

河南庄金矿地球化学特征及成矿流体探讨

李照义¹, 陈守余^{1,2}, 李胜利³, 陈俊霖¹, 田光礼¹, 咎培¹

1. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074; 3. 河南省地质矿产勘查开发局 第一地质勘察院, 河南 郑州 450000

摘 要: 河南庄金矿位于华北板块最南端的秦岭构造带上, 赋矿围岩为一套碳酸盐岩钙泥质建造, 矿化受地层和构造发育控制。通过微量元素、稀土元素、C-H-O-S 同位素分析对成矿流体来源和成矿条件进行了研究。其中微量元素、稀土元素、氢-氧同位素分析都指示成矿流体来自岩浆, 后期受到变质作用和沉积改造作用影响; 碳-氧同位素数据表明碳和部分氧元素来自海相碳酸盐的溶解作用, 并催化了金元素的富集; 硫同位素与微量元素分析得出成矿环境为缺氧的还原环境, 并指示成矿流体来自深地壳或地幔。河南庄金矿同蚀变岩型金矿的矿床地质-地球化学特征相似, 应属于蚀变岩型金矿。

关键词: 地球化学特征; 流体来源; 成矿条件; 河南庄金矿; 河南省

STUDY ON THE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND ORE-FORMING FLUIDS OF HENANZHUANG GOLD DEPOSIT

LI Zhao-yi¹, CHEN Shou-yu^{1,2}, LI Sheng-li³, CHEN Jun-lin¹, TIAN Guang-li¹, ZAN Pei¹

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. State Key Laboratory for Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

3. No.1 Institute of Geological Survey, Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration, Zhengzhou 450000, China

Abstract: The Henanzhuang Gold Deposit is located on the Qinling tectonic belt in southernmost North China Plate with the host rock of a set of calc-muddy carbonate rock formation. The mineralization is controlled by strata and structure. The sources and metallogenic conditions of ore-forming fluid are studied by analyzing the trace, rare earth elements and C-H-O-S isotopes. The results show that the ore-forming fluid derived from magma is affected by later metamorphism and sedimentary reformation. The C and partial O elements come from the dissolution of marine carbonate, and catalyze the enrichment of Au. The S isotope and trace elements data indicate the deposit was formed in the anoxic reducing environment with the ore-forming fluid derived from deep crust or mantle. The geological and geochemical characteristics of the Henanzhuang Gold Deposit are similar to those of altered rock-type gold deposits, thus it should be classified as the latter.

Key words: geochemical characteristics; fluid source; metallogenic condition; Henanzhuang Gold Deposit; Henan Province

收稿日期: 2017-12-07; 修回日期: 2018-01-26. 编辑: 张哲.

基金项目: 河南省地质矿产勘查开发局第一地质勘察院“南阳盆地及造山带成矿多样性研究”项目(编号 2014-49).

作者简介: 李照义(1993—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为矿产普查与勘探, 通信地址 湖北省武汉市洪山区鲁磨路 388 号, E-mail//594928306@qq.com

通信作者: 李胜利(1966—), 男, 教授级高级工程师, 从事地质矿产勘查开发工作, 通信地址 河南省郑州市高新技术开发区莲花街 56 号, E-mail//lishli66@126.com

0 前言

河南庄金矿床位于华北地块南部,燕山期秦岭造山构造带上.该地区构造-岩浆-热液作用强烈,金矿床主要分布于朱-夏断裂韧性剪切带南部,中酸性岩体广泛发育,并对成矿产生一定影响.自矿床被发现以来,前人的研究主要集中在矿床地质条件、物理化学条件^[1]、成矿温度^[2]、地球化学分散晕^[3]等方面,并取得了一定的进展,而对矿床整体的地球化学特征、成矿流体来源方面的研究很少.

本文通过对比矿石与围岩的微量元素、稀土元素与C-H-O-S同位素特征,总结整体的矿床地球化学,从而示踪河南庄金矿的流体来源与性质.

1 区域地质与矿床地质特征

河南庄金矿位于商丹缝合带以北的华北地块最南部(图1).地层自南向北出现岛弧型蛇绿岩和岛弧火山岩、弧后型火山岩以及裂陷碱性火山岩等,具有华北板块活动边缘特征^[4].区域内主要出露的岩层从老到新依次有古元古界秦岭岩群、下古生界二郎坪群和上古生界小寨组.矿区位于古元古界秦岭岩群中.成矿区域主要在朱阳关-夏馆断裂带与商县-丹凤断裂带之间.其北部的朱-夏断裂带位于秦岭造山带中部,是划分二郎坪群与秦岭岩群的分界线,其中保留了大量的构造变形和结晶构造.附近岩石变质程度在绿片岩相到角闪岩相之间,温度和压力主要在中低温-中低

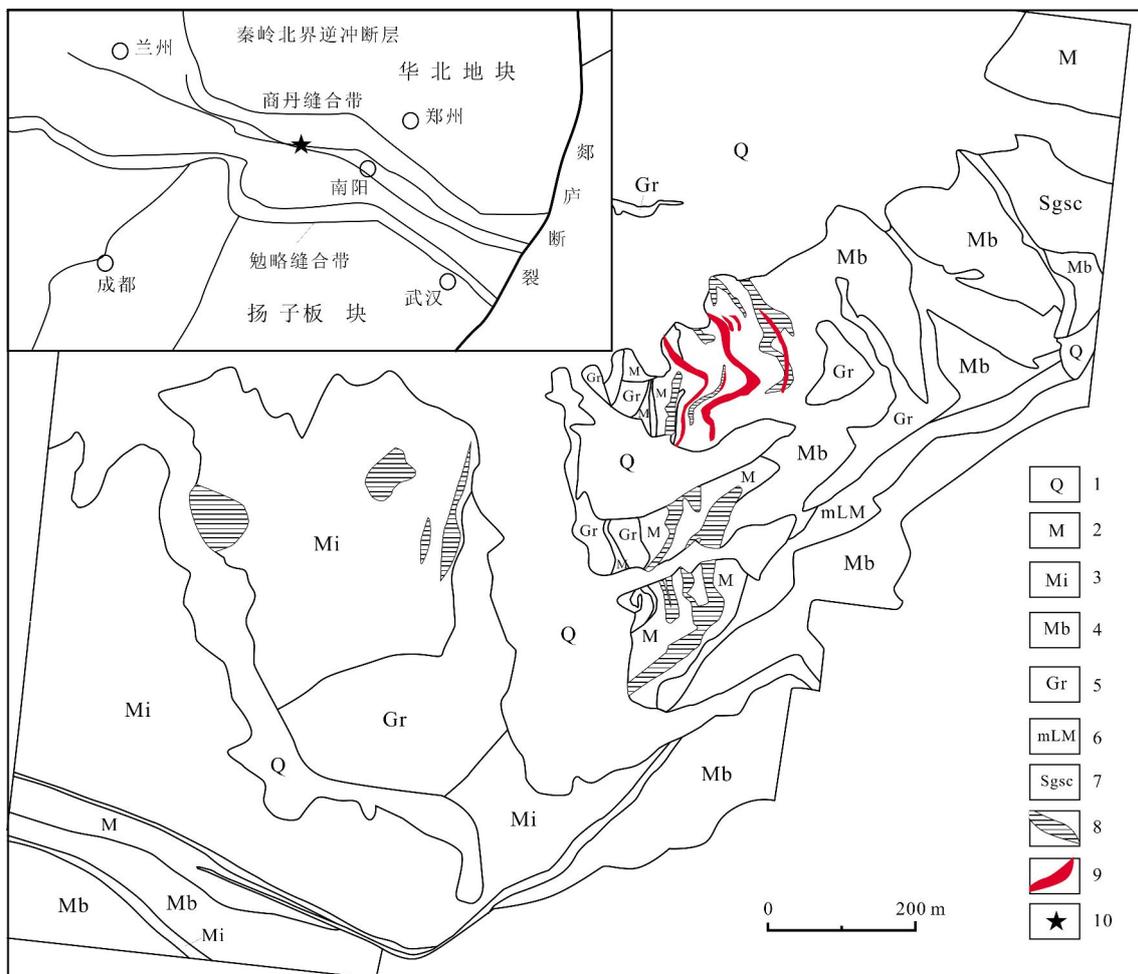


图1 河南庄金矿地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Henanzhuang Gold Deposit

1—第四系(Quaternary); 2—蛇纹石化大理岩(serpentinized marble); 3—斜长角闪岩(amphibolite); 4—白云石大理岩(dolomite marble); 5—斜长角闪片麻岩(amphibolite gneiss); 6—糜棱岩化大理岩(mylonitized marble); 7—片岩(schist); 8—花岗岩(granite); 9—矿体(orebody); 10—矿区位置(deposit location)

压^[5]. 商-丹断裂是南北秦岭的分界线,划分加里东造山带与中秦岭海西期造山带的分界断裂,也是秦岭主造山期板块的俯冲碰撞缝合带^[4,6].

矿区主要出露地层为古元古界秦岭岩群燕岭沟组和石槽沟组,为一套碳酸盐岩钙泥质建造. 岩浆活动频繁,见多处岩浆岩呈带状、透镜状出露地表,岩性主要为石英闪长岩、花岗岩、花岗斑岩. 矿体主要产于层间破碎带,总体受南北向韧性剪切带控制,产状近南北走向,倾向西,倾角 20~50°不等. 围岩蚀变十分发育,主要有硅化、绢云母化、蛇纹石化、黄铁矿化、黄铜矿化、毒砂化,并具有一定的分带性.

由于矿化受构造控制,本矿区中矿石以蚀变岩型为主,主要成分为黄铁矿化大理岩. 矿石产于层间破碎带,伴随着强烈的碎裂岩化、糜棱岩化(图 2A). 镜下可见侵蚀边构造、糜棱岩化形成的透镜体、石英的破裂以及波状消光(图 2C)、黄铁矿的浸染状构造(图 2E)等. 矿石中的黄铁矿化、毒砂化、硅化等与金的矿化密切相关,金的含量与黄铁矿、毒砂含量呈正比关系. 黄铁矿的标型特征可以反映矿床形成的温度、压力条件以及成矿物质的富集状态^[7]. 黄铁矿呈星点

状,颗粒细小且自型程度较差,反映了一种中低温低压条件下,硫逸度大,缓慢冷却的成矿条件.

2 地球化学特征

选择了河南庄金矿围岩、矿石和成矿流体矿物的代表性样品进行了微量元素、稀土元素和同位素分析测试. 其中选取部分有代表性的大理岩矿石、与矿石接触的石英脉、大理石围岩以及斜长角闪岩做全岩微量元素分析,并挑取矿石中黄铁矿单矿物以及接触带石英脉中的石英做稀土元素分析,另外选取部分具有代表性的矿石,挑取矿石中黄铁矿单矿物做 S 同位素分析,挑取接触带石英脉中的石英做 H-O 同位素实验,挑取未矿化大理岩做 C-O 同位素分析. 微量元素和稀土元素在河南省岩石矿物测试中心,采用德国安捷伦公司的全谱直读等离子体质谱仪(x series II)测试;H-O 同位素在北京核工业地质研究院分析测试中心,使用 Delta V advantage 型氧稳定同位素质谱仪进行测试;C 同位素测试在澳实分析检测广州矿物实验室完成,采用 GV Iso Prime II 型稳定同位素质谱仪测试;S 同位素在北京核工业地质研究院分析测试中心

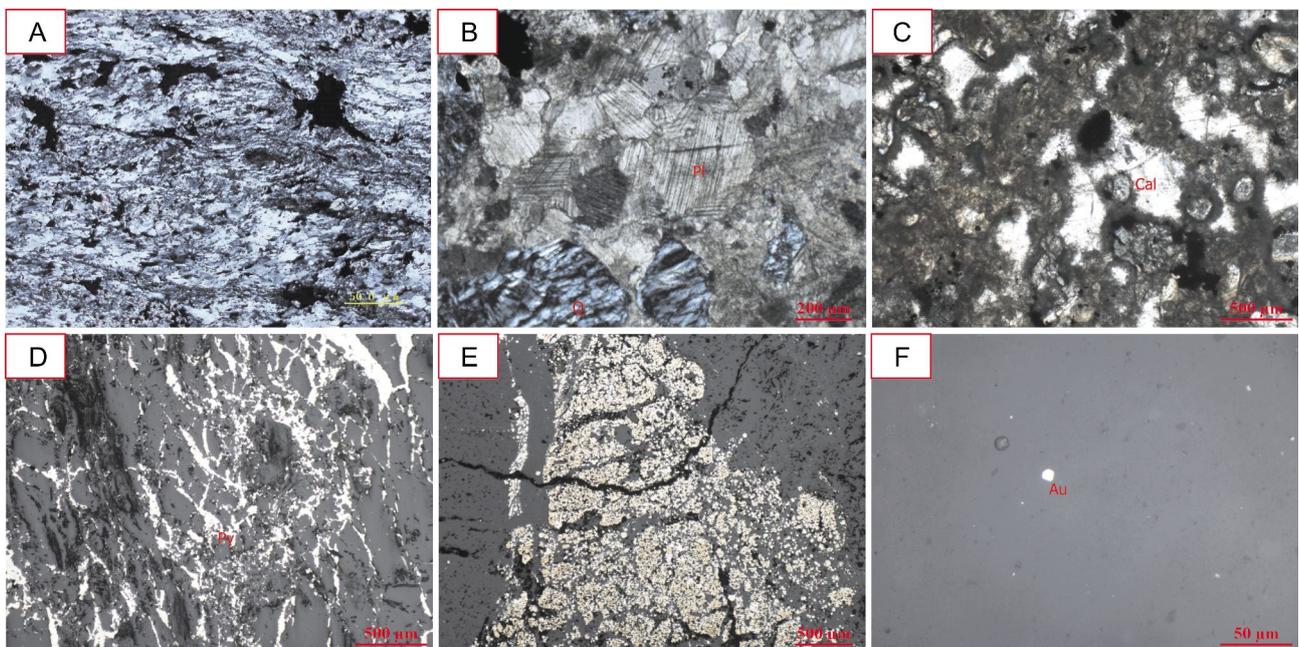


图 2 样品镜下照片

Fig. 2 Microphotographs of ore samples

A—糜棱岩化 (mylonitization); B—粒状变晶结构 (granoblastic texture); C—方解石侵蚀边结构 (calcite with erosion edge); D—细脉浸染状黄铁矿 (veinlet-disseminated pyrite); E—球状黄铁矿 (spherical pyrite); F—自然金 (native gold)

进行,使用 MAT2513708 型稳定同位素质谱仪测试.

2.1 微量元素地球化学

由分析数据(表 1、2)可见,矿石中的 Ag、W、Ti、V、Co、As、Sb、Cu、Fe、S 元素在成矿期间都有一定的富集.其中 Ag、Sb、W、As、Fe、S 含量远高于背景值,表现了一种大范围的毒砂化和黄铁矿化.金与硫化物含量呈正相关性,说明硫化物对金的富集具有重要意义,指示物质来源可能是岩浆热液流体^[8]. W 的异常反映了成矿流体可能来自深部地壳或地幔. Pb、Bi 元素在矿石

中没有富集,并有少量亏损,可能是由于后期的变质热液蚀变作用,使黄铁矿等发生淋滤,从而将 Pb、Bi 带出进入流体,矿石中的含量降低^[9]. 高场强元素 Th/U 可以用来判别成矿环境. 一般来说,当 Th/U<0.75 时,成矿条件属于较氧化的环境;当 Th/U=0.75~1.25 时,成矿条件属于过渡缺氧环境;当 Th/U>1.25 时,成矿条件属于还原环境^[10]. 河南庄金矿矿石样品所得的 Th/U>1.25,表示成矿环境可能为还原环境.

金的含量与这些矿物关系密切,金的形成与黄铁

表 1 河南庄金矿矿石样品微量元素测试结果

Table 1 Contents of trace elements in the ore samples from Henanzhuang Gold Deposit

样品编号	Au	Ag	Sn	Bi	W	Mo	Ti	V	Co	Ni
HNZ16-1	2400	0.1	2.02	0.13	45.3	0.8	13065.1	505.3	86.6	47.6
HNZ16-2	1390	0.11	2.31	0.24	49.58	3.84	12447.7	490.8	63.4	52.3
BHNZ16-1	6900	0.16	3.04	0.12	31.98	4.97	11144.6	293.1	48.9	51.9
样品编号	Pb	As	Sb	Cu	Fe	S	Th	U	Hg	
HNZ16-1	13	556.46	9.75	145.9	9.1	1.96	4.58	1.23	35.9	
HNZ16-2	14.3	546.07	9.23	151.8	14	0.265	2.92	1.85	108	
BHNZ16-1	12.2	376.7	11.94	144.6	12.6	0.528	7.5	1.17	69.9	

含量单位: Au、Hg 为 10^{-9} , Fe、S 为 10^{-2} , 其余为 10^{-6} .

表 2 河南庄金矿岩石样品微量元素测试结果

Table 2 Contents of trace elements in the rock samples from Henanzhuang Gold Deposit

样品编号	样品类型	Au	Ag	Sn	Bi	W	Mo	Ti	V	Co	Ni	Pb	As	Sb	Cu
HNZ16-3-1	大理岩	2.21	0.02	1.00	0.03	0.77	1.34	59.20	4.10	0.40	2.50	8.20	2.82	0.54	6.80
HNZ16-3-2	大理岩	2.89	0.04	1.00	0.04	10.45	5.98	102.30	3.80	0.70	1.90	4.40	2.92	0.57	22.00
HNZ16-3-3	大理岩	13.67	0.07	1.11	0.35	8.11	1.56	1518.40	47.50	8.00	30.90	14.30	23.27	3.54	57.20
HNZ16-3-8	大理岩	29.53	0.02	1.00	0.02	1.54	0.68	387.60	19.70	3.00	0.40	4.70	33.33	0.70	7.90
HNZ16-3-5	大理岩	11.09	0.05	0.92	0.67	1.43	0.40	1428.50	39.80	6.70	5.50	11.20	36.06	0.79	43.80
HNZ16-3-4	方解石脉	2.36	0.04	1.48	0.06	5.79	0.32	2184.50	54.20	8.60	19.60	12.60	25.04	0.35	10.30
HNZ16-3-6	糜棱岩	72.72	0.06	1.81	0.30	6.23	0.32	4334.00	126.70	15.80	9.10	17.40	81.09	2.52	14.70
HNZ16-3-9	糜棱岩	5.96	0.09	2.63	0.48	10.89	2.66	513.20	79.00	8.70	13.90	37.50	317.55	4.35	54.90
HNZ16-3-10	糜棱岩	23.47	0.20	2.24	1.87	4.88	1.97	833.90	64.90	5.40	11.70	39.00	201.48	6.75	50.10
HNZ16-3-11	糜棱岩	12.17	0.22	3.24	4.42	12.93	2.39	10720.10	453.20	93.00	43.70	14.70	44.45	6.33	387.90
HNZ16-3-12	斜长角闪岩	1.92	0.07	1.54	0.11	0.64	4.01	11105.10	425.10	51.00	39.00	13.60	7.51	0.83	47.70
HNZ16-3-13	斜长角闪岩	1.66	0.03	1.00	0.06	0.87	0.27	137.30	11.40	1.50	1.90	5.40	10.23	0.60	5.00
HNZ16-3-14	斜长角闪岩	8.10	0.07	3.96	0.60	86.97	3.99	6637.30	357.50	36.80	72.90	8.10	15.58	2.32	217.60
HNZ16-3-15	斜长角闪岩	3.96	0.09	2.11	0.60	1.53	0.39	6229.50	354.10	52.90	52.70	8.70	7.67	0.70	156.50

含量单位: Au 为 10^{-9} , 其余为 10^{-6} .

矿化、毒砂化关系密切,可以通过黄铁矿中的 Co/Ni、Fe/S 比来推测河南庄金矿床的成矿温度和物质来源。一般来说,Co/Ni 的值越大,说明成矿温度越高,成矿深度越大^[11]。河南庄金矿中黄铁矿的 Co/Ni 比在 0.5~1 之间,属于中低温矿床,与前人研究成果一致。

2.2 稀土元素地球化学

根据黄铁矿与石英脉的稀土元素数据(表 3)做出稀土元素球粒陨石配分图(图 3)。由图 3 可见,黄铁矿呈现富轻稀土元素、Eu 亏损的右倾稀土元素配分模式。 ΣREE 介于 37×10^{-6} ~ 68×10^{-6} 之间,平均为 63.3×10^{-6} 。LREE/HREE 介于 5~7 之间,属于轻稀土元素富集型。 δEu 值主要在 0.3~0.6 之间,平均为 6.7,属于 Eu 严重亏损; δCe 在 1.00~1.02 之间,平均为 1.01,基本无异常; La_N/Yb_N 在 4.9~7.5 之间,平均为 6.7,轻重稀土分异明显。

表 3 样品稀土元素测试数据

样品号	B1-1	B1-2	B1-3	B2-2	B2-3	B2-6	B2-8
样品名	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	石英脉	石英脉	石英脉	石英脉
La	13.59	7.56	14.16	14.5	13.32	22.32	23.88
Ce	31.41	15.21	28.83	29.11	26.4	42.24	48.6
Pr	4.16	1.62	3.24	3.77	3.4	5.02	5.65
Nd	17.91	6.33	11.76	15.78	14.4	20.76	23.28
Sm	3.29	1.35	2.1	3.05	2.82	3.76	4.4
Eu	0.72	0.18	0.33	0.95	0.89	1.13	1.21
Gd	3.72	1.41	2.25	2.99	2.86	3.56	4.22
Tb	0.63	0.18	0.3	0.52	0.5	0.62	0.68
Dy	3.88	1.17	1.92	3.25	2.87	3.73	4.27
Ho	0.77	0.24	0.42	0.68	0.6	0.74	0.89
Er	1.94	0.75	1.23	1.73	1.54	2.02	2.33
Tm	0.31	0.15	0.18	0.29	0.26	0.34	0.37
Yb	1.96	0.72	1.35	1.83	1.61	2.14	2.39
Lu	0.32	0.15	0.21	0.29	0.26	0.37	0.4
Y	20.7	6.6	11.01	16.95	15.6	20.28	23.28
ΣREE	84.6	37.02	68.28	78.75	71.72	108.74	122.58
LREE	71.07	32.25	60.42	67.16	61.22	95.22	107.03
HREE	13.53	4.77	7.86	11.59	10.5	13.52	15.55
LREE/HREE	5.25	6.76	7.69	5.79	5.83	7.04	6.88
La_N/Yb_N	4.97	7.53	7.52	5.68	5.94	7.5	7.17
δEu	0.63	0.4	0.46	0.95	0.95	0.93	0.85
δCe	1.02	1.02	1	0.94	0.94	0.94	0.99

含量单位: 10^{-6} 。

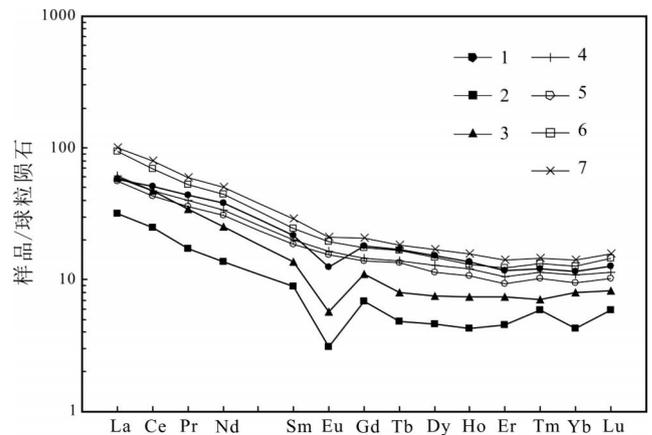


图 3 稀土元素标准化配分型式图

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of the pyrite and quartz vein

1~3—黄铁矿(pyrite); 4~7—石英脉(quartz vein)

从石英脉的稀土元素球粒陨石标准化配分图来看,石英脉呈现富轻稀土元素右倾的特点,趋势平缓过渡无异常。 δEu 值在 0.85~0.95 之间,平均为 0.92,基本无异常; δCe 在 0.94~0.99 之间,平均为 0.95,基本无异常; La_N/Yb_N 在 5.6~7.5 之间,平均为 6.5,轻重稀土分异明显。这些元素特征反映了石英脉冷却结晶时与石英平衡的岩浆热液的稀土特点。

石英的稀土元素主要赋存在流体包裹体中,石英稀土元素组成代表了与石英平衡的成矿流体稀土元素^[12]。矿石中的稀土元素特点主要与其中的黄铁矿等金属有关,黄铁矿毒砂等金属矿物是金元素的主要载体。黄铁矿不仅在其流体包裹体中赋存有稀土元素,而且稀土元素还可以以类质同象的方式替代黄铁矿晶格中的铁元素^[13-16]。黄铁矿中的微量元素含量受成矿流体中微量元素的制约^[14,17]。

矿石与石英脉的稀土元素对比可以反映岩浆流体与成矿流体的关系。石英脉和矿石在总体的配分模式和轻重稀土分异上有一定的相似性。河南庄金矿床的矿石与石英脉都呈现右倾的配分模式,但是矿石具有明显的 δEu 异常。成矿物质低角闪岩相的稀土元素呈惰性行为,不易发生迁移。Eu 一般存在 +2 价与 +3 价,在还原条件下易被还原成 Eu^{2+} 状态,从而与其他 3 价的稀土元素发生分离;而 Ce 元素一般为 +3 价与 +4 价,在还原条件下以 Ce^{+3} 离子存在。因此矿石稀土元素特征存在 Eu 负异常、Ce 无异常与还原作用有关,说

表 4 C-H-O-S 同位素测试数据
Table 4 Test data of the C-H-O-S isotopes

样品编号	岩石类型	矿物	$\delta D_{V-SMOW}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{V-SMOW}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{V-PDB}/\text{‰}$	$\delta^{13}C_{V-PDB}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{H_2O}/\text{‰}$	$\delta^{34}S/\text{‰}$
HNZ16-B13	石英脉	石英	-104.7	11.5	-19.36		4.91	
HNZ16-B16	石英脉	石英	-94.9	11.2	-19.66		4.61	
HNZ16-B17	石英脉	石英	-108.6	12.5	-18.36		5.91	
HNZ16-B18	石英脉	石英	-113.1	12.7	-18.16		6.11	
HNZ16-B6	大理岩	方解石	-94	10	-20.86	0.8	3.41	
HNZ16-B5	大理岩	方解石		16.45	-14.41	0.56	9.86	
HNZ16-B11	大理岩	方解石		16.1	-14.76	-0.14	9.51	
ZK1603-11	纯净大理岩	方解石		21.6	-9.26	2.04	15.01	
ZK1605-14	硅化蛇纹石大理岩	方解石		18.1	-12.76	1.81	11.51	
HNZ16-B3	硅化大理岩含黄铁矿	黄铁矿						21
HNZ16-B7	致密块状黄铁矿	黄铁矿						11.3
HNZ16-B8	团块状黄铁矿	黄铁矿						10.4
HNZ16-B9	硅化大理岩含黄铁矿	黄铁矿						10.5
HNZ16-B10	硅化大理岩含黄铁矿	黄铁矿						11
ZK1608-4	硅化大理岩含黄铁矿	黄铁矿						9.2
ZK1201-5	含黄铁矿糜棱岩	黄铁矿						10.6
ZK1210-23	含黄铁矿糜棱岩	黄铁矿						11.1

明河南庄金矿成矿流体具有弱还原性。

2.3 同位素地球化学

2.3.1 氢、氧同位素

前人包裹体测温显示^[2],所获得的均一温度为 309 °C. 根据所测数据(表 4),成矿流体中的氢即为石英或者方解石中的氢同位素,氧同位素则需寄主矿物与成矿均一温度计算所得。

由前人资料^[18]可知,岩浆水的氢氧同位素范围 $\delta^{18}O_{V-SMOW}$ 在 6.0‰~9.0‰, δD_{V-SMOW} 为 -110‰ ~ -65‰; 变质水的变化范围 $\delta^{18}O_{V-SMOW}$ 在 4.0‰ ~ 25.0‰, δD_{V-SMOW} 为 -95‰ ~ -10‰. 河南庄金矿石英脉 $\delta^{18}O_{V-SMOW}$ 的范围为 11.2‰ ~ 12.7‰, 计算得 $\delta^{18}O_{水-SMOW}$ 在 4.6‰ ~ 6.1‰, 略低于岩浆水变化范围; δD_{V-SMOW} 的范围在 -113.1‰ ~ -94.9‰, 平均值为 -105.33‰. H-O 同位素组成变化范围较小, 说明成矿流体来源比较单一或者是发生均一化的结果^[19]. 大理岩中方解石的 $\delta^{18}O_{V-SMOW}=10\text{‰}$, 计算得 $\delta^{18}O_{水-SMOW}=3.6\text{‰}$, $\delta D_{V-SMOW}=-94\text{‰}$, 与石英脉样品的氢氧同位素相似, 说明大理岩的蚀变与成矿流体密切相关. 由 $\delta^{18}O-\delta D$ 图解(图 4),

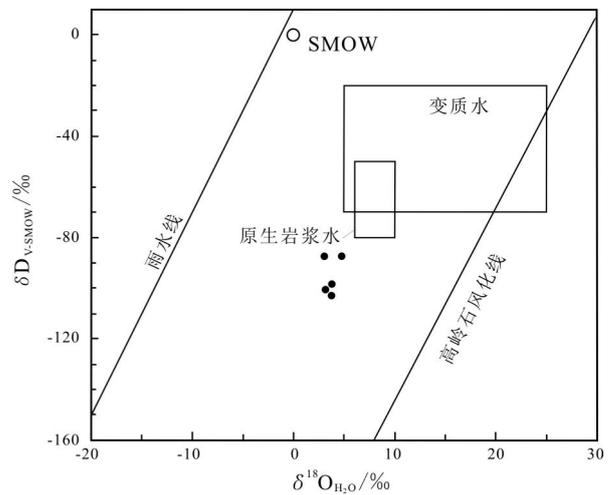


图 4 $\delta^{18}O-\delta D$ 图解

Fig. 4 The $\delta^{18}O-\delta D$ diagram

可以说明成矿流体与岩浆水和变质水有关, 但成矿流体与围岩发生一定程度的交代作用, 后期受大气降水等作用等影响使元素向低值演化。

2.3.2 碳、氧同位素

$\delta^{18}O_{V-SMOW}$ 转换为 $\delta^{18}O_{V-PDB}$ 可通过公式 $\delta^{18}O_{V-SMOW}$

(‰) = $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ (‰) + 30.86 得出. 从测试数据(表4)看, $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 以正值为主, 其范围在 $-0.14\text{‰} \sim +2.04\text{‰}$, 平均值为 1.01‰ ; $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 的范围在 $-20.86\text{‰} \sim -9.26\text{‰}$, 平均值为 -14.41‰ . 前人数据显示, 有机物的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 平均值为 -27‰ , 岩浆岩的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 值在 $-30\text{‰} \sim -3\text{‰}$, 地幔的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 值为 $-7\text{‰} \sim -5\text{‰}$, 典型海相碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 值在 $-2\text{‰} \sim +2\text{‰}$ 之间^[20]. 河南庄金矿床围岩中的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 变化范围很小, 均值为 1.01‰ , 表明碳可能主要来自地层中的海相碳酸盐的溶解作用. C 元素对金的搬运和沉淀具有催化和控制作用.

2.3.3 硫同位素地球化学

$\delta^{34}\text{S}$ 的值主要在 $9.2\text{‰} \sim 11.3\text{‰}$, 均值为 10.6‰ (表4), 分布范围较集中. 河南庄金矿中的黄铁矿等硫化物主要形成于中低温、还原性的环境中, 与成矿流体密切相关, 并指示成矿流体来源^[21]. 不同类型矿床有不同的 $\delta^{34}\text{S}$ 特征: 石英脉型金矿为 $4\text{‰} \sim 7\text{‰}$; 蚀变岩型金矿为 $7\text{‰} \sim 12\text{‰}$; 卡林型金矿为 $11\text{‰} \sim 20\text{‰}$; 铅锌矿床为 $-4\text{‰} \sim +4\text{‰}$ ^[22]. 河南庄金矿 $\delta^{34}\text{S}$ 同蚀变岩型金矿的同位素特征相似.

3 成矿流体探讨

河南庄金矿处于特殊的地理位置, 受造山运动的影响, 造山带内地层岩石发生强烈的脆-韧性剪切变形, 相应的赋矿地层也发生了广泛的构造变形. 金矿化的强弱明显受构造和变质变形作用的控制, 因此金矿的形成同秦岭构造运动密切相关, 成矿时间应同步于或晚于造山运动. 秦岭造山运动强烈的挤压及逆冲推覆形成的韧性剪切带导致金的分异.

河南庄金矿同熊耳山矿床^[23]、葫芦沟矿床^[24]在大地构造背景、矿床特征、矿石特征上有很多相似之处, C-H-O-S 等同位素范围与申家窑金矿的地球化学特征相似^[25]. 这些矿床多形成于元古宙陆内地层, 成矿时间多为燕山期秦岭造山期后岩浆热液活动期, 受构造作用控制明显, 矿体呈脉状、似层状、透镜状, 矿床围岩蚀变发育, 并具有一定的分带性^[26]. 因此河南庄金矿可能为蚀变岩型金矿, 受构造和岩浆活化, 并在后期有一定的变质改造.

通过对矿石的结构构造分析, 以及微量元素、稀土元素、同位素分析, 所有证据都指示河南庄金矿成矿流体来自岩浆, 后期受变质改造影响, 岩浆以深地壳源或

地幔源为主. 矿石中的黄铁矿呈浸染状、粗粒细粒混杂的五角十二面体的晶型, 表现出中低温、缓慢冷却同时物质供给充分的成矿环境^[21]. 微量元素和硫同位素指示矿床成矿处于一种中低温、中低压缺氧还原的成矿环境.

当板块挤压造山时, 受地温梯度的影响, 温度压力增高, 深部势必发生改造、部分熔融、变质作用, 从而产生岩浆流体, 并沿着断裂构造向上迁移^[27]. 流体在迁移过程中, 周围的地层岩石与其发生反应, 使得成矿金属元素被淋滤、活化迁移至流体中, 形成赋矿岩浆流体. 流体沿着构造作用形成的通道向上迁移, 当成矿流体上升至浅层时, 温压条件发生变化, 在脆-韧性剪切带与围岩发生交代反应形成蚀变岩带, 最终沉淀富集成矿.

4 结论

1) 河南庄金矿处于秦岭造山带上, 地质背景错综复杂, 成矿作用复杂多样. 矿体多受断裂等构造控制, 岩石受构造作用与岩浆作用影响, 蚀变作用明显.

2) 围岩中的 C-O 同位素显示碳氧元素可能来自海相碳酸盐的溶解作用. C、O 元素对金矿床的形成具有控制和催化作用.

3) 成矿流体主要为岩浆流体, 后期受构造作用、变质作用改造. 岩浆流体主要来自深部地壳或地幔, 上升至浅层后, 在压力和温度降低条件下, 沉淀富集成矿. 成矿环境为还原环境.

参考文献:

- [1] 刘小照, 李国勇, 王丽娜, 等. 河南省西峡县河南庄金矿床地质特征[J]. 资源导刊: 地球科技版, 2015, 15(9): 20-24.
- [2] 张文, 王建国, 李孝红, 等. 河南庄金矿床成矿流体特征及矿床成因[J]. 有色金属: 矿山部分, 2012, 64(2): 52-57.
- [3] 燕长海, 姚新年, 谢国敏. 豫西南地区河南庄金矿埋藏矿体的地表标志[J]. 地球与环境, 2001, 29(3): 196-200.
- [4] 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造[J]. 中国科学: B 辑, 1995, 5(9): 994-1003.
- [5] 张欢, 宋传中, 王道轩, 等. 朱阳关-夏馆断裂带构造变形的温压条件[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2012, 35(8): 1101-1105.
- [6] 王全庆. 商丹断裂构造特征及其演化[J]. 地球科学与环境学报, 1992, 3(1): 27-34.
- [7] 付治国, 郑红星, 卢欣祥. 小秦岭-熊耳山地区金矿床矿石矿物类型特征分析[J]. 地质与勘探, 2009, 45(2): 53-59.

- [8] Liu K, Yang R, Chen W, et al. Trace element and REE geochemistry of Sanshenjiang gold deposit, southeastern Guizhou Province, China [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2013, 32(2): 212-221.
- [9] 陈华勇, 张莉, 李登峰, 等. 南天山萨瓦亚尔顿金矿床稀土微量元素特征及其成因意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(1): 159-166.
- [10] Liu K, Yang R, Chen W, et al. Trace element and REE geochemistry of the Zhewang gold deposit, southeastern Guizhou Province, China [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2014, 33(1): 109-118.
- [11] 毛光周, 华仁民, 高剑峰, 等. 江西金山金矿床含金黄铁矿的稀土元素和微量元素特征[J]. 矿床地质, 2006, 25(4): 412-426.
- [12] 范建国, 倪培, 苏文超, 等. 辽宁四道沟热液金矿床中石英的稀土元素的特征及意义[J]. 岩石学报, 2000, 16(4): 587-590.
- [13] 谢巧勤, 徐晓春, 李晓萱, 等. 河南老湾金矿床稀土元素地球化学对成矿物质来源的示踪[J]. 中国稀土学报, 2005, 23(5): 636-640.
- [14] 郑作平, 于学元, 郭健, 等. 八卦庙金矿床的微量元素地球化学[J]. 地球与环境, 1996, 6(2): 91-97.
- [15] Moh G H. Ore synthesis, phase equilibria studies and applications [J]. Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen, 1980, 139: 114-154.
- [16] 陈炳翰, 王中亮, 李海林, 等. 胶东台上金矿床成矿流体演化: 载金黄铁矿稀土元素和微量元素组成约束[J]. 岩石学报, 2014, 30(9): 2518-2532.
- [17] 姚艳桥, 阮启林, 金华, 等. 鄂东南构造蚀变岩型金矿地质特征与找矿方向探讨[J]. 资源环境与工程, 2014, 4(6): 823-829.
- [18] 张理刚. 莲花山斑岩型钨矿床的氢、氧、硫、碳和铅同位素地球化学[J]. 矿床地质, 1985, 5(1): 56-65.
- [19] 冯德胜, 孙国胜, 敖冬, 等. 内蒙古奈林沟金矿床 C-H-O 同位素地球化学特征[J]. 黄金, 2014, 14(2): 18-22.
- [20] 邱正杰, 范宏瑞, 丛培章, 等. 造山型金矿床成矿过程研究进展[J]. 矿床地质, 2015, 34(1): 21-38.
- [21] 张潮, 刘育, 刘向东, 等. 胶西北新城金矿床硫同位素地球化学[J]. 岩石学报, 2014, 30(9): 2495-2506.
- [22] 王义文, 朱奉三, 宫润潭. 构造同位素地球化学-胶东金矿集中区硫同位素再研究[J]. 黄金, 2002, 23(4): 1-16.
- [23] 徐刚, 张有, 方荣, 等. 河南省熊耳山地区金矿床类型及控矿因素分析[J]. 黄金, 2013, 34(2): 25-31.
- [24] 蓝妮拉, 陈有斌, 刘巍, 等. 陕西葫芦沟金矿床地质与稀土元素特征分析[J]. 黄金科学技术, 2013, 21(5): 14-20.
- [25] 陈衍景, 富士谷. 申家窑金矿地质地球化学特征及成矿模式[J]. 地质与勘探, 1992, 92(4): 47-52.
- [26] 赫英. 构造岩浆活化与秦岭金矿床[J]. 大地构造与成矿学, 1996, 16(1): 61-66.
- [27] 陈衍景. 陆内碰撞体制的流体作用模式及与成矿的关系: 理论推导和东秦岭金矿床的研究结果[J]. 地学前缘, 1996, 3(4): 282-289.