

文章编号: 0258-7106 (2005) 03-0270-10

小秦岭地区中深部含金石英脉的同位素地球化学特征及其意义*

王义天¹, 毛景文^{1,2}, 叶安旺³, 叶会寿², 李永峰², 卢欣祥⁴, 李永革³

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 3 河南省灵宝市地质矿产局, 河南 灵宝 472500; 4 河南省地质科学研究所, 河南 郑州 450053)

摘要 对小秦岭地区中深部含金石英脉的氢、氧、硫、氦和氩同位素地球化学研究表明, 本区的成矿流体主要来源于深部, 随着成矿过程的进行, 表现出深源流体不断与浅部流体混合的演化趋势。结合前人的研究成果, 根据成矿作用与区域伸展构造演化之间的耦合关系, 指出小秦岭地区金的成矿作用主要发生于中生代晚期的后碰撞阶段, 在由深部过程引发的伸展构造背景下, 深部流体沿伸展构造系统向上运移, 不断与浅部流体混合, 与围岩发生水岩相互作用, 使流体系统中的成矿物质不断富集, 最终在剪切扩容空间中富集成矿。

关键词 地球化学; 含金石英脉; 氢、氧、硫、氦、氩同位素; 成矿作用; 伸展构造; 小秦岭

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

小秦岭地区已探明黄金储量数百吨, 远景资源量上千吨, 是中国目前第二大黄金产地。“七五”计划以来在本区开展了全面的基础地质研究和勘探开发工作, 取得的大量资料和成果为进一步研究和找矿工作奠定了坚实基础。尽管如此, 目前对本区金成矿作用的研究仍存在一些问题和认识分歧, 有关成矿流体的来源和演化、成矿作用与区域构造演化之间的联系等问题仍需更深入的探讨。本区以往研究、勘探和开采的金矿体主要赋存于海拔 1 000 ~ 2 000 m (地表) 的高度范围内, 近年来有关部门陆续开展了中深部探采工作, 即在海拔 1 000 m 以下进行新一轮金矿资源的勘探开发, 并已初见成效, 这使得研究人员有机会对中深部金矿体开展研究工作。针对本区研究中所存在的问题, 笔者在前人研究(王亨治, 1987; 胡正国等, 1994a; 1994b; 倪师军等, 1994; 黎世美等, 1996; 徐九华等, 1997; 李绍儒等, 1998; 张进江等, 2003; 罗铭玖等, 2000; 范宏瑞等, 2003; 聂凤军等, 2001; Mao et al., 2002b; 卢欣祥等, 2003) 的基础上, 以本区 6 条中深部探矿坑道所揭露的含金石英脉为研究对象, 开展了比较系统的氢、氧、硫、氦和氩同位素地球化学研究, 阐明了成矿流体的特征和来源, 探讨了成矿作用与区域构造演化之间的耦合

关系, 以期深入认识本区金的成矿作用机制提供更多证据。

1 区域地质概况

小秦岭地区位于华北克拉通南缘, 中生代以前具有典型的克拉通边缘特征(Zhao et al., 2003)。进入中生代以后, 该区卷入秦岭造山带的演化而成为其北缘的组成部分(张国伟等, 1996)。小秦岭地区南北两侧近东西向分布的巡马道—小河断裂带和太要—故县断裂带两条边界断裂奠定了本区的基本构造格架(图 1)。两条边界断裂带主要发育 3 期构造变形, 早期为中深层次的韧性变形, 中期为中浅层次的脆韧性变形, 晚期被浅层次的脆性变形所叠加(胡正国等, 1994a)。边界断裂带的演化控制了基底内部断裂构造的发育, 它们所具有的类似早、中、晚 3 期构造变形特征, 直接控制了本区金矿床和岩脉的产出分布。

小秦岭地区出露的地层主要为太古代太华群深变质火山-沉积岩系和中元古代长城系熊耳群浅变质中性-中酸性火山岩系, 其中太华群是本区主要的赋矿地层。燕山期花岗岩呈巨大岩基产于由太华群

* 本文得到国家自然科学基金(40434011, 40102019)和国家重点基础研究发展计划(G1999043211)的联合资助
第一作者简介 王义天, 男, 1969 年生, 博士, 副研究员, 从事区域构造与金属成矿作用研究。E-mail: wyt69@263.net
收稿日期: 2005-02-03; 改回日期: 2005-04-27。李岩编辑。

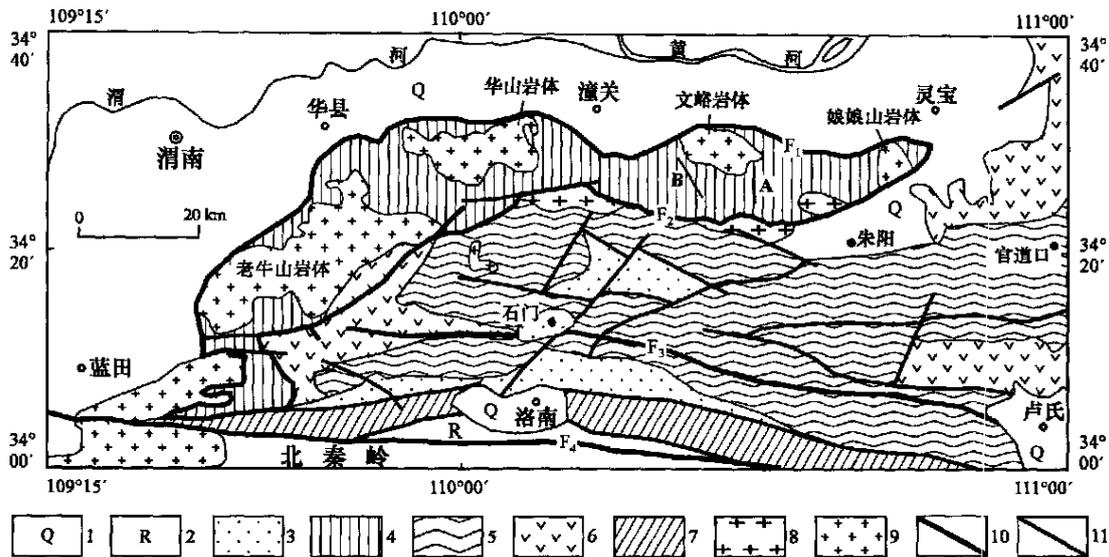


图 1 小秦岭地区区域地质简图(修改自罗铭玖等,2000)

1—第四系;2—第三系;3—寒武系;4—太古代太华群;5—元古代官道口群;6—元古代熊耳群;7—元古代陶湾群;8—元古代花岗岩;
9—中生代花岗岩;10—主断裂;11—次级断裂。F₁—太要-故县断裂带;F₂—寻马道-小何断裂带;F₃—石门-马超营断裂带;
F₄—铁炉子-栾川断裂带。A—平硐 PD986、PD848 和 PD758 位置,B—平硐 PDI192、PDI049 和 PD928 位置

Fig.1 Geological sketch map of Xiaqingling area (modified from Luo et al. , 2000)

1—Quaternary; 2—Tertiary; 3—Cambrian; 4—Archean Taihua Group; 5—Proterozoic Guandaokou Group; 6—Proterozoic Xiong'er Group;
7—Proterozoic Taowan Group; 8—Proterozoic granite; 9—Mesozoic granite; 10—Main fault; 11—Secondary fault; F₁—Taiyao-Guxian
faulted zone; F₂—Xunmadao-Xiaohe faulted zone; F₃—Shimen-Machaoying faulted zone; F₄—Tieluzi-Luancuan faulted zone;
A—Locations of tunnels PD986, PD848 and PD758; B—Locations of tunnels PDI192, PDI049 and PD928

构成的基底岩系中,主要花岗岩体有老牛山、华山、文峪和娘娘山(图 1),岩性以黑云二长花岗岩和黑云母花岗岩为主。中基性岩脉和岩株遍布整个地区,形成时期主要以加里东期、燕山期和喜马拉雅期为主,主要岩石类型有辉绿岩、辉长辉绿岩、辉长辉绿玢岩以及煌斑岩脉等(胡正国等,1994b;倪师军等,1994)。

2 成矿基本特征

小秦岭地区发育的金矿床主要有 3 种类型:石英脉型、蚀变千糜岩型和蚀变碎裂岩型(胡正国等,1994a)。石英脉型金矿是本区主要的金矿资源类型,产于太华群基底岩系中,矿体主要由含金石英脉和矿化糜棱岩构成,严格受脆韧性剪切构造带控制。在海拔 1 000 m 以上的范围内分布的主要石英脉型金矿床有金洞岔、东闯、文峪、杨寨峪、四范沟、枪马、金渠、桐沟、潼峪、东桐峪、红土岭和焕池峪等,它们主要分布在文峪花岗岩体的东南侧和西南侧。本次研究的对象即为金矿床集中区中深部的 2 组 6 条探

采平硐所揭露的含金石英脉(图 1),其中 A 组平硐 PD986、PD848 和 PD758(数字代表平硐坑口位置的海拔高度,下同)位于文峪花岗岩体的东南侧,其上部发育金洞岔、杨寨峪和枪马等金矿床;B 组平硐 PDI192、PDI049 和 PD928 位于文峪花岗岩体的西南侧,其上部发育文峪、东闯等金矿床。

中深部含金石英脉与上部石英脉型金矿体具有相似的成矿地质特征。矿石类型主要有黄铁矿型、多金属硫化物型和蚀变糜棱岩型。矿石结构主要有细粒至粗粒自形、半自形-他形粒状结构,似斑状结构,充填结构,交代结构和压碎结构等。矿石构造主要有致密块状、浸染状、条带状、细脉状、网脉状和角砾状构造等。矿石矿物主要有黄铁矿、自然金、银金矿、方铅矿、黄铜矿和白钨矿等,次要矿物有碲金矿、闪锌矿和磁黄铁矿等。脉石矿物以石英为主,次要矿物有方解石、白云石和铁白云石等。围岩蚀变类型主要有硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化、黑云母化、钾长石化、绿泥石化及钠长石化等,蚀变强度自矿体向围岩逐渐减弱至消失。

根据矿物的共生组合、组构特征以及穿插关系

等,可以将含金石英脉的形成划分为4个阶段:Ⅰ.黄铁矿-石英阶段,Ⅱ.石英-黄铁矿阶段,Ⅲ.石英-多金属硫化物阶段,Ⅳ.石英-碳酸盐阶段,其中第Ⅱ、Ⅲ阶段为金的主要富集阶段。第Ⅰ阶段形成乳白色致密块状石英脉,偶见少量黄铁矿。第Ⅱ阶段的石英呈灰色、灰白色或烟灰色,他形粒状。黄铁矿呈半自形-他形立方体、五角十二面体或五角三八面体,黄铁矿集合体呈团块、条带或细脉状产于Ⅰ阶段的石英脉中,或与Ⅱ阶段的石英组成细脉。第Ⅲ阶段的石英为无色透明-半透明,自形-半自形。本阶段以出现大量的铁、铜、铅、锌的硫化物为特征,主要有黄铁矿、方铅矿和黄铜矿及少量闪锌矿、辉铜矿等。黄铁矿为半自形-他形,呈致密块状、条带状、脉状或细脉状分布于Ⅰ、Ⅱ阶段的石英中。第Ⅳ阶段形成灰白色、灰褐色细脉状石英和玉髓,及少量细粒浸染状黄铁矿,出现少量碳酸盐细脉。

3 测试样品、方法与结果

本次工作自上述6条中深部坑道中采集了8件含金石英脉矿石样品,其中有5件为第Ⅱ成矿阶段的产物,3件为第Ⅲ成矿阶段的产物。另外,从上部枪马和灵湖两个金矿床中各采集了1件第Ⅱ成矿阶段的矿石用于对比分析。从上述共10件样品中分离出石英、黄铁矿、方铅矿和黄铜矿等26个单矿物样品用于同位素地球化学研究,所有样品分析工作均在国土资源部同位素地质开放研究实验室完成。

3.1 氢同位素

将石英单矿物样品清洗、去除吸附水和次生包裹体后,用加热爆裂法从样品中提取原生流体包裹体中的 H_2O ,将 H_2O 与Zn在 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下反应30 min制取 H_2 ,在MAT-251EM质谱计上测定 H_2 的 δD 值,测试精度为3‰。测试结果见表1,8件石英样品的氢同位素组成范围是 $-79\text{ }‰\sim -52\text{ }‰$ 。

3.2 氧同位素

石英氧同位素组成分析采用 BrF_5 法,在MAT-251EM质谱计上测定 $\delta^{18}O$ 值,测试精度为0.2‰。测试结果见表1,6件中深部石英样品的氧同位素值的范围是 $9.9\text{ }‰\sim 11.8\text{ }‰$ 。2件上部坑道样品的氧同位素值分别为 $11.6\text{ }‰$ 和 $9.4\text{ }‰$ 。

3.3 硫同位素

将黄铁矿样品同 CuO 、 V_2O_5 混合氧化剂在高温真空条件下进行反应制取 SO_2 ,然后在MAT-251EM质谱计上测定 SO_2 的 $\delta^{34}S$ 值,数据采用国际标准V-CDT,测试精度为 $\pm 0.2\text{ }‰$ 。分析结果见表1,8件黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值在 $-4.7\text{ }‰\sim 5.4\text{ }‰$ 之间。

3.4 氦、氖同位素

将纯净的金属硫化物和石英单矿物样品首先用丙酮溶液在超声波中清洗20 min,溶去杂质并烘干,随后在真空条件下加热至 $120\text{ }^\circ\text{C}$ 去气24 h,除去样品表面所吸附的大气并使次生包裹体爆裂去气。通过真空压碎法使矿物流体包裹体中释放出来的气体经4级纯化,去除活性气体,Ar、Xe被冷冻至活性碳冷阱中,纯净的He、Ne进入分析系统,再经过加液氮

表1 小秦岭地区中深部含金石英脉的氢、氧、硫同位素组成分析结果

Table 1 Hydrogen, oxygen, and sulfur isotopic compositions of gold-bearing quartz veins from the medium and great depths of Xiaolinling area

序号	样品号	采样位置	成矿阶段	$\delta D_{V-SMOW}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{\text{石英}}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{\text{水}}/\text{‰}$	$\delta^{34}S_{V-CDT}/\text{‰}$
1	516HY4	A组平硐 PD986	Ⅱ	-67	11.2	2.7	-3.4
2	517HY6	A组平硐 PD986	Ⅲ	-79	11.4	2.9	-
3	519MJ1	A组平硐 PD848	Ⅲ	-58	11.8	3.3	-1.6
4	519MJ2	A组平硐 PD848	Ⅲ	-	-	-	-4.7
5	522GZ1	A组平硐 PD758	Ⅱ	-	-	-	5.4
6	614YL1	B组平硐 PDI192	Ⅱ	-78	11.2	2.7	1.5
7	510XY15	B组平硐 PDI049	Ⅱ	-52	9.9	1.4	-
8	512XY22	B组平硐 PD928	Ⅱ	-55	10.4	1.9	4.3
9	1024QM5	枪马金矿 14中段	Ⅱ	-53	11.6	3.1	0.6
10	502LH9	灵湖金矿 450中段	Ⅱ	-75	9.4	0.9	4.0

注:氢、氧同位素测试的样品均为石英单矿物,硫同位素测试的样品均为黄铁矿单矿物。测试单位:国土资源部同位素实验室;测试者:罗续荣,陶华。“-”为未测。

的钛升华泵再次纯化,将微量的 H₂、Ar 去除。在 - 78 °C 的条件下释放出 Ar,进入分析系统进行氩同位素分析。质谱分析采用 MI-1201-IG 惰性气体同位素质谱仪,³He 用电子倍增器接收,⁴He 用法拉第杯接收。工作标准为北京大气,其³He/⁴He = 1.4 × 10⁻⁶,分析结果见表 2。2 件方铅矿样品(517HY6 和 519MJ1)中氦含量低于检测限,1 件黄铜矿和 1 件石英的氦同位素组成(R/Ra)都为 0.29,其他 6 件黄铁矿的变化范围是 0.36 ~ 1.86。除 1 件黄铜矿样品的⁴⁰Ar/³⁶Ar 为 1670 外,其余的分布范围是 345 ~ 980。

4 讨论和结论

4.1 成矿流体来源

4.1.1 氢、氧同位素示踪

分析结果表明,6 件中深部石英样品的氢同位素组成为 - 79 ‰ ~ - 52 ‰,变化范围相对较大,与岩浆水和变质水的氢同位素组成(Sheppard,1977)一致。石英氧同位素组成范围是 9.9 ‰ ~ 11.8 ‰,根据氧同

位素分馏公式(Clayton 等,1972): $1000 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$,流体包裹体均一温度的平均值为 260 °C(范宏瑞等,2003),计算获得成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 的范围在 1.9 ‰ ~ 3.3 ‰ 之间,两个上部坑道样品分别为 3.1 ‰ 和 0.9 ‰。在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 图解中(图 2,Sheppard,1977),数据显示成矿流体具有接近于岩浆水和变质水(深源)的混合水特征,并向大气水方向有一定的漂移。中深部金矿体的氢、氧同位素组成与上部石英脉型金矿床(黎世美等,1996;徐九华等,1997;中国人民武装警察部队黄金指挥部,1997)基本一致,指示了成矿流体起源于相同的流体系统,并具有相似的流体演化趋势。

4.1.2 氦、氩同位素示踪

地壳流体中的惰性气体可能有 3 种不同的来源,即饱和空气雨水、地幔和地壳(Turner et al.,1993)。地幔中的氦为地球原始氦的残余部分,其组成相对于地壳以富³He 为特征,³He/⁴He = 6 ~ 9 Ra (Ra 为大气的³He/⁴He 比值,为 1.4 × 10⁻⁶;或表示为 R/Ra = 6 ~ 9, R 为³He/⁴He 测试值);地壳中的氦则相对以富⁴He 为特征,R/Ra = 0.01 ~ 0.05(Stuart

表 2 小秦岭地区中深部含金石英脉的氦、氩同位素组成分析结果

Table 2 Helium and argon isotopic compositions of gold-bearing quartz veins from the medium and great depths of Xiaoling area

序号	样号及矿物	采样平硐	成矿阶段	³ He/ ⁴ He/10 ⁻⁶	⁴ He/(10 ⁻⁶ cm ³ STP·g ⁻¹)	³ He/(10 ⁻¹² cm ³ STP·g ⁻¹)	R/Ra	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar
1	516HY4 黄铁矿	PD986	II	2.4 ± 0.2	6.68	16.03	1.71 ± 0.14	980 ± 6
2	517HY6 黄铁矿	PD986	III	0.5 ± 0.1	2.75	1.38	0.36 ± 0.07	724 ± 20
3	517HY6 黄铜矿	PD986	III	0.4 ± 0.1	0.35	0.14	0.29 ± 0.07	1670 ± 34
4	517HY6 方铅矿	PD986	III	微量	-	-	-	465 ± 1
5	519MJ1 方铅矿	PD848	III	微量	-	-	-	345 ± 2
6	519MJ1 黄铁矿	PD848	III	0.6 ± 0.1	11.08	6.65	0.43 ± 0.07	371 + 2
7	522GZ1 黄铁矿	PD758	II	1.3 ± 0.2	3.96	5.15	0.93 ± 0.14	588 ± 1
8	614YL1 黄铁矿	PDI192	II	1.9 ± 0.2	0.71	1.35	1.36 ± 0.14	611 ± 1
9	512XY22 黄铁矿	PD928	II	2.6 ± 0.4	1.04	2.70	1.86 ± 0.29	602 ± 2
10	512XY22 石英	PD928	II	0.4 ± 0.2	0.52	0.21	0.29 ± 0.14	877 ± 16

序号	样号及矿物	采样平硐	成矿阶段	⁴⁰ Ar/ ³⁸ Ar	³⁶ Ar/ ³⁸ Ar	⁴⁰ Ar/(10 ⁻⁷ cm ³ STP·g ⁻¹)	⁴⁰ Ar*/(10 ⁻⁷ cm ³ STP·g ⁻¹)	³⁶ Ar/(10 ⁻⁷ cm ³ STP·g ⁻¹)
1	516HY4 黄铁矿	PD986	II	5316 ± 75	5.4 ± 0.1	5.84	4.08	5.96
2	517HY6 黄铁矿	PD986	III	4011 ± 189	5.5 ± 0.1	3.09	1.83	4.27
3	517HY6 黄铜矿	PD986	III	8878 ± 302	5.3 ± 0.1	0.80	0.66	0.48
4	517HY6 方铅矿	PD986	III	2488 ± 6	5.4 ± 0.0	0.34	0.12	0.73
5	519MJ1 方铅矿	PD848	III	2065 ± 9	5.4 ± 0.3	0.46	0.07	1.33
6	519MJ1 黄铁矿	PD848	III	2065 ± 9	5.3 + 0.0	11.16	2.27	30.08
7	522GZ1 黄铁矿	PD758	II	3202 ± 25	5.5 ± 0.1	2.00	0.99	3.40
8	614YL1 黄铁矿	PDI192	II	3330 ± 68	5.4 ± 0.1	0.95	0.49	1.55
9	512XY22 黄铁矿	PD928	II	3221 ± 14	5.4 ± 0.0	4.66	2.37	7.74
10	512XY22 石英	PD928	II	4746 ± 95	5.4 ± 0.0	13.77	9.13	15.70

注:⁴⁰Ar* 代表放射性成因氩;测试单位:国土资源部同位素地质开放研究实验室。分析者:宋鹤彬。“-”为未测。

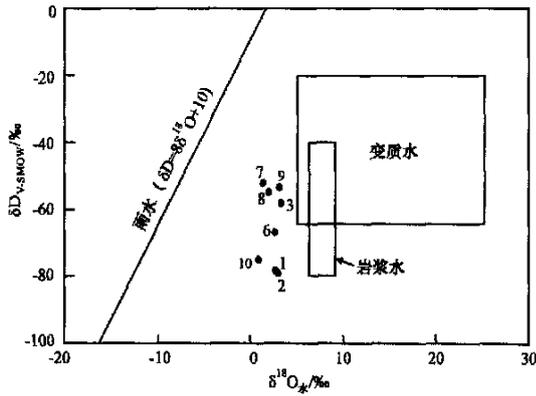


图2 小秦岭中深部含金石英脉 δD-δO_水 图解
(底图据 Sheppard, 1977; 数据点号同表1 序号)

Fig. 2 δD versus δO_{H₂O} diagram of gold-bearing quartz veins from the medium and great depths of Xia Qinling area (after Sheppard, 1977; Data number as for Table 1)

et al., 1995)。氦在大气中的含量极低,因而不足以对地壳流体中的氦丰度和同位素组成产生明显的影响(Stuart et al., 1994)。本次样品均采于地下坑道,其中不可能存在宇宙成因的³He (Simmons et al., 1987)。因此,本区金成矿流体的氦同位素只有3种可能,即地幔、地壳,或是两者皆有。

10件样品中(表2)的2件方铅矿(517HY6和519MJ1)的氦含量低于检测限,1件黄铜矿和1件石英的氦同位素值较低(R/Ra = 0.29),其他6件黄铁矿样品的R/Ra变化范围在0.36~1.86之间,高出地壳氦同位素特征值1~2个数量级,指示了成矿流体中存在幔源氦。同时所测值又比地幔特征值相对偏低,指示了流体中壳源氦的普遍存在,因此本区成矿流体中的氦是地幔和地壳氦的混合产物。在氦同位素组成分布图(图3)上,数据点均落于地幔和地壳之间靠近地幔区的过渡区内。所有数据点明显呈2个区域分布,即数据点1、7、8、9更接近地幔,而数据点2、3、6则相对偏离,这一分布特征与成矿阶段相吻合:前一组数据点对应的样品为第II阶段(石英-黄铁矿阶段)的黄铁矿,后一组数据点对应的样品为第III阶段(石英-多金属硫化物)的黄铁矿和黄铜矿,成矿流体中的氦同位素值呈现出由早到晚逐渐降低的趋势。这一特征表明早期的成矿流体中相对富集幔源氦,随着成矿作用的演化逐渐加入了地壳来源的氦。

本次所测试的10件样品的⁴⁰Ar/³⁶Ar值都较高,

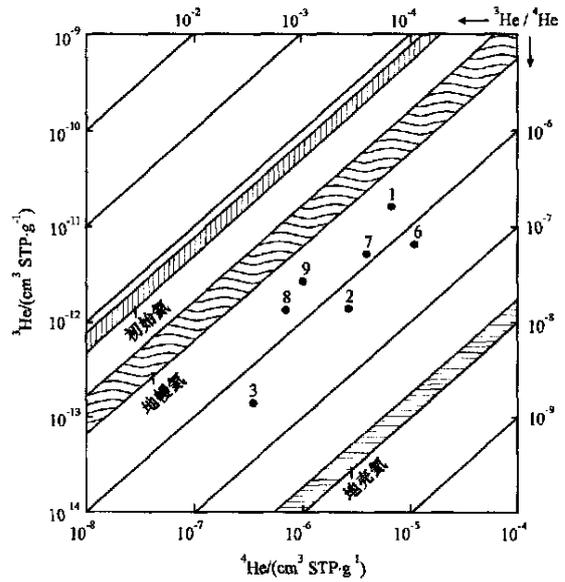


图3 小秦岭地区中深部含金石英脉氦同位素组成分布图(底图据 Mamyryn et al., 1984; 数据点号同表2 序号)

Fig. 3 Helium isotopic compositions of gold-bearing quartz veins from the medium and great depths of Xia Qinling area (modified from Mamyryn et al., 1984; Data number as for Table 2)

变化范围在345~1670之间,普遍高于大气值(表2)。尽管样品517HY6的黄铜矿在所有样品中具有最高的⁴⁰Ar/³⁶Ar值,但由于其³He/⁴He值较低,所以推断其幔源组分很少,而更接近于壳源。样品516HY4的黄铁矿同时具有较高的⁴⁰Ar/³⁶Ar值和³He/⁴He值,这是地幔氦所特有的(Stuart et al., 1994)。在⁴⁰Ar* / ⁴He-³He / ⁴He (⁴⁰Ar* 为放射性氩)图解上(图4),第II阶段数据点1、7、8、9基本沿壳幔混合趋势线分布。第III阶段数据点2、3、6则沿放射性氩增加的方向亦即氦降低的趋势方向分布,指示晚期成矿流体中地壳流体逐渐参与的趋势。氦、氩同位素体系特征进一步表明本区成矿流体的初始来源以地幔为主,随着成矿作用的进行壳源流体逐渐加入,因此,壳幔相互作用所导致的多源流体混合是本区成矿流体演化的主要机制。

小秦岭地区含金石英脉的氦同位素组成特征与中国目前一些已确定的壳、幔流体共同参与成矿作用的大水沟碲矿床(毛景文等, 2000)、马厂箐铜矿床(胡瑞忠等, 1997)、哀牢山金矿带(胡瑞忠等, 1999)和胶东地区金矿床(张连昌等, 2002)等基本相同(上述矿床的R/Ra为0.1~3.0);与以地幔流体为主的

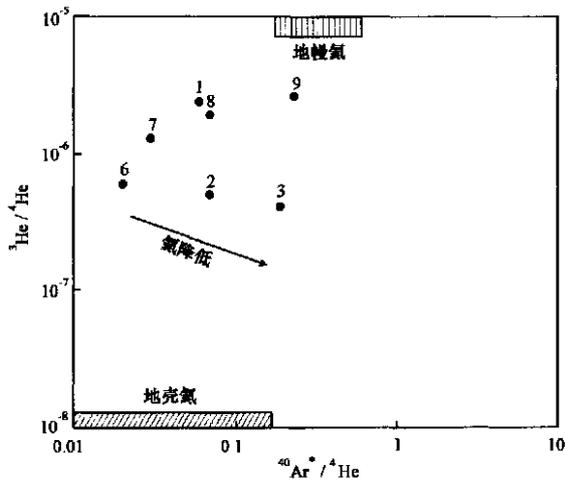


图 4 小秦岭地区中深部含金石英脉的 $^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}$ - $^3\text{He}/^4\text{He}$ 图解(底图据胡瑞忠等,1997;数据点号同表 2 序号)

Fig. 4 $^3\text{He}/^4\text{He}$ versus $^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}$ diagram of gold-bearing quartz veins from the medium and great depths of Xiaolingling area (modified from Hu et al., 1997; Data number as for Table 2)

东坪金矿(R/R_a 为 0.3~5.2,毛景文等,2001)、万古金矿(R/R_a 为 3.5~9.8, Mao et al., 2002a),以及以地壳流体为主的大渡河金矿田(R/R_a 为 0.16~0.86,李晓峰等,2004)、布隆金矿(R/R_a 为 0.24~0.82,杨富全等,2004)等则有较大差别。

4.1.3 其他示踪证据

前人对小秦岭金矿区方解石等碳酸盐矿物的碳同位素组成研究(北京科技大学等,1992^①;李绍儒等,1998;罗铭玖等,2000)表明,本区成矿流体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围在-7.7‰~-3.2‰之间,平均值为-5.5‰,具有深部幔源特征。

成矿流体来源的间接证据是本区普遍发育的起源于深部地幔的辉绿岩脉、辉长辉绿岩脉、辉长辉绿玢岩脉和煌斑岩脉等中基性岩脉。倪师军等(1994)研究认为这些中基性岩脉属于大陆拉斑玄武岩-碱性玄武岩系列,其形成经历了上地幔物质的部分熔融和岩浆分离结晶作用(有陆壳物质的混染)两个演化阶段,发育过程中伴随的地幔去气作用可使 SO_2 和 CO_2 等挥发组分进入成矿流体系统而起到矿化剂的作用,从而导致成矿元素富集沉淀。中基性岩脉的发育指示了伸展状态下形成的张性断裂系统为岩

脉提供了就位空间,同时这些岩脉与含金石英脉共生或相互交切的空间关系,表明它们的发育贯穿了含金石英脉形成的全过程,说明成矿流体同中基性岩脉一样是区域伸展构造背景下的产物。

4.2 成矿物质来源

本区中深部含金石英脉的硫同位素组成(表 1)总体上变化不大, $\delta^{34}\text{S}$ 以正值为主,具深源硫特征,均一化程度较高。黎世美等(1996)根据磁铁矿和赤铁矿共生关系计算获得了本区主要金矿床主成矿阶段的 $f(\text{O}_2)$ 值和由流体包裹体测得的 pH 值,用 pH- $f(\text{O}_2)$ 图解推算出成矿流体的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{SS}}$ 值约为 3‰~4‰,也表明本区成矿物质中的硫具有接近陨石硫的深源特征。

前人对小秦岭金矿区矿石铅同位素的研究(北京科技大学等,1992^①;罗铭玖等,2000;聂凤军等,2001)结果表明,本区矿石铅同位素组成的变化较大。 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 16.479~18.300 之间,平均值为 17.217; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 14.849~16.246 之间,平均值为 15.379; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 36.509~39.919 之间,平均值为 37.780。在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解中,数据投点主要分布于地幔铅和造山带铅之间、下地壳铅与造山带铅之间,矿石铅同位素的复杂性暗示其是一种来源于地幔和地壳的混合铅。

4.3 成矿作用模式

秦岭造山带是华北和扬子两大板块于印支期碰撞的结果(李曙光等,1989;Ames et al., 1993;张国伟等,1996),其全面的陆-陆碰撞造山发生在中生代初期的 T_1-T_2 (张国伟等,1996)。秦岭造山带自燕山期开始转入陆内演化阶段,受特提斯构造域和太平洋构造域构造动力此弱彼强的影响,中国东部大陆的区域构造体制发生转换(任纪舜,1991;赵越等,1994;张国伟等,1996),华北克拉通南缘随之转入区域伸展构造环境,形成了一条近东西向展布的伸展构造走廊(Zhang et al., 1999),自西向东发育了骊山、小秦岭、崤山和熊耳山等以太古代太华群深变质岩系为核部、元古代熊耳群火山岩系为盖层、以拆离断层系为界的变质核杂岩,其间依次分布有蓝田-渭南、朱阳-灵宝、卢氏-洛宁等一系列呈 NE 向展布的中、新生代断陷盆地,构成了非对称型“盆-岭”样式的伸展构造格局(王义天,2002),小秦岭变质核

① 北京科技大学,中国人民武装警察部队黄金第九支队. 1992. 河南出岔-乱石沟金矿成矿地质特征及找矿方向研究. 内部报告. 70~

杂岩(石铨曾等,1993;胡正国等,1994a;1994b;Hu et al.,1996;Zhang et al.,1999)为其中的典型伸展构造代表。越来越多的证据显示,小秦岭地区乃至中国东部地区大规模的金成矿作用发生在130~110 Ma期间(徐启东等,1998;陈衍景等,1998;朱嘉伟等,1999;Yang et al.,2001;Goldfarb et al.,2001;王义天等,2001;魏俊浩等,2001;Wang et al.,2002;Mao et al.,2003;Li et al.,2003;Zhang et al.,2003),这与小秦岭变质核杂岩的伸展隆升时限(135~116 Ma,Zhang et al.,1999)相一致。这种区域伸展构造作用主要受控于深部过程,即拆沉作用导致软流圈热物质上涌和地幔楔部分熔融而引起上部地壳的伸展隆升(Mao et al.,2002b)。

小秦岭地区从上部到中深部含金石英脉的氢、氧、碳、氦、氩、硫和铅同位素组成特征指示了本区的成矿流体以深部来源为主,随着成矿过程的进行,显示出不断与浅部流体混合的趋势。前人研究(王亨治等,1987;胡正国等,1994a;Jiang,2000;范宏瑞等,2003;卢欣祥等,2003)表明,小秦岭地区石英脉型金矿的成矿温度、压力和流体盐度随着成矿作用阶段由早到晚逐渐降低,指示成矿流体由深源向浅源增加的方向演化。这些成矿作用特征与本区伸展构造体制下变质核杂岩的伸展隆升的构造演化特征相吻合,暗示了成矿流体的活动主要受控于岩石圈伸展构造体制。

根据小秦岭地区成矿作用与区域伸展构造演化之间的耦合关系,本区的金成矿作用模式可以概括如下:在中生代晚期的后碰撞阶段(王义天等,2002),岩石圈拆沉作用导致软流圈热物质上涌和地幔楔部分熔融,从而引发华北克拉通南缘的伸展构造运动,在小秦岭地区形成了典型的变质核杂岩。随着基底的不断抬升,构造层次的不不断上移,在基底岩系中形成了张扭性或压扭性的剪切断裂系统。起源于深部的成矿流体沿伸展构造系统向上运移,深源流体与浅部流体逐渐混合,同时流体与围岩之间发生水-岩相互作用,引发广泛的物质和能量的交换。温度和压力不断降低,成矿物质在流体系统中不断富集,最终在适宜的温压条件和矿化剂的作用下于变质核杂岩内部的剪切扩容空间中富集成矿。

致谢 笔者在野外工作中始终得到了河南省灵宝市地质矿产局刘树林、白正权、李书辉、石黎红、张建斌和田涛等领导和技术人员的大力支持和协

助,李延河研究员对氦、氩同位素数据的处理给予了热情指导,在此向他们表示衷心的感谢!

References

- Ames L, Tilton G R and Zhou G. 1993. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites[J]. *Geol.*, 21: 339~342.
- Chen Y J, Guo G J and Li X. 1998. Geodynamic settings of the Mesozoic gold mineralization in the granite-green schist terrane of the North China craton[J]. *Sci. in China (Series D)*, 28(1): 35~40 (in Chinese).
- Clayton R N, O'Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water[J]. *J. Geophys. Res.*, B77: 3057~3067.
- Fan H R, Xie Y H, Zhai M G, et al. 2003. Three stages of fluids migration deposition of lode gold deposits in Xiaoqinling, Henan and Shanxi Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19(2): 260~266 (in Chinese with English abstract).
- Goldfarb R J, Groves D I and Gardoll S. 2001. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis[J]. *Ore Geol. Rev.*, 18: 1~75.
- Hu R Z, Bi X W, Turner G, et al. 1997. He-Ar isotopic systematics of pyrite fluid inclusions in the Machangjing copper deposit of Yunnan Province[J]. *Sci. in China (Series D)*, 27(6): 503~508 (in Chinese).
- Hu R Z, Bi X W, Turner G, et al. 1999. Helium and argon isotopic geochemistry of gold mineralizing fluid of Ailaoshan gold mineralization belt[J]. *Sci. in China (Series D)*, 29(4): 321~330 (in Chinese).
- Hu Z G and Q Z Z. 1994a. A new view on the tectonics of Xiaoqinling area[J]. *Geol. Rev.*, 40(4): 289~295 (in Chinese with English abstract).
- Hu Z G, Qian Z Z, Yan G M, et al. 1994b. Xiaoqinling metamorphic core complex and gold deposits[M]. Xi'an: Shaanxi Press of Sci. & Technol. 6~18, 102~182 (in Chinese).
- Hu Z G, Qian Z Z and Wang Y T. 1996. A regional pattern of extensional active zone in the south margin (Yu-Shan area) along continental nucleus of the North China[A]. 30th IGC Abstracts, Vol. 2 [C]. Beijing. 290.
- Jiang N. 2000. Hydrothermal fluid evolution associated with gold mineralization at the Wenyu mine, Xiaoqinling district, China[J]. *Res. Geol.*, 50(2): 103~112.
- Li J W, Vasconcelos P M, Zhang J, et al. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ constraints on a temporal link between gold mineralization, magmatism, and continental margin transtension in the Jiaodong gold province, eastern China[J]. *J. Geol.*, 111(6): 741~751.
- Li S G, Hart S R, Zheng S G, et al. 1989. Collisional time of the North China and South China blocks: Evidence from the Sm-Nd isotopic ages[J]. *Sci. in China (Series D)*, (3): 312~319 (in Chinese).
- Li S M, Qu L Q, Su Z B, et al. 1996. Geology and metallogenetic prediction of gold deposits in Xiaoqinling area[M]. Beijing: Geol. Pub.

- House. 67 ~ 178(in Chinese with English abstract) .
- Li S R, Li Q Z, Li W L, et al. 1998. A new view on the genesis of the Xiaqingling gold field [J]. *Gold Geol.*, 4(1) : 41 ~ 49(in Chinese with English abstract) .
- Li X F, Mao J W, Wang D H, et al. 2004. Ore-forming fluid source of the Daduhe gold field in Sichuan Province: Helium, argon, sulfur, hydrogen, and oxygen isotopic tracing[J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(2) : 203 ~ 210(in Chinese with English abstract) .
- Lu X X, Yu X D, Yu Z P, et al. 2003. Characteristics of ore-forming fluids of the gold deposits in the Xiaqingling-Xiong'er shan area [J]. *Mineral Deposits*, 22(4) : 377 ~ 385(in Chinese with English abstract) .
- Luo M J, Li S M, Lu X X, et al. 2000. Metallogenesis and deposit series of main mineral resources of Henan Province [M]. Beijing: Geol. Pub. Hopuse. 15 ~ 125(in Chinese with English abstract) .
- Mamyrin B A and Tolstikhin I. 1984. Helium isotopes in nature[M]. Amsterdam: Elsevier. 273p.
- Mao J W and Wei J X. 2000. Helium and argon isotopic components of fluid inclusion and tracing to the source of metallogenic fluid in the Dashuigou tellurium deposit of Sichuan Province[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 21(1) : 58 ~ 61(in Chinese with English abstract) .
- Mao J W and Li Y Q. 2001. Study on fluid inclusions of the Dongping telluride-gold deposit in Hebei Province: Relationship between mantle fluids and mineralization[J]. *Mineral Deposits*, 20(1) : 23 ~ 36(in Chinese with English abstract) .
- Mao J W, Kerrich R, Li H Y, et al. 2002a. High $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios in the Wangu gold deposit, Hunan Province, China: Implication for mantle fluids along the Tanlu deep fault zone [J]. *Geochem. J.*, 36(3) : 197 ~ 208 .
- Mao J W, Goldfarb R J, Zhang Z W, et al. 2002b. Gold deposits in the Xiaqingling-Xiong'er shan region, Qinling mountains, central China [J]. *Mineralium Deposita*, 37 : 306 ~ 325 .
- Mao J W, Wang Y T, Zhang Z H, et al. 2003. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in North China and adjacent areas: Implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits[J]. *Sci. in China (Series D)*, 46(8) : 838 ~ 851 .
- Ni S J, Li C Y, Zhang C, et al. 1994. Contribution of meso-basic dyke rocks to gold mineralization: As exemplified for Xiaqingling, China [J]. *J. Chengdu Instit. Technol.*, 21(3) : 70 ~ 78(in Chinese with English abstract) .
- Nie F J, Jiang S H and Zhao Y M. 2001. Lead and sulfur isotopic studies on Wenyu and Dongchuang quartz vein-type gold deposits in Xiaqingling area[J]. *Mineral Deposits*, 20(2) : 163 ~ 173(in Chinese with English abstract) .
- Ren J S. 1991. On the basic features of China continental lithosphere [J]. *China Regional Geol.*, 2 : 289 ~ 293(in Chinese with English abstract) .
- Sheppard S M F. 1977. Identification of the origin of ore-forming solutions by the use of stable isotopes[J]. *Inst. Mining Metallurgy*, 25 ~ 41 .
- Shi Q Z and Qin G Q. 1993. Detachment extension and gold mineralization in post-orogenic in western Henan Province[J]. *Henan Geol.*, 11 : 27 ~ 36(in Chinese) .
- Simmons S F, Sawkins F J and Schlutter D J. 1987. Mantle-derived helium in two Peruvian hydrothermal ore deposits[J]. *Nature*, 329 : 429 ~ 432 .
- Stuart F M, Turner G, Duckworth R C, et al. 1994. Helium isotopes as tracers of trapped hydrothermal fluids in ocean-floor sulfides[J]. *Geol.*, 22 : 823 ~ 826 .
- Stuart F M, Burnard P G, Taylor R P, et al. 1995. Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluids: He-Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W-Mo mineralization, South Korea[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59 : 4663 ~ 4673 .
- The Gold Headquarter of The Chinese People's Armed Police Forces. 1997. Geology of the Dongchuang quartz vein gold deposit in Pre-Cambrian, Henan Province[M]. Beijing: Seismology Press. 28 ~ 183(in Chinese with English abstract) .
- Turner G, Burnard P B, Ford J L, et al. 1993. Tracing fluid sources and interaction[J]. *Phil. Trans. R. Soc. Lond A*, 344 : 127 ~ 140 .
- Wang H Z. 1987. Geological features and ore genesis of the Xiaqingling gold field[J]. *Mineral Deposits*, 6(1) : 57 ~ 67(in Chinese with English abstract) .
- Wang Y T, Mao J W and Lu X X. 2001. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating and geochronological constraints on the ore-forming epoch of the Qiyugou gold deposit in Songxian County, Henan Province[J]. *Geol. Rev.*, 47(5) : 551 ~ 555(in Chinese with English abstract) .
- Wang Y T, Mao J W, Lu X X, et al. 2002. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating and geological implication of auriferous altered rocks from the middle-deep section of Q875 gold-quartz vein in Xiaqingling area, Henan, China [J]. *Chinese Sci. Bull.*, 47(20) : 1750 ~ 1755 .
- Wang Y T. 2002. Studies on the gold mineralization and metallogenic geodynamic settings of the Xiaqingling metamorphic core complex in Mesozoic [R]. Postdoctoral research report. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences. 44 ~ 46(in Chinese with English abstract) .
- Wang Y T and Mao J W. 2002. Mineralization in the post-collisional orogenic extensional regime: A case study of the Xiaqingling gold deposit clustering area[J]. *Geol. Bull. China*, 21(8 ~ 9) : 562 ~ 566(in Chinese with English abstract) .
- Wei J H, Liu C Q, Zhao Y X, et al. 2001. Time limit of the main metallogenic stage of the Wulong gold deposit in Liaoning Province [J]. *Geol. Rev.*, 47(4) : 433 ~ 437(in Chinese with English abstract) .
- Xu J H, Xie Y L and Shen S L. 1997. Ore-forming fluid comparison of gold deposits in Xiaqingling and Jiaodong[J]. *Mineral Deposits*, 16(2) : 151 ~ 162(in Chinese with English abstract) .
- Xu Q D, Zhong Z Q, Zhou H W, et al. 1998. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of Xiaqingling gold area in western Henan Province[J]. *Geol. Rev.*, 44(3) : 323 ~ 327(in Chinese with English abstract) .
- Yang F Q, Wang Y T, Mao J W, et al. 2004. Geological features and S, He and Ar isotopic studies of the Bulong quartz-barite vein-type

- gold deposit in Akqi County, Xinjiang [J]. *Geol. Rev.*, 50 (1): 87 ~ 98 (in Chinese with English abstract).
- Yang J H and Zhou X H. 2001. Rb-Sr, Sm-Nd, and Pb isotope systematics of pyrite: Implications for the age and genesis of lode gold deposits [J]. *Geol.*, 29: 711 ~ 714.
- Zhang G W, Meng Q R, Yu Z P, et al. 1996. Orogenic process and dynamic features of the Qinling orogene [J]. *Sci. in China (Series D)*, 26(3): 193 ~ 200 (in Chinese).
- Zhang J J, Zheng Y D and Liu S W. 2003. Mesozoic tectonic evolution and ore formation in Xiaolinling gold field [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 38(1): 74 ~ 84 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J J and Zheng Y D. 1999. The multiphase extension and their ages of the Xiaolinling metamorphic core complex [J]. *Acta Geologica Sinica*, 73: 139 ~ 147 (in Chinese with English abstract).
- Zhang L C, Shen Y C, Li H M, et al. 2002. Helium and argon isotopic composition of fluid inclusion and tracing source of ore-forming fluid of gold deposits in Jiaodong area [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 18 (4): 559 ~ 565 (in Chinese with English abstract).
- Zhang X O, Cawood P A, Wilde S A, et al. 2003. Geology and timing of mineralization at the Cangshang gold deposit, north-western Jiaodong Peninsular, China [J]. *Mineralium Deposita*, 38: 141 ~ 153.
- Zhao Y, Yang Z Y and Ma X H. 1994. Important transition of the eastern Asia tectonics development [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 29 (2): 105 ~ 119 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z H, Xiong X L, Wang Q, et al. 2003. Alkali-rich igneous rocks and related Au and Cu large and superlarge deposits in China [J]. *Sci in China (Series D)*, 46 (Sup.): 1 ~ 13.
- Zhu J W, Zhang T Y and Xue L W. 1999. Age dating and its significance of the gold deposit in Xiaoshan area, western Henan Province [J]. *Geol. Rev.*, 45(4): 418 ~ 422 (in Chinese with English abstract).
- 陈衍景, 郭光军, 李欣. 1998. 华北克拉通花岗绿岩地体中生代金矿床的成矿地球动力学背景 [J]. *中国科学(D辑)*, 28(1): 35 ~ 40.
- 范宏瑞, 谢奕汉, 翟明国, 等. 2003. 豫陕小秦岭脉状金矿床三期流体运移成矿作用 [J]. *岩石学报*, 19(2): 260 ~ 266.
- 胡瑞忠, 毕献武, Turner G, 等. 1997. 马厂菁铜矿床黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素体系 [J]. *中国科学(D辑)*, 27(6): 503 ~ 508.
- 胡瑞忠, 毕献武, Turner G, 等. 1999. 哀牢山金矿带金成矿流体 He 和 Ar 同位素地球化学 [J]. *中国科学(D辑)*, 29(4): 321 ~ 330.
- 胡正国, 钱壮志. 1994a. 小秦岭地质构造新认识 [J]. *地质论评*, 40 (4): 289 ~ 295.
- 胡正国, 钱壮志, 闫广民, 等. 1994b. 小秦岭拆离-变质杂岩核构造与金矿 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社. 6 ~ 18, 102 ~ 182.
- 李绍儒, 李强之, 李文良, 等. 1998. 小秦岭金矿田矿床成因新认识 [J]. *黄金地质*, 4(1): 41 ~ 49.
- 李曙光, Hart S R, 郑双根, 等. 1989. 中国华北-华南陆块碰撞时代的钐-钕同位素年龄证据 [J]. *中国科学(D辑)*, (3): 312 ~ 319.
- 黎世美, 瞿伦全, 苏振邦, 等. 1996. 小秦岭金矿地质和成矿预测 [M]. 北京: 地质出版社. 67 ~ 178.
- 李晓峰, 毛景文, 王登红, 等. 2004. 四川大渡河金矿田成矿流体来源的氮-氩-氩同位素示踪 [J]. *地质学报*, 78(2): 203 ~ 210.
- 卢欣祥, 尉向东, 于在平, 等. 2003. 小秦岭-熊耳山地区金矿的成矿流体特征 [J]. *矿床地质*, 22(4): 377 ~ 385.
- 罗铭玖, 黎世美, 卢欣祥, 等. 2000. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床成矿系列 [M]. 北京: 地质出版社. 15 ~ 125.
- 毛景文, 魏家秀. 2000. 大水沟碲矿床流体包裹体的 He、Ar 同位素组成及示踪成矿流体的来源 [J]. *地球学报*, 21(1): 58 ~ 61.
- 毛景文, 李荫清. 2001. 河北省东坪碲化物金矿床流体包裹体研究: 地幔流体与成矿关系 [J]. *矿床地质*, 20(1): 23 ~ 36.
- 倪师军, 李朝阳, 张诚, 等. 1994. 中基性脉岩对金矿成矿的贡献——以小秦岭金矿区为例 [J]. *成都理工学院学报*, 21(3): 70 ~ 78.
- 聂凤军, 江思宏, 赵月明. 2001. 小秦岭地区文峪和东闯石英脉型金矿床铅及硫同位素研究 [J]. *矿床地质*, 20(2): 163 ~ 173.
- 任纪舜. 1991. 论中国大陆岩石圈构造的基本特征 [J]. *中国区域地质*, 2: 289 ~ 293.
- 石铨曾, 秦国群. 1993. 豫西后造山阶段的剥离伸展构造与金矿化 [J]. *河南地质*, 11: 27 ~ 36.
- 王亨治. 1987. 小秦岭金矿田地质特征及矿床成因 [J]. *矿床地质*, 6 (1): 57 ~ 67.
- 王义天, 毛景文, 卢欣祥. 2001. 嵩县祁雨沟金矿成矿时代的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学证据 [J]. *地质论评*, 47(5): 551 ~ 555.
- 王义天. 2002. 小秦岭变质核杂岩中生代金的成矿作用与成矿地球动力学背景研究 [M]. 博士后研究报告. 北京: 中国地质科学院. 44 ~ 46.
- 王义天, 毛景文. 2002. 碰撞造山作用期后伸展体制下的成矿作用——以小秦岭金矿集中区为例 [J]. *地质通报*, 21(8-9): 562 ~ 566.
- 魏俊浩, 刘丛强, 赵永鑫, 等. 2001. 辽宁五龙金矿主成矿阶段成矿持续时间 [J]. *地质论评*, 47(4): 433 ~ 437.
- 徐九华, 谢玉玲, 申世亮. 1997. 小秦岭与胶东金矿床的成矿流体特征对比 [J]. *矿床地质*, 16(2): 151 ~ 162.
- 徐启东, 钟增球, 周汉文, 等. 1998. 豫西小秦岭金矿区的一组⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年数据 [J]. *地质论评*, 44(3): 323 ~ 327.
- 杨富全, 王义天, 毛景文, 等. 2004. 新疆阿合奇县布隆石英重晶石脉型金矿地质特征和硫、氮、氩同位素研究 [J]. *地质论评*, 50 (1): 87 ~ 98.
- 张国伟, 孟庆仁, 于在平, 等. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征 [J]. *中国科学(D辑)*, 26(3): 193 ~ 200.
- 张进江, 郑亚东, 刘树文. 2003. 小秦岭金矿田中生代构造演化与矿床形成 [J]. *地质科学*, 38(1): 74 ~ 84.
- 张连昌, 沈远超, 李厚民, 等. 2002. 胶东地区金矿床流体包裹体的 He、Ar 同位素组成及成矿流体的来源示踪 [J]. *岩石学报*, 18 (4): 559 ~ 565.
- 赵越, 杨振宇, 马醒华. 1994. 东亚大地构造发展的重要转折 [J]. *地质科学*, 29(2): 105 ~ 119.
- 中国人民武装警察部队黄金指挥部. 1997. 河南省东闯前寒武系中

石英脉金矿地质[M]. 北京：地震出版社. 28~183.

及其意义[J]. 地质论评, 45(4): 418~422.

朱嘉伟, 张天义, 薛良伟. 1999. 豫西崤山地区金矿成矿年龄的测定

Isotope geochemical characteristics of auriferous quartz veins from medium and great depths of Xia Qinling area, central China and their significance

WANG Yi-tian¹, MAO Jing-wen^{1,2}, YE An-wang³, YE Hui-shou², LI Yong-feng²,
LU Xin-xiang⁴ and LI Yong-ge³

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Faculty of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 Lingbao Bureau of Geology and Mineral Resources, Lingbao 472500, Henan, China; 4 Henan Institute of Geological Sciences, Zhengzhou 450053, Henan, China)

Abstract

H, O, S, He and Ar isotopes of gold-bearing quartz veins from the medium and great depths of Xia Qinling area in central China were studied in this paper. The data obtained indicate that the ore-forming fluids were dominantly derived from the upper mantle and gradually mixed with crustal fluids along with the metallogenic process. According to the temporal and spatial link between the gold mineralization and the tectonic evolution of regional extension in combination with other researchers' achievements, the authors hold that the main gold mineralization in Xia Qinling area occurred at the post-collisional stage of Late Mesozoic, being products of the regional extension resulting from the deep process. The extensional tectonic system provided dilatational space for migration, mixing and water/rock interaction of the ore-forming fluids as well as gold enrichment and deposition.

Key words: geochemistry, gold-bearing quartz vein, hydrogen, oxygen, sulfur, helium and argon isotopes, mineralization, extension tectonics, Xia Qinling

<http://www.kcdz.ac.cn/>