

建筑企业数字化与绿色化耦合发展研究

白晓平, 孙雯宇

西安建筑科技大学管理学院, 陕西 西安

收稿日期: 2025年2月8日; 录用日期: 2025年2月21日; 发布日期: 2025年3月14日

摘要

数字化与绿色化已成为我国向高质量发展演进的两大核心趋势, 两者正在深度耦合, 协同发展。本文基于双化协调理念, 构建了建筑企业数字化与绿色化评价指标体系, 以两个典型的企业为例, 测度2011~2021年建筑企业数字化和绿色化发展水平, 利用改进的耦合协调模型计算企业数字化与绿色化耦合协调度, 并通过障碍度模型分析影响系统协调发展的障碍因素。研究发现: (1) 建筑企业数字化发展水平和绿色化发展水平整体稳步提高, 且绿色化水平基本上一直高于数字化水平。(2) 建筑企业数字化和绿色化的耦合协调度稳步提升, 历经了从初级协调发展到良好协调, 直至优质协调的递进过程, 取得了显著成就。(3) 数字化技术创新、数字化业务创新、近三年环境处罚情况、研发资金投入和高级科研人员比例是系统协调发展的核心障碍因素, 要从这几个方面突破才能有效提高耦合协调水平。研究结果符合实际情况, 具有良好的适用性, 为衡量建筑企业数字化绿色化耦合发展水平、探索其发展与提升策略提供了一定启示。

关键词

数字化, 绿色化, 建筑企业, 耦合协调度, 障碍因素

Research on the Coupling Development of Digitalization and Greening in Construction Enterprises

Xiaoping Bai, Wenyu Sun

School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an Shaanxi

Received: Feb. 8th, 2025; accepted: Feb. 21st, 2025; published: Mar. 14th, 2025

Abstract

Digitization and greening have become the two core trends of China's move towards high-quality

development, and the two are being deeply coupled and synergistically developed. This paper builds an evaluation index system for digitization and greening of construction enterprises on the basis of the concept of dual-coordination, measures the development level of digitization and greening of construction enterprises in 2011~2021 with two typical enterprises as an example, calculates the degree of coordination between enterprise digitization and greening coupling with an improved coupling coordination model, and analyzes the impact on the system's coordinated development with an obstacle-degree model. The study also analyzes the obstacle factors affecting the coordinated development of the system through the obstacle degree model. The findings are follows: (1) The development level of digitization and greening of construction enterprises has been steadily improving as a whole, and the level of greening has basically been higher than the level of digitization. (2) The coupling coordination degree of digitization and greening of construction enterprises has been steadily improving, and substantial progress has been made from primary coordination to good coordination, and finally to high-quality coordination. (3) Digital technology innovation, digital business innovation, environmental penalties in the last three years, R&D capital investment and the proportion of senior researchers are the core obstacle factors to the development of system coordination, and breakthroughs in these areas are needed to effectively improve the level of coupled coordination. The results of the study are in line with the actual situation, have good applicability, and provide some inspiration for measuring the level of digital greening coupling development of construction enterprises and exploring the development and improvement strategies.

Keywords

Digitalization, Greening, Construction Companies, Coupling Coherence, Obstacles Factors

Copyright © 2025 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

自党的十九大以来,我国在推进数字技术与环境保护方面取得了显著进展,发挥了技术创新与绿色发展在推动经济中的双重优势。数字化与绿色化成为了我国迈向高质量发展的两大核心趋势,两者正在深度耦合,协同发展[1]。《“十四五”规划纲要》要求推进绿色建筑标准化,加速采纳诸如 BIM 等数字化技术,以推动智能化建设进程,并明确强调推动绿色建筑、低碳建筑设计及绿色施工实践,旨在深化建筑业数字化转型与绿色发展的深度耦合[2]。在中国“双碳”战略目标下,建筑行业作为碳排放大户,是实施碳减排的重要领域。《2030 年前碳达峰行动方案》要求加快建筑行业的绿色低碳转型,推动绿色建筑、装配式建筑发展,利用数字化技术提高建筑节能和资源使用效率。因此,理清建筑企业数字化与绿色化协同发展的理论关系,衡量建筑企业数字化与绿色化协同发展水平和障碍因素,对进一步推动建筑企业数字化、绿色化的深度协调发展,无论在理论上还是在实践中都具有十分重要的意义。

2. 文献综述和理论分析

2.1. 文献综述

传统建筑行业普遍存在资源消耗大、环境污染严重等问题,这与当前社会对可持续发展的追求形成了矛盾[3]。故而,促进建筑企业数字化与绿色化的深度耦合,已成为学术界及业界共同瞩目的核心议题。

第一,建筑企业数字化。研究学者利用社会网络分析方法,深入剖析建筑业数字化转型的驱动因素,

多维度洞察其演进趋势与转型策略,并探究这些因素及利益相关方在建筑业数字化转型过程中的交互机制。如刘媛[4]从组织体系、数字化基础、数字化研发、数字化应用、创新成绩、效能效益等方面开发建筑企业数字化转型的评价体系,此举有效弥补了我国建筑业数字化研究领域的不足。陈群,李佳昕[5]则从四个数字化维度来衡量建筑企业的数字化程度:投入、平台、治理与产出。Sezer 则通过设立数字化指数,为建筑项目的数字化成熟度提供了量化评估依据[6]。

第二,建筑企业绿色化。早期对建筑企业绿色化的研究多从理论层面展开,主要包括建筑企业绿色发展的内涵特征、发展行为的影响因素[7]、计算实验模拟中国建筑企业绿色发展的全过程等方面。在定量研究中多以建筑企业绿色发展评价为主,从企业层面测算建筑企业绿色化发展绩效[8]-[11]和水平[12]或不同维度衡量建筑企业绿色转型[13]。

第三,数字化与绿色化协同发展。现有文献资料研究主要聚焦于数字化对绿色发展的影响效应,如抑制污染排放[14]绿色创新[15]和能源利用效率[16]等方面。此外,还有少数研究者对数字化与绿色化融合发展的议题进行了初探。乔钰容[17]用耦合协调度模型,对城市绿色化与数字化的协同发展状况进行了量化评估,并剖析了其发展趋势。周卫华[18]则揭示出城市数字金融的蓬勃发展对推动企业绿色化与数字化融合的显著提升作用。

综上,现有文献大多聚焦建筑企业数字化或绿色化的某一方面展开研究,将两者纳入同一个系统框架进行分析的文献不足,值得拓展研究。由此可见,建筑企业数字化与绿色化耦合发展的分析框架尚存较大的拓展与优化空间,因此,本文旨在基于前人研究成果,对上述议题进行更为深入的补充与探讨。鉴于此,本文在建筑企业数字化发展与绿色化发展水平的测度上建立了施工企业数字化绿色化耦合发展评价体系,通过耦合协调度模型和障碍度模型的应用,旨在全面审视当前发展态势,精准识别制约耦合发展的关键因素,并据此探索提升双化耦合发展水平的有效途径。

2.2. 建筑企业数字化与绿色化耦合发展的理论分析

传统建筑行业普遍存在资源消耗大、环境污染严重等问题,这与当前社会对可持续发展的追求形成了矛盾。推动建筑企业的数字化与绿色化耦合发展,是行业转型升级、实现可持续发展的必由之路。

一方面,建筑企业数字化赋能绿色化发展。数字技术为绿色生产提供数字支持,为建筑企业的绿色转型提供了新的可能性。借助大数据、物联网及人工智能等先进技术,建筑企业能够实现项目全生命周期的高效管理,优化资源利用,减少能源消耗,降低碳排放。同时,数字化工具还能够提高施工过程的精度和效率,减少浪费,提升建筑质量,从而推动绿色建筑的普及与发展。

另一方面,建筑企业绿色化牵引数字化转型。绿色化理念为建筑企业的数字化转型注入了新的动力。面对日益严格的环境法规,建筑企业在数字化转型中必须充分考虑环境因素,通过技术创新鼓励使用绿色建材、可再生能源和废物回收利用[19]。这不仅有助于企业增强社会责任感,能在日益严格的市场环境中获得竞争优势。

2.3. 建筑企业数字化与绿色化耦合发展机制

数字化与绿色化之间存在紧密的协同关系,二者在多个层面相互支持、共同发展。这种协同性主要体现在要素共享、过程融合以及目标统一三个方面。

首先,数字化与绿色化在核心要素上具有高度一致性。无论是数据、技术还是人才,两者都依赖于相同的资源基础。数据作为关键要素,在数字化和绿色化进程中均扮演着重要角色;数字技术与绿色技术并非相互独立,而是相互补充、协同创新,共同推动产业升级;数字化与绿色化均需要具备高学历、强技术能力和创新意识的人才。

其次, 数字化与绿色化在生产过程中实现了深度融合。两者都具有紧迫性和长期性特征, 且高度依赖政策支持。在生产实践中, 数字技术与绿色技术相互支撑: 绿色转型离不开数字技术的赋能, 而数字化进程也需要遵循绿色发展的要求, 以实现“双碳”目标。

最后, 数字化与绿色化的终极目标高度统一。数字化发展以数据为核心, 通过数字技术推动产业链升级, 提升社会治理和公共服务水平, 最终实现经济高质量发展。绿色发展则通过政策引导, 推动生产、生活和生态的绿色转型, 落实可持续发展战略, 同样以实现经济高质量发展为目标。

3. 研究指标、方法及数据

3.1. 指标体系构建

根据建筑企业数字化和绿色化的理论内涵和逻辑, 充分考虑国家政策文件的重要精神和要求, 参考借鉴相关学者的研究观点, 尊重科学性、可比性和适用性等原则, 本文从建筑企业数字化水平和建筑企业绿色化水平两个系统, 构建建筑企业数字化与绿色化发展水平综合评价指标体系, 如表 1 所示。

Table 1. Comprehensive evaluation index system for digital and green development level of construction enterprises

表 1. 建筑企业数字化与绿色化发展水平综合评价指标体系

系统层	准则层	指标层	定性/定量
建筑企业数字化水平	数字化投入 A_1	数字化软件投入 A_{11}	定量
		研发投入 A_{12}	定量
		研发人员投入 A_{13}	定量
		数字化硬件投入 A_{14}	定量
		R&D 投入强度 A_{15}	定量
	数字化成果 A_2	数字化专利 A_{21}	定量
		数字化软件著作权 A_{22}	定量
		数字化创新标准 A_{23}	定量
		数字化创新资质 A_{24}	定量
		数字国家级奖项 A_{25}	定量
	数字化应用 A_3	数字化技术创新 A_{31}	定量
		数字化流程创新 A_{32}	定量
		数字化业务创新 A_{33}	定量
	数字化组织与管理 A_4	管理层数字战略引领 A_{41}	定性
		数字化重视程度 A_{42}	定量
		组织结构匹配度 A_{43}	定性
		科技创新基地建设 A_{44}	定量
		数字化基础设施建设 A_{45}	定量
	数字化技术 A_5	互联网接入率 A_{51}	定量
		基础库完备率 A_{52}	定性
		数字技术驱动 A_{53}	定量
		BIM 技术集成应用水平 A_{54}	定性

续表

建筑企业绿色化水平	绿色管理 B_1	绿色组织机构及管理机制 B_{11}	定性
		绿色营销 B_{12}	定量
		绿色治理绩效 B_{13}	定量
		绿色产业链完整程度 B_{14}	定性
		绿色供应链管理 B_{15}	定性
	绿色投入 B_2	研发资金投入 B_{21}	定量
		高级科研人员比例 B_{22}	定量
		科技创新平台 B_{23}	定量
		绿色环保投入 B_{24}	定量
	绿色产出 B_3	绿色产品认证 B_{31}	定量
		建筑企业碳排放率 B_{32}	定量
		实施绿色项目数量与规模 B_{33}	定量
		建筑环保相关奖项 B_{34}	定量
	绿色技术 B_4	绿色专利 B_{41}	定量
		绿色创新质量 B_{42}	定量
		绿色创新效率 B_{43}	定性
		持续绿色创新水平 B_{44}	定量
		获得优质工程奖数量 B_{45}	定量
	绿色环境 B_5	环境、能源、质量管理体系相关认证 B_{51}	定性
		近 3 年环境行政处罚情况 B_{52}	定量
		绿色社会评价 B_{53}	定量
	绿色发展战略规划 B_6	绿色企业文化 B_{61}	定性
		绿色发展规划 B_{62}	定量
		绿色重视程度 B_{63}	定量
		绿色发展能力 B_{64}	定量

3.2. 研究方法

3.2.1. G2 结合熵值法

G2-熵值法是一种结合了专家经验评估与指标熵值分析的方法,它在 G2 法所确立的单一参照基础上,进一步采纳熵值法来分配各项指标的权重。此方法不仅纳入了专家和研究者的主观见解,同时也兼顾了数据本身所蕴含的客观信息,能够量化地体现出各指标的重要性,从而有效规避了传统综合权重法在主观与客观权重分配上可能存在的问题。

本文用 G2 结合熵值法进行权重测算,根据各指标数据之后再利用线性加权计算得出建筑企业数字化发展水平和建筑企业绿色化发展水平。

3.2.2. 改进的耦合协调模型

耦合度衡量的是两个或多个实体之间相互依存的程度。协调度则用于评估一个复杂系统内各部分发展之间的协调一致程度,常与耦合理论联合使用,形成耦合协调度概念,以全面反映系统整体的和谐发展状态。本文采用改进的耦合协调度模型,衡量出建筑企业数字化与绿色化的耦合发展水平[20]。计算公

式如下:

$$C = \sqrt{\left[1 - (U_2 - U_1)^2\right] \times \frac{\max(U_1, U_2)}{\min(U_1, U_2)}} \quad (1)$$

$$T = a_1 \times U_1 + a_2 \times U_2, a_1 + a_2 = 1 \quad (2)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (3)$$

其中, U_1 为数字化水平, U_2 为绿色化水平; C 为两个系统的耦合度; T 为两系统综合协调指数, a_1 为数字化水平权重, a_2 为绿色化水平的权重, $a_1 = a_2 = 0.5$; D 为建筑企业数字化水平和绿色化水平的耦合协调度。

3.2.3. 障碍度模型

耦合度模型具备精确量化系统间相互作用方向和强度的能力, 但并不能发现阻碍系统耦合度提高的因素。鉴于此, 引入障碍度模型, 该模型旨在评估各项指标对系统耦合度进步所构成的阻碍程度及其偏离理想状态的幅度, 从而精确识别影响耦合发展进程的关键性障碍因素。

3.3. 研究对象及数据来源

为检验建筑企业数字化与绿色化耦合发展模型的可行性和适用性, 本文选取企业进行案例分析。考虑到不同的地区、规模和发展阶段, 涉及到不同的背景情景和因素, 建筑企业可能会存在差异。南方建筑企业经济相对发达, 在数字化技术的应用上更为灵活, 由于气候温暖湿润, 建筑节能需求相对较高, 因此南方企业在绿色建材和节能技术的应用上可能更加领先。北方建筑企业虽然可能在数字化起步较晚, 但近年来也在不断努力追赶, 在利用当地资源和废弃物进行建材生产方面有一定的优势。因此, 本文选取代表性较强的南北各一家企业进行分析, 分别是南方 S 企业和北方 Z 企业。

对于本文的定量指标, 数据来自企业年报和社会责任报告, 以及国泰安数据库。对于本文的定性指标, 向企业的中高层管理人员发放问卷进行专家打分, 取平均值得到定性指标量化值。对于缺失的数据值, 采用线性插值法对数据进行处理。经过上述收集和处理后, 最终得到 2 家企业 2011~2022 年度观测值。

4. 案例分析

4.1. 建筑企业数字化发展水平和绿色化发展水平测度及分析

根据上述指标体系, 计算出两个企业建筑企业数字化发展水平与绿色化发展水平, 以及整体平均水平, 如图 1~3 所示。从整体看出, 两个企业数字化发展水平和绿色化发展水平整体稳步提高, 但是两个系统的增长幅度和速度不太同步, 并且在某些时期拉开差距, 且绿色化水平基本上一直高于数字化水平。

2011 年两家企业数字化平均水平为 0.15, 2022 年为 0.641, 提高了 327.3%, 年均增长率为 14.11%, 数字化水平整体上也呈增长态势。并且在 2019~2022 年间, 数字化水平增长趋势和前几年基本相同, 基本上没有受到疫情的影响, 可能是由于数字化技术大多是利用互联网进行业务推进, 且数字化技术一直持续发展进步, 国家也不断鼓励企业推进数字化转型。

2011 年两家企业绿色化平均水平为 0.398, 2022 年为 0.682, 提高了 71.4%, 年均增长率为 5.02%。随着“绿色发展”理念的普及与推行, 企业愈发重视保护环境、节约资源及可持续发展的重要性, 但是不同于数字化水平的持续增长, 企业在 2019 年之后的时间绿色化平均水平开始下降。可能是由于 2019 年疫情影响, 企业的收益下降, 没有充足的人力物力和财力进行绿色技术的开发和创新, 企业发展受限, 所以绿色化水平有所下降。

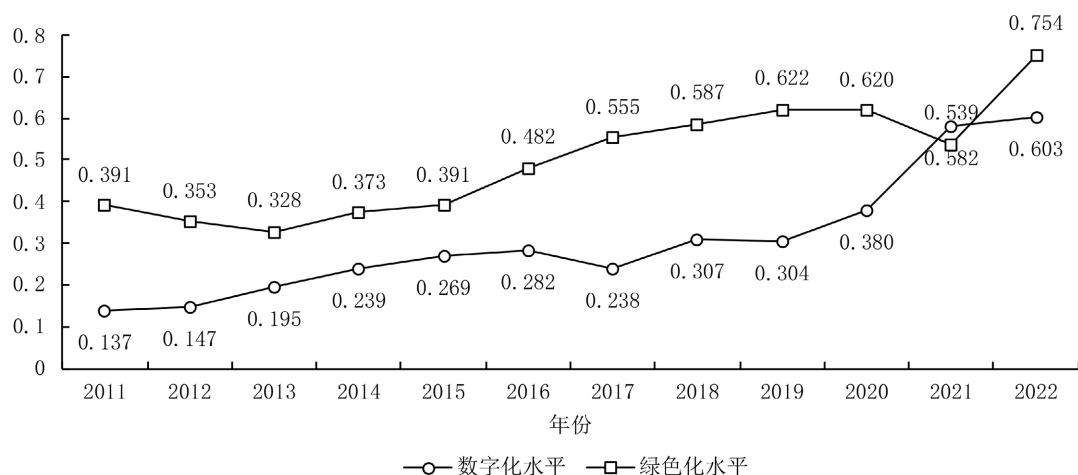


Figure 1. Digitalization and greening level of S enterprise

图 1. S 企业数字化与绿色化水平

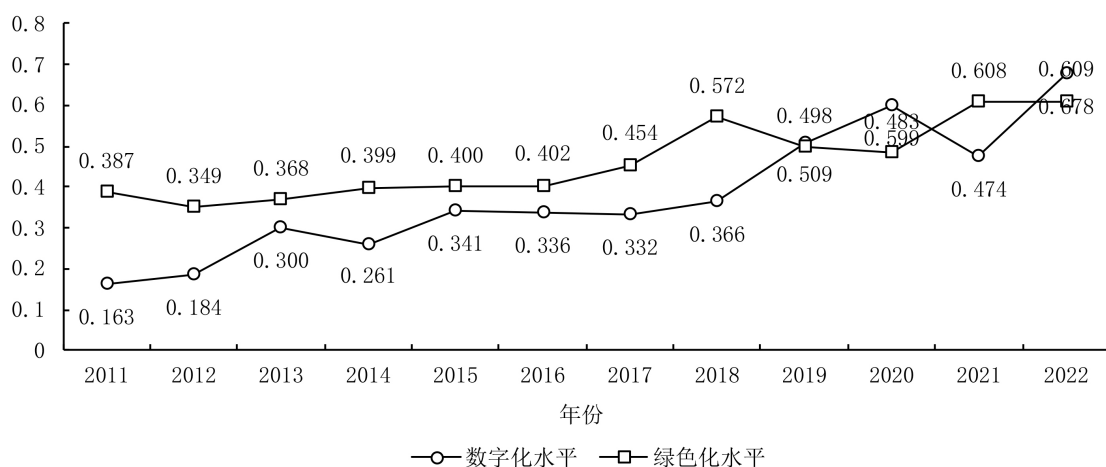


Figure 2. Digitalization and greening level of Z enterprise

图 2. Z 企业数字化与绿色化水平

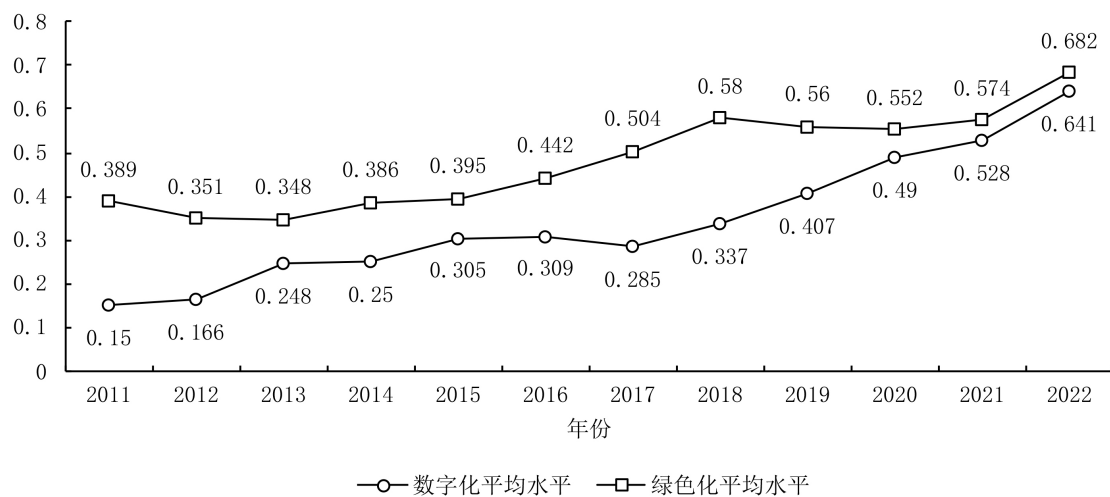


Figure 3. The digitalization and greening level of two enterprises

图 3. 两家企业数字化与绿色化水平

4.2. 建筑企业数字化与绿色化耦合发展水平测度和分析

采用改进的耦合协调模型计算两个企业 2011~2022 年数字化与绿色化耦合发展水平结果和发展趋势，如表 2 和图 4 所示。2011~2022 年 S 企业的耦合协调度由 0.367 增长至 0.748，Z 企业由 0.396 增长至 0.704，经历了由初级协调向良好协调阶段发展态势，最终提升到优质协调，这充分表明建筑企业“双化协同”呈加速推进态势。

Table 2. Coupling and coordination of digitalization and greenization in construction enterprises
表 2. 建筑企业数字化与绿色化的耦合协调度

年份	S 企业		Z 企业	
	耦合协调度 D	等级	耦合协调度 D	等级
2011	0.367	初级协调	0.396	初级协调
2012	0.380	初级协调	0.420	初级协调
2013	0.434	初级协调	0.540	初级协调
2014	0.478	初级协调	0.498	初级协调
2015	0.507	良好协调	0.576	良好协调
2016	0.512	良好协调	0.571	良好协调
2017	0.463	初级协调	0.561	良好协调
2018	0.524	良好协调	0.578	良好协调
2019	0.517	良好协调	0.704	良好协调
2020	0.584	良好协调	0.676	良好协调
2021	0.726	优质协调	0.666	良好协调
2022	0.748	优质协调	0.767	优质协调

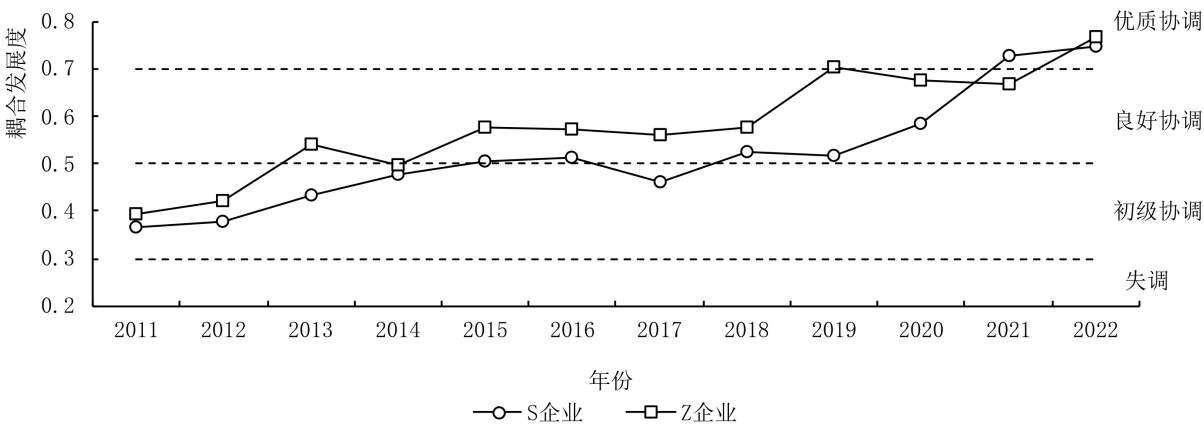


Figure 4. The temporal evolution trend of digital and green coupling coordination in construction enterprises
图 4. 建筑企业数字化与绿色化耦合协调度时序演变趋势

具体来看，在 2011 年，企业数字化与绿色化耦合协调水平较低，党的十八大以来，我国在生态文明建设上不断加大投入，生态环境治理效果也逐渐变好，这也促使了企业绿色化发展水平的加速提升，但此时企业的数字化发展仍处于初级阶段，企业开始尝试进行数字化转型，数字化技术应用不够广泛，基础设施也不完善，建筑业与数字技术的融合进程存在阻滞，导致企业数字化与绿色化协同提升的步伐相对迟缓。自党的十九大召开以来，我国在数字技术与环境保护的整合方面取得了瞩目的进展，建筑企业

数字化与绿色化的耦合协调度迅速提高, 进入了快速增长阶段。党的二十大之后, 两个企业的耦合协调度都达到了优质协调阶段, 这既得益于数字化与绿色化可持续的良性循环, 也得益于国家对“达成碳达峰碳中和目标”“通过数字化转型全面推动生产方式、生活方式及治理方式革新”以及“促进数字化与绿色化融合”等重大战略的切实执行, 未来应进一步加大力度, 推动企业数字化与绿色化实现更深层次的融合。

4.3. 建筑企业数字化与绿色化耦合发展的障碍因子诊断

根据障碍度模型计算出两个企业数字化系统、绿色化系统障碍度变化如图 5、图 6。由图可知, 对于 S 企业, 2011 年数字化系统障碍度高于绿色化系统障碍度, 之后两者差距减小, 在 2013 年较为接近, 随后在 2016 年又拉开差距, 直到 2021 年绿色化系统障碍度反超数字化系统。对于 Z 企业, 2011 年数字化系统障碍度高于绿色化系统障碍度, 之后两者差距逐渐变小, 直到 2015 年绿色化系统障碍度反超数字化系统, 随后几年两个系统的障碍度一直交织。

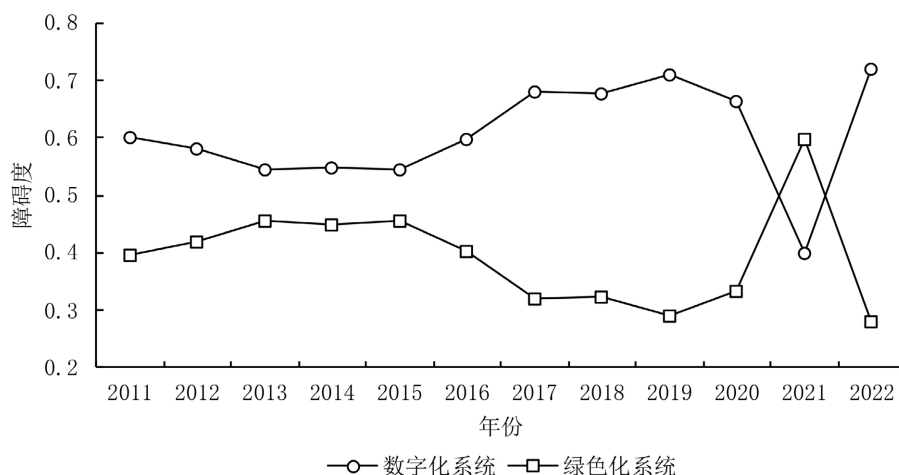


Figure 5. Changes in obstacles to the coordinated development of two systems in S enterprise

图 5. S 企业两系统耦合协调发展障碍度变化情况

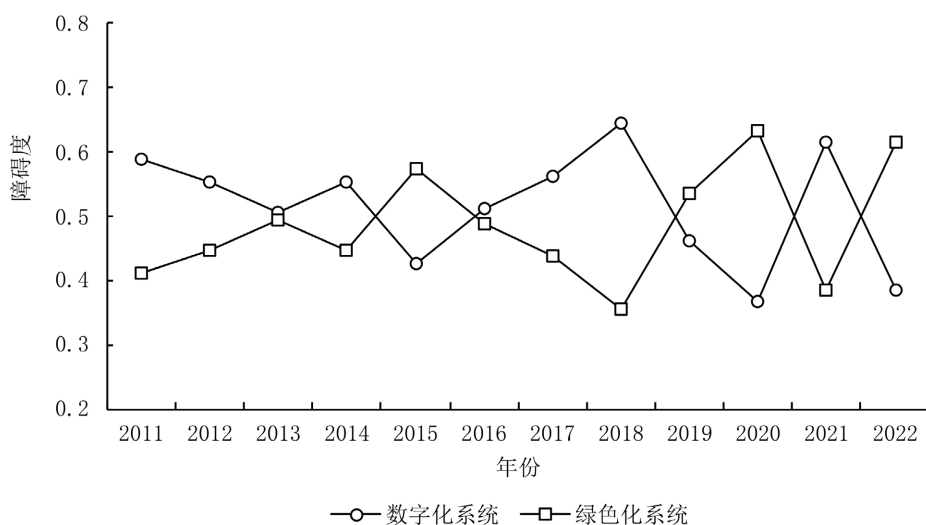


Figure 6. Changes in obstacles to the coordinated development of two systems in Z enterprise

图 6. Z 企业两系统耦合协调发展障碍度变化情况

根据结算结果,整理出两系统中障碍度排名前五位的障碍因素见表3,出现频率最高的障碍因素是数字化技术创新 A_{31} 和数字化业务创新 A_{33} 。创新在加速技术演进及增进作业效能方面发挥着关键作用,它驱动经济模式从传统资源密集型向创新引领型转型,进而达成经济的长远持续发展,但是同时需要大量的资金投入。对于企业来说,资金的短缺可能是创新的重要阻碍。其次是近三年环境处罚情况 B_{52} 和研发资金投入 B_{21} 。研发资金投入使企业能够开展新产品的研发工艺和技术升级,在经济下行周期,整体市场需求疲软,企业的项目业务减少,使得企业的盈利水平大幅下降,给企业的研发资金投入带来压力。之后是高级科研人员比例 B_{22} ,在新的发展阶段,企业对于数字化人才的需求依旧极为迫切。

Table 3. The degree of the main obstacles to the digital and green coupling development system of construction enterprises
表 3. 建筑企业数字化与绿色化耦合发展系统主要障碍因素障碍度

年份	指标排序									
	1		2		3		4		5	
	因素	障碍度	因素	障碍度	因素	障碍度	因素	障碍度	因素	障碍度
2011	A_{31}	0.081	A_{33}	0.069	B_{52}	0.062	B_{22}	0.057	B_{21}	0.051
2012	A_{31}	0.084	A_{33}	0.071	A_{13}	0.059	B_{52}	0.048	B_{22}	0.047
2013	B_{62}	0.083	B_{51}	0.079	A_{31}	0.064	A_{31}	0.053	A_{54}	0.049
2014	B_{42}	0.094	A_{31}	0.092	B_{52}	0.075	B_{21}	0.07	A_{33}	0.052
2015	B_{21}	0.092	B_{542}	0.081	A_{31}	0.072	A_{31}	0.061	B_{21}	0.054
2016	A_{33}	0.11	A_{12}	0.076	B_{52}	0.069	B_{15}	0.067	A_{31}	0.057
2017	B_{52}	0.11	B_{13}	0.098	B_{21}	0.09	A_{33}	0.078	A_{15}	0.068
2018	B_{51}	0.091	B_{52}	0.074	A_{15}	0.071	A_{33}	0.068	B_{21}	0.067
2019	A_{45}	0.093	B_{51}	0.092	B_{52}	0.091	A_{33}	0.08	A_{31}	0.078
2020	A_{25}	0.145	A_{13}	0.115	B_{52}	0.091	B_{21}	0.091	B_{13}	0.069
2021	A_{33}	0.137	A_{33}	0.128	A_{12}	0.101	B_{33}	0.094	B_{52}	0.079
2022	A_{31}	0.210	A_{51}	0.140	A_{32}	0.119	B_{63}	0.106	B_{21}	0.095

4.4. 基于研究结果提出的对策意见

基于上述结果,为了更好地提高建筑企业数字化和绿色化的耦合协调水平,本文的建议如下:

(1) 缩小数字化与绿色化发展的不同步性。企业要明确在数字化和绿色化方面的短期和长期目标,确保二者的发展步调更加一致,避免单一领域过快或过慢发展导致失衡。同时加强数字化赋能绿色化的研究,可以在绩效考核中加入数字化与绿色化协同发展的指标建立双化协同评价机制。

(2) 加强数字化应用和绿色化管理的重点工作。企业要加强对于数字化技术的推广和应用,包括智能建造、BIM技术、物联网与云计算等技术的普及,提高企业的运营效率和资源利用率。同时将绿色管理理念融入企业的战略规划中,提高企业对绿色化的重视,实施更科学、系统的绿色管理模式,加强全员培训,提升企业整体绿色化管理能力。

(3) 针对核心障碍因素找到突破路径,优化“双化”耦合协调发展。针对数字化创新不足的问题,推动技术创新与业务场景的深度融合,拓展数字化技术的应用范围,如工程监控、成本管理和施工进度优化等领域;制定专门的预算计划,确保研发资金的稳定投入和资源保障,将资金与资源合理利用到技术升级和产品创新中,开发绿色建筑材料、节能技术等核心领域的突破;要优化人才结构与奖励机制,吸

引和培养数字化与绿色化复合型人才, 建立科学的考核与技术成果转化激励机制, 激励员工参与绿色技术创新和数字化应用, 鼓励研发成果在实际工程中的应用, 留住人才。企业要突破数字化与绿色化衔接中的关键障碍, 不断进步, 不断发展。

5. 结论与展望

(1) 根据建立的指标体系测度出建筑企业数字化发展水平和绿色化发展水平, 发现整体稳步提高, 但是两个系统的增长幅度和速度不太同步, 并且在某些时期拉开差距, 且绿色化水平基本上一直高于数字化水平。

(2) 用改进的耦合协调模型计算出建筑企业数字化和绿色化的耦合协调度, 发现“双化”耦合协调度明显提升, 从初级协调发展到良好协调, 最终达到优质协调, 取得实质性进展。根据结果可以明确发现两系统间是相互影响、相互协调发展的, 弥补了单一指标评估的局限性, 为建筑企业数字化和绿色化的耦合协调度的量化提供一定的实践基础。

(3) 采用障碍度模型, 得到影响建筑企业数字化和绿色化的耦合协调的障碍因子, 计算出障碍度。从整理的数据来看, 数字化应用维度、绿色创新维度和绿色产出维度是影响建筑企业数字化和绿色化的耦合发展的主要方面。其中数字化技术创新、数字化业务创新、近三年环境处罚情况、研发资金投入和高级科研人员比例是核心障碍因素, 要从这几个方面突破才能有效提高耦合协调水平。

(4) 研究仍存在一些需要改进和完善的地方。如数字化与绿色化指标的选择存在局限性: 本文选取的相关指标, 虽然涵盖了企业数字化和绿色化的多个方面, 但仍然可能存在遗漏一些关键因素的风险。并且论文未考虑外部环境的影响: 本文的研究主要聚焦于建筑企业内部的数字化与绿色化因素, 虽然在障碍度模型中提到了环境处罚和研发资金投入等外部因素, 但整体上对外部政策、市场变化、技术发展等外部环境的影响考虑较少, 未来研究可以扩展视野。由于案例数量有限, 结果的稳定性可能存在一定的不确定性, 后续研究可以增加案例数量或引入其他相关变量进行分析。通过持续的研究和探索, 不断完善和验证结论的稳定性。

参考文献

- [1] 吾买尔江·艾山, 秦洋, 彭朝辉. 共同富裕视角下企业数字化与绿色化的协同关系研究[J]. 软科学, 2024, 38(9): 84-89.
- [2] 任晓刚. 产业绿色化数字化耦合发展的内在逻辑、重点布局与路径突破[J]. 中国流通经济, 2024, 38(9): 3-13.
- [3] 裴长洪, 赵伟洪. 习近平中国特色社会主义经济思想的时代背景与理论创新[J]. 经济学动态, 2019(4): 3-17.
- [4] 刘媛, 付功云. 构建建筑企业数字化转型评价体系的探索[J]. 科技管理研究, 2022, 42(5): 56-63.
- [5] 陈群, 李佳昕, 陈哲. 我国建筑企业数字化发展水平测度研究[J]. 建筑经济, 2023, 44(1): 21-28.
- [6] Sezer, A.A., Thunberg, M. and Wernicke, B. (2021) Digitalization Index: Developing a Model for Assessing the Degree of Digitalization of Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002145](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002145)
- [7] Li, X., He, J., Huang, Y., Li, J., Liu, X. and Dai, J. (2022) Predicting the Factors Influencing Construction Enterprises' Adoption of Green Development Behaviors Using Artificial Neural Network. *Humanities and Social Sciences Communications*, 9, Article No. 238. <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01253-x>
- [8] 黄燕琳, 任冬林. 基于低碳经济视角的建筑业绩绩效评价[J]. 统计与决策, 2013(11): 67-70.
- [9] 程波, 贾国柱. 改进 AHP-BP 神经网络算法研究——以建筑企业循环经济评价为例[J]. 管理评论, 2015, 27(1): 36-47.
- [10] 陆菊春, 钟珍, 黄晓晓. 我国建筑业碳排放演变特征及 LMDI 影响因素分解[J]. 建筑经济, 2017, 38(3): 81-88.
- [11] Hipke, T., Hohlfield, J. and Rybandt, S. (2014) Functionally Aluminum Foam Composites for Building Industry. *Procedia Materials Science*, 4, 133-138. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.550>

-
- [12] 周林奕. 基于离差最大化-DEA 方法的区域建筑业绿色发展能力评价研究[C]//中国管理现代化研究会, 复旦管理学奖励基金会. 第十二届(2017)中国管理学年会论文集. 合肥: 合肥工业大学工业与装备技术研究院, 2017: 309-314.
- [13] 陈群, 谢梦宇, 陈哲. 基于博弈论组合赋权-TOPSIS 模型的建筑企业绿色转型评价研究[J]. 土木工程与管理学报, 2024, 41(3): 64-71, 79.
- [14] 杨来科, 闫珂. 数字化转型对中国制造业企业污染排放的影响——基于微观层面的三维面板数据分析[J]. 资源科学, 2023, 45(8): 1481-1496.
- [15] 李宁娟, 彭其, 舒成利. 企业数字化转型与绿色创新差异化[J]. 山西财经大学学报, 2023, 45(10): 97-112.
- [16] 何小钢, 钟湘菲. 数字化赋能企业“绿色升级”的机制和路径研究——基于中国工业企业的经验证据[J]. 管理科学, 2023, 36(4): 127-145.
- [17] 周密, 乔钰容. 城市绿色化和数字化耦合发展的区域差异及内在机制[J]. 城市问题, 2023(8): 4-14.
- [18] 周卫华, 郑欣圆. 城市数字金融推动企业数字化与绿色化耦合发展研究[J]. 城市问题, 2023(8): 26-36, 53.
- [19] 张小雨, 王凯. 我国建筑业绿色发展的基础前提、能力结构与提升路径[J]. 天津城建大学学报, 2021, 27(6): 442-446.
- [20] 王淑佳, 孔伟, 任亮, 等. 国内耦合协调度模型的误区及修正[J]. 自然资源学报, 2021, 36(3): 793-810.