

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

柴西北缘大门口地区深层卤水水化学特征及成因研究

马晓晨^{1*}

1. 中国科学院青海盐湖研究所 盐湖地质与环境实验室, 西宁 810000

柴达木盆地深层砂砾孔隙卤水因其富水性强和钾资源品位较高而被认为是重要的接续钾资源, 对该类型卤水的成因与富集规律认识尚不足。本研究采集大门口地区 ZK05 孔 200~800 m 和 800~1100 m 地下深层卤水样品 11 件, 测试其水化学和同位素化学组成, 通过卤水水化学特征、元素相关性和特征系数, 探讨该地区深层卤水成因与富集规律。研究区卤水赋存于阿尔金山前巨厚砂砾层中, 矿化度 (TDS) 平均值为 281.4 g/L, pH 值在 6.8~7.0 之间, 富含 Cl^- 、 Na^+ , 而 SO_4^{2-} 和 HCO_3^- 含量较低, Li^+ 、 CO_3^{2-} 含量极低, 水化学为 Na-Cl 型。深层卤水元素特征系数 (钠氯系数、钾氯系数、溴氯系数、氯溴系数、脱硫系数) 综

合指示大门口地区深层砂砾型含钾卤水是蒸发残余卤水及盐岩溶滤卤水混合成因的多源性卤水, 深层卤水的封闭性和还原性好, 但浓缩程度较低, 远未达到钾盐沉积阶段。卤水氢氧同位素呈现正漂移, 进一步指示大门口地区深层砂砾型孔隙卤水是在陆相环境下由古代大气降水经过蒸发浓缩过程而形成, 陆源物质的输入对卤水的形成和演化起到了重要作用。研究区深层卤水形成过程中酸性及基性岩浆岩的风化对于研究区卤水的物质组成及演化存在一定的影响。

关键词: 柴达木盆地西北缘; 深层砂砾型孔隙卤水; 水化学; 岩石地球化学; 同位素

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

卤水赋存状态与可动性的核磁共振响应

付德亮^{1*}, 秦建强¹, 韩元红¹, 潘彤², 王自翔³, 郭廷峰²,
张绍栋², 贾建团², 张晓冬², 孙丽娜³

1. 陕西省煤田地质集团有限公司 (自然资源部煤炭资源勘查与综合利用重点实验室), 西安 710021;

2. 青海省地质矿产勘查开发局 (青海省柴达木盆地盐湖资源勘探研究重点实验室), 西宁 810001;

3. 长江大学 (油气资源与环境湖北省重点实验室), 武汉 430000

为研究深层卤水赋存特征及其流动性, 本研究以柴达木盆地西部凹陷区碱石山背斜狮子沟组为研究对象, 通过核磁共振对岩心样品的干样、饱和卤水样、2 Mpa 离心和 4 Mpa 离心四种含水状态进行扫描, 分析了孔隙内的卤水赋存状态与孔径分布特征相关性。结果显示, 岩心样品的孔隙主要由大孔 (48.75%) 和流动孔 (30.76%) 组成, 同时也存在一定比例的吸附孔隙 (20.49%)。需要注意的是, 本次研究采用了 Hodot 储层孔隙度分类方案, 将孔隙分为吸附孔隙 (<100 nm)、渗流孔 (100~1000 nm) 和大孔隙 (>1000 nm)。经过在 2~4 MPa 下离心的水被简单地称为自由水, 代表盐水中的可移动部分。岩心饱和水样的 T2 分布较广, 大部分值落在 10~100 毫秒之间, 其次是 1~10 毫秒范围内的较小部分, 低于 1 毫秒的部分最小。这与其孔隙结构具有高度一致性。岩心离心前后 MNR 结果表明, 在 2~4 Mpa 离心条件下, T2 在 10 ms 以上部分赋存卤水几乎可完全被排出, 1~10 ms 部分赋存卤水可被部分排出。2 Mpa 离心与 4 Mpa 离心后的变化差别较小。样品在 2 Mpa 离心后, 核磁视孔隙度由 10.74% 降低至 5.34%, 继续 4 Mpa 离心

后, 核磁视孔隙度降低至 4.50%, 累积下降 6.24%, 视孔隙度下降比例占其总孔隙度的 58.10%。显然, 以大孔和渗流孔为主的样品中的卤水更易被排出。在饱和盐水样的 T1-T2 二维 NMR 谱中可以分出明显的 3 个区域, 分别对应着大孔中的自由水 (T1>50 ms, T2>10 ms), 渗流孔中的自由水 (30 ms<T1<100 ms, 1 ms<T2<10 ms) 和吸附孔中的束缚水 (T1<30 ms, T2<1 ms)。在 2 Mpa 离心后, 大孔和渗流孔中的自由水基本消失, 在进一步 4Mpa 离心后, 束缚水区域面积略有降低, 但信号强度没有明显降低。研究表明: 在对深部卤水层评价过程中, 孔隙结构是卤水储层的重要评价参数。以吸附孔为主的储层内卤水难以开采, 而以大孔和渗流孔为主的卤水层是优势储层。高渗透率储层虽然有利于卤水渗流, 但仍需要考虑储层的孔隙结构。纹层发育的泥页岩往往层理缝较为发育, 其横向渗透率较高, 但孔隙往往以吸附孔为主, 不利于卤水开采。

关键词: 柴达木盆地; 深藏卤水; 核磁共振; 束缚水; 自由水

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

玛湖凹陷二叠系风城组高矿化度地层水成因 及其演化过程研究

杨哲^{1*}

1. 长江大学, 武汉 430100

摘要: 准噶尔盆地玛湖凹陷风城组岩石类型多样, 盐类矿物丰富, 风城组烃源岩的有机质含量较高, 且具有较好的生烃能力, 该区域具有较大的勘探潜力。前人学者通过各种技术手段基本上明确了碱湖形成的机理及其演化, 在高矿化度地层水的成因及其演化过程还有不足, 因此针对高矿化度地层水进行分布特征、矿化度、地层水化学参数、以及高盐矿物的综合分析。进一步分析高矿化度地层水的成因及其演化过程为该区域油气勘探做出参考。研究表明: 准噶尔盆地二叠系风城组地层水多为 NaHCO_3 型, 二叠系风一段平均矿化度超过 50 g/L, 并且其中玛湖 16 井风城组矿化度达到 236.83 g/L, 为全区最高, Cl^- 、 Na^+ 是主要的阴离子、阳离子; 该区风城组脱硫酸系数较低说明封闭性较好, 地层水浓缩变质作用较

深, 水岩反应较强, 储层次生孔隙发育, 是油气运聚成藏的有利区; 原始地层水为典型的海相成因地层水, 除蒸发浓缩作用外, 还有白云石化作用、溶蚀作用等水岩反应。高矿化度地层水的形成和演化受控于环境的影响和物源的影响, 在玛湖凹陷碱湖发育的过程中, 构造作用和火山作用活动强烈, 并且处于干旱-半干旱的环境, 地层水不断地浓缩, 同时火山作用带来了丰富的物源, 在期间不断生成盐类矿物典型的有: 硅硼钠石, 白云石, 碳酸钙石和方解石等, 这些矿物也受到大气降水的侵蚀不断的发生水岩反应使发生离子交换过程, 这样也使得地层水矿化度变高。

关键词: 地层水; 成因与演化; 玛湖凹陷; 碱湖; 风城组

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

藏东昌都盆地晚中生代地层物源属性特征与沉积环境演化：对区域成盐古流体迁移过程的指示

李长忠¹, 苗卫良^{1*}

1. 中国科学院青海盐湖研究所 青海省盐湖地质与环境重点实验室, 西宁 810008

藏东昌都地区与兰坪-思茅-呵叻成盐带空间位置毗邻, 且盆内同样发育有丰富的中生代膏盐类沉积及大量盐泉, 但二者间在物源演化关系和区域成盐古流体迁移过程等方面研究薄弱且存在争议。本文以昌都盆地为主要研究区, 通过对盆地内三个中生代长序列地层剖面沉积学、岩相学、矿物学研究, 结合沉积物硅酸盐相元素地球化学特征分析, 探讨了研究区的物源属性特征、沉积环境演化及区域内的古流体迁移过程, 并尝试揭示昌都地区与兰坪-思茅-呵叻成盐带之间的物源关系。研究结果表明, 昌都盆地中生代沉积地层兼具被动大陆边缘、活动大陆边缘及大陆岛弧等物源区大地构造背景信息, 显示了研究区长期以来的混合物质来源。昌都盆地晚中生代地层的源岩属性特征均以长英质酸性岩系

为主, 且与兰坪-思茅盆地对应地层的物源属性特征具有较高的相似度。昌都盆地的沉积环境从中侏罗世的海陆过渡相环境逐渐演变为晚侏罗世-晚白垩世的内陆河流-湖泊相环境。结合砂岩粒度特征及概率累计曲线分析, 发现中侏罗世以来盆地内的沉积环境由浅湖-半深湖相环境逐渐演变为滨浅湖相环境、河流-湖泊三角洲相环境。通过对昌都盆地与兰坪-思茅-呵叻成盐带之间物源演化关系的讨论, 认为晚中生代昌都盆地陆相古湖盆圈闭了大规模的变质海水, 为兰坪-思茅-呵叻成盐带巨型“异常”蒸发盐的形成提供了物质基础。

关键词: 昌都盆地; 物源属性; 沉积环境演化; 古流体迁移

*本文受第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0805)、2020 年度中科院西部之光青年学者项目和中国科学院青海盐湖所基础研究青年创新交叉团队项目(ISLJCTD-2022-2)联合资助

第一作者简介: 李长忠, 男, 1993 年生, 博士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: lichangzhong18@mails.ucas.ac.cn

**通讯作者: 苗卫良, 男, 1980 年生, 博士, 副研究员, 主要从事沉积学及地球化学研究, E-mail: weiliangm@isl.ac.cn

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

新疆盐湖分布、形成演化及资源预测

刘成林^{1*}

1. 中国地质大学(武汉) 资源学院, 武汉 430074

新疆地区自晚古生代-中生代以来, 燕山运动、喜马拉雅运动强烈造山形成了昆仑山、天山等近东西向山脉, 发育了大量山间盆地与前陆盆地, 呈现“三山、三盆”地貌格局, 独特的地质、气候条件形成了星罗棋布的盐湖, 是我国最大的盐湖资源分布区。新疆盐湖可分为 6 个成矿区带: (1) 准噶尔盆地盐湖钾-溴成矿区, 岩层风化淋滤以及深部地层水、油田水补给成矿; (2) 东天山-吐哈盆地硝酸盐成矿区, 源于重金属的催化-光化学反应产生以及大气沉降作用; (3) 大罗布泊成矿区, 来自古盐层、周缘山系及深部卤水物质迁移-汇集成矿; (4) 莎

车盆地盐湖成矿区, 主要为副特提斯洋海侵成盐; (5) 库车盆地成矿区, 受海侵海水、深部流体以及陆源物质补给后蒸发浓缩成矿; (6) 阿尔金-昆仑山锂成矿区, 含钾锂火山岩的水-岩反应、温热带补给等成矿。新疆主要盐湖钾锂溴资源找矿靶区有: 大罗布泊西部、库车凹陷及塔西南地区, 西昆仑-阿尔金山间盆地, 准噶尔盆地中部-北部盐湖及深部地层卤水。

关键词: 新疆盐湖; 形成演化; 分布特征; 资源远景预测

基金项目: 第三次新疆综合科学考察课题(2022xjkk1303); 新疆维吾尔自治区重大科技专项项目(2022A03009)

通信作者简介: 刘成林(1963-), 教授, 研究方向: 盐湖资源成因及勘查评价. Email: 3055794019@qq.com

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

基于 CiteSpace 的盐湖资源研究热点及前沿探析

崔博京^{1*}

1. 中化地质矿山总局地质研究院, 北京 100101

盐湖中蕴含丰富的矿产资源, 包括钾盐、锂、镁、硼等, 在农业、新能源、新材料等领域具有广泛的应用前景, 对保障国家资源安全、粮食安全和经济安全具有深远意义。近年来, 盐湖资源的探索与研究已成为学术界持续关注与深入探讨的热点议题。本文基于 CiteSpace 软件, 对近十年来 CNKI (中国知网) 和 CSSCI (中国社会科学引文索引) 期刊数据库收录的盐湖资源研究领域的 753 篇文献资料进行了系统分析与可视化处理, 从文献期刊来源、研究机构、关键词共现和凸现、关键词聚类等方面, 分析盐湖领域的

研究热点主题及研究前沿。研究结果显示, 当前盐湖资源研究的核心热点包括盐湖卤水提锂技术、盐湖资源的综合利用、盐湖生态环境保护以及盐湖生物资源的开发等; 盐湖资源研究的新兴方向包括盐湖中稀有元素的提取、盐湖微生物资源的开发利用等。希望本文的研究结果可以为盐湖领域的研究者提供信息参考, 推动盐湖资源科学研究的发展。

关键词: 盐湖资源; 盐湖综合利用; CiteSpace; 知识图谱

基金项目: 地球深部探测与矿产资源勘查国家科技重大专项 (2024ZD1002004)、国家重点研发计划项目 (2023YFC2906500)、自然资源部“战略化工矿产成矿理论及找矿技术创新团队” (ZHTD202401)、中国煤炭地质总局科技创新项目 (ZMKJ-2023-JBGS03-02)

第一作者简介: 崔博京 (1996-), 助理工程师, 研究方向: 矿产资源战略研究. Email: 1043395301@qq.com

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

澳大利亚第四纪盐湖型钾盐勘探进展

赵相宽^{1*}, 徐佳佳¹

1. 中国地质调查局地学文献中心, 北京 100083

钾是植物、动物和人类必需的营养物质, 没有任何替代品, 因此钾盐被多个国家列为战略性矿产。澳大利亚于 2013 年开始全国范围内的钾盐勘探, 是近十年除中国外钾盐勘探投入最大的国家, 且其钾盐赋存状态与中国相似, 以第四纪盐湖型钾盐为主, 因此针对澳大利亚的第四纪盐湖型钾盐勘探进行研究, 以期为我国钾盐勘探带来启示。2013 年, 澳大利亚地球科学局发布《澳大利亚战略资源盐湖潜力评估综述》, 评估了全国范围内的钾盐成矿潜力, 澳大利亚矿业和勘探公司协会也于 2019 年推出了符合 JORC 标准的《卤水资源量和储量评估指南》, 开启了澳大利亚钾盐勘探热潮。2013 年至今, 澳大利亚已探明 Lake Wells、Lake Mackay、Lake Disappointment、Beyondie 等多个第四纪盐湖型钾盐矿床, 查明可采资源量共计氧化钾当量 4730 万吨, 其中 Beyondie 项目已完成商业销售。在勘探技术方面, 除了传统的地

质填图、螺旋钻、探槽、钻探等方法外, 澳大利亚地球科学局使用高级星载热发射和反射辐射仪 (ASTER) 进行省尺度的钾盐潜力评估, 部分企业使用被动地震技术评估古河谷深度, 使用声波钻进技术采集相对较深的盐湖卤水样品, 都取得了较为理想的效果。研究表明, 澳大利亚近十余年的第四纪盐湖型钾盐勘探成功探明了多个钾盐矿床, 积极使用新兴勘探技术和设备, 建立了澳大利亚钾盐勘探的标准流程。我国第四纪盐湖型钾盐勘探启动较早, 近年在关键科学问题和关键勘探技术方面都取得重大突破, 在勘探方法层面, 可参考《卤水资源量和储量评估指南》引入时间和空间影响; 在勘探技术方面, 可尝试使用卫星遥感、被动地震、声波钻进等技术和设备。

关键词: 钾盐; 澳大利亚; 现代盐湖型; 矿产勘探

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

下扬子地区无为盆地中三叠世硬石膏成因及其 对深部富锂卤水演化的启示

吴通¹, 张传琳^{2*}, 何建华³, 黄亚浩⁴, 蒋苏扬⁵, 方朝刚¹, 章诚诚¹

1. 中国地质调查局南京地质调查中心 能源地质室, 南京 210016;

2. 河海大学 海洋学院, 南京 210001;

3. 成都理工大学 能源学院, 成都 610001;

4. 长江大学 资源与环境学院, 武汉 430100;

5. 中国人民解放军陆军工程大学, 南京 210007

中三叠世, 沿着长江下游两岸形成了一系列的巨厚硬石膏沉积区, 其中包括下扬子地区的无为盆地。为了研究硬石膏成因及钻遇的富锂卤水来源, 对获取的岩心和卤水进行了水文和同位素地球化学、流体包裹体测试。白云岩的碳氧同位素分析表明, $\delta^{13}\text{CPDB}$ 值在 -2.9‰ ~ -0.4‰ 之间, $\delta^{18}\text{OPDB}$ 值在 -8.1‰ ~ -5.6‰ 之间, $\delta^{13}\text{CPDB}$ 与 $\delta^{18}\text{OPDB}$ 具备较好的正相关性, 表明在形成过程中受到了热流体强烈的成岩改造作用。 $\delta^{18}\text{O}$ 值与古温度的关系式计算出白云岩的形成温度为 $47\sim 56^\circ\text{C}$ 。白云岩原生盐水包裹体均一温度范围落在 $121.6\sim 139.4^\circ\text{C}$ 之间, 盐度为 4.40% NaCl, 硬石膏原生盐水包裹体均一温度为 $180\sim 185^\circ\text{C}$ 和 $210\sim 215^\circ\text{C}$ 之间, 盐度分布在 12.8% NaCl~ 15.5% NaCl, 异常高的流体温度和较大范围的盐度变化指示在原

生沉积时有大量热卤水的涌入至长期蒸发的古海水中。采用显微拉曼对硬石膏原生盐水包裹体的组分进行分析, 得出原始卤水水化学类型为 Cl-SO₄-Na-Ca 体系。卤水的水化学分析显示与硬石膏原生包裹体盐水类型一致, 微量元素 Li、Be、B 的富集表明卤水的物源与深部热液的供给有密切联系。上述研究揭示, 区域高盐度热水由大别造山带向长江下游两岸各汇水盆地的排泄汇聚, 并与盆地内本身的咸化古海水混合蒸发浓缩, 导致大量蒸发岩在盆地内沉积, 最终在周冲村组形成硬石膏矿床和伴生的富锂卤水。

关键词: 无为盆地; 中三叠世; 硬石膏; 富锂卤水; 成因演化

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“重点盆地页岩气调查评价”(DD20221662)、安徽省公益性地质工作项目(2022-g-2-3)和江苏省地质学会重点学术研究课题(JSDZXH-P2023-01)联合资助

第一作者简介: 吴通(1990-), 高级工程师, 博士在读, 研究方向: 蒸发岩及伴生卤水、油气资源富集规律. Email: wut@mail.cgs.gov.cn

*通信作者简介: 张传琳(1968-), 教授, 博士生导师, 研究方向: 构造地质学、岩石地球化学. Email: zchuanlin1968@gmail.com

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

柴达木盆地北缘大小柴旦盐湖硼锂物源示踪

李雯霞^{1*}

1. 中国科学院青海盐湖研究所, 西宁 810000

硼锂是我国重要的战略性矿产资源,其成因研究一直是全球关注的热点。大、小柴旦湖作为柴达木盆地内唯一以富硼为典型特征的盐湖硼锂矿床,具有重要的经济价值和研究意义。但两湖之间成矿规模差异显著,而流域地表径流和深部流体虽然具有富集的硼锂含量,但是缺乏针对全流域尺度的系统性研究,目前对其溶质来源及可溶硼锂的物源属性仍不清楚,这显著制约了对大、小柴旦盐湖硼矿床源汇过程的深入理解。本研究系统分析了不同补给水体的元素和硼、锂、锶同位素组成特征,并对流域水文地貌格局改变的年龄进行了约束,结合以往的研究成果,得出以下主要结论:(1)地表径流的溶质来源主要是地层或地表蒸发岩的溶解(75.04%),其次是大气输入

(20.72%),硅酸盐仅贡献了0.62%的溶质,而碳酸盐在八里沟河和穿过泥火山的塔塔棱河处有少量贡献;(2)研究区可溶性硼锂的物源主要来自温泉和泥火山等深部流体,推测泥火山的贡献更大,鱼卡河和塔塔棱河对其也具有不可低估的贡献;(3)在23000~18000 a B.P.期间,区域水文格局发生改变,河流的改道使得湖区的水文收支急剧减少,导致了大柴旦湖区快速的盐沉积和硼矿富集,这也是造成两湖资源显著差异的主导因素。这些结果可为深入认识大、小柴旦盐湖硼矿床成矿机制具有重要的参考意义。

关键词: 可溶性硼锂; 物质来源; 水文格局演化; 大小柴旦盐湖; 柴达木盆地

第一作者: 李雯霞(1987), 博士研究生, 研究方向: 盐湖地球化学.Email: liwx@isl.ac.cn

通讯作者: 张西营(1977), 研究员, 研究方向: 盐湖地球化学.Email: xyzhchina@isl.ac.cn

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

盐湖卤水钾盐资源勘查评价指标体系构建与应用

孙小虹¹, 王畅^{1*}, 李博昀¹, 王淑丽¹, 王凡¹,
鲁楦银¹, 刘星旺¹, 崔博京¹

1. 中化地质矿山总局地质研究院, 北京 100101

科学合理的评价指标体系是资源评价准确可靠的关键。在盐湖资源研究领域, 以往学者的研究重点多聚焦于锂钾资源的赋存特征、成矿模式及分离提取技术等方面。然而, 资源评价工作研究不足, 定量评价较为缺乏。盐湖钾盐勘查评价受多种因素影响, 其中成矿要素是核心, 直接决定了钾盐的形成与勘查开发潜力。

本研究基于成矿要素剖析影响因素, 致力于构建层次化的评价指标体系。在文献调研与实际勘查数据的支撑下, 列出涵盖地质背景、储卤层特性、卤水特征等多维度指标。通过向多位专家分别征询意见, 结合专家打分与层次分析法进行统计处理, 筛选出权重相对较大的指标, 构建了盐湖卤水钾盐资源勘查评价指标体系。通过对柴达木盆地马海盐湖和察尔汗盐湖别勒滩矿段的实证研究, 验证了评价模型的可操作性以及评价方法的可行性。评价结果能够为盐湖钾盐资源潜力评价、勘查选区等工作提供有力的决策依据, 助力盐湖钾盐资源的高效开发与合理利用。

1. 评价指标体系的构建

从影响盐湖卤水钾盐矿床的地质背景、储卤层特性和卤水特征 3 个方面, 优选出“成矿条件”、“古水文条件”、“储卤层岩性”、“储卤层厚度”、“储卤层面积”、“孔隙度”、“给水度”、“渗透性”、“钾离子含量”、“伴生有益元素” 10 项具有代表性的评价指标, 构建了盐湖卤水钾盐资源勘查评价指标体系, 能够直观地

反映盐湖钾盐矿床资源勘查开发的优势度。

2. 影响盐湖钾盐资源勘查评价的主要因素

影响盐湖卤水钾盐资源勘查评价的因素中, 储卤层特性的权重最高, 储卤层特性是盐湖钾盐资源勘查评价的核心因素, 直接反映了储卤层的物理特性(如岩性、厚度、孔隙度等), 不仅决定卤水的储存和运移能力, 还直接影响开采难度和效率。卤水特征的权重次之, 卤水钾离子含量、伴生有益元素是卤水资源经济价值的重要体现, 决定了资源的开发潜力和经济效益。地质背景的权重相对较低, 但它是盐湖钾盐资源形成和分布的基础条件, 反映了成矿条件、古水文条件等自然特性, 是资源勘查开发的先决条件。

3. 典型盐湖钾盐矿床勘查评价结果

典型盐湖钾盐矿床勘查评价结果排序为: 察尔汗盐湖别勒滩矿段, 得分 81.84; 马海盐湖, 得分 71.29。察尔汗盐湖别勒滩矿段在储卤层特性和卤水特征方面表现优异, 具备较高的勘查开发潜力; 马海盐湖虽以钾资源开发为主, 勘查开发潜力相对有限。评价结果反映实际情况, 但勘查评价是一个动态变化过程, 随着勘查技术水平的不断提高, 评价结果也会发生变化, 需持续跟踪评价。

关键词: 盐湖; 钾盐; 评价指标体系; 资源评价

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

思茅盆地盐泉及地表水地球化学及钾同位素特征

李晨^{1*}, 尹宏伟¹

1. 南京大学 地球科学与工程学院, 南京 210000

本次研究的样品共计 38 件, 主要来自于云南思茅盆地景谷地区, 包括芒卡盐泉、恩耕井和换乐温泉, 以及研究区周边几条河流水, 包括澜沧江、威远江、恩耕河和景谷河。水样测试包括 K、Na、Ca、Mg、Cl、SO₄、HCO₃、CO₃ 以及 K 同位素, 测试工作均在南京大学完成, 采用了火焰光度计、OES、MC-ICP-MS 仪器测试。思茅盆地景谷地区采集三口盐泉样品, 通过简单的阴阳离子测试分析, 发现其具有极大的相似性, 主要受 Na、Ca、Cl、离子控制, F、HCO₃ 离子占据了一定比重, 进一步对其离子比图解分析, 盐泉样品主要以碳酸盐矿物溶滤为主。同时对景谷地区主要的河流进行采样分析, 发现其离子变化

趋势与盐泉水样较为接近, 但是存在一定的不一致性, 说明其受到不同来源的混入, 从离子比图解发现河水样品受碳酸盐岩和硅酸盐岩共同控制。景谷地区地表水 K 同位素组成和 K 元素浓度受多种因素控制, 包括盐泉输入、蒸发岩溶解以及流域内部的硅酸盐岩风化过程。空间上, K 同位素值呈现自西向东和自北向南的规律性变化, 反映了区域水文地球化学过程的复杂性。这些发现为理解景谷地区地表水化学组成及其控制机制提供了重要依据, 也为找钾矿提供新的手段和思路。

关键词: 盐泉; 地球化学特征; K 同位素

基金资助: 滇西南中生代海相钾盐成钾条件与成矿预测 (编号: 2023YFC2906504)。

第一作者简介: 李晨, 男, 1996 年生, 博士研究生, 主要从事钾盐矿产地质调查、同位素地球化学研究。Email: chenli_nju@smail.nju.edu.cn

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

青藏高原西昆仑构造带富锂盐湖物源属性与成矿过程研究

苗卫良^{1*}, 张西营¹, 李玉龙¹, 李长忠¹, 赵辉斌¹, 高品¹, 李雯霞¹

1. 中国科学院青海盐湖研究所, 西宁 810008

在全球能源结构加速转型的背景下,盐湖卤水型锂矿因其占全球锂资源量 57%~63%的战略地位,正成为国际资源竞争的核心目标。中国青藏高原拥有全球第二大盐湖锂资源潜力,近年来已报道了数个百万吨级碳酸锂资源量的超大型盐湖锂矿。青藏高原西昆仑造山带位于古亚洲构造域和特提斯构造域的结合部位,是多期次造山运动复合叠加形成的大陆复合造山带。强烈的碰撞造山活动驱动了区内活跃的火山与岩浆作用,并形成了多个超大型硬岩型锂矿床和卤水型锂矿床,显示出巨大的锂资源成矿潜力。但目前对该区富锂卤水的成因机制及多圈层协同作用下的可溶锂迁移富集过程方面仍缺乏系统认识。本研究通过对该造山带内三个主要的卤水锂成矿区开展研究,基于水化学组成与同位素组成($\delta^7\text{Li}$, $\delta^{11}\text{B}$)系统探究了各富锂水体区的物源特征及其补给模式的异同。结果表明,古甜水海湖区(苦水湖、黄草湖、红山湖、

阿克赛钦湖)中的可溶性锂与区域构造运动引起的多期次富锂地热泉的补给密切相关,长期干旱气候条件驱动了弱补给区湖泊中锂的强烈富集。阿什库勒盆地(乌鲁克库勒湖)富锂湖泊主要受到了深部断裂带富锂流体上涌及地表火山碎屑岩的风化与短程补给的共同作用,并以低矿化度高富锂系数为典型特征。而肖尔库勒湖则受沿断裂带分布的泥火山涌水体的补给而显示出富锂硼的特征,表现为浅部水-岩作用主控的特征。总之,西昆仑造山带内湖泊富锂特征的差异主要取决于各湖区可溶锂的物源及其补给模式制约。陆块碰撞的远程效应促进了青藏高原内部及周边地区断裂带的复活,这可能为区域水-岩作用程度的强化及深部富锂流体的溢出创造了良好条件。

关键词: 富锂卤水; 物源属性; 成矿过程; 西昆仑造山带; 青藏高原

基金项目: 国家自然科学基金项目(U22A20573)

第一作者简介: 苗卫良(1980-), 副研究员, 研究方向: 环境矿物学. Email: weiliangm@isl.ac.cn

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

江汉盆地卤水型钾锂矿成矿理论与找矿进展

王春连^{1*}

1. 中国地质科学院 矿产资源研究所新能源新材料矿产研究室, 北京 100037

地热储层中的流体会受到与寄主岩石相互作用的影响。确定溶质来源和水岩相互作用过程, 本研究收集了从上白垩统到下白垩统的水样江陵盆地始新世地层。它们的化学和同位素(氢、氧、锶、硼)研究了元素特征及相应储层的矿物学特征。通过离子相比, 水样表现为 Mg 和 SO₄ 的耗竭和 K、Na、Ca 和 Cl 的富集蒸发海水的轨迹。观察到 Cl/Br 质量比(709~1390)、Na/Cl 摩尔比(0.79~1.01)、Ca 过量和 Na 缺乏暗示了岩盐溶蚀作用和钠长岩化、白云化、方解石和酸酐胶结等多重成岩作用的贡献, 与储层岩相一致矿物学。这些地热流体的化学地温计估计温度约为 200±热盐水。与化学成分比较在上白垩统咸水中, 热盐水富集 K、Li、B、Sr、Rb、Cs、Br、Ba 和过渡金属如 Co、Ni、Cu、Zn、V、Ti 和 Mn。 $\delta^{18}\text{O-Li}$ 、 $\delta^{18}\text{O-Rb}$ 、 $\delta^{18}\text{O-Cs}$ 和 $\delta^{18}\text{O-K}$ 值的相关性表明与岩石的平衡导致了 K、Li、Rb 和 Cs 的富集。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值的变化(0.706954~0.711249)和 $\delta^{11}\text{B}$ 值(+8.7‰~+23.1‰)由于玄武岩与碎屑岩的水岩相互作用而存在差异。化学和同位

素数据的综合表明江汉盆地地热水主要来源于水岩相互作用和大气补给水域。此外, 硼同位素数据与传统的氢、氧、锶同位素数据一致同位素在解释水岩相互作用过程方面的作用。上部的多同位素表征白垩纪至下始新世地热水的同位素组成表明江陵盆地具有玄武岩、碎屑岩与水相互作用的流体特征源自经大气水稀释的原生盐水。水化学与多同位素组合研究表明, 高温水岩相互作用是成矿作用的主要影响因素江陵地热系统中的热盐水。本次潜江凹陷北部地区钾盐的发现和鄂钾 1 井找矿突破, 作为新区(浩口地区)、新层系(潜江组三段和四段卤水钾盐)、新类型(碎屑岩型储卤体)钾盐找矿的典型代表, 开辟了江汉盆地新的找钾空间。中新生代我国东部地区形成了江汉盆地、渤海湾盆地等一系列裂谷型盆地, 本次钻获高产卤水, 对推动我国东部陆相盆地钾锂找矿突破具有重要意义。

关键词: 江汉盆地; 富钾锂卤水; 同位素地球化学; 成因研究

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

前陆复杂地质条件下蒸发岩的原始沉积序列是什么？ ——以库车坳陷古近系为例

秦鹏^{1*}

1. 中国石油大学（北京） 克拉玛依校区石油学院，新疆 克拉玛依 834000

摘要：蒸发岩沉积序列，揭示蒸发岩的演化规律。研究蒸发岩演化规律对指导岩矿资源和油气资源勘探具有重要意义。然而，库车坳陷古近系库姆格列木群蒸发岩受构造挤压和古地理条件制约，沉积序列在空间上具有很强的非均质性，致使地层对比困难，导致对蒸发岩的演化规律认识不清，造成导致对油气钻井工程指导性差。基于此，本次研究采用地质、地球化学和地球物理相结合的方法，首先查明了蒸发岩的岩石类型，综合古地貌、岩性序列、地震相、盐构造解释结果，然后建立了判别蒸发岩沉积序列是否受到由构造挤压导致的塑性流动变形的依据，最终恢复了古近系库姆格列木群蒸发岩的原始沉积序列。研究结果显示：（1）库姆格列木群蒸发岩发育 A 型，B 型和 C 型三种沉积序列：A 型具有砂泥岩-盐岩-膏岩-白云岩-膏岩-泥岩的岩性序列，指示环境突然从淡水环境演化至高盐度的钠盐环境，然后逐渐淡化至较高盐度的硫酸盐环境，再到中等盐度的碳酸盐环境；B 型具有砂泥岩-膏岩-白云岩-膏岩-泥岩的岩性序列，

指示环境从淡水环境突然演变至较高盐度的硫酸盐环境，然后逐渐淡化至中等盐度的碳酸盐环境；C 型具有砂泥岩-多套膏盐夹白云岩-泥岩的岩性序列，指示环境从淡水突然演变为较高盐度的膏岩或高盐度的钠盐到中等盐度的白云岩多次反复的淡化振荡。（2）A 型序列主要分布在克深地区，B 型序列主要分布在克拉-吐北和东秋以及却勒-羊塔克地区，而 C 型序列主要分布在大北地区。（3）A 型和 B 型沉积序列受到构造挤压变形弱，基本保持原始的沉积状态，而 C 型序列受到了构造挤压变形的影响。（4）库车地区蒸发岩具有砂泥岩-盐岩-膏岩-碳酸盐岩-膏岩-泥岩的沉积序列，指示蒸发岩演化遵循由淡水环境突然演变至高盐度的钠盐环境，然后逐渐淡化至较高盐度的硫酸盐环境，再到中等盐度的碳酸盐环境演化规律。

关键词：蒸发岩沉积序列；古近系；库姆格列木群；库车坳陷

基金项目：湖北省自然科学基金青年基金（2024AFB293）

第一作者兼通讯作者：秦鹏（1991—今），讲师，研究方向，沉积地质（包括：蒸发岩沉积，碳酸盐岩沉积），E-mail: kumugeliemu@163.com;

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

柴达木盆地典型盐湖沉积物中锂的微观赋存特征研究

王顺¹, 崔若男^{1,2}, 于子萌^{1,2}, 王晨宇^{1,2}, 李鸿宇^{1,2}, 薛红盼¹, 魏海成^{1,2*}

1. 中国科学院青海盐湖研究所, 西宁 810008;

2. 中国科学院大学, 北京 100049

锂(Li)资源是我国重要的战略性金属资源,是新能源、航空航天、核工业等高新技术产业发展的关键物质基础,被誉为“能源金属”、“白色石油”等。在全球能源转型和碳中和目标背景下,我国的锂需求量激增,加之全球锂资源分布极不均匀,我国锂资源对外依存度长期维持在 70%以上。我国锂资源类型复杂多样,主要分为卤水型、硬岩型和沉积型;揭示我国锂资源的形成机制和分布规律,进而推动锂资源的高效开发利用,已成为破解我国锂资源供应困境的关键所在。柴达木盆地锂资源极为丰富,尤其是中部四湖区(一里坪、西台吉乃尔湖、东台吉乃尔湖和察尔汗别勒滩区)是我国最大的卤水型锂矿区,战略资源地位不言而喻。前人在开展四湖区锂元素的“源-运-汇”过程研究时发现,在锂元素的迁移过程中,约 80%的总补给锂可能被固持于四湖区及其周缘的碎屑沉积物中。然而,现有研究主要关注宏观尺度的矿物组成与元素分布的相关性分析,沉积物中锂元素的赋存特征尚缺乏微纳尺度的精细研究与定量评价。因

此,我们以四湖区及其补给河流域的表层沉积物为研究对象,在开展主-微量元素分布、矿物组成和颗粒粒径分布等研究的基础上,利用扫描电镜-能谱(SEM-EDS)结合激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)研究了富锂沉积物中 Li 元素的微区空间分布及赋存状态。发现:1)在富含黏土矿物的微区中 Li 元素显著富集(可高达 1361 ppm),而在石英、长石、方解石等碎屑矿物中 Li 含量较低($<40\times 10^{-6}$);2)不同沉积区域中黏土矿物的类型及相对含量不同,导致不同的富黏土微区中 Li 元素的分布亦存在差异。所获成果从微纳尺度加深了对柴达木盆地典型盐湖区沉积物中锂资源分布赋存特征的认识,为进一步探究盐湖沉积环境下锂的迁移、富集和转化等地球化学行为及关键影响因素提供了新的研究思路。

关键词: 柴达木盆地; 富锂沉积物; 黏土矿物; 微观赋存机制

基金项目: 青海省十大国家级科技创新平台建设项目(2024-ZJ-J03); 青海省杰出青年基金项目(2023-ZJ-941J)。

第一作者简介: 王顺(1992-),助理研究员,研究方向: 盐湖战略性金属资源评价、矿物表-界面作用及其资源与环境效应。E-mail: wangshun@isl.ac.cn

*通讯作者简介: 魏海成(1983-),研究员,研究方向: 盐湖战略性金属资源评价、第四纪沉积环境与气候变化。E-mail: hcwei@isl.ac.cn

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

柴达木盆地表生风化过程的钾和锂同位素示踪

池禹麒¹, 林勇杰^{2*}, 郑绵平²

1. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100086;

2. 中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037

摘要: 柴达木盆地是青藏高原北缘的典型干旱-半干旱内陆盆地, 其极端气候与活跃构造隆升的耦合作用, 是研究表生风化过程的天然实验室。本研究以柴达木盆地的主要流域为研究对象, 系统分析河流河水钾(K)和锂(Li)等同位素组成。研究结果显示柴达木盆地内不同流域河流溶解 K、Li 及其同位素变化较大, 河流溶解离子主要来源于硅酸盐风化, 而碳酸盐和蒸发岩风化贡献较小。河流水的 $\delta^7\text{Li}$ 和 $\delta^{41}\text{K}$ 分别与 X/Na 和 X/Mg (X 为 Li 和 K) 具有良好的相关性, 表明风化过程中次生矿物形成过程吸附 K 和 Li 是控制河流 K、Li 同位素分馏的主要机制。K 和 Li 同位素瑞利分馏模型能较好的拟合盆地流域河流的同位素变化, 其风化产物与河流水之

间的分馏系数 $\alpha_{\text{sec-diss}}^{\text{K}}=0.999792\pm0.0001$ 、 $\alpha_{\text{sec-diss}}^{\text{Li}}=0.9923\pm0.007331$ 。此外, 盆地剥蚀速率与 $\delta^7\text{Li}$ 、 $\delta^{41}\text{K}$ 呈负相关, 而河流 Li、K 通量则与剥蚀速率呈正相关。其中, 盆地西北部河流(铁木里克河、鱼卡河等)剥蚀速率较慢, 表现为“供给限制”风化模式; 而东南部流域(那棱格勒河、诺木洪河等)剥蚀速率较快, 表现为“动力学限制”风化模式。本研究不仅揭示了青藏高原北缘构造-气候-物源耦合的表生风化过程, 而且为深入理解陆相盐湖锂、钾的成矿过程提供重要依据。

关键词: Li、K 同位素; 剥蚀作用; 风化作用; 柴达木盆地

第一作者: 池禹麒, 男, 2002 年生, 硕士研究生(在读)。研究方向: 矿物学、岩石学、矿床学。E-mail: 2325099764@qq.com

通讯作者: 林勇杰, 男, 1990 年生, 博士, 副研究员。主要从事盐湖学与盐类矿产资源研究。E-mail: linyongjie2014@163.com

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

新疆莎车盆地乌帕地区含钾盐泉水演化规律

俄煜麒¹, 徐洋^{1*}, 刘成林², 聂诗程¹, 杨思博¹, 刘蕾¹

1. 东华理工大学 铀资源探采与核遥感全国重点实验室, 南昌 330013;

2. 中国地质大学(武汉) 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 武汉 430074

钾盐资源主要被用于生产钾肥, 在农业生产中具有极其重要的作用。我国作为农业大国, 然而钾盐资源却十分匮乏, 储量仅占全球 2% 左右, 对外进口占比超过 50%, 是我国七大紧缺矿产资源之一。我国对于钾盐资源高度依赖进口, 这无疑会严重阻碍国内农业发展, 威胁国家粮食安全。因此, 钾盐调查工作一直以来都是我国矿产勘查的重点之一。莎车盆地作为塔里木盆地的一个次级盆地, 白垩纪处于原副特提斯海东部, 海水通过阿莱依海峡多次侵入至塔里木海湾, 并沉积了厚层海相蒸发岩地层, 且该地层指示了良好的成钾潜力。沿着构造裂隙涌出地表的盐泉水是指示地下蒸发岩成钾信息的良好载体, 其中乌帕地区盐泉水最具代表性, 前人通过对该地区盐霜及盐泉水研究, 初步圈定为有利找钾区域, 但前人仅对部分样品进行了化学分析, 还未

对典型盐泉水进行系统性分析, 导致目前盐泉水的物质来源及循环演化过程尚未进行深入研究, 从而直接影响了我们对莎车盆地盐泉水如何形成和演化的全面而深入的认识。因此, 本研究通过综合分析乌帕地区 11 件盐泉水样品和 12 件盐霜样品的水化学特征及氢、氧、锶同位素, 探讨其补给来源及演化规律, 即盐泉水应起源于大气降水, 淋滤地下 194~566 m 的盐层后沿着构造裂隙涌出地表, 地表流经期间经历了强烈的蒸发浓缩作用, 并判断乌帕下游地区具有较好的找钾前景。这为今后该地区钾盐沉积的研究提供了参考, 也对国内外盐盆中盐泉水的演化具有重要的借鉴意义。

关键词: 盐泉水; 同位素分析; 物源; 演化规律; 莎车盆地

资助项目: 新疆自治区重大科技专项项目(编号: 2022A03009)、科技部第三次新疆综合科学考察项目第三课题(编号: 2022xjkk1303)、江西省自然科学基金青年项目(20242BAB20130)

第一作者简介: 俄煜麒(2000-), 男, 硕士研究生, 地质学专业。E-mail: 812028853@qq.com

*通信作者简介: 徐洋(1991-), 男, 副教授, 从事蒸发岩沉积和盐湖型钾锂矿床研究工作。E-mail: geologyxu@163.com

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

盐卤有价元素富集中的相化学

于旭东^{1*}, 马方通¹, 吴昌昊¹, 冯珊¹, 诸葛福瑜¹

1. 成都理工大学, 成都 610059

我国盐湖资源作为战略性无机盐宝库, 蕴藏着全国 98% 的钾资源和超 80% 的锂资源, 主要分布于青海、西藏、新疆等地区。数据显示, “十三五”期间青海盐湖产业实现年均钾肥产量 812.89 万吨、碳酸锂产量 2.996 万吨。根据《青海建设世界级盐湖产业基地行动方案(2021~2023 年)》规划目标, 钾、锂年产能分别达到 1000 万吨和 18 万吨时, 青海盐湖资源的静态保障年限仅约 30 年, 资源保障能力处于中等偏下水平。当前资源开发面临双重挑战: 在提效方面, 盐田富集过程中多离子共存环境对锂分离的制约机制尚未明确, 限制了锂提取阶段的优化选择; 在增储方面, 深藏卤水的特异组分对钾锂富

集的影响机制, 以及深埋固体钾矿中钾元素的有效溶出技术, 均成为亟待突破的瓶颈。这些技术难题均与盐类物质的动态溶解-析出过程密切相关, 相化学研究为解决上述问题提供了关键理论依据。本报告基于成都理工大学相平衡与盐卤化工团队四十年的研究成果, 结合不同类型资源特征, 将盐卤资源中有价元素的富集规律与相化学研究成果相结合, 建立了关键边界参数体系, 为盐湖资源的高效开发提供了重要数据支撑。

关键词: 相平衡; 盐湖; 深藏卤水; 杂卤石; 富集

基金项目: 四川省科技计划项目(2025YFHZ0276)。

第一作者简介: 于旭东(1985-), 教授, 研究方向: 相平衡与相分离技术. Email: xwdlyxd@126.com

*通信作者简介: 于旭东(1985-), 教授, 研究方向: 相平衡与相分离技术. Email: xwdlyxd@126.com

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

青藏高原各类水体硼同位素分布规律与地质意义

谭红兵^{1*}

1. 河海大学 地球科学与工程学院, 南京 210000

青藏高原各类水体普遍富 B(也包括 Li 等元素), 且在盐湖或许多地热泉中异常富集, 并形成许多极为有特色的卤水型矿床。浓度空间变化表现出西高东低和南高北低的总体趋势, B 同位素则呈相反的分布规律, 浓度越高往往其同位素越偏负。这种同位素异常分布规律指示了物源机制与演化过程控制青藏高原各类水体 B 的富集与同位素分馏过程。结合青藏高原构造与深部地球物理探测成果, 推断板块碰撞和俯冲导致中下地壳部分熔融, 分异晚期的残余岩浆流体向上运移不断促使 B、Li 元素富集, 与深循环的地下水混合进一步演化为地热流体, 并沿构造(缝合带、裂谷、深大断裂、火山构造等)提供的有利通道持续上涌到达上地壳或以热泉形式向地表排泄, 与区域浅

层地下水或河水混合, 导致局部或区域性淡水系统中的 B、Li 浓度也显著上升, 形成整个高原水体普遍富 B、Li 的背景特征。青藏高原演化地史长、发育规模巨大的热泉作为载体, 将内生源深部流体(主控)、外生源岩石风化淋滤(附加)带来的 B、Li 源源不断输入终端湖盆, 经历了强烈蒸发浓缩, 最终演化形成了一系列世界级盐湖卤水型 B、Li 矿床, 并控制形成了富 B 水体且显著偏负的 B 同位素地球化学异常分布规律。因此, B、Li 元素从源到汇循环演化可概括为“内生外聚”模式。

关键词: 青藏高原; 水体; 硼同位素; 分布规律

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

藏北温泉-河流-盐湖耦合成矿系统锂的地球化学行为与迁移过程

薛飞¹, 谭红兵^{1*}

1. 河海大学 地球科学与工程学院, 南京 211100

青藏高原是我国最重要的锂(Li)资源基地, 广泛分布着特色盐湖卤水锂矿和富锂地热泉, 两者存在密切的物源联系, 共同构成了温泉-河流-盐湖外生锂耦合成矿系统。然而, 对于锂在该系统内部运移过程中的地球化学行为仍缺乏详细刻画。本研究系统采集了夏康坚温泉、索美藏布河和拉果错的水样, 分析了样品的水化学组成、微量元素组成及 Li 同位素组成。结果表明, 索美藏布上游河水中的溶解态锂主要源自硅酸盐的风化, 表现出低锂(7.84 $\mu\text{g/L}$)和高 $\delta^7\text{Li}$ 值(+8.21‰)的特征。在经过富锂(8071.73 $\mu\text{g/L}$)且低 $\delta^7\text{Li}$ 值(+0.19‰)的夏康坚温泉排泄补给后, 索美藏布河水发生了锂的显著富集和锂同位素的负漂移, 锂元素富集了 200 多倍, 达到 1777.02 $\mu\text{g/L}$, $\delta^7\text{Li}$ 值降低了 8.07‰, 降至+0.14‰。经过温泉区后, 河水中的锂浓度在流动过程中大体保持稳定

(1105.49~1452.33 $\mu\text{g/L}$), $\delta^7\text{Li}$ 值仅提高 0.6‰(+0.12‰~+0.72‰), 这表明硅酸盐风化和次生矿物吸附对富锂河水地球化学成分影响有限, 充足的锂能够通过河流稳定地补给到盐湖中, 表现出与低锂背景河流不同的演化特征。夏康坚温泉-索美藏布-拉果错盐湖共同组成了一个从地史时期持续到现在的耦合成矿系统。富锂温泉作为主要的内生物源, 河流作为矿质表生输送路径, 尾间湖泊作为容矿场所, 高寒干旱气候条件导致的蒸发浓缩作为成矿驱动力, 持续形成盐湖卤水锂矿。锂元素完成了从源到汇、从深部到浅部的运移富集, 实现了从内生成矿到外生成矿的形式转换, 成为锂循环的重要一环。

关键词: 锂同位素; 水化学; 成矿系统; 温泉-河流-盐湖; 青藏高原

基金项目: 国家自然科学基金(42402071, U22A20573), 第二次青藏高原综合科学考察研究(2022QZKK0202)

第一作者简介: 薛飞(1992-), 讲师, 研究方向: 地热、盐湖战略性矿产资源研究. E-mail: fei.xue@hhu.edu.cn

*通讯作者简介: 谭红兵(1972-), 教授, 研究方向: 高温地热地质成因与稀有关键金属资源勘查评价. E-mail: tan815@sina.com

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

Overlooked contribution of salt lake emissions: a case study of dust deposition from the Qinghai-Xizang

朱海霞 Zhu Haixia¹, 李雯霞¹, 张西营^{1*}, 孔祥瑞²

1. 中国科学院青海盐湖研究所, 西宁 810800;

2. 哥德堡大学, 瑞典 哥德堡 296220

The Qaidam Basin in the northeastern Qinghai-Xizang Plateau, characterized by its numerous salt lakes and fragile ecosystem, is increasingly impacted by salt dust emissions. To evaluate the impact of salt dust on environment, monthly dust samples were collected from six monitoring stations between January 2020 and March 2023 and analyzed for dust and salt dust deposition flux (DF), mineral composition, water-soluble ions, trace elements, and carbonaceous content. The study used backward trajectory modeling, Pearson correlation, enrichment factor (EF) analysis, and positive matrix factorization (PMF) to quantify salt lake contributions to atmospheric dust. Results revealed that halite and gypsum content ranged from 0 to 47%, with salt dust deposition flux (SDF) varying between 0 and 2.54 g/m²·30d. Key soluble ions included non-playa salt sulfate (nps-SO₄²⁻), playa salt chloride (ps-Cl⁻), and sodium (ps-Na⁺). Trace elements like iron, aluminum,

silicon, and titanium originated from both natural and anthropogenic sources. Organic carbon to element carbon (OC/EC) ratio and PMF model pointed to vehicle emissions, coal combustion, and biomass burning as major pollution sources, particularly in urban areas. PMF analysis showed that salt lakes contributed 5.23% to 29.76% of total dust mass, aligning with changes in soluble ion and halite, gypsum content. As the region is a key source of river systems, the soluble salts in dust pose risks to glaciers and freshwater resources. These findings highlight the substantial impact of inland salt aerosols in arid inland regions, emphasizing that their contribution to atmospheric processes is significant and should not be overlooked.

关键词: Qaidam Basin; salt dust aerosols; PMF analysis; playa salt; non-playa salt.

基金项目: 二次科考(2019QZKK0805), 青海省盐湖地质与环境重点实验室奖励经费 2024, the Swedish Research Council under contract 2021-04042。

第一作者简介: 朱海霞 (1996-), 工程师, 研究方向: 盐湖生态环境。Email: zhuhaixia@isl.ac.cn

*通讯作者简介: 张西营 (1977-), 研究员, 研究方向: 盐湖矿床学, 第四纪环境变化。Email: xyzhang@isl.ac.cn

• 专题 16: 盐湖资源与环境研究进展 •

可可西里盐湖锂铷铯资源分布规律及其富集机制

孔凡翠^{1*}

1. 中国科学院青海盐湖研究所, 西宁 810008

可可西里盐湖中富集的铷和铯稀有金属在保障我国资源安全中具有极其重要的战略地位。为了了解可可西里湖泊水体中铷和铯资源元素的分布规律及其富集机制, 测试了湖水、地下水、河水以及降水的水化学、稳定同位素 (δD 和 $\delta^{18}O$) 以及元素含量, 研究表明: (1) 可可西里北部湖泊水的 TDS 值变化范围较大, 介于 0.42~31.99 g/L 之间。铷和铯的含量范围分别为 2.32~2467.7 $\mu g/L$ (均值: 210.85 $\mu g/L$) 和 0.65~945.53 $\mu g/L$ (均值: 98.23 $\mu g/L$)。在空间分布上, 铷和铯的含量与 TDS 呈现出中部最低、西部高于东部的趋势。其中, 勒斜武担湖的铷和铯含量及其 TDS 值最高。然而, 湖水存在明显的淡化现象, 这将对未来盐湖铷和铯资源的开发利用带来挑战。

(2) 氢氧同位素组成显示可可西里北部湖水受大气降水、岩浆水以及河流和地下水共同补给, 泉在上升过程中受到降水的混合作用与河水汇集补给到湖区。除了饮马湖、盐湖以及库赛湖东部, 其他湖泊中铷的含量均高于铯含量, 即 $Rb/Cs > 1$, 物源和迁移过程共同控制了可可西里北部湖泊水体中铷和铯含量的差异。湖水中铷和铯的富集主要受铷和铯高含量的热泉补给、水体蒸发浓缩作用和水岩作用影响。本研究一方面丰富了对可可西里盐湖铷和铯稀有金属富集机制的理论认识, 另一方面为提升盐湖铷和铯资源持续保障能力提供了科学依据和基础支撑。

关键词: 可可西里; 盐湖; 热泉; 锂铷铯资源

第一作者简介: 朱镇源 (1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 遥感与水文地质研究。Email: zhuzhenyuan22@mails.ucas.ac.cn。

*通信作者:

孔凡翠 (1984-), 女, 博士, 副研究员, 主要从事同位素与水文地质研究工作。Email: kfc@isl.ac.cn。

王建萍 (1972-), 女, 博士, 研究员, 主要从事盐湖资源与环境研究工作。Email: jianpingwang@isl.ac.cn。