

某鞍山式磁铁矿工艺优化应用研究

张国胜¹, 禹朝群², 赵淑芳², 王浩明²

(1. 河钢集团矿业有限公司, 河北 唐山 063000; 2. 河钢集团矿山设计有限公司, 河北 滦州 063700)

摘要: 某鞍山式磁铁矿在选别中因精矿品位波动较大, 较设计值品位偏低 1%~3%。设计磨选工艺流程为阶段磨矿、三段湿式粗磁选, 一段(磁选柱)精选, 对此工艺进行了优化: 磨前增加湿式预选, 入磨品位提高 6.39%, 二段磨矿效率增加 36%, 三段磨矿效率提高 3 倍; 二段闭路磨矿的分级设备高频细筛放置在二磨后, 将高频细筛由单层筛全部更换为叠层振动筛, 降低“反富集”现象对最终精矿品位的影响, 先磨后筛工艺减少了较轻的贫连生体或杂质进入旋流器溢流, 提高旋流器效率, 保证了目标流程对细度和品位的要求, 分级工艺得到优化; 淘洗机代替磁选柱使精选工艺精矿 TFe 品位由 63.37% 增加到 66.69%, 尾矿 TFe 5.79%, 回收率 85.08%, 实现原设计指标, 企业经济效益增加明显。对预选尾矿进行再选再利用, +0.5 mm 以上作为建筑石料销售, 增加了非矿收益, -0.5 mm 以下进入中强磁再选, 以中矿进入其他选矿流程系列再选, 使资源得到最大回收利用。

关键词: 磁铁矿; 湿式预选; 分级; 反富集; 淘洗机

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.01.018

中图分类号: TD951 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 01-0109-06

河北东部某磁铁矿根据矿石结晶粒度特点, 设计磨选工艺流程采用三段湿式粗磁选, 一段(磁选柱)精选, 设计选矿产品指标为原矿 TFe26.67%, 精矿 TFe66%, 回收率 81%, 选矿比 3.06。生产过程中发现精矿 TFe63%~65% 之间, 较设计值品位偏低 1%~3%, 无法满足市场需求, 影响选厂经济效益^[1-5]。为了解决这一问题, 自 2013 年至今, 对磁铁矿选矿工艺开展了边生产边研究的工艺优化工作, 系列举措提高了铁精矿品位, 这对充分利用铁矿资源有着战略性意义。

1 矿石性质

该铁矿属“鞍山式”沉积变质铁矿床。矿石类型主要为磁铁矿石英岩, 深部为磁铁矿石, 有少

量的半假象赤铁矿, 偶尔见到黄铁矿和褐铁矿, 矿石的铁物相分析结果见表 1。矿石中以磁铁矿形式存在的铁占全铁的 85.234%, 以赤褐铁矿形式存在的铁占全铁的 3.81%, 以硅酸铁形式存在的铁占全铁的 7.61%, 碳酸铁 2.81%, 少量硫化铁。脉石矿物以石英为主, 其次为阳起石、透闪石及少量的角闪石和辉石^[6]。

表 1 矿石的铁物相分析结果
Table 1 Analysis results of iron phase of the ore

项目	TFe	磁铁矿	菱铁矿	硅酸铁	硫化铁	赤褐铁矿
含量/%	26.81	22.85	0.77	2.04	0.13	1.02
分布率/%	100.00	85.23	2.87	7.61	0.48	3.81

矿物组成中的磁铁矿多为半自形—自形晶, 部分为他形晶, 镜下鉴定见图 1。

收稿日期: 2020-04-30

基金项目: 河北省重点研发项目(19274101D); 含磷超贫钒钛磁铁矿有价元素协同回收关键技术研究与应用项目

作者简介: 张国胜(1965-), 男, 高级工程师。

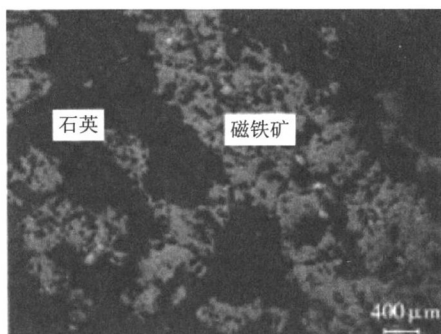


图 1 磁铁矿与其他矿毗连镶嵌

Fig. 1 Mosaic of magnetite adjacent to other mines

粒度嵌布较细，大部分小于 0.15 mm，一般在 0.04 ~ 0.15 mm 之间，部分重晶后粒度增大至 0.5 ~ 1 mm，属细粒不均匀嵌布^[6]。根据矿石结晶特点，采用阶段磨矿、阶段选别、阶段抛尾可降低选矿成本，从整体嵌布粒度细，也证实矿物需在较细的磨矿粒度下才能得到充分解离。

2 原工艺流程分析

原磨选流程见图 2，原流程考察指标见表 2。

表 2 原流程考察指标

Table 2 Inspection indicators of the original process

产品名称	产率 /%	TFe/%	回收率 /%
精矿	37.22	63.37	81.60
尾矿	62.78	8.47	18.40
原矿	100.00	28.9	100.00

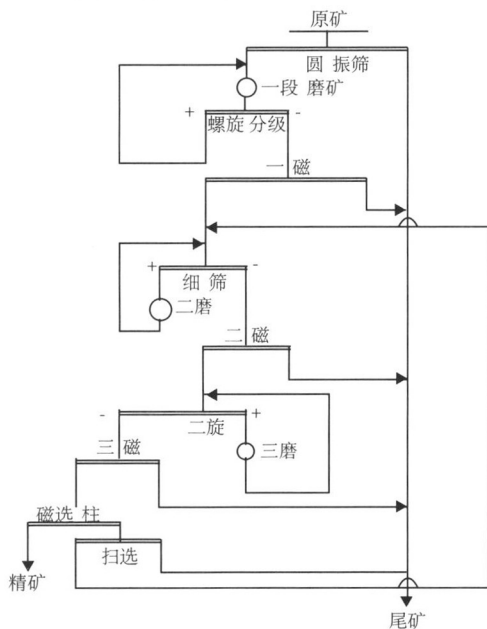


图 2 原磨选流程

Fig. 2 Flow chart of original grinding and separation

原流程在生产过程中磨矿效率偏低；旋流器出现“反富集”，分级作业效率偏低；精矿品位偏低且波动较大。针对流程中出现的问题，开展了对磁铁矿选矿工艺边生产边研究的工艺优化。

3 实验研究

3.1 磨矿效率优化研究

对磁铁矿系列进行了全流程考查，根据考察结果，对系统设备进行了扩能改造，改造后磨机台时处理量提高了 10 t 左右，在此条件下进行合理粒级湿式预选^[7]，对充分发挥选厂潜能，是一个合理有效地途径。

3.1.1 原矿粒度组成

取入碎矿物料 50 kg，经烘干、混匀后缩分出五份，每份按不同粒级进行筛分。原矿及每份粒度组成、各粒级的产率、品位见表 3、4。

表 3 原矿粒度组成

Table 3 Grain size composition of the raw ore

粒级 /mm	产率 /%	
	个别	累积
+12	7.04	
-12+10	7.44	14.48
-10+6	16.44	30.92
-6+3	30.59	61.51
-3+2	4.70	66.21
-2+0.074	24.5	90.71
-0.074	9.29	100.00
合计	100.00	

表 4 各粒级筛分分析

Table 4 Screening analysis of each particle

各粒级分析粒级 /mm	产率 /%	TFe 品位 /%
-3	60.51	20.57
+3	39.49	23.29
-6	68.08	20.99
+6	31.92	23.64
-10	85.52	21.13
+10	14.48	25.02
-12	92.56	20.42
+12	7.44	25.96

3.1.2 合理粒级湿式预选

分别对表 4 筛下物料用 CCTS 0503 型永磁筒式磁选机 (318.47 kA/m) 进行湿式粗粒预选实验。预选工艺流程见图 3，预选实验结果见表 5。

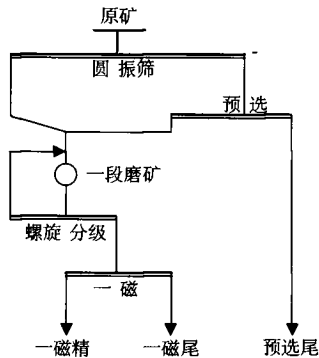


图3 预选流程

Fig. 3 pre-concentration flow chart

表5 不同粒级物料湿式预选实验结果

Table 5 Test results of wet pre-concentration of different particles

产品名称	作业产率 /%	作业 TFe /%	综合产率 /%	综合 TFe /%
-3mm 精矿	39.85	38.7	15.34	25.79
-3mm 尾矿	60.15	7.94	23.15	7.94
-6mm 精矿	48.17	35.23	32.79	29.02
-6mm 尾矿	51.83	6.99	35.29	6.99
-10mm 精矿	51.91	34.84	42.62	31.05
-10mm 尾矿	48.09	6.85	35.44	6.85
-12mm 精矿	61.51	34.52	56.93	33.53
-12mm 尾矿	38.49	6.38	35.62	6.38

从表5可以看出，-3 mm 预选尾矿中 TFe 含量为 7.94% 较其他值偏高，6 mm，10 mm，12 mm 筛下物料预选所得尾矿综合产率分别是 35.29%、35.44%、35.62%，甩尾产率区别不明显，而 6 mm、10 mm、12 mm 物料进入预选前需要的处理量见表4，分别是 60.51%、68.08%、85.52%。根据实施场地面积及预选设备考虑，提出合理粒级 -6 mm 进行湿式预选。采用 6 mm 粒级的湿式预选，可以在入磨前抛除产率为 35.29%，品位 6.99% 的尾矿，且入磨品位提高 6.39 个百分点，磨矿效率得到改善，从而降低选矿各种消耗，为提高选矿经济效益打下良好基础。

通过磨矿分级作业指标对湿式改造前后进行 q 值（新生成 -0.074 mm）前后对比，见表6。

表6 湿式预选改造前后 q 值对比

Table 6 Comparison of Q value before and after wet pre-concentration transformation

名称	改造前	改造后	设计值
一段磨机	1.79	2.15	1.8
二段磨机	0.56	0.76	0.85
三段磨机	0.11	0.35	0.4

湿式预选前，二段磨机、三段磨机效率较设计值偏低，实施后，三段磨机磨矿能力都有提高，二段磨矿效率增加 36%，三段磨矿效率提高 3 倍。并接近设计 q 值，磨矿效率得到优化。

3.2 二、三段磨矿分级工艺优化研究

合理粒级湿式预选后，一磁精矿品位高于预选前；二磁、三磁精矿品位都低于预选前考查水平，也低于设计品位，见表7。

表7 预选前后各级磁选产品品位对比

Table 7 Grade comparison of magnetic separation products at all levels before and after pre-concentration

名称	产品	预选前品位 /%	预选后 /%	设计值
一磁	精矿	42.31	43.31	43.99
	尾矿	8.6	6.98	6.99
二磁	精矿	60.7	56.69	57.40
	尾矿	8.1	5.99	6.95
三磁	精矿	65.17	61.58	63.36
	尾矿	14.76	12.18	12.7
	原矿	23.09	28.91	29.22

分析原因，这与矿石性质分不开，嵌布粒度细、单体解离不充分有关，再因预选后处理量变大，无法有效去除夹杂的脉石有关。对分级设备旋流器给矿、沉砂、溢流进行筛分分析，结果见表8。对分级设备效率进行分析，结果见表9。

表8 旋流器分级产品粒度分析

Table 8 Particle size analysis of hydrocyclone classification products

	-0.074 mm/%	TFe%
溢流	98.54	56.34
沉砂	87.11	66.69
给矿	94.45	63.87

表9 分级设备效率对比

Table 9 Comparison of classification equipment efficiency

	预选前效率 /%	预选后效率 /%
高频细筛	60.25	61.56
螺旋分级机	36.96	42.17
二段旋流器	33.68	27.57

旋流器给矿、沉砂和溢流 -0.074 mm 细度分别为 94.45%，87.11% 和 98.54%，由此计算出旋流器分级效率为 50.10%。旋流器的给矿、沉砂和溢流 TFe 品位分别为 63.87%，66.69% 和 56.34%，说明二段旋流器存在严重的“反富集”现象^[6]，即细粒级产物的 TFe 品位低于粗粒级产物 TFe 品位。

从表 9 中可以看出,螺旋分级机和高频细筛的分级效率较上次考查有所提高,但是旋流器的分级效率比较低。

旋流器的工作原理为离心沉降,流程中有一些较轻的贫连生体或杂质进入溢流,而较重的单体颗粒进入沉砂,是造成旋流器反富集的主要原因。基于以上数据,提出二将段闭路磨矿的分级设备高频细筛放置在二磨后,并将高频细筛由单层筛全部更换为叠层振动筛,见图 4。

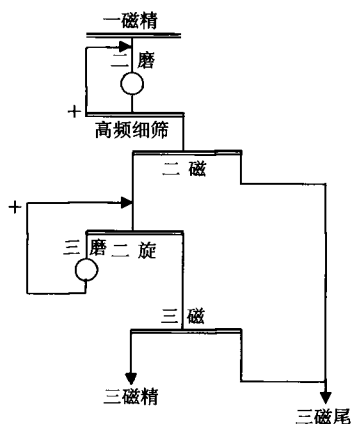


图 4 分级工艺流程

Fig. 4 Classification process flow chart

一磁精直接进二磨充分磨矿后再经细筛分级,从而减少旋流器溢流中粗粒级较轻的连生体进入到目标流程,提高旋流器分级效率,保证细度和品位的要求。

3.4 精选工艺优化研究

选用精选设备磁选柱得到精矿品位 63.37%,较三磁精品位 61.26% 仅提高 2 个百分点,分析原因: 1) 磁选柱给矿精矿 0.045 mm 粒级品位只有 43.38%,矿石嵌布粒度细有关。2) 各段磁选因处理量变大(增加湿式预选)导致选别效果变差有关。由此提出将精选设备更换为全自动淘洗磁选机,淘洗磁选机作为国内近年研发的新型高效精选设备,具有独特的结构设计,科学的磁场设置,能够有效提升铁精矿的品位,近年来淘洗磁选机作为高效精选设备在提升铁精矿品位,优化缩短选别工艺流程起到了重要作用^[8]。

固定冲洗水量为 700 L/h,固定磁场、循环磁场、补偿磁场磁场强度分别为 64、52、48 kA/m^[6-7],经工艺优化,现场生产指标见表 10。

表 10 工艺优化后生产指标

产品名称	产率 / %	TFe / %	回收率 / %
精矿	33.12	66.69	85.08
尾矿	66.88	5.79	14.92
原矿	100.00	25.96	100.00

精矿指标有优化前 63.37% 增加到 66.69%,尾矿 TFe 5.79%,指标稳定,且实现了设计目标。

5 尾矿再选再利用工艺研究

流程中的各个尾矿物相分析结果见表 11。

表 11 主要产品物相分析

产品	项目	磁性铁	碳酸铁	赤褐铁	硫化铁	硅酸铁	硫酸铁	全铁
预选	含量	2.28	1.1	6.0	0	0	0.8	10.18
尾矿	含量	22.40	10.81	58.94	0.00	0.00	7.86	100.00
一磁	含量	0.66	0.66	4.36	0.12	0.2	0.96	6.96
尾	含量	9.48	9.48	62.64	1.72	2.87	13.79	100.00
二磁	含量	0.6	0.7	3.2	0.24	0.44	0.74	5.92
尾	含量	10.14	11.82	54.05	4.05	7.43	12.50	100.00
扫三	含量	1.7	0.88	8.44	0	0.1	0.8	11.92
磁尾	含量	14.26	7.38	70.81	0.00	0.84	6.71	100.00

从上表可见,各尾矿中损失最多的为磁性较弱的赤褐铁矿,预选尾矿中磁性铁损失较多,达到 22.40%。另外,硅酸铁和硫酸铁的含量也比较高。对预选尾矿进行再选工艺流程见图 5。

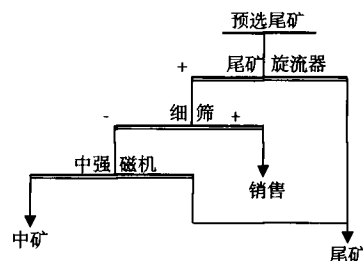


图 5 尾矿再选工艺流程

Fig. 5 Process flow of tailings re-concentration

对预选尾矿进行了旋流器、细筛分级,细筛筛上 +0.5 mm 作为建筑石料直接出售, -0.5 mm 进入中强磁机再选系统,此举增加了选厂非矿经济

收益,减少细粒尾矿的产出量,缓解尾矿库库容压力^[9-11]。

4 结 语

(1) 磨矿效率优化,磨前增加湿式预选,入磨品位提高6.39个百分点,为后续分选提供较高质量的入料,提前抛出品位较低的连生体和脉石矿物。三段磨机磨矿能力都有提高,二段磨矿效率增加36%,三段磨矿效率提高3倍,并接近设计 q 值,磨矿效率得到优化。

(2) 分级工艺优化,二段闭路磨矿的分级设备高频细筛放置在二磨后,将高频细筛由单层筛全部更换为叠层振动筛,降低“反富集”现象对最终精矿品位的影响,先磨后筛工艺减少了较轻的贫连生体或杂质进入旋流器溢流,提高旋流器效率,保证了目标流程对细度和品位的要求。

(3) 淘洗机代替磁选柱使精选工艺精矿TFe品位由63.37%增加到66.69%,尾矿TFe5.79%,回收率85.08%,实现原设计指标,企业经济效益增加明显。

(4) 对预选尾矿进行再选再利用,+0.5 mm作为建筑石料销售,-0.5 mm进入中强磁再选,以中矿进入其他选矿流程系列再选,使资源得到最大化利用。

参考文献:

- [1] 赵淑芳,王浩明,禹朝群,等.河北东部某磁铁矿石选矿工艺优化研究[J].金属矿山,2018(9):95-98.
ZHAO S F, WANG H M, YU C Q, et al. Study on optimization of beneficiation process of a magnetite ore in eastern Hebei [J]. Metal mine, 2018 (9): 95-98
- [2] 赵淑芳,王浩明,禹朝群,等.铁矿尾矿梯级资源化利用方案研究[J].资源与产业,2018,20(3):30-33.
ZHAO S F, WANG H M, YU C Q, et al. Progressive recovery plans of iron tailings[J].Resources & Industries,2018,20(3):30-33.
- [3] 向发柱,管则皋.大顶铁矿原生矿选矿工艺流程研究[J].矿产保护与利用,2000(1):31-34.
XIANG F Z, GUAN Z G. Study on beneficiation process of primary ore in Dading Iron Mine [J]. Mineral Protection and Utilization, 2000 (1): 31-34
- [4] 张建乐.辽西某低品位铁磷矿选矿工艺技改实践[J].矿

产综合利用,2018(4):117-120.

ZHANG J L. Practice of technological transformation of beneficiation process of a low-grade iron phosphate ore in western Liaoning [J]. Comprehensive utilization of mineral resources, 2018 (4): 117-120

[5] 李得立,曾小波,魏友华,等.矿山企业矿产资源开发利用水平评价方法——以湖南省金矿矿山为例[J].矿产综合利用,2019(5):22-27.

LI D L, ZENG X B, WEI Y H, et al. Evaluation method of mineral resources development and utilization level of mining enterprises -- Taking gold mines in Hunan province as an example [J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2019 (5): 22-27

[6] 朱涛.司家营铁矿原生矿流程问题分析与研究[C]河北省金属学会,2018:149-155.

ZHU T. Analysis and research on primary ore process of Sikaying iron mine [C] Hebei Metal Society, 2018:149-155

[7] 张春舫.司家营铁矿原生矿合理粒级湿式预选工艺研究[C].中国采选技术十年回顾与展望.:中国冶金矿山企业协会,2012:366-369.

ZHANG C F. Study on the reasonable particle size wet preconcentration process of primary ore in sikaying iron mine [C]. Ten year review and prospect of mining and beneficiation technology in China: China Association of Metallurgical and Mining Enterprises, 2012: 366-369.

[8] 郑纪民,孙洪硕,邢树欣,等.精细分级旋流器在铁矿细磨分级工艺中的应用实践[J].矿业工程,2019,17(6):43-44.

ZHENG J M, SUN H S, XING S X, et al. Application practice of fine classification hydrocyclone in fine grinding classification process of iron ore [J]. Mining Engineering, 2019,17 (6): 43-44

[9] 赵福刚.淘洗磁选机在我国铁矿选别中的应用[J].现代矿业,2013,29(12):155-157.

ZHAO F G. Application of washing magnetic separator in iron ore separation in China [J]. Modern Mining, 2013,29 (12): 155-157.

[10] 栗欣.我国绿色矿山建设实践、问题及对策[J].矿产保护与利用,2015(3):1-5.

LI X. Practice, problems and countermeasures of green mine construction in China [J]. Mineral Protection and Utilization, 2015 (3): 1-5

[11] 阎赞,王闻单,李丽匣,等.菱铁矿与赤铁矿和石英间相互作用能研究[J].矿产综合利用,2018(2):61-65+69.

YAN Z, WANG W D, LI L X, et al. Study on the interaction energy between siderite, hematite and quartz [J]. Comprehensive utilization of mineral Resources, 2018 (2): 61-65 + 69.

(下转 129 页)

South University, 2012.

[10] YANG S H, Li H, Sun Y W, et al. Leaching kinetics of zinc silicate in ammonium chloride solution[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2016, 26(6): 1688-1695.

[11] 王瑞祥. MACA 体系中处理低品位氧化锌矿制取电锌

的理论与工艺研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2009.

WANG R X. Research on the theory and technology of producing electric zinc from low-grade Zinc oxide in MACA system [D]. Changsha: Central South University, 2009.

Study on Treating zinc-bearing dust by Ammonia Leaching Process

Zhang Jinxia^{1,2}, Feng Hongjun¹, Wang Long^{1,2}, Niu Fusheng^{1,2}

(1. College of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei, China;

2. Hebei Province mining industry develops with safe technology priority laboratory, Tangshan, Hebei, China)

Abstract: Metallurgical dust discharged during the steel manufacturing process belongs to solid waste, which is rich in valuable elements such as iron, carbon, zinc and lead. It is the main raw material source of recycled zinc in China. In this process, wet immersion zinc was studied on the raw materials with ammonia/ammonium chloride as the composite leaching agent. The experimental data showed that the total ammonia concentration was 6 mol/L, the ammonia/ammonium ion ratio was 1:1, the leaching temperature was 60 °C, the liquid-solid ratio was 6:1, the leaching time was 2 h, and the stirring speed was 500 r/min. The zinc leaching rate was 85.44%. The leaching was tested under the optimal parameters. The data showed that the leaching rate of zinc was more than 85%, and the efficient selective leaching of zinc was achieved.

Keywords: Metallurgical dust; Zinc; Ammonia leaching

////////////////////////////////////
(上接 113 页)

Application Research of Process Optimization of Anshan Type Magnetite

Zhang Guosheng, Yu Chaoqun, Zhao Shufang, Wang Haoming

(1. HBIS Group Mining Company, Tangshan, Hebei, China; 2. Mine Design Co., Ltd., Hebei Steel Group, Tangshan, Hebei, China)

Abstract: The concentrate grade of Anshan type magnetite is 1% - 3% lower than the designed value due to the large fluctuation of concentrate grade. The designed grinding process is stage grinding, three-stage wet roughing magnetic separation, one-stage (magnetic separation column) cleaning, and this process is optimized: the wet pre separation is increased before grinding, the grinding grade is improved 6.39%, the grinding efficiency is increased 36% in the second section, and the grinding efficiency is increased 3 times in the third section. At the same time, the high-frequency fine screen of the classification equipment of closed-circuit grinding in the second section is placed after the second grinding, replace the high-frequency fine screen of single screen is replaced by laminated vibrating screen, and the counter-enrichment phenomenon on the final concentrate grade is reduced. The technology of first grinding and then sieving reduces the overflow of the light lean continuous body or impurities into the hydrocyclone, improves the efficiency of the hydrocyclone, ensures the requirements of the target process for fineness and grade, and optimizes the classification process. The washing machine replaces the magnetic separation column to increase the TFE grade of the concentrate of the cleaning process from 63.37% to 66.69%, the TFE of the tailings is 5.79%, and the recovery rate is 85.08%. The original design index is achieved, and the economic efficiency of the enterprise is improved. The benefits are increased significantly. The tailings from the pre-concentration are recycled and sold as building stones above + 0.5mm, which increases the non mineral income. The tailings below - 0.5mm enter the medium strong magnetic re-concentration, and the tailings enter the other beneficiation process series for re separation, so as to maximize the recovery and utilization of resources.

Keywords: Magnetite; Wet pre-concentration; Classification; Anti-enrichment; Washing machine