

大数据支撑的装配式栈道桥建设成本管控研究

文 | 丁卉

南平市延平区城区公园灾后改造（二期）项目中，在九峰山北入口建设一座总长 1040.2m，标准宽度 3m，栈道面积 3170m²，总投资 3949.94 万元的装配式栈道桥，其造价控制能力对项目收益起到重要作用，现有管控过度依赖人工经验，易造成信息割裂、反馈延迟等弊端。大数据与人工智能为成本控制开辟新思路、整合全周期数据采集网络，借助机器学习模型分析影响因子的贡献度，形成智能推演与实时监控体系，推动成本控制向精细化与自动化方向升级。

装配式栈道桥建设成本管控体系构建与研究框架

装配式栈道桥作为城区公园灾后改造的重要永久性建筑，其成本管理要贯穿设计、制造、运输、施工、运营维护等全部环节，借助物联网终端、建筑信息模型（BIM）平台以及供应链管理系统，大数据技术能够整合多元数据源并实时采集融合信息，进而建立数字化管理平台动态追踪成本状况并实现可视化。依托历史项目数据库采用机器学习算法分析各成本要素的重要程度，构建预测模型与预警系统为管理决策提供量化支撑，该体系把装配式栈道桥的工程特点与大数据技术有机结合，构建以数据为核心的成本控制理论体系与实施路径。

装配式栈道桥成本影响因素识别与量化分析

全生命周期成本构成与数据采集

装配式栈道桥在整个使用期间涉及的全部开销，主要是由设计、生产、运输、安装、运维及拆除回收六个方面费用构成。其全周期总成本能够概括为：

$$LCC = C_{design} + C_{production} + C_{transport} + C_{installation} + C_{maintenance}$$

式中：LCC 为全生命周期总成本；C_{design} 为设计阶段成本，包括深化设计费用、BIM（建筑信息模型）建模费用与构件拆分优化费用；C_{production} 为生产制造成本，涵盖钢材采购、工厂加工、焊接与防腐处理费用；C_{transport} 为运输成本，由物流运费、装卸费用与场地租赁费用构成；C_{installation} 为安装成本，包含塔式起重机租赁、吊装人工与限位挡墙浇筑费用；C_{maintenance} 为使用维护成本。该栈道桥采用钢梁+钢柱结构，包含 A 型结构柱 77 座、B 型结构柱 11 座，防撞护栏总长 2228m，桥面铺装面积 2957.901m²。依靠物联网技术构建起多层次感知网络，通过各个环节设置 RFID（射频识别）标识，GPS（全球定位系统）追踪装置及智能监测工具，能够对成本数据进行即时监控与动态整合。

基于大数据的成本影响因素权重量化分析

装配式栈道桥成本构成受多方面因素相互作用影响，借助层次分析法构建判断矩阵，测定各因素重要性程度，采用一致

性比率 CR 对判断矩阵协调性进行检验，以验证其合理性：

$$CR = \frac{CI}{RI} (2)$$

式中：CR 为一致性比率；CI 为一致性指标， $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{(n-1)}$ ， λ_{max} 为判断矩阵最大特征值，n 为矩阵阶数；RI 为随机一致性指标，按照矩阵阶数去查阅对应的表格来进行判定，要是 CR 值低于 0.1，就表明判断矩阵满足一致性要求。这样计算得出的权重结果具备有效性，运用机器学习领域的随机森林模型对历史项目数据开展学习训练，通过特征重要性评价找出对成本波动影响最显著的因素，接着采用梯度提升决策树算法解析各要素间存在的非线性关联，进而构建出完整的权重体系。基于南平市延平区城区公园灾后改造（二期）项目实际数据，量化分析显示，构件标准化程度（装配率达 90%）、钢结构制造工艺水平及现场安装效率这三项要素对成本的贡献度分别为 25.4%、18.7% 以及 21.3%，为实施精准化的成本管控奠定了数据基础。

关键成本控制环节确定

根据量化以及工程实践方面的经验，装配式栈道桥成本控制重点是构件标准化、生产流程优化和吊装效率提升，标准化设计借助统一模数体系来减少构件类型，通过提高模具周转率以降低单位构件成本，生产环节要提升焊接自动化程度，保证钢材下料精度并优化表面处理工艺，和现浇方式相比，能显著减少材料浪费且缩短制作周期，吊装作业关键在于合理配置起重设备、科学规划安装顺序及保证构件定位精度，在南平市延平区城区公园灾后改造（二期）项目中，装配式栈道桥通过工厂化预制和标准化安装，将西塔、江南公园、一览江天、九峰栈道、九峰索桥以及江滨公园“串点成线”形成山水联动步道系统，显著提高了施工效率，建议运用大数据与智能决策系统实现动态监控和持续优化。

大数据驱动的装配式栈道桥成本管控应用研究

成本预测模型构建与验证

装配式栈道桥成本预测模型依靠长短期记忆神经网络

与梯度提升算法，构建起多层次的预测分析框架，模型性能用 MAPE（平均绝对百分比误差）指标来进行量化评估：

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \right) \times \sum \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \times 100\%$$

式中：MAPE 为平均绝对百分比误差；n 为样本数量； A_i 为第 i 个项目的实际成本； F_i 为第 i 个项目的预测成本。LSTM（长短期记忆神经网络）模型通过学习历史项目时间序列数据，掌握了成本在设计生产安装各环节的动态变化特征，XGBoost（极端梯度提升）算法利用横截面数据构建回归模型，能够综合处理钢结构构件规格、钢材价格、山地运输距离、铝合金护栏及铝基木地板等多种影响因素。在模型验证环节采用交叉验证法，按照 8:2 的比例把数据集划分成训练集和测试集，集成模型能够融合时序和横截面特征，从理论上来说其预测精度会超过传统定额估算法，进而为成本管理提供数据驱动的决策依据。

成本动态监控与智能预警

成本动态监控系统依靠物联网平台实时采集装配式栈道桥施工全流程多源数据，以此搭建起成本异常检测与风险预判机制，系统通过部署 RFID 标签来追踪构件流转状态，结合 GPS 定位技术监控运输时效及路线。利用智能传感器捕捉吊装作业效率和设备运行参数，并且与财务管理系统对接同步实际支出数据，系统基于数字孪生技术构建虚拟成本模型，实现和实际进度的动态映射，通过对比计划成本与实际成本的差额差异执行三级预警策略。当累计偏差突破预算 5% 时触发黄色预警，超出 10% 时启动橙色预警并推送优化建议，达到 15% 时触发红色预警并暂停相关工序，预警阈值可根据项目需求自定义，智能预警算法运用贝叶斯网络解析成本超支概率分布规律及传导路径，为管理决策提供数据支持。

成本管控效果评估与优化

装配式栈道桥成本管控成效的评判体系靠三个核心指标构建起来，分别是全生命周期成本节约度、工期提速率及碳排放削减率。基于装配式栈道桥全生命周期成本效益分析：

$$\eta_{\text{efficiency}} = \frac{(C_{\text{traditional}} - C_{\text{prefabricated}})}{C_{\text{traditional}}} \times 100\%$$

式中： $\eta_{\text{efficiency}}$ 为成本效益； $C_{\text{traditional}}$ 为传统现浇栈道桥总成本； $C_{\text{prefabricated}}$ 为装配式栈道桥总成本。装配式栈道桥与传统现浇栈道桥的成本管控效果对比如表 1 所示：

南平市延平区城区公园灾后改造（二期）项目实践显示，装配式栈道桥通过标准化设计实现构件类型优化，A 型和 B 型结构柱标准化应用，主梁采用 7m 和 14m 两种标准规格，显著提高了制造效率和安装精度。项目采用铝合金材料护栏和铝基木地板，既保证了结构安全，又实现了景观协调，装配式栈道桥通过工厂化生产消除现场支模、绑扎、浇筑与养

|| 表 1 装配式与传统现浇栈道桥成本效益对比

对比项目	传统现浇栈道桥	装配式栈道桥	节约量 / 优化幅度
结构形式	混凝土结构	钢梁 + 钢柱结构	材料重量减轻约 40%
工程造价（万元）	估算 4500	3949.94	节约 550.06 / -12.2%
施工工期（天）	估算 120	实际约 90	节约 30 天 / -25%
墩柱形式	现浇混凝土柱	预制钢柱 88 座	标准化程度 100%
主要材料	混凝土、钢筋	钢结构、铝合金	环保性能优化
装配率	<30%	90%	+60%
预制构件应用比例	<50%	100%	+50%
防撞护栏	现场制作安装	预制铝合金栏板	总长 2228m 全预制
桥面铺装	现浇混凝土	预制铝基木地板	面积 2957.901m ²

来源：福建省南平市延平区园林服务中心

护等工序，缩短施工工期 17 天，减少碳排放 474.26 吨。基于评估结果的优化策略包括调整构件标准化比例达到 90% 以上，改进焊接自动化生产工艺参数与优化运输路径规划降低物流成本，大数据分析平台通过机器学习算法持续迭代优化决策模型，形成成本管控的闭环反馈机制。

结束语

借助大数据技术进行赋能，装配式栈道桥成本管理从经验驱动转向数据驱动，通过搭建贯穿项目全生命周期成本体系并融合多维度数据，同时运用层次分析法和机器学习等手段，确立以构件标准化。工艺流程优化及安装效率提升为核心管控策略。研究采用的 LSTM 与 XGBoost 组合预测模型有较高理论精度，引入的物联网三级预警机制显著强化成本风险防控能力。南平市延平区城区公园灾后改造（二期）项目实践表明，装配式栈道桥在复杂山地环境下通过数字化设计、工厂化制造和标准化安装，实现了工程质量可控、施工效率提升和环境影响最小化，为类似山地景观桥梁建设和灾后重建项目提供了有效的技术路径和管理模式。

作者简介：丁卉 福建省南平市延平区园林服务中心

责任编辑：徐培炎 投稿邮箱：zhouhl@staff.ccidnet.com