

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2015.03.007

# 西藏地区盐湖锂的地球化学分布规律

董 涛,谭红兵,张文杰,张燕飞

(河海大学地球科学与工程学院,江苏 南京 210098)

**摘要:**通过统计青藏高原盐湖镁离子及锂离子质量浓度的水化学数据和镁锂离子质量浓度比值,绘制出西藏地区盐湖卤水锂离子质量浓度分布等值线图和镁锂离子质量浓度比值分布图,分析了西藏地区盐湖锂资源品位及品质在空间上的分布规律以及盐湖锂资源富集与其所处地质环境的关系。分析表明:西藏地区盐湖锂资源的分布呈现分带性特征,盐湖锂离子质量浓度可能受构造带的控制,碳酸盐型盐湖带的盐湖卤水镁锂离子质量浓度比值最低,高品质低镁锂比卤水盐湖和低镁锂比卤水盐湖集中分布在碳酸盐型盐湖带-硫酸盐型盐湖带过渡区内。

**关键词:**西藏地区;盐湖;锂资源;地球化学;镁锂离子质量浓度比值

中图分类号:F279.2      文献标志码:A      文章编号:1000-1980(2015)03-0230-06

## Geochemical distribution of lithium in saline lakes in Tibet

DONG Tao, TAN Hongbing, ZHANG Wenjie, ZHANG Yanfei

(College of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Based on statistical data of the mass concentrations of  $Mg^{2+}$  and  $Li^+$  and the concentration ratio of  $Mg^{2+}$  to  $Li^+$  in saline lakes in the Tibet Plateau, the isolines of the mass concentrations of  $Li^+$  and the ratio of  $Mg^{2+}$  to  $Li^+$  in saline lake brines in Tibet were drawn. The spatial distribution pattern of the content and the quality of the lithium resources in saline lakes in Tibet and the relationships between the enrichment of lithium resources and the geological environment were analyzed. The distribution of lithium resources shows a zonation character. The concentration of  $Li^+$  in saline lakes is mainly influenced by the tectonic belt. The zone of carbonate saline lakes shows the lowest ratio of  $Mg^{2+}$  to  $Li^+$ , with the high-quality and general saline lake brines with low ratios of  $Mg^{2+}$  to  $Li^+$  mainly distributed along the transition zone between the carbonate saline lakes and the sulfate saline lakes.

**Key words:** Tibet; saline lake; lithium resources; geochemistry; mass concentration ratio of  $Mg^{2+}$  to  $Li^+$

锂是自然界密度最小的碱金属元素,化学性质非常活泼,作为一种新型能源和战略资源,在 21 世纪备受关注<sup>[1]</sup>。目前,锂及其化合物被广泛应用于航空航天工业、石油工业、电器电子工业、金属冶炼及制造业、能源工业等行业,在玻璃制造、陶瓷、合成橡胶、炼铝、药品业中的用量占其总消耗量的 70% 以上。近年来,锂在高能电池、超轻高强度的锂铝合金和核聚变发电领域也有了广泛的应用<sup>[2]</sup>。随着锂及锂盐的广泛应用和高新技术的发展,国际市场上对锂的需求量持续增长,平均每年以 7% ~ 11% 的速度增加<sup>[3]</sup>。目前世界碳酸锂的年需求量在 10 万 t 左右,而产量仅为 8.44 万 t,还存在较大的缺口<sup>[4]</sup>,尤其是伴随未来新能源汽车、交通工具的蓬勃发展,新型可再充锂电池市场需求量激增<sup>[5-6]</sup>。

在锂资源开发方面,传统的硬盐锂提取技术在我国实施成本达 1.8 万 ~ 2.2 万元/t,约为国外盐湖型提锂技术实施成本的 2 倍<sup>[7]</sup>。近年来由于盐湖型提锂技术的发展和较低的提锂成本,世界范围内对于锂的生产和供应也出现了新的格局<sup>[8-9]</sup>,澳大利亚、俄罗斯、加拿大、津巴布韦等硬盐型锂资源大国纷纷退出国际锂盐供应市场,智利、阿根廷和中国由于拥有丰富的盐湖锂资源而成为了锂资源供应大国<sup>[10]</sup>。我国盐湖型锂



最高,变化范围为 50 ~ 1 500 mg/L,锂离子质量浓度大于 200 mg/L 的盐湖大多集中于此。比较典型的盐湖有扎仓茶卡、扎布耶湖、仓木错等,而这些湖泊又明显集中在 I 区的西部和中部,西藏地区主要盐湖湖表卤水锂离子质量浓度见表 1。I 区东部的盐湖锂离子质量浓度相对较低,为 0 ~ 50 mg/L,这是由于 I 区东部盐湖数量较少,且冰雪融水补给较充足以及外流多发育为淡水湖泊,而西部和中部盐湖分布较密集,且大多比较封闭,盐度与东部相比显著较高。整个西藏自治区锂离子质量浓度达 500 mg/L 以上的盐湖主要集中在 I 区的改则县、噶尔县、措勤县 3 县的中间一带,即主要分布在碳酸盐型盐湖-硫酸盐型盐湖过渡区内,其中,以扎布耶盐湖为中心浓度最高<sup>[16]</sup>。从等值线的展布情况上来看,从班公湖-怒江缝合带往南等值线特征值依次降低,越靠近构造带特征值越高。从盐湖锂离子质量浓度的分布趋势来看,班公湖-怒江缝合带和雅鲁藏布江缝合带这南北 2 条构造带将西藏地区的高锂盐湖限制在了中间。整个 I 区盐湖锂离子质量浓度的变化规律是由西向东、由北向南逐渐降低。造成这种分布情况的原因可能是由于 I 区西部的湖泊处于 2 大构造带之间并且紧邻两条构造带,新构造运动强烈,且越靠近构造带水热活动越强,深部富含锂的流体被地热水等携带至地壳上部经河流排泄最终补给湖泊,或直接流向地表盐湖。如西藏那曲地区的谷露温泉喷出沸水的锂离子质量浓度为 10.4 mg/L,羊八井沸泉水为 8.5 mg/L,而天然水锂离子质量浓度变化范围仅为 0.000 07 ~ 0.4 mg/L<sup>[17]</sup>,世界河流的平均锂离子质量浓度为 0.002 ~ 0.023 mg/L<sup>[18]</sup>。空间上,由西向东、由北向南,湖泊数量减少,湖水盐度降低。

表 1 西藏地区主要盐湖湖表镁离子、锂离子质量浓度

Table 1 Mass concentrations of Mg<sup>2+</sup> and Li<sup>+</sup> in surface water of main saline lakes in Tibet

| 盐湖         | $\rho(\text{Mg}^{2+})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{Li}^{+})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 盐湖     | $\rho(\text{Mg}^{2+})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{Li}^{+})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 盐湖     | $\rho(\text{Mg}^{2+})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{Li}^{+})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ |
|------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 班戈错 I 湖    | 66.20                                                  | 104.00                                                | 毕落错    | 12 247.30                                              | 61.50                                                 | 拉果错    | 1 610.00                                               | 530.00                                                |
| 班戈错 III 湖  | 55.00                                                  | 127.00                                                | 昂达尔错   | 215.00                                                 | 64.00                                                 | 才玛尔错   | 4.10                                                   | 130.00                                                |
| 扎仓茶卡 I 湖   | 8 367.50                                               | 504.90                                                | 达尔沃错温错 | 3 507.00                                               | 63.50                                                 | 查波错    | 4 150.80                                               | 179.90                                                |
| 扎仓茶卡 II 湖  | 9 193.30                                               | 435.90                                                | 永波错    | 4 965.25                                               | 166.40                                                | 多玛错    | 2 519.00                                               | 570.20                                                |
| 扎仓茶卡 III 湖 | 8 437.50                                               | 799.90                                                | 太苦错    | 69.80                                                  | 0.15                                                  | 长条错    | 14.82                                                  | 3.26                                                  |
| 扎布耶南湖      | 20.53                                                  | 1 085.38                                              | 扎西茶卡   | 10 101.80                                              | 139.80                                                | 洞错     | 2 923.70                                               | 190.00                                                |
| 扎布耶北湖      | 23.78                                                  | 1 848.08                                              | 扎木茶卡   | 3 560.90                                               | 5.80                                                  | 布尔嘎错   | 3 715.80                                               | 55.00                                                 |
| 小崩则错       | 132.70                                                 | 3.50                                                  | 扎东茶卡   | 266.20                                                 | 8.80                                                  | 达瓦错    | 996.70                                                 | 31.00                                                 |
| 其香错        | 162.80                                                 | 17.60                                                 | 龙木错    | 14 363.70                                              | 169.80                                                | 巴木错*   | 93.73                                                  | 13.91                                                 |
| 北雷错        | 62.20                                                  | 39.80                                                 | 台错     | 291.10                                                 | 17.90                                                 | 色林错*   | 175.70                                                 | 40.81                                                 |
| 若拉错        | 10 637.00                                              | 13.86                                                 | 结则茶卡   | 344.00                                                 | 248.00                                                | 错鄂湖*   | 46.54                                                  | 0.13                                                  |
| 长颈错        | 942.30                                                 | 8.80                                                  | 热邦错    | 321.60                                                 | 29.00                                                 | 吴如错*   | 29.15                                                  | 0.38                                                  |
| 玉盘错        | 7 232.60                                               | 62.40                                                 | 泽错     | 2 214.30                                               | 0.91                                                  | 达则错*   | 117.45                                                 | 34.25                                                 |
| 错尼湖        | 2 133.00                                               | 8.00                                                  | 玛尼错    | 80.20                                                  | 0.14                                                  | 当琼错*   | 113.40                                                 | 2 055.00                                              |
| 确旦错        | 4.60                                                   | 55.90                                                 | 恰茶卡    | 360.00                                                 | 249.60                                                | 当惹雍错*  | 282.80                                                 | 51.85                                                 |
| 冈塘错        | 61.20                                                  | 41.40                                                 | 阿翁错    | 635.70                                                 | 140.00                                                | 扎日南木错* | 212.20                                                 | 18.08                                                 |
| 肖茶卡        | 111.70                                                 | 14.00                                                 | 查那错    | 20 089.00                                              | 299.50                                                | 塔若错*   | 31.17                                                  | 2.14                                                  |
| 孔孔茶卡       | 1 523.50                                               | 140.00                                                | 别若则错   | 4 953.60                                               | 150.00                                                | 羊卓雍错*  | 184.17                                                 | 0.31                                                  |
| 依布茶卡       | 902.90                                                 | 43.00                                                 | 聂耳错    | 16 246.10                                              | 654.90                                                | 纳木错*   | 76.86                                                  | 0.39                                                  |
| 朋彦错        | 21.40                                                  | 374.70                                                | 茶拉卡错   | 23.10                                                  | 90.30                                                 |        |                                                        |                                                       |
| 鄂雅错        | 20 180.70                                              | 229.10                                                | 仓木错    | 5 611.50                                               | 1 227.30                                              |        |                                                        |                                                       |

注:带“\*”标记数据来源于 2012 年本项研究补充采样分析,其他数据来自文献[13]。

2.2 II 区

位于班公湖-怒江缝合带以北的 II 区,盐湖卤水锂离子质量浓度与 I 区相比低很多,范围为 50 ~ 200 mg/L。与 I 区相同的是,II 区锂离子质量浓度较高的地区也在该区的偏西部地区,变化范围为 50 ~ 200 mg/L,典型的湖泊有龙木错、结则茶卡等,由西向东锂离子质量浓度降低。II 区东部盐湖锂离子质量浓度范围为 50 ~ 100 mg/L,如毕落错、昂达尔错等。同样从 II 区内的等值线展布趋势可以看出,由班公湖-怒江缝合带向北,盐湖锂离子质量浓度随着与构造带的距离增大而减小。形成这种分布特征的原因与 I 区相同。

2.3 III 区

盐湖锂离子质量浓度最低的是 III 区,为 0 ~ 50 mg/L。西藏西南部地区接近板块碰撞边缘,挤压强烈,地形破碎不利于形成大的储水构造。虽然该地区气候湿润、降雨量大,但却无法保留住降水,这对湖水的盐分有稀释效果,同时这些小湖泊多与河流连通,因此西藏西南部地区无法形成大的高锂盐湖,淡水湖泊居多,例

如羊卓雍错、普莫雍错等。Ⅲ区虽然湖泊卤水锂离子质量浓度最低,但仍然有锂离子质量浓度大于工业开发边界品位 24.5 mg/L(按 LiCl 计为 150 mg/L)的湖泊<sup>[19]</sup>,因此Ⅲ区湖泊锂资源同样不可忽视。

总体上,西藏地区盐湖中锂离子质量浓度最高的为Ⅰ区,Ⅱ区次之,Ⅲ区最低。因此,在今后勘查寻找后续资源及开发盐湖卤水锂资源时主要以Ⅰ区的盐湖开发为主,但也要兼顾对Ⅱ区和Ⅲ区这种低锂型盐湖锂的补给来源与资源开发工艺技术的研究,以增加资源储量并实现低品位锂的高效开发利用。

3 盐湖卤水镁锂比值分布规律

由于锂的离子半径同镁非常接近,化学性质相似并且经常在盐湖卤水中共生,且浓缩到卤水阶段后镁的氯化物溶解度很大,只有到最后阶段才会析出,使得卤水往往具有很高浓度的  $Mg^{2+}$ ,因此盐湖卤水提锂过程中的镁锂分离一直是工艺技术难点和降低成本的关键<sup>[19]</sup>。盐湖卤水中镁锂比值的高低决定了利用卤水资源生产锂盐的可行性以及锂盐产品的生产成本和经济效益,因此镁锂比值成为评价盐湖锂资源品质的重要指标。余疆江等<sup>[19]</sup>曾计算了全球 13 个富锂盐湖的镁锂比值,并且建议将  $\rho(Mg^{2+})/\rho(Li^{+}) \leq 8$  的卤水称为低镁锂比卤水; $\rho(Mg^{2+})/\rho(Li^{+}) > 8$  的卤水称为高镁锂比卤水<sup>[20]</sup>。本文根据西藏地区盐湖的特殊情况(镁锂比值分布范围较大)将盐湖卤水进行了更细致的划分,将  $0 < \rho(Mg^{2+})/\rho(Li^{+}) \leq 1$  ( $\rho(Li^{+}) \geq 50$  mg/L) 的卤水称为高品质低镁锂比卤水; $1 < \rho(Mg^{2+})/\rho(Li^{+}) \leq 10$  的卤水称为低镁锂比卤水; $10 < \rho(Mg^{2+})/\rho(Li^{+}) \leq 50$  的卤水称为中镁锂比卤水; $50 < \rho(Mg^{2+})/\rho(Li^{+}) \leq 100$  的卤水称为高镁锂比卤水; $\rho(Mg^{2+})/\rho(Li^{+}) > 100$  的卤水称为超高镁锂比卤水。郑绵平等<sup>[20-21]</sup>参考库尔纳可夫-瓦良什科对盐湖水的分类,从我国盐湖实际出发,将我国盐湖划分为碳酸盐型、硫酸盐型(硫酸钠亚型、硫酸镁亚型)及氯化物型 3 种类型,但划分指标等有了较大的变化。本文根据该分类方法,将西藏地区盐湖由南向北依次划分为 1 个碳酸盐型盐湖带和 2 个硫酸盐型盐湖亚带(硫酸钠亚型和硫酸镁亚型,见图 2)。

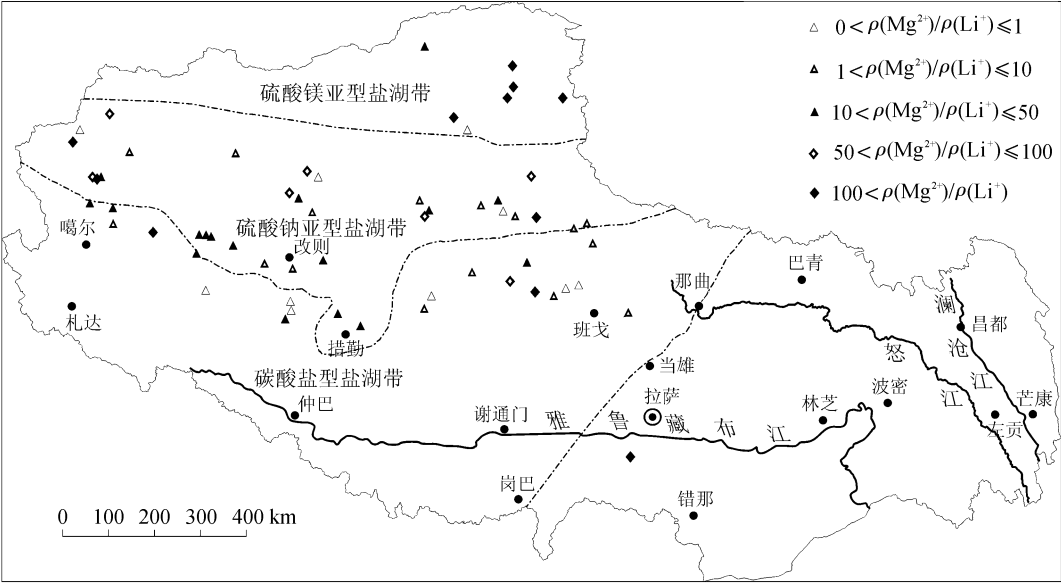


图2 西藏地区盐湖镁锂离子质量浓度比值分布示意图

Fig. 2 Distribution of mass concentration ratio of  $Mg^{2+}$  to  $Li^{+}$  in saline lakes in Tibet

3.1 高品质低镁锂比卤水分布规律

从图2明显可以看出高品质低镁锂比卤水多集中在碳酸盐型盐湖带,约占高品质低镁锂比卤水盐湖总数的60%,如目前正处于开发中的扎布耶盐湖是典型的碳酸盐型盐湖,湖水  $\rho(Mg^{2+})/\rho(Li^{+}) < 0.1$ ,能直接从卤水中沉淀出碳酸锂(扎布耶石),这是世界上首次在自然界中发现该矿物<sup>[20-21]</sup>。与扎布耶盐湖类似的还有茶拉卡错(镁锂比为0.26)、当穷错(镁锂比为0.06)、班戈错(镁锂比为0.43~0.64)。高品质低镁锂比卤水分布次多的区域是硫酸钠亚型盐湖带,该地区分布了约30%的高品质低镁锂比卤水盐湖,例如朋彦错镁锂比为0.06、才玛尔错为0.03等。硫酸镁亚型盐湖带内只有一个高品质低镁锂比卤水盐湖确旦错,镁锂比为0.08。这些含有高品质低镁锂比卤水的盐湖都分布在靠近分界线的区域,即处于碳酸盐型盐湖-硫酸盐型

盐湖过渡区内。

高品质低镁锂比卤水盐湖平均锂离子质量浓度达876.6 mg/L。虽然有些盐湖面积不大、水量少,但高品质低镁锂比卤水镁锂比值较小且锂离子质量浓度高,从中提取锂较为容易,分离镁的成本较低,这在整个西藏地区盐湖卤水高镁锂比值的背景下实属难得(国外的盐湖镁锂比值较我国盐湖卤水低数十乃至数百倍,提锂工艺相对比较简单)<sup>[22]</sup>,所以应加强重视与保护。

3.2 中-低镁锂比卤水分布规律

从低镁锂比卤水的分布情况来看,其在硫酸钠亚型盐湖带分布最多,约占低镁锂比卤水盐湖总数的56%,如冈塘错镁锂比为1.48、肖茶卡7.98、结则茶卡1.39等。与硫酸钠亚型盐湖带相比,碳酸盐型盐湖带分布的低镁锂比卤水盐湖较少,约占低镁锂比卤水盐湖总数的43%,如昂达尔错镁锂比为3.36,色林错为4.31等。硫酸镁亚型盐湖带则几乎没有发现低镁锂比卤水盐湖,因此低镁锂比卤水盐湖主要分布在碳酸盐型盐湖带和硫酸钠亚型盐湖带上,并与高品质低镁锂比卤水盐湖一样分布在这2个盐湖带的过渡地区。

中镁锂比卤水盐湖也主要分布在硫酸钠亚型盐湖带,占中镁锂比卤水盐湖总数的65%,如洞错镁锂比为15.39、达瓦错为32.15、别若则错为33.02等;碳酸盐型盐湖带分布的中镁锂比卤水盐湖则较少,约为中镁锂比卤水盐湖总数的29%,如塔若错镁锂比为14.59、台错为16.26、小崩则错为37.91;硫酸钠亚型盐湖带内的中镁锂比卤水盐湖最少,仅有1个(永波错镁锂比为29.84,见图2)。与高品质低镁锂比卤水盐湖和低镁锂比卤水盐湖相比,中镁锂比卤水盐湖的位置更接近碳酸盐型盐湖带和硫酸盐型盐湖带的分界线,也就是中镁锂比卤水盐湖在碳酸盐型盐湖-硫酸盐型盐湖过渡区内分布得更密集。中-低镁锂比卤水盐湖占西藏地区盐湖的大多数,平均锂离子质量浓度分别达198.5 mg/L和198.8 mg/L,镁锂比值处于1~50范围内,且具有数量大和分布相对集中的特点。

虽然这些湖泊多数还未开始开发,但随着全球对锂资源需求量的增加和低镁锂比的卤水资源的快速消耗,中-低镁锂比卤水可作为我国盐湖锂工业极具潜力的锂资源开发对象。

3.3 高-超高镁锂比卤水分布规律

具有高镁锂比卤水的盐湖数量较少,绝大多数分布在硫酸钠亚型盐湖带,如查那错镁锂比为67.08、龙木措为84.59、扎西茶卡为72.26等。碳酸盐型盐湖带中仅有1个高镁锂比卤水盐湖(吴如错,镁锂比为76.43,见图2),硫酸镁亚型盐湖带则没有分布高镁锂比卤水的盐湖。

超高镁锂比卤水盐湖几乎全部分布在硫酸盐型盐湖带,即主要分布在藏北地区(图2)。虽然硫酸镁亚型盐湖带面积最小,却密集分布了最多的含超高镁锂比卤水的盐湖,且集中分布在该地区东部很小的区域内,如玉盘错镁锂比为115.91、长颈错为107.08、太苦错为465.33等。与硫酸镁亚型盐湖带相比,硫酸钠亚型盐湖带的超高镁锂比卤水盐湖较少且更分散,如扎木茶卡镁锂比为613.95、毕落错为199.14等。碳酸盐型盐湖带在图中仅分布了2个超高镁锂比卤水盐湖,为错鄂湖,镁锂比为350.72,玛尼错为572.86。

高镁锂比卤水盐湖锂离子平均质量浓度为136.7 mg/L,而超高镁锂比卤水盐湖平均锂离子质量浓度仅为13.5 mg/L,但也有部分湖泊锂离子质量浓度高于工业开发边界品位。具有较高镁锂比值的盐湖卤水镁锂分离较为困难,目前我国柴达木盆地一些高镁锂比盐湖已攻克这一技术难题,逐步实现了开发利用。因此,在充分开发低镁锂比盐湖卤水锂资源的基础上,应继续加强西藏地区高镁锂比盐湖卤水提锂关键技术研究,以保障锂资源的可持续开发利用。

从整体上来说,从盐湖卤水类型划分的角度来看,西藏地区不同水化学分区中盐湖卤水的镁锂比值呈现明显的差异:碳酸盐型盐湖带的盐湖卤水镁锂比值最低,硫酸钠亚型盐湖带次之,硫酸镁亚型盐湖带最高。

4 结 论

a. 西藏地区盐湖锂资源的分布呈现分带性,而这种分带性与构造分区关系密切。班公湖-怒江缝合带与雅鲁藏布江缝合带之间的Ⅰ区盐湖锂离子质量浓度最高,其次是班公湖-怒江缝合带以北的Ⅱ区盐湖,Ⅰ区、Ⅱ区内距离班公湖-怒江缝合带及雅鲁藏布江缝合带越近的盐湖因受到来自深部地热流体的补给,锂离子质量浓度显著增高,并在一些盐湖富集成矿。雅鲁藏布江缝合带以南盐湖数量稀少,湖泊锂离子质量浓度也相对较低。

b. 根据水化学类型对西藏地区盐湖进行分区,不同区域盐湖卤水中的镁锂比值存在明显差异,碳酸盐

型盐湖带盐湖卤水镁锂比值最低,硫酸钠亚型盐湖带次之,硫酸镁亚型盐湖带最高。

c. 高品质低镁锂比卤水盐湖和低镁锂比卤水盐湖集中分布在碳酸盐型盐湖-硫酸盐型盐湖过渡区内,中镁锂比卤水盐湖也分布在碳酸盐型盐湖-硫酸盐型盐湖过渡区内且与水化学类型分区关系更紧密。高镁锂比卤水盐湖在硫酸盐型盐湖带分布较多,超高镁锂比卤水盐湖在硫酸镁亚型盐湖带分布最集中。

参考文献:

[ 1 ] GROSJEAN C,MIRANDA P H,PERRIN M,et al. Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews,2012, 16(3):1735-1744.

[ 2 ] 钟辉,周燕芳,殷辉安. 卤水锂资源开发技术进展[J]. 矿产综合利用,2003(1):23-28. (ZHONG Hui,ZHOU Yanfang,YIN Huian. Progress in technology for extracting lithium from Li-bearing brine resources[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,2003(1):23-28. (in Chinese))

[ 3 ] 陈延成,钱作华,李博均. 中瑞合作利用“许氏法”开发盐湖卤水中锂资源[J]. 化工矿产地质,1998,20(1):49-54. (CHEN Yancheng,QIAN Zuohua,LI Boyun. Sino-Swiss cooperation to tap with “HSU Technique” the lithium resource from the salt lakes in Qinghai province of China[J]. Geology of Chemical Minerals,1998,20(1): 49-54. (in Chinese))

[ 4 ] DEREK M E. Lithium minerals mining annual review[M]. London: Mining Journal,1998:93-94.

[ 5 ] HYKAWY J. Looking at lithium;discussing market demand for lithium in electronics[J]. Mater World Ceram Lithium,2010,18 (5):34-35.

[ 6 ] BAUMGARTNER W,GROSS A. The global market for electric vehicles[J]. Business Economics,2000,35(4):51-56.

[ 7 ] 赵元艺. 中国盐湖锂资源及其开发进程[J]. 矿床地质,2003,22(1):99-106. (ZHAO Yuanyi. Saline lake lithium resources of China and its exploitation[J]. Mineral Deposits,2003,22(1):99-106. (in Chinese))

[ 8 ] RITCHIE A,HOWARD W. Recent developments and likely advances in lithium-ion batteries[J]. Journal of Power Sources, 2006,162(2):809-812.

[ 9 ] DEWULF J,van DER V G,DENTURCK K,et al. Recycling rechargeable lithium ion batteries:critical analysis of natural resource savings[J]. Resources,Conservation and Recycling,2010,54(4):229-234.

[ 10 ] 申军,戴斌联. 盐湖卤水锂矿资源开发利用及其展望[J]. 化工矿物与加工,2009,38(4):1-4. (SHEN Jun,DAI Binlian. Status quo of salt lake brine lithium resources and prospect of its exploitation and application[J]. Industrial Minerals & Processing,2009,38(4):1-4. (in Chinese))

[ 11 ] 郑绵平,王向东,彭齐鸣,等. 中国盐湖锂资源开发趋势[J]. 中国有色金属学报,2001,11(1):17-20. (ZHENG Mianping, WANG Xiangdong,PENG Qiming,et al. The exploitation tend of Chinese saline lake lithium resources[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals,2001,11(1):17-20. (in Chinese))

[ 12 ] 郑绵平,向军,魏新俊,等. 青藏高原盐湖[M]. 北京:北京科学技术出版社,1989:45-46.

[ 13 ] 郑喜玉,张明刚,徐旭,等. 中国盐湖志[M]. 北京:科学出版社,2002:29.

[ 14 ] 劳雄. 班公湖-怒江断裂带的形成:二论大陆地壳层波运动[J]. 地质力学学报,2000,6(1):69-76. (LAO Xiong. On the formation of the Bangong-co-Nujiang fault zone[J]. Journal of Geomechanics,2000,6(1):69-76. (in Chinese))

[ 15 ] GANSSER A. Geology of the Himalayas[M]. New York:Interscience Pubs,1964:289.

[ 16 ] 韩凤清. 青藏高原盐湖 Li 地球化学[J]. 盐湖研究,2001,9(1):55-61. (HAN Fengqing. The geochemistry of lithium in salt lake on Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Journal of Salt Lake Research,2001,9(1):55-61. (in Chinese))

[ 17 ] 牟保磊. 元素地球化学[M]. 北京:北京大学出版社,1999:149-152.

[ 18 ] HUH Y,CHAN L H,ZHANG L,et al. Lithium and its isotopes in major world rivers:implications for weathering and the oceanic budget[J]. Geochim Cosmochim Acta,1998,62:2039-2052.

[ 19 ] 余疆江,郑绵平,伍倩. 富锂盐湖提锂工艺研究进展[J]. 化工进展,2013,32(1):13-21. (YU Jiangjiang,ZHENG Mianping,WU Qian. Research progress of lithium extraction process in lithium-containing salt lake[J]. Chemical Industry and Engineering Progress,2013,32(1):13-21. (in Chinese))

[ 20 ] ZHENG Mianping,LIU Xifang. Hydrochemistry of salt lakes of the Qinghai-Tibet Plateau,China[J]. Aquatic Geochemistry, 2009,15(1/2):293-320.

[ 21 ] 郑绵平,刘文高. 新的锂矿物:扎布耶石[J]. 矿物学报,1987,7(3):221-227. (ZHENG Mianping,LIU Wengao. A new Li-mineral-Zabuyelite[J]. Acta Mineralogica Sinica,1987,7(3):221-227. (in Chinese))

[ 22 ] 马培华. 中国盐湖资源的开发利用与科技问题[J]. 地球科学进展,2000,14(4):365-375. (MA Peihua. Comprehensive utilization of salt lake resources[J]. Advances in Earth Science,2000,14(4):365-375. (in Chinese))