# 多线路共网运营地铁供电调度管控探析

汤 旖 王利明 刘 莉
成都地铁运营有限公司 成都 610051

【摘 要】：城市轨道交通网络化发展要实现多条线路共用同一个供电系统，以达到资源共享、协同运营的效果。但是线路之间互相影响加大，单个故障会通过电气耦合扩散到更大的范围里，从而增加了调度决策的复杂性和时效性。怎样创建出符合多线路共网情况的调度管控体系，改善负荷分配以及应急反应机制，这是改进地铁供电系统韧性的重要课题。因此，本文主要研究多线路共网运营地铁供电调度管控，供参考。

【关键词】：多线路共网运营；地铁供电调度；管控探析

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.054

## 引言

多线路共网运营模式大大提高了地铁供电系统资源利用率和运行灵活性，但是也给调度控制带来新的问题。不同线路负荷特性差别大，电气距离变短，牵引变电所之间耦合联系更加紧密，供电潮流分布越发繁杂，保护配合及故障隔离的难度也随之提高。探究多线路共网模式下供电调度控制的关键技术及管理措施，对保证系统安全稳定运行有着十分重要的现实意义。

## 1 多线路共网运营地铁供电系统特点

多线路共网运营模式中，地铁供电系统存在网络拓扑变得复杂化、电气耦合变得紧密化、运行工况变得多变化等特点。多条线路通过牵引变电所之间联络开关或者共享中压环网实现电气连接，形成环形或者网格状供电结构，使系统具有更好的负荷转供能力和冗余备用水平，但是也使得故障电流流通路径增多，保护配合的计算和整定难度大大增加。不同线路的列车运行图、客流密度、再生制动能量回馈特性存在差别，造成各个线路馈线负荷的时间、空间上不是同步波动的，叠加效应会带来局部供电区段的功率倒送或者电压越限，对系统稳定性造成威胁。另外多线路共网使单点故障影响范围不再局限于本线路，可以通过电气耦合扩散到相邻线路，甚至造成连锁故障，对调度控制的实时性、协同性、准确性提出更高的要求。系统设备种类和数量急剧增多，运维管理的难度也随之增大，必须创建起统一的设备编码体系以及数据共享平台，从而达成各个线路之间信息的互通和资源的调配。多线路共网供电系统提高了资源利用率，但是也给故障传播带来新的风险、给调度决策增加难度、保护配置协调更加困难等问题，必须从系统规划、运行控制、应急管理和多方面来实现系统的改善和创新。

## 2 多线路共网运营地铁供电调度管控策略

（1）建立协同调度机制的策略：建立协同调度机制的关键之处在于冲破线路之间的信息壁垒和调度壁垒，塑造起统一指挥、分层协调的调度架构。应设置多线路联合调度中心，总调度负责全局资源调配和运行策略的制定，各线路调度员负责本线路的具体执行和信息反馈，形成上下联动、横向协同的运作模式。制定统一的调度规程和操作标准，确定跨线路负荷转供、故障隔离及恢复供电的决策程序和权限。建立实时信息共享平台，把各个线路牵引变电所运行数据、列车位置信息和设备状态汇总起来，给调度决策提供全景图。定期开展联合调度演练，模拟多线路故障情况，检验协同机制的反应速度和有效性，不断改善流程和预案。

（2）提升应急响应能力的策略：提高应急反应能力要从预案体系、资源储备、快速执行这三个方面着手。创建分级分类的应急预案体系，就单线故障、跨线故障、全系统停电等不同的场景制定不同的处置流程，确定各个岗位的职责和操作步骤。建立跨线路应急资源池，统筹安排备用变压器、移动发电车、抢修工具和备品备件，实行资源共享、就近调配。改进故障信息上报和决策过程，依靠自动化告警系统来完成故障的自动识别以及初步判断，缩减调度员确认和决策的时间。推行故障处置标准化操作卡，把复杂的处置流程变成步骤清楚、指令明确的执行清单，减少应急处置中由于误操作造成的风险。定期组织实战演练、复盘总结，不断改进应急队伍快速反应、协同作战能力。

（3）加强人员培训与管理的策略：加强人员培训和管理的主要目的就是提高调度员在多线路共网环境下系统认识、决策判断、协同沟通的能力。创建分层分类的培训体系，对新入职调度员、线路调度员、联合调度中心调度员分别设置基础培训、进阶培训和综合培训课程，内容包括多线路供电系统原理、保护配合逻辑、应急处置流程、调度指挥系统操作。使用仿真培训平台模拟出多条线路共网运行时各种故障、复

杂情况的模拟环境，在虚拟环境中进行调度员操作的多次练习，提高调度员的操作能力。建立考核认证制度，对调度员的业务水平和处置能力进行定期评价，把考核结果同岗位晋升、绩效奖惩联系起来，调动调度员持续学习的积极性。推行轮岗交流制度，安排调度员到不同的线路或者变电所现场跟班学习，加深对系统整体的认识。

（4）优化调度指挥流程：多线路共网运行环境下调度指挥流程的改善不是简单的指令下达，而应该创建起一个高度协同、迅速反应的扁平化指挥体系。传统模式下各个线路的调度是相对独立的，指令的传递层级高、环节多，一旦出现跨线路供电故障，很容易因为信息传递滞后或者失真而造成处置延误。核心就是冲破条线壁垒，创建起以“区域供电调度中心”为中心的统一指挥架构。该架构把分散的线路调度台集中起来，变成一个集中管控单元，可以对整个线路的资源进行统一调配，并且指令可以实时地贯通到各个线路。流程应该被重新塑造成“故障感知、自动定位、智能研判、分级推送、协同处置、闭环反馈”的标准路径。当监控系统检测到异常的时候，算法会自动判断出故障的影响范围，然后按照事先设定好的优先级来决定处置指令的发送对象，即把指令同时发给相关的线路值班员、检修班组和应急指挥人员，从而达到“一点触发、多点联动”的效果。流程中还要加入情景应对模块，对不同的故障类型提前设置标准化的处理脚本，调度员可以根据现场情况一键调取并执行，大大缩短了决策的时间，保证供电系统安全稳定以及运能快速恢复。

（5）加强设备监控管理：对于多线路共网供电系统来说，设备监控管理已经由原来的单点盯防变为现在的全域感知的主动式管理。加强监控管理的关键就是创建起一个具备“全息感知、动态预警、智能诊断”功能的设备健康管理系统。该系统并不是把各个线路的监控数据汇总到一个大屏上，而是依靠统一的物联平台，对全线网数万台关键设备（变压器、开关柜、整流器、电缆等）的运行状态、环境参数、电气特性实施实时采集和融合分析。管理重点应该放在趋势预警和状态评价上。利用建立的设备全生命周期数字孪生模型，算法可以对历史数据和实时趋势进行分析，预测出设备会出现的劣化趋势，比如绝缘性能变差、接触电阻增大等，并把预警等级以及准确的维护建议发送到检修系统当中。另外监控管理要重视人机配合，系统用图像识别、声纹识别等手段自动辨别现场异常，比如设备放电、异响等，并且和视频监控联动起来加以复核，帮助调度人员迅速找到故障点，达成对设备状态的“可知、可控、可预判”，进而把被动抢修转变为主动预防，真正保证供电系统可靠。

## 3 多线路共网运营地铁供电调度管控关键技术

### 3.1 智能监控技术在供电调度中的应用

智能监控技术给多线路共网供电调度赋予了全方位的感知以及智能决策支撑。在牵引变电所、开关站以及重要线路节点处安装智能传感器和监测终端，对电气量参数、设备状态数据、环境信息等实施不间断的采集工作，从而构建起一个全面的感知网络。采用边缘计算对大量的数据进行预处理和特征提取，把有效信息传送到调度中心的云平台，再进行数据融合和趋势分析。采用机器视觉和深度学习算法来完成设备外观异常、电弧放电、异物入侵等隐患的自动识别和报警。智能监控系统配有可视化的大屏，把各个线路的运行状况、负荷分布以及故障情况用图形的方式表现出来，从而帮助调度员迅速了解整个系统的状况，提高监控的效率和决策的准确性。

### 3.2 故障诊断与快速恢复技术

故障诊断及快速恢复技术属于缩减多线路共网供电系统停电时长，掌控故障蔓延范围的重要方法，它所要达成的目的是创建起一个包含“准确感知，智能评判，自主恢复”在内的闭环体系。从故障诊断的角度来说，传统依靠人工分析波形和告警信号的方式，在遇到跨线路、多级联的复杂故障的时候，效率低并且容易出错。现代技术是在全网的关键节点上安装高精度的波形记录装置，在故障发生瞬间就获取了电压、电流的暂态波形。大量的数据被送入包含深度神经网络和专家规则库的混合诊断模型里。神经网络从波形特征中自动提取出短路、接地、断线等故障模式，判断故障是否影响到多条线路之间的耦合；专家系统根据事先设定好的线路拓扑和保护配合逻辑，对神经网络输出结果进行校验和精简，最后准确找到故障点并给出故障性质的明确结论。快速恢复层面的技术重点已经由原来的“人工找方案”变成现在的“系统自动生成最优路径”。系统用图论的方法把复杂的供电网络抽象成一张拓扑图，节点代表母线、开关、变压器等设备，边代表馈线电缆。

### 3.3 负荷预测与优化分配技术

负荷预测和优化分配技术属于多线路共网供电调度达成精准调控、资源高效利用的关键支撑，主要解决“未来要多少电”“怎样分配这些电”这两个主要问题。负荷预测上，传统的办法不能体现多线路之间

复杂的耦合负荷特点。现代技术用长短期记忆网络和注意力机制结合起来的深度学习模型。该模型不但可以从历史负荷数据中得到周期性、趋势性的规律，还可以对当前影响负荷的主要因素做出动态的判断，即即将开始的列车运行图调整、节假日客流高峰变化、周边大型活动引起临时客流激增等。优化目标函数一般由三部分组成，第一层是系统运行总成本最低，即通过改变各变电所的出力来降低网损和变压器损耗；第二层是设备负荷均匀，防止个别变电所或者馈线长时间处于过载状态，从而减缓设备老化速度；第三层是供电最可靠，保证有一定的备用容量以备突发情况。

### 3.4 大数据分析辅助决策

大数据分析技术在多线路共网供电调度中，主要的价值就是把大量的、多源的、异构的运行数据转化为可以指导调度决策的洞察力，而不是简单的统计报表。关键就是创建一个“数据中台”，把各个线路的SCADA、PSCADA、设备监测、检修记录、气象和客流等数据打通起来，并做深入的关联挖掘和模式识别。通过对历史负荷数据同客流、时间、温度等外部要素之间的联系加以剖析，可以创建起准确的负荷预估模型，从而给调度人员提前制订分时供电计划，改善变压器的投切行为赋予科学支撑，防止由于负荷起伏引发的越限状况出现。大数据分析可以对故障进行溯源，也可以对策略进行复盘。当出现复杂的跳闸情况的时候，系统依靠时间轴回放海量的数据，迅速找到最初的故障点以及连锁反应的过程，从而找到造成事故的根本原因。另外可以建立故障案例库，用历史相似事件处理方法、耗时和效果进行对比分析来帮助调度员选择最佳的处理方案。另外，大数据可以用来评价不同的运行方式下网损、电压质量和设备效率，给调度策略的不断改进赋予量化支撑，进而达成由“依靠经验”到“依靠数据”的决策范式改变。

### 3.5 自动化调度系统升级

面对多线路共网带来的复杂性以及实时性的要求，传统的依靠人工指令、经验判断的调度方式已经不能满足需求了。自动化调度系统升级的方向是由“设备级自动化”向“系统级智能化”转变，创建出具有“自感知、自决策、自执行”能力的智能调度系统。升级的关键就是采用基于规则引擎和强化学习的混合决策方式。系统可以对全网供电拓扑结构的变化和负荷波动进行实时感知，并按照事先设定好的安全约束条件（接触网电压、设备容量、保护配合等），自动产生出最佳的供电方式调整方案，即自动越区供电、备用电源切换、负荷转移等操作，在得到调度员确认后一键执行，将原本需要数分钟到几十分钟的复杂操作压缩到秒级。除此之外，自动化系统的更新要加强智能预防控制的能力。系统可以利用大数据分析预测出的潜在风险，提前产生预控策略，例如自动调节运行参数、启动备用设备等，将故障消灭在萌芽阶段。系统要具有很强的“自愈”能力，在出现永久性故障的时候，可以自动隔离故障区段，迅速重组非故障区段的供电网络，从而达到供电能力迅速恢复的目的，大大提高了对突发事件的响应速度和处置效率，保证了线网运营的连续性和韧性。

## 4 结语

多线路共网运营的地铁供电调度管控要从全局的角度出发，创建分层协同的调度架构和智能化决策支持平台。加强线路之间电气耦合分析、改进保护配合方式和应急联动体系，可以提高系统对各种情况的适应性。未来还要继续探究数字孪生和多智能体协同控制技术在调度管控中应用的可能性，给地铁供电系统安全高效运转赋予有力支撑。

**参考文献：**

[1] 王乐.光伏并网模式下地铁供电系统能量调度与节能方案[J].人民公交,2026,(14):130-132.

[2] 罗义康,罗瑜萱,邹时晓,刘炜,李沅锴,孙彦龙.轨道交通多线路对埋地金属管道的直流干扰评估及综合防护研究[J].机车电传动,1-7.

[3] 唐佳骏.城市轨道交通多线路协同调度模式探讨[J].人民公交,2026,(4):157-159.

[4] 刘玉波,孟尧.地铁多线路协同调度优化策略研究[J].人民公交,2025,(2):159-161.

[5] 胡清梅,吕楠,夏朋飞,赵素杰,谢辉.新技术下北京地铁调度模式发展趋势[J].铁路通信信号工程技术,2022,19(4):47-53.