Contributions to Geology and Mineral Resources Research

 $doi: 10.\ 6053/j.\ issn.\ 1001-1412.\ \ 2022.\ \ 04.\ \ 006$

西 藏 改 则 县 吉 布 茶 卡 – 拉 果 错 盐 湖 锂 矿 控 矿 因 素 分 析

李金生,李兴,张庆松,魏宇

(四川省冶金地质勘查院,成都 610051)

摘要: 西藏是我国内陆盐湖分布最多的省区之一,藏西北现代盐湖星罗棋布,锂资源丰富。文章 筒述了西藏改则县吉布茶卡-拉果错盐湖的自然地理概况,系统阐述了该区与盐湖锂矿成矿有关 的区域地质背景及成矿地质特征,并通过对吉布茶卡-拉果错地区的地质、水文特征及时空关联分 析,总结了该区湖盆构造、成矿物质来源、水文条件及气候条件对盐湖锂矿的成矿控制作用。 关键词: 吉布茶卡-拉果错;盐湖锂矿;控矿因素;改则县;西藏 中图分类号: P618.71;P611.42 **文献标识码:** A

0 引言

锂(Li)元素因其密度最小、金属活动性最强等 特点,成为一种新兴的战略矿产资源,被称为"21世 纪的能源金属、白色石油",在核能、航天、储能、医 疗、冶金、陶瓷等领域应用广泛^[1-5]。在当今温室气 体排放量巨增引发全球气候变化的问题上,世界各 国正在响应和落实全球减排协议。我国提出并承诺 2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的绿色 低碳减排目标。在此背景下,具有开路电压高、能量 密度高、工作温度范围宽、放电平衡、自放电子等特 殊电化学性能的新型锂电池不仅可以很好地解决汽 车燃料危机和污染物排放,而且小-微型的锂电池也 让各种仪器设备的小型化移动化成为可能,近年锂 电池等动力源的应用数量激增,现已成为全球锂资 源的最大消费板块。

锂矿以固体(花岗岩型和沉积岩型)、液体(盐湖 卤水、油田卤水、井卤水和海水)的形式产出,目前以 花岗伟晶岩型和盐湖型最具开发前景,其中盐湖卤 水型锂矿约占全球锂矿资源量的 78%^[4],是全球最 重要的一种锂矿床类型^[5]。中国是盐湖资源大国, 亦是全球盐湖分布最多的国家之一。我国的盐湖锂 资源主要集中在青藏高原的羌塘盆地和柴达木盆 地^[6-9],尤以藏西北盐湖占据国内现代盐湖锂资源的 半壁江山。

藏西北地区具有独特的地质、地貌和气候条件 形成星罗棋布的现代盐湖,其中的拉果错、麻米错、 扎布耶、龙木错、多格仁错是西藏最大的 5 个现代盐 湖锂矿,LiCl资源量合计超过 1000×10⁴ t。鉴于藏 西北地区部分交通、地理条件较差,盐湖区地质调查 研究工作程度较低。因此,剖析阐述西藏吉布茶卡-拉果错盐湖锂矿的控矿因素,对于藏西北区域盐湖 锂矿的调查评价工作具有参考意义。

1 自然地理简况

吉布茶卡-拉果错位于藏北高原腹地的阿里地 区改则县城以南约40km处,隶属阿里地区改则县 麻米乡古昌村和行勤村所辖。研究区的北侧有阿 里一改则一拉萨公路通过,自改则县城有县道可直 达吉布茶卡附近,交通比较方便。

研究区属于高原亚寒带干旱气候区,具有日照 充足、无霜期短、寒冷风大、雨雪量小、蒸发量大、昼

收稿日期: 2022-08-21; **改回日期:** 2022-12-16; 责任编辑: 余和勇

作者简介: 李金生(1978—),男,高级工程师,主要从事地质调查与金属矿产勘查。通信地址:四川省成都市成华区崔家店路 75 号 9-1 号楼,四川省冶金地质勘查院;邮政编码:610051;E-mail:watson20@163.com

夜温差大等特点。改则地区的年平均气温为 -0.2℃,1 月平均气温为-12.8℃,最低气温 -44.6℃;7 月平均气温11.9℃,最高气温26℃,平 均气温日较差约14℃;年平均日照3168 h;年平均 风速4.3 m/s,最大风速36 m/s;年均降水量 189.60 mm,年极端降水量最大295.8 mm,最小 84.5 mm,年降雪日约为60 d。

研究区地形地貌属于南羌塘高湖盆地貌,地势 较为平缓,湖盆周边为高程>5000 m的山地。吉布 茶卡-拉果错古水位侵蚀线研究表明,吉布茶卡和拉 果错两个湖盆在更新世时为一东西相连的古湖泊 (图 1a),总体呈 NWW 向展布,长达 100 km,最宽 处 40 km,湖面面积约 1100 km²,最高湖岸侵蚀线 高程为 4690 m。2011 年拉果错湖面高程最高为 4475 m。2021 年吉布茶卡(图 1b)丰水期湖面的实 测高程为 4472.50 m。目前的吉布茶卡与拉果错之 间(图 1c)被一高 20~50 m 的湖堤相隔^①(图 2)。

2 成矿地质背景概述

吉布茶卡-拉果错所在区域处在班公湖--怒江

结合带和拉达克一冈底斯弧盆系的衔接部位;区域 北缘为班公湖—怒江蛇绿混杂岩带(有洞错蛇绿岩 组产出),其南依次为昂龙岗日—班戈—腾冲岩浆 弧、狮泉河—拉果错—永珠蛇绿混杂岩带和革吉— 措勤—申扎岩浆弧^[10-12]。

区域地层属于冈底斯一腾冲地层区的班戈一八 宿地层分区[11-12]。地层的走向线与主构造线一致, 大致呈 NWW 向展布。出露有上古生界的泥盆系、 石炭系和二叠系,中生界的侏罗系和白垩系,新生界 的古近系、新近系和第四系。其中,第四系更新世、 全新世的冲洪积、湖相沉积(包括碎屑沉积、化学沉 积和沼泽沉积)广泛分布于区域北部和中部的断陷 盆地中。在吉布茶卡-拉果错的北侧发育 EW 向的 拉果错蛇绿混杂岩带(Jl),该岩带为狮泉河-拉果 错一永珠蛇绿混杂岩带(SYMZ)西段的一部分,其 中包括超基性岩、基性岩、基性熔岩、浅色岩脉和硅 质岩等,蛇绿岩岩类较为齐全、保存较为完好;蛇绿 岩与部分基质岩系、中酸性侵入岩同时产于构造杂 岩带中,显示其古海洋岩石圈构造残片的特点,对恢 复洋陆格局和构造演化历史具有重要价值[13-14]。另 外在改则县以东见有辉长岩和橄榄岩出露,均呈脉 状,属于洞错蛇绿混杂岩带(Jd)的西延部分(图 3)。



图 1 吉布茶卡-拉果错湖盆卫星影像及全景图

Fig. 1 Satellite image and panoramic view of Jibu Caka-Lhaguo Tso lake basin

 a. 吉布茶卡-拉果错卫星影像及最高古水位侵蚀线;b. 吉布茶卡研究区;
 c. 吉布茶卡-拉果错湖盆全景(左侧为吉布茶卡错,右侧为拉果错)



图 2 吉布茶卡湖堤水位侵蚀遗迹 Fig. 2 Erosion map shown by relics of water levels of Jibu Caka lake 镜头指向 132°,湖堤正东及南东方向为拉果错



Fig. 3 Geological sketch of Jibu Caka-Lhaguo Tso lake area

第四系:冲洪积-湖积物;2. 泥盆系-新近系;3. 侏罗系拉果错蛇绿岩组:蚀变橄榄岩;4. 侏罗系拉果错蛇绿岩组:蚀变辉长岩;
 6. 晚白垩世:花岗闪长岩;6. 晚白垩世:石英闪长岩;7. 晚白垩世:二长花岗岩;8. 晚白垩世:花岗斑岩;9. 晚白垩世;闪长岩;
 10. 晚白垩世:石英闪长玢岩;11. 早白垩世:花岗闪长岩;12. 早白垩世:石英闪长岩;13. 早白垩世:二长花岗岩;
 14. 早白垩世:二长岩;15. 早白垩世:花岗闪长斑岩;16. 侏罗纪:花岗岩;17. 花岗斑岩脉;18. 橄榄岩脉;19. 辉绿玢岩脉;
 20. 断裂;21. 水文单元;22. 火山机构;23. 采样位置及编号;24. 河流与湖泊

区域岩浆岩发育,分为南、北2个中酸性侵入岩带。北岩带有多个侏罗纪中-晚期侵位的中酸性岩浆岩呈近 EW 向展布,岩体大小不一、产状多样,侵入到蛇绿混杂岩带中,岩性有花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、石英闪长岩、花岗斑岩等^[14-15];南岩带分布在区域南部,白垩纪中-酸性岩体受区域 NWW 向断裂和 NE-NNE 向断裂的控制,侵入岩体多呈岩基或岩株状产出,岩性主要有二长花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩、闪长岩等。火山岩及火山碎屑岩分布于南部区域,在白垩系中有玄武岩、英安岩和凝灰岩产出,另在古近系美苏组(Em)中也见有安山岩和凝灰岩^[11-12]。

区域构造作用强烈,先后经历了华力西期、燕山 期及喜马拉雅期构造运动。华力西期构造运动使上 古生界褶皱并成为区域中-新生代弧后盆地的基底; 燕山早期侏罗系产生褶皱,海盆关闭后形成构造混 杂带;燕山晚期白垩系褶皱并产生一系列逆断层或 走滑断层;喜马拉雅期出现强烈的断裂活动和地壳 隆升^[11-12]。区域最为发育的是 NWW-近 EW 向断 裂,自北至南有 NWW 向的改则断裂、拉果错混杂 岩带断裂束、扒弄拉断裂、川巴断裂、麻米错北一西 扎错一下查拉断裂;NNW 向的桑嘎断裂;EW 向断 裂有曲索玛一雄确断裂和西扎错断裂,NNE 向断裂 有鲁备牙—多桑断裂束,局部还见有 NE 向断裂发 育。区域 NWW 向断裂在中生代主要表现为逆冲 和右行走滑性质,而在新生代则表现出张性或张扭 性的特点。

吉布茶卡-拉果错盐湖所在区域的湖泊均属内 流河湖泊,现代多为咸水湖泊,因此盐类矿产资源颇 为丰富,盐湖矿床星罗棋布,具有很好的开发利用前 景。

3 矿区地质特征

3.1 矿区地层

吉布茶卡-拉果错湖盆区主要发育第四系更新 世一全新世的沉积(冲洪积、坡积、湖积和人工堆积 等),湖盆周边及盆缘高地主要有二叠系、白垩系和 少量岩浆岩出露。

(1)二叠系下拉组(P₁x)

分布于矿区湖区南侧,岩性为浅灰色、深灰-灰 黑色中-厚层泥晶灰岩、含燧石灰岩、生物碎屑灰岩、 角砾状灰岩、砾屑砂岩,少量结晶灰岩,夹少量钙质 粉砂岩及钙质泥岩。

(2)白垩系郎山组(K₁l)

分布于矿区湖岸附近。岩性为灰色、深灰色薄-中厚层状生物碎屑灰岩、含生物碎屑灰岩、泥晶灰 岩、紫红色薄-中层状生物碎屑灰岩、微泥晶灰岩。

(3)第四系

全新统广泛分布于矿区中部现代湖区、湖盆边 缘及山涧水系附近。成因可分为人工堆积、冲洪积、 坡积和湖积等类型。

湖积(Qh¹)。广泛分布于现代湖泊的湖底及周 围,湖积物可分为湖相碎屑沉积和湖相化学沉积2 种类型;①湖相碎屑沉积多产于矿区现代湖泊的底 部和湖滨地带,主要为灰黄-灰白-灰绿色黏土、钙质 黏土和含砾细砂黏土层,有少量黑色有机泥;②湖相 化学沉积多位于盐沼和盐坪地带,少量分布于现代 湖泊湖底,常产出角砾状或糖粒状硼镁矿、钙质黏土 及芒硝等矿产。矿区的湖相沉积又可分为湖岸和湖 底 2 个沉积亚相:①湖岸亚相的沉积物分为灰色含 砾细砂黏土层和钙华-灰白色钙质黏土-硼酸盐层; 含砾细砂黏土层呈灰白-灰黄-灰绿色,由黏土 (40%)、粉砂(30%)、细砂(25%)和少量砾石(5%) 构成;砾石成分主为泥晶灰岩、砂岩等;砾石分选性 和圆度较差,砾径多为1~7 cm,个别达10 cm;砂的 成分与砾石一致,本层厚度>50 m(未见底)。钙华 -灰白色钙质黏土-硼酸盐层为矿区固体硼镁矿的赋 矿层位,主要成分为角砾状硼镁矿、糖粒状硼镁矿和 钙质黏土;最大厚度约9m;②湖底亚相自上而下分 为4层:芒硝层、有机质泥层、钙-砂质黏土层和砂砾 层;厚度>50 m(未见底)。

坡积(Qh^d)。主要分布在湖盆边缘与山地相结 合的部位,总体呈白、黄、灰、灰黑的不同色调,上部 主要为含砾细-中砂(风积),下部主要为砾石、巨砾 和碎石;砾石约占50%,细砂约占20%,中砂约占 30%;砾石和碎石的成分主要为泥晶灰岩和砂岩,少 量钙华;砾石的分选和圆度较差。砾径一般为4~ 15 cm,个别达30 cm;砂的成分与砾石一致;局部表 层有0~0.1 m厚的腐殖层。

冲洪积(Qh^{ap})。主要分布于山涧、冲沟口、湖 盆边缘等地势开阔、平缓的平地或台地,为灰黄色、 灰白色含黏土细砂砾石层。其中,黏土约占 10%, 粉砂约占 20%,细砂约占 35%,砾石约占 35%。砾 石主要成分为泥晶灰岩,少量砂岩。砾石的分选性 差,磨圆度差-中等。砾径一般为 1~7 cm,个别达 10 cm。砂的成分与砾石一致。表层局部有 0~0.1 m 厚的腐殖层。

人工堆积(Qh^{*})。主要分布于湖岸的北侧,呈 松散堆积,为矿区以往采出的硼镁矿堆,面积 0.02 ~0.05 km²,厚度 1.0~3.0 m。

(4) 拉果错蛇绿岩组(J*l*)

位于吉布茶卡-拉果错北侧虾果一扎贡村一行 勤村北一线,其西段原称古昌蛇绿岩组,现合称拉果 错蛇绿岩组;蛇绿岩带呈 EW 向产出,长度约 50 km,宽度 2~6 km,宏观上呈透镜状,蛇绿岩表现为 大小不一的构造块体,被侏罗纪的岛弧型中酸性岩 体侵入其中,蛇绿岩组的南、北边界均与下白垩统朗 山组呈断层接触,北部断裂中可见上石炭统拉嘎组 逆冲推覆其上的现象;岩石组合为变质橄榄岩、层状 辉长岩、岩墙状辉绿岩、枕状玄武岩、斜长花岗岩和 红色硅质岩等,不同的岩石单元之间多为断层接触; 斜长花岗岩呈脉状或透镜状产于基性岩中;研究表 明,斜长花岗岩主要为基性岩部分熔融产物,形成于 早中侏罗世;蛇绿混杂岩中基质岩系较为少见,为强 变形的砂板岩^[13-14]。

3.2 矿区侵入岩

吉布茶卡-拉果错湖盆区的南、北侧各有一中酸 性侵入岩带。

在拉果错湖盆以北有拉果错中酸性侵入岩带, 岩体的侵位时代为侏罗纪,岩性有石英闪长岩、花岗 闪长岩、花岗闪长斑岩、花岗岩、花岗斑岩、闪长岩 等,多呈岩株、岩脉状;岩浆岩体与蛇绿岩组共同产 于蛇绿混杂岩带之中,侵入岩带总体呈 EW 向,中 酸性岩体呈现深成与中浅成侵位混杂的特点,岩石 具有岛弧岩浆岩的地球化学特征。

在拉果错湖盆以南为拉清中酸性侵入岩带,侵 位时代以白垩纪为主,岩性主要有石英闪长岩、花岗 闪长岩、二长花岗岩,少量闪长岩,多呈岩枝、岩株、 岩基状,单个岩体长轴多呈 NNE 或 NE 向以中深成 相岩石为主,钙碱性系列,壳源-幔源型,形成于活动 大陆边缘弧俯冲型构造环境。

3.3 矿区构造

吉布茶卡-拉果错盐湖矿区的湖盆构造呈 NWW-近EW向,长约100 km,最宽处达40 km, 湖盆面积约1100 km²。湖盆北部的拉果错蛇绿混 杂岩断裂带和湖盆南部的麻米错北-西扎错-下查 拉断裂控制着吉布茶卡-拉果错湖盆构造。①拉果 错蛇绿混杂岩断裂束,由西向东沿虾果、玛尔扎、扎 贡村、沃琼勒、多沃-线延展,走向为NWW-近 EW向,断裂束中断裂交错,极为复杂,混杂岩中的 岩石单元之间几乎都为断裂接触关系;北界断裂相 对平直,为蛇绿岩与下白垩统朗山组接触,倾向 N, 倾角 60°~75°;南界断裂被其他方向的断裂破坏得 非常零乱;②麻米错北一西扎错一下查拉断裂,走向 NWW,倾向 28°,倾角 75°;断裂呈波状,介于 NWW 向和近 EW 向之间摆动,为逆冲断裂性质,西段兼 具韧脆性特征,东段则以脆性为主。另外,位于上述 2条断裂之间的扒弄拉断裂和川巴断裂也对湖盆构 造的形成演化具有一定影响。

上新世以来,青藏高原整体隆升,浅部出现以张 性为主的断裂活动,原有的 NWW-近 EW 向逆冲 断裂转变为右行走滑或正断+右行平移断裂,形成 局部的断陷盆地和走滑拉伸盆地,这些盆地沿断裂 分布,盆地的长轴方向与断裂走向平行,呈NWW-近 EW 向。控制吉布茶卡-拉果错湖盆的几条断裂 也显示出张性(张扭性)的性质转变。麻米错北一西 扎错一下查拉断裂沿线多处可见山脊被右行张扭性 切错现象:扒弄拉断裂的北盘出现张性的断层三角 面,并有泉水出露点。拉果错的西南方向出现了一 系列平行展布的 NNE 向张性断裂,如鲁备牙一多 桑断裂束使 NWW 向的麻米错一西扎错断裂向北 靠近拉果错蛇绿岩断裂带,造成吉布茶卡-拉果错湖 盆向西变窄并尖灭^[16]; NNE 向的吴青村断裂和 NNW 向的桑嘎断裂控制着拉果错以南的几个小湖 盆(包括西扎错、江戈错和得布日错)。

3.4 矿区水文地质特征

(1)地表径流特征

吉布茶卡-拉果错湖盆水文单元汇水面积> 3500 km²,湖泊以地表径流补给为主。地表径流主 要为山间河流,主要分布于湖盆区西部、南部及南东 部,注入湖盆较大的地表水系为索美藏布、雄布卡曲 和古昌曲,为常年性河流(见图 3)。区内地表径流 主要接受大气降水补给,主要以沿地势高处向低洼 地带径流的方式排泄至下游的湖区及沼泽带,部分 以入渗地下和蒸发的形式排泄。流量的大小随季节 变化十分明显,每年的雨季河水暴涨,而枯水期流量 甚小或冰冻干涸,流量变化幅度极大。据 2021 年 8 月的实地调查,古昌曲的流量为 4483.77 m³/d⁰,雄 布卡曲的流量为 86400 m³/d²,索美藏布的流量为 246240 m³/d²。水化学类型为 HCO₃⁻Ca、 HCO₃⁻Mg·Ca、HCO₃⁻Na·Mg和 HCO₃⁻Mg·Na 型⁰;河流的补给来源主要为冰雪融水和大气降水。

(2)地表卤水特征

吉布茶卡与拉果错之间有近 SN 向的湖堤将湖

盆地表水体分割为东、西两部分,据2021年资料,地 表卤水的总面积为 107.02 km²,平均水深 14.89 m;其中,吉布茶卡地表卤水面积 11.35 km²,平均 水深 4.92 m (丰水期)^①;拉果错地表卤水面积 95.67 km²,平均水深 16.07 m(年底枯水期)^②。地 表卤水的组分主要为 Cl^- 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 B_2O_3 、 Mg²⁺、CO₃²⁻、Li⁺、HCO₃⁻、次要组分为Ca²⁺、Br⁻、 Rb⁺、Cs⁺等^①。2011 年枯水期拉果错地表卤水 LiCl 的平均品位 1614.20 mg/L, 矿化度 35200~ 75750 mg/L、密度 1.045~1.090 g/cm³,水化学类 型以高矿化度氯化物--钠型为主,另有部分为高矿化 度氯化物硫酸盐--钠型及高矿化度硫酸盐--钠型(舒 卡列夫分类)^②。2016年枯水期吉布茶卡地表卤水 LiCl 平均品位 2301.75 mg/L, 矿化度 7587 ~ 108103 mg/L、密度 1.01~1.09 g/cm³、pH 值 8.05 ~8.99,按照舒卡列夫的分类,水化学类型以高矿化 度氯化物--钠型为主,有少量高矿化度氯化物硫酸盐 -钠型和高矿化度硫酸盐--钠型,属弱碱性卤水[®]。

(3)地下水特征

湖盆流域地下水赋存状态为松散岩类孔隙水和 基岩裂隙水:①松散岩类孔隙水,广布于河谷平原、 湖积平原和支沟谷地中,地势相对低凹平坦,沉积物 结构松散、孔隙发育,含水介质主要为卵石、漂卵石、 砾石、粗中砂和含泥质卵石等冲积物或湖积物,厚度 数米至数几十米不等,具备良好的地下水赋存条件; 丰水期主要接受河流的侧向补给,同时有大气降水 的降渗补给,由地势高处向地势低洼处径流,补给地 表水并下渗补给基岩含水层;枯水期水位相对较高, 主要补给地表水,对地表水的水量、水质具有调节作 用;②基岩裂隙水,主要接受上部松散层潜水、大气 降水和区外侧向径流补给,通过地表的基岩露头和 孔隙发育的疏松岩层,以直接或间接的方式渗入补 给;以顺层流动补给为主,一般不易穿过下伏隔水层 而跨层流动,其运动总趋势为向湖中心方向运移。 因区内基岩裂隙发育程度总体较低,岩层透水性弱, 对地表水补给较差。

3.5 岩石地球化学特征

Li 元素在地球及各层圈中的丰度见表 1,Li 在 火成岩中丰度见表 2^[17]。表 1 显示,大陆壳和大洋 壳是地球上 Li 丰度富集的部位。表 2 表明,在各类 火成岩,从超基性岩→基性岩→中性岩→酸性岩,Li 元素丰度逐步增高,碱性岩的 Li 元素丰度高于中性 岩。说明在岩浆的演化过程中,Li 元素丰度随岩浆 的分异而逐步增高,趋向岩浆晚期阶段聚集的特点。

吉布茶卡-拉果错湖盆周缘的岩石类型主要为 灰岩,少量的火成岩和蛇绿岩,极少量的变质岩;其 中,中泥盆世、早二叠世、早白垩世灰岩中 Li 的平均 含量 只有 1.43 × 10⁻⁶、5.22 × 10⁻⁶ 和 8.21 × 10^{-6[18]},含量较低。

为了解盐湖成盐成矿的地球化学背景和成矿物 质来源,对吉布茶卡-拉果错湖盆水文单元内的蛇绿 岩组和侵入岩进行采样、测试(表 3)。从表 3 可以 看出,拉果错蛇绿岩组的蚀变橄榄岩和蚀变辉长岩、 早白垩世的花岗闪长岩和花岗闪长斑岩、晚白垩世 的花岗斑岩和闪长岩中 Li 元素明显富集,Li 的含量 普遍为地壳丰度值的 2~34 倍,尤以蚀变橄榄岩和 早白垩世花岗闪长斑岩中 Li 元素含量最高,可能作 为研究区盐湖 Li 元素的重要物质来源。

4 控矿因素分析

4.1 湖盆构造

吉布茶卡-拉果错盐湖矿区位于班公湖--怒江

衣Ⅰ Lì住地球及共合层圈甲的干皮 [™]

Table 1	Li	ahundance	in	each	spheres	of	the	earth
I abit I	1.1 0	abunuance	111	caun	splicits	O1	unc	cartin

元素	大洋壳	大陆壳	上地幔	下地幔	地核	地球
Li	15	23	4.1	0.5	/	1.4

量单位: $w_{\rm B}/10^{-6}$ 。资料来源:黎形,1990。

表 2 Li在火成岩不同类型中的丰度 ^[1/]

Table 2 Li ab	undance of	each	igneous	rocks
---------------	------------	------	---------	-------

元素	超基性岩	基性岩 中性岩		酸性岩	资料来源			
Li	0. <i>n</i>	17(玄武岩)	28(正长岩)	40(贫钙) 24(富钙)	*			
	0.5	15(玄武岩)	20(闪长岩)	40(花岗岩)	* *			

量单位:w_B/10⁻⁶。*.据 К. Turekiaa 和 К. Wedepohl(1960); * *.据 А. П. Виноградов(1962)。

			2	0		•		0				
	岩石名称	原样编号	$w_{\rm B}/\%$				$w_{\rm B}/10^{-6}$					
地灰平九			CaO	MgO	K_2O	$\mathrm{Na}_2\mathrm{O}$	$\mathrm{B}_2\mathrm{O}_3$	Li	Cs	Sr	Br	Ι
		Y – 1	0.15	37.49	0.02	0.02	0.035	73.18	0.23	4.00	1.37	0.21
	蚀变橄榄岩	Y – 2	12.13	8.65	1.42	0.66	0.027	704.35	1.53	151.60	2.99	0.33
		Y – 3	1.91	0.73	1.17	4.20	0.018	506.27	3.08	107.98	1.83	<0.2
		Y - 4	13.26	10.39	0.23	1.74	0.012	263.23	1.84	279.44	1.75	<0.2
拉果错蛇纹岩组(Jl)	蚀变辉长岩	Y – 5	13.40	11.79	0.13	1.35	0.015	94.45	2.30	220.67	1.26	<0.2
		Y - 6	14.03	12.25	0.06	1.48	<0.01	100.54	0.85	216.47	0.96	<0.2
		Y – 7	12.10	4.22	0.28	2.18	<0.01	21.41	1.16	155.06	0.65	<0.2
	橄榄岩	Y – 8	10.78	4.06	0.21	2.98	0.010	19.02	0.69	169.10	0.76	<0.2
		Y - 9	10.79	4.34	0.40	3.58	<0.01	62 . 45	2.50	147.07	0.82	<0.2
拉果错岩体(yoK ₂)	斜长花岗岩	Y - 10	6.47	3.19	0.47	3.29	<0.01	22.96	13.42	154.70	1.08	<0.2
江戈岩体(γπK ₂)	花岗斑岩	Y - 11	2.22	0.79	3.64	3.26	<0.01	209.72	13.93	212.84	1.19	<0.2
折古岩体(γδK ₁)	花岗闪长岩	Y – 12	1.86	0.85	3.75	3.72	<0.01	163.66	8.72	216.93	1.24	<0.2
弄巴康日岩体(ηγK ₁)	黑云二长花岗岩	Y - 13	6.03	3.14	0.52	3.22	<0.01	19.16	19.13	159.39	0.78	0.27
弄巴康日岩体(γδK ₁)	花岗闪长岩	Y - 14	2.35	0.97	3.65	3.48	<0.01	166.75	10.73	183.09	1.17	<0.2
<u>阿</u> 大佐 担 豊 休 (yè= K)	花岗闪长斑岩	Y – 15	3.40	2.35	1.45	3.47	0.012	278.12	10.84	173.22	1.41	<0.2
阿小什個石徑 $(700 R_1)$		Y - 16	5.39	2.48	0.65	3.37	0.010	350.57	7.60	199.80	1.84	<0.2
龙勒岩体(δK ₂)	闪长岩	Y – 17	3.34	2.07	2.95	2.31	0.012	207.50	15.58	107.79	1.25	<0.2
呷龙岩体(γδK ₂)	花岗闪长岩	Y - 18	6.05	3.12	0.39	2.98	0.014	20.63	14.14	150.16	0.72	0.37
极大值		14.03	37.49	3.75	4.20	0.04	704.35	19.13	279.44	2.99	0.37	
	极小值		0.15	0.73	0.02	0.02	0.01	19.02	0.23	4.00	0.65	0.21
平均值			6.98	6.27	1.19	2.63	0.02	182.44	7.13	167.18	1.28	0.30
地壳丰度值(黎彤,1976)			/	/	/	/	/	21	1.4	480	4.4	0.6

表3 吉布茶卡─拉果错湖盆水文单元岩石地球化学特征

Table 3 Geochemical characteristics of rocks for hydrological units of Jibu Caka-Lhaguo Tso lake basin

结合带的南缘,区内断裂构造极发育,以 NWW 向 断裂为主,另外还有一系列 NE 向、NW 向和近 SN 向断裂带发育,它们控制了吉布茶卡-拉果错的发展 与演化。

盐湖卤水型锂矿床多产于新生代地质构造活动 较为活跃的区域^[19]。青藏高原经历了强烈的喜马 拉雅运动,受近 SN 向的持续挤压和逆冲推覆形成 了 NWW 向的山前、山间宽谷与山地起伏交替的构 造盆地。随着地壳应力的释放,断块内相继发生 NWW 向的走滑、拉伸,NWW 向和近 SN 向的共轭 式高角度正断层将地块切割成棋盘格式的小型块 体。特别是以垂直运动为主的喜马拉雅运动第三幕 (新构造运动阶段),区域上地垒-断块山、地堑-断陷 盆地等构造型式颇为常见,这些地垒-地堑构造型式 促使棋盘式串珠状湖盆构造的形成(图 4)^[11-12]。断 陷成因的湖盆构造是吉布茶卡-拉果错地貌形成的 主要构造条件。

4.2 物质来源

地球上富锂盐湖大多位于板块俯冲-碰撞构造

带,板块俯冲构造带上有利于盐湖卤水锂矿的形成^[1-20],受班公湖一怒江结合带的控制,区域岩浆活动强烈。

吉布茶卡-拉果错湖盆水文单元内橄榄岩、蛇绿 岩、辉长岩、花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、斜长花岗 岩、石英闪长玢岩、花岗斑岩等超基性、基性、中酸性 岩浆岩广泛分布,锂等亲石元素在岩浆结晶分异过 程中局部得到富集。吉布茶卡-拉果错湖盆水文单 元内的拉果错蛇绿岩中的蚀变橄榄岩、蚀变辉长岩 及早白垩世花岗闪长岩、早白垩世花岗闪长斑岩、晚 白垩世花岗斑岩、晚白垩世闪长岩中锂元素富集明 显,锂元素含量普遍为克拉克值 2~34 倍(见表 3), 尤以古昌岩体蚀变橄榄岩、早白垩世花岗闪长斑岩 锂元素含量最高,构成研究区盐湖锂元素重要的成 矿物质来源^①。即吉布茶卡-拉果错湖盆水文单元 内富含 Li 元素的地质体在表生地质作用过程中不 断进入湖盆水体,为卤水锂矿形成奠定了物质基础。

4.3 水文条件

吉布茶卡-拉果错盐湖矿区所处的藏北高原,是



Fig. 4 Sketch showing regional chessboard-style grabben (fault basin)-horst (block mountain) distribution

由北面的喀喇昆仑山一昆仑山—可可西里山,东面 的唐古拉山和南面的冈底斯山—念青唐古拉山西段 所圈闭,构成了高原湖泊聚集区和内流水系发育 区^[9]。藏北高原平均海拔4500~5000 m,地势相对 平缓,山地丘陵同宽谷湖盆相间分布。众多的湖盆 可分南、北两个湖群带,南带的湖泊数量多、面积大, 其形成于新近纪—第四纪初期,目前湖泊已显著退 缩,有些湖泊只是季节性积水,趋于干涸。

湖盆区的地表水、地下水和湖泊均属于内流水 系,受湖盆构造地形地貌的控制呈向心状汇集于封 闭盆地。在高原独特气候条件下,岩石极易风化,特 别是化学风化过程中受到地表水、地下水的水溶作 用,流域内富锂岩体中的Li元素以Li+的形式从矿 物岩石中淋滤出来。由于锂盐一般易溶于水,因此 很难形成锂盐的沉淀,Li+进入水溶液中并随地表 水、地下水迁移进入湖泊。区域向心内流水系成为 盐湖成盐元素向湖泊迁移、搬运、富集的动力和重要 载体^[21]。

吉布茶卡-拉果错的湖盆构造集水面积>3500 km²,源于湖盆水文体系的丰富雨水、冰雪融水汇入 索美藏布、雄布卡曲和古昌曲等流量较大的内流河, 为湖泊的形成提供了必要的水文条件。

4.4 气候条件

吉布茶卡-拉果错盐湖矿区位于高原亚寒带干 旱气候区,具有日照充足、雨雪量小、蒸发量大的特 点,多年平均降水量 189.60 mm,平均蒸发量 2350.00 mm。在封闭的湖盆环境下,锂等盐类矿物 得以不断富集。在蒸发量高的环境中,为湖盆提供 了良好的天然蒸发浓缩条件,湖泊由淡水湖→咸水 湖→盐湖演化。随着时间的推移,在湖泊蒸发量大 于补给量的总趋势下,湖水不断浓缩形成高矿化度 富锂盐湖^{[5,22]①④◎}。

吉布茶卡-拉果错盐湖目前的水面面积为 107 km²,平均水深 15 m,水位高程 4470 m,最高古水位 高于现今水位 220 m。按古湖泊最高古水位水量与 现代湖泊水量推算,现在的湖水已经发生浓缩,只有 古湖泊水量的 1/160(尚未计算湖盆沉积层体积和 巨大蒸发量),为典型的第四纪蒸发盐湖^[22]。

5 结语

(1)吉布茶卡-拉果错盐湖矿区所处青藏高原在 燕山期一喜马拉雅期的板块碰撞作用下形成了一系 列 NWW 向和近 SN 向纵横交错的高角度正断层和 棋盘式小型断块组合。更新世以来,青藏高原在喜 马拉雅期第三幕(新构造运动)快速隆起,相邻断块 相对上升或下降成为断块山或断陷盆地构造。

(2)伴随板块俯冲与高原隆升,区域构造-岩浆 作用强烈,具有洋壳特征的蛇绿岩组和壳源--幔源型 中酸性岩浆沿断裂侵位。蛇绿岩和中酸性侵入体中 所含的 Li 元素在表生地质作用过程中不断进入湖 盆水体,成为盐湖锂矿的重要成矿物质来源。

(3)湖盆流域内富锂地质体中易溶的 Li 元素经 地表水迁移进入湖泊中富集。在蒸发量大于补给量 的高原气候条件下,湖水不断浓缩,最终形成高矿化 度卤水锂矿。

注释:

- ① 李金生,邓学国,李俊峰,等.西藏自治区改则县吉布茶卡矿 区锂硼矿资源储量核实报告[R].成都:四川省冶金地质勘查 院,2021.
- ② 赵波,李勇.西藏自治区改则县拉果错矿区盐湖表面卤水锂 (硼、钾)矿详查报告[R].格尔木:西藏自治区地质矿产勘查开 发局第五地质大队,2012.
- ③ 耿旭,汪长林.西藏自治区改则县吉布茶卡矿区硼镁矿、盐湖 卤水矿资源储量核实报告[R].成都:四川省地质矿产勘查开 发局矿物探队,2016.
- ④ 李金生,邓学国,张俊成,等.西藏自治区革吉县扎仓茶卡Ⅰ、 Ⅱ、Ⅲ湖(整合)矿区卤水锂矿资源储量核实报告[R].成都:四 川省冶金地质勘查院,2019.
- ⑤ 李金生,李兴,王治颖,等.西藏自治区革吉县捌千错盐湖矿 区硼锂钾矿资源储量核实报告[R].成都:四川省冶金地质勘 查院,2021.

参考文献:

- [1] 刘成林,余小灿,袁学银,等.世界盐湖卤水型锂矿特征、分布 规律与成矿动力模型[J].地质学报,2021,95(7):2009-2029.
- [2] 陆成宽. 盐湖提锂技术突破,我国锂资源供给更有保障[N]. 科技日报,2021-12-20(2).
- [3] 蒋晨啸,陈秉伦,张东钰,等. 我国盐湖锂资源分离提取进展 [J]. 化工学报,2022,73(2):481-503.
- [4] 王秋舒,邱景智,邵鹤楠,等.全球盐湖卤水型锂矿床成矿特

征与资源潜力分析[J].中国矿业,2015,24(11):82-88.

- [5] 高春亮,余俊清,闵秀云,等.全球盐湖卤水锂矿床的分布特 征及其控制因素[J].盐湖研究,2020,28(4):48-55.
- [6] 董涛,谭红兵,张文杰,等.西藏地区盐湖锂的地球化学分布 规律[J].河海大学学报(自然科学版),2015,43(3):230-235.
- [7] 钟辉. 卤水锂资源开发技术进展[J]. 矿产综合利用, 2003 (1): 23-28.
- [8] 杨绍修. 青藏高原盐湖的形成与分布[J]. 湖泊科学, 1989, 1 (1): 28-36.
- [9] 汪傲,赵元艺,许虹,等.青藏高原盐湖资源特点概述[J].盐 湖研究,2016,24(3):23-29.
- [10] 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等.中国大地构造单元划分[J]. 中国地质,2009,36(1):1-28.
- [11] 陶晓风,赵兵,马润则,等.1:25万赛利普幅(H44C001004) 区域地质调查报告[M].北京:地质出版社,2015:1-246.
- [12] 刘登忠,陶晓风,马润则,等.1:25万措勤县幅(H45C001001)区域地质调查报告[M].北京:地质出版社,2015:1-228.
- [13] 王保弟,刘函,王立全,等.青藏高原狮泉河一拉果错一永 珠-嘉黎蛇绿混杂岩带时空结构与构造演化[J].地球科学, 2020,45(8):2764-2784.
- [14] 唐跃,翟庆国,胡培远,等. 班公湖一怒江缝合带西段拉果 错蛇绿岩中斜长岩成因及其对中特提斯洋演化的制约[J]. 地质通报,2021,40(8):1265-1278.
- [15] 丁秀萍.西藏拉果错地区蛇绿岩带地球化学特征及找矿潜力 分析[D].成都:成都理工大学,2015.
- [16] 王冠.西藏仓木错一多桑南北向地堑构造特征及成因机制探 讨[D].成都:成都理工大学,2010.
- [17] 黎形, 倪守斌. 地球和地壳的化学元素丰度[M]. 北京: 地质 出版社, 1990.
- [18] 董海.西藏拉果错盐湖卤水锂成矿机理研究[D].北京:中国 地质大学(北京),2019.
- [19] 郑绵平. 全球盐湖地质研究与展望[J]. 国外矿床地质, 1998 (3):1-34.
- [20] 郑绵平,刘喜方,赵文,等.西藏高原盐湖的构造地球化学和生物学研究[J].地质学报,2007,81(12):1698-1708.
- [21] 吕苑苑,郑绵平.盐湖硼、锂、锶、氯同位素地球化学研究进展 [J]. 矿床地质,2014,33(5):930-944.
- [22] 郑绵平,赵元艺,刘俊英,等. 第四纪盐湖沉积与古气候[J]. 第四纪研究,1998,18(4):297-307.

Analysis on ore-control factors of Lithium deposit of Jibu Caka-Lhaguo Tso salt lake in Gerze county, Tibet LI Jinsheng, LI Xing, ZHANG Qingsong, WEI Yu

(Sichuan Institute of Metallurgical And Geological Exploration, Chengdu 610051, China)

Abstract: Tibet is one of the provinces with dotted salt lakes in inland China, especial for the Northeast Tibet where many modern salt lakes are distributed and abundant with Li mineral resources. This paper briefly outlines physiography of Jibu Caka-Lhaguo Tso salt Lake area and details regional geological back-ground and metallogenic characteristics of salt Lake Lithium metallogey of the area. Characteristics of geology and hydrology and the temporal and spatial relation are analyzed and lake basin structure, lithium sources of the lake and control of hydrological and climatic conditions on the lithium metallogenic process discussed so as to provide reference for prospecting lithium mineral resources in the area.

Key Words: Jibu Caka-Lhaguo Tso salt lake; salt lake lithium deposit; ore-control factor; Gerze county; Tibet