

铁路工程

地铁网络化运营下行车调度联锁故障传播与阻断策略

王禹

徐州轨道交通运营有限公司

【摘要】随着城市轨道交通的快速发展,地铁网络化运营已成为现代都市交通的重要组成部分。然而,在地铁网络化运营过程中,行车调度联锁故障的发生不可避免,这些故障不仅会影响行车安全,还会降低运营效率。因此,深入研究地铁网络化运营下行车调度联锁故障的传播机制,并提出有效的阻断策略,对于保障地铁系统的稳定运行具有重要意义。本文首先阐述了地铁网络化运营的定义与特点,接着分析了行车调度系统的基本原理及关键技术,然后对联锁故障进行了定义与分类。在此基础上,探讨了故障传播对行车调度的影响,包括对行车安全和运营效率的影响。最后,本文提出了阻断策略的实施与优化方法,旨在为地铁运营部门提供有益的参考。

【关键词】地铁网络化运营;行车调度;联锁故障;故障传播;阻断策略

Fault Propagation and Mitigation Strategies for Downline Train Dispatch Interlocking in Networked Metro Operations

Wang Yu

Xuzhou Rail Transit Operation Co., Ltd.

【Abstract】With the rapid development of urban rail transit, networked metro operations have become a vital component of modern urban transportation systems. However, the occurrence of train dispatch interlocking failures during networked operations is inevitable, which not only compromises operational safety but also reduces efficiency. Therefore, in-depth research on the propagation mechanisms of downline train dispatch interlocking failures and the development of effective mitigation strategies are crucial for ensuring stable metro system operations. This paper first defines and characterizes networked metro operations, then analyzes the fundamental principles and key technologies of train dispatch systems, followed by the definition and classification of interlocking failures. Subsequently, the impact of fault propagation on train dispatching is examined, including its effects on operational safety and efficiency. Finally, implementation and optimization methods for mitigation strategies are proposed to provide valuable references for metro operators.

【Key words】networked operation of metro; train dispatching; interlocking fault; fault propagation; blocking strategy

一、地铁网络化运营的定义与特点

地铁网络化运营是指在城市轨道交通系统中,通过多条线路的互联互通,形成一个覆盖广泛、高效便捷的地下交通网络。这种运营模式不仅能够大幅度提升乘客的出行效率,还能有效缓解城市地面交通压力。地铁网络化运营的特点主要体现在以下几个方面:首先,它具有高度的互联互通性,各线路之间能够实现无缝换乘,为乘客提供便捷的出行体验;其次,运营效率显著提升,通过优化行车计划和调度策略,能够减少列车空驶和等待时间,提高运输能力;再者,地铁网络化运营还具备强大的应急处理能力,在发生故障或突发事件时,能够迅速调整运营方案,确保乘客的安全和出行需求得到满足。

二、行车调度系统的基本原理

2.1 行车调度系统的作用与功能

行车调度系统在地铁网络化运营中扮演着至关重要的角色,其作用主要体现在对列车运行的全面监控与精准指挥上。通过实时收集列车位置、速度、运行状态等关键信息,行车调度系统能够确保列车按照预定的时刻表和运行路径安全、高效地行驶。同时,该系统还具备强大的调度功能,能够根据实际客流情况、线路状况以及突发事件等因素,灵活调整列车的运行计划,如增减列车班次、改变运行线路等,以最大限度地满足乘客的出行需求,并保障地铁运营的整体效率和安全性。

2.2 行车调度系统的关键技术

行车调度系统的关键技术主要包括数据采集与处理技术、通信技术、智能决策技术以及控制执行技术。数据采集与处理技术能够实时、准确地获取列车运行状态、信号设备状态等关键信息,并进行有效处理和分析,为调度决策提供可靠依据。通信技术则确保了行车调度系统与列车、车站以

及其他相关系统之间的实时、稳定通信,使得调度指令能够迅速传达并执行。智能决策技术运用先进的算法和模型,对采集到的数据进行深度挖掘和分析,为调度员提供科学合理的调度方案建议。控制执行技术则负责将调度指令转化为具体的控制动作,确保列车按照调度要求安全、准确地运行。

三、联锁故障的定义与分类

联锁故障在地铁网络化运营中是行车调度系统面临的一大挑战。联锁故障指的是在地铁信号系统中,由于设备故障、操作失误或外部因素导致的信号系统无法正确执行其联锁功能,进而影响列车安全运行的事件。根据故障的性质和影响范围,联锁故障可以分为技术性故障、操作性故障和环境性故障。技术性故障通常涉及硬件损坏或软件缺陷,例如信号设备老化或系统升级不当;操作性故障则多由人为因素引起,如调度员操作失误或指令传达不准确;环境性故障则可能由极端天气、自然灾害或其他不可抗力因素导致。技术性故障中,硬件损坏可能表现为轨道电路故障、转辙机故障等,这些故障会直接影响信号的显示和道岔的转换,从而威胁列车运行安全;软件缺陷则可能引发系统逻辑错误,导致信号错误显示或联锁关系混乱。操作性故障中,调度员操作失误可能包括错误排列进路、未及时调整运行计划等,这些失误会扰乱正常的行车秩序;指令传达不准确则可能由于通信设备故障或信息传递环节出错导致,使得列车无法按照预期运行。环境性故障中,极端天气如暴雨、大雪、大风等可能影响信号设备的正常工作,导致信号传输中断或显示异常;自然灾害如地震、洪水等则可能直接破坏信号系统和轨道设施,造成严重的行车安全隐患。

四、故障传播对行车调度的影响

4.1 故障传播对行车安全的影响

在地铁网络化运营中,故障传播对行车安全的影响是不容忽视的。故障传播指的是一个初始故障在系统中引发连锁反应,导致更多故障的出现。这种现象在地铁网络中尤为危险,因为地铁系统高度互联,一旦发生故障,可能会迅速波及整个网络,造成大规模的延误甚至事故。故障传播对行车安全的影响主要体现在以下几个方面。首先,它可能导致信号系统混乱,使得列车无法准确接收运行指令,进而增加追尾、冲突等事故的风险。其次,故障传播可能破坏道岔的正常转换功能,导致列车无法按照预定路线行驶,甚至可能驶入错误轨道,造成严重的行车安全隐患。此外,故障传播还可能影响电力供应系统的稳定性,导致列车失去动力或照明,进一步威胁乘客和列车的安全。在极端情况下,故障传播甚至可能引发整个地铁网络的瘫痪,造成无法估量的损失。

4.2 故障传播对运营效率的影响

故障传播会显著降低地铁网络的运营效率。一方面,当

故障发生并传播时,为了确保行车安全,调度中心往往需要采取限速、封锁部分线路等措施,这将直接导致列车运行速度减慢,班次间隔拉大,进而使得乘客等待时间延长,整体运输能力下降。另一方面,故障传播还可能引发列车晚点、取消或改道等情况,这不仅打乱了原有的运营计划,还增加了调度人员的工作负担,他们需要花费更多时间和精力来调整列车运行图、安排备用列车等,以尽量减少故障对运营的影响。此外,频繁的故障传播还会降低乘客对地铁服务的满意度和信任度,长期来看,可能导致客流量减少,进一步影响地铁的运营效率和经济收益。

五、阻断策略的实施与优化

5.1 故障阻断策略的制定与实施流程

在地铁网络化运营中,故障阻断策略的制定与实施流程是确保行车调度系统高效、安全运行的关键。首先,策略的制定需要基于对历史故障数据的深入分析,结合故障传播模型,如故障树分析(FTA)或事件树分析(ETA),来预测和评估潜在的故障风险。例如,通过FTA模型,可以识别出导致系统失效的最小割集,从而确定关键的故障点。在制定策略时,还需考虑地铁网络的拓扑结构和行车调度系统的实时响应能力,确保在故障发生时能够迅速采取措施,最小化对运营效率的影响。

实施流程则要求建立一个多层次的响应机制,包括故障检测、诊断、隔离和恢复四个阶段。在故障检测阶段,利用先进的传感器和监控系统实时监测地铁网络的运行状态,一旦发现异常,立即启动故障诊断程序。诊断程序需要快速准确地识别故障类型和位置,这通常依赖于专家系统或机器学习算法,如支持向量机(SVM)或神经网络,这些算法能够处理大量数据并提供决策支持。一旦故障被诊断出来,接下来的隔离阶段将采取措施阻断故障的传播,比如通过调整行车调度策略,改变列车运行路径或速度,以避免故障扩散到整个网络。

在恢复阶段,策略的制定需要考虑如何尽快恢复正常运营,同时确保乘客安全。这可能涉及到临时调整行车计划,或者在某些情况下,需要进行部分或全部网络的关闭。恢复策略的制定应基于对乘客流量和时间敏感性的分析,以减少对乘客的不便。例如,根据高峰时段和非高峰时段的不同,采取不同的恢复措施。此外,实施流程中还应包括对策略效果的持续监控和评估,确保策略的有效性,并根据实际情况进行动态调整。

5.2 现有阻断策略的评估与改进方向

对现有阻断策略的评估需从多个维度展开,包括阻断效率、对正常运营的干扰程度、资源消耗以及应对不同类型故障的适应性。当前许多阻断策略在应对单一故障点时效果显著,但在面对多故障点或复杂故障传播路径时,往往显得力不从心。改进方向应聚焦于提升策略的智能化水平,例如通

过引入更先进的算法模型,实现对故障传播趋势的精准预测,从而提前采取阻断措施。同时,应加强阻断策略与其他行车调度系统的协同性,确保在阻断故障的过程中,能够最大限度地减少对整体运营的影响。此外,建立完善的阻断策略评估体系也至关重要,通过定期的模拟演练和实际案例分析,不断优化策略参数,提高其在实际应用中的有效性和可靠性。

5.3 阻断策略在实际应用中的效果分析

在实际应用中,阻断策略的效果体现在多个层面。首先,从故障控制的角度看,有效的阻断策略能够迅速切断故障传播路径,防止故障范围进一步扩大,从而保障地铁网络的基本运行秩序。其次,在运营效率方面,合理的阻断策略可以减少因故障导致的列车延误和停运,降低对乘客出行的影响,提升整体运营服务水平。再者,通过对阻断策略实施前后的数据进行对比分析,可以发现策略在资源利用上的优化效果,如减少不必要的设备停机时间和人力投入。然而,实际应用中也存在一些挑战,例如部分复杂场景下阻断策略的响应速度有待提升,以及不同线路间阻断策略的协调性需要进一步加强。因此,持续的效果监测与策略调整是确保阻断策略长期有效性的关键。

5.4 基于数据驱动的阻断策略优化

在地铁网络化运营中,基于数据驱动的阻断策略优化是提升行车调度效率和保障乘客安全的关键。通过收集和分析大量的行车调度数据,包括列车运行时间、故障发生频率、乘客流量等,可以构建出精确的故障预测模型。例如,利用机器学习算法,如随机森林或支持向量机,可以对历史故障数据进行训练,从而预测未来可能出现的故障点和故障类型。这种预测能力对于提前采取阻断措施至关重要,能够有效减少故障对行车调度的影响。

在实际应用中,数据驱动的阻断策略优化需要结合实时数据和历史数据进行动态调整。例如,当某一线路的乘客流量突然增加时,系统可以实时调整列车运行间隔,同时结合故障预测模型,对可能出现的连锁故障进行预警,并提前做好阻断准备。这种策略的实施,不仅能够提高运营效率,还能在一定程度上避免因故障导致的长时间中断,从而提升乘客的出行体验。

此外,数据驱动的阻断策略优化还应考虑多线路间的协同效应。在复杂的地铁网络中,一条线路的故障可能会对其

他线路产生连锁反应。因此,通过构建多线路协同的优化模型,可以实现对整个网络的综合调度。例如,可以采用多目标优化算法来平衡不同线路的运行效率和故障阻断的需要,从而达到整体最优的调度效果。

5.5 阻断策略的未来发展趋势与挑战

随着城市地铁网络的不断扩展和乘客数量的持续增长,行车调度与故障阻断策略的优化显得尤为重要。未来的发展趋势将更加侧重于智能化和数据驱动的决策过程。例如,利用大数据分析和机器学习算法,可以对历史故障数据进行深入挖掘,从而预测潜在的故障风险并提前采取预防措施。此外,实时监控系统和物联网技术的应用将使故障检测更加迅速和精准,为阻断策略的制定提供即时信息支持。然而,这些技术的集成和应用也带来了挑战,如数据隐私保护、系统兼容性以及对专业人才的需求增加等问题。为了应对这些挑战,一方面需要加强技术研发,突破关键技术瓶颈,例如开发更加安全可靠的数据加密技术以保障数据隐私,提升系统的兼容性和互操作性;另一方面,要重视专业人才的培养和引进,通过开展专业培训、与高校及科研机构合作等方式,为阻断策略的智能化发展提供坚实的人才支撑。同时,还需要建立完善的法规和标准体系,规范新技术在地铁行车调度与故障阻断领域的应用,确保其健康、有序地发展。

结语

在地铁网络化运营日益复杂的当下,行车调度连锁故障的传播与阻断策略研究显得尤为关键。通过对行车调度系统基本原理的深入剖析,以及对连锁故障的精准定义与分类,我们更加清晰地认识到故障传播对行车安全和运营效率的双重影响。而阻断策略的实施与优化,不仅需要科学合理的制定与实施流程,还需不断评估与改进现有策略,分析其在实际应用中的效果。特别是基于数据驱动的阻断策略优化,为地铁行车调度故障的预防和处理提供了新的思路和方法。尽管阻断策略的未来发展趋势充满挑战,但只要我们持续加强技术研发,重视专业人才的培养,建立完善的法规和标准体系,就一定能够推动地铁行车调度与故障阻断领域朝着更加智能化、高效化的方向发展,为城市轨道交通的安全与顺畅运行保驾护航。

参考文献

- [1]胡为祥.城市轨道交通连锁区发生连锁故障时行车组织探讨[J].人民公交, 2024(16): 49-51.
- [2]王秀丹.城市轨道交通行车效率提升策略研究[J].交通世界, 2023(21): 14-16.
- [3]孔宪群.地铁运营非正常情况下的调度调整方式分析.黑龙江交通科技, 2023(03): 177-179.
- [4]赵兴东;周旭;杜斌.城市轨道交通智能行车调度系统分析[J].中国高新科技, 2023(01): 60-62.
- [5]李远.基于行车调度在地铁运营中的调整论述.人民公交, 2024(16): 84-86.