

上海市土木工程学会 70 周年特辑

《上海土木工程技术发展报告》(系列)

2023

# 上海城市轨道交通技术

## 发展报告



上海市土木工程学会  
Shanghai Society of Civil Engineers

上海市土木工程学会城市轨道交通专业委员会

上海申通地铁集团有限公司技术中心

2023 年 6 月

## 编委会

### 主编单位：

上海市土木工程学会城市轨道交通专业委员会

上海申通地铁集团有限公司技术中心

### 编写人员：

申伟强 刘加华 王大庆 刘洪波 陆 静 张知青 蔡佳妮

洪海珠 张立东 郑 懿 王思韬 张 喻 段桂平 王 森

姜臻祺 蒋顺章 鞠丽艳 金 捷 徐天捷 宋 洁 郑 欣



上海市土木工程学会  
Shanghai Society of Civil Engineering

## 前言

“十四五”时期（2021-2025年）是上海积极贯彻交通强国、质量强国、国家综合立体交通网、长三角区域一体化发展等国家战略，落实上海“五个中心”、“四大品牌”和“三大任务”建设要求的重要时期。在新机遇、新形势和新目标下，从服务城市发展大局、改善交通出行服务体验，发挥网络效能和支撑提升城市能级出发，上海轨道交通要不断适应区域一体化、多式融合、网络统筹协调、智慧发展、安全绿色、创新驱动等更高质量的发展要求，并以高质量服务不断提升城市轨道发展带给人民群众的获得感、幸福感、安全感。

中国即将完成全面建成小康社会发展阶段的历史任务，正式进入全面建设社会主义现代化国家、向第二个百年奋斗目标进军的新阶段。未来5年的发展重点应是：坚持把科技创新摆在突出位置，突出在我国现代化建设全局中的核心地位，把科技自立自强作为国家发展的战略支撑，完善国家创新体系，加快建设科技强国。

上海轨道交通在“十四五”时期将进入超大规模网络发展阶段，需要依靠技术创新发展引领解决在规划建设、安全风险管控、系统装备可靠性、运维效率、可持续发展等方面的众多难题，大力发展能够适应城市轨道交通发展需求的新技术、新材料、新工艺、新设备，全面保障“四新”技术落地生根，打造新时代轨道交通核心技术应用高地，为上海轨道交通高质量发展注入源源不断的新动能。

《白皮书》是为高质量落地实施上海城市轨道交通科技创新“十四五”发展战略规划，深度谋划和统筹制定的技术创新发展规划，为强化科技创新应对超大规模轨道交通网络发展挑战和城市建设起到强有力的支撑作用。

《白皮书》共五章，涉及60项技术规划方向。第一章为总体目标及重点方向；第二至四章按总体篇、土建篇和机电篇，分别选取对上海轨道交通技术发展方向有重大影响的13大专业，明确了未来五年并适当展望远期的愿景、目标和技术规划；第五章为未来十大重点领域规划突破的核心关键技术概述。

《白皮书》是推进上海轨道交通超大规模网络发展的指导性文件，也是加快构建和完善国际大都市一体化交通，并为新一轮轨道交通建设和规划提供重要支撑的技术行动指南。上海轨道交通将不断秉持技术手段作为超大规模网络发展腾飞的强劲动力，激发网络转型升级活力，持续为推动建成“安全、人文、绿色、科技、智慧”的城市轨道交通网络开创技术创新引领新格局。

# 目 录

1. 概述 .....	1
1.1 总体目标 .....	1
1.1.1 创新驱动服务城市发展 .....	1
1.1.2 出行服务体验提升 .....	1
1.1.3 网络治理协同高效 .....	1
1.1.4 产业升级发展引导 .....	1
1.2 重点聚焦方向 .....	2
1.2.1 网络化 .....	2
1.2.2 数字化 .....	2
1.2.3 精细化 .....	2
1.2.4 安全 .....	2
1.2.5 智慧 .....	2
1.2.6 绿色 .....	3
2. 总体篇 .....	4
2.1 线路总体 .....	4
2.1.1 现状与形势 .....	4
2.1.2 发展愿景与目标 .....	4
2.1.3 发展与规划 .....	5
2.2 运营 .....	8
2.2.1 现状与形势 .....	8
2.2.2 发展愿景与目标 .....	8
2.2.3 发展与规划 .....	9
2.3 车辆 .....	11
2.3.1 现状与形势 .....	11
2.3.2 发展愿景与目标 .....	11
2.3.3 发展与规划 .....	11
2.4 车辆基地 .....	14
2.4.1 现状与形势 .....	14
2.4.2 发展愿景与目标 .....	14
2.4.3 发展与规划 .....	15
2.5 振动噪声 .....	17
2.5.1 现状与形势 .....	17
2.5.2 发展愿景与目标 .....	17
2.5.3 发展与规划 .....	18
3. 土建篇 .....	20
3.1 建筑 .....	20
3.1.1 现状与形势 .....	20
3.1.2 发展愿景与目标 .....	20
3.1.3 发展与规划 .....	21

3.2	土建结构	23
3.2.1	现状与形势	23
3.2.2	发展愿景与目标	24
3.2.3	发展与规划	25
3.3	轨道	27
3.3.1	现状与形势	27
3.3.2	发展愿景与目标	27
3.3.3	发展与规划	28
4.	机电篇	29
4.1	车站设备	29
4.1.1	现状与形势	29
4.1.2	发展愿景与目标	29
4.1.3	发展与规划	30
4.2	通信	33
4.2.1	现状与形势	33
4.2.2	发展愿景与目标	33
4.2.3	发展与规划	34
4.3	信号	36
4.3.1	现状与形势	36
4.3.2	发展愿景与目标	36
4.3.3	发展与规划	36
4.4	通风空调	38
4.4.1	现状与形势	38
4.4.2	发展愿景与目标	39
4.4.3	发展与规划	39
4.5	供电	42
4.5.1	现状与形势	42
4.5.2	发展愿景与目标	42
4.5.3	发展与规划	43
5.	重点攻关技术	46
5.1	区域一体化发展与网络统筹关键技术	46
5.2	工程建设与风险管控关键技术	46
5.3	数字化转型与智慧地铁建设关键技术	46
5.4	核心装备与基础设施升级改造关键技术	47
5.5	重大核心技术装备评估与试验创新平台	47
5.6	绿色健康与节能环保体系建设关键技术	47
5.7	列车自主化运控关键技术	47
5.8	提质增效与精细化管控关键技术	47
5.9	检测能力建设	48
5.10	技术标准化发展	48

# 1. 概述

## 1.1 总体目标

### 1.1.1 创新驱动服务城市发展

城市轨道交通是城市科技创新元素和技术发展的落脚点，以服务城市发展为目标，将技术创新发展与城市建造有力结合，为推动城市在创新治理、空间规划与设计、功能与结构转变、基础设施建设、城市服务与管理等方面所面临的迫切问题提供切实可行的解决方案。并通过信息主导与技术创新，推进轨道交通专业技术与城市现代化深度融合、迭代演进，实现上海轨道交通技术与城市可持续、高质量协调发展的新生态。

### 1.1.2 出行服务体验提升

以乘客服务为中心，通过运能优化配置、智慧运营、设备设施功能提升、精细化管控等技术手段，对标国际最高标准、最好水平的卓越发展方向，持续提升超大规模网络下的运营服务能级，形成智能可靠的装备系统能力、品质舒适的运输服务体验和协同联动的运营安全管控能力，不断满足乘客对美好出行环境日益增长的需求。

### 1.1.3 网络治理协同高效

持续增强超大规模网络功能作用，以协同提升网络结构功能和网络运营效能为目标，促进网络综合效益最大化。逐步实现多网融合协同、多式运输协同、技术发展与管理机制协同、网络建设与城市空间拓展协同、网络发展与财务可持续协同等，确保网络结构合理、运行顺畅，不断提高管理和运营智能化、便利化水平，凸显以城市轨道交通为骨干的出行体系综合运输效能。

### 1.1.4 产业升级发展引导

以行业先进技术试行和应用推广为手段，推进轨道交通发展由要素驱动向创新驱动转变，支持打破关键技术国外垄断、从国产化向自主化转型和核心装备技术自主创新，并引领轨道交通产业加快升级、降低生产成本、加强产品竞争力，满足城市轨道交通产业装备国际国内双循环的需要，有序促进整个城市轨道交通产业链的健康、优质发展。

## 1.2 重点聚焦方向

### 1.2.1 网络化

坚持以网络化的发展理念，逐步实现基于网络化运营管理模式的需求，贯彻顶层设计理念，全面统筹规划设计、建设施工、运营管理、资源开发、技术装备等各个环节顶层体系架构，注重多层次线网建设与网络运转效能提升协同，打造统筹共享、信息互通、资源集约、标准统一、协同运转的超大规模网络，助力都市圈和城市群的高质量发展。

### 1.2.2 数字化

以数字化技术为引擎，探索数字技术与轨道交通建设、运营有机结合的全新模式，构建涵盖轨道交通基础设施、装备系统、管理流程、数据资源的数字化标准体系，打造统一管控、快速部署、灵活易用、高效智能的信息化技术装备和服务能力，推进设施设备数字化、智能系统发展与智慧城轨建设，不断为行业进步注入内生动力。

### 1.2.3 精细化

围绕乘客出行需求多样化，应用最新信息技术手段，创新轨道交通管理模式，提升复杂场景下的精准化管控能力和运营服务品质。聚焦运营成本管控细化、设施设备精细管控和精准维护、精准运能配置、精益化现场建设等方面，把精细化管理的理念、手段和要求落实到各项工作中，以绣花般的细心、耐心、巧心，积极推动粗放、碎片管理向精细、科学管理转变。

### 1.2.4 安全

加强管控技术体系研究，运用技术手段加强信息监测和预警服务，深入推进建设与运营安全风险管控能力。坚持以防为主、防控结合的方针，突破应用设备故障监测诊断技术、安全生产信息化技术、大客流预警技术、工程建设及应急救援等关键技术，不断通过技术升级实现前端管理动态感知、应急处置高效联动的安全管控能力。

### 1.2.5 智慧

依托 5G、物联网、云计算、大数据、人工智能等新技术，深度融合新技术新业态，促进轨道交通智基础设施具备各类智慧化应用的服务和维护能力，实现高可靠度系统能力、高效率高质量的维护作业和技术领先的智慧乘客服务体系，

促进智慧城轨建设从顶层设计、示范工程试点向成果推广应用、标准体系建设不断推进。

### 1.2.6 绿色

持续增强环境质量的风险防控能力，通过标准体系提升、源头管理、用能节能指标体系完善、信息化智能化监控平台建设及四新技术应用，切实提高能源利用效率，全方位提升轨道交通在环境健康、公共卫生、节能环保等方面的综合管理能力和智慧绿色化发展水平。



## 2. 总体篇

### 2.1 线路总体

#### 2.1.1 现状与形势

##### 1. 技术现状

上海轨道交通网络致力于更好地服务和引导城市空间布局优化,历经二十余年时间从单线建设、网络基本框架构建、网络化统筹发展走向多式融合,功能分级的发展阶段。坚持秉承“网络化”理念,聚焦网络顶层规划、区域轨道交通规划衔接、既有网提质增效、线网优化、技术策划、资源共享、运能评估等方面持续开展网络统筹综合技术研究,从运营效率提升、网络统筹综合、资源整合共享等方面为上海轨道交通逐步迈入超大规模网络发展阶段提供了技术支撑。

上海城市轨道交通总体发展迅速,但处于都市圈发展和城市群迫切发育双重时期,仍有较大提升空间,主要表现为:网络客流集疏运能力有待增强、网络运输效率及效益不高、网络结构功能和运行平稳性仍需提升、多层次轨道网络融合程度不足、市域线建设发展仍处于初期阶段等。

##### 2. 形势与要求

交通强国建设战略要求打造综合立体交通网,更加注重强化多网立体融合发展、优化网络结构和提高效能,形成便捷高效的内联外通交通体系基本框架,不断提升长三角地区综合交通运输体系互联互通、一体衔接、高效融合的发展水平。并持续以网络化理念、网络化标准和网络统筹指导网络化的建设和运营,实现超大规模网络的高效协调发展。

#### 2.1.2 发展愿景与目标

##### 1. 发展愿景

坚持创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念,对标全球城市地铁最高标准和最好水平,持续完善并建成以“枢纽锚固、立体融合、高效畅达、广覆盖、高集约、强韧性”为特征的超大规模网络,提供品质一流的轨道交通线网服务水平,依托四张网络建设,实现中心城 60 分钟可达近沪城市,90 分钟可达都市圈主要城市,新城 30 分钟内部通勤及周边中心镇联系,45 分钟到达近沪城市、中心城和相邻新城,60 分钟衔接国际级枢纽。促进上海城市发展形成市域空间新格局,实现轨道交通线网引领区域功能、产业、空间更强的协同发展,不断满足人民群众的高质量交通出行需求。

## 2. 发展目标

贯彻网络化统筹理念，围绕超大规模网络功能发展和通道资源布局，利用信息技术与交通运输深度融合手段，深入优化和完善上海城市轨道交通网络，持续提高网络服务能力和融合发展水平，促进城市综合交通运营效能充分发挥和上海都市圈及长三角交通一体化向纵深发展，不断适应网络化发展新要求。

### 2.1.3 发展与规划

#### 1. 实施高层次线网规划

##### 1) 科学选线

在线路设计上优先考虑保障最大乘客资源，利用出行链大数据决策分析，提供更高质量的交通服务，将出行便利性、出行时间、交通接驳、交通可达性等作为线路规划的考虑因素。

##### 2) 多式协调

线网规划时充分考虑区域发展快慢、城市功能布局、人口分布、时间目标等因素，研究合适的制式结构。

##### 3) 多规合一

站城一体发展，强化各相关规划间的协调与整合，统筹推进各规划的实施，促进轨道交通配套衔接和资源综合开发协同进展。

#### 2. 完善网络结构

##### 1) 研究设置二环线及重点区域切线规划

强化“射线+联络线+环”的蛛网结构，提升网络的联通性、客流疏导、应急功能及运行效率，进一步增强城市中心、城市副中心和重点发展区域的综合服务能力和快速联系。

##### 2) 研究重要客运走廊增设平行线

实现既有线路客流超负荷的客运走廊压力分担和互相支持的功能，对中心城区覆盖率较低或两射线之间距离较大的区域，研究增加射线的规划建设以提高线网覆盖密度。

#### 3. 促进多网融合发展

##### 1) 多层次衔接

在“一张网、多模式、广覆盖、高集约”的新一轮轨道交通网络规划理念下，重点加强不同系统制式之间以及与其他交通方式的一体化衔接研究，促进干线铁路、城际铁路、市域（郊）铁路、城市轨道交通在不同交通需求上的功能互补。

##### 2) 加快实施市域线规划布局研究

围绕上海市五大新城规划建设成为独立综合性节点城市要求，强化新城与市中心城、相邻新城之间、新城与近沪枢纽节点的便捷连接，以到出行时长及距离为

约束提升轨道交通服务能级,形成快慢线并存,必要条件下互通的灵活运营格局。

### 3)强化锚固枢纽

构建形成多向立体、内联外通的区域交通枢纽体系,注重功能更加完善的内部综合交通系统设计,建设便捷高效的对外交通系统。

### 4)加强局域线规划研究

围绕新城和重点地区内部公共交通系统完善和优化工作,开展轨道交通局域线规划研究,作为大容量轨道交通线网的重要补充,提升轨道交通系统精细化、多元化、广覆盖的服务水平。

### 5)区域一体化趋势下的上海轨道交通融合发展策略研究

结合城市群和都市圈的多层次轨道交通网络融合发展要求,梳理与剖析上海轨道交通在长三角一体化和都市圈发展中存在的问题,研究各层次间的融合模式,重点针对规划衔接、运营管理协同等方面展开指导策略研究,形成上海轨道交通一体化指标体系。

## 4. 网络评估与效能提升研究

### 1)网络综合评价指标体系及方法研究

研究建立涵盖网络、线路、车站三个层面的网络综合评价指标体系,形成指标计算方法、评价标准及综合评价方法,实现对既有网及规划网的网络结构、布局短板和不同线网优化方案的评价,完成从“网络评价—方案设计—客流预测及分析—方案评价—方案优化”的全过程循环,为线网优化方案研究提供决策依据。

### 2)既有网络评估与效能提升

应对超大规模网络运营面临大客流及系统平稳运行等挑战,及网络运行及服务品质全面提升的需求,对线路运输服务能力(运能、效率等)、网络关键设施设备运行状态及寿命、网络安全管控能力、车站服务设施水平等进行全面评估,并形成改造技术方向及方案。

### 3)既有网络大修更新与技术改造策略研究

针对多制式超大规模网络化运营中存在的问题和挑战,结合线路大修更新,考虑社会、城市、网络以及技术发展,将网络化先进理念、顶层规划、资源共享、融合发展、线路运输能力、系统平稳性、网络安全管控、绿色、人文、智慧等方面融入既有老线系统,对既有网络大修改造的总体目标、总体策略和改造方案进行研究,实现网络化管理水平的全面提升。

## 5. 线网基础地理数据建模及平台化建设

### 1)地理空间结构数据标准化研究

研究多源异构数据向统一地理空间结构数据的转化方法,制定线路、轨道、应急抢修资源、振动噪声、车辆安全性等数据的统一标准、数据治理流程及入库规范。

## 2)数字底座平台建设

构建基于统一时空底座的轨道交通、静态数据底板，提升轨道交通基础信息的数字化建设和管理水平，强化数据共享服务机制，服务既有和规划线路、网络客流与资源优化升级，实现上海地铁数据的多维度、精细化管理。



## 2.2 运营

### 2.2.1 现状与形势

#### 1. 技术现状

上海城市轨道交通开通运营至今已有近三十年，从最初的摸索前行到总结提升，再到创新突破，在乘客服务、行车组织、运营管理等各方面均取得了较大的技术突破和应用，为上海轨道交通各阶段的网络化运营管理提供了有力支撑。在乘客服务方面，手机刷码进站、厕所革命、弱冷车厢、候车时间与车厢满载率预告显示等人性化服务已全面推行；在行车组织方面，运行交路已从传统的单一交路发展为全网普遍的大小交路、不对称运行等，停站方式从单一的站站停运行到16号线的快慢车组合运行，信号系统从手动驾驶到ATC自动驾驶再到10号线全自动运行，且全自动运行系统已逐步推广至14、15、18号线及更多新线；在运营管理方面，列车运行计划从手动编制发展为运行图编制系统自动生成，设施设备维修从计划修、故障修到均衡修再到全寿命周期的状态修，突发事件处置也从人工判断和电话调度发展为高效应急联动。

但面对超大规模网络运营管理带来的各类新形势、新问题、新挑战，上海城市轨道交通在运营方面仍存在以下问题：一是服务质量不够高，难以满足乘客日益多元的新需求；二是客运组织精准度不足，超短时客流预测尚未实现；三是运营计划编制的精细化程度不够，运能运量有待精准匹配；四是资源利用率不高，运能富裕线路的车辆不能服务于其他线路；五是行车调度缺少量化依据支撑，突发事件下调度处置效率有待优化；六是设施设备智能检测监测的覆盖面不够全，运维的状态修尚未全网推行；七是安全监控不够智能，应急处置联动智能化程度离预期还有一定差距。

#### 2. 形势与要求

近年来，国家、部委、行业、城市等各层面发布了一系列重要文件，对城市轨道交通的发展提出了新的要求。中共中央、国务院印发《交通强国建设纲要》，交通运输部提出要加快推动城市轨道交通高质量发展，行业协会发布了《智慧城轨发展纲要》，上海市则将数字化转型作为十四五经济社会发展的重要方向。因此，上海城市轨道交通应以网络化、精细化、数字化为指引，以安全、智慧、绿色为目标，不断创新、研发、应用各类技术，驱动运营水平持续提升。

### 2.2.2 发展愿景与目标

#### 1. 发展愿景

为满足超大规模网络的运营管理需要，将大数据分析、语音图像识别、人工

智能、5G 通信等先进技术与城市轨道交通运营需求进行深度融合，实现城市轨道交通智慧运营，包括更主动多元的乘客服务、更精准灵活的客运管理、更合理先进的列车运行、更精细智能的调度指挥、更高效联动的应急处置等，从而为人民群众提供更满意的出行体验，在世界范围内树立城轨运营的中国标杆，更好地支撑上海城市发展和长三角世界级城市群建设。

## 2. 发展目标

聚焦乘客服务、客运管理、列车运行、行车调度、应急处置等运营核心业务的精细化、自动化、智能化发展方向，通过 5-10 年的研究、开发、试点，逐步打造“智慧服务、智慧客运、智慧乘务、智慧调度、智慧应急”五大智慧运营系统，同时以 16 号线为试点，在实际运营过程中逐步推行灵活编组。

### 2.2.3 发展与规划

#### 1. 智慧服务

以城市数字化转型为契机，利用出行大数据分析、生物识别采集、语音识别、客流感知、城市信息共享联动等技术赋能现有乘客服务，并扩展出行预约、定制班车、站内精准导航等更多新服务，使更高质量的智慧服务全面覆盖乘客地铁出行各个环节；将地铁出行与购物、游玩等各类城市生活场景实现协同融合，为乘客提供全程可感知、有温度、个性化、主动推送式的智慧服务，充分发挥对城市经济生活等方面的支撑作用。

#### 2. 智慧客运

快速甄别网络内受事件影响的乘客数量及类型，对不同乘客群体进行定向主动引导，为乘客提供精准的主动式出行信息服务；基于三网融合建立跨多种交通方式的“一卡通行、一票畅行、一信导行”服务系统，为乘客提供多层次的综合交通服务；建立网络客流均衡引导系统，引导乘客在高峰时期优化乘坐路径，提升出行体验；打造高效运行的智慧客服管理平台，自动识别整理乘客反馈意见并分析，助力精准提升网络化客运服务质量。

#### 3. 智慧乘务

运用数字化技术研发乘务管理的信息化、智慧化系统及平台，提高乘务管理效率，辅助列车驾驶员作业，保障列车运行安全。具体研究方向包括：面向计划层面的乘务计划自动编制技术；面向实际运行的乘务计划实时调整技术；具备绩效自动统计、考勤评价、行为监控及排故指导等功能的乘务管理数字化系统及配套的设备研制。

#### 4. 智慧调度

针对超大规模网络运营阶段网络客流的时空动态性、敏感性显著增强的问题，为保证运输服务的稳定性、适应性，研究网络多线多列车协同动态调整技术；基

于成熟的、精细的列车运行调整规则，融合智能优化算法，搭建智慧行车运行调度平台；研究网络客流分布状态的客流实时感知技术及突发事件影响下的推演预判技术；研究基于实时客流预判结果的运行计划自动调整技术，以实现列车对客流状态及运营环境变化的主动适应。

## 5. 智慧应急

为实现超大规模网络运营应急管理“精准预警”、“精准调配”、“精准处置”的三大目标，重点基于网络化统筹理念，建立跨专业、跨线路、跨系统的网络级应急监测预警系统，以提升事件预警精准水平；建立基于 GIS 导航的时空一体化应急调度系统，提升应急指挥响应水平；建立适应关键岗位、覆盖各种工况的现场处置辅助系统，提升现场应急排故水平，打造“主动指挥”智慧应急管控平台，适应更为复杂的网络化应急管理要求。

## 6. 灵活编组

列车灵活编组技术可以通过灵活调整高平峰列车编组数量，在满足客流需求的前提下，提升列车满载率水平，同时能保持服务水平不下降，并同时实现能耗的节省及车辆走行公里数的降低。开发并优化调度控制系统（ATS）中的相应功能，提升列车连挂、解编作业的自动化程度；研究在线连挂解编在上海轨道交通 16 号线的实际运用方案及配套的实施管理方案，并在实施应用；编制指导新线列车采用灵活编组方案的各专业设计要求，以指导新线建设。



上海市土木  
Shanghai Society of Civil Engineering

## 2.3 车辆

### 2.3.1 现状与形势

#### 1. 技术现状

我国城市轨道交通的车辆装备产业技术发展经历了初创、引进、国产化实施和自主创新等阶段，整车和大部分部件的设计和制造技术已接近当代世界先进水平，大大减少了对国外技术的依赖程度，具备一定的竞争能力，也为国内的城市轨道交通建设和运营提供了有效支撑。

#### 2. 形势与要求

自 2011 年起，上海城市轨道交通车辆技术发展已全面进入自主创新阶段，为应对城市新发展、网络化运营和三个转型的实际需求，需对车辆技术发展提出新要求，主要体现在：运用人工智能、大数据、绿色节能等先进技术，全面提升车辆的智能智慧、安全可靠、环保节能水平，持续提高车辆的服务质量和运维能效。

### 2.3.2 发展愿景与目标

#### 1. 发展愿景

车辆技术更加注重节能环保、经济适用，努力朝着更安全、更可靠、更智能、更舒适的发展路线，推进实现列车的谱系化技术发展。通过“十四五”期间进一步深化基于上海城市轨道交通运营需求的自主创新，在“智能、高效、绿色、安全、互通”五个方面持续提升车辆技术水平，并形成相应的检验检测能力，推动上海轨道交通的高质量发展。

#### 2. 发展目标

基于超大规模网络的车辆运维模式全面开展自主创新，深化智慧车辆建设，提升列车运营的智能化程度和车辆全生命周期运维效能，构建绿色车辆的监管平台和评估体系，建立上海地铁标准车辆谱系，促进网络内互通和网络间互联，培育车辆装备质量控制和准入管理的验证能力。

### 2.3.3 发展与规划

#### 1. 深化智慧车辆建设

##### 1) 多技术融合的车辆实时智能监测

研究集约型车辆网络基础综合承载车辆多源信息和车地交互，结合大数据、人工智能分析技术，实现车辆故障预警及诊断，促进维修模式的变革，提升上线列车整体可靠性，降低列车运维成本。

## 2) 车辆控制融合技术研究

突破车辆多系统控制、信号控制功能集成技术瓶颈，优化列车控制架构，重构车辆子系统控制、信号控制功能，从分布式控制、分专业控制向集约融合控制转变，实现列车控制多系统、多专业深度集成，提高列车运行控制精度、动态响应特性和安全性，降低建设和运营成本。

## 3) 多传感融合的全自动列车智能感知

通过多源传感融合技术，结合智能算法实现障碍物识别、关键故障感知，保障全自动驾驶运行车辆的安全性，并研究车辆故障自愈功能，提升车辆的可用率。

## 4) 车辆导乘信息服务智能化

构建车厢拥挤度实时智能监测平台和指标体系，优化导乘信息规划和动态智能化引导，智能识别乘客异常行为，提升车内乘客信息服务质量。

## 2. 提升全生命周期运维效能

### 1) 车辆设备状态评估体系的构建

结合工程实际开展系统性、综合性的车辆服役寿命评估方法研究，建立车辆延寿评估体系，研究具体评估方法，形成相关标准和管理办法，以作为后续车辆状态和寿命评估项目开展的依据。

### 2) 全寿命周期的运维策略

基于网络化车辆信息数字化和智能运维建设，分析系统/部件的故障分布特性和性能退化特性，开展由“计划修”向“状态修”过渡的维修策略改革试点，实现车辆全寿命周期运维管理的价值最优化。

## 3. 推动绿色车辆体系建立

### 1) 车辆能耗监管平台建设和评估体系构建

围绕双碳目标，持续推进绿色地铁提质增效发展，精细化车辆能耗全量监管，构建城轨列车绿色节能性等级评估体系，开展“车-网-路”耦合系统实时仿真、大系统配置仿真、列车运筹调度优化策略等方面的研究，为绿色车辆技术的应用和发展提供支撑。

### 2) 新一代高效牵引变流技术研究

进一步挖掘车辆牵引节能潜力，提高用能效率，促进轨交车辆牵引节能技术的迭代升级发展，比如新材料变流元器件、永磁同步牵引技术、再生制动能量深度利用等方面的应用研究。

### 3) 车辆环保材料研究与应用

推广应用环保新技术、新装备、新材料、新工艺，如水性漆涂料或车体贴膜等的应用，提升智能化节能管控要求，全面推进地铁绿色发展。

## 4. 确保新技术安全性

### 1) 车辆相关的网络信息安全研究

开展城市轨道交通车辆相关的网络信息安全技术研究，覆盖车载信息网、车地传输通道、车辆智能地面平台等子系统的网络安全风险，形成网络安全等保技术规范 and 体系，研发网络信息安全技术装备，保障城轨交通车辆运行安全。

## 2) 锂电安全

通过锂离子电池的应用工况、失效分析、可靠性和安全性研究，系统性评价锂离子电池的危害程度并寻求防护策略，建立科学合理的锂离子城轨应用综合评价规范，为锂离子电池在车辆上应用推广提供基础。

## 5. 促进网络内互通和网络间互联

### 1) 系列化标准地铁列车研究与试点

逐步推进车辆部件标准化，根据不同部件的特点分步实现机械接口、电气接口、软件接口标准化，建立上海地铁标准车辆谱系，提出能够满足上海网络化运营以及互联互通需求的系列化标准列车方案。

### 2) 网络化车辆运营互联互通研究

研究车辆互联互通能力，实现不同线路之间列车的跨线行驶、相互调用的车辆方案，以实现网络化车辆的共享及调配运营，应对共线运营、网络化车辆跨线调配等需求。

### 3) 市域及中小运量制式车辆标准体系建设

围绕长三角一体化发展以及上海“十四五”五个新城建设的战略目标，推进市域快速轨道交通车辆及中小运量制式车辆选型标准、技术要求的制定，为完善上海城市轨道交通线网建设提供依据。

## 6. 车辆检测能力和仿真环境建设

健全车辆关键装备的检验、检测能力，形成车辆装备认证认可能力和产品准入机制；搭建“车-网-路”耦合系统实时仿真环境，还原列车真实的功能以及在仿真线路下运行的车辆状态，研究把控产品质量的理论依据和方法。

## 2.4 车辆基地

### 2.4.1 现状与形势

#### 1. 发展现状

至 2020 年，上海轨道交通已建成车辆基地 38 处，据规划至 2035 年将建成 54 处车辆基地。随着上海轨道交通线网进入网络化建设运维阶段，车辆基地作为车辆运用检修、综合维修、物资仓储、培训和计量等资源的场所和设施设备的载体，同步进入了“网络统筹、资源共享”的时代。从聚焦网络车辆基地资源统筹规划、工艺优化设计、车辆维修技术和维修装备研发应用等方面，为上海轨道交通运营生产资源的合理配置、设施设备状态的安全可靠、维护检修能力的不断提升提供了有力支撑。

上海城市轨道交通已形成超大规模网络，对车辆基地的规划、设计、建造、运营维护各方面提出了更高要求。而车辆基地现行的规划设计理念、建设标准、运维管理效能等，与目前城市总体发展，与轨道交通运维理念、方法手段以及科学技术的快速发展相比，略显滞后，主要表现在：车辆基地土地资源发挥的效益仍存在空间；配置的设施设备尚存在功能配置与需求不匹配、高新技术设备使用不多等问题；设施设备的运维和管理水平存在与超大规模网络统筹能力不相适应的矛盾，亟待进行归纳总结、深入研究、吸收转化和创新提高。

#### 2. 形势与需求

基于上海轨道交通超大网络运营服务水平提升需求不断增加、城市资源日益紧缺、企业运营经营并重等综合形势，立足“安全、智慧、绿色”的发展目标，车辆基地作为城市轨道交通的重要组成部分，应能在满足运营维护功能需求的基础上，最大化网络资源共享和集约利用的深广度，最优化网络资源统筹调配的灵活性，降低建设、运维投入，促进基地生产管理数字化转型、智慧化发展，提升维护水平，塑造维护检修核心竞争力，最终实现轨道交通与城市资源的协调发展和综合效益最优。

### 2.4.2 发展愿景与目标

#### 1. 发展愿景

对标国内外地铁城市车辆基地的建设、设计和运维的总体水平，基于超大城市总体发展、资源紧约束的形势，以及轨道交通行业数字化转型、运营经营并重等发展战略，车辆基地作为轨道交通设施设备的重要载体，将以建设“资源共享互通、空间高质利用、工艺和装备智慧增效、维保先进高效”的国际一流车辆基地为目标愿景。网络规划层面深化互联互通、资源共享，深化土地资源高质量利

用，引入人工智能技术和自动化装备，创新发展车辆基地维修模式和维修体系，为共享发展、智慧赋能、降本增效提供新的支撑。

## 2. 发展目标

深入贯彻网络资源统筹共享理念，围绕互联互通，加大设施和可移动装备等资源的共享深广度；推行土地资源高质量利用，挖掘既有基地的土地利用潜力；创新车辆基地建造技术，应对复杂的施工环境；顺应数字化战略，聚焦智能检修和管理场景，打造自动化、智能化、高质低耗的基地；改革创新维保模式，顺应从运营地铁到经营地铁的理念转变，探索新的车辆修程修制，提升检修效率和质量。

### 2.4.3 发展与规划

#### 1. 实现网络互联互通，进一步深化资源共享

统筹部署联络通道，规划共址基地、联络线等条件，建立设备互联互通标准，使得分散在网络各基地内的可移动装备资源实现共享，如备检列车资源、综合检测装备资源。深化部件深度修资源共享，研究布局网络架大修部件深度修、检测中心等资源的集中设置，提高检修资源效能。

#### 2. 创新集约规划设计，进一步深化综合利用

##### 1) 车辆基地规模控制策略研究

需求控制疏导，通过优化修程修制，减少检修车配置，进而减少车辆基地停车、检修总体用地；优化工艺设计，缩小车辆检修单体的占地面积；空间立体利用，采用立体车辆基地。

##### 2) 深化土地资源综合利用水平

继续深化推进车辆基地综合开发。此外对于未进行综合利用的既有基地，挖掘潜力，研究既有车辆基地土地再利用、土地功能置换的可能性，以实现既有车辆基地土地综合利用的设想。

#### 3. 扩大预制装配式技术应用和技术研究

车辆基地工期短、施工压力大，相比传统现浇构件，对于车辆基地内数量多、规格少、宜标准化的结构，引入预制装配式技术，具有质量稳定性、可靠性以及生产效率高的优点，且可以将流水施工转变为平行施工。

#### 4. 深度挖掘场景需求，实现智慧高效维修

##### 1) 构建基地生产管理数字化平台

利用新一代信息化、自动化、智能化技术手段，实现集信息管理和自动控制于一体的智慧车场。建设车场生产综合管理系统，实现车场生产区域内的运营生产组织、行车组织、检修施工实施、安全监督一体化管理和指挥；建设车辆基地设施设备监测技术及管理平台，实现设备的远程状态数据的远程监控管理，实现

设备故障的预测诊断；建设车辆基地物业服务统一管理枢纽，涵盖车辆基地物业设施设备监测、基地园区秩序管理、基地环境监测、基地智慧仓储、基地园区资源管理及服务提升、基地智慧餐饮等业务。

## 2)推进智能装备技术应用

开展车辆检修机器人应用，基于机器人技术、自动导航技术、高清光学成像技术和深度学习算法等前沿科技，挖掘劳动密集、具有职业危等特点的工种和岗位进行机器人技术应用，如车辆智能巡检机器人、智能吹扫机器人，提高检修质量，降低人工成本；建设架大修智慧生产线，实现更加流水化、标准化、可视化的现代化架大修部件维修场地，工艺布局更加合理高效，高精度设备使得检修更加可靠，实现服务于超大规模网络下轨道交通的架大修智慧工厂。

## 5. 创新维保策略，提升业务效能

### 1)进一步优化车辆维修制度

在车辆维修精益化维修和降本增效需求日益强烈的背景下，研究实践区别于传统计划修的检修体制，逐步探索优化的计划性预防修和状态修。创新实践基于换检修的均衡化架修模式，利用周转件在列车运营天窗时间进行换件维修，减少了目前因为紧张的窗口时间的占用。

### 2)提升社会化委外模式应用成效

在面临超大规模网络设施设备运维体系的转型发展，充分合理的利用社会资源和市场化机制，进行生产资源配置、提升运维管控能力，合理优化维护成本，通过充分市场竞争控制维护成本，完善与综合运维、全生命周期运维相适应的管理体系。

### 3)构建设备维修质量检测评定能力

作为设施设备管理主体，应把控维修质量，基于对部件技术规范、技术质量、检测规则的研究，统筹规划部件检测能力，构建关键部件检测评定能力，对委外修质量进行过程和结果控制。同时随着城市轨道交通行业产品认证标准体系的逐渐成熟，检测作为车辆部件质量认证环节的重要一部分，还可服务于行业检测认证项目。

## 2.5 振动噪声

### 2.5.1 现状与形势

#### 1. 技术现状

新时代城市轨道交通快速建设和网络化发展,建造施工和日常运营过程中引发的环境振动、噪声与二次结构噪声对周边环境影响范围和程度与人民日益提升的工作生活环境品质要求之间的矛盾成为新常态。随着研究和技术的深入与进步,振动与噪声相关控制技术与标准日趋完善,振动和噪声控制的重视程度和建设投入在不断提升。城市轨道交通引起的振动与噪声分析评估提前至线路规划阶段,并贯穿至建设和运营。从专业技术角度来看,现阶段城市轨道交通振动与噪声钢轮钢轨系统的高架线路引起的噪声问题、既有线路车内舒适性问题、特殊地段的减振降噪设计、特殊制式(胶轮)振动噪声问题、数值仿真方法可行性及有效性等问题等研究都有了显著的进步。

上海城市轨道交通总体发展迅速,传统的振动与噪声研究和控制技术存在难以突破的瓶颈。现阶段振动噪声控制正进行着多元化发展与系统化转变,主要表现为:1)城市轨道交通振动与噪声控制向系统化发展挑战巨大,如车-轨-桥/隧-接受体耦合系统时变影响规律有待深入研究,兼顾车内环境的轨道振动与噪声系统控制亟待提升。2)振动与噪声检测/监测感知实时化发展与应用需要不断探索。3)新材料和技术在振动与噪声控制应用与标准化发展需要持续增强。

#### 2. 形势与要求

在“十四五”新机遇和新背景下,上海轨道交通噪声与振动研究与控制也面临着新的挑战 and 更高要求。轨道交通环境噪声与振动问题将由市区环境延伸至市郊,既有运营网络的列车内外部环境振动与噪声品质提升将成为新焦点。以数字化转型、信息化发展为契机,轨道交通噪声与振动研究与控制将努力实现由实体向数字孪生体转变,不断研究基于系统化、全过程、全寿命周期的列车内外振动与噪声控制技术。

### 2.5.2 发展愿景与目标

#### 1. 发展愿景

面向轨道交通振动与噪声共性关键问题,以解决上海轨道交通既有线振动与噪声为主导,指导新线建设振动噪声控制为基础,通过数据底座和数字化平台建设,赋能预防和解决运营线路与沿线居民振动噪声环境质量间矛盾的能力。推动以基础研究带动应用技术突破,提升轨道交通噪声与振动管理信息化水平。开展协同创新,发挥各类社会主体的创新积极性,共同构建轨道交通噪声与振动研究

与控制合作新格局。

## 2. 发展目标

积极应对城市轨道交通超大网络、超长运营时间及周边居民日益提升的环境品质要求的挑战，持续推进基础研究的同时，坚持应用导向，融合数字化、大数据技术创新，优化仿真技术精度。以数字化转型为契机，依托新型传感与数字化平台技术，统筹推进车辆-轨道-环境振动噪声综合测试能力建设，研究多维度关联的振动噪声检测、仿真与控制技术；研究轨道减振降噪措施全寿命性能、最优改造方案与措施；加快研发既有线减振降噪措施升级改造技术工艺、配套装备和措施效果综合评价体系。全面提升综合治理轨道交通振动噪声能力，保障沿线居民环境。

### 2.5.3 发展与规划

#### 1. 集成化仿真预测技术及基础理论研究

开展轨道交通噪声与振动基准、噪声与振动与人体健康关系等方面的基础研究。推进上海轨道交通钢轨不平顺研究，完善和优化城市轨道不平顺功率谱，提升车-轨相互作用模拟的精确性。多维度关联振动噪声与车辆、设施设备及其状态关系，准确分析车轮、钢轨和结构噪声各自的频率特性和对总体噪声与振动的贡献。

形成适合于上海轨道交通噪声与振动仿真的专用（快速）分析方法与软件，提升新线环境影响评价预测分析精度。

#### 2. 建设噪声与振动应用检测诊断技术体系

围绕安全、效益和环境友好性三大方向，着力破解轨道交通噪声和振动信号所携带的应用密码，开展核心技术攻关，研发钢轨、扣件、道床等关键轨道部件病害的在线预警智能监测设备，实时监测轨道状态，指导养护维修和应急抢修计划。实现重点振动噪声敏感点的在线实时监控、全寿命周期跟踪评估减振降噪效果，数据采集、分析、可视化，大数据挖掘、储、存/管理、数据积累，为新线建设提供技术支撑。

#### 3. 打造噪声与振动全方位数字底座与平台

结合既有线路提升改造和新线建设，面向周边噪声与振动环境综合优化提升改造方案并跟踪评价改造结果，初步搭建周边噪声与振动环境动态数字底座。构建线网车辆乘客舒适性静态数字底座，集成各条线路车内噪声、车辆横、纵向平稳性等多维度实测数据，实现车内噪声与车辆平稳性等乘客舒适性指标数字底座。结合线路条件、轨道结构、车辆性能与速度等与大数据关联性分析手段，实现车辆乘客舒适性状态评价及溯源分析。

推进上海运营线路轮轨力学响应自动监测与评价进展，深度融合车辆运行安

全性、舒适性、线路动力状态匹配性等动态数字底座。

#### 4. 健全与提升振动噪声评价标准体系

应对市域铁路与城市轨道交通等多网融合的新局面，以理论建模、仿真计算和现场实测为手段，科学建立振动噪声评价指标体系和测试准则及相关能够指导新线建设的标准及技术指南体系；形成轨道交通噪声与振动控制技术/产品性能评价指标体系；探索长三角地区轨道交通振动噪声控制技术的指标体系，优化减振降噪设计，提升振动噪声控制水平。倡导系统化、集成化、标准化、清洁高效的城市轨道交通噪声与振动控制措施。



## 3. 土建篇

### 3.1 建筑

#### 3.1.1 现状与形势

##### 1. 技术现状

城市轨道交通建筑主要包括车站、车辆基地、控制中心、主变电所、中间风井建筑等；其中车站与车辆基地规模占比最高，其建设对上海城市发展和功能的提升起到了巨大的推动作用。

车站建筑不仅在乘客人性化服务包括无障碍出行、导向标识优化、公共厕所标准提高、便捷进出站、防灾与应急疏散方面为乘客不断提升服务水平，还拓展到城市文化、景观、商业服务、广告宣传等方面，促进了城市功能更新发展；车辆基地建筑的上盖综合利用在上海市建设土地“零增长”的控制目标下，得到了前所未有的重视；在平衡交通功能与开发需求的过程中，积累了丰富的经验，并编制了相应标准。

##### 2. 形势与要求

上海轨道交通车站的建筑建设发展对于自身来讲，需要不断更新建设理念，不断强化“以人为本”的本质要求；对于“上海服务全国”的义务来讲，需要对标国际最高标准、最好水平，适应国内新时期的经济和社会发展趋势，引领国内车站建筑的建设。

随着开发模式的不断创新，上海车辆基地建筑的上盖综合利用出现地下停车场的开发模式，这需要对综合开发的防灾、安全技术等方面进行更加深入的研究，在保证基地使用功能防灾安全的基础上充分发挥综合开发的建设效益。

#### 3.1.2 发展愿景与目标

##### 1. 发展愿景

###### 1) 车站建筑

以乘客需求为导向，提供国际一流的出行服务品质。进一步优化和完善上海城市轨道交通车站的各类人性化服务设施包括公共厕所、母婴室、无障碍设施、乘客导向系统等，提高车站的服务水平；全面提升车站的乘客安全保护措施，满足防火疏散、防淹、防踩踏、防台风、防滑等要求；促进车站大客流安全管理，改善网络内大型换乘枢纽的便捷与安全；从而提高车站设施的乘客需求适应性，满足乘客出行之外的附属需求。结合“五大新城”规划目标，建设“全国样板”的车站。

## 2) 车辆基地综合开发

建设安全、绿色的车辆基地，提升基地内部环境；解决综合开发带来的基地内部通风、排烟、采光等问题，为员工提供环境友好、安全舒适的工作环境。综合应用各类新技术、新材料、新工艺，适应智慧轨道交通建设的需求，提升车辆基地内部功能；充分利用车辆基地，建设可持续发展城市。

## 2. 发展目标

依据建设全球顶级城市的目标，建设与之匹配的车站建筑，提出“人性化、安全、可持续发展”的建设目标。车辆基地的建设应与土地开发和利用同时进行，并且有条件时，将市中心车辆基地的功能置换到城市边缘地区，对现有车辆基地进行土地综合利用，通过“腾笼换鸟”，实现全部车辆基地的综合开发利用。

### 3.1.3 发展与规划

#### 1. 根据未来城市发展目标，提出新型车站建设需求。

强化乘客的“人性化服务”需求，乘客服务功能高于一切。避免因美观、造价等非专业意见，弱化乘客服务的导向、无障碍、防灾等专业性的需求。既要考虑到国内乘客、也要考虑到国外乘客的各类人性化服务需求，特别体现在乘客导向系统、无障碍服务设施、站外交通衔接设施、站内换乘设施、公共厕所、母婴室、紧急救助设施、商业服务设施以及和社区公共服务配套的设施等。

重视车站建设的“安全”性。包括三个方面：一是常规状态下大客流安全性，需要防止乘客拥挤、踩踏等；二是应急疏散时乘客疏散设施的能力应确保乘客安全；三是面对自然灾害时，应建设防淹、防台风、防雷击等乘客安全保护措施。

转型“可持续发展”的建设理念。要求建设绿色、节能的车站建筑，按照全生命周期合理控制车站的建设规模，既要考虑到未来客流变化的因素，也要考虑到随着技术发展，车站设备管理用房的需求变化；同时车站空间规模应考虑到长期运营的能耗。

#### 2. 引导车站文化建设

建筑是人类文明的载体之一，不仅乘客的出行对车站具有文化需求，城市发展对车站也有传承文化的需求。车站的文化建设同时也是上海代表全国对全世界乘客的一个宣传窗口。

上海明确提出要大力提升文化软实力，全力建设有世界影响力的国际文化大都市，努力实现建设“有世界影响的国际文化大都市”的目标。上海的地面、高架车站的造型设计，地下车站的装饰设计体现着的就是上海的文化。未来上海地铁的建设，将世界文化、中国文化、上海文化与车站的建设融于一体，体现车站建设的文化先进性，建成与顶级城市匹配的车站文化。

### 3. 车辆基地综合开发统筹规划

综合运用各类先进技术，提升下部地铁功能空间的作业环境，减少上下部之间的不利影响，建设集约化可持续发展的交通、开发综合体，减少车辆基地的长期运营成本。

统筹上海城市总体规划，结合上海“五大新城”建设目标，发挥轨道交通的突出优势，研究城市“生长”与交通“有机肥”的相依相存关系，以城市功能规划为手段、市民需求为导向，建设交通一体化车辆基地上盖综合开发；继续既有车辆基地综合利用“腾笼换鸟”研究，为城市的高品质、可持续发展提供空间



## 3.2 土建结构

### 3.2.1 现状与形势

#### 1. 技术现状

上海轨道交通网络已经历经三十多年的建设,期间克服了饱和软土地地区建设地铁的诸多不利因素,从线到网形成了上海轨道交通基本网络。在此过程中,控制地铁土建工程建设以及运营期间的各类安全风险,减小对周边环境的影响始终是地铁土建施工和设施维护的首要任务。

近年来上海城市地下空间开发愈发充分,为了地铁自身各项功能的完善提升,以及与周边地下空间的连接,轨道交通车站基坑开挖深度加深、周边环境愈加复杂,这导致轨道交通车站的难度增大。由于上海城市轨道交通网络建设中出现了越来越多的超深基坑,一些基坑周边环境条件异常复杂,风险控制难度加大,有必要围绕超深基坑围护与支撑体系施工、超深地基土体改良以及超高承压水综合治理等关键问题进行技术研发,有必要引进、推广一些新型技术工法,以适应基坑风险控制出现的各类新问题。其中部分新技术、新工法虽已得到运用,但仍处于试点或小范围推广的阶段,技术要点仍需要研究完善,总结经验之后需进一步标准化。

区间隧道(包括区间联络通道)施工面临的问题愈加复杂,不但埋深更深,而且各类市政设施以及建(构)筑物遍布地铁沿线,区间隧道的施工变形控制要求愈发严苛,周边环境更加敏感复杂,高承压水治理也面临着新的困难。区间隧道施工不仅存在越来越多的超近距离穿越运营地铁及公路隧道、盾构穿越清障区域变形、超近距离穿越居民房屋、超近距离穿越重要市政管线隧道等情况,还会遇到超近距离穿越变形控制异常严苛的磁悬浮、高铁线路以及机场跑道的情况,因此与各类环境要求匹配的隧道施工控制技术仍有完善的空间和需求。随着盾构隧道拼装成型的技术不断发展,城市轨道交通建设及后期长期维护的需求也对隧道管片的拼装质量有了更严苛的要求。因此,盾构管片的接头拼装技术及拼装质量仍有待进一步提升。

目前,轨道交通既有线路投入运营的网络规模已经非常庞大,日常运营维护的工作量非常繁重。大规模轨道交通网络的长期运营维护对结构的安全和耐久性保障都提出了很高的要求,这既是轨道交通网络安全运营的重要保障,也是减少因为网络各类设施老化造成乘客出行安全舒适度下降的基本要求。依靠传统的设施设备状况监测、监控及维护保养手段既不足以应对日益扩大的运营网络的维护需求,也不足以应对可能出现的突发状况,其能力与仍在不断扩大的网络运营维护需求之间的矛盾仍在不断扩大。

## 2. 形势与要求

“十四五”时期是上海积极贯彻交通强国、质量强国和长三角区域一体化发展的国家战略，落实上海“五个中心”、“四大品牌”和“三大任务”建设要求的重要时期，上海轨道交通也面临着更高质量的发展要求。交通强国建设战略将促使城市进一步加强利用地上、地下空间的力度，城市轨道交通建设过程中，遇到更多更复杂的各类建(构)物和市政设施，轨道交通施工过程中的风险大大增加，需要进一步加强对各种技术工法的研究，形成设计、施工及质量验收的标准，引入智慧建造技术，以指导建设过程中的风险控制，达到精细化施工的要求。城市土地道路资源的愈发稀缺，因此有必要加强暗挖工法的研究，以平衡轨道交通建设与对周边环境及道路交通之间的矛盾，使轨道交通网络可以惠及更多市民。超大规模轨道交通网络运营维保的需求，将促使各类智慧运维技术逐渐被引入轨道交通运维的全过程。国家大规模建设引发的基本建筑材料的短缺，将促使轨道交通建设寻求更环保、更绿色、对周边环境影响更小的建设方式，因此工厂化的预制技术应进一步在轨道交通建设中推广，各类废弃物的回收再利用也应作为轨道交通建设运营期间的目标。

### 3.2.2 发展愿景与目标

#### 1. 发展愿景

为了实现轨道交通创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念，保证轨道交通运输功能的充分实现，提高乘客使用轨道交通出行的舒适度，降低轨道交通建设运营全过程的各类风险，在进一步深入研究各种施工控制技术的基础上，引入大数据技术，逐步实现智慧风控、智慧建造、智慧运维的目标，在“十三五”的基础上进一步提高建设阶段施工的精度，减少建设期施工对周边环境的影响，同时提高运维期的日常工作效率和应对突发情况的能力。

#### 2. 发展目标

建设期控制施工风险及降低对周边环境影响，进一步优化和完善各类施工工法的设计、施工及质量控制标准，通过智慧建造、精细化施工等手段保障建造过程中的安全，同时控制工程施工对周边环境的影响。降低中心城区轨道交通建设期间对城市道路交通影响，加强对各类软土地区暗挖工法车站的相关研究。提高运维效率，实现智慧运维，利用大数据技术，提高信息综合处理的能力，提高处理突发事件的能力。实现绿色、环保建设，充分发挥装配式预制构件质量优势，进一步推进预制技术在地下车站、区间隧道及其它基础设施建设过程中的应用，提高预制构件在各类轨道交通建(构)筑物建造中使用的比例。加快新型快速接头管片推广应用，提升隧道质量和系统刚度、减少远期结构病害治理压力。

### 3.2.3 发展与规划

#### 1. 构建完善的智慧风险管控技术

##### 1)开展 BIM 技术研究

进一步推进基于 BIM 的工程全生命周期风险管控关键技术研究，抓好隧道施工、联络通道开挖、基坑开挖、各类管线施工的风险管理

##### 2)建立智慧风险管控平台

基于物联网、遥感、云计算、大数据智能分析等新一代信息技术，以制度为本、以标准为先，建立在线动态监控、智能监测预警、应急联动联调等智慧风险管控平台。

##### 3)开发超深基坑全方位自动化监测系统

移动风险管控端利用轻量化 BIM 模型快速掌握工程动态信息，提高智慧风险管控水平。

##### 4)研发智慧工地关键技术

加强对施工人员和施工设备的状态管理，实现施工过程可模拟、施工风险可预见，实现项目建设过程的实时监控、智慧感知、数据采集和高效协同。

#### 2. 创新发展轨道交通智能建造技术

##### 1)深化信息技术与先进工程建造技术的创新融合研究

基于 BIM (+GIS、北斗)、物联网、云计算、移动互联网、大数据等信息技术研发工程信息化建造平台，实现全产业链数据集成，为全生命周期管理提供支持。

##### 2)开展智能建造技术研究与应用

开展预制构件（隧道管片）智能制造、钢筋笼机器人焊接、装配式车站现场构件安装、狭小空间机械智能施工等领域智能建造技术研究与应用，全力提升上海轨道交通工程的建造技术水平，为智慧地铁建设夯实基础。

#### 3. 研究并建立上海特色中心城区车站暗挖技术

在既有车站暗挖实施成果的基础上，继续加强、深化地下空间暗挖技术的科技攻关、技术提升与创新。探索全暗挖地下车站、盾构法车站实施关键技术，发展一套完善的建筑、结构、机电、系统的设计理论及施工工法，形成地层适应性强、环境友好、功能兼顾的暗挖车站建造技术体系。

#### 4. 进一步推广地下工程预制关键技术

充分发挥装配式预制构件质量优势，进一步推进预制技术在地下车站、区间隧道及其它基础设施建设过程中的应用，提高预制构件在轨道交通建（构）筑物中的比例。加快新型快速接头管片推广应用，提升隧道质量和系统刚度、减少远期结构病害治理压力。深化深基坑工程围护体系预制技术研究，结合新材料推进

地下车站关键部件预制技术，提升工程建设品质，打造精品工程。

#### 5. 研究并推广应用基础设施智慧运维关键技术

充分利用新一代信息技术，在信息采集、信息传播、信息分析和信息展示方面的优势，将云计算技术、大数据技术和物联网、互联网技术有机结合，建立轨道交通基础设施设备智能化管养云平台，实现智慧感知、智慧管理、智慧决策和智慧服务，探索高效、安全、可靠、经济的新型地铁设施管养模式。



## 3.3 轨道

### 3.3.1 现状与形势

#### 1. 技术现状

新线轨道工程基本实现标准化、预制化，铺轨施工机械化程度不断提升。逐步实现了轨道工程主要设施部件的标准化，新建线路轨道预制化率达 80% 以上，不断改进铺轨施工工艺，确保施工环节与轨道整体技术匹配提升，轨道精测网技术的全面应用助力轨道铺设精度对齐高铁标准，轨道工程建设品质达到了新高度。

人工与大型装备结合的轨道设施设备运维模式逐步成熟，轨道设施设备运维逐步走向市场化，利用大型装备进行钢轨在线整形技术已成为整治钢轨表面伤损的主要手段。

保持科研创新能力，研究新技术推进专业发展，近几年多项科研项目研究取得了良好效果，主要包括预制轨道一体化关键技术、轨道安全和振动噪声在线监测技术、运营线减振轨道改造技术、预制湿接长型浮置板轨道技术、智慧工务等。

轨道标准化体系建设方面完成多项企业或地方标准编制。上海地方标准《上海轨道交通精测网技术规范》正式发布；完成地方标准《城市轨道交通钢弹簧浮置板轨道施工质量验收标准》编制；完成扣件、预制轨道板、道岔板、浮置板等多项企业标准；全面梳理既有轨道标准化体系，制定发展规划。

#### 2. 形势与要求

当前道床引起的综合性病害逐步发展，各种既有道床快速更换技术迫切需要形成可实施方案；线网增长、运营时间延长、民众需求提升等，导致基础设施设备运维压力不断增加，对设施设备全寿命周期管理的需求不断提升；在当前企业数字化转型和智慧地铁建设形势下，迫切需要明确智慧工务建设和发展方向；在企业改革和运维市场化程度不断扩大背景下，面对地铁、市域、磁浮等多制式轨道交通基础设施运维，迫切需要提升轨道专业技术水平。

### 3.3.2 发展愿景与目标

#### 1. 发展愿景

轨道技术体系引领行业发展，新线轨道建设品质达到新高度，新线建设过程全面应用智能建造技术，并能实现与智慧工务系统无缝衔接，形成数据驱动的轨道设施设备检修维护模式，全面掌握设施设备全寿命周期发展规律，转变传统计划修模式到状态修和预测修。

#### 2. 发展目标

新建线路轨道技术标准全面提升，预制轨道技术基本实现全覆盖，轨道结构

部件包括减振轨道全面统型，施工机械化程度进一步提升；研究确定新线数字化轨道交付技术与模式；形成地下、高架整体道床预制化改造施工和装备成套技术方案；进行先进采集技术应用，研究扩大大型装备应用规模，初步建成智慧工务综合管控平台，智慧工务体系雏形初现；初步掌握设施设备全寿命周期发展规律，建立轨道状态综合评估方法和设备装状态评价方法，建成钢轨预测性养修智能决策系统；形成覆盖设计、供货、施工、运维的完整技术标准体系。

### 3.3.3 发展与规划

#### 1. 轨道建造技术数字化应用

研究轨道从设计过程到施工过程数字化、智能化技术应用，并形成可直接对接智慧工务系统的数字交付成果；针对车站、旁通道、人防门等特殊节点制定针对性解决方案，扩大预制轨道覆盖范围；针对浮置板轨道、压缩型减振器等加大统型力度，并进行结构型式优化；在现有基础上进一步优化应用新型施工装备的施工工艺，不断提高施工工效。

#### 2. 改造升级关键技术研究

针对运营线轨道专项改造和大修改造，研究改造前评估状态评估方法和改造实施方案，解决道床预制化改造的道床破除、新板和旧板运输组织方案等关键技术，形成系列化成套解决方案。

#### 3. 轨道智慧运维应用研究

制定轨道智慧运维体系架构和发展规划，进行智慧运维基础设施建设，包括测力轮对、在线监测、大型装备、人工手持终端等前端采集系统和智慧工务综合管控平台等，建设钢轨伤损知识库和钢轨预测性养修智能决策系统。

#### 4. 标准化建设

持续进行轨道标准化体系建设，分析设施、施工、验收至运维各环节标准覆盖情况，针对性补充完善。完成地方标准《轨道交通钢弹簧浮置板施工质量验收标准》的编制，新编企业标准《防脱护轨》通用图等，提升既有企业标准《挡车器通用图》等。

## 4. 机电篇

### 4.1 车站设备

#### 4.1.1 现状与形势

##### 1. 技术现状

上海轨道交通车站机电设备与监控系统,作为车站运营业务开展的核心基础,实现车站设备监控、环境监控、防灾安全、乘客服务、行车辅助等功能,主要涉及的专业包括综合监控、门禁、火灾自动报警、自动售检票、站台门、环境与设备监控、自动扶梯和垂直电梯等。

随着轨道交通数字化转型发展的需求,车站设备的感知能力逐渐呈现不足之处,如感知维度、感知精度和范围不足;结合轨交网络规模的持续扩大,车站设备运维管理的智能化需求也在不断提升,带来了接口类型不一、共享联动难、产品通用性差、新功能迭代慢、层级架构繁、运维困难等问题;同时,缺少自动巡检、远程运维、智能服务及智能诊断等功能。

##### 2. 形势与要求

中国城市轨道交通协会发布《智慧城轨发展纲要》,推出新一代信息技术的融合应用和城轨云建设,提出“1-8-1-1”的智慧城轨战略布局。引领行业建设适用于车站机电设备与监控系统的物联网云平台,发挥能力开放、接口统一、数据共享、应用灵活等优势,以解决现存问题。

#### 4.1.2 发展愿景与目标

##### 1. 发展愿景

坚持数字驱动的创新发展理念,持续推进新一代信息技术与轨道交通车站机电设备的融合,打造基于物联网云平台技术的新一代综合监控系统,实现车站智慧运营场景的集成应用,全面提升车站运营管理、运行维护、乘客服务的效率和质量。从感知层面,实现 10 类以上的数据类型获取;从架构层面,实现车站、中心、线网三层级的扁平化;从功能层面,打造优化 8 类以上的智慧应用功能。

##### 2. 发展目标

深化应用传感器技术、物联网技术,全面完善车站设备的关键指标感知维度和精度;利用云计算、物联网等新型技术实现通用设备和业务功能的解耦,设计并重塑各专业硬件共建共享、功能深度融合的扁平数字平台;利用人工智能、大数据分析、三维可视化等技术构建和提升智慧应用功能;联合车站设备专业系统/设备厂商,对各系统/设备进行优化升级;建立对于车站设备的标准化体系与检

测评估能力。

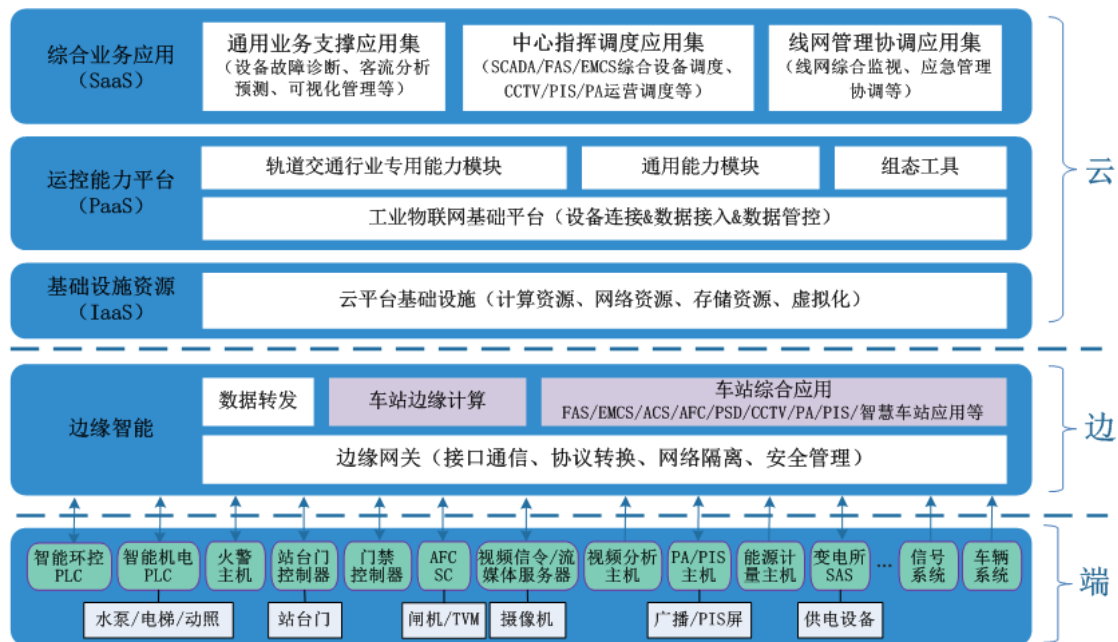


图 4-1 上海轨道交通综合监控系统框架

### 4.1.3 发展与规划

#### 1. 感知完善

实现对于影响运营安全或效率的车站机电设备与监控系统的核心系统/设备的识别和分级；以核心系统保障和运营安全为出发点，筛选出系统/设备的关键指标和感知需求；创新和深化传感器技术、物联网技术应用，全面提升核心系统/设备的关键指标感知维度和精度；逐步建立车站机电设备与监控系统的感知标准，指导建立由数字应用驱动的高效率、低成本的全面感知能力。

#### 2. 架构重塑

根据车站机电设备与监控系统的共性和特点，利用云计算、物联网等新型技术实现通用设备和业务功能的解耦，设计并打造各专业硬件共建共享、功能深度融合的核心数字底座；梳理保留各专业系统的特殊设备，促进同类设备的统型，逐步建立跨线路、跨厂商的同型设备部件互换能力；逐步建立和优化接口标准和设备统型标准，提升对于系统间接口的管理能力和设备维护水平。

#### 3. 功能提升

根据车站机电设备与监控系统的业务应用功能，对标智慧车站建设需求，利用人工智能、大数据分析、三维可视化等技术构建智慧功能；充分挖掘数据价值，设计与核心数字底座适配的新型智能化数字应用功能；逐步建立数据应用相关标准，优化提升智慧车站功能，指导全网车站机电设备与监控系统的智慧化建设和改造。

#### 4. 专业系统/设备升级

##### 1)综合监控系统

全面升级为轨道交通新一代综合监控系统与应用集成创新平台,全面感知车站设备、客流环境、能耗、人员管理等数据,提供数据融合分析和智能场景联动,有效支撑智慧车站、智慧地铁的建设。

##### 2)环境与设备监控系统

环境与设备监控系统将逐步向分布式、扁平化的方向发展;核心控制设备向智能控制方向发展;优化通风空调设备的监控方式,提升车站安全保障能力;优化水泵、电梯、照明等机电设备的监控方式,匹配新一代综合监控系统的边缘接入需求;完善对环境参数的传感设备,更加全面感知车站环境。

##### 3)自动售检票系统

自动售检票系统的车站终端设备将逐步向智能化和信息化方向发展,车站将为乘客提供自助票卡处理和问询等智能服务终端;自动售票机与生物识别技术结合实现语音购票,自动检票机与人脸识别技术结合实现快速进出站;路网级 AFC 系统将逐步演变成云平台架构,为实现互联网票务和交通部城市公共交通卡、二维码的互联互通,提供硬件环境支撑。

##### 4)站台门

基于站台门部件物联网架构,各车站站台门将设置多种智能传感器,采集站台门的电机输出电流和电压值,门体开关门过程中受到风速和风量等;逐步实施跨厂商的设备部件统型和互联互通,满足部件接口标准化要求;建立整个路网的设备在线监测和运维系统,平台与路网内全部站台门对接数据交互,部署大数据分析和智能运维软件,提升站台门的运维效率和质量。

##### 5)门禁系统

门禁系统向智能化方向发展,终端设备增加包括生物识别技术的多重身份识别能力;设置智能专用通道,用于特殊人群的自助进出站管理;增设生物库、人员信息库,实现信息比对和人员管理;门禁系统授权向网络化授权发展;标准上更加适用于国产门禁系统产品,逐渐实现国产化。

##### 6)火灾自动报警系统

火灾自动报警系统的设备将向智能化和信息化方向发展,新增车站的电气火灾探测器设备、温湿度传感器和视频图像探测设备等;适时融入物联网技术,在车站、停车场、主变电站等建筑内,构建智能化数据采集分析网络;系统网络逐步从单线独立组网向车站独立组网、线路共享传输骨干网的方向发展。

##### 7)垂直电梯与自动扶梯

将分散在各车站的垂直电梯与自动扶梯,通过信息化系统和数字化模型进行统一监管,实时掌握设备运行情况;建立垂直电梯与自动扶梯物联网监测体系,

实现运行动态信息实时感知与动、静态信息综合应用能力，完善突发故障的应对能力、现场救援能力、事故分析定责能力。

## 5. 标准规范

建立车站各专业设备新一代的标准化体系，如数据治理、设备统型等，从感知、架构、功能三个层面，推动多专业深度集成和高度共建共享，促进实现全面数字化转型发展，提升运营管理、运行维护和乘客服务的效率和质量。

## 6. 检测评估

建立与标准化体系相匹配的检验检测评估能力，加强对车站机电设备与监控系统的质量管控，促进上海轨道交通从建设运营的高速增长向高质量发展转型。建立检测检验综合实验室，为今后轨道交通机电设备及部件接口标准化提供技术研究、测试、评估及验证服务。



## 4.2 通信

### 4.2.1 现状与形势

#### 1. 技术现状

城市轨道交通通信系统作为基础设施，完成了轨道交通各类业务数据的连接汇聚、人员的沟通联动、信息的发布服务、公众的安全监控、业务场景的联系等基础功能。从功能上归类，主要分为通信连接、信息服务、安全监控、辅助支撑四大类，分别对应系统如下图所示。

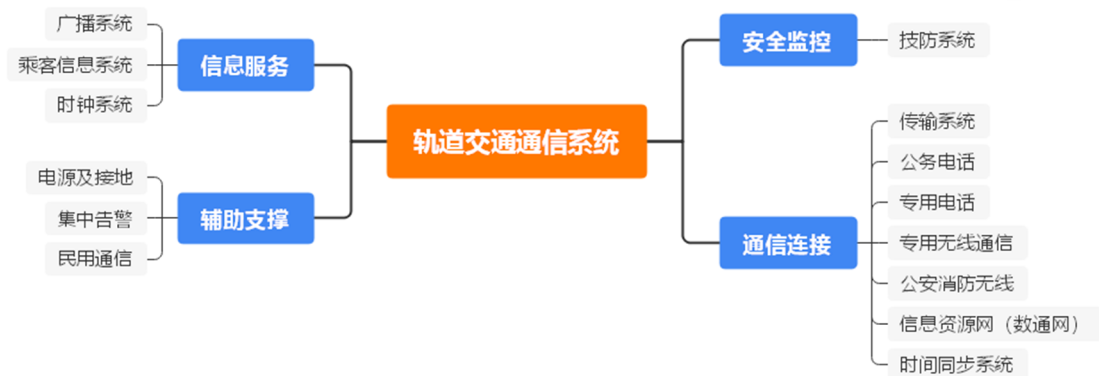


图 4-2 上海轨道交通通信系统总体框架

宽带通信、无线通信、数字通信技术不断发展，更好服务运维管理、运行安全和应急处置等，也带来了挑战：（1）系统制式和设备种类繁多、新旧线路技术代差大，亟待整合资源、简化架构、优化功能；（2）作为服务运营管理业务场景的系统，通信系统的基础服务性能和横向扩展服务多专业的能力有待升级。

#### 2. 形势与要求

通信系统将继续定位于轨道交通基础设施，但会不断演进、赋能其他专业系统，支撑更加丰富的应用场景。响应国家战略要求，打造新一代信息通信基础设施，为数字底座的搭建奠定基础；积极应用先进的有线传输和无线宽带技术，服务人员多手段综合通信，持续提升运营管理灵活调度的能力；在业务方面，服务各业务系统通信的需求，推动通信基础设施架构优化和功能升级，以更好地符合业务系统技术演进和新型应用推广。

### 4.2.2 发展愿景与目标

#### 1. 发展愿景

通信系统以业务为中心，构建安全、可靠、兼容、通用、灵活易拓展、通信能力强的通信系统体系，厘清与各业务系统的界面，全方位契合、全场景覆盖各类业务需求，最终实现人与物数联和物联，无缝融入各业务生产、交互环节，完

整支持上海轨道交通智慧化、数字化转型升级的总体愿景。

## 2. 发展目标

### 1) 系统架构优化目标

通信系统各层级按照集约共享、灵活可扩展的原则，分别向着网络化共享、有线/无线综合承载、多样化场景应用支持的方向演进，实现①核心处理层从单线路建设向网络化共享演进；②按业务安全可靠特性归类的通信综合承载；③覆盖范围灵活拓展，支持多样化、移动化应用接入。

### 2) 系统技术发展目标

#### (1) 通信连接类系统

通信连接类系统的发展方向主要是接口标准化、物联泛在化、通信能力（带宽、时延、丢包率等）提升，计划十四五期间实现 90% 以上的线路传输系统带宽达 100Gbps，无线宽带覆盖率（含区间）达 95% 以上，60% 以上的 IP 设备支持 IPv6。

#### (2) 信息发布类系统

信息发布类系统的发展目标是在既有系统的基础上整合、简化系统，优化数据源的质量和内容，提升信息发布覆盖的有效性。

#### (3) 安全监控类系统

受人工智能、无线宽带技术的影响，技防系统的技术演进方向为精细化、云集化、智能化、移动化。

#### (4) 辅助支撑类系统

民用通信系统随公网技术路线持续演进；电源及接地总结既有线的设计不足，更符合容量、安全和可靠等方面的实际要求；集中告警系统向智能化综合运维的目标发展，积极构建通信智能平台。

## 4.2.3 发展与规划

### 1. 通信连接类

#### 1) 有线通信承载网

按照统筹设计、分层分级和综合承载的原则，有线通信承载网将整合通信光缆、传输系统、信息资源网三部分资源，提供一张网络统一服务。其中，通信光缆和传输系统均保持线网级、线路级两层传输网的架构，同步建设。通信光缆为传输系统提供基础物理资源。线网级传输系统统一建设管理，根据各项业务的数据传输需要，对应拓展并调整业务端口和节点布局。线路级传输系统根据技术发展选择主流、标准、先进的系统制式，综合承载生产类业务。

#### 2) 无线通信系统

无线通信系统采用按业务特性分类建设和承载的原则。CBTC 和集群调度等

运营指挥类无线业务采用 LTE 系统综合承载，并逐步改造、替换既有线路的 TETRA 窄带系统。既有线列车运行状态、人员办公等运营辅助类无线业务暂通过 WiFi 制式的城市轨道交通移动互联网系统（MMIS）承载。

持续探索研究利用运营商 5G 公网承载运营辅助类无线业务，并发挥 5G 海量物联的特性，支撑泛在物联相关业务。考虑公安消防无线与运营无线通信融合发展。

### 3)电话系统

上海轨道交通电话系统继续按专用电话与公务电话同技术制式、独立分离的原则设计，分别共享网络级软交换核心。后续电话系统考虑采用多软交核心均衡分担线路接入负荷，提高可靠性。公务电话探索研究借用运营商公网服务实现线路侧电话接入，不再自建软交换核心的可行性。

## 2. 安全监控类系统

技防系统逐步改造为高清化、扁平化，简化视频系统架构，降低建设和运维成本，并根据新架构规划，搭建完善线网级安防集成平台，建立接口标准和相应检验能力。

在功能方面，系统将结合视频智能分析技术、云计算和无线宽带技术，建设网络视频智能分析平台，提供算法训练统一环境，结合 5G 等新技术拓展系统移动监控、客流分析、行为识别等智能感知和智慧挖掘的能力，提升轨道交通重点部位的事前、事中、事后安全防范水平。

## 3. 信息服务类系统

按照 PA/PIS 音视频统一信息服务的原则，逐步整合乘客信息系统与广播系统后台控制和信息输入管理，实现视频、音频信息的统一发布与控制，增加车厢满载率等展示内容和换乘 LED 导向等展现形式，扩展信息服务广度，丰富信息服务形式。简化时间系统的架构，建立 PA/PIS 与 ATS、时间同步系统与业务系统的接口规范体系、标准化接口协议和相应监测、检测能力。

## 4. 辅助支持类系统

民用通信系统随公网技术路线持续演进，配合运营商积极推进 5G 在上海轨道交通区域的全覆盖。电源系统在十四五期间继续采用综合 UPS 的方案，在系统设计和容量计算上更精细，提高资源利用率。

在维护辅助支持方面，按照数字化转型的整体要求，打造通信智能运维平台替代集中告警系统，实现设备的状态监测、研判预警等功能，逐步增加状态修和预防修的占比，从而提升系统可持续运行能力，并为维护工作提供更全面、高效、方便的信息化支持。

## 4.3 信号

### 4.3.1 现状与形势

#### 1. 技术现状

城市轨道交通信号系统在自动化程度和架构精简方面已达到很高的水准，全自动运行已成为技术发展方向。同时信号系统在运维的智能化方面还需进一步完善。

#### 2. 形势与要求

目前信号系统已发展到较高水平，对轨道交通安全、可靠、高效的运行提供了重要保障，对提升运营服务水平提供了重要技术支撑。但随着城市人口的不断增加，轨道交通承受的压力不断加大，乘客对轨道交通的各类需求与日俱增，这为信号系统技术和运营维护带来了更大的挑战。

### 4.3.2 发展愿景与目标

#### 1. 发展愿景

顺应智慧城轨交通发展趋势，以乘客和用户的运营需求为核心，引导列控技术和智能技术“双轮驱动”，推进专业革新。同时在高度智慧化的计算机、通信、人工智能等领域深挖适用于轨道交通的先进技术，提升列控效能和安全性，实现需求引领技术、技术启迪需求的良性循环。

#### 2. 发展目标

- 1) 系统健壮可靠，实现运营不中断
- 2) 列控自动自主、实现更高运能
- 3) 设备统型匹配，实现更高互通性
- 4) 资源灵活调配，实现更高节能水平

### 4.3.3 发展与规划

#### 1. 3.3.1 安全与智能化水平提升

##### 1) 全自动运行

全自动运行（FAO）根据自动化等级可分为 UTO（无人值守全自动运行，GOA4 级）和 DTO（有人值守全自动运行，GOA3 级），而在最高自动化等级的 UTO 模式中则还应根据故障应急处置及行车管理的自动化程度进行区分，目前在这两点上仍有待改进，接下去的发展目标便是提升其自动化程度，使其最终达到和列车运行自动化相当的高度。

##### 2) 智能维护

面向感知、诊断、预警、决策和协同全流程，基于信号系统大数据驱动，实现运维决策主动化、终端执行智能化、维修指导可视化、应急联动敏捷化、资产管理集成化、机器巡检智慧化，涵盖车站、线路和全网三级业务，构建全生命周期信号健康管理体系。以技术创新带动应用创新实现管理创新，促进轨道交通行业的维护管理模式变革及产业结构优化升级。

### 3)智能调度

基于客流数据及预测、列控系统能力和行车组织方式实现智能调度。通过轨道交通客流与运能精准匹配和动态柔性调整，达到车辆和线路车站服务乘客运输需求的最优配置，实现绿色节能和高效运营。

## 2. 运营无感“零失效”

通过提升列控系统可用性，实现运营关键功能“零失效”，避免出现降级运行。通过设备高度集成化，精简设备数量，减少系统故障点，行车关键设备采用多模异构冗余设计，降低整体失效率，故障设备和冗余设备间实现无缝切换，对运营不造成显性影响，实现行车组织和乘客对设备故障“无感”。

## 3. 互联互通

根据中城协发布《轨道交通 CBTC 信号系统互联互通建设指南》要求，线网内线路间的资源分享及列车在不同线路间跨线运营的需求日益强烈；互联互通技术将打破不同供货商不同线路信号系统互不兼容的限制，实现不同线路之间车辆资源共享、线网间运营统筹，提升信号系统通用性。

## 4. 自主运行

下一代信号核心设备应以自主化为主要发展方向，结合智慧城轨发展目标，开展大数据、人工智能、5G 等新技术的深度融合和应用落地，不断完善技术自主化和产品标准体系，实现性能的全面升级。

## 5. 灵活编组

为达到提高轨道交通系统的运营经济性和灵活性，智能化、高效地达到节能减排的目的，在车辆基地甚至正线应实现简便快速的列车自动联挂解编，将列车固定编组优化为灵活编组，动态调整地铁线路运营高峰与平峰期间列车编组方式，平衡运力及服务水平之间的矛盾。

## 4.4 通风空调

### 4.4.1 现状与形势

#### 1. 技术现状

我国城市轨道交通建筑设施面广量大，能源与资源消耗总量较大，2020年全国城市轨道交通总电耗为172.4亿千瓦时。据统计，城市轨道交通总电耗中约50%为车站动照能耗，而车站动照能耗中约60%为通风空调系统能耗；同时，随着社会经济的不断发展，乘客市民对出行的需求日臻多样化，城市轨道交通通风空调系统，也正在从传统的基础型系统（提供基本的通风、制冷功能，满足人员的生理及心理条件要求、设备正常运转的需要和必要的防灾以及战时需求），向绿色高效系统（提供卫生、安全、舒适的乘候车及工作环境，实现系统的低碳高效节能运行）和智能型系统（物联网、智能感知、大数据等信息技术的广泛应用）快速演变。

城市轨道交通的公共卫生风险来源多样、场景特殊。多源颗粒物污染，人间传染的病原微生物的携带、孳生与传播，新冠、非典、流感等呼吸道传染病的高发，以及地下车站的通风与光照缺乏，都对城市轨道交通的日常环境卫生管理和突发公共卫生事件应急处置提出了更高的要求。通风空调系统从相对简单粗放的过渡型舒适性温湿度控制功能需求，正在快速向空气品质全方面控制、保障公共卫生环保健康的多功能需求转变，温湿度精确控制、空气净化、消毒杀菌等技术的复合叠加一体化正在成为主要的研究方向。

轨道交通的公众健康服务能力完善提升是上海健康城市建设不可忽视的重要组成部分。而当前，轨道交通的环境质量是行业管理的薄弱环节，有必要更深入更高要求地研究和建设与污染防治相关的工作，尽快提升公共卫生管理水平与应对疫情等突发公共事件的能力，探索轨道交通环境健康领域的创新理念、创新模式和创新技术。

#### 2. 形势与要求

当前人民对美好生活的向往需求逐步提升，社会各界对城市轨道交通的要求不仅仅局限于安全运行下的运能保障，进而关注在公共卫生、环境健康、环保节能等方面的绿色高质量发展。城市轨道交通场景公众人群集聚、接触密切，流动频繁，是城市疫情防控不可忽略的重要传播途径和抗疫阵地前沿，具有重大公共卫生学意义，轨道交通公共卫生体系建设是城市公共卫生治理能力提升的重要组成部分。深入贯彻落实“人民城市人民建，人民城市为人民”重要理念，确保上海始终是全国最安全的城市之一，就要充分利用好创新驱动战略下良好的政策环境，响应智慧创新需求，不断提升公共卫生安全保障能级、进一步落实环境健康发展、

深入挖掘环保节能突破点，为打造安全、健康、绿色的上海地铁做出贡献；要逐步落实通风空调专业的检测评估能力，通过强化技术评估水平，不断筛劣选优地引进新兴技术，大力发展能够适应城市轨道交通发展需求的新技术、新材料、新工艺、新设备，通过完善内控措施，全面保障“四新”技术落地生根，为城市轨道交通的发展提供不竭动力。

## 4.4.2 发展愿景与目标

### 1. 发展愿景

围绕上海轨道交通绿色低碳高质量发展的要求，围绕广大市民乘客对城市轨道交通舒适、卫生、安全的乘车环境需求、对方便贴心的沉浸式体系化需求，立足网络化建设运营的高度，实现通风空调系统在设计、建设、运维等全生命周期内的智能化管控，加强轨道交通环境卫生健康风险应对能力，全面提升上海轨道交通通风空调系统绿色化能级。推动上海地铁环境卫生常态管理能力和突发公共卫生事件应对能力达到国内领先、国际一流水准，上海地铁成为全球公共卫生最安全的城市轨道交通之一。

### 2. 发展目标

以保障运营需求为牵引，聚焦轨道交通通风空调、环境健康领域的新理念、新产品、新技术，进一步构建完整的环控系统技术体系，完善环境综合监测与智慧管理体系，推进轨道交通环境与健康检测能力建设，形成相关技术评估机制，注重标准化建设的引领作用，完善标准体系，消盲点、补短板，提升上海轨道交通环境质量保障能级，提升精细化管理能级；进一步整合资源，充分发挥上海在公共卫生、人工智能、暖通空调、环境保护、绿色能源等领域的学科优势和学术影响，强化多学科在轨道交通领域的融合创新和成果转化应用，促进实现上海轨道交通由技术集成研发为主向技术集成研发与成果转化应用并重的转变，形成涵盖监测、检测、分析等诸环节的地铁环控系统，满足乘客对美好出行环境日益增长的需求，打造既舒适又卫生、既节能又安全的上海轨道交通环境空间。

## 4.4.3 发展与规划

### 1. 建设智能高效环控系统

#### 1) 高度集成、动态寻优

整合高效制冷设备、节能控制系统、管路优化设计、负荷精准计算及能耗分析等多项绿色节能技术措施，形成系统整体长期运行在高能效比状态下的、能够基于环境自洽的智能型通风空调系统；并建立与之匹配的集成管理模式，对设备选型、系统方案制定、设备生产验收、安装调试实行全过程管理。

#### 2) 装配式

依托 BIM 技术平台,开展二次深化设计、三维建模、仿真,通过工厂预制、现场拼装对环控系统进行装配式建造,实现系统设计标准化,构配件标准化及安装工艺标准化。

### 3)全寿命周期高效运维

利用先进的信息技术,准确把握设备系统运行状态、故障信息,实现环控系统的长期高效稳定运行,持续深化既有节能技术成果,进一步挖掘车站节能潜力,探索更新改造+运维一体的新模式。

## 2. 完善卫生健康保障功能

### 1)公共卫生安全管理体系

深入分析功能需求、总体架构和实施路径方案,研究建设统一高效、响应迅速、科学精准、联防联控、多元参与的上海地铁公共卫生管理体系。

### 2)公共卫生指数模型与病原谱库

对上海轨道交通高密度人群环境密切接触场景,分季节分时段分工况开展监测,建成轨道交通微生物病原谱专用数据库,设计实现相应的数据库管理系统,全面了解列车、车站环境细菌及真菌种类及构成与污染情况,确定上海轨道交通公共卫生指标体系。

### 3)公共卫生安全指标动态监测与分析

关注不同场景、不同季节、不同工况对病原微生物分布的影响,探索微生物各类监测技术和方法在轨道交通中的适用性;建立轨道交通公共卫生风险预测模型,提出数据处理逻辑模型,分析信息化条件下超大规模轨道交通网络的公共卫生实时状态,量化评估城市轨道交通的公共卫生风险度,提升大数据环境下的公共卫生安全预警决策的分析能力,辅助管理层研判与决策。

### 4)突发公共卫生事件应急处置

研发公共卫生事件应急处置推演系统,模拟推演不同防控措施下突发公共卫生事件的发展,评价不同防控措施的防控效果,为上海轨道交通呼吸道传染病有效防控策略的制定提供依据;研究突发公共卫生事件下基于应急疏散、车站协调限流、列车协同调整和人员物资调配的优化决策方法;落地一批经济有效、相对成熟的公共健康保障和疫情防控新技术、新产品、新试点,并形成科学化,标准化,差异化的上海轨道交通净化消毒四新技术准入管理制度。

## 3. 评估检测验证能力

### 1)车站冷热负荷模型

基于室外气温、车站规模、设备发热量、客流量等参数和车站环控系统的设备构成、系统原理和变频调速等控制功能,建立典型地下车站通风空调系统负荷模型,通过系统能耗模拟软件,进一步研究各运行工况下系统能耗变化特性,验证设计计算的精确度和准确性。

## 2)控制算法验证平台

基于环境变化、轨道交通特点及实际需求，以实体车站为依托，搭建轨道交通通风空调智能控制算法验证平台，可接入不同通风空调智能控制算法并进行效果验证。

## 3)关键设备性能仿真与验证

搭建试验型环控系统检测评估平台，仿真模拟环控系统配置在不同运行工况下的性能变化特性，研究建设环控设备能效比、送风质量、空气品质、净化效率等控制参数的实验室评估和现场验证检测能力，形成系统的选用、使用、验证、评估的标准体系和实验室体制。



## 4.5 供电

### 4.5.1 现状与形势

#### 1. 技术现状

上海轨道交通供电专业总体发展迅速，配电线路（35kV 环网、1500V 接触网）里程、变电装机总量增长迅速。供电设备运行状态智能化监测近年来开始在部分既有和新建线路开始推进应用，运维一线逐渐接纳并运用设备层感知、现代通讯技术、在线检测技术获取设备运行状态数据，能够通过数据分析指导生产计划。各级电力设备通过成熟感知技术能够实现基础电力信息的采集与汇聚。初步尝试接触网、电力电缆等线路设备的在线监测技术应用。迷流防护采用加强防护方案，对回流钢轨的绝缘水平要求较高，需要长期监测轨道周边金属结构的腐蚀状态。

#### 2. 形势与要求

##### 1) 轨道交通供电系统网架规模不断扩大

上海轨道交通供电系统已经构成了以 110kV 市区电网为关口，35kV 环网横跨市区行政区划，变电站超过 1500 座的大型电力网络。预期轨道交通全路网 2025 年在单位能耗不增加的情况下年度电力消费量超过 30 亿千瓦时，全路网高峰小时用电负荷超 60 万千瓦，分别占上海市全社会售电量的 1.5%，年度高峰供电负荷的 2%。

##### 2) 轨道交通供电系统牵引供电保障压力不断增加

随着路网规模扩大，轨道交通运能需求不断增长，灵活组织能力要求相应的在不断提高。目前，轨道交通客流在公共交通领域的占比也将超过六成，还经常面临节日、重大活动的运输保障任务。因此，提供列车运行动力的牵引供电系统，也要求具备充足的供电能力与可靠性保障，接触网由于其难冗余的特点，传统的生产管理模式一直未能比较好的解决故障预防问题，是一个亟需新技术与组织能力保障的设备系统。

##### 3) 供电可靠性要求进一步提升

提高供电系统水平的技术需求十分迫切，随着轨道交通运输负荷增长，城市轨道交通供电系统基础设施矛盾日益突出，整体供电可靠性与灵活性不足。规模庞大的网络运营规模形成后，轨道交通供电负荷呈现出高峰时段局部供电能力不足，使得供电可靠性降低，内部故障和外部检修事件对高峰时段供电安全造成的风险不可忽视，多次高峰、非高峰时段的断电事故造成了极为不利的社会影响。

### 4.5.2 发展愿景与目标

## 1. 发展愿景

在能源革命和数字革命融合发展的大潮下，轨道交通供电系统应顺应形势，围绕行业属性、网络属性、社会属性，面向运营组织需求积极发展坚强智能的轨道交通电力网络，面向经营效益需求发展轨道交通供电智能运维平台，两者相辅相成、融合发展，形成强有力的价值创造平台。以数字技术为传统轨道交通供电系统赋能，不断提升电力网的感知能力、互动水平、运行效率，有力保障运能需求、高效利用新能源接入、持续提高电力输配效率，由“有电用”向“用好电”转变。

## 2. 发展目标

### 1) 构建完善的供电网络目标

在主变电所资源共享工作的基础上，有必要继续研究如何建立主变电所之间的联络关系来提升区域内的负荷转移能力（支援供电能力），进一步挖掘轨道交通内部电网的供电潜力，实现在尽量不新增电源接入点的前提下满足负荷增长的需求，在保证安全、可靠供电的基础上全面提高轨道交通供电系统能力。

### 2) 高可靠度牵引网目标

贯彻落实加强城市轨道交通安全工作的紧急通知要求，进一步强化关键设备设施运行检测监测、养护维修管理。严格管控、标准规范化检修维护作业，严防接触网异常磨耗与燃弧，悬挂、支持装置脱落，弛度与风偏超限，防雷、绝缘措施失效等重大故障、险性事件发生。

### 3) 数字化信息化目标

根据信息技术与交通运输深度融合及上海市数字化转型的发展要求，建立上海轨道交通线网基础数据信息库，实现上海地铁多源异构、碎片化数据的高效管理和多专业协同数据共享，强化轨道交通网络信息统筹及数据应用能力，提升智能信息化水平，满足技术与业务的数据应用需求。围绕供电系统各个环节，充分应用状态感知、人工智能等现代传感技术、信息技术与通信技术，实现供电系统各个环节信息互联、人机交互，是轨道交通具备状态全面感知、信息高效处理、运维灵活便捷的智慧特性。通过新一代的新技术应用，将电能的用户及设备、供电系统的运维企业及设备连接起来，通过信息广泛交互和充分共享，以数字化管理大幅提高电力供应、系统运维和电能消耗过程的安全、质量和效益水平。

## 4.5.3 发展与规划

### 1. 适用于轨道交通负荷特点的供电区域划分

轨道交通是一种较为特殊的电网负载，在地域上跨越了几乎整个城市，因而在供电区域划分的选取方面需要考虑与之相适应的规划方法，可以利用地理位置对不同区域内线路密度进行统计，形成线路密度网格，然后根据网格内线路密度、

运能水平等进行网格内负荷水平的量化；合理划分供电区域后，区域内的变电所（组群）的供电范围就能够得到优化，提高变电容量的利用率的同时提高供电可靠性水平。

## 2. 区域化供电资源互联互通方式

从传统的单点支援变为区域内多点支援，实现区域内供电资源共享。由于上海地铁已经发展了多年，早期建设过程中没有既成经验可以遵循，因而没有形成区域供电的概念，所以大部分线路都采用单线供电的模式。故需要突破传统，实现区域内主变电所的互通互联，可以探讨利用线路交汇点处相对便利的条件，增加供电通道，使不同的线路构成几个相互关联的供电区域，形成环状结构和开环运行的多个供电区域，提高供电可靠性。

## 3. 基于区域化供电资源共享网络化智能电力调度

通过强化网架能够达到提高供电可靠性的目的，但是需要对复杂的网架结构进行控制，建立一套适用于区域化供电资源共享的智能化电力调度系统。基本技术构架如下图所示：



图 4-3 智能电力调度技术架构弓网匹配关系研究

通过事前预防与过程管控实现接触网的机械状态良好、载流能力与运能匹配，满足全天候的列车电力保障，和精准实施接触网运维对策。基于在线监测的弓-网匹配性监测。随着国内外全自动运行技术的迅速发展，城市轨道交通车辆配备弓网在线实时监测设备的需求也日趋强烈。由于全自动运行列车上不配备司机，需要弓网在线监测系统为地面的运维人员提供弓网实时状态信息，以确保车辆正常运行。另外，在线监测系统可作为接触网智能运维的重要手段，在实时监测弓网关系的同时还能准确评估接触网健康状态，为接触网维修维护提供支撑。

## 4. 接触网运维过程管控

接触网现场作业过程的实时监控相对薄弱，无法有效的盯控接触网作业的全

过程。仍主要依靠现场人员业务素质来保障作业安全，接触网现场作业常出现监管盲区，极易出现安全隐患。研究和建设基于 BIM+GIS 的接触网作业安全管控平台，立足轨道交通接触网专业，以接触网设备履历和接触网维护保障作业为主线，借助 BIM（建筑信息模型）、GIS（地理信息系统）、互联网、大数据、人工智能、物联网等先进技术，利用模块化、高效灵活的信息软件提高接触网作业安全管控力度，把数据治理、数据共享与接触网修程修制相结合，利用信息化数据实现控制、管理、预测以及决策等功能，为轨道交通接触网运营管理和决策提供大数据支持，实现技术资源、设备信息和运营数据的现代化管理模式及“互联网+大数据”体验。

## 5. 完备的供配电服务

全方位的响应轨道交通电力用户的电力保障与用电服务需求，提高用电业务办理的便捷性。实现停电信息主动通知、可视化抢修等主动服务，实现停电自动判断、故障精准定位、主动通知预警、跟踪抢修轨迹、回传抢修情况，提升协同效率和服务质量，为用户的提供更加优质、智慧的服务。同时以更加智能高效的方式，向用户主动提供用电提醒、节能分析、能效诊断、远程协助等，增强轨道交通电力用户的获得感。



上海市土木  
Shanghai Society of Civil Engineering

## 5. 重点攻关技术

### 5.1 区域一体化发展与网络统筹关键技术

贯彻网络化发展理念，优化和完善上海城市轨道交通既有网络，继续提高中心城区网络的服务水平。强化网络功能，加强地铁与多种交通方式的一体化规划，促进多网融合，推进城市综合交通运营效能的充分发挥。

主要技术发展方向：1)基于数据驱动的高层次线网规划方法研究；2)建立网络综合评价体系与方法，针对既有网开展效能评估和提升策略研究；3)开展多级线网衔接布局优化方案研究，强化市域线、枢纽锚固和一体化发展策略研究；4)网络化车辆运营互联互通及资源共享研究；5)区域化供电发展模式研究。

### 5.2 工程建设与风险管控关键技术

推进科技技术手段保障安全能力建设，将风险管控体系向具体过程化、环节化、数字化深入推进，提升工程建设质量，推进超深复杂地层技术装备的研发和应用，推广轨道交通预制拼装工艺，并实现车站非开挖工艺广泛应用。

主要技术发展方向：1)构建完善的风险管控技术，加强 BIM 技术研究，建立智慧风险管控平台与超深基坑全方位自动化监测系统；2)创新发展智能建造技术，探索地铁隧道施工智能装备研发与应用；3)建立上海特色的中心城区车站暗挖技术；4)推广地下工程预制关键技术；5)推动环控系统和车辆基地预制装配式技术应用和研究。

### 5.3 数字化转型与智慧地铁建设关键技术

聚焦运行高效、全息感知、实时分析和科学决策能力，打造智慧建设、智慧运维、智慧服务为一体的智慧地铁模式，稳步实现数字化、智能化、智慧化逐层发展。

主要技术发展方向：1)车站机电设备与监控系统智慧化建设；2)高架桥梁与区间智慧运维研究；3)轨道建造数字化与智慧运维应用研究；4)噪声与振动全方位数字底座与平台建设；5)线网基础地理数据建模及平台化建设；6)接触网运维数字化管控；7)智能供配电服务；8)智慧车场建设；9)智慧车辆建设；10)车辆检修与架大修智能装备技术应用；11)乘务数字化管理系统及配套的装备研制；

## 5.4 核心装备与基础设施升级改造关键技术

制定网络核心设施设备更新改造或功能升级顶层计划，统筹规划实施，强化装备系统能力，助力超大规模网络整体运营效能提升。

主要技术发展方向：1)通信系统架构优化；2)通信连接、安全监控、信息服务、辅助支持系统功能与能力提升；3)既有网大修更新改造策略研究；4)运营线路轨道改造升级关键技术研究。

## 5.5 重大核心技术装备评估与试验创新平台

研究形成一系列装备评估评价体系，搭建信息化应用和实验系统平台，加强设备设施状态的技术评估分析和管控能力。

主要技术发展方向：1)车站环控系统能耗模拟仿真计算平台搭建；2)轨道交通通风空调智能控制算法验证平台搭建；3)车辆设备全生命周期状态和寿命评估体系构建；4)车辆能耗监管平台建设和评估体系构建。

## 5.6 绿色健康与节能环保体系建设关键技术

从绿色节能、公共卫生、环保健康、减振降噪四个维度，通过技术引进、融合创新，打造环境友好的城市轨道交通。

主要技术发展方向：1)智能高效环控系统的建设与管理；2)公共卫生安全保障功能完善；3)减振噪声集成化仿真预测技术与基本理论研究；4)新一代高效牵引变流技术研究；5)车辆环保材料研究与应用。

## 5.7 列车自主化运控关键技术

推进高自动化等级的全自动运行线路建设，提升运营安全性和服务质量，推动列控技术不断迭代更新和突破升级，朝着功能更优、运能更高、灵活性更强的方向持续发展。

主要技术发展方向：1)列车安全与智能化水平提升研究；2)列控系统高可用性研究；3)列车自主化运行系统研究。

## 5.8 提质增效与精细化管控关键技术

通过技术创新、人性化服务提升与细节管控考量，精益挖潜网络增效与提升空间，找准技术助力管理增效着力点，多措并举，推动网络高质量可持续发展。

主要技术发展方向：1)高质量乘客服务场景打造；2)精准主动式出行信息引

导；3)自适应客流需求的动态行车调度系统研究；4)时空一体化应急调度系统研究；5)新型车站建设需求研究；6)车站文化建设；7)车辆基地规模控制策略研究；8)车辆基地土地资源综合利用和既有车辆基地土地资源再利用研究；9)维保策略创新优化研究。

## 5.9 检测能力建设

利用技术资源整合优势，推进车辆、轨道、设施设备、环控系统等专业检测和监测能力建设。

主要技术发展方向：1)车站机电设备与监控系统检测评估能力建设；2)噪声与振动应用检测诊断技术体系建设；3)车辆检测能力和仿真环境建设；4)试验型环控系统检测评估平台搭建；5)设备维修质量检测评定能力建设。

## 5.10 技术标准发展

结合行业发展通用性和差异性要求对标准进行优化完善，实现网络发展需求驱动下的网络设施设备统型，提高互联互通能力、产品质量和运维效率，确保各项技术应用的规范、安全和有效。

主要技术发展方向：1)轨道设施、施工、验收、运维全过程标准化体系建设；2)新型车站机电设备与监控系统的标准化体系建设；3)振动噪声评价标准体系完善与提升；4)系列化标准地铁列车研究试点与市域、中小运量制式车辆标准体系建设。