

【发现与进展】(Short communication)

doi: 10.12029/gc20220928002

柴达木盆地盐湖黏土中锂、铷、铯超常富集及其开发潜力

潘彤¹, 陈建洲^{2,3}, 丁成旺^{2,3}, 马玉亮^{2,3}, 梁辉⁴, 薛晟^{2,3}, 张涛^{2,3}, 杜小春^{2,3}

(1. 青海省地质矿产勘查开发局, 青海 西宁 810008; 2. 青海省第四地质勘查院, 青海 西宁 810001; 3. 青海省页岩气资源重点实验室, 青海 西宁 810001; 4. 青海瞻远地质勘探有限责任公司, 青海 西宁 810008)

Supernormal enrichment of lithium, rubidium and cesium and its development potential in the clay of Salt Lake of Qaidam Basin

PAN Tong¹, CHEN Jianzhou^{2,3}, DING Chengwang^{2,3}, MA Yuliang^{2,3}, LIANG Hui⁴, XUE Sheng^{2,3}, ZHANG Tao^{2,3}, DU Xiaochun^{2,3}

(1. Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Qinghai, Xining 810008, Qinghai, China; 2. The Fourth Geological Exploration Institute of Qinghai, Xining 810001, Qinghai, China; 3. Key Laboratory of Shale Gas Resources of Qinghai, Xining 810001, Qinghai, China; 4. Qinghai Zhanyuan Geological Exploration Co., Ltd., Xining 810008, Qinghai, China)

1 研究目的(Objective)

柴达木盆地是中国最大的盐类沉积盆地,蕴藏着丰富的钾、钠、镁、锂、硼、溴、碘等盐类矿产。前人针对第四纪现代盐湖矿床、碎屑孔隙卤水矿床、古近纪—新近纪盐类矿床开展了大量的勘查和研究工作,为建设世界级盐湖产业基地打下了良好的基础。2021年,青海某有限责任公司相关技术人员在青海柴达木盆地巴伦马海盐湖盆地钾盐矿采矿区北部的黏土层内采集了3件固体筒分析样,结果显示Li含量为 $32.4 \times 10^{-6} \sim 74.7 \times 10^{-6}$ 、Rb含量为 $67.41 \times 10^{-6} \sim 90.3 \times 10^{-6}$ 、Cs含量为 $5.4 \times 10^{-6} \sim 10.0 \times 10^{-6}$ 、Sr含量为 $271 \times 10^{-6} \sim 304 \times 10^{-6}$ 、Li含量高于柴北缘、柴周缘和全省背景值 17.6×10^{-6} 、 21.54×10^{-6} 、 30×10^{-6} ,说明在区内黏土层中有稀有金属元素富集现象,但这些Li、Rb、Cs稀有轻金属元素有没有找矿前景,稀有轻金属元素赋存情况、元素含量变化、富集特征、规模等等均不清楚,也未开展过调查评价工作。基于此,2021—2022年,笔者在上述矿区把碎屑层、黏土层作为重点层位,开展了以Li、Rb、Cs为主攻对象的调查研究工作,以期初步查明稀有金属元素的赋存、富集特征及分布范围,研究盆地中黏土层组分变化规律及成矿规律,评价资源潜力。

2 研究方法(Methods)

前期在采矿权范围内开展了钻探、样品采集测试等为主的调查评价工作,实施钻孔87口,完成钻探工作量3037.01 m,采集固体筒分析样1874件、固体全分析样10件、体重、湿度样111件,固体全分析样分析了K、Na、Mg、Ca、Br、I、 B_2O_3 、 Fe_2O_3 、Rb、Cs、Sr、 TiO_2 、As、Li、Se、Mo、Cl⁻、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、Al、Ni等21种元素。固体筒分析样分析了Li、B、Cs、Rb、Cl⁻、 CO_3^{2-} 。开展了岩心编录、数据统计分析、岩矿层对比、规律总结等工作。后期开展了黏土矿可利用性研究工作,分析了黏土矿的工艺矿物学性质,查明矿物组分,有益、有害元素的赋存状态,嵌布特征、粒度特性及矿物学特征。按照不同含矿黏土层类型、不同浓度介质、不同粒度、不同温度设计的试验流程开展了可选性试验。样品测试及可选性试验在青海省地质矿产测试应用中心完成。

3 结果(Results)

钻遇地层自上而下为第四系全新统(0.6~17.8 m)、上更新统(17.2~63.63 m)、中更新统(>150 m)、下更新统(>150 m)。对应的自上而下划分了4个黏土层段($N_{IV} \sim N_I$),黏土层多为层状、似层状产出(图

作者简介:潘彤,男,1966年生,博士,教授级高级工程师,主要从事区域成矿规律研究;E-mail: pant66@163.com。

通讯作者:陈建洲,男,1972年生,正高级工程师,从事战略性矿产、清洁能源、非常规气体勘查研究工作;E-mail: qhchjzh@163.com。

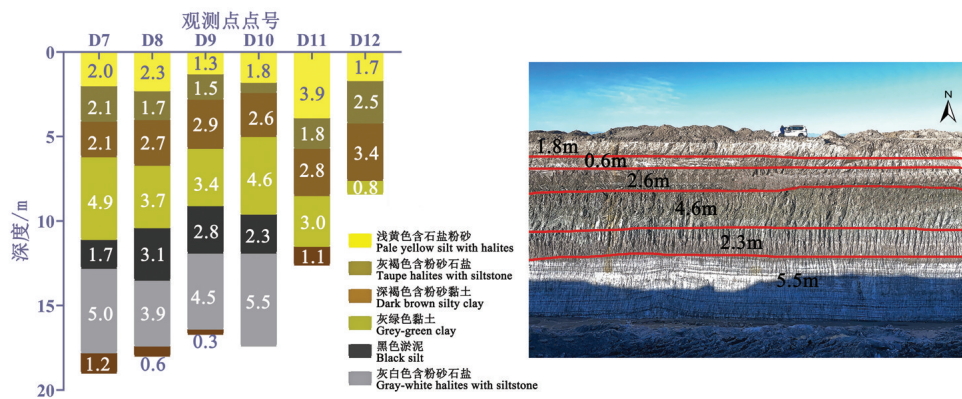


图1 东西向卤渠中黏土层垂向变化特征和D10点处黏土层影像图

Fig.1 Vertical variation characteristics and point D10 image of clay layer in east-west brine channel

1), 尤以N_{III}黏土层发育稳定, 规模大, 厚度大, 厚度变化系数40.96%, 为较稳定型(图2)。LiCl含量在 $204.78 \times 10^{-6} \sim 624.85 \times 10^{-6}$, 平均为 346.94×10^{-6} , 含量变化系数13.77%(图3)。黏土主要分为两类: 灰褐色黏土、灰绿色黏土、黑色淤泥; 含粉砂的黏土、含石膏的黏土、含石盐的黏土、黑色淤泥。经统计黏土中稀有金属元素的含量变化稳定, 变化系数小。其中LiCl平均含量在 $324.73 \times 10^{-6} \sim 356.48 \times 10^{-6}$, 变化系数为4.76%; Rb₂O平均含量在 $91.28 \times 10^{-6} \sim 120.09 \times 10^{-6}$, 变化系数为9.5%; Cs₂O平均含量在 $8.37 \times 10^{-6} \sim 10.40 \times 10^{-6}$, 变化系数为8.37%, 含量变化稳定(表1)。系统采集了黏土层筒分析样, 在80勘探线及B-B'剖面采集了固体石盐矿、粉砂层中的筒分析样, 并采集了卤水化学分析样进行测试。结果显示研究区液体矿、固体石盐矿、粉砂层、黏土层中均含有锂、铷、铯等元素, 但黏土层中含量最高, LiCl分别是液体矿、固体石盐矿、粉砂层的4.87、3.12、1.8倍, Rb₂O分别是固体石盐矿、粉砂层的2.58、1.32倍, Cs₂O分别是固体石盐矿、粉砂层的5.68、2.46倍。盐湖盆地黏土中Li含量分别是柴北缘、柴周缘、全省背景值的3.24、2.65、1.9倍, 超常富集的现象明显。黏土层的平面分布受原始湖泊沉积环境控制, 石盐层与含矿黏土层呈互补关系, 石盐层发育的地段黏土层薄, 黏土层发育地段石盐层不发育。通过X射线衍射分析和原位微区微量元素含量分析, Li、Rb、Cs元素的赋存与黏土矿物(伊利石等)的关系十分密切, 与盐类关系不明显。酸浸试验和化学物相分析显示, 黏土层中即有结构型锂, 也有吸附型锂, Rb、Cs主要分布于伊利石等黏土矿物中。采用地质块段法对实测含量

估算了潜在资源, LiCl潜在资源总量可达114.41万t, LiCl平均含量 355.96×10^{-6} , 换算为Li₂CO₃是99.7万t; Rb₂O潜在资源总量可达35.72万t, 平均含量 104.69×10^{-6} ; Cs₂O潜在资源总量可达3.13万t, 平均含量 8.92×10^{-6} 。选矿试验样品按照入浸细度、入浸量、液固比、浸出时间、浸出温度分别在淡水、不饱和卤水、盐酸溶液、硫酸溶液中进行浸取试验, 分析锂元素的浸出率, 选择硫酸溶液为最佳浸取液, 锂浸取率达51%~59%, 初步证明可选性较好。矿区进行了溶矿试验, 原料为矿区淡卤水、黏土, 现场测试溶液中Li含锂增加7~9 mg/L, 证明能利用, 能产生经济效益。

4 结论(Conclusions)

(1) 通过调查评价证明柴达木盆地次级盐湖盆地中黏土层中锂、铷、铯超常富集。

(2) 黏土层中锂、铷、铯含量稳定, 且与液体矿、固体盐矿相生相伴, 为盐湖资源中的有益矿产, 可作为矿区整体规划、开发, 高效利用资源的补充。

(3) 在采矿区范围内可利用氯化锂潜在资源为44.29~52.6万t, 换算为碳酸锂是38.6~45.84万t。2023年2—5月碳酸锂价格在20万元/t上下波动。加快黏土中锂、铷、铯、硼的提取利用研究, 将黏土锂、铷、铯、硼等各种有用组分综合利用, 会产生较好经济效益。

5 基金项目(Fund support)

本文为青海省“昆仑英才·高端创新创业人才”计划项目、青海省地质矿产勘查开发局高层次人才培养项目“青海省沉积型锂矿成矿研究”(2023-3-18)联合资助的成果。

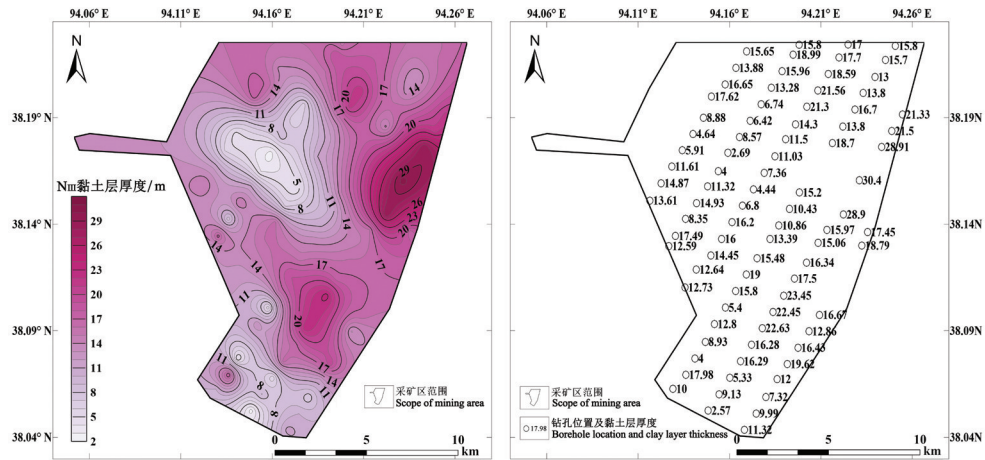


图2 N_{III}黏土层分布及厚度等值线图
Fig.2 Isoline map of distribution and thickness of N_{III} clay layer

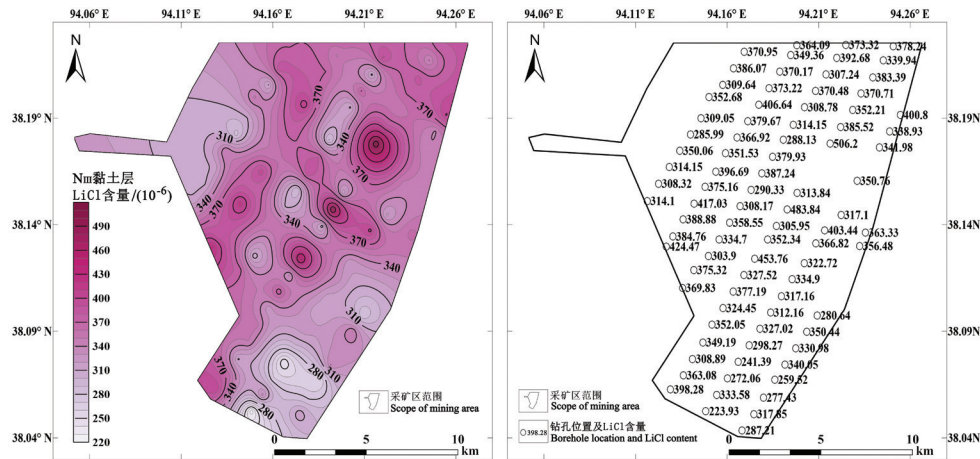


图3 N_{III}黏土层中LiCl含量等值线图
Fig.3 Isoline map of LiCl content of N_{III} clay layer

表1 研究区各类黏土层特征统计

Table 1 Statistics of the characteristics of various clay layers in the study area

黏土层分类	控制工程数/个	分布深度/m	单工程中厚度/m	LiCl 含量/ 10^{-6}	Rb ₂ O 含量/ 10^{-6}	Cs ₂ O 含量/ 10^{-6}
			最小值~最大值 平均值	最小值~最大值 平均值	最小值~最大值 平均值	最小值~最大值 均值
灰褐色黏土	87	0~44.77	0.72~22.35 10.20	243.09~477.01 352.26	62.73~215.40 120.09	5.40~19.74 10.12
灰绿色黏土	64	0.75~36.1	0.54~10.1 4.14	163.69~447.09 324.73	48.23~138.88 91.28	4.22~13.26 8.92
黑色淤泥	38	0.45~42.1	0.51~10.95 4.06	160.63~461.99 345.44	40.14~134.58 94.06	4.04~13.26 8.84
含粉砂的黏土	67	3.4~40.3	0.82~17.68 6.38	228.51~477.01 331.54	66.40~154.20 117.82	3.42~15.26 10.40
含石膏的黏土	70	2.1~35.1	0.76~20.92 7.69	245.72~455.02 356.48	53.70~155.56 106.18	4.56~13.28 9.09
含石盐的黏土	44	0~38.1	0.7~22.8 4.56	149.64~517.02 333.06	44.40~219.11 103.07	3.54~18.13 8.37