

制造业服务化对碳强度的影响研究

王宏森¹, 周辉², 何冬妮³

(1. 东北大学工商管理学院, 沈阳110819; 2. 天津市工业和信息化研究院, 天津300203;

3. 中国(海南)改革发展研究院, 海口570311)

摘要:在传统要素优势减弱、生态环境约束趋紧的背景下,构建现代化、清洁化、可持续的制造业发展新体系具有重要的现实意义。引导制造业和服务要素深度融合,是兼顾经济效益和环境效益、实现制造业绿色发展的可行路径。本文实证分析了制造业服务化对碳强度的影响,结果表明:制造业服务化能够降低碳强度;低技术制造业服务化的碳减排效应最强,发达经济体制造业服务化对碳排放的抑制作用优于发展中经济体;制造业投入知识密集度越高的服务要素,碳减排效果越强;劳动生产率提高和产业结构优化是制造业服务化降低碳强度的中间渠道。因此,应制定合理化、精准化、差异化的经济和环境政策,促进服务要素深度融入制造企业的生产过程,提升制造业服务化水平,以推动制造业绿色发展、助力“双碳”目标顺利实现。

关键词:制造业服务化;碳减排;转型升级;技术创新

中图分类号: F062.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002—980X(2022)2—0096—12

一、引言

制造业是国民经济的重要组成,制造业发展水平在很大程度上代表国民生产力水平和现代化程度。面对全球经济从以制造为中心向以服务和创新为中心转变的趋势(郭跃进,1999),立足于新需求创造的机遇,重塑制造业核心竞争力具有迫切性和可行性。此外,由于新兴技术的不断发展和服务分离度的不断提高,制造业通过整合和吸收相对“清洁”的服务要素,有利于向节能低碳、智能高效的绿色发展转型。并且,中国将力争2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和。随着越来越多的国家和地区对经济发展施加碳约束,服务化转型作为平衡经济与环境可持续发展的新模式具有明显优势(Mont,2002)。一方面,作为全球最大的碳排放国,中国推动碳减排对中国和世界具有重要的战略意义;另一方面,作为世界上工业体系最完整、产业配套最完善的制造基地,中国制造业大而不强的矛盾依然存在(祝树金等,2019)。在碳约束背景下,借助制造业服务化在降低碳强度的同时提高产业核心竞争力具有现实需求。由此,制造业服务化能否抑制碳强度?制造业服务化在不同经济体、行业和服务要素下的碳减排效果有何差异性特征?制造业服务化影响碳强度的传导机制是什么?探讨这些问题对于在碳约束下实现经济高质量发展具有理论和实际意义,也是本文的研究重点。

二、文献综述

随着服务业的发展,分工合作机制日趋完善,服务化转型逐渐成为制造业发展变革的必然趋势(高翔和袁凯华,2020)。从世界各国看,无论是“美国先进制造伙伴计划”“德国工业4.0”还是“中国制造2025”等战略规划,制造业服务化都被视为产业转型升级的关键环节。服务化(servitization)是指通过在研发和生产过程中加入服务元素,实现商业模式从只提供有形的产品向提供“产品+服务”的转变(Vandermerwe和Rada,1988)。本文主要将制造业投入服务化作为服务化水平的衡量指标。作为制造业服务化的一个重要方面,投入服务化是指研发、物流、广告等服务要素作为中间投入在生产过程中所占比例不断增加(刘斌和赵晓斐,2020),使得价值创造模式和资源利用方式发生改变的过程。加快吸收和融合先进服务要素,提高制造业服务化水平,是实现制造业转型升级的有效途径(王娟和张鹏,2019)。

收稿日期:2021-08-24

基金项目:国家社会科学基金重点项目“从服务项下的自由贸易走向全面开放”(19@ZH027)

作者简介:王宏森,东北大学工商管理学院博士研究生,研究方向:产业经济与政策;周辉,天津市工业和信息化研究院高级咨询师、工程师,研究方向:数字经济、能源经济;何冬妮,博士,中国(海南)改革发展研究院研究员、副院长,研究方向:国际经济。

国内外学者对制造业服务化作用的研究主要从经济效益的角度展开。例如,制造业服务化通过吸纳优质服务要素,优化资源配置效率,降低企业生产成本,产生规模效益和范围效益(Grossman and Rossi-Hansberg, 2008; 刘斌等, 2016);改善企业参与国际供应链、产业链的程度和地位,有利于产品向价值链高端攀升(刘斌等, 2016; 许和连等, 2017);对提高制造企业创新能力产生积极影响,通过技术进步促进制造业劳动生产率的提升(李方静, 2020);有利于不断加强制造业与服务业的协调发展,有效推动制造业转型升级(周大鹏, 2013)。可见,在国际分工和低碳目标背景下,制造企业单纯依靠传统资源和市场份额的优势将无法保障持续的盈利能力,附加上下游的服务活动会成为制造业价值增长新的潜力点。

制造业碳减排研究侧重于碳排放分解及影响因素分析。在仅考虑碳排放总量的前提下,多数专家认为影响碳减排的主要因素是能源强度、能源结构和经济增长(Wang et al, 2005)。在兼顾碳减排和经济增长的考量下,学者们认为效率提升和结构优化是减少碳排放的重要路径(潘雄锋等, 2011; 邵帅等, 2017)。结构优化和效率提升有赖于技术进步。因此技术进步可以通过转变发展方式,为实现环境和经济协调发展提供支持(朱俏俏等, 2014; 史丹和张成, 2017)。制造业是需要节能减排的重点产业,在保持稳定发展的同时确保“双碳”目标顺利实现,关键在于推动产业技术创新和转型升级。

有一些学者对制造业服务化的环境效应进行了思考。Rothenberg(2007)较早研究了制造业服务化对环境的影响,认为制造业服务化通过提升企业生产率及资源利用率来减少资源消耗和环境污染。祝树金等(2020)从能源角度研究中国制造业服务化的节能效应,认为制造业服务化通过技术创新效应、要素结构优化效应和规模扩张效应降低能源强度。王向进等(2018)和饶畅(2013)分别基于中国国内和广东珠三角地区的数据,提出制造业投入服务化可以减少碳排放。综上所述,制造业服务化对碳减排具有积极作用。缓解经济增长与环境保护之间的矛盾,需要加快推进制造业服务化转型,利用先进技术提升制造业低碳发展水平。

梳理现有文献后发现,关于制造业服务化的研究主要侧重于经济效应视角,而对制造业碳减排的研究则侧重于因素分解与演化分析,缺乏对制造业服务化与碳强度之间关系的深入研究;部分文献使用国内外数据对接或微宏观数据结合的方式,在版本时效、时间跨度和统计口径等方面难免存在局限性;异质性分析主要侧重于服务要素投入等方面,缺少对于不同类型经济体异质性特征的研究。本文从宏观角度探索制造业服务化的碳减排效应,主要贡献在于:①综合考虑生态效益和经济效益目标,定量分析制造业服务化对碳强度影响的大小和方向,阐释影响机制;②使用最新版、同口径的世界投入产出数据库(WIOD)和欧盟委员会联合研究中心(JRC)环境账户数据库,利用基于年份、经济体和行业的三维面板数据进行实证分析,完善了完全碳强度等核心变量的测度方法;③基于全球视角分析共性,推导出等碳效率线,进一步分析异质性,对充分考虑差异性下推动制造业服务化转型,精准施策促进企业转型升级具有参考意义。

三、理论分析

(一)理论假设

回顾以往文献发现,劳动生产率提高和产业结构优化不仅是制造业服务化作用的结果,也是碳减排的影响因素。本文基于“制造业服务化水平提升-劳动生产率提高和产业结构优化-碳强度降低”路径来验证关联性。

1. 制造业服务化通过“规模效应”提高劳动生产率从而增加碳效率

在劳动生产率水平低下的粗放型增长阶段,制造企业在品牌、研发、设计等服务方面的积累相对薄弱,依靠生产要素的大量投入来实现生产规模的扩大,从而使得制造企业长期停留在高能耗、低利润的生产环节(刘志彪和张杰, 2009),造成低效率的CO₂排放。因此,要实现低碳化的经济增长,关键在于提高劳动生产率。大量研究表明,制造业服务化将为劳动生产率的提升注入新动力:①基于迂回生产理论(roundabout production),服务化策略充分发挥生产性服务作为制造业“传递器”的作用,将知识和人力资本嵌入到诸生产环节中,可以提高制造企业的技术含量、经营效率和产出规模,降低固定成本和可变成本(Grossman and Rossi-Hansberg, 2008),节省的成本可以投入扩大生产或技术研发,进一步推动劳动生产率的提高;②根据国际生产分工理论(international division),各国企业基于专业化分工和比较优势,从外部服务提供商处采购效率更高、费用更低、质量更好的产品和服务作为投入要素(刘明宇等, 2010)。这使得制造企业能够精简不必

要的内部部门,更加专注于主业,提升整个制造过程的资源配置效率,提高劳动生产率;③根据产业集聚理论(industrial agglomeration),制造企业和生产性服务企业由于共性和互补性而紧密相连,制造业服务化加强了企业之间的生产联系,为产业集群的形成提供了平台,使信息、人才、资本等要素充分共享。这种外部经济和溢出效应扩大了技术受益的范围,提高了劳动生产率(刘继国和李江帆,2007)。劳动生产率的提高带动了制造业整体产出规模的扩大,为提高单位碳排放下的总产出的提供了重要抓手,从而从“规模效应”的角度降低了碳强度。

2. 制造业服务化通过“替代效应”优化产业结构减少碳排放

产业结构优化依赖于知识和人力资本的不断积累,是社会分工深化、专业化水平提升和资源配置效率提高的过程(Montobbio, 2002)。以服务化为导向的产业结构转型成为全球制造业发展的重要趋势(Vandermerwe和Rada, 1988),通过提高产品中服务要素的知识密集度,引发要素结构和产业结构的“软化”,由此为降低碳排放的提供重要动力(史丹和张成,2017);①随着由“生产型制造”向“服务型制造”转变,更多源于制造业需求的生产性服务业得到开发和扩展。制造业服务化加强了产业间的协同联动,形成了产业化服务与集约化制造相互支撑的动态网络(王娟和张鹏,2019),优化了产业结构的同时,避免了产业空心化和环境负外部性;②服务要素与生产环节的结合是对传统要素结构、生产范式和产业体系的创新。根据产品生命周期理论(product life cycle),随着竞争的加剧,为适应新环境、培育新优势,进入成熟阶段的制造企业加大在服务方面的投入,而无法适应战略转型的企业则难以生存、逐渐被市场淘汰。企业不断向更有效率的市场主体转变,提升了资源配置效率,推动了产业结构的动态优化(谢众和李婉晴,2020);③根据产业转移理论(industrial transfer),发达地区的制造企业往往将其生产过程中的劳动密集型环节转移到发展中地区,而将研发、设计、服务等技术密集型环节留在境内。这种对生产环节的主动选择和企业的自发行为,促进了经济一体化和跨区域协调合作,优化了产业结构的整体布局,为由局部碳减排向整体碳减排过渡创造了条件。综上所述,组织体系、商业模式和资源配置的重新整合是制造业服务化的基本特征(陈丽娴和沈鸿,2017),促使了投入结构和产出结构的调整。一方面,生产过程向精细高效、绿色集约的新模式转变,衍生出许多以专业化服务为导向的“低碳”业态;另一方面,用相对更加“清洁”的服务要素替代实物要素,可以减少对生态环境的负外部性(Reiskin et al, 2000)。因此,制造业服务化推动产业结构向高端化、绿色化、智能化的方向转型,有助于培育制造业竞争新优势,从“替代效应”角度为制造业碳减排提供了新思路。

假设 H1:制造业服务化能够降低碳强度;

假设 H2:劳动生产率提高和产业结构优化是制造业服务化降低碳强度的有效途径。

上述传导机制分析如图1所示。

(二)模型分解

根据碳强度定义,分解公式如下:

$$CI = \sum_{ij} \frac{C_{ij}}{Y} = \sum_{ij} \frac{Y_i}{Y} \times \frac{E_i}{Y_i} \times \frac{E_{ij}}{E_i} \times \frac{C_{ij}}{E_{ij}} = \sum_{ij} SI_i \times EI_i \times ES_{ij} \times CC_{ij} \quad (1)$$

其中:CI为碳强度;Y为制造业总产值;i为制造业内行业部门;j为能源种类;C为CO₂排放量;E_j为第j种能源消耗量;Y_i为制造业内第i行业产值。为便于表述,Y_i/Y用SI_i表示,为i行业在制造业总产值中的份额,即行业结构;E_i/Y_i用EI_i表示,为i行业单位产值能耗,即能源强度;E_{ij}/E_i用ES_{ij}表示,为i行业中j类能耗的比重,即该行业的能源结构;C_{ij}/E_{ij}用CC_{ij}表示,为i行业j能源的CO₂排放量,即碳排放系数。

基于前文的分析,在式(1)基础上加入制造业服务化(Ser_{ij})对碳强度(CI)的影响,使用对数平均迪式指数(logarithmic mean divisia index, LMDI)分解法,CI从基期0到T期的变化如下:

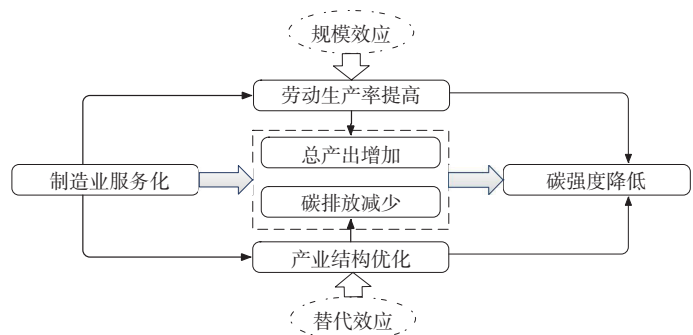


图1 传导路径分析

$$\begin{aligned}
\Delta CI &= CI^T - CI^0 = \Delta SI_i + \Delta EI_i + \Delta ES_{ij} + \Delta CC_{ij} + \Delta Ser_{ij} + \varepsilon = \\
&\underbrace{\frac{CI^T - CI^0}{\ln CI^T - \ln CI^0} \times \ln \frac{SI^T}{SI^0}}_{\text{制造业内部结构变化的影响}} + \underbrace{\frac{CI^T - CI^0}{\ln CI^T - \ln CI^0} \times \ln \frac{EI^T}{EI^0}}_{\text{能源强度变化的影响}} + \underbrace{\frac{CI^T - CI^0}{\ln CI^T - \ln CI^0} \times \ln \frac{ES^T}{ES^0}}_{\text{能源结构变化的影响}} + \\
&\underbrace{\frac{CI^T - CI^0}{\ln CI^T - \ln CI^0} \times \ln \frac{CC^T}{CC^0}}_{\text{碳排放系数变化的影响}} + \underbrace{\frac{CI^T - CI^0}{\ln CI^T - \ln CI^0} \times \ln \frac{Ser^T}{Ser^0}}_{\text{制造业服务化水平变化的影响}} + \underbrace{\varepsilon}_{\text{误差项}}
\end{aligned} \quad (2)$$

根据式(2)的分解,为降低碳强度,需要优化产业结构,淘汰落后和过剩的产能,发展低碳高效的高端制造业(潘雄锋等,2011);加大研发投入力度,激发技术创新活力,提高能源利用水平;减少化石能源的使用比例,适度增加清洁能源的使用;在碳排放约束下,努力提高产业增加值。

在生产过程中,生产单位除了产生合意的产出(desirable output,如GDP、食品等),还会产生非合意的产出(undesirable output,如SO₂、面源污染物等)。利用Cobb-Douglas函数,假设投入资本(K)、能源(E)、服务要素(S)和劳动力(L)作为生产要素,将制造业行业产值(Y)作为合意产出,CO₂排放量(C)为非合意产出,A为技术水平,得到以下公式:

$$\begin{aligned}
Y &= A_y K^{\alpha_y} L^{\beta_y} E^{\gamma_y} S^{\delta_y} \\
C &= A_c K^{\alpha_c} L^{\beta_c} E^{\gamma_c} S^{\delta_c} \\
CI &= \frac{C}{Y} = A' K^{\alpha'} L^{\beta'} E^{\gamma'} S^{\delta'} \\
\ln CI &= \ln A + \alpha \ln K + \beta \ln L + \gamma \ln E + \delta \ln S + \varepsilon
\end{aligned} \quad (3)$$

其中: α 、 β 、 γ 、 δ 为各生产要素的产出弹性; ε 表示随机干扰的影响。

式(3)表明,除能源外,服务、资本、劳动力和技术水平同样对碳强度产生影响。为进一步验证上述推论,下文将设计模型进行研究。

四、数据处理和模型设定

(一)模型设定

结合前文分析,设计如下普通最小二乘回归(OLS)计量模型:

$$\ln Carbon_{ipt} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Service_{ipt} + \alpha_2 Control_{ipt} + \mu_i + \mu_p + \mu_t + \varepsilon_{ipt} \quad (4)$$

其中:下标*i*、*p*、*t*分别为行业、经济体和年份;*Carbon*为碳强度水平;*Service*为制造业服务化程度; α 为待估参数;*Control*为控制变量; μ_i 、 μ_p 、 μ_t 分别为行业、经济体和年份的固定效应; ε_{ipt} 为随机误差项。

1. 核心解释变量:制造业服务化(lnService)

目前学界主要是根据投入产出表,计算制造业单位产值对服务的消耗系数来衡量制造业服务化水平(Vandermerwe和Rada,1988;祝树金等,2020)。消耗系数包括直接消耗系数和完全消耗系数。直接消耗系数反映了部门单位产品生产过程中对中间产品的直接消耗,计算公式如下:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

其中: x_{ij} 是*j*部门中间消耗第*i*部门产品的数量; X_j 是*j*部门总产值; a_{ij} 表示*j*部门生产单位产品对*i*部门产品的消耗量。*n*个部门的直接消耗系数矩阵(*A*)为

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

完全消耗系数(b_{ij})是指*j*部门生产一单位最终产品需要完全消耗第*i*部门产品的数量,代表部门之间的直接和间接联系。设单位矩阵为*I*,当各部门都生产一单位的产品时,直接消耗各部门产品总量为 $X^{(0)} = AI$,第一次间接消耗为 $X^{(1)} = AX^{(0)} = A^2I$;以此类推,第*k*-1次间接消耗为 $X^{(k-1)} = A^kI$ 。根据列昂惕夫投入产出模型(leontief input-output model),完全消耗系数矩阵为

$$B = \lim_{k \rightarrow \infty} (A + A^2 + \dots + A^k) = (I - A)^{-1} - I = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

与式(6)的直接消耗系数相比,式(7)的完全消耗系数考虑了间接消耗,反映了制造业服务化的全过程,计算更为复杂和准确。但是,用完全消耗系数作为制造业服务化的量化指标可能存在一定缺陷。因为在其他条件相近的情况下,中间投入高的部门往往具有更高的完全消耗系数,可能引致服务的重要性被高估,从而与实际的服务化程度不一致。为了弥补这一不足,本文综合了杨玲(2015)的直接依存度和刘斌等(2016)的完全消耗系数法,用完全依存度来衡量制造业服务化水平:

$$Service_{ij} = \frac{b_{mj}}{\sum_{i=1} b_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

其中: b 为完全消耗系数;下标 i, j, m 分别代表各经济部门、制造业内行业部门和服务业部门。

2. 被解释变量:碳强度($\ln Carbon$)

碳强度为完全碳排放与总产出的比值,综合考虑了经济增长和生态保护双重目标。完全碳排放包括了本部门直接碳排放和对于其他部门的间接消耗所引致的碳排放(潘安和魏龙,2016)。黄玉霞和谢建国(2019)采用完全碳强度法,即以单位产值的完全碳排放作为衡量碳减排的指标,其计算公式如下:

$$\bar{C} = [\bar{C}_1 \quad \bar{C}_2 \quad \dots \quad \bar{C}_n] \quad (9)$$

$$Y = [Y_1 \quad Y_2 \quad \dots \quad Y_n] \quad (10)$$

$$Carbon = \overline{Carbon} B = \begin{bmatrix} \bar{C}_1 & \bar{C}_2 & \dots & \bar{C}_n \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_n \end{bmatrix} [(I - A)^{-1} - I] \quad (11)$$

其中: $\bar{C}$ 为各经济部门 CO_2 直接排放行向量; Y 为各经济部门总产出行向量; $\overline{Carbon}$ 为直接碳强度; B 为Leontief逆矩阵; $Carbon$ 为完全碳强度。这种计算方法实际上类似于求各系数的加权平均值。本文先利用完全消耗系数计算各部门的完全碳排放,继而计算完全碳排放系数:

$$C = \bar{C}B = [\bar{C}_1 \quad \bar{C}_2 \quad \dots \quad \bar{C}_n] [(I - A)^{-1} - I] = [C_1 \quad C_2 \quad \dots \quad C_n] \quad (12)$$

$$Carbon = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_3 \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_n \end{bmatrix} \quad (13)$$

其中: C 为完全碳排放行向量。

3. 控制变量($Control$)

基于前文分析,参考张友国(2010)的研究,本文选取以下控制变量:能源结构($\ln Enstru$)用非化石能源消耗占比的对数表示,化石能源消耗通常比非化石能源产生更多的 CO_2 排放。能源强度($\ln Energy$)用能耗与产值之比的对数表示,反映制造业能耗管理水平和能源利用技术水平,能源强度越高的行业碳强度越高。人均资本存量($\ln Capital$)表示为名义股本与员工人数比值的对数。资本存量代表了行业发展的现代化、高级化水平,资本密集度越高,碳强度可能越低。资本生产率($\ln Cc$)表示为行业增加值与名义股本之比的对数。资本生产率反映制度完善程度和管理水平等,代表经济增长质量。资本生产率的提高有助于降低碳强度。

(二)数据描述

主要变量的描述性特征见表1。本文使用的数据来源于世界投入产出数据库(World Input-Output Database, WIOD)发布的世界投入产出表(WIOTs)和各经济体的社会经济账户(SEAs),以及JRC发布的环境账户。2016年11月发布的WIOTs和SEAs,根据国际标准行业分类(ISIC Rev.4)修订,涵盖2000—2014年28个欧盟国家和其他15个主要国家(地区),56个行业部门的数据;JRC于2019年8月发布了2000—2016年各国家(地区)能源消耗和 CO_2 排放的相关数据,与WIOD的统计标准完全一致。数据处理如下:相关数据按价格指数平减,并按汇率换算成美元。样本涵盖2000—2014年43个经济体、18个制造业部门的相关数据。

表1 主要变量含义及统计特征

变量		含义	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	$\ln Carbon$	碳强度对数	11496	-1.696	1.193	-9.210	1.855
解释变量	$\ln Service$	制造业服务化对数	11499	-0.794	0.356	-2.664	-0.033
控制变量	$\ln Enstru$	能源结构对数	11498	-0.666	0.580	-5.654	0
	$\ln Energy$	能源强度对数	11498	0.436	1.521	-9.210	6.281
	$\ln Capital$	人均资本存量对数	11485	4.427	1.197	-1.721	9.148
	$\ln Cc$	资本生产率对数	11474	-0.612	0.733	-5.133	7.088

基于数据可以看出, $\ln Carbon$ 与 $\ln Service$ 整体呈线性负相关(图2)。进一步计算 $\ln Carbon$ 与 $\ln Service$ 相关系数, 得出 Pearson 值约为-0.518, Spearman 值约为-0.555, 且都在 1% 水平上显著不为零。表明制造业服务化与碳强度具有很强的负相关性。然后进行方差膨胀因子^①(VIF)检验, VIF 的最大值为 1.34, 排除多重共线性对模型回归的影响。

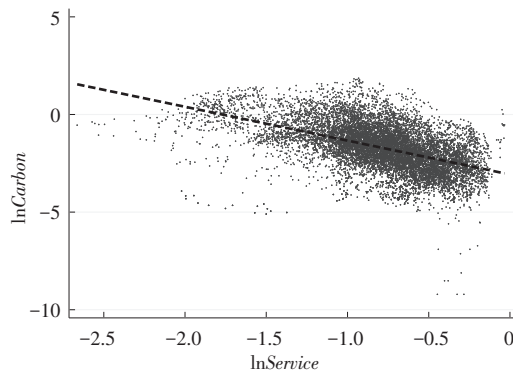


图2 $\ln Carbon$ 与 $\ln Service$ 散点图

四、实证分析

(一) 基准回归结果

Hausman 检验的 p 值为 0, 认为应该使用固定效用模型而非随机效用模型。表 2 为 2000—2014 年, 控制行业、经济体、年份固定效应的基准回归结果。结果显示, 不论是否加入控制变量, $\ln Service$ 与 $\ln Carbon$ 始终成负相关, 结果在 1% 的水平上显著。列(6)表明, 其他条件不变的情况下, 制造业服务化水平每提高 1%, 碳强度将下降 0.579%。控制变量的影响总体符合预期, 由列(6)可知: $\ln Energy$ 与 $\ln Carbon$ 呈显著正相关, 能源强度每增加 1%, 碳强度将增加 0.143%。 $\ln Capital$ 和 $\ln Cc$ 与 $\ln Carbon$ 成负相关, 人均资本存量每提升 1%, 碳强度降低 0.059%。资本生产率每提升 1%, 碳强度下降 0.072%。列(2)显示非化石能源消耗比重的增加对碳强度具有抑制作用, 且在 1% 水平上效果显著。但加入 $\ln Energy$ 后, $\ln Enstru$ 的影响系数不再显著, 可能因为不能完全区分能源结构与能源强度对碳强度的影响。

以上结果表明: 从解释变量看, 制造业服务化对降低碳强度具有积极作用, 验证了假设 H1, 在实证上支持了 Mont(2002) 关于服务化转型环境效应的观点。面对严峻的气候问题, 制造业作为全球温室气体排放的主要来源之一, 迫切需要绿色转型和低碳发展。本节验证了制造业服务化对碳减排具有积极影响, 从而为优化提高制造业碳生产率提供了理论和对策参考。从控制变量看, 能源强度($\ln Energy$)是影响碳强度的最重要因素。能源强度的降低取决于能源效率的提高。通过改进工艺装备、挖掘企业节能潜力, 能够提高能效。因此, 大力研发节能降碳技术, 提高能源利用的经济效益, 是减少温室气体排放、实现绿色发展的重要途径。此外, 人均资本存量和资本生产率对碳减排具有显著促进作用, 与黄玉霞和谢建国(2019)的研究结论类似。健全完善碳资本市场体系, 对于拓宽融资渠道和实现碳减排具有重要意义。在实现“碳转型”的过程中, 即需要启动资金的驱动, 也需要提高资本的利用效率以降低碳投资强度(朱俏俏等, 2014)。因此, 在深化市场化改革的配合下, 高效的资本支持可以有效促进产业整体碳生产率的提高。

表2 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(5)	(6)
$\ln Service$	-0.591*** (0.033)	-0.584*** (0.032)	-0.566*** (0.030)	-0.582*** (0.030)	-0.579*** (0.030)
$\ln Enstru$		-0.091*** (0.008)	-0.021 (0.013)	-0.007 (0.013)	-0.010 (0.012)
$\ln Energy$			0.140*** (0.009)	0.149*** (0.009)	0.143*** (0.009)
$\ln Capital$				-0.159** (0.008)	-0.059*** (0.011)
$\ln Cc$					-0.072*** (0.011)
行业固定效应	是	是	是	是	是
经济体固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
R^2	0.889	0.891	0.897	0.900	0.900
观测值	11496	11495	11495	11481	11468

注: *, ** 和 *** 分别代表在 10%、5% 和 1% 水平下显著; 括号内为稳健标准误。

① 如果最大的 VIF 大于 10 或平均的 VIF 大于 1, 则认为变量存在多重共线性。

(二) 稳健性检验

1. 内生性检验

低碳强度的制造企业可能具备更高的技术水平和更低的生产成本,从而有更多资源用于服务化转型。此外,碳强度受多种因素的影响,固定效应虽然可以在一定程度上缓解估计偏差,但不能完全覆盖可能的影响因素。为避免反向影响和遗漏变量造成的内生性问题,借鉴许和连等(2017)和祝树金等(2019)的研究,采用滞后一期的 $\ln Service$ 作为工具变量 ($L.\ln Service$),通过两阶段最小二乘法 (two stage least square, 2SLS) 估计对 $\ln Carbon$ 的影响系数,见表 3 列(1);参考肖挺等(2014)的做法,对模型进行一阶差分,将内生变量的滞后项作为工具变量 ($D.\ln Service$) 进行 2SLS 回归,见列(2)。

2. 双边缩尾处理

为避免极端值等问题的影响,对 $\ln Service$ 和 $\ln Carbon$ 进行 1% 水平上的双边缩尾处理后进行 OLS 回归,结果见表 3 列(3)。

3. 划分样本期

由于 2008 年金融危机对各经济体影响较大,选取 2000—2008 年和 2008—2014 年两个样本期重新估计系数,以验证模型结论的稳健性,分别见表 3 列(4)、列(5)。

4. 替换指标

用直接消耗系数代替完全消耗系数后,计算制造业对服务投入的直接依存度进行回归,结果见表 3 列(6)。表 3 列(1)、列(2)表明,考虑内生性后,回归系数符号没有变化,结果仍然显著。且 Kleibergen-Paap rk LM 的 p 值均为 0,强烈拒绝不可识别的假设,Cragg-Donald Wald F 检验统计量和 Kleibergen-Paap rk Wald F 检验统计量均大于 5% 临界值,拒绝弱工具变量假设。列(2)~列(4)表明,经过缩尾处理、划分样本期或替换指标后,变量的方向和显著性没有改变。因此,表 3 结果显示本文的核心结论是稳健的。

表 3 稳健性检验回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$\ln Service$			-0.605*** (0.025)	-0.496*** (0.042)	-0.620*** (0.038)	-0.397*** (0.021)
$L.\ln Service$	-0.589*** (0.033)					
$D.\ln Service$		-0.410*** (0.137)				
控制变量	是	是	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是	是	是
Kleibergen-Paap rk LM	927.986***	114.090***				
Kleibergen-Paap rk Wald F	2.3×10^4	120.978				
R^2	0.902	0.903	0.249	0.890	0.910	0.900
观测值	10 703	9 937	10 697	6 886	5 346	11 468

注: *、**和***分别代表在 10%、5% 和 1% 水平下显著,括号内为稳健标准误。省略无控制变量的结果,备索。

六、拓展分析

(一) 异质性分析

由于行业特征存在差异性,各行业制造业服务化对碳排放的影响也不尽相同。参考李金昌和项莹(2014)的做法,将制造业分为高技术行业、中技术行业和低技术行业三类^②,分析行业异质性,见表 4 列(1)~列(3)。此外,不同类型的经济体由于发展阶段、市场化水平和开放程度等的不同,可能产生不同的碳减排效果。根据发展中经济体和发达经济体的分类^③,分析经济体异质性,如列(4)、列(5)。

结果表明,划分行业 and 经济体类别进行异质性分析后, $\ln Service$ 对 $\ln Carbon$ 影响系数

表 4 行业 and 经济体异质性分析结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	低技术行业	中技术行业	高技术行业	发达经济体	发展中经济体
$\ln Service$	-0.694*** (0.035)	-0.664*** (0.051)	-0.360*** (0.041)	-0.595*** (0.033)	-0.474*** (0.044)
行业固定效应	是	是	是	是	是
经济体固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
R^2	0.923	0.900	0.919	0.874	0.914
观测值	3855	3164	4449	8601	2597

注: *、**和***分别代表在 10%、5% 和 1% 水平下显著;括号内为稳健标准误;省略控制变量的估计结果,备索。

② 按照 WIOD 提供的行业代码,具体分类方法为:低技术行业(C10-C12、C13-C15、C16、C17、C18、C31_C32)、中技术行业(C19、C22、C23、C24、C25)和高技术行业(C20、C21、C26、C27、C28、C29、C30)。

③ WIOD 样本数据中共 43 个经济体:发达经济体 33 个、发展中经济体 10 个;未统计港澳等地区数据。发达经济体为澳大利亚、奥地利、爱尔兰、爱沙尼亚、比利时、波兰、德国、丹麦、芬兰、法国、荷兰、韩国、加拿大、捷克、立陶宛、卢森堡、拉脱维亚、马耳他、美国、挪威、葡萄牙、日本、瑞典、瑞士、斯洛伐克、斯洛文尼亚、塞浦路斯、西班牙、希腊、匈牙利、英国、意大利、中国台湾;发展中经济体为俄罗斯、保加利亚、巴西、克罗地亚、罗马尼亚、墨西哥、土耳其、印度、印度尼西亚和中国大陆。

的方向和显著程度没有变化。由表4列(1)~列(3)可以看出,低技术制造业的服务化对碳排放的抑制作用最大,是高技术制造业的1.93倍。这可能是因为低技术制造业对实物要素的消耗较多,服务对实物要素的边际技术替代率更高,制造业服务化的潜力更大、门槛更低,对碳减排的影响更为明显。进一步利用Cobb-Douglas函数和生产环境技术概念(environmental production technology),假设:只有实物资源(W)和服务资源(S)两种生产要素;将制造业产值(Y)作为合意产出, CO_2 排放(C)为非合意产出;用于生产合意产出的要素比例均大于非合意产出。则碳强度的镜像值——碳生产率公式为

$$CP = \frac{Y}{C} = \alpha W^\theta S^\delta, \quad \alpha, \theta, \delta > 0 \quad (14)$$

在坐标系中绘制等碳效率线。可以看出,随着服务要素投入的逐渐增加,服务要素对实物要素的边际技术替代率逐渐降低(图3)。也就是说,中低技术制造业的服务化转型具有更强的环境效应,对能源消耗和环境污染的抑制作用更强。因此,要轻重有别、重点突破的提高制造业服务化水平,让有限的资源能够更大程度地发挥碳减排的作用。建议优先开展中低技术制造业服务化转型试点,形成一批可复制、可推广的低碳技术和发展模式,从而在全面节能减排中发挥示范引领作用。

表4列(4)、列(5)表明,发展中经济体制造业服务化的碳减排效果弱于发达中经济体。这可能是由于发达经济体服务业发展更加成熟和专业,服务作为制造业的中间产品在提高劳动生产率和产品附加值等方面更加高效,服务要素增加引起的合意产出(Y)的增幅大于非合意产出(C)。因此其规模效应更加有利于碳生产率的提升,如图4(a)所示。发展中经济体处于服务化初期,促使了服务要素投入规模的盲目扩张。不完善的环境规制政策也为无序竞争、产能过剩和资源浪费创造了条件,引致了低效率的碳排放,削弱了碳减排效果,如图4(b)所示。由于世界各国生产性服务业和服务贸易发展水平严重不均衡,制约了发展中经济体的产业转型升级和经济可持续增长。发展中经济体要努力补齐高端服务业的短板,尽快推动服务贸易创新发展,为降低制造业碳强度提供坚实的技术保障和物质基础。

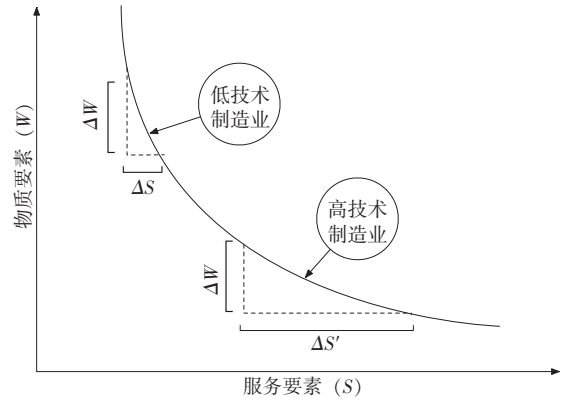


图3 边际技术替代率

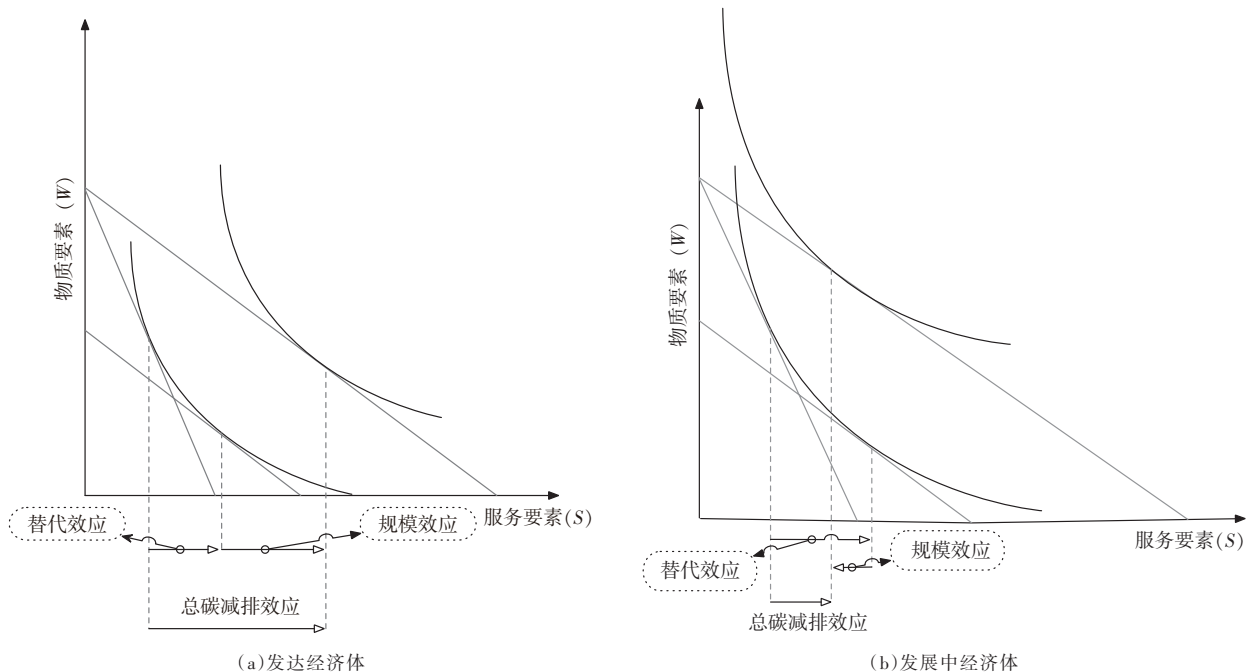


图4 制造业服务化的碳减排效应

此外,由于碳减排效果会因要素性质的不同而异。为了检验要素投入的异质性,将制造业投入的服务要素分为生产性服务投入、生活性服务投入和公共服务投入三类^④,结果见表5列(1)~列(3)。生产性服务进一步细分为金融服务、运输服务、信息服务、分销服务和技术服务五类进行分析,结果见表5列(4)~列(8)。

表5 服务要素异质性分析结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	生产性服务	生活性服务	公共服务	金融	运输	信息	分销	技术
lnService	-0.110*** (0.013)	-0.051*** (0.009)	-0.056*** (0.011)	-0.154*** (0.011)	-0.019* (0.011)	-0.050*** (0.011)	-0.057*** (0.011)	-0.163*** (0.008)
固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
R ²	0.706	0.705	0.705	0.710	0.704	0.705	0.705	0.730
观测值	11471	11471	11471	11471	11471	11471	11471	11276

注: *、**和***分别代表在 10%、5% 和 1% 水平下显著;括号内为稳健标准误;省略控制变量的估计结果,备索。

结果表明,各类服务要素的投入均与碳强度呈负相关关系,且至少在 10% 水平上显著。在细分服务要素时,制造业吸收生产性服务要素的碳减排效果最强,约为生活性服务和公共服务效果的两倍。一方面,由于大部分生产性服务面向中间投入,与生产环节的结合更加紧密,对制造业的影响更深;另一方面,生产性服务业具有知识密集和专业化程度高等特点,更有利于向生产过程注入人力资本和知识资本,从而促进产业“软化”,降低碳强度。进一步细分生产性服务业:金融和技术服务对碳强度影响最大,其次是信息和分销服务,运输服务的影响最小。可以发现,这种影响基本上与各类服务要素所内含的知识密集度相关。因此,需要加快服务业市场化改革,推动生产性服务业开放发展,重点促进金融、技术等服务要素深度融入到制造业的研发、生产和销售等各环节。提升制造业产业链现代化水平,从而在减少资源消耗和环境污染的前提下,可以实现更高的知识密集度和产品附加值。

(二) 机制检验

根据前面的分析,制造业服务化水平对碳减排的影响路径如下:①通过提高劳动生产率降低碳强度(Arnold et al, 2011)。随着人力资本、知识资本等服务要素的增加,促进了生产技术进步和劳动技能水平的提高,将有助于提升产出效率,带来更好的生态效益;②通过结构优化降低碳强度(周银香和吕徐莹, 2017)。随着能源成本和环境代价更低的服务要素的增加,生产过程中物质要素的投入相对减少,具有促进产业结构“软化”、降低碳强度的正外部性。为验证影响机制,构建以下中介效应模型:

$$\ln Carbon_{ipt} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Service_{ipt} + \alpha_2 \ln Control_{ipt} + \varepsilon_{ipt} \quad (15)$$

$$Med_{ipt} = \beta_0 + \beta_1 \ln Service_{ipt} + \beta_2 \ln Control_{ipt} + \varepsilon_{ipt} \quad (16)$$

$$\ln Carbon_{ipt} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln Service_{ipt} + \gamma_2 \ln Control_{ipt} + \gamma_3 Med_{ipt} + \varepsilon_{ipt} \quad (17)$$

其中: Med_{ipt} 为中介效用变量,分别为劳动生产率(*Productivity*)、产业结构(*Industry*)、增加值率(*Var*)的对数值。劳动生产率为行业增加值与从业人数之比;产业结构用行业份额表示,为行业增加值占总增加值比重;增加值率为行业增加值与行业产值之比。数据来源于SEAs,结果见表6。

表6列(2)、列(3)表明制造业服务化对劳动生产率的提高具有显著的正向影响。劳动生产率的提高降低了碳强度,劳动生产率是制造业服务化影响碳强度的中间渠道。列(4)结果表明制造业服务化降低了本行

表6 机制检验回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	lnCarbon	lnProductivity	lnCarbon	lnIndustry	lnCarbon	lnVar	lnCarbon
lnService	-1.218*** (0.024)	0.129*** (0.023)	-1.181*** (0.023)	-0.627*** (0.038)	-1.153*** (0.023)	0.291*** (0.014)	-1.219*** (0.025)
lnProductivity			-0.289*** (0.026)				
lnIndustry					0.103*** (0.010)		
lnVar							0.003 (0.022)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
R ²	0.579	0.937	0.583	0.086	0.586	0.194	0.579
观测值	11468	11471	11468	11471	11468	11471	11468

注: *、**和***分别代表在 10%、5% 和 1% 水平下显著;括号内为稳健标准误;省略控制变量的估计结果,备索。

④ 生产性服务业为 WIOD 行业代码中以 G、H、J、K、M 开头的行业及 C33,生活性服务业为 I、L68、R_S 和 T,公共服务业为 N、O84、P85、Q 和 U。

业增加值比重,说明制造业服务化对于上下游产业链的发展具有明显的正外部性。列(5)表明服务投入引发的溢出效应扩大了受益范围,促进了产业结构优化,扩大了节能减排的整体效应。列(6)显示,制造业服务化可以提升行业增加值率,即在不牺牲本行业的情况下发挥溢出效应。然而, $\ln Var$ 对 $\ln Carbon$ 的影响并不显著。总的看, $\ln Service$ 与 $\ln Carbon$ 在加入中介变量前后始终呈负相关,符号和显著性没有变化。采用Sobel检验, $\ln Productivity$ 和 $\ln Industry$ 的中介效应占总效应的比重分别为3.06%和5.34%。因此,制造业服务化通过劳动生产率提高和产业结构优化对碳强度具有显著抑制作用,验证了前面的假设H2。当前,中国正向低能耗、高技术的集约化发展转型,制造业面临着传统优势减弱和碳约束增强的双重压力。制造企业仅依靠扩大投资和占领市场难以维持稳定的盈利能力,应当以科技创新和结构优化驱动制造业转型升级,以适应要素成本和环境成本的硬约束。

(三)典型事实

选择中国、德国、印度、日本和美国5个国家绘制制造业服务化水平的变化趋势图,并标注出中国的线性趋势线(图5)。可见,德国的制造业服务化水平最高,与其具有世界竞争力的制造业现代化水平相对应。五国中,中国制造业服务化水平偏低,甚至低于印度。2012年以后,中国服务化水平超过了2000—2014年的线性趋势线,表明中国制造业服务化形势正在好转。制造业是国民经济的支柱产业,是否具有强大的制造业关系到一个民族和国家在国际竞争中的战略地位。未来在碳约束日益趋紧的背景下,中国要负责任地履行碳减排承诺,需要加快提升制造业服务化水平,以赢得国际竞争的主动权。

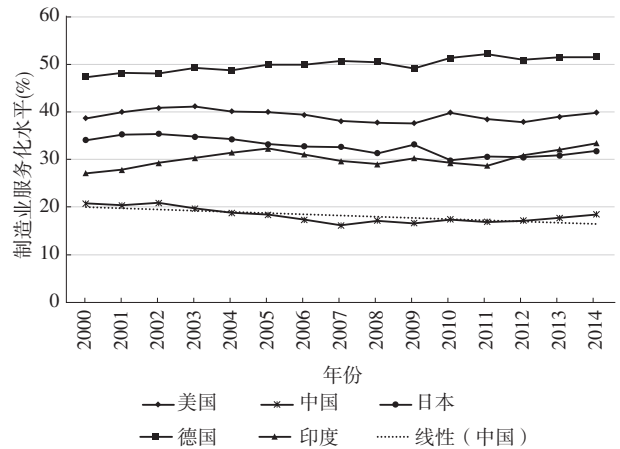


图5 制造业服务化趋势图

七、结论与启示

本文实证检验了制造业服务化对碳强度的影响,并根据制造业类型、经济体发展水平和服务要素类型分析了异质性。主要结论如下:①制造业服务化有利于降低碳强度。使用完全碳强度作为碳减排衡量指标,在经过缩尾处理、划分样本期、替换衡量指标并考虑内生性后,效果依然稳健。可以发现,生产中间产品的部门是否“清洁”,也会影响到使用部门的碳排放。因此,应建立闭环的碳排放监管体系,引导企业树立绿色供应链和产业链的管理意识;②异质性检验表明,不同类型经济体、制造业部门和服务要素投入的服务化,会产生不同的碳减排效果。与中高技术制造业相比,低技术制造业服务化的碳减排效应更为明显。与发达经济体相比,发展中经济体制造业服务化对碳减排的促进作用较小。投入知识密集度更高的金融、技术服务,使得碳强度降低的幅度更大。因此,要充分考虑部门差异性,在强调引导和示范效应的同时防止“突击冒进”,在强调公平的同时避免“一刀切”的监管标准;应根据经济体发展阶段制定碳减排路线图和时间表,尤其要给予发展中经济体更大的调整优化空间;优化服务要素供给侧改革,优先发展金融、技术等知识密集型服务业,从而为制造业服务化取得更好的环境效应奠定基础;③劳动生产率提高和产业结构优化有助于降低碳强度。提高劳动生产率和优化产业结构作为中间渠道,需要服务等中间投入的不断积累。但新兴经济体往往存在服务供给总量不足、质量不优、专业化程度不高和结构不匹配的矛盾。因此,需要加快推进服务业项下的自由贸易,构建高水平开放型经济新体制,激发市场主体的活力和要素流动的动力。

当前,中国制造业正处于从“微笑曲线”底部向两端攀升的关键阶段。在发展中经济体成本优势和发达经济体技术优势的双重挤压下,亟需改变过去以资源环境为代价换取经济增长的模式。制造业服务化是中国抓住绿色发展新机遇,实现“绿水青山”和“金山银山”双重目标的可行路径之一。本文的政策建议为:①综合经济效益和减排目标,鼓励制造企业根据行业特点引进和整合服务要素,提高制造业服务化水平,推动制造业向高端化、绿色化和智能化发展;②激发市场主体的技术创新动力,引导产学研深度融合,为企业将服务要素转化为产品附加值提供更加便利的条件;③加快服务业市场开放步伐,增加服务要素的有效供给,强化产业关联度,拓展制造业和服务业深度融合发展的空间;④根据本国特色和比较优势,制定切实可行的环境监管政策,引导企业向绿色低碳发展方向转型。

参考文献

- [1] 陈丽娟, 沈鸿, 2017. 制造业服务化如何影响企业绩效和要素结构——基于上市公司数据的PSM-DID实证分析[J]. 经济学动态, 4(5): 64-77.
- [2] 高翔, 袁凯华, 2020. 中国企业制造业服务化水平的测度及演变分析[J]. 数量经济技术经济研究, 37(11): 3-22.
- [3] 郭跃进, 1999. 论制造业的服务化经营趋势[J]. 中国工业经济(3): 64-67.
- [4] 黄玉霞, 谢建国, 2019. 制造业投入服务化与碳排放强度——基于WIOD跨国面板的实证分析[J]. 财贸经济, 40(8): 100-115.
- [5] 李方静, 2020. 制造业投入服务化与企业创新[J]. 科研管理, 41(7): 61-69.
- [6] 李金昌, 项莹, 2014. 中国制造业出口增值份额及其国别(地区)来源——基于SNA-08框架下《世界投入产出表》的测度与分析[J]. 中国工业经济, (8): 84-96.
- [7] 刘斌, 魏倩, 吕越, 祝坤福, 2016. 制造业服务化与价值链升级[J]. 经济研究, 51(3): 151-162.
- [8] 刘斌, 赵晓斐, 2020. 制造业投入服务化、服务贸易壁垒与全球价值链分工[J]. 经济研究, 55(7): 159-174.
- [9] 刘继国, 李江帆, 2007. 国外制造业服务化问题研究综述[J]. 经济学家, 4(3): 119-126.
- [10] 刘明宇, 芮明杰, 姚凯, 2010. 生产性服务价值链嵌入与制造业升级的协同演进关系研究[J]. 中国工业经济, (8): 66-75.
- [11] 刘志彪, 张杰, 2009. 我国本土制造业企业出口决定因素的实证分析[J]. 经济研究, 44(8): 99-112, 159.
- [12] 潘安, 魏龙, 2016. 中国对外贸易隐含碳: 结构特征与影响因素[J]. 经济评论, 4(4): 16-29.
- [13] 潘雄锋, 舒涛, 徐大伟, 2011. 中国制造业碳排放强度变动及其因素分解[J]. 中国人口·资源与环境, 21(5): 101-105.
- [14] 饶畅, 2013. 制造业投入服务化对碳生产率影响的理论建模和实证检验——以珠三角为例[J]. 经济与管理, 27(6): 81-86.
- [15] 邵帅, 张曦, 赵兴荣, 2017. 中国制造业碳排放的经验分解与达峰路径——广义迪氏指数分解和动态情景分析[J]. 中国工业经济, 4(3): 44-63.
- [16] 史丹, 张成, 2017. 中国制造业产业结构的系统性优化——从产出结构优化和要素结构配套视角的分析[J]. 经济研究, 52(10): 158-172.
- [17] 王娟, 张鹏, 2019. 服务转型背景下制造业技术溢出突破“锁定效应”研究[J]. 科学学研究, 37(2): 276-290.
- [18] 王向进, 杨来科, 钱志权, 2018. 制造业服务化、高端化升级与碳减排[J]. 国际经贸探索, 34(7): 35-48.
- [19] 肖挺, 聂群华, 刘华, 2014. 制造业服务化对企业绩效的影响研究——基于我国制造企业的经验证据[J]. 科学与科学技术管理, 35(4): 154-162.
- [20] 谢众, 李婉晴, 2020. 技术进步路径转变下的出口产品质量研究——基于产业结构优化与制造业服务化视角的分析[J]. 技术经济, 39(11): 87-96, 105.
- [21] 许和连, 成丽红, 孙天阳, 2017. 制造业投入服务化对企业出口国内增加值的提升效应——基于中国制造业微观企业的经验研究[J]. 中国工业经济, 4(10): 62-80.
- [22] 杨玲, 2015. 生产性服务进口贸易促进制造业服务化效应研究[J]. 数量经济技术经济研究, 32(5): 37-53.
- [23] 张友国, 2010. 经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响[J]. 经济研究, 45(4): 120-133.
- [24] 周大鹏, 2013. 制造业服务化对产业转型升级的影响[J]. 世界经济研究, 4(9): 17-22, 48, 87.
- [25] 周银香, 吕徐莹, 2017. 中国碳排放的经济规模、结构及技术效应——基于33个国家GVAR模型的实证分析[J]. 国际贸易问题, 4(8): 96-107.
- [26] 朱俏俏, 孙慧, 王士轩, 2014. 中国资源型产业及制造业碳排放与工业经济发展的关系[J]. 中国人口·资源与环境, 24(11): 112-119.
- [27] 祝树金, 谢煜, 段凡, 2019. 制造业服务化、技术创新与企业出口产品质量[J]. 经济评论, (6): 3-16.
- [28] 祝树金, 谢煜, 吴德胜, 2020. 制造业服务化的节能效应及其中介机制研究[J]. 财贸经济, 41(11): 126-140.
- [29] ARNOLD J M, JAVORCIK B S, MATTOO A, 2011. Does services liberalization benefit manufacturing firms?[J]. Journal of International Economics, 85(1): 136-146.
- [30] GROSSMAN G M, ROSSI-HANSBERG E, 2008. Trading tasks: A simple theory of offshoring[J]. American Economic Review, 98(5): 1978-1997.
- [31] MONT O K, 2002. Clarifying the concept of product-service system[J]. Journal of Cleaner Production, 10(3): 237-245.
- [32] MONTBIO F, 2002. An evolutionary model of industrial growth and structural change [J]. Structural Change and Economic Dynamics, 13(4): 387-414.
- [33] REISKIN E D, WHITE A L, JOHNSON J K, et al, 2000. Servicizing the chemical supply chain[J]. Journal of Industrial Ecology, 2(3): 19-31.
- [34] ROTHENBERG S, 2007. Sustainability through servicizing[J]. MIT Sloan Management Review, 48(2): 83-91.
- [35] VANDERMERWE S, RADA J, 1988. Servitization of business: Adding value by adding services[J]. Pergamon, 6(4):

314-324.

- [36] WANG C., CHEN J., ZHOU J., 2005. Decomposition of energy-related CO₂ emission in China: 1957—2000[J]. *Energy*, 30 (1): 73-83.

Research on the Impact of Manufacturing Servitization on Carbon Emission Intensity

Wang Hongsen¹, Zhou Hui², He Dongni³

(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. Tianjin Industry and Information Technology Institute, Tianjin 300203, China;

3. China Institute of Reform and Development, Haikou 570311, China)

Abstract: In the context of the weakening of the advantages of traditional factors and the tightening of environment constraints, it is of great practical significance to build a modern, clean and sustainable manufacturing development system. Guiding the deep integration of manufacturing and service factors is a viable path to achieve both economic and environmental benefits and realize the green development of manufacturing. The effect of manufacturing servitization on carbon intensity was empirically analyzed and results showed that manufacturing servitization could reduce carbon intensity. The servitization of low-tech manufacturing had the strongest carbon emission reduction effect. The developed economies' inhibitory effect of manufacturing servitization was better than that of developing economies. The higher knowledge-intensive service factors were invested in the manufacturing industry, the stronger the carbon emission reduction effected. The improvement of labor productivity and the optimization of industrial structure were the intermediate channels for the servitization of the manufacturing industry to reduce carbon intensity. Therefore, rational, precise, and differentiated economic and environmental policies should be formulated to promote the in-depth integration of service elements into the production process of manufacturing enterprises, and to improve the servitization level of the manufacturing industry, so as to promote the green development of the manufacturing industry, and facilitate the smooth realization of the "dual carbon" goal.

Keywords: manufacturing servitization; carbon emission reduction; transformation and upgrading; technological innovation