

城市轨道交通供电系统的供电方式探讨

袁 景

中铁(上海)投资有限公司 上海 200120

摘 要:城市轨道交通供电系统是确保城市交通流畅运行的关键基础设施之一,本研究详细分析了轨道交通供电系统的组成及其在城市轨道交通中的重要性,探讨了供电方式的多样化和供电系统中存在的主要技术挑战。文章进一步讨论了绿色能源集成、自动化与数字化的应用及技术创新对提高供电系统效率和可靠性的影响。同时还分析了现有技术的限制并提出了一系列改进措施,旨在提高供电系统的整体性能和可靠性。

关键词:城市轨道交通;供电系统;绿色能源;自动化;技术创新

引言:城市轨道交通供电系统作为现代城市交通结构的重要组成部分,其性能直接影响到城市轨道交通的安全、稳定与效率。随着城市化进程的加速对轨道交通的供电系统提出了更高的要求,包括高效率、高可靠性。因此本研究旨在分析当前供电系统中存在的主要问题,并探索如何通过技术创新和管理策略来解决这些问题,研究涉及的关键方面包括供电系统的基本组成、主要功能及其对城市轨道交通的支持作用。通过对供电方式进行深入研究,本文提出了一系列创新措施,以期提升供电系统的整体表现和可持续性。

1 城市轨道交通供电系统概述

城市轨道交通供电系统的核心组成之一是中压供电网络,该网络负责将高压电能转换为适用于城市轨道交通的中压电能。中压供电网络包括变电站、开关站以及相应的配电设施,通过中压电缆将电能输送至各个牵引变电所和动力照明变电所。该网络通常采用环网供电方式提高供电的可靠性与灵活性,在实际运行过程中主变电所通常将110kV的高压电源降压至35kV的中压电源,而末端电压损失控制在不超过额定电压值的5%以内确保供电质量。中压供电网络的设计采用多种保护策略如瞬态过电压保护和持续过电压保护,以防止电压波动对轨道交通系统造成影响。此网络的运行效率直接影响到整个城市轨道交通系统的运行稳定性,故对其性能和可靠性的要求极高。在过去的统计数据中通过引入先进的监测和诊断技术,中压供电网络的故障率已经降低了30%,有效提高了系统的整体稳定性和安全性。通过对中压供电网络的深入分析,可以发现其对于城市轨道交通的顺畅运营至关重要也是提升系统整体性能的关键点之一。

2 供电系统设计与优化

2.1 供电网络配置

在城市轨道交通供电系统中牵引供电系统是确保列

车运行的关键组成部分,该系统主要由牵引变电所和牵引网两部分构成,其核心功能是将中压电源转换为适用于列车运行的直流电,牵引变电所通过将35kV的中压电转换为1500V或750V的直流电供给整个牵引网络。牵引网则通过接触线和其他导电设备,直接为行驶中的列车提供必要的电能,为确保电能转换和输送的高效率与安全性,牵引供电系统采用了多项先进技术,包括自动电压调节和断电保护机制,自动电压调节系统能够根据列车运行状态和电网负荷自动调整输出电压,保证供电稳定性;断电保护机制则在电路发生故障时迅速切断电源防止事故扩散。实际应用中牵引供电系统的可靠性对整个城市轨道交通的正常运营至关重要,相关研究表明牵引供电系统的故障率低于0.5%,显示出该系统的高稳定性和安全性^[1]。

2.2 能源管理与优化技术

动力照明供电系统在城市轨道交通中扮演着至关重要的角色,它主要负责为车站、隧道以及其他轨道设施提供关键的照明和动力支持。该系统包括降压变电所和动力照明配电网络,其中降压变电所的作用是将中压电源转换为220V或380V的低压电源,然后通过配电网络将电能有效地分配至各类车站照明和动力设备。为确保供电的稳定性和安全性系统配备了过电压保护、断路器及故障自动隔离等多项安全设施,这些设施增强了系统对异常状态的快速响应能力。在设计动力照明供电系统时还特别考虑了能效与环保要求,例如采用能效更高的LED照明技术替代传统照明设备,这不仅减少了能源消耗也降低了运维成本。据数据统计通过这些优化措施轨道交通系统的整体能耗已经可以降低约20%,显著增强了能源利用效率及系统的经济性。同时系统在故障发生时的响应时间已经缩减至10分钟以内,极大提升了故障处理的速度和系统的整体可靠性。这些特点和措施共同确

保证了城市轨道交通的动力照明供电系统能够高效、稳定并环保地运行，从而支持城市交通网络的持续发展和安全运营。

2.3 现代化改进措施

电力监控系统在城市轨道交通供电系统中起着至关重要的作用，它通过高级的监控和管理技术，确保供电系统的稳定性和安全性。该系统利用先进的信息技术和自动化设备对供电网络进行实时监控和控制，包括电压、电流、频率及其他关键参数的实时数据采集与分析。电力监控系统的核心是其监控中心，该中心通过收集来自变电站、开关站及供电线路的数据，实现对整个供电系统的状态评估和故障预警。此系统集成了故障诊断技术，能在初期阶段检测到潜在的供电问题，从而通过自动或半自动控制措施迅速应对，极大地降低了系统故障的影响范围和持续时间。监控系统还包括了能源管理功能，该功能通过优化供电模式和负荷分配提高能源使用效率。例如系统能自动调整负载分配和电源配置，以响应实时的能耗需求和市电供应状况。根据最新的技术报告电力监控系统的实施能够提高供电可靠性至99.9%，且系统的响应时间从几分钟降低到数秒内，有效地优化了运行成本和系统运行安全^[2]。

3 供电系统运行中的技术挑战

3.1 维护与故障诊断技术

在城市轨道交通供电系统中，中压供电网络扮演着核心角色，关键在于其能够有效地将高压电转换为适用于轨道交通的中压电，确保整个系统的平稳运作。中压供电网络包括多个组成部分，如变电站和配电网络这些设施负责将35kV或以上的电压降低至10-35kV，进而通过广泛的配电网将电力输送到城市各个角落。通过这种方式中压供电网络为轨道交通提供了一个高效且稳定的电力供应源。例如一个标准的城市轨道交通系统可能包含有10个以上的变电站，每个站可处理高达50MW的电力确保电力供应的连续性和可靠性。系统中的自动化保护和监控设施如自动电压控制和故障隔离系统，进一步增强了网络的稳定性减少了因电力故障引起的服务中断。中压供电网络设计中还考虑到了冗余设计的重要性，通过设置双电源或环网供电系统来提高系统抗故障能力，从而在主供电线路出现问题时，能自动切换到备用系统保证供电不间断。根据近期研究数据通过这种设计供电可靠性可提高至99.98%，显著提升了城市轨道交通系统的整体运行效率和安全性。

3.2 电气安全与防护措施

在城市轨道交通供电系统中电气安全是核心优先

级，涉及到一系列复杂的防护措施旨在全面保护乘客和设施安全。为了实现这一目标系统广泛采用断路器、接地系统、过载保护以及绝缘监测设备等技术。所有电气设备的设计与实施都严格遵守IEC 61850国际标准，以确保设备即便在极端环境下也能保持稳定运行。特别是通过使用防火材料和短路保护装置，显著降低了系统潜在的火灾风险，在接地系统设计中系统采用高标准的接地电阻值控制在不超过1欧姆，有效地在电气故障发生时引导过多电流至地面，极大地减少了电击事故的风险。同时系统还配备有高级的绝缘监测系统，该系统能实时监控电路的绝缘状况一旦检测到绝缘性能降低，系统将自动发出警报并迅速切断电源，从而确保不会发生电气漏电或其他形式的危险。这些综合性措施构成了一个多层次的安全防护网络，大大增强了整个供电系统的可靠性，并显著提高了运营的安全性，这种全方位的安全策略确保了城市轨道交通系统能在各种条件下安全、有效地运行^[3]。

3.3 高效能源利用策略

提升能源效率涉及到多个方面，包括优化电能的供给、应用高效电机与变频器技术，以及部署能量管理系统来减少不必要的能源消耗。例如采用先进的变频技术可以有效调节电动机的运行速度，使其更好地适应实际的负载需求，这种技术已被证实能够实现平均约20%的能源节约。再生制动技术不仅使列车的制动过程更加平稳安全，还能将制动过程中产生的能量转换为电能并回馈至电网中，实际应用显示该技术能够回收超过30%的列车运行能量，从而显著降低整体能耗。能量管理系统的实施能够实时监控整个系统的能耗情况，并通过智能算法进行能源分配与消耗的优化，确保系统始终在最佳的能效状态下运行。通过这些综合的高效能源利用策略，城市轨道交通系统不仅显著降低了运营成本，还有效地推动了城市的可持续发展，优化了城市的能源结构并减少了对环境的负担。这一全面的策略实施结果表明，提升能源利用效率是提高城市轨道交通系统性能和可持续性的关键路径。

4 供电系统的技术应用与策略

4.1 绿色能源集成策略

随着环境保护的需求日益增强，传统的化石燃料依赖逐渐被可再生能源所替代，如太阳能、风能和生物质能等。这些绿色能源的集成不仅有助于减少碳排放，还能提高能源的供应安全性和经济效益。通过在车站和周围建筑安装太阳能光伏板，可以直接将太阳能转换为电能用于站内照明、广告屏和基础设施运行。统计数据显

示光伏系统的引入可以减少约30%的电能需求,这对于大规模运营的城市轨道交通系统而言,意味着显著的经济节省和环境贡献。进一步地通过设置高效的能量存储系统,如电池储能可以在能源供应过剩时储存电力,并在高峰时段或紧急情况下供电,保证系统的能源供应稳定性。这种策略不仅优化了能源的使用效率,而且通过智能管理系统实现了能源消耗与需求之间的最佳匹配,有效降低了运营成本和环境影响^[4]。

4.2 自动化与数字化技术的实际应用

自动化与数字化技术在城市轨道交通供电系统中的应用,正成为提高运营效率和服务质量的关键,通过引入先进的自动化技术和数字化管理系统,可以实现供电系统的实时监控、故障诊断、维护管理和数据分析。自动化系统如智能变电站,可以无需人工干预而自动调节电力流,优化电网的负荷分配减少能耗,并在检测到任何异常时立即响应,极大提升了系统的响应速度和故障处理能力。数字化技术的核心在于数据的实时收集与分析,通过安装传感器和使用大数据分析技术,系统可以收集关于电流、电压、温度等详细数据对系统运行状态进行全面监控。采用云计算平台处理和存储从数千个传感器收集的数据,能够对系统的运行趋势进行预测,优化维护计划和能源管理策略。实施这些技术可以大幅提升安全标准,通过持续监控确保电气系统不会因超负荷或设备老化而造成事故。

4.3 技术创新与效率提升

随着科技的快速发展,多项新技术被开发并应用于轨道交通系统中以提升其性能和可靠性。其中使用高效率的电力转换技术,如硅碳功率器件已被证实可以大幅提高电力转换效率降低能耗和散热问题,这些器件在承受高电流和高压条件下依然能保持较低的能耗,显著提

升了供电系统的整体性能。此外采用模块化电气设备设计,可以快速替换和升级系统中的老化部件,减少维护时间提高系统整体的可靠性和灵活性。另一方面技术创新还包括开发智能算法,通过机器学习分析历史运维数据,预测设备故障和系统需求,从而提前进行调整或维护,最大限度地减少运营中断。这些技术创新不仅增强了供电系统的经济性和可靠性,也为城市轨道交通系统提供了更为高效和环保的运营方式^[5]。

结论:本文通过深入分析城市轨道交通供电系统,探讨了其组成、运行风险以及对应的管理策略。重点讨论了绿色能源的集成、自动化技术的应用及技术创新对提高供电系统效率的贡献,结合实际数据和案例分析本研究强调了采用现代技术和策略的重要性,这些技术和策略能够显著提升供电系统的稳定性、效率和环境友好性。通过智能化和数字化转型不仅可以优化能源使用,还能确保城市轨道交通系统的可持续发展为乘客提供更安全、可靠的服务。

参考文献

- [1]韦唯.如何防范城市轨道交通供电系统风险[J].人民公交,2024,(04):39-43.
- [2]陈明,成志远,刘祥辰,等.城市轨道交通三相交流牵引供电系统可靠性研究[J].中国新技术新产品,2024,(04):71-74
- [3]韦唯.城市轨道交通智能化牵引供电系统关键技术[J].人民公交,2024,(02):59-63.
- [4]燕振刚,田广辉,陈显志.城市轨道交通牵引供电系统专用轨回流技术综述[J].现代城市轨道交通,2024,(01):52-59.
- [5]李立新,房慧辰,赵伟浩,等.城市轨道交通供电系统风险分析与防范研究[J].现代职业安全,2023,(12):92-95.