

doi: 10. 11720/wtyht. 2023. 0297

韩若浦,周四春,王登红,等. 新疆哈密红岭地区综合地气异常特征及找矿意义[J]. 物探与化探, 2023, 47(6): 1657–1664. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.0297>

Han R P, Zhou S C, Wang D H, et al. Comprehensive geogas anomalies in the Hongling area of Hami, Xinjiang: Characteristics and implications for prospecting[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2023, 47(6): 1657–1664. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.0297>

新疆哈密红岭地区综合地气异常特征及找矿意义

韩若浦¹,周四春¹,王登红²,刘晓辉¹,陈寿波³,吴见新³

(1. 成都理工大学 地学核技术四川省重点实验室,四川 成都 610059;2. 中国地质科学院 矿产资源研究所,北京 100037;3. 新疆维吾尔自治区有色地质勘查局七〇四队,新疆 哈密 839000)

摘要:近年来,在新疆哈密境内的红岭地区发现了多条伟晶岩脉,显示了具有寻找伟晶岩稀有金属矿的良好前景。在区内布署了 2 条穿越主要伟晶岩脉的长剖面,采用综合地气测量技术方法对该区内的主要伟晶岩脉的含矿性进行了评价。其中,用手持式 X 射线荧光仪实施的快速土壤 X 射线荧光测量用于评价伟晶岩脉顶部或出露部分的含矿性,动态地气测量方法则用于获取伟晶岩脉深部矿化信息,评价伟晶岩脉深部含矿性。结果表明,红岭勘查区内的多条伟晶岩脉地表与深部均有矿化显示,值得开展进一步找矿工作。

关键词:红岭地区;地气测量;土壤 X 射线荧光测量;伟晶岩型稀有金属矿;找矿应用

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2023)06-1657-08

0 引言

新疆哈密境内的红岭勘查区是新疆有色地质局七〇四队所属的铜(钼)矿勘查区^[1],在寻找铜(钼)矿过程中,先后发现了多条伟晶岩脉。综合分析勘查区地质资料后发现,该勘查区与相邻的著名伟晶岩稀有金属矿床——镜儿泉锂矿床同属相同的大地构造位置,区内地层岩性也相似,地球化学环境相同,具有寻找伟晶岩型稀有金属矿的前景。

在国家重点研发计划项目(2017YFC0602701)支持下,成都理工大学综合地气技术课题组与新疆有色地质局七〇四队联合组队,采用综合地气测量技术方法,对红岭勘查区的主要伟晶岩脉的含矿性进行了评价。

1 勘查区地质概况

红岭勘查区所处大地构造位置位于天山兴蒙造

山系、准噶尔—吐哈地块、觉罗塔格晚古生代沟弧带、Ⅳ级构造单元康古尔海槽。勘查区成矿带位于康古尔—土屋—黄山 Cu-Ni-Ti-Au-Ag-Mo-Pb-Zn-稀有(RM)—硫铁矿—硅灰石—玉石矿带^[1]。区域地层主要为古元古界星星峡组和第四系。勘查区内出露的岩浆岩主要以酸性的侵入岩为主,中性侵入岩次之,其中以中三叠世侵入岩为主,次为早石炭世二长花岗岩^[2]。

目前勘查区圈定出伟晶岩脉 32 条,长 10~320 m 不等,宽 2~40 m 不等,走向在 70°~90°之间。区内伟晶岩脉绝大多数呈脉状产出,正地形隆起,与围岩呈侵入接触,多顺层产出,局部与围岩呈切层。伟晶岩脉整体分带性较好,由内向外岩相分带为块体石英核、云母巢、云母石英长石带、文象带,个别脉体分带性一般。围岩以二长片岩为主,其次为斜长片麻岩、黑云长英质角岩,岩脉与围岩接触部位多受风化作用影响,坡积较多,界限不清(图 1)。

收稿日期: 2023-07-05; 修回日期: 2023-10-07

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0602701)

第一作者: 韩若浦(1999-),男,成都理工大学在读硕士研究生,主要从事核技术应用研究工作。Email: hanruopu2017@163.com

通讯作者: 周四春(1954-),男,成都理工大学教授,主要从事深部找矿技术方法研究及核技术应用工作。Email: zsc@cdut.edu.cn



图 1 红岭勘查区地质简图及工作布置

Fig. 1 Geological map and working arrangement of Hongling area

2 勘查区工作部署及工作程序

2.1 红岭勘查区综合地气测量工作程序

红岭勘查区的找矿工作以剖面控制的方式开展,部署的所有剖面线上均采用同线共点方式同时开展土壤 X 射线荧光测量与动态地气测量,获取综合地气测量所需的两种探测信息。其中土壤 X 射线荧光测量用于评价伟晶岩脉浅部的含矿性,地气测量用于评价伟晶岩脉深部的含矿性。

为了提供红岭勘查区综合地气测量资料评价依据,红岭勘查区的综合地气测量工作分两阶段进行:

第一阶段,以相邻的镜儿泉锂矿床为标准,在镜儿泉 1 号伟晶岩矿脉上布设穿越该矿体的剖面开展综合地气测量,获取矿体上 X 射线荧光与地气异常的元素组合特征、空间分布特征等信息,据此获取红岭地区伟晶岩稀有金属矿的综合地气异常识别依据与标志。

第二阶段,在红岭勘查区开展综合地气测量,并应用镜儿泉矿床上获取的综合地气异常识别依据与标志做判据,对勘查区综合地气测量资料进行评价

解释。

2.2 红岭勘查区综合地气测量工作部署

根据红岭勘查区的地质情况,依据伟晶岩脉的走向,可以将区内的主要伟晶岩脉分为两组:第一组为赋存在测区西北部二长片岩中的伟晶岩脉,其走向大致为 EW 向(见图 1);第二组为赋存在测区东南部片麻岩中的伟晶岩脉,走向大致为 NEE 向。

红岭勘查区内的地气综合探测工作以评价两组伟晶岩脉的含矿性为目的,为此设计了 2 条综合地气测线。

为控制第一组伟晶岩脉,在测区西北部布设了 HH-01 测线。测线方位角 90°,控制长度 510 m,穿越地表见矿的 γp1、γp2、γp4、γp12 号伟晶岩脉(图 1)。HH-01 测线按基本点距 20 m,伟晶岩脉及其相邻区域点距加密到 10 m 的方案,布设测点 41 个。

为控制第二组伟晶岩脉,在勘查区南部布设了 HH-02 测线。测线方位角 120°,控制长度 460 m,穿越 γp14、γp16、γp17、γp18 号伟晶岩脉(图 1)。HH-02 测线亦按基本点距 20 m,伟晶岩脉及其相邻区域点距加密到 10 m 方案,布设测点 42 个。

3 勘查区综合地气测量技术方法

3.1 土壤 X 射线荧光测量技术方法

研究区地处戈壁滩干旱荒漠地球化学景观区,自然环境恶劣。为了减少现场开展 X 射线荧光测量时无法避免的不平度效应、矿化不均匀效应以及颗粒度效应,X 射线荧光测量采用了取样后稍作处理再在实验室开展测量的方案^[3]。

根据土壤地球化学测量规范,野外工作时,选择采集 B 层土壤的细粒部分^[4]。为了保证每个测点采样条件的一致性,兼顾考虑戈壁地貌以及工作效率,在实际工作中,采用了统一的 40 cm 采样深度,采集较粗粒样品 100 g。回野外驻地后,过筛筛选出 40~60 目粒级土壤,直接装杯成饱和厚样品加以测量,每样测量时间 120 s。

X 射线荧光测量采用了英国生产的牛津 X-MET7500 型手持式 X 射线荧光仪^[5]。这是一种采用微功耗铈靶 X 射线光管为激发源与硅漂移探测器的数字多道手持式 X 射线荧光仪,样品中某种元素的含量越高,单位体积内该元素的原子数量也会越多,激发原子后发出的特征 X 射线也越多,因此仪器测量得到的特征 X 射线计数率与该元素在物质中的含量成正比关系^[6]。

经对镜儿泉与红岭已知矿体采样点、背景区采样点样品实测 X 射线荧光谱线分析,仪器在该地区可检测出 K、Ca、Cr、Mn、Fe、Ni、Zn、Pb、Rb、Sr、Zr、Y、Nb、Ba 元素的相关信息。从地球化学角度考虑,最

后选择 Y、Ba、Zr、Sr、Rb、Zn、Ni、Fe、Mn、K 为荧光指示元素。

3.2 地气测量技术方法

地气测量采集由地球内部垂直上升的气流所带出的纳米微粒^[7],以获取来自地下深处地质体的元素含量信息。研究区地气测量全套采用了文献[8]提供的“提高探测灵敏度的动态地气测量”技术。该动态地气采样装置由采样器、干燥器、双捕集器和抽气泵组成,各部分用硅胶导管连接。采样时,利用泵的抽吸作用,将游离于覆盖层空隙内的地气物质经采样器吸入捕集器,使之被液态捕集剂俘获,成为地气样品。地气采样深度在地表覆盖层 50 cm 深处,采用双捕集器串联以增加采样量,抽气速度为 2 L/min,每个测点采样时间 30 min^[8]。

采集的地气样品运回实验室后,经浓缩处理后滴定成 5 mL 作为检测样品。然后统一送核工业北京地质研究院检测中心,采用最新一代 ICP-MS (ELEMENT XR)等离子体质谱仪进行分析,共获得目标元素 Cu、Zn、Pb、W、Mo、Bi、Mn、Co、Ni、Cr、Sr、Y、Cs、Li、Sc、Rb、Zr、Cd、Th、U、Ag、Au、As、Hg 及稀土(La、Ce、Nd、Sm、Dy)等 48 种元素的浓度。

根据稀有金属矿的地球化学原理^[9],最后选择全套稀土及 Li、Be、Rb、Nb、Y、Ti 元素为勘查区地气指示元素。为了保证用于找矿的地气测量结果的可靠性,对红岭地区 84 个测点的主要地气指示元素 Li、Be、Rb、Nb、Y、Ti 测量结果进行了统计,结果列于表 1。

表 1 红岭地区地气样品主元素分析结果统计
Table 1 Main element analysis results of geogas samples in Hongling area

元素	检出限/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	空白样/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	实测含量范围/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	平均值/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	平均值/空白样
Li	0.100	0.175	1.040~2.810	1.480	8.4
Be	0.002	0.003	0.003~0.129	0.028	9.3
Rb	0.010	0.040	0.255~2.420	0.693	17.3
Nb	0.002	0.002	0.008~0.150	0.022	11.0
Y	0.002	0.030	0.082~0.868	0.200	6.7
Ti	0.100	0.150	5.130~56.500	12.436	82.9

注:元素检出限由核工业北京地质研究院测试中心检测报告给出;当测点某元素的测量值小于检出限时,取检出限的一半作为测量结果;含量数据是测量值扣除空白后的值;当空白含量小于检出限时,作 0 值处理。

4 镜儿泉伟晶岩稀有金属矿综合地气异常识别依据与标志研究

为研究矿致异常特征,建立适合红岭地区综合地气测量资料推断解释的异常评价依据,在相邻且具有相同地球化学景观环境的镜儿泉伟晶岩锂矿床

的 I 号矿脉上布置了一条 1 010 m 的综合地气测线,命名为 JH-1 剖面(据前人资料,该剖面上仅 I 号脉地表有矿化显示)。

采用第 3 节介绍的 X 射线荧光与地气测量技术方法,按基本点距 20 m,伟晶岩脉及相邻区域加密至 10 m,总计获得 67 个测点的 X 射线荧光与地气测量数据。将实测数据做衬度处理后,绘制了 JH

-1 测线的土壤多元素 X 射线荧光测量综合剖面(图 2)与地气测量综合剖面(图 3)。

分析 JH-1 测线 X 射线荧光测量结果(图 2),发现 I 号矿脉上方有 Rb、Mn、Fe、Sr、Zn、Ba 的 X 射线荧光异常,以及 Ni 的偏高值峰。其中,Rb、Mn、Fe、Sr 呈 U 型峰异常,即在 I 号矿脉顶部在地表的投影位置两侧的紧邻区域都出现异常峰,Zn、Ba 则为单峰异常。

这表明,可以将伟晶岩脉上出现空间位置契合的稀有金属元素 Rb 与上述金属元素的土壤 X 射线荧光异常,作为该伟晶岩脉浅部含矿的判断标志。

分析 JH-1 测线地气测量结果(图 3),发现在 I 号矿脉倾覆方向一侧上捕获了明显的 Li、Be、Nb、Rb、Y、Ti 地气异常,异常出现的位置符合地气测量与矿体间的空间关联关系^[6],即异常位于矿脉倾覆侧的上方。

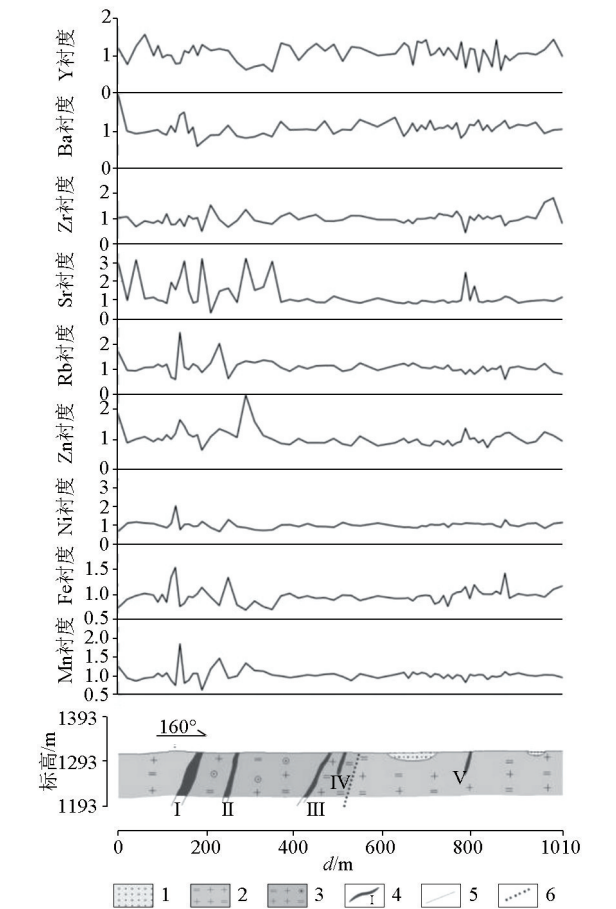


图 2 镜儿泉地区 X 射线荧光测量综合剖面
Fig. 2 Comprehensive section of X-ray fluorescence measurement in Jing'erquan area

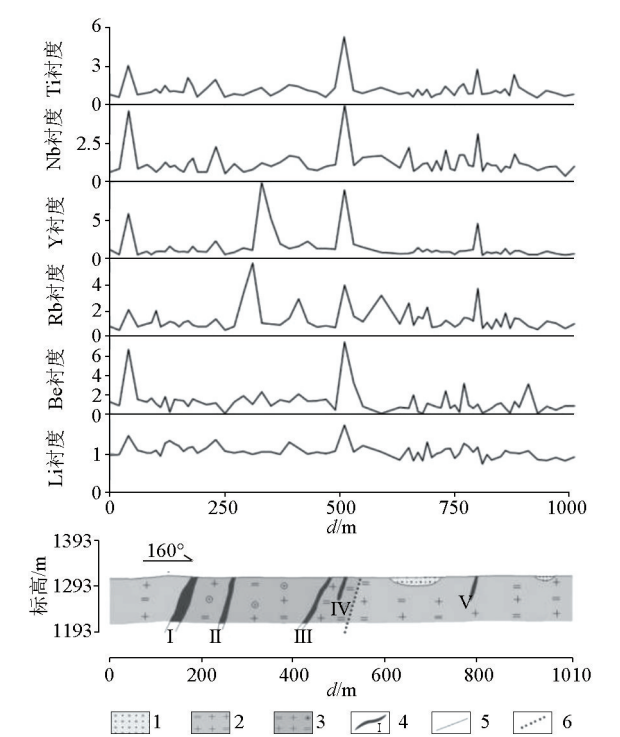


图 3 镜儿泉地区地气测量综合剖面
Fig. 3 Comprehensive profile of geogas survey in Jing'erquan area

地气探测结果说明了两个问题:①地气测量在该地球化学景观条件下探测伟晶岩稀有金属矿是有效的;②可以将符合前述空间位置捕获到的 Li、Be、Nb、Rb、Y、Ti 地气异常作为评价伟晶岩脉深部有矿(化)的依据。

5 红岭地区综合地气异常及意义

5.1 红岭 HH-01 测线综合地气测量资料分析

依据红岭 HH-01 测线综合地气测量获取的数据,分别编制了红岭地区 HH-01 测线 X 射线荧光测量综合剖面(图 4),以及地气测量综合剖面(图 5)。

X 射线荧光测量捕获了 5 个 Rb 元素的 X 射线荧光异常(图 4)。①、②、③、④号异常呈单峰形态,分别位于 $\gamma p1$ 、 $\gamma p2$ 、 $\gamma p3$ 、 $\gamma p4$ 号伟晶岩脉顶部的正上方。在这些异常区内,伴生有 Zn、Mn、Ti、K 元素的异常或偏高值。⑤号异常位于 $\gamma p12$ 伟晶岩脉顶部上方。与 Rb 呈现吻合异常或偏高值的荧光元素有 Ba、Zr、Ti,产出“U”字形异常的元素有 Zn、Ni、Fe。

综上所述,依据 X 射线荧光测量资料分析表明, $\gamma p1$ 、 $\gamma p2$ 、 $\gamma p3$ 、 $\gamma p4$ 、 $\gamma p12$ 号伟晶岩脉与镜儿泉 I 号伟晶岩脉顶部出现的 X 射线荧光异常呈现的异常元素基本相同,可以评价这些伟晶岩脉浅部都含矿,与前期地质工作认识一致。

地气测量给出了有别于 X 射线荧光测量的结果,仅在 $\gamma p2$ 伟晶岩脉顶部与 $\gamma p4$ 伟晶岩脉倾覆一侧捕获到符合反映矿脉规律的多种成矿元素的地气异常(或偏高值)区(图 5)。

$\gamma p2$ 伟晶岩脉顶部①号地气异常包括成矿元素 Li、Be、Nb 及 Rb、Ti,与镜儿泉锂铍矿床的地气异常元素组合完全一致。但该异常空间分布位置不是在 $\gamma p2$ 伟晶岩脉倾覆侧,而是在其顶部,不符合矿脉顶部难以产生显著成矿元素地气异常的前期认识^[10-12],据此推测该异常很可能不是反映 $\gamma p2$ 伟晶岩脉矿化

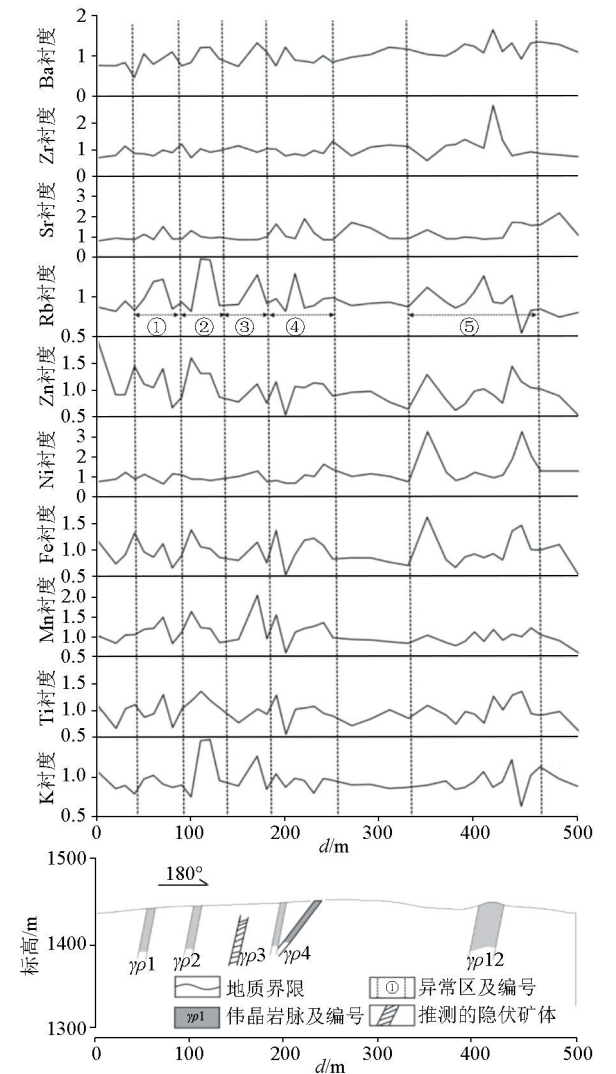


图 4 红岭地区 HH-01 测线 X 射线荧光测量综合剖面
Fig. 4 HH-01 line X-ray fluorescence measurement comprehensive profile in Hongling area

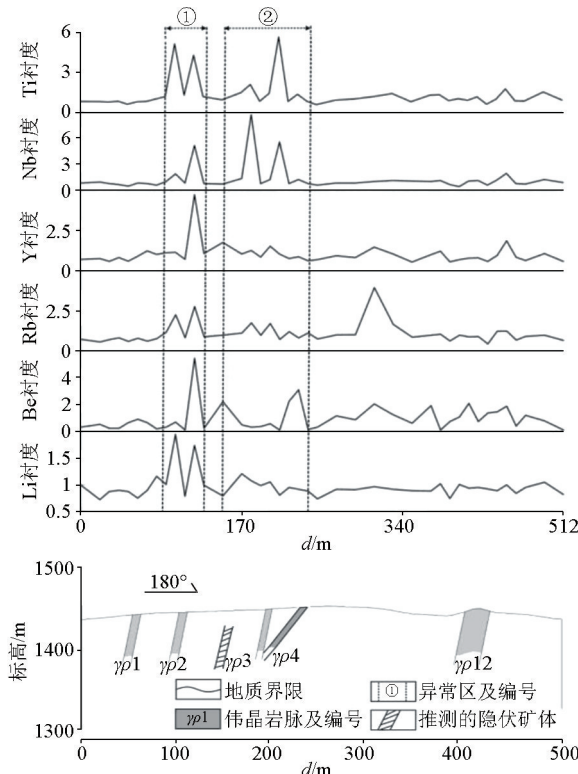


图 5 红岭地区 HH-01 测线地气测量综合剖面
Fig. 5 Comprehensive profile of geogas survey of HH-01 survey line in Hongling area

的异常。分析红岭研究区地质(图 1)可知,①号异常应该是 $\gamma p3$ 号伟晶岩脉向西延的隐伏段部分经过 HH-01 测线所产生的结果,即①号异常的异常源是 $\gamma p3$ 号伟晶岩脉。由于①号异常元素组合最好,且异常中 6 个指矿元素含量均较高,异常具有一定宽度(预示矿脉有相当延伸),特别是 Be 含量为全区最高值,Li 也较高,据此可以推断, $\gamma p3$ 号脉具有找矿价值,特别是 $\gamma p3$ 号脉的西端外延的隐伏部分,应该在探寻 Li、Be 矿的同时,注意关注 Nb 的寻找。

$\gamma p4$ 伟晶岩脉倾覆侧的②号异常区呈现了包括成矿元素 Nb、Be 以及 Ti 的地气异常,还有 Li 的偏高显示,特别是 Nb 是区内幅度最高的地气异常,可以评定该伟晶岩脉深部含矿。根据各元素在该地气异常区内距离岩脉顶部出露位置的远近(与该元素的矿化深度有关),可以推测该矿脉有可能有垂向分带,上部以 Be 矿化为主,深部以 Nb 矿化为主。

根据地气测量资料评定,同样地表含矿的 $\gamma p1$ 、 $\gamma p12$ 伟晶岩脉没有反映深部矿化的成矿元素地气异常,不具有进一步找矿价值。

5.2 红岭 HH-02 测线综合地气测量资料分析

HH-02 测线控制的 $\gamma p14$ 、 $\gamma p16$ 、 $\gamma p17$ 、 $\gamma p18$ 号 4 条伟晶岩脉为未知性质伟晶岩脉。

从图 6 可见,X 射线荧光测量分别在 $\gamma p16$ 、 $\gamma p17$

以及 $\gamma p18$ 号伟晶岩脉上方捕获到对应的①与②号 X 射线荧光异常。①号异常区内对应 $\gamma p16$ 与 $\gamma p17$ 号伟晶岩脉分别有一个幅度不高的单异常峰,②号异常伴有 Zn、Mn、Ti、K 元素的异常或偏高值,异常呈“U”字形。HH-02 测线上的 X 射线荧光分析表明, $\gamma p16$ 、 $\gamma p17$ 以及 $\gamma p18$ 号伟晶岩脉在地表的 X 射线荧光元素组合特征明显与镜儿泉 I 号脉基本相同,应该评价为浅部含矿的伟晶岩脉。

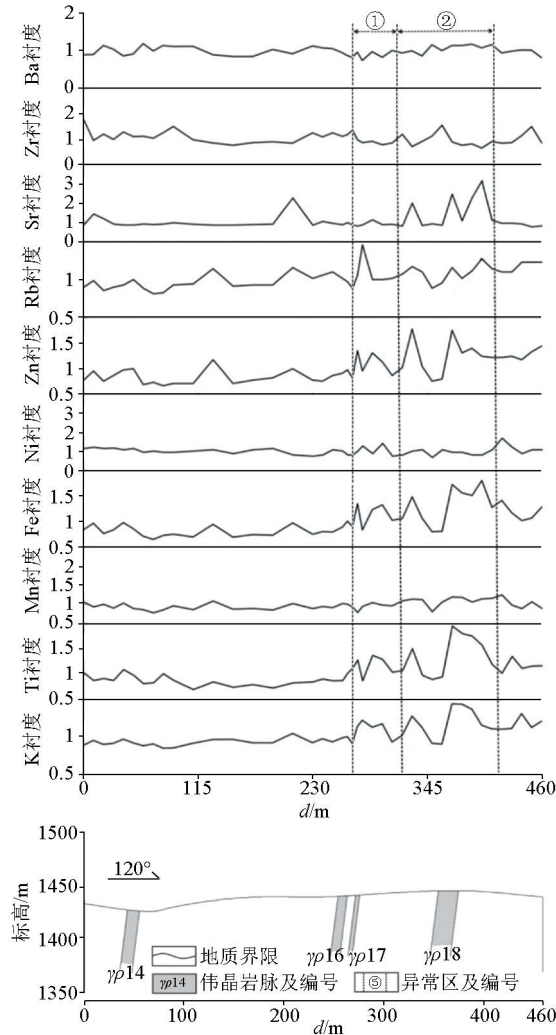


图 6 红岭地区 HH-02 测线 X 射线荧光测量综合剖面
Fig. 6 HH-02 line X-ray fluorescence measurement comprehensive profile in Hongling area

依据地气测量资料,HH-02 测线捕获到 2 个可能有意义的地气异常。

鉴于异常的空间分辨率不足,图 7 中③号异常无法完全确认异常源究竟来自 $\gamma p16$ 还是 $\gamma p17$ 号伟晶岩脉,推测异常源来自于 $\gamma p16$ 号脉深部矿化的可能性较大。鉴于地气异常元素组合中 Rb、Ti 异常幅度较明显,成矿元素 Li、Be 处于异常边缘,Nb 没有矿化显示。结合 X 射线荧光与地气异常依据,推测 $\gamma p16$ 号伟晶岩脉深部找矿意义不大。

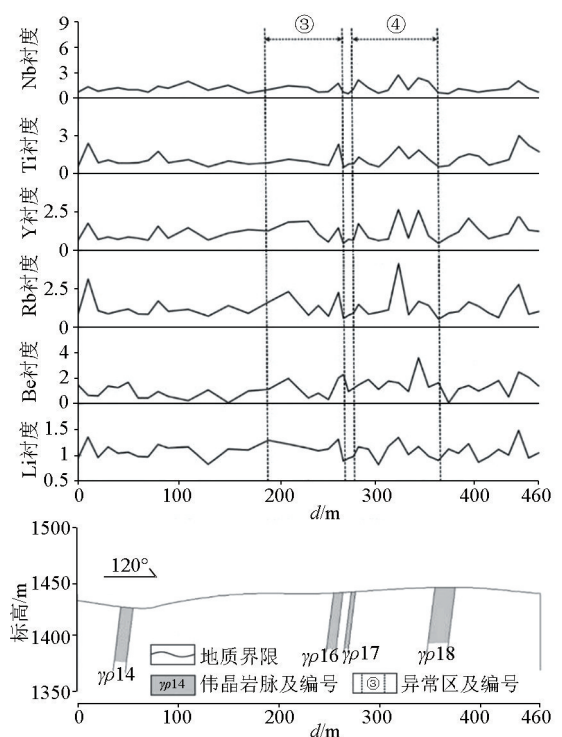


图 7 红岭地区 HH-02 测线地气测量综合剖面
Fig. 7 Comprehensive profile of geogas survey of HH-02 survey line in Hongling area

很清楚,④号地气异常均源自 $\gamma p18$ 号伟晶岩脉,异常的元素组合为 Nb、Li、Rb、Ti、Y、Be,其中 Be 的异常峰出现位置与其他元素有错位,更接近 $\gamma p18$ 号伟晶岩脉位置,表明在该矿脉中成矿元素可能存在垂向分带,Be 可能主要富集在矿脉上部。

④号地气异常元素组合中的 Nb 和 Be 异常表明 $\gamma p18$ 号伟晶岩脉的矿化有较大延伸,浅部以 Nb、Be 富集为主,较深部则以 Nb 为主。由于在该矿脉上捕获到的成矿元素的地气异常幅值均不高,建议对该伟晶岩脉先从地表出露部分加以解剖,如果该脉近地表矿化部分能够达到矿体工业品位,就值得向深部探寻储量。

6 结论

1) 在新疆哈密的戈壁干旱荒漠地球化学景观区,综合地气测量技术对于勘查类似于镜儿泉的伟晶岩稀有金属矿是有效的,其中土壤 X 射线荧光测量可以同时捕获到反映伟晶岩脉浅部矿化的 Rb,以及 Mn、Fe、Sr、Zn 的异常或偏高值,而在矿脉倾覆一侧,地气测量可以同时捕获到反映深部矿化的 Li、Be、Nb、Y、Ti 等元素的地气异常,当空间上同时在伟晶岩脉顶部出现 X 射线荧光异常、倾覆一侧出现地气异常,则可以评价该伟晶岩脉具有找矿价值。

2)红岭勘查区应该重点关注赋存于二长片岩中、呈 EW 向分布的伟晶岩脉群。地表含矿的 $\gamma p1$ 、 $\gamma p2$ 、 $\gamma p3$ 、 $\gamma p4$ 、 $\gamma p12$ 号伟晶岩脉群,经综合地气测量资料评价,仅 $\gamma p3$ 、 $\gamma p4$ 号脉倾覆一侧捕获到反映伟晶岩脉深部矿化证据的成矿元素的地气异常,可能具有找矿价值。其中隐伏通过测线的 $\gamma p3$ 号伟晶岩脉具有与镜儿泉矿床相同的异常元素组合,应该是 Li、Be 矿脉; $\gamma p4$ 号伟晶岩脉可能以 Nb 矿化为主。

3)红岭勘查区赋存于片麻岩中,呈 NEE 向分布的 $\gamma p14$ 、 $\gamma p16$ 、 $\gamma p17$ 、 $\gamma p18$ 号伟晶岩脉群,经综合地气测量资料评价, $\gamma p16$ 、 $\gamma p18$ 号伟晶岩脉顶部捕获到 Rb 及 Zn、Fe、Ti 元素形成的 X 射线荧光异常或偏高值,倾覆一侧有成矿元素的地气异常($\gamma p18$ 号脉)或偏高显示($\gamma p16$ 号脉),故此可以评价 $\gamma p18$ 号脉为含矿脉。 $\gamma p16$ 号脉可能有矿化,但是否达到工业品位无法判断。此外 $\gamma p14$ 号脉虽顶部没有 X 射线荧光异常,但其倾覆一侧有成矿元素偏高显示,与 $\gamma p16$ 号脉地质意义相同。

参考文献 (References):

[1] 孙海微. 新疆哈密红岭钼矿地质特征及找矿标志[J]. 甘肃冶金,2017,39(3):40-42.
Sun H W. Geological characteristics and prospecting criteria of Hongling molybdenum deposit in Hami, Xinjiang[J]. Gansu Metallurgy, 2017, 39(3):40-42.

[2] 李华芹,吴华,陈富文,等. 东天山白山钼钨矿区燕山期成岩成矿作用同位素年代学证据[J]. 地质学报,2005,79(2):249-255.
Li H Q, Wu H, Chen F W, et al. Isotopic chronological evidence for Yanshanian diagenetic mineralization in Baishan rhenium molybdenum mine, E. Tianshan Mountains[J]. Acta Geologica Sinica 2005, 79(2):249-255.

[3] 张龙. 伟晶岩稀有金属矿综合地气异常特征及勘查技术研究[D]. 成都:成都理工大学,2021.
Zhang L. Study on comprehensive geogas anomaly characteristics and exploration technology of pegmatite rare metal ore[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2021.

[4] 金益帆,刘晓辉,张庆贤,等. 湘东北仁里矿区西侧 X 荧光异常特征及找矿意义[J]. 地质论评,2022,68(3):955-964.
Jin Y F, Liu X H, Zhang Q X, et al. Characteristics of X fluores-

cence anomaly and prospecting significance in the west side of Renli mining area in northeast Xiang[J]. Geological Review, 2022, 68(3):955-964.

[5] 周四春,刘晓辉,曾国强,等. X 射线荧光勘查技术及其在地质找矿中的应用[M]. 北京:科学出版社,2020.
Zhou S C, Liu X H, Zeng G Q, et al. X-ray fluorescence exploration technology and its application in geological prospecting[M]. Beijing: Science Press, 2020.

[6] 章晔. X 射线荧光探矿技术[M]. 北京:地质出版社,1984:13-17.
Zhang Y. X-ray fluorescence prospecting[M]. Beijing: The Geological Publishing House, 1984:13-17.

[7] 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(3):84-89.
Tong C H, Li J C, Ge L Q, et al. Migration of materials by updrafts in the earth's crust and principle of geogas measurement[J]. Mineralogy and Petrology, 1997(3):84-89.

[8] 刘晓辉,周四春,童纯菡,等. 提高地气探测灵敏度的方法[J]. 物探与化探,2012,36(6):1064-1067.
Liu X H, Zhou S C, Tong C H, et al. The method and technique for improving the detection sensitivity of dynamic geogas survey[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(6):1064-1067.

[9] 刘英俊,曹励明. 元素地球化学导论[M]. 北京:地质出版社,1987.
Liu Y J, Cao L M. Introduction to elemental geochemistry[M]. Beijing: The Geological Publishing House, 1987.

[10] 周四春,刘晓辉,胡波,等. 南岭重点矿集区深部成矿信息的地气、放射性探测技术与实验[M]. 北京:中国原子能出版社,2018.
Zhou S C, Liu X H, Hu B, et al. Geogas and radioactivity detection technology and experiment of deep mineralization information in key mineral agglomeration area of Nanling[M]. Beijing: China Atomic Energy Press, 2018.

[11] 周四春,刘晓辉,曾国强,等. X 荧光勘查技术及其在地质找矿中的应用[M]. 北京:科学出版社,2020.
Zhou S C, Liu X H, Zeng G Q, et al. X fluorescence exploration technology and its application in geological prospecting[M]. Beijing: Science Press, 2022.

[12] 赵娟,孙泽昆,李明喜. 青海景观区特征和地球化学勘查方法技术[J]. 物探与化探,2004,28(3):239-241.
Zhao J, Sun Z K, Li M X. Landscape features of Qinghai Province and selection of geochemical exploration methods and techniques[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2004, 28(3):239-241.

Comprehensive geogas anomalies in the Hongling area of Hami, Xinjiang: Characteristics and implications for prospecting

HAN Ruo-Pu¹, ZHOU Si-Chun¹, WANG Deng-Hong², LIU Xiao-Hui¹, CHEN Shou-Bo³, WU Jian-Xin³
(1. Applied Nuclear Technology in Geosciences Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. No. 704 Geological Party of Xinjiang Geological Exploration Bureau for Nonferrous Metals, Hami 839000, China)

Abstract: In recent years, several pegmatite veins have been discovered in the Hongling area of Hami, Xinjiang, suggesting a promis-

ing prospect for pegmatite-type rare metal deposits. In this study, two long profiles crossing the main pegmatite veins were deployed in the area, and the integrated geogas prospecting technology was applied to evaluate the ore-bearing properties of the main pegmatite veins. Rapid soil X-ray fluorescence measurements performed by a handheld X-ray fluorescence instrument were used to evaluate the ore-bearing properties of the top or exposed parts of the pegmatite veins. The dynamic geogas prospecting method was employed to obtain the deep mineralization information of the pegmatite veins for evaluating their deep ore-bearing properties. The results show that many pegmatite veins in the Hongling area exhibit mineralization manifestations on their surfaces and in deep parts. Therefore, they are worthy of further prospecting work.

Key words: Hongling area; geogas prospecting; soil X-ray fluorescence measurement; pegmatite-type rare metal deposit; ore prospecting application

(本文编辑:蒋实)