陕西镇安丘岭微细浸染型金矿床 微量元素与稀土元素地球化学特征

申 莾

(西安矿业学院地质系,西安,710054))

提 要 本文通过微量元素及稀土元素研究,探讨了丘岭微细浸染型金矿床的物质来源问题,认为 本区在晚古生代发育有金的矿源层,金矿床的成矿物质来源于围岩。 关键词 微量元素 稀十元素 矿源层 微细浸染型金矿床

1 矿床地质概况

丘岭金矿床位于南秦岭镇-板 断裂以南,金鸡岭复式向斜北翼之 次级褶皱构造带中。区域上出露震 旦纪至三叠纪地层,无岩浆岩分布。

控矿地层为上泥盆统南羊山组 中、上段和下石炭统袁家沟组中、下 段,主要由细碎屑岩和碳酸盐岩互 层组成,细碎屑岩中钙质含量高 (CaO平均 12.40%~16.63%),碳 酸盐岩中泥砂质含量高(SiO₂平均) 两者均富含有机质(0.08%)及沉积 及编号 8. 背斜枢纽 9. 地层界线 黄铁矿(草霉状黄铁矿 0.5%~



1. 中石炭统四峡口组 2. 下石炭统袁家沟组 3. 上泥盆统南羊山组 17.35%,Al2O3 平均为 3.35%),且 4. 中泥盆统杨岭沟组 5. 正断层及产状 6. 逆断层及产状 7. 金矿体

图 1 丘岭金矿区地质略图

Fig. 1 Generalized geological map of the Qiuling gold mining area 3%)。金矿化受丘岭短轴背斜控制 (图1),矿体呈似层状、透镜状分布于背斜核部的东西向劈理化密集带及膝折破碎带中。围岩 蚀变有硅化和碳酸盐化。

矿石类型有黄铁矿型金矿石、毒砂-黄铁矿型金矿石。矿石结构为自形-半自形微细粒状结

构、增生环带结构、包含结构及放射状结构,以前两者为主,增生环带结构存在于砷黄铁矿中, 是含砷极低的黄铁矿周边发育有含砷较高的砷黄铁矿增生体。矿石构造为微细浸染状、微细细 脉浸染状及微细条带状构造。金属矿物有自然金、黄铁矿、砷黄铁矿、毒砂、辉锑矿及少量闪锌 矿、砷黝铜矿、斑铜矿、辰砂等,非金属矿物有石英、方解石、铁白云石及少量石墨、地开石和重 晶石等。载金矿物为砷黄铁矿和毒砂,次显微粒状自然金赋存于上述矿物增生环带、晶粒边缘 及其显微裂隙中。

据野外和室内镜下研究认为,成矿作用分为三期。沉积预富集期,地层中Au、As、Sb、Hg 等成矿元素发生初始富集,形成矿源层;成矿期,矿源层经构造叠加和热液改造形成金矿床,该 期的晚阶段有少量锑矿化;表生氧化次生富集期,地壳抬升使部分矿体出露于地表,形成氧化 矿体。

2 化学成分特征

2.1 岩石化学成分特征

笔者从控矿地层的岩石中选具代表性的样品进行化学全分析(表 1)。由表 1 可知,含矿地 层各种岩石平均化学成分与世界同种岩石相比,砂岩富含 CaO、FeO*、Al₂O₃、K₂O,贫 SiO₂、 MgO;页岩富含 CaO、K₂O、贫 SiO₂、Al₂O₃、Na₂O 及 FeO*;碳酸盐岩富含 SiO₂、Al₂O₃、FeO*,而 贫 CaO、MgO。以上化学成分特征,与镜下鉴定所得本区页岩富含方解石(5%~15%),砂岩中 富含方解石(5%~15%)、粘土矿物(5%~10%)及草霉状黄铁矿(1%~3%),碳酸盐岩富含石 英(5%~20%)、粘土矿物(5%~8%)及草霉状黄铁矿(0.5%~1.5%)的特征一致。

										-					
	类	型	SiO ₂	$\mathrm{AI_2O_3}$	FeO*	CaO	MgO	${\rm TiO}_2$	MnO	P_2O_5	Na ₂ O	K ₂ O	FeO	$\mathrm{Fe}_2\mathrm{O}_3$	C _{有机}
岩 石		页岩(3)	50.68	11.32	4.31	12.40	1.45	0.48	0.07	0.07	0.29	4.44	0.26	4.38	
		砂岩(1)	51.55	7.81	3.75	16.63	0.98	0.40	0.08	0.13	0.46	2.23	0.13	4.03	0.08
		灰岩(4)	17.35	3.35	1.56	40.87	0.95	0.15	0.06	0.03	0.23	0.87	0.24	1.47	0.08
파	页岩	骨型金矿石(2)	49.36	14.17	6.29	6.91	1.97	0.61	0.07	0.18	0,20	4.40	2.69	4.00	0.18
7. T	砂岩	青型金矿石(3)	65.91	6.65	5.41	5.59	1.08	0.46	0.05	0.13	0.17	2.24	6.65	1.10	0.16
4	灰岩	台型金矿石(1)	33.56	8.00	4.36	24.14	1.74	0.32	0.082	0.056	0.21	2.32	3.03	1.48	0.14
世界页岩+粘土岩平均值*		50.85	19.75	4.76	3.54	2.22	0.75	0.09	0.18	0.89	2.75				
世界砂岩平均值*			78.33	4.77	1.26	5.50	1.16	0.25		0.08	0.45	1.31			
世界石灰岩平均值*			5.19	0.81	0.48	42.57	7.89	0.06		0.04	0.05	0.33			

表 1 岩石和矿石化学成分平均值(%)

Table 1 Average values of chemical components for rocks and ores (%)

测试单位:武警黄金部队十四支队化验室,FeO*=0.899Fe2O3+FeO,括号数字为样品数

*据 Turekian 和 Wedepohl(1961)

2.2 矿石化学成分特征

矿石除按所含金属矿物组合划分外,还可据其岩性划分为页岩型、砂岩型及灰岩型金矿

石;其化学成分(表1)与赋矿地层岩石相比较,结果表明,两者的化学组成非常接近,只是矿石 较相应岩石含 FeO 较高,含 SiO₂、MgO、Al₂O₃ 略高。由图 2 可见,三种金矿石与相应岩石主要 氧化物比值具明显的相关关系,这说明矿石的主要化学成分对岩石具继承性。



图 2 丘岭金矿床矿石与含矿原岩化学成分对比图

Fig. 2 Comparative diagram of chemical components for ores and rocks in Qiuling gold deposit

3 微量元素地球化学

为了探讨本区微量元素特征,笔者在丘岭泥盆系至二叠系剖面上系统地采集了地层岩石 样品及金矿体中的矿石样品,做了Au、Sb、As、Hg、Ag、Cu、Pb、Zn、Co、Ni等11种元素定量分 析(表 2)。结果表明,区域地层中Au、As、Hg、Sb等元素含量明显高于上地壳丰度值,可见本区 存在这些元素的富集层。

表 2 区域地层与矿体微量元素含量(×10⁻⁶)

Table 2 Minor element contents of regional strata and orebodies ($\times 10^{-6}$)

元意合量 地层及100年	Cu	РЪ	Zn	Co	Ni	Ag	As	Sb	Hg	Ва	Au
岩石 (桂品教 12)	$\frac{19 - 94}{46.92}$	$\frac{21 \sim 47}{32.67}$	$\frac{41 \sim 125}{79.75}$	$\frac{10 - 33}{17.75}$	$\frac{10 \sim 52}{29.58}$	$\frac{0.05 \sim 0.21}{0.10}$	$\frac{7.4 \sim 206}{69.8}$	$\frac{0.7 \sim 10.8}{8.03}$	$\frac{0.05 \sim 0.53}{0.24}$	$\frac{28 \sim 609}{345.4}$	0.005~0.025 0.016
						· · ·					
ず石 (样品数 11)	$\frac{10 \sim 15}{13.8}$	$\frac{15 \sim 60}{37.5}$	$\frac{60 \sim 150}{81}$	$\frac{15 \sim 30}{18}$	$\frac{15 \sim 60}{27}$	$\frac{0.3 \sim 3}{1.36}$	$\frac{127 \sim 177}{148}$	$\frac{60 \sim 300}{166}$	$\frac{1.01 \sim 4.37}{2.56}$	$\frac{100 \sim 1000}{430}$	>0.1
富集系数→	1.83	2.61	1.14	1.78	1.48	2	46.53	40.15	3	0.63	8.89
上地壳丰度值	25	20	71	10	20	0.05	1.5	0.2	0.08	550	0.0018
(Taylor, 1985)											

测试单位:Au及矿石由武警黄金十四支队化验室分析,岩石由西北有色研究所分析。其中 Au 用无火陷原子吸收法测定,As、Sb、Hg、Bi 用原子荧光光谱分析,岩石中的 Cu、Pb、Zn、Ni、Co、Ba 用直读光谱分析法,Ag 用三苯膦原 子吸收法,矿石中 Cu,Pb,Zn,Ni,Co、Ba,Ag 用光谱分析法。富集系数=地层中各元素平均丰度/上地壳丰度 值。

47

本区地层中普遍发育有草莓状黄铁矿(0.5%~3%)、有机碳(0.08%)及泥质(5%~ 10%),研究表明,金等成矿元素在地层中主要赋存于草莓状黄铁矿中,如黄铁矿单矿物微量元 素分析,含金为 0.6×10⁻⁶~1.7×10⁻⁶,含锑为 110×10⁻⁶~290×10⁻⁶,含砷为 650×10⁻⁶~ 980×10⁻⁶;其次,金可能被有机碳和含铁泥质物吸附。金等成矿元素的赋存状态,可表明金以 易释放形式存在于地层中。

	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Ag	Hg	\mathbf{Sb}	As	Au
Cu	1.00	0.66	0.65	0.77	0.92	0.57	0.18	0. 31	0.58	0.29
Pb	0.95	1.00	0.57	0.73	0.68	0.21	-0.11	-0.24	0.16	0.01
Zn	-0.98	0.90	1.00	0.84	0.85	0.37	-0.02	0.09	0.45	0.08
Co	-0.45	0.48	-0.39	1.00	0.90	0.45	0.16	0.17	0.58	0.26
Ni	1.00	-0.93	0.98	0.49	1.00	0.44	0.17	0.26	0.60	0.28
Ag	0.99	-0.93	0.97	0.45	-0.99	1.00	0.18	0.36	0.69	0.49
Hg	-0.60	0.63	-0.59	0.16	0.57	0.57	1.00	0.78	0.59	0.82
\mathbf{Sb}	0.94	-0.93	0.91	0.23	-0.92	-0.93	0.80	1.00	0.80	0.63
As	-0.95	0.92	-0.93	-0.26	0.94	0.95	-0.75	0.99	1.00	0.72
Au	-0.03	-0.03	-0.05	-0.51	0.06	0.06	0.70	-0.24	0.21	1.00

表 3 区域地层微量元素相关矩阵及偏相关矩阵*

Table 3 Correlation matrix and partial correlation matrix of minor element in regional strata

*上三角为相关矩阵,下三角为偏相关矩阵



A. 相关系数R型聚类谱系图
 B. 偏相关系数R型聚类谱系图
 图 3 地层微量元素R型聚类谱系图

Fig. 3 R-mode cluster analysis of minor elements in regional strata





微量元素分析结果经处理得 出相关矩阵及偏相关矩阵(表 3)。在相关矩阵中,Au与Hg、 Sb、As之间具显著的正相关关 系,相关系数依次为0.82、0.63、 0.72,说明Au与Hg、Sb、As密 切共生。在R型聚类谱系图上 (图 3-A),n=11时,取 $\gamma_{0.05}^{0}=$ 0.60为显著性检验条件,可分为 两类元素组合:矿化元素组合 (Au-As-Sb-Hg)和地层元素组合 (Cu-Pb-Zn-Co-Ni)。两类元素组 合的明显分离,说明含矿地层在 沉积成岩阶段Au、As、Sb、Hg 已 初始富集。

表 4 丘岭金矿床矿体与围岩稀土元素组成及特征参数平均值(×10⁻⁶)

 Table 4
 Composition and characteristic parameter average values of rare-earth elements for

序号		类型	힢	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
1,2,3	粉砂质页岩(3)		39.15	63.13	9.10	34.08	5.88	0.95	5.11	0.81	4.50	0.92	2.68	0.39	
4	钙质粉砂岩(1)			24.72	45.94	6.28	21.81	4.20	0.92	3.25	0.54	3.24	0.80	1.76	0.26
5	粉砂质灰岩(1)		22.59	40.75	4.09	18.33	3.75	1.00	3.11	0.49	3.25	0.72	1.81	0.25	
6.7	页岩型金矿石(2)		34.95	57.65	7.91	28.86	4.23	0.66	2.51	0.32	1.74	0.43	1.27	0.17	
8	粉砂岩重金矿石(1)		42.73	68.61	8.20	28.34	3.88	0.74	2.30	0.39	2.42	0.50	1.52	0.21	
9,10	į	灰岩型金矿石(2)		37.66	61.07	6.30	28.13	5.24	1.21	3.38	0.46	2.47	0.71	1.93	0.25
11,12,13	黄铁	(會 8%)	毒砂)(3)	20.65	40.52	4.09	17.30	2.67	0.41	2.39	0.37	2.24	0.41	1.09	0.16
14		石英脉(1)	0.752	1.769	0.182	0.783	0.094	0.016	0.075	0.01	2 0.075	0.014	0.029	0.004
				1						_					
序号	•	Yb	Lu	Y	\sum	REE	LREE HREE	$(\frac{La}{Yb})_N$	$\left(\frac{La}{Sm}\right)$	N $\left \left(\frac{G}{L} \right) \right $	u)N	ðEu	δCe	Sm/N	d
1,2,	.3	2.49	0.32	24.06	5 191	. 55	3.85	13.02	4.63	1.	60	0.57	0.73	0.17	

9.82

9.72

16.70

16.98

13.33

4.12

4.22

5.89

7.71

4.88

1.21

1.25

1.30

0.86

1.16

0.87

0.98

0.70

0.86

1.00

0.83

0.96

0.79

0.83

0.90

0.19

0.20

0.15

0.14

0.19

0.15

0.12

orebodies and surrounding rocks in Qiuling gold deposit

11,12,13 1.01 0.15 8.64 102.1 5.15 14.40 6.38 1.58 0.54 0.93 14 0. 024 0.004 0.602 4.453 4.20 19.27 5.57 1.77 0.68 1.05

3.49

3.11

8.02

7.18

4.84

测试单位:国家地质实验测试中心,用光电法和照相法测定。球粒陨石平均值据 Hoskn;1968

133.61

119.5

152.60

173.73

168.39

17.86

17.40

10.32

11.87

16.75

括号内的数字为样品数

0.26

0.24

0.20

0.26

0.28

1.77

1.74

1.36

1.76

1,99

4

5

6,7

8

9,10

在偏相关矩阵中(表 3),Au 与 Hg、As、Sb 的偏相关系数较小,依次为 0.70,0.21,-0.24; 在偏相关系数的 R 型聚类谱系图上(图 3-B),Au 与 Hg、Sb、As 明显分离,说明 Au 与 Hg、As、 Sb 为一不稳定组合。 可见,本区地层中存在Au、As、Sb、Hg的富集层,且这些元素以易活化形式存在,故构成本区矿源层。

一般情况下,矿源层中成矿物质背景值高对成矿有利,其背景值高的元素组合与矿床的成 矿元素组合有一定的对应关系。实际工作表明,丘岭金矿床就具有这种对应关系,如矿源层中 Au、As、Sb、Hg的富集系数较高(表 3),与之对应的是 Au-As 矿化及少量 Sb-Hg 矿化,而缺少 Ag、Cu、Pb、Zn、Co、Ni、Ba 等矿化。这种对应关系反映丘岭金矿床成矿物质来自矿源层。

由表 2 可见, 矿石中 Au、As、Sb、Hg 等元素经成矿富集, 其含量明显高于围岩, 但将表 2 中 11 种元素平均值以其地壳克拉克值标准化后作图(图 4), 两者曲线变化一致。Au、As、Sb、 Hg 等元素为成矿元素, 在矿源层中以易活化形式存在, 故在热液成矿作用中不稳定, 易于迁移 并重新富集, 因此, 在矿石中的含量高于围岩, 而 Cu、Pb、Zn、Co、Ni、Ba 等元素, 在热液作用中 未发生富集, 故在矿石中的含量与围岩中的相近。矿石与围岩曲线形态的一致性, 反映成矿物 质来自矿源层, 也反映了热液改造作用对微量元素特征无明显影响, 仅是其中的成矿元素发生 了富集。

4 稀土元素地球化学

4.1 围岩的稀土元素特征

围岩样品采自远离矿体的南羊山组及袁家沟组地层中,包括粉砂质页岩、钙质粉砂岩及粉砂质灰岩;样品新鲜,无蚀变、矿化现象。不同岩石的稀土元素含量及特征参数见表4。



图 5 不同岩石的稀土配分模式

Fig. 5 REE patterns of various rocks

从表4可见,围岩中不同岩石的稀土元素组成十分接近。围岩稀土元素总量(ΣREE为 119.5×10⁻⁶~191.55×10⁻⁶)与沉积岩的一致(沉积岩为几十~300×10⁻⁶)^{□1}。围岩从页岩→







粉砂岩→灰岩,ΣREE、LREE/HREE 及(La/Lu)_N 逐渐递减,而 δEu、δCe 值则逐渐增加。ΣREE 逐渐递减与一般沉积岩中从页岩→砂岩→碳酸盐岩 ΣREE 递减规律一致⁽¹⁾,LREE/HREE 值 较小(3.11~3.85),表明本区围岩相对贫轻稀土元素,而富重稀土元素;页岩 δEu 值较小(0.57),与后太古代页岩具明显的铕亏损特征一致。

围岩稀土元素分布模式(图 5)为平滑右倾曲线,显示了富轻稀土特征。这和欧洲古生代页 岩及北美页岩的稀土模式相似(Fairbridge,1972)^[2]。

围岩稀土元素丰度模式(图 6)说明本区控矿地层稀土丰度与陆壳丰度相似,均具有 Ce 的 正异常出现。

上述几点表明,本区控矿地层的物质来源为壳源。

4.2 矿石的稀土元素特征

成矿溶液的 REE 分布模式由成矿溶液与其流经岩石的相互作用和 REE 在流体中的分配 所决定,研究矿体的 REE 模式可提供成矿物质来源岩石的信息(Graft,1983)⁽³⁾。由表 4 及图 7 可知,各类矿石稀土总量与相应围岩近于一致,且从页岩型→砂岩型→灰岩型金矿石,其特征 参数 LREE/HREE、(La/Lu)N 逐渐减小, δCe 逐渐增加,这与相应围岩的变化规律一致;矿石 与围岩稀土配分曲线也近于平行(图 7),上述特征反映成矿物质来源于围岩,同时也反映热液 改造作用对稀土元素特征无明显影响。

将矿石及围岩的稀土元素投入 La/Yb-ΣREE 图中(图 8),围岩与矿石都落入沉积岩区域 内,所不同的是,部分围岩位于沉积岩与岩浆岩的重叠区域,反映围岩的物源既有壳源,也可能

51



图 7 不同矿石及单矿物的稀土配分模式

Fig. 7 REE patterns of various ores and mineral

有少量深源物质,这与硫、铅同 位素研究结果一致。

4.3 单矿物的稀土元素特 征

考虑到矿石的物质组成中 含有赋矿原岩的成分,矿石的 稀土元素特征要受原岩的影 响,则又选择了与矿化直接相 关的黄铁矿及石英脉单矿物进 行稀土元素在硫化物及石英中的 分配系数较低,由表4可见,黄 铁矿及石英的稀土总量比围岩 低,但其特征参数与围岩相近。 另外,单矿物的稀土配分模式 (图 7)与围岩近于平行,均为



图 8 丘岭金矿床稀土元素 La/Yb-ΣREE 图 Fig. 8 La/Yb-ΣREE diagram for rare-earth elements in the Qinling gold deposit

轻稀土相对富集, dEu 及 dCe 为负异常。说明黄铁矿及石英同步地继承了围岩的稀土元素组成。

矿石及单矿物的稀土参数与围岩接近,稀土配分模式也较为一致,可直观地反映二者之间 的成因联系,即成矿物质来自围岩(矿源层)。另外,该矿床的硫、铅、氢、氧、碳同位素研究也得 出了成矿物质来自地层的结论。

本文是在西北大学张复新副教授指导下完成的硕士研究生毕业论文的一部分,野外工作 中得到刘新会同学、黄金十四支队的大量帮助,在此表示感谢。

参考文献

- 1 王中刚,等编著.稀土元素地球化学.科学出版社,1989,247~262
- 2 Fairbridge. The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences, Van Nostrand and Reinhold. New York, 1972
- 3 Graft. Effect of Mississippi valley-type mineralization on REE patterns of carbonate rocks and minerals, viburnum trendl, Southeast Missouri. The Journal of Geology, 1984, Vol. 92, No. 3

THE GEOCHEMICAL FEATURES OF MINOR ELEMENTS AND RARE-EARTH ELEMENTS OF THE QIULING MICRO-DISSEMINATED GOLD DEPOSITS IN ZHEN'AN COUNTY, SHANXI PROVINCE

Shen Ping (Xi^{*}an Mining Lustitute, Xi^{*}an)

Abstract

Based on the results of the minor elements and rare-earth elements from Qiuling gold deposit we inquire into the source of minerogenetic materrals in Qiuling micro-disseminated gold deposit. It is believed that there is the gold soure-bed in Upper Palaeozoic Era. Qiuling gold deposit's minerogenetic mateirals stem from the source-bed.