

广东沿海经济带海洋环境与经济增长的协调关系实证研究

张玉强, 李民梁

(广东海洋大学 广东沿海经济带发展研究院 湛江 524088)

摘要: 环境与经济的关系是社会发展中不可忽视的重要问题。文章基于环境库茨涅兹理论构建广东沿海经济带主要海洋污染物排放量与人均 GDP 的线性回归模型, 探索海洋环境随经济增长的变化规律, 并采用熵变方程法进一步描述海洋环境与经济增长的协调关系。研究结果表明: 广东沿海经济带以第二和第三产业为主导, 经济增长速度快, 但海洋污染物排放量逐年增加, 其中珠三角是海洋污染物排放的主体区域; 广东沿海经济带海洋环境与经济增长的 EKC 曲线因主要海洋污染物类别和地区的差异而呈现线型、“倒 U”型、“N”型和“倒 N”型等不同形式, 整体海洋环境污染与人均 GDP 的拟合趋势表现为单调递增的线性变化, 海洋环境污染程度随经济增长而显著加剧; 广东沿海经济带海洋环境与经济增长处于严重不协调状态, 经济增长与海洋环境质量的变化方向相反; 亟须优化调整广东沿海经济带的产业分工布局, 强化海洋环境保护制度保障, 构建和完善海洋环境与经济增长的协调机制。

关键词: 广东沿海经济带; 海洋环境; 经济发展; 海洋污染; 环境库茨涅兹理论

中图分类号: X196:P74

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2021)04-0016-11

An Empirical Study on Coordinative Relation Between Marine Environment and Economic Growth in Guangdong Coastal Economic Zone

ZHANG Yuqiang, LI Minliang

(Guangdong Coastal Economic Belt Development Research Institute, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: The relationship between environment and economy is an important issue that can't be ignored in social development. Based on the theory of Environmental Kuznets, this paper constructed a linear regression model of marine pollutant emission and per capita GDP to explore the law of marine environment changing with economic growth in Guangdong Coastal Economic Zone. The coordinated developing state of marine environment and economic growth was described by using

收稿日期: 2020-07-21; 修订日期: 2021-03-24

基金项目: 湛江市哲学社会科学规划重点项目“湛江打造现代化沿海经济带重要发展极的战略研究”(ZJ20ZD02); 广东海洋大学“创新强校”项目“广东沿海经济带府际博弈及整体性治理研究”(230419109)。

作者简介: 张玉强, 教授, 博士, 研究方向为公共政策和海洋管理

the method of entropy change equation. The results showed that Guangdong Coastal Economic Zone was dominated by secondary and tertiary industries with rapid economic growth, but the pollutant emissions increased year by year. The Pearl River Delta was the main area of pollutant emissions. Because of the differences of pollutant types or regions, the EKC curves of marine environment and economic growth showed different shapes, such as linear shape, inverted “U” shape, “N” shape and inverted “N” shape. The fitting trend of regional marine environmental pollution and per capita GDP showed a monotonous and increasing linear change and the degree of pollution increased significantly with economic growth. The quality of the marine environment and economic growth were in a state of serious disharmony and change in the opposite direction. Therefore, it was necessary to optimize and adjust the distribution of industrial division in the economic zone, strengthen the institutional guarantee of environmental protection in coastal areas, and build and improve the coordination mechanism between marine environment and economic development.

Keywords: Guangdong Coastal Economic Zone, Marine environment, Economic development, Marine pollution, The theory of Environmental Kuznets

0 引言

沿海地区是城市分布和产业聚集的主要区域,全球近75%的大城市和超过70%的工业资本集聚于此^[1]。中国沿海地区是改革开放的前沿,在吸引人才、集聚资金和研发技术等方面具有内陆地区无法比拟的优势。广东海岸线长度为4 114.4 km,居全国之首。为充分利用沿海开放优势和解决区域发展不平衡问题,2017年广东省人民政府发布《广东省沿海经济带综合发展规划(2017—2030年)》,将省内15个沿海城市及其周边海域进行统一规划,组建形成广东沿海经济带;明确指出坚持保护和开发并重,实施陆源污染防治与海洋环境整治并举,建立陆海环境保护长效机制,推进沿海经济带生态文明建设^[2]。可见,广东沿海经济带建设十分重视海洋环境保护和治理工作。一方面,广东沿海经济带是广东新的区域经济增长极,对经济增长的要求更高;另一方面,在生态文明理念和海洋环境保护意识日益引起重视的背景下,经济增长不能以牺牲海洋环境为代价。为此,广东沿海经济带必须实现经济增长与海洋环境的共生和协调。这就引发现实问题即当前二者能否实现协调发展,同时引发潜在问题即应如何实现更好的协调发展,这是本研究力图回答的问题。

根据环境库茨涅兹理论,经济增长与环境污染的环境库茨涅兹曲线(EKC曲线)呈“倒U”型。其对应的理论解释为:在经济发展初期,由于产业水平较低和技术条件落后,增长方式过于粗放,污染排放迅速上升,生态环境急剧恶化,并对经济发展形成反作用力,随着污染程度的加剧,环境对经济增长的制约力度也在增强;当环境质量下降至某个临界点时,政府环境规制将不断提高污染排放成本,政策作用力引导经济结构向低污染方向转变,环境污染将得到缓解,甚至出现经济增长与环境质量同时提升的局面。我国学者在海洋环境与经济增长的关系研究中大量引入该理论,并验证“倒U”型EKC曲线的存在。付秀梅等^[3]在分析中国经济增长与海洋环境污染的关系时发现,多数污染物排放指标与经济增长的EKC曲线都表现为“倒U”型;王诺等^[4]在对环渤海沿海13个城市的研究中发现,环渤海地区城镇污水入海量、废水入海总量与人均GDP均呈“倒U”型变化;李佳桐等^[5]通过海南省经济与海洋环境数据指标的拟合,证实“倒U”型曲线的存在。与此同时,部分学者对该理论持质疑态度,认为“倒U”型EKC曲线是非常理想化的发展状态,由于地区差异和指标差异的存在,EKC曲线会表现出不同的形式。孙康等^[6]提出我国渤海、

黄海和东海地区的环境污染与经济增长均呈“U”型变化,而南海环境污染与渔民人均收入呈“倒 N”型变化;刘铁鹰等^[7]提出海洋环境对污染物的承载力是有限的,当污染物排放超出环境阈值时,海洋环境将不可修复,“倒 U”型曲线就不会出现;王光升等^[8]在实证中发现,中国沿海地区的海洋环境污染问题不会随经济总量增长而自发解决,政府环境规制的缺位更容易导致 EKC 曲线趋于单调递增。以上研究成果表明,运用 EKC 曲线研究经济增长与海洋环境的关系已极为成熟,类似的方法同样适用于分析广东沿海经济带海洋环境与经济增长的关系。但单一运用 EKC 曲线并不能全面展现海洋环境与经济增长的动态关系,通过改进思路,可将 EKC 曲线与协调分析方法相结合,发挥方法复合“1+1>2”的优势效用,充分呈现经济增长与海洋环境在发展过程中的动态变化和协调状态,进一步总结经济增长与海洋环境的相互关系和发展规律。

本研究分析广东沿海经济带海洋环境与经济增长的协调关系。根据环境库茨涅兹理论构建主要海洋污染物排放量与人均 GDP 的 EKC 模型,从

拟合曲线的发展趋势、主要转折点和变化速率中理清海洋环境与经济增长的变动关系;运用熵变方程法呈现经济增长与海洋环境协调状态的变化过程,综合分析广东沿海经济带经济增长与海洋环境之间的发展问题和制约因素,并以此为依据提出相应的对策建议,以期对广东沿海经济带的可持续发展有所助力。

1 研究方法 with 指标数据

1.1 研究方法

1.1.1 EKC 曲线

EKC 曲线刻画环境随着经济增长的变化过程,常见趋势为“倒 U”型^[9],在实际发展中也存在线型、“U”型、“N”型和“倒 N”型等多种形式。本研究通过总结现实中可能出现的曲线走向,构建更全面的回归模型,具体表达式为:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \beta_2 X_t^2 + \beta_3 X_t^3 + \delta_t \tag{1}$$

式中: Y_t 为海洋环境量化指标,一般以污染物排放量表示; X_t 为经济增长量化指标,一般以人均 GDP 表示; δ_t 为随机误差项; β 为自变量系数,其取值决定拟合曲线的表现形式(表 1)。

表 1 不同条件下海洋环境与经济增长拟合曲线的变化趋势

曲线形状	成立条件	变化趋势	转折点类别	转折点取值
线型	$\beta_2 = \beta_3 = 0, \beta_1 > 0$	单调递升	—	—
	$\beta_2 = \beta_3 = 0, \beta_1 < 0$	单调递降	—	—
“U”型	$\beta_3 = 0, \beta_2 > 0$	下降—上升	最小值	$X = -\beta_1 / (2\beta_2)$
“倒 U”型	$\beta_3 = 0, \beta_2 < 0$	上升—下降	最大值	$X = -\beta_1 / (2\beta_2)$
“N”型	$\beta_3 > 0, 4\beta_2^2 - 12\beta_1\beta_3 \leq 0$	递升,升速先缓后急	无极值点,升速最小值	$X = -\beta_2 / (3\beta_3)$
	$\beta_3 > 0, 4\beta_2^2 - 12\beta_1\beta_3 > 0$	上升—下降—上升	极大值,极小值	$X = (-2\beta_2 \pm \sqrt{4\beta_2^2 - 12\beta_1\beta_3}) / (6\beta_3)$
“倒 N”型	$\beta_3 < 0, 4\beta_2^2 - 12\beta_1\beta_3 > 0$	下降—上升—下降	极大值,极小值	$X = (-2\beta_2 \pm \sqrt{4\beta_2^2 - 12\beta_1\beta_3}) / (6\beta_3)$
	$\beta_3 < 0, 4\beta_2^2 - 12\beta_1\beta_3 \leq 0$	递降,降速先缓后急	无极值点,降速最小值	$X = -\beta_2 / (3\beta_3)$

1.1.2 熵变方程法

在经济增长与海洋环境的协调关系研究中,常用的量化指标为耦合协调度。但耦合协调度主要体现二者的发展水平和差距,而缺少对主体相互增长状态的刻画。研究经济增长与海洋环境协调关系的重点并不在于二者的差距,而在于其相互增长关系。经济增长与海洋环境协调发展意味着二者

相辅相成和共同促进,即经济高质量发展减少污染排放从而改善生态环境,而环境好转进一步为经济增长提供有力保障。因此,本研究选择更能表现经济增长与海洋环境动态协调关系的熵变方程法。

熵变方程法是用于衡量 2 个系统相关关系的方法^[10],表达式为:

$$\Delta E(t) = E(t) - E(t - \Delta t) \tag{2}$$

$$\Delta P(t) = P(t) - P(t - \Delta t) \tag{3}$$

式中: $E(t)$ 和 $P(t)$ 分别表示经济增长水平和海洋环境污染水平; $\Delta E(t)$ 和 $\Delta P(t)$ 分别表示经济增长水平和海洋环境污染水平的变化。

根据 $\Delta E(t)$ 和 $\Delta P(t)$ 的数值确定经济与环境系统的协调情况,并对应坐标系中的不同区域(图 1)。

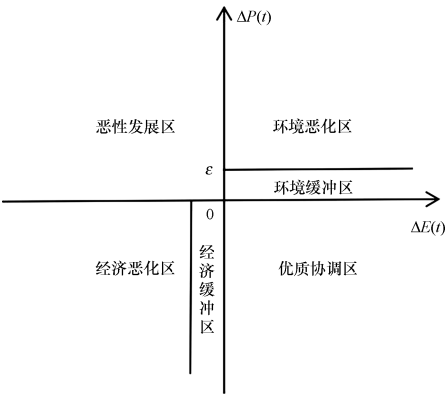


图 1 经济增长与海洋环境的耦合协调状态分布

(1)第一象限,即 $\Delta E(t) > 0$ 且 $\Delta P(t) > 0$,表示经济增长加剧环境污染。引入缓冲量 ϵ 后可细分为:当 $|\Delta P(t)/P(t-1)| \leq \epsilon$ 时,位于环境恶化缓冲区,污染水平处于可承受范围内;当 $|\Delta P(t)/P(t-1)| > \epsilon$ 时,位于环境恶化区,污染物排放超出环境承载力,环境恶化趋势已不可逆转,继续任由发展可能导致协调状态由第一象限转变为第二象限。

(2)第二象限,即 $\Delta E(t) < 0$ 且 $\Delta P(t) > 0$,位于恶性发展区,意味着经济水平和环境质量同步下降,此时环境污染成为经济增长的制约因素。

(3)第三象限,即 $\Delta E(t) < 0$ 且 $\Delta P(t) < 0$,表示通过抑制经济增长以减少污染物排放。引入缓冲量 ϵ 后可细分为:当 $|\Delta E(t)/E(t-1)| \leq \epsilon$ 时,位于经济恶化缓冲区,经济衰退尚处在可控范围;当 $|\Delta E(t)/E(t-1)| > \epsilon$ 时,位于经济恶化区,经

济下降趋势难以控制,产业发展逐渐衰落。
(4)第四象限,即 $\Delta E(t) > 0$ 且 $\Delta P(t) < 0$,位于优质协调区,意味着经济水平和环境质量同步提升,二者实现耦合协调良性发展。

1.2 指标数据

经济增长量化指标通常选择人均 GDP。海洋污染的评估相对复杂,如不同形式的污染物排入海、固体垃圾不容忽视以及废气排放促成酸雨间接影响海洋环境。对海洋环境影响最直接的是水体污染,海洋污染有 90%来自水体污染^[11]。本研究选取固体废物、生活污水、工业废水和工业废气等主要海洋污染物排放量,衡量海洋环境中不同来源和不同形态的污染。研究数据采集于历年《广东省统计年鉴》。

2 广东沿海经济带经济增长与海洋环境状况

2.1 经济发展

广东沿海经济带集聚省内超过 80%的人口,GDP 占比超过全省的 95%,是广东经济构成的主体区域,也是国内最发达的地区之一。广东沿海经济带经济发展动力充足:GDP 总量逐年攀升,年均增长率为 8.84%;近期虽面临经济转型压力,GDP 增速有所下滑,但仍维持在 7%以上水平;人均 GDP 高于国家平均水平,远超国内其他经济带;产业发展处于优化升级的关键时期,第一和第二产业占比逐年降低,第三产业占比显著提升,整体进入后工业化时期;城市发展日新月异,城市规模不断壮大,城镇化率逐年上升,城镇发展水平居于全省甚至全国前列。

然而广东沿海经济带空间发展极不均衡,地方经济水平差距很大。2018 年广东沿海经济带主要城市的经济发展指标如表 2 所示。

表 2 2018 年广东沿海经济带主要城市的经济发展指标

城市	GDP/ 亿元	人均 GDP/元	第一产业 占比/%	第二产业 占比/%	第三产业 占比/%	常住人口/ 万人	城镇人口/ 万人	城镇化 率/%
广州	22 859.35	153 373.16	1.0	27.3	71.7	1 490.44	1 287.44	86.38
深圳	24 221.98	185 942.46	0.1	41.1	58.8	1 302.66	1 299.40	99.75
珠海	2 914.74	154 129.34	1.7	49.2	49.1	189.11	170.35	90.08
佛山	9 935.88	125 679.95	1.5	56.5	42.0	790.57	750.88	94.98

续表								
城市	GDP/ 亿元	人均 GDP/元	第一产业 占比/%	第二产业 占比/%	第三产业 占比/%	常住人口/ 万人	城镇人口/ 万人	城镇化 率/%
惠州	4 103.05	84 949.28	4.3	52.7	43.0	483.00	341.77	70.76
东莞	8 278.59	98 646.24	0.3	48.6	51.1	839.22	763.86	91.02
中山	3 632.70	109 749.24	1.7	49.0	49.3	331.00	292.44	88.35
江门	2 900.41	63 077.07	7.0	48.5	44.5	459.82	305.78	66.50
汕头	2 512.05	44 551.74	4.4	50.8	44.8	563.85	397.01	70.41
汕尾	920.32	30 742.92	14.5	44.2	41.3	299.36	165.10	55.15
潮州	1 067.28	40 174.66	7.1	48.6	44.3	265.66	173.48	65.30
揭阳	2 152.47	35 347.82	7.6	52.2	40.2	608.94	311.66	51.18
阳江	1 350.31	52 837.30	16.2	34.4	49.4	255.56	134.45	52.61
湛江	3 008.39	41 030.96	17.7	36.1	46.2	733.20	315.35	43.01
茂名	3 092.18	48 979.60	16.0	38.1	45.9	631.32	271.47	43.00

珠三角是广东沿海经济带经济增长的主力，GDP 占比达 84.83%；而粤东和粤西的经济发展水平远不及珠三角，GDP 占比仅有 15.17%，其中粤东和粤西分别为 7.15%和 8.02%。①珠三角内部已形成“中心城市-次级中心-边缘城市”的空间格局：中心城市的产业发展日趋完善，广州和深圳等一线城市的第三产业尤其发达；佛山和东莞等次级中心位于两大中心城市的经济辐射叠加区域，经济实力强于边缘城市；其他城市多以第二产业为主导，其中惠州和江门等的工业占比仍很高。②粤东的第

二产业在经济结构中占据绝对优势，汕头和揭阳的第二产业占比超过 50%；汕尾的第一产业占比仍很高。③粤西的经济发展水平略高于粤东，但湛江、茂名和阳江的第一产业占比在整个广东沿海经济带内排在前列，产业化程度不及粤东；此外，城镇化率最低，尚未达到国家平均水平，也落后于珠三角和粤东。

2.2 主要海洋污染物

2006—2017 年广东沿海经济带主要海洋污染物的排放情况如表 3 所示。

表 3 2006—2017 年广东沿海经济带主要海洋污染物的排放情况

地区	主要海洋污染物 排放量	年份											
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
广东 沿海 经济带	固体废物/万 t	1 845	2 316	2 840	2 693	3 132	3 559	3 478	3 536	3 562	3 461	3 671	4 316
	生活污水/万 t	378 591	397 097	415 744	440 534	473 800	550 100	590 036	630 900	666 100	662 800	730 000	672 589
	工业废水/万 t	135 393	198 521	177 012	158 124	155 600	129 300	149 700	142 500	149 500	129 600	108 000	109 353
	工业废气/亿 Nm ³	10 142	13 209	14 956	15 438	18 449	22 901	20 672	22 135	22 673	22 900	29 999	33 041
珠三角	固体废物/万 t	1 464	1 747	2 039	1 960	2 122	2 447	2 518	2 505	2 345	2 083	2 099	2 351
	生活污水/万 t	305 097	312 700	327 278	345 685	378 600	455 000	486 800	530 200	565 600	563 200	622 000	558 160
	工业废水/万 t	105 515	166 263	142 051	125 432	124 000	99 500	120 600	112 700	122 300	100 500	87 000	90 972
	工业废气/亿 Nm ³	8 643	11 038	12 171	12 375	14 049	18 039	15 607	16 381	16 624	16 830	20 801	22 282
粤东	固体废物/万 t	117	206	253	228	321	419	380	424	435	439	385	530
	生活污水/万 t	41 612	50 896	53 427	53 393	57 000	57 000	60 000	59 200	58 400	59 300	64 000	65 718
	工业废水/万 t	14 052	17 118	18 413	17 518	17 500	14 500	13 700	16 800	14 000	16 000	12 000	9 769
	工业废气/亿 Nm ³	521	806	1 166	1 414	1 685	2 526	2 412	2 967	2 948	2 860	2 551	3 801

续表

地区	主要海洋污染物 排放量	年份											
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
粤西	固体废物/万 t	264	364	548	505	688	693	580	607	781	940	1 187	1 436
	生活污水/万 t	31 882	33 501	35 040	41 457	38 200	38 100	43 236	41 500	42 100	40 300	44 000	48 711
	工业废水/万 t	15 826	15 140	16 548	15 174	14 100	15 300	15 400	13 000	13 200	13 100	9 000	8 612
	工业废气/亿 Nm³	978	1 365	1 619	1 649	2 715	2 336	2 652	2 787	3 102	3 211	6 647	6 959

2.2.1 固体废物

广东沿海经济带固体废物排放量的年均增长率为 8.53%，除 2009 年、2012 年和 2015 年略有减少外，其余年份均有增长。珠三角的固体废物排放量缓慢增长，年均增长率为 4.85%，相对占比由 2006 年的 79.33% 降至 2017 年的 54.46%，其中广州和深圳排放占比的下降趋势最明显，但广州和东莞的排放量仍很大，占比超过整个经济带的 12%。粤东的固体废物排放量波动增长，年均增长率为 17.37%，相对占比由 2006 年的 6.35% 升至 2017 年的 12.28%，其中汕头和揭阳的排放量较大。粤西的固体废物排放形势最为严峻，年均增长率为 18.37%，相对占比由 2006 年的 14.32% 升至 2017 年的 33.27%，其中湛江和阳江的排放量甚至超过珠三角多数城市。

2.2.2 生活污水

广东沿海经济带生活污水排放量逐年增长，年均增长率为 4.05%。珠三角生活污水排放量的年均增长率为 4.48%，占整个经济带的 81.18%，其中广州的排放量最大且占比最高，深圳、东莞和佛山的排放量占比也很高。粤东生活污水排放量的年均增长率为 3.02%，相对占比由 2006 年的 10.83% 降至 2017 年的 9.65%，其中汕头的排放量最大且增长率很快。粤西生活污水排放量的增长速度最慢，年均增长率为 1.86%，相对占比也逐年下降，排放量由高至低依次为湛江、茂名、阳江。

生活污水排放量与人口增长量显著正相关。从广东沿海经济带生活污水排放量的空间差异来看，珠三角人口分布较密集，且人口流入和增长的速度高于粤东和粤西。因此，珠三角生活污水排放已成为海洋污染的主要来源。

2.2.3 工业废水

广东沿海经济带工业废水排放量的波动性较

大，年均减少率为 0.57%，但减少趋势很不明显。珠三角工业废水排放量的相对占比高于 80%，其变化趋势对整个经济带海洋环境的影响最大，其中佛山和东莞等工业主导型城市的排放量最大。粤东工业废水排放量的年均减少率为 1.96%，其中汕头和揭阳的排放量较大，尤其汕头排放量的增长趋势突出，相对占比逐年提升。粤西工业废水排放量的年均减少率为 4.7%，湛江和茂名的排放量较大，其中湛江的变化波动性较大，而茂名的减少趋势更加明显。

2.2.4 工业废气

广东沿海经济带工业废气排放量的年均增长率为 12.02%，其中 2007 年和 2016 年的增幅都超过 30%。珠三角工业废气排放量的年均增长率为 9.68%，除 2012 年有所减少外，其他年份均有增长，其中东莞、广州、深圳和惠州的排放量较大。粤东工业废气排放量的年均增长率为 22.07%，相对占比不断提升，其中汕头的排放量最大。粤西工业废气排放量的增速最明显，年均增长率为 23.26%，除 2011 年有所减少外，其他年份均有增长，其中湛江的排放量相对占比最高，2016 年直接由 4.71% 升至 14.67%。工业废气直接导致酸雨的产生，因此工业废气排放量大的城市通常也是酸雨污染的重灾区。

2.2.5 海洋污染综合水平

根据 4 个主要污染物指标计算海洋污染综合水平得分，分值越高表明海洋环境污染越严重。经主成分分析和计算得到的海洋污染综合水平得分囊括原始数据的大部分信息，其中广东沿海经济带海洋污染综合水平得分的总方差解释为 95.99%，珠三角、粤东和粤西海洋污染综合水平得分的总方差解释分别为 91.87%、96.38% 和 90.40%。

根据海洋污染综合水平得分,珠三角、粤东和粤西的污染水平动态上升,表明海洋环境不断恶化。珠三角 2011 年前的污染水平上升较快,2011 年后逐渐平缓。粤东 2006—2008 年的污染水平急剧上升,2008 年后开始上下波动,海洋环境恶化态势没有扩大。粤西污染水平的剧烈上升激化经济与环境的发展矛盾,其中 2006—2010 年海洋环境逐渐恶化,2010—2015 年污染水平低于珠三角和粤东且升速稍显平缓,2015 年后沿海重工业的快速发展导致污染水平急剧上升。总体来看,广东沿海经济带的海洋污染综合水平逐年上升,发展趋势与珠三角的重合度较高,其中 2006—2011 年升速较快,

2011—2015 年升速减缓,2015 年后快速上升。

3 广东沿海经济带海洋环境与经济增长的 EKC 验证

分别构建主要海洋污染物排放量与人均 GDP 的拟合方程,观察不同曲线的拟合效果,综合拟合优度、方程显著性和参数显著性等回归指标,选取解释能力强和参数估计值统计显著的拟合方程。

根据主要海洋污染物的差异,广东沿海经济带海洋环境与经济增长的 EKC 曲线表现出不同形式,经济带内部不同区域的 EKC 曲线也不尽相同(表 4)。

表 4 主要海洋污染物排放量与人均 GDP 的拟合方程参数估计和变化趋势

地区	主要海洋污染物	β_0	β_1	β_2	β_3	R^2	F	拟合曲线	拐点
广东沿海经济带	固体废物	-8 370.07	0.502 8	-7.19E-6	3.46E-11	0.970 2	86.9	“N”型	69 321.34
	生活污水	669 299.80	-23.012 7	0.000 527	-2.97E-9	0.988 2	223.5	“倒 N”型	28 888.48,89 405.57
	工业废水	203 347.00	-0.920 4	—	—	0.530 5	11.3	线型	—
	工业废气	-57 464.29	3.393 7	-5.09E-5	2.65E-10	0.962 6	68.6	“N”型	64 025.16
	污染综合水平	-2.207 265	3.49E-5	—	—	0.952 4	200.100	线型	—
珠三角	固体废物	-1 211.39	0.074 2	-3.77E-7	—	0.797 7	17.7	“倒 U”型	98 362.07
	生活污水	847 931.80	-26.825 6	0.000 399	-1.61E-9	0.986 9	200.2	“倒 N”型	46 968.24,118 249.15
	工业废水	165 450.90	-0.566 6	—	—	0.612 2	7.1	线型	—
	工业废气	-53 403.63	2.208 4	-2.39E-5	8.78E-11	0.941 7	43.1	“N”型	90 736.52
	污染综合水平	-3.998 820	7.01E-5	-2.54E-10	—	0.919 0	50.872	“倒 U”型	137 992.13
粤东	固体废物	-220.50	0.038 9	-5.58E-7	—	0.894 6	38.2	“倒 U”型	34 898.75
	生活污水	-29 342.00	10.599 6	-0.000 427	5.73E-9	0.958 7	61.9	“N”型	25 483.60
	工业废水	10 140.21	0.734 0	-2.00E-5	—	0.612 2	7.1	“倒 U”型	18 349.65
	工业废气	-2 055.06	0.269 8	-3.40E-6	—	0.916 7	49.5	“倒 U”型	39 679.26
	污染综合水平	-5.119 432	0.000 432	-8.09E-9	—	0.715 0	11.306	“倒 U”型	26 699.63
粤西	固体废物	-2 643.29	0.370 2	-1.39E-5	1.74E-10	0.972 4	93.8	“N”型	26 628.35
	生活污水	-15 885.82	5.760 5	-0.000 198	2.27E-9	0.845 0	14.5	“N”型	29 074.89
	工业废水	10 477.20	0.522 7	-1.28E-5	—	0.858 9	27.4	“倒 U”型	20 419.10
	工业废气	-10 948.16	1.538 7	-6.01E-5	7.88E-10	0.908 8	26.6	“N”型	25 423.01
	污染综合水平	-8.373 320	0.000 9	-3.38E-8	4.30E-13	0.961 0	66.443	“N”型	26 201.55

3.1 广东沿海经济带的 EKC 曲线

在广东沿海经济带主要海洋污染物排放量与人均 GDP 的拟合方程中,除工业废水外,其他方程的拟合优度均超过 95%,表明模型的解释能力强,F 检验和 T 检验均统计显著。

(1)固体废物排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3 > 0, 4\beta_2^2 - 12\beta_1\beta_3 < 0$,对照表 1 可知该函数

的拟合图像为单调递增的“N”型曲线,虽不存在极值点,但增长速率呈现先缓后急的变化。当人均 GDP 为 69 321.34 元时,固体废物排放量增速最为平缓,对应年份为 2012 年;2012 年后固体废物排放量增长速率高于人均 GDP,污染恶化趋势加剧。

(2)生活污水排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3 < 0, 4\beta_2^2 - 12\beta_1\beta_3 > 0$,对照表 1 可知该函数

的拟合图像为“下降—上升—下降”的“倒 N”型曲线,存在 2 个极值点。当人均 GDP 为 28 888.48 元时,生活污水排放量处于极小值点;当人均 GDP 为 89 405.57 元时,生活污水排放量位于极大值点,对应年份为 2016 年;2016 年后生活污水排放量又出现下降趋势。

(3)工业废水排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_2=\beta_3=0,\beta_1<0$,对照表 1 可知该函数的拟合图像为单调递减的线型变化,模型参数都具有统计意义。分析显示,广东沿海经济带工业废水排放量随经济增长呈波动减少趋势,在第一和第二产业向第三产业成功转型后,工业废水污染将进一步缓解。

(4)工业废气排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3>0,4\beta_2^2-12\beta_1\beta_3<0$,对照表 1 可知该函数的拟合图像为单调递增的“N”型曲线,虽不存在极值点,但增长速率呈现先缓后急的变化。当人均 GDP 为 64 025.16 元时,工业废气排放量增速最低,对应年份为 2012 年;2012 年后工业废气排放量随人均 GDP 增长而增长,且增速越来越高。

总体来看,广东沿海经济带海洋污染综合水平与人均 GDP 的拟合曲线为单调递增的线型变化,主要海洋污染物排放量与经济增长存在显著的正相关关系,即在经济增长的同时产生大量海洋污染物,加速海洋环境的恶化。

3.2 广东沿海经济带内部的 EKC 曲线

3.2.1 珠三角

在珠三角主要海洋污染物排放量与人均 GDP 的拟合方程中,除固体废物和工业废水外,其他方程的拟合优度都很高。

(1)固体废物排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3=0,\beta_2<0$,对照表 1 可知该函数的拟合图像为“上升—下降”的“倒 U”型曲线,并以人均 GDP 为 98 362.07 元为拐点。当人均 GDP 为 98 362.07 元时,固体废物排放量增速最高,对应年份为 2012 年;2012 年后经济发展模式的转变促使固体废物排放量减少。

(2)生活污水排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3<0,4\beta_2^2-12\beta_1\beta_3>0$,对照表 1 可知该函数的拟合图像为“下降—上升—下降”的“倒 N”型曲

线,存在 2 个极值点。当人均 GDP 为 46 968.24 元时,生活污水排放量处于极小值点,对应年份为 2006 年;当人均 GDP 为 118 249.15 元时,生活污水排放量处于极大值点,对应年份为 2016 年;2016 年后生活污水排放量随经济增长而有所回落。

(3)工业废水排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_2=\beta_3=0,\beta_1<0$,对照表 1 可知该函数的拟合图像为单调递减的线型变化,变量间存在负相关关系,即工业废水排放量随着经济增长而有所减少。

(4)工业废气排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3>0,4\beta_2^2-12\beta_1\beta_3<0$,对照表 1 可知该函数的拟合图像为单调递增的“N”型曲线,虽不存在极值点,但增长速率呈现先缓后急的变化。当人均 GDP 为 90 736.52 元时,工业废气排放量增速最为平缓,对应年份为 2012 年;2012 年后工业废气排放量增速急剧提高。

总体来看,珠三角海洋污染综合水平与人均 GDP 的拟合曲线为“倒 U”型,符合 EKC 曲线假设。目前珠三角主要海洋污染物排放量逐年增长,海洋环境质量好转的拐点尚未来临。

3.2.2 粤东

在粤东主要海洋污染物排放量与人均 GDP 的拟合方程中,除工业废水外,其他方程的拟合优度都很高。

(1)固体废物排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3=0,\beta_2<0$,对照表 1 可知该函数的拟合图像为“上升—下降”的“倒 U”型曲线,并以人均 GDP 为 34 898.75 元为拐点。当人均 GDP 为 34 898.75 元时,固体废物排放量增速最高,对应年份为 2017 年;2017 年后固体废物排放量有减少趋势。

(2)生活污水排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3>0,4\beta_2^2-12\beta_1\beta_3<0$,对照表 1 可知该函数的拟合图像为单调递增的“N”型曲线,虽不存在极值点,但增长速率呈现先缓后急的变化。当人均 GDP 为 25 483.60 元时,生活污水排放量增速最高,对应年份为 2014 年;2014 年后生活污水排放量增速降至最低后又开始回升。

(3)工业废水排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3=0,\beta_2<0$,对照表 1 可知该函数的拟合图像

为“上升—下降”的“倒 U”型曲线,并以人均 GDP 为 18 349.65 元为拐点。当人均 GDP 为 18 349.65 元时,工业废水排放量增速最高,对应年份为 2010 年;2010 年后工业废水排放量开始减少,且减速越来越快,表明工业废水污染在一定程度上得到控制。

(4)工业废气排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3=0, \beta_2<0$, 对照表 1 可知该函数的拟合图像为“上升—下降”的“倒 U”型曲线,并以人均 GDP 为 39 679.26 元为拐点。当人均 GDP 为 39 679.26 元时,工业废气排放量增速最高;然而截至 2017 年粤东的人均 GDP 也未达到该拐点,意味着工业废气排放量增长的转折点尚未出现,工业废气污染加剧的趋势未得到有效控制。

总体来看,粤东海洋污染综合水平与人均 GDP 的拟合曲线为“倒 U”型,符合 EKC 曲线假设。当人均 GDP 为 26 699.63 元时海洋污染综合水平最高,对应年份为 2011 年,2011 年后出现下降趋势。就目前形势来看,粤东海洋环境污染控制在整个经济带内是最好的。

3.2.3 粤西

粤西主要海洋污染物排放量与人均 GDP 拟合方程的解释能力极强,拟合优度超过 80%。

(1)固体废物排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3>0, 4\beta_2^2-12\beta_1\beta_3<0$, 对照表 1 可知该函数的拟合图像为单调递增的“N”型曲线,虽不存在极值点,但增长速率呈现先缓后急的变化。当人均 GDP 为 26 628.35 元时,固体废物排放量增速最低,对应年份为 2011 年;2011 年后固体废物排放量增速有所提高,污染不断加剧。

(2)生活污水排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3>0, 4\beta_2^2-12\beta_1\beta_3<0$, 对照表 1 可知该函数的拟合图像为单调递增的“N”型曲线,虽不存在极值点,但增长速率呈现先缓后急的变化。当人均 GDP 为 29 074.89 元时,生活污水排放量增速最低,对应年份为 2012 年;2012 年后曲线斜率明显增大,表明生活污水排放量增速迅速提高。

(3)工业废水排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3=0, \beta_2<0$, 对照表 1 可知该函数的拟合图像为“上升—下降”的“倒 U”型曲线,并以人均 GDP 为

20 419.10 元为拐点。当人均 GDP 为 20 419.10 元时,工业废水排放量增速最高,对应年份为 2010 年;2010 年后工业废水排放量有所回落。

(4)工业废气排放量与人均 GDP 的拟合函数中, $\beta_3>0, 4\beta_2^2-12\beta_1\beta_3<0$, 对照表 1 可知该函数的拟合图像为单调递增的“N”型曲线,虽不存在极值点,但增长速率呈现先缓后急的变化。当人均 GDP 为 25 423.01 元时,工业废气排放量增速最低,对应年份为 2011 年;2011 年后曲线斜率不断增大,表明工业废气排放量增速不断提高。

总体来看,粤西海洋污染综合水平与人均 GDP 的拟合曲线为“N”型,海洋环境污染随经济增长而显著加剧,不存在极值点。当人均 GDP 为 26 201.55 元时,海洋污染综合水平增速最平缓,对应年份为 2011 年,2011 年后海洋环境污染问题更加突出。

3.3 广东沿海经济带 EKC 曲线的差异

实证结果显示,根据主要海洋污染物排放量和地区的不同,广东沿海经济带的 EKC 曲线表现出差异性。海洋污染物影响的差异在于固体污染和气体污染的恶化趋势越来越明显,水体污染虽有所控制但排放总量仍很大。长期以来,水体污染一直被视为海洋污染的主要来源,海洋环境保护政策法规多偏重于控制污水排放,从而抑制水体污染的恶化趋势。污水排放对海洋环境的影响极大,然而却不能忽视固体污染和气体污染的危害。今后应加强海洋环境质量监控与评估,对不同来源的污染物制定具有针对性的限制措施和治理办法。

在广东沿海经济带的不同区域中,珠三角的海洋污染物排放量最大,但海洋环境污染的恶化趋势得到明显控制;粤东控制海洋环境污染的成效显著,海洋环境较优,EKC 曲线最符合“倒 U”型假设;粤西处于工业化快速发展时期,工业污染排放量激增,海洋环境与经济增长的 EKC 曲线表现出严重不协调。不同地区的 EKC 曲线存在差异的主要原因在于 3 个方面。①经济规模差异。沿海地区的经济增长对海洋的依赖性很强,其投入部分除人力、物力和财力等传统要素外还包括海洋资源环境要素,产出部分除正常产品外还包括海洋污染物,即无论投入和产出都会对海洋环境产生负面影响,由

此带来的结果就是经济增长以海洋环境污染为代价。②产业结构差异。海洋环境污染差异是产业结构变化最直接的反映。珠三角已逐渐实现第一和第二产业向第三产业的转变,相应地工业污染排放量有所减少;而粤西第二产业占比逐年提高,沿海工业的快速兴起产生大量海洋污染物。③海洋环保政策完善度和执行度差异。粤东的经济实力与粤西相当,但粤东海洋环境污染控制成效更为明显,海洋环境质量明显优于粤西。其根本原因在于粤东实施最严格的海洋环境保护制度,在海洋污染物排放方面防控得当;而粤西出于经济发展需求,

对海洋环境不够重视,海洋环保政策的完善度和执行度相对不足。

4 广东沿海经济带海洋环境与经济增长的协调关系

采用熵变方程法处理经济增长和海洋环境指标,根据广东沿海经济带的发展实际,取 $\epsilon = 7\%$ 以及 $\Delta t = 1$ 。将计算结果与耦合坐标图(图 1)对照,可观察广东沿海经济带经济增长与海洋环境的协调发展动态(表 5)。

表 5 2007—2017 年广东沿海经济带经济增长与海洋环境的协调关系

地区	变动指标	年份										
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
广东 沿海 经济带	$\Delta E(t)$	0.242 0	0.238 4	0.099 0	0.301 8	0.387 0	0.263 2	0.348 7	0.262 6	0.220 9	0.309 7	0.323 8
	$ \Delta E(t)/E(t-1) /\%$	17.0	20.2	10.5	35.9	71.8	173.5	312.9	57.1	30.6	32.8	25.8
	$\Delta P(t)$	0.097 7	0.357 2	0.069 7	0.330 8	0.531 6	-0.103 4	0.167 2	0.066 5	0.031 8	0.509 2	0.234 9
	$ \Delta P(t)/P(t-1) /\%$	8.7	34.9	10.4	55.3	198.9	39.1	103.9	20.3	8.1	119.4	25.1
珠三角	$\Delta E(t)$	0.258 5	0.212 0	0.070 2	0.284 9	0.403 9	0.272 2	0.366 8	0.269 7	0.211 7	0.314 5	0.317 1
	$ \Delta E(t)/E(t-1) /\%$	18.4	18.5	7.5	33.1	70.0	157.5	369.2	57.9	28.8	33.2	25.1
	$\Delta P(t)$	-0.176 9	0.456 8	0.136 2	0.264 8	0.761 1	-0.207 1	0.184 9	-0.086 7	0.032 5	0.459 9	0.073 2
	$ \Delta P(t)/P(t-1) /\%$	18.1	39.6	19.5	47.2	257.3	44.5	71.6	19.6	9.1	118.2	8.6
粤东	$\Delta E(t)$	0.214 6	0.259 8	0.157 1	0.277 2	0.364 9	0.295 2	0.322 3	0.269 8	0.258 2	0.284 2	0.231 7
	$ \Delta E(t)/E(t-1) /\%$	15.0	21.3	16.4	34.6	69.8	186.6	235.3	58.7	35.4	28.8	18.2
	$\Delta P(t)$	1.503 1	0.640 1	-0.206 8	0.507 8	-0.205 6	-0.140 5	0.893 9	-0.642 0	0.482 6	-0.842 7	0.284 1
	$ \Delta P(t)/P(t-1) /\%$	72.7	113.6	270.7	389.4	54.5	81.8	2 860.3	69.4	170.5	110.1	369.0
粤西	$\Delta E(t)$	0.164 6	0.278 1	0.096 3	0.368 6	0.412 5	0.264 4	0.352 3	0.272 1	0.171 3	0.218 8	0.296 1
	$ \Delta E(t)/E(t-1) /\%$	11.6	22.2	9.9	42.1	81.3	278.8	207.8	52.1	21.6	22.7	25.0
	$\Delta P(t)$	0.289 7	0.116 8	0.443 2	0.242 6	-0.179 8	0.208 5	0.200 3	0.195 2	0.060 7	1.303 9	0.526 9
	$ \Delta P(t)/P(t-1) /\%$	22.6	11.8	50.7	56.2	95.1	56.5	125.0	487.6	25.8	440.8	32.9

多年来,广东沿海经济带经济增长与海洋环境位于耦合坐标图的第一象限, $\Delta E(t)$ 和 $\Delta P(t)$ 的平均值分别为 0.272 4 和 0.208 5,处于严重不协调状态。原因在于广东沿海经济带城市重工业和加工制造业的分布过于集中,产生大量工业污染物,污染物过度排放加剧海洋环境的恶化,造成经济增长与海洋环境的关系极度失调。《广东省“十二五”主要污染物总量减排实施方案》的发布和实施有效遏制海洋污染物排放和缓解海洋环境压力,使 2012 年出现优质协调局面。

珠三角主导整个经济带的经济增长, $\Delta E(t)$ 和

$\Delta P(t)$ 的平均值分别为 0.271 0 和 0.172 6,表明海洋环境质量随经济增长而下降;其中,仅在 2007 年、2012 年和 2014 年由于 1 个或多个海洋污染物排放指标骤降而处于优质协调状态,其他年份皆处于环境恶化区。粤西 $\Delta E(t)$ 和 $\Delta P(t)$ 的平均值分别为 0.263 2 和 0.309 8,表明海洋环境质量随经济增长而下降;其中,2011 年由于生活污水和工业废气排放量同时减少而处于优质协调状态,其他年份海洋环境恶化趋势均不断加剧。粤东 $\Delta E(t)$ 和 $\Delta P(t)$ 的平均值分别为 0.266 8 和 0.206 7,经济增长与海洋环境的总体协调趋势并不理想,但对比其他区域

协调性更高,在多个年份(2009 年、2011 年、2012 年、2014 年和 2016 年)处于优质协调状态;在地方环保规制和经济发展需求的双重作用下,粤东海洋污染物排放指标的波动性更强,海洋环境恶化趋势得到明显控制。

5 结语

本研究基于环境库茨涅兹理论构建广东沿海经济带海洋环境与经济增长的拟合模型,并运用熵变方程法刻画二者的协调关系。研究结果表明:①广东沿海经济带在第二和第三产业的主导带动下实现经济高速增长,然而海洋污染物排放量也逐年增加。其中,珠三角经济发展水平最高,但海洋环境污染最为严重;粤东和粤西的经济实力不及珠三角,但海洋污染物排放量也显著增长。②因主要海洋污染物类别和地区存在差异,广东沿海经济带海洋环境与经济增长的 EKC 曲线呈现线型、“倒 U”型、“N”型和“倒 N”型等不同形式;总体来看,广东沿海经济带海洋污染综合水平与人均 GDP 的拟合曲线为单调递增的线型,表明海洋环境恶化形势不断加剧。③广东沿海经济带经济增长与海洋环境处于严重不协调状态;珠三角和粤西的经济增长伴随着海洋环境质量下降;粤东经济增长与海洋环境的协调关系有所缓和,在多个年份出现海洋环境随着经济增长而好转的优质协调状态。

根据环境库茨涅兹理论,经济与环境最终趋向良性发展,但这一结果实现的前提是具备强有力的环境保护规制。广东沿海经济带海洋环境与经济增长的拟合曲线并不完全为“倒 U”型,表明海洋环境与经济增长的协调机制还不成熟,亟须从法律法规、行政机制和经济调控 3 个层面同时发力,不断协调经济与环境的关系。①完善海洋环境保护法律体系,提高政策法规权威性,健全地方生态环保制度。将海洋污染物排放总量控制纳入环保立法,规定排污控制的具体标准和实施办法。②建立可持续的协同发展行政机制。建立省级综合管理机构,

提出切实可行的协同发展目标和实施计划;成员城市安排有关部门积极协调配合,下设子部门负责具体落实,确保省级规划在市级层面的顺利推进。

③充分发挥经济调控的作用。通过确定排污权初始配给方案和市场价格,形成排污权市场交易常态化运行机制,不仅可提高企业污染排放成本从而限制各类海洋污染物排放,而且能将排污权交易的收益用于海洋环境治理和修复,在促进经济增长与海洋环境协调发展中发挥海洋生态补偿机制的作用。

参考文献

[1] 黄靖,相伟.新时期辽宁省沿海地区产业定位研究[J].资源科学,2008(9):1343—1348.

[2] 广东省人民政府.广东省人民政府关于印发广东省沿海经济带综合发展规划(2017—2030 年)的通知[EB/OL].http://www.gd.gov.cn/gkmlpt/content/0/146/post_146463.html,2019—12—28.

[3] 付秀梅,王娜,项尧尧,等.海洋经济增长与环境污染水平关系的实证分析[J].中国渔业经济,2016,34(5):85—90.

[4] 王诺,李慧,卢月,等.渤海沿岸地区经济发展与入海排污量关系研究[J].海洋湖沼通报,2016(5):28—36.

[5] 李佳桐,俞花美,葛成军.基于 EKC 对海南省经济发展与近海污染的关系研究[J].特区经济,2016(10):23—25.

[6] 孙康,李丽丹.我国海域污染与渔业经济 EKC 关系研究:基于日本海洋渔业发展的启示[J].当代经济管理,2017,39(4):90—97.

[7] 刘铁鹰,李京梅.基于环境容量的中国沿海地区工业废水排放与经济增长关系的区域分异研究[J].软科学,2013,27(8):11—14.

[8] 王光升,郭佩芳,谭映宇,等.基于单位根检验的沿海地区经济增长与海洋环境污染面板数据 EKC 分析[J].海洋环境科学,2014,33(3):425—430.

[9] 沈永昌.“环境库兹涅茨”曲线存在么?来自欠发达地区的证据[J].科学决策,2014(10):66—84.

[10] 许冬兰,王超.基于熵变方程法的我国海洋经济与海洋环境的协调度分析[J].海洋环境科学,2013,32(1):128—132.

[11] 程娜.可持续发展视阈下中国海洋经济发展研究[D].长春:吉林大学,2013.