

新疆阿尔泰萨尔朔克金多金属矿床成矿流体的 氦-氩同位素示踪

杨成栋, 杨富全

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开放实验室, 北京, 100037

萨尔朔克金多金属矿床隶属哈巴河县, 位于阿舍勒铜锌矿 NNE 向约 5.7 km, 与阿舍勒铜锌矿位于相同的构造背景上, 是一个与潜火山热液有关的矿床, 是新疆地质矿产勘查开发局物化探大队 1996 年进行“萨尔朔克 1:5000 金异常查证”时发现的小型金矿。2008 年新疆地质矿产勘查开发局第二区调大队完成了详查工作, 在深部又发现了铜铅锌矿体, 使得该矿床成为多金属矿床。由于该矿近年来才取得突破, 矿床的研究工作刚刚开始, 对于成矿流体来源示踪方面的研究显得十分薄弱。

氦-氩同位素体系由于在地壳和地幔中组成差异较大, 常被作为壳-幔相互作用过程极为灵敏的同位素示踪剂, 而黄铁矿则是保存氦的理想矿物。本文在前人研究基础上, 以萨尔朔克金多金属矿床中钴孔 (ZK8801) 岩芯及 1120 平硐中段不同成矿期的块状、脉状以及浸染状黄铁矿黄铜矿矿石为研究对象, 开展了黄铁矿的氦、氩同位素地球化学研究, 探讨了成矿流体的来源, 以期对深部找矿工作和区域成矿规律总结提供依据。

1 矿床地质特征

1.1 地层

矿区主要出露下-中泥盆统阿舍勒组 and 上泥盆统齐也组。阿舍勒组为一套中酸性火山碎屑岩和火山熔岩建造, 在矿区分为两个岩性段; 矿区仅出露上泥盆统齐也组第二岩性段, 分布于矿区西部、北部, 出露面积较大, 与上覆下石炭统红山嘴组为断层接触, 与下伏下-中泥盆统阿舍勒组角度不整合或断层接触, 为一套中基性火山熔岩、火山碎屑岩建造。

1.2 侵入岩及断裂

矿区潜火山岩及岩脉广泛分布, 其中流纹斑岩规模最大, 侵入阿舍勒组第二岩性段, 为萨尔朔克矿床的直接容矿岩石。辉绿岩和辉绿玢岩多呈脉状、不规则状、近椭圆状侵入于地层及流纹斑岩中, 规模一般较小, 多沿断裂及裂隙分布。辉绿岩和辉绿玢岩脉切穿矿体, 尽管这些岩脉中发育黄铁矿黄铜矿化, 但不具有经济价值。

矿区构造发育, 总体构造方向为北西向。矿区发育有北西向、近南北向、近东西向及北东向四组断裂, 常形成较宽的片理化带及糜棱岩化带。北西向断裂为区域上的大断裂, 具有一定规模, 形成时代早, 往往是区内重要的控矿构造。而其余断裂规模较小、延伸较短、形成时代较晚, 对区内矿化有一定的改造作用。

1.3 矿化及蚀变特征

矿体主要产于黄铁绢英岩化流纹斑岩体中及附近, 矿体大多与围岩呈渐变过渡关系。地表金矿化为主, 向下变为以金铜矿化、铜铅锌多金属矿化为主的变化趋势, 矿体品位明显变富。

按成矿元素矿石可分为金矿石、金铜矿石、铜矿石、铜锌矿石、铅锌矿石和铜铅锌矿石。矿石构造主要有块状、条带状、条纹状、斑杂状、浸染状、网脉状、细脉状、蜂窝状构造。矿石结构有自形-半自形晶粒结构、它形晶粒结构、充填结构、反应边结构、固溶体分离结构、鳞片粒状变晶结构等。矿石中金属矿物主要是黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、自然金, 少量磁黄铁矿、蓝辉铜矿、辉铜矿、辉钼矿、毒砂、斑铜矿。非金属矿物主要有石英、斜长石、绢云母、绿泥石、白云母、方解石、

注: 本文为“十二五”国家科技支撑计划项目 (编号: 2011BAB06B03-02)、国家自然科学基金项目 (编号: 41272103) 联合资助成果。

收稿日期: 2015-08-02; 改回日期: 2015-09-15; 责任编辑: 费红彩。

作者简介: 杨成栋, 男, 1987 年生。在读博士, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: ycd.198747@163.com。

次闪石等。矿石中金平均品位为 $1.24 \sim 14.5 \times 10^{-6}$ ，铜平均品位 $0.37 \sim 2.2\%$ ，铅平均品位 $0.21 \sim 2.12\%$ ，锌平均品位 $0.91 \sim 11.19\%$ （王华星等，2011）。

热液蚀变形成的矿物主要有石英、黄铁矿、绢云母、绿泥石、高岭土、绿帘石、碳酸盐，少量石榴石和磁铁矿，其中硅化、绢云母化和黄铁矿化与金铜矿化关系密切，绿帘石和绿泥石分布于中基性火山岩、潜流纹斑岩和辉绿岩内。

2 氦和氩同位素示踪成矿流体来源

2.1 氦同位素示踪

13 件黄铁矿中流体包裹体的 ^4He 含量变化范围较大，为 $(9.81 \sim 74.71) \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ STP/g}$ ， ^3He 含量为 $(0.60 \sim 16.19) \times 10^{-14} \text{ cm}^3 \text{ STP/g}$ ， $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值变化范围较大，为 $0.02 \sim 0.44 \text{ Ra}$ （Ra 为大气的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值 1.40×10^{-6} ）。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值接近但高于地壳的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值（ $0.01 \sim 0.05 \text{ Ra}$ ，Stuart et al., 1995），但明显远低于地幔流体的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值（ $6 \sim 9 \text{ Ra}$ ）。在 $^3\text{He}-^4\text{He}$ 同位素演化图解（图 1）上，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（甚至有两点处于地壳氦演化区域上），其 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值在 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ 之间，显示出明显的壳源特征。

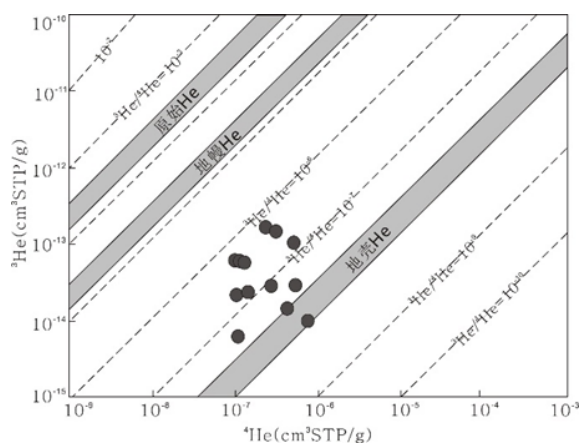


图1 萨尔朔克金多金属矿床黄铁矿中流体包裹体的 He 同位素组成（底图据 Mamyrin et al., 1984）

根据公式 $\beta = [\gamma_{\text{样品}} - \gamma_{\text{地壳}}] / [\gamma_{\text{地幔}} - \gamma_{\text{地壳}}] \times 100(\%)$ （Ballentine et al., 2002）计算壳幔二元体系的 He 含量，其中 β 为实测 He 中地幔来源的占有率， $\gamma_{\text{样}}$

为实测样品的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值， $\gamma_{\text{地壳}}$ 和 $\gamma_{\text{地幔}}$ 分别为地壳 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 的端元值 0.02 Ra 和地幔的端元值 6.5 Ra （Stuart et al., 1995），计算得样品中幔源 He 的含量为 $0.06\% \sim 7.45\%$ ，平均为 2.43% ，因此，萨尔朔克金多金属矿床成矿流体中地幔 He 的占有率非常低，表明了地壳来源为主，很少量地幔来源氦同位素混入。

2.2 氩同位素示踪

13 件黄铁矿中流体包裹体的 ^{40}Ar 含量为 $(2.95 \sim 8.25) \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ STP/g}$ ， $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值变化于 $319.6 \sim 458.5$ ，与被认为 Ar 来源于海水的大西洋中脊 TAG 热液区硫化物 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值 $287 \sim 359$ （曾志刚等，2000）具有相似性，表现出大气降水或海水的特征，同时接近大气 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ （ 295.5 ）的比值，介于地幔柱（ $296 \sim 2780$ ）（Hiyagon et al., 1992）之间，而远远低于大洋中脊玄武岩（MORB）（ $133000 \sim 25250$ ）（Allegre et al., 1986）。在 $\text{R/Ra}-^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 图上（图 2a）显示幔源流体与壳源流体两端元混合的特征。

据公式 $\varepsilon = [\delta_{\text{样品}} - 295.5] / \delta_{\text{样品}} \times 100(\%)$ 计算（Ballentine et al., 2002）放射性成因 $^{40}\text{Ar}^*$ 的含量，其中， ε 为实测 Ar 中放射性成因的占有率， $\delta_{\text{样品}}$ 为实测样品的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值。计算得样品中放射性成因 $^{40}\text{Ar}^*$ 含量为 $7.53\% \sim 35.55\%$ ，平均为 23.16% ，因此，大气 Ar 的贡献为 $64.45\% \sim 92.47\%$ ，平均为 76.84% ，表明了成矿流体中大气饱和和水参与成矿作用明显。大气饱和和水包括大气降水和海水，考虑到流纹斑岩是阿舍勒组海相火山岩的潜火山岩相，大气降水不大可能参与成矿作用，故该参与成矿作用的大气饱和和水应是深循环的海水。

$^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}$ 比值为 $0.005 \sim 0.104$ ，平均为 0.053 ，与地壳流体的 $^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}$ 比值 0.156 （Stuart et al., 1995；胡瑞忠，1997）较为接近，而与地幔流体的 $^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}$ 比值 $0.33 \sim 0.56$ （Dunai et al., 1995）相差较远，在 $^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}-\text{R/Ra}$ 图解中（图 2b）位于地壳 He 和地幔 He 之间但靠近地壳 He 一侧。

综上所述，萨尔朔克金多金属矿黄铁矿流体包裹体中的 He、Ar 同位素特征表明，矿床的成矿流体主要来源于壳源的岩浆流体和深循环海水。

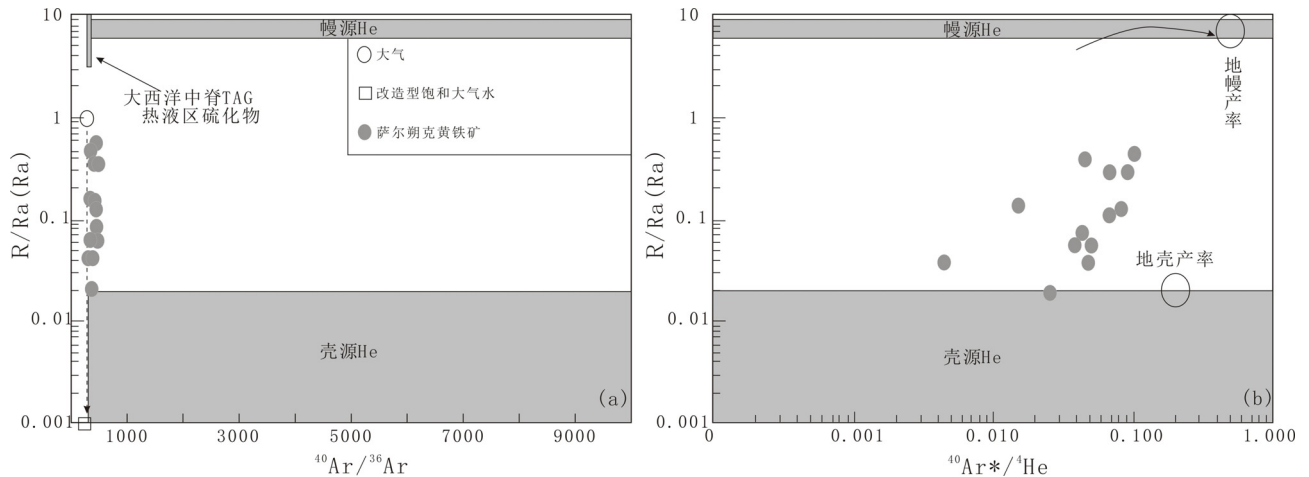


图 2 萨尔朔克金多金属矿床黄铁矿中流体 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - R/R_a (图 a) 和 $^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}$ - R/R_a (图 b) 关系图解 (改造型饱和和大气水据 Stuart et al., 1995; 大西洋中脊 TAG 热液区硫化物据曾志刚等, 2000; 底图据翟伟等, 2012)

参 考 文 献 / References

- 曾志刚, 秦蕴珊, 崔世奎. 2000. 大西洋中脊 TAG 热液区硫化物中流体包裹体的 He-Ne-Ar 同位素组成. 中国科学(D 辑), 30(6): 628~633.
- 胡瑞忠. 1997. 成矿流体氦、氩同位素地球化学. 矿物岩石地球化学通报, 16(2): 120~124.
- 王华星, 何建喜, 张为, 周晓飞, 吴敬新, 谢宗仁, 姚磊. 2011. 新疆哈密巴河县萨尔朔克金多金属矿资源储量核实报告. 1~124.
- 翟伟, 孙晓明, 郭云山, 孙岩岩, 华仁民, 叶先仁. 2012. 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. 科学通报, 57(13): 1137~1146.##
- Allegre C J, Staudacher T, Sarda P. 1986/1987. Rare gas systematics: formation of the atmosphere, evolution and structure of the Earth's mantle. Earth and Planetary Science Letters, 81: 127~150.
- Ballentine C J, Burnard P G. 2002. Production, release and transport for noble gases in the continental crust. Review Mineral Geochemical, 47: 481~538.
- Dunai T J, Baur H. 1995. Helium, neon and argon systematics of the European subcontinental mantle: implications for geochemical evolution. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59: 2767~2784.
- Hiyagon H, Ozima M, Marty B, Zashu S, Sakai H. 1992. Noble gases in submarine glasses from mid-oceanic ridges and Loihi seamount: Constraints on the early history of the Earth. Geochimica et Cosmochimica Acta, 56(3): 1301~1316.
- Mamyrin B A, Tolstikhin I N. 1984. Helium isotopes in nature. Amsterdam: Elsevier, 273.
- Stuart F M, Burnard P G, Taylor R P, Turner G. 1995. Resolving mantle and crustal contribution to ancient hydrothermal fluids: He-Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W-Mo mineralization, South Korea. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59: 4663~4673.