

引文格式: 李光勤, 刘梦丽. 双重网络嵌入对碳排放的影响: 基于248个城市的经验证据 [J]. 常州大学学报(社会科学版), 2023, 24 (5): 67-77.

双重网络嵌入对碳排放的影响

——基于248个城市的经验证据

李光勤, 刘梦丽

摘要: 基于2004—2019年我国248个地级及以上城市的面板数据, 考察了双重网络嵌入对城市碳排放的影响及作用机制。研究表明: 国际网络嵌入与城市碳排放之间存在倒U型曲线关系, 国内网络嵌入与城市碳排放之间存在正U型曲线关系, 双重网络嵌入与城市碳排放之间存在正U型曲线关系; 双重网络嵌入对城市碳排放影响存在显著的地区和城市规模差异。机制分析发现, 制度环境和技术创新增强了国际网络嵌入与城市碳排放之间的倒U型曲线关系, 削弱了国内网络嵌入与城市碳排放之间的正U型曲线关系, 增强了双重网络嵌入与城市碳排放之间的正U型曲线关系。地方政府要通过积极吸引外资提升国际网络嵌入水平, 加速产业转型; 合理提升国内网络嵌入水平, 协调外资和产业转型; 提升双重网络嵌入, 加强法律建设, 完善制度环境, 加强人才培养, 提高创新技术水平, 实现减少碳排放的总体目标。

关键词: 国际网络嵌入; 国内网络嵌入; 城市碳排放; 制度环境; 技术创新

作者简介: 李光勤, 经济学博士, 安徽财经大学国际经济贸易学院副教授、硕士研究生导师; 刘梦丽, 安徽财经大学国际经济贸易学院硕士研究生。

基金项目: 安徽省哲学社会科学研究一般项目“双碳战略下数字化赋能企业能源利用效率的实现路径与安徽对策”(AHSKY2022D050)。

中图分类号: F124.3 **文献标志码:** A **Doi:** 10.3969/j.issn.2095-042X.2023.05.007

随着全球温室效应不断增强, 气候变暖问题日益严重。为承担解决气候变化问题中的大国责任, 在第七十五届联合国大会上, 习近平主席提出“2030年碳达峰, 2060年碳中和”的双碳目标, 我国的碳减排压力较大。近年来, 随着我国与国际社会交流合作日益频繁, 城市的国际网络嵌入程度不断加深; 同时, 在我国构建国内统一大市场背景下, 国内大循环也得到较快的发展, 国内网络嵌入程度也在不断提升。因此, 国际网络嵌入、国内网络嵌入和双重网络嵌入与碳排放的关系是一个值得关注的问题。

从现有文献来看, 双重网络嵌入与碳排放的研究主要包括以下三个方面: 第一, 针对双重网络嵌入的研究。现有文献聚焦国内网络嵌入和国际网络嵌入分别对创业^[1]、企业绩效^[2]、二元学习^[3]、企业知识转移绩效^[4]等的影响, 基本结论都是正向影响。第二, 针对碳减排的研究。现有文献主要从经济发展^[5]、技术进步^[6]、化石产业^[7]、工业化^[8]、经济结构^[9]等角度分析碳排放的影响因素。第三, 针对双重网络嵌入与碳排放关系的研究。一方面, 国际网络嵌入能够为本地带

来技术溢出效应、产业集聚,减少碳排放^[10],且收入水平在其中发挥调节作用^[11];另一方面,国内网络嵌入通过提高资源利用效率实现碳减排^[12]。此外,也有研究表明,国内网络嵌入与碳排放之间存在倒U型曲线关系,且通过技术创新显著抑制碳排放^[13]。

综上所述,现有研究主要考察国际网络嵌入和国内网络嵌入分别对城市碳排放的影响,对双重网络嵌入共同对城市碳排放的影响研究较少。本文可能的边际贡献:首先,创造性地把双重网络嵌入与城市碳排放连接在一起,探索双重网络嵌入对城市碳排放的作用。其次,考察城市制度环境和技术创新水平对三种网络嵌入与城市碳排放之间关系的调节作用。最后,在“国内大循环为主体、国内国际双循环”的发展格局和“双碳”背景下,利用双重网络嵌入减少城市碳排放是我国必须解决的难题。本文的研究为政府调整双重网络嵌入、完善制度环境和提高技术创新水平,减少碳排放提供政策建议。

一、理论分析及研究假说

(一) 国际网络嵌入、国内网络嵌入、双重网络嵌入与城市碳排放

国际网络嵌入是指通过吸引资金、技术进入等方式与其他国家和地区形成长期稳定的交流合作关系^[14]。国际网络嵌入从以下三个方面对城市碳排放产生影响:第一,国际网络嵌入为本地企业带来资金^[15],促进经济增长,增加能源消费需求,进而增加城市碳排放。第二,国际网络嵌入为企业带来技术和管理经验^[16],通过溢出效应提高地区技术创新能力,增加产品技术含量,促进地区经济发展,减少城市碳排放。第三,国际网络嵌入对碳排放的影响受当地相关法律法规的规制。在经济发展落后地区,环境管制较为宽松,大量引进高污染企业会增加城市碳排放^[17]。在经济发展早期,为了实现经济快速发展和引进外商投资的目标忽视了外商投资对城市环境的负面影响,加上我国要素价格低廉和自然资源丰富等优势吸引,致使大量高污染产业转移到国内。这一阶段,国际网络嵌入程度越深,城市碳排放量越大。随着经济快速发展,国际网络嵌入程度不断加深,居民对环境质量要求越来越高,政府也开始重视城市碳排放问题,注重引进产业的绿色属性。同时,国际网络嵌入程度的加深使得本国企业获得绿色技术溢出^[18],发展绿色产业,减少城市碳排放。

国内网络嵌入反映区域内企业、高校和研发机构等主体之间的互动,进而形成相对稳定的网络结构关系^[14]。国内网络嵌入对城市碳排放存在正外部性和负外部性。在国内网络嵌入程度较浅时,国内网络嵌入对城市碳排放的正外部性占主导地位^[19]。一方面,本地企业通过信息、要素共享提高生产效率,优化资源配置,将高污染产业转移至其他城市,降低城市碳排放。另一方面,国内网络嵌入会加速本地产业集聚,形成本地产业集群^[20],集群内企业相互吸收知识和技术并从技术外溢中获益,进而减少城市碳排放。然而,随着国内网络嵌入程度加深,国内网络嵌入对城市碳排放的负外部性逐渐占主导地位。产业集群会加速本地的技术资源和市场同质化^[21],加剧市场的竞争程度。为了从激烈的竞争中获利企业之间会为了争夺市场而打价格战,进而减低原材料成本和减少研发投入,增加城市碳排放。

双重网络嵌入反映的是国际网络嵌入与国内网络嵌入交互作用的强度^[4]。在我国“国内循环为主体,国内国际双循环”的发展格局下,双重网络嵌入对城市碳排放的影响,主要以国内网络嵌入为主。因此,双重网络嵌入对城市碳排放的影响,与国内网络嵌入对城市碳排放的影响一致。一方面,在双重网络嵌入前期,积极地嵌入国内网络有助于缓解资源约束,为国际网络嵌入奠定基础^[22]。国际网络嵌入作为国内网络嵌入的延伸和拓展^[23],可以帮助本土企业获取国际市

场知识^[11],提高技术创新水平,优化本地资源配置,减少城市碳排放。另一方面,双重网络嵌入过深会使本地企业产生路径依赖,抑制自身的自主创新能力,不利于当地的技术创新和产业升级。双重网络嵌入加深也导致企业生产规模进一步扩大,能源消费增多,增加城市碳排放。据此,本文提出如下假说。

H1:国际网络嵌入与城市碳排放之间存在倒U型曲线关系,国内网络嵌入与城市碳排放之间存在正U型曲线关系,双重网络嵌入与城市碳排放之间存在正U型曲线关系。

(二) 制度环境机制

首先,完善的制度给本地企业营造良好的营商环境,促进要素自由流动^[14]。市场化水平较高的地区,既可以通过市场这只“无形的手”优化资源配置,提高资源利用效率,减少城市碳排放,又可以通过碳交易减少城市碳排放^[24]。其次,完善的制度环境意味着健全的法律体系和较强的执法能力^[14]。在法律健全的地区,政府对企业的生产活动有明确的规范约束,企业难以通过“达成不良协议”而获利,只能通过加大研发投入等手段提高自身的自主创新能力,间接地减少了城市碳排放。最后,在制度环境良好的地区,企业偏向于诚实经营和公平竞争,企业之间更容易建立信任机制^[25],企业间的交流合作成本也因此降低。同时,企业行为规范的完善也增加了违法和失信的无形成本,降低了企业交流合作的机会风险。

综上所述,制度环境会增强国际网络嵌入与城市碳排放之间的倒U型曲线关系,国内网络嵌入与城市碳排放之间的正U型曲线关系会随着制度环境的改善而被削弱,制度环境会增强双重网络嵌入与城市碳排放之间的正U型曲线关系。本文提出如下假说:

H2:制度环境越完善,国际网络嵌入与城市碳排放之间的倒U型曲线关系越显著,国内网络嵌入与城市碳排放之间的正U型曲线关系越不显著,双重网络嵌入与城市碳排放之间的正U型曲线关系越显著。

(三) 技术创新机制

技术创新水平是影响城市碳排放的重要因素。一方面,高水平的技术创新可以提高资源利用效率,降低企业的生产成本,减少企业为谋取利润而采用劣质原材料的可能。另一方面,在技术创新水平较高的地区,政府会充分发挥人力资本对技术创新的作用。人力资本数量增加和结构优化,不仅会增强居民的绿色生产和绿色消费观念^[26],促使企业生产绿色产品,进而减少城市碳排放;而且会增强地区对知识和技术的虹吸能力,进而增强国际网络嵌入、国内网络嵌入和双重网络嵌入导致的知识和技术溢出效应^[27],减少城市碳排放。

综上所述,技术创新会增强国际网络嵌入与城市碳排放之间的倒U型曲线关系,国内网络与城市碳排放之间的正U型曲线关系会随着技术创新水平的提高而被削弱,技术创新会增强双重网络嵌入与城市碳排放之间的正U型曲线关系。本文提出如下假说:

H3:技术创新水平越高,国际网络嵌入与城市碳排放之间的倒U型曲线关系越显著,国内网络嵌入与城市碳排放之间的正U型曲线关系越不显著,双重网络嵌入与城市碳排放之间存的正U型曲线关系越显著。

二、研究设计

(一) 模型设计

为检验双重网络嵌入对城市碳排放的影响,本文构建如下模型:

$$C_{it} = \beta_0 + \beta_1 inter_{it} + \beta_2 inter_{it}^2 + \gamma X_{it} + \mu_t + \varphi_i + \epsilon_{it} \quad (1)$$

$$C_{it} = \beta_0 + \beta_1 home_{it} + \beta_2 home_{it}^2 + \gamma X_{it} + \mu_t + \varphi_i + \epsilon_{it} \quad (2)$$

$$C_{it} = \beta_0 + \beta_1 inter_{it} + \beta_2 inter_{it}^2 + \beta_3 home_{it} + \beta_4 home_{it}^2 + \beta_5 inter_{it} home_{it} + \beta_6 inter_{it}^2 home_{it}^2 + \gamma X_{it} + \mu_t + \varphi_i + \epsilon_{it} \quad (3)$$

式中： i 表示城市， t 表示年份， C 表示城市碳排放， $inter$ 表示国际网络嵌入， $home$ 表示国内网络嵌入， $inter \times home$ 是国内网络嵌入和国际网络嵌入的交互项， $inter^2 \times home^2$ 是国内网络嵌入和国际网络嵌入二次项的交互项； X 代表控制变量集合； φ_i 代表城市固定效应， μ_t 代表时间固定效应， ϵ_{it} 为扰动项。

(二) 变量选取

被解释变量城市碳排放 (C)，采用城市碳排放总量的自然对数衡量。采用中国碳排放数据库 (China Emission Accounts and Datasets, CEADs) 公布的省级碳排放数据和中国灯光栅格数据，根据每个栅格灯光亮度将每个省的碳排放量分配给每个栅格，然后根据地级市地图对每个地级市包括的栅格碳排放数值求和，得到每个地级市的碳排放总量。

国际网络嵌入 ($inter$) 和国内网络嵌入 ($home$) 为核心解释变量。借鉴肖远飞等^[28]的做法采用城市外商直接投资实际使用额的自然对数衡量国际网络嵌入 ($inter$)。借鉴任晓松等^[29]的做法采用城市当年第二、三产业的就业人口数与城市建成区面积之比衡量国内网络嵌入 ($home$)。在研究中，将国际网络嵌入和国内网络嵌入的二次项 ($inter^2$ 、 $home^2$)、交互项 ($inter \times home$)、二次项的交互项 ($inter^2 \times home^2$) 纳入模型中。

控制变量如下：经济发展水平 ($pgdp$)，使用各城市人均生产总值的自然对数衡量，单位是元/人。人口密度 (dop)，使用各城市户籍人口/土地面积的自然对数衡量，单位是人/平方公里。政府财政支出 (gov)，使用各城市地方政府一般公共预算支出/GDP 衡量。工业化水平 (ind)，使用各城市第二产业生产总值/GDP 衡量。产业结构 (ais)，使用各城市第三产业生产总值/GDP 衡量。对外开放程度 ($open$)，使用各城市进出口总额/GDP 衡量。

(三) 数据来源

以 2004—2019 年我国 248 个城市面板数据为研究样本。其中，除制度环境外，其他数据均来自中国碳排放数据库、中国城市统计年鉴、EPS 数据库、各城市统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报。为避免多重共线性，构建交互项之前对变量进行中心化处理。相关变量的描述性统计见表 1。

表 1 变量的描述性统计

变量	均值	标准差	最小值	最大值	变量	均值	标准差	最小值	最大值
C	7.6352	0.8954	4.7312	10.0354	gov	16.1080	9.4817	4.2654	171.1006
$inter$	11.7978	1.8543	3.0096	16.8344	ind	47.8580	9.7959	11.7000	81.0900
$home$	0.4697	0.2369	0.0281	2.1061	ais	39.0218	9.3759	11.9900	83.5200
$pgdp$	10.3238	0.7807	4.5951	13.0557	$open$	0.2223	0.4146	0.0004	8.1339
dop	5.8833	0.8335	1.5632	7.9058					

三、实证分析结果

(一) 基准回归

为验证上文提出的假说 1，采用双固定效应模型考察双重网络嵌入对碳排放的影响。表 2 的第

(1) 列和第 (2) 列考察国际网络嵌入及二次项对城市碳排放的影响，结果显示国际网络嵌入一次项系数显著为正，二次项系数显著为负，这表明国际网络嵌入与城市碳排放之间存在倒 U 型曲线关系，拐点分别为 10.68 和 8.92，可见，加入控制变量后拐点会提前到来。以第 (2) 列的结果来看，当国际网络嵌入小于 8.92 这一特定值时，城市碳排放随着国际网络嵌入程度的加深而递增；当国际网络嵌入达到 8.92 这一特定值之后，国际网络嵌入程度越深，城市碳排放量反而越少。第 (3) 列和第 (4) 列考察国内网络嵌入及二次项对城市碳排放的影响，结果显示国内网络嵌入一次项的估计系数显著为负，二次项的估计系数显著为正，这表明国内网络嵌入与城市碳排放之间存在正 U 型曲线关系。当加入控制变量后，国内网络嵌入小于拐点 (0.94) 这一特定值时，城市碳排放随着国内网络嵌入程度的加深而递减；国内网络嵌入大于拐点 (0.94) 这一特定值时则递增。第 (5) 列和第 (6) 列同时加入国际网络嵌入与国内网络嵌入的一次项、二次项及交互项，结果表明国际网络嵌入与城市碳排放之间仍存在倒 U 型曲线关系、国内网络嵌入与城市碳排放之间仍存在正 U 型曲线关系；双重网络嵌入的一次项为负，二次项为正，而且在加入控制变量后，二次项系数在 10% 的置信水平上显著，双重网络嵌入与城市碳排放之间存在正 U 型曲线关系。表明双重网络嵌入以国内网络嵌入为主，更多体现国内网络嵌入的特征。假说 1 得以验证。

表 2 基准回归

变量	C					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>inter</i>	0.135*** (0.020)	0.086*** (0.019)			0.115*** (0.020)	0.075*** (0.020)
<i>inter</i> ²	-0.006*** (0.001)	-0.005*** (0.001)			-0.005*** (0.001)	-0.004*** (0.001)
<i>home</i>			-0.612*** (0.078)	-0.452*** (0.074)	-0.599*** (0.078)	-0.441*** (0.074)
<i>home</i> ²			0.321*** (0.049)	0.241*** (0.047)	0.310*** (0.050)	0.233*** (0.047)
<i>inter</i> × <i>home</i>					-0.013 (0.034)	-0.034 (0.033)
<i>inter</i> ² × <i>home</i> ²					0.002 (0.001)	0.002* (0.001)
<i>pgdp</i>		0.521*** (0.086)		0.513*** (0.085)		0.426*** (0.087)
<i>pgdp</i> ²		-0.019*** (0.004)		-0.020*** (0.004)		-0.015*** (0.004)
<i>dop</i>		-0.339*** (0.062)		-0.336*** (0.062)		-0.320*** (0.062)
<i>gov</i>		0.003*** (0.000)		0.003*** (0.000)		0.003*** (0.000)
<i>ind</i>		0.015*** (0.001)		0.015*** (0.001)		0.015*** (0.001)
<i>open</i>		0.043*** (0.015)		0.036** (0.015)		0.038** (0.015)
<i>ais</i>		0.012*** (0.002)		0.012*** (0.002)		0.012*** (0.002)
<i>N</i>	3968	3968	3968	3968	3968	3968
<i>R</i> ²	0.955	0.961	0.956	0.961	0.956	0.961
<i>F</i>	21.886	61.697	34.158	62.088	20.688	46.869

注：表 2 未汇报常数项的估计值，每个模型均控制了时间和城市固定效应；括号内的数值为聚类到城市的稳健性标准差；*、**、*** 分别表示在 10%、5% 和 1% 显著性水平显著，表 2~6 同。

（二）稳健性检验

为了确保结论的稳健性，采取两种方法进行稳健性检验：

第一，更换被解释变量，使用城市人均碳排放量的自然对数替代城市碳排放总量的自然对数重新进行估计，估计结果（见表 3 第（1）（2）（3）列）显示，国际网络嵌入、国内网络嵌入以双重网络嵌入对城市人均碳排放的影响没有改变，再次验证了假说 1。

表 3 替换被解释变量和内生性检验

变量	PC			C		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>inter</i>	0.070*** (0.016)		0.063*** (0.016)	0.226*** (0.048)		0.101*** (0.021)
<i>inter</i> ²	-0.004*** (0.001)		-0.004*** (0.001)	-0.011*** (0.002)		-0.005*** (0.001)
<i>home</i>		-0.493*** (0.062)	-0.479*** (0.062)		-0.630*** (0.107)	-0.390*** (0.081)
<i>home</i> ²		0.272*** (0.039)	0.264*** (0.039)		0.341*** (0.067)	0.198*** (0.052)
<i>inter</i> × <i>home</i>			-0.038 (0.027)			-0.113** (0.057)
<i>inter</i> ² × <i>home</i> ²			0.002** (0.001)			0.005*** (0.002)
控制变量	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	3968	3968	3968	3720	3720	3720
<i>R</i> ²	0.952	0.952	0.953	0.134	0.136	0.149
<i>F</i>	56.800	59.031	45.693	62.243	61.223	47.090
<i>LM statistic</i>				525.839	1947.761	1326.817
<i>C-D Wald F statistic</i>				283.896	1895.293	954.980

第二，删除直辖市样本。由于直辖市的国内网络嵌入和国际网络嵌入水平较高，可能成为异常值，故删除 4 个直辖市样本后重新进行估计，估计结果（见表 4）显示，国际网络嵌入、国内网络嵌入以及双重网络嵌入对城市人均碳排放的影响没有改变。再次验证了假说 1。

表 4 删除直辖市样本

变量	C			PC		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>inter</i>	0.083*** (0.020)		0.073*** (0.020)	0.069*** (0.017)		0.062*** (0.017)
<i>inter</i> ²	-0.005*** (0.001)		-0.004*** (0.001)	-0.004*** (0.001)		-0.004*** (0.001)
<i>home</i>		-0.445*** (0.075)	-0.433*** (0.075)		-0.0490*** (0.062)	-0.477*** (0.062)
<i>home</i> ²		0.237*** (0.047)	0.229*** (0.048)		0.271*** (0.039)	0.262*** (0.040)
<i>inter</i> × <i>home</i>			-0.031 (0.033)			-0.036 (0.027)
<i>inter</i> ² × <i>home</i> ²			0.002* (0.001)			0.002** (0.001)
控制变量	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	3904	3904	3904	3904	3904	3904
<i>R</i> ²	0.719	0.720	0.723	0.638	0.640	0.645
<i>F</i>	388.571	389.187	338.550	266.643	268.794	235.333

(三) 内生性处理

为解决内生性问题,选取国际网络嵌入、国内网络嵌入、双重网络嵌入的滞后一期作为工具变量使用2SLS方法重新进行估计,估计结果见表3的第(4)(5)(6)列。从工具变量的第一阶段回归结果可以看出, $LM\ statistic$ 和 $C-D\ Wald\ F\ statistic$ 均大于临界值,说明工具变量不存在不可识别和弱工具变量问题。从第二阶段回归结果可以看出,在单独考虑国际网络嵌入和国内网络嵌入对城市碳排放影响时,国际网络嵌入和国内网络嵌入对城市碳排放的影响仍为倒U型曲线关系和正U型曲线关系;在加入双重网络嵌入之后,国际网络嵌入、国内网络嵌入和双重网络嵌入对城市碳排放的影响没有改变,显著性比基准回归有较大的提升,说明假说1是成立的。

(四) 异质性分析

为探寻不同地区双重网络嵌入对城市碳排放的影响,将总样本248个城市分为东部地区、中部地区、西部地区和东北地区4个子样本重新进行回归,结果见表5第(1)(2)(3)(4)列。在东部地区,国际网络嵌入与城市碳排放之间存在正U型关系,这可能是因为,在国际网络嵌入前期,东部地区凭借较高的经济发展水平,有选择地接收国外先进的技术和知识,减少城市碳排放;随着国际网络嵌入程度的加深,东部地区城市丧失主动性,陷入路径依赖。国内网络嵌入和双重网络嵌入与城市碳排放之间仍存在正U型曲线关系。在中部地区,国际网络嵌入与城市碳排放之间存在倒U型曲线关系,国内网络嵌入和双重网络嵌入与城市碳排放之间存在正U型曲线关系,但并不显著。在西部地区,国际网络嵌入与城市碳排放之间存在倒U型曲线关系,国内网络嵌入与城市碳排放之间存在正U型曲线关系,双重网络嵌入与城市碳排放之间不存在明显的曲线关系。中西部地区双重网络嵌入与城市碳排放之间存在正U型曲线关系但不显著,这可能是因为,中西部地区经济发展水平低,被动嵌入国内网络中低端,国内网络嵌入影响减小。在东北地区,国际网络嵌入与城市碳排放量之间存在正U型曲线关系,这可能是因为,东北地区重工业比较发达。在国际网络嵌入前期信息技术和知识共享能带动东北地区重工业的碳减排;而随着国际网络嵌入程度的加深,重工业的高污染、高能耗属性随着规模扩大再次带动碳排放增加。国内网络嵌入和双重网络嵌入与城市碳排放之间存在正U型曲线关系。

为探寻双重网络嵌入对不同规模城市碳排放的影响,按照常住人口总数将总样本248个城市分为小城市、中等城市和大城市3个子样本重新进行估计。其中,常住人口数小于或等于100万人的城市为小城市,常住人口数大于100万且小于或等于500万人的城市为中等城市,常住人口数大于500万人的城市为大城市。估计结果见表5第(5)(6)(7)列。对于小城市而言,国际网络嵌入、国内网络嵌入和双重网络嵌入与城市碳排放之间均存在正U型曲线关系,但均不显著。这可能是因为,小城市的国际网络嵌入、国内网络嵌入和双重网络嵌入较为低端,3种网络嵌入对经济发展、技术创新等各方面的影响并不显著,从而导致双重网络嵌入与城市碳排放之间的U型关系不显著。对于中等城市而言,国际网络嵌入与城市碳排放之间存在倒U型曲线关系,国内网络嵌入与城市碳排放之间存在正U型曲线关系,双重网络嵌入与城市碳排放之间不存在明显的曲线关系。这可能是因为,中等城市在经济发展、政策扶持等各方面的限制因素导致国内网络嵌入对城市碳排放的影响不再占据主导地位。对于大城市而言,国际网络嵌入与城市碳排放之间存在倒U型曲线关系,但并不显著,这可能是因为,大城市的地方政府相对重视碳减排,且具有较新的信息、技术和知识,导致国际网络嵌入与碳排放之间的影响并不显著;国内网络嵌入和双重网络嵌入与城市碳排放之间存在正U型曲线关系。城市规模不同,双重网络嵌入对碳排放的影响也不同。

表 5 地区和城市规模异质性分析

变量	东部地区	中部地区	西部地区	东北地区	小城市	中等城市	大城市
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
<i>inter</i>	−0.266*** (0.079)	0.225*** (0.055)	0.121*** (0.036)	−0.200*** (0.050)	0.015 (0.214)	0.090*** (0.026)	−0.035 (0.047)
<i>inter</i> ²	0.009*** (0.003)	−0.011*** (0.002)	−0.006*** (0.002)	0.011*** (0.003)	0.003 (0.012)	−0.005*** (0.001)	0 (0.002)
<i>home</i>	−0.312** (0.125)	−0.076 (0.103)	−0.660** (0.313)	−1.869*** (0.438)	0.115 (1.291)	−0.526*** (0.118)	−0.161 (0.105)
<i>home</i> ²	0.145* (0.077)	0.026 (0.060)	0.480* (0.267)	1.823*** (0.504)	0.611 (1.458)	0.238*** (0.083)	0.110* (0.061)
<i>inter</i> × <i>home</i>	−0.115* (0.067)	−0.079 (0.076)	0.080 (0.085)	−0.355** (0.148)	−0.054 (0.704)	−0.009 (0.048)	−0.088 (0.055)
<i>inter</i> ² × <i>home</i> ²	0.005*** (0.002)	0.003 (0.002)	−0.001 (0.003)	0.029*** (0.009)	0.016 (0.047)	0.001 (0.002)	0.003* (0.002)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	1456	1152	992	368	95	2363	1510
<i>R</i> ²	0.783	0.784	0.696	0.850	0.819	0.695	0.767
<i>F</i>	172.781	136.687	73.916	64.188	9.541	177.048	162.093

（五）机制检验

为了验证假说 2 和假说 3，引入地区发展的制度环境和技术创新两个机制变量（*Mech*），其中，制度环境采用《中国分省份市场化指数报告》^[30]中各省份市场化发展综合评分来衡量，技术创新采用各城市专利申请数量的自然对数衡量。运用调节效应模型检验作用机制，检验结果见表 6。表 6 第（1）列是在基准回归基础上加入制度环境的估计结果，结果表明制度环境对城市碳排放没有产生影响。第（2）列是在第（1）列的基础上加入制度环境与国际网络嵌入的一次项和二

表 6 机制分析

变量	机制变量为制度环境		机制变量为技术创新	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>inter</i>	0.078*** (0.020)	0.073*** (0.024)	0.080*** (0.019)	0.075*** (0.024)
<i>inter</i> ²	−0.004*** (0.001)	−0.004*** (0.001)	−0.004*** (0.001)	−0.004*** (0.001)
<i>home</i>	−0.437*** (0.074)	−0.359*** (0.077)	−0.437*** (0.074)	−0.354*** (0.078)
<i>home</i> ²	0.231*** (0.047)	0.197*** (0.051)	0.229*** (0.047)	0.185*** (0.049)
<i>inter</i> × <i>home</i>	−0.032(0.033)	−0.038(0.035)	−0.032(0.032)	−0.023(0.038)
<i>Inter</i> ² × <i>home</i> ²	0.002* (0.001)	0.002* (0.001)	0.002** (0.001)	0.001(0.001)
<i>Mech</i>	0.012(0.008)	−0.230*** (0.065)	0.057*** (0.007)	−0.175*** (0.047)
<i>inter</i> × <i>Mech</i>		0.050*** (0.011)		0.043*** (0.008)
<i>inter</i> ² × <i>Mech</i>		−0.003*** (0.000)		−0.002*** (0.000)
<i>home</i> × <i>Mech</i>		0.023(0.047)		0.027(0.037)
<i>home</i> ² × <i>Mech</i>		−0.017(0.035)		−0.004(0.027)
<i>inter</i> × <i>home</i> × <i>Mech</i>		−0.065*** (0.023)		−0.044*** (0.016)
<i>inter</i> ² × <i>home</i> ² × <i>Mech</i>		0.002** (0.001)		0.001** (0.001)
控制变量	是	是	是	是
<i>N</i>	3968	3968	3968	3968
<i>R</i> ²	0.142	0.153	0.155	0.165
<i>F</i>	43.672	33.272	48.416	36.457

次项的交互项、制度环境与国内网络嵌入的一次项和二次项的交互项、制度环境与双重网络嵌入的一次项和二次项的交互项后重新进行估计的结果,发现制度环境的估计显著为负,但制度环境与3种网络嵌入的交互项系数显示,国际网络嵌入与城市碳排放之间存在倒U型曲线关系,国内网络嵌入与城市碳排放之间存在的正U型曲线关系不再显著,双重网络嵌入与城市碳排放之间存在正U型曲线关系且更加显著。由此可见,制度环境在双重网络嵌入与碳排放的关系中存在调节作用。

同理,第(3)列为在基准回归基础上加入技术创新这一控制变量的估计结果,结果表明技术创新对城市碳排放具有显著的正向影响;但在加入技术创新与3种网嵌入的一次项和二次项的交互项后技术创新的估计系数变为负数且显著,说明技术创新对碳排放的影响转移到交互项上了。此时,技术创新与双重网络嵌入的交互项与城市碳排放之间存在正U型曲线关系,可见,技术创新可以加强双重网络嵌入对碳排放的影响。

四、结论和政策启示

在双重网络嵌入影响城市碳排放机制理论分析的基础上,利用2004—2019年248个地级及以上城市的面板数据,实证考察双重网络嵌入对城市碳排放的影响,以及制度环境和技术创新在双重网络嵌入与城市碳排放之间的调节作用,主要结论如下:第一,国际网络嵌入与城市碳排放之间存在倒U型曲线关系,国内网络嵌入和双重网络嵌入与城市碳排放之间的关系为正U型曲线关系;经过替换被解释变量、删除直辖市样本和工具变量估计后,上述结论仍然成立。第二,将样本分为东、中、西和东北四个地区后重新进行估计发现,3种网络嵌入呈现不同的曲线关系。根据城市人口规模将城市分为小城市、中等城市和大城市的分样本估计发现,三种网络嵌入呈现不同的曲线关系。第三,制度环境和技术创新增强国际网络嵌入与城市碳排放之间存在的倒U型曲线关系,但让国内网络嵌入与城市碳排放之间存在的正U型曲线关系不显著,可以加强双重网络嵌入与城市碳排放之间存在的正U型曲线关系。

基于上述结论,本文提出以下几点建议:

第一,积极吸引外商直接投资,提升国际网络嵌入水平。地方政府可以通过制定外商直接投资优惠政策,简化直接投资流程步骤以挖掘本地市场,加强本地基础设施建设以调动本地市场积极性,达到提高本地对于外商直接投资的吸引力的目的,进而促使本地区的国际网络嵌入水平尽早跨越过拐点,实现国际网络嵌入带来的减排效应。

第二,加速产业转型升级,合理提升国内网络嵌入水平。在大循环大格局背景下,加快工业企业转型升级有助于提高国内网络嵌入水平,从而提升每个城市在国内生产网络中的地位,但要注意协调好国内网络嵌入与碳排放之间的关系。

第三,协调好外商直接投资和产业转型升级的关系,提升双重网络嵌入水平。地方政府要注重国际网络嵌入与国内网络嵌入对城市碳排放的交互作用,加强对外商直接投资的监管,注重外商直接投资的绿色属性。

第四,加强法律建设,完善制度环境。一方面,地方政府应该制定法律法规,加强对企业碳排放的约束。良好的制度环境也能够为企业公平的竞争市场,为国际网络嵌入和国内网络嵌入减少城市碳排放保驾护航。另一方面,中央政府应该将城市碳排放纳入地方官员绩效考核,提

高地方政府减少碳排放的积极性, 地方政府应该建立相应的奖惩制度, 执行中央政府考核目标。

第五, 加强人才培养, 提高创新水平技术。企业应该积极参与科研创新, 组织交流学习, 加强人才培养, 促进城市技术创新水平提高。

参考文献:

- [1] 苏德金, 陈浙英. 东道国双重网络嵌入视角下的国际创业研究 [J]. 常州大学学报(社会科学版), 2022, 23 (3): 69-77.
- [2] 彭伟, 朱晴雯, 符正平. 双重网络嵌入均衡对海归创业企业绩效的影响 [J]. 科学学研究, 2017, 35 (9): 1359-1369.
- [3] 李杰义, 闫静波. 双重网络嵌入性对二元学习的均衡影响机制研究 [J]. 软科学, 2019, 33 (1): 72-75.
- [4] 赵云辉, 崔新健. 双重网络嵌入、知识来源与跨国公司知识转移绩效的关系 [J]. 技术经济, 2016, 35 (5): 62-68.
- [5] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Economic growth and the environment [J]. The quarterly journal of economics, 1995, 110 (2): 353-377.
- [6] 张兵兵, 朱晶, 全晓云. 技术进步与二氧化碳排放强度: 理论与实证分析 [J]. 科研管理, 2017, 38 (12): 41-48.
- [7] 姜国刚, 李利亨. 长三角石化产业碳排放效率评价及其影响因素 [J]. 常州大学学报(社会科学版), 2021, 22 (3): 52-58.
- [8] XU R J, LIN B Q. Why are there large regional differences in CO₂ emissions? evidence from China's manufacturing industry [J]. Journal of cleaner production, 2017, 140: 1330-1343.
- [9] LIU X Y, BAE J. Urbanization and industrialization impact of CO₂ emissions in China [J]. Journal of cleaner production, 2018, 172: 178-186.
- [10] 陈邦丽, 徐美萍. 中国碳排放影响因素分析: 基于面板数据 STIRPAT-Alasso 模型实证研究 [J]. 生态经济, 2018, 34 (1): 20-24.
- [11] 杨浩, 孙建. 双向投资对技术进步、环境的影响: 基于面板门限模型分析 [J]. 科技管理研究, 2019, 39 (12): 103-109.
- [12] GLAESER E L, KAHN M E. The greenness of cities: carbon dioxide emissions and urban development [J]. Journal of urban economics, 2010, 67 (3): 404-418.
- [13] 吕康娟, 何云雪. 长三角城市群的经济集聚、技术进步与碳排放强度: 基于空间计量和中介效应的实证研究 [J]. 生态经济, 2021, 37 (1): 13-20.
- [14] 熊焰, 杨博旭. 双重网络嵌入、制度环境与区域创新能力 [J]. 科研管理, 2022, 43 (6): 32-42.
- [15] 王晓林, 张华明. 外商直接投资碳排放效应研究: 基于城镇化门限面板模型 [J]. 预测, 2020, 39 (1): 59-65.
- [16] 景光正, 李平, 许家云. 金融结构、双向 FDI 与技术进步 [J]. 金融研究, 2017 (7): 62-77.
- [17] 王荣, 王英. 基于系统 GMM 的 FDI 对我国东、中、西部碳排放影响研究 [J]. 生态经济, 2018, 34 (10): 24-28.
- [18] 路正南, 罗雨森. 空间溢出、双向 FDI 与二氧化碳排放强度 [J]. 技术经济, 2021, 40 (6): 102-111.
- [19] 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 [J]. 管理世界, 2019, 35 (1): 36-60.
- [20] 陶锋, 杨文婷, 孙大卫. 地方产业集群、全球生产网络与企业生产率: 基于双重网络嵌入视角 [J]. 国际经贸探索, 2018, 34 (5): 19-34.
- [21] 杨仁发. 产业集聚与地区工资差距: 基于我国 269 个城市的实证研究 [J]. 管理世界, 2013 (8): 41-52.
- [22] 何会涛, 袁勇志. 海外人才跨国创业研究现状探析与未来展望: 基于双重网络嵌入视角 [J]. 外国经济与管理, 2012, 34 (6): 1-8.
- [23] 方宏, 王益民. 基于深度与广度的国际化速度: 过度自信与政治网络的作用 [J]. 山东大学学报(哲学社会科学版), 2018 (1): 111-119.
- [24] 刘传明, 孙喆, 张瑾. 中国碳排放权交易试点的碳减排政策效应研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29 (11): 49-58.
- [25] 熊焰. 信任、控制机制与供应商绩效关系研究 [J]. 管理评论, 2010, 22 (9): 113-120.
- [26] 尹迎港, 常向东. 科技创新、产业结构升级与区域碳排放强度: 基于空间计量模型的实证分析 [J]. 金融与经济, 2021 (12): 40-51.
- [27] 屈小娥, 赵昱钧, 王晓芳. 我国对“一带一路”沿线国家 OFDI 是否促进了绿色发展: 基于制度环境和吸收能力视角的实

- 证检验 [J]. 国际经贸探索, 2022, 38 (6): 89-102.
- [28] 肖远飞, 李璿, 侯璐萍. 全球生产网络嵌入对我国西部制造业创新能力的影响 [J]. 科技进步与对策, 2017, 34 (22): 41-46.
- [29] 任晓松, 刘宇佳, 赵国浩. 经济集聚对碳排放强度的影响及传导机制 [J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30 (4): 95-106.
- [30] 胡李鹏, 樊纲. 中国分省份市场化指数报告. 2021 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021.

The Influence of Dual Network Embedding on Carbon Emissions: Empirical Evidence Based On 248 Cities

Li Guangqin, Liu Mengli

Abstract: Based on the panel data of 248 cities at and above the prefecture level in China from 2004 to 2019, this paper examines the impact and mechanism of dual network embedding on urban carbon emissions. The results show that there is a significant inverse U-curve relationship between international network embedding and urban carbon emissions, a significant positive U-curve relationship between domestic network embedding and urban carbon emissions, a positive U-curve relationship between dual network embedding and urban carbon emissions, and the impact of dual network embedding on urban carbon emissions is significantly regional and city scale different. Mechanism analysis finds that institutional environment and technological innovation enhance the inverse U-curve relationship between international network embedding and urban carbon emissions, weaken the positive U-curve relationship between domestic network embedding and urban carbon emissions, and enhance the positive U-curve relationship between dual network embedding and urban carbon emissions. Local governments should actively attract foreign investment to improve the level of international network embedding, accelerate the industrial transformation, reasonably promote the level of domestic network embedding, coordinate foreign investment and industrial transformation, promote dual network embedding, strengthen the legal system, improve the institutional environment, strengthen talent cultivation, improve the level of technological innovation so as to achieve the overall goal of reducing carbon emissions.

Keywords: international network embedding; domestic network embedding; urban carbon emissions; institutional environment; technological innovation

(收稿日期: 2022-11-14; 责任编辑: 沈秀)