

城市轨道交通低压直流配电系统研究

安禹霖

浙江华展研究设计院股份有限公司 浙江 宁波 315000

摘要：城市轨道交通低压直流配电系统是现代城市中不可或缺的重要设施，其稳定运行对于人民出行和城市交通运行至关重要。本研究以该系统的运行与维护为重点，结合实际案例对其运行管理、故障处理、维护保养和人员培训等方面进行了深入研究。通过实地调研并总结实践经验，针对系统常见问题提出了有效的解决方案，为城市轨道交通低压直流配电系统的高效运行与管理提供了有益参考。

关键词：城市轨道交通；交通；直流供电系统；分析研究

1 城市轨道交通低压配电系统概述

城市轨道交通作为城市重要的公共交通工具，其低压配电系统在整个轨道交通系统中具有关键作用。低压配电系统主要包括变电站设备、主配电柜、分配箱和接线盒等组成部分，其作用是将高压供电系统输出的电能转变为适用于轨道交通系统各设备和设施的低压电能，以保证轨道交通设备的正常运行。变电站是城市轨道交通系统中的重要组成部分，负责将高压电能转变为适用于轨道交通系统的低压电能。变电站设备包括变压器、开关设备、保护设备等，通过这些设备将电能分配到各个需要用电设备。主配电柜是低压配电系统的核心设备，负责将变电站输出的电能通过各种保护、控制和调节设备分配到各个子系统或设备，并对电能负荷进行调控和监测。分配箱和接线盒是城市轨道交通低压配电系统中重要的配电组件，负责将主配电柜输出的低压电能分配到各个终端设备或子系统，保证各设备正常供电^[1]。低压配电系统的线路连接各个配电设备，将电能传输到各个需要用电的设备和设施。线路的布置和设计需要考虑供电负荷、电能损耗、安全性等因素。

2 低压直流供电系统的构成与原理

低压直流供电系统是一种用于输送低压直流电能的配电系统，在一些特定场合，如城市轨道交通、太阳能发电系统等领域得到广泛应用。该系统由多个组成部分构成，形成完整的电力输送网络，主要特点是电压稳定、电能损耗小、效率高，通常采用两线制或三线制结构。首先是直流发电机或逆变器，用于将交流电转换为直流电，满足直流供电系统的电能需求。其次是直流汇流主设备，负责将来自发电机或逆变器的直流电能输入到低压直流供电系统中，实现电能的汇总和分配。直流配电线路是将电能从直流汇流主设备输送到各个用电设备或装置的主要通道，线路通常采用优质导电材料制

成，以降低电阻、节省电能损耗。直流端电压稳压装置用于稳定低压直流供电系统的输出电压，提高系统的稳定性和可靠性，确保各个终端设备得到稳定的电能供应。在一些低压直流供电系统中会配备电池组或储能装置，用于电能储存和调节，以应对突发负载或非供电时间段的需要。

3 低压直流配电系统的设计

3.1 负荷计算

低压直流配电系统在设计过程中，负载计算是至关重要的一环。通过准确的负载计算，可以确定系统的电能需求，为系统的设计和运行提供基础数据，确保系统能够正常、稳定地为各个用电设备提供电能。负载种类和电流需求：需要明确系统中各种负载设备的种类、数量以及其额定功率或电流需求。根据设备的特性和使用情况，对各个负载设备的电能需求进行准确估算。负载功率计算：对于每个负载设备，根据其额定功率和使用率，计算其实际的负载功率。考虑到设备启动、运行时的峰值负载等因素，需要对负载功率进行合理的估算和计算。系统总负载计算：将所有负载设备的负载功率累加得到系统的总负载需求。在计算过程中，还应考虑系统的安全性和备用性，留有一定的余量以应对负载波动和未来负载增长的情况。负载特性考虑：除了负载功率，还需要考虑负载设备的功率因数、谐波含量等特性。根据设计要求和系统的需求，合理考虑这些因素，确保系统的功率因数和谐波含量处于合理范围^[2]。

3.2 电源设计

低压直流配电系统的设计中，电源设计是一个至关重要的环节，它涉及到整个系统电能的供应和输送。在进行电源设计时，需要考虑以下几个关键因素，在低压直流配电系统中，电源的选择至关重要。常见的电源类型包括供应交流电的逆变器、直流发电机、蓄电池组

等。设计人员需要根据系统需求和使用场景来选择合适的电源类型,确保系统的稳定供电。在设计低压直流配电系统时,需要对电源的容量进行合理规划。通过准确的负载计算和分析,确定系统所需的电源容量,确保系统在高负载时能够正常运行,并留有一定的备用容量以适应未来负载增长。电源连接方式是电源设计的一个重要方面。设计人员需要选择合适的电源连接方式,确保电源与系统各个部件能够有效连接,保证电能输送的稳定性和可靠性。低压直流配电系统的稳定性对系统的正常运行至关重要。在电源设计中,需要考虑如何提高电源的稳定性,采取相应的监测和保护措施,及时发现和解决电力故障,确保系统运行的连续性和可靠性。在某些对供电可靠性要求较高的场合,设计人员还需要考虑电源备份设计。通过配置备用电源和自动切换设备等手段,确保系统在主电源故障时能够快速切换到备用电源,保证系统的持续供电。

3.3 设备选型

低压直流配电系统的设计中设备选型是至关重要的一环,不同的设备选型将直接影响到整个系统的性能、可靠性和运行成本。在低压直流配电系统中,逆变器是将交流电转换为直流电的关键设备。设计人员需要根据系统的功率需求、效率要求、输出波形等因素来选择合适的逆变器型号和规格,确保系统的电能转换效率和稳定性。直流汇流主设备负责将电能汇总并输入到配电线路中,需要选择具有良好传导性能和高安全性的设备。设计人员需根据系统的负载需求和安全要求来选择适合的直流汇流主设备。线缆和接线设备是低压直流配电系统中起到连接和传输电能作用的重要组成部分。在设备选型时,需要考虑线缆的导电能力、耐压特性以及接线设备的可靠性和安全性,确保系统的电能输送稳定可靠。在一些低压直流配电系统中需要配置电池组或其他储能装置以实现电能的储存和调节。设计人员在选型时需考虑储能装置的容量、充放电特性、循环寿命等因素,以满足系统对电能储备和调节的需求。低压直流配电系统中的保护装置包括过载保护、短路保护、过压保护等,用于保护系统设备和负载设备免受电力故障的影响。设计人员需要选择适合系统需求的保护装置,确保系统的安全稳定运行。

3.4 线路规划

低压直流配电系统的设计中,线路规划是至关重要的一环,它关乎系统的电能传输效率、安全性和整体运行稳定性。需要确定低压直流配电系统的总体拓扑结构,包括各个组成部分之间的连接方式、配电线路的布

置方式等。设计人员应根据系统的负载要求和布置条件,选择合适的拓扑结构,确保系统的电能输送路径合理而高效。在规划线路时,设计人员需要考虑线路的长度和电阻,以控制电阻损耗并保证电能输送的有效性^[3]。通过合理规划线路长度和截面,可以降低线路的电阻损耗,提高系统的能效性和稳定性。线路的布置和绝缘对系统的安全性和稳定性至关重要。设计人员需考虑线路的敷设方式、走线路径以及绝缘保护措施,以降低线路的故障率和提高系统的运行可靠性。在线路规划中,设计人员应合理分配各个负载设备之间的电能供应,避免出现负载不均衡导致的电能浪费和设备损坏。通过负载均衡设计,可以最大程度地发挥系统的供电效能和稳定性。为了适应未来负载增长的需求,设计人员应在线路规划中考虑系统的扩展性。通过合理设计系统线路,留有足够的余地用于未来设备增加或扩展,确保系统长期稳定运行并方便后续系统维护。

4 城市轨道交通直流照明的应用

4.1 城市轨道交通照明系统的基本要求

随着科技的进步,直流照明技术因其高能效、环保性和长寿命等特点,在城市轨道交通领域中的应用越来越广泛。第一,要确保照明系统的稳定性和可靠性。在城市轨道交通环境中,照明设备需要承受各种恶劣条件,如高人流密度、频繁的使用频率以及可能的振动和冲击。因此,选择稳定可靠、耐用的照明设备至关重要。第二,要满足照明的均匀性和舒适性要求。在城市轨道交通的车站、隧道和车辆段等区域,应保证足够的照明亮度,避免眩光和阴影的产生,为乘客和工作人员提供一个舒适、安全的视觉环境。第三,要考虑到节能和环保的要求。随着能源价格的上涨和环保意识的增强,节能和环保已成为城市轨道交通建设的重要指标。直流照明技术作为一种高效的照明方式,能够在保证良好照明效果的同时降低能耗,符合节能和环保的要求。第四,还要满足紧急情况下的照明需求。在紧急情况下,如火灾或断电等,城市轨道交通直流照明系统应能提供足够的应急照明,保障乘客和工作人员的安全撤离。

4.2 直流照明技术的发展

直流照明技术作为一种高效、环保的照明方式,在城市轨道交通领域中得到了广泛应用。随着技术的不断发展,直流照明经历了从传统照明到现代高效能照明的演变。(1) 初创期:最初的直流照明技术主要是基于白炽灯。白炽灯虽然发光效率较低,但因其使用寿命长、成本低等特点,在早期城市轨道交通中仍被广泛应用。然而,白炽灯的能效低下,不符合节能环保的要求,逐

渐被淘汰。(2) 发展期: 随着科技的发展, 荧光灯和LED等新型照明技术逐渐崭露头角。荧光灯具有较高的发光效率和较长的使用寿命, 因此在城市轨道交通中得到广泛应用。LED照明则以其高效、长寿命、环保等特点, 迅速成为照明行业的新宠。此外, LED还可以实现多种光色和亮度的调节, 为城市轨道交通中的不同场景提供个性化照明方案^[4]。(3) 成熟期: 在现代城市轨道交通中, 直流LED照明已成为主流。直流LED照明具有更高的能效、更长的使用寿命和更好的稳定性, 能够满足城市轨道交通对高效、环保、安全照明的需求。此外, 随着智能照明系统的兴起, 直流LED照明还可以实现远程控制、智能调节等功能, 为城市轨道交通提供更加便捷、智能的照明解决方案。

4.3 直流照明技术在城市轨道交通中的应用

直流照明技术在城市轨道交通中得到了广泛的应用, 以下是其应用特点和优势: (1) 更经济: 直流照明配电新技术与传统照明系统相比, 直流供电照明系统将整流和驱动优化重组, 采用集中整流和分布驱动架构, 可以有效预防照明线路潮湿水浸所导致的漏电触电安全事故, 克服了传统照明系统中AC-DC电源作为整个照明系统最脆弱的高频故障点这一问题, 极大提高了灯具可靠性, 使灯具寿命得到显著提升。通过地面在线维护, 大大减少登高维修作业频次, 节约维修成本, 提升安全保障。同时, 直流供电照明系统在施工上也降低了工程量, 节省控制线缆敷设, 有效降低总体施工成本。(2) 更环保: 与交流电(AC)系统相比, 直流电(DC)系统的能效更高, 能源的转换效率达到了90%, 远高于AC系统的约60-80%。因此, 使用直流照明系统能够显著减少能源消耗和碳排放。此外, LED的能效转换率高, 且不含有害物质, 对环境友好。(3) 更安全: 直流照明系统因其较低的电压和电流, 减少了触电风险, 提高了安全性。同时, LED的稳定性强, 不易损坏, 进一步增强了系统的安全性。(4) 更智能: 随着技术的发展, 现在的直流照明系统可以实现智能控制。例如, 通过与物联网技术的结合, 可以远程控制和监控照明系统的运行状态, 实现个性化的照明需求。

4.4 直流照明系统的设计原则与注意事项

首先, 需要符合国家相关标准和规范, 同时考虑到实际应用环境的特点。在设计过程中, 应充分考虑直流电源的稳定性、灯具的光效以及照明的均匀性等因素。这些因素直接影响照明的效果和质量, 对乘客的视觉体验和安全具有重要意义。其次, 系统的节能性是一个重要的考虑因素。由于直流照明系统不需要进行能量转换, 能显著降低转换损耗, 从而提高能源利用效率。此外, 系统应具备光线感应和自动调光功能, 根据实际照明需求调节灯具的亮度和工作时间, 实现节能节电的效果。系统的灵活性也是设计时需要考虑的因素。每个灯具可以独立调节亮度, 实现个性化的照明效果。此外, 直流照明系统可以与智能控制系统结合使用, 实现智能化的照明管理。例如, 通过手机APP进行远程控制, 实时监控和管理灯具的状态和工作情况。这种智能化的管理方式不仅可以提高照明的效果和质量, 还能有效节省能源, 降低运营成本。

结束语

城市轨道交通低压直流配电系统的研究与探讨不仅是对一种设施的理论考量, 更是对城市发展的实践应用。在未来的城市规划与建设中, 我们应当注重系统运行与管理的细节, 关注系统运行的每一个环节, 以确保城市轨道交通系统的安全、高效运行。同时, 通过不断的技术创新和培训提升, 不断提高运维人员的综合素质, 为城市轨道交通的可持续发展贡献我们的力量。

参考文献

- [1] 吴延苗, 曹国祥, 鲁莹. 城市轨道交通低压配电系统谐波治理措施[J]. 科技风, 2019(24):53.
- [2] 尹超准, 赵洋洋. 城市轨道交通直流牵引供电系统直流避雷器选型研究[J]. 电气化铁道, 2020, 31(S1):170-175+183.
- [3] 赵阳, 王瑞峰, 石建等. 城市轨道交通低压直流配电系统设计探讨[J]. 现代城市轨道交通, 2021(7):43-47.
- [4] 李龙, 张帆, 李伟等. 城市轨道交通低压直流配电系统接地方式研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(6):70-74.