

广西平果太平矿区外围铝土矿石工艺矿物学研究

夏瑜¹, 罗星¹, 周卫宁¹, 马荣楷¹, 吴杰², 刘奕志²

(1. 中国有色桂林矿产地质研究院有限公司, 广西 桂林 541004; 2. 桂林理工大学 地球科学学院, 广西 桂林 541009)

摘要: 以广西平果县太平铝土矿区外围的矿石为研究对象, 采用化学分析、X 射线粉晶衍射、光学显微鉴定、X 射线能谱分析等方法对矿石的化学组成、矿物组成、矿物嵌布特征等进行了系统研究。结果表明, 太平矿区外围铝土矿属于高铁的一水硬铝石型铝土矿, 其中 Al_2O_3 含量为 53.06%, A/S 值为 10.74, 适用于拜耳法回收; 共生组分中 Fe_2O_3 、 TiO_2 、Ga、Nb 达到综合回收利用指标。矿石选冶回收的目标元素 Al 主要以一水硬铝石、三水铝石的形式存在, 平衡配分占比分别为 85.9%、6.73%。矿石复杂的结构构造、矿物嵌布粒度、矿石中 Fe、Si 等元素不均匀分布等因素对 Al 的选冶回收有一定的影响。

关键词: 平果县太平矿区; 铝土矿; 工艺矿物学; 一水硬铝石

中图分类号: P575 文献标识码: A 文章编号: 1000-6524(2019)04-0579-08

A study of technological mineralogy of bauxite in the Taiping mining area, Pingguo County, Guangxi

XIA Yu¹, LUO Xing¹, ZHOU Wei-ning¹, MA Rong-kai¹, WU Jie² and LIU Yi-zhi²

(1. Guilin Geology and Mining Co., Ltd., China Nonferrous Metals Group, Guilin 541004, China; 2. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541009, China)

Abstract: Taking the ore in the periphery of the Taiping bauxite mining area in Pingguo County of Guangxi as the research object, the authors systematically studied the chemical composition, mineral composition and mineral distribution characteristics of the ore by means of chemical analysis, X-ray powder diffraction, optical microscopic identification and X-ray energy spectrum analysis. The results show that the bauxite in the periphery of the Taiping mining area belongs to diaspore type bauxite with high iron content, with Al_2O_3 53.06% and A/S ratio 10.74, which is suitable for Bayer process recovery; Fe_2O_3 , TiO_2 , Ga and Nb in the associated components have achieved comprehensive recycling indices. The target element Al for ore smelting and recovery is mainly in the form of diaspore and gibbsite, whose phase proportions are 85.9% and 6.73%, respectively. The complex structure of the ore, the size of the mineral dissemination, the uneven distribution of Fe, Si and other elements in the ore have certain effects on the selection and recovery of Al element.

Key words: Taiping mining area of Pingguo County; bauxite; process mineralogy; diaspore

Fund support: Natural Science Foundation of Guangxi Province of China (Major Program) (2016GXNSFEA380002); Natural Science Foundation of Guangxi Province of China (2016GXNSFBA380143)

桂西堆积型铝土矿是广西当前开发的主要铝资源, 主要分布在平果、靖西、德保一带。自 1958 年发现以来, 诸多地质工作者对该区的矿体特征、成矿物质来源、资源量、成矿规律、矿床成因等做了较为细

收稿日期: 2019-02-20; 接受日期: 2019-05-20; 责任编辑: 尹淑苹
基金项目: 广西自然科学基金重大项目(2016GXNSFEA380002); 广西自然科学基金项目(2016GXNSFBA380143)
作者简介: 夏瑜(1987-), 女, 汉族, 硕士, 主要从事工艺矿物学和矿产综合利用研究, E-mail: 2047508588@qq.com。

致的研究。已有研究认为,桂西堆积型铝土矿是原生铝土矿在表生环境下,经物理、化学风化作用,Ca、Mg、K、Si等元素遭受剥蚀淋滤后迁移流失,Al富集沉淀并堆积成矿形成(王力等,2004;潘思贵,2006;戴塔根等,2007;祝瑞勤等,2011;欧阳承新等,2015)。

桂西堆积型铝土矿的物质来源为二叠系底部的古风化壳型铝土矿层(张起钻,1999),其富集成矿与喜山运动的抬升和地貌有关,矿体形成受到地层、岩性、气候、岩溶地貌、温度等因素影响(郑宇,2011)。矿体分布和质量受到原生铝土矿和岩溶地貌等因素的控制(卢文华等,2000;祝瑞勤等,2011;王新萍,2012)。堆积型铝土矿层普遍发育三元结构,即铝土矿层由上而下分为上部粘土层、中部铝土矿层和下部粘土层(祝瑞勤等,2004)。遥感预测方法在平果铝的太平矿区至教美矿区之间的峰丛洼地之中新圈定出2 500万吨以上的堆积型铝土矿资源量(成功等,2009),矿石储量大,可利用前景良好。

平果铝土矿为桂西堆积型铝土矿的主要组成部分之一,主要由太平、教美、那豆等矿区组成。太平矿区外围堆积型铝土矿位于广西平果县城北北西方向,大地构造位置位于华南准地台右江再生地槽靖西-田东隆起的东部,右江褶皱-断裂带中部。矿区出露地层由老到新为:泥盆系-石炭系-二叠系-三叠系-第三系和第四系。岩性以碳酸盐岩为主,表面覆盖第四纪红土层。矿区构造以NW向为主,主要发育太平向斜及与之褶皱轴平行的断裂构造。太平矿区外围矿体主要分布于岩溶峰丛洼地、谷地之中,赋矿地层为第四系更新统红土层。

太平矿区外围矿区为平果铝土矿的资源接替区,是广西二七四地质队对平果铝土矿外围找矿勘查工作的成果,矿区已圈定121个堆积型铝土矿体,新增资源量(333)65万t,对平果铝土矿的经济持续稳定具有重大意义(祝瑞勤等,2004;余何等,2014)。太平矿区外围铝土矿不同矿体的形态、规模变化较大,当前对矿石样品的研究主要是通过统计分析所得,尚未对矿石进行系统的工艺矿物学研究,对矿石适用的回收工艺缺乏可靠的数据支撑。本次通过系统采样,利用化学分析、光学显微鉴定、能谱-扫描电镜等方法对太平矿区外围堆积型铝土矿的工艺矿物学特征进行了系统研究,确定了矿石化学成分与矿物种类、组构、粒径、共生关系、分布状态等

特征,并对可能影响矿石回收利用的因素进行了初步分析,为矿石加工性能实验研究工艺流程的确定提供了可靠依据。

1 样品采集与分析处理

1.1 样品采集

根据工作区矿体的产出特征、矿石类型和采样条件,采集地质小样和岩矿鉴定样两类样品。地质小样综合考虑矿体特征、矿石品位等因素,采自浅井勘探工程,采用全巷四分法取样,按5 cm、3 cm、1 cm进行分粒级取样;样品脱泥风干后,按各粒级净矿重比例配取5 kg作为一个矿井的地质小样,共采50个浅井,总重250 kg。地质小样进行基本分析后,根据不同矿体的储量、品位按比例进行配矿计算后组合成地质大样(胡荣基,1980;韦立凡,2004;潘晓峰,2012)。岩矿鉴定样采自6个主矿体的33个浅井,根据矿石颜色、结构等特征随机捡样,共44块,规格3 cm×6 cm×9 cm。

1.2 样品制备

地质大样由地质小样经组合、破碎、缩分而得,主要用于化学分析、物相分析、矿石加工性能实验等过程。岩矿鉴定样品则根据岩性、产状等特征分别制成光学显微鉴定使用的光片、薄片,光片面积32 mm×32 mm,厚度10 mm±;薄片面积22 mm×22 mm,厚度0.03 mm,符合行业标准要求(DZ/T075.4-2015;DZ/T075.5-2015)。

1.3 样品分析处理

地质大样的制样、岩矿样的光学显微鉴定、X粉末衍射样品的制备等工作由中国有色桂林矿产地质研究院有限公司资源综合利用研究所完成。光学显微鉴定仪器为莱兹偏光显微镜(型号 ORTHOLIX-II POL BK),照相及图像处理系统为 ArtCam Measure 2.0;矿物粒度以单颗粒最大截距为参数。矿石光/薄片磨制、多元素化学分析由有色金属桂林矿产地质测试中心完成;地质大样的全分析、微量元素定量分析、稀土元素定量分析根据元素含量及分析检验的极限值,分别采用化学滴定法、重量法、原子吸收分光光度计(Z-2010)、紫外可见分光光度计(EV300)、等离子质谱仪(ICAPQ-MS/SN02133R)等方法、仪器完成。扫描电镜能谱分析由桂林理工大学场发射扫描电镜实验室完成,仪器型号分别为:① S-4800型场发射扫描电镜(日本日立公司)/X-MAX

型能谱(英国牛津公司),放大倍率 25 ~ 800 000,化学元素分析范围为 4Be ~ 99Es;② Σ IGMA 型场发射扫描电镜(英国卡尔,蔡司显微镜有限公司),放大倍率 12 ~ 1000 000,化学元素分析范围为 4Be ~ 92U;两者元素含量检出限均为 0.1% (质量分数)。

2 矿石物质成分

2.1 矿石化学组成

矿石主要化学组成为 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 SiO_2 、 TiO_2 、烧失量,含量分别为 55.06%、23.83%、4.94%、3.66%、13.64%,合计 99.19%; Fe_2O_3 、 TiO_2 分别达到有色金属矿产、钛砂矿的综合回收指标;微量元素 Ga、Nb 含量分别为 0.005 7%、0.017 9%,达到铝土矿综合回收指标(DZ/T0202-2002;《矿产资源工业要求手册》编委会,2012)。有害组分 CO_2 、S、CaO + MgO 、 P_2O_5 含量分别为 0.55%、0.025%、0.098%、0.17%,均低于限制值(GB15618-2008)。稀土总量(ΣREO)为 653×10^{-6} ,相对地壳含量明显富集;但离子相稀土总量(ΣREO 离子)为 0.26×10^{-6} ,在稀土总量中占比不到 1%,矿石中稀土元素富集类型为非离子吸附性型,不具备综合回收价值(GB/T 25283-2010)。

矿石化学成分较简单,杂质含量少,矿石利用目标元素为 Al_2O_3 ,含量达到堆积型铝土矿工业利用指标,A/S 值(矿石中 Al、Si 两个元素含量的比值)为 10.74,回收工艺适用于拜耳法(DZ/T0202-2002);具综合回收利用价值元素为 Fe、Ti、Ga、Nb。

2.2 矿石矿物组成

矿石矿物组成较为简单,以一水硬铝石、褐铁矿(主要由针铁矿组成,少量水针铁矿)为主,含量分别为 53.95%、22.84%,少量高岭石、三水铝石、锐钛矿、赤铁矿,含量分别为 8.25%、5.83%、2.8%、2.3%,微量矿物石英、锆石、斜长石、黄铁矿、磁铁矿等总量约为 2.98%。

2.3 矿石结构构造

矿石结构按照结晶程度可分为自形-半自形的晶粒结构和他形晶粒结构两类;按矿石矿物形态、产出状态等特征还可分为粉晶结构-隐晶质结构、粒屑结构、填隙结构等类型。自形-半自形的晶粒结构主要由一水硬铝石组成,少量三水铝石,晶体呈柱状、针状、板状,粒径 0.01 ~ 0.10 mm,主要呈脉状产出。他形晶粒结构为矿石中最主要的结构,主要由一水

硬铝石和铁质氧化物组成,粒径 0.001 ~ 0.050 mm。粉晶结构的颗粒粒径 0.01 ~ 0.05 mm、泥晶结构颗粒粒径 0.004 ~ 0.010 mm、隐晶质结构颗粒粒径 0.001 ~ 0.004 mm。粒屑结构由不规则碎屑颗粒、豆鲕粒及填隙物不均匀分布形成,粒屑含量达 30% ~ 75%,粒屑及填隙物成分主要为铁质氧化物和他形粒状一水硬铝石,少量高岭石、斜长石、石英等。

矿石构造以块状、豆鲕状、(网)脉状构造等为主,还见稠密浸染状、网架状、团块状构造等类型。块状构造由粉晶至泥晶结构的一水硬铝石紧密堆砌形成,常被铁质氧化物浸染呈黄褐色。豆鲕状构造按颜色可分为紫红色、灰白色,按结构可分为单鲕核、复鲕核、复鲕粒和无鲕核、有同心圈层和无同心圈层等类型;物质组成由内往外不均匀分布,主要组分为他形粒状一水硬铝石和铁质氧化物,少量三水铝石、高岭石;填隙物和胶结物成分与豆鲕粒成分相同,致密-疏松胶结。(网)脉状构造主要表现为一水硬铝石、三水铝石成自形-半自形板柱状充填与矿石孔隙中,呈细脉状、网脉状产出。网架状构造主要产于多孔状矿石中,自形-半自形的一水硬铝石呈网架状分布。

3 主要矿物特征

一水硬铝石。按结晶程度可分为两类:第 1 类为他形粒状颗粒,为矿石中主要结构,多呈隐晶质-粉晶结构紧密堆砌生长,基质状在矿石中广泛分布,多被铁质浸染,粒径 0.001 ~ 0.010 mm;第 2 类为自形-半自形的板柱状晶体,多在裂隙、孔洞中产出,呈网脉状、网架状产出,也可与褐铁矿、赤铁矿、高岭石呈鲕粒产出(图 1a ~ 1e);粒径范围集中于 0.05 ~ 0.25 mm。SEM 及 X 射线能谱分析所得元素质量分数为:O 47.84% ~ 54.95% (平均 51.60%)、Al 40.51% ~ 47.92% (平均 46.03%) (表 1)。

三水铝石。按结晶程度可分为两类:一类为他形粒状,粉晶-隐晶质结构,粒径 0.001 ~ 0.010 mm,在矿石中分散分布;另一类为自形柱状-半自形板状,粒径 0.05 ~ 0.10 mm,主要沿裂隙、孔洞发育,垂直产于片状高岭石晶面上或呈脉状产出(图 1e、1f)。X 射线能谱分析所得元素质量分数为:O 56.60% ~ 69.44% (平均 62.22%)、Al 29.52% ~ 36.72% (平均 33.35%)。

高岭石。细小粒状,鳞片状、纤维状集合体(图 1f),SEM 下可见片状晶体,可呈团粒状、基质状、脉

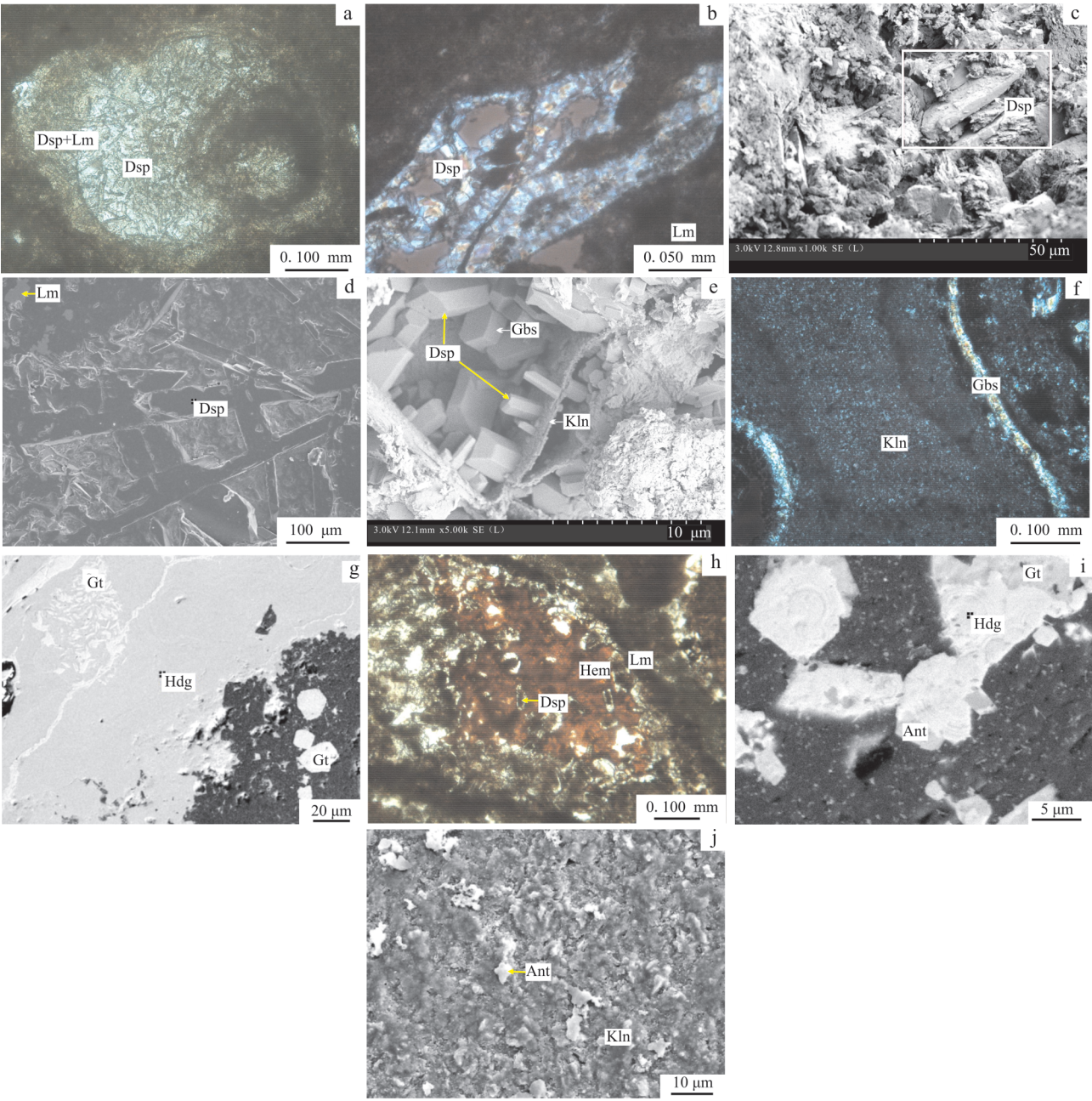


图 1 主要矿物形态特征

Fig. 1 Morphological characteristics of major minerals

a——水硬铝石与褐铁矿组成鲕粒(-); b——自形一水硬铝石垂直脉壁产出(+); c——板状一水硬铝石(SEM); d——网架状一水硬铝石(SEM); e——三水铝石与一水硬铝石产于高岭石之上(SEM); f——脉状三水铝石(+); g——多种产出状态的针铁矿(SEM); h——复鲕, 由褐铁矿、一水硬铝石和赤铁矿组成鲕粒(+); i——锐钛矿与水针铁矿共生(SEM); j——锐钛矿附着于高岭石表面(SEM); Dsp——一水硬铝石; Lm——褐铁矿; Gbs——三水铝石; Kln——高岭石; Hdg——水针铁矿; Gt——针铁矿; Hem——赤铁矿; Ant——锐钛矿

a—oolitic particles composed of diaspore and limonite(-); b—occurrence of vertical vein wall of euhedral diaspore(+); c—plate-shaped diaspore(SEM); d—reticulated diaspore(SEM); e—gibbsite and diaspore on lamellar kaolinite(SEM); f—vein-like gibbsite(+); g—goethite with multiple modes of occurrence(SEM); h—compound oolitic, oolitic consisting of limonite, diaspore and hematite(+); i—anatase associated with hydrogoethite(SEM); j—anatase attached to kaolinite surface(SEM); Dsp—diaspore; Lm—limonite; Gbs—gibbsite; Kln—kaolinite; Hdg—hydrogoethite; Gt—goethite; Hem—hematite; Ant—anatase

表1 主要矿物的X射线能谱分析元素含量 $w_B/\%$

Table 1 Analyses of elemental mass percent content by X-ray energy dispersive spectroscopy for major minerals

矿物类型	O	Al	Si	Ti	Fe	总量
一水硬铝石	54.95	40.51	1.05	2.20	1.29	100
	51.14	47.66	—	0.24	0.96	100
	53.07	46.93	—	—	—	100
	52.85	47.15	—	—	—	100
	52.08	47.92	—	—	—	100
	52.80	46.67	—	—	0.53	100
	50.03	47.95	0.30	1.13	0.59	100
	51.20	42.13	0.77	4.91	0.99	100
	47.87	45.95	0.68	4.82	0.68	100
	49.71	47.63	0.56	0.89	1.20	100
	51.91	45.83	0.34	0.72	1.20	100
三水铝石	59.12	34.56	1.66	3.96	1.45	101
	56.60	36.72	2.44	2.79	0.48	99
	69.44	29.52	0.27	0.28	0.92	100
	63.70	32.59	0.41	2.37	2.16	101
褐铁矿	36.00	—	0.82	1.88	61.30	100
	34.90	1.91	1.03	2.23	60.00	100
	38.40	1.27	0.70	0.36	59.20	100
	38.20	1.05	0.67	0.33	59.70	100
	37.80	2.33	2.23	0.49	57.20	100
	37.90	1.00	0.60	—	60.50	100
	37.30	0.97	0.70	0.35	60.70	100
	37.70	1.02	0.65	0.38	60.30	100
	37.60	1.32	1.01	—	60.10	100
	36.20	1.14	1.04	1.80	59.80	100
赤铁矿	30.16	2.40	0.80	—	66.64	100
	29.56	3.02	1.17	0.54	65.70	100
	27.60	1.77	0.33	1.54	68.76	100
高岭石	57.05	19.90	20.89	1.54	0.61	100
	57.92	19.48	22.60	—	—	100
	53.27	21.50	24.98	0.24	—	100
锐钛矿	51.45	1.77	0.18	40.40	6.21	100
	59.06	1.62	0.71	38.08	0.53	100
	55.00	1.73	0.39	38.88	4.90	101

状以及一水硬铝石鲕粒的外圈层或鲕核产出。扫描电镜及X射线能谱分析所得元素质量分数为：O 53.27%~57.92%（平均56.08%）、Al 19.48%~21.5%（平均20.29%）、Si 20.89%~24.98%（平均22.82%）。

褐铁矿。矿石中广泛分布，主要由针铁矿、含水针铁矿组成，含少量泥质、硅质物杂质。以他形粒状晶体为主，也可见板片状、针状的自形晶；产出形态多样，以浸染状、脉状、豆鲕状为主（图1g、1h）；粒径0.01~0.10 m。扫描电镜及X射线能谱分析所得元素质量分数为：O 34.9%~38.4%（平均37.2%）、Fe 57.2%~61.3%（平均59.88%）。

赤铁矿。他形粒状，主要呈团粒状产出，也可与褐铁矿、高岭石等矿物组成一水硬铝石鲕粒的外圈层（图1h）；脉状、浸染状、团块状产出；粒径0.01~0.10 mm。X射线能谱分析所得元素质量分数为：O 27.6%~30.16%（平均29.11%）、Fe 65.7%~68.76%（平均67.03%）。

锐钛矿。Ti在矿石中可以两种形态存在：一种是以类质同像或机械混入物的形式存在于一水硬铝石、三水铝石、铁质氧化物、高岭石等矿物之中；另一种是以独立矿物锐钛矿产出，与铁质氧化物密切共生或呈微粒状态附着于其他矿物表面（图1i、1j）。X射线能谱分析所得元素质量分数为：O 51.45%~59.06%（平均55.17%）、Ti 38.08%~40.40%（平均39.12%）。

4 Al的平衡配分及影响其回收的工艺矿物学因素

4.1 Al在矿石中的平衡配分

Al为矿石回收的目标元素，在矿石中可以一水硬铝石、三水铝石、高岭石等独立矿物形式存在，也可混入针铁矿、水针铁矿、赤铁矿、石英、锐钛矿等矿物之中。对矿石中主要矿物中的Al₂O₃进行配分计算（表2），结果显示一水硬铝石的Al₂O₃配分率为85.90%，是矿石中Al回收的主目标矿物，三水铝石为6.73%，高岭石仅为7.36%。

表2 Al₂O₃在主要矿物中的平衡配分 %

Table 2 Equilibrium partition of Al₂O₃ in major minerals

矿物名称	相对含量	Al ₂ O ₃ 含量	Al ₂ O ₃ 分配量	配分率
一水硬铝石	53.95	80.71	43.54	85.90
三水铝石	5.83	58.56	3.41	6.73
高岭石	8.25	45.22	3.73	7.36

4.2 影响Al回收的工艺矿物学因素分析

在矿石选冶回收过程中，共伴生元素的种类和含量、目标矿物的嵌布特征等因素对回收工艺和效果的影响较大。影响太平矿区外围铝土矿回收的工艺矿物学因素主要包括以下几个方面：①不同矿体、不同结构构造的铝土矿石中Al、Si含量变化较大，在矿石回选过程中应注意配矿，以保证矿石的A/S>6~7，符合拜耳法溶出法适用范围。②矿石回收的主目标矿物一水硬铝石的嵌布粒度为微细

级,且与褐铁矿、赤铁矿等铁质氧化物密切共生,局部甚至被铁质物封闭式包裹,由于嵌布致密,简单的机械选矿方法难以彻底分离 Al、Fe,需根据矿石中 Fe、Si 的含量变化进行配矿,以避免 Fe 含量过高。高岭石、褐铁矿、赤铁矿及锐钛矿等矿物的 Al 难以从原矿物晶格中分离,势必影响矿石回收率。矿石含高岭石等易碎、易磨矿物,可能产生泥化现象,进而影响赤泥的沉降性。总体而言,太平矿区外围铝土矿石适用工艺成熟,矿石具有较高的利用价值。

5 讨论

平果矿区中那豆、教美、太平及太平矿区外围的铝土矿石的主要化学组成和矿物组成均为 Al_2O_3 和一水硬铝石,但共伴生物质组成存在差异。那豆矿床铝土矿石的矿物组合为一水硬铝石、高岭石、锐钛矿、绿泥石、累托石、叶腊石等,不含三水铝石和石英(王庆飞等, 2008; 侯莹玲等, 2014); 教美铝土矿石的矿物组合中可见一水硬铝石、三水铝石、针铁矿、高岭石、伊利石、鲕绿泥石、针铁矿、锐钛矿等(章颖等, 2015); 太平外围矿区堆积型铝土矿的矿物组成则与桂西地区的田阳、新圩铝土矿的矿物组合更相似,矿物组合以一水硬铝石为主,同时可见三水铝石、石英、铁的氢氧化物(褐铁矿、赤铁矿、针铁矿等),粘土矿物(高岭石、伊利石)含量较少(农恒杰, 1997; 夏楚林等, 2011; 蔡书慧等, 2012)。鲕绿泥石为原生沉积型铝土矿的继承矿物,未完全分解残留在堆积型铝土矿中(王力等, 2004; 侯莹玲等, 2014); 三水铝石则为一水硬铝石经水化作用形成; 而石英则是在淋滤作用较弱的位置,由于 Al 供给不足、 SiO_2 相对过剩析出形成; 随着风化剥蚀的继续, Fe 的质量分数也会相对富集,形成铁的氢氧化物(湛建国等, 1997; 刘云华等, 2004a)。

因此,不同矿物组合可反映出矿床的风化剥蚀程度的差异,本文推测太平矿区外围堆积型铝土矿遭受风化剥蚀的强度和时间均大于教美和那豆矿区。桂西铝土矿床的原生沉积型铝土矿床在风化淋滤作用下, Al_2O_3 、 H_2O 得到富集, Si、Fe、Ti 等组分分离,形成堆积型一水硬铝石型矿床; 在地下水溶液中 Al^{3+} 、 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 浓度及 pH 值等多种因素的作用下,一水硬铝石转变为三水铝石,矿床开始发生退化,并逐步形成堆积型三水铝土矿(湛建国等, 1997; 刘云华等, 2004b)。

综上所述,太平矿区外围铝土矿石与桂西堆积型铝土矿石具有相同的矿物组合,可作为该区矿物组合特征的补充,为进一步探讨桂西堆积型铝土矿的矿床成因和物质迁移提供参考; 另一方面,太平矿区外围铝土矿石中的物质组成及含量与太平、教美、那豆矿区接近,矿石质量好、矿体规模大,矿石回收的目标元素 Al 适用的采选回收工艺与现开采矿区的矿石相同,均适用于拜耳法。在溶出温度为 260°C 、溶出时间为 50 min、石灰用量 6%、铝酸钠母液苛性碱浓度为 240 g/L 的条件下,拜耳法对太平矿区外围铝土矿石的相对溶出率可达 97.32% (袁江涛等, 2017)。因此,太平矿区外围矿石可利用性高,该区可作为平果铝土矿良好的资源潜力开发区。

6 结论

(1) 广西平果太平矿区外围铝土矿矿石回收的目标元素为 Al, Al_2O_3 含量为 53.06%, A/S 值为 10.74, Fe_2O_3 含量 23.83%, 属于高铁的一水硬铝石型铝土矿石,适用的回收工艺为拜耳法。

(2) 矿石中主要矿物为一水硬铝石、褐铁矿(主要由针铁矿组成,少量水针铁矿),少量赤铁矿、三水铝石、高岭石、锐钛矿,微量石英、锆石、黄铁矿等。矿石的结构构造较为复杂。结构以他形粒状为主,在裂隙、孔洞中发育自形-半自形板柱状晶体; 集合体以豆鲕状、粉晶-泥晶、隐晶质结构等类型为主; 构造以致密块状、豆鲕状、(网)脉状等类型为主。矿石按构造可分为豆鲕状、多孔状、块状、土状-半土状矿石等类型。

(3) 矿石中 Al 回收的目标矿物为一水硬铝石、三水铝石,对 Al_2O_3 占比分别为 85.9%、6.73%。影响 Al 回收的工艺矿物学因素主要为: 主目标矿物一水硬铝石的矿物颗粒细小,粒径范围 0.001 ~ 0.010 mm,且常与铁质氧化物和少量高岭石致密嵌布、相互浸染,较难通过机械方式完全破碎分离; 不同矿体的矿石 Al、Si 含量变化较大,需根据矿石中 Fe、Si 的含量变化进行配矿; 矿石中还见少量高岭石,在褐铁矿、赤铁矿及锐钛矿等矿物中也检测到少量 Al,上述矿物中的 Al 难以回收利用,必然影响矿石整体回收率。

致谢 本次研究的野外工作受到广西二七四地质队工程师黄泰江的大力帮助,在此表示感谢!

References

- Cheng Gong, Chen Songling, Zhu Ruiqin, *et al.* 2009. Geological characteristics and remote sensing forecasting of accumulated bauxite of Pingguo[J]. *Light Metals*, 8: 11 ~ 17(in Chinese with English abstract).
- Cai Shuhui, Liu Xuefei, Meng Jianyin, *et al.* 2012. Mineralogy and geochemistry of the Tianyang accumulation-type bauxite in Western Guangxi Province[J]. *Geology and Exploration*, 48(3): 460 ~ 470 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jianguo, Liu Yunhua and Xu Junwen. 1997. The paragenetic deposit of gibbsite and diasporite in Western Guangxi[J]. *Guangxi Geology*, 10(1): 37 ~ 44(in Chinese).
- Dai Tegen, Long Yongzhen, Zhang Qizuan, *et al.* 2007. Geological and geochemical characteristics and metallogenic mechanism of aluminium multimetal deposits in Western Guangxi[J]. *Journal of Earth Science and Environment*, 29(4): 345 ~ 350(in Chinese with English abstract).
- Environmental Protection Department, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the State. 2008. Environmental quality standards for soil[S]. GB15618-2008(in Chinese).
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China, SAC. 2010. Specification for comprehensive exploration and evaluation of mineral resources[S]. GB/T 25283-2010(in Chinese).
- Hou Yingling, He Bin and Zhong Yuting. 2014. New perspective on provenance of the Permian Karstic bauxite in the Western Guangxi: Geochemical evidence of elastic rocks of the Heshan Formation[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(1): 181 ~ 196(in Chinese with English abstract).
- Hu Rongji. 1980. Calculation of Bauxite Allocation[J]. *Light Metals*, 3 ~ 6(in Chinese).
- Liu Yunhua, Huang Tongxing, Chen Jianguo, *et al.* 2004a. Mineralogy of gibbsite in accumulation-type bauxite deposits in western Guangxi [J]. *Geology in China*, 31(1): 413 ~ 419(in Chinese with English abstract).
- Liu Yunhua, Mao Xiaodong and Huang Tongxing. 2004b. Metallogenic mechanism of gibbsite from accumulation bauxite in western Guangxi province[J]. *Journal of Earth Science and Environment*, 26(2): 26 ~ 31(in Chinese with English abstract).
- Lu Wenhua, Wei Yongjian and Liao Sifu. 2000. Research on landforms characteristics of Karst accumulative bauxite deposit in Pingguo and its metallogenic regularity[J]. *Guangxi Geology*, 3(4): 23 ~ 28(in Chinese).
- Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. 2002. Specifications for bauxite, smelter-grade magnesite exploration[S]. DZ/T0202-2002(in Chinese).
- Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. 2015. Specification identification of rock and mineral-Part 4: Thin section identification of rock[S]. DZ/T075. 4-2015(in Chinese).
- Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. 2015. Specification identification of rock and mineral-Part 5: Polished section identification of ore[S]. DZ/T075. 5-2015(in Chinese).
- Manual of requirements for Mineral Resources Industry editorial Committee. 2012. Revised Manual of Requirements for the Mineral Resources Industry[M]. Geological Publishing House(in Chinese).
- Nong Hengjie. 1997. Geological characteristics of Xinyu bauxite deposit in Guangxi[J]. *Light Metal*, (8): 8 ~ 11(in Chinese).
- Ouyang Chengxin, Xi Xiaoshuang and Cao Jingya. 2015. Multifractal characteristic of metallogenic elements of Pingguo accumulated bauxite in Guangxi[J]. *Geological Science and Technology Information*, 34(5): 114 ~ 119(in Chinese with English abstract).
- Pan Sigui. 2006. Discussion about the geologic feature and mineralized pattern of karst accumulated bauxite mine in Pingguo[J]. *Light Metals*, 9: 6 ~ 11(in Chinese with English abstract).
- Pan Xiaofeng. 2012. Raw ore proportioning model of accumulation bauxite mining stage[J]. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 28(2): 140 ~ 143(in Chinese with English abstract).
- Wang Li, Long Yongzhen and Peng Shenglin. 2004. Geologic and geochemical study on material derivation of bauxite deposits in Western Guangxi[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 24(1): 1 ~ 6(in Chinese).
- Wang Xinping. 2012. Regularities of mineralization and abundant-characteristics of Pingguo stacking-type of bauxite[J]. *Hunan Nonferrous Metals*, 28(3): 1 ~ 4(in Chinese with English abstract).
- Wang Qingfei, Deng Jun, Zhang Qizuan, *et al.* 2008. Geochemical characteristics and mineral composition of residual and accumulated bauxite in Nadou Area, Western Guizhou[A]. *Papers of the Ninth National Conference on Minerals[C]*. 831 ~ 832(in Chinese).
- Wei Lifan. 2004. Discussion on mathematical model of ore forming for accumulated bauxite[J]. *Opencast Mining Technology*, 2: 1 ~ 3, 28(in Chinese).
- Xia Chulin, Zhang Qizuan and Gao Li. 2011. Analysis on mineral component and geochemistry of accumulated bauxite in western Guangxi [J]. *Light Metals*, (5): 6 ~ 9(in Chinese with English abstract).
- Yu He and Gou Xiaoli. 2014. Geological characteristics of bauxite ore body outer of taiping mine in Pingguo aluminum of Guangxi[J].

Shanxi Science and Technology, 29(6): 50 ~ 52 (in Chinese with English abstract).

Yuan Jiangtao and Shan Zhiqiang. 2017. Tests on digestion of bauxite from outside of Guangxi Taiping mining area based on Lime-Bayer Method[J]. Metal Mine, 494(8): 118 ~ 121 (in Chinese with English abstract).

Zhang Ying, Wu Gongcheng, Liu Xuefei, *et al.* 2015. Mineral evolution and element migration during the Formation of accumulated bauxite in Jiaomei ore deposit, Pingguo County, Western Guangxi[J]. Geoscience, 29(1): 20 ~ 31 (in Chinese with English abstract).

Zhu Ruiqin, Xi Xiaoshuagn, Wu Qianhong, *et al.* 2011. Enclosed environment for mineralization of accumulative bauxites in Pingguo, Guangxi[J]. Geotectonica et Metallogenia, 35(3): 386 ~ 393 (in Chinese with English abstract).

Zhang Qizuan. 1999. Geology and origin of the Karst-accumulation-type bauxite deposits in west Guangxi[J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 8(6): 486 ~ 489 (in Chinese).

Zhu Ruiqin, Li Xiaoluo and Mo Xiaodong. 2004. Characters of the Karst cumulation type bauxite deposits in The Guangxi Province[J]. Geology and Prospecting, 40(4): 13 ~ 16 (in Chinese).

附中文参考文献

蔡书慧, 刘学飞, 孟健寅, 等. 2012. 桂西田阳堆积型铝土矿矿物学及地球化学[J]. 地质与勘探, 48(3): 460 ~ 470.

谌建国, 刘云华, 许俊文. 1997. 铝土矿新类型桂西三水铝石硬水铝石矿床[J]. 广西地质, 10(1): 37 ~ 44.

成 功, 陈松岭, 祝瑞勤, 等. 2009. 平果堆积型铝土矿地质特征及遥感找矿预测[J]. 轻金属, 8: 11 ~ 17.

戴塔根, 龙永珍, 张起钻, 等. 2007. 桂西铝多金属矿床地质地球化学特征与成矿机理[J]. 地球科学与环境学报, 29(4): 345 ~ 350.

侯莹玲, 何 斌, 钟玉婷. 2014. 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, 38(1): 181 ~ 196.

胡荣基. 1980. 铝土矿的配矿计算[J]. 轻金属, 3 ~ 6.

环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局. 2008. 土壤环境质量标准 (修订)[S]. GB15618-2008.

《矿产资源工业要求手册》编委会. 2012. 《矿产资源工业要求手册 2012 修订版》[M]. 地质出版社.

刘云华, 黄同兴, 谌建国, 等. 2004a. 桂西堆积型铝土矿中三水铝石成因矿物学研究[J]. 中国地质, 31(1): 413 ~ 419.

刘云华, 毛晓冬, 黄同兴. 2004b. 桂西堆积型铝土矿中三水铝石的成矿机理[J]. 地质科学与环境学报, 26(2): 26 ~ 31.

卢文华, 韦永坚, 廖思福. 2000. 平果岩溶堆积铝土矿地貌特征及成矿规律研究[J]. 广西地质, 3(4): 23 ~ 28.

农恒杰. 1997. 广西新圩铝土矿地质特征[J]. 轻金属, (8): 8 ~ 11.

欧阳承新, 奚小双, 曹荆亚. 2015. 广西平果堆积型铝土矿成矿元素多重分形特征[J]. 地质科技情报, 34(5): 114 ~ 119.

潘思贵. 2006. 平果岩溶堆积型铝土矿地质特征及成矿模式探讨[J]. 轻金属, 9: 6 ~ 11.

潘晓峰. 2012. 堆积型铝土矿出矿阶段的配矿模型[J]. 广西科学院学报, 28(2): 140 ~ 143.

王 力, 龙永珍, 彭省临. 2004. 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, 24(1): 1 ~ 6.

王庆飞, 邓 军, 张起钻, 等. 2008. 桂西那豆铝土矿区残积型与堆积型矿体地球化学特征与矿石矿物组成对比[A]. 第九届全国矿床会议论文集[C]. 831 ~ 832.

王新萍. 2012. 平果堆积型铝土矿成矿规律及赋存特征[J]. 湖南有色金属, 28(3): 1 ~ 4.

韦立凡. 2004. 浅谈堆积型铝土矿配矿数学模型[J]. 露天采矿技术, 2: 1 ~ 3, 28.

夏楚林, 张起钻, 高 莉. 2011. 桂西堆积型铝土矿矿物组成及地球化学特征探析[J]. 轻金属, (5): 6 ~ 9.

余 何, 苟晓利. 2014. 广西平果铝太平矿区外围铝土矿矿体地质特征[J]. 山西科技, 29(6): 50 ~ 52.

袁江涛, 单志强. 2017. 广西太平矿区外围铝土矿石灰-拜耳法溶出试验[J]. 金属矿山, 494(8): 118 ~ 121.

张起钻. 1999. 桂西岩溶堆积型铝土矿床地质特征及成因[J]. 有色金属矿产与勘查, 8(6): 486 ~ 489.

章 颖, 吴功成, 刘学飞, 等. 2015. 桂西平果教美矿区堆积型铝土矿形成过程中矿物转化与元素迁移[J]. 现代地质, 29(1): 20 ~ 31.

郑 宇. 2011. 广西平果堆积铝土矿岩深丘陵成矿环境与成矿演化规律[D]. 中南大学.

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 2010. 矿产资源综合勘查评价规范[S]. GB/T 25283-2010.

中华人民共和国国土资源部. 2002. 铝土矿、冶镁菱镁矿地质勘查规范[S]. DZ/T0202-2002.

中华人民共和国国土资源部. 2015. 岩矿鉴定技术规范第 4 部分: 岩石薄片鉴定[S]. DZ/T075. 4-2015.

中华人民共和国国土资源部. 2015. 岩矿鉴定技术规范第 5 部分: 矿石光片鉴定[S]. DZ/T075. 5-2015.

祝瑞勤, 李小罗, 莫晓东. 2004. 广西岩溶堆积型铝土矿矿床特征[J]. 地质与勘探, 40(4): 13 ~ 16.

祝瑞勤, 奚小双, 吴玺虹. 2011. 广西平果堆积型铝土矿成矿封闭环境研究[J]. 大地构造与成矿学, 35(3): 386 ~ 393.