

文章编号: 0379-1726(2005)01-0088-08

贵州贞丰水银洞金矿含矿岩系元素地球化学特征

沈文杰^{1,2}, 张竹如³, 周永章^{1,4}, 林杨挺^{1,5}

(1. 中国科学院广州地球化学研究所元素与同位素地球化学实验室, 广东广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 贵州工业大学资源与环境学院, 贵州贵阳 550003; 4. 中山大学地球科学系/地球环境与地球资源研究中心, 广东广州 510275; 5. 中国科学院地质与地球物理研究所地球深部结构与过程研究室, 北京 100029)

摘要: 贵州贞丰水银洞金矿为赋存于二叠系龙潭组煤系地层所夹的不纯灰岩中的盲金矿床, 含矿岩系为一套陆源碎屑岩与不纯碳酸盐岩多层交替出现的组合。矿石类型主要为凝灰质生物碎屑灰岩等, 金品位高。矿体 SiO₂ 含量平均 21.78%, CaO + MgO 含量超过 30%, 围岩 SiO₂ 含量平均 41.58%, CaO + MgO 含量平均不到 15%。含矿岩系岩石具有高镁铁、低 Na₂O、K₂O 远大于 Na₂O 的特征; As、Ag 和 Tl 均有不同程度的富集, 矿石中 Au 与 As、Tl 有较高的正相关关系; 矿体 Σ REE 平均 21.8 $\mu\text{g/g}$, δEu 值平均 1.03, 无 Eu 异常或正异常, 围岩 Σ REE 平均 241.9 $\mu\text{g/g}$, δEu 值平均 1.00, 无异常。模式图上, 矿体比较明显地富集中稀土元素(Sm—Ho)。水银洞金矿地质、元素地球化学组成特征及参数反映了含矿岩系形成时的特定的沉积环境或经历了特殊成矿作用过程。

关键词: 凝灰质生物碎屑灰岩; 元素地球化学; 稀土元素; 水银洞金矿; 贵州省
中图分类号: P595 **文献标识码:** A

0 引言

水银洞金矿位于贵州省贞丰县小屯乡, 是黔滇桂金成矿区中发现较晚, 储量相对较大, 品位相对较高(平均 9.05 $\mu\text{g/g}$)的盲金矿床。矿床赋存于二叠系龙潭组煤系地层所夹的不纯灰岩中, 矿石中含有大量的火山凝灰物质及生物碎屑, 金品位高。由于金矿发现较晚, 对该金矿床仅有少数学者进行了有益探索^[1-8], 地球化学特征的系统研究少有报道。笔者于 2003 年 7 月及 2004 年 5 月两次到水银洞金矿考察并采样, 样品磨片进行显微鉴定, 并送中国科学院地球化学研究所进行化学分析。本研究拟在水银洞金矿地质特征研究的基础上, 主要对金矿含矿岩系元素地球化学特征进行较为系统的探讨。

1 基本地质特征

1.1 区域地质背景简介

矿床位于黔西南金矿集区中部灰家堡矿田东段。区域出露地层以三叠系地层分布最广, 其次是

二叠系; 主要岩浆岩为峨眉山玄武岩, 黔西南大、中、小型金矿床或金矿化点集中分布于峨眉山玄武岩的东侧^[9]; 区内发育较多的短轴背斜和穹隆, 已经发现的数十个 Au、Hg、Sb、Tl 矿床(点)几乎毫无例外地受这些背斜和穹隆的控制^[10], 如灰家堡 Au-Hg-Tl 矿带受灰家堡背斜控制等(图 1); 断裂构造发育, 岩石层间破碎强烈, 中二叠统茅口组与上二叠统龙潭组之间存在区域性岩溶不整合面^[10]。

1.2 含矿岩系地质特征

水银洞金矿区地层从中二叠统茅口组到下三叠统夜郎组均有不同程度的出露, 岩石类型主要为粘土岩、砂岩、粉砂岩、灰岩和白云岩等, 矿区未见岩浆岩。构造以灰家堡背斜为中心, 发育较多横向断层和纵向断层。已知有紫木函金矿、水银洞金矿、烂木厂铀矿和大坝田汞矿等 Au、Hg、Tl 矿床(点)十多处, 沿灰家堡背斜轴部及近轴部走向断裂带断续分布, 形成一条近东西向 Au、Hg、Tl 矿带(图 1)。

水银洞金矿含矿岩系岩石为一套陆源碎屑岩与不纯碳酸盐岩多层交替出现的组合, 单个碳酸盐岩层厚度薄(小于 5 m), 岩石中普遍含有百分之几到百分之几十的玄武质火山碎屑, 生物碎屑含量亦较

收稿日期: 2004-04-14; 改回日期: 2004-06-23; 接受日期: 2004-11-16

基金项目: 中国科学院地球化学研究所矿床开放实验室资金

作者简介: 沈文杰(1978-), 男, 博士研究生, 地球化学专业。E-mail: swjhr@sohu.com

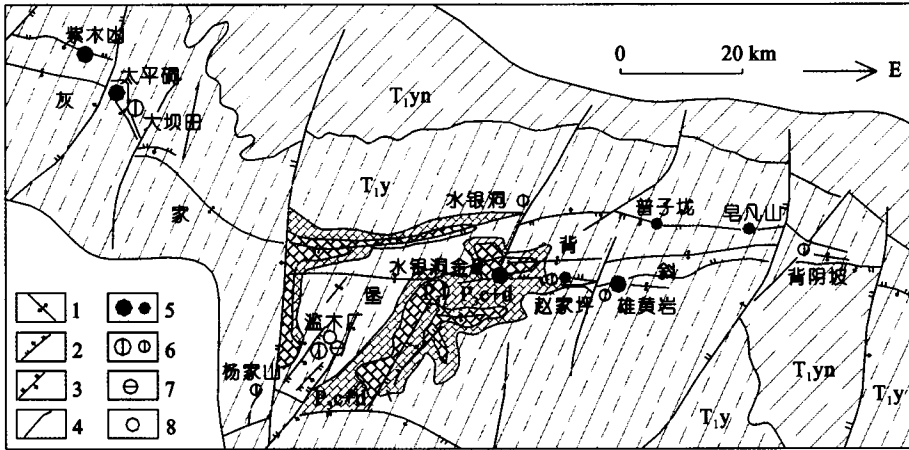


图 1 水银洞金矿区域地质简图(据郭振春^[11])

Fig. 1 Geological sketch map of the Shuiyindong gold deposit area

T_{1yn}. 永宁镇组; T_{1y}. 夜郎组; P_{3c+d}. 长兴组、大隆组; P_{3l}. 龙潭组; 1. 背斜; 2. 正断层; 3. 逆断层; 4. 性质不明断层; 5. 金矿床(点); 6. 汞矿床(点); 7. 铊矿床; 8. 砷矿点。

高，矿体主要赋存于凝灰质生物碎屑灰岩中。水银洞金矿含矿岩系柱状剖面简图及含矿性特征见图 2。矿体产于灰家堡背斜轴部附近 300 m 范围内，受层间破碎带(层间断裂)控制。矿体呈层状、似层状和透镜状产出，产状与岩层产状一致^[2, 7]；矿体厚度薄、品位富，走向上与背斜轴部的舒缓波状一致，矿体在波状起伏的高点相对密集产出，向东倾没，在空间上具有多个矿体上下排布的特点^[8]。

1.3 岩(矿)石特征

围岩多为细粒钙质粘土岩、粉砂岩和粉砂质粘土岩等，多灰色和灰黑色，呈层纹状。其中黄铁矿一般含量高，粒度大，曾见到球状黄铁矿团块(粒径约 3 cm)，个体较大的生物化石(碎片)在岩石中不常见。围岩中钙质含量高，凝灰物质含量高低不均，多在 5% ~ 80% 之间。在龙潭组第四段有较为纯净的生物碎屑灰岩夹层，凝灰物质含量极少，生物碎屑含量高，二者含量有弱的反消长关系。

矿石主要类型是凝灰质生物碎屑灰岩，其次是钙质生物碎屑沉凝灰岩及凝灰质白云石化(含)生物碎屑硅质岩等。矿石颜色较深，呈黑色或深灰色，多块状构造，不少矿石中可见到 2 ~ 10 cm 大小不等的圆形或不规则状黑色、深灰色斑块；矿石中肉眼可见的黄铁矿颗粒较少，含量远远低于围岩；矿石中有较多的生物化石，如保存完好的扬子瘤褶贝化石(*Tylopecta Yangtzeensis*)、马丁贝化石(*Martiniidae Waagen*)等；镜下观察发现矿石中普遍含有玄武凝灰物质，含量一般在 10% ~ 80% 之间，主要类型有长板状斜长石晶屑、不规则状岩屑和弧形玻屑等。生物碎屑含量高，多数超过 30%。生物种类也较多，有珊

地层	柱状图	主要岩性简述	矿化特征
上二叠统	长兴组 P _{3c}	生物碎屑灰岩及粘土岩, 47~66 m	金矿化层, 未见矿
	P _{3l} ¹	钙质、凝灰质粘土岩、粉砂岩、凝灰质生物碎屑灰岩互层, 69~166 m	金矿化层, 未见矿
	龙潭组 P _{3l} ²	钙质、凝灰质粉砂岩、沉凝灰岩、粘土岩夹凝灰质生物碎屑灰岩互层, 有 5~6 层薄层劣质煤, 69~130 m	III 主矿层 从下至上有 III a、III b、III c 等矿体顺层产出
	P _{3l} ²	钙质、凝灰质粉砂岩、碳质页岩、粘土岩夹凝灰质生物碎屑灰岩互层, 45~105 m	II 主矿层 从下至上有 II a、II b、II c、II d、II e、II f 等矿体顺层产出
中二叠统	P _{3l} ¹	强硅化角砾(凝灰质)灰岩、粘土岩, 凝灰质硅质岩等, 2~58 m	I 矿层 金矿化层, Ia 有矿体产出
	茅口组 P _{2m}	生物碎屑灰岩及泥质条带灰岩, >400 m	除顶部与龙潭组地层接触面附近, 未见金矿化

图 2 水银洞金矿含矿岩系柱状剖面简图(据矿山资料汇编)

Fig. 2 Profile of the ore-bearing rock series in the Shuiyindong gold deposit

瑚、海绵、藻类、腕足类、棘皮类、有孔虫和腹足类等,多数为钙质生物碎屑,部分生物碎屑边部或中心硅化。矿石中凝灰物质与生物碎屑相互配合出现的特征明显,有弱的正消长关系。

矿床的蚀变特征在龙潭组底部(P₃l¹,即区域上的“大厂层”)最明显,具有强硅化、黄铁矿化和萤石化等;其他层位蚀变特征在宏观上不甚明显,具有硅化、白云石化、黄铁矿化、毒砂化、方解石化和雄(雌)黄化等。金矿化主要与硅化、白云石化、黄铁矿化(细粒)和毒砂化关系密切。水银洞金矿主要载金矿物为黄铁矿和毒砂,矿石含金量与胶黄铁矿(热液期黄铁矿)关系最为密切^[5,6],并且这种胶黄铁矿多具有环带结构;其次是晚期自形晶黄铁矿、早期莓状黄铁矿和毒砂,金主要以亚微米—纳米级颗粒不均匀浸染分布。矿石以胶状(环带)结构、莓粒结构、自形晶结构、假像结构和交代残余结构等最为特征,反映了金矿沉积和热液成因的双重性质。地层组合特征和生物组合特征等反映了水银洞金矿含矿岩系岩石形成于陆棚台盆型半局限—开阔台地相浅水温暖沉积环境、潮坪相沉积环境和台沟相沉积环境等的不断交替变化的环境中^[8]。

2 样品分析方法

挑选钻孔岩芯及坑道矿体岩石样品进行主元素和微量元素分析,在中国科学院地球化学研究所资源环境测试分析中心完成。主元素采用常规湿化学方法分析,分析误差小于10%。微量元素在Finnigan MAT公司生产的ELEMENT型高分辨率等离子质谱仪(ICP-MS)上进行测试,方法及流程见文献[11],一般分析误差小于10%。

3 含矿岩系元素地球化学特征

3.1 主元素特征

矿体(以产于P₃l³中的Ⅲc矿体为准,为凝灰质生物碎屑灰岩,下同)SiO₂含量在13.23%~32.72%之间,平均21.78%,CaO+MgO含量超过30%,MgO含量平均11.73%。与矿体层位相当的无矿段岩石(灰岩)主元素组成与矿体相当,在一个较小的范围内变动。围岩(Ⅲc矿体顶底板岩石,主要为碎屑岩类)SiO₂含量平均41.58%,MgO含量平均2.22%,CaO+MgO含量平均不到15%。水银洞金矿主元素组成特征见表1。

总体来看,含矿岩系岩石具有高镁铁的特征(特别是矿体部分),这可能反映了玄武质火山碎屑遇水淋滤白云石化这一过程,Na₂O含量偏低,K₂O远大于Na₂O,该特征反映了矿床沉积时接受了大量的陆源碎屑沉淀^[8,12]。Al、Ti散点图(图3)表明:Al₂O₃与TiO₂正相关,直线关系明显,Al、Ti的这种关系表明矿床具有正常海水沉积的特征^[8]。

3.2 微量元素特征

从表2中可以看出,含矿岩系岩石As、Ag、Tl均有不同程度的富集(与地壳丰度相比,见文献[13]),矿体As富集约1607倍,Ag富集约5倍,Tl富集约1倍,其他元素均处于亏损状态,其中Rb、Ba和Th等亏损最多,富集系数分别为0.03、0.07和0.06;围岩除As、Ag、Tl富集较多外,其他元素均处于极微弱的富集或亏损状态。

与富集系数均较小的灰岩相比,矿石微量元素

表1 水银洞金矿主元素组成特征(%)

Table 1 Chemical compositions (%) of ore and wall rocks in the Shuiyindong gold deposit

样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	烧失	总量
Ⅲc-1	15.77	0.13	4.67	6.24	0.22	28.47	11.30	0.20	0.046	0.025	32.48	99.55
Ⅲc-2	32.72	0.054	0.84	8.25	0.24	21.53	10.19	0.059	0.039	0.032	25.70	99.65
Ⅲc-3	26.83	0.038	0.70	3.98	0.20	23.29	11.66	0.058	0.051	0.035	32.93	99.77
ZK10'01-2	20.36	0.16	10.21	10.22	0.38	24.16	10.74	0.12	0.041	0.025	23.46	99.88
ZK10'02-3	13.23	0.12	0.63	4.65	0.20	34.04	14.77	0.14	0.038	0.022	31.98	99.82
围岩	41.58	1.23	16.64	11.83	0.14	9.03	2.22	2.89	0.10	0.05	15件样品平均	
无矿段	26.78	0.11	3.16	6.84	0.19	23.68	10.60	0.22	0.06	0.04	1件样品	
矿体	21.78	0.10	3.41	6.67	0.25	26.30	11.73	0.12	0.04	0.03	5件样品平均	

注:矿体岩石岩性均为凝灰质生物碎屑灰岩;围岩为Ⅲc矿体顶底板岩石,主要为碎屑岩;无矿段岩石为灰岩。

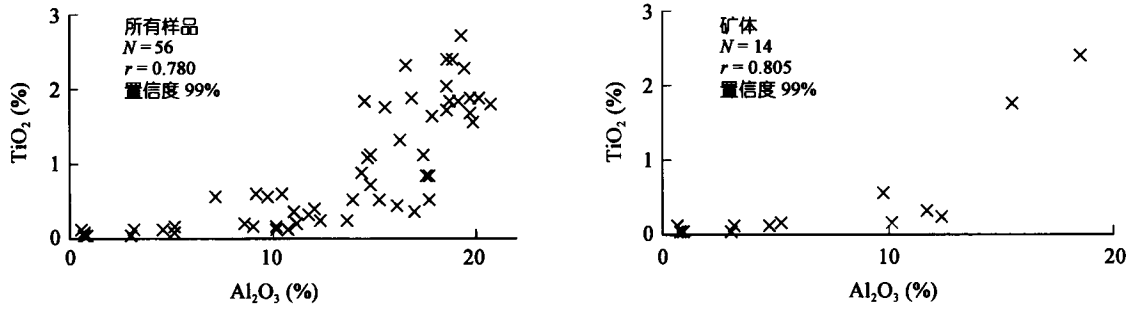


图 3 各层位岩(矿)石 Ti-Al 散点图

Fig. 3 Correlations of Ti-Al in the Shuiyindong gold deposit

表 2 水银洞金矿含矿岩系微量元素含量平均值(μg/g)及富集系数

Table 2 Average contents (μg/g) and concentration coefficients of ore-bearing rock series in the Shuiyindong gold deposit

层位	参数	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Ag	Ba	Tl	Pb	Th	U
矿体 (7)	平均值	25.12	44.72	4.57	17.78	41.97	24.95	3537.84	2.65	227.66	0.49	25.63	0.99	3.13	0.36	1.26
	富集系数	0.18	0.41	0.18	0.20	0.67	0.27	1608.11	0.03	0.47	6.09	0.07	2.07	0.26	0.06	0.74
围岩 (8)	平均值	275.19	110.60	33.89	54.94	103.89	148.68	1414.48	71.57	349.06	0.77	389.84	2.31	8.16	8.41	2.44
	富集系数	1.97	1.01	1.36	0.62	1.65	1.58	642.94	0.92	0.73	9.57	1.00	4.81	0.68	1.45	1.44
灰岩 (3)	平均值	2.91	6.70	1.94	11.95	3.43	3.84	26.84	0.45	99.45	0.03	10.53	0.06	0.87	0.12	0.71
	富集系数	0.02	0.06	0.08	0.13	0.05	0.04	12.20	0.01	0.21	0.37	0.03	0.13	0.07	0.02	0.42

注：矿体矿石岩性见表 3；围岩指近矿围岩，以粘土岩为主；灰岩为茅口灰岩，位于含矿岩系底部；括号内数值为样品数；富集系数以黎的地壳丰度为基准，详见文献[13]。

均有不同程度的富集，其中 As、Ag、Tl、Cu 等富集最多，与以碎屑岩为主的围岩相比，矿石中 As 亦有较多的富集。相关分析表明^[8]，Au 与 As、Tl 关系密切，呈显著正相关关系。

微量元素在剖面上的变化见图 4。Sr/Ba 比值反映了本区海陆交互环境的多变，矿体岩石多形成于海相沉积环境，顶底板岩石则多形成于陆相或海相泥质沉积环境；δCe、Th/U 及 V/Cr 比值反映了矿床

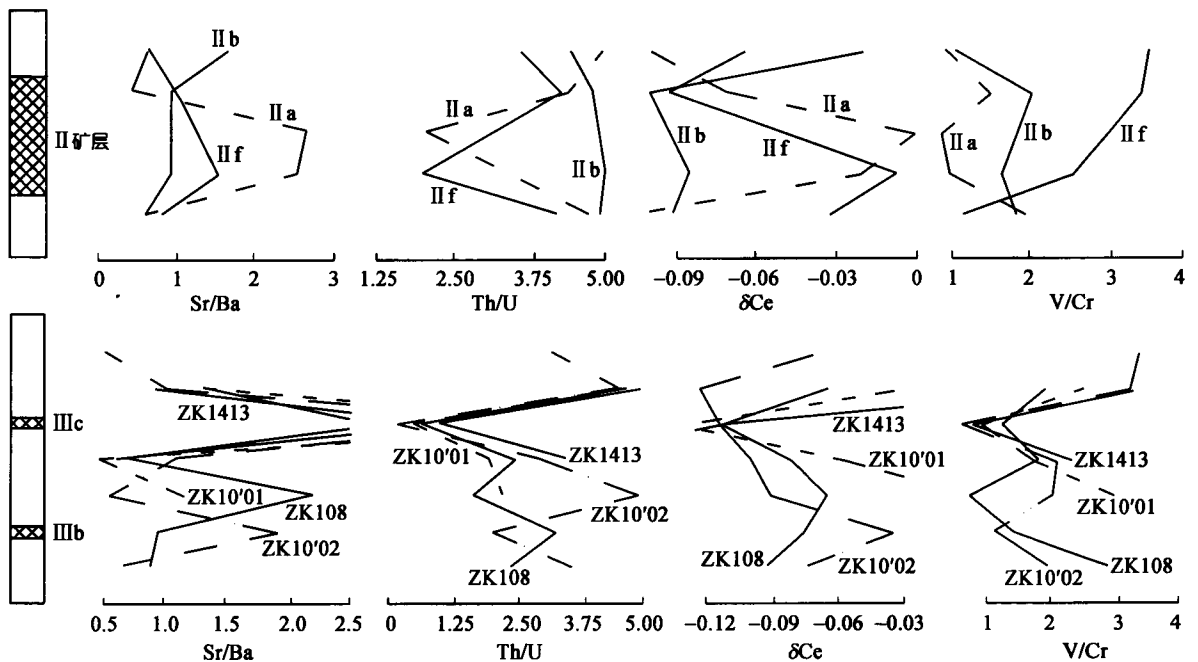


图 4 微量元素参数沿剖面的变化

Fig. 4 Parameter change along the main profile in the Shuiyindong gold deposit
ZK1413 和 ZK108 为无矿剖面钻孔。

形成时的氧化还原条件, III c 矿层岩石多形成于弱氧化环境, 其他层位 (包括矿体及围岩) 多形成于还原环境^[8, 14, 15]。

3.3 稀土元素特征

矿体稀土元素含量低 (表 3), Σ REE 介于 10.8 ~ 37.0 $\mu\text{g/g}$ 之间, 平均 21.8 $\mu\text{g/g}$, δEu 值在 0.88 ~ 1.20 之间, 平均 1.03, 除个别样品具弱负异常外, 均无 Eu 异常或正异常。围岩 Σ REE 高, 平均 241.9 $\mu\text{g/g}$, δEu 值平均 1.00, 无异常。与矿体同层位的无矿段岩石, Σ REE 比矿体高, 平均 48.1 $\mu\text{g/g}$, δEu 值平均 0.81, 具弱负异常。灰岩的 Σ REE 低, 平均 9.59 $\mu\text{g/g}$, δEu 平均 0.65, 具负异常。

从矿体稀土元素分布模式图 (图 5) 可以看出,

稀土总量低, 曲线缓右倾, 中稀土元素 (Sm—Ho) 间曲线明显上凸, 有富集的特征, Eu 无异常或具正异常。在与围岩、无矿段岩石以及茅口组灰岩的模式对比图 (图 6) 上可以更明显地看出, 矿体除了在总量上与围岩、无矿段岩石和茅口组灰岩有显著差别外, 矿体具有显著的 MREE 富集的特征, 而导致 Sm—Ho 元素高度富集的因素可能也是导致矿床形成规模较大、品位较高的关键因素。

从水银洞金矿 Σ REE 与 Zr 的关系 (图 7) 可以看出, 全孔岩石 Σ REE 与 Zr 呈明显的直线关系 (相关系数为 0.995), 而矿石的直线关系不明显 (相关系数仅 0.635), 说明矿体岩石可能有 REE 的活化作用^[14, 15], 矿体可能发生了强烈的热液蚀变作用或者强烈的水岩交换反应^[17]。

表 3 水银洞金矿矿石稀土元素分析结果 ($\mu\text{g/g}$) 及特征参数

Table 3 Contents ($\mu\text{g/g}$) and characteristic parameters of REE in the Shuiyindong gold deposit

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE	δEu
III c-1	5.67	10.9	1.32	5.52	1.16	0.42	1.47	0.23	1.11	0.22	0.49	0.07	0.40	0.06	29.0	0.98
III c-2	2.37	3.85	0.68	3.66	1.76	0.96	3.39	0.45	1.70	0.25	0.46	0.05	0.33	0.04	20.0	1.20
III c-3	2.01	2.90	0.43	2.01	0.55	0.23	0.93	0.14	0.74	0.16	0.35	0.05	0.24	0.03	10.8	0.96
III c-4	2.73	4.92	0.61	2.84	0.97	0.37	1.33	0.20	0.77	0.14	0.25	0.04	0.18	0.02	15.4	1.00
III c-5	5.30	10.4	1.40	5.64	1.41	0.54	1.78	0.25	1.17	0.20	0.42	0.05	0.31	0.04	28.9	1.03
ZK10'01-2	7.86	12.6	1.88	8.19	1.79	0.50	1.72	0.22	1.03	0.20	0.52	0.07	0.40	0.06	37.0	0.88
ZK10'02-3	2.28	3.86	0.55	2.07	0.44	0.19	0.66	0.10	0.53	0.12	0.30	0.05	0.23	0.04	11.4	1.10
矿石	4.03	7.05	0.98	4.28	1.15	0.46	1.61	0.23	1.01	0.18	0.40	0.05	0.30	0.04	21.8	1.03
围岩	48.1	91.6	12.5	49.5	10.1	3.29	10.1	1.45	6.72	1.38	3.38	0.50	2.82	0.45	241.9	1.00
无矿段	10.2	17.5	2.37	9.63	2.07	0.56	2.17	0.31	1.42	0.32	0.75	0.12	0.61	0.09	48.1	0.81
灰岩	3.00	2.75	0.46	1.78	0.32	0.07	0.37	0.06	0.31	0.08	0.20	0.03	0.14	0.03	9.59	0.65

注: III c-4、III c-5 为硅质岩型矿石, 其余均为凝灰质生物碎屑灰岩型矿石; 围岩以 6 件平均, 岩性以粘土岩、粉砂岩为主, 少量灰岩; 无矿段 2 件平均, 岩性均为含凝灰物质较多的灰岩; 灰岩同表 2。矿石稀土元素分布模式图中球粒陨石标准采用 Boynton(1984) 的球粒陨石平均值, 见文献[16]。

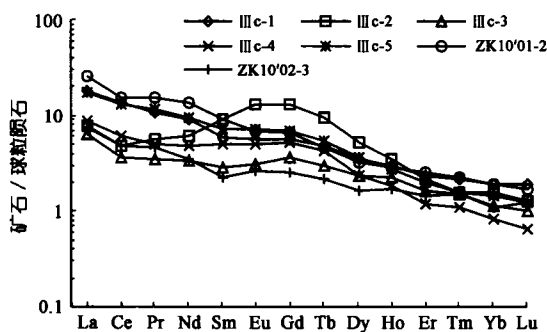


图 5 矿石稀土元素球粒陨石标准化分布模式
Fig. 5 REE distribution patterns of the ores in the Shuiyindong gold deposit

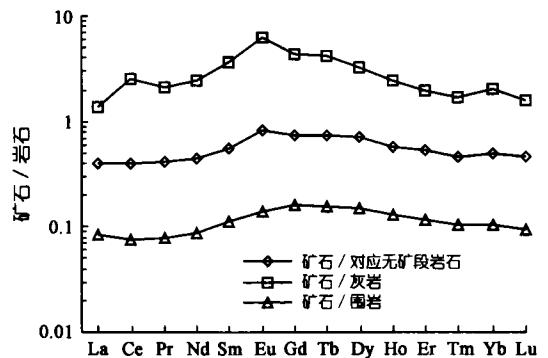
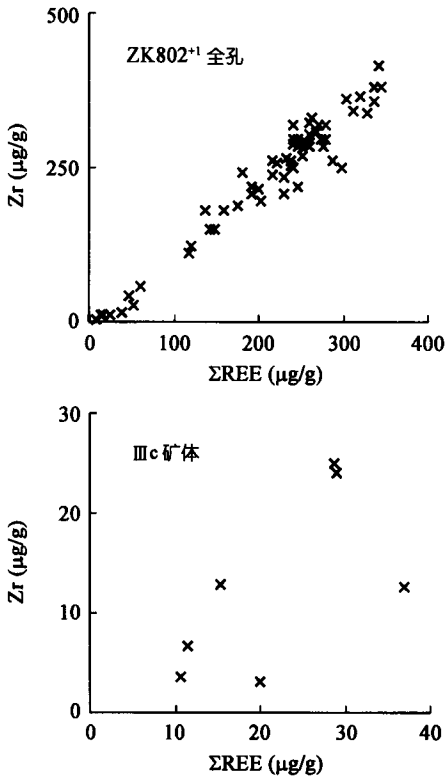


图 6 矿石与岩石稀土元素分布模式对比
Fig. 6 Comparison of REE distribution patterns between ores and other rocks

图 7 水银洞金矿 Zr- Σ REE 散点图Fig. 7 Correlations of Zr- Σ REE in the Shuiyindong gold deposit

4 讨论

尽管缺少包裹体和同位素等方面的证据,然而通过对水银洞金矿地质特征和元素地球化学特征的研究,可初步得出以下结论。

(1) 水银洞金矿含矿岩系为一套陆源碎屑岩类与碳酸盐岩交替出现的互层状的岩石组合, As、Ag 和 Tl 等元素背景值高。矿体 MgO 含量高,与围岩相比, As 和 Tl 高度富集,具有 MREE 元素异常富集的特征。

(2) 矿床具有明显的沉积特征:矿体在空间上多层、顺层产出,与岩层产状一致;矿石中具有草莓状等沉积特征明显的结构构造;含矿岩石与相应的无矿段岩石主元素无大的差异; Al、Ti 之间具有明显的直线关系等。

(3) 矿床亦具有热液蚀变的特征:矿石的胶状环带结构和自形晶结构等;客观存在的破碎带等;矿体中 As、Tl(包括 Ag) 的迁入、MREE 的显著富集效应和 Zr- Σ REE 的非直线关系等。

对于卡林型金矿的成因,前人已经有较多的论述^[9, 18-20]。水银洞金矿位于黔西南卡林型金矿集中

分布区,沈文杰^[8]认为矿床为沉积改造形成,但改造的强度似乎较小,并且有些问题需要做深入的研究。比如,对蚀变特征的进一步研究,元素迁移的途径和规模,金的赋存状态、迁移途径和方式,REE 模式形成的机理及与金矿的关系,含矿热液的性质、来源,矿物包裹体特征等,需要深入的研究,这将有助于进一步认识矿床的形成过程和机理,揭示矿床的成因规律。此外,生物也可能在金矿的形成过程中起到重要的作用。矿床中的白云石化与生物吸收 Mg^{2+} 形成高镁方解石有关,矿石中广泛存在的生物碎屑结构以及富矿的地方,生物碎屑含量高特征^[8],都可以说明金矿的形成与生物关系密切。据付绍洪等^[21]的最新研究,沉积期生物碎屑黄铁矿含金最高,平均 0.42%。由此可见,生物在水银洞金矿床的形成过程中扮演着重要的角色,其对元素的迁移富集的机制和对金矿的贡献程度有待于进一步的工作。

中国科学院地球化学研究所矿床开放实验室为论文数据分析提供了资金支持;水银洞矿山刘川勤、刘建中等为采样及野外工作提供了便利,在此特别对他们的支持表示感谢!同时,一并感谢审稿人和编辑部老师的热心帮助和指导!

参考文献(References):

- [1] 郭振春. 黔西南灰家堡金矿田“两层楼”模式及找矿意义[J]. 黄金地质, 2002, 8(4): 18~23.
Guo Zhen-chun. The two-stairs model of the Huijiapu gold field in south-western Guizhou and its prospecting significance[J]. Gold Geol, 2002, 8(4): 18~23 (in Chinese with English abstract).
- [2] 刘建中. 贵州水银洞金矿床矿石特征及金的赋存状态[J]. 贵州地质, 2003, 20(1): 30~34.
Liu Jian-zhong. Ore characteristics and gold occurrence of the Shuiyindong gold deposit, Guizhou[J]. Guizhou Geol, 2003, 20(1): 30~34 (in Chinese with English abstract).
- [3] 刘建中. 贵州省贞丰县岩上金矿床地质特征[J]. 贵州地质, 2001, 18(3): 174~178.
Liu Jian-zhong. The geology of the Yanshang gold deposit, Zhenfeng county, Guizhou[J]. Guizhou Geol, 2001, 18(3): 174~178 (in Chinese with English abstract).
- [4] 刘建中. 贵州灰家堡金矿田 Au/Ag 比值特征及找矿意义[J]. 贵州地质, 1999, 16(2): 97~102.
Liu Jian-zhong. The Au/Ag ratio of Huijiabao gold field in southwestern Guizhou and its significance[J]. Guizhou Geol, 1999, 16(2): 97~102 (in Chinese with English abstract).
- [5] 张兴春, 夏勇, 刘建中, 陶琰, 高振敏. 贵州烂泥沟和水银洞金矿的赋存状态研究及意义[A]. 中国科学院地球化学研究所. 第一届贵州地质矿产发展战略研讨会论文集[C]. 贵

- 阳: 中国科学院地球化学研究所, 2003. 43~44.
- Zhang Xing-chun, Xia Yong, Liu Jian-zhong, Tao Yan, Gao Zhen-min. The study of gold occurrence and its significance of Lannigou and Shuiyindong gold deposit in Guizhou Province[A]. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Papers of the 1st Forum of the Policies and Developments of Guizhou Geology Field[C]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2003. 43~44 (in Chinese).
- [6] 陈景河, 葛广福. 水银洞金矿黄铁矿矿相学特征与含金性[A]. 中国科学院地球化学研究所. 第一届贵州地质矿产发展战略研讨会论文集[C]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2003. 45.
- Chen Jing-he, Ge Guang-fu. Mineral facies and gold-capacity (Au-bearing) in pyrite in the Shuiyindong gold deposit[A]. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Papers of the 1st Forum of the Policies and Developments of Guizhou Geology Field[C]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2003. 45 (in Chinese).
- [7] 刘建中, 刘川勤. 贵州省水银洞金矿床地质特征及控矿因素研究[A]. 中国科学院地球化学研究所. 第一届贵州地质矿产发展战略研讨会论文集[C]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2003. 48~52.
- Liu Jian-zhong, Liu Chuan-qin. The study of geology and ore-controlling structure of the Shuiyindong gold deposit, Guizhou province[A]. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Papers of the 1st Forum of the Policies and Developments of Guizhou Geology Field[C]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2003. 48~52 (in Chinese).
- [8] 沈文杰. 贵州贞丰水银洞金矿成矿条件及矿床成因初探[D]. 贵阳: 贵州工业大学, 2004.
- Shen Wen-jie. Metallogenic conditions and genesis discussion of the Shuiyindong gold deposit in Zhenfeng Country, Guizhou Province(MSc thesis) [D]. Guiyang: Guizhou University of Technology, 2004 (in Chinese with English abstract).
- [9] 高振敏, 李红阳等. 滇黔地区主要类型金矿的成矿与找矿[M]. 北京: 地质出版社, 2002. 10, 1~101.
- Gao Zhen-min, Li Hong-yang, et al. Exploration and Metallogenesis of the Main Gold Deposit in Dianqian Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002. 10, 1~101 (in Chinese with English abstract).
- [10] 何立贤, 曾若兰, 林立青. 汞矿带中金矿赋存规律[A]. 沈阳地质矿产研究所. 中国金矿主要类型金矿找矿方向与找矿方法文集[C]. 北京: 地质出版社, 1994. 12, 99~166.
- He Li-xian, Zeng Ruo-lan, Lin Li-qing. The occurrence rules of the gold deposits in the Hg belt[A]. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources. Papers of Exploration Prospects and Techniques for the Main Type Gold Deposits in China[C]. Beijing: Geological Publishing House, 1994. 12, 99~166 (in Chinese with English abstract).
- [11] 饶文波, 高振敏, 杨竹森, 罗泰义, 李红阳, 陶琰, 谱传杰. 滇西上芒岗红色粘土型金矿的元素地球化学特征及其物质来源探讨[J]. 地球化学, 2002, 31(6): 577~586.
- Rao Wen-bo, Gao Zhen-min, Yang Zhu-sen, Luo Tai-yi, Li Hong-yang, Tao Yan, Pu Chuan-jie. Geochemistry of element of the Shangmanggang red-clay-type gold deposit in West Yunnan and the source of ore-forming materials[J]. Geochimica, 2002, 31(6): 577~586 (in Chinese with English abstract).
- [12] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学(第三版)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 8, 47~181.
- Zhao Cheng-lin, Zhu Xiao-min. Sedimentary Petrology(3rd ed) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001. 8, 47~181 (in Chinese).
- [13] 黎彤. 化学元素的地球丰度[J]. 地球化学, 1976, 5(3): 167~174.
- Li Tung. Chemical element abundances in the Earth and it's major shells [J]. Geochimica, 1976, 5(3): 167~174(in Chinese with English abstract).
- [14] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 66~120.
- Zhao Zhen-hua. The Geochemical Principles of Trace Elements [M]. Beijing: Science Press, 1997. 66~120 (in Chinese).
- [15] 王中刚, 于学元, 赵振华. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 3, 210~270.
- Wang Zhong-gang, Yu Xue-yuan, Zhao Zhen-hua. Rare Earth Element Geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 1989. 3, 210~270 (in Chinese).
- [16] Rollinson H R. 杨学明, 杨晓勇, 陈双喜译. 岩石地球化学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000. 109.
- Rollinson H R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation[M]. Harlow: Longman Scientific and Technical Limited, 1993. 352p.
- [17] McLennan S M, Taylor S R. Rare Earth Element mobility associated with uranium mineralization[J]. Nature, 1979, 282: 247~250.
- [18] Ilchik R P, Barton M D. An amagmatic origin of Carlin-type gold deposits[J]. Econ Geol, 1997, 92(3): 269~288.
- [19] Kuehn C A, Rose A W. Carlin gold deposits, Nevada: Origin in a deep zone of mixing between normally pressured and overpressured fluids[J]. Econ Geol, 1995, 90(1): 1697~1721.
- [20] Zhang X C, Spiro B, Halls C J, Stanley C J, Yang K Y. Sediment-hosted disseminated gold deposits in southwest Guizhou, PRC: Their geological setting and origin in relation to mineralogical, fluid inclusion, and stable-isotope characteristics[J]. Int Geol Rev, 2003, 45(5): 407~470.
- [21] 付绍洪, 顾雪祥, 王乾, 夏勇, 张兴春, 陶琰. 黔西南水银洞金矿床载金黄铁矿标型特征[J]. 矿物学报, 2004, 24(1): 75~80.
- Fu Shao-hong, Gu Xue-xiang, Wan Qian, Xia Yong, Zhang Xing-chun, Tao Yan. The typomorphic characteristics of gold-bearing pyrites from Shuiyindong gold deposit, SW Guizhou[J]. Acta Mineral Sinica, 2004, 24(1): 75~80 (in Chinese with English abstract).

Geochemistry of elements of ore-bearing rock series in the Shuiyindong gold deposit, Guizhou Province

SHEN Wen-jie^{1,2}, ZHANG Zhu-ru³, ZHOU Yong-zhang^{1,4}, LIN Yang-ting^{1,5}

1. *Laboratory of Isotope Geochronology and Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;*
2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*
3. *College of Resources and Environment, Guizhou University of Technology, Guiyang 550003, China;*
4. *Department of Earth Sciences / Research Center of Earth and Environmental Technology Application, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510279, China;*
5. *Division of Earth Deep Structure and Process, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*

Abstract: The Shuiyindong gold deposit is located in Zhenfeng County, Guizhou Province. Its high gold grade orebodies are hosted in impure limestone within the coal-series of Upper Permian Longtan Formation. Its ore-bearing rock series are composed of a series of terrigenous clastic rocks interbedded with impure carbonates. Tuffaceous-bioclastic limestone is the main type of ore-bearing rock. The average composition of the ores consists of 21.78% of SiO₂ and over 30% of CaO + MgO, whereas that of the country rocks consists of 41.58% of SiO₂ and less than 15% of CaO + MgO. The ore-bearing rocks are characterized by high contents of Mg, Fe, low contents of Na₂O, and high ratios of K₂O/Na₂O. As, Tl and Ag are more or less enriched in the ore-bearing rocks. The Au grade is positively correlated with the contents of As and Tl in the ores. The average Σ REE content and δ Eu value are 21.77 μ g/g and 1.03 for the ores, 241.90 μ g/g and 1.00 for the country rocks, respectively. The REE distribution patterns of ores show obvious MREE (from Sm to Ho) enrichment and more or less positive Eu anomaly. The geological and elemental geochemical characteristics of the ore-bearing rock series in the Shuiyindong gold deposit indicate that the ore-bearing rock series were formed in a special sedimentary environment or were experienced a special ore-forming process.

Key words: tuffaceous-bioclastic limestone; geochemistry of elements; REE; Shuiyindong gold deposit; Guizhou Province

Received April 4, 2004; revised June 23, 2004; accepted November 16, 2004; published January, 2005

Foundation item: Open Fund of the Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences

About the first author: SHENG Wen-jie (1978 -), male, Ph. D student, engaged in the research on geochemistry,

E-mail: swjhr@sohu.com, Tel: +86-20-85290920