文章编号：0253-374X(2026)01-0001-12 **DOI**：10.11908/j.issn.0253-374x.24294

生成式人工智能大模型在工程建造领域的应用与挑战

卢昱杰[1,2]，王　娜[1]，赵宪忠[1]
(1. 同济大学 土木工程学院，上海 200092；2. 同济大学 工程结构性能演化与控制教育部重点实验室，上海 200092)

摘要：生成式人工智能大模型在工程建造领域面临专业认知不足、应用场景与流程不明确等挑战，为挖掘生成式人工智能大模型在建筑垂直领域的应用场景与工程价值，系统分析与梳理生成式人工智能大模型在我国工程建造领域的潜在应用与面临的挑战，通过文献调研、专家讨论、价值链分析方法，明确该技术在工程建造领域的应用现状，建立“Construction－3L”建造领域大模型应用框架，从通用模型层(L1)、行业模型层(L2)、场景模型层(L3)3个维度挖掘大模型技术在立项、设计、施工中的应用机会与价值赋能方式，提出工程建造场景大模型的构建流程，同时分析大模型在工程应用中算法、算据、评价机制方面的共性挑战，并展望了工程建造领域大模型的应用场景、技术创新、政策方向。

关键词：工程建造；大模型；生成式；应用；人工智能(AI)
中图分类号：TU17；TU765　　**文献标志码**：A

Application and Challenges of Generative AI Large Models in Construction Engineering

LU Yujie[1,2], *WANG Na*[1], *ZHAO Xianzhong*[1]
(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Performance Evolution and Control for Engineering Structures of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Generative artificial intelligence (AI) large models face challenges in the engineering construction domain, including insufficient domain-specific cognition and unclear application scenarios and undefined workflows. To explore the potential applications and engineering value of generative AI large models in the vertical field of construction , this paper systematically analyzes and reviews their potential applications and challenges in China’s construction sector. Through literature review, expert consultations, and value-chain analysis, the current state of AI model applications in construction is clarified. A “Construction-3L” large-model application framework is established, consisting of three dimensions: the general model layer (L1), the industry model layer (L2), and the scenario model layer (L3). Based on this framework, application opportunities and value-empowerment pathways of large-model technologies in the stages of project initiation, design, and construction are explored. A development workflow for construction-scenario large models is proposed. Furthermore, common challenges related to algorithms, data (computing evidence), and evaluation mechanisms in engineering applications of large models are analyzed, and future prospects are discussed with respect to application scenarios, technological innovation, and policy directions in the engineering construction field.

Keywords: engineering construction; large models; generative; application; artificial intelligence (AI)

建筑业是国民经济支柱产业，但其劳动力短缺、生产力低下、管理水平粗放、数字化水平低等问题严重制约建筑业高质量发展，基于人工智能(Artificial Intelligence，AI)的智能建造技术已被用于提高建造管理效能。而以ChatGPT(Chat Generative Pre-trained Transformer)为代表的人工智能大规模预训练模型(简称“大模型”)呈爆发式增长，从自然语言处理逐步扩展迁移到计算机视觉、多模态等类型，是实现生成式人工智能(Artificial Intelligence Generated Content，AIGC)的关键技术与基础，正深度赋能医疗、教育、金融等千行百业，驱动着新一轮

收稿日期：2024-09-09
基金项目：国家重点研发计划(2022YFC3801700)；中国工程院战略研究与咨询项目(2024-XZ-37)；中央高校基本科研业务费专项资金(2024-1-ZD-02)
第一作者：卢昱杰，教授，博士生导师，工学博士，主要研究方向为智能建造、低碳建造。E-mail：lu6@tongji.edu.cn
通信作者：王　娜，博士生，主要研究方向为智能建造、施工安全智能管理。E-mail：wangnatj@tongji.edu.cn

论文拓展介绍

产业变革与效能增强[1],建筑工程领域涉及多方参与,需多学科协作,管理难度大,技术复杂度高,大模型亦为赋能工程建造领域立项、设计、施工全生命周期的高效运转提供了诸多创新思路与解决方案[2]。但由于数据获得难、算力水平低、模型幻觉与结果可控性不足等挑战[3],工程建造领域大模型的发展速度与规模仍受制约,为了推动大模型深入赋能建筑垂域,亟须探索大模型在工程建造细分领域的功能场景与应用潜力[4],最大化挖掘该项技术在实际工程中的可能性与价值,优化质量、安全、进度等管理效能,加速建筑业创新发展。

建筑业是大模型等AI技术最重要的应用领域之一。建造是基于建筑全生命期的工程立项策划、工程设计与工程施工的总称[5],建造阶段关注工程价值的规划与形成,是实现工程价值最大化的关键环节。近年来国内外学者围绕工程建造中的大模型技术应用开展了一系列科学研究。Adeloye等[6]探讨了AI技术在建筑业的应用机会与挑战。在立项与设计阶段中,Moon等[7]基于双向编码器表征(Bidirectional Encoder Representations from Transformers,BERT)分类模型自动检测施工规范中的风险条款;Zheng等[8]开发了一个集成BIM-GPT技术的框架,通过提示辅助从BIM(Building Information Modeling)数据库中检索、总结以及回答问题;Qin等[9]开发了一个基于大语言模型和生成式AI的剪力墙结构智能设计和优化系统;Liao等[10]分析了生成对抗网络(Generative Adversarial Network, GAN)、图神经网络(Graph Neural Network,GNN)等生成式AI算法在建筑结构设计中的研究与应用。在施工阶段中,Prieto等[11]提出基于ChatGPT的施工计划生成方法,以辅助生成建筑工程施工进度表;Uddin等[12]利用ChatGPT干预、指导学生安全教育与培训课程,提高施工风险识别水平;Rosso等[13]提出一种基于BERT模型的微调方法,以分类、识别建筑工程潜在风险。覃思中等[14]构建了一套基于提示工程与本地知识库的大语言模型应用方案,并初步验证了其在建筑工程领域的应用效果。You等[15]提出新系统RoboGPT,增强基于机器人的施工自动序列规划任务能力。尽管大模型技术在工程建造领域发展迅速,并已在教学管理、规划生成、结构设计等方面初步应用,但整体来看,其技术应用水平较浅,大多局限于进行快速规范检索、施工知识问答等基础的工程实践任务。

除此之外,还有学者系统研究了生成式AI在建筑业的应用现状,并开发了一系列建造行业大模型。Chung等[16]分析了自然语言处理(Natural Language Processing,NLP)技术在建筑业的研究现状,指出GPT等语言生成技术具有生成图片描述、施工报告等的潜力;Saka等[17]评估了GPT等语言大模型(Large Language Model, LLM)在建筑业的应用机会与难点,但仅针对LLM这类大模型的分析;Ghimire等[18]基于词云、词频分析法,分析生成式AI在建筑业的机遇与挑战,但其研究的生成式AI模型范围不包括视觉大模型。在行业应用层面,建筑行业也涌现了一批领域大模型,例如科大讯飞发布了“住建大模型”[19]、中国建科与中国电信联合发布了“星辰—住建行业大模型”[20]、上海建工发布了大模型”Construction-GPT”[21]、广联达发布了建筑行业多专业场景大模型[22]、同济大学土木工程学院发布了学科知识大模型平台“CivilGPT”[23]并与上海期智研究院联合发布了土木工程领域大模型“aice.AEC”[24]。目前综述类研究主要集中在LLM类大模型,研究范围上存在一定局限性,较少探讨视觉与多模态类大模型。总体来说,现有研究对大模型在建筑工程领域的潜在应用、挑战缺乏系统认知与深入分析,对生成式AI大模型的概念与范畴理解亦显不足,也未有效梳理、总结面向该领域特定任务场景的大模型构建方法与路径。

本文在阐述大模型技术相关概念的基础上,结合文献调研、专家讨论、行业价值链分析等方法,评估基于大模型的生成式AI技术在工程建造领域的研究现状。

(1)文献调研。在中国知网、Web of Science数据库,以“生成式人工智能”或Generative AI”、“大模型”或“Large Models”、“GPT”、“建筑业”或“Construction Industry”等为关键词检索文献,重点搜集大模型技术在工程建造领域应用的案例研究或综述文章。鉴于大模型技术发展与应用迅猛[25],还广泛整合并综合分析了专业机构研报、政府机构披露的数据与政策文件以及生成式AI相关网站与咨询等行业信息资源。

(2)专家讨论。共邀请6位资深专家,专家均来自土木工程、建筑科技相关领域,在智能建造方面实践经验均超过5年。讨论议题关注:工程建造过程

中的技术难题与需求挑战、大模型技术如何改进现有建造流程、工程建造大模型的期望与目标效果，以评估大模型技术在工程建造中的实际需求与应用价值。

(3)价值链分析。针对专家提出的问题与主题深度调查，从工程应用角度出发，剖析立项策划、工程设计、工程施工阶段构成的典型工程价值链，总结生成式AI大模型在各阶段的赋能方式，分析其在工程建造领域不同环节的具体应用机会。

本文关于工程建造大模型技术应用的研究结论是基于文献、专家访谈、价值链分析三方面工作共同构建，最终形成了“Construction-3L”研究框架，从通用模型层、行业模型层、场景模型层3个层级探讨大模型技术在立项、设计、施工中的应用机会，并建立了建筑工程特定场景大模型的流程框架，同时明确大模型在工程应用中的挑战，并提出具体的发展建议。

1　生成式人工智能大模型概述

大模型(Large-sized Model)是指具有大规模参数与复杂计算结构的机器学习模型，通常基于深度神经网络构建，具有数十亿甚至数千亿个参数[26]。相较参数量少、网络层浅的小模型，大模型通常具有更好的表达能力、预测性能以及更强的泛化能力，能够对未见过的数据做出准确预测，处理更为复杂的任务。除此之外，大模型还具备涌现能力，即随着模型参数量、模型复杂度等达到一定的临界规模，模型从原始训练数据中自动学习并发展出更高层次的特征与模式，从而表现出未被预先编程的新能力。

生成式人工智能是一类专注于生成创造性内容的AI技术，例如生成文本、图像、音频、视频等全新实例。生成式AI与大模型及其他AI概念的关系如图1所示，并非所有生成式AI工具都基于大模型构建，但许多大模型可以用于生成式AI任务，大模型坚实的计算基础与强大的学习能力能够显著提升生成式AI任务的真实感与创造性。

生成式AI大模型基于大模型的生成式AI技术，该技术推动了建筑工程领域创新设计与决策支持等方面的应用需求，结合大模型发展前沿与工程建造产业应用场景，探究建造领域大模型技术的应用前景有助于重塑建造流程价值、提质增效，并加速智能建造实施、促进建筑产业升级，从而推动建筑业新质生产力培育与高质量发展。

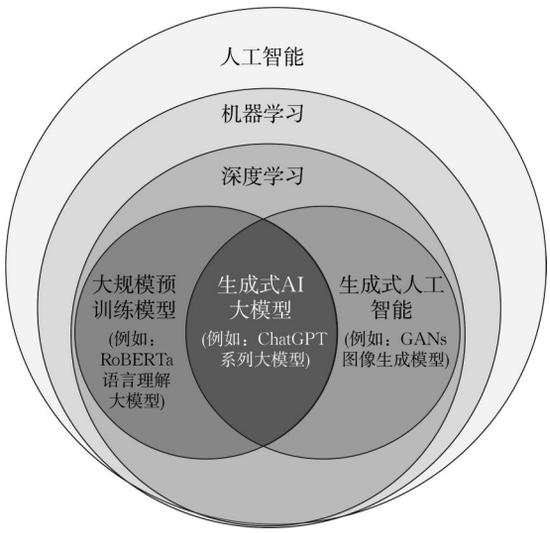

图1　人工智能相关概念的关系

Fig. 1　Relationship among AI-related concepts

2　“Construction-3L”建造领域大模型应用框架

交互能力与创意生成能力突出的大模型与建造流程结合点众多，本文从工程建造领域的应用层面，深入分析基于大模型的生成式AI在多种建造场景中的赋能价值，通过工程建造价值链分析及业内专家讨论等方法，构建大模型技术在工程建造领域的应用框架——“Construction-3L”(如图2所示)，该框架包括通用基础大模型(L1)、建造行业大模型(L2)、建造场景大模型(L3)3个层级，探究大模型技术在工程建造行业的应用潜力、价值与发展边界。

2.1　基础力：通用基础大模型层

通用大模型通常基于大规模、多样化的公开文献和网络信息数据集训练，涵盖多领域知识，具备较强的通用性。通用基础大模型L1层由语言大模型(Large Language Model，LLM)、视觉大模型(Large Vision Model，LVM)与多模态大模型(Large Multimodal Model，LMM)3类通用大模型构成。

大语言模型专注于处理文本数据、理解与生成自然语言文本，例如GPT系列(GPT3[27]、GPT3.5[28]、GPT4[29])、BERT模型[30]、文心一言[31]等。视觉大模型专注于处理与分析图像、视频等视觉数据，基于大规模视觉数据训练、执行图像分割、目标检测、姿态估计等计算机视觉(Computer Vision，CV)任务，例如SAM(Segment Anything)模

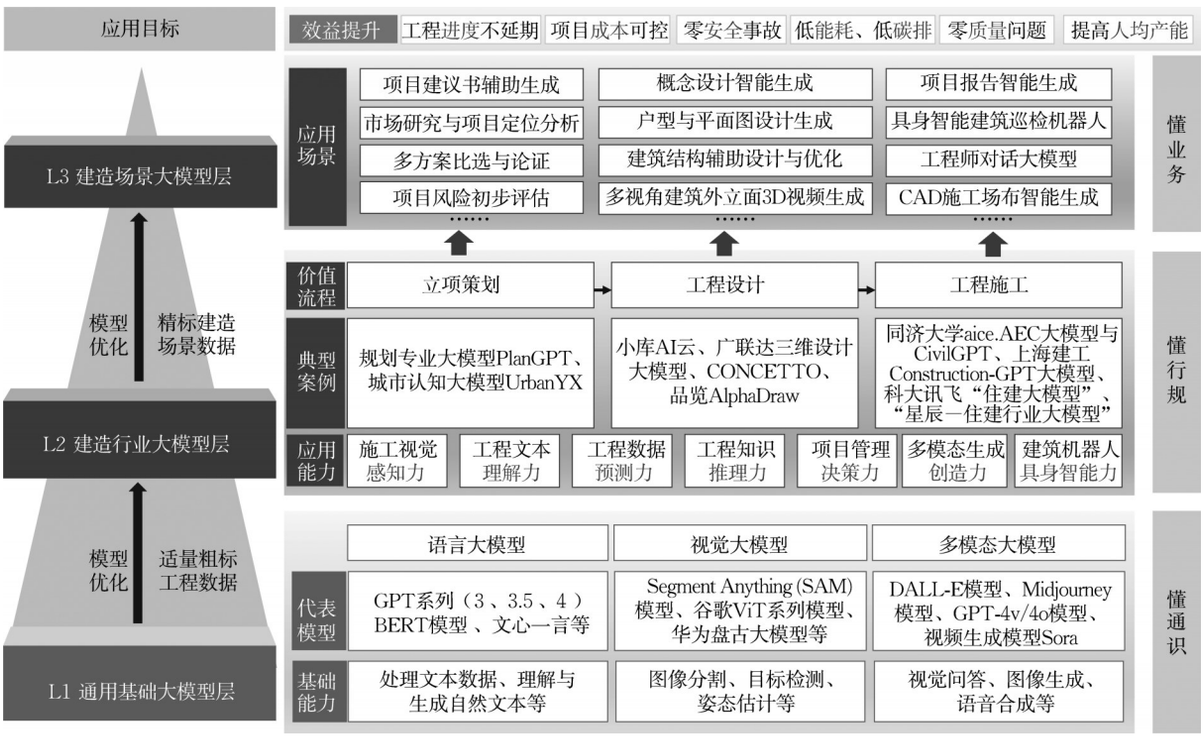

图2 “Construction-3L”建造领域大模型应用框架

Fig. 2 “Construction-3L” application framework for large models in construction domain

型[32]、谷歌ViT系列模型[33]、华为盘古大模型[34]、文心UFO模型[35]等。多模态大模型是指能够处理文本、图像、音频等多种类型数据的大模型，具备智能视觉问答、图像生成、语音合成等跨模态能力，例如DALL-E模型[36]、Midjourney模型[37]、Gemini模型[38]、GPT-4v/4o模型[39]、视频生成模型Sora[40]等。

通用大模型具备较强的语言理解与生成能力，在建筑行业中承担基础技术支持的角色。当前已有众多工程建造从业者直接使用通用大模型产品或者调用应用程序编程接口(Application Programming Interface，API)，以辅助实现简单的工程对话、设计草图生成等任务。但当前通用大模型的应用场景相对有限，其对建筑业专业知识的融合度不足，难以深度嵌入工程建造行业的核心业务流程，处理复杂工程问题时其专业能力表现较弱。因此，亟需以通用大模型作为技术基础与训练起点，融合工程建造数据，构建更专精的行业大模型或场景大模型。

2.2 融合力：建造行业大模型层

建造行业大模型是在通用大模型的基础上，利用立项、设计、施工等关键环节的工程建造数据进行训练和优化的模型[41]，旨在更好地理解与处理工程建造领域专业术语与规范，具备专业化的建造知识与能力。相较通用大模型，工程建造行业大模型能够更有效地解决现存工作难点，满足工程建造整体需求，在优化流程、降本增效方面具有重要价值[42]。

工程项目建造的价值链是指，利益相关者以交付某一工程项目为最终成果与价值目标，对该项目从立项策划到工程设计再到工程施工等全过程中的物质、资金、信息等资源流动以及风险的有效控制、参与方相互依存与协同一体的动态增值链[43]。价值链反映了工程项目建造中关键流程对价值目标的影响程度[44]，工程建造各环节面临的挑战、利益相关者及目标需求各异，大模型技术从立项到施工各环节的赋能方式与价值点不同。本文基于价值链分析方法，识别工程建造的关键活动，结合专家讨论结果，剖析立项、设计、施工三阶段的现有痛点与需求(如图3所示)，建造行业大模型L2层明确了生成式AI在建造行业的潜在价值，直观展示了大模型技术融合工程建造领域特征后的完整链路，并在该基础上分析大模型技术应用潜力、区分技术应用的重要性(如图4所示)，大模型技术重塑工程建造流程的潜力表明了该大模型技术应用实现的可能性。

工程立项策划是在新的工程项目启动前进行规划、评估与决策的过程，关注项目是否值得投资以及如何实施项目是工程价值的规划过程，涵盖立项建议书、可行性研究报告、设计任务书等关键环节，涉及的利益相关者有建设方、咨询方、投资方等[44]。然而，传统的工程立项方式普遍存在资源分配不合理、

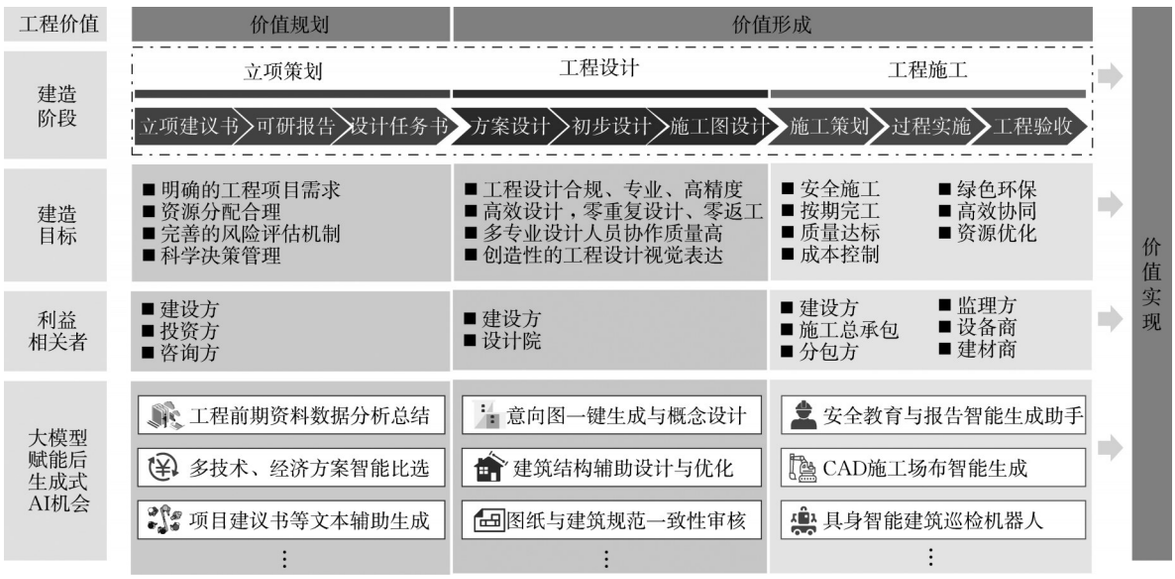

图3　工程建造领域价值链分析与赋能机会

Fig. 3　Value chain analysis and empowerment opportunities in construction engineering domain

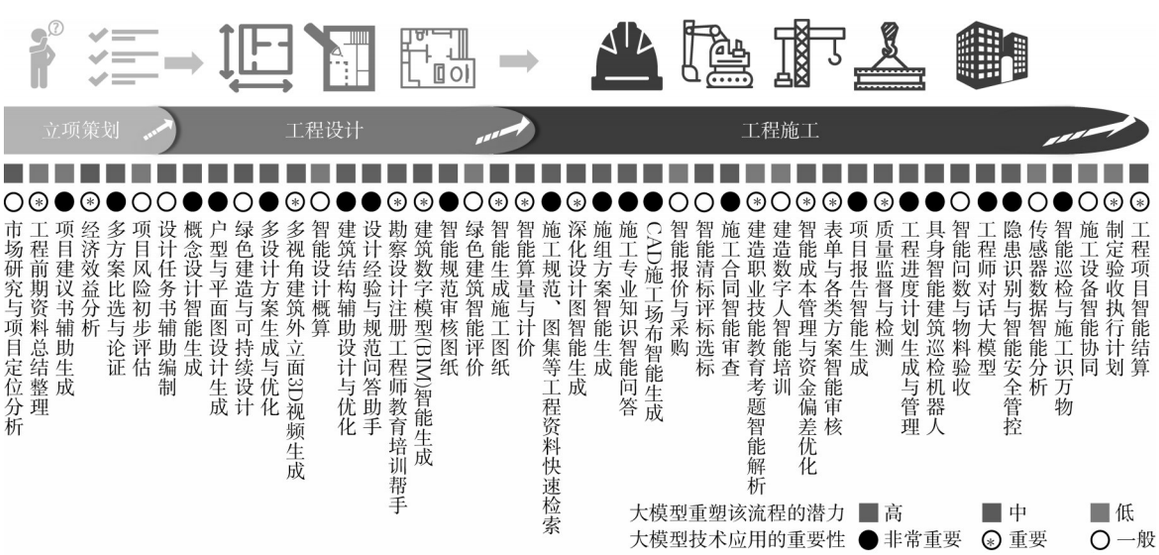

图4　大模型技术应用潜力与重要性

Fig. 4　Application potential and importance of large model technology

风险评估机制不完善、决策管理流程不科学等问题，可能导致项目方向偏差或无法实现预期目标。面对这些挑战，生成式AI可以通过分析工程前期资料与多源历史数据，帮助建设方明确项目立项方向，并比选工程技术与经济方案，评估工程项目的技术经济可行性，强化决策管理。此外，大模型技术还可以辅助工程人员编撰项目建议书等文本报告，提高工程项目立项管理水平与效率。

工程设计是对工程项目建设提供有技术依据的设计文件和图纸的整个活动过程，具有专业性高、细分领域繁多、智力密集输出、侧重图像处理及人力成本高昂等特点，主要包括方案设计、初步设计、施工图设计3个关键环节，涉及的利益相关者有建设方和设计院。工程设计的关键目标在于同时满足规范标准、工程经验、美学及空间优化的需求。但传统工程设计周期较长、生产效率低下，常导致重复设计或返工，多专业协作设计难度大。大模型技术正在革新设计流程和视觉展示方式，基于建筑造型、结构力学、建筑材料、环境评估等知识数据训练得到的设计行业大模型能够大幅提升设计专业效率与精度。例如，在建筑外观和室内设计方面，大模型技术可以根据用户需求和审美偏好，提供基于CAD(Computer Aided Design)、BIM、效果图的建筑设计辅助工具，一键生成多种设计方案供选择，大幅减少设计人员

在重复性图纸设计上的投入。同时,在建筑结构优化方面,大模型技术能够基于海量的建筑数据,自动分析并优化设计方案,确保结构的稳定性与经济性。此外,设计师还能够利用行业模型,实时支持图纸与规范标准、工程经验的一致性核验。这些技术将大幅减少设计师工作流中的低效重复劳动,转向更多创造性工作。

工程施工是将设计图纸转化为实体建筑物或基础设施的过程,具有施工技术复杂、多学科交叉等特点,科学高效的施工管理对于保证工程项目的使用功能与安全可靠十分重要。工程施工包含施工策划、过程实施、工程验收3个关键环节,涉及的利益相关者有建设方、施工总承包、分包方、监理方等。传统工程施工管理仍面临组织不精细、施工风险难识别、成本控制与工期压力大等挑战[45],基于施工工艺、机械设备参数、安全操作规程、质量控制标准、进度计划等知识数据训练得到的建筑行业施工大模型,在优化施工流程、提升生产效率等方面具有重要价值。例如,在安全管理方面,大模型技术可以帮助项目管理者快速识别施工隐患、评估安全风险、生成安全日报。同时,在施工组织方面,大模型技术可以基于施工历史数据学习到的场布约束知识,自动规划最优场布方案,智能生成施工场布图,提升施工策划水平。在建筑机器人方面,具身智能技术可以帮助建筑机器人自主感知施工环境、理解人类指令,并执行一系列复杂的巡检任务,降低人员风险,提升巡检效率。

当前建造行业大模型仍处在探索阶段,随着大模型技术的不断进步和应用范围的不断扩大,工程建造行业大模型的价值将日益凸显,未来的工程建造流程有望变得更加智能化、高效化。

2.3 场景力:建造场景大模型层

随着大模型技术持续演进,其在工程建造中的场景价值逐渐被成功验证。前瞻研究院访谈调研结果显示:在未来AI大模型的行业应用竞争中,企业能否在竞争中脱颖而出的关键是是否找到AI大模型的最佳行业落地场景,并确保其真正好用,满足实际需求[46]。然而,当前生成式AI大模型在工程建造领域的整体场景应用仍处于起步阶段。为深入理解与梳理建造场景特点,有效匹配场景与大模型技术能力,从应用场景入手,构建建造场景大模型层L3(如图5所示),提出大模型技术与工程建造场景融合后的七大核心能力,图5中所提出的所有技术应用属于生成式AI范畴,以全面揭示大模型在工程建造细分场景中的应用潜力,为行业发展提供参考。

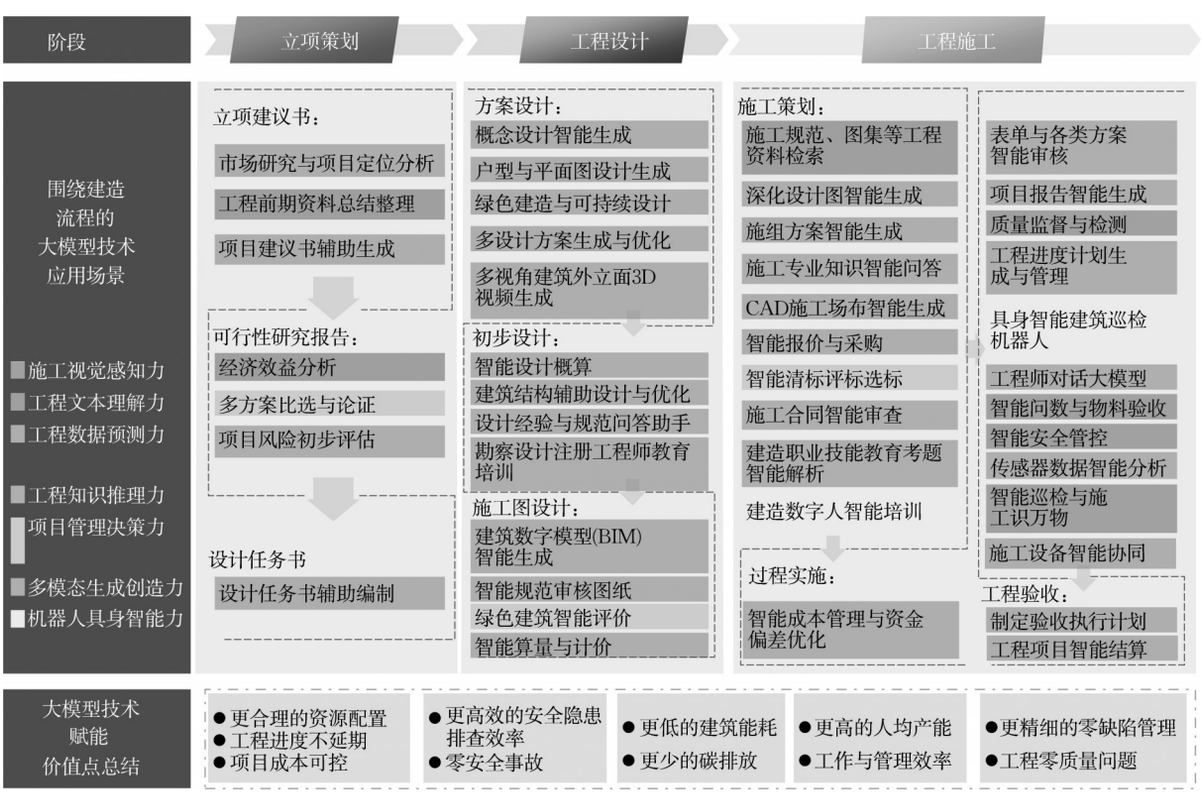

图5 大模型技术在工程建造中的应用场景

Fig. 5 Application scenarios of large model technology in construction engineering

随着大模型的基础能力与工程建造场景的深度融合,催生了一系列新的工程场景力,形成了大模型在工程建造场景的七大核心能力,分别为施工视觉感知力、工程文本理解力、工程数据预测力、工程知识推理力、项目管理决策力、多模态生成创造力与建筑机器人具身智能力。施工视觉感知力通过分析施工现场视频流与图像数据,监测施工进度、识别安全隐患。工程文本理解力则借助自然语言处理,深入理解合同、规范、报告等各类工程文档,支持建造人员精准信息检索与合规性审查。工程数据预测力则基于对大量工程历史数据的分析,预测项目成本、进度与资源需求。工程知识推理力能够整合专业知识与逻辑经验,进行深层次的知识推理,以解决结构设计优化等复杂工程问题。项目管理决策力辅助项目管理者在资源分配、风险评估等方面做出更优决策。多模态生成创造力可以根据工程需求自动生成设计方案、施工图纸等多样化内容。而建筑机器人具身智能力使机器人能够在施工现场执行自动砌砖等高精度任务。这些能力革新了传统的工程作业方式,为工程建造行业带来了前所未有的机遇,图5详细列出了每个潜在的工程建造应用场景大模型所对应的核心能力,以展现大模型在细分领域的应用价值。

通过在工程建造不同阶段与不同生产任务下的多样化场景赋能,大模型技术能够使工程建造更高效、工程人员更专业、项目管理更智能、工程项目高质量。在立项策划阶段,大模型赋能后的应用场景包括智能项目定位、多方案智能比选、辅助编制设计任务书等;在工程设计阶段,大模型技术可以从设计图智能生成与优化、智能算量与计价、智能规范审图等方面提升工程设计效率;在工程施工阶段,大模型技术与施工管理深度结合,应用场景包括规范图集精准检索、施工组织方案智能生成、专业知识问答、施工识万物与智能施工安全管控等,减少耗时耗力且效率低下的高度重复性工作,提升施工管理的精细化水平。

总体来说,大模型可覆盖立项、设计、施工的各环节,优化建造资源的配置、提升安全隐患排查与缺陷管理效率、减少能耗与碳排、提高人均产能,全方位赋能工程建造。但受限于建造流程的复杂性与高度专业化,大模型技术在建筑行业的推进应用相对较慢,尽管大模型在前端设计、渲染等环节已初显成效,但在施工管理、安全监控等核心环节仍处于局部探索阶段,需要在L1通用大模型能力的基础上 进一步深度整合工程建造专业知识,形成具备建筑行业通识能力的L2行业大模型,并进一步基于知识增强技术,融合特定场景或业务数据,构建L3工程建造场景大模型,实现传统建造场景的提质增效或业务革新,推动工程建造行业向智能化、高效化方向发展。

3　建造场景大模型构建流程

构建定制化的建造场景大模型至关重要。预训练大模型是指在大量未标注数据上预先训练的深度学习模型,而前文提到的通用大模型则是在多领域、多任务中广泛应用且表现出色的预训练大模型,由于工程数据的稀缺性以及通用模型本身基础性能较强,基于预训练大模型构建领域特定场景模型已成为一种常见的实践范式,相较于端到端重新训练模型,该范式既经济又高效,不仅充分利用了预训练模型的强大表示能力,还有效解决了特定场景下的问题。为了加速工程建造场景大模型实践应用(如图6所示),提出建造场景大模型的构建流程,并给出具体的应用落地方案。

建造场景大模型构建框架包括3个互联的阶段:预训练模型选择、模型优化与行业数据适配、模型部署与评估[47]。首先,确定工程建造场景具体需求与建造目标,并根据模型的输入与输出数据类型、算力预算成本等因素确定合适的预训练模型,其形式可以是开源大模型或供应商的应用程序接口(Application Programming Interface, API)接口。其次,收集高质量的工程场景数据进行模型优化,例如施工安全图文对、三维模型数据等,为了更好地使用大模型适配工程建造场景应用,按照技术实现复杂性由易到难的程度,优化技术主要有提示工程(Prompt Engineering)、检索增强生成(Retrieval-Augmented Generation, RAG)、微调(Fine-tuning,FT)3类方式,通常在场景模型的具体实践中,会组合使用以上方式以加强优化效果[25],3类方式的概念、特点如表1所示。最后,当模型优化至预期性能后,将其部署并集成到工程建造实际生产环节与软件系统中,并评估其稳定性与可靠性。

该框架厘清了预训练大模型与场景大模型的联系,为行业提供了清晰的工程建造场景大模型的研发与部署路径,提高了大模型技术在工程建造领域应用的技术适应性。

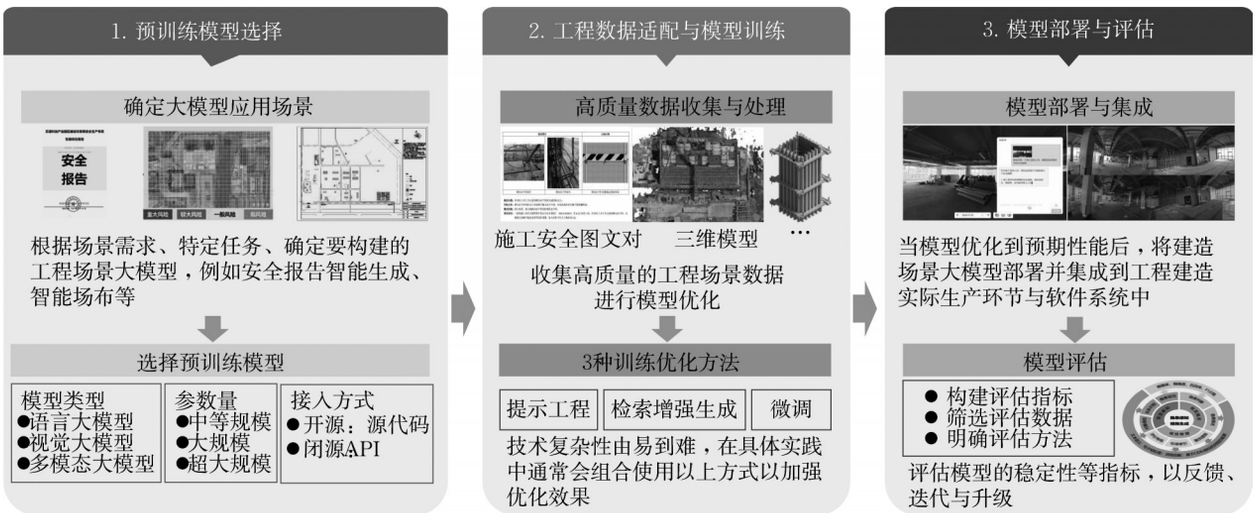

图6 建造场景大模型构建框架流程

Fig. 6 Framework and process for constructing large models in construction scenarios

表1 训练优化方式特点对比

Tab. 1 Comparison of training and optimization methods

优化方式	提示工程	检索增强生成	微调
概念	通过针对性设计提示词，引导大模型产生特定领域应用场景所需输出。	不改变大模型本身的基础上，通过外挂知识库等方式，为模型提供特定领域的数据信息输入，实现对该领域更准确的信息检索和生成。	在已经预训练好的大模型基础上基于特定数据集进一步调整大模型的部分参数，使模型能更好地适应业务场景、准确高效地完成特定任务。
使用场景	快速探索应用，如对话系统文案创作等。 优化提示词，可以显著提升生成内容的质量。	需要引用大量外部知识，如问答系统、专业咨询等。 生成内容准确性高，保障自有数据所有权。	相较通用大模型在行业应用场景表现更好。 具有较好的行业泛化能力。
代表技术	零样本提示（Zero－shot） 少样本提示（Few－shot ） 思维链提示（Chain of Thought，CoT）	文本嵌入（Text Embedding） 稠密段落检索（Dense Passage Retrieval，DPR） 向量数据库（Vector Database） 重排序（Re－ranking）	指令微调（Instruction Tuning，IT） 有监督微调（Supervised Fine－Tuning，SFT） 低秩调整（Low－Rank Adaptation，LORA） 适配器层（Adapter Layers）
实现特点	大模型不用调整 非常轻量化的技术开发 依赖通用大模型自身知识 一般与其他方式联合使用	大模型不用调整 难度不大，性价比较高 利用外部知识库 目前使用广泛	会局部调整大模型 较复杂，高质量数据集是关键 将行业知识部分内化到大模型 目前使用较广泛
示例	施工方案生成助手：撰写某工程项目施工方案时，设计提示词，引导大模型生成符合法规与标准的施工方案，确保方案合规性与安全性。	建造知识培训助手：建立基于RAG技术的建造领域专业知识大模型，作为建造师资格考试AI助手，以服务高校师生、建筑产业工人与项目经理的建造知识培训。	施工安全检查识图助手：通过微调技术，训练安全巡检助手，准确感知、描述安全隐患并生成相应的安全检查报告。

4 工程建造领域大模型发展面临的挑战

尽管大模型技术为工程建造行业带来了新机遇、新价值，但大多数基于大模型的工程应用仍处在“能用”阶段，面对建筑业高质量发展、新质生产力转型升级需求，需将大模型应用到工程场景中，并确保其“好用”，为实现这一目标，工程建造行业大模型应用发展仍面临诸多挑战（如图7所示）。

一是大模型技术在工程建造领域的应用面临算法层面的多重挑战。首先，当前大模型技术在面对建筑结构优化设计、施工安全视觉问答等工程建造

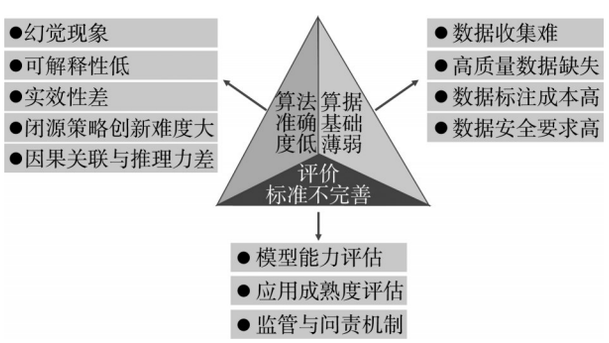

图7 工程建造领域大模型发展面临的挑战

Fig. 7 Challenges in the development of large models in construction engineering domain

领域复杂任务时，与工程知识仍结合不够紧密、指令执行力弱，仍会出现“幻觉”现象，生成内容的准确性、精细化程度仍有待提高。其次，由于工程建造行业涉及安全、质量等关键因素，大多业务场景对可靠性要求极高，大模型的“黑箱效应[47]”降低了技术应用的可解释性，不透明的模型决策过程会减少用户的信任度与接受度。此外，工程建造领域大模型能力的时效性差，需实时更新以应对工程建造法规、材料、施工方法的频繁变化，未经更新的模型在面对新时段的工程场景任务时性能会下降。同时，绝大多数通用基础大模型、工程建造领域大模型仍以闭源策略或仅通过API接口方式提供有限的访问权限，工程师或科研人员难以在开源基础上继续创新，需重新定制或开发新模型，导致研发成本增加、工程建造行业的大模型技术发展延缓。最后，大模型擅长统计预测任务，但工程项目通常涉及复杂的物理、化学过程，逻辑推理任务比重高，如何保证建造场景大模型的因果关联与深层推理能力存在挑战。

二是工程建造行业的数据基础较为薄弱，面临严重的数据质量问题。数据是大模型能够创造价值的核心资源[25]，也是行业大模型落地的关键，当下工程建造行业大模型训练数据主要来源有：政府或行业协会发布的公开文件，例如建筑规范、标准图集、施工手册等；建筑企业资产沉淀，例如设计师经验归纳、过往设计图纸与施工技术文档等材料；学术研究资料，例如专业领域文献、实验数据等；行业教学资料，例如土木工程课程教材、专业资格考试题目、在线教学网站资源等。涉及的数据种类繁多、来源复杂，如何有效管理和利用这些数据是亟待解决的关键问题[48]。首先，工程建造行业的立项、设计、施工数据分散于不同利益方或单位，跨单位、跨部门的数据系统独立且封闭，难以互联互通、共享共用，数据收集难度大且利用率低。其次，现有工程建造数据质量参差不齐、工程图文数据标准不统一，且在数据采集与传输过程中缺乏严格的质量管控环节，无法保证工程数据的权威性、有效性，高质量数据严重缺失。此外，真实世界的工程建造感知数据相较网络公开数据质量更高，但需要前期巨大的硬件设备投入，且数据属性标注难度大，需要大量行业专家来保证数据准确性，高质量训练样本少、获取成本高[49]。最后，在数据安全方面，基础设施工程数据对于国家与公共安全至关重要，工程建造行业对建筑信息模型（Building Information Modeling，BIM）、合同文件、成本等敏感信息也有严格的保密要求[50]，如何防范数据泄露[51]、进行有效的数据治理以及在使用模型的同时保障数据安全存在挑战。

三是目前工程建造行业缺乏系统的大模型评价标准，难以量化大模型技术在工程建造场景的实际效果与应用成熟度，阻碍了大模型应用的优化提升。首先，大模型发展迅速，但模型的感知、生成等能力参差不齐，虽然当前工程建造大模型在部分场景下建立了相应的评估数据集[14]，但尚未形成全面细致、科学系统的模型能力量化评估体系，难以针对性迭代优化模型。其次，虽然本文已围绕工程建造应用场景分析了大模型技术应用潜力与覆盖情况，但在实际应用过程中仍存在应用能力难衡量、应用路径不明确等问题，阻碍了大模型技术在工程项目中的落地推广，亟需建立针对工程场景的大模型应用成熟度模型，以帮助工程项目定位实践中的不足之处、改进应用路径并提升技术效能。最后，随着大模型技术自主生成结果的能力不断提升，过度依赖AI技术与生成信息可能会引发应用故障[52]，针对这些出错风险，明确监管与问责机制十分重要，例如当采用的现场进度或安全计划出现错误时，系统开发者、使用系统的建筑公司、批准生成方案的项目经理应当如何划分责任。为了降低技术应用风险并保证专业知识水平，亟待建立一套完善的监管体系。

5　应用展望

不同行业应用大模型技术的进程可以分为4个阶段[53]，即探索孵化期、试验加速期、采纳成长期、落地成熟期。访谈研究显示[25]，相较于传统的广告、金融等服务业，建筑业这类重资产行业进展较慢，当前大模型技术在工程建造行业的应用程度仍属于探索孵化期，行业中尝试采用大模型的企业数还较少，主要以一些具有较强创新意识的头部国央企单位为主在积极探索，未来需在施工管理、安全监控等核心建造环节加快大模型技术布局，加速建造大模型落地成熟、推进工程建造全生命周期的智能化发展，从而提升行业新质生产力。

从应用态势来看，大模型在工程建造产业具有巨大潜力和价值，不仅能提升建筑设计的创新性和效率，还能优化施工管理流程，大模型技术在工程建造行业的应用场景会更加深入与多元化，逐渐从边缘场景向核心场景挺近[48]，解决更多工程建造行业特有的挑战，大模型应用示范项目将不断增多，并开始在特定场景产生经济价值甚至实现市场化、产业

化,从业人员对大模型技术的接受度不断提高;从技术创新角度来看,多模态大模型是后续技术创新的重点,助力解决领域内的复杂工程问题[54],大模型与工程建造场景知识融合程度将不断加强,随着大模型技术的稳定性、可解释性逐步优化以及技术评估体系的完善,其在工程建造行业的可行性与实用性将进一步得到证明,技术成本也将随之降低;从政策引导来看,行业监管机构与政府将会出台一系列扶持政策,投入专项资金,鼓励大模型在工程建造行业的技术创新研发与应用试点,建立国家层面的行业标准,制定数据安全、责任监管的法规制度,加强工程建造大模型技能培训,加大复合型人才培养力度。未来,随着技术的不断成熟和行业标准的建立,大模型有望在建筑产业得到更广泛的应用并带来变革。

6 结语

生成式AI大模型在工程建造领域展现出广泛的应用前景,从立项策划到工程设计、施工,激发行业智能建造发展新动能。然而要充分发挥大模型的潜能,必须克服一系列关键挑战,实现大模型创新技术在传统工程建造场景的价值赋能,这需要深度融合大模型能力与工程建造知识,以实现更高效的建造流程、更智能的项目管理以及更显著的项目回报,从而推动工程建造行业的高质量发展。

作者贡献声明:

卢昱杰:研究构思,论文选题,论文核对。

王 娜:论文框架设计,论文撰写与修改。

赵宪忠:论文修改与核对。

参考文献:

[1] 永安咨询. 智启新质生产力:生成式人工智能在医疗医药领域的潜在应用[R]. 上海: 永安咨询, 2024.
Yong′an Consulting. Intelligent new quality productivity: potential applications of generative AI in the medical and pharmaceutical fields [R]. Shanghai: Yong′an Consulting, 2024.

[2] 爱分析. 大模型应用实践报告[R]. 北京:爱分析科技有限公司, 2024.
IFenXi. Report on the practical application of large models [R]. Beijing:IFenxi Technology Co., Ltd. 2024.

[3] 澎湃新闻. 供需不匹配、数据难获得、算力水平低……"百模大战"风起云涌,工业大模型如何创新破局?[EB/OL]. (2024-07-19) [2024-08-27]. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_28129678.
The Paper . Mismatched supply and demand, difficult data access, low computing power... amid the "hundred models war," how can industrial large models innovate and break through? [EB/OL]. (2024-07-19) [2024-08-27]. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_28129678.

[4] 工业和信息化部等七部. 关于推动未来产业创新发展的实施意见[EB/OL]. (2024-01-18) [2024-08-27]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202401/content_6929021.htm.
Ministry of Industry and Information Technology of the People′s Republic of China, *et al*. Implementation opinions on promoting the innovative development of future industries [EB/OL]. (2024-01-18) [2024-08-27]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202401/content_6929021.htm.

[5] 卢昱杰,王娜,朱彤,等."双碳"背景下我国绿色建造技术发展战略研究[J]. 施工技术(中英文),2024,53(17):77.
LU Yujie, WANG Na, ZHU Tong, *et al*. Research on the development strategy of green construction technology in China under the background of dual carbon [J]. Construction Technology, 2024,53(17):77.

[6] ADELOYE A O, DIEKOLA O, DELVIN K, *et al*. Applications of artificial intelligence (AI) in the construction industry: a review of observational studies [J]. Applied Sciences Research Periodicals, 2023,1(4):42.

[7] MOON S, CHI S, IM S B. Automated detection of contractual risk clauses from construction specifications using bidirectional encoder representations from transformers (BERT)[J]. Automation in Construction, 2022, 142: 104465. DOI:10.1016/j.autcon.2022.104465.

[8] ZHENG J, FISCHER M. BIM-GPT: a prompt-based virtual assistant framework for BIM information retrieval [EB/OL]. (2023-04-18) [2025-08-27]. https://arxiv.org/abs/2304.09333.

[9] QIN S, GUAN H, LIAO W, *et al*. Intelligent design and optimization system for shear wall structures based on large language models and generative artificial intelligence [J]. Journal of Building Engineering, 2024, 95: 109996. DOI: 10.1016/j.jobe.2024.109996.

[10] LIAO W, LU X, FEI Y, *et al*. Generative AI design for building structures [J]. Automation in Construction, 2024, 157: 105187. DOI:10.1016/j.autcon.2023.105187.

[11] PRIETO S A, MENGISTE E T, DE SOTO Borja García. Investigating the use of ChatGPT for the scheduling of construction projects[J]. Buildings, 2023, 13(4): 857. DOI: 10.3390/buildings13040857.

[12] UDDIN S M J, ALBERT A, OVID A, *et al*. Leveraging ChatGPT to aid construction hazard recognition and support safety education and training[J]. Sustainability, 2023, 15(9): 7121. DOI:10.3390/su15097121.

[13] ROSSO P, BASILE V, MARTÍNEZ R, *et al*. Natural language processing and information systems [C]// 27th International Conference on Applications of Natural Language to Information Systems. Cham: Springer International

Publishing, 2022:215-223.

[14] 覃思中, 郑哲, 顾燚, 等. 大语言模型在建筑工程中的应用测试与讨论[J]. 工业建筑, 2023, 53(9): 162.
QIN Sizhong, ZHENG Zhe, GU Yi, *et al*. Application testing and discussion of large language models in construction engineering [J]. Industrial Construction, 2023, 53(9): 162.

[15] YOU H, YE Y, ZHOU T, *et al*. Robot-enabled construction assembly with automated sequence planning based on ChatGPT: RoboGPT [J]. Buildings, 2023, 13 (7): 1772. DOI:10.3390/buildings13071772.

[16] CHUNG S, MOON S, KIM J, *et al*. Comparing natural language processing (NLP) applications in construction and computer science using preferred reporting items for systematic reviews (PRISMA) [J]. Automation in Construction, 2023, 154: 105020. DOI:10.1016/j.autcon.2023.105020.

[17] SAKA A, TAIWO R, SAKA N, *et al*. GPT models in construction industry: opportunities, limitations, and a use case validation [J]. Developments in the Built Environment, 2024, 17: 100300. DOI:10.1016/j.dibe.2023.100300.

[18] GHIMIRE P, KIM K, ACHARYA M. Opportunities and challenges of generative AI in construction industry: focusing on adoption of text-based models [J]. Buildings, 2024, 14(1): 220. DOI:10.3390/buildings14010220.

[19] 科大讯飞智慧城市. 科大讯飞正式发布"住建大模型"[EB/OL]. (2023-10-28)[2024-08-27]. https://mp.weixin.qq.com/s/Npamqc75CP6KR4Z9e2IAug.
iFLYTEK Smart City. iFLYTEK officially launches the "housing and urban development large model" [EB/OL]. (2023-10-28) [2024-08-27]. https://mp. weixin. qq. com/s/Npamqc75CP6KR4Z9e2IAug.

[20] CBIM中设数字. 中国建科与中国电信联合发布住建行业大模型 [EB/OL]. (2023-11-22) [2024-08-27]. https://mp.weixin.qq.com/s/S7iXpIq90Z0Kd2tyMG4JSQ.
CBIM Zhongshe Digital. China Construction Technology and China Telecom jointly launch the housing and urban development industry large model [EB/OL]. (2023-11-22) [2024-08-27]. https://mp.weixin.qq.com/s/S7iXpIq90Z0Kd2tyMG4JSQ.

[21] 上海建工. 上海建工四建集团AI研究室发布行业首个百亿字符知识增强"ChatGPT"[EB/OL]. (2023-10-24) [2024-08-27]. https://mp.weixin.qq.com/s/IScruVgTxIDzTMdgoC55Cw.
Shanghai Construction Group. Shanghai Construction No. 4 Group AI Research Lab launches industry's first knowledge-enhanced "ChatGPT" with 100 billion characters [EB/OL]. (2023-10-24) [2024-08-27]. https://mp. weixin. qq. com/s/IScruVgTxIDzTMdgoC55Cw.

[22] 广联达. 7大行业AI落地场景亮相,广联达多专业场景大模型发布 [EB/OL]. (2024-08-22) [2024-08-27]. https://mp.weixin.qq.com/s/x_wVzeLj4nePpKCGTQxhBA.
Glodon. Seven major industry ai application scenarios unveiled, glodon launches multi-professional scenario large models [EB/OL]. (2024-08-22) [2024-08-27]. https://mp.weixin.qq.com/s/x_wVzeLj4nePpKCGTQxhBA.

[23] 同济大学新闻网. 同济大学首个"知识大模型"CivilGPT上线 [EB/OL]. (2024-05-26) [2024-08-27]. https://news. tongji.edu.cn/info/1003/87475.htm.
Tongji University News. Tongji University's first "knowledge large model" CivilGPT Launched [EB/OL]. (2024-05-26) [2024-08-27]. https://news. tongji. edu. cn/info/1003/87475.htm.

[24] 上海期智研究院. AEC(建筑—工程—施工)垂域大模型[EB/OL]. (2023-12-15) [2024-08-27]. https://81.68.81.29/cross-45.
Shanghai Qizhi Institute. AEC (architecture-engineering-construction) domain-specific large model [EB/OL]. (2023-12-15) [2024-08-27]. https://81.68.81.29/cross-45.

[25] 腾讯研究院. 向AI而行,共筑新质生产力——行业大模型调研报告[R]. 北京: 腾讯研究院, 2024.
Tencent Research Institute. Advancing with ai, co-building new quality productivity—industry large model research report [R]. Beijing: Tencent Research Institute, 2024.

[26] 周涛, 李鑫, 周俊临, 等. 大模型智能体:概念、前沿和产业实践[J]. 电子科技大学学报(社科版), 2024, 26(4): 57. DOI: 10.14071/j.1008-8105(2024)-1006.
ZHOU Tao, LI Xin, ZHOU Junlin, *et al*. Large model agents: concepts, frontiers, and industrial practices [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China (Social Sciences Edition), 2024, 26(4): 57. DOI: 10.14071/j.1008-8105(2024)-1006.

[27] BROWN T B, MANN B, RYDER N, *et al*. Language models are few-shot learners [EB/OL]. (2020-07-22) [2024-08-27]. http://arxiv.org/abs/2005.14165.

[28] YE J, CHEN X, XU N, *et al*. A comprehensive capability analysis of GPT-3 and GPT-3.5 series models [EB/OL]. (2023-11-23) [2024-08-27]. https://doi. org/10.48550/arXiv.2303.10420.

[29] OPENAI, ACHIAM J, ADLER S, *et al*. GPT-4 technical report [EB/OL]. (2024-03-04) [2024-08-27]. http://arxiv.org/abs/2303.08774.

[30] DEVLIN J, CHANG M W, LEE K, *et al*. BERT: pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding [EB/OL]. (2019-05-24) [2024-08-27]. http://arxiv.org/abs/1810.04805.

[31] XIAO D, ZHANG H, LI Y, *et al*. ERNIE-GEN: an enhanced multi-flow pre-training and fine-tuning framework for natural language generation [EB/OL]. (2020-06-08) [2024-08-27]. http://arxiv.org/abs/2001.11314.

[32] KIRILLOV A, MINTUN E, RAVI N, *et al*. Segment anything [EB/OL]. (2023-04-05) [2024-08-27]. http://arxiv.org/abs/2304.02643.

[33] DEHGHANI M, DJOLONGA J, MUSTAFA B, *et al*. Scaling vision transformers to 22 billion parameters [EB/OL]. (2023-02-10) [2024-08-27]. http://arxiv. org/abs/

2302.05442.

[34] BI K, XIE L, ZHANG H, *et al*. Pangu-Weather: a 3D high-resolution model for fast and accurate global weather forecast [EB/OL]. (2022-11-03) [2024-08-27]. http://arxiv.org/abs/2211.02556.

[35] XI T, SUN Y, YU D, *et al*. UFO: unified feature optimization [EB/OL]. (2022-07-21) [2024-08-27]. https://arxiv.org/abs/2207.10341.

[36] RAMESH A, PAVLOV M, GOH G, *et al*. Zero-shot text-to-image generation [EB/OL]. (2021-02-26) [2024-08-27]. https://arxiv.org/abs/2102.12092.

[37] Midjourney Updates . Midjourney. version 6.1 release notes [EB/OL]. (2024-07-31) [2024-08-27]. https://updates.midjourney.com/version-6-1/.

[38] TEAM G, ANIL R, BORGEAUD S, *et al*. Gemini: a family of highly capable multimodal models [EB/OL]. (2024-06-17) [2024-08-27]. https://arxiv.org/abs/2312.11805.

[39] OPENAI, ACHIAM J, ADLER S, *et al*. GPT-4 technical report [EB/OL]. (2024-03-04) [2024-08-27]. https://arxiv.org/abs/2303.08774.

[40] BROOKS T, PEEBLES B, HOLMES C, *et al*. Video generation models as world simulators [EB/OL]. (2024-02-15) [2024-08-27] https://openai. com/research/video-generation-models-as-world-simulators.

[41] 科大讯飞. 赋能“好住建”住建行业大模型的作用与应用发展 [EB/OL]. (2024-05-13) [2024-08-27]. https://mp. weixin.qq.com/s/z4-sviHNY4x5nCCKc_2sZA.
iFLYTEK. Empowering "Good Housing and Urban Development": the role and application development of large models in the housing and urban development industry [EB/OL]. (2024-05-13) [2024-08-27]. https://mp.weixin.qq.com/s/z4-sviHNY4x5nCCKc_2sZA.

[42] 腾讯研究院. 生成式AI人居领域应用趋势调研报告[R]. 北京: 腾讯研究院, 2024.
Tencent Research Institute. Research report on the application trends of generative AI in the residential sector [R]. Beijing: Tencent Research Institute, 2024.

[43] 沈良峰,王周钰,吴心悦. 建筑企业工业化建造产业价值链的形成路径及价值研究[J]. 科技和产业,2022,22(4):188.
SHEN Liangfeng, WANG Zhouyu, WU Xinyue. Formation path and value research of the industrial value chain in construction enterprises' industrialized construction [J]. Science and Industry, 2022, 22(4): 188.

[44] 建筑前沿. “红海”摇曳,“价值”生辉——浅谈工程建设价值链整合 [EB/OL]. (2021-11-19) [2024-08-28]. https://mp.weixin.qq.com/s/eiCOnT-YNIayBT5klGFYmg.
Construction Frontier . "Red Ocean" sways, "value" shines—a brief discussion on the integration of the construction value chain [EB/OL]. (2021-11-19) [2024-08-28]. https://mp.weixin.qq.com/s/eiCOnT-YNIayBT5klGFYmg.

[45] 张雷,王胜,杨希,等. 现代建筑工程施工管理的创新举措研究[J]. 工业建筑,2023,53(S2):844.
ZHANG Lei, WANG Sheng, YANG Xi, *et al*. Research on innovative measures in modern construction project management [J]. Industrial Construction, 2023, 53(S2): 844.

[46] 前瞻产业研究院. 2024年中国AI大模型场景探索及产业应用调研报告[R]. 深圳: 前瞻产业研究院, 2024.
China Forward Industry Research Institute. 2024 China AI large model scenario exploration and industrial application research report [R]. Shenzhen: China Forward Industry Research Institute Limited, 2024.

[47] GHIMIRE P, KIM K, ACHARYA M. Opportunities and challenges of generative AI in construction industry: focusing on adoption of text-based models [J]. Buildings, 2024, 14(1): 220.

[48] 北京市科学技术委员会, 中关村科技园区管理委员会. 北京市人工智能大模型行业应用分析报告[R]. 北京: 北京市科学技术委员会, 2024.
Beijing Municipal Science and Technology Commission, Zhongguancun Science Park Administration Committee. Beijing artificial intelligence large model industry application analysis report [R]. Beijing: Beijing Municipal Committee of Science and Technology, 2024.

[49] SAKA A B, OYEDELE L O, AKANBI L A, *et al*. Conversational artificial intelligence in the AEC industry: a review of present status, challenges and opportunities [J]. Advanced Engineering Informatics, 2023, 55: 101869. DOI: 10.1016/j.aei.2022.101869.

[50] PIÑEIRO-MARTÍN A, GARCÍA-MATEO C, DOCÍO-FERNÁNDEZ L, *et al*. Ethical challenges in the development of virtual assistants powered by large language models [J]. Electronics, 2023, 12 (14): 3170. DOI: 10.3390/electronics12143170.

[51] DWIVEDI Y K, KSHETRI N, HUGHES L, *et al*. Opinion paper: “so what if ChatGPT wrote it?” multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy [J]. International Journal of Information Management, 2023, 71: 102642. DOI:10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642.

[52] MESKÓ B, TOPOL E J. The imperative for regulatory oversight of large language models (or generative AI) in healthcare [J]. npj Digital Medicine, 2023, 6(1): 120. DOI: 10.1038/s41746-023-00873-0.

[53] ROGERS Everett M. Diffusion of innovations [M]. 5th ed. New York: Free Press, 2003.

[54] 沙利文咨询、头豹研究院. 2023年AI大模型应用研究报告[R]. 深圳: 沙利文咨询, 2023.
Sullivan Consulting, Toubao Research Institute. 2023 AI large model application research report [R]. Shenzhen: Sullivan Consulting, 2023.