

贵州修文比例坝铝土矿成矿物质来源及沉积环境研究

张明¹,汪小勇¹,刘建中²,何金坪¹,龙成雄¹

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 105 地质大队,贵州 贵阳 550018; 2. 贵州省地质矿产
勘查开发局,贵州 贵阳 550004)

[摘要]本文以比例坝铝土矿为对象,研究了矿床稀土元素地球化学特征,U、Th等沉积地球化学标志元素特征,进而对其成矿物质来源、沉积环境进行了讨论。结果表明,矿石中稀土配分模式为轻稀土富集型,具明显Eu负异常,与下寒武统娄山关群白云岩稀土特征参数和配分模式相似,矿床成矿物质可能主要来源于寒武统娄山关群白云岩。沉积环境为以相对还原环境沉积为主导、形成于半咸水-咸水淡化泻湖环境。

[关键词]铝土矿;物质来源;沉积环境;比例坝;贵州

[中图分类号]P618.45 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2018)02-0088-07

贵州铝土矿广布,自贵阳-清镇一线及凯里-黄平,北经修文、息烽、开阳、遵义、正安、道真、务川,至重庆和四川南部等地,构成北北东向长约370 km的黔中-渝南铝土矿成矿带(董家龙,2004;廖莉萍等,2004)。前人对修文铝土矿带中铝土矿从多方面进行过研究,积累了大量的结果,对于物质来源方面,多数学者(刘平,2001;陈代演等,1997)认为成矿物质与寒武系碳酸盐岩有关;沉积环境方面,尚无明确定论。而铝土矿中稀土元素与物质来源、沉积地球化学特征标志元素与沉积环境之间的关系有进一步工作的空间。

修文比例坝铝土矿为新发现的全隐伏中型铝土矿床,位于修文铝土矿带的东部,本文研究了含矿岩系、矿体及下覆娄山关群白云岩的稀土元素及沉积地球化学特征标志元素组成,对修文比例坝铝土矿成矿物质来源进行了探讨并对沉积环境进行了浅析。

1 区域成矿地质背景

研究区位于黔中古陆腹地,自晚奥陶世至早石炭世,地壳多次发生间歇性抬升运动,同时也形成了较为宽缓的褶皱和NE、NW向的断裂构造

(刘平,2001)格局,在早古生代时,受断裂构造的影响,研究区形成了受古断裂构造控制的大型断陷岩溶盆地(刘克云,1986),在早石炭纪大塘期,由于多次的小规模海侵作用,使其形成了淡化泻湖环境下的沉积盆地(刘平,2007),古红土风化壳物质受冲积、洪积搬运作用下在其间形成铝土矿(杨瑞东等,2009)。

2 矿床地质特征

比例坝铝土矿位于修文县城南西,直距约4公里。矿区属NNE向的黔中-渝南成矿带南部的修文铝土矿成矿带东部(图1)(刘平,1999)。矿区出露地层由老至新有寒武系中统高台组(E_{2g})、石冷水组(E_{2s})、中上统娄山关群(E_{2-3ls});石炭系下统九架炉(C_{1j})、摆佐组(C_{1b});二叠系中统梁山组(P_{2l})、栖霞组(P_{2q})、茅口组(P_{2m}),上统龙潭组(P_{3l})、长兴组(P_{3c});三叠系下统沙堡湾组(T_{1s})、大冶组(T_{1d})及第四系(Q)。矿区含矿地层为石炭系下统九架炉(C_{1j})(图2),上覆地层为石炭系下统摆佐组(C_{1b}),下伏地层为寒武系中统娄山关群(E_{2-3ls})。矿体呈似层状,倾向近东、倾角 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$,长约900 m,宽约1200

m。垂向上埋深最浅460 m,最深780 m。矿体平均厚4.31 m, Al_2O_3 平均品位62.80%,平均A/S

为7.80。矿石自然类型由半土状铝土矿石、鲕状铝土矿石、致密状铝土矿石组成。

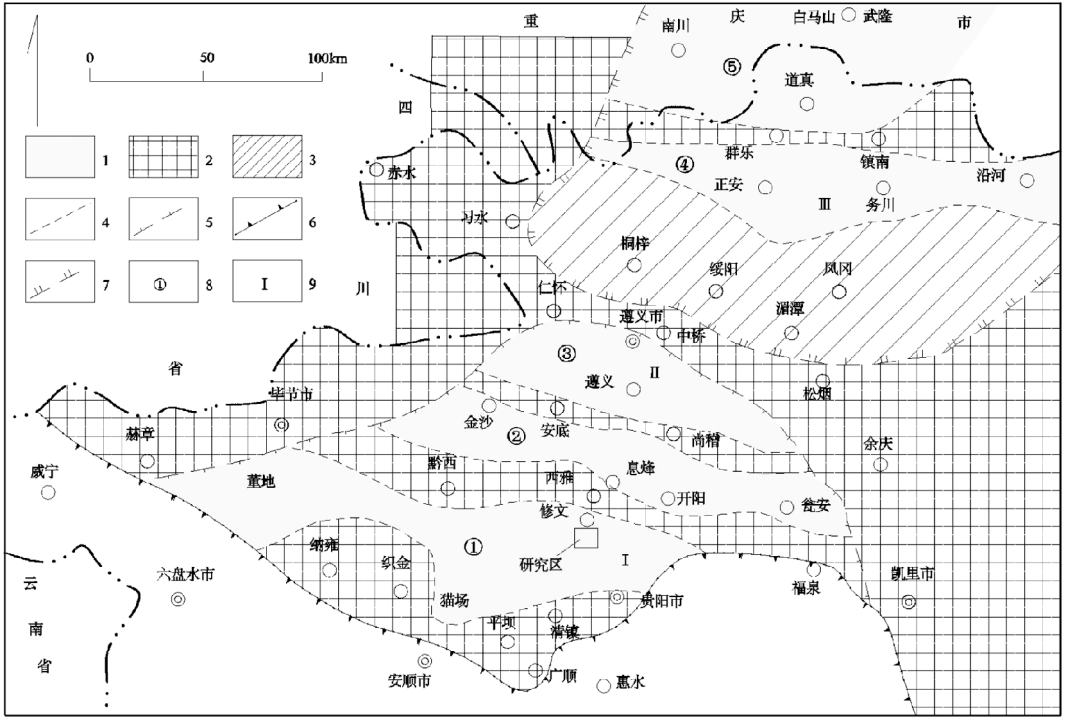


图1 黔中-渝南铝土矿含矿岩系沉积区分布略图(据刘平1999,修编)

Fig. 1 Ore-bearing sedimentary distribution of bauxite deposit in central Guizhou-South Chongqing

1—矿带范围;2—侵蚀、溶蚀、剥蚀区范围;3—基本无矿带范围;4—矿带边界线;5—九架炉组分布区(推测边界);6—石炭系海相地层分布区(推测边界);7—大园组分布区(推测边界);8—宽带编号;9—沉积区编号;①—修文铝土矿带;②—息烽铝土矿带;③—遵义铝土矿带;④—正安铝土矿带;⑤—道真铝土矿带;I—修文沉积区;II—息烽-遵义沉积区;III—绥阳-正安-道真沉积区

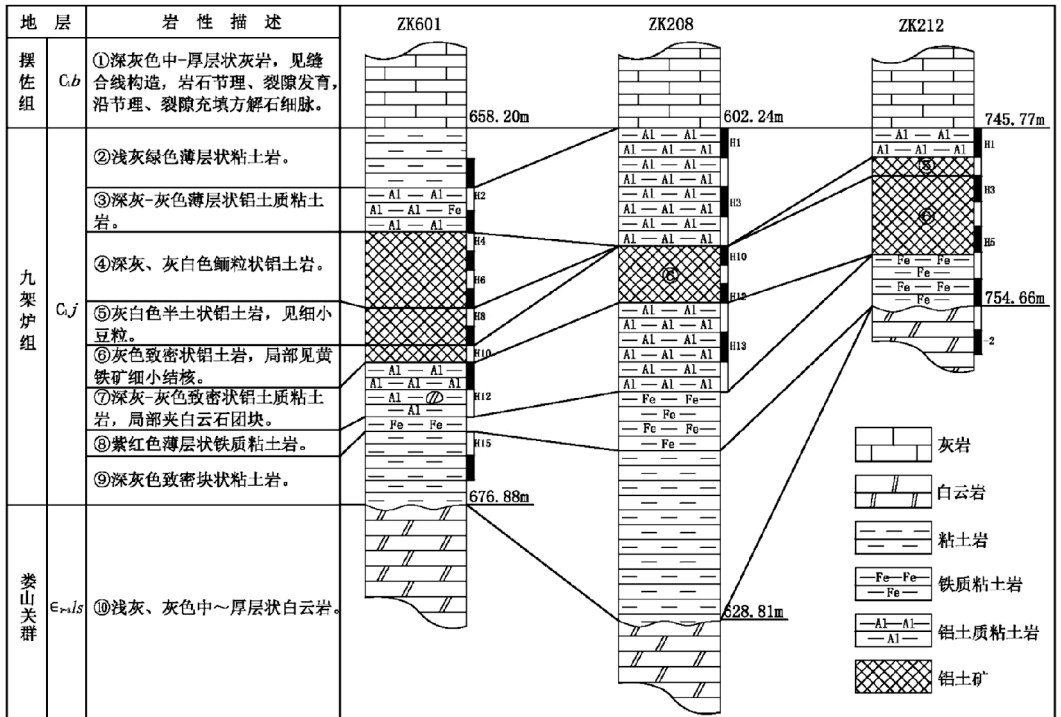


图2 比例坝铝土矿柱状对比图

Fig. 2 Comparison diagram of Biliba bauxite deposit

3 样品的采集及分析测试

3.1 样品采集

笔者在对比例坝铝土矿施工的钻孔进行仔细观察的基础上,对钻孔含矿层位进行了详细编录,通过分析比较,选取 ZK208、ZK212、ZK601 钻孔进行系统采样,采样方法为 1/2 劈芯法,对铝土矿矿层、顶板、底板连续采样,其采样位置见图 2。本次研究共采集样品 30 件,其中含矿岩系九架炉组 28 件(顶板样品 8 件;矿石样品 14 件,底板样品 6 件)、下伏地层寒武系娄山关群白云岩 2 件。

3.2 分析测试

分析测试由贵州省地质矿产中心实验室完成,分析仪器为美国 THERMO 公司生产的 X-SERIES-2 型 ICP-MS,仪器工作参数为:功率 1 150 w;分辨率 0.75 amu;采样锥孔径 1.0 mm;截取锥孔径 0.7 mm;冷却气(Ar) 13 L/min;雾化器流速(Ar) 0.74~0.95 L/min;进样泵速 30 rpm;氩气 ϕ (Ar)=9.999%。

分析方法及步骤简述如下:用中速滤纸(ϕ 12.5 cm)做好漏斗,称干粗样 10~20 g 于漏斗中,用 4% 的硫酸铵溶液(80~100 ml)分多次淋洗至 100 ml 容量瓶中,定容,摇匀,澄清。移取清液 1.00 ml 于聚乙烯试管中,用硝酸(3+97)稀释至 10 ml,摇匀,按选定的仪器工作条件及测定模式上机测定。本方法选择 103 Rh 作 ICP-MS 测定所有元素的单一内标元素。

4 元素地球化学特征

4.1 稀土元素特征

测试分析结果见表 1,REE 配分模式采用北美页岩(NASC)标准化作出科里尔曲线(图 3)。

矿层顶板:岩性为粘土岩、铝土质粘土岩。

稀土元素分析结果表明,稀土元素总量变化大($37.86 \times 10^{-6} \sim 228.98 \times 10^{-6}$,平均 110.87×10^{-6}),以轻稀土富集为特征,其(La/Sm)N、(Gd/Yb)N 和 (La/Yb)N 分别为 2.61~9.21(平均 5.08)、1.33~3.80(平均 2.65)和 5.98~20.59

(平均 13.78)。NASC 标准化模式曲线总体呈低值平坦曲线(图 3),LREE/HREE 值为 4.79~11.38,平均 8.01, Eu 明显负异常(0.47~0.60,平均 0.54),Ce 弱负异常到明显正异常(0.72~1.47,平均 1.02)。

铝土矿矿石:矿石自然类型由半土状铝土矿、鲕状铝土矿、致密状铝土矿组成,各类矿石的稀土元素组成特征基本相似,NASC 标准化模式曲线总体呈平坦曲线(图 3)。鲕粒状铝土矿稀土元素总量变化大($401.06 \times 10^{-6} \sim 1\ 120.76 \times 10^{-6}$,平均 736.77×10^{-6})以轻稀土富集为特征,其(La/Sm)N、(Gd/Yb)N 和(La/Yb)N 分别为 8.06~10.22(平均 8.92)、1.58~1.94(平均 1.76)和 14.5121.01(平均 17.30),LREE/HREE 值为 9.19~11.93,平均 10.32, Eu 明显负异常(0.40~0.84,平均 0.53),Ce 明显负异常到异常不明显(0.69~1.05,平均 0.78);半土状铝土矿稀土元素总量较高($1\ 198.92 \times 10^{-6} \sim 1\ 269.72 \times 10^{-6}$,平均 $1\ 284.32 \times 10^{-6}$),以轻稀土富集为特征,其(La/Sm)N、(Gd/Yb)N 和(La/Yb)N 分别为 8.10~8.73(平均 8.41)、1.98~2.12(平均 2.05)和 19.19~19.65(平均 19.42),LREE/HREE 值为 10.92~11.31,平均 11.11, Eu 明显负异常(0.38~0.39,平均 0.39),Ce 明显负异常(0.68~0.69,平均 0.68);致密状铝土矿稀土元素总量变化大($493.88 \times 10^{-6} \sim 1\ 495.25 \times 10^{-6}$,平均 838.27×10^{-6}),以轻稀土富集为特征,其(La/Sm)N、(Gd/Yb)N 和(La/Yb)N 分别为 4.65~8.21(平均 6.26)、1.90~2.56(平均 2.30)和 8.81~20.29(平均 15.80),LREE/HREE 值为 3.17~11.66,平均 8.27, Eu 明显负异常(0.47~0.91,平均 0.60),Ce 明显负异常到弱正异常(0.46~1.12,平均 0.68)。

矿层底板:岩性为、铁质粘土岩、铝土质粘土岩、粘土岩。稀土元素分析结果表明,稀土元素总量变化大($77.80 \times 10^{-6} \sim 691.28 \times 10^{-6}$,平均 344.43×10^{-6}),以轻稀土富集为特征,其(La/Sm)N、(Gd/Yb)N 和(La/Yb)N 分别为 3.40~6.96(平均 4.56)、1.57~3.08(平均 2.15)和 4.86~11.26(平均 8.64)。铁质粘土岩和铝土质粘土岩 NASC 标准化模式曲线总体呈平坦曲线(图 3),粘土岩 NASC 标准化模式曲线呈微上扬趋势(图 3),LREE/HREE 值为 1.04~5.62,平均 4.16, Eu 明显负异常(0.35~0.66,平均 0.53),Ce 明显负

表 1 修文比例坝铝土矿微量元素含量及相关参数
Table 1 Trace elements content and relative parameters of Biliba bauxite deposit in Xiuwen

送样编号	样品名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	U	Sr	Ba	ΣREE	δCe	δEu	LREE	HREE	LREE/HREE	(La/Yb) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N	Th/U	Sr/Ba	
ZK601-H1	粘土岩 (顶板)	26.76	51.41	6.72	24.90	3.45	0.4	3.03	0.4	2.31	0.4	1.52	0.2	1.45	0.2	1.60	10.0	174.	159.0	123.39	0.8	0.3	113.66	9.73	11.69	18.50	7.74	2.10	0.2	1.09	
ZK212-H1		49.20	109	11.40	33.70	5.34	1.23	3.02	0.48	5.34	1.23	3.02	0.48	2.39	0.44	6.57	5.42	273	84	228.98	1.05	0.60	209.71	19.27	10.88	20.59	9.21	2.28	1.21	3.25	
ZK208-H1		24	41	5.77	22	4.55	0.77	4.02	0.58	3.24	0.68	1.87	0.31	1.56	0.29	8.43	2.92			110.64	0.80	0.53	98.09	12.55	7.82	15.38	5.27	2.58	2.89		
ZK208-H2	铝土质	29	74	6.89	27	4.99	0.85	4.64	0.57	2.84	0.62	1.73	0.29	1.55	0.30	8.83	2.73			155.27	1.20	0.54	142.73	12.54	11.38	18.71	5.81	2.99	3.23		
ZK208-H3	粘土岩	23	37	6.22	26	5.80	0.99	5.89	0.76	3.66	0.78	2	0.31	1.57	0.29	7.61	2.26			114.27	0.72	0.51	99.01	15.26	6.49	14.65	3.97	3.75	3.37		
ZK208-H4	(顶板)	7.66	26	2.20	9.20	2.93	0.64	3.88	0.50	2.58	0.52	1.25	0.20	1.02	0.20	4.88	1.14			58.78	1.47	0.58	48.63	10.15	4.79	7.51	2.61	3.80	4.28		
ZK601-H2		13.73	29.80	3.63	13.68	2.63	0.35	1.85	0.33	1.63	0.33	0.99	0.14	1.01	0.15	1.20	6.10	228	168	70.26	0.97	0.47	63.84	6.42	9.94	13.65	5.22	1.84	0.20	1.36	
ZK601-H3		6.64	14.23	1.76	6.47	1.93	0.31	1.48	0.33	1.79	0.38	1.10	0.17	1.11	0.17	0.70	4.20	110	188	37.86	0.96	0.53	31.33	6.53	4.80	5.98	3.44	1.33	0.17	0.59	
ZK212-H4	鲕粒状	103	152	25.60	73.10	10.60	1.93	9.62	1.76	9.05	2.09	5.43	0.97	4.97	0.94	16	11	361	47	401.06	0.76	0.84	366.23	34.83	10.51	20.72	9.72	1.94	1.45	7.68	
ZK601-H4		128.06	183.28	27.95	96.38	15.88	2.68	13.65	2.34	12.38	2.55	7.86	1.20	8.25	1.20	18	21	522	211	503.66	0.69	0.54	454.23	49.44	9.19	15.52	8.06	1.66	0.86	2.47	
ZK601-H5	粘土岩	157.77	345.03	35.26	117.10	18.55	2.86	16.90	3.16	16.28	3.41	10.38	1.54	10.71	1.58	22	29	629	135	740.53	1.05	0.49	676.58	63.96	10.58	14.73	8.50	1.58	0.76	4.66	
ZK601-H6	矿石	289.12	433.01	65.51	214.46	28.30	3.70	26.12	4.35	20.68	4.24	13.54	1.96	13.76	2.03	35	37	1157	55.10	120.76	0.71	0.41	1034.10	86.67	11.93	21.01	10.22	1.90	0.95	21	
ZK601-H7		209.14	332.80	57.68	200.41	25.87	3.39	25.12	4.31	21.81	4.56	14.13	2.08	14.41	2.12	54	39	789	42.80	917.81	0.70	0.40	829.27	88.54	9.37	14.51	8.09	1.74	1.38	18.43	
ZK601-H8	半土状铝	268.76	398.56	64.85	239.86	30.78	3.89	29.01	4.75	22.02	4.53	14.19	2	13.68	2.05	27	42	1202	44.80	1098.92	0.69	0.39	1006.69	92.22	10.92	19.65	8.73	2.12	0.64	26.83	
ZK601-H9	土质矿石	305.13	451.25	77.28	290.75	37.69	4.45	31.47	5.27	24.58	5.07	16.23	2.30	15.90	2.35	28	48	1579	51	1269.72	0.68	0.38	1166.55	103.17	11.31	19.19	8.10	1.98	0.58	30.96	
ZK212-H3		125	169	33.10	101	15.60	2.81	14	2.45	12.40	2.79	7.21	1.22	6.17	1.13	12	17	252	48	493.88	0.62	0.58	446.51	47.37	9.43	20.26	8.01	2.27	0.71	5.25	
ZK212-H4		128	172	33.20	98.80	15.60	2.88	13.70	2.54	12.50	2.75	7.05	1.24	6.31	1.17	11	13	342	58	497.74	0.65	0.91	450.48	47.26	9.53	20.29	8.21	2.17	0.85	5.90	
ZK212-H5	致密状	153	185	42.90	141	24.50	4.44	21.60	3.69	17.80	4.01	10.10	1.81	8.98	1.65	14	19	496	66	620.48	0.46	0.65	550.84	69.64	7.91	17.04	6.24	2.41	0.74	7.52	
ZK208-H10	粘土岩	141	165	31	113	27	5.75	41	8.08	48	10	23	3.49	16	2.89	21.60	35.10			635.21	0.56	0.53	482.75	152.46	3.17	8.81	5.22	2.56	0.62		
ZK208-H11	矿石	228	343	70	251	49	8.20	44	6.70	37	7.97	21	3.62	19	3.42	21.20	36.10			1091.91	0.63	0.53	949.20	142.71	6.65	12	4.65	2.32	0.59		
ZK208-H12		285	674	66	297	48	8.20	42	5.11	25	5.67	17	3.05	17	3.28	23.10	31.30			1495.75	1.12	0.47	1377.64	118.11	11.66	16.76	5.94	2.47	0.74		
ZK601-H10		236.20	366.53	57.86	225.65	42.83	5.67	29.03	5.17	24.61	4.76	14.92	2.15	15.29	2.26	34	40	1117	219	1032.95	0.72	0.51	934.74	98.20	9.52	15.45	5.51	1.90	0.85	5.10	
ZK212-H6	铁质粘土	118	160	34.20	116	25.40	5.03	25.90	4.55	22.60	5.15	13	2.32	11.60	2.16	16	15	513	157	545.91	0.41	0.35	458.63	87.28	5.25	10.17	4.65	2.23	1.07	3.27	
ZK212-H7	岩(底板)	71.30	111	20	65.30	14.10	2.94	16.40	3.03	15.50	3.53	8.76	1.54	7.72	1.39	12	13	407	305	342.51	0.93	0.39	284.64	57.87	4.92	9.24	5.06	2.12	0.92	1.33	
ZK601-H11	铝土质粘	135	240	32	132	39	8.26	37	4.68	28	5.28	14	2.40	12	5.04	446	166	691.28	0.83	0.66	586.26	105.02	5.58		11.25	3.46	3.08	2.38	2.69		
ZK601-H12	土岩(底板)	88	178	21	80	23	4.95	17	3.58	11	1.97	10	1.59	24	9.46	212	130	465.18	0.95	0.66	394.95	70.23	5.62	8.80	3.83	2.20	2.54	1.63			
ZK601-H15	粘土岩	34	73	8.41	35	10	2.16	12	1.56	9.02	2.22	7.24	1.32	7	1.17	18	5.25	48	70	204.10	0.99	0.60	162.57	41.53	3.91	4.86	3.40	1.71	3.43	0.69	
ZK601-H16	(底板)	67	115	15	58	9.62	1.92	14	2.09	13	3	9.68	1.74	8.93	1.50	19	8.08	47	31	320.48	0.82	0.51	266.54	53.94	4.94	7.50	6.96	1.57	2.35	1.52	
ZK212-1	白云岩	49.20	109	13.90	44.50	7.93	1.39	7.64	1.52	7.14	1.67	4.29	0.78	3.92	0.74	202	78.50	253.62	0.97	0.54	225.92	27.70	8.16	12.55	6.20	1.95	2.59	2.57			
ZK212-2		6.01	14.60	1.52	4.74	1.12	0.28	1.83	0.35	1.81	0.41	0.99	0.17	0.85	0.15	91.50	13.40	34.83	1.11	0.59	28.27	6.56	4.31	7.07	5.37	2.15	4.10	6.83			

单位:×10⁻⁶。测试单位:贵州省地质矿产中心实验室

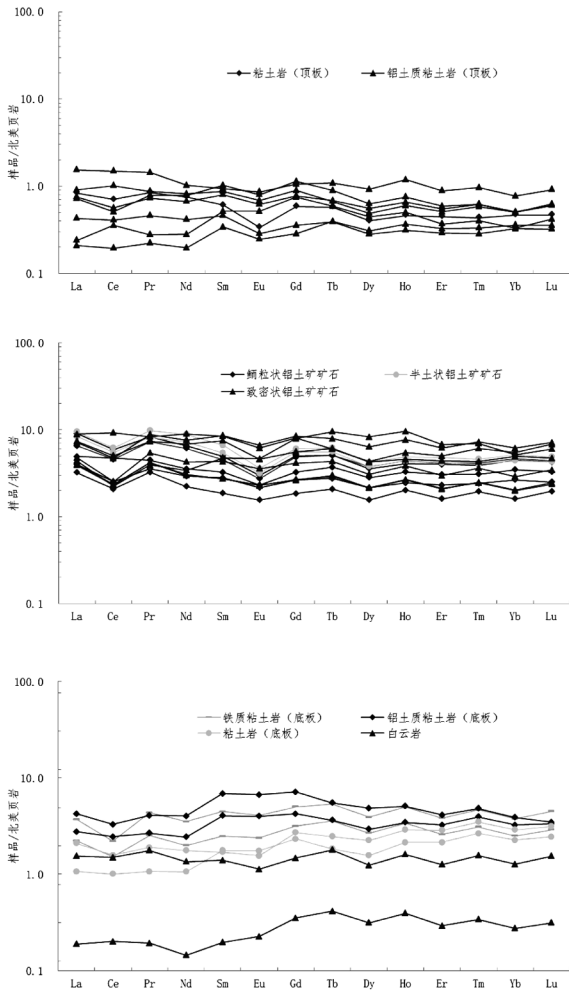


图3 比例坝铝土矿岩(矿)石稀土配分模式图

Fig. 3 Ore (rock) rare earth distribution pattern of Biliba bauxite deposit

异常到弱负异常(0.41~0.99,平均0.82),其中铁质粘土岩为Ce明显负异常。

娄山关群白云岩:稀土元素总量变化大(34.83×10⁻⁶~253.62×10⁻⁶,平均144.23×10⁻⁶),以轻稀土富集为特征,其(La/Sm)_N、(Gd/Yb)_N和(La/Yb)_N分别为5.37~6.20(平均5.79)、1.95~2.15(平均2.05)和7.07~12.55(平均9.81)。样品(212-1)NASC标准化模式曲线呈平坦曲线,样品(212-2)NASC标准化模式曲线呈微上扬趋势(图3),LREE/HREE值为1.71~3.29,平均2.50,Eu明显负异常(0.54~0.59,平均0.57),Ce异常不明显(0.97~1.11,平均1.04)。

4.2 Th 和 U 元素

Laukas 曾利用 ω(Th)/ω(U) 研究铝土矿成因(李茂辉等,2013),认为强烈红土化作用下形

成铝土矿,其 ω(Th)/ω(U)>7;还原环境下的沉积产物 ω(Th)/ω(U)<2;当 ω(Th)/ω(U)=2~7 时,则可能是风化作用下不彻底或者沉积混杂所致,并据此判断铝土矿的原地残积和异地沉积成因。比例坝铝土矿含矿岩系样品 ω(Th)/ω(U)=0.16~4.28,均值1.55,矿石样品 ω(Th)/ω(U)=0.58~1.45,均值0.84,其中 ω(Th)/ω(U)=2~7 主要为矿石的顶底板。将表1中Th、U结果投影到Th-U图解中,结果表明71%的样品位于还原范围,29%样品位于混合作用范围,没有样品位于红土作用范围(见图4),这说明了比例坝铝土矿含矿岩系的成矿环境以还原环境沉积为主导,有异地沉积等成矿物质多源特征。

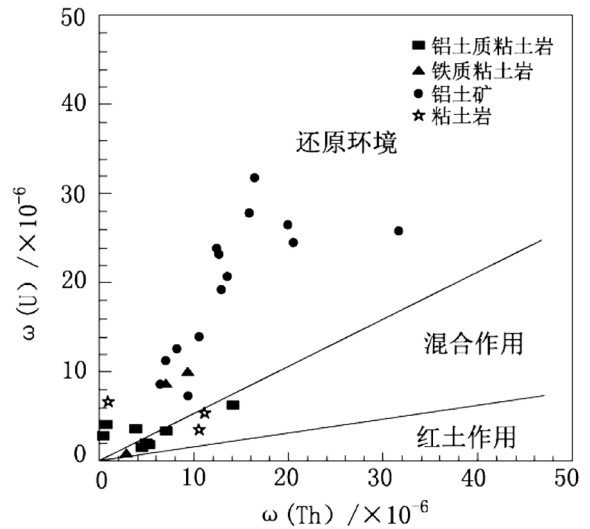


图4 比例坝铝土矿 Th-U 图解(图版据 Laukas,1983)

Fig. 4 Th-U diagram of Biliba bauxite deposit

4.3 Sr 和 Ba 元素

通常认为从淡水沉积至海水沉积过程中,ω(Sr)/ω(Ba)值也随着远离海洋而逐渐增大,淡水沉积的 ω(Sr)/ω(Ba)值多明显低于海水沉积(N' Guyen TLH, et al. 2006)。大量统计分析表明:淡水沉积物为 ω(Sr)/ω(Ba)<1,海水的沉积物中 ω(Sr)/ω(Ba)>1,半咸水沉积物为 0.6<ω(Sr)/ω(Ba)<1。本次比例坝铝土矿含矿岩系样品 ω(Sr)/ω(Ba)=0.59~30.96,均值7.07,矿石样品 ω(Sr)/ω(Ba)=2.47~30.96,均值12.35。将表1中Sr、Ba的结果投影到Sr-Ba图解中,结果表明95%的样品位于咸水区范围(见图5),这说明了比例坝铝土矿主要形成于咸水条件的沉积环境。

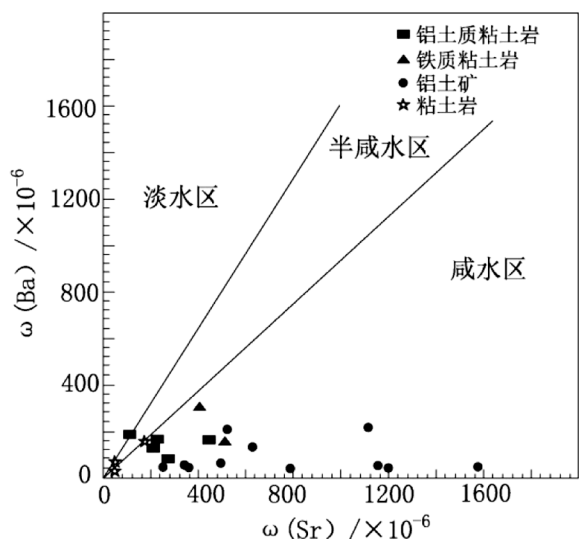


图5 比例坝铝土矿 Sr-Ba 图解(图版据翁缙等,2009)

Fig. 5 Sr-Ba diagram of Biliba bauxite deposit

5 讨论

5.1 REE 配分模式与铝土矿成矿物质来源

稀土元素对源岩特征的分析很有价值,因为它们最难溶,在沉积作用、成岩作用,甚至低级变质作用作用下,其化学性质仍然保持稳定,一般不受搬运过程和沉积、成岩过程的影响,即具有非迁移性,而且这些元素仅随陆源碎屑沉积物搬运,能比较好地反映源区的地球化学性质(陈平等,1997;陈潜德,1990)。一般在钙红土化阶段,白云岩全部被分解,CaO、MgO 等主要组分淋失殆尽,残留的 Al_2O_3 、 SiO_2 等逐渐构成以铝土质粘土岩并进一步去 Si 形成水铝石。在形成以铝土矿过程中,由于粘土岩对 REE 的吸附作用使其不断富集,并达到比白云岩含量高出多倍的特点;此外,REE³⁺ 的吸附能与离子半径大小有关,其吸附能随离子半径减少而按下列顺序递增:La→Ce……Yb→Lu(陈潜德,1990),故铝土矿石相对富集 LREE。从表 1 分析可知:研究区自铝土矿-铝土质粘土岩-铁质粘土岩-粘土岩-白云岩 Σ REE 呈逐步降低的趋势,LREE/HREE 显示铝土矿石相对于其他岩性均较高,进一步验证了上述理论观点。

从图 3 分析可知,比例坝铝土矿含矿岩系稀土元素特征较相似,与下伏娄山关群灰色白云岩的稀土配分模式及其特征参数基本一致,除白云岩 NASC 标准化模式曲线位于其他岩性下方外,

多表现为 NASC 标准化模式曲线呈平坦曲线, Eu 负异常明显(多为 0.39 ~ 0.60)特征。综上所述可见,铝土矿成矿物质来源可能主要与下寒武统娄山关群白云岩有关,其中铝土矿矿石中富集轻稀土为古风化壳矿床的主要特征。另外 ZK601-H15、ZK601-H116(底板粘土岩)和 212-1(白云岩) NASC 标准化模式曲线呈微上扬趋势,虽然本文暂不能解释其原因,但从侧面进一步证明了两者的亲缘关系。

5.2 成矿环境分析

5.2.1 沉积相

研究区含矿岩系特征如下(图 2):①上部为灰绿色、杂色等粘土岩、铝土质粘土岩,局部含炭质成分,含黄铁矿结核;中部为灰色铝土矿,偶见有炭质、泥质小结核;下部为灰色铝土质粘土岩、紫红色薄层铁质粘土岩、深灰色粘土岩。②矿石结构上部为内砂屑(鲕状矿)、中部为内粉屑(土状矿)、下部是泥晶(致密状矿)。上述特征表明研究区以粘土岩沉积为主,矿石内碎屑磨圆度好,伴有鲕状结构,再沉积特征明显,并有水下滚动沉积特征(图 6),属于浅水环境,并与海水连通,潮汐频繁,水动力能量较强。另外,含矿岩系古生物化石稀罕,缺乏膏盐沉,表现出淡化泻湖相特点。

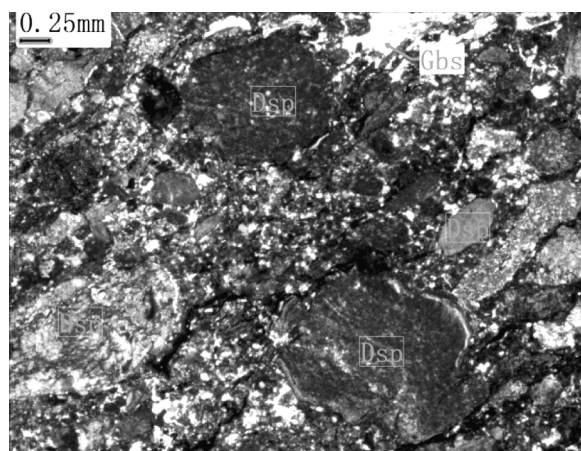


图6 比例坝铝土矿鲕粒状矿石样品显微镜照片

Fig. 6 Microscope photo of Oolitic granular ore sample of Biliba bauxite deposit

5.2.2 沉积地球化学标志

(1) 稀土元素特征参数与沉积环境的关系

在海洋盆地剖面中,悬浮物和溶液中发生了稀土含量和组成的分带,这也决定了底部沉积物

和成岩产物中稀土元素的分带性:从盆地边部向中心,稀土组成由轻稀土富集变化到重稀土富集, Ce 选择性分异(王中刚,1989)。在岩石风化过程中,在弱酸条件下, Ce^{3+} 被氧化成 Ce^{4+} , 与其他稀土元素分离,而且 Ce^{4+} 极易水解而在原地停留下来,使淋出的溶液中贫 Ce,因此造成海水中的 Ce 强烈亏损。因此,对于沉积岩 Ce 负异常,反映了它是海相的生物或化学沉积(Elderfield H, et al. 1982)。在地表酸性条件下,3价的稀土元素离子不易被粘土矿物吸附,而随径流向下游迁移,但 Ce 的行为与其他稀土元素不同:在氧气充足的风化壳最上部, Ce^{3+} 易氧化成 Ce^{4+} , 在酸性条件下 Ce^{4+} 易水解,保存于原地,不随其他稀土元素向下运移,因而造成风化壳最上部稀土总量的降低和稀土配分的变化,即 Ce 含量相对增高而造成 Ce 正异常(刘英俊等,1987)。

研究区以轻重稀土明显分馏,轻稀土富集为显著特征,含矿岩系 Ce 为明显负异常至明显正异常(0.41 ~ 1.47),其中 Ce 负异常 19 件(0.41 ~ 0.93)、无异常 6 件(0.95 ~ 1.05)、正异常 3 件(1.12 ~ 1.47)。这些特征可能说明研究区沉积特征属于浅水地带的盆地边缘沉积,部分 Ce 的负异常可能说明成矿物质来源于海水之中,部分 Ce 的正异常成矿物质没有经历充分的沉积作用,由风化壳直接带入沉积盆地。

(2) B、Sr/Ba 与沉积环境的关系

任达明、王乃梁指出,海水中硼的含量 $(0.2 \sim 9.8) \times 10^{-4}$,淡水中中硼的含量 $(0.15 \sim 17) \times 10^{-6}$,粘土矿物对硼有强烈的吸附作用,特别是伊利石,伊利石的含硼量与介质的盐度成正比,当沉积物总体含硼量大于 50×10^{-6} 时,可能属于海洋咸水沉积环境(任达明等,1985)。据刘平对修文铝土矿带含矿岩系中硼含量计算,含矿岩系上段粘土岩、铝土矿矿石、下段粘土岩水体盐度分别为 36.5‰、>85‰、23.6‰,相当于半咸水-咸水的盐度(刘平,1995)。本次工作作者采用 Sr-Ba 图解对沉积环境进行分析,结果表明 95% 样品落在咸水区范围,虽然利用 Sr-Ba 图解作为研究铝土矿沉积时的含盐度不一定恰当,但作为划分咸水环境的参考依据还是可能的,因其结果与研究区沉积相特征及硼含量的研究结果基本相符。

6 结论

(1) 本区样品的稀土配分曲线与下伏寒武系

中统娄山关群白云岩的稀土配分曲线相近,说明比例坝铝土矿与下伏寒武系中统娄山关群白云岩亲缘关系明显。

(2) 沉积地球化学标志研究结果: ΣREE 认为其形成于浅水地带的盆地边缘, δCe 认为沉积过程中有海水的参与,矿石中硼的含量、Sr-Ba 图解认为沉积于半咸水-咸水环境, Th-U 图解认为其成矿环境以还原环境沉积为主导,这些特征标志均与研究区沉积相—淡化泻湖相的发展阶段特征基本相符。

综上所述,贵州修文比例坝铝土矿矿床中含矿岩系的稀土配分模式为轻稀土富集型,具明显的 Eu 负异常,成矿物质来源以下寒武统娄山关群白云岩为主,在半咸水-咸水、相对还原环境下经冲积、洪积搬运作用,在就近淡化泻湖沉积盆地中沉积成矿。

[参考文献]

陈潜德. 1990. 实用稀土元素地球化学[M]. 北京:冶金工业出版社.

陈代演,王华. 1997. 贵州若干铝土矿床的稀土元素地球化学研究. 贵州地质. 14(2):132-144.

陈平,柴东浩. 1997. 山西地壳石炭纪铝土矿沉积地球化学研究[M]. 太原:山西科学出版社.

董家龙. 2004. 贵州铝土矿基本地质特征及勘查开发的思考——以凯里-黄平铝土矿为例[J]. 矿产与地质. 18(6):555-558.

李茂辉,高谦,南世卿. 2013. 新型胶结材料全尾砂浆流变特性试验分析[J]. 矿业研究与开发. 33(2):15-17,67.

廖莉萍,练兵. 2004. 贵州铝土矿资源特征及矿业可持续发展建议[J]. 贵州地质. 21(1):67-70.

廖士范. 1998. 铝土矿矿床成因与类型(及亚类)划分的新意见[J]. 贵州地质. 15(2):139-144.

刘平. 1995. 五论贵州之铝土矿[J]. 贵州地质. (3):185-203.

刘平. 1999. 黔中-川南石炭纪铝土矿的地球化学特征[J]. 贵州地质. (2):210-217.

刘平. 2001. 八论贵州之铝土矿[J]. 贵州地质. (4):237-243.

刘平. 2007. 九论贵州之铝土矿[J]. 贵州地质. (2):90-96.

刘英俊,曹励明. 1987. 元素地球化学导论[M]. 北京:地质出版社.

刘克云. 1986. 黔中铝土矿床的沉积环境和成矿模式[J]. 地质与勘探. 58-60.

任达明,王乃梁. 1985. 现代沉积环境概论,科学出版社.

王中刚,于学元,赵振华,等. 1989. 稀土元素地球化学,科学出版社.

杨瑞东,袁世婷,张晓东,等. 2007. 黔中隆起西、南缘铝土矿成矿特征与远景预测[J]. 矿物学报. (4)453-1-457.

俞缙,李普涛,于航波. 2009. 靖西三合铝土矿微量元素地球化学特征与成矿环境研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版). 28(3):289-293.

Ore Forming Materials Source and Sedimentary Environment Study of Biliba Bauxite Deposit in Xiuwen, Guizhou Province

ZHANG Ming, WANG Xiao-yong, LIU Jian-zhong, HE Jin-ping, LONG Cheng-xiong

(1. 105 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guiyang 550018, Guizhou, China; 2. Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guiyang 550004, Guizhou, China)

[**Abstract**] In this paper, Biliba bauxite deposit is taken as the target, the geochemical characteristics of REE and sedimentary geochemical sign element characteristics of U, Th and others are studied, the its mineral material source and sedimentary environment are discussed. The results shows the rare earth distribution of the ore is light rare earth enrichment, has obvious negative Eu anomaly, similar to the parameters and distribution pattern of lower Cambrian Loushanguan formation dolomite rare earth. The sedimentary environment mainly is relative reducing sedimentary environment, then formed brackish water-salt water desalination lagoon environment.

[**Key words**] Bauxite deposit; Material source; Sedimentary environment; Biliba; Guizhou

(上接第 87 页)

Discovery of Submarine Gas-Liquid Spout Group and Its Significance in Permian Manganese Deposit in Zunyi of Guizhou

WANG Yang, LIU Zhi-chen, CHEN Deng, ZHONG Yue-li, QIN Xian-jin

(1. 102 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Zunyi 553003, Guizhou, China; 2. Science and Technology Innovation Team of Prediction and Evaluation of Manganese Resources in Guizhou Province, Tongren 554300, Guizhou, China; 3. School of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Guizhou, China)

[**Abstract**] By reorganize, analyses and study the exploration engineering information of manganese fully-equipped exploration area in Zunyi and the nearby area, with the results of field big scale special geologic map, section test and measurement, the metallogenic theory of Zunyi Permian manganese deposit and ancient natural gas seepage sedimentary-type manganese deposit are compared, it's thought the Zunyi manganese deposit generally emerge inside and form outside, the manganese forming material comes from the mantle, Zunyi manganese deposit belongs to natural gas seepage sedimentary-type manganese deposit. According to the metallogenic theory and studying method of ancient natural gas seepage sedimentary-type manganese deposit, use the division of fracture basin structure, the recognition of synsedimentary fault and distinguish signs of intermediate phase, transient phase and border facies, the special structure, isotope and biological composition features of ancient natural gas seepage sedimentary-type manganese deposit are found in the ore and the roof in the fracture basin spout and nearby area. It's thought there are at least 5 gas-liquid seepage spouts in Zunyi manganese deposit, distribute in III fracture basin, each spout forms a isolated gas-liquid seepage eruption sedimentary metallogenic system, Zunyi manganese is a sedimentary metallogenic system formed with several gas-liquid seepage sedimentary metallogenic subsystems. The discovery of gas-liquid seepage spout of Permian manganese ore-forming in Zunyi affords macroscopic geologic evidence for the genesis study the 'emerge inside and form outside' of Zunyi manganese deposit, it's very important for study the ancient natural gas seepage sedimentary-type manganese metallogenic system of Zunyi manganese deposit.

[**Key words**] Zunyi Guizhou; Manganese deposit in Permian; Basin; Gas-liquid seepage spout; Significance