

现场仪表信号干扰问题分析与抗干扰维护措施研究

李 帅

重庆川仪自动化股份有限公司 重庆 401147

【摘 要】：工业生产现场环境复杂，电磁辐射、电源波动、布线不规范、接地系统异常等各种干扰因素很容易造成现场仪表信号失真、数据跳变、传输中断，从而影响到自动化控制系统的正常运行，甚至会造成生产故障和安全隐患。本文结合工业仪表运维工作实际情况，对现场仪表常见的信号干扰类型进行梳理，分析干扰产生的机理和传播途径，利用现场实测案例数据总结出相应的抗干扰技术方案和常态化的维护措施，给工业现场仪表的稳定运行、控制系统可靠工作提供技术支持和实践指导。

【关键词】：现场仪表；信号干扰；干扰机理；抗干扰技术；设备维护

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.079

引言

工业生产现场存在着大量的变频器、大功率电机、高压配电设备、焊接设备等装置，设备运行时会产生复杂的电磁环境，再加上现场高温、潮湿、线路老化、施工不规范等因素的影响，使仪表信号经常受到干扰而产生测量误差、数据跳跃、通讯中断等故障，从而降低生产控制的准确性，并且有可能引起设备误动作，造成生产停滞、物料损失或者安全事故。因此，准确找出仪表信号干扰的原因，制定科学的抗干扰措施并实行常态化的维护，这是保证工业自动化系统正常运转的重要工作。

1 现场仪表信号干扰主要类型及成因分析

1.1 辐射电磁干扰

辐射电磁干扰属于工业现场最常见的干扰类型，主要是大功率电气设备工作时产生的高频电磁波，以空间辐射的形式对仪表信号线路和设备本体产生影响。现场变频器、交流接触器、高压电缆、变频电机等设备的启停及运行时会发出高频谐波和电磁辐射，频率范围从低频到高频都有。这类干扰没有直接的电气联系，依靠空间磁场、电场耦合来影响仪表信号。当仪表信号线靠近大功率动力电缆、高频设备的时候，辐射干扰会造成模拟量信号叠加杂波，造成数据小幅度波动、跳变，数字量信号出现通讯误码、信号丢失等问题。该类干扰具有随机性高、覆盖面广的特性，排查工作比较困难。

1.2 传导干扰

传导干扰主要是由供电电源、公共线路引起的信号干扰，属于电源系统异常导致的信号干扰。工业厂市区电存在电压波动、浪涌冲击、谐波畸变等现象，大功率设备启动、停止时会引起电网负载的突然变化，引起电源波形畸变、电压瞬变。仪表供电电源和动力电源共用同一个电网的时候，电网中的干扰信号就会经由供电线路直接传送到仪表设备上。传导干扰会对仪表的供电稳定性产生直接的影响，使仪表的工作电压不稳，内部信号采集模块和转换模块出现工作异常的情况，表现为仪表测量数值出现整体偏移、零点漂移的现象，严重的还会导致仪表重启、死机，中断信号传输。在线式电源稳压效果不好、

没有隔离电源的仪表设备，受到这类干扰的影响最大。

1.3 线路耦合干扰

线路耦合干扰是由仪表布线不规范造成的，分为电容耦合和电感耦合两种形式。工业现场施工时，部分施工人员没有区分动力电缆和信号电缆，把仪表弱电信号电缆和高压动力电缆、变频电缆近距离平行敷设，并且没有保持足够的安全间距，也没有做隔离防护。动力电缆传输大电流、高电压信号时，线路周围会产生交变电磁场，仪表信号线缆处在电磁场中，会被电容、电感耦合产生感应电动势，叠加在有效信号上造成干扰。线缆平行敷设长度越长、间距越小，耦合干扰强度越大，极易造成4到20mA模拟量信号失真，测量误差大幅超标，是中小型厂区仪表信号异常的主要原因之一。

1.4 接地系统干扰

接地是仪表系统抗干扰的重要保证，接地不规范、接地系统异常造成的信号干扰占现场仪表故障的三成左右。常见的接地问题有多点接地、接地电阻超差、信号地和电源地混接、屏蔽层接地错位、接地线路老化断开等。多点接地会造成各个接地点之间存在电位差，产生接地环流，接地环流会进入信号回路干扰有效信号的传递。接地电阻过大不能及时泄放静电和干扰电荷，容易造成静电积累，引起信号杂波干扰。屏蔽层两端接地、接地线缆虚接等问题，都会完全破坏屏蔽抗干扰的效果，反而产生新的干扰，使仪表数据持续波动、控制回路频繁误动作。

2 仪表信号干扰现场实测案例分析

2.1 案例测试工况与方案说明

为了准确地量出各种干扰对现场仪表运行的影响，检验不同的干扰类型所具有的故障特征，本次测试选取了某连续生产化工车间作为实测场景。该车间核心生产区域布置有大量的变频驱动的风机、水泵和高压配电装置，仪表信号电缆和动力电缆敷设路径密集，电磁环境复杂，仪表信号波动、测量偏差等故障较多，具有工业现场普遍代表性的特点。

测试选择工业生产中使用最广的温度变送器、压力变送

器、电磁流量计、液位变送器这四类现场仪表，模拟辐射干扰、线路耦合干扰、接地干扰、电源传导干扰这四种典型的工况。通过对标准无干扰工况和现场干扰工况下仪表测量精度、信号运行状态进行对比，对干扰的危害程度进行量化，总结出不同的干扰故障规律，为以后制定抗干扰措施提供数据支持。

2.2 多工况实测数据统计

本次实测严格依照工业仪表检测标准执行，对各种仪表在标准工况和对应的干扰工况下所出现的测量误差、信号异常以及主要干扰因素进行了详细的记录，实测统计数据见表所示。

表 1 实测统计数据

仪表类型	温度变送器	压力变送器	电磁流量计	液位变送器
干扰场景	变频器近距离辐射干扰	动力线缆与信号线缆平行敷设	接地系统多点接地	电源谐波传导干扰
标准工况测量误差	$\pm 0.15^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.02\text{MPa}$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\text{mm}$
干扰工况测量误差	$\pm 1.2^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.18\text{MPa}$	$\pm 4.8\%$	$\pm 9\text{mm}$
信号异常表现	数据小幅频繁跳变，无规律波动	测量数值整体偏移，稳态偏差大	瞬时流量跳变，累计流量偏差超标	信号零点漂移，数值持续偏移
干扰诱因	空间电磁辐射，线缆无屏蔽防护	线路电感耦合干扰，布线间距不足	接地环流干扰，接地方式不规范	电网谐波传导，电源无隔离滤波

2.3 实测结果与干扰规律分析

辐射电磁干扰主要是无规律的小幅数据跳变，干扰随机性大，不会造成固定的数值偏差，是生产过程中仪表轻微波动的主要原因。线路耦合干扰和接地干扰引起的测量偏差最大，属于高强度持续性干扰，会造成仪表稳态测量数值严重偏移，直接危及生产参数调节精度，对连续化化工生产影响最大。电源传导干扰以零点漂移、数值持续偏移为主要特点，干扰影响稳定而且持续，长期运行会使测量误差逐渐增大，造成生产参数偏离工艺设定值。

从现场仪表信号干扰的测试结果可以看出，布线不规范、接地系统异常、电源防护缺失是造成现场仪表信号干扰的主要人为和设备原因，也是后续抗干扰整改、常态化运维管理的重

点控制方向。各种干扰对应的信号异常特征十分明显，可以形成标准化的排查依据，大大提高现场故障处理速度。

3 针对性抗干扰技术措施

3.1 源头抑制电磁辐射干扰

对大功率设备产生的辐射电磁干扰，首先从干扰源入手进行治理。现场变频器、大功率电机等干扰源设备上加装金属屏蔽罩，屏蔽罩完整接地，可以有效地阻隔高频电磁波向外辐射。对大功率设备的运行参数进行优化，改变变频器的载波频率，减小高频谐波的输出强度，降低电磁辐射的能量。

合理安排设备位置，把高频干扰设备、精密检测仪表分开安放，增大设备间距离，减小仪表与强电磁辐射源之间的距离。对长时间运行的、电磁辐射超标严重的老旧电气设备及时更换，从根本上防止干扰产生。

3.2 规范线路布线与屏蔽防护

线路耦合干扰的核心解决办法就是规范布线、加强屏蔽。严格区分动力电缆和仪表信号电缆，实行强弱电线路分层敷设，禁止近距离平行走线。动力电缆和仪表信号电缆的安全间距不小于 30 厘米，交叉敷设时垂直交叉，减小耦合干扰。

所有的仪表信号线缆都使用双层屏蔽专用信号电缆，屏蔽层完整无破损、无断点。高温、强电磁干扰区用耐高温、抗屏蔽强化型电缆，电缆桥架内加设金属隔离隔板，把动力线和信号线物理隔离。敷设线缆时不能过度拉伸、弯折，以免造成屏蔽层破损失效。

3.3 优化仪表供电电源系统

解决电源传导干扰要重点改善电源质量，隔离干扰信号。给所有的关键仪表、精密检测仪表配备隔离变压器和在线式不间断电源，切断电网谐波、电压浪涌、频率波动的传导途径。隔离变压器用磁耦合将电网侧的干扰信号隔离开来，保证仪表供电的纯净和稳定。

在仪表供电回路中安装专用滤波器，对电网高频杂波、谐波干扰做有目的地衰减，使供电电压稳定。严格区分仪表供电回路和动力供电回路，不得将仪表和大功率设备共用同一个供电回路，防止由于负载突然变化而引起电源波动对仪表造成干扰。定期对电源波形、电压稳定情况进行检测，及时更换老化电源设备。

3.4 规范接地系统施工与改造

规范接地系统是消除接地干扰，提高仪表抗干扰能力的主要方法。严格区分仪表工作接地、屏蔽接地、设备保护接地，三类接地系统独立布置、互不混用，防止电位交叉干扰。仪表信号系统使用单点接地方式，在控制系统机柜一侧集中接地，避免出现多点接地产生环流的情况。

屏蔽层接地采用单端接地方式，在机柜侧接地，在仪表表现

场侧悬空,防止两端接地产生电位差。改善厂区接地管网,采用耐腐蚀、高导电率的接地材料,减小土壤电阻率,把仪表系统接地电阻控制在 1Ω 以下。定期对接地线缆的连接进行检查,防止虚接、氧化、断裂等现象的发生,保证接地系统的导通性良好。

3.5 软件辅助抗干扰优化

在硬件防护的基础上,用控制系统软件的优化来提高信号的稳定性。在PLC、DCS控制系统里加入数字滤波算法,用均值滤波、加权滤波等方式去掉信号里的随机杂波和突发干扰数据,平滑传输信号。开启系统数据校验和容错功能,用数据纠错算法找出异常信号,防止干扰数据进入控制运算。

优化控制逻辑设计,把边沿触发逻辑改成电平触发,减小瞬时干扰造成的误动作概率。定期对仪表参数、控制程序进行刷新,修复程序漏洞,提高系统抗干扰的容错能力,实现软硬件协同抗干扰。

4 常态化抗干扰维护管理措施

4.1 建立定期巡检排查机制

制定仪表专项巡检制度,每天对仪表信号运行情况进行检查,主要看数据是否稳定、有无异常波动,并做好记录。每周对线路进行专项检查,核对信号线缆的屏蔽层是否完好,布线是否符合要求,线缆固定是否牢固,并将松动、破损的线路整理好。每月对接地系统、供电系统进行检测,测量接地电阻、供电电压、波形参数,保证各项指标符合标准。对于变频器、高压设备等干扰源区域的仪表,加大巡检频次,重点检查辐射干扰、耦合干扰隐患,做到干扰隐患早发现、早处理。

4.2 落实故障精准排查整改

建立仪表信号干扰故障台账,记载故障现象、干扰种类、诱因、修正方案和修正成效,提炼故障处理的经验,塑造起标准化的查找流程。对突发信号异常按照先排查电源、再检查接地、最后核查线路和设备的顺序,准确找到干扰源,不能盲目

进行整改。对反复出现的干扰故障进行专项分析,查找隐蔽性干扰隐患,采用改善布线、更新防护设备、改造接地系统等方法彻底消除故障,防止同类问题再次出现。

4.3 强化设备定期校验与升级

定期对现场仪表进行精度校验、性能检测,对受到干扰造成测量误差的仪表及时进行准确的修正,更换出现性能衰减或者抗干扰能力差的老旧设备。根据现场生产工况及电磁环境的变化,及时升级抗干扰设备,对强干扰区的仪表加装屏蔽装置、滤波器等,提高整个系统的抗干扰能力。定期清除仪表接线端子上的氧化层和粉尘,保证接线接触良好,防止由于接触不良造成的信号干扰,保证仪表长时间稳定工作。

4.4 规范施工与人员管理

严格规范仪表安装、改造、检修施工标准,所有的现场作业必须按照抗干扰施工规范执行,不得存在私拉乱接线路、强弱电混敷、接地不合格等违规行为。加强对运维人员的培训,使运维人员掌握信号干扰的原理、排查的方法、抗干扰的技术要点,提高运维人员的故障处理能力及隐患预判能力。

建立作业验收制度,所有仪表施工改造完毕后必须进行信号稳定性的测试,验收合格后才能投入使用,从施工源头上消除干扰隐患。

5 结论

现场仪表信号干扰属于工业自动化生产过程中的普遍性问题,其干扰来源包含设备辐射、电源传导、线路耦合、接地异常等诸多方面,各种干扰互相叠加,会对仪表的测量精度以及控制系统的稳定性造成严重的影响。根据工程实践可知,规范的布线及接地系统、改善电源品质、加强屏蔽防护、配合软件滤波等方法可以很好地解决工业现场仪表信号干扰的问题,从而大大提高仪表运行的稳定性以及测量精度。后续的运维工作要根据现场工况的变化,不断改进抗干扰方案,健全维护制度,持续削减信号干扰故障的风险,给工业自动化系统的安全、稳定、高效运行赋予有力支撑。

参考文献:

- [1] 谢鹏怡.基于人工智能的热工仪表信号线干扰噪声处理技术[J].电声技术,2025,49(9):183-185.
- [2] 干浩亮,李运生,孙闻远.仪表着陆系统信号干扰源分析[J].西安航空学院学报,2025,43(3):18-23.
- [3] 张成贵.化工仪表故障诊断与维修技术的系统研究[J].仪器仪表用户,2024,31(8):15-17.
- [4] 王馨梓.数字仪表的干扰因素分析及控制措施研究[J].工业计量,2024,34(2):112-115.
- [5] 刘峻含,曾清平,贾波,等.采油平台外输泵变频柜信号干扰故障排查与处理[J].天津科技,2022,49(6):76-79.