

基于人工智能和大数据的城市轨道交通智能化 运维生态系统研究^{*}

贺莉娜¹ 郭泽阔²

(1. 北京市轨道交通运营管理有限公司, 100068, 北京;

2. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 100037, 北京//第一作者, 高级工程师)

摘 要 智能化运维是发展智慧城市轨道交通的必要组成部分,也是城市轨道交通可持续发展的必然选择。大数据、物联网、AI(人工智能)、5G(第5代移动通信技术)等,为发展城市轨道交通智能化运维提供了技术基础。提出构建一种城市轨道交通智能化运维生态系统,从四个方面来进行探讨:首先,分析了国内外城市轨道交通智能化运维的建设、研究现状及存在的问题;其次,提出了建设智能化运维生态系统的顶层目标及其意义;第三,介绍了智能化运维生态系统的实现方案;最后,展望了搭建智能化运维生态系统对智能化运维的战略意义和作用。

关键词 城市轨道交通;智能化运维生态系统;人工智能;大数据

中图分类号 U231⁺.92

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.09.016

Research on Intelligent Operation and Maintenance Ecosystem of Urban Rail Transit Based on AI Intelligence and Big Data

HE Li'na, GUO Zekuo

Abstract Intelligent operation and maintenance is an essential part of the development of intelligent urban rail transit, and an inevitable choice for the sustainable development of urban rail transit. The technologies of big data, Internet of Things, AI (artificial intelligence) and 5G (5th generation mobile communication) provides technical basis for the development of intelligent operation and maintenance of urban rail transit. The construction of an ecosystem of urban rail transit intelligent operation and maintenance is proposed, and is discussed from four aspects. First, the construction and research status and the existing problems of intelligent operation and maintenance of urban rail transit at home and abroad are analyzed. Then, the top-level goal and significance of building the ecosystem are put forward. Next, the implementation

scheme of the ecosystem is introduced. Finally, the strategic significance and role of building the ecosystem towards intelligent operation and maintenance are prospected.

Key words urban rail transit; intelligent operation and maintenance ecosystem; AI (artificial intelligence); big data

First-author's address Beijing Metro Operation Administration Co., Ltd., 100068, Beijing, China

0 引言

2020年3月,中国城市轨道交通协会发布了《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》^[1](以下简称《纲要》)。《纲要》中描绘了中国智慧城市轨道交通的建设蓝图,指出了智能化运维是智慧城市轨道交通的重要组成部分,并提出了智能化运维在2025年和2035年的发展目标。城市轨道交通智能化运维毫无疑问是当前国内城市轨道交通的行业热点,目前国内各地城市轨道交通公司以及各轨道交通设备供货商都在开展智能化运维的相关研究。

文献[2]以城市轨道交通车辆智能化运维为例,描绘了智能化运维应建成何样,并具备哪些功能;文献[3]以城市轨道交通车辆智能化运维为例,探讨了智能化运维的建设目标和实现步骤,并提出规范化运维、信息化运维、智能化运维等“三步走”的概念。

本文首先分析了国内外城市轨道交通智能化运维的应用现状及其存在的问题,然后提出了建设城市轨道交通智能化运维生态系统的顶层目标及意义;其次介绍了城市轨道交通智能化运维生态系统的实现方案;最后展望了城市轨道交通智能化运维生态系统对实现《纲要》中智能化运维2025年和

^{*} 北京市科技委员会课题(D171100008117001)

2035 年的发展目标的战略意义和作用。

1 国内外轨道交通智能化运维的应用现状及存在问题

1.1 国外轨道交通智能化运维的应用现状

2010 年后,瑞士进行铁路多维度数据采集,利用大数据、数据驱动进行运营维护决策^[4]。2014 年,日本提出轨道交通“智能维护计划”,即利用物联网、大数据技术实现运维智能化,提高运维效率。2016 年,美国一级铁路进行大规模数据预测和故障分析,以实现报警预测^[5]。目前,全世界范围内的智能化运维尚处于探索和研究状态,轨道交通全系统智能化运维还没有实际应用;运用大数据、AI(人工智能)、状态监测、机器学习、图像处理等技术开展的智能化运维研究,实现了由计划修到状态修、设备设施的故障预警、故障报警、全生命周期预测以及运维决策支持等功能^[6]。

1.2 国内铁路智能化运维现状

目前我国对铁路智能化运维系统已开展了一定研究,并通过采用大数据、云计算和 AI 等技术,通过对数据的全面采集、设备状态的全面感知进行智能分析处理,以实现人员、设备和环境的协同,从而引领铁路运维工作模式的深度变革。由此,南宁铁路局实现通信、信号、车载各专业的融合;怀邵衡铁路搭建智能大数据运维平台,实现了通信、信号子系统数据的归集整理,各系统的互联互通、数据集成及标准化,实现了设备的健康管理、综合监测和生产大数据分析等功能^[7]。我国铁路智能化运维系统构建了多专业、多系统的数据采集,并进行了智能化运维的试点应用;但在数据融合方面仍存在一定困难,需对数据进行深度挖掘,智能分析和辅助决策等技术尚需不断积累和持续完善。

1.3 国内城市轨道交通智能化运维现状

国内各城市轨道交通的智能化运维还处于探讨研究阶段。北京、上海的智能化运维研究起步较早,正在构建以车辆智能化运维为核心的运维平台,但尚未形成统一技术。深圳自上而下形成顶层架构,但限于运营的想法,建设尚未落地。在标准上,运维系统结构庞大、接口繁多,建设成本高,但发展前景广阔大有可为。

1.4 智能化运维建设急需解决的问题

根据广泛调研与总结,目前轨道交通智能化运维亟待解决的问题主要包含^[8]:

1) 系统封闭:智能化运维是轨道交通的车辆、机电、通信、信号、供电、轨道各专业深度融合的新型智能化运维系统。目前,不同专业的智能化运维系统各自为战、独立运行,且系统分散、接口繁多。然而,全专业的智能化运维系统投资巨大,企业难以承担。

2) 数据缺乏筛选与创造价值:设备设施数据采集监测的数据量大且未经筛选与过滤,难以形成有价值的信息,致运维系统效率低下;同时,对专业化极强的设备进行数据的有效分析和挖掘也遇到瓶颈。

3) 运维模式缺乏智能化:运维模式缺乏从运维数据到知识的提炼、缺乏设备的个性化和智能化运维策略,缺乏运维过程中的 AI 辅助。

4) 设备模型未实现可视化:城市轨道交通系统的设备设施多,各专业设备运维模型抽象,还没有实现故障的精准定位,且不形象、不直观。

5) 数据孤岛:各专业进行了设备设施数据的采集监测,但设备之间数据格式不统一、不规范,数据难以深度融合,只能形成数据孤岛。

6) 投资建设不经济、不可持续:智能化运维系统建设一次成型后,难以扩展,但随着检测数据的积累,运维服务却需不断升级,以实现全专业全系统升级。

基于此,本文提出了如下构建城市轨道交通智能化运维生态系统:搭建开放、共享的智能化运维系统架构,构建一个运维中心,实现多专业数据融合,建立可视化模型,形成产业的系统联动。

2 城市轨道交通智能化运维生态系统顶层设计及特点

2.1 “四化”“三字”“两全”

根据调研与研究,城市轨道交通智能化运维的核心可概况为“四化”“三字”“两全”。“四化”是目的,即实现全系统运维智能化、检修定制化、管理可视化、物料精细化。“三字”是特点,总结为“简”,即实现运维管理化繁为简;“智”,即应用 AI;“深”,即构建全专业策略知识库。“两全”是范围,系指“全方位”和“全过程”,即全方位涵盖调度、检修、运维、现场和各个专业,全过程包括设备设计、制造、调试、运行、检修、改扩建和退役的全生命周期,以实现空间和时间两个维度的智能化运维。

2.2 功能机到智能机的突破

城市轨道交通智能化运维最终需突破专业壁垒,以实现功能机到智能机的突破。城市轨道交通智能化运维生态系统,最终应提供一种以运维过程为核心,按正向设计思路的建设方案。其不再是车辆、机电、通信、信号、供电、轨道各专业单兵作战、独立运行的割裂模式,而将形成多专业深度融合的运维系统,以减少平台的重复搭建,为专业设备供应商提供平台,实现各自领域的智能化运维。

2.3 系统顶层设计目标

智能化运维顶层设计的目标不是实现某个设备或某个专业的单个智能化运维,而是将全专业深度融合的智能化运维系统。其将达到《智能化运维等级白皮书》^[9]中的 GoM4(智能化维修等级 4,如图 1 所示),以实现状态预警、维修调度、故障诊断、3D(三维空间)展示、人/机/物/料联动、动态优化定检周期等的功能,最终实现生态链搭建。



图 1 智能化维修等级
Fig. 1 Grade of intelligent maintenance

所谓智能化运维生态链(见图 2),是需要终端用户、设备供货商、检测设备供货商和云平台服务商共同搭建,以实现开放、协同、智能的系统。终端用户一方面提供设备日常运维数据,另一方面得到智能化运维支持;其他设备供货商提供相关检测、监测数据,生态系统则根据相关数据,利用 AI 和大数据技术来实现减员增效的目的。

深、安、协、活、省”七个字。前述中已介绍“简”“智”“深”即智能化运维的“三字”特点;本文提出的生态系统更兼具“安”“协”“活”“省”的特点。具体可理解为:

1) “简”:实现运维管理化繁为简,出现问题及时响应、自动分析和优化,把流程的处理精简和高效组合起来,让问题匹配正确的场景,找到正确的人,并在第一时间正确处理。

2) “智”:应用 AI,通过大量检测数据、历史数据进行场景分类,用数据训练机器分析,让机器自动准确判断。

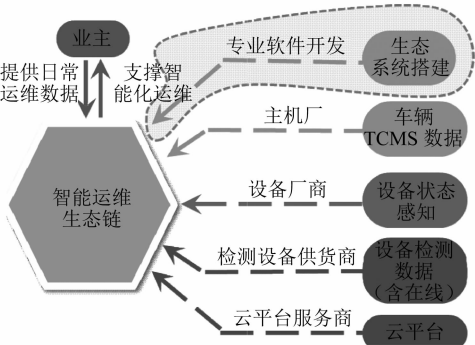
3) “深”:构建全专业知识库,随着智能化运维系统应用,积累的故障数据增多,对应的知识库丰富,维修水平也随之提高。

4) “安”:基于故障导向安全理念来设计智能化运维,确保运维安全。

5) “协”:全系统产业链协同合作,利益共享。

6) “活”:运维系统建设灵活,可横向、纵向扩展。

7) “省”:省时、省心、省钱分别对应建设周期



注: TCMS 为列车控制及管理系统。

图 2 智能化运维生态链

Fig. 2 Intelligent operation and maintenance ecological chain

2.4 智能化运维生态系统的特点

智能化运维生态系统的特点可总结为“简、智、

短、协调和整合难度小、节约投资。

3 智能化运维生态系统方案构架及其关键技术

智能化运维生态系统集合人力资源、故障信息、资产数据、运行状态等内容,在内部构建知识库、维修策略库、既有专家支持系统,以实现 3D 展示平台、预警平台、维修调度平台、文档管理平台、物资管理平台,同时明确智能化运维诉求。

3.1 系统方案

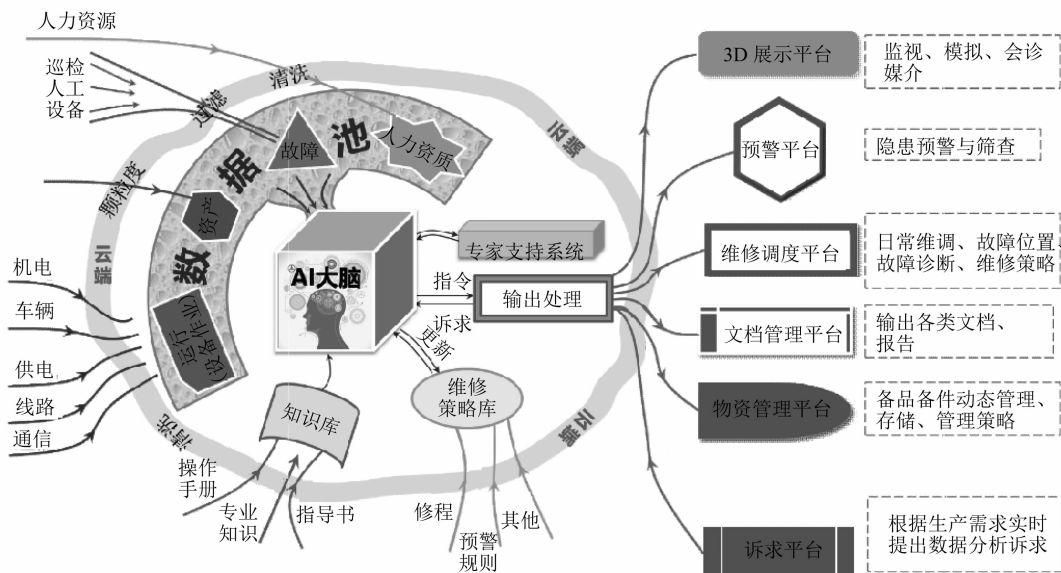


图3 智能化运维生态系统(GoM4)方案

Fig. 3 Intelligent operation and maintenance ecosystem scheme (GoM4)

通过 AI 大脑输出指令,实现城市轨道交通运营维 6 大平台功能。

1) 3D 展示平台:将系统的所有设备和运维数据都实现 3D 可视化,以达到所见即所得,各专业共用一张图的效果;现场维修人员随时调用设备的 3D 模型,利用虚拟现实/增强现实(VR/AR)技术展示设备,辅助运维。

2) 预警平台:将所有设备故障数据、运行数据经 AI 大脑处理,进行设备隐患预警与筛查;运维管理人员可通过应用层小程序、应用程序(APP)、大屏等途径了解预警信息,及时做出合理检修计划。

3) 维修调度平台:将所有设备实现日常维修调度、故障维修调度,根据 AI 大脑做出故障诊断、维修策略,达到运维人员、设备最优化配置;运维人员可通过应用层小程序、APP 途径了解设备运维策略。

如图 3 所示,将城市轨道交通人力资源数据、设备或人工或巡检维修故障数据、运维资产数据、机电或车辆或供电或线路或通信的设备运行数据,形成数据池输入 AI 大脑以提供数据支持;知识库录入城市轨道交通各专业的专业知识、各设备的操作手册、指导书,输入 AI 大脑以提供知识;运维检修规程、故障预警规则等形成维修策略库输入 AI 大脑提供维修策略,并经过 AI 运算及时更新维修策略。

4) 文档管理平台:可进行所有设备运行、故障、维修报告、操作手册、专业指导书、修程、检修内容、运维人员检修工作、计划等各类文档的输出管理;运维管理人员通过应用层 APP 可查询文档数据。

5) 物资管理平台:可对所有设备的备品备件进行动态管理、存储与管理策略的制定;运维物料管理人员可通过应用层 APP 进行资产管理。

6) 诉求平台:在实际运维过程中,在预设的运维规则以外,运维人员也可以根据生产需求提出数据分析或维修建议等诉求, AI 大脑依据数据库、知识库、策略库以及现场数据,通过智能算法给出数据或方案。

3.2 系统架构及关键技术简述

生态系统架构由运维大脑、标准化数据接口和云平台构成,运维大脑分区为数据脑区、AI 算法脑区、知识脑区、3D 可视化脑区,如图 4 所示。

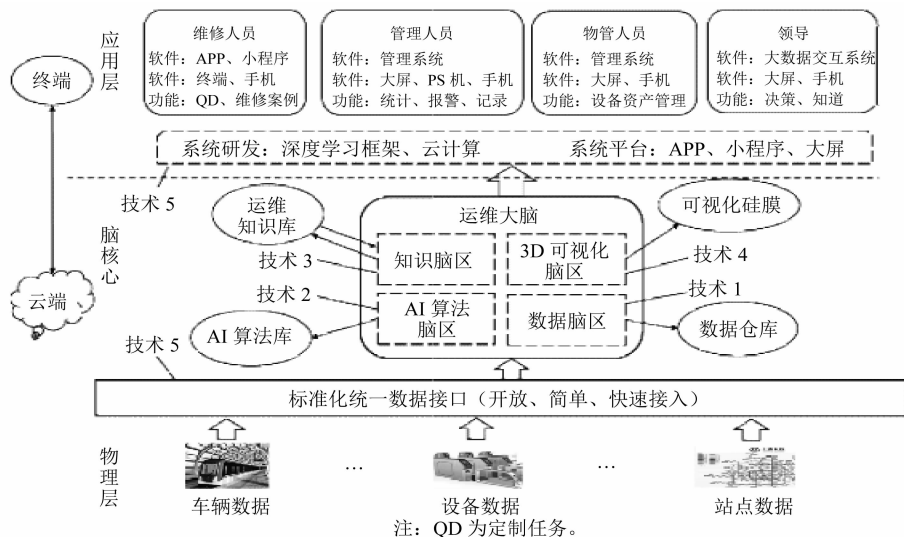


图4 智能化运维生态系统架构

Fig. 4 Intelligent operation and maintenance ecosystem architecture

1) 数据脑区从设备中获取数据,构建统一的数据格式和接口,对不同专业不同设备运维数据进行采集、清洗、存储、管理等。从低价值原始数据构建高价值的数据资产,建立公共数据池并将高价值的数据资产清晰高效地存储到运维数据池中。目的是将数据从原始的杂乱状态,构建成为可信的、高价值的数据资产,为运维需求提供可信的大数据支持。

2) AI算法脑区利用当前先进的深度学习、对抗学习、自学习、增强学习等系列机器学习技术,构建面向智能化运维的AI算法库。应用关联挖掘,根据故障时设备状态数据,挖掘故障因素之间的关联;应用预警预测利用具有记忆功能的深度神经网络针对运维过程进行预测;应用优化调度基于神经网络学习实现运维资源优化配置;利用离散群点检测技术对设备子系统进行监测,实现状态监测功能。

3) 知识脑区利用知识图谱技术,将运维手册、运维历史数据、常用运维经验等输入运维大脑,构建运维知识库。现场运维遇到困难时,实时给出关键词查询,系统智能理出可能的故障点,返回维修指导、历史案例、关联故障和设备3D结构图。

4) 3D可视化脑区将所有数据和模型实时三维可视化动态显示,利于整体态势的直观表达,实现“所见即所得”,达到故障可视化、状态可视化、态势可视化,以及事故的快速排查和多专业会诊;现场维修人员也可调用设备的3D模型,利用VR/AR眼镜全息展示设备,辅助运维。

生态系统架构采用端-云架构。运维大脑相关

核心技术在云端运行,对客户端的诉求作实时响应处理,便于维护和降低硬件成本。客户端包括显示大屏、手持终端和手机APP等,显示大屏根据需求实现任务实时跟踪、监控和显示;手持终端针对特定的运维任务定制;手机APP实现身份验证、手机支付、站点查询等功能。

各专业设备设施数据、站点数据采用标准化数据格式和接口,以实现开放的、可快速接入的、可深度融合的初始数据。

4 智能化运维生态系统推广模式及应用前景展望

4.1 生态系统推广模式

智能化运维生态系统是一个强大、功能全面和范围涵盖极广的系统。但本系统构建并不复杂,由于其具备较强的可拓展性与非耦合性,所有系统均在云端进行处理计算,可实现纵向与横向扩展。

由单个设备数据通过云端处理实现最小化系统的展示,纵向可拓展到城市轨道交通线路车辆、受电弓、站台门、电扶梯等全专业全系统,可根据标准化统一数据接口实现输入端无感知即插即用式扩展,已达到纵向扩展的目的。

由一条线实现的运维生态系统可共享式横向扩展到其他城市轨道交通线路上,以实现多条线路的资源共享。

4.2 生态系统应用前景展望

本文介绍的智能化运维生态系统具有广阔的市场规模与价值:它能根据设备状态,缩短设备检

修周期,优化各设备检修制度;它能减少人员检查、维护时间,缩短单位设备维护、检修工时;它能将提升物资周转效率,减少备品备件库存;它能建立信息化、数字化设备履历,精简设备的检验、测试设施。

本系统改变了目前常规智能化运维建设模式。可将目前建设的机电、供电、车辆、工务、弱电等多系统运维平台取消,以上传到云端来代替,节省了运维平台的搭建费用,有利于整合行业优质资源,实现智能化运维系统产业链分工合作,实现利益共享;有利于实现数据协同创新,共享数据价值;有利于建立城市轨道交通智能化运维系统行业标准,实现系统的规模化发展。

对于已初步达到网络化运营,已建立部分设备智能化运维系统的城市轨道交通城市,本系统同样具备可实施性:在既有平台基础上进行整合,避免对未建立智能化运维的设备系统二次建设平台。已建立运维设备系统的数据积累,可为运维平台提供大数据支持,更好地提高智能化运维决策支持。

根据北京市地铁运营有限公司统计数据,北京地铁每年运营成本约为 1 388 万元/km,其中人工成本为 872 万元/km,电力费用为 245 万元/km,维修成本为 272 万元/km。若采用本智能化运维系统,估计可降低人工和维修成本 10% 以上,折合节约运营成本为 114 万元/km。据统计,至 2018 年底,全国已开通运营的城市轨道交通线路长度为 5 766.6 km,其中地铁约为 4 500 km。预计“十四五”期间,我国城市轨道交通将按平均每年 500 km 规模进行建设。按全国 4 500 km 长的地铁线路,可节省运营成本达 51.3 亿元/年,可见城市轨道交通智能化运维市场前景广阔。

根据北京、上海等地的情况,其智能化运维系统建设费用约为 400 万元/km,其中平台搭建费用占比约为 20%。若采用生态系统模式搭建平台,将车辆、供电、信号、通信多个专业运维平台综合为一个运维平台,可节省平台重复搭建费用、接口管理费用等,预计其搭建费用可降低一半左右。

5 结语

智能化运维生态系统为当前城市轨道交通智能化运维建设提供了一种新的解决思路,避免了多平台建设、多专业之间系统封闭、数据多但价值低、建设投资大等问题,并利用 AI 和大数据,实现在云平台上的轨道交通运维的智能化。智能化运维生

态系统采集人力资源、故障信息、资产数据、运行状态等内容,在内部构建知识库、维修策略库,学习既有专家支持系统;系统架构包括数据脑区、AI 算法脑区、运维知识库、3D 可视化脑区、云平台和标准化统一数据接口等 6 个部分。

目前,城市轨道交通智能化运维系统建设刚刚起步,多专业系统的融合、数据价值的提炼、标准化统一的数据接口、AI 分析和云平台等技术,均需要不断积累和持续完善,并需要实现 GoM4、状态预警、维修调度、故障诊断、3D 展示、人/机/物/料联动、动态优化定检周期的功能,才能最终实现智能化运维生态系统。

参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城市轨道交通发展纲要[R]. 北京:中国城市轨道交通协会,2020.
China Association of Metros. Outline for the development of smart urban rail in China urban rail transit[R]. Beijing: China Association of Metros, 2020.
- [2] 郭泽阔,张艳兵,王璐. 基于物联网技术的智慧运维在地铁车辆段的应用[J]. 都市快轨交通,2019(3):19.
GUO Zekuo, ZHANG Yanbing, WANG Lu. Application of depot intelligent control system in subway maintenance[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2019(3):19.
- [3] 郭泽阔,贺莉娜,王璐. 城市轨道交通智能化运维系统的建设方案[J]. 城市轨道交通研究,2022(6):176.
GUO Zekuo, HE Li'na, WANG Lu. Construction scheme of urban rail transit vehicle intelligent operation and maintenance system[J]. Urban Mass Transit, 2022(6):176.
- [4] NUNEZ A, HENDRIKS J, LI Z, et al. Facilitating maintenance decisions on the Dutch railways using big data: The ABA case study[C]//IEEE Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Big Data. New York: IEEE, 2014.
- [5] LI H, PARIKH D, HE Q, et al. Improving rail network velocity: a machine learning approach to predictive maintenance[J]. Transportation Research Part C, 2014, 45:17.
- [6] ZHANG M. Decision approach of maintenance for urban rail transit based on equipment supervision data mining[C]//The 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, September 24-26, 2016. Warsaw, Poland. New York: IEEE, 2015.
- [7] 林刚. 基于大数据云计算的铁路智能化运维系统技术研究[J]. 铁道通信信号, 2019(5):37.
LIN Gang. Research on railway intelligent operation and maintenance system technology based on big data cloud computing[J]. Railway Signalling & Communication, 2019(5):37.

(下转第 89 页)