

DOI :10.3969/j.issn.1009-0622.2017.02.001

广西大瑶山社垌钨多金属矿床 He-Ar、H-O 同位素特征及其地质意义

方贵聪¹, 康志强¹, 冯佐海¹, 付伟¹, 蒋兴洲²

(1. 桂林理工大学 地球科学学院 广西隐伏金属矿产勘查重点实验室 广西 桂林 541004 2. 广西遥感中心 广西 南宁 530023)

摘 要 社垌钨多金属矿床位于大瑶山隆起区东南部,是近年来发现并受到广泛关注的大型矿床,目前对其成矿流体来源,尤其是否存在壳幔相互作用机制尚缺乏深入认识。通过对矿区流体包裹体 He-Ar、H-O 同位素的研究,结果显示,矿区斑岩型铜矿的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 为 0.7~1.46 Ra, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 为 294.02~316.96; 石英脉-夕卡岩型钨钼矿 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 为 0.46~0.67 Ra, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 为 303.83~388.62。成矿流体 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 介于 -84‰~-61‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 -0.48‰~5.09‰,表明石英脉-夕卡岩型钨钼矿和斑岩型铜矿成矿流体主要为岩浆水,成矿后期有较多大气饱和水的混入,成矿过程均有不同程度的幔源流体参与,前者的成矿流体幔源 He 含量为 10.7%~15.5%,后者成矿流体幔源 He 含量达 16.3%~33.9%。幔源流体加入是由矿床所处的大地构造背景所决定的,石英脉型钨钼成矿幔源流体的加入是由于扬子板块和华夏板块于加里东晚期发生碰撞导致地幔物质上涌而产生,斑岩铜矿地幔流体的混入则因为燕山晚期大陆边缘持续伸展、钦杭结合带较为薄弱而产生强烈壳幔相互作用而形成。

关键词 He-Ar 同位素; H-O 同位素; 成矿流体; 大瑶山隆起; 社垌钨多金属矿床; 斑岩铜矿

中图分类号 P618.67

文献标识码 A

0 引言

广西大瑶山隆起区曾以盛产金矿而闻名,但近年来该区发现的社垌钨多金属矿床^[1]、大河钨多金属矿床^[2]、大黎斑岩型铜-钼矿床^[3]、圆珠顶斑岩型铜钼矿床^[4]等矿床受到了广泛关注,也转变了地质工作者主攻金矿的传统找矿思路。社垌钨多金属矿床位于大瑶山隆起区东南部,于 2011 年由广西地球物理勘察院勘查发现,其钨资源量达大型,钼资源量达中型,铜资源量为小型。前人对该矿床的成岩成矿年龄^[1,5-7]、成矿流体特征及演化^[8]、岩体地球化学^[9-10]、区域成矿规律和成矿系列^[11]等开展过研究并取得较多的新成果。然而,对成矿流体来源的认识尚有待加深,研究表明^[9],矿区与钨钼矿化有关的花岗闪长(斑)岩为 I 型花岗岩,具有壳幔混源型岩浆的特点,但对于成矿过程是否也存在壳幔相互作用仍缺乏研究。本文对该矿床的成矿流体包裹体开展 He-Ar、H-O 同位素测试,探讨成矿流体来源及成矿机制。

1 矿床地质特征

社垌钨多金属矿床位于大瑶山隆起带东南部(图 1),区内出露地层为寒武系黄口洞组下段(Ch^1),为一套浅海相类复理石砂泥质岩沉积,岩性主要为粉-细砂岩,与页岩、炭质页岩互层,局部夹灰岩,是形成夕卡岩矿床的物质基础。

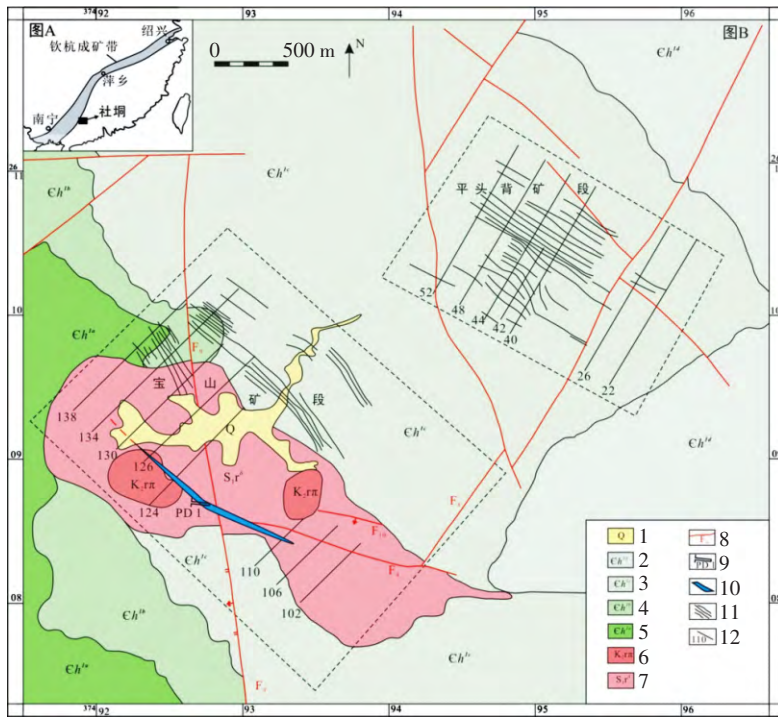
矿区位于凭祥—大黎深大断裂的南侧,古龙复式背斜东翼和烈村复式向斜西翼,构造主体在加里东期形成,断层主要有 NW 向(F_4 、 F_{10})、近 SN 向(F_9)和 NE 向(F_8)三组。从切割关系看, NW 向组断层形成最早,而近 SN 向断层形成最晚,切割其他所有断层构造线。 F_4 断层为宝山矿段斑岩型铜矿的控矿构造,切割早志留纪花岗岩闪长岩体,并明显制约着晚白垩纪隐伏石英斑岩体产状。

矿区主要出露社山复式岩体,呈岩株状侵入于寒武系黄口洞组下段中,主要由花岗闪长(斑)岩组成,在西南部的宝山矿段出露,呈北西向延伸,长约

收稿日期: 2016-10-08

资助项目: 广西自然科学基金青年基金(2015GXNSFBA139205); 国家自然科学基金项目(41162005、41572191); 广西自然科学基金(2014GXNSFAA118304); 广西找矿突破战略行动地质矿产勘查项目(桂国土资函[2014]459 号)

作者简介: 方贵聪(1985—),男,广西南宁人,博士,主要从事矿床成矿规律研究。



1—第四系 2—黄洞口组下段 d 段 3—黄洞口组下段 c 段 4—黄洞口组下段 b 段 5—黄洞口组下段 a 段 6—晚白垩纪花岗斑岩；
7—早志留纪花岗闪长岩 8—断层及其编号 9—平硐及其编号 10—斑岩型铜矿体 11—石英脉—夕卡岩型钨钼矿带 12—勘探线
及其编号 13—He-Ar 样品采集位置

图 1 社垌钨多金属矿床地质图^[12]

Fig.1 Geologic map of Shedong W-polymetallic deposit

3.2 km, 宽约 1 km, 在东北部的平头背矿段则隐伏, 岩体形成于 432~435 Ma^[1]。社山岩体被后期的花岗斑岩和石英斑岩侵入。其中, 两个花岗斑岩呈岩瘤状, 出露面积分别 0.15 km² 和 0.09 km², 形成于 91 Ma^[1], 在矿区钻孔 ZK1108 中可见花岗斑岩与花岗闪长岩接触面具冷凝边, 亦指示花岗斑岩侵入于花岗闪长岩。石英斑岩沿 F₄ 断裂侵入, 呈小型岩筒状, 未出露地表, 形成于 94 Ma^[7], 与斑岩型铜矿化密切相关。

矿区发育两套矿化类型, 一套是与加里东期花岗闪长(斑)岩有成因联系的石英脉—夕卡岩型钨钼

矿化, 另一套是与燕山晚期石英斑岩有关的斑岩型铜矿化。前者在宝山和平头背矿段均有发育, 主要围绕花岗闪长(斑)岩内外接触带发育, 由密集的矿化石英细脉或矿化夕卡岩组成, 走向北西, 倾向北东或南西, 倾角一般 60°~80°, 平头背矿段以花岗闪长(斑)岩为支点, 北东侧和南西侧的矿脉相向产出呈放射状, 该套矿化的金属矿物以白钨矿、辉钼矿、黄铁矿、磁黄铁矿为主, 少量方铅矿、铁闪锌矿、黄铜矿等(图 2(a)(b))。后者发育于宝山矿段的石英斑岩内外接触带中, 斑岩体及其围岩中均有矿化, 呈网—

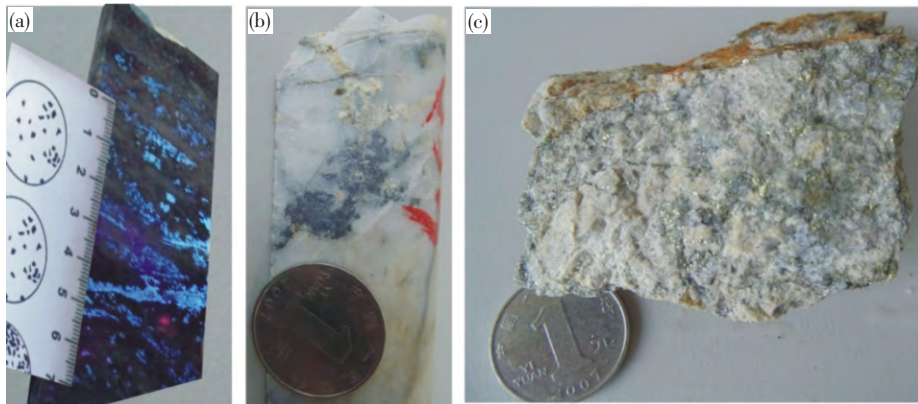


图 2 社垌矿区与花岗闪长(斑)岩有关的石英脉—夕卡岩型钨钼矿化(a、b)和与石英斑岩有关的斑岩型铜矿化(c)

Fig.2 The quartz-skar type W-Mo mineralization related to granodiorite(-porphyry) and and porphyry Cu mineralization related to quartz

细脉浸染状产出,与石英斑岩紧密相伴,有研究^[6,10]认为斑岩铜矿与花岗斑岩有关,但此特征反映与铜矿化存在密切关系的应该是石英斑岩。其主要金属矿物为黄铜矿、黄铁矿,偶见磁黄铁矿,与围岩接触带上可见绢云母化、萤石化、黄铁矿化、硅化、钾长石化、碳酸盐化等热液蚀变(图 2(c))。

2 样品采集、分析方法及结果

用于 He-Ar 同位素测试的黄铜矿、黄铁矿样品采自宝山矿段和平头背两个矿段,其中 14BS-12、14BS-13 采于斑岩型铜矿,ZK1102-109、ZK4210-187 采于石英脉型钨钼多金属矿(表 1)。用于 H-O 同位素测试的石英样品共 12 件,其中 8 件采于宝山矿段的石英脉型钨钼多金属矿,4 件采于平头背矿段的石英脉型钨钼矿。

样品测试均在中国地质科学院矿产资源研究所成矿作用与资源评价重点实验室完成。

He-Ar 同位素测试采用 Helix SFT 稀有气体质谱仪测试,系统由压碎、纯化和质谱系统组成。测试在高真空中完成,压碎和纯化系统真空 $n\times10^{-9}$ mbar,质谱系统真空在 $n\times10^{-10}$ mbar。质谱离子源采用 Nier,灵敏度对 He 在 800 μ A 阱电流时好于 2×10^{-4} amps/Torr,对 Ar 在 200 μ A 阱电流时好于 1×10^{-3} amps/Torr。 ^{40}Ar 静态上升率小于 1×10^{-12} cm³ SPT/min, ^{36}Ar 本底小于 5×10^{-14} cm³ SPT。法拉第杯分辨率>400,离子计数器分辨率>700,可将 ^3He 与 ^4He 、HD+H₃与 ^3He 峰完全分开。He-Ar 同位素测试结果见表 2。

氧同位素测试采样氟化法。将采集的钨矿石英脉样品破碎、过筛,保留 0.014 8~0.029 6 mm 颗粒,然后在实体显微镜下挑选纯石英,纯度达 98 %以上,再碾磨至 0.074 mm,样品经进一步酸溶、清洗、去除微量碳酸盐矿物等杂质。选取约 12 mg 石英粉末平放入烘箱 12 h 之后,在 550 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,置于纯镍管中与 BrF₅ 反应 6 h。产物 O₂ 在 700 $^{\circ}\text{C}$ 下与炭棒反应形成 CO₂,液氮收集 CO₂,在 MAT-253EM 气体质谱仪上测试,精度为 $\pm 0.1\text{‰}$ 。反应的另一产物 SiF₄经过多级纯化后用液氮收集,在 MAT-253EM 气体质谱仪上测试,精度为 $\pm 0.1\text{‰}$ 。所有氧同位素测量结果用相对于国际标准 V-SMOW 的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 表示:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}=[(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{样}}/(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{V-SMOW}}-1]\times 1\,000\text{‰}$$

氢同位素分析采用爆裂法。将采集的钨矿石英脉样品破碎、过筛,保留 0.0148~0.0222 mm 颗粒,然后在实体显微镜下挑选纯石英,纯度达 98 %以上,其测试程序为:加热石英包裹体样品使其爆裂,释放挥发分,提取水蒸气,然后在 400 $^{\circ}\text{C}$ 条件下使水与锌反应产生氢气,再用液氮冷冻后,收集到有活性炭的样品瓶中以备 MAT-253EM 质谱分析,分析精度 2.0 ‰ 。

流体的 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 值直接测定获得, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值通过石英-水氧同位素分馏方程计算:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}=\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}-(3.38\times10^6/T^2-2.9)$$

其中, T 为经压力校正后的流体包裹体均一温度(以开尔文温度进行计算)。石英中的流体包裹体水 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 和计算的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值代表了石英圈闭时成

表 1 He-Ar 同位素测试样品采集位置及样品特征

Tab.1 Characteristics and location of samples for He-Ar isotopic analysis

样品编号	采样位置	样品特征	测试矿物
14BS-12	宝山矿段的斑岩型铜矿	石英斑岩中的细脉浸染状矿石,主要金属矿物为黄铜矿、黄铁矿	黄铜矿
14BS-13	宝山矿段的斑岩型铜矿	石英斑岩中的细脉浸染状矿石,主要金属矿物为黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿	黄铜矿
ZK1102-109	宝山矿段的石英脉型钨钼多金属矿	与花岗闪长岩有关的矿化石英细脉,主要金属矿物为白钨矿、辉钼矿、黄铁矿等	黄铁矿
ZK4210-187	平头背矿段的石英脉型钨钼多金属矿	与花岗闪长斑岩有关的矿化石英细脉,主要金属矿物为白钨矿、辉钼矿、黄铁矿等	黄铁矿

表 2 社垌钨多金属矿床黄铜矿和黄铁矿 He-Ar 同位素组成

Tab.2 Isotopic components of He-Ar of chalcopyrite and pyrite from Shedong W-polymetallic deposit

样号	样品名称	含量/(ccSTP·g ⁻¹)					转正值				
		$^3\text{He}(\times 10^{-15})$	$^4\text{He}(\times 10^{-9})$	$^{40}\text{Ar}(\times 10^{-9})$	$^{36}\text{Ar}(\times 10^{-9})$	$^{40}\text{Ar}^*(\times 10^{-9})$	$^3\text{He}/^4\text{He}(\times 10^{-6})$	R/Ra	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	$^{36}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}$
14BS-12	黄铜矿	261.69	128.27	156.69	0.49	10.61	2.04	1.46	316.96	5.27	0.08
14BS-13	黄铜矿	224.04	227.06	161.67	0.55	-0.82	0.99	0.70	294.02	5.32	0.00
ZK1102-109	黄铁矿	113.76	175.04	58.07	0.15	13.91	0.65	0.46	388.62	5.34	0.08
ZK4210-187	黄铁矿	46.50	49.40	21.34	0.07	0.58	0.94	0.67	303.83	6.68	0.01

注: $^{40}\text{Ar}^*$ 为经过大气校正的放射性成因的 ^{40}Ar ; $^{40}\text{Ar}^*=\frac{^{36}\text{Ar}}{^{40}\text{Ar}}\times\frac{^{40}\text{Ar}}{^{36}\text{Ar}}\times 295(5)$ ^[20], $R=\frac{^3\text{He}}{^4\text{He}}$, $\text{Ra}=1.4\times10^{-6}$ 。http://www.cnki.net

矿流体的氢、氧同位素组成(表 3)。

表 3 社垌矿区的石英脉型钨钼多金属矿氢氧同位素特征

Tab.3 Hydrogen and oxygen isotopic characteristics of quartz vein type W-Mo-polymetallic orebodies in Shedong deposit

样号	采样位置	测试矿物	$\delta D_{V-SMOW}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{V-SMOW}/\text{‰}$	T/℃	$\delta^{18}O/\text{‰}$
ZK1303-44	1	石英	-81	12.1	305	4.89
ZK1303-64	1	石英	-72	12.3	305	5.09
ZK13011-209	1	石英	-73	10.9	318	4.13
ZK4210-157	2	石英	-79	11.2	278	2.98
ZK4210-171	2	石英	-84	10.8	255	1.58
ZK4210-173	2	石英	-82	11	281	2.89
ZK4210-183	2	石英	-75	10.7	262	1.80
ZK1102-50	1	石英	-79	10.9	238	0.86
ZK1102-55	1	石英	-67	11	238	0.96
ZK28805-311	1	石英	-83	12.8	277	4.53
ZK29205-301	1	石英	-77	11.4	238	1.36
ZK29205-332	1	石英	-61	11.1	210	-0.48

注: 1—宝山矿段的石英脉型钨钼多金属矿; 2—平头背矿段的石英脉型钨钼多金属矿。

3 讨论

3.1 幔源流体的贡献

氢、氦同位素对示踪地壳现代流体中是否有幔源组分加入十分灵敏,是研究成矿流体的成因及演化历史的良好示踪剂^[13]。尤其是氦,由于地壳富含放射成因的⁴He,具有较低的³He/⁴He值,地幔物质富含原始³He,具有较高的³He/⁴He值,两者间的差异高达1000倍,因此地壳流体中即使加入的幔源氦很少,³He/⁴He也具明显的指示作用^[14-15]。热液流体He、Ar同位素主要有大气饱和水、地幔流体和地壳流体3种来源,且不同来源的He、Ar同位素组成及其特征比值具有明显差别^[14,16]。(1)大气饱和水³He/⁴He=1 Ra(Ra=1.4×10⁻⁶),⁴⁰Ar/³⁶Ar=295.5,³⁸Ar/³⁶Ar=0.1880;(2)深源地幔流体,以高³He为特征,³He/⁴He一般为6~9 Ra,Ar以放射性⁴⁰Ar为主,⁴⁰Ar/³⁶Ar>40000;(3)地壳流体(包括建造水或盆地热卤水),³He/⁴He介于0.01~0.05 Ra之间,⁴⁰Ar/³⁶Ar>295.5。

社垌矿区流体的³He/⁴He为0.46~1.46 Ra,平均值0.82 Ra,明显高于地壳流体(0.01~0.05 Ra)而低于大气饱和水(1 Ra)和地幔流体(6~9 Ra)。由于氦在大气中的含量极低,不足以对地壳流体中He的丰度和同位素组成产生明显影响,成矿流体中的He通常来自地壳和地幔两大源区^[17],表明不管是矿区的斑岩型铜矿还是石英脉型钨钼矿,成矿流体不

仅有壳源He,也有幔源He,但前者的³He/⁴He为0.7~1.46 Ra略高于后者(0.46~0.67 Ra)(图3),表明斑岩型铜矿成矿流体的幔源成分高于石英脉型钨钼矿。社垌矿床成矿流体的⁴He含量为(49.4~227.06)×10⁻⁹ ccSTP/g,虽然样品在形成后会产生一定量的次生放射性⁴He或宇宙成因的⁴He,这些⁴He在压碎时即使也被释放出来,但社垌矿床成矿流体的⁴He含量大大高于1×10⁻⁹ ccSTP/g,因此次生放射性⁴He或宇宙成因的⁴He可以忽略不计^[18]。

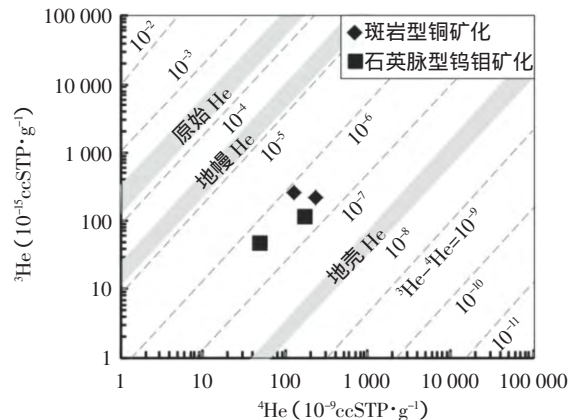


图 3 社垌钨多金属矿床成矿流体包裹体的³He-⁴He图解

Fig.3 ³He-⁴He diagram of ore-forming fluid inclusion in Shedong W-polymetallic deposit

如前所述,深源地幔流体Ar以放射性⁴⁰Ar为主,⁴⁰Ar/³⁶Ar>40000。斑岩型铜矿的⁴⁰Ar/³⁶Ar为294.02~316.96,石英脉型钨钼的⁴⁰Ar/³⁶Ar为303.83~388.62,均大于4000,在R/Ra-⁴⁰Ar/³⁶Ar图解(图4)和R/Ra-⁴⁰Ar/³⁶He图解(图5)中,均落于地壳流体与地幔流体之间,表明了无论是与燕山晚期石英斑岩有关的斑岩型铜矿,还是与加里东期花岗

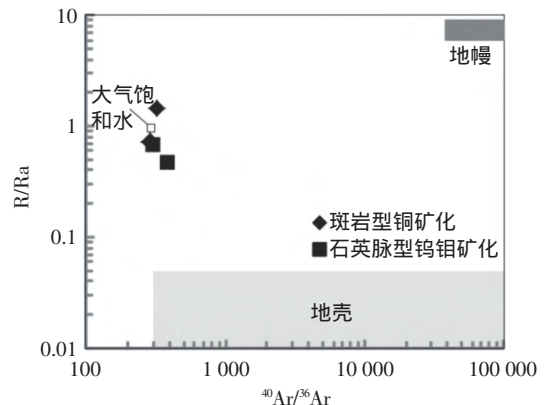


图 4 社垌钨多金属矿床成矿流体包裹体的R/Ra-⁴⁰Ar/³⁶Ar图解

Fig.4 R/Ra-⁴⁰Ar/³⁶Ar diagram of ore-forming fluid inclusion in Shedong W-polymetallic deposit

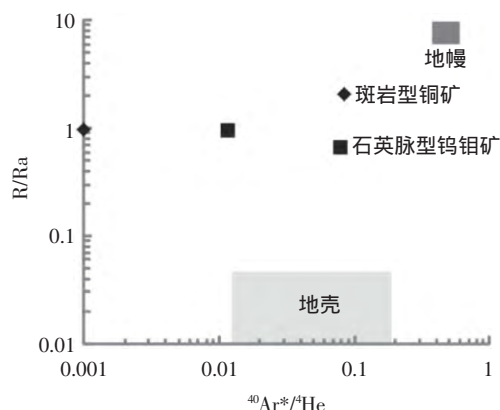


图5 社垌钨多金属矿床成矿流体包裹体的 $R/Ra-^{40}Ar^{*}/^{4}He$ 图解

Fig.5 $R/Ra-^{40}Ar^{*}/^{4}He$ diagram of ore-forming fluid inclusion in Shedong W-polymetallic deposit

闪长(斑)岩有关的石英脉型钨钼矿,其成矿流体既有壳源,亦有幔源,而总体上斑岩型铜矿的样品相对于石英脉型钨钼矿更偏向地幔方向。

根据简单二元混合模式,应用以下公式^[19-20]可计算成矿流体中幔源 He 所占比例:

$$\text{地幔 He} = [(R - R_c) / (R_m - R_c)] \times 100\%$$

其中 R 、 R_c 和 R_m 分别代表样品、地壳流体和地幔流体的 $^3He/^4He$ 值, R_c 和 R_m 分别取 0.01 Ra 和 6 Ra。结果显示,斑岩型铜矿成矿流体幔源 He 含量达 16.3%~33.9%,而石英脉型钨钼矿成矿流体幔源 He 含量为 10.7%~15.5%。

社垌钨多金属矿床位于钦杭成矿带西南端,该成矿带可能是扬子板块和华夏板块在新元古时的一条板块碰撞带,随后被古生代沉积所掩盖,于加里东-印支-燕山期多次开合,成为地幔物质上涌加入地壳的一条重要通道^[21]。在志留纪,该成矿带发生了强烈的花岗岩浆活动,岩浆峰期为 430~400 Ma。135 Ma 之后,中国大陆乃至东亚大陆边缘处于持续伸展阶段, Izanagi 板块由斜向俯冲调整到平行大陆边缘沿 NE 方向走滑,造成大陆岩石圈大规模伸展与成矿^[22]。这一期成矿作用在钦杭带仅仅出现在西南段的云开-大瑶山地区,此地区属于中国东部大陆边缘成矿的一部分,沿钦杭结合带,是具有“伤疤”的薄弱地带,壳幔相互作用强烈,成岩成矿不仅强度大,而且出现多样性,各种类型矿产巨量聚集^[23]。

社垌矿区的石英脉型钨钼矿形成于 438 Ma,与成矿有关的花岗闪长岩形成于 436~432 Ma^[1],为 I 型花岗岩,具有壳幔混合花岗岩的特点,是陆内造山带碰撞早期挤压背景下岩浆活动的产物。斑岩铜矿产在石英斑岩体中,岩体形成于 95 Ma,为碰撞后伸

展环境的板内花岗岩^[9]。可见,大瑶山社垌矿区成矿流体中的幔源流体加入是由其所处的大地构造背景所决定的,与钦杭成矿带西南端的大背景相吻合。石英脉型钨钼矿成矿作用是扬子板块和华夏板块于加里东晚期发生碰撞,导致地幔物质上涌并与地壳重熔物质形成混合岩浆并逐渐演化的产物。斑岩铜矿则是燕山晚期大陆边缘持续伸展、沿钦杭结合带较为薄弱而产生强烈壳幔相互作用而形成。

3.2 大气降水的混入

表 3 显示,社垌矿区的石英脉型钨钼多金属矿成矿流体 δD_{V-SMOW} 介于 -84‰~-61‰, $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 -0.48‰~5.09‰。在氢-氧同位素图解(图 6)上,所测样品均分布在岩浆水区的左下方,向岩浆水区靠近,表明成矿流体主要来自岩浆水,这与石英脉型钨钼多金属矿体发育在社山加里东期花岗闪长(斑)岩体接触带上的事实吻合。但是,样品的氢氧同位素值并未落在岩浆水区内,而是向大气降水方向漂移,指示成矿流体并非全部为岩浆水,还有部分来自大气降水,与张志强等^[8]对矿区成矿流体特征的分析结果相符,其认为, I 阶段落入典型的岩浆水区, II 阶段大部分处于典型岩浆水区,但有向大气降水区过渡的趋势,而 III、IV 阶段则落入岩浆水与大气降水混合区,即发生了明显的“氧飘逸”,产生这种现象的原因可能是由于在成矿阶段后期大气降水的加入导致。

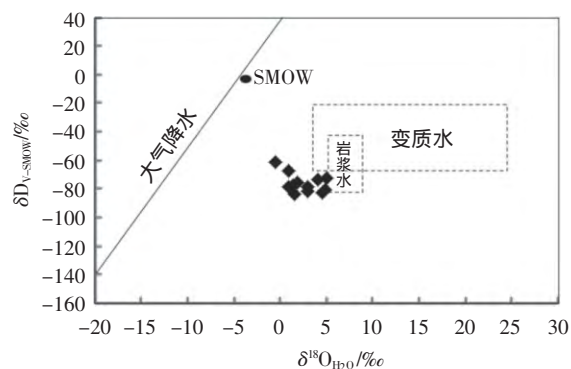


图6 社垌矿区的石英脉型钨钼多金属矿成矿流体氢氧同位素图解

Fig.6 Diagram of hydrogen and oxygen isotopes of quartz vein type W-Mo-polymetallic orebodies in Shedong deposit

其实,在 $R/Ra-^{40}Ar^{*}/^{36}Ar$ 图解(图 3)中,矿区样品均是落于地壳流体与地幔流体之间,非常靠近大气饱和水,也表明了虽然斑岩型铜矿的成矿流体主要来自岩浆,但尚有地幔流体及较多大气饱和水的混入。

4 结 论

(1) 大瑶山社垌矿区发育两套不同成因的矿化

类型,一套是与加里东期花岗闪长(斑)岩有关的石英脉-夕卡岩型钨钼矿,另一套是与燕山晚期石英斑岩有关的斑岩型铜矿。

(2) 社垌矿区石英脉-夕卡岩型钨钼矿和斑岩型铜矿成矿流体主要为岩浆水,成矿后期有较多大气饱和水的混入,成矿过程均有不同程度的幔源流体参与,前者的成矿流体幔源 He 含量为 10.7%~15.5%,后者成矿流体幔源 He 含量达 16.3%~33.9%。

(3) 社垌矿区成矿流体中的幔源流体加入是由其所处的大地构造背景所决定的,与钦杭成矿带西南端的大背景相吻合。石英脉型钨钼矿成矿作用是扬子板块和华夏板块于加里东晚期发生碰撞,导致地幔物质上涌并与地壳重熔物质形成混合岩浆并逐渐演化的产物。斑岩铜矿则是燕山晚期大陆边缘持续伸展、沿钦杭结合带较为薄弱而产生强烈壳幔相互作用而形成。

参考文献:

- [1] 陈懋弘,莫次生,黄智忠,等.广西苍梧县社垌钨钼矿床花岗岩类锆石 LA-ICP-MS 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(6): 963-978.
CHEN Maohong, MO Cisheng, HUANG Zhizhong, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages of granitoid rocks and molybdenite Re-Os age of Shedong W-Mo deposit in Cangwu County of Guangxi and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 2011, 30(6): 963-978.
- [2] 周卫红. 苍梧大河矿区钨矿规模冲刺“大型”[N]. 中国矿业报, 2014-10-14(A03).
- [3] 胡升奇,周国发,彭松柏,等.广西大黎铜钼矿石英二长(斑)岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 地球学报, 2012, 33(1): 23-27.
HU Shengqi, ZHOU Guofa, PENG Songbai, et al. Chronology and geochemical characteristics of quartz monzonite (porphyry) in the Dali copper-molybdenum deposit and its geological significance[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2012, 33(1): 23-27.
- [4] 陈富文,李华芹,王登红,等.粤西圆珠顶斑岩型铜钼矿床成矿地质特征及成岩成矿作用年代学研究[J]. 地质学报, 2012, 86(8): 1298-1305.
CHEN Fuwen, LI Huaqin, WANG Denghong, et al. Geological characteristics and diagenetic-metallogenic chronological study of the Yuanzhuding porphyry Cu-Mo deposit, western Guangdong Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(8): 1298-1305.
- [5] 李巍,毕诗健,杨振,等.桂东大瑶山南缘社山花岗闪长岩的锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素特征:对区内加里东期成岩成矿作用的制约[J]. 中国地质大学学报, 2015, 40(1): 17-33.
LI Wei, BI Shijian, YANG Zhen, et al. Zircon U-Pb age and Hf isotope characterization of Sheshan Granodiorite in southern edge of Dayaoshan, Guangdong: Constraints on Caledonian diagenesis and mineralization[J]. Journal of China University of Geoscience, 2015, 40(1): 17-33.
- [6] 毕诗健,杨振,李巍,等.钦杭成矿带大瑶山地区晚白垩世斑岩型铜矿床:锆石 U-Pb 定年及 Hf 同位素制约[J]. 地球科学, 2015, 40(9): 1458-1479.
BI Shijian, YANG Zhen, LI Wei, et al. Discovery of late cretaceous Baoshan porphyry copper deposit in Dayaoshan, Qinhang metallogenic belt: constraints from zircon U-Pb age and Hf isotope[J]. Earth Science, 2015, 40(9): 1458-1479.
- [7] 蒋兴洲,康志强,许继峰,等.广西大瑶山隆起宝山铜矿斑岩体锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 桂林理工大学学报, 2015, 35(4): 766-773.
JIANG Xingzhou, KANG Zhiqiang, XU Jifeng, et al. Zircon U-Pb dating of porphyry from baoshan copper deposit of dayaoshan uplift area in Guangxi[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2015, 35(4): 766-773.
- [8] 张志强,陈懋弘,莫建明,等.广西苍梧社垌石英脉型钨钼多金属矿床流体演化及来源示踪[J]. 岩石学报, 2014, 30(1): 281-291.
ZHANG Zhiqiang, CHEN Maohong, MO Jianming, et al. Evolution and source tracing of the Shedong quartz vein type scheelite-molybdenite polymetallic deposit in Cangwu County, Guangxi[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(1): 281-291.
- [9] 陈懋弘,黄智忠,李斌,等.广西苍梧社垌钨钼矿床花岗岩类岩石的地球化学特征及其与成矿关系[J]. 岩石学报, 2012, 28(1): 199-212.
CHEN Maohong, HUANG Zhizhong, LI Bin, et al. Geochemistry of granitoid rocks of Shedong W-Mo deposit district in Cangwu County, Guangxi and its relation to mineralization[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(1): 199-212.
- [10] 李巍,韦有福,廖开立,等.桂东大瑶山宝山斑岩铜矿床花岗岩地球化学特征及其与成矿的关系[J]. 华南地质与矿产, 2014, 30(2): 88-98.
LI Wei, WEI Youfu, LIAO Kaili, et al. Geochemical characteristics of granite porphyry and its relationship with mineralization in Baoshan porphyry copper deposit, Dayaoshan, Eastern Guangxi[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2014, 30(2): 88-98.
- [11] 陈懋弘,李忠阳,李青,等.初论广西大瑶山地区多期次花岗岩岩浆活动与成矿系列[J]. 地学前缘, 2015, 22(2): 41-53.
CHEN Maohong, LI Zhongyang, LI Qing, et al. A preliminary study of multi-stage granitoids and related metallogenic series in Dayaoshan area of Guangxi, China[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(2): 41-53.
- [12] 黄智忠,廖海志,区朝辉.广西苍梧县社垌矿区铜铅锌矿详查阶段性总结报告[R]. 梧州: 广西壮族自治区地球物理勘察院, 2014.
- [13] LUPTON J E. Terrestrial inert gases-Isotope tracer studies and clues to primordial components in the mantle[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1983, 11: 371-414.
- [14] STUART F M, BURNARD P G, TAYLOR R P, et al. Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluids: He-Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W-Mo mineralisation, South Korea[J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 1995, 59(22): 4663-4673.
- [15] HU R Z, BI X W, JIANG G H, et al. Mantle-derived noble gases in ore-forming fluids of the granite-related Yaogangxian tungsten

- deposit, Southeastern China [J]. Mineralium Deposita 2012 47 (6) 623–632.
- [16] BURNARD P G, HU R, TURNER G et al. Mantle crustal and atmospheric noble gases in Ailaoshan gold deposits, Yunnan Province, China [J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 1999 63 (10) :1595–1604.
- [17] HU R Z, BURNARD P, 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 203(3) 305–317.
- [18] GAUTHERON C, MOREIRA M, ALLEGRE C. He, Ne and Ar composition of the European lithospheric mantle [J]. Chemical Geology 2005 217(1/2) 97–112.
- [19] KENDRICK M A, BURGESS R, PATTRICK R A D et al. Fluid inclusion noble gas and halogen evidence on the origin of Cu–Porphyry mineralising fluids [J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta 2001 65(16) 2651–2668.
- [20] 蔡明海,彭振安,长尾敬介,等. 广西富贺钟钨锡多金属矿集区稀有气体同位素特征及其地质意义[J]. 地球学报 2013 34(3) : 287–294.
- CAI Minghai, PENG Zhenan, NAGAO K et al. Isotopic characteristics of noble gases of the Fuchuan–Hezhou–Zhongshan W–Sn–polymetallic ore concentration area in northeastern Guangxi and their geological significance [J]. Acta Geoscientica Sinica 34(3) : 287–294.
- [21] 洪大卫,谢锡林,张季生. 试析杭州—诸广山—花山高 ϵ_{Nd} 值花岗岩带的地质意义[J]. 地质通报 2002 26(6) 348–354.
- HONG Dawei, XIE Xilin, ZHANG Jisheng. Geological significance of the Hangzhou–Zhuguangshan–Huashan high- ϵ_{Nd} granite belt[J]. Geological Bulletin of China 2002 26(6) 348–54.
- [22] 毛景文,谢桂青,郭春丽,等. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. 高校地质学报 2008 14(4) 510–526.
- MAO Jingwen, XIE Guiqing, GUO Chunli et al. Spatial–temporal distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their metallogenic settings [J]. Geological Journal of China Universities, 2008 14(4) 510–526.
- [23] 毛景文,陈懋弘,袁顺达,等. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. 地质学报 2011 85(5) 636–658.
- MAO Jingwen, CHEN Maohong, YUAN Shunda et al. Geological characteristics of the Qinhang (or Shihang) metallogenic belt in South China and spatial–temporal distribution regularity of mineral deposits[J]. Acta Geologica Sinica 2011 85(5) 636–658.

Isotopic Characteristics and Geological Significance of He–Ar and H–O of Shedong W–polymetallic Deposit in Dayaoshan Area, Guangxi

FANG Guicong¹, KANG Zhiqiang¹, FENG Zuohai¹, FU Wei¹, JIANG Xingzhou²

(1. Guangxi Key Laboratory of Hidden Metallic Ore Deposits Exploration, College of Earth Science, Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China; 2. Remote Sensing Center of Guangxi, Nanning 530023, Guangxi, China)

Abstract: Shedong tungsten–polymetallic deposit is located in the southeastern Dayaoshan uplift. It is a large scale porphyry–skarn–quartz vein type deposit discovered in recent years. Some study achievement is available on its chronology, ore–forming fluid, petrogeochemistry and mineralization pattern, but little is known about the origin of ore–forming fluid, especially the crust–mantle interaction during its metallogenesis. In this study, we carry out the analysis of He–Ar and H–O isotopic components of fluid inclusion in Shedong deposit. The results show that $^3\text{He}/^4\text{He}$ content of porphyry Cu orebodies is $0.7 \sim 1.46 \text{ Ra}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ $294.02 \sim 316.96$, and $^3\text{He}/^4\text{He}$ content of skarn–quartz vein type W–Mo orebodies is $0.46 \sim 0.67 \text{ Ra}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ $303.83 \sim 388.62$. The $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ of ore–forming fluid in skarn–quartz vein type W–Mo orebodies is $-84\text{‰} \sim -61\text{‰}$ and $-0.48\text{‰} \sim 5.09\text{‰}$, respectively. It indicates that ore–forming fluid of skarn–quartz vein type W–Mo mineralization and porphyry Cu mineralization mainly evolved from magma, and mixed by the meteoric water later. The mantle fluid played an important role during ore–forming processes of them, and He content from mantle fluid in skarn–quartz vein type W–Mo mineralization and porphyry Cu mineralization is $10.7\% \sim 15.5\%$ and $16.3\% \sim 33.9\%$, respectively.

Key words: He–Ar isotope; H–O isotope; ore–forming fluid; Dayaoshan uplift; Shedong; tungsten polymetallic deposit; porphyry Cu–deposit