

经济增长与污染排放的空间耦合分析 ——以工业废水为例

罗海江

中国环境监测总站, 北京 100012

摘要: 为分析改革开放以来工业废水排放与工业产值在空间变化上的耦合过程, 将全国分为 4 个地区, 1981—2011 年分为 4 个阶段, 并引入偏离-份额分析法进行定量计算。结果表明, 1) 31 年来, 中国工业废水排放量呈现“上升-下降-上升-下降”的波动式变化趋势。其中, 1987 年排放量最高, 达 260.3×10^8 t; 1997 年排放量最低, 为 184.5×10^8 t。2) 分省区看, 工业废水排放量相对集中。31 年来, 排放量超过 400×10^8 t 的 5 个省份 (江苏、四川、广东、湖南、浙江) 占全国总量的 37.2%。3) 西部地区工业废水排放强度年均降低 11.8%, 降幅高于东部、东北、中部的 9.9%、10.2%、11.5%。4) 相比于工业产值的增长, 4 大地区间工业废水增长速度的差异更大, 各地间的非均衡增长更为明显。同时在 4 大地区内部, 工业废水排放量的差异也在变大。5) 31 年来, 地区间工业经济经历了“低水平均衡-非均衡-均衡”的过程, 而工业废水排放量则基本向非均衡状态发展。6) 技术因素 (工业废水排放强度) 对废水排放量增量的抑制作用将逐渐减弱, 工业废水增长量受工业产值增长的影响将越来越明显。

关键词: 偏离-份额; 工业废水; 耦合; 污染排放; 经济增长

中图分类号: X22

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2013) 07-1199-05

引用格式: 罗海江. 经济增长与污染排放的空间耦合分析: 经济增长与污染排放的空间耦合分析[J]. 生态环境学报, 2013, 22(7): 1199-1203.

LUO Haijiang. Spatial coupling of economic development and pollution emission: taking industrial wastewater for example [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(7): 1199-1203.

经济与环境的耦合与协调是可持续发展的永恒主题。自可持续发展概念提出以来, 众多学者围绕这一主题在环境库兹涅茨曲线^[1-2]、经济-环境的投入产出分析^[3]、物质流分析^[4-6]、能值分析^[7-8]、环境承载力^[9-11]、经济-环境协调度^[12]、脆弱性^[13]等方面开展了大量卓有成效的研究工作。改革开放以来, 中国经济在快速增长的同时也产生了资源消耗急剧上升、污染物排放大量增加等问题。此外, 不同地区、不同省份之间由于发展速度、产业结构、资源禀赋等方面的差异, 对环境的影响程度与深度也不同。因此, 研究不同地区间、地区内部之间环境与经济的协调与耦合对于理解区域可持续发展具有一定意义。本文借鉴偏离-份额分析法, 以工业废水排放量与工业产值为例, 分析 1981 年以来两者在区域间及区域内部的动态变化过程。

1 研究方法

偏离-份额分析法最初是由 Daniel Creamer 提出并运用于国家资源与产业结构调整研究^[14], 后来被广泛应用于区域经济增长研究^[15-17]。在我国, 该

方法近年来被运用于经济结构调整^[18-19]、能源消费^[20]、产业竞争力^[21]等研究。本文将这一模型用于工业废水排放量与工业产值在空间上的集中或扩散分析。

按照偏离-份额分析法, 一定时期内, 某一地区的工业废水增长量可以分解为“份额”和“偏离”两部分, 份额增长是指当某一地区以整个区域工业废水平均增长率增长时所获得的增长量。偏离增长是指某一地区的工业废水增长对份额增长量的偏差数额, 如果偏离增长量的值为正, 说明: 1) 若全国工业废水排放量在此时间段内增加, 则相对平均水平而言, 该地区工业废水排放量的增长速度较快; 2) 若全国工业废水排放量在此时间段内减少, 则相对平均水平而言, 该地区工业废水排放量的降低速度较慢。也就是说, 如果偏离增长量的值为正值, 工业废水有向该地区集中的趋势。反之, 如果偏离增长量的值为负值, 则说明工业废水向其他地区集中。具体模型如下:

$$T_i = P_i + F_i$$

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2009ZX07106-001-001)

作者简介: 罗海江 (1973 年生), 男, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为环境监测信息利用。E-mail: luohj@cnemc.cn

收稿日期: 2013-05-06

$$P_i = V_{it_1} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{it_1}}{\sum_{i=1}^n V_{it_0}} \right) \cdot V_{it_0}$$

$$P_{intra} = \sum_{j=1}^m P_{intra_j} = \pm 0.5 \cdot \left(\sum_{i=1}^r |P_{ij}| - \left| \sum_{i=1}^r P_{ij} \right| \right)$$

$$P_{inter} = \pm 0.5 \cdot \sum_{j=1}^m \left| \sum_{i=1}^r P_{ij} \right|$$

$$P = P_{intra} + P_{inter}$$

式中： T_i 、 P_i 、 F_i 分别为*i*省在(t_0, t_1)时段内的总增长量、偏离增长量和份额增长量； V_{it_0} 、 V_{it_1} 分别为*i*省在 t_0 、 t_1 时刻的工业废水排放量； P_{intra} 为地区内部不同省域之间的偏离增长量，当 $V_{it_1} > V_{it_0}$ 时， P_{intra} 取+，反之取-。 P_{inter} 为地区之间的偏离增长量，当 $V_{it_1} > V_{it_0}$ 时， P_{inter} 取+，反之取-； n 为省域个数， m 为地区的个数， r 为*j*地区内部的省域数。

同理，可以将此模型运用到工业总产值的分析之中。

2 结果与分析

2.1 数据来源

文中全国及各地区工业废水排放量均来自《中国环境年鉴》^[22]和《中国统计年鉴》^[23]，工业产值数据来自《中国统计年鉴》。为消除价格因素影响，

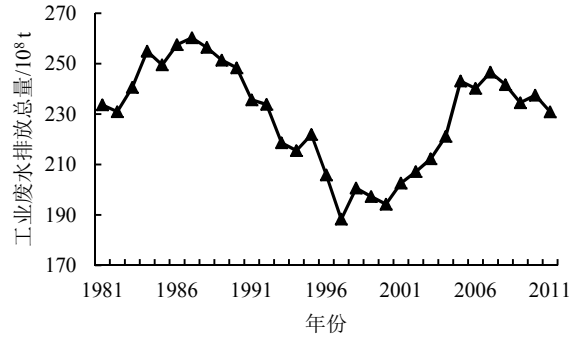


图1 1981—2011年中国工业废水排放量变化趋势

Fig.1 The industrial wastewater discharge in China from 1981 to 2011

各地区工业产值均按1980年价格进行重新计算。重庆市于1997年成立，故在本文将1997年以后重庆市工业产值和废水排放量合并至四川省。

2.2 工业废水排放量动态变化

1981—2011年，全国工业废水排放量呈现“上升-下降-上升-下降”的波动式变化趋势(图1)。1981年，全国共排放工业废水 223.6×10^8 t，经过7年的增长，至1987年排放量达到 260.3×10^8 t，年均增长1.8%；1987—1997年，全国工业废水排放量经过了长达10年的持续下降阶段，年均减排 7.6×10^8 t，减排幅度为3.2%，在1997年达到研究期间的最低峰值 184.5×10^8 t；1997—2005年，工业废水排放量又出现较大幅度的上升态势，年均增长 1.4×10^8 t，增幅为3.2%，但2005年排放量仍小于1987年的峰值；2005—2011年，工业废水排放量年均降低0.8%。

分省区看(图2)，31年来江苏省工业废水排

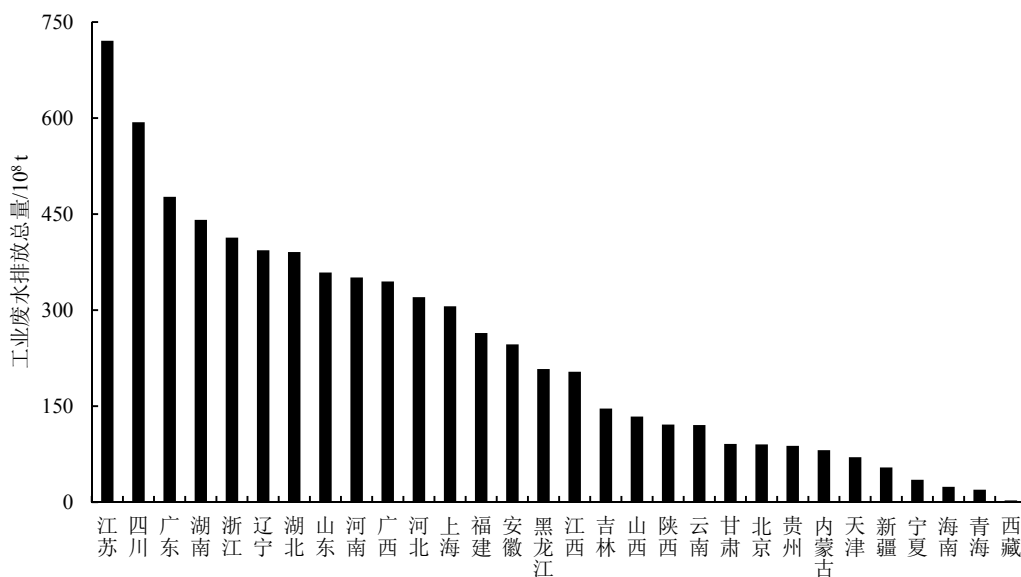


图2 1981—2011年各省份工业废水排放总量

Fig.2 The industry wastewater discharge of every province in 1981—2011

放量最多,达 $721 \times 10^8 \text{t}$, 约占全国排放总量的 1/10。四川(含重庆市)、广东、湖南、浙江 4 个地区排放量大于 $400 \times 10^8 \text{t}$ 。上述 5 省排放量占全国的比重为 37.2%。西藏排放量最少,31 年来共排放 $3 \times 10^8 \text{t}$, 仅为江苏省的 0.4%。青海、海南、宁夏、新疆 5 个省区排放量也在 $70 \times 10^8 \text{t}$ 以内。这 5 个省区的排放量占全国的比重为 1.9%。

2.3 工业废水排放强度区域差异变化

定义地区工业废水排放量与地区工业产值的商为工业废水排放强度。则:2011 年,全国工业废水排放强度为 39 t/万元,东部、东北、中部、西部地区排放强度分别为 39、33、42、40 t/万元。即,东北地区工业生产和废水排放的协调性最好,东部地区次之,中部最差。

从变化幅度看,全国单位工业产值的工业废水排放量年均降低 10.6%。东部、东北、中部、西部地区工业废水排放强度的变化趋势与全国相同,但降低幅度各有不同,分别为 9.9%、10.2%、11.5%、11.8%。因此,单从工业废水排放角度看,在发展的同时,西部地区对污染的控制最为有效。

另外,4 大地区之间工业废水排放强度的差异在逐年缩小。若以东部地区工业废水排放强度为 1,则东部、东北、中部、西部工业废水排放强度的比

值由 1981 年的 1 : 0.9 : 1.8 : 1.9 变化为 1 : 0.8 : 1.1 : 1.0。

2.4 工业废水排放的偏离-份额分析

根据工业废水排放量变化趋势,按上文工业废水排放阶段的划分,分 4 个阶段分别对各地区工业产值和工业废水排放量进行偏离-份额分析。计算结果见表 2。

由偏离-份额增长的计算结果可以看出。

1) 在工业产值的增长量中以份额增长为主,而在工业废水的增长量中以偏离增长为主。在 4 个时间段,工业产值的增长量中,偏离增长量占总增长量的份额一直在 15%~20%,而在第 1、3 阶段,当工业废水排放量增长时,偏离增长的份额达到 70% 和 82%。即各地区工业废水增长速度的差异相比于工业产值增长速度的差异要大,各地之间的非均衡增长更加明显。

2) 除第 3 阶段外,地区内部的工业废水偏离增长量占总偏离增长量的比重呈上升趋势,地区之间的偏离增长所占比重下降。说明在 4 大地区内部,不同省份之间的差异有所扩大。1997—2005 年阶段(第 3 阶段)是工业废水排放量快速增长阶段。此阶段工业废水排放量较大省份的排放量较其他省份增长速度更快,排放量地区间差异有所扩大,地

表 1 工业废水排放强度动态变化

区域	1981 年	1987 年	1997 年	2005 年	2011 年
东部	899	500	97	66	39
东北	814	522	150	71	33
中部	1644	945	173	91	42
西部	1737	914	198	126	40
全国平均	1148	654	134	79	39

表 2 工业废水排放量和工业产值的偏离-份额分析

Table 2 The results of shift-share analysis for the industrial wastewater discharge and industrial output value

增长量分解	1981—1987 年		1987—1997 年		1997—2005 年		2005—2011 年	
	工业废水/ 10^8t	工业产值/ 10^8元	工业废水/ 10^8t	工业产值/ 10^8元	工业废水/ 10^8t	工业产值/ 10^8元	工业废水/ 10^8t	工业产值/ 10^8元
总增长量	26.66	1946.64	-71.97	10105.85	54.78	16553.79	-12.13	28124.18
总份额增长量	8.00	1636.63	-62.78	8405.94	9.77	13999.52	-9.52	22380.02
总偏离增长量	18.66	310	-9.19	1699.91	45.01	2554.27	-2.61	5744.16
地区之间偏离增长量	6.94	56.19	-3.16	883.43	26.82	1855.75	-0.59	3668.18
# 东部	-3.01	-12.27	3.16	657.63	26.27	1855.75	0.24	-3668.18
# 东北	1.69	-43.92	-1.26	-739.11	-10.27	-585.35	-0.26	131.04
# 中部	5.25	48.51	-1.58	225.8	-16.55	-1015.16	0.35	1549.71
# 西部	-3.93	7.68	-0.32	-144.31	0.55	-255.25	-0.33	1987.43
地区内部偏离增长量	11.72	253.82	-6.03	816.49	18.19	698.52	-2.02	2075.98
# 东部	5.23	216.34	-1.61	671.36	10.99	112.67	-1.3	315.67
# 东北	1.96	7.2251	0	0	0	5.04	-0.22	1483.31
# 中部	3.04	12.66	-1.13	51.03	-0.52	184.01	2.02	0
# 西部	1.49	17.6	-3.29	94.09	7.72	396.8	-0.5	277.03

区之间的工业废水偏离增长量占总偏离增长量的比重有所上升。

3) 在第1阶段内,地区内部的工业产值偏离增长量占总偏离增长量的比重为81.9%,此后这一数值迅速下降,在第3阶段已下降至27.4%,地区之间的偏离增长取代地区内部的偏离增长成为偏离增长的主要因素。也就是说,经济发展水平正在由低水平的均衡状态向快速发展的非均衡状态转变。但在第4阶段,在落后地区经济促进政策的影响下,地区间经济差异有所缩小,地区内部的工业产值偏离增长量占总偏离增长量的比重又上升至36.1%。

4) 30年来,各地区工业废水偏离增长量变化方向不同。其中,东部地区由负变正,中部和东北地区由正变负,西部地区基本保持负值。由此可以进一步佐证,在四大地区之间工业废水比例的变化中,东部地区由于工业产值增加、丰富水资源优势等因素,排放比重有所上升,而西部排放比重一直下降。

5) 从各省工业产值和工业废水的偏离增长量看,两者表现出越来越明显的相关性。计算两者的pearson相关系数可以发现,在1981—1987时间段内,两者相关性极弱,仅为0.087,没有表现出相关性;而在1987—1997、1997—2005和2005—2011年时间段内则已升至0.288、0.597和0.622。这种变化趋势在地区层面上也得到了体现:前3个时段的相关系数分别为0.377、0.700、0.988。由此可以看出,工业产值的增加是导致工业废水排放量增长的主要因素,而技术因素,即单位产值废水排放量的作用正在下降,其对废水排放量增量的抑制作用已经不明显。就全国而言,单位产值工业废水排放量已经由1981年的1148 t/万元降低到2011年的39.3 t/万元(均为按1981年价格计算,按当年价格计算,2011年单位产值工业废水排放量已经降为10 t/万元),虽然还有进一步下降的空间,但是下降幅度不可能太大:自上世纪80年代以来,单位产值工业废水排放量的年均下降速率为15.5%,但是2005—2010时间段内的下降速率已经降至11.4%。可以预见,随着今后技术因素的减弱,废水增长量受工业产值增长的影响将会越来越明显。

3 结论与讨论

1) 31年来,中国工业废水排放量呈现“上升-下降-上升-下降”的波动式变化趋势。其中,1987年排放量最高,达 260.3×10^8 t;1997年排放量最低,为 184.5×10^8 t;2011年排放量比1981年减少1.2%。

2) 分省区看,工业废水排放量相对集中。31年来,排放量超过 400×10^8 t的5个省份(江苏、四

川、广东、湖南、浙江)占全国总量的37.2%。

3) 西部地区在发展经济的同时对工业废水的控制最为有效。西部地区工业废水排放强度年均降低11.8%,降幅高于东部、东北、中部的9.9%、10.2%、11.5%。

4) 相比于工业产值的增长,4大地区间工业废水增长速度的差异更大,各地间的非均衡增长更加明显。同时在4大地区内部,工业废水排放量的差异也在变大。

5) 从工业产值的偏离-份额分析结果看,31年来地区间工业经济经历了“低水平均衡-非均衡-均衡”的过程,而工业废水排放量则基本向非均衡状态发展。正是由于两者所呈现出的不完全一致的变化过程导致经济发达东部和东北地区工业废水排放强度降低速度反而低于中西部地区。

6) 全国工业废水排放强度已经由1981年的1148 t/万元降低到2011年的39.3 t/万元,继续降低的潜力越来越小,技术因素(工业废水排放强度)对废水排放量增量的抑制作用将逐渐减弱,工业废水增长量受工业产值增长的影响将越来越明显。

参考文献:

- [1] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Economic growth and the environment[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995(2): 353-377.
- [2] IWATA H, OKADA K, SAMRETH S. Empirical study on the environmental Kuznets curve for CO₂ in France: The role of nuclear energy[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(8): 4057-4063.
- [3] YUAN C Q, LIU S F, XIE N M. The impact on Chinese economic growth and energy consumption of the global financial crisis: An input-output analysis[J]. *Energy*, 2010, 35(4): 1805-1812.
- [4] HUANG C L, VAUSE J, MA H W, et al. Using material/substance flow analysis to support sustainable development assessment: A literature review and outlook[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2012, 68(1): 104-116.
- [5] SCHILLER F. Linking material and energy flow analyses and social theory[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(6): 1676-1686.
- [6] LI M S, ZHANG H M, LI Z, et al. Economy-wide material input/output and dematerialization analysis of Jilin Province (China)[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, 165(1-4): 263-274.
- [7] 李敏, 张小洪, 李远伟, 等. 两个污水处理系统的能值与经济综合分析[J]. *生态学报*, 2012, 32(22): 6936-6945.
- [8] CHERUBINI F, BARGIGLI S, ULGIATI S. Life cycle assessment of urban waste management: energy performances and environmental impacts: The case of Rome, Italy[J]. *Waste Management*, 2008, 28(12): 2552-2564.
- [9] KENNETH A, BERT B, ROBERT C, et al. Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment[J]. *Science*, 1995, 268(3): 520-521.
- [10] 施开放, 刁承泰, 孙秀锋. 基于熵权可拓决策模型的重庆三峡库区水土资源承载力评价[J]. *环境科学学报*, 2013, 33(2): 609-616.
- [11] PRATO T. Fuzzy adaptive management of social and ecological carrying capacities for protected areas[J]. *Journal of Environment*

- Management, 2009, 90(8): 2551-2557.
- [12] 李娟伟, 任保平. 协调中国环境污染与经济增长冲突的路径研究: 基于环境退化成本的分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(5): 132-139.
- [13] Janssen M A, Schoon M L, Weimao K, et al. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of Global Environmental Change[J]. Global Environmental Change, 2006, 16(3): 240-252.
- [14] HERZOG, OLSEN. Shift-share analysis revisited: the allocation effect and the stability of regional structure[J]. Journal of Regional Science, 1977, 17(3): 441-454.
- [15] DUNN E S. A statistical and analytical technique for regional analysis[J]. The Regional Science Association Papers and Proceedings, 1960(6): 97-112.
- [16] POLÈSE M, SHEARMUR R. Growth and location of economic activity: The spatial dynamics of industries in Canada 1971—2001[J]. Growth and Change, 2006, 37(3): 362-395.
- [17] JAMES B, CARVALHO E. A demographically augmented shift-share analysis of Atlantic Canada employment trends[M]. Atlantic Canada Economic Association Conference, 1999.
- [18] 万年庆, 李红忠, 史本林. 基于偏离-份额法的我国农民收入结构演进的省际比较[J]. 地理研究, 2012, 31(4): 672-686.
- [19] 徐缓, 李浩, 努尔麦麦提·吾布力, 等. 基于偏离-份额分析法的新疆工业结构研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(3): 322-325.
- [20] 王国刚, 杨德刚, 乔旭宁, 等. 基于偏离份额法的新疆工业结构与竞争力研究[J]. 干旱区地理, 2010, 3(5): 817-824.
- [21] 吴江, 孙彤, 石磊. 基于偏离份额法的河北省能源终端消费结构研究[J]. 资源科学, 2013, 35(1): 109-114.
- [22] 中国环境年鉴编辑委员会. 中国环境年鉴[M]. 北京: 中国环境年鉴社, 1989-2012.
- [23] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1981-2012.

Spatial coupling of economic development and pollution emission: taking industrial wastewater for example

LUO Haijiang

China National Environmental Monitoring Center, Beijing 100012, China

Abstract: In order to analysis the spatial coupling variation of industrial wastewater discharge and industrial output value since the Reform and Opening, we divided the whole country into four regions and the long time period (from 1981 to 2011) into four periods. The shift-share model was introduced into quantitative calculation. The results showed that: 1) During the 31 years (from 1981 to 2011), the amount of industrial wastewater discharged in China showed an ‘increasing-declining-increasing-declining’ time trend with a fluctuations. The maximum amount was 260.3×10^8 t in 1987, and the minimum amount was 184.5×10^8 t in 1997. 2) Amount of industrial wastewater discharged was relatively concentrated on province level. From 1981 to 2011, the total amount of Jiangsu, Sichuan, Guangdong, Hunan and Zhejiang was more than 400×10^8 t; and the combined amount of these provinces accounted for 37.2% of the national total. 3) The annual average reduction on amount of industrial wastewater discharged was 11.8% in the western areas, 9.9% in the east areas, 10.2% in the northeast areas, and 11.5% in the middle areas. The annual average reduction on amount of industrial wastewater discharged in western areas was higher than that in other areas. 4) Compared to the growth of industrial output value, difference on the growth rate of industrial wastewater was wider and unbalanced growth was more obvious among the four areas. Meanwhile, the difference on amount of industrial wastewater discharged among the four areas was becoming wider. 5) During the 31 years, regional industrial economy experienced a ‘low-level equilibrium’ – ‘non-balanced’ – ‘balanced’ process, whereas amount of industrial wastewater discharged basically developed to the non-balanced status. 6) Inhibitory effect of technical factor (intensity of industrial wastewater discharged) on the increments of wastewater discharged amount was gradually weak, whereas the effect of industrial output value growth on the increments of industrial wastewater was more and more obvious.

Key words: shift-share model; industrial wastewater; coupling; pollutant discharge; economic growth