

新疆阿尔泰山南缘克因布拉克铜锌矿床 成矿流体的氦-氩同位素示踪

张志欣^{1,2}, 杨富全², 蒋国豪³, 刘锋², 李强², 耿新霞²

(1.中国科学院新疆生态与地理研究所,新疆矿产资源研究中心,新疆 乌鲁木齐 830011;2.中国地质科学院矿产资源研究所,国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室,北京 100037;3.中国科学院地球化学研究所,矿床地球化学国家重点实验室,贵州 贵阳 550002)

摘要:克因布拉克铜锌矿床赋存于二长花岗岩外接触带的上志留一下泥盆统康布铁堡组黑云石英片岩、变质石英砂岩中,矿体呈似层状、透镜状及脉状。本文对铜锌矿石中的黄铁矿流体包裹体氦和氩同位素组成进行了研究。黄铁矿中流体包裹体的⁴He含量为 $0.241 \times 10^{-7} \sim 5.288 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ STP/g}$, R_c/R_a值为0.95~1.89,幔源He的含量为14.1%~28.8%,表明成矿流体中氦主要来源于地壳,存在幔源氦的加入。⁴⁰Ar含量为 $4.345 \times 10^{-8} \sim 7.752 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ STP/g}$,⁴⁰Ar/³⁶Ar比值变化于302.10~436.96,⁴⁰Ar^{*}含量为2.2%~32.4%,表明成矿流体中存在含有放射性成因氩的大气降水加入。结合矿床地质特征及氢、氧、碳、硫同位素特征,认为成矿流体来源于高温深源壳幔混合成因的岩浆流体,具大气氩同位素组成特征的低温大气降水。

关键词:阿尔泰山;克因布拉克;氦和氩同位素;黄铁矿;成矿流体

新疆阿尔泰山造山带是研究中亚造山带(CAOB)陆壳增生机制及成矿作用的关键部分,在造山带形成和演化过程中发生了构造-流体-成矿作用,促成了区内贵金属、有色金属和稀有金属矿产的分带聚集^[1]。新疆阿尔泰山南缘是我国重要的铅锌铜多金属成矿带,已发现一系列铅锌铜矿床,如阿舍勒大型铜锌矿床、可可塔勒大型铅锌矿床、大东沟中型铅锌矿床、铁木尔特中型铅锌铜矿床和克因布拉克中型铜锌矿床^[2-8]。克因布拉克铜锌矿床是近年来发现的中型矿床(333+334类铜锌资源/储量约 $22 \times 10^4 \text{ t}$)^①,前人对克因布拉克铜锌矿床地质特征、岩体年代学、成矿物质来源、成矿机制及成矿潜力进行了详细研究^[5,8,9-11],取得了重要成果,同时利用石英及方解石中氢、氧、碳同位素对成矿流体进行了示踪($\delta \text{D}_{\text{SMOW}}$ 值为-130‰~-79‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值为8.0‰~11.6‰, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为-5.3‰~-1.1‰),认为成矿流体主要来源于岩浆水,混合大气降水^[8]。本文在前人研究基础上,以克因布拉克铜锌矿床中铜锌矿石的黄铁矿为研究对象,开展了黄铁矿的氦和氩同位素地球化学研究,结合矿床地质

特征及氢、氧、碳、硫同位素特征,探讨了成矿流体的来源,以期深入认识矿床成因及新疆阿尔泰山南缘成矿作用提供依据。

1 矿床地质特征

克因布拉克铜锌矿床所处的大地构造位置为西伯利亚板块南阿尔泰山晚古生代活动陆缘的冲乎尔火山沉积盆地(图1-(A))。矿区出露地层为康布铁堡组,呈NW向及近EW向展布(图1-(B))。岩性主要为石榴子石黑云石英片岩、矽线石黑云石英片岩、黑云石英变粒岩、含蓝晶石黑云斜长变粒岩、长英质变粒岩、变质酸性凝灰岩、变质石英砂岩及大理岩透镜体。地层中发育潜火山相石英钠长斑岩、钠长斑岩。矿体赋存于二长花岗岩外接触带的康布铁堡组变质石英砂岩、变质凝灰岩和大理岩透镜体中,呈似层状、透镜状及脉状,近矿围岩为变质石英砂岩,矿化受破碎带控制。目前已圈定10条铜锌矿(化)体,矿(化)带长140~600 m,宽4~15 m,控制最大斜深307 m。

项目资助:国土资源部公益性行业科研专项经费项目(200911007-06)、国家科技支撑计划项目(2011BAB06B03-02)和国家自然科学基金项目(41272103)联合资助

收稿日期:2013-05-20;修订日期:2013-06-17;作者E-mail:ddzhangzhixin@163.com

第一作者简介:张志欣(1984-),男,山西朔州人,研究实习员,2011年毕业于中国地质科学院,从事矿床学及地球化学研究

① 王新,孙卫杰,刘荻.新疆布尔津县克因布拉克多金属矿区铜锌矿预-普查报告,2005

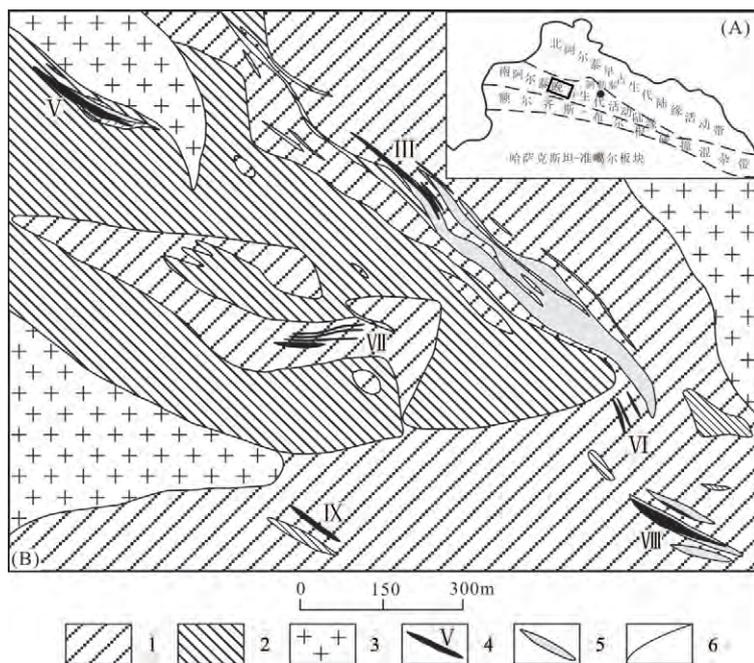


图1 克因布拉克铜锌矿床矿区地质图

Fig. 1 The geological map of the Keyinbulake cooper-zinc deposit

- 1.康布铁堡组变质石英砂岩;2.康布铁堡组黑云母石英片岩;3.花岗岩;
4.铜锌矿(化)体及编号;5.矽卡岩带;6.地质界线

矿石构造主要为致密块状、浸染状、条带状、脉状和团块状构造。矿石结构为自形粒状结构、半自形粒状结构、交代结构、包含结构、骸晶结构和碎裂结构。矿石类型主要为铜铅锌矿石、铜矿石、铜锌矿石、锌矿石和铅锌矿石。金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、银金矿。脉石矿物主要为石英,次为长石、方解石、黑云母、绢云母、长石、绿帘石、绿泥石和石榴子石等。矿石平均品位:铜0.22%~1.09%,锌0.2%~3.64%,铅0.13%~1.5%。围岩蚀变主要为矽卡岩化(石榴子石化、透辉石化、透闪石化、绿帘石化)、硅化、绿泥石化、碳酸盐化、绢云母化、黑云母化。矽卡岩分布在岩体与黑云母石英片岩和大理岩接触带附近。硅化最为发育,多呈面状分布,少数呈脉状分布。硅化、绿泥石化、绢云母化与成矿最密切。

2 样品及分析方法

本次用于氦和氩同位素测试的样品采自克因布拉克铜锌矿区矿石堆,所选样品均为新鲜的未蚀变的铜锌矿石,矿物组合为黄铁矿+闪锌矿±黄铜矿(图2)。黄铁矿结晶粒度较粗,粒径1~10 mm,多呈半自形粒状结构。

将上述样品破碎,在双目显微镜下挑选新鲜的黄铁矿单矿物,纯度达99%以上。氦和氩同位素分

析在中国科学院矿床地球化学国家重点实验室完成。测试仪器为全金属静态高真空稀有气体质谱仪(GV5400),仪器主要技术参数:氦测定灵敏度为 3.9725×10^{-4} A/Torr ($1 \text{ Torr} = 1.33 \times 10^2 \text{ Pa}$);氩测定灵敏度为 1.1018×10^{-4} A/Torr,法拉第杯的分辨率228.1;电子倍增器的分辨率为682.3。分析过程如下:①将挑选好的单矿物在超声波丙酮溶液中洗净烘干;②称取500~1 000 mg矿物装入螺旋式压碎装置;③将样品装入烘烤螺旋式加热装置中烘烤,温度保持在 $120^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$,以除掉矿物和装置吸附的大气成分,并把系统抽成高真空状态;④在高真空条件下压碎样品(10^{-8} Torr),使流体包裹体中的气体释放,进入气体净化系统;⑤气体被纯化后,使用液氮将重稀有气体冷冻在活性炭冷阱中,与氦分离;⑥将纯化分离后的稀有气体送入主机中进行同位素分析。氦和氩同位素的分析误差一般小于10%。

3 结果与讨论

3.1 分析结果

6件黄铁矿中流体包裹体的氦和氩同位素分析结果见表1。黄铁矿中流体包裹体的 ^4He 含量变化较小,为 $0.241 \times 10^{-7} \sim 5.288 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ STP/g}$, ^3He 含量为 $0.315 \times 10^{-13} \sim 11.688 \times 10^{-13} \text{ cm}^3 \text{ STP/g}$ 。

3.2 测试数据可靠性分析

克因布拉克铜锌矿床与黄铁矿共生的石英中流体包裹体研究表明,包裹体以原生为主,均一温度变化较大,为 $146^\circ\text{C} \sim 448^\circ\text{C}$,主要集中在 $150^\circ\text{C} \sim 360^\circ\text{C}$ ^[8]。为了消除黄铁矿样品表面吸附和次生包裹体中的气



图2 克因布拉克铜锌矿床铜锌矿石特征
Fig.2 Characteristics of chalcopyrite-sphalerite ores in the Keyinbulake cooper-zinc deposit

表1 克因布拉克铜锌矿床黄铁矿流体包裹体中氦和氩同位素分析结果

Table 1 Helium and argon isotope compositions of fluid inclusions in pyrite from the Keyinbulake copper-zinc deposit

样品编号	KYB-11	KYB-12	KYB-18	KYB-21	KYB-29	KYB-52
矿物组合	黄铁矿+黄铜矿+闪锌矿	黄铁矿+闪锌矿	黄铁矿+黄铜矿+闪锌矿	黄铁矿+闪锌矿	黄铁矿+闪锌矿	黄铁矿+黄铜矿+闪锌矿
质量/g	0.258 2	0.285	0.325	0.105 5	0.088 6	0.329 7
Rc/×10 ⁻⁶	2.100±0.012	2.270±0.025	2.070±0.026	1.760 0±0.015 0	1.330 0±0.030 0	2.650 0±0.024 0
Rc/Ra	1.500±0.010	1.620±0.020	1.480±0.020	1.260 0±0.010 0	0.950 0±0.020 0	1.890 0±0.020 0
⁴ He×10 ⁻⁷ (cm ³ STP/g)	5.288	0.825	1.684	0.944 0	0.241 0	4.429 0
³ He×10 ⁻¹³ (cm ³ STP/g)	10.984	1.863	3.467	1.618 0	0.315 0	11.688 0
⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	436.960±14.420	307.140±22.790	302.540±16.490	309.060 0±17.280 0	302.100 0±20.000 0	425.050 0±26.140 0
⁴⁰ Ar×10 ⁻⁸ (cm ³ STP/g)	6.083	5.124	5.279	4.345 0	4.512 0	7.752 0
³⁶ Ar×10 ⁻¹⁰ (cm ³ STP/g)	1.373	1.707	1.774	1.418 0	1.508 0	1.823 0
⁴⁰ Ar [*] /%	32.400	3.800	2.300	4.400 0	2.200 0	30.500 0
⁴⁰ Ar/ ⁴ He	0.038	0.010	0.002	0.016 0	0.023 0	0.053 0
He [*] /%	22.600	24.600	22.400	18.600 0	14.100 0	28.800 0
F ⁴ He	23 342.000	2 929.000	5 753.000	4035.00 0	969.000 0	14 724.000 0

注:He^M为地幔成因He同位素;⁴⁰Ar^{*}为放射性⁴⁰Ar同位素;计算所采用参数为国际公认地球大气值:Ra=³He/⁴He=1.400×10⁻⁶,⁴⁰Ar/³⁶Ar=295.5,⁴He/³⁶Ar=0.165。He^M(%)=[(³He/⁴He)_{样品}-(³He/⁴He)_{地壳}]/[(³He/⁴He)_{地幔}-(³He/⁴He)_{地壳}]×100。(He^M/He)_{地壳}值为地壳岩石的平均产率0.02 Ra, (³He/⁴He)_{地幔}值为大陆岩石圈的平均值6.5 Ra。⁴⁰Ar^{*}={1-295.5/(⁴⁰Ar/³⁶Ar)_{样品}}×100;测试矿物为黄铁矿

体,将样品加热到120℃~150℃并烘烤,排除了次生包裹体和矿物表面吸附的氦和氩同位素影响。样品在分析测试中,大气对流体中氦的浓度影响程度,可以根据F⁴He来判断^[12]。F⁴He为样品中的⁴He/³⁶Ar与大气的⁴He/³⁶Ar(0.165)比值。假如样品中含大气He,则F⁴He=1。由表1可知,本文中样品的F⁴He值远大于1,甚至可达900~23 000多倍,表明不存在大气影响。研究认为,无论是成矿时捕获流体包裹体过程中,还是用真空压碎法获取流体包裹体过程中,氦和氩同位素均不会发生明显分馏^[13-14]。氦在黄铁矿的扩散系数很低,黄铁矿流体包裹体中的氦在100 Ma内未大量丢失^[12],而本文研究的克因布拉克铜锌矿床形成时代为279 Ma^[11],黄铁矿中的氦是否有大量丢失呢?按照黄铁矿中氦的扩散系数为10⁻²⁰ cm²/s^[12]计算,求得黄铁矿晶格中氦从形成到迄今扩散了8×10⁻⁵ cm²。由于矿物中流体包裹体氦的扩散系数比矿物晶格中放射性成因氦的扩散系数低几个数量级,氩的扩散系数相比氦更低^[14-15],而流体包裹体中氦的扩散丢失大于70%时才会对³He/⁴He比值产生可观的影响^[16]。据此认为,克因布拉克铜锌矿床黄铁矿中流体包裹体中氦和氩几乎未扩散。本文所采样品取自坑道下开采的矿石,不存在宇宙放射成因的³He。黄铁矿为不含钾和锂的矿物,样品中由核反应生成的³He可忽略不计。矿物和岩石形成后其中³He/⁴He比值的的变化与钍、铀含量有关^[17],钍、铀衰变产生的⁴He可由以下公式计算:⁴He=0.235 5×10⁻⁶ U{1+0.123(Th/U-4)}cm³/Ma。g^[13]。克因布拉克铜锌矿床是与岩浆热液有关的矿床,二长花岗岩中锆石的铀含量为49.5×10⁻⁶~620.5×10⁻⁶,Th/U值为0.06~0.86^[11],计算出由于钍、铀衰变产生

的⁴He为11.2×10⁻⁸~103.7×10⁻⁸ cm³STP/g,而矿石中的钍、铀含量远小于锆石,计算值明显小于测试误差范围,不影响流体包裹体中³He/⁴He初始值。

据以上分析,认为克因布拉克铜锌矿床黄铁矿中,流体包裹体中氦和氩同位素组成代表了成矿作用期间被圈闭矿物流体包裹体中成矿流体的初始氦和氩同位素组成,氦和氩同位素只可能有两种来源,即地壳和地幔。

3.3 成矿流体来源示踪

克因布拉克铜锌矿黄铁矿中流体包裹体的Rc/Ra值为0.95~1.89,明显高于地壳的³He/⁴He值(0.01~0.05 Ra^[18]),但低于地幔流体的³He/⁴He值(6~9 Ra),幔源He的含量为14.1%~28.8%,平均为21.8%。在³He-⁴He同位素演化图解上(图3)^[17],样品点位于地幔端元和地壳端元之间,并靠近地壳组成一侧,表明成矿流体中He来源为地壳流体和地幔流体两端元混合

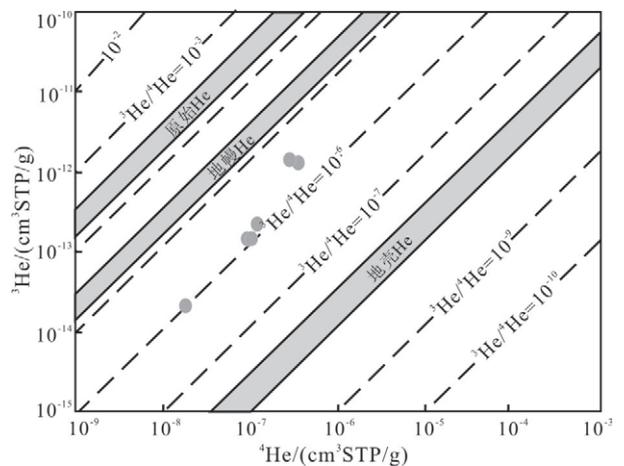


图3 克因布拉克铜锌矿床黄铁矿中流体包裹体氦同位素组成
Fig.3 Helium isotope composition of fluid inclusions in pyrite from Keyinbulake cooper-zinc deposit

产物。 ^{40}Ar 含量为 $4.345\times 10^{-8}\sim 7.752\times 10^{-8}\text{ cm}^3\text{STP/g}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值变化于302.10~436.96, 介于大气(295.5)和地幔柱(296~2780)之间^[19], 明显低于MORB(133000~25250)^[20], $^{40}\text{Ar}^*$ 含量为2.2%~32.4%。在 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ -Rc/Ra图解中位于大气值和幔源氦值之间, 同样表现出幔源流体和壳源流体两端元混合的特征(图4-(A))。

克因布拉克铜锌矿黄铁矿中流体包裹体的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值与被认为幔源流体参与成矿过程的矿床相似, 如与花岗岩成矿作用相关的南岭中段锡矿床成矿流体的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值为0.75~5.32 Ra、华北地块南缘钼矿床 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值1.38~3.64 Ra和韩国Dae Haw钨钼矿床 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值为0.71~1.43 Ra^[18,21-22]; 与成矿流体来源于壳幔混合成因岩浆流体和大气降水的华北地块南缘钼矿床 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值295.68~346.39相近, 表现出幔源流体和大气降水参与成矿的特征。 $^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}$ 比值为0.002~0.053, 平均0.024, 与地壳流体的 $^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}$ 比值0.156较接近^[13, 18], 而与地幔流体的 $^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}$ 比值0.33~0.56相差较远^[23], 在 $^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}$ -Rc/Ra图解中位于壳源氦和幔源氦之间(图4-(B))。研究表明, 流体流经岩石时优先富集 ^4He 会导致现代地质流体中 $^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}$ 比值的降低^[24-25]。对于大多数矿物而言, He的封闭温度较低(200℃), 而氩的封闭温度较高(大于200℃)。地幔流体是一种高温流体, 温度远大于200℃。克因布拉克铜锌矿成矿流体具对地壳岩石中He优先富集的特点, 结合包裹体均一温度变化范围很大, 且在170℃低温区存在峰值^[8], 认为成矿过程中存在低温(小于200℃)流体的加入, 该流体最有可能为大气降水来源的流体。

克因布拉克铜锌矿床赋存于二长花岗岩外接触

带的上志留一下泥盆统康布铁堡组黑云石英片岩、变质石英砂岩中, 矿体呈似层状、透镜状及脉状。前人认为赋矿围岩为康布铁堡组火山岩, 矿床属火山喷流沉积型矿床^[5,9-10]。矿床的氩同位素特征与阿尔泰山缘成矿带中阿舍勒VHMS型铜锌矿床^[26]具明显的差异性, 前者与现代大气值具相似性, 而后者与现代大西洋中脊TAG热液区硫化物^[26]具可比性。矿石中石英和方解石的氢氧同位素表明, 成矿流体主要为岩浆水, 混合大气降水, 碳同位素显示地幔碳同位素特征, 硫化物硫同位素表明成矿流体中的硫来自深源岩浆或地幔, 成矿作用与花岗质岩浆期后热液活动有关^[8]。最新的研究表明, 克因布拉克成矿作用发生在早二叠世^[8,11]。矿区黑云母二长花岗岩的铍、钽同位素研究表明, 成岩物质主要来源于地壳, 幔源物质所占比例较小(课题组未发表资料)。据此排除了海水参与成矿的可能性。以上矿床及岩石同位素研究结果与本文研究的黄铁矿流体包裹体中的氦和氩同位素示踪结果一致, 表明成矿流体主要来源于高温深源壳幔混合成因的岩浆流体和具空气氩同位素组成特征的低温大气降水。

4 结论

克因布拉克铜锌矿床赋存于二长花岗岩外接触带的上志留一下泥盆统康布铁堡组黑云石英片岩、变质石英砂岩中。铜锌矿石中的黄铁矿流体包裹体的Rc/Ra值为0.95~1.89, 幔源He含量为14.1%~28.8%, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值变化于302.10~436.96, $^{40}\text{Ar}^*$ 含量为2.2%~32.4%。氦和氩同位素特征表明, 成矿流体为高温深源壳幔混合成因的岩浆流体和具空气氩同位素组成特征的低温大气降水。

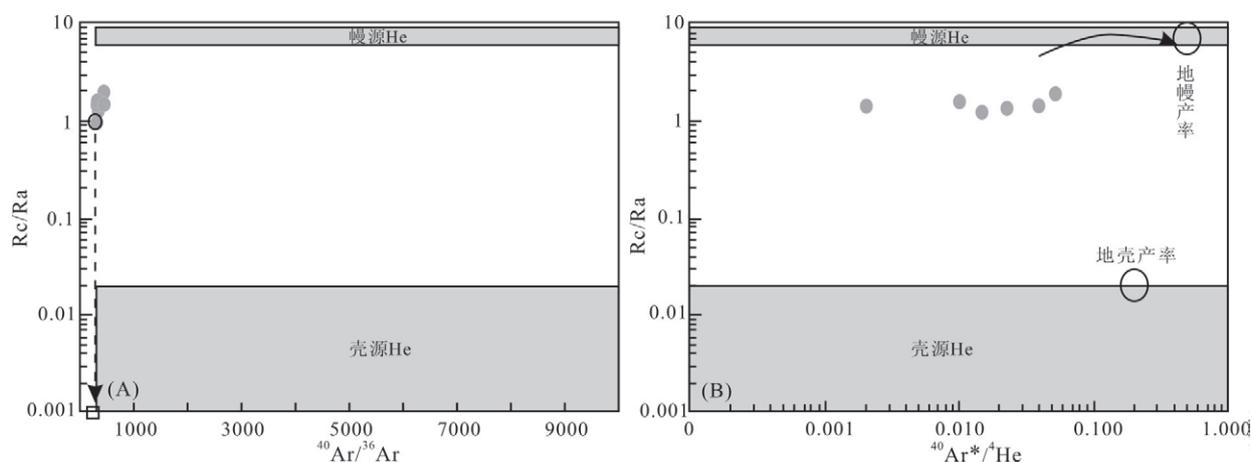


图4 克因布拉克铜锌矿床黄铁矿中流体 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ -Rc/Ra⁴⁰和 $\text{Ar}^*/^4\text{He}$ -R/Ra图
Fig.4 Plot of $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ versus Rc/Ra of the fluid in pyrite from the Keyinbulake cooper-zinc deposit
(改造型饱和和大气水据文献[18])

致谢:野外工作中得到新疆维吾尔自治区有色地质勘查局申茂德总工、有色地质勘查局物化探队和克因布拉克矿山领导和技术人员的大力支持和帮助,在此一并致以衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 李志纯,陈毓川,王京彬.“阿尔泰山构造域”的形成机制研究.中国新疆阿尔泰山地质与矿产论文集[M].北京:地质出版社,2003,12-21.
- [2] 陈毓川,叶庆同,冯京,等.阿舍勒铜锌成矿带成矿条件和成矿预测[M].北京:地质出版社,1996,1-330.
- [3] Wan B, Zhang L C, Peng X. The Ashele VMS-type Cu-Zn deposit in Xinjiang, NW China formed in a rifted arc setting[J]. Resource Geology,2010,60(2):150-164.
- [4] 高珍权,方维萱,胡瑞忠,等.新疆阿舍勒铜矿英安-玄武-安山质火山岩的地球化学特征与构造背景[J].矿床地质,2010,29(2):218-229.
- [5] 王京彬,秦克章,吴志亮,等.阿尔泰山南缘火山喷流沉积型铅锌矿床[M].北京:地质出版社,1998,1-210.
- [6] 刘敏,张作衡,王永强,等.新疆阿尔泰山大东沟铅锌矿床地质特征及稳定同位素地球化学研究[J].地质学报,2008,82(11):1504-1513.
- [7] 耿新霞,杨富全,杨建民,等.新疆阿尔泰山铁木尔特铅锌矿床稳定同位素组成特征[J].矿床地质,2010,29(6):1088-1100.
- [8] 杨富全,毛景文,刘锋,等.新疆阿尔泰山克因布拉克铜锌矿床地质特征及成矿作用[J].岩石学报,2010,26(2):316-376.
- [9] 雷宇涓.新疆布尔津县克因布拉克铜锌多金属矿床地质特征及远景分析[J].新疆有色地质(增刊),2005,16-19.
- [10] 曹积新.新疆布尔津县克因布拉克铜锌矿地质特征及成矿潜力分析[J].新疆有色地质,2010,3:26-28.
- [11] 李香仁,刘锋,杨富全.阿尔泰山克因布拉克铜锌矿区二云母正长花岗岩成岩时代及地质意义[J].新疆地质,2012,30(1):5-11.
- [12] Kendrick M A, Burgess R, Pattick R A D, et al. Fluid inclusion noble gas and halogen evidence on the origin of Cu porphyry mineralization fluids[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2001, 65(16):2651-2668.
- [13] 胡瑞忠.成矿流体氦、氩同位素地球化学[J].矿物岩石地球化学通报,1997,16(2):120-124.
- [14] 李延河,李金城,宋鹤彬,等.矿流体包裹体的氦同位素分析及地质应用[J].矿床地质,2002,21(增刊):982-985.
- [15] Baptiste P J, Fonquet Y. Abundance and isotopic composition of helium in hydrothermal sulfides from the East Pacific Rise at 13° N [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1996, 60: 87-93.
- [16] Stuart F M, Turner G, Duckworth R C, et al. Helium isotopes as tracers of trapped hydrothermal fluids in ocean floor sulfides[J]. Geology, 1994, 22: 823-826.
- [17] Mamyrin B A, Tolstikhin I N. Helium isotopes in natures[J]. Amsterdam: Elsevier, 1984, 273.
- [18] Stuart F M, Burnard P G, Taylor R P, et al. Resolving mantle and crustal contribution to ancient hydrothermal fluids: He-Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W-Mo mineralization, South Korea [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59: 4663-4673.
- [19] Hiyagon H, Ozima M, Marty B, et al. Noble gases in submarine glasses from mid-oceanic ridges and Loihi seamount: Constraints on the early history of the Earth[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1992, 56(3):1301-1316.
- [20] Allegre C J, Staudacher T, Sarda P. Rare gas systematics: formation of the atmosphere, evolution and structure of the Earth's mantle[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1986/1987, 81: 127-150.
- [21] 翟伟,孙晓明,邹云山,等.粤北瑶岭-梅子窝钨矿 He-Ar 同位素地球化学:对华南燕山期壳幔作用过程与成矿的制约[J].科学通报,2012,57(13):1137-1146.
- [22] 朱赖民,张国伟,郭波,等.华北地块南缘钼矿床黄铁矿流体包裹体氦、氩同位素体系及其对成矿动力学背景的示踪[J].科学通报,2009,54(12):1725-1735.
- [23] Dunai T J, Baur H. Helium, neon and argon systematics of the European subcontinental mantle: implications for geochemical evolution [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,1995,59:2767-2784.
- [24] Tongerson T, Kennedy B M, Hiyagon H. Argon accumulation and crustal degassing flux of Ar in the Great Artesian Basin, Australia[J]. Earth and Planetary Science Letters,1988,92:43-59.
- [25] Hu R Z, Burnard P G, Bi X W, et al. Helium and argon isotope geochemistry of alkaline intrusion-associated gold and copper deposits along the red river-Jinshajiang fault belt, SW China[J].Chemical Geology,2004, 305-317.
- [26] 张志欣,杨富全,刘锋,等.新疆阿尔泰山阿舍勒 VHMS 型铜锌矿床成矿流体的氦-氩同位素示踪[J].地质论评,2013,待刊

Helium and Argon Isotopes Tracing for Sources of Ore-forming Fluid in the Keyinbulake Copper-zinc Deposit, Southern of Altay, Xinjiang

Zhang Zhixin^{1,2}, Yang Fuquan², Jiang Guohao³, Liu Feng², Li Qiang², Geng Xinxia²

(1. Xinjiang Research Center for Mineral Resources, Xinjiang Institute of Ecology and Geography Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang, 830011, China; 2. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Land and Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China; 3. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002, China)

Abstract: The Keyinbulake copper-zinc deposit occurs as stratoid, lenticular and vein in the exocontact zones between monzogranite granite and Upper Silurian-Lower Devonian biotite quartz schist and metamorphic quartz sandstone of the Kangbutiebao Formation. In this paper, we analyzed the helium and argon isotopic composition of fluid inclusions in pyrite from chalcopyrite-sphalerite ores. The 4He content vary from $0.241 \times 10^{-7} \text{cm}^3 \text{STP/g}$ to $5.288 \times 10^{-7} \text{cm}^3 \text{STP/g}$, the Rc/Ra ratios are 0.95 to 1.89, and the helium content which is derived from mantle vary from 14.1% to 28.8%, all of these characteristics showed that the helium in ore-forming fluid mainly derived from crust, with some contribution from mantle. The ^{40}Ar content vary from $4.345 \times 10^{-8} \text{cm}^3 \text{STP/g}$ to $7.752 \times 10^{-8} \text{cm}^3 \text{STP/g}$, the $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ratios are 302.10 to 439.96, and the $^{40}\text{Ar}^*$ content vary from 2.2% to 32.4%, indicated the existence of meteoric water in ore-forming fluid, which contain radioactive argon. Combining the geological characteristic of deposit, hydrogen, carbon and sulfur isotopic characteristics of the Keyinbulake copper-zinc deposit, suggested the ore-forming fluid were a mixture between high temperature crust-mantle derived magmatic fluid and low temperature meteoric water with similar argon isotopic characteristics of atmosphere.

Key words: Altay; Keyinbulake; Helium and Argon isotope; Pyrite; Ore-forming fluid