镁,由此揭开了工业上规模制造金属镁的序幕。随着电解无水氯化镁制镁工艺的产生规模制造金属镁得到了迅速发展。1886 年,德国首先将镁合金用于飞机制造业。美国的第一家镁生产厂由美国通用电器公司于 1914 年建立,并在第二次世界大战期间由于镁燃烧弹的大量需求而得到迅速发展。1944 年,世界镁合金的消耗量达到 228 000 t,但战后又降低到每年 10 000 t 的水平。直到 1998 年,随着镁的研究和应用水平的提高,其年消耗量才提高到 360 000 t,此后以每年 7%~9% 的速度递增。我国自 20 世纪 90 年代初开始出口金属原镁,21 世纪初我国原镁的生产量和出口量就已经占据世界首位,到 2004 年我国原镁的生产量和出口量分别达到 45 万 t 和 38 万 t,生产量占世界原镁