



Characteristics and Significance of X-Ray Fluorescence Anomaly of Granite Pegmatite Rare Metal Deposit in Renli, Hunan

Long Zhang

Chengdu University of Technology, Chengdu, China
Email: 1733262762@qq.com

How to cite this paper: Zhang, L. (2021) Characteristics and Significance of X-Ray Fluorescence Anomaly of Granite Pegmatite Rare Metal Deposit in Renli, Hunan. *Open Access Library Journal*, 8: e7467.
<https://doi.org/10.4236/oalib.1107467>

Received: April 28, 2021

Accepted: May 21, 2021

Published: May 24, 2021

Copyright © 2021 by author(s) and Open Access Library Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

Abstract

In the granite pegmatite niobium-tantalum rare metal mining area in Renli, Pingjiang County, Hunan Province, the multi-element X-ray fluorescence measurement of soil was carried out using a handheld X-ray fluorometer on three survey lines passing through known veins. The element combination and amplitude of the mineral-induced X-ray fluorescence anomaly and the spatial correlation between mineral-induced anomalies and the ore body are studied. The results show that there are positive anomalies of K, Nb, Ta, Rb, Y, and negative anomalies (or low-value areas) of Fe, Ni, Zn, and Zr at the outcropping site or above the outcropping projection site. Therefore, the abnormal X fluorescence of the target elements Nb, Ta, Rb, and the abnormal multi-element X fluorescence accumulation ratio of $(Nb + Ta + Rb + Y)/(Fe + Ni + Sr + Zr)$ can be used as the basis for quickly evaluating the minerality of granite pegmatite veins.

Subject Areas

Geology

Keywords

Granite Pegmatite, Rare Metal Ore, X Fluorescence Measurement, Anomalous Characteristics, Prospecting Significance

1. 引言

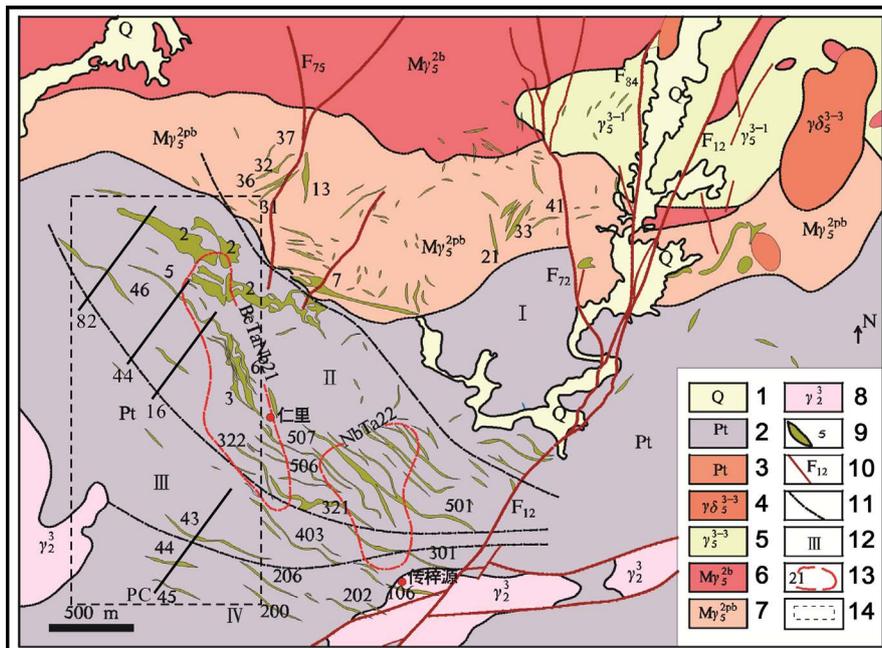
在花岗伟晶岩稀有金属矿勘查区找矿时, 评价伟晶岩脉是否含矿的方法不少, 但都面临需要取样回实验室做分析(地球化学方法), 或者需要其他方法配合(传统地球物理方法), 难以在找矿的野外现场快速做出评价与确认。

一般情况下，一个伟晶岩稀有金属矿勘查区往往分布着数百条甚至更多的伟晶岩脉，然而含矿的伟晶岩脉往往不到 10%，这给找矿工作带来不少困难。

针对上述找矿面临的问题，本文探讨了采用最新一代配置 SDD 探测器的手持式 X 射线荧光仪，通过土壤多元素测量解决伟晶岩脉含矿性的现场快速评价问题。

2. 地质背景

仁里铌钽矿床位于幕阜山复式岩体西南缘，大地构造上属于扬子陆块东南缘江南新元古代造山带中段北缘之湘东北断隆带，处于扬子陆块与华夏陆块过渡部位的中生代构造岩浆隆起带，主要经历了弧盆与岩浆作用阶段、裂谷盆地阶段、陆表海盆地阶段、陆内构造-岩浆阶段和断陷盆地阶段(图 1)。大规模成矿多集中在陆块边缘和构造转换带中，其成矿热动力源于深部，幕阜山地区成矿地质条件好，成矿母岩来自深部，易形成超大型矿床。区域稀有金属矿产分布总体呈现出“北铌钽、东铍、南锂铍钽、中铌钽锂、西部尚未见明显矿化”的分布规律：北部以断峰山铌钽矿床为代表；东部为铍矿点聚集区；南部以仁里铌钽矿床、传梓源锂铌钽矿床为代表。整体表现出，东部以单一的铍矿化为主，至中部锂铍钽多种元素矿化，北部和南部产出大型和超大型稀有金属矿床，反映出稀有金属成矿一定的分带性。截止 2017 年 11 月，仁里矿区已发现伟晶岩脉 140 条，其中岩体内 95 条，岩体西南缘 45 条。发现铌钽矿 14 条，圈定铌钽工业矿体 17 个，其中岩体内矿体 7 个，



1. 第四系；2. 元古宙冷家溪群片岩；3. 细粒花岗闪长岩；4. 细粒二云母二长花岗岩；5. 中粒二云母二长花岗岩；6. 粗中粒似斑状黑云母二长花岗岩；7. 粗中粒片麻状黑云母二长花岗岩；8. 新元古代二云母斜长花岗岩；9. 伟晶岩脉及其编号；10. 断裂及其编号；11. 伟晶岩类型分带界线；12. 伟晶岩分带类型；I. 微斜长石型；II. 微斜长石-钠长石型；III. 钠长石型；IV. 钠长石锂辉石型；13. 重砂异常晕；14. X 荧光测区。

图 1. 仁里与传梓源地区地质略图(附 X 荧光测量部署)

岩体外矿体 10 个。估算资源量 Ta_2O_5 : 10,791 t, Nb_2O_5 : 14,057 t, Rb_2O_5 : 17,299 t, 平均品位 Ta_2O_5 : 0.036%, Nb_2O_5 : 0.047%, Rb_2O_5 : 0.06%。铌钽资源主要集中在岩体外的 2、3、5、6 号矿脉, 其 Ta_2O_5 资源量占全矿区资源量 97% 以上, 其主要特点为: 矿体密集、规模大、品位高, 且形态简单, 呈层状产出。成矿物质与成矿类型组合也具有规律性的演化特点, 伟晶岩类型分带对应着不同类型的矿化, 自岩体向南, 铌钽矿化由强变弱, 锂矿化由弱变强。一般来说, 伟晶岩规模越大, 分带越完善, 矿化越好。因此规模大、剥蚀程度低的伟晶岩易形成大的稀有金属矿。这类伟晶岩脉从边部到内部, 大至可分为: 文象带、粗粒白云母钠长石带、糖粒状钠长石带(及含石榴子石钠长石带)和锂云母石英带。绿柱石主要产在粗粒白云母钠长石带; 铌钽铁矿等。铌钽矿物主要赋存于白云母钠长石带和锂云母石英带中, 呈块状、颗粒状、针状、片状产出。从外带到内带, K 含量逐渐减低, Na 含量逐渐升高, 但在锂云母石英带因富含锂云母而导致 K 含量升高, Na 含量降低; Nb、Ta 含量在白云母钠长石带和锂云母石英带含量最高。伟晶岩各分带中矿物及生成顺序存在一定的规律, 为伟晶岩结晶过程熔体化学成分演化、温压条件、挥发分等差异及后期交代作用所致, 导致矿物生成顺序亦有先后[1] [2]。

3. 花岗伟晶岩稀有金属矿 X 荧光特征提取方法

根据莫塞莱定律, 元素的特征 X 射线能量与其原子序数的平方成正比。当选用确定的激发源照射样品时, 会产生样品中某些元素的特征 X 射线。样品中元素所产生的特征 X 射线的照射量率与该元素的含量成正比。因此, 依据所测量 X 荧光谱线的能量与照射量率, 可以分别确定被测元素是谁, 其含量有多少, 这就是 X 荧光方法可以对土壤及岩(矿)石成分进行定性与定量测定的物理基础。研究工作所用仪器为英国牛津公司生产的 X-MET7500 手持式 X 射线荧光仪。该仪器是目前国际上最新一代的手持式 X 荧光仪之一, 配置牛津公司自制的 45 keV 铑阳极 X 射线管和 SDD 高分辨率探测器, 元素分析范围可从 19 号元素钾(K)到 92 号元素铀(U), 并可同时分析地质样品中 30 种以上元素含量, 分析检出限从 $n \times 10^{-6}$ 到 $n \times 10^{-1}$, 可以快速稳定的进行土壤样品的快速测量, 能满足工作需要。

铌和钽是典型的亲石元素。两者因原子结构相同, 地化性质相近故在自然作用中密切共生, 并形成极完全的类质同象系列(如铌铁矿 - 钽铁矿族等), 至今还未见有完全不含铌的钽矿物, 或者不含钽的铌矿物。钛、锆、稀土、铀、钍、钷和锡等由于与铌钽的地球化学性质相近而密切共生。铌钽主要呈铌铁矿 - 钽铁矿或细晶石等形态产出[3]。在仁里花岗伟晶岩稀有金属矿区内, 岩石主要由石英、钾长石、钠长石、白云母组成; 主要矿物有微斜长石、石英、白云母、石榴子石、绿柱石、黑电气石、锂电气石、黄玉、铯榴石锂云母和铌钽矿等。铌钽铁矿主要赋存于伟晶岩的中粗粒的钠长石带、钠长石 - 白云母、钠长石 - 白云母 - 石英带及白云母 - 石英带, 锂矿主要赋存于锂云母及锂电气石中[4]。因而, 我们可以通过矿物中元素组分及含量的不同, 以及共生元素组分及含量的不同, 应用手持式 X 荧光测量仪在现场快速的区分含矿花岗伟晶岩脉和不含矿花岗伟晶岩脉[5] [6] [7]。

4. 矿致X荧光异常信息采集与成果图编制

根据从已知到未知的原则,为了采集到土壤中具有代表性的矿化花岗伟晶岩脉的X荧光异常信息,选择矿区已经探明的5号伟晶岩矿脉为研究对象,按基本垂直花岗伟晶岩脉走向为原则,在仁里矿区布置了三条测线(见图1),依次为:P82、P44和P16,测线长度分别为:1600 m、1100 m和1180 m。其中,P82用于研究46与5号矿脉;P44和P16则用于研究5号矿脉。

根据花岗伟晶岩脉较窄的实际情况,为了有效控制矿体可能形成的异常,X荧光测线的测量基本点距采用20 m,重点区段加密至10 m,远离矿脉裸露区域则放宽至40 m。

为了减少现场测量时土壤面存在的几何效应,土壤X荧光测量工作采取了取样后回野外驻地装杯测量的工作方法。每个测点的土壤样品,按照地球化学土壤测量规范,采集自B层。根据试验,这个深度约为30~40 cm,实际工作中统一采用40 cm采样深度。

土壤样品装杯后,使用英国牛津公司生产的X-MET7500手持式X射线荧光仪,在土壤模式下进行测量,每样的测量时间设置为80s。

根据实测获得的多元素的X荧光含量结果,以各元素的含量(Nb元素与Y元素含量以峰面积表示)的“衬度”值(实测值与该元素的测区背景值之比)为参数,编制了X荧光多元素综合剖面图(图2)与测区的平面剖面图(图3)。

5. 矿致X荧光异常特征研究

以P16线多元素X荧光测量综合剖面图(图2)为例,探究矿区花岗伟晶岩矿脉形成的X荧光异常的特征。

由图2可得,所测量的元素中有多种元素在矿脉上方及附近出现了显著的异常。其中K、Rb、Y、Ta、Nb、Mn和Ca元素含量在矿脉上方及其附近出现正异常,尤其是K、Rb、Y、Ta和Nb五种元素存在全线最高值,Mn、Ca两元素虽出现正异常,但纵观全线其异常并无规律性;Fe、Ni、Sr、Zr四元素含量在矿脉上方及其附近出现明显负异常,且存在全线最低值;Cr、Pb和Zn三元素含量无明显异常。

为了总结出本勘查区花岗伟晶岩稀有金属矿的指示元素,以Rb、Ta和Nb三元素作为目标元素,对所测得的元素进行Pearson相关分析[8][9](表1)。经Pearson相关分析得出:Rb元素与K元素的相关系数为0.59,Rb元素与Y元素的相关系数为0.94,Rb元素与Fe元素的相关系数为-0.75,Rb元素与Ni元素的相关系数为-0.76,Rb元素与Sr元素的相关系数为-0.59,Rb元素与Zr元素的相关系数为-0.93,Nb元素与Y元素的相关系数为0.78,Nb元素与Fe元素的相关系数为-0.81,Nb元素与Ni元素相关系数为-0.58,Nb元素与Zr元素的相关系数为-0.62,Ta元素与Y元素的相关系数为0.53,Ta元素与Zr元素的相关系数为-0.54。

由以上分析和Rb、Ta和Nb元素的地球化学特征结合花岗伟晶岩稀有金属矿特性,可以得出勘查区花岗伟晶岩稀有金属矿的指示元素为Rb、Nb、Ta、Y、Fe、Ni、Sr和Zr。为了更准确直观的掌握仁里矿区花岗伟晶岩稀有

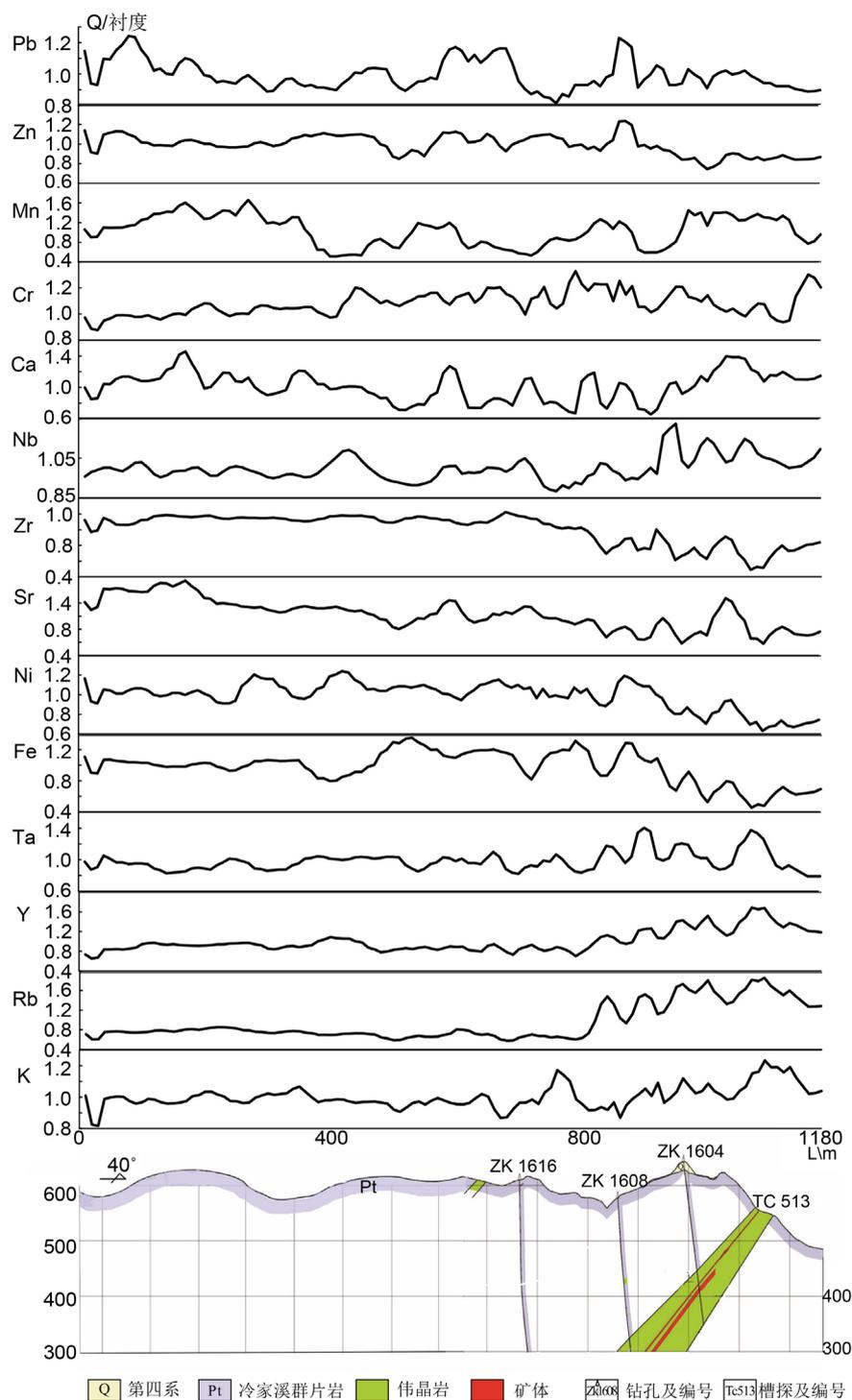


图 2. P16 线多元素综合剖面图

金属矿的土壤 X 荧光特征，根据上述结论绘制了异常元素累加比值图，以正异常显著的 Rb、Nb、Ta 和 Y 四元素含量的累加值除以负异常显著 Fe、Ni、Sr 和 Zr 四元素含量的累加值(图 3)。

由图 3 可以看出，在矿脉上方及矿脉出露点附近累加比值异常显著，其异常幅度范围在 1.06~3.07 之间，平均值为 1.73。为了进一步论证仁里矿区花

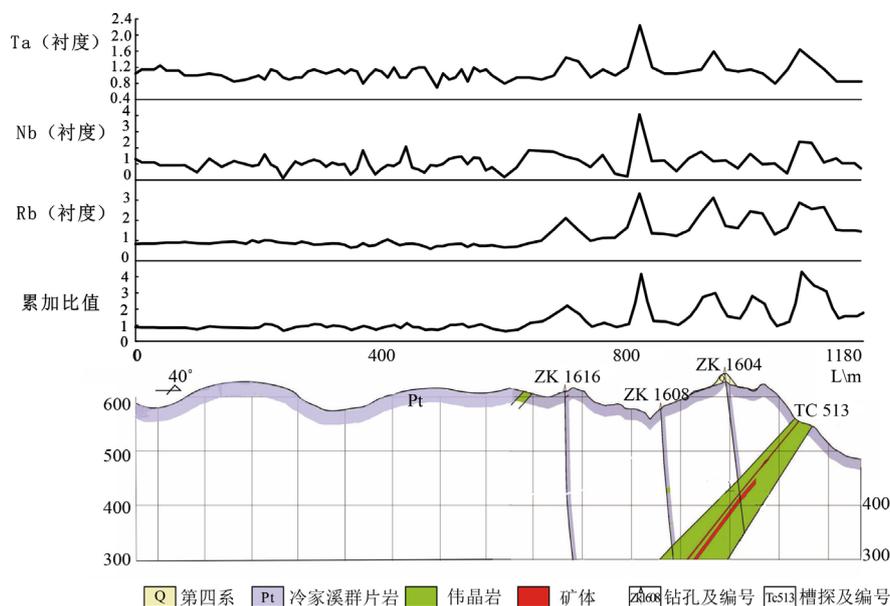


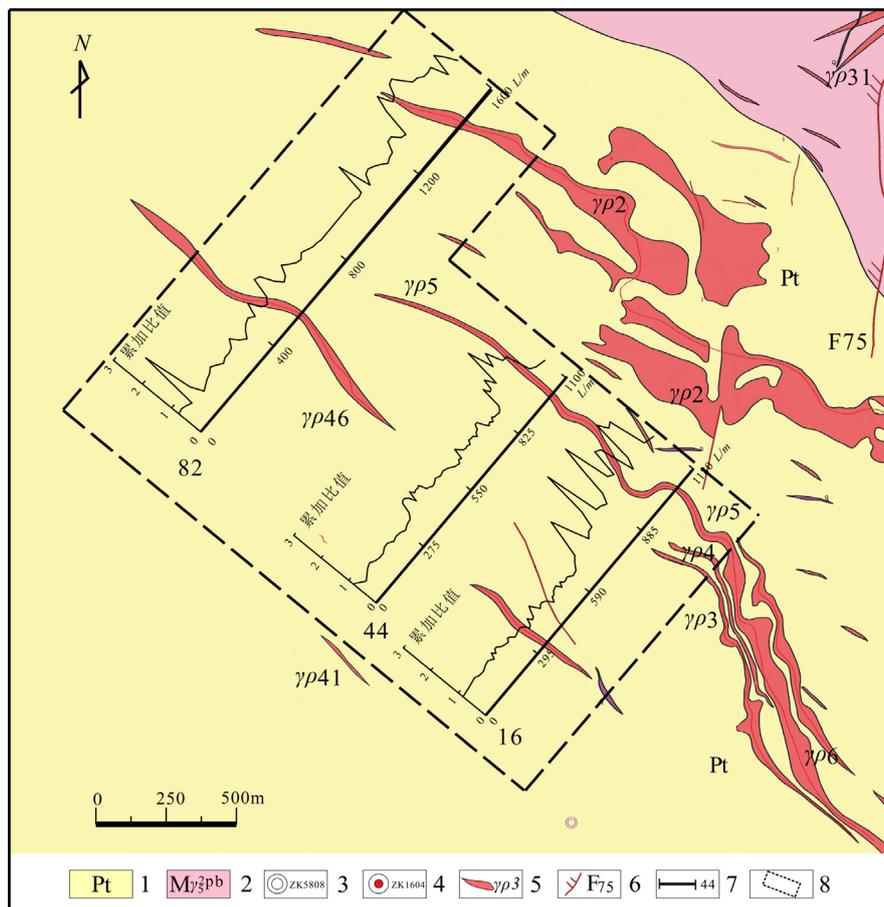
图 3. P16 线目标元素及累加比值剖面图

表 1. Pearson 相关系数表

Pearson 相关性	Rb	Ta	Nb
K	0.59	0.27	0.43
Ca	0.29	-0.16	-0.03
Cr	0.05	-0.02	-0.01
Mn	0.28	-0.13	0.03
Fe	-0.75	-0.22	-0.44
Ni	-0.76	-0.13	-0.44
Zn	-0.63	-0.04	-0.22
Rb	1.00	0.49	0.52
Sr	-0.59	-0.46	-0.41
Zr	-0.93	-0.54	-0.53
Ta	0.49	1.00	0.48
Pb	-0.15	0.06	-0.18
Y	0.94	0.53	0.54
Nb	0.52	0.48	1.00

岗伟晶岩稀有金属矿的土壤 X 荧光异常特征，绘制出三条测线的异常元素累加比值平面剖面图(图 4)。

通过图 4 可以看出：在 P82 和 P44 测线上，矿脉上方及出露点附近土壤 X 荧光异常特征也非常显著。其中 P82 线异常幅度范围在 1.19~1.91 之间，平均值为 1.49，P44 线异常幅度范围在 1.05~1.86 之间，平均值为 1.45。对于 P82 线上的 46 号脉，及 P16 线上的西南部另一处花岗伟晶岩脉，可能由于埋藏深度和地形等因素的原因，虽略有异常，但其异常幅度不如 2 号脉和 5 号脉上



1. 元古宙冷家溪群片岩; 2. 粗中粒似斑状黑云母二长花岗岩; 3. 钻孔及其编号; 4. 伟晶岩脉及其编号; 5. 断裂及其编号; 6. 测线及其编号; 7. 工作区域。

图 4. 仁里矿区异常元素累加比值平面剖面图

显著。

综上所述，在仁里花岗伟晶岩稀有金属矿的指示元素为：Rb、Nb、Ta、Y、Fe、Ni、Sr 和 Zr。仁里花岗伟晶岩稀有金属矿土壤 X 荧光矿化特征，可由指示元素的累加比值幅度表示。在元素组分上：Rb、Nb、Ta 三元素均与 Y 元素有着良好的相关性。

在 P44 线西南部存在一个未知异常区段(未知异常 I)，其异常幅度范围在 1.15~1.36 之间，平均值为 1.23，下方并不存在已勘查矿体，但其西北方向有已勘查的 46 号脉，东南方向也存在已勘查矿脉，异常特征幅度范围介于上文矿脉上方异常特征幅度范围，所以下方可能存在隐伏矿体，是寻找花岗伟晶岩稀有金属矿的有利找靶矿区。

6. 结论

通过在仁里矿区开展的三条测线土壤 X 荧光采样及测量工作，综合运用异常剖面图和应用多元统计方法分析测量结果，详细研究了伟晶岩稀有金属矿 X 荧光异常的元素组合特征、异常幅度和空间分布特征，得出以下三点认识：

1) 对于已知矿区的分析,可知仁里花岗伟晶岩稀有金属矿的 X 荧光异常特征为 K、Rb、Nb、Ta 和 Y 五元素出现明显正异常, Fe、Ni、Sr 和 Zr 四元素出现明显负异常。结合多元统计的相关分析, Rb、Nb、Ta、Y、Fe、Ni、Sr 和 Zr 可作为该区域的指示(矿)元素。在元素组分上 Rb、Nb、Ta 三元素均与 Y 元素有着良好的相关性。由指示元素建立的土壤 X 荧光异常特征适用于仁里矿区的找矿工作。由于 X 荧光测量主要反映地表浅层矿床异常特征,对于深部隐伏矿床还需借助多种物化探方法共同建立其特征模式。

2) P44 线西南部的未知异常区段下方可能存在隐伏矿体,且与其西北的 46 号脉和东南的矿脉相连,是找花岗伟晶岩稀有金属矿的有利找靶矿区。

3) 通过建立的花岗伟晶岩稀有金属矿化特征模式,手持式 X 射线荧光仪能够适用于花岗伟晶岩稀有金属矿的现场快速准确测定。

Conflicts of Interest

The author declares no conflicts of interest regarding the publication of this paper.

References

- [1] 陈虎, 陈阡然, 周芳春, 等. 湖南仁里铌钽矿床地质特征及找矿标志[J]. 国土资源导刊, 2018, 15(4): 76-81.
- [2] 刘翔, 周芳春, 李健康, 等. 湖南平江县仁里超大型伟晶岩型铌钽多金属矿床的发现及其意义[J]. 大地构造与成矿学, 2018, 42(2): 235-243.
- [3] 王盘喜, 包民伟. 我国铌钽等稀有金属矿概况及找矿启示[J]. 金属矿山, 2015, 6(1): 92-97.
- [4] 赵伦山, 张本仁. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1988.
- [5] 刘俊, 周四春, 刘国安, 等. 多元素 X 荧光方法在湖北某铀矿区中的应用[J]. 现代矿业, 2013(9): 65-69.
- [6] 吴丽荣, 周四春, 吕少辉, 等. 多元素 X 荧光测量技术在某金矿外围找矿中的应用[J]. 金属矿山, 2010(10): 90-94.
- [7] 周四春, 谢庭周, 葛良全, 等. X 荧光勘查金矿技术的应用与进展[J]. 物探化探计算技术, 1996, 8(18): 66-69.
- [8] 郭科, 龚灏. 多元统计方法及其应用[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2003.
- [9] 李正文, 何振华. 勘查技术工程学[M]. 北京: 地质出版社, 2002.

Appendix (Abstract and Keywords in Chinese)

湖南仁里花岗伟晶岩稀有金属矿 X 荧光异常特征及意义

摘要: 在湖南平江县仁里花岗伟晶岩铌钽稀有金属矿区, 在三条穿越已知矿脉的测线上应用手持式 X 荧光仪开展了土壤多元素 X 荧光测量, 研究了矿致 X 荧光异常的元素组合、幅度、以及矿致异常与矿体的空间关联关系。结果表明, 含矿脉出露处或出露投影处上方存在 K、Nb、Ta、Rb、Y 的正异常, Fe、Ni、Zn、Zr 的负异常(或低值区)。因此, 可以将目标元素 Nb、Ta、Rb 的 X 荧光异常, 与 $(\text{Nb} + \text{Ta} + \text{Rb} + \text{Y})/(\text{Fe} + \text{Ni} + \text{Sr} + \text{Zr})$ 的多元素 X 荧光累加比值异常作为快速评价花岗伟晶岩脉含矿性的依据。

关键词: 花岗伟晶岩, 稀有金属矿, X 荧光测量, 异常特征, 找矿意义