

盐湖及相关资源开发利用进展

宋彭生

(中国科学院青海盐湖研究所, 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)01-0001-16

九十年代初笔者曾撰写过“盐湖资源综合利用”一文^[1], 该文对国内外有关盐湖的资源开发历史和现状等做过简要介绍。时间过去了 7~8 年, 虽然世界经济形势迭荡起伏, 但发展趋势不可阻挡。特别是第三世界国家经济发展, 社会进步更加明显。本文针对近年来国内外盐湖资源开发利用的进展情况再做补充介绍。回首百年, 沧桑巨变。我国“西部大开发”的号角已经吹响, 面对新世纪的曙光, 如何让我国丰富的盐湖资源更好地贡献于祖国的四化建设, 每一个盐湖科技工作者都在思考着。希望拙文能从技术上提供一些背景材料, 使读者有所裨益。本文还对相关资源产品生产的最新情况做些介绍, 对我国盐湖及相关资源开发的某些问题加以讨论。挂一漏万之处在所难免, 抛砖引玉目的只在讨论。不当之处, 万望高明斧正。

1 近期国外盐湖资源综合利用情况

世界主要盐湖及柴达木盆地主要盐湖的某些基础地理数据和盐类资源储量列在表 1 中。

1.1 南美安底斯山盐湖群的开发

1.1.1 阿塔卡玛盐湖的概况

在南纬 15° ~ 45° 之间的南半球沙漠草原地带中, 发育有许多盐湖, 那就是著名的南半球盐湖带。其中的南美安底斯高原上, 东边以安底斯山系为界, 西边以平行于太平洋海岸的都美科 (Domeyko) 山系为界, 在智利北部、玻利维亚西部和阿根廷西北部大约 $\times 10^6 \text{ km}^2$ 面积上的内陆盆地中分布有大小上百个盐湖, 其中大多为干盐湖。在 George E. E. 等的论文^[2]中, 曾给出智

收稿日期: 2000-01-03

基金项目: 本工作部分得到青海省科委科研项目 97-002 的资助。

作者简介: 宋彭生, 男, 63 岁。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。

利北部、玻利维亚西部和阿根廷西北部中安底斯地区的 66个主要干盐湖的名称及位置。沿着东边缘的安底斯山系可以看到许多火山,其中至少有一个是活火山。这一地区海拔在 3000~ 5000m 之间,其干盐湖面积大小不等,与我国青藏高原盐湖群很类似。这些干盐湖的晶间卤水除氯化钠外,还富含钾、硼、镁、锂及铷、铯的氯化物和硫酸盐。这些干盐湖及智利北部的硝酸盐沉积,蕴藏着具有工业价值的大量有用矿物。

在这众多的盐湖中最大的首推玻利维亚的 Uyuni盐湖,面积达 9000km²,是世界第一大盐湖(我国察尔汗盐湖面积超过 5800km²,是世界第二大盐湖)。其次是阿塔卡玛干盐湖(Salar de Atacama)。它距离智利第二大城市安托法加斯塔港(Antofagasto)约 280km,位于内陆跨越南回归线地区。该盐湖面积超过 3200km²。阿塔卡玛是侏罗纪到第三纪初期形成的。盐壳厚度由几十厘米到 1m左右。其晶间卤水锂浓度平均 1500× 10⁻⁶,在地面以下 50~ 350m深处晶间卤水锂浓度达 2000~ 4000mg/L,实属世界罕见,经济意义十分重要。近年来智利政府大力开发盐湖资源,阿塔卡玛盐湖已经成为世界最重要的锂盐和其它盐类的生产地。阿根廷的霍姆布勒姆托干盐湖(Salar del Hombre Muerto)也在被开发,生产碳酸锂等无机产品。此外,在这一地区还有许多沉积的固体盐类矿床(含有硼酸盐、硝酸盐、硫酸盐等),也在被开发利用。由于这一地区资源极其丰富,自然条件又得天独厚,现在有众多公司蜂拥而来,南美安底斯山地区盐湖群的开发,已成为世界无机化工发展的一大热点。

表 1 世界主要盐湖的基本数据及盐类资源储量 (t)
Table 1 Basic data of salt lakes and their salt reserves

	死 海	大盐湖	西尔斯湖	阿塔卡玛	察尔汗	别勒滩盐湖	西台吉乃尔
湖面海拔	- 400	1280	512	2300	2900	2677	2678
面 积	1000	3600	1000	1400	5882		90.4
湖水水深	329	~ 5	晶间卤水	晶间卤水	晶间卤水	—	0.50~ 1.20
KCl	200× 10 ⁸	1× 10 ⁸	2850× 10 ⁴	1.1× 10 ⁸	3.0× 10 ⁸	6560× 10 ⁴	1800× 10 ⁴
NaCl	1200× 10 ⁸	32.3× 10 ⁸	—	—	430× 10 ⁸	2.00× 10 ⁸	1.84× 10 ⁸
MgCl ₂	2200× 10 ⁸	12× 10 ⁸	—	1.2× 10 ⁸	27× 10 ⁸	5.7× 10 ⁸	1.22× 10 ⁸
MgSO ₄	—	1700× 10 ⁴	—	—			
LiCl	1700× 10 ⁴	322× 10 ⁴	26.6× 10 ⁴	280× 10 ⁴	E [*]	E [*]	E [*]
CaCl ₂	600× 10 ⁸	—	—	—			
CaSO ₄	1× 10 ⁸	—	—	—			
MgBr ₂	100× 10 ⁸	—	—	—	33.6× 10 ⁴		
B ₂ O ₃	—	193× 10 ⁴	3000× 10 ⁴	1580× 10 ⁴	549× 10 ⁴	182× 10 ⁴	108× 10 ⁴
WO ₃	—	—	7.5× 10 ⁴	—			

注: 湖的面积单位为 km², 湖面海拔和湖水水深单位为 m.
* 数据略.

阿塔卡玛干盐湖盆地中心部分面积约 1100km^2 , 含有岩盐并带有硫酸盐及碳酸盐薄层。这一部分由于富铁粘土层的覆盖而呈棕色。构造盆地中充满了碎屑沉积物和蒸发岩; 中心部分主要是岩盐, 在东部和南部边缘地带带有硫酸盐和碳酸盐。盐层表面为多面体的裂隙所形成的边缘棱角犀利的盐块, 最大边长可达 0.5m , 由于蒸发和脱水作用形成翘起和倾斜边角。当人行走在盐滩上时, 宛如踩在碎玻璃上一样发出嘎嘎声。

该盆地是由北—南向正常断层形成的地堑。其中心部位盐层厚度约 1000m , 朝南逐渐变薄, 至南部边缘地带厚度变为 40m 。根据文献^[3]的看法, “这个盆地下沉历史的大部分时期是为氯化钠的饱和度所控制。那里没有滩礁或藻礁复合体, 这就意味着它是来自极大的水体的干化而形成的”。盐层顶部 20 到 25m 深度范围内孔隙率和渗透率较高, 再往下的盐层已经完全再结晶成为坚实的固体而无孔隙。

锂和钾的浓度趋向中心部分明显增高——在边缘地带锂的平均浓度为 $(200-300) \times 10^{-6}$, 中间地区 $(500-1600) \times 10^{-6}$, 中心岩盐带则为 $(1510-6400) \times 10^{-6}$ 。MINSAL 已开采地区 Li 的平均浓度为 3400×10^{-6} 。相反, 南边 SCL 操作的区域为 1900×10^{-6} (内华达州银峰卤水锂的含量是 160×10^{-6})。这些数字表明, 该地区每 1m 深含有 36000t 锂, 总储量达 $2200 \times 10^6\text{t}$ ^[4]。在阿塔卡玛干盐湖的某些地区锂浓度极高, 平均可达 5000 至 7000 。这可能是由于盆地有几个锂的来源, 如覆盖着周围山坡的酸性火山岩 (流纹凝灰岩及火山灰流) 锂的淋滤; 河流和地下水的搬运; 干盐湖形成前湖相沉积的风化和淋滤 (可达 470×10^{-6}); 含有 $(28-40) \times 10^{-6}$ 锂的北部 El Tatio 地热水; 以及干盐湖东部安底斯山系的盐湖群。东—西断裂构造可能为含锂溶液进入盆地提供了通道。

该地区是一个封闭的内陆盆地水系, 气候的极度干燥在发育成有经济意义的矿产资源中起了主导作用。平均降雨量只有 $10-30\text{mm}$, 且下午的西风风速有时高达 100km/h , 而相当温暖的气温引起水分的迅速蒸发。蒸发量超过降雨量已经经历了过去的几百万年之久, 从而极有利于通过毛细管渗滤使卤水浓缩。

该湖海拔高 2300m (与西宁相同), 气候干燥。淡水年蒸发量达 3833mm , 盐水平均年蒸发量 2032mm , 年降雨量约 $20-50\text{mm}$, 相对湿度仅达 5% 。全年气温波动范围在 $-1-35^\circ\text{C}$ 。该湖中心区卤水组成为 (g/L): Na 93.18 K 21.96 Li 1.96 Mg 12.26 Ca 0.30 SO_4 23.29 Cl 192.00 B 0.84, 密度 $1226\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。估计在 1400km^2 的湖中心区各种元素的储量为 (10^4t): 钾 5800 镁 3050 锂 450 硼 290。

1.1.2 阿塔卡玛盐湖的开发历史和产业现状

1.1.2.1 开发简史和大事记

- 1969年智利地质研究所首次对阿塔卡玛盐湖进行大范围地质勘探
- 1971年国家开发署开始对资源储量和开发经济进行评价、修公路
- 1975—1979年智利开发公司进行详细的开发研究 (卤水资源评价、粘土带的勘察、盐田设计和修建、蒸发速度和相化学研究、工艺设计、中间试验)
- 1982年开始建厂开发
- 1985年投产, 福特矿物公司与智利政府接触, 研究开发问题

- 1986年智利国家化学品和矿物公司在 Coyo Sur建造 20×10^4 t硝酸钾厂
- 1987年福特矿物公司关闭美国北卡罗来纳州王山的锂灰石生产
- 1989年智利锂公司产碳酸锂 9000t, 1990年达 11800t
- 1996年末全面启动生产装置
- 1995年 Soquimich公司碘产量达到 8000t,成为世界最大的碘生产者
- 1995年 10月 MINSAL公司的 30×10^4 t氯化钾厂投产
- 1997年 12月 MINSAL公司的 18000t碳酸锂厂投产
- 1998年 1月 MINSAL公司的 25×10^4 t硫酸钾和 20000t硼酸生产装置投产

1.1.2.2 开发状况^[5,6]

目前从事卤水开发生产的有数家公司。最大的是阿塔卡玛矿物公司 (Sociedad Minera Salar de Atacama S. A., 简称 MINSAL) 它是智利化学和矿物公司 (Sociedad Quimica Y Minera de Chile S. A., 简称 SQM) 的一个子公司。最初, MINSAL公司是由阿玛克斯勘探有限公司 (Amax Exploration Inc.), 智利国家发展有限公司 (Corporacion de Fomento de la produccion) (简称 Corfo), 钼和金属有限公司 (Molibdenos y Metales S. A.) (Molytmet) 于 1968年成立的一个跨国财团, 旨在勘探和开发北智利部分阿塔卡玛干盐湖。在 1986至 1989年间, MINSAL公司进行了可行性研究, 包括广泛的勘探打钻, 储量计算, 实验室和中间试验工作以及卤水数学模型化研究。数学研究工作的目的是查明哪些地区钾浓度最高及非均相体系中的渗透性。MINSAL公司发现卤水的 K 与 SO_4 之间存在着一个很好的依赖关系, 这种关系使得 MINSAL公司生产硫酸钾成为可能。MINSAL公司使用了由新墨西哥州 Sandia公司开发的一个模型化系统, 预测地下水中放射性核素的运动。这一研究结果使得 MINSAL公司可以寻找出最高卤水浓度区的位置, 以及抽取卤水对地下卤水水位的影响, 特别是对干盐湖东部边缘地区泻湖可能引起的影响, 那里有敏感的野生动物区。

1992年阿玛克斯公司做出了一个改变商业策略的决定, 将其在项目上的股份售给了 SQM 公司。而 SQM 公司是智利硝石、碘、硫酸钠和专用肥料的生产者。对于在阿塔卡玛干盐湖上开办着几处矿山和工厂、自己的各种产品都有着世界范围销售网和市场组织的 SQM 公司来说, MINSAL项目上卤水的丰富钾资源真是最合适不过了。三年以后, 在政府拍卖会上 SQM 以 7亿美元购买了 MINSAL公司剩余的 18% 的股份, 于是 SQM 就全部控制了 MINSAL公司。

SQM 是一家在纽约股票交易所上市有赢利的智利私人公司。虽然 MINSAL公司是 SQM 的一家子公司, 但它是一个具有自己的管理队伍、办公机关和生产设施的单独实体。公司总投资 2.5亿美元, 分三个阶段实施, 以便从阿塔卡玛盐湖卤水中提取一系列化工产品。第一阶段的建设工程已于 1994年第二季度开始实施, 它是耗资 5000万美元年产 30×10^4 t 的钾盐厂, 该厂已于 1995年 9月比原计划进度提前 6个月投产。这就与 SQM 于 80年代后期建成的一个生产硝酸钾的项目相配套, 作为一个新的低成本的钾盐的来源, 与其唯一的天然硝酸盐一起形成一整套低成本的独立的生产单元。

第二阶段 1996年 11月年产 4000万磅 (或 18,000t/a) 的碳酸锂厂投产。这个项目比原计划提前两个月。投资 5100万美元。第一批销往欧洲的碳酸锂已于 1996年 12月 16日运离安托法加

斯塔港。第二阶段项目的二期工程将扩建锂的衍生物的生产设施,投资 1500 万美元。第三阶段计划总投资 1.2 亿美元,包括 1998 年一月投产的年产 $25 \times 10^4 \text{ t}$ 的硫酸钾厂 (1.12 亿) 和 16000 t 的硼酸厂 (800 万)。

MINSAL 公司具有独家开发阿塔卡玛干盐湖南部 1586 km^2 面积内矿产资源的权利,它包括 820 km^2 面积 40 m 深的矿产资源和 240 L/s 采卤水的权利。这些权利为 Corfo 所有,租赁给了 MINSAL 公司。这等于转让给它 $2600 \times 10^4 \text{ t}$ 的 K (相当于 $5000 \times 10^4 \text{ t}$ 的 KCl)、 $180 \times 10^4 \text{ t}$ 的 Li (相当于 $9450 \times 10^4 \text{ t}$ Li_2CO_3)、 $2200 \times 10^4 \text{ t}$ SO_4 (相当于 $3900 \times 10^4 \text{ t}$ K_2SO_4)、 $70 \times 10^4 \text{ t}$ B (相当于 $400 \times 10^4 \text{ t}$ H_3BO_3)。

MINSAL 公司产品的生产能力、投资和投产日期为:

氯化钾 $30 \times 10^4 \text{ t}$	5500 万美元	1995. 10
碳酸锂 18000 t	5100 万美元	1997. 12
硫酸钾 $25 \times 10^4 \text{ t}$		
硼酸 20000 t	以上两项 1.5 亿美元	1998. 01

作为 2.5 亿投资三阶段计划的一部分,预计 1998 年氯化钾生产能力达到 $45 \times 10^4 \text{ t}$,1999 年将达到 $50 \times 10^4 \text{ t}$ 。

SQM 公司作为一个以盐湖资源 (包括液体矿床和固体矿床) 开发为依托的大型化工企业,将盐湖卤水综合利用和智利硝石开发的综合利用结合起来了。它同时还生产 8000 t 碘,占世界总产量的 50%,以及多种硝酸盐,包括工业硝酸钠、精制硝酸钠、农业肥料硝酸钠、标准硝酸钾、精制硝酸钾、硝酸钠钾等。

塞普路斯福特公司也从卤水中生产碳酸锂。塞普路斯福特公司是由塞普路斯矿业公司和 Ammax 公司于 1993 年合并而成,是全球最大的锂生产者。自 1987 年停止其在北卡罗来纳的锂辉石生产以来,塞普路斯福特公司一直只从卤水中提取锂。原来的卤水生产厂位于内华达—加利福尼亚边界以东约 40 m 的伊斯米拉达县 (Esmeralda County) 克雷顿谷 (Clayton Valley) 的银峰,而自 1985 年以来,美国福特矿物公司已将碳酸锂生产由美国的银峰地下卤水转移至阿塔卡玛盐湖。同时还利用盐湖资源和阿塔卡玛沙漠中的生硝矿生产硝酸钾、硫酸钠、硫酸钾、碘等。由于阿塔卡玛盐湖晶间卤水锂浓度很高以及盐湖区气候极其干燥,其太阳蒸发池的面积仅为美国福特矿物在内华达州银峰蒸发池的 $1/20$,经济效益十分可观。

塞普路斯福特公司在智利的开发工作是由智利锂公司 (Sociedad Chilena de Litio 简称 SCL) 进行。该公司以前是福特矿业公司与 Corfo 的合资公司,现在全部由塞普路斯福特公司所有。1995 年其加工厂出口 12600 t 碳酸锂,另有副产品钾盐全部出售给 SQM。

FMC 公司也从卤水中生产碳酸锂。FMC 公司的锂业分公司系原美国锂业公司, Lithium Corporation of America 或 Lithcoa 是全球第二大的锂生产厂。在北卡罗来纳的王山地区该公司开采含量平均为 20% 的锂辉石的伟晶岩,它含有 7.5% 的 Li_2O 。锂辉石用泡沫浮选法精选后,用作生产碳酸锂的原料。产品可以直接出售,或用作 60 多种锂化学品的原料。FMC 公司与阿根廷政府 1986 年签订开采协定,1990 年试验工作结果的成功再加上阿根廷采矿法的修订鼓励了 FMC 公司。公司在霍姆布勒姆尔托干盐湖 (Salar del Hombre Muerto) 上进行生产。该矿区位于

Catamarca 省与 Salta 省边界处,距阿根廷首都布宜诺斯艾利斯西北约 1300km

据报导该矿床在含锂量为 $0.22 \sim 1.08 \text{ g/L}$ 范围的卤水中,总共蕴藏有 $13 \times 10^4 \text{ t}$ 的锂。在海拔约 4300m 的多雪而寒冷地区,太阳蒸发量比智利的阿塔卡玛干盐湖要小。因此 FMC 公司实施了一项专利技术:吸收工艺。它能从平均含锂量 0.063% 的卤水中提取锂盐。该项目将年产 20250t 碳酸锂,投资为 6800 万美元。

SQM 最近做出一项计划,准备在两年时间内投资 4000 万美元,增加其硝酸钾、氯化钾、碳酸锂的生产能力^[7]。公司还开始了一个降低成本的计划。根据此计划,将增加 $15 \times 10^4 \text{ t/a}$ 硝酸钾的产量,在 2001 年达到 $65 \times 10^4 \text{ t}$ 硝酸钾的生产能力,使公司成为世界上最大的硝酸钾生产者。这将通过与一家挪威公司 Norsk Hydro 的 1600 万美元的合资计划而实现。在合资项目中, SQM 占大多数股份。建设项目拟于 1999 年中期在安托法加斯塔与托克皮拉 (Tocopilla) 之间的区域进行,现在 SQM 在那里已经有两家硝酸钾工厂。SQM 将使用来自阿塔卡玛自己的氯化钾来生产硝酸钾。氯化钾的生产应在 2000 年增加到 $60 \times 10^4 \text{ t}$,其中大约 $20 \times 10^4 \text{ t}$ 供应国内市场和出口,主要的出口地包括中国和巴西。此外, SQM 还要将碳酸锂的产量增加 $8\% - 10\%$ 。目前生产能力约为 20000 t/a ,但 1998 年它销售了 13000t,预期 1999 年销售 17000t。SQM 宣称,他们占据碳酸锂市场的 30%。公司已看到锂电池市场的光明前途。

一家总部在温哥华的阿塔卡玛矿物公司 (Atacama Minerals Corp.) 计划在智利北部 Aguas Blancas 建设一个 1000 t 碘的堆浸厂^[8]。并打算在碘项目获利后,再启动硫酸钠和硝酸盐的装置。这将会明显地降低开始所需的投资额。碘的市场基本上稳定在 $18 \$ / \text{t}$,而硫酸钠市场则不同,价格在走低。在柱式浸取实验取得成功之后,修建了 3 个堆浸池,预计 1999 年 6 月初可以获得第一批结果。此外公司还投入经费,进行了一项成功的储量评价的地质研究。整个资源比预期的增加了 66%。现在资源储量为 $5900 \times 10^4 \text{ t}$,品位 392×10^{-6} 碘, 21.7% 硫酸钠, 1.99% 硝酸根。以 300×10^6 碘为边界品位的一项矿山计划,将矿山寿命延长了 10-16 年。在矿山计划中已探明储量为 $3300 \times 10^4 \text{ t}$ 碘,平均品位 552×10^{-6} 碘。在 Aguas Blancas 属区内的 Repasos 地区正在开展进一步的勘探,这一地区内的矿床富含碘和硝酸盐而硫酸盐含量低。利用这一地区矿石所做的浸取实验,结果非常好。显然,阿塔卡玛盐湖由于资源极其丰富,自然地理条件又极为有利开发,虽然有多家公司在从事开发,但发展势头仍很强劲。应该对这一地区的开发密切注意。

1.1.2.3 对世界无机化工市场的冲击^[9]

本世纪末智利将成为世界最大的锂生产国 (占 27%),澳大利亚占第二 (占 17%),阿根廷第三 (占 16%),美国第四 (占 10%)。智利和阿根廷都是从盐湖卤水中提取的。这也是业内人士都在提到的,下一世纪锂生产的原料,将从固体锂矿石转向天然卤水的原因。

价格上:氯化钾生产成本仅 $25 \$ / \text{t}$,世界最低。拟进一步扩产至 $50 \times 10^4 \text{ t}$ 。碳酸锂市场售价比同行低 40-50%,经济效益仍然显著。旋即扩产,现生产能力已达 22000t。目标是挤垮一些碳酸锂生产者,然后再提高产品售价,以取得更大的经济效益。他们曾经在碘产品上采用过这样的策略,战胜了许多对手。目前世界上碘的价格皆由其控制。我国不久将要加入 WTO,要和世界接轨,这既是一个好的机遇,也是一个挑战。我们可从阿塔卡玛盐湖开发中学到很多东西,他们的很多经验教训值得我们认真加以总结和借鉴。

1.1.2.4 阿塔卡玛盐湖综合利用的生产工艺和产品

1.1.2.4.1 生产工艺

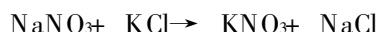
按 200~500m 网格分布的抽卤井,用柴油或电力设备从阿塔卡玛干盐湖盐壳以下抽取卤水,平均采卤深度 28m,然后再将卤水用管道输送至塑料衬底的太阳蒸发池。在池中卤水被浓缩,并发生结晶作用。抽卤井的准确间距取决于卤水的质量及该地区盐层的空隙率和渗透率。阿塔卡玛地区是世界上最干燥的地区之一,蒸发量特别大,可达 3300mm/a 。而犹他州的大盐湖和内华达州的银峰蒸发量只有 1800mm/a 。在阿塔卡玛沙漠地区无暴风雨时,年降雨只有 10~30mm,而大盐湖雨量充沛,每年大约为 330mm ,银峰为 230mm 。而阿根廷的霍姆布勒姆尔托干盐湖蒸发量估计为 2300mm ,平均降雨量为 70mm (大部分是降雪)。阿塔卡玛出售的旅游者 T 恤衫上写着“阿塔卡玛——沙漠中的沙漠”,这真是再恰当不过了。

MINSAL 项目的钾—锂部分大约用 40 个生产井和 13 个监测井,采卤水能力约为 $5280\text{m}^3/\text{h}$ 。蒸发池总面积大于 $550 \times 10^4\text{m}^2$,分成 $116 \times 10^4\text{m}^2$ 石盐池, $336 \times 10^4\text{m}^2$ 钾石盐池, $100 \times 10^4\text{m}^2$ 的锂盐池。MINSAL 公司在阿塔卡玛盐湖上的操作雇用 184 人,其中 120 人来自附近人烟稀少的当地社区。承包者进行钻井和维护以及将卤水运至安托法加斯塔港附近的碳酸锂加工厂。

盐田的生产过程按照如下的周期循环进行操作:排除卤水和晾晒(1周)、储卤和灌卤(4周)、连续收盐和灌卤(4周)、盐田准备工作(1周)。MINSAL 公司在蒸发池底部留有 20cm 厚的析出物,以便保护塑料衬底。这种操作可采得 35cm 厚的盐层。采盐机是由 Caterpillar 公司或 Rahco 公司制造并由 MINSAL 自己改装的。这些机械最初设计是用于修路时刨掉旧的碎石路面的,它们都装有激光束发生装置,这样就可以准确地控制采盐时切割盐层的厚度,而保护昂贵的盐池塑料衬底。平均说来,每次采收 3500m^3 的产物,相当于 35000t。采盐车队包括有 20t 卡车 10 辆、2 台推土机、7 辆 3m^3 的运输装载机。

析出来的石盐从氯化钠池分离掉,而富含钾、锂和硼酸盐的卤水用管道输至相邻的太阳浓缩池,继续蒸发析出钾石盐结晶。收集后用卡车运到钾盐加工厂,在那里进行破碎、磨矿至单矿物游离,再与卤水混合,然后进行泡沫浮选,产物经干燥后,即生产出 95% 的氯化钾产品。氯化钠堆集起来或用于建造盐田的池埝。每年由 MINSAL 生产出的 $30 \times 10^4\text{t}$ 氯化钾用卡车运至约 250km 以外的硝酸钾厂,作原料使用。这些钾盐代替了进口的钾盐作原料,每吨可节省 100 美元之多。

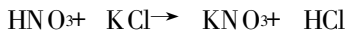
硝酸钾加工过程是由 MINSAL 的一个姊妹公司 SQM 硝酸盐有限公司(SQM Nitratos S. A.)控制着,它在 Coya Sur 和 Maria Elena 的生产设施采用 SQM 开发尚未取得专利权的一种生产方法。从硝石矿提取碘和硫酸钠以后排出的母液,用管道从 Valdivia 和 Maria Elena 的生产厂输送到在 Coya Sur 的盐田。在这里生成的硝酸盐混盐与 Maria Elena 和 Pedro de Valdivia 生产的结晶硝酸钠一起^[10],与氯化钾经复分解反应,生成硝酸钾:



经冷却和离心后,生成的硝酸钾晶体可以制成小球状,或直接用于生产硝酸钠钾。1994 年以后公司已用真空离心法生产高纯工业硝酸钾。目前, Coya Sur 的硝酸钾生产能力为 $38 \times 10^4\text{t}$ (包括 $10 \times 10^4\text{t}$ 工业级),还有 Maria Elena 的 90000t。如果包括生产硫酸钾时副产物氯化钾 25000t,该公司 1998 年生产能力将达 525000t。现有的设备可将在阿塔卡玛盐湖上氯化钾的年生

产能力在 1997 年提高 $10 \times 10^4 \text{ t}$, 在 1998 年再增加 $10 \times 10^4 \text{ t}$

通常工业上的所谓合成工艺生产硝酸钾, 是用由合成氨生产的硝酸与氯化钾反应来生产硝酸钾:



这种工艺的缺点是原料价格高 ($190 \$ / \text{t}$ 而不像开采的硝酸盐可低价供应), 设备价格也高, 还有防腐蚀问题以及废蒸气问题等要解决。MINSAL 公司具有另一个优势是垄断性的低成本的氯化钾来源

析出氯化钾后剩余的母液含有大约 1% 的锂, 而内华达的银峰和阿根廷的霍姆布勒姆尔托干盐湖只分别含有 0.016% 和 0.068%。卤水经管道输送至附近的盐田, 在此卤水被浓缩到约 6% 的锂 (38% LiCl) 和 1.8% 镁及 0.8% 硼。这种含 6% 锂的卤水用槽车运至 250 km 以外的安托法加斯塔的碳酸锂生产厂。在那里, 采用煤油溶剂萃取除硼, 使卤水中硼含量低于 5×10^{-6} 。从富含硼的萃取液中再提硼。镁分两步从卤水中除去: 先向卤水中加入纯碱沉淀出碳酸镁, 并用转鼓过滤机分离掉碳酸镁, 这一步可除掉卤水中 80% 的镁; 再加石灰沉淀出氢氧化镁, 这一步可除掉卤水中剩余的 20% 的镁量。碳酸镁和氢氧化镁暂时堆存在池中, 待将来再加以利用。

生成的富含氯化锂的卤水再净化后用纯碱处理生成碳酸锂料浆, 采用带式过滤机过滤出碳酸锂。用水洗涤粗碳酸锂以除去残留的氯化钠, 再经回转干燥器干燥, 就获得了 99% 纯度的优级碳酸锂细粉末。再经团块处理、粉碎、筛分, 以达到用户要求的规格。由于雇员具有丰富的锂生产经验, 而且采用的是在多处被验证过的标准工艺, MINSAL 公司的中试厂的实验工作, 可保持在最小数量上, 工厂建设很顺利。产品碳酸锂用 1 t 和 0.5 t 的大袋子, 25 kg 11.25 kg 22.50 kg 的小袋子, 或者以带塑料衬里的 100 kg 纤维鼓包装。开始生产能力为碳酸锂 18000 t/a, 生产是三班倒, 每周七天制。工厂有一个分析实验室以确保产品的物理化学规格的指标要求。碳酸锂产品的指标列在表 3 中。

从 1996 年 10 月开始, 将富含硫酸根和钾的卤水泵至氯化钾厂附近的一系列预蒸发池中, 卤水在那里将析出硫酸钾混盐, 收集后运至工厂浮选, 然后干燥存放到 1998 年开始的加工处理。分离出的氯化钠堆放起, 废卤水则返回干盐湖中。硫酸钾池出来的卤水输至工厂酸化提硼。废卤水也返回到干盐湖中去。设计的年生产能力为 $25 \times 10^4 \text{ t}$ 硫酸钾和 16000 t 硼酸。此外, 还将获得 25000 t 副产氯化钾, 与其它氯化钾合并使用。硫酸钾的上市供应将拓宽 SQM 公司已经存在的强劲的专用肥料的优势, 帮助他们与对手 Trans-Resources 和 Kemira 在硝酸钾和硫酸钾上的竞争。

由于 SQM 公司的碘产品在世界市场的极端重要性, 同时本文第二部分相关资源开发中不再叙述碘及碘产品的情况, 这里关于 SQM 公司碘的生产情况再稍加介绍。

SQM 碘有限公司 (SQM Iodo SA) 是世界最大的碘生产者, 具有世界生产能力的 40%, 几乎与日本从天然气田卤水提碘的六个大公司的生产能力相当。1996 年 SQM 碘的生产能力增加了 30%, 达到 6500 t/a。1997 年在 Iquique 东南 140 km 的 Lagunas 另一家新的碘生产装置投产, 又增加了 1500 t 的生产能力。全部扩产完成后, SQM 生产能力将达到 8000 t/a, 达到世界碘的总市场 16000 t/a 的一半。

在智利,碘产品是从 Pedro de Valdivia 和 Maria Elena 两处工厂产生的浸取液和 Sierra Gorda 矿山的尾矿中生产的^[11]。溶液通过管线或槽车运至加工厂中,在那里的设备中生产出碘酸盐溶液,以便在 Pedro de Valdivia 进一步加工。然后在 Pedro de Valdivia 用燃烧硫磺得到的二氧化硫还原碘酸盐,生成的碘化物再与未处理过的碘酸盐溶液作用,析出元素碘。提碘后溶液的 pH 值以碱灰来调节,然后输至 Coya Sur 的蒸发池或浸取器中,用于提取硝酸盐。然后将碘从悬浮液中分离出,使用熔融法将其精制,最后用一种专利技术将产品制成片状或小球状 (SQM 和日本伊势化学品公司是世界仅有的小球状碘的生产厂家)。

在不到十年的短短时间里, SQM 整个改变了世界碘市场,并且还将继续作为碘市场的领导者。由于它的低成本生产,使得 SQM 在进攻性价格阶段仍能获利,接着将碘的价格从 1988 年的 18\$ /kg 降到 1993 年中的 8\$ /kg。SQM 碘的产量和价格列在表 2 中。

由 SQM 煽起的碘价格的迅速下跌,使得较高成本的碘生产者被挤出市场或者至少不得不削减市场占有率从而减少利润率;同时这会刺激需求猛增,市场扩展。这就使得 SQM 得以增加其市场份额,扩展达到了市场的 40%,从而保持获得利润。在过去 3 年中供应的减少和需求的增加又趋近于一个新的平衡点,因此又使得碘的价格从 1995 年的 10\$ /kg 回升到 1996 年的 14.5\$ /kg。假如新的生产者出现, SQM 将使其多余生产能力对市场需求做出反应,从而维持价格水平和市场稳定。

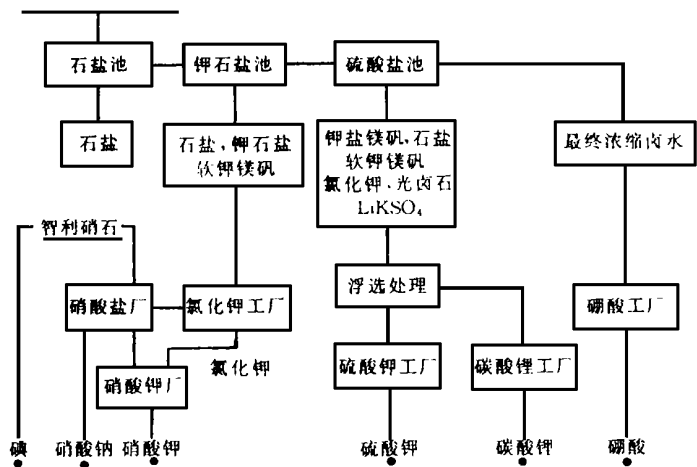
大约 SQM 碘产量的 17% 是在圣地亚哥附近的一家工厂中用于生产碘酸钙、碘化钾、碘酸钾、碘化钠。除在智利生产碘外, SQM 还取得了一家在美国的生产无机和有机碘衍生物的公司 Ajay North America LLC 49% 的股权。

表 2 SQM 碘的产量 (t) 和价格 (\$ /kg)
Table 2 Iodine output of SQM (t) and its prices (\$ /kg)

年代	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
产量	3750	4000	3250	4250	5000	4000	4250	6500	5500	6750	8000
价格	18.0	18.5	14.0	10.0	9.3	8.5	8.5	10.0	13.3	13.3	14.0

世界粗碘市场的 1/3 以上用于生产碘衍生物。它们包括:碘化钾 (制造地毯和轮胎用尼龙时的一种热稳定剂)、碘化银 (照相用)、碘酸钾 (动物饲料添加剂和药物用)、碘化钠 (照相、动物饲料添加剂、人工降雨) 和碘酸钠 (消毒杀菌剂、汽车和其它照明用碘、卤素灯)。

碘化 (酸) 钠 (钾) 的另一种重要的用处是生产加碘盐,通过它将碘引入人的食物中。土壤缺乏碘将会使该地方人口招致碘缺乏症 (IDD) 的危害。从而引起一系列健康问题,如甲状腺肿大、各种精神病等。将碘通过食用盐 (动物则用加碘盐舔砖) 带入饮食中可以完全消除碘缺乏症。碘在加碘盐中的浓度大致为每 kg 盐含 40–100mg 碘 (加碘盐含 0.006%–0.010% 碘)。



说明: 带下划线者为原料; 带下加点者为产品

图 1 阿塔卡玛盐湖卤水生产钾盐和硼酸工艺流程

Fig. 1 Flow chart of potassium salts and boric acid production of Atacama Salt Lake brine

图 1给出了阿塔卡玛盐湖卤水综合利用的原则框图。值得指出的是有些文章^[12, 13]给出了设备流程简图, 那些仅仅是试验研究的建议流程, 都是源自一篇国外文献^[14]中给出的图。真正实际生产厂的生产技术和工艺流程, 都未见详细报道。

1. 1. 2. 4. 2 产品和规格

阿塔卡玛盐湖和霍姆布勒姆尔托盐湖综合利用的产品种类很多。而且每一种类的产品规格也不尽相同, 主要的有氯化钾、硫酸钾、硼酸、碳酸锂、硝酸钾、硝酸钠、碘及各种碘的衍生物, 如碘酸钙、碘化钾、碘酸钾、碘化钠和有机碘衍生物, 还有副产品硫酸钠。仅硝酸盐就有工业级硝酸钠 (16- 0- 0)、精制级硝酸钠 (Niterox 牌), 硝酸钠钾 (15- 0- 14)、球状硝酸钾 (13. 5- 0- 44)、标准硝酸钾 (13. 5- 0- 45) 等多种。

MINSAL公司碳酸锂的两种规格的质量要求列在表 3中, 供参考。

表 3 MINSAL碳酸锂规格

Table. 3 Lithium carbonate specifications of MINSAL

指 标	粉末状	粒 状
Li ₂ CO ₃	≥ 99%	≥ 99%
Cl	≤ 0. 02%	≤ 0. 02%
Na	≤ 0. 12%	≤ 0. 18%
K	≤ 3× 10 ^{- 6}	≤ 3× 10 ^{- 6}
Ca	≤ 0. 04%	≤ 0. 068%
Mg	≤ 0. 011%	≤ 0. 023%
SO ₄	≤ 0. 1%	≤ 0. 1%
B	≤ 10× 10 ^{- 6}	≤ 10× 10 ^{- 6}
Fe ₂ O ₃	≤ 0. 003%	≤ 0. 003%
H ₂ O	≤ 0. 20%	≤ 0. 2%
烧失重	≤ 0. 7%	≤ 0. 8%
水不溶物	≤ 0. 02%	≤ 0. 02%

1. 2死海开发更加全面展开

1. 2. 1死海的基础数据

死海的某些基础自然地理数据和卤水的组成及储量列在表 4中。

表 4 死海基础数据
Table 4 Basic data of the Dead Sea

海拔: - 410m		平均气温: 冬季 14- 17℃	
总长: 55km		夏季 34℃ (25- 40℃)	
宽度: 12- 17km		最高气温: 51℃	
总面积: 725km ²		湖表层水温 (40m): 19- 37℃	
最大深度: 360m		湖深层水温 (40- 100m): 22℃	
盐度: 340g /L(相当于海水浓度的 10倍)			
溶解固体总量: 430× 10 ⁸ t		年平均降雨量: 50mm	
年平均蒸发量: 1700mm		全年湖表面蒸发量: 17× 10 ⁸ m ³	
全年晴天: 300d			
氯化镁 MgCl ₂	180g /L	14. 5%	220× 10 ⁸ t
氯化钠 NaCl	100g /L	7. 5%	120× 10 ⁸ t
氯化钙 CaCl ₂	45g /L	3. 8%	60× 10 ⁸ t
氯化钾 KCl	14g /L	1. 2%	20× 10 ⁸ t
溴化镁 MgBr ₂	6g /L	0. 5%	10× 10 ⁸ t
总 量			430× 10 ⁸ t

死海位于中东最干燥的沙漠地带的闭流盆地中。这个面积近 750km²的湖泊是世界的最低点,它也是世界上水量最大的盐湖水体。1930年这里建造了第一座工厂,由死海卤水中生产氯化钾和溴。1934年第二个钾盐厂在死海南端的沙多姆兴建。约旦亦于 1950年开始从死海中小规模生产氯化钾。死海是世界上资源利用程度最高的盐湖,出产的化工产品数量最大。以色列与约旦两国开发死海的产品总和已接近 500× 10⁴t 尤其是以色列在开发死海过程中不断推出新工艺、新技术和新产品,它研制开发的一些工艺技术在文献^[1]中曾列举过,这里不再重复。由于死海所处的地理位置十分优越,以色列和约旦的钾盐产品可以方便地运往欧、亚、非、美各大洲。有关死海的一些基础数据列在表 4中,其资源储量见表 1

1. 2. 2约旦对死海开发的进展

约旦位于死海东侧,面积只有 95000km²(约旦河以东),人口 200多万。原有工业基础很薄弱,近年来针对死海进行了一系列开发工作,在国民经济中发挥了重要作用。

约旦最早从事死海盐类资源开发的是阿拉伯钾盐公司 (Arab Potash Co. Ltd.,简称 APC),该公司位于死海南端的 Ghor Al Safi,距离首都安曼 130km。它将近占据死海南部盆地的一半,另一半多是以色列死海工厂的盐田。两家之间由一条 500m宽的大堤隔开。

1982年 APC建立了氯化钾工厂,设计生产能力为年产 120× 10⁴t。但多年未达到设计能力,致使公司经济效益不佳。至 1986年才首次获利。经济效益不佳的主要原因是盐田供给的光卤石原矿不足,还有设备和管理上的问题。为了满足年产 140× 10⁴t氯化钾的生产,每年需要约 750× 10⁴t的光卤石。这种光卤石大约含 84%的 KCl· MgCl₂· 6H₂O和 16%的 NaCl。由于盐田设计中采用的某些系数过于乐观及氯化钠池和光卤石池面积比不合适等原因,1983年实际只生产出

$90 \times 10^4 \text{ t}$ 的光卤石,而当时预计应产出 $120 \times 10^4 \text{ t}$ 光卤石。后经投资对盐田工艺(走水方式、各蒸发池的面积比、泵站位置及能力)等一系列问题进行改造并扩建新盐田,逐渐提高了其生产能力。1988 年氯化钠池和光卤石池面积比达到 $2.6:1$,很接近 $2.5:1$ 的最佳值

原来设计采用的是冷分解浮选工艺及热溶工艺。对于这两种工艺,首先都必需将光卤石矿进行分解,使光卤石中的氯化镁转入液相,剩余的是氯化钠与氯化钾的机械混合物—钾石盐。钾石盐中约含 55% 的氯化钾,然后再经浮选工艺及热溶工艺,使氯化钠与氯化钾分离。原来由光卤石矿获得氯化钾,钾的回收率为 67%,后来由于盐田结构和工艺的优化,回收率也提高到了 75%。

1989 年该厂进行了冷结晶工艺中试。由于冷结晶工艺要求光卤石原矿中氯化钠含量不能高于 5%,他们在原来筛析脱氯化钠基础上,又进行了反浮选脱除氯化钠的中试。此外,他们还加强管理,注重技术改造和工人技术培训,完善计算机优化和自动化管理。超过 100 km^2 的盐田操作,仅由 105 人即可完成;而加工厂仅有 70 人操作,从而大大提高了劳动生产率。

1996 年该公司生产能力达到了 $180 \times 10^4 \text{ t}$ 氯化钾。这是由两个工厂实现的:一个是 $140 \times 10^4 \text{ t/a}$ 的热溶厂,另一个是 $40 \times 10^4 \text{ t/a}$ 的冷结晶厂。1995 年 11 月扩建 33 km^2 太阳池的项目启动。盐田的生产周期为两年,即从灌水到收获光卤石矿,需两年时间。改造盐田扩建项目完成后,要再经几年才可发挥作用。APC 已经料到 1997—1998 年,将是他们遇到麻烦的时期。1997 年生产锐减至 $140 \times 10^4 \text{ t}$,销售也由上一年的 $175 \times 10^4 \text{ t}$ 降至 $145 \times 10^4 \text{ t}$,减少了 17%。目前又投资 8000 万美元,再扩大其生产能力 $40 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。预计到 2002 年时,生产能力可达 $220 \times 10^4 \text{ t/a}$ 氯化钾。到现在为止,该公司只生产标准级、细粒级、颗粒级氯化钾,供应肥料市场。目前正在建设一个年产 $10 \times 10^4 \text{ t}$ 高纯度工业级氯化钾的工厂。这个新的热溶结晶厂的原料,主要是细粒级氯化钾和各厂的收尘器收集来的氯化钾细粉。其产品的一半,将供给亚洲市场,特别是供应印度、马来西亚、印尼和日本等。APC 产品的 3/4 出口到亚洲,尤其是中国、印度、印尼,它希望提高在中国市场的份额,主要的竞争对手是价格较低的俄罗斯产品。

目前约旦有 4 大公司从事盐湖资源开发^[15]。

(1) 阿拉伯钾盐公司 (Arab Potash Company, Ltd. 简称 APC)

阿拉伯钾盐公司是以约旦为主的阿拉伯政府与其它阿拉伯国家政府间的国际财团组织。该公司从约旦政府获得了针对死海的勘探、生产、产品销售权。于 1983 年开始生产钾盐,其生产厂位于 Al-Safi, 1994 年产量达到 $180 \times 10^4 \text{ t}$ 。约旦两种主要的矿物资源是磷酸盐和钾盐。其产品 35% 以上出口。

最近 APC 和 Albermarle Corp. 宣布联合签署了一项理解备忘录,要搞一个合资项目,从死海中生产溴、溴化钙和阻燃剂四溴二酚 (TBBA)。

(2) 约旦死海工业公司 (Jordan Dead Sea Industries Co., 简称 Jodico)

是由 APC 控股的 (占 51%) 一个公司,专门从事从死海中提取氯化钾以外的其它化学产品。最近该公司与台湾“青上化学工业公司”签订了一项理解备忘录,要在约旦建一家硫酸钾厂。这将是约旦第一家生产硫酸钾的工厂,该厂拟兴建于 Aqaba。生产能力为硫酸钾 40000 t/a ,预计 2001 年投产。从青上公司以往在大陆的合资项目来看,很可能仍然采用曼海姆工艺。

(3) 约旦盐业公司 (Jordan Salt Co., 简称 Jossco)

该公司是于 1996 年才开始投产的一家专门生产氯化钠产品的公司。公司股份中有 36% 为

APC或其子公司所有。年生产 $120 \times 10^4 \text{ t}$ 工业用盐和 3200 t 餐桌盐。

(4) 约旦氧化镁公司 (Jordan Magnesia Co., 简称 Jomag)

拟于 Al-Safi 毗邻 APC 的钾盐厂建设一个年产 60000 t MgO 的装置, 该地位于死海南端, 距首都安曼 130 km , 距海港 Aqaba 200 km 。计划在 1998 年底签订全面承包合同, 拟于 2001 年投产。他们拟使用不同于 Aman 工艺的生产流程。预计廉价的中国氧化镁产品将对此计划有所影响, 但 Jomag 宣称他们产品质量高。由于约旦缺乏能源, 经过一个预可行性研究后, 否定了生产金属镁的计划。

1. 2. 3 以色列对死海镁资源的开发

以色列对死海的开发历史悠久, 已达到规模大、水平高、品种多的程度。以往曾有许多文章介绍它的历史、开发及科研情况, 本文不再赘述, 这里仅列举近年的一些变化情况。目前, 以色列从事死海产品开发的公司共有四家:

(1) 死海工厂 (Dead Sea Works, 简称 DSW)

这是最老的一家盐湖资源开发公司。从前它作为 Israel Chemicals Ltd. (ICL) 的一个子公司, 属政府所有。现在它是埃森博格集团 (Eisenberg Group) 的一部分。最近公司新分出去一个子公司 Dead Sea Bromine (DSB), 进行了重组。它是世界第六大的钾盐生产厂, 1996 年生产了 $250 \times 10^4 \text{ t}$ 氯化钾, 1997 年生产了 $280 \times 10^4 \text{ t}$ 。该厂每年要抽掉 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的死海卤水, 泵入大盐田进行蒸发。从盐田获得的主要是光卤石与食盐的混合物。其典型组成为 KCl 23%, MgCl_2 29%, NaCl 14%, H_2O 34%。有几种工艺流程生产钾盐产品, 主要是热溶法和冷结晶工艺。钾盐产品通过 18 km 的距离运到 Mishor Rotem 的铁路终点站或 Ashdod 港, 装船出口。

1997 年 DSW 销售了 $284 \times 10^4 \text{ t}$ 氯化钾, 大部分是出口到亚洲和欧洲市场。DSW 通过在荷兰 Den Haag 的 DSW Benelux、伦敦的 DSW Potash 及美国康涅狄格 Stamford 的 H. J. Baker & Bro 进行钾盐出口业务。

DSW 和 United Development Industry Co. (简称 UDI 公司) 是两家拟与中国合作的公司。他们打算与中国合资在青海建设 $80 \times 10^4 \text{ t}$ 氯化钾厂, 采用 DSW 的冷结晶工艺。

除钾盐外, DSW 同时还生产各种用途的氯化钠产品。工业用盐用于电解生产烧碱和氯气。氯气再用于生产溴和聚氯乙烯。其各种盐类产品的总量达 $2000 \times 10^4 \text{ t}$ 。

DSW 具有世界最大的 MgCl_2 生产厂, 生产能力达 $10 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。产品为片状六水合物 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 。一个典型的化学分析如下: MgCl_2 47% (不小于 46.5%), CaCl_2 2.2% (最大), NaCl 0.8% (最大), KCl 0.5% (最大)。

(2) 死海方镁石公司 (Dead Sea Periclase, 简称 DSP)

由以色列化学品有限集团公司 (Israel Chemicals Ltd Group, ICL) 与奥地利拉迪克斯集团 (Austria's Radex Group, 现为 Veitsch-Radex) 和私人投资者组成的 DSP 公司成立于 1970 年。1983 年拉迪克斯撤股, 如今公司为特拉维夫股票交易所的一家公共公司。主要生产片状阻燃剂氢氧化镁。

工厂位于密索鲁特 (Mishor Rotem), 从 18 km 外沙多姆的姊妹公司 DSW 通过钢管线将高浓度 MgCl_2 卤水输送过来。采用 Aman 法热解氯化镁得到粉状氧化镁和盐酸。副产品盐酸输至

Rotem- Amfert用于生产磷酸。纯度超过 99. 2% ,密度达 3. 44g /L以上的 MgO为最终产品。总生产能力为 95000t/a,现处于满负荷生产状态。其中 70% 以耐火材料用氧化镁销售,其余 30% 为特殊用途氧化镁或阻燃剂 $Mg(OH)_2$

(3)死海镁公司 (Dead Sea Magnesium, 简称 DSM)

DSW 公司占有死海镁公司 65%的股份,德国大众汽车公司 (Volkswagen Ag, Germany)占有 35%的股份。死海镁公司专门生产金属镁。目前其生产能力约为镁锭 25000t/a

(4)死海溴公司 (Dead Sea Bromine,简称 DSB)^[16]

DSB是最近从 DSW 中分出来的一个公司,其 90%股份为 ICL所有。DSB溴的生产能力为 20×10^4 t/a,生产厂在 Sodom。现正在扩大其生产能力至 25×10^4 t/a。大部分溴用于生产各种溴化物,也在欧洲、远东、北美市场销售液溴。它的下属子公司溴化物有限公司 (Bromine Compounds Ltd.),也要将其溴化钙生产能力扩大至 80000t/a。产品主要用在石油和天然气生产中,大部分市场在产油区,如墨西哥湾、北海地区、中东和西亚。它专门生产各种溴衍生物,其生产的甲基溴化合物占世界的 30%。

1. 3大盐湖开发稳步发展

1. 3. 1大盐湖基础数据

大盐湖的某些基础自然地理数据和卤水组成及储量列在表 5中。

表 5 大盐湖基础数据
Table 5 Basic data of the Great Salt Lake

海拔: 1281m	全年平均气温: 10℃	
总长: 120km	最低气温: - 32. 2℃	
宽度: 19- 32km	最高气温: 40. 6℃	
总面积: 3885km ²	平均深度: 5m(最深 12m)	
盐度: 25%	溶解固体总量: 45×10^8 t	
氯化钠 NaCl	18. 84%	$32. 3\times 10^8$ t
氯化钾 KCl	1. 33%	1×10^8 t
氯化镁 MgCl ₂	2. 70%	12×10^8 t
硫酸镁 MgSO ₄	2. 03%	1700×10^8 t
硫酸钙 CaSO ₄	0. 54%	
氯化锂 LiCl	0. 037%	32×10^8 t
三氧化二硼		193×10^8 t
总量	25. 477%	$\sim 45\times 10^8$ t

1. 3. 2大盐湖资源开发的历史沿革

大盐湖位于美国犹它州的北部,是西半球不与海洋相通的最大的湖泊。其开发历史简略总结如下:

- 1776年探险者发现大盐湖
- 1847年有小规模食盐生产

- 1850年建立第一个生产食盐的工厂
- 1870年开始建造盐田,人工走水
- 1888年建立动力站,用离心泵抽湖水灌盐田
- 1880年~ 1915年间大盐湖边有 20多个公司生产食盐
- 1923年将拖拉机用于盐田收盐
- 1932年有钾肥生产

湖面海拔和湖水中盐的浓度随气候而涨落。1983年降雨量比正常年份多一倍,使得湖面上升了 1.5m 以上^[17]。1984年降雨量又超过往年,湖面又上升了 1.5m。洪水的灾害造成了几亿美元的损失,并使得湖水的浓度被冲淡到洪水前的一半。

20世纪 80年代以前共有 7家公司由大盐湖卤水提取盐类。其中 4家只生产食盐,另外 3家生产钾盐或镁盐。到 1981年时有 5个工厂由大盐湖卤水提取盐类,1983- 1984年洪水过后工厂只剩 5家。到 1992年只有 4家公司还在生产。所有的生产工厂都建有盐田,作为从卤水提取盐类的第一步。

蒸发过程第一个饱和析出的是氯化钠,接着是泻利盐、软钾镁矾、钾盐镁矾、光卤石,最后是水氯镁石。冬季结冰时可以使芒硝析出。盐田最终卤水含有 35%的氯化镁,被用来作为生产金属镁、片状水氯镁石、粉尘抑制剂、防冻剂和肥料喷洒剂,还被用于离子交换树脂上。

1.3.3 大盐湖资源开发的近况

大盐湖矿物和化学品公司 (Great Salt Lake Minerals & Chemicals Corp., 简称 GSL) 是利用湖水生产钾盐产品为主的公司。同时也生产各种要求的氯化钠。该公司原来是得克萨斯州休斯顿的海湾资源和化学品公司 (Gulf Resources & Chemicals Corp.) 的子公司,后来又归属于哈里斯化学集团 (Harris Chemical Group Inc.)。最近在北美钾盐企业的一阵兼并风潮中,国际矿物和化学品公司又兼并了哈里斯化学集团。

1963年当时的美国锂公司开始进行小实验,后来该公司并入海湾资源和化学品公司,成为后来 GSL 的一部分。

- 1963~ 1967年进行了三年中试和实验性盐田研究
- 1967年 5月开始修造盐田和加工厂
- 1970年 12月钾盐厂建成
- 1979年建成新的食盐加工厂
- 1983年遭遇到特大洪水,淹没了生产设施,道路也被冲坏,被迫停产
- 1988年已恢复生产

公司现有盐田 2万英亩 (81km^2),被分成 80个不同的蒸发池。湖水从大盐湖北端通过引卤沟渠进入预蒸发池,再经泵将其输至主盐田系统。盐田操作周期为两年,即每年 3月份灌卤,9月份开始收盐到 11月下旬结束。为防止盐田渗漏,池底留 15英寸 (约 38cm) NaCl 作池板。在以后的一系列池中,钾镁盐的析出和采收要另一年的时间。每天从全部盐田上蒸发掉 $4.5 \times 10^8 \text{ kg}$ 的水量。如以火力蒸发考虑,相当于每天烧 59000t 煤。

GSL生产的硫酸钾约 50% 出口到 10多个国家,包括日本、中国,还有几个中、南美的一些国家。该公司正在扩大其生产能力,拟在原来 363000t 基础上增加 $1.7 \times 10^4 \text{ t}$ 。项目还包括一些进卤渠道和池埕等盐田设施。1997年头 9个月出口比上一年同期增加了 40%,其中大部分是出口至

中国

GSL公司的硫酸钾产品既有复合肥料用的颗粒状,还有用于石膏人造板、耐火砖生产、陶瓷以及水软化剂使用的工业级硫酸钾。由于现在越来越多的肥料用硫酸钾倾向于通过灌溉系统施用,使用者希望肥料用硫酸钾能够快速溶解。这一类所谓易溶性细粒硫酸钾,走俏市场。产品颗粒较细,能快速溶解,水不溶物很少(表 6)。GSL公司的易溶性细粒硫酸钾产品指标列在表 6中。

表 6 GSL公司易溶性细粒硫酸钾规格指标和典型分析^[18]

Table 6 Specification and typical analysis of fine- grade potassium sulfate of GSL

项目	指标(%)	某样品分析结果(%)
K ₂ O	52. 0- 54. 0	52. 5
S	17. 7- 18. 0	17. 9
Cl ⁻	0. 05- 0. 25	0. 20
水不溶物	0. 2- 0. 5	0. 40
pH	7. 02- 8. 30	中性

筛析: 70% 通过的泰勒筛目数为 48目

(未完待续)

Comprehensive Utilization of Salt Lake and Related Resources

SONG Pengsheng

(*Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sceinces, Xining 810008*)

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

Keywords Salt lake resources, comprehensive utilization, Potash salt, Lithium salts.