

文章编号:0258-7106(2003)01-0099-08

中国盐湖锂资源及其开发进程^{*}

赵元艺

(中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037)

摘 要 锂资源主要分为盐湖型和花岗伟晶岩型两种。文章在作者多年从事有关研究工作的基础上,参阅大量文献,简要介绍了我国盐湖锂资源产出的地质、地理特征与相关主要盐湖锂资源的开发进程,指出我国有丰富的盐湖锂资源。近年随着提取技术近于成熟,扎布耶盐湖已有具市场竞争力的开发技术框架,相关的方法亦趋于成熟,具有变经济优势的前景;班戈湖—杜佳里湖区锂资源提取技术的研究刚刚开始,但已显良好势头;东台吉乃尔湖锂资源的提取技术需完善及改善;西藏扎仓茶卡和鄂雅错-比洛错锂资源提取技术正处于探索之中。最后提出了对我国盐湖锂资源开发的三点建议。

关键词 地质学 卤水化学类型 盐湖锂资源 青藏高原 综述

中图分类号:P641.4⁺64;P618.71

文献标识码:A

锂是最轻的金属,原子序数为 3,仅次于氢和氦,并有着独特的物理和化学性能,致使锂及其盐类有着广泛的用途,主要用于陶器、玻璃、铝产品、合成橡胶、塑料、药品、锂电池、制冷剂等工业。目前锂盐的应用领域正在扩大,据预测,未来锂盐将会渗透到民用工业、高科技和军工等诸多重要领域。锂资源主要分为盐湖型和花岗伟晶岩型两种,其中盐湖型锂资源占世界锂储量的 69%。世界上只有包括智利、阿根廷、美国、澳大利亚、中国等在内的 10 余个国家开发锂资源,其中智利、阿根廷和美国主要从盐湖中生产碳酸锂,其余国家几乎全都从花岗伟晶岩矿石中生产锂盐。因我国硬岩型锂盐提取成本达 1.8~2.2 万元人民币/吨,约为国外盐湖型提锂成本的两倍,使我国硬岩型锂产业濒临倒闭。1997 年前,锂盐价格在 3.6 万元人民币/吨左右,1997 年后因智利等国从盐湖提取锂盐技术得到突破,使锂盐的价格下降为 1.8 万元人民币/吨左右。我国盐湖型金属锂基础储量达数百万吨,约占世界该类型总基础储量的 43%,对其资源与提取技术的研究也有较长期的积累,具备开发的条件,因此系统查明我国盐湖锂资源特征及其开发进程是非常必要的。

1 中国盐湖锂资源特征

我国盐湖锂资源主要分布于青藏高原的盐湖中^①(郑绵平,2001)(图 1),卤水类型为碳酸盐型和硫酸盐型两种。碳酸盐型锂资源主要集中于藏北西部的扎布耶盐湖和东部的班戈—杜佳里湖中,锂资源量分别为 837 万吨和 50 万吨。硫酸盐型锂资源主要分布于柴达木盆地和藏北碳酸盐型锂资源带的北侧,柴达木盆地现已查明有 11 个硫酸盐型的盐湖中锂含量达到工业品位,其中东台吉乃尔湖锂资源量为 55 万吨;藏北高原的硫酸盐型盐湖锂资源主要集中于西部的扎仓茶卡和东部的鄂雅错、比洛错,它们的锂资源量各为 29.8 万吨、4.2 万吨和 7 000 t。

1.1 碳酸盐型盐湖锂资源

西藏碳酸盐型盐湖呈带状展布,以冈底斯山脉为界分为岗南和岗北两个盐湖亚带(郑绵平等,1989)。南亚带盐湖规模较小,锂含量较低,在此不再论述。岗北亚带西段锂盐湖以富含铯为特征,锂矿物以天然碳酸锂(Li_2CO_3)——扎布耶石与含锂白云石为主,主要集中在扎布耶盐湖;东段以含锂菱镁

^{*} 本文受中国地质科学院地质调查项目“西藏高原盐湖资源潜力评价及锂、硼、铯元素提取技术探索研究”(编号:DKD2002001)资助
作者简介 赵元艺,男,1966 年生,博士,研究员,金属与盐类矿床学专业。

收稿日期 2002-06-17;改回日期 2002-11-06。张绮玲编辑。

① 据笔者等 2001 年在野外现场工作,进一步证实咸水湖中亦有大量锂资源存在,需引起重视。

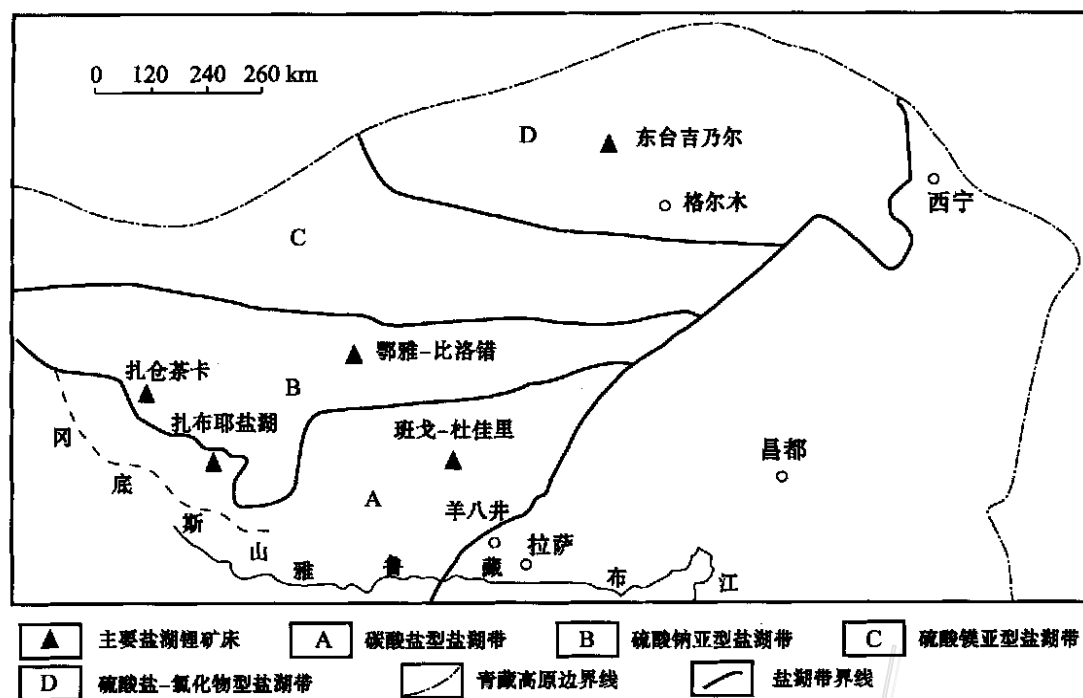


图 1 青藏高原主要盐湖资源分布图(据郑绵平等,1989 修改)

Fig.1 Schematic map showing the distribution of saline lake lithium resources on the Qinghai-Xizang(Tibet) plateau(modified after zheng et al., 1989)

矿及易溶锂矿物(据笔者等 2001 年的野外天然蒸发实验结果,推断在碳酸盐型卤水蒸发过程中易溶锂矿物的生成是可能的。因本次实验持续时间短,矿物粒径太小,不易准确鉴定,有关工作仍在进行)为主,主要集中在藏北东部班戈湖—杜佳里湖区,现分别论述如下。

1.1.1 扎布耶盐湖锂资源

扎布耶盐湖位于青藏高原腹地(图 1),隶属于日喀则地区仲巴县管辖,拉萨距该湖 1 050 km。湖面海拔 4 421 m。湖区蒸发量(2 423 mm)与降水量(121 mm)比为 20:1,年均气温 1.4℃,年均日温差 12℃,年日照时数达 3 100 h。扎布耶盐湖呈南北向延伸的长条状,分南北两个湖,北湖为卤水湖,面积 98 km²,近年有少量盐类沉积;南湖为半干盐湖,分盐滩和卤水湖两部分,面积分别为 93 km² 和 45 km²,其卤水矿化度波动于 300~450 g/l, pH=8.7~9.5。该湖为世界罕见的综合性盐湖矿床,除富含 Li、B、K 元素外(表 1),还特别富含 Br、Rb、Cs 等元素。其盐类矿物主要有石盐、钾石盐、硼砂、水碱、芒

硝等,并产出扎布耶石(Li₂CO₃)。它为目前世界上唯一产天然碳酸锂的盐湖,因而在世界盐湖锂资源的研究与开发方面有重要的意义。其氯化锂资源量为 837 万吨,另外还有约 3 000 万吨的 B₂O₃ 等。

1.1.2 班戈—杜佳里盐湖区锂资源

班戈—杜佳里盐湖区位于藏北东部(图 1),班戈湖隶属于那曲地区班戈县,杜佳里湖属于那曲地区尼玛县。由那曲镇至班戈湖约 260 km,至杜佳里湖 430 km,均为砂石路面。两湖湖面海拔高度约 4 520 m,蒸发量与降水量比为 2238.6 mm:308.33 mm=7.26:1,年均气温 -1~-2℃,年日照时数达 2944.3 h。两湖区的卤水化学组成相似。班戈湖呈近东西向展布,分 3 个湖:班戈 I 湖为季节性湖泊,仅雨季湖表面有水,面积 5.4 km²;班戈 II、III 湖在 1996 年前为两个湖,前者为干盐湖,后者为卤水湖,但现在连为一体,面积为 130 km²,平均水深约 1.5 m。班戈湖—杜佳里湖在 1958~1963 年间累计生产粗硼砂约 15 万吨^①。其卤水矿化度波动于 7.17~349 g/l,卤水中锂含量亦较高(表 1),折合成 LiCl 约为 430

① 郑绵平. 2001 年 8 月 17~24 日. 西藏高原盐湖资源及其开发利用. 西部开发与西藏发展战略高层研讨会论文.

表1 我国碳酸盐型锂盐湖资源特征

Table 1 Lithium resources of carbonate type saline lakes in China

	藏北西部(以扎布耶湖为例) ^②		藏北东部(以班戈湖为例)
	南湖晶间卤水	北湖地表卤水	
	$w(B)/(g \cdot l^{-1})$		
Li	1.413	1.527	0.07
K	31.606	21.558	8.521 ^①
Na	110.999	103.000	75.14
Mg	0.0043	0.01965	0.09
Ca	0.00002	0	0.0013 ^①
Cl	136.101	123.677	48.94 ^①
SO ₄	36.702	48.709	37.147 ^①
CO ₃	32.647	20.709	10.201 ^①
HCO ₃	0.327	0.171	4.656 ^①
B	2.945	2.089	0.81 ^①
Mg/Li	0.003	0.01	1.28
K/Li	22.37	14.12	121.73
B/Li	2.08	1.37	11.57
水化学类型	中度碳酸盐型	中度碳酸盐型	中度碳酸盐型
锂资源量			
LiCl	液相154万吨,固相837万吨		50万吨(液相)
折合金属锂	液相25万吨,固相137万吨		8.24万吨
硼资源量			
B ₂ O ₃	2292万吨	810万吨	49万吨

资料来源:①蒙义峰,2001;②郑绵平等,1989。

mg/l,远高于工业品位的要求。其盐类矿物主要有芒硝、无水芒硝、钾芒硝、石膏、水菱镁矿、含锂菱镁矿、菱镁矿等。其卤水也属于中度碳酸盐型,氯化锂资源量为50万吨,B₂O₃约50万吨。其Mg/Li比(质量分数之比,下同)为1.28,比扎布耶盐湖的Mg/Li比(0.003~0.01)高;K/Li比为121.73,远高于扎布耶湖;B/Li比(11.57),也比扎布耶湖高。表明班戈湖的K、B资源具很大的潜力。

1.2 硫酸盐型盐湖锂资源

我国硫酸盐型盐湖锂资源主要集中于柴达木盆地和藏北高原(图1)。

(1) 柴达木盆地盐湖区

柴达木盆地盐湖有着丰富的锂资源,据现有资料,15个盐湖(表2)中有13个的Li⁺达到边界品位(LiCl 150 mg/l)的要求,11个达到工业品位(LiCl 200 mg/l)的要求(表2)。现以东台吉乃尔湖为例,对其锂资源予以简述。

东台吉乃尔湖位于格尔木市西北230km处,沿

表2 柴达木盆地部分盐湖湖表卤水锂含量

Table 2 Lithium content of saline lakes in Qaidam basin

湖名	Li ⁺ /(mg/l)	LiCl/(mg/l)	面积/km ²	水深/m
小柴达木湖	35.83	219.1	35.91	0.26
大柴达木湖	84.96	519.16	35.37	0.36
德宗马海盐湖	17	103.96	4.5	0.23
牛郎织女湖	46.7	285.57	1	0.1
尕斯库勒湖	24.85	151.96	103	0.65
西台吉乃尔湖	201.5	1232.17	90.4	0.55
东台吉乃尔湖	141	862.2	116	0.6
北霍布逊湖	88.4	540.57	99.44	0.32
南霍布逊湖	19.63	120	33.41	0.29
协作湖	28.6	174.89	17	0.07
团结湖	59.0	360.79	6	0.1
达布逊北部湖水	88.4	540.57	184	0.39
小别勒湖	66.3	405.4	6.25	0.06
大别勒湖	37	226.26	7.38	0.18
涩聂湖	191	1167.97	68.88	0.38

注:根据张兴儒,1996资料。

315国道行150km可至达布逊火车站,故交通方便,货运便利。东台地区有我国第四大天然气田及相应的采集气站和输气工程^①,因而有廉价能源作保证。东台湖面积116km²,平均水深约0.6m,是柴达木盆地中卤水量较大的盐湖之一。湖面海拔2681m,据其东南部的察尔汗盐湖区气象资料,其蒸发量与降水量比为(3456mm:28.1mm)123:1(郑绵平等,1989),日温差大,年均气温5.33℃(于升松,2000),干寒多风。该湖属硫酸镁亚型盐湖,其Mg/Li比为34.79(晶间卤水)~40.17(表卤),K/Li比为21.62(晶间卤水)~26.74(表卤),B/Li比为1.31(晶间卤水)~1.51(表卤)。锂资源量为55万吨(LiCl),尚有33万吨B₂O₃(表3)。

(2) 藏北高原

藏北高原的硫酸盐型盐湖呈带状展布,位于碳酸盐型带的北部,比较典型的富锂盐湖是西部的扎仓茶卡和东部的鄂雅错、比洛错。

扎仓茶卡盐湖位于西藏阿里地区革吉县,那(曲)一阿(里)公路由湖边通过。湖面海拔4328m,年均蒸发量(2302mm)与降水量(151mm)比为15.4:1,年均气温为-0.2℃。该湖由3个盐湖构成,总面积为114km²。I湖为一半干盐湖;II湖北部为卤水分布区,水深约1~2m,其余部位为浅卤水区,水深几厘米至30cm;III湖亦为半干盐湖,主要盐

① 中国科学院青海盐湖研究所,1999年12月27-28日,盐湖资源综合利用,国家科技部农社司资源与环境处“十五盐湖资源领域科技发展”讨论会论文。

表 3 我国硫酸盐型盐湖锂资源特征

Table 3 Lithium resources of sulfate type saline lakes in China

	扎仓茶卡 ^②		鄂雅错 ^①	比洛错 ^①	东台吉乃尔湖 ^②	
	晶间卤水	地表卤水			晶间卤水	地表卤水
	$w(B)/(g \cdot l^{-1})$					
Li	0.893	0.426	0.27	0.16	0.638	0.117
K	20.0	10.27	8.12	5.61	13.792	3.129
Na	90.18	66.64	44.32	98.19	68.648	96.265
Mg	15.55	6.80	18.78	6.52	22.199	4.700
Ca	0.11	0.183	0.65	0.09	—	0.359
Cl	162.63	104.74	121.46	163.33	142.329	154.614
SO ₄	57.23	38.117	11.10	14.73	—	14.903
CO ₃			0.062	0.554		—
HCO ₃	1.99	2.20				0.092
B	0.814	0.53	0.32	0.20	0.838	0.177
质量分数之比						
Mg/ Li	17.41	15.96	69.55	40.75	34.79	40.17
K/ Li	22.40	5.12	18.96	35.06	21.62	26.74
B/ Li	0.911	1.24	1.19	1.25	1.31	1.51
水化学类型	硫酸镁亚型		硫酸镁亚型	硫酸钠亚型	硫酸镁亚型	
锂资源量						
LiCl	29.8 万吨		4.2 万吨	7000 吨	55 万吨	
折合金属锂	4.88 万吨		6873 吨	1145.7 吨	9.06 万吨	
硼资源量 B ₂ O ₃			14.76 万吨	2.86 万吨	33 万吨	

资料来源:①蒙义峰,2001;②郑绵平等,1989。“—”为低于检测限;空格为未测。

类矿物为库水硼镁石、柱硼镁石、水菱镁矿、文石、方解石等。该湖卤水化学类型为硫酸镁亚型,其卤水 Mg/Li 比为 17.4(晶间卤水)~15.96(表卤),K/Li 比为 22.40(晶间卤水)~5.12(表卤),B/Li 比为 0.91(晶间卤水)~1.24(表卤),可见其 Mg/Li、K/Li、B/Li 比值均比东台的吉乃尔湖低。该湖锂资源量(LiCl)为 29.8 万吨(表 3)。

鄂雅错位于西藏那曲地区双湖特别行政区境内,色林错北 382 大桥(那—阿公路)向北至双湖的公路由湖边经过,公路为砂石公路,交通不便,距离班戈县城约 340 km。湖面海拔 4 817 m,面积 52 km²,湖表面均为卤水,平均水深约 2 m。主要盐类矿物为石盐和钾芒硝等,水化学类型为硫酸镁亚型,盐度为 205.7 g/l, Mg/Li 为 69.55, K/Li 为 18.96, B/Li 为 1.19。可见鄂雅错的 Mg/Li 值比东台吉乃尔湖的高很多, B/Li 值与东台的相近。其锂资源量为 4.2 万吨(LiCl),尚有 14.76 万吨的 B₂O₃(表 3)。

比洛错位于鄂雅错南 20 km 处,由班戈县至鄂雅错,需经过该湖。据现有地形地貌及资料(郑绵平

等,1996)表明,它与鄂雅错在 40 ka B.P.~28 ka B.P.之间为一泛河湖,后被分开。比洛错湖面海拔 4 820 m,面积 22 km²,湖表面全为卤水,平均水深 1.8 m。水化学类型为硫酸钠型,盐度 289.83 g/l。Mg/Li 为 40.75, K/Li 为 35.06, B/Li 为 1.25。其 K/Li 比值比东台吉乃尔湖的高,而 Mg/Li、B/Li 比值与东台吉乃尔湖的相近。锂资源量为 7000 t(LiCl),还有 2.86 万吨 B₂O₃(表 3)。

2 中国盐湖锂资源开发进程

由上述可见,我国盐湖锂资源赋存形式主要有地表卤水和地表晶间卤水两种,而不同于阿根廷的 Hombre Muerto 盐湖的干盐湖地下卤水锂资源^①。

2.1 碳酸盐型锂资源开发进程

2.1.1 扎布耶盐湖

该湖处于交通不便、海拔高、无矿物能源的地区,是制约其开发的不利因素,但可采取沉淀碳酸锂的方法,故在生产技术上易于实现工业化。另外西

① 据笔者随郑绵平院士等于 2000 年 8 月赴 Hombre Muerto 现场调查,该湖现由 FMC 生产 Li₂CO₃,所用卤水由 4 个泵站从地下 30 m 处抽出后经管道送至约 40 km 处的工厂进行处理。

藏自治区人民政府对锂资源的开发项目甚为重视, 1995 年将其列为自治区跨世纪的六大项目之一, 并于 1999 年 4 月成立了“西藏扎布耶锂业高科技有限责任公司”, 为扎布耶盐湖资源的开发起了极大的推动作用。为了尽快开发该湖锂资源, 中国地质科学院盐湖中心从 1982 年起, 陆续完成多项有关研究项目, 于 1990 年起在该湖建立了盐湖水文-水化学-气象长期观测站, 至今已坚持 10 余年, 为锂及相关资源的开发提供了基础资料。1996 年在其南湖建立了以提锂为中心的试验基地。该基地已完成小试和扩试任务, 现正准备工业化试生产阶段。主要成果有:

(1) 在南湖发现大面积适宜修建盐田的粘土层, 为利用太阳能、风能和冷气候资源进行盐田生产提供了工程地质依据。

(2) 按照逐级放大的科学规律, 开展盐田工艺提锂技术研究, 盐田所产混盐中 Li_2CO_3 含量逐年升高。例如, 盐田面积由 200 m^2 扩大到 6000 m^2 , 又扩大到 13.8 万 m^2 , 从去冬至今春又修建了 1 km^2 盐田; 盐田所产混盐中 Li_2CO_3 含量从 1.5% (1996) $\rightarrow 3\%$ (1997) $\rightarrow 4.58\%$ (1998) $\rightarrow 30\%$ (1999)。1999 年经各种制卤和结晶技术的对比, 总结出了该湖 Li_2CO_3 富集的基本思路和控制指标, 提出了适宜该湖大规模开发 Li_2CO_3 的盐田工艺技术(赵元艺, 2000)。

(3) 混盐选矿技术的创新。根据该湖所产混盐中矿物组成特征, 以最简单的方法技术, 不用任何化学试剂, 就可将 4.58% 的 Li_2CO_3 混盐选矿提炼为吨级锂精矿, Li_2CO_3 含量达 78% 。2000 年, 用 30% 的 Li_2CO_3 混盐在盐田经选矿, 得到 86.47% 的混盐^①, 从而达到“盐田工艺—选矿一体化”^②, 该技术的成功, 使扎布耶盐湖锂资源的开发向前大大迈了一步。

(4) 化工处理。开展了硫酸法、石灰转化法、碳化法多种方法处理锂精矿, 最后选择碳化-热解工艺为碳酸锂工业品的扩试方案, 于 1999 年获得工业一级品 Li_2CO_3 934 kg [$w(\text{Li}_2\text{CO}_3)$ 为 99.26%]。

目前, 随着西部大开发及中央第四次西藏工作会议的召开, 扎布耶盐湖锂资源的开发又有了良好的机会, 只要加强管理, 选派高素质并具有奉献和开拓精神的人员领导该项工作, 该湖锂资源优势变为

经济优势的日子会很快到来。

2.1.2 班戈湖—杜佳里湖区

随着青藏铁路 II 期工程的完成, 该湖区锂资源开发的外部条件比扎布耶盐湖更为优越。与扎布耶盐湖一样, 该湖区亦无矿物能源。该湖区卤水锂含量较低, 但其盐度亦低, 经计算, 其与扎布耶盐湖的 Li 与总盐比值相近, 即卤水经制卤后可达到与扎布耶相近的卤水锂含量。基于上述考虑, 中国地质科学院矿产资源研究所于今年开展了对该湖区锂资源的调查与提取技术探索, 已在班戈湖建立了目前世界上海拔最高的盐湖综合科学长期观测站及锂资源提取试验基地, 完成了班戈湖的丰水期卤水评价野外取样工作, 开展了小规模提锂技术现场试验, 初步总结了锂富集的基本思路, 该思路可望在盐田中验证及放大^③。现已在班戈湖建成 400 m^2 盐田, 2001 年冬至 2002 年春可完成有关实验。

综上所述, 可以看出班戈湖—杜佳里湖区锂资源的开发研究刚刚开始, 但已显示出良好的发展势头, 只要有持续的支持, 其发展前景将不次于扎布耶盐湖。

2.2 硫酸盐型锂资源开发进程

2.2.1 柴达木盆地东台吉乃尔湖

该湖卤水 Mg/Li 比值较高, 是其锂资源开发的最不利因素。但青海省人民政府对其锂资源开发极为重视, 并具研究时间较长、交通便利、能源充足等锂资源开发的优势。针对卤水中 Mg/Li 比值高的特点, 中国科学院盐湖研究所等单位开展了多种提锂技术的研究, 主要有如下 3 种(张兴儒, 1996)。

(1) TBP(磷酸三丁脂)溶剂萃取法

工艺流程为: 盐湖卤水 $\rightarrow$ 盐田日晒 $\rightarrow$ 溶剂萃取 $\rightarrow$ 溶剂与氯化锂分离 $\rightarrow$ 氯化锂精制(同时回收溶剂) $\rightarrow$ 氯化锂。研究表明, 该方法技术能有效地从高 Mg/Li 比的卤水中提取氯化锂, 但该工艺流程长, 产品单一, 需要处理的卤水量大、设备产能低、投资大、设备腐蚀性大, 致使不能长期连续运转。故使用该方法能否生产出具有市场竞争力的 Li_2CO_3 产品至今还是未知数。

(2) 氯化氢盐析及冷冻-兑卤-加硫酸法

鉴于 TBP 溶剂萃取法的不足, 又提出这两种方法。氯化氢盐析法是中国科学院青海盐湖研究所高

① 赵元艺, 黄维农. 2000. 西藏扎布耶盐湖碳酸锂提取盐田工艺实验阶段报告.

② 赵元艺, 郑绵平, 李琦. 2001. 西藏高原盐湖资源潜力评价及锂、硼、铷元素提取技术探索研究. 中国地质科学院地调项目年度报告.

③ 赵元艺, 王云武, 蔡新功. 2001. 西藏班戈湖野外工作总结报告.

士杨院士与宋彭生研究员提出的,具体工艺路线不详,但尚未进行中试实验。冷冻-兑卤-加硫酸法为青海柴达木综合地质队提出的,并已申请专利,据称该法具有锂回收率高、生产成本低的优点,但其小试数据不全,亦未进行中试。

(3) 纯碱中和法与离子交换法

纯碱中和法工艺流程为:卤水盐田日晒、去除 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 B^{3+} 等杂质、纯碱中和、过滤、烘干、碳酸锂产品。离子交换法工艺流程为:盐湖卤水、(淋洗液)交换、锂盐溶液、除杂质、烘干、锂盐产品。

总之,为实现东台吉乃尔湖高 Mg/Li 比卤水提锂的工业规模生产,有多种生产工艺流程供选择,但需加快进程,探索出一套工艺设备简单、低成本的技术。

另外,为促进东台吉乃尔湖锂资源的开发,1998 年 4 月中国科学院盐湖研究所与新西兰太平洋锂业公司合资组成“青海锂业有限公司”。该合资公司第一期投资预计为上百万元人民币,注册资本上千万元;第二期投资双方在公司的资本份额中各占 50% (郑绵平等,2001)。1998 年至 1999 年上半年,已在东台吉乃尔湖完成近 12 万 m^2 盐田、4 km 采卤渠工程、6000 m^3 贮卤池、配套发电站和输电线路、采卤设施、气象观测站及生活基地建设已经正常运行^①。

2.2.2 藏北盐湖区

藏北硫酸盐型锂盐湖位于高海拔、交通不便、缺乏矿物能源的地区,另外锂资源量较小且 Mg/Li 比值较高。这些不足严重制约了其锂资源的研究与开发。

甘肃省科学院自然能源研究所的邹今平根据扎仓茶卡卤水的平均化学成分配制了模拟卤水,经多种工艺条件实验制备碳酸锂,总结出了工艺流程(图 2),据该流程生产的碳酸锂产品纯度达 88%~90.1%,锂回收率约达 30% (邹今平,1996)。但关于该湖锂资源进一步的开发工作未见报导。

鄂雅错与比洛错两个湖的卤水化学类型不同,前者属硫酸镁亚型,后者为硫酸钠亚型。笔者进行了有关锂资源提取技术的研究并于 2001 年组织有关科技人员进行了小规模天然蒸发对比实验(夏卤)。由实验结果^②可以看出在蒸发过程中,两个湖

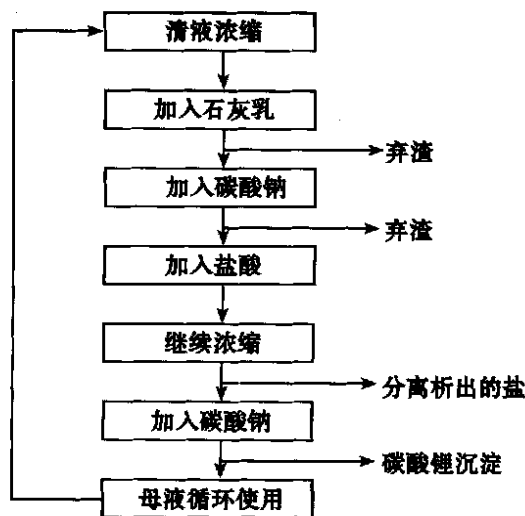


图 2 扎仓茶卡卤水生产碳酸锂工艺流程(据邹今平,1996 略加修改)

Fig. 2 Flowchart for producing Li_2CO_3 from Zhacang Caka brine(after Zou, 1996)

的卤水随着蒸发作用的进行, Mg^{2+} 和 Li^+ 都呈上升趋势,但鄂雅错卤水 Mg^{2+} 比洛错 Mg^{2+} 上升快的多。如何实现镁锂分离及生产碳酸锂产品,现已有初步设想,可望进一步实施验证。

3 对我国盐湖锂资源开发的献言

3.1 按科学规律开发我国盐湖锂资源

在我国,相对硬岩型锂资源,盐湖锂资源开发具有资源量大、成本低、工艺简单、污染小等优点。使盐湖锂资源的开发倍受“青睐”,但也易误导,使一些不宜开发的锂资源也列入开发计划,最终导致巨大的浪费。另外,盲目扩大试验规模,造成损失的事情也并非没有。故应及时总结经验与教训,发现并深刻认识盐湖锂资源开发过程中的科学规律,进而利用该规律进行开发。

3.2 坚持以锂为主,兼顾其它的盐湖资源综合开发原则,发展盐湖绿色产业

在富锂盐湖中,其他元素的含量也往往很高,例如西藏扎布耶盐湖中的 B、K、Br 等,西藏班戈湖的 B、K 等,如果将这些资源综合开发利用,将会大大降

① 中国科学院青海盐湖研究所,1999 年 12 月 27-28 日,盐湖资源综合利用,国家科技部农社司资源与环境处“十五盐湖资源领域科技发展”讨论会论文。

② 赵元艺,王云武,蔡新功,2001. 西藏班戈湖野外工作总结报告。

低锂盐产品的生产成本,提高其在市场中的竞争力,促进锂盐行业的发展。其实,国外诸多生产锂盐的盐湖并非仅有锂盐产品,而是有多种产品。其目的就是尽量降低生产成本。

另外在一些富锂盐湖中,往往有盐湖生物存在,加强对不同自然条件下所产盐湖生物的营养价值及捕捞、保鲜、运输和加工技术的研究,对提高富锂盐湖的经济价值和资源利用率均有重要意义^①。

盐湖区内盐碱地分布广泛,生态甚为脆弱,一旦遭到破坏,将很难恢复,故在资源开发过程中应特别重视环境保护,发展盐湖绿色产业。

3.3 加强锂盐的高值化研究,延长产业链,促进盐湖锂资源开发更快发展

在有碳酸锂产品的基础上,为了更好地发展锂盐工业,开展其高值化研究是非常必要的。据调查,我国新疆有色金属公司有色金属研究所可以生产40余种锂制品,FMC公司可生产86种以上的锂制品(郑绵平等,2001)。中国地质科学院矿产资源研究所也于近年开展了高纯碳酸锂^②和锂离子电池材料^③的研制,并取得了阶段性成果。有关工作仍在进行。

致 谢 笔者于1995年7月~1997年10月在冯本智教授指导下从事博士后(第一站)研究工作,冯先生严谨的治学态度、渊博的科学知识、忘我的工作作风以及直率的性格深深地感染着笔者。他多次鼓励并推荐笔者在著名的盐湖学专家郑绵平院士的指导下做第二次博士后研究(1997年10月~2000年3月)。本文是笔者从事盐湖学研究的成果,在此对冯先生多年来给予学生的关怀表示深深的谢意,并祝冯先生健康长寿。

References

- Meng Y F. 2001. Investigation of saline lake resources in central-west of north Tibet[R]. Research Report of Postdoctor. Beijing: CAGS (in Chinese with English abstract) .
- Yu S S. 2000. Dynamic balance and prediction for potassium brine in first-exploited area of Qarhan salt lake[M]. Beijing: Science

Press. 4 (in Chinese) .

- Zhang X R. 1996. Discussion of the exploitation of lithium salt resources of saline lake in Qaidam Basin[J]. Sea-lake Salt Chemical Industry, 25(3): 44~46 (in Chinese with English abstract) .
- Zhao Y Y. 2000. A study on solar pan and its related technologies for extracting lithium carbonate (Li_2CO_3) from brine of Zabuye saline lake, Tibet[R]. Research Report of Postdoctor. Beijing: CAGS (in Chinese with English abstract) .
- Zheng M P, Xiang J, Wei X J, et al. 1989. Saline lakes on the Qinghai-Xizang(Tibet) plateau[M]. Beijing: Beijing Sci. & Tech. Pub. House. 389, 296 (in Chinese with English abstract) .
- Zheng M P, Liu J Y and Qi W. 1996. Paleoclimatic evolution of the Qinghai-Tibet plateau since 40ka B.P.: evidences from saline lake deposits[A]. In: Zheng M P ed. Selection of the 6th international symposium on saline lakes: saline lake resources, environment and global changes[C]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract) .
- Zheng M P. 2001. On saline lakes of China[J]. Mineral Deposits, 20(2): 181~189 (in Chinese with English abstract) .
- Zheng M P, Wang X D, Peng Q M, et al. 2001. Exploitation trend of saline lake lithium resources in China[J]. Chinese J. Nonferrous Metals, 11 (supp.): 19~25 (in Chinese with English abstract) .
- Zheng M P, Wang X D, Peng Q M, et al. 2001. Resources, production, application and market of lithium[J]. Chinese J. of Nonferrous Metals, 11 (supp.): 22~28 (in Chinese with English abstract) .
- Zou J P. 1996. Study of making Li_2CO_3 from brine of Zhacang Chaka Lake I[J]. Sea-lake Salt Chemical Industry, 22(1): 16~20 (in Chinese with English abstract) .

附中文参考文献

- 蒙义峰. 2001. 藏北中西部盐湖(生物)资源调查研究[R]. 北京: 中国地质科学院博士后研究报告 .
- 于升松. 2000. 察尔汗盐湖首采区钾卤水动态及其预测[M]. 北京: 科学出版社. 4.
- 张兴儒. 1996. 关于柴达木盆地盐湖锂资源开发的探讨[J]. 盐湖盐与化工, 25(3): 44~46 .
- 郑绵平, 向 军, 魏新俊, 等. 1989. 青藏高原盐湖[M]. 北京: 北京科学技术出版社. 389, 296 .
- 郑绵平, 刘俊英, 齐 文. 1996. 从盐湖沉积探讨 40 ka B.P. 以来青藏高原古气候演替[A]. 见: 郑绵平主编. 第六届国际盐湖学术讨论会论文选集《盐湖资源环境与全球变化》[C]. 北京: 地质出版社 .
- 郑绵平. 2001. 论中国盐湖[J]. 矿床地质, 20(2): 182~189 .

① 王秋霞. 1999年12月27-28日. 我国盐湖资源开发利用现状及前景. 国家科技部农社司资源与环境处“十五期间盐湖资源领域科技发展调研报告”讨论会论文 .

② 中国地质科学院资源研究地质调查项目《西藏盐湖资源潜力评价及锂、硼、铯元素提取技术探索研究》2000年年度报告 .

③ 中国地质科学院矿产资源研究所给国家高技术应用发展部门项目建议书《西藏扎布耶盐湖碳酸锂提取优化技术与高值化研究》. 2001 .

- 郑绵平, 王向东, 彭齐鸣, 等. 2001. 中国盐湖锂资源开发趋势[J]. 中国有色金属学报, 11(增刊): 19 ~ 25.
- 赵元艺. 2000. 西藏扎布耶盐湖碳酸锂提取盐田工艺及其相关技术研究[R]. 北京: 中国地质科学院博士后研究报告.
- 郑绵平, 王向东, 彭齐鸣, 等. 2001. 锂的资源、生产、应用与市场[J]. 中国有色金属学报, 11(增刊): 22 ~ 28.
- 邹今平. 1996. 由西藏扎布耶茶卡 I 卤水制备碳酸锂的研究[J]. 盐湖盐与化工, 22(1): 16 ~ 20.

Saline Lake Lithium Resources of China and Its Exploitation

ZHAO Yuan Yi

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China)

Abstract

Saline lake lithium resources of China mainly exist in Qaidam Basin of Qinghai Province and northern Tibet. Their hydrochemical types include carbonate type and sulfate type. The carbonate type lithium resource mainly exists in the Zhabuye Saline Lake and the Bangkang Co-Dujiali Hu, which are respectively located in the western and eastern parts of northern Tibet. Their lithium resources are 8.3×10^6 and 0.5×10^6 tons, respectively. In Qaidam Basin, there are eleven saline lakes whose Li content reaches the industrial demand. The lithium resource of the Dong Taijinar Hu is 0.55×10^6 tons. The sulfate type lithium resource of northern Tibet mainly exists in the Zhacang caka and the Eya Co-Biluo Co. Their hydrochemistry is of the magnesium sulfate subtype, and their lithium resources are 29.8×10^4 , 4.2×10^4 and 0.7×10^4 tons, respectively. There are market competitive exploitation framework and related technology for the Zhabuye Saline Lake. If we emphasize the management, its resource advantages will become economic advantage in the near future. The study of the lithium extracting technology for the Bangkang Co-Dujiali Hu has been started recently, which is likely to have bright future. As for the Dong Taijinar Hu, it is necessary to provide better technology. The technologies for the Zhacang caka and the Eya Co-Biluo Co are being studied. Three suggestions are given in this paper.

Key words: geology, brine hydrochemical type, saline lake lithium resource, Qinghai-Tibet plateau, summarize