

我国智能建造关键领域技术发展的战略思考

陈珂, 丁烈云

(华中科技大学土木与水利工程学院, 武汉 430074)

摘要: 智能建造作为新一代信息技术和工程建造的有机融合, 是实现我国建筑业高质量发展的重要依托。本文阐述了智能建造的基本概念与重要性, 归纳了面向全产业链一体化的工程软件、面向智能工地的工程物联网、面向人机共融的智能化工程机械、面向智能决策的工程大数据等四类关键领域技术; 通过问卷调查与专家访谈, 分析了我国智能建造关键领域技术在市场环境、企业部署、核心资源储备等方面的现状和短板。在此基础上, 明确了关键领域技术的发展目标, 提出了建立健全标准体系、推动“产学研用”协同、加大知识产权保护、开展典型工程试点示范等重点任务, 继而从管理机构、企业、高校等多个主体的角度形成对策建议。

关键词: 智能建造; 工程软件; 工程物联网; 工程机械; 工程大数据

中图分类号: T-1 **文献标识码:** A

Development of Key Domain-Relevant Technologies for Smart Construction in China

Chen Ke, Ding Lieyun

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Smart construction integrates new-generation information technology with construction and is important for the high-quality development of China's construction industry. This study expounds the basic concept and importance of smart construction and summarizes four types of key domain-relevant technologies: engineering software for entire industrial chain integration, construction Internet of things for smart construction sites, intelligent construction machinery for man-machine integration, and construction big data for intelligent decision making. Subsequently, we analyze the current status and weaknesses of these technologies in terms of market environment, enterprise deployment, and core resource reserves through questionnaire survey and expert interview. Moreover, we identify the development goals and propose the major tasks, including establishing and improving the standards system; promoting cooperation among industry, universities, research institutes, and application; improving intellectual property protection; and conducting pilot demonstration of typical projects. Furthermore, suggestions are proposed from the perspectives of government, enterprises, and universities.

Keywords: smart construction; engineering software; construction Internet of things; construction machinery; construction big data

收稿日期: 2021-04-11; **修回日期:** 2021-06-15

通讯作者: 丁烈云, 华中科技大学土木与水利工程学院教授, 中国工程院院士, 研究方向为数字建造、工程安全理论与技术;
E-mail: dly@hust.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国建造高质量发展战略研究”(2020-ZD-09); 国家自然科学基金项目(71732001)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

建筑业是我国国民经济的支柱产业，但其碎片化、粗放式发展模式带来的产品性能欠佳、生产效益低下、资源消耗巨大、环境污染严重等问题依旧突出，距高质量发展要求仍有差距 [1]。与此同时，发达国家和地区相继发布了建筑业发展战略，如英国《Construction 2025》、日本《i-Construction》等，均强调建筑业应通过工业化、数字化、智能化等方式增强产业竞争力。我国建造产业科技创新相比国外发达国家起步较晚，亟需将创新放在建造产业发展的重要位置，尤其是重点发展以人工智能和数字经济为代表的技术创新与应用，全面提升中国建造的创新力。

近年来，国内外学者围绕智能建造开展了一系列研究。Rossi A 等 [2] 通过在施工机械上安装智能传感设备，构建智能化施工机械以实时评估其运行状态；Bucchiarone A 等 [3] 同样应用物联网技术实现工程要素的互联互通，提高施工的智能化程度；Kochovski P 和 Stankovski V [4] 建立了面向智能建造的边缘计算框架，支持项目信息管理和各参与方之间的沟通；Edirisinghe R [5] 梳理了关于智能工地的 114 篇论文，为发展相关智能建造技术提出建议；Ding L 等 [6] 利用人工智能技术，从视频大数据中自动检测建筑工人的不安全行为；Zhou H 等 [7] 以港珠澳大桥为例，介绍了智能工地的构建方法。当前，关于智能建造的研究多以具体应用点为主，在智能建造理论、关键技术等方面尚未形成整体的系统认识，也未提出清晰的发展路径。

本文在阐述智能建造内涵的基础上，对我国建筑业设计、施工、工程咨询等多个领域的代表性企业开展问卷调研和专家访谈，明确我国智能建造关键领域技术的发展现状和困境。问卷调研总耗时 6 个月，针对四项关键技术分别收回有效问卷 367 份、109 份、38 份、121 份（见表 1）。之

后，邀请具备智能建造领域技术应用与研发经验的 23 位专家分别进行 45~60 min 的深度访谈。在此基础上，凝练适合我国国情的智能建造关键领域技术的发展目标和路径，以期为推进我国智能建造发展提供参考。

二、智能建造概述

智能建造作为新一代信息技术与工程建造融合形成的工程建造创新模式 [8]，在实现工程要素资源数字化的基础上，通过规范化建模、网络化交互、可视化认知、高性能计算以及智能化决策支持，实现数字链驱动下的立项策划、规划设计、施（加）工生产、运维服务一体化集成与高效协同，交付以人为本、智能化的绿色可持续工程产品与服务 [9]。

智能建造的实施能对工程生产体系与组织方式进行全方位赋能，促进工程建造过程的互联互通、线上线下融合、资源与要素协同，并积极推动建筑业、制造业和信息产业形成合力。这是提升产业发展质量、实现由劳动密集型生产方式向技术密集型生产方式转变的必经之路，也是对《国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》强调“加快数字化发展，以数字化转型整体驱动生产方式、生活方式和治理方式变革”的适时回应。

发展智能建造将打造“中国建造”升级版。在当前经济全球化、国际市场竞争趋于激烈的背景下，顺应国际趋势，抢占行业技术竞争和未来发展制高点，最终提升我国建筑业的国际竞争力。

三、智能建造领域技术进展

智能建造体系基于以“三化”“三算”为特征的新一代信息技术，发展面向全产业链一体化的工程软件、面向智能工地的工程物联网、面向人机共

表 1 问卷受访人员工作年限情况

	5 年以下	5~12 年	13~20 年	20 年以上
工程软件	108	164	73	22
工程物联网	39	43	18	9
工程机械	12	19	5	2
工程大数据	32	81	6	2

融的智能化工程机械、面向智能决策的工程大数据等领域技术，支持工程建造全过程、全要素、全参与方协同和产业转型 [10]。因此，作为连接底层通用技术与上层业务的枢纽，领域技术的发展将对智能建造的发展起到关键作用。

（一）面向全产业链一体化的工程软件

随着计算机技术的不断发展以及计算机使用的不断普及，工程建造领域逐渐形成了以建筑信息模型（BIM）为核心、面向全产业链一体化的工程软件体系 [11]。工程软件包括设计建模、工程分析、项目管理等类型，其作为工程技术和专业知识的程序化封装，贯穿工程项目各阶段。不同类型的工程软件相互协同，支持建设项目全生命周期业务的自动化和决策的科学化 [12]。

工程软件的主要特征包括：在服务对象方面，工程软件服务于建筑、市政、桥隧等各类工程项目；在内容专业性方面，工程软件反映了在工程建造发展过程中长期积累的专业知识；工程软件源于建筑业的实际需求，通过将工程实践中获得的专业知识转化为模型和算法，继而将模型和算法软件化，精确、快速地支持各类复杂的工程建造任务；工程软件研发与实际应用场景紧密结合，需要在使用中持续改进，不断提升其功能和性能。

当前，我国工程软件存在整体实力较弱、核心技术缺失等诸多问题，呈现出“管理软件强，技术软件弱；低端软件多，高端软件少”的局面，市场份额较多被国外软件占据。在设计建模软件方面，国产工程软件依然面临着严重的“缺魂少擎”问题，71.78%的受访人员选择 AutoCAD 为主要使用的 CAD 几何制图软件，超过 50% 的受访人员主要使用 Autodesk Revit、Civil 3D 等国外 BIM 建模软件。面对以 Autodesk 系列产品为代表的国外工程软件的冲击，国产设计建模软件很难在短时间内建立起竞争优势。在工程设计分析软件方面，接近 60% 的主流软件来自国外，国外软件以其强大的分析计算能力、复杂模型处理能力牢牢占据市场前端；在复杂工程问题分析方面，国产软件依然任重道远。在工程项目管理软件方面，得益于对国内规范、项目业务流程的高度支持，加之国内厂商的持续研发投入，国产软件已经形成了较完整的产品链。

（二）面向智能工地的工程物联网

工程物联网作为物联网技术在工程建造领域的拓展，通过各类传感器感知工程要素状态信息 [13]，依托统一定义的数据接口和中间件构建数据通道。工程物联网将改善施工现场管理模式，支持实现对“人的不安全行为、物的不安全状态、环境的不安全因素”的全面监管 [14]。

在工程物联网的支持下，施工现场将具备如下特征：一是万物互联，以移动互联网、智能物联等多重组合为基础，实现“人、机、料、法、环、品”六大要素间的互联互通；二是信息高效整合，以信息及时感知和传输为基础，将工程要素信息集成，构建智能工地；三是参与方全面协同，工程各参与方通过统一平台实现信息共享，提升跨部门、跨项目、跨区域的多层级共享能力。

当前，我国工程物联网的技术水平和国外相比仍有较大差距。美国、日本、德国的传感器品类已经超过 20 000 种，占据了全球超过 70% 的传感器市场，且随着微机电系统（MEMS）工艺的发展呈现出更加明显的增长态势。我国 90% 的中高端传感器依赖进口。除传感器外，现场柔性组网、工程数字孪生模型迭代等技术均亟待发展。另外，我国工程物联网的应用主要关注建筑工人身份管理、施工机械运行状态监测、高危重大分部分项工程过程管控、现场环境指标监测等方面，然而本研究调研结果显示，工程物联网的应用对超过 88% 的施工活动仅能产生中等程度的价值。在有限的资源下提高工程物联网的使用价值将是未来需要解决的重要问题。

（三）面向人机共融的智能化工程机械

智能化工程机械是在传统工程机械基础上，融合了多信息感知、故障诊断、高精度定位导航等技术的新型施工机械；核心特征是自感应、自适应、自学习和自决策，通过不断自主学习与修正、预测故障来达到性能最优化，解决传统工程机械作业效率低下、能源消耗严重、人工操作存在安全隐患等问题 [15]。

世界各国高度重视工程机械前沿技术，积极调整产业结构，加大了对工程机械的扶持力度，促使工程机械向数字化、网络化和智能化发展 [16]。然而，我国在工程机械智能化技术的研发应用上虽有

一定突破,但在打造智能化工程机械所必要的元器件方面仍落后于国际先进水平。可编程逻辑控制器(PLC)、电子控制单元(ECU)、控制器局域网(CAN)等技术均落后于发达国家,阻碍了我国工程机械行业的发展,也制约了我国工程建造的整体竞争力。我国工程机械整体呈现出“大而不强,多而不精”的局面,发展提升空间广阔。

(四) 面向智能决策的工程大数据

工程大数据是工程全寿命周期各阶段、各层级所产生的各类数据以及相关技术与应用的总称[17]。工程大数据具有体量大、种类多、速度快、价值密度低等特征,应用重点在于将工程决策从经验驱动向数据驱动转变,从而提高生产力、提升企业竞争力、改善行业治理效率[18,19]。

工程大数据的价值产生于分析过程。数据分析指根据不同任务,从海量数据中选择全部或部分数据进行分析,挖掘决策支持信息。分析工程大数据除了应用传统统计分析以外,也需要人工智能的支持。其中,深度学习作为当前人工智能的重点方向之一,具有无需多余前提假设、能根据输入数据而自优化等优势,解决了早期神经网络过拟合、人为设计特征提取和训练困难等问题[20]。深度学习利用海量数据提供的训练样本,在作业人员行为检测、危险环境识别等任务中获得广泛使用[21]。值得注意的是,深度学习的复杂性使得模型容易成为黑箱,因而无法评估模型的可解释性,而机理模型的优点在于其参数具有明确的物理意义。因此,构建数据和机理混合驱动的数据分析模型,有助于从工程大数据中提炼具有实际物理意义的特征,提升计算实时性和模型适应性。

发达国家将大数据视为重要的发展资源,针对大数据技术与产业应用结合提出了一系列战略规划,如美国《联邦数据战略和2020年行动计划》、澳大利亚《数据战略2018—2020》等。我国发布了《促进大数据发展行动纲要》等一系列战略规划,但工程大数据的发展和应用仍处于初级阶段。在流程方面,我国工程大数据应用流程未能打通,数字采集未实现信息化、自动化,数据存储和分析也缺少标准化流程;在技术方面,当前主流数据存储与处理产品大多为国外产品,如HBase、MongoDB、Oracle NoSQL等典型数据库产品以及Storm、Spark

等流计算架构;在应用方面,我国工程大数据仅初步应用于劳务管理、物料采购管理、造价成本管理、机械设备管理等方面,在应用深度和广度上均有不足。

四、我国智能建造发展面临的困境

经过长时间的发展和积淀,我国在智能建造领域取得了长足进步,形成一系列成果。但是,面对国内建筑业转型升级的需求,对照全球发达国家智能建造的发展态势,我国智能建造的发展仍然面临诸多困境。

在市场环境方面:建筑业企业已形成对国外相关产品的使用习惯,产生了数据依存,相关产品替换难度较大;国产产品用户基数少,缺少市场意见反馈,进一步加大了与国外同类产品在功能和性能等方面的差距。

在企业部署方面:国内厂商战略部署不清晰,未形成与上下游的深度沟通,不利于产品布局的纵深发展;国内厂商起步晚,生态基础薄弱,资源分散严重,不少国产产品在细分市场仍处于整体价值链的中低端位置;国内厂商的自主创新能力与意识仍然较弱,国际领先的创新成果相对较少。

在核心资源方面:智能建造标准体系有待健全,相关研发缺少基础数据标准,市场适应性和服务能力有待提高;核心技术薄弱,较多依赖在国外企业技术基础上的二次开发;缺乏完善的智能建造应用生态,无法形成面向项目全生命周期的智能化集成应用;缺少高端的复合型人才,尚未建立相关人才的引进、培养与储备方案。

五、我国智能建造发展的重点任务

为了推动我国迈入智能建造世界强国行列,应坚持推进自主化发展,遵循“典型引路、梯度推进”原则,通过补短板、显特色、促升级、强优势,研发智能建造关键领域技术。

工程软件加强“补短板”,解决软件“无魂”问题。具体措施有:在明确国内外工程软件差距的基础上,大力支持工程软件技术研发和产品化,集中攻关“卡脖子”痛点,提升三维图形引擎的自主可控水平;面向房屋建筑、基础设施等工程建造

项目的实际需求，加强国产工程软件创新应用，逐步实现工程软件的国产替代；加快制定工程软件标准体系，完善测评机制，形成以自主可控 BIM 软件为核心的全产业链一体化软件生态。

工程物联网积极“显特色”，力争跻身全球领先。具体措施有：将工程物联网纳入工业互联网建设范围，面向不同的应用场景，确立工程物联网技术应用标准和规范化技术指导；突破全要素感知柔性自适应组网、多模态异构数据智能融合等技术；充分利用我国工程建造市场的规模优势，开展基于工程物联网的智能工地示范，强化工程物联网的应用价值。

工程机械大力“促升级”，提升“智能化、绿色化、人性化”水平。具体措施有：建立健全智能化工程机械标准体系，增强市场适应性；打破核心零部件技术和原材料的壁垒，提高产品的可靠性；摒弃单一的纯销售模式，重视后市场服务，创新多样化综合服务模式。

工程大数据及时“强优势”，为持续创新奠定数据基础。具体措施有：完善工程大数据基础理论，创新数据采集、储存和挖掘等关键共性技术，满足实际工程应用需求；建立工程大数据政策法规、管理评估、企业制度等管理体系，实现数据的有效管理与利用；建立完整的工程大数据产业体系，增强大数据应用和服务能力，带动关联产业发展和催生建造服务新业态。

六、对策建议

智能建造工程发展是一项系统性、战略性、长期性的任务。发展智能建造关键领域技术受到政策环境、市场环境、研发部署等诸多因素的影响，涉及多个行业、多个建设主体；需对工程供应链不同环节、生产体系与组织方式、企业与产业间合作等进行全方位赋能。

（一）管理机构层面

加快建设一批建造产业创新基地，特别是人工智能技术与建造产业深度融合的创新基地，打造“基础研究—技术创新—产业化”链条的科技产业协同发展机制。构建国家、行业、企业完善的产业

创新基地，引领和示范建造产业的科技创新，充分发挥科研机构的辐射和带动作用，有助于建造产业关键核心技术的突破和转化应用，能够促进建造产业创新的集聚发展，为推动中国建造转型升级和高质量发展提供支撑引领作用。

拓宽建造产业创新支持渠道，加大资源支持规模。鼓励各级政府加大财政扶持力度，建立稳定支持和竞争性支持相结合的资金投入机制，着力支持建造产业关键技术研发与成果产业化。建立以政府扶持为引导、企业投入为主体、多元社会资金参与的创新投入机制，提升资源配置效率，推动孵化新技术、新产品。

建立智能建造标准体系和技术评估机制。重点围绕各类工程数据在项目全寿命周期的应用，研制相关标准及技术框架，依托现有的国家和社会检测认证资源，对智能建造关键技术发展与应用水平进行客观评估。阶段性开展国内外发展比对分析，对不足之处进行科学指引和及时调整。

建立规范有序的市场环境，构建公平竞争的商业市场体系，完善相关法律法规，加大知识产权的宣传和保护力度；发挥行业协会在行业自律和规范市场秩序中的积极作用，协助加强反垄断、反倾销工作，制止不正当竞争，加强知识产权的宣传和保护力度。

（二）企业层面

紧扣市场需求，深化市场调研并积极布局，围绕 BIM 与数字设计、智能工地、无人施工系统、工程大数据平台等具体方向，坚持以应用为主导开展技术研发，着力解决行业痛点、难点问题。完善市场反馈机制，不断升级产品功能、性能与基础服务，打造符合市场需求、面向行业未来的优质产品与服务，逐步积累并壮大客户群体。

加大研发投入，建立差异化发展模式。强化研发设备、人员等生产要素管理，确保资源集中归档，提高产品质量。中小型厂商宜专注于细分领域的专项技术，做专做深，切忌追求大而全；大型厂商可提出为各细分行业提供智能建造的整体解决方案，完善企业之间互联协同的综合解决方案，实现与中小型厂商的错位发展、共同成长。

技术应用单位应与技术研发单位（如硬件厂商、

工业自动化厂商等)开展产业链协同合作,建立智能建造合作生态。发挥骨干研发单位的技术优势、应用单位的需求牵引效应,以实际应用驱动技术落地。通过深度合作,形成资源互补、价值共创局面,搭建面向工程全生命周期的整体解决方案及协作流程,提升体系化发展能力。

(三) 高校及科研机构层面

充分发挥办学特长,结合院校优势学科,探索符合智能建造创新发展的校企协同育人模式。通过高校科研基地、院企培养计划、新兴学科培养等举措,重点加强智能建造专业等新工科专业建设,实施建筑土木工程类专业的教学改革,培养精通工程管理、工程技术、信息技术的复合型人才。

发挥高校、科研院所在基础研究方面的优势,支持科技人才开展独立性、原创性研究。注重科研成果的创新性、系列性、系统性和完整性,坚持科研工作源于工程、服务工程、指导工程、引领工程;聚焦工程软件、工程物联网、工程机械、工程大数据等底层技术问题,逐步实现技术突破。

致谢

感谢课题组成员魏然、陈强健、吴小晴、陈慧芳、刘珺敏、杨玥等同志对本文撰写的大力协助。

参考文献

- [1] 丁烈云. 智能建造创新型工程科技人才培养的思考 [J]. 高等教育研究, 2019 (5): 1-4, 29.
Ding L Y. System thinking on cultivation mode for innovative intelligent construction talents [J]. Research in Higher Education of Engineering, 2019 (5): 1-4, 29.
- [2] Rossi A, Vila Y, Lusiani F, et al. Embedded smart sensor device in construction site machinery [J]. Computers in Industry, 2019, 108: 12-20.
- [3] Bucchiarone A, De Sanctis M, Hevesi P, et al. Smart construction: Remote and adaptable management of construction sites through IoT [J]. IEEE Internet of Things Magazine, 2019, 2(3): 38-45.
- [4] Kochovski P, Stankovski V. Supporting smart construction with dependable edge computing infrastructures and applications [J]. Automation in Construction, 2018, 85:182-192.
- [5] Edirisinghe R. Digital skin of the construction site: Smart sensor technologies towards the future smart construction site [J]. Engineering, Construction and Architectural Management, 2019, 26(2): 184-223.
- [6] Ding L, Fang W, Luo H, et al. A deep hybrid learning model to detect unsafe behavior: Integrating convolution neural networks and

- long short-term memory [J]. Automation in Construction, 2018, 86: 118-124.
- [7] Zhou H, Wang H, Zeng W. Smart construction site in mega construction projects: A case study on island tunneling project of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge [J]. Frontiers of Engineering Management, 2018, 5(1): 78-87.
- [8] 廖玉平. 加快建筑业转型 推动高质量发展——解读《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》[J]. 中国勘察设计, 2020 (9): 20-21.
Liao Y P. Accelerate the transformation of the construction industry and promote high-quality development-interpretation of the Guiding opinions on promoting the coordinated development of smart construction and construction industrialization [J]. China Engineering & Consulting, 2020 (9): 20-21.
- [9] 丁烈云. 智能建造推动建筑产业变革 [N]. 中国建设报, 2019-06-07(08).
Ding L Y. Intelligent construction promotes the transformation of the construction industry [N]. China Construction News, 2019-06-07(08).
- [10] 毛超, 彭容胭. 智能建造的理论框架与核心逻辑构建 [J]. 工程管理学报, 2020, 34(5):1-6.
Mao C, Peng Y Y. The Theoretical framework and core logic of intelligent construction [J]. Journal of Engineering Management, 2020, 34(5):1-6.
- [11] Eastman C, Teicholz P, Sacks R, et al. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors [M]. New York: John Wiley & Sons, 2011.
- [12] 陈珂, 陈强健, 杜鹏. 国产BIM建模软件发展的思考: 基于PCA的影响因素研究[J/OL]. 土木建筑工程信息技术, 2021: 1-9 [2021-03-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5823.TU.20210201.1417.034.html>.
Chen K, Chen Q J, Du P. Reflection on the development of domestic BIM modeling software: A study on the influence factors based on PCA [J/OL]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2021: 1-9 [2021-03-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5823.TU.20210201.1417.034.html>.
- [13] Kanan R, Elhassan Bensalem R. An IoT-based autonomous system for workers' safety in construction sits with real-time alarming, monitoring, and positioning strategies [J]. Automation in Construction, 2018 (88): 73-86.
- [14] Zhou C, Ding L Y. Safety barrier warning system for underground construction sites using Internet-of-Things technologies [J]. Automation in Construction, 2017, 83: 372-389.
- [15] 张曙. 工业4.0和智能制造 [J]. 机械设计与制造工程, 2014, 43(8): 1-5.
Zhang S. The industry 4.0 and intelligent manufacturing [J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2014, 43(8): 1-5.
- [16] 周济. 智能制造是“中国制造2025”主攻方向 [J]. 企业观察家, 2019 (11):54-55.
Zhou J. Intelligent manufacturing-the main direction of “made in China 2025” [J]. Enterprise Observer, 2019 (11): 54-55.
- [17] Bilal M, Oyedele L O, Qadir J, et al. Big data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future

- trends [J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2016, 30(3): 500–521.
- [18] Niu Y, Lu W, Xue F, et al. Towards the “third wave”: An SCO-enabled occupational health and safety management system for construction [J]. *Safety Science*, 2019, 111: 213–223.
- [19] Zhou C, Ding L Y, Skibniewski M J, et al. Data based complex network modeling and analysis of shield tunneling performance in metro construction [J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2018, 38: 168–186.
- [20] 胡越, 罗东阳, 花奎, 等. 关于深度学习的综述与讨论 [J]. *智能系统学报*, 2019, 14(1):1–19.
- Hu Y, Luo D Y, Hua K, et al. Overview on deep learning [J]. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 2019, 14(1):1–19.
- [21] Akinosho T D, Oyedele L O, Bilal M, et al. Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations [J]. *Journal of Building Engineering*, 2020: 101827.