



黔北务正道地区沉积型铝土矿床层序地层学

刘辰生^{1,2}, 金中国³, 郭建华^{1,2}

- (1. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083;
2. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;
3. 贵州省有色金属地质和核工业地质勘查局, 贵阳 550005)

摘 要: 对黔北务正道地区铝土矿进行层序地层学分析有利于认识铝土矿分布规律和形成机理, 可有效指导将来铝土矿勘探。通过探槽和取心井岩心观察以及铝土矿含矿层系样品分析化验资料分析认为, 研究区梁山组铝土矿含矿层系为海相和陆相环境沉积, 其沉积相类型包括冲积扇、泻湖、湖泊和沼泽。铝土矿含矿层系可划分为 3 个 I 型层序界面, 识别出 3 个三级层序。每个层序下部的绿泥石岩和铝土岩为海侵体系域沉积, 而层序上部的铝土矿则为湖泊相沉积。从含矿层系到栖霞组底部整体为海平面不断上升, 沉积相类型也由含矿层系的海相和陆相互层过渡为海相碳酸盐岩沉积。海侵体系域沉积期跨时较短, 易于形成冲积扇和泻湖等沉积, 岩石类型包括绿泥石岩和铝土岩, 而高位体系域跨时较长, 绿泥石岩、铝土岩及其风化物能够进行充分的沉积分异作用, 从而形成铝土矿, 因此, 层序格架对铝土矿的形成具有控制作用。

关键词: 沉积型铝土矿; 层序地层学; 湖泊相; 沉积分异; 基准面

中图分类号: P618.45

文献标志码: A

Sequence stratigraphy of bauxite deposition in Wuzhengdao area in Qianbei, North Guizhou

LIU Chen-sheng^{1,2}, JIN Zhong-guo³, GUO Jian-hua^{1,2}

- (1. School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha 410083, China;
2. Key Laboratory of Nonferrous Metallogenic Prognosis, Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China;
3. Non-ferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau of Guizhou, Guiyang 550005, China)

Abstract: Bauxite distribution law and formation mechanism can be known by sequence stratigraphy analyses of bauxite in Wuzhengdao area, North Guizhou, which can guide exploration of bauxite ore. Based on observation of exploratory trench, cores well and results of sample test, it can be gotten that the main facies of bauxite are marine and continental sedimentary environment, including alluvial fan, lagoon, lake and marsh. Three sequence boundaries of type I can be identified, and three sequences can be divided. Chlorite rock and bauxite rock under every sequence deposit in transgressive system tract and bauxite ore upper every sequence deposits in lake. The marine level rises from ore-bearing layer to bottom of Qixia formation (P_{2q}) on the whole, and the facies change from marine and continental facies to marine facies correspondingly. The time is short during deposit of transgressive system tract, and alluvial fan and lagoon develop well. The rock types of transgressive system tract include chlorite and bauxite rock. The time is long during deposit of highstand system tract, and the sedimentary differentiation of chlorite, bauxite rock and its weathered material is carried out fully, which result in forming bauxite ore. So the sequence framework can control the forming of bauxite ore.

Key words: sedimentary type bauxite ore; sequence stratigraphy; lacustrine facies; sedimentary differentiation; base level

基金项目: 国家科技重大专项子专题(2008ZX05002-005-007HZ)

收稿日期: 2014-04-29; 修订日期: 2014-09-16

通信作者: 刘辰生, 博士, 讲师; 电话: 18773188632; E-mail: lcsjed@163.com

—晏溪、道真新民铝土矿床的详查工作,提交(332+333)铝资源量约1.1亿t;同期,贵州地矿局106地质大队完成了务川大竹园矿床普查—勘探工作,提交(331+332)资源储量约6500万t,表明黔北铝土矿资源丰富。但是,黔北铝土矿分布具有不均一的特点,且矿区多为山区,给铝土矿的勘探工作带来很大困难。黔北务正道位于扬子准地台黔北台隆遵义断拱凤冈北北东向构造变形区内,主构造线方向呈NE向和NNE向展布(见图1)。区内构造形迹现状经历了元古代的武陵运动至新生代的喜山运动数次构造运动作用。与铝土矿成矿有直接或间接影响的运动有4次,即志留—泥盆纪间的广西运动、海西中期泥盆—石炭纪间的紫云运动、石炭晚期—二叠纪间的黔桂运动、二叠纪间的东吴运动^[13-15]。区内褶皱发育,常以复式背向斜形式出现。一般背斜较开阔,规模大,延伸长,后期地质作用破坏强烈,岩层倾角平缓,一般 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$;向斜较狭窄,保存较完整,岩层倾角较陡,一般 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$,个别达 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,形成“隔槽式”褶皱。向斜构造为主要的控矿构造,区内所有铝土矿床(点)均分布于向斜内^[16]。

本次研究共实测野外露头剖面 and 探槽剖面 2680 m, 观察岩心 22 口井, 岩心长约 1040 m。野外剖面 and 岩心取样 155 块, 磨制和观察薄片 80 片, 常量、微量和稀土元素分析 75 个。

1 矿床特征

1.1 矿床岩性特征

研究区铝土矿床的底板为石炭系黄龙组(C_{2n}), 其主要为白云质灰岩和灰质白云岩。矿床的顶板为二叠系梁山组(P_{2l})炭质页岩是含矿层系的顶板, 研究区内厚度较薄, 平均厚度为 0.87 m。整体上, 炭质泥页岩的厚度呈现南薄北厚的格局。铝土矿床就夹在底板和顶板中间, 可划分为 3 个岩性段: 下部为绿泥石段, 为灰黑色、灰绿色块状绿泥石岩, 局部含砾石、豆粒和炭屑; 绿泥石岩呈块状、撕裂状, 绿泥石岩上部还发育一层铝土岩, 常为碎屑状, 部分为豆粒状。中部为铝土矿段, 是主要矿体赋存段, 铝土矿呈灰白色、褐色、土黄色等, 结构呈土状、碎屑状和豆粒状; 铝土矿中常含有黄铁矿, 呈斑点状与铝土岩混杂。上部为铝土岩段, 为灰色、深灰色铝土岩, 结构呈豆粒状、致密状和少量土状; 在该铝土岩顶部还发育一层豆粒层, 厚约 3~5 cm, 豆粒磨圆度好, 分选性中等, 豆粒间常充填黄铁矿。铝土矿中的豆粒在显微镜下可见磨圆度好(见图 2(a)), 基质支撑。与绿泥石岩和铝土岩相

比, 铝土矿泥质变形较小。铝土岩和绿泥石岩中基质变形明显(见图 2(b)), 表明其形成过程中基质发生了塑性变形, 这种塑性变形与绿泥石岩和铝土岩自溶蚀台地向溶蚀洼地滑塌、滑动有关。

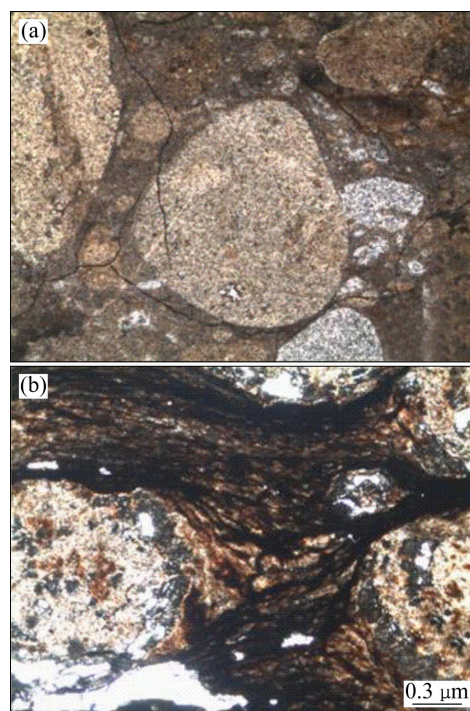


图2 务正道地区豆粒状铝土岩及绿泥石岩显微照片

Fig. 2 Electron micrographs of bean granular bauxite (a) and chlorite rock (b) in Wuzhengdao area

1.2 矿床矿物成分

铝土矿床中各种元素对于判断沉积环境具有重要作用^[11-12, 17]。样品的X衍射分析结果表明, 铝土矿含有如下矿物: 1) 铝矿物, 铝土矿床的铝矿物均为勃姆石(一水软铝石)和硬水铝石, 但两种矿物在不同矿床中含量变化很大, 新民铝土矿中勃姆石含量最高, 2件样品中的含量分别为60.04%(体积分数, 下同)和96.00%; 其次是三清庙铝土矿, 2件样品中的含量分别为53.81%和65.65%; 其余矿床(矿段)勃姆石含量较低。2) 粘土矿物, 主要为高岭石(高岭石和地开石的混合物), 其次为伊利石、蒙脱石和绿泥石, 同时含有少量叶蜡石。瓦厂坪铝土矿高岭石含量最高, 样品中高岭石含量大于50%, 最高为91.22%; 三清庙铝土矿高岭石含量相对最低; 其余3个矿床铝土矿高岭石含量均超过30%。新民铝土矿样品高岭石含量低(3.20%), 一水软铝石含量高(96.00%), 揭示风化作用彻底、矿化作用强。3) 铁矿物, 铁矿物是铝土矿的次要有害物质, 其含量多, 在拜耳法生产过程中产生的赤泥大, 造成 Al_2O_3 和 Na_2O 的机械损失, 同时使赤泥

洗涤过滤困难; 4 个矿床中瓦厂坪铝土矿床样品均含有铁矿物, 主要为黄铁矿、纤铁矿、褐铁矿, 其次为铁绿泥石, 含量为 2.20%~13.65%, 而其他矿床铁矿物含量相对少。4) 其他矿物, 从 X 衍射分析结果看, 研究区矿床的铝土矿中普遍含有石英和角闪石; 瓦厂坪铝土矿和晏溪矿床铝土矿中含有长石; 在瓦厂坪铝土矿中还检出少量白云石(含量小于 5%)、方解石(含量不超过 1%)和微量石膏, 在三溪庙铝土矿中也检出少量石膏(含量为 1.23%); 此外, 值得注意的是, 除新民矿床外, 均含有一定的角闪石。这些特征表明, 研究区铝土矿成矿是由风化作用、迁移搬运再沉积形成, 成矿物质与硅铝质岩、碳酸盐、中酸性火山岩均有关, 物质来源是多源的。

2 铝土矿化学组分

沉积相研究中常利用 Sr/Ba 比值判断沉积环境, 若 $Sr/Ba < 1$ 则为陆相环境, 若 $Sr/Ba \geq 1$ 则为海相环境^[18]。研究区铝土矿含矿层系中 Sr/Ba 比值变化较大, 通常梁山组炭质页岩中比值为 19.13, 铝土矿层比值为 0.79, 绿泥石岩和铝土岩 Sr/Ba 比值为 38.9, 所以从地化数据来看含矿层系既有海相沉积也有陆相沉积。MURRY 等^[19]研究认为, $(La/Ce)_N$ 越高, 说明受陆源的影响越小, δCe 越大, 受陆源的影响越大。大量分析成果显示, 大洋中脊 δCe 最低, 平均为 0.29; 大洋盆地 δCe 中等, 平均为 0.60; 大陆边缘 δCe 最高, 平均为 1.03。研究区铝土矿层中 $(La/Ce)_N$ 为 0.74~0.97, 平均为 0.87, 比值小于 1, 总体较低; δCe 为 1.01~1.45, 平均为 1.22, 比值小于 1, 为弱-中等比值, 表明铝土矿物来自陆源, 但沉积其仍然受到海水的影响。

3 含矿层系沉积相类型

通过 21 个探槽和 68 口取心井岩心观察, 含矿层系沉积相类型包括冲积扇相、湖泊相、泻湖相和沼泽相(见图 3)。

3.1 冲积扇相

冲积扇分布在铝土矿下部和绿泥石岩性段中。冲积扇为深灰色、灰色泥砾岩沉积, 混杂堆积, 基质支撑。泥砾直径为 4~8 cm, 顺层分布, 磨圆度差(见图 4)。显微镜下, 塑性滑动变形构造清晰, 泥质充填于颗粒间。冲积扇是近扇湖盆或汇水洼地的物源区, 研

究区从见矿情况表明大型矿床多分布在近扇的湖盆中。

3.2 湖泊相

溶蚀洼地经过绿泥石岩充填后, 变得相对平坦, 但仍然存在地势低洼地区, 这些区域就成为汇水洼地, 洪水季节这些区域可以形成水体较浅的湖泊。研究区湖泊相以滨浅湖亚相为主, 滨浅湖为铝土矿主要的沉积相类型。滨湖水体较浅, 具有较强的水动力条件, 所以在这种条件下形成的铝土岩或铝土矿中常发育的豆粒和鲕粒。这些豆粒、鲕粒与铝土岩或铝土矿混杂在一起, 在重力作用下向浅湖或更深的洼地滑塌, 所以豆粒和鲕粒铝土岩、铝土矿在野外露头中常呈透镜状分布, 塑性变形结构明显。除了颗粒状铝土岩系外, 土状铝土矿也较常见。土状铝土矿是在弱水动力条件下形成的, 常分布在湖泊相浅湖亚相, 是在波浪淘洗、筛选作用下, 细粒铝土质泥岩在湖盆中心较深水区沉淀形成的。实际上, 这就是铝土矿的沉积分异作用: 豆粒状、鲕粒状铝土矿在湖盆边缘滨湖沉积, 而粒度较细的土状的铝土矿则在水体较深的浅湖甚至半深湖中沉淀。

由于溶蚀洼地分布不连续, 形状不规则, 所以在其中沉积的铝土岩或铝土矿分布也是不连续的, 厚度在横向变化很大。有些学者认为豆粒是在安静的环境中形成的, 但是从岩心和野外剖面中可以明显看到由于水动力的作用而使早期形成的豆粒发生破碎以及滨浅湖中常见的波状层理(见图 5)。由于湖泊相或泻湖相沉积具有牵引流的性质, 所以其沉积特征与冲积扇沉积不同。在显微镜下湖泊相沉积缺少由于泥质的塑性流动而形成变形构造。虽然滨浅湖沉积的铝土岩系杂基含量高, 但颗粒仍具有一定的磨圆度和分选性, 这表明铝土岩在沉积过程中具有一定的水动力条件, 这与手标本观察到的沉积现象一致。

3.3 泻湖相

泻湖相是海侵背景下, 研究区汇水洼地中海水流动不畅形成的。泻湖相主要的物源来自冲积扇和局部溶蚀台地。泻湖相以绿泥石岩和铝土岩沉积为主, 岩石中常见到斜层理以及撕裂状沉积现象。地化元素分析显示绿泥石岩和铝土岩的 Sr/Ba 比值多大于 1, 表现为海相沉积的特征。

3.4 沼泽相

岩性为灰黑色、黑色炭质页岩、铝土质页岩和炭质泥岩等沉积。岩石中炭屑的含量呈现有规律的变

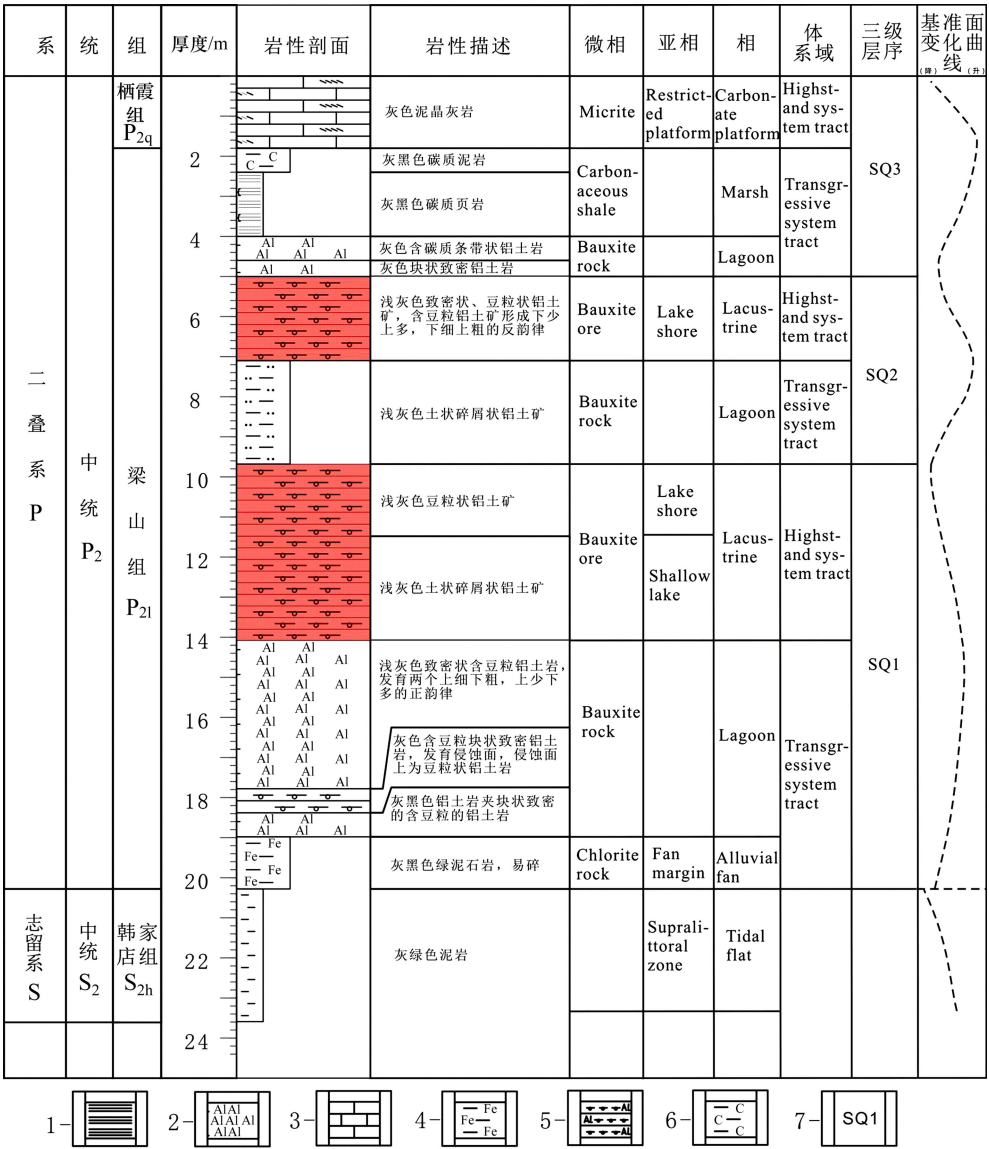


图 3 务正道地区梁山组铝土矿沉积相划分: 1—页岩; 2—铝土岩; 3—灰岩; 4—绿泥石岩; 5—铝土矿; 6—炭质泥岩; 7—层序编号

Fig. 3 Facies division of bauxite of Liangshan formation in Wuzhengdao area: 1—Shale; 2—Bauxite rock; 3—Limestone; 4—Chlorite rock; 5—Bauxite ore; 6—Carbonaceous mudstone; 7—Sequence number

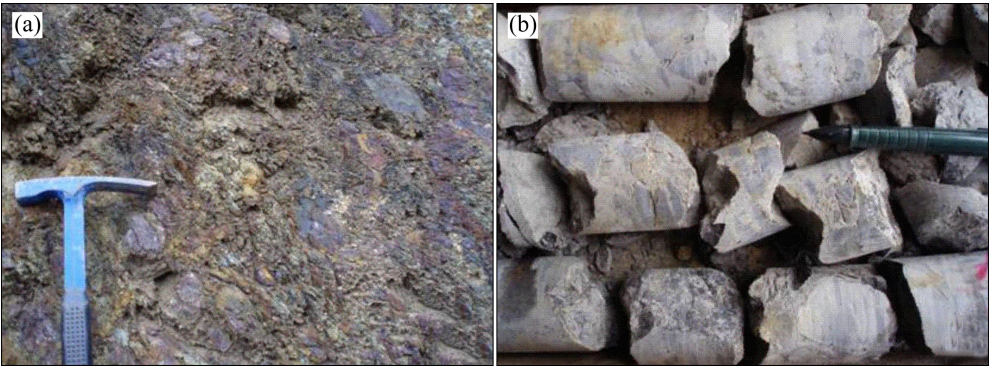


图 4 中观镇绿泥石岩发育的角砾(a)及浣溪钻井中绿泥石岩中发育的角砾岩(b)

Fig. 4 Chlorite breccia in outcrop of Zhongguantown (a) and borehole of Huanxi (b)



图 5 务正道地区铝土岩中发育的波状层理(豆粒周围的铝土岩被打碎, 表明铝土岩沉积期具有一定的水动力条件)

Fig. 5 Current bedding developing in bauxite in Wuzhengdao area (Bauxite rock around beans was broken, indicating that bauxite rock was deposited in certain water power)

化, 即由研究区北部向南炭屑含量逐渐减少, 这也一定程度上指示了海侵的方向是由北向南。

4 层序划分

4.1 层序边界识别

层序边界的识别需选取能够代表海平面(湖平面)变化的因素来分析。铝土矿含矿层系岩性变化较大, 而岩性的变化与海平面(湖平面)变化密切相关, 因此可以选取岩性及其代表的沉积相类型的变化作为层序界面的识别标志。与碎屑岩和碳酸盐岩不同的是铝土矿含矿层系微量元素种类多, 其含量变化快, 且含量的变化与沉积环境的变化密切相关, 因此微量元素的变化也可以作为海平面(湖平面)变化和铝土矿含矿层系层序边界的识别标志。另外, 作为识别层序边界标志常用的侵蚀下切面也可以用于铝土矿层序边界识别。

根据铝土矿含矿层系识别标志研究区可以识别出 3 个层序界面, 分别命名为 B1、B2 和 B3。B1 边界位于铝土矿含矿层系底部, 界面之下为石炭系黄龙组(C_{2h})白云质灰岩或志留系韩家店组(S_{2h})泥页岩, 界面之上为深灰色、灰黑色绿泥石岩、含砾绿泥石岩。该界面为侵蚀接触面, 具体表现为黄龙组灰岩顶部的溶蚀、垮塌, 部分剖面 and 钻孔中常见灰岩角砾, 角砾直径 2~10 cm, 棱角状, 分选性差, 且常与绿泥石岩混杂堆积。界面之上为铝土矿含矿层系下部绿泥石岩, 该绿泥石岩常含砾石, 砾石成分仍为绿泥石岩, 直径 5~20 cm, 次圆状, 分选性差(见图 4)。总之, B1 界面上下岩性突变, 且存在侵蚀面应为 I 型层序界面。

另外, 根据微量元素比值变化情况也可以识别出该层序边界。界面之下韩家店组 Sr/Ba 比值多小于 1,

界面之上铝土矿含矿层系绿泥石岩 Sr/Ba 比值平均为 38.9, 地化指标的变化表明沉积环境发生变化, 即沉积相由淡水陆相沉积变为海相或过渡相沉积。

B2 层序界面之下铝土矿, 界面之上为铝土岩。界面之下的铝土矿为灰白色土状、致密状、豆粒状铝土矿; 界面之上为灰色、深灰色豆粒状、致密块状铝土岩。该界面在野外剖面中表现为一侵蚀面, 且界面上下岩相和沉积相类型发生变化, 因此该界面为层序界面。另外, 界面上下地化指标分析显示铝土矿的 Sr/Ba 比值多小于 1, 而铝土岩 Sr/Ba 比值多大于 1, 因此由铝土矿到上部的铝土岩沉积相由淡水陆相沉积变为海相或海陆过渡相沉积。沉积相类型发生变化, 因此该界面为层序界面。

B3 层序边界之下为灰白色铝土矿, 该铝土矿为灰白色块状、土状和豆粒状。边界之上为灰色、深灰色铝土岩。灰白色铝土矿应为滨浅湖, 而边界之上的铝土岩为冲积扇扇端沉积。因此, 边界上下岩相和沉积相类型发生变化, 因此该边界为层序边界。

4.2 层序划分

根据层序边界可识别出 3 个三级层序, 自下而上分别命名为 SQ1、SQ2 和 SQ3。

SQ1 层序位于铝土矿含矿层系下部, 包括绿泥石岩和铝土矿。该层序可识别出海侵体系域和高位体系域, 最大海泛面位于绿泥石岩顶部, 最大海泛面之下为绿泥石岩和绿泥石岩, 之上为铝土矿(见图 6)。绿泥石岩为可容纳空间逐渐增大条件下冲积扇扇缘沉积, 地化分析表明绿泥石岩沉积过程中曾发生过海侵。冲积扇分布在研究区南部和东部, 物源主要是黔中隆起及研究区周缘的构造高点。研究区西部和北部以泻湖和沼泽为主。需要注意的是绿泥石岩是在黄龙组碳酸盐岩溶蚀洼地的基础上沉积的。研究区地势高低不平,

这就为泻湖和沼泽的形成提供了条件。这些溶蚀洼地中不断有扇三角洲滑塌或通过径流搬运来的风化物沉积下来, 而这些风化物就是铝土矿的母岩。高位体系域可容纳空间下降, 海水也逐渐退出研究区, 大气降水和地表径流取而代之, 因此研究区铝土矿是以淡水沉积为主, 这一点通过地化指标也可以证明。由于绿泥石岩沉积起到了填平补齐的作用, 所以高位体系域沉积期地势相对平坦, 沉积相类型以滨浅湖沉积为主。正是滨浅湖波浪作用使地表径流搬运来的绿泥石岩和铝土岩产生沉积分异作用形成铝土矿。

SQ2 层序可识别出海侵体系域和高位体系域, 最大海泛面位于铝土岩的顶部, 铝土矿的底部(见图 7)。海侵体系域仍然是以扇三角洲、泻湖和浅水洼地沉积为主, 在研究区北部新民地区还发育沼泽。不过, 相对于 SQ1 层序海侵体系域扇三角洲, 该层序扇三角洲

的规模较小, 仅分布于南部和北部物源附近。该层序海侵的规模较 SQ1 大, 研究区大部为泻湖和浅水洼地沉积。高位体系域海水退出研究区, 沉积相以滨浅湖沉积为主, 在研究区北部新民-双龙地区发育沼泽沉积。高位体系域铝土矿沉积主要分布滨浅湖地区, 但该层序铝土矿的厚度和分布范围较 SQ1 小。

SQ3 层序包括梁山组上部 and 栖霞组下部地层, 可识别出海侵体系域和高位体系域, 最大海平面位于栖霞组底部(见图 8)。海侵体系域沉积包括铝土岩、炭质泥页岩以及栖霞组下部深灰色泥灰岩。其中, 铝土矿为泻湖相或浅水洼地沉积, 其物源主要来自局部的构造高部位风化物, 经地表径流的搬运在泻湖和浅水洼地沉积下来。铝土岩上部的炭质泥页岩为沼泽沉积。由泻湖相、浅水洼地向上变为沼泽相表明水体逐渐变浅, 可容纳空间向上减小, 因此形成一个准层序。栖霞组下部为灰黑色泥灰岩与含生物碎屑灰岩形成的韵律层。每个韵律层均以泥灰岩开始, 向上以含生物碎屑灰岩结束, 且深水沉积的泥晶灰岩厚度向上逐渐减小, 含生物碎屑灰岩厚度逐渐增大。这种沉积格局的变化规律表明栖霞组下部应为进积准层序组, 最大海泛面位于栖霞组底部, 栖霞组下部地层为高位体系域沉积。

综上所述, 铝土矿含矿层系可识别出 3 个三级层序, 每个层序可识别出海侵体系域和高位体系域。海侵体系域主要为绿泥石岩和铝土岩沉积, 而高位体系

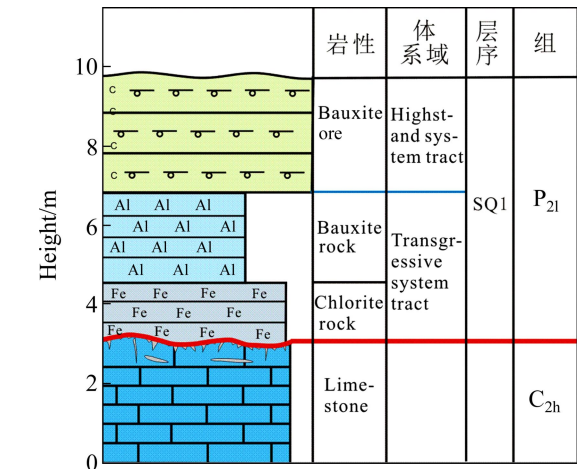


图 6 务正道地区 SQ1 层序沉积特征

Fig. 6 Deposition features of SQ1 in Wuzhengdao area

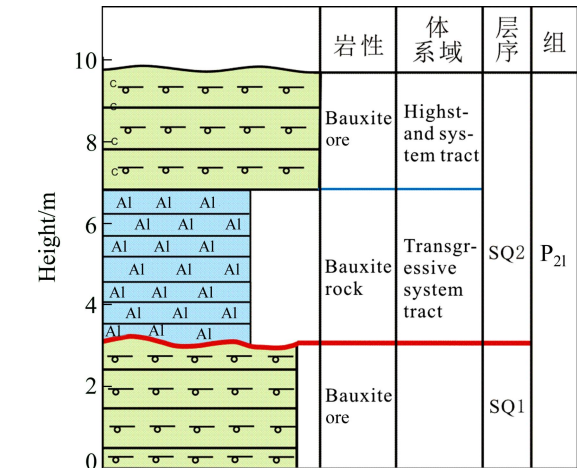


图 7 务正道地区 SQ2 层序沉积特征

Fig. 7 Deposition features of SQ2 in Wuzhengdao area

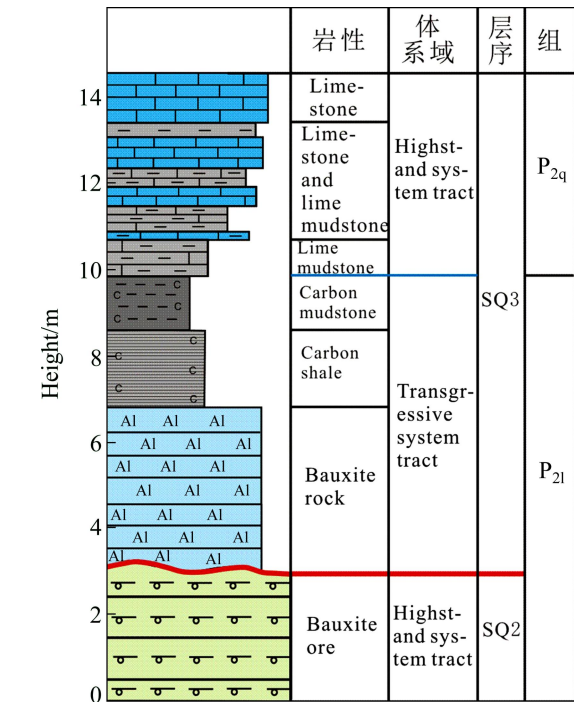


图 8 务正道地区 SQ3 层序沉积特征

Fig. 8 Deposition features of SQ3 in Wuzhengdao area

域主要为铝土矿沉积。海侵体系域沉积物 Sr/Ba 比值明显大于高位体系域铝土矿,表明海侵期海水已经波及到整个研究区。而高位体系域沉积期以地表径流和滨浅湖等淡水沉积为主,海水已经完全退出研究区。

5 铝土矿层序地层学特征

与碎屑岩不同,铝土矿含矿层序不发育低位体系域,这主要是由古地貌格局决定的。研究区铝土矿含矿层系沉积期属海岸平原,虽然由于黄龙组溶蚀作用形成大量的溶蚀洼地,但总体来讲研究区地势较平坦,且不存在坡折带。因此,并不存在由于侵蚀下切作用形成的大量河道,且海面上升更容易波及整个研究区。另外,研究区铝土矿沉积期气候湿润,沉积物以风化粘土为主,不发育砂砾岩等碎屑岩沉积,因此沉积物搬运方式以塑性流动为主。这些沉积特征决定了研究区铝土矿含矿层系不发育低位体系域,仅发育海侵和高位体系域。

研究区各层序海侵体系域沉积期海平面上升,并迅速波及整个研究区,因此研究区以浅水溶蚀洼地和泻湖相沉积为主。这些溶蚀洼地接受研究区周缘或研究区内部局部高地搬运来的风化物,搬运的通道就是地表径流或风化物直接塑性滑塌流动。微量元素对比表明:海侵期沉积的绿泥石岩和铝土岩的 Sr/Ba 平均比值为 38.9,为海侵背景下沉积;而同一地区铝土矿层的 Sr/Ba 平均比值却为 0.79,应为淡水条件下沉积(见表 1)。

研究区高位体系域沉积期是铝土矿主要形成时期。高位体系域沉积期海平面下降,海水逐渐退出研究区,海岸平原上的低洼区域因地表径流的的汇聚而形成汇水湖盆,因此高位体系域以淡水沉积为主,铝土矿层中 Sr/Ba 平均比值为 0.79(见表 1),也证明了铝土矿应为淡水沉积。地表径流中裹挟的绿泥石岩风化物沉积在湖盆中。在波浪或风暴等水动力作用下,绿泥石岩再次风化,并产生沉积分异作用形成铝土矿和铝土岩。粒度相对较粗的鲕粒状、碎屑状和豆粒状铝土矿和铝土岩在水动力较强的滨湖区域沉积,而粒度较细的土状和致密状铝土矿和铝土岩则在水动力较弱的浅湖和半深湖等区域沉积。这种水动力控制下的铝土矿分布格局就是铝土矿形成过程中的沉积分异作用。

实际上,高位体系域沉积期跨时较海侵体系域长得多,这一点可以通过 V/Ni 值反应出来。V/Ni 值能够反应沉积期的相对时间跨度的长短,比值越大沉积

表 1 黔北务正道地区铝土矿含矿层系 Sr/Ba 值
Table 1 Mass fraction of Sr and Ba in bauxite bearing lay in Wuzhengdao area

组段	岩性	w(Sr)/10 ⁻⁶	w(Ba)/10 ⁻⁶	Sr/Ba
栖霞组	泥灰岩	859.48	31.05	27.68
	泥灰岩	4204.36	36.1	116.46
	泥灰岩	3831.49	50.61	75.71
	泥灰岩	1846.07	49.72	37.13
	泥灰岩	1310.5	40.08	32.70
	炭质页岩	148.55	421.76	0.35
	炭质页岩	204.59	19.11	10.71
	平均值	1772.15	92.63	19.13
铝土矿层	致密铝土矿	59.56	129.13	0.46
	土状铝土矿	123.63	92.35	1.34
	碎屑状铝土矿	120.39	142.04	0.85
	鲕状铝土矿	53.01	239.58	0.22
	碎屑状铝土矿	178.19	234.45	0.76
	碎屑状铝土矿	80.09	102.79	0.78
	鲕状铝土矿	86.9	220.36	0.39
	土状铝土矿	63.19	71.39	0.89
	土状铝土矿	83.73	56.5	1.48
	致密状铝土矿	134.09	123.35	1.09
	致密状铝土矿	98.54	182.23	0.54
	致密状铝土矿	44.82	87.92	0.51
	土状铝土矿	59.18	57.68	1.03
	平均值	91.2	133.8	0.79
	铝土岩	1633.56	8.87	184.17
	铝土岩	72.99	32.18	2.27
绿泥石岩和铝土岩	铝土岩	140.87	11.84	11.90
	绿泥石岩	726.65	5.52	131.64
	绿泥石岩	181.03	12.83	14.11
	绿泥石岩	104.2	2.26	46.11
	平均值	476.55	12.25	38.90

Sr/Ba=w(Sr)/w(Ba)

跨时越长,反之越短。通过对比海侵体系域绿泥石岩、铝土岩以及高位体系域铝土矿中 V/Ni 值(见表 2),表明铝土矿的 V/Ni 值(4.24)远大于绿泥石岩和铝土岩的比值(0.31),也大于栖霞组的比值(2.04),因此,绿泥石岩和铝土岩形成时间较短,即海侵期跨时短,表现为基准面的快速上升。而铝土矿是长时间风化和沉积分异的结果,即高位体系域跨时较长,表现为基准面的缓慢下降。这种铝土矿含矿层系基准面变化规律与碎屑岩与碳酸盐岩等常规沉积岩的完全一致。研究区铝土矿含矿层序共划分出 3 个三级层序,因此对应着

3 个海平面升降旋回。正是由于高位体系域沉积期长时间的风化以及沉积分异作用, 才形成了研究区内范

围广、厚度大、岩性多样的铝土矿床。

表 2 黔北务正道地区铝土矿含矿层系 V/Ni 值

Table 2 Mass fractions of V and Ni in bauxite bearing lay in Wuzhengdao area

组段	岩性	w(V)/10 ⁻⁶	w(Ni)/10 ⁻⁶	V/Ni
栖霞组	泥灰岩	13.52	8.14	1.66
	泥灰岩	97.12	26.51	3.66
	泥灰岩	103.18	22.37	4.61
	泥灰岩	145.14	23.98	6.05
	泥灰岩	23.87	29.03	0.82
	炭质页岩	84.44	12.49	6.76
	炭质页岩	25.12	118.33	0.21
	平均值	70.34	34.41	2.04
铝土矿层	土状铝土矿	100.29	36.38	2.76
	致密铝土矿	149.55	32.29	4.63
	铝土矿	193.52	109.82	1.76
	碎屑状铝土矿	658.49	16.33	40.32
	鲕状铝土矿	126.87	1.91	66.42
	炭质铝土矿	143.61	118.66	1.21
	碎屑状铝土矿	304.97	10.31	29.58
	土状铝土矿	297.28	15.75	18.87
	鲕状铝土矿	583.13	3.84	151.86
	土状铝土矿	255	7.71	33.07
	土状铝土矿	285.86	16.86	16.95
	土状铝土矿	319.53	139.55	2.29
	致密块状铝土矿	147.59	121.4	1.22
	致密块状铝土矿	190.48	6.5	29.30
	铝土矿	136.28	429.08	0.32
	致密块状铝土矿	324.02	7.95	40.76
	土状铝土矿	187.38	14.68	12.76
	土状铝土矿	241.76	6.39	37.83
	平均值	258.09	60.86	4.24
绿泥石岩和铝土岩	铝土岩	4.94	10.99	0.45
	铝土岩	1	8.55	0.12
	铝土岩	3.25	11.15	0.29
	绿泥石岩	3.28	12.14	0.27
	绿泥石岩	10.14	44.03	0.23
	绿泥石岩	8.66	13.32	0.65
	平均值	5.21	16.7	0.31

$V/Ni=w(V)/w(Ni)$

6 沉积演化

黄龙组沉积后受黔桂运动的影响, 海水全面退出研究区, 研究区前期沉积物发生抬升并受到挤压, 形成一系列的断裂和褶皱。这些断裂和褶皱不但加速了黄龙组灰岩的风化剥蚀, 而且使不同构造单元产生差异性风化, 形成大小不同的侵蚀洼地和侵蚀台地。这种地貌就是含矿层系沉积的古地貌。

海侵体系域(绿泥石岩沉积期)基准面快速上升, 陆上可容纳空间突然地增加, 为沉积物提供了沉积场所。由于研究区周围均为物源区, 特别是研究区南部物源供应充分, 所以紧邻物源的区域沉积相以冲积扇相为主。冲积物在研究区中部和北部溶蚀洼地和溶蚀台地之上形成冲积平原, 而这种以绿泥石岩为主要成分的冲积扇和冲积平原沉积起到了填平补齐的作用。

高位体系域(铝土矿沉积期)基准面持续性下降, 可容纳空间减小, 海水退出研究区。虽然沉积期古地貌仍然是高低不平, 但与绿泥石岩沉积时的古地貌相比已经非常平坦了。绿泥石岩风化物在地表径流的裹挟下, 沉积在汇水洼地和湖盆内部。值得注意的是, 紧邻洼地的冲积扇实际上起到了物源区的作用, 为侵蚀洼地和湖泊沉积提供了绿泥石岩及其风化产物。铝土岩由扇缘向滨浅湖塑形滑动, 并在滨湖沉积下来。由于滨湖水体较浅, 水体能量较大, 在水动力的作用下铝土岩系发生沉积分异, 并形成豆粒、鲕粒等颗粒状铝土矿。而土状铝土矿应为水动力较弱的浅湖甚至半深湖沉积。最终的沉积相模式可以用图 9 解释。

铝土矿含矿层系上部的炭质泥页岩沉积期古地貌变得更加平坦。随着可容纳空间进一步上升, 研究区开始发生大规模的海侵作用。由于炭质泥页岩沉积期研究区已经非常平坦, 所以海侵初期海水就波及整个研究区, 从而使研究区广泛发育沼泽沉积。炭质泥页岩之上的栖霞组整体是高位体系域碳酸盐岩台地相沉积, 岩性以灰黑色、深灰色泥晶灰岩和灰质为主, 最大海泛面就位于栖霞组底部。

7 结论

1) 由于研究区铝土矿的母岩成分复杂, 所以铝土矿微量元素种类多, 这也为铝土矿的沉积环境研究提供了地化信息。根据地化资料、岩心资料、野外露头

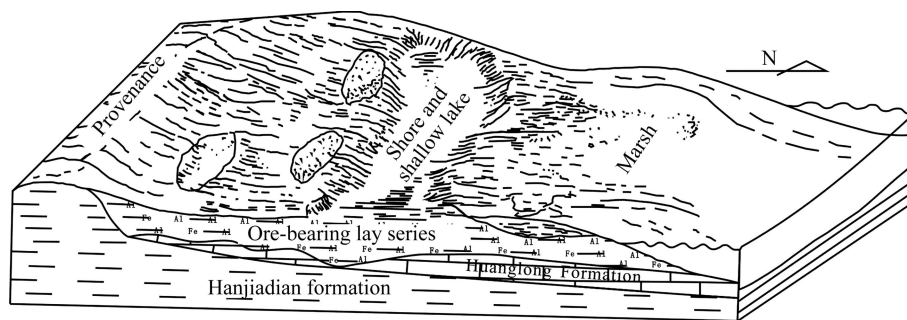


图9 黔北务正道地区铝土矿沉积相模式图

Fig. 9 Sedimentary model for bauxite in Wuzhengdao area

资料和岩石薄片分析认为研究区铝土矿含矿层系既有陆相沉积又有海相沉积，整体呈现出海相和陆相互层沉积。研究区铝土矿含矿层系沉积相类型包括冲积扇、湖泊、泻湖相和沼泽，因此，黔北务正道地区铝土矿成因类型与黔南及黔中地区海相沉积完全不同。

2) 根据岩性和相应的地化数据，研究区铝土矿含矿层系可识别出为3个I型层序界面，相应地划分为3个三级层序。SQ1层序下部的绿泥石岩和铝土岩为海侵体系域冲积扇和泻湖沉积，SQ2和SQ3层序下部铝土岩为海侵体系域泻湖沉积。而各层序中铝土矿则为高位体系域湖泊相沉积。海侵体系域沉积期跨时较短，高位体系域跨时较长，使得绿泥石岩、铝土岩及其风化物能够进行充分的沉积分异作用，从而形成铝土矿，因此，层序格架对铝土矿的形成具有控制作用。从含矿层系到栖霞组底部海平面表现为上升趋势，沉积相类型也由含矿层系的海相和陆相互层过渡为海相碳酸盐岩沉积。

REFERENCES

- [1] 廖士范. 我国铝土矿成因及矿层沉积过程[J]. 沉积学报, 1986, 4(1): 1-6.
LIAO Shi-fan. Genesis of bauxite the sedimentary process of its ore deposit in china[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1986, 4(1): 1-6.
- [2] 林耀庭. 论我国沉积型铝土矿床生成的主要规律性[J]. 地质论评, 1960, 6(3): 128-131.
IN Yao-ting. Prime laws of sedimentary bauxite in China[J]. Geological Review, 1960, 6(3): 128-131.
- [3] 章柏盛. 黔中石炭纪铝土矿床成因等若干问题的初步探讨[J]. 地质论评, 1984, 30(6): 553-559.
ZHANG Bai-sheng. Some problems on the origin of Carboniferous bauxite deposits in central Guizhou[J]. Geological Review, 1984, 30(6): 553-559.
- [4] 李传班, 储潇姝, 刘幼平. 黔东南地区中二叠统梁山组沉积相特征及其控矿作用[J]. 矿产勘查, 2013, 4(4): 435-439.
LI Chuan-ban, CHU Xiao-shu, LIU You-ping. Characteristics of sedimentary facies of the Middle-Permian Liangshan formation and the ore-controlling process of the bauxite deposit insoutheastern Guizhou[J]. Mineral Exploration, 2013, 4(4): 435-439.
- [5] 胡旭, 伊海生, 王刚, 欧莉华. 沉积型铝土矿鲕粒结构特征及其成因分析[J]. 重庆科技学院学报: 自然科学版, 2013, 15(2): 5-9.
HU Xu, YI Hai-sheng, WANG Gang, OU Li-hua. Texture characteristics and genesis of bean-pebbleofsedimentary bauxite deposit[J]. Chongqing University of Science and Tehnology: Natural Sciences, 2013, 15(2): 5-9.
- [6] 黄兴, 张雄华, 杜远生, 覃永军. 黔北地区铝土矿形成的地质时代[J]. 地质科技情报, 2012, 31(3): 49-53.
HUANG Xing, ZHANG Hua-xiong, DU Yuan-sheng, TAN Yong-jun. Age of bauxite formation in northern Guizhou[J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31(3): 49-53.
- [7] 廖友常. 沉积型一水硬铝石型铝土矿床勘查评价中几个问题的探讨—以黔北铝土矿床为例[J]. 地质与勘探, 2013, 49(2): 274-277.
LIAO You-chang. On some problems of exploration evaluation of the sedimentary type diasporicbauxite deposits: examples from the bauxite deposits in northern Guizhou[J]. Geology and Exploration, 2013, 49(2): 274-277.
- [8] 陶平, 许启松, 刘坤. 沉积型铝土矿预测方法及其影响因素—以贵州省铝土矿为例[J]. 地质通报, 2010, 29(10): 1533-1539.
TAO Ping, XU Qi-song, LIU Kun. The prediction methods and its influencing factors of the sedimentary bauxite resource, taking baux-ite resource of Guizhou Province, China as an example[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(10): 1533-1539.
- [9] 崔滔, 焦养泉, 杜远生, 计波. 黔北务正道地区铝土矿沉积特征及分布规律[J]. 地质科技情报, 2013, 32(1): 53-56.
CUI Tao, JIAO Yang-quan, DU Yuan-sheng, JI Bo. Sedimentary

- characteristics and distribution feature of bauxite in Wuzhengdao area, northern Guizhou province[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 53–56.
- [10] 翁申富, 雷志远, 陈强, 熊星. 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. WONG Shen-fu, LEI Zhi-yuan, CHEN Qiang, XIONG Xing. A correlation of sedimentary facies and bauxite ore grade of Wuzhengdao area, northern Guizhou province[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 19–22.
- [11] 周汝贤, 任海利, 高军波, 杨瑞东. 贵州黄平铁厂沟铝土矿床沉积特征[J]. 贵州大学学报: 自然科学版, 2013, 30(2): 38–43. ZHOU Ru-xian, REN Hai-li, GAO Jun-bo, YANG Rui-dong. Sedimentary characteristics of the Tiechanggoubauxite deposit in Huangping County, Guizhou province[J]. Journal of Guizhou University: Natural Sciences, 2013, 30(2): 38–43.
- [12] 崔滔, 焦养泉, 杜远生, 余文超. 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, YU Wen-chao. Analysis on paleosalinity of sedimentary environment of bauxite in Wuzhengdao area, northern Guizhou province[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 46–51.
- [13] 王兵. 贵州燕子岩铝土矿地质特征及矿床成因研究[J]. 矿产与勘查, 2012, 3(5): 618–623. WANG Bing. Geological characteristics of Yanziyan bauxite and deposit genesis, Guizhou[J]. Mineral Exploration, 2012, 3(5): 618–623.
- [14] 金中国, 武国辉, 赵远由. 贵州务川瓦厂坪铝土矿床地质特征[J]. 矿产与地质, 2009, 23(2): 137–141. JIN Zhong-guo, WU Guo-hui, ZHAO Yuan-you. Geological characteristics of Wachangping bauxite deposit in Wuchuan, Guizhou Province[J]. Mineral Resources and Geology, 2009, 23(2): 137–141.
- [15] 陈兴龙, 龚和强. 黔北务正道地区铝土矿的成矿地质条件与开发现状[J]. 矿产与勘查, 2010, 1(4): 344–348. CHEN Xing-long, GONG He-qiang. Mineralization conditions and exploration model of bauxite deposit in the Wuchuan, Zhengnan and Daozhen counties, Northern Guizhou Province[J]. Mineral Exploration, 2010, 1(4): 344–348.
- [16] 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–Zhengnan–Daozhen area northern Guizhou[J]. Geology and Prospecting, 2007, 43(5): 29–33.
- [17] 宋瑶, 杨少春, 苏妮娜, 向奎. 准噶尔盆地春风油田沙湾组沉积相新认识[J]. 石油试验地质, 2013, 35(3): 238–241. SONG Yao, YANG Shao-chun, SU Ni-na, XIANG Kui. New understanding of sedimentary facies of Shawan formation in Chunfeng Oilfield[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2013, 35(3): 238–241.
- [18] 张秀芝, 马忠社, 魏静, 王会敏. 利用元素地球化学特征研究河北平原第四纪沉积环境的探讨与实践[J]. 地学前缘, 2012, 19(4): 194–205. ZHANG Xiu-zhi, MA Zhong-she, WEI Jing, WANG Hui-min. The use of geochemical characteristics of elements in the study of quaternary sedimentary environment in the Hebei plain[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(4): 194–205.
- [19] MURRY R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: General principles and applications[J]. Sedimentary Geology, 1994, 90(3): 213–232.

(编辑 何学锋)