

# 自动化技术在焦化废水处理过程中的应用实践

周吉磊

山西焦化集团有限公司 山西 临汾 041606

**摘要:** 针对焦化废水污染物复杂、毒性强、处理难度大的问题, 本文探究自动化技术在其处理全流程的应用实践。围绕核心工艺与自动化基础, 从监测系统设计、预处理控制、生物处理调控三方面展开研究, 构建涵盖监测、控制、预警的自动化体系。实践表明, 该体系可实现水质参数精准监测、工艺参数自适应调节, 有效提升处理效率与水质稳定性, 降低运维成本, 为焦化废水处理自动化升级提供技术参考。

**关键词:** 自动化技术; 焦化废水处理; 应用实践

引言: 焦化行业产生的高浓度废水含酚类、多环芳烃等有毒污染物, 传统处理工艺依赖人工调控, 存在效率低、水质波动大等弊端。随着环保要求提升, 自动化技术成为提升处理效果的关键。本文立足焦化废水处理实际需求, 先阐述核心工艺与自动化组件基础, 再深入剖析监测系统设计、预处理与生物处理自动化策略, 旨在通过系统研究, 为自动化技术在焦化废水处理中的规模化应用提供理论与实践支撑。

## 1 焦化废水处理核心工艺与自动化技术基础

### 1.1 焦化废水主要污染物特性

焦化废水是焦化行业产生的高浓度有机废水, 污染物成分复杂且毒性强, 核心污染物包括酚类、多环芳烃、含氮杂环化合物、氨氮、氰化物等。其中酚类浓度高, 兼具强腐蚀性与毒性; 氨氮含量达数百至数千mg/L, 易引发水体富营养化; 多环芳烃类物质具有致癌、致畸性, 生物降解难度大, 对处理技术提出较高要求。

### 1.2 焦化废水主流处理工艺

焦化废水处理需依托多工艺协同体系, 主流工艺分为三类。物理化学法为预处理核心, 常用隔油、气浮、混凝沉淀等工艺, 可高效去除浮油、悬浮颗粒物及部分难降解有机物, 降低后续处理负荷, 其中混凝沉淀法通过投加絮凝剂形成絮体实现固液分离, 处理效率稳定。生物法是降解有机污染物与氨氮的关键, 主流采用A/O、A<sup>2</sup>/O等工艺, 利用微生物代谢分解有机物, 通过硝化-反硝化过程脱氮, 成本较低但对水质、水温波动敏感。深度处理法用于保障出水水质, 常用高级氧化与膜分离技术, 可进一步降解残留难降解有机物。

### 1.3 自动化技术核心组件

自动化技术应用依托四大核心组件协同运作: 一是传感器, 作为数据采集基础, 配备COD、氨氮、pH、溶解氧等传感器, 实时采集水质与工艺参数, 提供决策支撑;

二是控制器, 以PLC、DCS为核心, 根据传感器数据按预设逻辑生成控制指令; 三是执行器, 包括药剂投加泵、曝气风机、阀门等, 精准落实调节指令; 四是控制系统, 以SCADA为整合核心, 实现参数实时展示、远程操控与故障报警, 构建“采集-分析-决策-执行”闭环体系<sup>[1]</sup>。

## 2 焦化废水处理过程自动化监测系统设计

### 2.1 监测指标筛选与传感器选型

监测指标筛选结合工艺特性与出水要求, 聚焦核心参数: 有机物含量以COD表征, 氮素指标重点监测氨氮, 搭配pH值(酸碱平衡)、溶解氧(关联生物反应效率)。传感器选型需适配焦化废水高腐蚀、高污染物浓度工况, 保障数据稳定精准: COD传感器选用抗污染在线型; 氨氮传感器需具备抗酚类、氰化物干扰能力; pH传感器采用耐腐蚀探头; 溶解氧传感器需适配高低氧环境, 响应速度匹配工艺调控节奏, 确保数据及时支撑决策。

### 2.2 监测点布局与数据传输方案

监测点布局遵循“全流程覆盖、关键节点加密”原则: 进水端监测原水基础指标, 支撑预处理调控; 预处理出口监测评估处理效果; 生物处理单元分好氧、厌氧段布设, 保障脱氮反应; 深度处理单元进出口双监测, 把控处理效果; 出水端设总监测点, 全面管控水质。数据传输兼顾实时性、稳定性与安全性, 采用工业以太网与无线传输结合模式: 核心单元有线传输保障速率, 偏远点位无线传输降低成本。传输过程加密处理, 设置数据备份机制, 选用工业通用标准协议, 保障与后续系统兼容性。

### 2.3 监测数据预处理与实时展示系统搭建

数据预处理聚焦降噪、校准与补全: 通过滤波算法去除随机噪声, 依托标准样品校准修正偏差, 采用插值算法补全缺失数据, 同时建立有效性判断机制, 标记异常数据规避干扰。实时展示系统采用总览层、工艺层、

参数层分层架构：总览层展示全流程关键指标数值、趋势及达标状态；工艺层按单元分区呈现数据，便于定位问题；参数层提供单指标历史数据、曲线及统计分析，支撑工艺优化与故障排查。系统具备报警功能，指标超阈值时自动触发声光报警并推送信息，界面简洁便捷，助力运维人员快速掌握运行状态<sup>[2]</sup>。

### 3 焦化废水预处理过程自动化控制策略

#### 3.1 预处理工艺自动化控制目标

焦化废水预处理自动化控制核心目标是保障混凝、沉淀、气浮各单元高效协同运行，实现污染物精准去除，为后续生物处理单元稳定运行奠定基础。混凝阶段控制目标为通过精准调控形成密实絮体，提升污染物吸附效率，核心是保障絮体沉降性能，避免因絮体过小或松散导致后续分离不彻底；沉淀阶段以提高固液分离效率为目标，控制上清液浊度与污染物残留量，减少污泥夹带；气浮阶段重点控制气泡尺寸与分布均匀性，提升对微小悬浮颗粒物和油类物质的去除效果，确保出水水质稳定达标，同时降低药剂消耗与污泥产生量，提升预处理系统运行经济性。

#### 3.2 药剂投加量自动化控制模型构建

药剂投加量自动化控制模型构建需基于进水水质、水量动态变化特性，实现投加量的精准适配。模型以原水COD、浊度、pH值及流量为核心输入参数，通过历史运行数据建立输入参数与药剂投加量的关联关系。采用分段控制逻辑，针对不同水质区间建立差异化投加系数，结合实时监测数据进行动态修正。引入前馈-反馈复合控制机制，前馈控制根据进水参数预判投加量基准值，反馈控制依据混凝出水水质指标偏差调整投加量，确保药剂投加精准性。同时模型需具备自学习能力，通过持续积累运行数据优化控制参数，适应水质波动带来的影响，避免药剂浪费或投加不足导致的处理效果不佳。

#### 3.3 预处理过程关键参数自适应调节

搅拌强度与反应时间的自适应调节需匹配混凝、沉淀、气浮各阶段工艺需求，保障反应充分且能耗最优。搅拌强度调节通过变频控制搅拌设备转速实现，混凝初期采用较高搅拌强度，确保药剂与废水快速混合均匀；反应阶段降低搅拌强度，为絮体凝聚生长提供稳定环境，避免高强度搅拌破坏已形成的絮体，调节参数基于絮体生长状态监测数据动态优化。反应时间调节通过控制废水停留时间实现，依托进水流量实时调整沉淀池、气浮池的出水阀门开度，结合池内液位监测数据维持稳定停留时间，确保污染物充分分离。系统通过实时采集各单元运行参数与出水水质数据，建立参数联动调节机

制，实现搅拌强度与反应时间的动态适配，保障预处理效果稳定<sup>[3]</sup>。

### 4 焦化废水生物处理过程自动化调控技术应用实践

#### 4.1 生物处理系统自动化控制核心需求

生物处理系统自动化控制以硝化、反硝化过程高效协同为核心，聚焦工况稳定与脱氮效率，核心需求具体如下：（1）硝化过程环境精准管控。硝化过程依赖特定菌群代谢，需保障工况参数稳定。一是严格控制好氧段溶解氧浓度，维持在2.0~4.0mg/L区间，保障硝化菌有氧代谢需求；二是调控好氧段pH值至7.5~8.5，通过实时监测反应过程中氢离子生成量，动态补充碱度，避免pH波动抑制菌群活性；三是控制进水负荷稳定性，通过前置调节单元缓冲水质水量波动，确保好氧段氨氮容积负荷处于0.25~0.35kg/(m<sup>3</sup>·d)的适宜范围。（2）反硝化过程物料与环境适配。反硝化过程需满足菌群代谢的物料供给与厌氧环境要求。一是动态匹配碳源投加量，根据进水总氮浓度与出水总氮目标值，精准调节碳源投加速率，保障反硝化反应充分且避免碳源浪费；二是严控厌氧段溶解氧浓度低于0.5mg/L，阻断好氧代谢对反硝化过程的干扰；三是稳定厌氧段水力停留时间，通过流量调控维持在2.5~3.5h，确保反应完全。（3）全流程协同联动。硝化与反硝化过程存在耦合关联，需建立全流程协同调控机制。一是优化好氧、厌氧、缺氧各段水力停留时间比例，保障两段反应节奏匹配；二是构建多参数同步监测体系，实时采集进水、各段出水水质及工艺运行参数，实现参数联动分析；三是建立负荷冲击应对机制，针对水质水量大幅波动，快速启动流量调节、药剂补偿等应急调控策略。

#### 4.2 溶解氧与曝气量精准控制方案

溶解氧与曝气量调控采用“多监测点布设+前馈-反馈复合控制”模式，实现精准适配，具体实践如下：（1）监测体系构建。在好氧段沿水流方向均匀布设监测点，配备荧光法溶解氧传感器，采样频率设定为1次/分钟，实时捕捉各区域溶解氧分布情况；在曝气池出口布设氨氮在线监测设备，反馈硝化反应效果；在曝气风机出口安装压力与流量传感器，实时掌握曝气量动态，所有监测数据通过工业以太网传输至控制系统，形成数据采集闭环。（2）复合控制逻辑运行。采用前馈与反馈结合的控制策略提升调控精度。前馈控制基于进水流量与原水氨氮浓度，通过历史运行数据构建关联模型，预判曝气量基准值；反馈控制以溶解氧实测值与设定值的偏差为核心依据，采用PID算法动态修正曝气量，当溶解氧低于设定下限，自动增大曝气风机变频器频率，高于上限则降

低频率；同时结合出口氨氮数据进行二次修正，若氨氮超标且溶解氧达标，进一步微调曝气量，保障硝化反应彻底。（3）曝气稳定性保障。配置冗余曝气设备，实现故障自动切换，避免单一设备故障导致曝气中断；在曝气池底部曝气支管设置流量监测点，实时监测曝气均匀性，当局部溶解氧偏差超过0.8mg/L时，自动调节对应区域曝气阀门开度，确保好氧段各区域溶解氧浓度均衡，维持菌群代谢环境稳定。

#### 4.3 污泥回流比与混合液回流比自动化调节

基于生物处理系统运行需求，构建污泥回流比与混合液回流比自动化调节体系，具体实践如下：（1）污泥回流比调节机制。以维持好氧段MLSS浓度稳定为核心目标，调节范围设定为50%~100%。通过在线污泥浓度计实时监测好氧段MLSS值，当MLSS低于3000mg/L时，自动增大污泥回流泵变频器频率，提升回流比；当MLSS高于5000mg/L时，降低回流比并启动剩余污泥排放泵，排放量根据MLSS超标幅度动态调整；同时结合污泥沉降比数据进行修正，当沉降比偏离15%~30%的适宜范围时，微调回流比，保障污泥沉降性能。（2）混合液回流比调节策略。混合液回流以提升脱氮效率为目标，调节范围为100%~300%。根据缺氧段硝酸盐氮浓度与出水总氮指标，构建回流比调节模型，当缺氧段硝酸盐氮浓度低于设定值，适当降低回流比；当出水总氮超标，增大回流比以提升反硝化底物供给量。（3）联动调节保障。建立污泥回流比与混合液回流比的联动调节逻辑，结合各段水质参数与工艺运行状态，实现两者协同优化；在系统启动、负荷波动等特殊工况下，预设调节预案，快速调整回流比参数，缩短系统稳定时间。

#### 4.4 生物相监测与异常工况自动化预警

构建生物相监测与异常工况预警体系，实现系统故障早发现、早处置，具体实践如下：（1）生物相监测实施。采用在线生物相监测设备与定期镜检相结合的方式，实时监测活性污泥中优势菌群种类、数量及形态变化，

重点关注硝化菌、反硝化菌等功能菌群的活性状态；同时监测污泥颜色、气味及沉降性能等指标，将监测数据纳入系统数据库，建立生物相正常状态特征库。（2）异常工况识别指标设定。明确异常工况判定标准，包括水质指标异常、工艺参数异常及生物相异常三类。水质指标异常设定为进水COD、氨氮浓度波动超过20%，出水COD、氨氮超出排放标准限值；工艺参数异常包括溶解氧、pH值偏离设定范围超过10%，回流比、曝气量异常波动；生物相异常表现为功能菌群数量锐减、污泥膨胀、丝状菌过度繁殖等。（3）自动化预警与处置联动。当监测数据触发异常判定标准时，系统自动启动预警机制，通过声光报警、系统弹窗及短信通知等方式推送预警信息至运维人员；同时匹配预设处置预案，针对不同异常类型自动触发调控指令，如水质负荷冲击时启动进水调节与药剂补偿，污泥膨胀时调整回流比与曝气量，实现异常工况的快速响应与处置，降低系统运行风险<sup>[4]</sup>。

结束语：本文系统研究了自动化技术在焦化废水处理过程的应用实践，明确了核心工艺与自动化组件的协同逻辑，构建了全流程自动化调控体系。该体系通过精准监测、智能调节与异常预警，有效解决了传统处理工艺的痛点。未来可进一步推动自动化与智能化技术融合，优化控制模型，提升系统自适应能力。

#### 参考文献

- [1]褚华强, GLADYS Chimfwembe, 魏鹏元, 许杰, 税桂鸿, 马佳莹, 周雪飞, 张亚雷. 焦化废水处理及零排放技术研究进展[J]. 能源环境保护, 2025, 39(1): 11-23.
- [2]王旭东, 武文雅. 基于智能化控制的煤化工废水处理与循环利用技术浅析[J]. 天津化工, 2025, 39(3): 39-41.
- [3]丁世勇. 焦化废水深度处理中预处理技术分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2025(3): 025-027.
- [4]王长生, 孙瑞平, 杨雪. 自动化检测技术在化工工业废水处理中应用[J]. 中国轮胎资源综合利用, 2025(5): 141-143.