

赵平, 李爱民, 刘建中 等. 应用 ICP-MS 研究黔西南地区构造蚀变体稀土元素地球化学特征[J]. 岩矿测试 2017, 36(1): 89-96.
ZHAO Ping, LI Ai-min, LIU Jian-zhong, et al. Application of ICP-MS to Study REE Geochemistry of Structure Alteration Rocks in Southwestern Guizhou Province, China[J]. Rock and Mineral Analysis 2017, 36(1): 89-96.
【DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.2017.01.013】

应用 ICP-MS 研究黔西南地区构造蚀变体稀土元素地球化学特征

赵平^{1,2,3}, 李爱民⁴, 刘建中⁵, 夏勇⁶, 严春杰^{3*}, 王泽鹏⁴, 杨刚^{1,2}, 陈菊^{1,2}

1. 贵州省地质矿产中心实验室, 贵州 贵阳 550018;
2. 国土资源部贵阳矿产资源监督检测中心, 贵州 贵阳 550018;
3. 中国地质大学(武汉)材料与化学学院, 湖北 武汉 430074;
4. 山西省岩矿测试应用研究所, 山西 太原 030001;
5. 贵州省地质矿产勘查开发局一〇五地质大队, 贵州 贵阳 550018;
6. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 构造蚀变体(SBT)是沉积作用、构造作用和热液蚀变的综合产物。SBT作为黔西南地区金、锑、萤石等矿产的重要就位空间,金锑矿成矿与其密切相关。近年在黔西南地区发现了丰富的金资源量,关键在于SBT体系的提出及与之为核心的成矿模式的建立和应用。本文应用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)分析了黔西南台地相区典型矿床的SBT样品,揭示稀土元素的地球化学特征。结果表明,不同矿区SBT的 $\Sigma\text{REE} = 49.55 \times 10^{-6} \sim 271.72 \times 10^{-6}$,含量变化较大, LREE/HREE = 5.62 ~ 13.59,轻重稀土分馏明显,轻稀土富集; SBT对北美页岩和CI球粒陨石标准化配分模式图均表现为轻稀土富集的右倾型、“四分组”效应明显、强烈热液作用,为同一体系的产物;大厂至戈塘一线显示高的正铈异常,推测有两个方向含矿热液在此汇聚。本文系统对比了黔西南地区SBT稀土元素地球化学特征,反映该区成矿流体来源及演化,为本区微细浸染型金矿的成矿预测提供了依据。

关键词: 黔西南金矿; 构造蚀变体(SBT); 金矿成矿作用; 稀土元素; 电感耦合等离子体质谱法

中图分类号: P578.11; O614.33; O657.63 文献标识码: A

构造蚀变体(SBT),产于中二叠统茅口组(P_2m)和上二叠统龙潭组(P_3l)或峨眉山玄武岩组($P_3\beta$)之间沉积间断面-不整合界面附近的一套深灰色中层强硅化角砾状硅质蚀变岩石及角砾状黏土岩或角砾状凝灰岩组合,由区域性构造作用形成并经热液蚀变的构造蚀变岩石,是沉积作用、构造作用和热液蚀变的综合产物,包含 P_2m 顶部灰岩和 P_3l 底部黏土岩(或 $P_3\beta$ 底部)两部分^[1-3]。SBT作为黔西南地区金、锑、萤石等矿产的重要就位空间,金

锑矿成矿与SBT密切相关,水银洞金矿赋存于SBT中Ia-1矿体金资源量达69吨,为区内最大的金矿体,大厂锑矿也赋存其中。黔西南地区累计查明金资源量628吨,赋存于SBT中金约110吨,锑20万吨。近年来,区内新增金资源量246吨,取得贵州金矿找矿历史性突破,其关键在于SBT体系的提出及其以之为核心的成矿模式的建立和应用。

关于黔西南地区SBT稀土元素地球化学特征,前人已有一些研究,但主要集中在某一矿床,未开展

收稿日期: 2016-02-29; 修回日期: 2016-09-20; 接受日期: 2017-01-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51364005); 中国地质调查局贵州贞丰—普安金矿整装勘查区关键基础地质研究项目(12120114016301); 黔地矿科技合作项目(2014-05)

作者简介: 赵平, 博士研究生, 工程技术应用研究员, 从事资源综合利用与分析测试技术研究。E-mail: 408658867@qq.com。

通讯作者: 严春杰, 教授, 博士生导师, 从事资源综合利用研究。E-mail: chjyan2005@126.com。

区域上系统的 SBT 稀土元素地球化学研究。因此,本文拟以黔西南水银洞、戈塘、泥堡、雄武、贞丰背斜金矿、大厂锑矿的 SBT 为研究对象,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)研究其稀土元素地球化学特征,为本区微细浸染型金矿的成矿预测提供依据。

1 样品采集和分析

1.1 样品采集和处理

本次系统采集水银洞金矿、戈塘金矿、泥堡金矿、雄武金矿、贞丰背斜金矿、大厂锑矿 SBT 及围岩样品(图 1)。水银洞金矿 18 件,其中 SBT 14 件,龙潭组 3 件,茅口组 1 件;戈塘金矿 7 件,其中 SBT 3 件,龙潭组 2 件,茅口组 2 件;泥堡金矿 30 件,其中 SBT 13 件,龙潭组 15 件,茅口组 2 件;雄武金矿 8 件,其中 SBT 5 件,龙潭组 2 件,茅口组 1 件;贞丰背斜金矿 10 件,其中 SBT 9 件,龙潭组 1 件;大厂锑矿 6 件,其中 SBT 4 件,茅口组 1 件,峨眉山玄武岩组 1 件。单件样品质量约 1 kg,风干后加工至 200 目待分析。

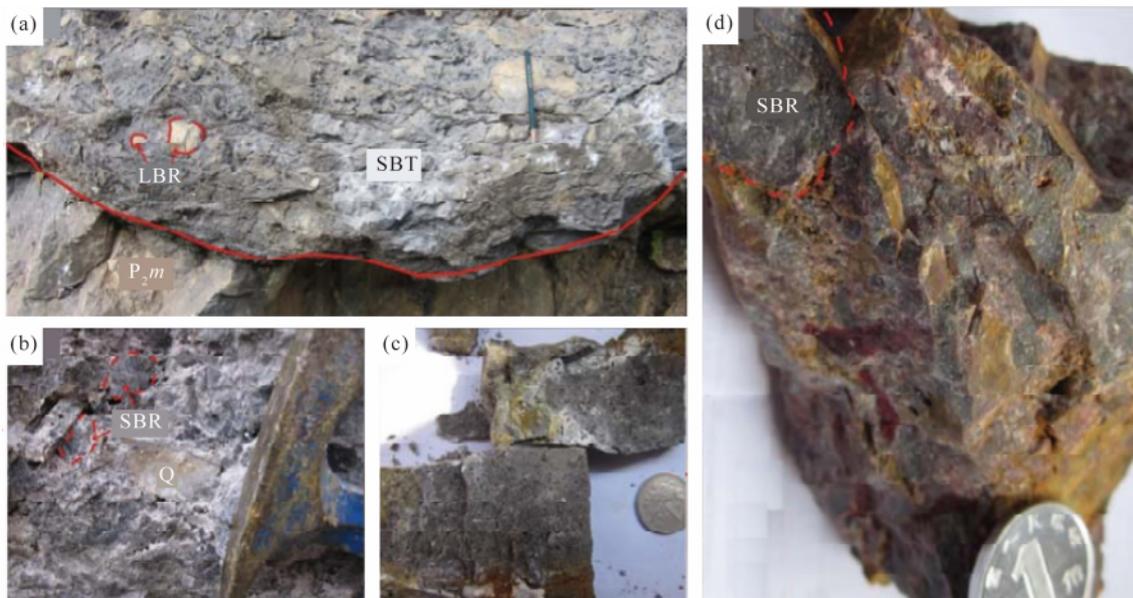
1.2 ICP-MS 分析测试方法

稀土元素的分析在贵州省地质矿产中心实验室完成。样品处理过程:称取 50 mg 粉末(200 目以下)于带不锈钢外套的密封样装置中,加入 1 mL 氢氟酸,在电热板上蒸干以去掉大部分 SiO_2 ,再加入 1 mL 氢氟酸和 5 mL 硝酸,盖上盖,置于烘箱中于 200℃ 分解 12 h 以上,取出冷却后于电热板上低温蒸至近干,加入 1 mL 硝酸再蒸干,重复一次。最后

加入 2 mL 硝酸和 5 mL 水,重新盖上盖,于 130℃ 溶解残渣 3 h,再取出,冷却后加入 500 ng 的 Rh 内标溶液,转移至 50 mL 离心管中,用 ICP-MS 测定稀土元素的含量^[4-6]。稀土元素数据标准化分别采用北美页岩^[7]、CI 球粒陨石^[8]。

2 SBT 稀土元素地球化学特征

测量的 SBT 稀土元素组成及特征参数见表 1。从表 1 可见,大厂、贞丰背斜、雄武、泥堡、戈塘、水银洞各矿床 SBT 中的稀土元素(ΣREE)总量分别为 $120.3 \times 10^{-6} \sim 401.8 \times 10^{-6}$ 、 $7.4 \times 10^{-6} \sim 316.5 \times 10^{-6}$ 、 $31.0 \times 10^{-6} \sim 79.6 \times 10^{-6}$ 、 $15.0 \times 10^{-6} \sim 511.3 \times 10^{-6}$ 、 $129.7 \times 10^{-6} \sim 171.0 \times 10^{-6}$ 、 $9.2 \times 10^{-6} \sim 315.7 \times 10^{-6}$,变化较大,单件样品的稀土元素含量悬殊,部分矿区 SBT 继承了茅口组灰岩、龙潭组碎屑岩或峨眉山玄武岩,戈塘地区 SBT 的 ΣREE 值远高于茅口组灰岩而低于龙潭组碎屑岩。大厂、贞丰背斜、雄武、泥堡、戈塘、水银洞各矿床 SBT 的 LREE/HREE 值分别为 7.35~16.53、2.14~21.33、3.90~8.21、6.98~19.91、5.31~6.29、4.93~21.12。样品对北美页岩和 CI 球粒陨石标准化配分模式图均表现为轻稀土富集的右倾型、铈弱负异常、“四分组”效应明显,表现为强烈热液作用(图 2、图 3)。样品北美页岩标准化钕表现为高正异常,CI 球粒陨石标准化钕高负异常;部分样品 Nd、Er、Lu 明显富集或亏损,可能受强烈热液作用影响。



(a) 雄武金矿 P_2m 与 SBT 接触带灰岩角砾; (b) 贞丰背斜硅质角砾(SBR); (c) 戈塘金矿硅化黏土岩; (d) 雄武金矿角砾状硅质岩(SBR)。

图 1 黔西南地区 SBT 岩石标本

Fig. 1 Samples collected from the SBT in Southwestern Guizhou Province

表 1 黔西南地区 SBT 稀土元素组成 ($\times 10^{-6}$) 及特征参数

Table 1 REE compositions and characteristic parameters of SBT in Southwestern Guizhou Province

样品编号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE	LREE	HREE	LREE/HREE	(La/Yb) _N	δ Eu	δ Ce
ZFSN-P ₃ l	90.49	239.10	23.02	87.50	15.72	3.56	12.00	1.51	6.43	0.97	2.54	0.34	2.01	0.31	485.50	459.39	26.11	17.60	4.24	1.21	1.24
NB-P ₂ m 平均	6.03	11.49	1.38	5.24	0.93	0.23	0.74	0.11	0.53	0.10	0.27	0.04	0.28	0.04	27.41	25.30	2.11	12.01	2.04	1.28	0.95
NB-SBT 平均	47.24	102.86	10.69	38.85	6.26	1.23	4.79	0.64	3.66	0.72	2.24	0.37	2.41	0.41	222.36	207.13	15.24	13.59	1.85	1.05	1.08
NB-P ₃ β 平均	79.04	174.69	18.40	68.06	11.09	1.85	7.72	1.01	5.54	1.05	3.16	0.49	3.13	0.48	375.70	353.12	22.58	15.64	2.38	0.93	1.09
NB-P ₃ l 平均	34.71	51.71	7.35	26.81	3.65	0.78	2.84	0.39	2.36	0.49	1.46	0.23	1.44	0.21	134.42	125.00	9.42	13.27	2.28	1.14	0.77
DC-P ₂ m	29.99	57.36	7.70	30.32	5.24	1.52	4.16	0.63	3.57	0.67	1.98	0.31	1.94	0.32	145.71	132.12	13.58	9.73	1.46	1.53	0.90
DC-SBT 平均	49.09	111.56	13.85	57.70	10.95	3.55	8.93	1.34	6.99	1.19	3.14	0.44	2.58	0.41	271.72	246.69	25.03	9.86	1.80	1.68	1.01
DC-P ₃ β	30.52	67.39	9.44	42.19	8.82	2.53	5.19	0.50	1.85	0.29	0.89	0.11	0.74	0.12	170.59	160.88	9.70	16.58	3.87	1.72	0.94
SYD-ZK-P ₃ l 平均	47.78	89.32	12.00	46.98	8.19	1.86	5.60	0.68	3.22	0.55	1.59	0.22	1.34	0.21	219.56	206.14	13.42	15.36	3.36	1.28	0.88
SYD-ZK-P ₂ m	57.90	117.80	14.19	54.13	10.04	2.89	8.18	1.18	5.79	0.90	2.31	0.32	1.84	0.28	277.74	256.95	20.80	12.35	2.96	1.49	0.97
SYD-ZK-SBT 平均	30.73	50.79	6.77	26.18	4.74	1.07	3.67	0.49	2.47	0.44	1.26	0.19	1.19	0.20	130.19	120.28	9.91	12.14	2.44	1.20	0.83
GT-P ₃ m 平均	0.33	0.59	0.07	0.26	0.05	0.02	0.06	0.01	0.06	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	1.52	1.31	0.21	6.41	1.10	1.46	0.94
GT-SBT 平均	32.47	57.17	7.44	29.51	4.73	1.20	3.80	0.48	2.56	0.48	1.49	0.21	1.36	0.19	143.10	132.52	10.58	12.53	2.26	1.33	0.87
GT-P ₃ l 平均	106.70	252.65	26.17	102.81	17.34	3.89	13.90	1.82	9.46	1.76	5.30	0.72	4.58	0.67	547.75	509.55	38.20	13.34	2.20	1.17	1.13
XW-P ₂ m	10.27	10.24	2.01	7.99	1.76	0.48	1.62	0.24	1.39	0.30	0.85	0.13	0.78	0.12	38.18	32.75	5.43	6.03	1.25	1.32	0.53
XW-SBT 平均	13.95	12.95	2.49	10.01	2.07	0.60	2.46	0.32	1.86	0.39	1.12	0.17	1.00	0.16	49.55	42.07	7.48	5.62	1.32	1.23	0.51
XW-P ₃ l 平均	59.49	125.80	13.80	51.65	8.53	2.22	10.43	1.15	6.32	0.94	2.59	0.41	2.55	0.39	286.25	261.48	24.77	10.56	2.20	1.09	1.04
罗甸晚二叠世辉绿岩	24.73	55.53	7.09	32.43	6.82	2.35	6.43	0.94	5.26	1.04	2.56	0.36	2.21	0.31	148.05	128.95	19.10	6.75	1.05	1.66	0.99
贵州西部玄武岩	77.10	142.40	19.40	79.40	14.03	3.41	10.09	1.75	8.65	1.44	3.76	0.55	3.38	0.53	365.89	335.74	30.15	11.14	2.15	1.34	0.87
P ₃ β 晴隆大厂玄武岩	39.05	86.25	9.47	44.54	9.61	2.68	8.93	1.27	6.58	1.13	2.49	0.21	1.49	0.22	213.89	191.58	22.31	8.59	2.47	1.35	1.06
中国辉长岩	25.00	48.00	5.40	24.00	5.00	1.60	4.70	0.74	4.00	0.80	2.10	0.32	1.90	0.30	123.86	109.00	14.86	7.34	1.24	1.55	0.98
中国东部泥质石灰岩	10.00	19.00	2.20	9.00	1.70	0.37	1.60	0.24	1.25	0.25	0.70	0.11	0.70	0.11	47.23	42.27	4.96	8.52	1.35	1.05	0.96

注: ZFBX—贞丰背斜金矿; NB—泥堡金矿; DC—大厂锡矿; SYD—水银洞金矿; GT—戈塘金矿; XW—雄武金矿。

3 成岩成矿环境探讨

稀土元素由于具有相似的原子结构及地球化学性质,在地质作用中,往往以“整体”运移,除经受岩浆熔融外,稀土元素基本上不破坏它们的整体组成特征。同时,也可由于外界条件的变化,元素间细微差异而发生一定程度的“分馏”,它们的分馏情况能够灵敏地反映地质-地球化学作用的性质,有良好的示踪作用。因此,稀土元素如一组“同位素”一样,既被视为成岩成矿作用中良好的示踪剂,又可用于研究和查明成岩成矿环境、岩矿成因等。本文将根据黔西南地区 SBT 稀土元素地球化学特征,反映该区成岩成矿环境及成矿流体来源及演化。

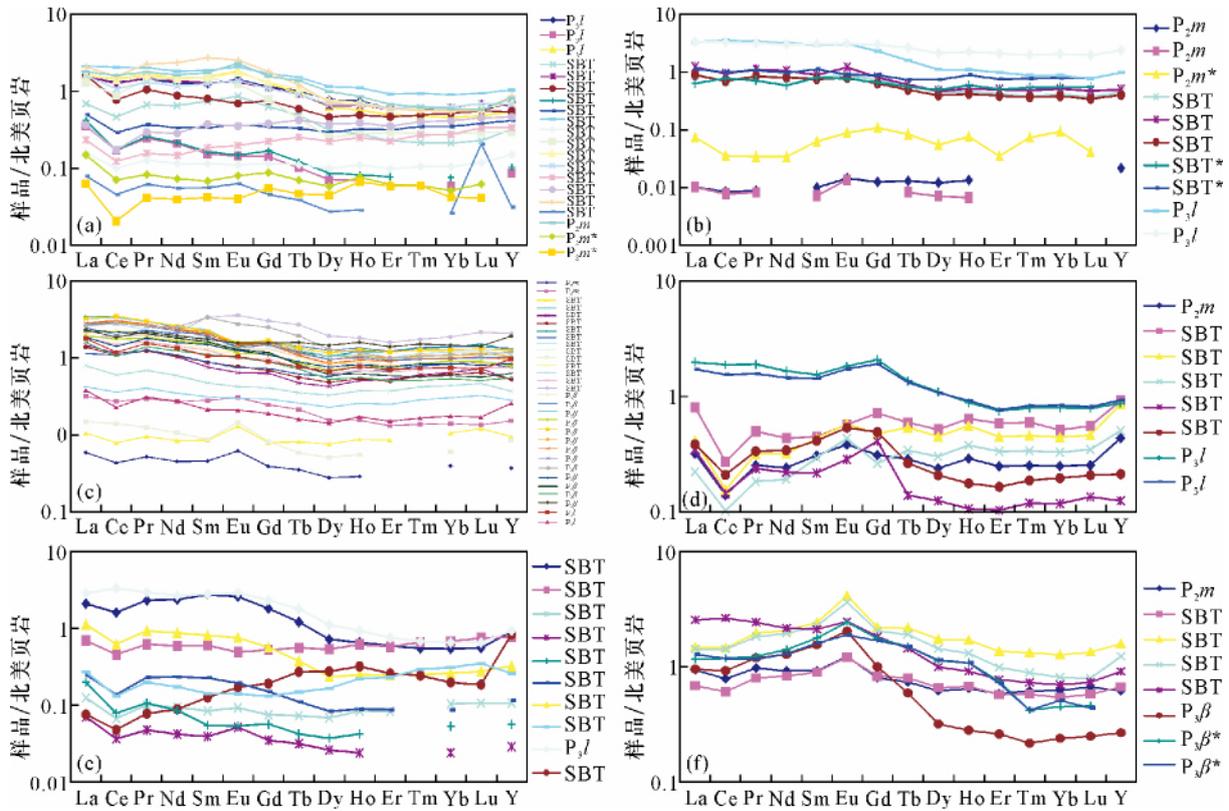
3.1 流体性质及来源

为了系统开展稀土元素地球化学特征对比,本文收集了中国辉长岩、中国东部泥质石灰岩^[9]、罗甸晚二叠世辉绿岩 10 个样品^[10]、贵州西部玄武岩 26 个样品^[11]、晴隆大厂玄武岩 2 个样品^[12]的平均稀土元素含量数据。同时,对各个矿区茅口组、SBT、峨眉山玄武岩组、龙潭组样品的稀土元素含量求平均值,见表 1。

表 1 数据显示,罗甸晚二叠世辉绿岩、中国辉绿岩、中国东部泥质石灰岩的 (La/Yb)_N 值分别为

1.05、1.24、1.35,轻重稀土分馏不明显。SBT 的 (La/Yb)_N = 1.32 ~ 2.44、茅口组 (La/Yb)_N = 1.10 ~ 2.96、龙潭组 (La/Yb)_N = 2.2 ~ 4.24, SBT、茅口组、龙潭组 (La/Yb)_N 较高,均有一定程度的轻重稀土分馏,可能与地层中含有一定量的凝灰质、玄武质碎屑有关。泥堡(凝灰岩)的 (La/Yb)_N = 2.38,轻重稀土分馏较明显;取自大厂的致密玄武岩 (La/Yb)_N = 3.87,重稀土明显亏损。

SBT 的 Σ REE 平均值为 $49.55 \times 10^{-6} \sim 271.72 \times 10^{-6}$,与泥质石灰岩相当,个别样品稀土总量较高,说明其物质构成复杂; LREE/HREE = 5.62 ~ 13.59; 铈的负异常或无异常 (δ Ce = 0.51 ~ 1.08)。SBT 北美页岩标准化模式曲线平坦,具有铈的正异常 (δ Eu = 1.05 ~ 1.33),不同于中国东部泥质石灰岩,而与罗甸晚二叠世辉绿岩一致(图 4a)。夹在茅口组和龙潭组之间有一层向东逐渐减薄的凝灰岩沉积层 δ Eu = 0.8 ~ 1.08,平均 0.93,不具有铈的异常特征(图 2c),说明凝灰岩不是 SBT 的铈异常的来源。大厂地区致密玄武岩(图 3f)重稀土明显亏损,不同于本次研究的任何地层稀土特征。因此, SBT 是受构造热液蚀变作用形成,大气水和成岩过程中释放出来的水不能形成富含铈的热液,热液活动过



(a) 水银洞地区; (b) 戈塘地区; (c) 泥堡地区; (d) 雄武地区; (e) 贞丰背斜地区; (f) 大厂地区。

图 2 黔西南 SBT 稀土元素北美页岩配分模式图

Fig. 2 The North American Shale REE patterns of SBT in Southwestern Guizhou Province

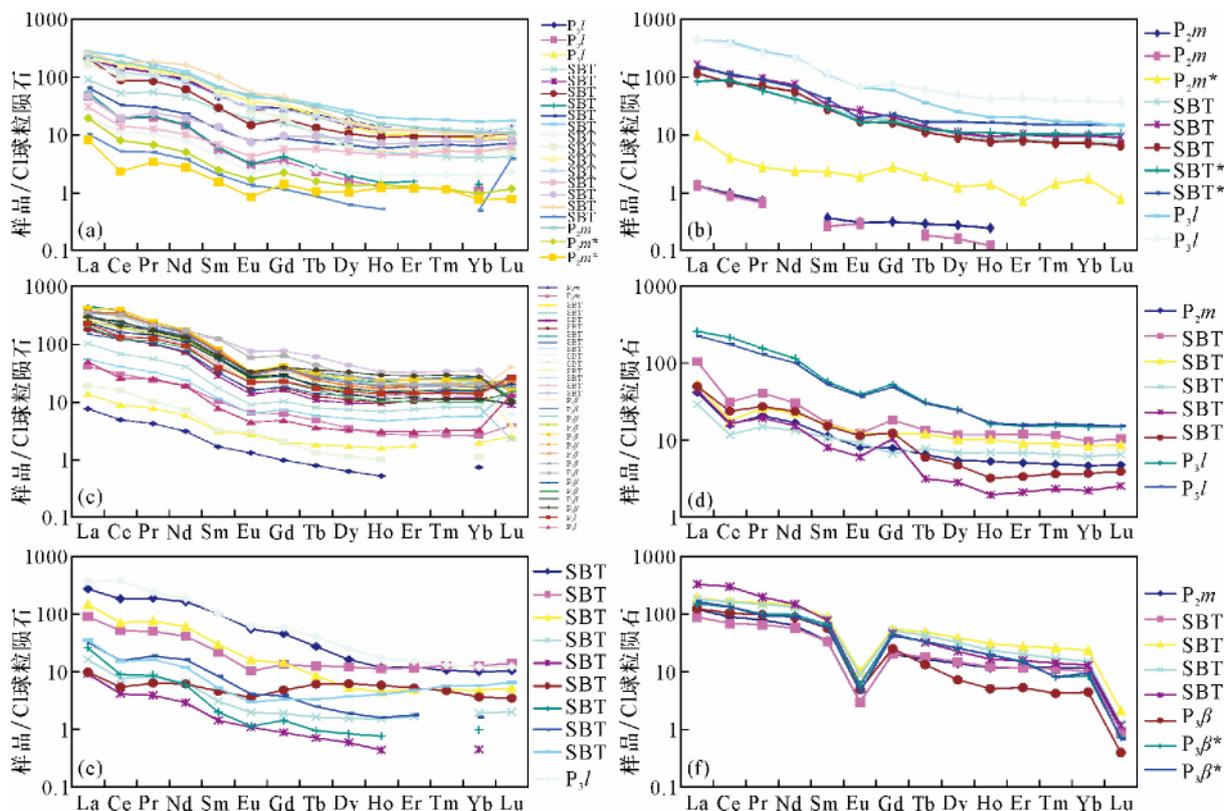
程中应该有富含铕的流体的加入。研究表明,斜长石对铕的分配系数远远大于其他稀土元素,在各类岩浆岩中铕异常的产生常与斜长石的结晶有关^[13], SBT 中铕的正异常可能说明了来自深源的流体或经历了相对富含斜长石的源区。

区域上, SBT 之下茅口组、摆佐组均有辉绿岩侵入体,岩床(墙)状辉绿岩分布在黔西北和黔南两个地区。黔西北辉绿岩侵入围岩层位自上泥盆统化组至下二叠统茅口组,以茅口组一、二段之间居多,辉绿岩体的矿物成分与峨眉山玄武岩相同;黔南区辉绿岩侵入围岩层位均为下二叠统四大寨组中部,矿物成分主要为斜长石和辉石。来自深源的流体与茅口组或摆佐组的辉绿岩侵入体发生水-岩反应,长石分解释放的 Eu^{2+} 在高温下比较稳定,从其他 REE^{3+} 中分馏出来,在成矿流体中富集^[14]。当流体运移到 SBT 中时,由于温度降低, Eu^{2+} 被氧化为 Eu^{3+} , 并进入岩石中,从而形成明显的铕正异常。本次研究及夏勇^[16]、张瑜等^[15] 研究也认为,具有正铕异常的流体,来源于深部或至少经历过对富含斜长石源区的水-岩反应,而不是含矿地层(以泥质岩类为主)的改造热液。可见, SBT 中稀土元素特征是茅口组灰岩、峨眉山玄武

岩组凝灰岩、龙潭组泥质灰岩和深源流体相互叠加的结果,且具有区域分布特征。

3.2 铕的变化及对流体运移的指示

黔西南地区 SBT 均具有铕的正异常(图 4),但异常程度不同,将 δEu 值从小到大排列依次为泥堡—贞丰背斜—水银洞—雄武—戈塘—大厂。以戈塘—大厂连线,泥堡和水银洞正好分布在该线的两侧,呈对称分布;线上 SBT 铕异常大,线两侧异常小;水银洞和贞丰背斜离线距相等,铕异常大小也相近; SBT 铕异常大小与玄武岩分布区的远近没有关系,如大厂就在玄武岩分布区中,戈塘远离玄武岩,但它们的铕异常都较高。以上特征可能暗示来源于戈塘—大厂的南西和南东两侧的与富含斜长石的岩体发生水-岩反应后的深源流体,在戈塘—大厂连线附近汇集,从而造成了以大厂—戈塘为轴,轴上铕异常大、轴两侧铕异常小的特征(图 5),同时也指示了黔西南大面积的成矿作用与峨眉山玄武岩没有直接的关系。成矿流体为富含 $\text{Au}-\text{As}-\text{Sb}-\text{Hg}-\text{Tl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CH}_4-\text{N}_2$ 深源流体, $\text{Au}-\text{Sb}$ 共同迁移而又分别沉淀, Au 沉淀成矿后相对更富含 Sb 的热液继续运移至最有利部位沉淀成矿^[17], 金锑矿床



(a) 水银洞地区; (b) 戈塘地区; (c) 泥堡地区; (d) 雄武地区; (e) 贞丰背斜地区; (f) 大厂地区。

图 3 黔西南 SBT 稀土元素 CI 球粒陨石配分模式图

Fig. 3 The Chondrite-normalized REE patterns of SBT in Southwestern Guizhou Province

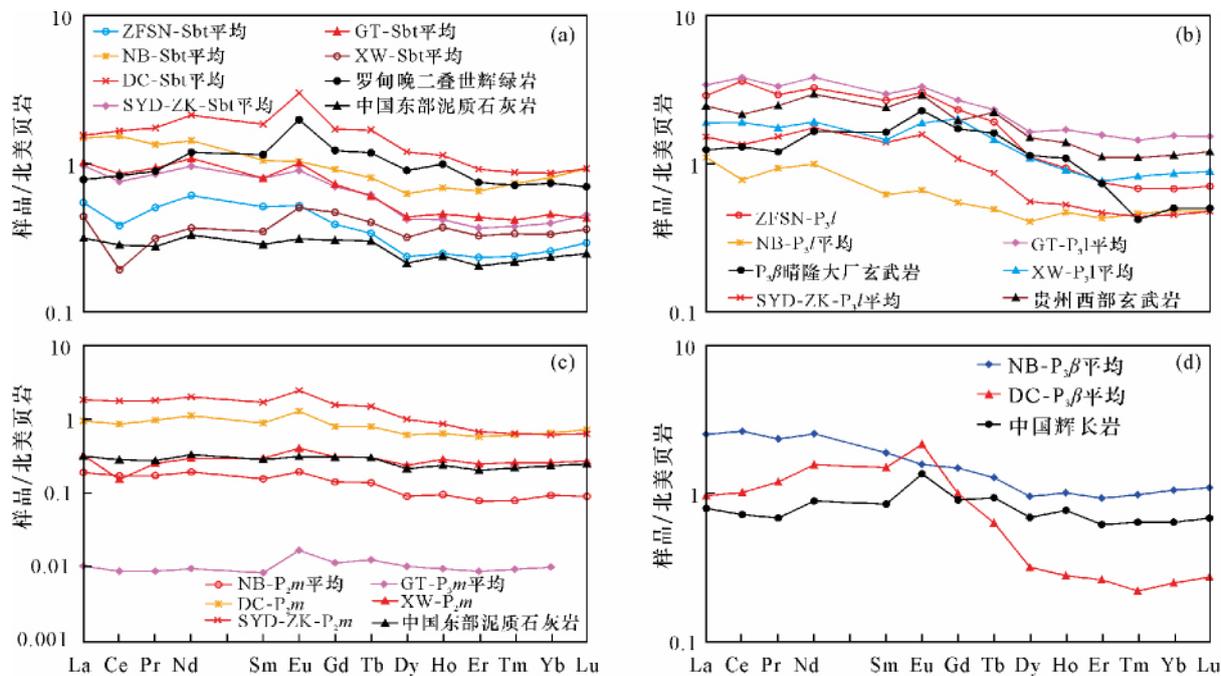
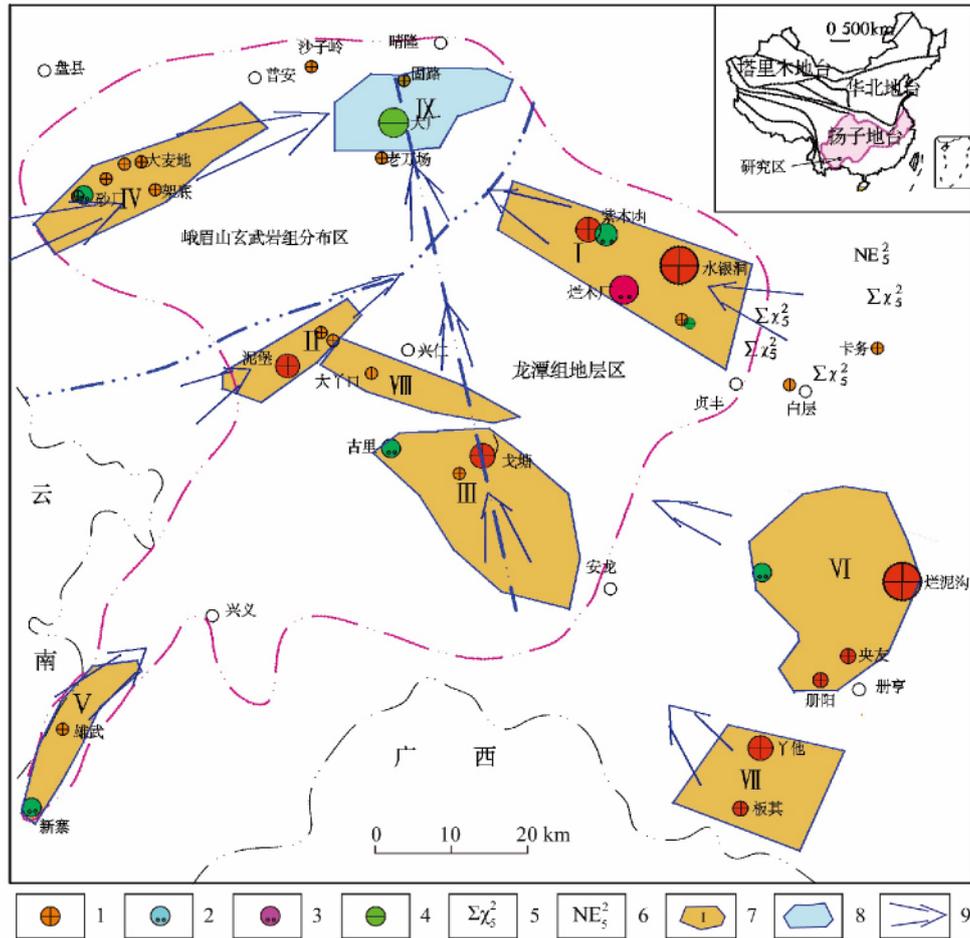


图 4 黔西南 SBT (a)、龙潭组 (b)、茅口组 (c) 及峨眉山玄武岩组 (d) 稀土元素北美页岩标准化分布型式图

Fig. 4 The North American shale REE patterns of the SBT, P₃l, P₂m, and P₃β in Southwestern Guizhou Province



1—燕山期偏碱性超基性岩类; 2—燕山期基性碱性岩类; 3—金矿床(点); 4—汞矿床(矿化点); 5—铊—汞矿床; 6—锑矿床(点); 7—金成矿区; 8—锑成矿区; 9—成矿流体迁移方向; I—灰家堡金成矿区; II—泥堡金成矿区; III—戈塘—洒雨金成矿区; IV—莲花山金成矿区; V—雄武成矿区; VI—烂泥沟金成矿区; VII—板其—丫他金成矿区; VIII—包谷地成矿区; IX—大厂锑成矿区。

图 5 贵州西南部地区金锑矿成矿流体迁移方向示意图

Fig. 5 Migration direction of ore-forming fluids for gold-antimony deposits in Southwestern Guizhou Province

之间的空间关系,可能代表了成矿流体的迁移方向;成矿流体迁移方向的反方向可能具有较大的找矿空间;金锑矿床平面连线之间仍具有找金的潜力,锑矿床或锑矿化区域不太可能成金矿床。

4 结论

SBT 作为黔西南地区金、锑、萤石等矿产的重要就位空间,金锑矿成矿与 SBT 密切相关。不同矿区 SBT 稀土配分模式的相似性显示为同一体系的产物,大厂、贞丰背斜、雄武、泥堡、戈塘、水银洞各矿床 SBT 中的 ΣREE 和 LREE/HREE 变化较大,单件样品稀土含量悬殊,物质构成复杂。北美页岩标准化表现为高的 Eu 正异常。研究表明,SBT 中稀土元素特征是茅口组灰岩、峨眉山玄武岩组凝灰岩、龙潭组泥质灰岩和深源流体相互叠加的结果,且具有特定

的区域分布特征;区域上 SBT 稀土北美页岩、CI 球粒陨石标准化配分模式图均表现为轻稀土富集的右倾型、“四分组”效应明显,表现为强烈热液作用。大厂至戈塘一线显示的高的正铈异常,可能代表了两个方向的含矿热液在此汇聚。

本研究通过采用高分辨率、高灵敏度的 ICP-MS 开展 SBT 系统的稀土元素地球化学的研究,指示了区域上成矿流体的来源和演化,为本区卡林型金矿的成矿预测提供了依据。

5 参考文献

[1] 刘建中,刘川勤. 贵州水银洞金矿床成因探讨及成矿模式[J]. 贵州地质 2005 22(1): 9-13.
Liu J Z, Liu C Q. Origin and metallogenic model for Shuiyingdong gold deposit of Guizhou [J]. Guizhou Geology 2005 22(1): 9-13.

- [2] 刘建中,夏勇,张兴春,等.层控卡林型金矿床矿床模型——贵州水银洞超大型金矿[J].黄金科学技术,2008,16(3):1-5.
Liu J Z,Xia Y,Zhang X C,et al. Model of strata karlin-type gold deposit: The Shuiyindong super-scale gold deposit[J]. Gold Science and Technology,2008,16(3):1-5.
- [3] 刘建中,夏勇,邓一明,等.贵州水银洞 SBT 研究及区域找矿意义探讨[J].黄金科学技术,2009,17(3):1-5.
Liu J Z,Xia Y,Deng Y M,et al. Researches on the Sbt of Shuiyindong gold deposit and significance for regional prospecting [J]. Gold Science and Technology,2009,17(3):1-5.
- [4] 贾双琳,赵平,杨刚,等.混合酸敞开或高压密闭溶样 ICP-MS 测定地质样品中的稀土元素[J].岩矿测试,2014,33(2):186-191.
Jia S L,Zhao P,Yang G,et al. Quick determination of rare earth elements in geological samples with open acid digestion or high-pressure closed digestion by inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. Rock and Mineral Analysis,2014,33(2):186-191.
- [5] 赵平,金会心,毛小浩,等.含稀土磷精矿酸解过程稀土的分布规律[J].有色金属(冶炼部分),2015(11):33-35.
Zhao P,Jin H X,Mao X H,et al. Distribution of Re during acid leaching of REE-bearing phosphorus concentrates [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy),2015(11):33-35.
- [6] Qi L,Hu J,Conrad G D. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Talanta,2000,51(3):507-513.
- [7] Su W C,Zhang H T,Hu R Z,et al. Mineralogy and geochemistry of gold-bearing arsenian pyrite from the Shuiyindong carlin-type gold deposit,Guizhou,China: Implications for gold depositional processes [J]. Mineralium Deposita,2012,47(6):653-662.
- [8] Sun S S,McDonough W F. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implication for the Mantle Composition and Process [M]//Saunders A D,Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins. London: Geological Society of London Special Publication,1989:313-345.
- [9] 迟清华,鄯明才编著.应用地球化学元素丰度数据手册[M].北京:地质出版社,2007:27-51.
Chi H Q,Yan M C. Handbook of Elemental Abundance for Applied Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House,2007:27-51.
- [10] 韩伟,罗金海,樊俊雷,等.贵州罗甸晚二叠世辉绿岩及其区域构造意义[J].地质论评,2009,55(6):795-803.
Han W,Luo J H,Fan J L,et al. Late permian diabase in Luodian, Southeastern Guizhou, and its tectonic significances [J]. Geological Review,2009,55(6):795-803.
- [11] 成杭新,庄广民,赵传冬,等.贵州西部 Pt、Pd 异常源稀土元素地球化学示踪的初步研究[J].地质与勘探,2003,39(2):46-51.
Cheng H X,Zhuang G M,Zhao C D. A preliminary study on REE geochemical trace for anomaly source of Pt and Pd in Western Guizhou Province [J]. Geology and Prospecting,2003,39(2):46-51.
- [12] 陈代演.滇东黔西区层控锑、汞矿床的元素组合及其产生原因初析[J].矿产与地质,1993,7(4):247-252.
Chen D Y. Element associations and their genesis in strata-bound Sb-Hg ore deposit in Eastern Yuanan and Western Guizhou [J]. Mineral Resources and Geology,1993,7(4):247-252.
- [13] 韩吟文,马振东编著.地球化学[M].北京:地质出版社,2003.
Han Y W, Ma Z D. Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House,2003.
- [14] 王中刚,于学元,赵振华编著.稀土元素地球化学[M].北京:科学出版社,1989.
Wang Z G,Yu X Y,Zhao Z H. Rare Earth Elements Geochemistry [M]. Beijing: Science Press,1989.
- [15] 张瑜,夏勇,王泽鹏,等.贵州簸箕田金矿单矿物稀土元素和同位素地球化学特征[J].地学前缘,2010,17(2):385-395.
Zhang Y,Xia Y,Wang Z P,et al. REE and stable isotope geochemical characteristics of Bojitian gold deposit, Guizhou Province [J]. Earth Science Frontiers,2010,17(2):385-395.
- [16] 夏勇.贵州贞丰县水银洞金矿床成矿特征和金的超常富集机制研究[D].贵阳:中国科学院地球化学研究所,2005.
Xia Y. Characteristics and model for shuiyindong gold deposit in Southwestern Guizhou,China [D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences,2005.
- [17] Wang Z P,Xia Y,Song X Y,et al. Study on the evolution of ore-formation fluids for Au-Sb ore deposits and the mechanism of Au-Sb paragenesis and differentiation in the Southwestern part of Guizhou Province,China [J]. Chinese Journal of Geochemistry,2013,32:56-68.

Application of ICP-MS to Study REE Geochemistry of Structure Alteration Rocks in Southwestern Guizhou Province, China

ZHAO Ping^{1 2 3}, LI Ai-min⁴, LIU Jian-zhong⁵, XIA Yong⁶, YAN Chun-jie^{3*}, WANG Ze-peng⁴, YANG Gang^{1 2}, CHEN Ju^{1 2}

1. Guizhou Central Laboratory of Geology and Mineral Resources, Guiyang 550018, China;
2. Guiyang Supervision and Testing Center of Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guiyang 550018, China;
3. Faculty of Materials Science and Chemistry, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China;
4. Shanxi Research Institute of Rock and Mineral Analysis Application, Taiyuan 030001, China;
5. Geological Party 105, Guizhou Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guiyang 550018, China;
6. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China)

Highlights:

- Geochemical similarity of SBTs from different locations indicates that they are the products by the same hydrothermal process.
- The high positive europium anomalies in Getang-Dachang area may suggest the convergence of two hydrothermal ore fluid systems with different directions at this region.
- This study characterized the REE content and its distribution in SBT from SW Guizhou. This is crucial for understanding origin and evolution of ore fluids, and then provides guidance for gold prospecting in SW Guizhou.

Abstract: The structure alteration rocks (named as SBT) is the product of sedimentation, tectonization, and hydrothermal alteration. It is the major body hosting many ore deposits such as gold, antimony, and fluorite in Southwest Guizhou. Recently establishment and application of a metallogenic model based on the SBT made a significant breakthrough in gold prospecting in Southwest Guizhou. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) was used to determine REE concentrations of SBT samples from several typical ore deposits in Southwest Guizhou. The results show that: (1) Σ REE concentrations of SBT from different locations are variable, ranging from 49.55×10^{-6} to 271.72×10^{-6} (in Table 1). (2) The SBT is enriched in LREE, with LREE/HREE ranging from 5.62 to 13.59 (in Table 1). The REE patterns normalized to North American shale and chondrite display enrichment of LREE and distinct 'Four grouping' effect, indicating that they are the products of the same hydrothermal process (in Fig. 2 - Fig. 4). The strongly positive europium anomalies in the Getang-Dachang area suggest the convergence of two hydrothermal ore fluid systems with different directions in this region. This study characterized the REE content and its distribution in SBT from Southwest Guizhou Province, which is crucial for understanding the origin and evolution of ore-forming fluids, and provides guidance for gold prospecting in Southwest Guizhou Province.

Key words: gold deposit in Southwest Guizhou Province; structure alteration rocks (SBT); gold mineralization; rare earth elements; Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

