

文章编号: 1674—8247(2023)04—0025—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.04.005

高速铁路工程数字化质量管理现状、挑战及架构

郭 静¹ 马成贤²

(1. 中国国家铁路集团有限公司, 北京 100844; 2. 西南交通大学, 成都 610031)

摘 要:随着国民经济的飞速发展,我国高速铁路事业也蓬勃发展,高速铁路的质量关系到国计民生。高速铁路项目工程是复杂的系统工程,具有难度大、系统性复杂和标准高的特点,既往铁路建设市场形成的管理体系和标准难以满足高水平建设质量管理要求,引入新技术、新理念、新方法对高速铁路工程质量管理水平的提升尤为必要。通过对数字化与高速铁路工程质量系统管理现状的研究,总结了基于数字化的高速铁路工程质量面临的挑战与趋势,提出数字化高速铁路工程质量系统管理体系架构。研究成果可为高速铁路工程建设管理提供参考。

关键词:数字化; 高速铁路工程; 质量管理; 体系架构

中图分类号: U238 文献标志码: A

Current Status Challenges and Architecture of Digital Quality Management for High-speed Railway Engineering

GUO Jing¹ MA Chengxian²

(1. China State Railway Group Co., Ltd., Beijing 100844, China;

2. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: With the rapid development of the national economy, China's high-speed railway industry also flourishes. The quality of high-speed railways is even more critical to the national economy and people's livelihood. The construction of high-speed railway is a complex and systematic project, characterized by significant difficulties, complexity, and high standards. The management systems and standards developed within the traditional railway construction market are insufficient to meet the requirements of high-level construction quality management for high-speed railway projects. Therefore, the introduction of new technologies, concepts, and methodologies is crucial to enhancing the quality management level of high-speed railway projects. Through a study of the current state of digitization and quality system management in high-speed railway engineering, this paper summarized the challenges and trends facing the digital quality management of high-speed railway engineering, and proposed an architecture of quality system management architecture for digital high-speed railway engineering, which could serve as a reference for construction management of this engineering practice.

Key words: digitalization; high-speed railway projects; quality management; system architecture

近年来云计算、大数据、人工智能等为代表的新一代 IT 技术迅猛发展,在很多产业领域领跑全球,推

收稿日期: 2023-05-12

作者简介: 郭静(1987-),女,工程师。

引文格式: 郭静,马成贤. 高速铁路工程数字化质量管理现状、挑战及架构[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(4): 25-29.

GUO Jing, MA Chengxian. Current Status Challenges and Architecture of Digital Quality Management for High-speed Railway Engineering [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(4): 25-29.

动全社会进入第四次工业革命(即“工业4.0”)浪潮。工业4.0代表“互联网+制造业”的智能生产,是利用信息化技术促进产业变革的时代,也就是智能化时代。当前我国信息化、数字化、智能化在各领域的发展突飞猛进,均在积极推进传统产业的高技术化和高新技术的产业化,而铁路行业在综合运输体系中地位重要,同样面临着前所未有的挑战^[1]。

在此背景下,铁路行业不断探索数字化技术的应用,大数据、云计算、物联网、智能化等新一代信息技术在铁路领域逐步推广,在高速铁路工程质量管理中也逐步得到广泛应用。BIM、GIS、AI技术、灾害监控系统等先进技术手段的应用使质量技术不断实现创新突破,尤其是经过“数字郑万”、“智能京张”、“智能京雄”等一系列铁路数字化转型实践,质量管理数字化的水平不断提高,也初步探索了铁路工程数字化质量管理的实施路径,为更加清晰界定高速铁路工程质量管理工作的核心内容奠定实践基础,也为提升我国高速铁路质量管理水平和能效提供示范作用。基于铁路数字化转型实践的凝练,研究数字化高速铁路工程质量的架构和实现路径极为必要。

1 高速铁路工程质量管理及数字化现状

高速铁路工程项目管理链条长、参与人员众多、设计专业复杂^[2],尤其随着数字化技术的发展,人工智能、大数据、物联网等技术与产业不断交融,使得高速铁路工程质量管理愈发复杂。建立数字化高速铁路工程质量管理体系平台,能够统筹全要素资源、高效利用数据,最终推动高速铁路工程质量管理数字化转型。

高速铁路起源于20世纪50年代美国筹建的Pueblo高速列车实验基地,探索于日本1964年10月1日建成的世界第一条高速铁路东海道新干线和20世纪80年代法国与德国先后建成的TGV-PSU高速铁路与ICE-1高速铁路。高速铁路项目涵盖工务工程(路基、桥梁、隧道、轨道、站场、站房等)、四电工程(电力、通信、信号、电气化)等,工程质量控制是一个复杂的系统性工程。国外高速铁路工程质量控制研究集中在建设质量管理方面^[3]。Grün^[4]基于高速铁路等大型项目案例研究,确定大型项目管理的4个成功要素:目标控制和变更、基本配置、社会政治环境以及管理结构和能力;Basu^[5]分析质量在“成本、时间和质量”铁三角中的关键作用;Rumane^[6]对工程

项目中各类质量标准、质量管理体系以及影响工程项目成败的各类质量因素进行总结,并介绍了全寿命周期的质量与风险管理方法。

在数字化高速铁路探索和实践方面,日本是第一个在全国范围内推进建设领域信息化的国家,2010年其所有公共管理工程全部实现信息化管理,以工程项目的全寿命周期为对象,以工程质量为核心,全部信息实现无纸化,有关各方利用网络进行信息交互,提高了现有业务生产效率,进一步节约投资成本,提高投资收益^[7];法国十分重视信息化、智能化应用,2015年,法国国营铁路公司提出数字化法铁战略,强调列车、路网、站房的互联网建设,预期2031年至2040年为客户建立一个有竞争力、便捷、可持续、与未来运输紧密的铁路系统;德国在铁路建设过程中努力实现信息化管理,推广应用BIM技术,2020年实现所有项目BIM规划,选择了iTWO 5D BIM平台启动数字变革之路。

在数字化高速铁路质量管理方法研究方面,张毅^[8]等人提出构建数字铁路要利用BIM、GPS、GIS、RS、物联网等技术,指出基于BIM应用于铁路建设中的思路;逯宗田^[9]等人在推进BIM技术在铁路工程设计中的应用做出了贡献,提出了铁路BIM设计的技术路线;潘英^[10]等人分析了接触网BIM设计特点、具体应用与关键技术与优势;于鑫^[11]构建了网格化轨道工程建设安全管理模式并建设了面向网格化安全管理的轨道工程建设安全监控中心;吴洋^[12]等人利用BIM和GIS等数字化技术构建BIM模型,实现高速铁路建设过程的数字化,实时监测施工过程,保证施工质量和效率;赵健等人研究了信息化技术与BIM技术在运维管理领域的应用,开发了可视化运维管理平台,开展面向运维的铁路BIM模型及全生命周期信息关联的系统性研究;何清华^[13]等人基于BIM提出并设计系统框架,构建出铁路工程BIM管理系统,实现进度优化调整、质量信息追溯、安全风险管控的目标;侯杰^[14]等提出信息协同理念,目标是建立建筑施工项目质量管理信息协同系统,最终实现质量数据管理平台。

在数字化平台研发方面,在中国国家铁路集团有限公司的统一组织下,研发了铁路工程管理平台(以下简称“平台”),平台以铁路工程设计、建设、运营全寿命周期管理为目标,以标准化管理为抓手、BIM技术为核心、云计算为平台架构、感知技术为基础、移动互联为传输结构、建设项目为载体,建立统一开放的工程信息化平台和应用^[15]。铁路工程管理平台分为三大版块(综合管理、过程控制、现场管理),六大功能体系应用(综合、进度、材料、质量、安全、投资),同时

提供在线考试、培训及工程建设的“百度文库”,基本囊括了日常建设管理所需的各项应用。

2 高速铁路工程质量管理数字化发展挑战与趋势

2.1 高速铁路工程及工程质量数字化管理的必要性

目前工程项目管理正逐步走向数字化,融合物联网、大数据、虚拟技术、GIS、GPS 以及信息集成等多项技术,为高速铁路工程建设的移动设备、基础设施以及铁道环境等的自动化提供技术保障,可实现铁道运输资源、服务资源的全方位管控的数字化信息平台。对高速铁路工程进行数字化管理,通过将整个高速铁路建设过程中的设计资料、过程资料、竣工验收资料等进行分类管理,集成各类台账、生产作业记录、监测检测记录、缺陷库等信息,生成面向全生命周期的数字化工程档案,有助于建设过程数字化协同,促进信息资源共享,优化业务流程与管理模式,提升工程项目管理水平。

工程质量问题一直都是高速铁路工程建设中的核心问题,不容忽视,具有控制难等特性。依托数字化技术,在高速铁路工程施工生产的每个质量控制环节,形成智能感知、智能搜索、智能分析和智能决策的技术体系;对高速铁路建设过程中各类质量数据进行高效采集;进行全维度大规模非结构化数据整理,快速准确地获得所需质量数据;依靠深度学习技术,将复杂的认知对象分层、分类,通过层层提炼和总结,尽可能接近不同高速铁路工程质量管理目标;将离散的高速铁路工程质量安全信息综合,通过描述性分析和预测性分析,有效制订应对各类高速铁路工程质量安全事故的方案,减少事故可能造成的损失。

根据当前已有的针对高速铁路工程质量的理论研究,在数字化背景下的质量管理尚没有成体系的指导理论。但可以预见的是,在未来的发展中,对于数字化质量管理理论的研究更加深入、成体系,为高速铁路工程质量管理数字化转型提供理论指导。一方面,可依托完善的标准体系、信息资源体系和安全保障体系建立起行业级工程质量管理平台,促进质量信息资源共享,改善并升级高速铁路工程质量管理模式;另一方面,引导高速铁路工程项目质量管理由粗放式向规范化、标准化、精细化转变,实现数字化集成管控,从而提升高速铁路工程质量管理效率和水平。

2.2 技术+管理双轮驱动,质量管理环节更加顺畅

有序

从技术层面看,以人工智能、区块链、云计算、大数据、物联网、边缘计算、5G 等为代表的各类新技术融合发展,推动着技术范式的转变,与数字化高速铁路工程质量管理业务的渗透融合,成为质量管理发展的新动能。目前,数字化高速铁路工程质量管理依托铁路工程管理平台开展,该平台在实践应用过程中,不断深化、完善应用功能,为高速铁路工程质量管理提供了持续的技术支撑,也不断研究破解在质量管理各个环节中产生的具体问题。未来,随着该平台的进一步深化、升级,以及数据流转、流程管理等方面技术的突破,推进数字世界与物理世界中质量管理各环节之间有序衔接,为高速铁路工程质量的数字化转型提供安全、可靠、稳定的技术支持。

从管理层面看,更多的政策措施和管理手段将不断完善,进一步保障数字化高速铁路工程质量的发展。国家对于数字经济的规划(如在“十四五规划”中明确指出“促进数字技术与实体经济深度融合,赋能传统产业转型升级”等)促使数字经济的规模与GDP 占比逐年增加。行业内也不断推出相关政策、文件助力数字化转型。2022年1月,《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》提出到2025年交通基础设施数字化率显著提高,数据开放共享和平台整合优化取得实质性突破;2022年3月,《“十四五”铁路科技创新发展规划》提出,明确以新一代信息技术应用为特征的智能铁路技术保持引领,铁路本体本质质量安全水平显著增强;中国国家铁路集团有限公司对于铁路建设质量监督管理工作的要点梳理中,也多次提到提升建设过程信息化、数字化水平。相关政策的出台为高速铁路工程质量管理数字化管理提供了指引,但是在具体实践的过程中,仍有许多问题待解决。且缺乏更具针对性、更细化的数字化管理政策、规定、办法来引导、监督质量管理活动。未来,更完善的配套政策和更精准的监管体系将成为趋势。

2.3 多源多领域数据融合应用,数字化深度和广度将逐步拓展

首先,多源数据的融合将更加紧密。高速铁路工程质量管理涉及多源数据,且数据维度多,内在信息、价值丰富。随着数据处理技术的快速进步以及算力的快速提升,对海量、多维度数据的挖掘和分析成为可能。未来,对高质量多源融合数据的分析应用将不断增加,跨专业、跨部门、跨层级的数据流动将促进形成更多高质量的数据来源,从而更好地发挥数据价值。

其次,数据将为更多质量管理过程创造价值。随着管理者对于数据的开发利用意识不断增强,数据的开发利用将会覆盖质量管理全流程、全业务领域。对于试验检测、重点施工过程的数据赋能作用更为凸显,在隐蔽工程质量管理方面,将发挥重要的支撑作用。

最后,质量数据的应用将更为多样。目前质量管理数据应用以描述性为主,预测性为辅,在智能分析、决策指导、方案优化等方面的应用仍处于起步阶段。未来,随着质量数据应用理论、技术的不断成熟,数据流转更为顺畅,数据融合程度不断提升,在数字技术的加速助力下,质量数据的应用场景将不断丰富、深入和智能化,对于质量管理效率提升的贡献度也会越来越高。

3 数字化高速铁路工程质量系统管理体系架构

数字化转型不是一个简单的过程,而是要以数字化驱动的业务变革,使高速铁路工程质量管理产生翻天覆地的变化。因此,在数字化高速铁路工程质量管理现状与趋势分析的基础上,提出数字化高速铁路工程质量系统管理体系架构,主要包含要素提升、系统支撑、能力构建、场景应用以及机制革新,在传统“人、机、料、法、环”质量管理要素的基础上,将“数据”作为第六类管理要素进行设计,即数字化高速铁路工程质量管理体系在“人、机、料、法、环、数据”六大要素的基础上,提取工程质量文化、工程质量体系、工程质量技术、工程质量方法等关键要素,在高速铁路工程质量全生命周期管理系统的支撑下,构建数字化质量管理的IT能力、数据能力以及业务能力,支撑建设管理、隧道工程、桥梁工程、路基工程、轨道工程、四电工程以及站房工程等专业场景的数字化质量管理应用。同时,结合多要素状态监控、多主体协同联动、全生命周期反馈优化、全过程协调发展“四维并进”的数字化高速铁路工程质量管理系统运行机制,共同实现高速铁路工程质量系统管理的数字化转型。数字化高速铁路工程质量系统体系架构如图1所示。

4 数字化高速铁路工程质量管理的应用

(1) 雄忻高速铁路项目

雄忻高速铁路是1条连接雄安新区与忻州市的高速铁路,是雄安新区“四纵两横”区域高速铁路交通

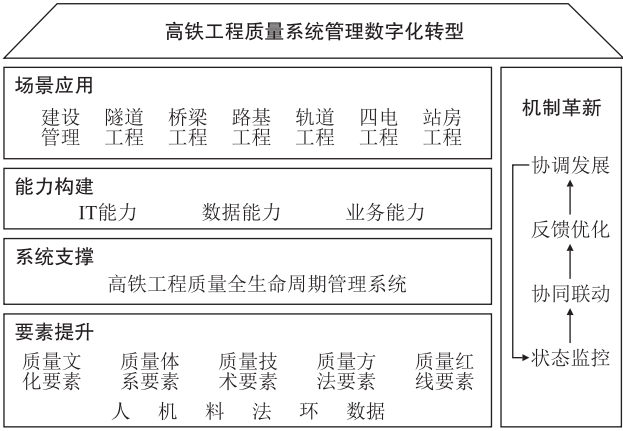


图1 数字化高速铁路工程质量系统体系架构图

网络的重要横向通道,也是2016年修订的《中长期铁路网规划》“八纵八横”高速铁路主通道中京昆通道的重要组成部分。

雄忻高速铁路数字化质量管理工作基于铁路工程管理平台开展,将平台的核心内容归纳为“两棵树”——“人员机构树”+“物的树”,“人员机构树”是对建设相关单位人员的梳理,“物的树”是对标段、工区、工点等信息进行组织管理。项目建设过程中应用铁路工程管理平台监理管理系统、信息发布系统、信用评价系统、人员组织管理系统等对人员、单位进行管理,应用工程实体分解系统、首件工程管理系统、电子施工日志系统、围岩量测系统、拌合站管理系统、试验室管理系统等对物资、工程质量进行日常管理。

采用数字技术进行工程质量管理,对雄忻高速铁路施工现场的质量安全有很大促进作用,实现了工序切实落实,质量问题可溯源,重要工程资料妥善留存、及时备份,工程数据可视化展示,为工点问题预警报警、精细化管理与辅助决策分析提供有力支撑。

(2) 合新高速铁路项目

合新高速铁路连接安徽省合肥市与江苏省新沂市。线路起于安徽合肥,南连京港高速铁路,北接徐连高速铁路、京沪高速铁路二通道和沿海高速铁路,构成华南、西南经合肥至山东半岛的快速客运大通道,线路全长323.775 km,设计速度350 km/h。合新高速铁路将质量管理与安全管理区分为2个体系,质量管理体系主要对工程质量进行把控,安全体系主要从组织、制度、监管方面进行把控,推行使用电子施工日志系统、隐蔽工程影像系统、桥梁形象化系统等铁路工程管理平台的信息化管理系统,除此之外还自建了内部管理系统、沉降观测系统等数字化工程质量管理系统。

合新高速铁路全面推行数字化管理,工程数据与模型可视化、轻量化展示,便于多层级审查施工质量,在很大程度上保证了施工质量,更及时地发现问题并纠偏,管理水平有较大提升。

5 结束语

数字化转型是当前高速铁路等基础设施工程领域最为热门的研究方向之一,对工程技术与项目质量管理的未来引领带动至关重要。高速铁路工程质量管理数字化转型也逐步深入推进,本文在分析数字化高速铁路工程质量管理技术应用和相关案例的基础上,总结出高速铁路工程质量数字化管理的发展趋势,进而提出数字化高速铁路工程质量管理体系架构,以期能为提高我国高速铁路工程质量管理水平、推动数字化技术在高速铁路行业中的应用提供参考。

参考文献:

- [1] 刘仲武,黄建,王键,等. 基于信息化技术的高速铁路工程监理工作方案研究[J]. 现代城市轨道交通, 2023(2): 96-100.
LIU Zhongwu, HUANG Jian, WANG Jian, et al. Research on the Supervision Work Plan for High-speed Railway Project Based on Information Technology [J]. Modern Urban Transit, 2023(2): 96-100.
- [2] 黄保斌,汪恭书,赵任,等. 基于系统协调一致的高铁工程质量管理[J]. 中国铁路, 2020(7): 28-34.
HUANG Baobin, WANG Gongshu, ZHAO Ren, et al. Project Quality Management of High-speed Railway Based on System Coordination [J]. China Railway, 2020(7): 28-34.
- [3] 卢春房,穆文奇. 高铁工程质量管理体系内涵与总体架构[J]. 中国铁路, 2020(7): 15-20.
LU Chunfang, MU Wenqi. Contents and Overall Architecture of High-speed Railway Project Quality Management System [J]. China Railway, 2020(7): 15-20.
- [4] GRÜN O. Taming Giant Projects: Management of Multi-organization Enterprises[M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2004.
- [5] BASU R. Managing Quality in Projects: An Empirical Study [J]. International Journal of Project Management, 2014, 32(1): 178-187.
- [6] RUMANE A R. Quality Management in Construction Projects [M]. Boca Raton: CRC Press, 2017.
- [7] 王可飞,郝蕊,卢文龙,等. 智能建造技术在铁路工程建设中的研究与应用[J]. 中国铁路, 2019(11): 45-50.
WANG Kefei, HAO Rui, LU Wenlong, et al. Intelligent Construction Technology and Its Application in Railway Engineering Construction [J]. China Railway, 2019(11): 45-50.
- [8] 张毅. 数字铁路信息共享体系研究[J]. 中国科技信息, 2011(16): 203-204.
ZHANG Yi. Research on Digital Railway Information Sharing Architecture [J]. China Science and Technology Information, 2011(16): 203-204.
- [9] 逯宗田. 铁路设计应用BIM的思考[J]. 铁道标准设计, 2013(6): 146-149.
LU Zongtian. Some Views on Using BIM in Railway Design [J]. Railway Standard Design, 2013(6): 146-149.
- [10] 潘英,宋桃东. 三维技术在接触网设计中的运用探讨[J]. 电气化铁道, 2012, 23(6): 1-4.
PAN Ying, SONG Taodong. On the Application of 3D Technology in Catenary Design [J]. Electric Railway, 2012, 23(6): 1-4.
- [11] 于鑫. 基于网格化的轨道工程建设安全风险管理模式研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2017.
YU Xin. Research on Grid-based Safety Risk Management Mode for Rail Engineering Construction [D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2017.
- [12] 吴洋,李娅冉,王兴鲁. BIM技术在高铁站房装饰装修中的应用分析[J]. 中国标准化, 2018(2): 41-43, 46.
WU Yang, LI Yaran, WANG Xinglu. Application Analysis of BIM Technology in Decoration of High-speed Railway Station House [J]. China Standardization, 2018(2): 41-43, 46.
- [13] 何清华,陈发标. 建设项目全寿命周期集成化管理模式的研究[J]. 重庆建筑大学学报, 2001, 23(4): 75-80.
HE Qinghua, CHEN Fabiao. A Research of Life Cycle Integrated Management Pattern of Construction Project [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2001, 23(4): 75-80.
- [14] 侯杰,苏振民,金少军. 建筑施工项目质量管理信息协同系统构建[J]. 土木工程与管理学报, 2017, 34(4): 148-153.
HOU Jie, SU Zhenmin, JIN Shaojun. Establishment of a Quality Management Information Collaboration System on Construction Project [J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2017, 34(4): 148-153.
- [15] 杨静,卢文龙,胡啸威,等. 数字化高速铁路工程质量管理框架研究[J]. 铁路技术创新, 2022(4): 19-25.
YANG Jing, LU Wenlong, HU Xiaowei, et al. Study on Quality Management Framework of Digital High Speed Railway Projects [J]. Railway Technical Innovation, 2022(4): 19-25.