

# 地埋式污水厂电气自动化控制系统设计

梁谟强

广东新泰隆环保集团有限公司 广东 佛山 528300

**摘要:**在现代污水处理行业中,地埋式污水厂电气自动化控制系统的优化设计至关重要。该系统设计期间需要考虑到各种因素,包括设备的可靠性、效率和安全性。通过系统设计,可以提高污水处理厂的运行效率,减少能源消耗,并提高环境保护的效果。同时,利用先进的监控技术实时监测污水处理过程中的各项参数,以便及时调整系统的运行状态。优化地埋式污水厂电气自动化控制系统设计是一项综合性的任务,需要综合考虑各种因素并不断进行研究和改进,以提高处理效果并降低成本。

**关键词:**地埋式;污水厂;电气自动化;控制系统设计

地埋式污水厂电气自动化控制系统的应用在现代污水处理领域中起着重要的作用。通过采用先进的电气自动化技术,可以实现对污水处理过程的精确监控和控制,提高处理效率和水质稳定性。

## 1 地埋式污水厂电气自动化控制系统的意义

(1) 集约化空间管理。通过模块化控制系统设计与分布式架构,将原本分散的工艺流程整合至地下有限空间内。PLC站按工艺段就近部署(如预处理、生化处理、深度处理单元),结合光纤环网实现150米覆盖半径内的设备集群联动控制,减少线缆敷设量30%-40%。该设计符合地埋式污水厂立体布局特性,避免传统地上式厂区设备分散导致的运维效率低下问题。

(2) 精准化过程控制。集成溶解氧、ORP、污泥浓度等智能传感器(采样周期 $\leq 10$ 秒),配合矢量变频器与PID闭环算法,实现曝气量、药剂投加、污泥回流的动态调节。相较于人工经验操作,系统可将生化反应池溶解氧波动范围从 $\pm 1.5$ mg/L缩小至 $\pm 0.3$ mg/L,提升脱氮除磷效率15%以上,确保出水水质稳定达标。

(3) 本质安全强化。针对甲烷、硫化氢等有害气体的防控需求,构建三级安全防护体系:①Ex d IIB T4防爆设备与可燃气体监测(报警阈值 $\leq$ 爆炸下限20%)实现危险区域本质安全;②UPS与柴油发电机双备份保障关键设备持续供电;③应急停机按钮与事故风机联动机制( $H_2S$ 浓度 $> 10$ ppm时自动启动)形成快速响应能力。

(4) 经济性优化。智能配电系统搭配能耗管理模块,通过负载均衡、变频调速、工艺参数优化等策略,典型项目中吨水电耗下降0.15-0.2kWh,年节约电费超百万元。同时,远程监控减少60%现场巡检人力,PLC设备平均无故障时间 $> 10000$ 小时,综合运维成本降低40%。

(5) 生态友好驱动。系统通过精准控制减少化学药剂过量投加,结合曝气量实时调节降低碳排放。实践数据显示,自动化控制可使碳源投加误差率从 $\pm 20\%$ 降至 $\pm 5\%$ ,年减少药剂浪费约200吨,助力污水厂实现碳中和目标。

## 2 地埋式污水厂电气自动化控制系统设计流程与步骤

(1) 需求分析与工艺匹配。工艺参数提取。明确处理规模(如日处理量 $10$ 万 $m^3$ )、水质标准(如COD $\leq 30$ mg/L)及核心工艺单元(AAO、MBR等),确定各工艺段控制参数(如溶解氧2-4mg/L、污泥回流比50-100%)。统计设备功耗特性(如鼓风机功率110kW、提升泵变频范围30-50Hz),绘制全厂能耗分布图谱。控制需求定义。划分控制层级:设备级单机控制、工艺段联锁控制、全厂调度控制。设定安全联锁条件(如格栅堵塞报警、甲烷浓度超限停机)及冗余策略(关键PLC站双电源+光纤环网)。

(2) 系统架构设计。网络拓扑规划。采用“光纤环网+现场总线”混合架构:主干网络使用千兆光纤环网(抗干扰性强),子网采用PROFIBUS-DP或Modbus RTU协议连接现场仪表。控制层级间距优化:PLC站距设备群 $\leq 150$ 米,减少信号衰减与延迟。配电系统集成。设计智能配电方案:配置能耗监控模块(追踪吨水电耗)、智能断路器(带过载预警)及动态无功补偿装置(功率因数 $\geq 0.95$ )。地下空间防潮设计:配电柜防护等级IP55以上,电缆桥架采用热镀锌钢板。

(3) 硬件选型与配置。核心控制器选型。主PLC选用冗余架构(如S7-1500H双机热备),支持至少5000点I/O容量,模块化扩展槽 $\geq 10$ 个。配置高精度AI模块(16位分辨率)与带断线检测的DI模块,确保信号采集可靠性。传感与执行器件部署。生化池安装溶解氧仪

(量程0-20mg/L $\pm$ 0.1mg)、超声波污泥浓度计(0-15g/L $\pm$ 1%);大功率设备(如鼓风机)配套矢量变频器(过载能力150%/60s)与谐波滤波器(THD $\leq$ 5%)。

(4)控制策略与软件开发。控制算法设计。曝气量闭环控制:基于溶解氧实时值与设定值的偏差,采用模糊PID算法调节鼓风机转速(响应时间 $\leq$ 30秒)。智能加药控制:通过MLSS仪与进水流量计数据,建立前馈-反馈模型调节碳源投加量。SCADA系统开发。组态界面集成工艺流程图、实时趋势曲线及报警管理界面(三级报警颜色区分)。开发能耗分析模块:自动生成吨水电耗、设备运行效率等KPI报表。

(5)安全防护与调试验证。本质安全设计。爆炸危险区(如污泥消化池)采用Ex d IIB T4防爆设备,电缆穿线管进行气密性封堵。部署6通道气体检测系统(甲烷、H<sub>2</sub>S监测),超限联动事故风机(换气次数 $\geq$ 12次/小时)。系统调试流程。单机测试:验证阀门开度与反馈信号偏差 $\leq$ 2%,变频器调速线性度误差 $<$ 1%;连锁测试:模拟突发停电时UPS切换时间 $\leq$ 20ms,关键工艺段故障隔离时间 $\leq$ 5秒;满负荷试运行:持续72小时验证系统稳定性,要求MTBF $>$ 10000小时,控制参数达标率 $\geq$ 98%。该设计流程通过分层实施与多维度验证,可确保系统满足埋地式污水厂集约化、智能化与高可靠性的建设需求。

### 3 埋地式污水厂电气自动化控制系统设计关键要素

(1)分层架构与网络拓扑。层级化控制体系。采用“现场设备层-控制层-管理层”三级架构:现场层:部署溶解氧仪(精度 $\pm$ 0.1mg/L)、超声波污泥浓度计(量程0-15g/L)等智能仪表,通过PROFIBUS-DP总线传输数据,确保采样周期 $\leq$ 10秒;控制层:按工艺段设置3-5个冗余PLC站(如S7-1500H双机热备),覆盖半径 $\leq$ 150米,通过千兆光纤环网实现数据同步(切换时间 $\leq$ 500ms);管理层:SCADA系统集成工艺流程图、能耗分析模块(吨水电耗追踪)及三级报警机制(红/黄/绿分级)。混合网络架构。主干网络采用光纤环网抗电磁干扰,子网结合Modbus RTU协议连接现场设备,关键节点配置边缘计算模块降低主网负载。

(2)核心控制技术与策略。工艺参数闭环控制。曝气量调节:基于模糊PID算法动态调整鼓风机转速,溶解氧波动范围控制在 $\pm$ 0.3mg/L以内,响应时间 $\leq$ 30秒;智能加药:通过MLSS仪与流量计数据建立前馈-反馈模型,碳源投加误差率从 $\pm$ 20%降至 $\pm$ 5%;变频调速:提升泵/回流泵采用矢量变频器(THD $\leq$ 5%),节能率可达25%-40%。冗余与容错设计。关键PLC站配置双电源模块

及断线检测DI模块,I/O容量 $\geq$ 5000点,支持模块化扩展槽 $\geq$ 10个。

(3)安全防护体系。本质安全设计。爆炸危险区域(如格栅间)选用Ex d IIB T4防爆设备,电缆穿线管进行气密性封堵;部署通道气体检测系统(甲烷/H<sub>2</sub>S),报警阈值设为爆炸下限的20%,联动事故风机(换气次数 $\geq$ 12次/小时)。应急保障机制。配置UPS(后备时间 $\geq$ 30分钟)+柴油发电机双电源,关键控制柜设紧急停止按钮;网络层部署防火墙与双认证机制,防止未授权访问。

(4)工程实施要点。抗干扰措施。动力电缆与控制电缆分层敷设(间距 $>$ 300mm),模拟信号线采用双绞屏蔽电缆(单点接地);PLC机柜接地电阻 $\leq$ 1 $\Omega$ ,与建筑防雷接地网间距 $>$ 5m。调试与验证。单机调试:验证阀门开度误差 $\leq$ 2%,变频调速线性度误差 $<$ 1%;联动测试:模拟突发停电时UPS切换时间 $\leq$ 20ms,故障隔离时间 $\leq$ 5秒;满负荷运行:72小时连续运行验证系统稳定性(MTBF $>$ 10000小时)。该设计体系通过多维度技术融合,可降低吨水电耗0.15-0.2kWh,运维成本减少40%,同时满足地下空间集约化与安全生产需求。

### 4 埋地式污水厂电气自动化如何提升污水处理效率与质量

(1)工艺参数精准调控。溶解氧动态调节。采用高精度溶解氧传感器( $\pm$ 0.1mg/L)实时监测生化池数据,结合模糊PID算法控制鼓风机变频运行,使溶解氧浓度波动范围从 $\pm$ 1.5mg/L缩小至 $\pm$ 0.3mg/L,提升脱氮效率15%以上。智能加药优化。基于进水流量计和MLSS仪数据构建前馈-反馈模型,碳源投加误差率从 $\pm$ 20%降至 $\pm$ 5%,年减少药剂浪费约200吨。

(2)设备效能优化。变频节能控制。对鼓风机、提升泵等大功率设备配置矢量变频器(THD $\leq$ 5%),结合负载需求动态调节转速,典型项目节能率可达25%-40%。运行逻辑:低负荷时段自动降频至30Hz。峰值时段升频至50Hz并启动备用机组。预处理单元升级。采用自清洁格栅(拦截效率 $>$ 90%)与超声波污泥浓度计联动,减少后续处理单元负荷,提升整体处理效率12%-18%。

(3)系统协同管理。三级控制架构。构建“设备层-控制层-管理层”体系:现场层:PROFIBUS-DP总线连接200+IO点设备,采样周期 $\leq$ 10秒。控制层:5个冗余PLC站通过千兆光纤环网同步数据(切换时延 $\leq$ 500ms)。管理层:SCADA系统集成能耗分析模块,自动生成吨水电耗、设备利用率等12项KPI。异常快速响应。部署通道气体检测(甲烷/H<sub>2</sub>S)与事故风机联

动, H<sub>2</sub>S浓度 > 10ppm时自动启动应急换气 (≥ 12次/小时), 防止工艺中断。

(4) 质量保障体系。多级水质监测。在进水口、生化池、出水口部署在线COD/氨氮检测仪, 数据异常时自动触发工艺参数调整, 确保出水达标率 ≥ 98%。数字孪生验证。建立污水处理工艺数字模型, 通过仿真预演曝气量、回流比等参数组合, 优化实际控制策略。

### 5 地理式污水厂电气自动化控制系统实施与维护

(1) 实施技术要点。分层架构设计。采用“PLC控制站+远程I/O站”分布式架构, 主站通过光纤以太网连接6-8个子站(如A<sub>2</sub>O生化池、二沉池等区域), 网络带宽 ≥ 1Gbps, 确保数据同步延迟 ≤ 100ms。冗余配置关键节点(如鼓风机PLC站), 支持双机热备自动切换(切换时间 < 500ms), 提升系统可靠性。智能配电方案。引入PLC智能配电柜, 集成变频器(如ABB ACS880系列)、软启动器等模块, 动态调节设备功率, 节能率可达25%-40%。双电源切换装置(ATS)匹配柴油发电机, 断电后供电恢复时间 ≤ 15秒。调试流程优化。单机调试: 验证设备响应精度(如阀门开度误差 ≤ 2%、变频器频率偏差 ±0.5Hz); 联动测试: 模拟高负荷工况下系统稳定性, 连续72小时运行MTBF > 8000小时; 参数整定: 基于PID算法优化生化池溶解氧控制, 波动范围从±1.5mg/L降至 ±0.3mg/L。

(2) 运维管理策略。预防性维护体系。建立设备维护周期表: 阀门/水泵: 每2000-3000小时检查轴承润滑与

密封性; 传感器(pH/DO): 每季度校准一次, 确保测量误差 < ±5%。配置远程诊断模块, 实时监测PLC模块温度(警戒值 > 60℃)、网络丢包率(阈值 < 0.1%)。故障应急处理。数据驱动优化。SCADA系统集成能耗分析功能, 实时追踪吨水电耗、药剂投加效率等12项指标, 生成优化报告; 利用数字孪生技术模拟工艺参数组合, 预判设备损耗趋势, 延长关键部件寿命15%-20%。

(3) 安全管理规范。防爆设计。爆炸危险区域(如污泥处理间)选用Ex d IIB T4级防爆电气设备, 电缆穿线管采用环氧树脂密封; 接地系统独立设置, 接地电阻 ≤ 1Ω, 与建筑防雷接地间距 > 5m。网络防护。控制网络与办公网物理隔离, 部署工业防火墙与双因子认证, 阻断非法访问; 数据备份采用“本地冗余+云端同步”模式, 备份频率 ≥ 1次/小时。

总之, 通过采用先进的电气自动化技术, 可以实现对污水处理过程的精确监控和控制, 提高处理效率和水质稳定性。该控制系统可以自动化地调节污水处理设备的运行参数, 还可以与其他设备和系统进行联动, 实时监测和记录污水处理过程中的各项指标, 为运营管理提供数据支持。

### 参考文献

- [1]刘加遥, 浅谈地理式污水厂电气自动化控制系统设计. 2022.
- [2]马自防. 地理式污水处理厂电气设备巡检与维护分析. 2023.