

信号电缆绝缘性能下降对联锁系统安全的影响分析

向 灿

佛山地铁运营集团有限公司 广东 佛山 528000

【摘 要】：信号电缆是现代自动化控制系统中关键的组成部分，其绝缘性能直接影响系统的稳定性和安全性。随着信号电缆使用时间的延长和环境因素的变化，电缆的绝缘性能可能逐渐下降，从而对联锁系统的安全性造成严重威胁。本文通过分析信号电缆绝缘性能下降的原因，探讨其对联锁系统可靠性的影响，并提出针对性改进措施。研究表明，及时的电缆维护、定期检查及采用高质量绝缘材料是确保联锁系统安全运行的有效途径。通过优化电缆设计和提升电缆材料质量，可显著降低系统故障风险，提高整体安全性。

【关键词】：信号电缆；绝缘性能；联锁系统；安全性；电缆维护

DOI:10.12417/2811-0528.26.05.012

信号电缆在工业自动化控制系统中扮演着至关重要的角色，尤其是在联锁系统中的应用。联锁系统的功能是保证设备在发生故障或操作错误时，通过自动切换、断电或报警等方式来确保安全。当信号电缆的绝缘性能下降时，电气短路或信号干扰可能发生，直接危及联锁系统的正常运行。因此，信号电缆绝缘性能的稳定性成为保障系统安全不可忽视的因素。本文将从电缆绝缘性能下降的原因入手，探讨其对联锁系统安全的潜在威胁，并提出相应的防护和改进措施，以确保系统的高效稳定运行。

1 信号电缆绝缘性能下降的主要原因

信号电缆的绝缘性能下降是导致联锁系统安全问题的一个重要因素，通常与多种环境和物理因素密切相关。信号电缆的绝缘层主要起到电气隔离和防护作用，确保电流不会通过不该流动的路径传播。随着使用年限的增加，电缆的绝缘材料会因为长期受机械应力、热量、化学腐蚀和环境湿度等影响而逐渐老化，导致绝缘层性能的退化。电缆在高温环境下工作时，绝缘材料会因热膨胀、收缩和热衰退而发生性能退化，进而失去有效的电气隔离作用。化学腐蚀也是信号电缆绝缘性能下降的主要原因之一。工业环境中，电缆常常暴露在化学气体、油污或者酸碱等腐蚀性物质中，这些物质能够与电缆外层的绝缘材料发生反应，降低其绝缘效果。尤其是在潮湿或高湿度的环境中，水分能够渗透到电缆绝缘层内，导致绝缘性能下降^[1]。水分渗入不仅会导致绝缘材料的膨胀，还可能引发电缆内部发生电解腐蚀，进一步加速电缆损坏。

除了外部环境因素，电缆的安装和使用方式也会对绝缘性能产生不良影响。如果电缆在安装过程中受到过大的弯曲或拉伸，应力集中可能导致绝缘材料的微裂纹，长期使用下，这些裂纹会逐渐扩大，最终导致电缆的绝缘层失效。电缆敷设在电气设备附近时，如果没有良好的电磁屏蔽或接地措施，电磁干

扰也会影响信号电缆的绝缘效果，使其表现出过早的性能下降。长期高负载运行也是导致信号电缆绝缘性能下降的一个重要原因。当电缆长期承载较大电流时，电缆内部温度过高，这不仅影响绝缘材料的稳定性，还可能引发热老化现象，导致绝缘层变脆、断裂，进而危及整个系统的电气安全。

2 信号电缆绝缘性能下降对联锁系统的影响分析

信号电缆绝缘性能的下降对联锁系统的影响是深远的，主要表现为电气故障的增加、系统响应延迟以及联锁操作的失效。联锁系统通常依赖于信号电缆传递来自不同传感器和控制设备的电信号，确保设备之间的安全协调。当电缆的绝缘性能逐渐下降时，电缆可能出现泄漏电流、短路或信号干扰，直接导致传输信号的失真或丢失，这对系统的安全性构成严重威胁。电气故障不仅可能导致联锁信号丢失，还会引发误操作或设备错误启停，增加了系统的故障风险。

如果电缆在高湿度环境下工作，水分渗透到电缆内部，可能导致电气短路，从而使联锁系统无法正常响应外部设备的故障或状态变化^[2]。在这种情况下，信号电缆的电气性能退化会影响联锁系统的可靠性，导致无法及时做出断电或报警等必要的安全动作，从而增加了事故发生的概率。特别是在高温、高湿或化学腐蚀的恶劣环境中，电缆的绝缘性能急剧下降，可能在不经意间影响到系统的稳定性，导致系统频繁触发误报警或无法发出警报。

当信号电缆绝缘失效后，信号的传输速度可能会减缓，系统的响应速度会受到显著影响，尤其在一些需要快速反应的场合，可能导致联锁系统的反应迟缓，甚至在设备出现故障时，联锁系统未能及时切断电源或启动安全保护程序。这种延迟不仅增加了系统运作的不确定性，也增加了对人员及设备的安全威胁。电缆老化还会增加维护成本，电缆故障频繁发生时，维修人员的工作负担加重，系统维护的效率和质量也会因此受到

影响。系统中的电气设备依赖于稳定的信号传输来确保各项操作的顺利进行，信号电缆绝缘性能的退化无疑给这些操作的准确性和及时性带来了极大的挑战。

3 提高联锁系统安全性的方法与措施

提高联锁系统安全性的关键在于确保信号电缆的绝缘性能始终处于可靠状态，减少由于电缆绝缘问题带来的故障风险。为了有效提升联锁系统的安全性，必须加强对信号电缆的选择与安装过程的管理。选择高品质的绝缘材料对于电缆的长期稳定运行至关重要。高耐热、耐潮湿、耐腐蚀的电缆材料能够在恶劣环境中保持较长时间的良好性能，从而大幅提高联锁系统的可靠性。在电缆的敷设过程中，应特别注意避免过度弯曲、拉伸或机械损伤，这些不当安装都会导致电缆的绝缘层受到损害，进而影响其电气性能。

定期的检查和维护是保持信号电缆良好状态的重要手段。通过引入先进的监测技术，如红外成像、在线检测仪器等，可以对电缆绝缘层进行早期诊断，及时发现潜在的绝缘损伤或老化问题^[3]。定期检查不仅能够发现问题，还能有效防止由于环境变化或设备老化导致的电缆故障，确保联锁系统在运行过程中始终处于高效稳定的状态。在检查过程中，尤其要关注电缆接头、弯曲部位以及电缆暴露部分，因为这些区域最容易发生老化和损伤。对联锁系统中的信号电缆进行合理的布线和防护同样重要。电缆应尽量避免与高电压线路、强电磁干扰源接触，减少外界电气干扰对信号传输的影响。通过适当的屏蔽、接地措施以及电缆路径的优化，可以有效减少信号传输过程中的噪

声和干扰，提高电缆的抗干扰能力，从而确保联锁系统的正常运行。采取双重或冗余设计的信号传输路径也能够大大增强系统的可靠性。如果一条信号电缆发生故障，另一条冗余电缆仍能确保系统的正常工作，避免单点故障导致联锁系统失效。

在选型和安装之外，电缆的使用环境也需要特别关注。对于处于高温、潮湿或化学腐蚀等恶劣环境中的电缆，应考虑采用耐高温、耐腐蚀和防水的特殊电缆产品，这类电缆能够在长期的恶劣条件下稳定运行。电缆的维护计划也要与环境因素紧密结合，针对不同工作环境，制定个性化的检查与保养方案。增强电缆的防护措施，如在电缆外层增加防护罩或涂层，能够有效避免外界物理损伤或化学侵蚀对电缆的影响。实施全面的培训和应急预案也不可忽视。通过加强对操作人员和维护人员的安全培训，使其具备及时识别电缆损伤和绝缘性能下降的能力，能够在出现问题时迅速采取措施。配合科学的应急预案，确保联锁系统发生故障时能够迅速恢复正常工作，减少安全隐患。

4 结语

信号电缆的绝缘性能直接关系到联锁系统的安全性，任何忽视这一问题的行为都可能导致严重后果。通过加强电缆的选材、安装、定期检查与维护措施，以及合理的防护和布线，能够有效提升联锁系统的可靠性与安全性。随着技术的不断进步，对电缆的监测手段也日益完善，这将为保障联锁系统安全运行提供坚实的支持。只有在各方面严格把关，才能确保联锁系统在复杂环境下的长期稳定运行。

参考文献：

- [1] 彭阳,戴启元.铁路信号电缆的扩频时域反射在线故障监测方法研究[J].铁路通信信号工程技术,2025,22(12):48-54.
- [2] 彭福林.化工精馏塔安全联锁系统设计优化研究[J].当代化工研究,2025,(18):121-123.
- [3] 李宗.推进全电子联锁信号系统在南京地铁车辆段升级及应用[J].中国信息化,2021,(12):50-52.