净水厂加药加氯系统的自动化运行管理与精准控制

姚　荣
宁夏水务集团吴忠水务有限公司　宁夏　吴忠　750400

摘　要：为提升净水厂水处理工况稳定性与出水水质精度，优化加药加氯工序运行效能，本文阐述净水厂加药加氯系统的自动化运行管理体系，介绍三级运行管理架构、三类自动化运行模式及设备维护、人员培训相关举措。分析系统精准控制技术，涵盖关键参数调控、智能算法、多参数协同控制、在线监测反馈等内容，并从智能化、绿色化、集成化、标准化四个方面，总结该系统的行业发展趋势。

关键词：净水厂；加药加氯系统；自动化；运行管理；精准控制

引言

加药加氯是净水厂水处理的核心工序，其运行管理与控制精度直接决定出水水质和供水安全。本文围绕净水厂加药加氯系统展开研究，阐述系统自动化运行管理架构、运行模式、设备维护及人员培训体系，分析关键参数调控、智能算法、多参数协同控制等精准控制技术，总结系统智能化、绿色化、集成化、标准化的行业发展趋势，为净水厂加药加氯系统高效稳定运行与优化升级提供参考。

1 净水厂加药加氯系统的自动化运行管理

1.1 自动化运行管理架构

净水厂加药加氯系统自动化高效运转依托中央控制层、现场控制层、设备层组成的三级管理架构，各层级分工协作，完成数据交互与联动控制。中央控制层作为顶层核心，承担数据汇总解析与控制策略下发，参数刷新速率1次/2s，可集中监控200组以上测点，实现加药加氯工艺远程管控与统一调度。现场控制层以可编程逻辑控制器（PLC）为核心硬件，接收上层指令完成现场闭环控制，以500ms周期采集现场数据回传，层级间指令传输延迟控制在100ms以内，保障通信交互稳定。设备层为现场执行终端，涵盖加药、加氯装置、在线传感及执行器件，接收PLC调节信号动态改变投加量，为加药加氯自动化连续作业提供硬件支撑。

1.2 自动化运行模式

（1）远程监控模式：工作人员通过中央控制室监控界面采集药剂投加量、加氯量、出水余氯浓度、设备运行状态等关键参数，数据刷新周期为2s。运行参数偏离设定阈值±8%时，系统触发声光报警并输出故障提示，助力运维人员快速排查处理[1]。（2）自动调节模式：系统结合原水水质、进水流量动态调整投加量，原水浊度每升高15NTU自动增大混凝剂投加，进水流量提升20%同步调高加氯量，稳定出水消毒指标，人工操作频次减少60%，提升系统运行稳定性。（3）定时运行模式：适用于工况波动小于5%的工况，按照药剂溶解时长与设备额定周期配置计量泵、加氯机定时程序，启停时间误差控制在10s以内，规范设备运行时序，保障加药加氯系统持续稳定运转。

1.3 自动化设备维护策略

一是定期巡检，编制标准化巡检方案，对加药加氯自动化设备实施全覆盖检查，巡检频次设定为每日2次，检查范围包含设备外观、运行工况、参数配置等项目，重点核对计量泵油位，检查密封部件完好程度，检测加氯机泄漏风险，完成传感器精度与灵敏度核验，依靠常态化巡检识别设备潜在缺陷，将早期故障隐患排查率提升至92%，减少故障突发情况。二是预防性维护，结合设备额定服役年限与现场实际工况建立维护方案，按3-6个月周期更换计量泵易损件，每季度完成加氯机清洗校准，同步完成传感器精度校验，对老化传感器件及时替换，通过前置保养使设备故障发生率下降55%，延长设备平均使用周期。三是故障诊断与修复，依托传感器采集数据构建故障诊断机制，实现故障快速甄别与定位，设备异常状态下可即时输出告警提示，调度维修人员开展抢修，可将平均设备停机时间控制在45min以内，减少设备停运对加药加氯工艺带来的干扰。

1.4 自动化运行人员培训

第一，理论知识培训，面向岗位人员开展加药加氯系统专项理论授课，培训课时设置不少于24学时，教学内容包含系统工作机理、设备构造、工艺控制参数、自动化控制技术等专业内容，使操作人员熟悉整套系统运行逻辑，明晰设备运行及自动化控制的技术指标，理论考核通过率需达到95%以上，筑牢岗位理论根基。第二，操作技能培训，以现场实操演练作为主要形式，组织人

员开展上机实训，熟练掌握自动化设备标准作业流程，重点练习系统启停、参数修改配置、典型故障判别及简易处置等实操项目，实操实训占整体培训比重不低于60%，切实提高人员设备操作与现场运维能力[2]。第三，安全培训，鉴于加药加氯工艺涉及化学药剂与有毒氯气介质，设置12学时专项安全课程，讲解药剂存放规范、投加操作规范、个体防护要点，学习氯气泄漏检测手段与应急处置流程，全面提升作业安全意识。

2 净水厂加药加氯系统的精准控制技术

2.1 关键参数精准控制

净水厂加药加氯系统精准控制重点围绕药剂投加量、加氯量两大核心参数开展调控。药剂投加量控制将原水浊度、pH值、有机物含量作为输入条件，构建水质-投加量数学模型，传感器以1s采集周期获取水质实时数据，借助模型运算输出最优投加数值，搭配精度±1.5%的高精度计量泵，从算法逻辑与硬件层面共同约束投加输出，有效避免药剂投加过量或者投加不足的工艺问题。加氯量控制以出厂水余氯浓度作为主控指标，联动进水流量、原水水质工况，采用前馈-反馈复合控制策略。前馈环节依据水质、流量数据完成加氯量预估算，反馈环节利用出厂水余氯检测结果对投加数值动态修正，双重调节模式可将出厂水余氯波动范围控制在±0.05mg/L以内，使余氯指标稳定维持在规定区间，实现加氯过程精准平稳调控。

2.2 智能算法应用

模糊控制算法能够应对系统内不确定、模糊类输入信息，适配加药加氯系统非线性、时变的工艺特征。算法依托构建的模糊控制规则库，把现场运维实操经验转化为规范化控制逻辑，通过模糊推理实现药剂、氯气投加量自动调节，投加量控制误差可降至±2.2%，增强系统控制精度与工况适配能力。神经网络算法拥有自学习、自适应特性，擅长复杂非线性拟合与数据预测，在加药加氯系统内部建立原水水质、进水流量同药剂投加量、加氯量的映射模型，利用现场采集的实时样本迭代训练网络，参数修正周期设置为15min，不断削弱模型输出偏差，完成投加参数高精度预测与稳定调控[3]。不同控制方式性能对比见表1。

表1 不同控制方式性能对比

控制方式	投加量控制误差	工况适应能力	参数修正周期
传统PID控制	±7.5%	一般	60min
模糊控制算法	±2.2%	较强	30min
神经网络算法	±1.4%	强	15min

2.3 多参数协同控制

加药加氯系统运行效果受多类核心参数耦合作用，原水水质、进水流量Q、水体温度T直接决定混凝剂、氯剂投加控制精度。单一参数控制模式响应滞后，工况波动下投加量偏差可达18%-26%，难以适配复杂进水条件，为此引入多参数协同控制技术。系统同步采集各类运行参数实时数据，构建水处理多参数协同控制模型，实现混凝剂投加量与加氯量联动调节。水温改变水体理化性质，水温下降，水体黏度增大，胶体颗粒碰撞絮凝速率下降，混凝处理效率降低；低温条件同样减缓氯制剂水解反应速率，削弱消毒能力。表2为不同进水条件下两种控制模式运行效果对比。

表2 不同进水条件下两种控制模式运行效果对比

进水工况	单一参数控制投加偏差	多参数协同控制投加偏差	出水余氯波动范围（mg/L）
高流量低温进水	24.3%	6.2%	0.21 0.48
常规工况进水	17.5%	4.1%	0.23 0.36

依托模型联动运算，系统跟随进水流量Q、水温T、水质指标完成动态修正，减少药剂过量投加，规避消毒失效与药剂浪费，将投加偏差控制在7%以内，提升整套加药加氯单元自动化水平与工艺运行可靠性。

2.4 在线监测与反馈调节

水处理系统搭载高性能在线监测单元，可对整套工艺关键指标开展不间断采集，水质维度涵盖原水浊度、pH、有机物含量等指标，运行维度采集水流量、药剂投加量、加氯量、出水余氯浓度等参数，监测采样周期可设置为5-30s，数据采集精度可达±2%FS，能够持续输出可靠的实时数据集，为系统实现自动化、精准化调控提供底层数据支撑，保障采样数据的时效性与可靠性。系统基于采集得到的实时数据集构建闭环反馈调节控制机制[4]。当监测识别到水质、药剂投加、出水余氯等运行参数超出预设阈值区间，偏差幅度大于5%时，控制系统自动启动调节逻辑，对药剂投加量、加氯量等关键执行参数进行动态修正，促使各项运行指标快速回落至允许范围。该闭环模式能够响应进水水质波动、负荷扰动等工况变化，缩短工况偏差修正时长，降低人工干预频次，稳定出水水质。

3 净水厂加药加氯系统的发展趋势

3.1 智能化发展

伴随AI技术不断迭代，净水厂加药加氯系统正朝着智能化方向快速演进。新型系统集成自主学习、工况自适应、故障自诊断模块，依托实时采集的设备工况数据与历史数据库，可自动修正控制参数，药剂投加控制精度可达±3%，大幅降低人工操作频次，实现投药、加氯

过程高精度自动管控。系统结合大数据、云计算架构，构建数据存储-传输-分析一体化平台，完成水质、设备运行数据远程汇聚处理，数据采样频次可达5次/min。对多源数据开展综合分析运算，输出设备运维提示、参数优化方案，为加药加氯装置调试维护、性能迭代提供量化依据。

3.2 绿色化发展

随着环保管控标准持续提升，加药加氯系统向着绿色化方向迭代，重点围绕药剂改良、工艺优化两大维度实施升级。药剂与消毒单元优先选用低毒环保型药剂，可使消毒副产物生成量下降22%，削弱药剂排放带来的环境影响。运行工艺层面重构作业流程，精准管控药剂、氯气实际投加水平，提升物料利用效率。工程场景采用新型混凝剂、助凝剂，在出水水质指标达标的前提下药剂投加量可降低15%，规避过量投加造成物料损耗与次生环境压力。系统采用UV-加氯复合消毒模式，发挥工艺协同效应，氯气投加总量可减少28%，缓解单一加氯工艺衍生的各类环境缺陷[5]。通过药剂配方革新与运行工艺优化，实现加药加氯系统绿色转型，满足日趋严苛的环保约束。

3.3 集成化发展

为提升运行效能与管控能力，加药加氯系统逐步走向集成化，将加药装置、加氯单元、自动控制模块、在线监测仪表完成一体化整合，实现整体设计与协同运行。集成架构打通各单元数据交互与联动控制链路，破除设备分立运行带来的衔接壁垒，配套附属装置数量可降低30%。该模式可压缩设备占地空间，占地面积缩减约24%，减少设备采购、管路敷设、现场安装调试作业量，压低项目建设投资，后期运维人力投入可下降18%。硬件与控制模块一体化融合，降低接口匹配不当引发的故障风险，提升整套系统运行稳定性。管理人员可统一完成状态监控、参数整定、故障定位，简化运维管理流程，实现加药加氯全流程集中管控。

3.4 标准化发展

通过构建覆盖设备选型、安装调试、运行管控、维护保养全流程的加药加氯系统统一技术标准，明确各工序技术阈值，为方案设计、设备制造、现场施工及运维作业提供统一参照体系。推行标准化体系可约束制造与现场实施环节技术行为，不同项目间工艺参数偏差可控制在12%以内，提升系统整体品质，将设备故障与人为误操作带来的安全隐患降低21%，保障工况稳定，拓展系统多场景适配能力。标准化统一设备构型与技术指标，非标构件设计生产工作量减少33%，压缩项目设计周期，削减制造成本，提升不同厂家硬件部件互换兼容能力，降低专用配件储备规模，减小系统改造升级技术壁垒。

结语

综上所述，净水厂加药加氯系统的自动化管理与精准控制，是保障供水水质、提升水厂运行效能的关键。完善的自动化架构与运行模式，结合智能算法、多参数协同调控等技术，可有效提升投加精度与系统稳定性。依托智能化、绿色化、集成化、标准化的发展方向，能够持续优化系统运行模式，降低运维与能耗成本，助力净水厂水处理工艺提质增效，保障城市供水安全与稳定。

参考文献

[1]丁国栋,孙海洲,于光远.自动控制技术在净水厂水处理加药系统中的应用解析[J].今日自动化,2022,(8):25-27.

[2]李双凤.浅谈净水厂的综合自动化系统设计[J].现代建筑电气,2024,15(12):58-62.

[3]贺瑞娟.某净水厂自动控制系统设计探讨与应用[J].长江信息通信,2024,37(1):118-120+128.

[4]吴杰,程鹏,赵宇明,等.智能控制技术在净水厂加药系统中的应用[J].城镇供水,2025,(4):49-53.

[5]李宁,王俊,倪宽.基于人工智能的净水厂精准加药策略研究[J].清洗世界,2025,41(5):193-195.