智能建造背景下道路与桥梁工程施工管理创新研究

邹 展
新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]智能建造技术促使道路、桥梁工程的施工管理由原来的粗放式管控转变为以数据为驱动的精细化治理。传统模式存在着质量管控滞后、安全预警被动、进度成本协同不足等缺陷，智能建造依靠数字化、智能化、信息化技术的深入渗透来给出系统的解决办法。立足于道路桥梁工程行业的特点，分析传统管理困境以及智能建造给行业带来的范式变革，从协同管理、质安管控、进度资源管理、数据决策四个方面提出创新路径，建立制度标准、技术基础、人才能力、协同机制四层保障体系。

[关键词]智能建造；道路与桥梁工程；施工管理；管理创新
DOI：10.33142/sca.v9i10.20631 中图分类号：U415 文献标识码：A

Research on Innovative Construction Management of Road and Bridge Engineering under the Background of Intelligent Construction

ZOU Zhan
Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Intelligent construction technology has transformed the construction management of road and bridge engineering from extensive control to data-driven refined governance. The traditional model has shortcomings such as lagging quality control, passive safety warning, and insufficient coordination of schedule and cost. Intelligent construction relies on the deep penetration of digital, intelligent, and information technology to provide systematic solutions. Based on the characteristics of the road and bridge engineering industry, this paper analyzes the challenges of traditional management and the paradigm shift brought by intelligent construction to the industry. Innovative paths are proposed from four aspects: collaborative management, quality and safety control, schedule resource management, and data decision-making. A four layer guarantee system is established, including institutional standards, technical foundations, talent capabilities, and collaborative mechanisms.

Keywords: intelligent construction; road and bridge engineering; construction management; management innovation

引言

道路、桥梁工程属于交通基础设施的重要组成，道路、桥梁工程的质量好坏直接影响到公共安全和区域发展。到2025年底，全国公路桥梁总数达到114.41万座，比上年底增加了3.60万座，复杂地质条件的项目所占比例越来越高，传统的管理方式在高墩施工、大跨径桥梁精度控制等各方面存在的不足越来越明显。同时智能建造技术以物联网、大数据、人工智能、数字孪生等同建造技术深度融合的方式，正在对交通基础设施全生命周期管理方式进行系统性的革新。但是道路桥梁工程线路长、工序多、风险集中是道路桥梁工程的固有特点，所以其管理创新要面对比一般建筑工程更复杂的场景需求。在智能建造背景下怎样实现管理模式的实质性的升级，而不仅仅是简单的技术叠加，成了一个急需研究的课题。

1 智能建造与道路桥梁工程施工管理概述

智能建造不是单个技术的运用，而是依靠信息传递和数据处理形成感知、分析、决策、控制闭环的技术系统，它的主要特征就是用数字化的方式给建造过程赋予智能的认知能力。道路桥梁工程领域智能建造技术架构一般包含三个层次，即感知层用传感器、摄像头、定位设备等采集施工现场人机料法环的多维数据，分析层用BIM、大数据、人工智能算法整合建模，执行层用智能装备、协同平台完成自动化作业和管理决策支持。该技术体系同道路桥梁工程施工管理的主要职能存在深度契合，进度管理用动态模拟和偏差预估来达成，质量管控依靠实时对比和精确把控来执行，安全监管经由风险识别和自动反应来实现。从政策角度来说，智能建造已经从行业倡议变成国家战略，交通基础设施的数字化转型也被确定为高质量发展必须

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

要走的道路。交通基础设施数字化转型的本质就是依靠数字技术同交通业务的深度融合，达成规划、设计、建造、养护、运营全过程的数据联通和业务融合，促使交通基础设施由传统的要素驱动转变为创新驱动。该种政策导向给智能建造在道路桥梁工程管理上的全面使用赋予了顶层支撑。

2 智能建造背景下道路与桥梁工程施工管理的现实需求

2.1 传统道路与桥梁工程施工管理存在的问题

传统施工管理存在的主要问题表现在三个方面。第一，质量控制主要依靠事后检查，隐蔽工程、关键工序的质量数据很难全部追溯到施工过程中，质量问题的发现也常常晚于施工进度。第二，安全管理依靠人工巡检、经验判断来应对高墩作业、深水基础、隧道掘进这些高风险情况，隐患排查的覆盖率以及及时性很难得到保证。道路桥梁工程现场施工管理中存在的组织结构不合理、现场安全漏洞、材料管理混乱等问题，在已有研究中被反复提到。第三，进度和成本管理之间存在着信息壁垒，进度计划的变动不能立即体现到资源调配以及成本核算当中去，从而造成管理决策的不协调状况。这些问题产生的原因就是信息传递的碎片化、管理流程的线性化，单个环节的改进不能从根本上解决系统性管理低效的问题。从管理组织角度来讲，道路桥梁工程项目具有点多、线长、面广的典型特点，施工队伍流动性大、作业面分散，传统的层级式管理结构在信息传递效率和现场响应速度上存在着先天的不足，管理指令从项目部到作业班组的衰减效应比较明显。

2.2 智能建造对道路与桥梁工程施工管理的影响

智能建造所引发的管理变革属于范式层面的。智慧高速公路利用大数据、云计算技术对施工全生命周期进行智能化管理，实时监测施工质量，优化施工流程和设备调度，云计算支持远程协作和智能决策，保证施工高效、安全、可控。本质就是管理决策的依据由经验判断变为数据驱动，管理流程由线性串联变为网状协同，管理时序从事后补救变为事前预警，管理边界从项目内部扩展到全产业链协同。就施工组织而言，数字化技术把施工组织由依靠纸质文件、口头协调的模式转变为数据协同模式，智能化装备把高风险、高重复性的作业逐步变成少人化或者无人化的作业，信息化平台把进度、质量、安全、成本等管理要素由分散的控制变为集成的治理。智能建造技术可以使得工程管理数字化、精细化、智能化得以实现，从而破解传统的管理困境。

3 智能建造背景下道路与桥梁工程施工管理创新路径

3.1 数字化技术赋能施工组织与协同管理

协同管理的主要问题就是克服各个参与方之间的信息壁垒。BIM 平台给各个专业的设计人员、施工人员提供了一个共同的工作平台，利用参数化的设计以及碰撞检测，在施工前就能发现结构构件和管线之间的空间冲突，从而降低现场返工的情况发生。施工组织上，4D 施工模拟把进度计划同三维模型融合起来，管理人员可以随时比较实际进度同计划进度，找出潜在的偏差并改良施工顺序。协同施工管理要包含各个参与方、各个阶段内专业间的进度、质量、安全、成本、材料等各方面实时动态的协同。这就意味着协同不能只是技术层面的数据共享，还要有组织架构、管理流程上的相应改变。总承包单位要成立专职协同施工管理机构，分包单位和监理单位要设立协同管理部门并纳入总包统一管理体系，从而形成全员、全过程的协同管理网络。在协同管理具体实施过程中，应该建立统一的工程数据编码体系以及信息交换标准，保证各个参与方、各个系统之间数据可以相互对接，防止出现由于数据格式不一致造成的协同障碍。

3.2 智能化技术赋能施工质量与安全管理

质量安全控制是智能建造技术应用最集中的地方。质量上，利用 BIM 技术进行施工监控，可以对重要的工序进行精确的控制[1]。以 BIM 平台二次开发为手段，在施工过程中，对实测监控数据与模型进行自动比对，从而达到线形误差的动态调整和修正。从安全角度来讲，数字孪生技术有其独到之处。以数字孪生为基础的质量安全预警模型和系统，可以很好地支撑高架桥梁工程质量安全检查、监测、分析、预警决策，大大提高城市高架桥梁工程的施工管理水平。实际上，用 BIM 创建施工全过程虚拟模型，依靠物联网设备持续获取结构受力、位移和施工水位等数据，经由物理数据同虚拟模型的动态耦合来创建安全评价指标体系和预警处置体系。无人机智能巡查、视频监控平台、大型起重设备监测系统等数智化模块的集成应用，使高危作业违规行为发现率和隐患排查效率得到了实质性的提高。智能建造技术可以对施工工艺参数进行实时采集和自动记录，形成不能被篡改的电子质量档案，给工程质量终身责任制提供数据支持。

3.3 信息化平台赋能施工进度与资源管理

进度和资源管理的创新重点就是数据的实时贯通。智慧梁厂建设为典型范例，福州机场二高项目针对传统预制

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

梁厂生产效率低、资源利用率低等缺点，将钢筋自动化加工、移动台座、全自动液压模板、智能养生、智能张拉压浆系统等集成到一起，形成以 BIM 和数字孪生为基础的协同管理平台，实现了生产自动化、管理数字化、决策智能化。中交一公局集团在江苏东台至兴化高速公路项目中大面积使用智能化无人机群进行沥青摊铺，依靠北斗高精度定位系统完成摊铺机和压路机的协同无人作业，摊铺精度控制在 3cm 以内，避免了人工操作导致的漏压、过压、欠压等问题[2]。从上面的案例可以看出，信息化平台的价值不单在于数据的展示，而在于把数据转化成对施工过程的准确控制命令。从资源管理角度来说，信息化平台可以对材料的采购、进场、储存、使用等全过程进行跟踪，根据进度计划自动生成材料需求预警，从而有效地降低库存成本以及材料浪费。

表 1　为智能建造在道路、桥梁工程施工管理中典型的技术应用表

技术类型	应用场景	核心功能	管理效能
BIM 与 4D 模拟	施工组织与协同	碰撞检测、进度模拟、多专业协同	减少返工、优化工序衔接
数字孪生	质量安全预警	实时映射、安全评估、自动预警	事前预警、动态管控
无人机群	路面摊铺碾压	无人驾驶协同作业、精准控制	精度提升、效率提高、风险降低
智慧工地平台	人员安全与进度管理	实时监控、定位追踪、数据集成	全过程可追溯、闭环管理

3.4 数据驱动施工管理决策与风险防控

数据驱动的管理决策就是把分散的监测数据、进度数据、质量数据整合成可以分析的管理信息资产。智慧工地数字化综合管控平台把物联网、人工智能、BIM、大数据等技术融合起来，对人员、设备、物资、安全等各方面进行数据的整合，从而达到施工过程可视化以及风险预警智能化的目的。大数据技术可以对施工过程中历史数据进行趋势分析，找出质量病态发展走向、安全风险聚集状况。数字孪生系统把有限元仿真分析同施工工艺融合起来，创建起结构安全评价指标体系，按照监测数据即时算出安全风险评价分值，再同风险等级标准做对比，从而发出对应级别预警和处置建议。这就使得风险管理由依靠专家的经验来做出定性的判断，变成了依靠数据来进行定量的评价并实现自动化的反应。数据驱动决策的深层价值就是促使施工管理由被动响应变为主动预控，依靠对历史数据的深入挖掘以及机器学习算法的不断改良，使得系统对于风险的识别能力以及决策建议的准确性会随着数据的累积而持续改善。

4 智能建造背景下的道路和桥梁工程施工管理创新保障措施

4.1 完善智能建造施工管理制度与标准体系

智能建造的落地要依靠制度框架的支持。目前智能建造有关标准在道路桥梁工程方面的适用性以及细化程度还存在欠缺，标准体系不完整、可操作性差等问题比较明显。重点推进三个方面的工作，一是制定智能建造施工管理的专项制度，对数据采集、传输、存储、使用做出规定；二是建立智能装备和平台的准入和评价标准，保证技术应用质量及兼容性；三是把智能建造管理要求纳入工程验收和绩效评价体系，形成制度化的推进机制。协同施工管理组织建立要确定总承包单位、分包单位、监理单位各自职责界限和接口规则。

4.2 加强智能建造技术应用与基础设施建设

技术基础设施越健全，智能建造的效果就越好。施工现场 5G 网络覆盖、物联网传感器部署、云平台算力支持等属于智能建造的基础能力。道路桥梁工程线路长，通信网络连续稳定的要求也就越高。应当首先对重要的施工工点、危险地段进行感知设备的全面布置，逐步形成一条覆盖全线的数据采集、传输链路。还要注意异构系统之间的兼容性问题，智能建造所用到的各种品牌、各种类型的设备以及平台之间数据的互通，就是造成管理协同技术瓶颈的原因。

4.3 提升施工管理人员数字化应用能力

技术工具的有效使用要靠人的能力。智能建造给施工管理人员提出新的技能要求，即掌握数字化平台的操作逻辑，有数据分析、判断的能力，在智能系统辅助下做出管理决策。应建立分层分类的培训体系，即对一线管理人员进行平台操作、智能装备使用的培训，对项目管理层加强数据驱动决策思维的训练，对企业层面加强智能建造系统规划和集成能力的培养。协同施工管理机构负责人要有相应的执业资格和类似工程的管理经验。

4.4 构建多方协同与全过程管理机制

智能建造背景下的管理创新不是施工单位的单打独斗，而是建设、设计、施工、监理、运维等多方主体共同参与的过程[3]。应当建立以数据共享为基础的协同工作制度，把智能建造管理的要求写进合同条款中，明确各个主体之间对于数据的提供、平台的使用以及信息反馈等各方面的权利和义务。全过程管理机制要打通设计阶段 BIM 模型到施工阶段的传递通道，保证施工阶段产生的质量安全数据可以向运维阶段延伸，形成工程全生命周期数字化管理链条。智慧工地系统的实践证明，安全监控数据同进

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

度管理、人员管理、环境监测相融合之后，项目的整体管理效率比单个系统分散使用要高得多。在协同机制具体运行的过程中，可以依靠 BIM 协同平台创建起定时召开的协调会议以及问题追踪闭环体系，使得设计变更、施工调整、质量整改这些信息能够在各个参与方之间达成即时传递并形成联动回应的局面。

5 结语

智能建造给道路与桥梁工程施工管理的转型升级赋予了技术可能，不过技术本身并不能自动产生管理效能。创新路径有效性的三个条件分别是数字化技术同工程场景的深度契合、管理制度和组织流程的同步更新、人员能力和技术系统一起发展。目前一些项目虽然已经完成了智能化软硬件的部署，但是存在系统功能利用率低、数据孤岛仍然存在的问题，其根本原因就是把智能建造简单地当作技术采购，而不是管理变革。未来的研究应该继续对智能建造技术在不同类型的道路上桥梁工程上的适用性进行研究，并且还要探究管理创新的效果怎样用量化的方法来评价。从技术驱动转向管理驱动，从单点应用转向系统集成，是智能建造背景下的施工管理创新要不断探索的方向。

[参考文献]

[1]陈瑶,李少荣,黄任才.交通智能建造研究发展综述[J].现代交通与冶金材料,2026,6(3):19-30.

[2]陈大学.公路桥梁工程建设过程中的项目施工管理[J].工程建设与设计,2024(7):258-260.

[3]杨磊,陈丽娟.基于数字孪生的城市高架桥梁工程质量安全预警模型[J].公路,2025,70(12):252-258.

作者简介：邹展（1981—），毕业于塔里木大学土木工程专业，现就职于新疆北新路桥集团股份有限公司，中级工程师。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.