

工业园区碳排放的影响因素

——基于国家低碳工业园区试点的研究

禹 湘 王 苒 武占云

摘 要 工业是中国能源消耗和碳排放的主要领域，工业园区是中国工业集聚发展的主要形式之一。为促进工业园区的低碳转型，工业和信息化部、国家发展和改革委员会于 2013 年联合组织开展国家低碳工业园区试点工作。作者选取参与试点工作的 18 家工业园区为样本，采用 STIRPAT 模型分析了产业结构、能源结构、科研投入等因素对工业园区碳排放的影响。研究表明，园区生产总值是影响碳排放的重要因素，且二者呈现倒 U 型关系，证明了环境库兹涅茨曲线的存在；能源强度与园区碳排放显著正相关；产业结构和科研投入对园区碳排放影响也十分显著，且均表现为负相关关系；可再生能源的使用对减少园区碳排放的效果还不明显。研究表明应采用差异化的低碳发展路径来实现工业园区的低碳发展。

关键词 碳排放 低碳工业园区 STIRPAT 模型

[中图分类号] F24 [文献标识码] A [文章编号] 2095 - 851X (2017) 03 - 0080 - 12

一、引言

应对气候变化和实现低碳发展已经成为中国的重大战略。中国作为最大的发展中国家，一直积极参与全球应对气候变化行动，近年来不断加大节能减排力度，并承诺在 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值。工业是中国经济的支柱产业，也是

【基金项目】 中国清洁发展机制基金赠款项目“重点工业企业碳管理能力提升路径与政策研究”（批准号：2014086）；中国社会科学院学科登峰战略“气候变化经济学”优势学科建设项目（2017 年）；对外经济贸易大学新进教师项目“全球价值链视角下的中国制造业碳排放问题研究”（批准号：15QD27）。

【作者简介】 禹湘（1979 - ），中国社会科学院城市发展与环境研究所、中国社会科学院可持续发展中心助理研究员，邮政编码：100028；王苒（1986 - ），对外经济贸易大学全球价值链研究院助理研究员，本文通讯作者，邮政编码：100029；武占云（1981 - ），中国社会科学院城市发展与环境研究所助理研究员。

致谢：感谢审稿专家匿名评审，文责自负。

拉动国民经济平稳较快发展的重要动力。2000~2015年，中国规模以上工业增加值年均增长15.4%，工业对国民经济增长的年均贡献率超过45%。^①同时，工业也是中国能源消耗的大户，其能源消耗占能源消耗总量的比重始终在60%以上。工业已成为中国碳减排最重要的领域之一，面临着日益增加的二氧化碳减排的压力与挑战。

以产业集群为特征的工业园区是中国工业发展的重要形式和主要力量。中国目前拥有222家国家级工业园区和1364家省级工业园区，核准面积约98.5万公顷，占国土面积的0.1%左右。^②工业园区的建设对推动中国经济发展起到了举足轻重的作用，成为拉动区域经济增长的引擎。然而，以工业园区为空间载体的集聚经济同样会产生“拥挤效应”，既是碳排放的主要来源，也是污染物排放的主要来源，导致环境污染问题日益凸显。当前和今后一段时期内，聚集发展仍将是中國工业空间格局的主要形态，工业园区也仍将是中國工业发展的重要形式。因此，工业园区减少碳排放、实现绿色转型的需求日益迫切。

为推进工业园区低碳转型，2013年工业和信息化部与国家发展和改革委员会联合启动了国家低碳工业园区试点工作，以此来探索中国工业园区低碳发展的新模式，在实现工业碳减排目标的同时引领和带动工业实现绿色低碳发展。国家低碳工业园区试点是以降低单位工业增加值碳排放或园区碳排放总量为核心，以提升产业竞争力为目标，以低碳技术创新与推广应用为支撑，以增强园区和企业碳管理能力为手段的一种可持续的园区发展模式。

第一批共有55家园区入选国家低碳工业园区试点名单，这55家园区不仅具有区域代表性，也具有一定的生产规模。从地理分布上来看，东中西部均有分布。东部和中部地区的试点园区呈现出分布密度高的特点，其试点园区数量占全国的73%。其中，江苏和浙江两省共有10家试点园区。而西部地区仅有15家试点园区，占全国总数的27%。从生产规模上看，通过《国家低碳工业园区试点实施方案》的51家园区2012年的生产总值共达2.25万亿元，约占当年全国GDP的4.16%，为促进所在区域的经济的发展以及推进工业化进程做出了极为重要的贡献。试点创建三年多以来，参与试点工作的园区不仅保持了较高的经济增速，大部分园区能源消耗和二氧化碳排放的总量和强度均有不同程度的下降（禹湘，2017）。本文结合国家低碳工业园区试点工作的进展，选取参与试点工作的18家园区为样本，对影响工业园区二氧化碳排放的主要因素进行量化分析。研究结论对降低园区碳排放水平、推广试点园区低碳发展的举措、促进中国工业低碳转型具有一定的参考意义。

① 资料来源：《中国统计年鉴—2016》，北京：中国统计出版社。

② 资料来源：国家发展和改革委员会、国土资源部、建设部（2007），《中国开发区审核公告目录2006》，<http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbgg/200704/W020070406535176330304.pdf> [2017-05-22]。

二、文献综述

19世纪末, Marshall (1920) 首次对产业集聚的概念进行全面论述。随后 Porter (1998) 提出了钻石模型, 深入阐述了产业集聚对竞争力的提升作用。这些理论成为工业园区理论研究的基石。目前, 工业园区在中国的发展十分迅速, 园区化在促进企业的集中方面取得了显著效果, 有些园区甚至发展成地方经济的增长极和城市发展新区 (李靖、魏后凯, 2007)。工业园区的发展在中国倍受学者们的关注, 但有关工业园区低碳发展的系统研究仍较为有限。

部分学者针对低碳园区的内涵进行了理论上的探讨。如李珀松等 (2014) 认为中国发展低碳产业园区具有与发达国家不同的国情, 在当前及今后相当一段时期内只能进行碳排放强度减排, 其核心应在产业发展方面。胡振宇 (2011) 认为低碳产业园区是以可持续发展为目标, 生产发展、人员活动、资源利用和环境保护形成良性循环的产业园或地块。张洪波等 (2010) 认为低碳产业园区是指以低碳经济发展模式为基础, 寻求工业园区内低能耗、低污染、高产量, 遵循低碳节能、产业循环互补和低碳经济学原理而设计建立的一种新型工业园区。已有研究虽然缺乏对低碳工业园区的统一定义, 但是均认为低碳工业园区应该以碳减排为核心, 产业低碳化是其实现低碳发展的重要途径。

此外, 不少学者认为园区发展工业共生能有效降低碳排放 (Zhang et al., 2013; Bai et al., 2014; Liu et al., 2017)。工业园区的发展实践也验证了这一判断, 如2012年天津泰达工业园区通过工业共生共减排4.2万吨二氧化碳 (Liu et al., 2017)。Starfelt 和 Yan (2008) 认为通过建立热电联供系统, 能够有效提高园区能源利用水平并减少碳排放。陈吕军等 (2009) 通过对精细化工业园区碳物质流的研究, 量化分析了园区碳利用效率。Liu 等 (2012) 通过对苏州工业园区的实地调研, 运用三种碳排放预测方法, 证实了相关减排政策的有效性。Lu 等 (2015) 通过生态网络分析对园区的碳循环进行了研究, 认为园区与外部环境的协作有利于减排。陈彬和杨维思 (2017) 从排放活动和部门关联出发, 研究了清单分析法、投入产出分析法和生态网络分析法三种典型碳排放核算方法在园区层面进行碳核算的适用性, 并进一步将三种核算方法划分为流量分析模式和结构分析模式。吕斌等 (2015) 认为园区低碳发展涉及产业发展、产业结构、生产过程、能源结构、居民生活和配套设施、园区管理等各个方面, 渗透于整个产业园区的各个领域, 是一项非常复杂的系统工程, 园区应因地制宜地探索其低碳发展的路径。园区低碳指标体系的构建也是研究焦点之一。可持续发展协会 (2012) 从能源利用与温室气体管理、循环经济与环境保护、园区管理与保障机制和规划布局与土地利用四个范畴, 建立了23项可量化的指标对园区的低碳发展水平进行了评价。伍肆等 (2013) 通过建立指标集、基于层次分析法对指标体系进行赋权, 通过模糊综合评价的方法, 构建了低碳工业园区的评价

体系。

总而言之，中国工业园区低碳发展的研究已具备一定的基础，但仍处于起步阶段。已有研究大多停留在理论层面的探讨，着重于园区低碳发展的某一方面，或某一家工业园区，缺乏定量分析。因此，本文拟以国家低碳工业园区试点的相关数据为基础，对工业园区碳排放的影响因素进行系统分析。

三、模型方法与数据来源

为更好地分析工业园区碳排放的影响因素，探究园区经济发展水平、产业结构、能源结构等因素对其碳排放总量和单位生产总值碳排放的影响，本文采用拓展的 STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology) 模型对影响园区碳排放的各种因素进行量化分析。

(一) 模型方法

Ehrlich 和 Holdren (1971) 首次使用 IPAT 模型来分析人口规模 (P)、富裕程度 (A)、技术水平 (T) 对环境压力 (I) 的影响。但 IPAT 模型在实际运用中不允许各影响因素存在非单调、不同比例的变化，因而具有一定的局限性。为此，York 等 (2003) 采用随机模型的方式将 IPAT 模型扩展为 STIRPAT 模型。具体表达方式如下：

$$I_i = aP_i^b A_i^c T_i^d e_i \quad (1)$$

其中， b 、 c 和 d 分别为 P 、 A 、 T 的系数， a 为常数项， e_i 为误差项。

(1) 式两边同时取对数，得到：

$$\ln I_{it} = \ln a + b \ln P_{it} + c \ln A_{it} + d \ln T_{it} + \ln e_{it} \quad (2)$$

(2) 式表述了人口规模、富裕程度和技术水平与环境压力之间的线性关系。STIRPAT 模型既能将各系数作为参数进行估计，也能对各影响因素进行分解。为进一步研究经济增长和环境质量之间的关系，Shafik 和 Bandyopadhyay (1992) 采用库兹涅茨假说来解释经济增长和环境质量之间的变化关系，也就是环境库兹涅茨曲线 (Environmental Kuznets Curve, EKC)。Grossman 和 Krueger (1995) 以规模效应、结构效应和重组效应来解释经济增长与环境质量之间可能存在的倒 U 型关系，即随着收入的增长，环境质量会出现先迅速恶化再逐渐改善的过程。为捕捉经济增长和碳排放之间可能存在的非线性关系，本文引入财富水平的二次项，将 (2) 式扩展为：

$$\ln I_{it} = \ln a + b \ln P_{it} + c_1 \ln A_{it} + c_2 (\ln A_{it})^2 + d \ln T_{it} + \ln e_{it} \quad (3)$$

已有研究表明，技术水平、能源强度、能源结构以及产业结构是影响工业二氧化碳排放的重要因素 (林伯强等, 2010; 何小钢、张耀辉, 2012; 赵忠秀等, 2013)。

提升低碳技术水平、降低能源强度、促进能源结构调整和产业结构升级也正是国家低碳工业园区试点工作的关键领域和重要着力点。为此,在模型中引入代表技术水平的变量 $R\&D$ 、代表能源结构的变量 ES 、代表能源强度的变量 EI 和代表产业结构的变量 IS ,将(3)式进一步拓展为:

$$\ln I_{it} = \ln a + b \ln P_{it} + c_1 \ln A_{it} + c_2 (\ln A_{it})^2 + d \ln R\&D_{it} + \gamma ES_{it} + \beta EI_{it} + \eta IS_{it} + \ln e_{it} \quad (4)$$

主导产业的差异是导致园区碳排放不同的最主要原因之一,为此,本文根据六大高耗能行业能源消耗占园区总能源消耗的比重将试点工业园区划分为高耗能园区、综合园区和低耗能园区。^① 基于数据的可获取性,本文选取高耗能园区、综合园区和低耗能园区各6家,共18家试点园区为样本,^②以2012~2016年为研究时段。分别采用园区二氧化碳排放总量(CO_2)和园区单位生产总值的二氧化碳排放量(CO_2/GDP)作为环境压力的衡量指标,考察各种因素对园区碳排放总量和强度的影响。选取园区的就业人口规模($employment$)作为表征人口规模的指标,原因在于部分园区采用了产城融合的发展模式,园区的就业人口比总人口更能客观反映各园区的人口规模;选取园区生产总值(GDP)作为表征财富水平的指标;以研发投入表征技术水平($R\&D$),用来考察技术水平变动对于园区碳排放可能产生的影响;以园区可再生能源占一次能源消耗总量的比重来表征能源结构(ES),用来考察能源结构改变对于园区碳排放的影响;以能源消耗总量与园区生产总值的比值来表征能源强度(EI),考察其对园区碳排放的影响;以第三产业产值占园区生产总值的比重来表征产业结构(IS),考察产业结构的变动对于园区碳排放可能产生的影响。最终构建了以下两个模型:

$$\ln CO_{2it} = \ln a + b \ln employment_{it} + c_1 \ln GDP_{it} + c_2 (\ln GDP_{it})^2 + d \ln R\&D_{it} + \gamma ES_{it} + \beta EI_{it} + \eta IS_{it} + \ln e_{it} \quad (5)$$

$$\ln (CO_2/GDP)_{it} = \ln a + b \ln employment_{it} + c_1 \ln GDP_{it} + c_2 (\ln GDP_{it})^2 + d \ln R\&D_{it} + \gamma ES_{it} + \beta EI_{it} + \eta IS_{it} + \ln e_{it} \quad (6)$$

(二) 数据来源

相关数据主要来源于各试点园区提交给相关部委的数据。其中,因原始数据缺失,除2012年的就业人口数据为实际就业人口数外,2013~2016年的就业人口数据

① 高耗能园区、综合园区和低耗能园区分别按照园区六大高耗能行业能源消耗占园区总能源消耗的比重大于或等于65%、低于65%且大于或等于10%,以及小于10%的标准划分。

② 样本园区包括天津滨海高新技术产业开发区华苑科技园、内蒙古自治区鄂托克经济开发区、内蒙古自治区赤峰红山经济开发区、辽宁沈阳经济技术开发区、吉林吉林化学工业循环经济示范园区、吉林长春经济技术开发区、江苏宜兴环保科技工业园、上海金桥经济技术开发区、江苏苏州工业园区、浙江嘉兴秀洲工业园区、安徽合肥经济技术开发区、安徽池州经济技术开发区、江西南昌国家高新技术产业开发区、河南洛阳国家高新技术产业开发区、重庆璧山工业园区、四川达州经济开发区、贵州遵义经济技术开发区、宁夏回族自治区石嘴山高新技术产业开发区。

按照各园区所在省份的就业率计算所得，就业率数据来自历年《中国统计年鉴》。相关数据的描述性统计如表 1 所示。

表 1 样本数据描述

变量	均值	标准误	最大值	最小值
CO_2 (万 t)	631.28	753.38	3 380.08	10.13
CO_2/GDP ($\sqrt{\text{万元}}$)	1.98	2.42	9.85	0.05
employment(万人)	12.93	18.98	110.45	1.70
GDP(亿元)	491.99	502.16	2 150.62	48.90
R&D(亿元)	21.35	28.13	120	0.40
ES	0.02	0.02	0.10	0.00
EI(tce/万元)	0.74	0.93	3.99	0.07
IS	0.26	0.16	0.55	0.01

资料来源：作者计算整理。

四、实证结果

从原始数据来看，不同园区的规模差距较大，对回归结果的有效性可能产生影响，White 检验的结果表明模型存在异方差。为考察模型的多重共线性问题，本文分别计算了各解释变量之间的相关系数，发现各变量之间的相关系数大多数小于 0.4，只有研发投入与园区生产总值之间的相关系数为 0.74。进一步考察方差膨胀因子，发现全部小于 3，均值为 1.93，多重共线性问题并不严重。因此本文使用加权最小二乘法（Weighted Least Square, WLS），将园区就业人口（employment）作为重要性权数，控制由于规模差距所导致的回归结果不稳定性。同时，本文还控制园区个体差异以及时间因素对回归结果可能产生的影响。模型的回归结果如表 2 所示。

表 2 二氧化碳排放总量作为因变量的加权最小二乘法回归结果

模型一	1 - 1	1 - 2	1 - 3	1 - 4
变量	$\ln CO_{2it}$	$\ln CO_{2it}$	$\ln CO_{2it}$	$\ln CO_{2it}$
$\ln GDP_{it}$	0.968 *** (0.143)	1.097 *** (0.164)	2.057 *** (0.171)	2.024 *** (0.168)

续表

模型一	1 - 1	1 - 2	1 - 3	1 - 4
变量	$\ln CO_{2it}$	$\ln CO_{2it}$	$\ln CO_{2it}$	$\ln CO_{2it}$
$(\ln GDP_{it})^2$	-0.0224 ** (0.0111)	-0.0313 *** (0.0123)	-0.0965 *** (0.0126)	-0.102 *** (0.0125)
$\ln R\&D_{it}$	-0.0762 *** (0.0142)	-0.0761 *** (0.0142)	-0.108 *** (0.0135)	-0.0861 *** (0.0138)
EI_{it}		0.0854 (0.0521)	0.179 *** (0.0493)	0.219 *** (0.0491)
ES_{it}			6.336 *** (0.499)	7.336 *** (0.521)
IS_{it}				-0.878 *** (0.151)
常数项	0.358 (0.470)	-0.120 (0.552)	-3.608 *** (0.585)	-2.799 *** (0.594)
重要性权数	就业人口规模	就业人口规模	就业人口规模	就业人口规模
园区个体差异	控制	控制	控制	控制
时间趋势	控制	控制	控制	控制
观测值	1 164	1 164	1 164	1 164
R ²	0.996	0.996	0.996	0.996

注：(1) 括号内数据为 t 值；(2) ***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

资料来源：作者计算整理。

表 2 的回归结果表明，园区的生产总值、能源强度与二氧化碳排放总量呈显著正相关关系，而园区生产总值的平方项、园区产业结构与二氧化碳排放总量呈显著负相关关系。具体来说，园区生产总值的回归系数为正，且在 1% 的水平上显著。在控制了园区人口规模、地域差异和时间趋势等变量后，其弹性系数值从 0.968 逐渐上升到 2.024，由缺乏弹性变为富有弹性，且显著性水平保持不变。模型 1 - 4 的回归结果表明，在其他条件保持不变的情况下，园区生产总值增加 1% 将导致二氧化碳排放总量增加 2.024%，园区生产总值对于园区二氧化碳排放总量具有稳定而正向的影响。园区生产总值平方项的系数在所有回归结果中均显著为负，表明园区二氧化碳排放总量和园区生产总值之间存在倒 U 型关系。研发投入与园区碳排放总量之间显著负相关，说明在其他条件保持不变的情况下，增加园区的研发投入可以降低园区的碳排放，虽然这一弹性系数值较小，但系数符号和显著性保持稳定。能源强度与园区二氧化碳排放总量之间显著正相关，表明能源强度与园区二氧化碳排

放之间的同向变化关系。产业结构的弹性系数为负，且在 1% 的水平上显著，表明产业结构的提升有利于降低园区二氧化碳排放。模型 1-4 的回归结果表明，其他条件不变的情况下，第三产业占比每上升 1%，园区二氧化碳排放总量将下降 0.878%。

参考何小钢和张耀辉（2012）的做法，本文在模型二中考察了园区单位生产总值的二氧化碳排放与园区生产总值、能源强度等变量的关系，结果如表 3 所示。可以看到各变量弹性系数的符号与表 2 相同，显著性略有变化。能源强度的提高会导致碳排放强度的升高，而产业结构的优化则可降低碳排放强度。总体而言，在现阶段，对园区碳排放影响最大的因素仍然是园区的生产总值和产业结构。

表 3 CO₂ 排放强度作为因变量的加权最小二乘法回归结果

模型二	2-1	2-2	2-3	2-4
变量	$\ln(CO_2/GDP)_i$	$\ln(CO_2/GDP)_i$	$\ln(CO_2/GDP)_i$	$\ln(CO_2/GDP)_i$
$\ln GDP_i$	-0.0312 (0.146)	0.0988 (0.167)	1.083 *** (0.174)	1.048 *** (0.172)
$(\ln GDP_i)^2$	-0.0247 ** (0.0113)	-0.0337 *** (0.0126)	-0.100 *** (0.0129)	-0.106 *** (0.0127)
$\ln R\&D_i$	-0.0698 *** (0.0145)	-0.0697 *** (0.0145)	-0.102 *** (0.0138)	-0.0798 *** (0.0141)
EI_i		0.0859 (0.0532)	0.182 *** (0.0503)	0.224 *** (0.0501)
ES_i			6.496 *** (0.509)	7.532 *** (0.531)
IS_i				-0.909 *** (0.154)
常数项	0.430 (0.479)	-0.0501 (0.564)	-3.627 *** (0.597)	-2.789 *** (0.605)
重要性权数	就业人口规模	就业人口规模	就业人口规模	就业人口规模
园区个体差异	控制	控制	控制	控制
时间趋势	控制	控制	控制	控制
观测值	1 164	1 164	1 164	1 164
R ²	0.994	0.994	0.995	0.995

注：(1) 括号内数据为 t 值；(2) ***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

资料来源：作者计算整理。

表3的回归结果中,园区生产总值的系数均显著为正,二次项的系数则均显著为负,表明园区生产总值与单位生产总值碳排放之间也存在倒U型关系。表2和表3的回归结果表明,无论是以碳排放总量还是碳排放强度作为因变量,园区生产总值的二次项与二氧化碳排放之间显著负相关,并且在引入能源结构和产业结构变量后,两者之间的倒U型关系仍然在1%的水平上显著,表明了环境库兹涅茨曲线效应的存在。具体表现为在工业园区发展的初期,随着生产总值的增加,园区碳排放也在同步增加,其增速甚至高于园区生产总值的增速;而随着园区生产总值的进一步增长,其碳排放增速逐渐放缓,进入生产总值增加而碳排放逐渐下降的阶段。这一过程可以用规模效应、技术效应和重组效应的交替作用进行解释。随着园区生产规模的不断扩大,对能源投入的需求不断增加,能源投入产生的碳排放也迅速增加,规模效应对环境质量的负面影响逐渐显现。而随着经济的增长也会产生重组效应,即当园区生产规模进一步提高时,经济结构会逐渐发生变化,碳排放较多的第二产业比重会逐渐下降,碳排放较少、附加值高的第三产业比重会逐渐上升,使得经济快速增长的同时,碳排在逐渐降低。技术效应则体现为园区不断增加研发投入来促进技术进步,导致清洁能源技术替代传统的高耗能技术,可再生能源逐渐取代化石能源等。环境库兹涅茨假说认为经济增长的规模效应在发展的初期占据主导地位,而技术效应以及重组效应则在经济发展的中后期逐渐显现。这意味着伴随着经济的增长,园区产业结构不断升级,低碳技术不断发展,碳排放不再随着经济增长而增加,最终实现经济增长与碳排放的“脱钩”。

表2和表3中能源结构的系数均为正,且非常显著,这表明可再生能源比重的上升将导致园区二氧化碳排放总量和强度的上升,而不是预期的下降。产生这一结果的原因可能在于所选取的工业园区的可再生能源使用尚处于起步阶段,18家园区可再生能源占比的均值不足2%,可再生能源的使用尚未形成规模,其减排作用有待进一步发挥。该研究结果与邱庆全等(2017)的研究结果类似,即可再生能源消费量在能源消费结构中所占比例未达到可再生能源消费对碳排放产生抑制作用的最低阈值。表3中研发投入的回归系数也显著为负,但其系数的绝对值几乎都小于1或近似于1,表明研发投入相对于碳排放缺乏弹性,技术进步的碳减排作用有待进一步提升。

五、结论与讨论

本文基于国家低碳工业园区试点的相关数据,利用拓展的STIRPAT模型评估了园区就业人口规模、生产总值、产业结构、能源结构以及研发投入等因素对工业园区碳排放的影响。结果表明,不管是对于碳排放总量还是碳排放强度,园区生产总值和能源强度与碳排放显著正相关,而研发投入和产业结构则与碳排放显著负相关。实证结果也在工业园区层面验证了环境库兹涅茨曲线的存在。上述结论对于中国的低碳工

业园区试点工作和中国工业的低碳转型具有重要的政策启示。

环境库兹涅茨曲线的存在表明未来应进一步探索工业园区如何在实现经济增长的同时有效地控制碳排放，确保工业园区通过走绿色低碳发展之路，加速碳排放拐点的到来，尽快实现经济增长与碳排放“脱钩”，这也正是国家低碳工业园区试点的意义所在。

园区还应进一步加大研发投入，这也是园区尽快实现产业结构升级和能效提高的重要路径。相比单个产业或者行业的技术进步，园区应进一步充分发挥产业集聚所带来的研发投入的溢出效应。

中国幅员辽阔，不同区域的工业园区因其经济发展水平和产业结构差别较大，存在着明显的空间差异性和行业异质性，不同因素对不同区域、不同类型园区的影响差别较大，未来的研究仍需进一步量化这些差别。总体上，不同地区、不同主导产业的园区要实现低碳发展，应该根据不同的产业特点，因地制宜地充分利用当地的资源优势，采用差异化、精准化的低碳发展途径。对于已经具备良好发展基础的园区，通过产城融合并形成以高附加值第三产业为主的产业结构是其实现低碳发展的重要途径。而对于传统“高投入、高消耗、高污染”产业集中的高耗能园区，则应立足经济、环境与资源的现实，通过提升产业层次，优化能源结构，进行低碳技术创新来降低园区碳排放的总量和强度，从而实现园区的绿色低碳发展。

参考文献

陈彬、杨维思（2017）：《产业园区碳排放核算方法研究》，《中国人口·资源与环境》第3期，第1~10页。

陈吕军、田金平、赵远（2009）：《杭州湾精细化工园区碳的物质流分析研究》，《环境污染与防治》第12期，第80~83页。

何小钢、张耀辉（2012）：《中国工业碳排放影响因素与CKC重组效应——基于STIRPAT模型的分行业动态面板数据实证研究》，《中国工业经济》第1期，第26~35页。

胡振宇（2011）：《评价指标体系引导下的南京紫东低碳园区规划设计优化研究》，《现代城市研究》第12期，第44~48、66页。

可持续发展协会（2012）：《低碳园区发展指南》，<http://www.iscchina.org/Article/detail/id/265.html> [2017-06-23]。

李靖、魏后凯（2007）：《基于产业链的中国工业园区集群化战略》，《经济经纬》第2期，第68~71页。

李珀松、冯昱、王天天（2014）：《中国低碳产业园区的实践与发展模式选择》，《生态经济》第2期，第143~146页。

林伯强、姚昕、刘希颖（2010）：《节能和碳排放约束下的中国能源结构战略调整》，《中国社会科学》第1期，第58~71页。

吕斌、康艳兵、赵盟（2015）：《推进国家低碳工业园区试点创建的思考与建议》，《中国经贸

导刊》第7期,第50~54页。

邱庆全、李爽、夏青(2017):《中国可再生能源消费与能源碳排放影响关系研究》,《生态经济》第2期,第19~23页。

伍肆、周宁、王松林(2013):《基于模糊评价集的工业园区低碳评价体系构建》,《中国人口·资源与环境》,第23期,第276~279页。

禹湘(2017):《国家低碳工业园区建设实践与创新》,北京:中国社会科学出版社,第40~43页。

张洪波、陶春晖、庞春雨等(2010):《基于低碳经济模式的工业园区规划探讨》,《山西建筑》第27期,第3~4页。

赵忠秀、王苒、Hinrich Voss等(2013):《基于经典环境库兹涅茨模型的中国碳排放拐点预测》,《财贸经济》第10期,第81~88页。

Bai, L., Q. Qiao and Y. Yao, et al. (2014), "Insights on the Development Progress of National Demonstration Eco-industrial Parks in China", *Journal of Cleaner Production*, 70 (5), pp. 4 - 14.

Ehrlich, P. R. and J. P. Holdren (1971), "Impact of Population Growth", *Science*, 171, pp. 1212 - 1217.

Grossman, G. M. and A. B. Krueger (1995), "Economic Growth and the Environment", *Quarterly Journal of Economics*, 110 (2), pp. 353 - 377.

Liu, L. X., B. Zhang and J. Bi, et al. (2012), "The Greenhouse Gas Mitigation of Industrial Parks in China: A Case Study of Suzhou Industrial Park", *Energy Policy*, 46 (3), pp. 301 - 307.

Liu, Z., M. Adams and R. P. Cote, et al. (2017), "Comprehensive Development of Industrial Symbiosis for the Response of Greenhouse Gases Emission Mitigation: Challenges and Opportunities in China", *Energy Policy*, 102, pp. 88 - 95.

Lu, Y., B. Chen and K. S. Feng, et al. (2015), "Ecological Network Analysis for Carbon Metabolism of Eco-industrial Parks: A Case Study of a Typical Eco-industrial Park in Beijing", *Environmental Science & Technology*, 49 (12), pp. 7254 - 7264.

Marshall, A. (1920), *Principles of Economics*, London: Macmillan and Co., Ltd.

Porter, M. E. (1998), "Clusters and the New Economics of Competition", *Harvard Business Review*, 76 (6), pp. 77 - 90.

Shafik, N. and S. Bandyopadhyay (1992), "Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-country Evidence", *Policy Research Working Paper*.

Starfelt, F. and J. Y. Yan (2008), "Case Study of Energy Systems with Gas Turbine Cogeneration Technology for an Eco-industrial Park", *International Journal of Energy Research*, 32 (12), pp. 1128 - 1135.

York, R., A. R. Eugene and D. Thomas (2003), "STIRPAT, IPAT and IMPACT: Analytic Tools for Unpacking the Driving Forces of Environmental Impacts", *Ecological Economics*, 46 (3), pp. 351 - 365.

Zhang H, D. Liang and H. Li (2013), "Analysis of Low-carbon Industrial Symbiosis Technology for Carbon Mitigation in a Chinese Iron/Steel Industrial Park: A Case Study with Carbon Flow Analysis", *Energy Policy*, 61 (10), pp. 1400 - 1411.

The Study on the Influencing Factors of Industrial Park Carbon Emissions: Based on the National Low-carbon Industrial Park Pilot Programme

YU Xiang^{1,2} WANG Ran³ Wu Zhan-yun¹

(1. Institute for Urban and Environmental Studies, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100028, China;

2. Center for Sustainable Development, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100028, China;

3. Research Institute for Global Value Chains, University of International Business and Economics, Beijing 100029, China)

Abstract: Industry is the major sector of energy consumption and carbon emissions in China, and industrial park is one of the main forms of industrial agglomeration development in China. To promote the low-carbon transformation of industrial parks, the Ministry of Industry and Information Technology and the National Development and Reform Commission jointly launched the national low-carbon industrial park pilot programme in 2013. The authors select 18 pilot industrial parks and adopt the STIRPAT model to evaluate the effect of several influencing factors such as industrial structure, energy structure and R&D input on the industrial park carbon emissions. The results show that the GDP of the industrial parks is one of the most important factors influencing the carbon emissions and there exists a ‘reverse U shape’ relationship between GDP and carbon emissions of industrial parks, verifying the existence of Environmental Kuznets Curve. The energy intensity has a significant positive correlation to the carbon emissions, and the industrial structure and R&D input also have significant negative influences on carbon emissions. Meanwhile, renewable energy does not show an obvious effect in reducing carbon emissions. It is suggested to adopt the differentiated path in order to achieve the low-carbon development.

Key Words: carbon emissions; low-carbon industrial park; STIRPAT model

责任编辑：庄立