

人工智能技术赋能工程项目成本精细化管理的应用路径与实践研究

罗 敦

中国机械设备工程股份有限公司 北京 100073

摘 要：传统成本管控模式存在数据割裂、过程滞后、预判不足等痛点，难以满足新时期工程建设的精细化管理需求。人工智能技术与工程建造领域的深度融合，为成本管控的数字化、智能化转型提供了可行路径。本文将围绕机器学习与预测算法、计算机视觉与感知技术、自然语言处理技术、大数据关联分析等人工智能技术，梳理各类技术在工程项目成本估算、现场管控、合同管理、数据协同等环节的具体应用路径，明确各技术的适用场景与管控价值。

关键词：工程项目；成本精细化管理；人工智能；全周期；应用路径

引言

当前建筑工程行业逐步进入高质量发展阶段，市场竞争持续加剧，利润空间逐步收窄，成本管控能力直接决定工程项目的盈利水平与企业的可持续发展能力。传统成本管控模式高度依赖人工经验，以事后核算、静态管控为主要特征，在面对建设周期长、参与主体多、影响因素复杂的工程项目时，普遍存在数据协同不畅、偏差发现滞后、风险预判不足等问题，难以实现真正的精细化管理^[1]。近年来，机器学习、自然语言处理、计算机视觉等人工智能技术趋于成熟，并成功应用在数值预测、图像识别、文本解析等场景中。基于此，本文将人工智能技术赋能工程项目成本精细化管理，从工程项目全周期视角，梳理可复制、可衔接的智能化应用路径，将其应用在工程项目设计估算、招投标清标、施工动态控制和竣工结算审核各阶段，真正实现成本精细化闭环管理。

1 机器学习与预测算法在成本精细化管理中的应用

1.1 全周期成本精准估算

在项目决策与初步设计阶段，传统成本估算多依赖定额标准与人员经验，对于新型工艺、复杂地质条件下的项目，估算偏差往往较大。基于监督学习算法构建的成本估算模型，可对海量同类历史工程的造价数据进行特征提取，梳理项目规模、结构形式、地质条件、工艺标准等特征要素与成本之间的对应关系，针对新项目的特征参数快速输出成本估算结果。相较于传统估算方式，算法驱动的估算能够纳入更多维度的影响要素，缩小估算偏差，为项目决策提供更可靠的成本依据。

在招投标与施工图预算阶段，机器学习算法可结合

工程量清单特征、区域市场价格水平、同类项目中标价格等数据，对清单子目单价与总价的合理性进行测算，识别报价中的偏高或偏低项，辅助报价策略制定与清标工作开展，避免因报价失衡导致的成本风险。进入施工阶段后，算法模型可结合施工进度计划与资源投入方案，对分部分项工程的阶段性成本进行滚动预测，随施工推进动态更新预测结果，使成本管控目标始终匹配实际施工节奏^[2]。

1.2 成本偏差动态预警与溯源

传统成本核算多以月度、季度为周期，偏差发现时往往已形成既定损失，纠偏空间有限。基于机器学习的动态预测模型可对接项目实时成本数据，将实际发生成本与计划成本基准进行高频次比对，自动识别超出预设偏差阈值的成本项，并同步定位偏差对应的施工部位与成本子目。此外，算法模型可通过多要素关联分析追溯偏差产生的原因，区分工程量变化、材料价格波动、损耗率超标、用工效率下降等不同类型的偏差诱因，为管控人员制定纠偏措施提供精准指向。动态预警机制将成本监控的周期从阶段性缩短至日度级别，能够有效遏制成本偏差的累积效应，降低成本超支的风险。

1.3 资源配置优化与成本压降

机器学习算法可通过对历史施工数据的分析，梳理不同施工工序的资源投入规律，结合项目的进度节点与工序衔接关系，优化资源的进场时序与投入数量，避免资源闲置与过度投入。针对人工配置，可匹配工序的用工需求与工种技能要求，优化人员排班方案，减少窝工与无效工时；针对机械配置，可根据作业面的施工需求优化机械调度路径，提升设备利用率，降低租赁成本

与能耗成本。在材料采购环节,结合价格预测算法与施工进度安排,可模拟不同采购批次、采购量下的综合成本,平衡材料价格波动风险与库存仓储成本,制定最优采购方案。同时可针对不同材料的价格波动特征与使用节奏,分类制定采购策略,进一步压缩采购环节的不必要支出,实现采购成本的精细化控制。

2 计算机视觉与感知技术在成本精细化管理中的应用

2.1 物料进场与使用环节的损耗管控

在物料进场环节,通过视觉识别技术可自动核验进场材料的数量、规格与外观质量,替代传统的人工点数、丈量与抽检工作。视觉识别算法可以对钢筋、管材、砂石等不同类型的材料进行快速统计进场量,大幅提升核验效率,同时减少人工核验的误差,避免材料缺方亏方、以次充好等问题带来的直接成本损失。在施工过程中,通过现场布设的视觉采集设备,可对主要材料的使用过程进行持续监测,识别不合理切割、随意丢弃、超量领用等浪费行为,以及违规挪用等异常情况,一旦触发预设的识别规则,即可及时推送管控提示,督促现场管理人员介入处理。视觉识别跟踪还可以对模板、脚手架等周转材料进场、安装、拆除、退场的全流程,自动统计周转次数与损耗程度,优化周转材料的跨项目调配方案与维保计划,延长使用寿命,摊薄单位工程的周转材料成本^[3]。

2.2 用工与机械作业的成本精准核算

传统的用工与机械核算多依赖人工考勤与台班记录,容易出现虚报工时、台班记录失真等问题,导致成本核算不准。基于视觉感知的人员识别技术,可对现场作业人员的在岗状态、作业时长、工种类型进行自动统计,匹配用工合同中的薪酬标准,自动核算阶段性人工成本,同时识别人岗不匹配、出勤异常等情况,规避无效用工成本。对于正在施工机械可以结合视觉识别与设备状态感知技术,实时监测设备的作业状态、怠速时长与作业负荷,统计设备的实际有效作业时间,替代传统的台班登记方式,精准核算机械使用成本。同时可识别机械长期怠速、低效运行等异常情况,分析设备利用率偏低的原因,优化机械调度与作业安排,减少机械闲置带来的租赁成本与燃油消耗。

2.3 工程量与变更场景的可视化复核

部分工程内容具有隐蔽性或一次性特征,事后难以复核工程量,容易引发结算阶段的成本纠纷,比如土方工程、隐蔽工程等。通过三维视觉重建技术,可在施工过程中对作业面进行周期性扫描,留存施工各阶段的

可视化数据,同步测算实际完成的工程量,形成可追溯的工程量档案。在结算阶段,可直接调用过程中的视觉数据进行工程量核对,减少现场复测的工作量,同时避免工程量争议带来的结算纠纷与额外成本。针对现场设计变更与签证场景,可通过视觉采集快速还原变更前后的现场状态,对比变更前后的工程量差异,辅助变更成本的快速测算,提升变更签证的成本核算效率,同时留存可视化的变更依据,降低后期的结算争议风险。

3 自然语言处理技术在成本精细化管理中的应用

3.1 合同文本智能审核与风险防控

合同中的价格约定、支付方式、风险分担、索赔规则、变更计价等条款,都与项目最终成本密切相关,一旦存在模糊表述或权责不对等的內容,极易引发后期的成本纠纷与额外支出。自然语言处理技术可对合同文本进行全量智能审核,自动识别与成本相关的核心条款,将其与标准合同模板、行业惯例进行比对,排查条款中的缺失项、模糊表述、风险敞口等问题,提示管控人员进行重点核查与修订。针对多版本的合同草稿与补充协议,可自动比对文本差异,精准定位条款变更内容,避免人工比对的疏漏,有效弥补人工审核的能力局限,降低合同漏洞带来的成本风险^[4]。

3.2 签证变更文档的智能化处理

施工过程中产生的现场签证、设计变更通知、工作联系单等文档,这类文档数量多、格式不统一,人工逐一梳理提取信息的工作量大、效率低,且容易出现遗漏。自然语言处理技术可对各类签证变更文档进行语义解析,自动提取变更事由、涉及部位、工程量变化、责任归属等核心信息,并将其与成本清单中的对应子目进行关联,快速测算变更对项目总成本的影响,实现签证变更的成本快速核算。同时,自然语言处理技术可对签证文档进行合规性校验,对照项目的签证管理流程,识别缺少签字确认、流程不合规、事由不清晰的无效签证,避免无效签证纳入成本核算带来的不合理支出。经过处理的签证信息可自动归入项目成本台账,实现成本数据的动态更新。

3.3 成本文档的信息整合与智能检索

工程项目全周期会积累大量成本相关的文档资料,分散在不同部门与不同系统中,信息调取与复用的难度较大。自然语言处理技术可对各类非结构化的成本文档进行结构化信息提取,将文档中的造价指标、价格数据、成本子目等信息转化为标准化数据,纳入项目成本数据库,实现分散文档的信息整合。在此基础上,可构

建基于语义的智能检索体系,管控人员通过自然语言描述即可快速检索到对应的成本数据与相关文档,无需在海量文件中逐一查找,大幅提升成本信息的获取效率。同时,标准化后的成本数据可直接为成本预测、数据分析等工作提供支撑,提升数据复用价值。

4 大数据关联分析技术在成本精细化管控中的应用

4.1 全周期成本数据的关联贯通

工程项目的成本数据分布在设计、采购、施工、结算等不同阶段,分别由设计单位、建设单位、施工单位、监理单位等不同主体管理,各阶段数据之间缺乏有效衔接,导致成本数据难以追溯,前后阶段的成本对比与分析难以开展。大数据关联分析技术首先通过统一的数据标准,将不同阶段、不同来源的成本数据进行标准化处理,再通过项目编码、子目编码等标识建立数据之间的关联关系,形成贯穿项目全周期的成本数据链条。全周期成本数据贯通后,可实现从设计概算、施工图预算、中标价、施工过程成本到结算造价的全链路对比分析,清晰呈现各阶段的成本变化情况,定位成本波动的关键节点。同时,历史项目的全周期成本数据可形成可复用的成本数据库,为新项目的成本估算与管控提供参考^[5]。

4.2 成本影响因素的关联挖掘

工程项目成本受材料价格、工期、设计变更、施工工艺、地质条件、管理水平等多类因素共同影响,各类因素之间存在复杂的交互作用,传统分析方式难以精准识别各因素的影响程度。大数据关联分析技术可整合多维度的项目数据,挖掘不同因素与成本指标之间的关联关系,量化各类因素对成本的影响权重,识别核心成本驱动因素。例如,可分析设计变更频次与成本超支幅度的关联、材料价格波动周期与采购成本的关联、工期延误时长与间接成本增长的关联、施工班组水平与材料损耗率的关联等。通过关联挖掘,能够明确成本管控的重点方向,针对高影响因素制定专项管控措施,提升成本管控的针对性与有效性,避免盲目管控带来的资源浪费。

4.3 供应链与协同成本的关联优化

传统采购管理多关注单一材料的采购价格,缺乏对

供应链全环节成本的综合考量。大数据关联分析技术可整合供应商资质、材料价格、运输成本、供货周期、质量合格率等多维度数据,综合评估不同供应方案的全周期成本,筛选综合成本最优的供应商与采购方案,平衡采购价格、运输成本、质量成本、缺货风险之间的关系。同时,通过打通施工进度数据与供应链数据,可实现材料需求与供应的动态匹配,根据施工进度的调整同步更新采购计划,减少因材料供应不及时导致的工期延误成本,以及因材料提前进场导致的仓储与损耗成本。针对项目各参与方的协同场景,通过数据关联可明确各方的成本责任边界,减少因信息不对称、协同不畅带来的额外协调成本与纠纷成本。

结语

随着工程建设领域数字化水平的持续提升,人工智能技术为工程项目成本精细化管控提供了多维度的技术支撑,不同技术方向对应成本管控的不同环节与需求,形成了覆盖事前预判、事中控制、事后核算全流程的智能化管控能力。机器学习与预测算法提升成本管控的前瞻性,计算机视觉与感知技术强化现场成本的管控颗粒度,自然语言处理技术提高文本类成本信息的处理效率,大数据关联分析技术增强成本管控的全局协同性,不断扩展人工智能技术在项目成本管控中的应用深度与广度,从而推动工程成本管控模式持续向精细化、智能化方向演进。

参考文献

- [1] 雷苏林.人工智能在建筑工程项目财务管理中的应用模式研究与实践[J].经济技术协作信息,2025(10):0100-0102.
- [2] 赵萍.建筑工程项目成本控制与精细化管理模式优化研究[J].建筑,2025(5):91-93.
- [3] 康蓓.精细化管理视角下高层建筑工程全过程造价控制研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(8):136-138.
- [4] 李霖.基于数字化平台的建筑工程项目管理优化路径研究[J].工程技术研究,2025,10(7):133-136.
- [5] 朱详炬,高平.基于BIM和GIS的数字智能化管控平台的构建及在桥梁项目管理中的应用研究[J].价值工程,2024,43(19):161-164.