

地铁车辆电力线路布局与电磁兼容性分析

宋庆先 孙世玉

中车大连机车车辆有限公司 辽宁 大连 116022

摘要: 随着城市交通的不断发展,地铁作为城市公共交通的重要组成部分,其安全性和稳定性日益受到关注。地铁车辆的电力线路布局与电磁兼容性是影响地铁运行安全的关键因素。本文旨在探讨地铁车辆电力线路的合理布局及电磁兼容性问题,以期对地铁车辆的设计和运维提供理论支持和实践指导。

关键词: 地铁车辆; 电力线路布局; 电磁兼容性

引言

地铁作为现代城市的重要交通工具,其电力系统的稳定性和安全性对于保障地铁的正常运行至关重要。电力线路的布局不仅关系到车辆内部电气设备的正常工作,还直接影响到车辆的电磁兼容性。因此,合理的电力线路布局和提高电磁兼容性是地铁车辆设计中的重要环节。

1 地铁车辆电力线路布局

1.1 布局原则

地铁车辆电力线路的布局是确保地铁安全、高效运行的关键环节,其设计必须严格遵循若干核心原则。首要的是安全性原则,它要求线路布局必须能够防止电气故障和火灾等安全隐患,确保在任何运行条件下,电气设备和电缆都能稳定运行,不会对乘客和工作人员构成威胁。其次,可靠性原则强调线路布局应能经受住长期运行和恶劣环境的考验,减少故障发生的概率,保障地铁服务的连续性。经济性原则要求在满足安全和可靠性的前提下,尽可能降低线路布局的成本,提高资源利用效率。最后,可维护性原则强调线路布局应便于日常检查、维修和更换,以减少维护成本和时间,确保地铁系统的持续运营。这些原则共同构成了地铁车辆电力线路布局设计的基石,为地铁系统的安全和高效运行提供了有力保障。

1.2 布局方法

1.2.1 主干线布局

主干线布局在地铁车辆电力线路设计中占据着举足轻重的地位。这一布局主要依据车辆电气系统的整体架构来合理规划,旨在确保电力供应的稳定性和效率。在进行主干线布局时,需要综合考虑多个方面,包括电气设备的分布、电流负载的大小、电压降的限制以及线路的散热性能等。首先,要详细分析车辆电气系统的整体架构,明确各个电气设备的位置和功能需求。这有助于

确定主干线的起点和终点,以及线路上需要连接的分支设备和关键节点。通过精确计算电流负载,可以合理选择导线截面,确保主干线能够承受预期的电流而不产生过热现象。其次,主干线的走向应尽可能短且直,以减少电阻和电感,提高电力传输效率。同时,应避免在主干线上设置过多的分支,以减少电流分流和电压降,保证电力供应的稳定性。在必要时,可以设置汇流排或母线槽来集中管理电力分配,提高系统的可靠性和可维护性。此外,主干线的连接方式也至关重要^[1]。应优先采用可靠的连接方式,如焊接、压接或螺栓连接等,以确保连接处的电气性能和机械强度。同时,连接处应设置适当的防护措施,如绝缘层、防水密封等,以防止电气故障和外部环境对线路的影响。在实施主干线布局时,还需考虑未来的扩展性和可升级性。随着地铁车辆技术的不断发展,可能需要增加新的电气设备或更改现有设备的配置。因此,在布局时应预留一定的空间和接口,以便未来进行扩展和升级操作。

1.2.2 分支线布局

分支线布局在地铁车辆电力线路设计中同样占据重要地位。这一布局主要是为了满足车辆上各个电气设备和模块的电力需求,确保它们能够稳定、高效地工作。设计合理的分支线路不仅能保障设备的正常运行,还能提高整个电气系统的可靠性和安全性。在进行分支线布局时,首先要对车辆上的所有电气设备和模块进行详细的分析,了解它们的电力需求、工作电压、电流等关键参数。这些设备可能包括但不限于照明系统、空调系统、门控系统、通信系统以及各类传感器和控制器等。每个设备或模块都有其独特的电力需求,因此分支线路的设计必须精准匹配这些需求。接下来,根据设备的分布和电力需求,规划出合理的分支线路走向。这些线路应尽可能短且直接,以减少电阻和电压降,提高电力传输效率。同时,分支线路的布局应避免与其他线路或设

备产生干扰,确保电气信号的稳定性和准确性。在选择分支线路的导线时,要考虑其导电性能、耐热性、耐腐蚀性以及机械强度等因素。导线的截面面积应根据设备的电流需求来确定,以确保在设备工作时不会产生过热现象^[2]。此外,导线的绝缘层和保护层也应符合相关标准,以防止电气故障和安全隐患。分支线路的连接方式同样需要精心设计。应采用可靠的连接件和接线端子,确保连接处的电气性能和机械稳定性。连接处还应进行适当的防水、防尘等防护措施,以提高线路的耐久性和可靠性。最后,分支线布局还应考虑未来的维护和检修需求。应设置合适的检修点和测试点,以便在需要时能够快速、准确地检测和修复线路故障。同时,布局中还应预留一定的扩展空间,以适应未来可能的设备增加或更改需求。

1.2.3 接地与屏蔽

在地铁车辆电力线路布局中,接地与屏蔽是两项至关重要的技术措施,它们对于减少电磁干扰、提高电气系统的抗干扰能力具有显著意义。接地措施方面,为了确保设备和人身安全,以及电气系统的稳定运行,必须实施有效的接地。首先,接地线的选择十分关键,应使用导电性能优良、截面积适当的铜线或铜排,以降低接地电阻,确保接地效果。接地点的选择也需慎重,应选在电气设备的金属外壳或金属构架上,以便将设备内部的电荷及时导入大地,防止电荷积累引发静电放电。此外,接地系统的设计还需考虑雷击等外部因素的影响,通过设置避雷器等设备来保护电气系统免受雷击危害。屏蔽技术方面,其主要目的是减少电磁场对电气设备的干扰。在地铁车辆中,电气设备和线路常受到来自外部或内部的电磁干扰,这些干扰可能导致设备误动作或性能下降。因此,对重要设备和线路实施屏蔽措施至关重要。具体来说,可以采用金属屏蔽罩、屏蔽电缆等方式来隔离电磁场。金属屏蔽罩能够有效阻挡外部电磁波的侵入,而屏蔽电缆则能防止电缆内部传输的信号被外部电磁场干扰。在实施屏蔽措施时,还应注意屏蔽层的接地问题。屏蔽层必须与接地系统可靠连接,以确保屏蔽效果。若屏蔽层接地不良,不仅无法有效屏蔽电磁干扰,还可能成为新的干扰源。

2 地铁车辆电磁兼容性研究

2.1 电磁干扰的来源与传播途径

电磁干扰的来源与传播途径在地铁车辆运行环境中尤为重要。地铁车辆中的电磁干扰主要源于多个方面,其中,电气设备的开关操作是一个显著因素。当设备进行开关动作时,会产生瞬态电压和电流的变化,这些快

速的变化会引发电磁辐射,从而形成干扰源。此外,电流突变也是一个不可忽视的干扰来源,特别是在电力线路中,电流的急剧变化会产生强烈的电磁场,进而对周边设备造成影响。这些干扰信号主要通过两种途径进行传播:线路传导和空间辐射。在线路传导方面,干扰信号可能沿着电源线、信号线等导体传播,影响连接在这些线路上的设备。另一方面,空间辐射则是指干扰源产生的电磁波在空气中传播,对周围的电子设备和人身安全构成潜在威胁。特别是高频电磁波,其辐射能力强,传播距离远,因此更需引起关注。为了有效应对这些电磁干扰,必须深入了解其来源和传播途径,从而有针对性地采取措施,如合理布局电力线路、使用屏蔽材料、优化接地设计等,以提升地铁车辆的电磁兼容性,确保车辆的安全稳定运行。

2.2 提高电磁兼容性的措施

2.2.1 设备选型与配置

在地铁车辆电力线路设计中,提高电磁兼容性是确保系统稳定运行的关键环节。设备选型与配置作为其中的一项重要措施,对于减少电磁干扰、增强系统的整体性能具有显著影响。首先,设备选型是提高电磁兼容性的基础。在选择设备和元器件时,应优先考虑那些具有良好电磁兼容性的产品。这意味着这些设备不仅能在正常工作状态下保持稳定的性能,还能在电磁环境复杂的情况下,如地铁车辆内部,有效抵抗外部干扰。具体来说,可以选择那些经过电磁兼容性测试和认证的设备,这些设备在设计上通常采用了先进的电磁屏蔽、滤波等技术,以降低自身产生的电磁干扰,并提高对外部干扰的抵抗能力。其次,设备的合理配置也是提高电磁兼容性的关键。在地铁车辆内部,设备间的距离和位置关系对于电磁干扰的传播有着重要影响。因此,在配置设备时,应遵循一定的原则,如将可能产生强电磁场的设备与对电磁干扰敏感的设备分开布置,以减少相互间的干扰^[3]。同时,还可以利用金属隔板、屏蔽罩等物理隔离手段,进一步降低设备间的电磁耦合。此外,对于关键设备,如控制系统、通信设备等,还可以采用专门的电磁保护措施。例如,在设备的电源线上安装滤波器,以滤除电源线上的高频干扰信号;在设备的信号线上使用屏蔽电缆,以减少信号传输过程中的电磁泄漏和干扰。

2.2.2 线路滤波与隔离

在地铁车辆电力系统中,线路滤波与隔离技术是提高电磁兼容性的重要手段。针对关键线路,加装滤波器能够有效抑制高频干扰信号的传播,从而确保信号的纯净与稳定。滤波器的主要作用是允许有用信号的传输,

同时阻止或减小无用信号或干扰信号的通过。在地铁车辆的电力线路中,特别是在电源线路、控制信号线路等关键路径上,安装适当规格的滤波器至关重要。这些滤波器通常由电容、电感等元件构成,能够形成一个低通或带通滤波器,从而滤除高频噪声和干扰。除了滤波技术,隔离技术也是防止干扰信号通过线路传导的有效方法。隔离技术的核心思想是在电气系统中创建物理或电气上的隔离层,以阻断干扰信号的路径。在地铁车辆中,这通常通过采用隔离变压器、光电耦合器等设备来实现。这些设备能够在信号传输过程中提供电气隔离,从而确保信号的完整性和准确性。例如,在地铁车辆的控制系统中,使用光电耦合器可以有效隔离控制信号与电力线路之间的潜在干扰。光电耦合器利用光信号进行数据传输,从而在电气上完全隔离了输入和输出端,有效防止了电气噪声和干扰的传递^[4]。此外,对于电源线路,采用隔离变压器也是一个有效的隔离措施。隔离变压器不仅能够提供安全的电气隔离,还能通过调整变压器的匝数比来实现电压的变换,从而进一步减少电源线路中的谐波和干扰。

2.2.3 加强屏蔽设计

加强屏蔽设计是地铁车辆电磁兼容性提升的重要手段之一。屏蔽设计主要通过使用屏蔽材料和确保屏蔽体良好接地来减少电磁辐射对周围设备和人体的影响,进而提升整个系统的电磁兼容性。首先,使用屏蔽材料是屏蔽设计的核心。在地铁车辆的电力系统和相关设备中,广泛采用屏蔽电缆和屏蔽结构等屏蔽材料。屏蔽电缆具有金属编织层或铝箔层,能够有效阻挡电磁波的泄漏和侵入,从而降低电磁干扰。同时,对于关键设备或模块,可以采用金属屏蔽罩或屏蔽盒等屏蔽结构,将其完全或部分地包围起来,形成电磁屏蔽层,以保护内部电路免受外部电磁干扰的影响。在选择屏蔽材料时,需要考虑其导电性、磁导率、厚度和结构等因素。优质的屏蔽材料应具有良好的导电性和磁导率,以有效地吸收

和反射电磁波。此外,屏蔽材料的厚度和结构也要根据实际需求进行选择,以确保屏蔽效果的最大化。其次,屏蔽体的接地是确保屏蔽效果的关键环节。屏蔽体必须良好接地,以便将吸收的电磁波引入大地,避免在屏蔽体上形成二次辐射源。接地电阻应尽可能小,以提高接地效果。在实际操作中,可以采用多点接地或单点接地的方式,具体取决于系统的实际情况和要求。为了确保屏蔽体的接地效果,需要对接地线路进行合理设计。接地线路应尽可能短且粗,以减少电阻和电感的影响。同时,接地点的选择也至关重要,应选在屏蔽体的合适位置,以便实现最佳接地效果。加强屏蔽设计是提升地铁车辆电磁兼容性的有效方法。通过使用优质屏蔽材料和确保屏蔽体良好接地,可以显著减少电磁辐射对周围设备和人体的影响,提高整个系统的抗干扰能力。这些措施的实施将为地铁车辆的安全稳定运行提供有力保障。

结语

地铁车辆电力线路的合理布局和电磁兼容性的提高是确保地铁安全运行的关键因素。通过科学的布局原则和方法,结合有效的电磁兼容性措施,可以显著提升地铁车辆的电气系统稳定性和安全性。未来,随着技术的不断进步和标准的不断完善,地铁车辆的电力线路布局和电磁兼容性将得到进一步优化和提升。

参考文献

- [1]胡显,刘超.标准地铁车辆底架布线方案设计[J].电力机车与城轨车辆,2023,46(04):62-65.
- [2]李晓龙.地铁车辆电气布线组装工艺分析[J].门窗,2019,(18):213.
- [3]张厚宝.浅谈地铁车辆电磁兼容措施及方案[J].中国管理信息化,2022,25(08):124-126.
- [4]李鹏飞,甄伯群,薛红艳,等.某地铁车辆辅助逆变器与信号BTM天线电磁干扰分析及改进[J].铁道车辆,2023,61(02):111-114+122.