

数字技术赋能工程建设管理效能提升路径研究 ——基于雄安新区数字城市建设的探索性案例分析

耿子恒^{1,2}, 肖龙飞¹, 董洪涛^{3*}, 项天骋⁴

1. 河北经贸大学管理科学与信息工程学院, 河北石家庄;
2. 北京大学政府管理学院, 北京;
3. 河北建设投资集团有限责任公司, 河北石家庄;
4. 联检(江苏)科技股份有限公司, 江苏常州

摘要: 本文采用案例研究法等, 以雄安新区高质量建设实践为研究对象, 研究数字技术渗透于建筑业产业链各节点及节点上企业的过程, 阐述数字技术赋能建筑业转型升级的路径与机制。研究发现: 数字技术赋能建筑业产业链升级遵循“构建建筑业数字技术底座—输出建筑业数字技术功能—实现建筑业升级”的路径; 在满足“政府、场景、企业、技术支持”的条件下, 数字技术通过链上“节点赋能”和“企业赋能”不仅能够使企业实现价值创造, 还能够推动建筑业产业链升级, 达到资源利用效率、管理和技术协同能力、施工管理精准化水平提升等效果。研究结论不仅充实了数字技术推动建筑业高质量发展研究, 而且为建筑业产业链上企业数字化转型提供实践启示, 并从微观视角以具象化方式弥补数字经济与实体经济融合发展研究。

关键词: 数字技术; 建筑业; 数字经济; 产业升级; 案例研究

Research on the Path of Digital Technology Empowering Efficiency Improvement in Engineering Construction Management: An Exploratory Case Study Based on the Digital City Construction of Xiong'an New Area

Ziheng Geng^{1,2}, Longfei Xiao¹, Hongtao Dong^{3*}, Tiancheng Xiang⁴

1. School of Management Science and Information Engineering, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang, Hebei;
2. School of Government, Peking University, Beijing;
3. Hebei Construction and Investment Group Co., Ltd, Shijiazhuang, Hebei;
4. Lianjian (Jiangsu) Technology Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu

* 基金项目: 2023年河北省社会科学发展研究重点课题“竞争力视角下河北省国有企业数字化转型发展研究”(课题编号: 20230102009)。

作者简介: 耿子恒, 河北经贸大学大数据与产业智能发展研究中心主任, 管理科学与信息工程学院教授、硕士生导师; 北京大学政府管理学院访问学者(2025-2026), gzh_2022@hueb.edu.cn。

通讯作者: 董洪涛, 河北建设投资集团有限责任公司, 高级经济师, 13102880366@163.com。

Abstract: This paper uses case study method and other methods to study the process of digital technology penetrating into various nodes of the construction industry chain and enterprises on the nodes of the construction industry chain, and expounds the path and mechanism of digital technology empowering the transformation and upgrading of the construction industry. The results show that digital technology empowers the upgrading of the construction industry chain to follow the path of “building the digital technology base of the construction industry, exporting the digital technology functions of the construction industry, and realizing the upgrading of the construction industry”. Under the condition of meeting the conditions of “government, scenario, enterprise, and technical support”, digital technology can not only enable enterprises to achieve value creation through on-chain “node empowerment” and “enterprise empowerment”, but also promote the upgrading of the construction industry chain, and achieve the effect of resource utilization efficiency, management and technical collaboration capabilities, and the improvement of the precision level of construction management. The research conclusions not only enrich the research on digital technology to promote the high-quality development of the construction industry, but also provide practical enlightenment for the digital transformation of enterprises in the construction industry chain, and make up for the research on the integrated development of the digital economy and the real economy from a micro perspective.

Keywords: Digital Technology; Construction; Digital Economy; Industrial Upgrading; Case Study

1 引言

发展数字经济是中国的国家战略，是中国现代化经济体系建设的重要引擎。在数字变革时代，要深入推进传统产业数字化转型，就需要加快数字技术和实体经济深度融合，不断做强做优做大中国数字经济[1]。因此，如何进一步推动数字经济与实体经济深度融合，利用数字技术对传统产业进行全方位、全链条的改造，发挥数字技术对经济发展的放大、叠加、倍增作用[1]，已成为全球关注的焦点问题。虽然既有研究从宏观层面演绎阐释数字经济能够推动经济增长和高质量发展的逻辑、路径机制[2-4]，但是，中国数字经济与实体经济融合仍需要融合现代产业体系要素[5]，推进产业数字化进程[6]，探究在不同的应用场景中发挥数字技术赋能作用的有效路径[7]，避免制约二者有效融合的因素[8,9]，才能助力现代产业体系构建，壮大实体经济。

建筑业是实体经济重要组成部分，通过打造建筑产业互联网平台[10]，促使数字技术赋能建筑业全

生命周期管理，才能推动建筑业转型升级。既有研究已从建筑学视角理清了数字技术应用于建筑设计和施工的过程等[11-17]，并且针对数字经济赋能金融业和制造业作用机理和路径等进行了理论阐释[18-21]。但是，基于产业链视角从数字经济赋能产业链上的“节点”和“企业”实现价值创造，促使数字技术在实体经济中发挥渗透与创新作用，从而推动传统产业转型升级而实现高质量发展的研究仍然不多。因此，需进一步深挖不同产业部门情境下数字经济与实体经济深度融合发展的底层逻辑。

为进一步从应用场景的微观视角阐释数字技术与实体经济融合发展的内在机制，本文采用案例研究法、归纳演绎法、调查研究法等定性与定量相结合的方法，以雄安新区数字城市建设实践为研究对象，从产业视角切入，将数字技术赋能建筑业产业节点及节点上企业作为研究的逻辑起点，致力于回答数字技术从哪些产业节点怎样对建筑业进行赋能？赋能的路径、条件机制、过程

机制是什么？什么样的标准才是产业转型升级的目标？等问题。

2 文献综述

2.1 数字经济与实体经济融合发展的路径、条件与机制：需要进一步补充微观视角

数字经济与中国经济发展的研究大多数集中在基于宏观层面所开展的演绎性理论分析。数字经济对中国经济增长的影响主要表现为“重构”和“提升”两个维度，即数字经济可以重构生产要素、供需模式、产业价值、经济体系等，也可以提升经济运行效率、市场资源配置效率、全要素生产效率，并促进原创性技术创新、应用性技术创新、跨界融合创新能力以及创新密集度不断提升（左鹏飞和陈静，2021）[2]。数字经济促进实体经济发展的机理体现在数字经济不仅可以推动创新发展动力从“范围经济”向“规模经济”转变，还可以推动经济向“智能化”发展，促进要素整合与价值链各环节水平提升，以及推动经济体制改革，促进成本降低（郭晗，2020）[8]；并且只有在综合运用多种新技术时，将数字技术融入场景生态圈建设的各个环节，形成以数字技术为核心的标准化、高质量的场景生态圈，才能使数字技术在实体经济发展中发挥作用，进而提高场景运行效率，推动供应链健康发展（陆岷峰，2022）[7]。但是，数字经济对实体经济影响的实证研究却表明，数字经济对实体经济的影响效应呈现倒“U”型特征，即在临界值之前，数字经济对实体经济具有“促进作用”，当跨越临界值时则有“挤出效应”（姜兴和张贵，2022）[6]。

此外，数字经济助力现代产业体系建设也仍然存在数字经济与实体经济融合度不高、平台垄断、开放共享与安全保护矛盾突出和数字人才匮乏等障碍（郭晗，2020）[8]，要将数字经济与现代产业体系各要素相融合，促进产业结构调整、发展方式转变、增长动力转化（胡西娟等，2020）[5]，才能推动数字经济与实体经济融合发展，全面构建现代产业体系基础。从制造业视角分析，数字经济赋能制造业产业创新的靶向路径包括基础路径和具体路

径，其中，数据要素驱动、底层技术推动、新型商业模式和产业组织变革带动及跨产业联动等均属于基础路径，优化区域布局弥合“数字鸿沟”与行业选择破除“卡脖子”技术封锁等属于具体路径[21]。

2.2 创新和改造建筑业产业链的核心技术：数字孪生技术

数字孪生技术源于20世纪60年代NASA为阿波罗计划实施中的实际飞行器制造的“孪生飞行器”，2011年学术界正式提出以“虚拟映射，交互反馈”为核心的“数字孪生”概念且沿用至今（刘占省，2022）[22]。数字孪生技术被界定为构建反映物理实体所有行为规则，并在其全生命周期中能够保持（信息）动态更新的数字虚拟体的一种技术（Liu M, et al., 2021）[23]。在建筑业领域，数字孪生技术主要体现在建筑信息模型（Building Information Modeling, BIM）和城市信息模型（City Information Modeling, CIM）的应用。BIM是一个能够持续精确地交互建筑信息，加强（建筑主体）全生命周期计划、建造和维护便利性的平台（Khajavi S H, et al., 2019）[24]。CIM是融合遥感信息、城市多维地理信息、建筑及地上地下设施的BIM、城市感知信息等多源信息，所建立表达和管理城市三维空间全要素的基础平台（李浩等，2021）[25]。由此可见，BIM是智能建造的基础，可以实现对单体建筑项目设计和施工的动态管理；在此基础上，融合BIM、地理信息系统（Global Information system, GIS），物联网（Internet of Things, IOT）等前沿信息技术，构建起的城市级CIM平台是数字城市设计、建设和治理的基础。

从应用研究看，建筑设计师借助BIM模型，在人机互动模式下可以开展可视化、动态化、多用户设计，提高了建筑设计的创新水平和工作效率（丁希莹，2013）[11]；建设管理者利用BIM模型可以强化对单体工程项目的施工要素现场管理，并通过对建筑要素信息化管理实现对工程项目质量、安全、进度和成本的动态监测[12]。然而，建筑业大

数据应用水平依然较低,远低于全行业的1%(前瞻产业研究院,2019)[13],并且大多数智能建造技术多应用于单体建筑物的工程管理,并没有扩展到城市级建筑设计、建设管理与未来城市管理领域。

从理论研究看,已有建筑业数字化的相关研究主要集中在数字技术赋能建筑设计方法创新,数字孪生技术的概念和技术的产业化应用,数字孪生技术在建筑领域的前景、优势和边界,以及数字技术智能建造方法与模拟(刘占省等,2021)[14]等方面。David Jones等基于近十年92份数字孪生技术相关文献研究的梳理和分析,提出了一个数字孪生技术从虚拟到物理实现的过程框架(David Jones, et al.,2020)[15]。数字技术在建筑业领域应用研究大多集中于从建筑学视角出发研究数字孪生技术的实现过程。建筑设计过程中,数字技术能从真正意义上辅助“人脑”进行方案创作(丁希莹,2013)[11]。建筑施工过程中,从施工要素在现场定位、施工现场布局、信息化管理、动态监测4个不同关键应用等角度,分析智慧建造领域的技术突破(刘占省等,2019)[12];并发现数字孪生技术可以提高工程施工中的信息利用率(刘占省等,2021)[14]。建筑全周期管理中,通过收集、分析和利用超过25,000个传感器数据,创建测试有限的数字孪生技术在办公楼立面元素建设中的技术实现路径(Khajavi S H, et al., 2019)[24];此外,通过分析BIM技术实现智能建造应用的案例,阐述应用数字孪生技术实现智能建造的过程(张学堃和罗云山,2021)[16]。但是,应用数字孪生技术仍然要面临不少技术挑战,保障数字孪生技术实现主要包括数据技术、高保真数据建模技术、基于模型的仿真技术等3个方面的技术(麦肯锡全球研究院,2017)[26]。孙轩认为新时期智慧城市建设的关键在于功能协同和数字协同,基于CIM技术的全域数字框架可以有机聚合数字技术应用场景及全过程数据,但是,对于城市智能化和人性化需求,仍需在空间基础设施建设方面优化升级(孙轩和单希政,2021)[27]。不仅如此,如若使数字化科技创新驱动建筑业高质量发展,还应从法律规范、财

政支持、人才培养、市场秩序等多方面发力(孙洁等,2021)[28]。

2.3 微观视角下的产业现代化核心: 建筑业产业上的“节点”和“企业”升级

建设现代经济体系不仅包含建设实体经济、科技创新、现代金融、人力资源协同发展的产业体系,还包含支持传统产业优化升级,促进产业迈向全球价值链中高端等。这表明,建设现代产业体系是建设现代化经济体系的重要部分。现代产业体系是具有当代领先、具有竞争优势又面向未来产业与技术发展趋势的产业体系(芮明杰,2018)[29],而产业链现代化的本质属于产业现代化内涵的延伸和细化(刘佳骏和李晓华,2021)[30],是一个国家或地区提升产业链水平、强化其产业在全球价值链各环节的增值能力、实现在全球价值链地位升级的过程(温源,2020)[31],是基于科学技术和产业组织方式进步来改造提升产业链安全稳定能力、自主可控能力、适应韧性能力和国际竞争力的过程(刘佳骏和李晓华,2021)[30]。从制造业产业链现代化视角看,产业组织、创新能力、经济效益以及绿色集约四大指标可以有效地衡量产业链现代化水平,并且这四个作用力协同发力能够推动制造业产业链现代化水平获得提升(蔡乌赶和许凤茹,2021)[32]。

建筑业产业链包含建筑勘察与设计、建筑施工和监管、建筑运营三个主要链条节点。数字技术助力建筑业的产业升级不仅是在产业链上赋能,还要通过赋能去提升建筑业生产、交易、监管三个环节的运行效率,价值创造水平,并保障工程质量、减少安全事故,实现绿色环保、厉行资源节约(王迪生,2021)[33]。虽然智能建造产业链是信息技术产业链和建造产业链“双链融合”产生的产业生态系统(毛超和张路鸣,2021)[34],但是数字技术在赋能建筑业产业升级过程中,主要作用发挥点是在建造过程之中(王迪生,2021)[33]。因此,数字技术赋能建筑业产业升级就要提高建筑业发展效益性、创新性、绿色性、协调性和共享

性，才能有效推动建筑业的高质量发展（王莉和李慧民，2020）[35]。

2.4 既有研究缺口总结与本研究的边际贡献

从赋能路径方面看，虽然既有研究从建筑学角度提出数字化科技创新驱动建筑业高质量发展的措施（孙洁等，2021）[17]，但是清晰地提出数字技术赋能建筑业高质量发展路径的研究较少。从产业研究视角方面看，虽然既有研究有的从数字经济赋能金融业发展视角切入（陈长，2022）[18]，有的从企业价格加成变化视角切入，还有的从制造业等不同产业视角切入（史宇鹏，2021）[19]，以及从产业视角切入以演绎分析方法研究数字经济驱动制造业转型升级的作用机理（李春发等，2020）[20]，或者从产业创新视角提出数字经济赋能制造业靶向路径的研究（李颖和贺俊，2022）[21]，但是，从产业升级视角，弥补数字经济与实体经济融合发展理论的产业研究视角还存在一定程度的缺口。因此，本文的边际贡献是：（1）通过中国雄安新区数字城市高质量建设案例研究，从微观视角具象化地阐释数字技术赋能建筑业产业升级的路径；（2）从产业升级研究视角，所得出的数字技术赋能建筑业产业升级的条件机制、过程机制、升级效果测度等研究结论，进一步丰富了数字经济与实体经济融合发展的理论机制和实践研究，并在一定程度上弥补了产业研究视角的缺口。

3 研究方法

3.1 研究切入点

数字技术不仅具有ICT技术（Internet Communication Technology, ICT）的基本技术—经济特征，还具有技术—经济特征，即具有渗透性、替代性、协同性、创造性。数字技术能够渗透于各经济部门，与各生产环节相融合，并赋予经济运行新的方式（Bresnahan T.F. and Trajtenberg, 1995）[36]；同时，它可以作为一种资本对劳动要素等非数字技术资本进行替代（Jorgenson D.W. and Stiroh K. J., 1999; Jorgenson D.W., 2001; Acemoglu D. and Restrepo P., 2016）[37-39]，并通过在生产过

程中使用数字技术产品，使得生产过程中的要素间配合更加契合，继而降低摩擦成本，提高运行效率（David P.A. and Wright G., 1999; Bartel A., et al., 2007; Kenttinen E., 2009）[40-42]；此外，数字技术与数据融合后，在“大数据+云计算+人工智能”组合模式下，可以部分替代人类脑力劳动（蔡跃洲和陈楠，2019）[43]，这是数字技术具有创造性的基础动力。

当前，建筑业依然存在发展质量和效益不高的问题，集中表现为发展方式粗放、劳动生产率低、高耗能高排放、市场秩序不规范、建筑品质总体不高、工程质量安全事故时有发生等（住房和城乡建设部，2022）[2]。从中国建筑业产业链效率评价结果看，综合效率较低，其原因是由于纯技术效率和规模效率均整体偏低，其中劳动力素质和公司规模因素对综合效率具有抑制作用，特别是劳动力素质对纯技术效率也具有负向影响（刘炳胜等，2019）[44]。这与中国建筑业依然依靠资本、劳动要素投入，持续扩大生产规模的粗放式发展现实基本相符。因此，应抓住数字经济发展战略机遇期，促进数字技术与建筑业融合发展，加快智能建造与新型建筑工业化协同发展，形成涵盖科研、设计、生产加工、施工装配、运营等全产业链融合一体的智能建造产业体系[2]。

基于数字技术的技术—经济特征与建筑业理论和发展实践，本文认为传统建筑业产业链由勘察测绘、建筑设计、建设规划、建材制造、建筑施工、工程验收、建筑体运营等链条节点构成，数字技术赋能建筑业升级后会形成以科研创新为基底、智能建造产业体系为主体的新型建筑业产业链（图1所示新型建筑业产业链的基本形态图）。它符合现实建筑业产业链布局状态。但是，由于产业链中的关键节点会影响整个产业的健康可持续发展（杨仕文等，2016）[45]，因此，本文选取“设计、施工装配”这两个建筑业产业链中的关键节点作为切入点开展研究。

3.2 研究数据收集

本文的主要资料和数据通过文献研究、实地调

研、半结构化访谈、现场观察等方式获取，具体如下：（1）通过中文、英文的文献数据库了解数字经济、经济增长、数字技术、数字孪生技术及建筑业的相关理论知识，搜集和整理建筑智能化发展白皮书、数字孪生城市建设报告等数字技术赋能建筑业发展的实践报告等资料；（2）在进驻雄安新区开展实地调研前期，首先通过专业技术人员获取了一定量的雄安新区介绍、数字技术发展、建筑业数字技术典型场景应用案例等文字资料；同时，通过现场听取雄安新区相关领导或技术专家为建设项目提供数字技术服务所召开的集体讨论会、解读数字孪生技术创新破解建设项目难题的报告会等途径，获取大量资讯和学习资料；并以此为依据撰写访谈提纲，通过即时通讯方式与分管雄安新区数字城市建设的技术总监沟通和修订访谈提纲，提高访谈提纲效度；（3）研究团队深入雄安新区开展实地调研，采取半结构化访谈方法，与雄安新区分管数字城市建设的主要领导（负责人、技术专家）及建筑业数字技术公司的领导班子成员、技术负责人、企管部负责人和项目专责等进行深度访谈、交流与沟通，以确保数据的完整性；（4）现场参观雄安新区CIM平台，工作人员现场详细讲解了CIM平台、BIM+GIS平台解决雄安新区大规模高质量建设难题的实现方式及数字孪生技术所发挥的作用。除此之外，还通过电话、微信等方式与相关工作人员多次进行非正式交流，确保研究团队对技术实现理解的正确性。以上数据搜集的研究工作过程为本研究提供了较为详实的数据基础，多重数据相互补充、验证和支持，在一定程度上实现了数据的三角验证，进一步提高了研究的信度和效度。

3.3 研究数据编码

以探索数字技术赋能建筑业升级逻辑路径和微观机制为目的，本研究采用程序化扎根理论编码方法解析数据，即通过开放式编码、主轴编码与选择性编码，逐渐提升概念及其关系的抽象层次，以构建理论模型。

首先，通过分析检视已获取数据，采用自行

创建、沿用已有文献、见实编码的方法对其进行分类、比较和命名，构建初始概念和范畴，共得到17个初始概念、9个范畴，如表1所示开放式编码示例。

其次，不断比较开放式编码得到范畴，将其归纳为4个主范畴，完成主轴编码，如表2所示主轴式编码形成的主范畴。

表1. 开放式编码示例

范畴	初始概念	原始语句
功能实现的数据技术	数据传输	通过物联网观测的多种流程数据，比如人流、工具流等，通过智能设备同步传输到CIM平台
	数据收集	通过正向建模构建二、三维一体化的建筑底图，通过智能设备感知门、窗、螺丝钉、管道等建筑物建设变化数据，搜集数据
	数据标准	由于大规模建设中参建单位或施工方较多，建模和数据标准不统一，并且数据量动不动几百T，正在建立统一的数据标准，去满足雄安工程建设需要
	数据基础	通过雄安管委会规建局源头审批时就要要求采用统一数据标准，加上雄安集团、参建央企等单位的数据配合，建立数据标准和收集数据，为大数据挖掘提供基础
功能实现的核心技术	服务内容	我们利用CIM向外提供三类主要功能服务：一类是CIM的数据服务，一类是CIM的功能服务，一类是CIM的场景应用
	服务能力	我们具备了从售前到实施到售后到开发为（建设）项目全过程的管理提供服务的能力
功能实现的技术原理	映射技术	在我们真实世界当中，建筑道路是这种属于实体，通过一一映射，利用CIM技术映射形成数字空间，这个数字空间就是一个虚体
	影像呈现	在CIM平台可以呈现BIM二维、建筑三维立体模型和实体影像，比如看到机电、管线之类的，可以帮助进行（工程建设施工）辅助决策
辅助建筑设计功能	工程设计	传统施工中，建筑结构由很多分包单位进行设计，比如热力管线、污水管线、自来水管线和房建都由不同单位设计，就会产生交叉碰撞
	施工模拟	在工程建设中，比如实体楼盖到三楼；在数字空间当中，施工模拟也是到（盖到）三楼，它是一个同步的交流、互相影响的过程
	施工检查	碰撞有两类，一是交叉碰撞，另一类是没有接上，比如小市政和大市政没有接上，就造成管网不通，我们可以通过CIM平台检查所有碰撞
优化施工管理功能	碰撞分析	把施工楼层标出，利用倾斜（视图）和实际场景（视图）观察水电、污水管和雨水井控等，可以实现碰撞分析和辅助决策
	指挥调度	指挥调度的时候，不管是质量的原因，还是施工作业面不清晰，要协调很多这种作业单位。比如说你的垃圾清运从哪走，土方从哪挖，基于CIM平台看到签约摄影实景，可以直接划线你从哪走，或者说哪里施工错误，或者是道路施工过程中有交叉，作业不清晰，直接在CIM平台区域就指挥现场修正作业

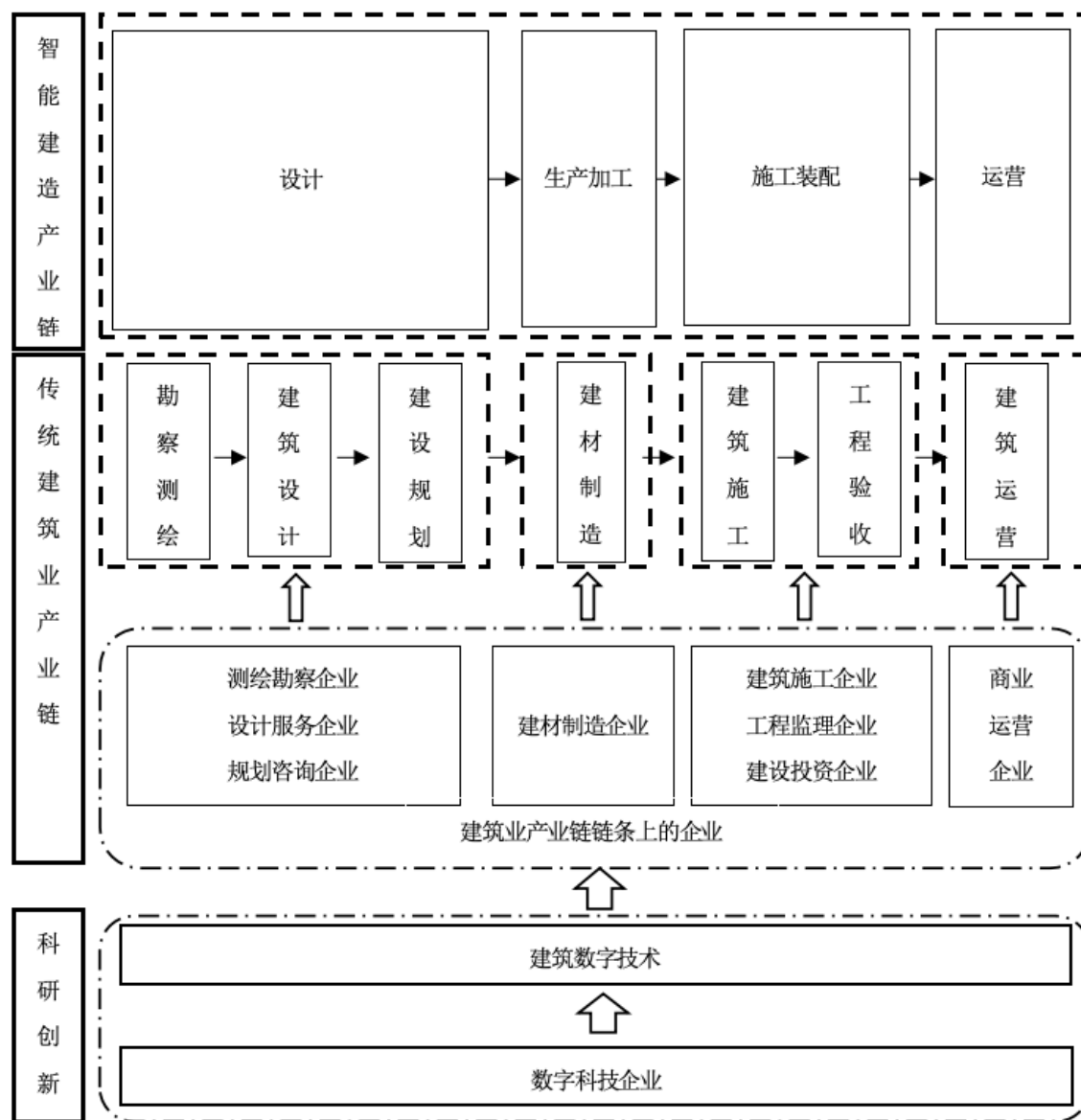


图1. 新型建筑业产业链的基本形态图

范畴	初始概念	原始语句
效率改进	时间成本	如果提前的把施工碰撞点找出来，之后，在施工过程中能节省很多返工时间成本
成本优化	造价成本	它的价值是防患于未然的价值，不是说我真的产生了多少价值，而是说我防范你浪费多少。假设挖到了（已经施工完毕的）管道，肯定要修管，修管就要增加工程费用，还要浪费时间
安全控制	安全成本	如果挖到燃气（管道），就不能够安全施工，那就是更麻烦一件事情，造成安全隐患、质量隐患
质量提升	动态约束	完成了高质量建设一个目的，还是时间进度、成本控制和质量保证，这肯定是一个平衡的过程，单方面说，我不计成本的就投入保证质量或保证速度可能都不太现实

表2. 主轴式编码形成的主范畴

编号	主范畴	范畴
1	数字技术底座体系构建（3个）	功能实现的数据技术、功能实现的核心技术、功能实现的技术原理
2	建筑业数字技术功能体系（2个）	辅助建筑设计功能、优化施工管理功能
3	建筑业升级的实现（4个）	效率改进、成本优化、安全控制、质量提升

最后，按照选择性编码，确定“数字技术赋能建筑业升级路径”的核心范畴，并将所有范畴与核心范畴之间建立联系以构建“故事线”，即把“故

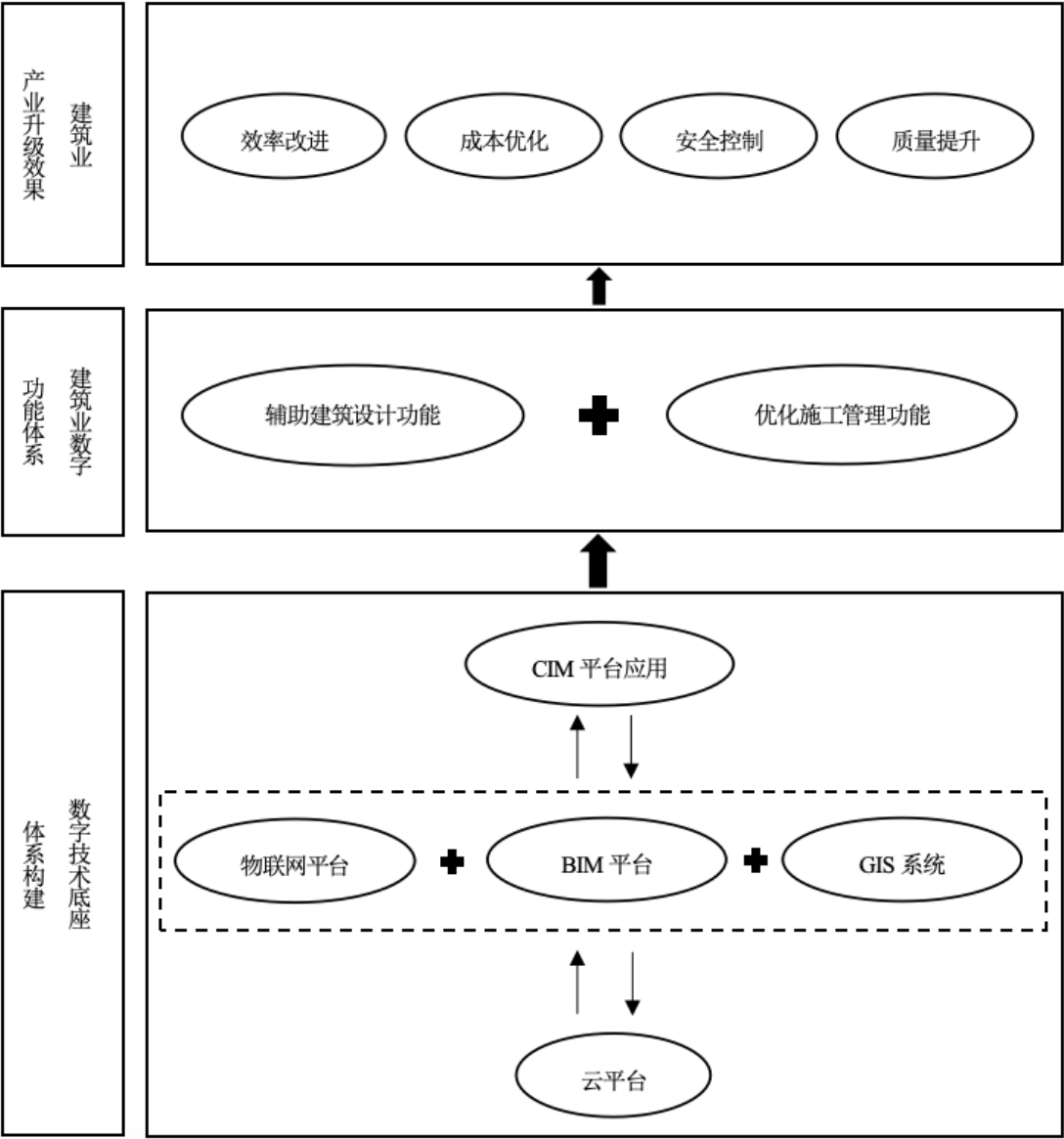


图2. 数字技术赋能建筑业升级模型

事线”概括为“数字技术底座体系构建—数字技术赋能所实现的功能体系—建筑业升级实现—数字技术赋能建筑业升级路径”。

3.4 研究模型描述

基于以案例编码分析构建数字技术赋能建筑业升级模型（如图2所示），研究发现雄安新区在大规模高质量建设中通过构建数字孪生技术底座，创新突破了多项目建设的组织协同和技术协同难题，释放数字技术的赋能作用，全面推动建

筑业升级。其中，数字技术赋能建筑业升级是按照“条件（情景）—行动（功能）—结果（效果）”的逻辑展开，即“在复杂大规模高质量建设情景下，通过构建数字技术底座体系，打造建筑业数字技术功能体系，推动建筑业升级”。根据数字技术赋能建筑业升级模型，分析数字技术赋能建筑业升级路径和机制，以回答开篇的“数字技术怎样赋能建筑业产业升级？”等问题，为数字经济与实体经济融合发展理论提供具象化解释。

4 案例分析和讨论

4.1 案例描述

中国雄安新区设立于2017年，是以习近平同志为核心的党中央深入推进京津冀协同发展作出的一项重大决策部署，是千年大计、国家大事。现阶段的雄安新区正在集中力量开展大规模建设，旨在满足疏解北京非首都功能的基础设施条件。在规划中提出，雄安新区要建设成为一座绿色智慧新城，建成国际一流、绿色、现代、智慧城市，同时它也是全国首个提出建立“数字城市”的国家级新区。在如此大规划、高质量建设背景下，雄安新区要将“物理城市”和“数字城市”同步建设，并将数字技术应用在建设管理全程之中。

4.2 案例选取

本文以雄安新区在大规模高标准建设过程中应用数字技术的典型实践作为研究对象，主要考虑雄安新区的典型性和独特性而作为案例选取标准。首先，与全国其他城市或区域应用建筑业数字技术的条件和效果相比，雄安新区是最有利于推广应用建筑业数字技术的区域，是全国数字城市建设示范区域，是全国唯一应用数字技术“正向设计、正向建模、正向施工”的区域，具有独特的“白纸”建城的特征。其次，它具有“大规模、高质量、高标准”建设需求，数字技术也正在“这张白纸”上进行高效地“创作”。由于数字技术赋能建筑业发展的实践和范围仍相对有限，建筑业数字技术应用仍处于初级发展阶段。因此，有必要深入研究雄安新区建设数字化典型实践，探索出有价值的理论贡献和实践启示。

4.3 数字技术赋能建筑业产业链升级路径

在构建数字技术输出能力的基础上，通过使建筑设备智能化，支撑建造操作和建造管理智能化功能落地，可以有力地推动建筑业整体效率和质量提升。

4.3.1 构建建筑业专属的数字技术底座

建筑业数字技术底座由云平台、物联网平

台、BIM技术和GIS系统以及由上述技术组合和互动所形成的CIM平台构成，各子技术之间频繁互动、互相支撑、组合发力才能实现以CIM为核心技术的建筑业数字技术功能。其中：（1）云平台是云计算为核心技术所构建的云存储和计算平台，它是数据技术功能实现的基础。BIM平台提供的建筑设计图纸、建筑设计修改与审批留痕、建筑实体的二维虚体数据等、物联网设备采集的建筑场地环境、建筑进度与过程管理、建筑材料安装与位置等数据、GIS系统提供的建筑场地地理环境数据等及综合使用上述三部分数据由CIM平台所形成的建筑实体的三维虚体数据等多渠道数据均需要在云平台上进行存储、运算、分析和调用；（2）物联网平台是实施数字孪生技术的关键。正如技术总监所述：“如果没有物联网平台针对建筑物环境与建设变化信息的采集和收集，就无法构建实体二维、三维一体化的建筑底图”，无法跟进建造进度，监控施工现场问题等。因此，物联网是数据收集和传输功能实现的关键技术；（3）GIS系统负责提供地理信息，BIM技术负责通过一一映射将实体构建成虚体模型，综合物联网采集的信息，共同从数据服务、功能服务和场景应用等方面为CIM技术平台提供可视化、动态化、精细化的建设项目全生命周期管理服务功能。

4.3.2 打造数字技术支撑下的智能建造功能体系

在建筑业数字技术底座体系支撑下，CIM平台融合BIM模型、GIS系统、规划地图、三维倾斜影像等多元异构数据，可以为建设方、施工方、管理方提供包括建设立项、建筑设计、建筑规划、审核批复、建筑施工、竣工验收等在内的建设管理全生命周期数字化管理服务。在建筑业产业链上，建设规划与设计、建筑施工管理是保障建筑业高质量发展的关键节点。

辅助建筑设计功能是指在CIM等数字技术支持下，为区域多建筑单体规划和单体建筑设计提供便捷、高效、精准的建设规划与建筑设计能力的功能。在建设规划设计阶段，从区域多建设项目角度看，雄安新区大规模高质量建设协同的主要

难题之一是技术协同。正如数字城市建设负责人所述：“某片区建设存在委办各局、指挥部等管理方，共计148个施工单位和5个建设方（投资方），统筹9个项目同时规划建设，在建设规划与单体建筑设计时，要考虑大市政、小市政和建筑内部的供水、排水、污水、可再生水、中水、雨水等水利管道，供热、燃气、弱电管线、通讯管道等整体设计布局。”可见，协同如此之多的不同建设单位和施工单位进行规划与设计是道难题。CIM平台通过融合各方建设规划与设计图，以三维方式进行展示，而后管理方和建设方可以根据规划的合理性调整规划与设计各方的设计冲突位置，并同步于CIM平台供各方单位研讨、修改和完善，以避免设计冲突造成建设规划设计反复修改，进而造成工程建设停滞、返工等问题。这将有利于参建各方高效地完成规划设计底图，也有利于管理方进行精准的审核和批复，有效提高项目建设进度和质量。从单体建筑项目角度看，辅助建筑设计功能多用于预判工程建设过程中的碰撞点，也就是进行事前碰撞分析，以避免施工工时序乱序，进而促进施工效率提升。

优化施工管理功能是指在CIM等数字技术支持下，为区域多建筑单体规划和单体建筑设计提供精准的施工模拟、施工检查、碰撞分析和指挥调度功能。其中：施工模拟可以分为施工前模拟和施工后模拟，但是均基于区域多项目建筑单体或单一建筑主体的BIM数据、倾斜摄影模型数据和管廊数据、建筑内部材料部件等数据采集和更新条件下所构建的高精度三维模型建设底图。根据建设底图，参建各方可以通过CIM平台在施工前进行交互碰撞分析，指导工程建设现场施工秩序和时序安排；施工开始后，各参建方可以在CIM平台实时查看工程建设现场施工进度，正如技术总监所述：“比如实体楼盖到三楼，在数字空间当中，施工模拟也是（盖到）三楼，它是一个同步的交流、互相影响的过程。”这就实现了建设项目施工后的数字孪生技术条件下的动态（施工）模拟，便于参建各方在建设过程中统筹协调，共同推进项目建设，保障项目质量；（2）施工检查主要是检查工程建设过程中

建筑部件之间的碰撞点或未衔接状态。碰撞点来源于区域内多专业的隶属于多个建设单位的多个施工方之间的交叉作业，即主要源自于各方之间的组织协调难度。通过CIM平台可以检查施工建设过程中诸如各类管道管线高程冲突、道路与灯杆安装时序颠倒或大小市政管道管线未衔接等工程问题，以便快速响应，组织和统筹建设协调，更加合理地安排施工时序，加速工程进度，并避免工程建设失误所造成的质量瑕疵与成本损失；（3）碰撞分析是基于施工检查结果展开的碰撞点分析，属于施工监测中的重要环节，也是指挥调度和安全质量保障的重要手段。它以各项建设进度和实景数据为基础，通过CIM平台集成的BIM引擎分析功能，可以实现碰撞分析自动化，自主生成碰撞分析报告，可以作为建设方管理者进行辅助决策和指挥调度的重要参考；

（4）指挥调度是基于工程建设中施工模拟、施工检查与碰撞分析结果，以CIM平台整合工程建设现场三维实景、BIM数据、正射影像等二三维数据模型后所呈现的工程建设现场实景为主要技术手段，辅以CIM平台空间分析工具，对施工现场的车辆、人员、物料的进出场调度以及整体项目进度和质量等进行全方位的协同管理。具体讲，通过CIM数据模型融合物联网、实时视频的动态数据，以三维可视化模型叠加视频流的形式动态呈现工程施工建设的进度，辅以CIM平台已经整合的施工场地“过去式”数据模型，可以实现智能分析对比过去与现在的场地模型变化的功能；同时，建设方、施工方、监理方等各参建主要单位也可以在CIM平台提供的全要素模型上对建设工程问题进行三维实景可视化形式的标记与标绘，精准展现工程建设实际问题。在此基础上，建设管理单位可以根据施工模拟、检测检查、碰撞分析与实时标注的工程建设问题，进行远程工程协调与调度，实现建设全过程协同作业管理，以此提高工程建设的速度与质量，优化建造综合成本。

4.3.3 实现智能建造功能推动下的建筑业升级

建筑业升级的目标是以建造质量为核心的，即无论建筑业产业链的哪一个节点升级都要以服

务建造质量提升为核心目标。正如项目经理所述：“我觉得，高质量建设就是在既定时间和成本预算内，保障好（建筑）质量。”此外，数字技术赋能建筑业升级还需关注建设运行效率、工程质量、安全保障和绿色环保等目标。数字孪生技术的CIM应用平台具有智能建造功能，它可以对辅助建筑设计和优化施工管理两个建筑业产业链关键节点进行赋能，有效解决建设过程中的技术协同和组织协同难题。

从解决技术协同难题推动建筑业升级视角看，一方面，辅助建筑设计功能可以避免由建筑设计或规划中的建设工时序冲突和交叉碰撞所造成的“施工打架”或“施工错误”等问题。这样不仅减少了项目建设返工情况，减少了材料、人工和时间成本，而且可以有理有据地安排工作时序，加快项目建设进度，进一步保障工程建设质量。另一方面，使用“施工模拟+检查监测+碰撞分析”功能，可以有效针对工程建设开工之前和建设之中防止施工工序混乱所造成的工程进度安排不合理等错误，或者多方交叉作业导致的管线管道管廊等建筑设施冲突等问题，提出精准、高效、管用的解决方案。这样不仅可以提高建设作业效率，避免返工后人员和物料投入，降低工程造价，还能提高建筑质量，避免安全事故的发生。正如现场工作人员所述：“我们碰到最恶劣的事情就是他直接把管子挖断了。如果有CIM平台，它的价值将是防患于未然的价值，避免挖到管道，就能避免损失几万块钱”。可想而知，如果挖断燃气管道，不仅工程建设进度和质量不能保证，还要投入大量人力物力保障施工现场人员的人身财产安全，则必将使工程成本陡然增加。因此，虽然工程建设中的安全控制能力所创造的价值是隐性的，但是也要将其纳入建筑业产业链升级目标。

从解决组织协同难题推动建筑业升级视角看，指挥调度功能的价值在于建设项目全过程管理效率的提升。以辅助建筑设计功能为基础，以“施工模拟+检查监测+碰撞分析”功能为核心，在三维立体建设施工场地实景中运筹帷幄，组织管理方、建设方（投资方）、施工方等多方面人员共同协作，安

排工时序、解决碰撞点、调度人车物等，在全过程中降低施工方人工和物料成本，降低管理方和建设方人员投入，提高各方管理效率，以进一步加快工程进度。通过组织方式变革，不仅开启了建设项目全过程管理新的运营模式，带动整个组织运转效率提升，而且产生了跨组织协同效应，提高了包含设计、规划、建设和监督在内的建筑业全产业链的管理效率。正如数字城市建设负责人所述：“使用CIM技术平台之后，房屋建设进度平均提高约22.38%，道路建设进度则提升增幅更大，平均提高44.50%。”

4.4 数字技术赋能建筑业升级的机制

4.4.1 数字技术赋能建筑业升级的条件机制

当前，在数字技术赋能领域的既有文献认为，促进数字经济与实体经济深度融合需要3个条件，即构建数字化条件下的产业生态和新型制造模式，推动数字产业化发展和产业数字化发展，深化数字技术的制造业应用（任保平和李培伟，2022）[4]；此外，数字赋能需要3个支撑，即数据的可得性，数据的有效利用，合理分配数据价值（徐梦周，2022）[46]。然而，对于数字技术赋能建筑业领域，既有文献还未曾就赋能条件进行理论解释。本文发现促使数字技术与建筑业深度融合需要多方面支持，主要包括政府支持、场景支持、企业支持、技术支持等4个方面。具体是：（1）政府支持方面，政府需要敢于尝试和探索数字技术在建筑业应用实践，同时，要在政策规制、制度约束、标准体系建设等方面为数字技术输出企业、建设（投资）企业和施工企业提供支持，发挥政府顶层牵引和组织协调作用；（2）场景支持方面，是指需要为应用数字技术提供单体建筑或多项目建筑区域。如果没有建筑场景或者没有建设数字孪生城市的诉求，就不具备实施建筑业数字技术的场景条件；（3）企业支持方面，从数字技术供给端看，数字技术输出企业的技术能力需要适应或满足建设场景要求；从数字技术需求端看，建设方（投资方）具有采用数字技术推动建设管理能力提升、保障建筑质量、控制建造成本和风险的

需求,施工方也能积极配合建设方在建设管理中引入数字技术,并有意愿和能力增加数字技术使用资本、人才和设备投入;(4)技术支持方面,主要包括技术人才支持和数据基础支持2个关键点。技术人才保障是数字技术应用于建筑业的关键,主要包括技术供给端所需的大数据、无人机驾驶、物联网、云计算、编程、人工智能等技术人才,这些人才是技术输出的保障团队;技术需求端所需的是技术应用与智能建造复合型人才,这些人才是技术应用的保障团队。此外,数据能力是数字技术应用于建筑业的核心能力,而数据标准是数据能力构建的基石。由于基于数字孪生技术建设的CIM平台需要统一格式、统一时空基准、统一编码能力的数据库,但是,不同的施工方采用的数据格式不同,以及BIM数据、GIS数据、项目建设业务数据等数据是多源异构性数据。因此,为保障CIM平台功能实现,需要建立数据格式要求标准,该数据标准不仅要满足多源异构数据在采集、传输、存储、处理以及跨网跨平台交换和共享全生命周期的使用要求,还要满足数据安全保障要求,保障CIM平台有效、精准、安全地发挥功能。

4.4.2 数字技术赋能建筑业升级的过程机制

数字技术赋能建筑业产业链节点升级机制。具体是:第一,在技术打造与功能构建节点方面,搭建云网作为建造过程数据存储、计算和调用的平台,通过传感器、无人机等设备及GIS系统为建筑模型构建提供动态数据,而后按照建筑物实体与虚体一一映射的原则,通过BIM、CIM技术构建建筑二三维一体化模型和视图,结合建造过程不断积累的实体数据、虚体分析数据等,为智能建造的规划设计、施工模拟、施工检查、施工监测、施工协调、指挥调度、竣工验收等建设项目全生命周期提供精准高效的服务。第二,在设计节点方面,在建筑设计过程中,建筑师明确设计任务书,通过个人分析确定设计目标,再进行资料收集后,设计多个候选方案,而后通过客户及专家验收确定最终方案。在这个过程中,数字技术可以发挥人机互动优势,设计师在三维空间中视图,有利于其突破设

计惯性,提高创意性和准确性及创作效率;此外,多工种设计人员可以同步以可视化方式在同一视图下进行设计与修改,以加快从方案到施工图的落地速度。在规划过程中,各建筑主体设计单位、审批单位和建设单位均在同一视图下协同,加之碰撞分析与施工模拟功能的助力,可以有效提高各单位协作性,减少施工建造损失,有利于实现建设过程的高效运作与绿色集约效果。第三,在施工装配节点方面,在以数字技术底座支撑下所构建的CIM平台上可以实现优化施工管理功能,在CIM平台上可以协同多组织参与施工管理全过程,在可视化场景下动态观察建造进度和现场情况,并结合规划和建设现场的实时数据进行大数据分析,通过施工进度监测,优化施工工时序安排;通过施工要素定位与分析,发现施工建材调度运输与安装建造错误,优化工程建设现场布局,提高工程建设资源分配效率;通过施工安全监测,避免建设过程人物料等管控风险。这样可以推动数字技术全面渗透与应用于建设项目全生命周期管理之中,从而赋能建筑业产业链水平整体提升。

数字技术赋能建筑业产业链节点上企业价值创造机制。具体是:第一,在建筑设计节点方面,建筑规划与设计企业采用数字技术后,通过可视化图像或模型展示,可以更高效地与客户互动,更有效地满足客户对规划与设计的需求,在设计效率和创新性上将有大幅度提升。这可以为客户提供更高质量的规划与设计服务,加速生产价值增值。第二,在施工装配节点方面,建筑施工企业应用数字技术,可以按照施工调度更加合理地安排施工要素调度、物流路线和工人部署;同时,在建筑材料安装过程中,可以更加合理地安排工序,并且在整体施工过程中在可视化中把控质量和安全事故风险,进而提高建筑施工总体作业效率,加快工程进度,降低要素消耗,控制建设成本,实现整体运营效率提升,即在更少的劳动时间内获取更高的利润。此外,建设投资企业作为建筑甲方单位,工程监理企业作为监理单位,由于在应用建筑业数字技术后,能够使监理过程可视化,提高监理水平;建设工期缩短与建筑品质提升意味着高质量的实体建

筑可以早日通过验收并投入使用，进而使投资企业尽早获益。因此，它们非常乐于推动建筑施工企业和数字技术企业协同与双赢。第三，在数字技术科研创新节点方面，数字科技企业可以通过向建筑规划与设计、建筑施工企业等产业链节点上企业，以及政府相关部门推广建筑业数字技术产品，为其提供数据收集与挖掘分析、以数字孪生技术为基础的定制化运营等服务而获取收益，实现技术创新为驱动力的数字产业化发展。由此可见，在数字技术赋能下，新型建筑业产业链节点上企业均实现了由技术驱动的效率提升和价值创造，充分契合产业数字化和数字产业化发展推动经济高质量发展与现代产业体系建设的路径。

4.4.3 数字技术赋能建筑业升级的效果测度

从正向测度角度分析，既有文献认为，建筑业的效益性、创新性、绿色性、协调性和共享性水平是数字技术赋能建筑业升级的目标；建筑业的转型升级效果可以用资源有效利用水平（产值综合能耗）、技术升级产出水平（工艺技术水平）、可持续盈利能力（资产使用效率）、可持续发展能力（社会贡献值）等指标进行衡量（冷超，2021）[47]。从反向测度角度分析，黄奇帆认为，当前建筑业产业数字化存在3个主要障碍：一是建筑业所涉及产业链（整个项目周期中各工程建设环节）较长且参建方众多；二是工程项目施工工程队众多，造成管理颗粒度不统一条件下的信息化手段失灵；三是由于BIM、人工智能、大数据等技术协同难。因此，数字技术难以单独在建设项目全流程中发挥作用（黄奇帆，2021）[48]。从反向思考可知，在项目建设过程中众多参建方、施工工程队伍等团队的组织协同程度水平较高的条件下，使数字技术渗透于项目工程建设全生命周期管理之中并发挥技术协同作用，就能使建筑业产业数字化取得长足发展赋能建筑业升级。

雄安新区通过应用数字技术打造数字技术辅助设计功能与优化施工管理功能，使其在项目建设全生命周期中发挥正向作用，主要体现在“4个避免、4个提高”上，即：避免多轮设计修改，提

高设计创新性和设计效率；避免停工返工、工时序乱序等，提高工程项目建设速度；避免工程建设失误，提高整体建筑质量；避免现场协同时效低和协同难，提高组织协同效率。由以上“4个提高”所引致的建筑业产业链上产生的“2个降低、2个提升”的产业链升级效果，即人工物料等成本投入降低、工程建设与安全风险降低、资源调动与配置效率提升、工程建设速度与组织效率提升。

综上所述，建筑业升级的效果测度主要包括4个指标，即绿色的资源利用效率、全面的管理协同创新、有效的融合技术输出、精准的施工管理过程。具体讲，绿色的资源利用效率体现在资源的高效利用率上，呈现资源配置优、消耗低的特点；全面的管理协同创新体现在管理方式不断变革以适应建筑业数字化转型发展与管理要求，呈现跨组织协同效率持续提升的特点；有效的融合技术输出体现在多种数字技术围绕建筑业核心数字技术进行融合，并且融合后的技术体系能够形成建筑业数字技术底座，输出能力呈现出“1+1>2”的技术协同效应；精准的施工管理过程体现在以统筹组织协同与技术协同为基础，实现信息共享与智能分析，在打破信息孤岛条件下使众多的参建单位均可以实时、精准、高效地以可视化方式对建设项目的全生命周期进行施工管理，呈现精准分析、精准决策、精准调度的项目建设管理特点。

5 结论、启示与展望

本文通过对建筑业数字技术在雄安新区大规模高质量建设中应用的典型实践进行案例研究，构建数字技术赋能建筑业升级模型，并阐释了数字技术赋能建筑业升级的路径和机制，得到如下研究结论与实践启示。

5.1 主要结论

基于“条件—行动—结果”的分析逻辑，研究发现，通过构建建筑业专属的数字技术底座，打造数字孪生技术为核心的智能建造功能体系，可以将数字建造功能应用于建设全生命周期管理之中，进而推动建筑业产业链整体升级。首先，要以

数字孪生技术为核心,融合大数据、物联网、云计算、BIM、GIS等新一代信息技术,构建起一个可以为建设项目全过程管理提供数据服务、功能服务和场景服务的应用型技术——CIM平台;其中,数据技术是CIM技术应用的基础保障,需要在建立统一的数据标准基础上,准确、完整、动态地采集、传输和存储数据以保障高质量的大数据运算,为建设管理决策提供科学有效的支持。其次,要在建设规划与设计、建筑施工管理这两个保障建筑业高质量发展的建筑业产业链的关键节点上,发挥CIM平台辅助建筑设计功能和优化施工管理功能,即在建设全生命周期管理过程中,植入以数字技术为基础所输出的工程设计与规划、施工模拟、施工监测、施工检查、碰撞分析与指挥调度等功能,以破解大规模高质量建设的组织协同与技术协同难题,使建筑业产业链实现效率改进、成本优化、安全控制、质量提升的升级效果。最后,从微观视角所揭示的机制是,若要使数字技术与建筑业深度融合,需要满足政府支持、场景支持、企业支持与技术支持等条件,围绕为智能建造全生命周期管理提供精准高效服务的核心要义,从“赋能节点”和“赋能企业”两个方面植入“可用且管用”的建筑业数字技术,在人机互动的模式下,提高建筑设计效率与创新性,加速建筑底图成型,并通过智能分析与决策、施工监测与指挥调度等功能,提高组织协同与技术协同的统一性,实现资源配置优化、施工进度加速、综合成本降低、绿色集约发展等工程项目高质量建设目标,从而推动建筑业产业水平整体提升。

5.2 实践启示

数字技术日益完善,功能应用日渐深化,在建筑业领域应用数字技术的关键是,需要一个具有领导力的组织进行顶层设计,融合创建建筑业数字化转型技术底座,推动数字技术企业、建设投资企业与建筑施工企业等多类型单位共同打造数字化技术体系建设与建筑业数字技术功能,并由此保障数字技术落地有效,功能实用。因此,政府需要从顶层设计、资金投入、组织协调与沟通等多方面发挥

作用,促使数字技术体系构建与技术产品应用。这是实现数字技术赋能建筑业升级的关键推动力。此外,应重视智能建造全生命周期数据,它是建筑业数字技术实现的基础。没有建造过程中可靠、准确和实时的数据收集,没有统一的数据结构标准,没有安全的数据保密运转机制,就不可能实现以数据为基础的可视化技术地图、建造过程实时场景、智能分析决策支持以及综合指挥调度等功能。在数字赋能建筑业的过程之中,会因技术协同而推动组织协同,改变整体组织方式和管理模式。因此,建筑业数字化转型发展伴随着信息协同下的管理模式变革。所以,若要实现数字技术赋能建筑业升级,要采用以客户为中心、以链接建筑业产业链节点上各参与方为必要手段的管理模式,打通供应链上下游各参与方,使其互动互联互促;同时,要协同建造过程中人流、物流、信息流,从而提升产业链各节点及节点上企业价值,才能在挖掘数据要素价值条件下实现数字技术赋能建筑业升级效果。

5.3 研究局限与展望

本文采用案例研究法等研究方法,针对数字技术赋能建筑业升级开展探索性研究,可能存在案例特点过于突出,导致现有结论的普适性不足的问题。未来可以通过丰富研究样本,在考虑数据可得前提下,进一步通过案例研究、经验分析等多种研究方法进行拓展研究,继续充实微观视角下的数字经济与实体经济融合发展的研究。

参考文献

- [1] 习近平.不断做强做优做大我国数字经济[EB/OL].(2022-01-15)[2022-02-01]http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2022-01/15/c_1128261632.htm.
- [2] 左鹏飞,陈静.高质量发展视角下的数字经济与经济增长[J].财经问题研究,2021(09):19-27.
- [3] 任保平,李培伟.数字经济培育我国经济高质量发展新动能的机制与路径[J].陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2022,51(01):121-132.
- [4] 邝劲松,彭文斌.数字经济驱动经济高质量发展的逻辑阐释与实践进路[J].探索与争鸣,2020(12):132-136+200.

- [5] 胡西娟, 师博, 杨建飞. 数字经济优化现代产业体系的机理研究[J]. 贵州社会科学, 2020(11): 141-147.
- [6] 姜兴, 张贵. 以数字经济助力构建现代产业体系[J]. 人民论坛, 2022(06): 87-89.
- [7] 陆岷峰. 新格局下强化数字技术与实体经济融合发展路径研究[J]. 青海社会科学, 2022(01): 82-91.
- [8] 郭晗. 数字经济与实体经济融合促进高质量发展的路径[J]. 西安财经大学学报, 2020, 33(02): 20-24.
- [9] 宋义明, 张士海. 数字经济与我国经济高质量发展[J]. 中国高校社会科学, 2022(02): 148-153+160.
- [10] 住房和城乡建设部. “十四五”建筑业发展规划[EB/OL]. (2022-01-19) [2022-02-01] http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/27/content_5670687.htm
- [11] 丁希莹. 现代建筑设计方法的数字技术智能化发展[J]. 建筑与文化, 2013(02): 104-105.
- [12] 刘占省, 孙佳佳, 杜修力, 李久林, 张安山. 智慧建造内涵与发展趋势及关键应用研究[J]. 施工技术, 2019, 48(24): 1-7+15.
- [13] 前瞻产业研究院. 2019年中国大数据产业全景图谱[R]. 中国: 深圳, 2019.
- [14] 刘占省, 刘子圣, 孙佳佳, 杜修力. 基于数字孪生的智能建造方法及模型试验[J]. 建筑结构学报, 2021, 42(06): 26-36.
- [15] David Jones, Chris Snider, Aydin Nassehi, Jason Yon, Ben Hicks. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review[J]. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2020, 29(Part A): 36-52.
- [16] 张学堃, 罗云山. 数字孪生在智能建造中的应用探究与实践[J]. 重庆建筑, 2021, 20(S1): 73-76.
- [17] 孙洁, 龚晓南, 张宏, 苏星. 数字化驱动的建筑业高质量发展战略路径研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(04): 56-63.
- [18] 陈长. 数字化赋能新时代金融供给侧结构性改革: 逻辑、特征与路径[J]. 西安财经大学学报, 2022, 35(02): 50-61.11
- [19] 史宇鹏. 数字经济与制造业融合发展: 路径与建议[J]. 人民论坛·学术前沿, 2021(06): 34-39.12
- [20] 李春发, 李冬冬, 周驰. 数字经济驱动制造业转型升级的作用机理——基于产业链视角的分析[J]. 商业研究, 2020(02): 73-82.13
- [21] 李颖, 贺俊. 数字经济赋能制造业产业创新研究[J]. 经济体制改革, 2022(02): 101-106.14
- [22] 刘占省, 史国梁, 孙佳佳. 数字孪生技术及其在智能建造中的应用[J]. 工业建筑, 2021, 51(03): 184-192.
- [23] Liu M, Fang S, Dong H, et al. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2021(58): 346-361.
- [24] Khajavi S H, Motlagh N H, Jaribion A, et al. Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries, and Creation for Buildings[J]. IEEE Access, 2019(7): 147406147419.
- [25] 李浩, 王昊琪, 刘根, 等. 工业数字孪生系统的概念、系统结构与运行模式[J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27(12): 3373-3390.
- [26] 麦肯锡全球研究院. 数字时代的中国: 打造具有全球竞争力的新经济[R]. 中国: 北京, 2017.
- [27] 孙轩, 单希政. 智慧城市的空间基础设施建设: 从功能协同到数字协同[J]. 电子政务, 2021(12): 10.
- [28] 孙洁, 龚晓南, 张宏, 苏星. 数字化驱动的建筑业高质量发展战略路径研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(04): 56-63.
- [29] 芮明杰. 构建现代产业体系的战略思路、目标与路径[J]. 中国工业经济, 2018(09): 24-40.
- [30] 刘佳骏, 李晓华. 中国制造业对外直接投资对产业链现代化的影响及应对[J]. 经济纵横, 2021(12): 58-66.
- [31] 温源. 以产业链现代化为基础构建现代产业体系——访中国社科院经济研究所所长黄群慧[N]. 光明日报, 2020-11-05.
- [32] 蔡乌赶, 许凤茹. 中国制造业产业链现代化水平的测度[J]. 统计与决策, 2021, 37(21): 108-112.
- [33] 王迪生. 建筑业数字化转型升级的思考[J]. 数据, 2021(12): 26-28.
- [34] 毛超, 张路鸣. 智能建造产业链的核心产业筛选[J]. 工程管理学报, 2021, 35(01): 19-24
- [35] 王莉, 李慧民. 建筑业高质量发展水平测度及路径选择——以陕西省为例[J]. 建筑经济, 2020, 41(09): 24-28
- [36] Bresnahan T. F., Trajtenberg M. General Purpose Technologies: “Engines of Growth” ?[J]. Journal of Econometrics, 1995(65): 83-108.
- [37] Jorgenson D. W., Stiroh K. J. Information Technology and Growth[J]. American Economic Review, 1999, 89(2): 109-115.
- [38] Jorgenson D. W.. Information Technology and the U. S. Economy[J]. American Economic Review, 2001, 90(1): 1-32.
- [39] Acemoglu D., Restrepo P.. The Race Between Machine and Man: Implications of Technology for Growth, Factor Shares and Employment [R]. NBER Working Paper, 2016, No 23077.

- [40] David P. A. , Wright G.. General Purpose Technologies and Surges in Productivity: Historical reflections on the future of the ICT revolution [R], 1999, University of Oxford Discussion Papers in Economic and Social History.
- [41] Bartel A, Ichniowski C. , Shaw K.. How Does Information Technology Affect Productivity? Plant level Comparisons of Product Innovation, Process Improvement, and Worker Skills [J]. The Quarterly Journal of Economics, 2007, 122 (4):1721-1758.
- [42] Ketteni E.. Information Technology and Economic Performance in U. S. Industry [J]. The Canadian Journal of Economics, 2009, 42 (3):844-865.
- [43] 蔡跃洲,陈楠.新技术革命下人工智能与高质量增长、高质量就业[J].数量经济技术经济研究,2019,36(05):3-22.
- [44] 刘炳胜,王敏,李灵,王然,孟俊娜.中国建筑产业链两阶段综合效率、纯技术效率、规模效率及其影响因素[J].运筹与管理,2019,28(02):174-183.
- [45] 杨仕文,徐霞,王森.装配式混凝土建筑产业链关键节点及产业发展驱动力研究[J].企业经济,2016(06):123-127.
- [46] 徐梦周.数字赋能: 内在逻辑、支撑条件与实践取向[J].浙江社会科学,2022(01):48-49.
- [47] 冷超. 技术创新视角下建筑业转型升级影响因素作用路径研究[D].西华大学,2021.
- [48] 黄奇帆.聚焦“双循环”格局下建筑产业数字化发展[J].建筑,2021(22):14-16

