

电气工程中自控设备电磁干扰分析

汪 浩

宁夏宁东兴蓉水处理有限责任公司 宁夏 银川 750000

摘 要：随着电气工程自动化水平不断提升，自控设备运行的稳定性与可靠性面临电磁干扰的严峻挑战。静电放电、电磁辐射、传导及接地系统等干扰因素，会影响自控设备的信号传输与数据处理精度。通过深入剖析各类电磁干扰的作用机理，针对性提出接地优化设计、屏蔽技术应用、滤波电路设计及合理布局布线等抗干扰措施，可有效抑制电磁干扰，保障自控设备安全稳定运行，对提升电气工程整体性能与效率具有重要意义。

关键词：电气工程；自控设备；电磁干扰

引言

在现代电气工程领域，自控设备凭借其高度自动化与智能化特性，成为系统稳定运行的关键。然而，复杂的电磁环境致使静电放电、电磁辐射、传导等多种干扰频发，严重威胁自控设备的正常运行。接地系统不合理也会引入干扰，影响设备信号传输与数据处理。本文基于此，深入分析电气工程中自控设备的电磁干扰因素，并探讨切实可行的抗干扰措施，旨在为提升自控设备抗干扰能力提供理论与实践参考。

1 电气工程自控设备概述

电气工程自控设备是实现电力系统自动化、智能化运行的核心装置，依托先进的传感技术、控制理论与通信手段，在污水处理、水质监测、供水系统等水处理领域构建起高度集成化的智能调控体系。这些设备通过内置的传感器实时采集水位、流量、pH值、浊度、溶解氧等运行参数，借助数字信号处理器或可编程逻辑控制器（PLC）对数据进行分析处理，依据预设控制算法生成精准的调控指令，驱动执行机构完成设备启停、参数调节等操作，实现水处理过程的动态优化与稳定运行。以污水处理厂为例，电气工程自控设备将分布式控制系统（DCS）与现场总线技术相结合，构建起多层级的监控网络架构。底层的智能仪表与执行器通过PROFIBUS、Modbus等通信协议，将污水处理各环节的数据实时上传至中央控制系统；上层的人机界面（HMI）与监控软件则通过可视化界面展示系统运行状态，操作人员可基于实时数据与历史趋势分析，远程调整控制策略，确保污水处理流程在最佳工况下运行。在自来水厂领域，自控设备更是发挥关键作用，水处理过程中的加药控制系统与过滤系统的反冲洗装置，通过精确调节设备运行参数，最大限度提升水处理效率，保障出水水质的稳定性与可靠性。随着人工智能与物联网技术的深度融合，现

代电气工程自控设备正朝着高集成度、高可靠性、自适应控制方向发展。边缘计算技术的应用使设备具备本地数据处理能力，减少数据传输延迟与云端依赖；故障预测与健康管理（PHM）系统则通过机器学习算法，对设备运行数据进行深度挖掘，提前识别潜在故障隐患，实现从预防性维护向预测性维护的转变，为水处理系统的高效、安全运行提供坚实保障。

2 电气工程中自控设备电磁干扰因素分析

2.1 静电放电干扰

静电放电干扰由电荷转移引发，其产生与影响可归纳如下：

项目	具体内容
产生原因	设备绝缘材料表面摩擦（如污水处理设备中搅拌器叶轮与水体摩擦、工作人员衣物与控制柜外壳摩擦）；水处理车间内湿度较低的环境降低物体表面导电性，导致静电难以消散，加剧积累。
干扰途径	瞬间释放的高能量产生强烈电磁脉冲，第一，通过空间辐射传播到设备敏感电路；第二，产生的电流通过设备接地系统或电源线传导。
造成影响	使集成电路逻辑状态翻转，造成数据错误或控制信号异常；干扰与之相连的其他设备，引发连锁反应；严重时损坏电子元件，导致设备故障。
典型场景示例	在干燥的水处理车间，操作人员穿着化纤衣物接触自控设备控制面板时，可能发生静电放电，导致PLC（可编程逻辑控制器）接收错误指令，使污水处理的加药泵短暂停机，影响水质处理效果。

2.2 电磁辐射干扰

电磁辐射干扰来源广泛，对设备影响多样，详情如下：

项目	具体内容
主要来源	污水处理厂中大功率水泵运行时内部交变磁场辐射电磁波；鼓风机转动时因电流变化产生电磁辐射；厂区周边的通信基站、雷达等设备发射高频电磁波。
传播特性	以不同频率和强度在空间中传播，可穿透一定距离，对周围自控设备形成干扰 ^[1] 。

续表：

项目	具体内容
对设备的影响	使信号传输线路感应额外电压或电流，导致信号失真、误码率增加（如模拟信号传输中，水质传感器采集信号出现偏差，影响控制系统判断）；高强度辐射改变电子元件工作特性（如晶体管导通特性变化），影响电路放大和逻辑功能，导致设备故障。
典型场景示例	靠近通信基站的污水处理厂，基站发射的高频电磁波可能干扰污水处理的液位控制系统，使其调节精度下降，导致沉淀池液位波动超出正常范围约5%-10%。

2.3 传导干扰

传导干扰通过导电介质传播，其途径与影响如下：

项目	具体内容
主要传播途径	电源线路（水处理厂中大型污泥脱水机启停、谐波等产生的电压或电流波动通过电源线传输）；信号传输线路（与自控设备连接的信号线引入外部干扰，如与动力电缆并行敷设时感应干扰电压）；设备内部电路（不同功能模块间信号线未合理隔离屏蔽，发生信号串扰）。
干扰表现	电源线路干扰导致自控设备电源模块无法稳定工作（如大型水泵启动使电网电压骤降，影响设备运行）；信号线路干扰影响设备对信号的准确接收和处理；内部电路串扰导致设备工作异常。
影响程度	轻微时降低设备性能，如数据处理精度下降；严重时直接损坏设备，造成系统停机。
典型场景示例	水处理厂中，动力电缆与自控系统的信号电缆并排敷设在同一电缆沟内，当动力电缆输送大电流时，信号电缆会感应干扰信号，导致水质监测传感器上传至中央控制系统的pH值数据出现偏差，使加药系统控制不准确，影响出水水质。

2.4 接地系统干扰

接地系统不合理会引发干扰，其成因与影响如下：

项目	具体内容
产生原因	接地点电位分布不均匀，存在地电位差，形成地环路电流（如大型水处理系统中不同设备接地点连接不同接地母排，因土壤电阻等存在电位差）；电缆屏蔽层接地不当（如两端接地），在屏蔽层内形成感应电流。
干扰方式	地环路电流在信号传输线上产生额外电压降，干扰信号准确性（如精密水质测量控制系统中，导致测量结果偏差）；引发设备间相互干扰（一地电流影响其他设备接地电位，导致工作异常）；屏蔽层感应电流通过耦合干扰信号回路。
对设备的影响	降低测量精度，影响控制系统决策；破坏设备稳定性和可靠性，导致设备频繁出现误动作或故障 ^[2] 。
典型场景示例	某大型污水处理厂中，不同自控设备接地点分别连接到不同接地网，因土壤电阻率差异存在地电位差，形成地环路电流，导致水质浊度监测装置显示数值与实际值偏差超过2%，影响污水处理工艺的调整精准性。

3 电气工程中自控设备抗电磁干扰措施

3.1 接地优化设计

（1）在污水处理自控设备的接地系统设计中，要明确区分信号地、功率地与保护地。信号地是水质传感器等信号传输的基准点；功率地承载大功率设备电流回流；保护地保障人员和设备安全。通过独立接地导体隔离不同地以避免干扰。对于高频信号的变频设备系统，宜采用多点接地方式，降低接地阻抗，使高频干扰电流迅速释放。

（2）接地极的选择与埋设对污水处理厂接地系统性能至关重要。应选铜包钢、镀锌角钢等导电好、耐腐蚀的材料。依据土壤电阻率确定接地极长度与数量，电阻率低处可减少，高处需增加，还可改善土壤导电性能，保障干扰电流顺利导入大地。（3）污水处理厂接地系统的布线设计同样重要。接地线应尽可能短且粗，降低线路阻抗，减少干扰信号在接地线上的耦合。接地线需远离加药泵电源线、污泥脱水机动力线等强电路和干扰源，防止二次干扰。定期检测曝气池周边、控制柜附近接地系统的接地电阻与电气连接可靠性，及时修复隐患，确保接地优化设计持续发挥抗电磁干扰作用。

3.2 屏蔽技术应用

（1）屏蔽体的材料选择是污水处理厂屏蔽技术应用的关键。电场屏蔽优先选铜、铝等高电导率金属材料，包裹水质传感器信号线路以抵消外界电场干扰；磁场屏蔽采用坡莫合金、硅钢片等高磁导率铁磁材料，制作设备外壳引导磁力线闭合；电磁场屏蔽则综合考虑导电和导磁性能，选合适复合材料处理加药控制系统线路屏蔽。（2）屏蔽体的结构设计需确保良好的完整性与密封性。在污水处理厂控制柜、操作台等设备的屏蔽体上，对必须开设的接口、通风口，采用波导窗和导电衬垫处理。波导窗可让特定频率信号通过并抑制干扰；导电衬垫填充接缝保证电气连续性。要确保屏蔽体与设备外壳进行可靠电气连接，形成完整屏蔽回路，如搅拌器控制箱的屏蔽体与箱体的连接。（3）电缆屏蔽是污水处理厂屏蔽技术的重要组成部分。选用带屏蔽层的电缆连接PH计等设备，确保屏蔽层在设备端和接地端良好接地。多芯电缆各芯线屏蔽层可分别或整体屏蔽。敷设时避免屏蔽层在特定区域受机械损伤，有效抵御外界电磁干扰^[3]。

3.3 滤波电路设计

（1）污水处理厂滤波电路设计需依据干扰信号的频率特性针对性选择。对于低频干扰信号，采用电容滤波电路，将低频干扰电流旁路到地；对于高频干扰信号，采用电感滤波电路，阻碍高频干扰电流通过。还可将电容和电感组合构成LC或π型滤波电路，用于污泥脱水机控制系统，实现更宽频率范围内的干扰抑制。（2）设计滤波电路参数时，综合考虑污水处理设备的负载特性、

工作频率及干扰信号强度。通过计算与仿真确定电容、电感取值,像曝气池溶解氧传感器信号处理电路,要确保有效抑制干扰且不影响正常信号传输。注意控制品质因数(Q值),防止Q值过高引发谐振放大干扰。选择性能稳定、损耗低的滤波器件,如陶瓷电容、铁氧体电感,提升水处理自控设备滤波电路可靠性。(3)在污水处理厂实际应用中,滤波电路可设置在信号输入、输出端及电源线路上。在水质传感器、加药执行器相关端设滤波电路抑制干扰;在污泥脱水机等设备电源线路装电源滤波器。合理布局滤波电路元器件,缩短信号走线长度,提高抗电磁干扰效果。

3.4 合理布局与布线

(1)在污水处理自控设备的布局设计中,依据功能模块进行区域划分。把强电模块与弱电模块、模拟与数字信号处理模块物理隔离,减少电磁耦合。如将大功率加药泵等远离弱电设备,避免电磁干扰。合理安排控制柜内电路板位置,使从传感器到PLC的信号回路不与执行器控制回路交叉。(2)布线设计时,遵循线路长度尽可能短、路径尽量笔直且避开干扰源的原则。水质传感器信号线尽量短以减少干扰;沉淀池到中控室的长信号线用双绞线等并按间距敷设;加药泵电源线与传感器信号线、模拟与数字信号线分开布线;对于高频信号线,采用屏蔽布线或敷设在接地的金属线槽内,增强抗干扰能力。(3)在污水处理厂自控设备的多层电路板布线中,

合理规划各层功能。电源层和地层分设不同层面形成平面,利用电容效应抑制噪声与干扰,如PLC控制板。布线时避免过长分支线和锐角走线,以减少信号反射与辐射。通过合理过孔布局实现层间电气连接,确保信号传输完整,有效提升污水处理自控设备抗电磁干扰性能^[4]。

结语

综上所述,电磁干扰已成为影响电气工程自控设备稳定运行的重要因素。通过对静电放电、电磁辐射、传导及接地系统等干扰因素的分析可知,各干扰因素均有其独特作用机制。接地优化、屏蔽、滤波及合理布局布线等抗干扰措施,能有效降低干扰影响。未来,随着电气技术发展,需进一步探索更高效的抗干扰技术,以适应日趋复杂的电磁环境,推动电气工程自动化水平持续提升。

参考文献

- [1]俞凯.电气工程中自控设备电磁干扰分析[J].价值工程,2024,43(9):119-121.
- [2]葛庆刚,崔龙,薄涛.电气工程中自控设备电磁干扰分析[J].中国高新科技,2023(18):131-133.
- [3]张春青.电气工程中自控设备电磁干扰分析[J].房地产导刊,2024(8):175-177.
- [4]杨名义.电气工程中自控设备电磁干扰研究[J].商品与质量,2021(10):81.