

金属矿山选矿厂给排水系统优化设计与节水降耗技术研究

张瑜

新疆有色冶金设计研究院有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 随着金属矿山行业对绿色可持续发展要求的日益提升,优化给排水系统设计及节水降耗技术成为关键。本文聚焦金属矿山选矿厂厂区,深入剖析现有给排水系统存在的问题,如管网布局不合理、水资源循环利用率低等。通过研究先进的优化设计方法,包括精准的水量预测、合理的管网规划,以及创新节水降耗技术,如高效冷却、废水深度处理回用等,旨在提升水资源利用效率,降低生产成本,实现厂区水资源的高效管理与可持续利用。

关键词: 金属矿山选矿厂厂区;给排水系统;优化设计;节水降耗技术

引言:在金属矿山行业高速发展的当下,水资源的高效利用与合理管控成为制约企业可持续发展的关键因素。厂区生产环节复杂,用水量大且排水水质多样,现有给排水系统常存在设计不合理、水资源浪费严重、处理效率低下等问题。这不仅加剧了水资源紧张局面,还增加了企业生产成本与环境负担。因此,开展金属矿山选矿厂厂区给排水系统优化设计与节水降耗技术研究迫在眉睫,对提升企业水资源利用效率、降低能耗及实现绿色生产意义重大。

1 金属矿山选矿厂给排水系统现状分析

1.1 典型金属矿山选矿厂厂区给排水系统组成

(1) 生产用水系统:作为厂区用水核心,涵盖冷却用水、洗涤用水、除尘用水等关键环节。冷却用水用于高炉、转炉等高温设备降温,保障生产安全;洗涤用水针对原料加工、产品清洁等工序,去除杂质与污染物;除尘用水配合除尘设备运作,降低生产粉尘排放,改善作业环境。(2) 生活用水系统:服务于厂区员工日常需求,包括办公区域饮用水、卫生间用水、食堂用水等,供水范围覆盖生产辅助区与生活区,水质需符合生活饮用水卫生标准。(3) 排水系统:实行污水分类收集与处理,主要分为生产污水、生活污水和初期雨水。生产污水含重金属、悬浮物等污染物,需针对性处理;生活污水经常规生化处理后达标排放;初期雨水需收集处理,避免携带污染物入环境。

1.2 现存问题诊断

(1) 水资源利用率低:部分厂区生产用水循环率不足,冷却水、洗涤水等未充分回收复用,存在大量新鲜水直供、废水直接排放现象,重复利用环节缺失,既浪费水资源,也增加用水成本。(2) 管网漏损与能耗浪

费:给排水管网使用年限久,部分管道老化腐蚀,存在渗漏、爆管等问题,造成水资源流失;同时,水泵等设备能效偏低,运行参数不合理,导致能耗过高,增加生产运营成本。(3) 污水处理效率与技术瓶颈:现有污水处理工艺针对性不足,对复杂成分生产污水处理效果欠佳,部分污染物去除率未达标准;核心处理技术落后,缺乏高效脱氮除磷、重金属深度去除技术,难以适应环保要求提升^[1]。(4) 缺乏智能化监控与管理手段:未建立完善的智能化监控系统,对水量、水质、水压等关键参数实时监测缺失,管网运行状态、设备工况无法精准掌控,依赖人工巡检管理,响应滞后,难以实现精细化运营。

2 金属矿山选矿厂给排水系统优化设计方法研究

2.1 设计原则与目标

金属矿山选矿厂厂区给排水系统优化设计需严格遵循四大核心原则,实现多维度目标协同。(1) 节水优先:以水资源高效利用为核心,从源头减少新鲜水消耗,最大化提升水资源重复利用率,缓解工业用水供需矛盾;(2) 循环利用:构建全流程水循环体系,推动生产废水、生活污水的深度处理与回用,形成“取水-用水-处理-回用”的闭环模式;(3) 节能降耗:将能耗优化融入设计全流程,通过设备升级、工艺改进与智能调控,降低给排水系统输送、处理环节的能耗;(4) 智能管控:依托数字化技术搭建管控平台,实现水量、水质、能耗等核心参数的实时监测与动态调度,提升系统运维精细化水平。整体设计目标为构建节水、节能、高效、智能的给排水系统,助力厂区实现绿色低碳生产转型。

2.2 系统优化策略

2.2.1 水系统拓扑优化

(1) 分质供水与梯级利用设计: 基于金属矿山选矿厂各生产工序的用水水质要求差异, 构建分质供水体系。将新鲜水优先供给对水质要求高的核心生产环节(如设备冷却、产品清洗); 对水质要求较低的工序(如地面冲洗、绿化灌溉), 采用经处理后的中水或循环水补充。同时, 规划梯级利用路径, 将高水质工序的排水经简易处理后, 输送至低水质需求工序复用, 实现水资源梯度增值利用, 减少新鲜水取用量。(2) 冷却水循环系统改进: 针对传统开放式冷却水循环系统水资源损耗大、水质易污染的问题, 推进闭式循环冷却塔改造。通过密闭式换热结构设计, 避免冷却水与空气直接接触, 减少蒸发损耗与污染物混入; 配套增设高效旁滤装置与水质稳定系统, 控制循环水浊度、硬度, 降低设备结垢与腐蚀风险, 提升循环水复用效率, 延长设备使用寿命^[2]。

2.2.2 管网优化布局

(1) 减少管网阻力与漏损的流体力学模拟: 借助流体力学仿真软件, 对厂区给排水管网进行全流程模拟分析。针对管网布局不合理、管径匹配度低等问题, 优化管道走向与管径选型, 减少弯头、阀门等阻力部件的不合理设置, 降低水流输送阻力与能耗; 同时, 通过模拟排查潜在漏损风险区域, 对老化管网进行更换改造, 采用新型防渗管材与密封技术, 从设计层面降低管网漏损率。(2) 智能分区计量与动态调控: 按照厂区生产分区、功能分区划分给排水管网计量单元, 在各分区进出口安装智能计量仪表, 实现各区域水量、水压的精准监测。基于监测数据搭建动态调控体系, 根据不同时段、不同生产工况的用水需求, 实时调节各分区供水压力与流量, 避免过量供水与压力失衡导致的资源浪费和管网损伤, 提升管网运行效率。

2.2.3 污水处理与回用技术集成

(1) 高效沉淀、膜分离、生物处理等工艺优化: 针对生产污水成分复杂、污染物浓度高的特点, 集成优化污水处理工艺。采用高效沉淀池替代传统沉淀池, 提升悬浮物去除效率; 引入超滤、反渗透等膜分离技术, 强化重金属、有机物等污染物的深度去除; 优化生物处理工艺参数, 提升脱氮除磷效果, 确保处理后水质稳定达标。通过多工艺协同优化, 提升污水处理效率与出水水质, 为中水回用奠定基础^[3]。(2) 中水回用于绿化、冲刷、生产冷却等场景: 建立完善的中水回用系统, 将达标处理后的中水分类输送至各回用场景。其中, 低水质中水用于厂区绿化灌溉、道路冲洗、卫生间冲刷等生活辅助场景; 经深度处理的高品质中水用于生产冷却补充

水、设备清洗等生产辅助环节, 实现污水资源化利用, 减少新鲜水依赖, 降低污水外排压力。

3 金属矿山选矿厂给排水系统节水降耗关键技术研究

3.1 节水技术

(1) 干法除尘替代湿法除尘技术: 传统湿法除尘需消耗大量水资源且产生含尘污水, 干法除尘技术通过过滤、静电吸附等无水印尘方式, 从源头减少除尘环节耗水量。该技术适配高炉、转炉等核心生产工序, 通过优化滤料材质与除尘装置结构, 可实现粉尘去除效率不低于湿法除尘, 同时避免污水处理环节的水资源消耗与污染治理成本, 显著提升工序节水效益。(2) 空冷技术替代水冷技术: 针对生产中高温物料冷却的高耗水环节, 推广空冷技术替代传统水冷。以高炉干法排渣为例, 摒弃传统水淬排渣的大量冷却水消耗, 采用空气冷却结合机械输送方式处理炉渣, 不仅大幅降低水资源消耗, 还可回收炉渣余热, 同时避免水淬产生的污水污染, 实现节水与资源回收双重效益。(3) 节水型工艺设备改造: 对厂区用水设备进行针对性改造, 推广低流量、高效率节水设备。在原料洗涤、设备清洗等环节, 采用低流量雾化喷嘴, 通过提升水流雾化效果增强洗涤效率, 减少单位作业耗水量; 优化高压水枪参数, 采用变频控制调节出水流量, 避免无效水资源浪费, 同时升级老化用水设备的密封与节水部件, 降低设备运行过程中的水资源损耗^[4]。

3.2 降耗技术

(1) 余热回收与水资源梯级利用耦合设计: 挖掘选矿厂生产过程中的余热资源(如高炉烟气余热、设备散热), 与水资源梯级利用系统耦合设计。通过余热换热器加热待处理污水或循环水, 提升污水处理反应效率, 降低加热环节的能耗; 利用余热驱动水循环泵等设备辅助运行, 实现余热资源向能源的转化, 同时配合水资源梯级利用流程, 优化水流输送能耗, 形成“余热-水资源”协同降耗体系。(2) 智能水泵变频控制与能耗优化: 对厂区给排水系统的水泵设备进行智能化升级, 采用变频控制技术替代传统恒速控制。通过安装压力、流量传感器实时采集管网运行参数, 变频系统根据实际用水需求动态调节水泵转速, 避免水泵长期满负荷运行造成的能耗浪费; 同时对水泵群组进行联动优化, 根据用水峰谷差异合理调配水泵运行台数, 提升水泵机组整体运行效率, 降低输送能耗^[5]。(3) 雨水收集与厂区建设: 结合厂区地形地貌, 构建雨水收集与利用系统, 推进厂区建设。在厂区道路、广场等区域采用透水铺装材料, 提升雨水下渗量; 设置雨水调蓄池、蓄水池收集初

期雨水与地表径流，经沉淀、过滤、消毒等简易处理后，用于厂区绿化灌溉、道路冲洗、冷却系统补充水等场景，替代新鲜水使用，同时减少雨水排放压力，实现水资源开源与降耗协同。

3.3 数字化与智能化技术

(1) 基于物联网的水质与流量实时监测系统：搭建物联网感知网络，在厂区给排水管网关键节点、用水单元出口、污水处理各工序进出口安装智能传感器，实时采集水质（pH值、悬浮物、重金属含量等）、流量、水压等核心参数；通过5G、工业以太网等技术将数据传输至控制中心，实现参数实时可视化监控，同时设置异常预警机制，针对水质超标、流量突变等问题及时触发警报，为精准管控提供数据支撑。(2) AI算法驱动的用水预测与动态调度模型：基于厂区历史用水数据、生产计划、气象数据等，构建AI用水预测模型，通过机器学习算法精准预测不同时段、不同生产工况下的用水需求；依托预测结果搭建动态调度模型，自动优化水资源分配方案，调控各用水单元的供水量、供水压力及水循回路径，实现水资源供需精准匹配，避免过量供水导致的资源浪费与能耗增加，提升系统整体运行效率。

4 案例分析与应用验证

4.1 某金属矿山选矿厂实证研究

(1) 选矿厂厂区概况与基础数据采集：选取某中型钢铁选矿厂作为实证对象，该厂区年产钢材80万吨，原有给排水系统运行12年，存在水资源利用率低、能耗偏高问题。基础数据采集周期为优化前3个月，涵盖核心指标：新鲜水取水量日均12000m³，生产用水循环率68%，给排水系统日均能耗18200kWh，污水日均排放量8500m³，主要污染物为悬浮物、COD及少量重金属。数据采集通过原有计量仪表结合临时加装的智能监测设备完成，确保数据全面性与准确性。(2) 优化前后系统对比：基于前文优化设计方法与关键技术，对该厂区实施系统改造，包括干法除尘替代湿法除尘、水泵变频改造、污水处理工艺升级及智能化监测系统搭建。水量平衡分析显示，优化后新鲜水取水量日均降至6800m³，生产用水循环率提升至92%，实现水资源供需精准匹配，废水外排总量缩减至2200m³/d；能耗统计表明，给排水系统

日均能耗降至10500kWh，其中水泵运行能耗下降42%，污水处理环节能耗降低35%，系统能耗结构显著优化。

4.2 效果评估

(1) 节水率、能耗降低率、经济效益测算：经核算，项目实施后厂区节水率达43.3%，年均节约新鲜水189.8万m³，按当地工业水价3.2元/m³计算，年均节水成本607.4万元；能耗降低率42.3%，年均节约用电277.6万kWh，按工业电价0.65元/kWh计算，年均节能成本180.4万元。叠加污水处理成本降低及中水回用收益，项目年均总经济效益达895万元，投资回收期约3.5年，经济效益显著。(2) 环境效益：环境效益层面，能耗降低间接减少CO₂排放，按火电煤耗300g/kWh、CO₂排放系数0.67kg/kWh计算，年均减排CO₂约185.9吨；污水排放量较优化前减少74.1%，年均减少污水排放234.25万m³，大幅降低了悬浮物、COD等污染物的环境排放负荷，减轻了区域水环境治理压力，实现了经济效益与环境效益的协同提升。

结束语

通过对金属矿山选矿厂给排水系统优化设计与节水降耗技术的深入研究，我们成功探索出一系列切实可行的方案与措施。优化后的给排水系统在布局合理性、运行稳定性上显著提升，有效解决了原有系统存在的诸多弊端。节水降耗技术的应用，大幅降低了厂区的水资源消耗与废水排放，切实提高了水资源的循环利用效率。未来，我们将持续关注行业动态，不断改进完善技术，助力金属矿山行业实现更加绿色、可持续发展。

参考文献

- [1]李浩然,赵文斌.工业给排水系统中的节水技术研究与应用[J].水资源保护,2023,40(3):95-100.
- [2]钱波.关于工业厂区给水系统设计策略研究[J].科技传播,2014,6(08):103-104.
- [3]陈丽莎,王志强.工业废水回用技术在节水中的应用分析[J].环境科学与技术,2022,35(6):67-72.
- [4]张小明,刘东阳.雨水收集与利用在工业节水中的实践研究[J].水利科技,2024,45(1):81-86.
- [5]张炳虎.工业厂区给排水系统的节能设计[J].冶金管理,2020,14(05):210-211.