

广西铝土矿矿床特征、成矿规律、 成矿系列及找矿方向

罗允义¹⁾, 林建辉¹⁾, 徐文忠²⁾, 韦国深³⁾, 韦子任⁴⁾, 廖开立⁵⁾

1) 广西地质调查院, 广西南宁 530023; 2) 广西第四地质队, 广西南宁 530031;

3) 广西二七四地质队, 广西北海 536005; 4) 广西第六地质队, 广西贵港 537000;

5) 广西地球物理勘察院, 广西柳州 545005

摘要: 广西铝土矿矿床类型有沉积—水硬铝石型、堆积—水硬铝石型和堆积三水铝石型三种, 各类型铝土矿矿床均有相当数量达中-大型规模。矿石质量以堆积—水硬铝石型铝土矿最佳。广西铝土矿矿集区主要位于桂西和桂中地区, 其次为桂西南地区, 其中百色市的那坡—靖西—德保和平果—田东—田阳两个矿集区分布有广西大部分优质—水硬铝石型铝土矿矿床; 桂中地区的矿集区以堆积三水铝石型分布为主; 桂西南扶绥—龙州矿集区亦具有一定的规模。广西沉积—水硬铝石型铝土矿矿床受控于上二叠统合山组煤系地层, 其后期风化形成了堆积—水硬铝石型铝土矿床, 而堆积三水铝石型矿床则主要为碳酸盐岩分布区第四纪红土型风化作用形成的。广西铝土矿划分为两个矿床系列组合, 一为与沉积作用有关的矿床系列组合, 二为与风化作用有关的矿床成矿系列组合。作者采用全国统一成矿预测方法预测了广西铝土矿资源潜力, 圈出了7个铝土矿成矿远景区。下一步找矿将以探查沉积—水硬铝石型铝土矿为主。

关键词: 广西铝土矿; 矿床特征; 矿床成因; 成矿规律; 成矿系列; 找矿方向

中图分类号: P618.45 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2023.022301

Characteristic, Ore-forming Regularity, Minerogenetic Series, and Ore-searching Direction of Bauxite in Guangxi

LUO Yun-yi¹⁾, LIN Jian-hui¹⁾, XU Wen-zhong²⁾, WEI Guo-shen³⁾, WEI Zi-ren⁴⁾, LIAO Kai-li⁵⁾

1) Guangxi Institute of Geological Survey, Nanning, Guangxi 530023;

2) Guangxi Fourth Geological Team, Nanning, Guangxi 530031;

3) Guangxi 274 Geological Team, Beihai, Guangxi 536005;

4) Guangxi Sixth Geological Team, Guigang, Guangxi 537000;

5) Guangxi Geophysical Survey Institute, Liuzhou, Guangxi 545005

Abstract: There are three types of bauxite deposits in Guangxi: sedimentary-diaspora, accumulation-diaspora, and accumulation-gibbsite. Considerable amounts of bauxite of various types are medium- to large-scale and the best ore quality is from the accumulation-diaspora type. The bauxite ore concentration areas in Guangxi are mainly distributed in western and central Guangxi, followed by southwestern Guangxi. Among them, most high-quality diaspora type bauxite deposits are distributed in two ore concentration areas: Napo-Jingxi-Debao and Pingguo-Tiandong-Tianyang. The accumulation-gibbsite type deposits are mainly distributed in the ore concentration area of central Guangxi, while some are found in the Fusui-Longzhou ore concentration area in southwestern Guangxi. In Guangxi, sedimentary-diaspora type deposits are controlled by the coal strata of the Heshan Formation, Upper Permian, and were formed by later weathering products. Accumulation-gibbsite type deposits formed mainly from Quaternary laterite weathering of the carbonate distribution area. There are two combinations of bauxite deposit series in Guangxi, separately related to

本文由中国地质调查局“中国矿产地质志”项目(编号: DD20190379-19)资助。

收稿日期: 2022-10-26; 改回日期: 2023-02-17; 网络首发日期: 2023-03-01。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 罗允义, 男, 1962年生。硕士, 高级工程师。主要从事区域地质调查、矿产普查、详查、矿产资源评价和管理等工作, 近期从事矿产地质志编志工作。通讯地址: 530023, 广西壮族自治区南宁市建政路1号。E-mail: 124881798@qq.com。

sedimentation and weathering. Based on a unified national metallogenic prediction method, we forecasted the bauxite resource potential of Guangxi and delineated seven bauxite metallogenic prospecting areas. The next prospecting will focus on sedimentary-diaspora type deposits.

Key words: bauxite in Guangxi; deposit characteristics; ore genesis; ore-forming regularity; minerogenetic series; ore-searching direction

广西铝土矿资源丰富,是广西的优势矿产之一。据近年最新公布的全国铝土矿查明资源储量统计显示,广西查明一水硬铝石型铝土矿资源储量排位居河南、山西和贵州三省之后,列全国第4位。多年来,广西铝土矿勘查以成矿系列理论为先导,从已知到未知,勘查目标从沉积一水硬铝石型开始,到堆积一水硬铝石型为主,再到堆积三水铝石型,最终查明我国亚热带地区最大的沉积-堆积型铝土矿资源储量,使广西一跃成为我国重要的铝土矿生产基地,并在中国铝业中占据重要的一席之地。

1 广西铝土矿成矿类型及资源特点

按照《全国省(自治区、直辖市)矿产地质与区域成矿规律综合研究(矿产地质志)技术要求》(《中国矿产地质志》项目办公室,2015),广西铝土矿分类如表1所示。截止2018年底,广西总查明的铝土矿资源储量为 14.05×10^8 t,其中一水硬铝石型铝土矿 10.44×10^8 t,三水铝石型铝土矿 3.61×10^8 t。一水硬铝石型铝土矿资源储量中,堆积型铝土矿 8.91×10^8 t,沉积型铝土矿 1.53×10^8 t;总保有的铝土矿资源储量为 13.44×10^8 t,其中一水硬铝石型铝土矿保有 9.83×10^8 t,包括堆积型铝土矿 8.30×10^8 t、沉积型铝土矿 1.53×10^8 t;三水铝石型铝土矿 3.61×10^8 t。

广西一水硬铝石铝土矿主要为堆积型,矿石具有 Al_2O_3 含量高、铝硅比(A/S)高、低硫高铁和开采

容易的特点。矿石品级以Ⅱ级品和Ⅶ~级外品为主。据统计,广西保有一水硬铝石型铝土矿资源储量按品级分类,Ⅰ~Ⅵ品级矿石合计 $44\,754.94 \times 10^4$ t,占比45.54%,其中Ⅰ级品 $5\,388.03 \times 10^4$ t,占比5.48%;Ⅱ级品 $28\,701.41 \times 10^4$ t,占比29.20%;Ⅲ级品 938.74×10^4 t,占比0.96%;Ⅳ级品 340.96×10^4 t,占比0.35%;Ⅴ级品 $2\,430.68 \times 10^4$ t,占比2.47%;Ⅵ级品 $6\,955.12 \times 10^4$ t,占比7.08%;Ⅶ~级外品 $53\,533.47 \times 10^4$ t,占比54.46%;据广西自然资源厅资料,截止2012年,保有铝土矿资源储量按 Al_2O_3 品位分布统计, $\text{Al}_2\text{O}_3 > 50\%$ 的矿石资源储量占比75.01%;其中 Al_2O_3 品位 $> 60\%$ 的高品位段占比13.73%;按铝硅比A/S分布统计,铝硅比 $A/S > 12$ 高质量矿石量占比29.50%; $A/S > 7$ 矿石量占比64.31%,反映矿石质量较好。

广西堆积三水铝土矿为高铁高硅低铝类型矿石,未达到国家标准(GB/T24483—2009)技术要求,现根据该类型矿石大量选冶试验研究成果制订了临时工业指标:高铁三水铝土矿:工业品位 $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 25\%$;边界品位 $25\% > \text{Al}_2\text{O}_3 \geq 20\%$;含铁锰三水铝土矿: $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 20\%$;高铝褐铁矿 $\text{Al}_2\text{O}_3 < 20\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 35\%$ 。其他指标:矿体含矿率 $\geq 100 \text{ kg/m}^3$,矿石最小粒径 $\geq 1 \text{ mm}$,最小可采厚度 $\geq 0.5 \text{ m}$ 。根据以上临时指标,本矿石类型主要有高铁三水铝土矿、含铁锰三水铝土矿两个类型,另有高铝褐铁矿

表1 广西铝土矿类型划分表
Table 1 List of bauxite deposit types in Guangxi

矿床分类				典型矿床		主要分布地区
一级	二级	三级	四级	矿床式(亚类型)	矿床	
表生作用矿床	风化型矿床	堆积型矿床	堆积型矿床	平果式(堆积一水硬铝石型)	平果那豆	桂西那坡、靖西、德保、平果、田东、田阳、大化、隆安等一带
						桂西北凌云、乐业、河池等一带
						桂西北田林、隆林一带
						桂西南武鸣、龙州、凭祥、宁明、崇左一带
外生矿床	化学沉积型矿床	沉积型(古风化壳型)矿床	沉积型(古风化壳型)矿床	布绒式(沉积一水硬铝石型)	平果布绒	桂西北河池、桂中来宾、合山、上林一带
						桂中来宾、宾阳、贵港、横县一带
						桂西南南宁、扶绥、龙州一带
						桂西那坡、靖西、德保、平果、田东、田阳、大化、隆安等一带
沉积作用矿床	化学沉积型矿床	沉积型(古风化壳型)矿床	沉积型(古风化壳型)矿床	布绒式(沉积一水硬铝石型)	平果布绒	桂西北凌云、乐业、河池等一带
						桂西北田林、隆林一带
						桂西南龙州、凭祥、宁明、崇左、武鸣一带
						桂西北河池、桂中来宾、合山、上林一带

注:表中矿床类型采用《全国省(自治区、直辖市)矿产地质与区域成矿规律综合研究(矿产地质志)技术要求》进行划分。

等共生铁矿石 1 个类型, 已查明资源储量的矿区中, 除了南宁市铈圩、横县六相、扶绥县昌平和贵港市龙庆等矿区以高铝褐铁矿为主之外, 其他矿区均以高铁三水铝土矿为主, 其次为高铝褐铁矿, 含铁锰三水铝土矿矿石占比多在 10% 以下。

2 典型矿床特征

2.1 平果市布绒沉积—水硬铝石型铝土矿

矿区位于滇黔桂被动陆缘之南盘江—右江裂谷盆地东南端, 属右江复向斜轴部东南段。矿区构造为布绒向斜, 其总长约 6 km, 宽约 1.5 km, 矿区内形成基本封闭之矿层露头带, 呈似鱼鳔状(图 1) 出露, 由于风化剥蚀及断层影响, 被切割成多个矿体。含矿岩系为上二叠统合山组(图 2), 含矿层为合山组下段(P_3h^1), 沉积铝土矿体平行不整合覆于中二叠统茅口组灰岩的古岩溶侵蚀面上。矿体成层状,

顶板为煤层或炭质页岩, 局部由于煤层及炭质页岩尖灭而使铝土矿直接与上层灰岩接触。合山组含矿层厚 28.2 ~ 58.03 m, 一般多为 35 ~ 40 m。有主要矿体 3 个, 矿体厚 1.5 ~ 2.5 m, 最厚 6.75 m。铝土矿大致可分为氧化和未氧化矿石两种, 矿石矿物主要为一水硬铝石, 其他矿物有黄铁矿, 水云母等。矿石呈褐灰色、棕红色、棕灰色等, 未氧化矿石呈灰色、灰黑色等。矿石致密块状、质坚硬; 矿石体重约 2.4 g/cm^3 。矿石具有豆状结构, 层状和块状构造。矿石组分(ω): Al_2O_3 66.44%、 TFe 5.55%、 SiO_2 7.15%、 TiO_2 5.25%、 S 0.13%、 CO_2 0.12%、 Ga 0.015 6%、灼失量 14.10%, A/S 9.29。单矿体 A/S 6.57 ~ 9.56, 平均 8.83。

2.2 平果市那豆堆积—水硬铝石型铝土矿

那豆堆积铝土矿分布于那豆复背斜南西翼(图 3), 基岩主体为一单斜构造。原生沉积铝土矿分布

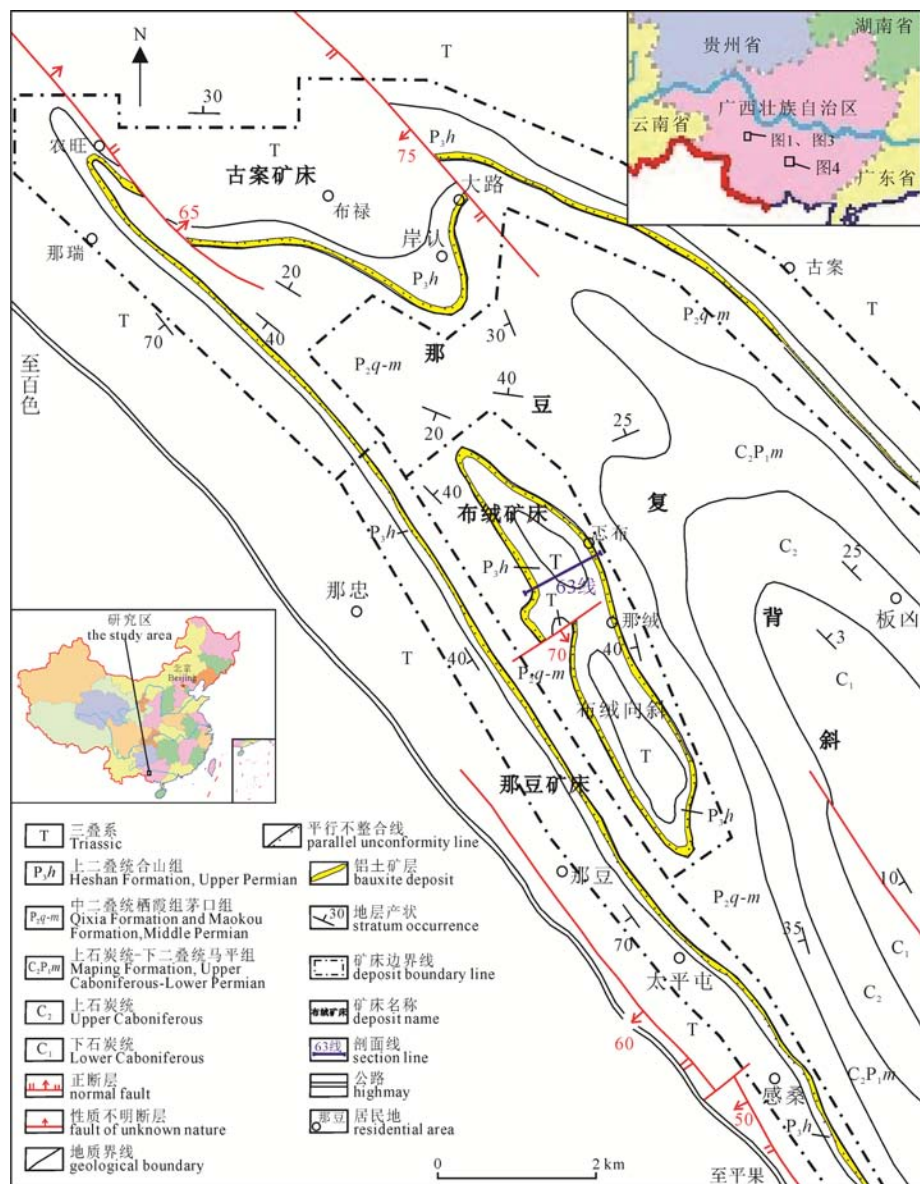


图 1 平果市布绒沉积铝土矿地质简图

Fig. 1 Sketch geological map of Burong sedimentary bauxite deposit in Pingguo city

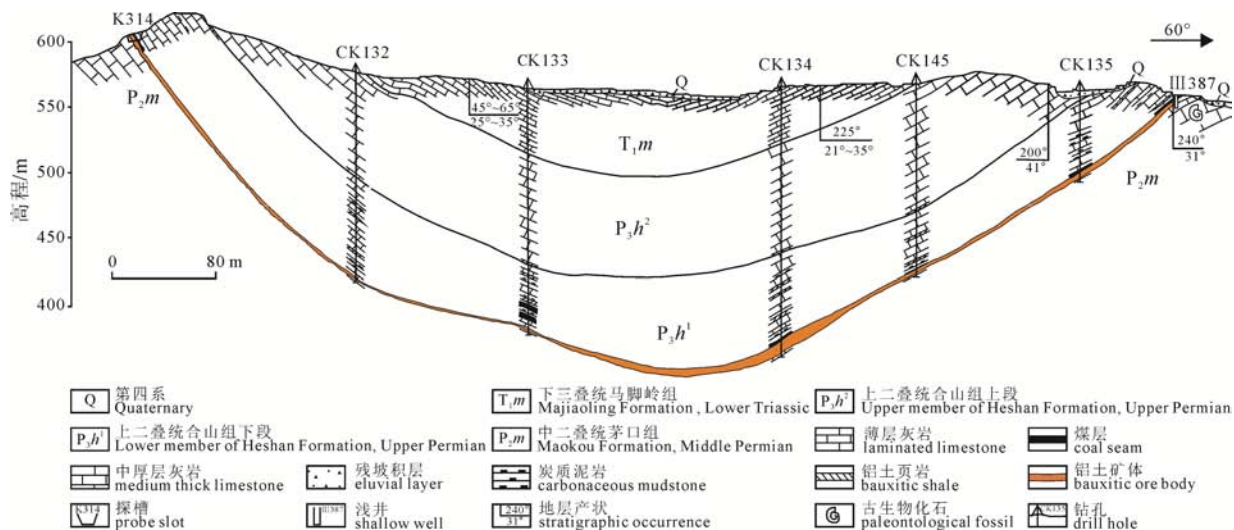


图2 平果市布绒沉积铝土矿 63 线地质剖面图

Fig. 2 The 63 line geological section map of Burong sedimentary bauxite deposit in Pingguo city

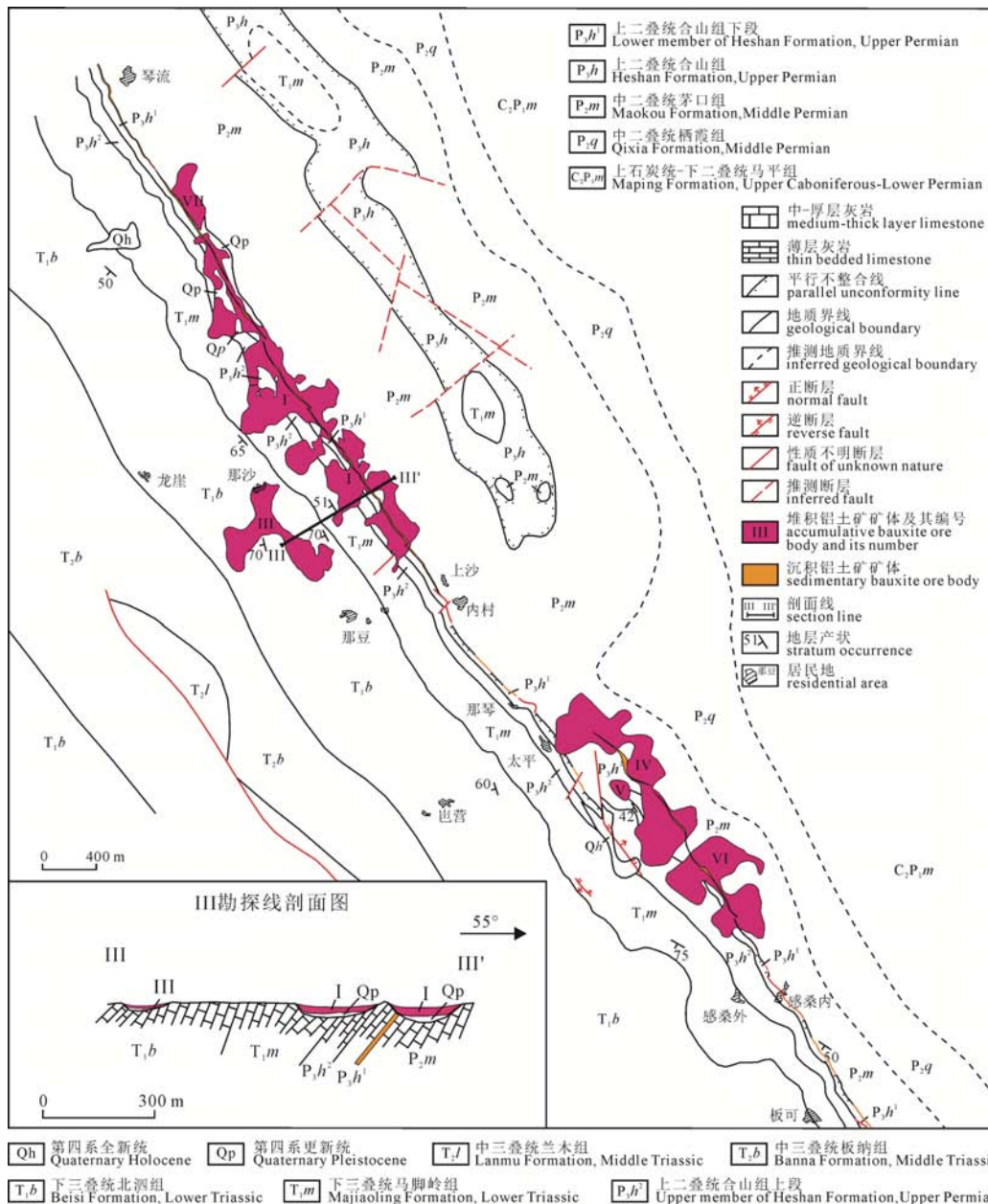


图3 平果市那豆堆积铝土矿地质简图

Fig. 3 Sketch geological map of Nadou accumulation bauxite deposit in Pingguo city

在背斜两翼, 形成一矿层露头封闭圈, 堆积铝土矿即分布在其两侧, 矿体形态呈长条状、分枝状、多环状及不规则状, 与岩溶沟谷、洼地、槽谷等地貌有关; 近原生矿层的堆积矿体规模较大、含矿率高、矿石块度大。堆积型铝土矿含矿层即岩溶洼地、谷地中的第四纪红土层, 厚度一般 3~15 m, 最厚 > 30 m, 矿层明显具三元结构。共有矿体 45 个, 矿体平面上呈条带状、环状、枝状、不规则状, 剖面呈层状、似层状、透镜状、窝状或漏斗状等, 倾向与坡向一致。矿体规模大小悬殊, 矿体平均长 1 376 m, 宽 296 m, 最大矿体长 4 575 m, 宽 60~805 m, 厚 5.05 m。矿石矿物为一水硬铝石, 其次为赤铁矿、高岭石、针铁矿、绿泥石、三水铝石、锐钛矿, 少量石英、埃洛石等, 具隐晶-胶状、粒状、自形-半自形晶、交代结构, 巨砾或块状、多孔状、豆状、鲕状构造。矿石化学组分(ω): Al_2O_3 40.07%~76.62%, 平均 58.92%; SiO_2 1.00%~23.70%, 平均 6.22%; Fe_2O_3 2.63%~59.87%, 平均 16.41%; 灼失量

10.68%~17.50%, 平均 13.68%; TiO_2 1.50%~4.64%, 平均 3.40%; CaO 0.052%、 MgO 0.071%、 S 0.072%、 Ga 0.007 5%、稀土(TRE_2O_3)0.093%、 Nb_2O_5 0.030 5%、 Ta_2O_5 0.002 5%、 Sc_2O_5 0.007 5%、 A/S 2.64~50.49, 平均 9.48。

2.3 宾阳县稔竹—王灵堆积三水铝石型铝土矿

矿区位于大瑶山陆缘沉降带南西端镇龙山穹窿北西部黎塘断陷带内, 矿区普遍为第四系覆盖, 局部出露泥盆系、石炭系和下白垩统永福群等(图 4)。区内中—上泥盆统、石炭系、二叠系等均为碳酸盐岩; 第四系更新统为钙红土风化残余堆积层或钙红土化风化壳, 厚 0~30 m, 平均厚 8~15 m, 为三水铝土矿的赋矿层位。红土风化壳具有明显的三元分带现象, 上部为红土带, 下部为杂色黏土带, 底部为半风化带。其中红土带又细分为红土层(表土层)和三水铝土矿层; 杂色黏土带又细分为网纹状红土层、黄色黏土层、高岭石黏土层和伊利石黏土层(微-半风化层)。三水铝土矿类型可分为冲-坡积

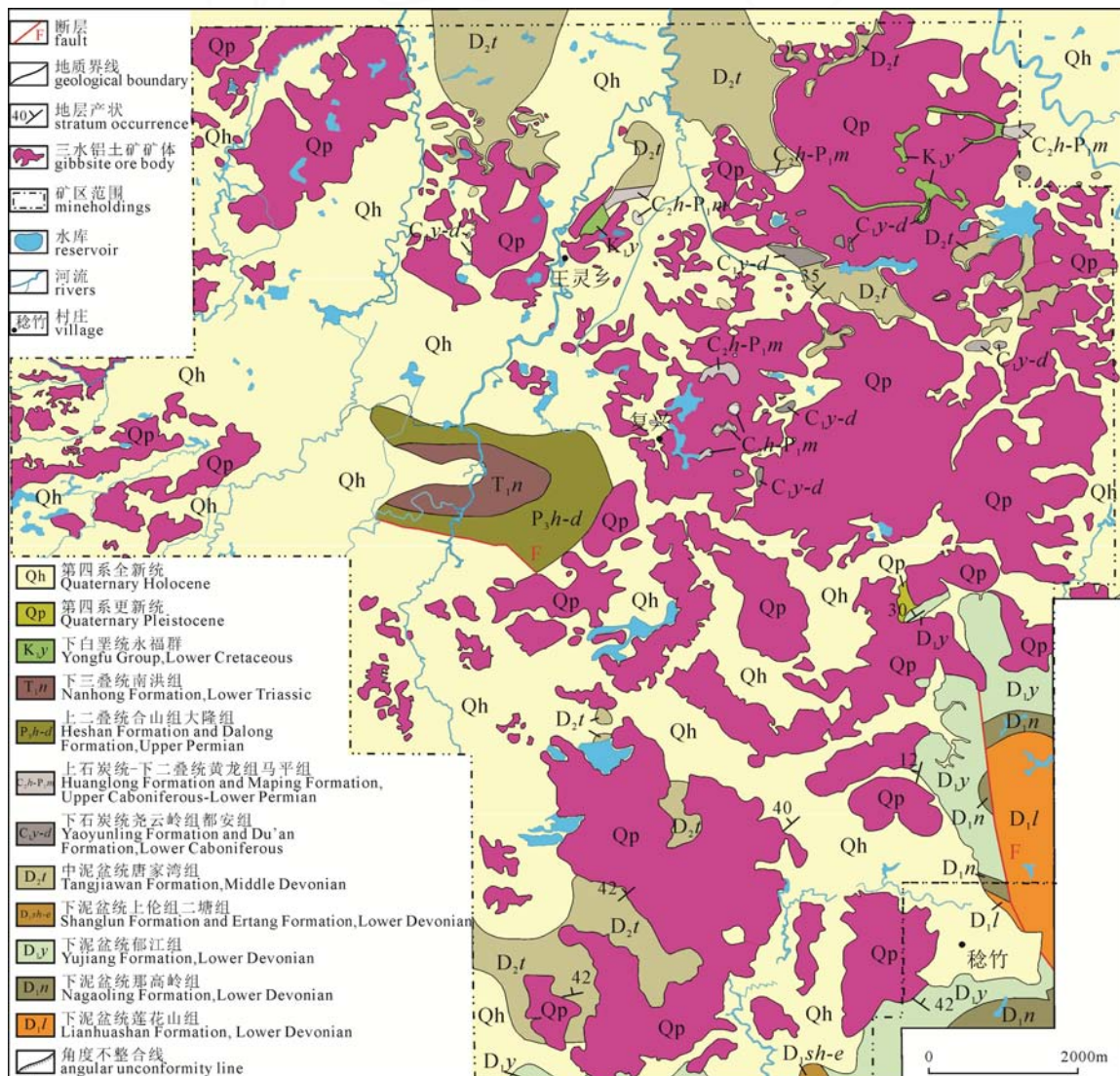


图 4 宾阳县稔竹—王灵三水铝土矿地质简图

Fig. 4 Sketch geological map of Renzhu-Wangling accumulation gibbsite deposit in Binyang county

型、残-堆积淋积型两种,以残-堆积淋积型为主。含矿层分布面积达 90 km²,共查明矿体 31 个,其总面积 35.857 km²,矿体面积 0.022~6.68 km²,矿体平均厚 1.00~4.27 m,总平均厚 3.42 m,平均含矿率 635 kg/m³。矿体集中连片分布,呈不规则状、面状、港湾状,剖面上呈似层状、透镜状,多裸露地表,产状与地形一致。主矿体长 4 km,宽 3.1 km,面积 8.65 km²。矿石绝大部分裸露地表,矿体平均厚 4.89 m,最厚 13.79 m,含矿率 456 kg/m³, $\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 30.15%, $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 37.88%, $\omega(\text{SiO}_2)$ 8.75%,A/S 3.45。矿石呈红褐、黄褐、浅黄、灰白色等杂色,粒径相差大,一般为 0.35~5.00 cm。大块度矿石多呈巨砾状、砾块状,砾径逾 1 m,小块度矿石呈结核状、姜块状、豆状、鲕石状、蠕虫花斑状。矿石质量较差(广西第六地质队,2010)。

3 铝土矿分布特征及成矿规律

3.1 铝土矿矿集区及矿床分布特征

桂西地区和桂中地区是广西大、中型一水硬铝石型、三水铝石型铝土矿床的主要集中区。一水硬铝石型铝土矿床主要集中于百色市的平果、田阳、田东、德保、靖西和那坡 6 个县(区)市,共有 27 个大、中型矿床,占全区大、中型铝土矿床数量的 77.14%。桂中地区来宾市、贵港市和南宁市的宾阳、横州毗连区则是堆积三水铝石型铝土矿集中区。

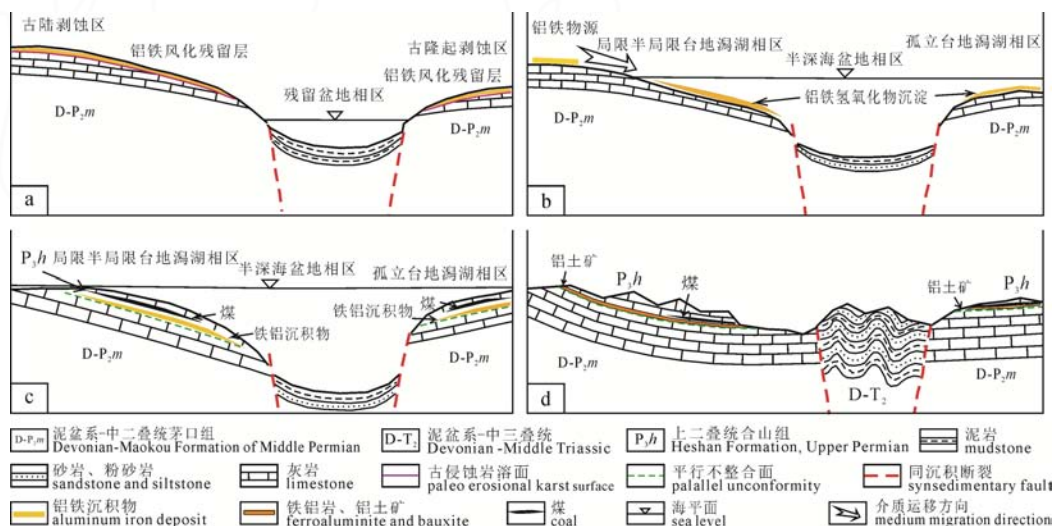
一水硬铝石型铝土矿矿集区以靖西—德保—那坡一带矿床查明资源储量较大,该地区铝土矿床大致构成两个次级矿床集中区,即靖西—那坡集中区和德保集中区。其中前者查明矿床有大型 7 处,中型 7 处,小型 1 处,主要有靖西市新圩 V—VI 号矿体、

南坡、孟麻街和那坡县龙合等矿床(广西第四地质队,2011),总资源储量达 3.464×10⁸ t;后者查明资源储量规模有大型 3 处,中型 2 处,小型 1 处,主要有德保县巴头、马隘、那甲、东凌等矿床,总资源储量达 1.112×10⁸ t;平果集中区则包括平果、田阳、田东 3 县(区)市的铝土矿,查明矿床有大型 3 处,中型 6 处,小型 16 处,主要有平果市那豆、教美、太平、田东县大板等矿床,总查明资源储量 3.438×10⁸ t。另一个矿床集中区为桂西南扶绥—龙州集中区,查明矿床有大型 2 处,中型 5 处,小型 3 处,总查明资源储量 1.217×10⁸ t。三水铝石型铝土矿矿床集中区为来宾—宾阳—贵港—横州,查明矿床有大型 7 处,中型 5 处,小型 5 处,总查明资源储量 3.329×10⁸ t。

3.2 成矿规律

广西沉积—水硬铝石型铝土矿矿床生成于晚二叠世,堆积—水硬铝石型矿床一般认为属第四纪成矿,但桂西、桂西南地区的堆积—水硬铝石型铝土矿形成年代稍早,为中生代至第四纪,而桂中、桂西南地区的堆积三水铝石型铝土矿则为第四纪成矿。沉积和堆积—水硬铝石型铝土矿主要分布于富宁—那坡陆缘沉降带和南盘江—右江裂谷盆地、桂中—桂东北拗陷内,尤其是该带内的残留台地碳酸盐岩区,是这两类矿床的集中分布区;堆积三水铝石型铝土矿主要分布于大瑶山陆缘沉降带南部。

根据典型矿床研究,广西铝土矿划分为 3 个矿床式,即布绒式-沉积—水硬铝石型铝土矿、平果式-堆积—水硬铝石型铝土矿和贵港式-堆积三水铝石型铝土矿。各矿床式成矿模式见图 5、图 6 和图 7 所示。

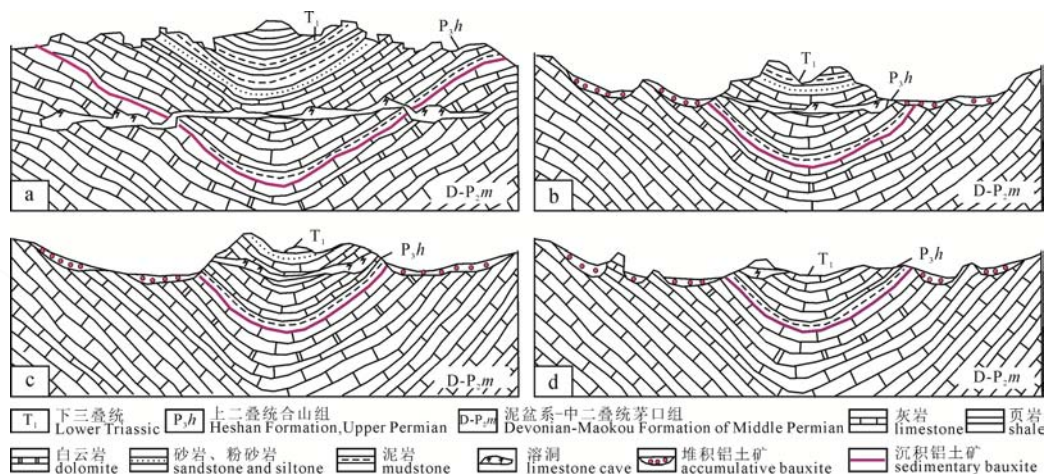


a—铝、铁古风化壳初步富集期; b—铝、铁迁移沉积期; c—铝、铁沉积物压实埋藏成岩期; d—铁铝岩、铝土矿抬升剥蚀期。

a—aluminium and iron preliminary enrichment period on ancient weathered crust; b—aluminium and iron migration sedimentation period; c—compaction burial diagenesis stage of aluminium and iron sediment; d—ferrolite mudrock or bauxite uplift and erosion period.

图 5 布绒式沉积—水硬铝石型铝土矿成矿模式图

Fig. 5 Metallogenic model map of Burong style sedimentary-diaspora type deposit

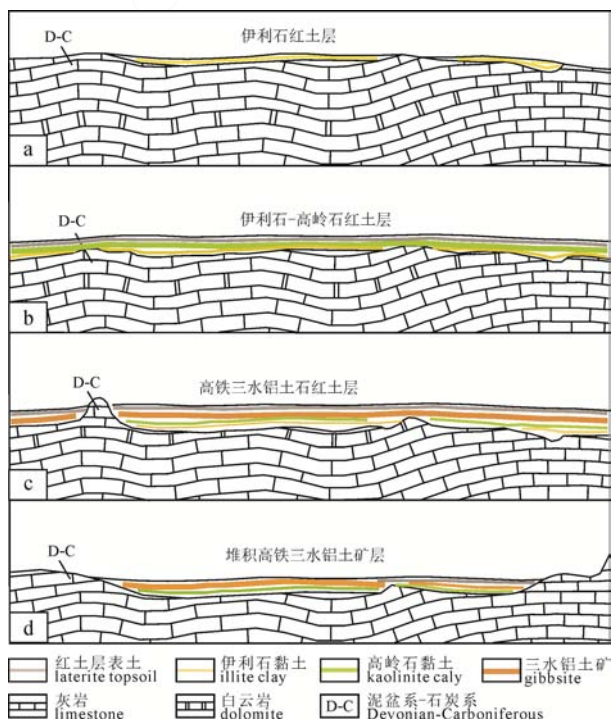


a—围岩溶蚀阶段; b—初始堆积成矿阶段; c—改造搬运成矿阶段; d—堆积富集成矿阶段。

a-surrounding rock dissolution stage; b-initial accumulation and mineralization stage; c-transformation, transportation, mineralization stage; d-accumulation and enrichment stage.

图6 平果式堆积—水硬铝石型铝土矿成矿模式图

Fig. 6 Metallogenic model map of Pingguo style accumulation-diaspora type deposit



a—岩溶作用初步红土化阶段; b—红土高岭石化阶段;

c—高铁三水铝土矿化阶段; d—堆积成矿阶段。

a-preliminary stage of laterization in karst process; b-lateritic kaolinization stage; c-mineralization stage of high-iron gibbsite; d-accumulation mineralization stage.

图7 贵港式堆积三水铝石型铝土矿成矿模式图

Fig. 7 Metallogenic model map of Guigang style accumulation-gibbsite type deposit

4 矿床成因及成矿系列

4.1 一水硬铝石型铝土矿成因

桂西地区属滇黔桂被动陆缘之南盘江—右江裂谷盆地的一部分(广西壮族自治区地质矿产局, 1985), 右江盆地于早泥盆世晚埃姆斯期开始强烈伸展(罗允义等, 2004)、裂隙, 由于受到由北西西向

和北东向的同沉积断裂控制, 基本奠定了台地—台间深水海槽间列的盆地沉积格局(杜远生等, 2013)。规模最大的古台地为凌云—巴马—大化台地, 其次为靖西—田东台地, 其中, 靖西—田东台地为半孤立台地, 乐业、凌云—巴马—大化、平果台地为孤立台地。大新古陆边缘可能亦为台地, 台地周缘普遍发育台缘礁。已发现的与合山组铝土岩有关的矿床无一例外均分布于台地之中。沉积—水硬铝石型铝土矿床主要受控于两个因素: ①晚二叠世东吴运动形成的古岩溶风化带: 多分布于上二叠统底部古岩溶发育完善的桂西、桂西南地区, 矿体即古岩溶面风化沉积层; 堆积—水硬铝石型矿床则为沉积型铝土矿床的风化剥蚀产物, 两者相伴产出(杨震, 2010); ②残留的煤系地层构成的褶皱构造: 多构成复式褶皱, 一般为煤—硫—铝共生沉积成矿, 其中以桂西北凤山、天峨等地查明的资源储量较大, 如凤山县福家坡和干良平—马鞍山硫铁矿伴生铝土矿, 查明资源储量均达到大型规模。而桂西、桂西南地区的沉积铝土矿则多为中、小型矿床。

桂西地区—水硬铝石堆积铝土矿绝大多数成矿物来自上二叠统合山组底部的沉积型铝土矿层, 但也有少数矿区成矿物质来源于泥盆系—石炭系间平行不整合面上的铁铝岩, 如龙州地区金龙—科甲—水口一带堆积铝土矿区可能来自都安组(C₁₋₂d)底部古岩溶风化壳底部铁铝岩层(梁裕平等, 2007; 邓军, 2011; 李小林, 2011)。

4.2 三水铝石型铝土矿成因

广西红土型三水铝土矿体广泛分布于泥盆系—石炭系碳酸盐岩风化区红土丘陵地带, 基岩主要为碳酸盐岩, 矿体主要赋存于溶蚀平原或准平原内的低丘、矮岭和台地的红土风化壳中(周芳和陈世益,

1994)。第四纪红土型风化壳以北回归线附近及其以南地区普遍发育,尤其集中在桂中的贵港、来宾、横州、宾阳和桂西南的武鸣、扶绥、崇左及龙州等地,而平果—靖西地区这类矿石并不发育,其首要原因为准平原化程度不同。桂西和桂西北地区的气候条件可满足红土化风化壳形成要求并已广泛发育,但这些地区远未达到准平原化程度,因此大部分红土风化壳中只存在堆积—水硬铝石型矿床,仅矿石胶结物—胶泥中形成未结块的三水铝石并与高岭土、伊利石等混杂构成红土,难以开发利用。而扶绥—崇左地区具有一定的准平原化,可见到—水硬铝石型铝土矿与三水铝石型铝土矿共生现象,一般红土层下部为一水硬铝石矿层,上部为三水铝石矿层,这表明—水硬铝石型铝土矿较三水铝石型铝土矿形成时间早,矿石保留沉积铝土矿结构构造,无外壳,表面与内部成分均一,而三水铝土矿形成较晚,由碳酸盐岩风化残积的伊利石水解成高岭土并最后分解成三水铝石结块而成。由此可见,堆积三水铝土矿为更新世中晚期在准平原化红土风化壳中经由碳酸盐岩溶蚀形成伊利石层,伊利石水解成高岭土后进一步水解成三水铝石结块而成。另据谌建国等研究(谌建国等, 1999),贵港式三水铝土矿缺少或不合软水铝石,是由于广西第四纪以来年均气温低于 25℃,相当于现代 22℃的内陆亚热带气候。而三水铝土矿中富含铁、局部富锰的原因是由于本地区老地层普遍有含铁、锰碎屑岩夹层,其风化产生的含铁、锰物质,以细小的粒子被迁移到风化壳上充填到孔隙中所致。

4.3 广西铝土矿成矿系列划分

参考全国成矿系列划分方案(陈毓川等, 2015),广西铝土矿成矿系列划分为①与沉积作用有关的矿床系列组合和②与风化作用有关的矿床成矿系列组合两大系列组合,其中布绒式沉积—水硬铝石型铝土矿属于①系列组合中的滨海—浅海相沉积矿床成矿系列类型之晚二叠世滨海—浅海相铝、煤、黄铁矿床成矿系列;平果式堆积—水硬铝石型铝土矿和贵

港式堆积三水铝土矿均属于②系列组合中的堆积型锰、铁、铝、水晶、磷矿床成矿系列。

5 找矿方向

5.1 成矿远景区

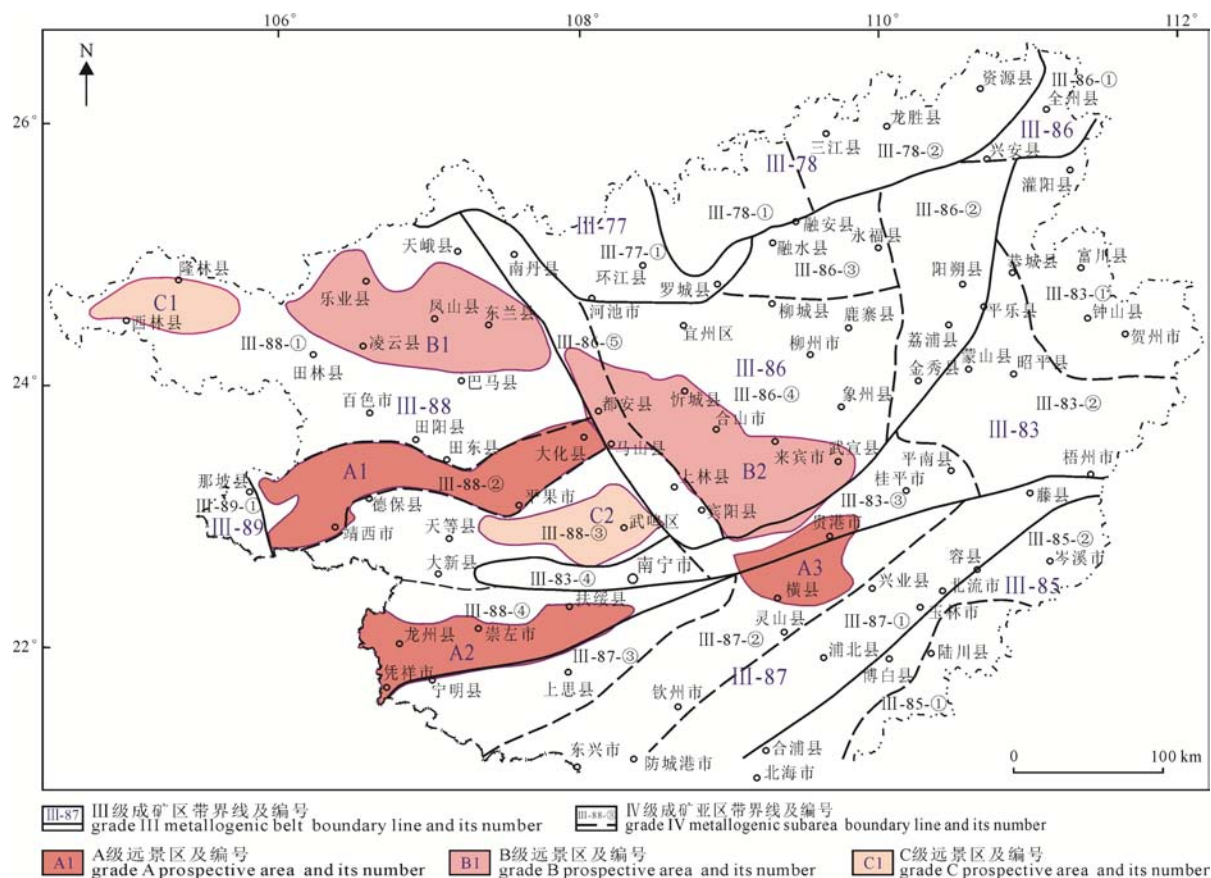
成矿远景区按《重要矿产预测类型划分方案》(陈毓川等, 2010)预测区划分原则划分等级,即: A 类远景区: 成矿概率=0.8, 成矿条件十分有利, 预测依据充分, 成矿匹配程度高, 资源预测量为大型, 埋藏在可采深度以内, 综合外部环境较好, 可获明显经济效益, 可优先安排勘查工作区; B 类远景区: 成矿概率=0.6 而 < 0.8, 成矿条件有利, 有预测依据, 成矿匹配程度高, 资源预测量为中型, 可获经济效益, 可优先考虑安排勘查工作区; C 类远景区: 成矿概率=0.3 而 < 0.6, 具有成矿条件, 有可发现资源, 可探索的地区。根据以上划分标准, 参考广西矿产资源潜力评价成果, 将广西铝土矿划分了 7 个成矿远景区, 其中 A 类远景区 3 个, B 类远景区 2 个, C 类远景区 2 个(表 2, 图 8), 总预测铝土矿资源量 $172\ 481 \times 10^4$ t, 其中布绒式铝土矿资源量 $117\ 778 \times 10^4$ t, 平果式铝土矿资源量 $26\ 769 \times 10^4$ t, 贵港式铝土矿资源量 $27\ 934 \times 10^4$ t。

5.2 找矿方向及找矿要点

从表 2 可见, 未来广西铝土矿找矿方向以沉积—水硬铝石型铝土矿为重点, 其潜力资源量可达 11.78×10^8 t 以上, 而堆积—水硬铝石型铝土矿和堆积三水铝石型铝土矿也有一定的找矿潜力。在 A、B 类成矿远景区中, 那坡—平果成矿远景区(A1)、凭祥—扶绥成矿远景区(A2)和都安—来宾成矿远景区(B2), 沉积—水硬铝石型铝土矿均具有较大的找矿潜力。近年来, 广西在乐业—凌云成矿远景区(B2)新探明两处大型硫铁矿床, 即凤山县福家坡和凤山县干良平—天峨县马鞍山硫铁矿床(山东省第五地质矿产勘查院, 2016, 2017), 其探明的伴生铝土矿均达到大型规模。该类矿床为开采选冶硫铁矿的同时回收尾矿, 以粗铝土矿粉作为产品, 其品位:

表 2 广西铝土矿成矿远景区预测资源量
Table 2 The predicted resources of bauxite deposit metallogenic prospective areas in Guangxi

编号	名称	类别	面积 /km ²	预测(潜力)资源量/($\times 10^4$ t)				
				小计	布绒式铝土矿	平果式铝土矿	贵港式铝土矿	小计
A1	那坡—平果成矿远景区	A	8 901	85	34 433	10 448	—	44 881
A2	凭祥—扶绥成矿远景区	A	6 411	53	44 859	11 277	—	56 136
A3	贵港—横县成矿远景区	A	3 295	19	—	—	27 934	27 934
B1	乐业—凌云成矿远景区	B	10 073	38	838	1 324	—	2 162
B2	都安—来宾成矿远景区	B	11 763	32	24 998	813	—	25 811
C1	隆林成矿远景区	C	2 893	12	1 722	141	—	1 863
C2	隆安—武鸣成矿远景区	C	3 787	13	10 928	2 766	—	13 694
总计				233	117 778	26 769	27 934	172 481



广西铝土矿成矿远景区: A1—那坡—平果成矿远景区; A2—凭祥—扶绥成矿远景区; A3—贵港—横州成矿远景区;
B1—乐业—凌云成矿远景区; B2—都安—来宾成矿远景区; C1—隆林成矿远景区; C2—隆安—武鸣成矿远景区;
广西三级、四级成矿带: III-77—上扬子中东部(坳陷带)成矿带; III-77-①—环江—罗城成矿亚带; III-78—江南隆起西段成矿带;
III-78-①—元宝山成矿亚带; III-78-②—龙胜—越城岭成矿亚带; III-86—湘中—桂中北(坳陷)成矿带; III-86-①—全州成矿亚带;
III-86-②—桂林—阳朔成矿亚带; III-86-③—融安成矿亚带; III-86-④—桂中成矿亚带; III-86-⑤—南丹—大明山成矿亚带;
III-83—南岭成矿带; III-83-①—富贺钟成矿亚带; III-83-②—大瑶山成矿亚带; III-83-③—贵港—桂平成矿亚带;
III-83-④—西大明山成矿亚带; III-85—粤西—桂东南成矿带; III-85-①—云开大山成矿亚带; III-85-②—岑溪—北海成矿亚带;
III-87—钦州(残海)成矿带; III-87-①—六万大山成矿亚带; III-87-②—钦州—灵山成矿亚带; III-87-③—宁明—上思成矿亚带;
III-88—桂西—黔西南—滇东(右江海槽)成矿带; III-88-①—桂西北成矿亚带; III-88-②—靖西—平果成矿亚带;
III-88-③—大新—武鸣成矿亚带; III-88-④—凭祥—崇左成矿亚带; III-89—滇东南南部成矿带; III-89-①—那坡成矿亚带。
Bauxite deposit metallogenic prospective areas in Guangxi: A1—Napo—Pingguo metallogenic prospective area; A2—Pingxiang—Fusui metallogenic prospective area; A3—Guigang—Hengzhou metallogenic prospective area; B1—Leye—Lingyun metallogenic prospective area; B2—Du'an—Laibin metallogenic prospective area; C1—Longlin metallogenic prospective area; C2—Long'an—Wuming metallogenic prospective area;
III and IV stage metallogenic belts in Guangxi: III-77—middle and east of upper Yangtze (depression zone) metallogenic belt;
III-77-①—Huanjiang—Luocheng metallogenic sub belt; III-78—western section of Jiangnan bulge metallogenic belt; III-78-①—Yuanbaoshan metallogenic sub belt; III-78-②—Longsheng—Yuechengling metallogenic sub belt; III-86—Middle Hunan—Middle and Northern Gungxi (depression zone) metallogenic belt; III-86-①—Quanzhou metallogenic sub belt; III-86-②—Guilin—Yangshuo metallogenic sub belt; III-86-③—Rong'an; III-86-④—Middle Gungxi metallogenic sub area; III-86-⑤—Nandan—Damingshan metallogenic sub belt; III-83—Nanling metallogenic belt; III-83-①—Fuchuan—Hezhou—Zhongshan metallogenic sub belt; III-83-②—Dayaoshan metallogenic sub area; III-83-③—Guigang—Guiping metallogenic sub belt; III-83-④—Western Damingshan metallogenic sub belt; III-85—Western Guangdong—Southeast Guangxi metallogenic belt; III-85-①—Yunkaidashan metallogenic sub belt; III-85-②—Cenxi—Beihai metallogenic sub belt; III-87—Qinzhou (residual sea) metallogenic belt; III-87-①—Liuwandashan metallogenic sub belt; III-87-②—Qinzhou—Lingshan metallogenic sub belt; III-87-③—Ningming—Shangsi metallogenic sub belt; III-88—Western Guangxi—southwest Guizhou—north of southeast Yunnan (Youjiang trough) metallogenic area; III-88-①—Northwest Guangxi metallogenic sub area; III-88-②—Jingxi—Pingguo metallogenic sub belt; III-88-③—Daxin—Wuming metallogenic sub belt; III-88-④—Pingxiang—Chongzuo metallogenic sub belt; III-89—South of southeast Yunnan metallogenic belt; III-89-①—Napo metallogenic sub belt。

图8 广西铝土矿成矿远景区简图
Fig. 8 Sketch map of metallogenic prospective areas of bauxite deposits in Guangxi

Al_2O_3 48.00%, SiO_2 28.28%, A/S 1.7。粗铝土矿经再次脱泥除硅, 获得铝精矿品位: Al_2O_3 65.50%, SiO_2 13.10%, A/S 5.0。这种产于煤系地层中的沉积铝土矿床规模大, 以往勘查程度低, 主要原因是矿石品位较低, 需要精选才可以获得工业品位矿石。

6 结论

- (1) 广西铝土矿资源丰富, 三个铝土矿成矿类型分布相对集中, 矿石质量以平果、靖西和德保等地的堆积—水硬铝石型铝土矿较佳。
- (2) 沉积—水硬铝石型铝土矿床受控于上二叠

统合山组煤系地层,经风化残留,在岩溶洼地形成堆积—水硬铝石型铝土矿床;三水铝土矿则产于碳酸盐岩红土风化带。

(3)广西铝土矿成矿系列有:①与沉积作用有关的矿床系列组合和②与风化作用有关的矿床系列组合。

(4)广西铝土矿尚具有一定找矿潜力,尤其是沉积—水硬铝石型铝土矿,将是下一步找矿的主要方向。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (No. DD20190379-19).

参考文献:

- 陈毓川,王登红,李厚民,熊先孝,高兰,徐志刚,胜继福,徐钰,袁忠信,白鸽,朱明玉,芮宗瑶,叶会寿,刘喜方,张长青,陈郑辉,王成辉,王永磊,应立娟,张建. 2010. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京:地质出版社.
- 陈毓川,王登红,徐志刚. 2015. 中国重要矿产和区域成矿规律[M]. 北京:地质出版社.
- 谌建国,刘云华,许俊文. 1999. 广西两种三水铝石铝土矿成矿的差异性[J]. 地学前缘, 6(S1): 251-256.
- 邓军. 2011. 广西龙州县金龙铝土矿地质特征及成因初探[J]. 矿产与地质, 25(3): 197-202.
- 杜远生,黄虎,杨江海,黄宏伟,陶平,黄志强,胡丽沙,谢春霞. 2013. 晚古生代—中三叠世右江盆地的格局和转换[J]. 地质论评, 59(1): 1-11.
- 广西第六地质队. 2010. 广西宾阳县稔竹—王灵矿区三水铝土矿普查报告[R]. 贵港:广西第六地质队.
- 广西第四地质队. 2011. 广西靖西县南坡矿区铝土矿勘探报告[R]. 南宁:广西第四地质队.
- 广西壮族自治区地质矿产局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社.
- 广西壮族自治区地质调查院. 2013. 广西壮族自治区矿产资源潜力评价成果报告[R]. 南宁:广西壮族自治区地质调查院.
- 李小林. 2011. 浅析广西崇左地区堆积型铝土矿矿石特殊的分布特征[J]. 南方国土资源, (7): 39-41.
- 梁裕平,邓军,吴天生,李水如,申宇华. 2007. 扶绥—龙州—水铝土矿成矿条件及成矿预测[J]. 南方国土资源, (10): 27-29.
- 罗允义,唐宾,林崇献,李光造,李家钺. 2004. 桂西右江裂谷的伸展作用和伸展不整合[J]. 地质通报, 23(2): 160-168.
- 山东省第五地质矿产勘查院. 2016. 广西凤山县干良平—天峨县马鞍山矿区疏铁矿勘探报告[R]. 泰安:山东省第五地质矿产勘查院.
- 山东省第五地质矿产勘查院. 2017. 广西凤山县福家坡矿区疏铁矿勘探报告[R]. 泰安:山东省第五地质矿产勘查院.
- 杨震. 2010. 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]. 长沙:中南大学.
- 《中国矿产地质志》项目办公室. 2015. 全国省(自治区、直辖市)矿产地质与区域成矿规律综合研究(矿产地质志)技术要求[R]. 北京:《中国矿产地质志》项目办公室: 27-29.
- 周芳,陈世益. 1994. 广西贵港红土风化壳的地球化学特征[J]. 中南矿业学院学报, 25(2): 151-155.
- CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, LI Hou-min, XIONG Xian-xiao, GAO Lan, XU Zhi-gang, SHENG Ji-fu, XU Yu, YUAN Zhong-xin, BAI Ge, ZHU Ming-yu, RUI Zong-yao, YE Hui-shou, LIU Xi-fang, ZHANG Chang-qing, CHEN Zheng-hui, WANG Cheng-hui, WANG Yong-lei, YING Li-juan, ZHANG Jian. 2010. Division for prospecting types of important mineral resources in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, XU Zhi-gang. 2015. Progress on the regularity of major mineral resources and regional metallogenetic regularity in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- China Mineral Geology Project Office. 2015. Technical requirement of mineral geology and comprehensive study of regional metallogenetic laws in China[R]. Beijing: China Mineral Geology Project Office: 27-29(in Chinese).
- DENG Jun. 2011. A preliminary study on the geological characteristics and genesis of the Jinlong bauxite ore in Longzhou, Guangxi Province[J]. Mineral Resources and Geology, 25(3): 197-202(in Chinese with English abstract).
- DU Yuan-sheng, HUANG Hu, YANG Jiang-hai, HUANG Hong-wei, TAO Ping, HUANG Zhi-qiang, HU Li-sha, XIE Chun-xia. 2013. The basin transition from Late Paleozoic to Triassic of the Youjiang Basin and its tectonic significance[J]. Geological Review, 59(1): 1-11(in Chinese with English abstract).
- Guangxi Fourth Geological Team. 2011. The bauxite geological exploration report of Nanpo mining area in Jingxi county, Guangxi[R]. Nanning: Guangxi Fourth Geological Team(in Chinese).
- Guangxi Sixth Geological Team. 2010. The gibbsite survey report of Renzhu-Wangling mining area in Binyang county, Guangxi[R]. Guigang: Guangxi Sixth Geological Team(in Chinese).
- Guangxi Zhuang Autonomous Region Institute of Geological Survey. 2013. Report on evaluation results of mineral resources potential in Guangxi Zhuang Autonomous Region[R]. Nanning: Guangxi Zhuang Autonomous Region Institute of Geological Survey(in Chinese).
- LI Xiao-lin. 2011. Elementary analysis of special distribution characteristics of accumulation type bauxite ore in Chongzuo area, Guangxi[J]. Southern Land and Resources, (7): 39-41(in Chinese).
- LIANG Yu-ping, DENG Jun, WU Tian-sheng, LI Shui-ru, SHEN Yu-hua. 2007. Diaspore bauxite metallogenic condition and metallogenetic prediction in Fusui-Longzhou area[J]. Southern Land and Resources, (10): 27-29(in Chinese).
- LUO Yun-yi, TANG Bin, LIN Chong-xian, LI Guang-zao, LI Jia-xiang. 2004. Extension and extensional unconformity of the Youjiang rift in western Guangxi[J]. Geological Bulletin of China, 23(2): 160-168(in Chinese with English abstract).
- Shandong Fifth Institute of Geological and Mineral Exploration. 2016. The geological exploration report of pyrite deposit in Ganliangping-Ma'anshan mining area, Fengshan County and Tianer County, Guangxi[R]. Tai'an: Shandong Fifth Institute of Geological and Mineral Exploration(in Chinese).
- Shandong Fifth Institute of Geological and Mineral Exploration. 2017. The geological exploration report of pyrite deposit in Fujiapo mining area, Fengshan County, Guangxi[R]. Tai'an: Shandong Fifth Institute of Geological and Mineral Exploration(in Chinese).
- YANG Zhen. 2010. Geological characteristics, genesis and prediction of sedimentary-type bauxite deposit in the Taiping district, Pingguo, Guangxi[D]. Changsha: Central South University(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Fang, CHEN Shi-yi. 1994. Geochemical characteristics of lateritic weathering crust in Guigang, Guangxi[J]. Journal of Central-South Institute of Mining and Metallurgy, 25(2): 151-155(in Chinese with English abstract).

References:

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Guangxi Zhuang Autonomous Region. 1985. Regional geology of Guangxi Zhuang Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- CHEN Jian-guo, LIU Yun-hua, XU Jun-wen. 1999. Differences of mineralization of two gibbsite bauxites in Guangxi province[J]. Earth Science Frontiers, 6(S1): 251-256(in Chinese with English abstract).