

工业自动化中 PLC 控制系统的抗干扰措施优化

范国帅

涿鹿博泰钢结构工程有限公司 河北 张家口 涿鹿 075600

【摘要】：在工业自动化领域，PLC 控制系统的稳定性与可靠性至关重要，而抗干扰措施的优化直接影响其性能表现。PLC 控制系统广泛应用于各类工业场景，却常受多种干扰源影响，导致控制异常甚至系统故障。本文深入剖析 PLC 控制系统面临的干扰类型，如电源干扰、电磁辐射干扰、信号传输干扰等，详细阐述优化抗干扰措施，包括采用高性能电源及滤波技术、合理规划电缆敷设与布线、完善接地系统、运用硬件隔离与屏蔽手段、结合软件抗干扰算法等。

【关键词】：工业自动化；PLC 控制系统；抗干扰措施；电源优化；屏蔽接地

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.009

引言

工业自动化程度不断加深，PLC 控制系统成为关键核心。其可靠运行是保障生产效率与产品质量的基础。复杂工业环境中，PLC 控制系统易受各类干扰，严重影响系统性能与稳定性。优化抗干扰措施，提升 PLC 控制系统运行可靠性迫在眉睫。研究如何有效降低干扰对 PLC 控制系统的影响，对推动工业自动化向更高水平发展具有重要现实意义。

1 剖析 PLC 控制系统干扰类型及来源

（1）电源干扰的复杂成因与传导路径

电源干扰是 PLC 控制系统运行的主要威胁之一。电网作为电能传输的载体，本身就存在着各种不稳定因素。在工业生产环境中，大量电气设备的启停、运行，会导致电网电压出现波动。当大功率电机启动时，瞬间会产生数倍于额定电流的冲击电流，这种电流变化会引起电网电压瞬间下降，形成电压凹陷；而设备停机时，又可能产生电压浪涌，这些电压波动通过供电线路直接作用于 PLC 控制系统。电网中的谐波也是不可忽视的干扰源。现代工业中广泛使用的变频器、整流器等非线性设备，会向电网注入大量谐波电流，这些谐波电流在电网阻抗上产生压降，导致电网电压波形畸变。

（2）电磁辐射干扰的传播与影响机制

在工业现场，空间中的电磁辐射干扰无处不在。大功率电气设备，如电焊机、高频加热设备等，在工作过程中会产生强大的电磁场。这些设备运行时，内部的电流快速变化，根据电磁感应原理，会在周围空间激发电磁场。通信设备，如无线基站、对讲机等，发射的电磁波也会对 PLC 控制系统造成干扰。PLC 系统在工作时，需要进行信号的传输与处理，而这些信号大多以电信号的形式存在。当 PLC 系统处于上述强电磁场环境中时，电磁场会通过电磁耦合的方式，在 PLC 的信号传输线路上感应出干扰电压和电流。

（3）信号传输干扰与接地干扰的作用原理

信号传输过程中，干扰问题同样突出。长距离的信号传输，会使信号在传输线路上产生衰减。这是因为传输线路本身存在

电阻、电容和电感等参数，随着传输距离的增加，信号能量会不断被消耗，导致信号幅值降低。不合理的布线方式也容易引发信号畸变与串扰。当模拟信号与数字信号共用同一电缆或并行敷设时，数字信号的快速跳变会产生高频谐波，这些谐波会干扰模拟信号，造成模拟信号的失真。而接地不良也是干扰的重要来源。在 PLC 控制系统中，如果接地系统设计不合理，各个接地点之间就会产生地电位差。这种地电位差会形成干扰电流，干扰电流通过接地线进入 PLC 系统，影响系统的正常运行。

2 优化电源系统以降低干扰影响

（1）隔离电源的选择与工作原理

电源作为 PLC 控制系统稳定运行的核心保障，采用隔离性能优良的电源至关重要。专门为 PLC 设计的隔离变压器，凭借其独特的结构和工作原理，在阻隔电网干扰方面发挥着重要作用。隔离变压器的原边和副边绕组之间没有直接的电气连接，而是通过电磁感应传递能量。这种结构能够有效切断电网与 PLC 系统之间的电气联系，使电网中的干扰信号无法直接传导至 PLC 系统。隔离变压器的绕组通常采用屏蔽措施，能够进一步抑制电磁干扰的传播。当电网中的浪涌、谐波等干扰信号进入隔离变压器原边时，由于原副边的电气隔离，这些干扰信号无法直接传递到副边，从而保证了副边输出电源的纯净，为 PLC 系统提供稳定可靠的供电。

（2）电源滤波与不间断电源的应用

在电源输入端配置滤波器，是优化电源系统的重要手段。LC 滤波器由电感和电容组成，其工作原理基于电感和电容对不同频率信号的阻抗特性。电感对高频信号呈现高阻抗，电容对高频信号呈现低阻抗，通过合理选择电感和电容的参数，LC 滤波器能够有效地抑制高频噪声。当电源中的高频干扰信号经过 LC 滤波器时，大部分高频噪声会被电感阻隔，同时通过电容旁路到地，从而保证输入到 PLC 系统的电源更加纯净。对于重要的 PLC 控制系统，配备在线式不间断电源（UPS）具有多重优势。UPS 不仅能够在线电中断时持续为系统供电，避免因断电导致系统停机和数据丢失，还具有强大的干扰隔离能力。

(3) 电源分配与系统稳定性提升

合理分配电源是减少电源内部干扰的关键措施。在 PLC 控制系统中,如果多个负载共用同一电源支路,当某个负载出现电流突变时,会引起电源支路电压的波动,这种电压波动会影响到其他负载的正常工作。在设计电源分配方案时,应根据负载的类型、功率大小等因素,将不同负载分配到不同的电源支路。对于功率较大、对电源稳定性要求较高的负载,如 PLC 主机、重要的输入输出模块等,应单独分配电源支路;而对于功率较小、对电源稳定性要求相对较低的负载,如指示灯、继电器等,可以适当合并电源支路。

3 合理规划布线与电缆敷设

(1) 信号分类传输与电缆选型原则

合理布线与电缆敷设是减少干扰的重要环节,而信号分类传输是首要原则。在 PLC 控制系统中,信号主要分为模拟信号和数字信号。模拟信号是连续变化的电信号,其幅值和频率的变化反映了被测量的物理量的变化,这类信号相对较弱,容易受到干扰。而数字信号是离散的脉冲信号,具有较强的抗干扰能力,但数字信号的快速跳变会产生高频谐波,对模拟信号造成干扰。必须将模拟信号与数字信号分开传输,采用不同的电缆。对于模拟信号,应选用具有良好屏蔽性能的电缆,如双绞屏蔽电缆,其双绞线结构能够有效抑制电磁干扰,屏蔽层则可以进一步阻隔外部电磁辐射。

(2) 电缆敷设布局与干扰规避策略

电缆敷设的布局对减少干扰有着重要影响。动力电缆在传输大功率电能时,会在周围空间产生较强的电磁场,这种电磁场会对信号电缆中的信号产生电磁耦合干扰。动力电缆与信号电缆必须保持足够的距离,严禁平行敷设。在实际工程中,两者之间的距离应根据电缆的电压等级、功率大小等因素合理确定。在选择电缆敷设路径时,应尽量避免大功率电气设备、强磁场区域,如变压器、电机等设备附近。如果无法避开,应采取屏蔽措施,如使用金属桥架对电缆进行屏蔽,以减少外部干扰对信号电缆的影响。

(3) 电缆安装规范与可靠性保障

规范电缆的安装也是减少干扰的重要方面。电缆的固定与绑扎应牢固可靠,避免因电缆晃动引发接触不良,产生干扰。在电缆敷设过程中,应按照设计要求进行固定,固定间距要合理,避免电缆出现松弛或下垂现象。对于电缆的弯曲半径,应符合电缆的技术要求,避免因弯曲半径过小导致电缆内部结构损坏,影响信号传输。电缆的连接也应严格按照规范进行,确保连接牢固、接触良好。对于屏蔽电缆,其屏蔽层的接地方式也非常关键,一般采用单端接地,即屏蔽层仅在一端接地,这样可以有效避免地环路的形成,降低电磁干扰。

4 完善接地系统提升抗干扰能力

(1) 独立接地与接地电阻控制

良好的接地是 PLC 控制系统抗干扰的重要保障,而采用独立接地是首要措施。PLC 系统应拥有独立的接地装置,与其他电气设备的接地系统分开。这是因为不同设备的接地电流和接地电位可能存在差异,如果共用接地系统,会导致接地电位不稳定,产生地电位差,从而引入干扰电流。独立接地能够确保 PLC 系统的接地电位相对稳定,减少外部干扰的影响。接地电阻的控制也至关重要。接地电阻过大,会使接地系统的泄流能力下降,当系统遭受雷击或出现电气故障时,无法及时将电流导入大地,导致设备外壳带电,危及人员安全,同时也会影响系统的抗干扰性能。

(2) 单点接地与地环路消除

接地方式采用单点接地,是消除地环路干扰的有效方法。在多点接地系统中,由于不同接地点之间存在电位差,会形成地环路,地环路电流会在接地线路上产生电压降,这些电压降会作为干扰信号引入 PLC 系统,影响系统的正常运行。而单点接地能够避免地环路的形成,保证整个接地系统的电位一致。在 PLC 系统中,应将所有需要接地的设备、模块的接地线集中连接到一个接地点上,这个接地点可以是接地排或接地极。在接地线路的布置上,应尽量缩短接地线的长度,降低接地线路的阻抗,提高接地系统的可靠性。

(3) 接地系统分类与设备接地协同

在 PLC 控制系统中,信号地、屏蔽地与保护地应严格分开,分别接入接地排。信号地是为了保证信号传输的准确性,为信号提供一个稳定的参考电位;屏蔽地主要用于将电缆屏蔽层、设备外壳等屏蔽部件接地,以抑制电磁干扰;保护地则是为了保障人员和设备的安全,当设备发生漏电等故障时,能够及时将电流导入大地。将这三种接地分开,可以避免不同接地之间的相互干扰。对于传感器、执行器等外围设备,也需要良好接地,并且要与 PLC 系统的接地协同配合。这些外围设备在工作过程中,也会受到各种干扰,良好的接地能够保证它们正常工作,同时也能减少对外界的干扰。

5 运用硬件与软件抗干扰技术

(1) 硬件隔离器件的应用与干扰阻断

在硬件方面,在输入输出模块添加隔离器件是阻断干扰传播的有效手段。光电耦合器是常用的隔离器件之一,它利用光信号作为媒介来传输电信号,将外部信号与 PLC 内部电路进行电气隔离。当外部信号输入到光电耦合器的输入端时,发光二极管会发光,通过光的传输,使光电晶体管导通,从而将信号传输到 PLC 内部电路。由于光电耦合器的原边和副边之间没有直接的电气连接,完全依靠光信号进行传输,因此能够有效阻断外部干扰信号进入 PLC 内部电路。对于易受干扰的模拟量输

入输出通道,采用信号隔离器能够进一步提高信号的抗干扰能力。信号隔离器可以将输入信号进行隔离、放大和转换,同时抑制共模干扰和差模干扰,保证模拟信号的准确传输,提高 PLC 系统对模拟量信号处理的精度和可靠性。

(2) 屏蔽防护与电磁干扰抑制

在 PLC 控制系统周边设置屏蔽罩,是阻挡外部电磁辐射干扰的重要措施。屏蔽罩一般采用金属材料制成,如钢板、铝板等。其工作原理基于电磁感应和电磁屏蔽原理。当外部电磁辐射到达屏蔽罩时,会在屏蔽罩表面产生感应电流,感应电流会产生与外部电磁场方向相反的电磁场,从而抵消部分外部电磁场,达到屏蔽的效果。在设计屏蔽罩时,应确保其良好接地,这样可以将屏蔽罩上的感应电流及时导入大地,提高屏蔽效果。屏蔽罩的结构应严密,避免出现缝隙和孔洞,因为即使是很小的缝隙和孔洞,也会导致电磁泄漏,降低屏蔽效果。对于一些对电磁干扰敏感的关键部件,如 PLC 的 CPU 模块、通信模块等,可以采用单独的屏蔽措施,进一步提高系统的抗干扰能力。

(3) 软件抗干扰技术的实现与系统保障

在软件层面,采用数字滤波算法是滤除输入信号噪声的有效方法。数字滤波算法通过对输入信号进行一系列的数学运

算,去除信号中的噪声成分,保留有用信号。常见的数字滤波算法有算术平均滤波、中值滤波、加权平均滤波等。不同的滤波算法适用于不同类型的噪声和信号特点,在实际应用中,应根据具体情况选择合适的滤波算法。设置看门狗定时器也是保障系统持续运行的重要手段。看门狗定时器可以实时监测系统的运行状态,当系统由于干扰等原因出现死机、程序跑飞等异常情况时,看门狗定时器会在规定时间内未收到系统的喂狗信号,便会触发复位信号,使系统重新启动,恢复正常运行。在程序设计中,增加容错处理与校验机制也能提高软件的可靠性。对输入数据进行有效性校验,对输出控制指令进行冗余设计等,通过这些措施,能够有效减少因干扰导致的程序错误,提高 PLC 控制系统的稳定性和可靠性。

6 结语

优化 PLC 控制系统抗干扰措施对工业自动化发展意义重大。通过对干扰类型及来源深入分析,采取优化电源系统、合理布线与电缆敷设、完善接地系统、运用硬件与软件抗干扰技术等措施,能显著提升 PLC 控制系统抗干扰能力。未来,随着工业自动化向智能化、集成化发展,需持续研究与创新抗干扰技术,以适应更复杂工业环境,确保 PLC 控制系统稳定、可靠运行,推动工业自动化迈向新高度。

参考文献:

- [1] 黄智武,吴桂初,王耀南.基于自适应神经模糊推理系统的 PLC 抗干扰控制方法[J].控制理论与应用,2023,40(07):1147-1156.
- [2] 孙旭,高志鹰,朱磊,张磊,赵旭.工业控制中 PLC 系统抗干扰技术的研究与应用[J].自动化与仪表,2024,39(08):114-118+123.
- [3] 姜红,徐建,刘鑫.基于 PLC 控制系统的抗干扰设计与实现[J].电子设计工程,2022,30(18):176-180.
- [4] 孙志富,王浩,王继业.工业控制中 PLC 系统的抗干扰设计与应用[J].自动化仪表,2025,46(02):91-96.
- [5] 马海超,赵磊,刘亮,吴昊.基于改进粒子群算法的 PLC 控制系统抗干扰优化[J].控制工程,2024,31(06):1087-1093.