doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2022.01.009

新时代我国城市轨道交通运营新模式探讨

谢正光[1]，魏　运[2,3]

（1. 北京市交通委员会，北京 100073；2. 地铁运营安全保障技术北京市重点实验室，北京 100044；
3. 北京市地铁运营有限公司，北京 100044）

摘　要：随着我国城轨交通线网规模的持续扩大和人民出行品质要求的逐步提升，城轨交通运营的质量和效益成为新时代工作的重心。然而，传统“重建设轻运营”思维下的单线建设模式制约网络化运营效益的发挥；同时以人工为主的既有管理模式，也难以满足未来大规模城轨网络高效运营的需求。因此，面对新时代城轨交通高质量发展要求，亟需对城轨交通运营模式进行探索创新。在分析总结我国城轨交通新时代运营需求和发展趋势的基础上，提出网络化运营新模式建设的主要内容，并给出 8 个方面的重点工作任务建议，以期为我国城市轨道交通运营管理转型升级提供思路。

关键词：城轨交通；新时代；运营新模式；网络化；高质量发展

中图分类号：U231　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1672-6073(2022)01-0054-06

New Modes of Urban Rail Operations in the New Era of China

XIE Zhengguang[1], WEI Yun[2,3]

(1. Beijing Municipal Commission of Transport, Beijing 100073; 2. Beijing Key Laboratory of Subway Operation Safety Technology, Beijing 100044; 3. Beijing Subway Operation Co., Limited, Beijing 100044)

Abstract: The quality and efficiency of operations has become the focus of Chinese urban rail transit development with the continuous expansion of urban rail transit lines and networks and the increasing needs of high-quality travel experience from passengers. The traditional development philosophy which emphasizes construction rather than operations of lines constrains the efficiency of networked operations. At the same time, the existing management mode, which is mainly manual, can hardly meet the demand of efficient operations of large urban rail networks in the future. Therefore, facing the requirements of high-quality development of urban rail transit in the new era, it is urgent to innovate and explore the modes of operations for urban rail transit. After summarizing and analyzing demand of operations and development trend of China's urban rail transportation in the new era, this study puts forward the main contents of how to develop new networked operation modes in the new era and gives suggestions on eight key tasks in order to provide ideas for the transformation and upgrading of urban rail transportation operation management in China.

Keywords: urban rail; new modes; new operation modes; networked; high-quality development

---

收稿日期：2021-10-25　　**修回日期：**2022-01-18

第一作者：谢正光，男，教授级高级工程师，主要研究方向为轨道交通运营与管理，xiezhengguang@jtw.beijing.gov.cn

通信作者：魏运，男，博士，教授级高级工程师，主要研究方向为轨道交通运营与管理，luckboy0309@163.com

基金项目：国家重点研发计划(2020YFB1600700)

引用格式：谢正光，魏运. 新时代我国城市轨道交通运营新模式探讨[J]. 都市快轨交通，2022，35(1)：54–59.
XIE Zhengguang, WEI Yun. New modes of urban rail operations in the new era of China[J]. Urban rapid rail transit, 2022, 35(1): 54–59.

1 我国城轨交通发展阶段及其特征

城市轨道交通(以下简称“城轨交通”)既是大城市的骨干交通方式和核心基础设施，也是其他轨道交通(市郊铁路、城际铁路和干线铁路)与城市公共交通系统融合、发挥综合交通网络效益的骨干系统。经过近些年的快速发展，我国城轨交通在城市公共客运系统中的地位不断提升，已成为改善城市居民生活品质、提升人民群众获得感和幸福感的重要载体[1]。截至2020 年底，上海(62%)、广州(58%)、南京(56%)、深圳(54%)、北京(53%)、成都(50%) 6 座城市的城轨交通客运量在公共交通客运量的占比均超过 50%。另外，南宁(45%)、武汉(44%)、杭州(43%)、西安(40%)等城市的相应占比也呈明显的上升趋势[2]。

我国城轨交通从 20 世纪 60 年代开通运营，至今已有 50 多年的发展历史，因时代的不同，在不同的阶段呈现出不同的发展特性[3]。总结其发展历程，大致可分为 4 个阶段：起步探索阶段、缓慢发展阶段、快速发展阶段，以及目前正转向“以运营为主导”的高质量发展阶段。每个阶段从指导思想、技术装备、工作重心、线路建设、管控模式、安全、服务、管理等多个方面，均呈现出鲜明的代际特征，也展现出我国城轨整体发展脉络。各阶段的发展特征如表 1 所示。

表 1　我国城轨交通发展阶段及其特征

Table 1　Development stages and characteristics of urban rail transit in China

特征	起步探索阶段	缓慢发展阶段	快速发展阶段	高质量发展阶段
时间	1969—1989	1990—2009	2010—2019	2020 年—现今
规模速度	2 座城市，总运营里程 47 km；年均通车 2.35 km，年均增长 4.1%	10 座城市，总运营里程 931.6 km；年均通车 39.6 km，年均增长 15.5%	40 座城市，总运营里程 6 736.2 km；年均通车 594.9 km，年均增长 19.38%	50 座城市，总运营里程为 9 192.62 km (截至 2021 年 12 月 31 日)
指导思想	战备为主，兼顾交通	交通为主，兼顾战备	支撑城市发展	支撑城市现代化
技术装备	跟跑	跟跑	跟并跑	并跑、领跑
工作重心	建设为主，探索运营	重建设，轻运营	建设与运营并重	以运营为主导
线路建设	单线独立	初步成网	物理上超大规模网络	互联互通，直联直通
管控模式	人工控制	人工为主，设备为辅	人工为主，设备为辅	设备为主，人工为辅
	单线控制，物理分散	单线控制，物理分散	单线控制，物理集中	网络化管控
安全	安全基础条件十分薄弱	安全观已经基本树立	安全可靠性处于世界前列	新一代闭环主动安全防控体系
服务	乘客“可以走”	初步实现乘客“走得了”	实现了乘客“走得了”	逐步满足乘客“走得好”的要求
管理	人工管理	初步规范化和信息化管理	共建共治共享	治理体系和治理能力现代化

经过半个多世纪的发展，我国拥有城轨交通的城市之多、线路之长和客运量之大，高居世界前列。北上广深等城市的超大规模城轨交通网络基本形成，成都、西安等大城市骨干网已基本形成，其他大城市也相继完成骨干线路的建设[4-5]。城轨交通的发展已经从拼速度、比规模的快速发展方式转向拼质量、比效率的高质量发展方式，这对高质量的运营管理提出了更高的要求。然而，传统的单线建造模式，造成了当前我国城轨交通仍以物理层面网络化下的单线运营模式为主，网络化效能有较大的提升空间，运营服务水平难以匹配高品质服务要求下的居民高效出行需求，还存在常态限流、换乘大客流集聚、“小故障、大影响”等突出的现象。因此，亟需探索新型运营模式，以满足网络化发展要求，提升线网运营的综合效能，增强综合服务与管控水平。

2 新时代城轨交通运营发展需求与趋势

城轨交通作为百年工程和城市最大的单体建筑，其发展与人民需求、城市和交通发展等方面息息相关。新时代人民的出行需求提升、城市现代化发展以及交通一体化发展，均对我国城轨交通高质量发展提出了要求，需要从基础设施的优化提升、技术装备的智能升级及运营管理模式的重构等方面进行变革创新。

2.1 新时代城轨交通运营需求分析

1) 我国社会主要矛盾转变对城轨交通高质量发展提出新要求。我国社会的主要矛盾已经转变为“人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾”，人民的交通需求也从“走得了”演变成了“走得好”[6]。单纯的安全可达、方便快捷已难以满足乘客的出行需求，特别是新冠疫情发生后，列车满载率已引起高度关注。人民群众对城轨交通安全、效率、

舒适、经济、个性化和定制化的要求越来越高，出行品质日益成为关注重点，城轨交通高质量发展必须有人民满意的一流服务，做到乘客“走得好”。

2) 我国城市现代化对城轨交通高质量发展提出新要求。城轨交通是城市发展的产物，也是城市发展的重要支撑，城轨交通与城市发展始终相辅相成。首先，城轨交通和城市发展互为支撑。城轨交通在缓解城市交通拥堵、优化城市空间结构等方面，发挥了重要作用；城市现代化须交通先行，“智慧城市”必然离不开“智慧城轨”的支撑；支撑城市现代化，是新时代城轨交通的重要使命。其次，城轨交通对城市经济的依赖性强。城轨交通作为公共交通，具有成本高、票价低的特点，其运营需要有足够的财力支撑，特别是随着线网规模的扩大，成本控制压力越来越大，更加注重质量和效益。实现降本增效，是我国城轨交通新时代高质量发展的重要特征和必然要求。最后，城轨交通是城市社会发展的重要载体。城轨交通是一项重要的社会公共事业，被称为“轨道上的流动社会”，直接关系到社会公共利益，关系到人民群众的生活质量，关系到城市的可持续发展。借助新技术赋能，改变城轨交通的生产方式，促进城市生产要素流动，改善城市生态环境，建设城市社会文明，提升人民群众的获得感和幸福感，也是实现新时代城轨交通高质量发展的必由之路。

3) 交通一体化对城轨交通高质量发展提出新要求。交通强国建设、都市圈发展所提出的“一张网”“一体化”等内容，也为未来交通指明了发展方向。城轨交通一体化，就是使城轨交通体系的各子系统之间及与外部因素高度协调，所有资源进行统一调配、统一管理，以达到系统的整体优化[7]。从居民出行角度来看，交通系统本是一个“一体化”的网络体系，需要破除轨道一体化发展既有硬件和软件方面的掣肘，以便统筹安排既有资源，统一协调线网间的关系，实现线网运营社会效益、经济效益的最大化[8]。遵循交通“一张网”自身发展的规律性，是轨道交通向更高服务质量、更高管理水平发展的必然趋势。

2.2 新时代我国城轨交通运营发展趋势

城轨交通作为满足居民美好出行需求、支撑城市现代化和交通一体化的重要基础设施，在新一轮科技革命和产业变革的驱动下，呈现出全新的发展态势。

1) 在基础设施方面，“多网融合”已成为未来发展方向。推进城轨交通与其他交通方式融合发展，构建城市(群)一体化交通网，“城市交通区域化、区域交通城市化”已成为未来发展趋势[9]。这需要城轨交通运营方式不仅要从“单线运营”过渡到“网络化运营”，而且要实现城轨与其他交通方式互联互通。一体化、网络化、智能化的一流基础设施，是实现上述目标的前提。

2) 在技术装备方面，自主创新、智慧引领已成为历史必然。当前，我国城轨技术装备已实现了由整体“跟跑”到部分“跟并跑”的转变。进入新时代，北斗、5G、物联网、云计算等新一代智能技术的赋能，为我国城轨行业的智慧化提供了可能；同时实现核心技术装备的自主创新，并推进我国城轨装备的整体“领跑”，已成为城轨交通发展的必然要求。我国交通发展阶段的必然选择，就是实现我国城轨技术装备的自主创新和智慧引领。

3) 在管理方面，智慧化、网络化和治理现代化是城轨交通运营发展的大趋势。随着线网规模的逐步扩大及新兴技术的不断推进，运营管理也逐步从粗放、低效的人工管理和单线管理，转向智慧化、网络化、现代化的管理方向发展。其中，智慧化是手段，是基于新一代信息通信技术与城轨交通运营场景的深度融合，是实现设备或系统自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等的智能化生产方式；网络化是本质，既是城轨交通线网规模化发展后的本质属性，也是最大限度发挥城轨线网效能、实现高质量发展的根本途径；治理现代化是基本路径，治理主体更加多元、理性，治理结构更加开放、科学，治理方式更加先进、有效。建设人人有责、人人尽责、人人享有的城轨交通现代化治理共同体，是城轨交通高质量发展的重要保障。

3 城轨交通网络化运营新模式探讨

基于城轨交通运营发展的新需求与趋势分析，未来城轨交通发展理念将由“服务车”向“服务人”转变，发展目标将由以运营企业为中心的“单线管、按图跑”向以乘客为中心的“网络管、按需跑”转变。因此，未来城轨交通更会将“网”和“智”作为重点发展方向，重构城轨交通运营新模式，实现城轨交通网络化运营、智慧化管理和个性化服务。

3.1 城轨交通网络化运营新模式涵义

城轨交通网络化运营新模式，是在地铁网络化优化提升和智慧地铁发展基础上形成的一种以人为本的城轨交通高质量发展形态。在这种新的模式下，对城轨交通的人、载运工具、基础设施、管理系统等各地铁要素进行了重构[10]，改变了传统的运行指挥体系、

乘客服务体系、维护支撑体系和安全保障体系的逻辑架构，从而构建起一个“以乘客为中心，以客流驱动的运行指挥体系为核心，以需求驱动的乘客服务体系为出发点，以状态驱动的设备维护体系和风险驱动的安全支撑体系为保障”的城轨交通运营新模式。这种运营新模式包括面向乘客需求的全时程智能服务新模式、面向客流-车流耦合的网络化韧性运行新模式、基于数据支撑的集约化预防性状态维护新模式和基于风险驱动的“知-辨-治-控-救”主动安全防控新模式。在这种新模式下，运行指挥体系由客流驱动，通过客流调度实现全线网客流动态信息实时监控、信息报送和客流引导，为行车调度和设备调度做支撑，最终实现以客流驱动的动态调图、多线路集约化的网络化调度、灵活响应的高效列车控制的目标；乘客服务体系以乘客需求来驱动，利用智能化技术感知乘客需求后，定制个性推送和自助服务的响应，并将服务质量反馈给乘客，由乘客进行服务质量评价；维护保障体系以设备状态驱动作业，以智能感知检测为基础，实现从在线感知设备设施状态、应用大数据智能自主诊断分析状态信息、维修决策优化和专家远程辅助维修，到最后对维修作业质量进行评价的闭环管理，从而实现资产全生命周期管理；安全支撑体系以风险驱动，通过对风险隐患的辨识，触发风险预警机制，主动做出防控辅助决策，实现被动安全向主动安全防控的转变，达到内保运营安全、外防环境安全、严控公共安全的目标(见图 1)。

3.2 城轨交通网络化运营新模式重点任务

城轨交通网络化运营新模式具有设备设施关联性强、安全管控难点多、客运组织管理复杂，以及运营服务管理更注重统一性、联动性、协调性和共享性等特点，需借助新技术、开发新系统、研制新装备，突破单线运营模式。鉴于此，本文重点从安全、运行、服务、维护、安检、基础保障、企业管理和社会治理等角度，给出 8 个方面的重点任务建议，以期全面支撑网络化运营新模式的实现。

1) “知-辨-治-控-救”闭环管理，构建主动安全防控新模式。安全是城轨交通运营的永恒主题。区别于传统安全管理模式的异常被动接报处置，主动安全防控新模式的目的是实现系统风险的提前防控，将“安全关”前置，将异常排除在运营线外，尽可能消除“在线故障”。面对城轨网络的巨型系统运行风险、海量乘客行为风险、危险品/人威胁，需强化由“人-机-环-管”四大要素和“治-控-救”三道防线组成的矩阵式安全管控体系。该体系的重点是在“控”上下功夫，通过推广应用智能感知、在线监测等技术，对“人、机、环、管”四大要素提前感知、预判、预测和预警，实现对风险要素的精准“知-辨”，制定主动防控策略，尽可能避免问题发生在运营线上，打造安全闭环管理机制，形成网络主动安全防控的新模式、新平台，确保城轨交通运营安全。

2) 精准感知、耦合优化，构建网络化韧性运行新模式。网络化韧性运行新模式，其本质在于精准匹配

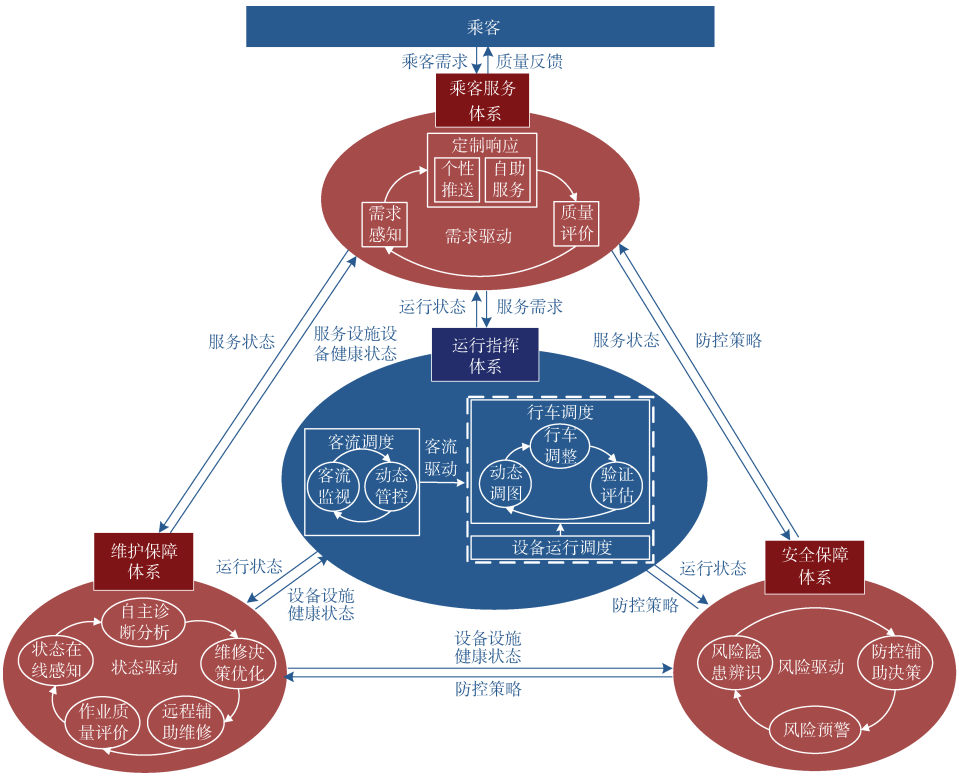

图 1　以乘客为中心、以运行指挥体系为核心的运营新模式

Figure 1　The new operation mode with passengers as the center and operation command system as the core

线网的运力和运量、快速响应线网异常情况，最大限度地发挥线网运输整体效能，保持线网的运行能力。在网络化运营阶段，客流动态性和不均衡特征明显。客流时空分布不规律，不同线路之间客流分布不均衡，具体表现在：同一线路不同方向、不同区段客流分布也存在不均衡现象。然而目前的城轨交通系统，一方面，各线路的折返线、库线等配线少，线与线之间、线与场段之间的联络线少，导致线网运行韧性不足；另一方面，列车固定编组，造成网络客流-车流协同管控、精准耦合难，导致资源利用不集约、运力浪费。因此，需要构建网络化韧性运行新模式：在管理层面，要从理念上改变传统管理权限，对线网进行网络化改造优化，打破车辆、车辆段、线路管理主体之间的固定配属关系，灵活设置车辆编组和发车间隔，加快实现不同线路之间列车的直联直通和跨线运行，提升网络韧性；在技术层面，不仅要突破智能客流感知、网络化动态调度、基于车车通信的列车控制 3 项关键技术，构建客流-车流耦合的线网级协同调度平台，还要建立实时客流-车流耦合的动态调度及列车控制联动机制，实现客流-车流的耦合优化和线网列车群的协同优化。最终，形成城轨交通网络高效韧性运行的新模式，全面提升城轨网络运行效率和网络韧性。

3) 无人化、智能化、个性化，构建乘客全时程出行服务新模式。乘客全时程出行服务新模式不仅是在乘客出行中提供服务，而且是针对乘客全出行链提供个性化、定制化的高品质服务。例如出行前的规划、预约，出行中的定位、引导，出站前的交通接驳等。目前，乘客全时程出行存在诸多问题，如资讯不便、导向不清、站外限流、站台滞留、车厢拥挤等。下一步的工作重点：一是实现线下服务设施标准化、智能化、自助化，打造智能车站；二是确保线上交互服务个性化、定制化，通过全方位感知乘客全时程个体出行时空规律、路径偏好、决策机理与个性化需求，建立乘客个体出行特征的精准画像，重点突破乘客智能交互服务技术、乘客智能助推服务技术、服务信息精准发布与推送技术，研发个性化、无人化智能交互客服平台，构建乘客全时程出行服务新模式。

4) 资源共享、资产联动，构建网络化集约维护新模式。网络化集约维护是基于维修资源、人员、设备设施状态数据的共享机制，整体规划，合理布局，不仅要实现维修资源的网络化布局和网络化调度，还要统筹车辆等设备设施的维修计划，达到车辆等设备设施利用率高效和降低维护成本的目的。城轨交通目前仍采用以计划修、故障修为主的维护方式，导致运营企业维修成本高、维修资源共享率低、维修资产与需求无联动、维修模式不集约等问题。城轨交通未来的维护模式将由现在的“计划修+故障修”模式，向“预防性状态+网络化应急抢修”模式转变。与此同时，通过采用网络化思维和科学的运筹规划方法，探索维修对象、维修资源和维修模式之间的最佳匹配机制，以及多专业协同作业信息融合分发机制。重点攻克城轨关键装备感知增强技术、全生命周期服役评估增强技术和网络化智能维护能力增强等关键技术，开发网络化运维增强平台，最终实现维修资源的网络化调度和动态管理，形成轨道交通网络集约维护新模式。

5) “信用+”精准辨识，构建乘客一体化无感安检新模式。安检是安全防控平台的一部分，是乘客对地铁服务最直接的体验点，不仅直接影响乘客的出行效率，还影响着地铁系统的运营安全。在超大规模的城轨运营网络中，现行的安检模式“检人”能力与客流量之间的矛盾日益尖锐：“严安检”导致大量乘客长时间排队等候，也造成新的安全隐患；“保畅通”则需降低安检标准，导致“检人”环节质量不高。一体化无感安检新模式的目标是实现人、物、票的无感同检，以实现快速安检、高效通行和降本增效的目标。打造基于乘客信用的“信用+”智慧安检新模式重点在于：一是突破基于“生物识别”的海量客流的快速通行技术瓶颈，实现大客流场景下乘客身份的精准辨识；二是建立基于乘客信用体系的安全验证技术，使安检力量更有针对性地使用在重点人群；三是研发新兴智能人、物、票无感同检新技术和新设备，构建乘客信用安全认证标准和动态管理平台。

6) 高精度定位+高通量传输+空间数字化，构建城轨新基建时空基准体系。城轨新基建时空基准体系，是以数据的形式表示城轨系统地理要素在真实世界的空间位置及其时变的参考基准，是精准掌握城轨交通系统时空态势的基础。高精度的时空基准同步，暴露空间和非暴露空间连续定位，大容量高通量的通信和高精度的空间数字化是构建城轨运营新模式、建设智慧城轨的基础保障。未来将重点突破基于北斗+5G 的城轨交通室内外一体化高精度连续定位技术、基于通用网络协议的大范围高精度时频传递技术、基于 EUHT-5G 的城轨超高速无线通信技术和基于北斗统一时空基准的空间数字化技术，形成城轨交通时空基准信息网络，为城

轨网络化和智慧化转型创造良好的基础条件。

7) 数字化、信息化、智能化，构建现代化运营管理新模式。智能管理是建设城轨交通网络化运营新模式、提高企业治理能力的有效途径。城轨交通现代化运营管理新模式是指以运营为中心、以现代信息技术为支撑，通过建立城轨交通管理信息系统和创建新的城轨交通管理体制而形成的城轨运营管理新架构，目的是实现城轨运营生产的高效化、科学化、柔性化、智能化及管理流程的持续优化。目前，企业管理存在过程控制和管理不精细、管理质量和效益不高等问题。未来将通过综合运用现代化管理理念和数字化、信息化、智能化手段，对现有整体业务管理体系进行重构，实现与业务创新同步的管理创新模式。重构的重点包括组织体系、权责体系、规章制度体系和监管体系，以实现系统的安全态势研判，全系统、全要素的资源优化配置，全业务、全流程的智能监管和基于智慧大脑平行推演的综合决策，构建管理精细化、运行高效化、效益最大化的网络化和智慧化管理体系，全面推进企业治理能力和治理体系的现代化。

8) 共建共治共享，构建城轨治理新格局。城轨治理新格局是指通过强化人民群众的主体地位与决定力量，积极鼓励社会公众参与城轨交通治理，与运营单位通力协作，在不同环节形成制度合力，共享城轨交通治理成果。城轨运营的最大特点是开放性、公共性和自助性，广大乘客既是城轨运营服务的对象，同时也是城轨运营的直接参与者，城轨运营安全、服务水平很大程度上取决于广大乘客的支持和配合。但极少数乘客的不良行为可能直接威胁城轨运行秩序和公共安全，损害公众利益。这些行为虽然影响恶劣，但很多情况下并不构成违法违规，处于社会治理的“灰色地带”。产生这些问题的根本原因：一是少数乘客的文明素养不够；二是交通文明程度还不够高，对不文明行为的制约还不够强。诚信建设和志愿服务能够有效解决上述问题。法律和行政管理是交通治理的基本手段，培育文明文化则是交通治理的更高境界。因此，推进城轨交通治理体系和治理能力现代化，必须强化共治理念，通过诚信建设和志愿服务，携手各方参与者“共建共治共享”，共同培育交通文明。

4 结论与展望

网络化和智慧化是我国城轨交通新时代发展的两大重要特征，也是城轨交通实现高质量发展的必由之路。要正确认识我国城轨交通发展阶段与现状问题，深刻理解我国城轨交通发展的新需求，全面把握我国城轨交通发展的新趋势，充分融合新一代信息技术与方法，从实际出发解决行业痛点问题，构建城轨交通网络化运营新模式。从安全保障、精准运力投放、乘客服务、智能维护、无感安检、新基建时空基准体系、企业管理和社会治理等角度，全面深化和推进新模式的落地与推广。

参考文献

[1] 赵东. 促进城市轨道交通规范有序发展[N/OL]. 经济日报, 2019-01-30[2021-10-01]. http: //paper.ce.cn/jjrb/html/2019-01/30/content_383005.htm.

[2] 曾平利. 2020 年中国城市地铁客运量报告[J]. 城市轨道交通, 2021(2): 51-54.

[3] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通行业发展报告(2019)[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.

[4] 赵晓旭. 依托多层次轨道交通融入长三角一体化研究: 以杭州市余杭高铁枢纽组团提升为例[J]. 江南论坛, 2019(7): 16-18.

[5] 崔学忠, 贾文峥. 城市轨道交通蓝皮书: 中国城市轨道交通运营发展报告(2018—2019)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2019.
CUI Xuezhong, JIA Wenzheng. Blue book of urban rail transit: report on the development of urban rail transit operation in China (2018—2019)[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2019.

[6] 北京市地铁运营有限公司. 首都智慧地铁发展白皮书(2020 版)[R]. 北京, 2020.

[7] 江南. 城市轨道交通一体化运营组织相关问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
JIANG Nan. Study on related problems about integrated operation organization of urban rail transit[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012.

[8] 毛保华. 轨道交通网络化运营组织理论与关键技术[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
MAO Baohua. Operational theories and key technologies of rail transit networks[M]. Beijing: Science Press, 2011.

[9] 中国城市科学研究会, 住房与城乡建设部城乡规划司, 同济大学建筑与城市规划学院. 中国城市交通规划发展报告(2010)[M]. 北京: 中国城市出版社, 2012.

[10] 魏运, 白文飞, 李宇杰. 智慧地铁需求分析及功能规划研究[J]. 都市快轨交通, 2020, 33(1): 40-48.
WEI Yun, BAI Wenfei, LI Yujie. Development demand and function planning of smart metro[J]. Urban rapid rail transit, 2020, 33(1): 40-48.

（编辑：王艳菊）