

盐湖资源的开发利用

宋彭生

(中国科学院青海盐湖研究所, 西宁 810008)

摘要 本文首先叙述了国内外盐湖的基本情况, 包括盐湖的分类和分布以及盐湖资源的概况和特点, 然后对国内外盐湖资源开发利用的现状做了较为详细的介绍, 还探讨了我国盐湖资源的开发利用与国外的差距, 就我国盐湖资源开发利用, 从技术思路和管理等不同方面提出了一些好的建议。

关键词 盐湖 盐湖资源 资源利用 钾盐 镁盐

盐湖资源概况

1 盐湖、盐湖的分类和分布

湖泊按其湖水含盐量多寡, 分成四类: 淡水湖(fresh water lake)含盐量 <1 克/升; 半咸水湖(brackish lake)含盐量 $1\sim 35$ 克/升; 咸水湖(saline lake)含盐量 $35\sim 50$ 克/升; 盐湖(salt lake)含盐量 >50 克/升。作为自然地理现象的盐湖, 是在错综复杂的地质条件作用下形成的, 同时也是盐—水物质运动在一定阶段的产物。盐湖水中蕴藏有许多重要化学成分, 是多种无机盐类的重要来源。

我国是一个多盐湖的国家。北起东北的大兴安岭南端, 沿长城内外阴山山脉—祁连山脉东端冈底斯山脉一线的北部现代盐湖十分发育, 形成了中国的盐湖分布带, 有一千多个盐湖坐落其中。西藏、青海、新疆、内蒙是我国盐湖分布最集中的四大省区。其中尤以号称世界屋脊的青藏高原, 盐湖星罗棋布, 雪山与湖水相辉映, 使奇特的高原自然景观更加壮丽, 形成了世界盐湖主要分布区之一。青海省柴达木盆地素有“盐的世界”之美称, 其中仅察尔汗盐湖区面积即达 5856 平方公里, 是世界上第二大的盐湖。我国盐湖的分布情况如图 1 所示。

我国盐湖以数量多、面积大、类型齐全、湖水稀有元素含量丰富而著称于世。盐湖一般按其卤水的化学组成, 分为三种化学类型: 氯化物型、硫酸盐型、碳酸盐型; 而硫酸盐型又分成硫酸镁亚型和硫酸钠亚型两种, 因而亦称四种化学类型。上述几种类型的盐湖我国都有分布。每种类型的盐湖卤水除主要成份氯化钠外, 由于其它共存成份之差异或各成分浓度间比值的不同, 可能共生的盐类矿物种类也不相同。这些差异一方面表明了盐湖形成时主要物质来源不同、盐湖的演化过程及其终结不同, 另一方面在开采利用这些盐湖时, 所采用的工艺过程不同、可以获得的化工产品种类亦不相同。例如, 由氯化物型盐湖难以直接获得硫酸钾。我国青藏高原上许多盐湖卤水中皆富含硼、锂, 其化学组成和化学行为都具有新的特点。

盐湖是天然水系在特定环境中由成盐元素不断积累而形成的。根据范特霍夫的观点, 地球的盐类的沉积作用是海水体系多相平衡的结果。地表的一切盐类矿层的来源是海水, 由海水中的盐类形

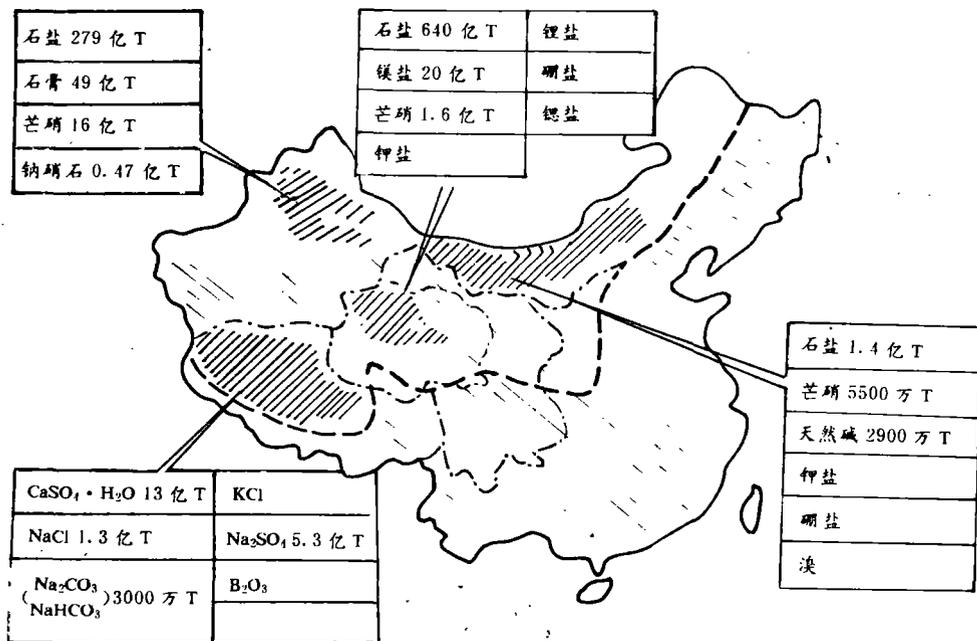


图 1 中国盐湖分布略图

成了盐类矿床、盐湖和地下卤水。在地球表面上发生的许多表生作用—岩石的风化，大气降水，物质的搬运、聚集以及其它地壳运动等构成了盐湖形成的综合地质条件。现代盐湖的分布明显地反映出盐湖形成的历史以及构造、地形、气候、物质来源、水化学特征等因素的影响，因而在地理上经常具有分带聚集性。在我国内蒙以碳酸盐型盐湖为主，新疆以硫酸盐型盐湖为主，青海柴达木盆地则以硫酸镁型—氯化物型为主，而西藏则为碳酸盐—硫酸盐型为主。

2 盐湖资源及其特点

现代盐湖资源一般都包括有盐湖卤水液体矿藏和盐类沉积固体矿藏两种。盐湖卤水则又有存在于盐湖表面上可以看到的湖表卤水和存在于盐类沉积晶体孔隙之间的晶间卤水两种赋存状态。大多数情况下盐湖资源是液固体二相共存的矿藏，这是盐湖资源与其它金属矿藏、非金属矿藏、煤矿、石油、天然气等资源明显不同的一个特点。就盐湖资源的化学成分而言，不论那一种类型的盐湖，在资源的储量中食盐都是数量最大的。其它化学成分则随着盐湖类型之不同而有所不同。主要有镁、钾、钙等的氯化物和硫酸盐。盐湖资源中的微量成分主要是稀碱金属锂、铷、铯、锶、硼、溴、碘等。根据我们的研究结果，已经从青藏高原盐湖卤水检测出 65 种元素。特别要指出的是，青藏高原上的盐湖一般都含有较高浓度的硼和锂，可谓稀有成分不稀有。

由于现代盐湖大多分布在蒸发量大降雨量少的气候干旱地区，这就决定了盐湖资源开发中充分利用自然能的必要性和可能行。这里的自然能包括有太阳能、风能、冷能等。因而盐湖资源开发工艺中，盐田技术便自然成为一个重要组成部分。以色列为利用死海卤水生产氯化钾，建造了面积达 130 平方公里的大盐田。由于湖边缺乏合适的土壤用来修造盐田，这巨大的盐田是在盐湖之上修堤围湖而建造的。美国在三十年代开发西尔斯盐湖时，卤水都是输至车间多效蒸发器中进行浓缩的，当时经济效益很好。但近年来能源费用上涨，经济效益日趋减少。七十年代后期西尔斯湖的凯尔玛基公司也修建了盐田（4.86 平方公里），利用太阳能进行廉价的浓缩。

此外,湖区的自然条件也给人们生活和生产带来许多不便.例如我国盐湖的四大分布区域西藏、青海、新疆、内蒙都属于这种地区,而且多为海拔高、交通不便,经济技术不发达、社会发展较迟后的边远地区.这就给盐湖资源开发带来许多先天不足之处.例如销售产品需较长距离的交通运输,生产所需的技术保障条件整体水平较低,人员的生产和生活条件较差等.

3 我国的盐湖资源

我国四大湖区的盐湖资源各不相同,各有特点.柴达木盆地共分布有盐湖 27 个,干盐湖 6 个,盐湖资源最为丰富.据不完全统计,柴达木盆地蕴藏有食盐 2094 亿吨、氯化钾数亿吨、镁盐数十亿吨、芒硝矿数十亿吨、石膏矿数百亿吨、硼矿、天然碱矿、天青石矿、溴、碘若干万吨.据称柴达木盆地盐湖资源如仅开发出初级产品,其产值即可达到 12 万亿人民币.世界主要盐湖蕴藏的盐类资源的储量如表 1 所列.表中同时还列有盐湖的一些地理数据:湖面海拔高度、面积、水深等,以供参考.

表 1 世界主要盐湖的情况和盐湖盐类资源储量(吨)

	死 海	大 盐 湖	西尔斯湖	阿塔卡玛	察尔汗
湖面海拔	-400	1280	512	2300	2900
面 积	1000	3600	1000	1400	5882
湖水水深	329	<5	晶间卤水	晶间卤水	晶间卤水
KCl	20 亿	1 亿	2850 万	1.1 亿	数亿
NaCl	120 亿	32.3 亿	—	—	数百亿
MgCl ₂	220 亿	12 亿	—	1.2 亿	数十亿
MgSO ₄	—	1700 万	—	—	—
LiCl	1700 万	322 万	26.6 万	280 万	* * * 万
CaCl ₂	60 亿	—	—	—	—
CaSO ₄	1 亿	—	—	—	—
MgBr ₂	10 亿	—	—	—	* * 万
B ₂ O ₃	—	193 万	3000 万	1580 万	* * * 万
WO ₃	—	—	7.5 万	—	—

注:湖的面积单位为平方公里,湖面海拔和湖水水深单位为米.

表 2 世界主要湖盐的开发利用情况

盐湖名称	投产年代	生产工艺技术	产品种类和规模
西尔斯湖 (美)	1917	相分离技术, 溶剂萃取	氯化钾 20 万吨;硫酸钾 10 万吨;碳酸钠 140 万吨 氯化钠 50 万吨;硫酸钠 50 万吨;硼砂 20 万吨
大 盐 湖 (美)	1932	相分离技术,复 分解转化,盐田	硫酸钾 15~20 万吨;水氯镁石 5~10 万吨 氯化钠 10 万吨;硫酸钠 15 万吨;金属镁 3.6 万吨
死 海 (以色列)	1930	相分离技术,盐 田,浮选,冷结晶	氯化钾 200 万吨;硫酸钾 10 万吨;溴 10 万吨;溴化合物 20 万吨;氯化镁 7 万吨;盐酸 7.5 万吨;硝酸钾 80 万吨
死 海 (约旦)	1956	盐田,冷分解,浮 选,热溶结晶	氯化钾 120 万吨;复合肥料 30 万吨
阿塔卡玛 (智利)	1985	相分离技术,盐 田,浮选,复分解	氯化钾 52 万吨;硫酸钾 10 万吨;硼酸 3 万吨;碳酸锂 0.64 万吨;硝酸钾 19 万吨;硫酸钠;碘 6000 吨
察 尔 汗	1958	盐田,冷分解浮选	氯化钾 15~20 万吨;水氯镁石数万吨

盐湖资源的开发利用

1 国外盐湖资源开发利用的现状

盐湖资源中的主要化学成份是碱金属、碱土金属的卤化物、硫酸盐、硼酸盐、碳酸盐、硝酸盐等.因此,盐湖资源开发利用的初级产品,主要就是上述化合物和某些单质.目前世界上由盐湖资源开发出的初级产品近三十种主要有:氯化钠、氯化钾、碳酸钠(以上产品年产量皆在百万吨级以上);硫酸钾、硼砂、硫酸钠、溴及其化合物(以上产品十万吨级以上);氯化镁、氧化镁、盐酸、金属镁、硼酸(以上产品万吨级以上);碳酸锂(千吨级以上).总量超过 830 万吨.此外,与湖区其它资源一起加

工处理获得的产品还有石膏、磷酸盐、硝酸钾等。可以看出,除食盐这一特大宗产品外盐湖资源开发利用中的‘特色’产品是钾盐、镁化合物、硼酸和硼酸盐、溴(碘)、锂化合物等。表 2 汇总了世界上几个典型盐湖的开发利用简况。表 3 给出某些盐湖化工产品的主要用途。

表 3 某些盐湖化工产品的主要用途

品名	用途
NaCl	食品工业、化学工业、医药卫生、民用、公路用
NaCl 卤水	油田用、化学工业用、制碱
烧碱	造纸工业、化学工业、人造纤维、洗涤剂、石油精炼、纺织品
纯碱	玻璃工业、化学工业、纸张和纸浆、水软化、石油精炼
碳酸氢钠	食品工业、医药、灭火剂、清凉饮料
硫酸钠	造纸工业、玻璃工业、洗衣粉制造、人造纤维
金属钠	冶金工业、有机合成、合成橡胶、化学工业、
氯气	塑料制造、化工溶剂、农药、漂白剂、消毒剂
氯化氢	盐酸制造、有机合成
氯酸钠	造纸工业、烟火、其它氯酸盐
氯化钾	肥料、化学工业、其它钾盐制造
硫酸钾	无氯钾肥、化学工业、玻璃、药物
钾碱	脱水剂、特殊玻璃、肥皂制造、陶瓷、印染、电镀
碳酸钾	印染、玻璃、肥皂、肥皂粉、化学试剂
氯化镁	镁水泥制造、电解金属镁、公路用、灭火剂、造纸
硫酸镁	医药、棉、丝纺织、抛光粉、绝热材料、皮革工业
碳酸镁	药物、牙科磨料、化妆品、抛光粉、橡胶添加剂
氢氧化镁	药物、建材、制糖工业
氧化镁	耐火材料、造纸、化学品
金属镁	冶金工业、合金制造、闪光灯、照明弹、建筑材料
硼酸	医药、玻璃工业、搪瓷、防腐剂、化妆品
硼砂	玻璃、陶瓷、搪瓷、熔剂、洗涤剂、绝缘材料、焊药
硼化合物	阻燃剂、涂料、木材防腐、玻璃工业
锂化合物	空调用、冶金工业、润滑、合金制造、药物
溴化合物	医药、化学工业、抗震剂、精细化工、染料
碘化合物	医药卫生、有机合成、感光材料、染料、催化剂
氯化钙	公路用、脱水剂、净水剂、防冻液

世界上最早被开发利用的盐湖是西尔斯湖。该湖是一个碱湖(碳酸盐型盐湖),位于美国加利福尼亚州东部干燥的沙漠地区。1917 年即开始从该湖的晶间卤水中生产氯化钾和硼砂。1958 年在 Trona 建立了第一座现代化的工厂。当时生产的钾盐可供应美国钾肥需要量的 40%。现在产品有氯化钾、硫酸钾、碳酸钠、氯化钠、硫酸钠、硼砂、硼酸、磷酸、锂化合物等。西尔斯盐湖卤水组成复杂,其加工过程的实质是,将卤水蒸发至干,通过分步结晶而将各成分分离。这是在 Teeple 博士主持下完成了著名的九组分体系的相平衡研究后才得以实现的。由于其卤水综合利用程度高,经济效益一直不错。七十年代后也受到世界性能源危机的冲击。凯尔玛基公司于七十年代后期也在西尔斯湖边修建了面积达 4.86 平方公里的盐田,以便利用太阳能进行卤水的浓缩。该湖生产的碳酸钠、硼化合物在美国有重要地位。

中东的死海亦位于干燥的沙漠地带。它是世界上湖水量最大的盐湖水体。以色列于 1930 年即开始在死海北端建厂,从死海卤水中生产氯化钾和溴。后来发现死海北端的地形,不适于建造大面积的盐田。于是 1934 年第二个钾盐厂在死海南端的沙多姆兴建。约旦亦于 50 年开始从死海中生产氯化钾。目前由死海生产出的化工产品数量最大。两国产量的总和已接近 500 万吨。死海湖滨缺少适于修建盐田的土壤,两国分别在湖上修堤围湖建造盐田,盐田总面积达 230 平方公里之巨。采用的生产氯化钾工艺有冷分解—浮选法,热溶结晶法,冷结晶法等,以色列在死海的公司是目前世界上钾盐生产水平最高的。死海工厂的综合利用情况如图 2 所示:

位于美国犹它州的大盐湖是世界第三大盐湖。从 1880 即有工厂利用湖水生产氯化钠。30 年代开始生产硫酸钠。60 年代建厂生产金属镁和钾盐。现在年开采盐类总量达七十万吨左右。曾进行过

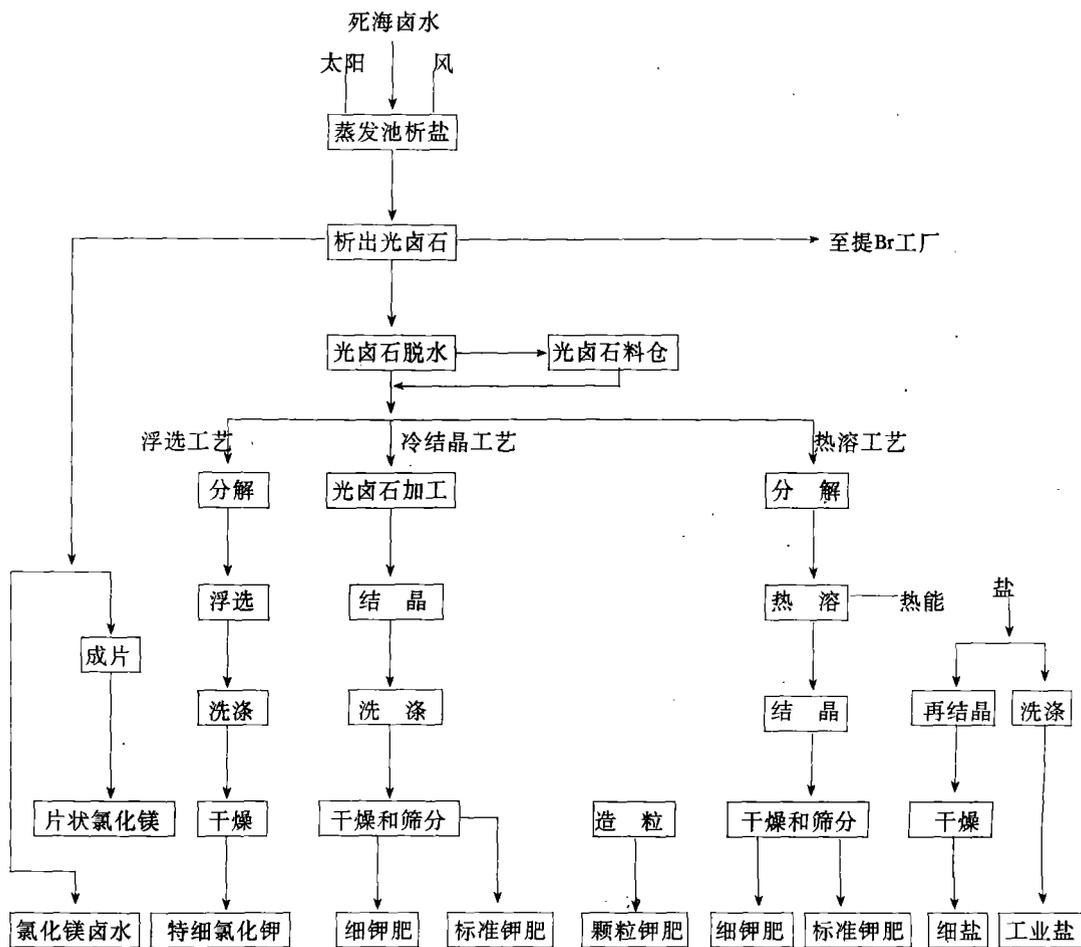


图2 死海工厂生产工艺流程图

提取锂盐的研究,但尚未实现工业化.1984年发生特大洪水,不仅淹没了生产设施,道路也受损坏,被迫停产.到1988年才恢复生产.大盐湖矿物和化学品公司目前硫酸钾的产量已达20万吨/年,计划于1994年将其提高到35~36万吨/年、盐产量提高到140万吨/年.相应的盐田面积再扩大65~69平方公里.这些工作将于1993年完成,到那时大盐湖矿物和化学品公司将成为世界上最大的硫酸钾生产者.大盐湖镁公司是西方世界第三大镁的生产者.利用盐田将湖水浓缩到镁含量达7.5%,以氯化钙除去硫酸根、溶剂萃取除硼.然后将卤水喷雾干燥得粉末状无水氯化镁.电解得高纯金属镁.大盐湖矿物和化学品公司的盐田生产工艺,是利用复杂的水盐体系相平衡关系,分步结晶获得所需的混合盐类.再进一步加工成各种产品.图3是从混合盐生产氯化钾和硫酸钾的一种流程.

智利的阿塔卡玛盐湖亦为干盐湖.1982年才开始建厂开发,但进展速度很快,1985年投产,以后又扩大了产量和品种.智利锂公司利用阿塔卡玛盐湖的晶间卤水,生产碳酸锂.1989年产量为9000吨,1990年可达11800吨.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至阿塔卡玛盐湖.同时还利用盐湖资源和阿塔卡玛荒漠中的生硝生产硝酸钾、碘、硫酸钠、硫酸钾等. Soquimich公司正在扩大生产能力,预计1995年碘产量达到8000吨,将成为世界最大的碘生产者.

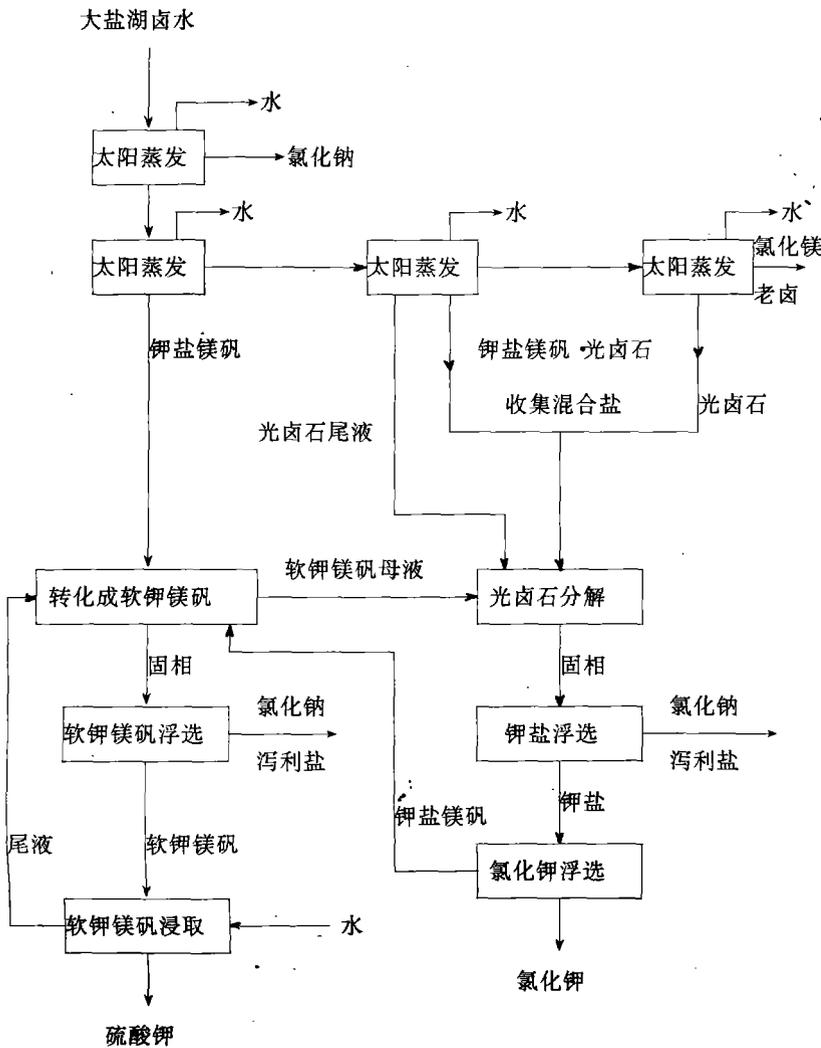


图3 大盐湖矿物和化学品公司从混合盐生产氯化钾和硫酸钾工艺流程

此外阿塔卡玛矿物公司也决定建立氯化钾和硫酸钾厂，生产能力分别为 55 万吨/年和 22 万吨/年，预计 1993~1994 年投产。利用阿塔卡玛盐湖晶间卤水生产的工艺流程见图 4。

2 我国盐湖资源的开发利用及与国外的差距

目前我国已开发利用的盐湖有 30 个左右，但一般说来生产规模较小，产品种类也较少。最大的生产厂是青海钾肥厂。该厂利用察尔汉盐湖的晶间卤水为原料，采用大面积深水盐田晒制光卤石矿，作为生产氯化钾的原料。采用中国科学院青海盐湖研究所研究出的冷分解—浮选工艺，生产肥料级氯化钾。一期工程设计生产能力为 20 万吨/年，业已投产两年，大大缓解了我国国民经济各部门对氯化钾的需求。计划中的二期工程拟增加 80 万吨/年的生产能力。此外，该厂还利用生产光卤石后的老卤，继续日晒生产数万吨水氯镁石。供应生产镁水泥制品的厂家。晶间卤水中含有的其它成分如锂、硼、溴等，目前都没有被利用。青海柴达木盆地茶卡盐湖和柯柯盐湖都生产湖盐。冷湖地区利用昆特依盐湖和钾湖的盐类资源也生产食盐、芒硝、元明粉和钾肥。目前，青海省各盐湖年产

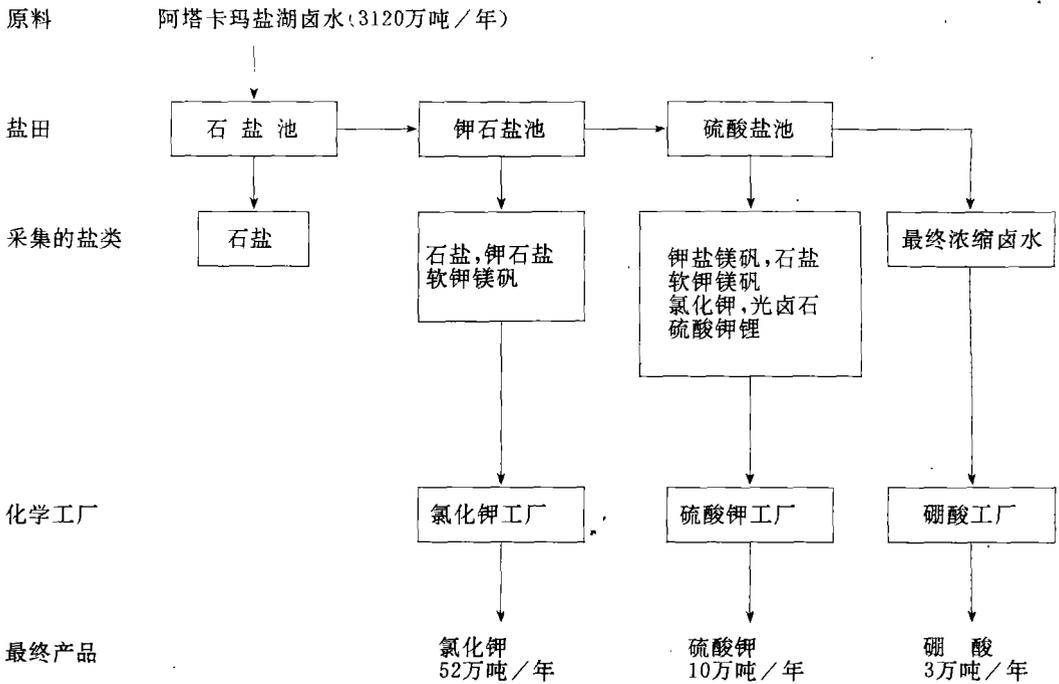


图4 阿塔卡玛盐湖卤水生产钾盐和硼酸工艺流程

湖盐总量达到120万吨/年. 新疆自治区的盐湖主要生产食盐、芒硝、元明粉, 芒硝经再加工生产少量硫化碱. 内蒙的盐湖亦主要用来生产食盐、芒硝(或无水硝). 此外, 山西、陕西、宁夏地区也小规模用盐湖卤水生产食盐. 就盐湖固体矿资源的利用情况而言, 主要还是开采湖盐, 目前全国湖盐企业有68个. 青海省的小柴旦盐湖、西藏的班戈湖、杜加里湖的湖滨硼矿都已进行开采加工, 生产硼砂. 但由于不了解液固相共存矿床的开采技术, 加之缺乏科学的管理, 保护矿床不够, 资源遭到破坏. 小柴旦湖滨硼矿目前富矿业已开采殆尽. 贫硼矿的加工工艺还存在一定问题, 使生产厂家无原料可用, 生产厂家本身陷入困境. 内蒙自治区的合同察汗淖则利用该湖的天然碱沉积矿加工生产重碱和颗粒碱.

在‘七五’期间, 国家曾安排有‘七五’重点科技攻关项目75-37“青海盐湖提钾和综合利用研究”, 下设四个课题包括25个专题. 全国有44个单位4000多科研人员参加了这一攻关项目. 经过团结奋战协作攻关, 很好的完成了攻关项目, 于1991年初国家进行了验收. 经专家评定, 有7项达到国际先进水平, 11项国内领先, 取得了一批可喜的成果. 其中完成了6大项中间试验, 对小实验成果尽快转化为生产力、取得经济效益, 具有极重要的意义. 完成的中间试验计有:

- 1) 光卤石溶解重结晶制取氯化钾和低钠盐中试(37-02-03)
- 2) 离子膜电解法制氢氧化钾中试(37-03-01)
- 3) 离子膜电解法制碳酸钾(碳酸氢钾)中试(37-03-02)
- 4) 硼酸和氯化锂中试(37-03-03)
- 5) 硼酐中试(37-03-05-02)
- 6) 镁水泥中试(37-04-04)

此外还有多项扩大试验、对工业生产有直接指导作用的工程方面的研究和新工艺的研究等,使我国盐湖科技的水平有了明显提高。

目前,我国盐湖液、固体资源的开发利用与国外盐湖资源开发利用先进的国家相比,从整体上看,还相当落后。这主要表现在以下几个方面。(1)盐湖化工产品的产量太少,品种有限。美国西尔湖有10种基本产品供应市场;智利阿塔卡玛盐湖也有7种基本产品。至于一些大公司产品的品种更多,以便满足市场不同用户的需求。例如美国大盐湖矿物和化学品公司有72个品种的产品可供应市场,能满足各种不同用户的需要。目前我国从盐湖中开发的产品,除食盐产量较大外,肥料级氯化钾年产只有20万吨,只相当约旦(从死海)生产钾肥量的1/6。经济作物用的无氯钾肥硫酸钾还没有生产。(2)生产工艺落后,自动化程度低,管理水平差距更大,因而经济效益差。钾肥的生产工艺,只相当以色列五十年代至六十年代初的水平。(3)综合利用程度低,没有在一次加工过程中将有用成分尽量多的提取出来。青海钾肥厂生产钾肥后母液(老卤)含有的硼、锂等均未加以提取,而是被排放到50公里以外的南霍布逊湖中。(4)盐湖化学化工的科学技术水平低。由于多种原因,从研究到投产的周期太长。我国的大柴旦盐湖与智利的阿塔卡玛盐湖组成极其相似,早在五十年代我国科技人员即开始对大柴旦盐湖进行科学考察,于六十年代初提出生产硼酸和碳酸锂的方案,并于六十年代中期进行了现场扩大试验,至今尚未有产品投入市场。智利于1969年才首次对阿塔卡玛盐湖进行勘探,于1975~1979年进行开发研究。1982年与美国合资建厂,1985年投产。其研究建厂周期仅10年。

从以色列死海工厂开发利用死海的历史,可以看到他们是如何依靠科学技术而发展起来的。五十年代初到六十年代中期,以冷分解浮选法生产钾肥。由于浮选法生产的氯化钾颗粒细,易结块,产品质量不高,市场销售不利。该厂于1964年搞了热溶结晶法,提高产品质量,并同时扩大了生产能力,达到100万吨/年,还开展综合利用,生产溴产品。到了七十年代中期,由于受世界性能源危机的影响,在1979年他们又发展了冷结晶工艺。该工艺产品质量介于热溶结晶法和浮选法之间,即降低了能耗,又扩大了产量,达到200万吨/年。目前该厂已成为大规模综合性现代化生产企业。占地150平方公里,人员1200名。产品有氯化钠(44万吨/年,餐桌用盐、工业用盐、浴用盐),氯化钾、高纯氧化镁、高纯镁砂(7万吨/年)、磷肥(重钙18万吨/年)、磷酸、磷钾复合肥(33万吨/年)、氯气(7万吨/年)、烧碱(9万吨/年)、硝酸钾等。以色列盐湖化工是当前世界水平最高的。它之所以持续发展不衰,关键在于不断创新、不断引入新工艺、新技术。下面列举的是他们在盐湖化工方面所开创的一些新工艺技术:

- 铝酸盐沉淀法从卤水中直接提锂新工艺(1962)
- 提溴工艺中的多溴化物吸收法(1963)
- 直接在盐湖上围湖造盐田的技术(1965)
- 最先采用冷分解—热溶法从光卤石矿生产氯化钾的工艺(60年代)
- 在氨溶液中由石膏和氯化钾反应生产硫酸钾的新工艺
- 由氯化钾和硝酸反应使用有机溶剂萃取法生产硝酸钾的工艺
- 冷结晶法从光卤石矿生产氯化钾的新工艺(1979)

3 某些系列产品的开发利用情况:

1) 钾系列产品

氮、磷、钾是植物生长三大营养元素。盐湖资源中的钾盐是重要的化肥之一,在农业和工业上具有广泛的用途。我国盐湖化工产品中按其重要性,首推氯化钾。它是一种大宗消耗的化学肥料。据我国农业部门预测,到2000年,我国对化肥的需要量(折纯)为3050~3265万吨。 $N:P_2O_5:K_2O=$

1 : 0.5 : 0.25. 但我国 1990 年实际产量只达到 1900 万吨($N+P_2O_5+K_2O$), 缺口很大. 世界近几十年来由于农业的高速发展, 钾肥产量不断提高. 1990 年世界钾盐总产量达到 4900 万吨(以 KCl 计; 若以 K_2O 计, 为 2740 万吨). 其中 96% 为氯化钾, 4% 为硫酸钾. 目前世界有美国、独联体、德国、加拿大、法国、西班牙、以色列、约旦、智利、中国等 13 个国家生产钾肥, 约 50 多矿山. 据称生产能力大于市场需求. 我国 1988 年钾盐总产量仅 4 万吨(以 K_2O 计, 下同), 占世界总产量的 0.13%. 1989 年我国生产钾肥 5.67 万吨, 氯化钾 6.42 万吨, 硫酸钾 118 吨. 远远不能满足农业生产和工业的需要, 只得依靠进口来弥补一部分. 对于许多经济作物甚为重要的无氯钾肥产量太少. 1987 年我国在钾肥用量中, KCl 占 75%, K_2SO_4 占 1%, 复肥占 24%. 目前国内在建中的硫酸钾厂多家, 例如云南氮肥厂(1.2 万吨产品)、云南磷肥厂(1.2 万吨产品)、山西运城盐化厂(5 万吨产品)、陕西红星化工厂(4 万吨产品)、青海格尔木硫酸钾厂(1 万吨产品)、格尔木农场(1 万吨产品). 1987~1992 年我国氯化钾和硫酸钾进口情况如表 4 所列. 目前我国还没有硫酸钾的国家标准, 现将美国两厂家及前苏联硫酸钾的技术标准列出, 以供参考.

表 4 近年来我国氯化钾和硫酸钾进口情况

		1987	1988	1989	1990	1991	1992
KCl	万吨	167	199	112	207	243	244.4
K_2SO_4	万吨	10	20	31	67	42	52.2

进口氯化钾到岸价格(1992 年)为: 114.5 美元/吨;

进口硫酸钾到岸价格(1992 年)为: 235.9 美元/吨;

表 5 有关硫酸钾的某些技术标准

化学成分	标准级	标准级	颗粒级	TY6-13-12-79*	TY113-13-17-83*	
	D	FW			1 级	2 级
	%	%	%	%		%
K	43.50	43.08	43.50			
Na	1.10	0.95	1.10			
Mg	0.08	0.08	0.08			
Ca	0.02	0.06	0.02			
Cl	1.55	1.92	1.55	≤3.0(干基)	≤2.0	≤3.0
SO_4	53.03	53.59	53.03			
H_2O	0.02	0.02	0.02	≤5	≤0.1	≤0.1
水不溶物	0.50	0.30	0.50			
以 K_2O 计	52.40	51.90	52.40	≥46	≥50.0	≥48.0
$HKSO_4$ ‡					≤1.5	≤3.0
粒度**	%	%	%	外观: 小颗粒, 白带微黄色	外观: 带微黄色的 松散白色晶体	
6			1			
8			25			
10			65			
14	5		90			
20	20	5	99			
28	33	7				
35	45	10				
48	55	15				
65	65	30				
100	75	60				
150	80	90				
堆密度‡						
松散堆积	86	74	78			
紧密堆积	100	90	82			
静止角	40°	40°	34°			

* 引自文献[18], 似有误, 待核对原文; ** 泰勒筛制, 累计百分数;

D 美国钾碱公司德克萨斯州杜玛斯厂; FW 美国钾碱公司德克萨斯州沃司福特厂;

‡ 英制单位, 磅/立方英尺; # 以 H_2SO_4 计.

2) 镁系列产品

镁是盐湖资源中储量较大的一种成分,也是地球上丰度高的元素之一.它在地球中占第八位.但地壳上有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.世界菱镁矿($MgCO_3$)总储量约120亿吨矿物量,溢晶石($CaCl_2 \cdot 2MgCl_2 \cdot 12H_2O$)40亿吨矿物量.而单单死海中含有的镁即达220亿吨(以 MgO 计).但世界上盐湖资源中镁的利用程度还远远不够.例如,镁化合物中应用量最大的氧化镁中,3/4来自菱镁矿,余下的1/4大部分是来自海水.对于生产钾肥来说,不论盐田采收光卤石后的老卤还是光卤石分解母液中,都含有大量氯化镁(一般可达400克/升).如不恰当的解决其利用或处理问题,将影响钾肥生产的正常进行,而产生“镁害”.1973年以色列死海方镁石公司采用奥地利Andritz公司Ruthner分公司的喷雾设备热解氯化镁溶液,开始生产高纯镁砂和盐酸.镁砂纯度可达99.2%,体积密度达3.45克/立方厘米.其它一些国家也相继采用了这种技术.镁的各种制品的消耗中,数量最大的是耐火材料级氧化镁.美国在八十年代初消耗量即达100万吨/年,日本也消耗60万吨/年.据1986年统计,美国市场上有53种镁盐产品.镁的化学品主要有,各种级别的氧化镁、氢氧化镁、氯化镁、硫酸镁、碳酸镁、硝酸镁、硅酸镁以及金属镁等.

表6 含硫酸镁的某些产品的技术标准

	TY6-13-11-79 (钾镁矾)		TY113-13-7-82 (钾镁精矿)		TY6-18-153-82(泻利盐)	
	非粒状	粒状	非粒状	粒状	A型	B型
化学成分(干基)	%	%	%	%	%	%
KCl \geq	28	28	17.5	17.5		
MgCl $_2$ \geq	8	8	9.0	9.0	1.0	2.0
Cl \leq	15	15	20.0	20.0		
H $_2$ O \leq	7	12	4.0	4.0		
MgSO $_4 \cdot 7H_2O$ \geq					2.5	3.0
NaCl \leq					90.0	88.0
水不溶物 \leq					4.0	5.0
粒级百分比,%					3.0	4.0
>20 mm	—	0	—	—		
>10 mm	—	10	—	—		
>7 mm	—	—	—	—		
>5 mm	—	20	—	10		
4-7 mm	10	>4mm	—	10		
1-4 mm	30	—	30	—		
<1 mm	10	—	10	—		
不成粒的,%	75	—	46	—		
松散度 \geq	99.5	—	100	—		
外观	粒状,白色,粉红色或灰色	不规则颗粒,粉红色或灰色				

引自文献[18],似有误,待核对原文.

我国辽宁省蕴藏有高品质的菱镁矿资源,生产的氧化镁制品,除国内需要外,尚有一定数量的出口.据1985年统计,我国镁盐生产厂家有40多家,品种16个,总产量达13万吨.但在国内,镁制品仍然有很大的潜在市场.冶金工业所用的高纯镁砂,仍旧依赖进口.农业上,镁肥对作物有明显的增产作用.日本每年农业上施镁肥20万吨,其中硫酸镁近5万吨,主要用于叶面喷洒.含有钾、镁的硫酸盐复盐,如软钾镁矾、钾盐镁矾、无水钾镁矾,乃至硫酸钾、镁的混合盐都可以作为复合肥料使用.表6中亦列举了由天然卤水制得的泻利盐和含硫酸镁的某些产品的技术标准,供参考.目前我国还没有这类产品的标准.此外,经过表面处理的氢氧化镁,作为阻燃剂;氯化镁作为化雪剂;以及医药用、水处理用、食品添加剂、烟尘脱硫等,镁化合物的应用前景十分广阔.我国青海省察尔汉盐湖蕴藏有27亿吨氯化镁.为充分利用这宝贵的资源,在“七五”重点科技攻关项目中,曾对镁水泥和

水氯镁石综合利用开展了大量研究工作,今后还应该组织力量,为开发和推广镁制品继续努力。

对我国盐湖资源开发利用的建议

我国盐湖资源开发利用总的原则应该是,积极开发盐湖资源,满足国民经济各部门、各行业的需要。根据市场需要来安排盐湖资源的开发和产品的生产。为此,在我们现有盐湖资源开发的基础上,要努力提高工艺技术水平,开发更多的品种。同时要建立灵活的管理机制,提高管理水平。

1 必须提倡大“盐化工”,大搞综合利用

如前所述,盐湖资源是含有多种成分的液、固体矿床,这是盐湖资源的特点。虽然氯化钠是其主要成分,但必需着眼于整个资源,全面开发各种有用成分。不管从资源开发的合理性,工艺技术的合理性以及经济效益的合理性来看,都应如此。同时还必需改变“盐化工”只是氯化钠及其再加工工业的观点,必须提倡大“盐化工”的全局观点。把盐业资源开发出的一切化工产品及其再加工,都包含在“盐化工”的范围内,走出小圈子。我国溴素工业近年来的长足进展,是在原有单一品种单质溴生产的基础上,积极开发了30种溴化物之后,才取得的。它不仅满足了我国各部门如石油、化工、农业、医药、化学试剂、感光材料、灭火剂、阻燃剂等多方面对溴化物的需要,反过来也大大促进了单质溴生产的发展。使溴的年产量从1965年的不足千吨,激增到1992年的23500吨以上的生产能力。初步解决了我国溴素及其化合物供不应求的局面。

虽然充分利用自然能—太阳能、风能、冷能,对盐化工生产有重要意义。但要搞大“盐化工”,还必须摆脱“靠天吃饭”的思想。要充分利用现代化学工业的一切先进工艺技术于盐化工业中,使传统的制盐业,科学化、现代化。

2 大力加强盐湖资源开发,建立系列产品基地

我们应根据我国盐湖资源的特点和市场的需要及工艺技术优势,对盐湖资源因地制宜地加以开发利用。即要开发龙头产品,又应努力建设系列产品基地,真正发挥盐湖资源的优势。察尔汗盐湖蕴藏的钾盐储量占我国钾资源的96%以上,镁盐储量占99%以上。且青海钾肥厂已具有20万吨/年的生产能力,在全国钾肥生产中占主导地位。目前国家正在积极安排兴建青海钾肥厂二期工程。因此青海省有极为有利的条件,建成我国钾系列产品基地。除主要产品氯化钾外,要大力抓硫酸钾、碳酸钾、碳酸氢钾、氢氧化钾、氯酸钾等钾系列产品生产。新疆则应积极建设芒硝、硫酸钠、元明粉、硫化碱系列产品基地。内蒙—天然碱、芒硝和食盐系列产品基地。但不管哪个盐湖,开发盐湖资源,都必需走综合利用的道路。对于非主要系列的产品,也要精心组织生产。

3 积极推广已有科研成果,促进科研成果向生产力转化

如前所述,国家‘七五’重点科技攻关项目“青海盐湖提钾和综合利用研究”中,取得了一批可喜的成果。为了充分利用这些研究成果,以加速我国盐湖化工的发展,应从中选出某些最具发展前景的项目,尤其是已完成一定规模的中试成果,国家继续加以安排,开展工业试验研究,以便进一步转化为生产力。例如下列几项:

(1) 利用青海盐湖资源制取硫酸钾的工业试验

‘七五’攻关项目中已完成小试、扩试、中试,该工艺具有国际先进水平。国内对硫酸钾的需要达百万吨以上,进口日益增加(1988年17.6万吨,1989年31.8万吨,1990年66.6万吨),而国内生产能力不足1万吨。应进行5000~10000吨级工业规模试验,以利用青海盐湖资源生产硫酸钾,满足国内各行业的需要。

(2) 大柴旦盐湖饱和氯化镁卤水制取硼、锂小型生产或工业试验

‘七五’攻关项目中已完成大柴旦盐湖饱和氯化镁卤水提取硼酸和氯化锂中间试验,这是对大柴旦盐湖卤水综合利用首次完成的中间试验,已获得了硼酸和氯化锂产品,可在原中试车间基础上组织小规模生产,或者进行工业试验,以便进一步完善工艺流程,获取建设大厂所需的设计数据。

(3) 柴达木盆地察尔汗盐湖老卤制取硼酸、碳酸锂综合利用工业试验

‘七五’攻关项目中已完成从老卤中提取硼酸、碳酸锂的多项小试以及部分扩试、中试,工艺具有国际先进水平。目前察尔汗盐湖年产 24 万吨钾肥,排出的老卤中含硼酸 1.6 万吨,碳酸锂 0.6 万吨。如回收其中的一半,产值即已超过钾肥本身,还可以节省目前将老卤排放到 50 公里以外所需的操作费用,避免了对生态和环境的破坏。可安排进行 300 吨/年硼酸、500 吨/年碳酸锂老卤综合利用工业规模试验。

(4) 镁水泥和水氯镁石综合利用研究

‘七五’攻关项目中已完成有关镁水泥研究课题,包括物化基础、制备工艺和中间试验等。由卤水中每生产 1 吨钾肥所得老卤中可获得 10 倍量的水氯镁石。对这样大量的水氯镁石应充分加以利用,否则将影响钾肥的生产。进行镁水泥和水氯镁石综合利用后可增值 20 多倍。盐湖镁资源,目前尚无大宗对路产品,镁系列产品用量都比较小。我们应提倡多途径多渠道利用镁资源,开发多种用途的镁产品。例如,镁水泥制品、高纯镁砂、金属镁、铝镁合金等。

(5) 采卤过程中水动态水化学变化规律和自动监测系统研究

‘七五’攻关项目中已进行过青海钾肥厂一期工程首采区采卤过程中卤水水动态水化学变化规律和自动监测系统研究,取得国际先进水平的科研成果。应在青海钾肥厂二期工程采卤区,开展更加深入的研究。二期工程拟抽取别勒滩湖段卤水为原料,抽水量更大。但该湖段的水文地质资料缺乏,为确保青钾二期工程和今后生产的顺利进行,优化采卤方案,这些前期工作是必须进行的。

4 制定有关的政策,抓好组织领导工作

为努力创造良好的开发环境,必须制定有利的政策,给以优惠,积极吸引和鼓励开发盐湖资源。还应制定相应的管理政策。在大力开发资源的同时,亦要积极保护矿产资源、保护环境,维持生态平衡。要做到综合利用资源、综合管理资源,使开发和保护资源、生产和环境保护相得益彰。

目前盐湖资源开发的产品分属于众多部门管理,使得盐湖资源综合利用在具体的企业中难以实现。隶属某一部门的企业为开发一项新产品,困难重重。在管理上亦有许多不便之处,应制定统一的政策进行统一管理,以利于盐湖资源的综合开发利用。

5 科技和管理人才的培养

为配合盐湖资源的开发,还必须狠抓人才培养。在高等教育方面,可以在工科院校建立与盐湖资源开发有关的专业,培养高级科技人才。更应迅速培养企业所急需的中等技术人才和技术工人。从根本上改变盐湖资源开发生产中人员素质差、技术工艺落后的局面。才能在激烈的市场竞争中,让企业依靠科技进步,使生产不断上新的台阶。也才能在引进新的技术后,真正做到消化、吸收,为我所用并不断创新。

注: 图 1 系张彭熹研究员提供。

参 考 文 献

- 1 张彭熹等. 柴达木盆地盐湖. 北京. 科学出版社. 1987. 235
- 2 郑喜玉等. 西藏盐湖. 北京. 科学出版社. 1988. 190

- 3 郑喜玉等. 内蒙古盐湖. 北京, 科学出版社, 1992. 295
- 4 于升松. 盐湖, 西宁. 青海人民出版社, 1980. 73
- 5 郑喜玉, 于升松. 地理科学, 1982. 66
- 6 郑喜玉. 地理科学, 1983. 369
- 7 曹兆汉. 盐湖研究, 1988, (1): 34; (2): 45
- 8 曹兆汉. 盐湖研究, 1989, (1): 32; (2): 28
- 9 曹兆汉. 盐湖研究, 1990, (4): 46
- 10 曹兆汉. 盐湖研究, 1991, (1): 59
- 11 曹兆汉. 盐湖研究, 1992, (2): 48
- 12 曹兆汉. 化工矿山译丛, 1992, (43): 1; (44): 1
- 13 王敦华. 地质论评, 1983, 29(4): 388
- 14 Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, New York, John Wiley & Sons, 2nd Ed., 1971, Suppl. Vol. 920
- 15 Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, New York, John Wiley & Sons, Third Ed., 1982, Vol. 5: 375
- 16 Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, New York, John Wiley & Sons, Third Ed., 1982, Vol. 18: 920
- 17 Wallace Gryn. Great Salt Lake, Utah, Utah Geological and Mineral Survey, 1980, 400
- 18 全国海湖盐工业科技情报站. 国外制盐工业, 1991, (2): 55~56; 1992, (1): 64
- 19 Phosphorus and Potassium, 1966~1992, 各期

Comprehensive Utilization of Salt Lake Resources

Song Pengsheng

(Institute of Salt Lakes, Academia Sinica, Xining 810008)

ABSTRACT

Outlines of salt lakes including their classification and distribution are given first. Then comprehensive utilization of salt lake resources in the world is described in detail. And some suggestion for development of utilization of salt lake resources in China are proposed.

Keyword Salt lake, Salt lake resources, Utilization of salt lake