

智能化施工技术在公路工程中的应用分析

梁 计

乌海市乌达区建设工程质量安全技术服务中心，内蒙古 乌海 016040

[摘要]伴随着交通强国战略的稳步推进以及信息技术的发展日新月异,智能化施工技术已经成为公路工程建设转型发展的主要动力,此文从智能化施工的概念及其发展脉络出发,在此基础上着重对公路工程建设全生命周期中的智能化施工技术的应用进行解析,最后针对相关应用进行的智能化基础技术的支持如 BIM、物联网与传感器等、AI 及数据分析、自动化与机器人的相关内容进行了详细的探讨。对目前工程应用中出现的问题,提出加大技术创新力度,强化人才储备,改进成本效益测算方法以及促进标准政策联动等改进措施,希望能对提高我国公路建设管理和现代化发展起到一定的借鉴意义和实际作用。

[关键词] 智能化施工; 公路工程; BIM 技术; 物联网; 人工智能

DOI: 10.33142/sca.v9i3.19372

中图分类号: U495

文献标识码: A

Application Analysis of Intelligent Construction Technology in Highway Engineering

LIANG Ji

Quality and Safety Technical Service Center for Construction Projects in Wuda District, Wuhai City, Wuhai, Inner Mongolia, 016040, China

Abstract: With the steady advancement of the strategy of building a strong transportation country and the rapid development of information technology, intelligent construction technology has become the main driving force for the transformation and development of highway engineering construction. Starting from the concept and development context of intelligent construction, this article focuses on analyzing the application of intelligent construction technology in the entire life cycle of highway engineering construction. Finally, it provides detailed discussions on the support of intelligent basic technologies such as BIM, Internet of Things and sensors, AI and data analysis, automation and robotics for related applications. For the problems that have arisen in current engineering applications, measures such as increasing technological innovation, strengthening talent reserves, improving cost-benefit calculation methods, and promoting standard policy linkage are proposed. It is hoped that these measures can provide certain reference and practical significance for improving Chinese highway construction management and modernization development.

Keywords: intelligent construction; highway engineering; BIM technology; Internet of Things; artificial Intelligence

引言

公路工程是国民经济的重要基础设施之一,公路工程质量水平高低及管理水平直接影响着国民经济的发展及社会运行效率。长期以来传统公路工程项目都存在着施工环境恶劣、管理松懈、质量和安全隐患大、信息分割严重等问题。而近年来伴随着数字化、网络化、智能化为代表的新一轮科技革命的兴起也为解决这些问题带来了契机。通过融合物联网、大数据、人工智能、BIM 等新技术与公路工程建设相结合,构建一套智能建造技术体系也正在对公路工程建设生产方式以及管理模式带来巨大变革。所以有必要总结一下在公路工程中智能施工技术的应用状况以及主要依托和支持,并提出进一步改进的方法,对引导行业发展、实现高质量发展有着重要的理论价值以

及一定的现实参考作用。

1 智能化施工技术概述

智能化施工技术并不是一项技术,而是在公路工程项目建设中广泛应用现代信息技术、智能监控技术、高端机械设备等,对施工元素进行全面监控、互连互通、智能计算以及联动管理,进而达到施工工序无人化、管控无纸化、判断智能化的一种新的施工形式。它的基本含义就是把物质实体和虚拟实体相结合,依靠信息流来完成项目的自我调节、自我完善及自我决策^[1]。

智能施工的发展历程是经过了三个重要时期:首先是单机数字化时期,也就是以压路机、摊铺机等主要机械安装 GPS、传感器,完成单一工序自动化指挥控制;其次是系统集成化时期,就是通过对施工现场物联网建设,把

所有的设备数据、环境数据、人员信息整合到一个整体中去,进行综合化管控;第三个阶段就叫做平台智能化时期,就是利用 BIM、大数据分析以及人工智能算法建立项目全生命周期数字化映射模型,从而使得施工方案可以实时调整,危险情况能够及时预警,并且能够对质量进行把控。目前,我国公路工程智慧化建造正处在由第二阶段向第三阶段快速转变的发展阶段。

2 智能化施工技术在公路工程中的主要应用

2.1 勘察设计阶段

在勘测设计环节中,智能化技术运用主要是提高测绘准确度以及设计速度,在测绘过程中采用无人机航拍、机载 LiDAR 及地质三维雷达等多项先进技术,可以迅速、精确地获得沿途地形、地貌、地质特征及现状建筑物等地形参数的三维点阵信息,相较传统的手动测量提升了 5~10 倍的速度并且精度达到了厘米水平;然后以收集到的数据为基础建立高精度的 DEM 以及 GIM 模型,为线路设计方案的选择和土石方调配优化选择提供参考。最后,设计成果通过 BIM 模型传递,实现了各专业的协同设计,大大降低了管线碰撞,路基与桥梁交叉等不同专业间的问题发生概率,在根本上保证了设计水平。

2.2 施工建设阶段

施工建设阶段是智能化技术应用最为集中和深入的环节。

一是智能摊铺、压实。这是智能施工在路基面层工程中具有代表性的运用。通过对铺筑机、压路机加装高精度导航装置、加速度计、温度计等采集装置,在摊铺、压实过程中收集并传送摊铺速率、厚度温度、碾压路径、速度、压实度等一系列重要信息到服务器端^[2],系统结合预定好的施工工艺标准参数进行动态更新施工质量“云图”(如图 1 所示):当发生温度突变、欠压、过压等问题时能即时提醒操作人员及时做出调整,实现由“末端检验”到“过程监控”的跨越。

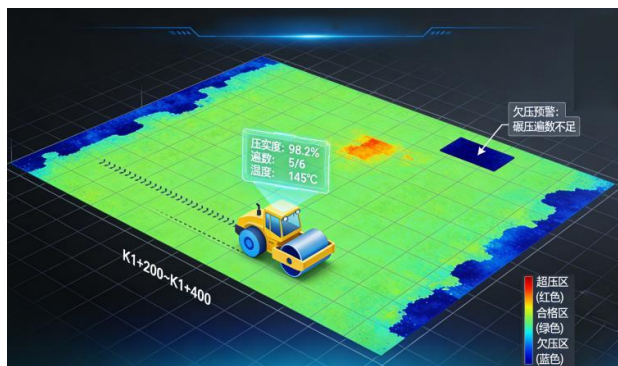


图 1 智能压实过程质量云图示意

第二,预制构件智能化制造。对桥墩盖梁、涵洞等预制构件厂实行自动流水线、钢筋自动化加工机及智能养护系统、RFID(条码)标识体系等。每一节预制梁板从下料、绑扎、浇注、蒸汽养生整个流程都由中央控制中心统一调配,在每一个环节都会产生一个独一无二的电子档案编号,利用二维码或者 RFID 标签可以查询出该产品的原始材料批号、生产日期、重要生产操作人等相关信息,达到精确生产和明确质量责任的目的。

第三,施工场地智能化监管及管理。“智慧工地”就是利用物联网技术来实现这一目标,在施工现场安装视频监控、环境监测、塔吊监测、人员定位等不同的传感器,把施工的各种要素的状态都实时反映出来,管理层可以在办公室就可以看到现场的安全环境是否达标,是否存在扬尘噪音过大现象以及大型机械有无异常等情况^[3]。并且借助了人工智能图像识别技术可以自动识别出工人未戴安全帽、违章作业、火险隐患等危险因素并进行拍照报警记录,大大提高了施工现场管理效率和全面性。据统计使用智慧工地系统对施工安全事故隐患的反馈时间可以由原来的几小时甚至几天变成现在的几分钟之内。

2.3 运营维护阶段

运营维护期也是整个公路工程建设生命期内一个重要的环节,在这一过程中使用智能技术是为了保证建筑物的安全性,提高管理效率,增加其使用年限。一是依托于 BIM 下的运维信息系统。在进行竣工验收后,把项目建设过程中所形成的 BIM 模型以及该模型相关的各种工程项目档案、设备档案和质量检测报告等一并转移至运维单位手中,使之成为一种“数据财富”,运维人员可以直接在 BIM 模型中搜索到任何构件的隐蔽部位资料、设计信息及维修历史,方便日后的维修保养以及改建扩建工作有据可依。二是智能巡查及健康诊断。对大型桥梁与隧道以及高边坡等重要工程设施来说,在它们上安装光纤光栅、振弦式传感器、北斗位移监测设备来实施对结构应力、变形、振动、裂缝等各种状态信息的观测。根据长期监测数据结合大数据分析得到结构性能衰退模型,可以实现桥梁剩余寿命的精确估计,给预防性维护提供可靠的数据支撑,使得发生重大的结构破坏性灾害的风险减少 60% 以上。另外使用无人机载有高分辨率摄像机、红外热像仪等设备对道路进行定期检查,能够快速找出出路而表面网裂、坑洞、桥面下方堆积物、边坡滑移等问题,这比常规的人工巡视速度快 3 到 5 倍。最后养护管理智能化。结合路面检测信息,包括平整度、车辙、摩擦系数、结构检查数据、交通量、环境条件等通过大数据分析以及 AI 算法,生成

路面及结构性能劣化模型并自动生成年度、中期及远期维修计划同时提出最佳维修时间及方式,从而实现对养护资源的有效分配与合理使用。

3 智能化施工技术的核心支撑技术

3.1 建筑信息模型 (BIM)

BIM 技术是智慧建造的“信息基石”,它是一个覆盖整个工程生命期的信息交互协作平台,在勘探设计阶段可以进行三维地貌建模、路线优选及冲突检测,在施工阶段可完成 4D(三维模型结合时间轴)动态施工仿真、5D(三维模型结合时间和成本)进度控制、预制件详细设计并数字化移交等,在运营维护环节中 BIM 充当着资产管理、检修维修等资料信息媒介。BIM 最大的优势就是把以往各环节零散信息整合在一起形成统一的信息库,为接下来的物联网数据、监测数据奠定格式化的基础架构,可以说它是消除信息壁垒的突破口。目前 BIM 技术与 GIS 以及物联网结合得越来越紧密,在对宏观工程环境和微观构件进行管理方面又深了一层。

3.2 物联网与传感器技术

物联网及传感器技术作为智慧型施工系统的“神经终端”,用来感受现实环境并通过将物质的状态变化转换成电信号。其在高速公路领域的使用也是多种多样,包括 GPS/北斗定位传感器、加速度传感器、应变传感器、温度传感器、压力传感器、视觉传感器等,它们分别固定到施工设备、预制件、建筑物以及外部空间中去而形成的一张无线或者有线的传感网。比如,在道路工程智能化建设过程中,设置于压路机上的 GNSS 天线以及加速度计,每隔一秒收集一次位移信息及振动数据,对压实效果的质量过程监测提供了即时性、动态性的数据支撑,其数据量远远超过传统的定点测量数百万倍。而物联网网关承担着数据汇聚及边缘计算的任务,保证了大量感知数据可以高可靠率、低延时地上传到云端或者数据中心端。

3.3 人工智能与大数据分析

AI 和大数据处理是智能建筑项目的“智慧大脑”。对于建筑项目中所产生的大量复杂的跨领域性的数据,传统的统计分析已经无法满足需求了,大数据可以提供对数据进行收集、整理、融合和分析的功能,人工智能提供的则是对数据进行分析与决策能力。

在质量管理上,借助机器学习的方法,可依据以往的施工记录以及实时的感知信息建立工程质量预测模型。如通过对摊铺温度、碾压速率、环境温度同最后压实度三者之间的关系分析,从而提前判断是否存在隐患位置并及时修正碾压工艺参数进而达到质量闭环的目的;安全管理上,

利用深度学习方法中的计算机视觉技术对监控录像实时处理,自动检测出异常的人的行为以及危险点,做到从“事后补救”向“事前预防”的转变^[4]。在进度控制上,综合 BIM 模型以及现场传感器的数据信息,例如混凝土浇筑量、钢筋加工量,通过使用神经网络等相关的方法来实现对于工程进度的实时监测以及预警提醒,帮助管理人员进行实时纠正。

3.4 自动化与机器人技术

自动化及机器人技术为智能化施工提供的是“执行单元”,把设计方案变成实体世界的精准动作,是完成施工现场少人化乃至无人化的重要环节。在公路工程里,自动化及机器人技术已经开始广泛使用了。比如钢筋厂的数控钢筋弯箍机以及钢筋笼滚焊机等自动化机械可以使得加工精度达到 $\pm 2\text{mm}$ 左右,相比手工加工提高了五倍以上的生产率,大幅度减少了材料的浪费。道路施工方面无人驾驶压路机成群出现,它们按设定好的路线共同工作,能够保证每个轮次的碾压轨迹相同,行驶速度均匀,杜绝了人工作业产生的漏压欠压的现象。另外,针对隧道支护用自动化台车,桥梁墩柱检查用爬壁机器人等各种专用设备也正在不断的研制和推广,逐渐取代工人进行危险强度大的重复性工作,极大地提高施工质量和效率^[5]。

4 智能化施工技术应用和优化策略

4.1 加强技术集成与系统兼容性

现阶段智能建造存在的主要问题就是各种不同的技术相互割裂,各自为政,难以协同作战。为此需要强化整体规划,推动技术整合。一方面要制定统一的数据标准和接口协议,使不同的厂家的产品、不同用途的终端及不同的平台之间可以互相兼容,做到“物物连通”。另一方面要积极推行“数字孪生”的平台,把 BIM、GIS、物联网、业务管理系统等各种数据统一整合在一个可视化的、可分析的、可交互的三维数字底座上,消除信息孤岛,做到项目的集成化和企业的集成化,甚至行业的集成化。最后,倡导开展“产学研用”的合作,研发整体化的集成方案,而不是碎片式的个案应用。

4.2 完善人才培养与引进机制

智能化施工技术的应用离不开人才的支持,在我国目前既懂公路工程建设知识技能又熟悉 BIM、物联网以及人工智能等新技术的人才十分紧缺。根据中国建筑业协会的一项关于建筑行业的情况调查发现,有超过六成的企业都表示智能化技术的应用的最大难题就是缺少复合型人才支持。所以一定要健全多层次的人才培养模式。首先要从高校入手,进行合理规划课程结构,增加智能建造相关

课程和数字孪生相关内容,为以后提供具有复合知识结构的高素质人才。另一方面,企业要加强为员工进行培训,开展对内开展培训、技能比赛、项目实操等形式提高现有技术人员数据分析能力[BIM 应用能力及智能设备操作技能等],并积极招揽具有核心技术的研发精英团队和技术领军人物为公司进行技术支持。

4.3 优化成本控制与长期效益评估

智能化技术的前期投资较大,在某种程度上影响着企业的使用意愿,所以有必要构建合理的成本效益分析模型,以整个生命周期来衡量它的经济效益。尽管智能化建造在前期对硬设备、软件以及人员方面的投入较多,但是因为智能化建造能够提高工程质量和生产效率、减少返修、节省材料、缩短工期、保障安全生产等优点,导致其全生命周期的成本较低,获得的投资收益也较高。政府以及企业要改变思想,把智能化建造看作是一项长期投资行为。可以设立专项资金支持基金、把智能化应用情况进行作为评选先进单位的一项依据、实行税收减免等政策来激励和推动企业进行更多的智能化建造项目。

5 结束语

智慧建造技术是促进建筑工程及管理由机械化到信息化再到智能化飞跃的关键动力。文章从公路工程建设项目的勘察设计、施工建设、运营维护三大阶段入手剖析其具体的应用情景,同时阐明了 BIM、物联网、人工智能、

自动化技术等关键技术相互支持的机理及其协同效应。虽然现阶段已经取得了一定的应用成果,但是在技术融合、人才储备、经济投入和政策法规等方面还存在不足之处。今后在 5G、边缘计算、数字孪生等新技术不断发展的前提下,智能建造将进一步向着更加深度的协作化、智能化的方向迈进,最后达到人、机、料、法、环的全方位智能联接的目的,来支撑起建设一个安全、高效、绿色、智慧的道路基础设施体系的目标。

[参考文献]

- [1]吴永建,秦培均,黄文跃,等.基于智能化风险评估的高速公路施工安全体系构建[J].建筑安全,2026,41(3):90-94.
- [2]骆翔.数智化技术在公路改扩建工程施工中的应用[J].建材发展导向,2026,24(4):37-39.
- [3]刘海东.基于智能爬模系统的高速公路桥梁高墩施工精度控制研究[J].中华建设,2026(3):165-167.
- [4]陈美磊.智慧科技赋能公路工程建设的施工管控创新[J].中国科技信息,2026,38(6):174-176.
- [5]陈婷婷.无人机航测技术在公路工程施工管理中的应用研究[J].科技与创新,2026(5):81-83.

作者简介:梁计(1984.3—),男,毕业院校:内蒙古工业大学,专业:交通运输,目前就职单位:乌海市乌达区建设工程质量安全技术服务中心,职务:工作人员;职称级别:中级。