

人工智能技术赋能企业碳减排绩效的实证研究

王新成¹, 李 垣²

(1. 同济大学经济与管理学院, 上海 200092; 2. 上海交通大学安泰经济与管理学院, 上海 200030)

摘要:随着人工智能(AI)技术的普及,企业如何利用AI赋能碳减排成为学术界和实践界关注的话题。然而,鲜有实证研究探讨企业的AI技术能力对其碳减排绩效的影响。从融合技术、合法性和市场竞争3个视角,采用企业层面的数据探讨企业AI技术能力对提升其碳减排绩效的影响以及情景条件。结果表明:企业AI技术能力越强,企业的碳减排绩效越好;在政府环保压力 and 市场竞争压力下,企业撬动AI技术能力提升碳减排绩效的动机越强,碳减排绩效越好。采用较为全面的视角检验了企业AI技术能力与其碳减排绩效的关系及情景条件,推动了碳减排的实证研究。

关键词:碳减排绩效;人工智能(AI)技术;合法性;竞争战略

中图分类号:C931

文献标识码:A

文章编号:1005-0566(2024)09-0142-09

Empirical study of how does artificial intelligence enable corporate carbon emission reduction performance

WANG Xincheng¹, LI Yuan²

(1. School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: Recently, both AI and carbon emission reduction have captured an increasing attention from researchers and practitioners. However, few studies, if any, investigate how firms leverage AI to reduce carbon emission. To narrow this gap, we incorporate technology-, legitimacy-, and market competition-driven antecedents of corporate carbon performance into one model, and explore the effect of AI capability on corporate carbon emission reduction performance. Using a fine-granular (i.e., firm-level data) panel database, we found that: (a) corporate AI capability can significantly enhance corporate carbon emission reduction performance; (b) the positive relationship between AI capability and corporate carbon emission reduction performance can be strengthened when government environmental pressure and market competition is higher. Our study offers a holistic understanding of antecedents of corporate carbon emission reduction, advancing empirical literature on AI and carbon emission reduction.

Key words: Carbon emission reduction performance; corporate AI capability; legitimacy; competitive strategy

近年来,减少碳排放,已成为国际共识。日益严峻的环境恶化迫使人类采取更加先进的技术降低碳排放^[1]。习近平总书记2020年在联合国大

会上承诺“中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和”。

收稿日期:2024-03-14 修回日期:2024-05-16

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助(22120240579);国家自然科学基金专项项目(72342026)和面上项目(7237020035)。

作者简介:王新成(1989—),男,山东德州人,博士,同济大学经济与管理学院助理教授,研究方向为战略管理、AI创新与应用。

我国各级政府感受到强烈的责任感和紧迫感,积极寻找有力的措施,努力实现“双碳”目标^[2-3]。企业作为碳排放的重要主体,正在努力采取多种措施减少碳排放。政府和市场等利益相关者期待企业承担起碳减排的社会责任^[4-5]。与此同时,AI等新兴技术得到广泛应用,对经济发展的贡献率不断提升^[6]。2021年,我国数字经济规模达到45万亿元,占GDP比重达到39.8%,连续数年稳居世界第二。在碳减排上,AI技术展现出了巨大的潜力。有关机构测算,2021—2060年,AI技术将助力碳减排超过350亿t^①。陈晓红等^[7]指出,AI等数字技术是实现我国“双碳”目标的最佳工具。虽然越来越多的企业利用AI技术进行碳减排,然而鲜有实证研究分析企业AI技术能力对碳减排绩效的影响^[8-9]。

现有研究存在以下不足。第一,现有研究对企业碳减排的战略目标的讨论不够充分^[4-5]。基于合法性和利益相关者的视角,现有研究认为企业碳减排的目的是迫于政府环保压力和市场竞争,为了满足利益相关者的期待,获得合法性^[10],忽视了企业主动地将碳减排作为竞争战略。事实上,越来越多的企业主动地减少碳排放,把环境保护作为核心竞争战略。例如,DHL和UPS等知名企业将环境保护作为核心竞争战略^[4]。第二,现有研究尚未探究政府环保压力和市场竞争对企业利用AI技术减少碳排放的影响。技术是碳减排的关键途径,企业仅迫于外界压力,未必取得实质性的碳减排绩效^[2]。有的研究调查了政府环保压力和市场竞争对企业碳减排的影响^[11],但没有揭示它们对企业利用AI技术进行碳减排的影响^[9]。第三,现有研究以理论分析为主,实证研究是较少的^[12]。少量的实证研究以省级或城市层面的宏观数据为主,而不是企业层面的微观数据^[3]。基于以上分析,本文采用企业层面的数据研究两个问题:①企业AI技术能力是否提升企业碳减排绩效?②在什么条件下,企业AI技术能力提升碳减排绩效的作用更大?政府和市场越来越关注企业的碳减排和AI应用状况,是企业碳减排最有影响力的

利益相关者。为此,本文探究政府环保压力和市场竞争对企业AI技术能力的调节作用。本文收集了2013—2019年我国3571家A股上市企业碳减排和AI技术能力的数据库,并进行假设检验。

本文丰富了企业碳减排的理论研究。第一,本文提出企业碳减排具有实质性和象征性的双重意义^[5,13]。企业碳减排的实质性意义:一是为了保护环境,承担社会责任,二是作为竞争战略,提升竞争优势^[4]。象征性意义是企业为了迎合政府和市场的环保要求,获得环保合法性。第二,本文以融合技术、合法性和市场竞争的视角探究企业碳减排绩效的前因,拓展了企业碳减排的研究视角^[9]。第三,与现有研究采用区域层面的数据不同,本文采用企业层面的数据,以专利数量测量企业AI技术能力,丰富了碳减排和AI技术的实证研究^[3]。

一、理论基础与研究假设

(一)企业碳减排

碳减排是实现“双碳”目标的根本途径^[5]。企业碳减排与企业社会责任密切相关,社会责任方面的研究成果对本文分析企业碳减排具有适用性。企业由以往被动地、响应性地履行行业社会责任向主动地、战略性地承担企业社会责任转变^[14]。企业响应性地承担社会责任是为了应对来自利益相关者的压力,降低他们对企业的威胁。企业战略性地承担企业社会责任是企业主动地把环境保护作为核心竞争战略,提升竞争优势。

归纳现有文献的结论,本文提出企业碳减排的3个目的:一是象征性地满足利益相关者的诉求,获得环保合法性;二是主动性地以碳减排作为竞争战略,提升市场竞争力;三是实质性地承担起保护环境的社会责任,切实减少碳排放,抓住低碳经济背景下的战略机会,形成新的竞争优势。发展低碳经济和减少碳排放已经成为全社会普遍接受的价值观。虽然企业不断追求经济目标,但是企业作为社会中的“公民”,其行为需要满足社会的期待。政府是企业碳排放行为最重要的利益相关者,是促使企业承担环保责任的关键驱动力^[15]。

① 详情见百度和全球知名科技咨询机构IDC于2021年联合推出的《2021年中国人工智能助力“双碳”目标达成白皮书》报告。

面对来自政府的环保压力,企业会采取类似“漂绿”行为的象征性措施^[16]。企业经常象征性地回应利益相关者的诉求,尤其是政府监管弱的时候^[13]。根据 Dahlmann 等^[17]的研究,碳减排目标的程度、形式和时间线是识别企业象征性行为和实质性承诺的指标。实质性的碳减排目标包含碳减排的绝对量、更宽的减排范围、更高的减排志向和更远的时间线,而象征性的碳减排目标包含碳减排的相对量、更窄的减排范围、更低的减排志向和更短的时间线。

企业碳减排不仅能助于企业获得合法性,而且能重塑企业形象,提升市场竞争力^[4]。企业不总是被动地承担社会责任,而是主动地将社会责任作为竞争的战略工具^[18]。面对日益激烈的市场竞争,越来越多的企业将环境保护作为核心竞争战略,良好的环境绩效有助于将企业与其竞争对手区别开来。Damert 等^[10]提出,企业低碳战略的竞争力体现在 4 个方面:新市场和新产品、利益相关者参与、政治活动和企业交流。低碳背景下,企业与企业、政府、研究机构联合研发绿色产品的契机更大,对利益相关者的影响更加宽泛,有更多机会参与和影响政府环保政策的制定。企业主动地将碳减排作为竞争工具,有助于增加与外界的交流,树立企业的积极形象,提升市场竞争力。

低碳经济孕育新的市场和商业机会,会重塑行业竞争格局和价值链,成为企业获取竞争优势的新来源^[19]。实质性地承担起环保责任,切实减少碳排放,提供低碳产品,有助于抓住新市场和商业机会。Wittneben 等^[20]认为,企业应对气候变化不仅是因为企业关心环境和受到社会压力,而是追求新的商业竞争优势。在碳约束下,新的市场机会必然产生,例如可再生能源、低碳产品、绿色建造等,企业能够通过开发低碳产品或者绿色工艺实现新的竞争优势^[21]。Eljido-Ten 等^[22]调研了全球最可持续的 100 家企业对于气候变化带来的风险与机会的认识,发现它们普遍认为新市场和绿色消费是气候变化带来的新机会。例如,2012 年比亚迪的营业收入远低于竞争对手长城汽车,比亚迪自 2013 年开始推出新能源汽车,营业收入不断增长,

现在已经远超长城汽车,成为全球领先的新能源汽车企业。低碳背景下,比亚迪率先推动绿色转型,抓住了新的商业机会,实现了巨大的成功。

现有研究讨论了企业碳减排的途径。涂正革^[23]认为,技术进步推动了能源强度下降,是减少碳排放的核心动力。王明喜等^[24]归纳了碳减排的三条路径是技术路径、清洁能源路径和管理路径。杨莉莎等^[2]提到,实现碳减排目标的三大手段是技术进步、效率提升和能源结构调整。根据他们的研究结果,碳减排主要依靠技术进步,而效率提升和能源结构调整作用是有限的。新时代企业高质量发展研究中心课题组等^[5]认为,企业实现碳中和依靠两种手段:管理和技术,管理手段激励企业积极参与碳中和,技术手段保障碳中和目标的实现。虽然存在多种途径,但是大多数研究认为技术路径是企业减少碳排放的基础支撑。为实现碳减排的目的,企业需要以技术能力作为基础支撑^[5],仅仅寻求合法性和应对市场竞争,企业未必进行实质性的碳减排。

作为新兴的信息技术,AI 技术在减少碳排放方面发挥了重大作用^[7,25]。近年来,AI 技术迅速发展,越来越多的企业采用 AI 技术提升竞争优势,为企业碳减排提供了技术条件。综合以上分析,企业 AI 技术、政府环保压力和市场竞争在企业碳减排决策中起到重要作用^[2],本文把技术、合法性和竞争 3 个视角融合到一个研究框架,探究企业 AI 技术能力对碳减排绩效的影响以及政府环保压力和市场竞争的调节作用。

(二)企业 AI 技术能力与企业碳减排绩效

AI 技术有以下 3 个特征^[26]:一是显著改善计算能力,二是不断更新学习算法,三是容易获得用以训练算法的海量数据。Kaplan 等^[27]认为,企业 AI 有助于企业正确地解释外部数据、学习数据和用所学知识完成具体目标和任务。结合 Bharadwaj^[28]关于企业 IT 能力的定义以及 AI 特征,本文提出 AI 技术能力构念,是指企业利用 AI 技术资源实现企业的具体目标和任务的能力。根据陈晓红等^[7]的研究,企业提升碳减排绩效的关键是对碳减排的过程和效果进行预测和监控。本文认为,企业 AI 技术能力通过以下 3 种途径提升碳减排绩效:预测

碳排放、监测碳排放和减少碳排放。

在预测碳排放上, AI 技术能够根据当前碳减排的任务和需求, 预测未来的碳排放量, 为企业减少碳排放制定指引。预测碳排放主要依靠 AI 技术的机器学习来实现^[26]。机器学习广泛用以时间序列数据的预测, 通过学习以往的数据可以预测未来的产出。机器学习包含监督学习、非监督学习和强化学习。监督学习利用已有的数据进行训练能够准确地预测未来产出, 非监督学习无需前期数据训练便能够识别问题解决的方案, 强化学习在完成的任务之后能够进行有效的反馈。将机器学习应用到碳减排任务中, 可以实现两个目的: 第一, 利用以往碳减排的数据准确地预测未来碳减排的排放量, 识别最大的碳排放源以及减少碳排放的潜力; 第二, 分析和比较不同碳减排方案的效果, 识别最佳的碳减排方案。

在监测碳排放上, AI 技术能实时跟踪碳足迹, 从产业链全过程收集数据, 提升监测的准确性。碳足迹表征了企业经营过程中产生的直接和间接的碳排放量, 是评价企业对气候变化影响程度的重要指标^[29]。利用传统技术收集和人工分析碳足迹存在较大的困难且容易产生偏差^[8]。AI 技术依靠遍布物体的智能传感器, 能够自动地实时收集和分析碳足迹数据, 克服传统技术收集数据的困难和人工分析数据的偏差, 从而提高碳足迹监测的实时性和准确性^[1]。实时的碳足迹监测是动态制定和调整碳减排方案、过程控制以及事后分析的基础条件。

在减少碳排放上, 企业依靠 AI 技术收集各环节数据和确定碳足迹后, 能够以全局视角对各个环节工作流程做出实时优化调整, 减少能源消耗并提升能源使用效率^[7]。与传统优化算法只能实现局部最优不同, AI 智能优化算法能在多重约束目标下发现全局最优的解决方案。支持向量机、遗传算法和人工神经网络等智能算法被广泛用以预测能源消耗, 进而通过优化设计减少能源消耗、提升能源使用效率和减少碳排放。基于以上分析, 提出假设 1:

假设 1: 企业 AI 技术能力越强, 其碳减排绩效越好。

(三) 政府施加的环保压力和市场竞争的调节作用

环境保护战略通常与企业处理外部利益相关者的诉求相关^[4]。近年来, 随着保护生态文明成为国家战略以及消费者环保意识的觉醒, 政府和市场成为影响企业碳减排最为重要的利益相关者, 使得企业面临严峻的政府环保压力和市场竞争力。企业环保战略制定与实施通常受到企业外部因素的影响。Okereke 等^[11]认为, 制度环境和竞争环境是影响企业环保战略关键的外部因素。现有研究虽然调查了企业因受到政府环保压力和市场竞争力而被动地实施碳减排战略, 但是未能回答在此种压力下企业采取什么途径减少碳排放^[30]。

政府出台严格的环保政策, 打击企业污染环境的行为, 使得企业感受到来自政府的环保压力^[31]。研究表明, 企业未必总是因受到政府的环保压力而减少碳排放, 这是因为他们缺乏相应的技术能力^[32]。本文认为, 面临政府的环保压力, AI 技术能力强的企业实施碳减排的动机越强, 碳减排绩效越好。第一, 政府重视环境保护, 环境合法性变得更为重要, 企业 AI 技术能力越强, 减少碳减排越容易, 可以轻松获得政府的环境合法性, 树立起积极保护环境和履行社会责任的企业形象, 赢得政府的认可。第二, 企业积极利用 AI 技术减少碳排放, 成为与政府保持互动和影响政府环保政策的工具和渠道^[33], 有助于企业实现自身的战略目的, 营造有利的制度环境, 提升竞争能力。第三, 政府的环保政策孕育绿色市场, 企业积极利用 AI 技术减少碳排放, 区别其他竞争对手, 抓住新兴的绿色市场商业机会, 形成新的竞争优势^[20]。在政府的环保压力下, 企业利用 AI 技术能力减少碳排放, 既能更加容易地获得合法性, 又能作为有效的战略工具, 保持与政府互动, 抓住绿色市场机会, 形成新的竞争优势。根据以上推理, 本文提出假设 2:

假设 2: 政府环保压力越高, 企业利用 AI 技术能力实施碳减排的绩效越好。

市场竞争是企业面临的竞争强度, 影响企业的战略决策。市场竞争越激烈, 企业获得和维持

竞争优势的难度越大,不得不采取各种措施以维持自身的竞争优势。环境保护成为企业竞争的领域,环保技术是企业的战略资产,成为获取竞争优势的工具。本文认为,面临激烈的市场竞争,企业利用 AI 技术能力实施碳减排的动机越强,碳减排绩效越好。第一,在激烈的市场竞争中,企业利用 AI 技术减少碳排放,以此作为与市场沟通的渠道,为市场提供了解企业的窗口。市场竞争越激烈,投资者和消费者的选择性更多,企业只有不断地推销自己才能得到他们的关注和了解。Lee^[19]发现,频繁而广泛的碳交流能够增加市场对企业应对气候变化的努力的了解,缓解市场对企业的负面反应。第二,利用 AI 技术减少碳排放,在激烈的市场竞争中更加容易与其他对手区别开来^[18]。在激烈的市场竞争中,差异化竞争战略是有效的竞争手段。近年来,碳减排和 AI 技术获得了市场高度关注,企业利用 AI 技术减少碳排放形成独特的碳减排形象,容易获得市场的关注,轻松被市场识别。面对市场竞争压力,企业撬动 AI 技术能力减少碳排放,既是与市场保持交流的战略渠道,又是塑造独特的碳减排形象的机会。根据以上推理,本文提出假设 3:

假设 3:市场竞争越大,企业利用 AI 技术能力实施碳减排的绩效越好。

二、研究方法

(一)数据来源与研究样本

本文选取 2013—2019 年 A 股企业作为样本。碳排放绩效、市场竞争以及其他控制变量的数据来自国泰安数据库,企业 AI 技术能力数据来自 Incopat 专利数据库,政府环保压力来自各省统计年鉴的环保投入数据。Incopat 专利数据库是全球最大的专利数据库之一,收录了来自全球 120 多个国家的 1.2 亿件专利,详细记录每个专利的标题、摘要、申请人、申请日期等信息,被广大学者所采用。有关机构计算,2010—2020 年,我国 AI 领域的专利申请量接近 39 万件,位居世界第一,占全球总量的 74.7%,是美国的 8.2 倍^②。合并来自不同数据库的变量数据,本文最终得到 17 945 条观测

数据,包含 3 571 家上市企业。

(二)变量测量与计量模型

(1)因变量:碳排放绩效(CRP)。根据 Schaltegger 等^[34],采用单位产品的碳排放量、单位营业收入的碳排放量等相对指标测量碳减排绩效是最常用的方法。结合国泰安提供的数据和前人的研究,本文采用企业每年碳排放的减少量除以企业营业收入测量碳减排绩效,即单位营业收入的碳排放减少量。该指标越大,表明企业单位营业收入的碳排放减少量越大,碳减排绩效越好。

(2)自变量:企业 AI 技术能力(AIC)。结合已有的数据和企业技术能力测量方法^[35],采用企业每年申请的 AI 专利数量测量企业 AI 技术能力。专利数据来自 Incopat 数据库,获得 2013—2019 年的所有专利。由于该数据库没有标记专利是否与 AI 有关,使用文本分析法进行判断。文本分析法要求确定与 AI 有关的关键词。根据吴非等^[35]和 Xue 等^[36],本文识别了 25 个关键词,例如机器学习、机器人、自然语言处理。然后,利用 Python 程序对专利摘要进行文本筛选。专利摘要介绍了专利的技术领域、所能解决的问题以及技术特征和用途。

(3)调节变量:政府环保压力(GEPP)和市场竞争(MCP)。采用企业总部所在的省每年投入的环境保护费用作为政府环保压力的代理变量。当企业所在的区域政府投入的环保费用越多,表明当地政府越重视环境保护,期待企业减少碳排放,保护环境。按照 Ren 等^[37],采用与焦点企业所属的同类行业的企业总数测量市场竞争。为控制数据的偏锋,环保压力和市场竞争取自然对数。

(4)控制变量:控制变量包括企业年龄(AGE)、企业规模(SIZE)、企业绩效(ROA)、企业所有制(POE)、研发强度(RDI)、高管团队规模(TSIZE)、高管团队持股数量(TOWNER)、行业增长能力(INDG)、行业绩效(INDP)、各省 GDP(PGDP)、GDP 增长率(GDPG)以及行业、年和省固定效应。以企业自上市以来的年数测量企业年龄,以企业总资产的数量(取自然对数)测量企业

② 详情见清华大学人工智能研究院和清华—中国工程院知识智能联合中心于 2021 年联合发布的《人工智能发展报告 2020》。

规模,以资产回报率(*ROA*)测量企业绩效。企业所有制是哑变量,当企业为私有企业时,编码为1,否则为0。研发强度以企业研发支出除以企业总资产测量。高管团队规模以企业高管的数量测量,高管团队持股数量以所有高管成员持有的股票数量测量。行业增长能力和行业绩效分别以行业销售额增长率和资产回报率测量。各省GDP以及GDP增长率由各国家统计局公布的各省GDP总量(取对数)和年度增长率测量。

三、实证检验与结果解释

(一)描述性分析

表1报告了变量的描述性统计和相关系数。由表1可知,2013—2019年,碳减排绩效平均值是0.005;共有1 008家企业拥有AI专利,平均值8.84;企业AI能力与碳减排绩效、市场竞争存在显著相关。各变量的相关系数位于合理范围之内,VIF检验显示各模型的VIF最大值不超过5,表明各变量之间不存在明显的共线性。

表1 变量描述性分析和相关系数

变量名称	均值	标准差	最大值	最小值
<i>CRP</i>	0.005	0.437	0	0.420
<i>AIC</i>	1.081	9.114	0	399
<i>GEPP</i>	10.640	5.311	0	14.430
<i>MCP</i>	4.043	0.926	0.693	5.347
<i>AGE</i>	10.040	7.453	3	28
<i>SIZE</i>	20.140	1.145	12.610	27.350
<i>ROA</i>	0.035	0.070	-0.414	0.201
<i>POE</i>	0.590	0.492	0	1
<i>RDI</i>	0.029	0.050	0	1.516
<i>TSIZE</i>	6.855	3.215	3	40
<i>TOWNER</i>	0.050	0.144	0	2.963
<i>INDG</i>	0.361	0.636	-0.208	4.010
<i>INDP</i>	0.036	0.031 1	-0.774	0.156
<i>PGDP</i>	10.480	0.731	6.719	11.51
<i>GDPG</i>	0.077	0.014	0.005	0.124

(二)假设检验

采用面板OLS固定效应模型进行假设检验,结果见表2。模型1是基础模型,模型2是加入了自变量,模型3和模型4加入了自变量和调节变量的交互项,模型5包含所有的解释变量和交互项。模型1表明,企业年龄、企业规模、私有企业和高管团队规模显著地提升了企业碳减排绩效。但是,政府环保压力 and 市场竞争对企业碳减排绩效没有显著的直接效果。企业成立时间越久,规模越大,具有较大的可见性,容易被外界利益相关者关注,且往往具有实施碳减排相应的资源和经验,因此企业年龄和企业规模能够显著提升企业的碳减排

绩效。相比国有企业,私有企业面临合法性劣势和更大的市场竞争,通过积极承担社会责任,减少碳排放,获得合法性和提升市场竞争力。研发投入越多,企业技术能力越强,能够创新性地减少高碳能源使用和提升使用效率,因此研发投入多的企业其碳减排绩效越好。高管团队包含的成员越多,更加容易包含类似首席可持续发展官的职位,有助于企业构建和执行碳减排的战略,从而提升碳减排绩效。

表2 统计回归结果

变量	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5
<i>AIC</i> × <i>MCP</i>	—	—	—	0.037 *** (0.005)	0.033 *** (0.005)
<i>AIC</i> × <i>GEPP</i>	—	—	0.033 *** (0.004)	—	0.030 *** (0.004)
<i>AIC</i>	—	0.065 *** (0.005)	0.067 *** (0.005)	0.043 *** (0.006)	0.047 *** (0.006)
<i>GEPP</i>	0.002 (0.004)	0.001 (0.004)	-0.000 (0.004)	0.000 (0.001)	-0.000 (0.004)
<i>MCP</i>	0.004 (0.004)	0.001 (0.004)	0.001 (0.004)	0.002 (0.004)	0.002 (0.004)
<i>AGE</i>	0.001 ** (0.001)	0.001 ** (0.001)	0.001 ** (0.001)	0.001 ** (0.001)	0.001 ** (0.001)
<i>SIZE</i>	0.007 ** (0.004)	0.002 (0.004)	0.002 (0.004)	0.003 (0.004)	0.003 (0.003)
<i>ROA</i>	-0.013 (0.050)	-0.028 (0.049)	-0.027 (0.049)	-0.030 (0.049)	-0.029 (0.049)
<i>POE</i>	0.019 ** (0.009)	0.020 ** (0.009)	0.020 ** (0.009)	0.020 ** (0.009)	0.020 ** (0.008)
<i>RDI</i>	0.002 ** (0.001)	0.001 * (0.001)	0.001 * (0.001)	0.001 * (0.001)	0.001 * (0.001)
<i>TSIZE</i>	0.003 *** (0.001)	0.002 ** (0.001)	0.003 ** (0.001)	0.003 ** (0.001)	0.003 ** (0.001)
<i>TOWNER</i>	-0.020 (0.026)	-0.020 (0.025)	-0.021 (0.025)	-0.018 (0.025)	-0.020 (0.025)
<i>INDG</i>	0.002 (0.005)	0.002 (0.005)	0.003 (0.005)	0.003 (0.005)	0.003 (0.005)
<i>INDP</i>	-0.001 (0.108)	0.016 (0.108)	0.013 (0.107)	0.021 (0.107)	0.018 (0.107)
<i>PGDP</i>	0.008 (0.005)	0.006 (0.005)	0.006 (0.005)	0.006 (0.005)	0.006 (0.005)
<i>PGDPG</i>	0.045 (0.300)	0.048 (0.296)	0.054 (0.294)	0.035 (0.294)	0.042 (0.292)
Constant	-0.275 *** (0.095)	-0.131 (0.093)	-0.144 (0.095)	-0.154 * (0.093)	-0.157 * (0.092)
行业、年、省 固定效应	是	是	是	是	是
观测数	17 945	17 945	17 945	17 945	17 945
Wald chi ²	29.32 **	223.39 ***	296.37 ***	282.83 ***	345.50 ***
<i>R</i> ²	0.006	0.058	0.074	0.075	0.090

注:***、**、*分别代表在 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.10$ 时有统计学意义。括号内为标准误。

模型2的结果表明,企业AI技术能力对碳减排绩效的回归系数是0.065,在1%统计水平上显著,表明企业AI技术能力显著地提升了企业碳减排绩效,支持了假设1。由模型3可知,企业AI技术能力与政府环保压力的交互项系数是0.033,在1%统计水平上显著,表明当企业面临较大的政府环保压力时,企业采用AI技术减少碳排放的动机

越强,绩效越好,符合假设 2 的预测。根据模型 4,企业 AI 技术能力与市场竞争的交互项系数是 0.037,在 1% 统计水平上显著,表明当企业面临较大的市场竞争时,企业撬动 AI 技术能力减少碳排放的动机变强,从而使得 AI 技术的作用更大,假设 3 得到支持。模型 5 的结果进一步验证上述结论。

(三)稳健性分析

本文采用以下方法进行稳健性检验^③,结果见表 3。

第一,采用两种替代方式测量碳减排绩效。一是企业年度碳排放减少量除以企业员工总数(即人均碳减排减少量),二是采用企业年度碳减排减少量的绝对值。当因变量是人均碳减排减少

量时,3 个假设均得到支持(见模型 1 和模型 2)。当因变量是碳减排减少量的绝对量时,假设 1 和假设 3 得到支持,假设 2 未能支持(见模型 3 和模型 4)。

第二,除 AI 外,其他数字技术也能影响企业碳减排^[7]。为此,本文包含所有数字技术的关键词,采用与测量 AI 技术能力相同的方法识别数字技术专利。结果表明,主效应和调节效应仍然存在(见模型 5 和模型 6)。

第三,改变政府环保压力和市场竞争的测量。采用各省每年的三废支出代替各省的环保投入,得到同样的结果(见模型 7)。根据 Flammer^[38],以行业集中度测量市场竞争^④,假设 3 得到支持(见模型 8)。

表 3 稳健性分析

变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
<i>AIC</i> × <i>MCP</i>	—	0.328 *** (0.050)	—	0.065 *** (0.021)	—	0.050 *** (0.005)	0.036 *** (0.005)	0.088 *** (0.011)
<i>AIC</i> × <i>GEPP</i>	—	0.302 *** (0.041)	—	0.007 (0.009)	—	0.054 *** (0.004)	0.010 ** (0.004)	0.037 *** (0.004)
<i>AIC</i>	0.648 *** (0.047)	0.468 *** (0.056)	0.135 *** (0.013)	0.078 *** (0.022)	0.110 *** (0.005)	0.101 *** (0.006)	0.042 *** (0.006)	0.033 *** (0.007)
<i>GEPP</i>	0.007 (0.042)	-0.003 (0.042)	0.028 ** (0.012)	0.028 ** (0.012)	0.002 (0.004)	-0.000 (0.004)	-0.003 (0.005)	-0.000 (0.004)
<i>MCP</i>	0.015 (0.039)	0.021 (0.038)	-0.016 (0.015)	-0.014 (0.015)	0.000 (0.004)	0.001 (0.004)	0.002 (0.004)	0.004 (0.004)

注:***、** 分别代表在 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.10$ 时有统计学意义。括号内为标准误。观测数均为 17 945。控制变量以及行业、年、省固定效应均被包含在模型中。

四、讨论

现有研究表明,企业为了迎合利益相关者的诉求,获得外界的合法性,被动地实施碳减排,承担环保责任。由此可推测,政府环保压力和市场竞争显著提升企业碳减排绩效。但是,本文发现,政府环保压力和市场竞争对企业碳减排绩效没有显著的直接效果,而是通过作用于企业 AI 技术能力发挥影响力。碳减排要求企业更替能源结构、改造工艺流程、开发新产品等,通常要求企业具备相应的技术能力作为支撑^[2]。仅迫于政府的环保压力而没有相应的技术能力作为支撑,企业难以实质性地减少碳排放^[5,13]。面对激烈的市场竞争,企业通常将有限的资源投入到立竿见影的竞争战略中,而不是技术要求高且见效慢的碳减排领域。相反,企业具有相应的技术能力减少碳排放时,面对政府的环保压力和激烈的市场竞争,企

业撬动技术能力减少碳排放的动机更强,并积极地将其作为竞争战略,充分发挥技术优势,既可以满足政府和消费者的环保要求,又可以将自身与竞争对手区别开来,获得竞争优势^[4]。因此,政府环保压力和市场竞争未必产生直接的促进作用,而是作用于企业 AI 技术能力而发挥影响力。

现有研究关于数字技术对环境绩效的影响存在争议^[7]。有学者认为数字技术有利于保护环境,还有学者认为数字技术对环境是有害的^[27]。本文认为,以上争议源于学者关注的研究层次^[2]。宏观层面,一方面数字技术需要消耗大量的能源,增加了碳排放,另一方面数字技术通过赋能全社会的产业结构升级,减少了高碳能源的使用并提升了使用效率,从而减少了碳排放。因此,只有准确地比较数字技术制造的碳排放量和能够减少的排放量才能判断数字技术对环境绩效的净效应。

③ 该部分中,分模型的结果与全模型的结果保持一致。为节省空间,只汇报了主效应模型和全模型。

④ 行业集中度越高,市场竞争压力越小。用 1 减去行业集中度,该值越大,市场竞争越激烈,与假设逻辑保持一致。

微观企业层次,企业通常是数字技术的使用者,他们撬动数字技术的赋能效应减少能源使用和提升能源使用效率,帮助企业精准地预测、监视和执行碳减排过程,使得个体企业能够显著降低碳排放。因此,站在不同的研究层次,观察到的数字技术对环境绩效的影响可能是不同的。

五、研究结论与意义

本文把技术、合法性和竞争视角融合到一个框架,探讨了企业 AI 技术能力对企业碳减排绩效的影响及其情景条件。本文发现,企业利用 AI 技术能有助于提升碳减排绩效;政府环保压力和市场竞争越高,企业撬动 AI 技术能力提升碳减排绩效的动机越强,其效果越好。撬动 AI 技术减少碳排放是企业应对政府环保压力 and 市场竞争有效的战略工具,既能获得环保合法性,又能形成独特的企业形象,提升竞争力。本文有助于推动企业碳减排的理论研究。一方面,与以往研究主要采用合法性和竞争视角分析企业碳减排不同,本文融合技术、合法性和竞争视角到一个框架,为探究企业碳减排绩效提供了较为全面的视角,丰富了对企业碳减排动机的认识^[5]。另一方面,本文明确了企业 AI 技术能力提升碳减排绩效的情景条件,响应了学者呼吁采用企业层面的数据探究 AI 技术与碳减排关系的诉求,推动了碳减排的实证研究^[11]。

为更好地发挥 AI 技术的作用,本文提出以下政策建议。第一,政府需完善相关制度,鼓励企业采用先进的 AI 技术减少碳排放。企业减少碳排放和开发 AI 技术,具有较强的正外部性,推动了低碳经济和数字经济的发展,改善了经济福利和社会福利,政府有必要大力支持支持企业通过开发 AI 技术减少碳排放。第二,对我国大多数企业来说,实施碳减排和运用 AI 技术是面临的新挑战,仅依靠企业自身的力量难以取得预期的效果,有必要充分调动行业集体的智慧和努力。碳排放和 AI 技术应用在行业之间存在显著的差异,无法建立统一的目标和实施方案^[23]。根据行业自身的特点,行业协会组织企业开展交流与合作,制定适合行业特点的碳减排目标和实施路径以及 AI 技术应用方案,共同应对气候变化挑战。

虽然本文具有较大的理论价值和实践意义,但是以下几点值得注意。首先,不是所有的碳减

排问题都需要 AI 技术解决。AI 技术的开发与应用需要企业持续地投入资源,利用 AI 技术减少碳排放需要比较成本和收益。碳减排的途径是多样的,企业需要比较它们的成本与效益,选择恰当的途径。未来的研究可以调查其他途径对碳减排的影响,并比较它们成本和效益,为企业推荐最恰当的途径。其次,AI 技术不是万能钥匙,不能解决企业所有的碳减排问题^[1]。企业碳减排不仅是技术问题,也是管理问题^[5]。碳减排不仅要求企业具备相应的技术能力,也要求企业及其员工树立节能减排的环保意识^[24]。AI 技术的发展未必能增强企业及其员工的环保意识。最后,AI 技术应用到碳减排的过程中存在众多挑战。未来的研究可以调查企业利用 AI 技术减少碳排放的过程中遇到的挑战,提出相应的解决方案,从而更好地发挥 AI 技术的作用。

参考文献:

- [1] NISHANT R, KENNEDY M, CORBETT J. Artificial intelligence for sustainability: challenges, opportunities, and a research agenda [J]. *International journal of information management*, 2020(53): 102104.
- [2] 杨莉莎,朱俊鹏,贾智杰. 中国碳减排实现的影响因素和当前挑战:基于技术进步的视角[J]. *经济研究*, 2019, 54(11): 118-132.
- [3] 张宁. 碳全要素生产率、低碳技术创新和节能减排效率追赶:来自中国火力发电企业的证据[J]. *经济研究*, 2022, 57(2): 158-174.
- [4] MCKINNON A C, PIECYK M I. Setting targets for reducing carbon emissions from logistics: current practice and guiding principles [J]. *Carbon management*, 2012, 3(6): 629-639.
- [5] 新时代企业高质量发展研究中心课题组,贾明,杨倩. 中国企业的碳中和战略:理论与实践[J]. *外国经济与管理*, 2022, 44(2): 3-20.
- [6] 陈收,蒲石,方颖,等. 数字经济的新规律[J]. *管理科学学报*, 2021, 24(8): 36-47.
- [7] 陈晓红,胡东滨,曹文治,等. 数字技术助推我国能源行业碳中和目标实现的路径探析[J]. *中国科学院院刊*, 2021, 36(9): 1019-1029.
- [8] BENZIDIA S, MAKAOUI N, BENTAHAR O. The impact of big data analytics and artificial intelligence on green supply chain process integration and hospital environmental performance [J]. *Technological forecasting and social change*, 2021(165): 120557.
- [9] 薛飞,周民良,刘家旗. 数字基础设施降低碳排放的效应研究:基于“宽带中国”战略的准自然实验[J]. *南方经济*, 2022(10): 19-36.
- [10] DAMERT M, PAUL A, BAUMGARTNER R J. Exploring

- the determinants and long-term performance outcomes of corporate carbon strategies[J]. *Journal of cleaner production*, 2017, 160: 123-138.
- [11] OKEREKE C, RUSSEL D. Regulatory pressure and competitive dynamics: carbon management strategies of UK energy-intensive companies [J]. *California management review*, 2010, 52(4): 100-124.
- [12] 刘婧玲, 陈艳莹. 数字技术发展、时空动态效应与区域碳排放[J]. *科学学研究*, 2023, 41(5): 841-853.
- [13] MARQUIS C, QIAN C. Corporate social responsibility reporting in China: symbol or substance? [J]. *Organization science*, 2014, 25(1): 127-148.
- [14] LUO X R, WANG D, ZHANG J. Whose call to answer: institutional complexity and firms' CSR reporting [J]. *Academy of management journal*, 2017, 60(1): 321-344.
- [15] WANG R, WIJEN F, HEUGENS P P. Government's green grip: multifaceted state influence on corporate environmental actions in China[J]. *Strategic management journal*, 2018, 39(2): 403-428.
- [16] MARQUIS C, TOFFEL M W, ZHOU Y. Scrutiny, norms, and selective disclosure: a global study of greenwashing [J]. *Organization science*, 2016, 27(2): 483-504.
- [17] DAHLMANN F, BRANICKI L, BRAMMER S. Managing carbon aspirations: the influence of corporate climate change targets on environmental performance[J]. *Journal of business ethics*, 2019(158): 1-24.
- [18] DUANMU J L, BU M, PITTMAN R. Does market competition dampen environmental performance? evidence from China[J]. *Strategic management journal*, 2018, 39(11): 3006-3030.
- [19] LEE S Y. Corporate carbon strategies in responding to climate change[J]. *Business strategy and the environment*, 2012, 21(1): 33-48.
- [20] WITTNEBEN B B, OKEREKE C, BANERJEE S B, et al. Climate change and the emergence of new organizational landscapes [J]. *Organization studies*, 2012, 33(11): 1431-1450.
- [21] GASBARRO F, IRALDO F, DADDI T. The drivers of multinational enterprises' climate change strategies: a quantitative study on climate-related risks and opportunities [J]. *Journal of cleaner production*, 2017(160): 8-26.
- [22] ELIJIDO-TEN E O, CLARKSON P. Going beyond climate change risk management: insights from the world's largest most sustainable corporations[J]. *Journal of business ethics*, 2019(157): 1067-1089.
- [23] 涂正革. 中国的碳减排路径与战略选择: 基于八大行业部门碳排放量的指数分解分析[J]. *中国社会科学*, 2012(3): 78-94, 206-207.
- [24] 王明喜, 鲍勤, 汤铃, 等. 碳排放约束下的企业最优减排投资行为[J]. *管理科学学报*, 2015, 18(6): 41-57.
- [25] 薛飞, 刘家旗, 付雅梅. 人工智能技术对碳排放的影响[J]. *科技进步与对策*, 2022, 39(24): 1-9.
- [26] POURNADER M, GHADERI H, HASSANZADEGAN A, et al. Artificial intelligence applications in supply chain management[J]. *International journal of production economics*, 2021(241): 108250.
- [27] KAPLAN A, HAENLEIN M. Siri, Siri, in my hand: who's the fairest in the land? on the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence [J]. *Business horizons*, 2019, 62(1): 15-25.
- [28] BHARADWAJ A S. A resource-based perspective on information technology capability and firm performance: an empirical investigation [J]. *MIS quarterly*, 2000, 24(1): 169-196.
- [29] 楚龙娟, 冯春. 碳足迹在物流和供应链中的应用研究[J]. *中国软科学*, 2010(增刊1): 41-47.
- [30] 解学梅, 韩宇航. 本土制造业企业如何在绿色创新中实现“华丽转型”: 基于注意力基础观的多案例研究[J]. *管理世界*, 2022, 38(3): 76-106.
- [31] 方芳, 杨岚, 周亚虹. 环境规制、企业演化与城市制造业生产率[J]. *管理科学学报*, 2020, 23(4): 22-37.
- [32] CHRISTMANN P. Effects of “best practices” of environmental management on cost advantage: the role of complementary assets[J]. *Academy of management journal*, 2000, 43(4): 663-680.
- [33] 李慧云, 符少燕, 方怡然. 民营企业政治关联的信息披露效应: 基于碳信息披露的经验证据[J]. *中国软科学*, 2021(7): 184-192.
- [34] SCHALTEGGER S, CSUTORA M. Carbon accounting for sustainability and management: status quo and challenges[J]. *Journal of cleaner production*, 2012(36): 1-16.
- [35] 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(7): 130-144.
- [36] XUE M, CAO X, FENG X, et al. Is college education less necessary with AI? evidence from firm-level labor structure changes [J]. *Journal of management information systems*, 2022, 39(3): 865-905.
- [37] REN C R, MULOTTE L, DUSSAUGE P. et al. Alliance performance and subsequent make-or-ally choices: evidence from the aircraft manufacturing industry [J]. *Strategic management journal*, 2022, 43(11): 2382-2413.
- [38] FLAMMER C. Competing for government procurement contracts: the role of corporate social responsibility [J]. *Strategic management journal*, 2018, 39(5): 1299-1324.

(本文责编: 默 黎)