

人工智能赋能工程管理决策的理论基础与应用场景边界分析

付汉良

(西安建筑科技大学管理学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 新一代人工智能技术持续推动工程管理模式数字化转型, 智能决策成为工程领域研究热点。现有研究多聚焦人工智能技术落地路径与工程场景应用开发, 缺少对赋能底层理论逻辑、作用机制以及场景边界的系统性辨析, 容易引发技术万能论认知误区。本文以有限理性决策理论、知识管理与组织学习理论、人机协同决策理论为支撑, 搭建人工智能赋能工程管理决策的理论分析框架; 从数据感知、推演预测、多目标优化三个维度阐释 AI 驱动工程管理决策的核心赋能路径; 进一步从数据与算法约束、结构化/非结构化决策区分、人机权责划分角度界定人工智能应用边界。研究表明, 人工智能并非替代工程管理者, 而是拓展决策者信息处理能力、优化组织知识流转效率; 人工智能仅在数据完备、目标清晰、规则可量化的结构化工程决策场景具备稳定赋能效果, 高度不确定、涉及价值判断与多方利益博弈的复杂非结构化决策仍需人类主导。厘清理论基础与应用边界, 能够避免盲目智能化投入, 为人机协同工程决策体系构建提供理论参考。

关键词: 人工智能; 工程管理; 决策; 人机协同; 边界分析

中图分类号: TU71; C93 **文献标识码:** A **文章编号:** 3134-9803(2026)04-0013-03

1 理论基础: AI赋能工程管理决策的理论逻辑

工程管理贯穿项目策划、设计、施工、运维全生命周期, 大量决策存在信息繁杂、动态扰动、多方博弈、不确定性突出等特征。传统工程决策高度依赖管理者经验, 受制于人类认知上限, 难以充分挖掘海量工程数据蕴含的价值。人工智能技术嵌入工程管理决策体系并非单纯技术工具叠加, 其有效性建立在成熟管理科学理论之上。有限理性决策理论解释人工智能突破人类认知约束的可能性; 知识管理与组织学习理论揭示人工智能推动工程组织知识转化的内在机理; 人机协同决策理论确立人工智能与工程管理者协同分工的基本预设, 三者共同构成AI赋能工程管理决策完整理论基石。

2 赋能机制: AI驱动工程管理决策的核心路径

2.1 数据驱动感知能力对工程管理决策信息基础的扩展

信息质量直接决定工程决策水平, 信息缺失、信息滞后、信息失真长期是工程管理痛点。传统模式下, 信息采集依靠人工填报、现场巡查, 数据采集频次有限、人为误差大, 大量施工现场监测数据、物流数据、环境数据无法充分利用。人工智能融合物联网感知、机器视觉、多源数据融合技术, 构建数据驱动智能感知体系, 拓展决策信息基础。

首先, 实现非结构化信息自动解析。施工现场监

控视频、施工图纸、监理日志、变更签证、会议记录大多属于非结构化数据, 传统手段难以批量分析。借助计算机视觉、大语言模型, 人工智能自动识别现场安全违规行为、解析图纸冲突、提取变更核心条款, 将海量非结构化信息转化为可供决策使用的结构化指标。

其次, 打通跨源数据孤岛。工程项目参与方包括建设单位、设计、监理、施工、供应商, 各方数据标准不统一, 数据割裂普遍。人工智能数据清洗、对齐、融合技术, 整合BIM模型数据、造价数据、实时监测数据、市场材料价格数据, 形成统一项目数字底座, 消除信息壁垒。

最后, 实现动态实时感知预警。依托实时采集数据, 持续监测施工沉降、构件应力、现场人员状态、机械运行工况, 一旦指标偏离阈值自动预警。相比于定期人工排查, 智能感知具备全天候、全覆盖优势, 提前捕捉潜在风险信号, 为风险决策争取时间。

2.2 智能预测与模拟推演对工程管理决策前瞻性的提升

工程决策大量面向未来, 进度延误风险、材料价格波动、施工安全隐患、投资超支问题都需要前瞻性预判。传统预判高度依赖管理者经验, 静态定性判断居多, 动态量化推演能力不足。人工智能结合机器学习、数字孪生、仿真模拟技术, 实现动态预测与情景推演, 提升决策前瞻性。

首先,开展量化趋势预测。基于历史项目数据库,训练预测模型,实现工程造价估算、工期延误概率预测、建材价格走势预判、运维能耗预测。相比于传统静态计算公式,人工智能模型能够捕捉多个变量之间非线性关联,适配工程复杂动态环境。例如基于历史工期数据,综合天气、人员配置、工序搭接多重因素,动态预测关键线路完工时间,提前识别进度风险。

其次,支持多情景模拟推演。借助数字孪生与智能仿真,人工智能可以快速模拟不同施工方案、资源配置方案下项目运行状态,模拟极端天气、供应链中断、设计变更等扰动事件带来的连锁影响。管理者不再只能依靠静态方案对比,能够直观观测各类突发情景下项目成本、进度、安全变化,提前制定预案。

2.3 多目标优化与方案比选对工程管理决策科学性的强化

工程管理决策大多属于多目标冲突优化问题:成本、工期、质量、安全、环保目标相互制约,压缩工期往往带来成本上升,严苛质量管控会降低施工效率。传统方案比选依靠人工有限对比,很难遍历全部可行方案,容易遗漏更优组合。人工智能多目标优化算法能够快速生成大量可行方案,开展量化对比,强化方案比选科学性。

在设计阶段,生成式人工智能可以快速生成多套建筑布局、结构方案,综合造价、能耗、施工难度、规范约束开展多目标优选;在施工阶段,智能算法优化场地平面布置、机械设备调度、劳务人员排班、材料运输路线,平衡运输成本、施工空间、作业效率;在成本管控阶段,针对工程变更方案开展经济性测算,对比不同变更方案带来的全生命周期影响。

人工智能方案比选的核心优势在于能够同时处理多个相互冲突目标,输出帕累托最优解集,清晰展示不同方案下各目标取舍关系,直观呈现“成本增加多少、工期可以缩短多久”这类量化权衡关系,帮助管理者清晰掌握取舍代价。但目标权重仍然需要人确定:环保优先级、投资上限、工期底线等价值目标无法依靠算法自动判定,算法只能在给定目标体系内完成优化,无法自主定义目标。这也直接划定赋能边界:优化工具不能替代决策者进行价值取舍。

3 应用边界:AI赋能工程管理决策的适用条件与领域限度

3.1 数据基础、算法成熟度与不确定性对赋能的约束

人工智能稳定发挥作用,存在前置条件,数据、算法、环境不确定性构成第一层硬性约束边界。

首先,数据质量与样本规模约束。机器学习模型高度依赖高质量、标准化、足量标注数据。国内大量

中小工程项目数字化程度偏低,历史项目档案缺失、数据记录不规范、指标口径不统一;小众新型工程业态、特种工程项目可参考案例稀少,样本不足会导致模型泛化能力弱,预测与分析结果偏差显著。当项目可用历史数据匮乏时,人工智能难以形成有效知识学习,赋能效果大幅下降,此时依靠专家经验反而更加可靠。同时,训练数据集自带历史偏差,若历史项目普遍存在管理短板,模型会复刻原有管理缺陷,形成路径依赖。

其次,算法成熟度与可解释性约束。不同工程任务对应的智能算法发展水平差异巨大。进度预测、图像安全识别、造价初步估算等场景算法相对成熟;重大工程长期战略决策、多方争端协调、突发复合型风险研判等场景,尚无成熟通用算法。此外,大量深度学习模型具备黑箱特征,只能输出结论,无法清晰解释推理过程。对于投资规模大、公众关注度高、需要审计溯源的重大工程,难以解释的智能结论无法作为正式决策依据,限制模型直接落地。

最后,环境不确定性约束。可以将工程场景划分为低不确定性场景与高不确定性场景。低不确定性场景下,施工工艺、外部条件稳定,扰动因素可预期,人工智能能够稳定发挥作用;高不确定性场景,例如地质条件不明的地下工程、受宏观政策剧烈调整的基建项目、遭遇重大突发事件的工程,历史参考案例失效,模型假设条件被打破,智能推演可靠性快速降低。

3.2 结构化决策与非结构化决策的边界区分

依据决策问题结构化程度,可以将工程管理决策划分为结构化决策、半结构化决策、非结构化决策,三类场景人工智能赋能潜力存在显著差异,构成第二层重要边界。

结构化决策:目标清晰、约束条件明确、具备固定决策规则,问题重复出现。典型场景包括工程量自动核算、常规材料采购询价、现场标准化安全隐患识别、标准工序进度测算。这类决策规则可量化、输入输出明确,人工智能可以高度参与,甚至实现自动化辅助决策。

半结构化决策:部分条件标准化,同时存在部分难以量化的模糊因素,是工程领域最普遍的决策类型。例如施工方案优选、成本动态管控、常规风险评估。人工智能负责量化分析、方案推演,人类负责模糊条件判断、最终权衡,采取人机协同模式。

非结构化决策:问题全新、无固定处置流程,目标模糊,涉及大量利益博弈、价值判断、伦理与社会影响。典型场景包括重大项目投资立项、工程纠纷调解、重大事故应急处置、项目建设模式选择。这类决策缺少统一评判标准,难以全部量化,不存在标准化

最优方案,人工智能仅能够整理资料、罗列历史案例,不能主导决策。

3.3 复杂工程决策场景中人机职责的合理划定

人机协同理论要求清晰划分人机权责,这是人工智能应用的管理边界,也是规避决策风险、厘清责任的关键。结合工程管理全流程,建立分层权责边界。

人工智能权责范围:信息采集、数据清洗、指标计算、多方案模拟、风险初步识别、标准化方案生成、历史案例检索、趋势量化预测。简言之,人工智能承担计算、检索、推演、信息呈现类工作,输出决策备选方案与量化参考指标。

人类管理者权责范围:确定项目目标、设置约束条件、定义评价指标权重、审核智能模型输入数据可靠性、甄别智能输出结论合理性、处理模型无法覆盖的非常规情景、做出最终取舍、承担全部决策责任。人类掌握目标定义、最终决策权与兜底处置权。

落实边界需要规避两类典型误区。第一,过度依赖人工智能,管理者直接采纳智能输出结果,放弃人工复核,忽视数据偏差、模型局限带来的系统性风险;第二,完全排斥智能工具,固守传统经验模式,浪费数字化数据资源。

从制度层面,工程组织应当建立人机协同决策流程规范:所有智能系统输出建议必须经过管理人员复核;遇到超出模型适用范围的异常情况,启动人工专家评审机制;完整留存数据来源、模型结论、人工调

整记录,实现决策全过程可追溯。在重大公共工程项目中,还应当建立专家评审与智能辅助并行的双重决策机制,防范单一模式带来的决策失误。

4 结束语

从场景边界来看,人工智能在结构化、数据充足、规则清晰的常规工程管理决策中具备显著价值;面对高度不确定、目标模糊、涉及多方价值博弈的非结构化复杂决策,人类主导不可替代。未来工程管理智能化的发展方向,不是用人工智能替代管理者,而是构建分工清晰、优势互补的人机协同决策体系。工程行业应当理性规划智能化投入,依据决策结构化程度匹配智能工具;同步完善工程数据治理体系,持续提升数据质量。

参考文献:

- [1]赫伯特·A·西蒙.管理行为:管理组织决策过程的研究[M].詹正茂,译.北京:机械工业出版社,2016:78-93.
- [2]何继善,李自如.工程管理理论与实践[M].北京:中国建筑工业出版社,2018:112-126.
- [3]芮明杰.管理学:现代的观点[M].上海:上海人民出版社,2020:164-179.
- [4]王要武,吴宇迪.人工智能在建筑业应用研究综述[J].土木工程学报,2021,54(04):110-122.
- [5]李开孟.重大工程智能决策的理论框架、现实挑战与推进路径[J].技术经济,2025,44(02):1-10.
- [6]张静晓,刘勤.人机协同下工程项目决策模式变革研究[J].工程管理学报,2023,37(03):1-6.

Theoretical Basis and Scenario Boundary Analysis of Artificial Intelligence Empowering Engineering Management Decision-Making

Fu Hanliang

(School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055)

Abstract: The new generation of artificial intelligence technology continuously promotes the digital transformation of engineering management models, and intelligent decision-making has become a hot research topic in the engineering field. Existing studies mostly focus on the implementation path of artificial intelligence technology and the development of engineering scenario applications, lacking systematic discrimination of the underlying theoretical logic, enabling mechanism and scenario boundaries, which easily leads to the cognitive misunderstanding of technological omnipotence. Supported by bounded rational decision theory, knowledge management and organizational learning theory, and human-machine collaborative decision theory, this paper constructs a theoretical analysis framework for artificial intelligence empowering engineering management decision-making. It explains the core enabling paths of AI-driven engineering management decision-making from three dimensions: data perception, predictive simulation and multi-objective optimization. Furthermore, the application boundaries of artificial intelligence are defined from the constraints of data and algorithms, distinction between structured and unstructured decisions, and division of human-machine rights and responsibilities. The research shows that artificial intelligence does not replace engineering managers, but expands the information processing capacity of decision-makers and optimizes the efficiency of organizational knowledge circulation. Artificial intelligence can achieve stable enabling effects only in structured engineering decision scenarios with complete data, clear objectives and quantifiable rules. Complex unstructured decisions with high uncertainty, value judgment and multi-stakeholder game still need human leadership. Clarifying the theoretical basis and application boundaries can avoid blind investment in intelligence, and provide theoretical reference for the construction of human-machine collaborative engineering decision-making system.

Keywords: artificial intelligence; engineering management; decision-making; human-machine collaboration; boundary analysis