

Risk Analysis of Dispatching Operation of Rail Transit Power System

Sheng Pan

Beijing Metro Operation Co., Ltd., Beijing, 100082, China

Abstract

Rail transit power system scheduling operation is related to the normal operation of urban rail transit, with the expansion of urban rail transit network and passenger demand, let the scheduling running the pressure increase, all kinds of potential risks also highlighted, these risks are from system internal equipment failure, scheduling error, also by the external environment change, network fluctuations, any risk may be power supply interruption, affect the train running efficiency and even cause serious operation accidents. Therefore, this paper mainly analyzes the risk sources of rail transit power system dispatching operation, then analyzes the impact of risks in rail transit power system dispatching operation, and finally discusses the risk control measures of rail transit power system dispatching operation.

Keywords

rail transit; power system; dispatching operation; risk

轨道交通电力系统调度运行的风险分析

潘胜

北京市地铁运营有限公司, 中国·北京 100082

摘要

轨道交通电力系统调度运行是关系到城市轨道交通正常运作的核心环节, 随着城市轨道交通网络的扩展和乘客需求的增长, 让调度运行面临的压力增加, 各类潜在风险也随之凸显, 这些风险既来源于系统内部的设备故障、调度失误, 也受到外部环境变化、网络波动因素的影响, 任何的风险都可能发生供电中断、影响列车运行效率甚至引发严重的运营事故。因此, 论文主要对轨道交通电力系统调度运行的风险来源进行了分析, 然后分析了轨道交通电力系统调度运行中出现风险的影响, 最后探讨了轨道交通电力系统调度运行风险控制措施。

关键词

轨道交通; 电力系统; 调度运行; 风险

1 引言

城市化进程的加快让轨道交通系统日益复杂, 电力系统调度运行存在着多方面的风险, 这些风险会造成供电中断和运营效率下降, 还可能引发更为严重的安全事故, 因此对轨道交通电力系统调度运行中的潜在风险进行分析, 识别其关键点并提出有效的防范对策, 是保障轨道交通安全稳定运行的重要任务。

2 轨道交通电力系统调度运行的风险来源

2.1 技术层面的风险

轨道交通电力系统作为高度集成的复杂系统, 其运行依赖于大量的硬件设施和软件支持。轨道交通电力系统中包括变电站设备、供电线路等组成部分, 使用年限的增长让设

备性能不可避免地会逐渐下降, 这种老化过程表现为绝缘材料的劣化、机械部件的磨损以及电子元件的老化, 直接增加了设备故障的发生概率, 特别是在一些使用年限较长的轨道交通线路上, 设备更新维护周期若未能同步进行, 便使老化设备成为系统运行中的隐患。在轨道交通电力系统的规划和设计阶段, 也会因为考虑系统的冗余性让系统难以应对日后交通量的增长或设备扩容的需求, 特别是在初期设计时若供电网络未能设置足够的备用线路或容错机制, 一旦主供电线路发生故障将造成大范围的供电中断^[1]。

2.2 管理层面的风险

轨道交通电力系统的调度运行需要调度人员在短时间内作出准确的判断并发布调度指令, 任何运行方式调整不当或调度命令错误都会引发事故, 某些突发情况下调度员因经验不足或心理压力较大而采取错误的应对措施, 都会加剧故障的严重性, 长期工作中形成的疲劳也会削弱调度人员的集中力, 从而增加误操作的概率。同时轨道交通电力系统

【作者简介】潘胜(1974-), 男, 中国北京人, 本科, 高级工程师, 从事轨道交通供电及电力系统调度指挥研究。

的调度运行需要多个部门的紧密配合，但是在实际工作中，由于信息传递不畅或部门间职责划分不清，会让应急处置的滞后，如当供电系统某一部分发生故障时，如果调度中心没有及时接收到准确的信息或相关部门未能迅速到达现场进行维修，就会使故障持续时间延长，导致事态进一步扩大。此外，某些轨道交通企业的应急预案也没能定期更新或与实际运行情况脱节，这将无法在出现突发事件时做出有效应对，同时培训体系的不完善也会让调度人员在面对新设备、新系统时缺乏足够的技术支持，从而增加误判和操作失误的风险。

2.3 按时外部环境因素的风险

自然灾害是轨道交通电力系统运行中难以回避的外部威胁，像大风、暴雨、暴雪、地震等自然灾害直接破坏供电设备、接触网系统或变电站设施，甚至造成整条线路的瘫痪，以暴雨为例，它的强风和大雨会让接触网电缆断裂或电缆进水，从而引发设备短路或停电事故，而地震则直接损坏供电系统的基础设施如变压器的倾覆，这些都会对调度运行造成巨大冲击。同时，轨道交通电力系统的运行主要依赖于城市电网的稳定供电，但城市电网的供电质量并非始终如一，例如在极端天气下，城市电网因架空线路而出现电压波动或单相接地，这会影响轨道交通供电系统的稳定性，城市电网中若发生大面积停电事故，轨道交通供电系统即便具备一定的自我维持能力也不能长期独立运行^[2]。

3 轨道交通电力系统调度运行中出现风险的影响

3.1 对轨道交通运营效率的影响

轨道交通电力系统调度运行中的风险，首当其冲会影响轨道交通的运营效率，一旦供电中断或调度运行失误，运行中的轨道交通系统就会出现大面积的延误或中断，或是供电系统发生故障，列车因供电不足无法正常启动或运行，导致列车停运、线路瘫痪，这会影响到单个列车或站点的运行，还会因列车调度的连锁反应，扩展至整个线路甚至多个线路，形成大范围的运行障碍。这种影响在高峰时段尤为显著，轨道交通系统在早晚高峰期通常需要以高频次的列车运行来满足大量乘客的通勤需求，系统调度和供电负荷都处于临界状态，要是在这一时期出现供电问题或调度错误，列车运行间隔将被迫拉长，甚至部分列车直接停运，这就让线路通行能力大幅下降，乘客流量无法及时疏导，车站和列车内部会出现严重拥堵，进一步延长乘客的等待时间和出行时间，导致运营效率直线下降。

3.2 对轨道交通运行安全的影响

一旦电力系统发生故障，列车在运行过程中因突然断电而紧急制动，这种情况下，乘客因惯性作用而摔倒或受伤，尤其是在列车满载状态下，紧急制动造成的乘客挤压和混乱局面进一步加剧事故的严重性，断电引发的车厢内照明和空

调设备中断也对乘客的心理和生理造成不良影响，增加恐慌情绪和健康风险。更为严重的是，调度运行中的风险导致列车之间的信号系统失效，一些轨道交通线路依赖于供电系统支持的自动化信号控制来保障列车的安全距离，只要供电系统或调度环节出现问题，信号控制系统失灵，列车司机就无法及时获得精确的行车信息，这种情况下的列车追尾或冲突的风险大幅上升，对乘客和列车设备的安全构成直接威胁。此外，在地下线路中电力系统调度运行的风险还引发更复杂的安全问题，供电故障导致的列车停运使列车滞留在隧道中，隧道空间狭窄且通风条件有限，滞留列车内乘客的健康和安全面临挑战，特别是在夏季高温或冬季低温条件下列车空调设备无法运转，车厢内出现闷热或寒冷等极端环境^[3]。

3.3 对城市运行秩序的影响

轨道交通运行受阻会让乘客被迫转向地面交通系统，如公交或私家车，这种情况下地面交通流量骤增，极易引发道路拥堵，尤其是在交通本就繁忙的核心城区，交通拥堵会进一步加剧。轨道交通运行中断还会影响乘客的日常通勤和生活安排，因为供电系统发生故障会让早高峰列车停运，大量通勤乘客无法按时抵达工作地点或学校，这容易影响了个人出行计划，还对用人单位或教育机构的正常运转造成影响，对于一些对时间要求较高的行业如物流运输、医疗服务等，轨道交通的延误或中断引发更大的经济损失或社会后果。在大规模活动或紧急情况下，轨道交通的正常运行对城市运行秩序的重要性尤为突出。例如，在节假日期间，轨道交通系统要承载比平时更高的客流量，此时调度运行中出现风险，就会导致站台和车站外大量人员滞留，甚至引发混乱或踩踏事件，而在应对突发事件（如自然灾害或紧急疏散）时，轨道交通系统的运行中断阻碍人员的迅速撤离，影响到城市应急响应的效率和效果。

4 轨道交通电力系统调度运行风险控制措施

4.1 技术提升

轨道交通电力系统中长期运行的设备在可靠性和性能方面容易出现退化，因此使用寿命较长的设备需要通过技术手段进行改造，传统变电站设备可以逐步升级为智能化变电站，通过配置新型变压器、断路器和监测装置来提升其性能和故障诊断能力，接触网系统的导线材质也可以通过技术研发实现性能优化，及时采用高强度、耐腐蚀的新型导线来减少断裂风险，同时降低维护成本，对于供电线路中的关键节点需要增加在线监测设备，做好电流、电压、温度等数据的实时监控，从而更快发现潜在隐患，硬件的现代化改造能提升整体系统的技术水平，还能为后续的智能建设奠定基础。同时，智能化系统可以以大数据、人工智能相结合的方式来完成对电力系统运行状态的全面感知、分析和控制，基于物联网的监测系统将供电设备的运行状态实时传输到调度中心，并通过大数据技术分析运行趋势来预测潜在故障的

发生,人工智能技术也可以利用深度学习算法对历史运行数据进行建模,从而优化调度策略,提高决策的准确性。这种智能化技术的应用使得调度运行逐步摆脱对人工经验的依赖,提升到更高层次的技术管理水平。值得注意的是,轨道交通电力系统的调度运行依赖多种算法对设备状态、负载分配和故障处理进行分析决策,注意引入动态优化算法,要求根据实时数据对调度策略进行调整,应对负载波动或设备故障。例如基于神经网络的调度算法快速识别运行模式并在突发事件中生成最优的调度方案。

4.2 管理优化

首先对现有流程进行全面梳理,使用 workflow 管理工具来找准每个环节的责任边界和执行顺序。workflow 管理工具可以动态记录每个任务的完成状态,减少信息传递中的遗漏或误解,然后通过流程仿真技术对现有的调度流程进行模拟测试,在虚拟环境中发现存在薄弱点并进行针对性的改进。特别是调度中心与供电维护部门之间的信息交互需要多层级审批,会影响应急响应速度,所以要优化审批流程,减少不必要的环节,提升整体调度效率,降低突发事件带来的风险。同时因为轨道交通电力系统的调度运行离不开对设备、技术和人员等资源的高效利用,在设备资源方面制定科学的设备配置计划,使关键节点拥有充足的备用设备和零部件储备,对于运行压力较大的线路要利用动态资源调度管理平台,根据客流量、线路运行状态等实时数据来动态调整资源配置。例如某些线路在高峰时段面临更高的供电负荷,注意提前调拨备用变压器或调度更多的现场维护人员来降低因设备超负荷运行而导致的风险,在技术资源的分配上集中管理技术资料和数据,加快建立技术资源共享平台,进而提高各部门之间的协作效率。

4.3 加强外部协作

在与供应商的协作过程中,要与供应商建立长期的战略合作关系,签订明确的合作协议,以此提升双方的协同效率,同时与设备供应商建立实时沟通机制,保障在设备运行中出现异常时可以快速获得技术支持。尤其是调度运行过程中出现供电设备故障时,供应商通过远程监控系统直接参与故障诊断和解决。通过定期的培训和技术交流使调度人员和维修团队更深入了解设备性能和维护方法,从而降低因操作不当或缺乏维护导致的风险,这种技术共享和资源整合的模式可以提升系统的运行效率,强化整体的应急处理能力。在

技术层面通过搭建共享数据和应急信息平台,完成应急机构与轨道交通系统之间的实时信息互通。例如在自然灾害发生前,应急救援机构可以基于轨道交通电力系统的实时运行数据和预测模型,提前部署救援资源,最大限度降低灾害对供电系统的冲击,同时通过联合演练和应急预案优化使双方在突发事件中能够快速协调行动,提高救援效率,在信息化协作方面也可以借助地理信息系统(GIS)技术和卫星定位技术为救援团队提供精准的设备位置和故障点信息,这种技术驱动的协作方式使应急救援机构与轨道交通电力系统形成了更紧密的联动关系,从而提升风险应对能力。最后还要注意做好多维度的协作机制,增强与能源供应方之间的联系,在技术层面优化实时数据共享和负荷预测模型,提升轨道交通系统对能源需求的精确性,例如与能源供应方建立数据互联机制,让其可以了解轨道交通系统的用电负荷变化,以便调整能源供应策略,避免因供电不足或过载导致的风险,同时要求能源供应方为轨道交通系统提供备用电源解决方案,可以利用通过接入分布式能源系统或储能装置来增强轨道交通供电的稳定性,而在能源交易和成本控制方面也可以协商确定更灵活的能源采购模式,减少因市场波动带来的运营成本压力。

5 结语

综上所述,轨道交通电力系统调度运行工作中,要系统性分析风险来源,评估其潜在影响并制定技术提升和管理优化策略,以此降低系统运行中的不确定性,增强整体稳定性。技术层面的创新升级为风险控制提供了核心支持,而科学的管理优化需要通过流程改进、资源整合和协同机制的完善,进一步提升系统的应变能力。两者相辅相成,共同构建起全面的风险防控体系。随着轨道交通网络的进一步扩展,持续改进技术和管理手段将成为必然方向,为轨道交通系统提供更坚实的运行保障。

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(4):39-43.
- [2] 卢国仪.轨道交通杂散电流对二次系统影响的抑制措施研究[J].中国机械,2024(4):73-76.
- [3] 石磊.探析城市轨道交通供电系统中接触网技术性能和常见故障[J].电子元器件与信息技术,2021,5(3):106-107+109.