

首钢磁铁矿高效选矿技术研究与实践

蒋文利

(首钢矿业公司)

摘 要 我国选矿厂大多数是在20世纪50~70年代建设投产的,由于当时工艺技术装备水平的限制,选矿厂普遍存在着技术经济指标低、消耗高及选矿成本高的问题。(针对选矿暴露出的问题,介绍了首钢矿业公司选矿厂,通过采用高效选矿新技术、新工艺、新设备、新材料对选矿工艺流程和技术装备进行改造所取得的成果。)改造实践表明,大大提高了首钢矿山选矿厂工艺技术水平、自动化水平和技术装备水平,实现了技术经济指标的提高,为企业创造了良好的经济效益和社会效益,具有广泛的推广价值。

关键词 磁选厂 高效选矿技术 尾矿回收工艺

Research and Practice of High Capacity Processing Technique of for Magnetite Ore of Capital Steel

Jiang Wenli

(Mining Co. of Copital Steel)

Abstract Many of the domestic ore dressing plants are built in period of 50 ~ 70 years in 20 century. Because of limited by the techniques and equipment level, these concentration plants exist the problems of low technique and economic indices, high consume and processing cost. Facing these problems, the transformation by high capacity processing technique, new technology, new equipments, new material was operated. The practice demonstrated that, these transformation improved the level of technology, automatic and equipments, and brought fine economic profits and social profits.

Keywords Magnetic separation concentrator, High capacity processing technique, Recovery technology of tailings

首钢矿业公司是首钢(集团)总公司钢铁生产原料的主要供应基地,地处河北迁安、迁西境内。矿区分南北两部分,北区水厂铁矿年产矿石1100万t,南区大石河铁矿年产矿石800万t,矿区占地0.5万hm²,素有百里矿区之称。首钢矿业公司由采矿、选矿、烧结、球团、运输、机械制造、矿用汽车制造、矿山建设等单位组成,是我国配套齐全的最大露天矿山之一。

首钢矿业公司现有大石河和水厂两座选矿厂,选矿厂为磁选厂,设计选矿生产能力年处理原矿2700万t,其中大石河选矿厂900万t/a,水厂选矿厂1800万t/a。大石河选矿厂于1961年建成投产,共有12个 $\phi 2700\text{ mm} \times 3600\text{ mm}$ 磨选系列;水厂选矿厂于1971年建成投产,有12个 $\phi 2700\text{ mm} \times 3600\text{ mm}$ 磨选系列、7个 $\phi 3600\text{ mm} \times 4500\text{ mm}$ 磨选系列。

进入“十五”以来,针对矿石资源不足且资源利用率低和选矿主体设备落后效率低、消耗高、故障多、岗位劳动强度大及生产流程自动化水平低的实

际,为提升工艺技术装备水平,贯彻可持续发展战略,围绕“资源充分利用、高效选矿设备、选矿自动化、节能降耗”等多方面进行研究与攻关,先后完成了一大批高效选矿新工艺、新设备、新材料的研究与试验及推广工作,如磨选工艺流程简化、磁铁矿高效回收新工艺和选矿生产全流程自动检测与控制及复合闪烁磁场精选机、磁性衬板等新设备、新材料的推广应用,使选矿厂工艺水平和自动化水平有了明显的提升,提高了资源的利用率和技术经济指标,降低了能源等消耗,符合选矿厂向“优质高效、简化流程、节能降耗”的发展方向,取得了明显的经济效益和社会效益。

1 选矿厂概况

1.1 入选矿石性质

首钢矿山基本属于鞍山式沉积变质矿床,矿石

蒋文利(1964-),男,首钢矿业公司总工程师,硕士生,064404 河北省迁安市。

多为原生贫磁铁矿,少数矿带被氧化,但氧化程度不深,磁性率 36.0% ~ 42.8%,属强磁性矿物。矿石地质品位 27% 左右,矿物结晶粒度在 0.5 ~ 0.062 mm 之间,矿石硬度 $f = 8 \sim 12$,矿石密度 3.3 g/cm³,堆密度 2.2 g/cm³,岩石密度 2.7 g/cm³,堆密度 1.8 g/cm³。金属矿物主要是磁铁矿、黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿。铁矿物多与石英、长石、辉石等矿物呈连生体的形式存在,少量为单体。铁矿物以贫连生体为主;脉石矿物主要有石英、长石、辉石、角闪石、石榴子石、云母、碳酸盐矿物,其中石英成分占 45% ~ 55%。

1.2 选矿工艺流程

破碎系统采用三段一闭路流程,磨选系统为阶段磨矿阶段选别、弱磁选与重选联合选别、细筛自循环流程。其工艺流程见图 1。

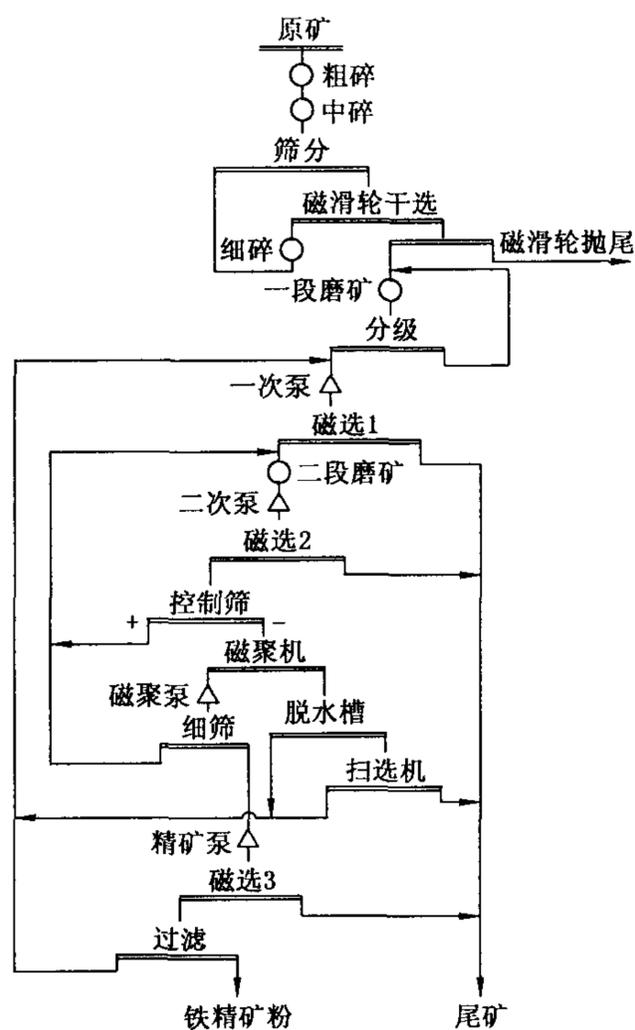


图 1 原选矿工艺流程

1.3 原磨选工艺存在问题

选矿厂经过多年的生产实践,暴露出一系列问题。例如,细粒分级效率低、二次循环量大,制约一段球磨机台时能力提高;流程复杂,输送泵段数多,能耗高;细筛不能严格按粒度分级,磁聚机选别效果下降,精矿质量波动;选矿厂自动化水平低,影响劳动生产率提高;破碎设备型号陈旧,破碎效率低,不适应进一步缩小入磨粒度的要求;铁精矿过滤水份偏高,不能适应球团生产对水份的要求;耐磨材料应

用较少,生产钢耗高等。

2 高效选矿技术的研究与应用

2.1 高效选矿新工艺的研究与应用

2.1.1 应用高效细粒分级和选别设备,简化选矿工艺流程

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,需要细磨控制最终精矿粒度,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,导致产生二段磨矿循环负荷过大、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。

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,集中力量进行了一系列科技攻关,最终确定了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的技术方案,使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。

2.1.1.1 高效分级和选别设备的特点

(1)复合闪烁磁场精选机。为了提高磁铁矿的选别效果,改进原流程应用的磁团聚重选机存在的选别精度降低和耗水量大的问题,结合磁团聚重选机和永磁磁力脱水槽的选别特点研制发明了一种靠磁力、重力和水力联合作用的湿式精选设备——复合闪烁磁场精选机。该设备设计为电磁和永磁复合磁场,具有特殊的磁场特性,设备本身能自动控制,能有效地将较粗粒级的连生体和脉石矿物抛出,达到大幅度提高精矿品位的目的。复合闪烁磁场精选机与永磁磁聚机工业试验(流程位置相同),结果见表 1。

表 1 复合闪烁磁场精选机与磁聚机使用效果对比 %

项目名称	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

注:粒度为 -0.074 mm。

从表 1 可看出,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 2.20%;其溢流粒度 63.99% - 0.074 mm,精矿粒度达到 81.85% - 0.074 mm,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。

(2)MVS 高频振网筛。细筛是保证精矿品位的重要手段,目前存在的主要问题是分级效率低,造成循环量大,严重制约了选矿厂的产品质量和处理能力。为此,组织了唐山陆凯公司生产的高频振网筛的试验工作。

表2 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

注:粒度为-0.074 mm。

从表2可看出,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-0.074 mm含量达到79.03%,满足生产要求。

表3 筛下产品粒度分析结果 %

孔径 /mm	产率		品位	
	部分	累计	粒级	累计
+0.251				
-0.251 +0.175				
-0.175 +0.147	0.40	100.00	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			

从高频振网筛筛下产品粒度分析结果看,筛下物料-0.074 mm含量82.49%,消灭了+0.251 mm、-0.251 +0.175 mm两个粒级的粒子,且物料粒度集中在-0.098 mm,-0.175 +0.147 mm粒级仅0.60%,对稳定精矿质量有利。

2.1.1.2 选矿工艺流程的简化

根据复合闪烁磁场精选机和MVS高频振网筛的特点和磨选工艺流程存在问题,采用复合闪烁磁场精选机代替永磁磁聚机、高频振网筛替代原两段尼龙控制筛和检查筛,每个系列安装MVS2020振动筛4台,筛分面积16 m²,代替了原来26.88 m²的固定筛;每个系列安装2台复合闪烁磁选机,使耗水量降低了70%,解决原流程分级效率低和循环负荷大及永磁磁聚机选别效果差、耗水量大的问题。新的

工艺流程(图2),使原工艺流程得到简化,并成功得到推广应用,于2003年12月完成选矿厂流程全部改造工作。

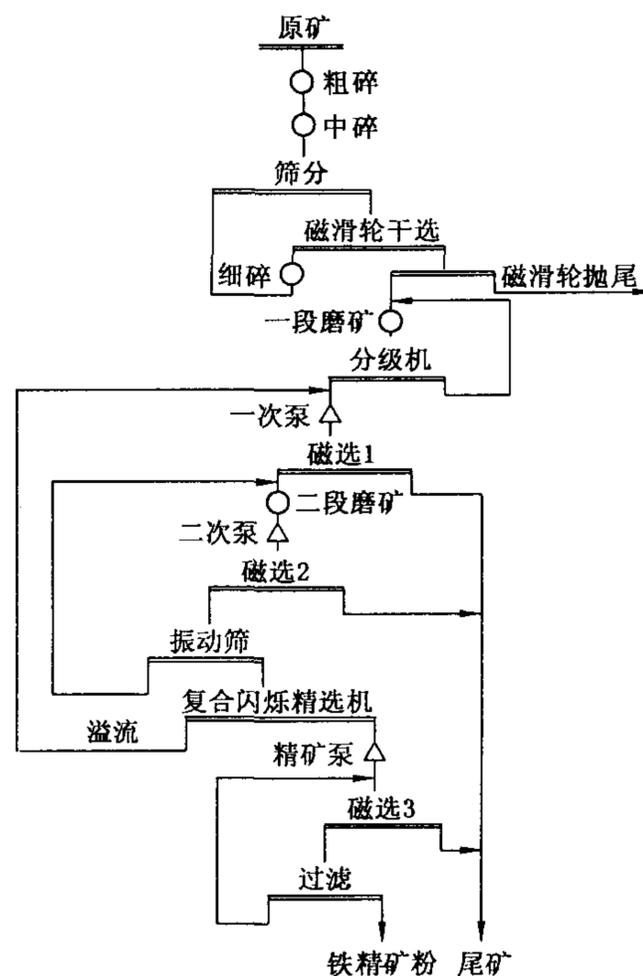


图2 高效选别、分级设备应用流程

工业生产表明,选矿流程简化后,提高了分级效率和选别效果,使选矿工艺流程向“优质高效、节能降耗”迈进了一步。经考察,精矿质量提高了0.3%,球磨机台时能力提高了8.1%以上,二次泵工作电流降低80A,选矿生产二次循环负荷由350%降低到200%以下,细筛效率提高了2.5倍以上,并减少了一段矿浆输送泵的运行,达到了高效节能的目的,取得了较好的经济效益。同时改善了文明生产和操作环境。

2.2 磁铁矿高效回收新工艺的研究与应用

选矿厂自投产以来,尾矿品位一直偏高。尤其进入20世纪90年代,随着采场露天开采深度的增加,矿石的磨选性发生变化,磨选性越来越差,为达到精矿品位标准,不得不进一步细磨,导致尾矿品位逐步升高,尾矿品位高达9%~10%,金属回收率仅有74%左右,矿产资源利用率受到影响的的同时,也严重影响了精矿产量和精矿生产成本及经济效益。

针对矿石资源日益紧张且不能再生的实际和尾矿品位偏高的问题,为了进一步充分利用矿石资源,首钢矿业公司贯彻可持续发展战略和资源保护基本国策,围绕充分利用矿石资源、降低尾矿品位开展了一系列科技攻关和技术改造,研制开发了磁铁矿高

效回收新工艺。

磁铁矿高效回收新工艺的技术关键问题是实现对尾矿中粗、细粒连生体和细粒单体有用矿物的有效回收,工艺设备处理量大,适应矿浆中的碎石、擦油棉丝、碎钢球和废铁等工业垃圾顺利通过和排出,同时不能大量用水,避免降低尾矿浓度。因此,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,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,从而构成磁铁矿高效回收新工艺。流程见图 3。

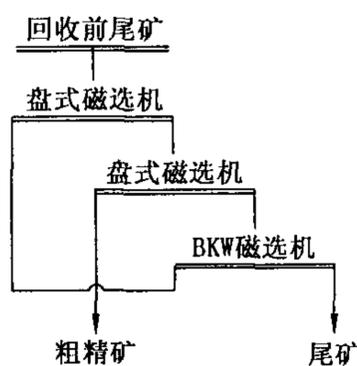


图 3 磁铁矿高效回收工艺流程

自磁铁矿高效回收新工艺得到应用后,经过几年的实践证明,该新工艺不仅提升了选矿工艺技术水平,而且提高了选矿技术经济指标,尾矿品位得到明显降低,金属回收率得到大幅度提高。生产实际尾矿品位由采用磁铁矿高效回收新工艺前的 9.5% 以上降低到 7.14%,比历史最好水平还降低了 1.45%,金属回收率比复合精选前提高了 7.79% 以上。并在资源得到充分利用的前提下很好的解决了质量与尾矿品位和金属回收率的矛盾,取得了显著的经济效益和社会效益。

2.3 二段球磨机磁性衬板的试验与应用

针对选矿工艺流程中二段球磨机长期使用高锰

钢衬板存在的衬板质量大、寿命短而造成的磨矿用电、衬板、钢球消耗高的问题。在经过认真研究考察基础上,组织了磁性衬板的应用试验。试验表明磁性衬板具有寿命长、电耗低、钢球消耗低等优点。2001 年在二段球磨机全部推广应用。工业生产考察节电在 11.34% 左右,节约衬板费用 9.70%、节约铁球在 19.15% 左右。同时,磁性衬板与高锰钢衬板相比,由于使用寿命长和安装不用螺丝的优点,减少了更换衬板次数,避免了处理筒皮漏矿等问题,不仅降低了工人的劳动强度,而且有利于提高球磨机作业率。

2.4 过滤机的改造与调整

由于建厂较早,过滤作业一直使用较为落后的圆筒过滤机和 SZ 型真空泵,并配置皮带排料。但该作业经多年生产实践证明,设备选型和现场配置存有诸多问题,主要表现是过滤机利用系数低、真空泵效率低、能耗高、文明生产保持困难。特别是 40 m² 圆筒过滤机内排矿皮带故障多、维修环境差、劳动强度大,导致精矿粉水份时有波动,甚至成了制约生产的瓶颈。

为解决这些问题,对过滤系统工艺及设备详细深入的研究,着手实施了一系列革新措施。通过对过滤机结构和工艺配置改造,使过滤机由皮带卸矿改为自流卸矿,取消了 24 台胶带运输机;通过对真空泵换型及真空管道串连改造,不但保证了真空度,而且大幅度减少开动台数,真空泵开动台数由 14 台减少到 4 台。过滤系统优化改造实施后,简化了工艺设备配置,提高了设备技术性能和技术经济指标,不仅消灭了皮带消耗、降低了电耗和备件消耗,而且大大减少了故障、提高了过滤机的作业率、降低了劳动强度、改善了维修环境,使过滤系统成为低能耗和文明生产示范单位,解决了长期制约生产水分稳定的问题,精矿粉水份保持在 8.3% 以下,为烧结、球团等下道工序的正常生产提供了坚实的保证,取得了较好的经济效益。

2.5 球磨机给矿设备的研制与应用

选矿厂球磨机给矿机原设计使用的曲柄摇杆摆式给矿机。由于其结构本身问题,在运行过程中暴露出:①给矿量小,运行台数多;②机构较多(减速机、曲柄、摇杆)故障率高,维修量大;③易堵料和掉料,增加岗位的清扫量和维护量。为解决此问题,根据执行器和摆式给矿机及卸料阀的工作原理,研制了流态给矿机。流态给矿机通过执行器前后运动,

带动推杆和活动下料板移动,进而对其扇形开口大小进行调整,从而达到控制给矿量的目的。1台流态给矿机的生产能力可以在(20~120)t/h任意调节,并可实现自动控制。

由于流态给矿机克服了摆式给矿机所存在的缺点,2001年6月份开始,首钢矿业公司选矿厂进行了全面推广,用流态给矿机代替了摆式给矿机。流态给矿机的推广,减少了球磨机给矿机的运转设备台数,减小设备维护检修工作量,降低了电耗和备品备件消耗,减轻了岗位劳动强度和文明生产工作难度。

2.6 选矿全流程的自动控制与自动检测技术的开发与推广

我公司水厂选矿厂是国内大型选矿厂,生产过程自动化水平低。而选矿工艺流程较为复杂,众多环节需协调作业,靠传统的人工检查、操作、调整和管理方式,不仅工作精度低,而且工作滞后,不能适应稳定生产和提高生产效益的要求。为提升选矿工艺技术水平,解决人工操作调整存在的问题,提高选厂经济效益,并适应减员增效的需要。“十五”期间,我们已与马鞍山矿山研究院、清华大学合作共同承担了国家“十五”科技攻关项目——“选矿厂过程监测技术与自动控制系统研究”。本着以经济效益为中心,以满足生产需要为重点,合理规划、分步实施的原则,建成从破碎、磨矿、过滤到矿浆输送等主要作业的自动监测与自动控制,利用先进的信息管理和数据传输网络系统,实现选厂计、控、管一体化,以达到降低成本、减人增效、节能降耗之目的。2001~2004年先后完成了以下主要工作。

(1)破碎系统。①破碎设备集中联控和PLC自动连锁开停机;②破碎机、皮带机除尘器等主要设备自动监测和报警,主要对设备运行状况和皮带跑偏、打滑进行自动检测;③破碎机恒功率给矿自动控制和皮带跑车自动布料等。

(2)磨选系统。①磨矿分级生产过程自动控制,使磨矿分级处于最佳的运行状况;②磨机、分级机、球磨机润滑油泵和磁选机、矿浆输送泵等设备运行状况及磨机前后瓦润滑油流量进行自动监测,异常自动报警,以指导岗位操作调整;③矿浆池液位自动监测等。

(3)脱水过滤作业。①在生产运行时,对流程上所有运行的生产设备实现运行工况监视,出现异常状态及时的进行报警和设备显示,提示操作人员

进行检查和处理;②根据过滤生产工艺的要求,对生产工艺需要的工艺参数实现自动实时检测和显示。当工艺参数出现异常范围值时,及时的进行报警和设备显示,提示操作人员进行检查和处理。

(4)尾矿浓缩作业。①对尾矿浓缩机的底流尾矿排矿设备工况自动检测;②对浓缩机的耙架负荷进行实时检测,避免压耙事故发生,影响生产;③对环水泵、回水泵、废水泵开机工况实现自动监视,对循环水、回水、废水管道的压力等实现自动检测,以方便现场管理人员对用水的管理和调度。④废水泵根据液位情况自动控制泵的启动和停机。

(5)选矿厂网络和监控系统。为了实现企业现代化管理与生产优化调度,必须提供准确的现场生产信息。为此,水厂选矿厂将实施厂级网络系统。厂级网络系统的主干由以太网(总线型)构造,工业网以PROFIBUS(总线型)构造。利用PROFIBUS现场总线将分散于水厂各车间的自动化检测仪表、执行设备连接到PLC控制设备,从而实现水厂各车间的自动化检测与控制。

该系统采用先进的计算机网络技术和信息处理技术,将选厂破碎、磨矿、磁选、过滤脱水和尾矿浓缩等作业的各个过程控制系统进行系统集成,并进而与全厂的计算机网络系统进行系统集成,形成一套全矿过程的计算机综合控制系统,并实现以选厂综合经济效益为目标的优化控制与调度,为最终实现全矿乃至全公司生产的管控一体化系统和ERP系统打下基础。同时,将选矿厂各作业环节所有的控制、监视和检测的设备(包括检测参数)均以组态画面的形式在厂生产指挥中心显示,并实现生产的集中操作和控制。

本项目的实施,为选矿厂减员增效奠定了技术基础,提高了设备运行的稳定性和可靠性及自动化水平。经生产检验,磨矿分级自动控制单机生产能力提高8%左右,提高磨矿效率17%,劳动生产率提高10%。

2.7 尾矿库静压回水工程的实施

首钢矿业公司水厂选矿厂尹庄尾矿库1995年建成投产,设计采用浮船加压泵站回水,尾矿库回水通过加压泵和管道输送回选矿厂使用。随着尾矿库坝体和水位的升高,尾矿库回水应具备自流到选矿厂的条件。根据选矿厂对回水压力要求及厂内回水泵站的设置,经计算当尾矿库库内水位达到标高170m时,加上配套设施,可取消浮船泵站,采用隧

洞静压回水可满足选矿厂生产要求,并利用回水隧洞的剩余空间兼行排洪。

经可行性研究确定,1999 年提出了钢管静压回水及无压排洪的改造方案,得到了秦皇岛冶金设计研究院的认可,并由该院进行了设计。静压回水系统由取水头、排洪洞、洞内回水钢管、阀门室、稳压池等设施构成。新建设施回水管与原有回水管连接,利用库内水位和选矿厂的标高差实现自流回水,将回水送至选矿厂使用。此项工程已于 2001 年 5 月底完工验收。

静压回水系统的建成投产,减少了 1 座回水浮船的管理与运行及费用支出,每年仅电量至少可节约 700 万 kW·h。并取消了二期尚需建设的 1 425 m 钢筋砼排洪管道和 6 座溢水塔。

3 应用效果

3.1 主要技术经济指标

近年来,通过大力推进高效选矿新工艺、新技术、新材料的研究与应用,主要技术经济指标有力明显的变化和提。指标比较见表 4。

表 4 1999 年、2004 年主要技术指标完成情况

指标	精矿品位 /%	尾矿品位 /%	钢球消耗 / $(\text{kg} \cdot \text{t}^{-1})$	铁球消耗 / $(\text{kg} \cdot \text{t}^{-1})$	衬板消耗 / $(\text{kg} \cdot \text{t}^{-1})$	水耗 / $(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	电耗 / $(\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{t}^{-1})$
1999	67.68	9.50	0.98	1.10	0.12	1.56	27.76
2004	68.18	7.14	0.62	0.79	0.08	0.81	24.24
比较	+0.40	-2.36	-0.36	-0.31	-0.04	-0.75	-0.52

注:尾矿品位为磁铁矿高效回收前后指标。

3.2 经济效益

近几年,选矿高效新工艺、新技术、新设备、新材料的应用取得了显著的经济效益,经过科学计算,各种技术措施的应用共取得效益 8245 万元/a,其中,选矿生产流程简化 1 200 万元、磁铁矿高效回收技术 5 003 万元、磁性衬板应用 760 万元、过滤改造 360 万元、流态给矿机 153 万元、尾矿库静压回水工程 529 万元。

4 结 论

首钢矿业公司紧紧围绕建设“一流矿业、开放矿山”的总体目标,以“三化一加强”工作主线,以新工艺、新设备、新技术、新材料为基础,围绕“提高效率、扩大能力、优化流程、改善质量、节能降耗”等重点开展科研工作,在高起点上进行工艺优化、设备升级、技术更新,使一批高效选矿新工艺、新技术、新设备、新材料得到推广应用。磨选流程的简化、磁铁矿高效回收、选矿全流程自动检测与自动控制、磁性衬板等的试验与推广应用取得了良好的效果,使磨选、过滤等工艺流程得到技术升级,提高了选矿厂的工艺技术水平、自动化水平和技术装备水平,保证了技术经济指标的提高,年可实现效益 8000 余万元。正是行之有效的科技创新工作,实现了传统工业运用现代技术改造的成功,并为选矿厂老厂改造和新厂建设提供了借鉴,并为企业带来良好的经济效益和社会效益,具有广泛的推广价值。

(收稿日期 2005-04-08)

(上接第 15 页)

到 2000m 左右)、矿体富集度大、矿化过程快,易于开采和冶炼等特点,所以更具现实经济意义。海底热液矿广泛分布于世界大洋的中脊裂谷和弧后盆地,富含金属的高温热水从海底喷出,在喷口四周沉淀下金属氧化物和硫化物,堆砌成平台、小丘或烟囱状沉积柱。分布在洋中脊和弧后盆地的这类矿多为金属硫化物,往往又称为多金属硫化矿或块状硫化物;据喷出的热液颜色,又有白烟囱和黑烟囱之分;几百度高温喷口附近生存着耐高温和耐硫化物的生物群,具有生物学和地球生命起源研究的意义。我

国已经对海底热液硫化物进行了实验性的勘查。

世界大洋中蕴藏着极其丰富的资源和能源,除了上述几种外,深海中还有许多有重要价值的矿产资源,目前已经发现的还有磷酸盐、深海粘土、碳酸盐以及海水中大量的溶解矿物等,都等待着我们去开发利用。人类对深海的探索和研究相对于探索地球表面来说才刚刚开始,随着人类新需求的出现和科学技术的进步,随着我们对深海的不断探索,还会在深海底发现更多新的矿产、新的资源。

(收稿日期 2005-06-08)