

基于现场调试经验的 DCS 系统仪表接地故障处理方法探讨

刘 磊

天津炼达集团有限公司 天津 300280

【摘要】：DCS 系统仪表接地故障是影响控制系统稳定运行的关键因素。依托现场调试实践经验，深入剖析仪表接地故障的典型类型与产生机理，明确不规范接地引发的信号干扰、漂移及设备损坏等问题。提出一套系统化的故障诊断与处理方法，涵盖接地结构检查、信号回路测试、屏蔽接地验证等关键环节。通过实际案例验证，该方法能有效识别并消除接地隐患，提升系统抗电磁干扰能力，保障仪表信号的准确性与 DCS 运行的可靠性，为工程调试与运维提供实用技术指导。

【关键词】：DCS 系统；仪表接地；故障处理；现场调试；信号干扰

DOI:10.12417/2705-0998.26.05.057

1 DCS 系统仪表接地故障的典型表现与成因分析

1.1 信号异常与设备故障的现场现象归纳

DCS 系统仪表接地故障在工业现场表现出特定的物理特征与系统响应。现场仪表信号在操作员站呈现无规律跳变，数值偏离工艺实际状态，伴随毫伏级电压信号的零点漂移。热电偶测温回路出现虚假温度指示，压力与流量变送器输出信号叠加工频干扰成分，导致调节阀位发生非指令性阶跃动作。现场控制站卡件通道指示灯异常闪烁，部分 DI/DO 模块出现误报或拒动现象，严重时触发系统冗余切换或硬件保护性停机。接地电位差引发的共模干扰通过信号电缆传导至 I/O 单元，造成模拟量输入模块采样数据离散度增大，数字通信链路误码率升高。

1.2 接地结构不合理引发的系统性问题

接地系统拓扑结构设计缺陷是导致 DCS 仪表故障的根本性技术原因。保护接地、工作接地与屏蔽接地未实现物理隔离，形成接地环路，交流设备漏电流通过接地网络耦合至弱电回路^[1]。现场仪表端与控制室端同时接地，构成多点接地结构，地电位差在屏蔽层中产生循环电流，干扰核心信号传输。接地电阻超出规范限值，雷电冲击或大功率设备启停时地网电位抬升，导致仪表输入端共模电压超限。接地汇流排截面积不足或连接节点氧化，造成接地阻抗频率特性恶化，高频干扰抑制能力下降。

1.3 施工与环境因素对接地性能的影响

电缆屏蔽层在接线端子处处理不规范，屏蔽层与接地端子接触电阻增大，削弱电磁屏蔽效能。仪表外壳与安装导轨之间存在绝缘涂层，导致保护接地连续性中断。接地线缆在桥架内敷设时与动力电缆平行布线过长，未保持规定间距，通过电容耦合与电感耦合引入电磁干扰。潮湿环境导致接地连接点腐蚀，接地电阻随湿度变化呈现非线性波动。土壤电阻率受季节性降雨影响发生改变，埋地接地极性能衰减，接地网电位分布不均匀。振动环境造成接地螺栓松动，接地回路出现间歇性断续接触，引发瞬态干扰脉冲注入信号通道。

2 基于现场调试的接地故障诊断方法体系

2.1 接地回路与屏蔽层的连续性检测

现场调试中，利用微欧计或高精度数字万用表，对从现场仪表外壳、电缆屏蔽层至控制室接地汇流排的整个导电通路进行逐段电阻测量。重点核查接线端子是否存在松动、氧化或腐蚀现象，这些接触不良的节点会引入额外的接触电阻，破坏接地回路的低阻抗特性。对于电缆屏蔽层，需确认其在接线端子处是否实现了 360 度全方位压接，杜绝仅将屏蔽编织层拧成一股后简单缠绕或单点螺钉压接的施工缺陷，此类工艺极易导致高频干扰下屏蔽效能的丧失。检测过程需遵循“断电测试”原则，确保测量结果不受系统运行电流的影响，准确识别出接地回路中潜在的虚接、断线或高阻故障点，为后续的故障定位与处理提供直接的物理层依据。

2.2 接地点电位差与接地电阻的实测分析

接地点电位差与接地电阻的实测分析是量化评估接地系统性能的关键步骤，直接反映接地网络抑制干扰的能力。现场带电调试时，采用高输入阻抗的示波器或真有效值万用表，精确测量现场仪表安装位置的接地点与 DCS 控制柜参考接地点之间的交流及直流电位差。若测得的交流共模电压显著，表明两地之间存在较强的地环路电流或电磁场耦合，是引发信号干扰的直接诱因。直流电位差的存在则可能源于工业现场的杂散直流电流干扰^[2]。针对接地电阻的测量，则需使用专业的接地电阻测试仪，采用三极法或钳形测试法，严格按规范铺设辅助电极，测量接地极对远方大地的散流电阻。实测数据需结合现场环境进行动态分析，例如土壤湿度、周边大功率设备的启停状态等，均会影响接地电阻的稳定性。

2.3 电磁干扰源与接地耦合路径识别

电磁干扰源与接地耦合路径的识别是解决 DCS 系统仪表接地故障的核心技术，旨在从复杂的工业环境中锁定干扰的源头及其传导机制。现场调试中，利用频谱分析仪或带 FFT 功能的示波器，对疑似干扰的信号进行频域分析，通过特征频率锁定主要的干扰源类型，如变频器的载波频率、开关电源的振荡

频率等。接地耦合路径的识别则侧重于分析干扰能量如何通过接地网络侵入信号回路。重点排查是否存在“公共阻抗耦合”，即强电设备与弱电仪表共用同一段接地线，强电设备的瞬态电流在接地线上产生的压降成为仪表信号的干扰电压。同时，需识别“地环路”耦合，即信号回路在两点或多点接地，在变化的磁场中形成感应电流环路，如同天线一般接收空间电磁干扰。通过断开可疑的接地连接点并观察干扰信号的变化，或采用电流探头追踪接地线上的异常电流，可以有效验证耦合路径的假设，从而为切断干扰传播通道提供明确的整改方向。

3 仪表信号回路与屏蔽接地的规范实施

3.1 信号电路单点接地原则的应用

信号电路单点接地原则是构建 DCS 系统稳定参考电位、阻断地环路干扰的核心规范。在非隔离的模拟量信号传输中，若信号源端与接收卡件端分别在不同地理位置接地，由于厂区地网各点间存在电位梯度，该电位差会驱动电流在信号回路的屏蔽层与地线构成的闭合环路中流动。这种地环路电流流经信号回路的公共阻抗时，会转化为串模干扰电压，叠加在有效信号上，导致数据跳变。单点接地通过强制规定整个信号回路仅在一个物理点与大地连接，从根本上切断了地环路的形成条件。在工程实践中，通常将接地点统一设置在控制室侧的 I/O 机柜接地汇流排上，利用控制室完善的接地网作为系统唯一的电位参考点。现场仪表端的信号负端或屏蔽层必须保持悬浮状态，严禁在现场端与仪表外壳或钢结构相连。这种集中式的接地策略确保了所有进入系统的信号均以同一基准电位进行模数转换与处理，消除了因地电位差引发的共模干扰，保障了信号传输的准确性与可靠性。

3.2 电缆屏蔽层接地位置的正确配置

电缆屏蔽层接地位置的配置直接决定了电磁屏蔽效能的发挥与地环路干扰的抑制效果，是现场施工工艺的重点控制环节。对于传输微弱直流信号的电缆，如热电偶、毫伏级变送器信号，屏蔽层应严格遵循“控制室侧单端接地”的原则。现场接线箱或仪表端的屏蔽层需进行绝缘处理，剪除多余线芯，严禁与现场金属外壳接触，防止将现场的干扰电位引入屏蔽层^[3]。控制室侧则需将屏蔽层通过压接端子牢固连接至机柜的信号接地母排，确保 360 度全方位接触，形成低阻抗的高频接地通路。对于双层屏蔽电缆，外层屏蔽通常在两端接地，用于泄放雷电感应的强干扰电流；内层屏蔽则在控制室侧单端接地，专用于抑制信号传输过程中的电磁耦合。在敷设过程中，必须保证屏蔽层在设备入口处的连续性，剥线长度在满足电气安全距离的前提下尽可能缩短，避免无屏蔽保护的芯线裸露过长，从而最大化屏蔽结构对电场与磁场的隔离作用。

3.3 隔离信号与非隔离信号的接地区别处理

隔离信号与非隔离信号在接地处理上必须采用截然不同

的策略，以适应其电气隔离特性，防止接地方式破坏电路的隔离功能。非隔离信号回路中，现场仪表与 DCS 卡件在电气上是直接导通的，两者共用同一参考地平面。此类信号的接地必须严格遵循单点接地原则，接地点唯一设置在 DCS 控制柜侧，现场仪表外壳的保护接地应通过独立的 PE 线接入厂区接地网，严禁将信号负端与现场保护接地相连，避免形成多点接地回路。对于隔离信号，通常通过配电器、安全栅或隔离器在输入与输出之间建立起电气隔离屏障，切断了直流回路与低频干扰的传导路径。在接地处理上，隔离器的输入端与输出端应分别建立独立的接地系统。输入端的屏蔽层接地连接至现场侧的参考地，输出端的屏蔽层接地连接至 DCS 系统侧的参考地。这种独立接地方式允许隔离屏障两端存在不同的地电位，而不会产生地环路电流，从而有效抑制了共模干扰电压的传递。现场调试时，必须严格验证隔离器两端的电气绝缘性能，严禁在隔离信号回路中跨接接地线，确保隔离屏障的完整性不受破坏。

4 典型接地故障的现场处理案例与验证

4.1 热电偶与变送器接地错误的纠正

在某化工装置的温度监测系统中，多台热电偶信号出现大幅度波动，严重影响工艺参数的监控精度。现场排查发现，该故障源于热电偶补偿导线屏蔽层与变送器安装导轨的接地冲突。具体施工工艺中，现场接线箱内的补偿导线屏蔽层被错误地与接线箱金属外壳相连，而变送器安装的 DIN 导轨同样接入了机柜的保护接地系统。这种双重接地路径导致现场接线箱与控制室机柜之间因地网电位差形成地环路电流，该电流通过屏蔽层耦合至热电偶信号芯线。纠正措施包括物理隔离与规范重接两部分。拆除现场接线箱内补偿导线屏蔽层的接地连接，确保屏蔽层在现场端完全悬浮，仅保留绝缘外皮。在控制室侧，将变送器输出的 4-20mA 信号线屏蔽层通过压接端子可靠连接至 I/O 机柜的信号接地汇流排，实现单点接地。同时，检查变送器的供电电源隔离性能，确保其输入与输出回路间的绝缘耐压符合标准，防止共模干扰通过电源路径传导。

4.2 控制室与现场接地端的隔离优化

针对某电厂辅机控制系统频繁出现的模拟量信号跳变问题，诊断焦点集中在信号电缆屏蔽层的接地配置上。该系统采用的多芯屏蔽电缆在敷设过程中，由于施工管理疏漏，导致电缆屏蔽层在现场端与控制室端均实现了接地。现场端屏蔽层通过接线端子与仪表外壳相连，接入了厂区的接地网；控制室端则连接至机柜的接地母排^[4]。这种两点接地结构使得控制室与现场之间较长距离的接地线形成了巨大的干扰接收环路。优化方案的核心在于实施严格的单端接地隔离。在现场端，对电缆屏蔽层进行彻底的绝缘处理，剪除多余屏蔽丝，使用热缩套管进行全包裹绝缘，确保屏蔽层与现场任何金属结构件无电气接

触。控制室端保持原有的接地连接不变，作为唯一的接地点。对电缆的敷设路径进行复核，确保信号电缆与动力电缆保持规定的间距，避免平行敷设过长，减少磁场耦合的可能性。通过切断现场端的接地通路，消除了因地电位差产生的环流，彻底阻断了干扰能量的传导路径，系统信号的稳定性得到显著改善。

4.3 故障处理前后系统稳定性对比分析

接地故障处理的有效性需通过系统运行参数的量化对比来验证，重点监测信号噪声水平与系统误报率的变化。在实施接地整改前，系统历史数据显示，特定模拟量通道的采样值在无工艺扰动的情况下呈现周期性或随机性的大幅跳动，噪声频谱分析显示存在明显的工频及其谐波成分。DCS系统的SOE记录中，因信号波动超出死区范围而触发的虚假报警频次较高，干扰了操作人员的正常判断。完成接地回路的连续性修复、屏蔽层单点接地配置及隔离优化后，重新采集相同工况下的信号数据。对比分析表明，信号曲线的毛刺现象消失，数据平滑度显著提升，频谱中的干扰频谱分量大幅衰减。系统运行日志显示，相关通道的虚假报警次数降为零，控制回路的调节品质得到改善，PID参数无需再为滤波而过度积分，系统的动态响应特性恢复正常。这种前后数据的显著差异，直接证明了规范接地对于提升DCS系统整体电磁兼容性与运行可靠性的关键作用。

5 接地系统可靠性提升的工程实践总结

5.1 调试阶段接地检查的关键控制点

调试阶段的接地检查需聚焦于物理连接的完整性与电气特性的合规性，确保接地系统满足设计规范。重点核查接地回路的连续性，利用微欧计检测从现场仪表外壳、电缆屏蔽层至DCS接地汇流排的导通电阻，确认接线端子无松动、氧化或腐蚀现象。严格验证信号电路的单点接地原则，杜绝非隔离信号回路在现场与控制室两端同时接地，防止地环路形成。检查电

缆屏蔽层的压接工艺，确保360度全方位接触，避免仅将屏蔽丝拧绞连接的施工缺陷。同时，核对保护接地与信号接地的分离情况，防止不同性质的地线混接，保障系统参考电位的稳定性。

5.2 运维中接地状态的周期性评估

接地系统的可靠性需通过周期性评估来维持，重点监测接地电阻的变化与接点电位差的漂移。利用钳形接地电阻测试仪或三极法定期测量接地极对地散流电阻，评估土壤腐蚀、湿度变化对接地性能的影响。在系统带电运行状态下，采用高输入阻抗仪表检测现场与控制室之间的共模电压，识别因地网电位差增大的潜在风险^[5]。检查接地连接点的机械紧固状态，防止因振动导致螺栓松动引发接触电阻上升。建立接地系统档案，记录历次检测数据，通过趋势分析判断接地网的老化程度，及时发现并处理虚接、断线等隐患。

5.3 基于经验反馈的接地设计改进建议

结合现场调试与运维反馈，接地设计需在隔离策略与施工可操作性上进行优化。针对易受干扰的微弱信号回路，建议在设计阶段明确隔离器的配置，强化输入输出端的电气隔离，允许两端独立接地而不形成干扰环路。优化电缆选型，推荐使用分屏总屏蔽结构，将不同信号类别的屏蔽层独立引接，减少相互耦合。在接线端子排设计上，预留独立的信号接地端子与保护接地端子，物理隔离防止误接。同时，完善接地标识系统，确保施工人员能准确区分不同性质的地线，提升现场接线的规范性与可维护性。

6 结语

规范的仪表接地系统是DCS稳定运行的基石。从现场调试的故障诊断，到施工中的规范实施，再到运维阶段的周期性评估，每一个环节都关乎系统的抗干扰能力。只有严格遵循电气标准，精准识别干扰路径，持续优化接地策略，才能构建高可靠性的工业自动化控制环境。

参考文献：

- [1] 孙泽. 火电厂(脱硫脱硝)DCS控制系统现场调试[J]. 无线互联科技, 2022, 19(18): 166-168.
- [2] 刘杰, 任凯, 刘盼. 化工企业DCS系统安装调试及故障定位技术研究[J]. 中国科技期刊数据库工业A, 2024(12): 193-196.
- [3] 杨兵飞, 路阳阳. 浅析电气自动化DCS系统的安装调试及故障判断研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(12): 157-159.
- [4] 肖丽. 国产化DCS系统改造中故障分析与处理措施研究[J]. 电力设备管理, 2025(7): 101-103.
- [5] 张紫薇. 电力系统中发电厂直流系统接地故障分析与处理[J]. 电气应用, 2025, 44(7): 90-95.