

轨道交通车站供配电系统运维优化探析

刘英豪

(济南轨道交通集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 轨道交通车站供配电系统是保障运营安全与稳定的核心基础设施。随着线路密度增加与运行强度加大, 传统供配电系统在智能化水平、故障响应能力和管理效率等方面逐渐暴露出短板。在新技术驱动下, 优化运维策略、提升系统可靠性成为当前发展的关键。本文指出通过融合智能化运维手段、引入大数据与物联网技术, 并强化人员专业能力建设, 可有效提升系统运行效能与安全水平, 为轨道交通高质量发展提供有力支撑。

关键词 轨道交通; 供配电系统; 运维优化; 技术创新; 安全保障

中图分类号: U239.5; U223

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.041

0 引言

随着城市轨道交通系统向规模化、复杂化、高密度方向发展, 车站供配电系统的重要性愈发突出。供配电系统不仅关系到整个交通网络的能源供应与基础保障, 更直接影响列车运行、乘客服务以及车站日常运营的安全性与稳定性。在高负荷、全天候运行环境下, 供配电系统面临着设备老化、环境干扰、管理模式滞后等多重挑战。特别是在当前能源结构调整与信息技术快速发展的背景下, 如何实现供配电系统的高效运维与风险防控, 已成为轨道交通领域亟待解决的关键问题。借助技术手段推动系统设计升级与运维管理模式革新, 是实现供电系统稳定运行、提高服务品质和保障运营安全的现实路径。

1 轨道交通车站供配电系统的基本构成与运行原理

1.1 轨道交通车站供配电系统概述

轨道交通车站的供配电系统是保障列车运行、设备运作和乘客服务正常进行的核心能源支持体系。其主要功能包括电力的引入、变压、分配和终端供电, 构成轨道交通运行体系的关键支柱。系统通常从城市公共电网接入双路高压电源, 通过主变电站完成降压和稳压, 再输送至各车站配电室, 最终为各类用电设备供能。考虑到轨道交通运行的高密度、高强度与高安全性要求, 该系统需具备良好的稳定性、抗干扰能力和应急供电功能, 能够在复杂环境下维持持续供电并快速响应突发故障。

1.2 系统设计的关键要素

轨道交通车站供配电系统的设计必须兼顾安全性、可靠性、经济性和可维护性, 在多项关键因素之间取得科学平衡。首先, 电源接入的可靠性至关重要, 需

配置双电源自动切换装置, 以保障任一电源故障时系统仍能持续运行。其次, 对不同等级负荷的分类供电也是核心设计原则, 确保一级关键负荷在紧急状态下仍然稳定供电。同时, 车站内部空间资源有限, 变配电科学的布局对于提升系统效率和降低能耗具有现实意义^[1]。此外, 保护与监控系统的完善也是设计重点, 通过故障检测、自动报警和远程控制功能提升系统的智能化水平。在当前绿色低碳发展背景下, 供配电系统设计还需融入节能理念, 引入高效设备与智能节能控制技术, 实现可持续运维。

1.3 供配电系统的运行原理与工作流程

轨道交通车站供配电系统的运行遵循集中供电、分层控制和就地保护的基本原则, 确保电力输送稳定、安全与高效。运行过程中, 首先由城市电网引入双回高压电源接入车站主变电站, 通过变压器将高压电转换为适用的中低压电力。随后, 经由高低压开关设备分送至信号、车控、照明、通风空调等多个用电系统, 实现多点精准供电。运行中, 依托 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition, 数据采集与监视控制) 等自动化系统开展电力参数实时采集与远程监控, 可实现对运行状态的全程掌控与预警响应^[2]。在遇到故障、电压波动或外部突发事件时, 系统能够快速切换备用电源, 重新配置负载, 最大限度保障车站运营连续性与设备安全。

2 轨道交通车站供配电系统的运维管理现状

2.1 运维管理的基本理念与目标

轨道交通作为城市公共交通的核心载体, 其运行效率与服务质量高度依赖于供配电系统的稳定支持。车站作为线路中的重要节点, 承载着多种关键电力负

荷,包括列车牵引、通信信号、车站照明、通风空调、安防监控等,任何电力中断或运行异常都可能引发系统性的服务中断。因此,构建科学、高效、可持续的运维管理机制,成为支撑轨道交通安全运营的必要条件。

在理念构建方面,当前供配电系统运维管理广泛引入“全生命周期管理”思路。该理念强调对设备从设计、采购、安装、调试、运行到报废全过程的闭环管理,注重设备技术状态与运行环境的动态适配。在这一基础上,现代运维不仅聚焦于故障排查和修复,更侧重于通过状态评估、趋势预判和数据分析提前干预,减少运行中的不确定性,提升整体可靠性和资源配置效率。

2.2 现行运维模式与管理措施

1. 目前,轨道交通供配电系统普遍采用“集中管理、属地执行”的组织架构。运维管理中心对全网供电系统实行统一调度与技术指导,各车站或片区设置专门的维护班组,承担设备检查、数据记录、日常操作及应急处理任务。这种组织形式有助于保障调度统一性与现场执行力之间的平衡,同时便于管理制度的落实与技术规范的传达。

2. 日常运维工作以人工巡检与周期性维护为主要手段。巡检任务覆盖高低压配电设备、变压器、电缆线路、应急电源及保护装置等多个环节,通过定点巡查与关键参数记录掌握设备运行状态。在此基础上,还需开展周期性电气检测,如局部放电测试、热成像扫描、电气绝缘试验等,用以发现设备老化趋势或潜在安全隐患。

3. 在管理措施方面,设备履历台账制度、故障统计分析机制和维保计划执行评估体系构成了支撑日常运维的重要基础。通过台账记录设备使用年限、维护频率、故障类型与更换记录,能够为系统更新和风险控制提供决策依据^[3]。

2.3 运维优化的重要性

随着轨道交通网络规模不断扩大,供配电系统的运行环境呈现出高密度、高负荷、高复杂度的特征。设备布局日益多元、技术类型不断更替、运行节奏持续加快,对运维工作的专业化程度与管理水平提出了更高的要求。在这种背景下,传统以“被动维修”为主的运维模式难以充分满足对供电连续性、安全性与可控性的全方位需求。为适应这种变化趋势,运维管理亟须向主动预防、智能感知与协同决策方向转型。通过建立运行状态动态评估机制,实现从“事后维修”向“状态维护”“预测维护”转变,能够在潜在问题形成前予以识别和干预,从源头降低系统运行风险。

信息化平台的广泛应用也为运维优化提供了坚实支撑,通过集成设备运行数据、检修记录、故障报警与专家知识库,构建了跨层级、跨系统的数据协同机制,提高了综合研判能力和响应效率。

3 轨道交通车站供配电系统运维优化策略

3.1 智能化运维技术在轨道交通供配电系统中的应用

推动智能化运维是提升供配电系统运行效率与安全水平的核心路径。当前,轨道交通车站供配电系统逐步向“状态感知、数据决策、智能控制”模式演进,其核心在于借助传感器、自动化控制系统和智能诊断工具,实现对设备运行状态的精准监测和故障趋势的提前识别。智能运维不仅能够显著降低人工干预频率,还能在大规模设备管理中保持高度的可控性和实时性。在具体实践中,智能化运维系统通常以SCADA为基础,结合电力自动化终端(如智能开关柜、保护装置)与辅助诊断平台,构建一体化的在线监控体系。系统通过对电压、电流、温升、局放等关键参数的实时采集与分析,实现对供配电设备运行状态的数字化呈现与动态评价。

3.2 大数据与物联网技术的运用

1. 大数据和物联网技术的融合应用,进一步推动了供配电系统运维的“可视化、预测化、集成化”发展。通过构建以数据为核心的运维平台,将来自变电设备、开关柜、配电线路、环境监测系统的数据进行统一采集与建模,能够在庞大的信息体系中识别出运行中的异常特征与风险点。

2. 数据挖掘技术在故障趋势识别中的应用尤为关键。通过对历年故障记录、电力波动情况、设备状态参数等信息的关联分析,能够建立基于风险等级的预警模型,为设备维保计划提供数据支撑^[4]。例如:通过对配电系统中断电频率、电压波动幅度与温升变化的交叉分析,可动态评估设备健康指数(EHI),并设定预警阈值,实现分级干预。

3. 物联网技术在设备互联互通方面也展现出独特优势。通过部署无线传输终端与边缘计算模块,实现设备层级的信息采集与本地处理,再将关键数据汇总上传至中央平台,不仅提高了数据传输效率,还增强了系统的容灾能力与弹性。在某些城市地铁系统中,已实现对站区供电、信号设备、电梯扶梯等系统的统一接入和综合监管,使跨系统故障响应更加高效、精准。

3.3 运维管理模式的优化

1. 运维管理模式的优化不仅体现在技术层面,更关键在于组织结构与制度体系的重塑。传统“以设备

为中心”的管理方式，正逐步向“以数据驱动、风险导向”为核心的新型管理架构转型。通过构建精细化分级管理机制，根据设备类别、重要性、使用年限与运行环境等因素制定差异化运维策略，实现资源最优配置与管理目标精准落地。

2. 实施“集中运维与属地响应”相结合的组织结构，有助于提升协同效率。集中管理平台负责数据分析、策略制定与运维调度，而属地站点则承担具体操作与现场应急响应。在信息技术的支撑下，这种模式能够打破传统层级割裂的局限，实现技术与现场、管理与执行的高效联动。

3. 在制度层面，推动绩效考核机制与运维质量挂钩成为提升系统管理水平的重要手段。通过构建基于故障率、响应时间、能耗水平与巡检合规率等指标的考核体系，增强运维团队的目标导向与主动性管理意识。例如：个别先进线路已设立“设备运行责任人”制度，将重点设备的运行质量与维护效果与责任工程师挂钩，形成“责任到人、结果可查”的闭环体系。

3.4 故障预警与预防性维护措施

1. 故障预警与预防性维护是实现“从被动响应到主动防控”转变的关键环节。在高强度运行环境下，设备不可避免地会产生老化、磨损、接触不良等问题，而传统依赖故障发生后的修复模式难以适应高效运营的现实需求。

2. 构建分级预警系统是提升预测能力的重要策略。基于对设备运行关键参数的长期监测与分析，可为不同类型的故障设定多个风险等级，如轻度异常、可控偏差、临界故障等。不同等级对应不同响应措施，从在线观察到计划性检修，形成分层处置机制，避免资源浪费与维修盲区。

3. 预防性维护则强调在设备出现故障迹象前即开展干预措施。这一策略的有效性取决于对运行数据的准确分析与趋势判断能力^[5]。例如：在供电系统中，当某段高压电缆出现轻微的绝缘电阻波动并伴随电缆头局部放电信号时，系统可自动判定为“早期劣化状态”，并生成维保建议，指导技术人员对相关部位进行专项检查。这类前置维护在延长设备使用寿命、减少计划外停运方面发挥了显著作用。

3.5 提升运维人员专业技能

1. 设备系统的复杂性和技术体系的多样化，对运维人员提出了更高层次的能力要求。当前，运维队伍不仅需掌握传统电气知识，还需具备数据分析、智能系统操作、应急响应组织等综合能力。

2. 培训体系的系统化建设是保障人员能力持续提升的基础。通过建立分层级、模块化、多场景的培训机制，使人员能够在理论掌握与实操训练中同步提升。例如：一些城市轨道交通企业已建设仿真培训平台，通过虚拟仿真技术再现供配电系统运行状态与故障过程，运维人员可在模拟环境中完成故障识别、应急处置与维修操作，显著提高实战能力。

3. 技术认证机制也逐步成为标准化管理的重要组成部分。为确保技术操作的规范与安全，部分城市轨道交通公司已实施关键岗位准入制度，要求运维人员持有专业资质或通过内部认证考核后方可上岗。这不仅增强了制度执行力，也保障了供配电系统在高风险场景下的运行安全。

4 结束语

轨道交通车站供配电系统作为现代城市基础设施中的关键能源保障环节，其稳定性与先进性不仅关系到运营安全与服务效率，更深层地反映出城市交通治理能力与技术发展水平。在运行复杂性日益增强、服务标准不断提升的背景下，唯有不断推动供配电系统在技术、管理与人员能力等多维度的协同演进，方可支撑轨道交通向更高质量、更高韧性的方向持续发展。智能化、数据化、专业化的运维路径不仅是一种技术趋势，更是一种体系优化的战略选择。未来，面对城市交通系统运行场景的多样化与运行风险的动态化，必须坚持前瞻性布局、机制性重构与人本化管理并重，才能真正构建起高效、安全、可持续的供配电运维新格局，为城市公共交通的深层次转型提供持久动能与制度支撑。

参考文献：

- [1] 刘翰超. 轨道交通电气系统中的照明节能设计[J]. 电子技术, 2023, 52(07): 262-263.
- [2] 朱荫菊, 路飞. 城市轨道交通中低压配电系统设计[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(02): 170-172.
- [3] 季颀淞, 张永明, 颜哲, 等. 基于“光储直柔”的城市轨交基地供配电节能改造研究[J]. 建设科技, 2023(19): 45-49.
- [4] 高杰, 林珊, 梁庆宁, 等. 双碳策略下城市轨道交通变压器的低碳技术创新及应用研究[J]. 电气技术与经济, 2024(12): 139-141.
- [5] 何文杰. 城市轨道交通智能疏散系统的应用[J]. 安装, 2024(11): 44-46.