

小秦岭—熊耳山地区金矿的稳定 同位素地球化学特征

尉向东* 卢欣祥 董 有

(河南省地质科学研究所, 郑州)

提 要: 通过对小秦岭—熊耳山地区不同类型金矿床的 O、H、C、Pb、S 稳定同位素的研究, 认为区内不同类型的金矿有着共同的起源于地幔的成矿流体与成矿物质来源。金矿的形成是主要起源于地幔的成矿流体由下向上运移与由上向下渗透的大气降水混合, 而引起流体物化条件快速变化, 导致金等成矿物质沉淀的结果。

关键词: 金矿 稳定同位素 成矿流体 地幔

1 区域地质概况

小秦岭—熊耳山地区在大地构造背景上均处于华北地台南缘, 是一有着复杂、多期构造变动的地区, 特别是中生代扬子板块与华北板块的碰撞造山作用, 使华北板块向扬子板块仰冲, 在东秦岭出现由北向南的推覆构造, 同时, 也使小秦岭—熊耳山地区成为秦岭造山带的一部分, 位于北秦岭造山带的北部边缘。随着区内地质的演化, 秦岭造山带进入后造山演化阶段, 地壳由造山期的收缩转化为伸展。同时, 由于造山带的顶蚀, 伸展塌陷, 在秦岭造山带的北缘形成了由太古宙片麻岩系组成的, 具变质核杂岩特征的小秦岭、崤山、熊耳山 3 个隆起区。

2 金矿床地质特征

小秦岭—熊耳山地区的金矿, 主要分布在小秦岭、崤山和熊耳山 3 个隆起区内, 受分布在基底片麻岩系和盖层中的脆韧性剪切带、脆性断裂构造控制。矿床类型有石英脉型, 构造蚀变岩型和爆破角砾岩型 3 类, 而且石英脉型与构造蚀变岩型间还可见有过渡类型——石英脉+蚀变岩型金矿。

上述金矿床类型自西而东在区域上具规律性分布, 小秦岭地区主要为石英脉型, 仅在其西端的驾鹿、灞源一带出现少量蚀变岩型金矿。向东崤山地区即有蚀变岩型, 也有石英脉型。而最东部的熊耳山地区以构造蚀变岩型为主, 仅见少量石英脉型及石英脉+蚀变岩型金矿。

区内不同类型的金矿床中, 其矿石的矿物成分和矿化蚀变分期具有明显的一致性。矿石中的金属矿物主要为黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿等, 脉石矿物主要为石英, 其次为方

* 尉向东, 男, 高级工程师, 从事金矿地质研究。邮政编码: 450053

解石、

白云石、钾长石、绢云母、重晶石、萤石等。矿化蚀变分期,不同的矿床类型均大致可归为3期:Ⅰ、石英-黄铁矿(-铁白云石-钾长石)阶段;Ⅱ、石英-多金属硫化物-黄铁矿阶段;Ⅲ、石英-碳酸盐-黄铁矿阶段。上述矿石的矿物成分和矿化蚀变分期的一致性,从一方面揭示了区内金成矿作用的同源性和相似性。

3 稳定同位素特征

3.1 氢、氧同位素特征

到目前为止,不同学者已对区内众多的金矿床进行了200多件的氢、氧同位素测试。结果表明小秦岭、崤山、熊耳山3个地区中不同地区、不同矿床类型的金矿均具有基本相同的氢、氧同位素:从空间分布看,小秦岭地区金矿的成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-6.4\text{‰} \sim -6.0\text{‰}$, δD 为 $-47\text{‰} \sim -124\text{‰}$,崤山地区金矿的成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-6.8\text{‰} \sim -7.4\text{‰}$, $\delta\text{D}(\text{‰})$ 为 $-67 \sim -116$,熊耳山地区金矿的成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-7.2\text{‰} \sim -8.7\text{‰}$, $\delta\text{D}(\text{‰})$ 为 $-45 \sim -100$;从不同的矿床类型看,石英脉型金矿成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-8.0\text{‰} \sim -7.4\text{‰}$, $\delta\text{D}(\text{‰})$ 为 $-47 \sim -124$,蚀变岩型金矿的成矿流体 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-7.2\text{‰} \sim -8.7\text{‰}$, $\delta\text{D}(\text{‰})$ 为 $-45 \sim -100$,爆破角砾岩型金矿成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-4.5\text{‰} \sim -7.3\text{‰}$, $\delta\text{D}(\text{‰})$ 为 $-52 \sim -78$ 。在 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 图上也均投影在雨水线与岩浆水(或变质水)之间的共同区内。从而表明了3个地区所有金矿床的成矿流体应具有共同的来源和演化历史。而且其 $\delta^{18}\text{O}$ 值最小为 -8.0‰ ,最大可达 8.7‰ ,具有较大的变化范围,明显的反映了成矿流体的多源混合特征。

从不同矿化阶段氢、氧同位素变化看,自成矿早期到成矿晚期,氢同位素基本相同,其 $\delta\text{D}(\text{‰})$ 值为:小秦岭地区 $-67(\text{I})$, $-85(\text{II})$, $-52(\text{III})$;熊耳山地区石英脉型 $-64(\text{I})$, $-73(\text{II})$,蚀变岩型 $-64(\text{I})$, $-77(\text{II})$, $-72(\text{III})$,爆破角砾岩型 $-67(\text{I})$, $-70(\text{II})$ 。而 $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ 值明显而规律性的降低,小秦岭地区为 $4.1(\text{I}) \rightarrow 1.7(\text{II}) \rightarrow -2.5(\text{III})$,崤山石英脉型为 $6.7(\text{I}) \rightarrow 2.8(\text{II})$,蚀变岩型为 $4.7(\text{I}) \rightarrow 1.9(\text{II}) \rightarrow -6.8(\text{III})$;熊耳山地区石英脉型为 $5.7(\text{I}) \rightarrow 3.5(\text{II})$,蚀变岩型为 $4.6(\text{I}) \rightarrow 4.3(\text{II}) \rightarrow -3.4(\text{III})$,爆破角砾岩型 $7.2(\text{I}) \rightarrow 3.5(\text{II}) \rightarrow -3.5(\text{III})$ 。成矿晚期所有矿床的 $\delta^{18}\text{O}$ 值均为明显的负值,显示了明显的大气降水特征。因此,区内金矿的氧同位素规律性变化应是下部成矿流体与大气降水逐步混杂的结果,并随成矿作用的进行,成矿流体中混入的大气降水逐渐增多。同时在成矿的早期,其 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $4.1\text{‰} \sim 7.2\text{‰}$, δD 为 $-64\text{‰} \sim -67\text{‰}$,虽然近于变质水或岩浆水,但绝大部分矿床具有近乎相同的同位素组成,表明区内金矿的早期成矿流体的同一性。其与小秦岭—熊耳山不同地区间变质水和岩浆水的不均一性又有着明显的差异。从而说明区内金矿的早期成矿流体并非来源于变质作用或花岗岩浆活动,而是来自于地下深处(地幔)的深部流体。

3.2 碳同位素特征

近百件区内金矿的碳同位素统计结果表明:小秦岭石英脉型金矿 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-1.4\text{‰} \sim -7.8\text{‰}$,平均 -5.0‰ 。熊耳山石英脉型金矿 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-4.7\text{‰} \sim -4.9\text{‰}$,平均 -4.8‰ ,蚀变岩型金矿 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-5.8\text{‰} \sim 0.0\text{‰}$,平均 -1.9‰ ,爆破角砾岩型金矿 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-2.7\text{‰} \sim -5.8\text{‰}$,平均 -4.1‰ 。绝大多数金矿中碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 与世界岩浆碳酸岩($-4.0\text{‰} \sim$

-7.5‰, 平均-5.1‰), 金刚石 (-3.2‰~-8.8‰, 平均-5.8‰), 金伯利岩中碳酸盐 (-4.7±1.2)‰相近, 应反映了区内金矿中碳的深源特征。

由于所有矿床中均不见碳酸盐与石墨共生。因此, 其中碳酸盐的碳同位素组成可近似的作为成矿热液的总碳同位素组成。而成矿热液中的碳主要有 3 个可能的来源: 岩浆或地幔、沉积碳酸盐和各类岩石中的有机碳。区内金矿的 $\delta^{13}\text{C}$ 分布范围与沉积碳酸盐和有机碳有较大的偏差, 而与幔源火山气体中 CO_2 以及岩浆岩流体包体中 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 基本一致。平均 -4.12‰~-5.02‰的 $\delta^{13}\text{C}$ 与正常地幔的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -5‰一致, 从而清楚的显示区内金矿的 CO_2 主要为岩浆或地幔来源。考虑到区内金矿的印支—燕山期的成矿时代与区内花岗岩主要为燕山期并不完全一致, 以及酸性花岗岩中 CO_2 的低含量, 所以我们认为区内金矿流体中的 CO_2 应主要来自地幔。

区内部分矿床具有相对较大的 $\delta^{13}\text{C}$ 值 (-1.9‰), 与幔源碳同位素组成有较大的差异, 而向碳酸盐 ($\delta^{13}\text{C}\approx 0\text{‰}$) 以及浅部水 ($\delta^{13}\text{C}=1\text{‰}\sim 2\text{‰}$) 过渡。考虑到氢、氧同位素结果指示的区内金矿成矿流体的同源性, 其并不说明该金矿成矿流体为另一种浅部流体, 而应为受大量浅部地下水混染的结果。

3.3 铅同位素特征

区内 350 多件的矿床铅同位素统计结果表明: 小秦岭、崤山、熊耳山三地区不同类型矿床有着基本相同的铅同位素特征, 小秦岭 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 16.160~18.30, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.121~16.26, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 36.509~39.565; μ 为 7.7~10.3, Th/U 为 3.6~5.2。崤山 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17.131~17.935, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.112~15.669, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 37.243~38.407, μ 为 8.1~8.9, Th/U 为 3.8~4.1。熊耳山 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.8921~18.530, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.136~16.620, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 36.102~40.360, μ 为 8.2~10.8, Th/U 为 3.8~4.8。从而反映了其共同的源区特征。同时, 虽然绝大部分样品在卡农三角图上投影在正常铅的范围内, 但其在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解上具明显的线性分布, 所有样品点可拟合成交于一点的两条或 3 条直线, 应反映了区内金矿铅的多元混合特征。对所有样品进行单阶段模式年龄计算, 并将模式年龄作直方图, 模式年龄直方图上出现 3 个峰, 也同样说明了区内铅的多元特征。并且与小秦岭石英脉型相比, 熊耳山蚀变岩型金矿, 表现出混入较多浅部铅的特征。将 3 个峰区样品分别投影到铅同位素构造模式图上, 对应于 $550\times 10^6\sim 800\times 10^6\text{ a}$ 的样品绝大部分投影在地幔线上, 而 $400\sim 500\times 10^6\text{ a}$ 的样品虽大部分投在地幔线上, 也有相当部分投在造山带与地幔线之间, $200\sim 300\times 10^6\text{ a}$ 的样品投影点相对分散, 处上地壳与下地壳线之间。

上述特征表明, 小秦岭—熊耳山金矿中的铅主要起源于地幔, 并在随流体上移过程中受到浅部铅的混染, 同时与小秦岭石英脉型金矿相比, 熊耳山蚀变岩型金矿受到相对多的浅部铅的混染。

3.4 硫同位素特征

近 900 件硫同位素统计结果表明, 不同矿床的硫同位素可分为两类: 其一: 以绝大部分石英脉型金矿, 爆破角砾岩型金矿为代表, 其硫同位素变化不大, 直方图上, 塔式效应明显, 峰值为低的正值或绝对值小的负值。硫化物对高温外推法, 获得的 $\delta^{34}\text{S}_2$: 文峪 2.4‰, 东桐峪 6.4‰, 梁干岔 3.4‰, 枪马 4.4‰, 康山 2.2‰, 店房 4.6‰, 祁雨沟 1‰。绝大部

分值集中在陨硫硫的 $-5\text{‰} \sim 5\text{‰}$ 范围内。反映了其硫的幔源特征。

其二是绝大多数蚀变岩型金矿及少部分石英脉型金矿,其硫化物的硫同位素出现明显的负值,且变化较大。研究表明,产生负值的原因并非由于 $\delta^{34}\text{S}_2$ 不同而是由于成矿过程中发生明显的物理化学分馏效应。出现明显负值的矿床均有较多的重晶石伴生,表明其 f_{O_2} 较高,当富含重同位素 ^{34}S 的重晶石沉淀后,成矿溶液则相对富轻同位素 ^{32}S ,此时形成的硫化物也富含 ^{32}S ,故使其 $\delta^{34}\text{S}$ 出现负值。

4 结 论

综上所述,小秦岭、崤山、熊耳山地区金矿的多种稳定同位素特征表明:

(1) 小秦岭、崤山、熊耳山地区不同矿床类型的金矿具有共同的成矿流体与成矿物质来源。广泛范围内矿床具有共同成矿流体与成矿物质来源。应是地下深处大规模流体存在和运移的一种反映。

(2) 多种稳定同位素(O、H、C、Pb、S)特征均表明,区内金矿的成矿流体、成矿物质主要起源于地幔,并在成矿过程中受到不同程度地壳物质的混染。

(3) 区内金矿的形成与区内构造演化密切相关,区内随着造山作用的结束,地壳应力状态由挤压转为伸展,深部地幔隆起,引起地壳抬升,使深部幔源流体向上运移,并吸收部分地壳物质,与由上而下的大气水混染,导致成矿流体物化条件快速变化,引起流体中金等成矿物质沉淀,而形成区内金矿床。

参 考 文 献

- 1 罗铭玖,王享治,庞传安等.河南金矿概论.北京:地震出版社,1992.
- 2 周作侠,李秉伦,郭抗衡等.华北地台南缘金(铂)矿床成因.北京:地震出版社,1993,114~207.
- 3 陈衍景,富士谷.豫西金矿成矿规律.北京:地震出版社,1992,72~162.
- 4 黎世美,翟伦全,苏振邦等.小秦岭金矿地质和成矿预测.北京:地质出版社,1996,67~178.
- 5 薛良伟,周长命,庞继群等.小秦岭桐沟金矿反转构造及找矿矿物学.武汉:中国地质大学出版社,1996,27~57.
- 6 黎世伟,陈尚迪等.小秦岭地区深部金矿化特征及评价.成都:成都科技大学出版社,1991.
- 7 梁文艺,孙继东,姜修道等.活动剪切带的有序叠加与金矿的形成.西安:西北大学出版社,1993,43~106.
- 8 王秀璋,程景平,张宝贵等.中国改造型金矿地球化学.北京:科学出版社,1992,16~35.
- 9 王志光,崔毫,徐孟罗等.华北地块南缘地质构造演化与成矿.北京:冶金工业出版社,1996.
- 10 任富根,李维明等.熊耳山—崤山地区金矿成矿地质条件和找矿综合评价模型.北京:地质出版社,1996,29~90.
- 11 范宏瑞,谢奕汉,赵瑞等.豫西熊耳山地区岩石和金矿床稳定同位素地球化学研究.地质找矿论丛,1994,9(1):54~63.
- 12 金伟,刘福.祁雨沟金矿田S、O、C、Pb同位素组成及成矿物质来源.现代地质,1994,8(2):139~145.
- 13 胡瑞忠,李朝阳,倪师军等.华南花岗岩型铀矿床成矿热液中 ΣCO_2 来源研究.中国科学(B辑),1993,23(2):129~196.
- 14 孙丽娜,王丹丽.半宽金矿床的物质来源及成因讨论.贵金属地质,1997,6(2):124~131.
- 15 赖健清,彭省临.多因复成矿床铅同位素多元混合模式及其应用.矿冶工程,1994,14(增刊3):81~84.
- 16 魏合明,于凤池,马国良.陕西蓝田灞源一带金矿地质特征及成因浅析.西安地质学院学报,1996,18(1):22~27.
- 17 姬金生.小秦岭金矿氢、氧同位素组成特征及其成因意义.西安地质学院学报,1988,10(3):56~60.