

镁、镁资源与镁质材料概述

乌志明, 马培华

(中国科学院青海盐湖所, 青海 西宁, 810008)

摘 要: 中国盐湖卤水镁资源的开发形势十分严峻。首先是量大, 仅青海盐湖集团提钾副产的镁卤量就超过中国海盐副产镁卤总量的3倍; 其二是缺少适合开发的大宗镁产品, 受中国镁碳酸盐矿物开发的冲击, 世界范围内, 以海湖卤镁为原料的炼镁企业和氧化镁厂商都逐渐退出行业竞争。镁碳酸盐矿物方面, 菱镁矿主要生产镁质耐火材料, 中国镁质耐火材料产量和产能居世界首位, 且已开始变强并良性发展; 白云石主要生产金属镁材料, 中国金属镁产量和产能占世界的比例更大, 也正努力做强; 与另两大类镁质材料形成鲜明对比, 镁质化工材料领域的现状是又小又弱, 相关发展取决于能否率先将产品做成系列和规模。中国盐湖卤水镁资源过多甚至成为“镁害”, 但该资源价廉、含杂质少, 是镁质化工材料的优质原料, 应该在相关领域加大投入。

关键词: 镁; 镁资源; 镁质材料

中图分类号: TG146.22

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2007)04-0065-08

镁是全球资源型商品, 兼备减重、节能、回收特性, 被誉为“21世纪绿色工程材料”, 广泛用于国防、航天、航空、汽车和3C产业(3C指计算机 Computer, 信息设施 Communication 和日用物品 Consumer Goods)等领域。此外, 性能优异的镁化合物材料如MOS纤维等在汽车的仪表板、保险杠、内饰件、防擦条等和3C产业也日益受到重视。

1 镁及镁对人类日益重要的作用

镁的元素符号为Mg, 英文名称为Magnesium, 其命名源于产有苦土的希腊地名“Magnesia”; 18世纪, 用“Magnesia alba”描述碳酸镁, “Magnesium”指其中所含的金属, 1755年Black将此金属认定为一种元素。现在, “Magnesium”指金属镁, “Magnesia”指各种形式的氧化镁。电池发明以后, 人类得到了分解活泼元素化合物制备金属单质的利器, 1808年5月, 英国化学

家戴维电解汞和氧化镁的混合物, 经镁汞齐得到银白色金属镁, 镁作为元素被确定^[1-3]。

镁是地球的重要组成元素, 无论在岩石圈还是水圈, 它都占重要地位。镁约占地壳组成的2.1%, 元素储量居第8位。海水中含镁约0.13%, 不计氢氧两种主体元素, 镁在海水中储量居第3位^[1,4]。丰富多彩的含镁岩石矿物装点着美丽的陆壳; 洋壳构成的海底世界与陆壳不同, 几乎全是硅铝层而缺少镁化合物, 但均匀分布在海洋中的丰富镁离子同样调节着海洋世界的和谐与健康。

镁是缔造人类社会的最重要元素之一。首先, 镁是光合作用的核心物质, 据估计, 仅陆地上的植物通过光合作用就年获 10.46×10^{14} kJ热量^[1], 从而通过有机食物供应人和动物必需的能量。其次, 镁是生命必需元素, 缺少它人和动植物都将无法进行新陈代谢。在工业界镁也是不可缺少的元素, 没有烧制水泥和钢铁所必需的镁质耐火炉衬, 钢铁混凝土文明就没有其

收稿日期: 2007-01-04; 修回日期: 2007-09-10

基金项目: 2005年度“西部之光”项目支持

作者简介: 乌志明(1974-)男, 助研, 从事盐湖镁资源高值利用研究。

物质基础。目前, 金属材料的消耗与日俱增, 一些金属矿产资源逐渐趋于枯竭。铜、锌等金属只能持续几十年, 铝、铁也足够使用 100 年到 300 年。而镁不但丰度高, 还容易进行许多自然循环。碳酸盐与碳酸氢盐对镁的沉积与溶解搬运; 岩土中的镁会因淋溶而入川归海; 人和动植物在生息过程中吸收贮藏镁, 又通过代谢或死亡释放镁。所以镁是一种最不易枯竭的资源, 其必将是继铁、铝之后最重要的金属材料, 与人类的联系将日益密切。

人类在追求美的过程中不断进步, 对镁的需求与借重也与日俱增, 该如何说“镁”与“美”的渊源? 单从赏析角度, “轻灵为美, 笨重则不美”。镁这种轻量级金属, 制成赛车的轮子给“一级方程式”以更新的速度与观赏性; 它的轻灵同样服务于航空、航天; 这种轻灵也正向更多的交通工具普及, 如: 汽车用镁来减重以降低油耗为世界各国所关注, “全镁概念摩托”也已面世。镁的开发与利用引起了人类的高度重视, 但却远不如铁、铝、铜成熟, 所以, 尽管水圈有宏量的镁资源, 岩石圈有 60 多种含镁矿物, 但目前商业利用的镁还主要源自镁碳酸盐矿物。

2 中国正在和急需开发的镁资源概况

中国是世界上镁矿资源最丰富的国家, 其菱镁矿资源总量 31.45 亿 t, 还有探明储量在 40 亿以上的白云石矿, 这是正在开发的主要镁矿物资源。

海水镁资源具开发价值的主要是海盐生产过程中副产卤水中的镁资源。中国国家海洋局发布的《2004 年中国海洋经济统计公报》显示, 2004 年中国海盐总产量 2 319 万 t, 居世界首位, 以每吨盐产生 0.8 m³ 苦卤概算, 海盐副产卤水超过 1 800 万 m³, 其中含镁数百万 t。

盐湖卤水镁资源, 现阶段在中国主要有两大块。其一是青海盐湖集团生产钾肥副产卤水中的氯化镁资源, 每生产 1 t 氯化钾, 副产氯化镁浓度为 33% 的卤水 40 m³ 左右。目前察尔汗盐湖的氯化钾产量超过 150 万 t, 每年排放氯化镁卤水超过 6 000 万 m³, 其年排放量已经超过

海盐副产卤水总量的 3 倍。中国沿海地区经济发达, 资金、人才、技术相对密集, 海盐卤水的“镁处理问题”尚是长期困扰海水盐场的难题。钾肥副产卤水在量上 3 倍于全国海盐卤水, 在经济落后, 资金、人才、技术都严重缺乏的青海, 其综合利用难度可知。其二是山西运城盐湖^[3], 组成近似为 Na⁺, Mg²⁺ // Cl⁻, SO₄²⁻-H₂O 四元体系, 20 世纪 70 年代以前生产氯化钠为主, 之后便开始大规模生产芒硝。芒硝平均年开采量约 200 万 t, 不平衡开采导致氯化镁在湖区逐年富集, 氯化镁的富集使产硝期后移并影响芒硝及下游产品质量, 其开发利用也势在必行。另外, 随着盐湖资源综合利用的不断深入, 相关盐湖镁资源的研发也必须同步进行, 如青海的东、西台吉乃尔盐湖富含锂、硼和钾资源, 镁对提锂、提硼有相当关键的影响。

综上所述, 海湖卤水镁资源开发中最迫切的主要是氯化镁, 氯化镁中每吨镁匹配有约 3 t 的氯, 无论生产金属镁, 还是生产氧化镁都有个很大的氯平衡问题。有两种大的氯平衡模式, 一是有机化工, 另一个是非金属矿消耗。能较大量消耗氯的有机化工一般需要干燥的氯化氢, 而盐湖氯化镁热解副产的盐酸浓缩到 20% 以上很难, 得到干燥氯化氢更不容易, 所以, 非金属矿途径解决氯化镁热解的氯平衡更为现实。青海适合平衡盐酸的非金属矿产较多, 如 82 亿 t 的蛇纹石资源, 由其开发制备白炭黑所需盐酸一般在 10%~20%。

对于一些资源开发副产的高镁矿物, 由于不影响环境与相关资源的利用, 所以其重视程度更远远不够。例如, 蛇纹石理论组成为 Mg₆[Si₄O₁₀](OH)₆, 其中氧化镁含量约为 38%, 每生产 1 t 石棉要开采 30~40 t 蛇纹石矿, 中国年产石棉约 45 万 t, 开采的蛇纹石量达 1 500 万 t 左右, 在选完石棉后都作为废石丢放一边^[6]。

3 青海盐湖镁对主要共生元素开发的影响

青海盐湖集团每年提钾副产氯化镁的量过多, 甚至被称为“镁害”, 因资源多而被称为害,

也是盐湖镁资源的悲哀。镁科研工作者应该了解的基本问题之一,就是要弄清“镁害”或镁影响的具体表现。在此简要引述镁对盐湖丰产的钾、硼、锂等共生元素分离提取的影响。

提钾每年副产约 $6\,000\text{万 m}^3$ 富镁卤水,即使不直接回排,将它们输送到离采钾区较远的地方也会因溶滤等作用,相当量卤水会间接回到采钾区,致使采钾区液相中钾品位难以提高。据相图,高浓度镁的存在,可以使液相中钾、钠尽可能地析出,即镁浓度越高,则体系中钾和钠就越少。对那么大的钾肥工程,即使影响钾品位“毫厘”,经济得失就会差之“千里”。高镁卤水使共存的钾、钠等易结晶析出,还经常会造成输卤管道因结盐而堵塞。但也正因如此,才有利于从富镁卤水中提取钾。

硼酸盐在镁饱和液中能达到较高介稳浓度,而硼酸在镁饱和液中溶解度较小,这种溶解度差别使得镁饱和的硼酸盐溶液在酸化时,硼会以硼酸形式析出。浓缩含硼的富镁卤水,能使 B_2O_3 浓度达到 5% 以上的介稳状态,而此时镁已经饱和,在这种情况下镁有利于提硼。在 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 时,硼酸在纯水中溶解度为 2.62%,而在氯化镁饱和卤水中溶解度为 0.61%^[7],这成为酸化饱和卤水提取硼酸的重要理论依据之一。事情总有两面性,硼酸在镁饱液中的溶解度相对来说又不是很小,通常硼酸结晶后,余在液相中的硼仍有 $1/4 \sim 1/3$ 左右。酸法提硼之后需要分离或除去大量的镁才能再提硼,使得提硼收率难有较大的突破,即盐湖提硼关键是大量镁与少量硼的经济有效分离问题。

众所周知,镁锂分离难。青海盐湖中大量镁的存在是制约青海盐湖锂提取的最主要障碍,关于这一点已有相当多的分析和报道。但镁在妨碍提锂的同时,有时也能促进锂的分离提取。如萃取提锂^[8]实验指出,在锂浓度 0.3 mol 时,饱和氯化镁溶液中锂的萃取率比无镁溶液中萃取率约高 8 倍,分配比大 54 倍,说明高浓度镁的存在特别适合该萃取体系提锂。无独有偶,离子筛法提锂^[9]也特别指出,饱和氯化镁卤水与离子筛反应后,锂的平衡浓度非常小,锂的交换率高达 99.9% 以上,这表明,溶液中大量 Mg^{2+} 的存在,有利于离子筛交换锂。

从镁对盐湖共生的钾、硼、锂等主要元素分离提取的影响看,镁并不总是产生有害的影响。所谓的“镁害”主要是指副产卤水中镁的高浓度与强盐析作用使共生元素极易析出而难于富集。如果能有大规模消耗镁的产业,使分离出来的镁及时利用将会降低钾、硼、锂等资源开发的困难。

4 中国镁质材料的开发利用

材料是所有科技进步的核心,对各国的经济盛衰具有重要影响。在美国和日本因材料断裂、疲劳和腐蚀造成的经济损失每年均超过 2 000 亿美元。所以,美日等国对材料都给以极高的定位,日本甚至宣称将开发、加工和制造先进材料作为保持技术领导地位的国家战略基石^[10]。“在材料领域还没有任何材料像镁那样,潜力与现实有如此大的颠倒。”英国学者 R. W. Cahn 这句话更让镁科研工作者产生共鸣。镁质产品大多可归为不同类别的镁质材料,因而镁资源开发利用也可归结为镁质材料的研发与利用问题。虽然中国是世界上最大的镁质材料产品生产国和出口国,但中国镁资源与镁产品的发展程度参差不齐。镁质材料一般包括镁质耐火材料、金属镁与镁合金材料、镁质化工材料 3 大类。下面分别介绍这 3 大类镁质材料的现状。

4.1 镁质耐火材料发展现状

镁质耐火材料的格局主要反映在氧化镁的产量和其主要原料菱镁矿资源的开采量这两个数据上。虽然氧化镁的研究历史并不是很长,其在耐火材料领域的应用历史更短,但氧化镁在耐火材料领域的重要性却不可替代。1754 年 Black 通过煅烧碳酸镁第一次制得氧化镁,1855 年奥地利第一次用氧化镁做耐火材料,1880 年采用显微镜测定氧化镁的结晶形态是技术研究领域的关键进步。氧化镁在耐火材料领域的地位不仅因其熔点 $2\,800\text{ }^\circ\text{C}$ 在所有耐火氧化物材料中最高,还因其抗碱性渣和抗碱性氧化物的性能极优,而且氧化镁和其它氧化物形成的二元氧化物也大都具有相当高的熔点和

性能^[1]。2004 年氧化镁的产量为 800 万 t, 中国占 51%^[4]。

中国氧化镁耐火材料的发展是强势的, 做大的过程中付出了昂贵代价。中国菱镁矿和氧化镁初级产品的低成本供应, 使世界上许多卤水法氧化镁厂家逐渐退出行业竞争, 并使氧化镁下游产品生产商的原料紧张; 进一步, 中国重烧镁砂和电熔镁砂的低成本供应使众多重烧镁砂国际同行无奈退出。1993 年中国轻重烧镁的价格创造了历史最低记录, 与进口国贸易纠纷不断, 到 1995 年中国轻重烧镁占国际贸易的 70% 以上^[11]。做强的历史更不轻松, 因贸易纠纷中国不断下调初级产品出口量, 进行产品升级并逐渐增加高端产品出口量, 中国重烧镁砂与电熔镁砂的低成本供应, 导致了西方重烧镁砂生产商消亡, 也使西方电熔镁砂生产商不断减少^[12]。从 1994 到 2005 年的 12 年中, 中国轻重烧镁的出口数量减少了 39.7%, 而出口单价上升了 202.7%, 出口额增加了 83.1%^[11]。高端产品更从无到有, 2005 年镁碳砖的出口额甚至已超过了轻重烧镁的出口额。

镁质耐火材料领域最有竞争力的资源就是菱镁矿。目前, 每年约有 1.89 亿 t 菱镁矿被开采, 中国 2004 年占 44%。而中国的菱镁矿资源主要集中在辽宁, 因而辽宁成为世界最大的碱性耐火材料生产基地, 中国的镁质耐火材料状况主要是辽宁的状况。辽宁菱镁矿资源开发中优化资源配置, 造就了一批实力雄厚、科技领先、具备国际竞争力的企业 and 企业集团, 部分产品达到国际先进水平。2005 年, 24 家镁制品生产企业年销售收入超过亿元。海关统计, 2005 年中国镁砖出口创汇突破 3 亿美元, 首次超过了轻重烧氧化镁的出口创汇额。辽宁省镁耐火材料企业达 500 多家, 产值 160 亿元, 利税 25 亿元^[11]。镁耐火材料行业发展跨上了新台阶, 辽宁镁质材料行业已经可以生产镁质材料的全线近百种产品。中国辽宁镁质材料的大好形势是多年来不断发展和世界范围内残酷行业竞争的结果。历史上电熔镁砂价格较高, 通常将电熔镁砂应用于高性能耐火材料领域, 而重烧镁砂价格较低, 一直作为主要耐火原料以满足钢铁生产等大的耐火材料消费者的需求。中国低

成本电熔镁砂冲击整个市场并改变了这一历史格局, 在西方国家逐渐用中国产电熔镁砂来代替重烧镁砂, 致使一批生产高品质重烧镁砂的生产商退出了市场^[11-12]。在残酷的竞争中, 一批国外镁制品企业由进口中国镁砂原料, 转为在中国建厂, 奥、德、英、日、韩、印等国的十几家知名企业在辽宁建厂, 这些企业的资金、生产技术、管理经验、还有其营销网络和客户资源等也随之进入中国, 多方面促进中国镁质耐火材料行业的发展。中国镁质耐火材料在世界上的主导地位得益于发展经济为主的战略定位, 大搞基础设施建设使钢产量占世界的 33%, 使中国成为最大的重烧镁砂和电熔镁砂市场^[12], 这也是外企来华的重要原因。相反, 由于政治和战争的影响, 朝鲜和塞尔维亚在市场上的份额明显衰减, 朝鲜重烧镁由 20 世纪 90 年代 100 万 t 降到目前的十多万吨, 塞尔维亚因受联合国制裁产量仅为从前的 20%^[4]。总之, 辽宁的镁质耐火材料行业正在变强, 并开始领跑中国镁产品行业进入世界强国之列。

4.2 镁金属材料的发展现状

目前镁在全世界的产量仅有七八十万 t, 是小金属品种, 但各国对其都十分重视。随着资源的日益减少, 镁以外的有色金属价格大幅上涨。例如, 2006 年, 国际铜价比 2001 年上涨了 6.56 倍, 锌比 2002 年上涨了 5.36 倍, 铝比 2002 年上涨了 2.07 倍。吨铜价格 2006 年比 2005 年涨幅超过 2 万元, 1 000 万台空调用铜近 7 万 t, 则生产 1 000 万台空调仅铜一项的采购成本就要增加 14 亿元, 制造业必须重新考虑材质的选择^[13]。所以, 镁广泛取代其它有色金属的日子指日可待。镁也确实曾经辉煌, 镁之轻灵因战争而让世界瞩目, 二战中德国飞机大量用镁减重而能多携带炸弹, 其有效载荷之大超出了同盟国任何飞机, 战争实践使各国猛醒, 美国立即新建 15 家炼镁厂。二战结束, 盟国勒令德国 I. G. 公司解体, 并禁止德国和日本生产镁。镁的世界市场需求量直至 1991 年才恢复到 24.35 万 t, 与二次世界大战 1943 年世界镁产量的 24.85 万 t 相当^[14]。镁的大量生产与价格的比较优势, 加速了其在运输工具零部件上的大量

使用。镁是可工程化的最轻金属结构材料, 随着能源和其它有色金属资源的日益紧张, 镁必将为 21 世纪的发展发挥重要作用。因为汽车重量每降低 100 kg, 每百公里油耗可减少 0.7 L, 汽车自重每降低 10%, 燃油效率可以提高 5.5%^[13]。从 20 世纪 90 年代起, 汽车镁合金零部件使用的年增长率达 20%。

中国金属镁产品的发展紧随镁质耐火材料之后, 产量和产能在国际市场上所占的比例更大, 主导地位更甚, 正如原国际镁协执行副会长 Richard Opatick 所说“中国已经控制了原镁市场”, “从长期看将很难看到西方的原镁产品”。与镁质耐火材料类似, 中国镁金属产品在世界市场上也是大量低成本供应, 使以卤水为原料的电解法炼镁企业大都退出。1998 年以来, 连续 8 年中国金属镁产量、出口量均居世界首位, 1998 年中国镁年产量突破 10 万 t, 产量达到 12.3 万 t, 居全球各国镁产量的首位; 2002 年镁产量为 26.8 万 t 首次超过西方总和; 2003 年产量 35.4 万 t, 占到全球产量的 2/3; 2005 年产量 46.76 万 t, 出口量 35.31 万 t, 已占到世界市场的 75%, 净出口创汇额居全国有色金属之首^[16]。中国的金属镁生产工艺 99% 以上采用的是皮江法(又称硅热还原法), 皮江法是 1941 年由加拿大教授皮江(Lloyd M. Pidgeon)发明的一种炼镁工艺, 1942 年加拿大建立起世界上第一个皮江法炼镁厂。其方法是将白云石用回转窑或竖窑煅烧后和硅铁磨成细粉, 按一定配比混合压成团块装入用耐热钢制成的还原罐内, 在 1200℃左右及抽真空至绝对压力为 10~20 Pa 范围内进行还原得镁蒸汽, 冷凝后成为结晶镁, 再熔化铸成镁锭^[13]。中国炼镁的主要原料为白云石, 生产厂家为争客户而相互压价, 必然尽量去降低成本, 残酷的行业竞争极大的促进了技术进步, 皮江法炼镁 2005 年与 1996 年相比, 吨镁单耗指标明显下降: 白云石单耗下降了 41.18%, 还原剂硅铁单耗下降了 32.50%, 煤耗下降了 61.21%, 电耗下降了 33.33%^[14]。

在中国, 镁与镁合金的应用已开始良性发展, 2005 年国内镁消费量首次突破 10 万 t。2003 年中国消费镁 51.2 kt, 其中用于镁合金压铸件的镁 10.2 kt, 占总消费的 19.92%; 作为铝

合金的添加元素用镁 21 kt, 占总消费的 41%^[17]。在出口方面, 原镁出口由 2002 年的 75% 下降为 2003 年的 53%, 而镁合金由 14% 增加到 22%, 这表明中国在镁产品的出口结构上已由单一的原镁锭向多种产品, 特别是向镁合金产品方面转化^[17]。近年的这些数据显示, 中国的镁金属产品的结构正在调整, 金属镁产品在做大的基础上逐渐做强已成必然。汽车用镁是德国的领先技术, 在德国大众公司实行几十年。上海引进德国大众公司桑塔纳轿车时, 中方坚持采用镁壳体变速箱, 并安排协作厂引进了德国镁压铸技术, 为上海大众汽车配套的变速箱上下壳体, 年消耗镁合金 2500 t^[14, 17]。上海大众汽车的这个用量不是很大, 但如果这种领先而成熟的汽车用镁技术在中国汽车业普遍推广, 则必将是镁合金应用中最重要领域。在这方面, 中国政府制定相关政策, 拉动国内镁的应用, 对交通领域提出减重、尾气排放要求, 使汽车制造商不得不采用镁合金替代钢、锌合金、铝合金等铸件以减轻汽车自重^[17]。中国镁与镁合金材料会否像辽宁的镁质耐火材料一样“苦尽甘来”, 在很大程度上取决于国家宏观调控和国内企业的整合与协作。

4.3 镁质化工材料与介观形貌镁质材料

镁质化工材料在镁质材料中占重要地位, 它标志着一个国家镁质材料的生产水平^[18]。镁质化工材料包括上文述及两大类镁质材料外的众多镁产品, 但无法认同胡庆福等^[18]将氯化镁、硫酸镁等也归入此类。中国的镁质化工材料处于初级阶段, 总体上又小又弱, 这与另两大镁质材料形成鲜明对比。镁质化工材料的发展与另两大类镁质材料不同, 不能靠产量规模去竞争, 需要关停转产方便的多元化产品系列。多元化的系列产品才能适应多元化的市场, 品种越多、市场越广, 抵御市场风险的能力越强。

许多镁质化工材料以其独特的性能占有重要地位, 例如氢氧化镁是公认的无害环保水处理剂; 再如, MOS(碱式硫酸镁)纤维能够赋予复合材料以高强度、高刚性, 其低密度还可以使复合材料轻量化, 所以对降低汽车油耗具有重要意义。在日本, MOS(碱式硫酸镁)纤维作为一

种重要的战略制品,已经普遍应用于汽车业:汽车仪表板、保险杠、内饰件、防擦条等^[19]。既然 MOS 等低温纤维在增强高分子复合材料领域得到广泛应用,那么随着高温 MgO 纤维制备技术的不断成熟,晶须和纤维 MgO 增强材料在镁合金等轻金属结构材料的增强方面也将大有可为。在能源和资源危机以及可持续发展的大前提下,高性能且轻质的镁质材料都因节能、降耗、减污染等相同理由而占有重要地位。共同的受关注理由和共同的应用领域,不同种类的镁质材料必然会协同加强而进一步巩固镁质材料的重要地位。

随着各行业对材料的功能、物化性质、性价比等方面不断提出新的要求,越来越多的应用场合中,传统的单一材料都不能够满足要求,解决问题的方法之一就是材料进行复合。所以,大多数材料最终的实用形式主要是复合材料,各组成材料互为补充,最好协同加强,排除或至少降低每种组成材料的性能弱点。复合材料中一类称为基体相,另一类称为强化相,强化相通常以纤维、板片或颗粒的形式分布于基体相之中。随着技术进步,更多的强化相不再是肉眼可见的宏观结构形貌,而主要是微纳米尺度的纤维、板片等形貌材料,其相对微观结构又显得太大,所以相关学者将其划定为介观形貌结构。

微纳尺度的纤维状、板片状形貌精细的镁质化工材料都属于介观形貌镁质材料,作为复合材料的有效高性能强化相,相关研究非常活跃。理论上,用镁质材料增强、增韧的胶轮和高分子内饰件,若再配备以 MgO 晶须或纤维增强的轻镁合金主架,组装的“全镁车”必将更轻、更快、更强;镁耐火材料若辅以同质镁质化工材料为增强、增韧和粘接剂必将更好的发挥所长。所以,中国的镁质材料业应该全面发展、协同进步。从这一点上,中国也应该大力发展镁质化工材料,使之与另两大镁质材料发展水平相适应。同时,镁质化工材料不仅是另两大镁质材料的辅助品,还广泛应用于国民经济各个领域,对冶金、建材、化工等行业都有较大促进作用^[18]。镁质化工材料大多都是面大量小的产品,根本出路是高值化和系列化,而高值化又依

托于功能化、微细化和高纯化;面大量小的特点适于众多的高校与科研院所分别研究。镁质化工材料的高值化应该是镁质材料技术孵化与进步的载体,也应该是吸引科研人力和培养镁质材料科研人才的主要领域。

4.4 盐湖镁资源开发的出路浅谈

现阶段,中国卤水镁制品的产量、产值相对于镁碳酸盐矿物为原料的镁制品都还微不足道。镁质耐火材料方面,主要以菱镁矿为原料,盐湖镁资源如果开发不出过硬的产品,找不到合适的切入点,无法与迅猛发展的辽宁镁质耐火材料竞争;镁金属与镁合金方面,主要以白云石为原料,盐湖镁资源电解法炼镁若不能大幅降低成本,若与皮江法相比没有明显优势,则发展镁金属产品也不适宜。因而,青海盐湖镁资源在镁质耐火材料与金属镁方面,可以进行技术储备或供应中国的西部市场,但通过这两大材料来大规模开发利用盐湖镁资源较难,因为在国家层面上是内耗,而难获得较大支持。镁质化合物材料方面,青海盐湖镁资源的品位和质量很高,非常适合开发生产高值精细镁质化合物材料。镁资源高值利用最广泛的途径就是精细镁质材料,所以,从青海盐湖镁资源出发,开展精细镁质材料研究具有重要意义,可以积累和储备开发利用镁的经验与技术,提高对镁质材料的认识;介观形貌镁质材料量小、投入少、回报高;对综合利用并升值提锂、提硼等过程中副产的卤镁也有重要意义。

盐湖丰产元素的材料科研工作应该对盐湖资源的高值利用有所贡献,一方面合成与制备原料来源于盐湖资源;另一方面材料制备技术一旦开发成功,这种制备技术应该能更多地解决盐湖资源开发利用中的具体问题;再者,一个成熟的技术与方法,特别是精细材料制备技术的控制与处理方法应该有一定的外延性,要对相近化合物的形貌控制有借鉴意义。这些需要对一些成熟的制备技术进行深入了解与规律把握。例如, MgO 纤维及其前驱物碱式硫酸镁和碱式氯化镁纤维的制备技术在国内外都已相对成熟,可以对其制备和处理规律进行深入研究并进行外延;在形貌上应该从一维纤维延伸到

二维片状、三维块状、孔状材料的开发与制备; 还应该能指导类似碱式镁盐纤维的开发与制备; 更应该以 MOS 制备技术去解决盐湖开发中具体的问题, 进行应用基础研究和应用创新研究。

5 其 它

镁氧水泥也是镁质材料的一个大类。氯氧镁水泥与硫氧镁水泥曾被广泛研究并有相应的应用; 在氯氧镁水泥与硫氧镁水泥的研究过程中, 对其主要结构相碱式氯化镁纤维和碱式硫酸镁纤维进行了特别关注, 尝试并将碱式氯化镁纤维和碱式硫酸镁纤维成功应用于多种材料的增强、增韧和阻燃。在一些领域中, 镁氧水泥还有特殊应用, 例如, 磷氧镁水泥具有快硬高强的特点, 使其在军事方面具有重要用途^[29], 西方发达国家将其大量用于混凝土路面、公路、桥面、飞机跑道及工业厂房地面等的快速修复上。

镁质材料还应包括天然镁矿物材料, 如石棉、滑石、水镁石、金云母、海泡石等。这些矿物材料开发利用相对简单, 甚至可直接利用。

最后, 镁质材料多方位服务于人类应该从中国开始, 中国人口最多且全力搞经济建设, 应该成为消费各类镁制品的最大市场。镁科普工作应该是孕育和开拓镁质材料市场的一个重要方面, 作为镁的“知己”, 镁科研工作者同时也应该是一个镁科普工作者。中国镁制品销往国内市场最有利, 运距近、无关税, 必须孕育和开拓这个潜在市场, 让社会各界“知镁用镁”。

参考文献:

[1] 徐慕孺. 镁—现代工业社会和自然界不可缺少的组成部分[J]. 国外耐火材料, 1994 (8): 11—15.

[2] 王香槐. 闪光的金属—镁[J]. 金属世界, 1998, (1): 25

[3] 阎启翔. 镁的传奇. 有色金属工业[J]. 2005, (5): 80.

[4] Ien Wilson. 世界镁资源概论[C]//辽宁省人民政府主要资源保护办公室. 第二届中国辽宁国际镁质材料博览会

学术报告汇编. 沈阳: 辽宁省人民政府主要资源保护办公室 2006: 113—148.

[5] 卫峰. 运城盐湖氯化镁资源利用经验介绍[J]. 镁盐工业, 2003, (1): 40—43.

[6] 王玉亮, 王彩玲. 硅镁矿物生产镁盐的前景及在西部开发前景[C]. 第十五届全国镁盐技术研讨会会议论文集, 2002: 48—51.

[7] 杨存道, 贾优良, 李君势. 从盐湖卤水结晶硼酸的新工艺研究[J]. 化学工程, 1992, (3): 22—27, 32.

[8] 黄师强, 崔荣旦, 张淑珍, 等. 磷酸三丁酯从大柴旦盐湖卤水萃取锂的研究[J]. 盐湖科技资料, 1980, (第一、二辑): 14—24.

[9] 沈祥水, 王学元, 张国湘, 等. 离子筛法从卤水中直接提锂试验报告[J]. 盐湖科技资料, 1980 (第一、二辑): 4—13.

[10] 余永宁, 强文江. 工程材料科学与设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.

[11] 陈浩然. “减量化”对镁制品行业发展的作用和影响[C]//辽宁省人民政府主要资源保护办公室. 第二届中国辽宁国际镁质材料博览会学术报告汇编. 沈阳: 辽宁省人民政府主要资源保护办公室, 2006: 3—9.

[12] 迈克·奥德里斯科尔. 镁质产品市场纵览[C]//辽宁省人民政府主要资源保护办公室. 第二届中国辽宁国际镁质材料博览会学术报告汇编. 沈阳: 辽宁省人民政府主要资源保护办公室, 2006: 67—76.

[13] 曹建勇. 近期有色金属价格的上涨给中国镁产业带来的机遇与挑战[J]. 中国镁业, 2006, (7): 27—34.

[14] 支德瑜. 轻金属—能使汽车减重、降低成本、节省燃油的生力军[J]. 中国镁业, 2006 (11): 4—11.

[15] 夏德宏, 余涛, 张刚, 等. 皮江法炼镁工艺用能状况诊断及节能措施[J]. 工业炉, 2005 (2): 32—35.

[16] 李树林. 回顾镁业发展展望美好未来[J]. 中国镁业, 2006 (10): 4—16.

[17] 左铁镛. 中国镁及镁合金发展战略[J]. 科学中国人, 2006 (2): 28—29.

[18] 胡庆福, 胡晓湘, 宋丽英. 镁质化工材料生产现状及其结构调整建议[C]//辽宁省人民政府主要资源保护办公室. 第二届中国辽宁国际镁质材料博览会学术报告汇编. 沈阳: 辽宁省人民政府主要资源保护办公室, 2006: 39—57.

[19] 孙贵楠, 郭铭. 工程塑料用新型增强剂—碱式硫酸镁晶须[J]. 塑料工业, 2005 (增刊): 263.

[20] 汪宏涛, 曹巨辉. 军事工程用磷酸盐水泥材料研究[J]. 后勤工程学院学报, 2005, (1): 5—7

Summary of Magnesium, Magnesium Resources and Magnesium Materials

WU Zhi-ming, MA Pei-hua
(Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China)

Abstract: The development situation of magnesium resources in salt lake brine in China is very serious. The first problem is the large amount, the magnesium amount in saline brine as the by-product of potassium extraction by Qinghai Salt Lake Group is three times larger than the total amount as the by-product of sea-salt production in whole China; the second is the lack of bulk magnesium products, the smelting magnesium enterprises and magnesia manufacturers with the magnesium from sea-salt production as the raw material retreated gradually from the trade competition in the whole world under the impact of the exploitation of magnesium carbonate minerals in China. As to the magnesium carbonate minerals, magnesites are mainly used for magnesia refractory materials whose output and the productivity in China is premier in the world. Furthermore, the industry of the magnesia refractory materials is beginning to get strong with benign development. Dolomites are mainly used for metal magnesium materials, the proportions of whose output and the productivity in China are much larger in the world, and it is trying to be stronger. The situation of magnesium chemical materials is small and weak clearly compared with the other two magnesium materials, and its relative development is dependent on the fact whether the products can be produced into series and scales primarily. The magnesium resource in salt lakes of China is excessive and even becomes “magnesium disaster”. But this resource can be used as the high quality raw material for producing magnesium chemical materials for its cheap price and low-impurity content. So, an increase of investment in relative fields should be given.

Key words: Magnesium; Magnesium resource; Magnesium material

(上接 36 页)

[13] Humenik Jr K, Kingery W D. Metal-Ceramic Interactions[J] . J. Am. Ceram. Soc. 1954, 37(1): 18—23.

tions in Al—Mg(5083)/ Al₂O₃p composites during fabrication and remelting[J] . Metall. Mater. Trans. [J] . 1995. (26A): 2625—2634.

[14] Zhong W M, L' ESPÉRANCE G, SUÉRY M. Interfacial Reac-

Comparison of the Interface Characteristics of the Mg₂B₂O₅w/ AZ91D and Al₁₈B₄O₃₃w/ AZ91D Reinforced Magnesium Matrix Composites

JIN Pei-peng^{1,2,3}, XU Guang-jī^{1,2}, DING Yu-tian^{1,2}, SHI Xun-bing^{1,2}, LIU Xiao-gen^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, 730050, China; 2. Key Laboratory of Non-ferrous Metal Alloys and Processing, Ministry of Education, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, 730050, China; 3. Department of Civil Engineering, Qinghai University, Xining, 810016, China)

Abstract: The interfacial behaviors of the Mg₂B₂O₅ and Al₁₈B₄O₃₃ whiskers were investigated in this paper. The composites were characterized by DSC and the whiskers extracted from the composites were characterized by XRD. The results showed that there were no interfacial reaction products at the interface of Mg₂B₂O₅w/ AZ91D reinforced magnesium composite. By analysis and discussion of the bonding status at the interface of such composite, it is believed that the bonding of the interface is composed of the chemical bonding without reaction products, diffusion bonding and physical bonding. Based on the literature relating on the interface behaviors of Al₁₈B₄O₃₃ whisker reinforced magnesium and aluminum composites, it is indicated that the product at the interface of Al₁₈B₄O₃₃ whisker/ AZ91D magnesium alloy is only MgO.

Key words: Magnesium matrix composite; Whisker; Interface; Bonding