

双环流价值链嵌入对低碳全要素生产率的 影响效应研究

许冬兰, 韩婧彤

摘 要: 基于 2007、2010、2012 及 2015 年中国 30 个省区 13 个工业行业的三维数据, 运用区域间投入产出模型和动态 EBM-Malmquist 指数分别测算 GVC、NVC 嵌入度和低碳 TFP 指数, 然后借助三维面板固定效应模型实证探讨双环流价值链嵌入对低碳全要素生产率的影响效应。研究发现: (1) GVC、NVC 嵌入以及两者间的互动均能促进低碳 TFP 的增长; (2) 在金融发展水平和财政支出规模领先的地区以及技术密集型行业, 双环流价值链嵌入对低碳 TFP 的促进作用更大, 但在不同污染强度的行业之间无显著差异; (3) 资本深化程度对低碳 TFP 的影响为正, 而能源消费结构和城镇化水平的影响为负。

关键词: 全球价值链; 国内价值链; 低碳全要素生产率; 三维数据

中图分类号: F404 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2022)01-0099-16

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2022.01.009

一、引 言

20 世纪 80 年代以来, 由发达国家跨国公司主导、以产品内分工为特征的全球生产体系在世界范围内迅速建立起来, 国际分工格局得到不断重塑, 形成了联结各个国家和地区的 Global Value Chain (GVC)。包括中国在内的众多发展中国家, 凭借人口红利和资源优势积极融入这一分工体系, 通过学习国际前沿技术及经验, 获得了长足的经济增长。与此同时, 中国各区域间发展水平和资源禀赋的差异也在不断驱动国内分工深化, 逐渐孕育了以本土市场为依托的国内价值链 (National Value Chain, NVC)。与 GVC 相对应, NVC 由本土企业主导, 充分整合了国内研发设计、零部件生产、加工组装及销售和售后等环节^[1]。伴随经济全球化和国内区域一体化的深入推进, GVC 与 NVC 相互交织、相互渗透, 共同构筑了中国特有的双环流价值链分工体系。

与此同时, 工业化的快速发展却使中国经济面临低生产率、低附加值率和高碳排放等诸多问题, 严重制约了经济的高质量转型。其中, 2019 年中国碳排放量 98.3 亿吨, 占世界总量的 28.8%, 为全球最大碳排放国家。2020 年习近平总书记在联合国大会上宣布, 中国将力争在 2030 年前实现碳达峰, 2060 年前实现碳中和。面对如此严峻的挑战, 提高低碳全要素生产率 (Total Factor Productivity, TFP) 成为中国同时实现“双碳”目标和经济增长的关键所在。因此, 如何促进低碳 TFP 的增长, 从而获得经济和环境双赢, 成为亟待解决的重要议题。那么, 能否借助 GVC/NVC 双环流嵌入来带动低碳 TFP 增长呢? 不同地区和行业特征下, 双环流价值链嵌入对低

作者简介: 许冬兰, 经济学博士, 中国海洋大学经济学院副教授, xudonglan2007@ouc.edu.cn (山东 青岛 266100); 韩婧彤, 中国海洋大学经济学院研究生

碳 TFP 的影响是否存在差异? 还有哪些因素同时影响着低碳 TFP 的增长? 这些问题的解答对加快驱动中国经济低碳化增长具有重要的现实意义。

考察国内外相关研究, 大致有以下四个方面的研究进展: 一是 GVC 与碳排放的关联研究。部分研究认为 GVC 嵌入存在减排作用, 即参与 GVC 能使企业从与跨国公司的交流合作中, 获取大量技术溢出, 实现技术进步, 从而提高单位能耗的产出效率, 减少能源投入, 进而降低碳排放强度^{[2][3]}; 但另有研究指出, 发展中国家凭借劳动力和自然资源等低端要素参与 GVC 的加工组装环节, 很容易被发达国家所“俘获”, 被锁定在高能耗、高污染的生产环节, 从而加剧了国内碳排放^{[4][5]}; 王玉燕等^[6]综合了以上两种观点, 认为初期 GVC 嵌入带来的技术溢出效应占据主导地位, 碳排放水平下降, 但随着 GVC 嵌入度加深, 俘获锁定效应逐渐超过技术溢出效应, 导致碳排放强度由降转升, 从而两者呈现出复杂的 U 型关系; 二是 GVC 与全要素生产率的关联研究。多数研究认为, 参与 GVC 便于企业接受高水平的技术指导, 加大对工艺流程的更新改造, 从而提高生产能力, 带动 TFP 增长^{[7][8][9][10]}; 但也有研究指出, GVC 嵌入对 TFP 的提升是有上限的, 当企业技术不断进步, 并试图向 GVC 高端环节挑战时, 会面临跨国公司的阻击, 容易被锁定在微利化的加工组装环节, 阻碍生产率进步, 故两者为倒 U 型关系^[11]; 此外, 许冬兰等^[12]进一步将碳排放纳入核算框架, 构建低碳 TFP 指标并分析 GVC 嵌入与其中的关系, 发现 GVC 嵌入能够倒逼企业加强绿色技术创新, 减少碳排放, 促进低碳 TFP 增长; 三是 NVC 与经济增长的关联研究。研究认为 NVC 的构建能够加强地区-产业关联, 促使上游知识技术沿价值链向下游传播, 有利于下游地区-产业技术进步, 促进经济增长^[13]; 而且, 参与国内分工有利于企业获取更为低廉的中间品, 减少成本支出, 腾出更多闲置资金来扩大规模, 改善规模效益, 进而带动经济增长^[14]; 四是 GVC 与 NVC 的关联研究。部分研究考察了 NVC 对 GVC 的影响, 认为面对激烈的国际竞争, 国内产业可以通过参与 NVC 利用国内人才、市场等优质资源, 增强创新能力, 塑造品牌优势, 从而提升国际竞争力, 最终达到向 GVC 高端环节攀升的目的^{[15][16][17]}。但也有学者指出, 只有当 GVC 体系未遭破坏时, 这一作用机制才会存在, 而一旦国际市场波动较大, GVC 被破坏, 国内产业为规避经济风险, 将被迫增加与本土产业的联系, 缩减 GVC 参与规模, 从而 NVC 可能对 GVC 产生替代效应^[18]; 此外, 盛斌等^[19]进一步考察了 GVC 和 NVC 对经济增长的影响, 发现两者不仅能够单独推动经济增长, 还可以有效对接, 互相加强对经济增长的推动作用。

综上, 目前 GVC 与碳排放、GVC 与全要素生产率、NVC 与经济增长以及 GVC 与 NVC 的关联研究已经较为丰富, 为本研究奠定了坚实的理论和实证基础。但鲜有文献将全球价值链、国内价值链和低碳 TFP 同时纳入统一框架, 也没有研究 GVC 与 NVC 两者互动对低碳 TFP 的影响。鉴于此, 本文尝试从以下两方面进行拓展和创新: (1) 将全球价值链、国内价值链和低碳 TFP 统一到一个理论分析框架里, 分析 GVC 嵌入、NVC 嵌入以及两者互动对低碳 TFP 的影响机理; (2) 从地区和行业双重视角进行异质性分析。地区层面从金融发展水平和财政支出规模, 行业层面从污染密集度和技术密集度, 分别考察双环流价值链嵌入对低碳 TFP 可能的异质性影响。

本文余下结构如下: 第二部分为理论机理分析; 第三部分是模型介绍、变量及数据说明; 第四部分是实证结果分析与讨论; 第五部分是主要结论与政策启示。

二、理论机理分析

(一) GVC 嵌入对低碳 TFP 的影响机理

GVC 嵌入有可能通过倒逼效应和竞争效应推动低碳 TFP 提升。其一, 倒逼效应。国内地区-产业参与 GVC 时, 会面临发达国家跨国公司及其消费者对产品的高环保标准, 因此在满足国际市

场需求、扩大绿色产品供给规模时,会迫使自身淘汰高污染的产品工艺和机器设备,加大绿色技术创新力度^[20],由此可能推动绿色技术进步,促进低碳 TFP 增长;其二,竞争效应。参与 GVC 的地区-产业在国际市场上将面临激烈的全球市场竞争,而竞争效应带来的生存压力会迫使其加快产业升级,投入使用更为前沿的生产工艺、技术手段和管理模式^[21],在实现技术进步的同时提高技术效率,最终推动国内低碳 TFP 改善。此外,GVC 嵌入也存在低端锁定效应,对低碳 TFP 的提升产生阻碍作用。在国际市场中,主导价值链分工的跨国公司为维护自身垄断地位和既得利益,往往会通过技术封锁、设置贸易壁垒等方式阻止国内地区-产业价值链升级,从而将其锁定在高污染、低生产率的加工制造环节^[22],这会导致研发、设计等关键环节缺失,阻碍国内地区-产业技术进步,抑制低碳 TFP 增长。

(二) NVC 嵌入对低碳 TFP 的影响机理

NVC 嵌入可能通过资源整合效应和自主创新效应推动低碳 TFP 提升。其一,资源整合效应。各地区-产业参与构建国内分工体系,有助于打破区域行政性壁垒,推动各地区-产业间资金、人才、技术等资源整合利用,进而按产品不同生产环节优化配置^[19]。这不仅有利于调动更多闲置资源,发掘地区生产潜力,还有助于提高地区-产业的资源利用率,节约资源的同时提高产出水平,从而带动低碳 TFP 增长;其二,自主创新效应。处于 NVC 低附加值环节的地区-产业,为获取更高的产品附加值,除接受上游产业的技术指导外,往往会通过长期地自主学习与知识积累来促进生产技术的进步^[23],以实现低碳 TFP 提升。此外,NVC 嵌入也存在污染天堂效应,阻碍低碳 TFP 增长。国内欠发达地区由于技术条件和生产工艺相对落后,在参与国内生产分工时,通常只能承接来自经济发达地区的低端产业转移,而这些产业较高的能耗强度和污染水平会导致大量治污成本,由此对创新活动产生挤出作用,进而制约技术进步,阻碍低碳 TFP 增长。

(三) 双环流价值链嵌入对低碳 TFP 的影响机理

GVC 与 NVC 在推动低碳 TFP 增长时可能存在显著的互动关系^[19]。一方面,GVC 嵌入在推动低碳 TFP 增长时会受到 NVC 嵌入的调节作用:一是 NVC 嵌入能够增强 GVC 嵌入的技术溢出效应,进而提升 GVC 嵌入对低碳 TFP 的正向推动作用。国内地区-产业在参与 GVC 时能够通过与跨国公司合作或从发达国家进口大量优质中间品等途径,接触到国际先进知识与技术经验,并经过模仿学习获取丰富的溢出技术,实现自身技术进步^{[12][24]},带动低碳 TFP 增长。而同时构建完善的 NVC 有助于打破国内区域行政性壁垒,加强各类生产要素的自由流动,从而便于整合调动国内优势资源,构建起高效的市场运作机制,使 GVC 嵌入带来的溢出技术能够在不同地区-产业间迅速扩散,故 NVC 嵌入能够加强 GVC 嵌入的技术溢出效应,进而提升 GVC 嵌入对低碳 TFP 的推动作用;二是 NVC 嵌入能够增强 GVC 嵌入的市场扩张效应,进而提升 GVC 嵌入对低碳 TFP 的正向推动作用。参与 GVC 能够带来贸易市场的扩张,使国内地区-产业面对更广阔的国际市场,有助于各地区-产业在更大的市场范围内充分发挥比较优势,匹配其优势环节参与 GVC 分工,从而进一步释放生产潜力,扩大生产规模,实现规模经济^[25],进而带动规模效率改善,促进低碳 TFP 提升。而同时参与 NVC 能够整合调动国内优势资源,建立独立的销售网络,并大力培育自主品牌,从而使国内地区-产业以更高水平参与 GVC,增强国际竞争力^[26],有助于其占据更大的海外市场,加大 GVC 嵌入的市场扩张效应,进一步加强 GVC 嵌入对低碳 TFP 的正向影响。

另一方面,NVC 嵌入在推动低碳 TFP 增长时也会受到 GVC 嵌入的调节作用:一是 GVC 嵌入能够增强 NVC 嵌入的技术溢出效应,进而提升 NVC 嵌入对低碳 TFP 的正向推动作用。处于 NVC 上游的地区-产业为保证下游代工产品满足生产标准,往往会定期通过技术指导、员工培训及人才派遣等方式增强下游生产能力,而这一过程产生的大量知识技术溢出有助于下游技术模仿和再创新^[27],以实现技术进步,促进低碳 TFP 提升。而同时参与 GVC 能够帮助 NVC 上游环节的地区-

产业接触并学习更加优质的国际前沿技术，在推动自身技术进步的同时，将更优的生产技术传递给下游产业，从而进一步增强 NVC 的技术溢出效应，提升 NVC 嵌入对低碳 TFP 的正向推动作用；二是 GVC 嵌入能够增强 NVC 嵌入的规模经济效应，进而提升 NVC 嵌入对低碳 TFP 的正向推动作用。构建完善的 NVC 有助于国内地区-产业细化产品的生产环节，加深专业化分工，从而提升生产效率，降低单位产品的生产成本，扩大生产规模，进而实现规模经济^[19]，提高规模效率，带动低碳 TFP 提升。而同时参与 GVC 便于国内地区-产业向发达国家跨国公司学习丰富的链条管理经验，并将其运用于国内分工活动，有助于提高 NVC 的运作效率和匹配质量，进一步深化各生产环节间的专业化分工程度^[1]，从而增强 NVC 嵌入的规模经济效应，提升 NVC 嵌入对低碳 TFP 的推动作用。

综上所述，GVC 嵌入通过倒逼效应、竞争效应和低端锁定效应影响中国地区-产业的低碳 TFP；NVC 嵌入通过资源整合效应、自主创新效应和污染天堂效应影响中国地区-产业的低碳 TFP。同时，GVC 和 NVC 在影响低碳 TFP 时表现为良性互动：NVC 嵌入能够增强 GVC 嵌入的技术溢出效应和市场扩张效应，进而提升 GVC 嵌入对低碳 TFP 的推动作用，同样地，GVC 嵌入能够增强 NVC 嵌入的技术溢出效应和规模经济效应，进而提升 NVC 嵌入对低碳 TFP 的正向作用。以上影响机理可以概括为图 1。

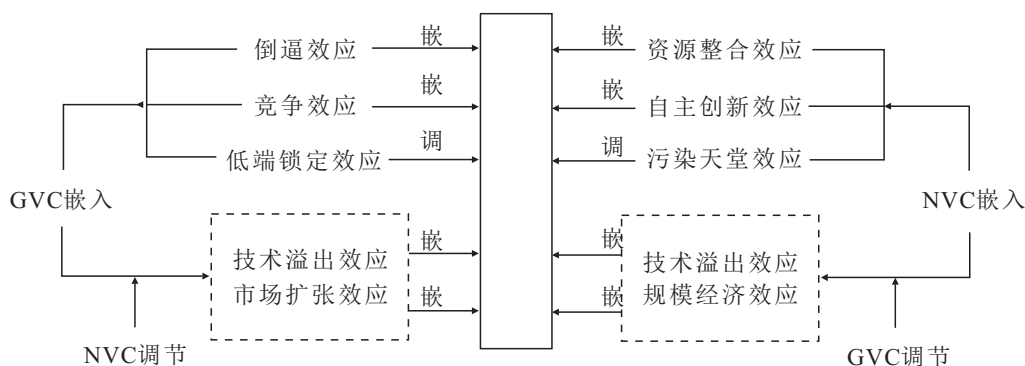


图 1 GVC/NVC 嵌入对低碳 TFP 影响的内在关系图

（四）双环流价值链嵌入对低碳 TFP 的异质性影响机理

双环流价值链嵌入对低碳 TFP 的影响可能存在显著的地区异质性和行业异质性：

从地区层面看，在参与双环流价值链的过程中，不同地区由于金融发展水平和财政支出规模的不同，使得地区内产业的技术创新力度存在差异，从而对低碳 TFP 增长存在异质性影响。一方面，相较于金融发展水平低的地区，金融发展水平高的地区能够为本地区-产业提供更多融资渠道，有助于缓解产业的融资约束^[28]，进而在面对 GVC 嵌入的倒逼效应时，能够凭借地区融资优势，增强绿色技术创新力度，并通过稳定的 NVC 分工网络，实现绿色技术在本地区下游产业的传播和扩散，推动本地区-产业绿色技术进步，产生更大的低碳 TFP 增长效应；另一方面，相较于财政支出规模低的地区，财政支出规模高的地区在参与 GVC 过程中，凭借更加完善的基础设施体系，吸引更多高质量跨国公司在该区建厂，便于本地区-产业近距离学习先进生产经验^[29]，增强技术创新能力，从而有助于其在同时参与 NVC 时，培育本土技术优势，从而降低生产成本，获取更大规模效益，进而更大程度地带动低碳 TFP 增长。

从行业层面看，在参与双环流价值链过程中，由于不同行业在污染密集度和技术密集度方面存在差异，从而对低碳 TFP 的影响可能呈现异质性。一方面，发达国家往往会将高污染的生产环节

外包至发展中国家, 因此, 相较于非污染密集型行业, 国内污染密集型行业更容易被“捕获”, 从而后向嵌入到 GVC 中, 导致更多的污染排放^[30], 使行业面临更大的治污成本, 从而挤占用于技术创新的部分资源, 降低技术创新力度。而同时参与 NVC 可能会使污染密集型行业承接大量来自国内上游环节的污染活动转移, 从而进一步加剧了污染治理对技术进步的阻碍作用, 导致低碳 TFP 的提升作用更小; 另一方面, 相较于非技术密集型行业, 技术密集型行业能够凭借更强的学习能力, 充分吸收 GVC 的治理经验及链上先进技术^[31], 并将其运用至 NVC 的构建过程, 从而更有利于实现国内资源的整合利用, 充分发挥 NVC 嵌入的资源整合效应, 进而带来更显著的低碳 TFP 增长效果。

三、模型介绍、变量及数据说明

(一) 模型介绍

1. 地区流出的增加值分解框架。借鉴盛斌等^[19]的研究, 将全球价值链与国内价值链置于一个统一的框架下进行核算。基于区域间投入产出模型, 假设一国有 G 个地区 N 个行业, 将地区 j 向国内其他地区 i 的流出 z_{ji} 分解如下:

$$\begin{aligned}
 z_{ji} = & {}_1(v_j b_{jj})^T \# y_{ji} + {}_2(v_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} y_{ii}) + {}_3(v_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik} y_{kk}) + {}_4(v_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} \sum_{k \neq j, i}^G y_{ik}) \\
 & + {}_5(v_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik} \sum_{u \neq j, k}^G y_{ku}) + {}_6(v_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} y_{ij}) + {}_7(v_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik} y_{kj}) \\
 & + {}_8(v_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ij} y_{jj}) + {}_9(v_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ij} y_{jk}) + {}_{10}(v_j b_{jj} v_j l_{jj})^T \# (a_{ji} x_i) \\
 & + {}_{11}(v_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} e_i) + {}_{12}(v_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ij} e_j) + {}_{13}(v_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik} e_k) + {}_{14}(v_i b_{ij})^T \# y_{ji} \\
 & + {}_{15}(v_i b_{ij})^T \# (a_{ji} l_{ii} y_{ii}) + {}_{16}(v_i l_{ij})^T \# (a_{ji} l_{ii} z_{i*}) + {}_{17}(\sum_{k \neq j, i}^G v_k b_{kj})^T \# y_{ji} \\
 & + {}_{18}(\sum_{k \neq j, i}^G v_k b_{kj})^T \# (a_{ji} l_{ii} y_{ii}) + {}_{19}(\sum_{k \neq j, i}^G v_k b_{kj})^T \# (a_{ji} l_{ii} z_{i*}) + {}_{20}(m_j b_{jj})^T \# y_{ji} \\
 & + {}_{21}(m_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} y_{ii}) + {}_{22}(m_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik} y_{kk}) + {}_{23}(m_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} \sum_{k \neq j, i}^G y_{ik}) \\
 & + {}_{24}(m_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik} \sum_{u \neq j, k}^G y_{ku}) + {}_{25}(m_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} y_{ij}) + {}_{26}(m_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik} y_{kj}) \\
 & + {}_{27}(m_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} y_{jj}) + {}_{28}(m_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j}^G b_{ij} y_{jk}) + {}_{29}(m_j b_{jj} - m_j l_{jj})^T \# (a_{ji} x_i) \\
 & + {}_{30}(m_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} e_i) + {}_{31}(m_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ij} e_j) + {}_{32}(m_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik} e_k) \\
 & + {}_{33}(m_i b_{ij})^T \# y_{ji} + {}_{34}(m_i b_{ij})^T \# (a_{ji} l_{ii} y_{ii}) + {}_{35}(m_i b_{ij})^T \# (a_{ji} l_{ii} z_{i*}) + {}_{36}(\sum_{k \neq j, i}^G m_k b_{kj})^T \# y_{ji} \\
 & + {}_{37}(\sum_{k \neq j, i}^G m_k b_{kj})^T \# (a_{ji} l_{ii} y_{ii}) + {}_{38}(\sum_{k \neq j, i}^G m_k b_{kj})^T \# (a_{ji} l_{ii} z_{i*}) + {}_{39}(r_j b_{jj})^T \# y_{ji} \\
 & + {}_{40}(r_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} y_{ii}) + {}_{41}(r_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik} y_{kk}) + {}_{42}(r_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} \sum_{k \neq j, i}^G y_{ik}) \\
 & + {}_{43}(r_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik} \sum_{u \neq j, k}^G y_{ku}) + {}_{44}(r_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} y_{ij}) + {}_{45}(r_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik} y_{kj})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +_{46}(r_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ij} y_{jj}) +_{47}(r_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j}^G b_{ij} y_{jk}) +_{48}(r_j b_{jj} - r_j l_{jj})^T \# (a_{ji} x_i) \\
& +_{49}(r_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} e_i) +_{50}(r_j l_{jj})^T \# (a_{ji} b_{ii} e_j) +_{51}(r_j l_{jj})^T \# (a_{ji} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik} e_k) +_{52}(r_i b_{ij})^T \# y_{ji} \\
& +_{53}(r_i b_{ij})^T \# (a_{ji} l_{ii} y_{ii}) +_{54}(r_i b_{ij})^T \# (a_{ji} l_{ii} z_{i*}) +_{55}(\sum_{k \neq j, i}^G r_k b_{kj})^T \# y_{ji} \\
& +_{56}(\sum_{k \neq j, i}^G r_k b_{kj})^T \# (a_{ji} l_{ii} y_{ii}) +_{57}(\sum_{k \neq j, i}^G r_k b_{kj})^T \# (a_{ji} l_{ii} z_{i*})
\end{aligned} \quad (1)$$

在 (1) 式基础上, 对地区 j 的总流出 z_{j*} 做如下分解:

$$\begin{aligned}
z_{j*} = \sum_{i \neq j}^G z_{ji} + e_j = \sum_{i \neq j}^G z_{ji} + (v_j b_{jj})^T \# e_j + (\sum_{i \neq j}^G v_i b_{ij})^T \# e_j + (m_j b_{jj})^T \# e_j + (\sum_{i \neq j}^G m_i b_{ij})^T \# e_j \\
+ (r_j b_{jj})^T \# e_j + (\sum_{i \neq j}^G r_i b_{ij})^T \# e_j
\end{aligned} \quad (2)$$

其中, “#” 表示同维度矩阵的对应元素进行乘积运算; x_i 、 y_{ij} 、 e_i 与 m_i 分别指地区 i 的总产出向量、流向地区 j 的最终产品向量、对国外的出口向量及纯进口系数向量; v_i 与 r_i 分别指地区 i 的直接增加值系数向量与回流增加值系数向量; a 、 b 、 l 分别指投入产出系数矩阵、完全消耗系数矩阵、局部里昂惕夫逆矩阵。(1) 式的分解项可根据增加值来源分为以下几类: 一是在国内其他地区或国外吸收的本地区增加值 (第 1—5、11—13 项); 二是流出后又返回本地区被吸收的本地区增加值 (第 6—8 项); 三是国内其他地区增加值 (第 14—15、17—18 项); 四是国外成分 (第 20—27、30—34、36—37 项); 五是通过进口回流的增加值 (第 39—46、49—53、55—56 项); 六是重复计算部分 (第 9—10、16、19、28—29、35、38、47—48、54、57 项)。

2. 动态 EBM-Malmquist 指数。目前学界测算环境 TFP 的方法主要为基于 SBM 或 EBM 模型的生产率指数法, 如 Malmquist 指数法^{[32][33]}、Luenberger 指数法^{[34][35]}和 Malmquist-Luenberger 指数法^{[36][37]}。本文选用动态 EBM-Malmquist 指数测算低碳 TFP, 既考虑了动态要素 (固定资产投入) 对效率的跨期影响, 又放松了径向函数同比例变动的假定, 同时还保留了非径向函数考虑松弛变量的特点, 在对决策单元相对效率的评价上更具优势^{[38][39]}。因此, 借鉴许冬兰等^[12]构建动态 EBM-Malmquist 指数计算低碳 TFP 指数。具体表达式如下:

$$\begin{aligned}
M(x^{t+1}, z^t, y^{t+1}, y_b^{t+1}, z^{t+1}, x^t, z^{t-1}, y^t, y_b^t, z^t) &= \frac{D_v^{t+1}(x^{t+1}, z^t, y^{t+1}, y_b^{t+1}, z^{t+1})}{d_v^t(x^t, z^{t-1}, y^t, y_b^t, z^t)} \\
&\times \left[\frac{D_v^t(x^{t+1}, z^t, y^{t+1}, y_b^{t+1}, z^{t+1})}{D_v^{t+1}(x^{t+1}, z^t, y^{t+1}, y_b^{t+1}, z^{t+1})} \times \frac{D_v^t(x^t, z^{t-1}, y^t, y_b^t, z^t)}{D_v^{t+1}(x^t, z^{t-1}, y^t, y_b^t, z^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \\
&\times \left[\frac{D_c^t(x^{t+1}, z^t, y^{t+1}, y_b^{t+1}, z^{t+1})}{D_c^{t+1}(x^{t+1}, z^t, y^{t+1}, y_b^{t+1}, z^{t+1})} \times \frac{D_c^{t+1}(x^t, z^{t-1}, y^t, y_b^t, z^t)}{D_c^{t+1}(x^t, z^{t-1}, y^t, y_b^t, z^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \\
&\times \left[\frac{D_v^t(x^{t+1}, z^t, y^{t+1}, y_b^{t+1}, z^{t+1})}{D_v^t(x^t, z^{t-1}, y^t, y_b^t, z^t)} \times \frac{D_v^{t+1}(x^{t+1}, z^t, y^{t+1}, y_b^{t+1}, z^{t+1})}{D_v^{t+1}(x^t, z^{t-1}, y^t, y_b^t, z^t)} \right]^{\frac{1}{2}}
\end{aligned} \quad (3)$$

其中, x 、 y 分别指投入与产出要素, y_b 是环境负产出要素, z 是动态要素, 下标 c 与 v 则分别表示规模报酬不变与可变。

3. 计量模型。在考察双环流价值链嵌入对低碳全要素生产率的影响时, 本文使用的是 2007、2010、2012 和 2015 年中国 30 个省区 13 个工业行业的三维数据, 因此需构建三维面板固定效应模型, 同时控制地区、行业、时间三个维度的固定效应, 形式如下:

$$LCTFP_{jht} = \alpha_0 + \alpha_1 GVC_{jht} + \lambda X + v_j + v_h + v_t + \epsilon_{jht} \quad (4)$$

$$LCTFP_{jht} = \alpha_0 + \alpha_1 NVC_{jht} + \lambda X + v_j + v_h + v_t + \epsilon_{jht} \quad (5)$$

$$LCTFP_{jht} = \alpha_0 + \alpha_1 GVC_{jht} + \alpha_2 NVC_{jht} + \alpha_3 GVC \times NVC_{jht} + \lambda X + v_j + v_h + v_t + \epsilon_{jht} \quad (6)$$

其中, j 表示地区, h 表示行业, t 表示年份, $LCTFP$ 为低碳全要素生产率, GVC 和 NVC 分别为全球价值链嵌入度和国内价值链嵌入度, X 表示控制变量, v_j 、 v_h 、 v_t 分别是地区、行业及年份固定效应, ϵ_{jht} 为随机扰动项。此外, 为考察 GVC 嵌入和 NVC 嵌入在影响低碳 TFP 时的互动情况, 借鉴苏丹妮等^[40]采用交互项捕捉互动效应的做法, 构造 GVC 嵌入与 NVC 嵌入的交互项, 其内在含义可以理解为 GVC 嵌入能够“调节” NVC 嵌入对低碳 TFP 的作用, 同样地, NVC 嵌入也可以“调节” GVC 嵌入对低碳 TFP 的作用。因此, 交互项反映了两个变量间的互动情况, 若交互项系数显著为正, 则表明两者互动促进了低碳 TFP 提升; 若显著为负, 则表明两者互动抑制了低碳 TFP 提升。

(二) 变量与数据说明

1. 被解释变量: 低碳全要素生产率 ($LCTFP$)。借鉴许冬兰等^[12]将能源消耗与 CO_2 排放量纳入核算框架, 计算 2007、2010、2012 及 2015 年中国 30 个省区 13 个工业行业的低碳 TFP:

投入指标: 劳动投入为地区-产业从业人员年平均人数 (万人); 能源投入为地区-产业能源消费量 (万吨标准煤)。

产出指标: 期望产出为地区-产业工业总产值 (亿元); 非期望产出为地区-产业 CO_2 排放量 (百万吨)。

动态要素: 将地区-产业固定资产投资 (亿元) 作为动态要素, 参考 Tone 等^[38]的处理方法, 上年数据为投入要素, 本年数据为产出要素。

数据来源于《中国工业统计年鉴》、中国碳排放数据库 (CEADs) 和《中国固定资产投资统计年鉴》。此外, 将各年低碳 TFP 指数转化为以 2007 年为基期的数值。

2. 核心解释变量: 全球价值链嵌入度 (GVC) 和国内价值链嵌入度 (NVC)。根据盛斌等^[19]对全球价值链和国内价值链嵌入度的定义, 构建 GVC 和 NVC 嵌入度指数:

$$\begin{aligned} GVC_{jht} = GUP_{jht} + GDOWN_{jht} = & [(v_j^{ht} b_{jj}^{ht})^T \# e_j^{ht} + (v_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} b_{ii}^{ht} e_i^{ht}) + (v_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik}^{ht} e_k^{ht})] / z_{j*}^{ht} \\ & + [(m_j^{ht} b_{jj}^{ht})^T \# y_{ji}^{ht} + (m_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} b_{ii}^{ht} y_{ii}^{ht}) + (m_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik}^{ht} y_{kk}^{ht}) \\ & + (m_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} b_{ii}^{ht} \sum_{k \neq j, i}^G y_{jj}^{ht}) + (m_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik}^{ht} \sum_{u \neq j, k}^G y_{ku}^{ht}) + (m_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} b_{ii}^{ht} y_{ij}^{ht}) \\ & + (m_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik}^{ht} y_{kj}^{ht}) + (m_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} b_{ij}^{ht} y_{jj}^{ht}) + (m_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} b_{ii}^{ht} e_i^{ht}) \\ & + (m_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik}^{ht} e_k^{ht}) + (m_i^{ht} b_{ij}^{ht})^T \# y_{ji}^{ht} + (m_i^{ht} b_{ij}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} l_{ii}^{ht} y_{ii}^{ht}) \\ & + (\sum_{k \neq j, i}^G m_k^{ht} b_{kj}^{ht})^T \# y_{ji}^{ht} + (\sum_{k \neq j, i}^G m_k^{ht} b_{kj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} l_{ii}^{ht} y_{ii}^{ht}) + (\sum_{i \neq j}^G m_i^{ht} b_{ij}^{ht})^T \# e_j^{ht}] / z_{j*}^{ht} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} NVC_{jht} = NUP_{jht} + NDOWN_{jht} = & [(v_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} b_{ii}^{ht} y_{ii}^{ht}) + (v_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik}^{ht} y_{kk}^{ht}) + \\ & + (v_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} b_{ii}^{ht} \sum_{k \neq j, i}^G y_{jj}^{ht}) + (v_j^{ht} l_{jj}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} \sum_{k \neq j, i}^G b_{ik}^{ht} \sum_{u \neq j, k}^G y_{ku}^{ht})] / z_{j*}^{ht} \\ & + [(v_i^{ht} b_{ij}^{ht})^T \# y_{ji}^{ht} + (v_i^{ht} b_{ij}^{ht})^T \# (a_{ji}^{ht} l_{ii}^{ht} y_{ii}^{ht}) + (\sum_{k \neq j, i}^G v_k^{ht} b_{kj}^{ht}) \# y_{ji}^{ht} + (\sum_{k \neq j, i}^G v_k^{ht} b_{kj}^{ht}) \# (a_{ji}^{ht} l_{ii}^{ht} y_{ii}^{ht}) \\ & + (\sum_{i \neq j}^G v_i^{ht} b_{ij}^{ht}) \# e_j^{ht}] / z_{j*}^{ht} \end{aligned} \quad (8)$$

其中, GVC_{jht} (NVC_{jht}) 表示 t 年地区 j 行业 h 的全球价值链 (国内价值链) 嵌入度; GUP_{jht}

(NUP_{jht}) 表示 t 年地区 j 行业 h 的全球价值链（国内价值链）上游嵌入度； $GDOWN_{jht}$ ($NDOWN_{jht}$) 表示 t 年地区 j 行业 h 的全球价值链（国内价值链）下游嵌入度。数据来源于 2007、2010、2012 及 2015 年中国区域投入产出表、OECD 投入产出表，并将两类投入产出表中的行业进行匹配合并后使用。

3. 控制变量。(1) 资本深化程度 (KL): 借鉴黎峰等^[17]采用各地区产业的固定资产净值与劳动力年平均人数之比衡量。人均资本增加能够促使地区产业加大劳动培训投入，提高劳动力素质，从而改善生产效率，带动低碳 TFP 提升；(2) 能源消费结构 (EG): 采用各地区产业煤炭消耗量与能源消耗总量之比衡量。落后的能源消费结构会造成能源利用效率低下，阻碍低碳 TFP 增长；(3) 城镇化水平 (UR): 借鉴张素庸等^[41]采用各地区城镇人口与总人口之比衡量。城镇规模的盲目扩张可能会扩大能源消费规模，导致更多的污染排放，治污成本增加，挤占技术创新资金，不利于技术进步，对低碳 TFP 产生抑制作用；(4) 信息化水平 (INT): 借鉴谢莉娟等^[42]采用各地区互联网宽带接入端口数与年末总人口之比表示。此指标提高有利于对要素投入的动态监控，从而提高资源配置效率，促进低碳 TFP 提升。

数据来源于《中国工业统计年鉴》、中国碳排放数据库 (CEADs)、《中国统计年鉴》，对缺失值采用线性插值法补齐。

4. 变量的描述性统计。考虑到所有变量数据的完整性，本文选取 2007、2010、2012 及 2015 年中国 30 个省区 13 个工业行业为样本^①。对含有价格因素的变量，均以 2007 年为基期进行平减。同时，对所有变量在 1% 和 99% 分位上进行 Winsorize 处理，消除极端值影响。变量的描述性统计如表 1 所示。

表 1 变量的描述性统计

	变量	平均值	标准差	1%分位数	中位数	99%分位数
被解释变量	低碳 TFP	1.422	3.865	0.198	1.000	5.721
核心解释变量	GVC 嵌入度	0.239	0.106	0.064	0.225	0.520
	NVC 嵌入度	0.311	0.108	0.077	0.303	0.601
控制变量	资本深化程度	3.062	0.962	1.370	2.904	5.999
	能源消费结构	0.344	0.249	0.003	0.306	0.923
	城镇化水平	0.530	0.137	0.316	0.506	0.893
	信息化水平	0.220	0.166	0.032	0.179	0.728

四、实证结果分析与讨论

(一) 双环流价值链嵌入的低碳全要素生产率效应分析

本文首先进行 Hausman 检验，结果显示拒绝随机效应的原假设，因此选用三维面板固定效应模型进行回归估计。

表 2 列 (1) 和列 (2) 结果显示，无论是否加入控制变量，全球价值链嵌入对低碳 TFP 的回归系数均显著为正，说明 GVC 嵌入对低碳 TFP 的正向作用大于负向影响，即 GVC 嵌入有助于推动低碳 TFP 增长，可能的解释是：一方面，GVC 嵌入存在倒逼效应。面对发达国家较高的绿色贸易壁垒，国内地区产业为满足国际市场需求，不得不增加人力、资金投入，增强清洁生产能力，进行绿色技术创新，从而推动了绿色技术进步，促进了低碳 TFP 水平提升；另一方面，GVC 嵌入

① 未包括数据缺失的西藏、中国港澳台地区。

具有竞争效应。参与 GVC 的地区-产业从发达国家进口大量中间品,会引起国内国际两个中间品市场的激烈竞争,这会造成地区-产业的生存压力,迫使其挖掘生产潜力,投入使用更加先进的生产工艺与技术手段,实现了技术进步,从而带动了低碳 TFP 提升。

列(3)和列(4)结果显示,无论是否加入控制变量,国内价值链嵌入对低碳 TFP 的回归系数均显著为正,说明 NVC 嵌入对低碳 TFP 的正向作用大于负向影响,即 NVC 嵌入能够显著促进低碳 TFP 增长,可能的解释为:一是 NVC 嵌入存在资源整合效应。国内地区-产业参与 NVC 一方面调动了资金、劳动力等大量闲置要素,提高了要素利用率,另一方面也会推动生产资源重新整合利用,并依据地区-产业比较优势配置资源,提高配置效率,从而改善了技术效率,实现了低碳 TFP 的增长;二是 NVC 嵌入存在自主创新效应。国内分工体系下,处于低附加值环节的地区-产业,为追求更大收益,会通过长期地学习与积累实现技术的自主创新,在向高附加值环节攀升的同时,提高了自身技术水平,从而带动了低碳 TFP 进步。

列(5)和列(6)结果显示,无论是否加入控制变量,GVC 与 NVC 的交互项系数均显著为正,说明 GVC 嵌入与 NVC 嵌入的互动对低碳 TFP 存在正向推动作用,可能的原因是:其一,NVC 的构建放大了 GVC 嵌入的技术溢出效应,即国内地区-产业在参与 GVC 时通过进口发达国家的优质中间品,获取了丰富的溢出技术,提高了技术水平,而作为一种协调有序的分工体系,NVC 加强了各地区-产业间的投入产出关联,有利于国外先进技术与经验沿国内价值链条进行更大范围的传播和扩散,从而带动链上更多地区-产业实现技术进步,放大了 GVC 嵌入的技术溢出效应,进而增强了 GVC 嵌入对低碳 TFP 推动作用;其二,NVC 嵌入增强了 GVC 嵌入的市场扩张效应,即参与 GVC 扩大了国内地区-产业的中间品出口市场,借此提高了生产规模,实现规模效率改善,而同时参与 NVC 能够集中本土的优势资源,培育自主创新能力,从而提高了产品国际竞争力,进一步发挥 GVC 嵌入的大市场效应,进而增强了 GVC 嵌入对低碳 TFP 推动作用;其三,GVC 嵌入增强了 NVC 嵌入的规模经济效应,即构建完善的 NVC 能够加深国内地区-产业的专业化分工,生产效率得到提升,有助于降低中间品的生产成本,实现规模经济,而同时参与 GVC 能够为国内地区-产业带来先进的链条治理经验,促使其将先进经验运用于国内价值链的治理上,提高了 NVC 的匹配质量,更大程度上深化了本土的专业化分工,增强 NVC 的规模经济效应,促进规模效率的提升,进而增强了 NVC 嵌入对低碳 TFP 的推动作用;其四,GVC 嵌入增强了 NVC 嵌入的技术溢出效应,即参与 GVC 帮助 NVC 上游的地区-产业充分吸收国外更为先进的技术经验,并通过技术指导等方式传播到下游,增强了 NVC 嵌入的技术溢出效应,进而提升了 NVC 嵌入对低碳 TFP 的推动作用。

控制变量的回归结果显示,资本深化程度(KL)的回归系数显著为正,说明人均资本的增加可能促使地区-产业加大了对高技能劳动力的培育力度,来提高资本-劳动的匹配水平,从而有助于人力资本积累,提升创新能力,实现技术攀升,进而带动了低碳 TFP 增长;能源消费结构(EG)的回归系数显著为负,可能的原因是,受技术和市场条件制约,清洁能源发展缓慢,地区-产业的能源投入仍以煤炭等化石能源为主。不合理的能源消费结构使其保留了相对落后的生产工艺,导致了能源利用效率低下,阻碍了低碳 TFP 提升;城镇化水平(UR)对低碳 TFP 存在抑制作用,原因可能在于城镇规模的扩张引致了大量能源消费,加之研究期间内能源消费结构落后,增加了污染排放,从而提高了治污成本,挤占了用于绿色技术创新的资金,不利于技术进步,阻碍了低碳 TFP 增长;信息化水平(INT)的回归系数并不显著,可能是因为研究期间内,中国信息通信技术体系尚不完善,在各地区-产业生产活动中的应用水平较低、覆盖范围较小,难以带动各部门高效沟通和资源优化配置,因此,未能促进技术效率改善,也导致对低碳 TFP 的影响不显著。

表 2 双环流价值链嵌入对低碳 TFP 的回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
GVC	6.004*** (3.722)	4.879*** (2.901)			9.222*** (5.193)	8.122*** (4.267)
NVC			3.372* (1.942)	3.870** (2.236)	7.428*** (3.948)	6.369*** (3.130)
GVC×NVC					24.822** (2.162)	27.971** (2.329)
lnKL		1.766*** (4.839)		1.741*** (5.058)		1.765*** (4.851)
EG		-4.474*** (-4.252)		-4.222*** (-4.079)		-4.514*** (-4.304)
UR		-12.396* (-1.766)		-16.453** (-2.328)		-13.661* (-1.938)
INT		1.248 (0.595)		1.544 (0.735)		1.094 (0.523)
常数项	-0.015 (-0.038)	2.679 (0.694)	0.374 (0.683)	4.721 (1.241)	-2.954*** (-3.516)	0.801 (0.207)
年份 FE	是	是	是	是	是	是
地区 FE	是	是	是	是	是	是
行业 FE	是	是	是	是	是	是
N	1 560	1 560	1 560	1 560	1 560	1 560
R ²	0.286	0.332	0.280	0.305	0.297	0.340

注：括号内为 t 统计量；***、**、* 分别表示变量通过 1%、5%、10% 的显著性检验；各列回归均控制了年份、地区及行业固定效应。以下各表同。

（二）双环流价值链嵌入影响低碳全要素生产率的异质性分析

1. 地区特征异质性。由于金融发展水平能够直接影响地区-产业的资金供给，在一定程度上反映地区融资约束情况，而融资约束往往是制约产业资本积累、研发创新，进而参与国内外生产分工的重要因素；此外，地方财政支出，尤其是在基础设施、教育医疗等领域的公共投资规模，通常与地区营商环境、人才集聚水平紧密相关，而这些因素同样是影响产业生产能力的关键要素。因此，这可能使不同金融发展水平和财政支出规模下的地区-产业同时参与 GVC 和 NVC 的状况具有显著差异，从而对低碳 TFP 增长产生影响。鉴于此，本文分别依据地区金融发展水平和财政支出规模，进一步考察双环流价值链嵌入对低碳 TFP 的异质性影响。借鉴庞廷云等^[43]的研究，采用各地区金融机构贷款余额与 GDP 之比衡量地区金融发展水平，并按照该指标的中位数划分为高金融发展水平地区（虚拟变量 $Dummy=1$ ）和低金融发展水平地区（虚拟变量 $Dummy=0$ ），回归结果见表 3 列（1）；同样，借鉴李毅等^[44]的研究，采用各地区一般预算财政支出与 GDP 之比衡量地区财政支出规模，并按照指标的中位数划分为高财政支出规模地区（ $Dummy=1$ ）和低财政支出规模地区（ $Dummy=0$ ），回归结果见表 3 列（2）。

表 3 列（1）结果显示，GVC、NVC 与金融发展水平三者的交互项系数在 5% 的置信水平上显著为正，在其他条件不变的情况下，GVC 和 NVC 的交互项变动 0.01 个单位，金融发展水平较高地区的低碳 TFP 会比金融发展水平较低的地区多增加 0.37 个单位。这说明与金融发展水平低的地区相比，金融发展水平更高的地区 GVC 与 NVC 的互动对低碳 TFP 存在更显著的正向推动作用。可能的原因是：更高的金融发展水平意味着更加完善的金融体系，能够为产业发展提供多样的融资平台，缓解融资约束；此外，较为成熟的金融市场能够减少信息不对称，便于投资者掌握更多融资

表3 双环流价值链嵌入对低碳 TFP 的异质性回归结果

变量	地区特征异质性		行业特征异质性	
	(1) 金融发展水平	(2) 财政支出规模	(3) 污染密集型	(4) 技术密集型
$GVC \times Dummy$	6.048*** (1.396)	4.964*** (1.500)	-1.260 (-0.520)	25.355*** (7.948)
$NVC \times Dummy$	0.628 (1.266)	0.914 (1.161)	-0.849 (-0.316)	14.223*** (4.379)
$GVC \times NVC \times Dummy$	36.538** (14.827)	30.343* (15.874)	-3.547 (-0.211)	88.219*** (4.389)
控制变量	是	是	是	是
常数项	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是
N	1 560	1 560	1 560	1 560
R ²	0.317	0.313	0.327	0.368

者的信用评级及投融资决策信息,从而增强其投资意愿,有助于降低产业融资难度。因此,面对 GVC 嵌入对国内地区-产业绿色生产的倒逼效应,高金融发展水平地区的产业可以凭借融资优势加大绿色创新力度,加快清洁工艺及设备的更新升级,更好满足国际市场的高环保标准,从而推动了绿色技术进步,同时通过构建完善的 NVC 能够有效加强本地区-产业间的投入产出关联,促进绿色技术在本地区下游产业的进一步传播,借此实现了更大幅度的技术进步,从而更大程度地促进了低碳 TFP 增长。

由列(2)结果可知,GVC、NVC 与财政支出规模三者的交互项系数在 10%的置信水平上显著为正,在其他条件不变的情况下,GVC 和 NVC 的交互项变动 0.01 个单位,财政支出规模较高地区的低碳 TFP 会比财政支出规模较低的地区多增加 0.30 个单位。这说明相较于财政支出水平低的地区,财政支出水平高的地区 GVC 与 NVC 的互动对低碳 TFP 存在更明显的正向推动作用。原因可能在于:财政支出水平更高的地区拥有更加完善的基础设施体系,从而吸引了大批高水平的跨国公司在该地区投资建厂,而国内产业经过长期近距离地接触和学习,掌握了大量先进的生产工艺和前沿技术,进而推动了自身技术进步;与此同时,在教育、医疗等方面的高财政支出也吸引了更多国内外优秀人才流入,使该地区成为高素质人才的蓄水池,从而积累起丰富的人力资本。这都有助于国内地区-产业在同时参与 NVC 时开展更高水平的技术研发和品牌塑造活动,培育本土优势,从而降低了生产成本,充分发挥规模经济,提高规模效率,进而在 GVC 与 NVC 的联动作用下,更大力度地推动了低碳 TFP 水平的提升。

2. 行业特征异质性。考虑到不同污染强度和技术水平的行业参与 GVC 和 NVC 的程度不同,可能使双环流价值链嵌入对低碳 TFP 的影响存在差异。因此,本文首先借鉴沈能^[45]的研究,按照行业污染强度的中位数将 13 个工业行业划分为污染密集型行业 ($Dummy=1$) 和非污染密集型行业 ($Dummy=0$)^①,回归结果见表 3 列(3);然后,根据 OECD 对技术密集型行业的分类标准,将 13 个工业行业划分为技术密集型行业 ($Dummy=1$) 和非技术密集型行业 ($Dummy=0$)^②,回

① 污染密集型行业包括石油加工业、化学工业、非金属矿物制品业、金属冶炼及压延加工业、金属制品业、其他制造业、电力热力及水的生产和供应业。

② 技术密集型行业包括化学工业、机械设备制造业、交通运输设备制造业、电气机械及器材制造业、电子通讯、仪器仪表制造业。

归结果见表3列(4)。

列(3)回归结果显示,GVC、NVC与污染密集度三者的交互项系数为负,但没有通过显著性检验,这意味着在污染密集型和非污染密集型行业之间,GVC和NVC的互动对低碳TFP的影响没有显著差异。原因可能是:一方面,国内地区产业在参与国际生产分工时,均能与跨国公司的交流合作,掌握严格的国际环保标准和先进环保技术,并借助NVC上下游产业间的投入产出关联,引起创新成果沿NVC链条扩散,使得绿色技术被不同污染密集度行业共享,导致在推动低碳TFP方面的差异并不显;另一方面,东部沿海地区较早参与GVC,承接了大量高能耗、高排放的污染密集型产业,而伴随国内分工体系的形成,这些产业不断向中西部地区转移,使该地区成为了国内产业的污染避难所,导致污染密集型产业实质性的减排力度不足,再加上非污染密集型产业本身减排空间较小,从而GVC和NVC嵌入对两者低碳TFP的提升效果未能呈现出较大差异。

列(4)中GVC、NVC与技术密集度三者的交互项系数在1%的置信水平上显著为正,在其他条件不变的情况下,GVC和NVC的交互项变动0.01个单位,技术密集度较高产业的低碳TFP会比技术密集度较低产业多增加0.88个单位。这说明与技术密集度低的产业相比,技术密集度更高的产业GVC、NVC两者的互动对低碳TFP的提升作用更为显著。可能的原因是:一方面,技术密集型产业一般具有较高的人力资本水平,对外部技术、经验的学习和运用能力更强。因此,在与GVC主导企业的交流合作中,技术密集型产业通过快速识别有价值的知识信息,学习主导企业先进的价值链治理技巧及经验,并将其运用于NVC的维护运营过程,提升了对国内价值链的治理能力,更好地推动了国内资源统筹协调,从而带来技术效率的改善,产生更大的低碳TFP增长效应;另一方面,技术密集型产业往往也是NVC的领导产业,相较于技术水平低的产业,其凭借显著的技术和市场优势,通过加强对研发设计、销售渠道及品牌运营等方面的培育和维护,能够以更高水平参与全球竞争,提升市场份额,为实现更大的技术跃进积累雄厚的创新资金,从而更有力地推动了技术进步,更大程度地提高了低碳TFP水平。

(三) 稳健性检验

1. 内生性问题。考虑到被解释变量和核心解释变量间可能存在双向因果关系,导致内生性问题。因此,为缓解可能存在的内生性问题,本文将核心解释变量的滞后一期作为工具变量^[46],进行两阶段最小二乘回归(2SLS)。表4列(1)和列(2)分别是将GVC嵌入度和NVC嵌入度作为内生变量的估计结果,结果显示工具变量选取合理^①。表4列(1)和列(2)的核心解释变量估计系数与表2列(6)的核心解释变量估计系数相比膨胀了3至6倍,这是因为工具变量估计主要捕捉局部平均处理效应,即该估计只对受到工具变量影响的那部分个体有效,对不受工具变量影响的个体无效,从而导致估计系数的膨胀^[47]。因此,在该估计方法下,主要关注回归系数的方向^[48]。而根据回归结果可知,其与基准回归结果方向一致,从而一定程度上证明了本文研究结论的稳健性。

2. 改变研究区间。2008年全球金融危机爆发给中国经济增长带来巨大的外部冲击,与全球价值链相比,国内价值链在中国各地区经济发展中的重要性不断凸显^[13],从而可能影响本文实证结果。鉴于此,选取金融危机爆发后2010、2012、2015年子样本数据进行稳健性检验。列(3)结果显示,核心解释变量的符号仍均显著为正。

3. 增加控制变量。考虑到计量模型设定仍可能存在遗漏变量问题,因此增加外商直接投资(FDI)作为控制变量,再次进行回归,列(4)结果显示,本文核心结论仍然成立。

① Anderson LM统计量和Cragg-Donald Wald F统计量分别拒绝了工具变量识别不足和弱识别的原假设,且Sargan统计量接受了不存在过度识别的原假设。

表 4 稳健性检验的回归结果

变量	(1) GVC 为内生变量 (2SLS)	(2) NVC 为内生变量 (2SLS)	(3) 子样本回归	(4) 增加控制变量
GVC	42.269*** (3.172)	48.423*** (3.118)	9.167*** (3.724)	8.130*** (4.268)
NVC	23.413*** (3.969)	24.838*** (3.245)	6.792** (2.579)	6.358*** (3.122)
GVC×NVC	65.337*** (3.131)	102.012*** (3.133)	31.167** (2.085)	27.990** (2.330)
lnKL	3.334*** (5.384)	3.312*** (5.109)	3.932*** (7.584)	1.763*** (4.839)
EG	-5.148*** (-2.931)	-5.982*** (-3.243)	-5.286*** (-3.363)	-4.509*** (-4.297)
UR	-57.875*** (-3.424)	-26.698* (-1.880)	-30.460** (-2.503)	-13.639* (-1.934)
INT	0.306 (0.099)	-1.646 (-0.498)	0.306 (0.110)	1.113 (0.532)
FDI				-0.000 (-0.169)
常数项			3.204 (0.473)	0.800 (0.206)
固定效应	是	是	是	是
Anderson LM 统计量	56.999 [0.000]	39.583 [0.000]		
Cragg-Donald Wald F 统计量	18.744 [11.59]	12.816 [11.59]		
Sargan-P 值	0.919	0.494		
N	1 170	1 170	1 170	1 560
R ²			0.442	0.340

注: (1) Anderson LM 统计量对应的括号内为 p 值; (2) Cragg-Donald Wald F 统计量对应的括号内为 Stock-Yogo 检验在 15% 水平上的临界值。

五、主要结论与政策启示

本文利用 2007、2010、2012 及 2015 年中国 30 个省区 13 个工业行业的三维数据, 将全球价值链、国内价值链及低碳 TFP 三者纳入统一的研究框架, 进而在理论分析基础上实证探讨了 GVC/NVC 双环流嵌入的低碳 TFP 效应, 得出如下主要结论: (1) GVC、NVC 嵌入以及两者间的互动均能促进低碳 TFP 增长, 此结论经一系列稳健性检验后仍然成立。(2) 两者互动对低碳 TFP 的影响具有显著的地区异质性和部分行业异质性。从地区层面看, 金融发展水平和财政支出规模领先的地区, 双环流价值链嵌入对低碳 TFP 的推动作用更强; 从行业层面看, 两者互动对低碳 TFP 的影响在污染密集型和污染密集型行业之间无显著差别, 但在技术水平方面, 技术密集型行业的双环流价值链嵌入存在更大的低碳 TFP 效应。(3) 资本深化程度促进了低碳 TFP 水平提升, 而能源消费结构和城镇化水平存在阻碍作用。

基于以上结论, 为进一步提高低碳全要素生产率, 以期实现“双碳”目标和经济稳定增长目标

的双赢,本文提出以下几点政策启示:

1. 更加积极参与全球价值链,并加快完善国内价值链体系,实现国内外两种分工格局的高效互动,带动低碳全要素生产率增长。第一,政府应积极主动推进多边贸易合作,支持国内产业以更高水平融入国际分工体系,通过与跨国公司长期合作、设立海外研发机构以及进口核心零部件和关键设备等途径获取大量前沿技术,尽快打通中高端环节技术瓶颈,增强低碳 TFP 增长的内生动力。第二,打破地方保护主义和区域市场分割,消除各地区、各产业间的要素流动壁垒,提高资本、技术等要素的流动性,培育有利于构建国内分工体系的市场环境,实现国内资源的高效整合利用,在释放经济活力的同时,减少资源浪费,提升碳减排效果。第三,树立全局观念,统筹国内外两个市场、两种资源,避免走封闭式、内卷化的发展道路,构筑全球价值链与国内价值链有效衔接的生产网络,更好发挥两者互动对绿色创新的积极带动作用,促进低碳 TFP 稳定增长。

2. 从地区层面看,政府需营造良好的金融环境,并加大财政支持力度。一方面,促进产业向低碳转型需要绿色金融资源的大量投入,这就要求政府完善金融支持创新体系,提高绿色信贷比重,降低信贷门槛,为产业的绿色创新活动提供更多资金支撑;另一方面,应进一步加大基础设施投资,打造更多高水平工业园区,吸引全球高端工业企业落户,通过加强产业合作促进技术溢出和人才共享,增强国内产业价值链升级能力,缩减高碳排、微利化的生产活动;从行业层面看,应依据不同行业特征,制定差异化战略。一方面,加强环境立法,严格监控污染密集型产业向中西部地区的梯度转移,提高审批的环境标准,避免中西部地区沦为高污染产业的“避难所”;另一方面,在实现“双碳”目标的要求下,技术密集型产业应充分发挥领头羊作用,除了增强产业的低碳技术创新力度外,还应鼓励其依托研发设计、品牌塑造等多方面优势,主导打造高质量国内价值链,进而带领国内产业以更高水平参与国际竞争,在实现碳减排的同时,提升经济效益。

3. 政府还可以通过以下措施,促进低碳 TFP 增长。(1) 继续保持合理的固定资产投资增速,推动高质量投资替代低技能劳动,优化要素禀赋结构;同时,加大技能型人才培养力度,提高资本与劳动的匹配程度,释放人才红利,带动低碳 TFP 提升。(2) 加大清洁能源开发利用的补贴力度,尽快破解制约清洁能源发展的市场与技术难题,提高清洁能源消费比重,严格控制化石能源消费总量,调整能源消费结构,提高能源利用率,为工业部门实现“脱碳”打好坚实基础。(3) 以实现“双碳”目标为契机,进一步树立“低碳城镇化”发展理念,避免城镇规模盲目扩张,将节能材料利用率、城镇绿化率等相关低碳指标纳入规划体系,增强财税政策、节能技术对城镇低碳化发展的支持力度。

参考文献

- [1] 刘志彪,张少军. 中国地区差距及其纠偏:全球价值链和国内价值链的视角[J]. 学术月刊,2008(5).
- [2] 吕越,吕云龙. 中国参与全球价值链的环境效应分析[J]. 中国人口·资源与环境,2019(7).
- [3] Liu, C., G. Zhao. Can global value chain participation affect embodied carbon emission intensity? [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 287.
- [4] Zhao, Y. H., Z. H. Zhang, S. Wang, et al. CO₂ emissions embodied in China's foreign trade: An investigation from the perspective of global vertical specialization[J]. *China & World Economy*, 2014(4).
- [5] 蔡礼辉,张朕,朱磊. 全球价值链嵌入与二氧化碳排放——来自中国工业面板数据的经验研究[J]. 国际贸易问题,2020(4).
- [6] 王玉燕,王建秀,阎俊爱. 全球价值链嵌入的节能减排双重效应——来自中国工业面板数据的经验研究[J]. 中国软科学,2015(8).
- [7] Biesebroeck, J. V. Exporting raises productivity in Sub-Saharan African manufacturing firms[J]. *Journal of*

- International Economics*, 2005(2).
- [8] Loecker, J. D. Do exports generate higher productivity? Evidence from Slovenia[J]. *Journal of International Economics*, 2007(1).
- [9] 孙学敏, 王杰. 全球价值链嵌入的“生产率效应”——基于中国微观企业数据的实证研究[J]. 国际贸易问题, 2016(3).
- [10] 余泳泽, 容开建, 苏丹妮, 等. 中国城市全球价值链嵌入程度与全要素生产率——来自 230 个地级市的经验研究[J]. 中国软科学, 2019(5).
- [11] 吕越, 黄艳希, 陈勇兵. 全球价值链嵌入的生产率效应: 影响与机制分析[J]. 世界经济, 2017(7).
- [12] 许冬兰, 于发辉, 张敏. 全球价值链嵌入能否提升中国工业的低碳全要素生产率? [J]. 世界经济研究, 2019(8).
- [13] 苏丹妮, 盛斌, 邵朝对. 国内价值链、市场化程度与经济增长的溢出效应[J]. 世界经济, 2019(10).
- [14] 高敬峰, 王彬. 国内区域价值链、全球价值链与地区经济增长[J]. 经济评论, 2020(2).
- [15] Beverelli, C., V. Stolzenburg, R. B. Koopman, et al. Domestic value chains as stepping stones to global value chain integration[J]. *The World Economy*, 2019(5).
- [16] 袁凯华, 彭水军, 陈泓文. 国内价值链推动中国制造业出口价值攀升的事实与解释[J]. 经济学家, 2019(9).
- [17] 黎峰. 双重价值链嵌入下的中国省级区域角色——一个综合理论分析框架[J]. 中国工业经济, 2020(1).
- [18] 刘景卿, 车维汉. 国内价值链与全球价值链: 替代还是互补? [J]. 中南财经政法大学学报, 2019(1).
- [19] 盛斌, 苏丹妮, 邵朝对. 全球价值链、国内价值链与经济增长: 替代还是互补[J]. 世界经济, 2020(4).
- [20] 谢会强, 黄凌云, 刘冬冬. 全球价值链嵌入提高了中国制造业碳生产率吗[J]. 国际贸易问题, 2018(12).
- [21] Wang, J., G. H. Wan, C. Wang. Participation in GVCs and CO₂ emissions[J]. *Energy Economics*, 2019, 84.
- [22] Gereffi, G., J. Humphrey, T. Sturgeon. The governance of global value chains[J]. *Review of International Political Economy*, 2005(1).
- [23] 冯帆, 张璐. 国内价值链与地区产业结构升级——基于增加值视角的实证研究[J]. 现代经济探讨, 2020(12).
- [24] Pietrobelli, C., R. Rabellotti. Global value chains meet innovation systems: Are there learning opportunities for developing countries? [J]. *World Development*, 2011(7).
- [25] Feder, G. On exports and economic growth[J]. *Journal of Development Economics*, 1983(1-2).
- [26] 刘志彪, 张杰. 从融入全球价值链到构建国家价值链: 中国产业升级的战略思考[J]. 学术月刊, 2009(9).
- [27] 邵朝对, 苏丹妮. 国内价值链与技术差距——来自中国省际的经验证据[J]. 中国工业经济, 2019(6).
- [28] 李宝宝, 李婷婷, 耿成轩. 供应链金融与中小企业融资约束——以制造行业中小上市公司为例[J]. 华东经济管理, 2016(11).
- [29] 傅元海, 张丹, 孙爱军. FDI 技术溢出影响经济增长方式的理论研究[J]. 当代财经, 2010(6).
- [30] 吕越, 吕云龙. 中国参与全球价值链的环境效应分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2019(7).
- [31] 吕越, 吕云龙. 全球价值链嵌入会改善制造业企业的生产效率吗——基于双重稳健-倾向得分加权估计[J]. 财贸经济, 2016(3).
- [32] 刘战豫, 孙夏令. 中国物流业绿色全要素生产率的时空演化及动因分析[J]. 软科学, 2018(4).
- [33] 谢贤君. 要素市场扭曲如何影响绿色全要素生产率——基于地级市经验数据研究[J]. 财贸研究, 2019(6).
- [34] 原毅军, 谢荣辉. FDI、环境规制与中国工业绿色全要素生产率增长——基于 Luenberger 指数的实证研究[J]. 国际贸易问题, 2015(8).
- [35] 王兵, 吴延瑞, 颜鹏飞. 中国区域环境效率与环境全要素生产率增长[J]. 经济研究, 2010(5).
- [36] 陈超凡. 中国工业绿色全要素生产率及其影响因素——基于 ML 生产率指数及动态面板模型的实证研究[J]. 统计研究, 2016(3).
- [37] 李斌, 彭星, 欧阳铭珂. 环境规制、绿色全要素生产率与中国工业发展方式转变——基于 36 个工业行业数据的实证研究[J]. 中国工业经济, 2013(4).

- [38]Tone,K. ,M. Tsutsui. Dynamic DEA: A slack-based measure approach[J]. *Omega*,2009(3-4).
- [39]雷明,赵欣娜,张明玺. 基于环境负产出的能效动态 Malmquist 模型研究[J]. 数量经济技术经济研究,2012(4).
- [40]苏丹妮,盛斌,邵朝对,等. 全球价值链、本地化产业集聚与企业生产率的互动效应[J]. 经济研究,2020(3).
- [41]张素庸,汪传旭,任阳军. 生产性服务业集聚对绿色全要素生产率的空间溢出效应[J]. 软科学,2019(11).
- [42]谢莉娟,王诗杼. 国有企业应该转向轻资产运营吗——工业和流通业的比较实证分析[J]. 财贸经济,2018(2).
- [43]庞廷云,罗福凯,李启佳. 混合股权影响企业融资约束吗——来自中国上市公司的经验证据[J]. 山西财经大学学报,2019(5).
- [44]李毅,胡宗义,何冰洋. 环境规制影响绿色经济发展的机制与效应分析[J]. 中国软科学,2020(9).
- [45]沈能. 环境效率、行业异质性与最优规制强度——中国工业行业面板数据的非线性检验[J]. 中国工业经济,2012(3).
- [46]刘会政,朱光. 全球价值链嵌入对中国装备制造业出口技术复杂度的影响——基于进口中间品异质性的研究[J]. 国际贸易问题,2019(8).
- [47]Wei,J. Have instrumental variables brought us closer to the truth[J]. *The Review of Corporate Finance Studies*,2017(2).
- [48]张铭心,汪亚楠,郑乐凯,等. 数字金融的发展对企业出口产品质量的影响研究[J]. 财贸研究,2021(6).

The Effect of Dual Circulation Value Chain Embeddedness on Low Carbon Total Factor Productivity

XU Dong-lan, HAN Jing-tong

Abstract: In the context of China's economy changing from high-speed growth to high-quality development, can the dual circulation embeddedness of GVC and NVC promote low carbon total factor productivity (TFP) of China? Therefore, this paper calculates GVC and NVC embedding degree by regional input-output model and low carbon TFP by dynamic EBM-Malmquist index based on the three-dimensional data of 13 industrial sectors in 30 provinces of China in 2007, 2010, 2012 and 2015. Furthermore, the paper explores the impact of dual circulation value chain embeddedness on low carbon TFP by using three-dimensional panel fixed effects model. The result shows that: 1) GVC, NVC embedding and their interaction promote the growth of low carbon TFP; 2) For the regions with leading financial development level and fiscal expenditure scale and the technology-intensive industries, dual circulation value chain embeddedness has a greater promoting effect on low carbon TFP, but there is no significant difference in industries with different pollution intensities; 3) Capital deepening promotes low carbon TFP growth, while energy consumption structure and urbanization level impede the growth of low carbon TFP.

Key words: global value chain; national value chain; low carbon total factor productivity; three-dimensional data

(责任编辑 周振新)