

城市轨道交通供电系统设计与优化研究

孙浩然

北京城建设计发展集团股份有限公司 北京 100000

摘要：城市轨道交通供电系统是确保列车正常运行的关键基础设施。本文分析了城市轨道交通供电系统的构成与原理，探讨了供电系统设计的原则、具体设计要点与优化策略，旨在提高供电系统的可靠性、安全性和经济性，为城市轨道交通的可持续发展提供有力支持。

关键词：城市轨道交通；供电系统设计；设计要点；优化策略；可靠性；安全性

引言

随着城市化进程的加速，城市轨道交通已成为缓解城市交通压力、提高出行效率的重要手段。供电系统作为城市轨道交通的核心组成部分，其设计的合理性与优化程度直接影响到列车的运行效能、乘客的安全以及运营成本。因此，对城市轨道交通供电系统进行深入研究与优化设计具有重要意义。

1 城市轨道交通供电系统构成与原理

1.1 系统组成概述

城市轨道交通供电系统是一个复杂的综合体，它涵盖了外部电源接入、主变电设施、牵引供电网络、动力与照明供电体系、电力监控以及杂散电流防护等多个组成部分。其中，牵引供电网络作为系统的核心，承担着为列车提供行驶所需的电能重任；动力与照明供电体系则负责确保车站、隧道等基础设施的电力供应稳定可靠；而电力监控系统则如同系统的“守护者”，实时监控供电系统的整体运行状况，以保障供电的连续性和安全性。

1.2 系统运行原理

供电过程始于外部电源，通过高压输电线路将电能输送至主变电设施。在主变电设施内，高压电能经过降压处理后，被分配至牵引变电设施和降压变电设施。牵引变电设施进一步将电能转换为列车牵引所需的直流电能，并通过接触网或第三轨等传输方式，将电能传递给行驶中的列车。列车通过其上的受流器与接触网或第三轨实现电气连接，从而获取驱动所需的电能。与此同时，降压变电设施则负责为车站、隧道内的照明设施、通风系统、信号设备等提供所需的交流电能，确保这些基础设施的正常运行。

2 城市轨道交通供电系统设计原则

一是安全性：确保供电系统在各种工况下都能安全可靠地运行，避免发生断电、短路等事故，保障列车及

乘客的安全。在设计中需充分考虑设备的冗余度、故障隔离措施以及应急处理能力。二是经济性：在保证安全的前提下，尽量降低建设和运营成本，提高经济效益。通过优化设备选型、减少线路损耗、提高能源利用效率等手段实现经济性的提升^[1]。三是可靠性：提高供电系统的可靠性，减少故障发生的概率和故障恢复的时间。采用高可靠性设备、优化网络结构、加强运维管理等方式提高系统的可靠性。四是可扩展性：预留足够的容量和接口，便于未来升级和扩展。随着城市轨道交通的发展，供电系统需具备灵活扩展的能力，以满足新增线路和设备的用电需求。

3 城市轨道交通供电系统具体设计要点

3.1 主变电所设计

3.1.1 选址与布局

主变电所的选址应综合考虑城市电网负荷中心、交通便利性、地质条件以及环境影响等多重因素。具体来说，应选在城市电网负荷中心附近，以缩短供电线路，减少线路损耗和电压降。同时，主变电所的选址还应便于设备的运输和维护，因此交通便利性是一个重要的考虑因素。此外，地质条件也是影响主变电所选址的重要因素，应避开地质不稳定区域，确保主变电所的安全运行。最后，主变电所的建设和运营可能会对环境产生一定的影响，如噪音、电磁辐射等，因此在选址时应充分考虑环境因素，采取必要的环保措施。

3.1.2 容量规划

主变电所的容量规划应根据线路长度、客流量、列车编组等因素进行合理确定。一般来说，城市轨道交通线路越长、客流量越大、列车编组越多，主变电所的容量就越大。为了提高供电系统的可靠性，通常应设置两所以上的主变电所，实现互为备用，确保在一所主变电所发生故障时，另一所能够迅速接替供电任务。

3.1.3 设备选型

主变电所的设备选型应遵循高效、节能、可靠的原则。变压器和开关设备是主变电所的主要设备,其性能直接影响主变电所的运行效率。因此,应选用性能优良、技术成熟的变压器和开关设备,确保主变电所的稳定运行。同时,还应考虑设备的维护性和可扩展性,便于未来的升级和扩容。

3.2 牵引供电系统设计

3.2.1 供电方式选择:

牵引供电系统的供电方式应根据城市的具体条件和要求进行选择。在我国,城市轨道交通通常采用直流供电方式,电压等级为DC750V或DC1500V。直流供电方式具有电压稳定、电流大、传输效率高等优点,适合城市轨道交通的牵引供电需求。

3.2.2 接触网设计

接触网是牵引供电系统的关键部分,其设计应充分考虑列车运行速度、线路条件、环境要求等因素。柔性接触网和刚性接触网是两种常用的接触网类型。柔性接触网具有结构简单、适应性强、维护方便等优点,适用于曲线半径较小、线路条件较复杂的区段^[2]。刚性接触网则具有结构稳定、接触良好、耐磨性强等优点,适用于曲线半径较大、线路条件较好的区段。在实际设计中,应根据具体情况选择合适的接触网类型。

3.2.3 整流装置设计

整流装置负责将交流电转换为直流电,为接触网提供稳定的直流电源。整流装置的设计应考虑整流效率、谐波抑制、功率因数等因素。为了提高整流效率,通常采用多相整流技术,如十二脉波整流、二十四脉波整流等。同时,还应采取必要的谐波抑制措施,如安装滤波器、使用有源滤波器等,以减少谐波对电网和设备的影响。此外,还应考虑整流装置的功率因数,采取必要的补偿措施,提高功率因数,降低电网损耗。

3.3 动力照明供电系统设计

3.3.1 配电网络规划

动力照明供电系统的配电网络应根据车站和隧道的用电需求进行合理规划。为了提高供电可靠性,应采用环网供电方式,即每个车站和隧道都从两个方向接入电源,形成环形供电网络。这样,在一路电源发生故障时,另一路电源可以迅速接替供电任务,确保车站和隧道的正常运营。

3.3.2 负荷计算与设备选型

动力照明供电系统的负荷计算应根据车站和隧道的用电设备种类、数量、功率等因素进行详细计算。根据负荷特性,选用合适的开关设备和配电变压器。开关设

备应具有良好的灭弧性能和操作可靠性,配电变压器应具有高效、节能、低噪音等特点。

3.3.3 照明设计

照明设计是动力照明供电系统的重要组成部分。照明设计应考虑节能、环保、舒适等因素。应采用LED等高效节能灯具,提高照明效率,降低能耗。同时,还应合理设置照明亮度和控制方式,如采用智能照明控制系统,根据车站和隧道内的实际情况自动调节照明亮度,提高照明舒适度和节能效果。

3.4 电力监控系统设计

3.4.1 系统架构

电力监控系统应采用分层分布式架构,包括设备层、采集层、通信层和应用层。设备层负责采集供电系统的各种电气参数和状态信息;采集层负责将设备层采集的信息进行汇总和处理;通信层负责将采集层处理后的信息传输到应用层;应用层负责对信息进行展示、分析和处理。各层之间应采用标准通信协议进行数据传输和交互,确保系统的兼容性和可扩展性。

3.4.2 功能实现

电力监控系统应具备数据采集、实时监控、故障报警、远程控制等功能。通过SCADA(监控与数据采集)技术实现对供电设备的集中监控和管理。数据采集功能负责实时采集供电系统的各种电气参数和状态信息;实时监控功能负责对采集的信息进行实时展示和分析;故障报警功能负责在供电系统发生故障时及时发出报警信息,提醒运维人员进行处理;远程控制功能负责对供电设备进行远程操作和控制,提高运维效率。

3.4.3 安全防护

电力监控系统应采取必要的安全防护措施,确保系统数据的安全性和完整性。应采用防火墙、入侵检测等安全防护技术,防止外部攻击和非法访问。同时,还应定期对系统进行安全检查和漏洞扫描,及时发现并修复安全隐患。此外,还应加强对运维人员的安全培训和管理,提高运维人员的安全意识和操作技能。

4 城市轨道交通供电系统优化策略

4.1 优化供电网络结构

供电网络结构的合理性是确保城市轨道交通供电系统高效、稳定运行的基础。优化供电网络结构,需要从多个维度进行综合考虑。首先,要根据线路的长度、客流量、地形等因素,科学选择供电方式。集中供电、分散供电和混合供电方式各有其适用场景。对于线路较长、客流量较大的城市轨道交通系统,集中供电方式能够更有效地管理电能分配,减少电能损耗;而对于线路较短、客流量相对

较小的系统,分散供电方式可能更为灵活、经济。在实际应用中,也可以结合线路特点和运营需求,采用混合供电方式,以充分发挥各种供电方式的优势。其次,要合理确定主变电所、牵引变电所和降压变电所的位置和数量。这需要根据城市轨道交通系统的整体布局和用电需求进行精确计算和分析。通过优化变电所的布局,可以缩短供电线路,减少电能传输过程中的损耗,同时降低投资成本^[3]。此外,还要考虑变电所之间的相互备用和协调配合。在主变电所发生故障或检修时,备用变电所应能够迅速接替工作,确保供电系统的连续性和可靠性。同时,各变电所之间应保持良好的通信和协调机制,以便在紧急情况下能够迅速响应和处置。

4.2 提升电能质量

电能质量是衡量供电系统性能的重要指标之一。在城市轨道交通供电系统中,由于存在大量的非线性负载和电力电子设备,容易产生谐波问题,影响电能质量。为了提升电能质量,可以采取以下措施:一方面,可以采用有源滤波器、无源滤波器等设备进行谐波治理。有源滤波器能够主动检测并补偿谐波电流,从而有效抑制谐波的产生和传播;无源滤波器则通过设计合理的电路结构,对特定频率的谐波进行滤除。通过合理配置和使用这些滤波器设备,可以显著提高电能质量。另一方面,还可以通过优化整流装置的设计和运行参数来降低直流电源的脉动量。整流装置是城市轨道交通供电系统中的关键设备之一,其性能直接影响直流供电的质量。通过采用先进的整流技术和优化运行参数,可以减小直流电源的波动范围,提高供电的稳定性。

4.3 引入智能监控技术

随着信息技术的不断发展,智能监控技术在城市轨道交通供电系统中的应用越来越广泛。通过安装传感器、采集终端等设备,可以实现对供电系统的实时监控与预警。这些设备能够实时采集供电系统的各种电气参数和状态信息,为后续的数据分析和处理提供基础。运用大数据分析和机器学习算法对采集到的数据进行分析 and 处理,可以提取有用信息,诊断设备的健康状况,预测可能出现的故障^[4]。例如,通过对历史数据的挖掘和分析,可以建立设备故障预测模型,对设备的运行状态进行实时监测和评估。一旦发现设备存在异常或潜在故障,可以及时发出预警信号,提醒运维人员进行检修和

处理。智能监控技术的应用可以显著提高故障诊断和维修效率,降低运维成本。通过实时监控和预警,可以及时发现并处理设备故障,避免故障扩大和蔓延,确保供电系统的稳定运行。同时,智能监控技术还可以实现远程监控和管理,提高运维的便捷性和效率。

4.4 采用节能技术

节能是城市轨道交通供电系统优化的重要方向之一。通过采用先进的节能技术,可以降低能耗,提高能源利用率,降低运营成本。针对直流供电系统,可以采用斩波调压技术和再生制动技术实现节能优化。斩波调压技术通过调节斩波器的导通角来实现对直流电压的调节,从而根据实际需求调整供电电压,降低能耗。再生制动技术则利用列车制动时产生的能量进行回收利用,将其转化为电能或其他形式的能源,提高能源利用率。针对交流供电系统,可以采用变频调速技术和直线电机牵引技术实现节能优化。变频调速技术通过调整电机的转速来匹配负载的变化,避免电机在轻载或空载时浪费能源。直线电机牵引技术则利用直线电机直接产生推力来驱动列车运行,减少了传统牵引系统中的传动机构和能量转换环节,提高了能源利用效率。

结语

城市轨道交通供电系统的设计与优化是一个综合性的系统工程,需要综合考虑各种因素,采用先进的技术和策略。通过明确设计原则、细化设计要点和优化设计策略,可以提高供电系统的可靠性、安全性和经济性。未来随着科技的不断进步和城市轨道交通的快速发展,供电系统的优化设计将更加注重智能化、绿色化和可持续性发展。相信在不久的将来,更加智能、高效、可靠的供电系统将为城市轨道交通的可持续发展提供有力支持。

参考文献

- [1]陈宇星.浅谈城市轨道交通供电系统的设计与运用[J].科技风,2019,(05):8.
- [2]杨进,城市轨道交通直流供电系统设计与研究.安徽省,安徽中电兴发与鑫龙科技股份有限公司,2022-09-03.
- [3]何斌,张华志,温建民,等.城市轨道交通智能供电系统框架及功能设计[J].现代城市轨道交通,2022,(08):80-83.
- [4]李慰萱,城市轨道交通供电系统设计与施工新技术的研究与应用.上海市,上海宝冶集团有限公司,2021-09-17.