

中国十大城市群环境规制与产业结构 升级的耦合协调发展研究

郑晓舟^a 郭晗^a 卢山冰^{a, b} 胡先功^{c1}

(西北大学:a. 经济管理学院;b. 丝绸之路研究院;

c. 网络和数据中心, 西安 710127)

【摘要】:环境规制与产业结构升级的协调发展是实现城市群可持续发展的关键。本文基于中国十大城市群 132 个城市样本, 构建环境规制与产业结构升级多指标评价体系, 借助熵值法、耦合协调度模型、Dagum(基尼系数)和灰色关联度模型探究十大城市群环境规制与产业结构升级耦合协调的区域特征、差异性及影响耦合协调发展的关键因素。研究表明: 环境规制综合指数平均保持上升趋势, 但呈现明显的区域非均衡特征; 产业结构升级综合指数总体呈“先上升, 后下降”的发展趋势, 绝大多数城市群和城市的产业结构升级综合指数平均保持上升趋势, 仅辽中南城市群和 31 个城市出现下降; 环境规制与产业结构升级的耦合协调关系总体由中级协调发展为良好协调, 成渝城市群由初级协调发展为中级协调, 辽中南城市群始终处于中级协调阶段, 其余八大城市群均由中级协调发展为良好协调; 绝大多数城市的耦合协调度平均保持上升趋势, 仅有 7 个城市的耦合协调度有所下降; 超变密度是城市群总体差异的根源, 其次是城市群内部差异, 而城市群间差异最小; 环境规制各微观指标对产业结构升级的驱动力存在显著差异, 而多数区域产业结构升级两大微观指标对环境规制的驱动力较为强大、均衡。文章在最后提出促进城市群环境规制与产业结构升级耦合协调发展的政策建议。

【关键词】: 环境规制 产业结构升级 耦合协调

【中图分类号】: F062. 9 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1006—2912(2021)06—0093—19

一、引言

在 2020 年 10 月 26 日召开的中央十九届五中全会上, 中共中央坚定不移地贯彻可持续发展理念, 确立了“生态文明建设实现新进步”和“经济发展取得新成效”的“双新目标”, 这为协调环境保护与经济发展的关系提出更高要求。有学者认为, 合理的环境规制不仅能够实现环境改善的目的, 而且能够通过优化产业结构, 实现经济的绿色发展^[1-3]。可见, 环境规制和产业结构升级在实现环境保护与经济发展中具有举足轻重的作用。此外, 中国城市群作为国家战略发展核心区, 尤其是十大代表性城市群作为中国经济、科技、文化最发达的地区和国民经济的重要支撑点^[4], 其面临的生态环境问题较单一城市更为复杂, 产业结构

作者简介: 郑晓舟(1989-), 女, 河南三门峡人, 西北大学经济管理学院博士研究生, 研究方向: 城市群、环境规制和产业结构; 郭晗(1987-), 男, 陕西汉阴人, 西北大学经济管理学院副教授、硕士生导师, 研究方向: 中国经济增长质量和经济增长潜力; 卢山冰(1966-), 男, 河北藁城人, 西北大学经济管理学院教授、丝绸之路研究院教授、博士生导师, 研究方向: 产业经济学; 胡先功(1994-), 西北大学网络与数据中心硕士研究生, 研究方向: 计算机光学分子影像。

基金项目: 陕西省社科基金项目“创新驱动视角下陕西省产业转型升级的路径研究”(2017D011), 项目负责人: 王莎莎; 陕西省教育厅专项项目“教育信息化与区域经济发展的相关性研究-以陕西省为例”(17JK0738), 项目负责人: 王莎莎

升级之路面临的挑战也更严峻。在中共中央提出“城市群一体化发展”、“区域协调发展”的政策背景下，深入研究中国十大城市群环境规制与产业结构升级的耦合协调问题，对实现城市群环境保护与产业结构升级的“双赢”目标意义重大。

关于环境规制与产业结构升级的研究成果颇为丰富，归纳起来大致集中在以下三个方面：一是环境规制对产业结构升级的作用方向研究。例如，原毅军和谢荣辉基于正式环境规制与非正式环境规制的视角，探讨了环境规制的产业结构升级效应，认为正式环境规制与产业结构升级具有非线性关系，非正式环境规制促进产业结构升级^[5]；程中华等通过构建动态空间面板模型实证检验了环境规制对产业结构升级的影响效应，认为环境规制显著促进了城市产业结构升级，但这种促进效应受城市经济发展阶段的限制^[6]；纪玉俊和宋金泽的研究表明我国实施的环境规制政策能够促进产业升级，但这种促进作用在我国东中西部地区之间存在一定差异性^[7]。二是环境规制对产业结构升级的作用路径研究。肖兴志和李少林理论分析和实证检验了环境规制通过需求、技术创新和国际贸易传导机制等途径作用于产业结构升级^[1]；薛耀祖认为环境规制不仅能够直接促进劳动力向第三产业转移，还能够通过影响全要素生产率和经济增长对产业结构升级产生间接作用^[8]；龚海林分析了环境规制通过消费需求、投资需求、技术创新、壁垒效应、国际贸易等中间变量影响产业结构升级的作用机理，并构建计量模型采用省际面板数据测算了环境规制基于不同途径对产业结构优化升级的影响绩效^[9]。三是环境规制与产业结构的互动关系研究。仅有数篇文章探讨了环境规制与产业结构升级的双向作用关系，例如申开丽等研究了浙江省的环境规制与产业结构升级的耦合协调问题，得 2000-2017 年浙江省环境规制强度、产业结构指数总体上均呈上升趋势，环境规制与产业结构间的耦合协调度实现了从濒临失调到良好协调的转变^[10]；孙红梅和雷喻捷实证检验了长三角城市群产业发展与环境规制的耦合关系，认为大部分城市处于中度耦合和低度耦合阶段，“十五”到“十三五”期间，各城市两系统耦合度稳定提高，但呈现出区域差异性，并指出影响城市耦合发展的关键指标是城市产业创新转型发展、现有生态治理水平和环境保护措施^[11]。

从已有文献来看，以下三个方面的研究还相对薄弱：一是研究视角，多数文献基于省、市或某单一区域展开分析，而基于中国十大城市群展开研究的文献几乎为零；二是研究内容，探讨环境规制对产业结构升级单向影响的文献较多，而分析环境规制与产业结构升级耦合协调关系的文献较少；三是研究方法，运用熵值法、Dagum(基尼系数)、耦合协调度模型、灰色关联度模型等方法，测算环境规制综合指数和产业结构升级综合指数，耦合协调度、耦合协调度区域差异来源、影响耦合协调度的关键指标，更加全面、深入的剖析环境规制与产业结构升级的耦合协调关系。

二、研究设计

(一)环境规制与产业结构升级的评价方法

1. 指标体系构建。

众多研究表明环境规制主要来源于两种力量：一是政府的“强制力量”，中国政府制定污染物排放标准、生产技术标准、设立环保监管系统、征收污染税等政策，即正式环境规制；二是公众(包括普通民众、媒体、环保组织等)的“自愿力量”，环保意识比较强的社会组织、居民等自愿发起或者参与的环境保护行动，即非正式环境规制^[12-14]。本文在对环境规制进行界定的基础上，结合数据的可得性，构建了包括正式环境规制和非正式环境规制两个维度的 9 项指标的环境规制综合指数评价体系。同时，产业结构升级包含着产业之间的协调能力和关联水平的提高以及产业由低水平向高水平的发展^[15,3]，即产业结构合理化和产业结构高级化。因此，基于以上两个维度构建产业结构升级综合指数。指标评价体系如表 1 所示。

表 1 十大城市群环境规制与产业结构升级指标评价体系

目标层	准则层	指标层(计算公式)	备注
环境规制(g)	正式环境规制(g1)	工业废水排放量(吨)(x1)	负向指标

		工业二氧化硫排放量(吨) (x2)	负向指标
		工业烟(粉)尘排放量(吨) (x3)	负向指标
		生活垃圾无害化处理率(%) (x4)	正向指标
		一般工业固体废物综合利用率(%) (x5)	正向指标
		污水处理厂集中处理率(%) (x6)	正向指标
环境规制(g)	非正式环境规制(g2)	在岗职工平均工资水平(万元/人/年) (x7)	正向指标
		受教育程度(%) (x8)	正向指标
		人口密度(x9)	正向指标
产业结构升级(is)	产业结构合理化(ris)	$ris = \frac{\sum_i (A_i * F_i)}{\sqrt{\sum_i A_i^2} * \sqrt{\sum_i F_i^2}}$	正向指标
	产业结构高级化(h)	$h=1*A_1+2*A_2+3*A_3$	正向指标

2. 环境规制与产业结构升级指标测算。

本文参考邓宗兵等^[17]、杨秀萍等^[18]的研究,采用熵值法综合评价模型分别计算 2003-2018 年十大城市群总体、各个城市群、132 个城市环境规制综合指数和产业结构升级综合指数。下面以城市为例说明计算步骤,具体如下:

步骤一:指标标准化处理,正向指标和负向指标的标准化处理公式分别为:

$$x_{\theta ij}^s = (x_{\theta ij} - x_j^{\min}) / (x_{\theta ij}^{\max} - x_j^{\min}) + 0.01 \quad (1)$$

$$x_{\theta ij}^s = (x_j^{\max} - x_{\theta ij}) / (x_j^{\max} - x_j^{\min}) + 0.01 \quad (2)$$

其中, $x_{\theta ij}^s$ 为 θ 年 i 城市 j 类指标的标准化值, $x_{\theta ij}$ 为 θ 年 i 城市 j 类指标的原始值, $x_j^{\max}, x_j^{\min}$ 分别为第 j 项指标的最大值和最小值。

步骤二:指标归一化处理:

$$y_{\theta ij} = x_{\theta ij}^s / \sum x_{\theta ij}^s \quad (3)$$

步骤三:计算指标熵值:

$$P_{\theta ij} = -\frac{1}{\ln n} \sum (y_{\theta ij} * \ln y_{\theta ij}) \quad (4)$$

其中, r 为年数, n 为城市个数。

步骤四：计算指标的差异化系数：
$$g_{\theta ij} = 1 - p_{\theta ij} \quad (5)$$

步骤五：计算指标权重：
$$w_{\theta ij} = g_{\theta ij} / \sum g_{\theta ij} \quad (6)$$

步骤六：计算各指标综合指数：
$$G_{\theta ij} = w_{\theta ij} * x_{\theta ij}^j \quad (7)$$

(二)耦合协调度评价方法

1. 耦合协调度测算。

耦合协调关系包含着“发展”和“协调”两个维度，前者强调系统本身由少量到大量、由低级到高级的演变过程，后者强调系统之间相互支持、和谐发展的过程。本文借鉴逯进和周惠民^[19]、张虎和韩爱华^[20]的研究，运用耦合协调度模型来衡量城市群环境规制与产业结构升级的协调发展水平。计算步骤如下：

$$c = \sqrt{\frac{g^* \cdot is}{(\frac{g + is}{2})^2}} \quad (8)$$

步骤一：耦合度：

步骤二：耦合协调度：
$$d = \sqrt{c^* (0.5 * g + 0.5 * is)} \quad (9)$$

式中，c 为耦合度，d 为耦合协调度，g 为环境规制综合指数，is 为产业结构升级综合指数。此外，本文参考杨浩等^[21]的研究，本文同样认为环境规制和产业结构升级具有同等重要的地位，因此 g 和 is 的权重均设定为 0.5。

2. 差异性测算。

根据基尼 (Dagum) (1997)^[22]提出的基尼系数分解法，将总基尼系数分解为城市群内部差异贡献 (G_N)、城市群间差异贡献 (G_I) 和超变密度贡献 (G_0) 三部分，即 $G=G_N+G_I+G_0$ ，从而量化十大城市群环境规制与产业结构升级耦合协调的空间差异，并进行系统分析。相关计算公式如下：

$$G = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{o=1}^{n_i} \sum_{p=1}^{n_j} |y_{io} - y_{jp}|}{2n^2 \bar{y}} \quad (10)$$

总体基尼系数：

式中， y_{io} (y_{jp}) 为 i (j) 城市群中第 o (p) 个城市的耦合协调度，m 为城市群个数， n_i (n_j) 为 i (j) 城市群的城市个数。

$$G_{ii} = \frac{\sum_{a=1}^{n_i} \sum_{p=1}^{n_i} |y_{ia} - y_{ip}|}{2n_i^2 \bar{y}_i} \quad (11)$$

i 城市群基尼系数:

$$G_N = \sum_{i=1}^m G_{ii} p_i s_i \quad (12)$$

城市群内的差异贡献:

$$G_{ij} = \frac{\sum_{a=1}^{n_i} \sum_{p=1}^{n_j} |y_{ia} - y_{jp}|}{n_i n_j (\bar{y}_i + \bar{y}_j)} \quad (13)$$

i 城市群与 j 城市群间的基尼系数:

$$G_j = \sum_{i=2}^m \sum_{j=1}^{i-1} G_{ij} (p_i s_j + p_j s_i) D_{ij} \quad (14)$$

城市群间的差异贡献:

$$G_o = \sum_{i=2}^m \sum_{j=1}^{i-1} G_{ij} (p_i s_j + p_j s_i) (1 - D_{ij}) \quad (15)$$

超变密度贡献:

$$D_{ij} = \frac{d_{ij} - p_{ij}}{d_{ij} + p_{ij}} \quad (16)$$

其中, D_{ij} 为耦合协调度的相对影响, 计算公式如下:

其中, d_{ij} 和 p_{ij} 分别指 i 城市群和 j 城市群中满足 $y_{io} - y_{jp} > 0$ 及 $y_{io} - y_{jp} < 0$ 条件的所有样本值之和的数学期望。

$$d_{ij} = \int_0^{\infty} dF_i(y) \int_0^y (y - x) dF_j(x) \quad (17)$$

$$p_{ij} = \int_0^{\infty} dF_j(y) \int_0^y (y - x) dF_i(x) \quad (18)$$

(三) 灰色关联度测算

环境规制与产业结构升级的耦合协调关系取决于各子系统相互作用的力度和方向。本文参考袁佳和张汉林^[23]、王文举和李峰^[24]的研究方法, 采用灰色关联分析法模型, 分别计算十大城市群总体、各个城市群及典型城市环境规制的 9 个微观指标与产业结构升级两个微观指标之间的关联关系, 以此探寻环境规制与产业结构升级两大系统之间耦合协调的重要驱动力。计算步骤如下:

步骤一: 数据标准化处理, 计算公式参考上文公式(1)和(2);

步骤二：计算差序列：
$$\Delta_i(k) = |x_0'(k) - x_i'(k)|, k = 1, 2, 3, \dots, i \quad (19)$$

其中， $x_{s00s}(k)$ 为某一系统的参考数列， $x_{s11s}(k)$ 是另一系统的比较数列，分别计算两级别最大级差和最小级差记为 M 和 m 。

步骤三：计算关联系数：
$$\xi_i(k) = \frac{m + \rho M}{\Delta_i(k) + \rho M}, \rho \in (0, 1) \quad (20)$$

其中， ρ 为分辨系数，根据最小信息原则， $\rho = 0.5$ 。

步骤四：计算灰色关联度：
$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k), i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (21)$$

(四)数据来源及耦合协调度类型划分

1. 数据来源。

本文综合曾鹏等^[4]、赵娜等^[25]的研究，结合数据的可得性，最终选取 2003-2018 年中国十大城市群的 132 个城市的面板数据作为研究样本。所采用数据主要来源于《中国城市统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《中国区域经济统计年鉴》、《中国城乡建设数据库》、世界银行统计数据以及各市国民经济和社会发展统计公报等，统计口径均为全市范围。对于部分缺失和遗漏数值通过中国知网统计数据库、国家统计年鉴，或均值插入法、趋势分析法进行了填补。各个城市群所辖范围内的城市界定如表 2 所示。

表 2 中国十大城市群及其包含城市

城市群	包含城市
京津冀	北京、天津、石家庄、唐山、秦皇岛、保定、 张家口、承德、沧州、廊坊、邢台、邯郸、衡水
长江三角洲	上海、南京、无锡、常州、苏州、南通、扬州、镇江、泰州、 杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、舟山、台州、盐城、金华
珠江三角洲	广州、深圳、珠海、佛山、江门、肇庆、惠州、东莞、中山
长江中游	武汉、黄石、鄂州、黄冈、孝感、咸宁、荆门、荆州、九江、岳阳、襄阳、宜昌、长沙、 常德、益阳、株洲、湘潭、德阳、娄底、南昌、景德镇、鹰潭、上饶、新余、抚州、宜春、萍乡
成渝	重庆、成都、自贡、泸州、德阳、绵阳、遂宁、内江、乐山、南充、眉山、宜宾、雅安、资阳
海峡西岸	福州、厦门、漳州、泉州、莆田、宁德、龙岩、三明、南平、 温州、丽水、衢州、汕头、梅州、衢州、揭阳
山东半岛	济南、青岛、烟台、潍坊、淄博、东营、威海、日照

辽中南	沈阳、大连、鞍山、抚顺、本溪、丹东、辽阳、营口、盘锦、铁岭、锦州、阜新、葫芦岛
中原	郑州、洛阳、开封、新乡、焦作、许昌、平顶山、漯河
关中	西安、咸阳、宝鸡、渭南、铜川、商洛

2. 耦合协调发展类型划分。

本文参考葛鹏飞等^[26]的研究，依据环境规制与产业结构升级耦合协调度值 d ，将两系统的耦合协调水平划分为十个等级，具体划分类型及数值如表 3 所示。

表 3 环境规制与产业结构升级耦合协调评价标准表

协调发展度	协调等级	协调发展度	协调等级
[0.0000-0.1000]	极度失衡	(0.5000-0.6000]	勉强协调
(0.1000-0.2000]	严重失衡	(0.6000-0.7000]	初级协调
(0.2000-0.3000]	中度失衡	(0.7000-0.8000]	中级协调
(0.3000-0.4000]	轻度失衡	(0.8000-0.9000]	良好协调
(0.4000-0.5000]	濒临失衡	(0.9000-1.0000]	优质协调

三、环境规制、产业结构升级及耦合协调指数测算结果及分析

根据熵值法综合评价模型、耦合协调度模型分别计算出城市群总体、各城市群、各城市的环境规制综合指数、产业结构升级综合指数及二者的耦合协调度，部分样本测算结果如表 4 和表 5 所示。

(一) 总体分析

表 4 展示了十大城市群总体的环境规制综合指数、产业结构升级综合指数及二者的耦合协调度。可以看出，2003-2018 年十大城市群环境规制综合指数呈逐年上升趋势，由 0.4890 增加到 0.6589，增长幅度达到 34.74%，这与我国在环境领域所做的努力密不可分，自 1973 年中国第一次举办全国性质的环境保护工作会议开始，中国环保工作走了 45 年，提出了可持续发展、科学发展观、生态文明建设、循环经济等中国特色的环境保护理念，在具体实践上经历了末端治理到源头治理、源头预防，从地区试点、行业试点到全国范围、全部产业的施行，环境保护工作取得长效进展；产业结构升级综合指数的变动趋势可分为两个阶段：2003-2016 年呈逐年上升趋势，2017-2018 年则出现轻微幅度的下降。整个样本期，产业结构升级综合指数上升幅度为 14.52%。产业结构综合指数之所以出现下降，可能的原因在于近几年来，中国经济处于增长速度换挡期、结构调整阵痛期、前期刺激政策消化期的“三期叠加”阶段，产业结构水平不可避免的受到波动性影响。环境规制与产业结构升级耦合协调度也呈现出逐年递增的良好发展趋势，由 0.7261 增加到 0.8137，增长幅度达到 12.06%，2012 年以前处于中级协调阶段，之后发展为良好协调阶段。结合图 1，可以直观看到，环境规制与产业结构升级耦合协调度的演变趋势同环境规制综合指数及产业结构升级综合指数接近，平均保持上升态势，这说明环境规制与产业结构升级两大系统的均衡发展和相互支持显著促进了耦合协调度的提升。

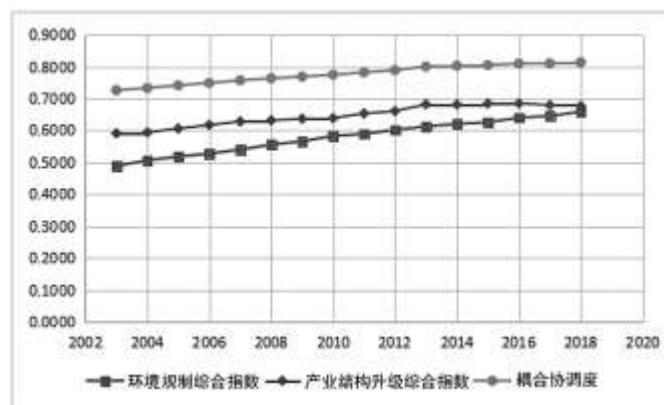


图 1 十大城市群总体环境规制、产业结构升级及二者耦合协调度的演变趋势

表 4 2003-2018 年环境规制、产业结构升级及耦合协调度指数(城市群总体)

年份	环境规制 综合指数 (g)	产业结构升级 综合指数 (is)	耦合协调度 (d)	耦合协调类型
2003	0.4890	0.5910	0.7261	中级协调
2004	0.5063	0.5940	0.7333	中级协调
2005	0.5180	0.6059	0.7415	中级协调
2006	0.5274	0.6171	0.7489	中级协调
2007	0.5399	0.6281	0.7571	中级协调
2008	0.5556	0.6315	0.7636	中级协调
2009	0.5659	0.6366	0.7687	中级协调
2010	0.5829	0.6386	0.7748	中级协调
2011	0.5891	0.6533	0.7821	中级协调

续表 4

年份	环境规制 综合指数 (g)	产业结构升级 综合指数 (is)	耦合协调度 (d)	耦合协调类型
2012	0.6017	0.6607	0.7892	中级协调
2013	0.6126	0.6818	0.8005	良好协调
2014	0.6204	0.6813	0.8027	良好协调

2015	0.6259	0.6844	0.8052	良好协调
2016	0.6400	0.6851	0.8098	良好协调
2017	0.6452	0.6794	0.8105	良好协调
2018	0.6589	0.6769	0.8137	良好协调

(二) 十大城市群层面的分析

表 5 展示了十大城市群 2003 年和 2018 年环境规制综合指数、产业结构升级综合指数及耦合协调度。具体分析如下：

1. 环境规制综合指数。

由表 5 可知，2003-2018 年，十大城市群环境规制综合指数均实现了不同程度的上升。涨幅由高到低排序可得，成渝(46.83%)>京津冀(45.20%)>关中(40.83%)>长江中游(38.71%)>珠江三角洲(38.33%)>长江三角洲(33.12%)>辽中南(28.78%)>中原(27.71%)>海峡西岸(26.57%)>山东半岛(18.72%)。对样本期内各个城市群的环境规制综合指数平均值进行排序可得，山东半岛(0.6214)>珠江三角洲(0.6164)>长江三角洲(0.6080)>中原(0.5986)>海峡西岸(0.5850)>京津冀(0.5765)>长江中游(0.5692)>成渝(0.5535)>关中(0.5465)>辽中南(0.5422)。可以看出，绝大多数东部沿海地区城市群的环境规制综合指数均值要高于中西部城市群，但涨幅恰恰相反。这是因为我国东部沿海地区，是改革开放后最先发展起来的区域，其环境问题最先受到政府的关注，目前其环境规制政策已相对成熟和完善，因此环境规制表现出水平高，但增幅小的趋势。此外，值得关注的是成渝城市群，其环境规制综合水平较低，但其涨幅在十大城市群中最高，这是因为成渝城市群位于中国西南地区，发展相对落后，环保工作起步较晚，但后期执行力度较大，例如在 2013 年国务院常委会通过的《成渝城市群发展规划》以及 2014 年的《国家新型城镇化规划(2014-2020 年)》中明确指出环境保护工作在各项工作中占压倒性优势，因此环境规制综合指数表现出起点低，涨幅大的特征。

2. 产业结构升级综合指数。

由表 5 可以直观的看出，2003-2018 年，辽中南城市群产业结构升级综合指数出现波动式下降，下降幅度为 7.18%，同时上文分析还表明，辽中南城市群表现出环境规制综合指数均值最低的特点。可能的原因在于辽中南城市群作为东北地区的重工业基地，工业起步较早，其煤炭、钢铁、石油、化工等产业已形成一定规模，环境规制政策的实施和产业结构升级的阻力较大。由表 5 还可以看出，其余九大城市群产业结构综合指数均实现不同程度的上升。对产业结构升级综合指数涨幅由高到低排序可得，海峡西岸(28.61%)>中原(21.98%)>长江三角洲(18.87%)>长江中游(18.35%)>京津冀(17.63%)>成渝(14.72%)>关中(8.40%)>山东半岛(7.44%)>珠江三角洲(6.78%)。对样本期内各个城市群的产业结构升级综合指数平均值进行排序可得，长江三角洲(0.7425)>珠江三角洲(0.7397)>山东半岛(0.7156)>长江中游(0.6459)>关中(0.6325)>海峡西岸(0.6205)>辽中南(0.6201)>中原(0.6145)>京津冀(0.6142)>成渝(0.5344)。可以看出，绝大多数东部沿海地区城市群的产业结构升级综合指数均值要高于中西部城市群，但涨幅并未表现出明显的区域特征。

3. 耦合协调度。

2003-2018 年，十大城市群环境规制与产业结构升级的耦合协调度均呈增长趋势，长江三角洲和海峡西岸城市群呈逐年增长趋势，其余八大城市群呈波动式增长趋势。涨幅由高到低排序可得，京津冀(15.48%)>成渝(14.98%)>长江中游(13.72%)>海峡西岸(13.66%)>中原(12.72%)>长江三角洲(12.41%)>关中(11.74%)>珠江三角洲(10.61%)>山东半岛(6.18%)>辽中南(4.86%)。对样

本期内各个城市群的耦合协调度平均值进行排序可得，珠江三角洲(0.8187)>长江三角洲(0.8179)>山东半岛(0.8151)>中原(0.7741)>长江中游(0.7737)>海峡西岸(0.7702)>京津冀(0.7633)>关中(0.7616)>辽中南(0.7563)>成渝(0.7277)。结合图 2, 可以看出辽中南城市群和关中城市群均值和涨幅均排在后面，其余城市群均值排序和涨幅排序恰恰相反，例如均值排在前三位的珠江三角洲、长江三角洲和山东半岛城市群的涨幅排在后四位，均值最低的成渝城市群涨幅排在第 2 位。可见，耦合协调度水平较高的城市群大多涨幅不高。此外，结合表 3 的耦合协调度划分标准可知，2003-2018 年，成渝城市群的耦合协调度由初级协调发展为中级协调，辽中南城市群的耦合协调度始终处于中级协调，其余八大城市群的耦合协调度均由中级协调发展为良好协调。

表 5 2003 年和 2018 年环境规制、产业结构升级及耦合协调度指数(分城市群)

年份	城市群名称	环境规制综合指数	产业结构综合指数	耦合协调度	耦合协调类型
2003	长江三角洲	0.5261	0.6612	0.7657	中级协调
	珠江三角洲	0.5149	0.7190	0.7770	中级协调
	京津冀	0.4614	0.5579	0.7014	中级协调
	长江中游	0.4686	0.5618	0.7099	中级协调
	成渝	0.4403	0.4714	0.6634	初级协调
	山东半岛	0.5655	0.6693	0.7831	中级协调
	辽中南	0.4636	0.6343	0.7315	中级协调
	海峡西岸	0.5124	0.5542	0.7243	中级协调
	中原	0.5295	0.5393	0.7240	中级协调
	关中	0.4406	0.6400	0.7243	中级协调
2018	长江三角洲	0.7004	0.7859	0.8607	良好协调
	珠江三角洲	0.7123	0.7677	0.8593	良好协调
	京津冀	0.6699	0.6563	0.8100	良好协调
	长江中游	0.6500	0.6650	0.8073	良好协调
	成渝	0.6465	0.5408	0.7628	中级协调
	山东半岛	0.6713	0.7191	0.8315	良好协调
	辽中南	0.5970	0.5887	0.7671	中级协调
	海峡西岸	0.6485	0.7128	0.8232	良好协调
	中原	0.6763	0.6579	0.8161	良好协调
	关中	0.6205	0.6937	0.8093	良好协调

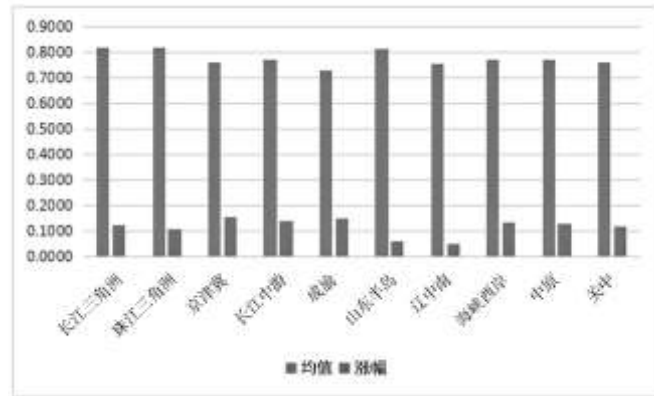


图2 十大城市群耦合协调度均值及涨幅的对比图

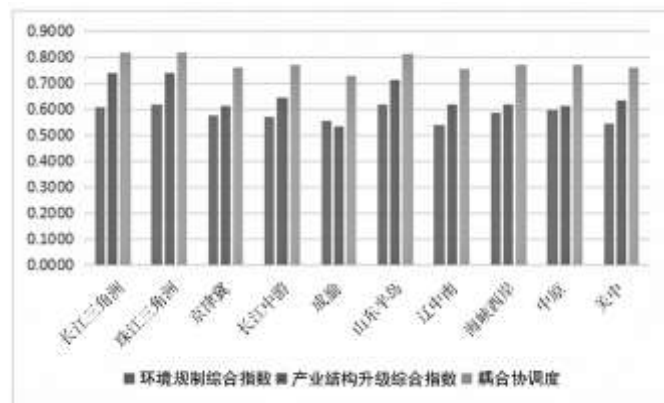


图3 十大城市群环境规制、产业结构升级及耦合协调度均值对比图

4. 综合分析。

结合表5及图3,进一步观察环境规制综合指数、产业结构升级综合指数与耦合协调度的关系,可以看出,环境规制与产业结构升级耦合协调度均值最高的前三大城市群(珠江三角洲城市群、长江三角洲城市群和山东半岛城市群)的环境规制综合指数均值与产业结构升级综合指数均值也位居前三位;耦合协调度均值最低的三大城市群(成渝城市群、辽中南城市群和关中城市群)的环境规制综合指数均值与产业结构综合指数均值至少有一项位居后三位;其余四大城市群的各项指标均值均排在中间位次。可见,环境规制与产业结构升级耦合协调发展的关键在于环境规制系统与产业结构升级系统的均衡发展及相互支持。

(三)城市层面的分析

表6展示了部分城市2003年和2018年环境规制综合指数、产业结构升级综合指数及耦合协调度,表7展示了2003年和2018年城市的耦合协调类型分布。具体分析如下:

1. 环境规制综合指数。

2003-2018年132个城市的环境规综合指数均得到了不同程度的提升,上升幅度最大的是重庆市(38.73%),最小的是营口市(1.32%)。通过计算16年的环境规制综合指数的平均值,可以看出,均值最高和最低的城市分别是济南市(0.6994)和重庆市

(0.4443),存在一定程度的差距。其中,均值在 0.6000 以上的城市有 45 个,介于 0.5000-0.6000 之间的城市有 81 个,在 0.5000 以下的城市有 6 个,可见大部分城市的环境规制综合指数处于 0.5000-0.6000 的中间水平。

2. 产业结构升级综合指数。

2003-2018 年绝大多数城市的产业结构升级综合指数实现了不同程度的提升,132 个城市中仅广州市、深圳市、东莞市、天津市、武汉市、咸宁市、南昌市、景德镇市、萍乡市、九江市、成都市、自贡市、乐山市、宜宾市、雅安市、东营市、沈阳市、大连市、鞍山市、抚顺市、本溪市、丹东市、锦州市、营口市、阜新市、辽阳市、葫芦岛市、郑州市、焦作市、西安市、铜川市共 31 个城市的产业结构升级综合指数出现不同程度的下跌。上升幅度最大的是黄冈市(189.67%),下降幅度最大的是雅安市(52.49%)。产业结构升级综合指数均值最高和最低的分别是北京市(0.9395)和雅安市(0.2649),差距较大。其中,均值在 0.8000 以上的城市有 18 个城市,介于 0.5000-0.8000 的有 89 个城市,在 0.5000 以下的有 25 个城市,可见大部分城市的产业结构升级综合指数处于 0.5000-0.8000 的中间水平。

3. 耦合协调度。

2003-2018 年,绝大部分城市环境规制与产业结构升级的耦合协调度均有所提高,仅咸宁市、景德镇市、抚顺市、营口市、成都市、雅安市、东营市 7 个城市的耦合协调度发生轻微幅度的下降。提升幅度最大的是廊坊市(38.35%),下降幅度最大的是雅安市(8.10%)。通过计算 16 年耦合协调度的平均值,可以看出,耦合协调度均值最高和最低的城市分别是北京市(0.8838)和雅安市(0.6107)。其中,均值在 0.8000 以上的城市有 46 个城市,介于 0.7000-0.8000 的有 72 个城市,低于 0.7000 的有 14 个城市,可见大部分城市的产业结构升级综合指数处于 0.7000-0.8000 的中间水平,即处于中级协调阶段。比较 2003 年和 2018 年城市的耦合协调类型分布发现,2003 年有 21 个城市的耦合协调度均介于 0.8000-0.9000 之间,处于良好协调阶段;有 66 个城市的耦合协调度介于 0.7000-0.8000 之间,处于中级协调阶段;有 27 个城市的耦合协调度介于 0.6000-0.7000 之间,处于初级协调阶段;有 8 个城市的耦合协调度介于 0.5000-0.6000 之间,处于勉强协调阶段。而 2018 年各城市环境规制与产业结构的耦合协调度均有所提升,上海、南京、广州、北京 4 个城市的耦合协调度达到 0.9000-1.0000 之间,均由 2003 年的中级协调发展为 2018 年的优质协调;处于良好协调阶段的城市由 2003 年的 21 个增加到 2018 年的 81 个,处于初级协调和勉强协调的城市分别由 2003 年的 27 个和 8 个减少为 2018 年的 2 个和 1 个。通过对 2003 年和 2018 年各个协调等级的城市数量占比进行统计,可以发现,从 2003 年到 2018 年,耦合协调度到达优质协调的占比由 0 增加到 3.03%,达到良好协调及以上的占比由 15.91%增加到 71.97%,达到中级协调及以上的占比由 65.91%增加到 97.73%,耦合协调度处于初级协调和勉强协调的占比由 34.09%下降为 2.27%。这说明 2003-2018 年,绝大多数城市环境规制与产业结构升级的耦合协调度得到提升,达到中级协调,这与中国近些年来所倡导的环境保护与产业协同发展战略密切相关。

4. 综合分析。

通过对均值在 0.8000 以上的 46 个城市进行分析,发现 46 个城市中有 34 个城市的环境规制综合指数和产业结构升级综合指数也均排在前 46 位,有 11 个城市的环境规制综合指数与产业结构升级综合指数至少有一项指标是排在前 46 位,仅有台州市一个城市的环境规制与产业结构升级综合指数未在前 46 位;对耦合协调度低于 0.7000 的 14 个城市进行统计发现,有 12 个城市的产业结构综合指数均排在后 14 位,有 2 个城市的环境规制综合指数与产业结构升级综合指数均排在后 14 位。说明从城市视角来看,影响环境规制与产业结构升级耦合协调的关键在于环境规制与产业结构升级的均衡发展。

表 6 2003 年和 2018 年环境规制、产业结构升级及耦合协调度指数(部分城市)

城市群	城市	环境规制综合指数	产业结构升级综合指数	耦合协调度
-----	----	----------	------------	-------

		2003 年	2018 年	2003 年	2018 年	2003 年	2018 年
长江三角洲	上海	0.4505	0.7979	0.8515	0.9443	0.7870	0.9317
	南京	0.5451	0.7958	0.7981	0.8320	0.8121	0.9021
	宁波	0.5045	0.6920	0.7387	0.8364	0.7813	0.8722
珠江三角洲	广州	0.5445	0.8145	0.8937	0.8454	0.8352	0.9109
	深圳	0.5743	0.7554	0.8027	0.7972	0.8240	0.8809
	佛山	0.5450	0.6910	0.7605	0.7737	0.8024	0.8551
京津冀	北京	0.5411	0.7499	0.9458	0.9651	0.8458	0.9223
	天津	0.5001	0.7405	0.8307	0.7068	0.8028	0.8506
	石家庄	0.4617	0.7003	0.6310	0.6784	0.7347	0.8302
长江中游	武汉	0.5296	0.7874	0.8467	0.8292	0.8183	0.8989
	黄冈	0.5207	0.6350	0.2323	0.6729	0.5897	0.8085
	咸宁	0.4445	0.6171	0.4465	0.2495	0.6675	0.6264
成渝	重庆	0.2376	0.6249	0.6850	0.6872	0.6351	0.8095
	成都	0.5220	0.7102	0.7966	0.5417	0.8030	0.7876
	雅安	0.4101	0.6153	0.3319	0.1577	0.6074	0.5582
山东半岛	青岛	0.5829	0.7171	0.7404	0.7644	0.8105	0.8605
	济南	0.6227	0.7070	0.8160	0.8546	0.8443	0.8816
	日照	0.5646	0.6530	0.5614	0.7341	0.7503	0.8321
辽中南	沈阳	0.5798	0.6713	0.8045	0.7234	0.8264	0.8348
	大连	0.5206	0.6821	0.7654	0.6651	0.7945	0.8207
	营口	0.4941	0.5074	0.5438	0.4260	0.7200	0.6818
海峡西岸	温州	0.4934	0.6808	0.7588	0.8449	0.7822	0.8709
	丽水	0.4861	0.6709	0.4596	0.6877	0.6875	0.8241
	厦门	0.6039	0.7251	0.7567	0.7693	0.8222	0.8642

续表 6

城市群	城市	环境规制综合指数		产业结构升级综合指数		耦合协调度	
		2003 年	2018 年	2003 年	2018 年	2003 年	2018 年
中原	郑州	0.5525	0.7664	0.8005	0.7874	0.8155	0.8814
	开封	0.5649	0.6708	0.4024	0.6741	0.6905	0.8200
	洛阳	0.4566	0.6477	0.6169	0.6286	0.7285	0.7988
关中	西安	0.5804	0.7094	0.8526	0.7579	0.8387	0.8563
	宝鸡	0.4212	0.6139	0.6859	0.6900	0.7331	0.8068
	咸阳	0.4975	0.6223	0.5504	0.6488	0.7234	0.7971

表 7 2003 年和 2018 年城市的耦合协调类型分布

协调等级	2003 年	2018 年
勉强协调	邢台、廊坊、衡水、黄冈、抚州、达州、资阳、梅州(8 个)	雅安(1 个)
初级协调	盐城、舟山、肇庆、沧州、承德、荆州、襄阳、孝感、咸宁、常德、九江、新余、宜春、上饶、衡阳、娄底、重庆、泸州、德阳、遂宁、乐山、南充、宜宾、眉山、雅安、铁岭、盘锦、丽水、三明、南平、宁德、揭阳、开封、许昌、漯河、渭南、商洛(37 个)	咸宁、营口(2 个)
中级协调	上海、苏州、南通、扬州、镇江、泰州、杭州、嘉兴、金华、绍兴、台州、宁波、湖州、惠州、东莞、中山、江门、石家庄、唐山、邯郸、张家口、保定、黄石、宜昌、鄂州、荆门、岳阳、益阳、南昌、萍乡、鹰潭、株洲、湘潭、自贡、绵阳、淄博、烟台、潍坊、东营、威海、日照、大连、鞍山、抚顺、本溪、丹东、锦州、营口、阜新、辽阳、葫芦岛、温州、衢州、福州、莆田、泉州、漳州、龙岩、潮州、洛阳、平顶山、新乡、焦作、铜川、宝鸡、咸阳(66 个)	张家口、沧州、邢台、承德、衡水、荆州、宜昌、襄阳、荆门、景德镇、萍乡、九江、宜春、上饶、抚州、成都、自贡、德阳、乐山、萍乡、南充、宜宾、达州、资阳、眉山、东营、鞍山、抚顺、丹东、锦州、阜新、铁岭、盘锦、葫芦岛、三明、龙岩、梅州、潮州、揭阳、洛阳、许昌、漯河、咸阳、渭南、商洛(44 个)
良好协调	南京、无锡、常州、广州、深圳、珠海、佛山、北京、天津、秦皇岛、武汉、长沙、景德镇、成都、青岛、济南、沈阳、厦门、汕头、郑州、西安(21 个)	无锡、常州、苏州、南通、盐城、扬州、镇江、泰州、杭州、嘉兴、舟山、金华、绍兴、台州、宁波、湖州、深圳、珠海、佛山、惠州、东莞、中山、江门、肇庆、天津、石家庄、唐

调		山、邯郸、保定、秦皇岛、廊坊、武汉、黄石、鄂州、孝感、黄冈、长沙、岳阳、常德、益阳、南昌、新余、鹰潭、株洲、湘潭、衡阳、娄底、重庆、泸州、绵阳、遂宁、青岛、济南、淄博、烟台、潍坊、威海、日照、沈阳、大连、本溪、辽阳、温州、丽水、衢州、福州、南平、宁德、莆田、泉州、漳州、厦门、汕头、郑州、开封、平顶山、新乡、焦作、西安、铜川、宝鸡(81个)
优质协调	——	上海、南京、广州、北京(4个)

四、环境规制与产业结构升级耦合协调度的差异性分析

上文基于城市群总体、分城市群、分城市三个层面直观的反映了中国十大城市群环境规制与产业结构升级耦合协调的时间和空间特征。为了更加深入的探究环境规制与产业结构升级耦合协调度的总体差异、城市群内部差异和城市群间差异，本文运用 Dagum 基尼系数分解法对上述问题进行量化和分析，有关测算结果如表 8 所示。

(一) 十大城市群总体差异

由表 8 和图 4 可以看出，2003-2018 年十大城市群环境规制与产业结构升级耦合协调度的总体差异呈缩小趋势，由 2003 年的 0.0535 缩小到 2018 年的 0.0350，缩小幅度达到 34.58%。具体可以分为以下几个阶段：2003-2007 年表现为逐年缩小的趋势，总体差异由 0.0535 下降至 0.0480，下降幅度为 11.46%；而后由 2007 年的 0.0480 扩大为 2008 年的 0.0485，扩大幅度为 1.04%；2008-2014 年表现为逐年缩小的趋势，总体差异由 0.0485 缩小至 0.0330，缩小幅度高达 46.97%；2015-2018 年，总体差异分别为 0.0378、0.0393、0.0333、0.0350，表现为“扩大-缩小-扩大”的波动式缩小趋势，下降幅度为 8.00%。

(二) 十大城市群内部差异

由表 8 和图 5 可以看出，2003-2018 年十大城市群环境规制与产业结构升级耦合协调度内部差异均呈波动式缩小趋势。缩小幅度由大到小排序可得，关中(68.99%)>中原(63.30%)>海峡西岸(58.08%)>珠江三角洲(53.91%)>京津冀(42.92%)>辽中南(35.66%)>成渝(34.34%)>长江三角洲(33.83%)>长江中游(19.02%)>山东半岛(5.10%)；对十大城市群环境规制与产业结构升级耦合协调度内部差异均值进行排序可得，京津冀(0.0507)>成渝(0.0485)>海峡西岸(0.0458)>关中(0.0431)>辽中南(0.0420)>长江中游(0.0355)>珠江三角洲(0.0322)>中原(0.0293)>山东半岛(0.0227)>长江三角洲(0.0205)。可见，在不同城市群环境规制与产业结构升级耦合协调度内部差异及其变动幅度相差较大。

(三) 十大城市群间差异

由表 8 可以看出，珠江三角洲与中原、珠江三角洲与关中、京津冀与长江中游城市群间差异整体呈现显著扩大趋势，扩张幅度分别为 46.45%、17.84%和 8.85%；其余 42 组城市群间差异呈不断缩小趋势，其中长江三角洲与辽中南、珠江三角洲与海峡西岸、京津冀与关中、辽中南与长江中游、成渝与山东半岛、山东半岛与关中、长江中游与中原、海峡西岸与关中、中原与关中城市群 9 组城市群间差异呈逐年缩小趋势，剩余 27 组城市群间差异呈波动式缩小趋势。缩小幅度最大的分别是中原与关中城

城市群、海峡西岸与关中城市群、山东半岛与长江中游城市群，分别为 65.71%、60.89%和 57.72%，缩小幅度最小的是珠江三角洲与辽中南、成渝与关中、辽中南与海峡西岸城市群，分别为 6.56%、14.32%和 15.68%。对比 45 组城市群间差异的均值可得，长江三角洲与中原、长江三角洲与海峡西岸，珠江三角洲与海峡西岸城市群间差异最大，分别为 0.0671、0.0633、0.0618，珠江三角洲与辽中南、珠江三角洲与成渝、成渝与中原城市群间差异最小，分别为 0.0228、0.0293 和 0.0364。可见城市群间差异值及变动幅度存在较大差异。为了更加直观的反应十大城市群的组间差异，本文分别选取城市群间差异均值最大和最小的三组样本作为代表性样本绘制折线图，如图 6 所示。由图 6 可以看出，代表性样本的城市群间差异均呈波动式缩小趋势。

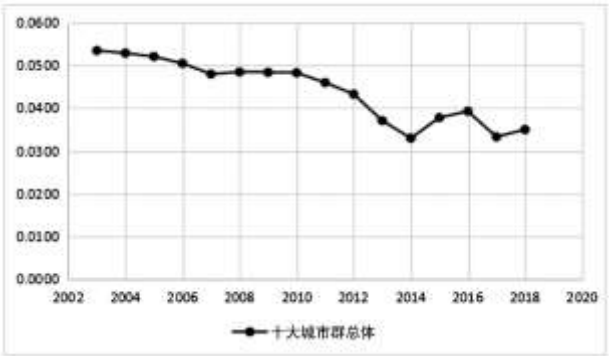


图 4 十大城市群环境规制与产业结构升级耦合协调发展的总体差异

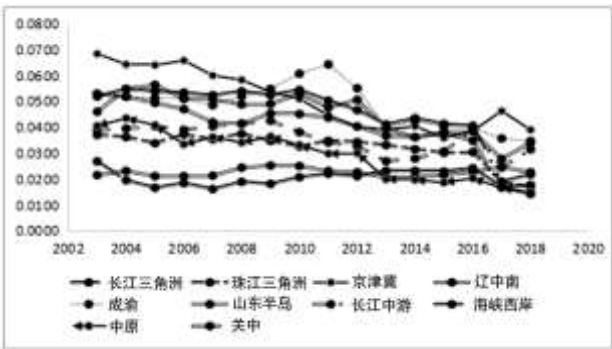


图 5 环境规制与产业结构升级耦合协调发展的城市群内部差异

(四) 十大城市群环境规制与产业结构升级耦合协调度区域间差异的来源及贡献

由表 8 和图 7 可知，2003-2018 年，城市群内部差异、城市群间差异及超变密度的年均贡献率分别为 10.01%、26.94%和 89.72%，表明超变密度是城市群总体差异的根源。具体而言，城市群内部差异贡献率介于 9.91%和 10.48%之间，呈波动式下降趋势，下降幅度为 1.00%；城市群间差异贡献率介于 0.06%和 0.52%之间，呈波动式上升趋势，上升幅度为 77.78%，这表明近些年城市群间差异整体呈显著扩大趋势；超变密度差异贡献率介于 89.40%和 89.79%之间，呈波动式上升趋势，上升幅度为 0.04%。

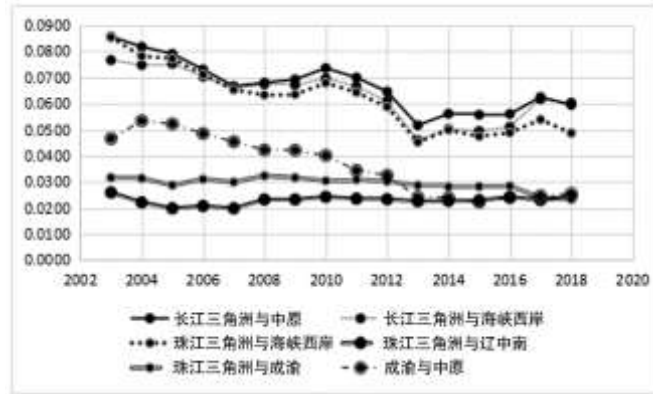


图 6 代表性样本环境规制与产业结构升级耦合协调发展的城市群间差异

表 8 十大城市群环境规制与产业结构升级耦合协调关系的差异性分析

年份		2003	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2018
城市群内部差异	总体	0.0535	0.0521	0.0480	0.0484	0.0460	0.0371	0.0378	0.0333	0.0350
	长江三角洲	0.0269	0.0167	0.0162	0.0182	0.0221	0.0233	0.0230	0.0170	0.0178
	珠江三角洲	0.0371	0.0339	0.0354	0.0348	0.0349	0.0332	0.0302	0.0188	0.0171
	京津冀	0.0685	0.0641	0.0601	0.0537	0.0447	0.0391	0.0360	0.0464	0.0391
	辽中南	0.0530	0.0495	0.0420	0.0455	0.0438	0.0368	0.0382	0.0279	0.0341
	成渝	0.0530	0.0513	0.0486	0.0549	0.0644	0.0399	0.0404	0.0358	0.0348
	山东半岛	0.0216	0.0212	0.0214	0.0253	0.0232	0.0207	0.0216	0.0247	0.0227
	长江中游	0.0389	0.0405	0.0405	0.0426	0.0342	0.0270	0.0308	0.0246	0.0315
	海峡西岸	0.0520	0.0540	0.0525	0.0525	0.0504	0.0412	0.0414	0.0191	0.0218
	中原	0.0406	0.0409	0.0363	0.0365	0.0299	0.0200	0.0187	0.0166	0.0149
	关中	0.0461	0.0565	0.0510	0.0491	0.0477	0.0397	0.0378	0.0170	0.0143

续表 8

年份		2003	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2018
城市群间差异	长三角与珠三角	0.0345	0.0269	0.0287	0.0283	0.0304	0.0293	0.0278	0.0187	0.0180
	长三角与京津冀	0.0627	0.0589	0.0560	0.0500	0.0457	0.0406	0.0363	0.0432	0.0396
	长三角与辽中南	0.0700	0.0642	0.0588	0.0542	0.0494	0.0460	0.0418	0.0438	0.0387

	长三角与成渝	0.0517	0.0489	0.0436	0.0430	0.0403	0.0339	0.0351	0.0327	0.0373
	长三角与山东半岛	0.0604	0.0551	0.0480	0.0484	0.0450	0.0395	0.0404	0.0336	0.0367
	长三角与长江中游	0.0622	0.0586	0.0531	0.0503	0.0453	0.0395	0.0375	0.0388	0.0371
	长三角与海峡西岸	0.0767	0.0753	0.0658	0.0671	0.0666	0.0460	0.0495	0.0617	0.0603
	长三角与中原	0.0857	0.0791	0.0667	0.0693	0.0700	0.0517	0.0557	0.0625	0.0595
	长三角与关中	0.0672	0.0646	0.0582	0.0586	0.0589	0.0409	0.0416	0.0490	0.0445
	珠三角与京津冀	0.0608	0.0579	0.0509	0.0560	0.0606	0.0423	0.0445	0.0407	0.0414
	珠三角与辽中南	0.0259	0.0198	0.0198	0.0232	0.0235	0.0225	0.0229	0.0230	0.0242
	珠三角与成渝	0.0316	0.0287	0.0299	0.0316	0.0308	0.0286	0.0282	0.0240	0.0233
	珠三角与山东半岛	0.0670	0.0601	0.0557	0.0482	0.0436	0.0397	0.0349	0.0412	0.0351
	珠三角与长江中游	0.0565	0.0506	0.0438	0.0420	0.0389	0.0330	0.0338	0.0310	0.0325
	珠三角与海峡西岸	0.0854	0.0773	0.0653	0.0635	0.0643	0.0452	0.0474	0.0539	0.0487
	珠三角与中原	0.0394	0.0423	0.0465	0.0488	0.0437	0.0362	0.0416	0.0455	0.0577
	珠三角与关中	0.0482	0.0493	0.0508	0.0532	0.0491	0.0426	0.0482	0.0462	0.0568
	京津冀与辽中南	0.0588	0.0551	0.0525	0.0502	0.0415	0.0340	0.0354	0.0393	0.0422
	京津冀与成渝	0.0491	0.0461	0.0427	0.0462	0.0419	0.0342	0.0379	0.0298	0.0402
	京津冀与山东半岛	0.0637	0.0569	0.0484	0.0520	0.0537	0.0347	0.0366	0.0321	0.0357
	京津冀与长江中游	0.0418	0.0436	0.0468	0.0475	0.0421	0.0350	0.0396	0.0395	0.0455
	京津冀与海峡西岸	0.0467	0.0483	0.0474	0.0474	0.0453	0.0388	0.0390	0.0240	0.0274
	京津冀与中原	0.0545	0.0551	0.0524	0.0528	0.0498	0.0443	0.0440	0.0251	0.0268

续表 8

年份		2003	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2018
城市群间差异	京津冀与关中	0.0626	0.0603	0.0573	0.0540	0.0483	0.0408	0.0395	0.0365	0.0323
	辽中南与成渝	0.0534	0.0526	0.0483	0.0496	0.0477	0.0399	0.0406	0.0252	0.0290
	辽中南与山东半岛	0.0649	0.0618	0.0557	0.0587	0.0621	0.0430	0.0447	0.0440	0.0404
	辽中南与长江中游	0.0501	0.0504	0.0480	0.0468	0.0441	0.0380	0.0379	0.0241	0.0246

	辽中南与海峡西岸	0.0472	0.0487	0.0481	0.0494	0.0448	0.0359	0.0386	0.0304	0.0398
	辽中南与中原	0.0427	0.0507	0.0463	0.0445	0.0365	0.0256	0.0242	0.0251	0.0304
	辽中南与关中	0.0517	0.0563	0.0489	0.0488	0.0415	0.0324	0.0308	0.0256	0.0297
	成渝与山东半岛	0.0584	0.0560	0.0502	0.0465	0.0389	0.0346	0.0311	0.0358	0.0300
	成渝与长江中游	0.0480	0.0467	0.0406	0.0424	0.0383	0.0305	0.0310	0.0246	0.0265
	成渝与海峡西岸	0.0598	0.0521	0.0467	0.0503	0.0545	0.0376	0.0410	0.0428	0.0350
	成渝与中原	0.0466	0.0522	0.0454	0.0421	0.0344	0.0241	0.0222	0.0247	0.0255
	成渝与关中	0.0412	0.0427	0.0396	0.0416	0.0345	0.0280	0.0333	0.0292	0.0353
	山东半岛与长江中游	0.0473	0.0502	0.0465	0.0470	0.0423	0.0349	0.0355	0.0188	0.0200
	山东半岛与海峡西岸	0.0484	0.0567	0.0550	0.0524	0.0490	0.0392	0.0400	0.0286	0.0325
	山东半岛与中原	0.0556	0.0616	0.0568	0.0559	0.0531	0.0447	0.0456	0.0298	0.0318
	山东半岛与关中	0.0609	0.0620	0.0572	0.0531	0.0480	0.0402	0.0379	0.0355	0.0298
	长江中游与海峡西岸	0.0522	0.0545	0.0495	0.0495	0.0481	0.0396	0.0396	0.0239	0.0261
	长江中游与中原	0.0625	0.0602	0.0531	0.0552	0.0599	0.0418	0.0416	0.0381	0.0321
	长江中游与关中	0.0515	0.0576	0.0542	0.0507	0.0478	0.0385	0.0390	0.0275	0.0265
	海峡西岸与中原	0.0446	0.0509	0.0481	0.0474	0.0432	0.0350	0.0357	0.0261	0.0328
	海峡西岸与关中	0.0514	0.0573	0.0540	0.0529	0.0507	0.0412	0.0406	0.0199	0.0201
	中原与关中	0.0455	0.0508	0.0455	0.0451	0.0424	0.0344	0.0348	0.0183	0.0156

续表 8

年份		2003	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2018
贡献率	城市群内部	10.01%	9.59%	9.86%	10.14%	10.07%	10.22%	10.20%	10.13%	9.91%
	城市群间	0.18%	0.45%	0.52%	0.41%	0.24%	0.06%	0.13%	0.23%	0.32%
	超变密度	89.81%	89.95%	89.62%	89.45%	89.69%	89.73%	89.67%	89.64%	89.77%

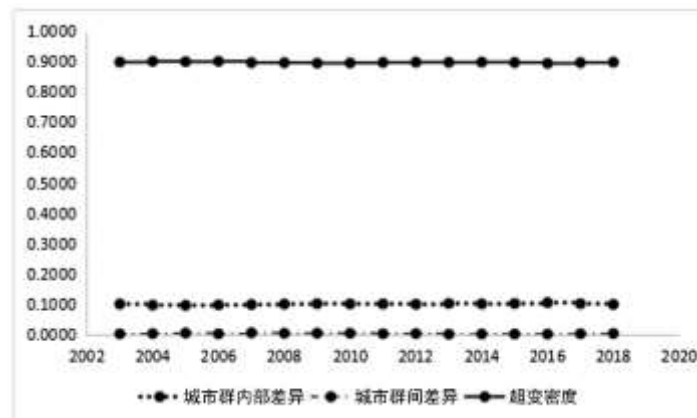


图 7 环境规制与产业结构升级耦合协调发展的差异来源

五、环境规制与产业结构升级的灰色关联度分析

环境规制和产业结构升级受到诸多复杂因素的影响，本文基于灰色关联度模型测算十大城市群总体、各城市群、代表性城市环境规制 9 个微观指标与产业结构升级两个微观指标的灰色关联度，试图找出影响环境规制与产业结构升级耦合协调发展的关键因素。灰色关联度测算结果如表 9、表 10 所示。

(一) 总体分析

由表 9 可以看出，对于十大城市群总体而言，环境规制与产业结构升级各微观指标关联度介于 0.6183-0.9868 之间，差距较大。通过计算 11 个指标的灰色关联度均值发现，环境规制系统中二氧化硫排放量(x2)与产业结构升级的关联度最低，为 0.6179，其余指标关联度均值均超过 0.8500，说明总体来看环境规制系统与产业结构系统相互支持能力较强。产业结构高级化和产业结构合理化的均值分别为 0.8889 和 0.9073，差别很小，说明产业结构高级化和产业结构合理化对环境规制的促进作用较为强大、均衡。

表 9 环境规制与产业结构升级关联度(总体、城市群)

关联指标	总体	长江三角洲	珠江三角洲	山东半岛	长江中游	成渝	辽中南	海峡西岸	关中	京津冀	中原
x1 与 h	0.8808	0.8374	0.6991	0.8684	0.9287	0.9487	0.8874	0.8506	0.9255	0.9442	0.9178
x2 与 h	0.6183	0.6174	0.6011	0.6195	0.6427	0.6493	0.5895	0.6241	0.5984	0.6140	0.6274
x3 与 h	0.9644	0.9522	0.9268	0.9582	0.9616	0.9340	0.9871	0.9873	0.9808	0.9774	0.9785
x4 与 h	0.9617	0.9539	0.9617	0.9444	0.9557	0.9356	0.9849	0.9652	0.9884	0.9617	0.9657
x5 与 h	0.9639	0.9509	0.9871	0.9523	0.9519	0.9327	0.9786	0.9661	0.9879	0.9665	0.9647
x6 与 h	0.9317	0.6477	0.9724	0.9508	0.9531	0.9292	0.9831	0.9684	0.9872	0.9588	0.9660
x7 与 h	0.9273	0.8513	0.9150	0.9616	0.9688	0.9742	0.9249	0.9521	0.8541	0.8946	0.9767

x8 与 h	0.8999	0.6784	0.9769	0.9741	0.9665	0.9609	0.7963	0.8020	0.9169	0.9717	0.9557
x9 与 h	0.8518	0.4380	0.7423	0.9636	0.8416	0.8477	0.9739	0.9785	0.9099	0.8454	0.9775
x1 与 ris	0.8628	0.8291	0.6962	0.8395	0.9010	0.8931	0.8693	0.8531	0.9302	0.9184	0.8983
x2 与 ris	0.6175	0.6245	0.6018	0.6131	0.6361	0.6377	0.5902	0.6319	0.6037	0.6145	0.6212
x3 与 ris	0.9816	0.9753	0.9118	0.9952	0.9960	0.9937	0.9816	0.9935	0.9892	0.9886	0.9907
x4 与 ris	0.9844	0.9673	0.9780	0.9895	0.9901	0.9906	0.9853	0.9678	0.9973	0.9900	0.9885
x5 与 ris	0.9862	0.9725	0.9901	0.9912	0.9862	0.9914	0.9896	0.9686	0.9944	0.9893	0.9882
x6 与 ris	0.9868	0.9649	0.9935	0.9959	0.9873	0.9951	0.9870	0.9708	0.9964	0.9892	0.9881
x7 与 ris	0.9297	0.9704	0.9002	0.9882	0.9374	0.9189	0.9038	0.9515	0.8595	0.8736	0.9930
x8 与 ris	0.9274	0.9713	0.9802	0.9357	0.9903	0.9670	0.7850	0.8066	0.9220	0.9816	0.9344
x9 与 ris	0.8894	0.8663	0.7378	0.9893	0.8220	0.8101	0.9477	0.9848	0.9154	0.8291	0.9913

(二)城市群层面分析

十大城市群环境规制与产业结构升级各微观指标的关联度数值大都在 0.8000 以上,说明环境规制与产业结构升级两大系统相互支持作用比较强大。通过计算各个城市群 11 个指标灰色关联度的均值发现,山东半岛、长江中游、成渝、海峡西岸、关中、京津冀、中原七大城市群各有 1 个指标的灰色关联度均值介于 0.6000-0.7000 之间,其余 10 个指标均超过 0.8000;长江三角洲城市群有 1 个指标介于 0.6000-0.7000 之间,有 1 个指标介于 0.7000-0.8000 之间,有 8 个指标超过 0.8000;珠江三角洲城市群有 2 个指标介于 0.6000-0.7000 之间,有 1 个指标介于 0.7000-0.8000 之间,有 8 个指标超过 0.8000;辽中南城市群有 1 个指标介于 0.5000-0.6000 之间,有 1 个指标介于 0.7000-0.8000 之间,有 9 个指标超过 0.8000。十大城市群的环境规制系统中二氧化硫排放量(x2)与产业结构升级的关联度最低,长江三角洲、山东半岛、长江中游、海峡西岸、京津冀和中原六大城市群的工业烟(粉)排放量(x3),辽中南和关中城市群的生活垃圾无害化处理率(x4),成渝城市群的受教育程度(x8)均值最高。通过对环境规制系统的正式环境规制和非正式环境规制均值进行计算可知,长江三角洲、辽中南、关中、京津冀城市群的正式环境规制均值要高于非正式环境规制均值,其余城市群恰恰相反。产业结构升级系统中,除长江三角洲城市群产业结构合理化均值要显著高于产业结构高级化均值外,其余城市群产业结构高级化与产业结构合理化均值相差不大,均在 0.8500 以上。这说明环境规制各微观指标对产业结构升级的驱动力存在显著差异,而绝大多数城市群产业结构升级各微观指标对环境规制的驱动力较为强大、均衡。

表 10 环境规制与产业结构升级关联度(典型城市)

关联指标	济南市	重庆市	营口市	北京市	雅安市	黄冈市	廊坊市
h 与 x1	0.8244	0.8800	0.9685	0.9698	0.9825	0.9848	0.9228
h 与 x2	0.6283	0.6224	0.8931	0.6091	0.9183	0.6286	0.6272
h 与 x3	0.9876	0.9859	0.9971	0.9662	0.9609	0.9536	0.9633

h 与 x4	0.9737	0.7302	0.9958	0.9925	0.9585	0.9536	0.9535
h 与 x5	0.9761	0.8220	0.9948	0.9806	0.9583	0.9514	0.9483
h 与 x6	0.9741	0.9742	0.9955	0.9919	0.9574	0.9516	0.9487
h 与 x7	0.9649	0.6390	0.9829	0.9355	0.5472	0.9580	0.7787
h 与 x8	0.9199	0.9845	0.5129	0.9690	0.9768	0.9485	0.9408
h 与 x9	0.9793	0.5357	0.9930	0.8613	0.9756	0.9736	0.7562
ris 与 x1	0.8132	0.8607	0.9624	0.9500	0.9400	0.9310	0.9045
ris 与 x2	0.6270	0.6172	0.8882	0.6092	0.8715	0.6412	0.6475
ris 与 x3	0.9836	0.9842	0.9947	0.9471	0.9765	0.8918	0.8312
ris 与 x4	0.9965	0.7234	0.9949	0.9736	0.9789	0.8918	0.8236
ris 与 x5	0.9902	0.8150	0.9954	0.9605	0.9791	0.8898	0.8211
ris 与 x6	0.9961	0.9932	0.9951	0.9857	0.9800	0.8900	0.8211
ris 与 x7	0.9862	0.6329	0.9846	0.9188	0.5410	0.8979	0.8076
ris 与 x8	0.9074	0.9738	0.5125	0.9669	0.9489	0.8874	0.8151
ris 与 x9	0.9935	0.5337	0.9919	0.8495	0.9591	0.9143	0.8464

(三)典型城市分析

上文分析表明，样本期内环境规制综合指数、产业结构升级综合指数以及环境规制与产业结构升级耦合协调度均值最高、均值最低、提升幅度最大和下降幅度的 12 个代表性城市分别是济南市、重庆市、重庆市、营口市；北京市、雅安市、黄冈市、雅安市；北京市、雅安市、廊坊市、雅安市。通过整理，以这 7 个典型城市作为代表对环境规制与产业结构升级的灰色关联度进行测算，测算结果如 10 所示。

由表 10 可以看出，环境规制与产业结构升级的微观指标关联度大多数在 0.8000 以上。通过计算各个城市 11 个指标的灰色关联度均值发现，环境规制系统中，除了营口市和雅安市，其余 6 个城市的二氧化硫排放量(x2)与产业结构升级的关联度在 0.6500 以下，这与城市群层面的研究结论均保持一致；此外，重庆市的在岗职工平均工资水平(x7)、人口密度(x9), 营口市的受教育程度(x8), 雅安市的在岗职工平均工资水平(x7)与产业结构升级的关联度也均在 0.6500 以下；重庆市的生活垃圾无害化处理率(x4)、廊坊市的在岗职工平均工资水平(x7)与产业结构升级的关联度介于 0.7000-0.8000 之间，其余指标的灰色关联度均值均超过 0.8000。重庆市、营口市、雅安市与廊坊市的正式环境规制均值高于非正式环境规制，其余三个城市恰恰相反。产业结构升级系统中，各个城市的产业结构高级化与产业结构合理化均值相差不大，且除了重庆市的产业结构合理化和产业结构高级化均值接近 0.8000, 其余 6 个城市的产业结构高级化与产业结构合理化的均值均在 0.8000 以上。这说明了从城市层面来看，环境规制各微观指标对产业结构升级的驱动力存在显著差异，产业结构升级的微观指标对环境规制的驱动力相对比较强大、均衡。

六、结论与启示

基于 2003–2018 年中国十大城市群 132 个城市的面板数据，首先构建了环境规制和产业结构升级指标体系，分别运用熵值法、耦合协调度模型测算十大城市群总体、各城市群、各城市环境规制综合指数、产业结构升级综合指数以及环境规制与产业结构升级的耦合协调度，而后运用基尼系数分解法测算了十大城市群环境规制与产业结构升级耦合协调度的差异来源，最后运用灰色关联度模型测算了十大城市群环境规制与产业结构升级两大系统各微观指标之间的关联度，试图找出环境规制与产业结构升级耦合协调的重要驱动力。研究结论如下：第一、环境规制综合指数方面：十大城市群总体、分城市群、分城市的样本分析均表明，2003–2018 年环境规制综合指数平均呈上升趋势，但在城市群间、城市间存在异质性；第二、产业结构综合指数方面：总体来看，2003–2016 年呈逐年上升趋势，2017–2018 年则出现轻微幅度的下降；分城市群来看，仅辽中南城市群产业结构升级综合指数出现下降，其余九大城市群均实现不同程度的上升；分城市来看，仅 31 个城市的产业结构升级综合指数出现轻微幅度下降，其余城市均实现不同程度的提升；第三、耦合协调度方面：总体来看，2003–2018 年十大城市群环境规制与产业结构升级耦合协调度呈缓慢上升趋势，由中级协调发展为良好协调；分城市群来看，十大城市群环境规制与产业结构升级耦合协调度均实现了不同程度的提升，成渝城市群由初级协调发展为中级协调，辽中南城市群始终处于中级协调阶段，其余八大城市群均由中级协调发展为良好协调；分城市来看，绝大多数城市环境规制与产业结构升级的耦合协调度均有所提高，仅有 7 个城市的耦合协调度发生轻微幅度的下降；第四、基尼系数分解法测算结果表明超变密度是城市群总体差异的根源，其次是城市群内部差异，而城市群间差异贡献率最低，但涨幅最高；第五、绝大多数微观指标对环境规制与产业结构升级耦合协调发展具有较强的驱动力，环境规制系统各微观指标对产业结构升级的驱动力存在差异，产业结构升级系统的微观指标对环境规制的驱动力则相对均衡。基于以上结论，得到政策启示：

1. 发展策略要有差异性、协同性。

研究表明环境规制与产业结构升级综合指数较高的城市群、城市，其环境规制与产业结构升级耦合协调状况也较好。因此，从总体层面来看，要把环境规制与产业结构升级两大任务放在同等重要地位，在提升水平的同时，强化两者的良性互动。从城市群层面来看，长江三角洲、珠江三角洲和山东半岛城市群环境规制与产业结构升级的耦合协调度最高，因此各项政策要循序渐进，稳扎稳打，在夯实成果的同时共享其资源、技术、经验，从而带动耦合协调状况较差城市群的发展。京津冀、海峡西岸、长江中游、中原和关中城市群环境规制与产业结构升级的耦合协调度处于中间位置，可立足地方优势，注重环境规制策略、产业发展策略的灵活性、多样化，努力赶超长三角和珠三角城市群。例如，海峡西岸城市群地处沿海区域，又是我国与台湾地区合作的前沿阵地，未来重在持续培育壮大海洋优势产业集群，构建蓝色经济示范区与高效生态区；中原和长江中游城市群是中国中部崛起的重要载体，可立足交通区位优势，发展物流、商业、旅游等产业，同时加强与周边区域合作交流，发展制造业、服务业及高端科技产业。此外，辽中南和成渝城市群环境规制与产业结构升级的耦合协调度最低，是政府未来关注的重点，其中辽中南城市群作为重工业基地，环境规制与产业结构升级的阻力较大，要加快淘汰落后产业，改造传统产业，推进新兴产业，强化产业结构升级对环境规制的支撑效应。川渝城市群，可借助“西部大开发”战略，依靠当地丰富的自然资源、民俗资源等推进新型工业化、信息化及农业现代化，从而加快环境规制与产业结构升级的耦合协调效率。从城市群内部来看，京津冀、辽中南、成渝、长江中游城市群内部差异相对较大，在环境治理方面可实施城市“联防联控联治”策略，在产业结构方面建设好供应链、产业链、创新链、生态链的“四链”协同的现代产业体系，从而提升环境规制与产业结构升级的水平及协同性。

2. 发展策略要有针对性。

环境规制系统的各微观指标对产业结构升级的关联度存在显著差异，因此环境规制策略要有侧重点。对于关联度低于 0.7000 的环境规制微观指标，应作为未来环境保护工作的重点去抓，例如对多数区域而言，二氧化硫排放量指标(x2)与产业结构升级的关联度最小，因此政府应重点关注二氧化硫减排问题，可通过排污收费、安装实时监测设备、改进工艺等方式减少企业二氧化硫排放，提升环境规制与产业结构升级的耦合协调性；对于关联度介于 0.7000–0.8000 之间的环境规制微观指标，在加强环境规制强度的同时，应注重其与其他环保政策的配套性，强化其对产业结构升级的驱动力；而关联度大于 0.8000 的环境规制微观指标是促进环境规制与产业结构升级耦合协调发展的重要驱动力，因此重在“稳中推进”，例如工业烟(粉)排放量指标(x3)对产业结构升级的驱动力非常强大，政府可通过构建行业间环境协同治理机制，相互学习和借鉴，从而从整体上提升环境规制水

平。产业结构升级系统中,大多数城市群和城市产业结构高级化和产业结构合理化对环境规制的驱动力较为强大、均衡。因此,未来产业结构调整重在持续和稳定,巩固产业结构高级化和合理化基础。

3. 发展策略要有前瞻性。

新冠肺炎疫情在全球的蔓延,打破了多年来全球环境保护联合工作的堡垒,动摇了固有的产业链基础,中国政府应具备忧患意识,不断完善自身制度建设,提高抵御全球性风险的能力。在环境保护工作方面,从国家利益来看,一方面要转变经济增长方式,提高资源利用效率,从源头上遏制环境污染和破坏;另一方面可通过减免税收、增加补贴等方式激励企业进行技术创新,减少污染,保障环境规制政策的落实;从国际责任来看,要发挥大国作用,建立和完善公平合理、合作共赢的环境保护和环境治理体系,引领各国共谋全球生态文明建设。在产业建设方面,面对新冠肺炎疫情,中国政府应“危中求机”,可从三个方面做起,一是要继续加强科技创新力度,改造传统产业,推进新兴产业,提高中国产业的自控性和安全性;二是借助疫情时期外资企业撤离留下的市场空白,减少对外资企业的依赖,引导资金流向高端产业,推动产业结构升级;三是完善城市群发展规划,加快城市群间、城市间基础设施的互联互通,产业的分工协作,提升十大城市群的综合实力和国际竞争力。

参考文献:

- [1]肖兴志,李少林.环境规制对产业升级路径的动态影像研究[J].经济理论与经济管理,2013,(6):102-112.
- [2]钟茂初,李梦洁,杜威剑.环境规制能否倒逼产业结构调整——基于中国省际面板数据的实证检验[J].中国人口·资源与环境,2015,(8):107-115.
- [3]杨骞,秦文晋,刘华军.环境规制促进产业结构优化升级吗?[J].上海经济研究,2019,(6):83-95.
- [4]曾鹏,褚王安,张晓君.就业结构、文化教育和城市规模对城镇化质量的影响——基于中国十大城市群的经验分析[J].统计与信息论坛,2015,(11):72-76.
- [5]原毅军,谢荣辉.环境规制的产业结构调整效应研究——基于中国省际面板数据的实证检验[J].中国工业经济,2014,(8):59-61.
- [6]程中华,李廉水,刘军.环境规制与产业结构升级——基于中国城市动态空间面板模型的分析[J].中国科技论坛,2017,(2):66-72.
- [7]纪玉俊,宋金泽.我国环境规制的产业升级效应研究[J].天津商业大学学报,2020,(1):19-27.
- [8]薛曜祖.环境规制的产业结构效应:理论与实证分析[J].统计与信息论坛,2016,(8):39-45.
- [9]龚海林.环境规制促进产业结构优化升级的绩效分析[J].财经理论与实践,2013,(185):85-89.
- [10]申开丽,张盈盈,姜利杰.浙江省环境规制与产业结构的耦合协调分析[J].环境污染与防治,2020,(6):795-800.
- [11]孙红梅,雷喻捷.长三角城市群产业发展与环境规制的耦合关系:微观数据实证[J].城市发展研究,2019,(11):19-26.
- [12]STERNER T.The selection and design of policy instruments:applications to environmental protection and

natural resource management[N]. World Bank Working Paper, 2002, No. 2212.

[13]PARGAL S,WHEELER D. Informal regulation of industrial pollution in developing countries:evidence from Indonesia[J]. Journal of Political Economy, 1996, 104(6) :1314-1327.

[14]谭娟, 陈晓春. 基于产业结构视角的政府环境规制对低碳经济影响分析[J]. 经济学家, 2011, (10):91-97.

[15]袁航, 朱承亮. 国家高新区推动了中国产业结构转型升级吗[J]. 中国工业经济, 2018, (8):60-77.

[16]孙晓华, 刘小玲, 翟钰. 地区产业结构优度的测算及应用[J]. 统计研究, 2017, (12):48-62.

[17]邓宗兵, 何若帆, 陈钲, 朱帆. 中国八大综合经济区生态文明发展的区域差异及收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, (6):3-25.

[18]杨秀平, 张大成, 刘利利, 贾云婷. 生态脆弱区新型城镇化与生态环境耦合协调性测度[J]. 统计与决策, 2020, (27):128-132.

[19]逯进, 周惠民. 中国省域人力资本与经济增长耦合关系的实证分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2013, (9):3-36.

[20]张虎, 韩爱华. 制造业与生产性服务业耦合能否促进空间协调——基于 285 个城市数据的检验[J]. 统计研究, 2019, (1):39-50.

[21]杨浩, 吴才武, 周思言, 杨越. 京津冀地区城镇化与资源环境协调发展研究[J]. 干旱区资源与环境, 2020, (9):17-24.

[22]DAGUM C. A new approach to the decomposition of the Gini Income Inequality Ratio[J], Empirical Economics, 1997, 22(4):515-531.

[23]袁佳, 张汉林. 贸易增长与产业效益关联度分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2011, (4):82-93.

[24]王文举, 李峰. 中国工业碳减排成熟度研究[J]. 中国工业经济, 2015, (8):20-34.

[25]赵娜, 王博, 刘燕. 城市群、聚集效应与“投资潮涌”——基于中国 20 个城市群的实证研究[J]. 中国工业经济, 2017, (11):81-99.

[26]葛鹏飞, 韩永楠, 武宵旭. 中国创新与经济耦合协调性测度与评价[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, (10):101-116.