

高速公路机电工程防雷击与电磁兼容设计研究

贺学云

广东新粤交通投资有限公司 广东广州 510525

摘要: 高速公路机电系统是一个功能强大且复杂的电器、电子集成系统, 主要包含通信、监控、收费设备及供配电、照明设备等。由于高速公路的特殊环境, 机电系统极易受到雷电的干扰和破坏, 导致设备损坏、系统瘫痪, 甚至造成人员伤亡。因此, 防雷击与电磁兼容设计在高速公路机电工程中显得尤为重要。本文旨在探讨高速公路机电工程的防雷击措施与电磁兼容设计方法, 以确保系统的正常运行和人员设备的安全。通过对防雷击技术的深入研究, 结合电磁兼容设计原则, 提出了一系列切实可行的解决方案, 为高速公路机电工程的防雷击与电磁兼容设计提供了理论依据和实践指导。

关键词: 高速公路机电工程; 防雷击; 电磁兼容; 接地系统; 信号防雷; 电磁屏蔽

引言

随着高速公路建设的快速发展, 越来越多的机电设备被应用于高速公路系统中。然而, 由于高速公路的地理环境复杂, 设备分布广泛, 雷电对机电系统的威胁日益严重。雷电不仅会导致设备损坏, 还可能引发火灾和人员伤亡, 给社会经济带来巨大损失。因此, 研究高速公路机电工程的防雷击与电磁兼容设计具有重要的现实意义。

1 高速公路机电系统的特点与雷击危害

1.1 机电系统的特点

高速公路机电系统是一个融合了多种强电与弱电设备的综合性机械电子系统。强电设备主要包括变压器、配电柜等, 弱电设备则包括通信、监控、收费等设备。这些设备需要稳定可靠的电源供应和信号传输, 以确保高速公路的正常运行。

1.2 雷击危害类型

1.2.1 直击雷: 直击雷是指雷电直接袭击设备或建筑物, 导致结构损坏、设备失效, 甚至可能引发人员伤亡。

1.2.2 感应雷: 感应雷则是雷电在云层间放电时释放出的强烈电磁波, 这些电磁波会对电子设备造成严重干扰, 甚至导致设备损坏。

1.2.3 传导雷: 传导雷则是雷电击中外部线路, 通过线路的传导性扩散到设备内部, 造成设备损坏。

1.3 雷击对机电系统的影响

1.3.1 设备损坏: 雷电直接击中设备或通过线路传导到设备内部, 造成设备损坏或烧毁。这不仅会导致设备无法正

常工作, 还可能引发火灾等安全事故。

1.3.2 系统瘫痪: 雷电干扰或破坏机电系统的通信、监控、收费等功能, 导致系统瘫痪或无法正常运行。这会影响高速公路的通行能力和安全性, 给社会经济带来巨大损失。

1.3.3 人员伤亡: 在极端情况下, 雷电可能直接击中人员或造成设备爆炸等安全事故, 导致人员伤亡。

2 高速公路机电工程防雷击措施

2.1 接地系统

良好的接地系统是防雷击的关键。接地系统可以将雷电引入大地, 保护设备和人员的安全。

2.1.1 交流电源防雷接地

交流电源防雷接地是高速公路机电工程防雷击的重要措施之一。通过将变压器中性点直接接地, 可以防止雷击感应电流对变压器造成冲击, 保护机电设备的安全。同时, 接地系统还可以将雷电引入大地, 降低雷电对设备和人员的危害。

在交流电源防雷接地设计中, 需要考虑接地电阻的大小和接地装置的选择。接地电阻的大小直接影响接地系统的效果。一般来说, 接地电阻越小, 接地系统的效果越好。因此, 在选择接地装置时, 需要选择导电性能好、耐腐蚀的材料, 如铜、铝等。同时, 还需要考虑接地装置的数量和分布, 以确保接地系统的可靠性和稳定性。

2.1.2 机电设备保护接地

机电设备保护接地是指将机电设备在正常工作时不带电的金属部分连接到接地系统, 以防止因绝缘损坏而导致触

电风险的发生。在高速公路机电工程中，许多设备都包含金属外壳或金属构件，如配电柜、变压器、通信设备等。这些金属部分在设备正常工作时不带电，但在绝缘破损或故障情况下可能带电。因此，需要对这些金属部分进行接地保护，以确保人员和设备的安全。

在机电设备保护接地设计中，需要考虑接地电阻的大小和接地方式的选择。一般来说，接地电阻越小，接地保护的效果越好。同时，还需要根据设备的类型和特点选择合适的接地方式，如单点接地、多点接地等。此外，还需要注意接地装置与设备之间的连接方式和连接质量，以确保接地保护的可靠性和稳定性。

2.1.3 直流工作接地

直流工作接地是弱电设备的一种接地方式。在高速公路机电工程中，许多弱电设备如通信设备、监控设备等采用直流电源供电。直流工作接地能将这些设备纳入统一的低压直流系统中，确保电路电位稳定，并有效抵御外部电源的干扰。同时，直流工作接地还可以提高设备的抗干扰能力和稳定性。

在直流工作接地设计中，需要考虑接地电阻的大小和接地方式的选择。一般来说，接地电阻越小，直流工作接地的效果越好。同时，还需要根据设备的类型和特点选择合适的接地方式，如单点接地、多点接地等。此外，还需要注意接地装置与设备之间的连接方式和连接质量，以确保直流工作接地的可靠性和稳定性。

2.2 信号防雷

高速公路机电系统的信号传输线路容易遭受雷击，需要采取信号防雷措施。信号防雷措施主要包括信号线路防雷和信号设备防雷两个方面。

2.2.1 信号线路防雷

信号线路防雷是保护信号传输线路免受雷击破坏的重要措施。在高速公路机电工程中，信号传输线路通常包括视频信号线、音频信号线、数据网络信号线等。这些线路在传输过程中容易受到雷电的干扰和破坏。因此，需要在信号线路两端分别安装信号防雷器，以滤除雷电波，保护信号设备的安全。

在信号线路防雷设计中，需要考虑信号防雷器的类型、数量和安装位置。一般来说，信号防雷器应根据信号线路的类型和传输速度选择合适的型号和规格。同时，还需要根据

线路的长度和分布确定信号防雷器的数量和安装位置。在安装过程中，需要注意信号防雷器与线路之间的连接方式和连接质量，以确保信号防雷器的可靠性和稳定性。

2.2.2 信号设备防雷

信号设备防雷是保护信号设备免受雷击破坏的重要措施。在高速公路机电工程中，信号设备如通信设备、监控设备等通常采用弱电电源供电，对雷电的敏感度较高。因此，需要在信号设备输入端安装信号防雷器，以滤除雷电波，保护信号设备的安全。

在信号设备防雷设计中，需要考虑信号防雷器的类型、数量和安装位置。一般来说，信号防雷器应根据信号设备的类型和特点选择合适的型号和规格。同时，还需要根据设备的数量和分布确定信号防雷器的数量和安装位置。在安装过程中，需要注意信号防雷器与设备之间的连接方式和连接质量，以确保信号防雷器的可靠性和稳定性。

2.3 露天设备防雷

高速公路的露天设备如电力通信线、路况监测设备、气象监测设备等，易受雷击影响。因此，需要采取露天设备防雷措施，以保护这些设备免受雷击破坏。

2.3.1 电力通信线防雷

电力通信线是高速公路机电系统中重要的传输线路之一。由于电力通信线通常架设在空旷地带，容易受到雷击的影响。因此，需要在电力通信线上安装避雷器或避雷针等防雷装置，以滤除雷电波，保护电力通信线的安全。

在电力通信线防雷设计中，需要考虑防雷装置的类型、数量和安装位置。一般来说，避雷器或避雷针应根据电力通信线的类型和传输速度选择合适的型号和规格。同时，还需要根据线路的长度和分布确定防雷装置的数量和安装位置。在安装过程中，需要注意防雷装置与线路之间的连接方式和连接质量，以确保防雷装置的可靠性和稳定性。

2.3.2 路况监测设备防雷

路况监测设备是高速公路机电系统中重要的监测设备之一。由于路况监测设备通常安装在道路两侧或桥梁上，容易受到雷击的影响。因此，需要在路况监测设备上安装避雷器或避雷针等防雷装置，以滤除雷电波，保护路况监测设备的安全。

在路况监测设备防雷设计中，需要考虑防雷装置的类型、数量和安装位置。一般来说，避雷器或避雷针应根据路

况监测设备的类型、工作环境和安装位置选择合适的型号和规格。同时，防雷装置的安装应确保不影响路况监测设备的正常工作，并且易于维护和检查。

2.3.3 气象监测设备防雷

气象监测设备对于高速公路的安全运行至关重要，它们提供关于天气、能见度、风速等关键信息。然而，这些设备通常安装在开阔地带，容易受到雷击的威胁。因此，必须为气象监测设备提供有效的防雷保护。

在气象监测设备防雷设计中，除了安装避雷器和避雷针外，还可以考虑使用金属屏蔽网或金属壳来保护设备。这些屏蔽结构可以有效地将雷电引入地下，减少雷电对设备的直接冲击。此外，应确保气象监测设备与防雷装置之间的连接牢固可靠，以防止在雷电冲击下发生断裂或松动。

2.4 综合防雷措施

除了上述针对具体设备的防雷措施外，高速公路机电工程还应采取综合防雷措施，以提高整个系统的防雷能力。

2.4.1 建立防雷保护区

在高速公路沿线，可以根据雷电活动的频繁程度和设备的敏感度，建立不同级别的防雷保护区。在防雷保护区内，可以采取更加严格的防雷措施，如增加避雷针的数量、降低接地电阻等，以提高该区域的防雷能力。

2.4.2 加强监控系统

建立一个完善的监控系统，可以实时监测雷电活动和设备状态。当雷电接近时，监控系统可以发出预警信号，提醒操作人员采取相应的防护措施。同时，监控系统还可以记录雷电活动的数据，为后续的防雷设计和改进提供依据。

2.4.3 定期进行防雷检测和维护

防雷装置和设备在使用过程中可能会受到各种因素的影响而失效或损坏。因此，需要定期对防雷装置和设备进行检测和维护，以确保其正常工作。检测内容包括接地电阻的测量、避雷器的性能检查等。对于发现的问题，应及时进行处理和修复。

2.4.4 加强员工培训

员工是高速公路机电工程防雷工作的关键。因此，需要加强员工的防雷知识培训，提高他们的防雷意识和技能水平。培训内容可以包括雷电的基本知识、防雷装置的工作原理、设备的操作和维护方法等。

3 高速公路机电工程的电磁兼容设计

3.1 电磁兼容设计原则

电磁兼容设计是确保高速公路机电设备在电磁环境中正常工作的关键措施。基本原则包括：首先识别并抑制干扰源，通过改进电路设计和降低功耗减少电磁干扰；其次提高设备抗干扰能力，加强屏蔽和增加滤波器；同时注重合理布局和布线，避免敏感设备靠近干扰源，使用抗干扰性能好的线缆并减少长度和弯曲；最后确保良好的接地和等电位连接，将所有设备连接到同一接地系统，有效降低电磁干扰影响。

3.2 电磁屏蔽设计

电磁屏蔽是电磁兼容设计中的重要手段，通过屏蔽结构隔离设备或线路与外部环境，阻挡外部电磁场干扰。常用方法包括金属屏蔽网，其在设备或线路外部形成金属网层，网孔大小需适中以阻挡所需频率范围内的电磁场；金属壳，适用于小型设备或敏感元件，有效隔离内部电磁场，提高抗干扰能力，同时具备散热和保护功能；以及屏蔽层，可添加于电缆或线路中，由金属箔或编织网组成，包裹外部并通过接地系统引入电磁干扰至地下。

3.3 滤波设计

滤波是电磁兼容设计中的重要方法，通过滤波器滤除设备内部或外部传入的电磁干扰。具体设计包括电源滤波器，安装在电源输入端，滤除高频噪声和电磁干扰，保护内部电路；信号滤波器，安装在信号传输线路中，提高信号传输质量；以及组合滤波器，在复杂系统中将多个滤波器组合使用，滤除多种类型电磁干扰，提升系统电磁兼容性能。选择滤波器时，需根据设备功率、信号频率范围和所需滤波效果来确定合适的型号和规格。

3.4 接地和等电位连接设计

接地和等电位连接是电磁兼容设计的关键环节。在高速公路机电工程中，应建立统一的接地系统，将所有设备连接其上并保持等电位，以有效引入电磁干扰至地下，提高系统安全性和稳定性。选择低阻抗材料如铜、铝等导电金属作为接地材料，以降低接地电阻，提高系统效率。合理布置接地装置于土壤电阻率较低处，保持良好连接，并避免机械损伤或化学腐蚀。此外，需定期对接地系统进行检查和维护，包括测量接地电阻和检查接地装置连接情况，确保及时发现并处理潜在问题。

4 结论

高速公路机电工程的防雷击与电磁兼容设计是确保系统正常运行和人员设备安全的关键。通过合理的接地系统、信号防雷、露天设备防雷及电磁兼容设计，可以有效降低雷电和电磁干扰对机电系统的影响。同时，需要定期检查与维护防雷击和电磁兼容设施，确保其长期有效。未来，应继续加强防雷击与电磁兼容技术的研究与应用，提高高速公路机电系统的安全性和可靠性。

参考文献：

- [1] 时修云. 宁高高速公路机电工程低碳改造设计方案研究 [J]. 现代交通技术, 2014, 11(2): 72-75
- [2] 华丹. 高速公路房建机电工程的防雷设计及施工问题研究 [J]. 科技创新导报, 2018, 15(25): 65-66
- [3] 关翔. 机电工程技术中的电磁兼容性与电磁隔离技术研究 [J]. 建筑科学, 2019, 9(23): 85-86

作者简介：

贺学云（1988—），男，汉族，湖南常宁人，工程师，大学本科，研究方向为高速公路机电工程。