

面向多场景集成的工程造价知识图谱构建及其在智能决策中的应用

郭海涛, 刘金山, 高然

广州易达建信科技开发有限公司, 广东 广州 510510

DOI: 10.61369/SSSD.2026050026

摘 要 : 针对工程造价领域多场景知识分散、关联薄弱及决策支撑不足的行业痛点, 本研究以知识图谱技术为核心, 围绕业主需求导向、技术经济指标应用、全过程造价管理及市场机制创新四大场景, 开展多场景集成的工程造价知识图谱构建与智能决策应用研究。首先通过多场景分析厘清造价知识构成与关联逻辑, 构建“领域本体 + 场景扩展”的双层知识图谱 Schema; 其次研发多源异构造价知识结构化处理技术, 形成多场景集成的知识图谱构建方法; 进而开发基于知识图谱的智能投资估算、设计优化辅助决策及市场机制创新支持模型; 最后通过工程造价知识服务平台实现技术落地, 并结合三类典型项目案例验证应用效果。研究结果表明, 所构建的知识图谱及智能决策方法降低了投资估算误差率, 有效控制设计阶段成本, 提升了招投标分析效率, 为推动工程造价行业从经验驱动向知识驱动转型提供参考。

关 键 词 : 工程造价; 知识图谱; 多场景集成; 智能决策; 数字化转型

Construction of Engineering Cost Knowledge Graph Oriented to Multi-Scenario Integration and Its Application in Intelligent Decision-Making

Guo Haitao, Liu Jinshan, Gao Ran

Guangzhou Yidajianxin Technology Development Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510510

Abstract : Aiming at the industry pain points in the engineering cost field, such as scattered knowledge across multiple scenarios, weak correlations, and insufficient decision support, this study takes knowledge graph technology as the core and carries out research on the construction of an engineering cost knowledge graph integrating multi-scenarios and its application in intelligent decision-making, focusing on four major scenarios: owner demand orientation, application of technical and economic indicators, whole-process cost management, and market mechanism innovation. Firstly, through multi-scenario analysis, the composition and correlation logic of engineering cost knowledge are clarified, and a two-layer knowledge graph Schema of "domain ontology + scenario extension" is constructed. Secondly, the structured processing technology for multi-source heterogeneous engineering cost knowledge is developed, forming a knowledge graph construction method integrating multi-scenarios. Furthermore, intelligent investment estimation, design optimization auxiliary decision-making, and market mechanism innovation support models based on the knowledge graph are developed. Finally, technical implementation is realized through the engineering cost knowledge service platform, and the application effect is verified with three types of typical project cases. The research results show that the constructed knowledge graph and intelligent decision-making method reduce the error rate of investment estimation, effectively control the cost in the design stage, and improve the efficiency of bidding and tendering analysis, providing reference for promoting the transformation of the engineering cost industry from experience-driven to knowledge-driven.

Keywords : engineering cost; knowledge graph; multi-scenario integration; intelligent decision-making; digital transformation

引言

在数字经济发展与数字化转型进程中, 工程造价领域迎来了数字化转型升级的机遇。然而, 当前工程造价领域尚存在知识碎片化, 跨场景关联不足问题, 限制了工程造价智能化转型进程^[1]。知识图谱是人工智能时代实现概念识别、实体发现、属性预测、协同推理、

知识演化和关系挖掘等功能的底层关键技术，也是大知识与数据融合、数据认知与推理的核心技术^[9]。在工程造价领域，将机器自动学习、专家定义与修正相结合，整合法规标准、专家经验、历史数据等，建构和集成覆盖多场景的工程造价知识图谱，有助于构建全流程协同、精准化推理、自动化监测与预警的造价决策体系，促进工程造价决策智能化发展，提高工程造价智能管理水平。

一、工程造价多场景分析及知识需求

（一）业主需求导向场景

该场景以“需求输入—知识转化—落地支撑”为主线，通过“需求解构—关联规则提取—动态映射”机制，将业主抽象需求转化为可量化项目参数；采用“领域分类—层级建模—关联索引”方式构建设计规范知识体系，实现需求与规范精准对接；基于“实体—属性—关系”模型构建 BIM 构件知识表示体系，明确其与需求、规范、成本的多维度关联。

（二）技术经济指标应用场景

聚焦提升投资估算精准性，构建“数据采集—阈值预警—智能调整—版本管理”动态机制，整合多源数据确保指标与市场同步；建立“定额价—市场价—关联规则—差异预警”体系，厘清二者关联逻辑，推动计价从“定额导向”向“市场导向”转型。

（三）全过程造价管理场景

打破阶段割裂，实现全流程一体化管控。设计阶段依托知识图谱实现“设计与计价协同”，自动核算分项成本并识别超规范设计；施工阶段构建“实时采集—动态核算—风险预警—方案推送”闭环，精准定位成本偏差；结算阶段建立“争议定位—依据匹配—方案生成”体系，自动化核验结算数据，提升结算效率^[9]。

（四）市场机制创新场景

聚焦招标投标阶段市场化决策，构建“价格—质量—企业”三位一体体系。通过“投标数据—基准标准—风险规则”关联实现回标分析自动化；建立“质量—价格—价值”量化模型，推动招标投标从“拼价格”向“拼质量、拼价值”转型；构建“企业实体—绩效指标—项目案例”网络，全面评估投标企业履约能力。

二、多场景集成的知识图谱架构设计

（一）统一知识模式（Schema）设计

基于本体论，结合领域特征与多场景需求，从核心实体定义、跨场景关系建模、属性约束规范三维构建 Schema 体系。

1. 核心实体定义

遵循“领域共性+场景特性”原则，提炼覆盖全领域的核心实体集并按“领域大类—细分类型”层级划分。核心实体分为六大类：项目类（建设项目、单项工程等）、对象类（BIM 构件、材料等）、规则类（设计规范、计价标准等）、主体类（业主、施工企业等）、数据类（技术经济指标、市场价格等）、风险类（成本风险、质量风险等）^[10]。采用“领域编码+实体类型+序号”分配唯一标识，预留扩展字段适配新增场景需求。

2. 跨场景关系建模

构建“基础统一、场景灵活”的关系体系，分为基础关联关

系与场景扩展关系两类。基础关联关系含包含、对应、符合、关联四种通用关系，保障知识图谱整体性；场景扩展关系针对特定需求定义，如业主需求场景的“需求—映射—项目参数”、招标投标场景的“投标企业—关联—历史绩效”等，满足差异化服务需求。

3. 属性约束规范

从属性分类、约束规则、数据标准三层面构建规范体系。属性分为基础、场景、关联三类；针对数值型、文本型等不同属性制定差异化约束规则；参考行业标准统一属性命名、数据单位等，保障知识准确性、一致性，降低数据复用成本。

（二）场景自适应知识组织

基于场景特征与用户需求，从统一知识图谱中提取重组知识生成场景化视图，实现“按需推送”。

1. 场景特征提取

采用“静态特征库+动态感知”模式。静态特征库涵盖各场景业务目标、核心流程、知识需求及用户角色固有特征；动态感知通过采集用户操作与环境数据优化特征，采用“用户行为分析+环境数据监测”双驱动模式，确保特征与需求、环境同步^[10]。

2. 知识视图生成

通过“知识筛选—关联重组—可视化呈现”流程构建场景化知识子集（动态映射，非独立副本）。知识筛选采用“特征匹配+规则过滤+适配度评分”；关联重组优化结构，突出核心知识链路；可视化采用场景定制界面，支持“宏观概览—微观钻取”交互。

3. 个性化推荐机制

采用“场景需求+用户画像”双驱动模型，结合规则推荐与协同过滤算法。用户画像整合静态属性与动态行为数据；推荐分基础规则推送与协同过滤拓展两层，含冷启动解决方案；通过“主动推送+智能提醒”实现决策节点精准赋能。

（三）知识更新与演化机制

核心为构建“增量学习—版本管理—质量监控”全流程体系，实现知识实时纳入、有序管理、精准可用，保障知识图谱时效性与生命力，避免滞后决策失误。

1. 增量学习策略

采用“主动采集+被动提交”双渠道增量更新模式。主动采集自动化获取政策、市场价格、行业案例等公开知识；被动提交协同化纳入企业内部知识与专家经验，含专家审核与激励机制^[10]。通过“差异检测—冲突解决—增量融入”算法实现高效迭代。

2. 版本管理方法

采用“整体版本+实体版本”双层管理体系。整体版本按更新批次生成编号，记录元数据，支持按项目时期检索；实体版本记录核心实体变更，关联整体版本，支持对比分析。具备版本回滚与归档功能，保障可追溯、可复用。

三、基于知识图谱的智能决策方法

（一）智能投资估算模型

以“多因素精准量化、相似项目智能匹配、动态误差修正”为核心，实现项目决策初期的快速精准估算，为业主投资决策提供可靠依据^[7]。

1. 多因素影响分析

构建“项目特征－影响因素－估算系数”网络，梳理项目固有特征、区域环境、政策技术、市场波动四大核心因素，采用层次分析法与关联规则量化权重，形成综合调整系数。

2. 相似项目检索

通过“特征提取－双维度相似性计算－结果排序”流程，筛选相似度 $\geq 85\%$ 且置信度 $\geq 90\%$ 的前5个项目作为参考。

3. 估算精度提升

通过“基准值计算－多因素修正－误差反馈优化”闭环机制，将误差控制在 $\pm 5\%$ 以内，实现模型自学习迭代。

（二）设计优化辅助决策

模型聚焦设计阶段“合规性、经济性、可行性”核心需求，以下三大模块，实现设计方案全流程智能支撑^[8]。

1. 规范符合性检查

采用“BIM导入－参数提取－规则匹配－结果反馈”流程，生成合规报告并标注违规项，将检查时间从3天缩短至2小时，违规识别率从75%提升至98%。

2. 成本敏感性分析

构建“设计参数－构件成本－造价总额”模型，确定核心敏感参数，通过“单因素＋多因素”分析生成敏感性热力图，某商业项目通过该模块实现造价降低8%。

3. 多方案比选推荐

建立“合规性－经济性－可行性”三维评估体系，通过自动化流程量化评估方案，为关联相似项目提供实证支撑。

（三）市场机制创新支持

聚焦招标投标阶段市场化决策需求，构建“价格－质量－能力”三位一体智能决策体系。

1. 回标价格合理性评估

建立“价格水平－组价逻辑－技术匹配”三维体系，将报价分为合理、需复核、不合理三级，推送异常整改建议^[9]。

2. 企业能力匹配分析

基于“资质－绩效－信用”三维模型，结合报价合理性计算适配度，生成企业优劣势分析报告。

3. 风险预警机制

构建全链条风险体系，通过“实时监测－规则匹配－量化评估－预警推送”流程识别风险，推送应对方案，形成闭环管理。

四、系统实现与案例研究

（一）工程造价知识服务平台架构

基于前文理论与方法，构建“知识图谱驱动的工程造价智能

决策系统”，实现从知识构建、智能决策到数据迭代的全流程闭环，适配全过程造价管理需求。

1. 系统架构设计

采用“四层架构”设计，保障系统稳定性与扩展性。一是数据层：整合工程造价领域多源数据，通过ETL工具完成清洗、结构化处理，支撑知识图谱构建；二是知识层：依托图数据库存储知识图谱，实现实体关联与推理；三是算法层：集成多因素权重计算、相似性匹配等核心算法；四是应用层：部署智能投资估算、设计优化辅助、市场机制创新支持三大功能模块，适配不同决策场景^[10]。

2. 核心功能实现

基于Python、Neo4j、BIM相关开发工具栈实现核心功能。一是知识图谱管理：支持数据导入、实体关系编辑、知识查询与更新，提供可视化图谱展示；二是智能决策模块：实现参数输入、自动化分析、结果输出全流程交互，支持报告导出与异常预警；三是数据迭代模块：自动采集新项目数据，经校验后更新知识图谱，驱动模型自优化。系统响应时间 ≤ 3 秒，支持1000+项目数据并发处理。

（二）典型应用案例

选取三类典型项目验证平台应用效果。一是大型商业综合体项目投资决策，通过相似项目检索与多因素修正，估算误差率仅4.05%，较传统方法降低6个百分点，完成时间从5个工作日缩短至2小时；二是市政道路改造项目设计优化，通过规范检查与多方案比选，实现造价节约1440万元，占原设计造价的12%，同时避免后期返工风险；三是产业园区标准厂房项目投标分析，通过报价合理性评估与企业能力匹配，帮助企业成功中标并保障合理利润，规避低价竞争风险。

（三）效果评估与分析

决策效率方面，投资估算、规范检查、回标分析效率分别提升97.2%、97.2%、94.4%；成本控制方面，全生命周期成本平均降低6.8%，设计阶段优化贡献52%；风险管控方面，风险识别准确率达98%，避免直接损失平均占总造价3.2%；用户满意度平均评分8.6分。

五、结论与展望

经过理论构建与实践验证，以“场景分析－知识建模－图谱构建－决策应用”为核心逻辑，开发多源异构造价知识处理、场景自适应知识组织、复合式智能决策推理等关键技术，构建的多场景工程造价知识图谱，具有多元化应用价值。将其运用于智能造价决策，推动工程造价业务流程向自动化、数字化和智能化方向转型，提高造价决策效率与成本控制水平；运用于工程造价咨询，有助于整合专业资源与平台，重塑行业生态，提供技术与服务融合的综合性解决方案；运用于产教融合，有助于刻画面向多场景需求的复合型造价人才画像，推动高等工程教育体系、课程体系与实践体系改革。未来，知识图谱构建可立足全生命周期视角，引入人工智能技术与数字孪生技术，拓展覆盖场景和服务范

围，深化知识生成方面的应用。智能决策模型优化维度，引入强化学习实现参数自适应调整，开发多目标决策模型，探索联邦学习保障数据安全下的跨企业知识协同。行业应用推广维度，推动行业相关标准制定和完善，搭建开放型知识服务平台，开发国际化造价知识图谱，支撑企业“走出去”战略。

参考文献

[1] 韩世强, 孙世庆, 史英英. 智能建造时代的工程造价管理研究——基于新质生产力视角 [J]. 建筑与预算, 2024, (11): 43-45.

[2] 王鑫, 汤庸, 王昊奋, 等. 知识图谱赋能的知识工程: 理论、技术与系统专题序言 [J]. 计算机科学, 2023, 50(03): 1-2.

[3] 孙涛. 基于建筑智能化工程中全过程造价控制的相关探究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2024, (12): 122-124.

[4] 王淳. 对 GB50500-2013《建设工程工程量清单计价规范》的浅读 [J]. 建筑工人, 2024, 45(01): 27-31.

[5] 卢锡雷, 吴秀枝, 王越, 等. 我国 ICT 技术在项目管理领域应用研究分析 [J]. 绍兴文理学院学报, 2024, 44(2): 33-43.

[6] 苏攀予, 黄健文. 基于知识图谱的 BIM 技术在工程造价领域的应用研究 [J]. 广东工业大学学报, 2023, 40(2): 103-110, 119.

[7] 汪茵, 高平, 王昆. 基于知识图谱的国内智能建造与建筑工业化研究文献计量分析 [J]. 项目管理技术, 2023, 21(3): 100-107.

[8] 邹小红, 王亦斌. 基于知识图谱的我国工程造价领域研究可视化分析 [J]. 价值工程, 2021, 40(7): 183-185.

[9] 柴恩海, 黄莉, 王鹏. 基于文献计量的全过程工程咨询研究分析 [J]. 工程经济, 2020, 30(4): 41-45.

[10] 潘建宏, 王磊, 樊家树, 等. 一种基于知识图谱技术的多源异构数据融合、共享方法 [J]. 电子设计工程, 2022, 30(23): 185-188+193.