

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来源示踪*

张连昌 沈远超 李厚民 曾庆栋 李光明 刘铁兵

ZHANG LianChang, SHEN YuanChao, LI HouMin, ZENG QingDong, LI GuangMing and LIU TieBing

中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2001-06-14 收稿, 2002-09-15 改回.

Zhang LC, Shen YC, Li HM, Zeng QD, Li GM and Liu TB. 2002. Helium and argon isotopic compositions of fluid inclusions and tracing to the source of ore-forming fluids for Jiaodong gold deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 18(4):559-565

Abstract The Jiaodong gold deposits have attracted the attention of many geologists and their metallogenesis has long been in dispute. The authors choose pyrite samples from some gold deposits in Jiaodong area to analyze their helium and argon isotopic compositions of fluid inclusions. The analytical results show that $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios of Jiaodong gold deposits are $0.43\sim 2.36 \text{ R/Ra}$, and $^3\text{He}/^4\text{He} < 1.0 \text{ R/Ra}$ for Pengjiakuang and Fayunkuang gold deposit, $^3\text{He}/^4\text{He} > 1.0 \text{ R/Ra}$ for Denggezhuang and Jiaojia gold deposit. $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ratios of ore-forming fluids are $393\sim 310$ for Pengjiakuang and Fayunkuang gold deposits, similar to the isotopic components of atmosphere helium ($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 295.5$); $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ratios of Jiaojia and Denggezhuang gold deposits are $500\sim 1148$. The compositions of He-Ar isotopic system suggest that the source of ore-forming fluids is mainly meteoric water for Pengjiakuang and Fayunkuang gold deposits, and mantle fluids for Denggezhuang and Jiaojia gold deposits. The relation between H-O and He-Ar isotopic systems of ore-forming fluids show consistency in Jiaodong gold deposits.

Key words Ore-forming fluids, He-Ar isotope, Mantle fluids, Gold ore deposits, Jiaodong

摘要 关于胶东地区金矿床成因,多年来一直存在较大的争议。代表性金矿床中黄铁矿流体包裹体的 He-Ar 组成表明,胶东金矿床黄铁矿流体包裹体的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值为 $0.43\sim 2.36 \text{ R/Ra}$ 。该值可分为两组:一组如蓬家乔金矿和发云乔金矿 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值 $< 1.0 \text{ R/Ra}$; 另一组如邓格庄和焦家金矿 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值 $> 1.0 \text{ R/Ra}$ 。蓬家乔-发云乔金矿成矿流体的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值为 $393\sim 310$, 比较接近于大气氩的同位素组成 ($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 295.5$), 而焦家金矿成矿流体的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值为 $500\sim 1148$ 。He-Ar 同位素系统显示了蓬家乔-发云乔金矿成矿流体来源以大气降水为主, 邓格庄、焦家金矿成矿流体来源以地幔流体为主。进一步研究表明,胶东金矿成矿流体 H-O 和 He-Ar 同位素系统对流体来源的示踪具有一致性。

关键词 成矿流体; He-Ar 同位素; 地幔流体; 金矿床; 胶东地区

中图法分类号 P618.51; P611.13; P597

有关胶东地区金矿床成因,多年来一直存在较大的争议。姚凤良和刘连登(1990)、王鹤年和汪耀(1991)、李华芹(1993)等提出岩浆热液成矿的观点; 张理刚等(1995)、卢焕章等(1999)等则主要强调大气降水在成矿中的作用; 孙丰月等(1995)、孙景贵和胡受奚(2000)提出幔源流体成矿的观点; 还有一些学者认为胶东金矿床是混合热液成矿。前人对胶东地区金矿床成矿流体来源的研究,主要限于 H-O 同位素方法,由于水-岩作用和氧同位素交换反应等因素的影响,

使得 H-O 同位素组成示踪流体来源具有多解性。自 80 年代末期以来,He 和 Ar 同位素在用于地壳流体方面的研究中取得了长足的进展,主要表现为对成矿古流体的研究方面 (Simmons *et al.*, 1987; Hilton *et al.*, 1993; Stuart *et al.*, 1995; 胡瑞忠等,1997)。He 和 Ar 在大气降水、地幔和地壳中具有极不相同的同位素组成 (Stuart *et al.*, 1995), 尤其是地壳氩 ($^3\text{He}/^4\text{He} = 0.01\sim 0.05 \text{ R/Ra}$) 和地幔氩 ($^3\text{He}/^4\text{He} =$

* 中国科学院创新工程重大项目(KZCX1-Y-03)与国家“973”项目“大陆深俯冲作用”(G1999075504)资助。

第一作者简介: 张连昌, 男, 1959 年 10 月生, 博士后, 副教授, 地球化学及矿床地质专业。

6~9 R/Ra)的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值存在高达近 1000 倍的差异,即使地壳流体中有少量幔源氦的加入,用氦同位素也易于判别出来。本文以焦家、邓格庄、蓬家乔和发云乔等典型金矿床为例,从惰性气体同位素研究入手探讨胶东地区成矿古流体的来源。

1 胶东地区金矿床地质简况

胶东地区位于中国华北地块东部,从全球构造角度看位

于环太平洋构造带上。西临郯庐断裂带,东南部发育中生代拉张盆地,并以五莲-荣城断裂为界与大别-苏鲁超高压变质带相接。胶东北部隆起由太古代胶东群、元古代荆山群等变质岩和一系列燕山期花岗岩组成,胶东地区的绝大多数金矿产于上述花岗岩中或其外围。燕山早期主要形成壳型交代-重熔花岗岩,如玲珑和昆嵛山花岗岩;燕山晚期主要形成壳幔混合型花岗岩,如郭家岭和伟德山花岗岩(孙景贵和胡受奚,2000)。燕山晚期强烈的构造-岩浆活动控制了焦家、玲珑、邓格庄等金矿床的形成(图 1)。

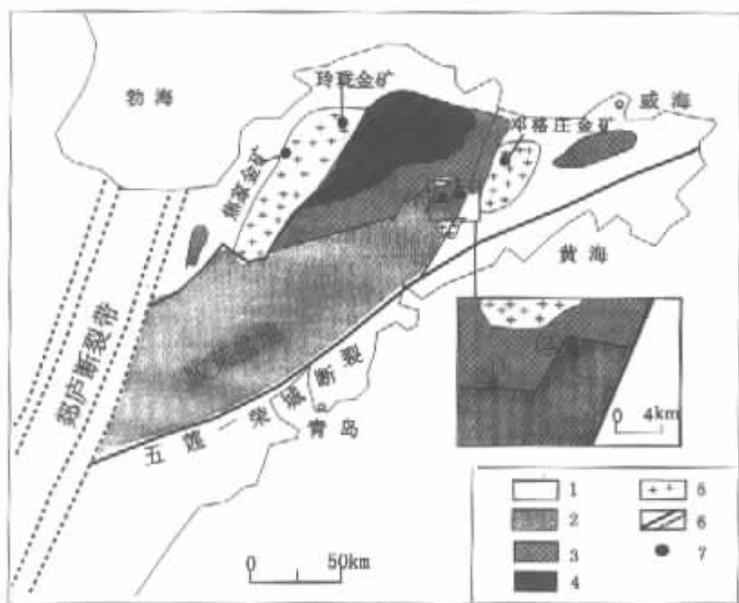


图 1 胶东地区地质及典型金矿床分布简图

1-第四系; 2-白垩系; 3-元古宙荆山群; 4-太古宙胶东群; 5-燕山期花岗岩; 6-断裂; 7-金矿床(①蓬家乔金矿,②发云乔金矿)

Fig. 1 Sketch map of the Jiaodong regional geology and distribution of some gold deposits

焦家金矿(田)位于胶北隆起的西北部,区内基底岩层为太古界胶东群变质岩系,区内断裂构造极为发育,北东、北北东向断裂尤为显著,是区内最主要的控矿构造;燕山期岩浆岩广布,玲珑花岗岩和郭家岭花岗闪长岩呈岩基产出。焦家主断裂系宽 100~200 米,总体走向 10~40°,倾向北西,倾角 30~50°,该主断裂系控制了焦家金矿(田)的形成(吕古贤等,1999)。

邓格庄金矿为胶东牟平-乳山金矿带北段的一个大型金矿床,金矿脉的分布受金牛山主断裂西侧的分支断裂控制。容矿围岩为昆嵛山二长花岗岩,该岩体为老变质岩系胶东群和荆山群经交代-重熔形成的混合花岗岩。邓格庄金矿床矿脉赋存于由绢英岩和绢英岩化二长花岗岩组成的构造蚀变带中,工业矿体一般由富金的黄铁矿石英脉或石英黄铁矿脉组成(张连昌等,2001)。

山东乳山蓬家乔金矿是新近在中生代胶莱盆地东北缘发现的一个大-中型金矿床,该金矿具有规模大、埋藏浅、受低角度层间滑动断层控制的特点(沈远超等,1998;张连昌等,2000)。中生代胶莱盆地的北缘基底主要由元古宙荆山群长英质变质岩、含石墨石英片岩、片麻岩、石墨片岩及大理岩等组成。受区域构造影响,沿这些能干性不同的地层岩性和地质体之间的构造薄弱面发育一系列低角度层间滑动断层。至目前,已在胶莱盆地东北边缘的郭城、辽上、蓬家乔、申家、宋家沟、谭家至南地口一带发现了层间滑动断层的分布,该层间滑动断裂系统控制了一系列金矿床和金矿点,如蓬家乔金矿、发云乔金矿、郭城金矿、南地口金矿点等。其中,蓬家乔层间滑动断层沿胶莱盆地的东北缘分布,东起河西村西到东井口,构造线总体走向近 EW,倾向为南,倾角为 15~50°,矿化构造带长约 5.5 km、宽 80~300m 不等。目前探明的工

业矿体已达大-中型规模。

2 样品分析方法

样品采自胶东地区蓬家乔、发云乔、邓格庄和焦家等代表性金矿床(田)中的富金矿石,测试对象为黄铁矿中的流体包裹体。黄铁矿样品通过在双目镜下挑选,保证所选样品新鲜、晶形完好,纯度达 100%。黄铁矿流体包裹体 He、Ar 同位素组成测试在中国地质科学院同位素地质研究开放实验室进行。分析过程如下:首先,将样品用丙酮在超声波中清洗 20 分钟,在真空中加热至 120℃ 并去气 24 小时。然后,压碎样品释放出气体,对释放出的气体经海绵钛泵、锆铝泵、活性炭和液氮冷阱 4 级纯化,使活性气体被去除,Ar、Xe 被冷冻,将纯净的 He、Ne 送入分析系统;进入系统的 He、Ne 经加液氮的钛升华泵再次纯化去掉 H₂、Ar;与此同时,在 -78℃ 释放 Ar,进行 Ar 同位素分析。最后,在乌克兰产 MI-12011G 型情

性气体同位素质谱仪上进行 He、Ar 同位素测试,其中³He 由分辨率为 1200 的电子倍增器接收,⁴He 由分辨率为 760 的法拉第杯接收。工作标准为北京大气,它的³He/⁴He 为 1.4×10⁻⁶。

3 He 和 Ar 同位素分析结果与讨论

表 1 为胶东地区代表性金矿床黄铁矿流体包裹体的 He-Ar 组成的分析结果。实践证明黄铁矿是理想的测试对象,黄铁矿发生漏气程度远远小于其它矿物,流体包裹体中因 He 和 Ar 扩散丢失而引起的同位素分馏及后生叠加的 He 和 Ar 均可忽略不计(胡瑞忠等,1999)。

由该表可以看出,胶东金矿床黄铁矿流体包裹体的³He/⁴He 比值为 0.43~2.36R/Ra,其中可明显分为两组,一组如蓬家乔金矿和发云乔金矿³He/⁴He 比值<1.0R/Ra;另一组如邓格庄和焦家金矿³He/⁴He 比值>1.0R/Ra。

表 1 胶东地区金矿床黄铁矿流体包裹体 He 和 Ar 同位素组成

Table 1 Helium and argon isotopic components of gold deposits in Jiaodong region

样品编号	矿床	³ He/ ⁴ He 10 ⁻⁶	⁴ He 10 ⁻⁸ cm ³ STP/g	³ He 10 ⁻¹⁴ cm ³ STP/g	R/Ra	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	⁴⁰ Ar* 10 ⁻⁷ cm ³ STP/g	⁴⁰ Ar/ ⁴ He
邓格庄	DJN-4	2.7±0.6	33.3	89.91	1.93		微量	
	DGZ-3	3.0±1.7	12.5	37.50	2.14		微量	
焦家	MB16	3.3±0.3	106.8	352.44	2.36	679±23	0.91	0.09
	JJA-15	3.0±0.2	75.2	225.6	2.14	500±25	3.84	0.51
	JCH20	2.3±0.2	39.1	89.93	1.64	1148±80	1.24	0.32
蓬家乔	BP-41	1.0±0.2	117.1	117.1	0.71	368±1	14.2	1.2
	BP-9B	1.1±0.3	62.4	68.64	0.79	393±2	8.46	1.35
发云乔	FA-9	0.6±0.3	136.6	81.96	0.43	314±3	3.52	0.26
	FA-52	³ He 微量				310±12	0.41	

测试:中国地质科学院同位素实验室宋鹤彬、李延河。样品的 He、Ar 含量,是根据压碎后通过 160 目(0.100mm)的样品重量来计算的。

地壳物质中的³He/⁴He 比值为 0.01~0.05 R/Ra,地幔流体的³He/⁴He 比值为 6~9 R/Ra(Stuart *et al.*, 1995)。从表 1 的测试结果可以看出,胶东地区金矿床成矿流体的³He/⁴He 比值比地壳的比值高 40~60 倍,这可能说明地幔流体部分地参与了成矿过程。虽然胶东金矿床不像湖南万古金矿床那样表现出典型地幔流体成矿所具有的高³He/⁴He 比值(毛景文等,1997),但可以与前人曾研究过的马厂箐铜矿床、袁牢出金矿床、秘鲁 Casapalca and Pasto Bueno Ag-Pb-Zn-Cu 矿床(胡瑞忠等,1997;1999;Stuart *et al.*, 1995;Simmons *et al.*, 1987)相对比,这些矿床的特点是成矿流体的 R/Ra 值在 0.1~3.0 之间。

胶东地区几个代表矿床成矿流体的 He 同位素组成在³He 和⁴He 同位素演化图解(图 2)上的投点均位于地壳与地

幔组成的过渡带,并偏于地幔组成一侧。³He/⁴He 比值在 10⁻⁵~10⁻⁷ 之间,显示地壳与地幔混合组成的特点。从³He/⁴He 比值看可分为两类,如邓格庄、焦家金矿等成矿流体的³He/⁴He 组成相对于蓬家乔-发云乔金矿明显偏高。

蓬家乔-发云乔金矿成矿流体的⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值为 393~310,比较接近于大气氩的同位素组成(⁴⁰Ar/³⁶Ar=295.5,Stuart *et al.*, 1995),而焦家金矿成矿流体的⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值为 500~1148,明显偏离大气氩的同位素组成。虽然放射性成因氩和地幔氩均具有高的⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值,因而仅根据较高⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值无法区别它们究竟是放射成因氩还是地幔氩,但同时具有高⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值和高含量的³He,则是地幔所特有的。地幔流体的⁴⁰Ar/⁴He 比值为 0.33~0.56(Dunai *et al.*, 1995),地壳的平均值为 0.156(Stuart *et al.*, 1995;胡瑞

忠等,1997)。胶东金矿成矿流体的⁴⁰Ar/⁴He 比值为 0.09~1.35,除蓬家乔金矿比值明显偏高外,其它金矿介于地幔与地壳氦之间。蓬家乔金矿⁴⁰Ar/⁴He 比值高的原因是放射性成因⁴⁰Ar 值偏高,依据蓬家乔金矿的⁴⁰Ar/³⁶Ar 接近于大气氦值推测该放射性成因氦主要来源于大气氦。

在⁴⁰Ar/³⁶Ar-³He/⁴He 图解上(图 3),胶东地区金矿均

位于 MORB-大气成因地壳流体混合线(胡瑞忠等,1999)的上方,并具有沿该演化线分布的趋势。这些说明胶东地区金矿的成矿流体均有一定程度的地幔流体的参与,其中产于燕山期花岗岩中的邓格庄、焦家等金矿床,其地幔流体参与成矿的比例远大于分布于中生代盆地周边基底地层中的蓬家乔-发云乔金矿。

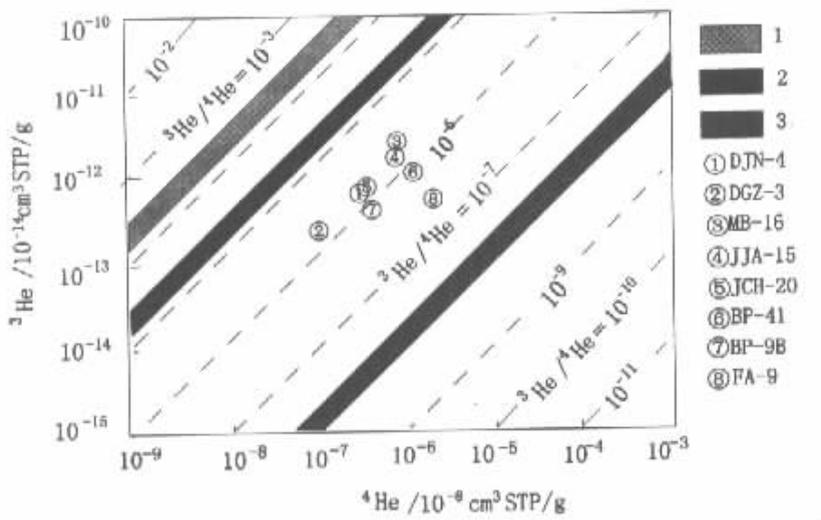


图 2 自然界 He 同位素组成演化图(据 Mamyin *et al.*, 1984)

(1-初始氦; 2-地幔氦; 3-地壳氦; 图中样品号与表 1 相对应)

Fig. 2 Helium isotopic composition and evolution in nature (from Mamyin, *et al.*, 1984)

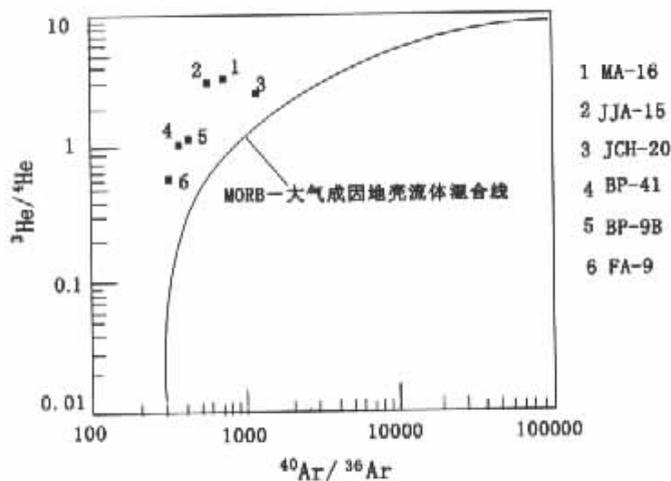


图 3 胶东地区金矿床黄铁矿流体包裹体⁴⁰Ar/³⁶Ar-³He/⁴He 图解

(图中样品号与表 1 相对应; MORB-大气成因地壳流体混合线,据胡瑞忠等,1999 资料)

Fig. 3 ⁴⁰Ar/³⁶Ar-³He/⁴He diagram of fluid inclusion in pyrite from Jiaodong gold deposits

4 与成矿流体 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 组成的比较

胶东金矿床成矿流体的 He-Ar 同位素体反映出成矿作用与地幔流体活动的内在联系。这一结论可以较好地与成矿地球化学及其它同位素资料相印证。

为了确定成矿流体的性质及来源,许多研究者进行过氢氧同位素分析,所获得的数据基本相似,然而往往得出不同的结论。对于焦家金矿(田),一些研究者根据 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 和 δD 落入正常岩浆水范围,以及蚀变岩石的 $\delta^{18}\text{O}$ 高于主岩,认定成矿流体主要是岩浆水(姚凤良和刘连登,1990;李晓明,1998);张理刚等(1995)基于泰勒的水-岩交换方程,认为焦家式金矿是中生代大气降水($\delta^{18}\text{O} = -15.5\%$, $\delta\text{D} = -115\%$)与 5km 以下可能出现的中基性岩在 350~400 °C、有效水-岩比(W/R)为 0.01~0.05 交换作用的产物。卢焕章等(1999)通过研究也认为,焦家金矿成矿流体以大气降水为主,可能有岩浆水的加入。陈光远等(1989)、吕古贤等(1999)考虑到成矿流体不同阶段同位素组成的变化,认为早期以岩浆水为主,晚期以大气降水为主。对于邓格庄金矿,杨忠芳等(1998)、吕古贤等(1999)等认为该矿床成矿流体主要为岩浆

水。鉴于上述截然不同的结论,作者认为对成矿流体来源的合理解释,应综合地质和氢氧同位素组成资料,同时成矿流体 He-Ar 同位素系统也能提供强有力的依据。

为了进一步比较成矿流体 H-O 和 He-Ar 同位素系统,作者分析了蓬家芥金矿成矿流体的氢氧同位素组成(表 2,图 4),结合邓格庄金矿和焦家金矿(田)的资料可以看出,蓬家芥金矿在成矿流体来源仍显示大气降水为主要来源,仅有少量地幔流体或岩浆水的加入;焦家和邓格庄金矿以地幔流体为主,但也存在岩浆水和大气降水的参与。由于焦家和邓格庄金矿的容矿围岩为壳源和壳幔混合源成因的花岗岩(万天丰等,2000;孙景贵和胡受奚,2000),故可以认为地幔流体中包括了部分岩浆水和地幔排气组份(杜乐天,1994)。这一点同样得到锶同位素组成的支持,其中玲珑金矿和焦家金矿成矿流体初始锶值为 0.7104~0.7111,而围岩花岗岩的初始锶值为 0.7095~0.7103,二者组成相近(李华芹,1993)。另外,胶东地区大多数金矿区均分布有与成矿同期的中基性岩脉和煌斑岩脉,这些岩脉一般被认为是起源于上地幔或壳幔过渡带,也显示了与成矿有一定的关系(孙丰月等,1995)。由此可见,胶东地区金矿床成矿流体 H-O 和 He-Ar 同位素系统所示踪的流体来源具有一致性。

表 2 胶东金矿石英流体包裹体氢氧同位素组成(SMOW,‰)

Table 2 H and O isotope composition of fluid inclusion in quartz from Jiaodong gold deposits

矿床	样号	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$	T °C	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$	δD	备注
蓬家芥	BPC-1	6.2	300	-0.66	-97.9	本文
	BPC-2	6.9	250	-0.15	-89.9	
	BPC-3	8.7	250	-1.95	-96.6	
	BPC-4	7.8	200	-3.65	-92.0	
邓格庄		14.62		6.96	-83.2	杨敏之
		13.58		4.62	-74.5	(1998)
		11.65		2.70	-71.3	安家桐等
		12.67		3.72	-82.6	(1988)
焦家		12.80	269	4.10	-82.2	丁式江
	S1086TW	13.97	250	4.28	-78.2	(1998)
	124TW	10.95	209	-0.91	-66.9	张理刚等
	W112TW	13.9	250	4.50	-87.0	(1995)
		15.0	220	4.10		

本文资料由中国科学院地质与地球物理研究所测试; T °C 示矿物流体包裹体均一温度

5 结论

(1)由于地质条件的复杂性和影响因素的多元性,对胶东金矿成矿流体来源的认识一直存在争议,黄铁矿流体包裹

体 He-Ar 同位素示踪可为探讨成矿流体来源提供依据。

(2)黄铁矿流体包裹体 He-Ar 组成研究表明,胶东金矿床黄铁矿流体包裹体的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值明显分为两组,一组如蓬家芥金矿和发云芥金矿 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 的比值 <1 , 为 0.43~0.79R/Ra;另一组如邓格庄和焦家金矿 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值 >1 ,

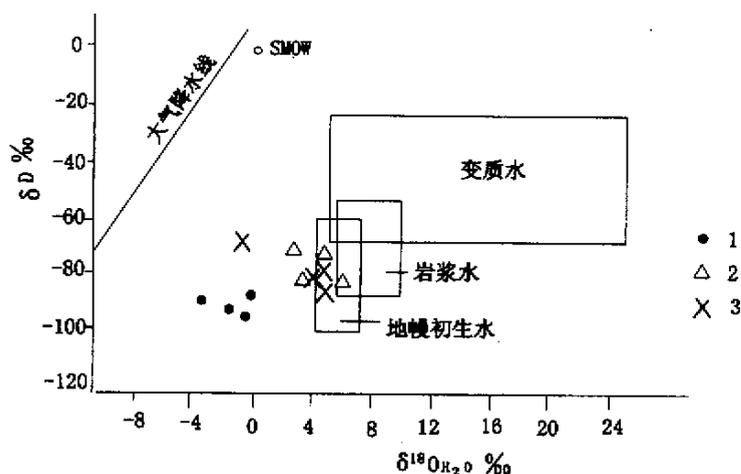


图 4 胶东部分金矿床成矿流体 $\delta^{18}\text{O}$ 水- δD 分布图

(底图据 Taylor, 1974; 地幔初生水值域据 Craig, 1976; 1-蓬家乔金矿; 2-邓格庄金矿; 3-焦家金矿)

Fig. 4 $\delta^{18}\text{O}\text{H}_2\text{O}-\delta\text{D}$ of ore-forming fluid of Jiaodong gold deposits

为 1.64~2.36 R/Ra。同时,蓬家乔和发云乔金矿成矿流体的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值为 393~310,接近于大气氩的同位素组成(295.5),而焦家金矿成矿流体的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值较大,为 500~1148。

(3)He-Ar 同位素系统显示了蓬家乔和发云乔金矿成矿流体来源以大气降水为主,邓格庄和焦家金矿成矿流体来源以地幔流体为主。进一步研究表明,胶东金矿成矿流体 H-O 和 He-Ar 同位素系统所反映的流体来源具有一致性。

(4)流体包裹体的 He-Ar, H-O 和 Sr 等多元同位素制约有助于更准确地认识成矿流体的来源;同时也要重视地质环境的制约作用。

致谢 作者衷心地感谢中国地质科学院同位素地质研究开放实验室李延河、宋鹤彬研究员在 He-Ar 同位素样品测试和地质解释方面提供的帮助,以及周新华研究员和赵伦山教授的帮助。

References

An Jiatong, Yu Dongbin, Shen Kun. 1988. The Study of controlling conditions of Muping-Rushan gold ore area in Shandong. In: Shenyang institute of geology and mineral resources (ed.), Anthologies of regional ore-forming conditions on gold deposits in China (5 Jiaodong). Beijing: Geological Publishing House. 1-45 (in Chinese)

Chen Guangyuan, Shao Wei, Sun Daishen. 1989. Genetic mineralogy and prospecting. Chongqing: Chongqing Publishing House. 393-402 (in Chinese with English abstract)

Du Letian. 1994. Exhaust processes of the earth. Bulletin of Miner-

alogy and Petrology and Geochemistry, 4: 210-212 (in Chinese with English abstract)

Ding Shijiang. 1998. Study on geological abnormalities of greenstone belt-type-Jiaojia gold orefield. PhD thesis, China University of Geosciences (Beijing), 98p(in Chinese with English abstract)

Dunai T, and Touret J L R. 1995. Helium, neon and argon isotope systematics of European lithospheric mantle xenoliths: implications for its geochemical evolution, Geochim. Cosmochim. Acta, 59: 2767-2783

Hilton D R. Hammerschmidt K and Teufel S. 1993. Helium isotope characteristics of Andean geothermal fluids and lavas, Earth Planet. Sci. Lett., 120: 265-282

Hu Ruizhong, Bi Xuanwu and Turner G. *et al.*, 1997. He-Ar isotopic system of ore-forming fluids in pyrite in Machangqing deposit. Science in China (D), 27: 503-508 (in Chinese)

Hu Ruizhong, Bi Xuanwu and Turner G. *et al.*, 1999. He-Ar isotopic system of ore-forming fluids in Ailaoshan gold orebelt. Science in China (D), 29: 321-330 (in Chinese)

Li Huaqing. 1993. The chronological study and geological apply of fluid inclusions of hydrothermal gold deposits. Beijing: Geological Publishing House, 1-129 (in Chinese)

Li Xiaoming. 1998. Studies of the hydrogen, oxygen and carbon isotopes of Sanshandaog gold deposit in Shandong. Geology and Prospecting, (3):205-218 (in Chinese with English abstract)

Lü Guxian, Lin Wenwei, Luo Yuanhua *et al.* 1999. Tectonophysics-chemistry and gold metallogenic prognosis. Beijing: Geological Publishing House, 270-276 (in Chinese with English abstract)

Lu Huan-Zhang, J. Guha, Fang Genbao. 1999. Characteristics of ore-forming fluid in Linglong gold mine, Shandong, China. Geochimica, 28 (5): 421-436 (in Chinese with English abstract)

Mao Jingwen, Li Yanhe, Li Hongyang, *et al.*, 1997. He isotope of

- ore-forming fluid of mantle source from Wangu gold deposit in Hunan. *Geological Review*, 43(6): 646—649 (in Chinese with English abstract)
- Shen Yuanchao, Xie Hongyuan, Li Guangming. 1998. Geological features of Pengjiakuang gold deposit, Shandong of China. *Geology and Prospecting*, 34: 3—7 (in Chinese with English abstract)
- Simmons S F, Sawkins F J, Schlutter D J. 1987. Mantle-derived helium in two Peruvian hydrothermal ore deposits. *Nature*. 329: 429—432
- Sun Fengyue, Shi Zhunli, Feng Benzhi. 1995. Gold ore geology, lithogenesis and metallogenesis related to the differentiation of mantle-derived C-H-O fluids in Jiaodong peninsula, eastern China. Changcun: Jilin People's Press. 1—150 (in Chinese with English abstract)
- Sun Jinggui, Hu Shouxi. 2000. A preliminary discussion on the metallogenic model of gold deposits in Jiaodong area. *Mineral Deposit*, 19(1): 26—34 (in Chinese with English abstract)
- Stuart F M, Bunard 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. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59: 4663—4673
- Wang Henian, Wang Yao. 1991. Study of ore-forming fluids in Jiajiao gold deposit, Shandong. *Geological Review*, 37(3): 250—257 (in Chinese with English abstract)
- Wan Tianfeng, Teyssier, G, Zeng Hualin. 2000. The intrusive mechanism of Linglong granitic bodies in Shandong. *Science in China (D)*, 30(4): 337—344 (in Chinese)
- Yang Minzhi. 1998. The geochemistry of wallrock alteration zone of gold deposits — As exemplified by Jiaodong gold deposits. Beijing: Geological Publishing House. 1—120 (in Chinese with English abstract)
- Yang Zhongfang, Xu Jingkiu, Zhao Lunshan. 1998. The evolution of regional crust and the geochemistry on gold mineralization in Jiaodong. Beijing: Geological Publishing House. 1—157 (in Chinese with English abstract)
- Yao Fenlian, Liu Liandong. 1990. The vein gold deposits in north-west Jiaodong. Changcun: Jilin Science and Technology Publishing House. 1—213 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Lianchang, Shen Yuanchao, Liu Tiebing. 2000. Geological and geochemical features of ore-forming structures in the Pengjiakuang gold deposit in eastern Shandong, China — A gold deposit related to low-angle fault. *Geotectonica et Metallogenia*, 24: 377—384 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Lianchang, Zeng Qingdong, Zou Weilei. 2001. The deep geochemistry and prognosis of Denggezhuang gold deposit in Jiaodong. *Geology and Prospecting*, 37(1): 27—30 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Ligang, Chen Zhenshen, Liu Jingxiu. 1995. The water-rock exchange reaction of Jiaojia-type gold deposit. *Mineral Deposit*, 14(3): 261—272 (in Chinese with English abstract)
- 附中文参考文献
- 安家桐, 于东斌, 沈昆. 1988. 山东牟平-乳山地区金矿控矿条件研究. 见: 沈阳地质矿产研究所编中国金矿主要类型区域成矿条件研究(5 胶东地区). 北京: 地质出版社, 1—45
- 陈光远, 邵伟, 孙岱生. 1989. 胶东金矿成因矿物学与找矿. 重庆: 重庆出版社, 393—402 杜乐天. 1994. 地球的排气作用. *矿物岩石地球化学通讯*, (4): 210—212
- 丁式江. 1998. 绿岩带型金矿综合地质异常研究—以胶东焦家金矿田为例(中国地质大学博士学位论文), 1—98
- 胡瑞忠, 毕献武, Turner G. 等. 1997. 马厂箐矿床黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素体系. *中国科学(D 辑)*, 27: 503—508
- 胡瑞忠, 毕献武, Turner G 等. 1999. 袁牢山金矿带成矿流体 He 和 Ar 同位素地球化学. *中国科学(D 辑)*, 29: 321—330
- 李华芹. 1993. 热液金矿床流体包裹体年代学研究和地质应用. 北京: 地质出版社, 1—128
- 李晓明. 1998. 山东三山岛金矿床氢氧碳同位素研究. *地质找矿论丛*, (3): 205—218
- 吕古贤, 林文蔚, 罗元华等. 1999. 构造物理化学与金矿成矿预测. 北京: 地质出版社, 270—276
- 卢焕章, J. Guha, 方根保. 1990. 山东玲珑金矿的成矿流体特征. *地球化学*. 28(5): 421—436
- 毛景文, 李延河, 李红艳, 王登红, 宋鹤彬. 1997. 湖南万古金矿幔源流体成矿的氦同位素证据. *地质论评*, 43(6): 646—649
- 沈远超, 谢宏远, 李光明等. 1998. 山东蓬家夼金矿的基本地质特征及找矿方向. *地质与勘探*, 34(5): 3—7
- 孙丰月, 石准立, 冯本智. 1995. 胶东金矿地质及幔源 C-H-O 流体分异成岩成矿. 长春: 吉林人民出版社, 1—150
- 孙景贵, 胡受奚. 2000. 初论胶东地区金矿成矿模式. *矿床地质*, 19(1): 26—34
- 王鹤年, 汪耀. 1991. 山东焦家金矿床的成因探讨. *地质论评*, 37(3): 250—257
- 万天丰, Teyssier G, 曾华霖等. 2000. 山东玲珑花岗岩体侵位机制. *中国科学(D 辑)*, 30(4): 337—344
- 杨敏之. 1998. 金矿床围岩蚀变带地球化学—以胶东金矿床为例. 北京地质出版社, 1—120
- 姚凤良, 刘连登. 1990. 胶东西北部脉状金矿. 长春: 吉林科技出版社, 1—213
- 杨忠芳, 徐景奎, 赵伦山等. 1998. 胶东区域地壳演化与金成矿作用地球化学. 北京: 地质出版社, 1—157
- 张理刚, 陈振胜, 刘敬秀等. 1995. 焦家式金矿水-岩交换作用. *矿床地质*, 14(3): 261—272
- 张连昌, 沈远超, 刘铁兵等. 2000. 胶东蓬家夼金矿成矿构造地质地球化学特征. *大地构造与成矿学*, (4): 377—384
- 张连昌, 曾庆栋, 邹为雷. 2001. 胶东邓格庄金矿深部地球化学及预测. *地质与勘探*, 37(1): 27—30