

探析电气自动化技术在污水处理过程中的应用

胡亚军

宁夏宁东兴蓉水处理有限责任公司 宁夏银川 750000

摘要：随着工业化和城市化的快速发展，污水处理成为环境保护的重要领域。电气自动化技术通过集成传感器、控制器、执行机构及智能算法，显著提升了污水处理的效率、稳定性和资源利用率。本文系统分析了电气自动化技术在污水处理全流程中的应用，包括进水监测、物理处理、生物处理、深度处理及污泥资源化等环节，探讨了其如何通过精准控制、实时监测和智能优化，实现污水处理过程的自动化、智能化与绿色化，为现代污水处理技术的升级提供了理论支持与实践参考。

关键词：电气自动化技术；污水处理；自动化控制；智能优化

一、电气自动化技术概述

电气自动化技术作为现代工业与环保领域的关键支撑，是集计算机技术、控制理论、传感器技术、通信技术及智能算法于一体的综合性技术体系，其核心在于通过高度集成的自动化控制系统，实现对生产或处理过程的精准监测、智能分析与自动调节。在污水处理这一复杂而精细的领域中，电气自动化技术通过构建分布式控制系统（DCS）、可编程逻辑控制器（PLC）以及智能传感器网络，构建起一张覆盖全流程的“智慧感知网”。这些技术组件如同敏锐的神经末梢，能够实时捕捉水质参数（如COD、BOD、氨氮、pH值等）、流量、温度及溶解氧等关键指标的细微变化，并将数据传输至中央控制平台。基于预设的控制策略与算法模型，系统能够迅速响应，自动调节曝气量、加药量、污泥回流比等核心工艺参数，确保处理过程在最优状态下运行。这种动态调整不仅提升了处理效率与出水水质，还显著降低了能耗与运行成本，实现了经济效益与环境效益的双赢。此外，电气自动化技术还赋予了污水处理系统强大的故障诊断与预警能力，能够提前识别潜在问题，避免生产中断与环境污染风险。随着物联网、大数据、云计算及人工智能等前沿技术的不断融入，电气自动化技术在污水处理中的应用正朝着更加智能化、网络化的方向发展。通过构建智能决策支持系统，实现处理过程的自适应优化与远程监控，进一步提升了污水处理的精细化管理水平与响应速度。可以说，电气自动化技术已成为推动污水处理行业转型升级、实现绿色可持续发展的重要力量。

二、污水处理过程概述

（一）污水处理的基本流程

污水处理的基本流程是一个环环相扣、逐步净化的复杂过程，旨在有效去除污水中的各类污染物，恢复水质至可排放或再利用的标准。这一过程始于预处理阶段，通过格栅、筛网等设备拦截并清除污水中的大颗粒悬浮物、漂浮物及砂砾，防止其进入后续处理单元造成堵塞或磨损。随后，污水进入一级处理，即物理处理阶段，利用沉淀池使较重的悬浮固体自然沉降，或通过浮选法分离油脂类物质，初步降低污水中的悬浮物浓度。紧接着是二级处理，也是生物处理的核心环节，通过活性污泥法或生物膜法等生物技术，利用微生物的代谢作用分解污水中的有机污染物，将其转化为无害的二氧化碳、水和微生物细胞物质，显著降低污水的生化需氧量（BOD）和化学需氧量（COD）。之后，根据出水水质要求，可能还需进行深度处理，如采用过滤、膜分离、化学沉淀或高级氧化等技术，进一步去除氮、磷等营养物质及微量有毒有害物质。最终，处理过程中产生的污泥需经过浓缩、脱水等步骤进行稳定化处理，并根据实际情况选择填埋、焚烧或资源化利用等方式进行处置，从而实现污水的全面净化与资源的循环利用。

（二）污水处理的关键工艺与控制点

污水处理的关键工艺与控制点是确保处理效果稳定达标、运行经济高效的核心要素，它们贯穿于整个处理流程，相互关联且不可或缺。水质监测作为首要控制点，通过在线监测仪器实时追踪进出水中的化学需氧量（COD）、生化需氧量（BOD）、氨氮、总磷等关键指标，

为工艺调整提供数据支撑。曝气控制则直接关系到生物处理单元的效率,需根据溶解氧浓度动态调节曝气量,既保证微生物活性又避免能源浪费。加药控制环节精确计量混凝剂、絮凝剂及消毒剂的投加量,以最小药剂消耗实现最佳处理效果,同时防止二次污染。污泥回流与排放的调控是维持生物系统平衡的关键,需根据污泥浓度、负荷变化灵活调整回流比与剩余污泥排放量。此外,能耗管理通过优化设备运行模式、采用节能设备与技术,显著降低处理过程中的电能、药剂等消耗。这些控制点不仅要求精准监测与快速响应,还需结合智能算法与模型预测,实现工艺参数的自动优化与故障预警,从而确保污水处理系统长期稳定运行,出水水质持续达标。

三、电气自动化技术在污水处理中的应用

(一) 进水监测与预处理的自动化

进水监测与预处理的自动化是污水处理系统高效稳定运行的首要防线,它融合了高精度传感器技术、智能数据分析与实时控制策略,构建起一道智能化的水质把关屏障。在这一环节中,多参数在线监测仪如同敏锐的触角,持续捕捉进水的化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)、氨氮浓度、pH值及悬浮物含量等关键指标,将原始数据转化为反映水质特征的精准信息流。这些数据不仅为后续处理工艺提供了决策依据,更通过智能算法模型预测水质变化趋势,实现异常情况的提前预警。预处理阶段的自动化控制则依托可编程逻辑控制器(PLC)与分布式控制系统(DCS),对格栅除污机、筛网过滤器及调节池等设备进行精细化调控。格栅机根据水位差或时间周期自动启停,精准拦截漂浮物与大颗粒杂质;筛网过滤器通过压差监测实现反冲洗的智能化管理,避免堵塞风险;调节池则依据进水流量与水质波动,动态调整液位与混合强度,确保后续处理单元获得稳定的水质与水量输入。这种自动化协同不仅提升了预处理效率,更通过减少人工干预降低了操作风险,为整个污水处理流程的平稳运行奠定了坚实基础。

(二) 物理处理阶段的自动化控制

物理处理阶段的自动化控制是污水处理流程中承上启下的关键环节,其通过精密的仪器监测与智能算法调控,实现了对悬浮物、油脂等污染物的精准分离与高效去除。在这一阶段,沉淀池与气浮设备作为核心单元,其运行状态直接关乎处理效果。沉淀池内,液位传感器与污泥界面仪实时监测泥水分离界面及污泥层厚度,通过PLC系统动态调整排泥泵的运行频率与排泥周期,确

保污泥及时排出且不影响水质。同时,基于流量与水质变化的智能算法,可预测沉淀池负荷,提前调整进水流量的分配,优化沉淀效率。气浮设备则通过溶气压力传感器与释放器状态监测,精确控制溶气水的制备与释放,使微小气泡均匀附着于悬浮颗粒,实现高效浮选分离。此外,刮渣机的运行与液位、浮渣厚度联动,确保浮渣及时清除,避免二次污染。整个物理处理阶段的自动化控制,不仅依赖于硬件设备的精准执行,更融合了水质模型预测、故障诊断与自适应优化等智能技术,形成了一套闭环控制系统,能够实时响应水质波动,动态调整工艺参数,从而在保障出水水质稳定达标的同时,最大限度降低能耗与运行成本,为后续生物处理阶段创造有利条件。

(三) 生物处理阶段的自动化优化

生物处理阶段在污水处理系统中处于核心地位,自动化优化以整合智能感知、精准控制和动态调节技术来最大限度地提高微生物代谢活性和能源消耗,在此阶段,溶解氧的浓度是核心的控制变量,其细微的变化会直接对微生物的硝化、反硝化和有机物的降解效果产生影响。为此,自动化控制系统采用高精度溶解氧传感器和变频曝气设备联动的方式对溶解氧的变化进行实时跟踪,根据模糊控制或者神经网络算法对曝气量进行动态调节,不仅保证了微生物在最佳生长环境下生长,而且避免了因过度曝气而浪费能源。同时精准调控污泥负荷是保持生物处理系统运行平稳的关键所在,该系统对进出水水质,污泥浓度和回流比进行了在线监测,结合活性污泥模型对污泥增长趋势进行预测,并对污泥回流和剩余污泥排放量进行自动调节,以保证生物反应器中微生物量和底物浓度动态平衡。另外,生物处理阶段自动化优化表现为适应复杂工况,在进水水质突变,温度波动或者设备故障的挑战下,该系统可以依靠实时数据分析和故障诊断模型迅速确定问题产生的根本原因,启动应急预案,例如调整曝气策略、换备用设备或者优化药剂投加量,该智能化自适应调节机制在增强生物处理系统抗干扰能力的同时,通过不断优化运行参数达到处理效率和出水水质双改善。从长远看,在人工智能和大数据技术深度融合的背景下,生物处理阶段自动化优化会朝着更精准、更高效、更环保的方向发展,给污水处理行业可持续发展带来新动力。

(四) 深度处理阶段的自动化管理

深度处理阶段的自动化管理作为污水处理流程中的

精细调控环节,通过集成先进传感技术、智能算法与自适应控制策略,实现了对微量污染物的高效去除与出水水质的精准达标。在这一阶段,面对氮、磷等营养物质及难降解有机物的深度净化需求,自动化管理系统依托多参数水质分析仪,实时监测进出水中的总氮、总磷、化学需氧量(COD)及特定污染物浓度,构建动态水质数据库,为工艺优化提供数据支撑。膜过滤系统作为深度处理的核心单元,其运行状态直接影响处理效果与膜寿命。自动化控制系统通过监测膜通量、跨膜压差及进水浊度等关键指标,智能启动化学清洗或反冲洗程序,有效延缓膜污染,确保膜性能稳定。同时,结合水质预测模型与实时反馈机制,系统能够动态调整过滤压力、反冲洗周期及化学药剂投加量,实现处理效率与能耗的最佳平衡。

针对消毒工艺,自动化管理系统根据流量变化与水质风险等级,精确控制紫外线照射剂量或消毒剂投加量,既保障消毒效果又避免药剂残留。此外,系统还具备故障诊断与预警功能,能够提前识别设备异常、水质突变等潜在风险,并自动触发应急响应措施,确保深度处理过程的连续性与稳定性。这种高度智能化的自动化管理模式,不仅提升了深度处理阶段的运行效率与出水水质,还通过精准控制减少了药剂消耗与废渣产生,推动了污水处理向资源节约、环境友好的方向转型,为水资源的循环利用与生态安全提供了坚实保障。

(五) 污泥处理与资源化利用的自动化

污泥处理与资源化利用的自动化是污水处理系统实现减量化、无害化与资源化的关键环节,其通过智能监控、精准调控与高效协同技术,将传统意义上的废弃物转化为可再利用率资源。在这一阶段,自动化控制系统首先聚焦于污泥浓缩与脱水过程,通过实时监测污泥浓度、流量及絮凝剂投加量,动态调整浓缩池与脱水机的运行参数,确保污泥体积的有效缩减与含水率的精准控制。这一过程不仅依赖于高精度的传感器与执行机构,更融合了智能算法对污泥性质的实时解析与工艺参数的自适应优化,从而在降低能耗的同时,提升污泥脱水的稳定性与效率。对于污泥的厌氧消化处理,自动化管理

系统通过监测沼气产量、甲烷含量及消化池内温度、pH值等关键指标,构建消化过程的三维动态模型,实现对进料量、搅拌速度与消化时间的精准调控。这一智能化管理策略不仅加速了污泥中有机物的分解与稳定化,还显著提升了沼气产率与能源回收效率,使污泥处理从成本中心转变为能源产出单元。此外,在污泥的资源化利用环节,自动化控制系统根据污泥特性与市场需求,灵活调整处理路径,如将脱水污泥转化为生物炭、建材原料或土壤改良剂,并通过物联网技术实现产品质量的全程追溯与优化。这种高度集成化与智能化的污泥处理模式,不仅解决了污泥处置的难题,更通过资源的循环利用,为污水处理行业的可持续发展开辟了新路径,实现了环境效益与经济效益的双赢。

结论

电气自动化技术在污水处理中的应用,不仅提升了处理效率与出水水质,还显著降低了能耗与运行成本,推动了污水处理行业的智能化与绿色化发展。未来,随着物联网、大数据、人工智能等技术的深度融合,电气自动化技术将在污水处理领域发挥更加重要的作用,为实现水资源的可持续利用与生态环境的保护提供强有力的技术支撑。

参考文献

- [1]张明振.浅析电气自动化技术在污水处理过程中的应用[J].科技资讯,2015,13(31):2.
- [2]魏业茂.庄丹阳.浅析电气自动化技术在污水处理过程中的应用[J].工业,2017.
- [3]张腾飞.电气自动化技术在污水处理过程中的应用探讨[J].Mechanical & Electronic Control Engineering,2024,6(4).
- [4]薛伟超.电气自动化技术在污水处理过程中的应用[J].今日自动化,2023(8):145-147.
- [5]张家有.电气自动化技术在污水处理过程中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(4):3.