

The Experimental Study of Deep-Penetrating Geochemical Methods in Jiajika Rare Metal Deposits in Western Sichuan

Ting Liu, Bin Liang, Zhiqiang Xu, Qiubo Wang, Yan Geng

School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan
Email: 1058728847@qq.com

Received: Apr. 7th, 2019; accepted: Apr. 22nd, 2019; published: Apr. 29th, 2019

Abstract

An experimental research was conducted on the No. X03 super-large concealed lithium ore body in Jiajika rare metal orefield to explore the deep-penetrating geochemical method for searching the concealed ore bodies in this area. This article describes the results obtained by soil extraction method and geogas survey. Notable anomalies of water-extractable Li, Rb, Cs in the soil, and Li, Rb, Cs in geogas have been found above the buried orebody. So, both of the methods have the potential to be used for the concealed deposits detection in Jiajika area. Correlation analysis of water-extractable Li, Rb or Cs in the soil and these rare metals in the geogas indicates that probably ore-forming elements are transferred to the earth surface by geogas.

Keywords

Mobile Metals Forms, Geogas Prospecting, Anomaly Mechanism, Jiajika

川西甲基卡稀有金属矿区深穿透地球化学方法 试验研究

刘 婷, 梁 斌, 徐志强, 王秋波, 耿 艳

西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳
Email: 1058728847@qq.com

收稿日期: 2019年4月7日; 录用日期: 2019年4月22日; 发布日期: 2019年4月29日

摘 要

以川西甲基卡稀有金属矿区X03号超大型隐伏锂矿体为研究对象, 同时开展土壤金属活动态测量和地气

文章引用: 刘婷, 梁斌, 徐志强, 王秋波, 耿艳. 川西甲基卡稀有金属矿区深穿透地球化学方法试验研究[J]. 地球科学前沿, 2019, 9(4): 301-309. DOI: 10.12677/ag.2019.94033

测量,以探索在该区寻找隐伏矿体的深穿透地球化学方法。结果表明,去离子水提取土壤金属活动态和地气测量均能在隐伏矿体上方发现Li、Rb、Cs等成矿元素地球化学异常,且异常与已知隐伏矿体的位置对应良好,能有效指示隐伏矿体,可用于在甲基卡稀有金属矿区寻找隐伏矿体。去离子水提取的活动金属态及地气中Li、Rb、Cs等元素含量的相关性表明,地气对隐伏矿体成矿元素的运移作用是土壤中金属活动态异常形成的主要原因。

关键词

金属活动态,地气测量,异常机理,甲基卡

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着寻找大型矿床的目标转向隐伏区,人们纷纷致力于具有穿透性的地球化学新方法的研究。20世纪90年代以来,深穿透地球化学技术已得到长足的发展,其中以土壤作为采样介质的金属活动态提取技术,由于其元素含量相对较高和操作简单,成为深穿透地球化学的重要发展方向之一[1]。这一技术方法主要有澳大利亚研制的活动态金属离子法(MMI) [2],美国和加拿大研制的酶提取法(ENZYME LEACH) [3] [4],以及我国研制的金属活动态测量法(MOMEQ) [5] [6]等。除此之外,基于地气流概念(GEOGAS) [7]的地气测量技术,因其所获找矿信息直接、探测深度大的特点也受到地质工作者的广泛重视。我国的科研工作者也进行了积极的探索[8]-[13],并提出了地球气纳微金属测量法(NAMGE) [14],取得了良好的找矿效果。

川西甲基卡稀有金属矿区是我国规模最大的固体锂矿床富集区,形成了完整的Li-Be-Nb-Ta成矿系列,已探明锂资源储量215万吨[15]。根据对成矿条件、控矿因素的分析,矿区成矿地质条件好,具有极大的找矿潜力。但是甲基卡矿区不同成因的第四系覆盖严重(70%以上),而且厚度较大(一般>5m),找矿具有相当难度,以往的地质找矿工作主要集中在基岩裸露区,今后若要在第四系覆盖区取得地质找矿的新突破,必须依赖于深穿透地球化学方法的引入。

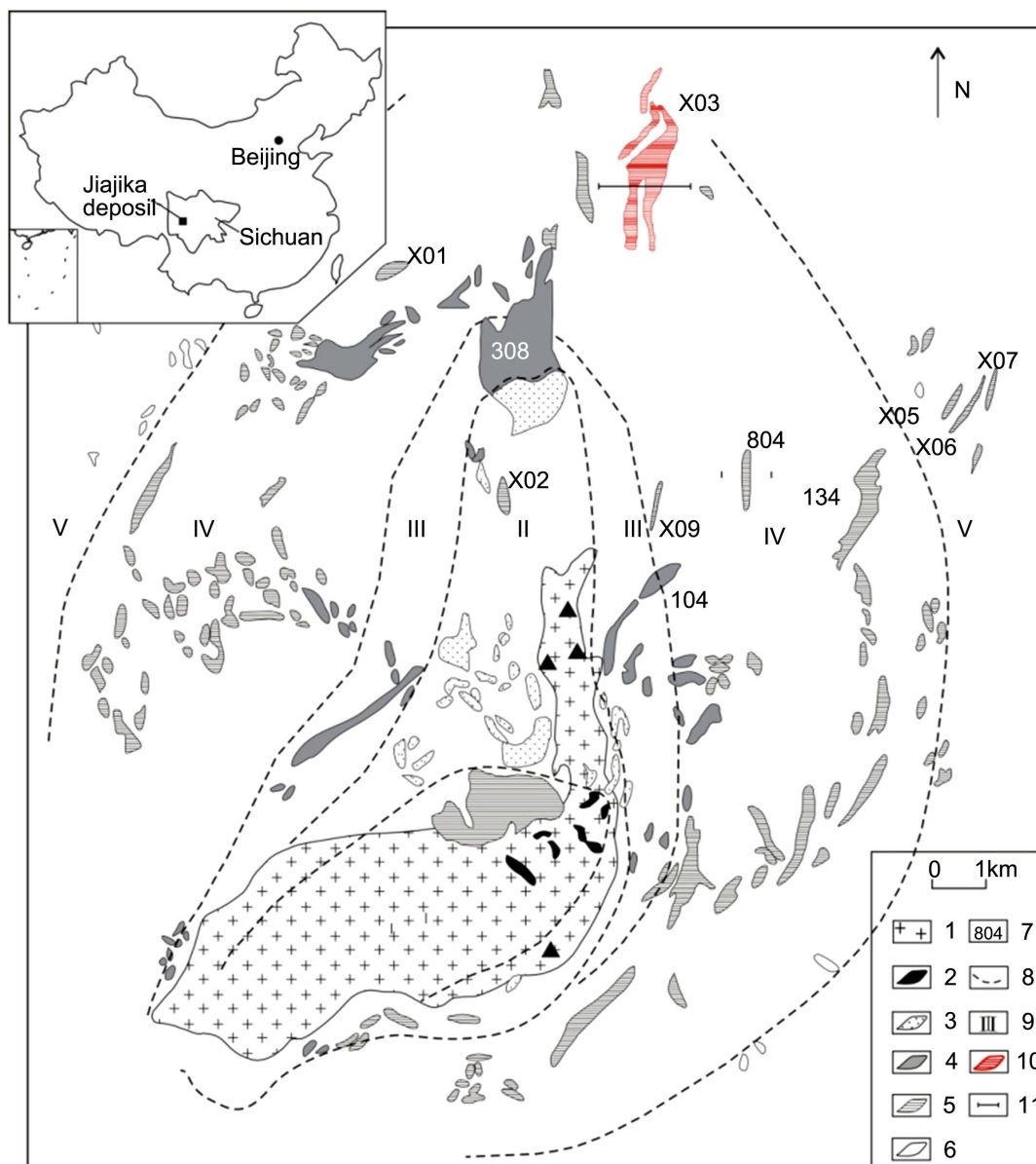
本文以甲基卡稀有金属矿区新近发现的X03号超大型隐伏锂矿床为研究对象,同时开展土壤金属活动态测量和地气测量,判别元素异常与隐伏矿体的对应关系,确定两种方法是否能够指示隐伏矿体的存在,进而分析土壤金属活动态异常形成的原因,以期能为甲基卡矿区第四系覆盖层区的找矿突破提供新的方法。

2. 矿区及隐伏矿体地质特征

甲基卡稀有金属矿区地处青藏高原东部,属于特提斯成矿域东北部的巴颜喀拉-松潘成矿省[16],大地构造上位于松潘-甘孜造山带雅江逆冲-滑脱叠置岩片的构造-岩浆穹状变质体群内[17] [18] [19]。伟晶岩型矿体受构造-岩浆穹窿控制,穹窿体由花岗岩体、伟晶岩脉以及下三叠统西康群侏倭组、新都桥组泥质粉砂岩以及砂质复理石建造经动热变形-变质而成的构造片岩组成[18]。甲基卡矿床目前发现的花岗伟晶岩脉上千条,具有一定规模(长×宽大于20m²)的伟晶岩脉498条,其中,工业矿体和矿化伟晶岩114条[15]。

X03号矿体位于甲基卡稀有金属矿区东北部(图1),是近年来新发现的以锂为主的超大型矿体,除矿

体北部在地表有少量出露外,大部分被厚达 5 m~10 m 的第四系残坡积物所掩盖[15]。已探明氧化锂(Li_2O)资源储量 88 万吨[15], Li_2O 平均品位 1.46%, 并且伴生稀有元素 Be、Nb、Ta、Rb、Cs 均可综合利用。矿体属钠长石-锂辉石型(IV)花岗伟晶岩,呈分枝复合特点,近南北走向,向西倾斜,倾角 $25^\circ\sim 35^\circ$, 矿脉长 1050 m, 宽 50 m~114 m, 呈中段厚、两端薄的透镜状, 平均厚 66.4 m [20]。



1-二长花岗岩; 2-微斜长石型伟晶岩; 3-微斜长石钠长石型伟晶岩; 4-钠长石型伟晶岩; 5-钠长石锂辉石型伟晶岩; 6-钠长石锂云母型伟晶岩; 7-伟晶岩脉编号; 8-类型分带线; 9-类型分带编号; 10-X03 号锂矿床; 11-勘探线; I-微斜长石伟晶岩带; II-微斜长石钠长石带; III-钠长石带; IV-锂辉石带; V-锂(白)云母带

Figure 1. Simplified geological map of Jiajika rare metal deposit

图 1. 甲基卡稀有金属矿区地质简图

3. 样品的采集

本次在 X03 号矿体中部的 VII 号勘探线上采集了土壤和地气样品, 全长 578 m。

土壤样品采样深度为 10 cm~25 cm, 采样间距在矿体顶部及倾向方向为 10 m~20 m, 矿体外为 20 m~50 m, 共计 33 件样品。在每个采样点上, 采用 3 点采样, 组合成一个样品, 每件样品 1000 g 左右。

地气样品的采样密度适当放稀, 与土壤样品同线共点, 共计 16 件。使用超纯水配制的 20 ml 浓度 5% 的 BV-III 级纯硝酸溶液作为捕集液, 抽气之前, 用钢钎打 3 个孔, 孔深 50 cm~60 cm, 直径 3 cm, 3 个孔垂直测线排列, 孔距大于 1.5 m。钢钎拔出后, 迅速将螺旋采集器插入孔中, 用硅胶管将采集器与抽气泵连接, 使用气体流量计将流量控制在 0.6 L/min, 每个点的抽取时间为 25 mins, 吸气量为 15 L。

4. 试验方法

金属活动态提取技术是采用化学方法提取地表介质中深部隐伏矿体发出直接元素信息的分析技术[6][21]。根据提取过程次生矿物相的溶解程度, 活动态提取剂可分为两类: 一类提取剂, 不破坏次生矿物, 提取与矿化有关的水溶态和吸附态元素, 典型的有去离子水提取剂或 MMI 提取剂; 另一类提取剂是选择性溶解一种或多种次生矿物[4][22]。活动态提取技术的有效性取决于所提取的土壤组分中外生组分(深部矿化迁移至地表的物质)与内生组分(由土壤原生矿物或次生矿物分解释放的物质)的比值[4]。甲基卡稀有金属矿区, 稀有金属伟晶岩成矿作用受控于构造-岩浆穹隆, 覆盖矿体的松散物质(土壤)中含有较高的 Li 等稀有元素, 其土壤中的 Li 含量可达 70 ppm~280 ppm [15]。这些稀有元素在风化成土作用过程中可以与土壤中次生矿物结合, 造成较高的内生组分/外生组分比值, 从而掩盖隐伏矿(化)体所迁移至地表的成矿信息。因此, 为了减少内生组分的干扰, 使提取的信息能有效指示隐伏矿体, 选用去离子水作为金属活动态的提取剂, 提取从深部迁移至地表并尚未与土壤次生矿物结合的水溶态部分。考虑到元素活动态提取的效果会受到样品的粒度、固液比、提取时间等因素的影响[4][23][24], 故在提取过程中对这些影响因素进行了试验[25], 获得了最佳的元素活动态提取条件, 提取过程如下: 筛取-200 目土壤, 称取 2 g 置于 50 ml 离心管中, 按 1:5 的固液比, 加入 10 ml 去离子水, 放入恒温振荡机中, 设置温度 25℃, 转速 170 r/s, 震振荡 48 h 后取出样品静置 30 mins, 取上清液用中速定量滤纸初次过滤, 再用 0.45 μm 的滤头二次过滤, 送实验室分析测试。

地气样品直接送实验室分析测试。

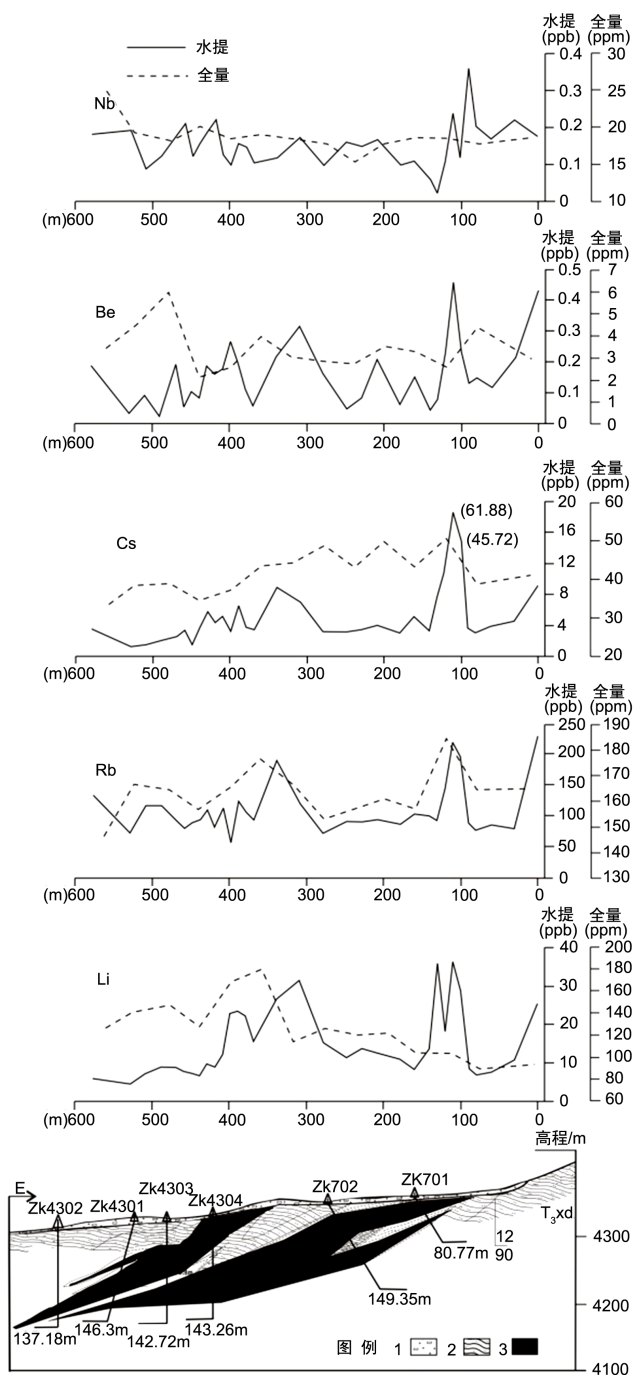
所有样品测试均在成都综合岩矿测试中心采用 ICP-MS 分析完成, 分析了 Li、Be、Nb、Rb、Cs 等元素。

5. 结果与讨论

5.1. 金属活动态提取异常特征

由图 2 可知, 在 X03 号脉 VII 号勘探线上, 去离子水提取的 Li 元素的活动态在矿体 100 m~120 m 和 300 m~400 m 处出现了明显的异常, 且两处异常都呈两个明显的近对称的峰值, 正处矿体顶部; Rb 和 Cs 表现出了与 Li 相似的异常特征; Nb、Be 等元素, 虽然在矿体东侧出现了异常, 但沿测线往西, 异常变化规律不明显, 与隐伏矿体的对应性较差。总的来说, 去离子水提取的 Li、Rb、Cs 等元素的活动态呈现出了明显的元素异常, 异常高值都出现在矿体顶部或其倾向方向, 低值出现在矿体外部, 很好地对应了隐伏矿体的位置, 能够指示隐伏矿体的存在。

对比 Li、Rb、Cs 等元素在土壤中的全量和去离子水提取的活动态含量(图 2), 可以发现, 土壤中这些元素的全量虽然在矿体上方显示出一定的异常, 但与活动态相比, 与隐伏矿体的对应关系较差(图 2), 难以指示隐伏矿体的存在, 并且两者间不具有显著的相关性($R_{Li} = -0.118$, $R_{Rb} = 0.164$, $R_{Cs} = 0.111$)。由此可见, 去离子水提取的金属活动态异常并非来源于土壤中原生或次生矿物, 而是由从隐伏矿体迁移至地表的以水溶态形式存在的元素所形成的, 因而能够指示隐伏矿体。



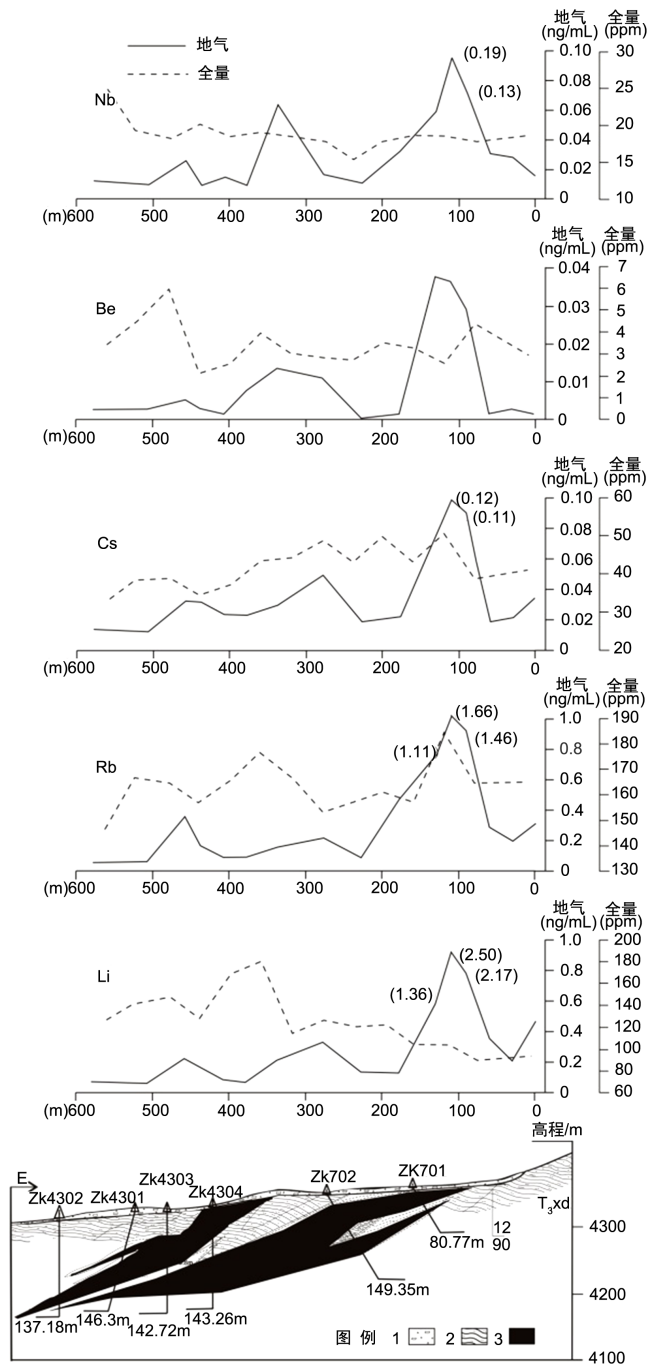
1-第四系; 2-十字石红柱石二云母片岩; 3-钠长锂辉石伟晶岩

Figure 2. The elements mobile forms of VII exploration line of X03 vein contrasting with the soil total amount
图 2. X03 号矿体 7 号勘探线元素活动态与全量对比图

5.2. 地气元素异常特征

由图 3 可以看出, 地气中 Li、Be、Nb、Rb、Cs 等成矿元素在矿体上方均出现了明显的异常, 与矿体的位置对应良好。元素异常宽度较大, 呈跳跃式异常自东向西异常强度减弱, 这可能与 X03 号矿体规模大, 产状较缓有关。王学求[26]对地气异常的形态分布进行了研究, 将矿体上方的地气异常分布总结为

顶部异常、双峰异常和跳跃式异常三种。前两者是矿体产状直立或陡倾时才出现的异常形态，产状较缓的矿体地气异常呈跳跃式。



1-第四系；2-十字石红柱石二云母片岩；3-钠长锂辉石伟晶岩

Figure 3. The elements anomaly of geogas of VII exploration line of X03 vein contrasting with the soil total amount
图 3. X03 号矿体 7 号勘探线地气与全量对比图

综上，在甲基卡稀有金属矿区，去离子水提取土壤金属活动态和地气测量方法均适用于寻找隐伏矿体。

5.3. 土壤金属活动态提取与地气测量效果的比较

从指示元素上来看,去离子水提取土壤金属活动态和地气测量这两种方法均在隐伏矿体上方发现了 Li、Rb、Cs 等元素明显的异常,且异常与隐伏矿体的位置对应良好。地气测量中,Be、Nb 等元素在矿体顶部及倾向方向上也出现了与 Li、Rb、Cs 较一致的异常,同样也指示了隐伏矿体的存在,但去离子水提取的土壤中 Be、Nb 等元素没有出现与隐伏矿体相对应的异常。

从元素显示的异常形态及异常强度上来看,去离子水提取的 Li 元素在隐伏矿体上显示出两个显著的异常高值区,异常峰值分别达到 36.22 ppm 和 26.59 ppm;地气测量中, Li 元素在隐伏矿体东侧也出现了很高的浓度,达到 2.50 ng/ml,显示出极高的异常峰值,但沿测线向西其浓度和异常强度显著降低,不足 0.4 ng/ml。相较而言,去离子水提取的 Li 元素异常,能够更好的指示隐伏矿体的存在。去离子水中 Be、Nb 等元素在矿体上方均未出现与隐伏矿体对应的异常,但地气中这两个元素矿体上方,特别是东侧出现了显著的异常,异常峰值分别接近 0.04 ng/ml 和 0.2 ng/ml。Rb、Cs 等元素在去离子水、地气中均显示出基本一致的异常特征,指示了隐伏矿体的存在。

5.4. 金属活动态异常形成机理探讨

随着深穿透地球化学方法研究的不断深入,人们对于元素迁移营力和机制有了新的认识,并提出一些新的元素垂向迁移模型,Hamilton 等提出的“还原卤”模型[27] [28]; Garnett 提出的“雷暴电池”模型[29];谢学锦等和王学求等提出了“以地气流为主的接力迁移”模型[30] [31] [32]。其中王学求等提出的“以地气流为主的接力迁移”模型,得到了众多试验及找矿实践的验证[33] [34],而被广泛接受。本文所进行的土壤活动态提取与地气测量的对比研究,为解释土壤中活动金属态异常的成因提供了一定的依据。

大量的研究已证实地下确实存在上升气流的事实[4] [7] [35],在温度、压力和浓度梯度等多种营力的作用下地气由深部向上迁移。当上升气流经过矿体及其所形成的高含量地球化学块体时,会把成矿元素和伴生元素的活动态部分(包括离子、胶体、超微细亚微米和纳米级颗粒)带到地表[9] [36],部分金属停滞在壤中气中,通过采集土壤覆盖层中的气体,分析气体中的各种金属元素及其含量,可以得到地气异常;还有一部分在地表被各种次生可溶性盐类、黏土、氧化物、有机物或胶体物质所捕获,通过采集地表疏松物质,提取其中被捕获滞留的金属活动态部分,即可发现元素活动态异常。因此,地气是形成土壤中金属活动态异常的直接原因,两者之间有紧密的联系。

去离子水提取的金属活动态以及地气中的 Li、Rb、Cs 等元素的异常均与隐伏矿体有较好的对应关系,指示了隐伏矿体的存在。对两者中的 Li、Rb、Cs 等元素的含量进行相关性分析,得到金属活动态与地气中 Li 的相关性系数 $R = 0.507$ ($p < 0.05$)、Rb 的相关性系数 $R = 0.482$ ($p < 0.05$)、Cs 的相关系数 $R = 0.674$ ($p < 0.01$),表现出显著或极显著的正相关性。去离子水提取的金属活动态及地气中 Li、Rb、Cs 等元素含量的相关性表明,土壤中被去离子水所提取的是来自深部隐伏矿体以离子态存在的金属元素,这一现象正好印证了地气对隐伏矿体成矿元素的运移作用是土壤中金属活动态异常形成的主要原因。

6. 结论

通过对甲基卡稀有金属矿区 X03 号超大型隐伏锂矿脉的深穿透地球化学方法试验,可以得到以下结论:

- 1) 土壤金属活动态测量和地气测量法均能在隐伏矿体上方发现 Li、Rb、Cs 等成矿元素地球化学异常,且异常强度大,与矿体位置对应良好,能够指示隐伏矿体的存在,为在甲基卡地区寻找隐伏稀有金属矿体提供了新的找矿方法。

2) 相较于地气测量, 去离子水提取的 Li 元素异常, 对隐伏矿体具有更好的指示性。地气中元素的异常均表现为自东向西减弱, 可能与矿体产状较缓有关。

3) 去离子水提取的 Li、Rb、Cs 等元素金属活动态含量与土壤中的全量没有相关性, 而与地气有显著的相关性, 表明金属活动态异常来源于深部, 地气的搬运作用是异常形成的主要原因。

基金项目

国家重点研发计划“锂能源金属矿产基地深部探测技术示范”项目“甲基卡及外围锂能源金属矿产基地深部探测技术示范”课题(2017YFC0602702)四川省科技厅“川西锂矿大型能源资源基地成矿关键技术研究与示范”重点研发项目(2018SZ0276)。

参考文献

- [1] 王学求, 叶荣. 纳米金属微粒发现——深穿透地球化学的微观证据[J]. 地球学报, 2011, 32(1): 7-12.
- [2] Mann, A.W., Birrell, R.D. and Gay, L.M. (1995) Partial Extractions and Mobile Metal Ions. In: Camuti, K.S., *Extended Abstracts of the 17th IGESC*, 31-34.
- [3] Clark, R.J., Meier, A.L. and Riddle, G. (1990) Enzyme Leaching of Surficial Geochemical Samples for Detecting Hydromorphic Trace-Element Anomalies Associated with Precious-Metal Mineralized Bedrock Buried beneath Glacial Overburden in Northern Minnesota. *Proceedings of the Gold' 90 Symposium—Gold' 90*, Salt Lake City, UT, 26 February-1 March 1990, 189-207.
- [4] Cameron, E.M., Hamilton, S.M.H., Leybourne, M.I.L., *et al.* (2004) Finding Deeply Buried Deposits Using Geochemistry. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 4, 7-32. <https://doi.org/10.1144/1467-7873/03-019>
- [5] 谢学锦. 用新观念与新技术寻找巨型矿床[J]. 科学中国人, 1995(5): 15-16.
- [6] 王学求, 程志中. 元素活动态测量技术的发展及其意义[J]. 国外地质勘探技术, 1996(2): 17-22.
- [7] Malmqvist, L. and Kristiansson, K. (1984) Experimental Evidence for an Ascending Microflow of Geogas in the Ground. *Earth and Planetary Science Letters*, 70, 407-416. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(84\)90024-4](https://doi.org/10.1016/0012-821X(84)90024-4)
- [8] 童纯菡, 李晓林, 李巨初, 等. 地气法——找深部金矿的新方法[J]. 物探化探计算技术, 1996, 18(S1): 13-16.
- [9] 王学求. 寻找和识别大型特大型矿床的勘查地球化学理论方法与应用[J]. 物探与化探, 1998, 22(2): 81-89.
- [10] 谢学锦, 王学求. 深穿透地球化学新进展[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 225-238.
- [11] 刘应汉, 汪明启, 赵恒川, 等. 寻找隐伏矿的“地气”测量方法原理及应用前景[J]. 青海国土经略, 2006(3): 41-42.
- [12] 刘应汉, 赵传东, 孔牧, 等. 纳米级微粒地球化学测量中异常重现性研究[J]. 物探化探计算技术, 2007, 29(S1): 202-206.
- [13] 周四春, 刘晓辉, 童纯菡, 等. 地气测量技术及在隐伏矿找矿中的应用研究[J]. 地质学报, 2014, 88(4): 736-754.
- [14] Wang, X.-Q., Cheng, Z.-Z., Lu, Y.-X. and Xie, X.-J. (1997) Nanoscale Metals in Earthgas and Mobile Forms of Metals in Overburden in Wide-Spaced Regional Exploration for Giant Deposits in Overburden Terrains. *Journal of Geochemical Exploration*, 58, 63-72. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(96\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(96)00052-0)
- [15] 付小方, 侯立玮, 梁斌, 等. 甲基卡式花岗伟晶岩型锂矿床成矿模式与三维勘查找矿模型[M]. 北京: 科学出版社, 2017: 64-78.
- [16] 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 1-138.
- [17] 付小方, 侯立玮, 许志琴, 等. 雅江北部热隆扩展系的变形——变质作用[J]. 四川地质学报, 1991, 11(2): 79-86.
- [18] 许志琴, 侯立玮, 王宗秀, 等. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程[M]. 北京: 地质出版社, 1992: 1-189.
- [19] 侯立玮, 付小方. 松潘-甘孜造山带东缘穹窿状变质地质体[M]. 成都: 四川大学出版社, 2002: 1-159.
- [20] 付小方, 袁藎平, 王登红, 等. 四川甲基卡矿田新三号稀有金属矿脉的成矿特征与勘查模型[J]. 矿床地质, 2015, 34(6): 1172-1186.
- [21] Wang, X.-Q. (1998) Leaching of Mobile Forms of Metals in Overburden: Development and Application. *Journal of Geochemical Exploration*, 61, 39-55. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(97\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(97)00039-3)
- [22] 姚文生. 元素活动态提取剂作用机理与实验条件研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质科学院, 2011.
- [23] Nolan, A.L., Baltpurvins, K., Hamilton, I.C., *et al.* (2003) Chemostat-Controlled Selective Leaches of Model Soil

- Phases—The Hydrous Manganese and Iron Oxides. Part 1. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, **3**, 157-168. <https://doi.org/10.1144/1467-7873/02012>
- [24] Dalrymple, L.J. (2007) An Approach to the Optimisation of Partial Extractions for Geochemical. Ph.D. Thesis, University of New South Wales, Sydney.
- [25] 耿艳, 梁斌, 徐志强, 等. 中性盐溶液提取土壤中金属活动态及其对隐伏矿的指示: 以甲基卡稀有金属矿区为例[J]. 高校地质学报, 2019, 25(1): 51-57.
- [26] 王学求. 地球气纳微金属测量的概念, 理论与方法. 走向 21 世纪矿产勘查地球化学[M]. 谢学锦, 等, 主编. 北京: 地质出版社, 1999: 105-124.
- [27] Hamilton, S.M. (1998) Electrochemical Mass-Transport in Overburden: A New Model to Account for the Formation of Selective Leach Geochemical Anomalies in Glacial Terrain. *Journal of Geochemical Exploration*, **63**, 155-172. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(98\)00052-1](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(98)00052-1)
- [28] Hamilton, S.M., Cameron, E.M., McClenaghan, M.B., *et al.* (2004) Redox, pH and SP Variation over Mineralization in Thick Glacial Overburden, Part I: Methodologies and Field Investigation at the Marsh Zone Gold Property. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, **4**, 33-34. <https://doi.org/10.1144/1467-7873/03-020>
- [29] Garnett, D. (2004) Element Mobility in Transported Overburden—Are We Looking in the Wrong Direction? *The Association of Applied Geochemists: Explore*, **127**, 3-5.
- [30] 谢学锦, 王学求. 深穿透地球化学新进展[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 225-238.
- [31] 王学求, 刘占元, 白金峰, 等. 深穿透地球化学对比研究两例[J]. 物探化探计算技术, 2005, 27(3): 250-255.
- [32] 王学求. 深穿透地球化学迁移模型[J]. 地质通报, 2005, 24(10): 892-896.
- [33] 汪明启, 高玉岩, 张得恩, 等. 地气测量在北祁连盆地区找矿突破及其意义[J]. 物探与化探, 2006, 30(1): 7-12.
- [34] 王学求, 张必敏, 迟清华. 穿透性地球化学迁移模型的实验证据[J]. 矿物学报, 2009, 29(z1): 485-486.
- [35] Kristiansson, K. and Malmqvist, L. (1982) Evidence for Nondiffusive Transport of ^{86}Rn in the Ground and a New Physical Model for the Transport. *Geophysics*, **47**, 1444-1452. <https://doi.org/10.1190/1.1441293>
- [36] 童纯菡, 李巨初, 葛良全, 等. 地壳内上升气流对物质的迁移及地气测量原理[J]. 矿物岩石, 1997, 17(3): 83-88.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org