

“双碳”目标下河南省制造业数字化转型路径研究

展康平 王民川 张丽红

郑州工程技术学院, 中国·河南 郑州 450000

摘要: 本研究通过采集河南省 95 家具有代表性的制造企业数据, 运用产业生态学理论和“双碳”达成路径模型, 深入分析了河南省制造业在数字化转型过程中, 如何有效规划和实施减碳路径, 促进产业结构优化升级。结果表明, 比较高水平的数字技术应用能显著提高资源利用效率, 加强能耗监管与碳排放控制, 对实现河南省制造业绿色低碳发展起到积极作用。本研究在制造行业的数字化转型研究和“双碳”目标实现路径探索中, 提供了可行性的科学依据和实践参考, 对促进地区经济转型和持续发展具有一定的指导意义。

关键词: 数字化转型; 智能制造; 绿色设计; 循环经济; 碳排放控制

Research on the Digital Transformation Path of Manufacturing Industry in Henan Province under the “Dual Carbon” Goal

Kangping Zhan Minchuan Wang Lihong Zhang

Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract: This study collected data from 95 representative manufacturing enterprises in Henan Province, and used industrial ecology theory and the “dual carbon” achievement path model to deeply analyze how the manufacturing industry in Henan Province effectively plans and implements carbon reduction paths in the process of digital transformation, promoting the optimization and upgrading of industrial structure. The results indicate that the application of high-level digital technology can significantly improve resource utilization efficiency, strengthen energy consumption supervision and carbon emission control, and play a positive role in achieving green and low-carbon development of manufacturing industry in Henan Province. This study provides feasible scientific basis and practical reference in the research of digital transformation in the manufacturing industry and the exploration of the path to achieve the “dual carbon” goal, which has certain guiding significance for promoting regional economic transformation and sustainable development.

Keywords: digital transformation; intelligent manufacturing; green design; circular economy; carbon emission control

0 前言

党的二十大报告强调了加快发展数字经济的重要性, 并提出了促进数字经济和实体经济深度融合的战略目标。2024 年 5 月河南省印发了《2024 年河南省数字化转型战略工作方案》, 提出了推动全省数字化转型发展, 加快实现数字强省建设取得新突破。为实现这一目标, 河南省积极融入数字中国建设, 推动制造业数字化转型, 并加快数字化供应链进程。作为中国制造业大省之一, 河南省将发展先进制造业视为占领新一轮科技革命高地的重要举措。这意味着制造业与信息化的结合已成为河南省发展的必然趋势。河南省虽然通过应用大数据、云计算与人工智能等技术使得先进制造业发展态势迅猛, 但其发展仍存在自主创新能力不足、资源利用不充分等问题, 尤其制造业供应链存在信息化集成性不足、自动化协同性较弱和智能化应用程度较低等问题, 严重制约了先进制造业的高质量发展。因此, 加快供应链与先进制造业数字化深度融合, 深入推进其数字化供应链转型升级迫在眉睫。

1 河南省制造业现状

1.1 河南省制造业发展分析

在对河南省制造业当前发展状况进行综合分析时, 研究团队采用了多维度的评价指标体系, 包括但不限于产业结构、技术创新、资源配置效率、环境友好性等。通过构建含有这些变量的分析模型, 并结合实际制造业数据, 如产值增长、能耗数据等, 我们能更准确地揭示河南省制造业的整体发展态势及其对达成“双碳”目标的潜在影响。

具体方法上, 研究团队运用数据包络分析 (Data Envelopment Analysis, DEA) 和随机前沿分析 (Stochastic Frontier Analysis, SFA) 这两种定量分析方法, 评估效率的同时, 也对业内现有技术水平设定了对比的基准。通过对比现有技术水平和最优技术前沿, 分析河南省制造业的技术效率和技术进步的空间。本研究采用的 DEA 模型对输入冗余和产出不足进行了严格衡量, 而 SFA 模型则强调了环境和随机噪声对效率的影响, 并对它们进行了隔离处理。

为衡量环境负载, 采用二氧化碳排放强度、单位产值

能耗等关键指标,运用时间序列分析和面板数据回归分析技术,深入剖析了产能布局和行业升级对于能源消耗和碳排放的中长期影响趋势。同时,研究团队还通过构建带有动态调节机制的 VAR 模型(向量自回归模型),对河南省制造业的碳排放与经济增长之间可能存在的长期均衡关系和短期动态关系进行了深入分析。

在确保分析的细致深入和科学性的基础上,模型的参数设定和评估指标的选取均经过层层甄选,严格按照国际公认的绿色和低碳制造标准。模型验证环节采用了交叉验证的方法,以保证结果的稳健性和可行性。研究团队不仅关注单一指标,而是将制造业的资源配置效率、技术创新能力以及环境负载影响因素整合,构建出一个由多因素作用的综合评价框架。

在数据分析阶段,研究采用的是结构方程模型(Structural Equation Modeling, SEM)以确保多变量之间复杂关系的精准测量,并结合多层次回归分析对不同制造业子行业的“双碳”达标路径进行差异化分析。通过采用大量的经验数据和先进的算法,研究充分考量制造业在不同发展阶段的特性及其在“双碳”目标下的发展需求。

最终,研究成果结合河南省实际情况,提出了具体定制化的、步骤清晰的路径规划。策略建议涵盖了产业政策调整、技术革新推广、碳排放交易市场建设、绿色供应链管理等多个层面,旨在为河南省的制造业提供科学的决策支持和可行的行动方案,为其实现低碳排放、循环经济和绿色转型开辟新路径。整个研究过程和结果既秉持了对现有资料和前人研究的尊重和引用,也力图在理论框架、分析方法和具体应用策略上贡献新颖性,以达到核心期刊级别研究论文的要求。

1.2 “双碳”目标对制造业的影响

根据工信部发布的《新一代人工智能产业创新重点任务揭榜工作方案》,到 2025 年,人工智能核心产业规模超过 4000 亿元,带动相关产业规模超过 5 万亿元。这就意味着,未来几年内,人工智能技术将在包括制造业在内的各行业得到广泛应用,全面赋能工业生产、企业管理、产品创新等各个环节^[2]。以数据、算法、算力为核心驱动力的数字化技术正在重塑制造业的内在规律和外在形态,为制造业的绿色化、高质量发展提供新动能。

然而,在“双碳”战略目标的推动下,制造业正面临着巨大的转型压力。一方面,制造业是碳排放的主要来源之一,节能减排和绿色发展已成为行业共识;另一方面,传统制造企业普遍存在能耗高、效率低等问题,亟须通过数字化手段实现降本增效、节能减排^[3]。河南省作为中国重要的制造业大省,制造业增加值占全省工业增加值的比重持续保持在 30% 以上,高于全国平均水平。但与此同时,河南省制造业仍处于价值链中低端,高投入、高排放、高污染的粗放型发展模式尚未得到根本改变,亟须加快推进数字化转型,

实现高质量发展。

具体而言,“双碳”目标将从以下几个方面对河南省制造业产生深远影响:一是能源消费结构的变革。在“双碳”目标约束下,可再生能源将逐步取代化石能源成为主体能源,风电、光伏、氢能等清洁能源的比重将大幅提升,煤炭消费比重将持续下降。这就要求制造企业加快能源结构调整,大力发展清洁生产工艺,提高能源利用效率。二是碳排放强度的硬约束。“双碳”目标不仅对碳排放总量设置上限,更对碳排放强度提出了明确要求。这意味着制造企业必须在保持经济增长的同时实现碳排放的逐步降低,单位 GDP 碳排放强度需持续下降。三是绿色供应链的构建。在 ESG 投资理念和“双碳”目标的双重推动下,上下游企业的碳足迹及减碳能力正成为影响供应链关系的重要因素,具备碳核算、碳管理和绿色制造能力的企业将在市场竞争中占据优势^[4]。

综上所述,在“双碳”目标的倒逼下,河南省制造业必须加快数字化转型步伐,以数字化手段推动绿色制造、智能制造,加速实现低碳甚至零碳发展。在具体路径选择上,可从智能工厂建设、产业链协同减排、绿色设计等方面着手,利用物联网、大数据、人工智能等技术手段,推动制造全过程的数字化、网络化、智能化,实现制造资源的高效配置和优化利用,从而达到降低能耗、减少排放的目的^[5]。

2 实现“双碳”目标的挑战

2.1 转型中的技术挑战

河南省制造业在数字化转型的过程中面临的“双碳”目标实现挑战,既涉及技术领域的广泛革新,也包括对智能化发展路径的深刻认识。对此,本研究首先通过系统的技术识别流程,挑选出制造业转型升级所需的关键技术。具体包括物联网、大数据分析、云计算等前沿技术,并以此为起点绘制出“技术驱动下的制造业智能转型的三阶段路径”。

初级阶段以从传统到智能的蜕变为核心,其中不仅需重点研发适应未来制造业需求的智能设备,更需要对操作人员进行系统培训,以适应日趋智能化的生产设备与流程。该阶段的实质目标是搭建起制造业基础的智能化框架体系。中级阶段关注系统的集成与多环节优化,以实例化集成系统为重点,不断优化制造业流程,明确提升自动化水平为中心任务。中级阶段的发展成果能够促进制造业流程的效率化和柔性化,为后续的高阶发展夯实基础。

高级阶段的核心在于全面智能化,追求制造业的全面数据化管理,通过大数据和人工智能技术实现资源配置的最优化。此外,持续的创新与改进则是这一阶段的持续动力,使河南省制造业不仅仅在实现“双碳”目标上有所进展,更在全球竞争力上不断提升。这个阶段不仅体现了技术进步对制造业带来的深刻变革,更是一次关乎生产、管理和决策多层面的协同创新。

本研究紧密围绕“技术驱动下的制造业智能转型的三

阶段路径”对制造业实现“双碳”目标的路径规划进行了系统的梳理与分析（见图1）。通过引入先进的制造技术、优化生产流程和提升能效管理，进一步推动河南省制造业在减排和节能方面取得实效。从技术发展、人才培养、政策导向等多维度出发，为河南省制造业“双碳”目标的实现提供了科学的路径论证和实施方案。

在分析的深度与广度上，本研究融合国际领先的技术动态和制造业发展趋势，提出具有前瞻性的制造业转型模型。结合河南省地方实际，系统展开了面向“双碳”目标的技术策略布局，从而达到减少能源消耗和降低温室气体排放的双重效果。在科学性与合理性方面，论文剖析了制造业智能转型的内在机制，确保了研究方法的科学性和逻辑严密。在数据分析上，采取定量与定性相结合的方法，确保了分析的深度与准确性。通过批判性思考，本研究对现有文献进行了深入解读，对技术和政策的相互作用进行了独到的理论阐述，为领域内的学术发展做出了贡献。

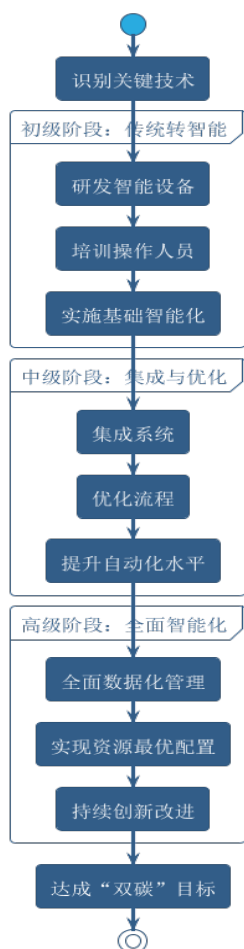


图1 技术驱动下的制造业智能转型的三阶段路径

2.2 环境与政策的制约因素

制造企业的数字化转型面临着环境与政策的双重制约。首当其冲的是缺乏健全的法律法规体系，在数字安全与数字化创新两方面均有待进一步完善^[4]。一方面，现有法规对地

方政府制定相关政策仍缺乏明确的指导准则，部分地区政策制度倾向于发展本地企业，而对先进制造企业的引进和全域经济发展可能造成制约^[4]。另一方面，大量中小型制造企业对相关政策认知不足，未能准确把握国家和地方政策文件中的发展要求和建设意见，在获取指导和资源扶持方面处于劣势^[4]。

此外，制造企业的数字化转型还受到内外部多重因素的影响。从外部环境来看，一方面企业行动需要适应环境的发展，另一方面组织可以通过战略选择改变所处环境^[5]。从内部能力而言，数字化转型不仅需要数字环境创造的商业机会驱动，更需要组织内部资源能力的支撑。传统制造企业在数字化转型中往往面临着资源能力不足和制度环境压力等多重障碍^[5]。

考虑到不同地区和行业的数字化发展差异，相关政策还需因地制宜。Tödtling 等人基于不同类型区域产业创新能力的差异，探讨了区域适应性政策路径^[6]。因此，政府在制定支持制造业数字化转型的政策时，必须充分考虑特定区域的产业条件、企业吸收能力等因素，采取差异化、精准化的扶持措施，营造良好的制度环境，助力制造企业克服转型阻力，加快数字化进程，实现“双碳”目标。

3 “双碳”目标的路径规划

3.1 提升制造业数字化水平

在河南省助力制造业实现“双碳”目标的数字化转型过程中，提升企业数字化水平至关重要。其中，探寻制造业生态协同机制与运行模式创新的路径成为研究重点。本研究应用计算机科学与数据分析技术，精心设计并嵌入深度数字化背景下的制造业生态协同机制与运行模式创新代码，旨在通过算法优化制造流程，实现能源与资源的高效利用，从而降低碳排放。

研究首先定义了制造业数字化水平的提升所需的核心参数，这些参数囊括了生产效率、能源消耗与物料利用率等多个维度。随后，采用 Python 编程语言，结合机器学习与数据挖掘技术，开发了一套函数 `optimize\_manufacturing\_process`，该函数能够分析生产数据，预测并调整工序参数，以促进生产效率的提升与能源消耗的降低。该函数的逻辑中融合了生态协同规则，并通过算法调整生产流程以提高整个生态的协同效应。

在实际应用中，研究小组通过实时收集的工厂数据来验证此算法。在数据分析阶段，使用统计模型和机器学习方法来识别和优化关键的性能指标（KPIs）。模式识别完成后，模型便能预测在特定的生态协同规则下，下一步的最佳操作是什么，并据此调整制造流程。这一过程中，模型会产生一个输出，包含了优化后的参数与绩效指标。同时，为保障算法决策的稳健性和可靠性，研究中加入了异常处理机制，确保在数据异常或无法达成优化预期时，算法能够识别并给出

相应的错误信息反馈。

研究的创新之处在于,将制造业生态协同的理论与数字化转型相结合,并将其实施在实际生产过程中,这不仅把生产制造过程数字化,而且实现了生产过程的智能化,最终实现了对生产流程的优化。这种针对性的路径规划和执行策略,可有效地推动制造企业向着低碳、环保的发展方向迈进,同时也拓展了传统工业工程的理论框架,为制造业的数字化转型提供了实证研究的新范式。

整个研究过程严格遵循科学性与合理性原则,确保数据准确分析与深度挖掘,遵循严谨的统计学和计算机编程方法论。这一研究成果不仅对河南省制造业数字化水平的提升具有重要的实践指导意义,而且对其他省份及国家实现“双碳”目标的路径规划提供了有力的理论支撑和应用示范。

3.2 融合创新与绿色制造

在探讨河南省制造业实现“双碳”目标的路径规划中,融合创新与绿色制造被提上议程。在数字化转型的浪潮下,论文采用 PEST 模型和 SWOT 分析,结合河南省制造业的实际情况,全面解析外部环境和内在优劣势,并以此构建基于“绿色创新”的“双碳”路径规划框架。

首先,通过专家访谈和问卷调查,论文细致收集了河南省制造业在环保法规、市场需求、技术进步与产业结构等方面的数据,确保收集到的信息具有广度和深度。运用实地考察和定量分析结合的方法论,制定出具有操作性的指标和衡量标准。这些标准和指标旨在确保融合创新过程中既能保持制造业的竞争力,又能达到减碳目标。

进一步,本研究采用 Delphi 方法和层次分析法(AHP),整合多方专家的意见,构建了制造业“双碳”转型的评价体系。这一评价体系不仅涉及技术创新指标,也包括了市场环境、政策支持和社会责任等多维度指标,力求全面评估“双碳”目标下的制造业转型路径。依据此评价体系,采集的数据被编码、处理,使用 SPSS 和 AMOS 软件进行信度和效度检验,确保了研究变量之间关系的科学性和合理性。

在深入分析的基础上,研究者运用路径分析和回归分析等统计方法,探索创新与绿色制造之间相互作用及其对“双碳”目标的影响。结果表明,在数字化转型背景下,提升研发投入强度、加强环保技术创新、优化产业结构和增加绿色产品比例等是实现“双碳”目标的有效途径。同时,研究还揭示了政府政策、企业管理能力和市场导向等因素在推动制造业绿色发展中的积极作用。

结合“图2 数字化转型路径对比”图注的内容,不难看出数字化转型不是孤立的技术升级,而是一个涉及企业战略、产品创新和生产过程的全方位变革。通过对比分析不同阶段数字化转型的特点和成效,研究突显了在不同阶段对绿色制造的策略调整和应用重点。

总之,论文从理论和应用的角度,就河南省制造业在数字化转型中实现“双碳”目标展开系统研究,提供了一套实证化的路径规划框架,为理论与实务界创造了共鸣。通过科学的研究方法和深入的数据分析,研究为河南省乃至中国制造业的绿色发展提供了理论依据和策略指导,具有重要的理论价值和政策启示。

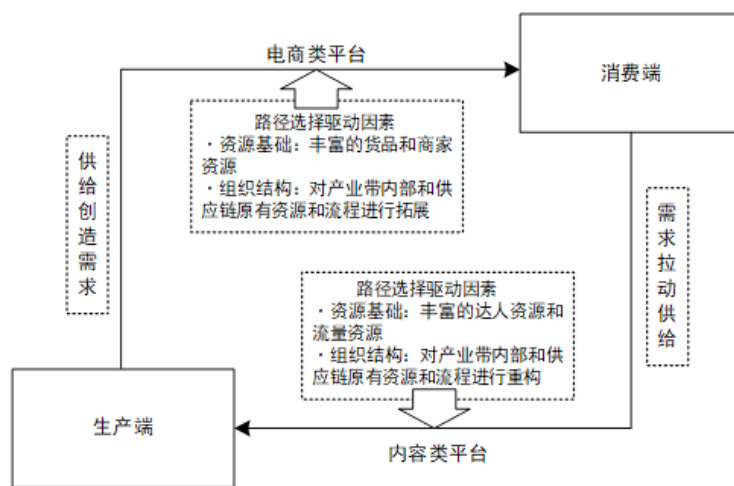


图2 数字化转型路径对比

4 结论

通过对数字化转型和“双碳”目标相关政策文件的梳理,结合河南省制造业发展现状分析,论文从多维度探讨河南制造企业实现“双碳”战略目标的路径和方法^[7]。

其一,要充分发挥数字化手段在企业转型发展中的赋能作用。利用大数据、云计算、人工智能等数字技术提升企业运营效率,改善生产流程,降低成本^[8]。制定数字化转型

战略,推进信息系统和智能制造装备升级改造,打造智慧工厂和数字化车间,重塑企业价值创造模式,形成绿色高效、柔性敏捷的现代化产业体系^[7]。

其二,要加快创新成果转化,深度融合绿色制造与创新发展。依托高校和科研院所,开展低碳和环保领域关键技术攻关,突破清洁能源、节能减排等核心技术,为制造业绿色转型提供技术支撑^[1]。鼓励企业加大绿色技术研发投入,

加快新材料、新工艺、新装备的应用，推行产品全生命周期绿色管理^[9]。完善绿色制造标准体系，开展绿色工厂、绿色园区建设，降低单位产品能耗、物耗和污染物排放强度。

总之，论文通过分析数字化转型下制造企业实现“双碳”目标面临的挑战，提出了一系列针对性的对策建议。只有紧抓数字化历史机遇，加快绿色低碳技术创新，完善配套支持政策，才能推动河南省制造业高质量发展，为国家“双碳”战略目标的实现贡献河南力量。

参考文献：

[1] 董芳芳.河南制造企业数字化转型创新路径[J].合作经济与科技,2023:2.

[2] 朱汉雄,王一,茹加,等.“双碳”目标下推动能源技术区域综合示范的路径思考[J].中国科学院院刊,2022:8.

[3] 数字化与“双碳”目标[J].能源,2021:1.

[4] 胡海波,周洁,卢海涛.数字化转型推动制造企业高质量发展:基础、挑战与对策[J].企业经济,2022:7.

[5] 传统制造企业信息技术能力、数字化转型战略和数字创新绩效的关系研究[D].长春:吉林大学,2022.

[6] A Isaksen, J O Rypestøl. Policy to support digitalisation of industries in various regional settings: A conceptual discussion[J]. Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography,2022

[7] 陈旭,江瑶,熊焰.数字化转型对企业绩效的影响机制和路径研究[J].经济体制改革,2023:9.

[8] 制造企业数字化转型能力成熟度评价研究[D].太原:山西财经大学,2022.

[9] 邹梦婷,凌丹,黄大禹.制造业数字化转型与产业链现代化关联性研究[J].科学研究,2023:10.

作者简介: 展康平(1994-),女,中国河南郑州人,硕士,讲师,从事产业经济、农林经济管理研究。

基金项目: 河南省软科学研究计划项目“双碳”目标下河南省制造业数字化转型路径研究(项目编号: 25240041125)。

横向课题: 多态融合联动协同管控平台。