



黔北铝土矿重矿物组合特征及地质意义

崔 滔, 张 敏

(贵州理工学院 资源与环境工程学院, 贵阳 550003)

摘 要: 对黔北地区 4 件铝土矿样品和 6 件铝土矿底板样品进行重矿物筛选分析。结果表明: 黔北务正道地区铝土矿重矿物以风化碎屑、锆石、黄铁矿、褐铁矿、锐钛矿为主; 黔北遵义地区铝土矿重矿物以白钛石、锆石、金红石、锐钛矿和风化碎屑为主; 黔北地区铝土矿重矿物组合特征与下伏底板地层重矿物组合面貌基本相似, 但铝土矿中含有部分稳定重矿物未在下伏地层中发现, 表明黔北铝土矿由多种母岩提供成矿物质; 黔北遵义地区黑色矿石中有机质含量高, 形成酸性环境使铁向下迁移最终形成黄铁矿; 黑色矿石同样经历了氧化淋滤作用, 但其成矿机制与浅灰色铝土矿有一定区别, 黑色铝土矿的成矿环境酸性强于浅灰色铝土矿。

关键词: 重矿物; 组合特征; 物源分析; 成矿过程; 黔北地区

文章编号: 1004-0609(2021)-04-1106-14

中图分类号: P611.2

文献标志码: A

引文格式: 崔 滔, 张 敏. 黔北铝土矿重矿物组合特征及地质意义[J]. 中国有色金属学报, 2021, 31(4): 1106-1119. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-39665

CUI Tao ZHANG Min. Characteristics and geological significance of heavy mineral assemblages in bauxite of northern Guizhou[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2021, 31(4): 1106-1119. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-39665

重矿物包括自然重砂和人工重砂, 重矿物分析作为一种独立的矿产资源勘查方法, 对于分析岩石成因、划分岩石类型、物源示踪有良好的效果^[1-3]。铝土矿为一种风化型的矿产, 可分为红土型、岩溶型、沉积型三种主要类型及三者之间的过渡类型^[4-5]。无论何种类型铝土矿, 都需要经过强烈的风化淋滤过程, 在这个过程中成矿物质发生脱硅排铁作用, 矿物成分发生变化, 稀土、微量等元素亦发生迁移。矿物成分转变、脱硅排铁作用、稀土和微量元素迁移等作用给铝土矿成矿过程及物源的研究造成了极大困难, 但重矿物组合特征分析对解决这些问题有天然优势。

贵州北部遵义地区与务川-正安-道真地区(简称务正道)铝土矿资源丰富。遵义铝土矿为岩溶型铝土矿, 务正道铝土矿属于沉积型铝土矿, 由母岩风

化、搬运、沉积后接受淋滤改造形成^[4-8]。专家学者对黔北地区的铝土矿进行了大量的研究, 取得了较深的认识: 矿物成分以硬水铝石、高岭石、伊利石为主, 含少量石英与长石^[9-10]; 遵义铝土矿形成于早石炭世, 务正道铝土矿形成于早二叠世^[4, 11-12]; 下伏韩家店组泥页岩和黄龙组灰岩均为务正道铝土矿的物源^[4, 13-16]; 铝土矿形成于半封闭海湾、海泛湖中或受海平面影响的陆相湖泊中^[17-20], 剖面顶部至底部, 稀土元素含量呈逐渐增加的趋势, 锂有一定开发潜力^[9-10, 21-23]; 碳酸盐岩基底对铝土矿的形成有利, 海平面变化对铝土矿的富集成矿有重要影响^[1, 24-27]。前人的研究虽然覆盖了铝土矿的各个方面, 但对铝土矿中重矿物组合特征的研究几乎为空白, 而重矿物的组合特征对于研究铝土矿的物源及成矿过程有重要意义。因此本文对黔北遵义和务

基金项目: 贵州省科技厅项目(LH[2014]7358, [2017]1410)

收稿日期: 2020-05-20; **修订日期:** 2020-11-28

通信作者: 崔 滔, 副教授, 博士; 电话: 18085191983; E-mail: cuitao1203@163.com

正道地区铝土矿中的重矿物进行了研究, 对比了铝土矿与下伏地层之间重矿物组合的差异, 据此分析了黔北地区铝土矿的沉积过程、物源、成矿环境、成矿过程, 为黔北铝土矿的成矿机制研究提供了基础资料。

1 地质背景

黔北遵义地区位于扬子准地台西南部, 以褶皱发育为主, 在轴、翼部伴有断裂构造, 区内构造总体呈 NNE 向和 NE 向^[28](见图 1)。研究区出露地层有: 中上寒武统娄山关群(C_{2-3ls})白云岩, 厚度大于 100 m; 下奥陶统桐梓组(O_{1t})白云岩, 平均厚度约 40 m; 红花园组(O_{1h})灰岩, 平均厚度约 10 m; 湄潭组(O_{1m})白云岩、页岩及生物碎屑灰岩, 中上奥陶统(O₂₋₃)生物屑泥灰岩、碳质页岩; 下志留统龙马溪组(S_{1l})页岩、碳质页岩, 平均厚度约 15 m; 下二叠统梁山组(P_{1l}), 铝土矿含矿岩系顶部一般小于 1 m; 中二叠统栖霞组(P_{2q})生物碎屑灰岩、页岩, 厚约 200 m; 中二叠统茅口组(P_{2m})生物碎屑灰岩, 厚约 110 m; 上二叠统龙潭组(P_{3l})、长兴组(P_{3c})泥岩、砂岩、硅质岩及灰岩; 下三叠统夜郎组(T_{1y})、

茅草铺组(T_{1m})泥岩、泥灰岩、角砾状灰岩及白云岩, 中三叠统松子坎组(T_{2s})、狮子山组(T_{2sh})灰岩及白云岩, 上三叠统二桥组(T_{3e})石英砂岩; 下侏罗统自流井组(J_{1zl})石英砂岩、砂岩及泥岩, 中侏罗统下沙溪庙组(J_{2x})泥岩及砂岩; 第四系为黄灰色碎石土, 厚度可达 50 m。铝土矿下伏地层为寒武系娄山关群, 奥陶系桐梓组或湄潭组, 上覆地层为二叠系梁山组。遵义铝土矿为典型的岩溶型铝土矿, 含矿岩系为下石炭统九架炉组(C_{1jj})(见图 2), 矿体形态受岩溶洼地控制, 矿石堆积于碳酸盐岩漏斗中, 呈假整合或微角度不整合接触, 与上覆下二叠统梁山组(P_{1l})呈假整合接触, 缺失中、上志留统、泥盆系及中、上石炭统。含矿岩系厚度变化较大, 从数米到数十米皆有, 优质矿区往往形成垂直厚度超过 50 m, 水平宽度近百米的窝状矿体, 且矿石品位较高, 具有较大经济价值。遵义铝土矿主要是在各种溶蚀洼地中陆相复合沉积作用的结果^[19]。

黔北务正道地区属于黔北-渝南成矿带, 该成矿带主要包括黔北的务正道地区及渝南的南川、武隆、彭水等地, 区域构造位置为扬子板块南侧的黔北侏罗山式褶皱带^[29-30]。研究区地层出露由老到新有: 寒武系、奥陶系、志留系、石炭系、二叠系

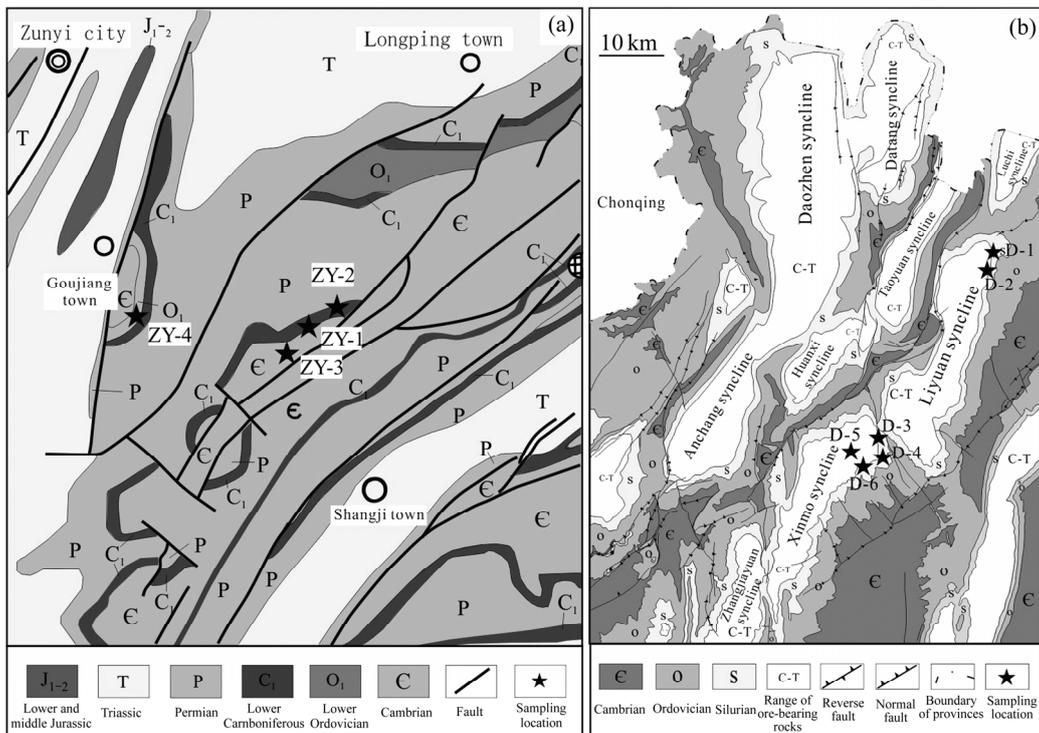


图 1 研究区地质简图((a) 据文献[28]修改, (b) 据文献[9, 17]修改)

Fig. 1 Geological maps of study area: (a) Zunyi area (modified from Ref. [28]); (b) WZD area (modified from Ref. [9] and Ref. [17])

与侏罗系。区内构造线方向为 NNE，寒武系主要分布在背斜核部，三叠系与侏罗系主要分布在向斜核部。铝土矿与上覆二叠系梁山组(P₁l)或栖霞组(P₂q)，下伏石炭系黄龙组(C₂h)或志留系韩家店组(S₁hj)均为平行不整合接触。铝土矿的空间分布受道真、大塘、鹿池-栗园、桃源、安厂、浣溪、新模、张家院向斜控制(见图 1)。务正道地区铝土矿含矿岩系为二叠系大竹园组(P₁d)(见图 2)，整体呈层状与似层状，主要为灰色，岩溶不发育，矿层厚度为 0.78~18.2 m^[6]，区域变化较大。铝土矿矿石可分为致

密状、碎屑状、半土状、豆鲕状四种类型^[4-5,9,31]。

2 取样与分析结果

2.1 取样过程

本次研究共处理 10 件样品，取样平面位置见图 1 所示，取样层位见图 2。针对铝土矿和下伏地层均选取了典型代表，样品编号及特征如表 1 所示。重矿物分析样品照片如图 3 所示。ZY-1、ZY-2、D-2 样品均为 Al₂O₃ 含量达工业品位的矿石(见图 3(a)、

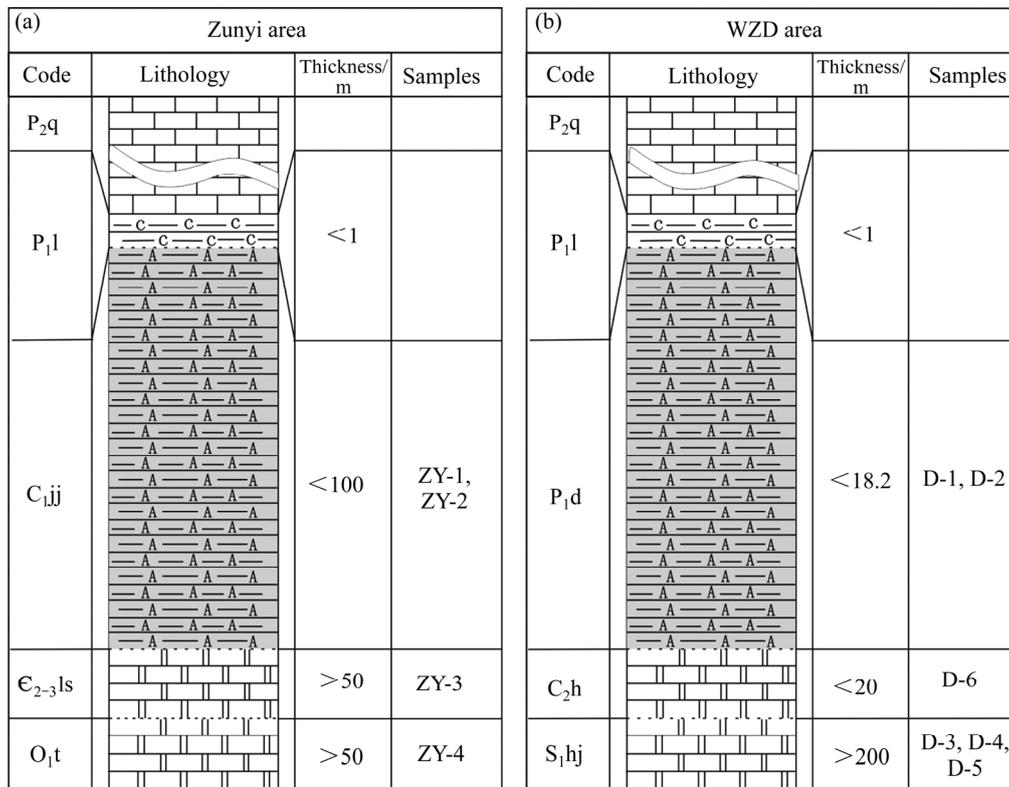


图 2 取样层位简图

Fig. 2 Sampling horizon diagram: (a) Zunyi area; (b) WZD area

表 1 铝土矿与下伏地层中样品

Table 1 Basic character of samples of bauxite and underlying strata

Serial No.	Code	Formation	Lithology	Sampling location
1	D-1	P ₁ d	Grey low grade massive bauxite	Liyuan syncline
2	D-2	P ₁ d	Light grey massive bauxite	Liyuan syncline
3	D-3	S ₁ hj	Celandine green mudstone	Xinmo syncline
4	D-4	S ₁ hj	Maroon with celadon mudstone	Xinmo syncline
5	D-5	S ₁ hj	Celadon with maroon mudstone(drilling sample)	Xinmo syncline
6	D-6	C ₂ h	Grey with red coarse grain limestone	Xinmo syncline
7	ZY-1	C ₁ jj	Light grey clastic bauxite	Zunyi area
8	ZY-2	C ₁ jj	Dark grey clastic bauxite	Zunyi area
9	ZY-3	E ₂₋₃ ls	Grey dolomite	Zunyi area
10	ZY-4	O ₁ t	Grey dolomite	Zunyi area

(b)、(d))。样品 D-1 为低品位致密状铝土矿。重矿物分析由河北省欣航测绘院进行,按地质矿产实验室测试质量管理规范 DZ/T 0130—2006 标准对 10 件样品进行处理,样品处理过程如下:1) 对样品进行破碎,除油,酸化处理;2) 淘洗,先用淘沙盘反复淘洗把轻矿物淘出,保留重矿物部分,然后低温

烘干;3) 采用重液将重矿物分离,提取出 0.063~0.25 mm 的混合粒级(可以基本代表整个岩石特征)的重矿物,在显微镜下鉴定。

2.2 分析结果

重矿物的组成分析结果如表 2 所示。



图 3 重矿物分析样品照片

Fig. 3 Photos of samples for heavy mineral analysis: (a) Grey clastic bauxite; (b) Black clastic bauxite; (c) Low grade massive bauxite; (d) Clastic bauxite; (e), (f), (g) Mud stone; (h) Limestone

表2 重矿物的组成分析结果

Table 2 Composition of heavy mineral samples

Code	Mineral	Mineral mass/mg	Mineral content/%	Occasional mineral (Grain number)	Statistical particle number	Crystal size/mm		
						Main	Minor	Individual
D-1	Zircon	5.2	0.1		60	0.025-0.1	0.1-0.15	
	Rutile			8		0.05-0.08		
	Pyrite	312	6		31	0.08-0.16		
	Limonite	109.2	2.1		11	0.08-0.16	0.2	
	Weathered detritus	4773.6	91.8		412			
D-2	Zircon	715.92	8		43	0.05-0.12	0.12-0.18	
	Rutile	8.949	0.1		1	0.05-0.15		
	Anatase	89.49	1		5	0.05-0.08		
	Monazite			15		0.025-0.05		
	Tourmaline			68		0.05-0.15		
	Xenotime			3		0.05-0.08		
	Garnet			2		0.05		
Weathered detritus	8134.641	90.9		495				
D-3	Zircon			3		0.8-0.16		
	Apatite			6		0.025-0.05		
	Rutile			1		0.05		
	Garnet			15		0.08-0.12		
	Limonite	2.7	27		94	0.05-0.15		
	Pyrite			7		0.05-0.1		
	Weathered detritus	7.3	73					
D-4	Zircon			18		0.05-0.12		
	Rutile			2		0.025-0.05		
	Pyrite			18		0.05-0.08		
	Garnet			43		0.08-0.2		
	Anatase	6.6	66		311	0.08-0.18		
	Limonite	0.8	8		38	0.08-0.12	0.15	
	specularite			2		0.1-0.2		
	Tourmaline			2		0.08		
Weathered detritus	2.6	26		122				
D-5	Zircon			85		0.025-0.05		
	Apatite	5.5	5		28	0.08-0.16		
	Pyrite			58		0.05-0.1		
	Stibnite	0.11	0.1		1	0.05-0.08		
	Limonite	71.28	64.8		365	0.08-0.12	0.12	
	Weathered detritus	33	30		169			

(To be continued)

(Continued)

D-6	Zircon	16.881	5.1	27	0.025-0.08	0.08-0.16
	Sphene	3.31	1	5	0.08-0.16	
	Pyrite	264.8	80	4.8	0.08-0.1	0.1-0.18
	Galena	0.331	0.1	1	0.05-0.1	
	Pyrolusite			15	0.05-0.15	
	Tourmaline			32	0.08-0.12	
	Spinel			22	0.05-0.08	
	Rutile			14		
	leucoxene	3.31	1	5	0.08-0.16	
Weathered detritus	42.368	12.8	67			
ZY-1	Zircon	199.74	3	17	0.05-0.1	0.1-0.18
	Rutile	66.58	1	5	0.05-0.15	
	Anatase	13.316	0.2	1	0.05-0.1	
	Pyrite			432	0.08-0.12	
	leucoxene	5193.24	78	434	0.08-0.12	0.15
	Tourmaline			216	0.08-0.18	
	Monazite			42	0.025-0.05	
	Spinel			27	0.025-0.05	
	Weathered detritus	1185.124	17.8	99		
ZY-2	Zircon	666.8	4	21	0.025-0.08	0.08-0.15
	Rutile	333.4	2	10		
	Anatase	166.7	1	5	0.05-0.15	
	leucoxene	7501.5	45	235	0.08-0.16	0.2-0.3
	Pyrite	5834.5	35	182	0.08-0.2	0.2-0.3
	Monazite	16.67	0.1	1	0.025-0.1	
	Tourmaline	16.67	0.1	1	0.08-0.16	
	Spinel			88	0.05	
	Weathered detritus	2133.76	12.8	67		
ZY-3	Zircon			31	0.025-0.08	0.16
	Anatase			5	0.05-0.08	
	Rutile			3	0.08-0.16	
	Apatite			2	0.05-0.15	
	Garnet			75	0.1-0.2	
	Tourmaline			2	0.1-0.15	
	Limonite	11.4	38	185	0.08-0.15	0.2
	Pyrite	6.6	22	107	0.05-0.15	
	Weathered detritus	11.97	39.9	194		
ZY-4	Zircon			12	0.05-0.18	
	Anatase			1	0.05	
	Rutile			1	0.025-0.08	
	Pyrite				0.05-0.1	
	Anatase	5.6	28	118	0.08-0.15	
	Limonite	4.6	23	96	0.08-0.12	0.12-0.2
	Tourmaline			1	0.12	
	Garnet				0.08-0.2	
	Weathered detritus	9.8	49	207		

3 重矿物组合特征

3.1 重矿物类型

由表2可知,黔北务正道铝土矿中含大量风化碎屑,风化碎屑以泥质和铁质成分为主,但其中泥质成分含量尤其高,无法识别矿物种类。除风化碎屑外,D-1样品中重矿物主要为锆石、黄铁矿、褐铁矿,偶见金红石(见图4)。锆石特征颜色以浅玫瑰色为主,少量呈深玫瑰色;形状以次滚圆粒状为主,少量呈次棱角柱状;大部分晶体表面光滑,透明度较高,自形程度及磨圆度较好,部分颗粒晶体表面略粗糙,凹凸不平,呈毛玻璃状,气液包体较发育,黑色固相包体少量,金刚光泽。黄铁矿特征为:呈黄铜色的不规则块状,不透明,呈现金属光泽。褐铁矿特征为:呈褐黑色的致密块状,不透明,呈现半金属光泽。金红石特征:呈现红色的次棱角块状或柱状,半透明,呈现油脂光泽。除风化碎屑外,D-2样品中,主要重矿物为锆石、金红石、锐钛矿,偶见独居石、电气石、磷钇矿、石榴石(见图4)。锆石特征为:呈现浅玫瑰色,偶见深玫瑰色,以次滚圆、椭圆粒状为主,少量呈次棱角柱状,其余特征与D-1中的相似。金红石特征与D-1中基本相似。锐钛矿特征:呈现蓝灰色的正方双锥及粒状,半透明,呈现油脂光泽。独居石特征:呈现琥珀黄的次滚圆粒状,透明,呈现油脂光泽。电气石特征:呈现茶绿色或蓝灰色的次棱角短柱状、块状或粒状,透明,呈现玻璃光泽。磷钇矿特征:呈现浅黄色的正方双锥状,半透明,呈现油脂光泽。石榴石特征:呈现浅粉色的椭圆粒状,半透明,呈现玻璃光泽。务正道地区下伏黄龙组灰岩中(D-6)重矿物主要为锆石、榍石、黄铁矿、方铅矿、白钛石,偶见矿物为软硬锰矿、电气石、尖晶石、金红石。下伏韩家店组泥页岩中(D-3, D-4, D-5)中主要矿物为褐铁矿和钛铁矿。

遵义地区样品中,浅灰偏白色碎屑状铝土矿(ZY-1)风化碎屑含量不多,重矿物主要为白钛石、锆石、金红石、锐钛矿,偶见矿物黄铁矿、电气石、独居石、尖晶石(见图4)。白钛石特征:呈现灰白色的次滚圆粒状,部分颗粒已绢化,不透明,呈现珍珠光泽。锆石特征:呈浅粉色,偶见深玫瑰色,次滚圆-椭圆粒状,柱状少量,大部分晶体表面略粗

糙,光泽暗淡,透明度较低,晶体表面有熔蚀现象,晶棱圆滑,晶面上有痕蚀,凹凸不平,呈毛玻璃状,气液包体转发育,黑色包体少量,呈现弱金刚光泽,少数部分颗粒晶体表面光滑,透明,自形程度较好,呈现金刚光泽。金红石特征:呈现红色的次棱角柱状或块状,半透明,呈现油脂光泽。锐钛矿特征:呈褐黄色的次滚圆粒状或块状,半透明,呈现油脂光泽。黄铁矿特征:呈现黄铜色的立方体状或块状,不透明,呈现金属光泽。电气石特征:呈现蓝灰色或茶绿色的次滚圆粒状或柱状,透明,呈玻璃光泽。独居石特征:呈浅黄色的扁圆粒状,半透明,呈现油脂光泽。尖晶石特征:呈黑色的细小八面体状及块状,不透明,呈沥青光泽。尖晶石特征:呈铁黑色的不规则块状或八面体状,不透明,呈沥青光泽。黑色碎屑状铝土矿(ZY-2)中,除风化碎屑外主要重矿物为锆石、金红石、锐钛矿、白钛石、黄铁矿、独居石、电气石,偶见矿物与尖晶石(见图4)。锆石特征:呈浅粉色,次棱角柱状为主,次滚圆,椭圆粒状为次,大部分晶体表面光滑,透明度较高,晶形完整,金刚光泽;少数部分晶体表面略粗糙,光泽暗淡,透明度较低,呈毛玻璃状,晶内含黑色固相包体,弱金刚光泽。金红石、白钛石、独居石、电气石、尖晶石特征与ZY-1基本相似。锐钛矿特征:呈蓝灰色和褐黄色的复古双锥状,半透明,呈油脂光泽。黄铁矿:黄铁矿分别为两种不同成因形成的矿物,胶黄铁矿约占部分总量95%,暗黄色,椭圆粒状,晶体表面不光滑,不透明,呈半金属光泽;棱角块状约占部分5%,黄铜色,晶体表面光滑,呈强金属光泽。

3.2 重矿物组合特征

务正道地区D-1与D-2样品重矿物组合类型基本相似,风化碎屑占绝对优势,二者都含锆石,但D-2中锆石含量更高,D-1中黄铁矿占比重较大,D-2中未发现黄铁矿,且D-2中多稳定矿物如电气石、石榴石。D-1和D-2中的锆石都以次滚圆状为主,磨圆较好,表明经历了一定的搬运过程。务正道地区下伏韩家店组泥页岩(D-3, D-4, D-5)主要由风化碎屑与褐铁矿、钛铁矿构成,与矿石样品相比,缺乏独居石和磷钇矿(见图4)。黄龙组灰岩(D-6)中以锆石、黄铁矿为主,与铝土矿相比缺乏独居石和磷钇矿,但灰岩中有经过搬运磨圆的白钛石(见

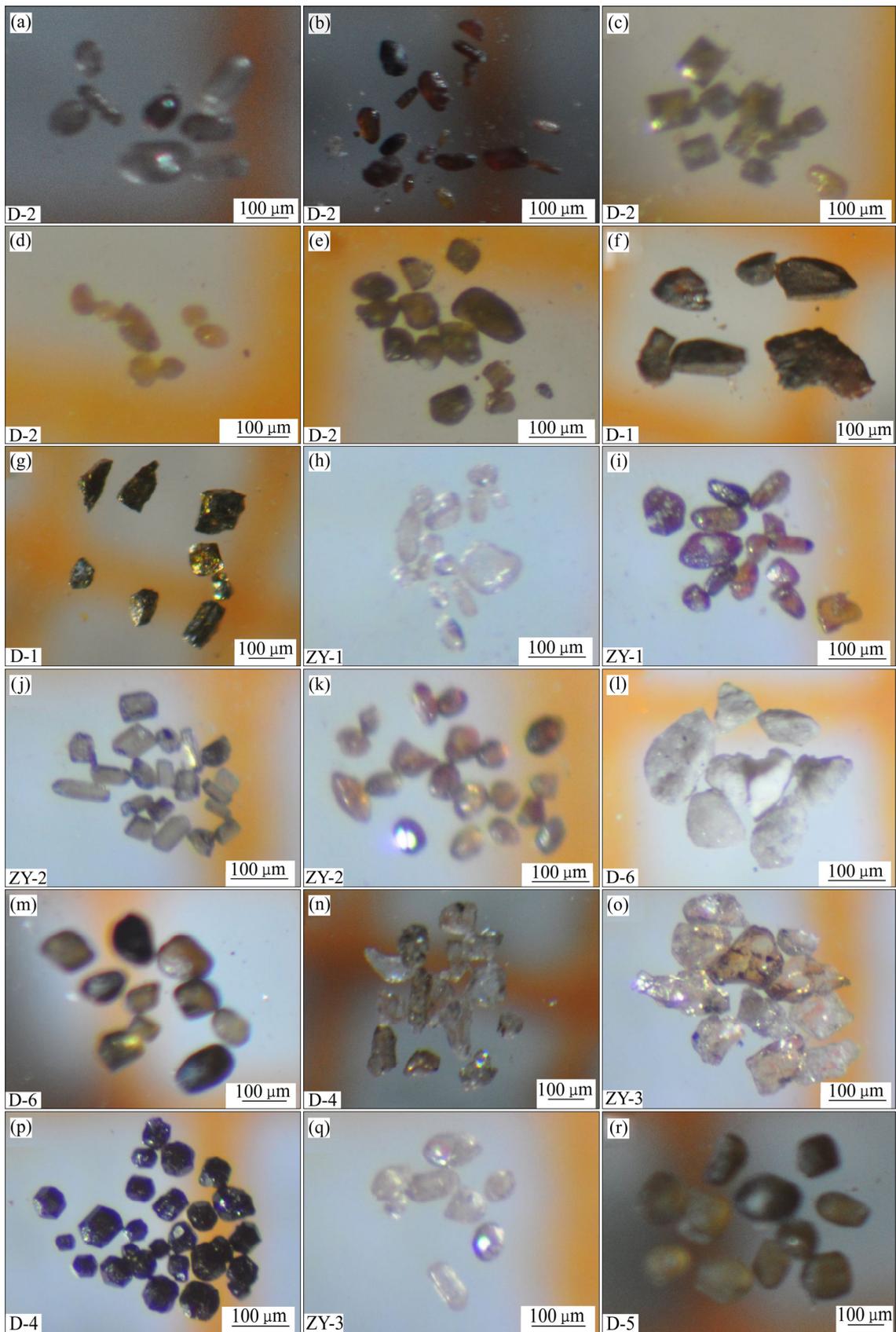


图 4 铝土矿和下伏地层中的重矿物形态

Fig. 4 Heavy mineral morphologies of heavy mineral samples in bauxite and underlayer: (a) Zircon; (b) Rutile; (c) Anatase; (d) Monazite; (e) Tourmaline; (f) Limonite; (g) Pyrite; (h) Zircon; (i) Rutile; (j) Tourmaline; (k) Monazite; (l) Leucoxene; (m) Tourmaline; (n) Garnet; (o) Garnet; (p) Ilmenite; (q) Zircon; (r) Apatite

图4)。总体来说,铝土矿矿石样品与韩家店组泥页岩及黄龙组灰岩整体重矿物组合特征相似,但铝土矿中含有部分稳定重矿物未在下伏泥页岩及灰岩中出现。

遵义地区灰色碎屑状铝土矿(ZY-1)重矿物组合主要为白钛石、锆石、金红石和风化碎屑,白钛石含量极高且次滚圆状,磨圆较好,指示经历了一定的搬运过程,锆石磨圆程度较好。黑色碎屑状铝土矿中(ZY-2)整体组合面貌与白色碎屑状铝土矿(ZY-1)相似,但黄铁矿含量远高于ZY-1。下伏地层中重矿物主要为黄铁矿、褐铁矿、钛铁矿,未见独居石、尖晶石、白钛石,锆石特征与ZY-1, ZY-2相似,但含量少于ZY-1和ZY-2。

务正道地区与遵义地区铝土矿矿石的重矿物组合整体相似而又有一定差异,二者均有各自独有的重矿物,务正道矿石独有矿物为磷钇矿与石榴石,遵义矿石独有矿物为白钛石与尖晶石,遵义矿石中锆石含量高于务正道矿石。

4 讨论

重矿物组合特征可用于分析沉积过程、物源、成矿过程和成矿环境等方面,遵义铝土矿和务正道铝土矿均属于黔北铝土矿,但二者在物源及成矿过程上均有差异。利用重矿物组合分析,不仅可研究务正道铝土矿和遵义铝土矿的沉积过程及物源问题,同时可了解相邻地区不同类型铝土矿的成矿过程,对比二者在成矿机制的异同。

4.1 铝土矿物源特征

铝土矿样品D-1和D-2中的重矿物在韩家店组泥页岩及黄龙组灰岩中基本都能发现,从侧面反映二者应为铝土矿的物源。铝土矿矿石中含有的独居石和磷钇矿却并未在韩家店组泥页岩及黄龙组灰岩有发现,因为独居石与磷钇矿均为来源于母岩的稳定矿物,说明除了韩家店组泥页岩及黄龙组灰岩外还有其他母岩为务正道铝土矿的形成提供了成矿物质,即重矿物组合特征指示务正道铝土矿的形成是多物源共同作用的结果,这与其他研究证明的黔北铝土矿物源的多样性^[1, 13, 15]是相吻合的。

ZY-1和ZY-2均为遵义地区高品位碎屑状铝土矿,但ZY-1为浅灰偏白色,ZY-2为黑色。ZY-1和

ZY-2中均含有独居石、尖晶石、白钛石,但这3种重矿物均未在下伏地层中发现,独居石和尖晶石来源于原始母岩,成矿过程中十分稳定,表明遵义地区的铝土矿也为多物源体系,除下伏的寒武系娄山关群白云岩和桐梓组白云岩外,还有其他母岩提供了成矿物质。

4.2 铝土矿沉积特征

铝土矿中的稳定重矿物如锆石、电气石、独居石、磷钇矿均以次滚圆状为主,磨圆较好,表明成矿物质经历了一定的搬运作用,但这种搬运磨圆作用可能是下伏碎屑岩或碳酸盐岩等母岩成岩过程中形成,也可能是母岩风化后搬运磨蚀形成,或二者兼有。部分圆度较好的稳定重矿物来自玄武岩等岩浆岩母岩,下伏底板中并未发现这些稳定重矿物,证明成矿区母岩风化后的搬运磨蚀作用肯定是存在的。重矿物的搬运磨蚀与细粒沉积物有差异,可能是短距离多期次搬运的结果,与黔北铝土矿形成于整体低能、局部有一定水动力作用的宏观沉积环境相吻合。

4.3 铝土矿成矿过程

样品D-2为碎屑状铝土矿,相对样品D-1疏松、多孔、粗糙,矿化程度较高(Al含量高),样品D-1中黄铁矿含量较多而样品D-2中未发现黄铁矿。诸多学者认为氧化淋滤作用是铝土矿形成的重要原因^[1, 7, 13],黄铁矿较少或未发现黄铁矿的高品位矿石代表了更强的氧化淋滤作用。样品D-1与样品D-2对比,D-2中锆石、金红石等稳定重矿物的含量升高,说明D-2经历了进一步的富集作用,高品位矿石经历了强烈的改造作用,这与碎屑状矿石经历的成矿改造作用强于致密状矿石的客观现实相吻合^[32]。

浅灰偏白色碎屑状矿石和黑色碎屑状矿石均为高品位矿石(见图3(a), (b))。铝土矿矿石的浅灰偏白色是因为在氧化淋滤作用下排铁形成的^[1, 13],指示的是一种氧化条件。铝土矿的黑色(ZY-2)是因为其中有机质含量比较高,黑色铝土矿(ZY-2)中黄铁矿含量远高于白色铝土矿(ZY-1),且在遵义铝土矿中,含矿岩系底部多出现较厚的黄铁矿层(见图5和6),在许多矿床中黄铁矿层厚度较大,品位较高,形成独立的黄铁矿层与铝土矿伴生。黑色矿石可能

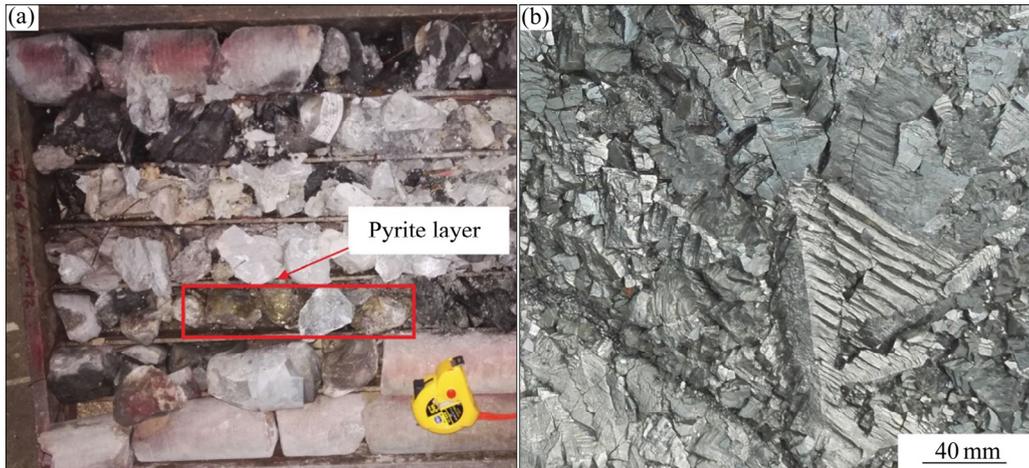


图 5 黄铁矿层

Fig. 5 Pyrite layer: (a) Pyrite layer in a drilled core; (b) Pyrite ore

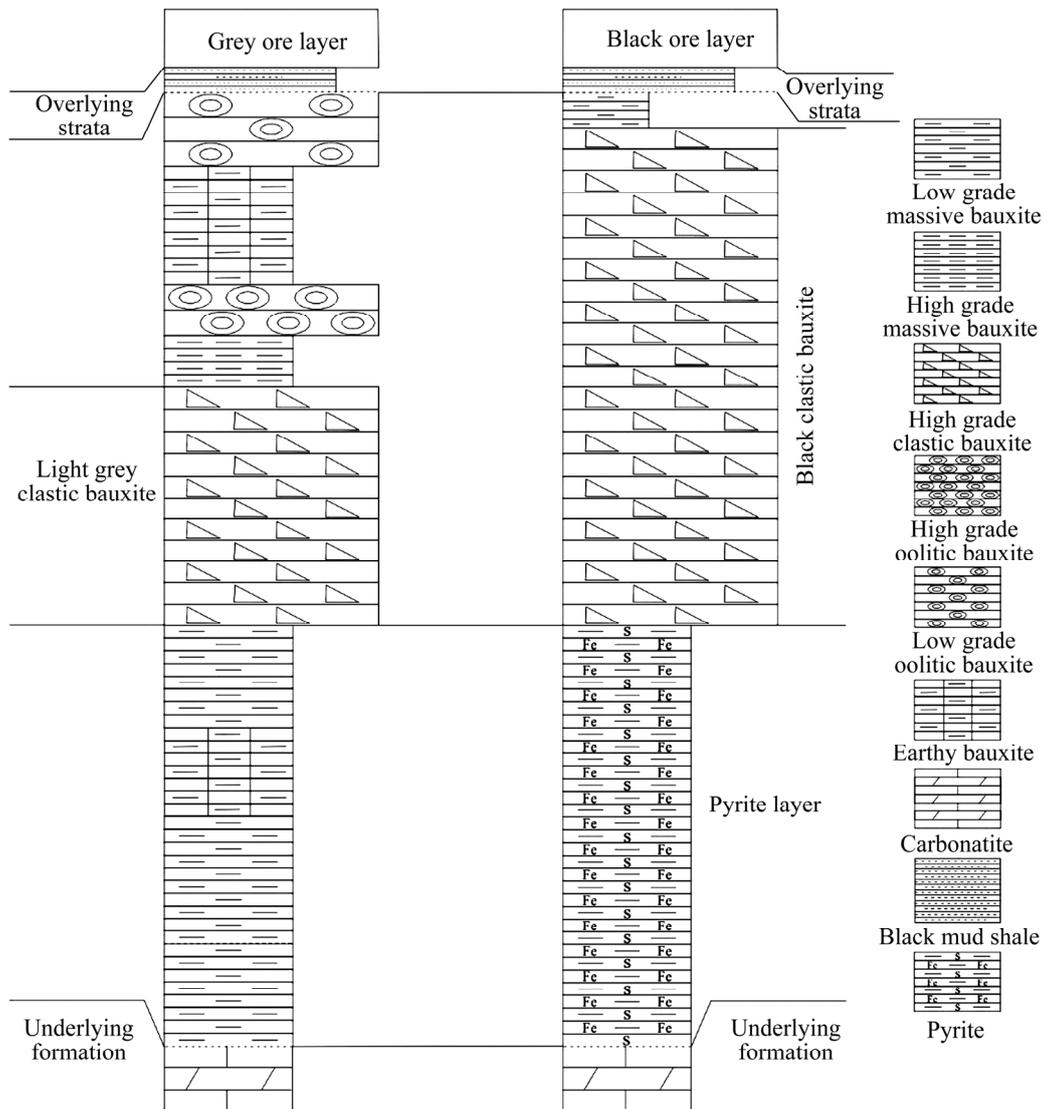


图 6 灰色含矿岩系与黑色含矿岩系对比图

Fig. 6 Stratigraphic histogram of grey ore-bearing rock series and black ore-bearing rock series

因有机质含量高有利于形成硫酸和有机酸,在酸性条件下使铁向下迁移最终在底部形成较厚的黄铁矿。样品 ZY-2 中黄铁矿含量较高而样品 ZY-1 中黄铁矿为偶见矿物,这解释了为何遵义地区黑色的矿石亦是高品位铝土矿,高含量的有机质促使硫酸和有机酸形成。据此认为遵义地区浅灰色铝土矿与黑色铝土矿的颜色差异主要由沉积物中的有机质含量决定:浅灰色矿石其原始沉积物有机质含量较少,在强淋滤作用下脱硅排铁形成浅灰近白色高品位矿石;黑色矿石其原始沉积物有机质含量高有利于形成强酸性环境,淋滤过程中铁在较强酸性环境下被带往底部形成黄铁矿,中上部形成黑色的高品位矿石。

无论浅灰偏白色矿石或是黑色矿石,都是成矿物质暴露地表经历氧化淋滤作用形成,但黑色矿石更依赖淋滤过程中的酸性环境,铁元素主要在酸性条件下向下迁移,浅灰色铝土矿成矿环境的酸性弱于黑色铝土矿。黑色矿石和浅灰色矿石含矿岩系的中上部均为氧化状态,黄铁矿层的形成表明黑色矿石含矿岩系中下部的还原性强于灰色矿石,黑色矿石含矿岩系往底部迅速变为还原环境,浅灰色矿石含矿岩系上部往底部逐渐变为还原环境。务正道地区不具备较大的岩溶洼地和高有机质条件,缺乏形成厚层黑色矿石条件,成矿依赖陆表氧化淋滤作用,因此,务正道地区铝土矿高品位矿石基本为浅灰偏白色矿石,与遵义地区的灰色矿石性质相似。

5 结论

1) 务正道铝土矿重矿物组合以锆石、褐铁矿、金红石为主,遵义铝土矿以白钛石、锆石、金红石、黄铁矿为主。

2) 黔北铝土矿与下伏地层重矿物组合相似,表明下伏地层为铝土矿的形成提供了成矿物质。黔北铝土矿含有部分稳定重矿物如尖晶石、独居石等未在下伏地层中发现,指示除下伏地层外,还有其他岩石为铝土矿的形成提供了成矿物质。

3) 来自岩浆岩母岩的稳定重矿物均经历了一定的搬运磨蚀作用,指示铝土矿成矿过程中局部可能存在一定的水动力作用。

4) 灰色矿石和黑色矿石的形成都经历了陆表氧化淋滤作用。务正道地区不具备较大的岩溶洼地

及高有机质条件,矿石以灰色矿石为主;遵义地区具备岩溶洼地和高有机质条件,除灰色矿石外另含大量黑色矿石。

5) 黑色矿石成矿环境酸性强于灰色矿石,较强酸性条件下,铁往底部迁移,形成较厚的黄铁矿层。

6) 成矿过程中,黑色矿石和灰色矿石含矿岩系中上部成矿环境均为氧化状态,沿剖面由上而下,黑色矿石成矿环境氧含量迅速降低,灰色矿石成矿环境氧含量逐渐降低。

REFERENCES

- [1] 韩宗珠,衣伟虹,李敏,等.渤海湾北部沉积物重矿物特征级物源分析[J].中国海洋大学学报,2013,43(4):73-79.
HAN Zong-zhu, YI Wei-hong, LI Min, et al. Analysis for heavy mineral characteristics and material provenance in the sediments of the northern Bohai bay[J]. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(4): 73-79.
- [2] 付玲,关平,赵为永,等.柴达木盆地古近系路乐河组重矿物特征与物源分析[J].岩石学报,2013,29(8):2867-2875.
FU Lin, GUAN ping, ZHAO Wei-yong, et al. Heavy mineral feature and provenance analysis of paleogene lulehe formation in Qaidam basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(8): 2867-2875.
- [3] 林洪,李凤杰,李磊,等.柴达木盆地北缘古近系重矿物特征及物源分析[J].天然气地球科学,2014,25(4):532-541.
LIN Hong, LI Feng-jie, LI Lei, et al. Characteristics of paleogene heavy mineral and its source in northern margin of Qaidam basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(4): 532-541.
- [4] 杜远生,周琦,金中国,等.黔北务正道地区铝土矿基础地质与成矿作用研究进展[J].地质科技情报,2013,32(1):1-6.
DU Yuan-sheng, ZHOU Qi, JIN Zhong-guo, et al. Advances in basic geology and metallogenic regularity study of bauxite in Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, northern Guizhou, China[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 1-6.
- [5] 翁申富,雷志远,陈强,等.黔北务正道地区铝土矿沉积相与矿石品质的关系[J].地质科技情报,2013,32(1):19-22.

- WENG Shen-fu, LEI Zhi-yuan, CHENG Qiang, et al. A correlation of sedimentary facies and bauxite ore grade of the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen bauxitic belt, northern Guizhou province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(1): 19–22.
- [6] 雷志远, 翁申富, 陈强, 等. 黔北务正道地区早二叠世大竹园期岩相古地理及其对铝土矿的控矿意义[J]. *地质科技情报*, 2013, 32(1): 8–12.
- LEI Zhi-yuan, WENG Sheng-fu, CHENG Qiang, et al. Lithofacies paleogeography of the Dazhuyuan age, early Permian in the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, northern Guizhou province and its implication for bauxitisation[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(1): 8–12.
- [7] 余文超, 杜远生, 顾松竹, 等. 黔北务正道地区早二叠世铝土矿多期淋滤作用及其控矿意义[J]. *地质科技情报*, 2013, 32(1): 34–39.
- YU Wen-chao, DU Yuan-sheng, GU Song-zhu, et al. Multiperiod leaching process of early permian bauxite in Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, northern Guizhou province and its significance of ore-control[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(1): 34–39.
- [8] 朱永红, 翁申富, 李沛刚, 等. 贵州遵义铝土矿(带)成矿条件及成因分析[J]. *地质科技情报*, 37(1): 177–183.
- ZHU Yong-hong, WENG Shen-fu, LI Pei-gang, et al. Metallogenic factor and origin in Zunyi bauxite belt, Guizhou[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2018, 37(1): 177–183.
- [9] 汪小妹, 焦养泉, 杜远生, 等. 黔北务正道地区铝土矿稀土元素地球化学特征[J]. *地质科技情报*, 2013, 32(1): 27–33.
- WANG Xiao-mei, JIAO Yang-quan, DU Yuan-sheng, et al. Rare earth element geochemistry of bauxite in Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, northern Guizhou province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(1): 27–33.
- [10] 张莹华, 凌文黎, 吴慧, 等. 黔北铝土矿不同类型矿石地球化学特征及其对成矿作用的指示[J]. *地质科技情报*, 2013, 32(1): 71–79.
- ZHANG Ying-hua, LIN Wen-lin, WU Hui, et al. Geochemistry of varied type ores of northern Guizhou bauxite and its implication for mineralization[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(1): 71–79.
- [11] 黄兴, 张雄华, 杜远生, 等. 黔北地区铝土矿形成的地质时代[J]. *地质科技情报*, 2012, 31(3): 49–54.
- HUANG Xing, ZHANG Xiong-hua, DU Yuan-sheng, et al. Age of bauxite forming in Northern Guizhou[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2012, 31(3): 49–54.
- [12] 黄兴, 张雄华, 杜远生, 等. 黔北务正道地区及邻区石炭纪–二叠纪之交海平面变化对铝土矿的控制[J]. *地质科技情报*, 2013, 32(1): 80–86.
- HUANG Xing, ZHANG Xiong-hua, DU Yuan-sheng, et al. Control of sea-level changes over the forming of bauxite between Carboniferous and Permian in northern Guizhou and adjacent regions[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(1): 80–86.
- [13] 崔滔, 焦养泉, 杜远生, 等. 黔北地区铝土矿矿物学与地球化学特征[J]. *中国有色金属学报*, 2013, 23(10): 2905–2920.
- CUI Tao, JIAO Yang-quan, DU Yuan-sheng, et al. Mineralogical and geochemical characteristic of bauxite in northern Guizhou[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2013, 23(10): 2905–2920.
- [14] GU Jing, HUANG Zhi-long, FAN Hong-peng, et al. Provenance of lateritic bauxite deposits in the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, northern Guizhou province, China: LA-ICP-MS and SIMS U-Pb dating of detrital zircons[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 70: 265–282.
- [15] 余文超, 杜远生, 周琦, 等. 黔北务正道地区下二叠统铝土矿层物源研究: 来自碎屑锆石年代学的证据[J]. *古地理学报*, 2014, 1(16): 19–29.
- YU Wen-chao, DU Yuan-sheng, ZHOU Qin, et al. Provenance of bauxite beds of the lower Permian in Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, northern Guizhou province: Evidence from detrital zircon chronology[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2014, 1(16): 19–29.
- [16] 赵芝, 王登红, 李沛刚, 等. 黔北大竹园碎屑锆石年代学及成矿指示意义[J]. *岩矿测试*, 2013, 32(1): 166–173.
- ZHAO Zhi, WANG Deng-hong, LI Pei-gang, et al. Detrital zircon U-Pb geochronology of the Dazhuyuan formation in northern Guizhou: Implication for bauxite mineralization[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2013, 32(1): 166–173.
- [17] 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.
- CUI Tao, JIAO Yang-quan, DU Yuan-sheng, et al. Analysis on paleosalinity of sedimentary environment of bauxite in northern Guizhou[J]. *Geology Science and Technology Information*, 2013, 32(1): 46–51.

- [18] 刘辰生, 金中国, 郭建华. 黔北务正道地区淡水沉积型铝土矿床沉积相[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2015, 46(3): 962-969.
LIU Chen-sheng, JIN Zhong-guo, GUO Jian-hua. Facies analysis of sedimentary bauxite deposition in freshwater of Wuzhengdao in northern Guizhou[J]. Journal of Central South University(Science and Technology), 2015, 46(3): 962-969.
- [19] 刘平, 廖友常, 张雅静. 沉积型铝土矿及其含矿岩系在溶蚀洼地中的沉积特征——以遵义后槽矿区为例[J]. 中国地质, 2016, 43(2): 546-563.
LIU Ping, LIAO You-chang, ZHANG Ya-jing. Sedimentary characteristics of sedimentary bauxite and ore-bearing rock series in corroded depression: A case study of the Houcao mining area in Zunyi[J]. Geology in China, 2016, 43(2): 546-563.
- [20] WENG Shen-fu, YU Wen-chao, ALGEO T J, et al. Giant bauxite deposits of South China: Multistage formation linked to Late Paleozoic Ice Age (LPIA) eustatic fluctuations[J]. Ore Geology Reviews, 2019, 104: 1-13.
- [21] 张亚男, 张莹华, 吴慧, 等. 黔北务正道地区铝土矿鲕状矿石中鲕粒的微区元素地球化学特征及其成矿意义[J]. 地质科技情报, 2013, 32(1): 62-70.
ZHANG Ya-nan, ZHANG Ying-hua, WU Hui, et al. Microscopic geochemical characteristics of oolite in oolitic bauxite ores from Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area in the northern Guizhou province and their metallogenic significance[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 62-70.
- [22] 王登红, 李沛刚, 屈文俊, 等. 贵州大竹园铝土矿中钨和锂的发现与综合评价[J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 125(1): 44-51.
WANG Deng-hong, LI Pei-gang, QU Wen-jun, et al. Discovery and preliminary study of the high tungsten and lithium contents in the Dazhuyuan bauxite deposit, Guihou, China[J]. Science China: Earth Science, 2013, 125(1): 44-51.
- [23] 刘平, 廖友常, 韩忠华, 等. 黔中-渝南铝土矿含矿岩系稀土元素地球化学特征[J]. 贵州地质, 2019, 36(1): 1-9.
LIU Ping, LIAO You-chang, HAN Zhong-hua, et al. Geochemical characteristics of REE in ore-bearing rock series of central Guizhou and south Chongqing[J]. Guizhou Geology, 2019, 36(1): 1-9.
- [24] 周文龙, 刘幼平. 贵州铝土矿基底地层特征及与成矿的关系[J]. 地质与勘探, 2016, 52(3): 462-471.
ZHOU Wen-long, LIU You-ping. Characteristics of basement strata in bauxite deposits of Guizhou province and their relationships to regional mineralization[J]. Geology and Exploration, 2016, 52(3): 462-471.
- [25] 金中国, 邹林, 张力, 等. 贵州务正一道地区铝土矿成矿模式与找矿模型[J]. 沉积学报, 2018, 36(5): 914-926.
JIN Zhong-guo, ZOU Lin, ZHANG Li, et al. Metallogenic and prospecting models of bauxite in Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, Guizhou Province[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2018, 36(5): 914-926.
- [26] 刘辰生, 金中国, 郭建华. 海平面变化对沉积型铝土矿富集成矿的影响——以黔北铝土矿为例[J]. 中国有色金属学报, 2018, 28(5): 985-993.
LIU Chen-sheng, JIN Zhong-guo, GUO Jian-hua. Effect of sea level change on enrichment and mineralization of bauxite-taking Qianbei bauxite for example[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2018, 28(5): 985-993.
- [27] 崔滔. 黔北铝土矿成矿关键控制因素——海平面变化[J]. 中国有色金属学报, 2020, 30(6): 1466-1479.
CUI Tao. Key control factor in ore-forming process of bauxite in northern Guizhou-Sea level changes[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2020, 30(6): 1466-1479.
- [28] 李玉娇, 张正伟, 周灵洁, 等. 贵州省遵义铝土矿矿物学及地球化学特征[J]. 矿物学报, 2014, 34(2): 234-246.
LI Yu-jiao, ZHANG Zheng-wei, ZHOU Ling-jie, et al. Mineralogical and geochemistry feature of Zunyi bauxite deposit, Guizhou province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2014, 34(2): 234-246.
- [29] 刘平. 八论贵州之铝土矿——黔中-渝南铝土矿成矿背景及成因探讨[J]. 贵州地质, 2001, 18(4): 238-243.
LIU Ping. Discussion on the metallogenic setting of the Qianzhong-Yu'nan bauxite in Guizhou and its genesis[J]. Guizhou Geology, 2001, 18(4): 238-243.
- [30] 杜定全, 任军平, 王约, 等. 古岩溶起伏对黔北铝土矿的控制作用[J]. 矿物学报, 2007, 23(4): 473-476.
DU Ding-quan, REN Jun-ping, WANG Yue, et al. Controlling of ancient karst hysionomy on bauxite in northern Guizhou[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2007, 23(4): 473-476.
- [31] WANG Xiao-mei, JIAO Yang-quan, DU Yuan-shen, et al. REE mobility and Ce anomaly in bauxite deposit of WZD area, northern Guizhou, China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2013, 133: 103-117.
- [32] CUI Tao. Mineral genesis and evolutionary sequence of bauxite deposit in WZD area, northern Guizhou, China[J]. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2015, 20(19): 11379-11391.

Characteristics and geological significance of heavy mineral assemblages in bauxite of northern Guizhou

CUI Tao, ZHANG Min

(College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China)

Abstract: Four samples of bauxite and six samples from the bottom plate were taken in northern Guizhou area for heavy mineral screening analysis. The heavy minerals of the WZD bauxite of northern Guizhou are mainly weathering debris, zircon, pyrite, limonite and anatase. The heavy mineral combination of the Zunyi bauxite of northern Guizhou is mainly composed of white titanium, weathering debris, zircon, rutile, anatase and weathering debris. The characteristics of heavy mineral assemblages in the bauxite of northern Guizhou are similar to those of the underlying stratum, but some heavy minerals in bauxite are not found in the underlying stratum, indicating that the mineralization material of the bauxite of northern Guizhou is provided by various parent rocks. The black ore in the Zunyi area of northern Guizhou has a high content of organic matter. The acidic environment causes the iron to migrate downwards to form pyrite. The black ore also undergoes oxidative leaching, but its ore-forming mechanism is different from that of light-gray bauxite. The ore-forming environment of black bauxite is more acidic than that of light-gray bauxite.

Keywords: heavy mineral; assembly; provenance; ore-forming process; northern Guizhou

Foundation item: Projects(LH[2014]7358, QKHJC[2017]1410) supported by the Science and Technology Department of Guizhou Province

Received date: 2020-05-20; **Accepted date:** 2020-11-28

Corresponding author: CUI Tao; Tel: +86-18085191983; E-mail: cuitao1203@163.com

(编辑 龙怀中)