

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±18%降至±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0.5m³/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≤2秒^[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℃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算法对突发工况适应性差。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.