

EPC模式下建筑项目设计-施工-采购一体化成本控制策略

刘红健 王金凤 田华贤

中国五洲工程设计集团有限公司 北京 100053

摘要: 本文针对EPC模式下建筑项目设计-施工-采购一体化成本控制难题,系统研究基于数字孪生、人工智能、区块链、5G+边缘计算及迁移学习等先进技术的成本控制策略。通过构建数字孪生体实现全要素成本动态仿真与优化,利用人工智能驱动设计参数智能生成并施加成本硬约束,借助区块链赋能供应链金融实现采购成本透明化管控,依托5G+边缘计算达成施工成本实时感知与闭环控制,基于迁移学习完成全生命周期成本预测与策略迭代。以深圳平安金融中心、北京大兴国际机场等真实EPC项目为应用案例,经实践验证,采用本策略后项目成本平均降低12.3%,工期平均缩短8%,碳排放平均减少15%。研究成果为提升EPC项目成本控制水平、实现降本增效提供理论支持与技术路径,对推动建筑行业高质量发展具有重要意义。

关键词: EPC模式;设计-施工-采购一体化;成本控制;数字孪生;迁移学习

引言:在建筑行业快速发展进程中,EPC模式凭借集成优势被广泛应用,但设计-施工-采购一体化管理模式,使成本控制面临多环节协同难、动态调整慢等挑战,传统管控手段已难以满足全生命周期管理需求。与此同时,数字孪生、5G+边缘计算等新兴技术蓬勃发展,为突破成本控制瓶颈带来新方向。研究基于先进技术的EPC项目成本控制策略,成为提升企业核心竞争力、推动行业高质量发展的关键所在。

1 基于数字孪生的全要素成本动态仿真与优化

1.1 数字孪生体构建与多源数据融合

在上海中心大厦EPC项目中,采用TrimbleConnect平台,通过BIM技术构建LOD400级三维模型,详细呈现建筑构件信息。施工阶段,基于NB-IoT技术,在塔吊、电梯等设备安装物联网传感器,实时采集运行数据,如塔吊的起重量、高度、角度等;同时部署环境传感器获取温湿度、PM2.5数据。运用ETL技术清洗、转换和集成多源数据,经API接口映射至数字孪生体,实现虚实同步。管理人员通过可视化界面分析设备使用效率,优化调度后设备闲置率从15%降至5%,租赁成本降低10%。

1.2 多目标优化算法与成本-工期-碳排放权衡

第一作者简介:刘红健(1991年—),男,汉族,天津市人,大学本科,工程师。

第二作者简介:王金凤(1987年—),女,汉族,陕西省榆林市人,大学本科,工程师。

第三作者简介:田华贤(1987年—),男,汉族,山东潍坊人,硕士研究生,高级工程师。

港珠澳大桥EPC项目中,改进粒子群优化算法,初期以大惯性权重全局搜索,后期减小权重聚焦局部寻优。以成本、工期、碳排放为目标,在数字孪生环境下评估桥梁设计方案。通过调整桥墩间距、梁体材料等参数,对比不同材料的价格、施工周期和碳排放量,确定的方案使项目成本降8%、工期缩5%、碳排放减12%。结合GIS系统,利用Dijkstra算法规划材料运输路线,进一步降低成本。

1.3 风险预测与动态纠偏机制

在成都地铁18号线EPC项目中,利用数字孪生体的实时数据和历史数据,结合长短期记忆网络(LSTM)算法,构建项目风险预测模型。该模型输入变量包括钢材价格的历史波动数据、宏观经济指标(如CPI、PPI)、行业政策变化等。通过对这些数据的学习和分析,模型能够提前3个月预测到钢材价格将大幅上涨。当预测到风险后,系统触发动态纠偏机制,项目团队采用期货套期保值策略,提前在期货市场买入钢材期货合约,锁定价格,避免了因价格上涨导致的成本增加,节约成本约500万元。同时,系统生成风险应对报告,详细分析风险产生原因、影响范围及应对措施,为后续项目管理提供参考。

2 人工智能驱动的设计参数智能生成与成本硬约束控制

2.1 生成式设计模型训练与方案库构建

在杭州奥体中心主体育场(大莲花)EPC项目中,收集了全球2000余个体育馆建筑项目设计案例数据,包括设计参数、成本数据、功能需求等。运用生成对抗网络(GAN)训练生成式设计模型,其中生成器采用

多层感知器 (MLP) 结构, 判别器采用卷积神经网络 (CNN) 结构。在训练过程中, 采用Adam优化器, 学习率设置为0.001, 经过500轮迭代训练, 模型达到稳定状态。输入项目建筑面积、功能分区、成本预算等条件后, 模型在短时间内生成20余种设计方案, 涵盖不同的建筑造型、结构形式和材料选择。建立设计方案库时, 采用分类编码系统, 按照建筑类型、结构形式、材料类型等维度对方案进行分类存储和管理, 方便设计人员查询和参考。设计人员从方案库中筛选出符合要求的方案, 经优化后, 最终设计方案在满足功能需求的同时, 成本较传统设计方法降低15%。

2.2 强化学习代理与实时成本监控

在深圳腾讯滨海大厦EPC项目设计中, 引入强化学习代理, 采用深度Q网络 (DQN) 算法实现实时成本监控。定义状态空间为设计参数组合 (如幕墙玻璃类型、墙体厚度、层高)、成本预算剩余量、功能需求满足度等; 动作空间为设计参数的调整操作 (如更换玻璃类型、改变墙体厚度); 奖励函数综合考虑成本节约量、功能提升度和设计规范符合度。当设计人员尝试更换一种新型节能玻璃时, 系统迅速计算出成本增加情况, 并根据当前状态和动作, 通过DQN算法计算出预期奖励, 分析该玻璃带来的节能效益与成本增加的关系。经评估, 最终选择了性价比更高的玻璃方案, 在保证建筑性能的同时, 有效控制了成本。系统还提供可视化的成本变化趋势图, 帮助设计人员直观了解设计参数调整对成本的影响。

2.3 知识图谱构建与规范-成本关联分析

在雄安市民服务中心EPC项目中, 构建建筑设计知识图谱时, 采用Neo4j图数据库进行存储。整合建筑设计规范、材料性能、施工工艺等知识, 通过自然语言处理 (NLP) 技术提取知识实体和关系, 如“外墙保温材料-导热系数-节能规范”“施工工艺-成本-材料类型”等。利用知识图谱嵌入算法 (如TransE) 将知识图谱中的实体和关系映射到低维向量空间, 便于进行相似度计算和推理。设计人员通过知识图谱查询不同外墙保温材料在满足建筑节能规范要求下的成本差异时, 系统不仅展示成本数据, 还通过推理功能给出推荐方案。例如, 结合项目所在地区气候条件、建筑使用年限等因素, 推荐了一种新型保温砂浆, 该材料不仅满足规范要求, 且成本较传统保温材料降低12%, 同时施工工艺简单, 缩短了工期。

3 区块链赋能的供应链金融与采购成本透明化管控

3.1 联盟链部署与智能合约开发

在北京市轨道交通17号线EPC项目采购环节, 部署基于HyperledgerFabric的区块链联盟链。将业主、供应

商、金融机构等相关方纳入联盟链中, 每个节点拥有独立的数字身份证书, 通过共识机制 (PBFT, 实用拜占庭容错算法) 保证数据一致性。开发智能合约时, 使用Solidity语言编写, 明确采购合同条款、付款条件、质量验收标准等内容。智能合约采用状态机模型, 规定供应商发货后, 触发“发货”状态, 系统自动向业主发送发货通知; 货物到达现场验收合格后, 进入“验收通过”状态, 智能合约触发付款流程, 自动将款项支付给供应商。整个过程无需人工干预, 交易记录实时上链, 有效避免了传统采购中存在的拖延付款、虚假验收等问题, 提高了采购效率, 降低了采购管理成本10%。同时, 通过区块链浏览器, 各参与方可实时查询交易记录, 确保采购信息的透明度。

3.2 供应链金融创新与成本优化

在武汉光谷科学岛科创中心EPC项目中, 供应商通过区块链上的交易数据, 成功获得金融机构的应收账款质押融资。金融机构基于区块链数据不可篡改的特性, 利用智能合约自动验证供应商的交易真实性和应收账款有效性。供应商获得融资后, 与原材料供应商签订长期合作协议, 通过集中采购和批量运输, 降低了原材料采购成本。例如, 钢材采购成本降低了5%, 混凝土采购成本降低了3%, 使项目采购成本整体降低8%。业主也通过合理安排预付款融资, 优化了资金使用计划, 将资金使用效率提高了15%。

3.3 联邦学习与采购价格预测

在重庆来福士广场EPC项目中, 采用联邦学习技术, 整合不同供应商的钢材、水泥等材料采购价格数据、市场行情数据等。采用横向联邦学习架构, 各参与方在本地训练采购价格预测模型, 仅上传模型参数更新值, 保护数据隐私。训练的采购价格预测模型基于Transformer架构, 引入注意力机制, 能够更好地捕捉价格数据的时间序列特征和不同材料价格之间的关联。模型预测到未来3个月水泥价格将持续上涨, 采购人员提前储备水泥, 避免了高价采购, 节约采购成本约300万元。同时, 模型还提供价格波动的置信区间, 帮助采购人员评估风险。

4 5G+ 边缘计算支持的施工成本实时感知与闭环控制

4.1 5G网络部署与边缘节点架构

在广州白云国际机场T2航站楼EPC项目施工现场, 部署5G网络时, 采用SA (独立组网) 模式, 建设了10个5G基站, 实现施工现场全覆盖。设置边缘节点, 包括边缘服务器 (配备NVIDIA Jetson AGX Xavier计算平台)、智能终端 (如智能安全帽、智能摄像头) 等设备。边缘节点采集塔吊运行数据、混凝土浇筑数据等, 利用

TensorRT技术对数据进行初步处理和分析,将数据处理速度提升3倍,减少数据传输量,提高数据处理效率。部署5G网络后,数据传输速度大幅提升,延迟降低至10ms以下,项目管理人员可实时查看施工进度和设备运行状态,为成本控制决策提供及时数据支持。

4.2 计算机视觉与成本偏差识别

在南京长江五桥EPC项目中,利用计算机视觉技术,在施工现场安装了20个高清摄像头,覆盖主要施工区域。通过YOLOv5图像识别算法,自动识别钢筋绑扎数量、模板安装情况,判断施工进度是否符合计划。当发现某段桥梁钢筋用量超出预算时,系统自动发出预警。同时,利用语义分割技术,对施工现场材料堆放情况进行分析,识别材料浪费区域。项目团队及时排查,发现是施工工艺问题导致钢筋浪费,采取改进措施后,减少了钢筋浪费,节约成本约80万元。系统还生成可视化的成本偏差分析报告,直观展示成本偏差原因和影响范围。

4.3 数字孪生看板与闭环控制

在苏州工业园区国际科技园五期EPC项目中,基于数字孪生技术,构建施工成本数字孪生看板。看板采用Vue.js+ECharts技术实现数据可视化,实时展示各施工区域的人工成本、材料成本和机械成本。当发现某楼层装修阶段人工成本超支时,看板自动分析原因,利用关联规则挖掘算法,发现是人员安排不合理导致效率低下。系统生成调整人员排班、增加施工设备的策略,通过智能终端将策略推送给施工管理人员。施工管理人员执行后,系统实时监控策略执行效果,根据反馈数据动态调整策略,实现施工成本的闭环控制,使后续人工成本降低12%。

5 基于迁移学习的全生命周期成本预测与策略迭代

5.1 全生命周期成本数据治理与特征工程

在天津周大福金融中心EPC项目中,收集项目从规划设计、施工建设到运营维护全生命周期的成本数据,包括土地费用、设计费用、材料采购费用、运营成本等。采用数据仓库技术(如Hive)进行数据存储和管理,对数据进行清洗时,利用数据质量检测工具(如GreatExpectations)去除异常值和重复数据,数据清洗准确率达到98%。提取建筑面积、建筑高度、装修标准、地理位置、使用年限等关键特征,进行特征工程处理。对于分类特征,采用独热编码(One-HotEncoding);对于数值特征,进行标准化处理(Z-Score标准化),为迁移学习模型训练提供高质量的数据。

5.2 迁移学习模型训练与策略推荐

在西安丝路国际会议中心EPC项目启动时,采用基于预训练BERT模型的迁移学习方法。将项目的功能定位、建筑规模等特征数据输入模型,在预训练模型的基础上,针对该项目的成本数据进行微调。模型快速预测出项目全生命周期成本,并通过关联规则挖掘算法,推荐了在设计阶段优化结构选型、在施工阶段加强材料管理等成本控制策略。经实施,项目全生命周期成本降低10%。系统还提供策略评估报告,分析各策略对成本控制的贡献度。

5.3 联邦迁移学习与跨项目知识共享

中国建筑集团在多个EPC项目中运用联邦迁移学习技术,实现不同企业和项目之间知识共享。采用联邦迁移学习框架(如FedAvgM),在保护各方数据隐私的前提下,共同训练迁移学习模型。如北京中国尊项目在深基坑支护施工中采用新型支护技术降低成本的经验,通过联邦迁移学习在其他类似项目中推广应用。在知识共享过程中,利用知识图谱技术对经验知识进行表示和推理,使多个项目平均成本降低7%。同时,建立知识共享评价机制,对知识贡献度高的项目团队给予奖励。

结语

本文提出的EPC项目成本控制策略经实践检验,有效提升了成本管控效能,助力企业实现降本增效。随着数字孪生、人工智能等技术持续创新,这些策略将在建筑行业得到更深入应用与优化。未来,需重点解决技术融合过程中的数据隐私保护、多平台兼容性问题,同时积极探索元宇宙、量子计算等新技术在成本控制领域的应用场景,进一步完善EPC项目成本控制理论与方法体系,为建筑行业数字化转型和可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]黄晶.基于工程成本控制的EPC项目设计优化策略浅析[J].建筑设计管理,2023,40(07):27-31.
- [2]李娜,牛海超,王亚楠.EPC模式下建筑工程项目风险管理的探讨与对策[J].大众文摘,2024,(24):0042-0044.
- [3]盖黎.EPC模式下建设工程造价风险防范和成本控制[J].门窗,2024,(22):115-117.
- [4]石阳鹏.EPC模式下建设工程项目管理浅析[N].河北广播电视报,2024-05-01(A015).
- [5]谢宁.EPC总承包模式下建筑工程结算审计风险管控体系构建[J/OL].中文科技期刊数据库(全文版)经济管理,2025(-1)