

平果沉积型铝土矿地质特征及其控矿因素研究

陈 涛

广西壮族自治区桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2022年7月18日; 录用日期: 2022年8月12日; 发布日期: 2022年8月19日

摘 要

本文主要研究平果地区上二叠统合山组下段沉积型铝土矿矿床的矿石结构、矿石构造等地质特征及其控矿因素。其中矿体主要为似层状产出, 矿物组成主要为一水硬铝石、粘土矿物等, 矿石结构主要呈碎屑结构、交代结构、细粒黄铁矿结构和自型-半自型特征, 矿石构造有豆状、鲕状、土状或半土状、砂屑状和致密块状特征。含矿岩系主要的控矿因素有构造控矿、基底岩类控矿和古地形对矿体的分布控制。

关键词

沉积型铝土矿, 地质特征, 控矿因素

Study on Geological Characteristics and Ore-controlling Factors of Pingguo Sedimentary Bauxite

Tao Chen

The Guangxi Zhuang Autonomous Region College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Jul. 18th, 2022; accepted: Aug. 12th, 2022; published: Aug. 19th, 2022

Abstract

The geological characteristics and ore-controlling factors of sedimentary bauxite deposit, ore structure and ore structure in lower members of the Upper Permian Unified Heshan Formation in the Pingguo area are studied in this paper. The ore bodies are mainly stratified, and the mineral

composition is mainly diaspore and clay minerals, etc. The ore structures are mainly a clastic structure, metasomatic structure, fine pyrite structure and autotype-semi-autotype, and the ore structures are tetragonal, oolitic, earthy or semi-earthly, sand-like and dense massive. The main ore-controlling factors of ore-bearing rock series are structure ore-controlling, base rock ore-controlling and pale topography controlling ore-body distribution.

Keywords

Sedimentary Bauxite, Geological Characteristics, Ore-Controlling Factors

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



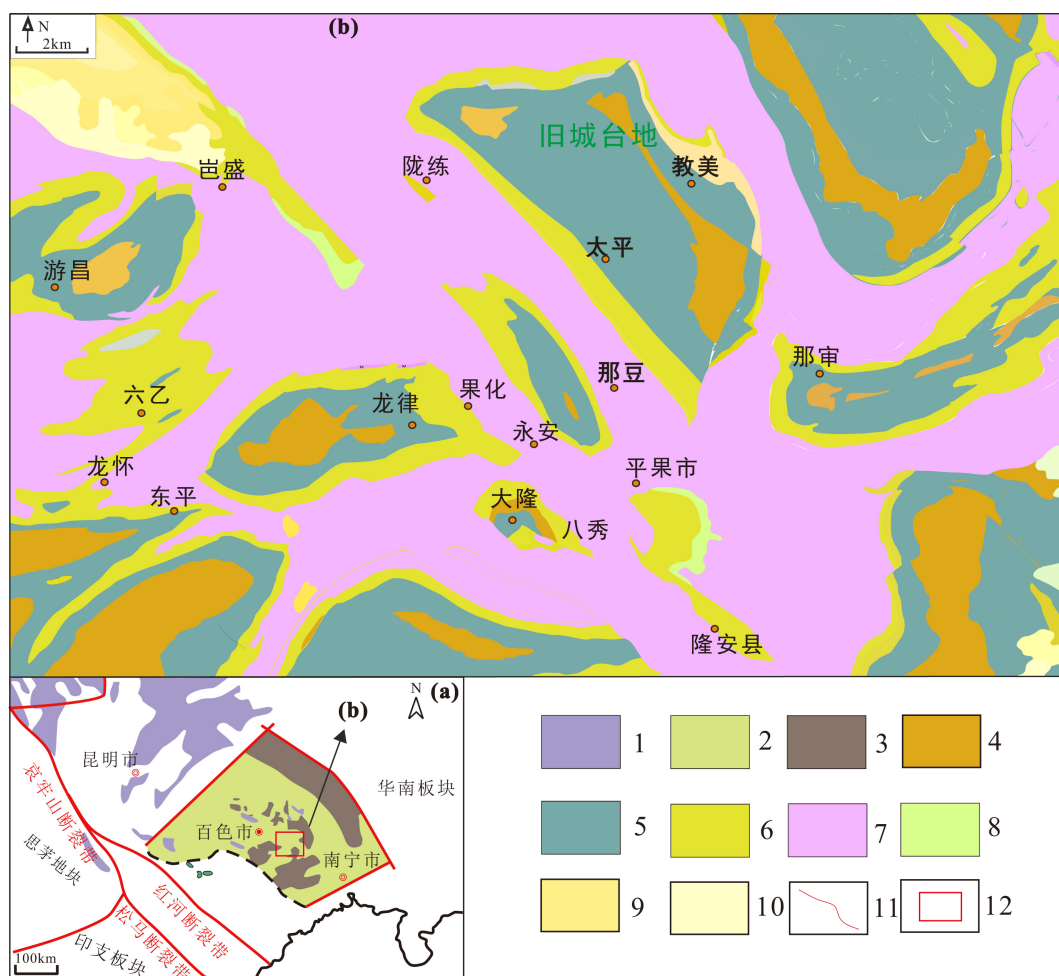
Open Access

1. 引言

铝是一个国家的基础应用资源，广泛应用于电子科技、交通运输、电力以及高科技等领域[1]，2016年中国将铝列为战略性矿产资源[2]。根据前人研究表明，从经济角度出发，铝土矿床至关重要，一方面是铝金属的主要来源，另一方面，铝土矿中伴生有战略矿产资源如镓、锂等金属元素[3]。国内外对铝土矿的研究比较全面，但是由于地质环境的复杂性和不确定性，每个地区的铝土矿床地质特征的实际情况表现有所差异。平果地区沉积型铝土矿是广西重要的铝资源供应地，前人对平果地区铝土矿的研究主要集中在物质来源[4] [5]、地球化学特征[6] [7]、沉积环境[8]、伴生有益元素[9]以及成矿过程[10]等方面，而对于细致的从铝土矿床的矿石结构、构造特征及其控矿因素方面的研究涉及较少。平果地区铝土矿地质特征在成矿条件、矿石结构构造、矿床层位等方面有别于国内外众多铝土矿床，如贵州铝土矿多产于晚石炭世，主要有两种类型，一种铁质岩 - 铝质岩类，一种黏土岩 - 铝质岩类[11]。国外如非洲铝土矿床在剖面分带、矿石结构构造、矿床赋存位置等有别于平果地区铝土矿床[12]。桂西平果地区铝土矿地质特征在层位上、结构构造、剖面的垂向变化等方面与众多国内外铝土矿床存在一定的差异，因此，本文主要从矿床的地质特征，结构、构造等方面入手，进一步深化对沉积型铝土矿的深入研究和了解，希望对铝土矿床地质有关特征提供一定的参考。

2. 地质背景

平果地区是桂西铝土矿的主要产地，是右江盆地的主体部分。右江盆地位于华南板块西缘与印支板块北缘的结合处[13]，西部靠近思茅地块，西北部紧靠二叠纪峨眉山大火成岩省，西南毗邻红河断裂带和松马缝合带[14]，泥盆纪 - 石炭纪，在古特提斯洋扩张期间，盆地经历了裂谷作用和被动大陆边缘的发展[15]，至二叠纪，盆地向西南俯冲于越北地块之下，形成活动大陆边缘[16]，盆地开始形成孤立碳酸盐岩台地与台间海槽相间的古地理格局[16]，沉积型铝土矿产出于孤立的碳酸盐岩台地(图 1(a))。研究区域内出露地层有泥盆系 - 石炭系、二叠系 - 三叠系、白垩系、古近系和第四系(图 1(b))，中二叠世末，东吴运动导致地壳抬升，使桂西地区中二叠统茅口组地层被抬升至地表遭受风化剥蚀，形成喀斯特地貌[17] [18]，其中，沉积型铝土矿含矿岩系主要赋存于上二叠统合山组下部，与中二叠统茅口组呈不整合接触，区内构造线方向主要呈北东向和北西向展布为主，少数呈南北向展布，浆岩在研究区内出露较少，可见有少量二叠纪辉绿岩，主要分布于研究区南部和西南部。



1——峨眉山大火成岩省；2——右江盆地；3——碳酸盐岩台地；4——泥盆系；5——石炭系；6——二叠系；7——三叠系；8——白垩系；9——古近系；10——第四系；11——断裂；12——研究区

Figure 1. Schematic diagram of geotectonic location in western Guangxi ((a), revised from reference [14]) and regional geological map (b)

图 1. 桂西地区大地构造位置示意图((a), 修改自文献[14])及区域地质简图(b)

3. 矿床地质特征

3.1. 矿区地层

1) 泥盆系

泥盆系为一套白云质灰岩、白云岩、生物屑灰岩等岩性组合，颜色多为灰、灰黑色、米白色等多颜色，白云质灰岩常呈泥晶-细晶结构，灰岩多为生物碎屑结构、细晶结构，白云岩、灰岩均呈中层-厚层状以及块状等产出。灰岩层中偶含燧石结核。主要分布于矿区东部、东北部和西南部。

2) 石炭系

石炭系主要为一套灰岩夹泥质条带灰岩，颜色以深灰、灰黑色为主，岩石结构多为微晶或细晶，总体呈中-厚层状产出，总体岩层表现出一定的分层性，底部主要为深灰色、灰黑色薄层泥质条带灰岩及燧石结核，岩层中部为深灰色中-厚层砂屑灰岩，上部为深灰色厚层状微晶细晶灰岩，属于台地内部相。岩石以色深、层理清晰、含铁质泥质为特征，具水平层理、正粒序层理、压溶缝合线构造。产假乌拉珊

瑚、泡沫内沟珊瑚、凯苏木珊瑚等化石。

3) 二叠系

二叠系为含矿岩系层，其中二叠系中统栖霞组主要为灰岩，颜色多呈深灰色，岩层又薄至中层状泥产出，岩层上部为中厚层泥晶灰岩，含泥质条带、硅质条带及结核，局部含磷，属于台地内部相。层厚 0~250 m，主要分布于矿区西南部。

二叠系中统茅口组：岩性为一套生物碎屑灰岩，颜色为浅灰、灰白色，多为生物碎屑结构和微晶结构，呈中层状产出，少呈薄层或厚层状，岩层表现有粒序层理、平行层理、水平层理，灰岩中压溶缝合线构造明显。岩层属台地内部相，总体岩层中有夹少量白云岩、白云质灰岩。该组地层由于东吴运动等地质构造活动，导致地层被抬升剥蚀，顶部表现为凹凸不平的古侵蚀面，控制了沉积型铝土矿的分布与规模。该组生物化石繁多，以蠕类最为丰富，珊瑚、腕足次之，蠕类局部富集呈蠕灰岩。其他生物见海百合茎、藻类、腹足类、有孔虫、角石等。蠕类主要为费伯克蠕、新希瓦格蠕。地层厚度 150~450 m。以茅口组灰白色生物屑灰岩与上覆合山组下部含碳质泥岩(煤层)、灰色、灰黄色、褐红色铁铝岩、含铁质泥岩、铝土矿(以上几层局部可能会缺失某一层或几层)分界，局部地区茅口组灰白色生物屑灰岩直接与上覆合山组下部深灰色燧石条带灰岩接触。总体二者呈平行不整合接触。

二叠系上统合山组：属于台地内部相，由上往下依次为深灰、灰黑色鲕粒灰岩、疤痕状灰岩、薄层钙质页岩、花斑状白云质灰岩、含生物屑燧石灰岩、含炭质泥质灰岩或煤层，底部为铁铝岩或铝土矿层。产南京蠕、古纺锤蠕、梁山珊瑚等化石。平行不整合于茅口组之上。厚度 80~180 m。分布于陇练背斜两翼，呈北西向布展。该组地层是沉积型铝土矿唯一赋矿层位，是本次主要研究对象。其按岩性及特征可划分为两段：

合山组下段：底部为灰黑色铁铝岩，层状产出，砂屑状、碎屑状结构，致密块状构造，主要由黏土矿物、含铁绿泥石、黄铁矿及少量一水硬铝石等组成，该部分可能在部分地区缺失或较少出现。部分地区在铁铝岩之上存在铝土岩，呈褐黄色、灰黄色，层状(似层状)，厚 0~2 m，主要由含铁泥岩、黄铁矿、一水硬铝石等组成。中部为灰色、青灰色、灰黑色、褐黄色铝土矿，呈似层状、层状产出，碎屑状结构，豆状、鲕状构造，剖面上的特点为：上部以豆状、假鲕状矿石出现较多，铁质较高，岩质坚硬；下部多见泥晶、砂屑等，以细粒状及胶状结构矿石为主，岩质较软，易风化成泥土状。本层在北部主要为铁铝岩，厚 0~5 m。顶部为煤层或碳泥岩、碳质灰岩，为本区的含煤岩组。主要为碳质泥岩、碳质灰岩，煤层夹含碳灰岩及铝土矿小透镜体。煤质为亮煤、半亮煤、含有结核状、散点状黄铁矿，厚度欠稳定，厚 0~3 m 不等。对于该层的“铁-铝-煤(碳质泥岩)”这种含矿建造，部分地区表现出不稳定性，经常会缺失某一层或几层。可能由于茅口组与合山组的平行不整合接触面凸起处，以上相应层位相对较薄或容易缺失，接触面低凹处相对较厚、较稳定。

合山组上段：属台地内部相，深灰、灰黑色含生物碎屑燧石结核灰岩，浅灰色鲕粒灰岩，亮晶鲕粒结构。成分以方解石及玉髓为主，其次为碳质及白云石，少量高岭石与绢云母。具水平层理、底冲刷构造、压溶缝合线构造。生物有藻类、蠕类、珊瑚类、腕足类、有孔虫及少量海绵。燧石结核分布普遍，结核体为胶状玉髓。层中夹碳质页岩、煤线、黏土岩及少量黄铁矿。岩相变化大。厚 10~120 m。以合山组上段含(假)鲕粒微晶灰岩(底具冲刷面)、灰色含燧石条带微晶灰岩与上覆三叠系马脚岭组深灰色泥质条带灰岩分界，二者呈整合接触。

二叠系上统领导组：分布于矿区外围东侧福旦及南西方向东平一带，岩性主要为紫褐色、黄褐色、灰褐色中厚层状沉凝灰岩夹薄层状泥岩、泥岩、局部可见少许硅质岩，可见水平层理，层面平直，沉凝灰岩以中厚层状为主，泥岩厚度常底部较厚，向上变薄，该地层中沉凝灰岩较厚，为后面佐证矿物质来源于火山岩提供了较为直接的证据。

4) 三叠系

矿区内分布有下统马脚岭组、北泗组，中统果化组下段及中段。地层比较连续，沉积环境较为稳定。

下三叠统马脚岭组：属台地内部相，性为浅灰色薄板状灰岩、深灰 - 浅灰色凝质灰岩、鲕状灰岩，泥质条带灰岩夹泥岩，局部夹鲕粒灰岩、竹叶状灰岩、凝灰岩。具波状层理、交错层理。产双壳类、牙形石、以及腹足类、腕足类、介形虫等化石。层厚 80~170 m。整合于二叠灰岩之上。以马脚岭组(T1m)浅灰色中 - 薄层状泥质条带灰岩(鲕粒灰岩)与上覆北泗组灰白色厚 - 中层状白云岩分界，二者呈整合接触。

下 - 中三叠统北泗组：岩性为浅灰色白云岩，属台地内部相，下部为浅灰色、灰色鲕粒灰岩、含豆粒鲕粒灰岩、含砾屑鲕粒灰岩夹白云岩化灰岩、白云岩。中部为灰白色、白色、浅肉红色中 - 厚层状白云质灰岩夹白云岩、白云岩化鲕粒灰岩、鲕粒砂屑灰岩、深灰色泥质条带灰岩中部夹一层凝灰岩。上部为灰色、灰红色、褐红色中薄层状角砾状灰岩、微晶灰岩、砂屑灰岩、藻屑微晶灰岩，局部为含泥质条带砂屑灰岩。地层产菊石，牙形石等化石。地层厚度为 300~1000 m。部分地区上部以白云质灰岩与果化组微晶灰岩整合接触或相变为百逢组泥岩、泥质粉砂岩、细砂岩。

中三叠统果化组下段：岩性为上部灰岩、鲕状灰岩泥质灰岩、局部以白云岩为主，下部为浅灰色白云岩间夹一层凝灰岩，矿区背斜北东翼底部为火山碎屑岩(以凝灰岩为主)，背斜南西翼，底部火山碎屑岩缺失。

矿区外围北面，果化组相变为百逢组，底部为火山碎屑岩，其上部为页岩、粉砂岩、细砂岩。

3.2. 矿区构造

区内构造发育，构造变形复杂，褶皱主要为 NW 向、近 EW 向背斜或向斜，如旧城背斜、太平向斜、那豆背斜和果化向斜等，大多发育平缓。在平果地区，地层倾角一般在 10°~20°，褶皱两翼局部可达 40°，靖西地区的褶皱较平果地区稍陡，大多在 30°左右，仅局部地可见 70°左右的地层。断裂主要为 NW-SE 向和 NE-SW 向，也有少量近 EW 向断裂发育，断层纵横交错，使得本区地层被切割破碎，铝土矿矿体的规模、形态也因此受到影响。

构造活动对沉积型铝土矿矿体形貌影响很明显。在铝土矿及顶底板灰岩地层中，只有底板茅口组灰岩出现了古风化壳，这是在东吴运动的作用下形成的沉积间断，从晚三叠世到中三叠世，桂西地区的地层一直处于连续沉积、整合接触的状态，说明东吴运动的作用在本区仅表现为地壳抬升和下降以及海水的反复进退，没有形成明显的褶皱和断层。中三叠统之上以角度不整合的形式沉积有白垩系或古近系地层，说明本地区在印支期发生了陆内变形，从褶皱的角度来看，总体上变形稍弱，局部地区受挤压程度较高。

1) 褶皱

矿区主要发育有旧城背斜、太平向斜、那豆背斜和果化向斜。下面简述这几个褶皱的基本特征。

旧城背斜：位于太平 - 旧城、坡造 - 巴合之间。总体为近矩形、似穹窿状的箱状背斜，长约 25 km，宽 20 km。西南翼较完整，东南翼和轴部被断层破坏，轴线靠近东北翼，轴向走向为 NW-SE，走向约 320°左右，两端向西弯转。轴部为上泥盆统融县组，翼部为石炭系和二叠系碳酸盐岩。背斜总体对称，西南翼较宽，东北翼稍窄。轴部较宽缓，岩层倾角多在 10°左右，呈微波状起伏；两翼自内而外逐渐变陡，最外缘为 40°~50°，宛如箱状。

太平向斜处于旧城背斜与那豆背斜之间，在右江复式向斜构造背景影响下，整体构造线呈 SE-NW 方向展布。走向约 300°左右。向斜核部为三叠系早 - 中统北泗组和中统板那组地层，两翼为二叠系中统合山组和茅口组地层。

那豆背斜主体呈 NW-SE，走向约 310°左右，基本属于对称褶皱，发育次一级的褶皱，基本呈 NE 向

排列，背斜核部为泥盆系上统融县组地层，两翼为石炭系上统黄龙组、马平组、下统英唐组及二叠系中统合山组和茅口组地层。

背斜的转折端及两侧沉积铝土矿已被风化剥蚀，下部的碳酸盐岩通常受后期地表水作用溶蚀，破碎明显。背斜中的沉积铝土矿主要分布于两翼地层中，由于背斜两翼宽缓，因此保存下来的原生铝土矿仍然较多。向斜则呈现狭长紧闭形态，原生铝土矿基本得以较完整保存。那豆背斜和太平向斜被 NW 向右江断裂分隔。

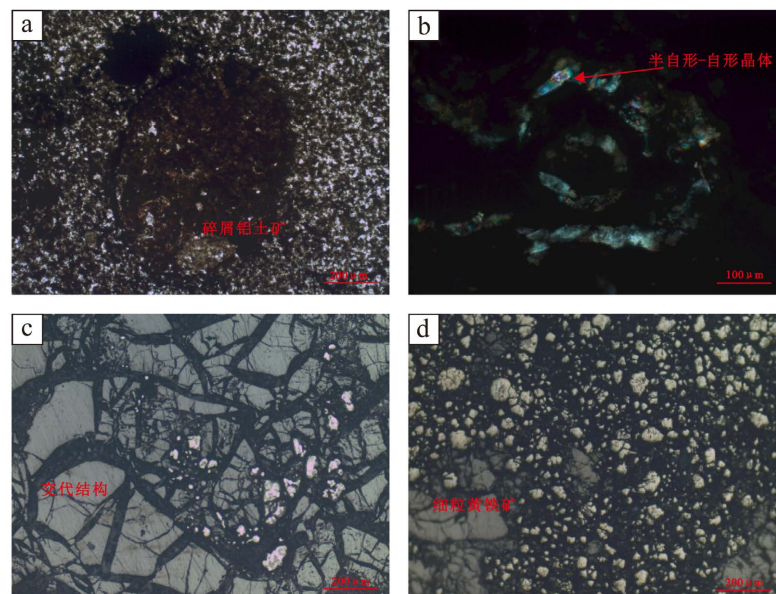
2) 断裂

在右江复式向斜构造背景影响下，整体构造线呈 SE-NW 方向展布。岩层倾向 $210^{\circ}\sim 235^{\circ}$ ，倾角 $25^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ，剖面上局部地层有揉皱现象。矿区内主要有 NE 和 NW 两组方向断裂较为发育，其中，NE 组为张性断裂，陡倾角，发育规模不明，断距 20~70 m，为破坏沉积型铝土矿层的断裂构造。NW 组在野外出露较少，其发育情况有两种，一种为层间滑动，另一种为倾向北东的正断层，倾角 60° 左右，断距一般 6~20 m。该组断层也对矿体的连续性造成一定的破坏作用，但不太发育，对矿层的影响不大。

3.3. 矿石结构

沉积型铝土矿矿石颜色多为青灰色，受风化程度影响呈现为红褐色、黄褐色等，受黄铁矿含量影响可表现为灰黄色，部分矿石含有少量碳质，表现为暗黑色。一水铝石主要呈长柱状自形结构、碎屑状结构、交代结构等，黄铁矿多呈半自形-自形结构和细粒草莓状结构，黏土矿物则呈细小鳞片状、泥状结构。

碎屑结构：主要由一水铝石组成，一水铝石呈泥晶状或结晶细小粒状，粒度变化较大，常伴有黏土矿物及隐晶质，多呈半自形-他形粒状、椭圆状、棱角状及不规则状分散布(图 2(a))，部分碎屑磨圆较好，分选较差，碎屑颗粒大小在 0.02~0.1 mm 之间，含量约 30%~40%。碎屑多见被黏土矿物胶结，碎屑间充填有黄铁矿，含量约 15%。部分矿石中可见碎屑充填于豆(鲕)粒矿物当中，说明其存在重结晶过程，后期经历过压实或挤压构造变形，矿石中的矿物在后期被重新结晶充填于原始具豆(鲕)粒的矿石或结合体之中。



(a) 碎屑结构；(b) 自型 - 半自型结构；(c) 交代结构；(d) 细粒草莓状结构

Figure 2. Ore-controlling factors microscopic structure characteristics of Pingguo sedimentary bauxite
图 2. 平果沉积型铝土矿镜下结构特征

自形-半自形结构: 矿石主要由一水铝石、黄铁矿及黏土矿物组成。一水铝石呈长柱状或簇状(图 2(b)), 粒度多在 0.1~0.3 mm 之间。黄铁矿呈自形-半自形粒状, 粒度多在 0.04~1 mm 之间, 聚集成不规则状和团块状或呈星点状分布于铝土矿之中。少量黏土矿物呈片状, 粒度 0.05~0.1 mm, 相对聚集成不规则团块状、条带状分布。一水铝石含量大于 85%, 黄铁矿 5%~15%。

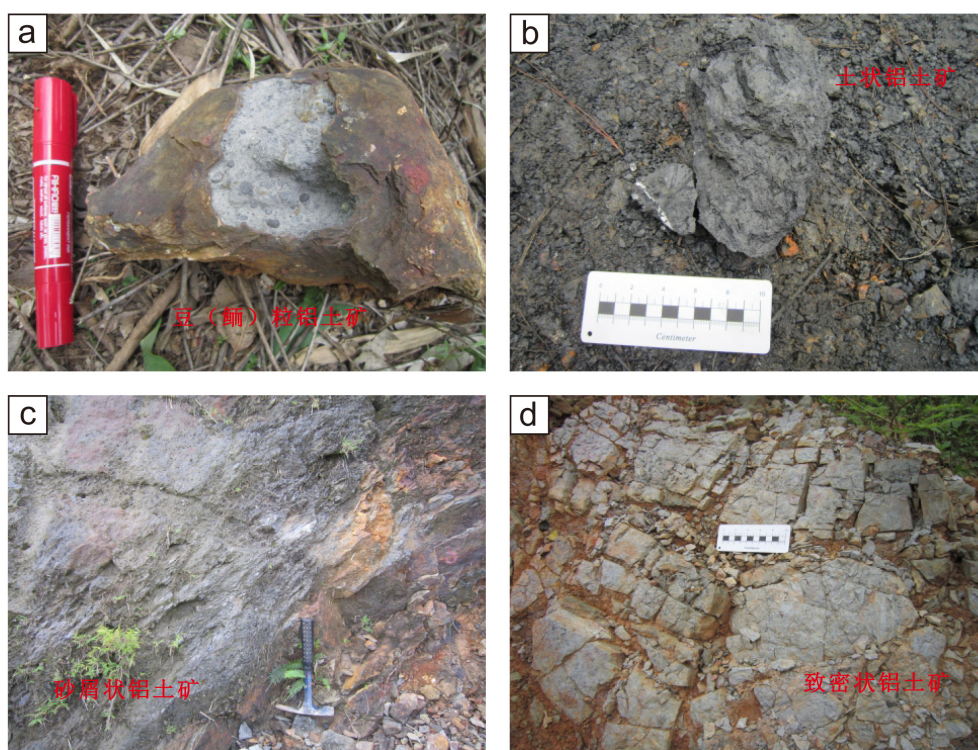
交代结构: 镜下鉴定可见矿石中发育有石英细脉和方解石(图 2(c)), 宽度为 0.02 mm 左右, 沿一水铝石边缘交代, 石英细脉多穿插于方解石和一水铝石、黏土矿物之间, 表明铝土矿经历过后期热液活动的改造。还见有一水铝石沿黄铁矿裂隙交代以及黄铁矿呈现交代残余现象。

细粒草莓状结构: 黄铁矿主要呈分散细粒状分布于一水硬铝石之中, 硬水铝石呈泥晶状或结晶细小粒状, 粒度多小于 0.03 mm, 结晶细小粒状硬水铝石相对集中分布, 或呈细小团块状、或呈扁平状。少量黏土矿物呈细小鳞片状, 聚集成条带状分布(图 2(d))。具黄铁矿假象的粒状褐铁矿呈长条状或团块聚集状零星分布。硬水铝石含量高于 80%, 多为致密状、土状铝土矿。

3.4. 矿石构造

构造: 矿石构造主要有豆状、鲕状、土状或半土状、砂屑状。

豆状构造: 矿石中豆粒多为青灰色至深灰色, 局部呈暗黑色, 椭球状、扁椭球状, 粒径大小约 5 mm, 最大可达 20 mm, 分布在铝土矿层的中上部, 含量约 20%~30%, 多者可达 40%左右。粒间常伴有黄铁矿以及黄铁矿流失孔洞, 部分黄铁矿颗粒结晶较好, 呈正立方体或五角十二面体, 多呈星点状、聚集型分布, 含量 5%~10%, 多者可达 15%。其核部为一水硬铝石, 长条柱状, 具有一定的定向排列。核部周围被黏土矿物胶结, 部分豆粒核部被黄铁矿或黏土矿物充填(图 3(a))。



(a) 豆(鲕)状铝土矿; (b) 土状或半土状铝土矿; (c) 砂屑状铝土矿; (d) 致密块状铝土矿

Figure 3. Structural characteristics of Pingguo sedimentary bauxite

图 3. 平果沉积型铝土矿构造特征

鲕状构造：矿石中鲕粒呈青灰色，粒径较小，含量约 40%~55%，多者可达 60%。形态呈浑圆状、球粒状或椭球状(图 3(a))，集中于铝土矿层中下部，粒间伴有黄铁矿细小颗粒，多呈星点状分布，局部可见黄铁矿聚集成团块，含量约 10%~20%，多者可达 30%。鲕粒核部为一水硬铝石，多为不规则排列的柱状，镜下局部可见泥质胶结环带或黄铁矿充填。

豆、鲕状在铝土矿含矿岩系中上部常并存出现，部分粒径较大的豆粒中可见鲕核发育。矿石中鲕粒含量较豆粒含量稍多。豆、鲕核部可见有同心层状构造，常充填有黄铁矿或黏土矿物，充填的黄铁矿以星点状分布为主，呈亮黄色。

土状或半土状构造：青灰色、浅灰-灰黑色，可见有黄铁矿或铁矿物流失孔洞，结构疏松，多孔质轻，吸水性强，具 2 种结构(粒屑、泥-微晶)，结构中含基质成分较少，为氧化带中主要矿石类型(图 3(b))。

砂屑状构造：深灰色-青灰色，铝矿物多聚集成呈不规则圆形、椭圆形、长条形的砾屑或团块等碎屑产出，碎屑粒径 0.1~2 mm，胶结物为粒径小于 0.004 mm 的矿土矿物，断口粗糙(图 3(c))。黄铁矿含量较少，多呈流失状态残留在孔洞中，部分聚集团块状分布。

致密块状构造：矿石中矿物分布均匀、集合紧密，一般含铁矿物较多。主要分布在铝土矿的底部或顶部，表明铁矿物一般风化较强，主要受在成矿成岩作用时元素的聚集经后期的压实成岩作用造成(图 3(d))。

通过对铝土矿结构构造的研究分析，对野外具豆(鲕)状构造的铝土矿的形成和认识有进一步的提高，这对铝土矿的成因分析及富集规律具有重要的意义。由于地形差异，物质准原地风化形成了这些古红土型铝土矿，由于受湿润多雨的气候条件和平原地貌的控制，红土的铝土化过程较为彻底，大部分铁元素从古红土中淋失到临近洼地底部，在进一步的分异作用、成岩作用等作用下，形成黄铁矿聚集体。在这些沉积物中，古红土的机械搬运作用是豆(鲕)形成的关键，豆(鲕)的形状跟搬运的方式和次数有关。其主要成分为一水铝石(通过风化压实成岩作用形成一水铝石)+高岭石或其他基质。湿润、多雨的气候条件下，起伏不定的古地形促使红土向岩溶洼地和漏斗迁移。由于受到古地形和地下水的影响，红土的铝土化程度很小，铁的淋失作用也比较弱，所形成的铝土矿中多见铁质矿物。由于海侵、压实、成岩等作用，平原地区古红土型铝土最终形成古岩溶型铝土矿。

在向古岩溶型铝土矿沉积的过程中时，经历了不同的地质改造。由于地形平坦，铝土矿矿床在海侵初期表现出较强的还原性，由于微生物的厌氧活动，赤铁矿/针铁矿被还原成大量的铁离子。分异后期及成岩期，铁离子与高岭石反应生成绿泥石，三水铝石在成岩期逐渐转化为硬水铝石。这种地质作用使大部分豆鲕的成分由三水铝石+高岭石变为硬水铝石+绿泥石。将球形、椭球型的豆鲕压缩成扁圆形、扁纺锤形的豆鲕，即压实作用对矿体的影响较大。总之认识矿石结构构造对矿化机制与过程具有重要意义。

3.5. 矿物组成

通过室内显微镜等观察发现，沉积型铝土矿矿石主要矿物组分由铝矿物、钛矿物、铁矿物和黏土矿物组成。铝矿物主要为一水硬铝石，钛矿物主要为锐钛矿，铁矿物主要为黄铁矿，黏土矿物主要有高岭石、叶腊石、绿泥石等。

4. 控矿因素

4.1. 构造演化控矿

在区域内，地壳经历了大陆边缘裂谷盆地(早泥盆世晚期-石炭纪)、弧后盆地(二叠纪-早三叠世早期)、弧后前陆盆地(早三叠世晚期-中三叠世)的构造演化阶段。在右江褶皱系内，地壳运动以较稳定的台地隆升或槽盆沉降为主调，沉积盖层巨厚[19][20]，具岩浆活动及变质作用弱等地槽特征[21]，按其断

褶皱及隆升差异, 区内的四级构造单元可分为隆林凸起、富宁-那坡断褶带、右江凹陷、都阳山凸起、靖西-田阳凸起、灵马断褶带、天等-大明山凸起及十万大山断陷等八大区, 结构走向由西南部的北东向经东南部转向中-东北部的北偏西向, 弧形特征明显。区内断裂发育, 以北西及北东向两组为主, 其中西部北西向较发育, 东北部则是北东向较多, 南部多有东偏北向。

在加里东运动时期, 桂西地区大面积抬升成陆, 遭受长时期的风化剥蚀。而泥盆纪至三叠纪基本上都是“台-盆相间”的古地理格局, 沉积作用主要是海相沉积为主, 浅水台地区以碳酸盐为主, 深水盆地除了中三叠世沉积厚度巨大的浊积岩以外, 基本是以泥质岩、硅质岩为主, 并夹有火山碎屑岩。晚二叠世早期的东吴运动则造成碳酸盐台地抬升成陆, 发生风化剥蚀, 晚二叠世晚期地壳沉降, 碳酸盐台地又沉没水下接受碳酸盐沉积。就是由于东吴运动短暂的活动, 造就了桂西地区中二叠统茅口组古岩溶风化面之上的上二叠统合山组沉积铝土矿的大面积分布。印支运动北东-南西方向的挤压应力使得平果地区下三叠统及其之下的地层发生折曲变形, 形成轴向北西-南东、倾角较缓的旧城背斜、新圩南矿段向斜、那端背斜及该轴向的断裂, 这些褶皱控制了沉积铝土矿的保存和风化剥蚀变为堆积铝土矿的范围和程度, 断裂也在一定程度上改变铝土矿层的空间位置。燕山期由于新圩南矿段洋板块自东向西的俯冲及压力释放后的伸展, 形成该区北东向或北东东向的褶皱和断裂, 并可使印支期形成的北西向压性断裂发生张裂, 对铝土矿层进一步改造。由于本区离新圩南矿段洋俯冲带较远, 俯冲的远程效应相对较弱, 因此本区燕山运动的强度不如印支运动强度大, 印支运动基本上奠定了该区的构造格局, 燕山运动在其上有叠加改造。

通过上述分析, 结合野外调查、地层学分析及矿体地质特征研究发现, 沉积型铝土矿的成矿和改造过程始终伴随着区域性构造运动的作用。桂西地区自晚古生代至早中生代经历东吴运动(地壳抬升)、印支期(挤压变形)和燕山期(拉张断裂)三期构造活动, 构造运动改变了古地形地貌, 控制了矿体形态和规模, 并在成矿后对矿体进一步改造, 表现为矿体形态和空间位置上的变化。

4.2. 基底岩类控矿

基底岩类为碳酸盐岩的地区对成矿最为有利, 因为在古气候的酸性风化条件下, 碳酸盐岩最容易被强烈的红土化, 即碳酸盐岩基底易于发生喀斯特化, 形成很多喀斯特洼地、漏斗等负地形, 形成了含矿岩系的堆积空间, 利于地表水及地下水的活动, 继而导致红土化作用向深部发展, 使沉积在基底上面的物质(如凝灰岩)风化形成古红土后堆积。另外, 由于遭受过风化剥蚀后的碳酸盐岩, 岩溶发育, 孔隙率高, 渗滤条件好, 古红土再堆积覆盖在这样的岩类之上, 对古红土的反复淋滤过程进行顺利, 脱硅排铁的通道十分畅通, 有利于铝土矿的形成。

4.3. 古地形对矿体分布的控制

沉积型铝土矿严格受成矿古基底形态的制约。古岩溶地貌, 即准平原化的微凹凸地形, 给矿床形成奠定了良好的成矿物质堆积场所。因此古基底的地形对矿体的形态、产状、规模及矿石质量都具有严格的控制作用。如果古岩溶基底凹陷深、范围大, 则含矿岩系就会沉积厚、分布范围广, 所形成的铝土矿就厚度大、矿体规模大、质量佳; 如果古岩溶基底凹陷浅、范围小甚而凸起, 那么含矿岩系就沉积薄以至尖灭、分布范围窄, 形成的铝土矿就厚度薄、矿体小、质量差, 甚至无矿。

根据对含矿岩系及沉积相的研究表明, 合山组沉积时研究区为海陆交互的古地理环境。合山组岩性为灰岩、泥质灰岩夹炭质页岩和煤层, 底部有厚度不等的铁铝岩或铝土矿层。其岩性由纯灰岩相变为铁质黏土岩或铁铝岩、铝土质泥岩或铝土矿、煤层或碳质泥岩, 显示潮坪相及陆相特点。合山组地层沉积厚度的变化表明其沉积时区域地貌古基底面存在起伏, 但起伏不大, 和准平原地貌的基本特点差别不

大, 说明了合山组沉积前研究区已经历了较长期的陆相表生地质过程, 而合山组地层空间分布特点也显示了沉积型铝土矿的区域分布。

关于台地沉积型铝土矿的形成, 既要求有高的降雨量, 又要求有良好的淋滤条件。表生条件下铝的富集是被动的, 良好的淋滤条件保证了风化壳中最易被淋溶的盐基离子能够充分地迁移到地下, 促进了表层土壤碱性离子的贫化和表层土壤的酸化。在酸性土壤中, 难溶硅可以形成硅酸, 并向下迁移。很明显, 台地的存在对于垂直输水淋滤冲洗具有重要地位, 只有台地地形和下伏岩石的高孔隙度结合, 才能保证铝铁分离和铝硅元素被动富集的过程能够继续进行[22]。台地岩石裂隙发育程度高, 延深大, 淋滤冲洗延伸也大, 矿层较厚。因此, 稳定的台地保证了化学风化作用的长期进行和富铝过程的完全发育。

5. 结论

根据对平果沉积型铝土矿的研究分析, 总结出以下认识:

1) 平果地区沉积型铝土矿主要分布于教美矿区、新圩南矿段矿区、那端矿区, 果化也有少量分布。矿体形态多为似层状、透镜状, 由于矿体的形态和大小受古风化面地形控制, 总体来看, 矿体在空间上由边缘相连的众多平凹透镜体(上界平底界凹)组成, 连接处呈层状似层状, 可宽可窄, 可厚可薄; 透镜体可深可浅, 可大可小。矿石矿物主要为一水硬铝石, 脉石矿物为粘土矿物、黄铁矿等。矿石具有长柱状自形-半自形晶结构、交代结构、等, 矿石构造有豆状、鲕状、致密块状、土状等, 矿石质量以青灰色土状、豆(鲕)状铝土矿为最佳, 其次为砂屑状铝土矿, 致密状铝土矿较差。

2) 沉积性铝土矿的控矿因素包括构造演化、基底岩类、古地形等几个方面。桂西特殊的构造演化历史造成了上二叠统沉积铝土矿的广泛分布, 构造演化也对已形成矿层进行后期改造、破坏。晚二叠世包括平果台地在内的桂西碳酸盐台地露出水面遭受风化剥蚀, 成为接受铝土矿原始物质的重要容矿场所, 碳酸盐岩基底易于发生喀斯特化, 岩溶洼地、漏斗等负地形, 形成了含矿岩系的堆积空间, 碳酸盐岩性脆、裂隙发育、岩石易溶, 利于地表水及地下水的下渗活动, 为铝土矿脱硅创造了条件。沉积型铝土矿的产出严格受古地形的制约, 古地形控制了矿体的形态、产状、规模, 岩溶洼地大且深则矿体厚度和规模就大。

参考文献

- [1] 郑明贵, 王萍, 潘天阳. 中国铝资源供应安全预警系统研究[J]. 科技促进发展, 2020, 16(11): 1307-1316.
- [2] 中华人民共和国自然资源部. 全国矿产资源规划(2016-2020) [EB/OL]. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjzxgh/201705/t20170511_1196755.html?code=&state=123, 2019-12-15.
- [3] Buccione, R., Mongelli, G., Sinisi, R. and Boni, M. (2016) Relationship between Geometric Parameters and Compositional Data: A New Approach to Karst Bauxites Exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, **169**, 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.002>
- [4] 张启连, 陈有斌, 刘希军, 黄文芳, 韦访, 黄光琼, 等. 桂西铝土矿中火山灰特征及其地质意义[J]. 地质论评, 2022, 68(2): 531-550+585.
- [5] 王力, 龙永珍, 彭省临. 桂西铝土矿成矿物质来源的地质地球化学分析[J]. 桂林工学院学报, 2004, 24(1): 1-6.
- [6] 张佳莉, 张青伟, 阳纯龙, 高攀, 缪秉魁, 皮桥辉, 等. 桂西铝土矿中稀有和分散元素地球化学特征[J]. 桂林理工大学学报, 2016, 36(1): 153-159.
- [7] 张启连, 赵辛金, 李玉坤, 李昌明, 韦访. 桂西二叠系铝土矿地球化学特征与沉积模式[J]. 地质论评, 2020, 66(4): 1043-1059.
- [8] 张启连, 梁裕平, 余文超, 杜远生. 桂西地区二叠系合山组铝土岩的沉积环境[J]. 古地理学报, 2016, 18(4): 595-604.
- [9] 张青伟, 缪秉魁, 王登红, 姚明, 皮桥辉, 李社宏, 等. 桂西铝土矿中伴生元素研究现状[J]. 矿物学报, 2011, 31(S1): 917-918.

- [10] 程顺波, 刘阿睢, 崔森, 李荣志, 韦义师. 桂西二叠纪喀斯特型铝土矿地质成矿过程[J]. 地球科学, 2021, 46(8): 2697-2710.
- [11] 王庆飞, 邓军, 刘学飞, 张起钻, 李中明, 康微, 等. 铝土矿地质与成因研究进展[J]. 地质与勘探, 2012, 48(3): 430-448.
- [12] 陈喜峰, 施俊法, 陈秀法, 王杨刚, 李玉龙, 高爱红. 非洲铝土矿地质特征、成矿规律与找矿前景研究[J]. 地质与勘探, 2021, 57(6): 1203-1215.
- [13] 赵东杰, 王学求. 右江盆地中三叠统细碎屑岩地球化学特征及其对物源区、构造背景的指示[J]. 大地构造与成矿学, 2020, 44(2): 311-324.
- [14] 凌坤跃, 温汉捷, 张起钻, 罗重光, 顾汉念, 杜胜江, 等. 广西平果上二叠统合山组关键金属锂和铌的超常富集与成因[J]. 中国科学(地球科学), 2021, 51(6): 853-873. <https://doi.org/10.1360/SSTe-2020-0140>
- [15] Wang, Q.F., Yang, L., Xu, X.J., Santosh, M., Wang, Y., Wang, T., *et al.* (2020) Multi-Stage Tectonics and Metallogeny Associated with Phanerozoic Evolution of the South China Block: A Holistic Perspective from the Youjiang Basin. *Earth-Science Reviews*, **211**, Article ID: 103405. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103405>
- [16] 杜远生, 黄虎, 杨江海, 黄宏伟, 陶平, 黄志强, 等. 晚古生代-中三叠世右江盆地的格局和转换[J]. 地质论评, 2013, 59(1): 1-11.
- [17] 杨成富, 刘建中, 顾雪祥, 王泽鹏, 陈发恩, 王大福, 等. 南盘江-右江盆地构造演化与金锑成矿作用[J]. 地球学报, 2020, 41(2): 280-292.
- [18] 侯莹玲, 何斌, 钟玉婷. 桂西二叠系喀斯特型铝土矿成矿物质来源的新认识:来自合山组碎屑岩地球化学证据[J]. 大地构造与成矿学, 2014, 38(1): 181-196.
- [19] 陈超, 周涛, 胡维云, 陈桂凡, 李华亮, 张林友, 等. 滇东南建水火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年、地球化学特征及地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2016, 40(1): 161-173.
- [20] 杜远生, 黄宏伟, 黄志强, 徐亚军, 杨江海, 黄虎. 右江盆地晚古生代-三叠纪盆地转换及其构造意义[J]. 地质科技情报, 2009, 28(6): 10-15.
- [21] 覃丰, 孟祥仑, 尹本纯. 桂西沉积型铝土矿分布特征及控矿条件分析[J]. 世界有色金属, 2019(9): 92-94.
- [22] 杨震. 广西平果太平沉积型铝土矿地质特征、矿床成因及找矿预测研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2010.