

小秦岭东桐峪金矿床稳定同位素 地球化学及成矿物质来源

吴晓贵

(新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第四地质大队,新疆 阿勒泰 836500)

摘要:东桐峪金矿位于小秦岭金矿田中西部,矿体受韧性剪切构造带控制。为了确定矿床成矿流体和成矿金属来源,笔者系统研究了该矿床的3个成矿阶段S、C、H、O同位素组成特征。结果显示12件石英中包裹体水的 $\delta\text{DH}_2\text{O}$ 变化范围为 $-78.1\text{‰}\sim-42.2\text{‰}$;12件石英样品中第I阶段 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $9.76\text{‰}\sim13.16\text{‰}$;II阶段 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $6.30\text{‰}\sim8.10\text{‰}$;III阶段 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $6.76\text{‰}\sim7.26\text{‰}$ 。流体包裹体中 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-1.8\text{‰}\sim-2.5\text{‰}$ 。16件硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-3.7\text{‰}\sim+8.2\text{‰}$ 。H、O、C同位素组成特点表明,水兼有变质水和岩浆水的特征,是太华群基底深熔作用蒸汽相的产物,其运动与长期的糜棱岩带活动有关。成矿流体中C主要来自地幔。S同位素组成特征表明矿石中S来自太华群或深部重熔的岩浆岩。

关键词:稳定同位素;成矿流体物质来源;东桐峪金矿

中图分类号:P597

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2016)04-0091-08

Stable Isotope Geochemistry and Ore-forming Materialsof the Dongtongyu Gold Deposit in Xiaoqinling Area, China

WU Xiaogui

(No. 4 Geological Team of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resource, Altay 836500, Xinjiang, China)

Abstract: The Dongtongyu gold deposit is located in the middle-west part of Xiaoqinling gold ore field. The ore bodies are controlled by the ductile shear zone. In this paper, the authors systematically studied C, H, O and S isotopic compositions of the three mineralization stages in order to define the source of ore-forming fluids and metals. The δD values of 12 quartz samples from different stages range from -78.1‰ to -42.2‰ . The $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ values of 12 quartz samples from three different stages vary from 9.76‰ to 13.16‰ , from 6.30‰ to 8.10‰ and from 6.76‰ to 7.26‰ , respectively. The $\delta^{13}\text{C}$ values of CO_2 in fluid inclusions change from -1.8‰ to -2.5‰ . The $\delta^{34}\text{S}$ values of 16 sulfides samples in this deposit vary from -3.7‰ to $+8.2\text{‰}$. The hydrogen and oxygen isotopic compositions indicate that these ore-forming fluids were mainly sourced from the magmatic water and metamorphic water. The carbon in ore-forming fluid was

收稿日期:2016-01-02;修回日期:2016-06-08

基金项目:全国危机矿山接替资源找矿专项典型矿床及成矿规律总结研究项目(20109903)和国家自然科学基金项目(40972066)资助

作者简介:吴晓贵(1985-),男,江苏泰兴人,工程师,2012年获北京科技大学矿产普查与勘探专业硕士学位,从事地质矿产勘查工作。E-mail:517599423@qq.com

mainly sourced from mantle materials. Based on the sulfur features, the authors hold that the metals of the Dongtongyu Gold Deposit were derived from Taihua Group or magmatic rocks.

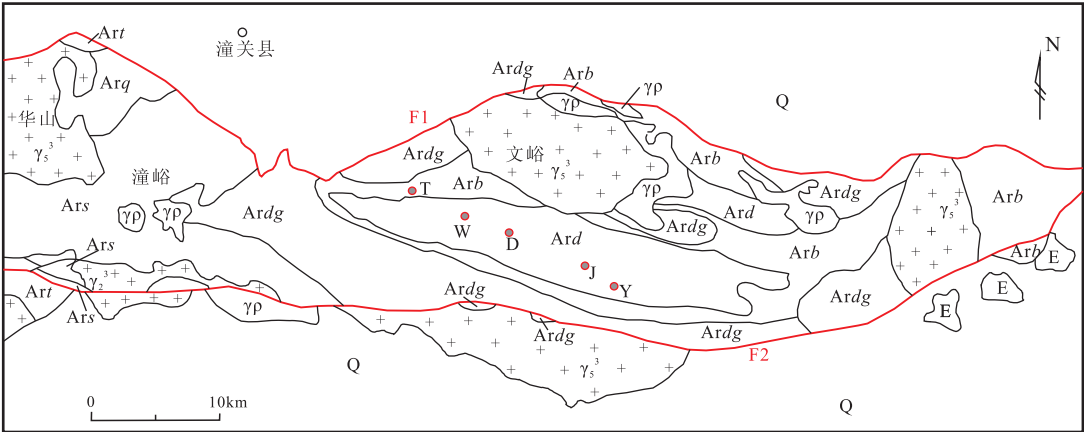
Keywords: Stable isotope; metal sources; Dongtongyu gold deposit

东桐峪金矿位于小秦岭金矿田西部陕西潼关县境内,是矿田内主要的大型金矿之一。小秦岭金矿田的金成矿物质来源已积累了大量的文献(栾世伟等,1985;姬金生,1988;晁援,1989;徐九华等,1993;聂凤军等,2001;付治国等,2009;吴晓贵等,2012),这些文献较详细地记录了小秦岭金矿田内含金石英脉、太古宇太华群变质岩和有关脉岩的稳定同位素特征,并对矿石中的成矿物质来源进行了讨论,归纳起来大致有 2 个观点:①成矿流体兼有岩浆水和变质水特点,并叠加了大气降水,硫、铅和金等成矿物质具深源特点,来自太华群基底的深熔过程。②矿脉中的硫既有深部壳层硫,又有浅部壳层硫,以深部壳层硫为主。从研究矿床来讲,这些文献重点研究的是文峪、东闯、杨砦峪等位于河南境内的大型金矿。对于东桐峪金矿而言,成矿物质来源研究资料相对较少,未见有针对东桐峪金矿的

系统的成矿物质来源研究成果。另外随着矿山开采的进行,深部地质不断被揭露。因此,有必要对东桐峪金矿,特别是深部样品进行细致的成矿物质来源研究。

1 地质概况

小秦岭金矿田位于豫陕边界的东秦岭北缘山区,华北克拉通的南缘。东起河南省灵宝,西至陕西省华县,东西长 140 余千米,南北宽 70 km。矿田南北以小河断裂和太要断裂为界,构成轴向东西的狭长地带。区内地层结晶基底为太古宇太华群深变质岩系,岩浆岩以燕山期花岗岩最为发育,自西向东有华山、文峪和娘娘山岩体(胡受奚等,1988;陈衍景等,1992)。轴向近东西的复式褶皱和区域性断裂组成了矿田的构造格架(图 1)。



[Q] 1 [E] 2 [Art] 3 [Arq] 4 [Ars] 5 [Ardg] 6 [Arb] 7 [Ard] 8 [γ_s³] 9 [γ₂³] 10 [γP] 11 [F1] 12 [●] 13

1. 第四系; 2. 古近系; 3. 太华群桃峪组黑云斜长片麻岩夹斜长角闪岩; 4. 太华群秦仓口组黑云斜长片麻岩; 5. 太华群三关庙组黑云斜长片麻岩夹斜长角闪岩; 6. 太华群洞沟组黑云角闪变粒岩; 7. 太华群板石山组黑云变粒岩; 8. 太华群大月坪组斜长角闪岩; 9. 白垩纪黑云母花岗岩; 10. 晚元古代中粒二长花岗岩; 11. 花岗伟晶岩; 12. 断裂: F1. 太要断裂; F2. 小河断裂; 13. 金矿床; T. 东桐峪金矿; W. 文峪金矿; D. 东闯金矿; J. 金铜岔金矿; Y. 杨砦峪金矿

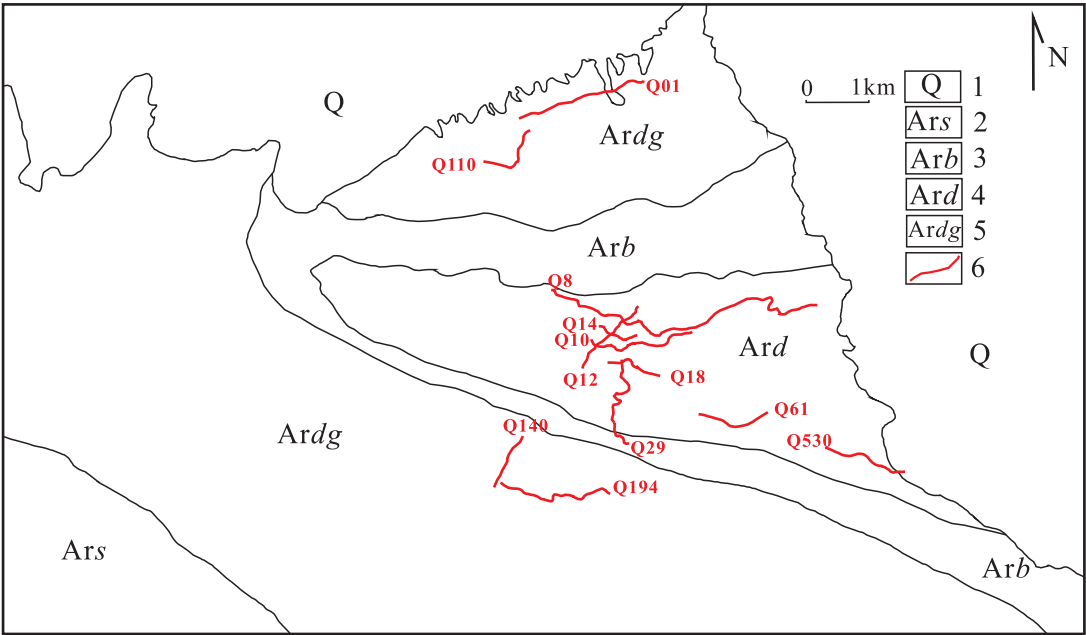
图 1 小秦岭地区区域地质及金矿床分布略图(据王亨治,1987 资料改绘)

Fig. 1 Sketch geological map of Xiaolingling area showing distribution of gold deposits(Modified after Wang, 1987)

东桐峪金矿床是小秦岭金矿田的大型金矿之一。矿区地层主要是太华群的大月坪组—三关庙组(黎世美等,1996),岩石主要为片麻岩类、斜长

角闪岩类、石英岩类及前两类岩石经混合岩化而形成的混合岩(化)岩类。近东西向的大月坪—金罗斑复背斜控制了区内主要含金构造带的分布,

次级断裂、背斜的隆起或倾伏端(地段)控制了石英脉密集区及其展布(图 2)。近东西向脆韧性剪切断裂带为主要控矿构造,其次为北北东向张断裂。



1. 第四系;2. 三关庙组黑云斜长角闪片麻岩;3. 板石山组石英岩;4. 大月坪组混合岩;5. 洞沟组角闪黑云斜长片麻岩;6. 含金石英脉

图 2 东桐峪金矿区地质简图(据潼关中金黄金矿业有限责任公司-东桐峪金矿区 1 : 10000 地形地质及规划图改绘)

Fig. 2 Geological sketch map of the Dongtongyu gold deposit(After Tongguan China GoldMining Co. ltd-Dongtongyu goldfield 1 : 10000 geologic map)

区内断裂构造发育,受后期热液充填交代形成含金石英脉。区内发现 Au 品位大于 1.0×10^{-6} , 矿脉将近 40 条,其中绝大多数为东西向和北东向构造。矿区内主矿脉为 Q8、Q12,其走向长大于 1 km。Q8 号矿脉走向 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$,倾向南西,长度为 4 430 m (矿区内长 1 900 m);Q12 号矿脉走向 50° ,倾向南东,长度为 1 546 m。Q12 与 Q8 在矿区中部成“X”相交。矿脉由石英脉和糜棱岩组成。石英脉在构造带内断续分布,长 7~280 m,厚 0.05~3.0 m。在含矿构造带内,金矿体走向和倾向上具有膨胀、收缩、尖灭再现和矿化中心有等距分布特点。Q8 脉矿体还有明显侧伏规律。

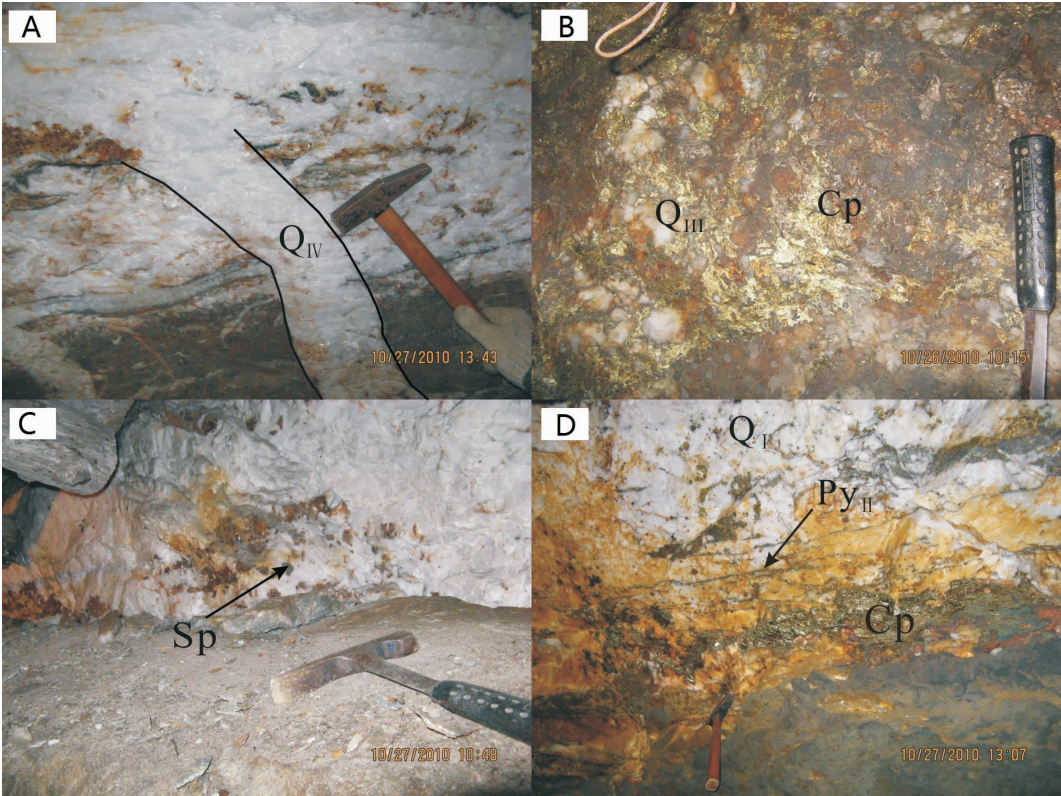
根据野外地质特征、穿插关系,并结合手标本和显微镜下研究,东桐峪金矿的构造-成矿可划分为 4 个阶段。I:黄铁矿-石英阶段,形成乳白色石英脉主体,含少量浸染状黄铁矿,含金性较差;II:石英-黄铁矿阶段,主要形成粗-细粒黄铁矿脉,充填在 I 阶

段石英的裂隙中,或直接充填在糜棱岩中,此阶段含 Au 较富,为金的主要矿化阶段之一;III:石英-多金属硫化物阶段,产出较多的细脉状-网脉状黄铜矿、方铅矿等硫化物,有时见闪锌矿,本阶段晚期亦生成透明度较好的石英(Q III),有时在晶洞中出现,含 Au 性仅次于阶段 II;IV:石英-碳酸盐阶段,主要形成细粒石英和方解石,呈细脉状穿插早期矿物,是剪切作用晚期的产物,也是本区成矿晚期的产物,该阶段基本不含矿。

矿石的主要构造有脉状构造、角砾状构造、浸染状构造及网脉状构造等(图 3)。

围岩蚀变主要为硅化、绢云母化和黄铁矿化,其次为绿泥石化、碳酸盐化等。硅化、黄铁矿化与金矿化关系最为密切。

矿石中主要金属矿物有黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、自然金、银金矿,次为闪锌矿、磁铁矿、磁黄铁矿、辉铜矿、斑铜矿、白钨矿、黑钨矿等;非金属矿物主要



A. IV阶段石英脉穿插早期石英脉,600 m中段;B. 东桐峪 V531 含金黄铜矿—黄铁矿石英脉,黄铜矿胶结白色石英脉,1 300 m中段;C. 东桐峪 Q12 缓倾斜含金石英脉,Ⅲ阶段闪锌矿(Sp)网脉—细脉沿 I 阶段石英(QI)充填,600 m中段,Q12 东沿;D. 东桐峪 Q28501 脉,Ⅲ阶段黄铜矿细脉及Ⅱ阶段黄铁矿脉沿 I 阶段石英脉底板充填,600m中段

图 3 矿石构造照片

Fig. 3 Picture of mineral structure

为石英,次为绿泥石、黑云母、绢云母、碳酸盐类矿物等。Au 主要呈包含金、裂隙金及晶隙金赋存于黄铁矿、石英、铁白云石及其他硫化物中。

2 氢氧碳同位素组成及成矿流体来源

本次工作主要对东桐峪矿床 V531、Q8、Q12 号脉的不同标高的具有代表性的各成矿阶段的 12 件石英样品进行氢氧碳同位素测试。测试在核工业北京地质研究院稳定同位素实验室完成,测试仪器为质谱仪 MAT-253。12 件石英样品的氢氧同位素分析结果见表 1。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$ 值为 $7.9\text{‰} \sim 14.3\text{‰}$, 平均为 11.65‰ , 变化范围较小,与文峪花岗岩 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$ 值(8.98‰)接近,以富 ^{18}O 为特征。表中将 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$ 换算为 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 的计算公式为: $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} \approx \delta^{18}\text{O}_{\text{石英}} - 3.42(10^6 \cdot T^{-2}) + 2.86$ (张理刚,1984)(T 为包裹体均一温度经压力校正后的包裹体捕获温度,采用

绝对温度)。计算所得的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $6.30\text{‰} \sim 13.16\text{‰}$, 其中第 I 阶段 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $9.76\text{‰} \sim 13.16\text{‰}$, 平均为 11.39‰ ; II 阶段 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $6.30\text{‰} \sim 8.10\text{‰}$, 平均为 7.20‰ ; III 阶段 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $6.76\text{‰} \sim 7.26\text{‰}$, 平均为 7.01‰ 。计算结果显示,成矿流体从早阶段到晚阶段 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值逐渐降低,反映了在成矿作用过程中成矿流体被大气降水混染的特征(晁援等,1990)。

$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 数据直接由石英中包裹体水获得,其变化范围为 $-78.1\text{‰} \sim -42.2\text{‰}$,变化范围较大,介于岩浆水和变质水的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 之间。

将 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 的数据投点于 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解中(图 4)。从图中可知,3 个成矿阶段数据投影点大部分落在变质水区域内。其中,第 I、II 阶段有部分点在岩浆水和变质水的重合区域内。从 $\delta\text{D}-\delta\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 关系图上可以看出,成矿流体以变质水和岩浆水为主,显示成矿流体来自深源。

表 1 东桐峪金矿氢、氧、碳同位素组成特征表

Tab. 1 Characteristics of hydrogen,oxygen and carbon Isotopes composition in Dongtongyu Gold deposit

样品号	位置(m)	样品特征	阶段	δD_{H_2O} (‰,SMOW)	$\delta^{13}C_{V-PDB}$ (‰)	$\delta^{18}O$ 石英 (‰,SMOW)	$\delta^{18}O_{H_2O}$ (‰,SMOW)	温度(℃)
TY002	1300	Q _{II} 穿插 Q _I	I	-43.2	-1.8	11.4	10.26	652
TY005	1300	含 C _p 的 Q _I	I	-48.0	-2.0	13.8	12.66	652
TY015	1016	含 Py 的 Q _I	I	-42.2	-2.1	12.8	11.66	652
TY035	960	早期乳白色石英脉	I	-66.5	-1.9	13.6	12.46	652
TY037A	910	早期乳白色石英脉	I	-29.5	-2.2	12.2	11.06	652
TY045	640	网脉状 Py	I	-69.8	-2.1	14.3	13.16	652
TY048	640	烟灰色 Q _{II}	II	-43.8	-2.5	7.9	6.30	603
TY052	600	含 Gn、C _p 的 Q _{III}	III	-43.9	-2.2	10.8	6.76	431
WY801	1821	含 Gn、C _p 的 Q _{III}	III	-50.8	-2.1	11.3	7.26	431
WY804	1524	Q _{III} 穿插 Q _I	I	-78.1	-2.2	10.9	9.76	652
WY806	1524	烟灰色透镜状 Q _{II}	II	-48.7	-2.4	9.7	8.10	603
WY816	1312	早期乳白色石英脉	I	-69.3	-2.0	11.2	10.06	652

注:表中参与计算的温度为流体包裹体均一温度经过压力校正后的捕获温度(捕获温度据吴晓贵等,2012)。

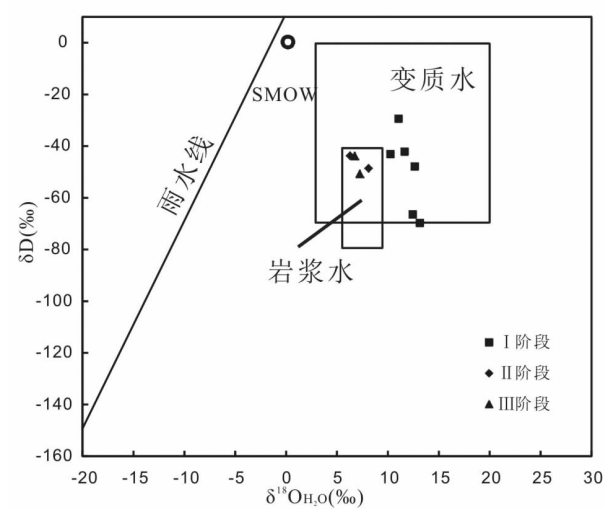


图 4 东桐峪金矿成矿流体的氢氧同位素组成图解

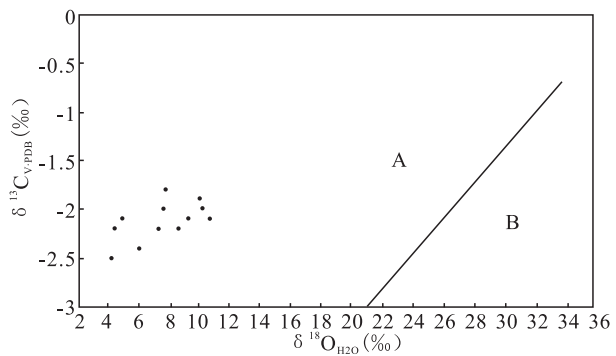
Fig. 4 Hydrogen and oxygen isotope compositions of the Dongtongyu Gold deposit

流体包裹体的研究表明(吴晓贵等,2012),成矿流体富 CO₂,其含量可达 20%~80%。CO₂包裹体不仅见于脉石英中,而且见于蚀变岩的石英中,加之围岩强烈的铁碳酸盐化及铁白云石大量与多金属硫化物共生,这些均说明富 CO₂流体参与了金的成矿作用。因此,在讨论成矿流体的来源时不能只注意流体中水的来源而忽视 CO₂的来源。

本次测试 3 个阶段流体包裹体中 CO₂ 的 $\delta^{13}C$ 值为-1.8‰~-2.5‰,变化范围很窄, $\delta^{13}C$ 值既有岩浆碳或深源碳(-5‰~-8‰)特征,又有沉积碳酸盐的碳(接近于 0‰)(张理刚,1984) 的特征。由 $\delta^{13}C$ - $\delta^{18}O_{H_2O}$ 图解(图 5)可知,投影点均在岩浆碳酸盐投影范围内。结合前人研究(倪师军,1994),本矿床流体 $\delta^{13}C$ 值与幔源火山气体中 CO₂,以及岩浆岩流体包裹体中 CO₂ 的 $\delta^{13}C$ 值基本一致,而与文峪岩体和太华群完全不同,从而清楚的显示了本矿床成矿流体中的 C 主要为地幔来源。

COCVLNIE 等(1984)研究指出,脉金矿床流体包体中高密度的 CO₂可能是在 5 km 或更深的部位被圈闭的,若成矿流体在相当 5 km 深处参与金的成矿作用,则流体的岩浆论或变质论只是语义学问题。吴晓贵等(2012)根据静岩压力计算出东桐峪金矿的最小成矿深度为 4.6~6.3 km,若考虑流体压力,其深度还要大得多。而且糜棱岩带是在相当缓慢的过程中形成的,使得深部流体(在区域变质作用晚期和混合岩化过程中,乃至大规模的晚燕山期岩浆侵入活动中形成的)源源不断地向糜棱岩带(含矿断裂带)汇集。成矿晚期,下渗的大气降水无疑也参加了成矿作用。总之,东桐峪金矿的成矿流体不能简单地追朔为某一个源。大部分成矿流体不是晚燕

山期花岗岩侵位后衍生的,而与花岗岩的起源相似,是太华群深熔作用的同源产物,它们在燕山期构造热事件中沿着各自通道上升侵位,分别成矿和成岩。



A. 岩浆碳酸盐投影区;B. 沉积碳酸盐投影区

图 5 东桐峪金矿成矿流体 $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解

Fig. 5 Chart of $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ in Dongtongyu Gold deposit

3 S 同位素及成矿物质来源

东桐峪金矿硫化物以黄铁矿和黄铜矿较常见,主要在成矿Ⅱ、Ⅲ的石英脉中分布,是主要的载金矿物。矿床中硫化物的 S 同位素组成可以示踪 S 的来源和成矿作用过程。本次研究采取东桐峪金矿主要采取各成矿阶段共 16 件硫化物样品进行 S 同位素测试,测试单位为核工业北京地质研究院稳定同位素实验室,测试仪器采用 MAT-251 质谱计,检测方法和依据为 DZ/T0184. 14-1997《硫化物中硫同位素组成的测定》。

本次研究测得了矿石硫化物的 $\delta^{34}\text{S}(\text{CDT})$ 的数据 16 个(表 2)。黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 $+2.5\text{‰}\sim+8.2\text{‰}$,平均值为 5.02‰ ,较其东部的文峪金矿(3.9‰)、杨砦峪金矿(2.59‰)(栾世伟等,1985)的同类矿物重硫含量偏高。矿床中Ⅰ、Ⅱ阶段黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值分别为 5.44‰ 、 4.67‰ ,呈递减趋势,可能是由于特别是第Ⅰ阶段硫化物结晶之后,成矿溶液中的还原型 S 中的重 S 消耗较多,以致到后期矿化阶段形成的黄铁矿中的 $\delta^{34}\text{S}$ 值较低。

笔者还测得一个黄铜矿的数据为 $+3\text{‰}$,方铅矿的为 $-3.7\text{‰}\sim+2.5\text{‰}$,一个闪锌矿的数据为 $+3.4\text{‰}$,与前人研究的数据范围一致(付治国等,2009;晁援等,1990)。硫化物富集 $^{34}\text{S}(\delta^{34}\text{S}$ 平均值)

的顺序为:黄铁矿($+5.02\text{‰}$)>闪锌矿($+3.4\text{‰}$)>黄铜矿($+3\text{‰}$)>方铅矿(-0.3‰)(图 6)。以上说明在矿区范围内硫化物之间的 S 同位素交换达到平衡。

表 2 东桐峪金矿金属硫化物硫同位素组成特征表

Tab. 2 Sulfur isotopic composition of sulfur-bearing minerals from Dongtongyu Gold deposit

样品编号	位置(m)	成矿阶段	矿物	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰},\text{CDT})$
TY002	1 300	Ⅰ	黄铁矿	2.5
TY005	1 300	Ⅱ	黄铁矿	3.8
TY005	1 300	Ⅲ	黄铜矿	3
TY029	550	Ⅲ	方铅矿	2.5
TY031	550	Ⅲ	闪锌矿	3.4
TY032	910	Ⅰ	黄铁矿	8.2
TY045	640	Ⅰ	黄铁矿	8.2
TY048	640	Ⅱ	黄铁矿	7.1
Wy801	1 821	Ⅲ	方铅矿	0.4
Wy803	1 821	Ⅲ	方铅矿	-3.7
Wy804	1 524	Ⅰ	黄铁矿	5.3
Wy805	1 524	Ⅱ	黄铁矿	4.1
Wy806	1 524	Ⅱ	黄铁矿	4.2
Wy814	1 312	Ⅰ	黄铁矿	3
Wy815	1 312	Ⅱ	黄铁矿	5.1
Wy816	1 312	Ⅱ	黄铁矿	3.7

热液矿床的 S 同位素研究表明(郝立波,2004): $\delta^{34}\text{S}$ S 正向偏离“0”值不远,且变化范围不大,矿石 S 源应为地幔或地壳深部大量地壳物质均一化的结果。由此得出东桐峪矿床的矿石 S 主要来自地壳深部,即具有深源硫的特征。

前人测得的晚太古宙大月坪组中 $\delta^{34}\text{S}$ S 为 $-0.7\text{‰}\sim+3.6\text{‰}$,斜长角闪岩 $\delta^{34}\text{S}$ S 为 $+4.4\text{‰}$ (黄建军,1997),文峪花岗岩体中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ S 为 $+2.1\text{‰}\sim+4.0\text{‰}$,太古宙太华群斜长片麻岩中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ S 为 $-0.2\text{‰}\sim+2.7\text{‰}$ (聂凤军等,2001)。尽管数据不尽一致,但都表现出对“0”值较小的正向偏离。因此,可以认为围岩 S 和矿石 S 之间存在着一定的内在联系。

大月坪组经原岩恢复,为一套中基性的火山岩夹少量陆源海相沉积物。无疑在原始物质中有大量

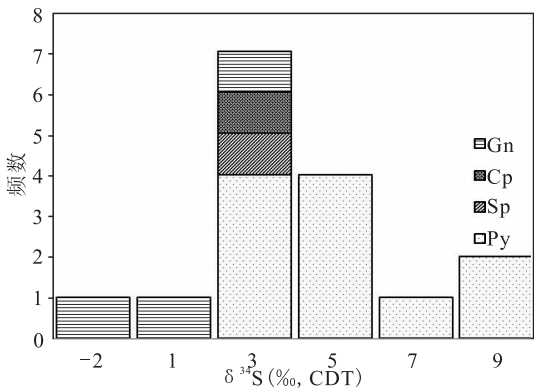


图 6 东桐峪金矿各矿物中 $\delta^{34}\text{S}$ 直方图

Fig. 6 Sulfur isotopic histogram of metal sulfides in Dongtongyu Gold deposit

慢源 S 成分。这些原始 S 在强烈的区域变质作用中,特别是在晚燕山期花岗岩浆形成演化过程中,经受各种氧化还原、交换反应和动力学过程,产生同位素分馏,使它们的 $\delta^{34}\text{S}$ 值偏离陨 S 值。但均未超过 $\pm 10\%$ 。因此,可以认为本区矿石 S 为受混染的慢源物质。鉴于矿石 S 同位素正态分布,其演化特点基本遵循瑞利定律,说明区内各矿区矿石 S 是同源的,成矿溶液为一次性形成。本区金矿床成因上与晚燕山期花岗岩有关,因此矿石 S 的供给者是晚燕山期花岗岩及其围岩——太华群大月坪组。

4 结语

(1)东桐峪金矿氢、氧、碳同位素组成特点表明,水兼有变质水和岩浆水的特征,是太华群基底深熔作用蒸汽相的产物,其运动与长期的糜棱岩带活动有关。成矿流体中 C 主要来自地幔。

(2)S 同位素组成特征表明矿石中硫东桐峪金矿的矿石 S 来自晚燕山期花岗岩及太华群。

致谢:野外工作得到东桐峪金矿地质技术人员的支持,还得到了中国地质大学(北京)张德会教授、余心起教授的指导,以及中国地质大学(武汉)谭俊博士的帮助,在此一并致谢。

参考文献(References):

晁援. 关于小秦岭金矿的成矿时代探讨[J]. 陕西地质,

1989,(7):52-55.

CHAO Yuan. The metallogenetic epoch of the Xiaoqinling Gold Deposit[J]. Geology of Shaanxi,1989,(7):52-55.

晁援,王德欣. 小秦岭金矿的硫同位素组成特征及硫来源的探讨[J]. 陕西地质,1990,8(2):73-84.

CHAO Yuan, WANG Dexin. On the Characteristics of the sulfur isotope constitutions and the sulfur source of the Xiaoqinling gold field[J]. Geology of Shaanxi, 1990, 8 (2):73-84.

郝立波,戚长谋. 地球化学原理(第三版)[M]. 北京:地质出版社,2004.

HAO Libo, QI Changmou. Geochemical Theories(The third edition) [M]. Beijing: Geological Publishing House. 2004.

陈衍景,富士谷. 豫西金矿成矿规律[M]. 北京:地震出版社. 1992,234.

CHEN Yanjing, FU Shigu. Gold mineralization in west Henan [M]. Beijing: Seismological Press. 1992,234.

黄建军. 陕西小秦岭金矿 S 同位素组合特征及在成矿预测中的应用[J]. 地球学报,1997,18(增刊):173-175.

HUANG Jianjun. Characteristics of S Isotope Composition and Its Application in the Metallogenetic Prognosis of Gold Deposits, Xiaoqinling, Shanxi[J]. Acta Geoscientica sinica,1997,18(Supp.):173-175.

胡受奚,林潜龙. 华北与华南古板块拼合带地质与成矿[M]. 南京:南京大学出版社,1988,558.

HU Shouxi, LIN Qianlong. Geology And Mineralization In Suture Zone Of North And South Ancient Plate [M]. Nanjing: Nanjing University Press. 1988,558.

付治国,瓮纪昌,卢欣祥. 小秦岭-熊耳山地区金矿硫同位素地球化学特征[J]. 物探与化探,2009,33(5):507-514.

FU Zhiguo, WEN Jichang, LU Xinxiang. Sulfur isotope geochemical Characteristics of gold deposits in Xiaoqinling-Xionger Mountain area[J]. Geophysical & Geochemical Exploration,2009,33(5):507-514.

姬金生. 小秦岭金矿氢氧同位素组成特征及其成因意义[J]. 西安地质学院学报,1988,10(3):56-60.

Ji Jinsheng. Characteristics of the isotopic compositions of

- hydrogen and oxygen and their genetic meaning in the Xiaojinling goldfield[J]. Journal of Xi'an College of Geology, 1988, 10(3): 56-60.
- 黎世美, 瞿伦全, 苏振邦, 等. 小秦岭金矿地质和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社 1996, 250 页.
- LI Shimei, QU Lunquan, SU Zhenbang, et al. Geology and metallogenetic predication of gold deposits in Xiaojinling area [M]. Beijing: Geological Publishing House. 1996, 250.
- 栾世伟, 曹殿春, 方耀奎, 等. 小秦岭金矿床地球化学[J]. 矿物岩石, 1985(专辑).
- LUAN Shiwei, CAO Dianchun, FANG Yaokui, et al. Geochemistry Of Xiaojinling Gold Desposits[J]. Minerals And Rocks, 1985(Special Issue).
- 倪师军. 小秦岭中基性岩脉与金矿成因关系新模式[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1994.
- NI Shijun. New model of intermediate-basic rock and formation of gold deposit in Xiaojinling[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 1994.
- 聂凤军, 江思宏, 赵月明. 小秦岭地区文峪和东沟石英脉型金矿床铅及硫同位素研究[J]. 矿床地质, 2001, 20(2): 163-173.
- NIE Fengjun, JIANG Sihong, ZHAO Mingyue. Lead and Sulfur Isotopic Studies of the Wenyu and the Dongchuang Quartz Vein Type Gold Deposits in Xiaojinling Area, Henan and Shanxi Provinces, Central China[J]. Mineral Deposits, 2001, 20(2): 163-173.
- 王亨治. 小秦岭金矿田地质特征及矿床成因[J]. 矿床地质, 1987, 6(1): 57-67.
- WANG Hengzhi. Geological Characteristics and ore genesis of the Xiaojinling Gold field [J]. Mineral Deposits, 1987, 6(1): 57-67.
- 吴晓贵, 徐九华, 魏浩, 等. 小秦岭东桐峪金矿床的流体包裹体研究[J]. 矿床地质, 2012, 31(2): 195-206.
- WU Xiaogui, XU Jiuhua, WEI Hao, et al. A Study on Fluid Inclusions of the Dongtongyu Gold Deposit, the Xiaojinling Area, China[J]. Mineral Deposits, 2012, 31(2): 195-206.
- 徐九华, 何知礼, 申世亮, 等. 小秦岭文峪-东沟金矿床稳定同位素地球化学及矿液矿质来源[J]. 地质找矿论丛, 1993, 8(2): 87-100.
- XU Jiuhua, HE Zhili, SHEN Shiliang, et al. Stable isotope geology of the Dongchaung and the Wenyu gold deposits and the source of ore-forming fluid and materials[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1993, 8(2): 87-100.
- 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1984.
- ZHANG Ligang. Stable isotope application in geological sciences[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technique Publishing House, 1984.