

异质性环保投资、数字赋能与绿色全要素生产率

石 磊

摘 要: 数字化背景下环保投资是否助益企业绿色发展值得关注。基于不同类型的环保投资划分, 本文理论分析并实证检验异质性环保投资与数字赋能对企业绿色全要素生产率的协同影响, 并就其在供应链层面的溢出性特征予以讨论。研究发现: 异质性环保投资与数字赋能协同促进企业绿色全要素生产率提升。相较于末端治理环保投资, 前端预防环保投资与数字赋能的协同效应更加突出。异质性环保投资与数字赋能的协同影响在供应链层面具有溢出性特征, 且对于下游客户企业的溢出性影响更强。绿色创新数量增加和质量提升是异质性环保投资与数字赋能协同提升绿色全要素生产率以及发挥供应链溢出效应的重要机制。相较于国有企业, 异质性环保投资与数字赋能对绿色全要素生产率的协同提升效应在非国有企业中更突出; 相较于供应链话语权较弱企业, 异质性环保投资与数字赋能对绿色全要素生产率的协同溢出效应在供应链话语权较强的企业中更突出。

关键词: 异质性环保投资; 前端预防; 末端治理; 数字赋能; 绿色全要素生产率

中图分类号: F124.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2025)02-0120-13

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.20250228.001

一、引 言

作为经济活动的微观基础, 企业承担着环境污染治理的重要任务, 同时也面临着生产经营等诸多方面的市场竞争压力, 如何实现企业绿色全要素生产率提升以兼顾生产效率和环境表现, 是当前我国企业绿色转型发展过程中所面临的重要现实问题。环保投资作为企业环境治理的必要手段, 对于企业绿色全要素生产率的影响不容忽视。现有研究普遍认为, 环保投资通过购买治污设备和完善治污设施促进绿色产品研发, 助益企业拓展经营范围和塑造绿色竞争优势。然而, 不同类型的环保投资在环境治理内容和治理成效方面存在较大差异, 企业往往会根据自身所面临的外部环境监管压力、环境违规成本以及资金状况等选择环保投资策略^[1]。其中, 末端治理环保投资策略着眼于短期治理, 即主要通过废弃处理和购买污染处理设备快速完善环保部门的具体要求, 以维系正常的生产经营活动, 呈现出成本低、见效快、容易复发等问题^[2]。前端预防则是重点关注企业业务流程和生产工艺的绿色改造, 尽管前期投入相对较大, 但长期内能够通过减少资源消耗和降低治污成本获得投资收益。值得追问的是, 异质性环保投资对于企业绿色全要素生产率的影响是否有所不同呢?

与此同时, 现阶段数字化转型已然成为企业高质量发展的必然选择, 党的十九大报告明确提

基金项目: 国家社会科学基金项目“数字技术驱动长三角经济高质量一体化的机理分析与路径实现研究”(22BJL055)

作者简介: 石磊, 安徽工程大学经济与管理学院, shileioffice@126.com (安徽 芜湖 241000)

出，积极推动“推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合”，《中华人民共和国国民经济和社会发展规划第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》同样强调了“打造数字经济新优势，促进数字技术与实体经济深度融合”的重要性。事实证明，数字赋能加持下企业发展质量明显提升，人工智能、大数据、云计算、区块链等数字技术使得企业生产、管理和决策效率明显提升，产品服务模式日趋多元化，消费者与生产者相互交融的新兴市场不断成长，个性化、服务化、绿色化的新兴业态不断涌现，现阶段企业高质量发展已经打上了深刻的“数字烙印”。这意味着，对于异质性环保投资影响企业绿色全要素生产率的讨论，需要置于数字赋能情境下展开具体分析。数字赋能与异质性环保投资如何协同影响企业绿色全要素生产率是本文关注的重点。此外，在分工细化和生产联系日趋紧密的背景下，供应链上下游企业能够通过业务往来和技术联系等形成高协同效应与正反馈效应，且企业间环保投资策略和数字化发展存在典型的同群特征，这可能使得数字赋能与异质性环保投资对企业绿色全要素生产率的协同影响并不局限于自身，而是对供应链上下游企业绿色全要素生产率具有潜在的溢出效应。在当前打造绿色供应链的现实诉求下，数字赋能与异质性环保投资在供应链层面的溢出性协同影响同样值得关注。

基于上述研究目标，本文将异质性环保投资与数字赋能统一纳入绿色全要素生产率的驱动因素分析框架，在绿色创新视角下探讨异质性环保投资与数字赋能对企业绿色全要素生产率的协同影响，以探寻数字时代企业绿色转型发展的具体路径。本文边际创新如下。第一，综合考察数字赋能与环保投资在企业绿色转型中的协同影响，弥补了现有研究中仅仅关注单一影响因素的不足，且与当前中国数字化发展现实相契合，对于中国企业探寻绿色转型发展新路径具有重要的指导意义。第二，基于前端预防和末端治理的类型划分，对比考察异质性环境规制与数字赋能的协同效应，进一步丰富了环保投资研究的相关文献。第三，基于供应链上下游关联，本文对异质性环保投资与数字赋能的协同影响的溢出性特征予以讨论，将绿色全要素生产率提升路径研究拓展至供应链层面。

二、文献梳理

（一）环保投资影响绿色全要素生产率相关研究

既有研究关于企业绿色全要素生产率影响因素的讨论颇为丰富^①。就本文重点关注的环保投资而言，它被认为是绿色全要素生产率的重要影响因素^[3]，且多数学者肯定了环保投资在绿色全要素生产率提升过程中的积极作用，如刘畅等^[4]认为，环保投资能够推动绿色技术创新发展，进而为经济绿色转型发展提供有力支撑；李子豪等^[5]研究表明，环保投资能够通过刺激绿色技术创新对地区雾霾污染产生显著的治理效应；李玥莹等^[6]则认为，环保支出增加能够有效促进本地和周边地区的碳减排。但也有学者提出，环保支出对于企业高质量发展的影响具有非线性特征，只有当环保支出规模达到超过一定临界值后才能够兼顾环境治理与生产效率提升^[7]，而周茂春等^[8]则

^① 相关主要文献参见蒋为、干铨骏、李锡涛：《媒体负面报道、印象管理与策略性环境治理》，《会计研究》2023年第11期；张光利、兰明慧、于连超等：《环境政策不确定性、环境执法与企业环保投资》，《财经研究》2024年第6期；Zhu, B., T. Nakaishi, S. Kagawa. Neighbor's profit or neighbor's beggar? Evidence from China's low carbon cities pilot scheme on green development. *Energy Policy*, 2024, Vol. 195. 何振华也提出绿色金融发展能够通过缓解资源错配助益企业绿色全要素生产率提升，陈姝兴等认为三重价值链耦合协调发展能够通过深化GVC嵌入度实现企业绿色全要素生产率增长。以上两文分别参见何振华：《绿色金融、碳排放规制与企业绿色全要素生产率》，《统计与决策》2024年第5期；陈姝兴、钟欣鹏、郑凌峰：《三重价值链耦合协调发展对企业绿色全要素生产率的影响》，《中国人口·资源与环境》2024年第3期。

认为当前环保投资对于企业环境绩效的提升作用较为有限。

（二）数字赋能影响绿色全要素生产率相关研究

数字赋能在企业生产经营和环境治理过程中均具有深刻影响。在生产经营方面，周冬华等^[9]认为数字化转型能够通过缓解融资约束实现企业生产效率提升，韩峰等^[10]也认为企业数字化发展能够显著提升生产效率。在环境治理方面，张永冀等^[11]认为数字化转型能够显著提升企业环境、社会与公司治理水平；王博等^[12]研究发现，数字化转型有助于提升企业环境绩效，进而促进企业可持续发展。在此基础上，诸多学者对数字赋能如何影响绿色全要素生产率展开分析。在数字经济发展方面，朱喜安等^[13]研究表明数字经济发展有助于缓解资源错配和提升创新效率，进而实现绿色全要素生产率提升；朱承亮等^[14]指出数字经济发展能够促进制造业绿色全要素生产率提升。在数字技术创新方面，邝劲松等^[15]发现人工智能技术发展与绿色全要素生产率之间存在显著的正向关联；陈建硕等^[16]指出数字技术创新能够通过提升运营管理效率和绿色化转型促进绿色全要素生产率提升。在数字化转型方面，刘文俊等^[17]发现数字化转型能够通过绿色创新促进制造业企业绿色全要素生产率提升；朱清等^[18]同样认为数字化转型有助于企业绿色全要素生产率提升。

结合已有的文献来看，尽管环保投资或数字赋能对绿色全要素生产率的影响备受关注，但鲜有研究讨论环保投资与数字赋能在企业绿色转型发展领域的协同影响，数字赋能背景下环保投资如何影响企业绿色全要素生产率仍不得而知。与此同时，现有研究对于环保投资的影响评估过度笼统，并未能基于不同类型的环保投资进行异质性分析，这使得实证结论对于企业优化环保投资策略的指导意义有限。此外，绿色全要素生产率的考察以企业自身为主，而供应链层面绿色全要素生产率的溢出性分析普遍被忽视，供应链企业作为绿色转型发展的共同体，厘清链上企业间的溢出性联系具有重要意义。鉴于此，本文基于前端预防和末端治理的环保投资类型划分，理论剖析并实证检验异质性环保投资与数字赋能对绿色全要素生产率的协同影响，同时还就其供应链溢出效应展开分析。

三、理论分析与研究假说

环保投资与数字赋能对企业绿色全要素生产率的协同影响，其本质上是对“数字赋能影响下环保投资对企业绿色全要素生产率的积极效应能否得到充分发挥”这一问题的回答，因此本文重点关注环保投资与数字赋能的融合机制，即数字赋能在企业环保投资全过程中的作用特征。其一，数字赋能作用下企业环保投资意愿增强。数字技术的广泛应用使得企业与消费者的关联度进一步增强，这也意味着企业需要接受更为严格和全面的社会监督，迫使企业主动承担绿色社会责任并积极参与环保治理^[19]。与此同时，数字技术应用能够降低企业环境信息的调研和监督成本，克服环境信息披露过程中的不确定性，因此数字赋能为企业环境信息披露以及投资者了解企业环境信息提供诸多便利，而环境信息披露无疑会强化企业的环保责任意识以及增加环保治理支出等。其二，数字赋能作用下企业环保投资规模扩张。数字化转型有助于降本增效，加速产品迭代从而提升企业市场竞争力。市场竞争力的增强有助于吸引更多的投资者，可支配资源的增加使得企业有更多的精力和资源致力于企业环保形象建设和环保口碑提升等。进一步地，数字赋能有助于拓展企业融资渠道和降低企业融资成本，从而有效缓解企业融资约束，为企业环保投资提供可持续的资金支持^[20]。其三，数字赋能作用下企业环保投资效率提升。环保投资作为典型的高风险、长周期性投资，往往难以受到青睐，而数字赋能有助于投资决策优化和投资效率提升^[21]，从而提振企业环保投资的信心。此外，数字赋能有助于为企业环保投资决策提供海量数据支持和智能分析，精准预测环保投资的可能性收益和潜在风险，从而发挥环保投资在企业绿色转型发展中的积极

作用。

整体而言，数字赋能与环保投资能够协同促进企业绿色全要素生产率提升，然而结合不同类型环保投资的基本特征和作用方式来看，异质性环保投资本身对于企业绿色全要素生产率的影响存在差异，且异质性环保投资与数字赋能的融合机制亦有所不同，可以推断数字赋能与异质性环保投资对企业绿色全要素生产率的影响不同。具体而言：末端治理环保投资主要着眼于短期内企业环境污染的减排治理，整体投资规模相对较小，且环境治理成效普遍能够在短期内快速显现，这意味着末端治理环保投资对于数字赋能所带来的环保投资规模扩张效应和环保投资决策优化效应的依赖相对有限，数字赋能与末端治理环保投资的协同影响相对较弱；反观前端预防环保投资，其主要致力于难度大、周期长的绿色技术创新活动，这一方面需要企业提供持续的绿色技术研发资金支持，另一方面则需要环保投资在绿色创新活动中的优化配置，即加强绿色创新过程中的环保投资管理，因此前端预防环保投资与数字赋能的融合程度相对更深，二者对于企业绿色转型发展的协同影响相对更强。本文据此提出：

假设1：异质性环保投资与数字赋能整体上协同促进企业绿色全要素生产率提升，相较于末端治理环保投资，前端预防环保投资与数字赋能的协同影响相对更强。

作为绿色全要素生产率提升的核心驱动，绿色创新为数字赋能与异质性环保投资协同影响企业绿色全要素生产率提供了重要解释。尽管异质性环保投资带来的具体绿色创新效应有所不同，其中末端治理环保投资侧重于应用端绿色技术创新，而前端预防环保投资则侧重于流程端绿色技术创新，但整体而言异质性环保投资对企业绿色全要素生产率的影响主要通过绿色创新实现。绿色创新有助于实现废弃物再利用，减少生产末端污染物排放规模，同时有助于降低生产成本并加速规模扩张，借助产品“环保价值”来增加企业可获取的附加值，进而加速企业绿色转型发展^[22]。结合杜龙政等^[23]提出的“阶段性波特假说”，绿色创新并非一蹴而就，绿色技术研发、应用和推广普遍存在较长的周期，因此短期内环保投资对于绿色创新的影响往往并不显著，而随着时间的推延，环保投资驱动的绿色创新效应渐趋显现^{[24][25]}。讨论数字赋能与异质性环保投资协同影响企业绿色全要素生产率的内在机制，关键在于明确数字赋能在异质性环保投资驱动绿色创新的过程中发挥的作用，具体而言如下。

其一，数字赋能有助于提升异质性环保投资对绿色创新的服务效率^[26]。得益于数字化信息服务平台，大数据技术能够实现环境信息的快速收集、整合与分析，迅速反馈到企业环保投资决策行为中，进而为企业绿色创新活动提供及时准确的资金支持^[27]。与此同时，数字赋能有助于优化环保资源在部门间的配置，促使环保资源由低效率部门流向高效率部门，从而改善环保投资在绿色创新领域的合理分配和高效利用。此外，数字赋能有助于强化对环保投资资金流向和治理效果的动态实时监控，整顿企业环保投资过程中“不作为、乱作为”的乱象，保障环保投资在绿色创新各个环节中“物尽其用”。

其二，数字赋能有助于加速异质性环保投资在绿色创新中的应用转化。传统创新模式下企业绿色创新对于环保投资的应用水平往往有限，这与企业自身较为封闭的创新模式和薄弱的创新能力等有关。数字赋能有助于引领企业绿色创新模式和绿色创新过程的系统性变革，加速环保投资在绿色创新领域的转化^[28]。在绿色创新模式层面，数字赋能有助于构建多元主体共同参与的开放式创新模式，从而实现环保投资在不同绿色创新环节中的合理配置。在绿色创新过程层面，数字赋能有助于深化大数据、云计算、区块链、物联网等新技术在企业生产活动中的应用，确保企业绿色创新研发决策能更好地与环保投资契合，保障节能型技术研发活动的持续开展^{[29][30]}。本文据此提出：

假设2：异质性环保投资与数字赋能通过绿色创新协同促进企业绿色全要素生产率提升。

异质性环保投资与数字赋能协同在影响企业自身绿色全要素生产率的同时,对于供应链上下游企业绿色全要素生产率的溢出性影响同样值得关注。首先,结合信号传递理论来看,当节点企业依托环保投资和数字赋能实现绿色全要素生产率提升时,供应链上下游企业往往会选择跟进采取相似的发展策略,即通过增加自身的环保投资和加速数字化转型实现绿色全要素生产率的同步提升。其次,结合产品供需理论来看,节点企业通过环保投资和数字赋能实现生产模式变革和生产效率改进,在提升自身绿色全要素生产率的同时,能够向下游企业提供更具绿色属性的中间投入品,从而影响下游企业生产活动的污染排放水平,同时对上游企业所提供的中间投入品和服务的质量与环保度的要求普遍更加严格,从而倒逼上游企业主动提升绿色全要素生产率。与此同时,伴随着节点企业绿色全要素生产率的提升,上游企业所面临的市场竞争压力增大,上游企业迫切需要提升自身绿色全要素生产率以打造绿色竞争新优势。最后,结合知识溢出理论来看,节点企业依托绿色创新促进绿色全要素生产率提升,能够对供应链上下游企业形成积极的绿色创新溢出效应,通过信息共享、知识溢出和研发合作等带动供应链上下游企业绿色创新,进而实现供应链上下游企业绿色全要素生产率同步提升。本文据此提出:

假设3:异质性环保投资与数字赋能对供应链上下游企业绿色全要素生产率具有溢出性协同影响。

四、变量测度与模型设定

(一) 模型设定

为验证异质性环保投资和数字赋能对企业绿色全要素生产率的协同影响,本文引入异质性环保投资与数字赋能的交互项,构建如下基准回归模型:

$$GPE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 EPI_Q_{it} + \alpha_2 Digi_{it} + \alpha_3 EPI_Q_{it} \times Digi_{it} + \alpha_4 X + \nu_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

$$GPE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 EPI_M_{it} + \alpha_2 Digi_{it} + \alpha_3 EPI_M_{it} \times Digi_{it} + \alpha_4 X + \nu_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \quad (2)$$

其中, GPE_{it} 表示被解释变量企业绿色全要素生产率; EPI_Q_{it} 和 EPI_M_{it} 分别表示前端预防环保投资和末端治理环保投资; $Digi_{it}$ 表示数字赋能水平; ν_i 和 λ_t 分别表示行业和年份固定效应; ϵ_{it} 表示随机扰动项。鉴于影响企业绿色全要素生产率的因素众多,本文同时引入一组控制变量 X 。本文重点关注式(1)和式(2)中的估计系数 α_3 ,若 α_3 显著为正,则说明异质性环保投资与数字赋能有助于协同促进企业绿色全要素生产率提升。

(二) 数据来源与指标说明

本文选取中国A股上市公司2007—2022年数据作为研究样本。其中,在样本期内具有st和st*标记的企业、金融类企业以及数据缺失严重的企业被删除。企业财务数据主要来源于Wind数据库和国泰安数据库等。为了弱化极端值对检验结果的影响,本文对连续型变量进行了上下1%的缩尾处理。相关指标的具体说明如下。

1. 绿色全要素生产率(GPE)。本文采用SBM-ML指数对企业绿色全要素生产率予以测度,其中投入要素包括劳动力要素(员工数量)、资本要素(固定资产净额)和能源投入(根据企业所在行业能源消耗量,按企业在行业中产值占比来确定),期望产出为企业营业收入,非期望产出则参考李婉红等^[31]的研究基于行业层面的污染排放数据估计得到。

2. 环保投资(EPI)。参考张琦等^[32]的研究,通过上市公司年报在建工程科目的明细项中与环境保护直接相关的支出进行加总,得到企业环保投资总额。为了控制公司规模差异的影响,用企业年末总资产对企业环保投资进行标准化处理。在此基础上,参考周建等^[33]的研究,根据环保

投资的内容差异将其划分为前端预防环保投资 (EPI_Q) 和末端治理环保投资 (EPI_M)。其中, 前端预防环保投资项目主要包括绿色产业、清洁型能源开发等生产性投资项目, 末端治理环保投资则主要包括废气、废水和固废治理以及脱硫脱硝等项目。

3. 数字赋能 ($Digi$)。本文从实质性转型和策略性转型双重维度进行数字赋能测度, 其中实质性数字赋能采用企业数字化投资 (硬件投资和软件投资) 表示; 策略性数字赋能则参考赵宸宇等^[34]的做法, 以部分数字化转型相对成功的企业作为研究参考, 筛选出数字化转型过程中的高频词语并以之作为刻画数字化转型的关键词。本文主要基于数字技术应用、数字业务经营和信息系统建设等维度统计数字化转型词频。考虑到熵值法所确定的指标权重仅仅考虑数据本身的离散程度, 然而不同企业的数字化转型重点内容往往有所差异, 因此本文采用上市公司年报的经营情况分析部分中数字化总词频与经营情况分析部分总词数之比来刻画策略性赋能转型水平, 最终按各占 50% 的权重合成数字赋能指数。

4. 控制变量。企业规模 ($Size$), 采用企业员工数量的对数来表示; 企业年龄 (Age), 采用当年年份减去企业成立年份后加 1 来表示; 股权集中度 ($Share$), 采用最大股东持股比例来表示; 高技术属性 (Hte), 设定企业具有高技术企业认定为 1, 反之为 0; 所有制属性 ($Nature$), 设定国有企业为 1, 非国有企业为 0; 融资约束 (KZ), 采用 KZ 指数来表示。

五、实证结果分析

(一) 基准回归分析

表 1 报告了环保投资与数字赋能协同影响企业绿色全要素生产率的基准回归结果, 其中, 列 (1) 和列 (3) 未添加控制变量, 列 (2) 和列 (4) 则是添加控制变量的估计结果。前端预防环保投资对于绿色全要素生产率的直接影响并不显著, 而末端治理则能够有效促进绿色全要素生产率提升, 可见异质性环保投资在企业绿色转型发展领域的影响的确存在差异。值得注意的是, 前端预防环保投资与数字赋能的交互项显著为正, 末端治理环保投资与数字赋能的交互项同样显著为正, 这说明异质性环保投资与数字赋能均能够形成积极且显著的协同效应, 但从估计系数值来看, 前端预防环保投资与数字赋能的协同影响更加突出, 这为本文所提出的假设 1 提供了重要佐证。

表 1 基准回归结果

变量	前端预防环保投资		末端治理环保投资	
	(1)	(2)	(3)	(4)
EPI	0.012 5 (0.80)	0.011 0 (1.25)	0.007 5** (2.04)	0.006 7** (1.99)
$Digi$	0.059 2*** (2.92)	0.057 3*** (3.14)	0.058 0*** (2.81)	0.055 6*** (2.87)
$Digi \times EPI$	0.003 6*** (4.57)	0.003 3*** (3.89)	0.002 1*** (4.09)	0.001 9*** (4.25)
控制变量	NO	YES	NO	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES
观测值	29 571	29 571	29 571	29 571
R^2	0.162 8	0.130 7	0.165 5	0.154 0

注: **、*和*分别表示在 1%、5% 和 10% 的显著性水平下通过检验, 括号内为 t 值。下表同。

(二) 稳健性检验

1. 更换估计方法。尽管本文对部分可能的影响因素予以控制, 但仍难以完全排除其他不随时

间变化或无法观测变量的影响，因此本文利用固定效应模型（FE）进行重新估计。与此同时，本文虽然对行业和年份固定效应予以控制，但仍然存在部分随时间变化的行业特征趋势难以捕捉的潜在担忧，因此本文进一步引入年份-行业的高阶联合固定效应。从表2中的结果来看，不同估计方法所得到的结果符合预期且具备良好的统计性特征，即异质性环保投资与数字赋能对绿色全要素生产率的协同提升效应并未发生显著改变，从而证明本文的回归结果是稳健的。

表2 稳健性检验结果

变量	前端预防环保投资				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	更换估计方法	倾向得分匹配	系统GMM模型	工具变量法	更换解释变量
<i>Digi</i> × <i>EPI</i>	0.003 6*** (4.11)	0.004 0*** (3.78)	0.003 5*** (3.92)	0.019 4*** (2.71)	0.003 3*** (2.86)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
行业×年份固定效应	YES	NO	NO	NO	NO
AR(1)			0.000 0***		
AR(2)			0.139 5		
Hansen test-P 值			0.114 7		
Cragg-Donald Wald F				37.059 2***	
观测值	29 571	27 940	25 436	29 571	29 571
R^2	0.173 0	0.150 1	0.126 4	0.107 3	0.097 1
变量	末端治理环保投资				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	更换估计方法	倾向得分匹配	系统GMM模型	工具变量法	更换解释变量
<i>Digi</i> × <i>EPI</i>	0.001 5*** (2.95)	0.002 0*** (4.12)	0.001 7*** (3.88)	0.010 1*** (3.02)	0.001 6*** (2.91)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
行业×年份固定效应	YES	NO	NO	NO	NO
AR(1)			0.000 0***		
AR(2)			0.163 5		
Hansen test-P 值			0.110 2		
Cragg-Donald Wald F				41.253 7	
观测值	29 571	27 940	25 436	29 571	29 571
R^2	0.155 4	0.201 7	0.139 0	0.177 7	0.168 2

2. 倾向得分匹配方法。理论上，企业绿色全要素生产率的提升，也可能是由环保投资和数字赋能之外的其他企业特征所驱动，这意味着，上述分析可能面临选择性偏误导致的内生性问题。考虑到不同企业的环保投资表现存在系统性差异，本文采用倾向得分匹配法缓解样本自选择问题。具体地，基于PSM方法构造与高环保投资企业特征相近的低环保投资企业且重新进行估计，并基于1:1最近邻匹配设定控制变量。结果显示，异质性环保投资与数字赋能的交互项均在1%的置信水平下显著为正。

3. 系统GMM模型。考虑到当期绿色全要素生产率可能受到历史水平的影响，需要将被解释变量的滞后项引入估计模型，本文采用系统GMM方法对动态面板模型予以估计。其中，序列相关性显示，AR(1)和AR(2)分别通过一阶序列检验、未通过一阶序列检验，说明工具变量满足有效性。进一步地，异质性环保投资与数字赋能的交互项的估计系数均显著为正，说明本文的

基准回归结果具有稳健性。

4. 工具变量法。考虑到同行业或同地区企业间环保投资决策等存在相互模仿的典型特征，以往研究中采用同行业或同地区平均环保投资水平作为工具变量的做法可能并不满足排他性假设。参考范云朋等^[35]的研究，本文采用上市企业被ESG基金持股的数量作为企业工具变量。一方面，ESG基金所选择的企业，多为环保投资表现良好的企业，即满足相关性要求。另一方面，ESG基金的持股组合主要取决于基金经理，而与企业直接生产经营活动等并不相关，即满足排他性要求。基于两阶段最小二乘法-工具变量法的估计结果显示，Cragg-Donald Wald F统计量显著大于10%的临界值，表明不存在弱工具变量的问题。在克服潜在的内生性问题后，异质性环保投资与数字赋能对企业绿色全要素生产率的协同影响依然显著为正。

5. 更换解释变量。本文以企业利润表“管理费用”项目中的绿化费和排污费与基准回归中的环保支出加总作为环保投资的替代性指标。结果显示，相较于基准回归分析，更换解释变量后的估计结果的符号和显著性并未发生明显变异，异质性环保投资与数字赋能的交互项的估计系数仍显著为正。

（三）供应链溢出效应分析

本文提出，异质性环保投资与数字赋能对企业绿色全要素生产率的协同影响可能并不局限于企业自身，而是在供应链层面具有溢出性特征。为了验证假设3，主要采用与焦点企业存在销售与采购交易的供应链网络关系来确定。参考杨金玉等^[36]的研究，本文构建焦点企业-客户/供应商-年度数据集，例如当同一上游企业S在同一年度Y对应多个供应商或客户C1、C2和C3时，则形成S-C1-Y、S-C2-Y和S-C3-Y多个观测值。具体地，本文主要选取上市公司前五大客户企业与前五大供应商企业。

表3报告了异质性环保投资与数字赋能协同影响企业绿色全要素生产率的供应链溢出效应。其中，列（1）和列（3）表示对供应链上游供应商企业的溢出性影响，列（2）和列（4）则表示对供应链下游客户企业的溢出性影响。不难看出，异质性环保投资与数字赋能对于供应链上下游企业绿色全要素生产率均具有显著的溢出性影响，能够有效带动供应链上下游企业绿色全要素生产率同步提升。相较于上游供应商企业，异质性环保投资与数字赋能的协同影响在下游客户企业中更加突出。与此同时，相较于末端治理环保投资，前端预防环保投资与数字赋能的供应链溢出效应明显更强，假设3由此得证。

表3 供应链溢出效应分析结果

变量	前端预防环保投资		末端治理环保投资	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	上游供应商	下游客户	上游供应商	下游客户
<i>Digi</i> × <i>Gpatent</i>	0.0028*** (4.21)	0.0037*** (4.40)	0.0017*** (2.70)	0.0024*** (2.88)
控制变量	YES	YES	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES
观测值	14 683	15 029	14 683	15 029
R^2	0.163 8	0.130 6	0.127 5	0.103 5

（四）机制检验

异质性环保投资与数字赋能的协同影响已经得到充分证实，那么其内在的作用机制如何呢？是否如理论分析中所提到的，异质性环保投资与数字赋能对企业绿色全要素生产率的协同影响主要源于绿色创新呢？本文主要从绿色创新数量和绿色创新质量双重维度进行机制检验，在具体的

实证分析中，本文采用企业绿色专利授权量对绿色创新数量（ GT_N ）予以表征，同时采用绿色专利被引数量对绿色创新质量予以表征（ GT_Q ）。机制检验结果如表4所示，整体来看，异质性环保投资与数字赋能对绿色创新数量和质量的影响均显著为正，表明异质性环保投资与数字赋能的协同作用能够实现绿色创新“量、质齐升”，这也初步证实了绿色创新确是异质性环保投资与数字赋能协同提升绿色全要素生产率的关键机制，假设2基本得证。在此基础上，对比异质性环保投资来看，前端预防环保投资与数字赋能对绿色创新数量和质量驱动效应均超过末端治理环保投资，即数字赋能与前端预防环保投资的融合程度更深，从而更有助于协同促进绿色创新“量、质齐升”，这也在一定程度上解释了为何前端预防环保投资与数字赋能对绿色全要素生产率的协同提升效应更强。

表4 机制检验结果

变量	前端预防环保投资		末端治理环保投资	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	绿色创新数量	绿色创新质量	绿色创新数量	绿色创新质量
$Digi \times Gpatent$	0.025 9*** (7.24)	0.005 0** (2.41)	0.014 8*** (4.69)	0.000 6** (2.05)
控制变量	YES	YES	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES
观测值	29 571	29 571	29 571	29 571
R^2	0.250 3	0.188 1	0.262 7	0.183 5

在上述机制检验的基础上，本文还进一步考察了绿色创新在异质性环保投资与数字赋能协同影响供应链上下游企业绿色全要素生产率过程中的作用，结果如表5所示。不难发现，异质性环保

表5 供应链溢出机制检验结果

变量	前端预防环保投资				末端治理环保投资			
	上游供应商		下游客户		上游供应商		下游客户	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	绿色创新数量	绿色创新质量	绿色创新数量	绿色创新质量	绿色创新数量	绿色创新质量	绿色创新数量	绿色创新质量
$Digi \times Gpatent$	0.007 4*** (2.90)	0.002 9*** (5.03)	0.010 5*** (3.62)	0.006 1*** (4.84)	0.004 9** (2.20)	0.002 0*** (3.75)	0.007 8*** (3.17)	0.003 5*** (4.26)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
观测值	14 683	14 683	15 029	15 029	14 683	14 683	15 029	15 029
R^2	0.193 5	0.140 6	0.201 4	0.188 9	0.246 1	0.137 5	0.144 8	0.190 2

投资和数字赋能对供应链上下游企业绿色创新整体上具有显著的正向影响，这在绿色创新数量和绿色创新质量方面均有所体现，可见异质性环保投资和数字赋能通过绿色创新溢出效应助益供应链上下游企业绿色全要素生产率提升。与此同时，相较于末端治理环保投资，前端预防环保投资和数字赋能对于上游供应商和下游客户绿色创新的协同影响更强，即数字赋能影响下前端预防环保投资更容易在供应链层面发挥绿色创新溢出效应，这与前文所得到前端预防环保投资与数字赋能具有更强的供应链溢出效应的结论一致。此外，无论是前端预防环保投资，还是末端治理环保投资，其与数字赋能在供应链层面所诱发的绿色创新溢出效应均更多地体现在下游客户企业中。

六、进一步讨论

前文研究表明，异质性环保投资与数字赋能有助于协同提升企业自身以及供应链上下游企业绿色全要素生产率提升，且不同类型环保投资与数字赋能的协同效果有所不同。然而上述讨论主要基于企业全样本或统一的数字赋能情景，接下来本文将基于所有制维度、供应链话语权维度等比较分析异质性环保投资与数字赋能的差异化协同特征。

1. 所有制维度。所有制属性的不同意味着企业环保投资策略可能存在差异，企业绿色竞争力提升的资源禀赋和动机可能亦有所不同。为了进一步考证异质性环保投资与数字赋能对企业绿色全要素生产率的协同影响在所有制维度是否存在差异，本文进行分样本检验，结果如表6所示。异质性环保投资与数字赋能对不同所有制企业绿色全要素生产率的协同影响均显著为正，但对比其估计系数值来看，相较于国有企业，非国有企业绿色全要素生产率受异质性环保投资与数字赋能的协同影响更加突出。究其原因，本文认为这种差异主要源于企业对于环境政策不同的敏感性以及对于数字赋能不同的倾向性。具体而言，特殊的政治属性和紧密的政企关联使得国有企业在生产经营等诸多方面处于优势地位，导致其对各类环境政策缺乏敏感性，使之环保投资效率普遍偏低而难以对自身绿色竞争力产生深刻影响。而非国有制企业生产经营则深受各类环境政策的影响，导致非国有企业对于环保投资的重视度较高，因此环保投资在非国有企业中能够发挥出更加显著的影响。同样地，国有制企业和非国有制企业对于数字赋能的态度亦有所不同。相较于盈利能力稳定、经营理念保守和转型成本较高的国有制企业，非国有制企业依托数字化转型提升市场竞争力的动机更加强烈，因此非国有制企业数字赋能能够与其环保投资活动深度融合，并为绿色全要素生产率提升带来积极且显著的协同影响。

表6 国有企业与非国有企业比较分析

变量	前端预防环保投资		末端治理环保投资	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	国有企业	非国有企业	国有企业	非国有企业
<i>Digi</i> × <i>Gpatent</i>	0.002 5*** (4.20)	0.003 8*** (3.91)	0.001 2*** (2.77)	0.002 0*** (3.39)
控制变量	YES	YES	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES
观测值	13 764	15 807	13 764	15 807
R^2	0.172 4	0.146 1	0.156 8	0.162 9

2. 供应链话语权维度。伴随着企业间生产联系的不加深，供应链上下游企业间的溢出效应渐趋凸显，节点企业异质性环保投资与数字赋能对供应链上下游企业绿色全要素生产率的溢出性影响便是直接证据，然而这种供应链溢出效应的强度同时还受到节点企业供应链话语权的影响。具体地，当节点企业在供应链中具有较强的话语权时，其所采取的转型发展策略更容易吸引上下游企业进行模仿，同时其投入产出需求对于供应链上下游企业发展模式变动的驱动效应更强。在具体的实证分析中，本文参考张鹏杨等^[37]的研究，采用“(应付账款+预收款项+应付票据-应收账款-预付款项-应收票据)/资产总计”对企业供应链话语权予以测度，并根据其平均值划分话语权较强的企业和话语权较弱的企业。结果如表7所示。表7表明，相较于供应链话语权较弱的企业，在供应链话语权较强的企业中，无论是前端预防环保投资抑或是末端治理环保投资，其与数字赋能对供应链上下游企业绿色全要素生产率的溢出性协同影响明显更强。

表7 供应链话语权较强企业和供应链话语权较弱企业比较分析

变量	前端预防环保投资				末端治理环保投资			
	上游供应商		下游客户		上游供应商		下游客户	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	强话语权	弱话语权	强话语权	弱话语权	强话语权	弱话语权	强话语权	弱话语权
<i>Digi</i> × <i>Gpatent</i>	0.003 2*** (3.78)	0.002 6** (4.01)	0.004 4*** (4.86)	0.003 5*** (3.92)	0.002 1*** (2.88)	0.001 4*** (3.19)	0.002 8*** (3.05)	0.002 3*** (2.94)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
观测值	7 341	7 342	7 514	7 515	7 341	7 342	7 514	7 515
R^2	0.163 0	0.151 7	0.194 2	0.177 8	0.192 7	0.164 8	0.160 6	0.193 4

七、结论与政策建议

本文将环保投资、数字赋能与绿色全要素生产率纳入统一的分析框架，从理论层面阐释异质性环保投资与数字赋能对绿色全要素生产率的协同影响及其溢出性特征，进而基于2007—2022年上市公司面板数据进行实证检验，主要结论如下。（1）异质性环保投资与数字赋能对于企业绿色全要素生产率均具有积极的协同影响，相较于末端治理环保投资，前端预防环保投资与数字赋能的协同影响更加突出。（2）异质性环保投资与数字赋能对绿色全要素生产率的协同影响具有供应链溢出特征，且对于下游客户企业绿色全要素生产率的溢出效应更强。（3）绿色创新数量增加和绿色创新质量提升是异质性环保投资与数字赋能协同影响企业绿色全要素生产率的关键机制，同时也是重要的供应链溢出机制。（4）异质性环保投资与数字赋能对企业绿色全要素生产率的影响在所有制维度和供应链话语权维度有所不同。相较于国有企业，异质性环保投资与数字赋能的正向协同影响在非国有企业中更加突出；相较于供应链话语权较弱的企业，异质性环保投资与数字赋能的协同溢出效应在供应链话语权较强的企业中更加突出。

基于上述研究发现，本文提出如下政策建议。（1）鉴于异质性环保投资与数字赋能在企业绿色转型发展过程中具有积极的协同影响，企业要重视环保投资领域中的数字技术应用和数字平台支撑，依托数字化服务充分释放环保投资的积极影响，缓释环保投资因挤占绿色创新资源而带来的不利影响，完善企业内部环保投资决策与数字赋能的融合机制。（2）考虑到异质性环保投资与数字赋能的协同影响存在差异，前端预防环保投资更有助于长期内与数字赋能协同促进企业绿色转型发展，因此企业在环保投资决策过程中应重点加强前端预防环保投资，促进环保投资活动与企业生产活动深度融合，降低对末端治理等短视型环保投资的依赖。（3）由于异质性环保投资与数字赋能的协同影响在不同类型的企业中存在差异，不同企业应结合自身实际情况实施差异化的环保投资策略和数字赋能策略，特别是对于非国有企业而言，要充分抓住数字赋能的关键契机，提升自身绿色全要素生产率。同时，企业还要不断完善数字赋能策略，减少企业数字化转型中的策略性迎合行为，通过增加数字化软件和硬件投入等切实推进数字化转型。（4）环保投资与数字赋能的协同推进并非单个企业的“任务”，而是需要加强供应链上下游企业间的合作，通过链上企业间的信息共享和相互学习等优化环保投资与数字赋能策略。

参考文献

- [1] Zeng, H., X. Li, Q. Zhou, et al. Local government environmental regulatory pressures and corporate envi-

- ronmental strategies: Evidence from natural resource accountability audits in China[J]. *Business Strategy and the Environment*, 2022(7).
- [2] 田利辉, 关欣, 李政, 等. 环境保护税费改革与企业环保投资——基于《环境保护税法》实施的准自然实验[J]. *财经研究*, 2022(9).
- [3] Zhang, T., Y. Jia, K. Ren, et al. Environmental-economic total factor productivity of vegetable production in China from the life cycle perspective[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 477.
- [4] 刘畅, 田晓丽. 地区环保投资、城镇化与绿色技术创新——基于空间杜宾模型及中介效应的实证研究[J]. *科技管理研究*, 2020(15).
- [5] 李子豪, 白婷婷. 政府环保支出、绿色技术创新与雾霾污染[J]. *科研管理*, 2021(2).
- [6] 李玥莹, 黄丽君. 财政环保支出对碳减排的空间溢出效应分析[J]. *统计与决策*, 2022(15).
- [7] 李世辉, 程宸. 资本性环保支出、公众环境诉求与企业价值——来自重污染行业上市公司的经验证据[J]. *华东经济管理*, 2022(5).
- [8] 周茂春, 毕瑞琦. 环保投资、股权性质和环境绩效研究[J]. *财务管理研究*, 2022(9).
- [9] 周冬华, 万贻健. 企业数字化能提升企业全要素生产率吗?[J]. *统计研究*, 2023(12).
- [10] 韩峰, 姜竹青. 集聚网络视角下企业数字化的生产率提升效应研究[J]. *管理世界*, 2023(11).
- [11] 张永冀, 翟建桥, 朱雅轩, 等. 数字化转型如何影响企业 ESG 表现[J]. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2023(6).
- [12] 王博, 康琦. 数字化转型与企业可持续发展绩效[J]. *经济管理*, 2023(6).
- [13] 朱喜安, 马樱格. 数字经济对绿色全要素生产率变动的的影响研究[J]. *经济问题*, 2022(11).
- [14] 朱承亮, 杨曼, 李勃昕. 数字经济提升制造业绿色全要素生产率了吗?[J]. *环境经济研究*, 2024(1).
- [15] 邝劲松, 杨坤宇, 石校菲, 等. 省域人工智能发展对绿色全要素生产率的空间效应[J]. *经济地理*, 2024(7).
- [16] 陈建硕, 薛小龙, 黄琼宇, 等. 数字技术创新与企业绿色全要素生产率——基于数字经济核心产业专利的经验证据[J]. *产经评论*, 2024(3).
- [17] 刘文俊, 彭慧. 区域制造企业数字化转型影响绿色全要素生产率的空间效应[J]. *经济地理*, 2023(6).
- [18] 朱清, 何雅兴. 数字化转型能提高企业绿色全要素生产率吗——基于中国上市公司的证据[J]. *西部金融*, 2024(3).
- [19] 刘凤环. 数字化赋能、企业类型与投资效率[J]. *经济问题*, 2022(11).
- [20] 张昆贤, 武常岐, 陈晓蓉, 等. 数字化转型对企业环境治理责任主体意识的影响研究——来自环境治理费用的经验证据[J]. *工业技术经济*, 2022(11).
- [21] 黄伟娟, 李尚蒲. 数字化转型、高管认知能力与企业投资效率研究[J]. *科学决策*, 2023(3).
- [22] Ma, J., Q. Li, Q. Zhao, et al. From bytes to green: The impact of supply chain digitization on corporate green innovation[J]. *Energy Economics*, 2024, 139.
- [23] 杜龙政, 赵云辉, 陶克涛, 等. 环境规制、治理转型对绿色竞争力提升的复合效应——基于中国工业的经验证据[J]. *经济研究*, 2019(10).
- [24] Wang, B., I. Khan, C. Ge, et al. Digital transformation of enterprises promotes green technology innovation—The regulated mediation model[J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2024, 209.
- [25] Peng, D., Q. Kong. Corporate green innovation under environmental regulation: The role of ESG ratings and greenwashing[J]. *Energy Economics*, 2024, 140.
- [26] 戚聿东, 肖旭. 数字经济时代的企业管理变革[J]. *管理世界*, 2020(6).
- [27] 杜爽, 曹效喜. 企业数字化转型能否促进绿色创新——来自中国上市公司的证据[J]. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2023(4).
- [28] Liu, B., Y. Wang, N. Jiang, et al. The impact of digital industrialization and industrial digitalization on regional green innovation efficiency in China—From the perspective of the innovation value chain[J]. *Journal*

of *Cleaner Production*, 2024, 478.

- [29] Tao, A., C. Wang, S. Zhang, et al. Does enterprise digital transformation contribute to green innovation? Micro-level evidence from China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 370.
- [30] 何琨琰, 张文彬, 张楠. 数智赋能与中国节能降碳效率: 机制与效应[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2025(1).
- [31] 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(6).
- [32] 张琦, 郑瑶, 孔东民. 地区环境治理压力、高管经历与企业环保投资——一项基于《环境空气质量标准(2012)》的准自然实验[J]. 经济研究, 2019(6).
- [33] 周建, 刘珂, 余江龙, 等. 前端预防抑或末端治理? ——低碳城市试点政策与企业环保投资战略选择[J]. 经济管理, 2023(10).
- [34] 赵宸宇, 王文春, 李雪松. 数字化转型如何影响企业全要素生产率[J]. 财贸经济, 2021(7).
- [35] 范云朋, 孟雅婧, 胡滨. 企业 ESG 表现与债务融资成本——理论机制和经验证据[J]. 经济管理, 2023(8).
- [36] 杨金玉, 彭秋萍, 葛震霆. 数字化转型的客户传染效应——供应商创新视角[J]. 中国工业经济, 2022(8).
- [37] 张鹏杨, 肖音, 刘会政, 等. 数字化转型对供应链上下游产出波动的非对称影响研究[J]. 世界经济, 2024(7).

Heterogeneous Environmental Investment, Digital Empowerment and Green Total Factor Productivity

SHI Lei

Abstract: Whether environmental protection investment contributes to the green development of enterprises under the digital background is worthy of attention. Based on the division of different types of environmental investment, this paper theoretically analyzes and empirically tests the synergistic effect of heterogeneous environmental investment and digital empowerment on the green total factor productivity of enterprises, and discusses its spillover characteristics at the supply chain level. The results show that heterogeneous environmental investment and digital empowerment can promote the green total factor productivity of enterprises synergistically. Compared with the end-governance environmental protection investment, the synergistic effect of front-end prevention environmental protection investment and digital empowerment is more prominent. The synergistic effect of heterogeneous environmental investment and digital empowerment has spillover characteristics at the supply chain level, and shows stronger spillover effect on downstream customer enterprises. Increasing the quantity and improving the quality of green innovation is an important mechanism for heterogeneous environmental protection investment and digital empowerment to enhance the green total factor productivity and bring the spillover effect of supply chain into play. Compared with state-owned enterprises, the synergistic effect of heterogeneous environmental investment and digital empowerment on green total factor productivity is more prominent in non-state-owned enterprises. Compared with enterprises with weak supply chain discourse power, the synergistic spillover effect is more prominent in enterprises with strong supply chain discourse power.

Key words: heterogeneous environmental investment; front end prevention; terminal governance; digital empowerment; green total factor productivity

(责任编辑 周振新)