

电气自动化设备抗电磁干扰技术的应用与信号传输质量优化分析

赖烈强

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213000

【摘要】：电气自动化设备在复杂电磁环境中面临严重的电磁干扰问题，影响设备性能和信号传输质量。为了提升设备的稳定性与可靠性，采用了屏蔽、滤波、接地等抗干扰技术，能够有效抑制电磁干扰的影响。研究表明，通过合理设计电磁兼容方案，优化信号传输路径，可以显著提高系统的抗干扰能力，确保设备在恶劣环境中的长期稳定运行。随着智能化和集成化技术的发展，未来电气自动化设备的抗干扰技术将更加高效和精准。

【关键词】：电磁干扰；信号传输；电气自动化；抗干扰技术；电磁兼容

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.021

引言

电气自动化设备的广泛应用使其在许多行业中发挥着不可或缺的作用，尤其是在复杂电磁环境中。随着设备功能的不断扩展和技术的进步，其所需的稳定性和抗干扰能力也越来越高。电磁干扰（EMI）对设备运行的影响却成为了亟待解决的问题。电磁干扰不仅会降低设备的工作效率，还可能导致信号传输错误，从而影响整体系统的性能。为此，探索有效的抗干扰技术及信号传输优化方案显得尤为重要。解决这一问题不仅能够保障设备的正常运行，还能够提升其在严苛环境下的应用潜力。

1 电气自动化设备中的电磁干扰问题

1.1 电磁干扰的来源及类型

电磁干扰（EMI）是指外部电磁波或设备内部电磁波对电气设备工作产生的影响。其来源可以分为两大类：自然源和人为源。自然源通常包括雷电、太阳辐射等自然现象，产生的电磁波可能干扰设备的正常运行。人为源则多为电子设备和电气系统，例如变频器、电力传输系统、无线通信设备等，这些设备在工作过程中会产生一定频率的电磁波，干扰周围的敏感设备。电磁干扰根据传播途径可以分为辐射干扰和传导干扰。辐射干扰是通过空气传播的电磁波对设备的影响，而传导干扰则是通过电源线、信号线等传导介质传递到设备内部的干扰信号。电磁干扰的类型繁多，常见的包括共模干扰、差模干扰等，具体影响设备的运行方式及其性能。

1.2 电磁干扰对设备性能的影响

电磁干扰对电气自动化设备的性能影响深远，常见的后果包括设备故障、数据丢失、系统不稳定等。当电磁干扰影响到控制系统时，可能导致错误信号传输，从而引起误操作，甚至造成设备的损坏。尤其在高精度自动化设备中，电磁干扰会干扰传感器、执行器等元件的信号，影响其正常工作，导致生产过程中出现精度偏差或效率下降^[1]。过强的电磁干扰还可能触发设备的保护机制，造成设备停机或重新启动，从而影响生产的连续性和稳定性。

1.3 信号传输质量与电磁干扰的关系

信号传输质量在电气自动化系统中直接关系到信息的准确性与设备的稳定性。电磁干扰对信号传输质量的影响是显而易见的，尤其在高速数字信号和高频模拟信号的传输过程中，电磁干扰可能导致信号失真、噪声增加或时延发生变化。当电磁干扰与信号传输路径发生共振时，信号的完整性和稳定性会受到严重威胁。信号的波形可能发生畸变，导致数据错误、命令丢失等问题，影响设备的精准控制。在工业自动化领域，生产线上的信号传输一旦受到电磁干扰，可能导致生产控制系统的混乱，造成生产事故或设备损坏。传输路径设计的不合理或者保护措施不足，也会加剧电磁干扰对信号传输质量的影响，优化信号传输路径和采取有效的抗干扰措施至关重要。

2 抗干扰技术的核心原理与应用

2.1 屏蔽技术与其应用

屏蔽技术是防止电磁干扰传播的重要手段之一。它通过在电气设备的外部或内部设置导电材料来阻隔外界电磁波的侵入或内部电磁波的辐射。屏蔽材料的选择对其效能至关重要，通常采用金属材料如铝、铜等具有良好导电性的金属，或者导电涂层、网状屏蔽等形式。屏蔽层能够有效地隔离干扰信号，防止其通过空气传播到敏感区域或设备中。屏蔽技术在电气自动化设备中的应用广泛，特别是在高频信号传输系统中，屏蔽不仅能够减少辐射干扰，还能降低信号之间的交叉干扰。在通信、医疗设备、工业自动化等领域，屏蔽设计是保证设备正常运行和信号稳定传输的关键技术之一，良好的屏蔽设计可显著提高系统的抗干扰能力，确保设备的高效、稳定运行。

2.2 滤波器的设计与优化

滤波器的设计旨在通过滤除干扰频率，优化信号的传输质量。在电气自动化设备中，滤波器通常用于消除电源线或信号线中的噪声及不需要的频率成分，确保信号的纯净度^[2]。滤波器的类型多样，包括低通、高通、带通和带阻滤波器等，每种滤波器针对特定频段的信号进行优化。低通滤波器能够有效去除高频噪声，确保低频信号的稳定性；带阻滤波器则可以选择

性地去除某一特定频段的干扰。滤波器的设计需要根据设备工作频率、干扰源频率及信号带宽来定制，合理选择滤波器的参数，如截止频率、带宽等，能够大幅提升信号的质量。

2.3 接地技术与电磁干扰的消除

接地技术是电气设备抗干扰的重要手段之一，旨在通过建立有效的电气连接路径，将多余的电磁干扰引导至地面，从而减少设备内部的干扰。在电气自动化设备中，良好的接地系统能够有效降低静电干扰、避免电气泄漏和减少电流回路中的噪声。接地的方式有很多种，包括单点接地、共地接地和多点接地等。单点接地适用于小范围的系统，而共地接地通常用于复杂的工业环境中，以减少不同设备之间的干扰。接地电阻值的优化对于抗干扰效果至关重要，低电阻接地能够更好地消除干扰信号。通过在设备外壳、机架和电气控制系统中设置有效接地，能够显著提高设备的抗电磁干扰能力，确保设备在复杂环境中的稳定运行。

3 信号传输质量的优化方法

3.1 传输线路的设计与优化

传输线路的设计直接影响信号的传输效率与质量。在电气自动化设备中，合理的传输线路布局是优化信号质量的基础。高质量的传输线路应具备低阻抗、低损耗和较强的抗干扰能力。为了确保信号的稳定性，需要根据设备的工作频率选择合适的电缆类型与规格，如同轴电缆、双绞线或光纤等。不同类型的电缆在信号衰减、抗干扰能力及频宽上存在差异，因此在设计传输线路时，必须根据传输距离、信号类型和环境条件进行合理选择。合理的线路布置也是关键，例如避免信号线与电力线平行布线，减少交叉干扰的可能性。信号传输过程中，线路的连接点也是影响信号质量的重要因素，使用优质的连接器并确保连接紧固，能够显著减少接触不良造成的信号衰减和失真。

3.2 传输信号的增强与补偿

信号在长距离传输过程中会因衰减、噪声等因素失去其原有的强度和清晰度，因此增强和补偿措施是提高信号质量的关键。为了提高传输过程中的信号强度，常常使用放大器或中继设备^[3]。这些设备能够有效地提升信号的幅度，确保信号能够抵达接收端而不至于衰减到不可识别的程度。在传输信号衰减较为严重的情况下，还可以采用补偿技术，通过添加补偿电路恢复信号的幅度和波形。数字信号处理中常用的均衡技术能够有效补偿由于传输介质不均匀导致的频率响应失真。补偿设计不仅局限于增益调整，还涉及到相位、时延的优化，确保信号在接收端的完整性和准确性。这些增强与补偿技术能够显著减少传输过程中信息的丢失和错误，从而优化信号的质量。

3.3 系统布局对信号质量的影响

系统的整体布局对信号传输质量有着直接且深远的影响，

特别是在电气自动化领域。布局不当不仅会引发信号衰减，还可能增加信号间的干扰。信号线路与电力电缆的过度靠近会导致电磁耦合，从而干扰信号的传输。合理的布局需要考虑电气设备的工作环境，尽量避免高频设备与低频设备并排放置或信号线过度交叉。设备的布局还需要考虑到接地和屏蔽的设计，以最大限度地减少电磁干扰对信号的影响。优化系统布局还涉及到设备的散热问题，过热的设备可能会产生更多的电磁干扰，影响周围信号的稳定性。良好的布局能够减少噪声源的干扰路径，提高信号传输的质量和系统的可靠性。在设备设计和安装阶段，合理规划设备之间的距离、信号路径及防护措施是至关重要的，有助于确保信号在复杂环境中的高质量传输。

4 电磁兼容设计对设备稳定性的影响

4.1 电磁兼容标准与法规

电磁兼容（EMC）标准与法规在保障设备稳定性和正常运行方面起着至关重要的作用。全球范围内，电磁兼容性标准有着严格的规定，主要目的是限制设备的电磁干扰（EMI）并确保设备能在特定的电磁环境中稳定工作。不同国家和地区的标准有所不同，但基本原则相似，要求设备在运行时不会对周围环境产生过度的电磁干扰，同时也能抵御外界干扰。针对电磁辐射和传导干扰，国际电工委员会（IEC）、欧洲电工标准化委员会（CENELEC）等组织制定了相关标准，涵盖了从家用电器到工业设备的各类产品。合规的电磁兼容设计不仅能确保设备顺利通过认证，还能在实际应用中减少故障率，提高产品的市场竞争力。通过这些标准与法规，设备制造商得以在设计阶段就考虑电磁干扰问题，从源头上降低设备受到干扰的风险。

4.2 电磁兼容设计方案

电磁兼容设计方案是确保设备在复杂电磁环境中能够稳定运行的重要手段。这些设计方案通常包括电磁屏蔽、滤波、接地等技术手段，旨在减少或消除电磁干扰对设备的影响。在设计过程中，屏蔽层的选择和布局至关重要，通常采用金属外壳或导电涂层来隔绝外界电磁波的入侵，减少辐射干扰的传播。滤波器则用于清除电源线和信号线中的高频噪声，保持信号的完整性^[4]。接地技术同样是设计中的一个重点，通过低电阻接地消耗多余的电流，避免电磁干扰影响设备的正常工作。合理的电路布局也是确保电磁兼容性的一项重要设计策略。通过优化线路的走向、元件的布置及电磁干扰源的隔离，能够最大限度地提高系统的抗干扰能力。综合运用这些设计技术，不仅能提高设备的电磁兼容性，还能提升设备的长期稳定性和可靠性。

4.3 电磁兼容对设备长期稳定性的保障

电磁兼容设计对设备的长期稳定性具有深远影响。良好的电磁兼容性能够有效减少设备在使用过程中由于外部干扰或

内部辐射导致的故障，提高设备的可靠性和寿命。在高电磁干扰环境下，设备若缺乏有效的电磁兼容设计，将容易受到噪声和干扰的影响，导致性能波动、故障频发甚至完全失效。合适的电磁兼容设计通过采取抗干扰措施，如加装屏蔽罩、优化接地系统、选择合适的滤波器等，不仅能够提升设备抗干扰能力，还能避免频繁的故障和维修，提高设备的运维效率。长期来看，电磁兼容设计可以减少设备故障停机时间，降低维护成本，提升设备的整体稳定性。

5 综合优化方案及未来发展

5.1 综合抗干扰方案的提出

综合抗干扰方案是通过结合多种抗干扰技术，以应对电气自动化设备在复杂电磁环境下的干扰问题。这些方案通常包括电磁屏蔽、滤波、接地、隔离等技术的综合应用。通过设计多重屏蔽结构，可以有效减少辐射干扰的传播，同时滤波器能够抑制传导干扰，保持信号的纯净度。接地技术在减少静电干扰和电磁波传导方面发挥着关键作用，而隔离技术则能有效阻断信号源与干扰源之间的干扰路径。不同技术的协调工作能够最大限度地提升设备的抗干扰能力，确保其在极端电磁环境中稳定运行。提出综合抗干扰方案的目标是针对性地解决电磁干扰对系统性能的影响，降低系统故障率，提高设备的工作稳定性和可靠性。

5.2 优化方案的实际应用案例

优化方案的实际应用往往能在具体场景中验证其有效性。在工业自动化生产线中，应用了电磁屏蔽和滤波器组合的优化

方案，成功解决了设备在高频噪声环境下的运行不稳定问题。通过在设备外壳上添加金属屏蔽层，并配合低通滤波器，有效地减少了外部电磁辐射对内部电路的干扰，保持了信号的稳定性^[5]。某些高精度控制系统也采用了优化接地方案，通过改善接地系统的电阻值，消除了地环路噪声，提高了控制信号的准确性。这些实际应用案例表明，通过科学的优化设计，可以显著提升电气自动化设备在复杂电磁环境中的抗干扰能力，从而保障生产过程的顺利进行。

5.3 未来电气自动化设备的抗干扰技术发展方向

未来，抗干扰技术将更加注重系统集成与智能化。利用自适应滤波器和动态信号处理技术，实时监测并调整设备的抗干扰性能，从而应对不断变化的电磁环境。随着5G通信、物联网等新技术的发展，电气自动化设备将面临更加复杂的电磁环境，未来的抗干扰技术将更加注重高频段和宽频带的抑制能力。材料技术的发展也将推动新型屏蔽材料和抗干扰元件的应用，如纳米材料、导电聚合物等，进一步提高设备的抗干扰能力。电气自动化设备将朝着集成化、模块化的方向发展，使得抗干扰设计更加灵活、可靠。

6 结语

电气自动化设备在复杂电磁环境中的抗干扰技术优化已成为提升设备稳定性和信号传输质量的关键。通过屏蔽技术、滤波技术和接地技术等手段，电磁干扰的影响得到了有效抑制，系统的抗干扰能力得到显著提升。未来，随着智能化、集成化的技术发展，抗干扰方案将变得更加高效和精确，为电气自动化设备的长期稳定运行提供更强大有力的保障。

参考文献：

- [1] 何黎明.自动化仪表设备安装中的信号传输与干扰抑制机制[J].石油石化物资采购,2025(12):172-174.
- [2] 管印涛.关于电气工程中自控设备电磁干扰探讨[J].中国科技期刊数据库工业 A,2025(6):042-045.
- [3] 杨炯,李波.变电站无人机自动化巡检系统抗电磁干扰设计[J].机械设计与制造工程,2024,53(3):83-86.
- [4] 李海龙,闻映红,谢博才,任杰.牵引电流对轨道电路系统的电磁干扰效应研究[J].北京交通大学学报,2025,49(6):94-100.
- [5] 张鹏宙.电气自动化控制系统中无线通信技术的能效优化[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(2):113-116.