磁铁矿磨选工艺技术升级研究与实践

徐景海　周洪强　雷立国
（首钢矿业公司　迁安　064404）

摘　要　本文分析了首钢水厂选矿厂原选矿流程负荷大、筛分效率低和流程布置不合理等问题。在大量试验的基础上，通过使用高频细筛和复合闪烁精选机对原流程进行优化改造，使选矿流程简化、筛分效率提高、产品质量稳定，同时取得显著经济效益。

关键词　选矿工艺　改造　升级

1　前言

首钢水厂选矿厂是国内大型选矿厂之一，经过多年的挖潜改造和扩建，已形成 19 个磨选系列，设计年原矿处理能力 1800 万 t。磨选工艺流程是 1985 年进行磁团聚推广改造后确定的，为磁滑轮干选、阶段磨矿阶段选别、磁聚机和细筛自循环工艺流程。该流程为首钢矿业的发展做出了突出贡献，但是在十几年的生产过程中，也暴露出了许多制约生产顺行、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，矿石可选性逐年变次，为保证精矿质量，将检查细筛筛孔由 0.3mm 缩小至 0.15mm，同时，却暴露出磨矿效果差、循环负荷过大、选别效果差等诸多问题，制约了选矿效率的提高。

为了提升工艺技术，解决上述矛盾，本着稳定质量、提高效率、节能降耗的原则，几年来，我们集中力量进行了一系列科技攻关。经过试验研究和反复论证，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，工艺技术得到全面升级改造。自 2003 年 5 月份至 2004 年 1 月份，全面完成了全厂 19 个系列的磨选工艺技术升级。工业实践证明，该流程工艺简单合理，精矿质量稳定，磨矿台时能力高，能耗降低，解决了原工艺流程暴露出的问题，具有广泛的推广价值。

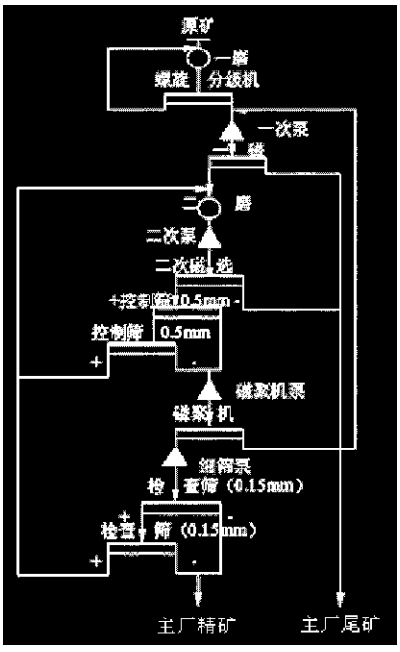

图 1　水厂选矿厂原磨选工艺流程图

2　原磨选工艺存在问题分析研究

2.1　原磨选工艺流程简介

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，详见图一。

2.2　原磨选工艺流程存在问题

随着采厂开采深度不断增加，矿石可选性逐年降低，为提高精矿质量，需要细磨控制最终精矿粒度，由于精矿粒度的变化，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。

2.2.1　固定尼龙细筛分级效率低

由于使用的尼龙细筛为固定筛，靠精矿离子切割分级，使未接触细筛的粒子不能得到切割进入筛下，且筛孔易堵塞，开孔率又低，仅有 7%，导致细筛分级效率低，合格粒子不能及时筛分出，致使流程循环负荷大，导致选别工序负荷大、选别效果差，影响精矿品位。表 1 是固定尼龙细筛考察结果。

表 1　固定尼龙细筛分级效率考察结果（－0.074mm 含量%）

项目	筛给	筛上	筛下	筛下产率	量效率	质效率
粒度	42.28	38.31	77.91	10.03	18.46	14.51

从表 1 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－0.074mm 的粒级含量达到 38.31%，比给矿仅低了 3.97%。

2.2.2　二次磨矿循环负荷大，制约了一次磨矿台时能力的提高

矿石性质变次，要保精矿质量必须细磨粒度，由于精矿粒度标准的提高被迫使用 0.15mm 尼龙细筛，并缩短使用周期，而固定细筛筛分效率又偏低，导致循环负荷过大（在 250～350%），影响了一次球磨机台时能力，台时 70t/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，影响文明生产。

2.2.3　尼龙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，但由于检查筛为 0.15mm 的长条筛，筛孔长 32mm，且为概率筛，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）筛析结果如表 2 所示。

表 2　主厂精矿（检查筛下）的筛析 品位 65.39%

孔径 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					

从表 2 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是 +0.147mm 这部分，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－0.147mm 占 100%，主厂精矿品位可达 66.26%，可提高 0.87% 如果只剔除 +0.175mm 粒级精矿，使精矿粒度达到－0.175mm 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所至。

2.2.4　磁聚机分选粒级较窄，选别效果受到影响

磁团聚重选要提高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，而影响精矿质量。表 3 磁聚机试验考察结果可以说明这一点。

表 3　磁聚机选别效果考察结果（%）

孔径 mm	给矿		精矿		溢流		提高幅度
	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

从表 3 可以看出，+0.175mm 的物料基本上没有得到分选，说明其分选粒度上限为 0.175mm。磁聚机

的品位提高幅度达到了 3.26%，属考察较好的结果，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。

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从提高细筛分级效率入手，解决分级效率低所造成的循环量大造成的磨选系列台时低、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。总之，必须采用新技术、新工艺、新设备解决原磨选工艺流程所存在的问题，提升磨选工艺技术水平，使磨选工艺技术向高效节能的方向发展。

3 磨选工艺技术升级研究过程

几年来，针对磨选工艺存在的问题，我们做了大量的试验研究工作。一方面组织工程技术人员独立对磨选工艺技术进行研究攻关，另一方面积极与选矿研究院所、高等院校和设备厂家广泛合作，分别采用螺旋溜槽、自重介质跳汰、旋流器等设备进行了试验攻关，同时也摸索了分级返砂预先抛尾工艺，积累了大量的经验和教训。

3.1 复合闪烁磁场精选机试验

根据磁聚机和脱水槽的特点，我们自行研制了复合闪烁磁场精选机，为了鉴定复合闪烁磁场精选机的选别效果和应用可行性，对 ϕ 1000mm 复合闪烁磁场精选机进行了工业试验，并与 ϕ 2500mm 永磁磁聚机进行对比（流程位置相同），结果如下：

表 4 复合闪烁磁场精选机与磁聚机使用效果对比

项目	复合闪烁磁场精选机		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
提高幅度	6.16	4.67	−1.67	2.47

从上表可以看出，复合闪烁磁场精选机的精矿品位提高幅度比永磁磁聚机的高了 2.2%；其溢流粒度 −0.074mm63.99%，精矿粒度达到 −0.074mm81.85%，比溢流粒度细 17.86%，比给矿粒度细 6.16%。而永磁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。

复合闪烁磁场精选机试验结果表明它具有磁聚机不可比拟的优点，克服了永磁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。

3.2 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。

3.2.1 振网筛参数试验

根据不同规格筛孔尺寸在工业试验中的筛下粒度水平和筛分效率，最终我们选择筛网筛孔为 0.14×0.26mm。为了确定合理的给矿浓度，我们组织了给矿浓度的条件试验。

表 5 0.14*0.26mm 筛网给矿浓度和筛分质效率完成情况表

给矿浓度%	筛下粒度%	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

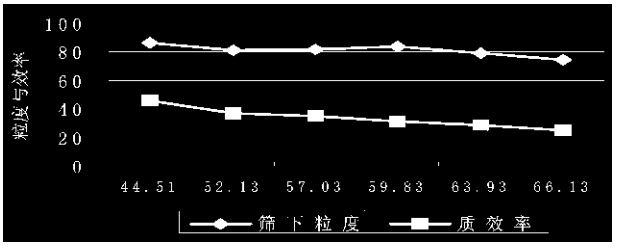

图 2 给矿浓度与筛下粒度、筛分效率的关系图

从表 5 和上图可以看出，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。

3.2.2 高频振网筛的工作效果考察

振网筛主要工作参数确定后，我们组织了振网筛的工作效果考察，主要对筛分效率、筛下粒度和筛子的使用周期对筛分效率的影响进行考察。

表 6 筛分效率考察结果

批次	给矿粒度%	筛上粒度%	筛下粒度%	质效率%
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

从表 6 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。筛下产品粒度 -0.074mm 含量达到 79.03%，满足生产要求。

表 7 筛下产品粒度分析

孔径 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			

从振动筛筛下产品粒度分析结果看筛下物料 -0.074mm 含量 82.49%，消灭了 +0.175mm 两个粒级的粒子，且物料粒度集中在 -0.098mm，-0.175+0.147mm 粒级仅 0.60%，对稳定精矿质量有利。

另外，振网筛在有效的使用周期中，'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。

3.2.3 高频振网筛试验结果分析

通过对高频振网筛的试验得出，它具有固定尼龙细筛不可比拟的优点，一是筛网振动，开孔率，分级效率高；二是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；三是筛下粒度组成级配合理，在相同 -0.074mm 含量的情况下精矿质量高；四是定期强振清洗筛面，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；五是振动筛运行平稳，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。

4 磨选工艺技术升级设计

根据高频振网筛和复合闪烁磁场精选机试验结果，我们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；采用复合闪烁磁场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，并实现复合闪烁磁场精选机的自动控制；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。

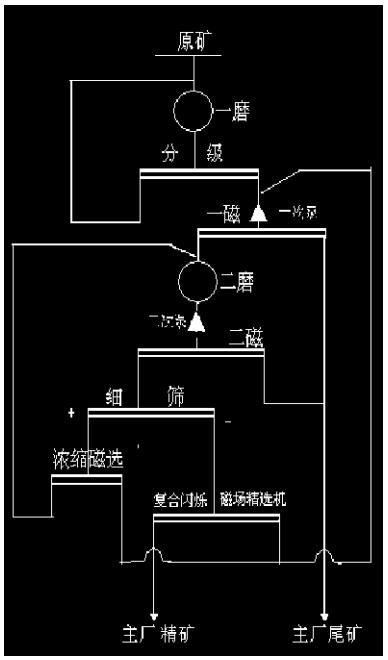

图 3 磨选工艺技术升级流程图

磨选工艺流程技术升级流程图(图三):

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、振网筛筛下产品给复合闪烁磁场精选机、复合闪烁磁场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。

5 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。

5.1 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 8。

表 8 磨选工艺技术升级实施前后台时对比情况表

类 别		台时 t/n.h	磨机利用系数 t/h.m³
老主厂	改造前	70.15	3.82
	改造后	75.83	4.13
对	比	+5.68	+0.31
新主厂	改造前	148.07	3.61
	改造后	161.69	3.94
对	比	+13.62	+0.33

从表 8 可以看出,通过磨机改造前后台时完成指标看,老主厂台时由 70.15t/台.小时,提高到了 75.83t/台.小时,提高 5.68t/台.小时,提高幅度 8.10% 新主厂台时由 148.07t/台.小时,提高到了 161.69t/台.小时,提高 13.62 吨/台.小时,提高幅度 9.20%。

5.2 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。

表 9 工艺技术升级全面推广前后消耗变化情况

类 别		钢球消耗 kg/t 精	铁球消耗 kg/t 精	工艺电耗 kwh/t 精	新水消耗 m³/t 精	二次泵电流 A	主厂泵开动台数
老主厂	改造前	5.45	6.05	17.09	0.19	380	23
	改造后	5.01	5.56	15.71	0.17	180	15
对	比	−0.44	−0.49	−1.38	−0.02	−200	−8
新主厂	改造前	7.23	5.59	20.87	2.17	400	23
	改造后	6.56	5.08	18.95	1.97	325	16
对	比	−0.67	−0.51	−1.92	−0.20	−75	−7

5.3 工艺技术升级改造后最终精矿筛析

表 10　改造后最终精矿筛分分析

孔径 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 10 看,改造后由于新工艺的特点,筛分设备能严格按粒度进行分级消灭了超粗离子,最终精矿消除了 +0.175mm 以上的粗粒级,而且 +0.098mm 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。

另外,无论从现场环境,还是改造后的技术操作调整,无论是在选矿设备上,还是在整体效率能力上,均有大的提高和进步,磨选工艺技术升级获得了成功。

6　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。比起原固定尼龙细筛,年多增加筛网费用、电力费用 84.26 万元。全厂增加 26 台浓缩磁选机,年多增加运行费用 52.39 万元。增加精选机 52 台,年增加运行费用约 10.22 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。综合以上因素,年可实现效益预计 1206.32 万元。

7　结语

1)磁铁矿磨选工艺技术升级项目将原流程中的 '固定细筛 – 永磁磁聚机 – 固定细筛 '工艺提升为' 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、优质高效、运行可靠的特点。

2)该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。筛分质效率由原来的 14.51%提高到 47.67%,新、老主厂台时处理能力分别比原流程提高了 9.20%、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 1206 万元。