DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.240566

# 预制装配式高架数字化建管转型

邓龙华[1],张　龙[1],沈敬林[1],孙　杰[2]
[1.青岛城发城市更新有限公司,山东 青岛 266100; 2.上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

**摘　要:** 结合某大型预制装配式高架响应推动智能建造等国家政策的实践成果,分析研究了工程建设管理数字化转型中需要解决的问题与关键技术。实践表明,通过建立数字化标准体系、打造数字孪生底座、构建立体化的施工现场感知系统与集成化管理平台,可以深度推进项目数字设计、智能建造与数字化管理。在设计阶段,基于BIM技术建立工程全生命期的数字底座,能够准确表达路、桥、隧所有细部构造,进而对设计图纸进行智能辅助审查,最大程度优化设计质效;在施工运维阶段,围绕项目建设打造集成化管理平台,能够实现进度、质量、安全等项目管理业务流程的数字化升级。介绍的项目数字化建管转型方案能够为后续工程建设提供一些参考借鉴。

**关键词:** 桥梁工程;预制装配;智能建造;项目管理体系;数字化转型
**中图分类号:** U445.4　　**文献标志码:** B　　**文章编号:** 1009-7716(2025)03-0231-05

# Digital Construction and Management Transformation of Prefabricated Viaduct

DENG Longhua[1], ZHANG Long[1], SHEN Jinglin[1], SUN Jie[2]
[1. Qingdao Chengfa Urban Renewal Co., Ltd., Qingdao 266100, Shandong, China; 2. Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

**Abstract:** Combined with the practical achievements of a large prefabricated viaduct in promoting the intelligent construction and other national policies, the problems required to solve and key technologies in the digital transformation of engineering construction management are analyzed and studied. The practice shows that by establishing a digital standard system, creating a digital twin model, and constructing a three-dimensional construction site perception system and integrated management platform, the digital design, intelligent construction and digital management of projects can be deeply promoted. In the design phase, and based on BIM technology, a digital model for the entire life cycle of the project is established, which is able to accurately express all the detailed structures of roads, bridges and tunnels, and then intelligently assist in reviewing the design drawings to optimize the design quality and efficiency to the maximum extent. In the construction, operation and maintenance phases, an integrated management platform is built around project construction, which can achieve the digital upgrading of project management business processes such as progress, quality and safety. This digital construction and management transformation scheme of the project can provide some reference for subsequent engineering construction.

**Keywords:** bridge engineering; prefabricated; intelligent construction; project management system; digital transformation

## 0　引　言

智能建造是信息化、智能化与工程建造过程高度融合的创新建造方式,融合了 BIM、物联网、大数据、人工智能等技术,搭建了设计、生产、施工、管理等环节高度集成与协同的建造系统,引领着建筑产业的革命性变革[1]。近年来,鲍逸[2]研究了工程建设行业数字化转型的政策背景和目前存在的主要问题,总结了数字化转型的不同阶段和数字化技术的探索实践,指出工程建设行业需要在顶层设计、标准体系建设、数据共享、技术创新、人才培养等方面加强投入和研发,实现行业的数字化转型。吴绍明[3]研究了基于BIM技术构建虚拟数字沙盘来取代实体沙盘的技术路线,以提高工程设计、征迁、建造等工作效率。文武松[4]研究了以桥梁BIM模型为载体,以工业互联网平台为服务模式,通过数据共享和业务集成推进基础设施数字化转型与智能化升级的技

收稿日期:2024-05-21
作者简介:邓龙华(1982—),男,学士,工程师,从事桥梁建设管理工作。
通信作者:孙杰(1995—),男,博士,工程师,从事BIM设计工作。电子信箱:sunjie@smedi.com

术路线。李倩文[5]研究了基于BIM5D技术实现工程智能建造的管理平台，包含现场过程管理、成本管理及施工模拟应用等。

本文在智能建造、工程建设项目全生命周期数字化管理改革等国家政策背景下，研究了预制装配式高架建设过程中数字化转型需要解决的关键问题，并依托项目探索了其中的关键技术，实现了项目建设各项业务流程的数字化升级，凝练了标准化的数字化管理体系。相关研究成果对于推进项目数字化管理、促进工程建设领域高质量发展具有典型意义。

## 1　数字化转型需要解决的关键问题

### 1.1　工程沿线控制因素多，沟通协调频繁

大型桥梁工程往往路线长，沿线环境敏感点分布广，尤其是城市主干道工程，对外涉及到与政府相关部门、各类管线产权单位、征迁权属单位、交管部门的汇报沟通等，对内涉及到施工计划、组织方案的设计与讨论[6]。通过BIM信息模型搭建项目数字孪生底座，能够清晰反映项目设计方案与现状地下管道、生态区的位置关系，以及项目全线的征迁分布等信息，在三维可视化环境中完成沟通与协调工作，合理安排施工顺序。

### 1.2　专业协同，设计、施工方案优化

大型桥梁工程往往构件几何构造与现场施工条件复杂。在设计阶段，各专业基于BIM技术开展设计协同，并能够基于数字模型对设计图纸进行智能辅助审查，开展交通仿真模拟、结构计算、图纸复核、碰撞检查、道路建筑限界复核等，最大程度优化设计质效；在施工阶段，利用BIM可视化模型进行施工组织规划与施工交底，能够预测和应对施工现场的突发变化，从而提高施工效率和质量，确保项目的顺利进行[7-8]。

### 1.3　标段多，标准化管理难以推行

大型桥梁工程往往施工标段多，标准化建设难度较大。通过将国家行业标准与项目管理制度中的施工工序、项目用表、管理流程、业务权限等相关要求转化为平台内部标准化配置，建立项目建设过程的“数字化总工”，并利用智能物联设备监测数据加以驱动项目数字化管理[9]，实现项目管理从人向计算机控制的转变，各参建单位在平台上基于统一的业务配置完成各项业务流程，实现项目标准化管理。

### 1.4　业务管理工作重，协同化需求迫切

工程建设项目现场管理、质量验收、资料编制、进度管控等业务管理工作重，建设单位统筹获取信息工作量大且精准度难以保证。项目搭建全线统一的数字化平台，各参建单位在平台上有序开展各项业务工作，推动资源系统整合、业务流程再造、组织结构重组以及管理模式创新，实现进度、安全、质量、计量各业务模块的无缝隙管理[10]，形成一环扣一环的管理链条，提高管控效率。

### 1.5　预制生产管控脱节，质量溯源难

现阶段预制构件生产、安装、验收职责划分模糊，预制梁厂总体管控难度较大。通过预制梁厂的智慧化转型，打通质量数据的监测与传递、整体计划的排产与监控，实现构件原材、拌合、布料、振捣、蒸养、张拉、压浆、验收全流程的进度与质量管理，实现产品合格证数字化交付，全面提升预制构件智能生产、监管水平[11]。

### 1.6　运维管理周期长，竣工后的数字资产要求高

项目竣工后运维周期长，维护成本高，需要自动、合规、完善的全生命期数据管理系统减轻运维成本。项目施工阶段通过具有唯一性的模型编码，实现各结构物基本属性、设计图纸、施工内外业资料、检测报告等资料自动规整关联，形成全生命期的数字资产，为各结构物、设备的智慧运维提供数据支持。

## 2　关键技术路线探索

### 2.1　建立数字化标准体系

在推进项目数字化转型的过程中，需要建立统一的标准体系，诸如总体实施方案、项目数字化管理导则以及数字化标准体系等。总体实施方案与管理导则用以明确项目智能建造转型目标、措施与成果要求，建立具体实施的组织架构，规范各参建单位数字化行为；数字化标准体系用以推进项目智能建管顶层设计、应用流程、信息编码、数据传递、系统安全、后期维护等各项业务基于统一标准体系开展工作，确保项目实施内容符合标准要求，在全生命期内发挥预想成效。

### 2.2　打造数字孪生底座

工程建设过程中涉及到地下管线、临近房屋地铁、重要生态区等多种制约因素，通过建立BIM信息模型实现项目设计方案与现场实景的精准叠加，能够在各类方案讨论、征迁协调、管线迁改等汇报中发

挥可视化价值，加深会议讨论深度，优化设计方案；同时以具备唯一性的编码，BIM 信息模型串联设计、施工、运维全生命期数据，在大数据的驱动下实现模型数字孪生，反映现场真实建设情况，同时最终沉淀一整套数字资产。

### 2.3　构建立体化感知系统

通过智能单兵、物联设备监测、视频 AI 算法、特种设备监控、环保管控、生产线数据监测等现场智能设备的应用，构建项目立体化感知系统，对项目三场一站与重要工点进行全时段管控，实现预制梁厂和施工现场“人、机、料、法、环”等关键要素的全面感知和互联互通，为项目建设过程中安全预警、质量分析、进度管理等决策服务，构建工地智能监控和控制体系。

### 2.4　搭建集成化项目管理平台

建立集成化平台，以项目全生命周期管理为主线，能够实现各级项目管理信息高度融合、关键流程节点全过程实时管控、工程各阶段信息实时穿透及系统内信息实时共享等功能，逐步实现管理效率和监管水平的提升。各级管理人员通过移动端、小程序、网页端、大屏端等开展数字建设管理工作，打造以数字化技术为核心的智能建造业务场景，对项目建设流程智慧化管控，实现业务流程的数字化升级、业务数据的智能化应用。

## 3　项目应用示例

### 3.1　工程概况

青岛东岸产业园区基础设施综合改造项目（青岛市重庆高架路）是山东省重点工程，是青岛市城市更新和城市建设三年攻坚行动重点工程，也是青岛市有史以来建设规模最大的城市快速路项目。项目全长 17.7 km，总投资 123.72 亿元，设有 7 处立交节点与 9 对上下匝道，串联 4 条快速路和 17 条主干路，项目规模大、工期紧、装配率高、施工环境复杂、参建单位多、现场管理信息交互量大。项目需要打通省内长度最长、复杂度最高的立体复合交通走廊，以缓解青岛市东岸城区南北向快速和主干路网交通拥堵现状；需要充分利用地下空间，实现近 20 条市政管线的合理布置，巩固青岛市“生命线”，总长度约 364 km；需要保证全线交织近 9 km 地铁线路的安全运营，同步提升项目建设速度；需要保证全长 126 m、宽 28 m，共两联四跨，9 600 t 桥梁“龙抬头”安全施工；需要保证总面积约 55 万 $m^2$、共 2 060 片预制混凝土小箱梁，以及 7.4 万 t、共 209 跨钢箱梁的有序生产。

项目建设过程中，抢抓青岛市打造智能建造试点城市机遇，秉承“工业化、数字化、绿色化”的建造宗旨，配套建设全市规模最大、智能水平最高、工艺最先进的智慧化箱梁厂，通过“前方搭积木、后方造积木”，推进主线桥梁与匝道交叉施工，科学压缩工期近 6 个月，成功实现主线及 9 对匝道“当年开工、当年通车”的目标，创造了青岛市重大市政项目建设新纪录。

### 3.2　智能建管方案

在项目建设过程中，为提升协作水平，提高管理效能，解决所遇到的难点痛点问题，项目基于 BIM、GIS、物联网技术，构建了“1+1+3+N”的数字化建管标准体系，包含“一套标准体系、一套数字孪生底座、3 个数字化平台，与 N 个应用场景”，深度推进项目数字设计与智能建造，提升建设管理的执行力。

（1）一套标准体系：在分析行业现状与项目特点、广泛收集资料与充分调研的基础上，完成项目数字化应用顶层规划，包括策划项目数字化总体实施方案，建立健全项目 BIM 信息分类与编码、交付等标准体系，撰写基于 BIM 的数字建设管理导则。

（2）一套数字孪生模型：见图 1，项目基于 BIM 技术开展“一模到底”工程全生命周期数字化管理，首先基于标准体系完成了施工图信息模型创建，对设计方案进行复核优化，同时利用轻量化软件实现与倾斜摄影、现状管道等项目全要素信息模型的整合，搭建了项目数字沙盘，是项目建设全过程的孪生底座，发挥了可视化沟通价值。

图 1　数字沙盘底座

（3）3 个数字化平台：如图 2 所示，包括基于 BIM+GIS 的数字建管平台、Al+AR 智慧工地平台与 IOT 新型智造化装配式梁场三个数字化平台，将 BIM 技术与物联网、大数据等技术进行有机融合，对项目施工生产进行智慧化管控，项目 30 余家参建单位共 1 000 余名管理人员在数字化平台上协同工作，实现了进度、质量、安全、计量等项目管理流程的数字化升级，实现了人、机、料、法、环等施工现场数据的智能化

应用。

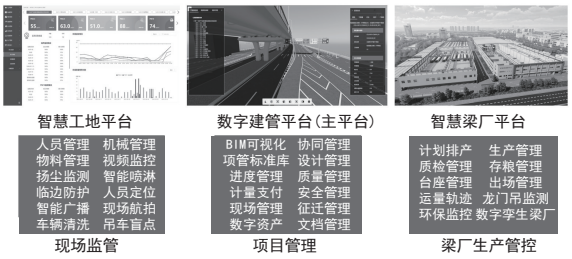


图 2　三个数字化平台

（4）N 个应用场景：既包括了数字建管平台中进度、质量、安全、现场、征迁等管理，也包括了智慧工地中人、机、料、法、环的感知，智慧梁厂中生产质量、进度的感知等，各级管理人员基于数字化平台开展建设管理工作。如图 3 所示，数字建管平台是业务中台与决策大脑，调用智慧工地与智慧梁厂相关数据来为业务管理服务，而智慧工地与智慧梁厂两个平台部署了大量的物联感知设备，将采集到的数据汇集到数字建管平台中，实现数据驱动项目业务智能管理。

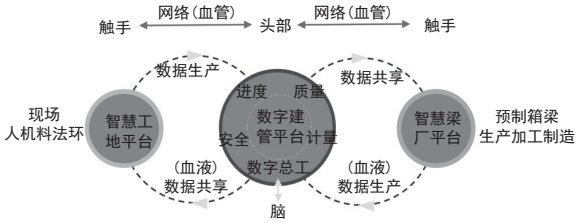


图 3　项目数字化平台集成方案

## 4　业务升级典型场景

### 4.1　BIM 可视化赋能决策管理

项目路线长、区域影响大，结合现状用地开发情况、地形地势、规划定位及交通需求等因素，利用参数化“BIM+”正向设计软件，快速生成不同建设方案三维效果，进行了 30 余种不同设计方案的智能比选，并基于数字孪生模型对设计图纸进行智能辅助审查，同时对 9 600 t 的桥梁顶升、地铁影响区的桩基布设进行了数字化复核，最大程度优化设计质效。同时在施工现场，基于项目数字底座与 AR 技术，做到现场和模型的实景融合，对地铁、管线、结构等准确定位，合理安排现场施工，减少施工返工现象，降本增效。

### 4.2　征迁任务可视化分析与跟踪

项目房屋拆迁与管线迁改均基于 BIM+GIS 数字孪生模型进行决策沟通，打破了以往征迁 2D 图表的展示形式，实现征迁管理对象的直观展示，便捷体现出需要征迁的房屋、管线与工程的位置关系、空间影响等，用于与各政府单位及权属单位的汇报讨论，节约沟通成本，同时实景三维跟踪征迁进度状态，实时分析调整征迁任务，规避征迁滞后对项目进度造成的影响，有效保障了工程进度。

### 4.3　进度质量数字化管理

传统工程进度管理方式会在线下通过大量的纸质资料进行流转，而本项目利用数字化平台将进度质量与 BIM 构件相结合。项目建设过程中工序报验、质量验收工作均通过数字化平台开展并资料存档，通过智能设备对施工质量数据智能监测、进度自动汇总统计，并以数据驱动模型孪生，以不同颜色标识构件实际进度状态、质量内业资料完成情况，反映现场真实建设情况，同时可以通过数字化平台或者扫描二维码看到任意部件的生产资料数据，实时识别进度滞后风险、质量异常数据并预警。

### 4.4　安全风险预警与巡查闭环

安全永远是工程建设的重中之重，项目通过数字总工系统建立了预警体系，平台内部预设了施工工序风险源信息，实现现场安全的智能管理，自动推进安全员开展巡查工作，日均闭环巡查任务 500 余条。项目各参建单位总计 147 名现场管理人员配备智能单兵设备，可以实时查询人员定位、进行视频对讲指示，同时通过移动端项目圈功能进行质量、安全、环保等各类现场问题反馈，拍摄现场影像推送相关责任人进行整改，并对最终结果加以验收，加强问题整改—回复—验收全流程闭环管理力度，实现远程施工监管和资源调配。

### 4.5　工地智能监控和控制体系

项目利用智能物联设备构建了立体化的工地智能监控和控制体系，弥补了传统方法和技术在监管中的缺陷，高空摄像头、局部 AI 摄像头、智能单兵设备、物联设备监测、特种设备监控等智能化硬件覆盖施工现场和预制梁场，三大平台系统相互统筹调配，实时管控现场工作状态，实现工程建设现场 24 h 全时段、全区域的智能管控。同时，深化 BIM 模型在项目交底过程中加以应用，进行工艺模拟分析，优化施工方案，并将 BIM 模型进行厘米级定位，1∶1 叠加在施工现场，可视化指导现场施工核验、进度管理、质量管理，提前发现错误，增加协同减少返工。

### 4.6　梁厂智能化管控

项目预制构件生产运用 10 大控制系统，分别为混凝土运输布料系统、固定液压外模及其控制系统、移动台座及其变频控制系统、智能蒸养控制系统、横

移摆渡控制系统，中央信息监控系统、智能张拉控制系统、智能压浆控制系统、智能控温控湿养生系统及智能化信息控制系统，并通过数字化平台将梁厂生产工序进行物联网监控并串联整合，建立预制部品部件生产追溯体系，实现了项目2 060片预制小箱梁从“人机料法环”到“构件成品出厂”再到“施工现场”全过程的智能化建造，全面提升了智能生产、监管水平。

### 4.7　全要素、全流程的数字资产

项目最终在竣工时，项目图纸、设计属性信息、项目模型、施工过程资料、地下管线模型等数字资产可以通过数字化平台进行存储、管理和共享，对于工程沿线未来的规划、建设和管理都能够提供数据支持，具有重要意义。

## 5　结　语

当前，我国正处于工程建设领域高质量发展改革的重要时期，基于BIM、GIS、物联网、大数据等数字化技术，完成项目智能建管标准体系、数字孪生底座与协同化管控平台搭建，能够实现工程建设全周期管理要素“数化”、手段“数化”、流程“数化”以及决策“数化”。在项目建设阶段，通过数字孪生底座与全面的数据感知，能够为不同阶层管理者提供差异化服务，实现设计理念可视、建设数据共享、业务流程互通、门户式信息归集，增强各参建单位间的协同工作效率，打造全要素、全场景、全员参与的数字化管控模式，助力项目智能建管转型。

**参考文献：**

[1] 孟楠．推进智能建造走向纵深[J]．建筑，2021（12）：17-19.
[2] 鲍逸．工程建设行业数字化转型的探索与思考[J]．建筑科技，2022（1）：47-50.
[3] 吴绍明，冯远鹏，闫怡雯，等．基于BIM+GIS的高速公路数字沙盘研究及应用[J]．公路工程，2023，48（2）：73-80.
[4] 文武松，毛伟琦，陶世峰．新时代桥梁智能建造及智慧服务体系研究[J]．世界桥梁，2022，50（6）：122-127.
[5] 李倩文．基于BIM5D的工程智能建造管理应用研究[J]．城市道桥与防洪，2019（8）：197-199.
[6] 牟晓亮．数字孪生技术在城市主干路改建工程的应用实践[J]．城市道桥与防洪，2023（8）：293-296.
[7] 王晓芳，杨洪图，李长洙．基于三维实景模型公路桥梁BIM正向设计研究[J]．城市道桥与防洪，2023（8）：75-79.
[8] 李永君，宗志荣，刘思维．济宁市内环快速路桥梁工程总体设计[J]．城市道桥与防洪，2022（9）：71-74.
[9] 刘攀攀，蒋海里，陈柳花，等．基于BIM+GIS技术的大跨度桥梁施工可视化信息管理平台研究及应用[J]．城市道桥与防洪，2022（8）：185-189.
[10] 张基成，孙杰．BIM管理平台在快速路项目建设中的应用[J]．城市道桥与防洪，2021（10）：172-176.
[11] 刘佩斯．深中通道智慧梁场建设及运营研究[J]．世界桥梁，2023，51（增刊1）：26-33.

（上接第230页）

[4] 张开坤．富水砂卵石地层长距离曲线下穿既有地铁施工技术[J]．建筑技术，2020，51（7）：802-805.
[5] 沃云舟．顶管始发端头土体加固方式研究与应用[D]．合肥：安徽建筑大学，2023.
[6] 安关峰，王谭．深厚富水砂层地区大直径钢顶管施工关键技术[J]．特种结构，2019，36（5）：114-119.
[7] 张艳林，曾天成，甘甜，等．真实复杂地层大直径钢顶管三维数值模拟研究[J]．科学技术与工程，2020，20（33）：13791-13798.
[8] 唐培文．大断面矩形顶管减阻技术应用研究：以苏州综合管廊矩形顶管为例[J]．地质科技通报，2020，39（2）：198-203.
[9] 赵启超．顶管技术在南通地铁洪江路站富水砂层中的应用[J]．江苏建筑，2022（1）：80-83，88.
[10] 吴连社，杨春瑞．大直径管道穿越富水砂层对堤防稳定性影响分析[J]．江淮水利科技，2023（5）：32-36.