

· 矿物工程 ·

## 磁铁矿的高效回收技术研究与实践

徐景海<sup>1,2</sup> 蒋文利<sup>2</sup>

(1. 北京科技大学; 2 首钢矿业公司)

**摘 要** 从磁铁矿石资源充分利用的可能性、利用途径、选矿技术、研究成果产业化等方面进行了研究。研究工作以首钢磁铁矿尾矿实现高效回收为研究目标、以国内磁铁矿选矿技术和设备发展状况为基础、磁铁矿选矿厂生产实际为研究对象、实验室选矿试验为手段,深入分析研究了尾矿中磁性铁流失状况,并对磁铁矿高效回收选矿方法进行了试验,确定了尾矿中磁铁矿要实现高效回收必须解决细粒级富连生体和粗粒级贫连生体的有效回收问题。经过一系列试验工作,确定了用盘式磁选机和 BKW 磁选机构成磁铁矿高效回收工艺,提出了首钢磁铁矿尾矿高效回收技术工业应用生产流程。通过对磁铁矿尾矿高效回收技术的应用情况考察表明,该项新工艺的实施使尾矿中磁铁矿得到充分回收,尾矿中磁性铁品位仅有 0.30% 左右,创出了国内外较先进水平,并取得良好的经济效益。

**关键词** 磁铁矿 磁选 高效回收技术

### Research and Practice of High Efficiency Recovery Technology for Magnetite

Xu Jinghai<sup>1,2</sup> Jiang Wenli<sup>2</sup>

(1. University of Science and Technology Beijing; 2. Mining Company of Capital Steel)

**Abstract** Study was made from the aspects of the possibility, ways of utilization, beneficiation technology and industrialization of research achievements for a full utilization of magnetite ore. Based on the development status of domestic beneficiation technology and equipment for magnetite ore, taking the realization of high efficiency recovery of magnetite as goal, the production reality of magnetite concentrator as object and laboratory test as means, deep analysis was made of the magnetic iron loss in the tailings and test was done on the separation method for the efficient recovery of magnetite. It was concluded that, to realize an efficient recovery of magnetite in the tailings, the problem of the efficient recovery of fine rich intergrowth and coarse lean intergrowth should be solved. Through a series of tests, it was determined to use disk magnetic separator and BKW magnetic separator to form the process for the efficient recovery of magnetite and the related industrial flowsheet was proposed. The investigation shows that the execution of this new process has made it possible to fully recover the magnetite in the tailings, reducing the magnetic iron grade of the tailing to only about 0.30%, an advanced level both in and outside China, thus leading to a good economic benefit.

**Keywords** Magnetite, Magnetic separation, High efficiency recovery

我国铁矿石资源条件差,丰而不富。尽管探明储量有 462 亿 t,但已被利用和可供选择的储量只有 256 亿 t,且多为贫矿,平均品位仅有 31.95%,比世界平均品位低 11 个百分点,贫矿占储量的 94.3%,均需经过选矿富集才能达到炼铁生产对品位的要求。我国铁矿床开采难度也较大,适于露天开采的矿床逐年减少,露天开采比重已降至 75%,采矿剥采比也逐年上升,平均剥采比达到 3 t/t 以上,有的矿山剥采比已达到 5 t/t,我国生产 1 t 成品矿需要完成采掘量 10 ~ 15 t;而巴西、澳大利亚多

为富矿,剥采比(0.5 ~ 1) t,生产 1 t 成品矿采掘量仅有(1.5 ~ 2) t,与我国相比低了 4 ~ 9 倍,从而导致我国矿石成本增加,这也反映了铁矿石资源紧张的局面。因此,最大限度地利用矿产资源,对促进我国经济发展将有重大意义,磁铁矿高效回收的选矿技术及产业化研究是十分必要的,它能够为解决我国铁矿石自产不足提供一定的补充。

徐景海(1964 - ),男,北京科技大学,博士生,首钢集团矿业公司,副总经理,064404 河北省迁安市。

针对目前资源紧张的矛盾越来越突出的问题,国内各选矿厂和研究单位在充分利用矿产资源方面进行了广泛的研究与实践。特别是磁铁矿选矿厂,为降低尾矿品位对尾矿采取再选等措施,有的在原有选矿流程进行改造配套,有的新建不同规模的在选厂,虽然都实现了从尾矿中回收铁矿物,但再选工艺不合理,磁铁矿没有得到充分回收,效果并不理想。

首钢矿山选矿厂同样暴露出矿石资源越来越贫乏、原矿品位下降、尾矿品位上升、金属回收率降低、尾矿排放量加大、选矿成本上升和经济效益下降这一系列问题,同时由于矿石资源越来越紧张,自有资源供矿量已不能满足选厂满负荷运行的需求。选矿尾矿品位年均高达 9.66%、选矿比高达 3.5 倍、金属回收率仅有 72.60%,不仅这些指标处于国内落后水平,而且精矿成本大幅度升高、竞争能力下降,同时有限的矿产资源得不到充分利用、金属资源流失严重。为此,开展了磁铁矿高效回收工艺的研究与应用工作,取得了良好的效果。

1 尾矿性质研究

为确定尾矿再利用的可能性和可行性,必须对尾矿的性质进行深入研究,主要对尾矿的化学成分、物质组成、粒度组成及磁性铁含量等进行研究。

1.1 尾矿主要化学成份(表 1)

表 1 尾矿主要化学成分分析结果					%
成 分	SiO <sub>2</sub>	TFe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	
含 量	72.63	10.89	3.90	0.56	
成 分	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>
含 量	0.97	3.82	2.82	0.092	0.12

从表 1 可看出,尾矿中全铁含量占 10.89%,品位是比较高的。

1.2 矿物镜下鉴定

经镜下鉴定,样品中金属矿物以磁铁矿为主,其次是极少量的假象赤铁矿和赤铁矿;脉石矿物种类较多,含量较高的有石英、辉石、斜长石、钾长石,其次是黑云母、角闪石、方解石等。

磁铁矿呈细粒或微粒包裹体嵌布在脉石中,呈包裹体产出的磁铁矿粒度大多在 0.01 mm 以下。这是磁铁矿在尾砂中的主要存在形式,约占 70% 左右。磁铁矿以近于单体的形式产出只占 5% 左右。其余磁铁矿和脉石矿物毗邻形成连晶结构,以脉石矿物为主。

1.3 铁物相分析(表 2)

表 2 尾矿铁物相分析结果						%
铁物相	磁性铁	碳酸铁	硅酸铁	赤褐铁	硫化铁	合 计
含 量	3.66	0.79	2.38	3.47	0.59	10.89
分布率	33.62	7.22	21.82	31.90	5.44	100.00

从表 2 可看出,尾矿中磁性铁品位达到 3.66%,占铁总含量的 33.62%,这部分铁是可以回收利用的,对其采用磁选法回收应是可行的。

1.4 尾矿粒度组成及铁分布率(表 3)

表 3 尾矿粒度组成及铁分布率				%
粒 度/mm	粒级含量	粒级品位	金属分布率	
0.833	3.40	7.26	2.38	
-0.833 +0.246	20.80	8.66	17.34	
-0.246 +0.175	6.10	9.77	5.74	
-0.175 +0.147	10.70	9.35	9.63	
-0.147 +0.097	10.40	10.33	10.34	
-0.097 +0.074	12.80	1.48	14.15	
-0.074	35.80	11.73	40.42	
合 计	100.00	10.39	100.00	

从表 3 可以看出,尾矿中铁分布主要在 -0.074 mm 的细粒级,其次是较粗的 -0.833 +0.246 mm 粒级,再次是 -0.097 +0.074 mm 和 -0.147 +0.097 mm 这两个粒级,金属流失的重点在细粒级和粗粒级。

1.5 尾矿磁性分析(表 4)

表 4 综合尾矿磁性铁分析结果				%
产物名称	品 位	产 率	金属分布率	
精 矿	60.88	3.14	29.04	
尾 矿	7.82	96.86	70.96	
给 矿	10.89	100.00	100.00	

注:磨矿粒度 -0.074 mm 达 100%,场强 160 kA/m。

从表 4 可见,尾矿中可回收的磁性铁分布率达 29.04%,远高于工艺标准要求,说明尾矿中含有可用磁选法回收的铁矿物。

2 磁铁矿回收实验室试验

2.1 磁铁矿回收试验

根据尾矿性质分析结果,决定利用磁选方法在实验室进行磁铁矿回收试验,以判定尾矿再利用可行性,并确定适宜的磁场强度,试验结果见表 5。

从表 5 可看出,用磁选方法对尾矿中磁铁矿进行再选回收后,尾矿品位降低幅度随磁场强度的提高而加大,再选后尾矿品位也越来越低,粗精矿产率逐步提高,说明利用磁选方法对尾矿进行磁性铁回收是可行的,而且磁场强度在 320 kA/m 时效果较好。但在高场强时,回收的粗精矿卸矿比较困难,主

要是细粒级高品位矿物,在工业化时要着重解决此问题,保证生产顺行。

表 5 尾矿再选试验结果

批号	1	2	3	4
磁场强度/(kA·m <sup>-1</sup> )	80	160	240	320
给矿品位/%	10.89	10.89	10.89	10.89
精矿品位/%	33.51	30.16	26.74	25.82
尾矿品位/%	8.52	8.04	7.37	7.00
品位降低幅度/%	2.37	2.85	3.52	3.89
精矿产率/%	9.48	12.88	18.17	20.67
金属回收率/%	29.18	35.67	44.62	49.01

2.2 再选后尾矿铁物相分析(表 6)

表 6 再选尾矿铁物相分析结果

粗选场强 /(kA·m <sup>-1</sup> )	项目 名称	磁性铁	碳酸铁	硅酸铁	赤、褐铁	硫化铁	合计
80	含量/%	1.32	0.56	2.89	3.54	0.42	8.52
	分布率/%	15.49	6.57	33.92	41.55	4.93	100.00
160	含量/%	0.86	0.59	2.97	3.34	0.39	8.04
	分布率/%	11.67	7.34	36.94	41.54	4.85	100.00
240	含量/%	0.57	0.51	2.98	3.01	0.30	7.37
	分布率/%	7.73	6.92	40.43	40.84	4.07	100.00
320	含量/%	0.22	0.51	3.04	2.91	0.32	7.00
	分布率/%	3.14	7.29	43.43	41.57	4.57	100.00

从表 6 可见,再选后的尾矿磁性铁品位随再选磁场强度的提高而降低。当磁场强度达到 320 kA/m 时,磁性铁品位已经降低到 0.22%、磁性铁分布率也仅有 3.14%,远远低于工艺标准要求,磁性铁回收较为彻底,效果较为理想。

2.3 粗精矿可选性试验

为判断尾矿再选回收磁性铁获得的粗精矿的可利用性,对磁铁矿回收获得的粗精矿进行了可选性试验,即将在 320 kA/m 场强条件下回收的粗精矿粒度分别磨至 -0.074 mm 占 85%、95%,用磁选管选别,选别磁场强度为 160 kA/m,结果见表 7。

表 7 粗精矿可选性试验结果

粗选场强 /(kA·m <sup>-1</sup> )	试验条件	产物 名称	品 位 /%	产 率 /%	回收率 /%
320	粒度 -0.074mm	原 矿	25.82	100.00	100.00
	占 85%	精 矿	66.13	28.74	73.61
	场强 160 kA/m	尾 矿	9.56	71.27	26.39
	粒度 -0.074mm	原 矿	25.82	100.00	100.00
	占 95%	精 矿	66.74	28.00	72.36
	场强 160 kA/m	尾 矿	9.91	72.00	27.64

从表 7 可见,粗精矿可选性较好,基本接近原矿的可选性,是可以利用的。粗精矿经再磨再选可以生产出品位在 66.00% 以上的铁精矿。同时,粗精矿随磨矿粒度的变细精矿品位可以得到逐步提高。因此,通过对粗精矿细磨精选可以得到较好的铁精矿品位。

3 磁铁矿高效回收工艺的研究

3.1 技术方案

3.1.1 选矿方法的确定

根据尾矿品位影响因素和尾矿性质研究结果,尾矿中铁矿物主要是磁铁矿、黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿,且磁性铁分布率较高,而回收赤铁矿、褐铁矿技术难度大且含量低。因此,用磁选方法对尾矿中的磁性铁进行再选回收较为适宜。另外,尾矿粒度在 0.833 mm 以上的仅有 3.4%,尾矿平均粒度仅为 0.139 mm;尾矿浆经过浓缩后浓度为 25% 左右,体积量较大,尾矿再选前不适宜进行磨矿等处理过程。所以,采用对尾矿直接进行再选的方法,采用磁选方法对磁铁矿进行高效回收。

3.1.2 技术关键

(1) 选矿厂生产尾矿量较大。年产出尾矿近 1 000 万 t。磨选系统排出的尾矿浆经浓缩后,浓度在 25% 左右、尾矿浆体积量 3 500 m<sup>3</sup> 左右。因受到厂地等条件的限制,无法配备更多的尾矿再选回收设备,需要大处理量的磁选设备。

(2) 尾矿的粒度范围宽。尾矿粒度为 3 ~ 0 mm,对选别设备的适应性要求高,保证不同粒级矿物得到有效回收。

(3) 尾矿中 useful 矿物既含有大量的连生体也含有细粒级单体。粗粒连生体以 0.246 ~ 0.883 mm 和 0.074 ~ 0.147 mm 居多,主要是贫连生体。细粒有用矿物以 0.074 mm 以下为主,含有连生体和单体。细粒单体小于 40 μm 的细粒级有一定比例,普通筒式磁选机难于回收。这样对尾矿再选工艺必须既能回收粗粒连生体又能回收细粒单体和连生体,单一的选别不能满足要求。

(4) 尾矿再选过程尽可能不用或少用水。特别是不能向尾矿浆补加水,避免尾矿输送浓度降低而增加尾矿输送系统的消耗和影响输送系统正常运行问题的出现。

(5) 尾矿矿浆成分复杂。常有大矿块、碎石、擦油棉丝等工业垃圾混入,也有碎钢球和废铁等,选别设备要能够使这些杂质顺利通过和排出。

(6) 尾矿流槽、管道铺设坡度和尾矿泵站布置已固定,再选设施布置空间有限,选矿工艺设备占地面积要小。

3.2 磁铁矿高效回收设备的选择

尾矿粒级分布较宽,粒度在 3 ~ 0 mm,金属分布主要在粗粒级和细粒级,降低尾矿品位的技术关

键问题是实现对粗、细粒连生体和细粒单体有用矿物的有效回收,必须采用适合尾矿再选的各种新型磁选设备构成磁铁矿高效回收工艺,达到不同选别设备选别效果互补,形成高效回收优势,实现磁性矿物的最好回收效果。由于尾矿中细粒级高品位的磁铁矿磁性较强,高场强直接回收存在卸矿困难的问题,要解决卸矿难的问题,应首先采用磁场强度较低的磁选设备对其进行回收,而后再采用高场强磁选设备进行再次回收。根据国内选矿设备技术性能状况,确定采用盘式磁选机和 BKW 磁选机。

3.2.1 盘式磁选机试验

为确定盘式磁选机进行磁铁矿回收的效果,模拟生产条件进行了盘式磁选机试验,试验结果见表 8、表 9。

表 8 盘式磁选机试验结果 %

给矿品位	精矿品位	尾矿品位	精矿产率	金属回收率
9.63	51.24	8.73	2.16	11.51

表 9 盘式磁选机产品粒级品位筛析结果

粒 级 /mm	品 位/%			尾矿品位 降低幅度/%
	给 矿	精 矿	尾 矿	
+0.833	6.98	31.70	6.56	0.42
-0.833 + 0.246	7.40	35.02	7.26	0.14
-0.246 + 0.175	9.22	45.52	8.59	0.63
-0.175 + 0.147	9.35	51.94	8.38	0.97
-0.147 + 0.097	9.70	52.22	8.66	1.04
-0.097 + 0.074	9.42	53.34	8.17	1.25
-0.074 + 0.043	9.91	56.13	8.80	1.11
-0.043	11.31	63.28	9.91	2.40
合 计	9.63	51.24	8.73	0.90

从表 8、表 9 可看出,盘式磁选机对尾矿中磁性铁进行再选回收效果明显,尾矿品位降低了 0.90%,精矿产率 2.16%,金属回收率 11.51%,精矿品位达到 51.24%。这主要是盘式磁选机是为回收磁性较高、品位较高的富连生体和单体矿物而设计的,磁场强度较低;同时由于整个盘体是整体式磁系,为保证精矿顺利卸矿而采用低磁场强度。这样,首先回收磁性较高、品位较高的富连生体和单体矿物,也是为避免采用高场强磁选机进行尾矿再选时造成的强磁性矿物所导致的筒体带矿和矿物团聚包裹脉石的问题,同时也可避免高场强磁选机回收精矿过厚在运送过程中造成流失而影响回收效果。

从粒级品位筛析结果看,回收的精矿各粒级品位比较高,达到了优先回收高品位矿物的精选目的,并为下段再选磁选机选择和提高综合回收效果提供

了保证。

3.2.2 BKW 磁选机试验

为进一步降低尾矿品位,确定 BKW 磁选机回收尾矿中磁性铁的效果,对盘式磁选机的尾矿模拟生产条件用 BKW 磁选机进行了第二段再选试验,试验结果见表 10、表 11,尾矿铁物相分析结果见表 12。

表 10 BKW(筒式)磁选机试验结果 %

给矿品位	精矿品位	尾矿品位	精矿产率	金属回收率
8.73	21.20	7.00	12.18	29.59

表 11 BKW 磁选机产品粒级品位筛析结果

粒 级 /mm	品 位/%			尾矿品位 降低幅度/%
	给 矿	精 矿	尾 矿	
+0.833	6.56	13.40	6.28	0.38
-0.833 + 0.246	7.26	13.68	6.42	0.84
-0.246 + 0.175	8.59	27.93	7.68	0.91
-0.175 + 0.147	8.38	32.95	7.33	1.05
-0.147 + 0.097	8.66	34.91	7.05	1.51
-0.097 + 0.074	8.17	37.20	7.12	1.12
-0.074 + 0.043	8.80	42.73	7.26	1.54
-0.043	9.91	47.05	6.91	3.00
合 计	8.73	21.20	7.00	1.73

表 12 尾矿铁物相分析 %

铁物相	磁性铁	碳酸铁	硅酸铁	赤褐铁	硫化铁	合 计
含 量	0.18	0.82	3.36	2.23	0.41	7.00
分布率	2.57	11.71	48.00	31.86	5.86	100.00

从表 10、表 11 可看出,BKW 磁选机很好地弥补了第一段再选磁场强度低的问题,最终尾矿品位达到 7.00%、精矿品位达到 21.20%、产率达到 29.59%,回收效果较好。特别是从表 11 看出,各产品粒级品位控制较好,回收后细粒级和粗粒级品位均较低,实现了对粗粒和细粒连生体的有效回收,保证了综合尾矿品位的有效降低。

从表 12 可见,尾矿经过盘式磁选机和 BKW 磁选机选别后,尾矿中磁性铁的品位有了明显的变化,磁性铁品位仅有 0.18%,尾矿中的磁铁矿几乎得到了 100% 的回收,说明磁铁矿的高效回收基本达到了预期目的。

3.3 磁铁矿高效回收工艺设计

根据盘式、BKW 磁选设备特点和试验结果以及现场改造空间位置条件和选矿厂生产能力,为充分发挥各种尾矿再选设备的工艺特点,实现最大限度降低尾矿品位的目的,选用盘式磁选机和 BKW -

1030 磁选机对尾矿进行多次选别,从而构成磁铁矿高效回收新工艺。即选矿厂尾矿经浓缩机浓缩后,在尾矿流槽安装两段盘式磁选机对尾矿进行再选回收,盘式磁选机尾矿再经一段 BKW 磁选机再选回收。流程见图 1。

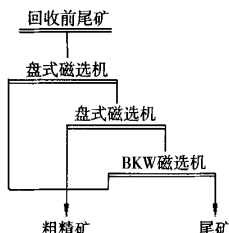


图 1 磁铁矿高效回收工艺流程

#### 4 磁铁矿高效回收技术的生产实践

##### 4.1 磁铁矿高效回收技术工业应用流程设计

根据盘式、BKW 磁选设备特点和实验室的一系列试验结果,并结合现场改造空间位置条件和选矿厂生产能力,为充分发挥各种尾矿再选设备的工艺特点和粗精矿加工选矿工艺流程的作用,在实现磁铁矿高效回收的基础上最大限度降低尾矿品位,并保证回收的粗精矿质量满足工业生产需要,选用盘式磁选机和 BKW-1030 磁选机对尾矿进行再选回收磁铁矿,使盘式磁选机与筒式顺流型磁选机选别效果互补,以提高磁铁矿回收效果。所得粗精矿采用阶段磨矿阶段选别细筛自循环流程进行再磨再选单独处理,加工成合格精矿,从而构成磁铁矿高效回收新工艺。即选矿厂尾矿经浓缩机浓缩后,在尾矿流槽安装两段盘式磁选机对尾矿进行再选回收,盘式磁选机尾矿再经一段 BKW 磁选机再选回收,三次再选获得的粗精矿经过二段磨矿、三次磁选、一次磁聚机重选、一段高频振动细筛作业加工成合格精矿,粗精矿加工产生的尾矿与尾矿再选作业形成闭路;BKW 磁选机的尾矿作为最终尾矿。由于尾矿再选回收粗精矿浓度较低,为提高磨矿效率,在粗精矿入磨前增加浓缩磁选作业。磁铁矿高效回收工艺流程见图 2。

##### 4.2 磁铁矿高效回收新技术应用方案

根据矿石资源紧张,供矿不足,选矿生产能力过剩及各选厂磨选系统与尾矿处理系统配置情况,水厂选矿厂在磨选厂外建设尾矿再选回收设施,集中对尾矿进行再选,利用原闲置的磨选系列对再选粗精矿进行单独处理,加工成合格精矿。

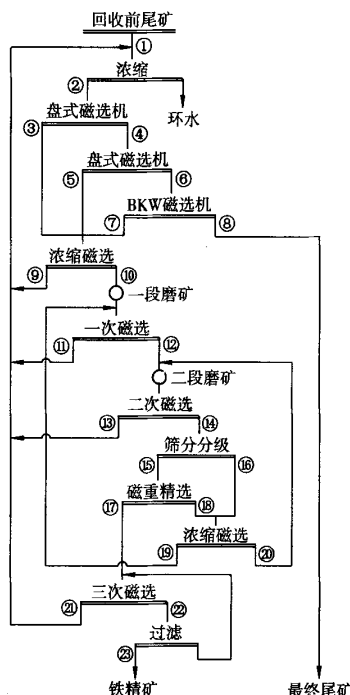


图 2 首钢磁铁矿尾矿高效回收工艺生产考察数据质量流程

例 产率;品位(%);①100.00;9.56;②108.88;9.59;  
回收率(%) 100.00 109.23;

③	1.46;50.10	④	107.42;9.04	⑤	1.78;46.50
	7.65		101.58		8.64
⑥	105.64;8.41	⑦	9.73;21.22	⑧	95.91;7.11
	92.94		21.61		71.33
⑨	5.32;10.31	⑩	7.65;40.23	⑪	1.98;9.07
	5.75		32.15		1.98
⑫	6.46;46.38	⑬	1.35;9.36	⑭	9.97;54.12
	31.33		1.32		56.46
⑮	4.62;60.98	⑯	5.35;48.20	⑰	4.32;64.12
	29.47		26.99		28.98
⑱	0.30;15.60	⑲	0.79;12.42	⑳	4.86;52.00
	0.49		1.03		26.45
㉑	0.23;11.98	㉒	4.09;66.95	㉓	4.09;66.95
	0.31		28.67		28.67

盘式磁选机规格选用  $\phi 2\ 000\ \text{mm}$ 、磁场强度 63 kA/m,4 台(每台 16 个盘),分别安装在两条尾矿流槽中;BKW 磁选机规格选用  $\phi 1\ 050\ \text{mm} \times 3\ 000\ \text{mm}$ 、磁场强度 288 kA/m,16 台集中安装在新建厂房内;粗精矿加工使用磁选一车间的 11、12 系列。磁铁矿高效回收工艺应用共投资 765 万元。

##### 4.3 磁铁矿高效回收新技术应用考察结果

磁铁矿高效回收生产流程建成投产后,工艺设备运行良好,能满足正常生产的需要。为判定其工业生产应用效果,我们组织了一系列考察,主要进行了全流程考察和尾矿磁性铁状况分析等。

### 4.3.1 全流程考察

磁铁矿高效回收生产全流程考察主要对作业品位情况进行取样分析,每 15 min 取 1 次,每 1 h 为 1 批样,样品主要化验品位,并进行数质量流程计算,结果见图 2。从数质量流程图可以看出,磁铁矿高效回收生产主要技术经济指标良好,其最终尾矿品位降低到 7.11%,比尾矿再选前降低了 2.45 个百分点;最终精矿品位达到 66.95%,比处理原矿系列精矿品位仅低了 1.05 个百分点左右,且只占总产量的 9.80%,与高品位铁精矿混合仅影响全厂精矿品位 0.1 个百分点左右,混合后能够满足质量标准要求,同时即使不与高品位铁精矿混合质量也能满足市场要求;尾矿再选铁精矿产率 4.09%,如果每年处理原矿 1 000 万 t,将生产品位 66.95% 的铁精矿 28.8 万 t,回收金属量 19.28 万 t。

### 4.3.2 产品分析

(1) 铁精矿化学分析(表 13)。

表 13 铁精矿的化学多元素分析结果 %

元 素	TFe	SFe	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
含 量	67.37	67.02	23.04	6.40	0.64	
元 素	MgO	MnO	K <sub>2</sub> O	P	S	CaO
含 量	0.53	0.07	0.03	0.002	0.003 5	0.17

从表 13 可看出,磁铁矿高效回收工艺流程生产的精矿品位平均达到 67.00% 左右,且有害杂质含量很低,是优质的炼铁原料,完全能够满足市场的要求。

(2) 产品磁性分析。为检验磁铁矿高效回收新工艺在生产过程中对尾矿中磁性铁的回收状况,对生产流程中给矿、粗精矿、最终尾矿分别进行了磁性分析,结果见表 14。

表 14 产品磁性分析结果 %

给 矿				粗 精 矿				尾 矿				磁性铁
原矿品位	精矿品位	尾矿品位	回收率	原矿品位	精矿品位	尾矿品位	回收率	原矿品位	精矿品位	尾矿品位	回收率	回收率
9.56	58.51	7.19	28.05	27.94	67.21	9.46	76.98	7.11	51.36	6.83	4.54	89.88

从表 14 可看出,磁铁矿高效回收工艺流程磁性铁回收率达到 89.88%,尾矿中磁性铁含量已经很低,尾矿的磁性铁分布率仅有 4.54%,远远低于工艺标准要求的 12.00%。按尾矿中磁性铁推算(7.11%×4.54%),尾矿磁性铁品位仅有 0.32% 左右,失去了继续回收的价值。

### 5 经济效益

(1) 投资。磁铁矿高效回收新工艺共投资 765 万元,其中建设厂房 612 m<sup>2</sup>,土建费用 95 万元;购买 BKW-1030 磁选机 16 台、φ1500 盘式磁选机 4 台、ZJ100 粗精矿输送泵 4 台,共 498.4 万元;安装费用 171.6 万元。

(2) 精矿加工成本。铁精矿单位生产成本包括:辅助材料费、动力费、人员工资及福利费、制造费、管理费等。实际精矿单位生产成本为 86.30 元/t。该指标与处理原矿的精矿生产成本相比偏低,主要是无破碎和一段磨矿作业及原料费用,其费用组成见表 15。

(3) 直接效益。按照铁精矿首钢内部价格,品位 67.00% 的铁精矿价格 260 元/t 计算:年均效益=年产量×(精矿粉价格-精矿粉成本)=28.8×(260-86.3)=5 003 万元。

通过计算可知,磁铁矿高效回收新工艺经济效

表 15 尾矿复合精选铁精矿单位生产成本

项目名称	单 耗	单价/元	金额/元
1.辅助材料			12.89
钢球/kg	3.477	2.35	8.17
滤布/kg	0.078	0.69	0.05
油脂/kg	0.078	2.69	0.21
衬板/kg	0.218	7.27	1.58
其它材料			2.88
2.动力			40.90
电/(kW·h)	102.81	0.37	38.04
水/m <sup>3</sup>	5.728	0.50	2.86
3.工资、福利/元			7.58
4.制造费用/(元·t <sup>-1</sup> )			18.90
其中折旧/(元·t <sup>-1</sup> )			1.84
5.管理费用/(元·t <sup>-1</sup> )			6.03
合 计/(元·t <sup>-1</sup> )			86.30

注:成本指标为现场实际数据。

益巨大,按首钢内部价格计算,年创效益 5 003 万元;按 2004 年市场价计算,年创效益会更大。选矿厂增加磁铁矿高效回收新工艺总投资仅为 765 万元,而铁精粉年产量却比工艺改造前增加了 28.8 万 t,按首钢内部价年利润总额达 5 003 万元以上,2 个月即可收回投资。磁铁矿高效回收新工艺以较少的投资获得了较高的经济效益,它充分体现了尾矿资源的二次利用对企业提高经济效益的重要作用。

(4) 间接效益。由于磁铁矿高效回收工艺从尾  
(下转第 36 页)

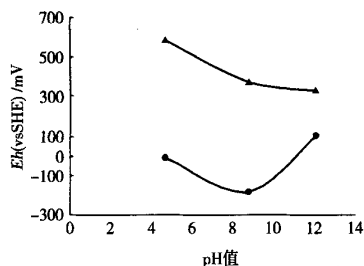


图 9 脆硫锑铅矿浮选矿浆电位上、下限与 pH 值的关系

▲ - 矿浆电位  $Eh(u)$ ; ● - 矿浆电位  $Eh(l)$

丁胺黑药 [ADDP] =  $10^{-4}$  mol/L

### 3 结 论

(1) 脆硫锑铅矿在 3 种捕收剂体系中,虽然浮选行为不尽相同,但均表现了较好的可浮性。

(2) 3 种捕收剂体系中,脆硫锑铅矿的矿浆电位均随矿浆 pH 值的升高而降低。

表 1 可浮电位 - pH 值的关系

捕收剂名称	电位区间 /mV	pH 值		
		4.7	8.8	12.1
乙黄药	$Eh(u)$	655	470	440
	$Eh(l)$	300	120	-50
乙硫氮	$Eh(u)$	660	570	500
	$Eh(l)$	370	270	50
丁胺黑药	$Eh(u)$	585	370	330
	$Eh(l)$	-10	-180	100

### 参 考 文 献

- [1] Lager Thomas, Forssberg K S E. Comparative Study of the Flotation Properties of Jamesonite[J]. Scandinavian Journal of metallurgy, 1989, 18(3): 122-130.
- [2] Lager Thomas, Forssberg K S E. Beneficiation Characteristics of Antimony mineral A Review - Part I[J]. Minerals Engineering, 1989, 2(3): 321-336.
- [3] 周同惠. 分析化学手册: 第二分册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1997, 335-349.

(收稿日期 2006-04-20)

(上接第 32 页)

矿中选出了一定量精矿,每年少排尾矿量 30 万 t 左右,每年减少占用尾矿库容 9 万  $m^3$  左右,这样可以延长尾矿库服务年限。

### 6 结 论

(1) 我国铁矿石资源较为贫乏,人均占有量较低,而各大型选矿厂面临着资源短缺、经济效益下降的困难,矿石资源的充分利用显得越来越重要。磁铁矿高效回收新工艺可以从根本上实现磁选厂降低尾矿品位、减少金属流失、提高经济效益的目的。同时,可减少尾矿排放量,延长尾矿库的服务年限,缓解尾矿排放对环境的影响,节约环境治理费用。

(2) 盘式磁选机与 BKW 磁选机串连对尾矿进行再选形成了磁铁矿高效回收新工艺,两种磁选设备配合使用形成选别性能互补,形成对不同磁性率的矿物综合回收,解决了低磁场强度磁选机不适宜回收粗粒贫连生体和高磁场强度磁选机卸矿困难不适宜回收细粒级富连生体和单体的问题。

(3) 通过首钢水厂选矿厂磁铁矿尾矿高效回收新工艺的研究与应用表明,该项新工艺的实施使尾矿中磁铁矿得到充分回收,尾矿中磁性铁品位仅有 0.30% 左右,创出了国内外较先进水平。生产运行也表明,该项措施技术上可行、经济上合理、生产上可靠,在首钢水厂选矿厂的应用是成功的,选矿厂的尾矿品位大幅度降低、金属回收率大幅度升高,解决了

长期困扰选矿技术经济指标徘徊不前的问题。

(4) 磁铁矿尾矿高效回收新工艺的研制与应用取得了良好的经济效益,磁铁矿尾矿品位由高效回收前的 9.56% 降低到 7.11%,比回收前尾矿品位降低了 2.45 个百分点,选矿厂综合选矿比降低了 0.25 倍,多产精矿粉约 28.8 万 t,按首钢内部价取得效益达 5 003 万元以上。

(5) 首钢水厂选矿厂磁铁矿尾矿高效回收新工艺使选矿工艺获得新的突破,打破了传统的尾矿概念和资源概念,为选矿厂建设和改造提供了新的思路 and 理念,是选矿厂降低尾矿品位、提高金属回收率非常有效的手段,具有广泛的推广价值。

### 参 考 文 献

- [1] 樊绍良,黎燕华. 我国铁矿石选矿技术进展[C]. //金属矿山杂志社. 2004 年全国选矿新技术及其发展方向学术研讨与技术交流会论文集. 马鞍山:金属矿山杂志社, 2004: 8-12.
- [2] 吴世清,巫竹盛,圣洪,等. 我国磁选设备的现状及发展方向[C]. //金属矿山杂志社. 2004 年全国选矿新技术及其发展方向学术研讨与技术交流会论文集. 马鞍山:金属矿山杂志社, 2004: 47-55.
- [3] 张振宇,方启学. 铁精矿提质降硅的简单方法——“脱水槽 + BKW 法”[C]. //金属矿山杂志社. 2002 年全国铁精矿提质降杂学术研讨与技术交流会论文集. 马鞍山:金属矿山杂志社, 2002: 245-247.

(收稿日期 2006-06-08)