

黑龙江徐家村金矿床石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄

田丙强¹,王升鹏²,齐忠友¹

1. 黑龙江省区域地质调查所,黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 成都理工大学 地球科学学院,四川 成都 610059

摘 要: 徐家村金矿床位于佳木斯地块西南部,矿体赋存于晚二叠世二长花岗岩中。通过对含金石英脉石英中的流体包裹体进行 Rb-Sr 同位素年龄及 H、O 同位素测定,获取成矿年龄,探讨成矿流体来源及其与赋矿花岗岩的成因联系。结果显示:石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 229 ± 8.6 Ma,比含矿岩体形成时代(254.2 ± 0.95 Ma、 230.44 ± 0.54 Ma)稍晚或接近。石英中 H、O 同位素特征显示成矿流体应为晚二叠世花岗岩浆分异出的热液,后期有少量的大气降水的加入,暗示了含矿石英脉与赋矿花岗岩体具有密切的成因联系。综合认为,成岩成矿可能发生在同一地质事件中,即与古亚洲洋板块向佳蒙地块俯冲作用有关。

关键词: 流体包裹体;Rb-Sr 等时线;H、O 同位素;黑龙江省

Rb-Sr ISOCHRON AGE OF FLUID INCLUSIONS IN THE QUARTZ OF XUJIACUN GOLD DEPOSIT, HEILONGJIANG PROVINCE

TIAN Bing-qiang¹, WANG Sheng-peng², QI Zhong-you¹

1. Heilongjiang Institute of Regional Geological Survey, Harbin 150080, China;

2. School of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: The Xujiacun gold deposit is located in the southwest of Jiamusi block, with the orebody occurred in the Late Permian monzogranite. The metallogenic age is obtained and the ore-forming fluid source and its genetic relation with the host granite are discussed through the determination of Rb-Sr isotope age and H and O isotopes of fluid inclusions in the quartz of gold veins. The results show that the Rb-Sr isochron age is 229 ± 8.6 Ma, slightly later or close to the formation time of ore-bearing rock mass (254.2 ± 0.95 Ma, 230.44 ± 0.54 Ma). The H and O isotopic characteristics of quartz indicate that the ore-forming fluid was the hydrothermal solution differentiated from the Late Permian granitic magma, with a small amount of atmospheric precipitation added later, suggesting that there is a close genetic relation between the ore-bearing quartz vein and the host granite. From the above, it is believed that the diagenesis and mineralization may occur in the same geological event, both related to the subduction of Paleo-Asian Ocean Plate into the Jiamusi-Mongolia block.

Key words: fluid inclusion; Rb-Sr isochron; H and O isotopes; Heilongjiang Province

成矿时代的精确测定一直以来都是矿床研究的一个重要课题,是矿床成因研究的重要内容,可为评价成矿地质环境和寻找新的找矿靶区提供重要参数^[1-2]。

近年来,流体包裹体的 Rb-Sr 同位素测年被广泛应用于金矿床成矿时代的研究,以含金石英脉为研究对象已经取得了一系列的成果^[1-8]。由于石英具有较好的

收稿日期:2019-10-10;修回日期:2019-11-01。编辑:李兰英。

基金项目:黑龙江省国土资源厅项目“黑龙江省林口县徐家村金多金属矿普查”(KCZX-SDKC-2015021)。

作者简介:田丙强(1987—),男,工程师,主要从事地质矿产资源勘查工作,通信地址 黑龙江省哈尔滨市延兴路 72 号,E-mail//381879464@qq.com

热稳定性、高化学纯度、较高的机械强度及后生状态稳定等特征,是 Rb-Sr 法测定成矿时代非常理想的对象^[2,4,8]。石英中 Rb、Sr 的赋存状态只有 2 种:一是存在于流体包裹体中,二是以杂质形式赋存于主矿物晶格中。石英晶体化学性质又决定了 Rb、Sr 不可能赋存于石英晶格中,因此测定石英矿物的年龄,实质上就是测定流体包裹体的年龄^[5,8-13]。

徐家村金矿床位于佳木斯地块西南部,前人仅对赋矿二长花岗岩形成年龄及成因有过研究,该岩体锆石 U-Pb 年龄为 254.2 ± 0.95 Ma,形成于晚古生代古亚洲洋板块向华北板块俯冲的构造环境^[14],然而,在成矿年龄、成矿流体与赋矿二长花岗岩之间的成因联系等方面却未见有过报道。本文以徐家村金矿床主成矿期的含金石英脉为研究对象,测定石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄,获取成矿年龄,结合石英 H、O 同位素,探讨成矿流体来源及其与赋矿花岗岩的成因联系,为矿床成因、成矿构造背景及成矿动力学研究提供理论基础。

1 区域地质概况

徐家村金矿床构造上位于牡丹江断裂以东,张广才岭隆起带的中段(图 1a)。区域内出露地层主要有二叠系兴东群大盘道组的碳酸盐岩(P_1d)、新近系船底山组的玄武岩系(βN_2c)及第四系全新统漫滩沉积物(Q_2)。区内断裂构造极为发育,主要为依舒断裂带及牡丹江断裂带的一些次级断裂^[14],如 F_1 、 F_2 断裂及其次生断裂(图 1b),呈北西向、近南北向及北北东向延伸。

区内岩浆活动具有多期性特点,出露有晚二叠世花岗岩($\eta\gamma P_3$)、中晚二叠世花岗闪长岩($\gamma\delta P_{2-3}$)晚三叠世-早侏罗世花岗岩($\eta\gamma T_3J_1$)等晚古生代-中生代中酸性侵入岩(图 1b)。其中,以晚二叠世二长花岗岩出露面积最大,占全区面积 50%以上(图 1b),同时也是徐家村金矿床主要的赋矿岩石之一^[15]。

2 矿床地质特征

矿区内仅出露有第四系漫滩冲积物(Q_2)(图 1c)。断裂构造主要为北北西向次级断裂,其次有南北向、北东向及北北东向等次级断裂,为矿区主要的导矿及容矿构造。矿区岩浆岩以晚二叠世二长花岗岩($\eta\gamma P_3$)

为主,其次有闪长玢岩等小面积出露,均为矿区主要的赋矿岩体(图 1c)。

金矿体主要产于晚二叠世二长花岗岩中(图 1c),多呈细长脉状或透镜状,受断裂及其周围裂隙控制。矿体近于直立,走向为近南北、北东及北北东向等(图 1c),沿走向及倾向延伸分别可达 130、250 m,矿体厚度 1.0~5.53 m,平均品位 3.08×10^{-6} ~ 4.4×10^{-6} 。矿石类型以硫化物-石英矿石为主,矿石矿物以黄铁矿为主,有少量的闪锌矿、方铅矿等。金矿物主要为自然金、碲金矿和银金矿,包裹在黄铁矿和方铅矿等矿物中。脉石矿物主要有石英、长石、方解石、绢云母、绿泥石。矿石组构以交代结构和脉状构造为主,次有粒状结构、浸染状构造和晶洞状构造等。围岩蚀变有钾化、硅化、黄铁矿化、绢云母化及绿泥石化等,其中金与硅化、黄铁矿化关系最为密切^[15]。

根据各岩脉及矿脉穿切关系、手标本及镜下矿物共生组合特征等,将成矿阶段从早到晚分为:钾化-硅化阶段、石英-黄铁矿阶段、石英-金属硫化物阶段、碳酸盐化阶段 4 个阶段^[15]。其中,石英-金属硫化物阶段为主成矿阶段,该阶段石英脉中以出现大量黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等硫化物为特征,金品位的高低与金属硫化物含量呈正相关关系。黄铁矿为主要载金矿物。早期黄铁矿与脉状石英伴生,多呈立方体、五角十二面体晶形,粒度较小,一般 1~5 mm(图 2a)。中期黄铁矿不发育。晚期的黄铁矿含金性好,烟灰粉末状,呈脉状、显微细粒状产出(图 2b)。早期石英为灰白色,呈细脉状或团块状与自形黄铁矿共生,不含金(图 2a)。晚期石英为灰黑色,呈不规则脉状的细粒玉髓产出,分布广,与成矿关系密切,且与细粒黄铁矿、方铅矿、闪锌矿共生(图 2b)。金以银金矿、自然金及碲金矿的形式赋存于黄铁矿中(图 2c~d)。

3 样品特征及测试方法

样品采自矿区钻孔 ZK4201、ZK4202、ZK4601 和 ZK2802,为主成矿期的含金石英脉。样品背散射图像显示金赋存于黄铁矿中。将挑选的石英样品粗碎至 40~60 目,在双目镜下挑选 9 件纯度接近 100%石英单矿物样品,其中 4 件用于 Rb、Sr 同位素测试,5 件用于 H、O 同位素测试,分析测试均在核工业北京地质研究院分析测试研究所完成。

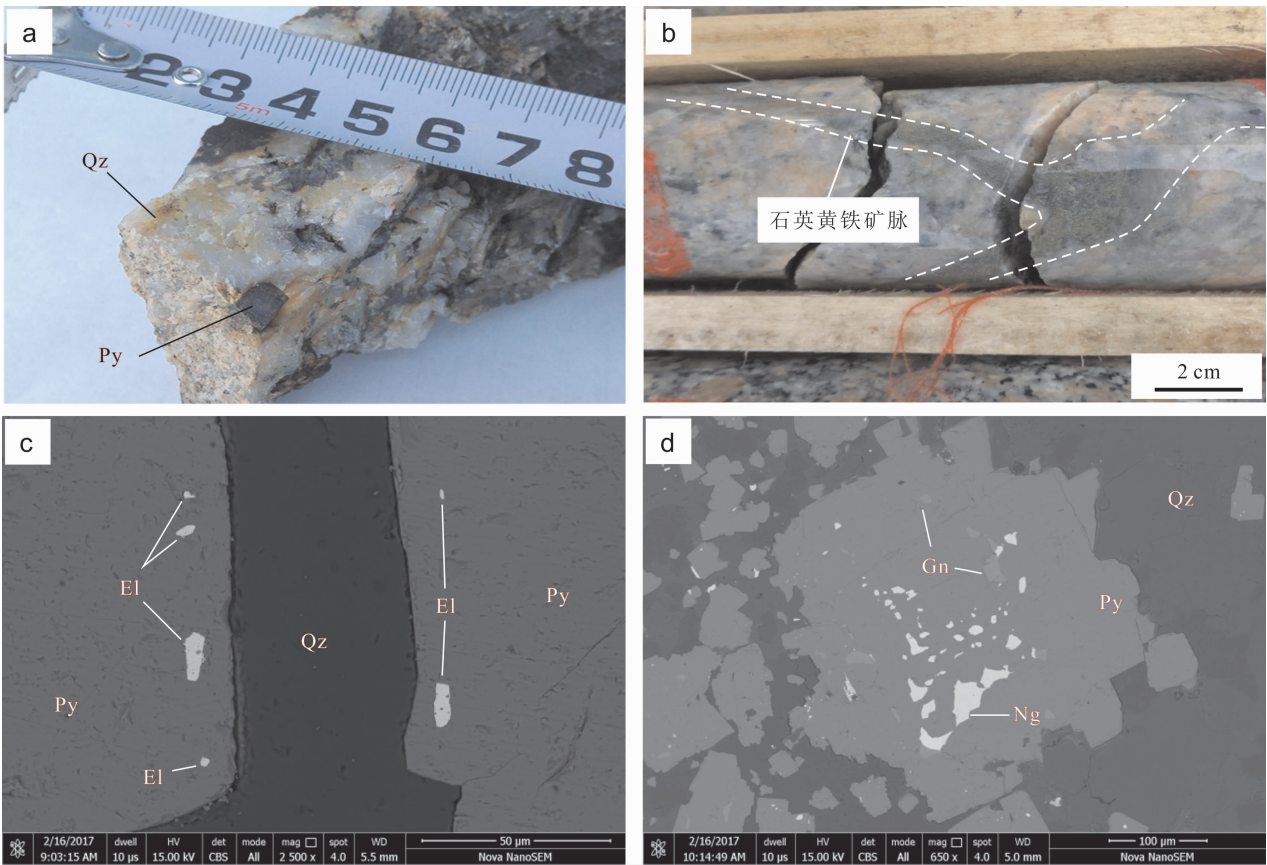


图 2 徐家村金矿床样品照片
Fig. 2 Sample photographs of Xujiacun gold deposit

a—黄铁矿(pyrite); b—晚期含金石英-黄铁矿脉(gold-bearing quartz-pyrite vein of late stage); c—石英两侧黄铁矿中的多颗银金矿颗粒,背散射图像(electrum particles in pyrite on both sides of quartz, backscattering image); d—黄铁矿中的方铅矿和自然金,背散射图像(galena and native gold in pyrite, backscattering image); Qz—石英(quartz); Py—黄铁矿(pyrite); El—银金矿(electrum); Gn—方铅矿(galena); Ng—自然金(native gold)

三角状,以孤立状及星点状分布为主.少量次生包裹体呈拉长的串珠状分布.流体包裹体一般较小,直径一般小于 10 μm,少数可达 15~20 μm.气液 H₂O 包裹体中,气相充填度一般较小(<10%),少数可达 20%~30%.主成矿期石英中的 H₂O 包裹体均一温度为 189~357 ℃,CO₂-H₂O 三相包裹体完全均一温度为 220~308 ℃,二者均一温度大致吻合(未发表).

Rb、Sr 测试前先用 6 mol/L 的盐酸加热洗净样品,再用蒸馏水清洗接近中性,放入烤箱,温度升至 200 ℃,恒温 30 min,以消除次生包裹体的影响.称取 0.1~0.2 g 粉末放入低压密闭的溶样罐之后,再添加 Rb-Sr 稀释剂,用混合酸溶解 24 h.待样品完全溶解后蒸干,再加入超纯盐酸转化为氯化物再蒸干.随后用 0.5 mol/L 的盐酸溶液将其溶解,进行离心分离,清液加入阳离子交换柱,用 1.75 mol/L 的盐酸溶液淋洗 Rb,用 2.5 mol/L

的盐酸溶液淋洗 Sr,蒸干,采用 ISOPROBE-T 热电离子质谱仪进行同位素分析.质量分馏用 ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr=0.1194 校正,标准测量结果:NBS987 为 0.710250±7,实验室流程本底:Rb 为 2×10⁻¹⁰ g,Sr 为 2×10⁻¹⁰ g.

5 件石英样品的 H、O 同位素分析测试使用仪器为 MAT253 和 Delta V Advantage 气体同位素质谱仪,测量结果以 SMOW 为标准,记为 δD_{V-SMOW},分析精度优于±1‰.氢同位素参考标准为国家标准物质北京大学标准水,其 δD_{V-SMOW}=-64.8‰,δ¹⁸O_{V-SMOW}=-8.79‰.兰州标准水,其 δD_{V-SMOW}=-84.55‰,δ¹⁸O_{V-SMOW}=-12.48‰.详细的实验流程及步骤参见文献[16].

4 分析结果

4.1 石英流体包裹体 Rb、Sr 同位素

徐家村金矿 4 个主成矿期的石英样品的 Rb、Sr 同

位素测定结果如表 1 所示. 石英中的 Rb 含量为 $1.33\times 10^{-6}\sim 9.45\times 10^{-6}$, Sr $11.1\times 10^{-6}\sim 75.35\times 10^{-6}$, $n(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})0.1939\sim 1.5297$, $n(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})(0.709629\pm 0.000012)\sim (0.714076\pm 0.000012)$. 采用 ISOPLOT 程序处理年龄数据, $\lambda=1.42\times 10^{-11}/\text{a}$, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 输入误差为 0.5%~2%, 获取石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 $229\pm 8.6\text{ Ma}$ (2σ). 如图 3 所示, 4 个石英样品的 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 与 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 构成明显的线性关系, 所得 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为 $0.70909\pm 0.00013(2\sigma)$, MSWD 为 0.56.

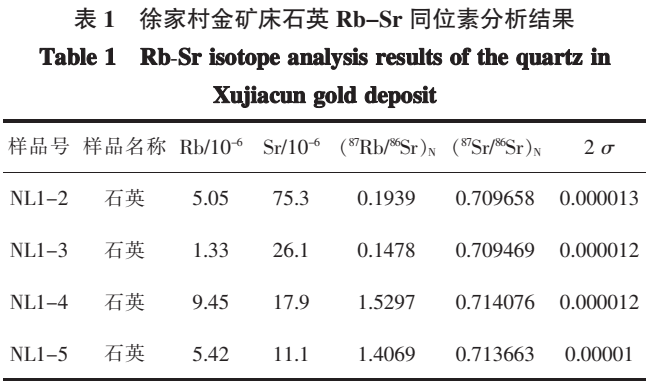


图 3 徐家村金矿床石英 Rb-Sr 等时线图

Fig. 3 Rb-Sr isochron of inclusions in the quartz of Xujiacun gold deposit

4.2 H、O 同位素

石英中氢、氧同位素分析结果如表 2 所示: $\delta^{18}\text{O}$ 值为 12.6‰~14.2‰, 平均 13.72‰. δD 值为 -83.1‰~-87.1‰, 平均 -84.9‰. 利用石英-水的同位素平衡方程: $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}}=3.38\times 10^6/T^2-3.40^{[17]}$ 求出流体包裹体的 $\delta^{18}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 2.96‰~5.63‰, 平均 3.72‰. 将 δD 值与

$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值投影到 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解中(图 4), 可见 5 个数据点位于原生岩浆水区域下方偏左的位置, 接近岩浆水区域的下限.

表 2 徐家村金矿石英中氢、氧同位素组成

Table 2 Compositions of H and O isotopes in the quartz of Xujiacun gold deposit

样品原号	矿物	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$	均一温度/℃
NL1-1	石英	-17.8	12.6	1.89	-82.8	216.3
NL1-2	石英	-16.7	13.7	4.11	-87.1	237
NL1-3	石英	-16.2	14.2	5.63	-85.6	258.3
NL1-4	石英	-16.4	14	4	-83.1	229
NL1-5	石英	-16.3	14.1	2.96	-85.9	209

表中均一温度为对应石英样品中流体包裹体均一温度的平均值(数据未发表). 包裹体测试由核工业北京地质研究所完成, 测试仪器为 LINKAM THMS600 型冷热台, 温度控制精度为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. 含量单位:‰.

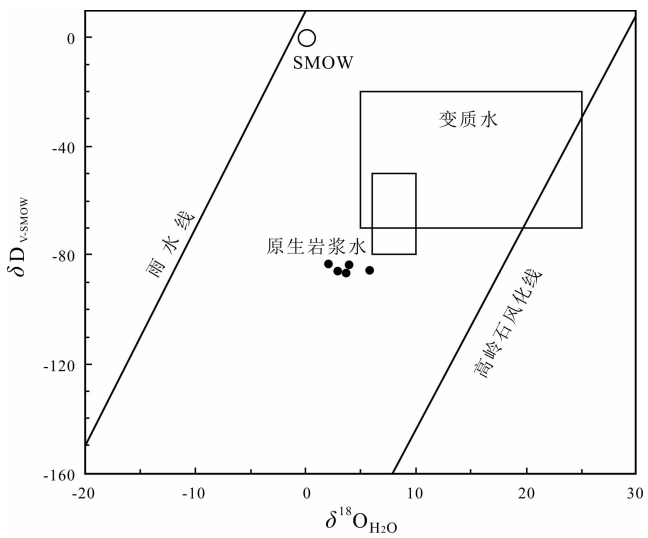


图 4 徐家村金矿成矿流体 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解

(底图据文献[18])

Fig. 4 The $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ diagram of ore-forming fluids in Xujiacun gold deposit

(After Reference [18])

5 讨论

本文首次测定的徐家村金矿床含金石英脉流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 $229\pm 8.6\text{ Ma}$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为 0.70909 ± 0.00013 . 用于测年的石英样品均来自主成矿期, 石英未见裂隙发育且未受到构造活动的影响和改造. 此外, 获得的 4 组数据拟合出的等时线具有良好

的线性关系,说明同位素在成矿流体中达到均一,自流体包裹体被石英捕获以来,流体中的 Rb-Sr 保持了良好的封闭体系^[6]. 而且,测试之前先将样品加热至 200 °C 恒温 30 min,使次生包裹体爆裂,从而有效降低了次生流体包裹体对测试结果的影响. 因此,测得的 Rb、Sr 含量基本来自原生流体包裹体,这也满足了 Rb、Sr 同位素测年的基本条件^[8],所获得的 Rb-Sr 等时线年龄(229±8.6 Ma)可以作为徐家村金矿床的成矿年龄.

前人研究表明,金的成矿作用一般都与构造运动、岩浆活动或变质作用有关,因此金矿床形成时代必然与重大地质事件有关^[6,19],只有同时具备了必要的成矿条件,如成矿物质、地质作用所释放出的能量及流体的驱动等,金矿床才能形成^[20]. 对徐家村金矿床含矿二长花岗岩及闪长玢岩的年代学及地球化学研究结果显示,锆石 U-Pb 年龄分别为 254.2±0.95 Ma、230.44±0.54 Ma^[15],分别形成于晚二叠世、中三叠世. 含矿岩体均为钙碱性系列岩石,具有富集大离子亲石元素(K、Ba、Rb)和亏损高场强元素(Nb、Ta、Ti、Th)的特征,具有岛弧花岗岩的特征^[15],岩体在板块俯冲消减环境下形成. 越来越多的研究证据表明,晚古生代古亚洲洋板块向华北板块俯冲,至晚二叠世—三叠世(230~300 Ma)古亚洲洋发生闭合,华北板块与佳蒙地块发生陆-陆碰撞,并可能一直持续到晚三叠世,最终导致华北板块北缘的兴凯板块与西伯利亚板块东南缘的佳木斯地块完成拼合^[21-29]. 在此过程中引起的大规模的岩浆活动导致了一大批金矿床的形成,如老柞山金矿、新立金矿及平顶山金矿等^[30-32]. 老柞山金矿床成矿岩体黑云母花岗岩形成年龄为 256±3.1 Ma^[11],而成矿年龄为 239±34 Ma^[33]. 徐家村金矿床石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 229±8.6 Ma,较含矿岩体形成时代(254.2±0.95 Ma、230.44±0.54 Ma)稍晚或接近^[15],显示成岩成矿可能发生在同一地质事件中,即与古亚洲洋板块向佳蒙地块俯冲作用有关.

另外,徐家村金矿床围岩蚀变十分强烈,表现为钾长石化、硅化、绢云母化等,而且含矿石英脉体十分发育,说明在成矿过程中热液流体扮演着重要的角色. 矿石中发育石英晶洞构造等岩浆-热液阶段不平衡结构构造^[34],表明成矿流体处于一个封闭的环境,且热液与岩浆具有密切成因联系. 徐家村金矿床成矿岩体

地球化学研究表明,二长花岗岩分异指数(DI)为 85.37~89.30,固结指数(SI)为 1.96~2.88,δEu 值为 0.68~0.92,表明岩体的分异程度较高,为岩浆晚期分异的产物^[15],成矿流体可能来源于岩浆结晶晚期分异出的热液.

自然界中不同成因及来源的流体,其 H、O 同位素组成存在明显的差异,故可以通过成矿流体的氢氧同位素组成的 δD-δ¹⁸O_{H₂O} 图解来判别成矿流体的来源以及不同成因成矿流体的混合^[35]. 石英中 δ¹⁸O_{H₂O} 值为 2.96‰~5.63‰,平均 3.72‰,δD 值为 -83.1‰~-87.1‰,平均 -84.9‰,接近岩浆水的下限值^[36-37],表明成矿流体可能早期来自于岩浆中分离出的热液,印证了含矿石英脉与赋矿花岗岩体的成因联系. 在 δD-δ¹⁸O_{H₂O} 图解中(图 5),可见 5 个数据点位于原生岩浆水区域下方偏左的位置,向雨水线方向偏移,说明在热液上升过程中可能与低 δ¹⁸O、低 δD 值的大气降水混合,发生同位素交换^[38-39]. 大气水的加入可以使水岩比增大,更有利于淋滤围岩中的金及其他金属元素,并与围岩发生交代作用^[20],这也与地质事实相符. 综上所述,成矿流体应为晚二叠世花岗岩浆分异出的热液,含矿硅质热液沿构造裂隙贯入,后期有少量大气降水的加入,并与周围岩石发生反应,黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等硫化物沉淀,并形成多种近矿围岩蚀变.

6 结论

(1) 石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 229±8.6 Ma,较含矿岩体形成时代(254.2±0.95 Ma、230.44±0.54 Ma)稍晚或接近,显示成岩成矿可能发生在同一地质事件中,即与古亚洲洋板块向佳蒙地块俯冲作用有关.

(2) 石英中 H、O 同位素特征显示,成矿流体应为晚二叠世花岗岩浆分异出的热液,后期有少量的大气降水的加入.

参考文献:

- [1] 莫测辉,王秀璋,程景平,等. 冀西北东坪金矿床含金石英脉石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线及其地质意义[J]. 地球化学,1997,26(3): 20-27.
- [2] 孙敬博,张立明,陈文,等. 东天山红石金矿床石英 Rb-Sr 同位素定年[J]. 地质论评,2013,59(2): 382-388.
- [3] 陈好寿,李华芹. 云开隆起金矿带流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄[J].

- 矿床地质,1991,10(4):333-341.
- [4]Shepherd T J, Darbyshire D P F. Fluid inclusion Rb-Sr isochrons for dating mineral deposits[J]. *Nature*, 1981,290(5807):578-579.
- [5]Changkakoti A, Gray J, Krstic D, et al. Determination of radiogenic isotopes (RbSr, SmNd and PbPb) in fluid inclusion waters: An example from the Bluebell Pb-Zn deposit, British Columbia, Canada [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1988,52(5):961-967.
- [6]杨屹. 阿尔金大平沟金矿床成矿时代 Rb-Sr 定年[J]. *新疆地质*, 2003,21(3):303-306.
- [7]毛光周,华仁民,龙光明,等. 江西金山金矿成矿时代探讨——来自石英流体包裹体 Rb-Sr 年龄的证据[J]. *地质学报*,2008,82(4):532-539.
- [8]李华芹,王登红,陈富文,等. 湖南雪峰山地区铲子坪和大坪金矿成矿作用年代学研究[J]. *地质学报*,2008,82(7):900-905.
- [9]陈卓,李向文,张胜江,等. 黑龙江十五里桥金矿龙江组火山岩地球化学特征及构造背景分析[J]. *地质与资源*,2019,2(5):413-422.
- [10]郑全波,马江水,杨晓平. 黑龙江黑河五道沟地区区域地球化学特征及其与成矿的关系[J]. *地质与资源*,2018,27(2):141-148.
- [11]刘桂香,张春鹏,吕骏超,等. 大兴安岭甲乌拉铅锌银矿床石英二长斑岩锆石 U-Pb 年代学及地质意义[J]. *地质与资源*,2018,27(5):424-430.
- [12]Norman D I, Landis G P. Source of mineralizing components in hydrothermal ore fluids as evidenced by $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and stable isotope data from the Pasto Bueno deposit, Peru [J]. *Economic Geology*, 1983,78(3):451-465.
- [13]Rossman G R, Weis D, Wasserburg G J. Rb, Sr, Nd and Sm concentrations in quartz[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1987, 51(9):2325-2329.
- [14]薛明轩. 黑龙江省内生金矿成矿作用研究[D]. 长春:吉林大学, 2012.
- [15]王升鹏,田丙强,李葆华,等. 黑龙江省徐家村金矿床赋矿二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄及岩石地球化学特征[J]. *矿物岩石*,2018,38(4):98-107.
- [16]刘汉彬,金贵善,李军杰,等. 铀矿地质样品的稳定同位素组成测试方法[J]. *世界核地质科学*,2013,30(3):174-179.
- [17]Clayton R N, Rex R W, Syers J K, et al. Oxygen isotope abundance in quartz from Pacific pelagic sediments[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1972,77(21):3907-3915.
- [18]Taylor H P. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition[J]. *Economic Geology*, 1974,69(6):843-883.
- [19]宋叔和,康永孚,涂光炽,等. 中国矿床(中)[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [20]马小双,陈新跃,曹有金,等. 铲子坪金矿床地球化学特征及 Rb-Sr 年龄[J]. *矿业工程研究*,2016,31(2):57-64.
- [21]崔革,于静秋,高艳秋. 黑龙江省东部晚石炭—晚白垩世地层的古地磁特征及其地质意义[J]. *黑龙江地质*,1991,2(2):41-49.
- [22]孙革. 中国吉林天桥岭晚三叠世植物群[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1993:25-130.
- [23]吴福元,WildeS,孙德有. 佳木斯地块片麻状花岗岩的锆石离子探针 U-Pb 年龄[J]. *岩石学报*,2001,17(3):443-452.
- [24]孙德有,吴福元,张艳斌,等. 西拉木伦河—长春—延吉板块缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*,2004,34(2):174-181.
- [25]Davis G A, Xu B, Zhang Y D, et al. Indosinian extension in the Solonkersuture zone: the SonidZuoqi metamorphiccore complex, Inner Mongolia, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004,11(3):135-144.
- [26]孟恩,许文良,杨德彬,等. 佳木斯地块东缘及东南缘二叠纪火山作用:锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其构造意义[J]. *科学通报*, 2008,53(8):956-965.
- [27]黄映聪,任东辉,张兴洲,等. 黑龙江省东部桦南隆起美作花岗岩的锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2008,38(4):631-638.
- [28]Miao L C, Fan W M, Liu D Y, et al. Geochronology and geochemistry of the Hegenshanophiolitic complex: Implications for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling Orogenic Belt, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008,32(5/6):348-370.
- [29]赵寒冬. 东北地区小兴安岭南段—张广才岭北段古生代火成岩组合与构造演化[D]. 北京:中国地质大学(北京),2009.
- [30]李怡欣. 黑龙江省老柞山金矿床的成因与成矿地质模式[D]. 长春:吉林大学,2012.
- [31]包真艳,王建,杨言辰,等. 黑龙江平顶山金矿赋矿花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其构造意义[J]. *地质学报*,2014,88(3):407-420.
- [32]张琳,杨言辰,韩世炯,等. 黑龙江新立金矿床片麻状花岗岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. *地球科学与环境学报*,2016,38(5):638-648.
- [33]李晓敏,周喜文,魏存弟. 老柞山金矿床成矿时代研究[J]. *地质找矿论丛*,2001,16(2):131-134,139.
- [34]单强,廖思平,卢焕章,等. 岩浆到热液演化的包裹体记录——以骑田岭花岗岩体为例[J]. *岩石学报*,2011,27(5):1511-1520.
- [35]Canbaz O, Gokce A. Microthermometric and stable isotopic (O and H) characteristics of fluid inclusions in the porphyry related Çöpler (İ liç-Erzincan) gold deposit, central eastern Turkey [J]. *Central European Journal of Geosciences*, 2014,6(2):139-147.

层类型,以砂储集层为主。储层物性分析砂岩孔隙度 5.99%~27.16%,平均为 13.6%;渗透率 $0.03 \times 10^{-3} \sim 6.73 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。胶结类型以孔隙式为主。

本区由于构造运动频繁,断裂十分发育并具有继承性、多方向性和多期活动性的特点。断层不仅作为油气运移的良好通道,在有良好局部盖层存在下,多组不同方向多期断裂活动的断裂改造也会使火山岩因裂隙、裂缝的大量发育成为油气储层。

总体来看,从综合物探及油气研究的角度来看,拉布达林盆地较好的油气勘探潜力,需要进一步的勘探工作。

4 结论

1)通过在 GM-SYS 软件平台开展重力-地震联合反演解释,比较理想地消除了盖层火山岩的重力干扰效应,成功地反演了主要目的层上库力组底界深度。认为拉布达林盆地南部拗陷区巴彦哈达断陷面积大、地层厚度大,是沉积岩主要发育区,为全盆地最有利勘探区。推算油气资源量 $1.13 \times 10^8 \text{ t}$,具有较好勘探前景,值得进一步开展勘探工作。

2)在火山岩覆盖盆地开展重力-地震联合反演解释可以有效发挥重力勘探、地震勘探手段各自的技术优势,使各种资料相互补充、验证,在研究确定盆地深

层构造界面和特殊地质体分布方面具有独特优势,使解释的地质成果更加趋近实际地质情况,可以很好地提高低品质地震资料的利用价值。

参考文献:

- [1]周锡明,何委徽,刘益中,等. 松辽盆地及外围重磁连片处理解释[M]. 北京:科学出版社,2016:45-46.
- [2]陈弘. 国外火山岩油气藏勘探技术研究[J]. 国外油田工程,2010,26(11):6-11.
- [3]杨辉,戴世坤,宋海斌,等. 综合地球物理联合反演综述[J]. 地球物理学进展,2002,17(2):262-271.
- [4]汪在君,唐金生,郑桂英. 重磁-地震联合反演解释技术在大杨树盆地深层构造研究中的应用[J]. 中国石油勘探,2007,12(1):54-59.
- [5]邓荣来,李庆浩,宋桂桥,等. 重磁联合反演及重磁与 MT 综合解释巴彦浩特盆地火成岩[J]. 石油物探,2002,41(2):222-225.
- [6]孙帮民,吴燕冈,管彦武. 重磁联合反演解释在长白山天池深部构造中的应用[J]. 世界地质,2014,33(4):910-915.
- [7]郭伟,姚长利,王亚民,等. 重磁综合约束反演在大杨树盆地油气勘探中的应用[J]. 石油地球物理勘探,2014,49(S1):233-242.
- [8]王世辉,王立民,唐金生. 兴安岭盆地群成盆机制及含油气远景评价[J]. 大庆石油地质与开发,2001,20(5):5-6.
- [9]吴河勇,王世辉,杨建国,等. 大庆外围盆地勘探潜力[J]. 中国石油勘探,2004(4):23-30.
- [10]曲希玉,刘立,彭晓蕾,等. 内蒙古东北部拉布达林盆地上乌尔根软沥青的发现及其意义[J]. 地质通报,2007,26(5):567-573.
- [11]冯岩,杨才,夏宁,等. 内蒙古拉布达林盆地烃源岩有机地球化学特征[J]. 地质与资源,2018,27(4):377-382.

(上接第 119 页 /Continued from Page 119)

- [36]Hedenquist J W, Lowenstern J B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits[J]. Nature, 1994,370(6490):519-527.
- [37]Ohmoto H. Stable isotope geochemistry of ore deposits[J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 1986,16(1):491-559.
- [38]Rye R O. The evolution of magmatic fluids in the epithermal

environment: the stable isotope perspective[J]. Economic Geology, 1993,88(3):733-752.

- [39]张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液成矿作用及找矿[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1985.