

都市圈轨道交通调度指挥一体化模式研究*

曹 锋¹ 朱资岳^{2,3} 陈昌进⁴ 叶玉玲^{2,3} 罗 晋^{2,3}

(1. 浙江省轨道交通运营集团有限公司, 310014, 杭州; 2. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 201804, 上海; 3. 同济大学交通学院, 201804, 上海; 4. 浙江省交通投资集团有限公司智慧交通研究分公司, 310020, 杭州)

摘 要 [目的] 研究都市圈轨道交通调度指挥一体化模式, 有助于解决不同层级轨道交通系统在运营管理协调联动方面存在的难题, 提升运输组织效率和服务质量。[方法] 通过解析轨道交通调度指挥一体化的内涵和需求, 在分析国内外都市圈轨道交通调度指挥发展现状的基础上, 提出了代管模式、集中办公模式、统一管理模式下等3种适用于都市圈轨道交通一体化背景的调度指挥模式, 并采用TOPSIS(逼近理想解排序法)评估方法, 从服务质量、实施难度和总体效能等3个维度对3种调度指挥模式进行了评价, 形成相应的调度指挥一体化管理规则, 为运营企业提供决策依据。[结果及结论] 代管模式和统一管理模式下更适应轨道交通共线运营环境, 有利于保障列车运行安全, 并提高运营管理效率。建议运营企业在综合考虑线路规模和需求的情况下, 合理选择调度指挥一体化管理模式。

关键词 轨道交通; 都市圈; 调度指挥一体化

中图分类号 U284.59

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.04.040

Research on the Integrated Modes of Rail Transit Dispatching Command for Metropolitan Area

CAO Feng¹, ZHU Ziyue^{2,3}, CHEN Changjin⁴, YE Yuling^{2,3}, LUO Jin^{2,3}

(1. Zhejiang Rail Transit Operation Management Group Co., Ltd., 310014, Hangzhou, China; 2. The Key Laboratory of Road and Traffic Engineering, Ministry of Education, Tongji University, 201804, Shanghai, China; 3. College of Transport, Tongji University, 201804, Shanghai, China; 4. Intelligent Transportation Branch of Zhejiang Communications Investment Group Co., Ltd., 310020, Hangzhou, China)

Abstract [Objective] Researches on the integrated dispatching and command modes for metropolitan area rail transit conduce to address problems in operational management coordination and linkage among different levels of rail transit systems, enhancing the transportation organization efficiency and service quality. [Method] By analyzing the connotation and require-

ments of rail transit dispatching and command integration, as well as the current development status of metropolitan area rail transit dispatching and command around the world, three dispatching and command modes suitable for the background of metropolitan rail transit integration are proposed on this basis: trusteeship mode, centralized office mode, and unified management mode. Using the TOPSIS (technique for order preference by similarity to an ideal solution) evaluation method, the above-mentioned modes are assessed from three dimensions: service quality, implementation difficulty, and overall effectiveness. Corresponding management rules for dispatching and command integration are formulated to provide decision-making guidelines for operating enterprises. [Result & Conclusion] The trusteeship mode and unified management mode are more suitable for the rail transit co-line operation environment, and conducive to ensuring the train operation safety and improving the operation management efficiency. It is recommended that operating enterprises should choose a reasonable integrated dispatching and command mode after considering the line scale and demand comprehensively.

Key words rail transit; metropolitan area; dispatching and command integration

当前,推动轨道交通“四网融合”是交通强国的重要内容,我国都市圈对人口和经济承载能力的快速提高,为都市圈轨道交通一体化发展提出了更高的要求^[1]。京津冀、长三角、粤港澳、成渝地区等都市圈均先后出台多层次轨道交通规划,综合轨道交通网络互联互通效应更为明显。

由于不同层级轨道交通的运营主体一般不同,管理制度也存在较大差别^[2],在运营管理协调联动和调度指挥一体化等方面还有待加强。因此,研究协同调度指挥模式,有助于满足轨道交通互联互通运营要求,提升轨道交通运营安全管理水平。

* 上海市自然科学基金项目(22ZR1465800)

1 都市圈轨道交通调度指挥一体化内涵解析

都市圈轨道交通互联互通可分为共线运营和枢纽换乘 2 种模式^[3]。对于共线运营而言,不同层级轨道交通线路存在接轨的情况。不同层级轨道交通系统的调度指挥模式一般不统一,主体多元化也增加了都市圈轨道交通一体化协调运输的难度。例如,城市轨道交通调度指挥是按线路(区域)来设置 OCC(运行控制中心),各线路 OCC 调度指挥较为独立^[4];而城际铁路不同线路之间具备跨线运行条件,在衔接方向多且行车量较大的枢纽车站设置枢纽调度台^[5]。因此,共线运营模式下各系统调度指挥中心之间存在共线、共站、并站等协调问题。

调度指挥一体化的目的就是为了满足都市圈轨道交通一体化的运营需求,实现不同层级轨道交通调度指挥中心的互联互通,保障列车运行安全,提高客运服务水平。针对共线运营模式提出的调度指挥一体化模式需在共线段对列车运行计划编制、行车指挥及各类日常生产活动中进行协调。

2 国内外轨道交通调度指挥模式现状

2.1 国铁调度指挥模式

为实现“一张网”集中管理,国铁集团在调度指挥、客运组织、安全应急等方面贯彻“集中领导、逐级负责”原则,并设有调度处、调度所、调度室(调度车间),分别负责国铁集团、铁路局和车站的日常运输组织指挥工作。国铁集团按相关规定对铁路局调度指挥的安全实施监督管理,各铁路局对本局调度指挥安全工作全面负责,各车站对本站调度指挥安全工作全面负责。

为统一全路调度工作,TG/CW 103—2017《铁路运输调度规则》规范了国铁集团及所属各铁路运输企业的调度管理工作,明确了运输调度的组织机构、职责范围、工作制度和调度工作设备配置的基本要求,规定了运输调度日常工作必须遵循的基本原则、职责范围、工作办法、作业程序和相互关系。

2.2 东京都市圈轨道交通调度指挥模式

东京都市圈拥有发达且完善的轨道交通网络,呈明显的圈层结构,可划分为城际铁路、市域铁路以及城市轨道交通等 3 个层级。城际铁路和部分市域铁路采用调度集中 CTC(中央调度集中)系统;地铁和部分市域铁路采用 ATC(列车自动控制)系统,

调度指挥系统均以公司为单位,实行集中管理、一级指挥。对于枢纽换乘模式,如新干线与既有线互不跨线运行,其调度指挥分开设置,并在衔接站点通过设置分界口进行管理。对于共线运营模式,为车辆配备了统一的信号和安全设备,并接入同一调度中心集中统一调度^[6]。

2.3 大巴黎都市圈调度指挥模式

大巴黎都市圈轨道交通发展起步较早,已形成较完善的轨道交通体系。根据技术特点和功能定位,可以分为地铁、RER(市域快速轨道交通)、市郊铁路和有轨电车等 4 个层级。RER 和市郊铁路均采用二级管理或三级管理模式,即国家调度中心、分局调度中心(二级管理结构无)和 CTC 指挥中心,按线别设置调度指挥中心;地铁调度采用 CBTC(基于通信的列车控制)系统;对于共线运营段则由某一线路调度指挥中心统一指挥。

3 都市圈轨道交通调度指挥一体化模式选择及规则研究

3.1 调度指挥一体化管理原则

1) 集中管理,统一指挥,逐级负责。调度指挥工作必须坚持安全生产的总方针,贯彻集中领导、统一指挥、逐级负责的原则,各层级轨道交通调度指挥紧密配合、协调运作,确保旅客安全和行车安全,完成各项工作任务。

2) 以人为本,保障安全,提高效率。不同层级轨道交通线路的调度指挥管理工作,必须以安全运送旅客为中心,同时满足设备维护需要,提供安全、准点、舒适、快捷的运营服务。

3) 以列车运行图为基础。调度指挥管理工作必须以生产计划为依据。列车运行图作为调度指挥的基础,以运作命令或值班主任调度命令的形式发布执行,并根据客车晚点情况及时采取措施,调整客车运行,实现按图行车。

3.2 调度指挥一体化管理模式

枢纽换乘模式一般由各自层级轨道交通的调度指挥中心独立承担调度指挥工作,而共线运营模式存在共线段调度指挥问题需要协调,因此本文主要针对轨道交通一体化共线运营模式,提出 3 种一体化管理模式。

1) 代管模式。不同层级轨道交通列车在独立线路上运行时,由各自的调度中心指挥管理;在共线线路上运行时,交由某一层级调度指挥中心进行

管理,按代管方的调度指挥管理办法执行。一般而言,鉴于高速铁路、城际铁路等国铁系统对共线、共站的调度指挥经验更为丰富,推荐由国铁运营单位进行代管。

2) 集中办公模式。不同层级轨道交通共线线路(区域)的调度指挥中心设置在同一地点,按线别以各单位现行要求进行调度指挥。这种模式易于不同层级轨道交通调度员之间进行实时信息交流,有利于及时解决共线段列车运行过程中所产生的问题,提高调度指挥的运输效率。协调方式一般以提前协商和签订合同为主,但当遇到突发且无法协商的问题时,没有统一的协调机构进行处理。

3) 统一管理模式。对于不同层级轨道交通的共线线路(区域),联合设置统一的调度指挥机构,借鉴某一层级轨道交通调度指挥技术标准,对共线段进行统一调度指挥,有利于提高指挥效率和保障列车运行安全。双方人员共同组建共线运输协调办公室,负责共线运输相关工作的协调和指导。

3.3 调度指挥一体化模式评价

调度指挥一体化模式受多种因素影响(见表1)。服务质量中,列车开行自由度体现不同调度指挥模式对列车运行的影响,协同需求完成程度衡量调度指挥系统是否适应实际情况,即时信息覆盖率则在宏观上影响整个系统的服务质量。实施难度体现能否以最小的代价获得系统最大限度的性能提升,包括从基础设施到调度指挥系统建设再到具体计划管理,确保调度指挥在实际操作中得到有效应用。总体效能反映不同模式带来的整体差异。

表1 都市圈轨道交通调度指挥一体化模式的影响因素

Tab.1 Factors influencing the dispatching and command integration modes of metropolitan area rail transit

影响维度	影响因素
服务质量	列车开行自由度 X_1
	协同需求完成程度 X_2
	即时信息覆盖率 X_3
实施难度	运输资源管理难度 X_4
	调度指挥系统建设难度 X_5
	计划管理难度 X_6
总体效能	总体运能 X_7
	应急响应与运维效率 X_8
	复合系统可靠度 X_9

为进一步评价这3种调度指挥模式的优劣,利

用基于熵权的TOPSIS(逼近理想解排序法)评估方法,分别计算代管模式(模式1)、集中办公模式(模式2)、统一管理模式(模式3)的优先级。

1) 构建评价矩阵 R 。令 r_{ij} 表示第 i 种调度指挥模式的第 j 个指标的值。分别对3种调度指挥模式9个指标进行多专家评分,并通过取均值减少评分差异性对评价指标值的影响。

$$R = [r_{ij}]_{3 \times 9} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 4 & 5 & 4 & 5 \\ 3 & 4 & 5 & 1 & 2 & 2 & 4 & 2 & 2 \\ 4 & 5 & 5 & 3 & 1 & 3 & 5 & 5 & 4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2) 确定正理想解 S_{best} 和负理想解 S_{worst} 。

$$S_{\text{best}} = [4 \quad 5 \quad 5 \quad 4 \quad 5 \quad 4 \quad 5 \quad 5 \quad 5] \quad (2)$$

$$S_{\text{worst}} = [1 \quad 2 \quad 3 \quad 1 \quad 1 \quad 2 \quad 4 \quad 2 \quad 2] \quad (3)$$

3) 计算各模式与正理想解、负理想解之间的距离 $d_{\text{best},i}$ 、 $d_{\text{worst},i}$ 。

$$\left. \begin{aligned} d_{\text{best},1} &= 4.80, d_{\text{worst},1} = 6.58 \\ d_{\text{best},2} &= 6.56, d_{\text{worst},2} = 3.61 \\ d_{\text{best},3} &= 4.36, d_{\text{worst},3} = 6.40 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

4) 计算各评估方案的相对贴合程度 c_i 。

$$c_1 = 0.578, c_2 = 0.355, c_3 = 0.595 \quad (5)$$

由结果可知,代管模式和统一管理模式对于共线运营下的调度指挥一体化具有较好的适应性。代管模式虽然削弱了被代管方的运营主体地位,但减少了调度指挥协调的难度;统一管理模式虽然在建设过程中存在一定难度,但可以兼顾服务质量与运营效率,满足不同层级轨道交通间较高度度的协同运输需求。随着区域轨道交通线网规模的扩大,以及大数据、人工智能等技术发展,互联互通运输的需求会越来越大,运营方根据实际情况合理选择代管或统一管理模式开展调度指挥显得更为必要。

3.4 调度指挥一体化管理规则

借鉴铁路和城市轨道交通调度指挥相关规定,提出共线调度指挥管理规则。

1) 调度指挥工作以“集中管理、统一指挥、逐级负责”为原则,实行昼夜不间断工作制。

2) 运营单位应根据共线运营线路规模和需求,合理选择调度指挥管理模式,确定是否需要设置统一的调度中心或调度指挥协调机构。为提高调度指挥一体化和客运服务质量一致性,宜优先采用代管模式或统一管理模式。

3) 代管模式下,共线运营由代管方统一调度指挥;集中办公模式下,不同层级轨道交通的调度指挥中心设在同一地点,按各自管理办法执行,对共

线运行中产生的问题,双方提前协商或及时协调解决;统一管理模式下,不同层级轨道交通设置统一的共线协调运营控制中心进行集中调度指挥。

4) 运营单位应结合线路资产权限和共线段管理模式,明确不同运营单位间调度指挥权限的划分范围,确定共线段调度指挥的协调方式和协调办法,以及正常、非正常和应急情况下调度指挥方案。

5) 运营单位应根据共线段线路设计运能、客流需求和设备技术条件,编制共线段列车运行图,并根据列车运行情况 and 旅客出行规律及变化,及时调整和优化共线段列车运行图。

4 结语

1) 目前国内不同层级调度指挥独立运行,都市圈轨道交通一体化依赖于调度指挥一体化管理。

2) 代管模式、集中办公模式和统一管理方式是解决共线段调度指挥一体化问题的可选择方案。

3) 采用 TOPSIS 评估法对方案进行评价,结果表明,代管模式或统一管理调度指挥模式具有综合优势,可作为运营企业科学决策的依据。

参考文献

- [1] 朱资岳,何嘉祺,叶玉玲. 市域列车与城际列车共线运营开行方案优化研究[J]. 铁道学报, 2024, 46(5): 1.
ZHU Ziyue, He Jiaqi, YE Yuling. Optimization research on train operation plan for co-line mode between suburban railway and intercity railway [J]. Journal of the China Railway Society, 2024, 46(5): 1.
- [2] 胡康琼. 基于长三角一体化的上海轨道交通融合发展策略

- [J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(1): 6.
HU Kangqiong. Shanghai rail transit integration development strategy based on Yangtze River Delta integration [J]. Urban Mass Transit, 2024, 27(1): 6.
- [3] 叶玉玲,周文涛,何嘉祺,等. 都市圈轨道交通网互联互通运营模式研究[J]. 现代城市轨道交通, 2023(2): 1.
YE Yuling, ZHOU Wentao, HE Jiaqi, et al. Research on interoperability patterns for metropolitan rail transit [J]. Modern Urban Transit, 2023(2): 1.
- [4] 杨金凤. 市域铁路调度指挥系统管控一体化方案探讨[J]. 交通与港航, 2024, 11(1): 28.
YANG Jinfeng. Discussion on the integrated management and control scheme of urban railway dispatching command system [J]. Communication & Shipping, 2024, 11(1): 28.
- [5] 彭磊,王多宏. 重庆轨道交通一体化运营调度系统研究[J]. 铁道运输与经济, 2024, 46(1): 133.
PENG Lei, WANG Duohong. Integrated operation and dispatching system in Chongqing rail transit [J]. Railway Transport and Economy, 2024, 46(1): 133.
- [6] 禹丹丹,陈文,徐晓波,等. 国外地铁线网调度指挥模式对北京地铁的启示[J]. 都市快轨交通, 2023, 36(4): 154.
YU Dandan, CHEN Wen, XU Xiaobo, et al. Dispatch and command mode of foreign urban rail transit network: lessons for Beijing subway [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2023, 36(4): 154.

· 收稿日期:2024-09-20 修回日期:2024-10-25 出版日期:2025-04-10
Received:2024-09-20 Revised:2024-10-25 Published:2025-04-10
· 第一作者:曹锋,高级工程师,caofeng@163.com
通信作者:朱资岳,博士研究生,ziyue_zhu94@163.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 222 页)

- [4] KIRSCH A. Experimental investigation of the face stability of shallow tunnels in sand [J]. Acta Geotechnica, 2010, 5(1): 43.
- [5] LI Y, EMERIAULT F, KASTNER R, et al. Stability analysis of large slurry shield-driven tunnel in soft clay [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2009, 24(4): 472.
- [6] ANAGNOSTOU G, PERAZZELLI P. The stability of a tunnel face with a free span and a non-uniform support [J]. Geotechnik, 2013, 36(1): 40.
- [7] MOLLON G, DIAS D, SOUBRA A H. Rotational failure mechanisms for the face stability analysis of tunnels driven by a pressurized shield [J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2011, 35(12): 1363.
- [8] 陈惠发. 极限分析与土体塑性 [M]. 詹世斌,译. 北京: 人民交通出版社, 1995.

- CHEN Huifa. Limit analysis and soil plasticity [M]. ZHAN Shibin, trans. Beijing: China Communications Press, 1995.
- [9] 王发民,孙振川,李凤远,等. 浅覆土超大直径泥水盾构隧道开挖面稳定性研究 [J]. 施工技术, 2020, 49(7): 58.
WANG Famin, SUN Zhenchuan, LI Fengyuan, et al. Study on face instability of shallow slurry shield tunnel with large diameter [J]. Construction Technology, 2020, 49(7): 58.

· 收稿日期:2023-01-18 修回日期:2023-02-18 出版日期:2025-04-10
Received:2023-01-18 Revised:2023-02-18 Published:2025-04-10
· 通信作者:郑维刚,高级工程师,1030420486@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license