

锂资源的分布及其开发利用 *

[关键词] 锂资源 资源开发 盐湖 [中图分类号] P5 TQ

李明慧¹ 郑绵平²
(中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心, 博士¹; 中科院院士² 北京 100037)

锂是最轻的金属元素, 性质独特, 由瑞典化学家在 1817 年发现, 在其发现后长达 100 年的时间内基本上没有什么应用^[1]。但在“二战”期间, 由于军工需要, 锂盐工业开始得到迅速发展。近半个世纪以来, 它在各领域得到广泛应用, 尤其是近年来, 随着锂电池、锂合金等航天航空工业的发展和核聚变反应电站的需求, 世界各国普遍重视锂工业的发展, 有人称“21 世纪是锂的世纪”、“锂是 21 世纪的能源元素”^[2]。

我国是一个锂资源丰富的国家, 但长期以来由于各种主客观因素的制约, 导致这一领域的研究和开发、利用比较滞后, 因此, 在西部大开发和资源利用日趋全球化的形势下, 认真研究、开发和利用锂资源显得尤为重要, 不仅对发展经济具有重要意义, 而且有助于促进能源革命、环境保护和可持续发展。

一、锂资源分布概况

1. 地质背景

按照盐湖(每升湖水含盐大于 35 克的湖泊)中盐类矿产的差别, 盐湖可以分为两类: 普通盐湖和特种盐湖。普通盐湖多分布于稳定构造区, 多产食盐、芒硝、碱类、石膏和硫酸镁等普遍性盐类矿产; 特种盐湖绝大多数分布于活动构造区, 除有普遍性盐类矿产外, 还有锂、硼、钾、铯、铷等矿产^[3]。我国的盐湖锂资源占全国锂资源储量的 66%, 特种盐湖的分布见表 1^[4]。

特种盐湖按地质构造背景和物质组分可分为两个亚型: (1) 氯、碱、硅酸钠盐(如东非裂谷马加迪湖)或氯化钙、钾、溴(如死海地堑)特种盐湖, 产于板块张裂带裂谷区, 其物质可能来自于洋壳和上地幔; (2) 锂、硼、钾(铯、铷)或硼、锂、钾(钨)特种盐湖, 前者产于碰撞带微裂谷和山间盆地(如青藏高原扎布

耶盐湖), 或产于板块大陆边缘火山弧后盆地(如智利 Atacama 湖、阿根廷 Hombre Muerto 盐湖), 或者产于板块转换断裂带后盆地(如美国西尔兹湖、银峰湖)。本亚型虽然产生于活动构造区, 物质来源也来自深部, 但其深度可能不及(1)亚型, 其以亲石元素为特征, 主要成矿物质可能来自岩石圈^[3]。

表 1 中国盐湖类型及分布

盐湖区	特种盐湖(个数)	普通盐湖	合计
青藏高原盐湖区	86	248	334
北盐湖区	6	245	251
北盐湖区	6	303	309
东部分散盐湖区		64	64
合 计	108	860	958

盐湖锂矿床大多分布在干旱地区, 主要被开发的盐湖都处于气候干旱区。美国希尔斯湖年均蒸发量为 1 800~2 700mm, 年均降雨量为 101.6mm, 夏季最热月白天平均气温为 43.3, 夜间为 23.9, 冬季白天平均温度为 12.8, 夜间为 -3.9。美国大盐湖最高温度 40.6, 最低温度 -32.2, 年降雨量虽达数百毫米, 但主要集中在冬春两季。智利阿塔卡马盐湖, 淡水年蒸发量 3 823mm, 盐水年蒸发量 2 032mm, 年降雨量仅 20~50mm^[5]。我国青藏高原的含锂盐湖, 也处于干旱地区, 这些湖区年降雨量仅 20~150mm, 而年蒸发量为 1 800~3 500mm, 最高气温 32.4, 最低气温 -36.8。

2. 赋存形式和分布

锂在自然界的丰度很低, 地幔为 1.4mg/kg, 地壳为 12mg/kg, 在上地壳高达 20mg/kg。显然, 地球表层是锂的相对富集区。锂元素的赋存状态有两种。一种是存在于固体矿石中。含锂的矿物有 145 种之多, 常用来提炼锂的固体矿物有锂辉石、透长石、锂云母和磷锂石 4 种。我国含锂矿石的主要产地为新疆、江西、湖北及西南等地区; 其他国家和地区有美国、加拿大、扎伊尔、津巴布韦和墨西哥等。另一种是存在于盐湖卤水中, 卤水中的锂可以存在于表面卤水或者晶间卤水, 也可参与到矿物晶格中。全世

*国家科技攻关计划项目, 课题号: 2001BA602B - 02。

参 考 文 献

[1] 徐质斌, 牛福增主编. 海洋经济学教程. 经济科学出版社, 2003
[2] 徐质斌, 张莉著. 蓝色国土经略. 泰山出版社, 2002
[3] 毛林根编著. 产业经济学. 上海人民出版社, 1996
[4] 国家海洋局. 中国海洋统计年鉴 2001. 海洋出版社, 2002
[5] 中华人民共和国海洋行业标准 HY/T 052 - 1999. 海洋经济统计分类与代码. 国家海洋局, 1999 年 12 月 28

日发布
[6] 国民经济行业分类 (GB/T 4754 - 2002) 类别、名称及代码. 国家统计局, 2003 年 5 月 20 日发布
[7] 全国海洋经济发展规划纲要. 国务院办公厅秘书局, 2003 年 5 月 16 日印发
[8] 李成贵. 经济学的中国遭遇. 经济学家茶座第二辑. 山东人民出版社, 2000

(责任编辑 肖庆山)

表2 盐湖卤水锂资源储量

盐湖名称	类型	储量(万锂)
美国内华达州银峰	地下卤水	77.5
美国犹他州大盐湖	地面卤水	52.6
美国加利福尼亚州希尔斯	地下卤水	0.035~0.042
智利阿塔卡马湖	地下卤水	120.0
约旦死海	表面卤水	277.0
中国西藏扎布耶盐湖	地表卤水	184.10
中国西藏班戈—杜佳里	地表卤水	50
中国西藏扎仓茶卡	地表卤水	29.8
中国青海鄂雅错	地表卤水	4.2
中国比洛错	地表卤水	0.7
中国青海东台吉乃尔湖	地表卤水	55

国外资料来源:张彭熹,中国盐湖资源及其可持续发展。北京:科学出版社,1999:289-296

界锂的储量约为 7.6×10^6 t,可回收利用的为 2.2×10^6 t,其中盐湖卤水拥有巨大的锂储量(见表2),我国盐湖锂含量见表3。

我国盐湖卤水中锂的含量从北(柴达木盆地)向南(西藏)逐渐增大,锂的平均含量:柴达木盆地盐湖为 67.8mg/L,可可西里盐湖为 73.7mg/L,西藏盐湖为 264mg/L^[6]。整体上讲^[6],西藏、可可西里和柴达木盆地盐湖共有 5 个高锂分布区,西藏盐湖西部和北部有 2 个高锂分布区,第一个为狮泉河到措勤县之间,第二个是尼玛县分布区,锂含量分别超过 500mg/L 和 300mg/L;可可西里盐湖有勒斜武旦湖和西金乌兰湖 2 个高锂分布区,包括一里坪干盐湖,东西台吉乃尔盐湖、涩聂湖和别勒滩干盐湖,锂含量超过 125mg/L。我国盐湖的锂含量可参看郑喜玉等所著的《中国盐湖志》(北京:科学出版社,2002 年,P47~413)

二、锂资源的开发利用

1. 锂盐的用途

锂的最大用途在于可提供一种新型能源。如锂的两种同位素 Li-6、Li-7 在核反应中很容易被中子轰击而“裂变”产生另一种物质氦,氦在热核聚变反应中能放出非常巨大的能量。通常所说的氢弹爆炸即是这种核聚变反应。据计算:1kg 锂具有的能量,大约相当于两万 t 优质煤炭,比 U-235 裂变产生的能量还要大 8 倍;1kg 锂至少可以发出 340 万 kWh 的电力,一座 100 万 kW 的发电站,1 年也不过消耗 5t 天然锂^[7]。

锂电池是锂盐工业中的另一道风景线。20 世纪 90 年代初,日本索尼能源开发公司和加拿大莫里能源公司分别研制成功了新型的锂离子蓄电池,不仅性能良好,而且对环境无污染,成为当今及未来便携式电子产品的可再充电式电源的优先选择的对象之一。如今的笔记本电脑、数字照相机、移动电话、医疗器械及近地轨道地球卫星等新型电子仪器设备中都已装有锂电池^{[8][9]}。

在众多的锂化合物中,碳酸锂是制备其它锂化合物的基本原料,应用广泛。如在玻璃、陶瓷工业中,加入碳酸锂可以提高产品的透明度、耐磨性,降低膨胀系数;在熔炉里加入碳酸锂能降低物料的熔融温度,节省燃料,延长熔炉寿命;含锂特种玻璃,

耐酸碱腐蚀,热稳定性高,是化工设备、电子器具和光学仪器常用的玻璃;含锂陶瓷是喷气发动机燃烧室金属表面和火箭、导弹外壳上的必备涂层。医疗事业中,高纯碳酸锂可治疗狂郁病。食品、饮料工业中,碳酸锂的主要作用是调味和保存,如牛奶中加千分之几的碳酸锂,其储存期可达 1 年以上。碳酸锂最大的用户是炼铝工业,炼铝过程中加入碳酸锂可以增加电解槽中电解质的导电率,降低操作温度,减少电耗,延长石墨电极的使用寿命^[7]。

2. 锂盐生产工艺

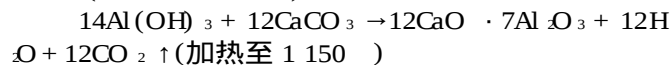
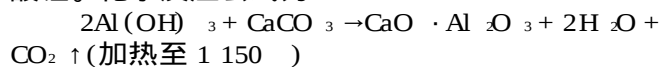
(1) 理论基础 物理化学中的水—盐体系相平衡理论,是探讨天然盐类沉积和转变规律的理论基础和实验基础。应用相化学理论和相图数据,不仅可以确定卤水在蒸发和冷冻过程中液相的浓缩路线和析盐顺序,而且通过物料平衡计算,可以掌握各浓缩阶段的液、固相组成,从而确定适当的盐田工艺路线和合理的盐田工艺条件。

青海察尔汗盐湖,卤水在蒸发或冷冻过程中,液相组成变化与析盐顺序基本上遵循不同温度下的 $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-/\text{H}_2\text{O}$ 四元体系平衡相图。根据相图分析,卤水在夏季蒸发过程中,有的不存在钾石盐阶段,有的存在,但这个阶段不长;而在冬季,随着温度下降,多数阶段存在钾石盐析出阶段,并且卤水温度越低,钾石盐析出越长。由于盐田生产主要靠夏季蒸发,所以,生产程序中就不必单独设立钾石盐的结晶区^[9]。西藏扎布耶盐湖锂盐夏季卤水晒制行为的理论依据是: $\text{Li}^+/\text{Na}^+/\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}/\text{B}_2\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}$ 六元体系(25℃,对 NaCl、Li₂CO₃ 饱和)相图。随着蒸发的进行,依次有食盐、钾芒硝、扎布耶石和水碱析出,根据析出过程各个离子浓度的不同,最后确定 Li₂CO₃ 沉淀的最佳时期。实验后期发现,卤水中 CO₃²⁻ 离子浓度和卤水温度迅速提高,这是导致卤水 Li₂CO₃ 快速析出的原因,由此,确定了该盐田的工艺流程^[10]。目前,扎布耶盐湖的锂盐提取已经开始了规模化生产。国外的盐湖资源开发也是如此。例如,美国的大盐湖矿物化学公司在 20 世纪 70 年代后期以 $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{O}$ 水盐介稳平衡体系相化学为基础,用盐田法生产高品位的钾盐镁矾工艺获得成功^[5]。

(2) 加工方法 锂盐的提取方法很多,盐湖锂盐的提取则主要采取以下几种方法。

分级沉淀法由井卤提锂。我国利用井卤制盐已有 2 000 多年的历史,利用钻井地下卤水或天然气开采中经气、水分离后的卤水,在制取食用盐、氯化钾、硼砂、硼酸、溴素、碘素等产品后的浓缩液用于生产锂盐产品。

铝酸钙沉淀法。氢氧化铝与碳酸钙焙烧形成铝酸钙,作为卤水中锂的沉淀剂,再将含锂沉淀物加压、高温压煮,分解出锂盐,最后以纯碱沉淀出碳酸锂。化学反应公式为:



反应中形成的铝酸钙在酸化条件下,转化为活性氢氧化铝,与卤水中的锂作用,生成铝锂沉淀物。该沉淀物在水的存在下于压力容器内蒸汽加热到

150~180℃,即分解出锂盐,而水合氧化铝,则可循环使用。将除去镁盐的原料卤水加热到75~85℃,在搅拌条件下,加入铝酸钙和盐酸,水化30分钟,pH值达到7左右,然后加入石灰乳,pH值达到9,反应4小时后过滤洗涤,压煮分离即获得铝锂沉淀物,滤液为高浓度氯化钙母液,可供使用。此方法锂的总回收率为84%,碳酸锂纯度为98.5%~99.0%,工艺的工序较多、周期较长。

铝酸钠碳化法提锂。铝酸钠稀释后与二氧化碳反应,形成 $\text{Al}(\text{OH})_{2.8}(\text{CO}_3)_{0.1} \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 的无定型氢氧化铝,对卤水中的锂具有高效选择性沉淀作用,形成 $\text{LiCl} \cdot 2\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 的复合物,从而达到回收锂的目的,锂的沉淀率为95%~98%。所含锂沉淀物,经焙烧浸取获得氯化锂溶液和氧化铝,后者与纯碱反应形成铝酸钠,可循环使用。氯化锂溶液去除杂质后可制取碳酸锂,产品纯度在98.5%以上。

溶剂萃取法从卤水中回收锂。溶剂萃取是在含有溶质的溶液中加入与之不相溶的第二种液体后,溶质的一部分通过界面迁入第二液相中,达到平衡。如在高浓度氯化物卤水中添加三氯化铁,锂形成 LiFeCl_4 ,然后被含氧溶剂选择性地萃取,在使用萃取剂的条件下,形成 $\text{LiFeCl}_4 \cdot 2\text{TBP}$ 萃合物。该萃合物用盐酸反应萃取,锂以化合物的形式进入水相,加工精制成氯化锂或碳酸锂产品。铁以 HFeCl_4 的形式留在有机相中,可循环使用。此方法锂的总回收率在90%左右,产品纯度为98.5%~99.0%。该工艺流程简单,锂的回收率高,无“三废”污染,是我国盐湖提锂的一种较好的方法。

离子筛交换法回收锂盐。某些无机交换剂因其孔隙大小与 Li^+ 的直径接近,因而有筛效应,其它离子由于直径大于交换剂孔径,不能进入交换剂,从而分离出锂离子。例如,加入适量 MnO_2 与 $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 混合,520℃焙烧2小时,酸化后即形成 $\text{MnO}_2(\text{Li})$ 离子筛,含锂卤水流过时,锂离子即被吸附而与其它离子分离。被吸附的锂,可用稀酸洗脱,此筛即可重复使用。此方法获得的碳酸锂纯度可达98%以上。

三、锂盐生产现状和可持续发展展望

过去,锂盐生产主要是开采锂辉石和透锂长石,经粉碎、研磨、选矿,得到精矿和石灰石的混合物,再经高温焙烧、浸取、蒸发和结晶,得到碳酸锂。但是,近年来,锂盐生产原料逐渐转为盐湖卤水。因为,用矿石生产碳酸锂要消耗大量能源且工艺较复杂,而卤水方法能源消耗少,且工艺简单,所以,本文将着重对盐湖中锂的开发进行介绍。

1. 国外锂盐生产现状

世界上较早开发并逐步达到现代化生产的盐湖是美国的希尔斯干盐湖^[12]。1873年J. W. Searles等人发现盐湖中含硼约8%后,即开始建厂生产硼砂,其后相继成立了太平洋硼砂公司(1895年)、加利福尼亚天然碱公司(1908年),1926年成立美国钾盐公司,但直到20世纪50年代末才形成规模生产。20世纪70年代后期,该公司为充分利用太阳能建立了4.86km²盐田,通过日晒蒸发就可使卤水中钾和硼含量提高到15%~20%。美国矿物局在20世纪80年

代初利用GRF树脂从该湖卤水中提取钨,其产品含氧化钨44%,回收率可达92%。最近研究了用溶解开采法生产碳酸钠的可能性,提出了用有机溶剂直接从盐湖卤水中提取锂的工艺流程^[13]。

南美洲智利北部的阿塔卡马盐湖,是个巨大的干盐湖,盐类沉积面积达1400km²,盐类沉积中富含晶间卤水,是一种富硼钾的硫酸盐型卤水。它的元素储量钾为5800万吨,锂为450万吨,硼为290万吨。1975~1979年智利开发公司对该湖进行了详细的开发研究,1982年与美国有关公司合作建立肥料综合企业,并于1985年投产。智利锂公司利用阿塔卡马盐湖卤水生产碳酸锂,1989年产量为9000t,1990年达11800t。美国福特公司已将碳酸锂的生产转向阿塔卡马盐湖,同时还利用其卤水和生硝资源生产硝酸钾、硫酸钠、硫酸钾、碘等^[12]。

其它著名的盐湖还有美国的大盐湖、以色列的死海等。这些盐湖资源利用从开发初期到规模化生产,多经历了几十年或上百年时间。特别值得注意的是:约旦国阿拉伯钾盐公司和智利阿塔卡马的智利开发公司、智利锂公司,它们实现规模化生产的时间较短。约旦阿拉伯锂盐公司建于1956年,在20世纪70年代晚期由美国雅克布工程公司协助,建立了年生产能力为120万吨的氯化钾生产厂。这两个国家盐湖资源的开发都具有引进国外技术、设备和资金的特点,对发展中国家而言,这是一条开发本国资源、较快达到现代化规模的值得借鉴的途径。

2. 国内锂盐的生产

我国锂盐生产厂共有十几家,最大的两个为新疆锂盐厂和江西锂盐厂。新疆锂盐厂以锂辉石为生产原料,目前采用硫酸法生产碳酸锂。江西锂盐厂以锂云母为原料直接生产单水氢氧化锂。我国锂盐的年产量1995至1997年为9000吨左右,几乎全部从花岗伟晶岩中提取,每吨生产成本为1.8万~2.2万元人民币;由于国际锂盐生产转向从卤水中提取,大大降低了碳酸锂的生产成本,使得硬岩提锂工业已无市场竞争力。

我国盐湖提锂已形成规模化生产的是西藏扎布耶盐湖。它是西藏矿业公司与中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心合作,利用笔者(郑绵平院士)等人的科研成果进行技术开发的。扎布耶盐湖是一个超大型锂硼盐湖,是世界三大百万吨级盐湖之一,而且是世界上惟一的优质碳酸盐型盐湖,其卤水类型具有明显的竞争优势。我国青海盐湖卤水类型为硫酸盐型,生产碳酸锂时必须进行转型,增加了处理工序。而扎布耶盐湖卤水为中度碳酸盐型,锂元素以天然碳酸锂形态存在,而且镁的含量也较低,大大降低了消耗和成本,同时最大限度地减少了对环境的影响。因此,从储量、化学成分、工艺技术及产品成本各方面衡量,扎布耶盐湖均有鲜明特色和突出优势。2000年,有关专家在对扎布耶盐湖碳酸锂生产工艺进行评审时认为:“从盐田工艺、擦洗富集、碳化法生产碳酸锂等方面提出了整套工艺技术,简单易行、经济合理,符合扎布耶盐湖的特征和区域自然经济条件的实际,具有较强的创新性,在碳酸盐盐湖矿床卤水开发锂盐研究中达到国际领先水平”。可以预见,扎布耶盐湖的开发利用将成为我国锂工业的希望和支柱,并将成为

混合动力车技术不是我国的最佳产业机遇

[关键词] 混合动力车技术 电力 [中图分类号] U469.72

王亦楠¹ 何祚庥²

(中科院电工研究所¹, 博士生 北京 100080; 中科院理论物理所², 中科院院士)

一、混合动力车的基本概念和特点

1. 混合动力车的基本概念 混合动力车(英文缩写为 HEV)是指在同一辆汽车中同时采用了电动机和燃料发动机的新型汽车。混合动力车以降低油耗和控制尾气排放为主要目标,燃油发动机或燃油发电机在最大效率区经济运行,输出功率相对稳定,燃油提供了车辆运行所需的大部分能量来源,而辅助动力单元即动力电池通过电机使车辆具有更好的动力性和经济性。

混合动力车具有以下 4 种不同的混合方式

(1) 串联 HEV。其工作原理是,内燃机带动发电机,发电机向动力电池组充电,电池组由控制器驱动电机,电机输出的扭矩经过机械传动驱动车轮。(2) 并联 HEV。具有两套动力驱动系统:一为内燃机动力传动系统,与传统的汽车结构完全一致;二是电驱动系统,蓄电池组的电能通过控制器输入到电机,电机与传动系统相连再驱动车轮。两套动力系统可以单独使用,也可以同时使用,根据不同运行状况选择内燃机或电机进行工作,将内燃机单独驱动、电机单独驱动以及内燃机和电机共同驱动 3 种方

式有机结合起来。(3) 混联 HEV。它具有两种传递通道:将发动机的驱动扭矩作为机械动力进行传递以及通过发电以电能形式传递,并将它们进行最佳组合以驱动车辆。动力系统可根据不同工况选用不同的动力驱动方式,充分利用串联、并联两套结构的优点,动力性好。(4) ISG(集成起动发电机)。它是一种安装在引擎机械轴上,和调速飞轮集成在一起的启动发电机,是最小的混合动力系统,具有起、停、再生制动功能,可明显减少排放和降低油耗。

与蓄电池电动车相比,混合动力车具有两套驱动系统,因此对于车体紧凑而狭小的轿车而言非常难于集成,而在空间较大的客车和货车上较易实现。此外,由于空间的限制,混合动力轿车对于电机的要求(主要是功率密度)、蓄电池的要求(主要是大功率充放电性能)更为严格,由此开发难度增大。

2. 混合动力车的技术经济特点 从技术经济角度看,混合动力车与燃料电池车、蓄电池电动车技术相比具有以下几种特点:(1) 混合动力汽车的开发生产,并不要求大规模改变现有汽车工业的产业结构和生产装备;(2) 混合动力汽车的普遍使用,并不要求改变现有燃油汽车的能源(石油燃料)的生产供应体系;(3) 混合动力汽车的普遍使用,并

国际锂市场上一支举足轻重的力量。

我国有开发价值的盐湖锂资源主要分布在西北部的西藏和青海等地,认真搞好盐湖锂资源的研究、开发和利用,形成“特色”经济,不仅有利于这些地方的经济发展,更有利于国家西部大开发战略的实施,是实现我国中西部经济可持续发展的必经之路和重要选择。

大规模开发盐湖在我国的历史很短,可以认为是一种新型产业。因此,一开始就应该树立一种可持续发展的思路:第一,多借鉴国外盐湖开发经验,引进资金和先进技术,尽可能地采用知识密集型生产工艺;第二,西部地区山多平原少、地质灾害频繁,在发展规划中一定要先搞清地质情况,以避免不必要的损失;第三,盐湖卤水是多种元素共存的矿床,开发锂资源的同时,还应注意进行综合利用和可持续发展,否则不仅浪费资源,对环境也不利。总之,科学管理、合理开发的可持续发展的思想应贯穿于盐湖资源开发、利用和保护的全过程,切不可只看眼前利益而忽略了长远利益。

参考文献

[1] 高世扬. 青海盐湖锂盐开发与环境. 盐湖研究, 2000, 8(1): 17 - 23

[2] 张明杰, 郭清富. 21 世纪的能源金属——锂的冶金现状及发展. 盐湖研究, 2001, 9(3): 52 - 60

[3] 郑绵平. 青藏高原盐湖资源研究的新进展. 地球学报, 2001, 22(2): 97 - 102

[4] 郑绵平. 论中国盐湖. 矿床地质, 2001, 20(2): 181 - 189

[5] 张彭熹. 中国盐湖资源及其可持续发展. 北京: 科学出版社, 1999, 289 - 296

[6] 韩凤清. 青藏高原盐湖 Li 地球化学. 盐湖研究, 2001, 9(1): 55 - 61

[7] 张彭熹. 沉默的宝藏——盐湖资源. 清华大学出版社、暨南大学出版社, 2000, 78 - 98

[8] 闫俊美, 杨金贤, 贾永忠. 锂电池的发展与前景. 盐湖研究, 2001, 9(4): 58 - 63

[9] 袁复怀. 国际锂镁产业最新动态. 盐湖研究, 2001, 9(3): 61 - 62

[10] 张彭熹等. 中国盐湖自然资源及其开发利用. 北京: 科学出版社, 1999, 265

[11] 七贞, 郑绵平. 西藏扎布耶盐湖夏季卤水盐田晒制研究. 地球学报, 2001, 22(3): 271 - 275

[12] 张彭熹等. 中国盐湖自然资源及其开发利用. 北京: 科学出版社, 1999, 256 - 264

[13] 曹兆汉. 国外盐湖资源的开发利用. 化工矿山译丛, 1992(1): 3 (责任编辑 邱夜明)