

机械电气系统中的电磁兼容性问题研究

刘 洋

盐城市联鑫钢铁有限公司 江苏 盐城 224100

摘 要：随着科技的快速发展，机械电气系统在工业、交通、航空航天等领域的应用日益广泛。然而，电气设备的广泛应用也带来了电磁兼容性问题。电磁兼容性（Electromagnetic Compatibility, EMC）是指设备或系统在电磁环境中符合要求运行并不对其环境中的任何设备产生无法忍受的电磁骚扰的能力。本文旨在探讨机械电气系统中的电磁兼容性问题，分析其产生的原因、影响以及相应的解决策略。

关键词：机械电气系统；电磁兼容；电磁屏蔽

引言

电磁兼容性是电气和电子设备设计中的重要考虑因素。在机械电气系统中，电气设备之间以及电气设备与外部环境之间的电磁干扰（Electromagnetic Interference, EMI）和电磁敏感性（Electromagnetic Susceptibility, EMS）问题日益突出。这些问题不仅影响设备的正常运行，还可能对周围环境和设备造成干扰。因此，深入研究机械电气系统中的电磁兼容性问题具有重要的理论意义和实践价值。

1 电磁兼容性的基本概念

电磁兼容性的基本概念涉及电子设备在电磁环境中的相互作用与共存能力。具体来说，电磁兼容性（EMC）主要包括两个核心方面：首先，设备在正常运行时所产生的电磁干扰必须控制在规定的限值之内，以确保其不会对其他电子设备或系统造成不良影响。这要求设备在设计时就要充分考虑电磁辐射的抑制和控制。其次，设备应具备一定的抗扰度，即能够抵抗所在环境中存在的各种电磁干扰，保持正常稳定的工作状态。电磁兼容性问题的产生，通常与电磁骚扰源、传输途径以及敏感设备这三个关键要素紧密相关，需要综合考虑和解决。

2 机械电气系统中的电磁干扰源

在机械电气系统中，电磁干扰是一个不可忽视的问题，它可能对系统的正常运行造成严重影响。电磁干扰源多种多样，主要可以归纳为以下几个方面：

2.1 电源干扰

电源干扰是机械电气系统中常见的电磁干扰源之一。它主要来自电源线路，包括电网的波动、电源适配器的不稳定等。电网波动可能是由于电力负载的突然变化、雷电冲击或电力系统故障等原因引起的，这种波动会通过电源线传递到设备中，造成电压或电流的瞬时

变化，进而对设备的正常工作产生干扰。电源适配器作为设备与电源之间的桥梁，如果其设计不合理或质量不佳，也可能产生电磁干扰，影响设备的性能。

2.2 信号干扰

信号干扰是另一个重要的电磁干扰源。在机械电气系统中，设备内部存在着大量的数字信号和模拟信号。这些信号在传输过程中，可能会受到各种因素的影响，如信号线的长度、布局、阻抗不匹配等，导致信号失真或产生噪声^[1]。此外，设备内部的电路元件也可能产生寄生振荡或耦合效应，进一步加剧信号干扰。这种干扰会降低信号的传输质量，影响设备的控制精度和稳定性。

2.3 辐射干扰

辐射干扰主要来自设备外部的电磁辐射。例如，无线电发射设备、工业设备、高压电线等都可能产生电磁辐射，这些辐射会通过空间传播到设备中，对设备的正常工作造成干扰。辐射干扰的强度和频率范围很广，因此难以完全避免。为了减少辐射干扰的影响，通常需要采取屏蔽、滤波等措施来增强设备的抗干扰能力。

2.4 传导干扰

传导干扰是通过导电介质（如电源线、信号线等）传播的电磁干扰。这种干扰可能源于设备内部的电路元件或外部的电磁场。当导电介质中存在电磁干扰时，它会沿着介质传播，影响与之相连的设备或系统。为了减少传导干扰的影响，需要合理设计电路布局、选择合适的导线材料和规格，并采取必要的接地和屏蔽措施。

3 电磁兼容性问题对机械电气系统的影响

电磁兼容性问题在机械电气系统中是一个至关重要的考量因素，其影响深远且多面，主要体现在以下几个方面：

3.1 设备性能下降

电磁干扰潜入机械电气系统中，对设备的正常运行

造成干扰。它可能导致设备读数不准确,如同仪表指针在电磁波的扰动下微微颤动,无法稳定指示真实值。在通信系统中,电磁干扰更是可能中断信号传输,造成数据丢失或通信故障,使得设备之间的信息交流变得困难重重。这种性能下降不仅影响设备的工作效率,还可能对生产过程的准确性和可靠性造成严重影响。

3.2 设备故障甚至损坏

当电磁干扰达到一定程度时,其破坏力将不再局限于性能下降,而是可能直接导致设备内部电路的损坏或功能失效。这种损坏可能是瞬间的,也可能是长期的累积效应。例如,强烈的电磁脉冲可能瞬间击穿设备内部的敏感元件,导致设备无法正常工作。而长期的电磁干扰则可能加速设备老化,缩短其使用寿命。

3.3 对周围环境和设备的干扰

电磁干扰不仅影响设备本身,还可能像一波波涟漪般扩散到周围环境中,对其他设备产生干扰。这种干扰可能通过空气传播,也可能通过电源线、信号线等导电介质传导。受到干扰的设备可能表现出异常行为,如工作不稳定、数据错误等,进而影响整个系统的正常运行。因此,在机械电气系统的设计中,必须充分考虑电磁兼容性问题,采取有效措施来抑制和消除电磁干扰。

4 解决机械电气系统电磁兼容性问题的策略

机械电气系统中的电磁兼容性问题是一个复杂且多方面的挑战,解决机械电气系统电磁兼容性问题需要综合考虑多种因素和多种措施。通过采用电磁屏蔽技术、滤波技术、接地技术、布线优化、元器件选择和软件设计等手段,可以有效地降低电磁干扰对系统的影响,提高系统的电磁兼容性。在实际应用中,应根据系统的具体情况 and 电磁兼容性要求来选择合适的措施和组合方式,以确保系统的正常运行和可靠性。

4.1 电磁屏蔽技术

电磁屏蔽技术是解决电磁兼容性问题的的重要手段之一。其基本原理是利用屏蔽材料和结构来阻挡电磁波的传播,从而降低电磁干扰对设备的影响。在实际应用中,可以采用多种屏蔽方式。首先,金属屏蔽壳是一种常见的屏蔽结构,它能够将设备完全包裹在内,有效阻挡外部电磁波的侵入。金属屏蔽壳的材质通常选择具有良好导电性和磁性的材料,如铜、铝或铁等,以确保屏蔽效果。其次,屏蔽涂层也是一种有效的屏蔽手段。它可以在设备表面涂覆一层薄薄的屏蔽材料,形成一层电磁屏蔽层。这种涂层通常具有优异的导电性和耐腐蚀性,能够在不改变设备外观和结构的前提下,提供有效的电磁屏蔽保护^[2]。此外,屏蔽隔板也可以用于分隔设备

内部的不同电路模块,防止它们之间的相互干扰。屏蔽隔板通常安装在设备内部的关键位置,如电源模块、信号处理模块等,以确保各模块之间的电磁隔离。

4.2 滤波技术

滤波技术是另一种解决电磁兼容性问题的有效方法。它通过滤波器对电源线路和信号线路进行滤波,去除其中的电磁干扰成分,从而保证信号的纯净度和稳定性。滤波器是一种能够允许某一特定频率范围内的信号通过,而阻止其他频率信号通过的电子器件。根据滤波器的特性,可以将其分为低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器和带阻滤波器等类型。在机械电气系统中,低通滤波器通常用于电源线路,以去除高频电磁干扰。高通滤波器则可用于信号线路,以滤除低频噪声。带通滤波器则允许某一特定频率范围内的信号通过,而阻止其他频率的信号。带阻滤波器则用于阻止某一特定频率范围内的信号,而允许其他频率的信号通过。通过合理选择和使用滤波器,可以有效地降低电源线路和信号线路中的电磁干扰,提高系统的电磁兼容性。

4.3 接地技术

接地技术是解决电磁兼容性问题的另一关键环节。合理设置接地系统可以降低设备内部和外部的电磁干扰,确保设备的正常运行。接地系统通常由接地体、接地线和接地装置等组成。接地体是埋入地下的金属导体,用于将设备上的电荷引入大地。接地线则是连接设备和接地体的导线,它负责将设备上的电磁干扰引入接地体。接地装置则是用于固定和连接接地体和接地线的设备。在设计接地系统时,需要考虑接地电阻、接地方式和接地点的选择等因素。接地电阻应尽可能小,以确保电荷能够迅速泄入大地。接地方式可以选择单点接地、多点接地或混合接地等,具体选择应根据设备的实际情况和电磁兼容性要求来确定。接地点的选择也应避开电磁干扰源和敏感设备,以减少干扰的传入和传出。

4.4 布线优化

布线优化也是解决电磁兼容性问题的有效措施之一。合理规划布线可以降低长导线的串扰和远离干扰源,从而提高系统的电磁兼容性。在布线过程中,应尽量避免长导线的使用,因为长导线容易成为电磁干扰的传播路径。如果必须使用长导线,可以采用双绞线或同轴电缆等具有较好抗干扰性能的导线来降低串扰。此外,还应将导线远离干扰源,如电动机、变压器等产生强电磁场的设备。如果导线必须穿过这些设备附近,可以采用屏蔽导线或增加导线与干扰源之间的距离来降低干扰^[3]。同时,还应注意导线的走向和布局。导线应尽可能

能走直线，避免弯曲和交叉。不同功能的导线应分开布置，避免相互干扰。

4.5 元器件选择

元器件的选择也是解决电磁兼容性问题的重要环节。应选择符合电磁兼容性要求的元器件，如低噪声、低干扰的元器件，以确保系统的正常运行。在选择元器件时，应关注其电磁兼容性参数，如噪声系数、干扰抑制比等。这些参数能够反映元器件在电磁环境中的表现情况。应选择具有较低噪声系数和较高干扰抑制比的元器件，以降低其对系统的电磁干扰。此外，还应选择具有良好的稳定性和可靠性的元器件。这些元器件能够在恶劣的电磁环境中保持稳定的性能，确保系统的正常运行。

4.6 软件设计

除了硬件措施外，软件设计也是解决电磁兼容性问题的重要手段之一。在软件设计中，可以采用合适的算法和编程技术来降低数字信号和模拟信号的干扰。首先，可以采用数字滤波技术来对数字信号进行滤波处理，去除其中的噪声和干扰成分。数字滤波技术具有灵活性和可编程性等优点，能够根据实际需要调整滤波参数和滤波方式。其次，可以采用差分信号传输技术来降低模拟信号的干扰。差分信号传输技术通过传输两个相反方向的信号来抵消共模干扰，提高信号的抗干扰能力。此外，还可以采用软件抗干扰技术来增强系统的电磁兼容性。例如，可以采用错误检测和纠正算法来检测和纠正数据传输过程中的错误；采用冗余设计和容错技术来提高系统的可靠性和稳定性等。

5 案例分析：起重机电气系统的电磁兼容性问题及解决策略

以起重机电气系统为例，其电磁兼容性是影响整机安全的重要因素之一。在起重机电气系统中，电磁干扰源主要包括电源线路、电机、开关器件等。这些干扰源可能通过传导或辐射的方式干扰其他设备的正常工作。为了解决这些问题，可以采取以下措施：

第一为了减少电源对系统的干扰，可以采用低噪声、高稳定性的电源设计。具体来说，可以选择具有低谐波失真、低电磁辐射的电源产品，并在电源线路中加入电源滤波器，以有效抑制电源线路中的电磁干扰。

第二为了防止电机对其他设备造成干扰，可以对电

机进行电磁屏蔽处理。具体做法是在电机外部加装金属屏蔽壳，或者使用具有屏蔽功能的涂层材料，以有效阻挡电磁波的传播，降低电机对系统的电磁干扰。

第三开关器件也是起重机电气系统中的一个重要干扰源。开关器件在开关过程中会产生瞬态电磁场，这个电磁场可能会通过导线或空间辐射的方式干扰其他设备。为了去除这些器件产生的电磁干扰，可以在电源输入/输出端和信号线路中添加滤波器。滤波器能够允许有用信号通过，同时阻止干扰信号的传播^[4]。具体来说，可以选择具有合适截止频率和阻抗特性的滤波器，以有效抑制开关器件产生的电磁干扰。

第四合理设置接地系统也是解决起重机电气系统电磁兼容性问题的一个重要措施。接地系统能够为设备提供一个稳定的电位参考点，减少电磁干扰对系统的影响。在设置接地系统时，需要考虑接地体的选择、接地线的布局以及接地点的设置等因素。具体来说，可以选择具有良好导电性和耐腐蚀性的接地体材料，如铜或铜覆钢等；合理布局接地线，避免形成环路或产生共模干扰；同时，将接地点设置在远离干扰源和敏感设备的位置，以降低接地阻抗和电磁辐射。

结语

机械电气系统中的电磁兼容性问题是一个复杂而重要的问题。通过深入分析电磁兼容性的基本概念、电磁干扰源、电磁兼容性问题对机械电气系统的影响以及相应的解决策略，可以为机械电气系统的设计和优化提供有力支持。未来，随着科技的不断发展，电磁兼容性问题将得到更加有效的解决，为电气设备的正常运行和电磁环境的安全提供有力保障。

参考文献

- [1]杨恕,杨和霖,蔡培良,等.机电设备电磁干扰源及抑制措施分析[J].中国机械,2023,(09):104-107.
- [2]肖培.机电设备互连线缆电磁干扰建模及计算方法研究[D].电子科技大学,2019.
- [3]梁伟波.电子设备机械结构设计中的电磁屏蔽技术探究[J].中国机械,2024,(23):26-29+33.
- [4]侯文明.起重机械PLC控制系统的电磁干扰问题[J].电工技术,2020,(10):1-2+5.