

# 着力新一代装备的绿色化智慧型城市轨道交通建设

丁树奎

(中国城市轨道交通协会, 100038, 北京//正高级工程师)

**摘要** 目的:“智慧城轨”和“绿色城轨”是我国城市轨道交通发展的基础性、全局性的重大战略,二者互相呼应,互相支撑,因此绿智融合是我国城市轨道交通发展的必由之路,需进行针对性研究。**方法**:分析了城市轨道交通绿智融合的发展理念;分析了中国城市轨道交通协会发布的《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》和《中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案》二者与绿智融合相关的内容及二者的关联性;分析了城市轨道交通绿智融合的关键融合点和着力点,重点介绍了新一代智能调度及灵活编组系统、新一代牵引供电系统、新一代大空间通风空调系统等新一代自主化技术装备。**结果及结论**:提出绿智融合发展理念是城市轨道交通发展的重要内涵,绿智融合是城市轨道交通发展一以贯之的方针,推进新一代绿色智能技术装备的研发与应用是城市轨道交通绿智融合的关键融合点和着力点。

**关键词** 城市轨道交通;绿智融合;绿色城轨;智慧城轨;新一代装备

**中图分类号** F530.7

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2023.10.001

## Green-smart Urban Rail Transit Construction Focusing on New-generation Equipment

DING Shukui

**Abstract** Objective: 'Smart urban rail' and 'Green urban rail' are fundamental and overarching strategies for URT (urban rail transit) development in China, which complement and support each other. Therefore, green-smart coalescence is the inevitable path for URT development in China, requiring specific research. **Method**: The development concept of URT green-smart coalescence is analyzed, examining the contents related to Development Outline of Smart Urban Rail in China Urban Rail Transit and Action Plan for Green Urban Rail Development in China Urban Rail Transit, both published by the China Association of Metros, and their correlation with the concept. The key points of coalescence and focus areas for urban rail transit green-smart coalescence are identified, the new-generation autonomous technology equipment is particularly highlighted, including the new-generation intelligent dispatching and flexible formation system, new-generation traction

power supply system, and new-generation large-space ventilation and air-conditioning system. **Result & Conclusion**: Proposing the concept of green-smart coalescence development is the important connotation of URT development, which is a consistent policy throughout the URT development. Advancing the research and application of new-generation green-smart technological equipment is a crucial focus of implementation for URT green-smart coalescence.

**Key words** urban rail transit, green-smart coalescence; green urban rail; smart urban rail; new-generation equipment

**Author's address** China Association of Metros, 100038, Beijing, China

2020年3月12日,中国城市轨道交通协会以“交通强国,城轨担当”的使命感,顺应行业呼声,适应发展需要,发布了《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》(以下简称《智慧城轨发展纲要》)<sup>[1-2]</sup>,以此作为城市轨道交通(以下简称“城轨”)行业今后一个时期(2020—2035年)制订智慧城轨发展的技术政策、技术规范、发展规划和实施计划的指导性文件。2022年8月18日,中国城市轨道交通协会结合行业特点和发展趋势,正式发布了《中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案》(以下简称《绿色城轨发展行动方案》)<sup>[3-6]</sup>,为正在实施中的《智慧城轨发展纲要》的姐妹篇,两者共同指导构建既智慧化又绿色化的新时代中国特色城市轨道交通。三年智慧城轨建设初见成效,一年绿色城轨建设开局良好。

## 1 城轨绿智融合发展理念

中国城市轨道交通协会在《城市轨道交通发展战略与“十四五发展思路”》<sup>[7]</sup>中提出了城轨发展的12个战略指向,其中国产自主化、智能智慧化、绿色低碳化是基础性、全局性的重大战略。国产自主化是立足点,智能智慧化是技术主方向,绿色低碳化是可持续发展的基本盘。

智慧赋能绿色城轨,是推动绿色城轨建设的主要技术手段和科学基础,以智能化技术装备为基础,有效支撑城轨行业绿色低碳发展,智慧城轨为绿色城轨建设提供强大创新动力。绿色低碳拓展了智慧城轨内涵,是建设智慧城轨的重要内容和重要场景,绿色城轨建设为智慧城轨提供更大发展空间。绿色城轨与智慧城轨有机结合、协同创新,形成常态化绿智融合的创新机制<sup>[6]</sup>。

具体路径上,坚持智能智慧和绿色低碳协同的发展路线<sup>[4]</sup>,大力推进新一代信息技术与城轨绿色低碳业务深度融合,夯实数字底座,以推进城轨信息化、搭建智能系统、建设智慧城轨为载体,以智慧赋能节能降碳关键核心技术攻关,助力城轨绿色低碳发展。充分发挥智慧城轨建设成果效能,开展绿色规划,提升出行占比,推行绿色装备制造,推动城轨全面绿色转型,实现碳达峰、碳中和,促进城轨可持续高质量发展。由此可见,绿智融合发展理念是城轨发展的重要内涵。

## 2 城轨发展纲领文件中的绿智融合

《智慧城轨发展纲要》作为行业内智能智慧化发展的指导性文件,在编撰过程中充分考虑了城轨的绿色低碳化发展趋势,并将“经济适用,绿色发展”作为智慧城轨建设的重要原则,提出要“采用先进成熟、经济适用、节能环保的技术装备,注重技术与投入、成本与效益、发展与环境的相互协调,充分发挥既有资源的作用,努力打造具有中国特色、基于中国标准、生态环境文明的智慧城轨体系”。在《智慧城轨发展纲要》中提出了“1-8-1-1”智慧城轨发展蓝图,其中的智能能源系统是8大智能(智慧)体系中的一个子系统。智能能源系统建设为绿色城轨建设打下了坚实基础。《智慧城轨发展纲要》从牵引供电、车站节能、能耗-客流耦合、永磁牵引及智能能源系统的角度,初步提出了智慧城轨框架下的绿色低碳化城轨发展路径。

《绿色城轨发展行动方案》围绕实现碳达峰、碳中和目标和建设绿色城轨两大任务,以绿色转型为主线,以清洁能源为方向,以节能降碳为重点,智慧赋能,创新驱动,开展6大绿色城轨行动。具体来说,《绿色城轨发展行动方案》主要从以下两方面强化绿智融合。

一是《绿色城轨发展行动方案》与《智慧城轨发展纲要》在内容上相呼应。《绿色城轨发展行动方

案》将“智慧赋能,绿智融合”作为重要工作原则,其中,7次提到绿智融合,8次提到智慧赋能,14次提到智慧城轨,50次提到智能智慧。例如:在行动二“节能降碳增效行动”中,提出构建智能能源管理平台,再次呼应了《智慧城轨发展纲要》中的“智能能源系统”建设;在行动五“绿色装备制造行动”中,更是进一步提出将绿色低碳与智能智慧相融合、绿色城轨场景和智慧城轨场景相结合、绿色低碳转型与数字化转型相融合,充分利用既有创新成果,持续推动自主化技术装备研制和应用<sup>[4]</sup>。

二是《绿色城轨发展行动方案》充分吸纳了《智慧城轨发展纲要》中的规划内容,进一步明确了绿色城轨的发展路径。例如:在行动一“绿色规划先行行动”中,以绿智融合为导向,将智能智慧化作为绿色创新活动的重要手段,营造智能智慧助力绿色城轨发展、绿色低碳推动智慧城轨发展的新局面;在行动三“出行占比提升行动”中,以面向全出行链的智慧乘客服务体系赋能乘客出行,提高乘客出行的便捷化、舒适化、智能化水平,提升城轨吸引力;在行动六“全面绿色转型行动”中,在推动建造体系绿色转型方面,提出在建造领域采用智慧工地等信息化管理系统,依托物联网、人工智能、BIM+GIS(建筑信息模型+地理信息系统)、5G(第5代移动通信技术)和建筑机器人等新技术的创新应用,促进绿色建造进程。

由此可见,绿智融合是城轨发展一以贯之的方针。

## 3 城轨绿智融合关键融合点和着力点

在推动绿智融合、建设绿色化智慧型城轨的各项工作中,关键融合点和着力点是推进新一代绿色智能技术装备的研发与应用。《绿色城轨发展行动方案》明确提出,将聚焦节能降耗潜力大、能效利用率高的新一代自主化绿色智能技术装备,瞄准先进、绿色和智能技术,部署一批前沿的新一代绿色智能技术装备研发项目和示范工程<sup>[4,8]</sup>,强化科技创新对绿色城轨发展的支撑。

### 3.1 新一代智能调度及灵活编组系统

城轨在公共交通中占比不断扩大的同时,也面临总体客流强度不足、客流出行时空分布不均衡、客流非高峰期运力过剩等问题,出现车辆资源和电力能源等浪费的现象。同时,随着网络化运营规模的扩大,也增大了调度指挥压力。

在此背景下,由北京市基础设施投资有限公司牵头,联合城轨行业内的高校院所、高新企业,一同申报承担了国家发展和改革委员会的《智慧城轨新一代智能列车运行系统及平台示范工程》及中国城市轨道交通协会的《新一代网络化智能调度和智能列车运控系统示范工程》项目,项目重点是研发一套iFAO(智能全自动运行)系统。iFAO系统以提升车辆、轨道等资源的灵活配置和高效运用为导向,基于无人驾驶、车车通信、智能感知等技术,攻克虚拟编组、智能调度关键技术,实现列车基于虚拟联挂的灵活编组的新一代智能型全自动运行系统。

作为项目两项核心技术之一的虚拟联挂,是不依赖机械连接装置,通过基于无线通信的信息交互和自动控制等技术将多列(含两列)运行列车联结并一体运行的技术。虚拟灵活编组是采用虚拟联挂技术实现列车编组在线改编的一种灵活编组列车运行组织方式,简称虚拟灵活编组。这项技术可以适应高峰和非高峰不均衡需求的灵活编组运行,实现运能与需求精准匹配;在非高峰,不仅不加大行车间隔,不降低服务水平,同时还大幅减少牵引能耗。

虚拟灵活编组运行方式对线路及线网的指挥调度系统提出了更高的要求。项目研发的新一代行车调度指挥系统是基于运筹学理论,以及专家系统、大数据、物联网和人工智能等技术,对列车运行及关联系统进行智能化指挥控制管理,进一步提高了列车运行计划编制、行车态势感知、列车运行图动态调整、相关系统协同应急调度指挥等的自动化、智能化程度,实现了车辆、轨道、人员等资源优化配置,运力与运量动态匹配,应急处置决策能力提升。

### 3.2 新一代牵引供电系统

牵引能耗在城轨总能耗中的占比为50%,降低牵引能耗是城轨节能降耗的重点。各地研发应用的新一代牵引供电系统,包含了车侧的永磁同步牵引电机技术、轨侧的专用轨回流技术和网侧的双向变流技术(三件套)。从“源-网-荷”回路系统来看,三者组合使用效果会更好;三者单独使用时,永磁同步牵引电机的节能率达20%以上,双向变流技术的节能率达15%以上,专用轨回流根治了杂散电流迷流,可使牵引供电系统综合节能达20%以上。

从新一代牵引系统应用效果来看,除了可实现节能外,还产生了其他积极效果。永磁同步牵引电

机技术的应用,从常规异步电机到采用永磁材料的同步电机,使车辆的控制从车控、架控转变到了轴控,实现了黏着资源的充分利用,使动车配置数量可进一步减少,使动拖比可进一步优化,同时也可使动车牵引单元损失导致列车退出运营的概率大大降低。双向变流系统中,从采用常规二极管整流器转变到采用IGBT(绝缘栅双极型晶体管),实现了能量转换从不可控到可控的转变,也使供电方式从局部分段供电转向全线变电所的协同供电。从采用钢轨回流转变到采用专用轨回流,实现了对杂散电流治理方式由“堵”到“疏导”的转变,从让社会分担杂散电流的危害转变到了杜绝杂散电流对社会的危害,因而由被动回流转变到了主动回流。上述这些转变是具有代际提升特征的。

### 3.3 新一代大空间通风空调系统

通风空调系统能耗在城轨总能耗中的占比为30%,是第二位的用能大户。车站内站厅站台空间大、用冷点少且冷负荷需求多变,如采用常规水冷冷水冷源、输配系统、全空气末端的系统形式,存在换热次数多、系统复杂等问题,且受系统形式影响,常规节能措施已遇瓶颈,无法满足精准供冷需求。

为此,北京市轨道交通建设管理有限公司在北京地铁19号线一期牡丹园站,聚焦节能降耗,针对地下车站热环境控制需求,研究了地铁车站环境控制系统软硬件技术,进行集成创新和设计优化。研发了水冷磁悬浮直膨空调机组(含自洁式低阻高效净化装置)、适应内置在车站的单进风冷却塔、基于群智能的空调智能控制等一系列设备和相关系统,实现了地铁车站通风空调系统高效能、高健康、高智慧,以及低成本(运营和占地)、低碳排、低维护等的多维度目标,建立形成了具有地铁车站新一代大空间空调特征的技术体系。

新一代大空间通风空调系统采用直膨磁悬浮式空调系统,将冷水机组和空调机组集成并一体化设计,简化了通风空调系统;采用直接蒸发技术,取消了冷冻水泵、定压补水装置、水处理设备及管路等;制冷剂与空气直接进行热交换,提升了换热效率。车站采用水冷磁悬浮直膨空调系统可节电25%以上。空调采用自洁式低阻高效净化技术,可确保通风空调系统高效运行,提升公共区、人员房间空气品质。将单进风冷却塔内置在车站可有效解决征地拆迁、景观影响等问题。此外,采用设备状态监测和大数据分析技术,提高了通风空调系统

运行管理精细化水平。

南宁、洛阳、宁波、青岛等多个城市在城轨直膨空调技术研发应用方面也取得很多成果,证明了直膨技术的有效性。

## 4 结语

中国城市轨道交通协会将发挥行业协会作用,积极引导并指导城轨企业编制实施绿色城轨发展实施方案,进一步推进新一代智慧城轨技术与城轨绿色低碳业务深度融合,着力新一代装备,以智慧赋能城轨节能降碳战略,实现城轨尽早、率先达峰,为交通行业提前实现碳达峰、碳中和做出努力,助力国家碳达峰、碳中和战略的实施,为早日建成绿色化智慧型的城市轨道交通贡献力量。

## 参考文献

[1] 中国城市轨道交通协会. 城轨交通智慧先行《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》正式发布实施[J]. 都市快轨交通, 2020, 33(2):7.  
China Association of Metros. Smart urban rail advancement—official issuance of Development Outline of Smart Urban Rail in China Urban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(2):7.

[2] 包叙定. 强力推进智慧城市轨道交通建设[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(4): 彩 12.  
BAO Xuding. Motivate smart urban rail transit construction[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(4): C12.

[3] 中国城市轨道交通协会. 实施绿色低碳战略践行城轨责任担当:《中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案》正式发布[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(5):2.  
China Association of Metros. Implementing the green and low-carbon strategy and carrying out the responsibility of urban rail transit—official issuance of China Urban Rail Transit Green Urban Rail Transit Development Action Plan[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(5): 2.

[4] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案[J]. 城市轨道交通, 2022(8): 20.  
China Association of Metros. Action plan for green urban rail de-

velopment in China urban rail transit [J]. China Metros, 2022(8): 20.

[5] 包叙定. 践行“双碳”战略, 建设绿色城轨谱写城轨交通高质量发展新篇章《中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案》解读[J]. 城市轨道交通, 2022(8): 36.  
BAO Xuding. Carrying out the strategy of ‘carbon peaking and carbon neutrality’, building green urban rail, and opening a new chapter in high-quality development of urban rail transit construction: interpretation of Action plan for Green Urban Rail Development in China Urban Rail Transit[J]. China Metros, 2022(8): 36.

[6] 丁树奎. 实施六大行动 建设绿色城轨《中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案》解读[J]. 城市轨道交通, 2022(10): 36.  
DING Shukui. Carrying out six actions and building green urban rail: interpretation of Action plan for Green Urban Rail Development in China Urban Rail Transit [J]. China Metros, 2022(10): 36.

[7] 周晓勤. 中国城市轨道交通发展战略与“十四五”发展思路[J]. 城市轨道交通, 2020(11):16.  
ZHOU Xiaoqin. Development strategy of China urban rail transit and development ideas for ‘14th Five-Year Plan’[J]. China Metros, 2020(11):16.

[8] 丁树奎. 城市轨道交通自主创新的路径和方法研究[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2022, 21(2):76.  
DING Shukui. Research on the path and methodology of independent innovation of urban rail transit [J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2022, 21(2):76.

[9] 于鑫. 城市轨道交通绿色低碳技术研究及展望[J]. 现代城市轨道交通, 2022(8): 1.  
YU Xin. Research and prospect of green and low-carbon technology for urban rail transit [J]. Modern Urban Transit, 2022(8): 1.

[10] 李梁, 张卓杰, 孙瑶, 等. 双碳背景下城轨车辆绿色低碳技术应用与研究[J]. 现代城市轨道交通, 2022(8): 27.  
LI Liang, ZHANG Zhuojie, SUN Yao, et al. Application and research of green and low-carbon technology for urban rail vehicles under the “dual carbon” background [J]. Modern Urban Transit, 2022(8): 27.

(收稿日期:2023-08-09)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821