

一刀切合适么？再检验中国类污染排放物的环境库兹涅茨曲线

Hongmei Jia,¹ Lirong Liu,² and Yanxi Li³

投稿日：2021年4月20日 录用日：2021年5月24日
©作者 2021。本文由香港理工大学以开放取用(open access)方式出版。

摘要

环境保护是一个复杂的问题。不同类型的污染物表现不同，不同的地点可能会出现不同的环境问题，在中国尤其如此。中国是一个幅员辽阔的国家，各地区的污染问题各不相同。本研究对 11 项环境污染指标的排放水平进行了综合分析，以证明这 11 项指标与中国经济发展之间的关系（按人均计算），并将环境库兹涅茨曲线（EKC）假设应用于 1999-2010 年期间得出的数据。研究仔细检视了中国三个地区的 11 种污染物的数据，以确定每个地区的每种污染物是否存在 EKC。结果具有一定的政策参考意义，即解决中国复杂多变的污染问题的最好办法是，以针对特定地区的政策研究来补充国家环境政策，同时考虑到该地区的经济发展和特定污染物的排放水平。

关键词：中国、污染指标、环境库兹涅茨曲线

¹ Hongmei Jia, Assistant Professor of Accounting, College of Business, Texas A & M University Commerce, Commerce, TX 75428, USA.

² Lirong Liu, Associate Professor of Economics, College of Business, Texas A & M University Commerce, Commerce, TX 75428, USA.

³ Corresponding author: Yanxi Li, College of Arts & Science, University of Kentucky, Lexington, KY 40506, USA. Email: yanxi.li@uky.edu.

一、引言

污染通常是许多国家最大的担忧之一，尤其是中国。近几十年来，中国经济发展迅速。衡量企业对环境和社会活动的承诺、企业社会责任绩效在全球范围内成为一个关键问题。会计、商业和管理领域的研究通常发现企业社会责任与企业价值之间存在正相关关系 (Dhaliwal *et al.*, 2011; Dhaliwal *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2016; Radhakrishnan *et al.*, 2018; Clarkson *et al.*, 2019; Muslu *et al.*, 2019; Liao *et al.*, 2020; Ryou *et al.*, 2020; Tsang *et al.*, 2021)。

同时，实证文献研究了经济增长与环境质量之间的关系。这些研究的动机是希望提供具有重要公共政策含义的科学证据。在这些研究中，环境库兹涅茨曲线 (EKC) 假说得到了广泛的分析 (例如, Dinda and Coondoo, 2006; Song *et al.*, 2008 Tamazian *et al.*, 2009; Pao *et al.*, 2011; Shahbaz *et al.*, 2012; Tiwari *et al.*, 2013; Farhani *et al.*, 2014; Apergis and Ozturk, 2015; Begum *et al.*, 2015; Jebli and Youssef, 2015; Al-Mulali *et al.*, 2016; Dogan and Turkekul, 2016; Liu *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2019)。EKC 假说认为：在经济增长的初始阶段，环境会恶化；一旦个人收入水平发展到较高的水平，环境质量就会改善 (Grossman and Krueger, 1991; Grossman and Krueger, 1995)。

近年来，在中国利用 EKC 进行研究一直是一个热门话题，因为中国正面临着经济加速增长和环境质量急剧恶化的挑战。当发展中国家经历快速经济增长时，环境恶化和资源枯竭是这些国家的共同问题。根据世界银行的数据，自 1978 年开始实施重大经济改革以来，中国经济年平均增长率接近 10%。中国的人均国民总收入 1985 年为 293 美元，2019 年达到 10,410 美元 (世界银行)。然而，快速增长的经济也付出了巨大的成本——自然资源的过度使用和环境质量下降。例如，中国的二氧化硫 (SO₂) 排放总量 1995 年为 2,300 万吨，2005 年为 2,500 万吨，为当时世界最高水平。每年，十多万中国人患有呼吸道疾病，许多人因此而死亡。严重的空气污染问题已经成为中国未来经济可持续发展的沉重负担。中国政府直到 2000 年才认真关注这个问题。随着这些环境问题的压力增加，中国政府开始实施一系列环境法规。根据中国第十三个五年计划，中国政府的目标是到 2020 年，单位国内生产总值的二氧化碳排放量比 2015 年至少减少 40%。此外，根据 2016 年签署的《巴黎协定》，中国承诺到 2030 年达到二氧化碳排放峰值。中国的决策者需要更多的科学证据来制定有效的政策来实现这些目标。

当前文献的研究结果颇有矛盾之处。根据 Saqib and Benhmad (2021) 的荟萃分析研究，当前文献的 57% 的结果支持 EKC 假说的有效性，而其中的 43% 不支持。Dinda (2004) 总结了以前的研究，并提出 EKC 假说只适用于容易解决、记录良好和众所周知的环境问题。他指出，EKC 对二氧化硫和一氧化碳的排放是有效的，但其他污染物要么遵循单调性，要么与经济发展呈 N 型关系。Selden and Song (1994) 使用了许多国家的样本，发现人均 SO₂ 排放量是收入的单调函数。然而，当使用高收入国家的子样本时，SO₂ 排放量与收入呈倒 U 形关系。考虑到诊断统计和规格测试，并使用适当的技术，Perman and Stern (2003) 否认 SO₂ 排放时 EKC 的存在，然后对 EKC 假设的普遍适用性提出质疑。

在中国应用 EKC 分析的研究也未能得出明确的结论。Yaguchi *et al.* (2007) 比较

了日本和中国过去几十年的 SO_2 和二氧化碳 (CO_2) 排放以及能源消耗，他们得出结论，倒 U 形 EKC 只存在于日本的 SO_2 排放中，尽管他们承认中国可能位于 EKC 的平坦转弯部分。利用中国的数据，Liu *et al.* (2007) 表明，生产性污染物支持假说，而消费性污染物不支持。Li *et al.* (2016) 发现证据支持中国关于二氧化碳、废水和固体废物的 EKC 假说，而 Riti *et al.* (2017) 也发现证据支持中国关于二氧化碳的假说。最近，Ahmad *et al.* (2021) 证实了二氧化碳在总量水平上存在 EKC，但各省的结果有所不同。这些不一致的结果使得决策者很难做出适当的政策决定。

在本研究中，我们有两个主要贡献。首先，我们分析了 11 种污染排放物，这些排放物包含了污染的三个主要领域——空气、水和固体废物。其次，我们检查了中国三个主要地区的分类数据，以提供证据来帮助地方政府制定适合本地区的环保政策。

本研究分析的 11 种排放物包括：(1) 工业废气排放，(2) 工业二氧化硫排放，(3) 消费二氧化硫排放，(4) 工业烟尘排放，(5) 消费烟尘排放，(6) 工业粉尘排放，(7) 二氧化碳排放，(8) 工业废水排放，(9) 消费废水排放，(10) 工业固体废物，(11) 消费固体废物。据我们所知，这是中国第一份分析污染物排放的综合清单。

综合检查多种污染物对我们有两个好处。首先，我们的发现提供了更详细的信息，政府可以用来制定有效的环境政策，更准确地解决不同污染物带来的污染问题。解决任何复杂问题的关键是彻底而细致地理解问题发生的原因。我们需要了解经济增长和每种污染物排放水平之间的关系，以找到解决中国污染问题的办法，因为每种污染物都有不同的 EKC。事实上，在分析了七个污染物的排放水平以研究经济增长与这些指标对空气污染的贡献之间的关系后，我们的结果证实了其中三个指标，即二氧化碳、工业二氧化硫和工业废气的人均排放量，与人均国内生产总值呈具有统计学意义的倒 U 形 EKC 关系。

然而，根据我们的 EKC 分析结果显示，这些污染物处于不同的阶段。就二氧化碳和工业二氧化硫而言，中国已经达到并超过了 EKC 峰值，相对于人均国内生产总值而言，排放量正在下降。然而，工业废气排放量仍呈上升趋势，远未达到 EKC 转折点。至于其他四项空气污染指标，即按消费分列的二氧化硫排放量、按工业和消费分列的烟尘排放量以及工业粉尘排放量，这些指标的人均排放量与人均国内生产总值之间没有统计学显著关系。这些研究结果提示：现在是政府需要采取严肃行动控制工业废气排放的时候了，以更快地达到转折点并使 EKC 变平坦。而对于二氧化碳排放和工业二氧化硫排放，我们的分析表明，先前的政策已经生效，没有推广环保新政策的迫切需要。对于其他四个空气污染指标，政策含义尚不清楚，可能需要进一步的研究来为有效的政策提供指导。

对两个水污染指标的 EKC 分析表明，工业废水排放量相对于人均国内生产总值正在下降。然而，消费废水没有显示出任何下降的迹象。因此政府应当密切监测消费废水，并制定新的政策或修订以前的政策，以阻止消费废水的上升趋势。就固体废物污染而言，我们的 EKC 分析并未显示出人均国内生产总值与我们研究的两个指标（按行业 and 消费分列的人均固体废物处置量）之间存在任何显著的统计关系。我们建议有必要对这一主题进行更多的研究，以提供证据来指导近期的政策制定。

此外,对 11 种污染物中的每一种进行 EKC 分析有助于解释当前文献中相互矛盾的结果,提升了本研究的价值。以前的研究结果多变而含糊,这削弱了政府制定精确有效的环境政策的能力。从 EKC 的角度来看,每种污染物都有其独特的性征,因此研究单种污染物的相对贡献可以得出明确的结论。

我们的研究对经济增长和环境质量之间关系的第二个主要贡献是,我们使用了分类数据提供证据,每个地方政府可以使用这些证据来制定解决该地区具体情况的环境政策。据我们所知,这是第一个在区域层面分析 EKC 的研究。正如 Xu (2018) 所指出的,中国研究中出现了聚集偏差,因为来自分类数据的结果无法支持使用聚集数据得出的结论。为了解消聚集偏差问题,我们根据每个省的地理位置和经济结构将 30 个省分为三个区域。地理位置是行业类型的最佳和最简单的代表,它与特定环境污染物的存在直接相关。就经济结构而言,中国是一个幅员辽阔的国家,各地区经济发展不平衡。不出所料,我们的结果表明,在经济发展水平最高的东部地区,我们观察到人均国内生产总值与我们研究的 11 种污染物排放水平之间的 EKC 关系最显著;在人均国内生产总值较低的西部地区,所显示的经济增长曲线最少;在中部地区,人均 GDP 居中,观察到的 EKC 数量介于我们在其他两个地区发现的数量之间。

一刀切的政策解决不了中国的污染问题。对每个地方政府来说,了解其所在地区特有的环境问题是重要的。只有这样,他们才能制定合理政策,有效地解决每个问题,从而提高整体环境质量。

本文的其余部分组织如下:第二章介绍了我们的经验模型和数据,第三章讨论了我们的数据分析结果,第四章归纳总结。

二、经验模型和数据

虽然 EKC 有各种各样的特征,但基本型式如下。污染物排放指标是因变量;人均收入或国内生产总值、其平方项和一组控制变量是解释变量。

$$EM_{it} = \alpha_i + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 GDP_{it}^2 + \sum \beta_k Z_{kit} + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

其中 EM_{it} 代表人均污染物排放量, GDP_{it} 它是人均 GDP, t 是时间指数, i 是地区指数, Z_{kit} 表示其他控制变量, ε_{it} 是误差项。

我们使用 Arellano and Bond (1991) 提出的动态效应面板数据模型取代使用传统的静态效应面板数据模型。使用动态效应面板数据模型的优点是,它为具有短时间范围的面板数据产生无偏估计量,本文就是这种情况。在动态面板数据模型中,滞后因变量被用于解决潜在内生性问题。这样说明结果是优选的,因为污染是动态的,即当前的污染水平取决于它本身过去的水准。

$$\ln(EM_{it}) = \alpha_i + \ln(EM_{it-1}) + \beta_1 \ln(GDP_{it}) + \beta_2 \ln(GDP_{it})^2 + \beta_3 Trade_{it} + \beta_4 Urban_{it} + \beta_5 Energy_{it} + \beta_6 EnvInv_{it-1} + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

其中这里 EM_{it} 代表人均污染物排放量, GDP_{it} 是人均 GDP, t 是时间指数, i 是地区/省指数, ε_{it} 是误差项。

除了国内生产总值之外，我们还引入以下控制变量：贸易开放度 $Trade_{it}$ ，用进出口总额占国内生产总值的百分比来衡量；城市化水平 $Urban_{it}$ ，用省内居住在城市地区的人口百分比来衡量；能源消耗 $Energy_{it}$ ，用人均用电量衡量；和前期环境投资 $EnvInv_{it-1}$ ，以前期污染治理投资占国内生产总值的百分比来衡量。

人均 GDP 和人均排放量经过自然对数变换后引入模型。我们将环境投资列为滞后变量有两个原因。首先，污染处理可能需要时间才能对污染排放产生影响。第二，环境投资的决策可以依赖于各种污染物的排放水平；因此，将其作为一个滞后术语可以消解内生性。

本文数据主要来自《中国统计年鉴》。收集了 1999 年至 2010 年 30 个省（不包括内蒙古、香港、澳门和台湾）的国内生产总值、人口、进出口、城市人口、能源消耗、环境投资和 11 种污染物排放中的 10 种的数据。由于缺乏官方的二氧化碳（CO₂）排放数据，我们使用了 Shan *et al.*（2018）公布的省级 CO₂ 排放数据。这 11 种污染物排放代表了三种类型的排放—空气、水和固体废物。表 1 描述了 11 种排放，表 2 提供了所有数据的汇总统计。所有排放量、国内生产总值和能源消耗数据都转换成人均值。

表 1 变量描述表

本研究中使用的所有变量。11 种排放物分为空气、水和固体三类。

污染物		变量	单位
气体	<i>I-Gas</i>	工业废气	1000 m ³ 人均
	<i>I-SO2</i>	工业产生二氧化硫	Kg 人均
	<i>C-SO2</i>	生活产生二氧化硫	Kg 人均
	<i>CO2</i>	二氧化碳	百万吨人均
	<i>I-Soot</i>	工业煤烟	Kg 人均
	<i>C-Soot</i>	生活煤烟	Kg 人均
	<i>I-Dust</i>	工业粉尘	Kg 人均
水	<i>I-Water</i>	工业废水	吨 人均
	<i>C-Water</i>	生活污水	吨 人均
固体	<i>I-Solid</i>	工业固体废料	Kg 人均
	<i>C-Solid</i>	生活固体废料	吨 人均

表 2 汇总统计表

1999-2010 年样本期间本研究中使用的所有变量的描述性统计数据，排放量、GDP、能源消耗都是人均值。除二氧化碳外的数据均来自《中国统计年鉴》。二氧化碳排放数据来自 Shan *et al.*（2018）。

变量	样本数	均值	标准偏差	最小值	最大值
<i>I-Gas</i>	360	24.95	21.87	4.48	257.90
<i>I-SO2</i>	360	15.80	9.90	2.42	57.95
<i>C-SO2</i>	360	3.43	3.58	0.00	22.91
<i>CO2</i>	356	178.24	136.33	8.10	766.60
<i>I-Soot</i>	360	7.00	5.08	0.75	27.12
<i>C-Soot</i>	360	2.24	1.96	0.00	8.59

<i>I-Dust</i>	360	6.47	4.44	0.42	31.14
<i>I-Water</i>	360	16.86	9.48	3.08	57.86
<i>C-Water</i>	360	23.41	15.89	6.29	98.56
<i>I-Solid</i>	360	16.64	34.04	0.00	224.00
<i>C-Solid</i>	240	0.13	0.08	0.04	0.39
<i>GDP</i>	360	17.12	13.91	2.46	78.33
<i>Trade</i>	360	62.84	80.78	6.08	368.96
<i>Urban</i>	360	45.27	15.58	21.71	89.30
<i>Energy Consumption</i>	360	0.27	0.18	0.05	1.17
<i>Envir. Invt.</i>	360	30.14	28.74	1.25	178.62

三、 结果和讨论

(一) 主模型

我们从主模型的结果开始分析，如表三所示。在 11 种单个污染物排放外，我们还考虑了工业和消费产生的二氧化硫（SO₂）、烟尘、废水和固体废物总量。表 3 中显示的滞后 1 的自相关（AR）测试证实了一阶序列相关性，因此包括滞后因变量是必要的。滞后 2 的增强现实测试表明没有序列相关性，因此不需要引入更深的滞后。

表 3 国家数据集的回归结果表

国家级动态面板数据模型的结果，以 t 年的 11 个排放作为因变量，以滞后因变量 Lag (emission) 作为工具变量：

$$\ln(EM_{it}) = \alpha_i + \ln(EM_{it-1}) + \beta_1 \ln(GDP_{it}) + \beta_2 \ln(GDP_{it})^2 + \beta_3 \text{Trade}_{it} + \beta_4 \text{Urban}_{it} + \beta_5 \text{Energy}_{it} + \beta_6 \text{EnvInv}_{it-1} + \varepsilon_{it}$$

括号内为标准偏差 (*p<0.10, **p<0.05, ***p<0.01)。

变量	(1) I-Gas	(2) I-SO2	(3) C-SO2	(4) CO2	(5) I-Soot	(6) C-Soot	(7) I-Dust
Lag (emission)	0.087 (0.113)	0.658*** (0.067)	0.647*** (0.139)	0.530*** (0.163)	0.710*** (0.100)	0.570*** (0.094)	0.544*** (0.063)
ln(GDP)	1.047*** (0.305)	0.677*** (0.213)	0.190 (0.252)	0.728*** (0.159)	0.247 (0.169)	0.288 (0.244)	0.336 (0.299)
ln(GDP)2	-0.101** (0.039)	-0.136*** (0.032)	-0.094* (0.051)	-0.096*** (0.019)	-0.074** (0.029)	-0.064 (0.041)	-0.164*** (0.050)
Urban	0.000 (0.001)	0.001** (0.000)	-0.002** (0.001)	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)	-0.001 (0.001)	0.001* (0.001)
Trade	0.024** (0.009)	0.005 (0.009)	0.014 (0.015)	0.008 (0.010)	0.006 (0.009)	0.017 (0.020)	0.027** (0.012)
Energy	0.388** (0.158)	0.233 (0.197)	0.911** (0.385)	0.339 (0.212)	0.255 (0.225)	-0.247 (0.560)	0.616** (0.273)
Lag (Env. Inv.)	-0.000 (0.001)	-0.001*** (0.000)	0.000 (0.001)	-0.000 (0.000)	-0.002*** (0.001)	0.001* (0.001)	-0.002** (0.001)
AR test (p-value)	0.103	0.382	0.191	0.163	0.263	0.774	0.344

表 3 (续)

变量	(8) I-Water	(9) C-Water	(10) I-Solid	(11) C-Solid	Total SO2 (2)+(3)	Total Soot (5)+(6)	Total Waste Water	Total Solid Waste
Lag (emission)	0.619*** (0.077)	0.292** (0.125)	0.148 (0.133)	-0.061 (0.142)	0.653*** (0.071)	0.684*** (0.088)	0.300* (0.157)	0.583*** (0.123)
ln(GDP)	0.243** (0.119)	0.392*** (0.121)	-0.344 (1.254)	-0.224 (0.170)	0.636*** (0.174)	0.327* (0.185)	0.294*** (0.112)	-0.495 (0.794)
ln(GDP)2	-0.077*** (0.019)	-0.030 (0.019)	-0.059 (0.285)	0.036 (0.037)	-0.123*** (0.025)	-0.072** (0.029)	-0.042** (0.017)	-0.068 (0.142)
Trade	-0.000 (0.000)	0.000*** (0.000)	-0.007 (0.005)	0.001** (0.000)	0.001** (0.000)	0.000 (0.001)	0.000** (0.000)	-0.005 (0.004)
Urban	0.008 (0.006)	0.001 (0.004)	-0.064 (0.069)	0.010 (0.006)	0.002 (0.006)	-0.007 (0.010)	0.004 (0.005)	0.015 (0.030)
Energy	0.637*** (0.154)	0.010 (0.095)	-0.673 (2.097)	-0.056 (0.462)	0.111 (0.167)	0.248 (0.182)	0.285*** (0.103)	0.683 (0.822)
Lag Env. Inv.	-0.000 (0.001)	0.000 (0.000)	0.004 (0.005)	-0.001* (0.000)	-0.001** (0.000)	-0.001* (0.000)	0.000 (0.000)	-0.002 (0.002)
AR test (p-value)	0.252	0.611	0.462	0.602	0.445	0.835	0.456	0.258

3.1.1 空气污染

七个空气污染指标,包括 CO₂、SO₂ (来自工业和消费)、烟灰 (来自工业和消费)、工业废气和粉尘。CO₂ 和 SO₂ 是大多数国家监测和管制的最重要指标。这两种气体主要由制造业和燃煤电厂产生,后者是中国的主要电力来源。对于 CO₂ 和工业 SO₂ 排放,国内生产总值系数为正,国内生产总值平方系数为负,两者都非常重要。这证实了 EKC 对这两种排放的存在,这与以前的文献一致。二氧化碳和工业二氧化硫的转折点分别为 44, 330 元人民币 (6,926 美元) 和 12,049 元人民币 (1,854 美元)。2020 年,中国人均 GDP 为 10,504 美元。这表明,总的来说,中国已经达到并超过了二氧化碳和二氧化硫的 EKC 峰值,预计这两种排放都将下降。然而,鉴于中国不同地区经济发展的巨大差异,在二氧化碳和二氧化硫排放量预计下降之前,某些地区的二氧化碳和二氧化硫排放量仍有可能增加。

在其余的排放中, EKC 被确认的仅有工业废气排放。转折点是 178,247 元人民币 (27,422 美元),仍远高于中国目前的人均 GDP。国内生产总值与消费产生的二氧化硫、烟尘和灰尘等排放之间的关系并不显著,这可能反映出经济发展对这些排放没有重大影响,或者仅仅反映出经济发展对这些排放的影响尚未达到 EKC 所反映的水平。

3.1.2 水污染

对于水污染,我们发现工业废水排放呈倒 U 型 EKC,国内生产总值和国内生产总值的平方都非常重要。转折点是 4,844 人民币 (745 美元),远低于目前人均 GDP。因此,中国已经度过了工业废水排放的转折点,总体排放水平随着经济增长而下降。相比之下, EKC 没有发现在消费废水排放中;相反,国内生产总值的显著正系数以及国

内生产总值平方的不显著系数表明,随着中国经济的增长,消费废水一直会不断增加。为了更好地解决该问题,可能需要额外的政策或对现有政策的修改。

3.1.3 固体废物

对于固体废物,没有发现工业或消费排放的 EKC。国内生产总值和国内生产总值平方的系数都未达到统计显著水平。这些结果可能是不确定的,因为我们样本期内的经济发展水平不足以证明国内生产总值和固体废物排放之间的显著关系。

3.1.4 工业和消费排放总量

不管排放物是来自工业还是消费,它们本质上都是排放到环境中的相同的排放物。因此,我们将工业和消费排放的 SO₂、烟尘、废水和固体废物进行汇总,检视每种类型的总排放量。

我们发现,除固体废物总量外,所有排放总量都呈倒 U 型 EKC。当单独考虑时,工业或消费烟尘排放不呈现任何 U 形曲线。然而,检查烟尘排放总量时,我们确实观察到 EKC 现象,它表明,作为向空气中的排放总量,烟尘排在经济增长的初始阶段有所增加,但在峰值之后逐渐改善。就固体废物总量而言,我们发现它与国内生产总值呈单调递增关系,而不是呈“U”形 EKC。这种关系要求制定更严格、更具体的环境政策,以更好地解决固体废物排放不断增加的问题。

3.1.5 其他控制变量

我们模型中包含的其他控制变量对排放的影响有限:

贸易对六种排放物产生了积极和显著的影响。可能是由于污染产业转移到像中国这样的发展中国家。

在 15 次回归计算中,有两个城市化呈现显著正相关。在城市化如何影响排放方面,以前的文献显示了好坏参半的结果。Panayotou (1997) 的研究中发现的积极影响可能是由于人口的增长和城市地区工业集中的增加。

正如预期的那样,根据以前的文献,我们在五个回归中发现了能源消耗与排放的显著正相关。

最后,环境投资与六种排放物显著负相关。由于环境投资旨在减少污染,预计会产生这样的效果。

(二) 区域模型

该数据集包括来自中国所有 30 个省份的数据,这些省份在经济结构、发展水平和自然资源方面存在差异。因此,假设不同地区存在不同的排放-发展关系是合理的。因此,我们通过比较中国东部、中部和西部三个地区的结果来估算地区差距。结果如表四所示。“东部”地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、广西和海南,沿海共 12 个省。“中部”地区包括内蒙古、吉林、黑龙江、山西、安徽、江西、河南、湖北和湖南,共九个省。“西部”地区包括重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆,共九个省。黑龙江和吉林被视为中部省份是因

为它们的生产结构和经济发展水平，而不是它们的地理位置。除了由于经济结构相似而将“东北”合并为“中部”之外，这些划分基本上与官方划分一致。

表 4 分区数据回归结果表

以 t 年排放量为因变量，滞后因变量 Lag (emission) 为工具变量：

$$\ln(EM_{it}) = \alpha_i + \ln(EM_{it-1}) + \beta_1 \ln(GDP_{it}) + \beta_2 \ln(GDP_{it})^2 + \beta_3 \text{Trade}_{it} + \beta_4 \text{Urban}_{it} + \beta_5 \text{Energy}_{it} + \beta_6 \text{Envlnv}_{it-1} + \varepsilon_{it}$$

括号内为标准偏差 (*p<0.10, **p<0.05, ***p<0.01)。

变量	(1) I-Gas	(2) I-SO2	(3) C-SO2	(4) CO2	(5) I-Soot	(6) C-Soot	(7) I-Dust
华东（北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、广西和海南）							
ln(GDP)	1.750*** (0.566)	0.861*** (0.217)	1.734*** (0.621)	1.284*** (0.427)	-0.303 (0.199)	1.952*** (0.613)	0.700** (0.321)
ln(GDP)2	-0.199*** (0.074)	-0.174*** (0.035)	-0.360*** (0.117)	-0.164*** (0.050)	-0.014 (0.030)	-0.358*** (0.085)	-0.180*** (0.041)
中部（内蒙古、吉林、黑龙江、山西、安徽、江西、河南、湖北和湖南）							
ln(GDP)	0.808** (0.348)	2.188*** (0.382)	0.052 (0.178)	1.408*** (0.485)	1.583*** (0.325)	0.280** (0.142)	2.608*** (0.581)
ln(GDP)2	-0.074 (0.054)	-0.390*** (0.060)	-0.068 (0.043)	-0.180** (0.074)	-0.337*** (0.049)	-0.058* (0.035)	-0.600*** (0.097)
西部（重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆）							
ln(GDP)	0.272 (0.335)	0.385** (0.186)	0.437 (0.394)	1.005*** (0.343)	-0.176 (0.176)	0.099 (0.337)	0.153 (0.302)
ln(GDP)2	0.111 (0.086)	-0.122*** (0.045)	-0.164* (0.099)	-0.153** (0.068)	0.056 (0.062)	0.029 (0.079)	-0.118 (0.100)

表 4 (续)

变量	(8) I-Water	(9) C-Water	(10) I-Solid	(11) C-Solid	Total SO2 (2)+(3)	Total Soot (5)+(6)	Total Waste Water	Total Solid Waste
华东（北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、广西和海南）								
ln(GDP)	1.229*** (0.318)	0.316** (0.145)	-2.404 (1.930)	-0.044 (0.281)	0.811*** (0.197)	-0.283** (0.138)	0.783*** (0.186)	-3.512*** (0.943)
ln(GDP)2	-0.255*** (0.048)	-0.044* (0.025)	-0.150 (0.372)	-0.021 (0.041)	-0.167*** (0.033)	-0.046 (0.032)	-0.112*** (0.030)	0.155 (0.167)
中部（内蒙古、吉林、黑龙江、山西、安徽、江西、河南、湖北和湖南）								
ln(GDP)	-0.032 (0.313)	-0.036 (0.127)	-0.085 (2.287)	-0.163 (0.526)	1.621*** (0.356)	1.203*** (0.300)	-0.013 (0.182)	1.590 (2.563)
ln(GDP)2	-0.017 (0.057)	0.032 (0.028)	0.376 (0.506)	-0.010 (0.096)	-0.350*** (0.056)	-0.257*** (0.044)	0.012 (0.033)	-0.425 (0.571)
西部（重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆）								
ln(GDP)	-0.015 (0.141)	0.391*** (0.135)	-0.024 (1.530)	-0.143 (0.401)	0.443** (0.215)	-0.038 (0.237)	0.305* (0.171)	2.415 (1.963)
ln(GDP)2	-0.062* (0.034)	-0.092** (0.038)	-0.255 (0.320)	0.037 (0.117)	-0.132*** (0.040)	0.040 (0.055)	-0.078** (0.033)	-0.838** (0.408)

就东部地区而言，大多数排放指标吻合 EKC。唯一的例外是工业烟尘排放以及工业、消费和固体废物总量。由于东部地区发展迅速，人均收入相对较高，因此我们的样本可以更好地捕捉这种关系中的曲线。值得注意的是，虽然没有发现总烟灰和总固体废物的 EKC，但这两类排放随着经济发展而单调下降，如负值显著系数所示。

与其他两个地区相比，中国的中部地区处于经济发展的中游水平。在中部地区，一半的排放指标都是 EKC。然而，一个令人担忧的发现是，工业气体排放量似乎随着中部地区的经济发展而单调增加。

最后，西部地区显示出最少的 EKC 关系。只有工业二氧化碳、总二氧化硫、消费废水和总废水与人均 GDP 呈倒 U 形关系。由于西部地区的经济发展水平仍然相对较低，这一点并不奇怪。由于中国的经济政策侧重于西部地区，我们可能会观察到随着经济增长，污染排放量上升。

各地区之间的巨大差异不仅说明了经济如何影响不同地区的排放，而且突出了中国总体经济增长中存在的地区差异。这些经济差距在短期内不会完全消除，这进一步强调，除了国家一级的环境政策之外，还需要更加重视解决各个区域具体需求的地方环境政策。更有效的地方政策将有助于改善整个中国的环境质量。

四、结论

在大多数发达国家的经济发展过程中，似乎有一个普遍规律—随着人均收入的增加，环境质量先下降后改善。然而，并非所有发展中国家都遵循这一模式。环境政策和法规，特别是在自然资源勘探和生产领域，是保护和改善环境质量的重要因素。在中国尤其如此，中国有统一的权威经济政策。

不是所有类型的污染物都与人均 GDP 水平存在倒 U 型 EKC 曲线关系。如我们的分析所示，所有地区的各种污染物之间不一定存在倒 U 型关系。关系的形式取决于污染物的性质，如来源和持续时间。经济结构的差异也改变了经济发展和环境质量之间的关系。由于中国经济目前仍处于中低收入阶段，中国大多数地区都处于关系曲线的上升部分。也许比任何其他因素更重要的是，政府制定的环境政策通常会极大地影响关系曲线。鉴于各区域经济发展水平的差异以及收入水平与各种污染物排放水平之间的关系，制定针对特定区域的环境政策至关重要，这些政策应考虑到该区域的经济增长率和人均收入水平，并单独解决该区域存在的污染物问题。

“Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License which permits any use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and the source are credited.”

参考文献

Al-Mulali, U., Ozturk, I., and Solarin, S. A. (2016), ‘Investigating the environmental Kuznets

- curve hypothesis in seven regions: The role of renewable energy', *Ecological Indicators* 67: 267–282.
- Ahmad, M., Jabeen, G., and Wu, Y. (2021), 'Heterogeneity of pollution haven/halo hypothesis and Environmental Kuznets Curve hypothesis across development levels of Chinese provinces', *Journal of Cleaner Production* 285: Article 124898.
- Apergis, N. and Ozturk, I. (2015), 'Testing environmental Kuznets curve hypothesis in Asian countries', *Ecological Indicators* 52: 16–22.
- Arellano, M. and Bond, S. (1991), 'Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations', *The Review of Economic Studies* 58 (2): 277–297.
- Begum, R. A., Sohag, K., Abdullah, S. M. S., and Jaafar, M. (2015), 'CO₂ emissions, energy consumption, economic and population growth in Malaysia', *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 594–601.
- Chen, L., Srinidhi, B., Tsang, A., and Yu, W. (2016), 'Audited financial reporting and voluntary disclosure of corporate social responsibility (CSR) reports', *Journal of Management Accounting Research* 28 (2): 53–76.
- Clarkson, P., Li, Y., Richardson, G., and Tsang, A. (2019), 'Causes and consequences of voluntary assurance of CSR reports: International evidence index inclusion and firm valuation', *Accounting, Auditing & Accountability Journal* 32 (8): 2451–2474.
- Dhaliwal, D. S., Li, O. Z., Tsang, A., and Yang, Y. G. (2011), 'Voluntary nonfinancial disclosure and the cost of equity capital: The initiation of corporate social responsibility reporting', *The Accounting Review* 86 (1): 59–100.
- Dhaliwal, D. S., Radhakrishnan, S., Tsang, A., and Yang, Y. G. (2012), 'Nonfinancial disclosure and analyst forecast accuracy: International evidence on corporate social responsibility disclosure', *The Accounting Review* 87 (3): 723–759.
- Dinda, S. (2004), 'Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey', *Ecological Economics* 49 (4): 431–455.
- Dinda, S. and Coondoo, D. (2006), 'Income and emission: A panel data-based cointegration analysis', *Ecological Economics* 57 (2): 167–181.
- Dogan, E. and Turkekul, B. (2016), 'CO₂ emissions, real output, energy consumption, trade, urbanization and financial development: Testing the EKC hypothesis for the USA', *Environmental Science and Pollution Research* 23 (2): 1203–1213.
- Farhani, S., Mrizak, S., Chaibi, A., and Rault, C. (2014), 'The environmental Kuznets curve and sustainability: A panel data analysis', *Energy Policy* 71: 189–198.
- Grossman, G. M. and Krueger, A. B. (1991), 'Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement', National Bureau of Economic Research (NBER) Working Paper No. 3914.
- Grossman, G. M. and Krueger, A. B. (1995), 'Economic growth and the environment', *The*

- Quarterly Journal of Economics* 110 (2): 353–377.
- Jebli, M. B. and Youssef, S. B. (2015), ‘The environmental Kuznets curve, economic growth, renewable and non-renewable energy, and trade in Tunisia’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47: 173–185.
- Li, T., Wang, Y., and Zhao, D. (2016), ‘Environmental Kuznets Curve in China: New evidence from dynamic panel analysis’, *Energy Policy* 91: 138–147.
- Liao, C., San, Z., and Tsang, A. (2020), ‘Corporate governance reforms around the world: The effect on corporate social responsibility’, Working Paper, The Hong Kong Polytechnic University.
- Liu, X., Heilig, G. K., Chenc, J., and Heinob, M. (2007), ‘Interactions between economic growth and environmental quality in Shenzhen, China’s first special economic zone’, *Ecological Economics* 62 (3-4): 559–570.
- Liu, X., Zhang, S., and Bae, J. (2017), ‘The impact of renewable energy and agriculture on carbon dioxide emissions: Investigating the environmental Kuznets curve in four selected ASEAN countries’, *Journal of Cleaner Production* 164: 1239–1247.
- Liu, J., Qu, J., and Zhao, K. (2019), ‘Is China’s development conforms to the environmental Kuznets curve hypothesis and the pollution haven hypothesis?’, *Journal of Cleaner Production* 234: 787–796.
- Muslu, V., Mutlu, S., Radhakrishnan, S., and Tsang, A. (2019), ‘Corporate social responsibility report narratives and analyst forecast accuracy’, *Journal of Business Ethics* 154 (4): 1119–1142.
- Panayotou, T. (1997), ‘Demystifying the Environmental Kuznets Curve: Turning a Black Box into a Policy Tool’, *Environment and Development Economics* 2 (4): 465–484.
- Pao, H. T., Yu, H. C., Yang, Y. H. (2011), ‘Modeling the CO₂ emissions, energy use, and economic growth in Russia’, *Energy* 36 (8): 5094–5100.
- Perman, R. and Stern, D. I. (2003), ‘Evidence from panel unit root and cointegration tests that the Environmental Kuznets Curve does not exist’, *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 47 (3): 325–347.
- Radhakrishnan, S., Tsang, A., and Liu, R. (2018), ‘A corporate social responsibility framework for accounting research’, *The International Journal of Accounting* 53 (4): 274–294.
- Riti, J. S., Song, D., Shu, Y., Kamah, M. (2017), ‘Decoupling CO₂ emission and economic growth in China: Is there consistency in estimation results in analyzing environmental Kuznets curve?’, *Journal of Cleaner Production* 166: 1448–1461.
- Ryou, J. W., Tsang, A., and Wang, K. (2020), ‘Product market competition and voluntary corporate social responsibility disclosures’, Working Paper, Australian National University.
- Saqib, M. and Benhmad, F. (2021), ‘Updated meta-analysis of environmental Kuznets curve:

- Where do we stand?', *Environmental Impact Assessment Review* 86: Article 106503.
- Selden, T. M. and Song, D. (1994), 'Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?', *Journal of Environmental Economics and Management* 27 (2): 147–162.
- Shahbaz, M., Lean, H. H., Shabbir, M. S. (2012), 'Environmental Kuznets curve hypothesis in Pakistan: Cointegration and Granger causality', *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (5): 2947–2953.
- Shan, Y., Guan, D., Zheng, H., Ou, J., Li, Y., Meng, J., Mi, Z., Liu, Z., and Zhang, Q. (2018), 'China CO₂ emission accounts 1997–2015', *Scientific Data* 5: Article 170201.
- Song, T., Zheng, T., and Tong, L. (2008), 'An empirical test of the environmental Kuznets curve in China: A panel cointegration approach', *China Economic Review* 19 (3): 381–392.
- Stern, D. I. (2003), 'The Environmental Kuznets Curve', *Internet Encyclopedia of Ecological Economics*, International Society for Ecological Economics.
- Tamazian, A., Chousa, J. P., and Vadlamannati, K. C. (2009), 'Does higher economic and financial development lead to environmental degradation: Evidence from BRIC countries', *Energy Policy* 37 (1): 246–253.
- Tsang, A., Hu, W., and Li, X. (2021), 'CSR and firm value: A comparative study of CSR performance measures', *China Accounting and Finance Review* 23 (1): 1–33.
- Tiwari, A. K., Shahbaz, M., and Hye, Q.M.A. (2013), 'The environmental Kuznets curve and the role of coal consumption in India: Cointegration and causality analysis in an open economy', *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18: 519–527.
- World Bank (2019), available at <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>.
- Xu, T. (2018), 'Investigating Environmental Kuznets Curve in China—Aggregaion bias and policy implications', *Energy Policy* 114: 315–322.
- Yaguchi, Y., Sonobe, T., and Otsuka, K. (2007), 'Beyond the Environmental Kuznets Curve: A comparative study of SO₂ and CO₂ emissions between Japan and China', *Environment and Development Economics* 12 (3): 445–470.