

智能建造背景下工程项目成本动态管控体系构建研究

——以辽宁省丹东市为例

王正虹

辽东学院 辽宁丹东

【摘要】针对传统成本管控信息滞后、过程粗放、区域适配性不足等问题，将智能建造技术体系与全生命周期成本管理理论相融合，构建由数据底座层、模型分析层、管控应用层构成的成本动态管控体系，阐明其各阶段运行机理；结合辽宁省试点实践与丹东市城市更新需求，分析边境中小城市推广该体系面临的资金、人才与数据约束，从企业、政府、高校三个层面提出轻量化部署、政策协同与产教融合等对策，为同类地区建筑业数字化转型提供参考。

【关键词】智能建造；成本管控；BIM；数字孪生；城市更新；丹东

【收稿日期】2026 年 6 月 12 日

【出刊日期】2026 年 7 月 15 日

【DOI】10.12208/j.jer.20260047

Research on the construction of dynamic cost control system for engineering projects in the context of intelligent construction——Taking Dandong City, Liaoning Province as an example

Zhenghong Wang

Liaodong University, Dandong, Liaoning

【Abstract】In response to the problems such as lagging cost control information, loose process, and insufficient regional adaptability in traditional cost control, the intelligent construction technology system is integrated with the theory of full life cycle cost management to construct a cost dynamic control system consisting of the data foundation layer, model analysis layer, and control application layer, and clarify the operation mechanism of each stage; combined with the pilot practice in Liaoning Province and the urban renewal needs of Dandong City, the constraints of funds, talents, and data faced by the promotion of this system in border small cities are analyzed. Countermeasures such as lightweight deployment, policy coordination, and industry-academia integration are proposed from the perspectives of enterprises, governments, and universities, providing references for the digital transformation of the construction industry in similar regions.

【Keywords】Intelligent construction; Cost control; BIM; Digital twin; Urban renewal; Dandong

引言

建筑业是国民经济支柱产业，但长期依赖要素投入的增长方式使其面临利润率走低、劳动力老龄化等结构性矛盾。住房和城乡建设部等十三部门于 2020 年联合印发《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》，提出 2025 年基本形成智能建造政策与产业体系、2035 年迈入智能建造世界强国行列的目标^[1]。在此背景下，以建筑信息模型（BIM）、物联网、大数据、人工智能和建筑机器人为代表的智能建造技术加速向工程全生命周期渗透，正重塑工程项目的生产方式与管理范式^[2-3]。

成本管理是工程项目管理的核心内容，成本目标

达成情况直接决定项目经济效益。然而，传统成本管控大多延续“定额计价、人工统计、月度核算”模式，数据归集滞后、设计与造价脱节、变更签证失控等问题突出，管理多为“事后算账”式被动应对。如何借助智能建造实现成本管控由静态向动态、由粗放向精细、由事后向事前的转变，是亟待研究的课题。

辽宁省正处于全面振兴关键期，沈阳市已于 2022 年获批国家级智能建造试点城市，相关政策框架初步成型^[4]。丹东市地处鸭绿江畔，是典型的边境口岸城市，当前正实施城市更新三年攻坚行动，老旧小区改造、市政管网更新等民生工程密集开工，为智能建造与成本管控模式的落地提供了迫切场景。基于此，本文构建面

向全生命周期的成本动态管控体系，结合辽宁省及丹东市实践条件开展适配性分析，提出分层次对策。

1 智能建造与成本管控融合的理论逻辑

1.1 智能建造技术体系的层次结构

智能建造是新一代信息技术与先进建造技术深度融合的新型建造方式，其技术体系呈现层次化特征。已有研究提出四层架构：数字实体层依托高精度 BIM 模型承载工程信息；智能感知层通过现场传感设备实现物理工地向数字空间的实时映射；数据智能层借助大数据分析的人工智能算法完成数据清洗、挖掘与预测；应用生态层面向设计、施工、运维场景输出管理功能^[3]。施工执行端，测量、砌筑、焊接等建筑机器人正走向批量应用，多机种协同已在变电站等复杂工程中形成可复用方法^[5]；塔机安全监控、深基坑自动化监测等物联网感知手段的普及，使现场关键风险要素具备实时预警能力^[6-7]。上述要素共同构成成本动态管控的数据与技术底座。

1.2 传统成本管控模式的主要症结

传统成本管控的症结集中在三方面。其一，数据割裂且滞后：造价信息分散于概算、预算、合同清单、财务凭证等异构载体，人工归集周期长、口径不一，成本核算滞后于进度，纠偏窗口收窄。其二，过程控制粗放：设计阶段造价干预有限，限额设计易流于形式；施工阶段对变更签证缺乏快速量化响应，其影响往往到结算时才显现；挣值分析等动态控制方法又因基础数据采集困难难以落地。其三，区域适配性不足：现有方案多源自大型企业大体量项目实践^[8]，投入与组织配置要求较高，中小城市市场在资金、人才和数据积累上均有短板，照搬难以持续。

1.3 智能技术重塑成本管控的内在机理

智能建造对成本管控的重塑，本质上是以“数据驱动”替代“经验驱动”，其机理可概括为三点。一是实时化：物联网设备与移动端使人材机消耗随工序同步归集，成本数据粒度由月缩短至日甚至工序级，为动态纠偏提供前提^[7]。二是前置化：BIM 正向设计与人工智能辅助算量使工程量与造价信息随设计方案同步生成，多方案比选与碰撞检查可在开工前消除大量返工损失，控制关口显著前移。三是闭环化：进度、成本、质量数据集成为同一模型，计划值、实际值与预测值的三算对比自动生成并触发分级预警，决策依据从离散报表升级为连续数据链路^[9]。三者叠加，使成本管控从静态核算工具转变为贯穿全生命周期的动态控制系统。

2 工程项目成本动态管控体系的构建

2.1 总体架构

基于上述机理，本文构建三层成本动态管控体系。数据底座层以 BIM 模型为核心，集成工程量清单、合同价款、企业定额、市场询价与物联感知数据，通过统一构件编码建立“模型构件—清单项目—成本科目”映射关系，解决数据同源问题。模型分析层承担计算与预测，涵盖自动算量组价、BIM5D 进度成本联动模拟、变更影响快速测算与机器学习成本风险预测。管控应用层面向参建方输出限额设计控制、动态三算对比、变更签证在线管理、资金计划优化与结算追溯等功能。三层自下而上形成“数据采集—分析预测—管控决策”的闭环。

2.2 投资决策与设计阶段：成本前置控制

投资决策阶段，依托同类项目历史模型与造价指标库快速生成投资估算，参数化模拟不同方案的投资效益。设计阶段是成本管控的黄金窗口：体系将投资限额分解至各专业并嵌入设计模型，建立设计参数与造价指标的动态联动，造价逼近阈值即自动预警，促使设计人员优化构件选型与材料方案。人工智能辅助算量将需数天的建模算量压缩至分钟级，方案比选频率大幅提高。大型枢纽工程实践表明，以 BIM 正向设计为数据主线开展全专业深化设计，可在施工前暴露管线碰撞与工序冲突，显著提升效率并节约成本^[8]。

2.3 招投标与施工阶段：动态过程管控

招投标阶段，招标方基于模型自动提取工程量生成清单，争议可回溯至模型构件逐项核对，从源头减少清单错漏项引起的结算纠纷。施工阶段是动态管控的主战场：其一，进度计划与成本数据挂接于同一模型形成 BIM5D 应用，随形象进度自动统计已完工程量与产值，为进度款支付提供客观依据；其二，物料验收、劳务考勤、机械台班等数据经物联网设备与移动端实时写入平台，系统自动完成计划、实际、预测三算对比，对超支分项分级预警；其三，设计变更发生后，模型参数修改即联动更新工程量与造价，变更影响从“事后估算”转为“即时呈现”，为审批提供量化支撑。深圳某装配式学校项目以 BIM5D 与数字孪生平台支撑全过程管理，动态成本偏差控制在 $\pm 1.9\%$ 以内，决策数据链路往返时间较传统模式缩短近九成^[2]；智慧工地平台在长距离线性工程中的应用也证实，统一平台集中监控分散工区人材机数据，可提升跨标段协同与归集效率^[10]。

2.4 竣工与运维阶段：数据追溯与全周期延伸

竣工结算阶段，全过程留存的工程量、变更、签证

与影像记录构成完整证据链，结算审核可基于模型逐项追溯，大幅压缩核对周期并抑制高估冒算。运维阶段，竣工模型转化为数字资产，与设备台账、维修记录和能耗数据关联，支撑设施全生命周期成本核算与更新改造决策，使成本管理边界延伸至资产持有期，实现“建设+运维”的全周期成本优化。

3 辽宁省及丹东地区的实践条件与适配性分析

3.1 辽宁省智能建造发展的基础条件

近年来，辽宁省将智能建造作为建筑业转型升级的重要抓手。政策层面，省住建部门印发通知，明确到2025年智能建造适宜技术在试点城市大型工程中应用比例达20%、2030年力争超50%的目标^[4]。平台层面，沈阳市依托国家级试点优势形成配套支持，全省已培育27个智能建造科创平台和12家国家级、49家省级装配式建筑产业基地^[11]。实践层面，全省典型应用项目已覆盖公建、市政、住宅与交通等领域，本桓高速公路等项目实现多场景技术集成，辽宁省妇幼保健院门诊综合楼等项目降本增效成效显著。全省已具备由点到面推广该模式的基础。

3.2 丹东地区工程实践的特征与需求

丹东的城市建设与省会中心城市明显不同。一方面，工程需求以存量更新为主：丹东已进入城市更新三年攻坚期，2026年计划改造老旧小区12个、更新住宅老旧电梯460部、改造燃气供热排水等老旧管网285公里^[12]。此类项目单体规模小、分布碎片化、边界条件复杂，人工作业量大而利润空间薄，对精细化成本管控的需求反而更迫切。另一方面，市场主体以中小企业为主，普遍缺乏自建数字化平台的能力、资金与人才；且寒冷地区有效施工期集中，冬季停工前若未完成关键节点，赶工与闲置代价显著。这决定丹东不宜照搬大城市大体量项目的重型方案，需探索低成本、轻量化、适配本地的管控路径。

3.3 区域适配性矛盾与模式选择

将管控体系移植到丹东，需正视三重矛盾。一是投入产出矛盾：中小企业难以承担全专业正向建模与私有化平台的高额投入，而改造类项目合同额有限，摊薄技术成本难度大。对此宜采取“订阅优先、按需配置”的轻量化策略，优先采用云端订阅式算量计价与进度成本协同工具，改造项目可用三维扫描逆向建模快速建立现状模型。二是数据基础矛盾：区域造价指标库与历史项目数据积累不足，制约估算预测精度，可由主管部门牵头汇聚已完项目数据，建设区域造价指标与材料价格信息平台。三是人才供给矛盾：实证研究表明，

技术易用性感知、组织支持与外部环境显著影响从业人员持续使用行为^[13]，故应将人才培养与技术推广同步规划，避免“平台建成而无人使用”的资源闲置。

4 实施对策与保障建议

4.1 企业层面：分阶段推进能力建设

本地企业应遵循“先工具、再流程、后平台”的渐进路径：近期普及云端算量计价、电子台账与移动签证等低成本工具，快速形成数据沉淀；中期在重点项目试点BIM5D进度成本联动与智慧工地物联监控，重构以数据为依据的成本例会与纠偏流程；远期整合形成企业级成本数据库与项目群管理平台。同时设置专职数字造价岗位，负责模型维护与数据核验，确保数据质量。

4.2 政府层面：政策协同与示范引导

政府应将智能建造要求嵌入项目全流程管理：在老旧小区改造、市政管网等政府投资项目招标文件中设置数字化管理条款，将BIM应用与成本动态报审纳入评标与履约考核；选取典型更新项目开展轻量化试点，形成可复制的区域实施指引；推动区域造价指标库、材料价格信息平台等公共数据设施建设；对先行先试企业给予信用评价、评优评先等政策倾斜，激发市场主体内生动力^[4]。

4.3 产教融合层面：复合型人才支撑

智能建造成本管控的落地，最终取决于兼通工程技术、造价管理与数字工具的复合型人才供给。辽东学院等应用型高校应对接区域产业需求，在工程管理、工程造价等专业融入BIM算量、智慧工地、数据分析等课程模块，与企业共建实训基地和订单式培养项目；同时面向在岗人员开展数字造价培训，形成“学历教育+职业培训”双轨供给。

5 结语

智能建造正推动成本管控从经验驱动的静态核算走向数据驱动的动态控制。本文构建了以数据底座层、模型分析层、管控应用层为核心的动态管控体系，梳理了其各阶段运行机理，并结合辽宁省推进态势与丹东市更新实践，识别出边境中小城市落地的主要约束，提出了轻量化部署、政策协同与产教融合等对策。体系效能的充分释放有赖于数据标准统一、区域数据底座完善与人才持续供给，适配模式仍有待实践检验。后续可基于丹东改造项目实测数据量化评估其经济效益。

参考文献

- [1] 住房和城乡建设部, 国家发展改革委, 等. 关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见: 建市〔2020〕

- 60 号[A/OL].(2020-07-03)[2026-06-12].
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-07/28/content_5530762.htm.
- [2] 李响.智能建造背景下建筑施工工程的新趋势与挑战[J].建设机械技术与管理,2026,39(4):94-95+98.
- [3] 冯海宁,何流,王程,等.智能建造技术体系构建与实施路径研究[J].浙江建筑,2026,43(4):21-26.
- [4] 辽宁省住房和城乡建设厅.关于加快推动全省智能建造与新型建筑工业化协同发展的通知:辽住建〔2024〕71号[A/OL].(2024)[2026-06-12].
<https://zjt.ln.gov.cn/zjt/tfwj/lzj/2026030915145648845/2026052415270670239.pdf>.
- [5] 肖群安,王宇平,王松,等.大型变电站智能建造机器人施工方法研究[J/OL].工业建筑,1-11[2026-06-12].
<https://link.cnki.net/urlid/11.2068.TU.20260819.1812.002>.
- [6] 韩祖民,王宇霆,董凌雪.塔式起重机安全管理痛点剖析及智能预警系统应用研究[J].建筑安全,2026,41(8):94-97.
- [7] 汪昇.基于 BIM 模型数据可视化智能(物联网)建造施工技术研究与应用[J/OL].施工技术(中英文),1-15[2026-06-12].
<https://link.cnki.net/urlid/10.1768.TU.20260818.1843.012>.
- [8] 张昊,张志,王崇恩.太原武宿国际机场三期改扩建工程综合交通中心 BIM 智慧建造实践与研究[J/OL].施工技术(中英文),1-9[2026-06-12].
<https://link.cnki.net/urlid/10.1768.TU.20260818.1659.006>.
- [9] 向仕华,刘赤,吴元亮,等.建筑企业数字化转型的双轮驱动:智能诊断方法研究与关键成功因素分析[J].智能建筑与智慧城市,2026,(8):5-15.
- [10] 奚锦帅,成七一.环北广西工程智慧工地平台建设和实践[J].广西水利水电,2026,(4):153-158.
- [11] 中国建设报.辽宁:试点引领协同推进建筑业转型升级[EB/OL].(2026-03-04)[2026-06-12].
https://house.cnr.cn/kcb/20260304/t20260304_527542710.shtml.
- [12] 丹东市人民政府.2026 年丹东市政府工作报告[R/OL].(2026-01-20)[2026-06-12].
<https://www.dandong.gov.cn/html/DDSZF/202601/0176880659703419.html>.
- [13] 刘月君,赵星轩,闫佳蕾,等.建筑项目专业人员视角下智能建造技术持续使用行为影响因素研究[J].工程管理学报,2026,40(4):19-25.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS