

# 基于智能调度系统的城市轨道交通行车组织优化

石晓明

中国铁路沈阳局集团有限公司调度所 辽宁 沈阳 110100

**摘要：**城市轨道交通网络化运营下，传统调度模式面临诸多痛点。本文剖析行车组织现状，指出其核心要素及传统模式不足，进而分析智能调度系统需求。详细阐述智能调度系统“云-边-端”架构、核心功能模块与关键技术。提出基于该系统的行车组织优化策略，包括动态运行图、多线路协同及应急场景调度优化。展望5G+AI融合与面向智慧城市的网络化运营前景，为提升城市轨道交通行车组织效率与质量提供参考。

**关键词：**城市轨道交通；智能调度系统；行车组织优化

引言：城市轨道交通作为城市交通骨干，其行车组织效率关乎城市运转与居民出行体验。当前，随着网络化运营规模扩大，传统调度模式在调度决策、运行图调整、多线路协同及应急处置等方面暴露诸多问题，难以满足现代运营需求。智能调度系统凭借大数据、人工智能等技术优势，成为解决这些问题的关键。本文旨在探讨基于智能调度系统的城市轨道交通行车组织优化策略，以提升运营效率与服务质量。

## 1 城市轨道交通行车组织现状与问题分析

### 1.1 行车组织核心要素

城市轨道交通行车组织的核心要素包含行车计划、调度指挥、设备保障、人员协同四大维度，是保障线路安全高效运营的基础支撑。行车计划需结合客流特征、线路条件制定全日运行图，明确列车开行对数、停站时间、行车间隔等关键参数，既要满足高峰时段大客流运输需求，又要兼顾平峰期运营经济性。调度指挥作为核心中枢，需实时监控列车运行状态、轨道占用情况、信号设备工况，及时处理突发故障与客流波动，确保列车按图行车。设备保障涵盖车辆、信号、供电、通信等系统的日常维护与应急抢修，直接影响行车组织的连续性与可靠性。人员协同则涉及调度员、司机、车站工作人员、维修人员等多岗位的联动配合，要求各环节高效衔接、信息互通，避免因人为失误引发运营风险<sup>[1]</sup>。当前，随着城市轨道交通网络化运营规模扩大，核心要素间的关联性与复杂性显著提升，对各要素的协同适配能力提出了更高要求。

### 1.2 传统调度模式痛点

传统轨道交通调度模式以人工调度为主，依赖调度员的经验判断与纸质台账、固定指令开展工作，已难以适配现代网络化运营需求，暴露出诸多突出痛点。首先，调度决策主观性强，调度员需同时处理海量实时数

据，易因信息过载导致判断滞后或失误，尤其在多线路交汇、大客流冲击等复杂场景下，难以快速制定最优调度方案。其次，运行图调整灵活性不足，传统运行图多为静态编制，无法根据实时客流变化、设备故障等动态因素及时优化，导致运力浪费或运输能力不足。再者，多线路协同效率低下，各线路调度系统相对独立，信息共享不充分，跨线路列车调度、客流疏导缺乏统一协调机制，易引发换乘拥堵、列车晚点等问题。另外，应急处置流程繁琐，传统应急调度依赖预设方案与人工指令传达，响应速度慢，难以快速应对突发事件，影响运营安全性与服务质量。

### 1.3 智能调度系统的需求分析

随着城市轨道交通网络化、规模化发展，以及乘客对出行安全性、便捷性要求的提升，构建智能调度系统成为解决传统调度痛点的必然需求。从运营效率来看，智能调度系统需具备实时客流监测与分析能力，能够根据客流变化动态调整列车开行计划、行车间隔，实现运力与需求的精准匹配，提升运输效率。从调度决策来看，需依托大数据、人工智能技术，实现故障预警、风险预判，为调度员提供科学决策支持，减少人为失误，提升调度决策的科学性与及时性。从多线路协同来看，需打破线路间的信息壁垒，构建统一的调度指挥平台，实现跨线路列车运行协调、换乘资源优化配置，提升网络化运营协同效率。从应急处置来看，需具备快速响应能力，能够自动触发应急调度方案，实现故障定位、资源调配、指令传达的自动化与智能化，缩短应急处置时间，降低事故影响。从服务质量来看，需通过精准的列车运行控制与信息发布，提升列车正点率，为乘客提供实时、准确的出行信息，改善出行体验。智能调度系统还需具备良好的兼容性与扩展性，能够适配不同线路的运营需求，支持后续线路的接入与功能升级，满足长期

发展需求。

## 2 智能调度系统架构与关键技术

### 2.1 系统总体架构设计

智能调度系统采用“云-边-端”三级架构，实现全流程智能化。云端层是核心中枢，构建统一云计算平台，整合客流、设备运行、列车状态等数据，经大数据分析模型深度挖掘，为调度决策提供数据支撑；部署人工智能算法引擎，实现运行图优化等智能决策功能。边缘层在各线路设边缘计算节点，对端设备采集的实时数据进行本地处理与筛选，降低云端传输压力，实现局部快速调度响应，提升实时性。终端层涵盖列车车载终端等各类数据采集与执行设备，实时采集运行状态等数据，接收云端指令并执行操作<sup>[2]</sup>。系统还设接口层与安全防护层，接口层保障各子系统、设备互联互通及数据传输标准化；安全防护层通过多种技术防范网络攻击与数据泄露。此架构具备分布式部署等特点，能满足网络化运营调度需求。

### 2.2 核心功能模块

智能调度系统有五大核心功能模块。实时监测与数据采集模块，通过传感器等实时采集列车位置等数据，实现全面感知，支持多源数据融合处理。智能运行图优化模块，基于实时与历史数据，运用智能算法动态编制调整运行图，提升运力配置灵活性。多线路协同调度模块，构建统一平台，实现调度信息共享，支持跨线路协调等功能。故障预警与应急调度模块，实时分析设备数据实现故障预警定位，针对应急场景自动生成并执行最优方案。信息发布与服务模块，整合信息通过多渠道向乘客发布，提供出行指引，还支持运营数据统计分析可视化，为管理决策提供参考。

### 2.3 关键技术支撑

智能调度系统的实现依赖于多项关键技术的突破与融合应用。大数据技术为系统提供数据基础，通过构建海量数据存储与管理平台，实现客流数据、设备数据、列车运行数据等多源数据的整合与挖掘，运用数据挖掘算法分析客流变化规律、设备故障特征，为调度决策提供数据支撑。人工智能技术是系统智能决策的核心，包括机器学习、深度学习、强化学习等算法的应用，实现运行图智能优化、故障智能诊断、应急方案自动生成等功能；通过强化学习算法优化列车运行控制策略，提升运行效率。物联网技术实现设备的全面互联，通过部署RFID、传感器、摄像头等物联网设备，实时采集终端设备的运行状态与环境信息，构建“人-车-地”一体化的感知网络，保障数据采集的全面性与实时性。5G通信技术

为系统提供高速、低时延的通信保障，支持海量数据的实时传输与调度指令的快速下发，解决传统通信技术在带宽、时延方面的瓶颈，尤其满足多线路协同调度、列车自动驾驶等场景的通信需求。数字孪生技术构建虚拟调度场景，通过建立轨道交通线路、设备、列车的数字孪生模型，实现运营状态的可视化仿真与模拟推演，支持调度方案的预演与优化，提升调度决策的科学性与安全性。

## 3 基于智能调度系统的行车组织优化策略

### 3.1 动态运行图优化

基于智能调度系统的动态运行图优化策略，核心在于实现运行图从“静态编制”向“动态自适应”的转变，提升运力配置的精准性与灵活性。首先，建立多维度数据驱动的运行图优化模型，整合实时客流数据、列车运行数据、设备状态数据、天气数据等，通过大数据分析预测短期客流变化趋势，明确不同时段、不同区段的运力需求。其次，运用智能优化算法动态调整运行参数，针对高峰时段大客流区域，自动加开直达列车、缩短行车间隔，提升区域运输能力；针对非高峰期客流较少的线路，适当延长行车间隔、优化停站方案，降低运营成本；当遇到设备故障、客流突变等突发情况时，快速重构运行图，调整列车运行路径与停站计划，确保运营连续性<sup>[3]</sup>。同时，建立运行图优化评估机制，从列车正点率、客流承载率、运营成本等多个维度对优化方案进行实时评估，根据评估结果持续迭代优化，形成“数据采集-分析预测-方案生成-执行反馈-持续优化”的闭环机制。另外，动态运行图优化需充分考虑列车运行的安全性约束，确保调整后的运行图满足信号系统限制、列车制动性能、轨道容量等技术要求，实现效率与安全的统筹兼顾。

### 3.2 多线路协同调度优化

多线路协同调度优化以智能调度系统的统一平台为支撑，通过打破线路壁垒、整合资源配置，提升网络化运营效率。一方面，构建多线路客流协同预测体系，基于智能调度系统采集的跨线路换乘客流数据、各线路进站客流数据，运用时空序列预测算法，精准预测换乘站客流峰值与流向，为多线路列车开行计划协同提供依据。另一方面，优化列车运行协同策略，针对换乘需求集中的线路组合，统一调整列车发车时刻，缩短换乘等待时间，实现“无缝换乘”；建立跨线路运力资源调配机制，当某条线路出现客流激增或设备故障时，从相邻线路调度备用列车支援，快速补充运力缺口；同时优化轨道资源占用协调，避免多线路列车在交汇区段、换乘

站出现运行冲突,提升线路通行效率。此外,构建多线路应急协同处置机制,当发生突发事故时,智能调度系统统一协调各线路的列车运行调整、客流疏导、救援资源调配,例如通过相邻线路列车绕行、换乘站限流疏导等方式,快速分散客流压力,降低事故对整个网络的影响。多线路协同调度优化需注重各线路运营特性的适配,在统一协调的基础上,兼顾不同线路的客流特征与设备条件,实现整体运营效益最大化。

### 3.3 应急场景下的智能调度

应急场景下的智能调度依托智能调度系统的实时感知与智能决策能力,构建快速、高效、科学的应急处置体系。建立全方位应急监测与预警机制,通过物联网设备实时监测轨道线路、列车、供电、信号等关键设备的运行状态,运用人工智能算法分析设备故障前兆数据,实现故障的早期预警与精准定位,为应急处置争取时间;同时实时监测客流突变、自然灾害等突发情况,及时触发应急响应。构建智能应急调度方案库,基于历史应急案例与预设规则,建立涵盖设备故障、客流突变、自然灾害等多种场景的应急方案库,当突发情况发生时,系统自动匹配场景类型,快速生成最优应急调度方案,包括列车限速、停运、折返、救援路线规划、换乘疏导等,并支持方案的动态调整。实现应急指令的快速传达与执行,通过5G通信技术将应急调度指令实时下发至列车车载终端、车站设备、工作人员手持终端等,确保各环节快速响应、协同配合;同时通过实时监控跟踪应急处置进度,及时调整优化方案。应急场景下的智能调度需坚持“安全第一、快速响应、最小影响”的原则,在保障运营安全的前提下,最大限度降低突发情况对乘客出行与网络运营的影响。

## 4 未来展望

### 4.1 5G+AI在智能调度中的深度融合

未来,5G与AI深度融合将推动城市轨道交通智能调度系统实现飞跃,构建高效、智能、可靠的调度体系。5G的高带宽、低时延、广连接特性,为智能调度提供强大通信支撑,实现海量实时数据毫秒级传输,满足高实时性场景需求,支持更多物联网设备接入,提升系统感知能力。AI持续迭代增强系统智能决策,通过深度学习构建精准模型,实现调度决策自动化与智能化,如用强

化学习训练列车运行控制模型,用生成式AI生成应急调度方案<sup>[4]</sup>。二者融合催生新调度模式,如远程智能调度、无人化调度中心,AI算法替代部分人工,降低人力成本,提升效率与准确性,借助5G远程控制列车和车站设备,提升运营管理智能化水平。

### 4.2 面向智慧城市的轨道交通网络化运营

随着智慧城市建设推进,城市轨道交通将朝网络化、一体化、智能化发展,构建面向智慧城市的网络化运营体系。运营协同上,与城市其他交通系统深度融合,构建统一综合交通调度平台,实现运力协同、票务互通、信息共享,提供“一站式”出行服务。服务升级方面,依托大数据挖掘乘客需求,提供个性化精准服务,如推荐最优路线、推送定制信息,结合智慧安防、能源系统,实现安全管控智能化、能耗管理绿色化。网络拓展上,支持更大范围运营,实现城市内部、城市群间协同调度,促进区域交通一体化。另外,注重与城市规划等协同衔接,发挥轨道交通引领作用,推动城市空间结构优化与智慧城市建设融合,为市民提供便捷高效绿色智能出行体验。

### 结束语

基于智能调度系统的城市轨道交通行车组织优化,是提升运营效率与质量的重要途径。通过动态运行图、多线路协同及应急场景调度优化等策略,可有效解决传统调度模式痛点。未来,5G+AI深度融合与面向智慧城市的网络化运营,将为城市轨道交通带来新发展机遇。持续探索创新智能调度技术与应用,对构建高效、智能、绿色的城市轨道交通体系,满足市民美好出行需求意义重大。

### 参考文献

- [1]严亚庆.基于智能调度系统的城市轨道交通行车组织优化[J].时代汽车,2025(12):181-183.
- [2]豆飞,吕楠,刘洁,等.城市轨道交通行车调度智能模拟演练系统研究[J].现代城市轨道交通,2022(9):93-99.
- [3]巩圣亮,徐靖昊,张清波,等.智能化调度系统在城市轨道交通中的应用[J].时代汽车,2025(14):8-10.
- [4]刘洁,豆飞,宁尧.城市轨道交通智能应急指挥系统研究[J].智慧轨道交通,2023,60(1):80-85.