四川金川县列门地区土壤地球化学特征及找矿意义 罗伟¹²,岳相元³,周雄³,彭静¹,晁文文⁴,黄万俊²,刘伟²

(1. 遵义师范学院工学院,贵州 遵义 563006;2. 四川省地质矿产勘查开发局化探队,四川 德阳 618000;3. 中国地质科学院矿产综合利用研究所,四川 成都 610041; 4. 成都理工大学地球科学学院,四川 成都 610059)

摘要:列门地区位于川西晚三叠世马尔康-金川超大型锂多金属成矿区内,区内已发现多处中型、超大型 花岗伟晶岩型锂多金属矿床,成矿条件优越。通过1:1万土壤地球化学调查,分析了列门地区6种与稀有金属 成矿密切相关元素的地球化学特征,统计了元素的变异系数、富集系数,发现Li为主成矿元素。在此基础上, 圈定了单元素异常和5处综合异常。异常查证发现了5条锂矿(化)体,为进一步的勘查工作提供了依据。

关键词: 土壤地球化学测量; 异常查证; 花岗伟晶岩型锂矿; 列门地区

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.01.001

中图分类号: TD989;P632+.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2022)01-0001-06

锂元素作为战略性清洁能源金属,在全世界 受到了广泛关注^[1],围绕该矿种的找矿及选矿工作 也成为研究的热点^[24]。列门地区位于可尔因花岗 伟晶岩型锂多金属矿集区的南西地段,该矿集区 内分布有一系列超大型、中型锂多金属矿床,成 矿条件优越^[5-7]。土壤地球化学调查作为一种有效 缩小找矿靶区乃至直接发现矿(化)体的手段, 大多成功应用于有色金属矿产的勘查^[8],很少针对 稀有金属找矿。在开展过1:5万水系沉积物测量 的基础上,针对地球化学异常在列门地区布置 1:1万土壤地球化学测量,通过圈定土壤地球化学 异常,开展异常查证工作,成功在该地区发现了 五个新的锂矿(化)体,找矿效果较好。

1 成矿地质背景

工作区大地构造位置处于松潘-甘孜褶皱造山 带东南段(图 la),川西稀有金属成矿带中段的 可尔因花岗伟晶岩型锂多金属矿矿集区内。区域 上广泛出露三叠系西康群复理石建造,岩性主要 为浅变质的板岩、变质砂岩,以发育鲍玛序列为 其典型的沉积特征;区内岩浆作用强烈,发育有 一系列晚三叠世的中性-酸性岩浆岩^[9],岩性为石 英二长岩、石英闪长岩、花岗岩等,一般认为花 岗岩与该地区锂矿的形成具密切的成生联系:区 内广泛分布花岗伟晶岩脉,从岩体往外,依次可 分为微斜长石型、钠长石型、钠长石锂辉石型和 钠长石锂云母型花岗伟晶岩。锂矿体产于可尔因 岩体外接触带的钠长石锂辉石型和钠长石锂云 母型花岗伟晶岩脉中,一般为全脉矿化^[6]。区内目 前已发现了(超)大型矿床2个(党坝、李家 沟)、中型矿床6个(业隆沟、阿拉伯、地拉 秋、太阳河、观音桥和瓦英) (图 1b): 区内构 造变形作用强烈,发育近东西走向的褶皱构造和 北东-南西走向的走滑断层, Xu^[11] 等研究认为可尔 因岩体、花岗伟晶岩、锂矿体及周缘的变质岩共 同构成了一穹隆构造。

2 研究区地质特征

研究区内出露上三叠统侏倭组(T₃zw)和杂 谷脑组(T₃z)地层(图2)。侏倭组上段(T₃zw²)

收稿日期: 2021-11-11; 改回日期: 2022-01-07

基金项目:贵州省科学技术基金项目(黔科合基础-ZK[2021]一般 204);贵州省教育厅项目(黔教合 KY 字 [2020]100);遵义师范学院项目(遵师 BS[2020]5号、遵师 XM[2020]1号-01);中国地质调查局大调查项目 (DD20190185)

作者简介:罗伟(1983-),男,博士,高级工程师,主要从事地质勘查与研究工作。



图 1 研究区大地构造位置图(a)及区域地质简图(b)(据文献 [10] 修改) Fig.1 Geotectonic location map of the study area and regional geological sketch map (b)



图 2 列门地区地质及综合异常图 Fig.2 Geological and synthetic anomaly map of Liemen area

岩性为浅绿色中-厚层状透辉石英角岩与灰色中层 状黑云石英角岩互层; 侏倭组下段(T₃zw¹)岩性 以深灰色中层状黑云石英角岩、黑云石英片岩为 主,夹红柱黑云石英片岩,偶见中层状透辉石英 角岩的夹层。杂谷脑组(T₃z)岩性为深灰色中-厚 层状透辉石英角岩夹深灰色薄层状黑云石英片 岩; 区内北西部有发育断层构造,属区域断裂娃 尔都断裂的一部分。

断层走向北东-南西向,倾向南东,倾角 70° 左右,破碎带宽 ~5 m,切穿三叠系地层,破碎带 碎裂化、透镜化、泥化发育,断层性质为左行平 移断层。其次,区内还发育有小型褶皱构造,多 为同斜褶皱,两翼及核部节理裂隙十分发育,控 制伟晶岩脉的产出状态;区内侵入岩为黑云母二 长花岗岩;区内主要出露花岗伟晶岩脉,少量细 晶岩脉(图2)。

3 土壤地球化学特征

3.1 样品采集与测试

1:1 万土壤地球化学测量严格按照有关规范执行。采样网度为100 m×20 m,采样介质为土壤 B 层或 C 层中的细粒级物质,共采集了1016 件样品。 样品测试在中国地质科学矿产综合利用研究所完成,分析元素为 Li、Be、Nb、Ta、Rb、Cs,分析 方法为 XRF、ES、ICP 及 ICP-MS 配套分析法^[10]。 3.2 元素含量及相关性特征

3.2 儿系召里及怕大住村征

对工作区内土壤样品的分析数据进行了统 计,统计结果见表1。

研究区内各元素变异系数由 Be (1.67)→Ta (1.37)→Li (1.28)→Cs (1.08)→Rb (1.02)→Nb (1.00)

表 1 列门地区土壤地球化学特征参数													
Table 1 Soil geochemistry characteristic parameters in Liemen area													
元素	最大值	最小值	平均值	中位数	标准差	变异 系数	富集 系数	全国土壤地球化 学背景基准值 ^[12]					
Li	1400	39.4	112.53	97.95	64.73	1.28	3.70	30					
Be	19.40	1.73	2.86	2.65	1.10	1.67	1.38	2					
Rb	259	71.2	135.93	132	21.08	1.02	1.41	96					
Cs	130	8.77	28.63	25.5	14.09	1.08	4.70	6					
Nb	29	10.50	16.31	16.00	2.86	1.00	1.25	13					
Та	4.82	0.70	1.30	1.18	0.44	1.37	1.26	1.0					

注:元素单位为×10-6

逐渐减小,但均大于等于1,均为强变异,表明 6种元素的高值点较多,富集成矿的可能性较大。

与全国土壤地球化学背景基准值相比,列门 地区土壤中元素丰度值均高于基准值,其中 Li、 Cs 值为基准值的 3~5倍,表明这两种元素在列门 地区成矿的可能性较大,这与 1:5万水系沉积物 测量得出的区域特征是一致的^[10],列门地区附近 的观音桥和太阳河锂矿区内均具 Cs 的异常,表明 Cs 元素是本区一种重要的成矿指示元素。中位数 均小于均值,表明研究的 6种元素在本区存在局 部活化富集或者叠加富集的可能^[13]。

运用 R 型聚类分析的方法研究了列门地区土 壤样品之间的相关性(图 3)。区内各元素总体相 关性较好。Be-Nb-Rb 相关性最好,相关性系数为 0.59, Li-Cs 的相关性系数为 0.58,以 γ=0.47 的相 似度为界,可以把该区元素分为两类,一类为 Li-Cs-Be-Nb-Rb,另一类为 Ta。





3.3 单元素异常特征

以该地区元素原始含量的平均值±3 倍的标准 差,剔除范围以外的数据,迭代处理,最终符合 正态分布后,以处理后数据集的平均值+1 倍的 标准差为异常下限,计算的和采用的异常下限值 见表 2。各元素分别以 1 倍、1.5 倍和 2 倍的异常 下限圈定外带、中带和内带。6 种元素异常图见 图 4。共圈定 Li 异常 14 处, Be 异常 8 处, Cs 异常 11 处, Rb 异常 6 处, Nb 异常 8 处, Ta 异常 12 处。其中 Li、Be 元素发育异常内、中、外带, Cs、Ta 元素发育异常中、外带, 而 Rb 和 Nb 仅发 育外带异常。

表 2 列门地区元素异常下限值统计

Table	2 Stati	stical tab	le of ele	mental	thresho	ld in Liei	nen area	
二主	长口粉	异常	下限	二書	民日料	异常下限		
儿系	件面奴	计算值	使用值	儿系	件面奴	· 计算值 使 19.17 1	使用值	
Li	1014	160.82	160	Nb	1016	19.17	19.0	
Be	1000	3.39	3.40	Та	1002	1.57	1.60	
Cs	1011	41.04	40.0	Rb	1015	156.55	160	

Li 异常特征:异常规模中等,呈东西向展 布,主要发育外带异常,异常最大值 1400×10⁻⁶; Be 异常特征:主要发育于工作区东北部,异常规 模大,呈东西向展布,浓集中心明显,异常最大 值 19.40×10⁻⁶; Cs 异常特征:主要分布在工作区 南西部,异常规模中等,呈近东西向展布,异常 最大值 130×10⁻⁶; Rb 异常特征:主要分布在工作 区北东部,异常规模较小,呈北西向和北东向展 布,异常最大值 259×10⁻⁶; Nb 异常特征:主要分 布在工作区东部,异常规模中等,呈北东向展 布,异常最大值 29×10⁻⁶; Ta 异常特征:主要分布 在工作区南东部,异常规模中等,呈北东向展 布,异常最大值 4.82×10⁻⁶。

3.4 综合异常特征

根据 6 种元素的叠合程度,在工作区内共圈 定 5 处综合异常(图 2),其中 II 号综合异常区位 于黑云母二长花岗岩体内,推断其异常主要由岩 体中元素高背景值导致。 I 号综合异常位于工作 区西北部断裂附近,地势南高北低,呈近东西向 展布,异常面积约 950 m²,由 Li、Be、Cs 组成,



图 4 列门地区土壤地球化学单元素异常图 Fig.4 Soil geochemical single element anomaly map of Liemen area

Li可见浓度分带,Li、Be浓集中心相互叠加; III号综合异常位于工作区东部,地势南高北低, 呈近东西向展布,异常面积 5100 m²,由Li、Be、 Cs、Nb、Ta、Rb组成,其中Li、Be、Rb可见浓 度分带,强浓集中心相互叠加;IV号综合异常位 于工作区南西部,地势南高北低,呈近东西向展 布,异常面积 2850 m²,由Li、Cs、Rb组成,其 中Cs可见浓度分带,元素Li和Cs强浓集中心相 互叠加;V号综合异常位于工作区南东部,地势 南高北低,呈近东西向展布,异常面积 1660 m², 由Li、Cs、Nb和Ta组成,其中Li可见浓度分 带,元素Li和Cs强浓集中心相互叠加。

4 异常查证

综合考虑工作区的情况,对I、III、V、IV 号综合异常进行了探槽工程查证,圈定了5条花 岗伟晶岩型锂矿(化)体(图2),各矿(化)体 特征叙述如下^[14]:

L1 号矿(化)体赋存于花岗伟晶岩中,矿 (化)体形态为脉状,总体走向220~230°,倾向 南东,近直立,地表出露长度约20m,厚2~ 3m,围岩为二云母石英片岩。矿石呈灰白色,细- 中粒花岗伟晶结构,块状构造,主要含锂矿物为 锂辉石,含量 8%~10%。取样分析表明其 Li₂O 平 均含量 0.52%,达到边界品位。

L2 号矿(化)体赋存于花岗伟晶岩中,矿 (化)体形态为脉状,总体走向205~210°,倾向 南东,倾角50°左右,地表出露长度约230 m,厚 3~5 m,围岩为二云母石英片岩。矿石呈灰白 色,细-中粒花岗伟晶结构,块状构造,主要含锂 矿物为锂辉石,含量8%~12%。取样分析表明其 Li₂O 平均含量达1.17%,达到工业品位。

L3 号矿(化)体赋存于花岗伟晶岩中,矿 (化)体形态为脉状,总体走向45~50°,倾向南 东,倾角80°左右,地表出露长度约40m,厚 2~5m,围岩为黑云石英片岩。矿石呈灰白色, 细-中粒花岗伟晶结构,块状构造,主要含锂矿物 为锂辉石,含量25%~30%。取样分析表明其 Li₂O平均含量达2.24%,达到工业品位。

L4 号矿(化)体赋存于花岗伟晶岩中,矿 (化)体形态为脉状,总体走向292~300°,倾向 南西,倾角80°左右,地表出露长度约140m,厚 2~3m,围岩为黑云母石英片岩。矿石具细粒花 岗伟晶结构,块状构造,主要含锂矿物为锂辉 石,含量20%~25%。取样分析表明其Li₂O平均含量达1.20%,达到工业品位。

L5 号矿(化)体赋存于花岗伟晶岩中,矿 (化)体形态为脉状,总体走向285~300°,倾向 南西,倾角60°左右,地表出露长度约150m,厚 2~3m,围岩为黑云母阳起石英片岩。矿石具中 细粒花岗伟晶结构,块状构造,主要含锂矿物为 锂辉石,含量25%~30%。取样分析表明其Li₂O 平均含量达2.14%,达到工业品位。

5 找矿前景分析

已有的勘查及研究成果表明,可尔因地区锂 多金属矿床主要产于距可尔因复式花岗岩体外接 触带 3-8 km 的红柱石变质带内。工作区距可尔因 复式花岗岩体约 3.2 km,区内广泛发育上三叠统 红柱石片岩,在其西部和南东部已发现有观音桥 和热达门中型锂多金属矿床,1:5 万水系沉积测量 表明在该区存在一个以 Li 为主(具三级浓度分 带),伴生 Be、Cs 的综合异常区^[10]。因此,该地 区是寻找以锂为主成矿元素,伴生 Be、Nb、Ta 稀 有金属矿床的有利部位,找矿前景良好^[5-6,11]。

通过本次土壤异常查证工作(地表填图及探 槽揭露),在列门地区土壤综合异常区内共发现 了5条花岗伟晶岩型锂矿(化)体,计算的Li₂O 远景资源量达2万t^[14],说明该地区具较好找寻锂 多金属矿的潜力。建议进一步对矿化线索进行地 表追索,布置激电中梯测量、构造地球化学采样^[15] 等物探、化探手段,查明矿化体的可能延伸情 况,在此基础上,择优开展钻探工作,验证矿化 体的深部延伸情况。另外,在III号综合异常区西 部,靠近L3号矿化体的地区,土壤中Li异常值 达1400×10⁻⁶,本次工作由于浮土层厚,探槽未能 揭露基岩,因此,对该区块矿化情况不明,建议 对该地区开展浅钻验证工作,有望进一步实现找 矿突破。

6 结 论

(1)通过对列门地区开展1:1万土壤地球化 学测量工作,根据统计结果得出,Li异常规模大, 富集程度高,为主成矿元素,找矿潜力巨大。

(2) 在列门地区圈定了5处综合异常,在 I、III、V、IV号异常区内共发现5条花岗伟晶 型锂矿(化)体,其Li₂O含量高,可进一步开展 找矿工作。 (3) III号综合异常区西部土壤中 Li 异常值极高,但由于掩盖深,深部情况不明,建议对该地区开展深部找矿工作。

参考文献:

[1] 吴西顺, 孙艳, 王登红, 等. 国际锂矿开发技术现状、革新 及展望[J]. 矿产综合利用, 2020(6):110-120.

WU X S, SUN Y, WANG D H, et al. International lithium mine utilization technology: current status, innovation and prospects[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(6):110-120.

[2] 吴西顺, 王登红, 黄文斌, 等. 全球锂矿及伴生铍铌钽的采 选冶技术发展趋势[J]. 矿产综合利用, 2019(1):1-6.

WU X S, WANG D H, HUANG W B, et al. Global technical development trends of litihium minerals and associated beryllium-niobium-tantalum exploitation[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(1):1-6.

[3] 周雄, 周玉, 谭洪旗, 等. 四川措拉锂多金属矿的矿物学特征研究[J]. 矿产综合利用, 2020(6):142-147.

ZHOU X, ZHOU Y, TAN H Q, et al. Mineralogical study on Cuola lithium polymetallic mining area, western Jijika, Sichuan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(6):142-147.

[4] 赖杨,田恩源,龚大兴,等.川西斯跃武锂-铌-钽稀有金属 矿集区自然重砂异常特征及其找矿潜力[J].矿产综合利用, 2019(3):65-70.

LAI Y, TIAN E Y, GONG D X, et al. Natural heavy mineral anomaly characteristics and ore potential analysis of the Siyuewu Li-Nb-Ta rare metals ore-concentrated area in western Sichuan Province[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(3):65-70.

[5] 岳相元,杨波,周雄,等.川西地区热达门石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄和岩石地球化学特征:岩石成因与构造意义[J].现代地质,2019,33(5):1015-1024.

YUE X Y, YANG B, ZHOU X, et al. Geochemical Characteristics and U-Pb ge of Redamen Granites in Western Sichuan, China: petrogenesis and tectonic significance[J]. Geoscience, 2019, 33(5):1015-1024.

[6] 古城会. 四川省可尔因伟晶岩田东南密集区锂辉石矿床成矿规律[J]. 地质找矿论丛, 2014, 29(1):59-65.

GU C H. Metallogenic regularity of spodumene deposits in the closely spaced pegmatite area in the southeastern Keeryin pegmatite field, Sichuan Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2014, 29(1):59-65.

[7] 罗伟,杨波,古城会,等.川西金川县李家沟超大型锂辉石 矿床的地质特征及找矿标志[J].四川有色金属,2021(2):16-18+21. LUO W, YANG B, GU C H, et al. The geological characteristics and ore indicators of Lijiagou super-large Spodumene deposit in Jinchuan County, Western Sichuan[J]. Sichuan Nonferrous Metals, 2021(2):16-18+21.

[8] 罗先熔, 文美兰, 欧阳菲, 等. 勘查地球化学 [M]. 北京: 冶 金工业出版社, 2008: 36-44.

LUO X R, WEN M L, OUYANG F, et al. Exploration geochemistry[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2008: 36-44.

[9] 岳相元, 郭佳, 毛树林, 等. 川西太阳河黑云母二长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学特征及其地质意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2018, 37(6): 1142-1151.

YUE X Y, GUO J, MAO S L, et al. Zircon U-Pb age and geochemistry of the Taiyanghe granitoid in Western Sichuan, China and its geological significance[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry. 2018, 37(6): 1142-1151.

[10] 罗伟,李佑国,罗开杰,等. 川西可尔因地区 1:5 万水系 沉积物测量异常评价及找矿预测 [J]. 科学技术与工程, 2018, 18(9):56-62.

LUO W, LI Y G, LUO K J, et al. Anomaly evaluation and prospecting prediction of 1: 50000 stream sediment survey in Keeryin Area, Sichuan Province[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(9):56-62.

[11] Zhiqin Xu, Xiaofan Fu, Rucheng Wang, et al. 2019. Generation of lithium-bearing pegmatite deposits within the Songpan-Ganze orogenic belt, East Tibet[J]. Lithos, 354-355: 105281. [12] 王学求, 周建, 徐善法, 等. 全国地球化学基准网建立与土壤 地球化学基准值特征[J]. 中国地质, 2016, 43(5):1469-1480. WANG X Q, ZHOU J, XU S F, et al. China soil geochemical baselines networks: Data characteristics[J]. Geology in China, 2016, 43(5):1469-1480.

[13] 公维国, 李向文, 魏海峰, 等. 黑龙江十五里桥金矿区土 壤地球化学特征及找矿方向[J]. 黄金, 2013, 34(4):19-24.

GONG W G, LI X W, WEI H F, et al. Soil geochemistry characteristics and prospecting potential of Shiwuliqiao gold deposit in Heilongjiang Province[J]. Gold, 2013, 34(4):19-24.

[14] 岳相元, 许昌辉, 李智鹏, 等. 四川马尔康列门东锂辉石 矿产地地质特征与找矿前景 [A]. 《矿物学报》编辑部. 第 九届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文摘要集 [C]. 北京: 中国地质出版社, 2019, 173-174.

YUE X Y, XU C H, LI Z P, et al. Geological characteristics and prospecting potential of liemendong spodumene deposit in Markam, Sichuan Province[A]. Editorial Board of Journal of Mineralogy. Abstracts of the 9th national symposium on metallogenic theory and prospecting methods[C]. Beijing: China geology press, 2019, 173-174.

[15] 耿海涛,周雄,倪志耀,等.川西道孚县惹-卡地区土壤地 球化学异常特征及锂矿找矿前景[J].矿产勘查,2020, 11(1):177-182.

GENG H T, ZHOU X, NI Z Y, et al. Characteristics of soil geochemical anomalies and lithium prospecting potential in Reyika area, western Sichuan[J]. Mineral Exploration, 2020, 11(1):177-182.

Characteristics of Soil Geochemistry and Its Prospecting Significance in Liemen Area, Jinchuan County, Sichuan

Luo Wei^{1,2}, Yue Xiangyuan³, Zhou Xiong³, Peng Jing¹, Chao Wenwen⁴, Huan Wanjun², Liu Wei² (1.College of Engineering and Technology, Zunyi Normal University, Zunyi, Guizhou, China;
2.Geochemical Exploration Brigade of Sichuan Provincial Geology & Mineral Resources Bureau, Deyang, Sichuan, China; 3.Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu, Sichuan,

China; 4.College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, China) **Abstract:** Liemen area is located in Late Triassic Markam-Jinchuan super-large-scale lithium polymetallic ore-forming area in western Sichuan, where many middle-scale and super-large-scale granite pegmatite-type lithium ore deposits have been found and polymetallic conditions are Favorable. Based on a 1:10000 soil geochemistry survey, the characteristics of six elements closely related to the mineralization of rare metals were analyzed, and the variation coefficient and enrichment coefficient of the elements were calculated. It is found that Li is the main ore-forming element. On this basis, the single element anomaly and 5 synthetic anomalies are delineated. Five lithium ore bodies were found in the anomaly investigation, which provided the basis for further exploration.

Keywords: Geochemical soil survey; Anomaly detection; Granite pegmatite-type lithium deposit; Liemen Area