

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

蔡礼辉 张 朕 朱 磊

摘要：本文基于全球多区域投入产出模型（GMRIO），在充分考虑中间投入结构系数差异和行业化石燃料氧化率差异的基础上，对2003—2014年中国工业行业全球价值链（GVC）嵌入程度及CO₂排放量进行测算，并利用面板数据全面客观地考察不同GVC嵌入方式与CO₂排放之间的关系。研究发现：（1）中国工业行业前后向GVC嵌入度总体波动上升，并呈现出明显的“M”型变化态势；（2）中国工业行业CO₂排放总量逐步增长，其中电力燃气热力及空调系统供应业、基本金属制品业等四个行业CO₂排放量占比高达73.64%；（3）基于前向关联的GVC嵌入度与中国工业行业CO₂排放呈U型关系，而基于后向关联的GVC嵌入度与CO₂排放存在正相关关系；（4）前后向GVC嵌入度对中国工业行业CO₂排放的影响存在显著的行业异质性。上述结果通过了工具变量法、关键变量替换法等一系列稳健性检验。

关键词：全球价值链；参与度；二氧化碳排放

[中图分类号] F742 [文献标识码] A [文章编号] 1002-4670 (2020) 04-0086-19

引 言

经济全球化背景下，国际分工模式发生了重大变化，全球经济进入了以生产过程分节化为主要特征的全球价值链（GVC）时代。中国以廉价劳动力成本优势积极融入国际化分工大潮，获得了巨大的经济收益，成为全球价值链中不可或缺的重要组成部分。但与此同时，在表面巨大经济收益的背后是大量的温室气体和污染物排放，中国一度成为发达国家的“污染避难所”（李锴和齐绍洲，2011）^[1]。在发达国家主导的全球价值链分工体系中，发展中国家并未真正掌握核心生产技术，而是通过利用相对优势专注于某个具体生产环节，由于物质生产活动主要集中在发展中国家，因此发展中国家会排放更多的CO₂，而发达国家则主要从事清洁低碳的非

[收稿日期] 2019-03-19

[基金项目] 国家社会科学基金重大项目“京津冀交通、环境与产业协同发展机制创新研究（15ZDA019）；国家社会科学基金重点项目“供给侧结构性改革驱动下长江经济带低碳经济增长路径研究”（17AJY006）；中央高校基本科研业务专项资金资助项目“结构性改革与经济表现”（63192214）。

[作者信息] 蔡礼辉：南开大学经济学院博士研究生 300071 电子信箱 cqckel@163.com；张朕：南开大学经济学院博士研究生；朱磊：南开大学经济学院教授、博士生导师。

物质生产活动,“微笑曲线”可能就此变成“哭泣曲线”(孟渤和高宇宁,2017)^[2]。中国作为世界上最大的发展中国家,在全球价值链中主要处于中低端地位,加之经济发展优先为目标的粗放式发展模式和以煤炭消费为主的能源结构,使得环境问题日趋突出。根据国际能源署(IEA)的统计数据,2007年中国二氧化碳(CO₂)排放量超过美国,成为世界第一大CO₂排放国;2017年中国CO₂排放量创历史新高,达到92.06亿吨。大量的CO₂排放和过多的能源消费不仅会产生严重的环境污染问题,还会引发一系列国际摩擦,可以说环境问题已成为中国社会新的不稳定因素之一。

为缓解环境压力及国际社会压力,中国政府明确提出于2030年左右CO₂排放量达到峰值,并计划2030年将非化石能源在一次能源消费中的比重提升到20%左右。要实现这些目标,还需要坚实的理论研究及切实可行的减排政策。鉴于中国的环境问题与其全球价值链嵌入的方式和程度有着密切关系,且工业部门作为中国碳排放“第一大户”,其CO₂排放量的多寡直接决定中国CO₂排放总量的波动趋势。为此,本文将在前人研究成果的基础上,全面系统地分析全球价值链嵌入与中国工业CO₂排放之间的内在关系,为中国制定CO₂减排政策提供理论依据,对发展低碳经济有着重要的理论和现实意义。

与本文相关的文献可以分为两大类。一类是从贸易开放视角研究经济全球化与污染排放。其中又包括两个方面,一是检验“污染天堂假说”(Pollution Haven Hypothesis)。该假说最早由Markusen(1999)^[3]提出,又被称为“产业区位重置假说”,是指污染密集型企业的企业倾向于建立在环境规制相对较弱的国家或地区,使这些国家或地区成为污染的天堂。随着GVC的深入发展,“污染天堂假说”越来越受到社会的关注,相关研究也日趋成熟,但研究结论并不一致。一种观点认为“污染天堂假说”成立的证据不足(Eskeland and Harrison, 2003^[4];许和连和邓玉萍,2012^[5]),Antweiler等(2001)^[6]和Javorcik(2004)^[7]也一致认为FDI与污染排放之间没有必然的关系。另一种观点认为“污染天堂假说”是成立的(Cole, 2004^[8];汤维祺,2016^[9];杨子暉和田磊,2017^[10];López et al., 2018^[11];Cohen et al., 2018^[12])。此外,还有一种观点认为FDI对污染排放的影响具有双重特征,即同时具备“污染天堂”论和“污染光环”论的特征(张宇和蒋殿春,2013^[13];施震凯等,2017^[14])。导致这些研究结论不一致的原因可能在于反馈路线和影响机制缺乏完整刻画与把握、指标选取存在差异、“要素禀赋假说”与“污染天堂假说”相冲突(Elliott and Shimamoto, 2010)^[15]等。二是研究贸易开放对CO₂排放量的影响(Machado et al., 2001^[16];Lin and Sun, 2010^[17];Ying, 2013^[18];谢锐和赵果梅,2016^[19];胡剑波等,2017^[20];Yan and Dietzenbacher, 2014^[21];杨果和叶家柏,2018^[22])。

另一类文献则通过直接利用GVC相关指数来分析全球价值链嵌入与CO₂排放之间的关系。余娟娟(2017)^[23]从微观层面考察了全球价值链嵌入对企业污染排放强度的影响,但没有考虑不同嵌入方式对污染排放强度的影响。谢会强等(2018)^[24]分析了GVC嵌入程度和地位对中国制造业碳生产率的影响,但该文采用

制造业各行业消耗化石燃料所产生的 CO₂排放来估算该行业 CO₂排放总量，未考虑水泥生产过程的二氧化碳排放量，且忽略了行业化石燃料氧化率的行业异质性。^①吕延方等（2019）^[25]证明了“污染天堂假说”，但该研究所覆盖的能源种类并不全面，且数据较为陈旧。

综上所述，国内外学者在价值链嵌入与污染排放的研究上取得了丰硕成果，为本文研究的开展提供了理论和经验支撑。但仍存在以下不足：一是在计算行业 CO₂排放量时，只考虑了消耗化石燃料所产生的 CO₂排放量，而忽略了水泥生产过程的二氧化碳排放量，且未考虑化石燃料氧化率的行业异质性；二是传统分析框架在计算 GVC 相关指标时，不能区分中间品来源及跨国界次数，估算指标缺乏准确性；三是部分文献没有考虑不同嵌入方式对 CO₂排放量的影响，且数据过于陈旧，以至于不能全面而准确地揭示价值链嵌入与 CO₂排放量之间的关系。鉴于此，在已有文献的基础上，本文有以下创新：一是在充分考虑化石燃料氧化率的行业异质性情况下，估算出更为准确的 CO₂排放数据；二是基于价值增加值核算框架，利用最新的 WIOD 数据，根据增加值来源和跨国界次数对 GVC 嵌入程度进行分解，并分析不同嵌入方式下 GVC 参与度对 CO₂排放量的影响；三是 GVC 参与度对中国工业行业 CO₂排放可能存在非线性和行业异质性，本文实证检验了这种非线性关系和行业异质性的存在性。

一、理论分析与研究假设

（一）GVC 嵌入对 CO₂排放的增长效应机制

GVC 嵌入对 CO₂排放的增长效应作用机制主要体现在：随着发达国家环境标准的不断提升，越来越多的污染密集型企业倾向于向环境标准相对较低的发展中国家转移，这就是著名的“污染天堂假说”（Pollution Haven Hypothesis）。中国自加入世界贸易组织以来，以廉价劳动力和资源禀赋优势承接加工生产环节的转移，一度成为发达国家污染产业转移的目的地，这种基于后向关联的 GVC 参与方式不但会直接促使二氧化碳排放量迅速增加，还会使中国对发达国家高技术零部件的进口形成依赖，容易被主导价值链的跨国公司和国际大买家俘获，被迫锁定在低附加值生产和高碳排放环节；当中国企业想要改变这种依赖，从价值链前向参与转为后向参与的链条升级时，会使价值链主导者感受到地位和利益受到威胁，为牢牢控制价值链高端核心制造环节和垄断地位，跨国公司和国际大买家会对中国企业进行阻击，使得中国企业处于微利化的价值链低端，能源消耗和 CO₂排放量随之增长。本文将上述基于后向关联的 GVC 嵌入导致 CO₂排放量增长的现象称为“增长效应”。并提出假说 1。

假说 1：一国以承接生产加工的后向参与方式嵌入 GVC 分工体系，会对二氧化碳排放产生增长效应。

^①Shan 等（2017）指出由于不同行业化石燃料燃烧技术水平存在差异，行业化石燃料的氧化率也不尽相同，考虑行业化石燃料氧化率的异质性，可在很大程度上提升行业 CO₂排放量估算的准确性。

(二) GVC 嵌入对 CO₂ 排放的抑制效应机制

GVC 嵌入对 CO₂ 排放的抑制效应作用机制体现在：一是“环境收益假说” (Vogel, 1995)^[26]，GVC 的分离和整合使得原本不熟悉国际市场运作的本土企业迅速融入全球分工生产体系，不仅为参与国带来了先进的生产技术和管理经验，也能更加熟悉国际环境标准及国外消费者的环境偏好，当其被参与国消化吸收后用来以改进自身的生产技术水平，推动改善环境管理和提高环境标准；二是出口方面，跨国公司和国际大买家将价值链质量、环保及安全等标准传递给参与国企业，倒逼企业进行技术、管理水平等革新以提升国际竞争力，促使企业向 GVC 上游迈进，减少环境污染；三是进口方面，进口发达国家的原材料和中间产品，并通过模仿、学习和二次创新提升企业的清洁技术和低碳技术水平，提升 GVC 前向参与度，有利于节约能源和减少 CO₂ 排放。我们将企业提升基于前向关联的 GVC 参与度所带来的 CO₂ 排放量减少的现象称作“抑制效应”。基于此，提出假说 2。

假说 2：一国基于前向参与方式嵌入 GVC 分工体系，在达到一定“阈值”之前，对二氧化碳排放产生抑制效应。

(三) GVC 嵌入与 CO₂ 排放的 U 型关系假说

跨国公司主导的全球价值链分工对发展中国家企业采取的是“胡萝卜加大棒”的激励策略 (王玉燕等, 2014)^[27]：(1) 全球价值链通过绿色环保、质量标准等为发展中国家企业提供监督与技术支持，而发展中国家企业积极发挥学习效应，资本、技术积累不断增长，企业获得更大的工艺升级和产品升级空间，促使前向参与 GVC 程度持续深入发展，将降低 CO₂ 排放量；(2) 当发展中国家企业从工艺升级和产品升级阶段向功能升级和链条升级阶段转变，由 GVC 分工的“价值输入”向“价值输出”角色过渡，基于前向关联的 GVC 参与程度随之提升，便会对主导价值链的垄断势力之地位形成挑战和威胁。价值链主导者就会通过技术壁垒等方式阻止这些企业实现功能和链条升级，进而使发展中国家企业被迫锁定在低附加值、高碳排放的 GVC 低端环节 (Humphrey and Schmitz, 2010)^[28]，从而抑制 GVC 嵌入的 CO₂ 减排效应的发挥。GVC 主导者的分阶段策略，意味着发展中国家企业基于前向关联的 GVC 参与度会降低 CO₂ 排放量，但其作用会不断减弱。当基于前向关联的 GVC 参与度达到一定的“阈值”后，基于前向关联的 GVC 参与度对 CO₂ 排放的增长效应将大于抑制效应。为此，提出本文的假说 3。

假说 3：随着发展中国家基于前向关联的 GVC 参与度不断深入，抑制效应不断递减，而发达国家的封锁与限制导致的生长效应依然存在。最终，基于前向关联的 GVC 参与度与二氧化碳排放之间会呈现正 U 型的非线性关系。

二、中国工业行业 GVC 嵌入程度与碳排放测算

(一) 中国工业行业 GVC 嵌入程度测算

Hummels 等 (1999)^[29] 最早提出使用国家间投入产出表对 GVC 进行测算，并通过“垂直专业化指数” (VSS) 来衡量一国 GVC 嵌入程度，也被称为 HIY 分析

法。HIY 分析法需要基于两个严苛的关键假设条件才能准确估算出 GVC 嵌入程度，且并不普遍适用于多国情形。随后，Koopman 等 (2014)^[30] 使用全球投入产出表，利用附加值贸易法对 GVC 参与度进行测算，但由于只考虑了出口贸易而忽略了满足国内最终需求的生产部分，以至无法涵盖一国参与 GVC 的所有方式。Wang 等 (2017)^[31] 更加全面地分析了一国参与 GVC 的方式，构建了 GVC 参与度指数。本文借鉴 Wang 等 (2017) 的测算方法，基于全球多区域投入产出模型 (GMRIO)，对中国工业行业 GVC 参与度进行测算。

本文首先构建一个 G 国 N 部门的多区域投入产出表 (如表 1)。^① 其中， Z_{sr} 为中间投入矩阵，代表 R 国某部门进行生产时，所使用的 S 国的中间品； Y_{sr} 为最终产品向量，代表 R 国消费的 S 国的最终产品； V_r 为增加值向量， X_s 为总产出向量， X_r' 为总投入向量。

表 1 全球投入产出表 (ICIO)

产出 投入		中间使用				最终使用				总产出	
		A 国 1, ..., N	B 国 1, ..., N	... 1, ..., N	G 国 1, ..., N	A 国	B 国	...	G 国		
中间 投入	A 国	1, ..., N	Z^{11}	Z^{12}	...	Z^{1G}	Y^{11}	Y^{12}	...	Y^{1G}	X^1
	B 国	1, ..., N	Z^{21}	Z^{22}	...	Z^{2G}	Y^{21}	Y^{22}	...	Y^{2G}	X^2

	G 国	1, ..., N	Z^{G1}	Z^{G2}	...	Z^{GG}	Y^{G1}	Y^{G2}	...	Y^{GG}	X^G
增加值			V^1	V^2	...	V^G					
总投入			$X^{1'}$	$X^{2'}$...	$X^{G'}$					

以 S 国的生产活动为例，S 国的总产出可以表示为：

$$X_s = Ass X_s + \sum_{r \neq s}^G Asr X_r + Y_{ss} + \sum_{r \neq s}^G Y_{sr} = Ass X_s + Y_{ss} + E \quad (1)$$

其中， X_s 为 S 国的总产出向量； Ass 为 S 国本地的消耗矩阵； Asr 为 R 国对 S 国的消耗矩阵； X_r 为 R 国的最终产出向量； Y_{ss} 为 S 国对本国产品的最终需求矩阵； Y_{sr} 为 R 国对 S 国产品的最终需求矩阵； E 为 S 国的出口向量。

将式 (1) 两侧同乘局部逆矩阵 $L_{ss} = (I - Ass)^{-1}$ ，可得：

$$X_{ss} = (I - Ass)^{-1} Y_{ss} + (I - Ass)^{-1} E = L_{ss} Y_{ss} + L_{ss} E = L_{ss} (Y_{ss} + E) \quad (2)$$

进一步，将总出口根据中间品、最终品及最终使用目的国进行分解，可得：

$$L_{ss} E = L_{ss} \left(\sum_{r \neq s}^G Y_{sr} + \sum_{r \neq s}^G Ass X_r \right) = L_{ss} \left(\sum_{r \neq s}^G Y_{sr} + L_{ss} \sum_{r \neq s}^G Asr \sum_u^G (Bru \sum_{t \neq s}^G Y_{ut}) \right) \quad (3)$$

其中， Bru 为里昂惕夫逆矩阵的分块矩阵。定义增加值系数向量为： $V = V \hat{X}^{-1}$ ， \hat{X} 为矩阵 X 相对应的对角矩阵。将式 (3) 代入式 (2)，并两边同乘增加值对角矩

① 鉴于部分国际投入产出表将中国台湾地区等单独列出，所以本文所提到的国家，既包括国家也包括地区。

阵 \widehat{V} ，则可以把国家部门层面的国内增加值（GDP）做出前向分解，分解为以下 5 个部分：

$$\begin{aligned}
 (V_s)' = \widehat{V}_s X_s = & \underbrace{\widehat{V}_s L_{ss} Y_{ss}}_{(1) -V_D} + \underbrace{\widehat{V}_s L_{ss} \sum_{r \neq s}^G Y_{sr}}_{(2) -V_{RT}} + \underbrace{\widehat{V}_s L_{ss} \sum_{r \neq s}^G A_{sr} \sum_u^G B_{ru} \sum_t^G Y_{ut}}_{(3) -V_{GVC}} = \widehat{V}_s L_{ss} Y_{ss} \\
 & + \underbrace{\widehat{V}_s L_{ss} \sum_{r \neq s}^G Y_{sr}}_{(2) -V_{RT}} + \underbrace{\widehat{V}_s L_{ss} \sum_{r \neq s}^G A_{sr} L_{rr} Y_{rr}}_{(3a) -V_{GVC_R}} + \underbrace{\widehat{V}_s L_{ss} \sum_{r \neq s}^G A_{sr} \sum_u^G B_{ru} Y_{us}}_{(3b) -V_{GVC_D}} \\
 & + \underbrace{\widehat{V}_s L_{ss} \sum_{r \neq s}^G A_{sr} \left(\sum_u^G B_{ru} \sum_{t \neq s}^G Y_{ut} - L_{rr} Y_{rr} \right)}_{(3c) -V_{GVC_f}} \quad (4)
 \end{aligned}$$

从上式可以看出，一国生产活动产生的 GDP 可以拆分为以下 3 个部分，即满足国内最终需求的增加值（ V_D ）、包含在最终需求出口中的国内增加值（ V_{RT} ）和隐含在中间产品出口中的国内增加值（ V_{GVC} ）。 V_{GVC} 涉及国外的生产过程，可进一步分解为：直接被 R 国吸收的增加值（ V_{GVC_R} ）、返回到出口国 S 并被最终需求吸收的增加值（ V_{GVC_D} ）及间接被进口国 R 吸收或再出口到其他国的增加值（ V_{GVC_f} ）。

与上述分解模型相类似，国家部门层面的最终产品生产可做出如下后向分解：

$$\begin{aligned}
 Y_s = \sum_r^G Y_{sr} = & \underbrace{V_s L_{ss} Y_{ss}}_{(1) -Y_D} + \underbrace{V_s L_{ss} \sum_{r \neq s}^G \widehat{Y}_{sr}}_{(2) -Y_{RT}} + \underbrace{\sum_r^G V_r \sum_{u \neq r}^G B_{ru} A_{us} L_{ss} \sum_t^G \widehat{Y}_{st}}_{(3) -Y_{GVC}} = \underbrace{V_s L_{ss} Y_{ss}}_{(1) -Y_D} \\
 & + \underbrace{V_s L_{ss} \sum_{r \neq s}^G \widehat{Y}_{sr}}_{(2) -Y_{RT}} + \underbrace{\sum_{r \neq s}^G V_r L_{rr} A_{rs} L_{ss} \widehat{Y}_{ss}}_{(3a) -Y_{GVC_R}} + \underbrace{V_s \sum_{r \neq s}^G A_{sr} B_{sr} L_{ss} \sum_t^G \widehat{Y}_{st}}_{(3b) -Y_{GVC_D}} \\
 & + \underbrace{\sum_{r \neq s}^G V_r \left(\sum_{u \neq r}^G B_{ru} A_{us} L_{ss} \sum_t^G \widehat{Y}_{st} - L_{ss} A_{rs} L_{ss} \widehat{Y}_{ss} \right)}_{(3c) -Y_{GVC_f}} \quad (5)
 \end{aligned}$$

最终产品生产分解模型同样将国家部门层面的最终产品生产分解为 3 个部分：满足 S 国国内需求的最终产品生产所使用的增加值（ Y_D ）、满足国外需求的最终产品生产所使用的国内增加值（ Y_{RT} ）和包含在中间品进口中的增加值（ Y_{GVC} ）。按照增加值的来源不同， Y_{GVC} 可进一步分解为：包含在进口中间品里的 R 国增加值（ Y_{GVC_R} ）、包含在进口中间品里的 S 国增加值（ Y_{GVC_D} ）和包含在进口中间品里的第三方国家的增加值（ Y_{GVC_f} ）。

根据以上对国家部门层面的国内增加值（GDP）前向分解和国家部门层面的最终需求后向分解，可得 GVC 参与度指数公式。

基于前向关联的 GVC 参与度：

$$GVC P_{-f} = \frac{V_{-GVC}}{\widehat{V}X} = \frac{V_{-GVC_R}}{\widehat{V}X} + \frac{V_{-GVC_D}}{\widehat{V}X} + \frac{V_{-GVC_f}}{\widehat{V}X} \quad (6)$$

基于后向关联的 GVC 参与度：

$$GVCP_b = \frac{Y_GVC}{YX} = \frac{Y_GVC_R}{YX} + \frac{Y_GVC_D}{YX} + \frac{Y_GVC_f}{YX} \quad (7)$$

一国基于前向关联的 GVC 参与度越高，表明该国更多的是以提供中间产品参与全球价值链分工体系，在全球价值链分工中处于相对高端环节（蔡礼辉等，2019）^[32]，充当“价值输出”的角色；反之，基于后向关联的 GVC 参与度越高，表明该国更多的是进口其他国家的中间品进行生产加工，在全球价值链分工中处于相对低端环节，充当“价值输入”的角色。

表 2 中国工业分行业 GVC 参与度

ISIC 行业 代码	2003		2006		2009		2012		2014	
	GVCP_f	GVCP_b	GVCP_f	GVCP_b	GVCP_f	GVCP_b	GVCP_f	GVCP_b	GVCP_f	GVCP_b
B	0.194	0.095	0.212	0.130	0.141	0.117	0.154	0.133	0.151	0.113
C10-C12	0.039	0.090	0.056	0.106	0.048	0.081	0.047	0.088	0.047	0.074
C13-C15	0.115	0.185	0.142	0.178	0.106	0.117	0.117	0.116	0.123	0.101
C16	0.115	0.143	0.173	0.167	0.114	0.121	0.132	0.134	0.132	0.133
C17	0.156	0.160	0.173	0.188	0.143	0.153	0.178	0.169	0.179	0.156
C18	0.145	0.140	0.157	0.172	0.128	0.134	0.143	0.143	0.136	0.130
C19	0.190	0.194	0.205	0.256	0.150	0.229	0.159	0.287	0.157	0.239
C20	0.212	0.208	0.266	0.249	0.193	0.195	0.205	0.214	0.205	0.184
C21	0.061	0.111	0.091	0.135	0.083	0.102	0.064	0.106	0.058	0.092
C22	0.212	0.210	0.287	0.253	0.197	0.189	0.215	0.192	0.212	0.167
C23	0.094	0.143	0.108	0.180	0.072	0.146	0.093	0.167	0.092	0.145
C24	0.181	0.177	0.233	0.215	0.142	0.193	0.156	0.235	0.163	0.209
C25	0.199	0.179	0.273	0.196	0.181	0.166	0.182	0.189	0.183	0.168
C26	0.247	0.366	0.276	0.392	0.260	0.320	0.248	0.311	0.270	0.279
C27	0.174	0.215	0.212	0.243	0.164	0.201	0.175	0.215	0.185	0.190
C28	0.097	0.188	0.138	0.215	0.109	0.178	0.127	0.192	0.131	0.169
C29_C30	0.085	0.193	0.123	0.223	0.074	0.176	0.068	0.185	0.076	0.161
C31_C32	0.089	0.126	0.126	0.132	0.118	0.105	0.139	0.114	0.159	0.111
D35	0.122	0.157	0.163	0.192	0.113	0.170	0.122	0.201	0.123	0.169
E36_E39	0.068	0.146	0.098	0.156	0.075	0.111	0.086	0.117	0.088	0.101

注：ISIC 行业代码所对应的具体行业名称后文会给出详细说明，下同。

资料来源：作者根据 WIOD 及 UIBE GVC Index 数据库相关数据整理得出。

利用世界投入产出数据库（WIOD）相关数据^①，根据上述方法对中国工业分行业基于前向关联的 GVC 参与度和基于后向关联的 GVC 参与度进行测算，结果如表 2。表中数据显示，中国自加入世界贸易组织（WTO）以来，积极参与全球价值链分工，工业各行业前后向 GVC 参与度指数均有不同程度的提升，这种趋势直至 2008 年。受国际金融危机影响，2008—2009 年中国工业分行业 GVC 参与度指数出现了下降趋势，但这种趋势持续时间较短，在危机冲击逐渐消退后开始出现缓慢回

^①本文在测算相关指标时，选取 UIBE 全球价值链数据库中部分指标进行加工处理。参考见 RIGVC UIBE, UIBE GVC Index, 2016. http://rigvc.uibe.edu.cn/english/D_E/database_database/index.htm（访问时间 2018-11-27）。

升。值得一提的是,2012—2014年间受贸易保护主义兴起、欧洲债务危机的反复和蔓延及世界经济形式低迷等影响,中国进出口贸易出现波动,大部分行业前向GVC参与度指数出现下降。与其他国家类似,中国工业分行业前后向GVC参与度呈现出明显的“M”型变化态势。

通过对比两种GVC参与度指数发现,大部分行业基于后向关联的GVC参与度明显高于基于前向关联的GVC参与度,即中国更多的是以后向参与的方式融入全球价值链分工体系中,主要扮演着“价值输入”的角色。究其原因,一方面是中国加入WTO以来,更多的是以低附加值、低技术含量的加工贸易方式参与全球价值链分工,一度成为“世界的工厂”,整个生产工序较多的是依赖其他国家的中间品供给,自身增值能力低下;另一方面受限于资本、技术条件约束,中国主导的价值链经济活动较少,更多的是加入其他国家主导的价值链经济活动,致使前向参与GVC程度较低。从各产业前后向价值链参与度的增幅来看,中国工业分行业前向参与度大多呈现出正增长,而后向参与度则多为负增长,即前向价值链参与度表现明显优于后向价值链参与度,这说明中国各行业正逐步向全球高技术附加值的价值链上游迈进,国家推出的产业变革政策及加工贸易转型升级工作取得了显著成效。

(二) 中国工业行业CO₂排放量测算

目前,中国并没有官方统计机构公布各年份CO₂排放数据,各学术机构或学者对中国CO₂排放量测算结果也不尽相同。造成这种差异的原因可以归纳为三点:一是部分研究只考虑能源消耗所产生的碳排放,未对水泥生产中非能源燃烧造成的碳排放进行分析,如陈诗一和陈登科(2018)^[33]只考虑了原煤、石油和天然气三种能源消耗所产生的碳排放;二是普遍采用联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)默认的排放因子对中国CO₂排放量进行估算,但根据中国碳排放数据库(CEADs)研究团队实地调研发现IPCC默认排放因子比中国实际排放因子要高出40%,导致估算结果比实际排放量要高(Shan et al., 2017)^[34];三是绝大多数研究未考虑化石燃料氧化率的行业异质性。

本文将参考IPCC(2006)^[35]及CEADs的研究方法对中国工业分行业CO₂排放量进行估算。CO₂排放量主要来源于两方面:一方面是化石燃料燃烧排放的CO₂,另一方面是水泥工业生产过程排放的CO₂。对于17种化石燃料燃烧的CO₂排放量,CEADs采用两种不同的方法进行测算,即部门法(Sectoral Approach)和参考法(Reference Approach)。^①根据IPCC(2006),部门法对各行业化石燃料燃烧所产生的CO₂排放量测算公式如下:

$$CE_{ij} = AD_{ij} \times NCV_i \times CC_i \times O_{ij} \quad (8)$$

其中, CE_{ij} 是j部门i类化石燃料燃烧的CO₂排放量; AD_{ij} 是j部门i类化石燃料的消耗量; NCV_i 为净热量值,即每物理单位化石燃料产生的热值; CC_i 为i类化石燃料单位净热量值所产生的CO₂排放量; O_{ij} 为氧化率,即j部门i类化石燃料燃烧的

^①IPCC(2006)也建议同时采用部门法和参考法估算化石燃料燃烧的CO₂排放量,再对两种独立的测算结果进行对比,可相互检验。

氧化转化率。^①

根据 CEADs 研究团队的相关研究,参考法测算 CO₂排放量的公式为:

$$CE_{ref-i} = AD_{ref-i} \times EF_i \quad (9)$$

其中, CE_{ref-i} 是 i 类化石燃料燃烧的 CO₂排放量; AD_{ref-i} 是 i 类化石燃料消耗量; EF_i 为排放因子。 i 类化石燃料消耗量又可以通过如下公式计算得出:

$$AD_{ref-i} = Inpr_i + Imp_i - Exp_i \pm Sc_i - Neu_i - L_i \quad (10)$$

其中, $Inpr_i$ 是本国生产的化石燃料; Imp_i 为进口的化石燃料; Exp_i 为出口的化石燃料; Sc_i 为存货变动; Neu_i 为非能源使用; L_i 为流失的化石燃料。

水泥工业生产过程 CO₂排放量测算公式:

$$CE_t = AD_t \times EF_t \quad (11)$$

其中, CE_t 为水泥工业生产过程 CO₂排放量; AD_t 为水泥生产量; EF_t 为水泥生产的排放因子。

通过对化石燃料燃烧的 CO₂排放量和水泥工业生产过程的 CO₂排放量的测算^②,得到各行业 CO₂排放量,结果如表 3 所示。由表 3 数据可知,随着经济的快速发展

表 3 中国工业分行业 CO₂排放量

单位:亿吨

ISIC 代码	2003	2005	2007	2009	2011	2013	2014
B	1.313	1.151	1.424	1.867	2.014	2.218	1.922
C10-C12	0.531	0.802	0.958	1.045	1.037	0.99	0.854
C13-C15	0.638	0.56	0.614	0.591	0.548	0.463	0.376
C16	0.054	0.095	0.105	0.122	0.114	0.103	0.11
C17	0.259	0.394	0.428	0.517	0.508	0.398	0.316
C18	0.018	0.043	0.021	0.021	0.017	0.019	0.022
C19	0.612	0.762	1.112	1.273	1.387	1.44	1.528
C20	0.963	1.68	2.353	2.234	2.818	2.712	2.773
C21	0.056	0.09	0.123	0.118	0.141	0.133	0.134
C22	0.057	0.1	0.142	0.143	0.135	0.108	0.1
C23	5.355	7.494	9.035	10.382	12.447	13.145	13.547
C24	6.096	9.317	12.025	14.565	16.678	18.291	18.703
C25	0.096	0.117	0.166	0.169	0.137	0.187	0.153
C26	0.051	0.203	0.096	0.087	0.063	0.055	0.052
C27	0.049	0.089	0.123	0.12	0.108	0.095	0.076
C28	0.261	0.397	0.512	0.581	0.715	0.432	0.421
C29_C30	0.12	0.169	0.208	0.233	0.237	0.237	0.207
C31_C32	0.076	0.377	0.057	0.06	0.06	0.069	0.071
D35	17.36	21.624	26.072	29.028	36.339	40.639	38.975
E36_E39	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.004

资料来源:作者根据 CEADs 相关数据计算整理得出。

^①有关 17 种化石燃料的净热量值、单位净热量值 CO₂排放量及部门化石燃料氧化率数据详见中国碳排放数据库 (CEADs)。

^②参照 IPCC 及 Shan 等 (2018) 碳排放测算方法,将水泥生产中的碳排放量计入“非金属矿物制品业”行业。

展,中国工业行业二氧化碳总排放量在逐步增加。主要是因为工业产量规模的扩大,需要消耗更多的能源,而目前中国基础能源供给仍以煤炭为主的现状没有改变,清洁低碳、安全高效的能源体系尚未完全建立,使得产量增长的同时也带来CO₂排放的增加。数据显示,中国工业行业CO₂排放量最多的几个行业为D35(电力、燃气、热力及空调系统供应业)、C24(基本金属制品业)、C23(非金属矿物制品业)及C20(化学原料和化学制品制造业),而这些行业在《2010年国民经济和社会发展统计报告》中被认定为高耗能行业,2014年这四个行业CO₂排放量占整个工业CO₂排放总量的73.64%。虽然中国工业碳排放总量在不断的增加,但单位产量CO₂排放及CO₂排放增长速度却在下降,主要是因为能源使用效率的提升,以及能源使用结构正由以煤炭为主向多元化转变,能源结构调整取得了一定的成效。

三、实证检验设计

(一) 模型设定与变量说明

在前文理论分析的基础上,借鉴王锋等(2010)^[36]对CO₂排放驱动因素的研究,本文构建计量模型如下:

$$\ln CO_{2it} = a_0 + a_1 GVC_{f_{it}} + a_2 GVC_{b_{it}} + a_3 Z_{it} + \eta_i + \mu_t + \xi_{it} \quad (12)$$

考虑到基于前向关联的GVC参与度对中国工业碳排放影响的非线性关系,本文加入了GVC_{f_{it}}的平方项,^①构建计量模型如下:

$$\ln CO_{2it} = \varphi_0 + \varphi_1 GVC_{f_{it}} + \varphi_2 GVC_{f_{it}}^2 + \varphi_3 GVC_{b_{it}} + \varphi_4 Z_{it} + \eta_i + \mu_t + \xi_{it} \quad (13)$$

上式中,*i*代表行业,*t*代表时间, φ_0 为常数项,CO_{2it}为*i*行业的二氧化碳排放量,GVC_{f_{it}}为*i*行业基于前向关联的GVC参与度,GVC_{f_{it}}²为*i*行业基于前向关联的GVC参与度的平方项,GVC_{b_{it}}为*i*行业基于后向关联的GVC参与度。为了控制行业特征及时间趋势的影响,且在充分考虑前人研究的基础上,本文控制变量Z包括:(1)技术创新(PAT),以行业专利发明数来衡量,一般而言,在控制其他因素的情况下,随着技术水平的不断提高,二氧化碳排放量会降低;(2)能源结构(ES),中国经济的发展需要大量廉价能源,煤炭资源禀赋优势和价格优势使其成为首选,以煤炭消费为主成为中国能源消费结构特征,为此,本文以行业原煤消费量占行业能源消费总量的比重作为能源消费结构的代理变量;(3)能源强度(EI),以行业单位产值的能源消费量来衡量;(4)人均产出(PP),采用行业产出与行业从业人数的比值来衡量;(5)外资参与度(FDI),以行业外商资本占行业实收资本总额的比重来衡量,主要通过技术效应、规模效应和结构效应来影响CO₂排放;(6)贸易开放度(Open),以行业进出口额与行业产值的比值来衡量。 η_i 、 μ_t 和 ξ_{it} 分别表示行业的个体效应、时间效应和其他扰动项。

^①通过对二氧化碳排放与基于后向关联的GVC参与度做线性拟合及非线性拟合,发现二者之间不存在非线性关系,与文章理论分析结果一致。鉴于此,模型设定时只考虑二者之间的线性关系。

(二) 样本与数据说明

本文以2003—2014年中国工业各细分行业为研究对象,鉴于数据的可得性和统计口径的一致性,文章根据所有经济活动的国际行业分类标准(ISIC Rev. 4)与中国国民经济行业分类标准(GB/T 4754—2017),将世界投入产出数据库(WIOD)中23个工业行业与中国碳排放数据库(CEAD_s)中40个工业行业进行匹配,最终合并为20个行业,具体见表4。

表4 WIOD_ISIC_CEAD_s行业匹配表

ISIC 编码	WIOD 编码	CEAD _s 编码	行业名称
B	c04	2-7	采矿业
C10-C12	c05	9-12	食品、饮料和烟草制造业
C13-C15	c06	13-15	纺织品及其制品制造业
C16	c07	16_8	除家具制造外的木材制品业
C17	c08	18	纸制品制造业
C18	c09	19	印刷和记录媒介复制业
C19	c10	21	炼焦、精炼石油产品制造业
C20	c11	22_24	化学原料和化学制品制造业
C21	c12	23	药品原料和药品制剂制造业
C22	c13	25_26	橡胶和塑料制品业
C23	c14	27	非金属矿物制品业
C24	c15	28_29	基本金属制品业
C25	c16	30	除机械和设备制造业外的金属制品业
C26	c17	35_36	计算机、电子和光学产品制造业
C27	c18	34	电子设备制造业
C28	c19	31_32	其他机械和设备制造业
C29_C30	c20_c21	33	运输设备制造业
C31_C32	c22	17_20_37_38	家具及其他制造业
D35	c24	39_40	电力、燃气、热力及空调系统供应业
E36_E39	c25_c26	41	水的生产和供应业

注:表中的底部下划线译为“和”,中部横线译为“至”。

资料来源:作者根据行业分类标准匹配整理得出。

各工业行业 GVC 嵌入与 CO₂ 排放量数据根据上文计算得出。工业细分行业外资参与度数据源自历年《中国工业统计年鉴》,人均产出相关数据源自 WIOD 数据库中投入产出表(input-output tables)和社会经济账户(socio-economic accounts),贸易开放度相关数据源自 WIOD 数据库,能源结构及能源强度数据来源于 CEAD_s 数据库,技术创新数据源自历年《工业企业科技活动统计年鉴》及《中国科技统计年鉴》。本文对部分变量取自然对数处理,与价格相关的变量统一折算为1990年不变价格,以消除通货膨胀因素的影响。

四、实证结果分析

(一) 回归结果分析

我们首先对式(12)和式(13)进行了固定效应模型的回归分析,以中国工业分行业为样本的固定效应模型回归结果详见表5。表中第(1)列和第(3)列为未考虑非线性影响的不同GVC嵌入方式对CO₂排放量的影响。可以看出,基于后向关联的GVC参与度系数显著为正,表明基于后向关联的GVC参与度与CO₂排放量之间存在正相关关系,提升基于后向关联的GVC参与度会增加CO₂排放量,假说1得证。主要原因在于,后向参与GVC分工多是以承接高能耗和低附加值生产环节为主,这一方面会直接增加CO₂排放量,另一方面会对发达国家高技术零部件的进口形成依赖,被迫锁定在高碳排放环节,从而增加CO₂排放量。数据还显示,在不考虑非线性影响的基于前向关联的GVC参与度系数显著为负,这表明基于前向关联的GVC参与度在达到临界“阈值”前与CO₂排放量之间存在负相关关系,提升基于前向关联的GVC参与度能减少CO₂排放量,假说2得证。这主要是因为:一是价值链内在机理的倒逼,跨国公司和国际大买家主导的全球价值链以高质量、环保及安全为标准,以前向参与方式嵌入GVC分工体系,为价值链参与者提供中间产品,需要提升企业清洁技术和低碳技术水平;二是中间产品属性决定,除个别行业以提供基础能源的方式前向参与GVC外,其他行业更多的是通过技术优势为价值链参与者提供中间产品,向价值链上游迈进,这种通过技术水平提升的前向GVC参与方式,对节约能源和减少CO₂排放有正向的促进作用。

表5中的第(2)、(4)和(5)列中加入了基于前向关联的GVC参与度的平方项,以考察基于前向关联的GVC参与度对CO₂排放的非线性影响。与第(1)、(3)列相比,基于前向关联的GVC参与度系数符号仍为负,基于后向关联的GVC参与度系数符号仍然为正,不同的是基于前向关联的GVC参与度系数绝对值有较大的提高,这表明第(1)、(3)列忽略了基于前向关联的GVC参与度与CO₂排放之间的非线性关系。表中结果显示 $GVCP_f2_{it}$ 的系数显著为正,且通过显著性水平检验,说明基于前向关联的GVC参与度与CO₂排放之间呈现正U型关系,即伴随着GVC前向参与度不断提升的事实,边际碳排放量首先是不断下降,等到达临界“阈值”之后,开始不断上升。也就是说,中国在嵌入GVC的初级阶段,工艺升级和产品升级对二氧化碳排放有显著的抑制作用,而当前向参与度达到一定程度时,对二氧化碳排放产生促进作用,进一步验证了假说2,且假说3得到验证。究其原因,这种非线性的U型关系是由GVC内在机理和中国嵌入GVC方式决定的。早期的中国企业以代工生产方式参与GVC分工体系,遵循工艺升级、产品升级、功能升级和链条升级的价值链转型升级过程。过程初期,价值链主导者因发展需要为中国代工企业提供监督与技术支持等“主动溢出”,中国企业积极发挥“干中学”效应,获得更大的工艺升级和产品升级空间,基于前向关联的GVC参与度持续深入发展,对CO₂减排起到了很好的促进作用。但这种促进效应并不会一直持续下去,当中国企业由工艺升级和产品升级阶段向功能升级和链条升级阶段转变时,价值链

主导者会认为自身的地位受到威胁，便通过质量、环保壁垒等多种方式将中国企业在价值链上的地位控制在“安全范围”之内，阻碍中国企业向价值链上游迈进，抑制 CO₂减排效应的发挥，造成 GVC 前向参与的 CO₂排放抑制效应不断减弱，而增长效应不断增强。

表 5 基于前向和后向关联的 GVC 参与度对 CO₂排放的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	FE	FE	FE	FE	FE
<i>GVCP_f_{it}</i>	-4.724*** (1.333)	-13.219*** (3.723)	-3.012** (1.345)	-13.333*** (3.500)	-10.540*** (3.478)
<i>GVCP_f_{it2}</i>		21.688** (8.889)		26.382*** (8.290)	22.353*** (8.115)
<i>GVCP_b_{it}</i>	6.091*** (1.351)	5.812*** (1.340)			6.061*** (1.642)
<i>PAT</i>			-1.66e-05*** (0.000)	-1.77e-05*** (0.000)	-1.71e-05*** (0.000)
<i>ES</i>			1.644*** (0.285)	1.648*** (0.279)	1.529*** (0.273)
<i>EI</i>			12.549 (10.052)	12.081 (9.833)	18.755* (9.708)
<i>PP</i>			0.000** (0.000)	0.000* (0.000)	0.000 (0.000)
<i>FDI</i>			0.529 (0.597)	0.605 (0.585)	0.348 (0.571)
<i>Open</i>			-0.694 (0.471)	-0.665 (0.461)	-1.395*** (0.489)
<i>_cons</i>	2.795*** (0.338)	3.534*** (0.451)	2.880*** (0.257)	3.710*** (0.362)	2.611*** (0.460)
行业效应	YES	YES	YES	YES	YES
年份效应	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.454	0.470	0.536	0.558	0.587
N	240	240	240	240	240
F	13.252***	13.025***	12.973***	13.379***	14.190***

注：括号内为稳健标准误；***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平上显著。

资料来源：作者利用 stata15 软件计算。

表 5 中第 (3) 列—第 (5) 列加入了行业特征因素作为控制变量，从各控制变量对 CO₂排放量的影响结果来看：一是技术创新对 CO₂排放量的影响在 1%的水平上显著为负，说明行业技术水平的提高有利于降低 CO₂排放量，原因是行业技术水平的提升会在一定程度上减少单位产量的能源消耗及提升能源利用效率；二是能源结构对 CO₂排放量的影响在 1%的水平上显著为正，主要是因为以煤炭消费为主已成为中国能源消费结构特征，而煤炭属于非清洁能源，单位 CO₂排放量较大。为此，我国能源消费结构需要不断的优化，特别是需要提高非化石能源在一次能源中的比重，对 CO₂减排做出贡献，这与林伯强和孙传旺 (2011)^[37]的研究结论一致；三是能源强度对 CO₂排放量的影响在 5%水平上显著为正，说明行业能源强度越大，CO₂排放量也越多，这与客观事实相符，降低我国能源强度，提升能源利用率，对

CO₂减排同样具有拉动作用。

(二) 内生性的处理

在没有考虑内生性的情况下,估计结果可能是有偏的和不一致的。为了避免内生性问题对本文结果产生影响,本文采用滞后期工具变量策略,以基于前向关联的GVC参与度及其平方项和基于后向关联的GVC参与度的滞后二期作为当期值的工具变量,该工具变量将会有效地解决上述三个方面的问题。表6报告了利用内生变量滞后二期作为工具变量进行固定效应回归的结果,从估计结果可以看出,其变量的估计系数和显著性与表5呈现的结果相似,说明本文结论仍然成立。

表6 内生性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	FE	FE	FE	FE	FE
$GVCP_f_{it}$	-5.891*** (1.037)	-13.928*** (4.047)	-5.404*** (1.364)	-14.673*** (4.332)	-15.050*** (4.081)
$GVCP_f_{it2}$		20.599** (10.064)		23.495** (10.285)	24.388** (9.709)
$GVCP_b_{it}$	5.922*** (1.081)	6.067*** (1.050)			4.516* (2.341)
控制变量	NO	NO	YES	YES	YES
行业效应	YES	YES	YES	YES	YES
年份效应	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.265	0.294	0.296	0.303	0.379
N	200	200	200	200	200
F	25.626	19.607	9.786	9.141	11.014

注:括号内为稳健标准误;***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平上显著。

资料来源:作者利用 stata15 软件计算。

(三) 稳健性检验

为了保证研究结论的稳健性,本文采用替换关键变量的方式对公式(13)进行稳健性检验。具体地,本文选用Koopman等(2011)^[38]构建的GVC前向参与度和后向参与度指标对实证结果进行稳健性检验。根据Koopman的计算方法,指标构建如下:

$$\text{GVC 前向参与度: } GVCP_f = \frac{IV_{ir}}{E_{ir}} \quad (14)$$

$$\text{GVC 后向参与度: } GVCP_b = \frac{FV_{ir}}{E_{ir}} \quad (15)$$

式中, IV_{ir} 为被进口国出口至第三国,并被第三国生产国内最终消费品所产生的中间品出口国的国内增加值,即 r 国 i 产业出口的中间品增加值,该指标用以衡量 r 国 i 产业出口的中间品中包含了多少增加值,经一国生产后又出口给第三国; FV_{ir} 为出口的国外增加值,即衡量 r 国 i 产业附加值出口中有多少是国外的附加值; E_{ir} 为 r 国 i 产业的总附加值出口额。

利用Koopman构建的GVC前向和后向参与度指标替换wang的前向和后向参与

度指标,对实证结果进行稳健性检验,检验结果详见表7。结果显示,GVC前向参与度对CO₂排放的影响显著为负,且平方项系数在至少5%的水平上显著为正,这说明GVC前向参与度与CO₂排放之间呈现正U型关系;而后向参与度对CO₂排放的影响在至少10%的水平上显著为正,这与基础回归结果一致。总体来看,本文核心结论稳健。

表7 稳健性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	FE	FE	FE	FE	FE
<i>Koopman_f</i>	-0.243** (0.120)		-0.213* (0.119)	-0.234** (0.105)	-0.205* (0.106)
<i>Koopman_f</i> ²	0.058** (0.023)		0.053** (0.023)	0.075*** (0.020)	0.074*** (0.020)
<i>Koopman_d</i>		0.130* (0.077)	0.198** (0.081)		0.125* (0.076)
<i>_cons</i>	2.777*** (0.183)	2.719*** (0.279)	2.098*** (0.331)	1.997*** (0.246)	1.674*** (0.313)
控制变量	NO	NO	NO	YES	YES
行业效应	YES	YES	YES	YES	YES
年份效应	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.373	0.347	0.391	0.574	0.580
N	240	240	240	240	240
F	9.292***	9.203***	9.270***	13.968***	13.523***

注:括号内为稳健标准误;***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平上显著。

资料来源:作者基于OECD-TIVA数据库,利用stata15软件计算。

五、进一步研究:行业的异质性分析

进一步地,本文认为GVC嵌入对CO₂排放的影响效应在不同性质的行业间存在异质性,本部分将就此展开实证研究。本文借鉴WIOD对工业行业的技术分类方法,将样本依据技术所属类别划分为高技术行业 and 低技术行业两个样本组;根据《2010年国民经济和社会发展统计报告》,将样本依据耗能所属类别划分为高耗能行业 and 低耗能行业两个样本组。表8报告了分组估计结果,其中,第(1)列和第(2)列为高技术行业 and 低技术行业的估计结果,第(3)列和第(4)列为高耗能行业 and 低耗能行业的估计结果。

对于高技术行业 and 低技术行业两组样本,GVC嵌入程度对CO₂排放的影响效应在低技术行业中至少5%水平上显著,且结论与全样本结论基本一致;而高技术行业GVC嵌入程度对CO₂排放的影响不显著。这种差异可以从行业提供不同性质产品的角度探寻原因,中国低技术行业以依赖进口中间产品进行加工为主,且大多集中在劳动密集型行业,这些行业一方面以承接代工生产的方式为其他国家提供最终消费品,这种基于后向关联的GVC参与方式会产生较高的碳排放;另一方面国外先进技术通过价值链传递给这些低技术行业,使得低技术行业在前期享受到技术

溢出,对行业 CO₂排放有明显的降低效应,但是这种效应会随着行业价值链转型升级逐步削弱。高技术行业则以向其他国家提供中间产品为主,碳排放强度相对较低,但与世界先进水平相比还存在一定的差距,极易受到来自发达国家的封锁,加之自身研发投入不足,从而制约着 GVC 嵌入的效应发挥。

表 8 GVC 嵌入对 CO₂排放影响的行业异质性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	高技术	低技术	高耗能	低耗能
$GVCP_{-f_{it}}$	-2.405 (5.914)	-10.869** (4.818)	-12.476*** (4.010)	-6.902* (3.863)
$GVCP_{-f_{it2}}$	3.551 (11.782)	23.284** (10.792)	36.637*** (8.831)	15.561* (8.911)
$GVCP_{-b_{it}}$	-2.712 (4.445)	6.129*** (1.732)	6.004*** (1.946)	7.316*** (1.861)
$_{-cons}$	2.205 (1.318)	3.623*** (0.571)	6.201*** (0.564)	1.032** (0.503)
控制变量	YES	YES	YES	YES
行业效应	YES	YES	YES	YES
年份效应	YES	YES	YES	YES
R ²	0.855	0.623	0.978	0.638
N	72	168	60	180
F	13.554***	11.048***	76.875***	12.778***

注:括号内为稳健标准误;***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平上显著。

资料来源:作者利用 stata14 软件计算。

从表 8 第 (3) 列和第 (4) 列可以看出,高耗能行业和低耗能行业两个样本组的 GVC 嵌入程度对 CO₂排放的影响效应都在至少 10%水平上显著,且结论与全样本结论基本一致,GVC 嵌入程度对 CO₂排放的影响效应在高耗能行业更为显著。可能的原因在于:一方面高耗能行业能源使用强度大,相对不容易满足全球价值链低碳、环保、安全等标准,参与全球价值链分工直接倒逼高耗能企业大力进行技术革新,逐步向价值链上游攀升,以降低 CO₂排放量;另一方面中国对环境规制的力度较发达国家弱,高耗能企业参与 GVC 分工将更多地承接其他国家高耗能生产业务的转移,这种后向参与 GVC 分工方式对 CO₂排放的影响效应比低耗能行业也更显著。

六、主要结论

本文基于全球多区域投入产出模型(GMRIO),在充分考虑中间投入结构系数差异和行业化石燃料氧化率差异的基础上,分别对 2003—2014 年中国工业行业 GVC 嵌入程度及 CO₂排放量进行测算。测算结果显示:中国工业行业 GVC 嵌入度总体波动上升,中国自加入 WTO 以来,工业分行业前后向 GVC 参与度上升,国际金融危机使得工业行业前后向 GVC 参与度出现暂时性下降,之后开始恢复上升状态,随后贸易保护主义兴起及世界经济形式低迷使得前后向 GVC 参与度再次下降,呈现出明显“M”型变化态势。通过对比两种 GVC 参与度指数发现,大部分行业

基于后向关联的 GVC 参与度明显高于基于前向关联的 GVC 参与度,即中国更多的是以后向参与的方式融入全球价值链分工体系中,主要扮演着“价值输入”的角色;中国工业行业 CO₂排放总量在逐步增加,其中 CO₂排放量最多的几个行业分别为 D35 (电力、燃气、热力及空调系统供应业)、C24 (基本金属制品业)、C23 (非金属矿物制品业)及 C20 (化学原料和化学制品制造业),2014 年这四个行业 CO₂排放量占整个工业 CO₂排放量的 73.64%。虽然中国工业碳排放总量在不断的增加,但单位产量 CO₂排放及 CO₂排放增长速度却在下降,主要是因为能源使用效率的提升,以及能源使用结构正由以煤炭为主向多元化转变,能源结构调整取得了一定的成效。进一步基于测算结果,利用面板数据全面客观地考察不同 GVC 嵌入方式与 CO₂排放之间的关系。研究发现:基于前向关联的 GVC 参与度与中国工业行业 CO₂排放呈 U 型关系,即当基于前向关联的 GVC 参与度较低时,提升前向 GVC 参与度会降低 CO₂排放量,而当前向 GVC 参与度越过门槛值后,提升前向 GVC 参与度会增加 CO₂排放量,这种非线性的 U 型关系是由 GVC 内在机理和中国嵌入 GVC 方式决定的;而基于后向关联的 GVC 参与度与 CO₂排放存在正相关关系,提升后向 GVC 参与度会增加 CO₂排放量,这主要是因为后向参与 GVC 分工多是以承接高能耗和低附加值生产环节为主。另外,GVC 嵌入度对中国工业行业 CO₂排放的影响存在着显著的行业异质性。

目前,中国正处于深度工业化、城市化发展阶段,经济可持续发展与环境保护之间的矛盾日益凸显。为了打赢蓝天保卫战,中国工业经济发展可以由要素驱动向创新驱动转变,从结构升级向 GVC 高端环节升级转变,重点从供给端发力,尤其是从产品的研发、设计等价值链上游着手,推动中国工业向 GVC 高端环节攀升。此外,针对行业特征采取差异化政策,对于高技术和低能耗行业,可以通过加大研发投入来促进原始创新,抢占 GVC 高端环节战略点,增强国际竞争力;对于低技术和高能耗行业,可以通过广泛引进其他国家先进的清洁低碳技术,提升现有的生产技术水平,减少污染排放。中国当前面临的环境问题源于多方面原因造成,全球价值链嵌入并不是决定中国经济发展方式粗放与否的唯一要素,改善环境问题,一方面需要从技术端进行发力,另一方面还需要健全环境监管机制。

[参考文献]

- [1] 李锴,齐绍洲.贸易开放、经济增长与中国二氧化碳排放[J].经济研究,2011,46(11):60-72+102.
- [2] 孟渤,高宇.全球价值链、中国经济增长与碳排放[M].北京:社会科学文献出版社,2017.6(1):1-2.
- [3] MARKUSEN, JAMES, MASKUS, KEITH. Multinational Firms: Reconciling Theory and Evidence. National Bureau of Economic Research, Inc, NBER Working Papers, 1999.
- [4] ESKELAND G S, HARRISON A E. Moving to Greener Pastures? Multinationals and the Pollution Haven Hypothesis [J]. Journal of Development Economics, 2003, 70 (1): 1-23.
- [5] 许和连,邓玉萍.外商直接投资导致了中国的环境污染吗?——基于中国省际面板数据的空间计量研究[J].管理世界,2012(2):30-43.

- [6] ANTWEILER W, COPELAND B R, TAYLOR M S. Is Free Trade Good for the Environment? [J]. *American Economic Review*, 2001, 91 (4): 877-908.
- [7] JAVORCIK B S. Does Foreign Direct Investment Increase the Productivity of Domestic Firms? In Search of Spillovers through Backward Linkages [J]. *American Economic Review*, 2004, 94 (3): 605-627.
- [8] COLE MA. Trade, the Pollution Haven Hypothesis and the Environmental Kuznets Curve; Examining the Linkages [J]. *Ecological Economics*, 2004, 48 (1): 71-81.
- [9] 汤维祺, 吴力波, 钱浩祺. 从“污染天堂”到绿色增长——区域间高耗能产业转移的调控机制研究 [J]. *经济研究*, 2016, 51 (6): 58-70.
- [10] 杨子晖, 田磊. “污染天堂”假说与影响因素的中国省际研究 [J]. *世界经济*, 2017, 40 (5): 148-172.
- [11] LÓPEZ, LUIS ANTONIO, ARCE G, KRONENBERG T, et al. Trade from Resource-rich Countries Avoids the Existence of a Global Pollution Haven Hypothesis [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 175: 599-611.
- [12] COHENG, JALLES J T, LOUNGANI P, et al. Decoupling of Emissions and GDP: Evidence from Aggregate and Provincial Chinese Data [J]. *Energy Economics*, 2018.
- [13] 张宇, 蒋殿春. FDI、环境监管与能源消耗: 基于能耗强度分解的经验检验 [J]. *世界经济*, 2013, 36 (3): 103-123.
- [14] 施震凯, 邵军, 王美昌. 外商直接投资对雾霾污染的时空传导效应——基于 SpVAR 模型的实证分析 [J]. *国际贸易问题*, 2017 (9): 107-117.
- [15] ELLIOTT R JR, SHIMAMOTO K. Are ASEAN Countries Havens for Japanese Pollution-Intensive Industry? [J]. *World Economy*, 2010, 31 (2): 236-254.
- [16] MACHADO G, SCHAEFFER R, WORRELL E. Energy and Carbon Embodied in the International Trade of Brazil: an Input-output Approach [J]. *Ecological Economics*, 2001, 39 (3): 409-424.
- [17] LIN B, SUN C. Evaluating Carbon Dioxide Emissions in International Trade of China [J]. *Energy Policy*, 2010, 38 (1): 613-621.
- [18] YING L, JAYANTHAKUMARAN K, NERI F. Who is Responsible for the CO₂ Emissions that China Produces? [J]. *Energy Policy*, 2013, 62 (62): 1412-1419.
- [19] 谢锐, 赵果梅. GMRIO 模型视角下中国对外贸易环境效应研究 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2016, 33 (5): 84-102.
- [20] 胡剑波, 高鹏, 张伟. 中国对外贸易增长与隐含碳排放脱钩关系研究 [J]. *管理世界*, 2017 (10): 172-173.
- [21] YAN X, DIETZENBACHER E. A Structural Decomposition Analysis of the Emissions Embodied in Trade [J]. *Ecological Economics*, 2014, 101 (5): 10-20.
- [22] 杨果, 叶家柏. 中国真的承担了更少的碳减排任务吗? [J]. *管理世界*, 2018, 34 (11): 176-177.
- [23] 余娟娟. 全球价值链嵌入影响了企业排污强度吗——基于 PSM 匹配及倍差法的微观分析 [J]. *国际贸易问题*, 2017 (12): 59-69
- [24] 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): 109-121.
- [25] 吕延方, 崔兴华, 王冬. 全球价值链参与度与贸易隐含碳 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2019 (2): 45-65.
- [26] VOGEL D. *Trading Up: Consumer and Environmental Regulation in a Global Economy* [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1995: 50.
- [27] 王玉燕, 林汉川, 吕臣. 全球价值链嵌入的技术进步效应——来自中国工业面板数据的经验研究 [J]. *中国工业经济*, 2014 (9): 65-77.
- [28] HUMPHREYJ, SCHMITZ H. Governance in Global Value Chains [J]. *Ids Bulletin*, 2010, 32 (3): 19-29.
- [29] HUMMELS D, ISHII J, YI K M. The Nature and Growth of Vertical Specialization in World Trade [J]. *Social*

- Science Electronic Publishing, 1999, 54 (1): 75-96.
- [30] KOOPMAN R, WANG Z, WEI S J. Tracing Value-Added and Double Counting in Gross Exports [J]. The American Economic Review, 2014, 104 (2): 459-494.
- [31] ZHI WANG, SHANG JIN WEI, XINDING YU, KUNFU ZHU. Measures of Participation in Global Value Chains and Global Business Cycles [R]. NBER Working Paper No. 23222, 2017.
- [32] 蔡礼辉, 曹小衡, 王珊珊. 两岸参与全球价值链分工的地位、模式与依赖关系 [J]. 亚太经济, 2019 (6): 135-143.
- [33] 陈诗一, 陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展 [J]. 经济研究, 2018, 53 (2): 20-34.
- [34] SHAN Y, et al. China CO₂ Emission Accounts 1997-2015 [J]. Entific Data, 2018, 5: 170201.
- [35] IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gasinventories [R]. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006.
- [36] 王锋, 吴丽华, 杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究 [J]. 经济研究, 2010, 45 (2): 123-136.
- [37] 林伯强, 孙传旺. 如何在保障中国经济增长前提下完成碳减排目标 [J]. 中国社会科学, 2011 (1): 64-76+221.
- [38] KOOPMAN R, POWERS W, WANG Z, et al. Give Credit where Credit is Due: Tracing Value Added in Global Production Chains [R]. Nber Working Papers, 2011.

(责任编辑 武 齐)

Global Value Chain Embeddedness and Carbon Dioxide Emissions — An Empirical Study Based on Panel Data of China's Industries

CAI Lihui ZHANG Zhen ZHU Lei

Abstract: Based on the global multi-regional input-output (GMRIO) model, we measured the degree of global value chain (GVC) embeddedness and CO₂ emissions in China's industrial sectors from 2003 to 2014. By considering the differences in the intermediate input structure coefficient and the fossil fuel oxidation rate of the industries, we explored the nonlinear relationship between GVC embeddedness and CO₂ emissions. In particular, our empirical results show that the GVC embeddedness in industries displays an M-shape and the total amount of CO₂ emissions gradually increase from 2003 to 2014. Furthermore, forward linkage-based GVC participation has a U-shaped association with CO₂ emissions, whereas backward linkage-based GVC participation has a significant positive effect on CO₂ emissions. Finally, the empirical results also suggest that the effect of GVC embeddedness levels on CO₂ emissions shows significant industrial heterogeneity. In addition, the results passed through a series of robustness checks, including an instrumental variable method and adjustment of core variable measurement.

Keywords: Global Value Chain; Participation; Carbon Dioxide Emissions