

盐湖及相关资源开发利用进展 (续完)

宋彭生

(中国科学院青海盐湖研究所, 青海西宁 810008)

摘要: 对近年来国内外盐湖资源开发利用的进展情况加以介绍,也涉及到国外钾、锂、镁、硼、碘等相关产品的生产、消费、价格等情况。还对资源开发的可持续发展以及我国盐湖及相关资源开发的某些问题加以讨论。

关键词: 盐湖资源; 综合利用; 钾盐; 锂盐

中图分类号: TD871.1

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2000) 04-0050-19

2.5 镁化学品

镁是盐湖资源中储量大的一种资源,它也是地球上丰度高的元素之一,在地壳中占第八位。但在世界上有工业开采价值的含镁矿石储量并不多,绝大部分可溶性镁盐赋存于海水中。全世界菱镁矿(MgCO_3)的总储量约 120亿吨矿物量,溢晶石($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{MgCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 40亿吨矿物量。而仅死海中含有的镁即达 220亿吨(以 MgO 计)。但盐湖资源中镁的利用程度却远远不够。例如,镁化合物中应用量最大的氧化镁,其 3/4来自菱镁矿,余下的 1/4中大部分是来自海水。

在镁产品行业中,最经常使用的一些术语含义如下:

金属镁 各种方法制得的单质 Mg 金属;

氧化镁 各种方法制得的镁的氧化物 MgO ;

菱镁矿 天然存在的镁的碳酸盐矿物,主要成分是 MgCO_3 ,它是工业上生产氧化镁的主要原料;

苛性氧化镁 在 700°C 到 1000°C 间煅烧过的氧化镁,也叫煅烧氧化镁、苛性煅烧氧化镁化学活性氧化镁;

僵烧氧化镁 在 1500°C 到 2000°C 间煅烧过的氧化镁,也叫烧结氧化镁、二次煅烧(双烧)氧化镁;

熔融氧化镁 苛性氧化镁由电弧在 2750°C 以上熔融产生的氧化镁;

氢氧化镁 $\text{Mg}(\text{OH})_2$,天然矿物(水镁石)或合成的产物

天然菱镁矿和海水是工业上广泛利用的镁资源,但从矿物中开采的镁资源仍然占主导地位。我国辽宁大石桥储藏有高品位的菱镁矿,资源丰富。改革开放以来,菱镁矿生产发展迅速,开采量大,其产量占世界总产量的 47% 以上(1998年),居世界之首。生产的菱镁矿和各种氧化

收稿日期: 2000-09-12

基金项目: 本工作部分得到青海省科委科研项目资助(97-K-603)

作者简介: 宋彭生(1937-),男,青海省人大常委会副主任,中科院青海盐湖研究所研究员。主要从事盐湖卤水物理化学、盐湖资源开发工艺基础、软科学等研究。

镁制品除供应国内各方面需要外,尚大量出口国际市场,从渤海至南海,我国有数千公里漫长的海岸线,海水资源丰富。我国青海省察尔汗盐湖蕴藏有 27亿吨氯化镁。对于钾肥生产而言,盐田采收光卤石后剩余的老卤和光卤石分解后的母液中,都含有大量氯化镁(一般可达 400g/L)。如不恰当地解决其利用或处理问题,将会影响钾肥生产的正常进行,而产生“镁害”。因此可以说,镁盐的开发利用是盐湖钾肥生产和卤水综合利用的“瓶颈”,必须加以解决。我们可以毫不夸张地说,我国是一个镁资源十分丰富的国家,镁产品的发展前景不可限量。近年世界各国天然菱镁矿的产量列在表 50 中。

表 50 世界天然菱镁矿的产量 ($\times 1000t$)^{〔104〕}
Table 50 World production of natural magnesite

国 家	1996年	1997年	1998年
中 国	8000	8000	8500
俄 罗 斯	3181	2700	2200
朝 鲜	1600	1600	800
巴 西	1268	1300	1200
土 耳 其	1200	1200	1400
斯洛伐克	1000	1000	1000
希 腊	682	650	650
奥 地 利	624	650	650
西 班 牙	490	450	500
印 度	373	375	372
澳大利亚	238	245	359
加 拿 大	200	200	200
其 它	200	200	200
塞尔维亚	89	95	60
世界合计	19145	18665	18091

镁化合物是重要工业化学品,它们有多种多样的用途。镁的各种制品的消耗中,量最大的是耐火材料级氧化镁,这个基本局面近期是不会有太大变化的。但近年来各种镁盐的应用日益广泛,生产和应用都向深度和广度发展。美国市场上有 50~60种镁盐产品。不同用途的各种级别的氧化镁、氢氧化镁、氯化镁、硫酸镁、碳酸镁、硝酸镁、硅酸镁等出现在市场上,它们的应用日益广泛。实际上,各种镁产品的开发利用已经成为国外盐湖资源综合利用的最活跃领域。在本文第一部分有关死海的介绍中,已经谈到镁资源的开发情况。

目前我国有许多业内人士已认识到这一情况,例如天津碱厂郭如新先生就撰写了许多文章^{〔105-115〕},介绍国际上镁产品的迅猛发展形势,呼吁我国有关行业应加强镁产品的开发利用。还有其它作者也曾著文倡导镁产品的开发利用^{〔116-117〕}。

在本文这一部分中,拟就与盐湖资源有关的镁盐产品的情况作一简单介绍,有兴趣的读者可以参阅有关文献。

2.5.1 氧化镁^{〔118-120〕}

氧化镁在自然界中以方镁石形态存在。各行业中应用的氧化镁则多为工业过程制造出的

产品。氧化镁是镁化合物中最重要的一个品种,它产量大、品种多、应用面广,氧化镁尤其是高纯镁砂大量作为耐火材料用于炼钢等冶金工业。氧化镁有轻质与重质之分,二者性质及应用有很大差别。通常并没有绝对明确的区分原则,而是根据其物理、化学性质的测定结果划分。^[12]氧化镁的物理化学性质如化学反应性能、吸附性能、导热性、容重、比表面积等,与其制备条件,特别是煅烧温度、煅烧时间、开始粒度、杂质成分与含量有密切关系,因而其用途也大不相同。通常在 700~ 1000℃ 间煅烧生成的氧化镁,化学活性好,能快速溶解于稀酸中,在冷水中能迅速水化生成氢氧化镁;产品相对密度小,视比容大,也很容易吸收空气中的 CO₂ 和水分而转变为碱式碳酸镁,叫做化学活性氧化镁或煅烧氧化镁。在 1500~ 2000℃ 间煅烧生成的氧化镁,化学活性低,在室温下只能与强酸反应,通常叫僵烧(死烧)氧化镁或烧结氧化镁。由电弧在 2750℃ 以上熔融生成的氧化镁,成为很硬的固体,具有耐酸耐水性能,叫熔融氧化镁。

氧化镁是由两种不同原料生产的,分别称为天然品及合成产品。它们不仅生产过程极不相同,两种产品的质量和价格也有很大不同,合成品最有价值。获得天然氧化镁的过程要相对简单得多,更像采矿操作,而不像合成产品生产需要化学加工。天然产品约占世界氧化镁生产能力的 82%,主要原料是菱镁矿,它可以呈显晶型或隐晶型存在。由两种不同原料生产的氧化镁近年产量给在表 51~ 52 中。

表 51 由天然菱镁矿制造氧化镁的生产能力 (MgO t/a, 1998 年)^{〔10〕}

Table 51 Production capacity of magnesia from natural magnesite

国 家	公 司	生 产 能 力
中 国	辽宁镁公司	3500000
俄 罗 斯	Satka	2200000
奥 地 利	Radex	550000
朝 鲜	North Korea Magnesita	500000
土 耳 其	Kumas, Manyazit, Co-	400000
巴 西	mag Magnesita	350000
印 度	Dalmia, Burn Std, Tanmag, Almora	300000
斯 洛 伐 克	Magnatech	300000
希 腊	Grecian Magnesite	260000
塞 尔 维 亚	Magnohrom	200000
西 班 牙	Mag Navarra	200000
澳 大 利 亚	Q Mag	150000
加 拿 大	Baymag	100000
世 界 合 计		8710000

以色列有三家主要的公司从死海资源中开发生产多种镁产品。它们是死海工厂 (DSW) 生产氯化镁;死海方镁石公司 (DSP) 生产氢氧化镁和氧化镁;死海镁公司 (DSM) 生产金属镁。

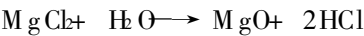
死海方镁石公司 (简称 DSP) 熔融氧化镁的生产,是根据它们与日本 Tateho Chemicals Industries 各 50% 的合资项目, Tateho Dead Sea Fused Magnesia (TDF) 的框架协议进行的。另一个与其姊妹公司 DSB 各 50% 的合资公司 Dead Sea MFR 负责生产片状阻燃剂氢氧化镁。

TDF和 Dead Sea MFR生产设施全都位于 DSP,作为工厂的组成部分运作。

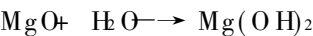
表 52 由海水和卤水制造氧化镁的生产能力 (MgO t/a, 1998年)^{〔104〕}
Table 52 Production capacity of magnesia from seawater& brines

公 司 及 国 家	生 产 能 力
欧洲和地中海地区:	
Britmag, 英国	100000
Premier, 爱尔兰	100000
Nedmag, 荷兰	150000
Sardamag /Cogema, 意大利	70000
Nuova Sardamag, 意大利	60000
Norsk Hydro, 挪威	25000
Dead Sea Periclase, 以色列	70000
美洲:	
Martin Marietta, 美国	275000
Harbison- Walker, 美国	180000
National Magnesia, 美国	130000
American Premier, 美国	50000
Morton Chemical, 美国	10000
Quimica del Rey, 墨西哥	100000
亚洲:	
Ube Chenical, 日本	300000
Asahi Chemical, 日本	20000
Asahi Glass, 日本	15000
Sam Hwa Chemical, 韩国	50000
Birla periclase, 印度	50000
世界合计	1755000

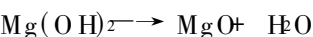
高浓度 MgCl₂卤水从位于 18km以外沙多姆的姊妹公司 DSW 通过钢管将其输送到位于密索鲁特 (Mishor Rotem)的 DSP工厂里。采用 Aman法热解氯化镁卤水得到粗制氧化镁 采用一套三个 Aman喷射炉将卤水转变成氧化镁粉末和 HCl(盐酸):



副产品盐酸用管线输至 Rotem- Amfert用于生产磷酸 为了使粗制氧化镁与伴生的水溶性盐类分离,将其水化并洗涤到要求的纯度:



将氢氧化镁煅烧,就获得了高纯度的氧化镁。



为了生产耐火材料级的氧化镁,将 MgO加到 Nichols 竖窑,在 2000℃以上死烧 典型纯度超过 99.2% MgO,利用团块和造粒技术可以产生通常密度达 3.44g /mL以上的产品。以色列产的几种氧化镁指标列在表 53中。

目前的总生产能力接近 95000t /a,其中 70% 以耐火材料用氧化镁销售,其余 30%为特殊

用途氧化镁(部分为氢氧化镁)。这些产品中 TDF约占 14000t/a,而 Dead Sea MFR生产能力为 6000t/a阻燃剂 $Mg(OH)_2$ 所用设备均处于满负荷操作状态。预期近年情况不会发生变化。

约旦正在建设从死海中生产氧化镁产品的工厂。所需原料将是由现在的钾盐厂以 $90m^3/h$ 排出的卤水。此外还有由位于 Qatrania的采矿厂以 $35t/h(150000tpa)$ 开采的石灰石,并在采矿厂就地破碎,然后用卡车运至距石灰石采矿厂 90km的氧化镁厂。

沉淀过程与以色列采用的 Aman法不相同。首先将破碎过的生石灰石煅烧,然后用水消化形成石灰乳。再使其与脱硼卤水接触生成氢氧化镁沉淀:



接着再将氢氧化镁过滤并在炉中灼烧,使其分解为氧化镁和水。利用压制机将生成的氧化镁细晶体压块,在竖窑中于高温下烧结。

产品的纯度没有 Aman法生产的 MgO 高,因为石灰带入了一些杂质。可是 Jomag厂使用的石灰石据说是优质的。该过程可以生产出一种 $Ca:Si$ 比值好,烧结性能优良的大晶体,耐火材料工业很喜欢使用它。预计大约每年有 5×10^4t 烧结 MgO 用于耐火材料工业。主要市场是欧洲、中东和远东。由于中国的氧化镁产品在国际市场上价格较低,所以还在作进一步的市场研究。但是公司始终确信该项目是可行的。余下的每年 10000t产品将以化学工业专用的 MgO 和氢氧化镁市场为目标。

表 53 以色列死海生产的氧化镁产品的规格指标^[15]

Table 53 Magnesia products from Dead Sea in Israel

死海方镁石公司产品			Tateho Dead Sea熔融氧化镁公司产品			
CF级煅烧 MgO			TD-X级熔融 MgO		TD-Z级熔融 MgO	
	指标规格	典型值	指标规格	典型值	指标规格	典型值
MgO	≥ 99.0%	99.3%	≥ 99.2%	99.4%	≥ 99.1%	99.3%
CaO	≤ 0.80%	0.6%	≤ 0.63%	0.53%	≤ 0.70%	0.53%
SiO ₂	≤ 0.03%	0.03%	≤ 0.06%	0.02%	≤ 0.08%	0.03%
Fe ₂ O ₃	≤ 0.07%	0.04%	≤ 0.07%	0.04%	≤ 0.08%	0.03%
Al ₂ O ₃	≤ 0.03%	0.03%	≤ 0.03%	0.02%	≤ 0.08%	0.03%
B ₂ O ₃	≤ 50×10 ⁻⁶ %	0	≤ 30×10 ⁻⁶ %	<10×10 ⁻⁶ %	≤ 30×10 ⁻⁶ %	10×10 ⁻⁶ %
BSG	≥ 3.42g/mL	3.43– 3.45g/mL	≥ 3.52g/mL	3.55g/mL	≥ 3.50g/mL	< 3.53g/mL
晶体尺寸	70– 90×10 ⁻⁶ m					
标准尺寸						
					3– 5mm	
					1– 3mm	
			0– 1mm			

2.5.2 氢氧化镁

氢氧化镁作为阻燃剂近来有极大发展。此外还用于含酸废水处理、烟气脱硫、工业废液重金属脱除等环境保护方面。原来以生产镁砂为主的公司大多开始涉足氢氧化镁生产。

氢氧化镁受热释放结晶水,吸收大量潜热,有降温作用。在燃烧初期还有抑止发烟作用。生

成的氧化镁具有良好的耐火性能。氢氧化镁在 340°C 时开始分解, 490°C 时分解完全。在塑料塑制过程中是稳定的,不会发生分解。虽然氢氧化铝(ATH)也是一种良好的阻燃剂,但氢氧化镁作为阻燃剂性能更优越,二者性能对比列在表 54 中。

表 54 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 和 ATH 阻燃剂性能比较^[120]

Table 54 A comparison $\text{Mg}(\text{OH})_2$ and ATH flame retardants

	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	ATH
阻燃机理	吸热,分解	吸热,分解
反应热	$1457 \times 10^3 \text{ J/kg}$	$1193 \times 10^3 \text{ J/kg}$
分解温度	$\sim 200^{\circ}\text{C}$	$\sim 350^{\circ}\text{C}$
应用于聚合物	PE, EVA, PP, nylon	PE, EVA
阻止燃性能	大于 ATH	小于 $\text{Mg}(\text{OH})_2$
抑制烟性能	大于 ATH	小于 $\text{Mg}(\text{OH})_2$
对酸的排除	大于 ATH	小于 $\text{Mg}(\text{OH})_2$
对环境的影响	无毒 无腐蚀 无挥发	无毒 无腐蚀 无挥发

它主要用作电缆、塑料和橡胶的阻燃剂。美国 J. M. Huber 公司、RMC 矿物公司和瑞士 Incemin 公司等从中国进口水镁石,用以生产阻燃剂氢氧化镁。世界上主要生产氢氧化镁阻燃剂的厂家列在表 55 中。

表 55 主要生产氢氧化镁阻燃剂的厂家^[89]

Table 55 Major producers of magnesium hydroxide flame retardants

公 司 (国家)	原 料
Alcan Chemicals Europe(英国)	天然矿
Dead Sea Periclase/Dead Sea Bromine Group(以色列)	卤水
Duslo Sala sp(斯洛伐克)	菱镁矿
Incemin(瑞士)	水镁石
Kywa Chemical(日本)	海水
Magnifin(奥地利)	蛇纹石
Morton International(美国)	海水、卤水
RMc Minerals(美国)	水镁石
Engineered Minerals Division of J. M. Huber Corp.(美国)	合成、天然

最近 Dead Sea MFR 公司发明了一系列带涂层阻燃剂 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, 它们以死海卤水为原料采用一种独特的生产方法,经表面处理后使氢氧化镁具有与有机聚合物的可混性。这种称为 FR-20 系列的氢氧化镁,根据使用它们作阻燃剂的聚合物的类型来实施表面改性^[122]。

FR-20 系列的氢氧化镁产品不仅能从系统吸收热量,而且还会稀释可燃气体,燃烧过程生成的氧化镁也能起到阻挡层的隔离作用。 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 还可以中和酸性,从而降低塑料燃烧时生

成的酸所带来的危害。

Dead Sea MFR最近还发明了更清洁的独特产品。一种特别适合电线、电缆及尼龙产品的新的表面处理方法正在开发中。

我国虽然对氢氧化镁阻燃剂的研究起步较晚,但近年来也在积极开展这方面的工作。例如文献^[123]对我国各单位研制的 7 种氢氧化镁阻燃剂性能进行了测定,并提出了两条建议流程。我国生产氢氧化镁阻燃剂的单位有浙江温州钾肥厂、连云港盐化厂、兰化公司研究院等^[124]。

由于氢氧化镁的优异性能,近年氢氧化镁在环境保护方面的应用越来越广泛,主要有以下几方面:

1) 用于含酸废水处理。氢氧化镁本身是弱碱,使用过量也不会有腐蚀作用,被称为“绿色安全中和剂”。

表 56 氢氧化镁料浆的典型指标^[120]

Table 56 Typical specification of a magnesium hydroxide slurry

化 学 性 能	指 标
以料浆为基准(%)	
Mg(OH) ₂ 干物体	48.0– 52.0
游离水	52.0– 48.0
灼烧失重	31.6
干基(%)	
Mg(OH) ₂ 干物体	≥ 97.09
CaO	0.3– 0.4
SiO ₂	0.16– 0.3
Fe ₂ O ₃	0.1– 0.15
Al ₂ O ₃	0.02– 0.1
SO ₃	0.4– 0.6
Cl	0.08– 0.14
物 理 性 能	指 标
堆密度	1440kg /m ³
粘度	400CPS
表面积	25m ² /g
Mg(OH) ₂	540– 600kg /m ³
料浆	1170kg /m ³

原注数据来源: 国家氧化镁化学品公司 (NMCC)

2) 烟气脱硫。氢氧化镁料浆湿法脱出烟道气中的二氧化硫,工艺过程简单,操作易于实现,副产物可以回收利用。

3) 重金属脱除^[125]。氢氧化镁比表面积大,吸附力强,易于从各种工业废液中吸附除去重金属离子 Ni²⁺、Cu²⁺、Cd²⁺、Mn²⁺、Cr³⁺、Cr⁶⁺ 等。可与石灰、膨润土等制成一定厚度的过滤床层,进行柱式操作。

4) 工业料液脱色以及废水处理,工业废液中悬浮物的脱除。

- 5) 土壤处理,防止酸雨
- 6) 城市污水脱除氨和磷
- 7) 城市供水的水处理
- 8) 固体废物焚烧过程中使用
- 9) 锅炉和制冷设备用水的处理。

在上述应用领域的很多过程中,氢氧化镁料浆的使用越来越普遍。美国 Dow 化学公司是第一个生产稳定氢氧化镁料浆产品的公司,其后美国 Natinal Magnesia, American Premier, Martin Marietta Magnesia Specialties Inc. 等也相继生产这种产品。氢氧化镁料浆可以用卡车、铁路槽车等运输,但槽车须备有空气鼓泡搅拌装置,以便料浆卸料。表 56给出一例氢氧化镁料浆的规模指标,供参考。美国近年来氢氧化镁生产及进出口情况列在表 57中^[126]。

表 57 美国氢氧化镁统计数据 (t)
Table 57 US magnesium hydroxide statistics

	1990年	1995年	1996年	1997年	1997年进口主要货源或出口目的地
生产	366000	297000	338000	307000	
进口					
氢氧化镁及过氧化镁	3550	4940	4310	5930	日本, 56%, 以色列 23%
出口					
氢氧化镁及过氧化镁	6340	17400	12200	10600	加拿大, 63%

2.5.3 硫酸镁

七水硫酸镁 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 和硫镁矾 $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的应用近年有较大的发展。1997年美国生产硫酸镁 $4.610 \times 10^4 \text{ t}$ 。其应用分布为食品添加剂和制药 30%, 工业上应用 25%, 动物饲料及肥料用 22%, 造纸业 14%, 其它 9%。

它们具体的应用包括:

食品添加剂和制药——矿泉浴液、局部炎症和蚊虫咬镇痛浸泡液;

工业应用——絮凝剂等;

动物饲料——添加剂防止牧草性痉挛病、作物施肥;

造纸业——纸浆制造中脱木质素、漂白增加双氧水使用寿命;

其它——纺织业、火柴制造、耐火砖粘结剂、水泥。

近年来硫酸镁作为能提供镁、硫两种中量元素的肥料,引起越来越多的关注。其肥效及应用的研究很多,我国也有人在大力宣传。其实,早在 20 世纪 50 年代,我国就对镁肥有过介绍和推广。文献^[111]对国内外硫酸镁肥料的品种、生产能力及肥效等均有介绍。我国目前只有工业用七水硫酸镁的部颁标准 (HG/T2680-95),尚无农业肥料用含硫酸镁肥料的相应标准。1999 年工业七水硫酸镁 (98%) 国内市场价格约 560~850 元/t,出口价约为 65\$ /t。我国已经有许多人研究了从盐湖资源中生产硫酸镁的问题^[127-130]。

表 58 美国硫酸镁统计数据 (t)^{〔126〕}
Table 58 US magnesium sulphate statistics

	1990年	1995年	1996年	1997年	1997年进口主要货源或出口目的地
生产	55400	46100	45600	46100	
进口					
泻利盐	12500	27400	24	86	中国 , 74%
硫酸镁石	44	26	18700	13500	德国 , 96%
其他硫酸镁	9990	16000	20200	20400	德国 , 65; 加拿大 , 32%
出口					
泻利盐和硫酸镁石	241	1830	6750	564	墨西哥 , 84%
其他硫酸镁	2820	4740	5030	6760	加拿大 , 78%

原注资料来源: 美国地质调查所及统计局

2. 5. 4 氯化镁

表 59 MgCl₂· 6H₂O脱水时的水解反应
Table 59 Hydrolysis reactions during thermal dehydration of MgCl₂· 6H₂O

温 度	水 解 反 应 式
95~ 115° C	MgCl ₂ · 6H ₂ O(s)→ MgCl ₂ · 4H ₂ O(s)+ 2H ₂ O MgCl ₂ · 4H ₂ O(s)→ MgCl ₂ · 2H ₂ O(s)+ 2H ₂ O
135~ 180° C	MgCl ₂ · 4H ₂ O(s)→ Mg(O H) Cl(s)+ 3H ₂ O+ HCl(g) MgCl ₂ · 2H ₂ O(s)→ MgCl ₂ · H ₂ O(s)+ H ₂ O MgCl ₂ · 2H ₂ O(s)→ Mg(O H) Cl(s)+ H ₂ O(g)+ HCl
185~ 230° C	(g)
230~ 320° C	MgCl ₂ · H ₂ O(s)→ MgCl ₂ (s)+ H ₂ O MgCl ₂ · H ₂ O(s)→ Mg(O H) Cl(s)+ HCl(g)
320~ 550° C	MgCl ₂ (s)+ H ₂ O→ Mg(O H) Cl(s)+ HCl(g)
550° C	Mg(O H) Cl(s)→ MgO+ HCl(g)
520~ 770° C	MgCl ₂ (s)+ H ₂ O(g)→ MgO(s)+ HCl(g)

氯化镁在常温下从水溶液中以六水合物形式结晶析出。目前在市场上它以固体 MgCl₂· 6H₂O和 30%氯化镁溶液形式出售。它是一种重要工业化学品。主要用于化雪剂,冬季用于公路表面融化冰雪用。还大量用来制造镁水泥 (Sorel氯氧镁水泥),也用于防粉尘、灰尘等土地湿润剂,如土路、施工工地、矿山、停车场等场所防灰尘用。还用于陶瓷、纺织、造纸、磨料工业、水净化和废水处理中,以及甜菜加工、木材防火剂、地板清洗剂的成分、冷冻剂盐水和灭火剂的成分等。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

不含 (或少含) 结晶水的 MgCl_2 是电解法生产金属镁的原料。熔融电解质并不是纯氯化镁,但对电极或电解过程有害的成分如硼、硫酸根、水份 (一定限度) 则必须除掉。可是由六水氯化镁加热脱水制取无水氯化镁却并不易于实现,因为氯化镁在脱水过程中会溶解在自身水分中并发生水解。在各温度下的水解反应及产物,如表 59 所列。所以如何从水氯镁石获得作为电解金属镁原料的无水氯化镁就是十分重要的课题。近年美国氯化镁产品进出口情况列在表 60 中。美国 Reilly Industries Inc. 销售的氯化镁卤水的组成如表 61 所列。

表 60 美国氯化镁的统计数据 (t)^{〔126〕}
Table 60 U S magnesium chloride statistics

	1990年	1995年	1996年	1997年	1997年进口主要货源或出口目的地
进口					
氯化镁 (水合物及无水物)	6910	16500	21500	12800	以色列, 94%
出口					
氯化镁 (水合物及无水物)	4760	3060	3630	5320	加拿大, 94%

表 61 氯化镁卤水的化学组成 (w %) 与性质^{〔126〕}
Table 61 Chemical composition and characteristics of magnesium chloride^o containing brine

氯化镁	Mg Cl ₂	28. 0_ 35. 0
氯 根	Cl	19. 8_ 27. 0
镁离子	Mg	6. 8_ 9. 2
硫酸根	SO ₄	1. 2_ 3. 5
钠离子	Na	0. 2_ 1. 0
钾离子	K	0. 1_ 0. 8
锂离子	Li	0. 1_ 0. 2
溴离子	Br	0. 1_ 0. 2
铁离子	Fe	5× 10 ⁻⁶ _ 10× 10 ⁻⁶
密度	1. 27— 1. 36g /L	

来源: Reilly Industries Inc.

如前所述,以色列的 DSW 公司是世界最大的 MgCl_2 生产厂,生产能力达 10000t/a。1992 年以色列的 DSW 宣布了一个计划,他们将在白沙瓦建设一个提炼金属镁的工厂,依据俄罗斯光卤石炼镁工艺,预期生产能力为 25000万 t/a;以自己现有的钾盐厂作为原料光卤石的来源,付产氯气经液化后出售,或用于现有的制溴厂;而光卤石精制过程的废液和电解槽出来的废电解质返回钾盐生产循环中。美国大盐湖矿物和化学品公司也从大盐湖卤水生产片状六水氯化镁。另一家美国公司在犹他州的 Rowley 有提炼镁的工厂。最初由美国国家铅公司 (National

相对于市场需求近年来普遍过剩。虽然对于不同产品情况各异,需做具体分析。但从整体上来看,又都与世界的整个经济形势相联系。例如,近年来全球出现通货紧缩,1998年能源、原材料、金属和矿物的国际价格指数较之前一年分别下降了 28.3%、24.1% 及 15.4%^[134],实际上我国能源和原材料工业生产能力也普遍过剩。

世界钾盐生产过剩已有 10 多年了。消费量从 1970 年以来,逐年有所增加。1989 年以后显著下降,1992/1993 年度,因前苏联国内需求急剧降低,大量钾盐涌向世界市场。由于市场平淡和生产过剩,世界钾盐工业已经为低价格困扰多年。再加上印度政府给予印度农民的补贴减少,于是触发了钾肥需求骤降 $70 \times 10^4 \text{ t}$,从而引起全球需求的下降。1993 年,关键的出口国家加拿大、独联体、德国都受到国际贸易缩减之苦。由于中国和巴西钾肥的巨大增长及美国钾肥需求的飙升,到 1994 年,主要钾盐生产国又都面临世界贸易的显著增长。而 1996 年钾盐工业从前两年的复苏中又退回了一步。比预期需求疲软,迫使生产者减少产量以避免价格滑坡。结果全球钾盐生产较上一年度下降了约 $140 \times 10^4 \text{ t KCl}$,达到 $3910 \times 10^4 \text{ t KCl}$ 。加拿大和独联体可能是贸易降低的最大受害者,加拿大从 $1360 \times 10^4 \text{ t KCl}$ 降至 $1250 \times 10^4 \text{ t}$,独联体从 $710 \times 10^4 \text{ t KCl}$ 降至 $610 \times 10^4 \text{ t}$ 。

全球钾盐工业生产能力过剩。1996 年俄罗斯和白俄罗斯钾盐企业的开工率只有 50%,1997 年开工率约为 42%。全球钾盐生产企业 1988 年开工率 82%,比 1979 年的 79% 略有上升。1999 年初部分钾盐企业停产,以便来调节库存量。法国 SCPA 公司要关闭它在 Marie-Louise 的加工厂,从而使得 1999 年进一步减少产量,同时 1999 年也没有大的新厂投产。近年全世界钾盐产量和消费量的对比列在表 62 中。

表 62 近年世界钾盐的产量及消费量对比 ($\times 10^4 \text{ t K}_2\text{O}$)

Table 62 Production capacity and consumption of potash

年 份	1988年	1989年	1990年	1991	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年
产 量	3188.1	2931.4	2737.3	2619.1	2410.1	2034	2261.0	2423.1	2327.9	2535.0
消费量	2785.5	2677.8	2433	2297.1	2040.1	2000	1910	2100	2260	2460

虽然贸易数字减少,但世界钾盐价格却有所上升。与上年相比出口下降 7%,主要是由于向中国出口急剧下降。由于进口税制的改变,中国更喜欢现货市场。印度由于政府补贴的减少及再分配问题,也倾向于购买更多的氮肥而不是磷肥和钾肥。

锂市场的情况与钾盐相似,世界主要锂矿物公司产销量的对比列在表 63 中。

关于碘及碘化合物的情况,由前述 SQM 公司碘生产的经营和价格战略中即可看出。就 SQM 公司而言,它们目前尚有足够的生产能力搁置未用。这种占据世界市场主导地位的特大公司,其产品的销售率也只有 70%~80%。而且这还是一些小公司或效益差的公司已被挤出主市场或被挤垮之后的销售率。

最重要的硼化合物硼酸、硼砂都是由各种硼矿生产的。而其它各种硼酸盐、硼化物以及有机硼化合物又大都是从硼酸、硼砂直接或间接而来。因此,从硼矿物市场的供需情况,即可反映出硼产品的生产需求情况。从硼矿物市场的供需情况来看,生产能力也是过剩的。

表 63 世界主要锂矿物公司 1997年产量及销售(× 10⁴t)

Table 63 Production and sales of lithium minerals(1997)

公 司 名 称	产量	百分数	销量	百分数
西澳大利来 Gwalia联合公司	15	61%	6. 60	46%
津巴布韦 Bikita矿物公司	5	20%	3. 80	26%
葡萄牙 Pegmalites联合矿物公司	2. 5	10%	2. 00	14%
加拿大钽矿业公司	2. 1	8%	1. 85	13%
巴西 纳米比亚	0. 2	1%	0. 20	1%

3. 2 工艺技术少有大的突破

近年来盐湖资源开发主要初级产品的工艺技术少有大的突破。在世界能源价格较为稳定的情况下,各生产企业通过技术上小的改进不断完善其工艺,同时改进管理,挖掘潜力,从而进一步提高其经济效率

在本文中,我们主要针对目前世界盐湖和相关资源开发的产业经济状况做介绍,特别是针对工程技术人员易于忽视的企业经营、公司隶属关系、市场变动、产品供需状况等加以说明。有关盐湖和相关资源开发的工艺技术发展,我们将在以后的文章中另加讨论

3. 3 盐湖镁资源开发前景看好,镁产品日益向深加工发展

在前面对死海开发的介绍中,我们较为详细地谈到死海镁资源的开发情况。尤其以色列对死海的开发,其技术水平是目前世界最先进的。他们特别重视盐湖资源的综合利用以及盐湖资源与周边其它资源(如磷灰石)的整合加工利用。近年他们对死海镁资源的开发进展明显,日益向深加工发展。这当然也和世界整个镁产品利用领域的拓广有关。死海是氯化物型盐湖,我国察尔汗盐湖也是氯化物型,他们对镁资源开发的成功经验,值得我们很好地借鉴。如果我们不能处理好察尔汗盐湖主要产品钾盐开发与镁盐开发的关系,察尔汗盐湖巨大镁资源对察尔汗盐湖开发的瓶颈作用将越来越大。我们必须全面加强察尔汗盐湖镁化合物开发进程,才能从根本上推进盐湖资源的开发利用

3. 4 可持续发展和资源开发中自然灾害问题越来越突出

近 20 年,有 3 个大钾盐矿山被洪水淹没,世界钾盐工业深受洪水灾害。未来 10 年,美国、西班牙、法国、德国及独联体将有 8 个钾盐矿山资源采掘殆尽,全世界钾盐减少 400 万吨生产能力

加拿大 PCS 于 1998 年关闭了被洪水淹没的 Lake Cassidy 钾盐矿。美国 Mississippi Chem Corp. 于 1997 年 12 月初关闭了亏损 1 年的 Eddy Potash,因为高品位的原矿已经耗尽。只留下了低品位的原料,其开采加工成本都要高得多。法国 MDPA 公司(Mines de Potasse d'Alsace)的矿山 2004 年亦将关闭

我国青海察尔汗达布逊盐湖 1989 年也发生过洪水灾害。本刊于 1990 年和 2000 年曾有人著文论及^[135-136]

表 64 盐湖资源开发主要产品的价格比较 (单位: t, 或另外注明)

Table 64 Prices of main products from salt resources (1989年~ 1999年)

产品	1989年 1月份价格	1999年 1月份价格
钠盐产品		
氯化钠	磨碎的岩盐 15~ 20t 批量英国交货 £ 20	磨碎的岩盐 15~ 20t 批量英国交货平均价 £ 20~ 30; 澳大利亚天日盐批量 FOB \$ 15~ 18
硝酸钠	智利硝酸钠 98% 仓库交货 £ 120	智利硝酸钠 98% 仓库交货 £ 150~ 160
碳酸钠十水物	美国天然重碱, 怀俄明州 FOB 每短吨 \$ 93	美国天然重碱, 怀俄明州 FOB 每短吨 \$ 105~ 115
钾盐产品		
氯化钾	批量 60% K ₂ O 颗粒级英国港 CIF £ 79~ 82 批量 60% K ₂ O 标准级温哥华 FOB \$ 76~ 78 批量标准级萨斯卡切温 FOB 每短吨 \$ 84; 粗粒级 \$ 88; 颗粒级 \$ 90	批量 60% K ₂ O 颗粒级英国港 £ 101~ 105 批量 60% K ₂ O 标准级温哥华 FOB \$ 128 批量标准级萨斯卡切温 FOB 每短吨 \$ 96 粗粒级 \$ 99 颗粒级 \$ 101
硫酸钾		农业用 > 50K ₂ O 标准级批量工厂 FOB \$ 190~ 200
硝酸钾		农业用标准级 50t 批量 \$ 325
镁盐产品		
氧化镁	希腊粗氧化镁块状 CIF £ 55~ 60	希腊粗氧化镁 SiO ₂ < 3. 5% 东地中海 FOB \$ 45~ 50 工业轻质氧化镁氯丁二烯橡胶级袋装 \$ 0. 85 / lb.
烧结氧化镁	僵烧氧化镁英国工厂交货 £ 125~ 140 僵烧耐火砖级英国工厂交货 £ 150~ 250 英国工业级工厂交货 £ 170~ 350	僵烧氧化镁 90~ 92% 块状中国 FOB \$ 95~ 110 僵烧氧化镁 94~ 95% 块状中国 FOB \$ 112~ 130 英国工业级烧结氧化镁 (合成品) 工厂交货 £ 140~ 250
氯化镁六水物		9% 片装袋装 \$ 0. 145 / lb.; 无水氯化镁 92% 片状桶装 \$ 0. 1275~ 0. 15 / lb.
硫酸镁七水物		10% Mg 工业级袋装 \$ 0. 175~ 0. 185 / lb.; 美国药典级结晶型批量 \$ 0. 18 / lb.
金属镁		99. 8% 金属镁锭 1000磅以上批量 FOB \$ 1. 73~ 1. 83 / lb.
锂盐产品		
碳酸锂	美国大陆交货袋装或桶装 \$ 1. 63 / lb.	美国大陆交货 \$ 1. 97~ 2. 03 / lb; 大宗合同 \$ 0. 80~ 1. 00 / lb.
氯化锂		无水物交货 \$ 5. 00 / lb.; 溶液 桶装交货 \$ 4. 20~ 4. 25 / lb.
硫酸锂		无水物交货 \$ 4. 45 / lb.
溴化锂		无水物桶装交货批量 \$ 7. 74~ 8. 02 / lb.
金属锂		金属锂锭 1000磅以上批量交货 \$ 39. 07~ 47. 60 / lb.
硼化合物		
硼酸	工业级粒状英国交货 £ 669~ 625	工业级粒状英国交货 £ 654~ 710
十水硼砂	工业精制级粒状英国交货 £ 388~ 344	工业精制级粒状英国交货 £ 453~ 509
五水硼砂	精制级粒状英国交货 £ 470~ 426	精制级粒状英国交货 £ 394~ 450
无水硼砂	工业级英国交货 2~ 20t 批量袋装 £ 669~ 625	工业级英国交货 2~ 24t 批量袋装 £ 834~ 890
碘	粗结晶碘 > 99. 5%, 50kg 桶装英国交货 \$ 13. 5~ 14. 5 / kg	粗结晶碘 > 99. 5%, 50kg 桶装英国交货 \$ 18~ 22 / kg
碳酸锂		玻璃工业级袋装 \$ 0. 4075 / lb.
硝酸锂		袋装 \$ 0. 515 / lb.
溴	大宗精制级 (99. 95%) 工厂交货 \$ 0. 30~ 0. 33 / lb.	大宗精制级 (99. 95%) 美国工厂交货 \$ 0. 65~ 0. 66 / lb. 欧洲工厂交货 \$ 0. 58~ 0. 60 / lb.
石膏	粗石膏英国矿山交货或英国 CIF £ 6	粗石膏英国矿山交货 £ 6~ 12

注: FOB— 离岸价格; CIF— 到岸价格, 指欧洲主要港口; 磅 (lb.) 与 SI 单位的换算关系为 1 磅 = 453. 59237g.

由这些事例不难看出,“可持续发展”并不是什么遥远的事情。早在 1994 年我国国务院就发表了政府白皮书“中国 21 世纪议程”。1995 年政府工作报告中正式提出,我国将“可持续发展”和“科教兴国”一起并列,作为我国经济与社会发展的两大战略。

从世界多个国家钾盐矿山事件中,我们应当通过对比而完善我们自己的开发方针。由此我们还可以深深地感受到世界环境与发展委员会(WCED)对“可持续发展”概括为“既满足当代人的需求,又不损害子孙后代满足其需求能力的发展”^[137]的真正含义。片面追求利润,甚至以环境破坏为代价的“发展”是不足取的。

目前就我们掌握的情况来看,我国盐湖资源开发利用中,资源的回收率还很低。例如文章^[138]曾提到察尔汗盐湖钾的选矿回收率为 40% 左右,钾的综合回收率不到 30%,造成资源的极大浪费,对生态环境的负面影响还很大。尤其对于盐湖这种多成分综合资源而言,“单打一”提取某一种成分,其它皆遗弃不用,资源总体利用程度很低,是绝对不应该的。1999 年 11 月 25 日青海省九届人大常委会第十二次会议通过的“青海省矿产资源管理条例”中^[139]已明文规定,“开采矿产资源‘三率’(开采回采率、采矿贫化率和选矿回收率)要符合地质矿产主管部门规定的标准,不得采富弃贫……。具有工业价值的共生、伴生矿产,在技术可行、经济合理条件下,必须综合回收。对暂时不能综合利用的矿产,应当采取有效的保护措施。”我们必须依法加强对盐湖资源开发的有效管理,确保资源开发的可持续发展。

此外,近年来包括钾肥生产企业在内的整个肥料生产业界,都非常注意生产过程对环境的影响问题。1997 年 9 月 17-19 日在美国佐治亚州亚特兰大市的 Hyatt Regency 召开了“肥料生产的环境挑战”国际专题研讨会。这次研讨会是由“联合国工业发展组织(UNIDO)”、“联合国环境计划署(UNEP)”、“国际肥料发展中心(IFDC)”、“欧洲肥料生产者协会(HFMA)”、“国际肥料工业协会(IFA)”联合召开的^[140]。由这么多组织联合召开这样一个专业会议,是不多见的,由此可以看出世界对这一问题的关注程度之高。世界著名的“磷和钾”杂志最近也曾连续发表多篇编辑部文章,例如,“NPK 复肥生产与环境”^[141]、“钾肥料生产的尾矿与环境”^[142]等,讨论钾肥生产的环境污染及其防止。盐湖及相关资源开发中应进一步加大“绿色化学”研究,努力发展“绿色工艺”,坚持“清洁生产”,决不允许对生态环境造成破坏,并尽目前最大限度地减少对生态环境的不利影响。

3.5 有关产品的价格

盐湖资源开发初级产品的价格,近年总的来说是稳中有升。但变化幅度不算很大(个别产品除外)。现将一些相关产品 1989 年初与 1999 年初的价格对比列在表 64 中。从中可以了解到在这 10 年期间产品价格变化情况,以供参考。必须指出产品的价格随品种、规格、销售地点、包装方式、运输方式、购货批量大小等变化极大,难以简单地做比较。

致谢:在本文撰写初期,青海化工设计研究所张期萍高工曾给予许多帮助。中科院青海盐湖研究所孙柏副研究员、李刚高工协助查阅整理资料,并与作者进行了有益的讨论;袁复怀副研究馆员亦曾给作者提供过资料。盐湖研究编辑部宋粤华、王臣松、刘建华诸同志在文稿撰写过程中给予了许多具体帮助和鼓励,作者对他们的帮助在此一并表示深切谢意。本文得到青海省科委课题 97-K-603 的支持,特此表示感谢。

参考文献:

- [1] 宋彭生. 盐湖资源综合利用 [J]. 盐湖研究, 1993, 1(3): 68~80. 亦见: 中科院院士咨询报告 (附件部分) — 倪嘉璐: “盐湖化学与化工现状及发展对策.” (宋彭生执笔) [J]. 盐湖研究, 1994, 2(4): 71~80.
- [2] George E. Ericksen, Guillermo Chong D. and Tomas Vila G. Lithium resources of salars in the central Andes [C]. in James D. Vine. Lithium resources and requirements by the year 2000. Geological survey professional paper 1005. Washington: United States Government Printing office, 1974. 66~74.
- [3] Ihor A. Kunasz. Lithium in brines [A]. 5th Symp. Salt [C]. 1980. 115~117.
- [4] R. Keith Evans. Lithium reserves and resources [J]. Energy, 1978, 3(3): 379~385.
- [5] Peter Harben, George Edwards. MINSAL lithium carbonate-Metamorphosis for lithium [J]. Industrail Minerals, 1997, (353): 25~39.
- [6] Peter Harben, George Edwards. Salts of the Atacama [J]. Industrail Minerals, 1997, (358): 43~51.
- [7] SQM to increase capacity for nitrates. lithium and potash [J]. Industrail Minerals, 1999, (380): 9.
- [8] Aguas Blancas to start with iodine [J]. Industrail Minerals, 1999, (381): 12.
- [9] 宋彭生. 智利阿塔卡玛盐湖的开发利用及对我们的启示 (投稿中).
- [10] 宋彭生. 钠的化合物, 化工百科全书 [M], 第 12 卷. 第一版. 北京: 化工出版社, 1993. 89~117.
- [11] 宋彭生. 碘, 化工百科全书 [M], 第 3 卷. 第一版. 北京: 化工出版社, 1993. 113~118.
- [12] 曹兆汉. 智利阿塔卡玛盐湖 (Salar de Atacama) 及其开发利用 [J]. 盐湖研究, 1988, (2): 45~52.
- [13] 马培华, 王政存, 徐刚, 宋作忠. 阿塔卡玛盐湖的综合开发 [J]. 盐湖研究, 1999, 6(1): 61~66.
- [14] Pedro Pavlovic-Zuvic, Nancy Parada-Fredrick and Luis Vergara-Edwards. Recovery of potassium chloride, potassium sulfate and boric acid from the Salar de Atacama brines [A]. Sixth International Symposium on Salt, Vol. 2 [C]. 1988. 377~394.
- [15] Charles Houssa, Dead Sea salt sellers [J]. Industrail Minerals, 1998, (373): 81~85.
- [16] [J]. Industrail Minerals. 1998, (373): 12.
- [17] David Butts. Chemicals from Brine. In Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology [M], Vol. 5. 4th Ed. 1993. 817~837.
- [18] GSL 产品说明书 [R].
- [19] 化工百科全书 [M], 1~20 卷. 北京: 化学工业出版社, 1990~1999.
- [20] Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology [M], Vol. 1~22. 4th Ed. 1993.
- [21] 化肥工业大全编辑委员会. 化肥工业大全 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1988. 964.
- [22] 陶连印, 郑学家. 硼化合物的生产与应用 (无机盐工业技术丛书之三) [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1992. 281.
- [23] Ю. И. 奥斯特罗什科, 等. 锂的化学与工艺学 [M]. 曾华锐, 等, 译. 北京: 中国工业出版社, 1965.
- [24] В. А. Грасовенко. Производство оксидных калийных удобрений [M]. Л. Химия, 1980.
- [25] 张彭熹, 张保珍, 唐渊, 等. 中国盐湖自然资源及其开发利用 [M]. 北京: 科学出版社, 1999. 325.
- [26] Karin Pearson. Potash producers—Fertile markets feed growth [J]. Industrail Minerals, 1998, (367): 47~65.
- [27] V. Santos. Potash [J]. Mining Engineering, 1998, (6): 47~50.
- [28] Hungry for potash [J]. Phosphorus & Potassium, 1999, (224): 10~15.
- [29] [N]. 中国化工报, 1997-05-13(3).
- [30] R. Brasnett. Potash [J]. Mining Engineering, 1999, (6): 42.
- [31] 冯元琦. 中国农业需要硫肥吗? [J]. 化工进展, 1995, (2): 50~53.
- [32] Small but strong [J]. Phosphorus & Potassium, 1991, (175): 14~17.
- [33] James P. Searls. Potash [J]. Engineering & Mining Journal, 1995, (3): 76~77.
- [34] Market under pressure [J]. Phosphorus & Potassium, 1995, (197): 16~19.
- [35] D. C. E. Waugh. Potash [J]. Mining Engineering, 1996, (6): 31~33.
- [36] Big Quill resources—Canada's flexible SOP supplier [J]. Phosphorus & Potassium, 1999, (224): 16~17.
- [37] 世界无氯钾肥生产综述 [J]. 化工矿物与加工, 1999, 28(7): 39~40.

- [38] 1998年世界钾盐工业简评〔J〕.化工矿物与加工, 1999, 28(10): 39-40
- [39] 王孝峰.硫酸钾肥料价格走势分析〔J〕.化工技术经济, 1998, 16(3): 46-48.
- [40] 戴元法,丁炳顺,章振源.钾化合物.化工百科全书〔M〕,第 8卷.第一版.北京:化工出版社, 1994. 303-326.
- [41] 陈靖宇.硝酸钾生产技术及其发展前景(上)〔J〕.化肥工业, 1998, 25(6): 15-20.
- [42] 陈靖宇.硝酸钾生产技术及其发展前景(下)〔J〕.化肥工业, 1999, 26(1): 15-16.
- [43] 王桂云,陈之川,马林松,张士平.溶剂萃取法制备农用硝酸钾〔J〕.无机盐工业, 1998, 30(3): 13-15.
- [44] 王孝峰.硝酸钾价格走势分析〔J〕.化工技术经济, 1999, 17(3): 47-49.
- [45] Tom Kendall. New project round-up South America〔J〕. Industrail Minerals, 1997, (352): 51-57.
- [46] PCS snaps up Minera Yolanda KNO₃ project〔J〕. Industrail Minerals, 1999, (382): 11.
- [47] 〔J〕.新疆化工, 1999, (1): 59.
- [48] 张永录.钾硝石矿提取硝酸钾新工艺〔J〕.无机盐工业, 1993, (4): 3-5.
- [49] 姚柏让.用本地钾盐生产硝酸钾工艺研究〔J〕.无机盐工业, 1996, 28(1): 34-37.
- [50] 黄雪莉,吕秉玲,胡克林,等.杂硝石制取硝酸钾工艺的相图分析, (一)杂硝石浸取液在日晒过程中析盐规律的相图计算〔J〕.无机盐工业, 2000, 32(1): 9-11.
- [51] 梁青生.新疆乌尊布拉克东部干盐湖成盐环境和成盐年代的初步研究〔J〕.盐湖研究, 1999, 7(2): 1-7.
- [52] 郑喜玉.乌尊布拉克湖硝酸钾盐沉积特征〔J〕.盐湖研究, 2000, 8(1): 41-45.
- [53] 曹兆汉.国外钾肥工业及其科研动态(四)〔J〕.盐湖研究, 1987, (2): 43-53.
- [54] 员玺,常启明.世界锂工业的回顾与展望〔J〕.新疆有色金属, 1996, (1): 1-20.
- [55] 刘成武,杨志荣,方中权,等.自然资源概论〔M〕.北京:科学出版社, 1999. 179.
- [56] Derek J. McCracken, Mike Haigh. Lithium minerals— in a state of flux〔J〕. Industrail Minerals, 1998, (371): 57-59.
- [57] D. J. McCracken, Mike. Haigh. Lithium minerals review〔J〕. Industrail Minerals, 1995, (338): 71-73.
- [58] 汪镜亮.锂矿产资源开发方向的变化〔J〕. IM&P化工矿物与加工, 1999, (11): 1-5.
- [59] 汪镜亮.卤水锂资源提锂现状〔J〕. IM&P化工矿物与加工, 1999, (12): 1-5.
- [60] 黄康吉.从地下卤水中提制碳酸锂〔A〕.张圻之.制盐工业手册〔M〕,第六篇,第九章.北京:中国轻工业出版社, 1994. 1719-1730.
- [61] 童兆达,李发金,黄师强,崔荣旦.从大柴旦盐湖脱硼卤水中用 TBP连续萃取分离氯化锂〔J〕.稀有金属, 1987, (1): 66-70.
- [62] 高世扬,杨存道,黄师强.从大柴旦盐湖卤水中分离提取钠盐、钾盐、硼酸和锂盐〔J〕.盐湖研究, 1988, (1): 17-26.
- [63] 王继顺,高世扬,许开芬,等.从浓缩盐卤中分离提取硫酸锂的工艺研究〔J〕.盐湖研究, 1994, 2(4), 31-34.
- [64] 黄师强,刘洪章,欧阳群,等.同溶液中锂盐相作用的氢氧化铝研究〔J〕.科学通报, 1976, (9): 422-425.
- [65] 沈祥木,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, (1-2): 4-13.
- [66] 高世扬,陈敬清,刘铸唐,吴景泉.浓盐溶液中锂、镁氯化物的分离〔J〕.盐湖科技资料, 1980, (1-2): 21-33.
- [67] 张宝全,刘铸唐,符廷进,王萍.东台吉乃尔盐湖卤水的相化学研究(I) 25℃等温蒸发实验〔J〕.盐湖研究, 1994, 2(2): 57-61.
- [68] 张宝全,刘铸唐,符廷进,等.东台吉乃尔盐湖卤水的相化学研究(II) 冬夏季卤水蒸发实验〔J〕.盐湖研究, 2(3): 27-34.
- [69] 杨建元,张勇,程温莹,蒋秀川.西藏扎布耶盐湖冬季卤水 25℃等温蒸发研究〔J〕.海湖盐与化工, 1996, 25(5): 21-24.
- [70] 郑绵平,私人通讯(1998, 1999).
- [71] Lithium project in Tibet〔J〕. Industrail Minerals, 1999, (380): 94.
- [72] 杨建元,程温莹,邓天龙,高晶岩.东台吉乃尔湖晶间卤水综合利用研究(煅烧法提锂工艺)〔J〕.无机盐工业, 1996, (2): 29-32.
- [73] 黄荣级,李纲,赖光清.碱性盐湖资源的综合利用研究, I 晶间卤水中有益组分的综合回收〔J〕.海盐与化工, 1987, 16(3): 22-28.
- [74] 黄荣级,李纲,赖光清.碱性盐湖资源的综合利用研究 II 从碱性盐湖晶间卤水中直接分离和制取碳酸锂〔J〕.海盐与化工, 1987, 16(4): 1-4, 30.

- [75] 李纲, 黄荣级, 赖光清. 碱性盐湖资源的综合利用研究, III 间出盐中有益组分的综合利用 [J]. 海盐与化工, 1988, 17(1): 19-23.
- [76] Luis Vergara-Edwards, Nancy Parada-Fredrick and Pedro Pavlovic-Zuvic. Recovery of lithium from crystallized salts in the solar evaporation of Salar de Atacama brines. In Ricardo O. Bach, John Wiley & Sons, Lithium—current applications in science, medicine, and technology [A]. New York Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1985. 47-59. 宋彭生, 译. 阿塔卡玛盐湖卤水天然蒸发结晶盐中锂的回收 [J]. 盐湖研究, 1989, (3-4): 137-144.
- [77] 天津化工研究院. 大柴旦盐湖饱和氯化镁卤水的综合利用 [A]. 科学技术研究成果报告 [R]. 国家科学技术委员会, 1965.
- [78] Li Bing (李冰), Li Jun (李军), Fang Cun-Hui (房春晖), et al. Study on phase diagrams and properties of solution in ternary systems Li, K(Mg)/SO₄-H₂O at 25°C [J]. Chinese J. Chem., 1995, 13(2): 112-117.
- [79] Sun Bai. B. M. ОБОРАЖ. H Φ., 2000(in press).
- [80] 曹兆汉. 国外锂资源的开发利用 (上) [J]. 盐湖研究, 1989, (1): 32-41.
- [81] 曹兆汉. 国外锂资源的开发利用 (下) [J]. 盐湖研究, 1989, (2): 28-41.
- [82] 袁复怀. 国际锂盐最新需求 [J]. 盐湖研究, 1999, 7(1): 70-73.
- [83] Tom Kendall. Borate supply and demand—More than a white wash [J]. Industrail Minerals, 1997, (362): 51-69.
- [84] S. Anac, C. Bilek, H. Kanali. Processing Boron, Eti Holding upgrades Bigadic [J]. Industrail Minerals, 1999, (376): 45-49.
- [85] Tom Kendall. Argentina's industrial minerals on the right track [J]. Industrail Minerals, 1999, (381): 55-77.
- [86] Borax Argentina. High activity in the Andes [J]. Industrail Minerals, 1999, (381): 79-81.
- [87] V. P. Alexeev, A. V. Chernyshov. Boron in the CIS, An overview of deposits & production [J]. Industrail Minerals, 1997, (359): 49-53.
- [88] 郑学家. 大力发展含硼材料和硼精细化工 [J]. 辽宁化工, 1999, (7): 187-188, 234.
- [89] Rachel Bolger. Flame retardants minerals, Bromine issue smoulders on [J]. Industrail Minerals, 1996, (340): 29-39.
- [90] 董景岗, 季奎武. 我国制溴业基本状况 [J]. 海湖盐与化工, 1997, 26(5): 20-22, 25.
- [91] 梁星虹. 地下卤水综合利用技术和市场分析 [J]. 海湖盐与化工, 2000, 29(1), 31-33.
- [92] 国内最大的溴化物合资项目运营 [N]. 科技日报, 2000-01-09(3).
- [93] K. S. Johnson. Iodine [J]. Mining Engineering, 1999, (6): 36-37.
- [94] 孙大鹏. 高碘卤水分布规律与我国找碘方向 [J]. 地质论评, 1981, 27(3): 231-236.
- [95] 陈嘉蓓, 谭光薰. 磷酸盐的生产与应用 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1989. 13.
- [96] 刘尧军, 杨周, 王传美, 郭华. 东营天然卤水中碘资源丰富开发前景广阔 [J]. 海湖盐与化工, 1994, 23(2): 29-31.
- [97] 黄康吉. 从地下卤水中提制碘素 [A]. 张圻之. 制盐工业手册 [M], 第六篇, 第九章. 北京: 中国轻工业出版社, 1994. 1711-1713.
- [98] 陈大幅, 张瑞华, 等. 电渗析法海带浸泡液进行甘露醇脱盐及碘的浓缩和电解氧化连续运转报告 [J]. 水产科技, 1977, (1).
- [99] 中科院青海盐湖研究所. 离子交换树脂法提碘中间试验报告 [J]. 盐湖科技资料, 1972, (1): 1-5. 氯水氧化离子交换树脂提碘实验报告 [J]. 盐湖科技资料, 1974, (3-4): 1-15.
- [100] Joyec Griffiths. Celestite & strontium chemical trade—the Mexican wave [J]. Industrail Minerals, 1992, (301): 21-33.
- [101] Celestite [J]. Industrail Minerals, 1999, (380): 23.
- [102] Stephen G. Hibbins. Strontium and strontium compounds, in Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology [M]. Volume 22. 4th Ed. 1993. 951.
- [103] J. A. Ober. Strontium [J]. Mining Engineering, 1999, (6): 49.
- [104] Brian Coope. Magnesite/magnesia [J]. Mining Engineering, Annual review, 1999, B 135.
- [105] 郭如新. 氢氧化镁阻燃剂现状及发展前景 [J]. 海湖盐与化工, 1996, 25(3): 39-42.
- [106] 郭如新. 氢氧化镁——一种有广阔发展前景的化工产品 [J]. 海湖盐与化工, 1997, 26(2): 29-32.

- [107] 郭如新. 从德国硫酸镁生产看盐化厂硫酸镁出路〔J〕. 海湖盐与化工, 1997, 26(3): 44-46.
- [108] 郭如新. 国外氢氧化镁生产现状及应用前景〔J〕. 化工时刊, 1998, 12(11): 3-7.
- [109] 郭如新. 阻燃剂发展现状〔J〕. 海湖盐与化工, 1999, 28(1): 43-44.
- [110] 郭如新. 印度镁盐产品生产现状〔J〕. 海湖盐与化工, 1999, 28(4): 43-46.
- [111] 郭如新. 硫酸镁肥料生产应用和研究开发近况〔J〕. 磷肥与复肥, 1999, (2): 55-57.
- [112] 郭如新. 硫酸镁肥料生产应用和研究开发近况〔J〕. 海湖盐与化工, 1999, 28(5): 43-46.
- [113] 郭如新, 沈世才. 硫镁肥的过去现在和将来〔J〕. 海湖盐与化工, 2000, 29(1): 19-22.
- [114] 郭如新. 水镁石应用近况〔J〕. 海湖盐与化工, 2000, 29(2): 32-34.
- [115] 郭如新. 美国氢氧化镁生产现状及应用前景〔J〕. 海湖盐与化工, 2000, 29(3): 35-38.
- [116] 郭起海. 镁盐的开发与应用〔J〕. 陕西化工, 1997, (9): 14-15.
- [117] 徐丽君, 于廷芳, 于银亭, 等. 关于我国海水(含卤水)镁砂的研究与开发〔J〕. 海湖盐与化工, 1999, 28(1): 16-20.
- [118] Mike O'Driscoll. Fused magnesite, The blender's choice〔J〕. Industrail Minerals, 1996, (340): 19-27.
- [119] Vladimir Troitsky. CIS magnesite, The status of mining and refractory production〔J〕. Industrail Minerals, 1997, (361): 45-49.
- [120] Catherine Sims. Caustic magnesite, An industry divided〔J〕. Industrail Minerals, 1997, (358): 21-33.
- [121] 夏树屏, 王桂芬, 张元柱, 火焱. 氧化镁活性的研究(I)〔J〕. 青海化工, 1987, (4): 1-12.
- [122] New Mg(OH)₂ flame retardant〔J〕. Industrail Minerals, 1999, (378): 77.
- [123] 周卫平, 买买提江. 氢氧化镁阻燃剂的制备技术〔J〕. 无机盐工业, 1997, 29(4): 25-27.
- [124] 氢氧化镁阻燃剂开发前景好〔J〕. 无机盐工业, 1997, 29(3): 26.
- [125] 郑荣光, 王芳. 氢氧化镁处理含铅废水的研究〔J〕. 无机盐工业, 2000, 32(1): 26-27.
- [126] Deborah A. Kramer. Mg compounds in the USA, more than magnesite〔J〕. Industrail Minerals, 1998, (375): 45-53.
- [127] 兰军, 吴景泉. 利用自然能制取高质量硫酸镁的研究〔J〕. 青海化工, 1988, (3): 1-5.
- [128] 牛自得, 张树群, 姚占力, 等. 利用高温盐制取高质量一水硫酸镁的研究〔J〕. 海湖盐与化工, 1999, 28(6): 1-3.
- [129] 李刚. 利用盐湖卤水制取七水硫酸镁的研究〔J〕. 海湖盐与化工, 2000, 29(3): 27-29.
- [130] 陈侠, 沈世才, 王桂兰. 盐化工生产中的复混肥〔J〕. 海湖盐与化工, 2000, 29(1): 23-25.
- [131] 马风云, 张亚新, 杨如凌. 新疆艾比湖冻晒盐苦卤制取氯化镁研究〔J〕. 无机盐工业, 1997, 29(3): 27-29.
- [132] 贺春宝, 王玉萍. 盐湖生产氯化镁的研究〔J〕. 无机盐工业, 2000, 32(3): 12-13.
- [133] 中科院数理化局. 镁水泥物化基础及特征(论文选辑)〔M〕. 1990.
- [134] 中国科学院地学部. 关于 21 世纪初期加快西北地区发展的若干建议〔J〕. 地球科学进展, 2000, 15(1): 1-9.
- [135] 唐渊. 从 1989 年的洪水灾害谈察尔汗盐湖资源的开发与环境保护〔J〕. 盐湖研究, 1990, (4): 52-58.
- [136] 于升松, 谭红兵. 中国盐湖资源的开发利用与环境保护〔J〕. 盐湖研究, 2000, 8(1): 24-28.
- [137] WCED. Our Common Future〔M〕. Oxford University Press, 1987.
- [138] 王石军. 浅论察尔汗盐湖资源开发的可持续发展战略〔J〕. 海湖盐与化工, 1998, 27(6): 4-8.
- [139] 青海省人民代表大会常务委员会公报, 1999 年 7 号. 青海省矿产资源管理条例, 3-12.
- [140] Environmental challenges of fertilizer production〔J〕. Phosphorus & Potassium, 1997, (210): 27.
- [141] NPK production and the environment〔J〕. Phosphorus & Potassium, 1997, (209): 42-51.
- [142] Potash tailings and the environment〔J〕. Phosphorus & Potassium, 1998, (214): 30-37.

Comprehensive Utilization of Salt Lake and Related Resources (Last Part)

SONG Peng-sheng

(Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

Abstract Progress in comprehensive utilization of salt lake and related resources in recent years is reviewed in the paper. Production, consumption, and prices of some salts are also concerned. And then, sustainable development and exploitation of the resources are briefly discussed.

Key words Salt lake resources; Comprehensive; Utilization; Potash salt; Lithium salts

《盐湖研究》2001年征订启事

《盐湖研究》是国家科委批准的学术类自然科学期刊,由中国科学院青海盐湖研究所主办,科学出版社出版。1972年创刊(原名《盐湖科技资料》,1986年更名为《盐湖研究》),1993年起公开发行人。面向国内外报导交流盐湖,地下卤水,油田水,海水等基础、应用开发和生产技术研究报告、论文和成果,探讨其资源的分离提取技术与综合利用途径。

《盐湖研究》可供有关从事地学、无机化学、化工、盐化工、分析化学、采选矿技术等学科的科研、设计、生产人员和管理人员及相关专业的大中专院校师生阅读。也可供轻化工、冶金、建材系统的有关人员参阅。

本刊为季刊,单价 8.00元/本。刊号 CN63-1026/P, ISSN 1008-858X。邮发代号: 56-20。也可向《盐湖研究》编辑部订阅。可通过邮局汇款或银行信汇。

汇款地址: 青海省西宁市新宁路 18号中科院青海盐湖研究所

收款单位: 盐湖研究编辑部

邮政编码: 810008

电 话: 0971-6301683

通过银行信汇

收款单位: 中国科学院青海盐湖研究所

开户银行: 中国工商银行西宁市虎台支行

银行帐号: 15326404313

《盐湖研究》编辑部