

贵州戈塘金矿含矿岩系元素地球化学特征

黄建国^{1,2} 李虎杰¹ 李文杰¹ 董 磊¹

(1.西南科技大学环境与资源学院,四川 绵阳 621010;2.贵州大学资源与环境工程学院,贵州 贵阳 550003)

摘要:贵州戈塘金矿储量大、品位高、成矿环境特殊,具有“层位和岩溶不整合面”双重控矿的典型特征,含矿岩系中发育多种(硅化、构造)角砾岩、低温热液矿物(雄黄、雌黄、辉锑矿和萤石等)和围岩蚀变矿物组合,热液成矿期可分为主成矿期—黄铁矿阶段和成矿晚期—萤石阶段。通过对单矿物(黄铁矿和萤石)及含矿岩系各岩石(层位)微量元素含量、Co/Ni 和 Th/U 值、稀土元素和硫同位素(黄铁矿、辉锑矿)组成特征的系统研究。初步认为戈塘金矿具有正常海水沉积特征,矿石层位形成于海相贫氧还原环境,初始成矿物质可能与峨眉山玄武岩岩浆活动有关,但后期深部物质为金的进一步富集成矿贡献也较为明显。

关 键 词:戈塘金矿;含矿岩系;黄铁矿;萤石;地球化学

中图分类号:P618.51

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2012)05-1318-09

据低温热液型金矿的就位方式,将黔西南微细粒浸染型金矿划分为“戈塘式”、“紫木垭式”和“三岔河式”3种^[1],其中“戈塘式”金矿主要指含矿岩系与围岩整合产出的金矿,以赋存于上二叠统龙潭组底部地层中的戈塘金矿为典型代表。以往对其研究主要集中于该矿的矿石矿物组成及金赋存状态^[2]、角砾岩成因^[3]、层滑构造^[4]及矿床成因^[5]等。这些研究由于受到当时测试技术的限制,测试数据甚少,主要在于宏观调查层面,但为后人研究提供了宝贵的资料。本文通过对戈塘金矿含矿岩系不同单矿物和岩(矿)石主量元素、微量元素、稀土元素和硫同位素等的研究,以解其成矿物质来源及其形成机理。

1 基本地质特征

1.1 区域地质背景简介

戈塘金矿位于扬子陆块西南缘前陆褶冲断带的变形域内,即戈塘穹状背斜的 SE 倾没端^[6](图 1)。核部由二叠系中统栖霞组—茅口组(P_2q-P_2m)浅台地相碳酸盐岩组成(图 2)。翼部由上二叠统龙潭组—长兴组+大隆组(P_3l-P_3c+d)和中下三叠统夜郎组—

关岭组($T_{1y}-T_{2g}$)组成。中、上二叠统茅口组—龙潭组($P_{2m}-P_3l$)之间以岩溶平行不整合接触。地层倾角一般 $10^\circ\sim 20^\circ$ 。区内断层较发育,多为陡倾斜张—扭性断层,以 NE 向为主,次有近 EW、SN 向断层常切割、错断金矿体。

岩浆活动:以北地区(晴隆、普安、盘县)在晚二叠世初,在离散构造背景下,幔源岩浆喷发形成大陆溢流拉斑玄武岩与岩墙状辉绿岩共生组合,玄武岩分布面积约 3.2 万 km^2 ,呈向东凸出的舌形,西厚东薄^[7]。盘县—晴隆—关岭一线以南地区,当时为潮坪—潟湖相,早期火山喷发以水下喷发为主^[8]。

1.2 矿床地质特征

戈塘金矿储量大、品位高、成矿环境特殊,具有“层位和岩溶不整合面”双重控矿的典型特征,含矿岩系中发育多种(硅化、构造)角砾岩、低温热液矿物(雄黄、雌黄、辉锑矿和萤石等)和围岩蚀变矿物组合。赋矿地层为上二叠统龙潭组 1 段(P_3l)及茅口组(P_{2m})顶部(图 3)。矿体走向总体上呈 NE-SW 向,与围岩产状基本一致,仅部分矿体刺穿于下伏围岩中。矿体产状以缓倾斜为主,呈似层状、透镜状成群

收稿日期:2012-02-17;改回日期:2012-04-27

基金项目:全国危机矿山接替资源找矿项目(20089943)资助。

作者简介:黄建国,男,1980 年生,博士生,助理研究员,主要从事地质学的教学和研究;E-mail:hjg0816@126.com。

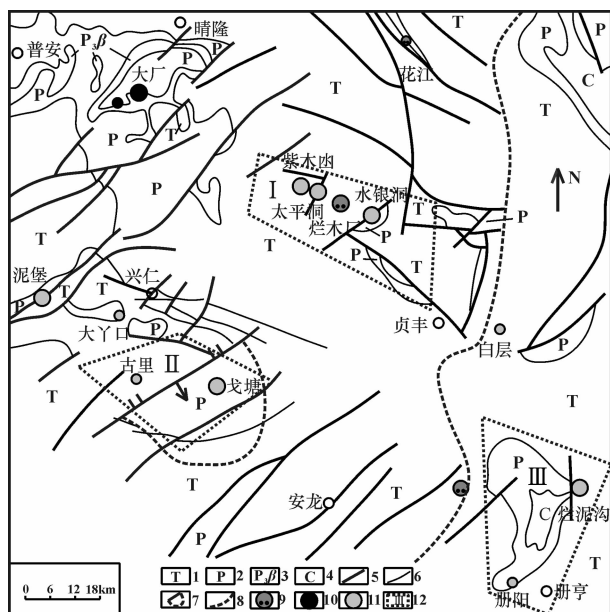


图 1 黔西南地区地质简图(据矿山资料)

1—三叠系;2—二叠系;3—峨眉山玄武岩;4—石炭系;5—断层;
6—地质界线;7—构造穹窿;8—构造盆地;9—汞矿;10—锑矿;
11—金矿;12—金矿田及编号

Fig.1 Geological sketch map of southwest Guizhou

1-Triassic; 2-Permian; 3-Emeishan basalt; 4-Carboniferous;
5-Fault; 6-Geological boundary; 7-Structural dome;
8-Structural basin; 9-Hg deposit; 10-Sb deposit;
11-Au deposit; 12-Gold ore field and its serial number

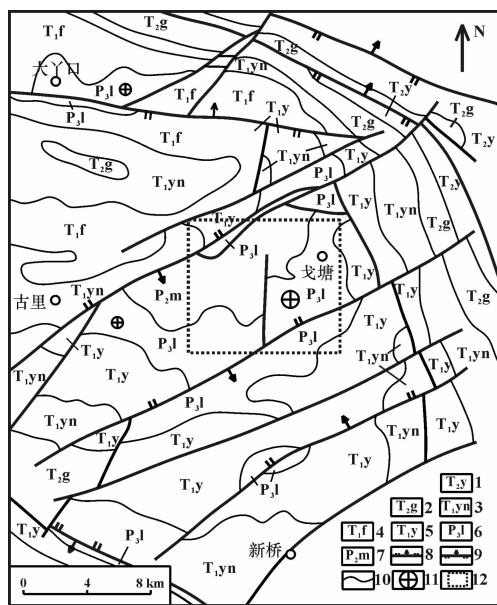


图 2 戈塘金矿区域地质简图(据矿山资料)

1—杨柳井组;2—关岭组;3—永宁镇组;4—飞仙关组;5—夜郎组;
6—龙潭组;7—茅口组;8.正断层;9—逆断层;10—地质界线;
11—金矿位置及规模;12—戈塘矿区

Fig.2 Regional geological sketch map of the Getang gold deposit

1—Yangliujing Formation; 2—Guanling Formation; 3—Yongningzhen Formation; 4— Feixiangnan Formation; 5—Yelang Formation; 6—Longtan Formation; 7—Maokou Formation; 8—Normal fault; 9—Reverse fault; 10—Geological boundary; 11—Location and size of Au deposit; 12—Getang mining area

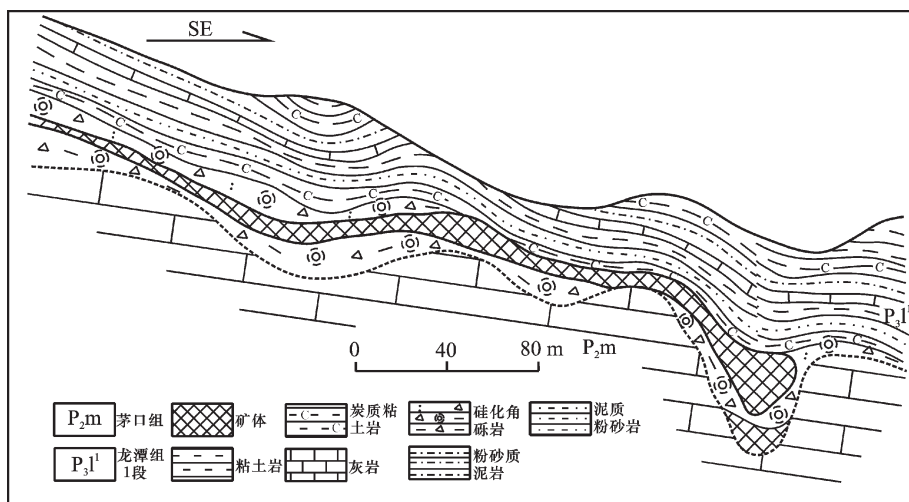


图 3 戈塘金矿矿体形态^[11]

Fig.3 Ore body shape of the Getang gold deposit^[11]

出现;矿石类型以氧化矿为主,矿石矿物以褐铁矿、黄铁矿和地开石为主;相对深部为原生矿,矿石矿物主要为黄铁矿和毒砂。成矿期分为沉积成岩期、热液期和表生期,热液期又分为 2 个矿化阶段^[9]。①毒砂-黄

铁矿-水云母-石英阶段,为最重要的成矿阶段,主要形成片状水云母及细小脉状、结晶程度较高的石英,伴随有毒砂、黄铁矿等出现。金主要呈吸附状态赋存于水云母中,部分产于毒砂和黄铁矿中。②辉铋矿-

雄雌黄-萤石阶段,为金矿化晚期阶段,主要形成辉锑矿、雄雌黄和萤石等,常与脉石矿物萤石一起组成脉状及团块状充填于裂隙中。金的赋存状态有可见金和不可见金两种,前者在较富矿石中为 3%~5%,自然金多见于褐铁矿中,部分见于石英晶粒之间,一般粒度甚细小,粒度为 0.00 029~0.0 319 mm^[2]。不可见金主要赋存于褐铁矿中,其次赋存于粘土矿物(地开石)中,主要呈游离金、包裹金等存在^[2,10]。脉石矿主要有萤石、方解石及重晶石等。

1.3 含矿岩系特征

根据其岩性、颜色、矿物(黄铁矿、含金黄铁矿、辉锑矿、雄黄、雌黄和萤石等)组合及角砾变化和硅化特征,将戈塘金矿含矿岩系分为 8 个层位,详见图 4。容金岩石主要为角砾状粘土岩和强硅化角砾岩。角砾成分以灰质、粘土质和凝灰质成分为主,角砾棱角明显,一般表现为下部大,上部小的特征。

2 样品的采集及分析

本次研究主要对戈塘金矿含矿岩系(从底部围岩(P₂m³⁻¹)→金矿层底板(P₂m³⁻²)→金矿层(P₃l¹⁻¹→P₃l¹⁻²)→金矿层顶板或锑矿层(P₃l¹⁻³)→砷矿层(P₃l¹⁻⁴)→砷矿层顶板(P₃l¹⁻⁵)进行系统采样,并综合含矿岩系中的不同岩性(灰岩、角砾岩(灰岩质、粘土质)、粘土岩)、硅化程度(强硅化、硅化、弱硅化)、典型矿物(含矿层浸染状黄铁矿、上部自形粒状黄铁矿、辉锑矿、萤石、雄雌黄和石膏等)等综合特征。以戈塘金矿区蚕坡矿段最近施工的钻孔岩心为主采样,并采集

1365# 巷道穿脉样及二龙口、科花露天采场实测含矿剖面样。样品采集具有一定的系统性和代表性。

样品微量、稀土元素及硫同位素分析测试在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学实验室完成。主元素采用常规湿化学方法分析,分析误差小于 10%。岩石及单矿物微量元素在 Finnigan MAT 公司生产的 ELEMENT 型高分辨率等离子质谱仪(ICP-MS)上进行,该仪器对 REE 检测下限为 0.n×10⁻¹²~n×10⁻¹²。相对误差小于 10%,方法及流程见文献^[3]。硫同位素主要采集成矿期黄铁矿(含矿层颗粒细小,呈浸染状)、成岩期黄铁矿(含矿层顶底板颗粒粗大)及辉锑矿样品,粉碎到 40~80 目,在双目镜下挑选成矿期黄铁矿、成岩期黄铁矿及辉锑矿,单矿物纯度达 98%以上,在 MAT-252 型质谱仪上测定,相对误差小于 0.2‰。

3 含矿岩系元素地球化学特征

3.1 主量元素特征

从表 1 看出,由茅口灰岩侵蚀面(P₂m³⁻²→P₃l¹⁻⁴)向上,硅化逐渐减弱,Au 矿化与硅化有一定的关系,但不是硅化越强,金含量越高。Al₂O₃ 和 TiO₂ 有一定的相关性,相关系数为 0.96,Al、Ti 的这种关系表明戈塘矿床具有正常海水沉积的特征^[13]。

从表 2 看出,戈塘金矿石硅化岩石的 SiO₂/Al₂O₃ 和 SiO₂/(K₂O+Na₂O)分别为 9.84 和 50.24,与火山沉积(凝灰质硅质岩)较接近,但 SiO₂/MgO 和 Fe₂O₃/FeO 分别为 362 和 8.3,与正常生物化学沉积较为一致,说明戈塘金矿硅化岩石硅质来源前期(成

表 1 戈塘金矿矿石化学成分平均值^[14](%,Au:10⁻⁶)

Table 1 Ore chemical composition (average value) of the Getang gold deposit (% , Au: 10 ⁻⁶)															
岩石名称	层位	样品数	Au	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧碱
粘土岩	P ₃ l ¹⁻⁴	2	0.006	34.13	2.65	21.06	11.88	2.16	0.07	0.00	0.78	1.22	2.00	0.27	23.46
角砾状粘土岩	P ₃ l ¹⁻³	2	11.42	56.06	1.54	11.35	7.97	1.65	0.02	0.39	0.19	0.89	4.63	1.07	14.36
硅化角砾状粘土岩	P ₃ l ¹⁻²	2	2.10	68.90	1.32	6.83	13.42	0.63	0.06	0.36	0.47	0.66	0.30	0.22	2.10
硅化角砾岩	P ₂ m ³⁻²	2	0.63	89.99	0.36	3.96	1.45	0.93	0.02	0.12	0.37	0.47	0.36	0.12	1.43

表 2 不同成因类型硅质岩化学成分平均值对比

Table 2 Comparison of chemical compositions (average values) between siliceous rocks of different genetic types				
样品	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /(K ₂ O+Na ₂ O)	SiO ₂ /MgO	Fe ₂ O ₃ /FeO
戈塘金矿石(8 件样平均值)	9.84	50.24	362	8.3
正常生物化学沉积 ^[15]	107	235	346	4.4
火山沉积(凝灰质硅质岩) ^[15]	13.7	36	39.5	0.46

矿前期)为正常生物沉积物,而后期(成矿期)可能有火山(峨眉山玄武岩浆活动)沉积(凝灰质硅质岩)物加入。

3.2 微量元素特征

3.2.1 黄铁矿和萤石单矿物的微量元素特征

黄铁矿和萤石中主成矿元素含量相对较高(表 3),如 Ag 最高可达 0.499×10^{-6} ,As 为 1330.244×10^{-6} ,Sb 为 75×10^{-6} ,Cu 为 128.166×10^{-6} ,Pb 为 78.321×10^{-6} ,Zn 为 47.1×10^{-6} ,两单矿物中 Ag 和 As 明显高于地壳平均值^[10],且这些主成矿元素在黄铁矿和萤石中显示有一定相关性,相关系数在 0.89~0.99,特别是 As 和 Sb 相关系数高达 0.99。这些特征反应了不论是在主成矿期的黄铁矿阶段还是矿化晚期的萤石阶段,主成矿元素 Ag、As 同步发生了明显的富集作用,而其他元素规律不明显。

3.2.2 黄铁矿和萤石单矿物的 Co/Ni 值特征

黄铁矿中的 Co、Ni 含量及其 Co/Ni 比值在国

内外被认为是区分矿床成因类型的重要标志之一。根据 Co/Ni 的标型研究^[17-19]:①沉积黄铁矿 Co/Ni<1,一般在 0.6^[17];②沉积改造型矿床 Co/Ni<1^[18];③热液黄铁矿 Co/Ni>1,一般在 1.17^[17];④岩浆热液型黄铁矿 Co/Ni>1.5^[19]。从表 3 看出,戈塘金矿黄铁矿中 Co 含量低(小于 45×10^{-6}),Co/Ni 值为 0.14~1.16,平均 0.65;萤石中 Co 含量更低(平均 1.32×10^{-6}),Co/Ni 值为 0.01~0.11,含矿岩系所有岩石中 Co 含量低,Co/Ni 值 0.16~0.86,平均 0.29。Co/Ni 比值可能显示一定的沉积作用。但个别黄铁矿 Co/Ni 值>1,表明戈塘金矿有部分沉积期后热液改造的成因。

3.2.3 岩(矿)石微量元素特征

从表 4 可以看出,戈塘金矿中含矿岩系从最底层(P_2m^{3-1})到最顶层(P_3l^{1-4})主成矿元素(Cu、Pb、Zn、As、Sb 和 Ag)呈有规律的变化,总体上含量先增加后减少,Au 主要富集在(P_3l^{1-2})层位中,该层位以下(P_2m)所有主成矿元素含量均较低,层位以上 Cu、

表 3 戈塘金矿单矿物中部分成矿元素含量(10⁻⁶)及富集倍数
Table 3 Ore-forming element contents (10⁻⁶) and their enrichment factors of some single minerals in the Getang gold deposit

单矿物	样号	Ag	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Co/Ni
黄铁矿	1 号	0.499	1330.24	75.1	36.37	0.674	47.1	2.68	18.1	0.14
	2 号	0.099	18.343	7.8	128.17	78.32	15	36.7	32.9	1.16
	平均值	0.299	674.292	41.45	82.27	39.497	31.05	19.69	25.5	0.65
	富集倍数	3.74	306.50	0.69	1.31	3.29	0.33	0.79	0.29	—
萤石	1 号	0.181	11.412	8.63	2.596	0.453	4.5	1.15	20.2	0.06
	2 号	0.005	13.512	2.12	4.973	1.326	6.89	2.56	23.5	0.11
	3 号	0.172	8.472	14.3	46.78	0.335	8.34	0.081	8.95	0.01
	4 号	0.023	10.362	1.220	4.568	0.494	4.89	1.49	19.4	0.08
	平均值	0.095	10.940	6.568	14.729	0.652	6.155	1.32	18.01	0.065
	富集倍数	1.19	4.97	0.11	0.23	0.054	0.065	0.05	0.20	—

表 4 戈塘金矿含矿岩系岩(矿)石微量元素含量(10⁻⁶)一览
Table 4 Trace elements content of ore-bearing rocks (ores) in the Getang gold deposit

样号	岩石名称	层位	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Ag	Co	Ni	Sr	Ba	Th	U	Th/U
W-9	炭质泥岩	P_3l^{1-4}	63.75	12.47	58.1	52.79	115	1.07	10.1	24.1	274	64.3	7.91	2.65	2.98
W-8	顶板炭质泥岩	P_3l^{1-4}	47.43	24.61	40.4	193.24	171	1.23	12.1	62.8	317	78.1	10.3	5.26	1.96
W-7	角砾状凝灰岩	P_3l^{1-3}	90.92	21.58	50.7	389.27	183	2.32	20.2	58.4	267	115	20.5	8.5	2.41
W-6	凝灰质	P_3l^{1-2}	138.03	27.42	58.1	48.73	359	2.09	34.5	92.6	284	755	16.8	9.96	1.69
W-5	炭质泥岩(坑道)	P_3l^{1-2}	140.22	8.07	116	721.13	29.1	1.47	36.6	42.4	616	127	11.4	2.59	4.4
W-4	角砾状凝灰质	P_3l^{1-2}	119.4	14.5	34.2	295.45	261	0.94	9.75	123	91	44.5	5.54	14.1	0.39
W-3	矿石	P_3l^{1-2}	54.55	11.57	83.4	73.51	616	0.53	2.69	29.3	160	23.2	3.94	9.81	0.4
W-2	硅化灰质角砾岩	P_2m^{3-2}	49.92	4.89	86.9	42.28	294	1.26	2.63	15.4	55	13.9	0.7	2.48	0.28
W-1	灰岩	P_2m^{3-1}	38.78	1.79	37	25.84	121	0.03	1.45	21.2	251	5.85	0.11	5.09	0.02

Pb、Zn、As、Sb 和 Ag 明显的发生富集。

沉积剖面中 Th/U 系统变化可以反映环境的氧化还原特征。据 Jones 等^[20]认为:①Th/U>1.25 为还原环境;②Th/U<0.75 为氧化环境;③Th/U=1.25~0.75 为过渡的贫氧环境。含矿岩系中 P_2m (灰岩、硅化灰质角砾岩) 和 P_3l^{-2} (矿石和角砾状凝灰质) 的 Th/U 值 0.02~0.4 (表 4), 平均为 0.27, 而含矿岩系中 P_3l^{-3} (炭质泥岩(坑道)、凝灰质、角砾状凝灰岩) 和 P_3l^{-4} (顶板炭质泥岩、炭质泥岩) 的 Th/U 值 1.69–2.98, 平均为 2.26, 反映出含矿岩系底部 (P_2m^{3-1} – P_3l^{-2}) 主要形成为还原环境, 而顶部 (P_3l^{-3} – P_3l^{-4}) 主要形成为氧化环境, 而含矿岩系 (P_3l^{-2}) 主要发育在还原向氧化过渡的阶段。

3.3 稀土元素特征

3.3.1 单矿物稀土元素特征

含矿岩系黄铁矿和萤石稀土元素含量及配分模式见表 5 和图 5, 从中看出黄铁矿和萤石的稀土配分模式差别很大, 反映出两种矿物形成于不同阶段。然而处于同一含矿层位 (P_3l) 的戈塘金矿和晴隆锑矿萤石单矿物稀土总量^[21] (前者 $\Sigma REE=10.299\times 10^{-6}\sim 17.455\times 10^{-6}$, 平均为 13.555×10^{-6} , 后者 $\Sigma REE=$

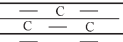
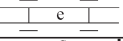
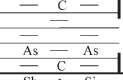
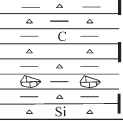
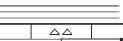
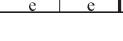
地 层	柱 状 图	样 品 号	主要地质简述	矿化特征
龙 潭 组	⑧ P_3l^2		炭质粘土岩, 2~20m。	
	⑦ P_3l^{1-5}		含结核状、星散状黄铁矿粘土岩夹数层薄生物碎屑灰岩, 厚6~15m。	
	⑥ P_3l^{1-4}		粘土岩, 顺层可见浸染状、星粒状及团块状雄黄、雌黄及黄铁矿等, 厚3~12m。	含砷矿层位
	⑤ P_3l^{1-3}		强硅化粘土角砾岩, 中含辉锑矿, 颗粒大小为0.2~0.5cm, 可见大量萤石团块及脉体, 厚0~5m。	含锑矿层位
	④ P_3l^{1-2}		粘土质角砾岩或高岭土粘土岩, 局部含凝灰质角砾岩, 角砾大小为0.3~1cm, 角砾岩部分硅化, 弱硅化, 见大量脉状及团块状萤石, 中下部多见灰岩角砾, 厚0.3~27m。	主含金层位
	③ P_3l^{1-1}		白色粘土岩, 0~1m。	次含金层位
	② P_2m^{3-2}		灰质角砾岩、硅化灰质角砾岩, 角砾一般为0.5~3cm, 岩石裂隙中可见脉状萤石, 厚0.5~3m。	次含金层位
	① P_2m^{3-1}		生物碎屑灰岩, 厚>200m。	

图 4 戈塘金矿含矿岩系采样柱状剖面简图
Fig.4 Sampling profile of ore-bearing rock series in the Getang gold deposit

$8.954\times 10^{-6}\sim 22.752\times 10^{-6}$, 平均为 16.796×10^{-6}) 及配分模式 (图 5) 具有一定的相似性, 这一特征可能表明两矿床在成矿物质来源上具有一致性。据曹鸿水^[9]研究, 晴隆锑矿含矿层位主要为“大厂层”, 该层的形

表 5 戈塘金矿单矿物稀土元素含量一览 (10^{-6})
Table 5 REE content of some single minerals in the Getang gold deposit (10^{-6})

序号	编号	W 黄 1 号	W 萤 1 号	W 萤 2 号	W 萤 4 号	QL-1*	QL-2*	QL-3*
1	La	1.300	0.425	0.563	0.773	2.065	1.179	0.866
2	Ce	5.960	0.914	1.140	1.240	3.553	2.259	1.317
3	Pr	0.578	0.215	0.221	0.296	1.123	0.489	0.268
4	Nd	2.290	1.310	1.310	2.040	3.960	2.889	1.470
5	Sm	0.531	0.886	0.668	1.070	1.493	1.226	0.517
6	Eu	0.131	0.457	0.300	0.419	0.526	0.513	0.421
7	Gd	0.404	2.614	1.861	2.985	2.649	2.826	1.113
8	Tb	0.058	0.514	0.356	0.595	0.469	0.498	0.236
9	Dy	0.283	2.840	1.960	3.430	3.193	3.212	1.371
10	Ho	0.062	0.570	0.419	0.694	0.656	0.684	0.285
11	Er	0.178	1.270	0.932	1.520	1.746	1.720	0.679
12	Tm	0.030	0.142	0.092	0.167	0.205	0.190	0.069
13	Yb	0.205	0.671	0.434	0.777	0.989	0.895	0.304
14	Lu	0.027	0.083	0.043	0.096	0.125	0.104	0.038
15	SREE	12.037	12.911	10.299	17.455	22.752	18.684	8.954
16	dEu	0.859	0.912	0.817	0.712	0.803	0.837	1.685
备注	A	B			C		D	

注:①AB:戈塘矿区;CD:晴隆矿区, *:据彭建堂[21];②A:黄铁矿,其余为:萤石;③C:分别为第一世代的早晚期,D:第二世代。

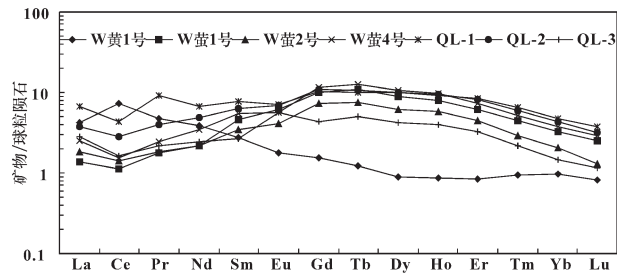


图 5 单矿物(黄铁矿、萤石)REE 配分模式^[2]
Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns of pyrite and fluorite

成与峨眉山玄武岩($P_3\beta$)关系密切。

3.3.2 岩(矿)石稀土元素特征

戈塘金矿含矿岩系各岩石稀土元素含量及配分模式分别见表 6 和图 6,从中看出稀土元素含量和配分模式可分为 5 种类型;从下往上依次为:①W-1(灰岩):该岩石稀土总量偏低, ΣREE 仅为 3.4×10^{-6} ;②W-2(硅化灰质角砾岩), ΣREE 为 23.199×10^{-6} ;③W-3(氧化矿石)和 W-4(角砾状凝灰质), ΣREE 为 $97.52\times10^{-6}\sim106.0\times10^{-6}$;④W-8(炭质泥岩(顶板))和 W-9(炭质泥岩), ΣREE 为 $193.0\times10^{-6}\sim$

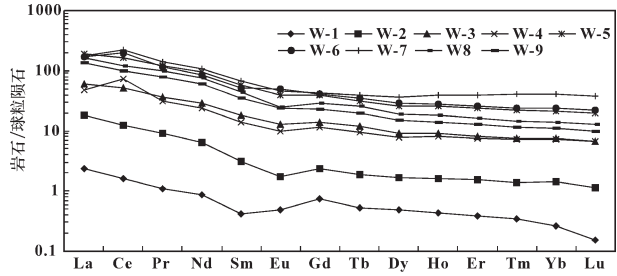


图 6 戈塘金矿含矿岩系各岩石 REE 配分模式^[2]
Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns of ore-bearing rocks

240.4×10^{-6} ;⑤W-5(炭质泥岩(坑道))、W-6(凝灰岩)和 W-7(角砾状凝灰岩), ΣREE 为 $307.9\times10^{-6}\sim331.1\times10^{-6}$ 。

一般可以得出以下几个规律:①随着硅化的加强,含矿岩系的稀土总量明显增加;②含金岩石(W-3 和 W-5)和灰岩的稀土特征差别很大,而与硅化、凝灰质岩石较相似;③W-5(炭质泥岩(坑道))、W-6(凝灰岩)和 W-7(角砾状凝灰岩)稀土总量较高, ΣREE 为 $307.852\times10^{-6}\sim330.663\times10^{-6}$,这种高含量可能与风化或凝灰岩的加入有关。

表 6 戈塘金矿含矿岩系岩石稀土元素含量一览($\times10^{-6}$)
Table 6 REE content of ore-bearing rocks (ores) in the Getang gold deposit ($\times10^{-6}$)

编号	W-9	W-8	W-7	W-6	W-5	W-4	W-3	W-2	W-1
层位	P_3l^{1-4}	P_3l^{1-4}	P_3l^{1-3}	P_3l^{1-3}	P_3l^{1-3}	P_3l^{1-2}	P_3l^{1-2}	P_2m^{3-2}	P_2m^{3-1}
岩石名称	炭质泥岩	炭质泥岩(顶板)	角砾状凝灰岩	凝灰岩	炭质泥岩(坑道)	角砾状凝灰质	氧化矿石	硅化灰质角砾岩	灰岩
La	41.5	50.6	53.7	53.5	59.8	15	18.4	5.71	0.722
Ce	78.7	98.3	179	163	130	59.2	41.5	9.8	1.320
Pr	9.73	12.1	16.9	14.1	14.8	3.85	4.52	1.1	0.133
Nd	36.1	45.7	64.8	51.7	56.6	14.5	17.1	3.8	0.524
Sm	6.730	8.58	12.9	10.1	11.4	2.7	3.49	0.606	0.082
Eu	1.792	1.836	3.363	3.645	2.874	0.725	0.943	0.129	0.036
Gd	6.043	7.423	11.077	10.44	10.054	2.931	3.648	0.601	0.190
Tb	0.913	1.19	1.84	1.65	1.460	0.446	0.568	0.089	0.025
Dy	4.82	6.12	11.6	9.28	8.170	2.550	2.980	0.545	0.155
Ho	1	1.31	2.8	1.99	1.860	0.574	0.650	0.116	0.031
Er	2.700	3.42	8.32	5.31	5.020	1.6	1.710	0.322	0.08
Tm	0.366	0.461	1.29	0.749	0.716	0.227	0.242	0.044	0.011
Yb	2.320	2.91	8.49	4.94	4.460	1.480	1.550	0.299	0.054
Lu	0.328	0.421	1.25	0.723	0.638	0.221	0.219	0.038	0.005
SREE	193.0	240.4	377.3	331.1	307.9	106.0	97.52	23.199	3.4
dEu	0.853	0.699	0.854	1.078	0.815	0.783	0.803	0.649	0.876

3.4 硫同位素特征

在野外工作中，很难将矿石中的黄铁矿分为主成矿期和晚期，但可明显地区分成矿期和成岩期的黄铁矿。从图 7 可以看出，沉积成因的黄铁矿硫同位素较分散 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 从 $-28\sim-8$ 。而辉锑矿为同一成矿期的较晚成矿阶段， $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 集中分布 $-6\sim+2$ ，与玄武岩值^[24]较接近，成矿的黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 值集中分布在 $-2\sim+2$ (表 7)，与地幔值 ($\delta^{34}\text{S}\text{‰}=\pm(1\sim2)$)^[24]较接近。以上综合显示出矿石中热液成因硫化物的 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 值域不同于地层岩石，说明矿石中的硫来源复杂，不仅仅来源于地层岩石。结合矿床地质地球化学研究，认为矿石中的硫除来源于地层岩石外，还可能来源于峨眉山玄武岩($\text{P}_3\beta$)或深源流体中的深源硫。

4 成矿过程浅析

中二叠世末期的构造运动(东吴运动)导致该区抬升，使茅口组灰岩遭受了长时期的风化剥蚀，形成了起伏不平的古风化面。之后在峨眉山玄武岩浆活动期间，其爆发和溢出进入水盆地的玄武岩屑或岩浆，经水解等作用形成了以“大厂层”(属于火山沉积岩)为代表的一套赋存于茅口组喀斯特不整合面之上的凝灰质硅质岩、角砾状硅质岩、硅化粘土岩等等。因玄武岩富含 Au、Ag、As、Sb、Tl 等，使“大厂层”也富集了成矿元素^[8]，形成以含金为主的矿源层。

表 7 戈塘金矿床硫同位素数据
Table 7 Sulfur isotopic data of the Getang gold deposit

样品数	成矿期次	矿物	$\delta^{34}\text{S}\text{‰}$	资料来源
2	成矿期	黄铁矿	11.35——11.26	本文
1			5.0	
5			0.25——2.0	
2			-0.24——-1.3	
1	成矿期	辉锑矿	0.93	本文
2			-0.87——-0.96	
3			-2.75——-3.92	
4			-4.12——-5.68	
1	成岩期	黄铁矿	-9.6	李文亢等 ^[14] 朱赖民等 ^[23]
2			-13.29——-13.9	
3			-18.10——-19.75	
2			-20.75——-21.2	
2			-23.9——-26.77	

晚二叠世该区沉积了海陆交互相的由粘土岩、粉砂岩和煤等组成的龙潭组含煤建造，燕山期的构造运动导致戈塘穹隆及伴生构造的形成^[6]，沿茅口组灰岩与龙潭煤系地层之间的古风化面产生层间滑脱构造^[4]，形成呈面状分布的破碎带(角砾岩带)。燕山晚期—喜山期的岩浆活动，使本区具有高的地热梯度，岩浆活动及地下水循环产生的热液，使矿源层中的矿质活化、迁移，沿层间破碎带流动渗滤，受上部为不透水岩石组合的影响，沿层间破碎带形成层带型矿化，局部金富集成成金矿体，同时使围岩发生硅化、黄铁矿化、辉锑矿化、碳酸盐化等蚀变。

5 讨论与结论

(1)从戈塘金矿矿石化学分析可知，由茅口灰岩侵蚀面向上($\text{P}_2\text{m}^{3-2}\rightarrow\text{P}_3\text{l}^{1-4}$)，硅化逐渐减弱，Au 矿化与硅化有一定的关系。 Al_2O_3 和 TiO_2 相关系数为 0.96，表明戈塘矿床具有正常海水沉积的特征。不同成因类型硅化岩石对比研究认为，硅的前期(成矿前期)来源为正常生物沉积物，而后期(成矿期)可能有火山(峨眉山玄武岩浆活动)沉积(凝灰质硅质岩)物加入。

(2)黄铁矿和萤石的微量元素特征显示，不论是在黄铁矿阶段还是萤石阶段，主成矿元素 Ag、As 同步发生了明显的富集，而其他元素规律不明显。黄铁矿中 Co/Ni 值 <1 可能显示了矿床形成具有一定的沉积或热液作用。含矿岩系的 Th/U 值反映出，含矿岩系底部形成于还原环境，顶部为氧化环境，而含矿岩系发育在还原向氧化过渡的阶段。

(3)单矿物黄铁矿和萤石的稀土配分模式差别很大，反映出两矿物形成于前后不同的阶段，热液型黄铁矿主要形成于主成矿阶段，而萤石为成矿晚期阶段。萤石的稀土特征表明，戈塘金矿和晴隆锑矿在

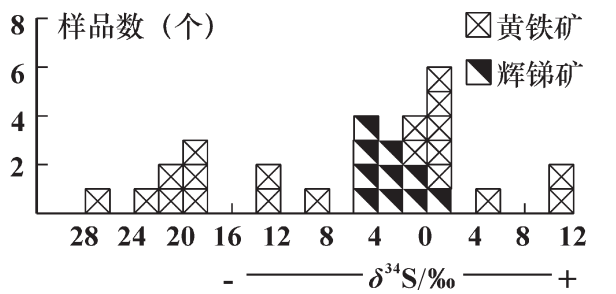


图 7 戈塘金矿 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 塔式分布图
Fig.7 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ tower distribution of the Getang gold deposit

成矿物质来源上具有一致性。含矿岩系的稀土特征显示,随着硅化的加强,含矿岩系稀土总量明显增加。含金岩石和灰岩的稀土特征差别很大,而与硅化、凝灰质岩石较相似。

(4)成矿期的辉锑矿 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 为 $-6\sim+2$,黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 为 $-2\sim+2$,说明矿石中的硫来源复杂,不仅仅来源于地层岩石,还可能来源于峨眉山玄武岩($\text{P}_3\beta$)或深源流体中的深源硫。

致谢:感谢贵州大学张竹如教授、西南科技大学崔春龙教授为本文的指导,同时一并感谢审稿人及编辑部的老师热情的帮助和指导。

参考文献 (References):

[1] 何立贤. 黔西南金矿“热、液、矿”同源成矿模式[J]. 贵州地质, 1996, 2(13):154-160.
He Lixian. A genetic model for gold deposits in southwestern Guizhou: a Co-source of heat, water and ore-materials [J]. Guizhou Geology, 1996, 2(13):154-160(in Chinese with English abstract).

[2] 高德黎. 安龙戈塘金矿二龙口矿段(氧化矿)物质组成和金的赋存状态初步研究[J]. 贵州地质, 1998, 5(3):219-225.
Gao Deli. A preliminary study on the existing state of gold and oxidizing mass composition of Erlongkou ore section of Getang gold ore in Anlong County, Guizhou [J]. Guizhou Geology, 1998, 5(3): 219-225(in Chinese with English abstract).

[3] 朱恺军. 戈塘金矿中含炭硅质角砾岩成因浅析 [J]. 地质与勘探, 1993, (11):34-38.
Zhu Kaijun. The genesis of C-bearing siliceous breccias in the Getang Au-deposit [J]. Geology and Exploration, 1993, (11):34-38 (in Chinese with English abstract).

[4] 何丰胜, 毛健全, 杜定全. 戈塘矿区层滑构造研究[J]. 贵州工业大学学报, 1997, 26(2):10-16.
He Fengsheng, Mao Jianquan, Du Dingquan. A study on the bedding detachment in Getang ore region [J]. Journal of Guizhou University of Technology, 1997, 26 (2):10-16 (in Chinese with English abstract).

[5] 杨科伍. 戈塘式金矿床之成因及找矿远景初探 [J]. 贵州地质, 1992, 9 (4):299-306.
Yang Kewu. Preliminary studies on genesis and prospect of Getang-type gold deposits [J]. Guizhou Geology, 1992, 9 (4):299-306(in Chinese with English abstract).

[6] 冉瑞德. 黔西南岩溶构造容矿金矿床特征及成矿机理 [J]. 贵州地质, 2005, 22 (1):14-21.
Ran Derui. Characteristic and metallogenic mechanism of the gold deposits with karsts structure as holding ore space in the southwest of Guizhou [J]. Guizhou Geology, 2005, 22 (1):14-21(in Chinese with English abstract).

[7] 韩至钧, 王砚耕, 冯济舟, 等. 黔西南金矿地质与勘查 [M]. 贵阳:

贵州科技出版社, 1999:1-66.

Han Zhijun, Wang Yanggeng, Feng Jizhou, et al. Geology and exploration of gold deposits in southwestern Guizhou [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1999:1-66(in Chinese).

[8] 曹鸿水. 黔西南“大厂层”形成环境及其成矿作用的探讨[J]. 贵州地质, 1991, 8(1):5-12.
Cao Hongshui. A discussion on the genetic environment and minerogenesis of “Dachang Strata” in southwestern Guizhou [J]. Guizhou Geology, 1991, 8(1):5-12(in Chinese with English abstract).

[9] 王砚耕, 索书田, 张明发. 黔西南构造与卡林型金矿[M]. 北京:地质出版社, 1994:1-155.
Wang Yangeng, Suo Shutian, Zhang Mingfa. Structure of Southwestern Guizhou and Carlin Type Gold Deposits [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1994:1-155(in Chinese).

[10] 朱恺军, 张景荣. 湘黔地区“卡林型”金矿中金的赋存形式[J]. 岩石矿物学杂志, 1994, 13(2):160-167.
Zhu Kaijun, Zhang Jingrong. Modes of occurrence of gold in the Carlin -type gold deposits of Hunan -Guizhou area [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1994, 13(2):160-167(in Chinese with English abstract).

[11] 王砚耕, 陈履安, 李兴中, 等. 贵州西南部红土型金矿[M]. 贵阳:贵州科技出版社, 2000:76-93.
Wang Yangeng, Chen Lvan, Li Xingzhong, et al. Lateritic Gold Deposit of Southwest of Guizhou [M]. Guiyang:Guizhou Science and Technology Press, 2000:76-93(in Chinese).

[12] Qi Liang, Grégoire D C. Determination of trace elements in twenty-six Chinese geochemistry reference materials by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry [J]. Geostandards Newsletters, 2000, 24(1):51-63(in Chinese).

[13] 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, 2004:1-78.
Shen Wenjie. Preliminary Study of Deposit Genesis and Metallogenic Conditions in Shuiyindong Gold Deposit, Zhenfeng County, Guizhou [D]. Guiyang: Guizhou University of Technology, 2004:1-78(in Chinese with English abstract).

[14] 李文亢, 姜信顺, 具然弘, 等. 黔西南微细浸染型金矿地质特征及成矿作用. 中国主要金矿类型区域成矿条件文集(第 6 集) [M]. 北京:地质出版社, 1989:1-81.
Li Wenhong, Jiang Xinshun, Ju Ranhong, et al. Geological Features and Mineralization of Micro-disseminated Gold Deposits in Southwestern Guizhou, in Regional Metallogenic Conditions of Chinese Major Gold Deposit Type Corpus (No.6) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989:1-81(in Chinese).

[15] 冯增昭, 何幼斌, 吴胜和. 中下扬子地区二叠纪岩相古地理[J]. 沉积学报, 1993, 11(3):12-24.
Feng Zengzhao, Heyoubin, Wu Shenghe. Lithofacies paleogeography of Permian middle and lower Yangtze region [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1993, 11(3):12-24(in Chinese with English abstract).

[16] 黎彤. 元素化学的地球丰度[J]. 地球化学, 1976, 5(3):167-174.

- Li Tong. Chemical element abundances in the earth and it's major shells [J]. *Geochimica*, 1976, 5 (3):167–174 (in Chinese with English abstract).
- [17] Bralia A, Sabatini G, Troja F. A revaluation of the Co/Ni ratio in pyrite as geochemical tool in ore genesis problems [J]. *Mineralium Deposita*, 1979;353–374.
- [18] 童潜明. 湘南铅锌黄铁矿床中闪锌矿 Ga/In、黄铁矿 Co/Ni 所反映的矿床成因信息[J]. *湖南地质*, 1985, 4(3):1–7.
- Tong Qianming. The information of the genesis of ore deposits revealed by the value of Ga/In of sphalerite and Co/Ni of pyrite of Pb–Zn–Pyrite mineral deposits of southern Hunan [J]. *Hunan Geology*, 1985, 4(3):1–7(in Chinese with English abstract).
- [19] 曾永超, 黄书俊, 贾国相, 等. 岩浆热液型和层控型铅锌矿床中某些金属矿物的特征元素及其地质意义 [J]. *地质与勘探*, 1985, 21(8):28–33.
- Zeng Yongchao, Huang Shujun, Jia Guoxiang, et al. Some metallic mineral's characteristic element and its geological significance in magmatic hydrothermal type and stratabound Pb–Zn deposit [J]. *Geology and Exploration*, 1985, 21(8):28–33(in Chinese).
- [20] Jones B J, Manning A C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones [J]. *Chemical Geology*, 1994, 111:111–129.
- [21] 彭建堂, 胡瑞忠, 漆亮, 等. 晴隆锑矿床中萤石的稀土元素特征及其指示意义[J]. *地质科学*, 2002, 37(3):277–287.
- Peng Jiantang, Hu Ruizhong, Qi Liang, et al. REE geochemistry of fluorite from the Qinglong antimony deposit and its geological implications [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2002, 37(3):277–287(in Chinese with English abstract).
- [22] Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [C] // Henderson P. *Rare Earth Elements Geochemistry*. Amsterdam:Elsevier, 1984:63–114.
- [23] 朱赖民, 金景福, 何明友, 等. 黔西南微细浸染型金矿床成因讨论—矿床时空分布及同位素证据[J]. *火山地质与矿产*, 1997, 18(2):117–126.
- Zhu Laimin, Jin Jingfu, He Mingyou, et al. A discussion about the genesis of fine–grained disseminated gold deposits in southwestern Guizhou province [J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 1997, 18(2):117–126(in Chinese with English abstract).
- [24] 魏菊英, 王关玉. 稳定同位素地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1988:1–80.
- Wei Juying, Wang Guanyu. *Stable Isotope Geochemistry* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988:1–80(in Chinese).

Element geochemistry of ore–bearing rock series in the Getang gold deposit, Guizhou Province

HUANG Jian–guo^{1,2}, LI Hu–jie¹, LI Wen–jie¹, DONG Lei¹

(1. *College of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China*; 2. *College of Resource and Environment Engineering, Guizhou University, Guiyang 550003, Guizhou, China*)

Abstract: The Getang gold deposit in Guizhou Province has large reserves, high grade, special formation circumstances, and typical double ore–controlling characteristics; one is the horizon, and the other is the karst unconformity. There are varied (silicification, tectonic) breccias, low–temperature hydrothermal minerals (realgar, orpiment, stibnite and fluorite etc.) and wall rock alteration mineral assemblages in the ore–bearing rock of the Getang gold deposit. Its hydrothermal ore–forming stage can be divided into two metallogenic stages. The first is the main ore–forming stage—pyrite stage and the second is the late ore–forming stage—fluorite stage. Based on a systematic study of trace elements (Co/Ni and Th/U), REE, sulfur isotopes (pyrite and stibnite) composition characteristics of single minerals (pyrite and fluorite) and ore–bearing rocks (horizon), the authors tentatively hold that the Getang gold deposit possesses normal seawater sedimentation characteristics, its ore–bearing layer was developed in a marine and poor oxygen environment, and the initial ore–forming material was probably related to Emeishan basalt activity, but late deep material may have had contributions to mineralization for further enrichment of Au.

Key words: Getang gold deposit; ore–bearing rock series; pyrite; fluorite; geochemistry

About the first author: HUANG Jian–guo, male, born in 1980, doctor candidate and assistant researcher, specializes in Geology; E–mail: hkg0816@126.com.