

洛阳智慧城轨的体系构建与全生命周期建设探讨

贾连志¹ 林道中²

(1. 洛阳市轨道交通集团有限责任公司, 471023, 洛阳;

2. 中铁建电气化局集团第一工程有限公司, 471013, 洛阳//第一作者, 高级工程师)

摘要 总结了各地智慧城轨的建设经验,梳理了洛阳智慧城轨体系,从洛阳智慧城轨的全生命周期建设出发,探讨了智慧建造、智慧资产管理及智能运维等内容。洛阳智慧城轨建设融合了数字孪生、区块链及云计算等技术,可有效提高洛阳城轨的运行效率和服务质量。

关键词 智慧城轨建设;全生命周期;数字孪生;智能运维
中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.08.016

Discussion on System Construction and Full Life Cycle Construction of Luoyang Smart Urban Rail

JIA Lianzhi, LIN Daozhong

Abstract Smart urban rail construction experience of various cities is summarized. The Luoyang smart urban rail system is sorted. Starting from Luoyang smart urban rail full life cycle construction, smart construction, smart asset management and smart operation and maintenance are discussed. Luoyang smart urban rail construction integrates technologies including digital twin, blockchain, and cloud computing, evidently elevating operation efficiency and service quality of Luoyang urban rail transit.

Key words smart urban rail construction; full life cycle; digital twin; intelligent operation and maintenance

First-author's address Luoyang Rail Transit Group Co., Ltd., 471023, Luoyang, China

近年来,在城市轨道交通(以下简为“城轨”)产业内,构建“智慧城轨”已成为一个热门话题。《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》从8个专业出发,给出了在统一标准体系下共同建设城轨云和大数据平台的指导建议。北京、上海及广州等已具有完善城轨网络的城市,多通过对原有设施设备进行改造升级或加入新元素等方式来建设“智慧城轨”。而洛阳的城轨建设刚刚起步,尚未成网,完全可以利用后起优势,在初期建设阶段就参考发达城市,

建设“智慧城轨”线网。

洛阳具有优越的地理位置、深厚的历史底蕴、丰富的旅游资源,一直致力于打造文化旅游城市的名片,吸引了大量游客。由文献[1]的统计结果,自2013年至2019年,洛阳市旅游人数从0.86亿人次增长到1.42亿人次,2019年洛阳市旅游总收入达到1321.02亿元。根据运营方数据,洛阳地铁1号线开通前期,受“牡丹花会”的带动,日客运量达24.64万人次。此外,第七次人口普查结果显示,洛阳市城镇人口比重上升了20.88%。就此可预见,居民出行需求也将随之增长。快速增长的游客需求和居民出行需要,都凸显了洛阳轨道交通较强的发展潜力。

其他城市发展已经表明,现有的城轨系统已经很难适应快速增长的客流、服务品质、服务响应时效性的需求,洛阳城轨亟待探索最大限度优化利用资源,发挥先进技术设施效能,打造面向乘客、面向服务的智慧城轨体系。本文探讨了洛阳智慧城轨体系的构建,从智慧城轨的全生命周期建设出发,探讨了设计建设期的智慧建造、建设运营期的资产管理,以及运营维护期的智能维护。

1 洛阳智慧城轨体系的构建

1.1 其他城市经验

城轨建设经验丰富的城市已尝试构建智慧城轨体系。北京智慧城轨的体系主要从5个方面落实:智慧乘客服务、智能车辆及设备运行、智能车辆及设备维护、云平台构建、行业标准规范体系建设^[2]。上海用“SMART”来诠释智慧城轨的特征,即状态感知(state perception)、数据管控(data management)、自动诊断(automatic analysis)、业务闭环(route loop)、持续进化(tenacious evolution),概括了智慧城轨从对象数字化到执行智能化、到最终实现决策与联动智慧化的发展过程^[3]。南京地铁示

范工程以都市圈城轨云、大数据平台及 5G(第 5 代移动通信技术)公网传输网络为基础,围绕乘客服务、运营管理和设备维护三大业务场景,重点突破跨市域乘客服务、多网融合智能调度、多专业综合运维、普适性列车简统及全生命周期管理等关键技术^[4]。

1.2 洛阳智慧城轨体系的架构

综合考虑洛阳市轨道交通集团有限责任公司架构(见图 1)、线路规划及运营情况等,洛阳智慧城轨体系以洛阳市轨道交通集团综合交通枢纽发展有限责任公司为总体出发点,同洛阳市轨道交通集团有限责任公司运营分公司协调,梳理建设与运营的关系。以线网运行和枢纽节点为重点构建线网运营调度指挥中心,充分考虑运营需要,对各线路的设计方案、设施设备及运营组织等进行统筹规划,在运维过程中建立人员、机器、环境、管理四要素的管理体系,实现城轨的安全、绿色发展。

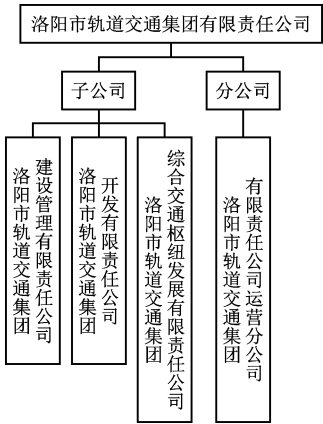


图 1 洛阳市轨道交通集团有限责任公司架构图

Fig. 1 Diagram of Luoyang Rail Transit Group Co., Ltd. structure

如图 2 所示,洛阳智慧城轨体系主要划分为数据采集、数据存储与计算、数据应用等 3 个层面。

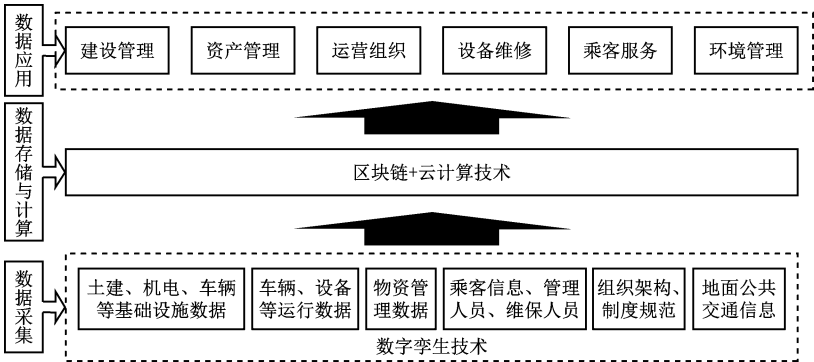


图 2 洛阳智慧城轨体系的架构

Fig. 2 Architecture of Luoyang smart urban rail

1.2.1 数据采集

数据采集主要包括建设期的基础数据和运行期的状态数据采集。依托于建设期的动态数据采集仪、各类传感器及无线模块等智能化设备,利用数字孪生技术可以较为容易地获得土建、车辆等基础设施数据及车辆、设备运行数据,通过 IC 卡、手机支付端、进站闸机等采集乘客信息,此外,还可导入已有的物资管理数据、工作人员信息、公司组织架构、制度规范等,进而构建全方位数据采集系统。

数字孪生(digital twin)技术以数字化方式创建物理实体的虚拟模型,借助数据模拟物理实体在现实环境中的行为,通过虚实交互反馈、数据融合分析、决策迭代优化等手段,为物理实体增加或扩展新的能力^[5]。该技术可解决 BIM(建筑信息模型)

+ GIS(地理信息系统)方法中静态建模、数据孤立、细节不到位等问题,充分利用模型、数据、智能并集成多学科的技术,提供更加实时、高效、智能的服务。

智慧城轨为智慧城市的一部分。在交通管理部门的协调下,智慧城轨的数据可与地面公共交通数据实现共享互通,便于乘客正常换乘衔接或应急接驳等服务。

1.2.2 数据存储与计算

数据的存储与计算采用区块链技术来实现去中心化和加密处理。在区块链中,数字孪生的数据唯一且可追溯,其既能实时更新设备状态及工作人员动向,实现数据的共享性、真实性和即时性,也能保证闭环管控,避免遗漏。

数据存储计算采取深度学习和人工智能技术,

结合专家知识库,对行业累积数据与本土数据进行学习训练。云计算提高了数据计算效率。5G 保证了通信数据的准确性。

1.2.3 数据应用

数据应用包含建设管理、资产管理、运营组织、设备维修、乘客服务及环境管理等。数据采集后通过云计算,可基本实现智慧城轨相关数据的整理。数据应用可实现多种功能:可用于模拟演示建设施工、车辆运行及大客流状态等,以发掘存在的风险隐患,便于及时管控;可进行智慧资产管理,增强资产保值增值能力;可基于多元客流数据、列车载运能力、列车运行状态及城市交通出行特征,合理地安排调度,优化子系统参数配置,进而提高运行效率;面对突发事件,可根据采集到的数据来判断事件的严重程度,进一步实现分级管控措施;可通过调整智能化设备、及时调配人员来处置突发事件,减少信息传送和分析决策的时间,减少突发事件对运营的影响;通过对全系统设备的管控,可为乘客提供更加丰富准确的信息,增强与乘客的互动,提升服务质量;基于能耗和噪声振动等状态监测数据,可在车型改造、车辆运行、车站管理等方面提出优化策略,从而降低能源消耗和污染排放,降噪减振,给乘客良好的乘车体验,保护城市风貌。

2 洛阳智慧城轨的全生命周期建设

城轨的全生命周期一般包含概念、系统定义与应用条件、风险分析与评估、系统要求、系统架构和要求分配、设计和应用、制造、安装、系统确认、系统验收、操作、维护、性能监测、退役等阶段。

在传统地铁项目中,前期设计建设阶段和后期运营维护阶段多有所割裂,且设计建设阶段的投入尤受重视。然而,根据深圳市地铁集团有限公司2017年的分析,城市轨道交通30年运营全费用约为建设费用的3.3~3.7倍^[6]。可见,要打造智慧城轨,其全生命周期的建设都应引起重视。简单来说,智慧城轨的全生命周期建设主要包括设计建设阶段的智慧建造、建设运营阶段的智慧资产管理及运营维护阶段的智能运维。

2.1 智慧建造

智慧建造是将新一代信息通信技术与先进设计施工技术深度融合,并贯穿工程活动各环节,具有自感知、自学习、自决策、自适应等功能新型建造方式。当前,智慧建造较多采用BIM+GIS和数

字孪生等技术。

智慧建造理念立足于全生命周期,要求运营主管单位在工程前期就要考虑后期的运营规划。在工程可行性研究阶段,由运营主管单位牵头,在设计单位开展设计工作的同时,编制以实现智慧城轨目标为主线、详细且规范的运营规划系列文件。这些文件的内容可包括(并不限于)运营规划与目标、运营服务大纲、系统功能要求、运营模式、维修策略及运营管理等^[7]。将建设期和运维期串联起来之后,洛阳市轨道交通集团有限责任公司更能科学高效地统筹土建基础工程的建设、机车车辆的制造、设备的采购安装及站点的衔接分配。

洛阳地铁建设主要存在地势不平、浅层文物较多等问题,需做好文物保护,并兼顾经济性和可持续发展性。对此,洛阳智慧城轨建设的智慧建造应包括:在规划期和建设期,应利用先进的探测设备,不断补充完善建设环境资料,为土建工程展开提供详细的数据支撑;对工程质量进行多元数据记录,采用实时预警的质量整改方案;对机电设备及机车车辆进行数字建模,采用物联网技术并利用5G进行数据交互,建立大数据平台。

通过智慧建设,洛阳智慧城轨可从这些数据中挖掘建设阶段存在的风险隐患,通过自主学习的方式寻求最优解决方案,以指导相关工作的展开,还可将这些数据作为竣工验收的有力参考。在建设过程中通过数字孪生积累的大量数据将对指导运营工作有重要意义:若之后出现工程问题,则可更加高效地追责整改,降低沟通成本,地铁运营质量也得到有效提高。

此外,洛阳地铁车辆的制造方可在智慧建设中学习全自动运行列车的范例,对车载设备进行智能化升级,在设计建造阶段采用先进的数据采集技术,并为列车保留升级改造空间,为日后线网的互联互通打下坚实基础。

2.2 智慧资产管理

根据《洛阳市城市轨道交通第一期建设规划》,洛阳地铁1号线和2号线一期工程,总长41.3 km,总投资达310亿元。对于如此重型的资产行业,洛阳智慧城轨建设应积极挖掘资产潜力,提升资产管理水平,增强资产保值增值能力。

由我国城轨建设经验可知:地铁资产具有资产种类多、区域分布广、管理周期长及资金总量大的特点;城轨资产管理不仅要面对资产全生命周期管

理过程复杂、资产价值管理和实物管理难以协调、资产管理程序相对严格等难题,还存在资产信息不完整、初始台账不规范、资产与实物没有实现关联,以及资产变更更新不及时等问题。

洛阳市轨道交通集团有限责任公司可基于《国际资产管理标准》,从资产全寿命周期管理和安全效能成本管理的理念出发,结合自身实际资产规模,构建智慧资产管理系统。

在建设阶段,依托资产台账,利用数字孪生技术,将车站、线路、网络,以及各专业的基础设施设备等实物资产,转为虚拟化、数字化表达,并对各类资产的全寿命周期信息进行采集、展示及统计。这就需要明确设备资产管理范围、制定设备模型建模标准和设备编码体系,并进行相关调试验证,以确保设备资产信息可从智慧资产管理系统中导出^[8]。

除了在建设阶段可将资产数字化,在后续的运营阶段也可实时获取与修正数字化资产。借助自动监测、数据智能采集、物联网和云平台技术,智慧

资产管理系统汇总收集、分类清洗和转换分析不同种类资产的属性信息和状态位置,并对资产进行数字孪生,可实时精确获取各类资产的所有信息。通过工业自动化和信息化融合技术,将云平台和边缘智能前后端结合,资产管理系统可实现对资产管理现状的自主感知和分析诊断,进而实现各种业务场景的展现、模式的识别,甚至实现方案执行的软件化。最终建立集精准感知、深度分析、智慧决策、高效实施和自主学习于一体的智慧资产管理系统,实现各类资产管理业务的互联互通^[9]。

2.3 智能运维

目前,我国城市轨道交通运营规模快速发展,服务品质要求日益提升,服务时效要求愈加严格。

而现有的运维服务模式无法满足相关需求。洛阳智慧城轨建设需要构建集运营、检修、维护于一体的智慧运维云平台。洛阳市智慧城轨智能运维云平台框架图如图 3 所示。

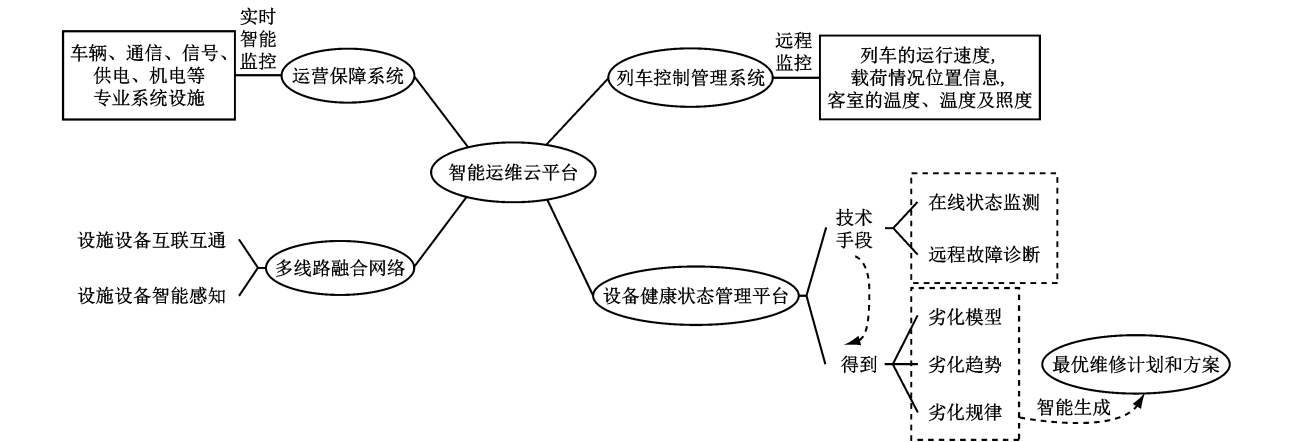


图 3 智能运维云平台框架图

Fig. 3 Framework diagram of intelligent operation and maintenance cloud platform

智慧运维云平台的建设内容包括:建立与智能调度相协调的运营保障系统,实现对车辆、通信、信号、供电、机电等专业系统设施的实时智能监控;建设列车控制管理系统,实现对列车运行速度,载荷情况,位置信息,以及客室温度、湿度及照度等状态的远程监控^[10];构建互联互通的多线路融合网络,利用无线射频识别技术、蓝牙、局域网等将全网络设施设备互相联通;通过视频图像采集设备和各类传感器智能感知设施设备状态,借助 5G 传输实时统计设备故障率,并作系统性分析^[11];将设备设施的全寿命周期数据整理上传至云平台,为日后的智

能检修维护奠定数据基础。

此外,需建立设备健康状态管理平台,利用在线状态监测和远程故障诊断技术,建立各类设备的劣化模型,进行劣化趋势分析,摸索设备劣化规律,并智能生成最优的维修计划和方案。使维修工作从传统的“故障修”、“计划修”转变为“预测修”和“状态修”。重点关注影响运营安全和效率的各系统关键设施设备,提高其实时状态监测与故障诊断的可靠性,根据故障发生频率和影响严重程度建立风险矩阵,逐步完善各关键设备或子系统维修策略,从而解决规模化运营带来的大量关键设施设备

检修维护工作^[12]。

最终建设成集状态监测与评估、特征提取与分析、故障预测与诊断、最优维修模式与策略的智能运维云平台。该平台用于集成各系统设施设备数据、列车运行数据、运营调度数据和故障检修数据等,并对这些数据进行数据清洗、分类整理、转换融合、深度分析,从而打破各线路、各系统的数据壁垒,实现了从数据层到分析层到应用层再到展示层的闭环跟踪环节。

3 结语

各地的智慧城轨建设之路仍在探索之中。本文基于各地相关的经验,梳理了洛阳智慧城轨体系的构建内容,并探讨了洛阳智慧城轨的全生命周期建设要点。洛阳智慧城轨建设应遵循综合、绿色、安全、人性化、自主化、智慧化的策略,在宏观上把握洛阳智慧城轨发展方向,在微观上因地制宜、协调发展,加强行业内交流,学习相关经验。

参考文献

- [1] 边青全,梁留科,苏小燕,等.基于黄金周大数据分析的洛阳旅游业高质量研究与发展[J].洛阳师范学院学报,2020(12):23.
BIAN Qingquan, LIANG Liuke, SU Xiaoyan, et al. A study of high-quality development of tourism in Luoyang based on golden week big data[J]. Journal of Luoyang Normal University, 2020(12):23.
- [2] 梁樑,宋智翔.新基建背景下北京智慧轨道交通建设路径分析[J].城市轨道交通,2020(8):18.
LIANG Liang, SONG Zhixiang. Analysis of Beijing smart rail transit construction path in the background of new infrastructure construction[J]. China Metros, 2020(8):18.
- [3] 刘纯洁.上海智慧地铁的研究与实践[J].城市轨道交通研究,2019(6):1.
LIU Chunjie. Research and application of Shanghai smart metro[J]. Urban Mass Transit, 2019(6):1.
- [4] 余才高.智慧赋能都市圈 市域快轨绘新篇 南京地铁创新推进南京都市圈智慧市域快轨示范工程建设[J].城市轨道交通,2022(1):36.
SHE Caigao. Smart empowerment of metropolitan area; city express track painting new chapter; Nanjing Metro innovation pro-

moties Nanjing metropolitan area smart city express demonstration project[J]. China Metros, 2022(1):36.

- [5] 陶飞,刘蔚然,刘检华,等.数字孪生及其应用探索[J].计算机集成制造系统,2018(1):1.
TAO Fei, LIU Weiran, LIU Jianhua, et al. Digital twin and its potential application exploration[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018(1):1.
- [6] 刘智丽,于向阳,鲁放.城市轨道交通项目 PPP 模式应用研究及建议[J].现代城市轨道交通,2020(5):1.
LIU Zhili, YU Xiangyang, LU Fang. Research and suggestion on PPP mode application of urban rail transit projects[J]. Modern Urban Rail Transit, 2020(5):1.
- [7] 杜心言.智慧城轨系统构建和工程实施若干热点问题研究[J].现代城市轨道交通,2020(8):12.
DU Xinyan. Research on some hot issues of smart urban rail transit system construction and project implementation[J]. Modern Urban Rail Transit, 2020(8):12.
- [8] 施平望.基于 BIM 的城市轨道交通设备资产全过程管理应用研究[J].建筑科技,2022(1):70.
SHI Pingwang. Urban metro equipment asset whole process management study based on BIM[J]. Building Technology, 2022(1):70.
- [9] 赵刚.基于“智慧地铁”的城市轨道交通资产管理系统研究[J].城市轨道交通研究,2022(1):166.
ZHAO Gang. Research on urban rail transit asset management system based on "smart metro"[J]. Urban Mass Transit, 2022(1):166.
- [10] 刘祥平,阳连兴.深圳地铁车辆智慧运维建设与实践[J].现代城市轨道交通,2020(8):120.
LIU Xiangping, YANG Lianxing. Construction and practice of intelligent operation and maintenance of Shenzhen metro vehicles[J]. Modern Urban Rail Transit, 2020(8):120.
- [11] 胡昌桂,杨承东,孔繁楚,等.物联网在智慧地铁中的应用[J].中国新通信,2021(16):103.
HU Changgui, YANG Chengdong, KONG Fanchu, et al. Application of internet of things in smart metro[J]. China New Telecommunications, 2021(16):103.
- [12] 刘述芳.城市轨道交通关键设备智能运维系统初步建构[J].设备管理与维修,2018(增刊1):22.
LIU Shufang. Preliminary construction of intelligent operation and maintenance system for key equipment of urban rail transit[J]. Plant Maintenance Engineering, 2018(S1):22.

(收稿日期:2022-03-20)