

环境规制与制造业低碳国际竞争力

——基于二十国集团“波特假说”的再检验

齐绍洲 徐佳

摘要:在借鉴传统显示性比较优势指数的基础上构建低碳国际竞争力指数,测算和比较二十国集团(G20)中16个国家1995-2009年的制造业低碳国际竞争力指数,在此基础上,用能源强度和碳强度作为环境规制的代理变量,研究环境规制及其他因素对样本国家制造业低碳国际竞争力的影响,并从环境规制替代变量和考虑内生性两个层面进行稳健性检验,实证结果表明,在短期内,严格的环境规制不利于制造业低碳国际竞争力的提升,技术创新效应还未超越成本遵循效应,波特效应还需要更长的时间才能显现。这种负向影响在发展中国家和贸易开放度较高的国家更为显著,影响更大。

关键词:低碳国际竞争力;环境规制;G20

中图分类号:F062.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7320(2018)01-0132-13

基金项目:国家社会科学基金青年项目(14CJY030);教育部人文社会科学青年基金项目(13YJC790073)

一、引言

G20杭州峰会倡导通过推动贸易全球便利化来促进可持续发展,并重申了应对气候变化的共同行动,G20德国峰会也将经济的绿色增长作为核心议题。在国际社会大力倡导低碳经济的理念下,低碳国际竞争力正成为产业国际竞争力的重要方面,也赋予了产业国际竞争力新的内涵。G20平台是中国参与全球治理、重建贸易规则、发挥贸易治理权和规则制定权的重要平台。在此背景下,对G20成员国进行产业低碳国际竞争力指数的构建与测算,并考察环境规制对不同发展水平经济体的产业低碳国际竞争力的影响,对中国通过G20平台来推动全球贸易增长、提升产业低碳国际竞争力有重要的现实意义。

理论上而言,波特假说把环境规制对国际竞争力的影响分为遵循成本效应和技术创新效应。短期内,遵循成本效应占主导,企业进行环境治理的成本增加而减少对研发的投入,进而对国际竞争力产生负面影响;长期内,技术创新效应逐渐显现,合适的环境规制会促进企业进行技术创新,进而提升企业生产率,弥补前期环境治理成本的提升,最终对国际竞争力产生积极影响。环境规制与国际竞争力的相关研究在国内外已较为丰富,但基于不同的模型方法和样本选择,已有研究并没有得出统一的结论。一些学者经研究认为并没有发现明显证据表明更严格的环境规制会带来贸易模式的变迁及产业竞争力的削弱^[1](P191-209)^[2]^[3](P363-383)。而在考虑了环境规制可能的内生性后,有更多的研究表明环境规制的作用类似于第二道贸易壁垒,可能与贸易相互作用,会对产业竞争力产生显著的促进作用^[4](P137-154)^[5](P223-254)或负面影响^[6]。另外,也有不少研究发现环境规制对产业国际竞争力的影响是非线性的,可能在长期范围内存在拐点,且拐点前后的影响方向相反^[7]^[8]。可见环境规制对产业国际竞争力的影响还未有定论。

低碳国际竞争力的测度属于绿色国际竞争力的范畴。关于绿色竞争力的研究主要集中在概念

界定和影响因素考察两方面。多数学者通过综合指标体系的构建^[9](P191)^[10]或个别绿色指标的选取^[11](P12-21)^[12](P902-903)来衡量绿色国际竞争力,并认为绿色相关投资、绿色技术的创新、能源效率等是提升绿色竞争力的关键因素^[13](P202-217)。然而,绿色竞争力外延太广,对其界定也还尚存争议,因此在全球经济低碳增长诉求下,聚焦低碳国际竞争力的研究受到更多学者的青睐。已有一些研究在低碳国际竞争力的构建和测度方面做出了一些推进。

然而,通过对相关文献的梳理,发现其存在以下几方面局限性:第一,关于综合指标体系构建,学者大都根据自己的研究目标进行指标的选取,选择因素比较宽泛,不够聚焦;且指标体系构建多采用由专家对各项指标重要程度进行评价,再根据人为判断对各项指标赋予不同权重,主观性较强,缺乏统一的标准。第二,已有研究对低碳国际竞争力的测度多侧重于国内行业层面,所选指标难以在国际比较中推广,不能进行不同国家之间低碳国际竞争力的比较。第三,关于低碳国际竞争力的影响因素考察,相关研究还较少,尤其是在全球倡导可持续发展模式的趋势下,各国逐渐开展和加强的环境规制对低碳国际竞争力产生什么影响,还鲜有学者涉及。而这不仅是各国政策制定者密切关注的话题,更是在平衡经济发展和解决环境问题以实现绿色低碳增长的过程中需要探讨的核心问题。对此,笔者试图在以下方面做出贡献:第一,构建并测算 G20 国家制造业的低碳国际竞争力指数,与传统显示性比较优势指数做出比较;第二,定量分析环境规制对 G20 成员国制造业低碳国际竞争力的整体影响和异质性影响;第三,进行环境规制替代变量和考虑内生性两个层面的稳健性检验,以期为我国制造业低碳国际竞争力的提升和相应环境规制的制定提供参考和政策依据。

二、低碳国际竞争力指数的构建与测算

(一) 低碳国际竞争力指数的构建

常用的竞争力指数有显示性比较优势指数(RCA)、净出口指数(NetX)、传统贸易竞争力指数(TC)等。NetX 指数衡量的是一国某行业的净出口率,反应的是该行业自身专业化程度的变动,不能相对于其他行业或国家进行比较;TC 指数反应的是一国进出口贸易的差额占其进出口贸易总额的比重,用于考察该国内这一行业的比较优势,不涉及与其他国家同一行业的竞争力比较。而 RCA 指数测算的是国际贸易中某一产业的比较优势,该指数不仅可以控制经济体相对规模的差异,而且可以剔除国家贸易总量波动和世界贸易总量波动的影响,能够较好地反映一个国家某一产业的出口与世界平均出口水平比较来看的相对优势,是衡量产业国际竞争力的强有力的指标,适合于国家之间产业竞争力的比较。其公式是:

$$RCA_{ikt} = (X_{ikt} / X_{it}) / (X_{wkt} / X_{wt}) \quad (1)$$

其中 RCA_{ikt} 表示国家 i 行业 k 在 t 时期的显示比较优势指数, X_{ikt} 表示国家 i 行业 k 在 t 时期的出口额, X_{it} 表示国家 i 在 t 时期的出口总额, X_{wkt} 表示全世界行业 k 在 t 时期的出口额, X_{wt} 表示全世界在 t 时期的出口总额。

可见,传统的产业国际比较优势衡量方法侧重的是一国某产业出口水平相对于世界该行业出口水平的相对优势。然而,在经济与环境可持续发展的诉求下,亟须考量这种比较优势是否建立在排放大量温室气体的基础上,即考察传统比较优势是低碳比较优势还是非低碳的。鉴于此,笔者以碳排放成本为例,在传统 RCA 指数中纳入了一国该产业出口额对应的碳排放量,构建了产业的低碳国际竞争力指数,以考察该产业的低碳国际比较优势。

借鉴传统 RCA 指数的公式,本文构造的低碳国际竞争力指数(low carbon revealed comparative advantage, LCRCA)表示如下:

$$LCRCA_{ikt} = \frac{\frac{X_{ikt} / X_{it}}{E_{ikt} / E_{it}}}{\frac{X_{wkt} / X_{wt}}{E_{wkt} / E_{wt}}} = \frac{\frac{X_{ikt}}{CI_{ikt} \times X_{ikt}} / \frac{X_{it}}{CI_{it} \times X_{it}}}{\frac{X_{wkt}}{CI_{wkt} \times X_{wkt}} / \frac{X_{wt}}{CI_{wt} \times X_{wt}}} = \frac{1 / CI_{ikt}}{1 / CI_{it}} = \frac{CP_{ikt} / CP_{it}}{CP_{wkt} / CP_{wt}} \quad (2)$$

其中 E_{ikt} 为国家 i 行业 k 在 t 时期的出口额对应的碳排放, E_{it} 为国家 i 在 t 时期的出口总额对应的碳排放, E_{wkt} 为全世界行业 k 在 t 时期的出口额对应的碳排放, E_{wt} 为全世界在 t 时期的出口总额对应的碳排放;相应的, CI_{ikt} 表示国家 i 行业 k 在 t 时期的出口碳强度^①[14] (P15-23), 即单位出口值隐含的碳排放量, CP_{ikt} 表示表示国家 i 行业 k 在 t 时期的出口碳生产率^②, 即单位二氧化碳排放的产业出口值, CI_{it} 和 CP_{it} 分别表示国家 i 在 t 时期的出口碳强度和出口碳生产率, CI_{wkt} 和 CP_{wkt} 表示全世界行业 k 在 t 时期的出口碳强度和出口碳生产率, CI_{wt} 和 CP_{wt} 表示全世界在 t 时期的出口碳强度和出口碳生产率。LCRCA 的经济含义为: 在本国具有低碳比较优势的产业在全球范围是否仍具有低碳比较优势。与传统 RCA 相比, LCRCA 衡量的是在纳入碳排放成本的情况下, 即考虑了出口值与其对应的二氧化碳排放后的贸易比较优势。LCRCA 数值越大, 表明该产业的相对出口碳生产率相较世界平均水平越高, 则本国该产业的低碳比较优势越大。

因传统 RCA 的数值在 $0 \sim \infty$ 之间, 实证经验表明 RCA 指数的非对称性在回归分析中会造成非正常状态风险, Laursen^[15] (P99-115) 对传统 RCA 指数进行了对数化变形处理, 得到了对称的显示性比较优势指数 (revealed symmetric comparative advantage, RSCA), 使其值在 $(-1, 1)$ 内。

$$RSCA_{ikt} = (RCA_{ikt} - 1) / (RCA_{ikt} + 1) \tag{3}$$

当 RSCA 在 $(-1, 0)$ 之间表示该产业缺乏国际比较优势, 当 RSCA 在 $(0, 1)$ 之间表示该产业具有国际比较优势, 当 RSCA 为 0 时表示其处于世界平均水平。同理, 我们也对 LCRCA 进行同样的对称化处理得到 LCRSCA (low carbon revealed symmetric comparative advantage), 以避免在后文实证分析中的风险和偏误。

$$LCRSCA_{ikt} = (LCRCA_{ikt} - 1) / (LCRCA_{ikt} + 1) \tag{4}$$

可证, $LCRSCA_{ikt}$ 同样介于 $(-1, 1)$ 之间。且当其值在 $(-1, 0)$ 之间时, 表示该产业不具有低碳国际比较优势; 当其值在 $(0, 1)$ 之间表示该产业具有低碳国际比较优势; 当其值为 0 时表示该产业的低碳国际竞争力为世界平均水平。

(二) 制造业低碳国际竞争力的测算与比较

经过测算得出, 16 个 G20 国家^③制造业 1995-2009 年的低碳国际竞争力指数 (LCRSCA) 及其与传统 RSCA 指数的差异如图 1 和图 2 所示。

总体来看, 大部分国家制造业的低碳国际竞争力较弱, 即不具有低碳国际比较优势。其中只有中国、德国、印度尼西亚和美国的制造业低碳国际竞争力指数一直为正, 即在样本期间一直保持低碳比较优势; 而意大利、印度、法国、巴西和澳大利亚的制造业低碳国际竞争力指数在样本期间一直为负, 尤以法国和巴西的低碳国际竞争力最弱; 墨西哥、韩国、日本的制造业低碳国际竞争力指数逐渐由负转正, 低碳比较优势逐步提升; 土耳其、俄罗斯、英国和加拿大的制造业低碳竞争力指数由正转负, 表明其制造业逐渐失去低碳比较优势。

与传统 RSCA 指数相比, 大部分 G20 国家低碳比较优势表现出显著差异, 可见低碳国际竞争力指数能够更加准确地测度产业低碳增长背景下的国际竞争力。其中, 约半数样本国家, 包括土耳其、墨西哥、韩国、日本、意大利、印度、法国和巴西, 其制造业低碳国际竞争力低于传统 RSCA 指数^④; 而俄罗斯、印度尼西亚、德国、中国、加拿大和澳大利亚的制造业低碳国际比较优势明显优于传统比较优势, 尤其俄罗斯、印度尼西亚和澳大利亚三个国家最为突出; 英国和美国的制造业低碳国际竞争力与传统 RSCA 指数差异较小, 在 0 上下波动。由此表明在不考虑出口碳生产率的情况下一些国家的制造业国际竞争力被

①其计算方法为: 产业对应的碳排放(包括直接排放和间接排放)与产业增加值之比。在此说明, 后文计算过程中不进行制造业各细分行业出口碳强度的计算, 而将制造业作为一个整体计算其出口碳强度, 出口碳强度与出口值的乘积即为制造业出口值对应的碳排放量。

②其计算方法为: 出口碳强度的倒数。

③基于数据可得性和国别可比性, 本文剔除阿根廷、南非和沙特阿拉伯三个国家及欧盟整体, 保留了 16 个 G20 国家: 美国、土耳其、俄罗斯、墨西哥、韩国、日本、意大利、印度、印度尼西亚、英国、法国、德国、中国、加拿大、巴西和澳大利亚。下同。

④即图 2 中的差异为负。

高估或低估。

从时间趋势来看,约半数样本国家制造业的低碳国际竞争力围绕其均值波动。只有中国、韩国、墨西哥和澳大利亚的低碳国际竞争力处于上升状态,尤其是中国和韩国的上升趋势较为显著。而印度尼西亚、土耳其、英国和俄罗斯的制造业低碳国际竞争力处于明显下降趋势。从两种竞争力指数的动态差异来看,大部分国家两种竞争力指数的差异随时间趋势而减小,可见相对于低碳比较优势,其传统显示性比较优势的提升水平被高估。

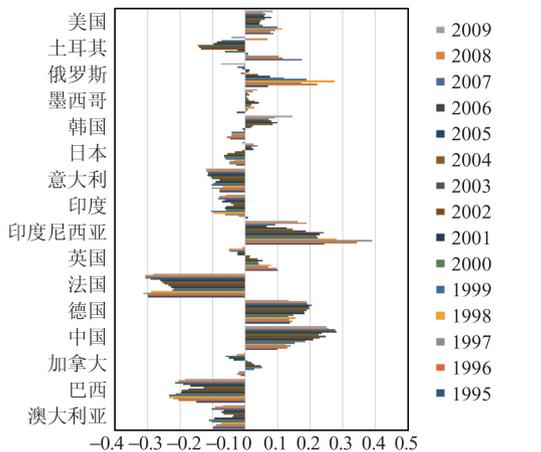


图1 G20 国家制造业的低碳国际竞争力指数 (LCRSCA)

资料来源:WIOD 数据库,由作者计算得出

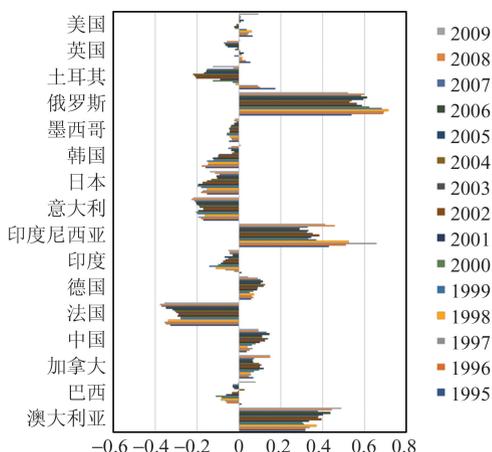


图2 G20 国家制造业的低碳国际竞争力指数

与 RSCA 指数的差异

注:两个指数的“差异”=低碳国际竞争力指数-RSCA 指数。

资料来源:WIOD 数据库,由作者计算得出

三、模型设定与变量说明

(一) 模型设定

本文主要研究环境规制对 G20 国家制造业低碳国际竞争力的影响。借鉴 Cole et al. ^[16] (P95-109) 的思路,本文在 HOV 模型基础上加入了环境规制变量作为核心解释变量,考察其对制造业低碳国际竞争力的影响,建立计量模型如下:

$$LCRSCA_{it} = \beta_0 + \beta_1 ER_{it} + \beta_2 X_{it} + \beta_3 ER_{it}^2 + \gamma_{ik} + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

其中, $LCRSCA_{it}$ 表示低碳国际竞争力指数, ER_{it} 表示环境规制强度, X_{it} 是控制变量的集合,其中包括物质资本 (PC_{it})、人力资本 (HC_{it})、研发投入 (RD_{it})、能源结构 (ES_{it}) 和外商直接投资 (FDI_{it})。 γ_{ik} 表示反应国家之间差异但不可观测的国家效应, τ_t 表示随时间变化的时间效应, ε_{it} 为干扰项, i 表示国家, t 表示年份。此外,为了考察环境规制对制造业低碳国际竞争力是否存在长期非线性影响,笔者在模型中加入了其平方项 ER_{it}^2 。

(二) 变量处理与数据来源

基于数据可得性,笔者构造了 1995-2009 年 16 个 G20 国家的跨国面板数据,主要变量指标说明如下:

低碳国际竞争力指数 (LCRSCA) 反映了一国某产业的低碳国际比较优势。笔者基于第三部分所述方法构建和测算了 G20 国家制造业的低碳国际竞争力指数,作为模型的被解释变量。G20 国家制造业①增加值、国家总产值和 CO2 排放数据均来自于世界投入产出数据库 (WIOD)。同时,笔者采用世界投入产出数据库中 40 个国家的制造业增加值、国家总产值和 CO2 排放数据代表世界总体水平。

①WIOD 数据库中的制造业行业分类根据 ISIC Rev 4 标准。

环境规制(*ER*)对产业低碳国际竞争力的影响包含两个方面:一方面,较严格的环境规制会通过促进企业进行低碳技术创新而提升其出口碳生产率,进而提高产业的低碳国际比较优势。另一方面,环境规制的实施会提高企业控制碳排放的成本,使其投入生产和研发的资金相应减少,导致产量降低,这种遵循成本效应对低碳国际竞争力的影响则是负面的。因此环境规制对低碳国际竞争力的影响存在不确定性。由于环境规制本身并没有常用指数值,现有文献大多基于其他代理变量(如人均收入水平等)、环境治理的投入(如治污费用或相关技术研发投入等)和环境治理的产出(如能源强度、碳强度、废物排放达标率或去除率等)来衡量一国环境规制水平。其中,代理变量的内生性较为严重,而相对于基于投入的衡量方法,基于产出的衡量方法因减少了由于补贴等产生的度量偏误逐渐受到更多学者的认可和广泛的引用^[17](P1163-1186)。因此,兼顾跨国面板的数据可得性和国别之间环境规制的可比性,我们选取能源强度^①(ER_1)和碳强度^②(ER_2)两个指标作为G20国家环境规制的代理变量^[18](P447-460)^{[19][20]},其数值越大,表明该国环境规制强度越弱。此外,在稳健性检验部分,我们进一步采用样本国家签署国际环境相关条约的数量(*Treaty*)来衡量环境规制强度^{[21][22]},其计算方法为样本国家当年及之前签署的国际多边环境相关条约^③总数目。因 ER_1 、 ER_2 两个变量的数值较大,为避免数据的剧烈波动对回归模型造成影响,我们对其取自然对数处理。

物质资本(*PC*)和人力资本(*HC*)是反应一国要素禀赋的重要指标。随着物质资本的不断积累,生产设备的更新升级,生产过程对环境的损害也会随之降低。而人力资本则通过提升劳动力的技术水平和知识结构而在提升生产率的同时减小对环境的消耗。二者皆是促进产业低碳国际竞争力的重要因素。笔者用固定资本形成占GDP的比重和平均受教育年限分别表示一国物质资本和人力资本。

研发投入(*RD*)决定着一国的技术水平,而技术进步是提升产业低碳国际竞争力的重要决定因素。笔者用研发支出占GDP的总比重表示该变量。

能源结构(*ES*)反映的是一国能源消费的清洁程度,随着能源结构逐步向绿色低碳化转型,制造产业的低碳国际竞争力势必会大幅提升。笔者用化石能源消费占总能源消费的比重来表示能源结构。该数值越小,表明能源结构趋向于清洁化;数值越大,表明能源结构趋向于污染化。

外商直接投资(*FDI*)通过促进资本积累、劳动力素质提高和技术进步的溢出作用可显著提升产业低碳国际竞争力,本文用外商直接投资净流入占GDP的比重表示该变量。

上述变量,包括 $Climatepolicy_1$ 、 $Climatepolicy_2$ 、*PC*、*RD*、*ES*、*FDI*,其数据均来自世界银行发展指标数据库(WDI),*HC*的数据来自于经济学家情报数据库(EIU),而国际多边环境条约数目来自Socioeconomic Data and Applications Center(SSEDAC)数据库。

四、实证结果分析

本部分以公式(5)为基础,采用软件Stata13进行环境规制对16个G20国家制造业低碳国际竞争力影响的面板回归分析。下面各部分将首先根据Hausman检验来进行模型选择(固定效应模型或随机效应模型)^④,再根据回归结果进行分析。

(一) 全样本回归结果

从包含16个G20国家的4组全样本估计结果来看(表1),在短期内,环境规制的实施引发的低碳技术创新效应还未能弥补因此给产业增加的环境治理成本(主要为碳排放控制成本)。同时,模型(2)、(4)的结果显示,环境规制的平方项系数在使用不同代理变量的模型中正负号不一致,且数值较小,统计结果不显著,这表明环境规制对产业低碳竞争力的影响在样本期范围内没有出现显著拐点,即还没有

①即每1000美元GDP的能源消费量。

②单位美元GDP的二氧化碳排放量。

③此处的环境相关条约为环境、气候和能源三个类别的加总。

④Hausman检验P值小于0.05即选择固定效应模型,大于或等于0.05则选择随机效应模型。

显现出显著的波特效应^①。可见,G20 国家制造业在样本期内还处于波特假说的初期阶段,环境规制引发的遵循成本效应仍占主导作用,技术创新效应还不足以弥补成本增加造成的低碳比较优势降低,因此波特效应还需更长的时间才会显现。

表 1 环境规制对制造业低碳国际竞争力的影响-全样本估计结果

	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)
$\ln ER_1$	0.211 *** (4.94)	0.210 *** (4.90)		
$\ln ER_1^2$		0.002 (0.46)		
$\ln ER_2$			0.142 *** (4.47)	0.143 *** (4.46)
$\ln ER_2^2$				-0.001 (-0.21)
HC	-0.011 (-0.73)	-0.013 (-0.83)	-0.014 (-0.92)	-0.014 (-0.93)
PC	0.006 *** (3.53)	0.006 *** (3.51)	0.004 ** (2.48)	0.004 ** (2.50)
RD	0.130 *** (5.83)	0.129 *** (5.79)	0.098 *** (4.83)	0.099 *** (4.84)
ES	-0.005 ** (-2.57)	-0.005 ** (-2.54)	-0.004 ** (-2.35)	-0.004 ** (-2.40)
FDI	-0.003 (-1.54)	-0.003 (-1.56)	-0.004 ** (-2.03)	-0.004 ** (-2.01)
$cons$	-0.966 *** (-3.52)	-0.984 *** (-3.54)	0.206 (1.58)	0.213 (1.62)
样本	240	240	240	240
R^2	0.217	0.218		
国家	16	16	16	16
F	10.07	8.627	.	.
Hausman	17.68 (0.0135)	20.02 (0.0103)	13.35 (0.0640)	13.51 (0.0954)
模型	FE	FE	RE	RE

注:系数值的括号内为相应的 t 值或 z 值。Hausman 括号里为 Prob > χ^2 的值。***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 置信水平上显著。下同。

从控制变量的回归系数来看,人力资本的系数为负,但并不显著,表明人力资本禀赋并不是影响制造产业低碳国际竞争力的主要因素。这与预期并不相符,可能的原因是虽然人力资本的增加会提高企业的整体劳动力素质水平而有助于企业低碳出口生产率的提升,但也会增加企业的成本负担,而后者在短期内的效应更显著。物质资本形成占 GDP 比重的系数显著为正,意味着随着物质资本投入占 GDP 比重的提升,更多的资本可用于进行低碳制造设备的更新,因而提高产业的低碳比较优势。研发支出占 GDP 比重的系数也在 1% 的水平上显著为正,表明更多的研发资金投入会促进企业进行技术创新,进而提升其国际低碳竞争力。能源结构的系数也均在 5% 的水平上显著,因其数值越大表示能源结构倾向于非低碳化,系数为负表明能源结构的低碳化,即清洁能源消费的增加有助于提升产业的低碳比较优势。与预期相反的是,FDI 净流入占 GDP 比重对制造业的低碳国际竞争力呈现出一定程度负向影响,但只在使用二氧化碳排放强度为环境规制代理变量的模型中显著,且数值较小,表明外商直接投资并不是影响制造产业低碳国际竞争力的重要因素。可能的解释是,外商直接投资带来技术溢出效应不是低

①在此定义波特效应为技术创新效应超过成本遵循效应,环境政策最终有助于产业竞争力的提升。

碳技术的主要传导途径,且由于不同区域环境规制强弱不同,伴随投资而来的企业迁移更多的是污染型企业而非清洁型企业。

(二) 按经济发展水平分组

为了进一步研究环境规制对不同发展水平国家的制造业低碳国际竞争力是否存在异质性,本文按照 IMF2016 年的分类标准^①,将样本国家分为发达经济体和发展中经济体两类^②。笔者对两个组别的样本分别进行面板回归分析。实证结果如表 2 所示。

表 2 按经济发展水平分组的估计结果

	发达国家				发展中国家			
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)	模型(7)	模型(8)
$\ln ER_1$	0.136*** (3.49)	0.137*** (3.48)			0.286*** (3.68)	0.286*** (3.66)		
$\ln ER_1^2$		0.004 (1.16)				-0.001 (-0.13)		
$\ln ER_2$			0.120*** (3.25)	0.129*** (3.42)			0.209*** (3.06)	0.209*** (3.04)
$\ln ER_2^2$				-0.001 (-0.60)				-0.001 (-0.01)
HC	-0.015 (-1.21)	-0.019 (-1.47)	-0.016 (-1.22)	-0.016 (-1.26)	-0.021 (-0.75)	-0.019 (-0.66)	-0.018 (-0.62)	-0.018 (-0.61)
PC	-0.004** (-2.12)	-0.004** (-2.02)	-0.004** (-2.23)	-0.004** (-2.14)	0.012*** (4.46)	0.012*** (4.44)	0.010*** (3.88)	0.010*** (3.86)
RD	0.114*** (6.56)	0.113*** (6.46)	0.112*** (6.48)	0.113*** (6.42)	0.075 (1.26)	0.075 (1.26)	0.077 (1.23)	0.077 (1.22)
ES	-0.002 (-0.98)	-0.003 (-1.41)	-0.003 (-1.60)	-0.005** (-2.10)	-0.003 (-0.76)	-0.003 (-0.77)	-0.006 (-1.47)	-0.006 (-1.44)
FDI	-0.001 (-0.55)	-0.001 (-0.60)	-0.001 (-0.56)	-0.001 (-0.46)	-0.013** (-2.15)	-0.013** (-2.13)	-0.017*** (-2.68)	-0.017*** (-2.67)
$cons$	-0.680*** (-2.63)	-0.656** (-2.48)	0.254 (1.27)	0.360* (1.70)	-1.463*** (-3.01)	-1.447*** (-2.88)	0.293 (1.14)	0.293 (1.12)
样本	135	135	135	135	105	105	105	105
R^2					0.288	0.288	0.259	0.259
国家	9	9	9	9	7	7	7	7
F					6.202	5.262	5.346	4.532
Hausman	6.75 (0.4556)	4.31 (0.8281)	8.81 (0.2665)	5.39 (0.6123)	56.27 (0.0000)	55.70 (0.0000)	62.74 (0.0000)	62.10 (0.0000)
模型	RE	RE	RE	RE	FE	FE	FE	FE

从表 2 可看出,不论是对于发达国家还是发展中国家,环境规制两个代理变量的系数均显著为正,这与前文分析一致,即在短期内,环境规制水平的增强会给制造业低碳国际竞争力带来一定的负面影响。但两组回归系数的大小有所不同,表明环境规制带来的负面影响具有一定的国家差异性,且发展中国家受到的负面影响较发达国家更大。同时,发展中国家环境规制平方项的系数为负,而发达国家环境规制平方项系数依然没有明确的方向,且二者都没有通过显著性检验,表明不同发展水平的经济

^①参见 <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2015/update/02/>, Statistical Appendix-World Economic Outlook (WEO): Growth-IMF Pages。

^②其中,发达经济体包括美国、日本、英国、加拿大、德国、法国、意大利、澳大利亚、韩国;发展中经济体包括俄罗斯、中国、印度、巴西、墨西哥、土耳其、印度尼西亚。

体都在样本区间内没有显著的波特效应,但发达国家可能存在的拐点早于发展中国家的拐点^①。这符合预期,因为发展中国家劳动力资源更为丰富,因此制造业多为劳动密集型产业,环境规制带来的成本提升占其制造业成本的比重较高,因此环境规制越严格,发展中国家制造业的低碳比较优势受到的负面冲击较发达国家越大。另一方面,也因为发达国家的制造业多属于资本密集型产业,因此环境规制引发的技术创新效应对遵循成本效应的补偿能力也越强,会早于发展中国家达到可能的拐点。

对于其他控制变量的系数对比还可发现:第一,研发支出是提升发达国家制造业低碳国际竞争力的重要因素,而物质资本投入的增加对其则有显著负面影响,但影响程度较小。这是因为发达国家的制造业处于全球价值链的上游,且多为高端制造业,当物质资本累积达到一定程度后,更多的物质资本投入并不能促进企业低碳技术的创新和低碳出口生产率的提升,而应更多地通过研发支出等渠道来促进企业技术创新。第二,对于发展中国家而言,物质资本的积累会显著促进制造业低碳国际竞争力的提升。同时,FDI净流入会给制造业低碳比较优势带来显著负面影响。这验证了前文的结论,即外商直接投资给发展中国家制造业带来的技术溢出效应并不显著,伴随投资而来的企业迁移更多可能为污染企业而非清洁企业。第三,不论对于发达国家还是发展中国家来说,人力资本的增加都在一定程度上不利于制造业低碳国际竞争力的提升,能源结构的清洁化发展对两类国家的制造业国际低碳竞争力都有促进作用,但并不显著。

(三) 按贸易开放程度分组

理论上认为,贸易开放程度的提升有利于引进外来资金和先进技术,同时内含在贸易中的技术也会增加本国的生产效率,提高产业竞争力水平。G20 成员国的总体贸易额约占全球 80%^②,具有较广泛的代表性。而对于不同贸易开放程度的成员国,环境规制对制造业低碳国际竞争力的影响是否一致?基于此,我们运用聚类分析的方法,将样本国家根据其贸易开放程度分为两个组别^③,如图 3 的箱线图所示。可以看到,不同组别国家的贸易开放程度存在显著差异。我们对两个组别的样本分别进行与前文一致的计量分析,回归结果如表 3 所示。

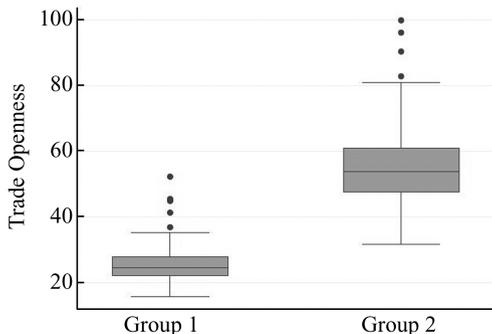


图 3 不同组别样本国家贸易开放程度的箱线图

从表 3 的结果可以看出,对于贸易开放度较高的国家,短期内环境规制越严格,越不利于其制造业低碳国际竞争力的提升,且这种负向影响在 1% 水平上显著。而对于贸易开放度较低的国家,环境规制产生的负向影响并不显著,且程度较低。这与理论预期是相反的。可能的原因是,贸易开放带来的规模效应和导致污染密集型产业偏重的结构效应相较于技术效应更为显著,因而对于占据贸易主导地位的

①发达国家的拐点为 64.5, $64.5=0.129/(2*0.001)$ 发展中国家拐点为 104.5, $104.5=0.209/(0.001)$

②数据来源:中华人民共和国外交部;二十国集团。

③贸易开放程度用一国进出口总额(贸易总额)占 GDP 的比值表示,其数据来自 WDI 数据库。根据聚类分析结果,贸易开放程度较低的国家包括巴西、印度、日本和美国,贸易开放程度较高的国家包括澳大利亚、法国、意大利、土耳其、加拿大、中国、德国、韩国、墨西哥、俄罗斯和英国。

制造业来说,严格的环境规制将对其低碳国际竞争力产生不利影响。同时,不论贸易开放程度高低,环境规制的平方项在两个组别都没有通过显著性检验,说明环境规制对产业低碳竞争力的影响在样本期内不存在明显拐点。

表3 按贸易开放程度估计结果

	贸易开放度较低				贸易开放度较高			
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)	模型(7)	模型(8)
$\ln ER_1$	0.073 (1.02)	0.070 (0.95)			0.181*** (3.92)	0.181*** (3.91)		
$\ln ER_1^2$		0.001 (0.17)				0.003 (0.51)		
$\ln ER_2$			0.059 (0.89)	0.063 (0.95)			0.159*** (4.05)	0.164*** (4.06)
$\ln ER_2^2$				-0.002 (-0.73)				0.000 (0.09)
HC	-0.009 (-0.54)	-0.010 (-0.56)	-0.010 (-0.59)	-0.011 (-0.65)	-0.018 (-0.93)	-0.021 (-1.03)	-0.016 (-0.83)	-0.015 (-0.77)
PC	-0.000 (-0.14)	-0.000 (-0.16)	-0.000 (-0.22)	-0.000 (-0.12)	0.006*** (3.29)	0.006*** (3.27)	0.005*** (2.73)	0.005*** (2.78)
RD	0.107** (2.60)	0.106** (2.49)	0.104** (2.51)	0.106** (2.55)	0.086*** (3.51)	0.086*** (3.52)	0.094*** (3.73)	0.099*** (3.86)
ES	0.000 (0.15)	0.000 (0.15)	-0.001 (-0.28)	-0.001 (-0.45)	-0.004* (-1.84)	-0.004* (-1.81)	-0.006*** (-2.60)	-0.006*** (-2.74)
FDI	-0.010* (-1.90)	-0.010* (-1.89)	-0.010* (-1.94)	-0.009* (-1.79)	-0.004 (-1.53)	-0.004 (-1.54)	-0.004 (-1.61)	-0.004 (-1.59)
$cons$	-0.610 (-1.23)	-0.601 (-1.20)	-0.111 (-0.72)	-0.090 (-0.57)	-0.807*** (-2.71)	-0.840*** (-2.75)	0.373** (2.05)	0.407** (2.17)
样本	60	60	60	60	180	180	180	180
R^2	0.248	0.248	0.244	0.252				
国家	4	4	4	4	12	12	12	12
F	2.747	2.313	2.695	2.363				
Hausman	19.60 (0.0002)	19.25 (0.0002)	17.88 (0.0005)	17.89 (0.0005)	12.23 (0.0932)	12.83 (0.1177)	9.06 (0.2483)	7.77 (0.4564)
模型	FE	FE	FE	FE	RE	RE	RE	RE

对于其他控制变量的系数对比还可发现:第一,对于贸易开放度较低的国家来说,FDI流入对制造业低碳比较优势会产生不利影响,但只在10%水平上显著。第二,对于贸易开放度较高的国家来说,物质资本投入的增加是促进其低碳国际竞争力水平提升的重要因素,能源结构的清洁化也有利于增加制造业低碳比较优势。第三,研发投入对于所有样本国家的低碳国际竞争力都有显著促进作用,且对贸易开放度较低的国家促进作用更强。

(四) 稳健性检验

1. 替代变量稳健性检验

为了检验上述结论是否受环境规制变量选取的影响,笔者进一步采用样本国家签署国际环境条约的数量(以下简称条约数量)来衡量一国环境规制水平,进行稳健性检验。条约数量越多,表示环境规制越严格。考虑到国际环境条约对一国制造业产生的影响可能具有滞后性,笔者用其滞后一期项表示当期环境规制水平进行实证检验,具体结果见表4。

表4 用环境相关条款数目进行的稳健性检验结果

	总体回归		发达国家		发展中国家		贸易开放度低		贸易开放度高	
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)	模型(7)	模型(8)	模型(9)	模型(10)
<i>L. Treaty</i>	-0.005***	-0.042***	-0.004**	-0.009	-0.071***	0.012	-0.010**	0.023	-0.006***	-0.026***
	(-2.76)	(-4.16)	(-2.44)	(-1.33)	(-5.50)	(0.39)	(-2.54)	(1.04)	(-2.88)	(-2.82)
<i>L. Treaty</i> ²		0.000***		0.000		-0.003***		-0.001		0.000**
		(3.50)		(0.76)		(-2.92)		(-1.52)		(2.17)
<i>HC</i>	-0.028*	-0.027*	-0.025**	-0.025**	-0.024	-0.003	-0.024	-0.013	-0.029	-0.028
	(-1.84)	(-1.81)	(-1.96)	(-1.97)	(-0.91)	(-0.13)	(-1.57)	(-0.79)	(-1.50)	(-1.49)
<i>PC</i>	0.001	0.001	-0.004*	-0.004**	0.001	0.002	-0.002	-0.001	0.003	0.002
	(0.94)	(0.46)	(-1.94)	(-2.01)	(0.57)	(0.72)	(-1.33)	(-0.73)	(1.35)	(0.83)
<i>RD</i>	0.073***	0.130***	0.093***	0.097***	0.174***	0.169***	0.093***	0.085***	0.078***	0.098***
	(3.85)	(5.86)	(5.93)	(5.89)	(2.70)	(2.74)	(3.11)	(2.83)	(3.19)	(3.84)
<i>ES</i>	-0.001	-0.003	-0.002	-0.002	-0.002	-0.004	0.001	0.001	-0.004	-0.003
	(-0.77)	(-1.55)	(-0.79)	(-1.00)	(-0.42)	(-1.20)	(0.34)	(0.38)	(-1.57)	(-1.03)
<i>FDI</i>	-0.004**	-0.003	-0.001	-0.001	-0.008	-0.002	-0.006	-0.008	-0.004	-0.004
	(-1.99)	(-1.30)	(-0.70)	(-0.58)	(-1.28)	(-0.34)	(-1.27)	(-1.58)	(-1.59)	(-1.48)
<i>cons</i>	0.074	0.618***	0.107	0.226	0.840***	0.508	-0.087	-0.364	0.302	0.449**
	(0.53)	(3.35)	(0.49)	(0.97)	(2.71)	(1.60)	(-0.56)	(-1.53)	(1.48)	(2.07)
样本	224	224	126	126	98	98	56	56	168	168
R ²		0.213			0.375	0.433	0.345	0.377		
国家	16	16	9	9	7	7	4	4	12	12
F		7.778			8.513	9.161	4.038	3.887		
Hausman	12.18	15.42	6.15	3.49	67.55	69.55	20.04	23.23	4.83	6.76
	(0.0948)	(0.0309)	(0.5220)	(0.8360)	(0.0000)	(0.0000)	(0.0002)	(0.0000)	(0.6809)	(0.4545)
模型	RE	FE	RE	RE	FE	FE	FE	FE	RE	RE

从回归结果可得如下结论：第一，环境规制依然是影响制造业低碳国际比较优势的重要因素，且在短期内，较强的环境规制不利于制造业低碳国际竞争力的提升。虽然总体回归中环境规制的二次项显著为正，但其数值非常小，因此可以认为其对制造业低碳国际竞争力的影响在样本期不存在明显拐点。这与前文结论一致。第二，在短期内，环境规制对于发展中国家制造业低碳国际竞争力的负面影响强于发达国家。值得一提的是，在加入了核心解释变量的平方项后，环境规制对发展中国家低碳国际竞争力的影响变为正向，可能的原因是国际环境条约的约束和激励向发展中国家国内环境规制的传导效应弱于发达国家，因此用环境条约来衡量发展中国家的环境规制水平有一定的滞后性。另一方面，因大部分国际环境条约（如《京都议定书》）对发达国家有强制性和量化的约束，而对发展中国家的要求是自愿性和非量化的，这也会造成环境规制向两类国家的传导效应不同。第三，贸易开放度较高的成员国，其制造业低碳国际竞争力更易受到环境规制的负向影响。此外，从控制变量的系数符号和显著性来看，除了研发投入对于发展中国家低碳国际竞争力的促进作用显著性和程度有所增强之外，其他结论都与前文一致。因此，前文结论整体上是稳健的。

2. 考虑内生性稳健性检验

考虑到一些学者提出的环境规制的内生性问题^①，笔者认为环境规制和制造业低碳国际竞争力之间可能也存在相互影响，即环境规制的增强会通过贸易模式的改变而影响制造业低碳国际竞争力；另一方面，当一些制造业的低碳国际竞争力受到冲击时，政府可能降低环境规制严格度来保护受到损害的产业（如碳市场对面临激烈国际竞争的行业采取配额免费分配的政策来保护其国际竞争力），进而提高其

^①Levinson & Taylor, 傅京燕等学者都提出了环境规制与产业国际竞争力之间可能存在相互影响,因此存在内生性问题。

低碳国际竞争力。为了消除由此可能产生的内生性,本研究进一步采用广义矩估计方法(GMM)和传统工具变量法来进行稳健性检验。笔者将环境规制的一阶滞后项和二阶滞后项作为工具变量^[23],并用 Hansen's J 统计值和 Sargan-Hansen 统计值^①来检验工具变量的过度识别问题,GMM 方法和检验的结果如表 5 所示。由于篇幅所限,此处只列出了总体回归结果,分组结果和工具变量检验结果可向作者索取。

表 5 中各列 Hansen's J 的 p 值均在 1% 的水平上拒绝原假设,可见工具变量不存在过度识别。稳健性检验结果显示,在考虑了模型可能存在的内生性后,不论是采用广义矩估计方法还是传统工具变量法,环境规制依然在短期内对制造业低碳国际竞争力产生显著的负向影响,且在经济发展水平和贸易开放程度两个维度上表现出的国家差异性也与前文一致。因此前文核心结论依然成立。

表 5 用 GMM 方法进行的稳健性检验结果—全样本

	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)
$\ln ER_1$	0.101*** (5.14)	0.100*** (5.02)		
$\ln ER_1^2$		0.014 (0.33)		
$\ln ER_2$			0.096*** (7.10)	0.096*** (7.05)
$\ln ER_2^2$				0.006 (0.64)
HC	-0.036 (-1.09)	-0.046 (-0.94)	-0.050* (-1.67)	-0.043 (-1.41)
PC	0.005*** (3.81)	0.005*** (3.52)	0.001 (0.81)	0.001 (0.82)
RD	-0.024** (-2.44)	-0.024** (-2.43)	0.018* (1.78)	0.018* (1.78)
ES	0.004*** (5.34)	0.004*** (5.12)	0.003*** (4.51)	0.003*** (4.49)
FDI	-0.006 (-1.39)	-0.007 (-1.43)	-0.002 (-0.62)	-0.003 (-0.68)
cons	-0.843*** (-8.17)	-0.982** (-2.28)	-0.175** (-2.39)	-0.166** (-2.21)
样本	208	208	208	208
R ²	0.302	0.291	0.368	0.360
Hansen's J	0.221528 (0.6379)	0.397691 (0.8197)	0.93446 (0.3337)	0.769284 (0.6807)
模型	GMM	GMM	GMM	GMM

注:内生变量为环境规制强度,工具变量为环境规制强度变量的 1 期滞后项和 2 期滞后项。Hansen's J 括号里为 P 值。

五、结论与政策建议

环境规制作为全球经济低碳增长诉求下的重要治理措施,其如何影响不同国家制造业的低碳国际竞争力对于全球贸易格局的走向至关重要。笔者通过本研究得出如下具体结论:

第一,在短期内,严格的环境规制不利于制造业低碳国际竞争力的提升,环境规制的实施所引发的技术创新效应还未能超过遵循成本效应,波特效应还需要更长的时间才能显现,实证结果表明,在选用不同环境规制的代理变量时,环境规制水平的增强都对 G20 国家制造业低碳国际竞争力的提升有一定的抑制作用,且在样本期内不存在显著拐点。短期内,这种负向影响对发展中国家更为显著,影响程度也更大。此外,对于贸易开放程度较高的国家,环境规制的增强在短期内更不利于其低碳国际竞争力的

①Hansen's J 统计值用来检验广义矩方法中的过度识别问题,Sargan-Hansen 统计值用来检验工具变量法中的过度识别问题。

提升。因此一国应根据自身所处的发展阶段以及贸易开放程度来制定合适的环境规制。

第二,通过低碳国际竞争力指数的测算和比较可看出,大部分 G20 国家低碳国际竞争力指数与传统 RCA 指数有显著差异,可见低碳国际竞争力能够更加准确地测度低碳增长背景下的产业国际竞争力。总体来看,大部分 G20 国家制造业的低碳国际竞争力较弱,与传统 RCA 指数相比,低碳比较优势高于传统显示性比较优势的样本国家约占半数,因此在不考虑出口碳生产率的情况下一些国家的制造产业国际竞争力被高估或低估。从时间趋势来看,只有少数样本国家的制造业低碳国际竞争力处于上升态势,部分国家的制造业低碳比较优势处于明显下降趋势,其余样本国家制造业的低碳国际竞争力指数围绕其均值波动。从两种竞争力指数的动态差异来看,大部分成员国制造业的传统显示性比较优势提升水平相对于低碳比较优势被高估。

第三,其他因素对低碳国际竞争力的影响。总体来看,物质资本的积累、研发投入的增加以及能源结构的清洁化,能在一定程度上促进制造业低碳国际竞争力的提升。但三者的影响具有国别差异性。对于发展中国家和贸易开放程度较高的国家,物质资本的增加能显著提升其制造业低碳比较优势;而对于发达国家和贸易开放度较低的国家,研发投入对制造业低碳国际竞争力的促进作用更强;能源结构清洁化的影响则在贸易开放度更高的国家更为显著。而人力资本的累积和 FDI 的流入均在一定程度上不利于制造业低碳国际竞争力的提升。

中国制造业的低碳国际竞争力水平较高,但其身为发展中的大国,且贸易开放程度较高,根据上述结论,过于严格的环境规制在短期内不利于维持或提升其制造业的低碳比较优势。一方面,现阶段我国的环境规制主要以行政命令型为主导,虽然能有效发挥强制减排的作用,但却可能因过于严格和刚性而影响制造业在国际舞台上的低碳竞争力。因此,逐步转向以经济手段为主的环境规制工具,如碳排放权交易市场、用能权交易、排污权交易等,发挥“看不见的手”在治污减排中的推动作用,兼顾环境规制的成本与有效性,应是今后环境规制的主导方向。另一方面,在《中国制造 2025》的引领下,我国应进一步加大对制造业技术创新的投入,通过实施智能制造等核心工程巩固和提升我国制造业的低碳比较优势,以促进其技术创新效应尽早弥补成本遵循效应,实现长期范围内的低碳国际竞争力提升。

参考文献:

- [1] J. A. Tobey. The Effects of Domestic Environmental Policies on Patterns of World Trade: An Empirical Test. *KYKLOS*, 1990, 43(2).
- [2] G. M. Grossman, A. B. Krueger. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement (No. w3914). National Bureau of Economic Research, 1991, 8(2).
- [3] M. A. Cole, R. J. R. Elliott. Determining the Trade-environment Composition Effect: The Role of Capital, Labour and Environmental Regulations. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2003, 46(3).
- [4] J. Ederington, J. Minier. Is Environmental Policy a Secondary Trade Barrier? An Empirical Analysis. *Canadian Journal of Economics*, 2003, 36(1).
- [5] A. Levinson, M. S. Taylor. Unmasking the Pollution Haven Effect. *International Economic Review*, 2008, 49(1).
- [6] M. Greenstone. The Effects of Environmental Regulation on the Competitiveness of U. S. Manufacturing (No. w18392). National Bureau of Economic Research, 2012, 16(1).
- [7] 傅京燕,李丽莎.环境规制、要素禀赋与产业国际竞争力的实证研究——基于中国制造业的面板数据. *管理世界*, 2010, (10).
- [8] 李小平,卢现祥,陶小琴.环境规制强度是否影响了中国工业行业的贸易比较优势. *世界经济*, 2012, (4).
- [9] 陈红喜,刘东,袁瑜.基于低碳价值链视角的企业绿色竞争力识别研究. *科技进步与对策*, 2012, (19).
- [10] 黄茂兴,杨雪星.全球绿色经济竞争力评价与提升路径——以 G20 为例. *经济研究参考*, 2016, (16).
- [11] M. Janicke. “Green Growth”: From a Growing Eco-industry to Economic Sustainability. *Energy Policy*, 2012, 48(C).
- [12] S. Fankhauser. Who Will Win the Green Race? In Search of Environmental Competitiveness and Innovation. *Global Environmental Change*, 2013, 23(5).

- [13] S. Apak, E. Atay. Global Competitiveness in the EU Through Green Innovation Technologies and Knowledge Production. *Procedia-social and Behavioral Sciences*, 2015, 181.
- [14] 许统生, 薛智韵. 制造业出口碳排放: 总量、结构、要素分解. *财贸研究*, 2011, (2).
- [15] K. Laursen. Revealed Comparative Advantage and the Alternatives as Measures of International Specialization. *Eurasian Business Review*, 2015, 5(1).
- [16] M. A. Cole. Why the Grass Is Not Always Greener: The Competing Effects of Environmental Regulations and Factor Intensities on US Specialization. *Ecological Economics*, 2005, 54(1).
- [17] M. A. Cole, R. J. R. Elliott. Do Environmental Regulations Influence Trade Patterns? Testing Old and New Trade Theories. *The World Economy*, 2003, 26(8).
- [18] V. Costantini, F. Crespi. Environmental Regulation and the Export Dynamics of Energy Technologies. *Ecological Economics*, 2008, 66(2-3).
- [19] 曹慧平, 陈清萍. 环境要素约束下 H-O 模型的理论及实证检验. *国际贸易问题*, 2011, (11).
- [20] 任力, 黄崇杰. 国内外环境规制对中国出口贸易的影响. *世界经济*, 2015, (5).
- [21] J. M. Grether, N. A. Mathys. The Pollution Terms of Trade and Its Five Components. *Journal of Development Economics*, 2013, 100(1).
- [22] X. Cao, A. Prakash. Trade Competition and Environmental Regulations: Domestic Political Constraints and Issue Visibility. *The Journal of Politics*, 2012, 74(1).
- [23] 连玉君, 苏治, 丁志国. 现金—现金流敏感性检验融资约束假说吗. *统计研究*, 2008, (10).

Environmental Regulation and Low-carbon International Competitiveness of Manufacturing Industries: “Porter Hypothesis” Re-examination of G20 Countries

Qi Shaozhou & Xu Jia (Wuhan University)

Abstract: Drawing on the Revealed Comparative Advantage (RCA) index, this paper has constructed low-carbon international competitiveness index, calculated and compared low-carbon international competitiveness index of manufacturing industry of sixteen G20 countries from 1995 to 2009. On this basis, this paper uses energy intensity and carbon intensity as proxies for environmental regulation, studies the impact of environmental regulation and other factors on low-carbon international competitiveness of G20 countries' manufacturing industry and implements robustness test through two aspects, including alternative variable of environmental regulation and considering endogeneity. According to the empirical results, in the short term, strict environmental regulation is not conducive to the promotion of low-carbon international competitiveness of manufacturing industries. Technological innovation effect has not surpassed cost compliance effect and the Porter effect needs longer time to become salient. This negative impact is more pronounced and greater in developing countries and countries with higher trade openness.

Key words: low-carbon international competitiveness; environmental regulation; G20

■ 收稿日期: 2017-06-29

■ 作者简介: 齐绍洲, 武汉大学经济与管理学院、武汉大学气候变化与能源环境研究中心教授; 湖北 武汉 430072。
徐 佳, 武汉大学经济与管理学院博士生。

■ 责任编辑: 刘金波