

仪表自控系统干扰防护措施探析

王思奇

宁夏宁东泰畅水务有限责任公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17145

[摘要] 仪表自控系统在工业领域应用广泛,却易受电磁、环境、机械等干扰影响,导致信号失真、控制精度下降甚至设备故障。通过分析干扰类型与产生原因,从硬件优化、软件升级、环境调控、安装布线规范及日常维护管理五方面,提出针对性防护措施,可有效提升系统抗干扰能力,保障其长期稳定运行,为工业生产中仪表自控系统的可靠应用提供技术支撑。

[关键词] 仪表自控系统; 干扰成因; 防护措施

中图分类号: TH86 **文献标识码:** A

Analysis of Interference Protection Measures for Instrumentation and Control Systems

Siqi Wang

Ningxia Ningdong Taichang Water Co., Ltd.

[Abstract] Instrumentation and control systems are widely used in industrial fields but are susceptible to interference from electromagnetic, environmental, mechanical, and other factors, leading to signal distortion, reduced control accuracy, and even equipment failure. By analyzing the types and causes of interference, targeted protection measures are proposed from five aspects: hardware optimization, software upgrades, environmental regulation, installation and wiring standards, and daily maintenance management. These measures can effectively enhance the system's anti-interference capability, ensure its long-term stable operation, and provide technical support for the reliable application of instrumentation and control systems in industrial production.

[Key words] Instrumentation and Control Systems; Causes of Interference; Protection Measures

引言

随着工业自动化发展,仪表自控系统成为生产监测与控制的核心,但复杂运行环境中的各类干扰,常引发系统功能异常,影响生产效率与安全性。明确干扰类型是防护的基础,深入剖析干扰产生原因是制定措施的关键,而科学有效的防护手段则是保障系统稳定的核心。以下将先梳理常见干扰类型,再分析干扰成因,最后系统阐述多维度防护措施,为解决仪表自控系统干扰问题提供完整思路。

1 仪表自控系统常见干扰类型

仪表自控系统干扰源复杂,按作用机制可分为电磁、环境、机械三类,影响途径与破坏程度差异显著。(1)电磁干扰最普遍且影响突出,含静电、电磁感应与射频干扰。静电干扰源是电荷转移、元器件或导线静电电荷累积形成瞬时高压,击穿敏感元件或干扰信号;电磁感应干扰由交变磁场引发,周边大功率电机、变压器的强磁场,通过互感在信号线感应干扰电压,致信号失真;射频干扰来自无线电设备、变频器,高频电磁波经辐射或传导侵入,干扰数字信号编码解码。(2)环境干扰由温度、湿度、化学介质

变化引发。温度波动改变电子元件参数,使传感器灵敏度下降、测量误差增大;湿度超标时,水汽降低绝缘性能,引发电路漏电短路,还加速金属腐蚀;化学干扰源例如腐蚀性气体、粉尘,破坏仪表外壳与内部电路,缩短寿命并引发故障。(3)机械干扰由振动、冲击等机械力产生。安装环境频繁振动(如临近泵体、风机),会使仪表内接线端子、元器件松动,导致接触不良;强烈冲击损坏传感器敏感部件,如压力传感器膜片变形,使其无法准确感知压力,直接影响系统控制精度^[1]。

2 仪表自控系统干扰产生原因

2.1 外部干扰源特性与作用机制

外部干扰源分自然与人为两类,均通过空间辐射或线缆传导侵入系统。自然干扰中,雷电产生的高电压、大电流电磁脉冲,经电源线、信号线损坏电源模块与控制芯片;宇宙射线及太阳活动的高能粒子,穿透仪表外壳干扰半导体元件载流子运动,致数字电路误码;大气电场随机波动在信号线上感应微弱电压,长期积累引发数据漂移。人为干扰随工业设备密度提升而增强。高压输电线、变压器的工频电磁场,若与系统信号频率接近,易

叠加导致信号识别错误;变频器、电焊机的高频谐波经电网传导,破坏电源稳定性;无线电通信设备、雷达的射频信号穿透屏蔽层,干扰无线传输模块,造成数据延迟或丢失。

2.2 系统内部结构设计缺陷

电路布局不合理易引发内部电磁耦合,模拟与数字信号电路近距离布置,数字电路高频噪声会耦合至模拟电路,降低信噪比;电源与信号电路未隔离,电源纹波直接影响信号处理;电路板过长平行导线形成寄生电容、电感,引发信号串扰。接地系统设计不当问题突出,工作、保护、屏蔽接地共用接地极,产生共模干扰电压;接地导线截面积小、电阻大,接地电流泄放慢形成电位差,干扰信号参考电位;多点接地若接地点位有差异,产生接地环流破坏信号稳定。元器件选型不符抗干扰要求,普通运算放大器替代抗干扰型号,易受噪声影响致输出漂移;传感器未过电磁兼容认证,抗电磁场能力弱;部分元器件工作温度范围与环境不匹配,温度变化时参数波动大,引发系统异常。

2.3 信号传输链路薄弱环节

传输介质选择不当,普通铜芯导线无屏蔽层,易受电磁场干扰且信号衰减大,长距离传输时干扰占比高;无线传输选抗干扰弱的频段,易受同频段信号影响致丢包;部分介质绝缘层耐温性差,高温下绝缘性能下降引发信号泄漏。线缆敷设不规范,信号线与电源线平行或绑扎,工频干扰通过耦合侵入;转弯处弯曲半径小破坏屏蔽层;长距离敷设未设中继器,信号衰减后抗干扰能力弱;接头连接不牢产生接触电阻,致信号中断或噪声叠加。接口设计有缺陷,未设浪涌保护装置,瞬时高压易烧毁接口电路;通信协议无校验、重传机制,数据错误无法纠正;连接器未屏蔽,外部干扰从缝隙侵入影响信号传输^[2]。

2.4 运行环境调控缺失

温度调控缺失,夏季系统超温使半导体元件载流子浓度异常,电路增益不稳;冬季低温导致元器件绝缘电阻增大、信号延迟,机械部件润滑剂凝固影响精度;温度波动使元器件热胀冷缩,造成焊点脱落、端子松动。湿度调控不当,高湿度下电路板形成水膜引发漏电、电弧放电;湿度交替变化使元器件内部凝露,加速金属腐蚀降低传感器精度;高湿度削弱屏蔽层导电性能,让干扰更易侵入。粉尘污染覆盖电路板影响散热,导电粉尘形成通路引发短路,还会磨损机械部件降低控制精度;振动控制缺失,致元器件、端子松动,传感器敏感元件位移,线缆与连接器摩擦破坏绝缘层,强烈振动还会变形设备外壳、破坏屏蔽结构。

3 仪表自控系统干扰防护措施

3.1 硬件防护措施优化

硬件防护是仪表自控系统抗干扰的核心基础,需从屏蔽、隔离、滤波、接地和元器件选型多维度发力。(1)应对静电与电场干扰,用金属屏蔽盒封装传感器、信号放大器等敏感元件,屏蔽盒通过专用接地线接地,接地电阻严控在 $1\ \Omega$ 内,快速泄放静电荷以避免寄生电容耦合干扰。针对磁场干扰,采用坡莫合金或硅钢片制作屏蔽层,大功率电机、变压器周边仪表需双层磁屏蔽,借材料磁导率差异削弱磁场影响。射频干扰防护则选用铜网或

铝箔屏蔽电缆,屏蔽层两端接地防天线效应,系统外壳涂导电涂料提升整体电磁屏蔽能力。(2)隔离技术覆盖关键环节,信号传输加装隔离电压 $\geq 2500\text{V AC}$ 的隔离器,通过光电或电磁耦合实现电气隔离;电源端用带屏蔽的隔离变压器,滤除电网谐波与浪涌;RS485接口加装光耦隔离模块,传感器与系统间串隔离放大器。滤波电路匹配干扰频率,电源电路多级滤波,输入端LC滤波器滤50Hz工频干扰,输出端并连陶瓷电容抑高频噪声;模拟信号电路按频率配RC低通滤波器,数字电路用施密特触发器消毛刺,高频线路串共模滤波器。接地系统分区设置独立接地极,间距 $\geq 5\text{m}$,工作接地单点设置,保护接地电阻 $\leq 4\ \Omega$,屏蔽接地依类型选接地方式。元器件优先选抗干扰型号、电磁兼容认证产品,关键部件用工业级产品,筑牢硬件抗干扰防线^[3]。

3.2 软件防护措施升级

软件防护通过程序优化抑制干扰,提升系统容错能力。(1)数字滤波算法按需选用,工频周期性干扰用均值滤波,连续采集10组数据取平均值削弱50Hz干扰;脉冲干扰用中值滤波,排序后取中间值剔除异常脉冲,如压力信号超阈值数据用中值替换;随机干扰用卡尔曼滤波,建数学模型动态调整参数,适配流量、液位等动态信号。复杂场景用复合滤波,先限幅滤波剔除超范围数据,再均值滤波平滑信号。(2)数据校验与纠错机制全面覆盖,短距离传输用奇偶校验检测单比特错误,长距离如无线、总线传输用CRC校验检测多比特错误。数据存储双备份,关键信息存两个区域防丢失,同时设数据有效性判断,超测量范围或变化异常数据判定为无效,拒绝纳入运算。程序抗干扰策略保障稳定,空白ROM区填软件陷阱,引导跑飞程序至错误处理流程;启用看门狗定时器,异常时触发系统复位,溢出时间设程序周期2-3倍。采用模块化设计,各功能模块独立设错误处理程序,某模块故障不影响整体。添加系统状态监测,实时监控电源电压、CPU温度,超范围时预警并调整运行状态。

3.3 环境防护措施强化

(1)环境防护通过调控环境减少干扰,温度控制维持系统在 -10℃ - 40℃ ,室内用自动控温空调,波动 $\leq \pm 2\text{℃}$;高温车间仪表柜用强制风冷或水冷,风冷靠风扇与百叶通风,水冷借水冷板散热;低温环境仪表内装加热片,与温度传感器联动防元器件失效。设备布局优化,发热设备与敏感元件分开,电路板涂导热硅脂提升散热效率。(2)湿度管理控制湿度40%-60%RH,高湿度环境装自动排水除湿机,仪表柜内放硅胶干燥剂定期换,底部装防潮垫;户外仪表选IP65及以上防护外壳,接缝处密封胶密封;电路板涂三防漆,形成防潮、防盐雾、防霉菌保护膜,适配沿海等潮湿环境。粉尘防护方面,高粉尘环境仪表柜全密封,通风用过滤效率 $\geq 99.97\%$ 的过滤器并定期维护;传感器加透气防尘罩,日常用0.2-0.3MPa压缩空气吹扫仪表,电路板用专用工具清理,防粉尘引发故障。振动抑制选用减振支架,振动源附近柜装减振平台,仪表内元器件用减振螺栓固定,敏感仪表设独立减振基座,连管道用柔性管,振动监测模块实时采集数据,超阈值预警调整措施^[4]。

3.4 安装与布线防护规范

(1) 安装与布线规范减少干扰, 安装位置避开强电磁干扰源, 间距 $\geq 3\text{m}$, 空间受限设金属屏蔽屏障; 避开振动源正上方, 振动加速度 \leq 仪表额定值(通常 $\leq 5\text{m/s}^2$); 户外安装避开雷击区, 无法避开时加避雷针或浪涌保护器, 避免阳光直射显示屏, 同时预留维护空间。(2) 线缆选型适配信号类型, 模拟信号用双层屏蔽双绞线, 低频($< 1\text{kHz}$)绞距 $10\text{--}15\text{mm}$, 高频($> 1\text{kHz}$)绞距 $5\text{--}10\text{mm}$; 数字信号用工业级屏蔽电缆, 如RS485电缆特性阻抗 120Ω ; 电源线选耐高压、低损耗型号。线缆敷设分层进行, 电源、信号、控制线分桥架或穿线管, 间距 $\geq 0.5\text{m}$, 穿线管用金属管接地; 避免与动力电缆平行, 平行间距 $\geq 1\text{m}$, 交叉垂直进行。长距离线缆每 $50\text{--}100\text{m}$ 设中继器, 敷设时弯曲半径 \geq 线缆外径 10 倍, 防屏蔽层、绝缘层损坏。布线屏蔽处理确保完整, 短距离($< 30\text{m}$)屏蔽层一端接地, 长距离或跨越地域两端接地; 用专用接地端子, 接触电阻 $\leq 0.1\Omega$, 多芯电缆敏感芯线单独屏蔽再外层共屏蔽; 接头处屏蔽层延伸至接头内连金属外壳, 定期检查修复屏蔽层。

3.5 日常维护与管理强化

(1) 日常维护与管理保障防护效果, 定期检测按周期进行, 每月常规检测包括仪表精度校验, 对比标准信号源校准偏差; 接地电阻检测, 确保工作接地 $\leq 1\Omega$ 、保护接地 $\leq 4\Omega$; 电源质量检测, 控电压波动 $\pm 5\%$ 内、总谐波畸变率 $\leq 5\%$; 信号质量检测, 示波器观测波形排查噪声。(2) 每季度全面检测, 增屏蔽层完整性、软件功能、环境参数(温湿度、粉尘)检测。每年开展电磁兼容测试, 评估复杂环境稳定性并优化措施。维护记录细致管理, 每次维护记时间、人员、项目、数据、问题及处理, 表保存 ≥ 3 年; 建设备台账, 记型号、安装时间、抗干扰参数、维护历史并更新;

共性问题专题分析, 定改进方案跟踪效果, 用管理软件实现数字化, 自动提醒维护计划。运维人员培训提升能力, 定期组织抗干扰技术培训, 理论结合实操; 邀专家讲座介绍先进技术案例; 建师徒帮带制缩短新员工适应期; 定期技能考核, 合格方可独立工作; 鼓励参与行业交流, 分享经验学先进理念, 保障系统长期稳定^[5]。

4 结语

对仪表自控系统干扰防护的研究, 需从干扰类型识别、成因分析到防护措施落地形成完整体系。通过针对性应对电磁、环境、机械干扰, 优化硬件设计、升级软件策略、强化环境调控、规范安装布线并做好日常维护, 可构建全面的抗干扰防线。这些措施不仅能提升系统运行稳定性与控制精度, 还能延长设备使用寿命, 对推动工业自动化技术高质量应用、保障生产持续高效开展具有重要现实意义。

[参考文献]

- [1] 杨传, 龙潇, 郭江龙. 直流输电换流阀冷却水系统在线化学仪表检验与优化研究[J]. 电站系统工程, 2020, 36(3): 68-70, 72.
- [2] 郝红娟. 基于虚拟仪器技术的化工仪表维修工实训教学系统设计[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(02): 151-152.
- [3] 张伟刚, 王环环. 基于DCS系统的差异报警原理的变送器类仪表早期故障诊断[J]. 中国仪器仪表, 2020(02): 65-68.
- [4] 王永炜, 仇长明, 廖经南. 石化装置安全仪表系统安全完整性等级建立与验证[J]. 安全环保技术, 2020, 36(01): 41-46, 7.
- [5] 王毅, 李江华. 仪表自控系统的干扰及其防护措施[J]. 化工管理, 2020, (20): 171-172.