

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2018.02.017

黑龙江省小兴安岭地区航放 HF101 异常特征及找矿方向

林泽付¹,王睿²,马涛²

(1.黑龙江省地质调查研究总院,哈尔滨 150036;

2.黑龙江省第四地质勘察院,哈尔滨 150036)

摘要: 通过地面放射性能谱等物探方法,对小兴安岭地区1:5万高精度航放测量圈定的HF101异常开展综合查证工作。采用的工作手段为多道能谱剖面性、面积性查证圈定地面异常,开展槽探、钻探工程验证,最终在探槽及钻孔内部发现低品位铀矿化体、铀钼铷矿化体等找矿线索。通过研究铀异常的分布形态、花岗岩体的产出、变形相、铀矿物元素组合等特征,属加里东期花岗岩外接触带型铀矿(化);通过成矿条件分析,认为下一步找矿工作应围绕花岗岩体与构造汇聚部位开展。

关键词: 航放异常;铀矿化体;找矿方向;小兴安岭;黑龙江省

中图分类号: P619.14,P631.622 **文献标识码:** A

0 引言

近年来,随着我国核工业的发展,铀资源已成为我国重要的战略资源和能源矿产。《核电中长期发展规划(2005—2020)》提出了到2020年建成4 000×10⁴ kW、在建1 800×10⁴ kW核电装机容量的发展目标,未来需要相当规模的铀资源储量作保障^[1]。

黑龙江省地域辽阔,地质成矿条件良好,开展铀矿找矿的历史已有半个世纪之久,航空放射性测量基本覆盖全省,铀矿综合信息丰富,已知铀矿的成因类型大多都有发现。2013年以来,通过对小兴安岭北部地区HF101航放异常的查证工作,发现了铀矿(化)点。本文拟对该项查证工作中新发现的铀矿点进行概略性总结,以期今后该地区的铀矿找矿工作提供参考。

1 地质背景

HF101航放异常区地处伊春铀成矿带内。此成矿带沿小兴安岭山地呈北西向展布,受阿龙山—北安大断裂带控制,长700 km,宽100 km^[2]。

异常区主要地层单元为第四系冲积层(Qh^{al})、古生界下寒武统晨明组(Є_{1c})。晨明组上部为灰黑色—灰绿色变质粉砂岩、粉砂岩,岩石不同程度变质、暗色矿物发育;中部为灰色—灰白色变质石英砂岩、石英砂岩,岩石中变质矿物主要为白云母、绢云母;下部为变质砂岩、粉砂质板岩,岩石变质程度较高,变质矿物以黑云母为主,片状矿物定向排列,片理化强烈。晨明组被NW向断裂(F₁)错断,两侧地层位移,其中上部粉砂岩、变质粉砂岩与中部变质石英砂岩接触部位及两侧存在放射性异常,是查证区内矿化异常的主要位置。放射性异常沿岩性接触带

收稿日期: 2017-01-05; 改回日期: 2018-04-18; 责任编辑: 赵庆

基金项目: 黑龙江省地质勘查项目“黑龙江省小兴安岭北部航放异常查证”(编号:SDK-003)资助。

作者简介: 林泽付(1971—),男,高级工程师,主要从事航磁、航放资料处理与解释工作。通信地址:黑龙江省哈尔滨市香坊区新乡里街9号,黑龙江省地质调查研究总院;邮政编码:150036;E-mail:linzefu@126.com

通信作者: 王睿(1985—),男,工程师,主要从事矿产勘查、放射性找矿、物探测井等工作。E-mail:441235080@qq.com

呈 NE-SW 向展布,在大参沟处被错断(图 1)。

岩浆岩主要为晚奥陶世片麻状二长花岗岩($O_3\eta\gamma$),主要分布于研究区东南,岩石呈黑—灰白色,片麻状构造,粒状结构,粒径 1~3 mm(中细粒),主要矿物成分(体积分数)为斜长石(30%)、钾长石(25%)、石英(35%)、黑云母(5%)、角闪石(5%)。岩石年代较老,受后期构造运动影响,发生区域动力变质作用,形成片麻状花岗岩,局部变质强烈处有糜棱岩化。脉岩主要为花岗斑岩岩脉、花岗闪长岩脉,其走向与区域主构造线方向近一致。

主要构造线方向为 NW 向和 NE 向。NW 向断裂为大石沟断裂(F_1),其次级断裂(F_2)呈 NWW 向;NE 向断裂为推测断裂(F_3),区域上被 F_1 阻断。NW 向大石沟断裂(F_1)走向 310° ,为 HF101 异常查证区内的主要构造线,其切过下寒武统晨明组(ϵ_1c)、晚奥陶世片麻状二长花岗岩($O_3\eta\gamma$)、古元古界亮子河组,地层被错断、平移明显。

2 区域放射性特征

核工业航测遥感中心对区内的区域岩石放射性实测参数成果(小兴安岭北部各地层单元放射性特征)见图 2。

区内岩(矿)石放射性基本特征^①为:

(1)区内第四系及第三系沉积物、白垩系沉积地层中各放射性核素含量中等偏低,而局部偏高是由于沉积物中有机质含量偏高且吸附放射性元素形成的。

(2)白垩系火山岩建造中,火山岩及火山碎屑岩放射性核素含量变化较大,与岩石组分有关;各放射性核素含量从基性到酸性逐渐增高,酸性火山岩的含量最高,在白垩系酸性、中酸性火山岩中产有较好的铀矿化异常。

(3)中、酸性岩类(花岗岩及闪长岩等)放射性核素含量普遍偏高,可引起航空伽玛能谱高场、异常;基性—超基性岩放射性核素含量普遍较低,一般形成较明显的低值场。

(4)古生界岩石放射性元素普遍偏低,局部增高可能是岩石变质过程中热液改造作用的结果。

3 航放异常特征

3.1 HF101 异常特征

为查明 HF101 异常区内各类岩石的放射性特征及放射性异常存在情况,寻找新的异常信息,在其南部布设了 3 条伽玛能谱查证剖面^②(图 3);剖面长 1 000 m,网度 200 m×20 m。剖面基岩出露情况较

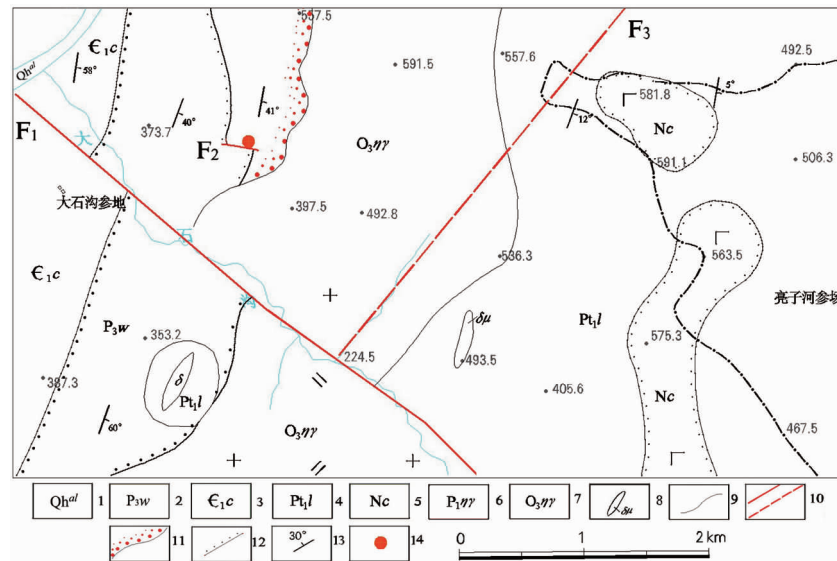


图 1 HF101 异常区域构造略图

Fig. 1 Regional structural map of anomaly HF101

1. 第四系地漫滩堆积层; 2. 五道岭组; 3. 晨明组; 4. 亮子河组; 5. 船底山组;
6. 片麻状二长花岗岩; 7. 似斑状二长花岗岩; 8. 花岗闪长岩脉;
9. 地层界线; 10. 实测及推测断层; 11. 角岩化带; 12. 不整合接触; 13. 产状; 14. 铀矿化点

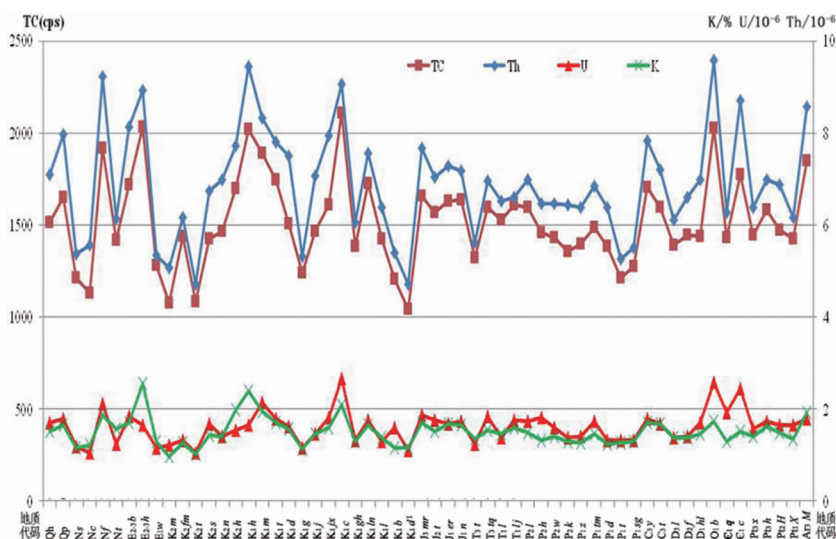


图2 各地层单元放射性特征图

Fig.2 Diagram of radioactive characteristics for each stratigraphic unit

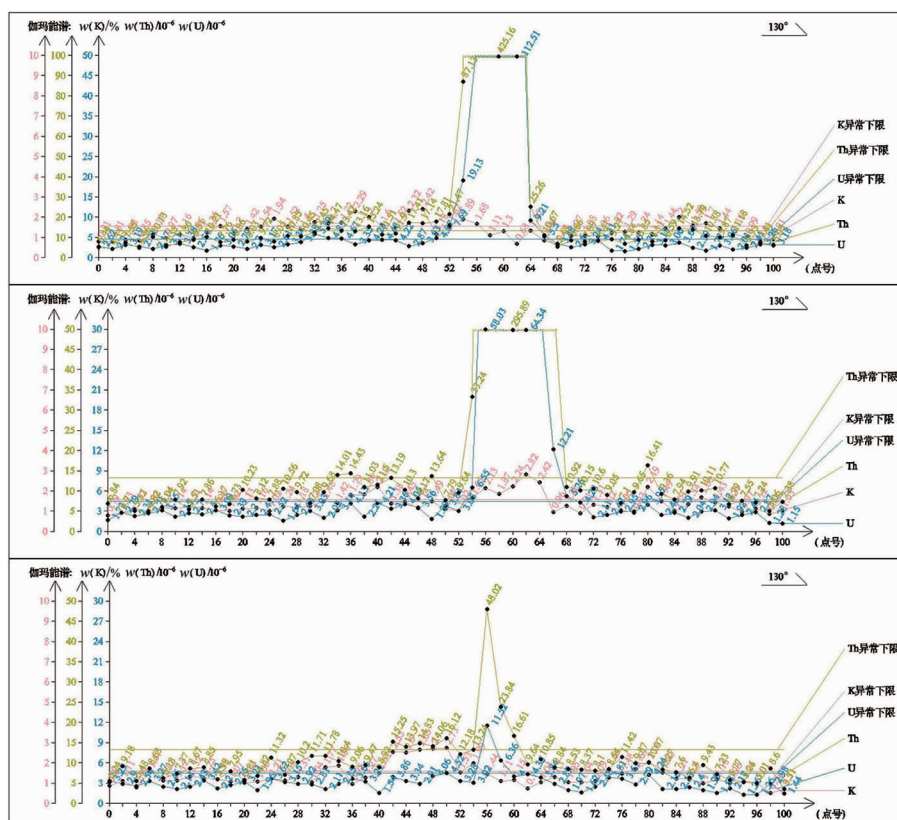


图3 晨明异常区剖面测量综合剖面图

Fig.3 Profile of profiling survey for Chenming anomaly

好,岩性主要为变质砂岩、片麻状二长花岗岩。剖面上放射性元素 U、K 质量分数由区域背景值 $0 \sim 3 \times 10^{-6}$,中部突增至 50×10^{-6} 以上;放射性元素 Th 的质量分数 $w(\text{Th})$ 从 15×10^{-6} 增加至 290×10^{-6} 以上。放射性异常赋存于变质砂岩、粉砂岩中,放射性

高值处岩石硅化蚀变强烈。

从 HF101 异常区 U、Th、K 元素异常对比(图 4)可以看出,区内 U、Th、K 元素均有异常出现,U、Th 元素存在高值异常。其中,K 元素异常下限 $w(\text{K})=1.6\%$,最大值 $w(\text{K})=2.8\%$;U 元素异常

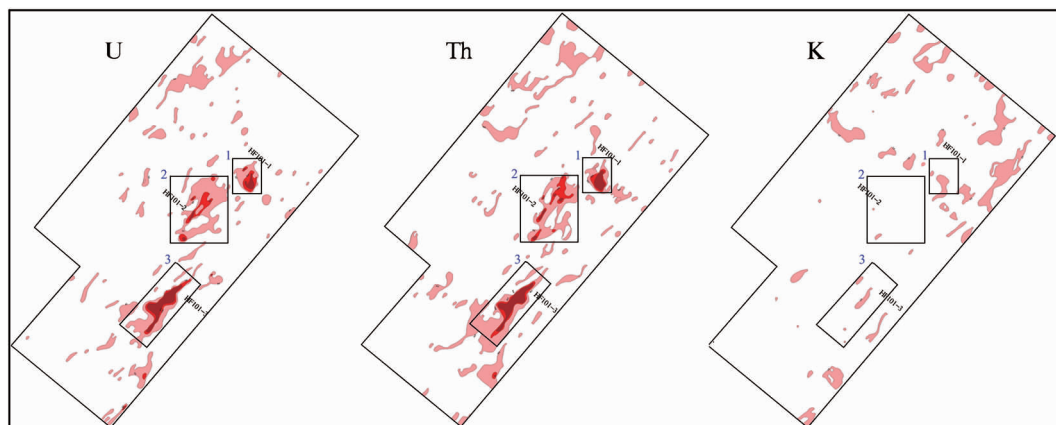


图4 晨明异常查证区 U、Th、K 元素异常对比图

Fig. 4 Comparison of U, Th, K anomalies in check areas of Chenming anomaly

下限 $w(U) = 5.5 \times 10^{-6}$, 最大值 $w(U) = 115.2 \times 10^{-6}$; Th 元素异常下限 $w(Th) = 13.3 \times 10^{-6}$, 最大值 $w(Th) = 425.2 \times 10^{-6}$ 。Th 元素异常与 U 元素异常套合较好, 且异常较明显、数值较高。在查证区中部, U、Th 高值异常较为重合, 推断该处存在 U、Th 混合异常; K 元素异常多零星分布于异常查证区各处。HF101 异常区较好的异常部位为 HF101-1、HF101-2、HF101-3 三处异常晕。

(1) HF101-1 异常晕: 位于 HF101 异常区东北部, 区内地层岩性为晨明组 ($\epsilon_1 c$) 变质砂岩、变质粉砂岩、蚀变闪长岩; 含 24 个异常点, U 异常均值 17.72×10^{-6} , 峰值 56.1×10^{-6} , 面积 0.05 km^2 。

(2) HF101-2 异常晕: 位于 HF101 异常区中部, 区内出露晨明组 ($\epsilon_1 c$) 灰白色变质砂岩、变质粉砂岩、变质石英砂岩等; 含异常点 64 个, U 异常均值 10.11×10^{-6} , 峰值 37.7×10^{-6} , 面积 0.18 km^2 。本次工作在异常晕中已发现 2 条铀异常带: $\gamma-1$ 和 $\gamma-2$ 。 $\gamma-1$ 铀异常带长 410 m, 宽 70 m, 面积约 0.022 km^2 , 异常内含有 10 个异常点, 平均 $w(U) = 17.34 \times 10^{-6}$, 峰值 33.1×10^{-6} ; $w(Th)$ 大于背景值, 且 $w(Th)/w(U) < 4$, 故 $\gamma-1$ 异常为偏铀异常; 主要矿化蚀变有硅化、黑云母化、绢云母化及黄铁矿化等。 $\gamma-2$ 铀异常带长 92 m, 宽 70 m, 面积约 0.005 km^2 , 异常内含异常点 4 个, 平均 $w(U) = 18.85 \times 10^{-6}$, 峰值 37.3×10^{-6} ; $w(Th)$ 大于背景值, 且 $w(Th)/w(U) < 4$, 故 $\gamma-2$ 异常也属偏铀异常。

(3) HF101-3 异常晕: 位于 HF101 异常区南部, 面积 0.065 km^2 。区内出露晨明组 ($\epsilon_1 c$) 变质砂岩、变质粉砂岩等; 含异常点 25 个, 平均 $w(U) =$

44.24×10^{-6} , 峰值 133.3×10^{-6} ; $w(Th)$ 较高, $w(Th)/w(U) > 4$, 属于偏钍铀矿化。

3.2 矿化体特征

本次工作利用定向伽马能谱仪在槽探工程所揭露的岩石表面测量放射性场的展布形态, 了解铀矿化特征, 圈定矿体赋存部位, 确定本次采样位置及粗略了解矿石品位。

图 5 为本次异常查证工程中由辐射编录直接圈定的高放射性场形态图, 最高值位于基岩出露的山顶区域, 其表面风化剥蚀强烈。通过基本样分析结果及定向能谱仪测量^[3], 最终确定了 HF101-1、HF101-3 异常晕铀矿化情况, 共圈定 4 个矿化体。

(1) 铀矿化体 I: 位于 HF101 异常区东北部的 HF101-1 查证异常晕内 (图 6), 赋存于下寒武统晨明组变质石英砂岩中。铀矿化体宽 2~4 m, 长 210 m, 平均品位 $w(U) = 178 \times 10^{-6}$, 最高值 $w(U) = 274 \times 10^{-6}$, 最低 $w(U) = 135 \times 10^{-6}$; 铀矿化体平均 $w(Th)/w(U) = 5.31 > 4$, 为偏钍铀矿化, 铀钍平衡系数平均值为 0.9。

(2) 铀矿化体 II: 位于 HF101-1 异常晕内, 由放射性 γ 测井曲线圈定 (表 1), 其铀矿体达到铀矿开采品位及铀矿体最小可采厚度; 铀矿体平均 $w(Th)/w(U) = 0.60 < 4$, 为偏铀矿化, 铀钍平衡系数平均值为 1.27。

(3) 铀矿化体 III: 位于 HF101-3 异常晕内, 由 3 层矿化层组成 (表 2), 呈薄层状, 分布厚度分别为 1.9 m、0.7 m、0.65 m; 铀矿化赋存于变质石英砂岩中, 且岩石黄铁矿化强烈, 黄铁矿呈脉状、星点状分布。铀矿化体品位 $w(U) = 102 \times 10^{-6} \sim 132 \times 10^{-6}$ 。

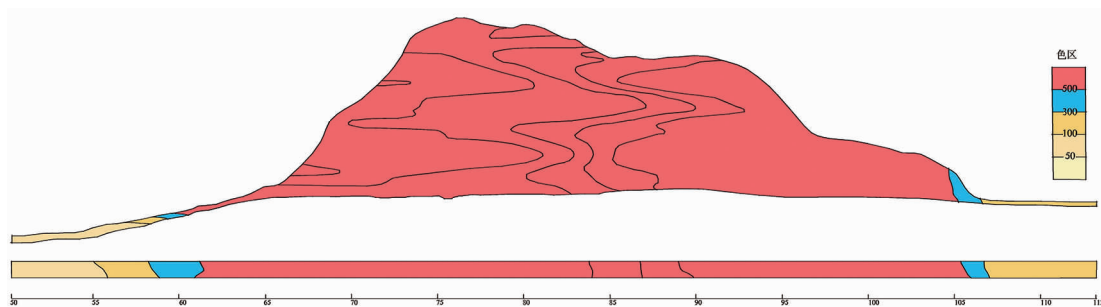


图5 TC2601号探槽辐射编录图

Fig. 5 Log diagram of trench TC2601

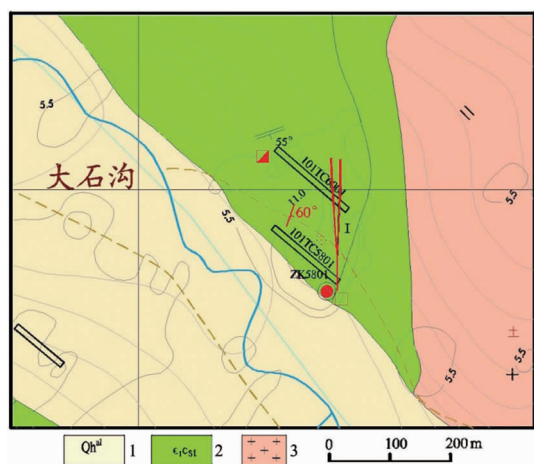


图6 HF101-1异常晕I号

铀矿化体地质平面图

Fig. 6 Plan of U mineralization body I in HF101-1 anomaly

1. 地漫滩; 2. 粉砂岩; 3. 似斑状二长花岗岩

(4) 钍多金属矿化体IV: 位于 HF101 异常区南部 10126 勘探线附近, 于山顶天然出露。此矿化体由上海申核定向辐射仪 FD-3022 初步圈定, 放射性含量 $>600 \times 10^{-6}$, 矿化体两端未控制。矿化体总体呈脉状, 北东向延伸, 有膨胀现象, 厚 74 m, 其产状 $166^\circ \angle 65^\circ$ 。经过采样化验后进一步确认为铀钍铷钽共生矿化体, 以钍矿化为主, 共生铀、铷、铷钽矿化。钍矿化体在地表的宽度 52 m, 平均品位 $w(\text{Th}) = 712 \times 10^{-6}$, 最大值 $w(\text{Th}) = 1\,179 \times 10^{-6}$, 主要赋存于变质石英砂岩。铷钽矿化与钍共生, 其平均品位为 $w(\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{Ta}_2\text{O}_5) = 0.078\%$, 最大值 0.109%; $w(\text{Nb}_2\text{O}_5)/w(\text{Ta}_2\text{O}_5) < 1$, 平均值为 0.074。铷矿化与钍共生, 平均品位 $w(\text{Rb}_2\text{O}) = 0.094\%$, 最大值 0.192%。铀矿化在钍铷钽矿体内局部发生, 断续分布于该矿化体内, 且矿化品位较低, 平均品位 $w(\text{U}) = 128 \times 10^{-6}$, 平均 $w(\text{Th})/w(\text{U}) = 0.183$ 。

4 铀矿化成因探讨

4.1 铀异常呈不连续带状

HF101 异常的伽马能谱放射性总计数率统计结果表明, 异常与晚奥陶世片麻状二长花岗岩体 ($\text{O}_3\gamma$) 有关, 远离岩体、远离接触带的区域, 放射性含量逐渐减少直至没有; 放射性异常主要产于岩体外接触带附近, 异常总形态及展布方向与接触界线一致, 呈 NE 向不连续带状分布, 受控于接触带。

4.2 岩浆来源及成因类型

异常区片麻状二长花岗岩岩石学研究表明, 岩体边部弱片麻理较发育, 向中心不发育, 片麻理走向多与岩体边界近一致。岩石虽弱片麻理发育, 但仍为花岗结构, 晶内变形微弱。岩浆结晶成因的具卡钠双晶的长石普遍存在; 斜长石晶体发育完整, 晶形良好, 局部边缘略显齿状; 钾长石和斜长石均发育交代蠕虫结构。上述特征表明, 片麻理为岩浆成因, 系岩浆强力上侵定位所致^[4]。前人测得片麻状二长花岗岩体年龄为 $445 \text{ Ma} \pm 3 \text{ Ma}$, 归属于伊春—延寿中加里东期花岗岩带。

片麻状二长花岗岩体与围岩接触关系清楚, 围岩接触带有角岩化带, 为明显的侵入关系。岩石化学特征值 $A/\text{CNK} < 1.1$, 在 CIPW 标准矿物中出现刚玉 ($< 1\%$), 与 Chappell (1983) 所划分的 I 型花岗岩特征具可比性; $w(\text{Na}_2\text{O}) > 3.4\%$, 副矿物组合中常见榍石, 具以火山岩为源区重熔形成的 I 型花岗岩特征; 而 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O}) > 1$, 又具 S 型花岗岩特征。岩石轻重稀土比为 $w(\text{LREE})/w(\text{HREE}) = 7.06 \sim 13.07$, $w(\text{La})/w(\text{Yb}) = 15.19 \sim 18.04 > 10$, 大多数岩石的 $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$ 平均比值 > 10 , $\delta\text{Eu} = 0.79 \sim 1.02 > 0.5$, 与赵振华 (1985) 的壳幔型花岗岩近一致。

表 1 ZK5801 钻孔矿化参数

Table 1 Mineralization parameters of drill hole ZK5801

钻孔号	岩性	矿层号	埋深 H1—H2/m	斜厚/m	放射性含量/ 10^{-6}	加权平均值/ 10^{-6}	累计视厚/m
ZK5801	变质 石英砂岩	一	87.3	87.6	0.3	320.09	
		二	87.6	87.7	0.1	219	300
		三	87.7	88	0.3	308	0.7

表 2 ZK2201 钻孔矿化参数

Table 2 Mineralization parameters of drill hole ZK2201

钻孔号	岩性	矿化层数/个	埋深 H1—H2 /m	视厚 H/m	$w(U)/10^{-6}$
ZK2201	变质石英砂岩	1	8.15	10.05	1.9
	变质石英砂岩	1	11.75	12.45	0.7
	变质石英砂岩	1	281.55	282.2	0.65

综上,岩浆来源于地下较深处,属壳幔型偏铝质和钙碱性岩浆,以 I 型岩浆岩类为主。

4.3 铀矿物元素组合特征

HF101 异常中发现的铀矿化(体)主要铀矿物为铀钍矿、铀钼矿,元素组合为铀-钍-铈-钽-铷组合;区内片麻状二长花岗岩体($O_3\eta\gamma$)富含铀、铈、钽、铷、钫等元素,并存在以钍矿化为主,共生铀、铷、铈钽矿化点,其表明 HF101 异常区内具有形成铀矿化的地质背景^[5]。矿物元素组合具有相似性,也印证了矿化与岩浆作用有关,岩体是成矿物质的重要来源^[6]。

在晚奥陶世,区内受汤旺河断裂发展影响, $O_3\eta\gamma$ 钙碱性岩浆侵入体对下寒武统晨明组(ϵ_1c)多次侵入;在接触带部位,有热变质作用发生。受区域多期次构造活动作用,使得岩石受挤压破碎。区内普遍发育的碎裂岩以及糜棱岩化花岗岩,多期次构造活动影响形成的层间褶皱、张性节理、裂隙等,为后期富含铀、铈钽、铷矿物元素的岩浆热液成矿提供了充足空间^[7],控制了矿化体形态,是重要的控矿、赋矿条件。

由此可见,HF101 异常区内的铀多金属矿化与岩浆作用密切相关,矿化类型为加里东期花岗岩外接触带型。

5 找矿方向

HF101 异常区内的铀多金属矿化点与我国典型变质岩型或者花岗岩型铀矿床相比,有其自身的特点,显示了成矿多期性、复杂性。由于目前的勘查

工作还主要集中于地表下寒武统晨明组(ϵ_1c)变质砂岩高异常区域,对加里东期花岗岩体($O_3\eta\gamma$)的研究工作不够多,进而忽略了中深部的成矿潜力。岩体的内外接触带是花岗岩型铀矿成矿的有利部位^[8],本区的铀矿找矿方向应该是区域内花岗岩外接触带的热液型铀矿。

注释:

- ① 史建民,林泽付,丁继双. 黑龙江省大兴安岭地区 1:5 万航空物探测量异常查证报告[R]. 哈尔滨:黑龙江省地质资料档案馆,2014.
- ② 林泽付,马涛,王睿. 黑龙江省小兴安岭地区航放异常查证报告[R]. 哈尔滨:黑龙江省地质资料档案馆,2016.

参考文献:

[1] 张金带. 我国铀资源潜力概略分析与铀矿地质勘查战略[J]. 铀矿地质, 2004, 20(5): 260-265.

[2] 张金带,李子颖,蔡煜琦,等. 全国铀矿资源潜力评价工作进展与主要成果[J]. 铀矿地质, 2012, 28(6): 321-326.

[3] 刘青华,王祝文,田钢,等. 地面伽马能谱测量在浅覆盖区地质填图中的应用[J]. 地质与勘探, 2003, 39(2): 61-64.

[4] 莫帮洪,赵剑波,刘秀林,等. 康滇地轴中段横山岩体的铀矿化类型与找矿方向[J]. 地质与勘探, 2013, 49(6): 1070-1077.

[5] 李海东,钟福军,张志勇,等. 我国火山岩型铀矿床中铀-多金属组合特征及其意义[J]. 矿产与地质, 2015(3): 283-288.

[6] 郭奎城,史建民,丁继双,等. 黑龙江大兴安岭地区 HFU-09 号航放异常特征及找矿意义[J]. 地质与勘探, 2016, 52(3): 556-563.

[7] 张万良,陈黎明,党飞鹏,等. 断陷带控矿机制研究:以赣南黄沙铀矿区为例[J]. 矿产与地质, 2016, 30(5): 746-751.

[8] 傅树超. 福建省武夷山坪地钼矿床地质特征及成因探讨[J]. 地质与勘探, 2011, 47(2): 268-276.

Characteristics of the airborne radioactive anomaly H-101 and prospecting direction in Xiaoxinganling area, Heilongjiang province

LIN Zefu¹, WANG Rui², MA Tao²

(1. Geological Survey Institute of Heilongjiang Province, Harbin 150036, China;

2. Fourth Geological Exploration Institute of Heilongjiang Province, Harbin 150036, China)

Abstract: Geophysical methods, such as the ground radioactive energy spectrum etc. are used to carry out comprehensive check of anomaly HF-101 outlined with high precision airborne radioactive survey at scale 1:50000. The ground anomaly is outlined by means of multi-channel and areal check and low grade U mineralization and niobium and tantalum and rubidium mineralization are hit by trenching and drilling. Based on morphology of U anomaly, occurrence of granite body, deformation phase and U mineral assemblage it is considered that the mineralization is of out contact zone type of Caledonian granite. The metallogenic condition is analyzed and the prospecting direction points to surrounding of the granite and intersections of the granite and structures.

Key Words: airborne radioactive anomaly; uranium mineralized body; prospecting direction; Xiaoxinganling; Heilongjiang province