

地铁无人驾驶线路异常工况下的调度介入策略与人机协同研究

陈 为

徐州地铁运营有限公司 江苏 徐州 221011

摘 要：地铁无人驾驶线路在提升运营效率的同时，对异常工况的应对能力提出更高要求。本文聚焦地铁无人驾驶线路在异常工况下的调度介入策略与人机协同研究。首先阐述异常工况类型，包括设备故障、突发灾害及乘客异常行为等。接着提出调度介入策略制定原则，涵盖安全第一、快速响应等。随后介绍实施要点，如异常监测预警、应急预案启动等。最后探讨人机协同关键技术，涉及智能感知、决策支持等方面。旨在为地铁无人驾驶线路在异常工况下提供科学合理的调度与人机协同方案，保障运营安全与高效。

关键词：地铁无人驾驶线路；异常工况；调度介入策略；人机协同

引言：随着城市轨道交通发展，地铁无人驾驶技术逐渐普及。然而，无人驾驶线路在运营中可能遭遇各类异常工况，如设备突发故障、自然灾害侵袭以及乘客异常行为等，这些状况严重影响运营安全与秩序。传统调度模式难以有效应对无人驾驶线路的复杂异常情况，因此，研究异常工况下的调度介入策略与人机协同至关重要。通过科学合理的策略制定与先进技术运用，可提升应对能力，确保地铁无人驾驶线路稳定、安全运行，为乘客提供可靠出行服务。

1 地铁无人驾驶线路异常工况的类型

1.1 设备故障

地铁无人驾驶线路依赖众多复杂设备协同运作，设备故障是常见异常工况。车辆系统方面，牵引、制动等关键部件故障，会直接影响列车运行安全与速度控制；信号系统故障，可能导致列车定位不准、信号显示异常，使列车无法按预定程序行驶；轨道设施故障，如轨道变形、道岔故障等，会阻碍列车正常通行。供电系统故障则可能造成列车失去动力，全线运营瘫痪。这些设备故障具有突发性和不确定性，一旦发生，需迅速准确判断故障位置与性质，及时采取措施保障运营安全。

1.2 突发灾害

突发灾害对地铁无人驾驶线路威胁巨大。自然灾害中，地震可能破坏轨道、隧道结构，使列车运行面临极大危险；洪水可能淹没轨道、设备，导致电气系统短路，影响列车运行与乘客安全；暴雨还可能引发内涝，影响车站和区间排水。此外，火灾、爆炸等事故灾害也不容忽视，火灾产生的浓烟和高温会危及乘客生命，爆炸则可能直接破坏线路设施。面对突发灾害，需建立完

善的监测预警机制，提前做好防范，在灾害发生时迅速启动应急预案，保障人员疏散与线路安全。

1.3 乘客异常行为

乘客异常行为也会干扰地铁无人驾驶线路正常运营。部分乘客可能因疏忽或故意，做出诸如在站台追逐打闹、强行扒车门等危险行为，这些行为不仅危及自身安全，还可能影响列车正常运行秩序。还有乘客可能在列车内突发疾病，若得不到及时救助，可能引发恐慌。另外，个别乘客恶意破坏车内设备，如损坏紧急制动装置等，会直接威胁列车运行安全。对于乘客异常行为，要通过监控系统及时发现，并采取有效措施引导和制止，同时做好应急救助准备^[1]。

2 地铁无人驾驶线路异常工况下调度介入策略的制定原则

2.1 安全第一原则

安全是地铁运营的核心与底线，在无人驾驶线路异常工况下，调度介入策略必须将安全置于首位。这要求调度人员时刻以保障乘客生命安全、列车运行安全以及线路设施安全为出发点和落脚点。在制定策略时，优先考虑各种措施对安全的影响，确保在任何情况下都不会因调度决策而引发新的安全隐患。例如，在设备故障时，优先保障列车能安全停靠或驶离危险区域；面对突发灾害，迅速组织乘客疏散，避免人员伤亡，将安全理念贯穿于调度介入的全过程。

2.2 快速响应原则

地铁无人驾驶线路异常工况往往具有突发性和紧急性，快速响应是降低损失、保障运营秩序的关键。调度介入策略需确保在异常发生后，调度系统能迅速察觉并

做出反应。这依赖于高效的监测预警系统，能及时将异常信息传递给调度人员。调度人员接到信息后，要快速分析判断，在短时间内制定并执行应对措施，如迅速调整列车运行计划、启动应急预案等。快速响应能够争取宝贵时间，防止异常情况进一步恶化，最大程度减少对地铁运营和乘客出行的影响。

2.3 协同配合原则

地铁无人驾驶线路运营涉及多个部门和系统，在异常工况下，调度介入策略必须强调协同配合。调度部门要与车辆、信号、供电、通信等专业技术部门紧密合作，共享信息，共同分析异常原因，制定综合解决方案。同时，还要与车站工作人员、安保人员等现场力量协同行动，确保应急措施的有效执行。例如，在处理乘客异常行为时，调度部门与车站工作人员协同，及时到达现场进行处置；面对突发灾害，各部门协同开展救援和恢复工作，形成强大的应对合力，提高整体应急处置效率。

2.4 灵活调整原则

地铁无人驾驶线路异常工况复杂多样，没有固定的应对模式，因此调度介入策略要具备灵活调整性。调度人员需根据异常的具体情况，如故障类型、灾害程度、乘客行为影响范围等，灵活调整列车运行计划、应急措施和资源分配。当部分线路设备故障时，可灵活调整列车运行路径；面对不同规模的突发灾害，灵活启动相应级别的应急预案。灵活调整原则能够使调度策略更好地适应实际变化，提高应对异常工况的针对性和有效性，保障地铁运营在复杂情况下的稳定与安全^[2]。

3 地铁无人驾驶线路异常工况下调度介入策略的实施要点

3.1 异常工况的监测与预警

地铁无人驾驶线路的异常工况监测与预警是保障运营安全的前置防线。要构建全方位、多层次的监测体系，综合运用多种先进技术。在列车上，安装高精度的传感器，实时监测车辆的动力系统、制动系统、信号系统等关键部件的运行参数，如电压、电流、温度、压力等，一旦参数超出正常范围，立即发出警报。在线路方面，利用轨道检测车、视频监控系统等，对轨道的几何尺寸、磨损情况、异物侵入等进行实时监测。同时，在车站和隧道内布置环境传感器，监测空气质量、湿度、温度以及是否存在有害气体等。借助大数据和人工智能技术，对采集到的海量数据进行深度分析，挖掘潜在的异常模式和趋势，实现提前预警。建立预警分级制度，根据异常的严重程度和发展态势，分为不同等级，并对

应不同的响应措施。当预警触发时，系统自动将详细信息推送至调度中心，包括异常位置、类型、可能影响范围等，为调度人员提供准确的决策依据。

3.2 应急预案的制定与启动

科学合理的应急预案是应对异常工况的关键。针对地铁无人驾驶线路可能出现的各类异常工况，如设备故障、突发灾害、乘客异常行为等，制定详细、具体的应急预案。预案要明确各部门和人员的职责分工、应急处置流程、资源调配方式等。定期组织应急演练，检验预案的可行性和有效性，提高各部门和人员的应急协同能力。通过演练，发现预案中存在的问题和不足，及时进行修订和完善。当异常工况发生且达到预案启动条件时，调度人员要迅速、果断地启动相应预案。按照预案要求，协调车辆、信号、供电、通信、安保等多个部门，开展应急处置工作。例如，在设备故障时，组织维修人员快速到达现场进行抢修；在突发灾害时，启动疏散程序，引导乘客安全撤离。同时，根据实际情况灵活调整预案执行方式，确保应急工作高效有序进行。

3.3 列车运行计划的调整

异常工况下，列车运行计划的合理调整是保障运营安全和秩序的重要环节。调度人员要根据异常的类型、位置和影响范围，迅速评估对列车运行的影响，并制定相应的调整方案。对于局部的设备故障或小型突发灾害，可采取列车限速运行、绕行等措施，确保列车能够安全通过受影响区域。若出现大面积的线路瘫痪或严重灾害，需及时组织列车停运或折返，避免列车进入危险区域。在调整列车运行计划时，要充分考虑乘客的出行需求和换乘便利性。合理安排备用列车的投入运营，尽量减少对乘客出行的影响。同时，及时将调整后的运行计划通知列车司机、车站工作人员和乘客。通过列车上的显示屏、车站广播、地铁官方APP等多种渠道，向乘客发布最新的列车运行信息，引导乘客合理规划出行路线。

3.4 信息发布与乘客引导

在异常工况下，及时、准确的信息发布和有效的乘客引导对于维护运营秩序和保障乘客安全至关重要。调度部门应建立统一的信息发布平台，整合车站广播、电子显示屏、地铁官方APP、社交媒体等多种渠道，确保信息能够快速、广泛地传达给乘客。信息发布要遵循及时、准确、清晰、易懂的原则。第一时间向乘客通报异常工况的类型、影响范围、预计恢复时间等关键信息，避免乘客产生恐慌和误解。同时，根据列车运行计划的调整情况，为乘客提供详细的出行建议和引导，如指引乘客选择其他交通方式、换乘站点、最佳出行时间等。

车站工作人员要在现场加强巡视和引导,在关键位置设置明显的引导标识,帮助乘客快速找到疏散通道、换乘通道等。对于老弱病残孕等特殊乘客,提供必要的帮助和照顾。此外,建立与乘客的互动机制,通过热线电话、在线客服等方式,及时解答乘客的疑问,收集乘客的反馈信息,不断改进信息发布和乘客引导工作^[3]。

4 地铁无人驾驶线路异常工况下人机协同的关键技术

4.1 智能感知技术

智能感知技术是地铁无人驾驶线路异常工况下人机协同的基础支撑。它通过多类型传感器融合实现对列车运行环境与自身状态的全方位、高精度感知。在环境感知方面,激光雷达可快速构建周围环境的三维点云模型,精准识别障碍物的位置、形状和大小;毫米波雷达能穿透雨雪雾等恶劣天气条件,实时监测列车前方障碍物的距离和速度;摄像头则提供直观的视觉信息,用于识别轨道上的异物、信号灯状态以及站台情况等。在列车自身状态感知上,各类传感器可实时监测车辆的牵引、制动、转向等系统的运行参数,如电机温度、轮对转速、空气弹簧压力等,同时对车厢内的环境参数如温度、湿度、空气质量等进行监测。

4.2 决策支持技术

决策支持技术是地铁无人驾驶线路异常工况下人机协同的核心。它基于智能感知技术获取的数据,运用大数据分析、人工智能算法和专家系统等手段,对异常工况进行快速评估和决策。大数据分析可挖掘历史数据中的规律和模式,为当前异常工况的判断提供参考;人工智能算法如机器学习、深度学习等能够对复杂的工况进行智能分析和预测,提前识别可能出现的风险;专家系统则集成了行业专家的知识和经验,为决策提供专业的指导。当发生异常工况时,决策支持系统能够迅速生成多种应对方案,并根据实时数据和预设的优先级规则,选择最优方案并下达指令,指导列车和调度人员采取相应的行动,确保地铁运营的安全和高效。

4.3 人机交互技术

人机交互技术是地铁无人驾驶线路异常工况下人机协同的重要环节。它通过直观、便捷的交互界面,实现调度人员与列车、乘客之间的信息交流和指令传达。在调度中心,调度人员可以通过大屏幕显示系统实时掌握列车的运行状态、位置信息以及异常工况的详细情况,并通过操作终端下达调度指令。同时,系统应具备语音交互功能,方便调度人员在紧急情况下快速输入指令。

对于乘客,可通过车厢内的显示屏、手机应用等渠道获取运营信息、异常提示和引导信息。此外,人机交互技术还应支持乘客在紧急情况下的求助功能,如设置紧急呼叫按钮,让乘客能够及时与调度中心取得联系。良好的人机交互设计能够提高调度效率和乘客的应急响应能力,增强人机协同的效果。

4.4 通信技术

通信技术是地铁无人驾驶线路异常工况下人机协同的保障。它确保列车、控制中心、车站以及乘客之间能够实时、可靠地进行信息传输。在列车与控制中心之间,需要采用高速、稳定的无线通信技术,如LTE-M、5G等,实现列车运行状态数据、控制指令等的实时传输,保证控制中心能够及时掌握列车动态并下达调度指令。在车站与列车之间,可通过短距离通信技术实现乘客上下车引导、车门控制等信息的交互。同时,通信系统应具备高可靠性和抗干扰能力,能够在复杂的地铁环境中稳定运行,避免因通信故障导致信息传输中断。此外,通信技术还应支持多网络融合和冗余设计,当某一网络出现故障时,能够自动切换至备用网络,确保人机协同的连续性和安全性^[4]。

结束语

在地铁无人驾驶线路面临异常工况时,科学合理的调度介入策略与人机协同机制是保障运营安全与效率的关键。通过精准的故障识别、快速的决策响应以及高效的人机信息交互,调度人员能够及时介入,与自动化系统紧密配合,有效应对各类突发状况。未来,随着技术的持续进步,需不断优化调度策略,提升人机协同的智能化水平,强化系统在复杂场景下的适应能力,从而构建更加安全、可靠、高效的地铁无人驾驶运营体系,为城市轨道交通的可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]张守武,王恒,陈鹏,张笑语,李擎.神经网络在无人驾驶车辆运动控制中的应用综述[J].工程科学学报,2022,44(02):235-243.
- [2]胡宇辉,王旭,胡家铭,龚建伟,王克,李桂鹏,梅程.越野环境下无人驾驶车辆技术研究综述[J].北京理工大学学报,2021,41(11):1137-1144.
- [3]陈帅,黄孝慈,吴训成.基于RRT的无人驾驶车辆运动规划算法[J].农业装备与车辆工程,2022,57(09):60-64.
- [4]屈盼让,薛建儒,朱耀国,肖鹏.面向无人车运动规划问题的VFH算法[J].计算机仿真,2021,35(12):245-251.