

城市轨道交通高压供电系统节能研究

唐丽华 徐杨文 毛一帆

宁波市轨道交通集团有限公司运营分公司 浙江 宁波 315000

摘要：市轨道交通高压供电系统作为关键能源支撑，其节能降耗至关重要。通过优化主变电所布局与变压器选型、高压供电网络结构、应用高效节能设备和技术，如无功补偿与滤波、智能调控、再生制动能量回收等，结合构建节能管理保障体系、加强设备维护管理、推广节能技术知识等措施，实现高压供电系统的节能降耗，推动城市轨道交通向更加环保、低碳的方向发展。

关键词：城市轨道交通；高压供电系统；节能研究

引言：城市轨道交通作为现代城市交通的骨干，其高压供电系统的节能降耗对于提升运行效率、减少能源消耗具有重要意义。本文将从高压供电系统的核心组成、节能措施、技术应用及综合管理等方面，深入探讨城市轨道交通高压供电系统的节能策略与实践，旨在为推动城市轨道交通向更加绿色、低碳的方向发展提供参考与借鉴。

1 城市轨道交通高压供电系统概述

城市轨道交通作为现代城市交通体系的重要组成部分，以其高效、便捷、环保的特点，日益成为缓解城市交通拥堵、提升城市运行效率的关键手段。在这一复杂而精细的交通网络中，高压供电系统扮演着至关重要的角色，它是整个轨道交通系统运行的能量源泉，直接关系到列车运行的安全性与稳定性。（1）城市轨道交通高压供电系统的核心在于主变电所，这一环节如同整个供电系统的“心脏”，负责将城市电网输送来的高压电能（通常为110kV或220kV等级）进行降压转换，以满足轨道交通系统的特定需求。转换后的电压等级通常为35kV或10kV，这些电能随后通过精心布局的高压电缆线路，如同城市的“电力动脉”，高效地输送到各个站点和区间，为整个轨道交通网络提供持续稳定的电力支持。（2）高压电缆线路作为连接主变电所与牵引供电系统的桥梁，其设计、选材与铺设均需严格遵循行业标准与安全规范，以确保电能传输的高效与安全。电缆线路不仅要承受高电压、大电流的长期作用，还需具备良好的绝缘性能与耐候性，以应对复杂多变的城市场环境。此外，为了减少电能传输过程中的损耗，提高能源利用效率，电缆线路的阻抗设计与敷设路径优化成为关键技术难题，需要综合考虑地形地貌、电磁干扰、热效应等多重因素。（3）牵引供电系统则是直接为列车提供动力的关键环节，它通常由接触网（或第三轨）、馈电线、隔

离开关、断路器、避雷器等设备组成，形成一个复杂而精密的供电网络。在这一系统中，接触网（或第三轨）作为列车获取电能直接媒介，其结构设计与材料选择直接关系到列车运行的平稳性与安全性。为了确保供电的连续性与可靠性，牵引供电系统还需配备先进的保护与控制系统，实时监测电流、电压等关键参数，一旦发现异常立即启动保护措施，避免故障扩大，保障列车安全运行。（4）面对日益增长的能源消耗与环境保护压力，城市轨道交通高压供电系统的节能降耗成为行业关注的重点。一方面，通过技术创新，如采用更高效的变压器、优化电缆线路设计、应用智能调度系统等措施，减少电能传输与转换过程中的损耗；另一方面，积极探索可再生能源的接入与利用，如太阳能光伏发电、风能等，为轨道交通系统提供绿色、可持续的能源补充，推动城市轨道交通向更加环保、低碳的方向发展^[1]。

2 高压供电系统节能措施

2.1 主变电所布局与变压器选型优化

主变电所作为高压供电系统的“心脏”，其布局与变压器的选型对节能降耗具有决定性影响。（1）在布局规划上，应综合考虑城市轨道交通线路的特点、负荷分布情况以及未来发展规划，将主变电所尽量设置在负荷中心或线路交汇处，以减少电能传输距离，降低线路损耗。这一策略不仅有助于提升供电效率，还能在紧急情况下快速调配电力资源，增强系统的应急响应能力。（2）在变压器选型方面，需紧密结合实际用电负荷与供电需求，进行精确计算与分析。选择适当容量的变压器至关重要，过大容量的变压器在轻载或空载状态下会产生显著的铁损和铜损，增加能耗；而容量过小则可能导致供电不足，影响列车正常运行。因此，应根据历史负荷数据、未来负荷预测以及峰谷时段负荷变化，采用动态规划等方法，确定最优的变压器容量与组合方案，实

现节能降耗的目标。(3)还应关注变压器的能效等级,选择高效节能型变压器,如非晶合金铁心变压器等,这些新型变压器在材料选择、结构设计上进行了优化,能够显著降低空载损耗和负载损耗,提升整体能效。

2.2 高压供电网络结构优化

优化高压供电网络结构是降低线路损耗、提升供电效率的有效手段。(1)在接线形式上,环网式接线因其灵活性和可靠性,成为城市轨道交通高压供电系统的优选方案。通过构建环网结构,可以实现电力资源的灵活调度和故障快速恢复,减少因单点故障导致的供电中断。同时,环网结构还能有效减少电缆数量,降低投资成本,提升经济效益。(2)在电缆敷设方式上,应尽量避免迂回敷设,采用直线或最短路径敷设,减少线路长度,从而降低线路损耗。此外,还应考虑电缆的敷设深度、土壤电阻率等因素,合理设计电缆接地系统,减少接地电阻,提高供电系统的安全性和稳定性。(3)随着智能电网技术的发展,高压供电网络结构的优化还可以借助物联网、大数据等技术手段,实现电力负荷的实时监测、预测与调度。通过构建智能电网平台,可以实现对高压供电系统的全面监控和智能化管理,进一步提升节能降耗效果。

2.3 高效节能高压设备的应用

(1)在高压供电系统中,高效节能设备的应用是降低能耗的关键。除了前文提到的高效节能变压器外,还应推广使用节能型高压开关设备,如真空断路器、SF₆气体绝缘开关等,这些设备具有体积小、重量轻、维护简单、寿命长等优点,且能显著降低开关过程中的能耗。

(2)在照明系统方面,应大力推广使用LED灯具等高效节能照明设备。LED灯具具有发光效率高、能耗低、寿命长、环保无污染等优点,能够显著降低照明系统的能耗。同时,通过智能照明控制系统,可以根据环境光线、人流密度等因素自动调节照明亮度,实现更加精细化的节能管理。(3)再生制动能量回收装置的应用也是降低能耗的重要途径。在城市轨道交通系统中,列车制动时会产生大量的能量,如果这些能量能够被有效回收并重新利用,将极大地提升能源利用效率。再生制动能量回收装置通过将列车制动时产生的电能转换为直流电,再将其反馈到电网中供其他列车使用或存储于储能设备中,实现了能量的循环利用^[2]。

3 高压供电系统节能技术应用

3.1 无功补偿与滤波技术

无功补偿与滤波技术是改善高压供电系统功率因数、优化波形质量的重要技术手段。在电力系统中,无功功率的流动不仅会增加电网损耗,还会影响电压质量

和稳定性。因此,通过安装无功补偿装置,如静止无功补偿器(SVC)、静止无功发生器(SVG)等,可以动态地补偿电网中的无功功率,提高功率因数,减少无功电流在电网中的流动,从而降低电网损耗。滤波装置,如有源电力滤波器(APF)、无源电力滤波器(PPF)等,则主要用于滤除电网中的谐波电流。谐波电流不仅会导致电网损耗增加,还会对电气设备造成损害,影响供电质量。通过安装滤波装置,可以有效地滤除谐波电流,改善波形质量,保护电气设备的正常运行。无功补偿与滤波技术的应用,不仅提升了高压供电系统的能效水平,还改善了电网的电压质量和稳定性,为城市轨道交通的安全、稳定运行提供了有力保障。

3.2 智能调控技术

智能调控技术是高压供电系统节能降耗的重要手段之一。通过远程抄表设备、SCADA(监控与数据采集)系统等智能化软件技术,可以实现对高压供电系统的实时监测与精细化管理。这些系统能够采集电压、电流、功率因数等关键参数,并进行数据分析与处理,为供电系统的优化调度提供科学依据。智能调控技术的应用,使得供电系统能够根据实际需求进行动态调整,如根据负荷变化调整变压器分接头位置、根据电压波动调整无功补偿装置的输出等,从而实现节能降耗的目标。此外,智能调控技术还能够提高供电系统的稳定性和可靠性,减少因故障导致的停电时间,提升乘客的出行体验。随着物联网、大数据、云计算等技术的不断发展,智能调控技术将更加智能化、自动化,能够实现更加精细化的管理与优化调度。例如,通过构建智能电网平台,可以实现对高压供电系统的全面监控和智能化管理,进一步提升节能降耗效果。

3.3 再生制动能量回收技术

再生制动能量回收技术是城市轨道交通中一项具有创新意义的节能技术。在列车制动过程中,会产生大量的能量,如果这些能量能够被有效回收并重新利用,将极大地提升能源利用效率。再生制动能量回收装置通过安装在列车上的能量转换装置,将列车制动时产生的机械能转化为电能,并将其反馈到电网中供其他列车使用或存储于储能设备中。再生制动能量回收技术的应用,不仅降低了能耗和环境污染,还实现了能源的循环利用和可持续发展。未来,随着储能技术的不断发展,再生制动能量回收装置将更加高效、可靠,能够将更多的制动能量转化为电能重新利用。

4 节能综合管理措施

4.1 构建节能管理保障体系

构建节能管理保障体系是实现高压供电系统节能目标的基石。这一体系不仅涉及制度的建立和完善,更需形成一套有效的运行机制和监督机制,确保节能工作的持续推进和效果评估。(1)制定全面的节能管理办法是首要任务。该办法应明确节能工作的总体目标、基本原则、职责分工及实施步骤,确保节能工作有章可循、有据可依。节能目标应具体量化,如设定年度节能率、减少碳排放量等,以便进行成效评估。同时,办法中应明确各部门、各岗位的节能职责,确保责任到人,形成合力。(2)建立节能奖励考核办法是激发节能工作动力的关键。通过设立节能奖励基金,对在节能工作中表现突出的个人或团队给予物质和精神奖励,以此激励全员参与节能的积极性。同时,建立节能考核机制,将节能工作纳入绩效考核体系,对未能完成节能指标的部门或个人进行问责,形成有效的约束机制。(3)构建节能信息交流平台也是保障节能工作顺利进行的重要一环。通过定期召开节能工作会议、发布节能工作简报等方式,及时分享节能工作进展、经验和问题,促进各部门之间的沟通与协作,形成上下联动、左右协同的节能工作氛围。

4.2 加强高压设备维护与管理

高压设备的维护与管理是确保高压供电系统稳定运行、降低能耗的关键环节。建立健全设备维护管理制度,是实现这一目标的基础。(1)应明确设备维护的周期、内容、标准及责任人。根据设备的运行特性和使用条件,制定合理的维护计划,确保设备得到及时、有效的维护。维护内容应包括设备的清洁、检查、测试、维修等方面,确保设备处于良好的运行状态。同时,制定详细的维护标准,确保维护工作的质量和效果。明确责任人,确保每项维护任务都有专人负责,避免责任不清、推诿扯皮的现象发生。(2)采用先进的检测技术和工具,实时监测设备运行状态,是预防设备故障、降低能耗的有效手段。通过安装在线监测装置,实时监测设备的电压、电流、温度等关键参数,及时发现并处理潜在故障隐患。同时,利用大数据分析技术,对设备运行数据进行深入挖掘和分析,预测设备寿命、故障趋势等,为设备维护提供科学依据。(3)对于老旧设备,应进行评估与更新改造。通过对设备的能效、安全性、可靠性等方面

进行综合评估,确定是否需要更新改造。对于能效低、故障率高的老旧设备,应及时进行更新改造,采用能效更高的新型设备,提升系统整体能效水平^[3]。

4.3 推广高压节能技术知识

推广高压节能技术知识是提高节能意识、促进节能技术应用的重要途径。通过多种形式的活动和渠道,向从业人员和公众普及高压节能技术和知识,是提升节能意识的关键。(1)应举办讲座、培训班等活动,向从业人员普及高压节能技术和知识。邀请行业专家、学者进行授课,讲解高压节能技术的原理、应用案例及效果评估等,提升从业人员的专业素养和节能意识。同时,组织参观学习活动,让从业人员亲身体验和了解高压节能技术的应用效果,激发其学习和应用节能技术的积极性。(2)通过媒体、网络等渠道,向公众宣传节能的重要性和必要性。利用电视、广播、报纸等传统媒体,以及微博、微信、短视频等新媒体平台,发布节能知识、案例分享等内容,引导公众树立节能意识,养成节能习惯。同时,结合城市轨道交通的特点和实际情况,开展节能宣传活动,如节能周、节能月等,通过互动体验、知识竞赛等形式,吸引公众关注和参与节能工作。

结束语

综上所述,城市轨道交通高压供电系统的节能降耗是提升运营效率、促进可持续发展的关键所在。通过优化主变电所布局与变压器选型、改善高压供电网络结构、应用高效节能设备及技术,以及构建完善的节能管理体系,我们可以有效降低能耗,提升能源利用效率。未来,随着技术的不断进步和创新,高压供电系统的节能工作将迈向更高水平,为城市轨道交通的绿色发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]普金龙.轨道交通高压供电设备的技术管理探究[J].2020(01).26-34.
- [2]冯宝凤.高压供电系统设备管理维护研究与应用[J].科技风.2019(01).40-55.
- [3]李剑,刘孟恺,高宏.市域轨道交通牵引供电制式的选择与优化[J].城市轨道交通研究,2019(6).101-122.