



黔北铝土矿成矿关键控制因素——海平面变化

崔 涛

(贵州理工学院 资源与环境工程学院, 贵阳 550003)

摘要: 黔北务川-正安-道真地区(简称务正道)铝土矿的形成与海平面变化关系密切, 综合运用野外地质调查、手标本观察、偏光显微镜观察、区域地层对比等手段对黔北务正道地区铝土矿矿石的自然类型与海平面变化之间的关系进行了研究。结果表明: 半土状矿石层可作为长时间海退的标志; 务正道地区至少经历了 4 次海退过程, 4 次大规模海退是务正道地区能形成优质铝土矿的重要原因; 所有沉积型铝土矿矿石自然类型都可指示含矿岩系的沉积过程, 沉积型铝土矿本身可作为一种多期次暴露标志层。

关键词: 半土状铝土矿; 海平面变化; 黔北地区

文章编号: 1004-0609(2020)-06-1466-14

中图分类号: P611.2

文献标志码: A

铝土矿是一种战略矿产资源, 是提炼金属铝最重要的原材料, 铝的应用极为广泛。中国的铝土矿主要分布在山西、广西、河南、贵州。贵州铝土矿主要为黔中铝土矿与黔北铝土矿, 长期以来, 众多专家学者对黔北铝土矿进行了长期的研究, 取得了丰硕的成果, 主要表现在铝土矿的岩石矿物学及矿床特征^[1-3]; 铝土矿的沉积环境与沉积相^[4-9]; 地球化学特征^[10-13]; 综合铝土矿床的矿物地球化学特征和空间变化规律, 对铝土矿的物源进行了识别和追踪^[10, 14-15]; 铝土矿的成矿机制及成矿作用^[4-5, 10, 16-19]。

尽管前人对黔北铝土矿的研究内容丰富, 成果较多, 但由于缺乏分层标志及铝土矿含矿岩系厚度一般较薄等因素, 前人对铝土矿含矿岩系层序地层学及铝土矿成矿过程中海平面变化的系统研究较为薄弱。鲜有学者系统研究黔北铝土矿成矿过程中的海平面变化问题, 包括海平面升降的幅度及具体升降次数, 海平面变化的旋回层序及对铝土矿成矿过程的影响。余文超等^[16]在大竹园向斜 ZK288-16 中发现半土状铝土矿之上有数层渣土层, 认为钻孔经历了 3 次淋滤作用, 包括 2 次铝土矿化阶段的淋滤作用及 1 次后生淋滤作用。刘辰生等^[7-8]对务正道地区铝土矿进行了层序地层与沉积环境分析, 认为层序格架对铝土矿的形成具有控制作用。刘辰生等^[19]运用地球化学手段分析了务正道地区海平面变化旋回与成矿的关系。

种种迹象表明, 铝土矿自然类型的演化及空间分

布状态与海平面变化存在密切联系。海平面变化是决定铝土矿能否形成的重要因素, 海平面变化的规律决定了矿石的品位与矿床的规模。研究海平面变化是研究铝土矿成矿机制的关键钥匙, 有必要对铝土矿成矿过程中的海平面变化规律进行研究。由于前人尚未系统运用矿石组合对海平面变化进行分析, 因此, 本文在前人研究的基础上, 综合野外地质调查、偏光显微镜观察、地层综合柱状对比图分析对黔北铝土矿成矿过程中的海平面变化及相关影响进行了研究, 探讨各类型矿石的形成及分布与海平面变化之间的关系, 首次运用区域矿石类型分布特征建立了铝土矿含矿岩系的沉积旋回体系, 为进一步研究铝土矿的成矿机制提供了参考。

1 地质背景

黔北-渝南成矿带为贵州、重庆境内的重要的铝土矿成矿带^[20], 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^[21]。研究区地层出露由老到新有: 寒武系、奥陶系、志留系、石炭系、二叠系与侏罗系。区内构造线方向为 NNE, 寒武系地层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(P₂l)或栖霞组(P₂q), 下伏

基金项目: 贵州省科技厅联合基金项目(LH[2014]7358); 贵州理工学院高层次人才启动项目(XJGC20140702, XJGC20131204)

收稿日期: 2019-06-10; 修订日期: 2019-10-15

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

石炭系黄龙组(C₂h)或志留系韩家店组均为平行不整合接触。务正道地区铝土矿的空间分布受道真、大塘、鹿池-栗园、桃园、安厂、浣溪、新模、张家院向斜控制(见图1)。

黔北务正道地区铝土矿为层状与似层状,整体为灰色,岩溶不发育,矿层厚度为0.78~18.2 m^[5],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4种类型^[4, 22];矿石成分以硬水铝石、高岭石、伊利石为主,含少量石英与长石^[23],矿石品位由大到小依次为半土状、碎屑状、豆鲕状、致密状。

铝土矿含矿岩系可分为3段:下段为深灰色-灰绿色(有时为褐红色)黏土岩(铝土矿),品位较低,一般未达矿石标准,矿石(岩石)为致密状;中部为浅灰-灰色铝土矿,Al含量较高,矿石类型丰富;顶部为灰色铝土矿(岩),常为豆鲕状。务正道铝土矿的时代为早二叠世^[24~25],铝土矿形成于半封闭海湾或海泛湖中,海水由北进入成矿区;随海平面变化,成矿环境在半封闭海湾与陆地湖泊之间转换^[4, 6];铝土矿初始沉积于还原环境中,陆地植物与盆地微生物生态系统对铝土矿的形成有重要作用^[26],下伏韩家店组泥页岩与黄龙组灰

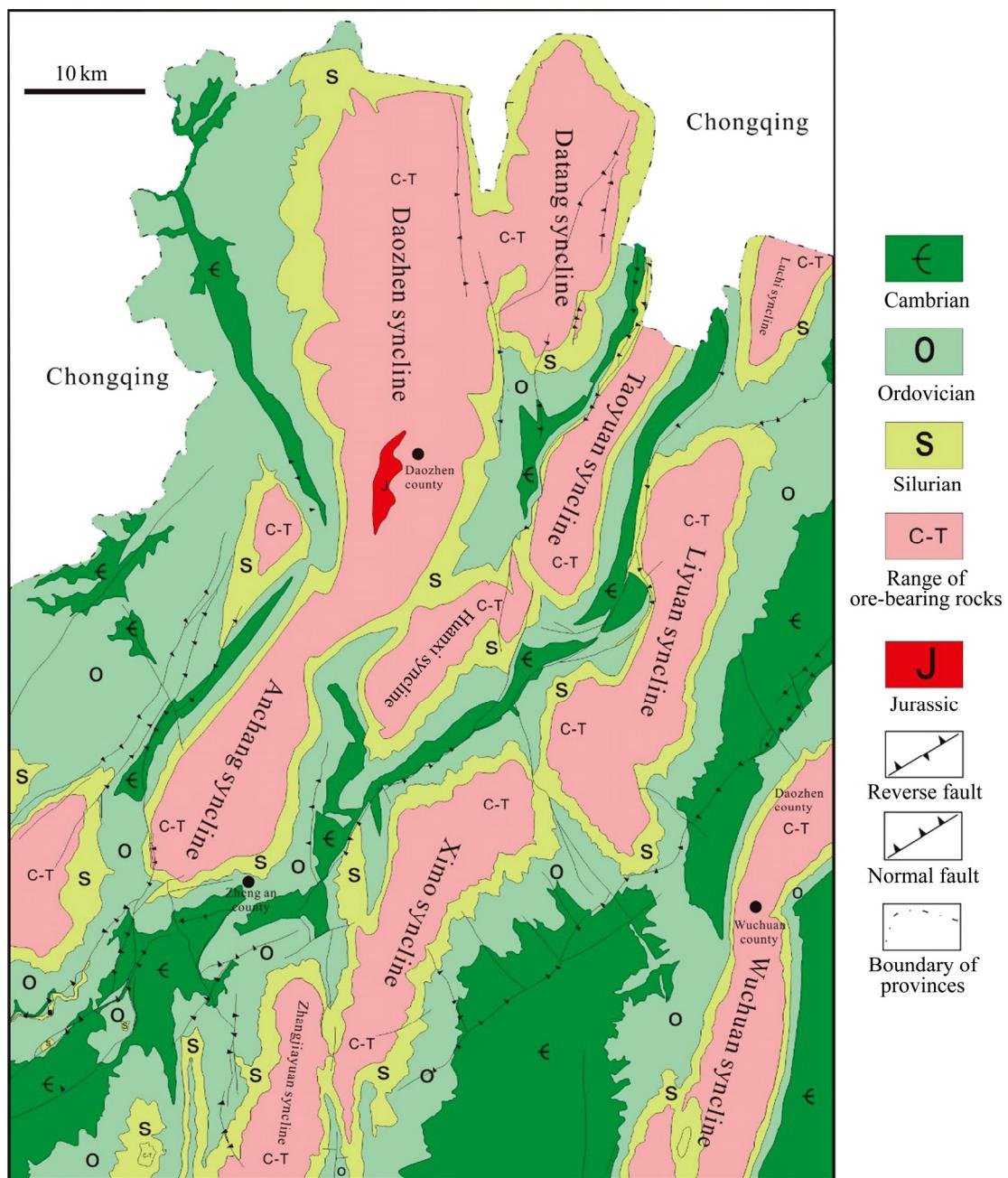


图1 研究区地质图(据文献[6], [10]修改)

Fig. 1 Geologic map of WZD area in northern Guizhou (modified from Ref. [6] and Ref. [10])

岩均为铝土矿的物源，铝土矿层形成后，经历了多期暴露地表的风化淋滤作用，风化过程中 Si、Fe 大量流失，Al 相对富集最终形成铝土矿^[16]。剖面顶部至底部，稀土元素含量呈逐渐增加的趋势，表明剖面顶部至底部，稀土元素的淋滤迁出减弱^[10]。

2 铝土矿矿石类型及自然特征

黔北务正道铝土矿矿石自然类型可分为 4 种：致密状铝土矿、碎屑状铝土矿、豆鲕状铝土矿、半土状铝土矿^[22-23]。

半土状铝土矿亦称土状铝土矿或蜂窝状铝土矿，颜色为浅黄-浅灰-白色；半土状铝土矿矿石结构松散，孔隙度大，这与其余 3 种类型矿石的致密坚硬形成鲜明对比(见图 2)。铝土矿矿石的 4 种自然类型并非独立存在毫无关联的，4 种矿石之间是一种演化过渡关系；矿石完整演化序列为致密状矿石→碎屑状矿石→豆鲕状矿石→半土状矿石^[27]，4 种自然类型矿石之间存在多种过渡类型。半土状铝土矿为铝土矿演化的终极形态，除与致密状铝土矿矿石有过渡类型外，

半土状铝土矿与碎屑状铝土矿、豆鲕状铝土矿之间均存在过渡类型，形成含碎屑半土状铝土矿或含豆鲕半土状铝土矿，这些过渡类型矿石具有与半土状矿石相似的演化特征，指示相似的成矿环境与成矿过程。

3 铝土矿含矿岩系地球化学特征

有关黔北务正道地区铝土矿的含矿岩系地球化学特征的研究资料较丰富^[1, 10-12, 31, 14, 29]，众多专家学者对黔北铝土矿的含矿岩系主微量及稀土元素特征进行了研究。

综合前人研究资料^[1, 10-14, 29, 31]，务正道铝土矿地
球化学具有如下特点：1) 含矿岩系 Al 含量较高，不仅工业铝土矿石 Al 含量高，不达工业品位的铝土岩、含矿岩系底部的绿泥石岩、鲕状赤铁矿层的铝含量均远高于一般黏土岩，这表明含矿岩系整体均受到成矿作用改造；2) 矿石的形成是 Al 元素相对富集，而其余元素 Si、Fe 等相对丢失的过程，即 Al 元素在成矿过程中亦有一部分丢失，但相对于其余元素而言丢失程度较小；3) 矿石类型与矿石品位相关，矿石品位(Al

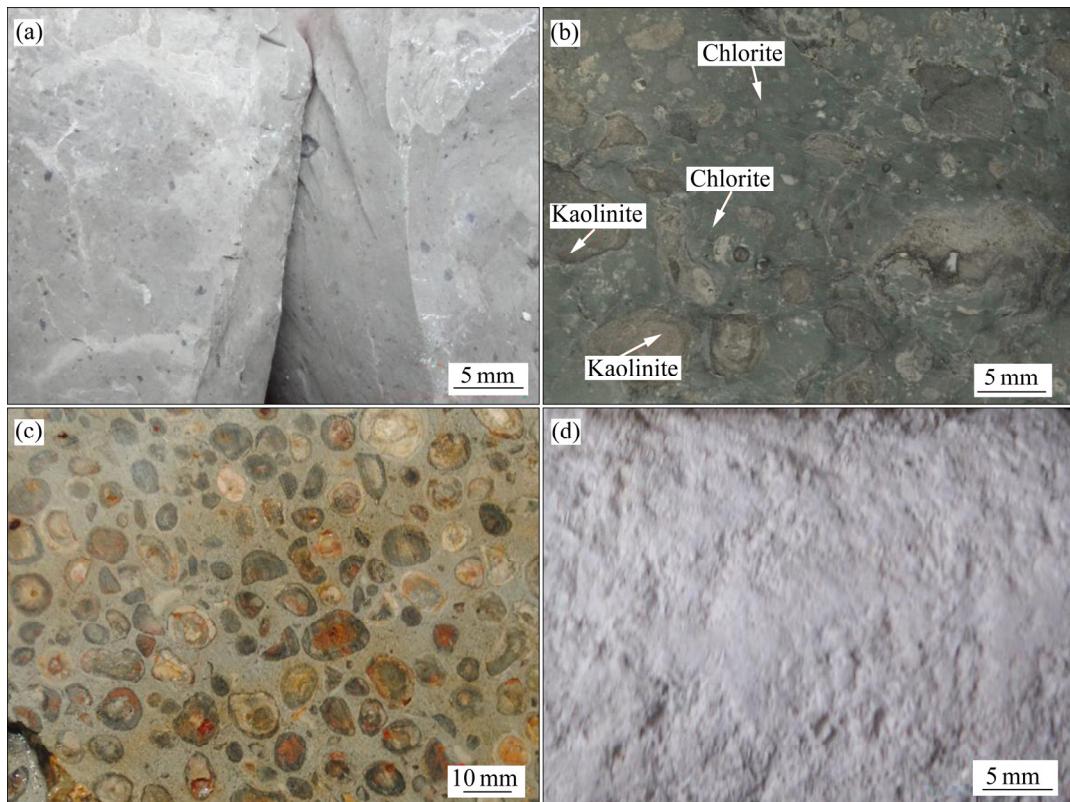


图 2 不同自然类型矿石手标本照片

Fig. 2 Pictures for hand specimens of different natural types of ores: (a) Massive bauxite; (b) Clastic bauxite; (c) Oolitic bauxite; (d) Earthy bauxite ((a), (c) From Ref. [28]; (b) From Ref. [29]; (d) From Ref. [30])

含量)由大到小依次为半土状矿石、碎屑状矿石、豆鲕状矿石、致密状矿石, 不同矿石类型在垂向上规律性出现; 4) Al 元素在含矿岩系中上部富集, Fe、Si 等在含矿岩系下部富集, REE 亦在中下部富集, 铝土矿成矿过程中元素普遍具有向下迁移的规律。

4 各类型铝土矿空间分布规律

地层柱状对比图可反映不同自然类型矿石的空间分布状态, 笔者编制了成矿区北部、中部、南部的地层柱状对比图(见图 3~6)来分析半土状矿石及其它自然类型矿石的分布状态(各向斜平面图中粗线条为剖面位置, 鹿池向斜地层柱状对比图中钻孔从左至右在平面图为从南往北均匀分布, 其余向斜相反)。

北部鹿池向斜各钻孔见矿率高, 主要为碎屑状铝土矿与半土状铝土矿, 按自然类型划分矿层为 0~3 层, 钻孔 ZK2202 顶部有一层豆鲕状铝土矿。含矿岩系大部分为不达矿石标准的铝土岩, 半土状铝土矿分布于地层上部, 碎屑状铝土矿亦位于地层上部。

中部桃园向斜见矿率极高, 铝土矿含矿岩系豆鲕状铝土岩(低品位豆鲕状铝土矿)与豆鲕状铝土矿(高品位豆鲕状铝土矿)含量远高于栗园向斜; 除钻孔 ZK4-2 无工业矿层外, 其余钻孔矿层为 2~4 层。桃园向斜 4 种类型矿石齐全, 矿层厚度大于鹿池向斜剖面, 桃园向斜不同类型矿石及铝土岩交替出现。

栗园向斜与桃园向斜相似, 但栗园向斜豆鲕状铝土矿含量极少, 剖面中未发现。栗园向斜矿石以半土状与碎屑状矿石为主, 半土、致密、碎屑状矿石交替出现, 按矿石自然类型划分矿层可达 5 层。栗园向斜的碎屑状铝土矿矿石粗碎屑含量相对较小, 孔隙度相对其余矿区碎屑状矿石要大, 栗园向斜很多碎屑状矿石除结构较半土状矿石坚固, 不能用手轻易直接掰散外, 品位、颜色等其余特征已很接近半土状矿石。钻孔 ZK2602 下部含有 1 m 多厚的半土状铝土矿, 这在其余钻孔中较少见。

张家院向斜中含 4 种类型矿石, 剖面中各钻孔均见矿。矿石以碎屑状矿石与半土状矿石为主, 钻孔 ZK8504 与 ZK3304 中含有部分致密状铝土矿, 钻孔 ZK8504 中致密状铝土矿厚度约 3 m。

鹿池、桃园、栗园、张家院 4 个向斜由南至北分布, 基本可以代表成矿区铝土矿的分布状态。对比各向斜含矿岩系柱状图可知, 虽然不同矿区有不同的重点矿石组合, 但各类型矿石交替出现是一种普遍现象, 矿石多集中于含矿岩系中上部, 但也有矿石产于含矿

岩系下部或底部。钻孔中是否具矿层与含矿岩系的厚度并没有必然的关系, 但矿层的厚度与含矿岩系的厚度大体上呈正相关, 含矿岩系越厚, 矿层则可能越厚。有一些钻孔中含矿岩系较薄, 含矿层虽位于含矿岩系的上部或顶部, 但因这些钻孔含矿岩系厚度远小于其他钻孔, 相比较其他钻孔, 这些钻孔矿层赋存位置相当于含矿岩系较厚钻孔的下部。含矿岩系厚度在成矿区无明显规律, 属随机分布。许多学者都讨论过下伏地层与铝土矿成矿的关系, 认为下伏地层为灰岩时有利于水排泄, 形成优质铝土矿^[5, 22, 28]。从区域上看, 下伏地层即使不为灰岩而是泥页岩也能发育优质铝土矿, 但半土状铝土矿分布较多的栗园向斜下伏全为灰岩; 且该区域各类型铝土矿品质都较高, 暗示下伏地层为灰岩时是有利于优质铝土矿形成的。

5 铝土矿成矿过程中的海平面变化规律

5.1 海平面变化识别标志

海平面变化的识别标志有不整合面、暴露构造、暴露标志层(煤层等)、地球化学分析等。对于务正道铝土矿来说, 不同类型矿石层之间多为连续沉积, 无明显间断面, 仅少量钻孔中含有煤、炭质层、赤铁矿层等标志层; 地球化学元素含量有整体向下迁移的趋势, 难以完全反映原始沉积状态, 因此常规海平面变化识别方法并不适用于务正道地区。通过综合分析务正道铝土矿矿石自然结构与地球化学特征、矿石的空间分布规律可知, 不同自然类型的矿石层可作为海平面变化的识别标志。务正道铝土矿含矿岩系整体为高铝含量, 这是暴露地表接受淋滤的结果, 因此各类型矿石的形成都指示着海平面下降、沉积环境暴露地表的过程。

半土状铝土矿是铝土矿各类型矿石演化的终极形态^[27], 其分布并非局限于含矿岩系顶部, 在含矿岩系中下部亦有分布; 半土状铝土矿在含矿岩系中并非只有一层, 而是与其它类型矿石层交替分布, 所以很明显半土状矿石并非表生作用形成。形成半土状矿石需要较长时间的淋滤作用, 半土状矿石由其余类型矿石演化而来^[27], 因此, 半土状矿石可作为海平面较长时间下降的标志层, 半土状矿石的出现即反映了一次海平面下降过程。

致密状铝土矿、碎屑状铝土矿、豆鲕状铝土矿亦可作为海平面下降的指示标志。理论上如果成矿环境合适, 暴露时间长, 淋滤充分, 含矿岩系都将变为半土状铝土矿; 因成矿条件限制, 大部分含矿岩系的脱

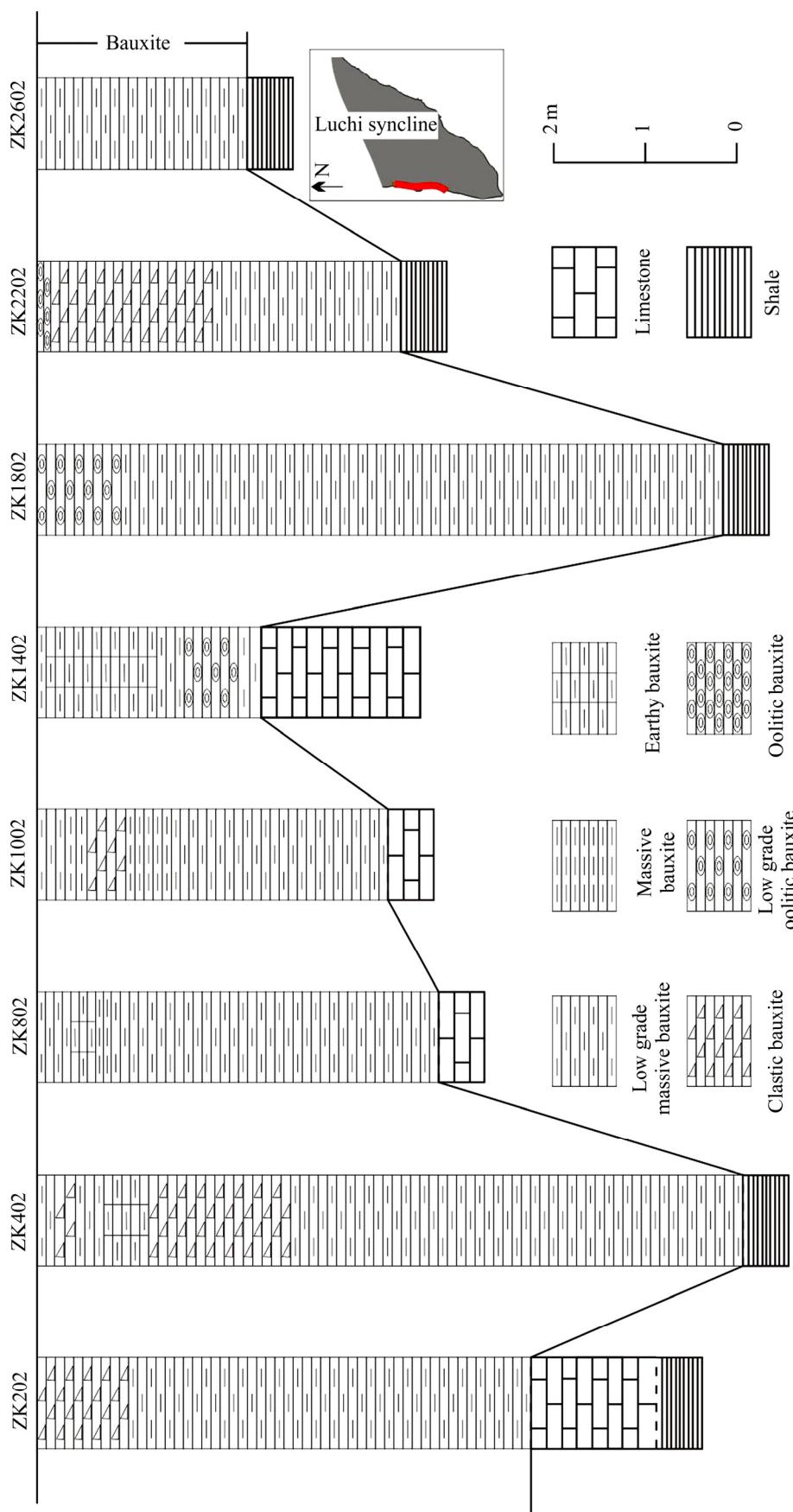


图3 北部鹿池向斜地层钻孔柱状对比图

Fig. 3 Stratigraphic correlation diagram of Luchi syncline in north

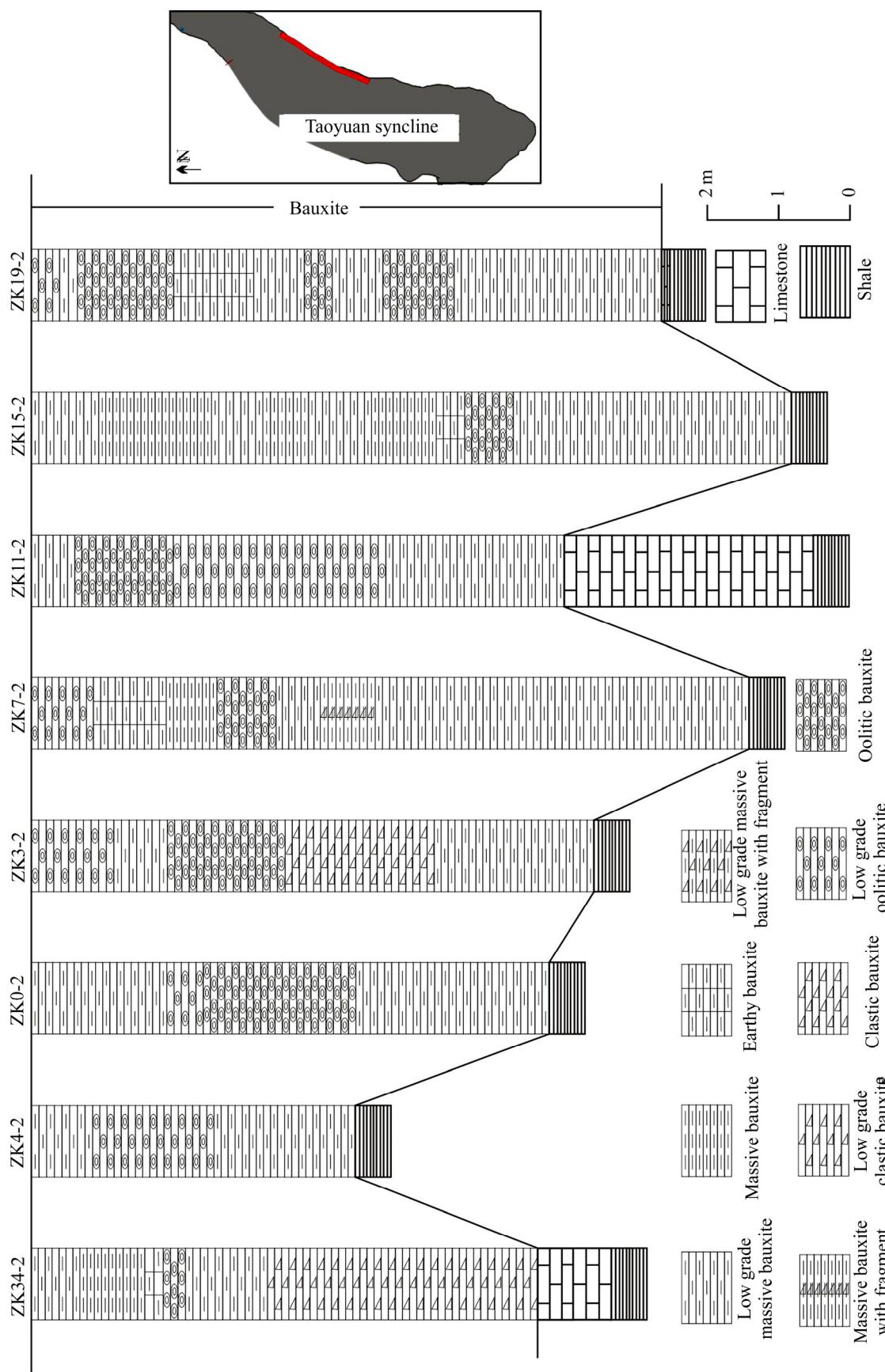


图4 中部桃园向斜地层钻孔柱状对比图(据文献[30]修改)

Fig. 4 Stratigraphiccorrelation diagram of Taoyuan syncline in middle (modified from Ref. [30])

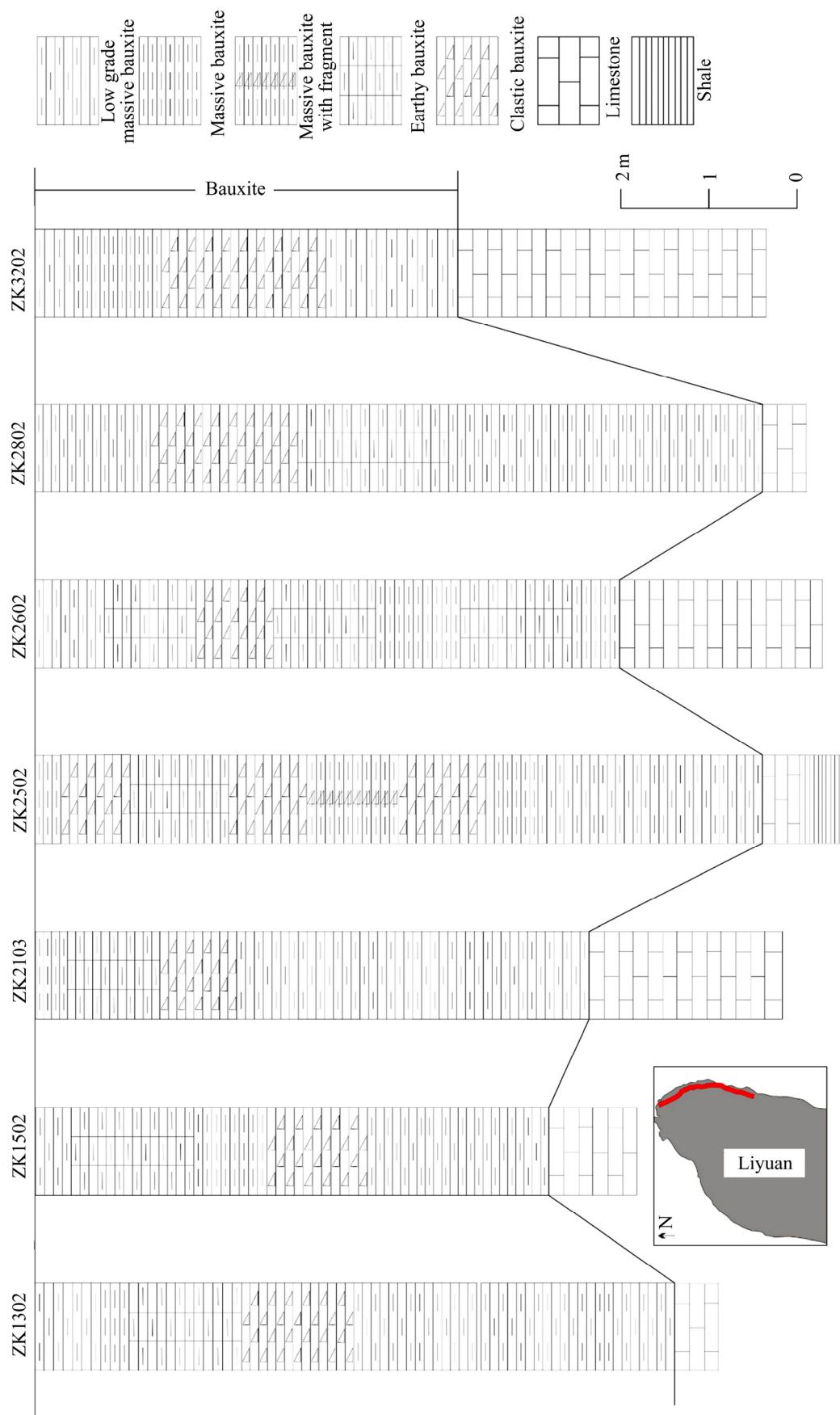


图5 中部栗园向斜地层钻孔柱状对比图

Fig. 5 Stratigraphic correlation diagram of Liyuan syncline in middle

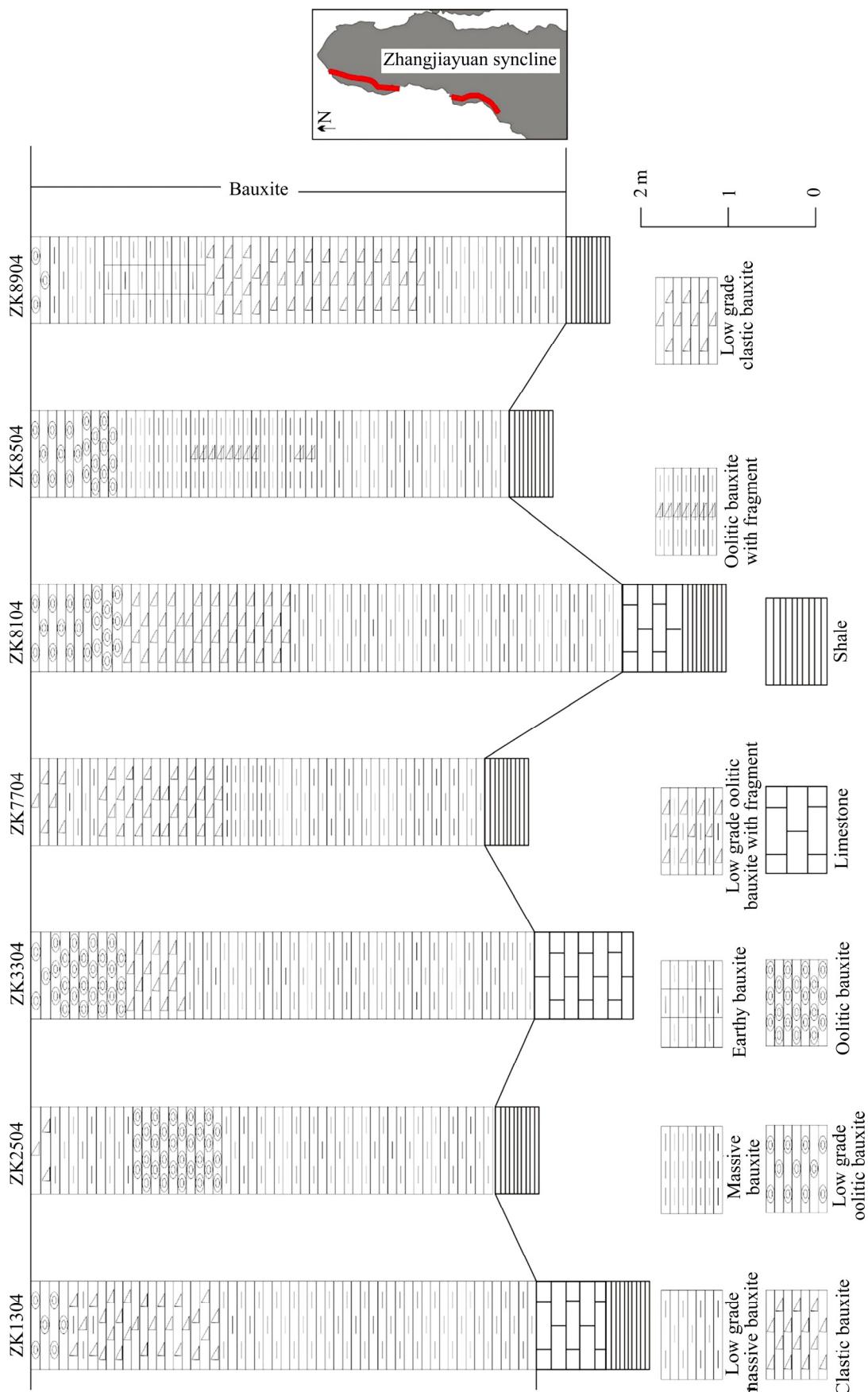


图 6 南部张家院向斜地层钻孔柱状对比图(据文献[30]补充修改)

Fig. 6 Stratigraphic correlation diagram of Zhangjiayuan syncline in south (according to Ref. [30], supplemented and amended in 2019)

硅排铁作用未充分进行,使垂向上出现各种类型矿石交替出现的现象;矿石交替出现说明沉积环境的状态发生改变,由淹没变为暴露或相反。通常含矿岩系在垂向上依据矿石组合出现类型可划分为若干段,若各类型矿石垂向由底部至顶部排列符合矿石演化序列:致密状矿石→碎屑状矿石→豆鲕状矿石→半土状矿石,则该部分应当视为一次完整的演化过程,代表一次海退成矿区暴露地表接受淋滤作用的过程;若矿石的出现不符合演化序列,则表明矿石演化过程被中途阻断;这种阻断是海平面上升的结果,成矿区被海水重新淹没接受沉积。淹没与暴露的过程交替进行,最终形成了我们今天见到的铝土矿。

5.2 海平面升降频率与幅度

根据不同自然类型矿石空间上的组合规律,可分析海平面升降的频率及幅度。依据不同矿区地层柱状对比图(见图3~6)可知,务正道地区经历了多次海侵与海退过程。首先,含矿岩系与上伏下覆地层均为平行不整合接触,各自代表一次海侵过程,除了含矿岩系顶底部沉积时发生的海侵作用外,含矿岩系内部亦有多个海侵与海退旋回。

鹿池向斜钻孔ZK402中有一层半土状铝土矿,其下为碎屑状铝土矿,其上为薄层致密与碎屑状铝土岩,指示1次较长时期的暴露淋滤过程;鹿池向斜其余钻孔与ZK402相似,除顶底之外均指示1次海退过程。

桃园矿石组合类型较复杂,指示多次海平面变化过程。钻孔ZK4-2碎屑状铝土矿之上变为致密状铝土岩,不符合矿石演化顺序,碎屑与致密之间为一次海侵过程。往上致密-豆鲕-半土状铝土矿为序列演化,代表1次长期暴露淋滤过程。半土状铝土矿上部为致密状铝土矿与致密状铝土岩,代表1次暴露过程即1次海退过程。顶部变为致密状铝土岩,理论上说致密状铝土矿与致密状铝土岩之间也应有1次暴露过程,但顶部可能为后期沉积物所污染,使矿石品位降低,因此,将顶部致密状铝土岩与之下的铝土矿视为1层,代表1次海退暴露过程。钻孔ZK34-2含矿岩系指示3次海退过程,分别为:碎屑状铝土矿形成为1次,致密-豆鲕-半土状铝土矿形成为1次,致密状铝土矿形成为1次。钻孔ZK7-2反映4次海退过程,致密状铝土岩与含碎屑致密状铝土矿形成为1次,致密状铝土岩-豆鲕状铝土矿形成为1次,致密状铝土岩-半土状铝土矿形成为1次,豆鲕状铝土岩形成为1次。钻孔ZK15-2与ZK19-2矿石组合亦指示沉积环境经历了4次海退过程。总体上看,桃园向斜各自然类型铝土矿组合特征指示成矿区经历了不少于4次的海退过程。

栗园向斜钻孔ZK2502指示经历了4次海退暴露淋滤过程。钻孔ZK2602见3层半土状铝土矿,加上顶部的半土状铝土岩,指示4次明显的海退过程。其余钻孔亦指示明显的2~4次海退过程。张家院向斜半土状铝土矿较少,碎屑与豆鲕状铝土矿含量较高,指示3次海退过程。

总体上,含矿岩系组合特征指示2~4次海退过程,由此可知,铝土矿形成过程中至少经历了4次成矿区海退事件(见图7),其中3次规模较大,持续时间较长,在成矿区上形成了半土状铝土矿层及接近半土状矿石的碎屑状铝土矿层。由于成矿过程的复杂性及地势差异等原因,部分成矿区识别标志不明显或未完全经历4次海退暴露过程。

6 讨论

6.1 铝土矿含矿岩系沉积旋回划分

铝土矿形成过程中后期改造作用强烈,构造、古生物化石等识别标志均被大量破坏,沉积型铝土矿中几乎见不到动物化石,植物化石多为残骸碎片,孢粉与微体化石的保存亦很不理想。铝土矿的结构一直让人感觉费解,宏观低能的环境下却会形成大量粗碎屑颗粒沉积,同时含矿岩系中具疏松构造的半土状铝土矿似乎是表生作用形成的。总之,因为缺乏有效的标志层,沉积型铝土矿含矿岩系的沉积旋回划分一直是个难题。

虽然常规标志层缺乏,但通过对务正道地区沉积型铝土矿的综合研究,我们发现矿石自然类型与海平面变化密切相关,可作为识别海平面变化的标志,亦即作为铝土矿含矿岩系沉积旋回的划分标志。“渣状层”的存在证明海退作用确实发生^[16],虽然“渣状层”并不常见,但“渣状层”与半土状铝土矿伴生,这亦说明半土状铝土矿及其余类型矿石作为海退暴露标志的正确性。通过不同自然类型矿石的组合特征,可分析成矿区海平面的升降频率与幅度,进而划分铝土矿含矿岩系的沉积旋回。垂向上底部至顶部一个致密状矿石→碎屑状矿石→豆鲕状矿石→半土状矿石的组合代表海退旋回;之上的致密状铝土矿或铝土岩则为海进的产物,如此交替循环,构成含矿岩系的沉积旋回。铝土矿成矿过程十分漫长且复杂,地势高低、下伏地层类型、表生作用等均有可能影响各类型矿石形成及破坏矿石结构构造,使我们在使用矿石自然类型组合分析海平面变化或沉积旋回的时候造成误判,因此,在使用矿石自然类型组合分析沉积旋回时应注

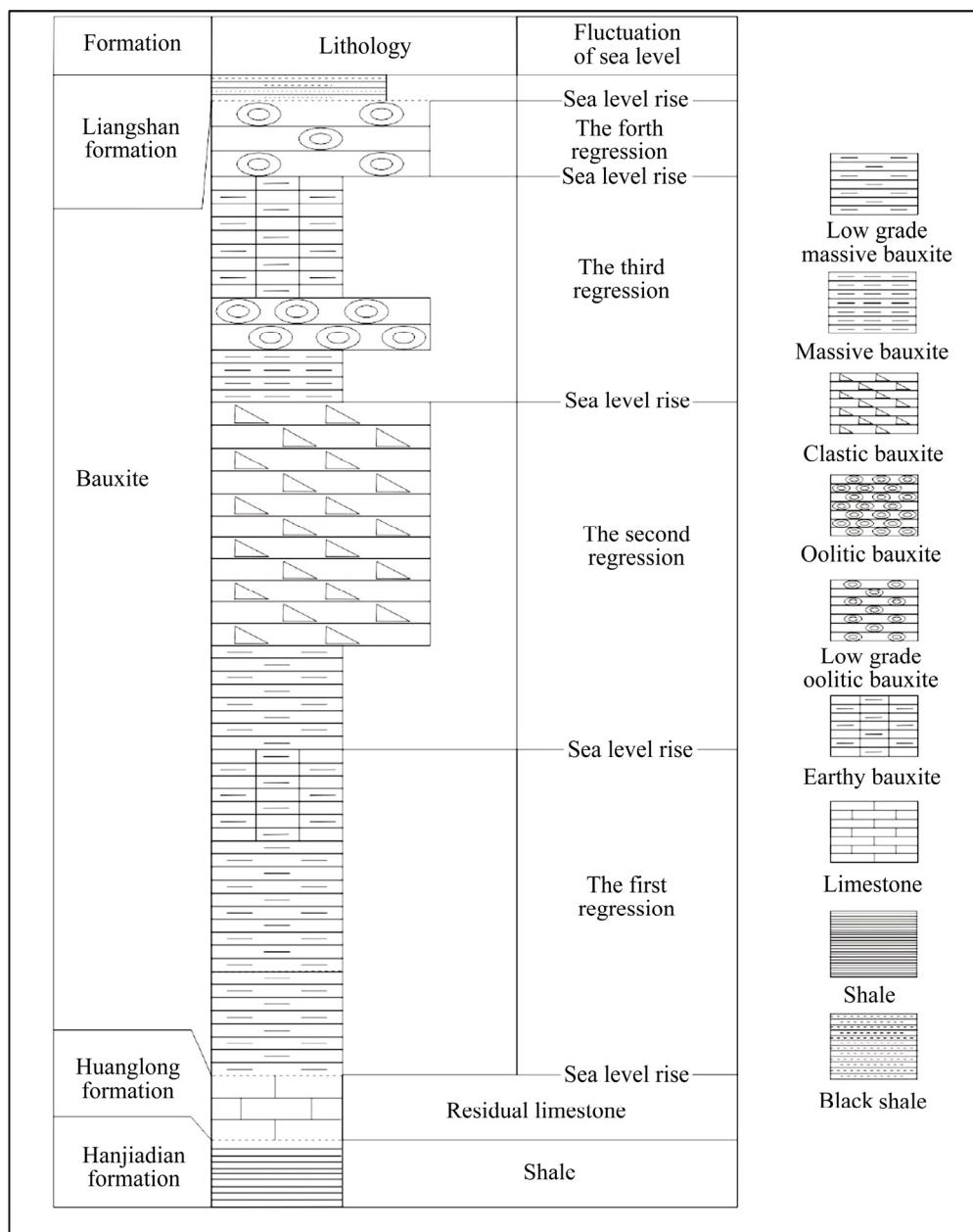


图7 务正道地区铝土矿含矿岩系沉积旋回图(底图引自文献[28])

Fig. 7 Sedimentary cycle of ore-bearing rock formations in WZD area(base map from Ref. [28])

意进行区域地层对比。沉积型铝土矿在形成过程中存在多次暴露间歇性淋滤与单次暴露长期淋滤的可能,这两种作用过程若都充分进行,可能会形成相似的结果,因此,若含矿岩系都为半土状铝土矿时应分析其由单次淋滤形成还是多次淋滤形成。具体的分析方法与识别标志尚有待进一步研究。

6.2 多期暴露标志层

红土型铝土矿与岩溶型铝土矿的形成过程本身就是一个长期暴露过程,矿石自然类型与沉积型铝土矿也基本相似;不同成因类型矿石具有类似的矿石结构,

也证明矿石自然类型与沉积环境暴露相关。全球沉积型铝土矿在矿物组成、矿石结构、构造、元素垂向变化规律、化石保存、沉积环境等诸多方面的特征基本相似,这说明全世界沉积型铝土矿的成矿机制基本相同。含矿岩系高Al含量的形成都需要原始沉积物暴露地表接受淋滤作用,因此沉积型铝土矿含矿岩系本身可作为沉积过程中的一种暴露标志层。由于铝土矿形成的复杂性,沉积型铝土矿指示的海退暴露过程一般应该是多期次的,不同区域的暴露期次需要具体分析,大型优质铝土矿床代表多期次长时间海退暴露过程。

6.3 海平面变化对铝土矿成矿的控制作用

海平面变化对沉积型铝土矿成矿的意义在于：1) 海平面上升，成矿区淹没，有利于原始高Al成矿物质堆积。2) 海平面下降使成矿区暴露地表，原始成矿物质接受长时间的淋滤作用，Al迁移能力弱，Si、Fe在氧化及酸性条件下迁往底部，Al在中上部相对富集而形成高品位铝土矿石。3) 海退时，Si、Fe等杂质可能被部分带往海洋，但是具体迁移过程尚有待进一步研究。4) 海侵的时间不能太长，若海侵时间太长，成矿区长期接受沉积容易形成泥质岩类；海退时间不能太短，海退时间若太短，沉积物暴露地表接受淋滤的程度不够，难以形成优质矿床。相对较短时间的海侵与较长时间的海退是形成大型优质铝土矿床的必要条件。

6.4 铝土矿成矿的不均一性

务正道矿区面积约 7000 km^2 ，对于全球性或大区域性的海平面上升来说，其范围是较小的；此种情况下若成矿区长期淹没，缺乏暴露过程，难以形成铝土矿。但务正道铝土矿成矿期间成矿环境在半封闭海湾与陆地湖泊之间转换^[4, 6]，成矿期间并未遭受大的海泛过程，经历的均属小规模地区性的海侵过程。由于控制务正道铝土矿形成的海侵是小规模的，故较容易受到其他因素影响而使不同位置含矿岩系的演化进度出现差异。经过综合分析可知，务正道铝土矿成矿过程中至少经历了4次海退过程。这4次海退过程使含矿岩系能接受充分的淋滤作用，在务正道地区形成大量高品位铝土矿矿石。虽然成矿区大部分范围都经历了4次海退过程，但不排除某些区域因特殊原因并未完全经历这些过程。某些区域因为地势或离海洋远近等原因可能较长时间处于淹没或暴露状态，例如地势较低、濒临海洋的大塘向斜可能就未完全经历4次海退过程；张家院向斜某些位置可能因为地势较高等原因可能较长时间都处于暴露状态。同一向斜内部也有可能因下伏地层岩性的差异、岩溶地貌等因素的影响导致含矿岩系的演化进度不一致。总体上说，海平面变化虽然是控制务正道铝土矿形成的关键因素，但地势等因素影响使务正道地区铝土矿成矿出现不均一性。

7 结论

1) 矿石自然类型可作为黔北铝土矿成矿过程中海平面变化的标志层，半土状铝土矿层代表较大规模的海退及较长时间的暴露淋滤作用。

2) 务正道铝土矿成矿过程中至少经历了4次海退过程，这4次海退过程保障了高品位铝土矿矿石的形成。

3) 持续时间相对较短的海侵过程与持续时间相对较长的海退过程交替发生有利于优质铝土矿矿床的形成。

4) 海陆过渡相沉积型铝土矿均具有相似的结构特征，均可依据矿石的自然类型组合规律划分含矿岩系的沉积旋回。

5) 沉积型铝土矿本身可作为一种多期次海退暴露标志层。

REFERENCES

- [1] GU Jing, HUANG Zhi-long, FAN Hong-peng, JIN Zhong-guo, YAN Zai-fei, ZHANG Jia-wei. Mineralogy, geochemistry, and genesis of lateritic bauxite deposits in the Wuchuan-Zhengan-Daozhen area, northern Guizhou province, China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2013, 130: 44–59.
- [2] 刘幼平, 周文龙, 程国繁, 崔滔, 龙汉生. 贵州铝土矿含矿岩系特征与成矿规律研究[J]. 矿物学报, 2016, 36(2): 289–294.
LIU You-ping, ZHOU Wen-long, CHENG Guo-fan, CUI Tao, LONG Han-sheng. A research on characteristics of ore-bearing rock series and mineralization principles of bauxite from Guizhou province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2016, 36(2): 289–294.
- [3] 刘幼平, 程国繁, 周文龙, 崔滔, 龙汉生. 贵州铝土矿成矿区(带)划分[J]. 地质科技情报, 2016, 35(3): 128–132.
LIU You-ping, CHENG Guo-fan, ZHOU Wen-long, CUI Tao, LONG Han-sheng. Division of bauxite mineralization area(belt) in Guizhou province[J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35(3): 128–132.
- [4] 杜远生, 周琦, 金中国, 凌文黎, 张雄华, 喻建新, 汪小妹, 余文超, 黄兴. 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, LING Wen-li, ZHANG Xiong-hua, YU Jian-xin, WANG Xiao-mei, YU Wen-chao, HUANG Xing. Advances in basic geology and metallogenetic regularity study of bauxite in Wuchuan-Zhengan-Daozhen area, northern Guizhou, China[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 1–6.
- [5] 雷志远, 翁申富, 陈强, 熊星, 潘忠华, 和秀林, 陈

- 海. 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, XIONG Xing, PAN Zhong-hua, HE Xiu-lin, CHENG Hai. Lithofacies paleogeography of the Dazhuyuan age, early Permian in the Wuchuan-Zhengan-Daozhen area, northern Guizhou Province and its implication for bauxitisation[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 8–12.
- [6] 崔 涛, 焦养泉, 杜远生, 余文超, 计 波, 雷志远, 翁申富, 金中国, 和秀林. 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, JI Bo, LEI Zhi-yuan, WENG Shen-fu, JIN Zhong-guo, HE Xiu-lin. Analysis on paleosalinity of sedimentary environment of bauxite in northern Guizhou[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 46–51.
- [7] 刘辰生, 金中国, 郭建华. 黔北务正道地区沉积型铝土矿床层序地层学[J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(1): 179–189.
- LIU Chen-sheng, JIN Zhong-guo, GUO Jian-hua. Sequence stratigraphy of bauxite deposition in Wuzhengdao area in Qianbei, north Guizhou[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2015, 25(1):179–189.
- [8] 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.
- [9] 罗俊峰, 王 林, 谢 横. 黔北务川丰乐铝土矿床地质特征及沉积环境探讨[J]. 矿产与地质, 2016, 30(3): 422–426.
- LUO Jun-feng, WANG Lin, XIE Xi. Geological characteristics and sedimentary environment of Fengle bauxite deposit in Wuchuan of northern Guizhou[J]. Mineral Resources and Geology, 2016, 30(3): 422–426.
- [10] 汪小妹, 焦养泉, 杜远生, 凌文黎, 吴立群. 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, Lin Wen-li, Wu Li-qun. Rare earth element geochemistry of bauxite in Wuchuan-Zhengan-Daozhen area, northern Guizhou province[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 27–33.
- [11] 张亚男, 张莹华, 吴 慧, 丁晓英, 凌文黎, 雷志远, 翁申富, 马 倩, 杜远生. 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 Yan-an, ZHANG Ying-hua, WU Hui, DING Xiao-Ying, LIN Wen-lin, LEI Zhi-yuan, WEN Sheng-fu. Microscopic geochemical characteristics of oolite in oolitic bauxite ores from Wuchuan-Zhengan-Daozhen area in the northern Guizhou province and their metallogenetic significance[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 62–70.
- [12] 张莹华, 凌文黎, 吴 慧, 张亚男, 丁晓英, 崔 涛, 杜远生, 雷志远, 翁申富. 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, LING Wen-li, WU Hui, ZHANG Ya-nan, DING Xiao-ying, CUI Tao, DU Yuan-sheng, LEI Zhi-yuan, WENG Shen-fu. 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.
- [13] 王登红, 李沛刚, 屈文俊, 雷志远. 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, LEI Zhi-yuan. Discovery and preliminary study of the high tungsten and lithium contents in the Dazhuyuan bauxite deposit, Guizhou, China[J]. Science China: Earth Science, 2013, 125(1): 44–51.
- [14] 崔 涛, 焦养泉, 杜远生, 汪小妹, 雷志远, 翁申富. 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, WANG Xiao-mei, LEI Zhi-yuan, WENG Shen-fu. Mineralogical and geochemical characteristic of bauxite in northern Guizhou[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2013, 23(10): 2905–2920.
- [15] GU Jing, HUANG Zhi-long, FAN Hong-peng, LIN Ye, JIN Zhong-guo. Provenance of lateritic bauxite deposits in the Wuchuan-Zhengan-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.
- [16] 余文超, 杜远生, 顾松竹, 崔 涛, 黄 兴, 喻建新, 覃永

- 军, 雷志远, 翁申富, 曹建州. 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 Songzhu, CUI Tao, HUANG Xing, YU Jian-xin, QIN Yong-jun, LEI Zhi-yuan, WENG Shen-fu, CAO Jian-zhou. Multiperiod leaching process of early permian bauxite in Wuchuan-Zhengan-Daozhen area, northern Guizhou province and its significance of ore-control[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 34–39.
- [17] 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.
- [18] 金中国, 邹林, 张力, 郑明泓, 韩英. 贵州务正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, ZHOU Lin, ZHANG Li, ZHENG Ming-hong, HAN Ying. Metallogenic and prospecting models of bauxite in Wuchuan-Zhengan-Daozhen area, Guizhou Province[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2018, 36(5): 914–926.
- [19] 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—Takeing Qianbei bauxite for example[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2018, 28(5): 985–993.
- [20] 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-Yunan bauxite in Guizhou and its genesis[J]. Guizhou Geology, 2001, 18(4): 238–243.
- [21] 杜定全, 任军平, 王约. 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. Controlling of ancient karst hysio gnomy on bauxite in northern Guizhou[J]. Acta Mineralogical Sinica, 2007, 23(4): 473–476.
- [22] 翁申富, 雷志远, 陈强, 熊星, 潘忠华, 陈海, 赵爽, 冉英, 王希文. 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, XIONG Xing, PAN Zhong-hua, CHEN Hai, ZHAO Shuang, RANG Ying, WANG Xi-wen. A correlation of sedimentary facies and bauxite ore grade of the Wuchuan-Zhengan-Daozhen bauxitic belt, northern Guizhou Province[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 19–22.
- [23] 殷科华. 黔北务正道铝土矿的成矿作用及成矿模式[J]. 沉积学报, 2009, 27(3): 452–457.
- YIN Ke-hua. Mineralization and metallogenic model for bauxite in the Wuchuan-Zhengan-Daozhen area, northern Guizhou[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(3): 452–457.
- [24] 黄兴, 张雄华, 杜远生, 覃永军, 雷志远. 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, QIN Yong-jun, LEI Zhi-yuan. Age of bauxite forming in Northern Guizhou[J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31(3): 49–54.
- [25] 黄兴, 张雄华, 杜远生, 郑文昆, 杨兵, 段先锋. 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, XI Wen-kun, YANG Bing, DUAN Xian-feng. 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.
- [26] 余文超, 杜远生, 汪小妹, 黄兴, 崔滔, 喻建新, 覃永军. 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 Wen-chao, DU Yuan-sheng, WANG Xiao-mei, HUANG Xing, CUI Tao, YU Jian-xin, QIN Yong-jun. Combustion-derived polycyclic aromatic hydrocarbons in bauxite deposit of Wuchuan-Zhengan-Daozhen area, northern Guizhou province and significance of paleoclimate[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 57–61.
- [27] CUI Tao. Analysis on evolutionary sequence of bauxite ore in the Wuchuan-Zhengan-Daozhan area, northern Guizhou, China[J]. International Journal of u- and e- Service, Science and Technology, 2016, 9(2): 67–76.
- [28] 崔滔, 焦养泉, 杜远生, 汪小妹, 雷志远, 翁申富, 金中国. 黔北务正道地区早二叠世铝土矿沉积古地理及其控矿意义[J]. 古地理学报, 2014, 16(1): 9–18.
- CUI Tao, JIAO Yang-quan, DU Yuan-sheng, WANG

- Xiao-mei, LEI Zhi-yuan, WANG Shen-fu, JIN Zhong-guo. Sedimentary palaeogeography and its mineralization significance of the early permain bauxite in Wuchuan-Zhengan-Daozhen area, northern Guizhou province[J]. Journal of Palaeogeography, 2014, 16(1): 9–18.
- [29] 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.
- [30] 崔 涛, 焦养泉, 杜远生, 计 波, 雷志远, 翁申富, 金中国, 赵 爽. 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): 52–56.
- CUI Tao, JIAO Yang-quan, DU Yuan-sheng, YU Wen-chao, JI Bo, LEI Zhi-yuan, WENG Shen-fu, JIN Zhong-guo, ZHAO Shuang. Analysis on sedimentary characteristics and distribution features of bauxite in WuZhengDao area, northern Guizhou[J]. Geology Science and Technology Information, 2013, 32(1): 52–56.
- [31] WANG Xiao-mei, JIAO Yang-quan, DU Yuan-shen, LING Wen-lin, WU Li-qun. REE mobility and Ce anomaly in bauxite deposit of WZD area, northern Guizhou, China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2013, 133: 103–117.

Key control factor in ore-forming process of bauxite in northern Guizhou—Sea level changes

CUI Tao

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

Abstract: The sea level changes is an important factor which controls the forming process of the bauxite in northern Guizhou. So, a research was carried out on the relationship between sea-level changes and the natural types of bauxite ores in Wuchuan-Zhengan-Daozhen area (short for WZD) in Northern Guizhou by comprehensive use of field geological investigation, hand specimen observation, microscopic observation and regional stratigraphic correlation based on the previous studies. The results show that the natural types of ores can be regard as marker bed of sea level changes, and earthy ore bed can be seen as a sign of longstanding regression. WZD area has experienced at least 4 regressions, and the 4 large-scale regressions were an important cause for the formation of high-quality bauxite in WZD area. Land and sea transition bauxite has the similar structure features, and the natural types of ores in all the sedimentary bauxite can be used to distinguish the sedimentation cycle of the ore-bearing rock formations. The sedimentary bauxite in themselves can be regarded as a multi-stage exposure marker bed.

Key words: earthy bauxite; sea level change; northern Guizhou

Foundation item: Project(LH[2014]7358) supported by the Joint Fund of the Science and Technology Department of Guizhou Province, China; Projects(XJGC20140702, XJGC20131204) supported by the Startup Projects of High-level Talents of Guizhou Institute of Technology, China

Received date: 2019-06-10; **Accepted date:** 2019-10-15

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

(编辑 李艳红)