

玲珑金矿西山幔源脉岩地球化学特征

孙雨沁,马晓东,程伟,张岩,李敏

(山东省地质科学研究院,山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室,国土资源部金矿成矿过程与资源利用重点实验室,山东 济南 250013)

摘要:玲珑西山幔源脉岩主微量元素的变化暗示了源岩很可能经历过类似俯冲带流体的交代作用,矿化流体中含有较高含量的金属矿物,具有Eu的正异常,指示了源区是深源的。脉岩中的CO₂来源可能是花岗岩岩浆热液的混入,石英来源于陆壳碎屑物质部分熔融形成的S型花岗岩,硫的来源与幔源脉岩岩浆同源,或来自地幔,或来自地壳深部。

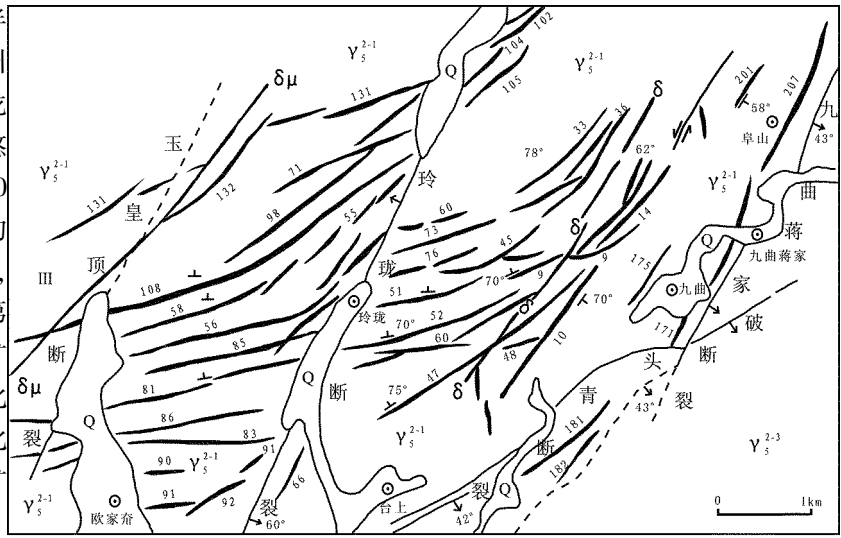
关键词:地球化学;深源脉岩;西山矿区;玲珑金矿

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

引文格式:孙雨沁,马晓东,程伟,等.玲珑金矿西山幔源脉岩地球化学特征[J].山东国土资源,2016,32(2):14-20.
SUN Yuqin, MA Xiaodong, CHENG Wei, etc. Geochemical Characteristics of Mantle-derived Vein Rock in Xishan Area of Linglong Gold Deposit[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(2): 14-20.

山东省招远玲珑金矿地处胶东半岛西北部,东与栖霞市相临,西靠莱州市,南与莱阳、莱西两市接壤,北以龙口市相接^[1]。玲珑金矿田开采历史悠久,矿区地质工作起步于20世纪50年代,实际探明C+D级金金属量约231 t(工程控制垂深度580 m以上),2012年探、采矿垂深已达千米,进入第二富集带^①。该文通过对玲珑西山矿区55号脉和后地金矿脉岩与金矿化样品的地球化学特征分析,指示矿化源区和成矿物质来源,为今后热液矿床找矿提供更多的途径。



1 成矿地质背景

玲珑金矿位于华北克拉通东缘胶东半岛,传统构造将这一地区划为胶辽台隆^[2],板块地体构造将这一地区划为胶北地体^[3]。地体的西界为郯庐断裂带,是一条规模巨大

的左行平移走滑断裂带^[4];地体的南东界为五莲-荣成断裂带,是华北克拉通与苏鲁造山带的分界断裂^[5-7]。

收稿日期:2015-05-29;修订日期:2015-07-15;编辑:王敏

作者简介:孙雨沁(1986—),女,江苏东台人,工程师,主要从事矿物学、岩石学、矿床学研究;E-mail:sunyuqin86@163.com

①山东省地质科学研究院,全国矿产资源利用现状调查(玲珑金矿核查区),2012年。

玲珑西山矿区地层发育比较齐全,地表出露以中生代、新生代地层为主,其次为古生代地层,元古界在部分地区出露而太古界只是零星出露^[1]。区内断裂构造发育,受招平断裂、破头青断裂两大区域性断裂的联合控制^①。构造岩以碎裂岩为主,其次有碎裂状花岗岩夹断层泥及构造透镜体。构造岩蚀变弱,矿化不发育,主要有绢云母化、高岭土化。区内岩浆岩发育,主要为玲珑超单元大庄子单元,岩性为含斑粗中粒二长花岗岩,该单元是区内金矿最主要的赋矿围岩^{[8]①}(图 1)。

55 号矿脉位于玲珑断裂带幔源脉岩带的西侧,该脉岩脉宽 3~5 m,穿脉控制长度 40 多米,附近出露地层有新太古代胶东岩群、新生代第四纪松散堆积物^①。55 号脉的西段被玲珑矿田西缘幔源脉岩带穿切,以矿田西部红青顶一带、108 号脉西段的 Xj301~Xj302 井之间的闪长玢岩脉、煌斑岩脉为代表^{[1]①}。

后地硅化绿泥石化闪长玢岩脉紧贴主矿脉产出,主矿脉 SE 50 m 处沿 NNE 向支脉下盘分布的云斜煌岩脉的下盘叠加细粒闪长岩脉、碳酸盐化绢云母化闪长玢岩脉。后地金矿矿体主要由黄铁绢英岩化碎裂岩和黄铁石英脉组成^{[1]①}。

2 岩石地球化学特征

该次采集的 55 号矿脉岩样品(编号 LX110),岩石为云斜煌岩;金矿化样品(编号 JLX110)为含金黄铁石英脉,岩石主要由石英及少量的绢云母、方解石、黄铁矿组成。该次采集的后地金矿脉岩样品(编号 DD1)位于+46 m~+65 m 中段,岩石为硅化绿泥石化的闪长玢岩;金矿化样品 JDD1 为含金黄铁绢英岩,岩石主要由石英、绢云母、钾长石、方解石、黄铁矿组成。

2.1 主、微量(稀土)元素特征

脉岩样品 LX110, DD1 和金矿化样品 JLX110, JDD1 的主、微量(稀土)元素测定结果如表 1(注: Σ REE 为元素 La—Lu 含量总和, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = (\text{Eu})_{\text{N}} / (\text{Sm}_{\text{N}} \times \text{Gd}_{\text{N}})^{1/2}$, $\text{Ce}/\text{Ce}^* = (\text{Ce})_{\text{N}} / (\text{La}_{\text{N}} \times \text{Pr}_{\text{N}})^{1/2}$, $\text{LREE}/\text{HREE} = \Sigma(\text{La}-\text{Sm}) / \Sigma(\text{Gd}-\text{Lu})$, 球粒陨石标准化值据 Sun et al., 1989^[10]), 由北京离子探针中心测试,测试仪器为 SHRIMP IIe MC 质谱仪。

金矿化样品 JLX110 的 SiO_2 值为 80.72%, 比脉

岩 LX110 样品的 SiO_2 含量升高了 33.4%; 金矿化样品的 Al_2O_3 含量为 3.21%, 比脉岩样降低了 10.57%; Fe_2O_3 和 FeO 含量分别为 5.77%, 3.13%, 分别升高了 3.37% 和降低了 2.24%; K_2O 含量为 1.03%, 降低了 0.92%; CaO 含量为 0.44%, 降低了 7.96%; Na_2O 含量为 0.29%, 降低了 2.06%。

表 1 主量和微量(稀土)元素含量表(wt%和 10^{-6})

岩石名称	硅化绿泥石化闪长玢岩		含金黄铁石英脉	
	云斜煌岩	闪长玢岩	云斜煌岩	闪长玢岩
样品号	DD1	LX110	JLX110	JDD1
SiO_2	56.10	47.32	80.72	74.36
Al_2O_3	13.46	13.78	3.21	4.81
Fe_2O_3	1.77	2.40	5.77	11.46
CaO	2.74	8.40	0.44	0.22
MgO	3.70	9.74	0.39	0.26
FeO	10.96	5.37	3.13	0.63
S	0.61	0.07	4.55	8.60
K_2O	2.84	1.95	1.03	1.88
Na_2O	0.74	2.35	0.29	0.29
TiO_2	0.57	0.94	0.04	0.08
MnO	0.13	0.13	0.11	0.04
P_2O_5	0.28	0.38	0.02	0.02
LOI	4.42	5.57	4.42	6.20
CO_2	10.96	4.21	3.13	0.21
Cs	0.80	2.08	0.43	0.28
Cr	201.30	554.45	11.34	13.52
Sr	357.9	899.45	52.51	28.17
V	92.25	158.15	3.248	4.93
Cu	107.80	50.52	403.90	14.08
Sn	1.64	1.00	1.00	1.44
B	6.40	4.65	9.40	7.70
W	3.20	0.58	0.28	0.41
Tl	0.45	0.39	0.20	0.27
Rb	71.25	51.43	25.76	55.44
Zr	71.93	396.90	15.73	22.72
Mo	0.77	0.99	3.90	0.84
Hf	2.85	12.54	0.76	0.90
Be	1.25	1.29	0.57	0.68
Se	0.09	0.06	1.52	0.35
Au	0.13	0.06	0.83	4.18
Th	9.85	7.73	0.97	2.93
Ag	0.29	0.14	5.47	0.67
Hg	50.00	48.30	71.89	93.13
As	11.91	0.70	50.91	209.75
Sb	0.54	0.09	1.34	0.67
Bi	0.62	0.06	0.57	0.87
Pb	20.07	21.58	1123.00	49.89
Ba	1387.00	1518.50	191.40	358.55
U	2.91	1.60	2.99	0.58
Li	31.33	25.85	7.46	4.01
Sc	12.46	23.05	0.68	1.50
Ni	84.74	209.45	11.21	12.65
Co	12.59	39.41	48.11	81.22

① 山东省地质科学研究所, 全国矿产资源利用现状调查(玲珑金矿核查区), 2012 年。

续表 1 主量和微量(稀土)元素含量表(wt%和 10^{-6})

岩石名称	硅化绿泥石化 闪长玢岩	云斜煌岩	石英脉	含黄铁 绢英岩
样品号	DD1	LX110	JLX110	JDD1
Y	10.88	20.29	1.33	1.35
Te	0.13	0.24	0.21	0.74
Zn	91.14	117.10	2201.00	19.12
Ga	25.09	24.94	7.99	14.89
Cd	0.03	0.15	12.57	0.04
Nb	8.28	9.11	2.55	2.87
Ta	0.53	0.58	0.23	0.17
Ni	84.74	209.45	11.21	12.65
La	56.69	57.37	5.46	8.55
Ce	109.50	114.45	9.38	14.08
Pr	12.49	13.83	1.08	1.53
Nd	44.70	51.17	3.90	5.24
Sm	6.51	8.20	0.66	0.73
Eu	1.31	2.43	0.23	0.28
Gd	5.67	7.28	0.61	0.74
Tb	0.61	0.91	0.07	0.07
Dy	2.43	4.33	0.29	0.28
Ho	0.41	0.77	0.05	0.05
Er	1.42	2.44	0.16	0.16
Tm	0.17	0.32	0.02	0.02
Yb	1.12	2.13	0.13	0.14
Lu	0.17	0.33	0.02	0.02
ΣREE	243.20	265.96	22.06	31.89
ΣLREE	231.20	247.44	20.71	30.41
ΣHREE	12.00	18.52	1.35	1.48
ΣLREE /ΣHREE	19.26	13.36	15.39	20.57
Eu/Eu*	0.66	0.96	1.10	1.16
Ce/Ce*	1.01	1.00	0.95	0.95
(La/Yb) _N	36.31	19.29	29.22	44.60
(La/Sm) _N	5.62	4.52	5.35	7.52
Rb/Sr	0.20	0.06	0.49	1.97
Zr/Nb	8.68	43.59	6.16	7.91
Y/Nb	1.31	2.23	0.52	0.47
La/Nb	6.84	6.30	2.14	2.98
Zr/Hf	25.25	31.65	20.72	25.13
Th/La	0.17	0.13	0.18	0.34
Th/Nb	1.19	0.85	0.38	1.02
Co/Ni	0.15	0.19	4.29	6.42
Sr/Ba	0.26	0.59	0.27	0.08

金矿化样品 JDD1 的 SiO₂ 值为 74.36%，比脉岩 LXDD1 样品的 SiO₂ 含量升高了 18.26%；金矿化样品的 Al₂O₃ 含量为 4.81%，比脉岩样品降低了 8.65%；Fe₂O₃ 和 FeO 含量分别为 11.46%，0.63%，分别升高了 9.69% 和降低了 10.34%；K₂O 含量为 1.88%，降低了 0.96%；CaO 含量为 0.22%，降低了 2.52%；Na₂O 含量为 0.29%，降低了 0.45%。由此可见，其含量变化趋势与 55 号脉趋势几乎一致，说明二者矿化过程属于同一时期热液流体。

由图 2 可知，55 号矿脉的 Si⁴⁺ 含量显著增加，说

明在矿化过程中 Si⁴⁺ 有明显的带入；Al³⁺ 含量降低，说明其在矿化时受到酸性流体淋漓作用部分 Al³⁺ 被带出；Fe³⁺ 升高，Fe²⁺ 含量降低，说明其在矿化过程中 Fe³⁺ 被热液流体带入，而 Fe²⁺ 被流体带出；Ca²⁺ 和 Mg⁺ 含量明显降低，在矿化过程中 Ca²⁺ 从岩石中析出融入热液流体，进入岩石裂隙中冷却沉淀，形成碳酸盐细脉。Na⁺ 和 K⁺ 也降低，说明其在矿化过程对热液流体较为敏感，大量被蚀变和分解。

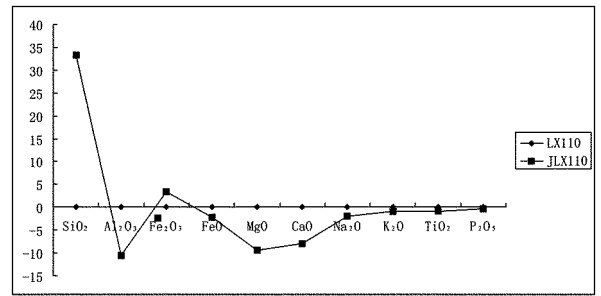


图 2 55 号脉主量元素含量变化图

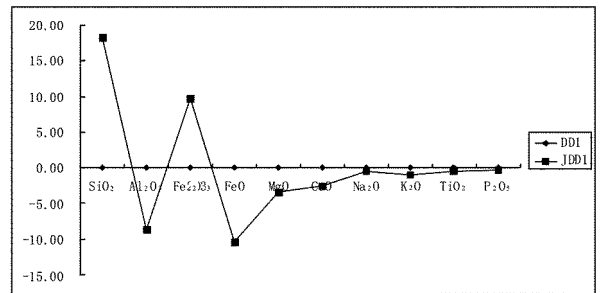


图 3 后地金矿主量元素含量变化图

结合图 2 和图 3 可知，后地金矿床与 55 号脉的主量元素迁移模式相同。Si⁴⁺ 和 Fe³⁺ 含量显著增加，说明在矿化过程中 Si⁴⁺ 和 Fe³⁺ 明显被流体带入；其余元素含量均降低，说明其他元素在矿化过程中对热液流体较为敏感，大量被蚀变和分解。

在 SiO₂-K₂O 图解(图 4)上，55 号矿脉脉岩样品落入钾玄岩区域，金矿化样品落入低钾(拉斑)系列区域；后地金矿脉岩样品落入高钾钙碱性系列区域，金矿化样品落入钙碱性系列区域。在硅-碱图解(图 5)上，55 号矿脉脉岩样品落入碱性区域，金矿化样品落入亚碱性区域；后地金矿脉岩样品和金矿化样品均落入亚碱性区域。LX110 的 w(K₂O+Na₂O) 为 4.3%，w(SiO₂) 为 47.32%；DD1 的 w(K₂O+Na₂O) 为 3.58%，w(SiO₂) 为 56.1%，说明二者岩石均属碱性岩。同时，应用里特曼指数 [σ = ALK² / (SiO₂-43)]，其中的 ALK(Na₂O+K₂O) 和 SiO₂ 单位均为 wt%^[11] 对岩石系列进行进一步划分。根据表 1

中的数据计算出, LX110 的 σ 为 4.28, DD1 的 σ 为 0.98, 根据里特曼的划分方案^[12]: $\sigma > 9$ 属过碱性岩; $9 > \sigma > 3.3$ 属碱性岩; $\sigma < 3.3$ 属钙碱性岩, 表明 55 号矿脉的脉岩岩石为碱性岩, 后地金矿的脉岩岩石为钙碱性岩。

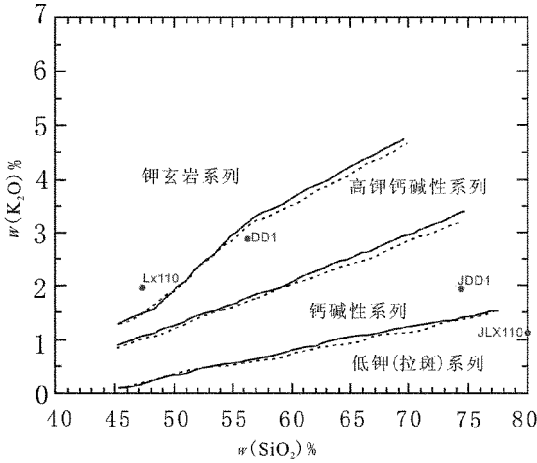


图 4 SiO₂-K₂O 图(底图据 Hugh R. Rollison^[10])

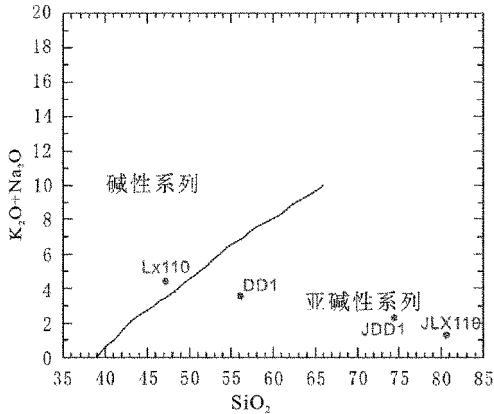


图 5 硅-碱图(底图据 Hugh R. Rollison^[10])

结合表 1 和图 6、图 7 可以看出, 55 号矿脉和后地金矿矿化过程中大多数微量元素含量并未发生较大的变化, 其中 Ba, Sr, Zr, Ni 元素显著降低; Pb 元素显著升高; 其余元素变化趋势近于一致。脉岩样品 LX110 的 Ba 元素相对含量为 1518.5×10^{-6} , 金矿化样品 JLX110 的 Ba 元素相对含量为 191.4×10^{-6} ; 矿化后 Sr 元素相对含量从 899.45×10^{-6} 降低为 52.51×10^{-6} , Zr 元素相对含量从 396.9×10^{-6} 降低为 15.73×10^{-6} ; Ni 元素相对含量从 209.45×10^{-6} 降低为 11.21×10^{-6} ; Pb 元素相对含量从 21.58×10^{-6} 升高为 1123×10^{-6} 。脉岩样品 DD1 的 Ba 元素相对含量为 1387×10^{-6} , 金矿化样品 JDD1 的 Ba 元素相对含量为 358.55×10^{-6} ; 矿化后 Sr 元素相对含量从 357.9×10^{-6}

降低为 28.17×10^{-6} , Zr 元素相对含量从 71.93×10^{-6} 降低为 22.72×10^{-6} ; Ni 元素相对含量从 84.74×10^{-6} 降低为 12.65×10^{-6} ; Pb 元素相对含量从 20.07×10^{-6} 升高为 49.89×10^{-6} 。

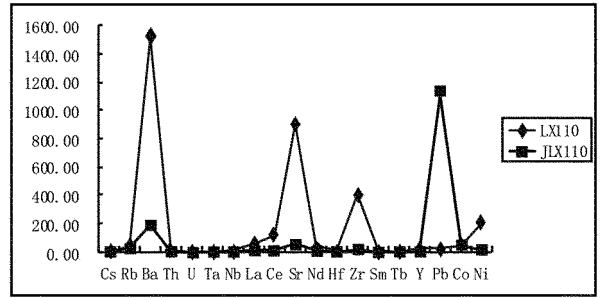


图 6 55 号脉微量元素含量变化图

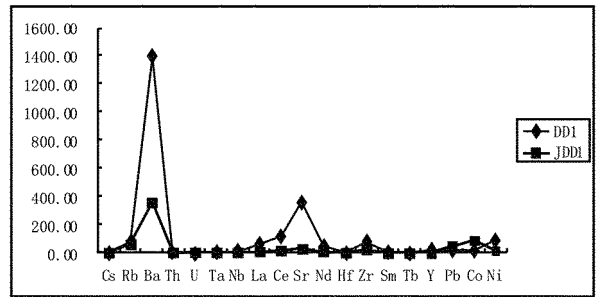


图 7 后地金矿微量元素含量变化图

55 号脉岩样品 LX110 的稀土总量 ΣREE 为 265.96×10^{-6} , LREE/HREE 为 13.36; Eu/Eu^* 为 0.96, 具轻微的铕负异常; Ce/Ce^* 为 1, Ce 无明显的正异常或负异常。金矿化样品 JLX110 的稀土总量 ΣREE 为 22.06×10^{-6} , LREE/HREE 为 15.39; Eu/Eu^* 为 0.96, 具轻微的铕负异常; Ce/Ce^* 为 1, Ce 无明显的正异常或负异常。后地金矿床的脉岩样品 DD1 的稀土总量 ΣREE 为 243.2×10^{-6} , LREE/HREE 为 19.26; Eu/Eu^* 为 0.66, 具铕负异常; Ce/Ce^* 为 1.01, Ce 轻微的异常。金矿化样品 JDD1 的稀土总量 ΣREE 为 31.89×10^{-6} , LREE/HREE 为 20.57; Eu/Eu^* 为 1.16, 具明显的铕正异常; Ce/Ce^* 为 0.95, Ce 具有轻微的负异常。同时图 8 上也可以看出, 脉岩和矿化样稀土配分模式图上曲线近一致, 显示出同源岩浆演化的特点; 脉岩样品显示出 Eu 的负异常, 而金矿化样品则具有 Eu 正异常。据资料显示^[10], Eu 的负异常通常与源区残留斜长石或者发生斜长石的分离结晶有关, 而 Eu 的正异常则常与斜长石的堆晶或者源区斜长石不稳定有关。

综合上述, 后地金矿床的主微量元素测定分析结果与 55 号脉的结果近乎相同, 脉岩样品相对于矿

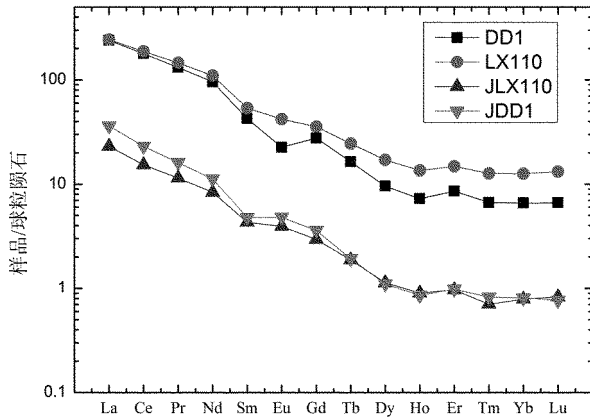


图 8 稀土元素分布型式图

化样表现出较高的 Ba, Sr 等大离子亲石元素含量;重稀土以及高场强元素含量。矿化样品具有非常高含量的 S, Au, Hg, Zn 和 As 含量;其中样品 JDD1 的 Au 含量达到 4.18g/t (表 1), 石英岩样品 (JLX110) 具有异常高的 Zn 含量。同时脉岩样品和金矿化样品均显示出 Nb-Ta-Ti 的负异常 (图 9), 这暗示了源岩很可能经历过类似俯冲带流体的交代作用。另外, 矿化样品具有异常高的 Pb 异常, 这也表明矿化流体作用非常显著。矿化流体中含有较高含量的金属矿物, 结合前面矿化样品具有 Eu 的正异常, 这很可能指示了源区是深源的, 即处于斜长石不稳定的区域。深部的含矿流体在浅部遇到围岩发生沉淀, 造成了硫化物的结晶。

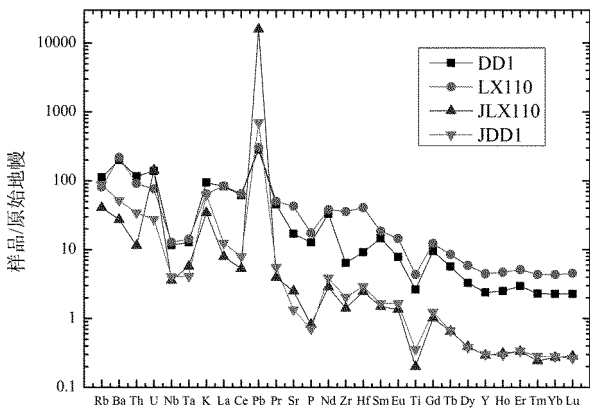


图 9 微量元素原始地幔标准化蛛网图

2.2 方解石中碳氧同位素特征

该文选取了 55 号脉 LX110 样品进行碳氧同位素测定, 由中国地质科学院矿产资源研究所完成测试工作, 仪器质谱型号为 MAT-253。

方解石的碳、氧同位素组成特征显示 (表 2), $\delta^{13}C_{(PDB)}$ 值为 $-0.8‰$; $\delta^{18}O_{(PDB)}$ 值为 $-19.2‰$ 。一般

氧同位素数据均以 SMOW 标准来进行分析, 根据公式: $\delta^{18}O_{SMOW} = 1.0309\delta^{18}O_{PDB} + 30.91$ (Coplen et al., 1983^[10]), 换算出该矿区的 $\delta^{18}O_{(SMOW)}$ 值为 $11.1‰$ 。

表 2 方解石中碳、氧同位素组成测定结果

样号	样品名称	$\delta^{13}C_{V-PDB}‰$	$\delta^{18}O_{V-PDB}‰$	$\delta^{18}O_{V-SMOW}‰$
LX110	方解石	-0.8	-19.2	11.1

表 3 列出了主要地质体或碳储库的碳同位素组成, 不同碳储库之间, $\delta^{13}C$ 差别较大, 使碳同位素能够成为示踪流体来源的重要手段之一。

表 3 主要碳储库的 $\delta^{13}C$ 组成^[13]

碳储库类型	$\delta^{13}C_{V-PDB}‰$	文献
有机质	-27	Schidlowski, 1998
大气 CO ₂	-7 ~ -11	Hoefs, 1997
淡水 CO ₂	-9 ~ -20	Hoefs, 1997
火成岩	-3 ~ -9	Taylor, 1986
海相碳酸盐	0.5	Hoefs, 1997
地壳	-7	Faure, 1986
地幔	-5 ~ -7	Hoefs, 1997

在 $\delta^{13}C$ - $\delta^{18}O$ 同位素图解 (图 10) 中, 给出了地壳流体中 CO₂ 的三大主要来源 (有机源、海相碳酸盐岩和岩浆-地幔源) 的碳、氧同素值范围, 而且还用箭头标出了从这 3 个物源经 5 种主要过程产生时, 其同位素组成的变化趋势。

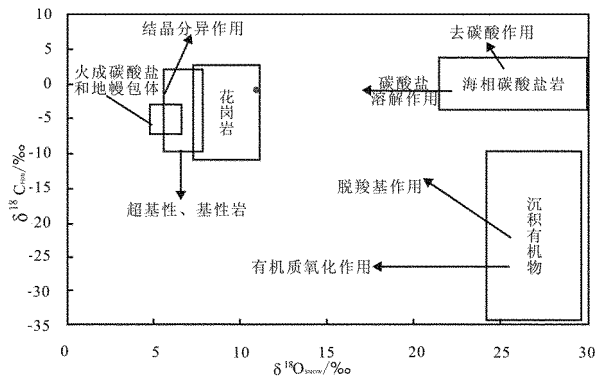


图 10 $\delta^{13}C$ - $\delta^{18}O$ 同位素投影图 (底图据陈域, 2001^[14])

将方解石样品的 $\delta^{13}C_{(PDB)}$ 和 $\delta^{18}O_{(SMOW)}$ 值投影于 $\delta^{13}C$ - $\delta^{18}O$ 图上, 结果发现, 投影点位于花岗岩区域右侧。样品投影点清晰地表明, 55 号脉的 CO₂ 来源可能是花岗岩岩浆热液的混入。

2.3 石英中氧同位素特征

该文选取了 LX110 和 DD1 二者中的石英进行氧同位素测定, 由中国地质科学院矿产资源研究所

完成测试工作,仪器质谱型号为 MAT-253。

据表 4 显示,55 号脉石英的氧同位素 $\delta^{18}O_{(SMOW)}$ 值为 10.9‰,后地金矿石英的氧同位素 $\delta^{18}O_{(V-SMOW)}$ 值为 11.7‰。据大量资料统计,幔源镁铁质岩石具有狭窄的 $\delta^{18}O$ 值分布范围,变化于 5‰~7‰,与球粒陨石 (3.7‰~6.3‰) 相接近,基性岩 (辉长岩、玄武岩) 和中性岩 (安山岩、粗面岩等) 具有十分相似的同位素组成,其 $\delta^{18}O$ 值一般变化于 5.5‰~7.4‰ 之间,而花岗岩类 $\delta^{18}O$ 值较高,并具有较大的变化范围,其值为 7‰~13‰^[9]。55 号脉和后地金矿的石英 $\delta^{18}O_{(SMOW)}$ 值均在花岗岩类范围内,说明二者来源于陆壳碎屑物质部分熔融形成的 S 型花岗岩,这与方解石中的碳氧同位素测定结果一致。

表 4 石英中氧同位素组成测定结果

样号	样品名称	$\delta^{18}O_{V-SMOW} \text{‰}$
LX110	石英	10.9
DD1	石英	11.7

2.4 黄铁矿中硫同位素特征

该文选取了 LX110 和 DD1 二者中的黄铁矿样品进行硫同位素测定,由中国地质科学院矿产资源研究所完成测试工作,使用 MAT-251 气体质谱测试。

据表 5 显示,55 号脉黄铁矿的硫同位素 $\delta^{34}S_{(SMOW)}$ 值为 3.5‰,与地幔硫的偏离不大,硫的来源与幔源脉岩岩浆同源,或来自地幔,或来自地壳深部;后地金矿床中黄铁矿的硫同位素 $\delta^{34}S_{(SMOW)}$ 值为 6.3‰,比 55 号脉的略浅一点,表明其来自地球深部。测试分析结果与于学峰等研究具有一致性^[15]。

表 5 黄铁矿中硫同位素组成测定结果

样号	样品名称	$\delta^{34}S_{V-CDT} \text{‰}$
LX110	黄铁矿	3.5
DD1	黄铁矿	6.3

3 结论

玲珑西山脉岩样品相对于矿化样表现出较高的 Ba、Sr 等大离子亲石元素含量、重稀土以及高场强元素含量。矿化样品具有非常高含量的 S、Au、Hg、Zn 和 As 含量。同时脉岩样品和矿化样品均显示出 Nb-Ta-Ti 的负异常,这暗示了源岩很可能经历过类似俯冲带流体的交代作用。另外,矿化样品具有异常高的 Pb 异常,这也表明矿化流体作用非常显著。矿化流体中含有较高含量的金属矿物,结合矿化样

品具有 Eu 的正异常,这指示了玲珑西山源区是深源的,处于斜长石不稳定的区域,即西山的脉岩属于深源脉岩。深部的含矿流体在浅部遇到围岩发生沉淀,造成了硫化物的结晶。

脉岩样品的 CO₂ 来源可能是花岗岩岩浆热液的混入。55 号脉石英的氧同位素 $\delta^{18}O_{(SMOW)}$ 值为 10.9‰,后地金矿石英的氧同位素 $\delta^{18}O_{(V-SMOW)}$ 值为 11.7‰,说明西山脉岩来源于陆壳碎屑物质部分熔融形成的 S 型花岗岩。55 号脉黄铁矿的硫同位素 $\delta^{34}S_{(SMOW)}$ 值为 3.5‰,与地幔硫的偏离不大,硫的来源与幔源脉岩岩浆同源,或来自地幔,或来自地壳深部;后地金矿床中黄铁矿的硫同位素 $\delta^{34}S_{(SMOW)}$ 值为 6.3‰,比 55 号脉的略浅一点,表明其来自地球深部。

致谢:感谢中国地质科学院及北京离子探针中心宋彪研究员提供测试。感谢山东黄金集团有限公司武际春、刘维民等协助该项目成员采集样品。感谢张志敏老师、杨德平及刘鹏瑞研究员的悉心指导。感谢院领导的重视与有关同事的支持,在此一并谢过。

参考文献:

- [1] 赵泳越.山东省玲珑金矿矿床成因研究[D].长春:吉林大学,2012.
- [2] 任纪舜,姜春发,张正坤,等.中国大地构造及其演化——1/400 万中国大地构造图说明书[M].北京:科学出版社,1981:29-37.
- [3] 胡受奚,王鹤年,王德滋,等.中国东部金矿地质学及地球化学[M].北京:科学出版社,1998:27-49.
- [4] 徐嘉炜,马国锋.郯庐断裂带研究的十年回顾[J].地质论评,1992,38(4):316-325.
- [5] 曹国权,王致本,张成基.山东胶南地体及其边界断层五莲-荣成断裂的构造意义[J].山东地质,1990,6(1):1-14.
- [6] 李俊建,罗镇宽,刘晓阳,等.玲珑金矿区成矿后花岗岩斑岩脉的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄对胶北地体演化的制约[J].地学前缘,2005,12(2):317-323.
- [7] 李洪奎,嵇传源,耿科,等.胶东金矿成矿构造背景探讨[J].山东国土资源,2012,28(2):5-13.
- [8] 李洪奎,于学峰,沈昆,等.胶东玲珑矿田石英脉型金矿床中流体包裹体特征研究[J].山东国土资源,2012,28(11):1-8.
- [9] 周国发.玲珑金矿田构造蚀变带及找矿预测研究[D].北京:中国地质大学,2009.
- [10] 韩吟文,马振东.地球化学[M].北京:地质出版社,2004:250.
- [11] Hugh R. Rollison, 杨学明.岩石地球化学[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2000.

- [12] Rittman A. On the serial character of igneous rocks[J]. Egyptian Journal of Geology, 1957,1(1):23-48.
- [13] 李晶,陈衍景,李强之,等. 甘肃阳山金矿碳氢氧同位素与成矿流体来源[J]. 岩石学报, 2008,24(4):817-826.
- [14] 王永宁,王虎. 甘肃礼岷成矿带主要金矿床同位素地球化学特征对比分析[J]. 甘肃地质, 2009,18(2):1-5.
- [15] 于学峰. 山东平邑归来庄矿田金矿成矿作用成矿规律与找矿方向研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2010.

Geochemical Characteristics of Mantle-derived Vein Rock in Xishan Area of Linglong Gold Deposit

SUN Yuqin, MA Xiaodong, CHENG Wei, ZHANG Yan, LI Min

(Shandong Institute of Geological Sciences, Shandong Key Laboratory of Geological Processes and Resource Utilization in Metallic Minerals, Key Laboratory of the Ministry of Land and Resources of Gold Mineralization Process and Resource Utilization, Jinan 250013, China)

Abstract: The change of main trace elements of the mantle-derived vein rock in Xishan mine area of Linglong gold deposit suggests the source rocks probably experienced similar metasomatism of the fluid in the subduction zone. The mineralization fluid contains many metal minerals and Eu is abnormal. It indicates that the source rocks are from deep-derived rock. The source of CO₂ of vein rock maybe comes from the mixture of magmatic hydrothermal fluid. Quartz is derived from S type granite formed by partial melting of continental crust detrital material. S comes from the mantle or deep crust.

Key words: Geochemistry; deep-derived vein rock; Xishan mining area; Linglong gold deposit