

清镇式铁矿矿石特征及加工技术性能探讨

——以猫场铝土矿红花寨、白浪坝矿段铁矿床为例

杨明坤^{1,3}, 张周位², 杨国彬², 李宏志³, 杨 毕³, 苏亮广³

(1. 贵州省地矿局 115 地质大队, 贵州 清镇 551400; 2. 贵州省地质矿产中心实验室, 贵州 贵阳 550018;
3. 贵州省国土资源勘测规划研究院, 贵州 贵阳 550004)

[摘 要] 贵州中部清镇、修文等地石炭系铝土矿底部的铁矿俗称为“清镇式铁矿”, 与黔中铝土矿共同赋存于下石炭统九架炉组之中。本文在实际勘探工作及通过勘探阶段在钻孔副样中采集的铁矿进行可选性试验基础上, 以同类型的清镇市猫场铝土矿红花寨、白浪坝矿段铝土矿共生的铁矿为研究对象, 指出该类型铁矿矿石自然类型为赤铁矿和褐铁矿; 工业类型为需选铁矿石; 矿石矿物主要为赤铁矿, 部分赤铁矿水化为针柱状褐铁矿; 脉石矿物则以白云石和方解石为主。矿石中可供利用的主要元素是铁, 造渣组分主要是硅、铝, 其次为钙、镁等。试验结果表明, 该矿采用一粗一精一扫的强磁选试验可获得铁精矿 TFe 含量 55.58%, 回收率 80.11% 的良好指标, 精矿中各元素含量达到 H55-I 类赤铁精矿质量要求, 在当前市场条件下采用推荐工艺处理该矿可获利。结论对黔中铝土矿资源的综合勘查开发具有借鉴意义。

[关键词] 黔中铝土矿; 铁矿; 加工技术性能; 红花寨、白浪坝; 清镇

[中图分类号] P618.31; TD924 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2019)-01-0095-06

“清镇式铁矿”一名是廖士范先生 1960 年提出来的(廖士范, 1960), 指贵州中部清镇、修文、开阳等地石炭系铝土矿底部的铁矿(杨瑞东等, 2011), 与黔中铝土矿共同赋存于下石炭统九架炉组中(陈庆刚等, 2011; 杨明坤等, 2009; 杨明坤等, 2013; 程鹏林等, 2004), 石炭统九架炉组为一套以粘土岩类为主, 相伴有铝土矿、铁矿、硫铁矿等矿产的含矿岩系组合, 铝土矿在上, 铁矿在下, 铁矿的沉积, 铝土矿的堆累, 互为因果关系, 清镇式铁矿被认为是淡水湖沼沉积(廖士范, 1987)。

由于我国的钢铁年生产量已突破 2.52 亿吨, 国内铁矿资源状况不能满足生产的需要, 每年需要进口大量的铁矿石, 充分利用国内现有铁矿石资源尤为重要(余永富, 2000), 据了解, 我国铁矿石资源条件差, 多为贫矿, 平均品位只有 31.95%, 贫矿占储量的 94.3%, 均需经过选矿富集才能满足炼铁生产的需要(张毅等, 2010)。由于钢铁工业的发展, 国内铁矿石紧缺, 国内铁矿已

经作为重要的资源进行开发。清镇式铁矿也成为乡镇企业主要铁矿的开采资源(杨瑞东等, 2011)。但是, 清镇式铁矿以往只是着重找矿, 对此类矿石开发利用的选矿试验方面公开发布的文章不多。

猫场铝土矿是黔中地区已知的超大型铝土矿床, 也是黔中铝土矿的典型矿床, 红花寨、白浪坝矿段处于猫场铝土矿中北部, 是构成猫场铝土矿的两个重要矿段, 经勘探共提交铝土矿共生的(331+332+333)铁矿石资源总量 1 082.93 万吨(杨明坤等, 2016), 红花寨、白浪坝矿段铁矿是清镇式铁矿的典型代表。作者根据清镇市猫场铝土矿红花寨、白浪坝矿段勘探工作铁矿石可选性试验等成果, 对清镇式铁矿矿石特征及加工技术性能方面进行分析探讨, 可为黔中铝土矿资源的综合勘查、综合评价提供参考, 提供的矿石选冶试验方法、工艺流程等对生产矿山具有借鉴意义。

[收稿日期] 2017-12-12 **[修回日期]** 2018-7-8

[作者简介] 杨明坤(1980—), 男, 云南禄劝人, 高级工程师, 长期从事地质矿产勘查及研究工作。

1 研究区地质基本特征

研究区区域构造属扬子准地台四级构造单元贵阳复杂构造变形区,猫场铝土矿处于该变形区内的北东向构造与南北向构造的交接复合部位,主要由东区的老王冲向斜、西区的大威岭背斜组成(张成旺等,1993)。区域地层有震旦系、寒武系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系和第四系,缺失奥陶、志留、泥盆、第三系和中上石炭系以及下石炭系部分地层。

勘探区广泛分布栖霞组、茅口组,矿系顶板石炭系下统摆佐组、含矿系九架炉组及矿系底板寒武系中上统娄山关群隐伏于地下。位处北东向三岔河断褶带大威岭背斜的核部地带,地层主体倾向北西,倾角较缓。区内发育的断裂构造主要有

北东东向的 F_{32} 、 F_{38} ,其次是北北西的 F_{30} 。

2 矿体特征

铁矿产于含矿岩系下段铁质岩段,距铝土矿层 $0 \sim 4$ m,一般 $1 \sim 2$ m,厚 $0 \sim 5.63$ m、平均 1.76 m,常由赤铁矿及绿泥石赤铁矿结核、绿泥石粘土岩、铁质粘土岩组成。铁矿体呈缓倾斜似层状、透镜状产出,厚 $1.00 \sim 5.63$ m、平均 2.15 m,厚度变化系数 49.12% , TFe 含量 $26.48\% \sim 55.29\%$ 、平均 38.92% 。

研究区共圈定矿体 18 个,其中红花寨矿段的 HFe-I、HFe-II 和白浪坝矿段的 BFe-I 等 3 个矿体规模达中型,其余矿体均为小型。矿体埋深 $139.21 \sim 360.55$ m,赋矿标高 $+960 \sim +1240$ m。各矿体特征见表 1。

表 1 研究区铁矿矿体特征一览表

Table 1 Orebody features of iron ore in the target area

矿体编号	矿体形态	矿体规模			矿体厚度(m)		品位 TFe(%)	
		长度(m)	宽度(m)	规模	算术平均	变化系数	算术平均	变化系数
HFe-I	似层	760	551	中型	2.16	51.23%	39.57	66.19%
HFe-II	似层	895	312	中型	2.05	36.65%	36.74	76.23%
HFe-III	透镜	100	100	小型	1.32		27.21	
HFe-IV	透镜	355	59	小型	2.41	46.58%	37.78	51.85%
HFe-V	透镜	70	70	小型	1.75		32.73	
HFe-VI	透镜	531	113	小型	2.26	38.92%	36.17	45.43%
HFe-VII	透镜	70	35	小型	1.63		30.93	
HFe-VIII	透镜	100	55	小型	1.63		35.80	
BFe-I	似层	550	436	中型	2.2	69.07%	40.87	131.84%
BFe-II	透镜	100	100	小型	1.68		44.30	
BFe-III	透镜	220	60	小型	1.82	14.39%	47.33	17.12%
BFe-IV	透镜	315	80	小型	2.68	93.38%	43.14	46.31%
BFe-V	透镜	250	50	小型	3.33	312.22%	30.83	11.74%
BFe-VI	透镜	365	140	小型	1.6	11.23%	37.51	110.67%
BFe-VII	透镜	140	95	小型	1.03		26.48	
BFe-VIII	透镜	100	87	小型	1.68		38.73	
BFe-IX	透镜	575	198	小型	1.8	2.03%	37.46	22.33%
BFe-X	透镜	110	18	小型	1.88		30.55	

3 矿石质量特征

矿石结构主要有隐晶-它形粒状、交代结构。矿石构造主要有致密块状、角砾状、鲕状、肾状构造等。主要矿石矿物为赤铁矿,次为褐铁矿;主要脉

石矿物为白云石为主和少量方解石。赤铁矿呈磷片状,粒度大小不均,一种粒度 <0.01 mm,一种粒度 <0.001 mm。部分赤铁矿水化为针柱状褐铁矿。白云石等碳酸盐矿物呈它形—半自形粒状,粒度 $0.01 \sim 0.2$ mm 间,分布于赤铁矿粒间,或呈不规则脉状产出,脉宽 $0.02 \sim 0.2$ mm。见图 1 所示。

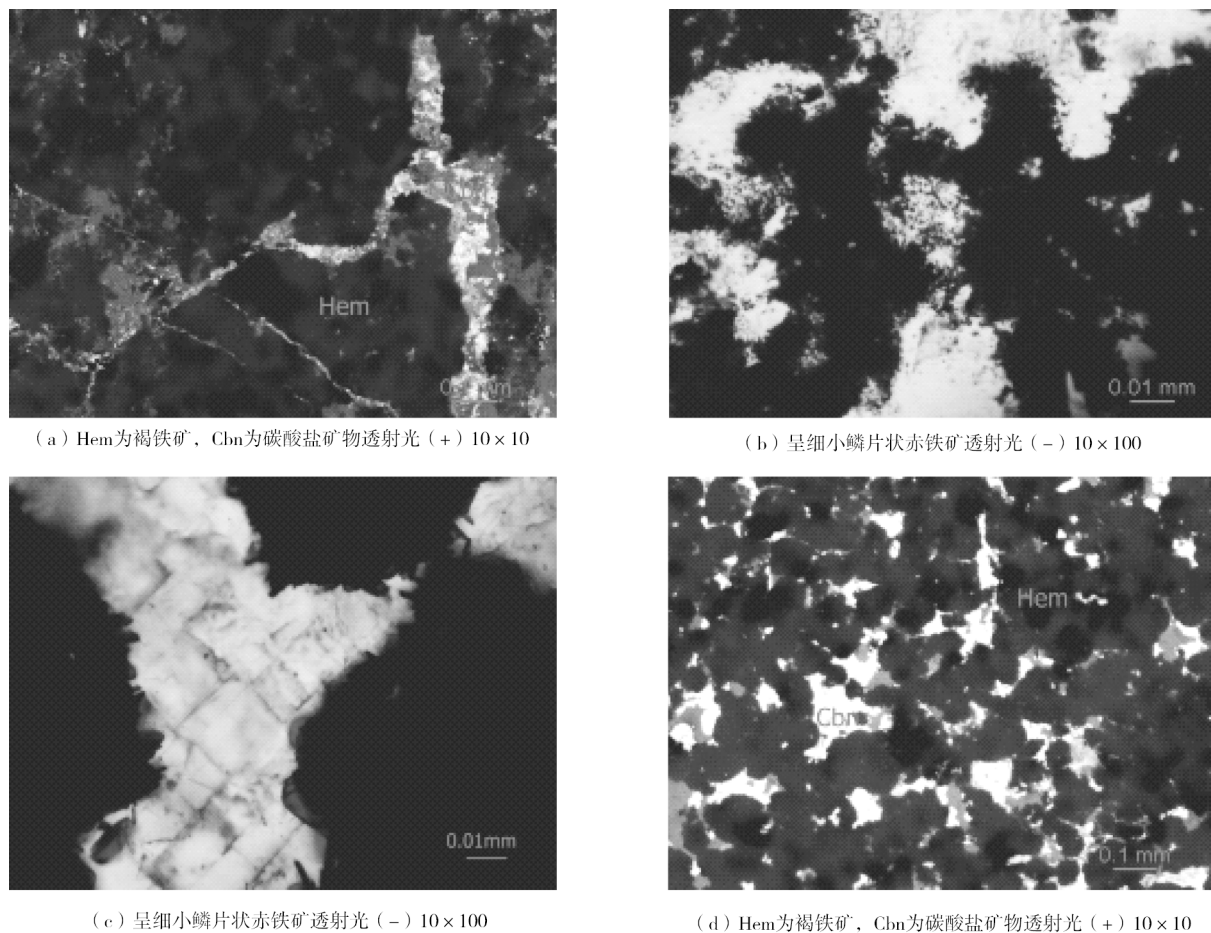


图 1 研究区铁矿矿石岩矿鉴定薄片照片

Fig. 1 Thin section photo of rock and mineral determination of ore in the target area

在对选冶试验样原矿光谱分析基础上,进行了化学多元素分析,其分析结果见表 2。

表 2 原矿化学分析结果

Table 2 Analytical chemical results of raw ore

元素	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe	CaO	TiO ₂	TS	P	K ₂ O	Na ₂ O	烧失量
含量/%	10.44	8.77	41.29	2.82	0.37	0.59	0.051	0.35	0.013	10.15

从表 2 分析结果可以看出,所采集的试样主要化学组分 TFe 含量达到 41.29%,与勘探区的平均品位相近,基本具有代表性,矿石中可供利用的主要元素是铁,脉石矿物主要含硅、铝、钙等元素。

矿石自然类型按组成矿石的主要铁矿物划分为赤铁矿石,其次褐铁矿石;按结构构造分为致密块状、角砾状、鲕状、肾状等。

矿石工业类型属需选铁矿石,勘探区 TFe 含量一般<50%,TFe 平均含量 38.92%;铝硅杂质含量高, $\omega(\text{CaO}+\text{MgO})/\omega(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$ 比值小于 0.5,为酸性矿石。

4 矿石加工技术性能

贵州省地质矿产中心实验室、贵州省贵金属矿产资源综合利用工程技术研究中心共同对红花寨、白浪坝矿段铁矿石进行了可选性试验。根据原矿性质,该矿主要矿物属赤铁矿,部分赤铁矿水化为针柱状褐铁矿,而脉石矿物则以白云石和方解石为主,选冶方法采用磁选。

4.1 磁选试验研究

(1) 磨矿细度试验

不同磨矿细度对磁选影响结果见表 3。从

表中可以看出,当磨矿时间较短时,由于没有充分单体解离,致使部分非磁性矿物随赤铁矿一起进入精矿中,精矿品位偏低,而磨矿时间过长又会导致过磨泥化,影响有用矿物与脉石矿物的分离,同样影响磁选效果。当磨矿时间为8分钟,磨矿细度为-0.074 mm 含量占 84.10%时,精矿品位最高,可达 50.11%,因此选该点为最佳磨矿细度。

表3 磨矿细度试验结果

Table 3 Experimental results of grinding fineness

-0.074 mm 含量/%	产品名称	产率/%	TFe/%	回收率/%
53.66	精矿	80.01	46.98	91.08
	尾矿	19.99	18.42	8.92
	原矿	100	41.27	100
68.52	精矿	77.77	47.65	89.91
	尾矿	22.23	18.71	10.09
	原矿	100	41.22	100
76.16	精矿	75.12	48.52	88.6
	尾矿	24.88	18.85	11.4
	原矿	100	41.14	100
84.1	精矿	72.32	50.11	87.27
	尾矿	27.68	19.1	12.73
	原矿	100	41.53	100
90.54	精矿	74.61	48.65	88.12
	尾矿	25.39	19.27	11.88
	原矿	100	41.19	100

(2) 激磁电流试验

为了考察激磁电流对强磁选效果的影响,在磨矿细度为-0.074 mm 占 84.10%的条件下,进行不同激磁电流试验,试验结果见表4。从表中可以看出,随着激磁电流的增加,产率和回收率增加,品位下降,综合考虑,选取激磁电流为600 A。

(3) 扫选试验

在磨矿细度为-0.074 mm 占 84.10%,粗选激磁电流为600 A 磁选后,进行扫选试验,以提高精矿回收率。扫选激磁电流均选用600 A,扫选次数两次,试验结果见表5。从表中可以看出,扫选一效果明显,得到品位为47.52%的扫选精矿,同时回收率达到6.49%。而扫选二仅回收0.81%的铁精矿,且品位不高,因此第二段扫选可去掉,最终确定为一次扫选。

(4) 精选试验

从扫选试验结果看,扫选精矿品位达47.52%,

表4 激磁电流试验结果

Table 4 Experimental results of exciting magnetism current

激磁电流/A	产品名称	产率/%	TFe/%	回收率/%
200	精矿	41.56	54.18	54.48
	尾矿	58.44	32.2	45.52
	原矿	100	41.33	100
400	精矿	59.25	53.62	77.07
	尾矿	40.75	23.2	22.93
	原矿	100	41.22	100
600	精矿	67.11	52.09	84.47
	尾矿	32.89	19.54	15.53
	原矿	100	41.38	100
800	精矿	72.21	49.86	87.19
	尾矿	27.79	19.04	12.81
	原矿	100	41.3	100
1000	精矿	75.09	48.58	88.64
	尾矿	24.91	18.77	11.36
	原矿	100	41.15	100

表5 扫选试验结果

Table 5 Experimental results of scavenging

产品名称	产率/%	品位%	回收率%
精矿	67.05	52.13	84.78
中矿1	5.63	47.52	6.49
中矿2	0.96	34.65	0.81
尾矿	26.36	12.39	7.92
原矿	100	41.23	100

高于原品位,因此本试验将扫选精矿与粗选精矿合并成一个产品进行精选,并详细研究了激磁电流对精选效果的影响,试验结果见表6。从表中可以看出,随着精选激磁电流的增加,精矿品位下降,回收率增加,综合考虑,精选激磁电流选用500 A 较为合适,此时精矿品位为55.58%,可达到H55赤铁精矿质量标准,同时回收率也在80%以上。

(5) 尾矿沉降试验

磁选试验需水量大,回水利用对于磁选十分重要。尾矿含有一定的泥质,脱水较为困难,因此对磁选尾矿进行了沉降试验。沉降设备为沉降筒,沉降条件为:矿浆液面总高度20 cm,沉降面直径6.5 cm,沉降曲线如图2所示。

从图2中可以看出,磁选尾矿矿浆具有较快的沉降速度,沉降24小时后基本沉降完全,且澄

清层液体较为清澈透明又不含其他添加剂,完全可循环利用。

表 6 精选试验结果

Table 6 Experimental results of concentration

激磁电流/A	产品名称	产率/%	TFe/%	回收率/%
200	精矿	45.51	59.02	64.94
	中矿	27.14	40.14	26.34
	尾矿	27.35	13.19	8.72
300	原矿	100	41.36	100
	精矿	52.27	57.13	72.21
	中矿	20.19	38.85	18.97
400	尾矿	27.54	13.25	8.82
	原矿	100	41.35	100
	精矿	56.22	55.94	76.22
500	中矿	16.49	37.85	15.13
	尾矿	27.29	13.08	8.65
	原矿	100	41.26	100
600	精矿	59.57	55.58	80.11
	中矿	13.02	35.16	11.08
	尾矿	27.41	13.29	8.81
600	原矿	100	41.33	100
	精矿	62	54.67	82.19
	中矿	10.63	34.82	8.98
600	尾矿	27.37	13.31	8.83
	原矿	100	41.24	100

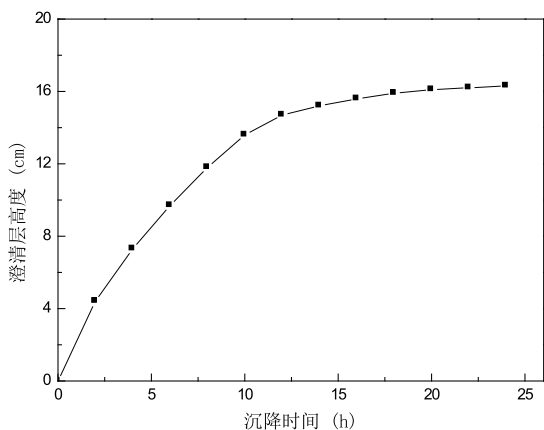


图 2 尾矿沉降曲线

Fig. 2 Settlement curve of gangue

4.2 工艺流程

在研究原矿性质的基础上,确定了一粗一精一扫的磁选试验流程,可取得较为理想的试验效果且磁选无任何添加剂,对环境影响较小,因此作为最终推荐工艺。其工艺流程如图 3 所示。

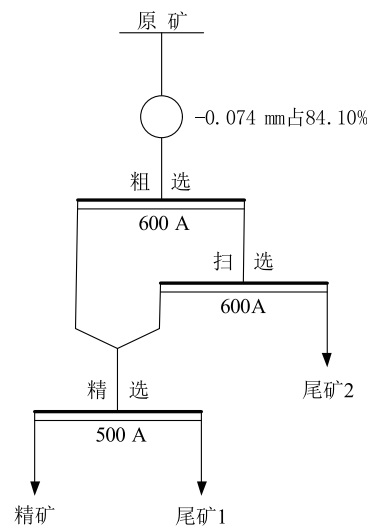


图 3 最终推荐工艺流程

Fig. 3 Final invented processing technique

4.3 试验结论

(1)采用一粗一精一扫磁选工艺,可获得产率为 59.57%,铁品位为 55.58%,回收率为 80.11%的赤铁精矿,精矿指标达到 H55-I 类赤铁精矿质量要求。

(2)在当前市场条件下,推荐工艺流程处理该赤铁矿获得 1 吨铁品位为 55.58%的铁精矿,其选矿成本为 83.93 元,采用推荐工艺处理该矿是可盈利的。

致谢:在本文撰写过程中,地矿局廖莉萍研究员提出宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢。

[参考文献]

陈庆刚,陈群,杨明坤,等. 2011. 黔中地区铝土矿成矿规律及找矿靶区研究报告[M]. 贵州省地矿局 115 地质大队.

程鹏林,李守能,陈群,等. 2004. 从清镇猫场矿区高铁铝土矿的产出特征再探讨黔中铝土矿矿床成因[J]. 贵州地质, 21(4):215-221.

廖士范. 1960. 清镇式铁矿的地质与勘探方法[J]. 地质与勘探, (9):9-10.

廖士范. 1987. 论贵州清镇式铁矿、贵州铝土矿形成环境、成矿机理及找矿方向问题[J]. 贵州地质, 4(4):419-430.

杨明坤,谢江涛,罗荣杰,等. 2009. 贵州清镇猫场铝土矿可溶性试验结果引发的思考[J]. 贵州地质, 26(2):122-124.

杨明坤,朱焕然,陈群,等. 2013. 贵州清镇野猫冲铝土矿床特征、成矿条件及找矿潜力浅析[J]. 贵州地质, 30(2):102-106.

杨明坤,朱焕然,黄征,等. 2016. 贵州省清镇市猫场矿区 0-24 线外围红花寨、白浪坝矿段铝土矿勘探报告[R]. 贵州省地质矿产勘查开发局 115 地质大队.

杨瑞东,袁世婷,魏怀瑞,等. 2011. 贵州石炭系“清镇式”铁矿沉

- 积地球化学特征[J]. 地质评论, 57(1):24-35.
- 余永富. 2000. 我国铁矿资源有效利用及选矿发展的方向[J]. 金属矿山, (2):9-11.
- 庄志贤, 陶泳昌, 周安乐. 2016. 贵州猫场超大型铝土矿床成因浅析[J]. 贵州地质, 33(4):272-277.
- 张毅, 杨大兵. 2010. 贵州清镇赤铁矿磁化焙烧工艺效果的影响因素[J]. 科协论坛, (1):47-48.
- 张成旺, 黄甫强, 冯学岚, 等. 1993. 贵州清镇铝土矿猫场矿区 0-24 线勘探报告[R]. 贵州省地矿局 115 地质大队.

Ore Characteristics of ‘Qingzhen style’ Iron Mine and Discussion of Processing Technology

——Taking the Honghuazhai, Bailangba Iron Deposit in Maochang Bauxite Mine as an Example

YANG Ming-kun, ZHANG Zhou-wei, YANG Guo-bin, LI Hong-zhi, YANG Bi, SU Guang-liang
(1.115 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Qingzhen 551400, Guizhou, China; 2. Guizhou Central Laboratory of Geology and Mineral Resources, Guiyang 550018, Guizhou, China; 3. Guizhou Institute of Land & Resource Survey and Planning, Guiyang 550004, Guizhou, China)

[Abstract] In Qingzhen, Xiuwen of central Guizhou, the iron mine in the bottom of Carboniferous bauxite deposit is common called ‘Qingzhen style’ iron mine, associated in Jiujialu formation of the Lower Carboniferous with bauxite deposit of central Guizhou. In this paper, by actual exploration and electronmagnetic experiment of iron ore gathered in drill accessory sample in exploration period, the same type iron mine associated with bauxite in Honghuazhai section and Bailangba section of Maochang bauxite deposit in Qingzhen city is taken as an example, it points out that the natural type of this iron ore is hematite and limonite, the industrial type is smelted needed ore, the mineral ore is mainly hematite, some hydrate to be column limonite. The gangue mineral mainly are dolomite and calcite. The major useful element in the ore is iron, the slag component are silicon, bauxite, calcium, magnesium and so on. According to the experiment, it shows that the pure iron TFe content could be 55.58% by once coarse, once well and once clean high intensity magnetic separation experiment, the recovery rate could be 80.11%. each element in the pure ore reach the quality requirement of H55-1 pure hematite ore. Under the present market condition, this mine will be profitable by invented process technique. It will has some guiding significance for comprehensible exploration and development of bauxite deposit in the central Guizhou.

[Key words] Bauxite deposit in central Guizhou; Iron mine; Process technology; Honghuazhai; Bailangba; Qingzhen