

# 数字转型背景下提升化纤企业绿色创新效率的路径探索

朱晶, 赵宏霞

(青岛科技大学经济与管理学院, 山东 青岛 266061)

**摘要:** 随着全球环境问题日益严峻,绿色创新已成为化纤企业实现可持续发展的核心战略。基于技术-组织-环境(technology-organization-environment, TOE)理论,选取了2018—2022年化纤行业上市企业,运用动态QCA方法分析数字化对企业绿色创新效率的组态效应。研究结果显示,存在三条提高化纤企业绿色创新效率的路径,分别依赖于数字技术应用、企业规模和政府支持,数字技术与环境,以及数字技术应用、政府支持与组织的相互平衡,在提高绿色创新效率方面均表现出较高的解释力,但个体企业的表现存在差异。

**关键词:** 动态QCA; 数字转型; 数字技术; 绿色创新效率

**中图分类号:** F426; F49 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)08-0129-06

在全球性的环保问题日趋严重的今天,绿色创新已经成为当今世界各国企业追求可持续发展的重要策略。作为纺织、建筑和汽车等行业的重要原材料供应商,化纤行业在绿色转型中面临诸多挑战。化纤生产过程中大量资源消耗和环境排放对生态环境带来显著影响。2018年中国环保税法的实施,进一步强化了企业的环境责任,促使化纤企业采用更环保的技术与材料,推动行业绿色发展。虽然环保政策增加了企业的成本,但也促使企业通过清洁生产技术减轻税负,提升绿色创新能力。同时,全球市场对绿色产品需求的增长,驱使化纤企业加速创新以满足消费者对可持续发展的期望。为应对政策压力与市场需求,化纤企业借助数字化技术提升绿色创新效率,实现资源高效利用与环境友好的生产模式。化纤企业的数字化转型包括资源高效利用、生产效率提升、创新能力增强及供应链协同合作,这对绿色创新有深远影响。数字技术可优化生产流程、提高能源效率、减少碳排放,助力实现“双碳”目标<sup>[1]</sup>。研究这些机制为化纤行业的转型升级与可持续发展提供理论与实践指导。

综上所述,化纤行业的绿色转型既重要又紧迫,数字化背景下探究绿色创新路径对推动其可持续发展尤为关键。因此,本文主要研究化纤企业如

何在数字化背景下提高绿色创新效率,推动行业走向绿色、可持续发展。

## 1 文献综述与分析框架

### 1.1 相关研究进展

在数字化转型对绿色创新效率的基础研究阶段,学者们主要关注数字化转型对绿色创新效率的直接效应。这一时期的研究主要集中在理解数字化转型的基本概念、内涵及其对绿色创新效率的影响机制。张帅<sup>[2]</sup>通过实证研究发现,数字化转型能够显著提升企业的绿色创新效率。数字化转型能够通过优化资源配置来提高制造业企业的绿色创新效率,数字化转型有助于企业更好地利用现有资源,减少资源浪费,从而提高绿色创新效率<sup>[3]</sup>。数字化转型能够通过技术创新路径来提高企业绿色创新效率,通过虚拟仿真技术等手段,企业可以更快地测试和优化绿色创新方案<sup>[4]</sup>。

随着研究的深入,学者们开始关注数字化转型对绿色创新效率的影响路径。这一时期的研究主要集中在媒体监督机制、技术创新路径等方面。刘畅等<sup>[4]</sup>通过实证研究发现,数字化转型能够通过强化媒体监督来提高企业绿色创新效率。郭爱君等<sup>[5]</sup>通过实证研究发现,数字化转型能够通过技术创新路径来提高企业绿色创新效率。这一时期的研究

**收稿日期:** 2024-10-06

**基金项目:** 教育部人文社会科学研究规划基金(24YJA630132)

**作者简介:** 朱晶(2000—),女,山东青岛人,硕士研究生,研究方向为数字转型;赵宏霞(1978—),女,内蒙古赤峰人,教授,博士研究生导师,研究方向为数字治理。

进一步揭示数字化转型的具体影响机制。

综上所述,当前大多数研究采用的是定量分析方法,如面板回归、中介效应模型等,缺乏定性分析方法的补充。定性分析方法可以帮助更深入地理解数字化转型对绿色创新效率的影响机制,提供更多细节和案例支持<sup>[2]</sup>。因此,企业绿色创新效率在多重前因条件下的复杂动态驱动路径问题仍有待深入研究。

## 1.2 分析框架

技术-组织-环境 (technoligy-organization-environment, TOE) 理论已被广泛地运用于新技术的引进与数字化的研究,特别是在数字转型的过程中,已成为其核心分析工具。数字化转型通过数字化技术的引进与运用,促进企业变革与创新。李晶和曹钰华<sup>[6]</sup>基于 TOE 建立制造业数字化转型的驱动格局模型;陈爽英等<sup>[7]</sup>对中国不同区域的产业数字化发展路径进行了实证研究。由于不同的研究环境,其影响因素各不相同,因此,在运用 TOE 理论时,需要具体问题进行分析。

在此基础上,运用 TOE 方法,对影响企业绿色创新效率的各种因素进行分析。在技术层次上,依据资源观的观点,选择数字技术的创新与应用;在组织层次上,以资源理论与组织变革理论为基础,选择公司的规模与数字战略两个主要的变数;在环境方面,根据产业理论,从政府支持与市场竞争两个方面来考虑。从组态视角探讨各因素间的匹配关系和联动作用,提供全面理解绿色创新效率影响因素及其相互作用的分析方法和企业实施数字化转型的实用指导。图 1 展示了模型构建及其主要组成部分,帮助研究人员和实践者更好地把握数字化转型中的关键因素及其相互作用。

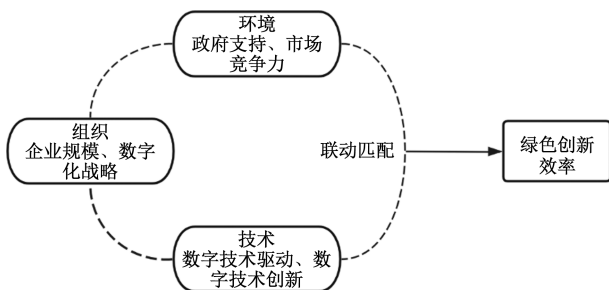


图 1 理论模型框架

## 2 研究设计

### 2.1 动态 QCA

定性比较分析 (qualitative comparative analysis, QCA) 是一种实证研究方法,通过系统地比较不

同案例之间的共同点和差异点,以揭示导致某一现象或结果的多种条件组合。动态 QCA 弥补了传统 QCA 分析方法在时间维度上的局限性,后者主要依赖截面数据进行组态研究,难以分析复杂因果效应和时间之间的互动关系。进入 2021 年以来,动态 QCA 方法的应用进一步拓展到更多领域,并且开始与其他学科相结合。张梓涵和冉荟琴<sup>[8]</sup>的实证分析表明,在乡村振兴过程中,数字普惠金融的作用并不显著,但其重要性却在不断提升,且呈现出显著的时效特征。谢文栋和王峰<sup>[9]</sup>的实证分析表明,单个的制度压力并不能在不同时间内形成较高的环境治理业绩,但是却有三种典型的制度压力。绿色创新进程是一个连续的时间事件,因此传统 QCA 难以有效解释其动态变化,进而更有效地揭示持续、连贯的进程中的复杂因果关系。

### 2.2 案例选择

考虑到数据的可获得性,依据国民经济行业分类样本库,选择国民经济行业为化学纤维的上市企业作为研究对象,将年内分析数据有异常的 ST 和 \*ST 公司排除在外,将上市时间少于 5 年且公开资料不完整的公司排除在外,最后选出 19 家企业。

在样本数据的选取方面,由于 2018 年中国实施了《环保税法》,为制造业企业的绿色发展敲响了警钟,同时为了避免单个年份数据的不稳定,对 2018—2022 年以来化纤企业绿色创新效率的相关数据进行了处理和分析。本文所需要的分析资料来源于国泰安的数据库、企业年报、公司官方网站、社会责任报告、股东大会报告等。

### 2.3 变量选择及数据来源

绿色创新效率:以企业研发人员人数和研发经费支出为初始投入,绿色专利申请数量和绿色专利数量为中间输出。

数字技术创新:主要根据公司具体创新数量来进行计算,主要包括期刊数字创新论文数量、数字创新资质认定数量、数字化相关国家级奖项数量、参与创新国家/行业标准制定数量,进行标准化后得到的变量。

数字技术应用:主要根据公司年报,剔除“管理层讨论与分析”内容后,出现人工智能技术、数字区块链技术、云计算技术、大数据技术四个方面特征词的总频次进行标准化后得到的变量。

企业规模:采用企业规模来度量企业层次上的资源集聚能力,考虑到 QCA 法中存在的模糊性,选取年度总资产的自然对数为评价准则。

数字战略:主要根据公司年报得出的管理层数字职务设立、管理层数字创新导向前瞻性、管理层数字创新导向持续性、管理层数字创新导向广度和强度,进行标准化后得出的变量。

政府支持:现有研究多采用拆分关键词人工甄别与创新项目有关的政府补助,并将其作为对政府支持程度的测度<sup>[10]</sup>。

市场竞争力:选取个股勒纳指数为参考,即“(营业总收入-销售费用-营业成本-管理费用)/营业总收入”来度量企业的市场竞争力。

其中,数字技术创新、数字技术应用、数字战略和政府支持数据来源于国泰安数据库(CSMAR),其余变量数据来源于企业年报和财务资料计算得出。

## 2.4 数据校准

基于前期工作,采用直接校准法,选取95%、50%、5%的分位数作为标定参考锚(完全隶属度、交叉点、非隶属度),利用R软件对面板数据进行校。

## 3 实证分析

### 3.1 必要性

#### 3.1.1 汇总一致性

表1显示个别情况下的必要性分析结果。因为

每一项前因都被认为是提高企业绿色创新效率的“有益因素”。因此,为了避免其他扰动造成的“不高状况下产生高产出”,将研究重点放在“高-高”两个变量间的关系上。

根据表1的结果,通过汇总分析一致性发现,各前因条件的汇总一致性均低于0.9,表明这6个条件变量并非结果变量的必要条件。但是,在一些条件下,组间及组内的一致调节值均大于0.2,说明一些因素对结果的影响具有显著的个体和时间效应。

#### 3.1.2 组间效应

一些条件变量的调节范围超过0.2,说明有时间因素的影响。在两个不同的组别中,有四个组别的一致性调节距离超过0.2,如表2所示,分别为情况1、情况2、情况3、情况4。结果显示,情况1、情况2、情况3、情况4的一致性系数都在0.9以下,说明没有时间影响;在这一时期,许多化纤企业的绿色创新效率显著下降,导致整体市场对绿色创新的响应减弱。在这种背景下,政府对绿色创新的补助作用变得尤为突出和重要,从而使得补助对绿色创新效率的影响在2021年得到显著地放大。

表1 单个条件必要性分析

条件变量	高绿色创新效率				非高绿色创新效率			
	汇总一致性	汇总覆盖度	组间一致性调整距离	组内一致性调整距离	汇总一致性	汇总覆盖度	组间一致性调整距离	组内一致性调整距离
高数字技术应用	0.599	0.692	0.353 589 593	0.319 710 395	0.532	0.591	0.469 520 607	0.319 710 395
非高数字技术应用	0.646	0.590	0.257 946 506	0.343 218 513	0.723	0.634	0.159 405 144	0.310 307 148
高数字技术创新	0.634	0.665	0.240 556 854	0.376 129 877	0.628	0.633	0.231 862 028	0.376 129 877
非高数字技术创新	0.650	0.645	0.144 913 767	0.409 041 241	0.668	0.637	0.124 625 840	0.404 339 618
高企业规模	0.635	0.642	0.162 303 420	0.484 267 216	0.641	0.622	0.130 422 391	0.470 162 346
非高企业规模	0.626	0.645	0.118 829 289	0.568 896 439	0.631	0.624	0.121 727 565	0.465 460 723
高数字战略	0.580	0.639	0.243 455 129	0.606 509 426	0.571	0.605	0.104 337 913	0.559 493 192
非高数字战略	0.642	0.609	0.211 574 100	0.550 089 945	0.659	0.601	0.115 931 014	0.479 565 593
高政府支持	0.597	0.675	0.243 455 129	0.465 460 723	0.572	0.622	0.176 794 796	0.437 250 982
非高政府支持	0.666	0.618	0.249 251 680	0.376 129 877	0.701	0.626	0.223 167 202	0.329 113 642
高市场竞争力	0.747	0.644	0.052 168 956	0.173 960 068	0.763	0.631	0.095 643 087	0.141 048 704
非高市场竞争力	0.572	0.715	0.199 980 999	0.300 903 901	0.569	0.684	0.075 355 159	0.310 307 148

表2 调整距离大于0.2的组间数据

因果组合情况			2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
情况1	高数字技术应用	组间一致性	0.692	0.380	0.406	0.763	0.680
	高绿色创新效率	组间覆盖度	0.697	0.554	0.625	0.778	0.710
情况2	高数字技术创新	组间一致性	0.621	0.571	0.445	0.763	0.745
	高绿色创新效率	组间覆盖度	0.770	0.579	0.575	0.826	0.538
情况3	高数字战略	组间一致性	0.445	0.491	0.58	0.651	0.753
	高绿色创新效率	组间覆盖度	0.692	0.565	0.604	0.791	0.542
情况4	高政府支持	组间一致性	0.506	0.673	0.748	0.612	0.437
	高绿色创新效率	组间覆盖度	0.686	0.641	0.674	0.963	0.424

### 3.1.3 组内效应

根据表 1 中单个条件的必要性分析结果,各组合的组内一致性调整距离大多数大于 0.2,这表明化纤企业绿色创新效率的前因条件存在显著的企业异质性。这种现象反映化纤企业在绿色创新过程中情况的多样性和差异性。选取 19 家典型企业作为研究样本,考虑到这些企业在数字禀赋、资源投入、区位条件等方面的差异,化纤企业在绿色创新过程中不可避免地受到各种内外部因素的不同影响。这些因素的多样性导致组内一致性调整距离的较大变动,进一步突显化纤企业在绿色创新方面的个体差异和复杂性。因此,研究中的组内一致性调整距离较大反映化纤企业在面对绿色创新挑战时的不同应对策略和结果。

### 3.2 条件组态充分性分析

组态分析是 QCA 方法的核心,基于前人研究和本次研究情况,在使用 R 语言进行真值表的构建过程中,一致性阈值设置为 0.8;频数阈值默认为 1;检查是否存在一致性类别异常案例,即设置 dcc=TRUE;PRI 值设置为 0.7。组态分析结果如表 3 所示,呈现 3 种组态。

表 3 组态分析结果

条件变量	组态 1	组态 2	组态 3
数字技术应用	●	●	●
数字技术创新	⊗	●	⊗
企业规模	●	⊗	⊗
数字战略	●	⊗	⊗
政府支持	●	●	●
市场竞争力	●	●	⊗
一致性	0.917	0.918	0.921
PRI	0.725	0.707	0.723
覆盖度	0.222	0.264	0.221
唯一覆盖度	0.052	0.034	0.007
组间一致性调整距离	0.145 850 327	0.145 750 327	0.192 766 562
组内一致性调整距离	0.089 846 536	0.072 456 884	0.060 863 782
总体 PRI	0.743		
总体一致性	0.906		
总体覆盖度	0.323		

注:●和⊗表示核心存在与缺失;●和⊗表示边缘存在与缺失;空白表示存在与缺失都可。

#### 3.2.1 汇总结果对比

组态 1 的核心存在条件是数字技术应用、企业规模和政府支持,数字技术创新是核心缺失条件,而市场竞争力和数字战略为边缘存在条件,在数字化背景下解释了约 22.2%的高绿色创新效率

案例,其中 5.2%的企业通过此组合实现高效率。数字技术的应用使企业能够优化资源管理并减少环境影响;企业规模则为技术实施提供必要的资源和能力保障。政府的政策和资金支持帮助企业实现环保目标。数字技术创新的缺失可能限制绿色创新效率的提升,企业往往更注重利用现有的成熟技术,而不是大量投入新技术研发。成熟技术经过多年的验证,通常更稳定高效,企业可以迅速应用于生产和管理,从而提升绿色创新效率。在数字技术创新背景下,企业往往依赖外部因素,如政府支持和政策引导,推动现有技术的广泛应用。这使得企业优先满足绿色政策和标准,积极响应政府的绿色发展要求,借助政策支持迅速提升绿色创新效率。虽然数字战略和市场竞争在这一过程中处于边缘地位,其对绿色创新效率的直接影响有限,这表明企业主要依靠外部支持和已有技术的优化,而非依赖长期战略或市场竞争来驱动绿色创新。

组态 2 的核心存在条件是数字技术应用、创新、政府支持和市场竞争力,数字战略是核心缺失条件,而企业规模作为边缘缺失条件影响并不显著,解释了约 22.1%的高绿色创新效率案例,但只有 0.7%的企业通过此组合实现高效率。数字技术应用指的是企业通过智能制造和数据分析等成熟的数字解决方案,直接优化生产流程,减少资源消耗和污染排放,从而提升绿色创新效率。政府支持是关键的外部驱动力,尤其在企业内部创新和战略较弱时,政策引导、法规要求以及资金和税收优惠等措施能促使企业积极推动绿色技术创新。这种外部压力和激励机制弥补企业在创新和竞争上的不足,帮助企业提高绿色创新效率。数字技术创新不足并不妨碍绿色创新推进,因为企业可以专注于使用现有的先进技术,而非投入资源进行高风险的研发。成熟技术通常稳定、易于实施,使企业快速见效。缺乏复杂数字战略反而增加执行的灵活性和速度,使企业能迅速响应政策要求,直接采取绿色措施。这种组合条件下,企业依赖于现有的数字技术和政府支持,弥补内部创新和战略的不足,快速实现绿色转型,推动绿色创新效率的提升。

组态 3 的核心存在条件是数字技术应用和政府支持,数字技术创新、市场竞争力和数字战略是核心缺失条件,而企业规模作为边缘缺失条件影响并不显著,解释了约 26.4%的高绿色创新效率案例,

其中 3.4% 的企业通过此组合实现高效率。核心条件包括数字技术应用、创新、政府支持和市场竞争力,而数字战略和企业规模的影响不显著。数字技术应用帮助企业优化生产流程、减少资源浪费并提高能源利用效率;而数字技术创新则推动新技术的开发,使企业引入更高效和环保的解决方案。这两者结合,为数字化转型奠定基础,使企业在绿色创新中具备技术优势。政府支持通过政策、法规和资金保障,激励企业加快绿色创新,确保环保标准的达成。在企业缺乏明确数字战略的情况下,政府的引导尤为重要,能够弥补企业战略上的不足,引导其积极响应绿色转型的需求。企业竞争推动企业优化技术和管理,增强产品的绿色性和可持续性,从而赢得市场认可。尽管数字战略通常涵盖长期的投资和发展规划,但在战略不足的情况下,企业往往更加务实,专注于当前环境问题和外部需求(如政策和市场压力)。这时,企业会优先采用现有成熟技术和数字工具,以快速推动绿色创新效率的提升。通过这种方式,企业能够在短期内实现绿色转型,增强市场竞争力。

组态 1、组态 2、组态 3 的组间一致性调整距离与组内一致性调整距离均小于阈值 0.2,故所有组态都无显著时间效应和地区效应。

### 3.2.2 组间结果对比分析

如图 2 所示,尽管高绿色创新效率的三条组态在组间一致性调整距离上都未超过 0.2,显示时间效应并不显著,但对各组态时间维度变化的进一步考察揭示了它们在时间上的一致性水平存在一定波动。

2018 年,组态 2 因结合数字技术创新和市场竞争,一致性略高。组态 1 依赖外部资源和成熟技术,而非自主创新,组态 3 则在政府支持下保持较高一致性。整体来看,2018 年是企业受外部环境普遍影响的均衡时期,三组态表现接近。

2019 年,组态 1 和组态 2 的企业因依赖外部支持和市场压力,受政策或技术波动影响,一致性显著下降,而组态 3 因依赖政府支持,表现更好的适应能力,一致性小幅提升。

2020 年,新冠肺炎疫情导致外部冲击,三组态企业的一致性普遍增强,尤其是组态 2 和组态 3,因企业通过灵活应对策略缩小了组态间差异。

2021 年,新冠肺炎疫情持续,企业在政策、技术应用和市场应对上趋同,导致行为和决策高度同质化。

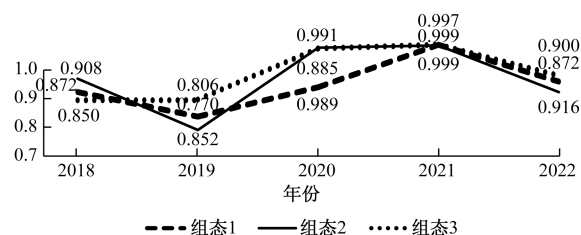


图 2 组间一致性变化

2022 年,随着新冠肺炎疫情消退,组态 1 依然保持较高一致性,但各企业开始寻求差异化策略。组态 2 因市场竞争和技术依赖性较高,一致性显著下降,而组态 3 依赖政府支持,保持了较高一致性。

### 3.2.3 组内结果对比分析

考虑到当前动态 QCA 分析还没有针对样本间的差异性制定特定的度量指标,拟从每条路径的微观一致性出发,探索其组态偏好。三种组态的解释能力与一致程度都很高,只有少数公司则有低于 0.75 的判断阈值。该组内分析结果可以很好地展现各个状态下的化纤企业之间的一致性程度,可以帮助化纤公司更加准确地把握技术、组织、环境等多个层次上的要素对绿色创新效率的协同作用。同时也弥补了以往剖面构型在个人层次上不能探测一致性精确程度的缺陷。对于为什么各个状态一致的个体都会低于 0.75 的阈值,企业本身的特性是影响其绿色创新效率的重要因素。本项目以 19 家具有代表性的化纤企业为研究对象,考虑上市公司资源存在显著差异,在多维度要素的激励与协调下,不可避免地会产生赋能“壁垒”,表现为路径驱动的局限性。

### 3.3 稳健性检验

采用改变一致性阈值和调整 PRI 阈值两种方式对上述结果进行稳健性检验。将一致性值从 0.80 提高至 0.90,产生高绿色创新绩效的组态与原结果一致,综合比较 0.80 和 0.90 一致性阈值水平下的组态结果,调整一致性阈值后得到的三个组态与之前结果保持一致。这表明,本文的主要结论不会因为一致性阈值的变化而改变,研究结果是稳定和可信的。在保持其他条件不变的情况下,将 PRI 阈值由 0.7 调至 0.68, PRI 调整后所得组态、一致性与原组态一致。通过以上分析,可以看出研究的组态具有一定的稳定性。

## 4 结论与启示

### 4.1 结论

本文通过动态 QCA 分析化纤企业在数字化转

型背景下的绿色创新效率,构建了三类组态模型,揭示不同技术、组织和环境因素对绿色创新效率的关键作用。三类组态分别依赖于数字技术应用、企业规模和政府支持,数字技术与环境,以及数字技术应用、政府支持与组织的相互平衡,在提高绿色创新效率方面均表现出较高的解释力,但个体企业的表现存在差异。尽管各类组态在时间维度上没有显著差异,但在特定年份,企业表现的策略执行一致性存在波动,尤其是在面对外部冲击(如新冠肺炎疫情)时,各组态表现不同的适应能力。个体企业因资源差异性,在应对多层次影响因素时表现一定的路径依赖和壁垒,部分企业一致性低于 0.75,表明创新效率受到企业自身特征的显著影响。

#### 4.2 启示

本文为化纤企业在数字化背景下实现绿色创新提供重要启示。首先,企业应在数字技术应用与成熟技术之间取得平衡,优先考虑高效、低风险解决方案,同时注重政府支持与政策引导的利用。其次,企业规模在资源分配和技术应用中的作用显著,优化内部资源管理有助于提高绿色创新效率。最后,面对不断变化的外部环境和政策,企业应保持灵活性,提升市场竞争力,同时针对个体特征制定差异化策略,以克服资源壁垒,实现长期的绿色创新目标。

#### 参考文献

- [1] 李婉红,李娜.绿色创新、数字化转型与高耗能企业碳减排绩效[J].管理工程学报,2023,37(6):66-76.
- [2] 张帅.数字普惠金融对绿色创新效率的影响研究[D].济南:山东大学,2021.
- [3] 杨天山,袁功林,武可栋.企业数字化转型能否促进绿色创新效率提升?[J].企业经济,2023,42(10):17-28.
- [4] 刘畅,潘慧峰,李珮,等.数字化转型对制造业企业绿色创新效率的影响和机制研究[J].中国软科学,2023(4):121-129.
- [5] 郭爱君,杨春林,张永年,钟方雷.数字经济产业发展对城市绿色创新效率的影响——基于两阶段价值链视角的分析[J].城市问题,2023(1):49-59.
- [6] 李晶,曹钰华.基于组态视角的制造企业数字化转型驱动模式研究[J].研究与发展管理,2022,34(3):106-122.
- [7] 陈爽英,雷波,冯海红.发达地区和欠发达地区工业数字化的组态路径——基于“技术-组织-环境”的理论框架分析[J].科学学研究,2022,40(03):410-419.
- [8] 张梓涵,冉荟琴.数字经济驱动乡村振兴的组态路径研究——基于省际面板数据的动态 QCA 分析[J].西部经济理论论坛,2023,34(6):45-56.
- [9] 谢文栋,王峰.多重制度压力如何影响地方政府环境治理绩效——基于地级市面板数据的动态 QCA 分析[J].中国行政管理,2024(1):28-42.
- [10] 陈和,黄依婷.政府创新补贴对企业数字化转型的影响——基于 A 股上市公司的经验证据[J].南方金融,2022(8):19-32.

## Exploring Pathways to Enhance Green Innovation Efficiency in Chemical Fiber Enterprises within the Context of Digital Transformation

ZHU Jing, ZHAO Hongxia

(School of Economics and Management, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, Shandong, China)

**Abstract:** As global environmental issues worsen, green innovation is recognized as a core strategy for the sustainable development of chemical fiber enterprises. In this study, based on the TOE framework, listed companies in the chemical fiber industry from 2018 to 2022 were selected. The dynamic QCA method was used to analyze how digitalization influences green innovation efficiency. Three paths were identified for improving the green innovation efficiency of these enterprises. The first path relied on the application of digital technologies, the second on the scale of the enterprise and government support, and the third on the balance between digital technologies, government support, and organizational factors. These configurations show strong explanatory power, although individual performance varies across companies.

**Keywords:** dynamic QCA; digital transformation; digital technology; green innovation efficiency