

# 电缆组装件的电磁兼容性设计与防护技术探讨

刘 宁 胡义文

四川航天燎原科技有限公司 四川 成都 610100

**摘要：**随着电子技术的迅猛发展，电子设备日益精密且多功能化，所处电磁环境愈发复杂。本文围绕电缆组装件的电磁兼容性设计与防护技术展开深入探讨。首先阐述电磁兼容性基础理论，明确其定义、重要性及电磁干扰的类型与机理。接着详细剖析电缆组装件电磁兼容性设计的关键要素，涵盖电缆选型、布线布局、接地与屏蔽技术等方面。同时针对静电、射频、瞬态、电磁脉冲、雷电等不同类型的电磁干扰，系统介绍相应防护技术。

**关键词：**电子组装件；电磁兼容性设计

引言：在当今电子技术飞速发展的时代，电子设备的应用愈发广泛且复杂，所处电磁环境也日益恶劣。电缆组装件作为电子设备间信号传输的关键环节，其电磁兼容性直接关系到整个电子系统的性能与可靠性。一旦电磁兼容性不佳，可能导致信号传输错误、设备故障等诸多问题。鉴于此，深入探讨电缆组装件的电磁兼容性设计与防护技术就显得尤为重要，它有助于提升电子系统在复杂电磁环境下的适应性，确保系统正常、稳定、高效地运行。

## 1 电磁兼容性基础理论

### 1.1 电磁兼容性的定义与重要性

电磁兼容性（EMC）是指设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。这意味着设备既要有一定的抗干扰能力，以保证在复杂电磁环境下自身功能不受影响，又要限制自身产生的电磁干扰，防止对其他设备造成不良影响。其重要性在现代电子技术领域体现得淋漓尽致。在军事方面，众多电子装备协同作战，如雷达、通信设备等，电磁兼容性不佳会导致信息传输错误、系统协同失效，严重影响作战效能。在民用领域，从医疗设备到航空航天，从通信网络到工业自动化，电磁干扰可能引发医疗仪器误诊、飞机导航故障、通信中断以及工业生产事故等严重后果。良好的电磁兼容性设计能够提高电子设备的可靠性、稳定性和安全性，减少因电磁问题导致的故障维修成本，促进不同电子设备之间的和谐共处与协同工作，是保障各类电子系统正常运行的关键因素之一。

### 1.2 电磁干扰的类型与机理

电磁干扰主要分为传导干扰和辐射干扰。传导干扰是指通过导体（如电源线、信号线等）传播的电磁干扰。例如，电网中的开关操作产生的瞬态脉冲会沿着电源线传导，进入与之相连的设备，干扰设备正常工作。其机理在

于干扰源产生的干扰信号在导体中形成电流或电压波动，当这些波动传导至敏感设备时，就会影响设备内部电路的正常运行。辐射干扰则是通过空间以电磁波形式传播的干扰。像通信基站、广播电视发射塔等都会向外辐射电磁波。当这些电磁波辐射到电缆组装件或其他电子设备上时，会在设备内部感应出电动势，进而产生干扰电流，影响设备的信号处理、数据传输等功能<sup>[1]</sup>。

## 2 电缆组装件电磁兼容性设计要素

### 2.1 电缆选型

#### 2.1.1 传输特性

电缆的传输特性是电缆选型的关键考量因素之一。它主要涉及特性阻抗、衰减等参数。特性阻抗需与相连设备的输入输出阻抗相匹配，以实现最大功率传输并减少信号反射。例如，对于高速数字信号传输的同轴电缆，其标准特性阻抗通常为 50 欧姆或 75 欧姆。衰减则反映了信号在电缆中传输时能量的损失程度，与电缆的长度、材质及信号频率相关。高频信号在传输过程中衰减更为明显，所以在长距离或高频信号传输场景下，需选用衰减较小的电缆，如低损耗的光纤电缆在某些高速数据传输应用中表现出色，能有效保证信号质量，减少失真，确保信号的准确传递。

#### 2.1.2 屏蔽性能

电缆的屏蔽性能对于抵御外界电磁干扰以及防止内部信号泄漏意义重大。屏蔽层的材质、编织方式和覆盖率等都对屏蔽效果产生影响。金属编织网屏蔽层常见且柔韧性佳，其通过金属丝的交织形成电磁屏蔽网，能有效阻挡一定频率范围的电磁干扰。金属箔屏蔽层则在高频段具有突出表现，它可以对高频电磁波形成良好的反射和吸收。对于一些对电磁干扰极为敏感的信号传输，如高精度测量仪器或军事通信设备中的电缆，常采用双层屏蔽结构，即金属箔与金属编织网相结合，进一步提

升屏蔽效能,保障信号传输的纯净性与稳定性。

## 2.2 布线布局

### 2.2.1 分离与隔离

在电缆组装件的布线布局中,分离与隔离至关重要。不同类型的电缆,如电源线、信号线、控制线等,应进行分离布线。电源线传输的强电信号可能产生电磁噪声,若与敏感的信号线靠近,噪声会通过电磁耦合干扰信号传输。例如在计算机主板布线时,将硬盘数据线 with 电源线分开,可降低数据误码率。对于强电和弱电电缆,不仅要分离,还需采用隔离措施,如金属隔板或屏蔽线槽。在工业自动化控制系统中,使用金属隔板将动力电缆与控制电缆隔开,能有效阻止强电电缆产生的磁场对弱电电缆的影响,从而保障系统各部分稳定、可靠地运行。

### 2.2.2 走向与弯曲半径

电缆的走向与弯曲半径同样不容忽视。电缆走向应尽量短且直,这是因为长而弯曲的路径会增加信号传输的电感和电容效应,导致信号失真和衰减加剧。例如在高速数字电路中,过长的布线会使信号上升沿变缓,影响系统时序。同时,电缆的弯曲半径不能过小,否则会损坏电缆内部结构,影响电气性能。比如,光纤电缆过度弯曲可能导致光纤断裂,影响光信号传输;对于同轴电缆,过小的弯曲半径会使内导体与外导体相对位置改变,破坏特性阻抗匹配,增加信号反射。所以,在布线时需严格遵循电缆的弯曲半径要求,确保信号传输质量。

## 2.3 接地技术

### 2.3.1 单点接地

单点接地是一种经典的接地方式。其核心在于将电缆屏蔽层或电路的接地点集中连接到一个公共参考点上。这种方式能有效规避地环路电流的产生。地环路电流往往会在电路中引入额外的电磁干扰,影响系统正常运行。例如在音频设备中,单点接地可防止电源地线上的噪声窜入音频信号回路,使声音更加纯净清晰。单点接地适用于低频电路,因为低频信号波长较长,在这种情况下地电位差相对较小,单点接地足以满足其接地需求,且能以较为简单的结构实现较好的接地效果,保障电路稳定工作并降低电磁干扰的影响。

### 2.3.2 多点接地

多点接地则在高频电路中有广泛应用。由于高频信号波长较短,若采用单点接地,过长的接地路径会引入较大的接地电感,阻碍高频信号的有效接地。多点接地是将电缆屏蔽层或电路的接地点在不同位置就近连接到地平面上,从而显著减少接地电感,确保高频信号能顺

利入地。然而,多点接地容易引发地环路问题,导致电磁干扰在环路中循环。为解决此问题,常采用磁珠或扼流圈等隔离器件。在通信基站的高频射频设备中,多点接地结合隔离器件,可在降低接地电感的同时,有效抑制地环路干扰,保证设备在高频段的稳定运行与信号传输质量。

## 2.4 屏蔽技术

### 2.4.1 电缆屏蔽层处理

电缆屏蔽层处理是提升电磁兼容性的关键环节。首先,屏蔽层两端需妥善接地,如此方能构建起有效的屏蔽回路,使外部干扰电流顺利导入大地,防止其进入电缆内部影响信号传输。例如,在工业控制电缆中,良好的屏蔽层接地可显著降低周围电机等设备产生的电磁干扰。此外,还可对屏蔽层进行优化处理,如在屏蔽层与接地端之间连接电容或电感。通过调整其参数,能够改变屏蔽层的谐振频率,使其在特定频率范围内的屏蔽效能得以增强。对于双层屏蔽电缆,合理设计内外屏蔽层的接地方式,如内层屏蔽层单点接地、外层屏蔽层多点接地,可进一步提升对不同频率电磁干扰的抵御能力<sup>[2]</sup>。

### 2.4.2 整体屏蔽结构

除了关注电缆自身屏蔽层,整体屏蔽结构对于电缆组装件的电磁兼容性也极为重要。可采用金属机箱并确保其接地良好,将电缆组装件安置于屏蔽机柜内等措施。金属机箱能够为内部电缆及设备提供一个相对封闭的电磁环境,阻挡外界电磁干扰的入侵,同时也能防止内部电磁辐射泄漏至外部空间。在通信机房中,屏蔽机柜的运用可有效隔离不同设备间的电磁干扰,保障各通信设备稳定运行。整体屏蔽结构与电缆屏蔽层相互配合,形成多层次的屏蔽体系,极大地提高了电缆组装件在复杂电磁环境中的抗干扰能力,确保信号传输的准确性与可靠性。

## 3 电缆组装件电磁干扰防护技术

### 3.1 静电防护

静电在电缆组装件的生产、运输和使用过程中普遍存在,且危害不容小觑。静电可因人员操作、摩擦、静电感应等产生,当积累到一定程度放电时,可能损坏电缆内的电子元件或导致信号传输错误。例如在电子芯片制造车间,静电放电可能使芯片内部电路击穿。针对静电防护,首先要设计静电泄放路径,如在电缆屏蔽层或外皮设置泄放点,及时将静电导入大地。其次,采用防静电材料制作电缆外皮或包装材料,像防静电塑料、橡胶等能有效减少静电产生与积累。再者,人员操作时需佩戴防静电手环、手套等设备,在接触电缆组装件前先

释放自身静电。

### 3.2 射频干扰防护

射频干扰源主要来自通信基站、广播电视发射塔、雷达等无线发射设备，其可通过空间辐射耦合或传导耦合影响电缆组装件。空间辐射耦合是电磁波直接照射电缆产生感应电流；传导耦合则经电源线、信号线等引入干扰。防护射频干扰，滤波技术是关键手段之一。在电缆输入端或输出端安装射频滤波器，如低通、高通或带通滤波器，可滤除特定频率的干扰信号。例如电视机天线输入口的滤波器能提升图像和声音质量。同时，优化电缆屏蔽与接地也至关重要。对于射频电缆采用多层屏蔽结构并确保良好接地，对设备整体屏蔽结构进行检查改进，减少射频干扰的进出。

### 3.3 瞬态干扰防护

瞬态干扰包括雷击、开关操作、静电放电等瞬间高压脉冲，具有幅值高、上升时间短、能量大的特点，对电缆组装件危害严重。如电力系统中雷击产生的瞬态过电压可沿输电线路传至电缆，致绝缘击穿或设备损坏。防护瞬态干扰可采用瞬态抑制器件，如压敏电阻、瞬态抑制二极管（TVS）等。正常工作时它们呈高阻态，遇瞬态干扰则迅速导通，将能量泄放至大地。例如计算机电源线上的压敏电阻可抑制瞬态过电压。还可设计隔离与缓冲电路，用隔离变压器、光耦等隔离器件将电缆与敏感设备隔开，减少干扰传播；在信号线上设缓冲电路，如串联电阻、并联电容，降低对信号的影响。

### 3.4 电磁脉冲防护

电磁脉冲是一种突发的、高强度的电磁辐射现象，可由核爆炸、非核电磁脉冲武器等产生。它具有极短的上升时间、极宽的频谱范围以及极高的场强，能够在瞬间对电缆组装件及相连的电子设备造成大面积、毁灭性的破坏。对于电磁脉冲防护，首先要采用高强度屏蔽材料构建电缆的屏蔽层以及设备的外壳，如使用特殊合金材料或多层复合屏蔽材料，以增强对电磁脉冲的屏蔽能力。其次，在电缆接口处设置专门的电磁脉冲滤波器，这种滤波器能够在极短的时间内对电磁脉冲的高频成分进行有效滤除，防止其进入设备内部电路。再者，可采

用电磁脉冲防护电路，通过特殊的电路设计，如采用限幅电路、箝位电路等，将进入设备的电磁脉冲电压或电流限制在安全范围内。

### 3.5 雷电防护

雷电作为一种强大的自然电磁干扰源，其产生的雷电冲击电流和高电压可通过直接击中电缆组装件或感应耦合的方式对其造成严重破坏。直接雷击会使电缆瞬间承受巨大的能量冲击，导致电缆烧毁、绝缘破坏；感应雷击则会在电缆中产生感应电动势，干扰信号传输甚至损坏设备。在雷电防护方面，安装避雷针、避雷线等接闪器是常见的措施，它们能够将雷电引导至大地，避免直接击中电缆组装件，在电缆与设备的连接端安装防雷器，如气体放电管、氧化锌避雷器等，当雷电过电压或过电流袭来时，防雷器能够迅速导通，将雷电能量泄放掉，保护电缆和设备。此外，对电缆进行深埋或采用铠装电缆也能在一定程度上减少雷电感应的影响。在电力传输系统和通信基站等设施中，完善的雷电防护体系能够有效降低雷电灾害带来的损失，保障电缆组装件及整个系统的安全稳定运行<sup>[1]</sup>。

### 结束语

在当今复杂的电磁环境中，电缆组装件的电磁兼容性设计与防护技术至关重要。通过深入剖析电磁兼容性基础理论，全面考量电缆选型、布线布局、接地与屏蔽等设计要素，以及针对静电、射频、瞬态、电磁脉冲和雷电等干扰源实施有效的防护策略，能够显著提升电缆组装件的电磁兼容性能。这不仅保障了电子系统的稳定可靠运行，降低了电磁干扰引发的故障风险，还为电子设备在各领域的广泛应用奠定了坚实基础，促进了电子技术与相关产业的持续发展与进步。

### 参考文献

- [1]周忠元.电缆组装件的电磁兼容性设计与测试方法[J].电子科技,2023,36(4):28-31.
- [2]郑军奇.基于多层屏蔽的电缆抗干扰设计[J].电气工程学报,2023,18(2):56-60.
- [3]朱文立.新型滤波器在电缆组装件中的应用研究[J].电子元件与材料,2023,42(3):78-82.