

新一线城市经济发展与环境污染 脱钩关系及驱动因素分析

庞博¹ 李晓星¹ 张耀宗² 傅尧¹ 宋晓聪¹¹

(1. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012;

2. 华北理工大学建筑工程学院, 河北 唐山 063210)

【摘要】: 在构建城市环境污染评价指标体系的基础上, 运用 Tapio 和 LMDI 模型, 研究了 2010—2019 年新一线城市经济发展与环境污染之间的关系及影响污染产生的驱动因素。研究发现除重庆、苏州、沈阳仍处于弱脱钩状态外, 其余城市均已强脱钩; 经济效应是污染的主导因素, 随着时间的延续, 人口效应促进作用不断提高, 技术和产业结构效应抑制作用明显加强, 其中技术效应抑制效果最为显著; 按驱动因素将新一线城市划分为, 重庆为经济+技术+人口效应驱动型; 成都、杭州、武汉、西安、天津、苏州、沈阳为经济+技术+产业结构效应驱动型; 南京、长沙、青岛为技术+产业结构效应驱动型。据此建议加快建立城市绿色循环经济发展体系, 推进产业结构绿色化转型、提高技术水平。

【关键词】: 新一线城市 脱钩 驱动因素 结构熵权法 LMDI

【中图分类号】: F299.27; X321; X5 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)07-192-06

随着我国城镇化、工业化以及区域经济一体化的不断推进, 城市人口聚集、空间扩张加速, 导致城市经济发展与环境污染问题矛盾越发尖锐, 生态环境恶化, 秋冬雾霾增多等现象频繁发生^[1]。近年来, 新一线城市经济发展势头强劲, 2020 年重庆 GDP 为 25003 亿元, 已无限逼近一线城市最后一名广州 25019 亿。“抢人大战”也越演越烈, 多市发布一系列人才引进政策, 吸引年轻人, 以持续推动城市迅速发展, 新一线城市经济发展和城市扩容是必然趋势, 因此, 探究新一线城市是否实现城市经济与环境协调发展、实现二者之间“脱钩”(即环境污染不随经济增长而增加)以及影响污染产生的驱动因素是关键问题。

1 文献综述

经济发展和环境污染之间的关系一直是国内外学者关注的重点问题。现常用的研究方法主要是环境库兹涅茨曲线(EKC)和脱钩模型。Yang^[2]利用 Tapio 脱钩模型和 EKC 模型相互印证了我国 GDP 与二氧化硫和氮氧化物均呈现倒“U”型关系。郭翰林^[3]基于 2000—2015 年山西省面板数据拟合 EKC 曲线。蒋惠凤^[4]利用 OECD 脱钩模型, 研究了江苏省废污水排放与经济发展的驱动因素及脱钩效应。脱钩一词最早来源于物理界, 即表示两者或多者之间不具有关联性, 与耦合相对。脱钩理论最初被 OECD 引进环境经济学领域^[5]。2005 年 Tapio^[6]研究了欧洲交通行业经济发展与碳排放关系, 首次提出弹性脱钩概念和完整的弹性脱钩评价体系。

作者简介: 庞博, 硕士, 助理工程师, 研究方向为清洁生产、水污染控制及资源化。E-mail:2433239380@qq.com

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目“西南地区有色金属产业集聚区典型固废资源属性及其生态环境影响效应”(2019YFC1904201)

随后学者们相继利用脱钩模型研究了经济发展与资源能源消耗^[7]、碳排放^[8]、水环境压力^[9]、固体废物产生量^[10]等之间的关系。

纵贯现有研究，多是以国家、省份、特定区域、某一城市、行业等为范围，研究环境与经济发展之间的关系。邹凯波^[11]对中美两国的大气污染与经济发展进行脱钩分析，结果表明我国和美国 SO₂ 分别在 2006 年和 1975 年后呈现强脱钩状态，NO_x 分别在 2011 年和 1991 年后整体呈现强脱钩状态。韩燕^[12]对 1992—2018 年甘肃省经济发展与资源环境承载力进行脱钩分析，发现指数总体介于 0~1 之间，呈现弱负脱钩状态，且经济结构是重要的驱动因素。白彩全等^[13]对长三角地区 16 个城市经济发展与环境污染两个子系统分析后发现，地区环境污染压力逐渐减轻，未来持绝对脱钩态势。赵正^[14]通过构建 EPI 分析北京经济与环境压力脱钩程度及驱动因素，认为北京呈现强脱钩状态。胡怡文和杨晓华^[15]研究了 1987—2016 年制造业经济增长与生态压力脱钩关系，主要呈现出强负脱钩、扩张负脱钩和增长连结三种状态。

基于此，本文运用结构熵权法构建城市环境污染评价体系，通过 Tapio 模型，对 2010—2019 年新一线城市经济发展与环境污染之间的关系进行实证分析，并利用 LMDI 模型探究影响环境污染的驱动因素，以期为新一线城市绿色发展提供理论指导和科学建议。

2 研究方法与数据来源

OECD 脱钩指数法与 Tapio 弹性是应用最广泛的两种脱钩方法，但 OECD 可能因基期选择而使结果产生偏差^[16]。Tapio 方法克服了 OECD 基期选择的困境，还可以直观经济增长和环境污染的动态变化，具有一定的预警作用。因此本研究选择 Tapio 进行脱钩研究，公式如下：

$$e = \frac{(E_t - E_{t-1}) / E_t}{(D_t - D_{t-1}) / D_t} = \frac{\Delta E}{E_t} / \frac{\Delta D}{D_t} \tag{1}$$

式中：e 表示脱钩弹性系数，E_t、E_{t-1} 表示在 t、t-1 年份该城市的环境污染，D_t、D_{t-1} 表示在 t、t-1 年份城市的 GDP，脱钩弹性系数其实就是环境污染增长率与 GDP 增长率的比值。

Tapio 依据ΔE 和ΔD 值的正负，以及弹性系数 e 以 0、0.8、1.2 为节点，分为 8 种脱钩状态(表 1)。强脱钩是最佳状态，意味着该城市经济增长，但环境污染程度下降。强负脱钩状态最差，表示经济衰退时，污染依旧快速增多。

表 1 脱钩状态分类表

脱钩状态		ΔE	ΔD	e 弹性系数
脱钩	强脱钩	-	+	e<0
	衰弱脱钩	-	-	e>1.2
	弱脱钩	+	+	0<e<0.8
连接	扩张连接	+	+	0.8<e<1.2
	衰退连接	-	-	0.8<e<1.2
负脱钩	扩张负脱钩	+	+	e>1.2

	强负脱钩	+	-	$e < 0$
	弱负脱钩	-	-	$0 < e < 0.8$

2.1 构建城市环境污染评价体系

在环境污染评价指标中，多数研究指标都是三废的排放量、COD 排放量、氨氮排放量等^[17,18]。负向指标多，生态指标较少被提及。一个城市的环境污染仅仅靠污染物排放量评价过于片面。因此本文构建了具有 14 个指标的环境污染评价体系(表 2)。其中，工业废水排放量、COD 排放量等 9 个指标为负向指标，即值越小，表示该城市环境污染程度越小，污水处理厂集中处理率、全年优良天数等正向指标 5 个，即值越大越好，表示该城市环境污染程度越小。

表 2 城市环境污染评价体系

准则层	权重	指标编号	指标层	权重	类型
废水	0.34	1	工业废水排放量	0.37	-
		2	工业废水 COD 排放量	0.25	-
		3	工业氨氮排放量	0.16	-
		4	污水处理厂集中处理率	0.22	+
大气	0.27	5	工业废气排放量	0.31	-
		6	工业二氧化硫排放量	0.19	-
		7	工业氮氧化物排放量	0.18	-
		8	工业烟尘排放量	0.15	-
		9	全年环境空气细颗粒(PM _{2.5})年均浓度	0.07	-
		10	全年优良天数	0.1	+
固废	0.31	11	一般工业固体废物产生量	0.41	-
		12	一般工业固体废物综合利用率	0.35	+
		13	生活垃圾无害化处理率	0.24	+
生态	0.08	14	建成区绿化覆盖率	1	+

2.2 指标赋权

目前指标赋权方法可以分为三类，主观赋权法、客观赋权法以及组合赋权法^[19]。主观赋权法，人为干扰因素过强，客观赋值法虽然避免了主观因素干扰，但容易忽略指标本身重要程度。因此本文选择主客观赋权法相结合的结构熵权法对指标赋权^[20]。

(1) 采集专家意见，形成“典型排序”。

设计城市环境污染评价体系的德尔菲专家意见表，采集专家意见，整理后形成指标的典型排序。

(2) “盲度”分析“典型排序”。

对形成 k 名专家的“典型排序”矩阵记为 Q， $[Q=(q_{ij})_{k \times n}, i=1, 2, 3, \dots, k; j=1, 2, 3, \dots, n]$ ，其中 q_{ij} 为第 i 个专家对第 j 个指标的评价。隶属函数为 $u(q_{ij}) = \frac{\ln(j+2-q_{ij})}{\ln(j+1)}$ ，隶属度矩阵为： $B=(b_{ij})_{k \times n} (i=1, 2, 3, \dots, k; j=1, 2, 3, \dots, n)$ ，其中， b_{ij} 为第 i 名专家对第 j 个指标的评价隶属度。专家在评价过程中由于认知产生的不确定性为“认识盲度”，记为 Q_j ：

$$Q_j = \left| \frac{\left[\max(b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{kj}) - b_j \right] + \left[\min(b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{kj}) - b_j \right]}{2} \right| \quad (2)$$

将 k 名专家关于指标 j 的总体认识度记作 x_j ，则 $x_j = b_j(1 - Q_j)$ ，由此可以得出评价向量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。

(3) 将评价向量归一化处理。

进行归一化处理：

$$W_j = X_j / \sum_{j=1}^n X_j \quad (3)$$

可得权重 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$ 。

2.3 LMDI 模型

LMDI (对数平均迪氏指数法) 可以用来分析驱动因素或决定性因素，在分解后残差为 0，不具有不可解释的残差^[21]。本研究选择 LMDI 加法分解人口效应、经济效应、技术效应、产业结构效应，以探究环境污染的驱动因素。

$$W = \frac{W}{V} \times \frac{V}{G} \times \frac{G}{P} \times P = A \times B \times C \times D \quad (4)$$

式中：W 表示环境污染程度，V 表示该城市工业生产总产值，G 表示该城市 GDP，P 表示人口数量。 $\frac{W}{V}$ 为环境污染程度与工业生产总产值的比值用 A 代表，反映了技术水平。 $\frac{V}{G}$ 为城市工业生产总产值与 GDP 的比值用 B 代表，反映了产业结构效应。 $\frac{G}{P}$ 为 GDP 与人口数量的比值用 C 代表，反映了经济效应。D 反映了人口效应。进一步整理公式得到出：

$$\Delta A = \frac{W^t - W^0}{\ln W^t - \ln W^0} \left(\ln \frac{A^t}{A^0} \right)$$

(5)

$$\Delta B = \frac{W^t - W^0}{\ln W^t - \ln W^0} \left(\ln \frac{B^t}{B^0} \right)$$

(6)

$$\Delta C = \frac{W^t - W^0}{\ln W^t - \ln W^0} \left(\ln \frac{C^t}{C^0} \right)$$

(7)

$$\Delta D = \frac{W^t - W^0}{\ln W^t - \ln W^0} \left(\ln \frac{D^t}{D^0} \right)$$

(8)

式中：0、t 分别代表期初与期末。以上四个驱动因素的值，大于 0 意味产生增量效应，等于 0 意味对环境污染影响不明显，小于 0 意味产生减量效应。

2.4 数据来源

以 2016—2019 年均进入新一线城市排名的 11 个城市为研究对象，包括成都、重庆、杭州、武汉、西安、天津、苏州、南京、长沙、沈阳、青岛。研究数据来源于 2010—2019 年的《中国环境统计年鉴》《中国城市统计年鉴》、各城市的《统计年鉴》《国民经济和社会发展统计公报》以及《环境状况公报》。

3 结果与讨论

3.1 脱钩分析

本研究利用 Tapio 模型对新一线城市 2010—2019 年，经济发展与环境污染脱钩关系进行了计算，脱钩弹性系数 e 如表 3 所示。

表 3 2010—2019 年新一线城市与环境污染的脱钩弹性系数

城市	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
成都	1.18	1.46	1.55	1.14	1.03	0.79	0.36	-0.11	-0.32	-0.41
重庆	2.55	2.63	2.32	1.79	1.54	1.19	1.07	0.67	0.77	0.52
杭州	0.98	0.45	0.63	0.41	0.22	-0.10	-0.32	-1.27	-1.44	-1.87
武汉	1.10	1.04	0.75	0.87	0.64	0.22	-0.03	0.15	-0.11	-0.14
西安	0.97	1.11	0.84	0.88	0.75	0.64	0.31	-0.11	-1.14	-2.21
天津	1.34	1.05	1.15	0.97	0.77	0.44	0.19	-0.21	-0.44	-1.12
苏州	3.33	2.78	2.45	1.54	1.12	0.99	0.64	0.57	0.68	0.44

南京	0.87	0.74	0.55	0.61	0.41	0.22	-0.24	-0.47	-1.11	-1.47
长沙	0.61	0.54	0.37	0.21	0.03	-0.40	-0.75	-0.64	-1.58	-2.80
沈阳	2.88	2.57	2.45	1.78	1.08	0.83	0.67	0.52	0.68	0.57
青岛	0.13	0.08	-0.34	-0.45	-0.67	-0.85	-1.14	-1.74	-2.77	-3.23

Tapio 模型以 ΔE 和 ΔD 值的正负, 以及弹性系数 e 的大小, 划分了 8 种脱钩状态。本文计算后的 2010—2019 年新一线城市与环境污染的脱钩状态如表 4 所示。其中: 强脱钩指经济增长时, 环境污染下降, 为最佳状态; 弱脱钩指环境污染增加幅度小于经济增长幅度; 扩张连接指环境污染增加幅度与经济增长幅度相当; 扩张负脱钩指环境污染增加幅度大于经济增长幅度。

结合表 3、表 4 可知, 在研究初期 2010 年, 多数城市呈现扩张连接或扩张负脱钩状态, 而到末期 2019 年, 呈现弱脱钩或强脱钩状态, 整体来看新一线城市脱钩系数不断减小, 逐步趋向强脱钩状态, 虽然伴随着经济周期的变化, 会出现扩张连接转扩张负脱钩或强脱钩转弱脱钩状态, 系数大小反复, 但变化脱钩关系转变基本符合“扩张负脱钩—扩张连接—弱脱钩—强脱钩”的过程, 充分说明十年间城市经济快速增长的同时, 环境污染程度不断减少, 经济增长由粗放型向集约型转变。2015 年后弹性系数变化幅度增强, 处于强脱钩状态的城市增加, 体现污染控制力度加强, 2015 年正是新修订的《中华人民共和国环境保护法》开始实施, 随后党中央、国务院、各部委以及各省市发布一系列控制环境污染的法规制度, 脱钩系数的变化印证了政策力度的落实, 切实践行了绿色发展理念, 但各市脱钩状态存在较大差异。

在基期初 2010 年, 11 个城市经济增长和环境污染呈现扩张负脱钩、扩张连接、弱脱钩三类状态, 分别占比 36.4%、45.5%、18.1%, 未有一个城市处于强脱钩状态。表明在 2010 年时, 新一线城市经济增长均带来环境污染程度的加剧。最早实现强脱钩状态的是青岛, 2012 年开始青岛经济增长的同时环境污染下降。在 2015 年杭州、长沙紧随其后进入强脱钩状态, 此时城市处于扩张连接、弱脱钩、强脱钩状态, 分别占 27.3%、45.4%、27.3%, 未呈现扩张负脱钩状态。到 2019 年时, 多数城市已先后处于强脱钩状态, 西安、长沙、青岛脱钩力度最大, 脱钩系数分别是-2.21、-2.80、-3.23, 而重庆、苏州、沈阳处于弱脱钩状态, 即环境污染增加幅度略低于经济增长幅度。

3.2 环境污染驱动因素分析

为了进一步剖析环境污染的驱动因素, 本文利用了 LMDI 加法模型对驱动因素进行分解分析(图 1)。各因素的效应值为环境污染的贡献值, 效应值的绝对值大小, 代表其对城市环境污染的影响程度。效应值的正负代表影响方向, 即效应值为负, 该因素对环境污染具有抑制作用, 效应值为正, 该因素对环境污染具有促进作用。相对贡献率为各效应与各效应绝对值总和之比。

(1) 人口效应。

表 4 2010—2019 年新一线城市与环境污染的脱钩状态

脱钩状态	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
成都	扩张连接	扩张负脱钩	扩张负脱钩	扩张连接	扩张连接	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩

重庆	扩张负脱钩	扩张负脱钩	扩张负脱钩	扩张负脱钩	扩张负脱钩	扩张连接	扩张连接	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩
杭州	扩张连接	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩
武汉	扩张连接	扩张连接	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	弱脱钩	强脱钩	强脱钩
西安	扩张连接	扩张连接	扩张连接	扩张连接	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩
天津	扩张负脱钩	扩张连接	扩张连接	扩张连接	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩
苏州	扩张负脱钩	扩张负脱钩	扩张负脱钩	扩张负脱钩	扩张连接	扩张连接	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩
南京	扩张连接	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩
长沙	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩
沈阳	扩张负脱钩	扩张负脱钩	扩张负脱钩	扩张负脱钩	扩张连接	扩张连接	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩	弱脱钩
青岛	弱脱钩	弱脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩	强脱钩

人口效应对环境污染的贡献随着时间变化而增多，但相对贡献率相比其他因素最小。2010 年新一线城市人口效应相对贡献率仅维持在 2.42%~8.1%之间，随着时间的推移影响程度不断增加，到 2019 年相对贡献率为 5.21%~16.45%。其中重庆相对贡献率最大为 16.45%，在新一线城市中重庆常住人口最多，达 3124 万人。新一线城市中除南京、长沙、沈阳、青岛外，均已成为千万人口以上的城市。新一线城市近年来由于经济发展，吸引了大量外来人口，人口规模的扩大加剧了环境污染程度。城市的发展离不开人口，最近各地人才政策密集出台，多个新一线城市降低了落户条件，预计新一线城市的人口效应对环境污染的影响还会加剧，各城市应顶层设计合理控制人口规模，避免人口饱和后形成“大城市病”。

(2) 产业结构效应。

产业结构效应抑制环境污染的产生，随着时间的推移贡献增多。2010 年，产业结构效应相对贡献率在 7.13%~29.25%，截至 2019 年时，相对贡献率在 25.90%~43.53%，抑制污染效果显著。这是由于 10 年以来，我国加快调整产业结构，扎实推进供给侧结构性改革，积极构建绿色制造体系，淘汰落后和过剩产能，引导相关产业向适宜开发区域集聚等措施对降低环境污染作用明显。在我国产业结构调整促进下，新一线城市的产业结构逐步由第一、第二产业向第三产业转变，第三产业生产总值占比均超过 50%，第三产业成为经济发展主要引擎。

(3) 技术效应。

技术改善对环境污染的减量效应最为显著。2010 年，技术效应对各市的相对贡献率均小于 15%，2013 年相比 2010 年小幅度增多，2016 年增长幅度加大，至 2019 年维持在 25%~45%之间。研究初期，技术水平相对较低，单位生产总值所承担的环境污染压力大，生产效率低。随后我国加大对环境友好型技术和污染治理技术的投资与要求，比如淘汰燃煤小锅炉、煤电机组脱硫设施增容改造、燃煤机组实施脱硝与除尘改造，围绕重点行业实施清洁生产技术改造等措施。各城市落实相关要求的效果显著，技术改善对降低环境污染起重要作用。但仍需进一步加强力度和提高工艺水平，重庆、苏州、沈阳的污染物排放量较高，工业二氧化

硫排放量分别是青岛的 37.60 倍、14.5 倍、3.58 倍，这是本文脱钩分析中三个城市现处于弱脱钩状态的主要原因。

(4) 经济效应。

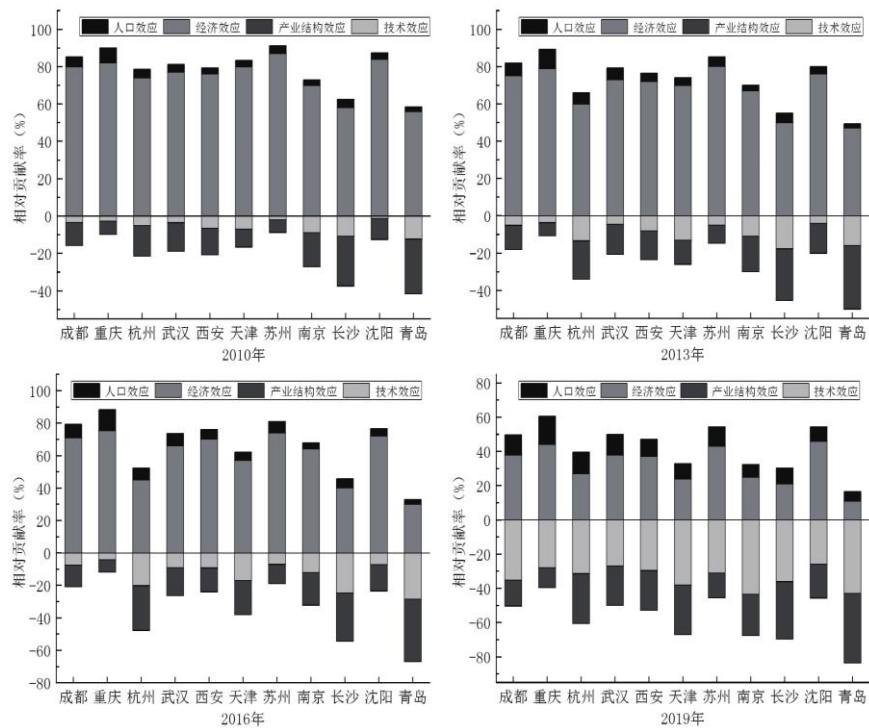


图 1 不同年份驱动因素的相对贡献率变化情况

经济增长需要消耗资源，从而会产生环境污染。在各驱动因素中经济效应占主导作用，2010 年各城市经济效应相对贡献率占 50%以上，2013 年虽有所下降但总体变化不大，2016 年时下降趋势显著，到研究末期 2019 年时，新一线城市经济效应相对贡献率仅在 11.61%~46.75%之间。说明经济效应对于环境污染影响大，早期是以污染大，技术水平低的方式发展经济，随后在不断改善技术水平和调整产业结构等方式，降低经济发展带来的污染程度。

根据四个驱动因素的贡献率大于 70%，将环境污染和经济发展的脱钩类型分为经济+技术+人口效应影响型、经济+技术+产业结构效应影响型以及技术+产业结构效应影响型。结果如表 5 所示。

4 结论与建议

4.1 结论

本文基于 11 个新一线城市 2010—2019 年的面板数据，通过结构熵权法对环境污染模型的各项指标赋予权重，利用 Tapio 计算新一线城市经济发展与环境污染的脱钩关系，并对驱动因素进行分析。研究结果表明：

表 5 新一线城市环境污染影响类型

类型	城市
----	----

经济+技术+人口	重庆
经济+技术+产业结构	成都、杭州、武汉、西安、天津、苏州、沈阳
技术+产业结构	南京、长沙、青岛

(1)2010 年，11 个城市呈现扩张负脱钩、扩张连接、弱脱钩三类状态，随着时间推移，截至 2019 年多数城市已先后处于强脱钩状态，其中西安、长沙、青岛脱钩力度最大，而重庆、苏州、沈阳处于弱脱钩状态。

(2)人口效应和经济效应对环境污染具有增量效应，而技术效应和产业结构效应抑制环境污染。随着时间的推移，人口效应增加幅度较小，技术水平的提高对抑制污染作用最为显著，产业结构的相对贡献率不断提高，经济效应占污染的主导因素，但在减量效应的影响下，经济与环境污染可以实现脱钩。

(3)按驱动因素贡献率划分新一线城市，显示重庆为经济+技术+人口效应驱动型；成都、杭州、武汉、西安、天津、苏州、沈阳为经济+技术+产业结构效应驱动型；南京、长沙、青岛为技术+产业结构效应驱动型。

4.2 建议

(1)加快建立城市绿色循环经济发展体系。

上述研究发现，新一线城市现有经济发展仍带来一定程度的环境污染，到研究末期 2019 年时，新一线城市经济效应相对贡献率在 11.61%~46.75%之间。各城市应因地制宜地进行顶层设计城市绿色发展规划，推动投资、流通、生活、消费绿色化转型，使发展建立在高效利用资源、严格保护生态环境的基础上，统筹推进城市高质量发展和高水平保护。

(2)推进城市产业结构绿色化转型。

在研究新一线城市产业结构对环境污染的影响发现，合理调整产业结构可以大幅度降低城市环境污染程度，抑制污染效果显著。各市应加大落后产能淘汰和过剩产能压减力度，扎实推进供给侧结构性改革，加强绿色环保产业发展，带动一二三产业绿色升级，尤其是钢铁、造纸等工业产业绿色化改造，建设新一线城市绿色制造体系。

(3)提高绿色技术水平。

改善技术水平对抑制环境污染作用最为显著，技术水平相对较低时，单位生产总值所承担的环境污染压力大，上述研究发现新一线城市在减少污染物排放量中，仍有较大技术进步空间。应提高资源利用效率，持续提高清洁生产水平，从末端治理转向源头管控，推动绿色技术创新，构建以市场为导向的绿色技术创新体系。

参考文献：

[1]王芳.事实与建构：转型加速期中国区域环境风险的社会学研究[M].上海：上海人民出版社，2018.

[2]Yang Z H.Study on the relationship between air pollution and economic development[J].Science Discovery, 2018,6(1):12-18.

-
- [3]郭翰林. 基于 EKC 模型的经济发展和资源环境关系研究——以山西省为例[R]. 合肥: 中国环境科学学会科学技术年会, 2018.
- [4]蒋惠凤. 江苏省废污水排放驱动因素及脱钩效应——基于 STIRPAT 模型和 OECD 脱钩指数的研究[J]. 中国农业资源与区划, 2016(12): 43-49.
- [5]OECD. Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth[R]. Paris: OECD, 2002.
- [6]Tapio P. Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001[J]. Transport Policy, 2005, 12(2): 137-151.
- [7]王俊岭, 张新社. 中国钢铁工业经济增长、能源消耗与碳排放脱钩分析[J]. 河北经贸大学学报, 2017(4): 77-82.
- [8]姜博, 马胜利. 区域经济增长与碳排放影响因素研究——以东北三省为例[J]. 企业经济, 2020(11): 122-131.
- [9]章恒全, 陈卓然, 张陈俊. 长江经济带工业水环境压力与经济增长脱钩努力研究[J]. 地域研究与开发, 2019(2): 13-18.
- [10]蒲灵, 马又琳, 毕朝文, 等. 成都平原经济区固体废物产生量与经济增长的关系及驱动因素分析[J]. 环境污染与防治, 2021(2): 266-270.
- [11]邹凯波, 曹宝, 张玉虎, 等. 中美两国大气污染与经济增长关系比较分析[J]. 生态经济, 2020(2): 131-137.
- [12]韩燕. 经济发展与资源环境承载力脱钩研究——以甘肃省为例[J]. 统计与决策, 2021(2): 121-124.
- [13]白彩全, 黄芽保, 宋伟轩, 等. 长三角地区工业经济发展与环境污染脱钩研究[J]. 环境科学与技术, 2015(7): 157-163.
- [14]赵正. 北京市经济增长与环境压力脱钩分析[J]. 城市问题, 2017(9): 48-54.
- [15]胡怡文, 杨晓华. 我国制造业经济增长与生态压力脱钩关系研究[J]. 特区经济, 2020(4): 39-42.
- [16]陆琳忆, 胡森林, 何金廖, 等. 长三角城市群绿色发展与经济增长的关系——基于脱钩指数的分析[J]. 经济地理, 2020(7): 40-48.
- [17]胡美娟, 孙萍, 李在军, 等. 长三角城市经济增长与资源环境压力的脱钩效应[J]. 世界地理研究, 2022(3): 538-548.
- [18]李健, 王尧, 王颖. 京津冀区域经济发展与资源环境的脱钩状态及驱动因素[J]. 经济地理, 2019(4): 43-49.
- [19]肖枝洪, 王一超. 关于“评测指标权重确定的结构熵权法”的注记[J]. 运筹与管理, 2020(6): 145-149.
- [20]李晓星, 杜军凯, 傅尧. 基于结构熵权-模糊综合评价的企业环境绩效审计模型构建[J]. 企业经济, 2018(2): 102-107.
- [21]李芸邑, 刘利萍, 刘元元. 长江经济带工业污染排放空间分布格局及其影响因素[J]. 环境科学, 2021(8): 3820-3828.