

制造业服务要素投入与出口中的隐含碳

——基于全球价值链环境成本视角的研究

刘 斌 王乃嘉 余淼杰 朱学昌

[摘要] 加快实现碳达峰和碳中和对经济社会可持续发展意义重大。增加服务要素投入、激活生产要素市场为实现价值链“绿色升级”提供了可行契机。制造业服务要素投入能否缓解出口中的碳排放已成为当前亟待检验的命题。本文从一国参与全球价值链实际利得和环境成本的视角测度出口隐含碳排放强度指标，计量分析制造业服务要素投入对出口隐含碳的影响。研究发现：制造业服务要素投入的增加能够显著降低出口引致的本国碳排放强度。进一步地，对影响机制的检验表明：制造业服务要素投入具有显著的要素配置效应、技术效应和转移效应。因此，增加制造业服务要素投入应作为生产要素供给侧改革的重点。本文的研究能够为低碳环境下我国贸易结构转型提供一个切实可行的有效途径。

[关键词] 制造业服务要素投入；出口隐含碳；出口增加值

[作者简介] 刘斌，对外经济贸易大学中国WTO研究院副研究员，博士生导师；王乃嘉，中国工商银行博士后；余淼杰，北京大学国家发展研究院副院长、教授；朱学昌，天津理工大学讲师

一、引言

全球气候变暖正在悄然发生，二氧化碳排放增加是全球气候变化的主要原因。当前中国已跃居世界第二大经济体，但在经济高速发展的同时，隐含碳排放随着出口增加而大幅提高，且这一态势仍在不断加剧（胡剑波等，2019）。^①随着后京都时代的到来，新一轮碳减排责任的分配将是国际社会博弈的焦点，作为“世界工厂”的中国面临着巨大的减排压力。从某种意义上，降低出口中的隐含碳（Embodied Carbon in Export，简称出口隐含碳）不仅有利于改善生态环境，同时也有助于缓解中国在未来气候谈判中面临的规则压力。

出口隐含碳是指出口产品在整个生产链条中直接或间接产生的碳排放，其主要核算方法是投入产出法（齐晔等，2008）。^②传统隐含碳核算框架往往使用的是一国投入产出表，但基于国内投入产出表的计算假定进口品生产技术与本国一致，这将使结果产生较大偏差（Andrew and Forgie, 2008）。^③近年来，随着数据可获得性的改善，一些学者采用跨国投入产出表计算出口

① 胡剑波、任香、高鹏，2019：《中国省级贸易、国际贸易与低碳贸易竞争力的测度研究》，《数量经济技术经济研究》第9期。

② 齐晔、李惠民、徐明，2008：《中国进出口贸易中的隐含碳估算》，《中国人口·资源与环境》第3期。

③ Andrew, R., and V. Forgie, 2008, “A three-perspective view of greenhouse gas emission responsibilities in New Zealand”, *Ecological Economics*, 68(1), 194-204.

隐含碳 (Peters and Hertwich, 2008; Zhao and Yan, 2014; 彭水军等, 2015)。^①该方法既有效弥补了一国投入产出表难以反映不同国家之间贸易联系和产业关联的不足, 也能实现对各国隐含碳“足迹”的追踪, 得到了国内外学术界的普遍认可 (Peters, 2008; 彭水军等, 2016)。^②

当前直接考察出口隐含碳影响因素的文献并不多见, 多数文章聚焦于一国碳排放的影响因素。代表性观点如下: 经济增长的规模效应对碳排放的影响 (Grossman and Kureger, 1991; 林伯强和蒋竺均, 2009);^③能源使用效率和能源结构对碳排放的影响 (张伟等, 2013; Zhang, 2009);^④产业结构变化与产业升级对碳排放的影响 (张友国, 2010; Yu et al., 2015; Su and Ang, 2015; 张伟等, 2016);^⑤开放经济下国际贸易和全球分工对碳排放的影响 (李锴和齐绍洲, 2011; 林伯强和刘泓汛, 2015)。^⑥

上述文献为本文研究奠定了坚实的理论基础, 特别是从产业结构转变的视角探究碳排放问题为本文提供了一个新思路。制造业投入服务化^⑦是当前产业结构升级的“新常态”, 制造业投入服务化是指制造业中的服务要素投入在全部投入中占据越来越重要的地位。服务要素投入在企业生产经营中的重要作用已经得到了许多学者的证实。Hobo et al. (2006) 分析了服务要素投入与企业经营效率之间的关系, 服务化水平较高企业的资源利用率更高。^⑧Vandermerwe and Rada (1988) 研究发现研发等高等服务要素投入明显提升了企业的竞争优势。^⑨刘斌和王乃嘉 (2016) 的研究证实了制造业服务化与企业出口表现的相关性, 制造业服务化可以通过规模经济和范围经济提高企业出口产品质量。^⑩

① Peters, G. P., and E. G. Hertwich, 2008, “Post-Kyoto greenhouse gas inventories: production versus consumption”, *Climatic Change*, 86(1-2), 51-66; Zhao, Z., and Y. Yan, 2014, “Consumption-based carbon emissions and international carbon leakage: an analysis based on the WIOD database”, *Social sciences in China*, 35(3), 174-186; 彭水军、张文城、孙传旺, 2015: 《中国生产侧和消费侧碳排放量测算及影响因素研究》, 《经济研究》第 1 期。

② Peters, G. P., 2008, “From production-based to consumption-based national emission inventories”, *Ecological economics*, 65(1), 13-2; 彭水军、张文城、卫瑞, 2016: 《碳排放的国家责任核算方案》, 《经济研究》第 3 期。

③ Grossman, G. M., and A. B. Krueger, 1991, “Environmental impacts of a North American free trade agreement”, National Bureau of Economic Research, No. w3914; 林伯强、蒋竺均, 2009: 《中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析》, 《管理世界》第 4 期。

④ 张伟、朱启贵、李汉文, 2013: 《能源使用、碳排放与我国全要素碳减排效率》, 《经济研究》第 10 期; Zhang Y, 2009 “Structural decomposition analysis of sources of decarbonizing economic development in China 1992-2006”, *Ecological Economics*, 68(8):2399-2405.

⑤ 张友国, 2010: 《经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响》, 《经济研究》第 4 期; Yu S, Zhang J, Zheng S, et al, 2015, “Provincial carbon intensity abatement potential estimation in China: A PSO-GA-optimized multi-factor environmental learning curve method”, *Energy Policy*, 77:46-55; Su B, Ang B W, 2015, “Multiplicative decomposition of aggregate carbon intensity change using input-output analysis”, *Applied Energy*, 154:13-20; 张伟、朱启贵、高辉, 2016: 《产业结构升级、能源结构优化与产业体系低碳化发展》, 《经济研究》第 12 期。

⑥ 李锴、齐绍洲, 2011: 《贸易开放、经济增长与中国二氧化碳排放》, 《经济研究》第 11 期; 林伯强、刘泓汛, 2015: 《对外贸易是否有利亏提高能源环境效率——以中国工业行业为例》, 《经济研究》第 9 期。

⑦ 企业以制造为中心向以服务为中心的转变过程称之为制造业服务化 (Vandermerwe & Rada, 1988; White et al., 1999)。制造业服务化依据实现路径可分为两种, 一种是制造业投入服务化, 即制造业中的服务要素投入在全部投入中占据越来越重要的地位; 一种是制造业产出服务化, 即制造业中的服务产品产出在全部产出中占据越来越重要的地位。本文的研究重点是制造业投入服务化。

⑧ Hobo, M., C. Watanabe, and C. Chen, 2006, “Double spiral trajectory between retail, manufacturing and customers leads a way to service oriented manufacturing”, *Technovation*, 26(7), 873-890.

⑨ Vandermerwe, S., and J. Rada, 1988, “Servitization of business: adding value by adding services”, *European Management Journal*, 6(4), 314-324.

⑩ 刘斌、王乃嘉, 2016: 《制造业服务化与企业出口的二元边际——基于中国微观企业数据的经验研究》, 《中国工业经济》第 9 期。

服务要素投入对环境的影响文献并不多见。世界可持续发展经济协会报告(WBCSD,1996)认为制造业生产过程中的服务要素投入有助于形成具有生态效率(Eco-efficiency)和可持续的产出体系。^①Mont(2004)、^②Brouillat(2009)、^③Kastalli and Van Looy(2013)、^④Abdul-Rashid et al.(2017)、^⑤Chiarini and Vagnoni(2017)^⑥认为制造业服务要素投入可以促进产品升级,延长产品生命周期,减少非合意性产出,降低环境污染。Doni et al.(2019)同样研究发现制造业中的服务要素投入可以提升能源利用效率,改善生态环境。^⑦由此可见,制造业服务要素投入有助于降低经济对能源的过度依赖,从而纾解碳排放引致的污染困境。2020年12月习近平主席在气候雄心峰会讲话中指出,中国为达成应对气候变化《巴黎协定》作出重要贡献,是落实《巴黎协定》的积极践行者。2020年12月中央经济工作会议明确提出中国二氧化碳排放力争在2030年前达到峰值,2060年前实现碳中和。制造业投入服务化作为生产要素供给侧改革的新路径,在改善能源结构、提升能源效率和推动经济绿色可持续发展方面作用巨大。基于此,本文试图从服务要素投入的视角探究中国外贸绿色转型升级的新路径。

当前制造业服务要素投入对环境影响的研究仍停留在探索阶段,而针对出口隐含碳的经验研究更为少见,尤其缺乏对影响机制的计量分析,进而不能全面揭示制造业服务要素投入对出口隐含碳的作用机理。因此,探究制造业服务要素投入对出口隐含碳排放强度的影响机制尚有进一步推动的空间。本文可能改进之处如下:首先,在研究视角方面,本文并不着重于逐个探析影响出口隐含碳强度的众多因素,而是重点关注随着制造业服务要素投入的不断增加,其对制造业出口隐含碳强度呈现出何种影响。本文运用2000-2014年WIOD数据计算双边出口隐含碳和制造业服务要素投入,在全球价值链的视角下计量分析服务要素投入对环境成本的影响。

其次,在机制检验方面,本文并不局限于分析制造业服务要素投入对出口隐含碳排放强度的总体影响,而是重点探究要素配置效应、技术进步效应、转移效应等影响机制。从要素配置效应和技术进步效应看,服务要素投入的增加不仅有利于优化要素结构,而且能够推动企业技术进步。本文分别运用DEA和Malmquist方法对碳排放进行分解,计算一国行业层面的要素配置效率和碳减排技术进步率。从转移效应看,生产“片段化”和工序贸易是当前全球价值链分工的典型特点,一项出口生产活动往往大量使用到来源于其他国家的中间品,中间品产生的碳排放并不是在出口国领土上产生的,而是通过价值链分工的形式转移到其他国家。因此,碳排放贸易差额和国外碳排放占比两个指标较好地体现了出口隐含碳转移到其他国家的情况,进而实现对碳转移效应的检验。

再次,在指标构建方面,本文关注重点并不在于出口中隐含碳排放的绝对量,而是聚焦于

① WBCSD, 1996, *Eco-efficient Leadership for Improved Economic and Environmental Performance*, Geneva.

② Mont, O., 2004, “Reducing life-cycle environmental impacts through systems of joint use”, *Greener management international*, 45, 63-77.

③ Brouillat, E., 2009. Recycling and extending product-life: an evolutionary modelling. *J. Evol. Econ.* 19 (3), 437 - 461.

④ Kastalli, I.V., Van Looy, B., 2013. Servitization: disentangling the impact of service business model innovation on manufacturing firm performance. *J. Oper. Manag.* 31(4), 169 - 180.

⑤ Abdul-Rashid, S.H., Sakundarini, N., Ghazilla, R.A.R., Thurasamy, R., 2017. The impact of sustainable manufacturing practices on sustainability performance. Empirical evidence from Malaysia. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 37 (2), 182 - 204.

⑥ Chiarini, A., Vagnoni, E., 2017. Strategies for modern operations management: answers from European manufacturing companies. *Benchmarking Int. J.* 24 (4), 1065 - 1081.

⑦ Doni, F., Corvino, A., and Martini, S. B. 2019. Servitization and sustainability actions. Evidence from European manufacturing companies. *Journal of environmental management*, 234, 367-378.

“真实”发生在本国境内的出口隐含碳的排放强度。当前来看，既往文献多数使用出口额衡量一国参与全球价值链的实际利得，并在此基础上测度出口额引致的碳排放衡量其环境成本（李艳梅和付加锋，2010；王媛等，2011）。^①然而，在全球价值链分工背景下，贸易利益和环境成本的内涵已发生变化，贸易统计的“重复计算”问题导致贸易规模难以有效反映贸易利得，一国出口国内增加值才是其参与全球价值链的实际利得，发生在本国境内的碳排放才是其环境成本，基于出口额测度的碳排放强度无疑会引起估计偏误。为此，本文从“碳源”入手，基于后向关联分解方法分别“剥离”出口增加值和出口隐含碳来源于境内的部分和来源于境外的部分，进而得到出口隐含碳排放强度（单位国内增加值引致的本国境内的出口隐含碳排放），这是本文重要的“边际贡献”。从数据可行性上看，基于 Leontief 提出的投入产出分析方法，出口增加值和出口隐含碳可以在“本国—行业—出口市场—年份”四维层面实现较好的对接（Wang et al., 2013; Koopman et al., 2014; Meng et al., 2015）。^②

二、机制分析

制造业服务要素投入对出口隐含碳强度的影响主要体现为要素配置效应、技术进步效应和转移效应三个方面。

首先，制造业服务要素投入主要通过要素结构优化、产业耦合等途径降低企业出口隐含碳。从要素结构优化角度看，企业通过提高服务要素投入占比，改变企业以劳动和资本等传统要素投入为中心的生产模式，有效缓解服务要素的稀缺性“约束”（林伯强和杜克锐，2013），^③进而实现“经济—环境”的林达尔均衡。从要素耦合角度看，要素耦合的本质是异质性生产要素、技术信息等全方位的内容共融和作用互构。通过传统制造业生产与通信服务的深度融合，搭建工业控制与信息管理的互动平台，构建以物联网为基础的信息化、智能化生产模式，进而提高企业的“资源—产出”转化效率。当前服务要素在全球价值链中的作用日益凸显，服务成为“链接”产品生产和“工序贸易”的“粘合剂”，发挥着协调运营、研发设计、总部管理等重要作用。服务要素投入增强了全球价值链体系中的要素耦合协调性，促进了生产模式的转换和产业结构的升级，进而提高了资源利用率，降低了单位碳排放强度。

其次，服务要素投入作为人力资本和知识资本的“传送器”，有利于推动企业技术进步，提高能源利用效率，降低出口碳排放强度。碳排放强度的下降很大程度上得益于技术效率的提升和清洁技术的应用（齐绍洲等，2009；何建坤和苏明山，2009）。^④Grubel & Walker（1989）基于奥地利学派迂回生产理论的观点认为，作为人力资本和知识资本“关键载体”的服务要素

① 李艳梅、付加锋，2010：《中国出口贸易中隐含碳排放增长的结构分解分析》，《中国人口·资源与环境》第8期；王媛、魏本勇、方修琦、夏冰、杨会民，2011：《基于 LMDI 方法的中国国际贸易隐含碳分解》，《中国人口·资源与环境》第2期。

② Wang, Z., S. J. Wei, and K. Zhu, 2013, "Quantifying international production sharing at the bilateral and sector levels", National Bureau of Economic Research, No. w19677; Koopman, R., Z. Wang, and S. J. Wei, 2014, "Tracing value-added and double counting in gross exports", *The American Economic Review*, 104(2), 459-494; Meng, B., G. P. Peters, and Z. Wang, 2015, "Tracing greenhouse gas emissions in global value chains", Stanford Center for international development Working Paper, (525).

③ 林伯强、杜克锐，2013：《要素市场扭曲对能源效率的影响》，《经济研究》第9期。

④ 齐绍洲、云波、李锴，2009：《中国经济增长与能源消费强度差异的收敛性及机理分析》，《经济研究》第4期；何建坤、苏明山，2009：《应对全球气候变化下的碳生产率分析》，《中国软科学》第10期。

有助于提升企业生产过程的经营效率和生产要素的使用效率 (Neely, 2008)。^①Färe et al. (2007) 在环境经济学模型中引入环境生产技术的概念, 发现企业在生产过程中的合意产出与非合意产出 (即污染等“副产品”) 同时存在, 减少非合意产出的最主要途径是清洁技术的应用。^②研发、设计等“软性”生产要素作为清洁技术创新的引擎, 是清洁技术进步的主要驱动力。服务化特征明显的企业往往倾向于在研发和技术进步方面投入更多资源, 其资源利用效率更高, 污染排放强度更低。

再次, 基于“要素禀赋假说”的全球价值链分工体系为全球污染转移提供了可能性。“任务分解”和“收益分配”取决于全球价值链“节点”国家的要素禀赋和比较优势。根据 Copeland & Taylor (1997) 提出的环境要素禀赋理论 (Factor Endowment Hypothesis, FEH), 在全球生产分工中, 污染排放水平由各国的要素禀赋决定 (Copeland and Taylor, 2004)。^③具有服务要素分工比较优势的国家, 在全球价值链中更为专注研发和分销等高附加值、低排放的服务环节, 将碳排放较高的生产环节通过价值链分工转移到其他国家, 进而可以降低出口中由本国产生的碳排放。

三、核心指标的度量与现状分析

(一) 核心指标的度量

1. 制造业服务要素投入

本文运用 WIOD 最新公布的全球投入产出表数据^④, 运用直接消耗系数和完全消耗系数测度制造业服务要素投入 (顾乃华和夏杰长, 2010)。^⑤其中, 直接消耗系数是指生产经营过程中某国某部门单位总产出所直接消耗的各国各部门服务的数量。计算公式如下:

$$Serviceinput_{ej}^{direct} = S_{ej} / T_j \quad (1)$$

上式中的 $Serviceinput_{ej}^{direct}$ 表示制造业 j 的服务要素投入水平 (由直接消耗系数测算), S_{ej} 表示制造业 j 来源于服务业 e 的投入, T_j 表示制造业 j 中来源于所有国家所有行业的总投入。

众所周知, 产品生产环节涉及大量中间品投入, 产品生产不仅会引致制造业对服务业的直接消耗, 而且各种中间投入也会引致对服务业的间接消耗。换言之, 各制造业部门对服务业的直接消耗和间接消耗的总和就构成了制造业对服务业的完全消耗。公式如下:

$$Serviceinput_{ej}^{complete} = a_{ej} + \sum_{k=1}^n a_{ek} a_{kj} + \sum_{s=1}^n \sum_{k=1}^n a_{es} a_{sk} a_{kj} + \dots \quad (2)$$

^① Grubel H. G, and M. A. Walker, 1989, *Service Industry Growth: Causes and Effects*, Fraser Institute; Neely, A., 2008, “Exploring the financial consequences of the servitization of manufacturing”, *Operations Management Research*, 1(2), 103-118.

^② Färe, R., S. Grosskopf, and C. A. Pasurka, 2007, “Environmental production functions and environmental directional distance functions”, *Energy*, 32(7), 1055-1066.

^③ Copeland, B. R., and M. S. Taylor, 1997, “A simple model of trade, capital mobility, and the environment”, National Bureau of Economic Research, No. w5898; Copeland, B. R., M. S. Taylor, 2004, “Trade, growth, and the environment”, *Journal of Economic literature*, 42(1), 7-71.

^④ 具体网址为: http://www.wiod.org/new_site/home.htm。

^⑤ 顾乃华、夏杰长, 2010: 《对外贸易与制造业投入服务化的经济效应—基于 2007 年投入产出表的实证研究》, 《社会科学研究》第 9 期。

其中,上式中 $Serviceinput_{ej}^{complete}$ 代表制造业 j 的服务要素投入水平(由完全消耗系数测度),等号右边第一项表示制造业 j 对服务业 e 的直接消耗量,括号内第二项表示制造业 j 对服务业 e 的第一轮间接消耗量,第三项表示制造业 j 对服务业 e 的第二轮间接消耗量,依此类推,第 $n+1$ 项表示制造业 j 对服务业 e 的第 n 轮间接消耗量,其中 k 、 s 等产品作为中间产品。按照公式所示,将直接消耗量和各轮间接消耗量相加就是完全消耗系数。相比直接消耗系数,完全消耗系数能够更为全面地反映制造业对服务要素的依赖程度。因此,本文运用完全消耗系数作为制造业服务要素投入水平的主要衡量指标,将直接消耗系数作为稳健性检验指标。

2.出口隐含碳排放强度

增加值和隐含碳可视为出口引致的“正”“反”两方面的产出。国内增加值代表一国出口的真实“贸易利得”,而碳排放则代表一国出口引致的国内“环境代价”。因此,出口隐含碳排放强度可以由一国出口引致的国内碳排放除以国内增加值表示。

现有文献普遍使用单位出口额的碳排放衡量出口碳排放强度(邱强和李庆庆,2012;闫云凤和赵忠秀,2012),^①但这无疑会产生度量偏误。例如,一部苹果手机由中国组装并出口,出口额为179美元,中国仅获得其中6.5美元的国内增加值,仅占苹果手机价值的3.6%。计算碳排放强度时,如果将出口额179美元作为分母,将大大低估中国出口商参与价值链的环境代价,因为6.5美元才是中国出口苹果手机的真正利得。

为了从全球价值链视角分析出口的环境成本,需要将全球价值链中“贸易利得”和与之相对应的“环境成本”进行对照。本文借鉴 Meng et al.(2015)的研究,基于产业链后向关联方法分解出口隐含碳。^②该方法的基本思路为:通过探究出口隐含碳从产生到最终消费的每个环节,追踪一国出口所引致的本国和其他国家隐含碳排放的“足迹”,以此准确识别一国出口隐含碳中来源于国外部分与来源于国内部分。采用隐含碳分解框架的另一个优点是,可以实现与增加值分解指标的对应(Wang et al.,2013),^③具体分解见下图1:

① 邱强、李庆庆,2012:《中国进出口贸易隐含碳排放测算及驱动因素研究》,《经济管理》第11期;闫云凤、赵忠秀,2012:《中国对外贸易隐含碳的测度研究—基于碳排放责任界定的视角》,《国际贸易问题》第1期。

② Meng, B., G. P. Peters, and Z. Wang, 2015, “Tracing greenhouse gas emissions in global value chains”, Stanford Center for international development Working Paper, (525).

③ Wang, Z., S. J. Wei, and K. Zhu, 2013, “Quantifying international production sharing at the bilateral and sector levels”, National Bureau of Economic Research, No. w19677.

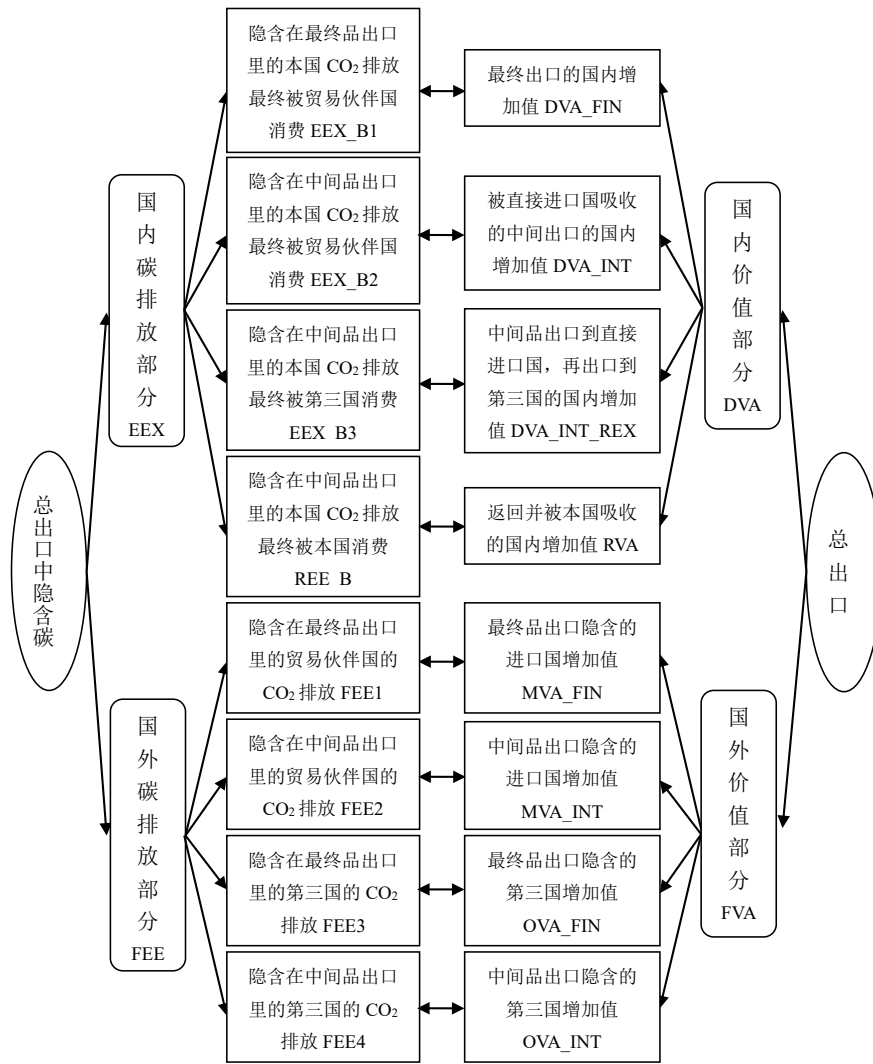


图 1 出口增加值分解和隐含碳分解的对照图

如图 1 左侧，基于后向关联的一国出口中隐含碳可以分解为两大部分，分别为：国内碳排放部分（EEX）、国外碳排放部分（FEE）。其中，国内碳排放部分（EEX）可以分解为四部分，分别为：隐含在最终品出口的本国碳排放最终被贸易伙伴国吸收的部分（EEX1）、隐含在中间品出口的本国碳排放最终被贸易伙伴国吸收的部分（EEX2）、隐含在中间品出口的本国碳排放最终被第三国吸收的部分（EEX3）、来源于国内的碳排放经过贸易又返回国内的部分（REE_B）。这与图 1 右侧国内增加值（DVA）分解的各个部分一一对应。

（二）制造业服务要素投入的现状分析

当前，以数字化、信息化为代表的知识经济浪潮席卷全球，服务要素与制造业传统生产要素的融合，是增强企业核心竞争力的重要手段。苹果是最成功的高科技公司之一，主要从事计算机、移动通讯和传播设备、便携式音乐播放器及相关软件等产品的设计、制造和销售，苹果公司通过控制研发、销售等高端服务环节，逐渐形成制造产品的全球核心竞争力。发达国家正是将传统制造业与研发设计、大数据互联、物联网等服务领域紧密融合，进而主导全球生产网络。从国内看，近年来中国“头部”企业正在积极尝试服务要素与传统制造业的有机结合，并已初见成效。如华为公司重视研发与创新投入，从 1992 年起就坚持至少将每年 10% 的销售

额作为研发投入，进而推动华为从传统加工制造企业升级为专注产品研发、设计、技术支持的综合性企业，极大提升了企业国际竞争力。本文基于 WIOD 数据，计算了 2014 年主要经济体（GDP 排名前五位）服务要素投入水平（如下图 2）。总体来看，我国制造业服务要素投入占比较低，与美国、日本等主要发达国家差距明显。

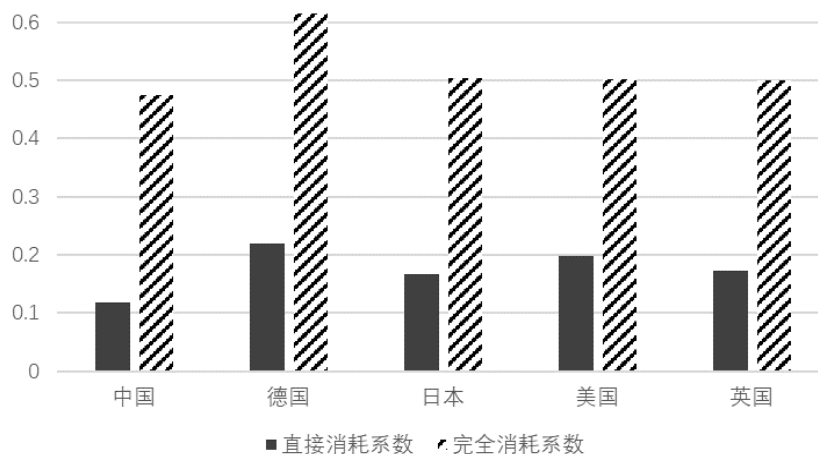


图 2 2014 年制造业服务要素投入（由完全消耗系数和直接消耗系数测度）

数据来源：WIOD，经作者计算整理所得。

（三）出口隐含碳的现状分析

下图 3 报告了 2000-2014 年主要经济体出口隐含碳排放强度变化趋势（单位出口增加值引致的碳排放），从时间趋势看，金融危机后，中国、美国出口隐含碳排放强度均有一定程度下降，德国、英国和日本始终维持在相对较低的水平，从国家对比，中国出口隐含碳排放强度仍然高于其他主要发达经济体。下图 4 报告了 2000-2014 年主要经济体出口引致的国内碳排放总量变化趋势。从时间趋势看，德国、英国和日本变化不大，美国在金融危机后出现了明显下降，其后保持基本稳定，2001 年入世后中国出口引致的碳排放增速明显加快，2008 年金融危机后随着贸易降低而出现下滑，但金融危机过后又出现了反弹。总之，不管从出口隐含碳排放强度看，还是从出口引致的国内碳排放总量看，中国碳排放始终维持在高位，碳减排的压力较大。

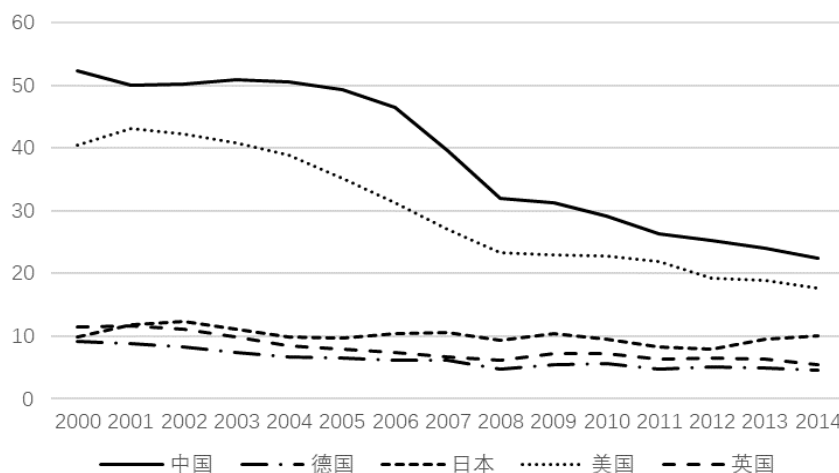


图 3 2000-2014 年全球主要经济体出口隐含碳排放强度变化趋势（单位：吨/万美元）

数据来源：WIOD，经作者计算整理所得

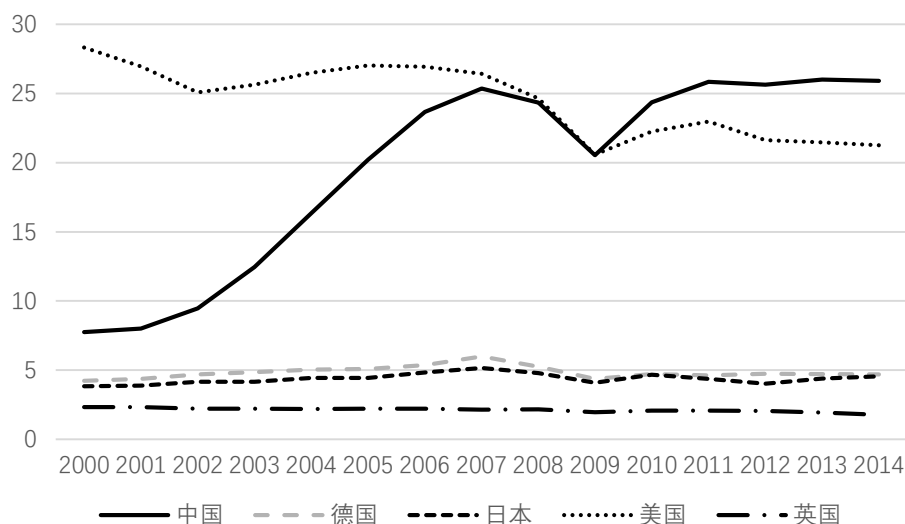


图4 2000-2014年全球主要经济体出口引致的国内碳排放总量变化趋势 (单位: 亿吨)

数据来源: WIOD, 经作者计算整理所得

四、模型构建

(一) 计量模型的建立

借鉴王锋等(2010)的研究,^①本文构建计量模型如下:

$$CE_{ijmt} = \beta_0 + \beta_1 Serviceinput_{ijt} + \beta Controls + v_j + v_t + v_m + \varepsilon_{ijmt} \quad (3)$$

其中,下标 i 、 j 、 m 和 t 分别表示本国、行业、出口市场和年份。 CE_{ijmt} 表示 i 国 j 行业 t 年出口到 m 目标市场的隐含碳排放强度。 $Serviceinput_{ijt}$ 表示 i 国 j 行业 t 年的制造业服务要素投入水平, $Controls$ 代表控制变量。 v_j 、 v_t 、 v_m 分别表示行业固定效应、年份固定效应和出口市场固定效应。除部分国家实际 GDP 增长率由于存在负值不能取对数外,其他变量均取对数表示。

^②

(二) 变量说明

核心指标的定义和测度已在上文中说明,下文主要对控制变量进行阐释。

①实际人均收入。根据环境库兹涅茨曲线(EKC)假说,随着人均收入的增加,污染排放强度与人均收入呈倒U型关系。因此,本文将出口国实际人均收入和实际人均收入的平方作为控制变量引入计量模型(沈国兵和张鑫,2015)。^③

②实际GDP增长率。当前学术界普遍认为经济增长与碳排放具有相关性,经济增长引致的规模效应可能带来更大的污染排放(Grossman and Krueger,1995)。^④因此,本文将实际GDP增长率作为控制变量引入模型(申萌等,2012)。^⑤

① 王锋、吴丽华、杨超,2010:《中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究》,《经济研究》第2期。

② 由于部分国家某些行业制造业服务要素投入存在0值,本文对该变量采取先加1再取对数处理。

③ 沈国兵、张鑫,2015:《开放程度和经济增长对中国省级工业污染排放的影响》,《世界经济》第4期。

④ Grossman, G. M., and A. B. Krueger, 1995, "Economic growth and the environment", *The quarterly journal of economics*, 110(2), 353-377.

⑤ 申萌、李凯杰、曲如晓,2012:《技术进步、经济增长与二氧化碳排放—理论和经验研究》,《世界经济》第7期。

③第二产业比重。通常经济发展要经历从污染较高的工业型经济到较为清洁的服务型经济的过程，因此，产业结构对碳排放具有重要影响（Shen and Hashimoto, 2004）。^①如果一国第二产业占有较大比重，那么该国的碳排放水平将会较高。因此，本文将第二产业比重作为控制变量引入模型。该指标运用第二产业产出占总产出的比重表示（张伟等，2013）。^②

④行业能源消耗结构。当前学术界的研究普遍认为，能源消耗结构是影响能源消耗效率的重要因素，特别是煤炭占能源消耗的比重是衡量一国环保技术进步的因素之一。能源消耗的碳排放因子的顺序依次为：焦炭>原煤>燃料油>柴油>原油>煤油>汽油>天然气。一国的碳排放强度往往由煤炭占比决定，煤炭占比与能源消耗效率成反比（许士春等，2012）。^③因此，本文将行业能源消耗结构作为控制变量引入模型。该指标运用煤炭占行业能源消耗的比重衡量。

3. 数据说明

WIOD 数据库是本文核心解释变量和被解释变量的主要来源^④，包含 World Input-Output Table、Socio Economic Accounts 和 Environmental Accounts。其中，被解释变量出口隐含碳排放强度的原始数据来源为 World Input-Output Table 和 Environmental Accounts，核心解释变量制造业服务要素投入来源于 World Input-Output Table，本文用于计量分析的样本范围为 2000-2014 年，主回归数据维度为“本国—行业—出口市场—年份”四维层面。

五、基准回归结果及其解释

（一）基准回归结果

表 1（1）-（4）列的因变量是出口隐含碳排放强度，核心自变量为制造业服务要素投入（由完全消耗系数测度）。其中（1）列为不加入任何控制变量的回归，（2）列为加入国家层面经济发展特征控制变量（实际人均收入、实际 GDP 增长率）的回归，（3）列为继续加入产业结构特征变量（第二产业比重）的回归，（4）列为继续加入行业特征变量（行业能源消耗结构）的回归。从计量结果看，制造业服务要素投入的系数均显著为负，与预期一致，表明制造业服务要素投入的提高能够显著降低出口隐含碳排放强度。

从控制变量来看，实际 GDP 增长率的估计系数显著为正，表明经济增长速度快的国家出口隐含碳排放强度会更高（Dasgupta et al., 2002; Panayotou, 2003）。^⑤第二产业比重的估计系数显著为正，说明一国经济结构偏重于工业型经济时，出口隐含碳排放强度会比较高。一国经济发展往往经历从较为污染的工业型经济到较为清洁的服务型经济的过程，第二产业比重较高的国家，出口隐含碳排放强度较高。需要说明的是，人均实际收入平方项的估计系数显著为正，并不符合倒 U 型曲线的关系，行业能源消耗结构变量并不具有显著性，也与预期不一致，这可能是由于制造业服务要素投入对国内增加值（分母）的影响所导致的，这一推测在后文单独对

① Shen, J., and Y. Hashimoto, 2004, “Environmental Kuznets curve on country level: evidence from China”, Discussion Papers in Economics and Business, 4-9.

② 张伟、朱启贵、李汉文，2013：《能源使用、碳排放与我国全要素碳减排效率》，《经济研究》第 10 期。

③ 许士春、何正霞、龙如银，2012：《环境规制对企业绿色技术创新的影响》，《科研管理》第 6 期。

④ <http://www.wiod.org/database/wiots16>.

⑤ Dasgupta, S., B. Laplante, H. Wang, and D. Wheeler, 2002, “Confronting the environmental Kuznets curve”, *The Journal of Economic Perspectives*, 16(1), 147-168; Panayotou, T., 2003. “Economic Growth and the Environment”, United Nations Economic Commission, Geneva.

出口隐含碳总量回归结果中得到了证实。

表 1 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
制造业服务要素投入	-0.4576***	-0.4249***	-0.4028***	-0.4032***
	(-6.08)	(-5.95)	(-5.86)	(-5.89)
实际人均收入		-0.6200***	-0.4780**	-0.5226**
		(-3.32)	(-2.61)	(-2.79)
实际人均收入的平方		0.2804**	0.2052**	0.2255**
		(2.84)	(2.12)	(2.28)
实际 GDP 增长率		0.0426***	0.0383***	0.0374***
		(13.04)	(13.37)	(15.92)
第二产业比重			0.5122***	0.4854***
			(3.48)	(3.30)
行业能源消耗结构				0.2963
				(0.84)
常数项	5.5269***	6.1590***	4.5913***	4.7869***
	(18.34)	(8.66)	(5.39)	(5.72)
行业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
出口市场固定效应	是	是	是	是
观测值	464940	464940	464940	464940
R ²	0.286	0.308	0.311	0.311

注：①括号内数值为 t 统计量；②*、**和*** 分别代表 10%、5%和 1%的显著性水平。

(二) 稳健性检验

1. 指标度量的稳健性检验

第一，制造业服务要素投入对出口隐含碳的影响可能会受到出口增加值（分母）的干扰，也就是说制造业服务要素投入降低了出口隐含碳强度可能是由于通过提高出口增加值实现的，为排除这种影响，本文分别运用出口引致的国内碳排放总量、出口额作为分母的相对量进行稳健性检验，计量结果报告于表 2 第（1）和（2）列。第二，本文对核心解释变量进行了重新测算，运用直接消耗系数进行稳健性检验。直接消耗系数表示的是生产经营过程中某国某部门单位总产出所直接消耗的各国各部门服务的数量，代表了本部门对服务要素的直接性消耗。为排除间接性服务要素消耗对出口隐含碳的影响，深入分析直接性服务要素消耗对出口隐含碳的影响，本文进一步运用直接消耗系数进行稳健性检验，计量结果报告于表 2 第（3）列。表 2 第（1）~（3）列计量结果显示，制造业服务要素投入的符号和显著性与表 1 相比没有发生明显变化，说明上文估计是稳健的。另外需要说明的是，在对因变量为出口隐含碳绝对量的回归中（第（1）列），实际人均收入的平方项显著为负，验证了环境库兹涅茨曲线假说。行业能源消耗结构显著为正，说明以煤炭为主的能源消耗结构会引致更高的出口隐含碳排放，与预期一致。

2. 估计方法的稳健性检验

产业结构、技术进步和能源结构作为影响碳排放的重要因素，其调整的缓慢性决定了污染

排放短期内难以迅速改变，污染排放表现出一定的持续性特征。为此需要在模型中引入被解释变量滞后项。需要指出的是，引入滞后项虽然能作为部分遗漏变量的代理变量，但引入滞后因变量会导致内生性问题，GMM 方法则为解决这一问题提供了有效工具。在进行系统 GMM 之前，本文进行了变量单位根检验，结果发现变量同阶单整，符合进行 GMM 检验的条件^①。表 2 第 (4) 列估计结果显示：制造业服务要素投入的系数依然显著为负。在系统 GMM 两步法的估计结果中，序列相关检验表明 AR(2) 的检验 P 值大于 0.1，说明不存在二阶自相关。系统 GMM 中出口隐含碳滞后项的估计系数显著为正，表明出口隐含碳是一个连续调整的过程，上一期的碳排放会对本期造成持续性和累积性影响，这一结果与李锴和齐绍洲 (2011) 的结论一致。^②

表 2 稳健性检验的估计结果

	出口引致的国内碳排放总量	出口隐含碳排放强度 (出口额为分母)	制造业服务要素投入 (直接消耗系数)	系统 GMM 检验
	(1)	(2)	(3)	(4)
制造业服务要素投入	-0.3258** (-2.64)	-0.3924*** (-5.85)	-0.4823*** (-4.61)	-0.2041** (-2.13)
实际人均收入	11.9097*** (13.10)	-0.7888*** (-3.49)	-0.2481*** (-4.80)	-0.8564*** (-10.49)
实际人均收入的平方	-4.3748*** (-10.36)	0.3225*** (3.00)	0.2473*** (6.65)	0.3254*** (9.57)
实际 GDP 增长率	0.1914*** (5.30)	0.0226*** (13.08)	0.0359*** (14.89)	0.0181*** (6.47)
第二产业比重	0.0503* (1.76)	0.3538** (2.57)	0.5678*** (3.11)	0.1002 (1.41)
行业能源消耗结构	14.9444*** (6.98)	0.1856*** (10.42)	0.2210*** (10.99)	0.1568*** (7.77)
被解释变量的滞后项				0.4663*** (26.85)
AR(1)				[0.000]

① 在进行系统 GMM 估计前，本文同时运用 LLC 检验、IPS 检验、PP 检验和 ADF 检验对各变量进行平稳性检验，被解释变量和解释变量在水平状态均具有单位根，本文进一步对被解释变量和解释变量进行一阶差分后进行平稳性检验，结果表明：在 1% 显著性水平下，被解释变量和解释变量均拒绝单位根，说明被解释变量与解释变量均为同阶平稳。

② 李锴、齐绍洲，2011：《贸易开放、经济增长与中国二氧化碳排放》，《经济研究》第 11 期。

AR(2)				[0.642]
常数项	-82.0007***	6.9216***	1.3913**	6.9740***
	(-20.92)	(7.48)	(2.15)	(8.77)
行业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
出口市场固定效应	是	是	是	是
观测值	464940	464940	464940	433944
R ²	0.037	0.141	0.142	

注：①括号内数值为 t 统计量；②*、**和*** 分别代表 10%、5%和 1%的显著性水平；③[]内代表 AR(1)和 AR(2)的 P 值。

六、机制检验

由上文可知：制造业服务要素投入可以通过要素配置效应、技术效应和转移效应降低出口隐含碳排放强度。接下来，本文对这三种效应进行检验。在计量分析前，需要对要素配置效应、技术效应和转移效应进行指标度量。

第一，本文运用 DEA 研究方法测算不同行业下各国能源要素配置效率（魏楚和沈满洪，2007）。^①首先，本文将行业资本存量、行业劳动人数和行业能源消耗量作为投入要素，行业总产出作为产出变量，将不同行业下每个国家作为一个生产决策单位；其次，基于投入方向测算不同行业下各国在样本期间的技术效率；再次，将国家层面贷款利率、劳动力人均工资、进口能源价格分别作为行业资本、行业劳动力和行业能源价格的投入向量，基于投入方向测算国家间各行业在样本期间的经济效率；最后，求解经济效率和技术效率的比值，得到不同行业下各国在样本期间的配置效率。其中，利率数据来源于世界银行 WDI 数据库，劳动力人均工资来源于 WIOD Socio-Economic Accounts 数据库，进口能源价格数据来源于 OECD 数据库。需要说明的是，计算要素配置效应所需的总产出等变量仅能具体到“本国—行业—年份”三维层面，无法计算“本国—行业—出口市场—年份”四维层面的数据。

第二，本文借鉴 Fare et al.（2007）和张伟等（2013）的研究，^②运用环境方向距离函数计算各国行业间碳减排的技术进步增长率，以此衡量技术效应。首先，本文将行业资本存量、行业劳动人数和行业能源消耗量作为投入要素，行业总产出和行业 CO₂ 排放分别作为总产出和副产出，并将不同行业下的每个国家作为一个生产决策单位；其次，基于产出方向，测算不同行业下各国在样本期间的 Malmquist 生产率指数；再次，通过对 Malmquist 生产率指数的分解，可以得到由于技术进步而引起的碳排放降低的部分，即各国行业层面碳减排的技术进步增长率。

① 魏楚、沈满洪，2007：《能源效率及其影响因素:基于 DEA 的实证分析》，《管理世界》第 8 期。

② Färe, R., S. Grosskopf, and C. A. Pasurka, 2007, “Environmental production functions and environmental directional distance functions”, *Energy*, 32(7), 1055-1066; 张伟、朱启贵、李汉文，2013：《能源使用、碳排放与我国全要素碳减排效率》，《经济研究》第 10 期。

需要说明的是，与上文要素配置效应相同，计算技术效应所需的总产出等变量仅能具体到“本国—行业—年份”三维层面，无法计算“本国—行业—出口市场—年份”四维层面的数据。另外，由于测算的是技术进步增长率，因此初始年份观测值缺失。

第三，本文使用两种方法对转移效应进行衡量。首先，本文借鉴马述忠和陈颖（2010）、^①张为付和杜运苏（2011）等学者的研究，^②将一国进口隐含碳与出口隐含碳之差（进口隐含碳减去出口隐含碳）定义为一国转移的碳排放。该值为正，说明：国内消耗的碳排放比国内生产消耗的碳排放要多，即通过贸易将国内碳排放转移到了其他国家。需要说明的是，在“本国—行业—出口市场—年份”四维数据中，我们既不能“剥离”某行业进口中间品用于该行业出口和国内销售部分，更不能“追溯”该部分隐含碳的出口市场“轨迹”。因此，要实现出口隐含碳和进口隐含碳的有效对接，只能运用“本国—年份”二维数据，这也与上文学者的研究一致；其次，本文借鉴彭水军等（2015）的研究，^③选择国外碳排放占出口碳排放总量的比重作为碳转移效应的检验指标。占据价值链高端环节的领先国家，将碳排放强度高的生产环节递延至处于价值链低端环节的国家，即以进口其他国家中间品的方式“避免”本国的碳排放，进而实现了碳排放的国外转移。出口碳排放中来源于国外的碳排放比例越高，其碳转移效应越明显。

中介效应模型在管理学、心理学等学科研究中得到广泛应用（温忠麟等，2005;Hao et al., 2015），^④近年来，开始逐渐应用于经济学领域，但具体到本文研究，囿于数据可获性，中介变量的数据维度与被解释变量并不一致，因而在中介效用模型第一阶段无法得到准确的回归结果，本文退而求其次，通过引入交互项的方式对影响机制进行考察（Law et al., 2017; 孙永强和巫和懋，2012; 甄红线等，2015）。^⑤估计结果如下表 3 所示，制造业服务要素投入与要素配置效率、技术进步率和转移效应的交互项系数均显著为负，说明制造业服务要素投入可以通过提升要素配置效率、提高技术进步率和促进碳转移三条途径降低出口隐含碳排放强度。

表 3 机制检验的估计结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	要素配置效率	碳减排技术进步率	贸易碳排放的净差额	国外碳排放占比
制造业服务要素投入	-0.3355*** (-4.49)	-0.0967* (-2.10)	-0.3872*** (-5.83)	-0.2572*** (-2.97)
制造业服务要素投入×影响效应	-2.0973** (-2.19)	-3.2818*** (-3.48)	-4.5756** (-2.59)	-2.1046*** (-10.81)
影响效应	0.7158**	0.1725***	-0.5702***	-3.8875***

① 马述忠、陈颖，2010：《进出口贸易对中国隐含碳排放量的影响:2000-2009 年—基于国内消费视角的单一区域投入产出模型分析》，《财贸经济》第 12 期。

② 张为付、杜运苏，2011：《中国对外贸易中隐含碳排放失衡度研究》，《中国工业经济》第 4 期。

③ 彭水军、张文城，孙传旺，2015：《中国生产侧和消费侧碳排放量测算及影响因素研究》，《经济研究》第 1 期。

④ 温忠麟、侯杰泰、张雷，2005：《调节效应与中介效应的比较和应用》，《心理学报》第 3 期; Hao, S., W. Hong, H. Xu, L. Zhou, and Z. Xie, 2015, "Relationship between resilience, stress and burnout among civil servants in Beijing, China: mediating and moderating effect analysis", *Personality and Individual Differences*, 83, 65-71;

⑤ Law, S. H., A. M. Kutan, and N. A. M. Naseem, 2017, "The role of institutions in finance curse: Evidence from international data", *Journal of Comparative Economics*, In press; 孙永强、巫和懋，2012：《出口结构、城市化与城乡居民收入差距》，《世界经济》第 9 期; 甄红线、张先治、迟国泰，2015：《制度环境、终极控制权对公司绩效的影响—基于代理成本的中介效应检验》，《金融研究》第 12 期。

	(2.44)	(4.36)	(-6.78)	(-20.98)
实际人均收入	-0.4852**	-0.5171**	-0.5159**	-1.1058***
	(-2.65)	(-2.85)	(-2.77)	(-6.24)
实际人均收入的平方	0.2059**	0.2309**	0.2219**	0.4420***
	(2.15)	(2.40)	(2.26)	(4.96)
实际 GDP 增长率	0.0366***	0.0344***	0.0312***	0.0108***
	(14.99)	(16.00)	(16.08)	(7.54)
第二产业比重	0.4775**	0.5264***	0.2868*	0.2471*
	(2.85)	(3.47)	(1.86)	(1.97)
行业能源消耗结构	0.2396	0.0398	-0.1864	-0.1034
	(0.72)	(0.12)	(-0.70)	(-0.35)
常数项	4.5809***	2.1626*	5.5706***	10.2623***
	(5.33)	(2.06)	(6.39)	(14.41)
行业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
出口市场固定效应	是	是	是	是
观测值	464940	433944	464940	464940
R ²	0.312	0.325	0.320	0.448

注：①括号内数值为t统计量；②*、**和*** 分别代表10%、5%和1%的显著性水平。

七、结论与政策建议

改革开放以来，中国出口“爆炸式”增长为经济发展做出巨大贡献，然而在成为全球出口第一大国的同时，伴随而来的环境污染问题不容忽视。本文从价值链参与的环境成本视角出发，计量分析制造业服务要素投入对出口隐含碳的影响。结果显示：制造业服务要素投入能够显著降低出口隐含碳的排放强度。本文进一步对影响机制做了深入分析，制造业服务要素投入主要通过要素配置效应、技术进步效应、转移效应降低了本国出口隐含碳排放强度。由于本文采用的是全球跨国层面的投入产出数据，因此更能反映出服务要素投入对全球价值链参与环境成本影响的一般规律。

本文结论具有较强的政策意涵。首先，从要素配置角度看，加强生产性服务业和制造业协同发展的顶层设计，加快服务业对外开放，降低国内市场壁垒，增加高端服务要素供给，提高服务业对制造业的渗透率，增加制造业环节中的服务要素投入比重，推动生产要素投入结构的优化升级；其次，从技术进步角度看，充分发挥研发、设计等“软性”服务要素的创新引擎作用，增加对节能减排技术的投资，提高能源使用和要素转换效率，降低碳排放强度；再次，从转移效应角度看，积极承接国际服务业转移，推动发展服务型制造，梯度淘汰落后产能，有序转移过剩产能，加强生产性服务业对高能耗、高污染落后产业“腾笼换鸟”的力度。总之，充分发挥服务要素在出口企业转型升级中的引领作用，推动制造业企业向“微笑曲线”两端延伸，促进企业在全价值链体系中的“绿色升级”。

由于学术能力所限，诸多问题仍亟待解决。与制造业服务要素投入密切相关概念是制造业中服务产出（又称之为制造业产出服务化），是指服务产品在制造业全部产出中占据越来越重要的地位。制造业产出服务化对降低出口隐含碳排放强度同样具有重要意义，但与制造业投入服务化不同，制造业产出服务化并不能直接通过投入产出表计算获得，因此，在现阶段尚无法有效评估制造业产出服务化的环境效应。当然，随着数据可获性的改善，对上述问题的研究也

会逐步清晰。

Service Inputs in Manufacturing and Embodied Carbon Emission of Export: Based on the Environmental Cost of Global Value Chains

Abstract: Accelerating the realization of carbon peak and carbon neutralization is of great significance to the sustainable development of economy and society. Increasing service input and activating the production factor market provide a feasible path to achieve green upgrading in GVCs. Whether service inputs in manufacturing sectors could relieve the carbon emission pressure of export has become a major issue for urgent solution. The paper measures carbon emission intensity index of export from the perspective of actual gains and environmental cost of GVCs participation. On this basis, we empirically analyze the impact of service input in manufacturing on embodied carbon of export. The result shows that the service input in manufacturing sectors reduces the export carbon emission intensity. Then we further empirically test the impact mechanism, which effect on embodied carbon emission through factor allocation effect, technical progress effect and carbon transfer effect. Therefore, increasing service inputs in manufacturing sectors should be a key point of supply side reform. This paper could provide a practical and effective path for China's trade structural transformation under the low carbon background.

Key Words: Service inputs in Manufacturing ; Embodied Carbon Emission of Export; Export Value Added