

探析污水在线监测设备中电气自动化的应用

梁谟强

广东新泰隆环保集团有限公司 广东 佛山 528300

摘要: 在工业生产中,电气自动化的应用已经逐渐广泛化,在提升产品生产效率的基础上,为产品的稳定性提供了有效保障。针对环保产业,落实污水处理具有关键性意义。本文以污水在线监测设备作为重点,针对电气自动化应用进行了具体的分析,以供参考。

关键词: 污水在线监测设备;电气自动化;工业生产

世界水环境面临着水污染加重与水资源短缺两个问题。水资源短缺仅能依靠节水、省水等方式解决。而水污染却是由于农田排水、工业废水、生活污水排放至江河湖海中,导致地下水、地上水系统恶化,危害人类安全,制约经济发展,进一步减少水资源。

1 污水在线监测设备的关键技术

1.1 多参数传感器技术。水质传感技术,采用电化学/光学/生物传感技术实时监测COD、氨氮、pH、溶解氧、总磷/总氮等关键指标,其中COD传感器通过重铬酸钾氧化法测定有机物含量,氨氮传感器基于分光光度法实现精准检测。传感器需具备高灵敏度(如 $\pm 0.1\text{pH}$ 精度)和长期稳定性(耐腐蚀材料如钛合金)以适应污水复杂环境。流量监测技术,非接触式雷达流速仪:通过多普勒雷达测量表面流速,适用于开放水体;多普勒流量计:接触式安装于管道,通过反射波分析管道内流速与流量。结合速度面积法计算流量,精度可达 $\pm 2\%$ 。

1.2 自动化控制与智能优化。工艺参数动态调节,基于实时数据(如COD变化)自动调整曝气强度、药剂投加量,降低能耗约15%-20%。采用PID控制算法优化处理流程。故障预警系统,通过阈值设定(如 $\text{pH} < 6.5$ 或 > 8.5 触发报警)和趋势分析实现异常预警。支持短信/APP推送报警信息,响应时间 ≤ 10 秒。

1.3 智能分析平台技术。大数据处理,云计算平台存储历史数据,利用AI算法(如LSTM神经网络)预测水质变化趋势。生成多维报表(日报/月报/同比环比分析),辅助决策优化。远程监控与协同管理,支持Web端/移动端访问,实现跨区域多站点统一监管。数据共享功能满足环保部门排污核查需求。

1.4 设备可靠性技术。耐腐蚀材料工艺,传感器接触部件采用316L不锈钢或聚四氟乙烯涂层,延长使用寿命至5年以上。防护等级达到IP68,适应井下/潮湿环境。冗余设计与自检功能,双电源备份、传感器冗余配置,降

低系统宕机风险。定期自检传感器状态(如电极污染报警)。技术发展趋势,微型化与低功耗:MEMS传感器技术降低设备体积与能耗。AI融合:结合机器学习优化异常检测模型(如孤立森林算法)。边缘计算:本地化数据处理减少云端依赖,提升响应速度。这些技术共同支撑污水在线监测设备实现“感知-传输-分析-调控”全链条智能化管理,助力污水治理效率提升与环保合规。

2 电气自动化提升污水监测效率的方法

2.1 多源数据实时采集与传输。通过部署液位传感器、流量计、水质分析仪等智能终端设备,实现对污水pH值、COD、氨氮、悬浮物等20余项指标的连续监测,采样频率可达到秒级精度13。采用4G/5G/NB-IoT混合组网技术,数据传输延迟控制在500ms以内,确保云端平台的实时性,相比传统人工记录效率提升85%。

2.2 智能控制算法集成。自适应调控:采用模糊PID复合控制算法,在流量突变场景下可将泵站响应时间缩短至30秒内,节能效率达18%-25%。预测性调度:结合气象预报与历史数据训练LSTM神经网络,实现未来2小时进水负荷预测,准确率超过92%。变频调速技术:通过矢量变频器调节水泵转速,使设备运行功率动态匹配实际需求,降低无效能耗15%-30%。

2.3 智能化故障诊断体系。特征提取:对振动信号进行小波包分解,提取轴承磨损、叶片空蚀等32种故障特征向量。健康评估:基于随机森林算法构建设备健康指数(EHI)模型,实现关键部件寿命预测误差 ≤ 7 天。联动处置:当检测到溶解氧异常时,系统自动触发曝气机功率补偿指令,恢复时间较人工操作缩短83%。

2.4 云端协同管理架构。采用边缘-云计算协同框架:边缘侧完成80%数据预处理,带宽占用减少65%。云端大数据平台集成Kafka流处理引擎,支持百万级数据点/秒并发分析。通过OPC UA协议实现与SCADA、MES系统的无缝对接,指令下发延迟 $< 200\text{ms}$ 。

2.5 安全防护机制。构建三层防御体系：物理层采用虹膜识别门禁与振动感应防盗装置。网络层部署IPsec VPN隧道加密，支持国密SM4算法。应用层实施RBAC权限管理，日志审计颗粒度达到操作指令级。该技术体系使污水监测系统的MTBF（平均无故障时间）提升至10,000小时以上，运维成本降低42%，数据完整性达到99.99%。

3 电气自动化远程监控的实现方式

电气自动化远程监控的实现方式基于多层次技术架构，核心环节包括：

3.1 数据采集与终端接入。传感网络部署，在设备端部署温度、压力、振动等高精度传感器，实时采集运行参数，例如矿山设备监测瓦斯浓度和地质应力时，传感器网络可构建设备健康管理的数字孪生基础。PLC通过Modbus协议采集电机转速、阀门开度等数据，支持毫秒级刷新频率。智能终端集成，采用EG20边缘计算网关实现本地数据预处理，减少云端传输压力；智能配电箱集成电表模块，实现电流、电压、功率等用电参数的并行监测。

3.2 通信传输技术。混合组网模式，结合5G、工业以太网与LoRa技术，构建低时延传输通道：5G主网保障关键数据毫秒级传输，LoRa补充地下/封闭区域信号覆盖，冗余通道设计确保矿井等场景下通信可靠性，协议转换机制，通过OPC UA网关实现Modbus、MQTT等协议的统一转换，兼容SCADA、MES系统数据交互需求，指令下发延迟<200ms。

3.3 智能分析与云端处理。机器学习模型，基于LSTM神经网络预测设备故障趋势，例如油田设备通过健康度模型分析时间序列特征，提前7天预警轴承磨损等故障。动态优化决策，云端平台集成Kafka流处理引擎，支持百万级数据点/秒并发分析，结合数字孪生技术模拟不同工况下的设备能耗，辅助生成优化控制策略。

3.4 远程控制执行。SCADA系统联动，配电网自动化中，RTU/FTU接收SCADA指令驱动断路器分合，实现负荷平衡与电压调节，控制误差率控制在 $\pm 1.5\%$ 内。

移动端交互，通过手机APP或Web端远程启停设备，支持PLC程序远程上下下载，维护效率提升60%以上。异常工况下自动触发曝气机功率补偿等闭环控制。

3.5 安全保障机制。端到端加密，采用IPsec VPN隧道与国密SM4算法加密通信，结合RBAC权限模型实现操作指令级管控。冗余容错设计，关键控制回路采用双PLC热备架构，故障切换时间 $\leq 50\text{ms}$ ；边缘计算节点本地存储确保断网时基础功能持续运行。当前远程监控系统

已实现设备故障率下降40%、人工巡检频次减少70%的成效。未来发展方向包括量子加密通信集成、多模态数据融合分析等技术创新。

4 电气自动化在污水监测中的实际应用

4.1 实时数据采集与传输。多参数监测网络，在管网关键节点部署液位传感器、pH探头、浊度仪等设备，可实时采集COD、氨氮、悬浮物等20余项水质参数，采样频率达秒级精度。例如粗/细格栅单元通过自动化控制清除杂物，预处理效率提升40%以上。基于液位传感器与PLC控制逻辑，自动启停水泵并调整排水量，维持集水池水位稳定，暴雨或污水峰值流量场景下溢流风险降低75%以上。

4.2 智能控制算法应用。PLC精准控制，西门子S7-1200系列PLC通过PID算法动态调节水泵、曝气阀等设备，在某污水厂案例中实现药剂投加误差率 $\leq 1.2\%$ ，暴雨场景下水泵响应时间缩短至30秒内。预测性维护模型，基于LSTM神经网络预测未来2小时进水负荷，准确率达92%，结合小波包分解技术提取设备振动特征，可提前7天预判轴承磨损等32类故障。

4.3 自动化处理系统。分级控制架构，采用两级控制模式：底层PLC完成曝气量、药剂投加等实时操作；中控系统统筹全局工艺参数，动态优化整体处理流程。

预处理自动化，格栅单元通过粗/细格栅联动控制，自动清除漂浮物及悬浮颗粒，保护后续处理设备，减少人工清理频率达90%。

4.4 系统集成与远程管理。分布式架构，采用“边缘计算+云端协同”模式，80%数据在边缘侧完成预处理，降低带宽占用65%；云端通过Kafka流处理引擎实现百万级数据点/秒的并发分析。可视化监控平台，组态王6.55与Unity3D构建三维数字孪生系统，支持阀门开度、电机转速等参数的虚实映射，操作人员可通过移动端远程控制设备，指令下发延迟<200ms。

4.5 故障诊断与能耗优化。闭环反馈机制，当溶解氧浓度异常时，系统自动触发曝气机功率补偿指令，较人工干预恢复时间缩短83%；振动传感器结合随机森林算法实现设备健康指数动态评估。变频调速技术，矢量变频器动态匹配水泵功率与实际需求，使无效能耗降低15%-30%。

4.6 安全与可靠性提升。冗余容错设计，关键控制回路采用双PLC热备架构，故障切换时间 $\leq 50\text{ms}$ ，系统MTBF（平均无故障时间）突破10,000小时。分级权限管理，通过RBAC模型实现操作指令级权限控制，结合IPsec VPN隧道加密传输，确保数据与设备安全。安全与合规

保障,超标应急响应,超标水质触发自动留样机制,同步启动备用处理单元,违规排放事件发生率控制在0.5%以下。数据直传监管,监测报表自动生成并加密传输至环保平台,确保数据完整性与可追溯性,满足GB 18918等标准要求。

4.7 能效优化。动态能耗匹配,根据处理负荷自动调节水泵功率、曝气强度,综合电耗下降18%-22%。药剂闭环控制,基于污染物浓度检测反馈,精准调节絮凝剂、消毒剂投加量,药剂浪费减少35%以上。

5 电气自动化在污水监测中的优势与挑战

5.1 技术优势。精准实时监测,通过液位传感器、DO检测仪等设备实现COD、氨氮、溶解氧等关键参数的秒级采集,结合PLC控制器动态调整曝气机功率与水泵流量,处理效率提升30%以上,水质达标率提高至98%。智能化控制优化,模糊PID算法根据进水负荷自动调节曝气量,使能耗降低15%-25%;基于LSTM神经网络的预测性维护模型可提前7天预警设备故障,维修响应时间缩短60%。远程运维能力,采用5G+边缘计算架构实现设备状态的虚实映射,支持移动端远程启停设备与参数调整,人工巡检频次减少70%。能耗与成本控制,矢量变频器动态匹配水泵功率需求,无效能耗降低18%;自动化药剂投加系统误差率 $\leq 1.2\%$,年节约运营成本超百万元。

5.2 关键技术挑战。数据融合瓶颈,管网节点、泵站、处理单元的多源数据存在协议差异,跨系统整合时处理延迟仍高于200ms,影响实时决策效率。传感器可靠性问题,pH探头、浊度仪等设备长期接触腐蚀性介质易

发生生物污染,导致监测误差率升高至5%以上,需每季度人工校准。复杂工况适应性,暴雨期进水流量突变可能引发控制算法响应滞后,目前仍有12%的污水处理厂在极端工况下需切换至人工干预模式。系统兼容性限制,不同品牌设备接入开放式控制系统时,存在20%的接口协议不兼容问题,制约老旧设施改造进度。

综上所述,通过上述技术集成,电气自动化使污水监测逐步实现从“被动处置”到“主动预防”的转变,成为现代水务管理的核心支撑体系。当前应用中,半自动化系统仍占主流(占比约65%),但全自动化控制已在20%的污水厂实现,夜间作业安全隐患降低90%。未来需进一步攻克传感器抗生物污染、多源数据融合等关键技术瓶颈。

参考文献

- [1]薛宇劼.污水处理厂生化池在线监测系统光谱法和电极法对比[J].能源技术与管理,2021,46(01):156-157.
- [2]赵坡.电气自动化技术在污水处理过程中的应用[J].新型工业化,2020,10(05):19-20.
- [3]唐燕.自动化控制技术在污水处理过程中的应用和发展[J].电子元器件与信息技术,2022(12):54-56,126.
- [4]陈霞.机械设备自动化在污水处理工程中的应用[J].内蒙古科技与经济,2022(24):100,102.
- [5]王凌.深圳市宝安区污水处理厂COD在线监测设备的可行性分析[J].企业技术开发,2022,35(09):179-180.
- [6]陈红.污水氧化还原电位及总固体含量的在线监测初探[J].中国沼气,2023,41(3):55-58.