

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2015.03.001

滇东南丘北县大铁铝土矿床微量元素特征与成矿环境

王行军¹,王根厚¹,周洁¹,桑学镇¹,崔银亮²,张道红²

(1. 中国地质大学北京地球科学与资源学院,北京 100083;

2. 云南省有色地质局,昆明 650051)

摘要: 大铁铝土矿床是近年来在滇东南地区新发现的大型铝土矿床,普遍伴生 Fe、Ti、Ga,为低铝高铁高钛铝土矿床。文章通过 ICP-MS 分析测试,研究了大铁铝土矿含铝岩系微量元素的特征及成矿作用。大铁铝土矿含铝岩系 Be 含量(2.66×10^{-6})较低、Th/U 值(4.83)中等、Ti 含量(33.702×10^{-6})高、LREE/HREE(10.52)中等、 $\delta(\text{Ce})$ (1.55)高,说明其成矿物质来源于风化壳,后又经历了沉积作用的改造;Ga 含量(29.63×10^{-6})高、Sr/Ba 值(11.51)高、Sr 含量(70×10^{-6})低、Ba 含量(518×10^{-6})高、V/Zr 值(0.97)较高、Li 含量(163×10^{-6})高,总体上显示出海相沉积特征,部分样品显示出陆相沉积特征,这也预示着其成矿物来源于风化壳,局部沉积作用改造不明显,亦显示出近源沉积的特征。研究结果表明,大铁铝土矿床含铝岩系成矿物质来源于风化壳,残积作用明显,沉积作用起到对铝土矿改造和再沉积作用;大铁铝土矿床形成于海相环境,海水对成矿物质的改造不充分,部分微量元素显示出陆相沉积的特征。

关键词: 大铁铝土矿;微量元素;成矿环境;丘北;滇东南

中图分类号: P613:P618.45 **文献标识码:** A

0 引言

丘北大铁铝土矿是云南有色地质局于 2008 年发现的,经数年地质勘探工作,已查明其规模、产状、含矿岩系、控矿因素^[1]。王训练等研究了丘北大铁铝土矿床沉积型铝土矿的含矿岩系、含矿岩系的沉积相、成矿期的岩相古地理^[2];王根厚等研究了包括大铁铝土矿床在内的滇东南地区沉积型铝土矿的地球化学特征^[3];高泽培等^[4]、王行军等^[5]分别研究了该矿床的矿床特征和含铝岩系稀土元素特征;冯晓宏等^[6]、蒋秀坤等^[7]系统研究了滇东南地区沉积型铝土矿的成矿物质来源,但仅限于定性研究;王行军等定量研究了滇东南地区沉积型铝土矿的成矿物质来源,通过对比研究含铝岩系与下伏咸宁组灰

岩和峨眉山组玄武岩地球化学特征及特征参数,确定滇东南地区沉积型铝土矿的成矿物质来源于下伏咸宁组灰岩^[8]。前人主要研究了大铁铝土矿床的矿床特征、沉积相、成矿期的岩相古地理、地球化学特征以及成矿物质来源,但对该矿床的成矿环境未进行系统研究。研究表明,Be 的含量、Th/U 值对铝土矿成因具有明显的指示意义^[9-11],Ga、Sr、Ba 元素的含量和 Sr/Ba、V/Zr 值可作为判别海陆相沉积的标志^[10,12-15]。本文利用对沉积环境指相特征明显的微量元素 Be、Ga、Sr、Ba、U、Th、V、Ti、Zr、Eu、Sm、LREE、HREE 的特征,研究丘北大铁铝土矿床的成矿环境。

1 矿床地质特征

大铁铝土矿床位于云南省丘北县境内,距丘北县

收稿日期: 2014-08-08; 责任编辑: 赵庆

作者简介: 王行军(1970—),男,博士,从事区域地质矿产调查研究工作,研究方向为构造地质学。通信地址:北京市海淀区学院路 29 号,中国地质大学(北京)地球科学与资源学院;邮政编码:100083;E-mail:wxj1861@163.com

通信作者: 王根厚(1963—),男,教授,从事构造地质学的教学、科研工作。通信地址:北京市海淀区学院路 29 号,中国地质大学(北京)地球科学与资源学院;邮政编码:100083;E-mail:wgh@cugb.edu.cn

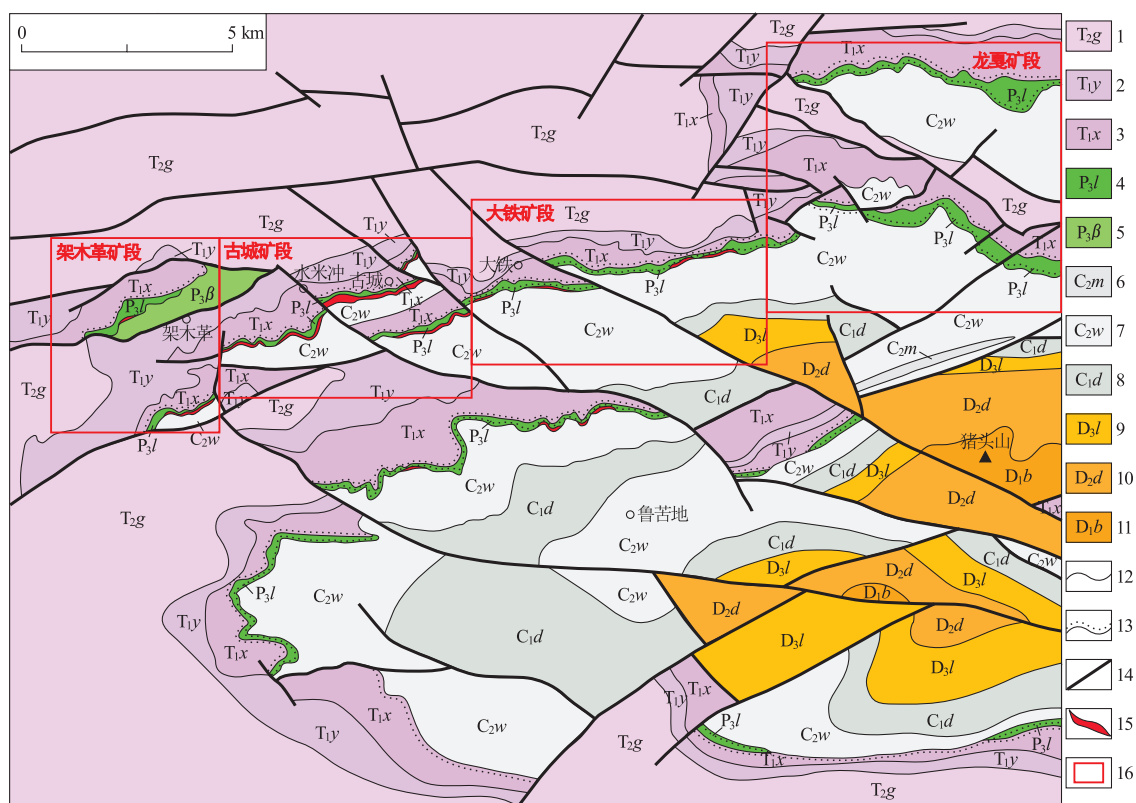


图 1 滇东南丘北县大铁矿区地质图(据文献[5],略有修改)

Fig. 1 Geological map of Datie bauxite deposit in Qiubei county, the southeast Yunnan province

1. 个旧组; 2. 永宁镇组; 3. 洗马塘组; 4. 龙潭组; 5. 峨眉山组; 6. 马平组; 7. 威宁组; 8. 大塘; 9. 榴江组;
10. 东岗岭组; 11. 巴蕉箐组; 12. 地质界线; 13. 角度不整合界线; 14. 断裂; 15. 铝土矿体; 16. 矿段

城约 70 km。该矿床由沉积型铝土矿和堆积型铝土矿组成。沉积型铝土矿产于晚二叠世龙潭组下部,堆积型铝土矿则产于第四系残积物、残坡积物、坡积物之中。沉积型铝土矿矿化带东向延伸约 25 km,自西向东依次分为架木革矿段、古城矿段、大铁矿段、龙夏矿段等 4 个矿段(图 1)。矿区内共探明沉积型铝土矿矿体 14 个,堆积型铝土矿矿体 16 个,获得 332+333+334 资源量 $7\,946 \times 10^4$ t。矿床伴生 Fe_2O_3 为 $3\,000 \times 10^4$ t,伴生 TiO_2 为 400×10^4 t,伴生 Ga 为 $2\,000$ t^[4]。沉积型铝土矿矿体呈层状产出,矿体一般长 500~2 500 m,厚 2.7~17.0 m,平均厚 6.4 m^[16]。

矿石中 $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 39.86\% \sim 67.58\%$, 平均 53%; $w(\text{SiO}_2) = 15\% \sim 35\%$, 平均 20%; $w(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 15\% \sim 20\%$; 铝硅比 2.3~8.6, 最高达 32.6^[1]。

矿石呈灰白色、灰色、深灰色、褐灰色。矿石结构有致密状、碎屑状、团粒状、豆状、鲕状和晶粒状等。矿石构造以块状为主,条带状次之。矿石类型主要为碎屑状铝土矿,次为豆鲕状、致密状和半粗糙状铝土矿^[1]。

2 微量元素地球化学特征及成矿环境

2.1 样品的采集与测试

样品采自探槽、钻孔及含矿岩系中,共 40 件。样品主要岩性为鲕状铝土矿、团块状铝土矿、致密块状铁质岩、致密块状铁铝质岩、鲕状铁铝质岩、团块状铁铝质岩、团块状菱镁矿、铝质黏土岩。利用美国 ThermorFisher 公司生产的等离子体质谱仪(ICP-MS)(X Serie 2)测试样品,精度 $>5\%$ 。测试结果见表 1。

2.2 成矿作用分析

(1) Be 含量。

Be 元素的含量对铝土矿的成因具有指示意义。前人研究表明,残积黏土 Be 含量较高,为 $3 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$; 沉积黏土 Be 含量较低,为 $0.25 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ ^[9-10]。大铁铝土矿床含铝岩系的 Be 值为 $0.25 \times 10^{-6} \sim 11.81 \times 10^{-6}$, 全区平均值为 2.66, 低于广西平果、靖西以及靖西三合铝土矿的平

表 1 大铁铝土矿矿床各类岩性微量元素分析结果及特征参数

Table 1 Analysis of trace elements for each lithologies and the characteristic parameters of the Datie bauxite deposit

序号	样号	岩性	K	Ba	Be	Ga	Rb	Sr	Th	U	Cr	Co	Ni	V	Ti	Li	Zr	Hf	Eu	Sm
1	D40-YQ1	铁质岩	215	29	1.69	8.6	1.7	117	2.8	3.24	49	169.2	86	73	6 202	21	89	2.2	0.80	3.38
2	D31-YQ2	铁铝质岩	178	15	0.71	10.1	4.2	161	19.3	8.53	270	53.2	32	652	48 885	14	525	11.9	1.75	6.74
3	D31-YQ4	铁铝质岩	168	15	1.33	28.8	2.0	254	16.6	10.94	269	19.4	99	770	56 868	44	479	11.3	2.58	9.32
4	D40-YQ2	铁铝质岩	423	87	4.17	37.7	2.5	1302	18.5	3.14	179	45.1	111	270	28 197	334	573	15.1	8.75	30.98
5	D40-YQ3	铁铝质岩	173	181	2.32	49.7	2.5	2273	26.6	3.58	257	31.7	97	406	35 758	128	649	15.7	4.42	22.52
6	D40-YQ4	铁铝质岩	805	16	0.83	25.1	2.5	323	28.3	4.76	243	36.6	127	300	29 304	167	636	16.0	11.77	43.77
7	D41-YQ3	铁铝质岩	268	29	1.26	56.6	2.2	171	25.5	4.31	290	185.5	207	332	31 814	93	882	20.4	1.56	7.11
8	D56-YQ2	铁铝质岩	248	74	2.40	35.8	2.5	732	7.9	2.55	322	27.5	134	525	38 679	199	284	7.5	2.14	5.94
9	D56-YQ3	铁铝质岩	3 705	67	0.88	12.0	6.0	126	20.8	4.42	231	26.5	44	693	40 556	39	460	12.4	6.33	17.92
10	D45-YQ3	铁铝质岩	176	4	1.98	54.8	3.4	127	26.5	5.96	254	23.4	83	344	32 702	130	1 068	25.1	1.69	7.31
11	D68-YQ4	铁铝质岩	258	8	0.69	29.0	1.7	152	26.2	3.91	183	20.6	67	369	35 820	61	1 117	23.2	1.00	4.59
12	D68-YQ6	铁铝质岩	150	13	0.37	17.5	4.8	102	11.6	2.26	188	25.8	27	449	39 393	51	283	6.6	0.65	2.21
平均值			596	46	1.54	32.5	3.1	520	20.7	4.94	244	45.0	93	464	37 998	114	632	15.0	3.88	14.40
13	D29-YQ3	铝土矿	333	123	11.81	46.2	2.5	945	27.4	5.98	252	295.9	197	301	35 295	230	735	19.0	12.53	52.32
14	D29-YQ7	铝土矿	2 163	144	1.75	17.7	5.7	510	29.7	9.01	286	9.3	44	567	47 003	159	598	15.9	9.84	34.56
15	D31-YQ5	铝土矿	180	15	1.33	19.8	2.5	152	17.9	5.58	287	35.2	51	655	40 993	41	472	11.6	3.51	11.76
16	D31-YQ61	铝土矿	2 734	109	2.03	23.7	6.9	345	22.5	22.37	286	8.9	96	929	45 249	186	540	14.3	6.15	21.24
17	D31-YQ8	铝土矿	5 037	105	1.54	19.6	11.0	304	25.7	5.86	313	1.9	21	854	39 698	103	554	14.7	7.11	25.70
18	D31-YQ9	铝土矿	3 650	85	1.47	21.7	8.3	512	30.4	6.27	297	1.1	25	831	45 225	114	684	18.3	8.97	31.10
19	D33-YQ1	铝土矿	446	28	7.89	73.9	2.5	41	66.0	7.21	619	5.6	47	174	11 300	183	1 088	25.0	2.56	13.99
20	D33-YQ2	铝土矿	614	19	1.71	13.5	2.5	111	50.4	4.34	573	7.1	18	175	18 553	133	1 006	23.1	6.68	30.29
21	D41-YQ2	铝土矿	364	15	3.09	17.7	2.5	375	43.1	4.54	361	22.6	160	206	28 285	44	950	24.5	16.15	68.46
22	D43-YQ4	铝土矿	181	3	0.67	17.0	3.9	94	26.9	5.56	293	35.8	50	550	46 651	48	659	16.4	0.78	2.49
23	D45-YQ2	铝土矿	181	3	0.65	19.1	3.0	142	27.4	5.30	329	7.4	30	481	39 077	40	1004	23.6	1.45	6.45
24	D68-YQ5	铝土矿	258	7	1.10	18.9	2.6	57	40.5	4.94	473	31.0	59	227	20 657	84	954	21.6	1.17	5.76
平均值			1 345	55	2.92	25.7	4.5	299	34.0	7.25	364	38.5	66		34 832	114	770	19.0	6.41	25.34
25	D44-YQ1	菱镁矿	147	13	0.25	8.2	3.9	90	10.6	3.27	182	13.5	24	379	40 103	13	258	6.7	2.44	5.44
26	D67-YQ3	菱镁矿	1296	185	3.21	32.2	2.5	3933	10.2	1.95	146	41.3	127	382	28 698	235	278	7.1	6.73	19.86
27	D67-YQ4	菱镁矿	1232	139	2.78	33.5	2.5	1760	10.7	1.66	159	40.6	110	417	29 868	232	274	7.2	4.81	15.05
28	D67-YQ5	菱镁矿	224	37	1.24	29.4	4.2	299	12.5	3.09	225	22.6	68	629	36 706	329	354	8.7	1.96	6.28
29	D67-YQ6	菱镁矿	698	5	0.90	17.8	6.8	129	16.7	4.19	213	104.6	77	619	42 262	114	404	10.1	1.69	5.14
平均值			720	76	1.7	24.2	4.0	1 242	12.2	2.83	185	44.5	81		35 527	185	314	8.0	3.53	10.35
30	D29-YQ2	铝质黏土岩	2 225	123	4.38	38.1	10.5	242	17.9	12.21	245	9.4	27	548	36 150	39	368	9.1	4.71	17.52
31	D29-YQ4	铝质黏土岩	929	261	11.44	14.6	2.5	565	18.4	4.51	285	432.1	358	179	11 176	436	425	11.9	31.48	107.52
32	D29-YQ5	铝质黏土岩	963	128	7.40	39.7	2.5	300	22.9	5.76	227	114.1	152	436	32 606	350	487	13.4	9.23	36.55
33	D29-YQ6	铝质黏土岩	559	57	3.06	24.8	4.3	134	36.3	7.53	234	4.9	92	664	31812	480	548	15.3	7.73	27.28
34	D31-YQ3	铝质黏土岩	2869	167	1.66	30.3	12.1	231	33.3	10.51	289	8.7	123	793	43 917	160	530	14.1	4.69	17.72
35	D31-YQ60	铝质黏土岩	164	22	1.42	45.6	4.1	117	5.8	2.12	164	11.9	100	529	38 287	49	278	7.1	4.38	10.53
36	D43-YQ2	铝质黏土岩	247	224	3.50	38.6	2.5	1 584	12.1	3.79	164	31.4	165	390	31 634	272	363	9.9	4.15	15.55
37	D43-YQ3	铝质黏土岩	163	113	1.28	37.4	2.1	324	26.2	5.32	169	33.0	84	363	32 346	132	546	13.1	2.43	8.64
38	D68-YQ2	铝质黏土岩	409	25	4.71	45.7	2.5	520	25.9	5.77	231	73.3	165	245	24 644	458	942	23.2	15.17	58.56
39	D68-YQ3	铝质黏土岩	334	36	3.86	52.6	2.5	648	26.1	3.58	206	63.1	151	217	23 881	453	858	21.8	3.80	16.35
40	D67-YQ2	铝质黏土岩	324	67	1.82	22.1	2.5	401	8.8	1.40	99	269.1	287	240	21 823	115	292	7.8	3.52	10.53
平均值			835	111	4.05	35.4	4.4	460	21.3	5.68	210	95.6	155	418	29 843	268	512	13.3	8.30	29.71
全区平均值			892	70	2.66	29.6	3.9	518	23.3	5.53	259	60.0	101	454	33 702	163	587	14.5	21.11	5.73

续表 1

序号	样号	岩性	特征参数									
			Th/U	Sr/Ba	Rb/K	V/Ni	Ni/Co	V/Zr	Eu/Sm	LREE/HREE	δ(Eu)	δ(Ce)
1	D40-YQ1	铁质岩	0.87	4.06	0.008	0.85	0.51	0.82	0.24	4.82	0.69	0.92
2	D31-YQ2	铁铝质岩	2.27	10.63	0.024	20.58	0.60	1.24	0.26	16.73	0.88	1.97
3	D31-YQ4	铁铝质岩	1.52	16.48	0.012	7.75	5.11	1.61	0.28	15.15	0.95	1.44
4	D40-YQ2	铁铝质岩	5.89	14.94	0.006	2.42	2.47	0.47	0.28	5.28	0.81	0.82
5	D40-YQ3	铁铝质岩	7.44	12.53	0.014	4.18	3.07	0.63	0.20	26.10	0.71	0.75
6	D40-YQ4	铁铝质岩	5.95	19.96	0.003	2.36	3.48	0.47	0.27	8.87	0.83	0.83
7	D41-YQ3	铁铝质岩	5.92	5.92	0.008	1.60	1.12	0.38	0.22	21.35	0.67	3.44
8	D56-YQ2	铁铝质岩	3.09	9.88	0.010	3.92	4.87	1.85	0.36	6.81	1.08	0.91
9	D56-YQ3	铁铝质岩	4.69	1.87	0.002	15.82	1.65	1.51	0.35	2.42	0.96	0.99
10	D45-YQ3	铁铝质岩	4.44	28.80	0.019	4.17	3.52	0.32	0.23	12.65	0.76	1.53
11	D68-YQ4	铁铝质岩	6.70	18.56	0.007	5.54	3.23	0.33	0.22	27.22	0.66	5.48
12	D68-YQ6	铁铝质岩	5.15	7.93	0.032	16.56	1.05	1.58	0.30	9.01	0.90	3.06
平均值			4.82	13.41	0.012	7.72	2.74	0.94	0.27	13.78	0.84	1.93
13	D29-YQ3	铝土矿	4.59	7.70	0.007	1.53	0.66	0.41	0.24	6.40	0.75	0.56
14	D29-YQ7	铝土矿	3.30	3.54	0.003	12.93	4.69	0.95	0.28	7.87	0.99	0.98
15	D31-YQ5	铝土矿	3.20	9.86	0.014	12.93	1.44	1.39	0.30	8.00	0.93	2.55
16	D31-YQ61	铝土矿	1.00	3.15	0.003	9.73	10.78	1.72	0.29	8.14	0.94	1.00
17	D31-YQ8	铝土矿	4.39	2.90	0.002	41.24	11.00	1.54	0.28	11.76	0.93	0.79
18	D31-YQ9	铝土矿	4.85	6.02	0.002	33.66	21.62	1.21	0.29	13.13	0.98	0.94
19	D33-YQ1	铝土矿	9.15	1.48	0.006	3.72	8.26	0.16	0.18	4.13	0.49	0.88
20	D33-YQ2	铝土矿	11.60	5.83	0.004	9.60	2.55	0.17	0.22	4.65	0.49	0.49
21	D41-YQ2	铝土矿	9.50	24.97	0.007	1.29	7.08	0.22	0.24	7.26	0.68	0.69
22	D43-YQ4	铝土矿	4.84	37.52	0.022	11.02	1.39	0.83	0.31	8.13	0.92	2.46
23	D45-YQ2	铝土矿	5.16	56.76	0.017	16.24	4.03	0.48	0.22	22.21	0.70	5.70
24	D68-YQ5	铝土矿	8.20	7.73	0.010	3.86	1.90	0.24	0.20	15.81	0.57	4.85
平均值			5.82	13.96	0.008	13.14	6.29	0.78	0.25	9.79	0.78	1.82
25	D44-YQ1	菱镁矿	3.25	7.00	0.027	15.61	1.80	1.46	0.45	7.00	1.49	2.64
26	D67-YQ3	菱镁矿	5.23	21.23	0.002	3.02	3.07	1.38	0.34	4.31	0.92	0.75
27	D67-YQ4	菱镁矿	6.46	12.71	0.002	3.78	2.72	1.52	0.32	7.99	1.00	0.92
28	D67-YQ5	菱镁矿	4.05	8.14	0.019	9.27	3.00	1.78	0.31	17.13	1.04	1.09
29	D67-YQ6	菱镁矿	3.99	24.71	0.010	7.99	0.74	1.53	0.33	11.74	1.04	2.56
平均值			4.60	14.76	0.012	7.93	2.27	1.53	0.35	9.64	1.10	1.59
30	D29-YQ2	铝质黏土岩	1.47	1.97	0.005	20.04	2.91	1.49	0.27	7.25	0.85	0.82
31	D29-YQ4	铝质黏土岩	4.07	2.16	0.003	0.50	0.83	0.42	0.29	2.53	0.70	0.39
32	D29-YQ5	铝质黏土岩	3.97	2.34	0.003	2.87	1.33	0.89	0.25	3.52	0.72	0.61
33	D29-YQ6	铝质黏土岩	4.82	2.37	0.008	7.23	18.54	1.21	0.28	8.14	0.99	0.88
34	D31-YQ3	铝质黏土岩	3.17	1.38	0.004	6.44	14.23	1.50	0.26	10.55	0.90	1.09
35	D31-YQ60	铝质黏土岩	2.76	5.20	0.025	5.27	8.47	1.90	0.42	13.98	1.37	0.97
36	D43-YQ2	铝质黏土岩	3.20	7.06	0.010	2.36	5.25	1.07	0.27	11.09	0.91	0.95
37	D43-YQ3	铝质黏土岩	4.93	2.86	0.013	4.32	2.54	0.67	0.28	13.03	0.88	1.80
38	D68-YQ2	铝质黏土岩	4.50	20.63	0.006	1.48	2.25	0.26	0.26	6.50	0.82	0.63
39	D68-YQ3	铝质黏土岩	7.30	17.91	0.007	1.43	2.40	0.25	0.23	14.17	0.72	1.01
40	D67-YQ2	铝质黏土岩	6.30	5.99	0.008	0.84	1.07	0.82	0.33	7.95	1.01	0.75
平均值			4.23	6.35	0.008	4.80	5.44	0.95	0.29	8.97	0.90	0.90
全区平均值			4.83	11.51	0.010	8.40	4.43	0.97	0.28	10.52	0.87	1.55

测试单位:河北省区域地质矿产调查研究所实验室。量的单位: $w_B/10^{-6}$ 。

均值 3.49×10^{-6} , 3.98×10^{-6} ^[12] 和 3.10×10^{-6} ^[10], 显示出大铁沉积型铝土矿形成于古风化壳之上, 成矿物质来源于古风化壳, 沉积作用起到对铝土矿改造和再沉积的作用。

大铁铝土矿含铝岩系的 Be 含量变化趋势较为

明显, 显示出由铁铝质岩、铁质岩、菱镁矿、铝土矿、铝质黏土岩 Be 含量依次增高的趋势, 平均值分别为 1.54×10^{-6} , 1.69×10^{-6} , 1.70×10^{-6} , 2.92×10^{-6} , 4.05×10^{-6} , 呈现出沉积作用逐渐变强的趋势。这种变化趋势与野外观察到的含铝岩系的层序(自下

而上铁质岩、铁铝质岩、铝土矿、铝质黏土岩)基本一致。

(2) Th/U 值。

Laukas 利用 Th/U 值对铝土矿成因的研究^[11]表明,强烈红土化作用下形成的铝土矿 $\text{Th}/\text{U} > 7$; 还原环境下沉积作用形成的铝土矿 $\text{Th}/\text{U} < 2$; $\text{Th}/\text{U} = 2 \sim 7$ 时,可能是风化作用不彻底或者沉积混杂所致;并可据此判断铝土矿的原地残积和异地沉积成因^[11]。大铁铝土矿床含铝岩系的 $\text{Th}/\text{U} = 0.87 \sim 11.60$, 平均为 4.83, 显示出成矿物质来源多样、异地沉积等特征,说明大铁铝土矿床的成矿物质来源于古风化壳,后又经历了沉积作用的改造。

(3) Ti 含量。

钛是比较稳定的元素, TiO_2 只能在 $\text{pH} = 2 \sim 3$ 的强酸性溶液中稳定,否则将会发生水解作用;在表生条件下,含钛矿物遭受风化作用,以氢氧化物沉淀下来,钛的氢氧化物失水并发生重结晶作用,经锐钛矿-板钛矿最后转化为金红石;风化作用使风化壳中钛发生富集^[17]。大铁铝土矿中富含锐钛矿,说明其成矿物质来源于风化壳,经海水改造,就近距离沉积而成。

大铁铝土矿中 $w(\text{Ti}) = 6\,202 \times 10^{-6} \sim 56\,868 \times 10^{-6}$, 全区平均为 $33\,702 \times 10^{-6}$ 。含铝岩系 $w(\text{Ti})$ 由铁质岩→铝土矿→菱镁岩→铁铝质岩→铝质黏土岩依次增高,平均为 $6\,202 \times 10^{-6} \rightarrow 34\,832 \times 10^{-6} \rightarrow 35\,527 \times 10^{-6} \rightarrow 37\,998 \times 10^{-6} \rightarrow 39\,843 \times 10^{-6}$;除铁质岩 Ti 含量较低外,其余各岩性 Ti 含量均较高,说明大铁铝土矿的成矿物质来源于风化壳。

(4) LREE/HREE 值。

稀土元素是第三副族元素,地球化学性质稳定。研究表明,稀土元素的分配在沉积作用、成岩作用,甚至低级变质作用过程中,基本保持不变,也就是说稀土元素一般不受成岩作用的影响^[15,17-21]。因此,稀土元素是研究沉积岩物质来源和成因的示踪剂。

研究表明,海水、深海沉积物的 LREE/HREE 值最小,不超过 10;玄武岩也较小,为 16.9;而黄土、页岩和陆缘海沉积等陆源为主的沉积物则较大,均 > 30 ^[22-26]。大铁铝土矿床含铝岩系的 $\text{LREE}/\text{HREE} = 2.42 \sim 26.10$, 全区平均为 10.52, 其中有 57.5% 样品的 $\text{LREE}/\text{HREE} < 10$, 说明滇东南铝土矿成矿物质来源于大陆边缘且经历了海水作用的改造。 LREE/HREE 值由铁质岩→铝质黏土岩→菱镁岩→铝土矿→铁铝质岩依次增高,平均值为 4.82 → 8.97 → 9.64 → 9.79 → 13.78, 反映其中陆缘碎屑成

分越来越多。

(5) $\delta(\text{Ce})$ 值。

Ce 在氧化条件下,以 Ce^{4+} 存在,而与其他稀土元素分离;在弱酸性条件下, Ce^{4+} 极易水解且在原地停留下来,使淋出的溶液中贫 Ce, 造成海水中 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^[19]。

大铁铝土矿床含铝岩系 $\delta(\text{Ce})$ 值变化较大,为 0.39 ~ 5.70, 全区平均为 1.55, 多数样品表现出铈正异常,表明其成矿物质来源于风化壳(氧化环境),后又经历了海水沉积作用的改造。

2.3 沉积环境分析

沉积物在沉积作用过程中,受水动力、介质、气候、生物等因素的影响,在不同的沉积条件下元素的分散与聚集规律亦不同,可利用微量元素的地球化学特征以及其形成环境进行判别^[10,15,12-14,27-30]。

(1) Ga 含量。海相沉积中黏土矿物以伊利石、蒙脱石为主,高岭石是陆相沉积的主要黏土矿物,而 Ga 易被高岭石吸附,因而可用 Ga 含量作为判别海陆相沉积的标志^[14]。前人研究表明, $w(\text{Ga}) > 20 \times 10^{-6}$, 为陆相沉积; $w(\text{Ga}) = 15 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6}$, 为过渡相沉积; $w(\text{Ga}) < 15 \times 10^{-6}$, 为海相沉积^[10,14]。大铁铝土矿含铝岩系 $w(\text{Ga}) = 8.2 \times 10^{-6} \sim 73.9 \times 10^{-6}$, 平均 29.63×10^{-6} , 说明其成矿物质主要来源于古风化壳,故显示出陆相沉积的特征,也表明成矿物质未经沉积作用的充分改造。

(2) Sr, Ba 含量。Sr, Ba 元素的地球化学性质相似,二者含量随着盐度的增加而增加,可利用 Sr, Ba 元素的含量判定沉积环境^[14]。研究表明,海相沉积物中 $w(\text{Sr}) > 160 \times 10^{-6}$, $w(\text{Ba}) > 400 \times 10^{-6}$, 陆相(淡水)沉积物中 $w(\text{Sr}) < 60 \times 10^{-6}$, $w(\text{Ba}) < 300 \times 10^{-6}$ ^[10-11,14]。大铁铝土矿含铝岩系 $w(\text{Ba})$ 低,为 $3 \times 10^{-6} \sim 261 \times 10^{-6}$, 平均 70×10^{-6} ; Sr 含量变化较大,为 $41 \times 10^{-6} \sim 3\,833 \times 10^{-6}$, 平均 518×10^{-6} ; Ba 含量由铁质岩→铁铝质岩→铝土矿→菱镁矿→铝质黏土岩依次增高,平均 $29 \times 10^{-6} \rightarrow 46 \times 10^{-6} \rightarrow 55 \times 10^{-6} \rightarrow 76 \times 10^{-6} \rightarrow 111 \times 10^{-6}$; Sr 含量由铁质岩→铝土矿→铝质黏土岩→铁铝质岩→菱镁岩依次增高,平均为 $117 \times 10^{-6} \rightarrow 299 \times 10^{-6} \rightarrow 401 \times 10^{-6} \rightarrow 520 \times 10^{-6} \rightarrow 1\,242 \times 10^{-6}$; Ba, Sr 含量特征反映出铁质岩、铁铝质岩、铝土矿、菱镁矿、铝质黏土岩海水作用依次加强。这种变化趋势与野外观察到的含铝岩系的层序(自下而上铁质岩、铁铝质岩、铝土矿、铝质黏土岩)基本一致。在 Sr—Ba 关系图解(图 2a)中

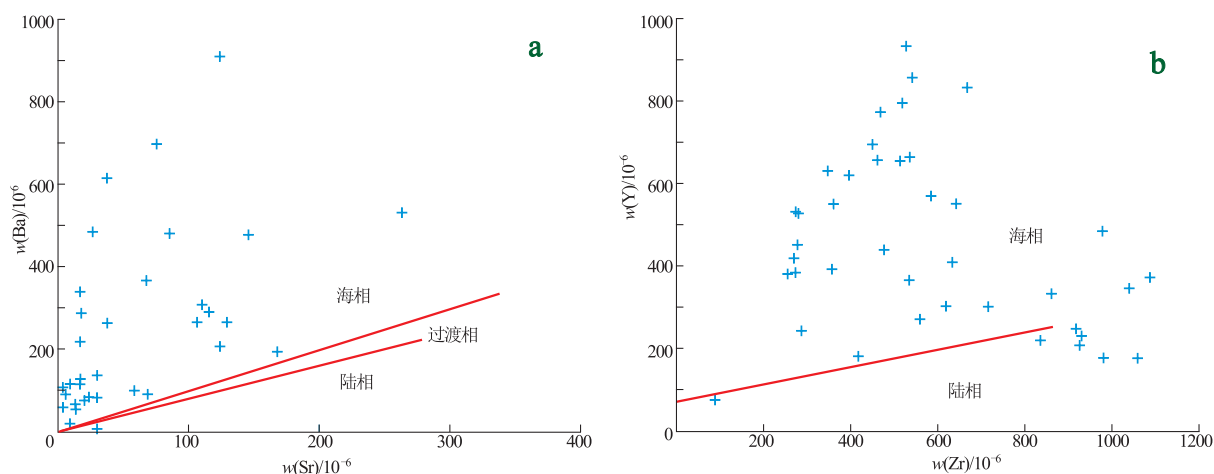


图 2 大铁铝土矿床含铝岩系 Sr—Ba, V—Zr 关系图解^[31]

Fig. 2 Diagram of Sr vs Ba and Zr vs V of Datie bauxite deposit

样品全部落入海相环境区,可判定大铁铝土矿形成于海相环境。

(3) Li 含量。Li 含量是古盐度的指示剂。刘英俊等研究表明,德国石炭纪海相页岩 $w(\text{Li}) = 117 \times 10^{-6}$, 陆相页岩 $w(\text{Li}) = 52 \times 10^{-6}$ ^[17]。大铁铝土矿 $w(\text{Li}) = 14 \times 10^{-6} \sim 480 \times 10^{-6}$, 全区平均为 163×10^{-6} , 说明其形成于海相。Li 含量由铁质岩→铁铝质岩→铝土矿→菱镁岩→铝质黏土岩依次增高, 平均值为 $21 \times 10^{-6} \rightarrow 114 \times 10^{-6} \rightarrow 114 \times 10^{-6} \rightarrow 185 \times 10^{-6} \rightarrow 268 \times 10^{-6}$, 反映出海水作用逐渐增强, 与野外地质观察一致。

(4) Sr/Ba 值。前人利用 Sr/Ba 值研究沉积物的形成环境; $\text{Sr}/\text{Ba} > 1$, 沉积物形成于海水环境; $\text{Sr}/\text{Ba} < 0.6$, 沉积物形成于淡水环境; $\text{Sr}/\text{Ba} = 0.6 \sim 1$, 沉积物形成于半咸水环境^[10-14]。大铁铝土矿床含铝岩系 $\text{Sr}/\text{Ba} = 1.38 \sim 56.76$, 全区平均值为 11.51, 说明大铁铝土矿床形成于海相环境, 大铁铝土矿床经历了海水的沉积作用。

(5) V/Zr 值。陈平等利用 V/Zr 值研究山西铝土矿的成因: 陆相成因的铝土矿, $\text{V}/\text{Zr} = 0.12 \sim 0.40$; 海相成因的铝土矿, $\text{V}/\text{Zr} = 0.25 \sim 4$ ^[15]。大铁铝土矿 $\text{V}/\text{Zr} = 0.16 \sim 1.85$, 全区平均值为 0.97, 其中 80% 以上的样品 $\text{V}/\text{Zr} > 0.40$, 说明其形成于海相。在 Zr—V 关系图解(图 2b)中, 多数样品落入海相环境区, 部分样品落入陆相沉积环境区。表明大铁铝土矿形成于海相, 成矿物质来源于风化壳, 沉积作用改造不彻底, 造成部分样品显示出陆相铝土矿的特征, 这与野外观察到的地质事实一致。

(6) Eu/Sm 值。李沛刚等利用 Eu/Sm 值对贵

州大竹园大型铝土矿成矿环境的研究结果表明, $\text{Eu}/\text{Sm} < 0.22$ 时, 铝土矿形成于陆相; $\text{Eu}/\text{Sm} > 0.22$ 时, 铝土矿形成于海相^[26]。大铁铝土矿床含铝岩系的 $\text{Eu}/\text{Sm} = 0.18 \sim 0.42$, 且多数样品 $\text{Eu}/\text{Sm} > 0.22$, 说明其形成于海相, 成矿物质来源于风化壳, 沉积作用改造不彻底, 造成部分样品显示出陆相铝土矿的特征, 这与野外观察到的地质事实一致。

3 结论

(1) 大铁沉积型铝土矿形成于古风化壳之上, 成矿物质来源于古风化壳, 沉积作用起到对铝土矿改造和再沉积作用。

(2) 大铁铝土矿床形成于海相环境, 海水对成矿物质的改造不充分。

致谢: 在野外工作期间, 得到了云南省有色地质局、西南有色昆明勘测设计(院)股份有限公司、云南有色地质 306 队大力支持, 在此表示诚挚的谢意!

参考文献:

- [1] 云南有色地质局. 云南省铝土矿找矿行动计划勘查工作方案[R]. 昆明: 云南省有色金属地质勘查局, 2009.
- [2] 王训练, 周洪瑞. 云南省铝土矿主要成矿期岩相古地理和构造环境研究[R]. 2011.
- [3] 王根厚, 王行军. 云南省铝土矿成矿规律与成矿预测研究[R]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.
- [4] 高泽培, 徐自斌, 任运华. 云南省丘北县大铁矿区铝土矿床特征分析与找矿标志[J]. 云南冶金, 2012, 41(4): 1-6.
- [5] 王行军, 王根厚, 周洁, 等. 滇东南丘北县大铁铝土矿稀土元

- 素特征研究[J]. 地球学报, 2013, 34(增1):127-134.
- [6] 冯晓宏, 王臣兴, 崔子良, 等. 滇东南铝土矿成矿物质来源探讨[J]. 云南地质, 2009, 28(3):233-242.
- [7] 蒋秀坤, 李亚辉. 云南文山红舍克铝土矿成因分析[J]. 云南地质, 2012, 31(3):316-319.
- [8] 王行军, 王梓桐, 王根厚, 等. 滇东南铝土矿床地球化学特征及成矿物质来源研究[J]. 中国地质, 2015, 42(1):248-264.
- [9] 丰恺. 河南铝土矿成因的一点认识[J]. 轻金属, 1992(7):1-8.
- [10] 俞缙, 李普涛, 于航波. 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, 2009, 28(3):289-292.
- [11] Laukas T C. Origin of Bauxite at Eufaula Alabamnia[J]. USA Clay Minerals, 1983, 18:350-361.
- [12] 王力, 龙永珍, 彭省临. 桂西铝土矿成矿物质来源的地质地球化学分析[J]. 桂林工学院学报, 2004, 24(1):1-6.
- [13] 黄镇国, 李平日, 张仲英, 等. 珠江三角洲形成发育演变[M]. 广州:科学普及出版社广州分社, 1982:63-104.
- [14] 蓝先洪, 马道修, 徐明广, 等. 珠江三角洲若干地球化学标志及指相意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1987, 7(1):39-49.
- [15] 陈平, 柴东浩. 山西地块石炭纪铝土矿沉积地球化学研究[M]. 太原:山西科学技术出版社, 1997:61-157.
- [16] 严健, 豆松, 张道红. 云南丘北大铁铝土矿地球化学特征及成矿物质来源[J]. 矿物学报, 2013, 33(4):462-470.
- [17] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1984:50-215.
- [18] 刘英俊, 曹励明. 元素地球化学导论[M]. 北京:地质出版社, 1987:57-80.
- [19] 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1989:247-342.
- [20] 陈德潜, 陈刚. 实用稀土元素地球化学[M]. 北京:冶金工业出版社, 1990:59-173.
- [21] 牟保磊. 元素地球化学[M]. 北京:北京大学出版社, 1999:27-55, 134-168.
- [22] 王贤觉, 陈毓蔚, 雷剑泉, 等. 东海大陆架海底沉积物稀土元素地球化学研究[J]. 地球化学, 1982(1):56-65.
- [23] 赵一阳, 王金土, 秦朝阳, 等. 中国大陆架海底沉积物中的稀土元素[J]. 沉积学报, 1990, 8(1):37-43.
- [24] 文启忠. 中国黄土地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1989:83-94.
- [25] 石学法, 陈丽蓉, 马建国, 等. 西菲律宾海沉积物稀土元素地球化学[J]. 矿物学报, 1996, 16(3):260-267.
- [26] 李沛刚, 王登红, 雷志远, 等. 贵州大竹园大型铝土矿稀土元素地球化学特征及其意义[J]. 地球科学与环境学报, 2012, 34(2):31-40.
- [27] 崔光来, 全书进, 吴朝东. 焉耆盆地侏罗系煤中微量元素地球化学特征及意义[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2004, 40(4):594-600.
- [28] 张新建, 范迎风, 张剑君, 等. 富县探区延长组微量元素特征及地质意义[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(5):483-485.
- [29] 彭海艳, 陈洪德, 向芳, 等. 微量元素分析在沉积环境识别中的应用:以鄂尔多斯盆地东部二叠系山西组为例[J]. 新疆地质, 2006, 24(2):202-205.
- [30] 石学法, 陈丽蓉. 西菲律宾海沉积物铁族元素地球化学[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1993, 13(1):73-86.
- [31] 崔滔, 焦养泉, 杜远生, 等. 黔北务正道地区铝土矿形成环境的古盐度识别[J]. 地质科技情报, 2013, 32(1):46-51.

Research on Trace element geochemical characteristics and ore-forming environment of the Datie bauxite deposit in Qiubei county, the southeast Yunnan province

WANG Xingjun¹, WANG Genhou¹, ZHOU Jie¹, SANG Xiezheng¹, CUI Yinliang², ZHANG Daohong²

(1. School of Geosciences and Resource, China University of Geology, Beijing 10083, China;

2. Nonferrous Geological Bureau of Yunnan Province, Kunming 650051, Yunnan, China)

Abstract: Datie bauxite deposit is a large bauxite deposit newly discovered in the southeast Yunnan in recent years. It is low in Al, high in Fe and Ti with Fe, Ti and Ga as by-products. ICP-MS test were carried out to study characteristics of trace elements and metallogeny of the Al-bearing rock series. The results show lower Be(2.66×10^{-6}), medium Th/U(4.83), high Ti($33\ 702 \times 10^{-6}$), medium LREE/HREE(10.52), high $\delta(\text{Ce})$ (1.55) indicating that the ore materials come from weathering crust and is reworked after deposition. High Ga(29.63×10^{-6}), high Sr / Ba(11.51), low Sr(70×10^{-6}), high Ba(518×10^{-6}), higher V/Zr(0.97), and high Li(163×10^{-6}) reflect a general sea facies feature. Some samples show terrestrial facies and indicates source of the ore materials from weathering crust. Locally, no obvious reworking occurs in the sedimentation thus proximal sedimentation took place. In summary the ore materials of the Al-bearing series come from the weathering crust with obvious residual sedimentation and

the bauxite is reworked and re-deposited during sedimentation; the bauxite deposit is formed under sea facies with incomplete reworking of the ore materials and terrestrial facies sedimentary feature.

Key Words: Datie bauxite deposit; trace element; ore-forming environment; Qiubei county; the south-east Yunnan province

《地质找矿论丛》理事会 2015 年工作会议在合肥召开

7 月 3 日,《地质找矿论丛》理事会 2015 年工作会议在华东冶金地质勘查院召开。本次会议自始至终得



到华东冶金地质勘查院的全力支持。来自全国冶金地质系统 12 家理事单位负责人出席了会议,会议由理事长单位天津地质研究院罗天明副院长主持。华东冶金地勘局副局长王彪出席会议致欢迎辞,并向参会代表介绍了本局自属地化以来地勘业和其他产业的发展情况。《地质找矿论丛》理事会秘书长李树良就理事会组织建设、期刊编辑出版、编辑部队伍建设、作者培训、经费收支情况以及 2015 年度工作安排做了报告。各理事单位分别介绍了本单位现状,并围绕地勘单位改革发展形势进行广泛交流。会后,与会代表参观了安徽省地质博物馆和渡江战役纪念馆。

(李树良)