工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

城市轨道交通工业互联网
技术白皮书

（2021 年）

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟（AII）

2021 年 12 月

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

声　　明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟
联系电话：010-62305887
邮箱：aii@caict.ac.cn

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

编写说明

工业互联网作为新一代网络信息技术与现代工业融合发展催生的新事物，是实现生产领域全要素、全产业链、全价值链连接的技术支撑，是工业经济数字化、网络化、智能化的重要基础设施，是新一轮工业革命的关键抓手。通过推进数据驱动的质量变革、效率变革、动力变革，带动全要素生产率提高，实现企业的高质量发展。

城市轨道交通服务于人民群众的公共出行，属于国家重点发展的新基建领域，是工业互联网赋能的重点行业之一，具有公共安全要求高、设备系统复杂、自动化程度高等行业特征。由于城市轨道交通线网规模不断扩大，客流量持续增大，网络化运营资源调配的要求日趋提高、运维难度越来越大，而乘客服务的要求却不断提高，亟需利用工业互联网加快城市轨道交通行业的数字化转型，持续满足人民群众对于安全、便捷、高效公共出行的需求。

基于此，城市轨道交通特设组深入剖析了轨道交通行业数字化转型趋势、平台应用场景以及业务落地解决方案，以工业互联网产业联盟（AII）《工业互联网体系架构》（版本 2.0）作为一套数字化转型的系统方法论，通过对《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》的分析，编制本白皮书为工业互联网在城市轨道交通领域的推广应用和实施落地提供引领和指导。

本白皮书编写过程中，得到了众多联盟成员企业的大力支持，为白皮书的观点形成与编写提供了有力支撑。后续我们将根据业界的实践情况和各界的反馈意见，在持续深入研究的基础上适时修订和发布的新版本。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

牵头编写单位：上海宝信软件股份有限公司，成都轨道交通集团有限公司，上海申通地铁集团有限公司，广州地铁设计研究院股份有限公司，北京东土科技股份有限公司，北京启明星辰信息安全技术有限公司

参与编写单位：北京轨道交通建设管理有限公司，南宁轨道交通集团有限公司，南昌轨道交通集团有限公司，西安市轨道交通集团有限公司，上海申通轨道交通研究咨询有限公司，北京和利时系统工程有限公司，国电南瑞科技股份有限公司，浙江浙大中控信息技术股份有限公司，广州新科佳都科技有限公司，青岛海信网络科技股份有限公司，南京轨道交通系统工程有限公司，深圳市赛为智能股份有限公司，株洲中车时代电气股份有限公司，华为技术有限公司，摩莎科技（上海）有限公司，北京惠而特科技有限公司，长扬科技（北京）有限公司，杭州迪普科技股份有限公司，杭州迅维智能科技有限公司，湖南中大检测技术集团有限公司。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

编写组成员（排名不分先后）：

上海申通地铁集团有限公司 姚湘静 朱钡伦

上海申通轨道交通研究咨询有限公司 洪翔

上海宝信软件股份有限公司 丛力群 崔岩 胡彦 葛鑫 安笑言

广州地铁设计研究院股份有限公司 毛宇丰

广州新科佳都科技有限公司 贾建平 陈朝晖 刘志宏

长扬科技（北京）有限公司 赵华

北京东土科技股份有限公司 闫志伟 李沁龙

北京轨道交通建设管理有限公司 王道敏 王颖 陈洪茹

北京启明星辰信息安全技术有限公司 赵军凯 谷宝晶

北京和利时系统工程有限公司 朱毅明 熊辉 宋小莉 刘小树

北京惠而特科技有限公司 谭曙光

西安市轨道交通集团有限公司 侯久望 王永州

成都轨道交通集团有限公司 黄嘉 赵雪

华为技术有限公司 宋军 陈伟玮 胡双

全国自动化系统与集成标准技术委员会 魏晓东

青岛海信网络科技股份有限公司 万思军 孙鹏飞 曹顶法

杭州迅维智能科技有限公司 卜凡起 姜凌青

杭州迪普科技股份有限公司 宋文刚

国电南瑞科技股份有限公司 许超 李潇潇 张浩 王硕

南宁轨道交通集团有限公司 黄俪 李梦和

南昌轨道交通集团有限公司 付胜华 陈星

南京轨道交通系统工程有限公司 邓敏 赵明桂

株洲中车时代电气股份有限公司 戴云陶

浙江浙大中控信息技术股份有限公司 王心光

深圳市赛为智能股份有限公司 赵健

湖南中大检测技术集团有限公司 张何猛 郭棋武

摩莎科技（上海）有限公司 王自胜 刘冬冬

深圳市三旺通信股份有限公司 葛鹏

杭州立思辰安科科技有限公司 赵峰

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

目 录

一、概述.....1
（一） 社会和新技术发展.....1
（二） 政府规划要求.....1
（三） 工业互联网国内外发展.....2
（四） 城市轨道交通工业互联网.....2
二、体系架构.....4
（一） 功能架构.....4
（二） 实施框架.....6
（三） 实施模式.....7
（四） 以数据为中心.....9
三、业务功能.....11
（一） 站段和车辆.....12
（二） 线路.....19
（三） 线网.....25
（四） 运维.....28
（五） 企业管理.....34
（六） 建设管理.....35
（七） 协同生态.....36
（八） 行业业务.....37
四、网络.....38
（一） 业务需求.....38
（二） 网络架构.....40

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

（三） 未来发展.....46
五、平台.....50
（一） 智能现场设备.....51
（二） 边缘计算平台.....53
（三） 信息管控平台.....55
（四） 智慧城轨平台.....59
（五） 云边协同.....60
六、安全.....62
（一） 总体安全架构.....62
（二） 信息安全措施.....63
七、展望.....72

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

一、概述

（一）社会和新技术发展

当前，以新一代信息技术为驱动的数字浪潮正深刻重塑经济社会的各个领域，推动着生产方式、产品形态、商业模式、产业组织和国际格局的深刻变革。并加快了第四次工业革命的孕育与发展。而越来越清晰的是，工业互联网是实现这一数字化转型的关键路径，构筑了第四次工业革命的发展基石。

（二）政府规划要求

习近平总书记连续四年对推动工业互联网发展做出重要指示。党中央、国务院高度重视工业互联网发展，2017 年 10 月 30 日国务院常务会审议通过了《深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》，确定了构建与我国经济社会发展相适应的工业互联网生态体系，并进一步提出 2025 年、2035 年和本世纪中叶“三步走”的总体目标。

工业互联网作为新一代网络信息技术与现代工业融合发展催生的新事物，是实现生产制造领域全要素、全产业链、全价值链连接的关键支撑，是工业经济数字化、网络化、智能化的重要基础设施，是互联网从消费领域向生产领域、从虚拟经济向实体经济拓展的核心载体。

从网络设施发展角度看，工业互联网是建设网络强国的重要内容。一是加速网络演进升级。工业互联网促进人与人相互连接的公众互联网、物与物相互连接的物联网向人、机、物全面互联拓展，大幅提升网络设施的支撑服务能力。二是拓展网络经济空间。工业

工业互联网产业联盟
Industrial Internet Alliance

互联网具有较强的渗透性，可以与交通、物流、能源、医疗、农业等实体经济各个领域深度融合，实现产业上下游跨领域的广泛互联互通，推动网络应用从虚拟到实体、从生活到生产的科学跨越，将极大的拓展网络经济发展空间。

（三）工业互联网国内外发展

工业互联网不是技术，而是通过工业互联网构建基于海量数据采集、汇聚、分析的服务体系，通过低成本的获取更多数据，实现更多的应用模式和运营模式；利用这些数据来提升产品质量、生产效率、降低运营成本或提高收益。

通过几年来的理论和实践探索，工业互联网已从概念形成普及进入到应用实践推广的新阶段，业界对工业互联网的发展方向已有高度的共识。在这一过程中，国内外均形成了大量的探索实践，工业互联网几乎涵盖了制造、能源、交通、医疗、服务等各个行业工业的各个领域，工业互联网与新一代信息技术的融合集成，初步显现了其巨大的生命力和创造力，为进一步创造新的生产力和发展动能奠定了基础。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

（四）城市轨道交通工业互联网

城市轨道交通由线网指挥中心、线路控制中心、列车、车站、线路区间、车辆维修基地、主变电所等组成，业务范围涵盖设计和建设、运营、维修和管理及企业管理、生态协同等方面。国内城市轨道交通普遍采用线网指挥中心、线路控制中心和站段综合控制室三级运营监控、调度指挥、运营维修及运营管理模式；也可根据需要优化运营管理层级和系统层级。

智慧城市轨道交通实施方案总体思路是紧密结合线网级、线路级和车站级各级运营工作流程和实际功能需求，以既有自动化系统为基础，运用工业互联网技术，适当增设各类软硬件设备，对各类数据进行梳理和综合利用，实现数据支撑与技术支撑；建立具备场景化、智能化、人性化的智慧城市轨道交通信息管控平台，提供更多的应用模式和运营模式，实现更加全面、智能的管家式一体化应用功能，提高线网级、线路级和车站级运营、客服和设备维保及人员管理的效率，从而提升运营的服务水平、安全性和高效性，最终实现减员、增效、降本。

工业互联网产业联盟城市轨道交通特设组编制和发布《城市轨道交通工业互联网技术白皮书（版本1.0）》，基于工业互联网技术架构体系，结合城市轨道交通的行业特点和实际业务出发，以**网络、平台和安全**三个功能架构层次**为主线**，以**云边端**三个实施层次**为子线**，定义城市轨道交通工业互联网的参考体系架构，以便普及城市轨道交通工业互联网知识，凝聚用户、设计和产业界的共识，为编制形成城市轨道交通工业互联网技术标准做准备。

本白皮书采用通用化的架构体系以指引各个领域的系统性布局，梳理数字化转型、业务体系和工业互联网技术架构之间的相互关系，以更好指导企业的发展实践，充分考虑技术发展演进和落地实施部署需求，以更好定义工业互联网的层次架构、功能划分和接口关系，从而为产业界提供科学、清晰和可操作的指南。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

二、体系架构

（一）功能架构

城市轨道交通工业互联网功能架构如下图 2-1 所示。

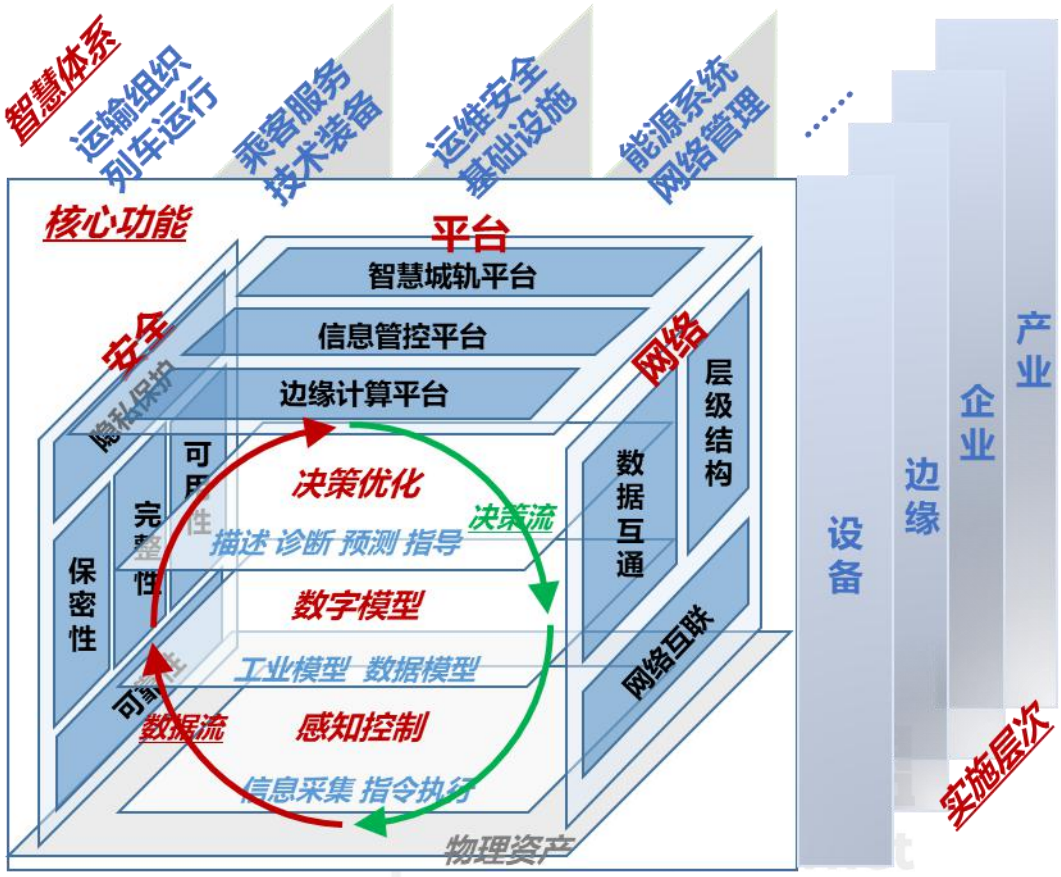

图 2-1 城市轨道交通工业互联网功能架构

1．功能架构层次

功能架构由网络、平台和安全组成，网络是基础，平台是核心，安全是保障:

1）通过构建生产网、管理网和服务网，将自动化与信息化融合，支持运营、运维和管理数据的互通共享。

2) 城轨工业互联网平台包括智能现场设备、边缘计算平台、信息管控平台和智慧城轨平台，是城市轨道交通全要素、全产业链、全价值链连接的技术支撑。

3) 城轨工业互联网信息网络安全根据总体安全需求，开展对应安全架构设计，采取针对性安全措施，确保系统安全的持续有效。

2. 应用实施层次

应用实施层次由设备层、边缘层、企业层和行业层组成。各层面的数据在功能架构上贯通一体，共同支撑城市轨道交通八大智慧体系：运输组织、列车运行、乘客服务、技术装备、运维安全、基础设施、能源系统和网络管理：

1) 设备层是由站段和车辆的十几个自动化专业设备组成的，并由工业物联网连接在一起。工业物联网是城轨工业互联网的基础部分。

2) 边缘层是靠近物或数据源头的站段和车辆的设备，采用网络、计算、存储、应用核心能力为一体的开放平台，提供最近端服务，满足轨道交通行业在现场的实时业务、应用智能、安全、高可用和降级运行等方面的基本需求。该层构建于工业物联网上，一般由原车站级综合监控平台升级、演进发展而来，即以智慧车站代表的车站管控系统的总和。

3) 企业层是由城轨线路线网运营管理、运维管理、企业管理、建设管理和协同生态等应用系统构成，是城轨工业互联网的核心。该层构建于数据中心网络上，其中的运营和运维一般由城轨线路和线网的监控管理平台升级、演进发展而来，即以智慧运营和智慧运维为代表的城轨企业管控系统的总和。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

4）行业层是由城轨或交通行业组织牵头构建的应用系统，是城轨工业互联网的顶层，智慧城轨行业业务均在此实现。

（二）实施框架

以数据为核心，采用业界共识的“云-边-端”分布式架构，提高数据利用效率，充分发挥平台的数据管理、建模分析和应用创新优势，高效灵活地满足城轨企业所有智慧化应用的需求。

城市轨道交通工业互联网设计整体实施架构如图 2-2。

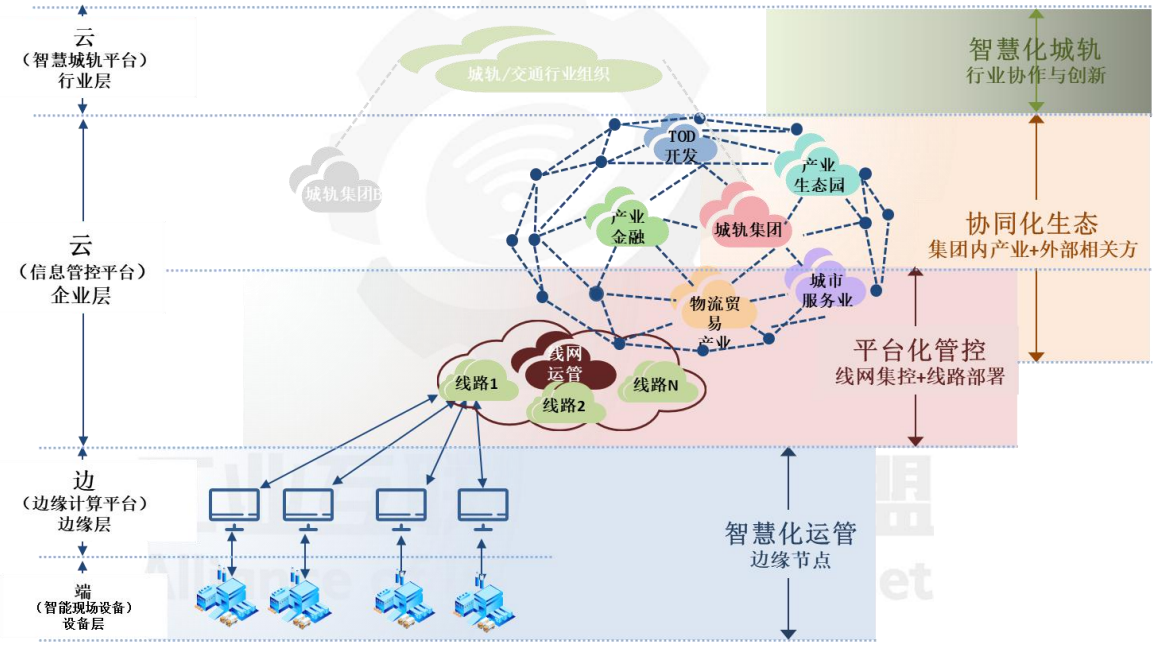

图 2-2 城市轨道交通工业互联网实施架构图

从数据、能力、应用三个维度看云边端的大致分工如下表所示:

表 2-1 “云边端”分工示意表

特征维度 \ 云边端	数据	能力	应用
云（信息管控平台/企业层）（智慧城	离线/准实时海量数据的汇聚、融合、共享为主	超强的计算、存储能力（长周期存储）	全局型、平台型、协同共享型、通用型

轨平台/行业层）			
边（边缘计算平台/边缘层）	实时、高频、多样性数据的采集、处理为主	较强的计算、存储能力（短周期存储）	区域型、在线实时型、精准控制型、特定型
端（智能现场设备/设备层）	靠近物或数据源头的站段和车辆的设备。		

信息管控平台承载了城市轨道交通企业层业务，应根据现实情况开展建设，不应强制性要求只有一个。信息管控平台支持的企业层模式可以是管理单个线路的运营组织，可以是管理多线路的运营组织，可以是整个城市线网的运营组织，甚至亦可以覆盖整个城轨企业。一个城市的轨道交通产业生态是星型的，多个企业的产业生态融合在一起，形成了一张生态网络。

（三）实施模式

城市轨道交通工业互联网平台处于快速发展阶段，而城轨企业已拥有大量存量资产，因此平台在基础架构上也在经历从传统架构、基础设施云架构和一体化平台架构三个不同的发展阶段。其中传统架构和基础设施云架构，符合叠加模式；而一体化平台架构则是一种以数据驱动业务发展的崭新的融合模式。

工业互联网产业联盟
Industrial Internet

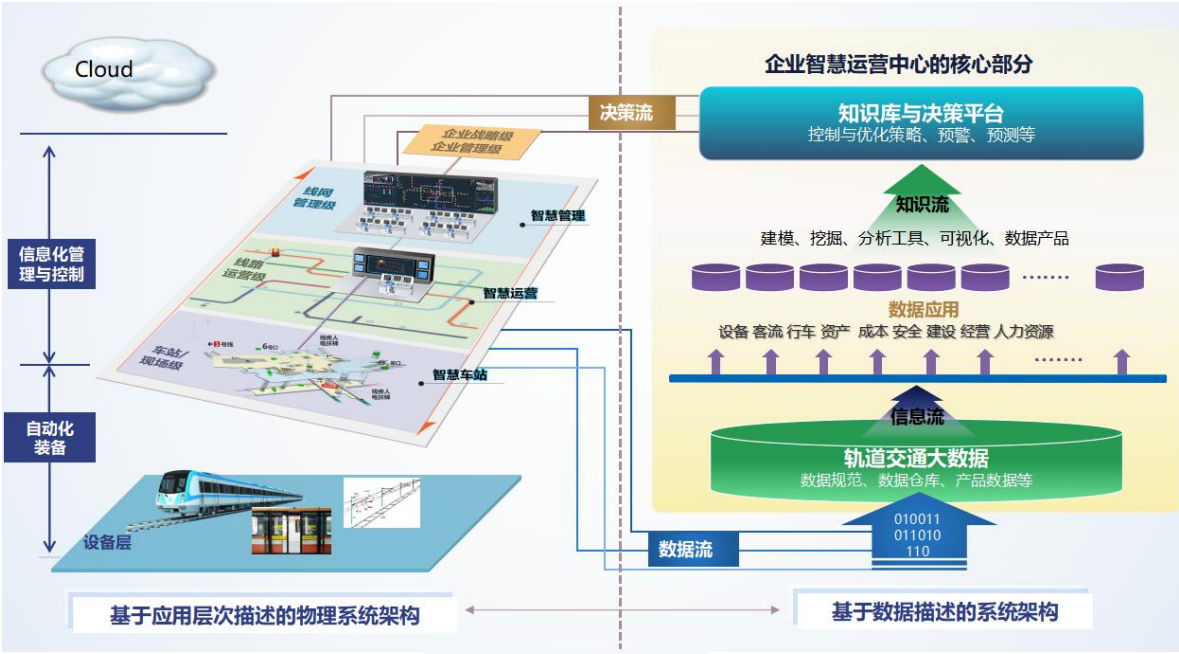

图 2-3 城市轨道交通工业互联网叠加模式实施示意图

叠加模式是企业在原有系统之外，按照工业互联网的架构做新的部署，对现场数据类型和数据协议进行梳理、归类并建立标准，配置边缘计算软硬件环境，定义边缘计算相关功能，在云端中心积累微构件，进行模型化、组件化开发，并建设数据中心，在全新的架构下开发数据应用，将数据应用和企业原有系统叠加，再逐步对企业原有应用系统进行重构，慢慢将企业原有应用迁移至新的工业互联网平台中。

融合模式则是基于平台实现企业所有业务系统的部署运行，充分发挥平台数据管理、建模分析和应用创新优势，高效灵活地满足企业所有智能化需求。该模式实施的系统，现场数据统一由边缘计算平台进行采集和预处理，并基于边缘计算平台开发面向智慧车站的管控系统；信息管控平台汇集全域数据，并基于一体化平台开发全局型、协同共享型和通用型等应用。

（四）以数据为中心

“以数据为中心”是工业互联网区别于传统信息化的重点之一，这将有助于企业系统建设思路转变，更好地解决系统发展优化的问题。

轨道交通行业对工业数据互联互通的需求越来越强烈。随着城市轨道交通线网规模的不断扩大，轨道交通运营企业的“数智化”转型的不断深化，要面向更智能、更敏捷、更协同、更灵活的发展要求，逐步从“以流程为中心”的设计模式，转向“以数据为中心”的设计模式，更加关注数据与模型在业务功能实现中的分层演进作用。城轨企业基于工业互联网，以构建数字化转型中的运营和发展优势作为其愿景，从增进安全、创新模式、提升价值和降低成本四大战略方向进行努力：

1) 增进安全：积极探索工业互联网和轨道交通深度融合，构建泛在先进的轨道交通信息基础设施，建立基于数字化基础的运营和运维能力，以精准决策支撑为抓手，场景化管控为手段，提升运营决策效率，优化运维管理流程，增进城轨运营安全。
2) 创新模式：工业互联网可以推动城轨企业由运输转向服务，创造新的业务模式和收入来源，甚至进一步实现运输、服务与金融、保险、物流、地产等其他领域的创新融合，进一步释放数据价值红利。
3) 提升价值：推进数据资源赋能轨道交通发展，强化超大规模城轨网络建设运营管理能力、创新普惠共享的多样化乘客服务模式，为实现转型发展提供强大支撑。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

4）降低成本：由运营城轨向经营城轨的转型，关键在于对生产管控全环节整体性优化，由过去粗放式的成长发展模式逐步向集约型、精细化的科学发展模式进化演进。全环节整体性优化的核心在于科学、高效、精准、系统的决策，这一决策依赖于数据的支撑。搭建数据采集、清洗、存储、分析、治理的大数据平台，使数据赋能企业的经营管理决策，从而提高企业效率效益、降低成本。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

三、业务功能

城市轨道交通企业的业务系统大致可分为运营管理、运维管理、企业管理、建设管理、协同生态和行业业务，业务系统间相互协同支撑，互为数据供给方和消费方。

基于工业互联网架构，在安全保障（安全）下提高各业务系统的共融互通（网络），实现业务融合（平台），驱动轨道交通数智化转型。

城市轨道交通企业的业务系统的功能框图参见下图。

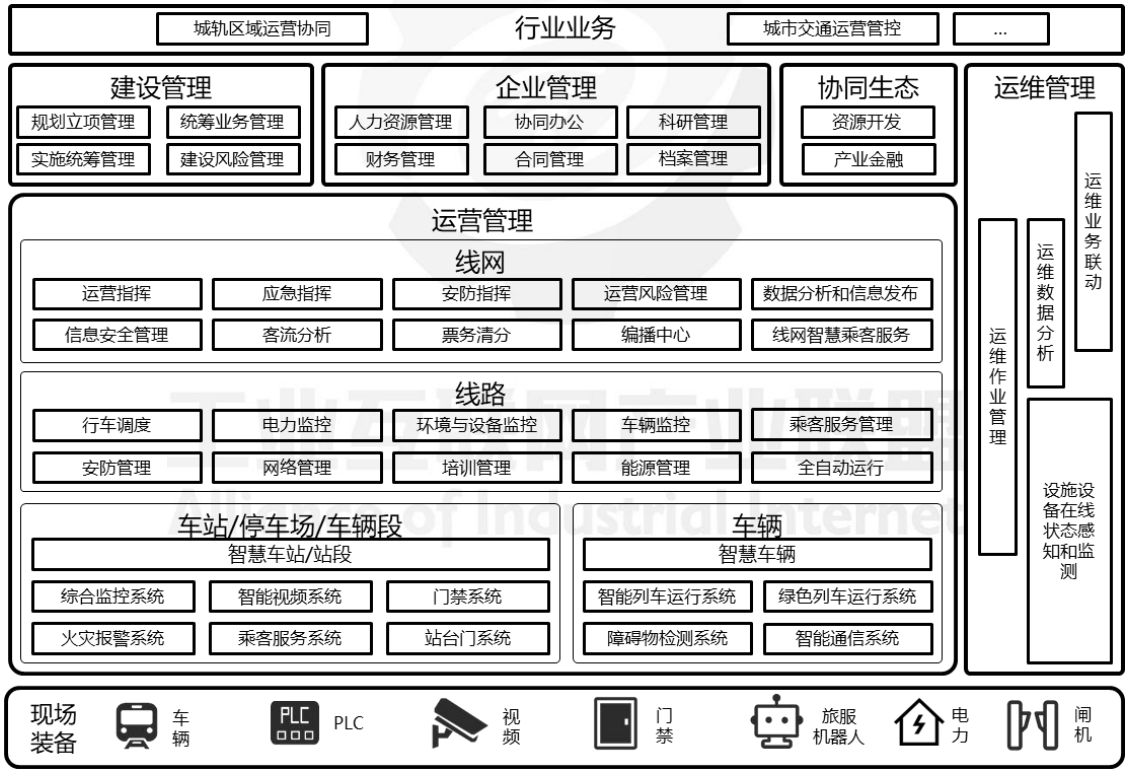

图 3-1 城市轨道交通业务功能图

（一）站段和车辆

车站是工业互联网服务于城市轨道交通的最基本空间单元。常规的车站运营管理是由多个专业化信息管控子系统以及集成/互联这些子系统的综合监控系统平台所构成。相比常规车站，新一代的车站运营管理体系（智慧车站）其主要体现在更加全息的物联感知，并形成了新一代车站级工业互联网边缘计算平台，赋能更加智慧化的乘客服务、设备管控、客运管理和站务管理，从而演进成为智慧车站。

1．站段系统

现有车站级综合监控系统及其互联集成子系统聚焦于实时控制，为满足智慧车站工业互联网边缘计算平台对全面过程数据的需求，应构建更加全面的运行工况全息感知体系，宜基于当前成熟可靠的物联网技术构建。

1）环境与设备工况感知

应实现对环境参数的全息感知。应实现对机电设备运行状态数据的全息感知。

2）智能视频

应采用智能视频分析技术，提供站厅、站台、出入口、换乘通道等重要区域的客流状态以及异常行为告警。

3）站台门感知

应实时采集站台门全息工况数据，宜具备远程控制功能。

4）门禁感知

应在通道门处设置生物识别设备，实现对人员进出的感知与管理；宜与智能视频技术结合，实现巡检轨迹的感知记录。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

5）火灾报警感知

应更加全面地实时感知火灾报警系统的运行状态，包括报警内容及其位置信息；应分类存储统设备的运行、故障和报警的感知数据。

6）乘客服务系统增强

宜与广播系统配合在站台门和自动扶梯处实现定向广播功能。

自动扶梯、换乘通道等位置的乘客信息显示屏应显示车站信息、车站拥挤度、换乘等信息；站台的乘客信息显示屏应显示到站列车信息、车厢满载率、车站拥挤度等信息；车站出入口的乘客信息显示屏应显示车站运营服务信息等。

宜实现场景化乘客信息服务，根据乘客信息显示屏的位置和场景需求，能够个性化播放相关区域内容。

应具备对自动售检票系统终端设备的远程控制功能，应具备移动支付购票或充值的功能，宜支持语音购票。

7）其它

宜监视管辖范围内供电、信号、车辆等关键设施设备的状态。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

2．车辆系统

车辆系统是城市轨道交通实现乘客出行服务的重要载体。通过构建智能、安全、便捷、舒适、高效、绿色的智慧型城市轨道交通车辆，实现大范围、全方位、高效率的运行控制与管理，推进城市轨道交通系统向网联化、协同化和智能化方向发展。

1）智能列车运行系统及装备

该系统及装置适用于全自动运行，可实现不同制式的轨道交通信号系统互联互通、车辆匹配，提升线路运能，降低系统能耗，支持“四网融合”。该系统及装置通过引入人工智能技术，提升列车

智能水平、优化列车驾驶性能和适应性；采用新一代车地通信及环境感知系统，加强列车对于行车空间及车上空间的信息感知能力；实现列车协同最优控制，提升运行效率和运营灵活度。

2）车辆智能通信

推进非行车安全信息车地通信向 5G+融合演进，推动 5G+技术在城轨行业应用落地，实现开发超大容量、全分布式组网、智能流量分配的新一代有线承载网络；实现集语音、图像、数据等多媒体信息为一体的新型智能多媒体调度系统；强化智能通信信息安全，确保通信业务和数据资源的机密性、安全性和完整。

基于成熟技术体系进行系统核心功能智能融合、协同控制，打破信息壁垒，融合智能控制、智能感知、智能诊断，实现从分离系统多节点控制转变向集中“控制、诊断、思考与决策”转变，构建智能、安全、可靠、多元的多系统融合方案，实现技术装备智能化、智慧化。

3）高效绿色列车运行系统及装备

该系统及装置基于优化城轨能源系统设计的理论方法，通过分析能耗-客流的耦合关系，充分利用客流、车辆、信号、环境控制等综合信息建立能源系统动态模型，并探索直接使用市电系统供电的方案，实现线网级能源调度、优化行车组织、编制节能运营图等功能，实现总体对城轨运营节能效率的提升。

4）可靠安全的障碍物检测系统及装备

该系统及装备用以解决城市轨道交通运营过程中非预期的障碍物对行车安全带来的不利影响，降低人工瞭望与巡检工作强度，提升运营安全水平。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

对于城市轨道交通碰撞的检测，目前主要采用被动防撞探测杆，通过被动防撞探测杆碰撞到障碍物目标后，引发列车紧急制动，从而降低碰撞损失。随着先进感知和边缘计算技术的发展，光学检测、激光雷达、毫米波等传感器技术、人工智能技术和边缘计算能力的不断提升，在车载端通过传感器提前感知行车前方障碍物信息，将其转换为图像、点云、电磁波强度等数字信号，在边缘平台通过人工智能算法进行处理后，识别出障碍物的类型、坐标、速度等信息，预测碰撞风险，与车辆控制系统联动，引导列车完成主动防撞动作。

3. 智慧车站

智慧车站实施方案的总体思路是，紧密结合车站级各运营班组的工作流程和实际需求，在既有控制及其互联集成子系统的基础上，增设全息感知物联网设备，构建车站级工业互联网边缘计算平台。

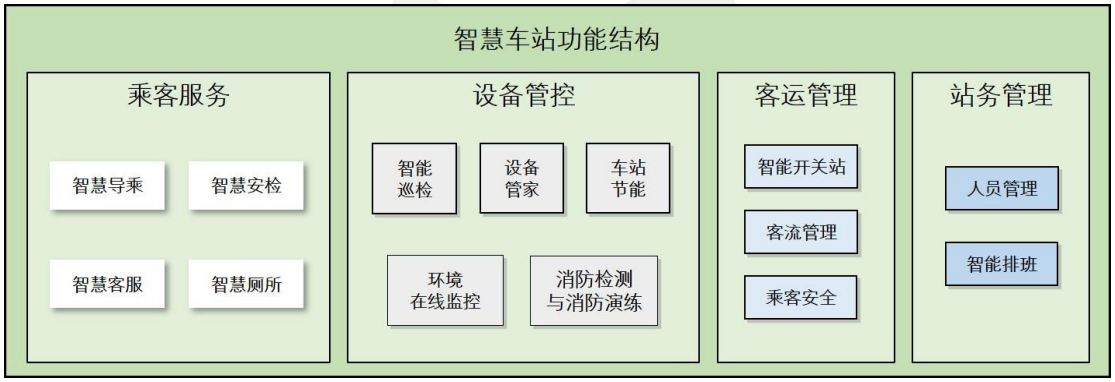

图 3-2 智慧车站功能结构图

智慧车站边缘计算平台应具备车站基本运作功能，包括但不限于数据库管理功能、输入数据处理功能、模式控制功能、顺控及点控功能、自诊断功能、时钟同步功能、监视功能、控制与调节功能、参数设置功能、事件回放功能、运营数据统计和决策支持功能、权限管理功能、内部运算功能、实时趋势与历史趋势记录功能、报警

与事件管理功能、统计和报表功能、打印管理功能、历史数据存档和查询功能、组态维护功能和系统的备份与恢复功能等。

智慧车站边缘计算平台应对各类数据进行梳理和综合再利用，建立起具备场景化、智能化、智慧化的车站信息管控功能，全面提升车站在乘客服务、设备管控、客运管理和站务管理等方面的能力。

1) 乘客服务

采用智慧导乘系统、智慧安检、智慧客服、智慧厕所等技术为乘客提供更快捷更优质的服务。

2) 设备管控

实现设备的智能监控、智能诊断、智能巡视和故障报修管理；通过综合电能、节能运行模式数据对车站运行耗能进行智能分析，实现车站的能耗管理；通过环境智能感知设备，实时感知车站环境，实现车站环境的智能化管理。

(1)智能巡检

智能巡检功能，可基于统一的 BIM 可视化系统对车站关键系统的设备进行模拟一键点巡检，辅以适当的视频分析技术，实现替代人工现场巡检的工作，提升日常巡检效率。应能对当前运行状态进行采集、归类、汇总，提供各系统专业设备一键可选择性查询，支持自定义专业设备巡检，并对巡检结果进行归纳，统计和对比。为车站设备报修、巡检提供数据支持。

(2)设备管家

智慧车站应具备设备管家功能，应实现基于既有 ISCS、BAS 系统与风机、水泵、站台门、电扶梯等机电设备接口，通过增加传感器、水流指示器（选用）、压力传感器（选用）、在线检测装置等，

工业互联网产业联盟 Alliance of Industrial Internet

从车站、区间等大型设备就地采集状态参数，通过分析、处理来实现对设备的实时监控、故障预警。

设备管家应至少实现维修支持功能、综合智能分析功能和三维可视化管理功能。

(3) 环境在线监控

智慧车站应具备环境在线监控功能，应充分利用技术手段，实现车站设备及运行环境信息的集中管理，科学地对设备运行环境状态进行综合诊断，更及时、准确、灵敏地反映设备及运行环境的当前状态，从而保障设备稳定运行、提高劳动生产率和设备运行维护水平。

智慧车站环境在线监控采集点应至少包括公共区域环境、出入口环境、新风井环境和机房环境。

智慧车站应结合环境检测报警或异常数据，针对站内空调冷气排放、阀体、大小系统、排热风机等设备实现实时控制，以达到改善车站环境质量、提高乘客体验舒适度的功能。

(4) 消防监测与消防演练

智慧车站应具备消防监测功能，实现对消防关键系统设备监控功能，并对异常情况实时提示。

智慧车站应具备车站消防演练功能，当建筑消防分区发生火灾时，展示系统联动设备状态、着火位置现场图像、疏散指示标识、广播提醒和操作卡提示等信息，供车站人员日常消防演练和培训使用。

(5) 车站节能

智慧车站应具备节能功能，并通过综合电能、水量及节能运行模式数据，将车站运行耗能上送给线路能源管理系统。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

3) 客运管理

通过构建车站人员定位、人脸识别门禁、智能视频巡视等系统，结合业务系统中人、事、物及其关联的数据和信息，展现车站值守、巡视、客运和服务等各项工作效能，实现对车站人员的全方位管理，提升车站对人员的管理水平和管理效率。

智慧车站应具备车站多专业系统联动能力、应急处置能力和应急演练能力。在突发应急事件（如：突发大客流等）情况下，能自动启动相应的处置预案，联动相关设备按照预定方式运转，降低车站工作人员人工监视、判断和处置的工作量，全面提升车站客运管理的自动化、智能化水平。

(1) 智能开关站

智慧车站应具备以实现全自动车站为目标的智能开关站功能。智能开关站是车站自主运行的重要组成部分，包括设备状态自检、人工视频确认、开关站操作执行、保存历史等步骤。智慧车站应采用智能化的手段保证开/关站的可靠性和安全性。

(2) 客流管理

智慧车站应具备客流管理功能，应在车站公共区设置嗅探设备，通过无线和有线传输方式将该数据传递给智慧车站，通过结合进出站客流、智能视频分析客流密度等信息，经人工智能处理后，形成车站客流密度及流向分析数据，实现客流分布展示及越限报警，为下一步的运营客运组织和管理提供有效的数据支撑。

(3) 乘客安全

通过智能视频联动，智慧车站基于智能视频提供的分析结果，实现客流状态、乘客行为异常、设备故障、开关站辅助等动态检测，并能触发自动联动功能。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

4) 站务管理

通过施工调度系统、站务系统等接口系统，全面了解车站的施工管理信息，排班布岗信息，设备巡检信息等，实现站务信息的综合管理。

(1)人员管理

智慧车站应具备人员管理功能，应利用门禁监控、视频监控、人员定位等功能，通过生物识别身份认证、黑名单等技术，实现车站工作人员管理、车站人员（含施工及委外人员等）进出权限管理和巡更管理等人员管理。

(2)智能排班

系统为车站值班人员提供日常排班功能，运营人员可根据车站值班规则自主定义车站轮班，系统根据录入的排班规则，自动生成值班表，支持运营人员自主修改值班表功能。

（二）线路

城市轨道交通线路功能包括线路级运营调度、培训管理、能源管理等功能。

图 3-3 线路管控系统功能结构图

1．运营调度

线路运营调度功能包括：对信号、供电、机电、车辆、乘客服务等设备的状态、性能数据进行实时的收集处理，通过各种调度员工作站和大屏幕以图形、图像、表格和文本的形式显示出来，供调度人员控制和监视。并且根据一定的逻辑关系自动向分布在各站点的被监控对象或系统发送模式、程控、联动等控制命令，或由调度员人工发布控制命令，从而完成对全线环境、设备的集中控制与显示。

1) 电力监控

(1) 电力设备监控

通过对全线电力设备的数据通信，实现对全线电力设备的状态监视、单遥控制、顺序控制、数据分析处理、远程运行维护、统计报表、事故报警、画面调阅、历史数据查询等功能，实时对全线电力设备进行监测与控制，保证轨道交通列车及弱电设备用电的稳定性和可靠性。

(2) 智能程控管理

以列车运行图、检修计划、设备故障跳闸等作为输入条件，通过预设程控卡片，实现对供电系统的自动停送电及倒闸操作。同时自动联动广播系统、变电所智能巡检系统给与辅助支持。

为避免执行程控卡片时由于设备故障或分合闸条件不满足等原因导致的执行中止的发生，结合设备之间的闭锁逻辑及故障信息、分合闸条件等自主预判程控卡片是否可以顺利执行。当系统“预演”得出由于某些条件导致程控卡片无法顺利执行时，以简报或摘要的形式提示调度人员，提前对设备进行检查。

(3) 智能报警决策

工业互联网产业联盟
Industrial Internet Alliance

可以实现故障智能研判分析、推荐紧急控制策略、提供调度辅助决策、实现供电系统自愈与重构、基于多种数据来源的电力故障分析及应用。

(4)供电智能巡检

按照按检修计划自动调用设备数据和相应的摄像头视频，实现全线牵引供电系统的巡视，为供电系统维修人员提供远程巡视和异常辅助报警、远程视频确认，为调度人员提供设备运行情况及故障告警的远程视频确认，实现精确调度。

(5)调度命令电子化

为调度人员提供调度运行管理的电子化和表票的自动化流转，通过调度工作站可实现交接班管理、表票管理等提供的调度命令新建、编辑、审核、下发、签收、模板化等手段，实现中心向各受令处所下发调度命令，提高调度命令下发的准确性，降低应急处置情况下调度人员工作压力，使整个调度命令作业更有序规范。

2) 环境与设备监控

通过对全线暖通空调系统设备、给排水系统设备、电梯系统设备、低压配电与动力照明系统设备等车站级设备运行信息采集实现对机电设备状态的监视、设备报警的管理，通过模式控制、时间表控制等功能实现自动控制设备运行，检测环境参数，调控环境舒适度及节能管理。确保设备处于安全、可靠、高效、节能的最佳运行状态，从而提供一个舒适的乘车环境。

3) 列车监控

在联锁、ATP、ATO 子系统的支持下可完成对全线列车运行的自动管理和监控，主要包括计划功能和监控调整功能。计划功能包括:时刻表的编制和管理、当日运营计划管理和列车运用计划与管理等;

工业互联网产业联盟 Alliance of Industrial Internet

监控和调整功能包括：列车的跟踪与识别、自动排列进路、调整列车运行,以及列车自动出入库、故障处理、应急处理、信号设备的人工控制等。通过列车自动监控功能，可大大减少列车运行监管的工作量，减轻对于人力的依赖性，保障列车运行安全性与运行质量。

4）车辆管控

实现对车辆上各个子系统（车载视频监控、车载乘客信息、车载广播、制动系统、牵引系统等）发送的主要设备运行状态、报警信息、维修信息的收集和管理，对车辆设备进行初始化控制和远程控制，组织指挥对车辆上设备的维修工作，针对各种可能发生的突发事件，编制事故抢修、灾害救援方案，由突发事件触发调出相应处理预案，快速处理故障，减轻事故及灾害影响范围。

5）乘客服务管理

监视全线车站 PIS 控制器状态，编辑 PIS 屏播报文本，发送播报文本；可实现以人为本，提高乘客服务质量，提高城市轨道交通运营管理水平。

监视全线车站广播设备状态，可按照广播区广播，实现预录制广播、定时广播等功能，通过广播监控，可提高城市轨道交通客运服务质量和处理突发事件的能力。

监视全线所有在线运行车辆中车载视频监控、车载广播、车载应急对讲、车载乘客信息、车载照明及车载空调等乘客服务设施状态；远程监控车辆照明及空调系统；接听车辆上乘客应急语音对讲电话，并通过车载视频监视车内情况；确保发生突发事件时，可通过列车广播或乘客对讲安抚和疏导乘客，保证乘客的人身安全。

6）安防监控

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

综合安防系统实现对站段、主变电所等设备和管理用房、出入口、票务室等重点区域的出入管理、登记、实时视频监控等功能，实现事件的实时传达、告知、报警，以使事件能够在最短的时间内得到处理和备案，有效保障城市轨道交通运营安全。

2. 培训管理

通过线下线上相结合的方式进行培训管理，可在培训环境中对生产系统进行全方位信息模拟，包括电力监控系统、环境与设备监控系统、广播系统、乘客信息系统等，便于学员操作学习；可将生产系统中数据在培训环境中进行回放，便于对实际工况的掌握；提供考试系统便于对学员所学技能知识进行考核。

3. 能源管理

通过采集全线站段／变电所能耗的数据，进行统一处理和统计分析，同时对全线电能、水、燃气和热力能耗实现集中、全面、实时的在线监测，实现数据实时监测、历史记录功能、趋势功能、自动抄收功能、查询统计功能、数据分析功能、能耗质量分析、能效对比分析、报表功能等。可建立城市轨道交通能耗评价体系，对轨道交通用能进行全方位监管分析。通过层层数据钻取和数据挖掘，指导用户准确定位能耗异常、摸清能耗问题，为运营部门实施节能改造、优化能源管理体系、发布降耗提效指标等提供科学依据，轻松实现管理节能。

4. 全自动运行

全自动运行主要业务功能包括以下六个方面:

1) 自动运行

自动运行功能主要包括自动牵引上电、自动唤醒列车、列车自动出库、正线自动调整、列车自动回库、列车自动休眠、自动洗车等功能。列车运行计算快速，运行动作精准、减少误差。实现列车运行全过程自动化，进一步减少人为误操作以及人为因素对运营的影响，提升运营能力。且自动化程度的提高，使系统可以快速、有效的应对运营过程中的扰动，具备更强的列车运行调整能力。

2）远程监控列车

远程监控列车功能包括在控制中心可以对列车全自动运行进行全面监控，实现车辆状态实时监视、远程列车控制，实现供电、机电、信号、车辆等各专业的综合调度功能；还可以通过列车上的视频监控观察、确认车厢内的情况,通过紧急对讲功能，直接与乘客进行沟通、确认现场情况，提高应急处置及反恐能力。

3）安全防护增强

通过实现列车脱轨/障碍物相撞监测、站台门间隙探测防护等功能增强了乘客的安全防护，同时，通过在全线正线和站段自动化区域设置人员防护开关增强了运营人员的安全防护。

4）自动故障处理

全自动运行中故障的自动处理主要包括：车门故障隔离站台门、站台门故障隔离车门、列车驾驶模式转换、列车故障复位、列车故障旁路等。

5）自动应急处理

通过实现中心应答乘客呼叫、列车雨雪模式运行、列车遇障碍物处理、火灾情况处理、区间自动疏散等应急自动处置功能，可降低运营人员劳动强度，确保调度辅助决策可靠，减少人工误判。

6）列车的自动调度

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

列车自动调度功能主要包括：时刻表自动编制、调度命令/流程电子化、设备运行监视、故障辅助决策、应急运行图调整、故障决策自学习、运行图调整自学习等。通过实现列车自动调度，提升了运营组织灵活性，可根据运输需求灵活地调整运营间隔，随时增、减列车，提高系统对突发大客流（大型活动，如体育比赛）的响应能力。

（三）线网

城市轨道交通线网功能涵盖网络级调度指挥、票务清算管理、客流分析决策、智慧乘客服务、编播中心等功能。

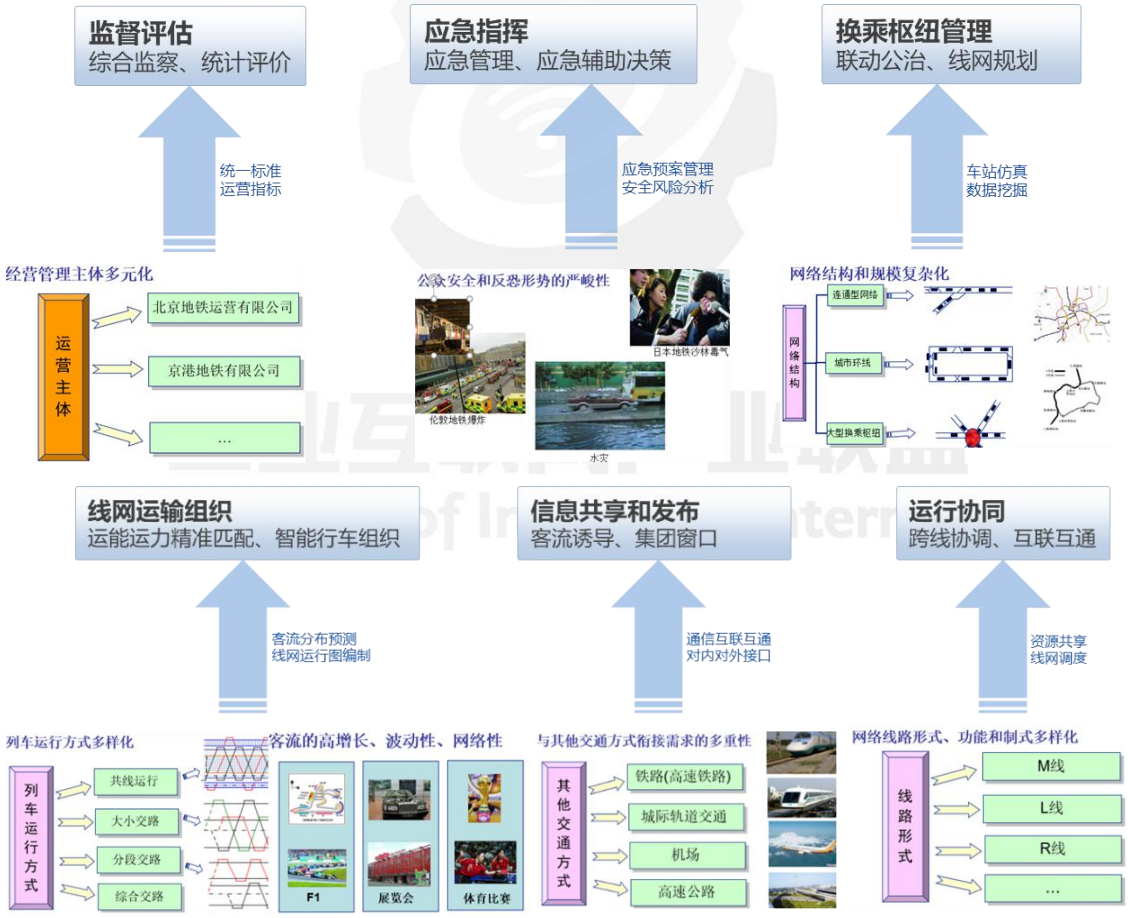

图 3-4 线网指挥中心功能结构图

1．线网调度指挥

线网调度指挥包含运营指挥、应急指挥、安防指挥、风险管理、信息网络安全管理、数据分析和信息发布等功能。

1）运营指挥

对线网行车、客流、设备运行、故障、灾害预警等进行不间断监视；线网运行图编制与监督，以及线网客流和运输组织的匹配；线路换乘衔接和跨线路运营协调指挥。

2）应急指挥

线网应急预案管理与演练；应急情况下跨线路的运营组织协调，跨单位的应急物资及应急力量协调。

3）安防指挥

统一管理各线路技防系统，实现公共安全可视化、系统联动一体化和应急指挥科学化，以提升轨道交通工程防控能力，降低城市轨道交通区域内发生安全威胁的可能性；将各技防系统整合为一个相互配合和协调动作的整体，由独立的线网安防集成平台统一管理；实现视频监控系统功能、入侵报警系统功能、安检系统功能、门禁系统功能、电子巡更系统功能和乘客求助系统功能等。

4）运营风险管理

对线网运营风险进行分类、采集、管理、分析和预警管理，为线网运营风险控制提供决策辅助支撑。

5）信息网络安全

根据信息系统安全等级保护三级的规定，综合考虑物理层面、网络层面、系统层面、应用层面和管理层面的安全需求，确保线网调度指挥系统安全稳定运营。

6）数据分析和信息发布

运营生产指标的计算、分析、管理和评估；对企业内报送运营信息并编发运营报表；对企业外发布运营信息，包括官方 APP、官网、微博、微信及其他面向乘客服务的载体；应急情况下向更高一级企业应急管理机构报送信息。

2. 线网票务清算管理

线网票务清算管理系统作为城市轨道交通各线路自动售检票协调及对外票务信息服务和管理的主要窗口，代表所有轨道交通线路负责向其他部门和单位进行票务事宜的联系和协调工作。主要功能包括：为各线路统一制定、发行和管理轨道交通联网专用票（一票通）；具备多元化支付功能，承担轨道交通非现金支付中心作用。

3. 线网客流分析决策

线网客流分析决策主要业务功能包括：

1) 乘客服务管理

综合利用官方 APP、自助查询终端、官网、微博、微信及其他面向乘客服务的载体，为乘客提供手机购票、扫码过闸、路径规划、信息查询、投诉建议、市民互动等功能，达到有效推送客服信息、便捷乘客出行的目的。

2) 客运生产管理

涵盖票务管理、客运组织管理、站务/乘务管理、和服务管理四项功能，实现线网票务统一管理、线网票务清分统筹管理、多元化支付集中管理、线网客流实时监测及预测管理、乘客信息交互管理以及站务、乘务日常管理等功能。

3) 客运分析辅助决策

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

利用客流数据和行车数据进行深度分析，实现客流的分时段预测、异常情况下客流重构分析等功能，强化票务管理及服务营销分析，为线网运营管理提供全方位决策辅助。

4. 线网智慧乘客服务

线网智慧乘客服务系统通过人性化、智能化的服务手段，实现智能客服、多元票务、服务质量监控、自适应诱导等功能，实现对乘客出行全过程服务需求的主动感知，围绕资讯、出行等关键服务内容进行智能整合，构建新时代智慧出行服务体系。

5. 线网编播中心

线网编播中心的目标是将线网内各线路乘客信息服务系统编播中心融合成为一个整体。线网编播中心具备集中监播、节目编辑、下发等线路编播室具备的功能。此外，还为各线路乘客信息服务系统提供统一的信息源、管理模式及营销渠道，从而实现多运营主体情况下的编播控制。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

（四）运维

城市轨道交通企业设备高度密集，维护复杂，维修强度大。建立全层次、全生命周期的智慧维修管理体系，实现设备设施的故障信息全域感知、电子化规范管理、场景化决策控制，提升前台维护、后台维修及资源调配的衔接能力和管理能力，对运维作业的精准高效具有重大意义。

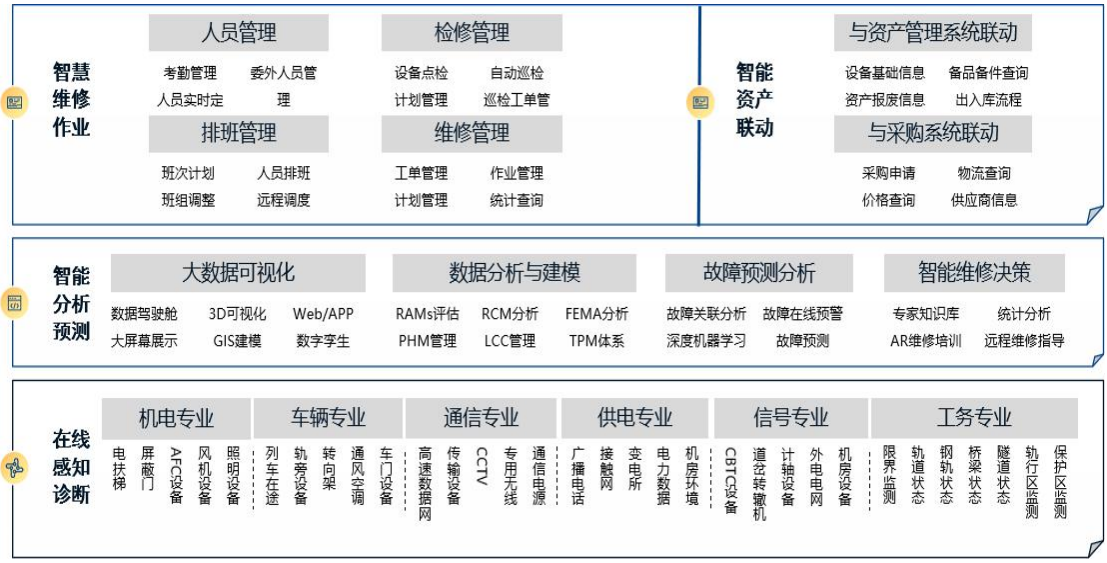

图 3-5 运维系统功能结构图

城市轨道交通智能运维应满足不同专业设备设施运维功能的共性和个性化需求，专业分类包括但不限于:

- 基础结构类：隧道、桥梁、车站结构等;
- 行车运输类：车辆、信号、供电、牵引、轨旁线路、轨道监测、人防门/防淹门等;
- 乘客服务类：通信传输、AFC、安检、CCTV、PIS、PA 等;
- 车站设备类：通风空调、冷水机组、车站照明、电扶梯、屏蔽门、火灾自动报警、门禁、给排水等。

城市轨道交通智能运维主要功能包括智能感知诊断、分析预警、运维调度和业务（资产、办公）联动等。

1. 健康状态感知

城市轨道交通智能运维应利用人工录入、信息导入、传感监测、视频分析、关联系统数据采集等手段，实现对设备设施的故障/健康状态数据的实时采集和汇聚。

2. 在线监测

基于状态感知获得的实时数据，实时应用运维分析决策获得的设备设施机理模型，统计预测、智能模型，完成设备设施的健康状态监测，并提供给运维管理系统触发维修保养工单。

3. 运维管理

根据 PDCA 循环的基本原理，采取“发现问题—处理问题—解决问题—问题反馈”的闭环维修作业处理机制，以可靠性为核心，以减少关键设备故障维修概率、优化预测性维护相关标准为目标导向。维修作业管理包括：巡检作业管理、维修作业管理、设备履历管理、故障管理、工单管理、人员管理、物料管理等。

应充分应用 BIM、AR、移动等技术提供对维修作业人员的业务赋能。

1) 巡检作业管理

包括创建巡/点检计划安排，记录巡/点检结果，生成巡/点检报表以及统计巡/点检完成情况、问题等工作。

2) 维修作业管理

根据设备履历定修要求、或故障录入确认、或设备设施状态监测，触发创建维修及保养工单。工单任务完成以后，应生成维修报告，并对评估运维人员工作效率及质量。

3) 设备履历管理

主要对设备信息进行维护管理，包括设备台账管理、备品备件管理、工作票管理、修志修程管理等。

4) 工单管理

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

实现对工单的登记、派工、提醒、受理、完工、评估、综合查询、报表等全生命周期过程进行管理和统计分析，支持设备树的快速查询，支持分层分级的工单传送。

5）人员管理

实现人员基本信息登记、组织架构管理，实现排班、调班、考勤管理，实现多维度的数据统计分析及人员考核。

6）物料管理

实现对维修所需的备品备件、工具设备等统一管理。

4．运维分析

通过对全层次全生命周期运维数据进行分析，发现长期性的、规模性的、多维度的规律，其成果的主要应用在设备设施在线监测、维修处置建议、运维流程优化等方面，还可为设备保养、备件采购、库存决策、人员培训、设备运行优化提供建议。

该系统应通过诊断案例更新自动优化完善，持续提升分析决策精确度。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

1）设备机理模型

由设备技术专家通过设备故障机理及性能指标，结合设备历史故障、试验及运营数据、梳理出各类设备健康特征、亚健康特征、故障特征，拟合出设备的可靠性曲线及健康模型，并由此初步确定设备健康状态的评估模型。

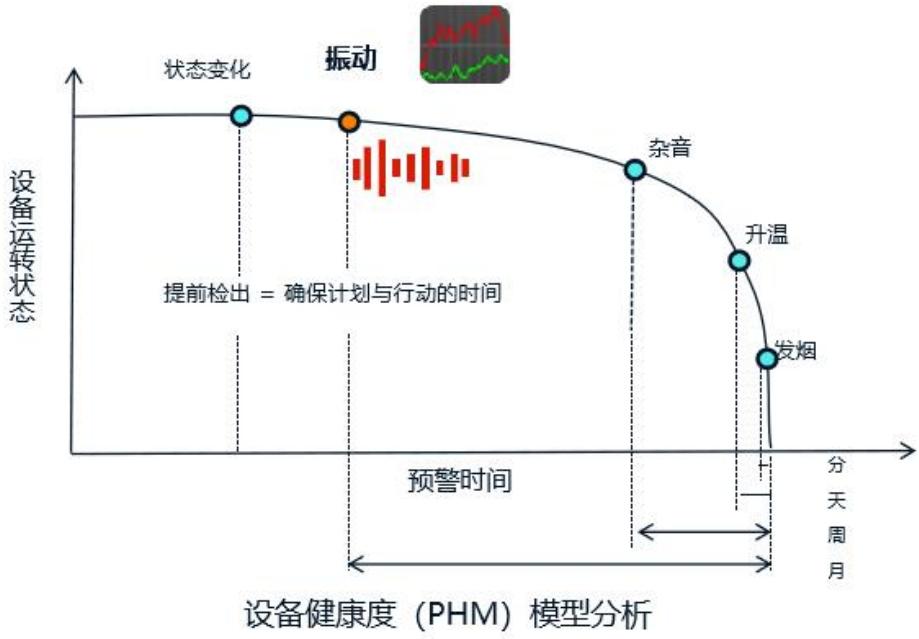

图 3-6 设备健康度模型分析图

2）运维场景模型

由运维管理专家梳理维修场景，将影响安全、服务质量、维修成本的人为因素、设备数据、物料数据、维修管理（在线、离线、返厂）数据、环境数据进行关联，根据对安全、服务、成本指标影响程度赋予不同权重系数，建立相应数据模型。

3）统计分析模型

由数据挖掘专家基于设备级、系统级、单专业、多专业、线网级设备数据及维修数据，通过统计分析手段，为运维安全、维修管理和设备管理等提供全生命周期的智能监控、诊断和决策建议。

4）人工智能模型

通过人工智能技术的应用和大数据积累，突破了既有的专家经验知识，使得潜在的设备设施运行危害因素和故障得到了检测、诊断、预警，实现了全面可靠的故障预测和健康管理。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

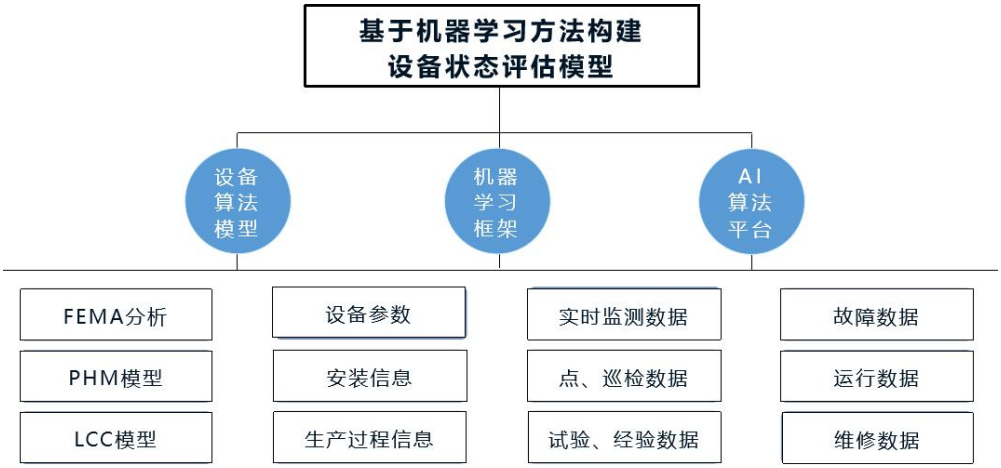

图 3-7 人工智能模型图

5. 运维业务联动

基于大数据的智能运维管理体系顶层设计，打破专业维护、系统维护的传统体制，将分散且相互独立的项目全生命周期的业务数据（项目建设数据、实时动态数据、企业经营管理数据）按照统一的标准进行串接积累和管控，实现“设备、人员、技术、管理”四位一体的城市轨道交通线网运维生态服务体系和运营维保支撑体系。

1）智能资产联动

通过统一物资、设施设备与资产管理的颗粒度，建立统一编码，打通运维数据、物资数据与资产数据，保证设备、物资、资产和价值属性与物理属性一致性，有效支撑物资的采购计划及订单管理、仓储管理、供应商管理、物料管理以及需求领用管理，有效支撑备品备件的智能追踪和优化、资产更新改造计划的智能编制与优化等，为企业资产保值、增值，创造基础。

2）资产生命周期管理

实现城市轨道交通企业及下属分子公司的固定资产、经营性资产、低值易耗资产、无形资产一码到底、全域识别，以信息化促进流程管控的赋能放权、提能增效，确保国有资产的保值增值。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

3) 运维生态体系

打通“采买-物流-移交-接收-仓储-安装-使用-监测-预警-应急-维护-更新-报废”的运维生态全要素、全业务、全价值链条；构建完整的维修管理体系，包括计划修、故障修、委外修、均衡修、大中修、架大修等，提供设备更新改造联动决策服务，为各类运营场景提供信息赋能。

4) 物资供应生态体系

通过采购需求、采购计划、采购执行、采购结算、仓储物流管理实现业务数字化流转；通过构建精准采购体系、虚拟总库体系和物资配送体系实现物资供应效能提升；通过供应商业务协同、综合评价、采购渠道拓展、数字化采购的推广及采购需求的智能化预测实现物资全供应链的生态化服务，以最小成本保障运营安全稳定的物资供应。

（五）企业管理

轨道交通企业管理承载集团和下属单位、部门的各种企业管理相关业务，为建设管理业务、运营管理业务、维保管理业务等各业务板块提供基础支持。企业管理系统包括协同办公、人力资源管理、财务管理、合同管理等。

1. 协同办公采用统一的平台和界面，以多屏方式展示运营、运维、建设、经营全流程的业务信息，满足企业不同层级、不同角色员工的日常办文、办会、业务事项处理、沟通和协作、学习和交流、信息查询和决策、个人事务办理、生活服务和社交等全方位需求。其组成包括以下部分：企业内部门户、企业移动门户、企业用户管理、企业工作流。

工业互联网产业联盟 Alliance of Industrial Internet

2. 人力资源管理根据企业的战略发展要求及行业特点，实现企业选人、育人、用人、留人的全过程闭环管理。其功能主要包括：组织管理、人事管理、招聘管理、考勤管理、培训管理、员工绩效管理、薪资福利管理。
3. 财务管理根据财经法规制度，按照财务管理的原则，组织企业财务活动，处理财务关系的一项经济管理工作，其功能主要包括：预算管理、费用控制管理、资产管理、财务核算管理、资产移交管理。
4. 合同管理对企业所有类型的合同、合同全生命周期业务信息进行管理。其功能主要包括：合同业务管理、合同台账、审计管理、法务管理等。
5. 此外还包括：党纪工团、科研管理、技术管理、档案管理、修志管理、信息服务、外事宣传等。

（六）建设管理

建设管理业务目前是轨道交通企业的核心业务之一，是运营管理和维保管理业务的基础，主要从网络功能优化与网络扩容增效角度，围绕网络系统扩容改造、新建项目，规划立项、统筹协调、风险管控、科技创新、协同办公、投资控制等业务进行综合管理。

建设管理应涵盖设计管理、项目报建管理、施工现场管理、计划管理等业务。

1. 规划立项管理主要承担网络优化、项目立项的工作，负责工程项目实施的前期统筹和管理工作。包括业务网络优化、项目立项、项目组合等。
2. 实施统筹管理主要承担网络建设项目组合的设计管理、计划统筹、建造监管、验收管理、竣工移交和项目评估等重要功

工业互联网产业联盟 Alliance of Industrial Internet

能，实现建设实施的项目组合与集中统筹管理。业务包括：计划统筹、建造监管、验收管理、项目评估；进度计划（多层级）、前期工程、建造实施、验收执行、竣工移交；资产编制、前期工程、实施进度、施工协调、验收整改等。

3. 建设风险管理针对企业建设风险、项目交付风险、项目运营风险、安全与可建造性风险等各类风险建立治理机制，承担等级管理、风险监控、应急管理的功能，有效控制风险发生对一个或多个项目目标带来的负面影响。包括业务如下：等级管理、风险监控、应急管理；质量安全，质安填报、事件管理、质安整改等。
4. 集团统筹业务管理指建设管理板块中由企业管理平台提供的集团统筹业务，涉及企业管理业务多项功能，但更针对于建设项目维度来组织实施。业务包括：合约管理、信用管理、投资控制、预案管理、档案管理、知识管理、技术管理、绩效管理、标准管理；合约成本、档案标识、投资控制（多层级）、设计管理、绩效执行、知识管理（多层级）；接口协调、预归档管理等。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

（七）协同生态

协同生态目前主要围绕城轨企业的包括资源开发、产业金融等多方面：

1. 资源开发围绕广告、商业、通信、物流等方面的提供资源基础信息和业务的管理，实现供应协同。具体广告、物流、贸易、产业园、TOD 开发等。

2. 产业金融围绕城市轨道交通上下游产业链，实现融通资金、整合资源、价值增值，将产业与金融的紧密融合，在融合中加快城轨产业的发展。

（八）行业业务

行业业务包括城市交通运营协同和城市群协同联运。随着城轨行业的进一步发展，行业业务内容必将进一步的丰富。

1. 城市交通运营协同，城市轨道交通作为城市交通的骨干组成，线网指挥平台应积极参与城市综合运输协调、交通应急指挥、政府决策支持，发布城轨运行系统的数据，加强与其他运输方式、相关单位和行业企业之间等的协调力度，配合城市重大活动交通保障机构，为春运和黄金周、重大活动、大件运输、公共交通联动等提供交通运输保障支持。
2. 城市群协同联运。城市群已经成为国家城镇化的一个重要实现形式，目前京津冀城市群、长三角城市群、粤港澳城市群以及成渝城市群已经上升到国家战略，成为国家下一步着重打造的重点区域。实现城市轨道交通区域内协同联运，必将成为一个发展方向。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

四、网络

网络是工业互联网的基础。轨道交通工业互联网，通过构建生产网、管理网和服务网，将自动化与信息化融合，支持运营、运维和管理数据的互通共享。

（一）业务需求

目前城市轨道交通的通讯网络系统根据不同的业务类型主要分为通讯系统网络、综合监控系统(ISCS)网络、自动售检票(AFC)网络以及信号系统(CBTC)网络，其中通讯系统网络又划分成民用通信系统网络、公安通信系统网络及专用通信系统网络。通过这个庞大而又复杂的城市轨道交通通讯网络，数万台设备得以实现互联，各种运营管理，运维管理、企业管理、建设管理等业务得以更加高效地进行。

1．面临的业务场景

随着城市轨道交通的智慧化发展，诸如智慧车站、智慧运维、智慧安全、智慧票务等新业务场景也对网络系统提出了更高的要求，例如:

(1)智能车站类业务

满足城轨降本提效的运营需求，通过智能分　析、物联网、集成联控、全息感知等技术，提供车站业务高效运作，包括一键开关站、自动巡检、能效管理等；实现多元海量数据的汇聚和传输。

(2)智慧出行类业务

匹配乘客出行便捷和安全运营需求，提供智能安检、智能客服、无感支付等内部系统的通信承载，提升出行体验。智慧运维类业务:

工业互联网产业联盟 Alliance of Industrial Internet

围绕设备状态数据集中监测，大数据分析，满足设备基础设施海量连接、广覆盖、低时延的网络需求，实现主动维修为主，人工计划作业辅助的维保模式。

(3)智慧经营类业务

围绕商业增值，站城一体化建设管理，提供新型业务网络承载。

2. 网络设计要求

为了满足智慧城轨的业务发展需要，网络系统设计需关注以下指标需求:

(1)大带宽

各类信息系统、自动化系统对承载网的带宽需求越来越大，骨干网络需满足业务性能要求。

(2)低时延

部分交互性强的业务以及行车相关的业务对网络的时延提出更高要求。

(3)高可靠性

针对调度通信、列车控制、站点自动化控制、二维码支付等核心生产系统，需提供高可靠的通信管道。

(4)灵活组网

智慧城轨业务的多样性要求网络满足新增业务接入的需求，满足点到点、点到多点及多点到多点的互访能力，同时具备良好的扩展性，包含无线接入能力。

(5)业务隔离

不同业务系统及应用在移动性、带宽、时延、可靠性、安全性等方面存在差异性，为匹配不同业务网络的融合承载，需支持软切片、硬切片隔离技术，提供不同业务所需的连接服务和性能保障。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

(6)高精度时间同步

部分业务要求网络提供高精度的时间同步，如车地无线 LTE-M 系统，TSN 网络等。

(7)协同运维

随着城轨企业云计算、网络虚拟化的应用，多业务承载的需求，网络应考虑流量疏导、路由控制和灵活调度能力，同时考虑多业务应用承载，真实业务的监测分析和故障定位，要求网络支持自动化、智能化的综合智能运维能力。

（二）网络架构

按照工业互联网体系架构定义，智慧城轨的网络整体架构可以分为四层五网，即行业层、企业层、边缘层和设备层四个层次以及数据中心网络、线路线网骨干网、站段局域网、车地无线网络和车载网络五类网络。其中，数据中心网络位于行业层和企业层，线路线网骨干网位于企业层，站段局域网位于边缘层和设备层，车地无线网络位于边缘层、车载网络位于设备层。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

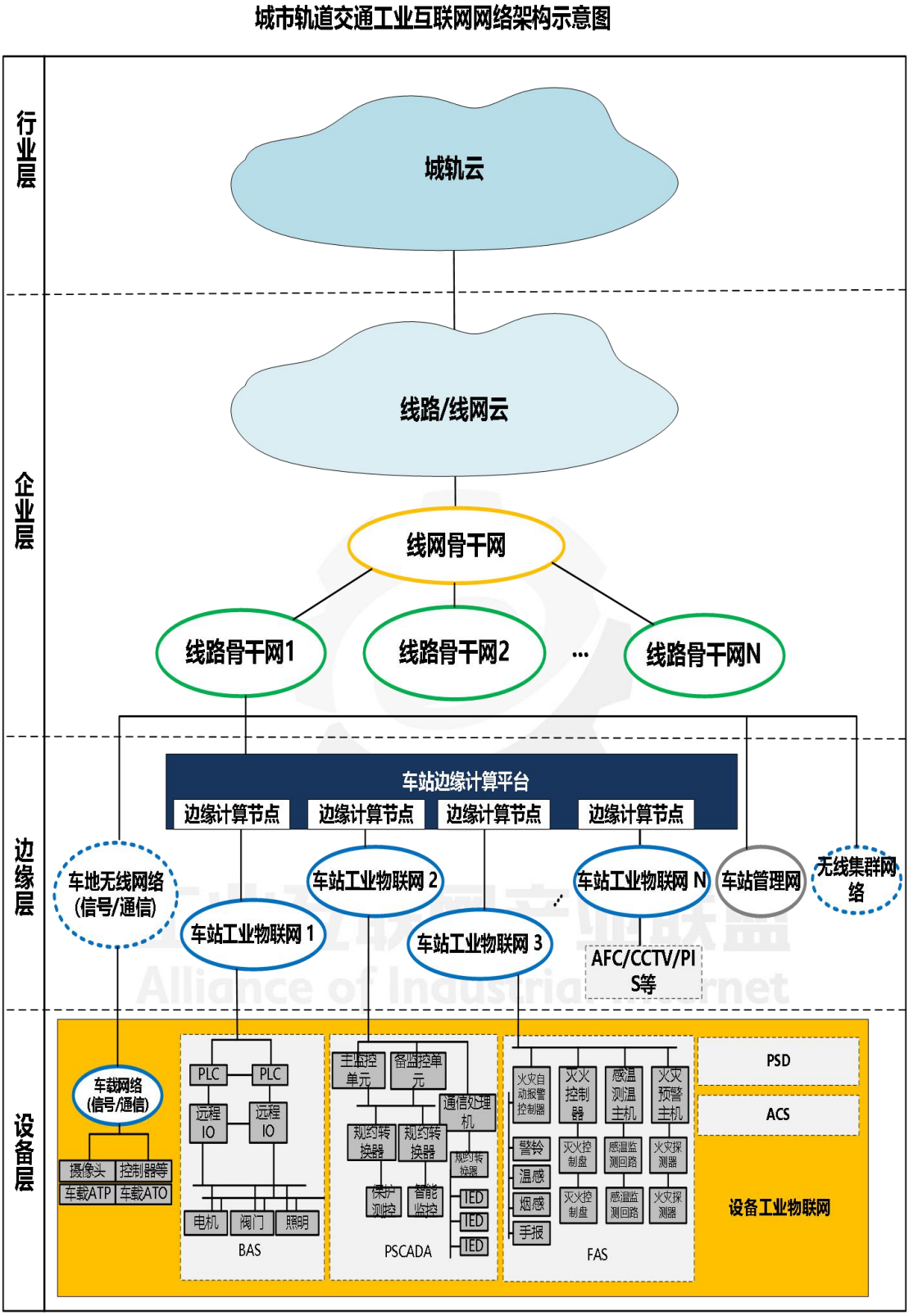

图 4-1 城市轨道交通工业互联网网络架构示意图

1. 数据中心网络

数据中心是为企业的关键业务系统提供承载的最重要的 IT 基础设施。城市轨道交通数据中心逐步往集约化方式进行建设，形成云模式建设，包含专业云（如票务云、管理云）、线路融合云和线网云。云数据中心网络架构采用模块式架构，标准全连接组网，核心和接入 TOR 极简组网，可以灵活扩展，支持多层次网络技术。采用软件定义网络 SDN 技术和网络功能虚拟化 NFV 技术，实现端到端网络、安全和业务的协同，提供业务自动化开通部署和运维能力。当涉及业务迁移、业务上下线时，网络变化和安全策略自动协同，实现安全和网络同步部署的端到端防护，实现云平台、网络、安全联动控制、威胁联动处置。

2. 线路线网骨干网

线路线网骨干网按照技术类型又划分为传输骨干网和数据骨干网。其中传统线路线网传输网络主要采用 SDH 时分同步系统、MSTP 多业务传送系统。随着技术更新换代，OTN 光传送网技术作为主流传输技术，同时基于时分 TDM 和分组交换技术的 SPN 技术，也逐步在城轨线路试点使用，提供低延迟通道，具备软、硬管道隔离能力。数据骨干网主要采用以太网技术，用于连接各 IP 终端。随着城轨企业云建设，城轨业务系统基础设施逐步融合，数据骨干网逐步形成了安全生产网、内部管理网、外部服务网三网架构建网思路。信号系统由于列车控制特殊性，仅管理服务器和 ATS 系统上云承载，其他列车自动运行 ATO、列车自动保护 ATP 等系统仍采用专网模式建设。

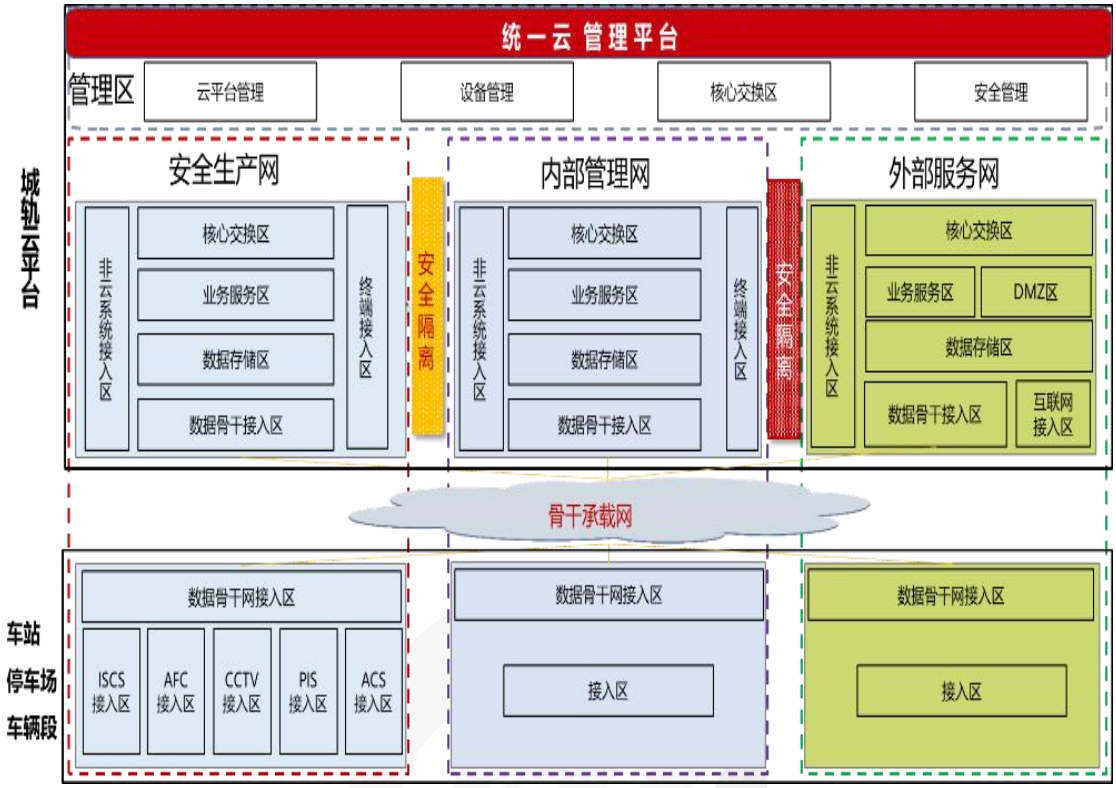

图 4-2 城市轨道交通三网架构示意图

围绕着综合监控系统，逐步形成安全生产网络，在数据骨干网中融合承载生产业务系统，包括乘客信息显示、售检票、安检、通信等业务接入，应考虑匹配业务承载需求，采用网络隔离和资源预留的技术手段，确保业务可靠承载和带宽保障；可考虑采用 MPLS VPN、EVPN、网络切片等技术手段，提供生产网络确定性保障。围绕办公 OA 信息管理系统，结合运营管理、商业资源管理，建设管理等需求，逐步形成内部管理网络。考虑车辆段办公需求，采用无线 WIFI 接入手段，并实行网络准入控制，避免私接网络。围绕乘客服务、二维码支付等新型业务，逐步形成外部服务网络。部分应用业务系统部署公有云平台系统，并在城轨集团云平台形成外部服务区域。

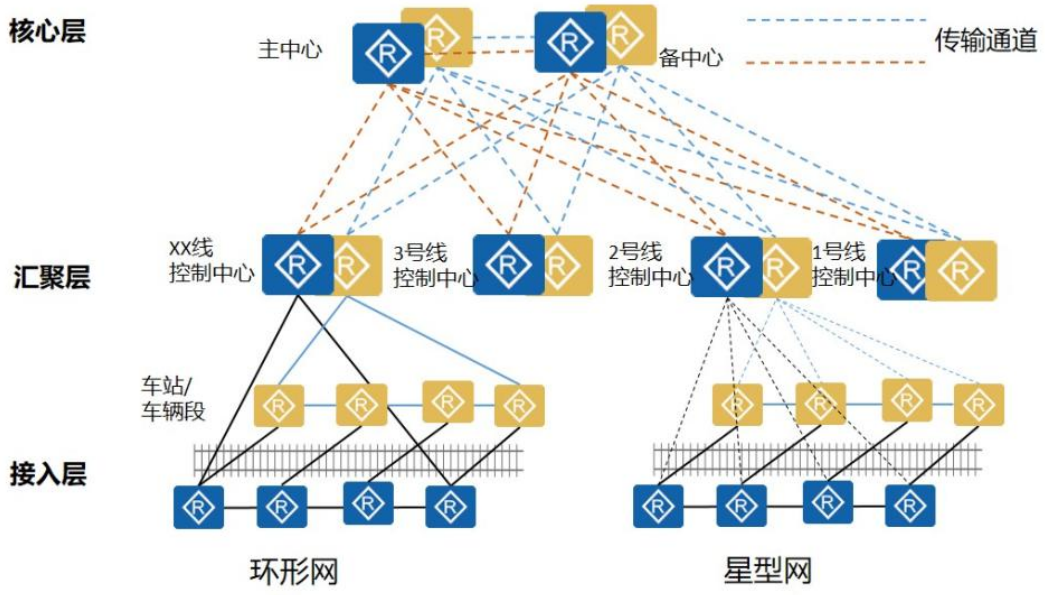

图 4-3 城市轨道交通数据骨干网示意图

数据骨干网可以划分为三层，分别为核心层-汇聚层-接入层。其中信息管控平台主中心、备中心出口设备或集团总部作为核心层，各线路控制中心/车辆段或分公司总部作为汇聚层，车站、停车场作为接入层。当前城轨企业云建设项目，主要通过网络虚拟化和 MPLS VPN 技术实现多业务承载，各业务系统采用带宽限速和 QoS 管理等手段，划分业务需求。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

3. 站段局域网

用于站段各终端设备间的互联、终端与边缘计算平台的接入，内部管理办公设备的互联以及行车及人员无线调度。站段局域网包括了边缘层的车站级工业物联网、车站办公管理网、设备层的设备级工业物联网以及无线集群网络。其中车站级工业物联网主要为 PSCADA 系统通信处理机及监控单元、ACS 系统门禁网络控制器、BAS 系统 PLC、FAS 系统控制器及各种主机、AFC 系统售检票机等直接通过车站以太网交换机接入车站边缘控制节点的各个局域网。由于车

站级工业物联网承载了安全生产各系统的控制业务数据、数据监测业务数据等重要数据，因此网络架构主要采用 AB 双网或冗余环网的组网方式来提高网络可用性。设备级工业物联网主要为 PSCADA 系统通信处理机及监控单元到 IED、测控保护单元；ACS 系统门禁网络控制器到门禁单元；BAS 系统 PLC 到远程 IO 以及各个传感器、执行器；FAS 系统控制器及各种主机到各个传感器；PSD 系统 PLC 到各个门控单元、就地控制盘等构成的网络，实现了控制器到各个现场终端设备、传感器、执行器等的最后 1 公里通讯。由于控制器与各现场终端设备间的通讯数据量小、但通讯距离长、传输确定性要求高所以主要采用现场总线技术，少部分使用以太网技术。此外，在站段局域网中还包括了用于内部管理办公的 IP 局域网以及用于行车调度指挥、环控调度、维修调度的 TETRA 无线集群通讯网络。

4. 车地无线网络

主要用于承载列车运行控制业务、列车紧急文本下发、列车运行状态监测业务、车载 PIS 业务、视频监控业务、集群调度业务。车地无线通讯主要技术包括 LTE-M 及 IEEE 802.11ac(Wi-Fi5)。未来 IEEE 802.11ax(Wi-Fi6)以及 5G 技术或将规模用于车地无线通讯网络中。而针对 5G 建设模式，目前可以分为自建专网，混合组网以及虚拟专网三种模式。其中自建专网使用独立基站，独立频段，独立无线核心(5G 控制面、UPF 和 MEC)。因此，该模式拥有最低的延迟，最高的数据传输安全保障以及高度的灵活服务，但建设成本最高。混合组网使用共有的 5G 基站和 5G 核心网控制面，企业使用专有的 MEC 及 UPF，通过网络切片方式实现资源专用。因此，该模式拥有较低的延迟、很高的数据传输安全保障、中等的灵活服务以及中等的建设成本。虚拟专网模式下企业专网用户与公众用户共享 5G

基站、5G 核心网（控制面和 UPF）和 5G 承载网，企业专网用户数据流，从企业专网用户终端，经过运营商在园区里共享基站， 5G 承载网，到公网 UPF，再通过专线传回企业云。因此，该模式拥有较高的延迟、较高的数据传输安全保障、较低的灵活服务以及较低的建设成本。

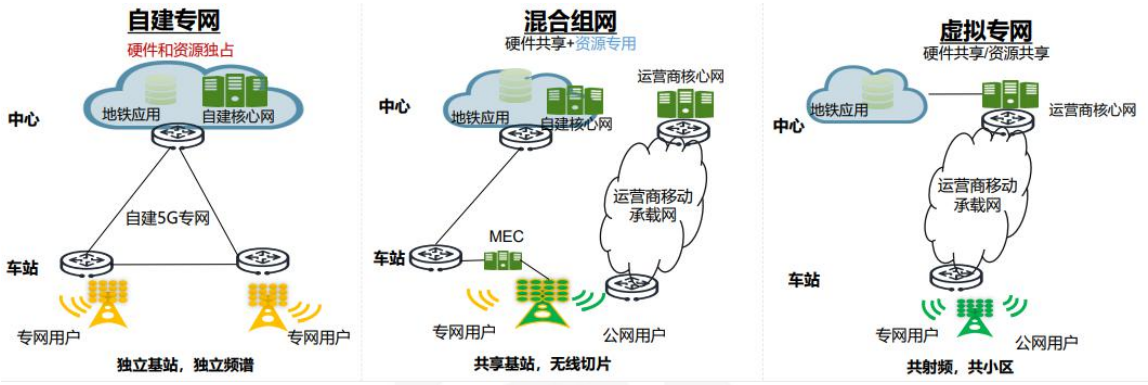

图 4-4 5G 网络建设模式

5. 车载网络

主要用于承载车载信号系统、车载 PIS 系统及 TCMS 系统数据。常用的网络通讯技术包括以太网及 MVB 总线，其中以太网常用于车载信号及车载 PIS 系统中，承载信号、多媒体、视频等数据，而 MVB 总线常用于 TCMS 系统中，承载列车制动、牵引、门控、空调通风等状态信息和控制数据。随着以太网技术的不断发展和 IEC61375 标准的不断完善，以太网也正在逐渐取代 MVB 总线将规模应用在 TCMS 系统中。

（三）未来发展

由于城市轨道交通系统的网络建设依旧采用烟囱式的建设模式，即网络和业务紧耦合，使得不同业务都需要单独使用一张网络。像边缘层的车站级工业物联网，目前就存在 BAS、AFC、ACS、CCTV、PIS 等多张独立网络，像车载网络也存在 PIS、CBTC、TCMS 以及 TMS

四张不同的独立网络。因而极大地增加了网络建设成本和运维成本，同时也降低了网络与业务扩展的灵活度。

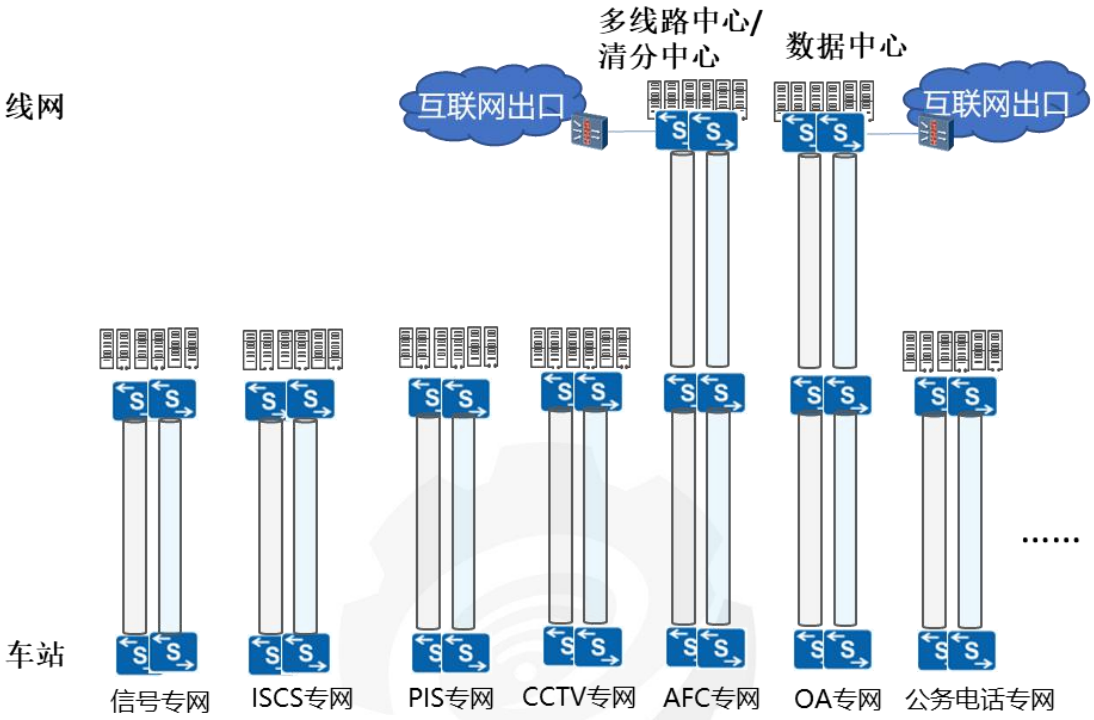

图 4-5 烟囱式网络建设

随着安全生产网、内部管理网和外部服务网三网架构逐步成形，未来各系统内网络存在融合可能性。在业务网络融合的同时，如何满足各个业务系统承载需求，是未来网络技术要考虑实现的要求。

在站段局域网中， TSN(时间敏感网络)技术可以将多种混合业务融合进一张网络中，即可以在传输非关键，非时间敏感业务(如视频数据、多媒体流等)的同时确保关键业务、时间敏感业务的确定性、实时性传输，进而将业务和物理网络解耦，减少网络数量，降低网络建设成本和运维成本。例如，将现有的车站级工业物联网整合一张 TSN 车站工业物联网，既可以传输 AFC、CCTV、PIS 系统等高流量、非关键数据，又能够保证 BAS、PSCADA、FAS 系统等关键数据、时间敏感数据的确定性、实时性转发。

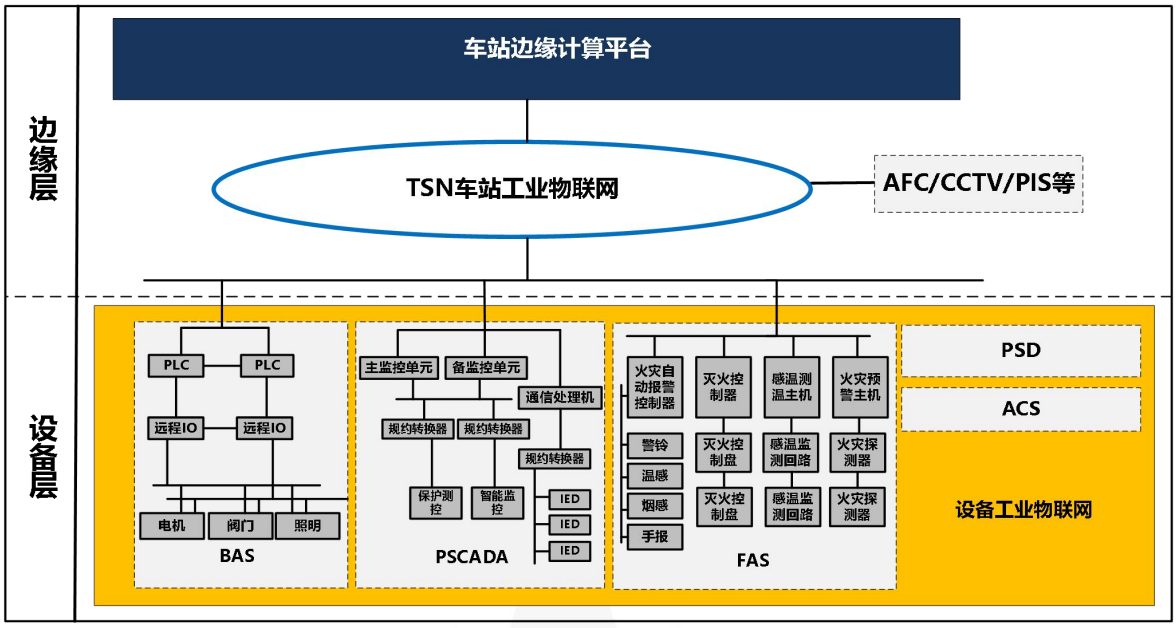

图 4-6 TSN 车站级工业物联网

另外，利用 TSN 技术可以将车载网络融合成一张网同时传输车载 PIS 系统的非关键，非实时数据(如 CCTV、多媒体、乘客广播等)和 TCMS 系统的关键，实时数据(如门控、制动、牵引、通风空调等)。

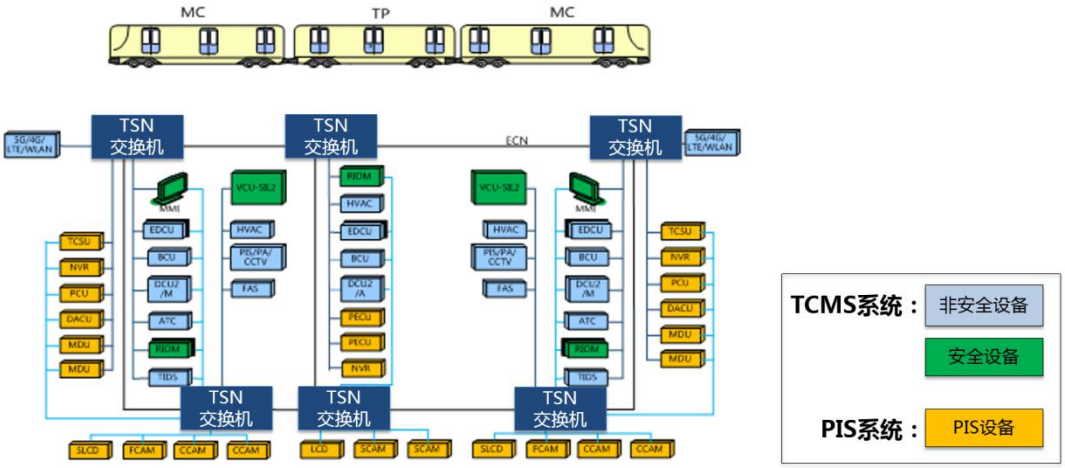

图 4-7 TSN 车载网络

在线路线网三层网络中，由于 TSN 属于二层网络技术无法满足业务需求，未来可采用灵活以太 Flex、信号化子接口等网络分片技术，实现关键业务硬件资源预留，提供确定性保障，并支持网络

SDN 技术，实现业务快速部署和灵活调整，网络智能化、可视化运营。

随着智慧城轨应用部署，海量物联终端接入需求，且各应用由线路逐步形成线网运营，传统 IPv4 地址存在局域和不足，NAT 方式管理溯源难。未来需逐步考虑 IPv6 标准实施和落地，借助国家 IPv6 发展规划，实现网络管理和升级，满足未来应用发展需求。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

五、平台

平台是工业互联网的核心。城轨工业互联网平台包括智能现场设备、边缘计算平台、信息管控平台和智慧城轨平台，是城市轨道交通全要素、全产业链、全价值链连接的技术支撑。

通过将业务功能和实施框架合并如下图，可以清楚的看出各实施层面的对应的平台应承载的相关功能。本部分将对这些平台给与阐述。

图 5-1 业务功能与实施框架关系图

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

城市轨道交通工业互联网平台采用的是“云-边-端”分布式架构，分别由智慧城轨平台、信息管控平台、边缘计算平台和现场设备与之对应，相应承载了城轨的行业层、企业层、边缘层和设备层这四个实施层次。

随着云计算、大数据、人工智能、BIM、VR 等多种技术的发展，城市轨道交通系统平台进行着持续的演进。本部分重点讨论边缘计算平台和信息管控平台，面对工业互联网数据驱动应新增的能力，以及未来的发展方向，而对新这些技术应用细节不做展开。

平台应服务于业务功能，不能凌驾于业务之上，其演化是一个实现城轨企业数字化业务发展的渐变过程。城轨企业应将城轨工业互联网建设发展的重点放在企业业务而非单纯的平台建设上。

（一）智能现场设备

城轨站段设备众多，包括：变电所综合自动化系统（PSCADA）、环境与设备监控系统（BAS）、火灾自动报警系统（FAS）、站台门（PSD）、防淹门（FG）、安防系统（AF）、信号系统（SIG）、自动售检票系统（AFC）、门禁系统（ACS）、乘客信息显示系统（PIS）、车辆管理系统（车辆 TMS）、视频监控系统（CCTV）、广播系统（PA）、通信集中告警系统（TEL/ALARM）、时钟系统（CLK）、电能管理系统（EMS）、不间断电源系统（UPS）等十几个自动化专业系统 8000-9000 台设备。

城轨列车和信号系统也拥有大量设备。列车上设备包括：车载广播（T-PIS）、车载 CCTV（T-CCTV）、车载电话（IPH）、制动控制装置、车门控制装置、空调设备、牵引装置、车载列车自动防护装置（T-ATP）、车载列车自动运行装置（T-ATO）等。信号系统还涉及许多轨旁设备，如：正线联锁主机、区间控制器、转辙机、信号机、计轴、应答器等。

站段设备通过站段局域网、车载设备通过车载网络、车地之间通过车地无线通讯网络，共同组成城轨工业物联网,实现对所有设备的连接。站段工业物联网是城轨工业互联网的基础部分，也是原站段自动化设备网络的升华。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

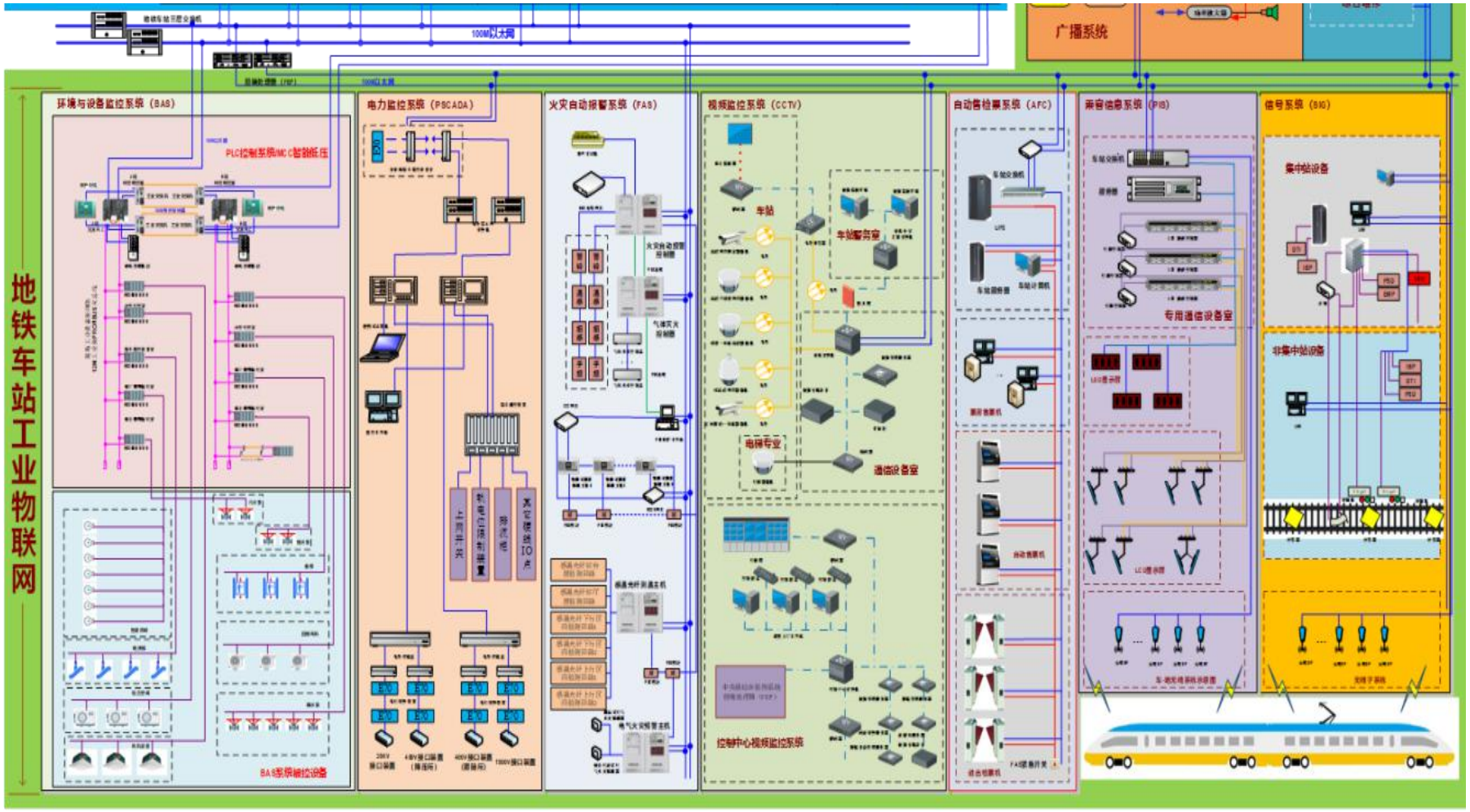

图 5-2 站段物联网架构图

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

（二）边缘计算平台

边缘计算平台是靠近物或数据源头的站段和车辆，采用网络、计算、存储、应用核心能力为一体的开放平台，提供最近端服务，满足轨道交通行业在现场的实时业务、应用智能、安全、高可用降级等方面的基本需求。该平台分为基础设施层、数据接入层、数据存储层、数据处理层。业务应用层为基于该平台开发的特定应用。

基础设施层包括所有承载城轨边缘计算平台计算、存储、网络、安全等设备设施。

数据接入层提供工业数据接入能力，兼容智能机器、专用设备等站段现场不同软硬件系统，实现实时状态、控制参数、运营管理等各类数据的全面采集。

数据存储层提供了满足边缘特性的数据存储服务，包括实时数据、时序数据、关系数据、非结构文件数据等。

数据处理层提供数据预处理服务，支持对接信息管控平台和人工智能算法仓，实现边缘层的实时运算，解决现场对数据业务处理需求。

业务应用层支持对站段所需的运营、安防、运维、能源管理、乘客服务等多类业务。

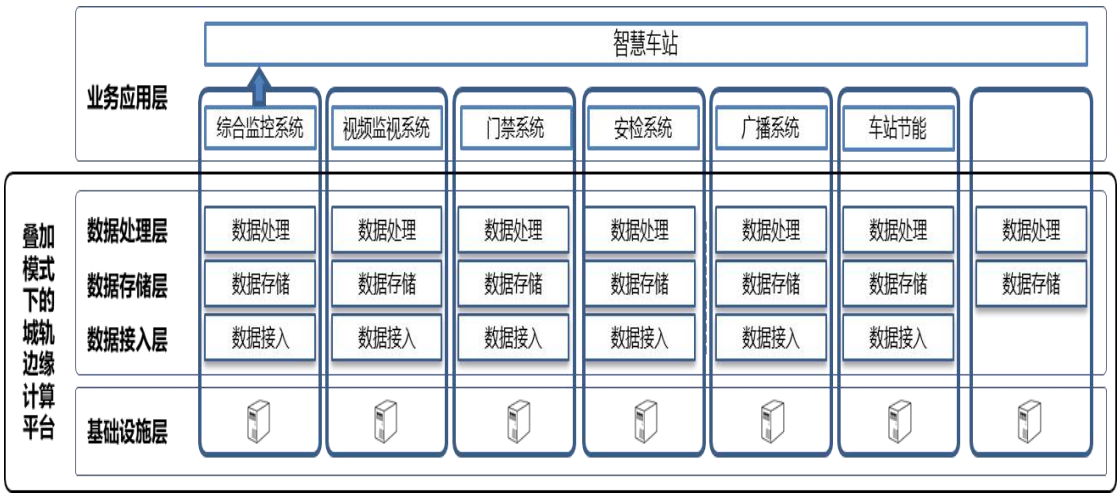

图 5-3 叠加模式城轨边缘计算平台架构示意图

在叠加模式下，边缘层各子系统的控制主机和前置采集器部署在独立的物理服务器或虚拟服务器上，与连接的设备一起构成了典型的工业物联网。此时，各子系统的数据存储和数据处理也是独立的。当多个子系统需要数据互联时，往往通过接口或再部署独立的数据库来解决；涉及的数据融合运算，也大多在各子系统内增补，或同样部署一个独立服务系统来处置。在人工智能方面的运用，也主要以图像识别、语音识别等为主，难以形成基于大量数据条件下获取相关规律的研究。

叠加模式下，站段综合监控系统的开发平台既具备典型的工业互联网边缘计算平台的特征。该系统通过集成或互联的方式，对大部分专业系统及其设备，实现设备层数据的接入、处理、存储以及边缘层应用逻辑处理。综合监控系统集成的子系统与综合监控共用服务器的前置采集器和控制主机。

智慧车站管控系统在综合监控基础上实现车站级的设备管理外，还应具备对车站节能、安防等系统接入，以及与车站的站务管理、客运管理、乘客服务等信息系统融合等。因此该系统的开发平台也是典型的工业互联网边缘计算平台。

边缘计算平台发展成为融合模式，其架构如下图所示。

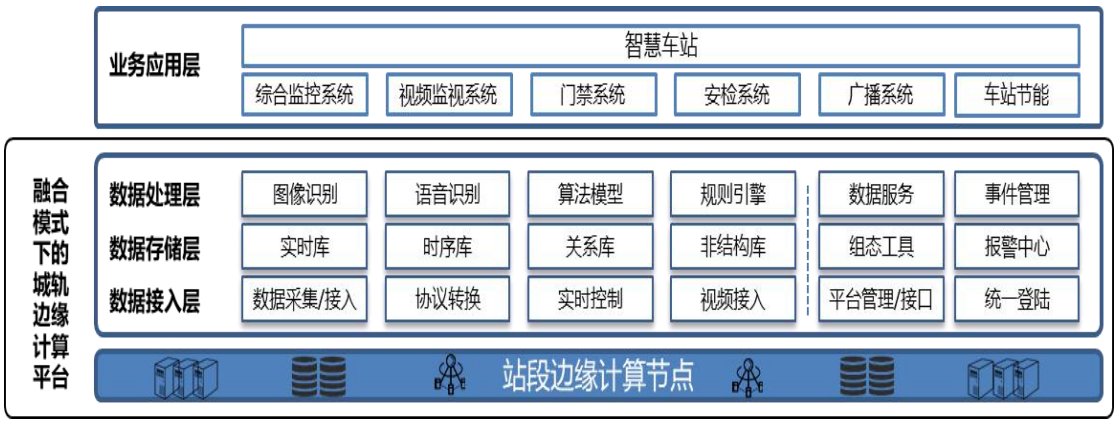

图 5-4 融合模式边缘计算平台架构示意图

在融合模式下，边缘计算平台基于站段边缘计算节点，将接入、存储、处理的通用功能从各个业务应用系统中分离出来单独部署，实现边缘层软件的高度融合。此外边缘计算平台还提供的通用组件如:

- 数据服务：信息管控平台的数据平台或其他外部系统对边缘数据的接入，包括应用状态监控、事件、报警等数据;
- 组态工具：用以开发实时展示画面的低代码开发工具;
- 平台管理/接口:边缘节点管理服务，且可实现信息管控平台的管理接入已满足统一管理要求，包括但不止：交付管理、运营管理、权限管理等;
- 事件管理：边缘业务统一的事件管理中心;
- 报警中心：边缘业务统一的报警服务中心;
- 统一登录：登录验证系统以支撑降级作业，且可与信息管控平台同步权限以满足统一授权作业。

边缘计算平台的统一的数据存储层实现了边缘层侧一级的数据融合；统一的数据处理层提供的通用数据分析、基础算法、智能模型等功能；而业务系统因此获得了更好的条件，开发出更多满足车站运营要求的应用场景。

（三）信息管控平台

信息管控平台承载了城市轨道交通企业层，从业务角度包括运营管理中的线路和线网业务，运维管理中除健康状态感知和站段测的在线监测，以及企业管理、建设管理和协同生态业务的全部。

在信息管控平台下，信息系统（IT）的部署模式大多采用“数据库服务器-应用服务器-客户端浏览器”这样经典的 BS 架构；而运

管系统（OT）则采用通常的站段平台的“接入层-存储层-处理层-客户端”的架构。在叠加模式下，信息管控平台部署城轨企业大数据中心来开展数据的联机分析。

叠加模式下信息管控平台的部署架构如图 5-5。传统部署方式中，各个业务系统建设模式是分别报批单独建设，因此这时信息管控平台中会存在大量独立的系统设备和数据，形成相互分割的竖井结构。通过在信息管控平台中建设企业大数据中心，将各个业务系统有效数据存储在一起，经过更高维度的数据治理、建模、挖掘、可视化，将综合分析结果反馈给业务系统实现高效智慧，可在一定程度上解决数据融合的问题。

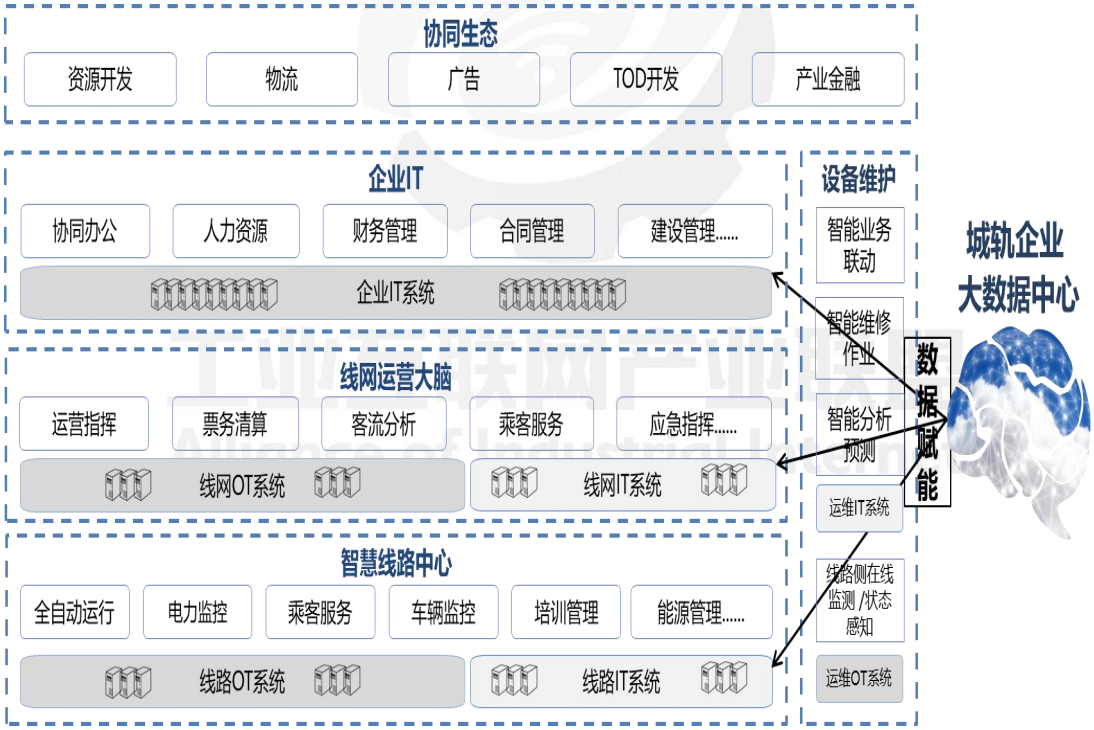

图 5-5 叠加模式信息管控平台架构示意图

为更有效维护系统资产，信息管控平台可采用云计算技术，根据项目实际需求适当开展基础设施云平台建设，为各业务线网层应用及各业务线路层应用提供资源，并旨在提升线网的服务水平、安

全性和可靠性，实现多线路之间的互相配合。通过云平台实现轨道交通硬件资源的供应模式由传统竖井式转变为以资源共享的 IT 云服务方式，从而实现 IT 基础架构模块与业务模块松耦合、资源池的模块化交付横向扩展，通过云平台保证资源的快速交付和统一管理，支撑业务快速上线、融合运营、统一运维。

更进一步整合业务和数据资产，信息管控平台可采用分布式、微服务、大数据、云计算等新一代信息技术，构建一个数字化、智能化、生态化的融合模式的信息管控平台，具备以泛在连接为基础、以平台使能为核心、以数字运营为支撑的三大特点，赋能城市轨道交通运营集团生态圈建设。融合模式下的信息管控平台可分为八个功能模块，具体内容如图所示：

图 5-6 融合模式信息管控平台架构示意图

1) 生态圈标准接入门户

作为生态圈统一入口，负责圈内外用户间的信息传递。提供统一的应用接入门户的标准规范、工具和 SDK，以及跨平台智能生态 APP 移动应用的统一集成方案，用以发布内部应用信息，实现多屏幕、全方位、全业务的用户访问入口，提高用户体验。

2) 支撑应用敏捷迭代的开发框架

为项目开发团队提供一个完整的稳态及敏态 IT 架构和开发微服务架构所需的各种基础引擎服务、智能化/信息化界面组件等，帮助团队快速构建高可扩展、高性能、低成本的分布式系统，并做到底层技术、微服务架构、开发模式、数据交互标准全局统一。

3) 面向智慧城轨的业务服务

通过收敛、沉淀、标准定义，在服务注册、服务发现、服务编排的整体框架支撑下，形成满足城市轨道交通运营企业的乘客服务、基础设施、列车安全、技术装备、能源管理、网络管理、运输组织、运维安全八大智慧领域的业务组件，向合作伙伴和第三方提供数据和业务服务。

4) 贯穿全生命周期的数据服务

提供完善的数据服务能力，依托大数据技术，围绕数据全生命周期管理，贯穿数据接入、存储、处理、分析、展示的每个环节，提供专业的数据数字化、服务化、智能化、可视化、标准化的技术组件。

5) 完备的基础设施技术服务

提供完备的底层基础设施的技术支撑。主要包括信息资源管理、流程管理、文件管理、消息管理、报表服务、GIS、BIM，以及人工智能等功能组件。

6) 稳定高效的企业互联网架构

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

满足高可用、高性能、稳定性好等要求，为平台范围内的各类应用提供云计算基础、标准中间件服务、微服务治理、分布式应用框架、全链路业务监测等基础构件。基于高可用分布式 PaaS 服务来构建，以简化互联网架构应用的开发、运行和维护成本，为分布式应用提供一个完整的、高可用的平台服务能力。

7) 满足 DevOps 三级标准的业务交付平台

满足 DevOps 三级标准建设业务交付平台，实现需求收集、规范管理、代码管理、应用测试、分支管理、应用发布、应用上线等项目全生命周期管理的过程，并为单体应用和微服务应用提供开发框架支撑，对公共组件的复用进行统一管理，提供云边协同开发能力，支撑研发运营一体化。

8) 平台数字化生态运营

构建统一的集中管控中心，以数据化运营和穿透式运维为目标，对数据日志进行采集分析、服务数据分析、安全防护分析和全链路跟踪分析，提供可视化大盘、指标分析及监控告警等功能，实现统一的平台运营，满足动态调度、生态运营、共享系统等运营要求。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

（四）智慧城轨平台

智慧城轨平台采用公有云形式部署，为城市轨道交通运输行业提供低成本、高可靠的数据存储计算服务，并能够实现按需调度和弹性拓展。依托公有云的基础资源支持，在各城轨企业信息管控平台数据的基础上，基于大数据、人工智能、数字孪生等技术提供工业数据、模型的管理分析服务，借助 DevOps、微服务、低代码等技术打造行业应用开发服务。最终，综合运用各类技术手段和系统工具，实现城轨行业业务各类应用的落地，推动行业协作和创新的生态构建。

（五）云边协同

中心化的云平台带来资源复用率提升、成本节约、处理能力和数据融合能力增强的同时，也带来较高时延、较差响应性、对传输带宽要求高、有效性受限于通信网络等问题。这些问题对于轨道交通生产这样的工业控制系统的一些应用场景是不可接受的。云边协同应充分利用云上的算能算力优势，满足轨道交通行业对效率、时延、有效性等方面的要求。边缘计算和云计算互相协同，它们是彼此优化补充的存在，共同使能行业数字化转型。

1）从数据治理角度

边缘计算平台提供给数据平台的数据，应由信息管控平台的数据平台的统一实现数据治理。边缘数据服务主要是向信息管控平台的数据平台提供数据，其他应用系统如需要边缘节点的数据可以通过直接访问或数据服务的方式实现。例如设备状态监测系统需要高密度数据，可以以报文、或消订阅息等微服务方式提供。

2）从数据存储角度

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

边缘数据由于数据量巨大，并且密度高，经过边缘的数据处理后，将有意义的数据提取或统计后再送往信息管控平台的数据平台。例如电机设备检测时需要对电机电流进行每秒 100 次以上的高密度采集，用以计算电机故障分析后，仅将故障状态数据提报给信息管控平台。

3）从数据处理角度

边缘计算平台与信息管控平台的数据平台各有所长，信息管控平台擅长全局性、非实时、长周期的大数据处理与分析，能够在长周期维护、业务决策支撑等领域发挥优势；边缘计算平台及其节点更适用局部性、实时、短周期数据的处理与分析，能更好地支撑本

地业务的实时智能化决策与执行。边缘计算既靠近执行单元，更是云端计算所需更高价值数据的采集和初步处理单元，完成云端节点分析优化输出的业务规则或模型部署在边缘层运行。例如车站能耗数据升维至线路/线网后，通过能源管理系统分析比较获得更加节能模式；有价值节能模式可下发至相似车站后，优化车站节能算法以进一步提升车站节能。

4）从组织管理角度

边缘计算平台应采用与城轨信息管控平台统一的技术架构和路线，实现高效数据共享、业务协同、应用交付和集中运维。边缘计算平台应纳入一体化平台统一管理。包括应用部署、版本控制、风险监察、运营管理、数据治理等诸多方面。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

六、安全

安全是工业互联网的保障。城轨工业互联网信息网络安全根据其自身的总体安全需求，开展对应安全架构设计，采取针对性安全措施，确保系统安全的持续有效。

（一）总体安全架构

目前从城市轨道交通业务系统主要分为轨道交通线网中心系统、线路中心系统、站段控制系统、站段终端设备/车载终端系统，依据联盟工业互联网体系架构，城市轨道交通业务系统安全实施框架在安全功能从“设备、边缘、企业、行业”等方面进行建设，城市轨道交通运营单位侧网络安全架构从边缘安全防护系统、业务应用安全防护系统，同时在企业侧建立企业安全综合管理平台，进行安全防护能力建设。行业侧的安全防护措施由智慧城市相关部门进行能力建设，企业的安全综合管理平台负责将企业侧的安全信息通知通报到行业级平台。针对城市轨道交通业务系统的网络安全需分为二部分考虑，一部分是综合考虑线路中心、站段、车辆等传统业务系统各区域面临的安全风险以及物联网设备、互联网业务安全接入，另一部分是针对智慧城轨业务系统的相关应用，提供完善的网络安全方案。

城市轨道交通工业互联网安全设计遵循《GB/T 25070-2019 网络安全等级保护安全设计技术要求》，同时遵循中城协《智慧城轨信息技术架构及信息安全规范》，以设计技术要求中提出的工业控制系统、云计算、大数据等安全技术设计框架为基础，综合采用主动防护技术、物理隔离技术、逻辑隔离技术、协议转换技术、检测

工业互联网产业联盟 Alliance of Industrial Internet

审计技术等构建在安全管理中心支持下的安全通信网络、安全计算环境、安全区域边界三重防御体系。

图 6-1 城市轨道交通工业互联网总体安全架构

（二）信息安全措施

一般城市轨道交通工业互联网系统建设不会采用公有云的建设模型，主要以私有云或者混合云为主。根据城市轨道交通业务特点以及其所面临的安全风险分析，按照基于网络安全等级保护的建设思路，参考中国城市轨道交通协会《智慧城轨信息技术架构及信息安全规范》及其他相关安全标准，遵循分区分域防护的原则，对城市轨道交通云平台的网络安全防护体系进行设计和规划，确保城市轨道交通云平台的网络安全防护达到相应的等级保护建设要求。

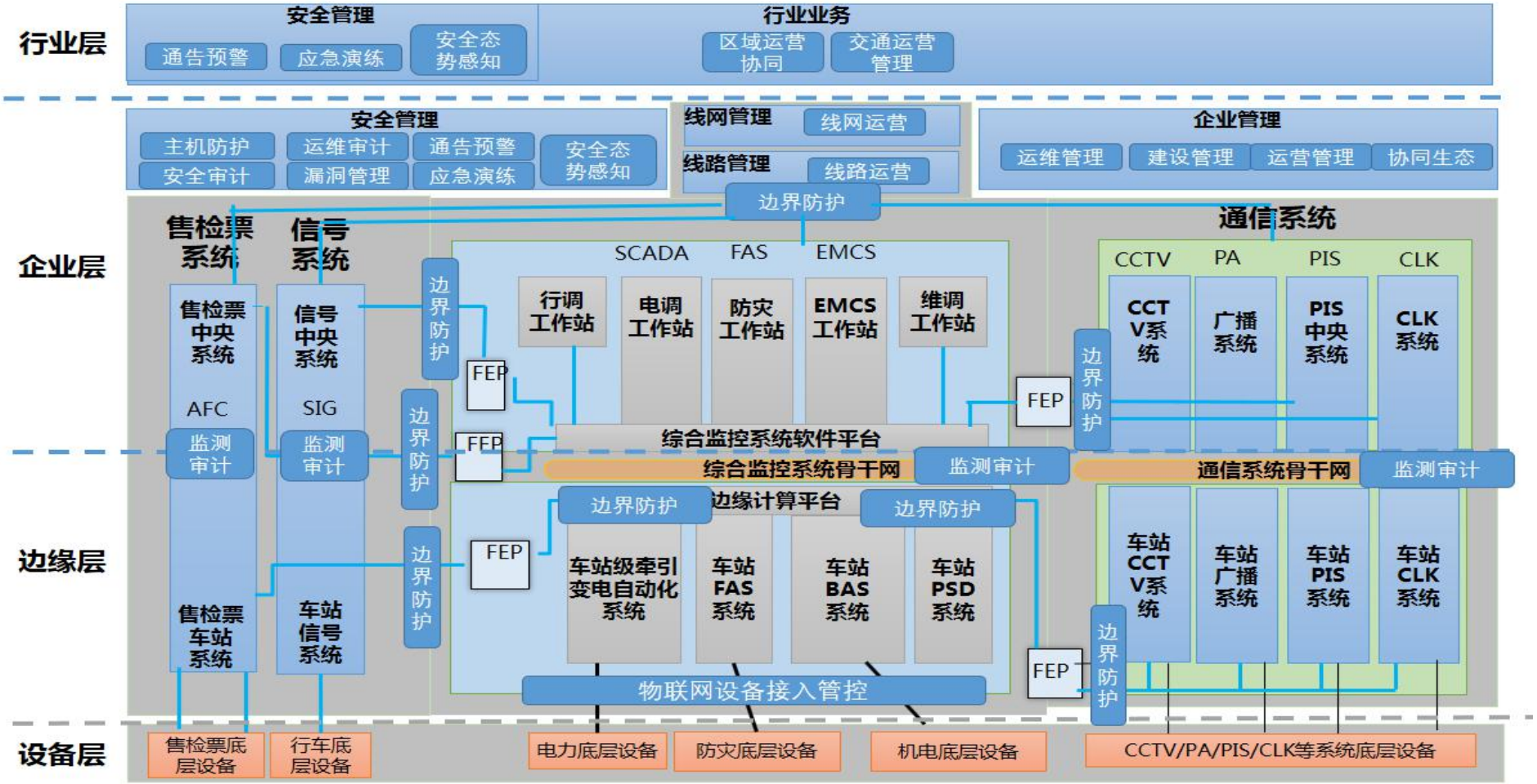

图 6-2 城市轨道交通工业互联网信息安全防护架构

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

1．设备层安全防护措施

设备层主要考虑车载设备安全及站段固定设备安全。

车载安全主要以列车车载设备的网络安全防护为主，包括车载设备及应用的访问控制、身份标识与认证、设备异常状态的监测、传输协议的深度解析、数据安全加密、设备及应用的准入控制和设备的安全加固等。如：安全漏洞的挖掘和发现以及设备固件及应用程序的安全防护。安全建设综合考虑安全保障的同时考虑安全建设的投入等相关因素，建议从以下几个方面进行车载设备的安全防护建设：

1）对车载控制系统的对外通信接口进行安全防护

确保并网接入到列车车载控制系统的数据通过有效安全认证和访问控制，保证列车控制系统的访问数据流安全接入和隔离属性，实现安全可靠通信传输和数据交换共享，及时监测预警网内网外攻击行为、建立车载业务系统的指纹库，基于指纹识别技术进行车载设备的准入控制。根据管理配置的地址范围，对范围内设备进行指纹识别，收集生产系统物联网终端设备指纹信息（IP、MAC 地址、操作系统、端口开放状态等），形成终端设备列表并进行准入名单向导式的安全策略推荐，确保企业生产网内相关生产设备的安全；能满足车载控制系统边界防护、访问控制、入侵防范、安全审计以及物联网扩展安全要求，如设备认证、身份鉴别等一体化安全防护需求。

2）对车载信号系统进行深度防护及防问控制

车载应用系统的访问控制重点对车载 ATC 系统进行纵深防护，可通过访问控制设备配置黑/白名单或访问控制列表实现对各类访问行为的检测和控制访问，主要实现设备本身的访问控制，同时以嵌

工业互联网产业联盟 Alliance of Industrial Internet

入式方式内置于车载设备中，通过配置安全策略，使设备本身具备对各类访问行为的识别和分析能力，从而阻止非授权的访问，确保设备访问的正常和有效。

3）对无线传输模块嵌入安全算法进行网络传输通道的安全加密

建议车载无线传输模块主要建立安全连接通道为主，通过对车载设备与互联网平台的信息传输双方进行身份认证和数据加密，从而实现数据的安全有效及可靠的传输。

站段固定设备主要包括业务系统各类传感器、摄像头、指令执行设备、数采设备等感知设备、各类工业现场主机以及用于维护的智能移动维护终端。站段固定设备的安全防护措施主要是确保终端设备运行安全和控制安全。

4）设备运行的物理电磁防护

由于各类感知设备多部署于工况较为严苛的环境中。这些严苛的环境条件包括如极端的温湿度、EMC、 EMI、振动等。所以，其物理安全就显得尤为重要了。这类设备在设计时就需要充分考虑其未来的工作环境适应性，应做好充分的物理防护、电磁防护设计等。也正是因为这类设备工作环境的特殊性，是否具备远程监控能力和诊断能力直接影响到投运后的运维便捷性和安全管控。

5）业务系统主机的防护

城市轨道交通线路运营的业务系统主机重要性和脆弱性共存的“矛盾”属性，将作为网络安全维护人员的重点关注对象。常见的主机安全防护技术包括了防病毒技术、应用程序白名单技术、主机加固技术、补丁分发、外设管控、基线核查、主机入侵检测、终端准入控制等等，城市轨道交通业务系统主机推荐使用的防护技术为防病毒技术、应用程序白名单技术和主机加固技术这三种。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

另外目前普遍采用的智能移动维护终端除了具备工业现场主机的部分特点外，还具有无线接入的特点。所以，对于此类终端还需要注意安全接入的控制，系统还需要具备安全认证，加密传输的能力。

2．边缘层安全防护措施

边缘层安全防护系统致力于面向接入城市轨道交通工业互联网平台的系统实施分层分域安全策略，实现边缘安全防护。

1）边界防护

在工业互联网系统和其他系统互联处部署工控防火墙，为了保障工业互联网系统业务的可靠性，工业防火墙进行双机部署设计，通过访问控制策略能够对工控协议进行细粒度的控制，实现边界的逻辑隔离。

2）物联网设备接入管控

通过部署物联网安全防护系统对站段物联网设备进行身份鉴别与访问控制，确保城市轨道交通生产运行设备、单点智能装备器件与产品，以及成套智能终端等智能设备的安全。通过采取控制协议安全机制、指令安全审计、故障保护等安全策略，确保控制协议安全。通过采取通信和传输保护、接入认证授权等安全策略，确保站段生产内网安全。

3）安全监测与审计

在站段部署工业安全监测与审计系统，对站段网络告警数据进行收集、记录和审计，对工控协议（OPC、MODBUS 等常用工业协议）进行解析、异常流量分析和告警数据推送，从而实现对生产控制系统中存在的异常流量、误操作、违规操作进行实时告警、记录和审

工业互联网产业联盟 Alliance of Industrial Internet

计，为事后追溯和定位提供有力的证据，并帮助维护人员快速定位事故点，缩短系统恢复时间。

4) 主机防护

在站段的操作员站、接口机和工作站上安装工业防护系统，通过对工业主机进程白名单管理，对流量和移动存储介质的使用进行管理，有效抵御未知病毒、木马、恶意程序、非法入侵等针对终端的攻击，实现安全防护。

3. 企业层安全防护措施

城市轨道交通企业层安全防护措施关键在于确保工业互联网平台的网络安全、应用安全和数据安全。在控制中心部署入侵检测系统、漏洞扫描系统、工业主机防护系统、网络审计系统、运维审计系统、工业安全监测与态势感知系统等进行线路、线网网络安全建设。首先，保障城轨工业互联网平台网络安全，通过采取通信和传输保护、边界隔离（防火墙）、网络攻击防护等安全策略，确保城轨工业互联网平台内外网安全。其次，保障工业互联网平台应用安全，通过采取用户授权和管理、虚拟化安全、代码安全等安全策略，对于采用云化部署的工业互联网平台，同时要建设云平台的安全保障体系，确保平台安全、本地应用安全、云化应用安全等。最后，保障数据安全，通过采取数据加密、数据备份恢复等安全策略，确保包括数据收集安全、数据传输安全、数据存储安全、数据处理安全、数据销毁安全、数据备份恢复安全在内的数据全生命周期各环节的安全。

对于线网系统采取与线路系统一致的网络安全措施，通过线网的安全监测与管理系统对城市轨道交通所有线路进行网络安全监控，

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

以安全风险可知、可视、可控作为安全防护体系建设的主要目标，强化城市轨道交通综合安全管理能力。

对城市轨道交通业务网络出口及城市轨道交通运营线路内安全风险进行监测，在网络出口部署网络流量探监测，实现对安全信息采集、资产识别管理、安全审计、安全告警、安全处置跟踪以及数据治理等功能。通过网络安全设备的统一配置、性能监控、策略配置分发等设备监控和管理成为将耗费大量的人力物力。不同型号厂家的列车策略配置命令可能存在不统一情况，从而造成潜在的安全漏洞。集中管理系统应具备统一的安全策略定制。支持部署在列车上的安全设备的集中管理，应能覆盖以下功能包括:

1) 设备状态监控

对可用性进行监控， 监控的指标有接口流速和状态、CPU、内存、硬盘等，实际掌握设备健康状态。集中管理平台会保存监控数据，以便于用户查询历史数据。

2) 设备日志收集:

支持安全设备的日志收集与分析。

3) 告警

集中管理平台可以提取出用户关心的设备状态监控信息。针对车载设备的入侵行为进行告警和动作提示。

4) 策略管理

集中管理平台可以免客户端证书、免用户名密码登录设备。可实现批量升级、批量备份与恢复、批量策略下发等功能。

5) 数据维护

可以定时导出集中管理平台中存储的数据，支持数据恢复。

6) 设备管理

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

支持批量设备管理。

7) 信息展示

实时呈现整体、区域、线路、单个设备的运行状况及统计信息，并提供可视化图形展示。

同时建立面向系统资源和业务应用的整体安全管理系统，对各种 IT 资源（包括应用和系统资源）进行集中管理，为各种 IT 资源提供集中安全服务：账号（Account）管理、认证（Authentication）管理、授权(Authorization)管理、安全审计(Audit)管理、安全接入（Access）管理和终端安全管理。有效提升业务系统安全性和管理能力，提高城市轨道交通网络运营管理工作效率，规范维护人员的操作，确保业务系统的稳定运行。

建设企业安全综合管理平台实现运营公司实时感知各级生产运营系统、设备、平台的安全状况、风险隐患及网络安全运行情况等信息，基于网络安全的建设成果，结合主动监测、被动诱捕、威胁情报获取等在线监测手段实现对工业互联网网络安全监测信息的分类汇聚、精准研判，着力提升工业互联网安全保障能力、安全事件处置能力，同时地铁运营系统提供监测数据和应用接口，为集团网络安全统一运营和指挥提供能力支撑。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

4. 行业侧安全防护措施

在行业侧主要实现网络安全预警通报，基于对企业侧网络安全能力的建设，能够对城市地铁运营线路检测到的网络攻击行为、新产生的网络安全威胁情报、网络安全整体分析报告和各部门单位的应急处置状况进行统一发布，提高统一调度和指挥能力。能够对获取安全告警或安全事件的详细信息进行分析与查看，并针对此类信

息进行调查分析，从而确认安全事件的准确性和影响范围。对已经确认的攻击，则通过相应的预警通报机制完成预警通报工作。

预警通报信息可以同步到智慧城市应急指挥调度系统，为决策指挥人员宏观决策提供数据支撑。系统根据通报需要，可采用网站、邮件、短信等多种方式，将网络安全态势感知系统产生的安全事件及时通报涉事的单位，并协调不同单位协同联动，完成对网络安全隐患及网络安全事件的应急处置。同时，还可利用该系统将上级下发的安全通知及公开的安全预警信息，及时同步至相关单位，提高各级单位的安全防范意识。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

七、展望

轨道交通作为城市公共交通的重要组成部分，多年来的快速发展为城市居民的出行提供了极大便利。根据中国城市轨道交通协会发布的《城市轨道交通 2020 年度统计和分析报告》，截至 2020 年底，中国大陆地区共有 45 个城市开通城市轨道交通运营线路 244 条，运营线路总长度 7969.7 公里。

随着城轨建设和运营规模的不断扩大，地铁公司的运营压力越来越大，运营成本越来越高。通过系统运用工业互联网技术，以既有自动化系统为基础，适当增设各类软硬件设备，对各类数据进行梳理和综合利用，实现数据支撑与技术支撑；建立具备场景化、智能化、人性化的智慧城市轨道交通信息管控平台，提供更多的应用模式和运营模式，实现更加全面、智能的管家式一体化应用功能，提高线网级、线路级和车站级运营、客服和设备维保及人员管理的效率，从而提升运营的服务水平、安全性和高效性，最终实现减员、增效、降本。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

轨道交通特设组通过工业互联网产业联盟已经在各行业的经验积累，建立城市轨道交通行业的相关的框架、标准、白皮书，势必助力我国城市轨道交通行业的实现更高质量发展。城市轨道交通作为设备高度密集型的行业，拥有着丰富的工业数据。将其接入到工业互联网产业联盟领导的更大的互联网中，也定能为我国整个工业产业的发展提供本产业的贡献。

图 7-1 城市轨道交通工业互联网生态圈

我们相信，在轨道交通工业互联网的统一架构图下，面向轨道交通企业各级运营工作流程和实际功能需求，通过基于全流程的大数据开展优化闭环，将城轨企业、乘客、员工、资源供应商、开发服务商、政府主管部门等相关方共同凝聚在城市轨道交通生态圈中，以一个立体线网、一个平台运营、一个协同生态为目标，必将创造出城市轨道交通更加灿烂美好的未来！

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet