

轨道交通列车运行调度协同管理模式研究

王贻笑 陶宇宾

温州市铁路与轨道交通投资集团有限公司运营分公司 浙江 温州 325000

摘要：轨道交通网络化运营背景下，列车运行调度面临跨线路、跨主体、跨层级的多维协调难题。本文从协同管理理论出发，系统分析轨道交通列车运行调度的协同需求，构建包含信息协同、决策协同、执行协同三个维度的调度协同管理框架，提出“集中-分布”混合式调度协同模式，并探讨其运行机制与保障条件。研究认为，调度协同管理模式的有效运行依赖于统一的信息共享平台、清晰的权责划分规则以及动态协调机制的制度化。本文的研究可为轨道交通调度管理体制深化改革提供理论参考。

关键词：轨道交通；列车调度；协同管理；运营组织；调度模式

引言

随着城市轨道交通网络规模持续扩大，线路之间的关联性显著增强，单一线路的调度决策往往产生跨线路的连锁影响。传统以线路为单元的独立调度模式难以应对网络化运营中的客流波动、突发事件和运力协调等问题。本文旨在从管理协同的视角，探讨轨道交通列车运行调度协同管理模式的内涵、框架与运行机制，以期调度组织优化提供理论支撑。从实践层面看，我国多个城市已进入轨道交通网络化运营阶段，线网规模扩大带来运输组织复杂性的非线性增长。换乘站数量增加使线路间的耦合关系日益紧密，某一线路的列车延误可能通过换乘通道迅速传导至多条线路，引发网络性晚点。同时，客流分布的时空不均衡性要求调度决策具备更强的全局视野和动态调整能力。然而，现行调度管理体制多沿袭单线运营时期的设计思路，以线路为单元独立设置控制中心，各线路之间缺乏制度化的协调渠道。这种管理架构与网络化运营的现实需求之间存在明显张力，亟需从管理模式层面进行系统反思与重构。

1 轨道交通调度协同管理的理论基础与需求分析

1.1 协同管理理论的核心要义

协同管理理论源于 Haken 的协同学说，强调系统中各子系统通过非线性相互作用产生整体效应。在管理领域，协同管理指通过制度设计、信息共享和流程再造，使组织内各单元在目标一致的前提下实现资源整合与行动协调。其核心要素包括：目标一致性、信息互通性、权责清晰性和响应动态性。将协同管理理论引入轨道交通调度领域，意味着需要超越传统的层级指令模式，构建多主体参与的协调网络。协同管理的理论价值在

于揭示了“整体大于部分之和”的组织逻辑。在轨道交通调度场景中，各线路调度台如果仅追求本线路的运行秩序，可能导致换乘衔接失配、运力资源配置扭曲等网络性问题。协同管理要求各调度单元在保持自主性的同时，将网络整体运行效率纳入决策考量，通过协调机制实现个体理性与集体理性的统一。这一理论视角为调度管理模式创新提供了重要的分析框架。

1.2 轨道交通调度协同的多维需求

轨道交通列车运行调度的协同需求体现在三个层面。其一，线路间协同。换乘站的列车到发衔接直接影响乘客出行体验，某一线路的延误可能通过换乘通道传导至相邻线路，需要跨线路的调度协调。其二，主体间协同。随着运营主体多元化，不同公司负责的线路在同一网络内运行，调度决策需要跨组织协调。其三，层级间协同。线网指挥中心、线路控制中心和车站三级调度机构之间需要明确分工与信息传递机制。此外，突发事件下的应急调度更需要多层次、多主体的快速协同响应。从时间维度看，调度协同需求可分为日常运营和应急场景两类。日常运营中，协同需求主要表现为换乘衔接优化、首末班车协调和运力匹配调整等，其特点是频次高、影响面相对可控^[1]。应急场景下，协同需求表现为突发事件的信息通报、跨线路运力调整和乘客疏运联动等，其特点是时效性强、决策压力大。两类场景对协同机制的要求不同：日常协同侧重于制度化、常态化的信息共享与协商程序；应急协同则要求快速升级、集中决策的响应通道。调度协同管理模式的设计需要兼顾两类场景的差异化需求。

1.3 传统调度模式的局限性

传统调度模式以线路为边界,各线路控制中心独立行使调度指挥权。这种模式在单线运营条件下效率较高,但在网络化条件下暴露出明显不足。一是信息孤岛现象突出,各线路间缺乏实时信息共享机制;二是决策碎片化,局部优化可能损害网络整体性能;三是应急响应迟缓,跨线路协调依赖临时沟通,缺乏制度化通道。因此,亟需构建适应网络化运营的调度协同管理模式。进一步分析,传统模式的局限根源于其组织设计逻辑。单线运营时期,线路之间关联度低,独立调度具有合理性和效率优势。但网络化运营改变了线路间的关系结构,换乘站成为线路耦合的关键节点,客流在网络中流动而非在单线中循环。组织设计未能随运营环境变化而调整,导致管理能力与运营需求之间的结构性失配。这一判断意味着,调度协同管理不是对传统模式的简单修补,而是需要在组织架构、权责配置和运行规则等层面进行系统性重构。

2 调度协同管理框架的构建

2.1 信息协同维度

信息协同是调度协同的基础。其核心在于建立覆盖全网的实时信息共享平台,实现列车位置、客流状态、设备状况、突发事件等信息的标准化采集与互通。信息协同的关键不在于技术本身,而在于信息权责的界定:哪些信息必须共享、共享的时效要求如何、信息质量由谁负责。应当建立分级分类的信息共享清单,明确各调度主体的信息报送义务和获取权限,避免信息过载与信息垄断并存的困境。信息协同的实现需要解决三个具体问题。第一,信息标准化。不同线路的信号系统和调度系统可能采用不同技术标准,数据格式和接口协议存在差异,需要制定统一的数据交换规范^[2]。第二,信息时效性。调度协同对信息时效要求极高,列车位置信息通常需要秒级更新,突发事件信息需要即时推送。第三,信息可靠性。共享信息必须准确可靠,错误信息可能导致协调决策失误。因此,应建立信息质量校验机制和责任追溯制度,确保共享信息的可信度。

2.2 决策协同维度

决策协同涉及调度权限的配置与协调程序的设计。根据决策影响范围,可将调度决策分为三类:线路内部决策、跨线路协调决策和全网应急决策。线路内部决策由线路控制中心自主行使;跨线路协调决策由相关线路调度台协商产生,必要时由线网指挥中心介入;全网应急决策则由线网指挥中心统一指挥。这种分层决策结构既保留了线路调度的自主性,又在关键环节实现了集中协调。决策协同的关键在于明确各类决策的触发条件

和升级程序,使协调过程有章可循。决策协同的难点在于权限边界的动态调整。如果线网协调层介入过多,可能削弱线路调度的积极性和响应速度;如果介入过少,则难以解决跨线路的外部性问题。合理的做法是建立基于影响范围的权限配置规则:当事件影响限于单线时,由线路自主决策;当影响波及相邻线路时,启动协商程序;当影响扩展至全网时,自动升级为集中决策。这种规则化的权限配置既保持了灵活性,又避免了随意性。

2.3 执行协同维度

执行协同关注调度指令的落地效果。调度决策作出后,需要车站、列车司机、维修部门等多方配合执行。执行协同要求建立标准化的指令传达与确认机制,确保指令传递不失真、执行反馈及时。同时,应设计执行偏差的纠正程序,当现场条件变化导致原决策无法执行时,能够快速启动再协调流程。执行协同还涉及与外部单位(如公交、公安)的联动,在应急场景下形成合力^[3]。执行协同的关键在于建立闭环管理机制。调度指令从发出到执行完成,需要经过传达、确认、执行、反馈四个环节。每个环节都应有明确的负责人和时限要求。特别是反馈环节,现场执行情况应及时回传至调度台,使调度员能够掌握指令执行效果并作出后续判断。闭环管理机制的建立,有助于发现执行过程中的堵点和偏差,为调度协同的持续改进提供依据。

3 “集中-分布”混合式调度协同模式

3.1 模式的基本架构

基于上述三维框架,本文提出“集中-分布”混合式调度协同模式。该模式在保留线路调度自主权的基础上,设立线网协调层,形成“线网协调—线路调度—车站执行”的三级架构。线网协调层不直接指挥列车运行,而是负责跨线路协调、应急统筹和信息汇总;线路调度层负责本线路的日常调度指挥;车站执行层负责现场作业执行与信息反馈。三级之间通过标准化接口实现信息贯通和指令衔接。该架构的设计理念是“分布式自主、集中式协调”。分布式自主意味着各线路调度台在日常运营中保持完整的调度指挥权,能够根据本线路实际情况快速作出决策。集中式协调意味着当出现跨线路问题时,由线网协调层牵头组织协商或统一指挥,克服分散决策的外部性。这种混合架构试图在效率与协调之间寻求平衡,既避免了完全集中模式的僵化,又弥补了完全分散模式的协调失灵。

3.2 协调机制的运行逻辑

混合式模式的运行逻辑可概括为“日常分布、应急

集中、跨界协商”。日常运营中,各线路按既定计划自主调度,线网协调层仅履行监测和信息汇总职能。当出现跨线路影响事件时,启动协商程序,由受影响线路调度台共同制定调整方案。当发生全网性突发事件时,线网协调层自动升级为应急指挥中心,统一行使调度指挥权。这种弹性化的权限配置既避免了过度集中带来的僵化,又弥补了完全分散导致的协调失灵。协商程序的设计是混合式模式运行的关键。协商程序应包括以下要素:协商触发条件、参与主体、协商时限、决策规则和未达成一致时的裁决机制。协商触发条件可设定为某一线路延误超过规定阈值且影响相邻线路换乘衔接的情形^[4]。参与主体包括受影响线路的调度台代表,必要时邀请线网协调层人员参加。协商时限应根据事件紧急程度设定,一般不超过数分钟。决策规则可采用共识制或多数制,视事件性质而定。当协商无法达成一致时,由线网协调层裁决。这些程序要素的制度化,是协商机制有效运行的保障。

3.3 权责划分与制度保障

混合式模式的有效运行需要清晰的权责划分。应制定调度协同管理办法,明确各层级调度机构的职责边界、协调程序和责任归属。具体而言,需界定线网协调层的介入条件与退出机制,规定跨线路协商的启动标准和时限要求,建立调度争议的裁决程序。此外,应将协同调度纳入绩效考核体系,对主动协调、有效配合的行为给予激励,对推诿扯皮、信息隐瞒的行为予以问责。制度保障还应包括协同调度的演练与评估机制。定期组织跨线路调度协同演练,检验协调程序的有效性和调度人员的协同能力。演练场景可包括换乘站大客流、线路设备故障、突发事件导致线路中断等典型情形。演练结束后应进行系统评估,识别协调机制中的薄弱环节并加以改进。通过持续演练和评估,使协同调度从制度文本转化为调度人员的自觉行动,逐步形成协同导向的调度文化。

4 调度协同管理模式实施的保障条件

4.1 技术支撑条件

协同调度依赖可靠的技术平台。应建设统一的调度信息共享系统,实现各线路信号系统、监控系统和调度系统的数据互联。同时,开发辅助决策工具,为调度员

提供跨线路影响评估和方案比选支持。需要注意的是,技术系统应服务于管理协同的逻辑,而非替代管理决策。系统设计应保留人工干预接口,避免技术理性对管理判断的过度挤压。

4.2 组织文化条件

协同管理不仅是制度安排,也是文化塑造。长期以来,线路调度员形成了“守土有责”的职业习惯,跨线路协调意识相对薄弱。推动调度协同,需要培育全局导向的组织文化,使调度人员认识到网络整体效率与线路局部利益的一致性。可通过轮岗交流、联合演练和协同绩效评估等方式,逐步强化调度团队的协同意识。

4.3 人员能力条件

协同调度对调度人员的综合素质提出更高要求。调度员不仅需要精通本线路业务,还需了解相邻线路的运行特征和换乘衔接规律。应建立调度人员协同能力培训体系,涵盖跨线路知识、协调沟通技巧和应急决策能力等内容。同时,可设置线网协调调度岗位,选拔具有多线路经验的调度人员担任,发挥其桥梁纽带作用。

结束语

轨道交通列车运行调度协同管理是网络化运营条件下提升运输效率和服务质量的关键课题。本文从协同管理理论出发,构建了信息协同、决策协同、执行协同三维框架,提出了“集中-分布”混合式调度协同模式,并分析了其实施的保障条件。研究表明,调度协同的本质不是简单的权力集中或技术升级,而是管理关系的重构与协调机制的制度化。未来研究可进一步探讨不同网络规模和管理体制下协同模式的差异化设计,以及协同调度效果的评估方法。

参考文献

- [1] 王磊,刘志钢.城市轨道交通网络化运营调度协同机制研究[J].铁道运输与经济,2021,43(5):78-83.
- [2] 陈峰,张勇.基于协同理论的城市轨道交通调度指挥体系优化[J].都市快轨交通,2022,35(2):45-50.
- [3] 李小红,赵明.网络化条件下轨道交通行车调度协同管理研究[J].城市轨道交通研究,2023,26(3):112-117.
- [4] 刘洋,孙建.城市轨道交通应急调度协同决策模型研究[J].交通运输系统工程与信息,2021,21(4):156-162.