

中国工业全球价值链嵌入位置对能源偏向型技术进步的影响

杨 博 王林辉

[摘要] 本文将全球价值链理论与技术进步理论纳入统一框架, 测算中国工业全球价值链嵌入位置与能源偏向型技术进步, 探讨全球价值链嵌入位置对能源偏向型技术进步的影响及其作用机制。研究表明, 中国工业全球价值链嵌入位置与节能技术进步呈现正 U 型曲线关系, 只有进入拐点右侧, 向全球价值链高端攀升才会促进节能技术进步, 且嵌入方式、嵌入方向与嵌入类型的影响效应存在异质性, 复杂嵌入方式、前向嵌入方向与经济嵌入类型促进技术进步偏向于节能; 全球价值链嵌入位置演变产生的技术溢出、市场竞争、路径依赖与污染转移效应四种作用机制相互抗衡、相互制约, 共同决定中国工业技术进步方向。

[关键词] 能源偏向型技术进步; 全球价值链嵌入位置; 技术溢出; 市场竞争; 路径依赖; 污染转移

一、引言

自 2001 年加入 WTO 以来, 中国既是全球化浪潮中的受益者, 也是全球化的最大贡献者。中国具有巨大的人口规模、雄厚的产业基础与密集的交通网络, 积极承接发达国家的产业转移与国际投资, 在自身经济飞速增长的同时也为发达国家提供了庞大的商品市场与高额投资回报。然而, 伴随着能源资源约束趋紧与环境问题频出, 经济增长与能源消耗间的矛盾冲突愈加严峻。^① 2020 年 7 月 22 日, 习近平总书记在企业家座谈会上做出“从长远看, 经济全球化仍是历史潮流, 各国分工合作、互利共赢是长期趋势”的重大判断。在新技术革命冲击、全球贸易保护主义盛行与新冠肺炎疫情蔓延等多重影响下, 全球价值链重构呈现出常态化、复杂化与多变性趋势, 在全球价值链断裂与延伸中, 如何实现经济增长与绿色发展的双重目标值得关注。

节能技术进步是解决经济增长与能源消耗间矛盾冲突的良药, 不仅能为经济增长提供动力, 且其中蕴含的能源偏向属性可以改变生产中的能源消耗占比, 对资源进行重新配置, 进而实现产业结构优化与可持续发展。Acemoglu 基于诱致性技术创新假说首次对技术进步方向做出定义, 若技术进步提高 Z 要素的相对边际产出, 则为偏向于 Z 要素。^② 技术进步依照偏向能源使用和能源节约方

作者: 杨博, 上海社会科学院应用经济研究所助理研究员, yangbo@sass.org.cn; 王林辉, 华东师范大学经济与管理学部教授, linhuiwang73@sina.com。

① 雷权勇、祁春节、孙楚仁:《进口贸易自由化会提高中国居民的健康水平吗——基于 2010—2015 年 CGSS 数据的研究》, 载《国际贸易问题》, 2021 (9); 林伯强、蒋竺均:《中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析》, 载《管理世界》, 2009 (4)。

② D. Acemoglu. “Technical Change, Inequality and the Labor Market”. *Journal of Economic Literature*, 2002, 40 (1): 7-72.

向可以分为耗能技术进步与节能技术进步。现有文献普遍承认要素禀赋结构、要素相对价格、自主研发方向与政策引导等国内因素对技术进步方向形成的重要性^①，较少涉及国际范畴，而从全球价值链嵌入角度考察技术进步方向形成原因的研究更是十分匮乏。事实上，各国中间品在全球价值链中的序贯贸易会对技术进步方向产生影响，且存在多种作用机制。全球价值链嵌入引起的高质量和多种类中间品贸易是研发资本存量从发达国家向发展中国家流动的重要载体和形式，中间品中蕴含的技术进步与国内劳动力技能近似构成一个互补关系^②，二者相互结合能够促进国内劳动技能提升。进口高科技中间品对发展中国家具有技术溢出效应^③，中间品贸易带来的竞争效应可以提升制造业企业的生产及配置效率^④。然而，全球价值链嵌入也可能会加深发展中国家对耗能技术的路径依赖，环境规制强度的区域性差异引致耗能型“肮脏”产业通过全球价值链发生区域转移，诱使发展中国家耗能技术进步。^⑤ 若要素间替代弹性足够大，合理的政策完全可以使技术进步由耗能方向转向节能，若替代弹性小于1，则需要牺牲长期经济增长利益才能避免环境灾难。^⑥ 综上所述，中国工业沿全球价值链向高端位置攀升过程中，技术溢出、市场竞争、路径依赖和污染转移效应相互制约、相互抗衡，共同决定了其技术进步方向。

本文对中国工业及其子行业全球价值链嵌入位置与能源偏向型技术进步进行了测算，实证研究全球价值链嵌入位置对能源偏向型技术进步的影响，从技术溢出、市场竞争、路径依赖与污染转移效应方面检验其作用机理，并探究全球价值链嵌入方式、嵌入方向以及嵌入类型异质性对技术进步方向的作用差异。本文的主要贡献：一方面，现有文献多致力于制定合理的环境规制政策以实现节能减排，而本文从技术进步方向视角研究节能减排与能源效率问题，强调企业生产的源头治理与过程控制，减少绿色生产的末端治理压力，为实现节能减排目标提供新思路；另一方面，关于全球价值链嵌入对技术进步方向引导作用的研究仍处于初步探索阶段，本文为探究开放条件下技术进步方向的演变规律做出贡献。

二、理论分析与研究假设

各国凭借自身要素禀赋、区位条件与政策叠加等优势沿全球价值链攀升，当全球价值链嵌入位置较低时，后发国家主要依赖丰裕的能源要素禀赋承担一些耗能型生产任务，且在此阶段国内技术与世界领先技术差距较大，对发达国家节能技术吸收能力较弱。^⑦ 另外，发达国家也会利用其优势地位将后发国家锁定在价值链低端位置，将低附加值、高污染的原材料生产转移至中国等发展中国家，导致后发国家在全球价值分工中整体处于跟随性与附属性地位。在资源约束趋紧、生态环境受损、环境恢复成本上升与生产废弃物治理技术相对落后的形势下，这种价值链攀升方式将会长期阻

① 王林辉、杨博、董直庆：《技术进步偏向性跨国传递和不同传递路径异质性效应检验》，载《数量经济技术经济研究》，2019（4）。

② L. Hendricks. "Equipment Investment and Growth in Developing Countries". *Journal of Development Economics*, 2000, 61 (2): 335 - 364.

③ M. Connolly. "The Dual Nature of Trade: Measuring Its Impact on Imitation and Growth". *Journal of Development Economics*, 2003, 72 (1): 31 - 55.

④ H. Bloch, and M. Olive. "Import Competition and Labor Productivity". *Journal of Industry, Competition and Trade*, 2001, 1 (3): 301 - 319.

⑤ E. R. Copeland, and M. S. Taylor. "North-South Trade and the Environment". *The Quarterly Journal of Economics*, 1994, 109 (3): 755 - 787.

⑥ D. Acemoglu, U. Akcigit, D. Hanley, and W. R. Kerr. "Transition to Clean Technology". *Journal of Political Economy*, 2016, 124 (1): 52 - 103.

⑦ 宋跃刚、郑磊：《中间品进口、自主创新与中国制造业企业出口产品质量升级》，载《世界经济研究》，2020（11）。

碍中国生态环境优化、产业转型升级与经济稳定增长。^① 随着向全球价值链更高端位置攀升,国内生产技术与国外先进技术差距缩小,适应性与匹配度提高,更易于先进节能技术通过全球价值链溢出。另一方面,全球价值链高端市场节能环保标准更加严格,对产品具有“环保高质”要求^②,市场竞争更多为质量竞争而非数量竞争,倒逼节能技术进步,进入价值增值与节能生产的良性循环。因此,随着全球价值链嵌入位置提升,技术进步将经历先向耗能方向发展,再向节能方向偏转的过程。据此,我们提出:

假说 1: 全球价值链嵌入位置与节能技术进步呈现非线性的正 U 型曲线关系。

全球价值链嵌入是重要的技术溢出方式^③,全球价值链嵌入位置提升的技术溢出效应主要体现在:第一,参与全球价值生产的“干中学”效应。随着一国向全球价值链高端位置攀升,出口端对生产人员技术水平要求更高,对能源要素需求减少,加工人员需遵循更高标准的国际商业惯例、管理方法和组织技能,改进生产工艺、升级设备以适应新的生产工序,技术进步偏向于节能。第二,对进口中间品进行“逆工程化”生产也可以实现技术溢出。^④ 第三,出口端一些技术水平较高的企业基于对最终产品质量与能源含量的控制,与上下游国家合作生产时会外派高级工程技术人员进行跨国交流,将先进生产技术与管理经验通过跨国人员流动方式溢出,促进上下游国家节能技术发展。^⑤ 据此,我们提出:

假说 2: 全球价值链嵌入位置提升通过技术溢出效应使技术进步方向偏向于节能。

在向全球价值链高端位置攀升过程中,产品市场竞争力的内涵发生变化,更多是产品质量与核心技术竞争而非数量竞争,各国在价值链高端位置抢占技术制高点,改进能源使用效率,降低对能源等要素依赖性,技术进步方向节能属性增强。^⑥ 随着企业在全价值链中地位提升,其所需承担的社会责任也相应增大^⑦,需求端节能意识与公众环保诉求增强,承担能源节约与环境保护等社会责任成为维持良好企业形象的必然要求,技术进步节能属性成为企业市场竞争力的重要内涵与评价指标。越靠近全球价值链高端位置,其在世界市场所面临的产品质量与环境管理标准越严苛^⑧,企业遵循耗能型与污染型生产方式可能被国外进口商列入黑名单,甚至面临处罚风险,倒逼企业节能生产技术进步。据此,我们提出:

假说 3: 全球价值链嵌入位置提升通过市场竞争效应使技术进步方向偏向于节能。

全球价值链嵌入可能加深发展中国家对能源要素的依赖程度。一方面,发展中国家在国际垂直分工中一般利用本国能源要素丰裕的比较优势承担耗能型生产任务,而发达国家在高新技术与管理经验方面占据优势,承担资本与技术密集型生产工序,随着全球价值生产分工的日益细化与深化,各国难以突破原有的国际分工格局。虽然发展中国家在全球价值生产中附加值增大,地位提升,但更易形成高能源依赖的经济发展惯性,产生自我强化倾向。^⑨ 另一方面,企业生产方式从粗放型向集约型转变需要进行自主研发或购买先进技术设备,并对从业人员重新培训,前期成本投入大且收

① 蒋雪梅、刘铁芳:《全球价值链视角下的中、美高新技术产业出口效益及环境效应分析》,载《管理评论》,2018(5)。

② 韩会朝、徐康宁:《中国产品出口“质量门槛”假说及其检验》,载《中国工业经济》,2014(4)。

③ 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》,载《世界经济》,2020(4)。

④ 张杰、刘志彪、郑江淮:《中国制造业企业创新活动的关键影响因素研究——基于江苏省制造业企业问卷的分析》,载《管理世界》,2007(6)。

⑤ 张三峰:《中国民营企业治污投资与生产性投资研究》,载《数量经济技术经济研究》,2020(9)。

⑥ M. Slaughter. “International Trade and Labor-Demand Elasticities”. *Journal of International Economics*, 2001, 54: 27-56.

⑦ 李伟阳、肖红军:《全面社会责任管理:新的企业管理模式》,载《中国工业经济》,2010(1)。

⑧ 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》,载《管理世界》,2012(2)。

⑨ 邵帅、张可、豆建民:《经济集聚的节能减排效应:理论与中国经验》,载《管理世界》,2019(1)。

益风险不确定，企业不具有足够动力进行技术更新换代，因此在缺少政策干预的情况下易对耗能技术形成路径依赖。据此，我们提出：

假说 4：全球价值链嵌入位置提升通过路径依赖效应使技术进步方向偏向于耗能。

全球价值链嵌入会引起发达国家向发展中国家的污染转移效应。由于发达国家与发展中国家环境规制强度的区域性差异，发展中国家更易沦为“污染天堂”。^① 发达国家在全球价值分工中将产品研发与售后服务等价值增值较大且盈利性强的核心任务保留在本国，而将污染性和能耗性生产工序转移至后发国家进行。^② 而发展中国家迫于经济发展的巨大压力与本国高端科技基础薄弱的现状，只能依靠国内丰裕的要素禀赋优势与低廉的生产要素成本，在国际垂直分工中主动或被动承担污染型生产工序，诱使企业耗能技术进步，导致国内环境进一步恶化。^③ 中国改革开放 40 多年的历史进程中，环境规制标准一直处于较低水平，急需技术升级与经济转型。据此，我们提出：

假说 5：全球价值链嵌入位置提升通过污染转移效应使技术进步方向偏向于耗能。

三、模型设定与数据来源

(一) 模型设定

针对假说 1，检验全球价值链嵌入位置对能源偏向型技术进步的作用，建立如下计量方程：

$$tb = \alpha_0 + \alpha_1 \times p + \alpha_2 \times p^2 + \alpha_i \times X + \epsilon \quad (1)$$

其中， tb 为能源偏向型技术进步，用技术进步能源偏向性指数衡量； p 为全球价值链嵌入位置， p^2 为其平方项； X 为控制变量，包括能源要素投入 e 、研发水平 rd 、行业发展水平 id 和外商直接投资 fdi 。在式 (1) 中主要关注系数 α_2 及其显著性，若 α_2 显著为正，则表明全球价值链嵌入位置攀升先使技术进步偏向于耗能，再向节能方向转变，假说 1 得到验证。

针对假说 2~假说 5，检验全球价值链嵌入位置对能源偏向型技术进步的作用机制，使用中介效应模型，建立如下计量方程：

$$tb = \alpha_0 + \alpha_1 \times p + \alpha_i \times X + \epsilon \quad (2)$$

$$M = \beta_0 + \beta_1 \times p + \beta_i \times X + \mu \quad (3)$$

$$tb = \gamma_0 + \gamma_1 \times p + \gamma_2 \times M + \gamma_i \times X + e \quad (4)$$

其中，变量 M 分别为技术溢出 $tech$ 、市场竞争 $compe$ 、路径依赖 $depen$ 与污染转移 $pollution$ 效应，其余变量与式 (1) 相同。

(二) 变量与数据说明

1. 被解释变量

被解释变量为能源偏向型技术进步 (tb)。设定三要素双层嵌套生产函数模型如下：

$$Y_t = \left\{ \alpha (A_t L_t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\alpha) [\beta (B_t E_t)^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}} + (1-\beta) (C_t K_t)^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}}] \right\}^{\frac{\sigma}{(\epsilon-1)/\epsilon}} \quad (5)$$

其中， L 为劳动要素投入， E 为能源要素投入， K 为资本要素投入， A_t 、 B_t 和 C_t 分别表示劳动、能源与资本的生产效率， α 为劳动所占份额， β 为能源所占份额， ϵ 为能源与资本的替代弹性， σ 表示资本与能源聚合后与劳动之间的替代弹性。

① 蒋伏心、王竹君、白俊红：《环境规制对技术创新影响的双重效应——基于江苏制造业动态面板数据的实证研究》，载《中国工业经济》，2013 (7)。

② 涂正革：《环境、资源与工业增长的协调性》，载《经济研究》，2008 (2)。

③ 李锴、齐绍洲：《贸易开放、经济增长与中国二氧化碳排放》，载《经济研究》，2011 (11)。

由式(5)得出能源与资本要素的边际产出分别为:

$$\begin{aligned} MP_E &= \partial Y_t / \partial E = (1-\alpha)\beta Y_t^{1-\rho} H_t^{\rho-\theta} B_t^\theta E_t^{\theta-1} \\ MP_K &= \partial Y_t / \partial K = (1-\alpha)(1-\beta) Y_t^{1-\rho} H_t^{\rho-\theta} C_t^\theta K_t^{\theta-1} \end{aligned}$$

其中, $\rho = \frac{\sigma-1}{\sigma}$, $\theta = \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}$, $H_t = \beta(B_t E_t)^\theta + (1-\beta)(C_t K_t)^\theta$ 。

假设经济处于完全竞争市场条件下, 资本与能源的边际报酬之比即等于其边际产出之比:

$$\frac{\omega_{K_t}}{\omega_{E_t}} = \frac{MP_K}{MP_E} = \left(\frac{1-\beta}{\beta}\right) \left(\frac{C_t}{B_t}\right)^\theta \left(\frac{K_t}{E_t}\right)^{\theta-1} \quad (6)$$

得到技术进步能源偏向性指数, 用于衡量能源偏向型技术进步:

$$tb = \theta \left(\frac{A_K}{A_E}\right)^{-1} \frac{d(A_K/A_E)}{dt} \quad (7)$$

由式(7)可知, 技术进步能源偏向性指数取决于能源与资本的生产效率及能源与资本间替代弹性。若 $tb > 0$, 则技术进步偏向于资本, 其值越大表明技术进步更偏向于节能; 若 $tb < 0$, 则技术进步偏向于能源, 其值越小表明技术进步越偏向于耗能; 若 $tb = 0$, 则技术进步无偏。

技术进步能源偏向性指数测算涉及数据包括工业各行业产出 Y 、能源要素投入 E 、能源要素报酬 hE 、劳动要素投入 L 、劳动要素报酬 ωL 、资本要素投入 K 和资本要素报酬 rK 。其中, 行业产出 Y 由各行业工业增加值减税金总额表示; 能源要素投入 E 使用能源消费总量表示; 能源价格 h 使用能源消耗总量除以各类能源(包括煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气与电力)消费量得到^①; 资本要素投入 K 使用永续盘存法计算, 资本要素报酬 rK 使用固定资产折旧与营业利润之和表示, 固定资产折旧由固定资产累计折旧差分获得, 并按工业生产者出厂价格指数剔除价格影响; 劳动要素投入 L 使用行业从业人员年平均数表示, 劳动要素报酬 ωL 使用职工工资总额与社会保险基金之和表示。数据来源于《中国工业经济统计年鉴》《中国能源统计年鉴》与金投网等。本文利用标准化系统方程, 运用广义非线性最小二乘法估算各要素替代弹性, 进而测算技术进步能源偏向性指数。

2. 解释变量

(1) 核心解释变量为全球价值链嵌入位置 (ρ)。借助行业平衡条件与行业间投入产出关系, 一国总产出可以表示为:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{Y} = \mathbf{A}^D\mathbf{X} + \mathbf{Y}^D + \mathbf{A}^F\mathbf{X} + \mathbf{Y}^F = \mathbf{A}^D\mathbf{X} + \mathbf{Y}^D + \mathbf{E}\mathbf{X} \quad (8)$$

其中, \mathbf{X} 为一国总产出, \mathbf{Y} 为最终消费品, \mathbf{Y}^F 为最终消费品中来自国外的部分, \mathbf{Y}^D 为最终消费品中来自国内的部分, \mathbf{A} 为直接消耗系数矩阵, \mathbf{A}^D 为国内消耗系数矩阵, \mathbf{A}^F 为 $\mathbf{A} - \mathbf{A}^D$, $\mathbf{E}\mathbf{X}$ 为该国总出口。

利用世界投入产出表计算国家或地区某行业增加值为:

$$\hat{\mathbf{V}}\mathbf{B}\hat{\mathbf{Y}} = \hat{\mathbf{V}}\mathbf{R}\hat{\mathbf{Y}}^D + \hat{\mathbf{V}}\mathbf{R}\hat{\mathbf{Y}}^F + \hat{\mathbf{V}}\mathbf{A}\hat{\mathbf{Y}} + \hat{\mathbf{V}}\mathbf{R}\mathbf{A}^F\hat{\mathbf{R}}\hat{\mathbf{Y}}^D + \hat{\mathbf{V}}\mathbf{R}\mathbf{A}^F(\mathbf{B}\hat{\mathbf{Y}} - \mathbf{R}\hat{\mathbf{Y}}^D) \quad (9)$$

其中, $\mathbf{B} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$, \mathbf{R} 为里昂惕夫逆矩阵, $\mathbf{R} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^D)^{-1}$, $\hat{\mathbf{V}}$ 为直接增加值系数对角矩阵, $\hat{\mathbf{Y}}$ 为最终消费品对角矩阵, $\hat{\mathbf{Y}}^D$ 为最终消费品中来自国内部分的对角矩阵, $\hat{\mathbf{Y}}^F$ 为最终消费品中来自国

① 王玉霞、傲日格乐:《偏向型技术进步、所有制差异与要素错配——基于影子成本函数的SFA模型的检验》,载《东北财经大学学报》,2019(1)。

外部分的对角矩阵。将式（9）矩阵 $\widehat{V}B\widehat{Y}$ 的元素沿着行方向进行加总，得出行业增加值引致的总产出，解释该行业生产增加值如何被下游国家/产业所应用：

$$Va' = \widehat{V}B\widehat{Y} = \underbrace{\widehat{V}R\widehat{Y}^D}_{\textcircled{1}V_D} + \underbrace{\widehat{V}R\widehat{Y}^F}_{\textcircled{2}V_RT} + \underbrace{\widehat{V}R\widehat{A}^F R\widehat{Y}^D}_{\textcircled{3}V_GVC_S} + \underbrace{\widehat{V}R\widehat{A}^F (B\widehat{Y} - R\widehat{Y}^D)}_{\textcircled{4}V_GVC_C} \quad (10)$$

其中， $\textcircled{1}V_D$ 为在国内生产并作为最终品满足国内需求的增加值； $\textcircled{2}V_RT$ 为在国内生产并作为最终品满足国外需求的增加值； $\textcircled{3}V_GVC_S$ 被进口国作为中间投入品用以生产最终品并被该进口国吸收，该部分增加值只跨境一次，没有间接出口至第三国； $\textcircled{4}V_GVC_C$ 被进口国作为中间品进行中间品与最终品生产后出口到其他国家，该部分增加值至少跨境两次。

将式（9）沿着列方向进行加总，可以得到一个行业的最终消费品中包含的增加值，解释该行业的生产都嵌入了哪些上游国家/产业所生产的增加值：

$$Y' = VB\widehat{Y} = \underbrace{VR\widehat{Y}^D}_{\textcircled{1}Y_D} + \underbrace{VR\widehat{Y}^F}_{\textcircled{2}Y_RT} + \underbrace{VRA^F R\widehat{Y}^D}_{\textcircled{3}Y_GVC_S} + \underbrace{VRA^F (B\widehat{Y} - R\widehat{Y}^D)}_{\textcircled{4}Y_GVC_C} \quad (11)$$

其中， $\textcircled{1}Y_D$ 为在国内生产并作为最终品满足国内需求的增加值，不发生跨境活动； $\textcircled{2}Y_RT$ 为在国内生产并作为最终品满足国外需求的增加值， Y_RT 与 V_RT 的区别是 V_RT 按照下游国家进行加总，而 Y_RT 按照上游国家进行加总； $\textcircled{3}Y_GVC_S$ 被一国作为中间投入品用以生产最终品并被该国吸收，该部分增加值只跨境一次，没有间接出口至第三国； $\textcircled{4}Y_GVC_C$ 被一国作为中间品进行中间品与最终品生产后出口到其他国家，该部分增加值至少跨境两次。

将生产链长度作为权重赋予到每个生产阶段中，得到该行业增加值引致的总产出为：

$$\widehat{V}\widehat{Y} + 2\widehat{V}A\widehat{Y} + 3\widehat{V}A^2\widehat{Y} + \dots = \widehat{V}BB\widehat{Y} \quad (12)$$

根据 Wang 等定义^①， i 行业基于前向生产联系的平均生产长度为：

$$plv_GVC = \frac{\widehat{V}RRA^F BY_i}{\widehat{V}RA^F BY_i} \quad (13)$$

其中， $\widehat{V}RRA^F BY_i$ 为列向量 $\widehat{V}RRA^F BY$ 中第 i 行元素， $\widehat{V}RA^F BY_i$ 为列向量 $\widehat{V}RA^F BY$ 中第 i 行元素。 i 行业基于后向生产联系的平均生产长度为：

$$ply_GVC = \frac{VRRRA^F B\widehat{Y}_i}{VRA^F B\widehat{Y}_i} \quad (14)$$

其中， $VRRRA^F B\widehat{Y}_i$ 为行向量 $VRRRA^F B\widehat{Y}$ 中第 i 列元素， $VRA^F B\widehat{Y}_i$ 为行向量 $VRA^F B\widehat{Y}$ 中第 i 列元素。 i 行业全球价值链嵌入位置指标设计为：

$$p = \frac{plv_GVC}{ply_GVC} \quad (15)$$

（2）本文将全球价值链嵌入位置按照嵌入方式分为简单嵌入位置（ ps ）与复杂嵌入位置（ pc ）进行细化研究。 i 行业简单嵌入全球价值链位置为：

^① Z. Wang, S. Wei, X. Yu, and K. Zhu. "Characterizing Global Value Chains: Production Length and Upstreamness". NBER Working Paper, No. 23261, 2017.

$$ps = \frac{plv_GVCS}{ply_GVCS} = \frac{V_GVC_S_i}{Va'_i} / \frac{Y_GVC_S_i}{Y'_i} \quad (16)$$

其中, $V_GVC_S_i$ 为列向量 $\mathbf{V_GVC_S}$ 中第 i 行元素, Va'_i 为列向量 \mathbf{Va}' 中第 i 行元素, $Y_GVC_S_i$ 为行向量 $\mathbf{Y_GVC_S}$ 中第 i 列元素, Y'_i 为行向量 \mathbf{Y}' 中第 i 列元素。

i 行业复杂嵌入全球价值链位置为:

$$pc = \frac{plv_GVCC}{ply_GVCC} = \frac{V_GVC_C_i}{Va'_i} / \frac{Y_GVC_C_i}{Y'_i} \quad (17)$$

其中, $V_GVC_C_i$ 为列向量 $\mathbf{V_GVC_C}$ 中第 i 行元素, $Y_GVC_C_i$ 为行向量 $\mathbf{Y_GVC_C}$ 中第 i 列元素。

(3) 本文将全球价值链嵌入位置按照嵌入方向分为前向嵌入位置 (pf) 与后向嵌入位置 (pb) 进行细化研究。 i 行业前向嵌入位置使用前向全球价值链生产长度表示:

$$pf = plv_GVC \quad (18)$$

i 行业后向嵌入位置使用后向全球价值链生产长度表示:

$$pb = ply_GVC \quad (19)$$

(4) 本文将全球价值链嵌入位置按照不同类型分为物理嵌入位置 (pp)、经济嵌入位置 (pe) 与经济—物理嵌入位置 (ppe) 进行细化研究。使用总生产长度指标 (TPL) 表示某一部门在全球价值链嵌入的物理位置, 表示世界投入产出表中产品从初始到最终部门所经历的总生产阶段数, 其计算结果相对稳定, 不易受部门增加值影响。

$$pp = TPL = \frac{BB_{ii}}{B_{ii}} \quad (20)$$

其中, BB_{ii} 为矩阵 \mathbf{BB} 第 i 行第 i 列元素, B_{ii} 为矩阵 \mathbf{B} 第 i 行第 i 列元素。

利用 Koopman^① 方法测算全球价值链嵌入位置结果作为经济位置:

$$pe = p_Koopman = \ln\left(1 + \frac{IV_i}{EX_i}\right) - \ln\left(1 + \frac{FV_i}{EX_i}\right) \quad (21)$$

其中, IV_i 表示 i 行业出口增加值中被进口国生产加工后再出口至第三国的增加值, $\frac{IV_i}{EX_i}$ 为前向参与率, FV_i 表示 i 行业出口中隐含的国外增加值部分, $\frac{FV_i}{EX_i}$ 为后向参与率, EX_i 表示 i 行业出口贸易额。该方法在计算过程中仅考虑了出口增加值中前向增加值与后向增加值金额的绝对数量或占比, 忽略不同产品由初始产品到最终品过程中所经历的生产阶段数迥异, 也即该方法经济含义较为明显, 对产品跨国生产中物理层面角度的固定生产流程关注较少。

式 (15) 将增加值与生产阶段相结合, 能够较好地结合全球价值链的物理流程与经济增值能力, 其值既取决于部门在投入产出表中的物理位置, 又取决于部门创造增加值的大小。因此, 设定全球价值链嵌入经济—物理位置指标为:

$$ppe = p \quad (22)$$

以上全球价值链嵌入位置数据来源于世界银行全球范围投入产出表 (WIOT)。

① R. Koopman, W. Powers, Z. Wang, and S. Wei. "Give Credit Where Credit Is Due: Tracing Value Added in Global Production Chains". NBER Working Paper, No. 16426, 2010.

3. 控制变量

控制变量包括：能源要素投入 e ，由分行业能源消费总量表示；研发水平 rd ，由工业行业 R&D 人员数表征；行业发展水平 id ，由各行业工业增加值减税金总额表示；外商直接投资 fdi ，由各行业实际利用外商直接投资金额表征。数据来源于《中国能源统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国工业经济统计年鉴》等。

4. 作用机制变量

技术溢出变量 $tech$ 使用 DEA 方法测算的行业全要素生产率表征。^① 全要素生产率是指总产出与综合要素投入之比，即每单位投入的产出，能够较好反映出行业技术水平与技术吸收能力。市场竞争变量 $compe$ 使用各行业中企业个数与工业生产总值的比值表征^②，垄断行业的特点是行业内的企业个数比较少，与之相对的竞争行业则具有企业个数较多的特点。路径依赖变量 $depen$ 使用能源收入份额占总产出比重表征。污染转移变量 $pollution$ 使用各行业三废排放量表征。^③ 数据来源于《中国统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国能源统计年鉴》等。

四、实证分析

本文选取中国工业 20 个子行业 2000—2014 年数据为样本进行回归分析^④，并将工业行业分为资源型、低技术型、中技术型和高技术型四种^⑤，进一步构建行业技术水平虚拟变量与全球价值链嵌入位置的交互项，借以对研究假说进行稳健性检验，探究不同技术水平条件下的异质性结果。

(一) 基准回归

由于样本在多数条件下都不满足最小二乘法全部假设条件，使用 OLS 回归方法可能无法满足回归结果的无偏性或一致性，因此使用 FGLS 方法将各截面残差项代入各自协方差矩阵中估算系数值，可以消除可能存在的异方差、序列相关与同期相关问题。中国工业及四种分类行业回归结果如表 1 所示。

表 1 全球价值链嵌入位置对能源偏向型技术进步的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	工业	资源型	低技术型	中技术型	高技术型
p	-0.265*** (0.003)	-0.214*** (0.011)	-0.090*** (0.011)	0.052*** (0.007)	-0.749*** (0.064)
p^2	0.074*** (0.001)	0.375*** (0.038)	0.064*** (0.007)	0.010 (0.003)	0.038*** (0.003)
e	-1.129*** (0.023)	0.521*** (0.063)	0.023 (0.007)	0.063*** (0.008)	-0.015** (0.008)
id	0.971*** (0.005)	0.074** (0.030)	0.090*** (0.003)	0.081*** (0.003)	0.116*** (0.004)
fdi	-0.438*** (0.012)	-1.773*** (0.192)	-1.677*** (0.086)	-1.047*** (0.042)	-1.962*** (0.079)
rd	0.324*** (0.034)	-0.047** (0.024)	-0.078*** (0.005)	-0.048*** (0.003)	-0.063*** (0.004)
$Cons$	0.229*** (0.001)	-5.851*** (0.270)	-5.465*** (0.083)	-5.630*** (0.124)	-5.408*** (0.145)

① 廖进球、巫雪芬、简译：《进口中间品种类、营商环境与企业技术创新》，载《国际商务——对外经济贸易大学学报》，2021（3）。

② 岳希明、李实、史泰丽：《垄断行业高收入问题探讨》，载《中国社会科学》，2010（3）。

③ 许冬兰、张新阔：《中国制造业服务化的绿色福利效应研究——基于污染改善与环境 TFP 双重视角》，载《中国地质大学学报》（社会科学版），2021（4）。

④ 王林辉、杨博、董直庆：《技术进步偏向性跨国传递和不同传递路径异质性效应检验》，载《数量经济技术经济研究》，2019（4）。

⑤ S. Lall. "The Technological Structure and Performance of Developing Country Manufactured Exports, 1985 - 1998". *Oxford Development Studies*, 2000, 28 (3): 337 - 369.

续前表

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	工业	资源型	低技术型	中技术型	高技术型
Wald chi2	558 306.43	8 717.91	641 362.4	225 926	105 287.4
样本数	300	300	300	300	300
行业数	20	20	20	20	20

注：括号中数据为标准误；***、**、*分别表示在1%、5%、10%的显著性水平上显著。

由表1可知，全球价值链嵌入位置的二次项 p^2 系数在全部模型中均为正，且在1%水平上显著，表明中国工业全球价值链嵌入位置与技术进步能源偏向性指数呈现出“正U型”曲线关系。在全球价值链攀升前期，中国工业发展的高增长都建立在高能耗与高污染的粗放型生产方式条件下，依靠能源等要素的大量投入实现出口中间品国际份额与国际地位的上升，但这种方式将会长期影响中国生态环境优化、产业转型升级与经济稳定增长。随着全球价值链嵌入位置进一步提升，技术进步将偏向于节能。行业发展水平 id 系数均显著为正，表明行业发展水平越高，企业更有资本着眼长远发展，并拥有充裕资金研发与使用节能技术。 fdi 系数均显著为负，外商直接投资促进了耗能技术发展，说明中国在国际分工中仍承担了一些发达国家转移至国内的耗能产业与生产任务。 rd 系数在列(2)~(5)均为负，表明分类行业中研发强度仍存在一定的能源回弹效应。在第七十五届联合国大会上，中国承诺在2030年前实现碳达峰，2060年前实现碳中和，现阶段工业生产需要抛弃“末端治理”方式转而寻求“源头控制”，全力以赴进行节能技术开发。

(二) 内生性问题

一国在全球价值链中嵌入位置会影响其技术进步向节能或耗能方向转变，而技术进步方向又会决定该国贸易比较优势，从而决定其中间品贸易的商品类别和数量，进而影响该国在全球价值链中的嵌入位置，二者可能存在双向因果关系。为此，将利用Koopman方法测算的全球价值链嵌入位置 $p_Koopman$ 与滞后一期全球价值链嵌入位置 Lp 作为工具变量，使用2SLS方法与GMM方法分别进行工具变量回归。

首先，对工具变量进行外生性检验。先使用全球价值链嵌入位置对技术进步方向进行回归，再分别使用两个工具变量对技术进步方向进行回归，最后同时将全球价值链嵌入位置与工具变量加入回归模型^①，回归结果见表2。表2对于工具变量的外生性检验结果显示，当分别使用全球价值链嵌入位置 p 与两个工具变量 $p_Koopman$ 和 Lp 进行回归时，三者分别在列(1)、(2)和(4)中作用系数均显著，而将全球价值链嵌入位置 p 分别与两个工具变量同时进行回归时，(3)和(5)中全球价值链嵌入位置 p 系数显著而两个工具变量不显著。这说明两个工具变量均不直接影响中国工业能源偏向型技术进步 tb ，而仅通过作用于全球价值链嵌入位置 p 对技术进步方向产生影响，工具变量均通过外生性检验。

表2 工具变量外生性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	tb	p	tb	p	tb
p	0.088*** (0.013)	—	0.069*** (0.001)	—	-0.072*** (0.006)
$p_Koopman$	—	0.271*** (0.013)	0.047 (0.039)	—	—

① 张三峰、魏下海：《信息与通信技术是否降低了企业能源消耗——来自中国制造业企业调查数据的证据》，载《中国工业经济》，2019(2)。

续前表

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>tb</i>	<i>p</i>	<i>tb</i>	<i>p</i>	<i>tb</i>
<i>Lp</i>	—	—	—	1.009*** (0.007)	0.110 (0.152)
其他变量	控制	控制	控制	控制	控制
Wald	265.61	1 299.16	205 689.26	30 104.24	67 312.69
样本数	300	300	300	300	300
行业数	20	20	20	20	20

注：括号中数据为标准误；***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平上显著。

使用 2SLS 方法与 GMM 方法的工具变量回归结果如表 3 所示。表 3 回归结果与表 1 类似，且两种工具变量均通过了不可识别检验和弱工具变量检验。在消除内生性影响之后，全球价值链嵌入位置 *p* 与中国工业能源偏向型技术进步 *tb* 仍显著表现出正 U 型曲线关系。

表 3 工具变量方法回归结果

变量	工具变量 <i>p_Koopman</i>		工具变量 <i>Lp</i>	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	2SLS	GMM	2SLS	GMM
<i>p</i>	-0.881*** (0.284)	-1.802** (0.836)	-0.428*** (0.162)	-0.954* (0.505)
<i>p</i> ²	0.327*** (0.117)	0.471** (0.220)	0.141** (0.067)	0.351* (0.192)
<i>e</i>	0.019 (0.778)	0.625 (2.253)	-0.852 (0.618)	-0.926 (1.844)
<i>rd</i>	-5.559 (5.341)	10.185 (15.664)	-2.853 (4.980)	-8.873 (8.428)
<i>id</i>	0.954*** (0.295)	0.440 (0.648)	1.041*** (0.281)	0.272 (0.699)
<i>fdi</i>	-0.521 (0.471)	-2.480** (1.209)	-0.351 (0.447)	-1.549** (0.650)
<i>Constant</i>	0.576*** (0.161)	—	0.321*** (0.092)	—
Wald	68.70	—	70.49	—
<i>R-squared</i>	0.122	—	0.182	—
F	—	—	—	5.28
不可识别检验	—	4.99	—	20.24
弱工具变量检验	—	9.50	—	99.80
样本数	300	300	300	300
行业数	20	20	20	20

注：括号中数据为标准误；***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平上显著。

(三) 异质性分析

1. 全球价值链嵌入方式异质性

全球价值链嵌入方式可以分为简单嵌入与复杂嵌入两种，可能会对中国工业技术进步能源偏向性产生不同的影响。全球价值链简单嵌入方式所涉及的生产链条较短，技术复杂度不高，生产方式以大量投入生产要素为主，在生产中更倾向于使用耗能技术。复杂全球价值链嵌入方式的生产链条较长，同一链条中参与生产的国家与部门较多，相对而言对于出口中间品的技术含量与产品质量要求更高，具有更严格的环保标准，因此一般而言复杂全球价值链嵌入更有助于促进节能技术发展。

2. 全球价值链嵌入方向异质性

一国在全球价值链中前向嵌入越深，越靠近核心生产技术的研发环节，处于价值链上游，相对而

言利润丰厚,具有较高进入壁垒,有利于促进节能技术发展。一国后向嵌入越深,则多承担生产链条中技术含量较低的加工组装环节,在多次中间品进出口流程中,其他国家选择从事相对清洁节能且对技术水平要求较高的生产工序,而将能耗较大的生产工序转移至该国,不利于节能技术发展。

3. 全球价值链嵌入类型异质性

全球价值链的物理嵌入位置表示该行业在产品生产链条上的相对位置,能够反映行业上游度,其结果相对稳定,不易受初始效应与行业规模的影响。全球价值链物理位置的上游多为原材料与能源的采掘与供应业,因此行业越靠近物理位置上游,越促进耗能技术进步,获利能力较低。而在全球价值链中经济位置的提升,则意味着生产效率与盈利水平得以提高,生产企业拥有足够资本与风险承受能力进行节能技术的研发,从而进入良性循环,实现生产方式节能性与盈利性的双赢。

根据式(15)~(22)测算出各种全球价值链嵌入位置指标,并使用四种行业技术水平虚拟变量与各种类型的全球价值链嵌入位置进行交互,探究不同全球价值链嵌入位置对能源偏向型技术进步作用的异质性,回归结果见表4与表5。

表4 全球价值链对中国工业技术进步方向的异质性影响^①

变量	嵌入方式		嵌入方向		嵌入类型	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>ps</i>	-0.141*** (0.0007)	—	—	—	—	—
<i>pc</i>	—	0.028*** (0.0011)	—	—	—	—
<i>pf</i>	—	—	0.153*** (0.0032)	—	—	—
<i>pb</i>	—	—	—	-0.262*** (0.0017)	—	—
<i>pp</i>	—	—	—	—	-0.057*** (0.0007)	—
<i>pe</i>	—	—	—	—	—	0.044*** (0.0006)
<i>Constant</i>	0.181*** (0.0007)	0.166*** (0.0008)	0.031*** (0.0002)	0.078*** (0.0003)	-0.958*** (0.0056)	0.053*** (0.0037)
Wald chi2	134 603.43	213 097.91	104 107.86	1 008 706	431 433.37	103 020.75
样本数	300	300	300	300	300	300
行业数	20	20	20	20	20	20

注:括号中数据为标准误;***、**、*分别表示在1%、5%、10%的显著性水平上显著。

表5 全球价值链对中国不同技术水平行业技术进步方向的异质性影响

变量	资源型	低技术	中技术	高技术	资源型	低技术	中技术	高技术
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<i>ps</i>	-0.175*** (0.011)	-0.052*** (0.003)	-0.047 (0.047)	-0.067** (0.027)	—	—	—	—
<i>pc</i>	—	—	—	—	0.007 (0.011)	0.013*** (0.002)	0.306*** (0.031)	0.034*** (0.002)
	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
<i>pf</i>	0.066*** (0.006)	0.039*** (0.002)	0.027*** (0.001)	0.072*** (0.005)	—	—	—	—
<i>pb</i>	—	—	—	—	-0.096*** (0.003)	-0.176*** (0.012)	-0.002 (0.024)	-0.022* (0.013)

① 受篇幅所限,文中只汇报了核心变量的实证结果,感兴趣的读者可向作者索取,下同。

续前表

变量	资源型	低技术	中技术	高技术	资源型	低技术	中技术	高技术
	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)
<i>pp</i>	-0.007*** (0.001)	-0.147*** (0.014)	-0.155*** (0.003)	-0.006 (0.043)	—	—	—	—
<i>pe</i>	—	—	—	—	0.011*** (0.001)	0.181*** (0.001)	0.053 (0.087)	0.062** (0.030)
样本数	300	300	300	300	300	300	300	300
行业数	20	20	20	20	20	20	20	20

注：括号中数据为标准误；***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平上显著。

如表 4 与表 5 所示，全球价值链简单嵌入位置 *ps* 系数均为负，全球价值链复杂嵌入位置 *pc* 系数均为正。这表明中国工业沿价值链向高端位置攀升过程中，以简单嵌入方式参与全球价值链会拉动技术进步方向偏向于耗能，而复杂嵌入方式对节能技术进步促进作用更大。全球价值链前向嵌入 *pf* 系数显著为正，而后向嵌入 *pb* 系数为负，说明行业全球价值链前向嵌入越深，越有助于技术由耗能型升级为节能型，而越靠近下游位置，需要承担更多能耗型与劳动密集型生产工序，不利于节能技术发展。随着居民环保意识的提升和公众环保诉求的增强，消费者对最终品的节能属性要求变高，中国工业需要根据市场需求及时调整生产策略，发展节能技术进步。全球价值链物理嵌入位置 *pp* 系数为负，而经济位置 *pe* 系数为正，表明若仅追求中国工业在全球价值链中物理上游度的提升，并不能促进技术由耗能转变为节能，只有依靠价值增值和盈利能力的提升才能有充足的资本进行节能技术研发，使行业实现节能环保与价值增值的双赢。

(四) 作用机制

全球价值链嵌入位置演变产生的技术溢出、市场竞争、路径依赖与污染转移效应共同决定了全球价值链嵌入位置与能源偏向型技术进步的正 U 型曲线关系。依据式 (2)~(4)，全球价值链嵌入对中国工业及四种行业技术进步方向的作用机制回归结果如表 6 与表 7 所示。

表 6 全球价值链嵌入位置对能源偏向型技术进步的作用机制

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	<i>tb</i>	<i>tech</i>	<i>tb</i>	<i>compe</i>	<i>tb</i>	<i>depen</i>	<i>tb</i>	<i>pollution</i>	<i>tb</i>
<i>p</i>	0.088*** (0.000)	0.260*** (0.010)	0.084*** (0.001)	0.016*** (0.001)	0.099*** (0.001)	0.013*** (0.001)	0.086*** (0.001)	0.037*** (0.001)	0.083*** (0.001)
<i>tech</i>	—	—	0.019*** (0.000)	—	—	—	—	—	—
<i>compe</i>	—	—	—	—	0.659*** (0.005)	—	—	—	—
<i>depen</i>	—	—	—	—	—	—	-0.070*** (0.002)	—	—
<i>pollution</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	-0.140*** (0.000)
Wald chi2	20.04	642.77	33.68	37.74	47.84	1.14	21.92	73.44	24.62
样本数	300	300	300	300	300	300	300	300	300
行业数	20	20	20	20	20	20	20	20	20

注：括号中数据为标准误；***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平上显著。

表 7 全球价值链嵌入位置对不同技术水平行业能源偏向型技术进步的作用机制

资源型行业									
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	<i>tb</i>	<i>tech</i>	<i>tb</i>	<i>compe</i>	<i>tb</i>	<i>depen</i>	<i>tb</i>	<i>pollution</i>	<i>tb</i>
<i>p</i>	0.215*** (0.011)	2.656*** (0.113)	0.213*** (0.010)	0.710*** (0.089)	0.005 (0.005)	1.111*** (0.038)	0.026*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.026*** (0.002)
<i>M</i>	—	—	0.007*** (0.001)	—	0.025*** (0.004)	—	-0.001*** (0.000)	—	-1.297*** (0.078)

续前表

低技术型行业									
变量	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
	<i>tb</i>	<i>tech</i>	<i>tb</i>	<i>compe</i>	<i>tb</i>	<i>depen</i>	<i>tb</i>	<i>pollution</i>	<i>tb</i>
<i>p</i>	-0.011*** (0.000)	0.354*** (0.008)	-0.009*** (0.003)	0.397*** (0.033)	0.021** (0.010)	7.474*** (1.015)	-0.008*** (0.000)	0.000*** (0.000)	-0.013* (0.007)
<i>M</i>	—	—	0.004*** (0.000)	—	0.025*** (0.003)	—	-0.001*** (0.000)	—	-1.104*** (0.102)
中技术型行业									
变量	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
	<i>tb</i>	<i>tech</i>	<i>tb</i>	<i>compe</i>	<i>tb</i>	<i>depen</i>	<i>tb</i>	<i>pollution</i>	<i>tb</i>
<i>p</i>	-0.077*** (0.003)	0.043* (0.024)	-0.095*** (0.008)	0.143*** (0.026)	0.009* (0.005)	0.456* (0.003)	0.006*** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.070*** (0.006)
<i>M</i>	—	—	0.004*** (0.000)	—	0.027*** (0.003)	—	-0.001*** (0.000)	—	-1.309*** (0.092)
高技术型行业									
变量	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)	(36)
	<i>tb</i>	<i>tech</i>	<i>tb</i>	<i>compe</i>	<i>tb</i>	<i>depen</i>	<i>tb</i>	<i>pollution</i>	<i>tb</i>
<i>p</i>	-0.013*** (0.001)	0.351*** (0.034)	-0.048*** (0.004)	2.486*** (0.280)	-0.018*** (0.006)	10.088*** (3.392)	-0.031*** (0.001)	0.012*** (0.000)	0.075*** (0.007)
<i>M</i>	—	—	0.003*** (0.000)	—	0.029*** (0.004)	—	-0.001*** (0.000)	—	-1.250*** (0.104)
样本数	300	300	300	300	300	300	300	300	300
行业数	20	20	20	20	20	20	20	20	20

注：括号中数据为标准误；***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平上显著。

由表 6 可以看出，列（1）中 *p* 对能源偏向型技术进步 *tb* 作用系数显著为正，列（2）中 *p* 对技术溢出 *tech* 作用系数显著为正，列（3）中 *p* 与技术溢出 *tech* 对 *tb* 作用系数均在 1% 显著性水平上显著为正，技术溢出的遮掩效应成立，全球价值链嵌入位置提升可以通过促进技术溢出来使中国工业技术进步偏向于节能。列（4）中 *p* 对市场竞争 *compe* 作用系数显著为正，列（5）中 *p* 与市场竞争 *compe* 对 *tb* 作用系数均在 1% 显著性水平上显著为正，市场竞争的遮掩效应成立，全球价值链嵌入位置提升可以通过促进市场竞争来使中国工业技术进步偏向于节能。企业在沿全球价值链向高端位置攀升过程中，世界市场对产品质量与能源含量标准更加严格，只有能源使用效率较高的企业才能够获得出口机会。另一方面，进口中间品带来的替代效应与竞争效应改变了国内中间品的价格需求弹性，中间品需求方对价格变化更敏感，通过市场的优胜劣汰机制将生产率不足和能源使用效率过低的中间品厂商淘汰。列（6）中 *p* 对路径依赖 *depen* 作用系数显著为正，列（7）中路径依赖 *depen* 对 *tb* 作用系数显著为负，全球价值链嵌入位置提升可以通过促进路径依赖来使中国工业技术进步偏向于耗能。一方面，中国等发展中国家在国际垂直分工中一般利用本国能源要素充裕的比较优势承担耗能型生产任务，各国难以突破原有的国际分工布局，形成经济发展的惯性，放大了初始国际垂直分工选择。另一方面，从粗放型生产方式向集约型生产方式转变需要投入大量前期成本，且需要较长时间才能获得技术精进的益处，企业不具有足够的动力进行技术与设备的更新换代。列（8）中 *p* 对污染转移 *pollution* 作用系数显著为正，列（9）中污染转移 *pollution* 对 *tb* 作用系数显著为负，污染转移的遮掩效应成立，全球价值链嵌入位置提升可以通过促进污染转移来使中国工业技术进步偏向于耗能。表 7 结果与表 6 类似，对不同技术水平行业而言，全球价值链嵌入位置引起的技术溢出效应与市场竞争效应促进了节能技术发展，而路径依赖效应与污染转移效应则促进了耗能技术发展，验证了假说 2~假说 5 的正确性。

五、结论

中国改革开放 40 多年历程本质上是不断融入全球价值链的过程。本文测算中国工业全球价值链异质性嵌入位置与能源偏向型技术进步，验证了全球价值链嵌入位置对能源偏向型技术进步的影响及其作用机制，发现中国工业全球价值链嵌入位置与节能技术进步呈现正 U 型曲线关系。当行业处于全球价值链相对低端位置时，其沿全球价值链向高端位置攀升会引致技术进步偏向于耗能方向，只有进入拐点右侧，其位置攀升才会促进节能技术进步。异质性分析结果显示，复杂嵌入、前向嵌入与经济嵌入促进节能技术发展，而简单嵌入、后向嵌入与物理嵌入促进技术进步偏向于耗能。从作用机制来看，全球价值链嵌入位置演变产生的技术溢出效应与市场竞争效应促进节能技术发展，而路径依赖效应与污染转移效应使得中国工业技术进步方向偏向于耗能，各种作用机制相互抗衡、相互制约，共同决定了中国工业技术进步方向。

由此得出主要启示：第一，虽然现阶段受部分发达国家制造业回流与新冠肺炎疫情等影响，全球价值链面临重构风险，但经济全球化仍符合长期趋势，中国工业应以更开放姿态积极融入全球价值链，充分利用全球价值生产的技术溢出效应与市场竞争效应驱动自身节能技术创新能力提升，进而实现经济增长与环境保护双赢。第二，发展中国家嵌入全球价值链也要注意规避其负向影响，在承担国际分工时既要考虑与本国要素禀赋结构匹配度与适宜性，同时也要规避发达国家转移至国内的污染型生产任务，降低对能源投入的依赖性并防止成为“污染天堂”。第三，优化产业结构，大力发展低能耗的先进制造业、高新技术产业与现代服务业，提升中国工业嵌入全球价值链的经济位置与利润的可持续性，综合运用大数据、云计算和物联网等先进平台，建立技术交流合作对接长效机制，促进“卡脖子”技术的攻关克难，为经济高质量发展提供内生动力。

The Impact of the Embedded Location of China's Industrial Global Value Chain on Energy-biased Technological Progress

YANG Bo¹, WANG Linhui²

(1. Institute of Applied Economics, Shanghai Academy of Social Sciences;

2. Faculty of Economics and Management, East China Normal University)

Abstract: This article integrates the global value chain theory and the technological progress theory into a unified framework, calculates the embedded location of China's industrial global value chain and the energy-biased technological progress, and explores the mechanism of the embedded location of China's industrial global value chain and its impact on energy-biased technological progress. The results show that dynamics of the embedded location of China's industrial global value chain and the energy-saving technological progress present a U-shaped curve. Only when it enters the right side of the turning point, climbing up to the high end of the global value chain, can it lead to the progress of energy-saving technology. The influential effects of embedding mode, embedding direction, and embedding type are heterogeneous, and the types of complicated embedding modes, forward embedding directions, and economic embedding lead to the development of energy-saving technology. The four effects of technology spillover, market competition, path dependence, and pollution transfer counterbalance and restrict each other, and jointly determine the developmental direction of China's industrial technology.

Key words: Energy-biased technological progress; Embedded location of global value chain; Technology spillover; Market competition; Path dependence; Pollution transfer

(责任编辑 王伯英)