

甘肃大水闪长岩型金矿床的矿物地球化学特征

李红阳¹, 李英杰¹, 袁万明², 杨秋荣¹, 康桂玲¹, 曹积飞¹

(1. 石家庄经济学院勘查技术学院, 石家庄 050031; 2. 中国科学院高能物理研究所, 北京 100039)

[摘要]大水金矿氧化带下部,发育大量的微细粒浸染状、细脉状黄铁矿和黄铜矿,并出现砷黝铜矿。地表氧化矿中的赤铁矿,是黄铁矿等原生硫化物氧化所致;在矿石矿物成分上,黄铁矿、黄铜矿和砷黝铜矿的Au含量普遍较高。黄铁矿中的Co/Ni比值多大于2,与岩浆成因黄铁矿相吻合。流体包裹体均一温度为105℃~400℃。 $\delta^{34}\text{S} = -1.8\text{‰} \sim +4.1\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C} = -2.7\text{‰} \sim +4.3\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = 6.63\text{‰} \sim 19.42\text{‰}$, $\delta\text{D} = -101\text{‰} \sim -75\text{‰}$ 。成矿流体主要来源于岩浆热液,碳、硫和成矿元素主要来源于赋矿闪长岩体,为富硫化物的闪长岩型金矿床。砷黝铜矿对找矿与勘探有指示作用。

[关键词]闪长岩型金矿床 矿物地球化学 甘肃大水

[中图分类号] P618.51; P578.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)04-0041-05

0 引言

甘肃省玛曲县尼玛乡大水金矿,是我国大型金矿床之一,属于川甘陕“金三角”矿集区的一个组成部分^[1-2],地理坐标为东经102°12'26"~102°15'04"、北纬34°01'53"~34°04'01"。地表广泛分布的浅粉红色-红褐色赤铁矿化灰岩和成群分布的闪长岩脉,构成大水金矿的特征标志(图1)。早期采矿

和研究工作主要围绕地表氧化带广泛分布的赤铁矿化灰岩,并针对赤铁矿提出了“贫硫化物型金矿”解释^[2-3]。随着采矿与勘探工作的深入,深部原生矿化信息不断被揭示,作者在氧化带下部闪长岩体内和接触带,发现了大量的微细粒稠密浸染状黄铁矿和网脉状黄铁矿,构成重要的闪长岩型原生硫化物矿石和矿体。而且,在地表强烈褐铁矿化的铁帽中和褐铁矿脉中,找到了尚未完全褐铁矿化的黄铁矿,

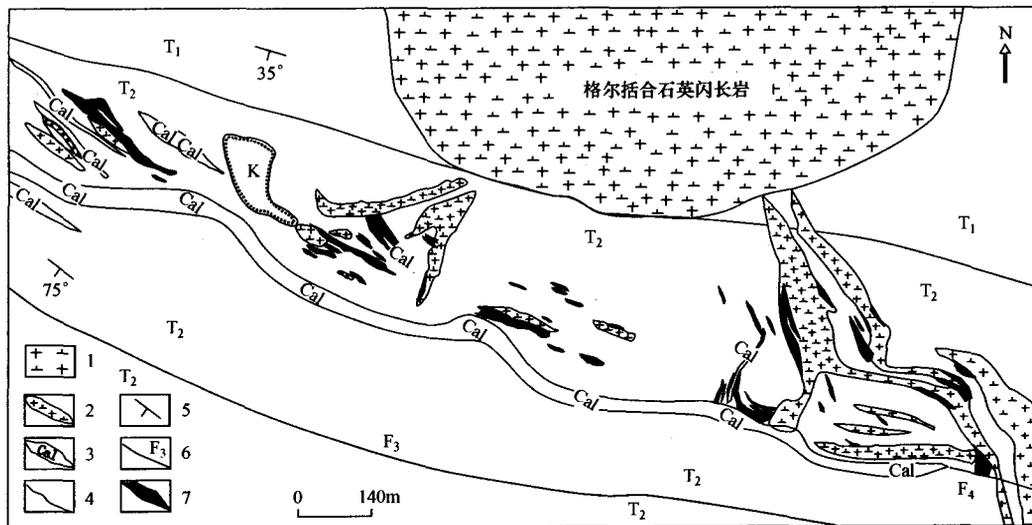


图1 大水金矿床地质简图

K—白垩系; T₂—中三叠统; T₁—下三叠统; 1—石英闪长岩; 2—闪长岩脉; 3—方解石脉; 4—地质界线; 5—地层产状; 6—断层; 7—金矿体

[收稿日期] 2006-04-24; [修订日期] 2006-08-28。

[基金项目] 国家自然科学基金项目(编号:40272088)、科技部“十五”攻关项目(编号:2001BA609A-07-03)联合资助。

[第一作者简介] 李红阳(1959年—),男,1998年毕业于中国地质科学院,获博士学位,教授,现主要从事矿床地质地球化学研究工作。

并鉴定出与黄铁矿化相伴而生的黄铜矿和含铁砷黝铜矿,揭示了大水金矿浅部地表氧化矿中广泛分布的赤铁矿和褐铁矿,为微细粒稠密浸染状和网脉状黄铁矿等硫化物表生氧化作用所致。通过对新发现的原生硫化物等矿物的地球化学特征研究及与我国闪长岩型金矿床对比^[4-8],大水金矿为富硫化物的闪长岩型金矿床。含铁砷黝铜矿又揭示了大水金矿深部找矿远景^[9]。

1 矿床地质概况

如图1所示,大水金矿床位于格尔括合石英闪长岩体南侧的枝杈状闪长岩小岩枝、岩脉、岩墙成群密集发育地带,总体呈北西向带状展布,已知金矿体和矿化体均分布在闪长岩体内和接触带附近的中三叠统马热松多组碳酸盐岩地层中^[2],发育4个金矿体群。金矿体的规模大小和产状,严格受枝杈状闪长岩脉的规模、岩性组合和接触带形态产状的控制,多呈脉状和透镜状产出,走向近NS和NW,倾角45°~80°,矿体长20~280m,厚0.66~26.39m,金品位为(1.0~62.16)×10⁻⁶,平均为11.70×10⁻⁶,以Au 20-1矿体最大。

闪长岩脉及其附近的碳酸盐岩地层,普遍矿化。在浅部地表,以闪长岩脉顶部和两侧碳酸盐岩围岩的广泛赤铁矿化—褐铁矿化—硅化为主,整个矿区呈浅粉红色—红褐色,矿石类型主要为赤铁矿化—硅化灰岩型、似碧玉岩型及破碎蚀变岩型。在氧化带下部,以闪长岩体和接触带微细粒稠密浸染状和网脉状黄铁矿化为主,闪长岩体本身构成金矿石,矿石类型主要为闪长岩型、破碎蚀变岩型和爆破角砾岩型。因此,从闪长岩体到接触带至碳酸盐岩围岩,从深部到浅部,矿石类型从闪长岩型到爆破角砾岩型—破碎蚀变岩型至似碧玉岩型—赤铁矿化硅化灰岩型规律性变化。沿闪长岩接触带或岩体顶部,普遍大理岩化,局部夕卡岩化。近矿围岩蚀变强烈,主要为硅化—似碧玉岩化、黄铁矿化(—褐铁矿化—赤铁矿化)、碳酸盐化,其次为高岭土化、绿泥石化、绢云母化等,与金成矿关系最为密切的是硅化—似碧玉岩化和黄铁矿化(—褐铁矿化—赤铁矿化)。隐爆角砾岩和构造角砾岩也主要产在枝杈状闪长岩接触带附近,并强烈蚀变与矿化。矿石构造有浸染状、块状、脉状和角砾状等。矿石结构有自形、半自形粒状结构和各种交代结构及碎裂结构。金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、含铁砷黝铜矿、赤铁矿、褐铁矿、蓝铜矿、孔雀石、磁黄铁矿和自然金等;非金属矿

物主要为玉髓状石英、方解石、白云石和绢云母等。

该次研究采集的蚀变矿化岩矿石的锆石裂变痕迹年龄为149.5Ma~214.9Ma,与前人的格尔括合闪长岩体中心相全岩Rb-Sr年龄174.3Ma和3个蚀变矿化岩浆角砾岩K-Ar法年龄182.6Ma~196.0Ma基本吻合^[2-3],结合已知金矿体主要产在侵入于三叠纪地层之中的闪长岩体接触带附近,表明成矿时代为燕山期。

2 金属矿物的化学成分特征

2.1 黄铁矿

该次工作新发现的21个黄铁矿样品,取自大水金矿床西南部金矿体群中的35号和20-1号矿体,分布于氧化带下部含矿闪长岩和蚀变矿化灰岩中,呈微细粒浸染状、细脉浸染状和细脉状,粒度0.01~0.04mm,呈他形粒状和立方体自形晶及少量五角十二面体,多氧化成褐铁矿或赤铁矿。

电子探针分析结果如表1所示:在化学成分上黄铁矿Fe含量为43.55%~47.47%,平均46.02%;S为50.84%~54.30%,平均52.83%;黄铁矿的S/Fe为1.10~1.19,在成分上属于硫亏损型。黄铁矿中的Co、Ni平均含量分别为36×10⁻⁵和22×10⁻⁵,Co/Ni比值为1~5,与岩浆成因黄铁矿Co/Ni比值相吻合,指示大水金矿床黄铁矿为岩浆成因。黄铁矿的Au含量普遍较高,为0.01%~0.10%,反映金可能来源于岩浆岩。

2.2 黄铜矿

该次工作新发现的7个黄铜矿样品,取自35号和20-1号矿体,呈浸染状和细脉状分布于氧化带下部含矿闪长岩裂隙、斑晶和基质中。电子探针分析结果列入表2:黄铜矿的Cu含量为33.94%~34.69%,平均34.26%;Fe含量为29.39%~30.85%,平均29.91%;S含量为34.10%~35.35%,平均34.85%;Au含量为0.00%~0.07%,相对较高。

2.3 含铁砷黝铜矿

该次工作共获得5个样品,取自35号和20-1号矿体,电子探针分析结果如表3所示:Cu含量为48.36%~49.37%,平均48.78%;S含量为27.18%~27.85%,平均27.63%;As含量为18.73%~19.47%,平均19.03%;Fe含量为2.21%~3.18%,平均2.79%;Au含量为0.00%~0.06%,平均0.04%;Co含量为0.10%~0.20%,平均0.14%;Ag含量为0.01%~0.03%之间,平均0.018%。

表1 大水金矿床黄铁矿电子探针分析结果

样号	$\omega_B/\%$											Co/Ni	Total
	As	S	Ni	Cu	Ag	Fe	Zn	Bi	Au	Sb	Co		
3-FeS1	0.01	53.47	0.02	0.00	0.00	45.83	0.02	0.00	0.01	0.00	0.06	3	99.42
3-FeS2	0.00	53.23	0.00	0.00	0.00	46.12	0.02	0.00	0.10	0.00	0.04	-	99.51
4-CuFeS4	0.00	53.91	0.01	0.00	0.00	45.66	0.01	0.09	0.00	0.01	0.02	2	99.71
4-CuFeS5	0.00	53.88	0.01	0.02	0.00	45.71	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	5	99.69
5-FeS4	0.00	53.06	0.00	0.01	0.00	45.91	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	-	99.03
5-FeS5	0.00	53.07	0.00	0.00	0.00	45.89	0.01	0.00	0.06	0.00	0.04	-	99.07
6-FeS1	0.00	53.12	0.01	0.00	0.00	46.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	5	99.74
6-FeS4	0.00	53.83	0.00	0.01	0.00	45.06	0.00	0.13	0.05	0.00	0.04	-	99.12
HD170-1-FeS	0.03	52.45	0.02	0.01	0.00	47.08	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	-	99.64
HD170-2-FeS	0.01	52.28	0.00	0.00	0.00	47.17	0.01	0.00	0.07	0.00	0.00	-	99.54
HD170-3-FeS	0.00	51.83	0.03	0.00	0.00	47.31	0.02	0.13	0.02	0.00	0.00	-	99.34
HD170-4-FeS	0.01	52.46	0.02	0.00	0.00	46.72	0.04	0.14	0.07	0.00	0.00	-	99.46
HDPY12-1-FeS	0.01	51.80	0.21	0.10	0.00	46.70	0.03	0.23	0.03	0.00	0.00	-	99.11
HDPY9-3-FeS	0.00	52.92	0.00	0.00	0.00	47.47	0.01	0.00	0.07	0.00	0.00	-	100.47
HDPY-35-1cp	0.01	52.01	0.00	0.03	0.00	46.26	0.00	0.07	0.04	0.00	0.06	-	98.48
5-2cp	0.00	54.30	0.03	0.00	0.00	45.78	0.01	0.00	0.06	0.00	0.06	2	100.24
5-3cp	0.01	52.50	0.03	0.00	0.02	45.68	0.00	0.16	0.05	0.00	0.05	1.67	99.50
HD171-3-cp	0.00	52.40	0.05	0.00	0.00	45.16	0.02	0.15	0.02	0.00	0.05	1	99.85
2-2-cp	0.00	52.99	0.03	0.00	0.00	45.42	0.00	0.10	0.01	0.00	0.10	3.33	98.65
2-1-cp	0.00	53.15	0.00	0.01	0.00	45.37	0.02	0.00	0.01	0.00	0.05	-	98.61
2-4-cp	0.00	50.84	0.00	0.01	0.00	43.55	0.00	0.13	0.03	0.00	0.05	-	99.61

注:数据由中国地质科学院矿产与资源研究所余静分析,仪器型号为JXA-8800。

表2 大水金矿床黄铜矿电子探针分析结果

样号	$\omega_B/\%$											Co/Ni	Total
	S	Ni	Cu	Ag	Fe	Zn	Bi	Au	Co	Au/Ag			
2-CuFeS1	34.94	0.00	34.69	0.00	29.57	0.00	0.00	0.00	0.04	0	-	99.24	
2-CuFeS2	34.81	0.00	34.50	0.02	29.63	0.00	0.19	0.07	0.02	3.5	-	99.24	
2-CuFeS3	34.94	0.00	34.11	0.00	29.78	0.02	0.14	0.00	0.03	0	-	99.02	
2-CuFeS4	35.35	0.00	34.01	0.00	29.39	0.00	0.16	0.00	0.02	-	-	98.93	
2-CuFeS5	35.18	0.00	34.40	0.00	29.91	0.00	0.00	0.03	0.03	-	-	99.55	
4-CuFeS1	34.62	0.00	33.94	0.00	30.24	0.04	0.12	0.06	0.04	-	-	99.05	
4-CuFeS2	34.10	0.01	34.18	0.00	30.85	0.00	0.07	0.00	0.04	0	4.00	99.25	

注:数据由中国地质科学院矿产与资源研究所余静分析,仪器型号为JXA-8800。

表3 大水金矿床砷黝铜矿电子探针分析结果

序号	样号	$\omega_B/\%$										Total
		As	S	Cu	Ag	Fe	Zn	Bi	Au	Sb	Co	
1	1-AsFeS1	19.01	27.18	48.73	0.03	3.18	0.60	0.00	0.02	0.16	0.13	99.04
2	1-AsFeS2	19.21	27.62	49.37	0.03	2.81	0.60	0.00	0.02	0.16	0.13	99.95
3	1-AsFeS3	18.73	27.85	48.82	0.01	2.89	0.54	0.22	0.06	0.41	0.10	99.63
4	1-AsFeS4	18.73	27.71	48.64	0.02	2.85	0.61	0.00	0.00	0.32	0.14	99.02
5	1-AsFeS5	19.47	27.77	48.36	0.00	2.21	1.19	0.12	0.10	0.00	0.20	99.42

注:数据由中国地质科学院矿产与资源研究所余静分析,仪器型号为JXA-8800。

与甘肃碌曲拉尔玛金矿相对比^[9],大水金矿床中砷黝铜矿的铜、砷、金含量偏高,铁的含量相当,铋和银含量偏低。砷黝铜矿一般赋存在大型金矿和富金矿床中,并表现出浅部富砷、中部富铋、深部富银的垂向变化特征^[9]。因此,大水金矿中含铁砷黝铜矿的发现,对于指示该矿床的成因和深部找矿远景具有重要意义。

3 同位素地球化学特征和成矿物质来源分析

3.1 黄铁矿的硫同位素组成特征和硫的来源

硫同位素研究测定的矿物,主要为该次工作在35号和20-1号矿体深部闪长岩型矿石中新发现的13件黄铁矿样品,其分析结果如表4:黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $-1.8\text{‰} \sim +4.1\text{‰}$,平均为 $+2.4\text{‰}$,变化范围较窄,塔式分布特征明显。显然,黄铁矿的硫同位

素组成 $\delta^{34}\text{S}_{\text{硫化物}} \approx +2\%$, 与超基性岩中的 $\delta^{34}\text{S}$ 基本吻合^[10] ($-1.3\% \sim +5.5\%$, 平均为 1.2%), 或接近于幔源硫, 反映了大水金矿床硫同位素的深部来源特征。

表4 大水金矿床黄铁矿的硫同位素组成 ‰

序号	样号	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$
1	YD49	2.2
2	YD19	-1.8
3	HDpy-99	4.1
4	HDpy-6	1.8
5	HDpy-7	2.1
6	HDpy-17	3.1
7	HDpy-8	2.8
8	HDpy-13	3.2
9	HDpy-2	1.6
10	HD167	3.4
11	HD180	2.1
12	HD171	3.8
13	YD49	2.8

注:①数据由中国地质科学院矿产与资源研究所分析,测定仪器为 MAT251 质谱仪;②采用的国际标准为 CDT;③硫同位素的分析误差为 $\pm 0.20\%$ 。

3.2 方解石的碳同位素特征及碳的来源

该次工作在矿区南部方解石大脉中采集了 10 件方解石样品,分早期和晚期方解石,碳同位素分析

结果列入表 5:3 件早期方解石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 $-2.7\% \sim +4.3\%$, 均值为 $+1.4\%$; 7 件晚期方解石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 $-0.8\% \sim +2.4\%$, 均值为 $+0.53\%$; 根据 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2(\text{气})} = 1000 \ln \alpha + \delta^{13}\text{C}_{\text{方解石}}$ 计算得知早期方解石 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2(\text{气})}$ 为 $-1.9\% \sim +5.1\%$, 晚期方解石 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2(\text{气})}$ 为 $0.0\% \sim +3.2\%$ 。如表 5 所示,碳同位素组成相对较低,与岩浆岩的碳同位素组成接近,表明矿液中的碳以深源为主,主要由赋矿闪长岩提供,但晚期方解石明显与碳酸盐溶解作用相关。

3.3 氢、氧同位素组成特征和水的来源

该次工作对上述 10 件方解石样品进行了矿物氧和包裹体氢测试分析,结果如表 5 所示:早期 3 件样品方解石 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 $6.63\% \sim 7.87\%$, $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 为 $-100\% \sim -90\%$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 为 $-4.32\% \sim -3.10\%$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 为 $-23.5\% \sim -22.3\%$, 反映大水金矿区早期方解石中的成矿流体以岩浆水为主;晚期方解石 7 件样品, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 $16.43\% \sim 19.42\%$, $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 为 $-101\% \sim -75\%$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 为 $+5.37\% \sim +8.33\%$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 为 $-14.0\% \sim -11.1\%$, 反映大水金矿区晚期方解石中的成矿流体明显有改造的大气降水参与。

表5 大水金矿床方解石的碳、氢、氧同位素组成 ‰

样号	样品名称	采样位置	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2(\text{气})}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$
HD11	早期方解石	方解石大脉	-2.7	-1.9	7.87	-90	-3.10	-22.3
HD112	早期方解石	方解石大脉	4.3	5.1	7.77	-100	-3.26	-22.4
HD133	早期方解石	方解石大脉	2.6	3.4	6.63	-98	-4.32	-23.5
HD9-1	晚期方解石	方解石大脉	1.0	1.8	19.42	-85	8.33	-11.1
HD9-2	晚期方解石	方解石大脉	-0.5	0.3	19.21	-78	8.12	-11.3
HD10-1	晚期方解石	方解石大脉	-0.8	0	18.59	-75	7.51	-11.9
HD10-2	晚期方解石	方解石大脉	-0.2	0.6	18.90	-76	7.81	-11.6
HD12	晚期方解石	方解石大脉	2.4	3.2	19.31	-90	8.22	-11.2
HD13	晚期方解石	方解石大脉	-0.3	0.5	18.39	-101	7.31	-12.1
HD107	晚期方解石	方解石大脉	2.1	2.9	16.43	-99	5.37	-14.0

注:①数据由中国地质科学院矿产与资源研究所分析,分析方法为 100% 磷酸法,质谱计型号为 MAT251EM;②计算采用的分馏方程为: $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 根据 $1000 \ln \alpha_{\text{方解石-水}} = 2.78 \times 10^6 T^{-2} - 2.89$ 计算。

4 方解石的流体包裹体特征

该次研究共采集 4 件方解石包裹体样品,其主要特征如表 6:采用均一法测温获得成矿温度变化范围为 $105\text{℃} \sim 400\text{℃}$;成矿流体的盐度采用冷冻法测得为 $2.96\% \sim 6.47\%$;根据 $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ 体系中 P (压力) - T (温度) - D (密度) 图解^[10],求得成矿流体密度为 $0.875 \times 10^3 \text{kg/m}^3 \sim 970 \times 10^3 \text{kg/m}^3$,成矿压力范围为 $40.53 \sim 99.30 \text{MPa}$ 。指示成矿流体盐度

较低,密度中等,成矿压力范围较大,结合含矿围岩为闪长岩和灰岩,反映了中浅成深度的中低温热液矿床特征。

5 结论与讨论

1) 大水金矿氧化带下部闪长岩体内和接触带之中,发育大量的微细粒浸染状、细脉状黄铁矿和黄铜矿等原生硫化物,地表氧化矿中广泛分布的赤铁矿—褐铁矿,是微细粒浸染状、细脉状黄铁矿等原生

表6 大水金矿床方解石的包裹体特征

样号	大小/ μm	气液比/%	盐度/%	均一温度平均值/ $^{\circ}\text{C}$	密度/ $(10^3\text{kg}/\text{m}^3)$	压力/MPa
HD86-1	7~83	<10	4.37	121~195 (148.9)	0.934	69.66
HD86	5~90	5~20	2.96	105~271 (217.2)	0.875	40.53
HD32	3~22	7~25	6.47	107~225 (165.7)	0.944	99.30
HD88	8~40	10~15	3.90	120~400 (158.8)	0.919	53.20

注:数据由中国地质科学院矿产与资源研究所分析。

硫化物氧化所致;在矿石矿物成分上,黄铁矿、黄铜矿等主要金属矿物中 Au 含量普遍较高,并出现指示大型金矿床的含铁砷黝铜矿,对深部找矿与勘探具有指示作用;黄铁矿中的 Co/Ni 比值绝大多数在 2 以上,与岩浆成因黄铁矿 Co/Ni 比值相吻合,指示大水金矿床黄铁矿为岩浆成因。

2) 黄铁矿的硫同位素组成 $\delta^{34}\text{S} = -1.8\text{‰} \sim +4.1\text{‰}$, 平均为 $+2.4\text{‰}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{硫化物}} \approx +2\text{‰}$, 接近于幔源硫,与赋矿闪长岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 相吻合。

3) 方解石的碳同位素组成相对较低, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 $-2.7\text{‰} \sim +4.3\text{‰}$, 与赋矿闪长岩的碳同位素组成接近,表明矿液中的碳以深源为主,主要由闪长岩提供。

4) 早期方解石 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 $6.63\text{‰} \sim 7.87\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 为 $-100\text{‰} \sim -90\text{‰}$;晚期方解石 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 $16.43\text{‰} \sim 19.42\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 为 $-101\text{‰} \sim -75\text{‰}$, 指示成矿溶液主要源于岩浆水,后期有改造的大气降水参与。

5) 流体包裹体测温指示成矿温度为 $105^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$, 成矿压力为 $40.53 \sim 99.30\text{MPa}$, 反映了中浅成深度的中低温热液矿床特征。

6) 大水金矿床是以闪长岩为主要成矿物质来源,以岩浆水为主要迁移介质的富硫化物的闪长岩型金矿床。

[参考文献]

- [1] 涂光炽. 西南秦岭与西南贵州铀金成矿带及其与美国西部卡林型金矿的类似性[J]. 铀矿地质, 1990, 6(6): 321-325.
- [2] 殷先明. 甘肃岩金矿床地质[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2000: 51-78.
- [3] 闫升好, 王安建. 大水式金矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿床地质, 2000, 19(2): 126-137.
- [4] 苏欣栋. 我国首例蚀变闪长岩岩筒型金矿床地质特征[J]. 地质与勘探, 1996, 32(3): 1-6.
- [5] 徐兆文, 方长泉. 与朝山岩体有关金矿床地质地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2004, 40(3): 42-46.
- [6] 朱平. 绍兴江山石英闪长岩金矿带元素地球化学规律多元统计分析[J]. 有色金属矿产与勘查, 1994, 3(4): 230-233.
- [7] 李军, 腾飞, 樊玉清. 内蒙古宁城热水金矿闪长岩脉特征及其控矿规律[J]. 黄金, 2000, 21(5): 7-10.
- [8] 梁华英. 闪长岩类侵入体中改造型金矿床形成分析[J]. 地质与勘探, 2000, 36(1): 17-19.
- [9] 帅德权, 胡晓强. 甘川拉尔玛金矿矿物组分特征[J]. 地质与勘探, 1995, 31(5): 28-35.
- [10] 魏菊英, 王关玉. 同位素地球化学原理[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 15-186.

MINERAL GEOCHEMISTRY IN THE DASHUI DIORITE - TYPE GOLD DEPOSIT, GANSU PROVINCE

LI Hong - yang¹, LI Ying - jie¹, YUAN Wan - ming², YANG Qiu - rong¹, KANG Gui - ling¹, CAO Ji - fei¹

(1. Shijiazhuang College of Economics, Shijiazhuang 050031;

2. Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract: Large amounts of fine disseminated and veinlet pyrite and chalcopyrite with the presence of tennantite occur in the unoxidized zone below the oxidized zone in the Dashui gold deposit. Pyrite, chalcopyrite and other sulfides were oxidized into hematite in the oxidized ores. Electron microprobe analysis indicates that gold is richening in pyrite, chalcopyrite and tennantite. Co/Ni ratios from pyrite are mostly greater than 2, being consistent with those of magma - type pyrite. Fluid inclusion data in calcite indicate that homogenization temperatures are about 105°C to 400°C . Isotopic data show that $\delta^{34}\text{S}$ values of pyrite range from -1.8‰ to $+4.1\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}$ values of calcite from -2.7‰ to $+4.3\text{‰}$, and $\delta^{18}\text{O}$ and δD values of calcite from $+6.63\text{‰}$ to $+19.42\text{‰}$ and -101‰ to -75‰ , respectively. Ore - forming fluids were largely magma water. Carbon, sulfur and metallogenic elements chiefly came from the hosted diorite. The gold deposit is a sulfides - rich diorite - type. Tennantite may be served as an important indicator for ore searching and prospecting.

Key words: diorite - type gold deposit, mineral geochemistry, Dashui, Gansu