

计算机与建造技术融合的智能建造探讨

赵子曦

中国矿业大学信息与控制工程学院, 江苏 徐州

收稿日期: 2024年5月6日; 录用日期: 2024年5月29日; 发布日期: 2024年6月7日

摘要

随着第四次工业革命的到来, 传统建筑业正在经历一场深刻变革, 智能建造成为发展的主流趋势。作为新兴领域, 智能建造已受到广泛关注, 但是其基础性研究尚未做出卓越成果, 理论体系尚未完善, 因此基础性理论性研究亟待开发。本文综述了国内外智能建造理论研究情况, 在其急需突破的方面, 研究了关于计算机技术与传统建造技术的融合。首先介绍了智能建造的概念内涵及理论研究现状, 构建基于线上线下融合的智能建造系统; 其次, 在融合趋势方面, 本文着重于线上线下融合的趋势, 探究线上线下协同的资源配置发展, 架构基于“云边端”的智慧工地云平台; 再次, 就智能建造中BIM技术的应用、绿色建筑与智能家居的推广两方面简述智能建造的发展方向; 最后, 从较传统建筑业减少了对人为决策的依赖、数字化全过程咨询两方面预测智能建造的前景。本文对智能建造作业过程完善化、精细化具有一定意义, 例如: BIM技术在智能建造过程中的应用、智慧工地云平台的建设与应用。同时提出了一系列问题, 如: 当前智能建造相关人才短缺、安全性与可靠性尚未得到有力证实等问题。最终旨在推动智能建造技术向更高层次发展, 展望该领域未来的研究趋势, 激发研究动力、创新活力, 发掘更多的研究方向, 促进研究向多方位发展。最终激发更多研究与实践, 推动智能建造走向成熟。

关键词

智能建造, 融合, 计算机, 建造技术

Discussion on Intelligent Construction Based on the Integration of Computer and Construction Technology

Zixi Zhao

School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu

Abstract

With the advent of the fourth industrial revolution, the traditional construction industry is undergoing a profound change, and intelligent construction has become the mainstream trend of development. As an emerging field, intelligent construction has attracted wide attention, but its basic research has not yet made outstanding achievements, and the theoretical system has not yet been perfected, so the basic theoretical research is in urgent need of development. This paper summarizes the theoretical research situation of intelligent construction at home and abroad, and studies the integration of computer technology and traditional construction technology in its urgent need of breakthrough. Firstly, the concept connotation and theoretical research status of intelligent construction are introduced, and an intelligent construction system based on online and offline integration is constructed. Secondly, in terms of the fusion trend, this paper focuses on the trend of online and offline integration, explores the development of online and offline collaborative resource allocation, and constructs a smart site cloud platform based on "cloud edge". Thirdly, the development direction of intelligent construction is briefly described from the application of BIM technology in intelligent construction, the promotion of green building and smart home. Finally, the prospect of intelligent construction is predicted from the reduction of dependence on human decision-making and the digital whole process consultation in the traditional construction industry. This paper has a certain significance for the perfection and refinement of intelligent construction operation process, such as the application of BIM technology in the intelligent construction process, and the construction and application of smart site cloud platform. At the same time, a series of problems are proposed, such as the current shortage of talents related to intelligent construction, the safety and reliability have not been strongly confirmed and so on. Finally, it aims to promote the development of intelligent construction technology to a higher level, look forward to the future research trend of this field, stimulate the research motivation and innovation vitality, explore more research directions, and promote the research to a multi-dimensional development. Finally, it stimulates more research and practice, and promotes the maturity of intelligent construction.

Keywords

Intelligent Construction, Fusion, Computer, Building Technology

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在工业 4.0 时代，物联网、大数据、云计算等新一代信息技术与人工智能技术在工程项目建设中的广泛应用，催生了“智能建造”这一新型建造模式。实现智能建造被认为是工业 4.0 背景下建筑业转型的关键。当下已有许多关于智能建造技术在实际工程中应用的报道，但实际上，其基础理论研究未能跟上。本文旨在全面梳理国内外智能建造的理论研究现状，构建一套理论框架，明确研究方向，并深入探讨智能技术如何驱动建筑业的生产组织方式创新，旨在推动智能建造基础理论知识的体系化建设。

2. 融合背景

2.1. 智能建造的概念内涵

智能建造是指在建造过程中充分利用智能技术，通过应用智能化系统提高建造过程智能化水平，达到安全建造的目的，提高建筑性价比和可靠性。它涉及的关键技术包括计算机技术、自动控制技术、通信技术等，通过将这些技术应用于建筑设计、施工、运维等各个环节，实现建筑信息的共享和协同，提高建造效率和质量。智能建造的出现，不仅将促进建筑行业的转型升级，也将对人们的生活方式产生深远影响。

智能建造，就是利用智能技术来提升建筑设计和施工的智能化水平，通过使用各种智能化系统，能够更好地保障建筑的安全性，提高建筑的性价比和可靠性。实现这一目标的关键技术包括计算机技术、自动控制技术和通信技术等。这些技术被广泛应用于建筑的设计、施工和后期运维等各个环节中，使得建筑信息能够更好地共享和协同，从而提高建筑的整体建造效率和质量。智能建造的出现，不仅将推动建筑行业的转型升级，也将对人们的生活方式产生深远的影响。具有以下几项共性要素：1) 智能建造是一种新型的工程建造模式；2) 其范围涵盖工程建造全生命周期；3) 现代信息技术对于提升施工组织管理能力具有驱动作用[1]。

2.2. 智能建造理论研究现状

智能建造技术的集成应用：基于 BIM 定义工程产品，构建多维度数据关联关系，通过仿真其空间逻辑、物理逻辑和业务逻辑、真实动态映射建造全过程，实现工程产品及其建造过程的数字孪生[2]。

智能建造的可持续发展：传统建筑业在生产阶段主要依赖于人工搭配常规设备，完成采购、生产、仓储和运输等工作，造成了生产低效及浪费。智能建造在生产阶段的应用催生出若干新业态。例如，化工合成建材、新型水泥材料等新型建筑材料的研发应用降低了建筑废弃物的排放，同时减少了自然资源的浪费，为建筑材料市场增添新的生机[3]。

智能建造的人才培养：人才是推动产业发展的核心力量，但国内正面临智能建造人才严重不足的问题。据相关调查研究，智能建造人才的需求远大于供给量，尤其是高精尖端领域人才短缺，难以形式满足新业态发展需求的人才结构[3]。

发展智能建造需要既精通数字化、智能化的技术，又熟悉工程建设行业的复合型人才。然而，目前智能建造的人才需求远大于供给量，存在短板。因此既需要教育行业出力，同时工程建设领域也需要面对这一课题。

智能建造的安全性和可靠性：智能建造需要关注安全性和可靠性，包括设备故障率、网络安全、数据安全等方面。这些问题需要技术和管理措施共同解决，以确保智能建造的安全可靠运行。

2.3. 基于线上线下融合的智能建造系统

实现施工全过程、全要素数字化管理，利用区块链“在不充分信任的实体之间建立互信共识机制”的核心价值，将建造全过程的关键数据上链，打通信息孤岛，提高参建各方的协同性和精准性，消除信息不对称，保障各方的利益并规范各方的行为，从而提升工程质量，实现工程建造的提质增效[4]。尤志嘉等[5]等提出将基于“信息 - 物理”融合的智能建造系统作为智能建造概念的实现形式。并分别从功能和技术维度描述了智能建造系统的通用体系结构。如图 1，将智能建造的理论框架分为组织、设计、施工、制造，“信息 - 物理”深度融合。

3. 融合趋势

3.1. 技术系统驱动创新

探索通过现代信息技术实现精益建造、绿色建造、集成项目交付等新型建造模式的工作机理；在此

基础上建立未来智能建造模式下的各种业务应用场景，并分析其技术实现原理。以智能建造系统为技术实现载体，整合原有的各类信息系统，通过纵向消除施工组织不同管理层级的信息孤岛，横向整合跨越建筑产业价值链的业务流程，实现任意工作流程从发起端到结束端的无缝集成，从而形成扁平化、集约式的施工组织管理模式[6]。

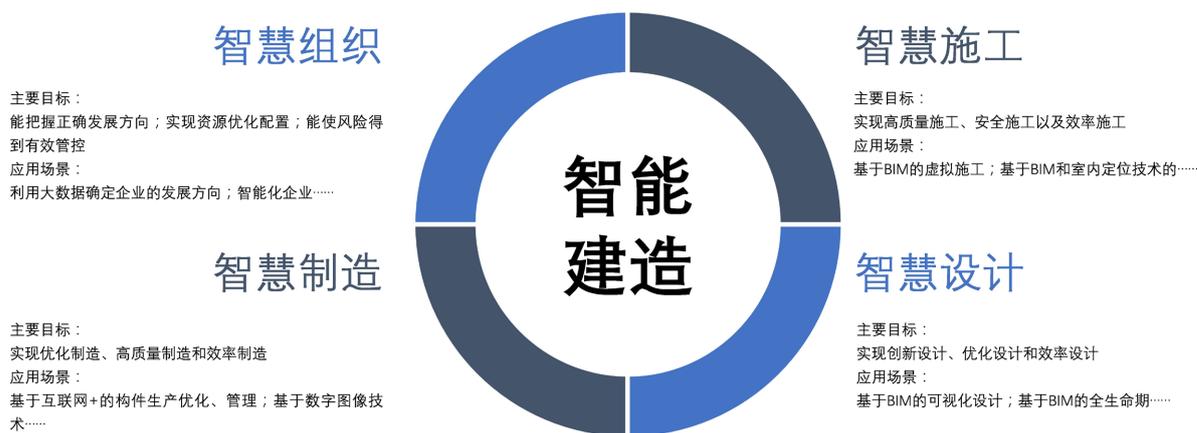


Figure 1. The theoretical framework of intelligent construction

图 1. 智慧建造的理论框架

3.2. 线上线下协同的资源配置发展

基于物联网技术同步关联 BIM 设计模型[7]，形成在建筑物的实时建造模型。作为信息空间中的数字孪生体[8]。在数字孪生体中建立人、机、料、法、环等各类建造资源要素的虚拟映射，实现物理建造资源与信息资源的深度融合与实时交互。建立对各类建造资源的分布式协同控制机制[9]，使其能以最优的策略动态匹配建造任务，实时响应施工环境的变化，并可通过评估已有行为的优良度改进自身的组织结构。

3.3. 基于“云边端”架构的智慧工地云平台

“云边端”集成云平台，以管控云平台为基础，延伸边缘计算平台和智能感知控制设备终端，形成“云”“边”“端”用一体化的城建云平台。“云”即公司集团云端服务，一方面指数字化平台，包括数据资产平台、数据汇聚器、数据处理器、数据治理及服务，也包括物联感知控制平台、BIM 中台、业务中台；另一方面是指城建云平台，包含云计算、云存储、云安全。“边”即项目边缘计算服务，包含两个层次的概念。一是指智能化系统，即智慧工地、构建分解、智能装配、智慧安防等；二是指项目边缘云设备，项目上承载项目边缘计算、离线算力、AI 分析、物联接人、应用服务等，它可以是一个小的边缘计算服务器，可以是塔式或者台式服务器，也可以是一个比较大的一体机，还可以是包含厢房在内的移动方舱。“端”即工地现场的智能设备终端，包含物联网设备、传感器、工地物业化、云桌面的“城建盒子”，以及工地现场安装的摄像头、大门口进出的闸机、人脸设备等。“用”指智慧工地的应用，以是集团公司管控、数字孪生应用、现场管理平台、设备管控应用，也可以是工地服务、人员管理、安全管理等应用[10]。

4. 发展方向

4.1. BIM 技术的应用

BIM 技术的发展和广泛应用，可为智能建造提供一个统一完整的数据库，作为信息管理和各阶段全

方位协同工作的平台。同时，智能建造依赖于建造业的信息化发展水平。信息作为可以在智能建造体系中流动的媒介，发挥的作用不容忽视，但信息本身又是复杂的。根据信息类型和所处阶段的不同，在体系中扮演不同角色，在新技术的加持下发挥不同的功能。许多学者在建筑信息化领域进行了研究，例如：使用 BIM 技术推动建筑行业的信息化[11] [12]；通过采用信息通信技术，例如自动 ID [13] [14]以及传感技术[15] [16]，例如图 2，BIM 技术在实际应用中发挥其重要作用。在实现了信息的高效感知和传递外，对于庞大的智能建造体系而言，在对其中某一具体环节开展研究时，应将研究对象进行结分级，进而确定其在智能建造体系中的位置和上下级关联研究。

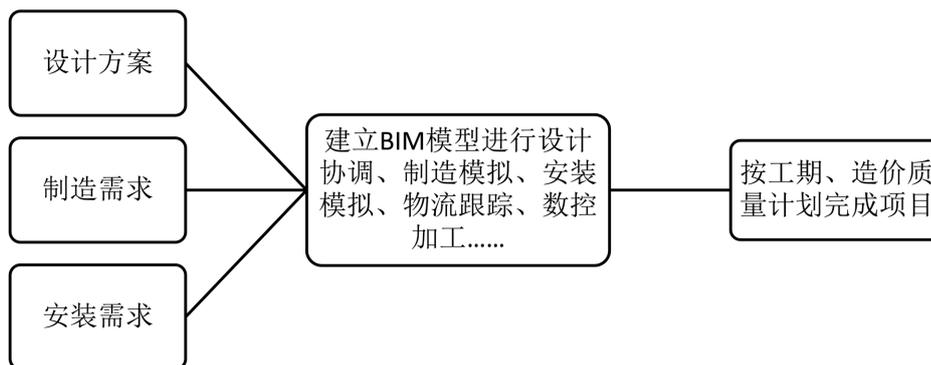


Figure 2. The specific application of BIM model

图 2. BIM 模型的具体应用

4.2. 绿色建筑和智能家居的推广

随着人们对环保和居住舒适度的要求越来越高，绿色建筑和智能家居将成为未来的发展趋势。通过利用智能建造技术，可以实现建筑的节能、环保和智能化，为人们创造更加舒适、健康、便捷的居住环境。智能建造将更多地采用节能技术，如太阳能、风能等。通过智能化的能源管理系统，可以实时监测和控制建筑的能源消耗，实现节能减排的目标。同时，通过智能化运维和管理系统，可以对建筑的运行状态进行实时监测和预警，及时发现和解决潜在的问题，延长建筑的使用寿命，降低维修和运营成本。

5. 发展前景

5.1. 减少人为决策的依赖

在工业 4.0 的背景之下，制造业转型升级成为一大议题。首先，第四次工业革命的到来推动了建筑业的工业化变革，即通过现代化的制造、运输、安装和科学管理的生产方式代替传统建筑业中分散、低水平、低效率的生产方式，体现为预制构件大规模批量生产、装配式建筑蓬勃发展等；其次，人工智能等技术的发展促使各行业迈向智能化。传统建造过程中为实现一个建筑目标，主要凭借管理者长期积累的施工经验来做决策。这种以人的经验为主导的模式，在建筑业发展过程中根深蒂固。但是，人在处理信息和做决策时，存在一定局限性，在当今日益庞大和复杂的建设项目中尤为明显[17]。随着工程体量和工程复杂性的增加，需要处理的信息量呈指数增长，人为决策会造成很多问题，例如多次返工、成本超支、进度拖延、项目质量差[18]和频繁的安全生产事故等[19]。依据人的经验进行决策，不能满足利益相关者的管理目标 and 需求[20]，因此，建筑业迫切需要智能化的决策手段和管理方式，以减少对人的依赖。

5.2. 数字化全过程咨询

数字化全过程咨询是当今建筑工程领域的趋势，将技术和信息封装建筑项目的各个阶段，从勘察设

计到最终采购分包、现场施工，直至竣工交付，以实现更高效、准确、良好的项目管理[21]。数字化全过程咨询在勘察设计阶段起到了关键作用。利用先进的地理信息系统技术，建筑师和工程师可以获得地理数据和环境信息，从而进行指导最佳设计允许。数字化建模工具如 BIM 设计团队以三维形式构建项目，这有助于更好地可视化设计概念，预测潜在的设计问题，并进行实时协作。此外，虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术也可用于在设计阶段进行模拟，帮助决策者更好地理解 and 审查设计方案。

6. 结语

在智能建造领域，计算机技术与建造技术深度融合，协同发展，为当下产业注入新活力，开展新赛道，尽管相关技术和理论尚未成熟，但跨学科的融合使它具备无限的潜力和光明的前景。在应用层面，智能建造在建筑设计、施工、运维等各个环节展现出显著的优势。它提高了建筑设计的效率和精度，优化了施工过程，降低了能耗和资源消耗，提升了建筑的性能和安全性。同时，智能建造也带来了新的业务模式和商业模式，为建筑业的发展注入新动力。然而，智能建造的发展仍面临一些挑战，如技术标准的不统一、数据安全问题、专业人才的培养等。因此，未来的研究应关注解决这些挑战，推动智能建造的进一步发展。

参考文献

- [1] 尤志嘉, 吴琛, 刘紫薇. 智能建造研究综述[J]. 土木工程与管理学报, 2022, 39(3): 82-87, 139.
- [2] 张建平, 林佳瑞, 胡振中, 王珩玮. 数字化驱动智能建造[J]. 建筑技术, 2022, 53(11): 1566-1570.
- [3] 陈珂, 张芸菡, 郭丰毅, 王鸿迪. 智能建造背景下建筑业新业态研究[J]. 科技和产业, 2023, 23(12): 131-135.
- [4] 马志亮. 智能建造应用热点及发展趋势[J]. 建筑技术, 2022, 53(9): 1250-1254.
- [5] 尤志嘉, 郑莲琼, 冯凌俊. 智能建造系统基础理论与体系结构[J]. 土木工程与管理学报, 2021, 38(2): 105-111, 118.
- [6] 高小慧, 成虎, 徐鑫, 等. 施工企业项目管理的组织运行模式研究[J]. 项目管理技术, 2016, 14(6): 11-16.
- [7] Tang, S., Shelden, D.R., Eastman, C.M., et al. (2019) A Review of Building Information Modeling (BIM) and the Internet of Things (IoT) Devices Integration: Present Status and Future Trends. *Automation in Construction*, **101**, 127-139. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020>
- [8] Tao, F., Zhang, H., Liu, A., et al. (2019) Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, **15**, 2405-2415. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>
- [9] 周远强. 分布式系统协调优化控制方法研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2020.
- [10] 李久林, 王忠铨, 田军, 陈利敏, 徐浩文, 刘廷勇. 智能建造背景下的智慧工地发展与实践研究[J]. 建筑技术, 2023, 54(6): 645-648.
- [11] Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., et al. (2013) BIM Implementation throughout the UK Construction Project Lifecycle: An Analysis. *Automation in Construction*, **36**, 145-151. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001>
- [12] Chen, L. and Luo, H. (2014) A BIM-Based Construction Quality Management Model and Its Applications. *Automation in Construction*, **46**, 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.009>
- [13] Zhong, R.Y., Peng, Y., Xue, F., et al. (2017) Prefabricated Construction Enabled by the Internet-of-Things. *Automation in Construction*, **76**, 59-70. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.006>
- [14] Xu, J. and Lu, W. (2018) Smart Construction from Head to Toe: A Closed-Loop Lifecycle Management System Based on IoT. *Construction Research Congress*, New Orleans, 2-4 April 2018, 157-168. <https://doi.org/10.1061/9780784481264.016>
- [15] Akhavian, R. and Behzadan, A.H. (2015) Construction Equipment Activity Recognition for Simulation Input Modeling Using Mobile Sensors and Machine Learning Classifiers. *Advanced Engineering Informatics*, **29**, 867-877. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.03.001>
- [16] Park, J.W., Kim, K. and Choy, K. (2017) Framework of Automated Construction-Safety Monitoring Using Cloud-Enabled BIM and BLE Mobile Tracking Sensors. *Journal of Construction Engineering and Management*, **143**, Article ID: 5016019. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001223](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001223)

- [17] Niu, Y., Lu, W., Chen, K., *et al.* (2016) Smart Construction Objects. *Journal of Computing in Civil Engineering*, **30**, Article ID: 04015070. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000550](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000550)
- [18] Garrett, J.W. and Teizer, J. (2009) Human Factors Analysis Classification System Relating to Human Error Awareness Taxonomy in Construction Safety. *Journal of Construction Engineering and Management*, **135**, 754-763. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000034](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000034)
- [19] Reason, J. (2000) Human Error: Models and Management. *British Medical Journal*, **320**, 768-770. <https://doi.org/10.1136/bmj.320.7237.768>
- [20] Peruzzini, M. and Pellicciari, M. (2017) A Framework to Design a Human-Centred Adaptive Manufacturing System for Aging Workers. *Advanced Engineering Informatics*, **33**, 330-349. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2017.02.003>
- [21] 张莹. 低碳智能建造 BIM 技术的应用[J]. 绿色建筑, 2023, 15(2): 18-20.