

数字化转型与绿色创新双化协同的耦合协调机理与时空分异特征

严韵

同济大学 经济与管理学院, 上海, 200092;

摘要: 数字化转型与绿色创新的双化协同为推动高质量发展的关键。文章通过耦合协调度模型与 Dagum 基尼系数分解法对我国 31 个省份双化协同的耦合协调度进行耦合机理以及时空分异特征分析。研究发现, 全国耦合协调度从极度失调状态提升为中度失调状态; 区域间“东高西低”的梯度差异显著; 空间分异主要源于区域间差异, 东部与西部组间差异最大。

关键词: 数字化转型; 绿色创新; 耦合协调

DOI: 10.69979/3029-2700.25.01.080

引言

《“十四五”国家信息化规划》强调推动数字化与绿色化协同互促发展。企业绿色创新面临周期长、投入高、技术外溢性强等挑战^[1], 且在组织惯性和环境规制约束下易陷入“路径依赖”困境, 导致创新动能不足。研究显示, 数字化转型凭借其渗透性、覆盖广和效益高的特性^[2], 通过与绿色创新的“双化协同”效应, 已成为突破发展瓶颈、实现高质量增长的核心路径。

数字化转型与绿色创新的相关研究中, 宋德勇等^[3]证实数字化转型显著提升绿色创新效能, 肖静等^[4]发现其可同步提升创新数量与质量, 李金昌等^[5]则验证了其对环境、经济及创新绩效的复合增益。郭丰等^[6]揭示数字化通过优化人力资本和产学研协同驱动创新, 张泽南等^[7]从技术维度切入, 发现底层技术应用通过提升信息质量和技术整合能力促进绿色创新。

现有研究多聚焦数字化转型与绿色创新的单向关系, 而关于二者耦合关系的研究较为空白。基于耦合理论分析系统间互动机制与协调发展程度^[8], 本研究以 2010-2022 年沪深 A 股企业为样本, 构建双化协同耦合模型。创新性体现在: ①揭示双化协同耦合机理; ②构建耦合协调度模型进行时空测度; ③分析区域发展梯度差异特征。

1 双化协同耦合机理分析

1.1 数字化转型赋能绿色创新活动

企业数字化转型通过三重机制强化创新动能: 在生产效率维度, 数据整合加速知识流动与精细化管理, 提升要素配置效率^[9]; 在经济发展维度, 缓解银企信息不对称以拓宽绿色融资渠道^[10], 同步提升研发投入强度与

团队专业化^[11]; 在知识溢出维度, 依托跨组织数字平台共享关键信息^[12], 通过风险分散与试错成本控制提升绿色创新效率^[13]。

1.2 绿色创新助力数字化转型发展

绿色创新驱动数字化转型的三重路径: 技术发展层面, 通过优化数字基础设施降低建设成本, 同步突破核心算法与器件研发瓶颈^[14]; 内部激励层面, 依托产业关联效应驱动全要素数字化重构, 形成“创新投入-专利产出-产业升级”增强回路^[15]; 外部环境层面, 创新型城市建设与政府补贴政策提供制度保障^[16]。根据技术创新理论, 绿色创新通过重组生产要素与数字技术融合^[17], 实现可持续的产业升级路径。

2 研究方法

2.1 耦合协调度模型

为探究双化协同之间相互作用的程度, 本文采用修正的耦合协调度模型。具体的耦合度模型如下:

$$C = \sqrt{[1 - (U_2 - U_1)]} \times \frac{U_1}{U_2} \quad (1)$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (2)$$

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

其中: C 为耦合度, 取值范围为 $[0, 1]$; 是数字化转型, 是绿色创新效率。 T 为综合协调指数, 赋值为 0.5。 D 是耦合协调度。用等间距划分方法, 将耦合协调度划分为 10 个等级。

2.2 空间差异测算

文中采用Dagum基尼系数分解法分析双化协同效率耦合协调度的局部空间结构特征。Dagum基尼系数的计算及其分解过程如下：

$$G = G_w + G_{nb} + G_t \quad (4)$$

其中：G为整体基尼系数； G_w 、 G_{nb} 、 G_t 是耦合协调度的区域内差异、区域间差异、超变密度。

2.3 数据说明

以2010-2022年中国31个省份沪深A股上市企业为样本，数据源自上市公司年报、社会责任报告、《中国环境统计年鉴》及中国专利数据库。参考相关研究，剔除ST/*ST类公司及变量缺失样本（缺失符合完全随机），最终获得38,741个观测值。

2.4 变量测量

（1）数字化转型（DT）。本文借鉴吴非等的研究，基于2010-2022年中国A股上市公司数据，采用文本挖掘法统计年报中细分指标词频总和，经标准化衡量企业数字化转型水平^[18]。

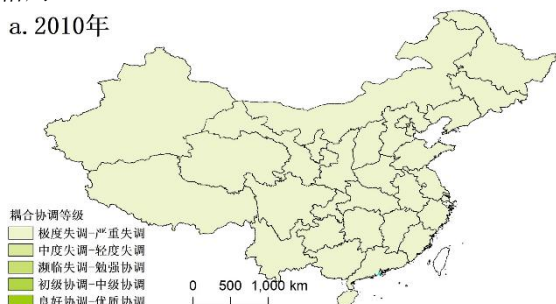
（2）绿色创新（GI）。将绿色创新分为研发与成果转化两阶段：研发阶段以R&D人员当量、经费投入及专利产出衡量；成果转化阶段以专利为投入，新产品开发经费为补充，产出包含新产品收入、产业产值及环境指数^[19]。运用DEA-SBM模型测算效率，考虑研发周期设置2年滞后期（t年投入对应t+1年中间产出，t+2年最终产出）。

3 双化协同耦合协调度的空间分异特征分析

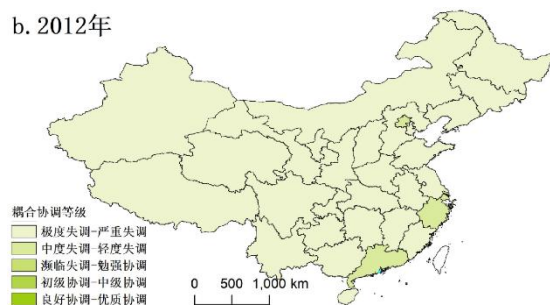
3.1 我国双化协同耦合协调度空间分异格局

2010-2022年双化协同耦合协调度分布于0.012-0.998区间，涵盖极度失调至优质协调全谱系（见图1）。全国均值呈持续上升态势，从2010年严重失调提升至2016年中度失调，截至2022年仍处于协调转型期且区域差异显著：广东以0.998达优质协调，青海仅0.061处极度失调，0.937的极差揭示省际双化协同发展严重失衡格局。

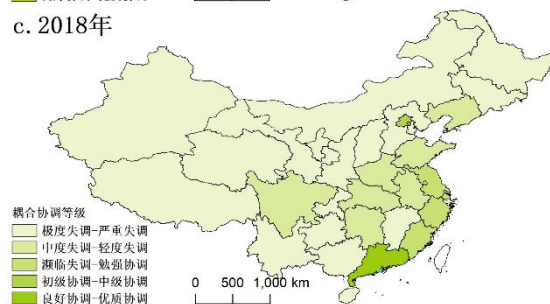
a. 2010年



b. 2012年



c. 2018年



d. 2022年

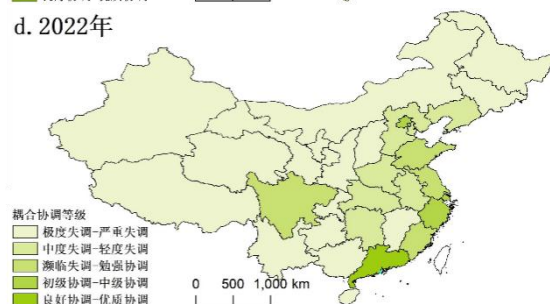


图1 双化协同耦合协调等级图

从时间上看，2010年三大区域均处失调区间，2012年北京率先突破极度失调阈值，沪浙粤等沿海省份进入中度失调阶段。2012-2022年间逐步形成以京津冀、长三角、珠三角为核心的多极辐射格局，地理邻近效应驱动协调梯度由经济发达城市向周边区域扩散。

从空间上看，我国双化协同耦合协调度呈现“先升后稳”的演进特征，形成东（濒临失调）-中（中度失调）-西（严重失调）三级阶梯分化。这种梯度差异源于东部依托长三角、珠三角城市群的经济网络密度优势，通过加速要素流通与数字技术渗透促进创新要素跨区域扩散；而西部受制于数字基建滞后与经济地理离散，既阻滞本地双化协同进程，又削弱跨区域知识溢出，陷入内生动力与外源传导双重阻滞的系统性困境。

3.2 我国双化协同耦合协调度空间分异程度及来源

我国双化协同耦合协调度整体平缓发展，组内差异呈现阶段性梯度重构：2010-2011年西部组内差异领跑，东部变幅最大；2014年后东部组内差异跃居首位，西部持续最低。区域间差异呈异质化演进，东-西差异始终最大，中-西差异保持最低，东-中差异呈现“W”型波

动。

我国双化协同耦合协调度的空间分异贡献强度排序为组间差异、超变密度、组内差异（由大到小）。其中组内差异贡献率呈现N型波动，其余两者呈震荡演进。当前交叉重叠效应仍是分异主因，预示着未来区域间分化可能成为主导驱动力量。

4 结论与建议

本研究基于耦合协调度模型与Dagum基尼系数分解，揭示我国双化协同耦合协调度时空分异呈现双轨演进特征：时序上2010—2018年高速增长期与2018—2022年增速平缓期，映射出东部“技术吸收—要素投入”二元路径分化——粤实现优质协调，京浙沪苏突破协调门槛，而青宁蒙等中西部省份因传统产业锁定效应陷入“绿色收益递减”困局；空间上形成“东高西低”三级梯度差，东部依托数字基建构建双化流通网络，中部困于技术溢出依赖，西部受制数字基建滞后形成“胡焕庸线”，区域差异贡献率超60%且东-西数字鸿沟持续扩大，凸显跨区域协同治理体系建设的紧迫性。

本研究针对我国双化协同耦合协调度存在的空间失衡与低水平发展问题，提出三阶递进策略：空间治理层面实施分区域策略，东部构建跨域协同联盟推进技术扩散，中部设立“智改数转”基金破解绿色改造成本困局，西部依托四川等核心节点加速数字新基建；要素配置层面创建“数字技术交易平台+人才柔性流动”机制，通过数字税惠、项目孵化等政策工具引导创新要素西进，同步将双化协同指标嵌入政企考核体系，构建数字资源与绿色创新的动态适配机制。

参考文献

- [1] 曾德明,尹恒,文金艳. 科学合作网络关系资本、邻近性与企业技术创新绩效[J]. 软科学, 2020, 34(03): 37-42.
- [2] 李雪松,党琳,赵宸宇. 数字化转型、融入全球创新网络与创新绩效[J]. 中国工业经济, 2022(10): 43-61.
- [3] 宋德勇,朱文博,丁海. 企业数字化能否促进绿色技术创新?——基于重污染行业上市公司的考察[J]. 财经研究, 2022, 48(04): 34-48.
- [4] 肖静,曾萍. 数字化能否实现企业绿色创新的“提质增量”?——基于资源视角[J]. 科学学研究, 2023, 41(05): 925-935+960.
- [5] 李金昌,连港慧,徐蔼婷. “双碳”愿景下企业绿色转型的破局之道——数字化驱动绿色化的实证研究

- [J]. 数量经济技术经济研究, 2023, 40(09): 27-49.
 - [6] 郭丰,杨上广,柴泽阳. 企业数字化转型促进了绿色技术创新的“增量提质”吗?——基于中国上市公司年报的文本分析[J]. 南方经济, 2023, (02): 146-162.
 - [7] 张泽南,钱欣钰,曹新伟. 企业数字化转型的绿色创新效应研究: 实质性创新还是策略性创新?[J]. 产业经济研究, 2023, (01): 86-100.
 - [8] 高楠,马耀峰,李天顺,等. 1993—2010年中国入境旅游与进口贸易耦合关系时空分异研究[J]. 经济地理, 2012, 32(11): 143-148+161.
 - [9] 戚聿东,肖旭. 数字经济时代的企业管理变革[J]. 管理世界, 2020, 36(06): 135-152+250.
 - [10] Lee I, Shin Y J. Fintech: Ecosystem, Business Models, Investment Decisions, and Challenges[J]. Business Horizons, 2018, 61(1): 35-46.
 - [11] 雷尚君. 数字化转型推动产业创新了吗?——基于上市公司的微观证据[J]. 江西社会科学, 2023, 43(07): 110-120.
 - [12] 张羽飞,原长弘. 产学研深度融合突破关键核心技术的演进研究[J]. 科学学研究, 2022, 40(05): 852-862.
 - [13] 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(04): 121-129.
 - [14] 崔茂森,刘荣庆. 数字经济与绿色创新耦合协调度研究——以长三角地区城市为例[J]. 华东经济管理, 2024, 38(05): 25-37.
 - [15] 孔婷婷,张恒毅. 企业绿色创新、数字化转型与碳排放[J]. 统计与决策, 2024, 40(20): 178-183.
 - [16] 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, (08): 19-32.
 - [17] Schumpeter J A, Schumpeter J, et al, 1934. The theory of economics development[J]. Journal of Political Economy, 1(2): 170-172.
 - [18] 吴非,胡慧芷,林慧妍,等. 企业数字化转型与资本市场表现——来自股票流动性的经验证据[J]. 管理世界, 2021, 37(07): 130-144+10.
 - [19] 肖仁桥,陈小婷,钱丽. 异质环境规制、政府支持与企业绿色创新效率——基于两阶段价值链视角[J]. 财贸研究, 2022, 33(09): 79-93.
- 作者简介: 严韵(2000.6-),女,汉族,上海市人,硕士在读,研究方向: 数字化转型、绿色创新。