

doi:10.3969/j.issn.1007-3701.2020.03.003

桂西二叠纪喀斯特型铝土矿豆鲕特征及成因

程顺波^{1,2}, 刘阿睢^{1,2}, 李荣志³, 韦义师³, 刘君豪⁴, 胥明⁴

CHENG Shun-Bo^{1,2}, LIU A-Sui^{1,2}, LI Rong-Zhi³, WEI Yi-Shi³, LIU Jun-Hao⁴, XU Ming⁴

(1.中国地质调查局武汉地质调查中心(中南地质科技创新中心),武汉 430205;2.中国地质调查局花岗岩成岩成矿地质研究中心,武汉 430205;
3.中国冶金地质总局广西地质勘查院,南宁 530022;4.核工业二八〇研究所,广汉 618300,四川)

(1. Wuhan Center of China Geological Survey (Central South China Innovation Center for Geosciences), Wuhan 430205, China;
2. Research Center of Granitic Diagenesis and Mineralization, CGS, Wuhan 430205, China; 3. Geological Prospecting Institute of Guangxi, CMGB, Nanling 530022, China; 4. No.280 Institute of Nuclear Industry, Guanghan 618300 Sichuan, China)

摘要:桂西二叠纪喀斯特型铝土矿中发育丰富的豆鲕粒,早期被认为是胶体化学成因。但是鲕粒类型复杂、含丰富砂屑和泥屑与胶体化学成因相悖。本文在1:5万区域地质调查基础上,对桂西平果矿田布绒、太平矿床和都结矿点的豆鲕分布规律、内部结构和矿物成分进行研究,并通过与国内外红土型铝土矿的豆鲕粒(或结核)对比,详细探讨该地区喀斯特型铝土矿中豆鲕在红土期形成机制及后期地质改造过程。研究结果显示,在相同气候条件下,古地貌对豆鲕的形成起决定性作用。布绒、太平矿床发育在古碳酸盐岩海岛平原,铝土化过程强烈,弱机械搬运形成的豆鲕类型复杂,圈层较少,成分为三水铝石+高岭石。后期压实作用将豆鲕垂向压缩,成岩作用将大部分豆鲕成分改造为硬水铝石+绿泥石。都结矿点发育在古碳酸盐岩半岛滨岸喀斯特低山丘陵区,铝土化过程微弱,强机械搬运形成豆鲕类型简单,圈层较多,核心为铁质,外圈为三水铝石+高岭石。后期压实作用对豆鲕形态没有影响,成岩作用仅将豆鲕中三水铝石改造成硬水铝石。

关键词:铝土矿;豆鲕;成因;喀斯特型;二叠纪;桂西

中图分类号: P618.45;P611.2+2

文献标识码: A

文章编号: 1007-3701(2020)03-0232-08

Cheng S B, Liu A S, Li R Z, Wei Y S, Liu J H and Xu M. Characteristics and Genesis of Pisolites and Ooids in Permian Karst Bauxite, Western Guangxi. *South China Geology*, 2020, 36 (3): 232-239.

Abstract: There are abundant pisolites and ooids in the Permian karst type bauxites in Western Guangxi, which are thought to be of colloidal chemical genesis in the early decades. However, pisolites and ooids are complex and rich in sandy and muddy debris contrary to the colloidal chemical genesis. On the basis of 1:50000 regional geological survey, this paper studies the spatial distribution, internal structure and mineral composition of pisolites and oolites in Burong, Taiping and Dujie deposits (or occurrence) of Pingguo ore field, Western Guangxi. Through analogizing with pisolite (or nodule) of lateritic type bauxite at home and abroad, the formation mechanism of pisolites and oolites in lateritic period and later geological reformation process are discussed. The results show paleogeomorphology plays a decisive role in the formation of pisolites and oolites under same climatic conditions. Burong and Taiping deposits are developed in the ancient carbonate island plain with strong bauxitic process. Pisolites and oolites in these deposit, formed by weak mechanical transport, are complex with few cortex

收稿日期:2020-5-11;修回日期:2020-6-1;责任编辑:庞迎春

基金项目:中国地质调查局项目(Nos.DD20160034、DD20190826)

第一作者:程顺波(1983—),男,高级工程师,硕士,从事华南地质过程与成矿作用研究,E-mail: chsb2007@qq.com

layer, and have gibbsite + kaolinite composition. Later compaction vertically compresses the shape of pisolite and oolite, and diagenesis transforms the composition of most pisolite and oolite into diasporite + chlorite. Dujie occurrence is developed in the karstic hill on the coast of the ancient carbonate peninsula with weak bauxite process. Pisolites and oolites in this spot, formed by strong mechanical transportation, are simple with many cortex layers. the core is ferruginous and cortex is composed of gibbsite + kaolinite.

Key words: bauxite; pisolites and ooids; genesis; karstic type; Permian; Western Guangxi

喀斯特型铝土矿中常见豆鲕粒结构,研究其结构特征对于了解铝土矿成因及沉积过程具有重要意义^[1]。在上个世纪,部分学者研究黔北古喀斯特型铝土矿的豆鲕分布特征、内部结构和化学成分发现,豆鲕核心为硬水铝石、同心纹层发育、组成矿物颗粒非常细小、向外圈层硬水铝石含量逐渐增高,据此认为铝土矿中豆鲕粒为胶体化学成因^[2]。受该类型观点影响,平果地区具有核心和圈层结构、成分为硬水铝石的豆鲕也被认为是胶体化学成因,只是在形成后期经历了机械搬运^[1]。2016–2018年,广西1:5万果化镇、龙马、进结和平果县幅区域地质调查发现,平果地区二叠纪喀斯特型铝土矿床(点)的豆鲕类型复杂,并不局限于具圈层结构的真鲕,而且豆鲕内部含有丰富的砂屑和泥级碎屑。这些证据皆与豆鲕的胶体化学成因相矛盾。为此,本文详细研究了区内布绒、太平矿床和都结矿点的豆鲕分布规律、内部结构和矿物成分。并通过与国内外红土型铝土矿的豆鲕粒(或结核)类比,详细探讨该地区二叠纪喀斯特型铝土矿中豆鲕在红土期形成机制及后期地质改造过程。

1 地质背景

平果地区位于桂西靖西–平果铝土矿带东部,产有太平、那豆(或布绒)、果化、都结多个铝土矿床(点)。主要矿床类型为第四纪萨伦托型和二叠纪喀斯特型,其中萨伦托型矿床为二叠纪矿床在第四纪风化形成^[3–6]。喀斯特型矿床产在远岸孤立碳酸盐岩台地内部,含矿地层为二叠系合山组^[7](图1)。合山组为一套海陆交互含煤砂页岩夹铁铝质岩与浅海相灰岩、含燧石灰岩的岩性组合^[7],与下伏茅口组平行不整合接触。组内一般包含1个含铝岩系旋回,在局部含有2–3个含铝岩系旋回^[8]。单个铝土岩系旋回厚度为1.1–25.1 m,内部含1.0–15.1 m铝土矿体,Al₂O₃平均品位介于43.59–69.63 wt%, Al/Si

比平均值为1.9–25.5。自喀斯特风化面往上,含铝岩系一般具有块状铁铝质岩(A)、层状铝质岩(B)和炭质泥岩(C)的基本层序(图2 Tc02)。在矿化较差的都结矿点 Tc06,含铝岩系矿化减弱,一般具有块状铁铝质粘土岩(A)、中厚层铝质粘土岩(B)和炭质泥岩(C)的基本层序。在矿化最好的布绒矿床(Tc07),含铝岩系仅见有块状铝质岩和炭质泥岩。

2 豆鲕分布规律

在平果地区,豆鲕广泛分布于太平、布绒矿床和都结矿点含铝岩系下部块状铁铝质岩、铝质岩、铁铝质粘土岩(A)中(图2),其发育程度与古地形关系密切。在成矿较好的太平、布绒矿床,控制铝土矿的古地形起伏较小,代表性古地貌为缓倾的石芽坡地,形成的豆鲕状铁铝质岩、铝质岩矿化程度高。该类矿石主要由豆鲕和砂屑组成(图3a,b),泥质杂基含量略低。豆鲕含量一般在15%–20%,局部可达30%。形态为椭球状、扁椭球状或长纺锤状,沿层理定向,分选性差(图3b),粒径在0.5–12 mm之间。

在成矿较差的都结矿点,控制铝土矿的古地形起伏较大,代表性古地貌为略陡的岩溶坡地和洼地,形成的豆鲕状铁铝质粘土岩仅在局部达到工业品位。铁铝质粘土岩主要由砂屑和泥质杂基组成(图3c,d)。豆鲕含量较少,一般在5%–10%,形态为圆球状、椭球状和不规则球状,定向不明显,分选性差(图3c),粒径在1–8 mm之间。

在局部地区,如TC02和TC06,含铝岩系中部层状铝质粘土岩中也有少量豆鲕粒分布(图2)。

3 豆鲕内部结构

镜下观察显示,豆鲕形态非常复杂。根据其内部组构不同可分为真豆鲕、假豆鲕、偏豆鲕、表豆鲕、复豆鲕,豆鲕与基质的界限明显。

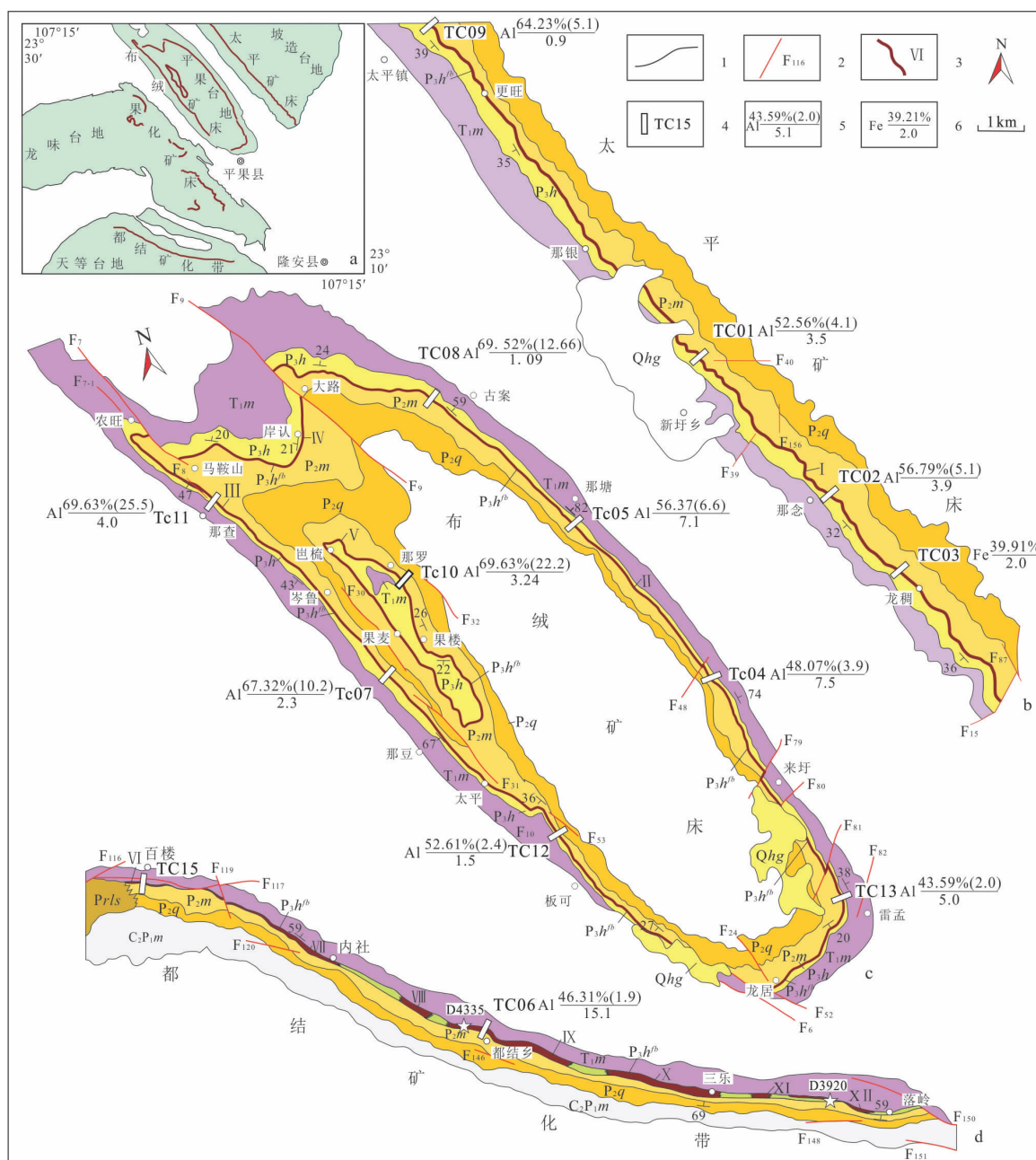


图1 平果地区铝土矿示意图(a)及太平(b)、布绒(c)和都结(d)矿(化)体地质矿产图

Fig. 1 Schematic map of bauxite in Pingguo area(a) and geological and mineral deposits or occurrences in Taiping (b), Burong (c) and Dujie (d)

1.地质界线;2.断裂及编号;3.铝土矿(化)体及编号;4.探槽位置及编号;5.铝土矿(化)体 Al_2O_3 含量(wt%)及 Al/Si 重量比/厚度(m);6.铁矿化体 Fe_2O_3 含量(wt%)及厚度(m). $\text{C}_2\text{P}_1\text{m}$ —马平组; P_2m —茅口组; P_3h —合山组; T_1m —马脚岭组. P_3h 上下不整合关系在图中未标出.

假豆鲕是布绒、太平矿床中最为主要的豆鲕类型,特征是没有纹层,形态多为椭圆状、纺锤状,内部由砂屑和泥质杂基组成(图 4a,b)。真豆鲕是所有矿床点比较重要的豆鲕类型。大多数圆度较高,呈椭圆状、扁椭圆状,具特征的核心、圈层构造,真豆鲕核心与圈层厚度比率在 1:5 到 2:1 之间 (图

4a-e)。核心形态较好,多呈圆状、椭圆状,成分包括砂屑+泥质杂基(图 4c-e)、砂屑+胶体(图 4c-d)。圈层围绕核心均匀发育,一般为 2-5 层左右,少数发育 7-8 层。纹层厚度不均匀,单层 10-200 μm ,局部不闭合或者呈微波状(图 4c,d)。

偏豆鲕和表豆鲕较少,主要分布在布绒和太平

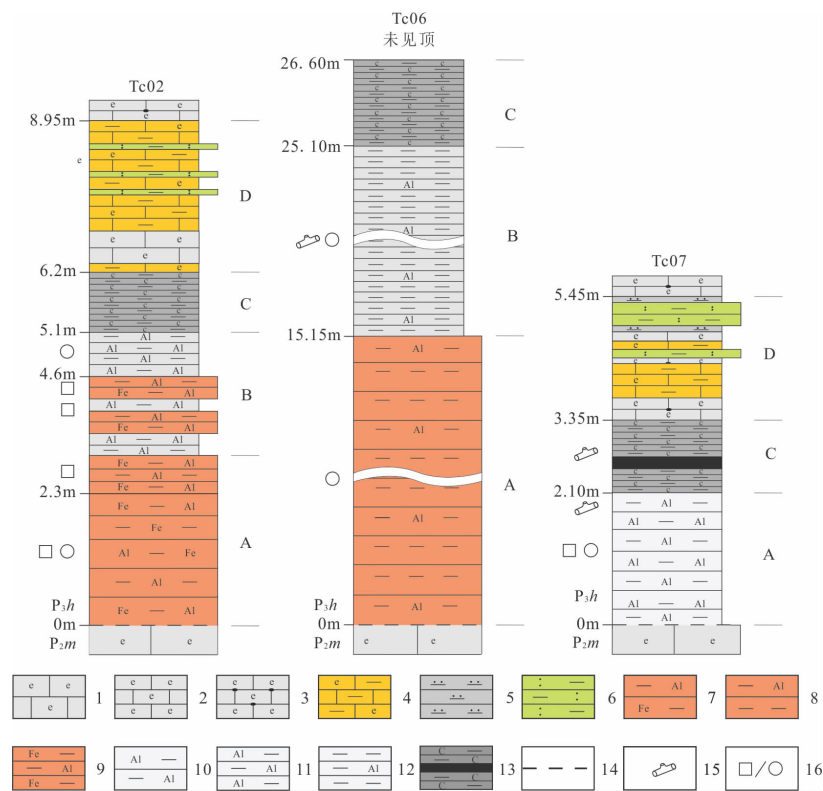


图2 平果地区合山组典型含铝岩系及盖层层序结构

Fig. 2 Sequence of aluminiferous series and caprock in Heshan formation, Pingguo area

1.块状生屑灰岩;2.中薄层生屑灰岩;3.中薄层含燧石生屑灰岩;4.中薄层泥灰岩;5.薄层硅质岩;6.中薄层沉凝灰岩;7.块状铁铝质岩;8.块状(铁)铝质粘土岩;9.中薄层铁铝质岩;10.块状铝质岩;11.中薄层铝质岩;12.中厚层铝质粘土岩;13.碳质泥岩夹煤线;14.平行不整合界线;15.植物根茎化石;16.黄铁矿/豆(鲕)粒;地层代号见图1.

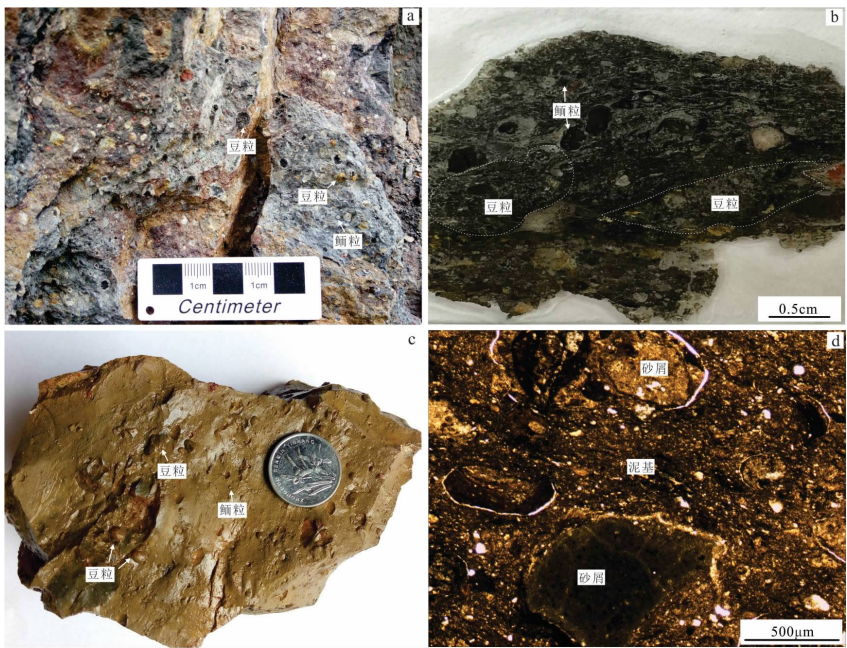


图3 平果地区不同矿床豆鲕状矿石(岩石)、薄片及镜下照片

Fig. 3 Pisolitic ore (rock), their thin section and microscopic photos of different deposits in Pingguo area

a.布绒矿床豆鲕状铝质岩(Tc07);b.布绒矿床豆鲕状铝质岩抛光薄片(Tc07);c.都结矿点豆鲕状铁铝质粘土岩(Tc06);d.都结矿点豆鲕状铁铝质粘土岩镜下照片(Tc06).

矿床。偏豆鲕表现为豆鲕核部不位于豆鲕的中心,核部和纹层特征基本与真豆鲕一致(图 4a、b)。表豆鲕的特点是其核心较大,圈层不甚发育,核心与圈层厚度比率约为 3:1~5:1,核心多为圆状、椭圆状,成分主要为砂屑+泥质杂基(图 4f)。复豆鲕非常少见,一般颗粒粒径较大,形状不规则,内部以多个小型鲕粒为核心,外部发育稀疏圈层。此外,还可见到少数豆鲕拉长呈透镜状,或者破碎状。

部分豆鲕发育干裂纹,形态为放射状,干裂纹局限在豆鲕内,不延伸到基质中(图 4b、e)。

4 豆鲕矿物成分

对太平矿床 Tc02 底部豆鲕状铁铝质岩(Tc02-H1) 和都结矿点 Tc06 底部豆鲕状铁铝质粘土岩(Tc06-H1)进行了 X 射线衍射(XRD)分析,分析结

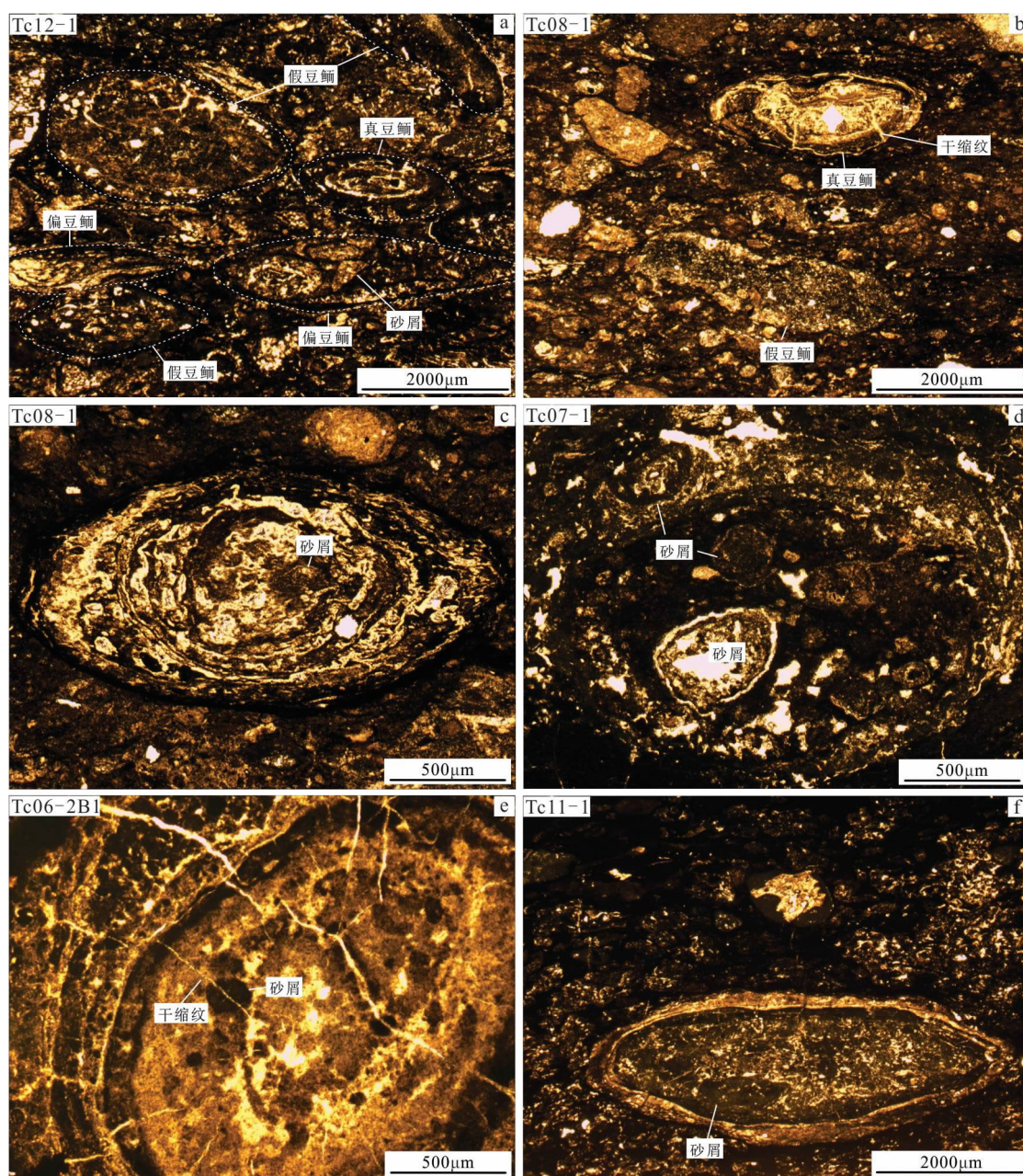


图4 平果地区不同矿床豆鲕镜下照片

Fig. 4 Pisolitic ore (rock), their thin section and microscopic photos of different deposits in Pingguo area

a.布绒矿床铁铝质岩豆鲕群(布绒矿床Tc12);b.布绒矿床铝质岩豆鲕群(Tc08);c.布绒矿床铝质岩真豆鲕(Tc08);d.布绒矿床铝质岩中真豆鲕(Tc07);e.都结矿点铁铝质粘土岩中真豆鲕(Tc06);f.布绒矿床铝质岩中表豆鲕(Tc11).

果见图5。太平矿床 Tc02-H2-1 样品主要矿物为硬水铝石(Dsp)、绿泥石(Chl),次为高岭石(Kln),含少量针铁矿(Gt)和锐钛矿(Ant)。都结矿点 Tc06-H1 样品主要矿物为高岭石(Kln),次为硬水铝石(Dsp)和针铁矿(Gt)。

在此基础上,利用 EPMA 对太平矿床 Tc02 豆鲕状铁铝质岩和都结矿点 Tc06 豆鲕状铁铝质粘土岩进行矿物成分分析。结果(图6)显示,太平矿床 Tc02 铁铝质岩小型豆鲕由绿泥石和硬水铝石组成环带,核部可是绿泥石,也可是硬水铝石(图6a、b)。大型豆鲕中,绿泥石交代高岭石程度有限,一般由高岭石和硬水铝石组成环带,核心是硬水铝石(图6c)或者高岭石。无论哪种豆鲕内部常含星点状/脉状的锐钛矿和针铁矿(图6b、c)。都结矿点 Tc06 铁铝质粘土岩中,豆鲕一般具有针铁矿核心。外部圈层由硬水铝石、高岭石构成,并含有不同比例的针铁矿和锐钛矿(图6d)。部分豆鲕发育干裂纹,内部充填高岭石(图6d)或者硬水铝石。需要指出的是,都结矿点铁铝质粘土岩中豆鲕的硬水铝石含量明显高于基质。

5 豆鲕成因

红土型铝土矿中常见豆鲕粒(或结核),它的发育与源岩搬运剥蚀、地貌及亚热带气候密切相关。在不同地区,源岩搬运剥蚀程度、亚热带气候和地貌条件不同,形成的豆鲕粒类型也不尽相同^[9-10]。巴西 pitinga 矿床和澳大利亚 Boddington 矿床均为中酸性岩浆岩准原地风化形成,近地表横向剥蚀运动

均形成了豆鲕粒的铁质碎屑核心^[9]。但是,受潮湿多雨的气候和平坦高原地貌控制,巴西 pitinga 矿床近地表红土中铁的淋失现象普遍,导致豆鲕粒粒径变小,形态也逐渐圆化,外部发育针铁矿皮壳。在半干旱气候和丘陵地貌控制下,澳大利亚 Boddington 矿床近地表豆鲕粒核心铁淋失现象少见,取而代之是形成孔隙水铝过饱和,三水铝石沿铁质核心生长形成圈层状皮壳。在国内,桂西南来宾一带红土型矿床发育在新生代喀斯特平原中,其形成经历异源风化过程^[10]。在红土剥蚀搬运过程中,铁质成分已经经过初步分离,形成的豆鲕粒(或结核)核心多为高岭石+三水铝石。进入喀斯特平原之后,受潮湿多雨的气候和平原地貌控制,近地表红土中铁的淋失作用继续进行,铁随孔隙水向下迁移,在饱和区围绕豆鲕粒(或结核)核心形成铁质包壳。

虽然平果地区铝土矿为喀斯特型,但是它们也是由古红土型铝土演变而来。这些古红土型铝土矿由火山灰准原地风化形成^[11],因为地貌上的差异,古红土风化过程分为布绒和都结两种类型。布绒型,包括布绒和太平两个矿床,发育在古碳酸盐岩海岛平原上。在潮湿多雨的气候和平原地貌控制下,红土的铝土化过程比较彻底,绝大部分的铁从古红土中淋失进入临近洼地底部,并在后续的潜育化和成岩作用改造下形成黄铁矿体。这类矿床中,古红土机械搬运对豆鲕的形成至关重要,单次搬运形成碎屑状假豆鲕,多次搬运形成真豆鲕、偏豆鲕和表豆鲕。豆鲕的核心具有碎屑结构,外部圈层含有铝土质砂屑和泥质杂基(图4a-d)。豆鲕的成分主要为三水铝石(经成岩作用形成硬水铝石)+高岭

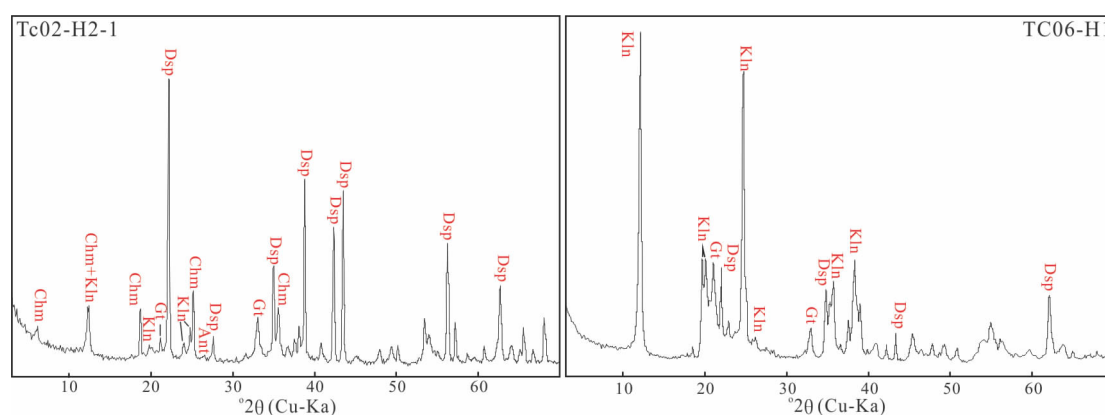


图5 平果地区不同铝土矿床(点)豆鲕状矿石XRD结果

Fig. 5 XRD analyze results of pisolite and oolite ore of different deposit(or occurrence)in Pingguo area

Dsp: 硬水铝石; Kln: 高岭石; Chl: 绿泥石; Gt: 针铁矿; Ant: 锐钛矿.

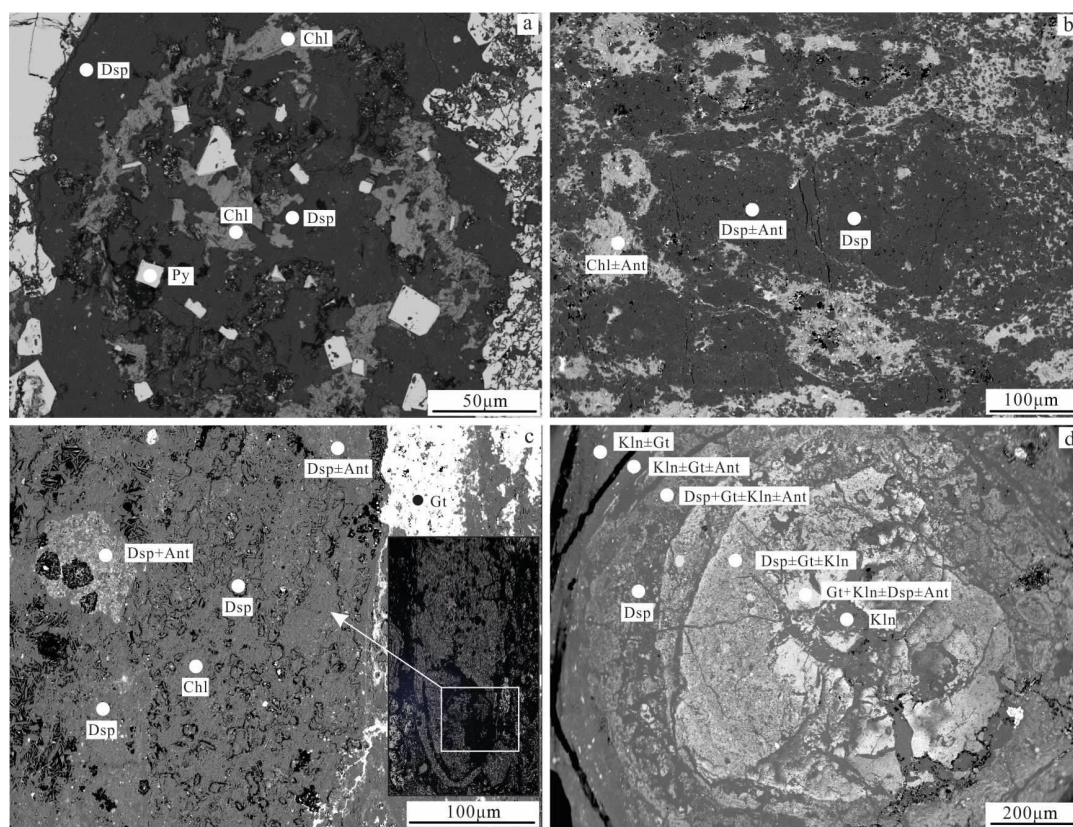


图6 平果地区不同铝土矿床(点)豆鲕圈层成分电子探针镜下图片

Fig. 6 The composition of different layers in pisolite and oolite in Pingguo area

a.太平矿床铁铝质岩真鲕(Tc02-H4-1);b.太平矿床铁铝质岩假鲕(Tc02-H3-5);c.太平矿床铁铝质岩偏豆粒(Tc02-H2-1);d.都结矿点铁铝质粘土岩真鲕(Tc06-4).Dsp:硬水铝石;Kln:高岭石;Chl:绿泥石;Gt:针铁矿;Ant:锐钛矿。

石(图 6c)。在部分多圈层真豆鲕和表豆鲕中,外部圈层含有窄且未结晶的三水铝石圈层(图 4c、f),显示铝过饱和孔隙水也参与了部分豆鲕的形成。都结型,主要为都结矿点,发育在古碳酸盐岩半岛滨岸喀斯特低山丘陵地貌中。在潮湿多雨的气候下,起伏不平的地貌促进红土向岩溶洼地和漏斗迁移。受古地貌和地下水影响,红土的铝土化过程非常轻微,铁的淋失作用也相对较弱,形成的豆鲕均具有针铁矿碎屑核心。在豆鲕向下机械搬运过程中,先形成三水铝石圈层,然后形成高岭石圈层,圈层中常见砂屑和泥质杂基(图 4e、图 6d)。

在平果地区,古红土型铝土经海侵作用、压实作用和成岩作用,最终形成古喀斯特型铝土矿。在向古喀斯特型铝土矿转变过程中,布绒型和都结型豆鲕经历不同的地质改造作用。因地势平坦,布绒型矿床在海侵初期发生了强烈的潜育化作用,微生物厌氧活动将赤铁矿/针铁矿还原形成大量的铁离子。在潜育化后期以及成岩期,铁离子和高岭石反

应形成大量绿泥石,成岩期三水铝石逐渐转变成硬水铝石。这些地质作用将大部分豆鲕的成分从三水铝石+高岭石改变为硬水铝石+绿泥石(图 6a、b)。部分豆鲕粒内高岭石没有受到绿泥石交代,还保留有原始豆鲕粒成分(图 6c)。压实作用对豆鲕的影响较大,将球形、椭球型豆鲕压缩呈扁椭球形、扁纺锤形豆鲕(图 4a)^[12]。都结型矿床地处滨岸岩溶洼地,海侵初期与海水联通,潜育化作用不甚发育,针铁矿矿物得以保留。在后续的成岩期,高岭石也得以保留,只是三水铝石向硬水铝石转变。因地形起伏大,矿化体处在岩溶洼地、岩溶漏斗等相对低洼处,压实作用对豆鲕的影响较小,豆鲕的形态仍然保留球形、椭球形外貌(图 6d)。

6 结论

(1)布绒、太平矿床发育在古碳酸盐岩海岛平原,铝土化作用强烈,弱机械搬运形成的豆鲕类型

复杂,圈层较少,成分为三水铝石+高岭石。后期压实作用将豆鲕垂向压缩,成岩作用将大部分豆鲕成分改造为硬水铝石+绿泥石。

(2)都结矿点发育在古碳酸盐岩半岛滨岸喀斯特低山丘陵区,铝土化作用微弱,强机械搬运形成豆鲕类型简单,圈层较多,核心为铁质,外圈为三水铝石+高岭石。后期压实作用对豆鲕形态没有影响,成岩作用仅将豆鲕中三水铝石改造成硬水铝石。

河北欣航岩矿测试中心刘丽团队在铝土矿岩矿鉴定提供了较大帮助,审稿人给本文提出许多宝贵修改意见,在此表示诚挚感谢!

参考文献:

- [1] 胡旭,伊海生,王刚,欧莉华. 沉积型铝土矿鲕豆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.
- [2] 刘巽锋. 黔北铝土矿豆鲕粒结构的成因机理[J]. 贵州地质,1988,5(4): 337-342.
- [3] 张起钻. 桂西铝土矿成矿模式和勘查技术[D]. 中国地质大学(北京)博士论文,2011:1-141.
- [4] Wang Q F, Deng J, Liu X F, Zhang Q Z, Sun S L, Jiang C Z, Zhou F. Discovery of the REE minerals and its geological significance in the Quyang bauxite deposit, West Guangxi, China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 39: 701-712.
- [5] Yu W C, Thomas J A, Du Y S, Zhang Q L, Liang Y P. Mixed volcanogenic-lithogenic sources for Permian bauxite deposits in southwestern Youjiang Basin, South China, and their metallogenic Significance[J]. Sedimentary Geology, 2016, 341: 276-288.
- [6] Liu X F, Wang Q F, Zhang Q Z, Yang S J, Liang Y Y, Zhang Y, Li Y, Guan T. Genesis of the Permian karstic Pingguo bauxite deposit, western Guangxi, China[J]. Mineralium Deposita, 2017, 52: 1031-1048.
- [7] 广西区域地质调查研究院. 广西区域地质志(第一册): 区域地层[R].2016:1-821.
- [8] 王庆飞,邓军,刘学飞,张起钻,李中明,康微,蔡书慧,李宁. 铝土矿地质与成因研究进展[J]. 地质与勘探, 2012,48(3): 430-448.
- [9] Horbe A M C, Anand R R. Bauxite on igneous rocks from Amazonia and Southwestern of Australia: Implication for weathering process[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2011, 111: 1-12.
- [10] Yang S J, Wang Q F, Zhang Q. Z, Chen J H, Huang Y X. Terrestrial deposition processes of Quaternary gibbsite nodules in the Yongjiang Basin, southeastern margin of Tibet, and implication for the genesis of ancient karst bauxite[J]. Sedimentary Geology, 2018, 373: 292-306.
- [11] 程顺波,刘阿睢,李荣志,等. 桂西二叠纪喀斯特型铝土矿地质成矿过程[J]. 地球科学,2020,待刊.
- [12] 刘长龄,覃志安. 我国沉积铝土矿中豆鲕粒的特征与成因[J]. 地质找矿论丛,1990,5(1): 72-83.