

数字化驱动的建筑业高质量发展战略路径研究

孙洁, 龚晓南, 张宏, 苏星
(浙江大学建筑工程学院, 杭州 310058)

摘要: 我国建筑业多年来保持着强劲的发展态势,但在效率、质量、安全、环境保护等方面依然存在提升空间;借助于新一轮工业革命浪潮,通过数字化科技创新将驱动我国建筑业转型升级,实现建筑业高质量发展。本文综合运用文献综述、专家访谈、问卷调查等研究方法,在梳理数字技术与建筑业变革之间关系的基础上,分析了建筑业数字化科技创新的发展现状;从政府部门、参与机构、市场环境3个层面分析归纳了我国建筑业数字化科技创新驱动的生态要素,提出了数字化科技创新驱动我国建筑业高质量发展的战略路径。本文可为推动实现数字化科技创新基础上的我国建筑业高质量发展提供政策建议和实施框架。

关键词: 建筑业; 数字化; 科技创新; 高质量发展
中图分类号: TU712 **文献标识码:** A

Strategic Path for High-Quality Development of Construction Industry Driven by Digitalization

Sun Jie, Gong Xiaonan, Zhang Hong, Su Xing

(College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: China's construction industry has maintained a strong momentum of development these years; however, it still requires improvement in terms of efficiency, quality, safety, and environment protection. China's construction industry is expected to be transformed and upgraded through digital science and technology innovation, thereby achieving high-quality development. Research methods used in this study include literature review, expert interview, and questionnaire survey. In this article, we first summarize the relationship between digital technology and construction industry transformation and analyze the development status of digital science and technology innovation in the construction industry. Subsequently, we summarize the ecological elements that drive the digital science and technology innovation of the construction industry from the perspectives of government departments, participating organizations, and market environment. Furthermore, we propose strategic paths to drive the high-quality development of the construction industry by means of digital science and technology innovation. This study is expected to provide policy recommendations and an implementation framework for the high-quality development of the industry.

Keywords: construction industry; digitalization; science and technology innovation; high-quality development

收稿日期: 2021-04-12; 修回日期: 2021-06-07

通讯作者: 张宏, 浙江大学建筑工程学院教授, 研究方向为工程管理; E-mail: jgzhangh@zju.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)

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

一、前言

改革开放以来,我国建筑业一直保持着强劲的发展态势,产业规模和体量不断增大并带动众多关联产业的发展,为我国经济发展与社会进步做出了突出贡献。随着新一轮科技革命朝向纵深发展,以人工智能、大数据、物联网、第五代移动通信、区块链等为代表的新一代数字技术加速向各行业全面融合渗透。在工程建设领域,发达国家相继发布了基于数字技术的建造业发展战略,如《基础设施重建战略规划》(美国)、“建造 2025”战略(英国)、“建设工地生产力革命”战略(日本)等 [1]。科技创新是我国建设科技强国的重要战略,是实施“中国智造”的核心内涵 [2],我国也在积极布局建筑业高质量发展。2020 年,住房和城乡建设部等 13 个部门联合印发的《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》指出,推动智能建造与建筑工业化协同发展是促进建筑业转型升级、实现高质量发展的必然要求。国家“十四五”规划提出,加快数字化发展,建设数字中国,坚持创新驱动发展,完善科技创新体制机制,发展智能建造。与发达国家相比,我国建筑业的发展还存在不小差距,迫切需要通过数字化建设来打造“中国建造”升级版,提升企业核心竞争力,实现建筑业转型升级和高质量发展。因此,运用数字化科技创新来驱动建筑业高质量发展,成为我国建筑业面临的重要机遇和挑战 [3]。

相关学者就制造产业结构升级、区域经济高质量发展、与科技创新特别是数字化科技创新之间的影响关系进行了分析,就发展路径、动力机制、政策工具等进行了系统探讨 [4~9]。针对我国建筑业高质量发展路径和评价,相关研究已有开展并提出了概念性发展路径 [10,11]。国外一些学者对有关建筑业数字化转型趋势和建筑业高质量发展策略进行研究:梳理了建筑业 4.0 概念以及数字化技术类型 [1],分析了物联网、建筑信息建模(BIM)和其他数字技术对数字化建筑业、建筑业 4.0 的赋能作用 [12],分析了工业 4.0 对建筑业 4.0 概念的影响并指出当前数字技术在整个建筑业的应用和成效还相当有限。整体来看,现有研究较少涉及我国建筑业高质量发展与数字化科技创新之间的影响关系,通过数字化科技创新驱动我国建筑业高质量发展的

宏观路径研究也属缺乏。

受限于建造过程的复杂性、不确定性和碎片化等特征,目前我国建筑业仍处于粗放式发展状态,生产方式粗放、劳动效率不高、能源资源消耗较大等问题依然突出,同时存在建筑业的工业化、信息化水平较低,科技创新能力不足等问题,亟需实施建筑业发展的结构性变革 [1]。本文结合“十四五”规划、“中国建造 2035”框架中的数字时代建筑业科技创新发展宏观目标,总结发展现状,梳理生态要素,提出发展路径。

二、我国建筑业数字技术发展变革与现状分析

(一) 我国数字技术与建筑产业变革

基于计算机辅助设计(CAD)、BIM、区块链、数字孪生等技术及其融合集成的科技创新成果,为建筑业实现智能建造提供了基本平台和关键功能,将推动建筑业的数字化转型升级。① 20 世纪 70 年代,国外建筑业已经开始将 CAD 技术商用化,而该技术在中国的普及较为滞后,直到 20 世纪 80 年代末期才被引入;20 世纪 90 年代末,CAD 软件在甲级设计院的出图率已达 80%,该技术的普及促进了我国建筑业的信息化变革 [14]。② 21 世纪初,我国开始引入 BIM 技术,在冲突检测、进度管控、安全管理方面发挥了重要作用,该技术的可视性、协调性、模拟性提升了建造效率,降低了建设成本,成为推动建筑业数字智能变革的关键技术 [15];2010 年之后,结合 BIM 的虚拟现实、增强现实、混合现实技术在工程项目可视化、协同合作、安全监控、运营维护中得到应用;2010 年前后,建筑业开始应用物联网和云计算技术,主要是结合其他数字技术(如 BIM 等)应用于建筑项目的施工现场安全监控、进度监控和运营维护等 [16]。③ 区块链作为构建智能合约和智能追溯机制的核心技术,可用于建设项目利益相关者明确彼此责任,推动建筑业健全诚信体系 [17]。④ 数字孪生技术充分利用各类数据,将现实物体在虚拟空间中完成映射,实现物理系统的实时智能监控,是工业 4.0 的技术架构、智能建造的参考框架 [12]。⑤ 涉及视频识别和机器学习的大数据分析技术,极大提升了建筑业海量信息的实时处理和知识挖掘能力 [18]。

(二) 我国建筑业数字化科技创新的发展现状

纵观建筑业数字技术的发展历程可以发现,数字化技术的引入和应用与建筑产业变革密切相关[2],特别是CAD技术革命性地变革了设计方式,提升了建造效率和质量。然而,尽管我国建筑业发展举世瞩目,各类数字化技术在建设工程设计、施工、运营维护方面已得到广泛应用,我国建筑业数字化科技创新发展方面仍存在诸多问题。建筑业整体数字化水平在我国22个行业中排在最后一名,数字化水平比冶矿业、农业等都低[19]。建筑业数字化科技水平偏低的现状,在一定程度上阻碍了我国建筑业高质量发展和转型升级目标的实现。

1. 数字技术与建筑业高质量发展和转型升级的关联性差

数字技术在我国建筑业中获得广泛应用,特别是BIM技术,已在我国建筑业中普及,但这些技术与我国建筑业高质量发展和转型升级目标之间的关联性偏低。目前,我国建筑业在数字化科技成果应用方面存在为了使用而使用、仅为了工程项目投标立项而使用的现象,未能从根本上提升工程项目效率、质量、安全和环境保护的水平;尚未在数字化科技创新成果供给和建筑业高质量发展需求之间建立良性互动关系,缺乏合理反映建设工程项目绩效的数字化科技创新成果评价体系和机制。因此相关技术的应用,既没能推动数字化科技成果的创新发展,也没能通过数字化科技成果来有效提升建筑业核心竞争力并扩大建筑业产业链功能,更没能促进建筑行业的结构变革和转型升级。

2. 建筑业数字化科技创新发展战略路径缺乏

我国正在大力推动数字建造,实现建筑业的数字化科技创新发展,亟需明确的实施方案和具体的实施路径,也需要管理机构、企事业单位、科研机构的协同合作[10,11]。目前我国还没有形成以建筑业高质量发展和转型升级为目标的数字化科技创新发展战略路径。为此,应围绕建筑业数字化科技创新生态要素,鼓励开展建筑业高质量发展和转型升级的战略路径研究,为建筑业数字化科技创新发展提供具体指导方案。

3. 建筑业数字化科技创新发展生态环境尚不成熟

建筑业数字化科技创新发展需要有良好的政策环境和驱动机制,激发参与主体的积极性,通过

协同合作来推动建筑业数字技术的研发、应用和推广。然而,有关建筑业数字化科技创新的法律体系和标准规范尚未完善,通过数字化科技创新驱动建筑业高质量发展的财税、金融、人才等政策等还有待制定,激发建筑业数字化科技创新发展相关参与机构积极性与协同合作的良好政策和市场环境有待形成。整体来看,有关建筑业数字化科技创新发展的生态环境还不成熟,不利于以建筑业高质量发展为目标的数字化科技创新研发、推广和应用可持续发展。

三、我国建筑业数字化科技创新驱动的生态要素分析

实现数字化科技创新和建筑业高质量发展,需要围绕数字化科技创新与建筑业高质量发展之间的影响关系及其驱动战略路径开展理论研究,也需要优良的生态环境来促进生态影响要素之间的良性互动[10,11]。根据有关建筑业数字化科技创新发展影响要素的调研(见图1),可从政府部门、参与机构、市场环境3个层面对建筑业数字化科技创新驱动生态要素进行分析。

(一) 基于政府部门的数字化科技创新驱动生态要素分析

政府部门是建筑业数字化科技创新驱动高质量发展的规划者和引导者,通过制定相关政策、法律和标准规范,对建筑业的竞争程度、参与企业的科技创新积极性产生影响。完善的政策和法规能够推动建筑业科技创新发展,如美国、澳大利亚、欧盟等在科技创新方面已有较为完善的法律体系,与建筑业相关的数字技术研发也走在世界前列[12]。

与建筑业相关的标准和规范在一定程度上影响着建筑业的数字化程度,如知识产权法规体系的完善程度会影响建筑业企事业单位对科技创新的积极性。因此,政府有门应围绕建筑业数字化科技创新,制定和出台有关财政政策、法律、标准规范和评价体系等,在公共管理层面形成良好的建筑业数字化科技创新生态环境,驱动建筑业在数字化时代的产业变革和高质量发展。来自政府的税收减免、贴息贷款、财政补贴等形式的财政型政策,可有效促进

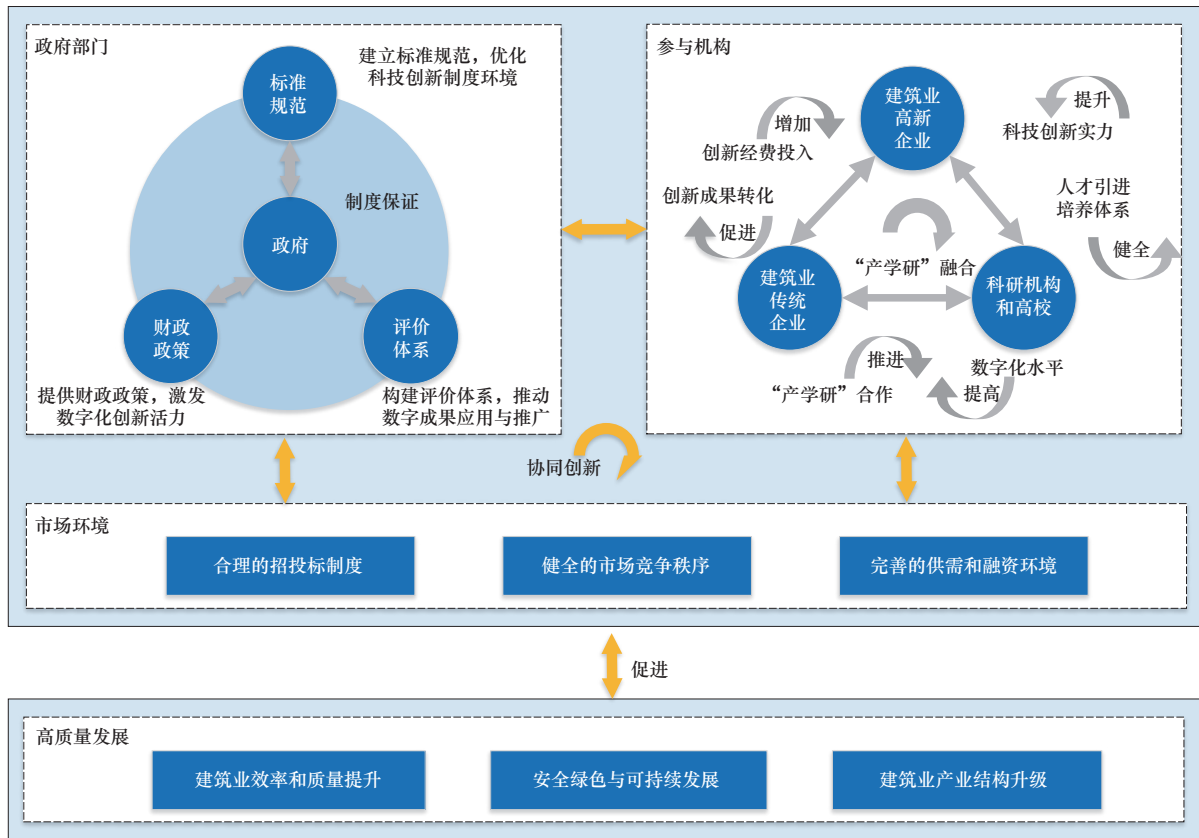


图 1 建筑业数字化科技创新驱动生态要素及影响关系

建筑业科技创新产品的研发与运用。通过规划、制定、实施相关政策，给予充分的资金支持等措施，从供给和需求两个方面对创新主体形成激励与约束，弥补仅靠创新主体自身和市场机制推动创新可能面临的不足，保障建筑业科技创新活动的持续进行。完善的评价体系是科技创新研发及应用活动稳定有序开展在保证，可以有效激发拥有建筑业科技创新能力的参与机构积极性，支持科技创新成果的研发与应用、科技创新企业资质等方面的评价判断和选择，促进有关政策和规范的落实。

（二）基于参与机构的数字化科技创新驱动生态要素分析

建筑业参与机构主要有建筑业高新企业、建筑业传统企业、科研机构、高等院校等，现有资源的合理分配情况对科技创新水平的提升至关重要。人才要素、创新投入要素是参与机构在科技创新中的重要因素，“产学研”合作程度是事关建筑业科技协同创新能力的重要方面。科技创新投入的增加，

可以提升建筑业数字技术的研发能力，推动数字化产品在建筑业的应用，最终提高参与机构的数字化水平。数字化人才是建筑业数字创新驱动的关键，而建筑业从业人员缺乏系统全面的数字化专业知识培训或技术教育，在一定程度上影响了建筑业数字创新技术的推广和应用。建筑业数字化科技创新发展需要多方协同，“产学研”合作是推动建筑业数字技术基础研究、应用研究与开发创新的关键。匹配数字技术产品的需求和供给，可以提升建筑业数字技术创新产品的实用性。因此，建筑业参与机构应从科研投入、创新人才、“产学研”合作等要素出发，促进数字化科技创新的不断推进，驱动建筑业的数字化发展和转型升级。

（三）基于市场环境下的数字化科技创新驱动生态要素分析

对建筑业市场环境而言，合理的招投标制度、健全的市场竞争秩序、完善的供需与融资环境是驱动建筑业科技创新的重要因素。建筑业科技创新成

果一般通过招投标形式来实现应用，如科技创新成果的招投标、科技创新成果应用类工程项目的招投标。建立完善的招投标制度，可以健全以建筑业高质量发展为目标的建筑业科技创新市场供需体系，有助于科技创新实现从理论到实践的跨越转换，带来建筑业科技创新市场环境的良性循环。有序的竞争秩序是市场竞争机制运行良好的体现，数字化赋能带来了新的竞争业态和交易模式，提高了建筑业市场的透明度，有助于规范建筑业科技创新技术交易过程中的行为。良好的建筑业数字化科技创新生态环境，能够促进建筑业数字化技术的研发、推广和应用，吸引数字化科技创新研发投资；同时围绕建筑业全产业链的有效需求，促进数字化科技成果（或产品）供给与需求的良性互动。因此，应从招投标制度、竞争秩序、供需环境、投融资环境等要素出发，推动建筑业数字化科技创新的规范化，激发建筑业数字化科技创新内在动力，促进建筑业转型升级与高质量发展。

四、我国数字化科技创新驱动的建筑业高质量发展路径

科技创新对社会经济发展的重要性凸显，建筑业数字化科技创新是政府部门、参与机构和市场各方面协作发展的产物。惟有具备科技创新能力，建筑业才能拥有可持续发展的动力和潜力。为此，本文从政府部门、参与机构、市场环境3个方面提出驱动建筑业数字化科技创新发展的战略路径。

（一）基于政府部门的数字化科技创新驱动发展路径

1. 完善建筑业数字化科技创新的法律法规和标准规范体系

数字化科技创新水平的不断提高，可以助推建筑业领域数字技术产品的进一步研发，而数字化科技创新发展水平与建筑业创新生态环境特别是战略路径密切相关。政府部门需进一步完善建筑业数字技术知识产权相关的法律法规体系，制定建筑业数字化科技创新人才政策，为建筑业数字化科技创新发展创造优良的制度环境；鉴别数字时代科技创新成果的特有属性，结合建筑业发展特征与趋势，制

定契合建筑业发展现状和目标的行业标准和规范。同时，促进建筑业数字化科技成果及产品的研发、推广和应用，保护相关科技创新机构或研究者的合法权益和积极性，提升建筑企业对数字化研发成果的应用动力，扩大建筑业数字化科技创新人才队伍，形成推动建筑行业数字化科技创新发展的优良政策环境。

2. 构建建筑业数字化科技创新成果评价机制和评价体系

建筑业数字化技术的不断研发和应用可以加快我国建筑业转型升级，推动行业从粗放型发展模式转向精益化发展模式 [10,11]。然而，我国建筑业数字化科技创新成果评价机制和评价体系尚未建立，制约着建筑业数字技术成果的推广与应用。为此，政府部门应牵头完善建筑业数字化科技创新成果和产品的评价体系，合理体现数字化科技成果或产品伴生的工程项目成本、工期、质量、安全、环境保护收益，精准量化数字化科技成果或产品对建筑业高质量发展的实际贡献（而不是停留在仅关注数字化技术在建造过程中的采用与否）。构建建筑业数字化科技创新成果评价机制和评价体系，还能提升有关数字化科技创新成果工程建设项目的招投标质量，切实带动建筑业的高质量发展。

3. 提供健康的建筑业数字化科技创新财政政策

在数字化科技创新驱动下的建筑业高质量发展过程中，财政政策至关重要。健康的科技创新财政政策可以提高建筑行业数字化科技创新动力，激发参与主体的积极性，带动相关创新资源的不断投入，从而改善建筑业数字化科技创新发展环境。为此，宜合理增加财政支出、适时提供财政补贴和税收优惠，发挥政府引领社会主体创新的导向作用，降低建筑业企业研发、应用数字化科技创新技术的成本与风险。一方面，可适当增加大型建设项目的数字化科技创新投入，助力建筑企业突破数字化建设水平偏低的发展瓶颈，提高数字化科技创新应用水平；另一方面，可适时提供税收优惠和财政补贴措施，激励更多企业参与建筑业数字化科技创新研发和应用，为建筑企业的科技创新和数字化转型提供外生动力。总之，政府部门可充分运用宏观调控手段，激发建筑业市场主体的数字化科技创新研发和应用活力，鼓励

建筑业利用数字化引领行业高质量发展。

（二）基于参与机构的数字化科技创新驱动发展路径

1. 健全人才引入机制，完善人才培养体系

人才是建筑业数字化转型升级中的重要生产要素，关系到建筑业数字化科技创新发展的可持续性。为了提升建筑业科技创新能力、关键核心技术攻关能力、建筑业数字化水平，亟需培养一批具备较强创新思维和实践能力的复合型人才。为此，建筑业传统企业及高新企业、科研机构、高等院校等参与机构，应瞄准建筑业数字技术创新发展趋势，完善人才引进制度以扩充创新人才规模，提升有关数字化科技创新发展的核心竞争力。在完善人才引进机制的同时，参与机构也需要配套完善人才培养制度，依托国家重大科技项目和创新平台等，激发团队的科技创新活力，全面提升建筑业数字化科技创新实力。

2. 提高数字化科技创新动力，保持企业经费合理投入

建筑业数字化科技创新的参与机构特别是建筑设计和施工企业，亟需通过数字化科技创新成果来提升自身的核心竞争力，拓展在建筑业产业链中的业务能力来实现转型升级。为此，应建立相应的数字化科技创新管理部门和组织体系，树立数字化科技创新发展观，提出基于数字化科技创新驱动的企业转型升级目标，将数字技术科技创新的研发和应用列入企业发展战略；加大与数字化科技创新发展有关的企业经费投入，鼓励企业建立数字化科技创新经费投入机制和激励机制，推动创新成果的应用和转化，形成数字化科技投入、技术创新、推广盈利的良性循环，促进数字化科技创新驱动下的建筑业转型升级。

3. 加强“产学研”合作

建筑业数字化科技创新发展需要企业、高等院校和科研机构紧密合作。应加强建筑业数字化科技创新方面的“产学研”合作，助力建筑企业（包含设计、施工、咨询公司）明确自身实际需求、掌握数字化成果使用技能、培育自主研发能力。通过“产学研”合作，帮助相关研究机构深刻掌握建筑业数字化成果及技术的实际需求和关键问题所在，精准提升各类人才的培养质量。因此，构建

完善的建筑业数字化科技创新“产学研”合作机制，通过各方紧密合作实现资源互补，使得数字化科技创新成果更加贴近行业需求，推动建筑业数字化科技创新成果的交付和应用，提升建筑业科技创新能力和数字化水平。

（三）基于市场的数字化科技创新发展路径

1. 完善建筑业市场招投标制度工程建设项目

招投标制度是建筑业市场中较为重要的竞争机制，影响着建筑业的有序发展、建筑业数字化科技创新的可持续发展 [16]。合理有效的工程项目招投标制度包括合同条款、计价模式、付款方式和奖惩机制等。有必要在工程建设项目招投标中，合理体现数字化科技成果和产品的利用率以及在工程项目成本、工期、质量、安全和环境保护等方面的实际成效，既能避免不利于数字化科技创新成果普及的低价中标现象，也可克服建筑业数字化科技创新成果或产品华而不实的虚假状况。完善建筑业市场工程项目招投标制度，驱动建筑业数字化科技创新成果的研发、推广和应用，促进建筑业数字化科技创新发展。

2. 健全市场竞争秩序

良好的市场竞争秩序可以推动建筑业数字化技术及产品的价值认可、转让和推广，带动建筑业数字化科技成果及产品的供给和需求形成良性循环，吸引潜在投资者。未来，我国建筑业将由高能耗逐步转向高效率的可持续增长模式，需在市场方面对有关建筑业数字化科技创新成果和产品进行管控，提高相关市场交易的透明性，规范并简化市场交易过程。数字化赋能的市场管理，促进数字经济与建筑产业的深度融合，提升建筑业的产业交易效率，激发建筑业数字化科技创新活力，加快建筑业转型升级步伐。完善建筑业数字化科技创新市场竞争秩序，能够持续激发建筑业科技创新的潜力，成为推动建筑业高质量发展的重要路径。

3. 提升建筑业数字化科技创新的供需和融资环境

数字化科技创新成果的运用贯穿于工程项目全寿命周期的各阶段和全产业链，如工程项目的策划、设计、采购、施工和运维等。应将数字技术和产品的阶段性需求与工程项目的具体承包模式相结合，构建完善的建筑业数字化成果或产品供给和需求市

场环境，基于公平、公正、公开原则，完善数字化科技成果和产品的数字化展示与交易平台；拉动建筑业全产业链的数字化科技成果需求，推动建筑业数字化科技创新投入和发展，形成行业发展的良性循环。建筑业的数字化科技创新发展，离不开资本的投入。规范并完善建筑业数字化科技创新融资环境，将数字化科技创新资本投入与数字化科技成果和产品带来的工程项目绩效挂钩，吸引各类社会资本的稳定投入。

五、结语

科技创新为经济社会发展注入新动力，建筑业正面临科技创新带来的产业革命。基于科技创新发展理念、新一轮数字化科技浪潮，通过数字化技术实现建筑业科技创新，促使建筑企业生产方式转变、产业结构调整和优化，驱动建筑业高质量发展和转型升级，是现阶段需要研究的重要课题。本文针对数字化驱动的我国建筑业高质量发展战略路径相关研究结果，为通过数字化技术驱动我国建筑业高质量发展提供对策建议和实施框架，为政府部门制定和健全政策提供理论参考；期望激发和提升建筑企业、科研机构、高校的科技创新动能，形成公正完善的市场环境，从而通过数字化科技创新推进我国建筑业高质量发展，最终实现建筑业的转型升级和产业革命。

参考文献

- [1] Forcael E, Ferrari I, Opazo-Vega A, et al. Construction 4.0: A literature review [J]. Sustainability, 2020, 12(22): 1–28.
- [2] 丁烈云. 智能建造将带来哪些变革 [J]. 施工企业管理, 2020 (12): 33–34.
Ding L Y. What changes will smart building bring [J]. Construction Enterprise Management, 2020 (12): 33–34.
- [3] 李世春. 新时代国有企业高质量发展的实现路径分析——基于建筑业的调研 [J]. 学术研究, 2020 (3): 88–94.
Li S C. Analysis on the realization path of the high-quality development of state-owned enterprises in the new era: A survey based on the construction industry [J]. Academic Research, 2020 (3): 88–94.
- [4] 王业强, 郭叶波, 赵勇, 等. 科技创新驱动区域协调发展: 理论基础与中国实践 [J]. 中国软科学, 2017 (11): 86–100.
Wang Y Q, Guo Y B, Zhao Y, et al. Coordinated regional development driven by scientific and technological innovation: Theoretical basis and Chinese practice [J]. Chinese Soft Science, 2017 (11): 86–100.
- [5] 任保平. 数字经济引领高质量发展的逻辑、机制与路径 [J]. 西安财经学院学报, 2020, 33(2): 5–9.
Ren B P. The logic, mechanism and path of digital economy leading high-quality development [J]. Journal of Xi'an University of Finance and Economics, 2020, 33(2): 5–9.
- [6] 孙祁祥, 周新发. 科技创新与经济高质量发展 [J]. 北京大学学报(哲学社会科学版), 2020, 57(3): 140–149.
Sun Q X, Zhou X F. Scientific-technological innovation and high-quality economic development [J]. Journal of Peking University(Philosophy and Social Sciences), 2020, 57(3): 140–149.
- [7] 喻登科, 李娇. 创新质量对区域高质量发展的解释力: 创新投入规模比较视角 [J]. 科技进步与对策, 2021, 38(3): 40–49.
Yu D K, Li J. The explanation of regional high quality development based on comparative analysis of innovation quality and inputs scale [J]. Science & Technology Progress and Policy, 2021, 38(3): 40–49.
- [8] 张双才, 刘松林. 我国先进制造业创新驱动要素供给机制的完善研究 [J]. 科学管理研究, 2021, 39(1): 69–75.
Zhang S C, Liu S L. Research on the consummation of supply mechanism of advanced manufacturing innovation driving factor [J]. Scientific Management Research, 2021, 39(1): 69–75.
- [9] 任晓燕, 杨水利. 技术创新、产业结构升级与经济高质量发展——基于独立效应和协同效应的测度分析 [J]. 华东经济管理, 2020, 34(11): 72–80.
Reng X Y, Yang S L. Technical innovation, industrial structure upgrading and economic high-quality development: Measurement analysis based on independent effect and synergistic effect [J]. East China Economic Management, 2020, 34(11): 72–80.
- [10] 陈宏伟. 中国建筑业高质量发展的路径与抉择 [J]. 建筑, 2020 (12): 14–19.
Chen H W. The path and choice of high quality development of Chinese construction industry [J]. Construction and Architecture, 2020 (12): 14–19.
- [11] 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(9): 24–28.
Wang L, Li H M. Measurement and path choice of high quality development level of construction industry: A case study of Shaanxi Province [J]. Construction Economy, 2020, 41(9): 24–28.
- [12] Craveiro F, Duarte J P, Bartolo H, et al. Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0 [J]. Automation in Construction, 2019, 103: 251–267.
- [13] Kozlovska M, Klosova D, Strukova Z. Impact of industry 4.0 platform on the formation of construction 4.0 concept: A literature review [J]. Sustainability, 2021, 13(5): 1–15.
- [14] 邓雪原. CAD、BIM与协同研究 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2013, 5(5): 20–25.
Deng X Y. The study of CAD, BIM and collaboration [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2013, 5(5): 20–25.
- [15] 陈兴海, 丁烈云. 基于物联网和BIM的城市生命线运维管理研究 [J]. 中国工程科学, 2014, 16(10): 89–93.
Chen X H, Ding L Y. Research on operations management based on the Internet of things and BIM of urban lifeline [J]. Strategic Study of CAE, 2014, 16(10): 89–93.

- [16] 赵姗, 杨磊敏. 基于区块链的BIM建设新发展研究 [J]. 建筑经济, 2020, 41(S2): 36–40.
Zhao S, Yang L M. Research on the new development of BIM construction based on blockchain [J]. Construction Economy, 2020, 41(S2): 36–40.
- [17] Rezgui Y, Zarli A. Paving the way to the vision of digital construction: A strategic roadmap [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2006, 132(7): 767–776.
- [18] 周晓青. 视频识别在智能建筑中的应用 [J]. 现代信息技术, 2020, 4(15): 108–110.
Zhou X Q. Application of video recognition in intelligent building [J]. Modern Information Technology, 2020, 4(15): 108–110.
- [19] Mckinsey Global Institute. Digital China: Powering the economy to global competitiveness [EB/OL]. (2017-12-03)[2021-03-26]. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/china/digital-china-powering-the-economy-to-global-competitiveness>.