

doi: 10.12029/gc20160525

刘平, 廖友常, 张雅静. 黔北大竹园地区铝土矿含矿岩系沉积环境及形成机制[J]. 中国地质, 2016, 43(6): 2173–2190.

Liu Ping, Liao Youchang, Zhang Yajing. The sedimentary environment and formation mechanism of bauxite-bearing rock series in Dazhuyuan area, northern Guizhou Province[J]. *Geology in China*, 2016, 43(6): 2173–2190(in Chinese with English abstract).

黔北大竹园地区铝土矿含矿岩系沉积环境 及形成机制

刘 平 廖友常 张雅静

(贵州省地质矿产勘查开发局 106 地质大队, 贵州 遵义 563000)

摘要: 黔北大竹园地区铝土矿含矿岩系的岩石地层为上石炭统大竹园组, 是在晚石炭世马平期渝鄂海湾南西侧近海湖泊群中的濯水湖沉积形成的。大竹园组下段沉积时期, 距渝鄂海湾的海岸线较近, 濯水湖面积较大(约 480 km²), 水位较高, 属永久性低能浅水湖泊, 以化学沉积作用为主, 沉积了大面积的绿泥石岩、绿泥石黏土岩、铁质黏土岩以及少量鲕绿泥石铁矿和赤铁矿。大竹园组上段沉积时期, 与渝鄂海湾海岸线间距拉大, 湖水变浅, 面积缩小(约 288 km²), 成为间歇性洪控高能浅水湖泊, 以物理沉积作用为主, 沉积了分布连续、面积巨大的碎屑状铝土矿(岩)体。

关键词: 铝土矿含矿岩系; 大竹园组; 沉积环境; 形成机制; 大竹园地区; 黔北

中图分类号: P588.24*1 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)06-2173-19

The sedimentary environment and formation mechanism of bauxite-bearing rock series in Dazhuyuan area, northern Guizhou Province

LIU Ping, LIAO You-chang, ZHANG Ya-jing

(No. 106 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Zunyi 563000, Guizhou, China)

Abstract: The lithostratigraphy of the bauxite-bearing rock series of Dazhuyuan area in northern Guizhou is the upper Carboniferous Dazhuyuan Formation, which was deposited in Zhushui Lake in the late Carboniferous Maping stage. The lake was one of the offshore lakes in the southwest of Yu'e Bay. In the period of the early Dazhuyuan Formation, the high water lake with the area of 480 km² was close to the coastline of Yu'e Bay. Sediments were mainly derived from the chemical deposition in the permanent low-energy shallow lake. It deposited amounts of chlorite rock, chlorite clay rock, ferruginous clay rock and a small amount of chamosite iron, hematite. In the period of the late Dazhuyuan Formation, the lake with the area of 288 km² became shallow and small because of the augmenting of the distance between the lake and the coastline of Yu'e Bay. Then the lake became an intermittent flood control high-energy shallow lake. Huge areas of bauxite (bauxite rock) was deposited from the physical deposition.

Key words: bauxite-bearing rock series; Dazhuyuan Formation; sedimentary environment; formation mechanism; Dazhuyuan area;

收稿日期: 2015-12-05; 改回日期: 2016-07-03

作者简介: 刘平, 男, 1935 年生, 高级工程师, 长期从事地质和矿产资源勘查工作; E-mail: lyc106@163.com。

northern Guizhou

About the first author: LIU Ping, male, born in 1935, senior engineer, long engages in the study of geology and mineral resources exploration; E-mail: lyc106@163.com.

黔北大竹园地区铝土矿,位于黔中—渝南铝土矿成矿带北部的贵州境内,辖属与重庆市接壤的务川县和道真县。大竹园地区包括务川自治县大竹园、大尖山和道真自治县桶坪3个铝土矿区(图1)。鉴于这3个铝土矿区紧密相邻,具有极好的成矿远景,地质矿产部曾于1993年3月确定为中国20个重点普查项目之一^[1]。经多年地质勘查,现已证实大竹园地区3个矿区的铝土矿资源量已达超大型矿床规模^[2-8],成为黔中—渝南铝土矿成矿带中最好的矿集区之一。

随着黔北铝土矿地质勘查和科学研究的深入开展,已有众多地质工作者从多个角度、不同方位进行了广泛的研究^[9-25]。本文以前述地质勘查成果^[2-8]中的实际资料为基础,结合笔者实地观察结果,着重研究大竹园地区铝土矿及含矿岩系特征,探讨其沉积环境及形成机制。

1 区域地质、地貌及古地理概况

黔中—渝南铝土矿成矿带,位于扬子准地台(I级)西部黔北台隆(II级)的遵义断拱(III级)中,遵义断拱向北东延伸至重庆市南部^[26]。遵义断拱是在广西运动(志留纪与泥盆纪之间)隆起的基础上,于泥盆纪、石炭纪不断隆升而形成的,以致大部分地区缺失或很少接受泥盆纪、石炭纪的海相沉积,使区内寒武纪、奥陶纪和早志留世海相地层,相继隆起为陆,经长期风化剥蚀,到泥盆纪末,全区已准平原化。

早石炭世岩关期,全区发生了红土化、钙红土化作用,形成了覆盖全区的含三水铝石的红土风化壳,为沉积型铝土矿及其含矿岩系准备了充足的物质。早石炭世大塘期早、中期海退期间,于遵义以南的修文沉积区和息烽—遵义沉积区沉积了早石炭世铝土矿含矿岩系—九架炉组(C_2j)。黔北的绥阳—正安—道真—渝南沉积区在早石炭世岩关期形成第一批含三水铝石红土风化壳之后,在晚石炭世滑石板期—达拉期,自北向南发生了一次小规模海侵,沉积了厚度不大的黄龙组(C_2h)石灰岩,紧接着黄龙组石灰岩钙红土化,形成了第二批含三水铝石红土风化壳,并于

晚石炭世马平期海退过程中,沉积了晚石炭世铝土矿含矿岩系——大竹园组(C_2d)^[10,11,12,18,23]。

在遵义附近的松烟—中桥—仁怀一线,于石炭纪形成一NWW向的低山—丘陵带,该带内既无早石炭世的九架炉组沉积,亦无晚石炭世大竹园组沉积,是一个纯粹的隆起—剥蚀带,它是九架炉组与大竹园组的分界线,亦是南部息烽—遵义沉积区与北部绥阳—正安—道真—渝南沉积区的分水岭^[23]。

松烟—中桥—仁怀低山—丘陵带以北至渝南广大地域,在地貌上属黔北—渝南准平原,是晚石炭世马平期渝鄂海湾南西部的近海湖泊区^[25]。大量资料显示,该区域内当时曾有多湖泊分布,大竹园地区铝土矿及其含矿岩系,就是在其中一个湖泊内沉积形成的。

2 大竹园地区铝土矿含矿岩系

大竹园组(C_2d)命名于务川县濯水镇大竹园村,命名时未建立层型剖面,在黔北—渝南一带泛指假整合于下志留统韩家店群(S_1hj)海相的含粉砂质条带的伊利石页岩、泥岩侵蚀面和(或)上石炭统海相黄龙组(C_2h)石灰岩侵蚀面之上,中二叠统梁山组(P_2l)海相炭质页岩、硅质岩和(或)栖霞组(P_2q)海相石灰岩之下的一套以陆相沉积为主的铝土矿含矿岩系^[23,25]。在各层中除有明确的古生物化石之外,大竹园组与各下伏、上覆地层之间,均具有明显的侵蚀间断面,假整合界线清晰可辨。图2、图3为大区域范围内大竹园组与上覆中二叠统梁山组的假整合素描图。

2.1 铝土矿含矿岩系的岩石地层剖面

黔北—渝南的大竹园组类似,由于沉积环境的差异,受剥蚀程度的不同,各地又有明显区别。结合文献[2](大尖山矿区TC3017、大竹园矿区TC1022、桶坪矿区TC5192)及文献[4](新民矿区TC300)中实测地层剖面记录,岩矿鉴定和化学分析结果以及笔者野外实地观察,现自东向西,依次对大尖山矿区TC3017、大竹园矿区TC1022、桶坪矿区TC5192、新民矿区TC300等大竹园组剖面(图1)分

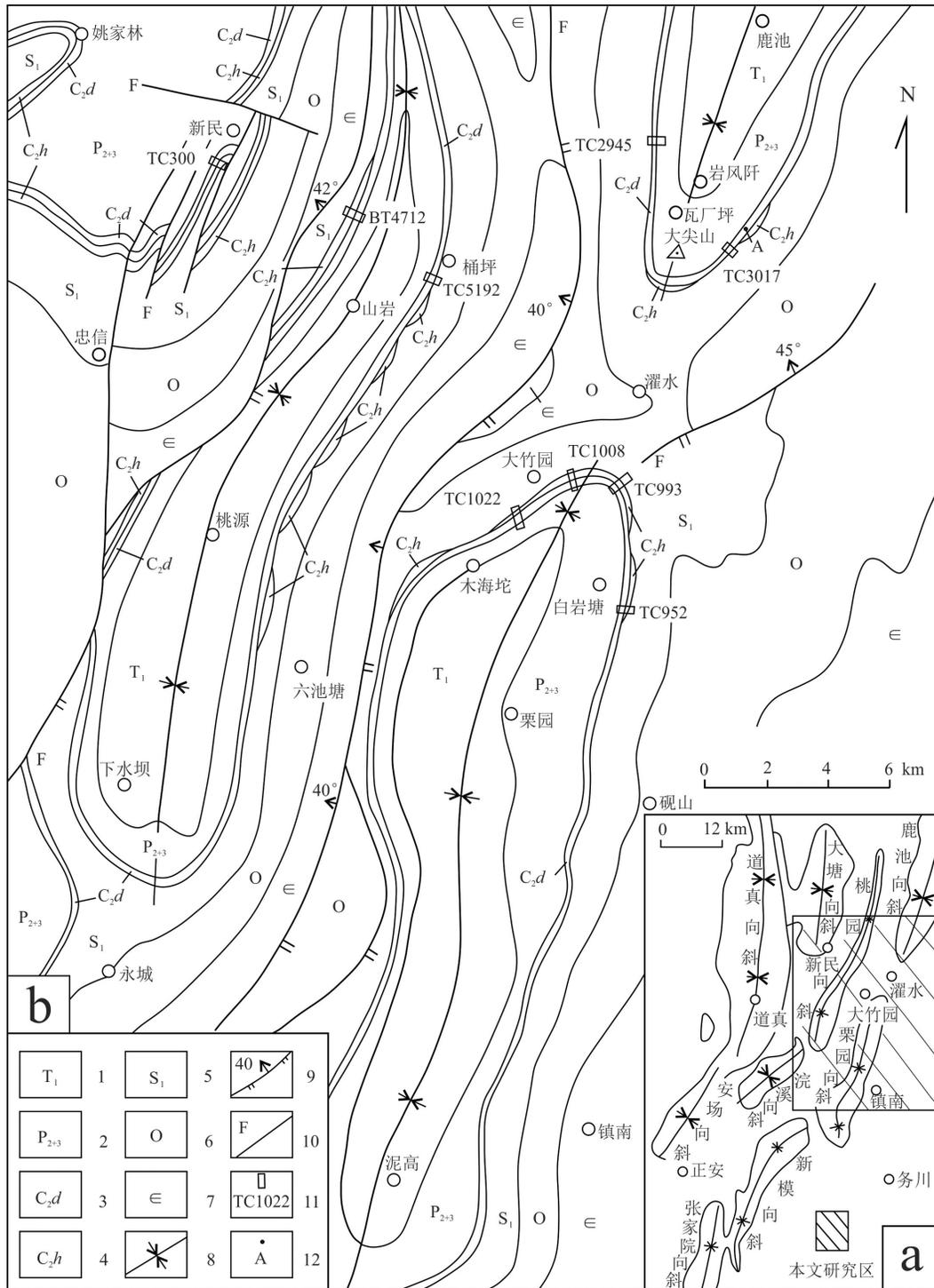


图1 研究区位置图(a)及大竹园地区铝土矿地质图(b)

1—下三叠统; 2—中、上二叠统并层; 3—上石炭统大竹园组; 4—黄龙组; 5—下志留统; 6—奥陶系; 7—寒武系; 8—向斜轴; 9—逆断层及倾向;
10—性质不明断层; 11—探槽及编号(BT4712为剥土工程编号); 12—A露头素描点

Fig.1 The map of the location of the study area (a) and geological map of Dazhuyuan bauxite area (b)

1—Lower Triassic; 2—The merged layer of Middle and Upper Permian; 3—Upper Carboniferous Dazhuyuan Formation; 4—Huanglong Formation;
5—Lower Silurian; 6—Ordovician; 7—Cambrian; 8—Synclinal axis; 9—Reverse fault and the dip; 10—Unknown fault; 11—Trench and its serial
number (BT4712 is the number of an overburden removing); 12—Location of the sketch of A outcrop

①据贵州地矿局106地质大队1986—1994年黔北铝土矿远景调查资料编绘。

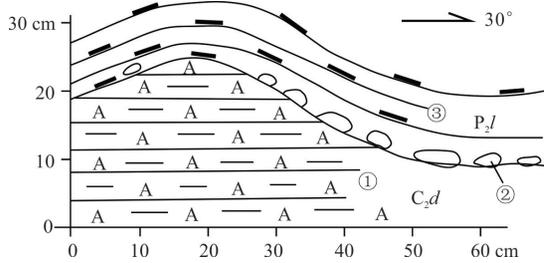


图2 大竹园矿区TC971 C_{2d}与P_{2l}假整合素描图
①—大竹园组铝土岩; ②—中二叠统梁山组底部铝土质砾石; ③—梁山组炭质页岩

Fig.2 The sketch of the unconformity of C_{2d} and P_{2l} at TC971 in the Dazhuyuan mining area

①—Bauxitic rock of Dazhuyuan Formation; ②—Bauxitic gravel at the bottom of Middle Permian Liangshan Formation; ③—Carbonaceous shale of Liangshan Formation

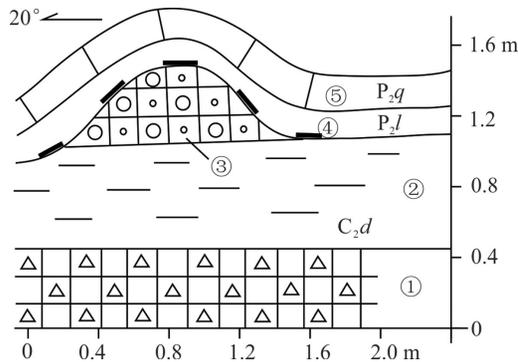


图3 凤王槽矿区TC18-1 C_{2d}与P_{2l}假整合素描图
①—大竹园组碎屑状铝土矿; ②—黏土岩; ③—豆砾状铝土矿;
④—中二叠统梁山组炭质页岩; ⑤—栖霞组石灰岩

Fig. 3 The sketch of the unconformity of C_{2d} and P_{2l} at TC18-1 in the Fengwangcao mining area

①—Clastic bauxite of Dazhuyuan Formation; ②—Clay rock;
③—Pisolitic bauxite; ④—Carbonaceous shale of Middle Permian Liangshan Formation; ⑤—Limestone of Qixia Formation

别阐述于后。

2.1.1 务川县大尖山矿区TC3017大竹园组剖面

剖面位于鹿池向斜南部转折端东侧。

上覆地层:

中二叠统栖霞组(P_{2q}): 深灰色含有机质生物屑粉晶灰岩, 下部夹薄层硅质岩。厚度>5 m

整合
中二叠统梁山组(P_{2l}): 黑色薄层炭质页岩。 0.25 m

假整合

上石炭统大竹园组(C_{2d}) 9.35 m

上段(C_{2d}^上) 5.80 m

14. 浅灰绿色豆鲕状碎屑黏土岩。其中豆粒直径2~6 mm,

含量20%~26%; 鲕粒直径多<1 mm, 含量约20%; 岩石碎屑约10%; 豆、鲕均已破裂成碎屑。豆、鲕、岩屑成分以黏土矿物(高岭石、伊利石)为主, 伴有少量硬水铝石。豆、鲕、岩屑常组成复碎屑, 豆粒中时见干裂现象。碎屑多为次棱角至次浑圆状, 分布杂乱。样号LCK1。

0.50 m

13. 浅灰绿、浅黄绿色含豆鲕碎屑状铝土岩。豆粒约35%, 鲕粒5%~8%, 碎屑10%~15%。豆鲕粒多已破裂成碎屑。以次棱角状、次浑圆状为主, 少数浑圆状, 分布杂乱, 无分选性。豆、鲕、碎屑常组成复碎屑, 豆粒中见干裂现象。豆、鲕、碎屑由硬水铝石及黏土矿物(高岭石、伊利石)组成, 底面不平整。样号LCK11。

0.40 m

12. 浅灰、灰白色半土状砂屑铝土矿。碎屑含量约40%, 粒径以0.04~0.32 mm的砂屑为主, 其中含少量破裂成砂屑的豆、鲕粒。碎屑多呈次圆、扁圆形, 顺层分布。各种碎屑均由硬水铝石组成。底面不平整。样号LCK12。

1.00 m

11. 浅灰、灰白色半土状泥晶铝土矿。岩石主要由<0.006 mm的硬水铝石组成泥晶结构, 内含约5%的砂级、粉砂级碎屑。样号LCK13。

0.85 m

10. 灰色含碎屑含黏土质致密状铝土矿。岩石主要由<0.003 mm的硬水铝石及少量黏土矿物(高岭石、伊利石)组成泥晶结构, 其中含有20%的砂级碎屑(粒径0.04~<2 mm)。样号LCK14。

0.80 m

9. 灰色含碎屑含黏土质致密状铝土岩。岩石主要由<0.005 mm的硬水铝石及少量伊利石组成。样号LCK15。

0.70 m

8. 灰、褐灰、黄绿等杂色碎屑状铝土矿。岩石碎屑含量约40%, 以>2 mm的砾屑为主, 砂屑较少, 复碎屑较多, 常见干裂构造。碎屑及胶结物主要由硬水铝石及少量伊利石、绿泥石(1%~2%)组成。样号LCK16。

0.35 m

7. 黄绿色碎屑状伊利石铝土岩。岩石胶结物以伊利石为主(高岭石少量)组成泥质结构。碎屑含量约35%, 其中以2~4 mm的砾屑为主, 砂屑较少。碎屑表面光滑, 多呈次圆状。复碎屑较多。碎屑由两种成分组成, 一种主要由绿泥石及少量黏土矿物(伊利石为主)组成, 含量约30%。另一种碎屑主要由伊利石与硬水铝石组成, 含量约5%。岩石中绿泥石约占30%。样号LCK17。

0.35 m

6. 灰绿色碎屑状含绿泥石铝土矿。岩石具碎屑结构, 碎屑含量35%~40%。下部以砾屑为主, 砂屑次之; 上部以砂屑为主, 砾屑次之。另有少量破碎的鲕粒。复碎屑较多。碎屑间有铁质、炭质充填。碎屑主要由硬水铝石与黏土矿物(伊利石与高岭石)组成。胶结物由<0.005 mm的硬水铝石、黏土矿物及绿泥石组成, 绿泥石含量约15%。此层底界甚不平整。样号LCK18。

0.85 m

下段(C_{2d}) 3.55 m

5. 灰、深灰色含碎屑伊利石黏土岩。岩石含碎屑15%~20%, 以砾屑为主, 砂屑次之; 常见破碎的鲕粒; 复碎屑较多;

碎屑磨圆度较好,多呈次圆—浑圆状,分选较好,基底式胶结。胶结物主要由伊利石、绿泥石组成泥质结构,伊利石占75%~80%,绿泥石含量10%~15%,硬水铝石2%~3%。此层自下而上由粉砂质条带(条带宽2~10 mm)组成斜层理,内含较多植物化石碎片及炭屑。样号 LCK19。 0.40 m

4.灰绿色内碎屑绿泥石岩。岩石由两种不同的绿泥石组成内碎屑。碎屑以砾屑为主,形态不规则,界线不清,杂乱分布。一种碎屑由干涉色为黄绿色的绿泥石组成,另一种碎屑由干涉色为灰色的绿泥石组成。胶结物为上述两种绿泥石的混合物。碎屑与胶结物界线不清。绿泥石含量>95%,伊利石<2%。样号 LCK20。 0.85 m

3.墨绿色内碎屑绿泥石岩。岩性与上一件大致相同。绿泥石含量>95%,伊利石<5%。样号 LCK21。 0.80 m

2.黄绿、灰绿色碎屑状伊利石黏土岩。岩石由伊利石组成泥质结构,其中含有30%的碎屑。碎屑以砾级为主,呈次圆—浑圆状。碎屑成分有两种,一种由伊利石组成,另一种由绿泥石组成。岩石中伊利石含量约90%,绿泥石8%~10%。样号 LCK22。 1.00 m

1.紫红、灰绿等杂色粉砂质黏土岩。底部含粉砂质页岩角砾。样号 LCK23。 0.2~0.5 m

———假整合———

下伏地层:

下志留统韩家店群(*S₁h₁*):灰绿、紫红色页岩、粉砂质页岩及泥岩。 >10 m

2.1.2 务川县大竹园矿区 TC1022 大竹园组剖面

剖面位于栗园向斜北部转折端西侧,是距命名地大竹园村最近且最重要的地层剖面。

上覆地层:

中二叠统栖霞组(*P₂q*):深灰色中厚层—厚层细晶灰岩,下部夹深灰色硅质岩及黑色炭质页岩。 10 m

———假整合———

上石炭统大竹园组(*C₂d*) 10.70 m

上段(*C₂d'*) 7.00 m

13.紫红、灰绿色砂砾屑铝土岩。不显层理,块状构造。砂砾屑不均匀杂乱分布,以2~15 mm砾屑为主,砂屑较少,多呈次棱角状、次圆状,少数浑圆状。碎屑主要由黏土矿物组成,有的碎屑由黏土矿物及少量硬水铝石组成,有较多复碎屑。胶结物主要由黏土矿物(高岭石为主)组成。杂基—颗粒支撑,接触式胶结。底面甚不平整。样号 WDK244。 0.70 m

12.灰、浅黄灰色半土状泥晶铝土矿。岩石由<0.006 mm的硬水铝石组成泥晶结构。硬水铝石含量>95%。样号 WDK245。 2.20 m

11.灰色含碎屑铝土岩。岩石由硬水铝石与黏土矿物组成泥质结构,内有10%~15%的碎屑,碎屑以0.5~10 mm的砂、砾屑为主,多呈次棱角—次圆状及不规则状,复碎屑较

多。硬水铝石45%~60%,其余为黏土矿物。颗粒支撑,接触式胶结。样号 WDK246。 0.25 m

10.暗绿色碎屑状绿泥石铝土矿。碎屑含量约40%,其中以>2 mm的砾屑为主,磨圆度较好,多呈次圆、椭圆状,大致顺层排列;砂屑、粉砂屑较少,多次棱角—次圆状。复碎屑较多。硬水铝石40%~50%,绿泥石40%~50%,黏土矿物<10%。杂基支撑,基底式胶结。底界面不平整。样号 WDK247。 0.50 m

9.灰绿、黄绿色含砾砂屑绿泥石铝土岩。碎屑含量约45%,其中砂屑(粒径0.2~1.8 mm)约40%,砾屑(2~10 mm)5%,棱角状—次圆状。硬水铝石含量40%~50%(局部>60%),绿泥石与黏土矿物(二者不易区分)>50%。颗粒支撑,接触式胶结。样号 WDK248。 0.70 m

8.暗绿色碎屑状绿泥石铝土矿。碎屑含量约20%,上部砂砾屑较多,下部砾屑为主,粒径5~15 mm,次棱角—次圆状,部分多椭圆状。复碎屑较多。胶结物为<0.005~0.005 mm的粒状半自形硬水铝石和少量绿泥石组成。砂、砾屑主要由叶片状绿泥石或绿泥石与硬水铝石组成。硬水铝石含量60%~75%,绿泥石20%~30%,黏土矿物<10%。杂基支撑,基底式胶结。底界面不平整。样号 WDK249。 1.20 m

7.灰绿色含绿泥石致密状铝土岩。岩石由硬水铝石(一般含量50%~60%,局部80%)、绿泥石(25%~30%)及少量黏土矿物组成。其中,硬水铝石以0.005~0.05 mm的粉晶结构为主。样号 WDK250。 1.45 m

下段(*C₂d'*) 3.70 m

6.深灰绿、墨绿色碎屑状绿泥石岩。不显层理,块状构造。碎屑总量>50%,碎屑粒径0.5~14 mm,以砾为主。碎屑成分以绿泥石为主,有的伴有少量黏土矿物和硬水铝石,有的碎屑以硬水铝石为主,伴有绿泥石。碎屑边界明显,多呈次棱角状、次圆状,分布杂乱。可能系绿泥石内碎屑经再次破碎、搬运形成。岩石中碎屑及胶结物主要为绿泥石(含量>85%),硬水铝石8%~10%,黏土矿物5%。接触式胶结为主,部分基底—孔隙式胶结。底界面甚不平整。样号 WDK251。 1.40 m

5.紫红色铁质黏土岩。显微鳞片状伊利石与褐铁矿、赤铁矿组成泥质结构。伊利石>75%,褐铁矿、赤铁矿20%~25%。层理不明显。底界面起伏不平。样号 WDK252。 2.30 m

———假整合———

下伏地层:

上石炭统黄龙组(*C₂h*) 3.65 m

4.灰、粉红色薄层粉晶含生物屑灰岩。产筵 *Eoschubertella* sp., *Millerella* cf. *pressa*, *Pseudostaffella* sp.; 有孔虫 *Globivalvulina* spp., *Climacammina* sp.。样号 WDK253。 1.50 m

3.灰、粉红色厚层粗晶灰岩。样号 WDK254。 1.40 m

2.灰、浅灰绿色中厚层粗晶灰岩。样号WDK255。 0.50 m

1.灰绿色黏土质角砾岩。角砾成分为伊利石页岩,砾石呈棱角状,无分选,砾径2~20 mm。此层应为风化壳。样号WDK256。 0.25 m

————— 假整合 —————

下志留统韩家店群(S₁h_j):紫红色夹灰绿色伊利石页岩及粉砂质页岩。样号WDK257。 >10 m

2.1.3道真县桶坪矿区TC5192大竹园组剖面
剖面位于桃园向斜东翼中段。
上覆地层:
中二叠统栖霞组(P₂q):深灰色细晶灰岩夹炭质页岩。 >2.0 m

————— 假整合 —————

上石炭统大竹园组(C₂d) 6.10 m
上段(C₂d') 2.50 m

7.灰、褐灰色豆鲕状碎屑铝土岩。岩石中豆鲕及碎屑含量<40%,以2~4 mm的豆粒为主,鲕粒较少。豆鲕粒均已破裂成碎屑,多呈次圆状和椭圆状,零散分布。多数豆粒为复碎屑。豆粒内具同心层,其中多含有铁质圈层,常见收缩干裂纹。豆、鲕、碎屑及胶结物皆由硬水铝石及黏土矿物(伊利石为主)组成,填充物为鲕粒及砂屑。基底式胶结。样号TK418。 0.42 m

6.灰色碎屑状铝土岩。碎屑总量约40%。包含3种碎屑:一是经过搬运表面光滑的次棱角一次圆状砂砾屑(以砂屑级为主);二是已被破碎的豆鲕粒碎屑,界线明显,边缘光滑,多属砂屑级;三是形状不规则、搬运特征不明显的砂砾级内碎屑。碎屑与胶结物均由硬水铝石及黏土矿物(伊利石、高岭石)组成。基底式胶结,部分孔隙式胶结。底界面不平整。样号TK419。 0.47 m

5.浅灰、灰白色含内碎屑泥晶铝土矿。岩石主要由<0.005 mm的硬水铝石组成泥晶结构,其中有10%~15%的内碎屑,该碎屑形状不规则、界线不明显、无明显位移、内部结构均匀。硬水铝石含量约80%,黏土矿物(伊利石和高岭石)约20%。样号TK420。 0.87 m

4.浅灰、灰色含内碎屑泥晶铝土矿。岩性与上层相同,亦由硬水铝石组成泥晶结构,约有10%~15%的内碎屑。硬水铝石含量75%~80%,黏土矿物(伊利石为主,高岭石次之)20%~25%。样号TK421。 0.74 m

下段(C₂d') 3.22 m

3.浅灰绿色伊利石黏土岩。岩石主要由伊利石组成泥质结构或显微鳞片结构。伊利石含量>95%,伴有少量高岭石和绿泥石。样号TK422。 0.71 m

2.黄绿、浅黄色伊利石黏土岩。岩性与上层相同,亦由伊利石组成泥质结构。伊利石含量>95%。样号TK423。

0.38 m

1.墨绿色含伊利石绿泥石岩。岩石主要由绿泥石和伊利石组成显微鳞片结构。绿泥石含量>60%~70%,伊利石30%~40%。薄片可见蠕虫状伊利石转变为绿泥石的现象。底界面凹凸不平。样号TK441。 2.13 m

————— 假整合 —————

下伏地层:
下志留统韩家店群(S₁h_j):紫红色夹灰绿色含粉砂质条带的伊利石页岩。样号TK442。 >3 m

2.1.4道真县新民矿区TC300大竹园组剖面
剖面位于大塘向斜东南隔断层带之间。
上覆地层:
中二叠统栖霞组(P₂q):灰色中厚层细晶灰岩,底部1.5 m为薄层灰岩与黑色炭质页岩互层(各单层厚10~20 cm)。 >5 m

中二叠统梁山组(P₂l):黑色炭质页岩,中上部夹劣质煤。与下伏大竹园组接触面起伏不平。 1.20 m

————— 假整合 —————

上石炭统大竹园组(C₂d) 8.08 m
上段(C₂d') 4.52 m

13.灰色风化呈褐红色豆砾状铝土岩。岩石具豆状结构、粒屑结构和复碎屑结构。豆粒含量40%~50%,豆粒直径多为2~10 mm;砾屑50%~60%,砾径5~50 mm,以10~20 mm为多,最大砾石长15 cm。砾屑多为次棱角一次浑圆状,少数浑圆状,表面光滑。硬水铝石含量>50%,高岭石25%,伊利石1%,褐铁矿10%。样号LCK96。 0.2~0.3 m

12.灰色铝土质砾岩。砾石含量>50%,砾径以10~20 mm者居多,最长25 cm。次棱角一次圆状,少量浑圆状。砾石为铝土质,充填物为砂级、粉砂级硬水铝石及黏土矿物。与下伏岩层接触面甚不平整。样号LCK96。 0.1~0.2 m

11.浅灰色半土状砂屑铝土矿。碎屑结构,碎屑含量约40%,碎屑粒径0.2~6 mm,以<1 mm的砂屑为主,多呈次棱角状,杂乱分布。碎屑由硬水铝石组成。胶结物由硬水铝石组成泥晶结构。硬水铝石含量>95%。底界面不平整。样号LCK97、98。 1.00 m

10.灰黑、深灰色含炭质致密状铝土矿。岩石由硬水铝石和少量黏土矿物组成泥晶结构。其中有少量形状不规则、界线不明显、具凝胶结构的铝土质内碎屑。基质中含较多炭屑。下部夹一端分叉的劣质煤,煤厚2~5 cm(图4)。样号LCK99。 0.57 m

9.黑色炭质黏土岩,表面风化呈褐黄色。自下而上,底部为10~25 cm的灰色砾岩层,砾径2~30 mm,以5~10 mm者为主;中部为断续含有椭圆状、扁平状砾石的炭质黏土岩,砾石一般长10~20 mm,厚5~10 mm,大者长100 mm,厚30~40 mm。含劣质煤3层(煤层厚1~8 cm),并向一方收敛成一层,

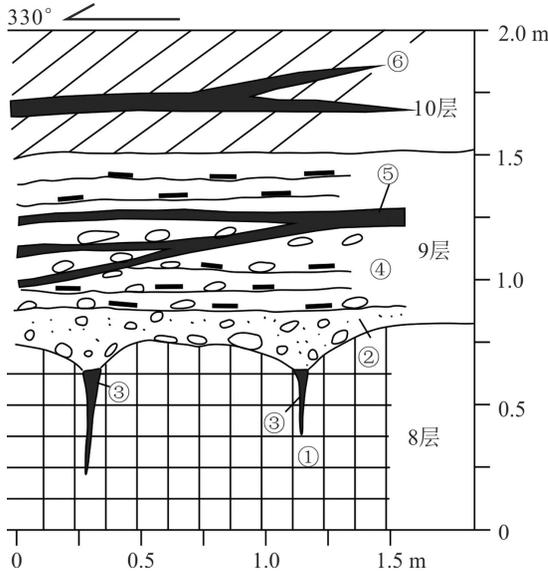


图4 新民矿区 TC300 大竹园组 8~10 层素描图

- ①—半土状铝土矿; ②—铝土质砾岩; ③—黑色炭化植物根系;
- ④—炭质黏土岩(下部有扁平铝土质砾石顺层分布); ⑤—煤层;
- ⑥—致密状铝土矿

Fig. 4 The sketch of 8th-10th layer of Dazhuyuan Formation at TC300 in the Xinmin mining area

- ①—Semi-earthy bauxite; ②—Bauxitic conglomerate; ③—Black carbonized plant roots;
- ④—Carbonaceous clay rock (flat bedding plane bauxitic conglomerate at the bottom); ⑤—Coal seam;
- ⑥—Dense bauxite

上部炭质黏土岩中不含砾石。本层砾石成分多为铝土质。底部与下伏岩层接触面起伏不平(图4)^①。样号 LCK100。

0.75 m

8. 浅灰色半土状粉晶铝土矿。岩石主要由 0.01 mm 粒径的硬水铝石组成粗粉晶结构, 内有少量(约 10%)砂、砾屑。砂、砾屑粒径多为 0.5~20 mm, 棱角状一次圆状。硬水铝石含量约 95%。本层顶部有 2 条垂直向下延伸的黑色炭化植物根系, 长者达 45 cm(图4)^①。样号 LCK101。

0.85 m

7. 浅灰色半土状粉晶铝土矿。岩性与上层相同, 唯砂砾屑含量略多些, 硬水铝石含量 >96%。本层底部有厚 2~4 cm 的铁质层壳, 沿甚不平整的接触面分布。样号 LCK102。

0.85 m

下段(C₂d')

3.56 m

6. 灰白色致密状黏土岩。顶部为侵蚀面, 此层厚度不稳定。样号 LCK103。

0.20~0.50 m

5. 灰色, 风化呈黄褐色的致密状黏土岩。内含大量植物化石碎片。样号 LCK103。

0.45 m

4. 浅灰、灰白色, 风化呈碎片状的黏土岩。有大量植物化石碎片。样号 LCK103。

0.30 m

3. 浅灰、灰白色黏土岩。岩石由 <0.002 mm 的黏土矿物(高岭石与伊利石)组成泥质结构, 其中有 10% 的次棱角状砂、砾屑(均由黏土矿物组成)。岩石中黏土矿物 >82%, 另有 10% 的硬水铝石星点状分布。样号 LCK103。

0.25 m

2. 灰绿色, 风化呈黄褐色含绿泥石黏土岩(绿泥石含量约 15%)。样号 LCK104。

0.70 m

1. 草绿色, 风化呈褐红色的绿泥石岩。岩石具内碎屑结构、假晶结构。碎屑多具矿物假晶外形(长方形、菱形、球形), 杂乱分布。有的碎屑由绿泥石组成, 有的由绿泥石与伊利石共同构成。是绿泥石取代其他矿物的结果。绿泥石含量 60%~70%, 伊利石 30% 左右。有大量植物化石碎片顺层分布。本层底部与下伏灰岩接触面甚不平整, 凹陷处有绿泥石砾石分布。样号 LCK105。

1.66 m

————— 假整合 —————

下伏地层:

上石炭统黄龙组(C₂h): 灰白、浅灰色粗晶灰岩夹细—粉晶灰岩。

8.10 m

————— 假整合 —————

下志留统韩家店群(S₁h): 灰绿与紫红色互层的含粉砂质条带的伊利石页岩。

>5 m

2.2 铝土矿含矿岩系的基本特征

前述 4 个矿区的大竹园组地层, 实为同一陆相淡水湖泊不同部位的剖面, 可以看出, 大竹园组下段是一个低能的浅水湖泊沉积物, 大竹园组上段为高能浅水湖泊沉积物, 并在其边缘有泥炭沼泽环境沉积物形成(图 4, 图 5)。鉴于陆相沉积物的侧向变化迅速(尤其是大竹园组上段), 前述地层剖面难以完全展示其所在环境的沉积特征, 本节将分别阐述大竹园组下段和上段的基本特征。

2.2.1 大竹园组下段沉积物基本特征

(1) 主要部分为绿色、墨绿色绿泥石岩及灰绿色绿泥石黏土岩, 其中时有透镜状、团块状鲕绿泥石铁矿; 另有部分为紫红色、褐色铁质黏土岩, 在其底部时有似层状、透镜状、条带状、扁豆状赤铁矿。

(2) 绿泥石黏土岩、铁质黏土岩、伊利石黏土岩等沉积物以泥质结构为主, 有少量粗粒陆源碎屑; 绿泥石岩中时见橄榄状、椭球状、枕状等不规则形态的砾级(大者可达 20~30 cm)内碎屑。

(3) 沉积构造主要为块状构造, 绿泥石黏土岩、铁质黏土岩和伊利石黏土岩中时见水平纹理, 偶见斜波状纹理及低角度交错层。

(4) 各种沉积物之间均为连续沉积, 未见冲刷

① 另在大尖山矿区向斜东翼 A 点露头处, 见碎屑状铝质岩(泥石流引发的)冲入泥炭沼泽内, 将尚未固结的煤层撕裂的现象(图 5)。

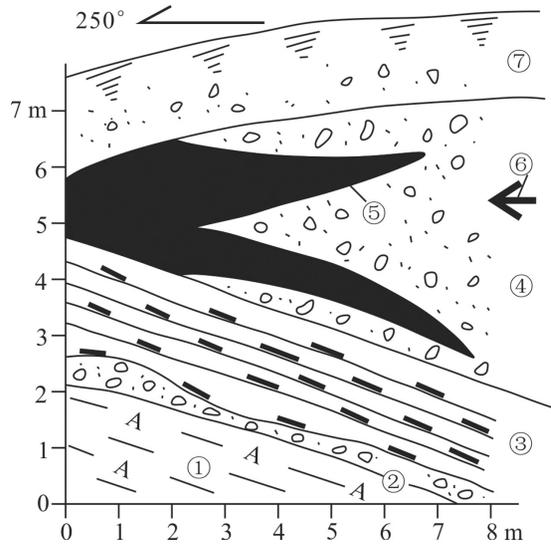


图5 大尖山矿区A点大竹园组露头素描图

①—铝土岩; ②—碎屑状铝土岩; ③—炭质黏土岩; ④—碎屑状铝土岩; ⑤—煤; ⑥—碎屑状铝土岩冲入方向; ⑦—第四系坡积物

Fig. 5 The sketch of A outcrop at Dazhuyuan Formation in the Dajianshan mining area

①—Bauxitic rock; ②—Clastic bauxite rock; ③—Carbonaceous clay rock; ④—Clastic bauxite rock; ⑤—Coal; ⑥—The direction of the washed clastic bauxite rock; ⑦—Quaternary slope material

构造。

(5) 沉积物垂向充填序列有2种情况: 一种是底部为赤铁矿, 向上为紫红色铁质黏土岩; 另一种是下部为绿泥石岩, 在其下部、中部或上部时有鲕绿泥石铁矿; 向上变为绿泥石黏土岩、伊利石黏土岩。顶部皆为伊利石黏土岩。下段一般厚2~4 m, 个别达9.30 m(大尖山矿区 TC3050)。下段很少被剥蚀, 保存较为完整。

(6) 绿泥石黏土岩、伊利石黏土岩中常见植物化石碎片, 未见任何动物化石。

2.2.2 大竹园组上段沉积物基本特征

(1) 以灰、深灰及浅灰色铝土矿、铝土岩为主, 常夹灰、灰绿色伊利石黏土岩、高岭石黏土岩和绿泥石黏土岩。

(2) 铝土矿、铝土岩以碎屑结构为主, 在剖面上, 碎屑的粒级自下而上有由砾级—砂级—粉砂级—泥级的变化特征; 在平面上, 亦有由边缘向中心由砾级—砂级—粉砂级—泥级的变化特征。土状、半土状铝土矿, 主要是由泥晶、粉砂屑、砂屑铝矿物组成。

(3) 沉积构造主要是没有纹理显示的块状层理,

是高密度碎屑重力流快速卸载, 各种粒度碎屑来不及分异所致^[30]。有时可见递变层理, 其中以下粗上细的正粒序为主。

(4) 层间冲刷构造常见, 大多见于粗粒碎屑岩层之下, 细粒岩层的顶面, 表明是较高流速的流体携带粗粒碎屑对下层细粒沉积物冲刷所致。

(5) 沉积物垂向充填序列自下而上, 由砾屑—砂屑—粉砂屑—泥屑(晶)铝土矿(岩), 构成小的沉积旋回, 多时可见到4个旋回, 由于上段被剥蚀较多, 一般只保留1~2个旋回。每个旋回厚0.5~3 m不等。上段一般厚3~5 m, 最厚12.3 m(大竹园矿区 TC1019)。上段多遭剥蚀, 保存完整者较少。

(6) 炭质岩少见, 铝土矿、铝土岩、黏土岩中植物化石总体偏少(湖泊边缘局部较多), 未见任何动物化石。

3 大竹园地区铝土矿矿床地质特征

3.1 矿区地质概况

如前所述, 大竹园地区包含大竹园、大尖山和桶坪3个矿区, 分别概括如下。

3.1.1 大竹园矿区^[4, 5, 8]

大竹园矿区发现于1990年5月^[4], 矿区位于栗园向斜北部转折端及其两翼。全矿区只有一个矿体, 由于矿区面积和矿体面积较大, 且向斜两翼地层及矿体倾角不等, 在20世纪90年代开展普查时, 遂以向斜轴为界, 人为划分为2个矿段, 向斜轴线以东称为白岩塘矿段, 向斜轴线以西为木海坨矿段。2011年以前, 只对向斜转折端及两翼浅部进行了勘查。随着工作进展, 发现向斜中心较深的核部铝土矿质量较好, 又于2011—2015年对大竹园矿区向斜核部铝土矿体进行了补充详查和勘探, 此向斜核部区段称为南部矿段, 简称南段。亦即大竹园矿区有白岩塘、木海坨和南段3个矿段, 此3个矿段均由贵州省地矿局106地质大队进行普查、详查和勘探工作。

矿体分布: 白岩塘矿段与木海坨矿段共有1个矿体, 沿NNE轴向长5800 m, 近EW向最大宽度7200 m。矿体展布面积10.94 km², 铝土矿矿石资源量达大型矿床规模。南段也是1个矿体, 并与白岩塘、木海坨矿体相连。南段矿体NE向最长3900 m, 近NW向最宽1900 m, 矿体面积7.27 km², 铝土矿矿石资源量亦达大型矿床规模。各矿段内矿体分布

情况见图6。

矿体厚度:据白岩塘、木海坨两矿段225个工程统计,单工程矿体厚度0.83~6.30 m,一般1.5~3.5 m,平均2.06 m,厚度变化系数为48.97%。据南段142个钻探工程统计,单工程矿体厚度0.80~7.41 m,平均1.88 m,厚度变化系数为49.81%。大竹园矿区矿体厚度变化不大,均属较稳定型。

矿体形态:矿体剖面均呈层状,平面外形较规则,局部呈港湾状,矿体形态较简单。

矿体内部结构:矿体内偶有夹层,无矿天窗甚少且小,矿体内部结构简单—较简单。

矿石品位:白岩塘、木海坨两矿段单工程矿体 Al_2O_3 含量平均63.99%, SiO_2 平均10.21%,A/S为平均6.27。南段单工程矿体 Al_2O_3 含量平均69.18%, SiO_2 平均7.92%,A/S平均8.74。

矿石类型:全矿区矿石自然类型以碎屑状铝土矿为主,土状、半土状矿石次之,豆鲕状、致密状矿石较少。矿石工业类型地表均为高铁低硫铝土矿,地下深部高硫铝土矿较多,未见高铁铝土矿体。

矿床规模:前述3个矿段的矿石资源量均属大型矿床,3矿段合计已达超大型矿床规模。

3.1.2 大尖山矿区^[3,4,7]

大尖山矿区也发现于1990年5月^[1]。矿区位于NNE向的鹿池向斜南部转折端及附近的两翼。20世纪末和21世纪初,由于矿权归属不同,矿区南部称为瓦厂坪矿区(床)^[6,14],矿区北部称为岩风阡矿区(床)^[7,24],分别由不同地勘单位进行勘查工作^[6,7]。同一个矿区,有大尖山、瓦厂坪和岩风阡3个名称,容易造成混乱,笔者建议按矿区命名的先后顺序^[1],统一改称为大尖山矿区瓦厂坪矿段和大尖山矿区岩风阡矿段。以下按矿段分别阐述。

(1) 瓦厂坪矿段^[6]

矿体分布:全矿段只有一个矿体,分布于鹿池向斜南部转折端,NNE向长3300 m,最大宽度2850 m,矿体面积6.67 km²。铝土矿矿床规模属大型。

矿体厚度:主矿体1层,局部2层。矿体厚0.81~7.47 m,平均2.16 m。矿体厚度变化系数52.50%,属较稳定型。

矿体形态:矿体剖面呈似层状,平面外形较规则,矿体形态较简单。

矿体内部结构:矿体内有少量不稳定夹石,但有

大小不等、分布无规律的7个无矿天窗,最大的3个无矿天窗分别为408148 m²、267085 m²和99777 m²,最小的无矿天窗也有5300 m²,矿体内部结构复杂。

矿石品位:单工程矿体 Al_2O_3 含量平均63.05%, SiO_2 平均10.33%,A/S平均6.10。

矿石类型:矿石自然类型以土状、半土状及碎屑状为主,致密状、豆鲕状较少。矿石工业类型地表以高铁低硫型矿石为主,地下多为高硫型铝土矿。未见高铁铝土矿体。

(2) 岩风阡矿段^[7]

矿体分布:矿体分布于瓦厂坪矿段之北,并与瓦厂坪矿段之矿体连为一个整体(图6)。岩风阡矿段的矿体NNE向长2200 m,最大宽度3300 m,矿体分布面积5.43 km²,铝土矿属大型规模矿床。

矿体厚度:主矿体1层,个别2层,呈似层状顺层展布。单工程矿体厚0.80~4.30 m,平均1.82 m,厚度变化系数55.49%,属厚度变化较稳定型。

矿体形态:矿体剖面呈似层状,平面外形较规则,矿体形态较简单。

矿体内部结构:矿体内未见夹层,矿体平面上落空工程较少,无矿天窗少而小,内部结构较简单。

矿石品位:单工程矿体 Al_2O_3 平均61.15%, SiO_2 平均12.42%,A/S平均4.92。

矿石类型:矿石自然类型以半土状、碎屑状为主,豆鲕状、豆砾状、致密状矿石较少。矿石工业类型以高铁低硫型为主,高硫铝土矿较少,均见于地下深部。未见高铁铝土矿体。

3.1.3 桶坪矿区^[3,4]

桶坪矿区位于大竹园矿区和大尖山矿区之西,桃源向斜中段的两翼。由于铝土矿含矿岩系在被上覆地层覆盖之前,已遭受严重剥蚀,仅断续残留5个矿体,矿体1层,似层状,内无夹层,矿体地表长530~1530 m,矿体厚1.05~1.99 m,平均1.61 m。矿体规模较小。

矿石品位(地表): Al_2O_3 平均60.30%; SiO_2 平均10.60%;A/S平均5.69。

矿石类型:矿石自然类型以碎屑状为主,半土状次之,其他类型较少。矿石工业类型地表皆为高铁低硫型,地下有高硫型铝土矿,未见高铁型铝土矿体。

桶坪矿区正在勘查过程中,初步确定属中型规模矿床。

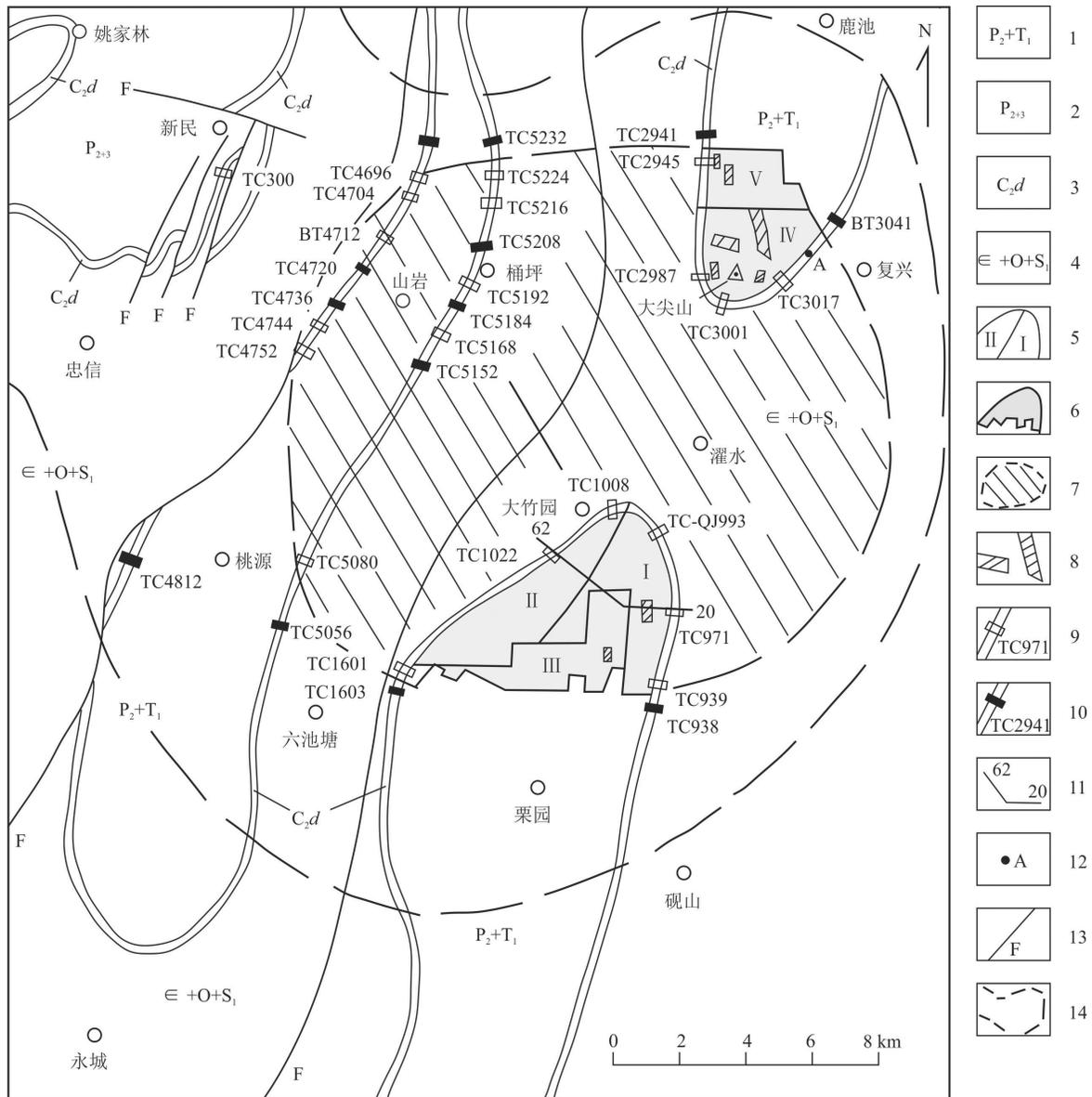


图6 濯水湖暨大竹园地区铝土矿体分布图

1—中、上二叠统各组与下三叠统各组并层; 2—中二叠统各组与上二叠统各组并层; 3—上石炭统大竹园组; 4—寒武系各统与奥陶系各统、下志留统并层; 5—铝土矿区、矿段名称: I 大竹园矿区白岩塘矿段, II 木海坨矿段, III 南部矿段, IV 大尖山矿区瓦厂坪矿段, V 岩风阡矿段; 6—实测铝土矿体范围; 7—推测铝土矿体范围(相当于大竹园组上段沉积时湖区面积); 8—铝土矿体内无矿天窗; 9—见矿探槽及编号; 10—未见矿探槽及编号; 11—20与62勘探线剖面位置; 12—插图A(图5)素描位置; 13—断层; 14—濯水湖推测边界线(相当于大竹园组下段绿泥石岩、绿泥石黏土岩分布范围)

Fig. 6 The distribution of the bauxite body at Dazhuyuan area (also the distribution of Zhushui Lake)

1-The merged layer of Middle and Upper Permian and Lower Triassic; 2-The merged layer of Middle and Upper Permian; 3-Upper Carboniferous Dazhuyuan Formation; 4-The merged layer of Cambrian, Ordovician and Lower Silurian; 5-The name of bauxite mining area and ore section: I - Baiyantang ore section of Dazhuyuan mining area, II - Muhaituo ore section of Dazhuyuan mining area, III - Nanbu ore section of Dazhuyuan mining area, IV - Wachangping ore section of Dajianshan mining area, V - Yanfengqian ore section of Dajianshan mining area; 6-Measured range of bauxite orebody; 7-Inferred range of bauxite orebody (roughly the same as the water surface area during late depositional stages of Dazhuyuan Formation); 8-Barren area of bauxite orebody; 9-Ore-intersecting trench and its serial number; 10-Barren trench and its serial number; 11-Location of No. 20 and No. 62 exploration line; 12-Location of sketch A (Fig. 5); 13-Fault; 14-Inferred boundary of Zhushui Lake (roughly the same as the range of chlorite rock and chlorite clay rock of Lower Dazhuyuan Formation)

3.2 铝土矿体主要特征

综合前述可知,大竹园矿区和大尖山矿区,各自均只有一个主要矿体,从该二矿区含矿岩系沉积剖面图(图7)来看。无论是大竹园矿区向北,或是大尖山矿区向南,铝土矿及其含矿岩系均无尖灭的趋势,表明在晚石炭世马平期大竹园组沉积时,从大竹园经濯水镇到大尖山一带,铝土矿体是连成一片的(图6)。虽然大尖山矿区瓦厂坪矿段内有较多无矿天窗,其他矿区、矿段也有少量无矿天窗,但据调查,该矿体中的无矿天窗并非沉积时缺失,而是在铝土矿体沉积之后,在上覆中二叠统梁山组、栖霞组覆盖之前已遭到剥蚀,这从图8-b中ZK2012附近可以看出。另在大竹园矿区南段,ZK3024、ZK3612上段铝土矿体已全被剥蚀,ZK4012、ZK4024上段仍保留少量铝土矿(矿层厚度均<0.5 m);在瓦厂坪矿段ZK8-14、ZK19-10、ZK19-12等上段铝土矿体全被剥蚀,而ZK3-14、ZK4-8也只保留少量厚度<0.5 m的铝土矿层。以上表明该无矿天窗是在铝土矿体沉积之后被剥蚀而形成的。这种情况在桶坪矿区更为明显。桃源向斜两翼的铝土矿体,在梁山组、栖霞组覆盖之前,受到了更为严重的剥蚀,以致铝土矿体零零星星,断续分布(图6,图9)。因此,有理由认为,大竹园地区的铝土矿体,在晚石炭世马平期是有大面积沉积的,其沉积范围

南北向长约16 km,东西向宽约18 km,铝土矿体沉积面积约为288 km²(图6)。结合铝土矿体及其含矿岩系的其他沉积特征,大竹园地区铝土矿当属湖泊相沉积产物。鉴于务川县濯水镇位于湖泊中心附近,遂将该湖泊命名为濯水湖。在晚石炭世马平期铝土矿及其含矿岩系沉积之后,中二叠世栖霞期海相沉积物覆盖之前,已受到一次严重剥蚀,侏罗纪末、白垩纪初的燕山运动和古近纪与第四纪之间的喜马拉雅运动,更使铝土矿体及其含矿岩系遭受重创,以致在濯水四周、六池塘一桶坪、忠信一带的背斜分布区内,铝土矿含矿岩系以上地层剥蚀殆尽,仅有一部分残留在向斜中(图1,图6)。

4 铝土矿含矿岩系的沉积环境及形成机制

4.1 铝土矿含矿岩系的沉积环境

在晚石炭世马平期的黔北—渝南准平原上,在渝鄂海湾南西部的近海湖泊区内,分布着大小不等的多个湖泊,大竹园地区包含的三个铝土矿区,就分布在此湖群内的一个湖泊中。务川县濯水镇大致位于该湖泊中心,遂命名为濯水湖。据大量实际资料确认,濯水湖近于等轴状圆形,下段沉积期湖泊面积约480 km²,上段沉积期湖泊面积约288 km²,系北、东、南三面为丘陵、溶丘坡地,西部敞开并与其他水体相连,构

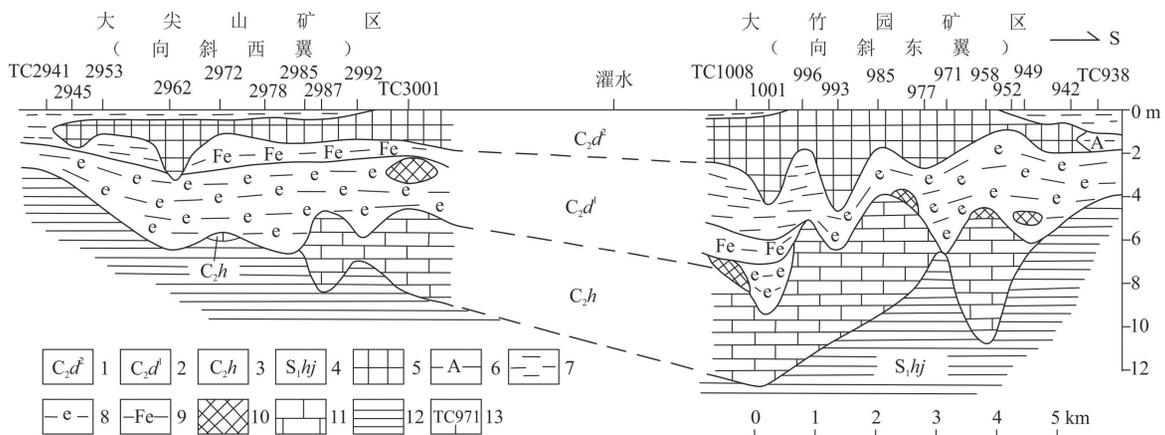


图7 大竹园地区南北向大竹园组沉积剖面图(据参考文献[4]中有关资料综合编制)

1—大竹园组上段; 2—大竹园组下段; 3—黄龙组; 4—下志留统韩家店群; 5—铝土矿; 6—铝土岩; 7—黏土岩; 8—绿泥石岩、绿泥石黏土岩; 9—铁质黏土岩; 10—绿泥石赤铁矿; 11—石灰岩; 12—页岩、泥岩; 13—探槽位置及编号

Fig. 7 Sedimentary profile of north-south Dazhuyuan Formation of Dazhuyuan area

1—Upper Dazhuyuan Formation; 2—Lower Dazhuyuan Formation; 3—Huanglong Formation; 4—Lower Silurian Hanjiadian Group; 5—Bauxite; 6—Bauxite rock; 7—Clay rock; 8—Chlorite rock and chlorite clay rock; 9—Ferruginous clay rock; 10—Chlorite hematite; 11—Limestone; 12—Shale and mudstone; 13—Trench and its serial number

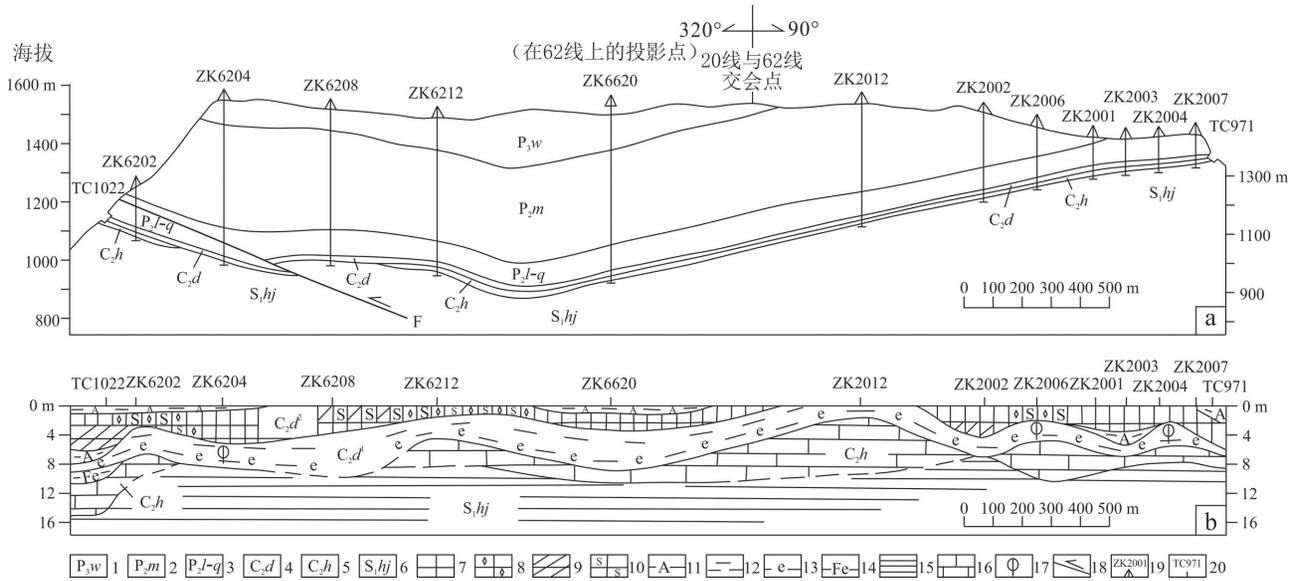


图8 大竹园矿区20-62勘探线剖面图(a)及大竹园组沉积剖面图(b) (据参考文献[4]中有关资料综合编制)
 1—上二叠统吴家坪组; 2—中二叠统茅口组; 3—中二叠统梁山组—栖霞组; 4—上石炭统大竹园组; 5—上石炭统黄龙组; 6—下志留统韩家店群; 7—半土状铝土矿; 8—碎屑状铝土矿; 9—致密状铝土矿; 10—高硫铝土矿; 11—铝土岩; 12—黏土岩; 13—绿泥石岩, 绿泥石黏土岩; 14—铁质黏土岩; 15—页岩; 16—石灰岩; 17—植物化石碎片; 18—逆断层; 19—钻孔位置及编号; 20—探槽位置及编号(图b中中断线为未见地板的推断界线)

Fig. 8 Profile of No. 20-62 exploration line in the Dazhuyuan mining area (a) and sedimentary profile of Dazhuyuan Formation (b)
 1—Upper Permian Wujiaping Formation; 2—Middle Permian Maokou Formation; 3—Middle Permian Liangshan-Qixia Formation; 4—Upper Carboniferous Dazhuyuan Formation; 5—Upper Carboniferous Huanglong Formation; 6—Lower Silurian Hanjiadian Group; 7—Semi-earthly bauxite; 8—Clastic bauxite; 9—Dense bauxite; 10—High-sulfur bauxite; 11—Bauxitic rock; 12—Clay rock; 13—Chlorite rock and chlorite clay rock; 14—Ferruginous clay rock; 15—Shale; 16—Limestone; 17—Fossil plants fragments; 18—Reverse fault; 19—Drill hole and its serial number; 20—Trench and its serial number (the broken line refers to inferred boundary without seeing the floor in Fig. b)

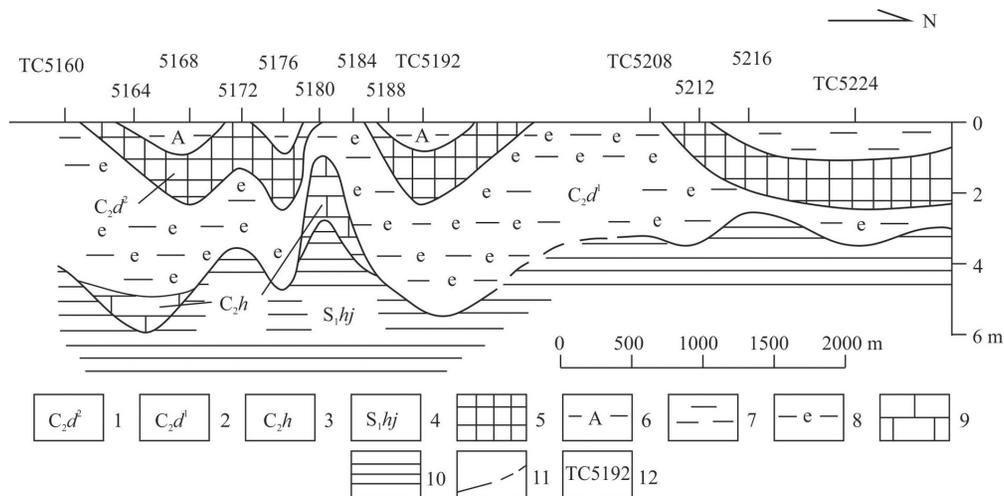


图9 桶坪矿区桃源向斜东翼大竹园组沉积剖面图(据文献[4]汇编)
 1—大竹园组上段; 2—大竹园组下段; 3—黄龙组; 4—下志留统韩家店群; 5—铝土矿; 6—铝土岩; 7—黏土岩; 8—绿泥石岩, 绿泥石黏土岩; 9—石灰岩; 10—页岩; 11—实测、推测底板界线; 12—探槽位置及编号

Fig. 9 Sedimentary profile of Dazhuyuan Formation on the east wing of Taoyuan syncline in the Tongping mining area
 1—Upper Dazhuyuan Formation; 2—Lower Dazhuyuan Formation; 3—Huanglong Formation; 4—Lower Silurian Hanjiadian Group; 5—Bauxite; 6—Bauxite rock; 7—Clay rock; 8—Chlorite rock and chlorite clay rock; 9—Limestone; 10—Shale; 11—Measured, inferred floor boundary; 12—Trench and its serial number

成一个半封闭式的碟状浅水湖泊(图6)。

4.1.1 沉积环境的直接标志

大竹园组下段(C₂d¹), 有大面积(约480 km²)的绿、墨绿色绿泥石岩, 灰绿色绿泥石黏土岩分布, 一般厚1.5~3 m, 其间时有透镜状、团块状鲕绿泥石铁矿。另在相当范围内还有紫红色、褐色铁质黏土岩, 在其底部时见透镜状、条带状、扁豆状赤铁矿层。下段岩层之间皆为连续沉积, 未见冲刷构造; 绿泥石岩中时见砾级内碎屑岩; 岩层内可见到水平层纹、斜波状层纹, 有时可见交错层理。绿泥石黏土岩中, 常见植物化石碎片。在绿泥石岩、绿泥石黏土岩、铁质黏土岩及铁矿层的边界线(即濯水湖区)之外, 主要是粉砂质黏土岩、黏土质粉砂岩和软质黏土岩等残积层分布区^[3]。以上表明, 大竹园组下段沉积时期是一个永久性较平静、低能的浅水湖泊环境。

大竹园组上段(C₂d²), 有大范围的铝土矿体(层)

沉积, 其面积约为288 km², 平均厚度为1.61~2.16 m, 厚度变化系数为48.97%~55.49%, 厚度稳定, 变化不大。上段的铝土矿(岩)多具碎屑结构, 且在剖面上, 碎屑的粒度自下而上有由砾级—砂级—粉砂级—泥级的变化特征, 从而构成多个小的沉积旋回。在平面上, 亦有自湖缘向湖心有砾屑—砂屑—粉砂屑沉积过渡为湖泥沉积的变化。上段的沉积构造主要是没有纹理显示的块状层理。岩系内部冲刷构造甚为常见。上述充分展示大竹园组上段沉积时期, 是一个受洪水控制的、间歇性的、高能的浅水湖泊环境。从图6可以看出, 大竹园组上段铝土矿体的分布范围, 较下段绿泥石岩、绿泥石黏土岩及铁质黏土岩的分布范围明显减少, 表明湖区面积在缩小。说明上段沉积时期与海岸线的距离可能大于下段沉积时期的距离。

综上, 本区大竹园组铝土矿含矿岩系的沉积环

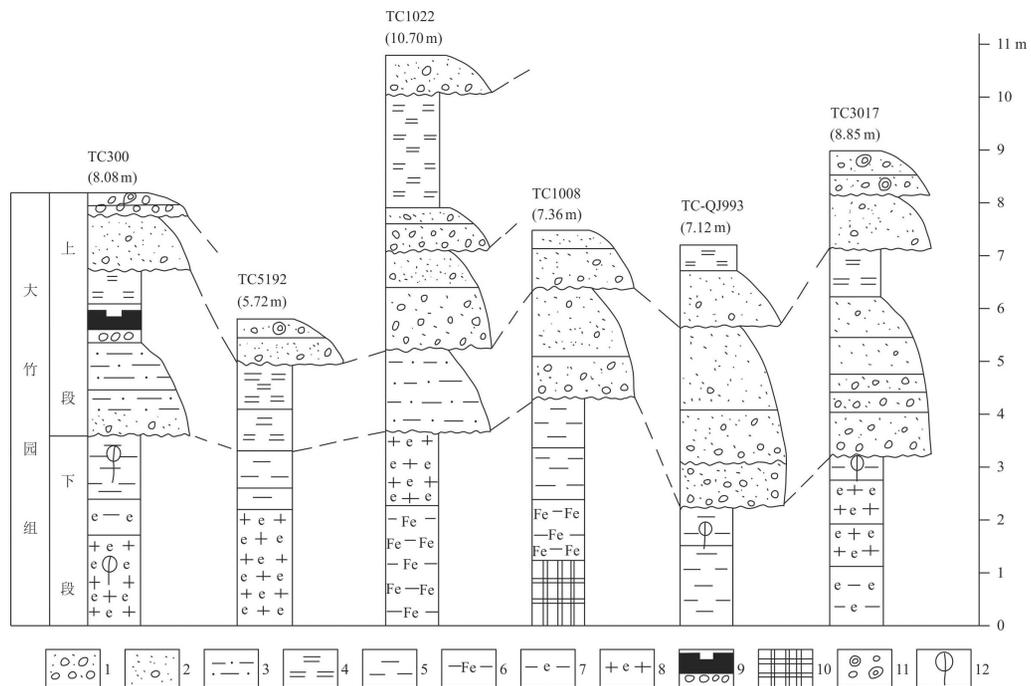


图10 大竹园地区湖泊沉积物垂向充填序列组合图

1—砾屑或以砾屑为主的铝土矿(岩); 2—砂屑或以砂屑为主的铝土矿(岩); 3—粉砂屑或以粉晶为主的铝土矿(岩); 4—泥晶铝土矿; 5—伊利石黏土岩, 常含炭化植物碎片; 6—铁质黏土岩; 7—绿泥石黏土岩, 常含炭化植物碎片; 8—绿泥石岩, 常含炭化植物碎片; 9—上部炭质黏土岩, 中部煤, 下部砾岩; 10—鲕绿泥石赤铁矿; 11—含豆鲕碎屑黏土岩、铝土岩; 12—植物化石碎片

Fig. 10 Combined graph of the vertical infilling sequence of lake sediments in Dazhuyuan area

1—Rudite or rudite-based bauxite (bauxite rock); 2—Fragmental or fragmental-based bauxite (bauxite rock); 3—Arenite or silty-based bauxite (bauxite rock); 4—Micrite bauxite; 5—Illite clay rock always containing charring plant fragment; 6—Ferruginous clay rock; 7—Chlorite clay rock always containing charring plant fragment; 8—Chlorite rock always containing charring plant fragment; 9—The upper is carbonaceous clay rock, the middle is coal, the lower is conglomerate; 10—Pisolitic chlorite hematite; 11—Oolitic clastic clay rock, containing bauxite rock; 12—Fossil plants fragments

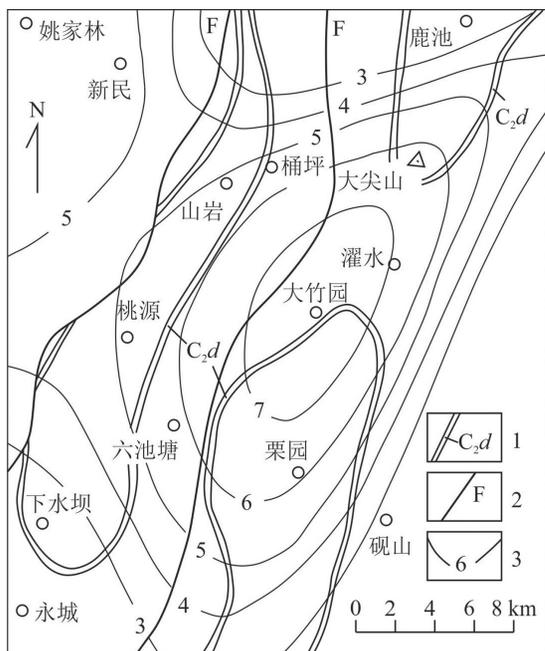


图 11 大竹园地区含矿岩系厚度五次趋势面等值线图
1—含矿岩系; 2—断层; 3—含矿岩系厚度等值线(m)

Fig. 11 The contour map of quintic trend surface of the thickness of the ore-bearing rock series in Dazhuyuan area
1—The ore-bearing rock series; 2—Fault; 3—The contour line of the thickness of the ore-bearing rock series (m)

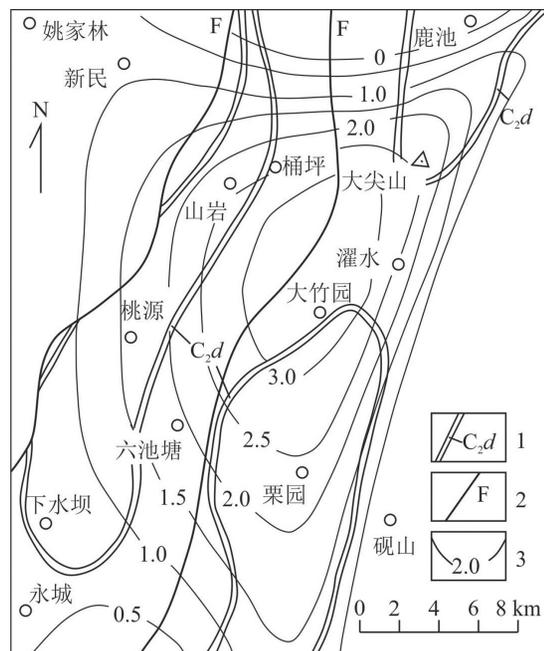


图 12 大竹园地区绿泥石岩厚度五次趋势面等值线图
1—含矿岩系; 2—断层; 3—绿泥石岩厚度等值线(m)

Fig. 12 The contour map of quintic trend surface of the thickness of chlorite rock in Dazhuyuan area
1—The ore-bearing rock series; 2—Fault; 3—The contour line of the thickness of chlorite rock (m)

境不是一成不变的, 而是由早期(下段)平静、低能浅水湖泊环境, 向晚期(上段)演变为间歇性的、洪控高能浅水湖泊环境, 这从大竹园地区湖泊沉积物垂向充填序列组合图(图 10)亦可看出其端倪。

4.1.2 沉积环境的辅助标志

贵州地矿局 106 地质大队矿产普查分队的地质工作者们, 在务川—凤冈铝土矿远景调查结束之后, 对该区铝土矿资源进行了总量预测^[3], 从大量数据中, 筛选出铝土矿含矿岩系厚度、矿体(层)厚度、绿泥石岩(含绿泥石黏土岩)厚度、下段黏土岩厚度、下伏黄龙组石灰岩厚度以及矿石 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、TS 含量及 A/S 值等与铝土矿可能有成因联系的 10 个地质参数, 进行了多项数学地质方法的分析、运算, 其中, 铝土矿含矿岩系厚度、绿泥石岩厚度及矿石 Al_2O_3 含量的五次趋势面分析结果, 与前述濯水湖的分布甚为吻合(图 11~图 13), 成为大竹园地区浅水湖泊沉积环境的重要辅助标志。

4.2 铝土矿含矿岩系的形成机制

与所有沉积岩的形成过程一样, 本区湖泊相沉

积型铝土矿含矿岩系的形成过程, 亦可划分为 3 个阶段, 即原始物质的生成阶段, 原始物质向沉积物的转变阶段和沉积物的固结与持续演化阶段^[27]。对大多数沉积岩而言, 它们的原始物质包括基底母岩物理风化形成的陆源碎屑物质, 化学及生物化学风化形成的溶解物质以及较多稳定的不溶残余物质。铝土矿含矿岩系按成因可分为残积型和沉积型 2 大类。前者就是由基底母岩的不溶残余物质在风化面上停留聚集而成的含三水铝石的红土风化壳, 它既是铝土矿的一种成因类型, 同时又是沉积型铝土矿的原始物质。

以下分别阐述本区湖泊相沉积型铝土矿含矿岩系原始物质的形成及特征, 并论述大竹园组下段及上段的形成机制。

4.2.1 红土风化壳——原始物质的形成及特征

已如前述, 本区在广西运动(志留纪与泥盆纪之间)时期大范围隆起为陆的基础上, 于泥盆纪、石炭纪继续上升, 形成遵义断拱^[29], 在赤道附近湿热气候带内, 经长期风化作用, 暴露地表的下志留统韩家

店群含粉砂质的伊利石页岩、泥岩和上石炭统黄龙组石灰岩,先后于早石炭世岩关期发生红土化,于晚石炭世滑石板期与马平期之间发生钙红土化,并相互叠加,致黔北—渝南一带地表覆盖着大面积的含三水铝石铝土矿块砾的红土风化壳。据国内外资料^[28],这种红土风化壳国内厚1~21 m^①,国外厚3~40 m,多呈砖红色、褐色、棕色等,质地疏松,其中有大量由铝矿物和铁矿物组成的高铁铝土矿和铝铁岩块砾。这些块砾大小不等,形态各异,大多呈粒状、结核状、球状、豆鲕状以及树枝状、管状、皮壳状等,大者有可达1~2 m的球状体,小者有如豆粟的砂砾屑。矿物成分主要有自生矿物三水铝石、针铁矿、水针铁矿、赤铁矿、含水赤铁矿等,陆源碎屑矿物主要为高岭石、伊利石,还有少量锆石、金红石、电气石、磷灰石、磁铁矿等稳定重矿物。化学成分主要是Al₂O₃,含量28%~53%,少数达60%以上;Fe₂O₃含量5%~27%,个别40%以上;SiO₂1%~9%,个别12%以上,此外还有少量稀散元素如Ga、Zr、Cr、Li、Nb等及稀土元素。这些红土风化壳物质就是形成本区湖相沉积型铝土矿及其含矿岩系的原始物质,亦即上石炭统大竹园组的主要物质来源。从前述大竹园组下段为含铁质较多的岩石组合,上段为含铝土质较多的岩石组合推断,含三水铝石的铝土矿块砾,主要分布在原始的红土风化壳中、下部,含铁质较多的残积红土,则多分布于原始的红土风化壳上部。

4.2.2 大竹园组下段的形成机制

(1)当本区含三水铝石的红土风化壳物质,被地表径流搬运离开剥蚀区时,水体中因受地表腐植酸的影响成为氧化的弱酸性水,脱铁能力增强,可使赤铁矿中不溶的Fe³⁺转变为Fe²⁺而被流水带走^[28]。风化壳物质进入湖泊后,首先与湖泊底层水接触并发生作用,这时就进入沉积演化的第一阶段——同生陆解作用阶段^[30]。此时的作用是在开放系统中进行的,介质条件为酸性氧化性质。从风化壳中带来的铁质,于湖泊底部弱酸性和高氧化位条件下,在细菌参与的情况下,可形成胶状、鲕状赤铁矿层或透镜体;呈悬浮状态的伊利石、高岭石等黏土矿物与铁矿物屑形成铁质黏土岩,并覆盖在赤铁矿层之上。

(2)随着湖泊沉积物不断增厚,下部沉积物即与湖盆底层水隔绝,并不再受底层水的影响,在近于常

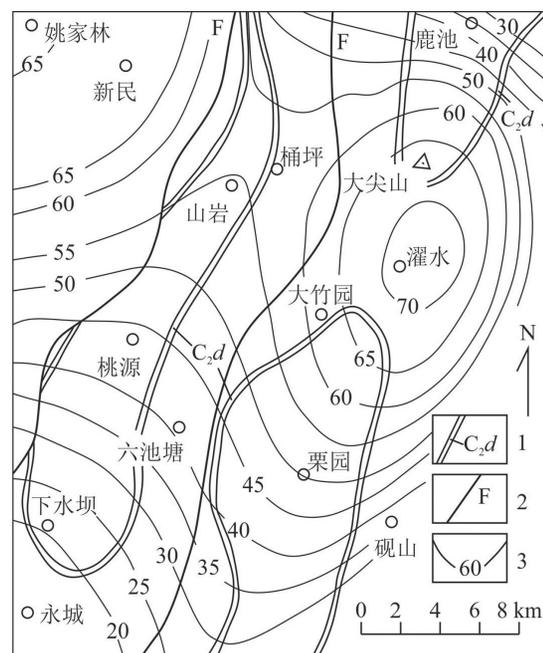


图13 大竹园地区Al₂O₃含量五次趋势面等值线图

1—含矿岩系;2—断层;3—Al₂O₃含量等值线(%)

Fig. 13 The contour map of quintic trend surface of the content of Al₂O₃ in Dazhuyuan area

1—The ore-bearing rock series; 2—Fault; 3—The contour line of the content of Al₂O₃ (%)

温常压的低温(<200 °C)、低压(<1000 Pa)条件下,由于有机质,特别是厌氧细菌的作用,产生了NH₃和H₂S。使介质变为弱碱性—碱性和还原性质^[30],溶液中的铁、镁离子,在介质富硅(高岭石、伊利石中的硅酸盐)的情况下,可与硅结合生成绿泥石,形成绿泥石岩、绿泥石黏土岩及鲕绿泥石铁矿。在强还原条件下,还可形成莓状(球状)黄铁矿;有机质可转化为煤^[30]。此时,已进入沉积物演化的成岩作用阶段(浅埋阶段)。

(3)在上覆沉积物厚度逐渐加大,埋藏至一定深度时,温度升高(>200 °C),压力增强(>1000 Pa),作用时间加长,并有外来(本层以外)气液物质的加入时,此时便进入沉积物演化旋回的后生作用阶段(深埋阶段)。此阶段内交代作用明显,矿物结晶颗粒增大,有新生矿物产生等,岩层发生了剧烈的后生变化,如莓状黄铁矿可转变为立方体状。部分绿泥石延续到此阶段形成,并交代伊利石和其他矿物,构成假晶结构。

在大竹园组下段沉积时期,于同生作用阶段生

①刘平,陈有能.福建漳浦,海南蓬莱,广西贵港及平果铝土矿考察报告.黔北地质,1994,第1期(内部刊物).

成铁质黏土岩和赤铁矿层,在成岩作用与后生作用阶段又形成了大范围的绿泥石岩、绿泥石黏土岩和鲕绿泥石铁矿,消耗了大量铁质,以致到下段末期,只能沉积形成含铁质不多的伊利石黏土岩和伊利石高岭石黏土岩了。

(4)由于地壳运动,深埋地下的沉积岩层向上回返,达到地表以下不太深的范围内,此时处在潜水面附近,近于常温高压的环境中,在富含 O_2 和 CO_2 渗透水的影响下,开始了新的地球化学循环,这就进入了沉积物演化的第四阶段——表生成岩作用阶段。在孔隙度甚小,渗透性很弱的黏土岩中,黄铁矿仍可保留完整而新鲜的莓状晶体;而在孔隙度大、渗透性强的岩矿石中,黄铁矿可能被完全淋滤,只留下空洞的假象痕迹。

一旦沉积岩上升至地表,暴露于大气时,就进入下一个沉积旋回的风化作用阶段了。

4.2.3 大竹园组上段的形成机制

在大竹园组下段静水湖泊沼泽沉积充填的基础上,大竹园组上段沉积时期,仍然继承了湖泊环境的特征,只是由于北方的渝鄂海湾略有退缩,导致原来静水湖泊较为稳定的水位有所下降。只有在发生暴雨和洪水泛滥期间,携带大量风化壳物质的洪水,自北、东、南三面向湖中汇聚,随着搬运距离的增大,流水能量的降低,遂由湖缘向湖心,或在同一地点自下而上,形成了由砾屑—砂屑—粉砂屑过渡到湖泥沉积的有序变化,并构成1个沉积旋回(图10)。暴雨间歇期间,由于流失、渗透、蒸发等原因,湖水变浅乃至干涸。当再次发生暴雨,引发洪水泛滥,又可形成新一轮由粗到细的沉积旋回,如此反复多次。大竹园组矿区TC1022的沉积旋回有4个之多。

本区上段沉积物从被埋藏开始,到转化为沉积岩的过程中,发生了各种各样的变化,尤如下段沉积物在各阶段的变化一样。在同生作用阶段,主要是各种铝土质碎屑的沉积;成岩作用阶段,水溶液中的铁、镁离子与介质中硅离子结合生成绿泥石,并与铝矿物、黏土矿物共生在一起,成为绿泥石铝土矿(岩);还可大量形成莓状黄铁矿。当上段沉积物进入后生作用阶段,因温度升高,压力增大,作用时间增长,并有外来气液物质加入时,就可形成新的矿物,乃至发生变质作用。本区铝土矿中常见的晶型完好的锐钛矿、磷钇矿以及微量金属硫化物,

莓状黄铁矿转变为立方体黄铁矿,甚至三水铝石变质成硬水铝石等,可能都是此阶段形成的。

由于红土风化壳剥蚀区与湖区距离稍远,不似遵义铝土矿带内剥蚀区与溶蚀洼地相距甚近,高铁铝土矿与铝铁岩能很快堆积—沉积在剥蚀区旁侧的洼地中并保存下来^[1],本区搬运距离较远,以致高铁铝土矿、铝铁岩在搬运过程中铁被大量溶解流失,部分还与硅结合生成绿泥石,因而本区内普遍缺失高铁铝土矿和铝铁岩。

因地壳变动,上段沉积物回返到地表附近,进入表生成岩作用阶段时,又会发生如大竹园组下段沉积物曾经发生过的各种变化。在接近地表的常温常压、氧化—弱还原条件下,在弱酸性—酸性潜流水的作用下,可将孔隙度较大的碎屑状铝土矿中的杂质(诸如较多的黏土矿物、硫铁矿、铁质等)淋滤掉,即再次去硅、去铁、脱硫,使铝更加富集而成为优质铝土矿。

综合前述,本区濯水湖在大竹园组下段沉积时期,为永久性较平静低能浅水湖泊,以化学沉积作用为主,其沉积物主要是绿泥石岩,绿泥石黏土岩、伊利石黏土岩、鲕绿泥石铁矿、赤铁矿等。大竹园组上段沉积时期,濯水湖为间歇性洪控高能浅水湖泊,以物理(机械)沉积作用为主,其沉积物主要是经过多次破碎搬运的碎屑状铝土矿(岩)和黏土岩。该两类湖泊的沉积模式,概括如图14所示。

5 结 论

黔北大竹园地区铝土矿含矿岩系的岩石地层为上石炭统大竹园组,分布在黔北—渝南准平原南部的贵州境内,是在晚石炭世马平期渝鄂海湾南西侧近海湖泊群中的濯水湖沉积形成的。大竹园地区4个比较详细的岩石地层剖面 and 铝土矿体(层)的分布及结构状态,充分展示了该区铝土矿含矿岩系及沉积环境的特征。

(1)大竹园组下段沉积时期,在湖盆局部地段底部,由少量赤铁矿层及较多的铁质黏土岩组成;在湖盆大部分地段,分布着大量绿泥石岩、绿泥石黏土岩以及夹在其中的少量鲕绿泥石铁矿。时见反映弱水动力特征的水平纹理、斜波状纹理及交错层理;岩层之间为连续沉积,未见冲刷构造。下段沉积物总体显示为永久性低能浅水湖泊沉积环境特征。绿泥石

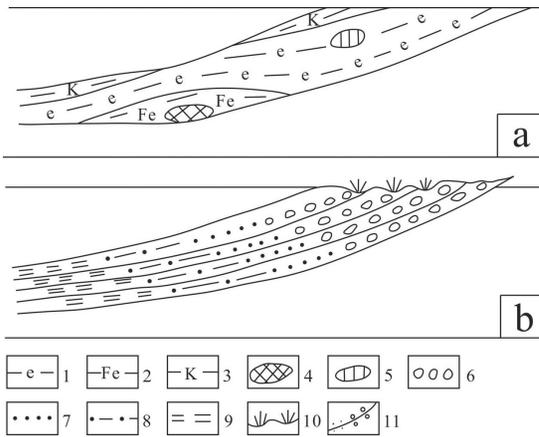


图 14 濯水湖大竹园组下段时期永久性浅湖(a)与大竹园组上段时期间歇性洪控浅湖(b)沉积模式图

1—绿泥石岩、绿泥石黏土岩; 2—铁质黏土岩; 3—伊利石黏土岩; 4—赤铁矿; 5—鲕绿泥石铁矿; 6—以砾为主的碎屑状铝土矿(岩); 7—以砂为主的碎屑状铝土矿(岩); 8—以粉砂为主的碎屑状铝土矿(岩); 9—泥晶(质)铝土矿(岩); 10—泥炭沼泽; 11—沉积旋回界线

Fig. 14 The sedimentary model of permanent shallow lake during early depositional stages of Dazhuyuan Formation (a) and intermittent flood control shallow lake during late depositional stages of Dazhuyuan Formation of Zhuoshui Lake (b)

1—Chlorite rock and chlorite clay rock; 2—Ferruginous clay rock; 3—Illite clay rock; 4—Hematite; 5—Oolitic clastic iron; 6—Rudite-based clastic bauxite (bauxite rock); 7—Fragmental-based clastic bauxite (bauxite rock); 8—Arenite-based clastic bauxite (bauxite rock); 9—Micrite bauxite (bauxite rock); 10—Peat bogs; 11—Boundary of sedimentary cycle

岩、绿泥石黏土岩及铁质黏土岩的分布范围, 相当于下段沉积时湖泊范围, 湖泊面积约480 km²。

(2)大竹园组上段沉积时期, 以碎屑状铝质岩为主, 遍布全区, 均为块状层理, 层间冲刷构造甚为常见。碎屑状铝质岩自下而上有由砾屑—砂屑—粉砂屑过渡为泥屑沉积的特点, 自湖缘向湖心, 亦有由粗到细的变化特征。上段沉积后期, 在湖泊边缘形成泥炭沼泽。上段沉积物总体显示为间歇性洪控高能浅水湖泊环境特征。

大竹园地区铝土矿层(体)规模巨大, 形态规则完整, 前述3矿区矿体内部结构表明, 铝土矿层(体)是连续沉积的, 中无间断, 只是在梁山组、栖霞组沉积覆盖之前, 矿体局部曾遭到剥蚀破坏。从大竹园、大尖山和桶坪3个矿区地质资料推测, 铝土矿层(体)几乎布满大竹园组上段沉积期的整个濯水湖, 矿层(体)面积巨大, 分布范围大致相当于大竹园上

段沉积时的湖区面积, 约288 km²。

(3)大竹园组下段铁质黏土岩与赤铁矿层, 是在沉积物演化旋回的同生阶段形成的; 下段的绿泥石岩、绿泥石黏土岩与鲕绿泥石铁矿以及上段与铝矿物共生的绿泥石, 主要是在成岩阶段形成, 部分可能延续到后生阶段。莓状黄铁矿是成岩阶段的特征矿物; 铝土矿中晶形完整的锐钛矿、磷钇矿以及三水铝石变质为硬水铝石等, 可能都是后生阶段的产物。到表生成岩阶段, 在氧化环境中, 由于地下水的作用, 那些孔隙度大、渗透性强的碎屑状铝土矿(岩), 可再次去硅、去铁、脱硫、富铝, 而成为优质铝土矿。

(4)大竹园组下段沉积时期, 可能距渝鄂海湾海岸线较近, 濯水湖面积较大, 水位较高, 属永久性浅水湖泊, 以化学沉积作用为主。大竹园组上段沉积时期, 海水进一步退缩, 与渝鄂海湾的海岸线距离拉大, 湖水变浅乃至干涸, 湖水面积缩小, 成为间歇性洪控高能浅水湖泊, 以物理沉积作用为主, 这就是大竹园组上、下段的最主要差别。

致谢: 审稿专家及责任编辑对论文提出了宝贵修改意见, 在此一并致以诚挚的谢意!

参考文献(References):

- [1]《中国矿床发现史·贵州卷》编委会. 中国矿床发现史·贵州卷[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 92-118.
Editorial committee of Discovery History of Deposits of China (Guizhou Volumes). The Discovery History of Mineral Deposits of China, Volume of Guizhou Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 92-118 (in Chinese).
- [2]郝江文, 余常华, 张沛广, 等. 贵州省正安一道真铝土矿远景调查报告[R]. 贵州省地质矿产局106地质大队, 1991.
Hao Jiangwen, Yu Changhua, Zhang Peiguang, et al. Prospect Investigation of Bauxite at Zheng'an- Daozhen in Guizhou[R]. No.106 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, 1991(in Chinese).
- [3]余常华, 李克庆, 韦胜永, 等. 贵州省务川—凤冈铝土矿远景调查报告[R]. 贵州省地质矿产局106地质大队, 1994.
Yu Changhua, Li Keqing, Wei Shengyong, et al. Prospect Investigation of Bauxite at Wuchuan— Fenggang in Guizhou[R]. No.106 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral of Guizhou Province, 1994(in Chinese).
- [4]李沛刚, 罗中孝, 樊正烈, 等. 贵州省务川县大竹园地区铝土矿普查地质报告[R]. 贵州省地质矿产局106地质大队, 1995.
Li Peigang, Luo Zhongxiao, Fan Zhenglie, et al. Preliminary Exploration Report of Dazhuyuan Bauxite Deposit in Wuchuan, Guizhou[R]. No.106 Geological Party, Bureau of Geology and

- Mineral of Guizhou Province, 1995(in Chinese).
- [5] 雷志远, 翁申富, 廖友常, 等. 贵州省务川县大竹园铝土矿区勘探地质报告[R]. 贵州省地质矿产勘查开发局 106 地质大队, 2009.
Lei Zhiyuan, Weng Shenfu, Liao Youchang, et al. Geological Survey Report of Dazhuyuan Bauxite Deposit in Wuchuan, Guizhou[R]. No.106 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, 2009 (in Chinese).
- [6] 赵远由, 苏术灿, 胡立利, 等. 贵州省务川县瓦厂坪铝土矿勘探报告[R]. 贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质矿产勘查院, 2011.
Zhao Yuanyou, Su Shucan, Hu Lili, et al. Geological Survey Report of Wachangping Bauxite Deposit in Wuchuan, Guizhou[R]. Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Bureau of Geology and Exploration of Nonferrous Metals and Nuclear Industry in Guizhou, 2011(in Chinese).
- [7] 杨时强, 陈强, 雷志远, 等. 贵州省务川县岩风阡铝土矿详查地质报告[R]. 贵州省地质矿产勘查开发局 106 地质大队, 2013.
Yang Shiqiang, Chen Qiang, Lei Zhiyuan, et al. Geological Survey Report of Yanfengqian Bauxite Deposit in Wuchuan, Guizhou[R]. No.106 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, 2013(in Chinese).
- [8] 韩忠华, 陈强, 陈海, 等. 贵州省务川县大竹园南段铝土矿区勘探地质报告[R]. 贵州省地质矿产勘查开发局 106 地质大队, 2015.
Han Zhonghua, Chen Qiang, Chen Hai, et al. Geological Survey Report of Southern Dazhuyuan Bauxite Deposit in Wuchuan, Guizhou [R]. No.106 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, 2015 (in Chinese).
- [9] 刘巽锋, 王庆生, 陈有能, 等. 黔北铝土矿成矿地质特征及成矿规律[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1990.
Liu Xunfeng, Wang Qingsheng, Chen Youneng, et al. Bauxite Minerogenic Geological Characterstis and Minerogenic Law in Northern Guizhou, China[M]. Guiyang: Guizhou People's Publishing House, 1990(in Chinese with English abstract).
- [10] 刘平. 三论贵州之铝土矿——贵州北部铝土矿成矿时代、物质来源及成矿模式[J]. 贵州地质, 1993, 10(2): 105-113.
Liu Ping. An additional discussion on bauxite deposits of Guizhou (Ⅲ): their minerogenic epoch, material source and minerogenic model[J]. Guizhou Geology, 1993, 10(2): 105-113(in Chinese with English abstract).
- [11] 刘平. 五论贵州之铝土矿——黔中—川南成矿带铝土矿含矿岩系[J]. 贵州地质, 1995, 12(3): 185-203.
Liu Ping. On the bauxite in Guizhou Province (V): the bauxite bearing rock series in central Guizhou—southern Sichuan ore-forming zone[J]. Guizhou Geology, 1995, 12(3): 185-203(in Chinese with English abstract).
- [12] 刘平. 论黔北—川南石炭系大竹园组[J]. 中国区域地质, 1996, 15(2): 123-130.
Liu Ping. The Carboniferous Dazhuyuan formation in northern Guizhou—southern Sichuan[J]. Regional Geology of China, 1996, 15 (2): 123-130 (in Chinese with English abstract).
- [13] 刘平. 黔中—川南石炭纪铝土矿地球化学特征[J]. 中国区域地质, 1999, 18 (2): 210-217.
Liu Ping. Geochemical characteristics of Carboniferous bauxite deposits in central Guizhou—southern Sichuan[J]. Regional Geology of China, 1999, 18 (2): 210-217 (in Chinese with English abstract).
- [14] 武国辉, 刘幼平, 张应文. 黔北务—正—道地区铝土矿地质特征及资源潜力分析[J]. 地质与勘探, 2006, 42(2): 39-43.
Wu Guohui, Liu Youping, Zhang Yingwen. Geological character and aluminum ore resource potential in the Wuchuan—Zheng'an—Daozhen area, northern Guizhou[J]. Geology and Prospecting, 2006, 42(2): 39-43 (in Chinese with English abstract).
- [15] 刘平. 黔北务—正—道地区铝土矿地质概要[J]. 地质与勘探, 2007, 43(5): 29-33.
Liu Ping. Bauxite geology in the Wuchuan—Zheng'an—Daozhen area, northern Guizhou[J]. Geology and Prospecting, 2007, 43(5): 29-33 (in Chinese with English abstract).
- [16] 郝家棚, 杜定全, 王约, 等. 黔北铝土矿含矿岩系的沉积时代研究[J]. 矿物学报, 2007, 27(3/4): 466-472.
Hao Jiapeng, Du Dingquan, Wang Yue, et al. A study on sedimentary age of allitic formation in north of Guizhou[J]. Acta Mineralogical Sinica, 2007, 27(3/4): 466-472 (in Chinese with English abstract).
- [17] 韩忠华. 贵州省道真县大塘铝土矿沉积相特征[J]. 矿产与地质, 2008, 22(5): 428-432.
Han Zhonghua. Sedimentary facies characteristics of the Datang bauxite deposit in Daozhen County, Guizhou[J]. Mineral Resources and Geology, 2008, 22(5): 428-432 (in Chinese with English abstract).
- [18] 刘平, 廖友常. 黔中—渝南铝土矿含矿岩系时代探讨[J]. 中国地质, 2012, 39(3): 661-682.
Liu Ping, Liao Youchang. A tentative discussion on the age of bauxite-bearing rock series in central Guizhou—southern Chongqing[J]. Geology in China, 2012, 39(3): 661-682 (in Chinese with English abstract).
- [19] 雷志远, 翁申富, 凌文黎, 等. 黔北铝土矿带基底岩系组成及空间分布与成矿作用的关系探讨[J]. 地质科技情报, 2013, 32 (1): 13-18.
Lei Zhiyuan, Weng Shenfu, Ling Wenli, et al. Correlation of bauxite metallogenesis with lithology and distribution of basement rocks in the northern Guizhou metallogenic belts[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 13-18 (in Chinese with English abstract).
- [20] 余文超, 杜远生, 汪小妹, 等. 黔北务正道地区铝土矿层中燃烧成因PAHs的发现及其古气候意义[J]. 地质科技情报, 2013, 32 (1): 57-61.
Yu Wenchao, Du Yuansheng, Wang Xiaomei, et al. Combustion-derived polycyclic aromatic hydrocarbons in bauxite deposit of Wuchuan—Zheng'an—Daozhen area, northern Guizhou Province and significance of Paleoclimate[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 57-61 (in Chinese with English abstract).

- [21] 潘忠华, 葛辰, 程悦, 等. 务川县岩风阡铝土矿地质特征及成矿环境研究[J]. 贵州地质, 2013, 30(3): 192–197.
Pan Zhonghua, Ge Chen, Cheng Yue, et al. Geological characters and metallogenic environment of Yanfengqian bauxite deposit in Wuchuan[J]. Guizhou Geology, 2013, 30(3): 192–197 (in Chinese with English abstract).
- [22] 翁申富, 雷志远, 陈海, 等. 务正道铝土矿基底古地貌与矿石品质的关系——以务川大竹园铝土矿床为例[J]. 地质与勘探, 2013, 49(2): 195–204.
Weng Shenfu, Lei Zhiyuan, Chen Hai, et al. Relationship between basal paleogeomorphology and bauxite ore quality in the Wuchuan—Zheng’an—Daozhen area: An example from the Dazhuyuan bauxite ore deposit[J]. Geology and Exploration, 2013, 49(2): 195–204 (in Chinese with English abstract).
- [23] 刘平, 廖友常. 黔中—渝南沉积型铝土矿区域成矿模式及找矿模型[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 2063–2082.
Liu Ping, Liao Youchang. Regional metallogenic model and prospecting criteria of sedimentary bauxite deposits in central Guizhou—southern Chongqing region[J]. Geology in China, 2014, 41(6): 2063–2082 (in Chinese with English abstract).
- [24] 李沛刚, 王登红, 赵芝, 等. 贵州大竹园铝土矿矿床地质、地球化学与成矿规律[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
Li Peigang, Wang Denghong, Zhao Zhi, et al. Deposit Geology, Geochemistry and Metallogenic Regularity of Dazhuyuan Bauxite Deposit, Guizhou[M]. Beijing: Science Press, 2014(in Chinese).
- [25] 刘平, 廖友常, 张雅静. 黔中—渝南石炭纪铝土矿含矿岩系中的海相沉积特征[J]. 中国地质, 2015, 42(2): 641–654.
Liu Ping, Liao Youchang, Zhang Yajing. Characteristics of marine deposits of the bauxite-bearing rock series in central Guizhou—southern Chongqing area[J]. Geology in China, 2015, 42(2): 641–654 (in Chinese with English abstract).
- [26] 贵州省地质矿产局. 贵州省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 554–596.
Bureau of Geology and Mineral of Guizhou Province. Regional Geology of Guizhou Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 554–596 (in Chinese).
- [27] 路凤香, 桑隆康主编. 岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 140–142.
Lu Fengxiang, Sang Longkang. Petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 140–142 (in Chinese).
- [28] Г. И. 布申斯基. 铝土矿地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1984: 154–198, 93–95.
Bushinskiy G E. Bauxite Geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984: 154–198 (in Chinese).
- [29] J. C. 萨玛玛. 矿田与大陆风化[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 201–224.
J. C. Samama. Ore Fields and Continental Weathering[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1991: 201–224 (in Chinese).
- [30] 刘宝珺主编. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1980: 59–79, 157–165.
Liu Baojun (editor). Sedimentary Petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980: 59–79, 157–165(in Chinese).
- [31] 刘平, 廖友常. 试论遵义高铁铝土矿与低铁铝土矿的分带性及形成机制[J]. 中国地质, 2013, 40(3): 949–966
Liu Ping, Liao Youchang. The zonation and genetic mechanism of Zunyi high and low-ferrous bauxites[J]. Geology in China, 2013, 40(3): 949–966 (in Chinese with English abstract).