

智能化水处理自动化系统分析

王建旭 杨博超

国家能源集团宁夏煤业煤制油分公司 宁夏 银川 750000

摘要：随着科技进步，智能化工业水处理自动化系统成为工业废水处理领域的重要趋势。该系统集成先进信息技术与自动化设备，实现工业水质实时监测、处理工艺自适应优化及全程无人化控制。核心包括数据采集、智能分析与决策、控制执行等模块，能显著提升工业水处理效率、保障出水达标并降低运营成本。本文详细分析其构成、工作原理及应用优势，为工业水处理行业发展提供参考。

关键词：智能化水处理；自动化系统；关键技术

引言：工业废水污染与水资源循环利用压力日益严峻，对工业水处理技术的智能化、高效化提出更高要求。智能化工业水处理自动化系统应运而生，通过整合现代信息技术与自动化控制技术，实现工业水处理过程的智能化监测、调控与管理。该系统在提高处理效率、保障出水达标、降低能耗及人力成本方面优势显著。本文深入探讨其内涵、关键技术及应用前景，为推动工业水资源可持续利用助力。

1 智能化工业水处理自动化系统概述

1.1 系统定义与组成

1.1.1 系统定义

智能化工业水处理自动化系统是现代信息技术、自动化控制技术与工业水处理工艺深度融合的综合系统，可实现工业水处理全过程智能监测、自动调控、优化运行及远程管理。核心是通过数据驱动决策，提升效率、保障出水水质（满足循环利用或排放标准），降低能耗与人工成本。

1.1.2 主要组成部分

（1）工艺系统：含格栅、调节池、生化反应池、沉淀池、过滤、深度处理、污泥脱水等单元，是水质净化核心执行环节。（2）控制系统：以PLC（可编程逻辑控制器）和SCADA（监控与数据采集）系统为核心，负责指令生成与设备联动控制。（3）信号采集系统：由pH计、COD在线监测仪等传感器及数据变送器组成，实时捕捉水质、流量、压力等参数。（4）保护系统：含超压保护、水质超标预警、设备故障自诊断等模块，确保系统安全运行。（5）操作与人机界面系统：通过触摸屏、上位机软件等实现参数设置、状态监控及历史数据查询，支持人机交互与远程操作^[1]。

1.2 系统工作原理

（1）协同工作机制：信号采集系统实时传数据至

控制系统，控制系统依预设算法与废水标准，自动调节工艺系统阀门开度、设备频率等；保护系统同步监测异常，触发报警或停机；操作界面展示全流程状态，操作人员可干预，形成“采集-分析-调控-反馈”闭环。（2）数据处理流程：传感器数据经变送器转数字信号，通过工业总线传至控制系统数据库；系统滤波、校验后，结合机器学习分析水质趋势；参数偏离阈值时，控制系统自动生成调控指令（如调曝气量、加药量等），并将结果与历史数据存云端，为工艺优化提供支撑。

2 智能化工业水处理自动化系统的关键技术

2.1 可编程逻辑控制器（PLC）技术

（1）PLC的作用与优势。PLC是工业水处理自动化系统的“中枢神经”，负责接收传感器信号、执行逻辑运算并输出控制指令，实现设备的自动启停、参数调节等功能。其核心优势在于高可靠性（适应潮湿、多尘、腐蚀性的工业环境）、强扩展性（可通过模块扩展连接数百个设备）、快速响应性（毫秒级指令执行速度），且支持梯形图等直观编程方式，便于工程师调试与维护。

（2）PLC在工业水处理自动化系统中的应用实例。在工业废水处理的生化反应环节，PLC可实时接收溶解氧传感器数据，当检测值低于设定阈值（如1.5mg/L）时，自动增大曝气风机频率；若高于上限（如3mg/L）则降低输出，确保生化反应池内溶解氧稳定。某化工园区污水处理厂应用PLC后，曝气系统的能耗波动幅度从 $\pm 18\%$ 降至 $\pm 4\%$ ，人工调节频次减少85%。

2.2 变频器技术

（1）变频器的工作原理与节能优势。变频器通过改变电机供电频率调节转速：当负载需求降低时，降低频率使电机低速运行，避免“大马拉小车”的能源浪费。其节能优势显著，以废水处理中的水泵为例，当流量从额定值降至70%时，功率消耗可从100%降至34%（按水

泵功率与流量的三次方关系计算),同时减少电机启动时的电流冲击,延长设备寿命。(2)变频器在工业水处理自动化系统中的应用与效果。在工业废水输送环节,变频器与PLC联动,根据集水池液位传感器数据动态调节水泵转速:液位高时提高转速增大排水量,液位低时降低转速节能。某钢铁厂废水处理站应用该技术后,水泵机组的年耗电量下降32%,管道因压力波动导致的泄漏事故从年均6次降至1次;在污泥脱水环节,变频器控制的螺杆泵可精准调节污泥输送量,使药剂投加量与污泥量匹配度提升至92%以上^[2]。

2.3 物联网与无线通信技术

(1)物联网技术在工业水处理监测中的应用。物联网技术通过部署智能传感器网络(如分布式水质传感器、设备状态监测传感器),实现对工业废水产生点、处理单元、回用管网的全要素监测。例如,在工业废水排放口安装COD、氨氮、悬浮物传感器,可实时捕捉水质异常;在格栅机处安装物联网摄像头,结合图像识别技术自动判断栅渣堆积量,触发清渣指令。(2)无线通信技术实现远程监控与数据传输。采用LoRa、NB-IoT等低功耗广域网技术,可将分散在厂区内的多个监测点数据汇聚至云平台,支持管理人员通过手机APP或电脑远程查看实时数据(如出水COD值、曝气设备运行状态)。某工业园区的20个分散式废水处理单元通过5G无线网络实现集中管控,数据传输延迟低于3秒,运维人员人均管理站点数量从4个提升至15个。

2.4 大数据与人工智能技术

(1)大数据技术在工业水质预测与故障预警中的应用。通过采集近5年的工业废水进水水质(pH、COD、氨氮、重金属等)、生产工况数据、设备运行参数,构建水质预测模型。某化工园区污水处理厂应用该技术后,可提前36小时预测进水污染物浓度变化,药剂备料准确率提升65%;同时,通过分析曝气风机振动、电流等历史数据,建立故障预警模型,将突发停机率降低50%^[3]。(2)人工智能优化工业水处理流程与提高效率。人工智能算法可动态优化工业水处理全流程:在混凝环节,通过机器学习自动调整混凝剂投加量,使沉淀池出水悬浮物稳定在50mg/L以下;在膜过滤系统中,AI根据进水水质、压力等参数优化清洗周期,膜使用寿命延长35%。某电子厂废水回用系统引入AI系统后,单位产水能耗下降22%,人工干预量减少75%。

3 智能化工业水处理自动化系统的功能模块

3.1 实时监测与自动调节功能

(1)工业水质、水量、水压等参数的实时监测。系

统通过分布式传感器网络实现全流程参数感知。水质监测覆盖工业废水原水、中间处理水及出水的关键指标,如pH值(精度 ± 0.02)、COD(0-5000mg/L量程)、氨氮、总磷、重金属含量等,数据采样间隔为1-3秒;水量监测采用电磁或超声流量计,实时捕捉各车间排水、各处理单元及出水回用流量,支持累计量与瞬时量同步记录;水压监测聚焦水泵出口、管道关键节点等位置,量程覆盖0-2.0MPa,确保压力稳定在安全区间。监测数据经本地预处理后,实时上传至中控系统并生成动态趋势图。(2)根据监测数据自动调节处理过程。基于预设控制逻辑与算法模型,系统实现处理过程的动态调节。当检测到生化反应池溶解氧偏低时,自动增加曝气量(调节步长 $0.5\text{m}^3/\text{h}$);进水流量波动超过20%时,联动调节格栅机转速与水泵频率;沉淀池污泥浓度过高时,自动增加排泥频次。某机械厂废水处理站应用该功能后,出水水质达标率提升至99.5%,药剂消耗减少18%。

3.2 按需处理与智能调度功能

(1)根据水质和水量需求自动进行处理工艺调整和调度。系统整合工业生产工况与废水处理标准,构建动态处理模型。生产高峰期废水排放量增加时,自动启动备用处理单元;当废水中某类污染物浓度超标时,自动切换至针对性处理工艺;回用水管网用水量增大时,自动提升深度处理单元运行负荷。调度指令通过PLC实时下发至阀门、水泵、风机等执行设备,响应时间 $\leq 2\text{s}$ ^[4]。

(2)实现整体效率的最大化。通过智能算法优化资源配置,生产低谷时降低部分处理设备运行负荷;废水水质较好时,自动缩短处理流程(如跳过部分深度处理环节);多处理单元联合运行时,动态分配处理负荷,使各单元运行效率均衡。某汽车工业园区水处理系统应用后,整体能耗下降25%,处理设备寿命延长4年以上。

3.3 自动清洗与维护功能

(1)定期对滤网、滤料、膜组件等进行清洗。采用“时间+阻力+水质”多参数控制清洗周期:格栅滤网每3小时自动冲洗,压差超过10kPa时强制清洗;砂滤池运行10小时或水头损失达1.5m时,启动气水反冲洗;膜组件根据产水通量衰减15%的阈值,自动执行化学清洗。清洗过程全程自动化,无需人工干预,单次清洗时间可精确控制在20-40分钟。(2)自动进行故障检测、预警与维护。系统实时监测设备振动、温度、电流等参数,水泵轴承温度超 80°C 时自动报警并降载运行;阀门执行器故障时,立即切换至备用阀门;传感器数据异常时,自动启动校准程序。同时生成维护工单,明确故障位置、原因及处理方案,支持扫码查看设备历史维修记录。某炼

油厂废水处理站应用后,故障停机率下降60%,维护成本降低45%。

3.4 远程监控与诊断功能

(1) 管理人员远程监控设备运行状态和水质情况。依托云平台与移动终端,管理人员可实时查看系统运行数据:通过网页端监控大屏掌握全处理站设备启停状态、能耗数据及水质曲线;手机APP支持关键指标(如出水达标率)实时推送,异常情况触发短信报警。系统支持数据回溯查询,可调取任意时段的运行记录与操作日志。(2) 技术人员远程连接进行故障诊断。开通加密远程调试通道,技术人员可远程访问控制系统程序,通过分析历史趋势图判断设备劣化趋势;支持在线修改PLC参数,解决加药精度不足等问题;利用AR技术标注故障点,指导现场人员维修。某偏远矿区工业废水处理厂通过该功能,将故障处理响应时间从10小时缩短至1小时,年节约运维成本22万元。

4 智能化工业水处理自动化系统面临的挑战与对策

4.1 技术挑战与对策

(1) 系统稳定性与可靠性的提升。工业水处理环境的高腐蚀性、高污染物浓度易导致传感器失效、设备故障,影响系统连续运行。对策上,采用防腐蚀、抗干扰的特种工业级硬件,关键监测点设置双传感器冗余备份;通过边缘计算实现本地数据快速校验,减少云端传输延迟;建立设备健康度评估模型,提前预测部件老化趋势,将系统平均无故障运行时间延长至6500小时以上。(2) 新技术的研发与应用。复杂工业废水条件下(如高盐度、高毒性、成分复杂),现有监测技术精度不足,AI算法对突发工况适配性差。需联合科研机构研发耐高污染的多参数集成传感器,提升复杂工业废水监测精度;搭建虚实结合的算法训练平台,增强AI模型对极端工况的应对能力;试点应用区块链技术实现工业废水处理数据溯源,推动技术成果快速转化。

4.2 经济挑战与对策

(1) 系统建设与运行成本的控制。工业水处理自动化系统初期设备投入大(单厂改造费用常超两百万元),后期运维成本高。可推广模块化建设模式,按处理规模分期投入;建立区域工业废水处理共享运维中

心,集中采购降低备件成本;采用节能效益分成模式,用系统节省的能耗费用抵扣前期投资,缩短回报周期至3-5年左右。(2) 政府政策与企业合作的支持。企业投入意愿受限于政策激励不足。建议政府出台专项补贴,对工业废水智能化处理改造项目给予25%的资金支持;将项目纳入绿色信贷支持范围,提供低息贷款;推动“工业企业+环保科技公司”合作,通过技术入股降低工业企业负担。

4.3 社会接受度挑战与对策

(1) 提高企业对智能化工业水处理的认知与接受度。部分企业对技术可靠性存疑,担心初期投入难以收回。可通过案例展示系统“自动控制+高效处理+节能降耗”的综合效益;公布系统运行数据(如出水达标率99.6%、能耗降低30%)及投资回报周期,消除企业顾虑;邀请企业代表实地考察已运行项目,增强认同感。(2) 加强技术培训与推广。企业技术人员对系统操作维护能力不足。可组织专业技术培训,针对系统操作、故障排除等内容开展实操教学;编制详细的操作手册和视频教程;建立技术支持热线,及时解决企业使用过程中的问题,提升企业应用信心。

结束语

综上所述,智能化工业水处理自动化系统凭借在提升处理效率、保障出水稳定、节能减排及智能化管控等方面的显著优势,已成为工业水处理领域的重要发展方向。随着技术进步与应用拓展,其将在工业水资源循环利用中发挥更关键作用。未来,期待该系统持续创新,为工业绿色可持续发展助力,实现生态与工业的协调共生。

参考文献

- [1]高宝昌.智能化水处理设备的自动化系统[J].净水技术,2020,(03):38-40.
- [2]张洪亮.智能化水处理自动化系统分析[J].科技创新与应用,2021,(12):132-133.
- [3]张文清.智能化水处理设备的自动化系统[J].建材与装饰,2020,(29):294-295.
- [4]叶楚楚.智能化水处理自动化系统分析[J].中小企业管理与科技,2021,(13):137-138.