

白皮书编号: RTOC-WP-202401

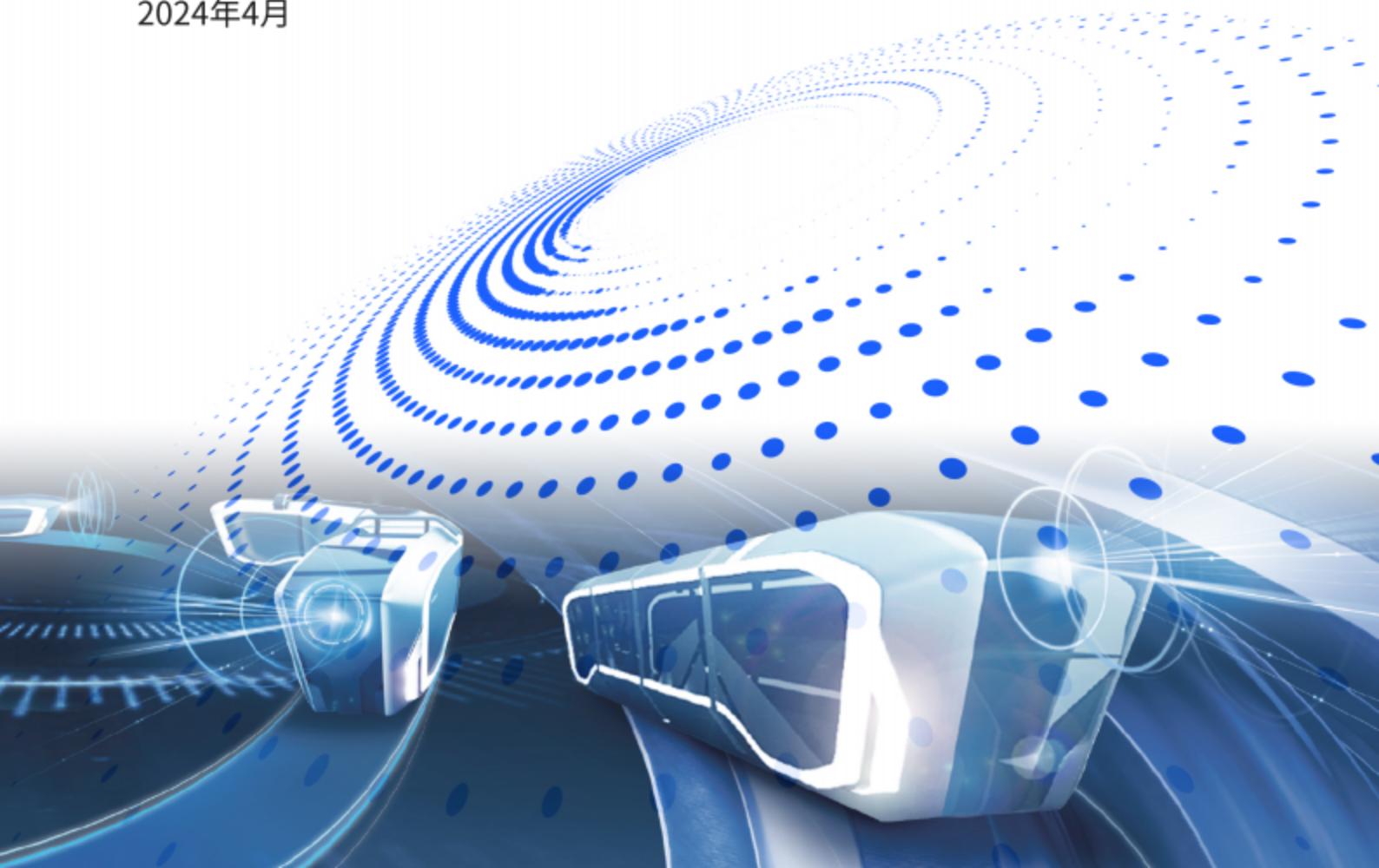
城市轨道交通智能全自动运行系统

联合发布单位:

轨道交通运行控制系统国家工程研究中心

北京协同创新轨道交通研究院有限公司

2024年4月



城市轨道交通智能全自动运行系统

签发时间：2024年04月

签发版本：第一版（V1.0）

签发人：李子成 韩志伟

轨道交通运行控制系统国家工程研究中心（下文简称“工程中心”）由原轨道交通运行控制系统国家工程研究中心和城市轨道交通列车通信与运行控制国家工程实验室优化整合后组建，是北京交通大学牵头，采用“政产学研用”协同创新模式，联合交控科技股份有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司、中国铁路通信信号集团有限公司、北京轨道交通运行控制系统国家工程研究中心有限公司等共同申报，并经国家发改委批复成立的国家级轨道交通列车运行控制系统科技平台。

北京交通大学先进轨道交通自主运行全国重点实验室（下文简称“全国重点实验室”）是在原有的“轨道交通控制与安全国家重点实验室”基础上优化重组而成的。全国重点实验室围绕国家重大战略需求，聚焦先进轨道交通自主运行技术前沿，致力于原创性理论突破、前沿创新技术研发和核心装备研制，形成引领轨道交通运行控制发展的前瞻性、先导性、探索性重大成果，形成我国轨道交通领域自主可控技术“策源地”，实现国际引领。

北京协同创新轨道交通研究院（下文简称“协同创新研究院”）成立于2020年，是北京市基础设施投资有限公司（下文简称“京投公司”）联合运营企业、高校、行业科研院所、高新技术企业等合作组建，旨在进一步打通“政产学研用”全产业链条，构建高效协同创新体系，打造协同创新平台，统筹科研及标准管理，以“投资+创新”加速创新成果转化，最终提升北京轨道交通创新水平，促进轨道交通产业升级。协同创新研究院主营业务涵盖轨道交通领域创新研究及应用各环节：一是系统技术研究，追踪前沿技术，研究新需求、新场景；二是科研管理，进行科研项目管理、外部科技资金申请等；三是协同创新管理，统筹创新中心、联合实验室、实验场景搭建及产品试制、试验工作；四是检验试验管理，包括新技术新产品系统级检验试验归口管理、检验检测规范归口管理。

《城市轨道交通智能全自动运行系统》白皮书由轨道交通运行控制系统国家工程研究中心、北京协同创新轨道交通研究院和先进轨道交通自主运行全国重点实验室共同组织编写。白皮书是工程中心的重大研究成果发布形式之一，旨在为轨道交通建设业主方提供决策依据，为设计方提供设计指南，为运营方提供运营维护指导。京投公司和协同创新研究院牵头，工程中心和全国重点实验室共同参与，承担了中国城市轨道交通协会“新一代网络化智能调度和智能列车运控系统

示范工程”（下文简称“示范工程”），智能全自动运行（iFAO）系统是基于示范工程的研究成果，结合城市轨道交通系统下一步发展方向总结深化所提出的。

本白皮书面向城市轨道交通智慧和绿色融合的高质量发展需要，结合智能动态调度、虚拟编组控制、运行环境智能感知、设备设施健康管理等轨道交通领域变革性技术的研究与发展情况，系统性介绍了现阶段定义和发展智能全自动运行系统（iFAO）的必要性，全面介绍了 iFAO 系统的定义、主要特征、主要功能及关键技术等，并介绍了北京轨道交通研究和实施 iFAO 的工作路线。

本白皮书的某些内容可能涉及专利，本白皮书的发布机构不承担识别这些专利的责任。对本白皮书有任何问题或建议，欢迎与我们联系。

联系电话：010-51685826；邮箱：renshi@bjtu.edu.cn。

目录

目录.....	1
前 言.....	3
1 术语与缩略语.....	5
1.1 术语.....	5
1.2 缩略语.....	6
2 概述.....	8
3 智能全自动运行系统（iFAO）的必要性.....	9
4 智能全自动运行系统定义及内涵.....	14
4.1 智能全自动运行系统定义.....	14
4.2 智能全自动运行系统的主要特征.....	15
4.3 智能全自动运行系统主要优势.....	17
4.4 智能全自动运行系统的自动化水平.....	18
5 智能全自动运行系统功能架构及主要功能.....	24
5.1 智能全自动运行系统功能架构.....	24
5.2 智能全自动运行系统主要功能.....	26
5.2.1 智能感知和数据处理等基础功能.....	26
5.2.2 列车在线重联/摘解相关功能.....	26
5.2.3 灵活编组列车运行控制相关功能.....	27
5.2.4 智能动态调度相关功能.....	29
5.2.5 智能能源管控相关功能.....	29
6 智能全自动运行系统关键技术.....	30
6.1 列车灵活编组控制相关技术.....	30
6.1.1 机械灵活编组控制相关技术.....	30
6.1.2 列车虚拟灵活编组控制相关技术.....	31
6.2 列车智能感知相关技术.....	35

6.2.1 基于智能主动感知的实时高精度列车测速定位..... 35

6.2.2 轨行区净空检测技术..... 35

联合发布白皮书

联合发布白皮书

联合发布白皮书

联合发布白皮书

发布白皮书

6.3 综合智能动态调度相关技术.....	36
6.3.1 基于人工智能的综合自主决策技术.....	36
6.3.2 面向灵活编组的调度指挥控制.....	36
6.3.3 面向线路集群的智能线间动态协同调整技术.....	36
6.3.4 面向人-车-能匹配的综合智能动态调度和能源管控技术.	37
6.4 平台处理等使能技术.....	37
6.4.1 地面基础平台跨专业信息融合处理技术.....	37
6.4.2 车辆一体化平台综合承载技术.....	38
7 北京轨道交通智能全自动运行系统实施路线.....	39
8 结语.....	41
9 参考文献.....	42

前 言

近年来我国城市轨道交通（简称“城轨交通”）持续高速发展,线网规模和客流规模均已位居世界前列,为缓解我国城市交通拥堵、提高乘客出行效率、促进绿色低碳出行和建设交通强国发挥重要作用。在此过程中,全自动运行（FAO）系统均已经在城市轨道交通得到广泛应用,实现了无司机或司乘人员干预下的列车全过程安全可靠稳定运行,为建设智慧和绿色城轨发挥了重要作用。

对轨道交通运行安全、高效、绿色、人性化和可持续性的不断追求,促进了系统控制的自动化程度不断提升,正朝着智能化和自主化方向发展。随着信息技术迈入智能化时代,人工智能、大数据等使能技术发展迅速,在与先进控制、通信和计算机等技术的融合下,促使出现了智能动态调度、虚拟编组控制、运行环境智能感知、设备设施健康管理等变革性技术并随着研究过程不断得到完善和成熟,为发展新一代轨道交通运行控制系统奠定了重要基础。

城轨交通运行实际包含列车形成、列车运行和调度指挥等三方面任务。现有FAO系统主要关注了列车运行任务自动化,实现了列车在城市轨道交通封闭线路环境中的全自动运行。在此基础上,智能全自动运行系统（iFAO）扩大了自动化控制的范围广度和深度,例如,通过对列车运行环境的智能感知和影响行车安全的关键设备设施的在线动态检测,进一步降低对司乘人员的依赖,实现无人值守下安全高效运行;此外,通过应用灵活编组控制技术,实现列车在线动态全自动形成,并在智能动态调度技术支持下,实现跨专业信息融合和城轨交通运行态势分析与预测,进而可根据需要自动生成和执行运行图及调整策略,实现少人化调度指挥和客流-车流-能量流匹配运行,进一步提高轨道、车辆、能源和人员等四类资源的利用率,并提高城轨交通运行效率和运行组织的灵活性,实现绿色和智慧融合（绿智融合）的城轨交通运行。

本白皮书面向智慧和绿色城轨交通发展需要，结合城轨交通发展方向和相关变革性技术的研究情况，系统性分析了定义和发展智能全自动运行系统（iFAO）的必要性，介绍了其系统定义、主要特征、主要功能和关键技术，并提出北京轨道交通研究和实施智能全自动运行系统的工作路线。

联合发布白皮书

联合发布白皮书

联合发布白皮书

联合发布白皮书

发布白皮书

新一代技术都是迭代发展的，功能也是逐步完善的。本白皮书仅做方向性指引，意图抛砖引玉，为广大同行共同研究和应用相关技术和系统，早日实现列车“按需运行”的美好目标提供参考。

主要起草人：唐涛、张艳兵、王道敏、宣晶、刘宏杰、李仲华、李晓刚、王伟、柴铭、陈楠、张瑞雪、闻一龙、饶东、杜薇、宿帅、赵剑华、范莹、张宝、张传琪、张扬、吕继东、宋智翔、吕文龙、王嵩、夏夕盛、张春雨。

主要审查人：丁树奎、韩志伟、李开成、郜春海。

1 术语与缩略语

1.1 术语

(1) 全自动运行系统 **Fully Automatic Operation (FAO)**

由适用于全自动运行的信号、车辆、通信、综合监控、站台屏蔽门等与列车运行相关的子系统构成，通过子系统之间的有机联动实现列车无司机或司乘人员干预的全过程可靠稳定运行的系统。

(2) 智能全自动运行系统 **intelligent Fully Automatic Operation (iFAO)**

智能全自动运行系统（iFAO）是以乘客为中心，以进一步提升城市轨道交通系统安全、效率及各类资源（轨道、车辆、能源、人员等）全方位最佳化配置和高效利用为导向，通过各关联系统(信号、车辆、综合监控、通信、站台屏蔽门等)的协同智能控制，实现城市轨道交通全地域少人/无人、全时域智能灵活、全过程自主高效的新一代全自动运行系统。

(3) 列车运行自动化等级 **Grade of Automation (GoA)**

根据运营工作人员和系统所承担的列车运行基本功能的责任划分确定的列车运行的自动化分级。

(4) 列车灵活编组控制的自动化等级 **Grade of automation for train flexible Coupling (GoC)**

实现列车灵活编组的自动化技术和系统的等级。

(5) 行车调度指挥自动化等级 **Grade of automatic Dispatch (GoD)**

调度指挥是典型的信息处理过程，按照信息处理过程模型，整个过程涵盖信息获取、信息分析、决策与行动选择、行动实施四个阶段，每个阶段均涵盖不同的自动化水平，根据四个阶段的自动化等级，对行车调度指挥系统的自动化等级进行划分。

(6) 机械灵活编组运营方式 Operation Mode with Mechanically Flexible

Train Formation

采用机械联挂技术实现列车编组在线改变的一种灵活编组列车运行组织方式。

(7) 虚拟灵活编组运营方式 Operation Mode with Virtually Flexible Train

Formation

采用虚拟联挂技术实现列车编组在线改变的一种灵活编组列车运行组织方式。

1.2 缩略语

缩略语	英文名称	含义
AMD	Automatic Monitor Dispatching	有人自动监视调度指挥
ATP	Automatic Train Protection	列车自动防护
ATO	Automatic Train Operation	列车自动运行
ATS	Automatic Train Supervision	列车自动监督
ASD	Automatic Supervision Dispatching	有人自动监控调度指挥
CBTC	Communication Based Train Control	基于通信的列车运行控制
DTO	Driverless Train Operation	有人值守的列车自动运行
FAO	Fully Automated Operation	全自动运行
GoA	Grade of Automation	列车运行自动化等级
GoC	Grade of automation for train flexible Coupling	列车灵活编组控制的自动化等级
GoD	Grade of automatic Dispatch	行车调度指挥系统自动化等级
GoP	Grade of train operating environment	列车运行环境智能感知等级

	Perception	
iFAO	intelligent Fully Automated Operation	智能全自动运行
ISCS	Integrated Supervisory Control System	综合监控系统
ISD-D	Intelligent Supervision Dispatching - Dispatcherless	有人智能监控调度指挥
ISD-U	Intelligent Supervision Dispatching - Unattended	无人智能监控调度指挥

NTO	Non-automated Train Operation	非自动化列车运行
PIS	Passenger Information System	乘客信息系统
PA	Public Address System	面向乘客的广播通信系统
STO	Semi-automated Train Operation	半自动化列车运行
TOS	On-sight Train Operation	目视下的列车运行控制
UTO	Unattended Train Operation	无人值守的列车自动运行

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。
。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/206145110112010140>