

智慧地铁建设路径及实施方法

刘纯洁 蔡佳妮

(上海申通地铁集团有限公司, 201103, 上海//第一作者, 教授级高级工程师)

摘要 智慧地铁代表城市轨道交通的发展方向, 对构建高效率、高品质的城市公共交通体系具有战略意义。然而关于智慧地铁的建设, 当前国内外尚无成熟的理论及实践可循。上海轨道交通基于多年的业务经验积累和近年来在智慧化方向的探索性研究, 明确了智慧地铁建设的路径和实施方法, 形成了一套智慧地铁的建设管理方法。

关键词 城市轨道交通; 智慧地铁; 建设路径; 实施方法

中图分类号 U29-39; U231.3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.06.001

Construction Path and Implementation Method of Smart Metro

LIU Chunjie, CAI Jiani

Abstract Smart Metro represents the development direction of urban rail transit and it has strategic significance for constructing an efficient and high quality urban public transport system. However, both domestic and international theories and practices on Smart Metro construction are not developed well enough for reference at the moment. Based on the accumulation of experience in business over many years and the exploratory research in Smart Metro in recent years, Shanghai Metro has explicated the construction path and implementation method for Smart Metro construction, and has formed a set of construction management measures.

Key words urban rail transit; smart metro; construction path; implementation method

Author's address Shanghai Shentong Metro Co., Ltd., 201103, Shanghai, China

建设“交通强国”是党中央立足国情、着眼全局、面向未来作出的重大战略决策, 要求从追求速度、规模向注重质量、效益转变, 由传统要素驱动向创新驱动转变。上海轨道交通线网拥有 705 km 运营里程、17 条运营线路和 415 座车站, 规模为世界第一, 且持续常态化、高强度运营。根据规划, 2020 年运营总里程将达到 814 km, 工作日客流将达到 1 400 万人次。超大规模轨道交通网络的建设和管

理面临前所未有的挑战。城市轨道交通行业以人工管理操作为主、少量信息化系统为辅的运营管理模式, 以及专业条块分割、独立建设等粗犷的外延式发展模式难以为继。与此同时, 云计算、大数据和人工智能等新一代信息技术蓬勃发展, 在工程建设领域也获得了初步应用, 显示出数据赋能、信息驱动对产业发展的强大推动力。因此, 可望借鉴新一代信息技术成功应用经验, 将城市轨道交通的建设管理和信息技术深度融合, 探索出一条全新的内涵发展道路, 保障城市轨道交通在全生命周期持续提供高安全、高品质、高效率的公共出行服务。

智慧地铁的概念一经提出, 便得到了全行业的高度关注。智慧地铁是依托人工智能、5G 通信、物联网、云计算、大数据等新一代信息技术, 提升全息感知、实时分析、科学决策和精准执行的能力, 实现业务智能联动、资源智慧配置的智慧运输系统, 从而保障地铁线网全局安全、提升服务质量、提高运输效率和改善经营效益。智慧地铁具备 SMART 特征: S——state perception (状态感知); M——data management (数据管理); A——automatic analysis (自动诊断); R——recursive business (业务闭环); T——tenacious evolution (持续进化)。智慧地铁始终围绕“安全、服务、效率、效益”这 4 个维度目标^[1]。

1 智慧地铁的建设路径

1.1 总体思路

智慧地铁并非从零开始建设一个全新系统, 而是围绕地铁核心业务在数字化、智能化的基础上进行智慧化赋能过程。基于多年以来在地铁智慧建设、智慧运营及智慧运维方面的实践和总结, 认为智慧地铁可遵循“实时感知技术是基础, 健康状态理论是核心, 自主学习模型是关键, 业务闭环管理是导向, 持续提质增效是目标”这一建设路径, 建立从感知智能、认知智能到行动智能的完整智慧体系。地铁智慧建设路径如图 1 所示。

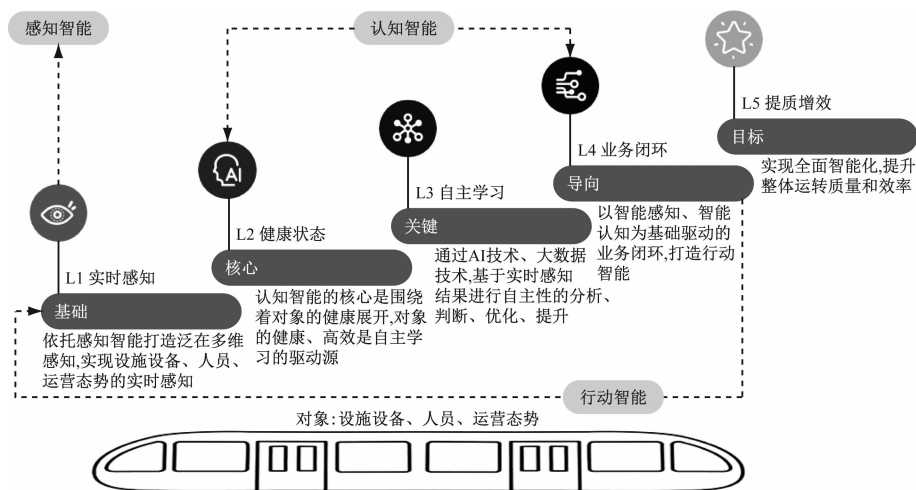


图1 智慧地铁的建设路径

1.2 实时感知是基础

智慧地铁需要强大的全息实时感知能力。因此,人、事、物的实时感知是智慧地铁建设的信息输入源,是智慧地铁建设的基础。

地铁运行环境复杂,设施设备种类繁多,既包含隧道、高架、车站等运营设施,又包含变电所、接触网、列车、道岔、自动扶梯、车站风水电等机电设备,还有通信信号专业管辖的大量运行控制信息化设备。各种设施设备的工作原理各不相同,状态采集覆盖电气特性、机械特性、视频、音频、信息流、网络包等多种对象;采集周期从毫秒级到天、周、月等,尺度复杂多样;感知场景日益复杂,从定时采样演变成时域可变化、对象可转化的复杂采样。因而需要充分运用物联网技术,研究声、光、电、信息流等感知方法,积极探索视觉感知、语音感知技术的应用场景,研发自动识别关键场景、自切换采样模式的智能感知装置,建立物联传感网络。边收集、边传输、边融合,有效协助实现智慧地铁设备态势感知,进而实现对城市轨道交通全生命周期内的各类设施设备、环境、客流、人员等对象状态的主动感知。

在智慧地铁涉及的替代人工巡检等场景中,视觉感知具有显著的优势。例如:对于车辆专业的列车走行部高清图像扫描操作,通过人工智能算法可分析走行部是否存在部件脱落、变形或螺栓松动等不良隐患,并自动告警,能够充分释放人工巡检的工作量,且保证检测结果的一致性和准确性;对于智慧工地管理,通过视觉感知和图像智能分析,能够实时掌握施工现场情况,对施工人员进行有效管

控,针对施工人员的异常行为进行安全预警;对于工务专业的隧道衬砌渗漏检测、供电专业的接触网磨损检测、运营专业的车站客流分布等应用场景,也能通过视觉感知分析获得更加丰富的信息。

1.3 健康状态理论是核心

采集地铁各类对象的状态数据,其核心就是类人体生命特征体检,对各专业单一维度、多维度以及综合维度进行健康指标制定、分析、评估与优化。智慧地铁所需建立的健康状态评估区别于传统评估所指的能力,是从建立超出阈值报警能力,逐步提升到预警预测、原因分析乃至事态推演的能力。

地铁健康状态可由客流分布、行车组织、区间结构、设施设备运行等各类健康状态组成。健康状态理论在设施设备方面的应用,是直接面向地铁设施设备海量的实时感知数据,结合设施设备的工作机理,通过构建基于深度学习的设备健康指数模型,计算设备健康量化指数。智慧地铁通过量化的设备健康指数,能够精细化、定量化评估设施设备服役健康状态,为维修决策提供可信的、科学的数据支撑,可以根据不同健康指数驱动不同的维修策略方案,催生维修决策的自动化、科学化,彻底突破现有设备运维管理仅有故障/正常二值评估法的局限性。健康状态理论是智慧地铁建设的核心引擎。

1.4 自主学习模型是关键

海量数据依托传统方式形成经验显然捉襟见肘,必须通过机器学习开展自学习、自进化,持续提高智慧地铁的智能水平。

自主学习模型能够在新增数据时,不需要重建所有的知识库,而是在原有知识库的基础上,自动

对新增数据所引起的变化进行补充和更新,其过程更加类似人脑计算。在智慧地铁的业务场景下,基于设备健康状态数据,通过不断迭代学习计算,能实现现象报故→分析原因→形成新知识→知识图谱扩大,不断自动增加最新的故障案例,系统的自动诊断能力不断增强。

自主学习模型是智慧地铁建设的关键所在。智慧地铁可依据历史数据不断迭代更新,完成自我完善,形成持续进化的效果。在智慧运维领域,运用机器学习技术能够实现故障诊断,比如,对于转辙机运维,自主学习模型能够将海量的转辙机动作电流曲线自动分类,并且能不断迭代演进,自主增加新的故障模式,实现无监督自主学习,极大地提高了转辙机故障诊断效率。

1.5 业务闭环管理是导向

智慧地铁的建设不是简单地购置一堆智能设备和研发分析软件,而是要形成业务闭环管理。实时感知、健康度评价和自主学习的建设最终都是为了驱动业务的智慧开展,因此智慧地铁的建设最终需要通过业务闭环来体现。

业务闭环管理改变了单一的线型模式,将业务识别和评估有效结合起来,成为可持续改进的循环单元闭环管理模式。各单元可以在连续、封闭运作下保持首尾呼应,使地铁系统的建设和运营处于更稳定和高效的状态。

对于设备运维,智慧地铁依靠实时感知层获取设施设备的异常告警信息,由自主学习模型进行故障分析和定位,并自动触发相应的维修工单,自动派发给维护人员具体执行。维修结束以后,维修人员将维修结果反馈给健康管理智能系统,由系统和设备实时工况进行对比验证,确认隐患已经被排除。业务闭环管理实现了“人员行为可控、作业结果可控”。在上海智慧车站的实践中,电扶梯智慧远程监控能够实现从发现跌倒事件到紧急停机的联动执行,有效保证了电扶梯的安全运行^[2]。

1.6 提质增效是目标

智慧地铁建设应将持续提质增效作为发展目标,即围绕“安全、效率、服务、效益”4个维度进行相应策划设计。围绕安全维度,针对人、车、物、地、事件信息进行实时采集与分析,将地铁安全生产各类静态采集与动态感知等多维数据之间进行融合,实现对复杂场景的敏锐感知与精准掌控,提前发现故障隐患和运营风险,提前预警;围绕服务维度,打造

便捷、高效、人性化乘车服务能力,构建从出行到生活辅助的多样化乘客服务功能;围绕效率维度,能够优化运行图、优化车站设施配属等,显著提升运营效率;围绕效益维度,综合运用智能化技术实现各级系统、设备、人员全生命周期的高效协同工作,降低工作负荷和人力成本,提升智能水平。

2 智慧地铁的实施方法

2.1 建立 CPDEG 策略

智慧地铁建设覆盖整座城市的轨道交通线网的规划、建设、运营、维保和经营等专业,涉及工作人员可达数万人,时间跨越全寿命周期长达数十年,业务场景十分复杂,技术方案基本处于积极探索阶段,全国范围内尚无相应的国家标准和行业标准可资借鉴;另一方面,智慧地铁概念刚刚兴起,目前的市场容量较小,基本处于培育阶段。两方面因素都决定了智慧地铁的建设管理无法直接沿用传统的建设管理办法,规划、设计、招标、施工、验收等流程也不能简单套用。

然而,智慧地铁的目标不是标新立异,而是求实用、有用和管用,项目技术能落地、可复制、可推广,同时将建设风险限定在可承受范围内,即求得系统全局最优。因此,在智慧地铁建设过程中,在循环机制^[3]的基础上,可采用 CPDEG 实施策略(见图2):构想(concept)——方案(plan)——试点示范(demonstration)——评估完善(evaluation)——全面推广(generalization)。该实施策略能够使现阶段可用技术逐步投入应用,暂时不成熟的项目放到下一阶段进行优化,但预留相关接口;形成多个闭环迭代过程,每次迭代都有新的增长和进步。需要强调指出构想源于广泛深入的内外客户需求和市场调研。该实施策略使总体建设风险可控,能够逐步推进智慧地铁的建设实施。

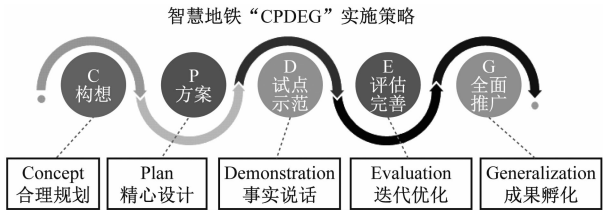


图2 智慧地铁的实施策略

2.2 形成顶层设计

顶层设计源于系统工程学,其主要强调某项工程“整体理念”的具体化。目前的智慧化试点项目

建设相对零散,多数为解决单一问题,提升单一功能而建立,未形成体系化的完整架构。智慧地铁需要面向智慧建设、智慧运维、智慧服务 3 个领域,构建系统化、体系化的顶层架构。因此建议:首先全面梳理城市轨道交通业务,结合发展方向与目标,充分考虑业务瓶颈(痛点、难点),规划智慧地铁的建设内容;然后,针对具体建设内容,进行相应策划,确定技术路线等宏观、粗粒度的技术方案;最后,进行详细设计,将粗粒度的技术方案细化为施工设计方案等便于执行的细颗粒,并研究配套的管理制度,实现体系化设计和建设运营管理智能化。

2.3 加强融合创新

创新是智慧地铁建设的核心。在智慧地铁的实践中,应拓宽创新思路,不应仅仅局限于技术创新,而应将各种创新要素通过创造性的融合,使各创新要素之间互补匹配,从而使创新系统的整体功能发生质的飞跃,形成独特的不可复制、不可超越的创新能力和核心竞争力。智慧地铁融合创新的内涵包含产品创新、服务创新、业务流程创新、业务模式创新、管理创新和制度创新 6 个维度^[4]。

在产品创新方面,需要研究开发更多的智能化基础设施、安全装备和运维系统,帮助提升智慧地铁的安全和效率;在服务创新方面,充分借助智慧地铁固有的“智慧”属性,在出行全时空方面提供创新的服务内容(包括公共服务和商业服务信息等),全面提升出行服务品质,形成智慧运营业务增长点;再业务流程创新和业务模式创新方面,能够让信息有效流动、减少人力的低效率支出,实现列车运行敏捷化动态调控、业务交互智能化融合联动,进而实现运营成本可控和经济效益改善;管理创新和制度创新则包含了适应政策与社会的变革、人工智能的发展等因素的智慧管理。

2.4 制定多层次标准

通过整合现有资源,建立完整的智慧地铁系统建设标准,可以从政府标准、行业标准、企业标准 3 个维度进行相应的标准制定。

标准制定的原则:首先有利于建立充分的市场化竞争格局,既要考虑技术先进性,又要兼顾市场主体的主流技术水平;其次,政府制定的智慧地铁相关标准应当具有广泛性,例如立足于全国或粤港澳大湾区或长三角等,能够引领广大市场主体积极参与,创建良好的生态圈,形成有利于智慧地铁产业装备发展的局面;再次,行业协会可以主导建立

行业性标准,规范智慧地铁相关技术等级水平,推动各地智慧地铁建设的标准化,减少行业装备的无序化研制和生产;最后,各个地铁运营企业可以制定最适合本地的智慧地铁标准,做到纵向标准和横向标准的兼顾和统一。

2.5 保护知识产权

智慧地铁是一项全新而庞大的工程,在建设实施过程中,可以催生大量的智力创造成果,需要高度重视知识产权保护工作。

知识产权向权利人提供了最经济、有效和持久的创新激励,保证了创新活动在新的高度上不断向前发展,促进了创新成果所蕴藏的先进生产力的快速增长;并且调节了权利人的垄断利益与社会公共利益之间的关系,实现知识资源有效配置。根据知识产权保护的原则,既要保护原创性的成果,尊重发明人的劳动,又要有利于成果快速转化和推广应用,加快智慧地铁的推进工作。值得注意的是,在智慧地铁建设管理过程中,数据是最宝贵的价值载体,在加强知识产权保护的同时,如何让地铁企业运营运维数据实现价值体现和权益保护,也是重要的研究课题之一。

2.6 政府和产业界提供引领和支撑

1) 国家政策引领。在建设前期,智慧化建设内容超出地铁设计范围,因此由于缺乏建设依据,其项目建设无法立项;同时,在智慧化项目的建设初期,必然会带来资金投入增加,但因无相应的配套资金落实,导致城市轨道交通智慧化建设总体推进缓慢。因此,建议在国家或行业层面出台相应的政策支撑和资金配套,保障智慧地铁项目的建设。

2) 产业生态支撑。智慧地铁的发展必然会带来对传统装备或技术的革新需求,因此需建立城市轨道交通高端智能产业生态联盟,搭建创新、开放的生态环境,引导和激发企业、研究机构的创新动力,形成产业集群,对传统、存在短板的关键设施设备进行产业升级,提升城市轨道交通整体装备数字化、智能化水平,创造具有我国自主知识产权的、具备市场竞争优势的中国品牌,形成安全可控的智慧地铁技术体系和产业体系。

3 结语

智慧地铁可以提供乘客最优出行规划、智能票务服务、交互式信息查询以及商业生活接口等全新

(下转第 9 页)

3.4 培养以系统工程师为核心的项目管理团队

建立“需求、技术、管理”三位一体的组织架构,将传统项目管理配置的“专业工程师”团队转型为“系统工程师+专业工程师”的建设管理团队。专业工程师的主要职责是负责各系统专业的实施管理和合同履约,具有组织、协调和管理设计、施工、供货等职能;系统工程师的主要职责是以项目管理中工程计划和质量、安全控制为主线,创建和执行跨专业的管理活动,建立跨专业的管理流程,在专业工程师的配合下开展项目管理工作。

3.5 应用系统工具实现项目的全过程管理

在项目管理过程中运用特定的系统工具(如工程建模、系统仿真、数据收集与分析等),同时借助信息化手段把技术流程和管理流程工具化,以获得管理抓手。例如,对系统需求进行定义就是一个技术流程。对很多建设者来说,如果没有清晰、明确的需求来定义流程与活动,管理控制在整个过程中就没有控制点,各种控制要素无从获得,“把用户需求定义清楚”就成了一句空话。可利用基于DOORS软件的需求管理工具将技术流程、管理活动与输出要素加以清晰、明确的定义,使管理控制在需求定义这个技术过程中得以有效管理。

4 结语

目前,国内城市轨道交通项目的建设者已普遍了解了FAO技术特征和系统工程特征,但对于“建设UTO”是否能够“运营UTO”尚显信心不足。排除项目工期因素外,究其原因还是FAO系统工程管理能力和方法、人才的不足。虽然有些建设者已重视开展项目需求及运营场景的策划与管理,并

提供设计技术的输入条件,但在项目实施中仍欠缺SI和SA管理,使得需求与技术在实施过程中有可能偏离了原有的策划和方案。有些建设者虽已加强了系统工程的管理能力,选择“系统集成一致性行为”模式开展SI和SA管理,这也仅解决了供货商层面的集成问题,未能从完整性、连续性体现系统生命周期设计层面和业主层面上SI和SA管理思想和控制方法。因此,本文在项目的需求策划、设计输入、SI和SA管理、联调验证管理、系统工程人才等建设管理关键环节的控制方面,提出了实现系统RAMS和提升系统集成所要求的建设管理能力相关建议,供国内FAO项目建设者参考。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.轨道交通城市轨道交通管理和指令/控制系统第1部分系统原理和基本概念:GB/T 32590.1—2016[S].北京:中国标准出版社,2016:4.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.轨道交通自动化的城市轨道交通(AUGT)安全要求第1部分总则:GB/T 32588.1—2016[S].北京:中国标准出版社,2016:1.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.轨道交通可靠性、可用性、可维护性和安全性规范和示例:GB/T 21562—2008[S].北京:中国标准出版社,2008:5.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.城市轨道交通建设项目建设管理规范:GB 50722—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011:6.
- [5] 王众托.系统工程[M].2版.北京:北京大学出版社,2015:27.
- [6] 施亦进.城市轨道交通综合联调工作要点[J].城市轨道交通研究,2017(6):145.

(收稿日期:2019-08-19)

(上接第4页)

便捷出行体验,同时可实现客流预警、行车调度、故障维修、安全保障等的高水平综合运维管理,是城市轨道交通可持续发展的必由之路。在智慧地铁的建设过程中,也面临新兴技术融合、建设标准缺失、建设周期漫长、投资成本高昂等诸多挑战,但随着内生驱动力和外部技术的不断发展,智慧地铁定将走向成熟。通过坚持国家倡导、政府引导、协会辅导、企业主导的“四导原则”,智慧地铁的事业必将枝繁叶茂。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 刘纯洁.上海地铁自动扶梯智慧管控的创新与实践[J].中国市政工程,2019(6):105.
- [3] 刘纯洁,陆晨,陆渭歧.城市轨道交通工程建设单位现场管理操作手册[M].上海:同济大学出版社,2017:447.
- [4] 熊彼特.熊彼特:经济发展理论[M].北京:中国画报出版社,2012.

(收稿日期:2020-01-17)