

中国海岸带城市环境规制对经济—资源—环境系统协调发展的影响与作用机制

孙兆旭¹, 赵领娣^{1,2}

(1. 中国海洋大学经济学院, 青岛 266100;

2. 教育部人文社会科学重点研究基地海洋发展研究院, 青岛 266100)

摘要: 环境规制是实现经济—资源—环境(ERE)系统协调发展的重要政策工具。以ERE属性特殊的中国53个海岸带城市为研究对象, 系统测算2003—2020年ERE耦合协调度, 运用固定效应和中介效应模型探究不同环境规制工具对海岸带城市ERE耦合协调度的影响机制。研究发现: (1) 2003—2020年ERE耦合协调度呈增长态势, 但整体仍处于中低水平, 区域非均衡状态减弱; (2) 命令型环境规制对ERE耦合协调度存在倒“U”型影响, 市场型环境规制对其存在“U”型影响, 多数城市处于命令型环境规制促进和市场型环境规制抑制阶段; (3) 技术创新在环境规制工具对ERE耦合协调影响中发挥部分中介效应, 而产业结构升级在命令型环境规制影响中存在部分中介效应, 在市场型环境规制影响中存在遮掩效应。

关键词: 海岸带城市; 环境规制; ERE系统; 耦合协调; 机制分析

自改革开放至今, 中国经济持续快速增长, 2012年以来经济总量稳居世界第二, 即使在新型冠状病毒肺炎冲击下, 经济增长仍表现出强劲韧性, 发展成就举世瞩目。然而中国经济长期依赖于“高增长、高能耗、高污染”的粗放型生产方式, 经济发展与资源环境的矛盾日益突出。党的“二十大”报告中提到要牢固树立“两山论”发展理念, 积极“促进人与自然和谐共生”, 其含义是处理好经济发展与资源环境矛盾, 积极探索适应国情的经济、资源与环境协调发展道路。随着中国进入高质量发展阶段, 环境治理的广度和深度也在不断加深, 环境规制成为处理经济发展与资源环境矛盾的重要政策工具。

根据外部性与公共物品理论, 单纯依靠市场力量难以实现经济与资源环境协调发展, 极易陷入“市场失灵”, 政府有必要开展环境规制政策干预。环境规制属于约束性政策, 包含中央规划、地方落实、产业受制、企业遵循等方面内容^[1]。环境规制政策影响到现有企业生产经营性活动或潜在企业生产经营选择, 干预企业成本构成, 驱使企业改变对劳动、资本、土地、技术等生产要素的使用比例, 改变企业应对负外部性的方式, 并由全产业链传递至整个国民经济系统, 影响到经济—资源—环境(ERE)协调关系。海岸带城市处于改革开放前沿, 长期引领中国经济腾飞, 同时由于陆海兼备的环境特征, 其生态环境更为脆弱, ERE系统矛盾更加深刻。本文试图从ERE关系更为敏感的海岸带城市探究不同环境规制工具对ERE协调关系的影响, 回答何种环境规制工具效果更为明

收稿日期: 2023-05-04; 修订日期: 2023-07-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(71473233, 71974176)

作者简介: 孙兆旭(1995-), 男, 山东潍坊人, 博士研究生, 研究方向为区域经济与城市可持续发展。

E-mail: sunzhx@163.com

通讯作者: 赵领娣(1963-), 女, 河南焦作人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为资源环境与可持续发展。

E-mail: lingdizhao512@163.com

显,存在何种影响机制等问题,为加快人与自然和谐共生的中国式现代化进程提供有益借鉴。

1995年“波特假说”提出及后续基于此开展的大量研究,为探究环境规制如何促进经济发展与资源环境协调发展提供了理论基础。基于“波特假说”中的“创新补偿效应”,学者们将技术创新看作环境规制研究的关键变量进行分析,环境规制与技术创新关系成为其中的热门主题。有学者直接以环境规制对技术创新的影响为主题开展研究,认为环境规制能够促进企业技术创新^[2];也有学者探究异质性环境规制工具对技术创新的影响,发现并阐释其影响的差异性特征及产生原因^[3];还有学者从公司治理、融资约束等微观角度探讨环境规制与技术创新“波特式”关系的有效性^[4,5]。基于环境规制工具类型的不同,相关研究趋于多样化、细致化。主要有以下三种划分方式:一是将环境规制作为整体,采用单一变量测度^[6];二是将环境规制分为命令型和市场型,从政府和市场角度探讨影响差异性^[7];三是增加非正式环境规制,即公众自愿型环境规制。命令型和市场型被认为是正式环境规制,该分类是目前主流划分方式^[8,9]。

关于“波特假说”中环境规制能否带来环境状况改善与经济效益提高的“双赢”结果,国内外学者开展了大量研究,结论并不一致。Davies等^[10]利用博弈论探究政府与企业博弈下环境规制效率问题,认为鼓励企业披露污染信息能促进环境规制效率提升,实现经济发展与环境保护。Wang等^[11]认为合理且严格的环境规制可以通过促进企业技术创新,实现经济与环境的双赢,中国碳交易体系与低碳经济转型的正向关系验证了“波特假说”的适用性。而Rubashkina等^[12]的研究结论并不支持“波特假说”,他们认为环境规制对经济效率的作用会受到多种因素影响,可能出现抑制效果。国内多数学者倾向于环境规制能够实现“双赢”,并为此提出可行性措施。陈艳莹等^[13]认为环境规制促使企业实现经济和环境“双赢”,且在低融资约束、低行业竞争度等条件下更容易实现。张彩云等^[14]认为要实现“双赢”,政府应对企业技术创新进行补贴,采取税收优惠或实行累进环境税率,根据产业污染程度调整税率,提高环境规制水平。环境规制“双赢”效应研究与本文具有一定的一致性,均是探究环境规制在实现经济高质量运行和资源环境可持续的各系统协调均衡发展方面的作用,与其不同的是本文强调多系统协调概念,是推动环境规制“双赢”效应向“多赢”效应研究方向持续深化的有益尝试。

多系统协调研究是深化“双赢”效应研究的重要方向。目前学术界人地关系研究呈现出由单一指标向综合指标、由两两关系研究向多系统关系研究的趋势,ERE系统协调性研究是其中的重要研究方向,已取得较为丰富的研究成果,具有以下特点:(1)研究区域和对象不断拓展,不仅在全国、省域、市域、县域、城市群等区域开展协调性研究^[15],形成较为完善的研究尺度体系,还将研究对象拓展到特定产业,如钢铁产业^[16]等,探究产业ERE系统协调发展规律;(2)研究方法多样,如系统动力学模型、脱钩模型、物质流分析、耦合协调模型等^[17,18],体现出多系统协调研究的跨学科性;(3)在ERE系统基础上继续演化并形成更多系统协调性研究,如增加人口系统、社会系统等^[19],多系统协调研究表现出较强可延展性;(4)目前ERE系统协调性研究多专注于协调性水平测度分析,对协调性影响因素研究关注不足。

综上,已有环境规制和ERE系统协调研究各具特点,成果丰富,但仍存在薄弱点。(1)异质性环境规制研究尺度体系尚不完善,主要集中于宏观省份和微观公司层面的数

据分析,缺乏中观城市层面的数据分析。(2) 相较其他城市,海岸带城市地理区位和政策优势明显,吸引各类生产要素集聚,经济活动也更为密集,陆海兼具的城市环境意味着其生态安全面临多样化威胁,ERE系统矛盾更为突出,但海岸带区域ERE系统协调研究尚显不足。(3) 环境规制作为ERE系统协调的重要影响因素,其影响效应研究关注不足。鉴于此,根据赵锐等^[20]提出的中国海岸带区域划分建议和《中国海洋统计年鉴》,本文以中国53个海岸带地级及以上城市(中国香港、澳门及台湾地区城市因数据问题除外)为研究区域,创新性地将环境规制和ERE系统协调纳入同一研究框架,从海岸带城市层面探究不同环境规制工具对ERE系统协调发展的异质性影响,并分析其影响机制,凸显海岸带区域ERE系统协调的重要意义,弥补现有研究薄弱之处,深化城市环境规制政策效应研究。

1 理论机制与研究假设

1.1 ERE系统协调发展机制

经济、资源和环境是区域综合发展水平系统评价的重要维度,所涵盖要素涉及范围广,要素流动过程多样且交互进行,错综复杂。这也决定了ERE系统协调发展的复杂性,各子系统间存在相互影响和渗透关系(图1)。经济子系统由资本、劳动、技术等生产要素构成,系统内开展物质生产活动的目的是为满足人的欲求,利用各类资源为人们生活提供产品和服务,表明资源和环境子系统服务于经济子系统,不合理的经济增长模式极易造成资源过度消耗和环境污染,导致资源和环境子系统恶化。资源子系统包括自然资源和社会资源,为经济子系统提供生产要素保障,同时也是环境承载压力的来源,粗放型资源开发利用造成生态环境破坏,引起环境自净能力和承载能力下降。环境子系统是经济 and 资源子系统的基础和载体,其承载着经济增长和资源开发过程中产生的污染物,对污染物进行自我净化,若污染物量超过其自净能力范围,将损耗环境承载能力,长此以往会造成生态系统崩溃。经济高效发展、资源高效利用和生态环境保护三者具有

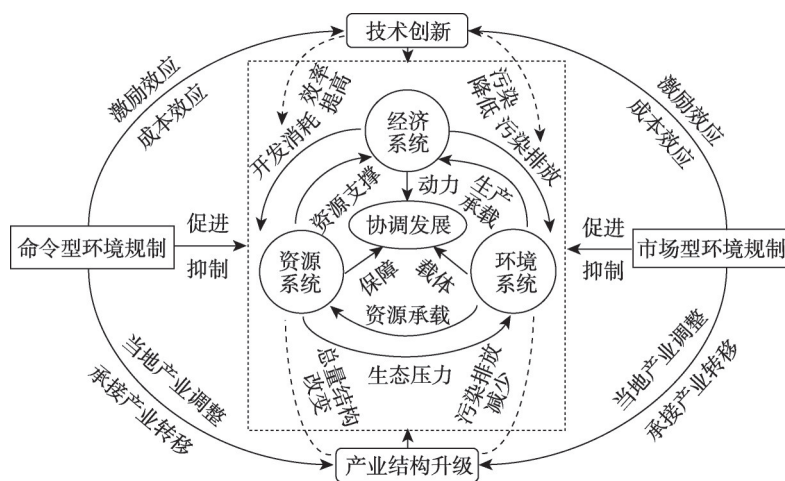


图1 ERE系统协调发展机制及异质性环境规制影响路径

Fig. 1 The ERE system's coordinated development mechanism and the impact route of heterogeneous environmental regulations

统一性,资源利用效率高是经济高效运行的突出表现,以极少的环境污染排放换取高经济回报,同时达到生态环境保护目标,这也是ERE系统的良性协调发展状态。

1.2 异质性环境规制对ERE系统协调发展的影响机制

1.2.1 命令型环境规制与ERE系统协调发展

命令型环境规制强制性色彩鲜明,政府采用法律和行政手段,制定环保领域法律法规、行为标准,规范各市场主体行为,促使企业采用新技术、新设备以减少污染,达到政府环保要求,规避行政处罚。命令型环境规制直接影响污染型企业生产经营活动,提高该类企业的边际成本和平均成本,迫使污染型企业或直接转移,或进行业务调整,谋求转型,或加强技术创新,提高生产效率,减少污染物排放。中国高度重视环境治理,各级政府出台的环境保护法律法规不断细化,体系化程度不断提高,命令型环境规制成为环境污染治理的有力武器。但命令型环境规制强度过高会限制企业自由,干扰企业自主生产经营活动,企业活力下降,不利于经济系统运行,抑制ERE系统协调发展。由此,提出假设1。

假设1:命令型环境规制对ERE系统协调发展存在倒“U”型影响。

1.2.2 市场型环境规制与ERE系统协调发展

市场型环境规制是行政主体通过对污染排放制定价格等市场手段影响企业经营决策,引导其自觉减少污染物排放。实践层面,市场型环境规制分为创立市场工具和应用市场工具,创立市场工具是创立排放权交易市场,应用市场工具是利用定价机制提高排污成本^[9]。市场型环境规制给予企业一定自主权,可根据企业经营状况采取相应措施,这意味着市场型环境规制效果不确定性较强。市场型环境规制还需完善的机制配合才能真正发挥效果。目前中国排污权交易市场发展仍不完善,全国碳排放权交易市场尚处起步阶段,且各地环保税率不一,极易产生寻租现象,表明无论是创立市场工具还是应用市场工具都还不成熟。随着市场运行机制不断完善,市场工具逐渐发展成熟,市场型环境规制的“激励效应”也随之显现。由此,提出假设2。

假设2:市场型环境规制对ERE系统协调发展存在“U”型影响。

1.2.3 环境规制对ERE系统协调发展的影响机制

有学者认为,环境规制促进绿色经济发展的机制路径主要有产业结构升级和技术创新^[21,22]。蔡传里等^[23]将环境规制促进经济环境“双赢”路径归结为两条:一是“环境规制—污染产业转移—环境改善”,二是“环境规制—技术创新—经济环境双赢”。技术创新和产业结构升级在环境规制对ERE系统协调性影响中同样发挥着重要的机制作用。

依托于完善的市场机制,有效环境规制能够促进ERE系统良性互动,提高其整体协调水平。首先,环境规制趋严导致成本压力逐渐加大,迫使部分无法承担环境成本的污染企业转移,促进生产要素向清洁型企业流动,产业结构实现自我调整。其直接结果是污染排放减少和产业结构比例调整,由环境规制政策形成的产业准入清单为促进产业结构持续优化提供后续动力。产业结构升级是提高经济发展质量的重要途径,其有效性发挥需以要素升级为基础,主要是指人力资本、信息化、知识增长、技术进步等要素占比提升以及配置结构优化,以带动资源消耗量减少与消费结构优化,进一步减少污染物排放,减轻环境系统自我消解和环境治理压力,改善环境状况。其次,环境规制对企业技术创新的影响是“成本效应”和“激励效应”的综合性体现。当“成本效应”大于“激

励效应”时，环境规制加重企业成本负担，挤占技术创新资金，阻碍企业开展技术创新；当“激励效应”大于“成本效应”时，环境规制迫使污染企业加大绿色技术创新投资，加快绿色转型，以弥补遵守环境法规产生的合规成本。技术创新主要包括生产技术和环境治理技术两方面内容：生产技术创新成果应用于产品生产，提升资源利用效率，获取高经济回报的同时产生少量污染物；环境治理技术创新是从物质生产过程末端入手，直接将经济、资源子系统所产生污染物的负面影响降至比以往更低水平，提高环境承载力水平。结合上文对中国异质性环境工具实践层面上的认识，提出假设3和假设4。

假设3：技术创新在命令型和市场型环境规制对ERE协调发展的影响中存在中介效应。

假设4：产业结构升级在命令型和市场型环境规制对ERE协调发展的影响中存在中介效应。

2 研究方法与数据来源

2.1 ERE协调发展指标体系

2.1.1 指标体系建立

由理论机制分析得知，经济、资源和环境子系统间存在相互影响和渗透关系，系统间关系的复杂性决定了采用单一指标衡量的偏颇性，应构建多指标综合体系进行测度，但选择指标过多又会掩盖指标的特征信息，忽视其重要性和实用性^[24]。基于已有研究，本文在梳理代表性指标、指标使用频次及准则层维度设计基础上，结合理论机制分析，遵循科学性、系统性、有效性、数据可获性等原则，建立中国海岸带城市ERE系统协调发展评价指标体系（表1），包含3个目标层、6个准则层和18个指标层。考虑到样本城市存在人口、土地等规模差异，本文对总量指标按万元工业产值或人口取均值。

（1）经济子系统。经济效益和结构优化程度是衡量经济发展状况的重要标准，是经济高质量发展的突出表现^[25,26]。基于此，本文借鉴武振国等^[26]的研究，从经济效益和经济结构维度选取6项指标衡量经济子系统状况。经济效益指标涵盖GDP、财政收入、消费和投资方面的人均表现，经济结构指标包括第二、三产业产值占比。

（2）资源子系统。在ERE系统协调发展机制中，资源子系统主要通过资源条件和资源消耗两个维度来与其他子系统建立联系。借鉴李芳林等^[27]的研究，本文从资源条件和资源消耗两方面选取6项指标衡量资源子系统。其中，考虑到农林牧渔业是资源依赖型产业，其产值变化能够反映出当地资源禀赋和利用情况，将人均农林牧渔业产值（不含农林牧渔服务业）作为资源条件指标纳入指标体系^[28]。

（3）环境子系统。一方面经济活动产生了环境污染的消极后果，另一方面也为减轻环境污染而开展的环境治理活动。因此，本文借鉴盖美等^[29]的研究，从环境污染和治理两方面选取6项指标衡量环境子系统。环境污染指标包括万元工业产值的废水、二氧化硫和烟尘排放量，环境治理指标则是从城市绿化、固体废物利用和污水集中处理方面进行度量。

2.1.2 熵权法

区别于德尔斐法等主观赋权法，熵权法是一种客观赋权法，该方法以客观公正的优点在指标体系权重分配研究中应用广泛。赋权应更为注重客观性，排除主观因素影响。

表1 ERE系统协调发展评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of coordinated development of ERE system

目标层	准则层	指标层	单位	权重与性质
经济	经济效益	人均GDP	元/人	0.052+
		人均社会消费品零售额	元/人	0.052+
		人均固定资产投资额	元/人	0.054+
		人均地方一般公共预算财政收入	元/人	0.049+
	经济结构	第二产业产值占比	%	0.059+
		第三产业产值占比	%	0.058+
资源	资源条件	人均农林牧渔业产值	元/人	0.057+
		人均公园绿地面积	m ² /人	0.047+
		人均供水量	m ³ /人	0.047+
		人均城市建设用地面积	km ² /万人	0.049+
	资源消耗	单位GDP电耗	kW·h/万元GDP	0.060-
		人口密度	人/km ²	0.059-
环境	环境污染	万元工业产值废水排放量	t	0.060-
		万元工业产值二氧化硫排放量	kg	0.060-
		万元工业产值烟尘排放量	kg	0.060-
		建成区绿化覆盖率	%	0.059+
	环境治理	一般工业固体废物综合利用率	%	0.059+
		污水处理厂集中处理率	%	0.059+

注：“+”代表正向指标，“-”代表负向指标。

因此，本文采用熵权法测算各系统发展指数，计算步骤参见文献 [30]。

2.1.3 三系统耦合协调度模型

耦合协调度模型是耦合度模型和协调度模型的有机结合，对各子系统关联程度和协调程度做出综合评价，更为全面地反映出系统间综合协调发展程度。本文借鉴姜磊等^[31]的三系统耦合协调度模型，形式如下：

$$C_{ere} = \left[\frac{U_{eco} \times U_{res} \times U_{env}}{\left(\frac{U_{eco} + U_{res} + U_{env}}{3} \right)^3} \right]^{\frac{1}{3}}$$

(1)

$$T_{ere} = \beta_1 U_{eco} + \beta_2 U_{res} + \beta_3 U_{env}$$

(2)

$$D_{ere} = \sqrt{C_{ere} \times T_{ere}}$$

(3)

式中： C_{ere} 是耦合度； U_{eco} 、 U_{res} 和 U_{env} 分别是由熵权法计算得到的经济、资源和环境子系统发展指数； T_{ere} 是三系统综合发展指数； β 是待定系数，将其均设定为1/3； D_{ere} 是耦合协调度，其值越大，耦合协调性越强。

2.2 模型设定

2.2.1 基准回归模型

本文从命令型和市场型环境规制两方面探讨其对ERE系统协调发展的影响差异。考虑到环境规制对耦合协调度可能存在政策惯性和非线性影响，分别引入滞后一期解释变

量以及解释变量二次项, 借鉴董景荣等^[32]的模型构建方式, 具体如下:

$$\ln D_{ereit} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln ER_{1it} + \alpha_2 \ln ER_{2it} + \alpha_3 \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$\ln D_{ereit} = \eta_0 + \eta_1 L \cdot \ln ER_{1it} + \eta_2 L \cdot \ln ER_{2it} + \eta_3 \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$\ln D_{ereit} = \rho_0 + \rho_1 \ln ER_{1it} + \rho_2 \ln ER_{2it} + \rho_3 \ln ER_{1it}^2 + \rho_4 \ln ER_{2it}^2 + \rho_5 \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

式中: $\ln D_{ereit}$ 为被解释变量, 表示 i 城市在 t 年的 ERE 系统耦合协调度; $\ln ER_{1it}$ 和 $\ln ER_{2it}$ 为解释变量, 分别表示 i 城市在 t 年的命令型和市场型环境规制, 加上 “L.” 表示变量滞后一期, $\ln ER_{1it}^2$ 和 $\ln ER_{2it}^2$ 分别表示对应解释变量的二次项; $\ln X_{it}$ 为控制变量组; ε_{it} 为随机扰动项; α 、 η 、 ρ 为对应模型的待估参数。以下模型相同变量符号表示含义相同, 不再赘述。

2.2.2 机制检验模型

本文利用中介效应模型考察环境规制能否通过技术创新和产业结构升级影响 ERE 系统协调发展。首先参考温忠麟等^[33]提出的中介效应检验和分析流程, 考虑到多种环境规制工具与 ERE 系统耦合协调度可能存在不同的影响机制和中介效果, 借鉴温涛等^[34]对其中介效应模型的调整方式, 构建如下模型组:

$$\ln INN_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln ER_{1it} + \beta_2 \ln ER_{2it} + \beta_3 \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

$$\ln D_{ereit} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln ER_{1it} + \gamma_2 \ln ER_{2it} + \gamma_3 \ln INN_{it} + \gamma_4 \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

$$\ln IND_{it} = \mu_0 + \mu_1 \ln ER_{1it} + \mu_2 \ln ER_{2it} + \mu_3 \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

$$\ln D_{ereit} = \tau_0 + \tau_1 \ln ER_{1it} + \tau_2 \ln ER_{2it} + \tau_3 \ln IND_{it} + \tau_4 \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

式中: $\ln INN_{it}$ 和 $\ln IND_{it}$ 分别表示 i 城市在 t 年的技术创新水平和产业结构升级程度; 模型 (4)、模型 (7) 和模型 (8) 用于分析技术创新中介效应, 模型 (4)、模型 (9) 和模型 (10) 用于分析产业结构升级中介效应; β 、 γ 、 μ 、 τ 为对应模型的待估参数。

利用逐步回归法分析中介效应可能存在内生性问题, 导致估计结果偏误。本文采用江艇^[35]的中介效应模型设定思路, 进行中介机制稳健性分析。基于中介变量对结果变量的理论逻辑阐释, 重点讨论处理变量对中介变量影响, 处理变量系数显著性仅作为中介变量在传导机制中作用的试探性证据和说明, 构建模型如下:

$$Media_{it} = \delta_0 + \delta_1 \ln ER_{jit} + \delta_2 \ln X_{it} + \varepsilon_{it}; j = 1, 2 \quad (11)$$

式中: $Media$ 代表中介变量, 即技术创新和产业结构升级; $\ln ER_{jit}$ 表示命令型或市场型环境规制; δ 为待估参数。为避免异方差影响, 本文对各模型变量均取对数。

2.3 变量选取及数据来源

2.3.1 被解释变量

本文采用熵权法对 ERE 系统协调发展指标体系进行指标赋权, 计算得到各系统发展评价指数, 进而通过耦合协调度模型测度各系统间耦合协调性, 得到被解释变量, 即耦合协调度 (D_{ere})。

2.3.2 解释变量

本文将环境规制工具分为命令型 (ER_1) 和市场型 (ER_2)。既往研究大多以环保治理投资额和排污费收入表示命令型环境规制和市场型环境规制, 还有学者以工业企业污染物排放量、去除量与地区生产总值或工业产值之间的关系表征相应变量。考虑到污染物排放量或去除量增减反映的是环境规制综合效果, 用以表征某一种环境规制工具的作用效果有失偏颇。本文以城市环保治理投资额表示命令型环境规制, 以城市排污费收入表

示市场型环境规制。然而,城市环保治理投资额数据自2008年以后不再作为单列数据统计,城市排污费收入数据缺失严重,致使相关研究极少使用这两项指标表征相关变量。借鉴宋鹏等^[36]和刘勇等^[37]的做法,在省级环保治理投资额和排污费收入数据基础上,根据城市工业废水、工业二氧化硫、工业烟尘排放量与省级对应的“三废”排放量比值的均值,计算城市环保治理投资额和城市排污费收入。

2.3.3 机制变量

根据理论机制分析,本文将技术创新(*INN*)和产业结构升级(*IND*)作为机制变量。专利授权量是技术创新成果的直观表现,有效反映出技术创新能力高低,借鉴金昕等^[3]的研究,以各市专利授权量衡量技术创新;污染产业转移直接影响到第二产业在国民经济中的占比,第三产业占比上升是产业结构升级的重要表现,借鉴杨林等^[7]的研究,以第三产业与第二产业产值之比衡量产业结构升级程度。

2.3.4 控制变量

参考相关研究^[38,39],并结合本文研究主题和机制分析,选取如下控制变量:(1)对外开放度(*OPEN*),以进出口额与地区生产总值之比表示,由于进出口额年鉴数据单位为美元,按照当年汇率换算为人民币后再进行计算。海岸带城市发展得益于对外开放,对外开放是影响其ERE系统协调性的重要因素。(2)政府支持(*GOV*),以地方一般公共预算支出与地区生产总值之比表示。政府是多系统协调发展中始终扮演重要角色,政府支持力度高低会影响到ERE系统协调性。(3)信息化程度(*INF*),以每万人移动电话拥有量表示。信息是维持系统内正常运转和系统间协调运行的重要资源,信息化程度会影响到系统内及系统间信息资源共享和交流。(4)城镇化水平(*URB*),以常住人口城镇化率表示。城镇化影响到生产要素流动、资源利用效率、污染物集中处理等方面,具备影响ERE系统协调发展的理论基础。(5)受教育程度(*EDU*),以每万人普通本专科在校学生人数表示。人员素质高低对ERE系统协调性存在重要影响,受教育程度是体现人员素质的重要指标。

2.3.5 数据来源

本文数据主要来源于2004—2021年《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》、各地市统计年鉴和统计公报以及中国经济数据库CEIC (www.ceicdata.com)、中国研究数据服务平台CNRDS (www.cnrds.com)。需要说明的是,2018年环境保护税取代排污费收入,2018—2020年为环境保护税数据。由于《中国城市统计年鉴》部分指标与地市统计年鉴存在差异,考虑到地市统计数据更具连续性,采用地市统计年鉴数据进行分析。通过数据对比筛选出个别异常值,核实后修正,确保数据准确;缺失值采用插值法补齐。为剔除通胀影响,使年份数据可比,价格变量以2003年为基期,利用相应价格指数平减。

3 结果分析

3.1 ERE系统耦合协调度动态变化

本文采用核密度模型分析ERE系统耦合协调度的动态变化,绘制出研究期耦合协调度的密度分布曲线(图2)。由图2知,2003—2020年中国海岸带城市ERE系统耦合协调度整体水平较低,但演进趋势明显。从曲线位置看,密度分布曲线中心逐渐向右偏移,

波峰对应的耦合协调度递增,反映出中国海岸带城市ERE系统协调发展程度不断提高,但从移动幅度看出耦合协调度增速递减,表明耦合协调度演变过程仍符合新古典增长理论中的经济增长规律,探索建立ERE系统长效协调发展机制是当前中国政府面临的重要课题。从曲线形状看,核密度峰值先上升后轻微下降,宽度逐渐收窄,表明耦合协调度整体非均衡状态减弱;曲线右拖尾长度明显大于左拖尾,右拖尾厚度随时间推移增加,表明较多城市处于较高耦合协调度水平,且较高耦合协调度城市数量在逐渐增多。近年来中国高度重视经济高质量发展转型,通过设立生态示范区、生态文明建设示范区等措施积极推进生态文明建设,在缓解ERE系统间矛盾和推动ERE系统良性协调发展方面取得一定成效。随时间推移,右拖尾长度轻微缩短,表明个别较高耦合协调度的城市ERE耦合协调度下降;曲线主要以单峰状态演化,2020年曲线形态出现轻微多峰趋势,表明耦合协调发展总体处于收敛状态,但随时间推移,出现的极化趋势反映出中国在ERE系统长效协调发展机制上的不足,并且在ERE系统遭受冲击时,区域间韧性不均衡加剧了ERE耦合协调度的非均衡。

3.2 模型设定形式检验

面板数据模型具有多种形式,模型形式直接影响估计结果准确性。本文对混合OLS模型、随机效应和固定效应三种主要模型形式进行检验,根据 F 检验、Hausman检验以及城市和年度虚拟变量联合显著性检验结果,采用个体固定效应模型开展分析。针对模型普遍存在的异方差、序列相关和截面相关问题,采用Stata软件的xtsc命令,计算Driscoll-Kraay稳健标准误,消除各类问题对回归结果的影响。多重共线性检验显示方差膨胀因子 VIF 为3.78,远小于10,结合Pearson相关系数矩阵,不存在严重多重共线性。

3.3 基准回归分析

3.3.1 全样本回归分析

为避免“伪回归”问题,本文采用同根LLC和异根ADF-Fisher方法进行面板单位根检验,结果显示所有变量均通过显著性检验,表明各变量平稳,回归结果可靠。

模型(4)~模型(6)按照是否加入控制变量开展对比分析,说明结果的稳健性(表2)。总体来看,解释变量回归结果通过显著性检验,且系数符号与假设相符。模型(4)和模型(5)结果显示,无论当期还是滞后一期,命令型环境规制系数显著为正,市场型环境规制系数显著为负,说明命令型环境规制有助于ERE系统耦合协调度提升,市场型环境规制对ERE系统耦合协调度存在抑制作用。究其原因,在实践层面:中国环境规制政策表现出“命令型环境规制为主,市场型环境规制为辅”的状态^[40],政府采用命令型环境规制政策时间较长,实践经验丰富,且对企业行为规范约束力也强于市场型环境规制,ERE系统协调状况改善较大程度得益于命令型环境规制;发挥市场型环

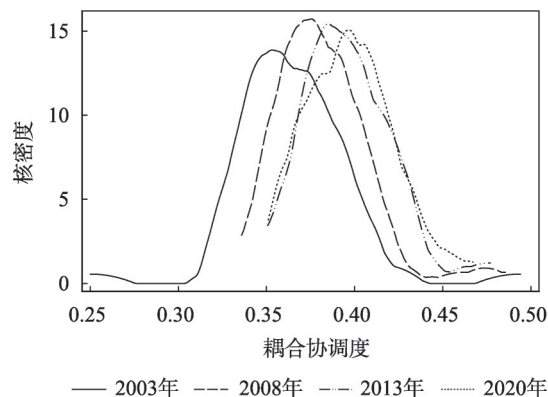


图2 ERE系统耦合协调发展核密度变化

Fig. 2 Nuclear density changes of the coupled and coordinated development of ERE system

表2 全样本回归估计结果
Table 2 Results of full sample regression estimation

变量	模型 (4)		模型 (5)		模型 (6)	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$\ln ER_1$	0.040*** (5.06)	0.009*** (4.35)			0.153*** (6.93)	0.054*** (7.22)
$\ln ER_2$	-0.019*** (-4.58)	-0.012*** (-3.67)			-0.108*** (-4.97)	-0.044*** (-4.00)
$L.\ln ER_1$			0.038*** (4.69)	0.012*** (5.01)		
$L.\ln ER_2$			-0.019*** (-4.14)	-0.012*** (-4.09)		
$\ln ER_1^2$					-0.005*** (-4.65)	-0.002*** (-6.16)
$\ln ER_2^2$					0.006*** (4.10)	0.002*** (3.59)
$\ln OPEN$		0.013* (1.96)		0.009 (1.32)		0.012* (1.97)
$\ln GOV$		-0.022 (-1.73)		-0.019 (-1.65)		-0.025* (-1.83)
$\ln INF$		0.041*** (6.00)		0.043*** (6.34)		0.041*** (6.20)
$\ln URB$		0.024 (1.64)		0.019 (1.33)		0.029** (2.17)
$\ln EDU$		0.025*** (13.39)		0.026*** (8.64)		0.025*** (13.17)
_cons	-1.259*** (-18.00)	-1.482*** (-15.23)	-1.234*** (-18.20)	-1.527*** (-15.84)	-1.545*** (-18.37)	-1.612*** (-17.85)
R^2	0.4378	0.7529	0.4457	0.7378	0.4700	0.7572

注：括号内为t值，***、**、*分别表示在10%、5%、1%统计水平下显著，下同。

境规制政策效力需以完善的市场机制为基础，以强化创新补偿效应，减轻企业成本效应约束，走绿色发展道路，而中国市场机制自改革开放以来不断完善，市场机制成效显著，但仍存在机制堵点，还需继续完善。

模型（6）结果显示，命令型环境规制和市场型环境规制的一次项系数与模型（4）和模型（5）结果一致，且控制变量加入与否不影响二次项系数，说明结果稳健；命令型环境规制的二次项系数显著为负，表明命令型环境规制对ERE系统耦合协调度存在倒“U”型影响，假设1得证；市场型环境规制的二次项系数显著为正，表明市场型环境规制对ERE系统耦合协调度存在“U”型影响，假设2得证。根据列（6）回归系数，计算得出倒“U”型曲线拐点约为13.50，“U”型曲线拐点约为11.00，均位于样本区间偏右，说明大部分海岸带城市处于命令型环境规制促进ERE系统耦合协调度阶段，以及市场型环境规制抑制ERE系统耦合协调度阶段。

控制变量方面。信息化和受教育程度系数显著为正。信息对现代化生产的重要性与日俱增，信息化程度提高促进区域生产要素流动，提高资源利用效率，同时环保知识信息传播增强人们环保意识；受教育程度提高一方面反映个人素质提升，环保意识增强，

另一方面为各系统运行、技术创新等提供人才支持，提升系统运行效率，改善系统间协调关系。对外开放程度和城镇化系数为正但不显著，说明二者对ERE协调发展的正向影响有限，原因可能是海岸带城市通过引进国外先进技术和设备，经济快速增长，但国外污染产业也首先转移至海岸带城市，削弱了对外开放的正向影响；城镇化主要表现为人口由农村向城市集聚，刺激城市服务业发展，消费、生产生活废物处理随之集中化，效率得到一定提升，但人口集聚也增加了资源环境压力，且配套基础设施建设滞后也削弱了城镇化的正向影响。政府支持系数为负但不显著，这与田光辉等^[38]的研究一致，东部海岸带城市存在资本投入冗余问题，导致以政府财政支出衡量的政府支持对ERE系统耦合协调度产生负向影响。

3.3.2 分等级回归分析

既往研究中，学者们大多根据研究需要在 [0, 1] 区间人工划分耦合协调度等级，该方式虽能满足多样研究需求，但有失一定客观性。本文参考王永兴等^[41]采用的面板数据聚类法，根据 2003—2020 年 ERE 系统耦合协调度均值划分等级。表 3 给出模型（4）和模型（5）分等级回归估计结果，而未给出模型（6）回归结果的原因是在等级分类基础上探讨非线性关系缺乏研究意义，故未报告结果。由表 3 知，不同等级海岸带城市的命令型环境规制对 ERE 系统耦合协调度均起到促进作用，与全样本回归中命令型环境规制效应一致。分等级条件下命令型环境规制仍表现出正向效应，也在一定程度上印证了前文大部分海岸带城市处于命令型环境规制促进作用阶段的结论。较高和中等耦合协调度

表 3 分等级回归估计结果
Table 3 Results of graded regression estimation

变量	较高 D_{ere} 城市		中等 D_{ere} 城市		较低 D_{ere} 城市	
	模型（4）	模型（5）	模型（4）	模型（5）	模型（4）	模型（5）
$\ln ER_1$	0.004*** (3.42)		0.004*** (2.35)		0.011** (2.09)	
$\ln ER_2$	-0.009*** (-3.07)		-0.015*** (-12.74)		-0.013* (-1.75)	
$L.\ln ER_1$		0.008*** (6.34)		0.007*** (5.18)		0.011** (2.21)
$L.\ln ER_2$		-0.010*** (-3.32)		-0.017*** (-14.56)		-0.009 (-1.51)
$\ln OPEN$	0.003 (1.17)	0.002 (0.71)	-0.003 (-0.49)	-0.004 (-0.67)	0.030*** (2.88)	0.022* (1.84)
$\ln GOV$	0.005 (0.47)	0.003 (0.27)	-0.004 (-0.50)	0.001 (0.17)	-0.040** (-2.65)	-0.032** (-2.49)
$\ln INF$	0.040*** (6.41)	0.044*** (6.74)	0.041*** (5.28)	0.038*** (4.54)	0.050*** (4.71)	0.048*** (4.33)
$\ln URB$	0.017 (0.66)	0.012 (0.47)	0.091*** (7.31)	0.089*** (5.17)	-0.018 (-0.68)	-0.016 (-0.68)
$\ln EDU$	0.026*** (6.41)	0.026*** (5.29)	0.004 (1.69)	0.001 (0.38)	0.022*** (3.31)	0.026*** (3.79)
_cons	-1.384*** (-14.78)	-1.455*** (-14.75)	-1.223*** (-12.50)	-1.192*** (-12.29)	-1.623*** (-13.18)	-1.642*** (-13.74)
R^2	0.7677	0.7502	0.8915	0.8722	0.7433	0.7252

城市回归结果中，当期和滞后一期市场型环境规制对 ERE 系统耦合协调度起到抑制作用；较低耦合协调度城市的当期市场型环境规制对 ERE 系统耦合协调度的抑制作用显著，而滞后一期市场型环境规制的抑制作用不显著，表明较低耦合协调度城市的市场型环境规制的影响持续性较弱，这与当地企业对市场环境规制政策反映减弱有关。分等级条件下的市场型环境规制效应与全样本分析结果高度一致，也再次说明完善市场机制的重要意义。市场机制作为一个有机整体，其整体性决定了市场型环境规制效应的一致性，凸显出完善市场机制在扭转市场型环境规制负向效果上的重要作用。

3.4 机制分析

在模型（4）和理论机制分析基础上，分别以技术创新和产业结构升级为中介变量，采用逐步回归法对模型（7）~模型（10）进行分析（表4），探究海岸带城市环境规制对 ERE 系统协调发展的影响机制。

表 4 逐步回归法中介效应检验结果

Table 4 Results of mediating effect test of the stepwise regression technique

变量	模型（7）	模型（8）	模型（9）	模型（10）
	$\ln INN$	$\ln D_{ere}$	$\ln IND$	$\ln D_{ere}$
$\ln INN$		0.004* (1.81)		
$\ln IND$				-0.026*** (-5.06)
$\ln ER_1$	0.344** (2.56)	0.007*** (4.36)	-0.032 (-1.33)	0.008*** (3.90)
$\ln ER_2$	-0.447*** (-4.52)	-0.010** (-2.32)	-0.090*** (-4.24)	-0.015*** (-3.79)
X	Yes	Yes	Yes	Yes
_cons	4.920*** (2.90)	-1.504*** (-15.19)	2.023*** (3.89)	-1.430*** (-15.57)
R^2	0.8340	0.7556	0.3992	0.7682

3.4.1 技术创新

由模型（7）回归结果知，命令型环境规制对技术创新具有显著促进作用，市场型环境规制对技术创新具有显著抑制作用。原因在于命令型环境规制的强制性特征迫使企业引进或研发新生产技术，适应政府更为严格的环保政策标准，促使企业从长期考量技术创新和违规行为成本，做出理性决策；市场型环境规制的灵活性特征赋予企业一定自主权，由市场机制不完善形成的寻租空间变相鼓励企业短视行为，“挤出”技术创新资金而从事寻租等活动。模型（8）回归结果显示，技术创新能够促进 ERE 系统耦合协调度提升，解释变量系数与模型（4）回归结果一致，即命令型环境规制系数显著为正，市场型环境规制系数显著为负。结合模型（7）回归结果，发现技术创新在命令型环境规制和市场型环境规制对 ERE 系统耦合协调度的影响过程中起正向部分中介作用，技术创新在命令型环境规制中的中介效应占比为 15.289%，在市场型环境规制中的中介效应占比为 14.900%，假设 3 得证。

3.4.2 产业结构升级

由模型（9）回归结果知，命令型环境规制系数为负且不显著，市场型环境规制对产业结构升级具有显著抑制作用。这与孙玉阳等^[42]的研究结论相似，其研究表明环境规制对产业结构升级存在非线性影响，本文也检验了不同环境规制工具对产业结构升级的非线性影响，同样发现其非线性影响显著，表明强度适宜的环境规制工具有助于发挥其正

向效应。模型（10）回归结果显示，产业结构升级对ERE耦合协调度具有显著抑制作用。产业结构升级并非单纯的产业结构比例调整，必须伴随要素升级，由要素升级驱动产业结构升级。同时第三产业比例上升意味着资源流动向其倾斜，可能出现“服务业成本病”，导致服务业和资源利用的低效率，出现“结构负利”现象，在中国东部地区尤为明显^[43]。由于个别系数不显著，需结合Bootstrap检验判断是否存在中介效应。由表5可知，Bootstrap检验结果表明存在技术创新中介效应。结合模型（9）和模型（10）系数，发现产业结构升级在命令型环境规制影响中起正向部分中介作用，中介效应占比为9.244%，而在市场型环境规制影响中，产业结构升级表现为遮掩效应，其原因是不完善的市场运行机制下市场型环境规制政策的负面影响，同时叠加地方政府盲目追求不符合当地资源环境状况的产业结构“升级”而导致的后果，假设4部分得证。

表5 Bootstrap 检验结果
Table 5 Results of Bootstrap test

变量	ln/NN		ln/ND	
	lnER ₁	lnER ₂	lnER ₁	lnER ₂
间接效应	0.002*** (2.63)	-0.002*** (-2.54)	0.002*** (3.20)	0.002*** (3.98)
置信区间上限	0.0027	-0.0005	0.0026	0.0035
置信区间下限	0.0003	-0.0035	0.0006	0.0012
检验结论	部分中介	部分中介	部分中介	遮掩效应

进一步利用模型（11）对技术创新和产业结构升级中介路径进行稳健性分析。由表6可知，命令型和市场型环境规制系数显著，且符号与上文一致，表明技术创新和产业结构升级分别在命令型和市场型环境规制对ERE系统协调发展影响机制中的作用形式具有稳健性。

表6 中介变量回归结果
Table 6 Regression results of mediating variables

变量	ln/NN		ln/ND	
	(1)	(2)	(3)	(4)
lnER ₁	0.1088* (1.99)		-0.0797** (-2.61)	
lnER ₂		-0.2237** (-3.12)		-0.1109*** (-3.51)
X	Yes	Yes	Yes	Yes
_cons	5.5762*** (4.15)	6.6182*** (4.53)	2.1554*** (2.80)	1.8633** (2.57)
R ²	0.8095	0.8161	0.3778	0.3958

3.5 稳健性与内生性检验

3.5.1 稳健性检验

为进一步说明模型估计结果稳健性，采取以下三种方式开展稳健性检验。（1）增加控制变量。根据相关研究^[44,45]，在原模型基础上，增加经济发展水平（以人均GDP表征）、金融发展水平（以年末存贷款额与GDP之比表征）、交通便捷程度（以公路密度，即城市公路里程与城市土地面积之比表征）三个控制变量，比较结果前后变化，说明原结果是否稳健。（2）重新调整样本。考虑到上海和天津属于直辖市，与其他城市相比具

有经济、行政职权等方面优势,可能造成回归结果不稳健。因此,剔除上海和天津,将样本调整为51个海岸带城市数据。(3) 缩尾处理。样本异常值或极端值可能影响到回归估计结果稳健性,故根据描述性统计结果进行1%和99%双缩尾处理,以降低异常值或极端值对回归结果的潜在影响。三种方式的解释变量回归结果与前文完全一致,表明本文回归结果稳健。

3.5.2 内生性检验

内生性问题导致模型估计结果不一致,降低结论可信度。内生性主要来源于遗漏变量偏误、样本自选择偏差以及反向因果等。增加控制变量和调整样本证明估计结果稳健,也缓解了遗漏变量偏误和样本自选择偏差可能带来的内生性问题。为缓解环境规制与ERE耦合协调度之间可能存在的“反向因果”内生性问题,参考张建鹏等^[45]的做法,将环境规制看作是内生变量,以环境规制滞后一期为工具变量,采用两阶段最小二乘法开展回归分析。KP LM和KP F统计量结果显示工具变量通过内生性检验和弱工具变量检验,表明所选工具变量符合要求;解释变量及其二次项回归结果与上文一致,表明在考虑内生性情况下,前文论证的环境规制与ERE耦合协调关系的基本结论仍然成立。

4 结论与讨论

4.1 结论

基于2003—2020年中国53个海岸带城市数据,构建ERE系统协调发展指标体系,采用熵权法和耦合协调度模型测算ERE系统耦合协调度,并分析其动态演化特征,利用个体固定和中介效应模型分析命令型和市场型环境规制对ERE耦合协调度的影响及等级异质性,检验技术创新和产业结构升级的中介机制。得到如下结论:(1) 海岸带城市ERE系统耦合协调度处于中等偏下水平,随时间推移耦合协调度呈增长态势,区域非均衡状态减弱。(2) 命令型环境规制对ERE耦合协调度存在先促进后抑制的倒“U”型影响,市场型环境规制对ERE耦合协调度存在先抑制后促进的“U”型影响,符合中国环境规制政策实践状况,根据拐点位置发现多数海岸带城市处在命令型环境规制促进作用阶段和市场型环境规制抑制作用阶段,不同耦合协调度等级的城市环境规制效果一致。(3) 在命令型和市场型环境规制对ERE系统耦合协调度的影响过程中,技术创新具有部分中介效应,而产业结构升级在命令型环境规制影响过程中存在部分中介效应,在市场型环境规制影响过程中存在遮掩效应。

4.2 讨论

基于上述结论,提出如下政策建议:

(1) 完善和落实环境规制及配套政策法规。命令型环境规制对ERE系统协调发展存在倒“U”型影响,其正向促进效应的发挥需要完善的配套政策法规策应,应及时出台配套政策法规以弥补“漏点”,同时积极听取社会面意见,及时优化现有政策法规与实践不符的条文规定以疏通“堵点”。通过弥补“漏点”、疏通“堵点”提升命令型环境规制效力,持续延伸倒“U”型影响的促进效应。命令型环境政策尺度不一极易产生监管逃避空间,地方政府应注重区域间政策协调,阻断污染迁移路径,增强命令型环境规制效力。处于命令型环境规制抑制作用阶段的城市,应重点监督政策法规落实环节,及时调

研、跟进污染企业整改情况,严惩违法排污行为,对积极整改且减污效果显著的企业给予税收减免等实质性奖励,以扭转命令型环境规制的负面影响。

(2) 加快环境治理市场机制建设。市场机制不完善是导致市场型环境规制对ERE系统协调发展的影响处于“U”型曲线左侧的重要原因。因此,应搭建跨区域排污权交易平台,制定定价、配额等方面的统一行业标准,加强统一交易监管,有序地向全国统一市场推进。2021年《碳排放权交易管理办法(试行)》的出台是中国探索完善全国碳排放权市场机制的重要举措,应以此为契机,持续拓展全国碳市场建设路径,扩大行业覆盖范围,加强全国碳市场管理思路和方式创新,促进全国碳排放权市场机制的持续完善。海岸带城市应发挥陆海资源优势,积极参与林业碳汇交易,推动海洋碳汇交易市场建立。以有效的环境治理市场机制为基础,税收、补贴等市场型环境规制手段的“激励效应”得以显现,突破“U”型曲线拐点,促进ERE系统协调发展。

(3) 完善技术创新成果转化机制。技术创新在环境规制对ERE系统协调发展影响中起到重要机制作用。因此,应加大技术创新资金投入,增加技术创新专利数量,尤其是重点支持数字技术等“卡脖子”领域的创新活动。从理论机制看,推动ERE系统协调发展,技术创新更需要完善的成果转化机制。通过搭建政产学研用合作创新平台、成果转化考核激励制度等措施,促进创新成果转化,融入企业生产过程,促使创新过程与产业链深度融合,提高企业生产和环保技术。完善市场专利交易制度,优化专利交易流程,切实保护各主体利益,促进企业间专利技术交易转让,充分发挥技术创新成果的生产力提升效能。

(4) 合理制定产业发展规划。发挥产业结构升级正向中介作用,不仅需要完善的市场运行机制,还需要各地政府根据当地资源禀赋和环境状况,制定适宜的产业发展规划,构建区域特色现代化产业体系,避免因追求产业结构“升级”而盲目发展和引入二三产业。在有效的环境规制约束下,也可承接能够产生技术外溢的污染产业转移,不能对污染产业“一刀切”,如广西钦州、北部湾等相对欠发达海岸带城市不具备完全拒绝污染产业转移的经济基础。海岸带城市拥有陆海产业,区位优势对国外产业具有强大吸引力,应以“重点引进绿色环保型产业、选择性承接非环保型产业”为原则,积极做好产业发展规划,实现陆海产业、国内外产业良性互动。

基于本文研究状况,后续研究可从两方面深入:(1)探究了海岸带城市命令型和市場型环境规制对ERE协调发展的影响及作用机制,而由于数据问题,未从公众参与型环境规制角度开展研究,随着城市公众环保意识增强,公众参与型环境规制对ERE系统协调发展的重要性逐渐提高。(2)以中国海岸带城市为研究区,与海岸带地理学范围相比还较为宽泛,未来可继续深化海岸带概念,以中国沿海县域和城区为研究区域,其陆海经济、资源、环境综合属性更加明显,矛盾更为深刻,更加凸显环境规制政策研究意义。

参考文献(References):

- [1] 毛建辉,管超.环境规制抑制产业结构升级吗?基于政府行为的非线性门槛模型分析.财贸研究,2020,31(3):29-42.
[MAO J H, GUAN C. Does environmental regulation inhibit industrial structure upgrading? Analysis of nonlinear threshold model based on government behavior. Finance and Trade Research, 2020, 31(3): 29-42.]
- [2] MA H D, LI L X. Could environmental regulation promote the technological innovation of China's emerging marine en-

- terprises? Based on the moderating effect of government grants. *Environmental Research*, 2021, 202(10): 111682, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111682>.
- [3] 金昕, 管浩辛, 陈松. 环境规制工具如何影响企业绿色技术创新? 基于双重视角的异质效应研究. *工程管理科技前沿*, 2022, 41(4): 62-68. [JIN X, GUAN H X, CHEN S. How do environmental regulation tools affect enterprises' green technology innovation? Based on dual perspectives' heterogeneous effects. *Frontiers of Science and Technology of Engineering Management*, 2022, 41(4): 62-68.]
- [4] 曹慧平, 沙文兵. 公司治理对环境规制与技术创新关系的调节效应研究. *财经论丛*, 2018, (1): 106-113. [CAO H P, SHA W B. Moderating effect of corporate governance on the relationship between environmental regulation and technological innovation. *Collected Essays on Finance and Economics*, 2018, (1): 106-113.]
- [5] HE Y, DING X, YANG C. Do environmental regulations and financial constraints stimulate corporate technological innovation? Evidence from China. *Journal of Asian Economics*, 2021, 72(1): 101265, Doi: 10.1016/j.asieco.2020.101265.
- [6] 胡森林, 鲍涵, 郝均, 等. 环境规制对长三角城市绿色发展的影响: 基于技术创新的作用路径分析. *自然资源学报*, 2022, 37(6): 1572-1585. [HU S L, BAO H, HAO J, et al. Research on the impact of environmental regulation on urban green development in the Yangtze River Delta: An analysis of intermediary mechanism based on technological innovation. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(6): 1572-1585.]
- [7] 杨林, 温馨. 环境规制促进海洋产业结构转型升级了吗? 基于海洋环境规制工具的选择. *经济与管理评论*, 2021, (1): 38-49. [YANG L, WEN X. Does environmental regulation improve transformation and upgrading of marine industrial structure: Based on selection of marine environmental regulation tools. *Review of Economy and Management*, 2021, (1): 38-49.]
- [8] CUI S, WANG Y, ZHU Z, et al. The impact of heterogeneous environmental regulation on the energy eco-efficiency of China's energy- mineral cities. *Journal of cleaner production*, 2022, 350: 131553, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131553>.
- [9] 杨艳芳, 程翔. 环境规制工具对企业绿色创新的影响研究. *中国软科学*, 2021, (s1): 247-252. [YANG Y F, CHENG X. Research on green innovation impact of environmental regulation instruments. *China Soft Science*, 2021, (s1): 247-252.]
- [10] DAVIES P, WALKER A E, GRIMSHAW J M. The design of the policies of the environmental regulation under the condition of information asymmetry: Based on the perspective of Game Theory. *Finance & Economics*, 2010, 5(1): 1-6.
- [11] WANG H, CHEN Z, WU X, et al. Can a carbon trading system promote the transformation of a low-carbon economy under the framework of the porter hypothesis? Empirical analysis based on the PSM-DID method. *Energy Policy*, 2019, 129(6): 930-938.
- [12] RUBASHKINA Y, GALEOTTI M, VERDOLINI E. Environmental regulation and competitiveness: Empirical evidence on the Porter Hypothesis from European manufacturing sectors. *Energy Policy*, 2015, 83(8): 288-300.
- [13] 陈艳莹, 张润宇, 李鹏升. 环境规制的双赢效应真的存在吗? 来自中国工业污染源重点调查企业的证据. *当代经济科学*, 2020, 42(6): 96-107. [CHEN Y Y, ZHANG R Y, LI P S. Does the win-win effect of environmental regulation really exist? Evidence from key surveyed enterprises of industrial pollution sources in China. *Modern Economic Science*, 2020, 42(6): 96-107.]
- [14] 张彩云, 郭艳青. 污染产业转移能够实现经济和环境双赢吗? 基于环境规制视角的研究. *财经研究*, 2015, 41(10): 96-108. [ZHANG C Y, GUO Y Q. Can pollution-intensive industry transfer achieve win-win development in economy and environment? From the perspective of environmental regulation. *Journal of Finance and Economics*, 2015, 41(10): 96-108.]
- [15] 任娇, 尹诗杰, 曹源圆. 典型资源型地区山西省经济—资源—环境系统承载力及协调发展研究. *生态科学*, 2020, 39(6): 146-154. [REN J, YIN S J, CAO Y Y. Carrying capacity and coordinated development of ERE system in the typical resource-based area of Shanxi province. *Ecological Science*, 2020, 39(6): 146-154.]
- [16] 刘妍心, 李华皎, 安海忠, 等. 基于“废钢回收”的中国钢铁产业链资源—经济—环境动态耦合. *资源科学*, 2021, 43(3): 588-600. [LIU Y X, LI H J, AN H Z, et al. Dynamic coupling of the resource-economic-environment systems of China's steel industrial chain based on scrap steel recycling. *Resources Science*, 2021, 43(3): 588-600.]
- [17] LUO H, LI L, LEI Y, et al. Decoupling analysis between economic growth and resources environment in Central Plains Urban Agglomeration. *Science of the Total Environment*, 2021, 752: 142284, <https://doi.org/10.1016/j.scito>

tenv.2020.142284.

- [18] 戴铁军, 安佰超, 王婉君. 京津冀地区资源—环境—经济协调发展模式探究. 生态与农村环境学报, 2020, 36(6): 731-740. [DAI T J, AN B C, WANG W J. Path analysis of coordinated development of resource, environment and economy in Beijing-Tianjin-Hebei Region. Journal of Ecology and Rural Environment, 2020, 36(6): 731-740.]
- [19] 李恒吉, 曲建升, 庞家幸, 等. 甘肃省人口—经济—社会—资源—环境系统耦合协调及可持续发展时空综合测度研究. 干旱区地理, 2020, 43(6): 1622-1634. [LI H J, QU J S, PANG J X, et al. Spatial-temporal synthetic measurement of coupling coordination and sustainable development of population-economy-society-resource environment system in Gansu province. Arid Land Geography, 2020, 43(6): 1622-1634.]
- [20] 赵锐, 赵鹏. 海岸带概念与范围的国际比较及界定研究. 海洋经济, 2014, 4(1): 58-64. [ZHAO R, ZHAO P. Defining and international comparing of the conception and scope of coastal zone. Marine Economy, 2014, 4(1): 58-64.]
- [21] CHENG Z, KONG S. The effect of environmental regulation on green total-factor productivity in China's industry. Environmental Impact Assessment Review, 2022, 94: 106757, <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106757>.
- [22] 赵明亮, 冯健康, 孙威. 环境规制影响资源型城市绿色全要素生产率的途径与政策建议. 自然资源学报, 2023, 38(1): 186-204. [ZHAO M L, FENG J K, SUN W. Ways and policy suggestions of environmental regulation on green total factor productivity in resource-based cities. Journal of Natural Resources, 2023, 38(1): 186-204.]
- [23] 蔡传里, 许桂华. 环境规制促进经济环境双赢的效果与路径分析. 海派经济学, 2021, 19(4): 97-122. [CAI C L, XU G H. On the Effect and the path of environmental regulation promoting the win-win development between economy and environment. Journal of Economics of Shanghai School, 2021, 19(4): 97-122.]
- [24] 王林钰, 陈浩, 陈思源, 等. 城市层面能源—经济—环境—社会耦合协调发展的动态演化与实证分析: 以江苏省为例. 北京理工大学学报: 社会科学版, 2022, 24(1): 51-64. [WANG L Y, CHEN H, CHEN S Y, et al. Dynamic evolution and empirical analysis of coordinated and coupling development of energy-economy-environment-society at urban level: A case study of Jiangsu province. Journal of Beijing Institute of Technology: Social Sciences Edition, 2022, 24(1): 51-64.]
- [25] 马慧强, 廉倩文, 韩增林, 等. 基本公共服务—城镇化—区域经济耦合协调发展时空演化. 经济地理, 2020, 40(5): 19-28. [MA H Q, LIAN Q W, HAN Z L, et al. Spatio-temporal evolution of coupling and coordinated development of basic public services-urbanization-regional economy. Economic Geography, 2020, 40(5): 19-28.]
- [26] 武振国, 李雪敏, 李艺格. 资源型地区经济发展与自然资源交互关系的时空变化: 以内蒙古为例. 干旱区资源与环境, 2022, 36(11): 41-48. [WU Z G, LI X M, LI Y G. Spatial-temporal changes in the interaction between economic development and natural resources in resource-based regions: Case of Inner Mongolia. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(11): 41-48.]
- [27] 李芳林, 张梅. 长三角城市群经济资源环境耦合协调差异研究. 华东经济管理, 2018, 32(6): 59-65. [LI F L, ZHANG M. Coupling and coordination differences of the economy-resources-environment system in the Yangtze River Delta Megalopolis. East China Economic Management, 2018, 32(6): 59-65.]
- [28] 田学斌, 魏孟举, 陈艺丹. 县域资源—环境—经济耦合协调发展评价研究. 燕山大学学报: 哲学社会科学版, 2021, 22(5): 73-80. [TIAN X B, WEI M J, CHEN Y D. Evaluation on coupling coordination of resource, environment and economy at the county level. Journal of Yanshan University: Philosophy and Social Science, 2021, 22(5): 73-80.]
- [29] 盖美, 聂晨, 柯丽娜. 环渤海地区经济—资源—环境系统承载力及协调发展. 经济地理, 2018, 38(7): 163-172. [GAI M, NIE C, KE L N. Carrying capacity and coordinated development of ERE system in the coastal area of Bohai Sea. Economic Geography, 2018, 38(7): 163-172.]
- [30] 王金伟, 孙洁, 雷婷, 等. 中国粮食生产效率与旅游发展的耦合机制及时空分异. 自然资源学报, 2022, 37(10): 2651-2671. [WANG J W, SUN J, LEI T, et al. Coupling mechanism and spatiotemporal differentiation between grain production efficiency and tourism development in China. Journal of Natural Resources, 2022, 37(10): 2651-2671.]
- [31] 姜磊, 柏玲, 吴玉鸣. 中国省域经济、资源与环境协调分析: 兼论三系统耦合公式及其扩展形式. 自然资源学报, 2017, 32(5): 788-799. [JIANG L, BAI L, WU Y M. Coupling and coordinating degrees of provincial economy, resources and environment in China. Journal of Natural Resources, 2017, 32(5): 788-799.]
- [32] 董景荣, 张文卿, 陈宇科. 环境规制工具、政府支持对绿色技术创新的影响研究. 产业经济研究, 2021, (3): 1-16. [DONG J R, ZHANG W Q, CHEN Y K. The impact of environmental regulation tools and government support on

- green technological innovation. *Industrial Economics Research*, 2021, (3): 1-16.]
- [33] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展. *心理科学进展*, 2014, 22(5): 731-745. [WEN Z L, YE B J. Analyses of mediating effects: The development of methods and models. *Advances in Psychological Science*, 2014, 22(5): 731-745.]
- [34] 温涛, 王佐滕. 农村金融多元化促进农民增收吗? 基于农民创业的中介视角. *农村经济*, 2021, (1): 94-103. [WEN T, WANG Z T. Can diversified rural finance promote income generation for farmers? Based on the intermediary perspective of farmers' entrepreneurship. *Rural Economy*, 2021, (1): 94-103.]
- [35] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应. *中国工业经济*, 2022, (5): 100-120. [JIANG T. Mediating effects and moderating effects in causal inference. *China Industrial Economics*, 2022, (5): 100-120.]
- [36] 宋鹏, 朱琪, 张慧敏. 环境规制执行互动与城市群污染治理. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(3): 49-61. [SONG P, ZHU Q, ZHANG H M. Implementation interaction of environmental regulations and pollution control in urban agglomerations. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(3): 49-61.]
- [37] 刘勇, 李红艳, 田潇, 等. 环境规制对城市空间伸延的影响研究: 基于中国30个城市的实证分析. *工业技术经济*, 2022, 41(5): 36-43. [LIU Y, LI H Y, TIAN X, et al. Research on the influence of environmental regulation on urban spatial extension: An empirical research of 30 cities in China. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2022, 41(5): 36-43.]
- [38] 田光辉, 李江苏, 苗长虹, 等. 基于非期望产出的中国城市绿色发展效率及影响因素分析. *经济地理*, 2022, 42(6): 83-91. [TIAN G H, LI J S, MIAO C H, et al. Urban green development efficiency and its influencing factors in China based on the undesirable outputs. *Economic Geography*, 2022, 42(6): 83-91.]
- [39] 徐晓光, 寇佳丽, 郑尊信. 产业结构升级与生态环境优化的耦合协调. *宏观经济研究*, 2022, (8): 131-156. [XU X G, KOU J L, ZHENG Z X. Coupling coordination of industrial structure upgrading and ecological environment optimization. *Macroeconomics*, 2022, (8): 131-156.]
- [40] 申晨, 李胜兰, 黄亮雄. 异质性环境规制对中国工业绿色转型的影响机理研究: 基于中介效应的实证分析. *南开经济研究*, 2018, (5): 95-114. [SHEN C, LI S L, HUANG L X. Different types of environmental regulation and the green transformation of Chinese industry: Path selection and mechanism. *Nankai Economic Studies*, 2018, (5): 95-114.]
- [41] 王永兴, 景维民. 中国地下经济的区域发展分化: 基于多指标面板数据的聚类分析检验. *南开经济研究*, 2014, (6): 44-57. [WANG Y X, JING W M. The regional differentiation of China's underground economy: Based on multi-dimensional panel data clustering method. *Nankai Economic Studies*, 2014, (6): 44-57.]
- [42] 孙玉阳, 宋有涛, 王慧玲. 环境规制对产业结构升级的正负接替效应研究: 基于中国省际面板数据的实证研究. *现代经济探讨*, 2018, (5): 86-91. [SUN Y Y, SONG Y T, WANG H L. The impact of environmental regulation on the optimization and upgrading of industrial structure: An empirical study based on the panel data of provinces in China. *Modern Economic Research*, 2018, (5): 86-91.]
- [43] 宋建, 郑江淮. 产业结构、经济增长与服务业成本病: 来自中国的经验证据. *产业经济研究*, 2017, (2): 1-13. [SONG J, ZHENG J H. Industrial structure, economic growth and Baumol's cost disease: Empirical evidence from China. *Industrial Economics Research*, 2017, (2): 1-13.]
- [44] 丁玉龙. 城市规模对绿色经济效率的影响及空间效应研究: 基于我国285个地级及以上城市数据的实证分析. *城市问题*, 2021, (12): 58-68. [DING Y L. Study on the influence of city scale on the efficiency of green economy and its spatial effect: Empirical evidence from 285 prefecture-level and above cities in China. *Urban Problems*, 2021, (12): 58-68.]
- [45] 张建鹏, 陈诗一. 金融发展、环境规制与经济绿色转型. *财经研究*, 2021, 47(11): 78-93. [ZHANG J P, CHEN S Y. Financial development, environmental regulations and green economic transition. *Journal of Finance and Economics*, 2021, 47(11): 78-93.]

The influence and mechanism of environmental regulation on the coordinated development of economy-resources-environment system in coastal cities of China

SUN Zhao-xu¹, ZHAO Ling-di^{1,2}

(1. School of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong, China;

2. KRI Institute of Marine Development, Qingdao 266100, Shandong, China)

Abstract: Environmental regulation is an essential policy instrument for achieving coordinated development of the economy-resources-environment (ERE) system. Taking 53 coastal cities in China where the ERE system has more distinct properties and more obvious contradictions between subsystems as the research object, this paper systematically calculates the ERE coupling coordination from 2003 to 2020 by using entropy weight method. Then, this paper aims to explore the impact and mechanism of different environmental regulation tools on the coupling coordination degree of ERE system of coastal cities by utilizing the fixed effect model and mediation effect model. The results indicate that: (1) The coupling coordination degree of ERE system increased from 2003 to 2020, but its overall level is still at a medium to low level. And the regional imbalance of the coupling coordination degree of the ERE system shows a weakening trend, and the gap between cities was gradually narrowed over time. (2) The coupling coordination degree of ERE system is impacted in an inverted "U-shape" by command-oriented environmental regulation, whereas market-oriented environmental regulation has a "U-shaped" impact on the coupling coordination degree of ERE system. It is found that the coupling coordination degree of the ERE system in most cities is promoted by command-oriented environmental regulation and inhibited by market-oriented environmental regulation according to the inflection point position. (3) Technological innovation contributes to the partial mediation effect in the influence of environmental regulation tools on the coordinated development of ERE system. Different from technological innovation, the upgrading of industrial structure has partial mediation effect in the influence of command-oriented environmental regulation on the coordinated development of ERE, while it has masking effect in the impact of market-oriented environmental regulation on the coordinated development of ERE system.

Keywords: coastal cities; environmental regulation; ERE system; coupling coordination; mechanism analysis