

# 电气工程中自动化设备的抗干扰研究

王浪群, 李亦欣

(国网福建省电力有限公司泉州供电公司, 福建 泉州 362000)

**摘要** 在现代社会中, 电气工程及其自动化技术已经渗透到了工业生产的各个层面, 成为提高生产效率和产品质量的关键因素。但在实际应用中, 自动化设备经常面临着各种各样的干扰问题, 不仅降低了系统的性能, 还可能引发安全事故。对此, 本文从电气工程中自动化设备的机械结构出发, 分析自动化设备电磁干扰的主要来源与分类, 进而提出自动化设备中机械与电气相结合的抗干扰技术策略, 希望能够对提升自动化设备的抗干扰能力起到借鉴作用。

**关键词** 自动化设备; 抗干扰; 电气工程; 机械结构

**中图分类号**: TM744

**文献标志码**: A

**文章编号**: 2097-3365(2024)12-0109-03

从智能制造到智能电网, 从航空航天到日常家用电器, 电气工程自动化技术的应用已经无处不在, 极大地推动了社会生产力的进步。但在实际应用中, 电气工程自动化设备面临着各种复杂的环境干扰, 尤其是电磁干扰 (EMI), 对设备的正常运行和性能稳定性构成了严峻挑战。因此, 探索有效的电气工程自动化设备抗干扰措施, 对于保障设备稳定运行、提高生产效率、确保生产安全具有重要意义。

## 1 电气工程中自动化设备机械结构概述

### 1.1 机械部件的材质与电磁特性

在电气工程中, 自动化设备的机械结构设计决定了设备的可靠性, 还直接影响到设备的性能和使用寿命。机械部件的材质选择需要综合考虑其机械性能、加工性能以及成本等因素。如钢材因其良好的强度和韧性, 常用于制作承重部件; 铝合金因其轻质高强的特点, 适用于减轻设备重量的同时保持结构强度; 而塑料和复合材料则因其良好的绝缘性和耐腐蚀性, 在电气设备中也得到广泛应用。此外, 自动化设备中的许多部件需要与电磁系统协同工作, 因此材质的电磁特性也十分重要。如某些部件可能需要选用具有良好磁导率的材料以提高电磁兼容性, 而其他部件则需要使用非磁性材料以避免干扰电磁场。

### 1.2 机械运动对电磁场的影响

在电气工程领域, 自动化设备的机械运动会对电磁场产生影响, 如电机转子、伺服机构和传动装置等, 其运动状态不但会影响设备本身的性能, 还会对周围的电磁环境产生显著影响。当这些机械部件在电磁场中运动时, 会产生感应电动势和涡流效应。如在电机中, 转子的旋转会在定子绕组中产生变化的磁场, 这种变

化的磁场又会在转子中产生感应电流, 即涡流。涡流会消耗能量, 也会产生热量, 影响电机的效率和寿命。此外, 机械运动还会引起电磁干扰 (EMI)。当高速运动的部件接近敏感的电子元件时, 所产生的电磁场会干扰这些元件的正常工作<sup>[1]</sup>。再者, 机械运动部件引起的机械振动也会对电磁性能产生影响。其中机械振动会导致连接松动或接触不良, 这些都会影响电磁系统的稳定性。如在高压开关柜中, 频繁的机械操作可能会导致触点磨损, 从而影响电弧熄灭的可靠性和安全性。由此可见, 电气工程中自动化设备的机械运动往往对电磁场有较大影响。

## 2 自动化设备电磁干扰的主要来源与分类

### 2.1 空间辐射干扰

空间辐射干扰是指由电力网络、电气设备暂态过程、雷电等产生的电磁波通过空间传播而对自动化设备造成的干扰<sup>[2]</sup>。这种干扰对分布式控制系统 (DCS) 和可编程逻辑控制器 (PLC) 等自动化设备的正常运行构成了较大威胁。如电力网络暂态过程中的开关操作会引起电流突变, 进而产生瞬态电磁场, 对附近的自动化设备产生辐射干扰。此外, 电气设备如电机启动或停止时产生的高频电磁脉冲也会对自动化设备造成干扰。雷电活动更是强烈的辐射干扰源之一, 即使距离较远, 雷电放电产生的电磁场也能通过空间传播, 影响自动化设备的正常运行。

### 2.2 系统外引线传导干扰

系统外引线传导干扰也是自动化设备电磁干扰的一个重要来源, 其主要通过电源线和信号线引入, 而对自动化设备的正常运行造成影响。这类干扰可以分为两大类: 一是由电网内部变化引起的干扰; 二是

由开关操作浪涌等外部事件导致的干扰。

电网内部的变化,如电压波动、频率波动和相位不平衡等,会对自动化设备产生传导干扰。这些变化主要源于电网负载的突然变化、发电机的不稳定运行或是电网维护期间的操作。如当大型电机启动时,会引起电网电压瞬间下降,且这种电压跌落会沿着电源线传导到自动化设备,进而影响其正常工作。此外,电网中出现的谐波也可能通过电源线传导到自动化设备中,导致信号失真和设备性能下降。

开关操作浪涌则是另一个重要的传导干扰来源。当电气设备的开关操作发生时,如断路器或继电器的开闭,会产生瞬态电压和电流,这些瞬态过程会产生电磁场,进而通过电源线和信号线传导到自动化设备中<sup>[3]</sup>。浪涌不但会干扰信号的传输,还会导致自动化设备的硬件损坏。如开关设备在高负载条件下被切断电源时,产生的瞬态电压峰值可以沿着电源线传导到自动化设备中,进而影响其电源供应系统,甚至导致设备重启或故障。

### 2.3 接地系统混乱时的干扰

良好的接地系统能够确保电子设备的正常运行,并有效减少电磁干扰的影响,提供一个稳定的参考点。但当接地系统设计不当或配置混乱时,也会引发一系列问题,尤其是地环路电流的产生,会对自动化设备的性能和稳定性造成显著影响。

接地系统混乱通常表现为多点接地、接地电阻过高或不同设备间的接地不一致等问题,其会导致地环路电流的产生,即在多个接地路径之间形成的电流回路。而地环路电流的存在会引入额外的电压降,导致信号失真,并会在信号线上产生干扰噪声。如在自动化控制系统中,如果信号线和电源线共用地线,地环路电流可能会在信号线上产生感应电压,从而干扰信号的传输,影响控制信号的准确性和稳定性。此外,接地系统混乱还会导致设备之间的电位差,从而产生电磁干扰。如在一个工厂环境中,不同的自动化设备和控制系统未能正确接地,它们之间就可能形成电位差,这种电位差会在信号线上传播,进而影响信号的完整性。当多个设备共享同一接地系统时,如果其中一个设备受到干扰,则这种干扰会通过地环路电流传递给其他设备,从而扩大干扰的影响范围。

## 3 自动化设备中机械与电气相结合的抗干扰技术策略

### 3.1 优化机械结构与提升电磁兼容性

1. 在机械结构中应用屏蔽技术。在自动化设备机械结构中,屏蔽技术的应用对于减少电磁干扰有着突

出效果。屏蔽技术主要有电磁屏蔽和静电屏蔽两类。

就电磁屏蔽技术而言,实践中常采用低电阻金属材料如铜和铝作为屏蔽层,这是因为这些金属材料具有良好的导电性和导热性,能够有效吸收和反射电磁辐射。当电磁波遇到屏蔽层时,一部分会被反射回去,另一部分会被吸收并在屏蔽层内部产生涡流,而这些涡流又会反过来产生反向电磁场,从而削弱穿过屏蔽层的电磁波强度。具体应用时,屏蔽层一般设计为封闭的壳体结构,完全包裹住需要保护的电子设备或敏感电路。屏蔽层的厚度和材料的选择取决于所需屏蔽的频率范围和电磁场的强度。例如,在高频电磁场环境下可以选择较薄的铜箔作为屏蔽层,而在低频电磁场中,则可能需要较厚的金属板来确保足够的屏蔽效果。

静电屏蔽则主要用于防止静电场的干扰,常采用金属外壳将敏感电路包围起来<sup>[4]</sup>。为提高屏蔽效果,外壳还需要与地面良好连接,以确保静电荷能够迅速释放到地面,避免静电积累对内部电路造成损害。而对于磁场耦合干扰的防护,则一般采用磁性材料作为屏蔽层,其能够吸收磁场能量并将其转化为热能。如可以使用铁氧体材料制作屏蔽层,其在高频下具有较高的磁导率,能够有效减少磁场的穿透。再者,还可以采用双层屏蔽结构,即在静电屏蔽的基础上增加一层磁性材料,以同时防护静电场和磁场干扰。

2. 减少电磁辐射源与敏感部件接近程度。除屏蔽技术的应用外,机械结构的优化还可以通过合理规划机械部件的位置来实现电磁辐射源与敏感部件之间接近程度的有效降低,从而减少电磁干扰的影响。如将电机、驱动器等产生较强电磁辐射的部件与控制电路、传感器等敏感部件分开布置,就可以最大限度地增加两者之间的物理距离。此外,还可以在机械结构中设置物理屏障,如使用金属隔板或屏蔽罩,以进一步隔离电磁辐射源与敏感部件。在设计布局时,还应考虑使用低噪声的电气组件,并优化布线路径,以减少不必要的电磁耦合。

### 3.2 电气系统抗干扰措施

1. 抑制干扰源。在电气系统中,为了有效抑制干扰源,可以考虑采用多种技术手段,如使用压敏电阻和电源滤波器等。压敏电阻是一种非线性电阻器件,当施加在其两端的电压超过某一阈值时,其电阻值会急剧下降,从而吸收过高的电压。这种特性使得压敏电阻成为一种理想的保护元件,可以有效地吸收电压尖峰和瞬态过电压,保护敏感电路不受损害。对于自动化设备而言,将压敏电阻串联或并联在电源线或信号线上,能够确保其在电压异常时能够及时响应并吸收多余的能量,从而保护后续电路的安全。电源滤波

器则是另一种重要的抗干扰手段。其可以滤除电源线上的高频噪声和杂波,确保电源质量,减少电磁干扰对设备的影响。电源滤波器主要由电容、电感和电阻等元件构成,实践中合理组合使用这些元件可以构建出低通滤波器,从而阻止高频噪声进入系统。在设计电源滤波器时,需要考虑滤波器的截止频率、插入损耗等参数,以确保其能够在不影响正常信号传输的情况下有效地滤除干扰信号。

除上述措施外,还可以采取其他方法来抑制干扰源,如使用屏蔽电缆来减少电磁场的耦合效应;采用合理的接地系统设计,确保良好的接地连接,减少地环路电流的影响;以及合理布局电路板上的元件,确保敏感线路远离干扰源等。

2. 提高设备自身抗干扰能力。电气系统是由各类设备组成,所以自动化设备自身的抗干扰能力的提升也是实践中必须重点改进的方向。在电路结构方面,可以基于采用差分信号传输方式来减少电磁耦合的影响。差分信号借助两条相互靠近的导线传输信号及其反相信号,如此可以有效地抵消外部干扰的影响。此外,合理布局电路板上的元件,确保敏感线路远离干扰源,也是减少干扰的重要措施。如将电源线和信号线分开布置,避免彼此间的交叉,可以有效减少电磁干扰的影响。而使用屏蔽电缆和屏蔽接线盒可以进一步减少电磁场的耦合效应。

在信号处理方面,则可以采用数字信号处理技术来过滤掉噪声,提高信号的信噪比。如使用数字滤波技术可以在软件层面对信号进行处理,去除不需要的频率成分。数字滤波器还可以根据需要设计成低通、高通、带通或带阻滤波器,以适应不同的应用需求。此外,还可以采用自适应滤波算法,根据噪声环境的变化自动调整滤波参数,以达到最佳的噪声抑制效果。

此外,改进电源电路的设计也可以达到提高设备抗干扰能力的效果。如实践中开关电源具有更高的效率和更好的抗干扰性能,所以可以考虑采用开关电源来替代传统的线性稳压电源。

### 3.3 优化环境适应设计

在电气自动化设备中,设备对环境的适应能力越强,其抗干扰能力也将进一步提升,因此,除上述技术措施外,优化环境适应设计也是一种有效的抗干扰手段。环境适应设计主要涉及高温材料的应用、防水防尘设计以及散热设计三方面。

高温材料的应用方面,要选用耐高温材料,如聚酰亚胺(PI)和聚四氟乙烯(PTFE)等,其能够在高达 260 °C 的温度下保持良好的机械性能和电气绝缘性。

例如,聚酰亚胺薄膜的最高使用温度可达 260 °C,而聚四氟乙烯的使用温度范围为 -200 °C 至 260 °C<sup>[5]</sup>。此外,使用铜制散热片可以显著提高散热效率。铜的导热系数约为 401 W/(m·K),远高于铝的 237 W/(m·K)。通过合理设计散热片的形状和布局,可以将关键部件的温度降低 10 ~ 20 °C。

在防水防尘设计中,首先需要做好密封设计。如可以采用 IP67 或更高防护等级的密封设计来确保设备在潮湿和多尘环境中正常工作。而使用“O”形圈和密封胶条也可以有效防止水分和灰尘的侵入。在防水防尘材料的选择上,要使用具有良好防水和防尘性能的材料,如硅橡胶和 EPDM(三元乙丙橡胶)。硅橡胶的耐温范围为 -60 °C 至 200 °C,具有优异的防水和防尘性能。EPDM 的耐候性和耐化学性也非常出色,适合在恶劣环境中使用。

散热设计方面,可以利用热仿真软件(如 ANSYS 或 COMSOL)进行热分析,优化散热设计,通过模拟不同工况下的温度分布来找到最佳的散热方案。此外,要合理设计设备内部的风道,确保空气流通顺畅。如采用强制对流冷却系统,通过风扇将冷空气导入设备内部,经过关键部件后再排出,可以有效降低内部温度。而风扇的风量和风压需要根据设备的具体需求进行选择,一般推荐风量在 10 ~ 50 CFM(立方英尺/分钟)之间,风压在 0.5 ~ 2.0 mmH<sub>2</sub>O 之间。

## 4 结束语

电气工程中的自动化设备面临着各种来源的电磁干扰挑战,所以实践中必须合理选择机械部件材质、优化机械结构设计、采用有效的屏蔽技术、改进电气系统设计以及环境适应设计,以显著提高自动化设备的抗干扰能力。上述抗干扰技术策略在实践中也可以综合运用,根据自动化设备的实际情况和运行需求进行灵活调整,以确保自动化设备在复杂电磁环境中稳定可靠地运行,从而提高系统的整体性能和安全性。

## 参考文献:

- [1] 谢坤,周斌. 电气工程中自控设备电磁干扰研究[J]. 中国新通信,2022,24(21):44-46.
- [2] 汪洋. 电气工程中自动化设备的抗干扰措施研究[J]. 中国住宅设施,2022(04):82-84.
- [3] 孙静. 基于电气工程中自动化设备的抗干扰方法分析[J]. 科技创新导报,2019,16(34):80,82.
- [4] 鲁恩典. 电气工程中自动化设备常见干扰因素及防治措施[J]. 内蒙古煤炭经济,2019(21):193.
- [5] 庄山. 工业自动化控制系统的抗干扰技术研究[J]. 中国设备工程,2019(05):213-214.