

# 首钢水厂选矿厂磁铁矿选矿工艺流程优化研究与实践<sup>①</sup>

曹青少<sup>1,2</sup>, 蒋文利<sup>2</sup>

(1. 北京科技大学, 北京 100083; 2. 首钢矿业公司, 河北 迁安 064404)

**摘要:** 针对首钢水厂选矿厂磨选工艺流程暴露出的问题, 通过对 MVS 高频振网筛、精选机等新型选矿设备的研究与应用试验, 对磨选工艺流程和设备进行了重新设计与配置, 使磨选工艺技术得到全面优化, 解决了原流程中存在的问题, 符合选矿厂“优质高效、简化流程、节能降耗”的发展方向。

**关键词:** 选矿; 工艺流程; 优化; 研究与实践

中图分类号: TD92 文献标识码: A 文章编号: 0253-6099(2006)05-0024-05

## Optimization of Mineral Processing Flowsheet to Recover Magnetite in Shougang Shuichang Mine

CAO Qing-shao<sup>1,2</sup>, JIANG Wen-li<sup>2</sup>

(1. Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China; 2. Shougang Mining Corp, Qian'an 064404, Hebei, China)

**Abstract:** Some new types of mineral processing equipments such as MVS electro-magnetic vibrating screen and cleaning concentrator were introduced to optimize the flowsheet of grinding-flotation in Shougang Shuichang Mineral Processing Plant. After the research and industrial tests of these equipments, and a re-design and re-configuration of the technological flowsheet and the equipments, the flowsheet was optimized to be a higher grade, more efficient and compact, and less consuming one, while problems therein can be solved.

**Key words:** mineral processing; technological flowsheet; optimization; research and practice

首钢水厂选矿厂是国内大型磁铁矿选矿厂之一, 经过不断扩建和挖潜改造, 已形成 19 个磨选系列, 设计年原矿处理能力 1800 万 t。1985 年确立了选厂的原则工艺流程, 即磁滑轮干选、阶段磨矿阶段选别、磁聚机和细筛自循环工艺流程, 为首钢的发展提供了优质原料。但是在持续生产过程中, 也暴露出了许多制约生产顺利、质量稳定和效率提高的工艺技术问题。特别是随着露天矿的深部开采, 矿石可选性指标逐年变差, 为保证精矿质量, 将检查细筛筛孔由 0.3 mm 缩小至 0.15 mm, 暴露出细筛分级效率低的矛盾, 导致产生二次磨矿循环负荷过大、磨矿效率下降、选别效果差等诸多制约选矿效率提高的问题。

本着稳定质量、提高效率、节能降耗的原则, 几年来, 首钢水厂选矿厂集中力量进行了一系列科技攻关, 最终确定了磨选工艺技术升级项目的方案, 即用高频振网筛取代尼龙固定细筛, 用复合闪烁磁场精选机取代磁聚机, 并对流程和工艺设备重新进行了设计与配置, 使工艺技术得到全面升级改造。

### 1 矿石性质

首钢水厂铁矿矿床为鞍山式沉积变质矿床, 矿石属于鞍山式贫磁铁矿, 矿石呈条带状、片麻状和块状构造。矿物组成比较简单, 金属矿物以磁铁矿为主, 其次为少量赤铁矿, 脉石矿物以石英为主, 其次为辉石、角闪石、黑云母、长石、绿泥石, P、S 有害杂质含量少。矿石的嵌布粒度不均匀, 结晶粒度在 0.5~0.062 mm 之间, 磁铁矿与脉石连生较为简单、较易分离。原矿品位 25% 左右, 矿石磁性率 36%~42.8%, 矿石普式硬度  $F = 8 \sim 12$ , 岩石普式硬度  $F = 8 \sim 10$ , 矿石密度 3.24 t/m<sup>3</sup>, 岩石密度 2.7 t/m<sup>3</sup>, 属较易磨选矿石。矿石的化学分析与铁矿物的物相分析结果见表 1、表 2。

表 1 矿石化学分析结果(质量分数)/%

TFe	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MnO	MgO	P	S
29.9	11.18	47.25	0.75	2.07	0.14	2.07	0.038	0.02

① 收稿日期: 2006-04-29

三方数据

作者简介: 曹青少(1963-), 男, 北京人, 高级工程师, 博士研究生, 主要从事矿物加工理论与工艺研究。

表2 矿石物相分析结果

矿物名称	含量/%	分布率/%
磁铁矿	20.34	72.72
褐铁矿	3.82	12.53
赤铁矿	1.21	4.33
黄铁矿	0.11	0.39
硅酸铁	2.79	9.97
合计	27.97	100.00

## 2 原磨选工艺存在的问题

### 2.1 原磨选工艺流程

水厂选矿厂原磨选工艺流程是在1985年推广磁团聚新工艺后确定的,详见图1(其中▲表示输送泵)。

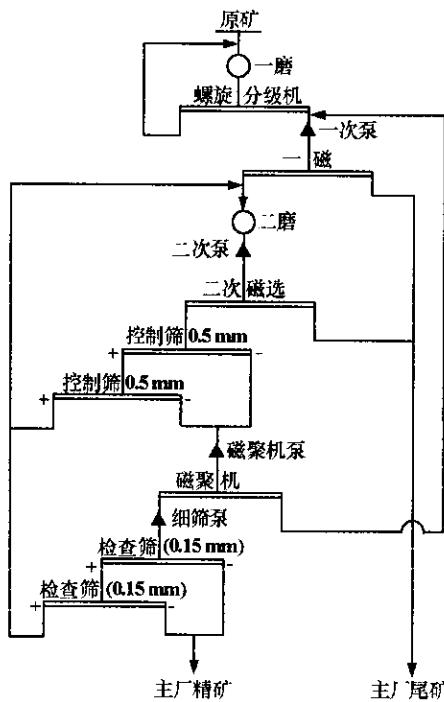


图1 水厂选矿厂原磨选工艺流程

### 2.2 磨选工艺流程存在的问题

随着采场开采深度不断增加,矿石可选性逐年降低,为提高精矿质量,需要细磨提高矿物单体解离度,使各工序控制的标准发生变化,导致磨选工艺流程暴露出一系列问题。

#### 1) 固定尼龙细筛分级效率低。

由于使用的尼龙细筛为固定筛,靠精矿粒子切割分级,未接触细筛的合格粒子不能得到切割进入筛下,造成合格粒子的恶性循环。固定尼龙细筛开孔率过低,仅有7%,而且筛孔易堵塞,导致细筛分级效率偏低,流程循环负荷大,影响选别工序作业效果及精矿品位的提高与稳定。对固定尼龙细筛的考查结果见表3。

表3 固定尼龙细筛分级效率考察结果

给矿	-0.074 mm 含量/%		筛下产率 /%	量效率 /%	质效率 /%
	筛上	筛下			
42.28	38.31	77.91	10.03	18.46	14.51

从表3可以看出,固定尼龙细筛分级效率很低,仅有14.51%,筛下产率仅有10.03%,检查筛上-0.074 mm的粒级含量达到38.31%,比给矿仅降低了3.97%。

2) 二次磨矿循环负荷大,制约了一次磨矿台时能力的提高。

矿石性质逐渐发生变化后,尼龙固定筛的筛网尺寸也不得不缩小至0.15 mm。固定细筛筛分效率进一步下降,导致循环负荷过大(250%~350%),影响了一次球磨机台时能力,台时仅为70 t/h左右。同时,由于循环量大,还使二次泵、细筛泵、磁聚泵超负荷,经常跑矿。

3) 固定细筛不能严格按粒度分级,导致精矿中含有超粗粒子,影响精矿质量的稳定和进一步提高。

原工艺流程主要靠尼龙固定细筛控制最终产品粒度,但由于检查筛为0.15 mm的长条筛,筛孔长32 mm且筛孔易变形,使小于0.2 mm的超粗粒子均有可能进入筛下成为精矿,使精矿品位受到影响。主厂精矿(即检查筛下产品)筛析结果见表4。

表4 主厂精矿(检查筛下)筛析结果(Fe品位65.39%)

粒径/mm	产率/%			品位/%		
	部分	正累计	负累计	部分	正累计	负累计
+0.251	0.7	0.70	100	22.76	22.76	65.39
-0.251+0.175	1.30	2.00	99.30	40.91	34.56	65.69
-0.175+0.147	1.60	3.60	98.00	51.38	42.03	66.02
-0.147+0.098	4.50	8.10	96.40	54.80	49.13	66.26
-0.098+0.074	12.70	20.80	91.90	64.79	58.69	66.83
-0.074+0.043	40.00	60.80	79.20	66.46	63.80	67.15
-0.043	39.20	100.00	39.20	67.86	65.39	67.86
合计	100			65.39		

从表4可以看出,主厂精矿品位的粒级组成较宽,影响精矿品位进一步提高的主要原因是+0.147 mm粒级,它们的粒级累计品位仅有42.03%。如果剔除这部分粒级精矿,使精矿粒度达到-0.147 mm占100%,主厂精矿品位可达66.26%,提高0.87%;如果只剔除+0.175 mm粒级精矿,使精矿粒度达到-0.175 mm占100%,精矿品位也可达66.02%。因此,影响精矿品位进一步提高的主要原因是固定尼龙细筛自身结构。

#### 4) 磁聚机分选粒级较窄,选别效果受到影响。

要提高磁团聚重选选别效果,必须避免重选过程中等降现象的发生,这样,必须控制过粗颗粒进入选别

设备,即控制给矿的粒度上限。过粗颗粒在选别过程中由于重量大,需要较高的上升水流速度才能作为溢流脱除,但过大的上升流速,磁聚机容易“跑黑”,影响选别效果。而过粗粒子容易与磁团聚和磁絮凝体产生等降,影响精矿质量。磁聚机选别效果考察结果见表5。

从表5可以看出,+0.175 mm的物料基本上没有得到分选,说明其分选粒度上限为0.175 mm。磁聚机的品位提高幅度达到了3.26个百分点,属考察较好的批次,但溢流品位较高,导致金属量在流程中循环。因此,必须控制磁团聚的给矿粒度,以保证分选效果。

表5 磁聚机选别效果考察结果

粒径/mm	给矿/%		精矿/%		溢流/%		品位提高幅度/百分点
	产率	品位	产率	品位	产率	品位	
+0.251	2.8	35.83	4.2	36.04	—	—	0.21
+0.251 +0.175	7.2	41.61	8.4	41.89	2.0	15.56	0.28
-0.175 +0.147	8.2	44.68	9.6	47.05	4.9	25.02	2.37
-0.147 +0.098	15.8	57.26	17.0	61.43	5.6	31.02	4.17
-0.098 +0.074	19.8	59.29	19.6	64.17	10.0	35.06	4.88
-0.074 +0.043	26.8	61.16	22.2	66.88	36.5	39.03	5.72
-0.043	19.4	63.11	19.0	67.95	41.0	44.05	4.84
合计	100	57.08	100	60.34	100	39.14	3.26

### 2.3 磨选工艺改革方向

针对磨选工艺所存在的问题,要使磨选工艺技术得到升级必须首先从提高尼龙固定细筛分级效率入手,解决分级效率低造成的循环量大、磨选系列台时低、恶化选别作业效果和跑矿影响正常生产的问题;采用高效精选设备解决粗颗粒贫连生体对精矿质量的影响;对选别工序合理优化布置调整解决输送泵段数多、能耗高的问题。

## 3 磨选工艺技术升级研究过程

### 3.1 高频振网筛的试验

细筛是保证精矿品位的重要手段,由唐山陆凯科技有限公司研制的MVS型“电磁振动高频振网筛”在首钢水厂选矿厂磨选工艺技术升级项目中的试验和应用十分成功。

**3.1.1 振网筛参数试验** 为确定高频振网筛的应用可行性,组织了振网筛的应用试验,试验参数(强振时间、周期、振幅)在借鉴了唐山陆凯公司在其他选矿厂应用的成熟经验的基础上,仅对筛孔尺寸、给矿浓度两个参数进行了选择试验,并考察了筛分效率和筛下粒度及使用周期对其影响等。

#### 1) 筛孔的选择。

为找出与首钢水厂选矿厂生产工艺相适应的检查筛孔尺寸,选择了4种不同筛孔尺寸的筛网进行了工业试验,筛孔尺寸分别为0.135 mm×0.18 mm、0.14

mm×0.23 mm、0.14 mm×0.26 mm、0.145 mm×0.23 mm,通过对比考察,0.14 mm×0.26 mm筛下粒度-0.074 mm粒级平均占80%左右,其筛分效率最高达到45%~50%,为此,选择筛网筛孔为0.14 mm×0.26 mm。

#### 2) 给矿浓度的确定。

为了确定合理的给矿浓度,选择筛孔为0.14 mm×0.26 mm的筛网进行了给矿浓度的条件试验,结果如表6。

表6 0.14 mm×0.26 mm筛网筛分质量情况

给矿浓度/%	筛下-0.074 mm 含量/%	质效率/%
44.51	86.7	45.78
52.13	81.0	37.10
57.03	82.0	35.10
59.83	84.0	31.31
63.93	79.0	28.65
66.13	74.5	25.17

从表7可以看出,振网筛随着给矿浓度的升高,筛分效率呈下降趋势,振网筛的给矿浓度在40%~50%左右较好。

**3.1.2 高频振网筛的工作效果考察** 振网筛主要工作参数确定后,对筛分效率、筛下粒度和筛子的使用周期对筛分效率的影响等效果进行了考察。结果见表7和表8。

表7 振动筛筛分效率考察结果

批次	-0.074 mm 含量/%			质效率/%
	给矿	筛上	筛下	
1	51.7	28.7	80.4	51.13
2	47.0	27.6	78.1	47.96
3	54.0	32.2	79.3	47.14
4	54.0	29.9	86.7	55.86
5	48.3	31.0	82.0	45.78
6	43.0	26.5	72.8	43.33
7	49.6	19.9	73.9	41.02
平均	49.66	27.97	79.03	47.46

表8 筛下产品粒度分析

粒径/mm	产率/%		品 位/%	
	部分	累计	粒级	累计
+0.175	—	—	—	—
-0.175 +0.147	0.40	100	21.64	65.28
-0.147 +0.098	0.20	99.60	46.70	65.45
-0.098 +0.074	16.91	99.40	64.02	65.49
-0.074 +0.043	27.89	82.49	66.67	65.79
-0.043	54.60	54.60	65.34	65.34
合计	100.00			

从表7可以看出,振网筛的筛分效率达到47.46%,比固定细筛质效率14.51%提高了32.95%,相当于原效率的3.27倍。

从表8结果看,筛下物料-0.074 mm含量82.49%,消灭了+0.175 mm粒级的粒子,且物料粒度集中在-0.098 mm,-0.175+0.147 mm粒级仅0.40%,有利于稳定精矿质量。

另外,有振网筛有效的使用周期中,“糊筛网”和“筛孔变大”现象并不明显,克服了原固定尼龙细筛使用一段时间后,筛孔堵塞严重,不得不频繁冲洗筛面,进行筛子调头的弊端;同时也解决了固定尼龙筛片经过一定磨损后,筛孔变大影响筛下粒度的问题。

**3.1.3 高频振网筛试验结果分析** 试验结果表明,与固定尼龙细筛相比,高频振网筛优势明显:(1)筛网振动,开孔率,分级效率高;(2)能够严格按粒度分级,解决了固定尼龙细筛筛下超粗离子含量高影响精矿质量的问题;(3)筛下粒度组成合理,在相同-0.074 mm含量的情况下精矿质量高;(4)设备本身定期强振清洗筛面,避免了筛孔堵塞,解决了固定尼龙细筛筛孔堵需要定期掉头和清洗的问题;(5)振动筛运行平稳,可靠性强,筛网在使用周期内分级效率稳定,符合工业应用要求。

### 3.2 复合闪烁磁场精选机试验

根据磁聚机重选机和脱水槽的特点,作者自行研制了复合闪烁磁场精选机(下面简称精选机),为了鉴定精选机的选别效果和应用可行性,对Φ1 000 mm精选机进行了工业试验,在流程中同一位置与Φ2 500 mm磁聚机进行对比,结果见表9。

表9 复合闪烁磁场精选机与磁聚机使用效果对比

名称	精选机		磁聚机	
	粒度/%	品位/%	粒度/%	品位/%
给矿	75.69	60.53	75.69	60.53
溢流	63.99	46.89	77.39	52.25
精矿	81.85	65.20	74.02	63.00

从表9可以看出,精选机的精矿品位提高幅度比磁聚机的高了2.2个百分点;其溢流粒度-0.074 mm粒级占63.99%,精矿粒度达到-0.074 mm粒级占81.85%,比溢流粒度细17.86个百分点,比给矿粒度细6.16%。而磁聚机恰恰与它相反,是精矿粒度粗、溢流粒度细,提高幅度低。

试验结果表明精选机克服了磁聚机有效选别粒级窄的缺点,能有效解决永磁磁聚机不能将粗粒连生体和脉石脱掉、选别效果差及易跑黑等难题,选别效果好,且结构尺寸小,耗水量小,便于安装和维护。

## 4 磨选工艺技术升级研制与实践

### 4.1 磨选工艺流程技术升级方案

根据对磨选工艺存在的问题的研究与分析,结合高频振网筛和精选机的试验结果,确定了磨选工艺流程技术升级方案,即采用高频振网筛替代原两段尼龙控制筛和检查筛,解决固定尼龙细筛存在的筛下含过粗粒子、分级效率低和循环负荷大的问题,并保证振网筛下产品粒度达到最终精矿的要求;采用精选机替代永磁磁聚机,解决磁聚机给矿粒度级别宽和选别效果差的问题,实现精选机的自动控制代替原磁聚机的人工调整;采用浓缩磁选机对振网筛筛上物料进行浓缩处理,用以提高二磨浓度,提高二次磨矿效率;对流程和工艺设备重新进行了设计与配置,实现减少输送泵段数和文明生产与操作环境的改善。

磨选工艺流程技术升级流程见图2。

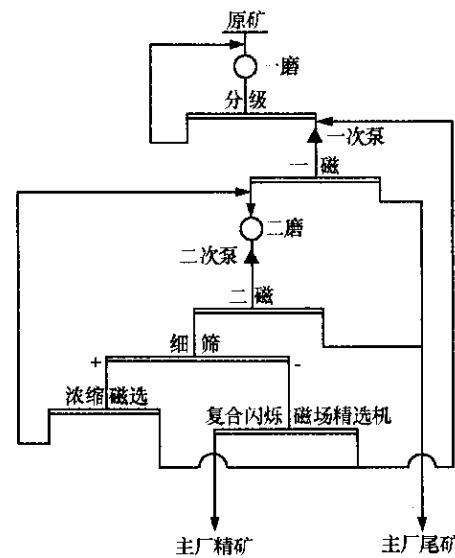


图2 磨选工艺技术升级流程

该流程在设备配置上充分利用了现场的平台高差,二次磁选精矿给振网筛、振网筛筛上给浓缩磁选机、浓缩后精矿给二次球磨、振网筛筛下产品给精选机、精选机精矿到精矿泵池,全部实现了自流。改造后,流程简化美观,各平台设备整齐,平台宽敞,便于生产操作和设备维护,减少了两道输送泵(磁聚机泵、细筛泵)实现了整个流程两段输送泵(一次泵、二次泵)运行。

### 4.2 磨选工艺技术升级的生产实践

磨选工艺技术升级改造完成后,经过连续几个月的生产检验,此项改造十分成功,生产流程运行平稳,主要技术经济指标稳步提高,解决了二次循环负荷大这一根本难题,同时简化了流程,实现了节能降耗。

4.2.1 球磨机台时完成情况 磨选工艺技术升级项目推广后,新、老主厂各项选矿技术经济指标有了显著的提高和改善,其中球磨机台时提高情况见表 10。

表 10 磨选工艺技术升级实施前后台时对比情况

系列磨机规格 /mm	台时处理量/(t·h <sup>-1</sup> )			提高幅度 /%
	改造前	改造后	提高量	
Ø2 700 × 3 600	70.15	75.83	+ 5.68	8.10
Ø3 600 × 4 500	148.07	161.69	+ 13.62	9.20

4.2.2 节能降耗情况 磨选工艺技术升级提高了选矿流程的处理能力,各种消耗随之下降。矿浆输送泵减少运行 15 台,水泵减少运行 4 台,二次磁选输送泵运行电流降低到 200 A 以下等。

4.2.3 工艺技术升级改造后最终精矿筛析 改造后,振网筛代替了原固定尼龙细筛,采用金属复合筛网后,最终精矿筛分分析结果见表 11。

表 11 最终精矿筛分结果

粒径/mm	产率/%			品位/%		
	部分	正累计	负累计	部分	正累计	负累计
-0.175 + 0.147	0.40	0.40	100.00	61.30	61.30	68.21
-0.147 + 0.098	0.20	0.60	99.60	63.95	62.18	68.23
-0.098 + 0.074	16.91	17.51	99.40	65.62	65.50	68.24
-0.074 + 0.043	27.89	45.40	82.49	68.00	67.04	68.78
-0.043	54.60	100.00	54.60	69.18	68.21	69.18
合计	100.00			68.21		

从表 11 可以看出,改造后由于新工艺的特点,筛分设备能按粒度进行分级,最终精矿消除了 +0.175 mm 粗粒级,而 +0.098 mm 粒级含量也仅有 0.6%,远低于技术升级改造前的 12%。精矿粒度组成的改善,不仅有利于提高精矿品位、降低循环负荷、减少过磨,而且为球团改善造球效果奠定了基础,这是原固定尼龙细筛不可比拟的。

## 5 经济效益分析

磨选工艺技术升级项目实施后,老主厂台时提高 8.10%,新主厂台时提高 9.20%,主厂可控成本下降,年可节约费用 800.6 万元;减少主厂矿浆输送泵的运行,年节约备件、材料及电力消耗 284.84 万元;由于精选机替代了原耗水量大的永磁磁聚机,供水系统年可节约电力消耗 256.4 万元,节省备件费用 11.35 万元,年节约费用合计约为 1 353.19 万元。由于筛网寿命偏短,仅有 21 d 左右,且振动筛需用电力,与原固定尼龙细筛相比,年增加筛网费用、电力费用 84.26 万元;为提高二次磨矿浓度,全厂增加 26 台浓缩磁选机,年多增加运行费用 52.39 万元;精选机代替磁聚机后,52 台精选机需用电力,年增加运行费用约 10.22 万元。

综合以上因素,年可实现效益 1 206.32 万元。

## 6 结语

1) 首钢水厂选矿厂磨选工艺技术升级项目将原“固定细筛-永磁磁聚机-固定细筛”工艺流程提升为“高频振网筛-复合闪烁磁场精选机”新工艺,解决了原流程中存在的磨矿分级效率低、循环负荷过大的难题。工艺流程具有结构简单、配置合理、节能降耗、运行可靠的特点。

2) 新工艺采用了高频振网筛和复合闪烁磁场精选机两项关键性的新设备,使磨选工艺流程取得了新突破,显著提高了选矿技术经济指标。筛分效率大幅度提高,新、老主厂台时处理能力分别比原流程提高了 9.20% 和 8.10%,在入选品位仅为 26% 左右的情况下,铁精矿品位稳定在 68% 以上,尾矿品位也得到降低,年实现经济效益 1 206 万元。

3) 本技术符合选矿厂“优质高效、简化流程、节能降耗”的发展方向,具有广泛的推广价值。