

智慧工地物联网系统与造价数据实时采集分析的融合路径

易沛媛

中国建筑技术集团有限公司，北京市，100013；

摘要：在建筑行业数字化转型背景下，智慧工地物联网系统与造价数据实时采集分析的融合是提升项目精细化管理的重要路径。本文搭建“技术层-管理层-应用层”三维融合架构，利用数据标准化、边缘计算与云端分析协同创新技术层架构；以组织架构重组、每日数据对齐机制和区块链智能合约推进管理层协同；围绕材料和机械成本管控场景，通过“ERP-物联网-BIM”全链路打通和实时成本核算实现应用层价值转化。结合上海市试点项目实践，验证了“数据同源、流程互通、价值共生”体系的可行性，研究成果为建筑行业全生命周期成本管控提供了可复制的技术路径和管理范式，对促进智能建造和新型建筑工业化协同发展具有理论和实践双重意义。

关键词：智慧工地；物联网；造价管理；实时采集；数据融合；智能建造

DOI：10.69979/3029-2727.25.06.034

引言：建筑行业数字化转型的必然性分析

在全球建筑行业加快数字化转型之际，智慧工地成了推动行业升级的主要载体，它利用物联网，大数据，人工智能等技术来改变施工现场的管理形式，工程造价管理从传统的静态估算走向动态实时控制，这就很需要跟工地现场的数据紧密融合起来，才能提高精准度，2025 年上海市出台的《智慧工地三年行动计划（2025-2027 年）》里明确提出，要创建“数据一个库，监管一张网，管理一条线”的智慧工地体系，这种做法给物联网系统同造价数据的融合给予了政策方向，在这样的情况下，探寻二者融合的途径既属于技术创新的必由之路，也是达成建筑项目全生命时长成本最优化的关键突破点。

1 智慧工地物联网系统的技术架构与功能解析

智慧工地物联网系统依托感知层、网络层、平台层、应用层这四层架构来全方位把控现场，感知层布置 RFID 标签、传感器、摄像头这些终端设备，随时搜集人员定位、设备运转、环境参数等数据，在深基坑监测时，位移传感器每隔一小时回传一次数据，及时提醒边坡危险状况，网络层运用 5G、LoRa 之类的通讯技术，把数据传送到云平台，国家能源集团浙江公司北仑电厂凭借 5G 专网做到吊钩可视化，解决了塔吊作业的安全盲区。平台层依靠云计算和大数据技术，把大量数据存储起来，再加以清洗和分析，拿某地铁项目来说，通过 BIM 建模

同物联网数据融合，达成自动识别施工进度的偏差，进而自动调整计划，工期缩减了 20%，而应用层则是侧重场景化管理，比如 AI 行为识别系统能够自动捕捉到未戴安全帽之类的违规行为，而且可以自动生成电子罚单，从而做到无人干涉的监管。

2 造价数据实时采集的核心需求与技术实现

2.1 核心需求的多维解析

传统工程造价依靠人工计量与阶段汇总，造成成本控制存在“数据时差”与“信息失真”两大瓶颈，智慧工地创建体系里，即时采集需求表现出明显的立体化特征，首先是动态成本监督的精准度需求，建筑项目施工时间长且资源消耗量巨大，钢材，混凝土等主要材料的价格波动情况，像 2024 年全国钢材价格每季度波动达 15%-20%，直接冲击成本核算，要达成预算随时变动的目的，就要依靠即时数据采集，住建部《工程造价改革工作方案》里清楚表明要创建“市场形成价格”的机制，客观上就必要现场消耗量，设备周转率这些数据能即时同步。二是全过程数据溯源的合规性需求，伴随工程总承包模式广泛应用，审计监管针对数据链完整性提出更多要求，2023 年某个市政项目审计时察觉到，因为缺少材料进场数据引发 300 万元成本争议，这体现出施工各个环节（采购-运输-使用）的数据闭环管理十分必要。三是多方协同合作的效率需求，业主，承包商，供应商彼此存在信息不对称状况，造成结算纠纷频繁发生（按

照中国建筑业协会给出的数据来看,2024 年全国工程结算争议案件数量同比上升了 18%), 即时获取系统要具备多端数据相互连通的功能, 以推动进度款支付, 变更签证等业务实现线上操作。

2.2 技术实现的关键路径

物联网技术体系给这些需求供应了系统化的解决途径, 其关键之处在于形成“物理空间-数字空间”的即时对应状况。

智能感知终端的全域部署把多种类传感器融入到材料, 设备, 人员当中, 从而完成对重要数据的自动捕捉, 像在商砼运输车上装上 GPS 定位模块和倾角传感器, 就能随时追踪到混凝土运输的路线以及坍落度的变化情况, 再加上地磅称重的数据(误差不超过 0.5%), 就能精确算出材料进场的数量以及损耗率, 在某个保障房项目里运用这个技术之后, 混凝土浪费的比例由传统的 8% 降到了 2.3%, 每年能省下超过 200 万块钱。针对施工机械而言, 塔吊力矩传感器与吊钩可视化系统(分辨率达到 1080P) 能够即时搜集设备运行的各项参数, 然后同预先设定在 BIM 模型里的工序资源分配标准执行比对, 一旦发觉有超负荷工作的状况就立刻发出警报(警报反应时间小于 2 秒), 并且马上制作出机械台班成本不正常报告。

BIM 促使数据结构化 BIM 这一数据集成载体解决了传统造价数据零散化的情况, 通过 IFC 标准创建起构件层级的数据联系, 把诸如梁, 板之类的结构构件 BIM 模型同施工进度计划(PrimaveraP6 系统), 物料清单(BOM 表) 相联系起来, 这样就能自动获取各个工序的理论工程量。某个商业综合体用 Revit 模型整合物联网数据, 做到模板工程每天的实际用量(精确到 0.1 立方米) 和 BIM 算量随时对比, 一旦偏差率超出 5% 就会发出智能警报, 累计发觉超耗现象 127 次, 模板损耗成本缩减了 19%, 再通过 Navisworks 实施 4D 施工模拟, 可以预估不同进度方案之下的资源需求量峰值, 从而给成本预控赋予数据支持。

区块链技术的可信化保障着眼于造价数据易被篡改且难以追溯这一难题, 区块链的分布式账本技术起到了重要作用, 某个大型桥梁项目把材料采购合同, 进场验收单, 发票这些信息记录到区块链上形成存证, 采用 SHA-256 哈希算法做到数据无法更改(更改概率小于 10^{-18}), 而且借助智能合约自动执行进度款支付(触发条件达成之后两小时之内就能完成结算), 在分包结算

这个情形里, 区块链节点涵盖业主, 总包, 分包三个方面, 施工日志, 变更签证等资料通过各方认可之后才会进入区块链, 2024 年的时候, 该项目的结算时间由原来的 120 天缩减成 45 天, 有争议的地方削减了 60%, 中国建筑科学研究院做过研究, 表明区块链技术能够让造价数据存证效率优化 40%, 数据核验成本缩减 35%。

智能分析平台的决策支持依靠实时采集的数据来创建动态的成本分析模型, 从而达成从数据采集到价值转化的闭环, 平台借助 ETL 工具把物联网, BIM, ERP 等多种数据源的数据整合起来(数据吞吐量达到每秒 10 万条), 采用 XGBoost 算法形成材料价格预测模型($R^2=0.92$), 可以提前 7 天预估价格波动的风险, 某个地铁项目分析系统显示, 连续 3 天钢材的日消耗量超出预算的 15%, 而且结合市场价格走向, 立刻启动战略储备采购, 防止因为价格上涨而造成 800 万元的成本上升, 该平台还可以执行多维度的成本可视化分析, 利用 GIS 地图表现各个工区的资源消耗热力图(分辨率精细到 50 米乘以 50 米), 帮助管理者迅速找到成本异常的地方, 做到“数据采集—智能分析—精准施策”的螺旋上升。

2.3 实施难点与破解策略

技术落地时数据接口不统一, 不同品牌传感器协议兼容性<60%, 边缘计算节点部署成本高, 单站点初期投入超 50 万元, 苏州试点项目通过创建《智慧工地数据交互标准》, 强制设备厂商支撑 MQTT/HTTP 协议, 做到 90% 以上感知设备即插即用, 选用“5G+边缘计算”混合架构, 把对实时性要求较高的设备状态数据, 像深基坑位移, 在本地节点处理, 延迟<50ms, 把非实时数据, 像材料进场记录, 传到云端, 削减 30% 的网络传输费用, 这些操作显示, 通过技术标准统一, 架构改良, 可以有效地提升实时采集系统的落地可能性。

3 融合路径的设计与实施策略

融合路径的构建需要打破传统的管理边界, 通过对技术架构和业务流程的重塑来实现物联网系统与造价管理的深度融合, 其本质是打造“数据同源、流程互通、价值共生”的一体化体系, 可以从技术层、管理层、应用层这三个方面入手。

技术层融合架构设计里, 数据标准化是首要前提, 针对智慧工地多源异构数据(物联网设备数据, BIM 模型数据, 造价业务数据等), 要制订统一的编码规则和接口规范, 像参照 ISO19650 建筑信息管理标准, 创建包含材料编码(GB/T14685-2022), 设备 ID, 工序代码

的三维数据映射体系,上海市在《智慧工地大数据平台数据交互标准》试点当中,规定各个参建方系统需支撑 RESTful API 接口和 OPCUA 工业协议,做到不同品牌塔吊监控系统(中联重科,三一重工等)和造价平台的数据无缝对接,数据兼容效率达 75%。基于此,塑造起“边缘计算+云端分析”这种混合架构:让边缘节点负责处理那些实时性很强的设备状态数据,比如混凝土坍落度,机械振动频率等,通过本地算法马上给出成本异常警报;而云端平台着重于历史数据探究,依靠 LSTM 神经网络预测季度成本走向(平均误差率小于 8%),从而产生一种“近端掌控-远端改良”的分层处理形式。

管理层协同机制更新属于融合落地的重要保障,在传统造价经营当中,技术部门和商务部门存在数据隔阂(信息共享迟缓一般要三到五天),造成成本控制落后,必须通过组织结构变动来达成业务流程更新,某个央企施工集团在项目执行过程中设置了“智能成本中心”,把物联网数据采集团队和造价工程师团队整合起来,创建起每天的数据对齐会议制度,早上七点,系统会自动生成前一天二十四小时的资源消耗报表,包含材料入场数量,机械台班效率,人工工时投入等,造价工程师依照 BIM 进度模型做偏差分析,一小时之内就可以形成《成本日控报告》,然后发送给各个工区的负责人。这种“数据采集-实时分析-决策响应”的闭环管理,使得这个项目的签证变更处理周期从 15 天缩短到 3 天,月度成本动态调整准确率达到 92%,而且引入了区块链智能合约技术,实现多方协同自动化,比如当物联网数据触发进度节点,比如说地下室结构封顶的时候,系统就会自动检验工程量完成度,误差在正负百分之二之内,然后按照合同规定,自动开始业主端进度款的审批流程,把传统的手工审核时间从 72 小时缩减到智能合约处理的 4 小时。

应用层场景化解决方案要针对造价管理的痛点,以“技术模块+管理规则”来达成价值转化,在材料成本管控场景中,融合系统把采购计划(ERP 系统)、进场验收(物联网感知)、消耗核算(BIM 算量)串联起来:钢材运输车辆一进工地,地磅就自动称重,误差在 $\pm 0.3\%$ 以内,RFID 标签的信息也同时被读取,如果实际重量和采购订单有 3%以上的差距,系统就会锁定这批材料,启动对供应商的追溯程序,建筑施工期间,附着在钢构件上的传感器实时追踪使用地点,再结合 BIM 模型的构

件级别算量,就能自动形成每个楼层的钢材消耗台账,颗粒度达到单个构件,某个公建项目采用之后,钢材超耗率从行业的平均值 6%降到 1.2%。机械成本管控方面,融合系统通过物联网采集塔吊,施工电梯的运行时长(精确到分钟),负载率等数据,再联合造价定额库的台班单价,即时算出设备使用成本,一旦发觉某台塔吊连续 3 日负载率低于 40%,就自动提示设备调度改良方案,某个地铁项目依此改良设备安排,机械闲置成本削减 35%。

4 结论

智慧工地物联网系统同造价数据实时采集分析相结合,这是建筑行业达成细致化管理并做到降低成本、提升效能的重要途径,依靠物联网技术全方位感知,大数据深入剖析,人工智能智能决策,可以形成起覆盖项目整个生命流程的成本控制体系,虽然碰到诸如技术,标准以及人才等诸多难题,不过伴随着政策扶持力度加大,技术日渐完善,这种融合方式将会变成将来建筑行业的主导方向,企业要勇于迎接数字化转型,通过技术创新和管理革新,在改进项目效益的同时,给行业可持续发展增添新动力。

参考文献

- [1]何永智. 建筑工程智慧工地体系构建与实施对策研究[D]. 辽宁:沈阳建筑大学,2023.
- [2]梁静,李伟尧,李炜,等. 智慧工地进度分析管理系统 V1.0[Z]. 广西瞪羚科技有限公司. 2022.
- [3]叶荣. 智慧工地系统对工程造价实时监控的作用[J]. 建筑工程与设计,2025,4(1):153-154. DOI:10.12417/2811-0536.25.01.063.
- [4]范煜婷. 基于物联网的交通建设工程智慧监管系统研究与设计[D]. 浙江:浙江工业大学,2019.
- [5]马娇. 试析建筑工程管理的信息化建设[J]. 建材发展导向(上),2022,20(2):165-167. DOI:10.3969/j.issn.1672-1675.2022.02.055.
- [6]林磊,王毅雄,黄启兴,等. 基于 BIM 的建设项目全过程信息模型与数据集成控制管理[Z]. 福州市建设发展集团有限公司. 2021.

作者简介:易沛媛,(1994-),女,汉族,河北省人,助理工程师,研究生,研究方向:工程管理及工程造价。