

# 中国工业废水达标排放的区域差异与收敛分析

唐志鹏<sup>1,2</sup>, 刘卫东<sup>1,2</sup>, 刘志高<sup>1,2</sup>, 王 蓓<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 水体中污染物主要来自人们的生产和生活活动。工业发展所排放的大量工业废水不仅影响着人们的饮水安全, 也给生态环境带来一定程度的破坏。本文以工业废水排放达标率为着眼点, 对 1998~2008 年我国八大区域工业废水达标排放的区域差异进行了  $\sigma$  收敛和  $\beta$  收敛分析。研究表明, 中国区域间工业废水达标排放的总体差异没有呈现出显著的  $\sigma$  收敛。从各区域的时间差异来看, 西南区域的差异最大, 东部沿海区域的差异最小。通过绝对  $\beta$  收敛和条件  $\beta$  收敛模型验证发现, 中国区域间工业废水达标排放的总体差异正在缩小, 各区域的初始水平是影响收敛的关键因素, 工业增加值的年增长率也起到一定程度的作用。

**关键词:** 区域差异; 工业废水;  $\sigma$  收敛;  $\beta$  收敛

**文章编号:** 1000-0585(2011)06-1101-09

## 1 引言

中国是全球人均水资源最贫乏的国家之一, 并且正面临着严重的水污染问题。国家环境保护部发布的 2009 年全国水环境质量状况显示, 全国地表水污染依然严重, 湖泊(水库)富营养化问题突出。据国务院八部委 2008 年环保专项行动的最新检查结果显示, 全国 113 个重点监测城市饮用水源地水质达标率仍然偏低, 其中 243 个地表水水源地中达标水源地为 159 个, 占到 65%, 不达标的为 84 个, 占 35%, 涉及到 16 个省、自治区、直辖市的 40 个城市。面对严峻的形势, 各省市在国家节能减排任务带动下虽然都积极投入了水环境治理资金, 但由于各省市自然环境基础、经济技术水平以及产业结构等各方面的差异, 在水环境有效治理方面也呈现出一定的时空差异。经济的发展一方面有助于环境治理的资金投入, 另一方面也带来了一定程度的污染。环境和经济双赢是中国各省市可持续发展所追求的目标。欠发达地区在环境污染治理方面相对于发达地区而言必然会有有一定的差距。对于全国的环境保护而言, 需要考虑区域之间的具体差异, 因地制宜地制定相关环境政策, 以避免一刀切的现象发生。

以水环境为例, 工业废水排放达标率是衡量工业废水达标排放的一个重要指标, 反映了水体受工业发展的污染情况。中国各区域的废水排放达标率的差距是否会随着时间的推移而缩小? 经济落后地区的废水排放达标率是否比经济发达地区有更快的增长速度? 从区域经济的增长理论来看, 若地区经济增长速率与初始水平呈正相关, 则会出现富者越富, 贫者越贫的分散性增长, 反之则呈现为地区经济增长收敛, 即落后地区能以更快的速度发

收稿日期: 2010-08-20; 修订日期: 2010-11-29

基金项目: 国家科技基础性工作专项课题(2007FY140800-2); 国家自然科学基金项目(70871108)

作者简介: 唐志鹏(1978-), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事区域经济与区域可持续发展分析与模拟等研究。

E-mail: tangzhipeng@amss.ac.cn

展,有望赶上发达地区。 $\sigma$ 收敛和 $\beta$ 收敛都是地区经济增长收敛的概念。通常来说, $\sigma$ 收敛是指随着时间的推移,不同地区的经济发展指标的标准差会逐渐缩小,最后表现为趋同。 $\beta$ 收敛由主要分为绝对 $\beta$ 收敛和条件 $\beta$ 收敛,绝对 $\beta$ 收敛是指随着时间的推移,假设了各地区含有相同的初始经济要素结构,落后地区能以更快的增长速度与发达地区收敛于相同的发展水平。条件 $\beta$ 收敛是放弃了各地区含有相同初始经济要素结构的假设,认为各地区不仅受初始经济要素结构的影响,还受到资源禀赋、要素流动等影响,各地区收敛于各自的稳态,各自稳态是不同的,因此各地区之间差距可能依然存在。研究表明, $\beta$ 收敛是 $\sigma$ 收敛的必要非充分条件。关于经济发展的地区增长收敛问题国内外学者做了大量相关研究,这些研究主要集中在:(1)人均收入和人均GDP:如Baumol<sup>[1]</sup>、Barro<sup>[2]</sup>、Barro等<sup>[3,4]</sup>、Islam<sup>[5]</sup>、刘夏明等<sup>[6]</sup>、陈安等<sup>[7]</sup>、许召元等<sup>[8]</sup>和张健等<sup>[9]</sup>;(2)劳动生产率,全要素生产率及地区间价格水平差距方面:如Islam<sup>[10]</sup>、彭国华<sup>[11]</sup>和鄂永健<sup>[12]</sup>;(3)能源生产率方面:如Miketa等<sup>[13]</sup>、杨正林等<sup>[14]</sup>和师傅等<sup>[15]</sup>;(4)环境效率方面:对于环境效率的研究大都集中于相关指标的数据包络分析,如李静等<sup>[16]</sup>、周景博等<sup>[17]</sup>、杨俊等<sup>[18]</sup>和王俊能等<sup>[19]</sup>。其他一些理论工作者主要从具体区域来研究工业废水排放与经济经济增长的动态关系<sup>[20]</sup>,以及水环境的保护问题<sup>[21,22]</sup>。

综观来看,水体污染不仅是自然领域的问题,更是可持续发展的社会领域问题。随着我国城市化进程加速发展并且环境保护监管能力相对薄弱等原因,水污染对饮水安全以及生态环境质量已经构成了严重威胁。工业作为国民经济支柱,其排放的工业废水由于化学成分复杂,难以处理,不易降解和净化,相对生活污水有更大的危害性。从造成水体污染后果来看,工业废水比生活污水更严重,工业废水达标处理对于水环境保护起着极为关键的作用。本文以全国八大区域工业废水排放达标率来衡量中国区域工业废水达标排放情况,研究区域之间的差异与收敛状况,以便为制定相关的水环境保护政策提供参考。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 研究方法简介

关于区域经济增长理论收敛的实证分析模型和检验方法,国内学者如陈晓玲等<sup>[23]</sup>指出归纳起来可以分为四种:一是横截面(包括面板数据)分析方法;二时间序列分析方法;三是分布动态方法检验;四是统计指标方法描述。这里仅简要介绍本文作 $\beta$ 收敛涉及的横截面及面板数据分析方法。

(1) 绝对 $\beta$ 收敛。该理论可采用以下横截面分析的方法,可参阅文献<sup>[24]</sup>:

$$\lg(y_{i,t+T}/y_{i,t})/T = \alpha + \beta \lg(y_{i,t}) + \epsilon_{i,t} \quad (1)$$

其中, $\lg(y_{i,t+T}/y_{i,t})$ 为从 $t$ 到 $t+T$ 时期经济体 $i$ 的人均GDP年均增长率, $\alpha$ 为常数截距项, $\beta$ 为系数项, $\beta = - (1 - e^{-\lambda T}) / T$ , $\lambda$ 为收敛速度, $\lg(y_{i,t})$ 为经济体 $i$ 的人均GDP初始水平, $\epsilon_{i,t}$ 为误差项。若 $\beta < 0$ 则表示存在绝对收敛,即经济增长率与初始水平成反比,落后地区的经济增长快于发达地区,有望随着时间推移赶上发达地区。绝对 $\beta$ 收敛隐含了一定假设条件,即所有经济体具有相同的经济结构包括相同的生产函数及投资率等,这样相同的经济结构下具有相同的生长路径通过追赶可以达到相同的稳态。

(2) 条件 $\beta$ 收敛。条件 $\beta$ 收敛放弃了各经济体具有相同经济结构的假设,认为各经济体的经济增长不仅与初始水平有关,还与其他资源禀赋、产业结构和科技水平等其他要素相关。条件 $\beta$ 收敛意味着各经济体收敛于各自的稳态,各经济体的稳态并不相同,各自

稳态值也能随时间的变化而变化。条件  $\beta$  收敛可按以下模型说明：

$$\lg(y_{i,t+T}/y_{i,t})/T = \alpha + \beta \lg(y_{i,t}) + \sum_{j=1}^n \gamma_j x_{i,t}^j + \epsilon_{i,t} \quad (2)$$

式中， $\lg(y_{i,t+T}/y_{i,t})$  为从  $t$  到  $t+T$  时期经济体  $i$  的人均 GDP 年均增长率， $\alpha$  为常数项， $\beta$  为系数项， $\beta = -(1 - e^{-\lambda T})/T$ ， $\lambda$  为收敛速度， $\lg(y_{i,t})$  为经济体  $i$  的人均 GDP 初始水平， $\gamma_j$  为在  $t$  时期引入经济体  $i$  第  $j$  个控制变量  $x_{i,t}^j$  的回归系数， $\epsilon_{i,t}$  为误差项。条件  $\beta$  收敛考察的是引入了一些控制变量后，落后地区能否以更快的速度赶上发达地区，或者仍旧存在差距。条件  $\beta$  收敛能够避免遗漏解释变量，增强了地区经济差异的解释能力，在实证检验中得到了较为广泛的应用。关于其他一些地区经济增长收敛的方法及评述等可参阅相关文献，这里不再赘述。

## 2.2 数据来源与计算说明

本文收集了我国 30 省市除香港、澳门、台湾和西藏地区 1998~2008 年每年的工业废水排放数据，工业增加值数据以及治理工业废水项目当年完成投资额数据。

(1) 文中计算所需的 1998~2008 年工业废水排放数据来自除香港、澳门、台湾和西藏的全国 30 省市地方统计年鉴数据以及中经网统计数据库，并通过工业废水达标排放量除以工业废水排放总量获得相应区域的工业废水排放达标率。

(2) 各省市相关年份的工业增加值，治理工业废水项目当年完成投资额均由相关省市地方统计年鉴以及中国环境统计年报获得。

(3) 在全国区域划分上，参照李善同等<sup>[25]</sup>的方法，将 30 省市划分为东北区域、北部沿海区域、东部沿海区域、南部沿海区域、黄河中游区域、长江中游区域、西南区域、大西北区域。其中东北区域包括辽宁、吉林和黑龙江 3 省；北部沿海区域包括北京、天津、河北和山东 2 省 2 市；东部沿海区域包括上海、江苏和浙江 2 省 1 市；南部沿海区域包括福建、广东和海南 3 省；黄河中游区域包括陕西、山西、河南和内蒙 3 省 1 区；长江中游区域包括湖北、湖南、江西和安徽 4 省；西南区域包括云南、贵州、四川、重庆和广西 3 省 1 市 1 区；大西北区域包括甘肃、青海、宁夏和新疆 2 省 2 区。

(4) 在以上数据处理基础上，采用软件 Eviews 6.0 对全国和各区域的工业废水排放达标率进行了影响因素分析以及绝对  $\beta$  收敛和条件  $\beta$  收敛检验。

## 3 中国八大区域工业废水排放达标率的 $\sigma$ 收敛分析

### 3.1 中国八大区域工业废水排放达标率的空间差异和时间差异分析

(1) 采用变异系数、基尼系数和四分位距三种方法<sup>①</sup>，分别测算了 1998~2008 年全国各区域工业废水达标排放的区域差异（图 1），用以反映每一时点所对应空间差异的大小。

从图 1 来看，用变异系数、基尼系数和四分位距三种方法计算结果表示的全国工业废水达标排放在各区域差异变化趋势走向基本相似，尤其是变异系数和基尼系数反映的各区域差异在各年份几乎一致。各地区差异在 1999 年达到最大后，随之一直缩小，在 2005 年出现反弹后又随之缩小，在 2008 年又有所增大，总的来看从 1998 年至 2008 年各地区的差异呈缩小趋势。一方面我国各区域在经济建设上注重了环境的保护，尤其在国家

① 本文用变异系数、基尼系数和四分位距来反映 1998~2008 年中国八大区域总体差异的标准差变动情况，以验证  $\sigma$  收敛。

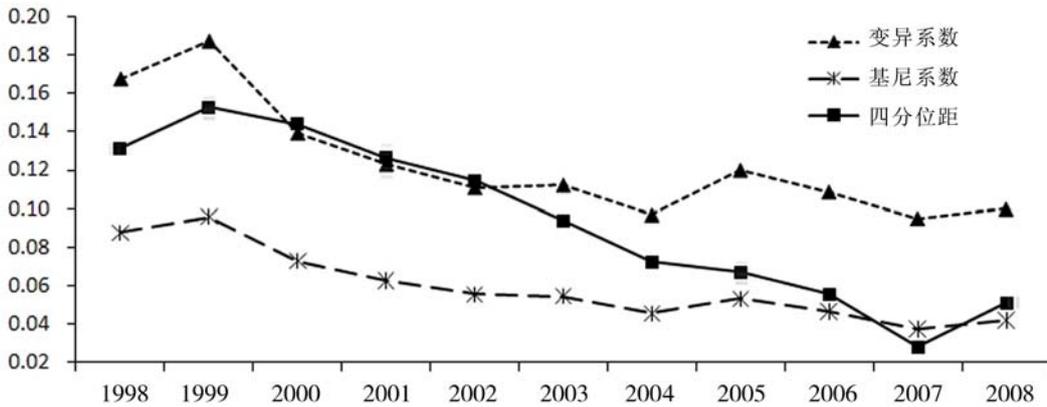


图1 1998~2008年全国工业废水排放达标率空间差异的变异系数、基尼系数和四分位距  
 Fig.1 The coefficient of variation, Gini coefficient and interquartile range of the attainment rate of spatial differences about industrial wastewater's discharge in China during the period of 1998—2008

“十一五”以来更是把减排作为各省市的考核指标，使得各地方政府在工业废水达标排放上能够不断提高趋向一致，另一方面各地政府也加大了环保资金的投入和老工业企业的技术改造，逐渐的缩小了各区域工业废水达标排放的差异。

(2) 同样采用变异系数、基尼系数和四分位距三种方法，分别测算了全国每一个区域工业废水达标排放在不同年份上的差异（图2），用以反映每一个区域在所对应的1998~2008时段内的时间差异。

从图2来看，三种方法计算的结果显示不同年份的差异在八大区域彼此之间的相对大小基本一致，其中西南区域3省1市1区工业废水排放在1998~2008年所体现的时间差异在全国最大，长江中游区域4省则次之，而东部沿海区域2省1市不同年份的时间差异在全国最小。西南区域作为西部相对东部沿海而言的落后地区，随着工业布局的调整升级并且还承接着东部环境准入门槛较低的工业转移，故不同年份呈现的时间差异较大。东部沿海区域上海、江苏和浙江则由于优化产业结构并且注重环境治理，2001年开始工业废水排放达标率一直维持在95%左右，故呈现的时间差异较小。

### 3.2 中国八大区域工业废水排放达标率区域差异的影响因素分析

各区域工业废水排放达标率的影响要素不仅跟当地用于废水治理项目的资金投入有关，还跟当地工业增加值有关。工业增加值的获取来源或者是通过新兴高技术企业，或者是通过高污染高排放落后企业。由于短期内各企业难以发生革命性的技术更新，因此增加值的变动体现了产能的变动，一定程度上代表了产业规模的大小，另外工业增加值也是企业用于技术更新改造的主要资金来源，对工业废水达标排放也会产生影响。本文以这两个要素作为解释变量来考察各年份代表所有区域总体情况的平均值变动，以及代表区域间差异的标准差变动，看这两个要素和八大区域工业废水排放达标率是否存在很好的回归拟合关系。选取了历年八大区域工业废水排放达标率的平均值序列作为  $y_1$ ，八大区域治理工业废水项目当年完成投资额的平均值序列作为  $a_1$ ，八大区域工业增加值的平均值序列作为  $b_1$ ；历年八大区域工业废水排放达标率的标准差序列作为  $y_2$ ，八大区域治理工业废水项目当年完成投资额的标准差序列作为  $a_2$ ，八大区域工业增加值的标准差序列作为  $b_2$ ，

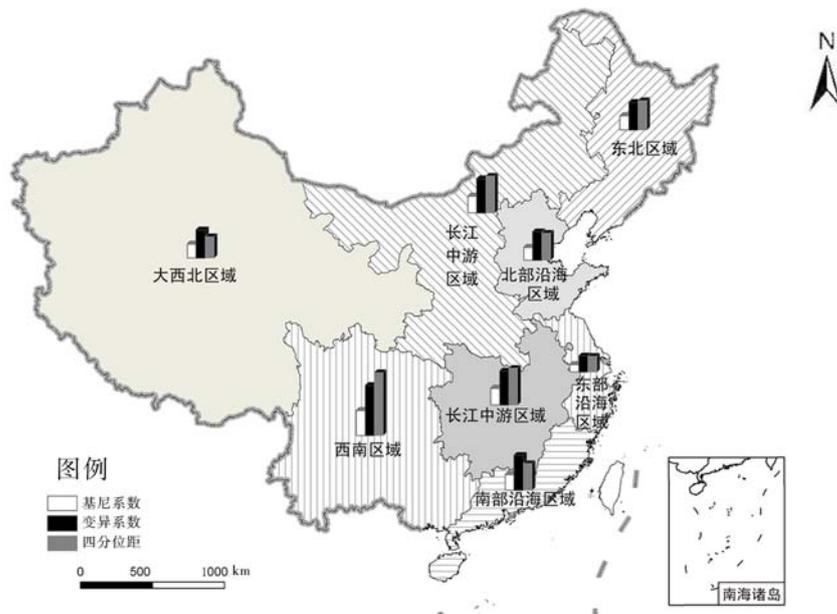


图2 1998~2008年中国八区域工业废水排放达标率时间差异的变异系数、基尼系数和四分位距  
 Fig.2 The coefficient of variation, Gini coefficient and interquartile range of the attainment rate of temporal differences about industrial wastewater's discharge in China's eight regions in 1998—2008

作回归方程如下<sup>①</sup>：

$$y_{i,t} = 0.05 + 0.94y_{i,t-1} + 8.2 \times 10^{-7} a_{1,t} + 8.8 \times 10^{-7} a_{1,t-1} - 2.2 \times 10^{-5} b_{1,t}$$

(0.497) (8.48) (2.04) (2.29) (-2.53)

$$(R^2 = 0.97, adjR^2 = 0.95, DW = 2.04, F = 43.91)$$

$$y_{2,t} = 0.08 + 5.33 \times 10^{-7} a_{2,t} + 3.15 \times 10^{-7} a_{2,t-1} - 8.34 \times 10^{-6} b_{2,t}$$

(8.51) (2.84) (2.56) (-4.54)

$$(R^2 = 0.80, adjR^2 = 0.71, DW = 2.14, F = 8.17)$$

第一个方程的拟合优度为 0.97，除常数项外，系数项都在 10% 水平上显著，方程总体 1% 水平上显著。第二个方程的拟合优度为 0.80，常数项和系数项都在 5% 水平上显著，方程总体 5% 水平上显著。上述两个方程基本上可以用来解释八大区域工业废水达标排放的影响因素：第一个方程说明了随着时间推移每年各地区工业废水达标排放率平均值和上一年的平均值，以及和当年治理工业废水项目投资额包括上一年投资额的平均值都呈正相关，而和当年工业获取增加值的平均值负相关，可以看出当年的达标排放率总会或多或少激励着下一年达标排放率的实施，而治理工业废水项目的投资额由于一定的时间滞后性，也会在当年和下一年起到治理的作用，工业增加值的大小与同期工业废水排放达标率的高低成反比，反映了我国的工业增加值获取还属于粗放型的工业增长，应进一步加快产业升级转型；从第二个方程标准差序列拟合回归来看，在 1998~2008 年这段时期，八大区域工业废水达标排放的区域差异与治理工业废水项目当年投资额包括上一年投资额的区

<sup>①</sup>回归模型的残差序列均作 ADF 单位根检验，均为不包含常数和趋势的平稳变量。残差序列在零均值附近波动，彼此之间不存在自相关，为白噪声序列。

域差异均呈正相关, 而和当年各区域工业增加值的区域差异呈负相关。因此可以得出就现有某个时间截面而言, 若各区域在治理工业废水项目投资额如果趋于一致, 则会缩小这一年度工业废水达标排放的区域差异, 若该年度各区域工业增加值的区域差异增大, 如在经济发达地区由于采用了高新技术, 可以进一步通过技术创新来获取工业增加值, 而在落后地区, 则要减少高污染高排放的工业, 降低这种通过污染环境获取的工业增加值, 也可以使各区域工业废水达标排放的区域差异缩小。

## 4 中国八大区域工业废水排放达标率的 $\beta$ 收敛验证

### 4.1 各区域工业废水达标排放的绝对 $\beta$ 收敛

由图 1 三种系数计算结果得出全国八大区域工业废水达标排放的区域差异并未随时间进程呈单一缩小趋同的趋势, 而是有所波动上下起伏。为更精确验证  $\sigma$  收敛的结论性质, 本文先采用绝对  $\beta$  收敛的方法进行检验, 取  $T=1$ , 考察每一年各区域的横截面数据, 建立关于各区域工业废水达标排放的绝对  $\beta$  收敛模型为:

$$\lg(y_{i,t+1}/y_{i,t}) = \alpha + \beta \lg(y_{i,t}) + \mu_{i,t} \quad (5)$$

在式 (5) 中, 下标  $i$  为各区域, 下标  $t+1$  和  $t$  为对应的第  $t+1$  年和第  $t$  年,  $y_{i,t+1}$  和  $y_{i,t}$  为  $i$  区域第  $t+1$  年和第  $t$  年的工业废水排放达标率,  $\alpha$  为截距项,  $\beta$  为系数项,  $\mu_{i,t}$  为随机误差项。依据 1998~2008 年全国八大区域的工业废水排放达标率作面板估计, 利用 Hausman 检验来选择固定效应和随机效应确定哪种更优, 检验结果在 1% 显著水平故拒绝原假设, 采用固定效应模型要优于随机效应模型。再采用  $F$  检验确定面板数据模型的固定效应模型具体形式为个体固定效应模型, 时点固定效应模型还是个体时点固定效应模型, 检验结果在 1% 显著水平, 并综合拟合优度、AIC 和 SC 准则及 DW 值等众多因素考虑采用个体时点固定效应模型更优<sup>①</sup>。按照绝对  $\beta$  收敛理论, 各区域初始工业废水排放达标率  $\lg(y_{i,t})$  系数  $\beta$  为负, 表示各区域水环境达标排放率初始水平与其增长率成反方向变化, 区域差异存在缩小趋势, 反之, 则存在扩大趋势。具体的参数估计和统计量检验如表 1 所示, 从表 1 中的  $\beta$  值显著为负值来看, 表明总体上 1998~2008 年中国八大区域工业废水排放达标率的区域差异确实存在缩小的趋势。

### 4.2 各区域工业废水达标排放的条件 $\beta$ 收敛

绝对  $\beta$  收敛认为各区域工业废水排放达标率的初始水平是直接影响收敛的唯一变量因素, 实际上还有一些其他要素也影响着全国各区域工业废水达标排放的收敛。条件  $\beta$  收敛认为, 除初始结构外, 还要受到其他一些控制变量的影响。在前面影响因素分析中, 可得知各区域的治理工业废水项目投资额及工业增加值都影响着工业废水达标排放。在模型 (5) 中逐次引入控制变量治理工业废水项目投资额年增长率及工业增加值年增长率, 分别得到条件  $\beta$  收敛模型:

$$\lg(y_{i,t+1}/y_{i,t}) = \alpha + \beta \lg(y_{i,t}) + \rho IN_{i,t} + \mu_{i,t} \quad (6)$$

$$\lg(y_{i,t+1}/y_{i,t}) = \alpha + \beta \lg(y_{i,t}) + \theta V_{i,t} + \mu_{i,t} \quad (7)$$

$$\lg(y_{i,t+1}/y_{i,t}) = \alpha + \beta \lg(y_{i,t}) + \rho IN_{i,t} + \theta V_{i,t} + \mu_{i,t} \quad (8)$$

在式 (6)~式 (8) 中,  $IN_{i,t}$  为  $i$  区域第  $t$  年到第  $t+1$  年的治理工业废水项目完成的投资额的年增长速率,  $V_{i,t}$  为  $i$  区域第  $t$  年到第  $t+1$  年工业增加值的年增长速率,  $\rho$  和  $\theta$  分

<sup>①</sup>关于面板数据固定效应模型的  $F$  检验, 本文参考文献 [26] 的方法。

别为对应的系数项。同样作 Hausman 检验确定模型为固定效应模型，再作 F 检验发现均采用个体时点固定效应模型更优，具体的参数估计及统计量检验如表 1 所示。

表 1 中国八大区域工业废水排放达标率  $\beta$  收敛的参数估计及检验

Tab. 1 The parameter estimation and examination of  $\beta$  convergence of industrial wastewater's discharge in China's eight regions

$\beta$ 收敛	截距 $\alpha$	系数 $\beta$	系数 $\rho$	系数 $\theta$	$R^2$	$adjR^2$	DW	F
绝对 $\beta$ 收敛模型 (5)	-0.01 (-1.536)	-0.2882*** (-4.551)			0.818	0.768	1.99	16.3***
条件 $\beta$ 收敛模型 (6)	-0.01 (-1.556)	-0.298*** (-4.620)	-0.0037 (-0.856)		0.819	0.767	2.02	15.4***
条件 $\beta$ 收敛模型 (7)	-0.032 (-2.573)	-0.345*** (-5.102)		0.0986** (2.059)	0.829	0.779	1.89	16.5***
条件 $\beta$ 收敛模型 (8)	-0.0336** (-2.656)	-0.3584*** (-5.214)	-0.0045 (-1.053)	0.1027** (2.141)	0.833	0.780	1.96	15.7***

注：\*\*\* 和 \*\* 分别表示在 1% 和 5% 水平上显著，括号内数据为相应系数的 t 统计量。

从条件  $\beta$  收敛三种模型来看，引入各区域治理工业废水项目当年完成投资额的年增长率对于缩小区域差异并不显著，投资额年增长率与达标排放增长率甚至呈反方向变化。由历年各区域治理工业废水项目当年完成的投资额增长率来看，各区域投入治理工业废水的资金并非逐年增长，而是具有波动起伏性。这与各地政府对水环境污染的重视程度，财政资金以及政策支持力度等方面都有着直接关系，并且废水处理设施从资金投入建成发挥成效在时间上存在一定滞后性，在本文建模中由于受数据资料时段的限制未能在模型中体现出来，故引入该变量并未对条件  $\beta$  收敛回归方程起到很好的解释作用。而各区域工业增加值增长率对于缩小区域差异具有一定显著作用。各区域工业增加值的增长率都呈上升趋势，工业增加值的获取有利于企业自身的技术升级和改造，由于高技术企业的增加值都相对较高，也能促使产业界淘汰落后的高排放企业。综合绝对  $\beta$  收敛和条件  $\beta$  收敛两种模型来看，各区域工业废水达标排放的初始水平是影响各区域差异缩小的关键因素，中国八大区域的工业废水排放达标率区域差异正呈现出缩小的趋势，各区域工业增加值的增长速率有利于工业废水排放达标率的增长。

## 5 结论与讨论

区域经济发展在给当地居民改善生活水平，带来生活福利的同时，也必然给当地的生态环境带来一定程度的污染和破坏。各区域由于经济结构初始水平的不同，在处理环境污染问题上也必然呈现出一定的区域差异，并且这种差异的变化影响着我国总体宏观政策的制定，要因地制宜地处理好环境与经济的关系，则必然要对区域差异做出相应的计算与分析。本文分别采用变异系数、基尼系数、四分位距和面板数据分析方法对我国八大区域工业废水达标排放的区域差异相应作了  $\sigma$  收敛和  $\beta$  收敛检验。文中得到如下结论：(1) 三种系数计算结果显示八大区域的水环境抑污效率总体差异并未显著  $\sigma$  收敛，而是略有起伏波动；从时间进程来看，西南区域的差异最大，东部沿海区域的差异最小。工业废水达标排放的区域差异与治理工业废水项目投资额的区域差异正相关，而与工业增加值的区域差异

负相关。(2)在对八大区域工业废水达标排放作进一步 $\beta$ 收敛检验时,绝对 $\beta$ 收敛分析表明,八大区域工业废水达标排放的区域差异呈现缩小趋势,条件 $\beta$ 收敛分析表明,八大区域存在条件收敛,其中引入的控制变量工业增加值年增长率在5%的水平上显著。各区域工业废水达标排放的初始水平是影响各区域差异缩小的关键因素。

受数据资料时段的限制,引入的控制变量治理工业废水项目当年完成投资额的年增长率在模型中并未起到很好的解释作用,如何把投资额治理废水成效的时间滞后性很好的引入模型中是本文需要进一步研究的重点。由于数据资料的可获取性,本文没有对工业增加值及投资额增长率同时换算成可比价,尽管如此,文中采用现价的增长率一定程度上还是能够反映出其对工业废水达标排放增长的贡献。另外文中仅从宏观层面对工业废水达标排放的区域差异和增长收敛状况作了分析,如何从微观企业层面上进一步解析工业废水达标排放增长差异的机制和成因也是本文进一步需要努力的方向。

### 参考文献:

- [1] Baumol W J. Productivity growth, convergence and welfare: What the long-run data show. *American Economic Review*, 1986, 76(5): 1072~1085.
- [2] Barro R J. Economic growth in a cross-section of countries. *Quarterly Journal of Economics*, 1991, 106(2): 407~443.
- [3] Barro R J, Sala-i-Martin X. Convergence. *Journal of Political Economy*, 1992, 100: 223~251.
- [4] Barro R J, Sala-i-Martin X. *Economic Growth*. New York: McGraw Hill, 1995.
- [5] Islam N. Growth empirics: A panel data approach. *Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(4): 1127~1170.
- [6] 刘夏明,魏英琪,李国平. 收敛还是发散?——中国区域经济发展争论的文献综述. *经济研究*, 2004, (7): 70~81.
- [7] 陈安平,李国平. 中国地区经济增长的收敛性:时间序列的经验研究. *数量经济技术经济研究*, 2004, (11): 31~35.
- [8] 许昭元,李善同. 近年来中国地区差距的变化趋势. *经济研究*, 2006, (7): 106~116.
- [9] 张健,何彬. 中国地区收入差距趋于收敛还是发散? *学习与探索*, 2007, (3): 153~155.
- [10] Islam N. Productivity dynamics in a large sample of countries: A panel study. *Review of Income and Wealth*, 2003, 49(2): 247~272.
- [11] 彭国华. 中国地区收入差距、全要素生产率及其收敛分析. *经济研究*, 2005, (9): 19~29.
- [12] 鄂永健. 中国地区间价格水平差距趋于收敛还是发散——基于省级面板数据的单位根检验. *经济评论*, 2007, (5): 113~117.
- [13] Miketa A, Mulder P. Energy productivity across developed and developing countries in 10 manufacturing sectors: Patterns of growth and convergence. *Energy Economics*, 2005, 27(3): 429~453.
- [14] 杨正林,方齐云. 能源生产率差异与收敛:基于省际面板数据的实证分析. *数量经济技术经济研究*, 2008, (9): 17~30.
- [15] 师博,张量悦. 我国区域能源效率收敛性分析. *统计与决策*, 2008, (2): 17~21.
- [16] 李静,程丹润. 中国区域环境效率差异及演进规律研究——基于非期望产出的SBM模型的分析. *工业技术经济*, 2008, 27(11): 100~104.
- [17] 周景博,陈妍. 中国区域环境效率分析. *统计与决策*, 2008, (14): 44~46.
- [18] 杨俊,邵汉华,胡军. 中国环境效率评价及其影响因素实证研究. *中国人口资源与环境*, 2010, 20(2): 49~55.
- [19] 王俊能,许振成,胡习邦,等. 基于DEA理论的中国区域环境效率分析. *中国环境科学*, 2010, 30(4): 565~570.
- [20] 周静,杨桂山. 江苏省工业废水排放与经济增长的动态关系. *地理研究*, 2007, 26(5): 931~939.
- [21] 穆从如,王景华. 晋陕蒙接壤地区环境污染 and 环境保护目标. *地理学报*, 1995, 50(6): 534~541.
- [22] 林巧莺. 福州市水环境的问题与对策. *福建地理*, 2003, 18(3): 20~22.
- [23] 陈晓玲,李国平. 地区经济收敛实证研究方法评述. *数量经济技术经济研究*, 2007, (8): 151~160.
- [24] Sala-i-Martin X. The classical approach to convergence analysis. *Economic Journal*, 1996, 106: 1019~1036.
- [25] 李善同,侯永志. 中国大陆:划分8大社会经济区域. *理论参考*, 2004, (7): 10~12.
- [26] 尹晓波,李雪萍. 我国东中西部三地区环境与经济系统发展的协调度研究. *经济地理*, 2009, 29(4): 589~564.

## Regional difference and convergence of standardized discharge of industrial waste water in China

TANG Zhi-peng<sup>1, 2</sup>, LIU Wei-dong<sup>1, 2</sup>, LIU Zhi-gao<sup>1, 2</sup>, WANG Bei<sup>1, 2, 3</sup>

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Water resource is a necessity of life for us. Water pollution is an important restriction factor in the process of China's sustainable development. Water pollutants are mainly from our production and living including industrial waste water, domestic sewage and agricultural waste water. China has reduced discharge of waste water and has strived to protect water environment in recent years, but industrial waste water is still a major source of water pollutants. And with more and more industrial enterprises' establishment and development in China, a large amount of the discharge of industrial waste water can do great damage to the water environment and pose a serious threat to the safety of drinking water because industrial waste water contains large quantities of heavy metal ions. So on the one hand we should know the regional difference of standardized discharge of industrial waste water among these regions including temporal difference in each region and spatial difference in each year, on the other hand we must know whether the regional difference is becoming larger in order to make the relevant policies on water protection. Based on the attainment rate of industrial waste water standardized discharge, this paper examines regional difference of standardized discharge of China's industrial waste water among eight regions through  $\sigma$  convergence and  $\beta$  convergence during the period 1998—2008. The results show that there is no significant  $\sigma$  convergence about regional difference of standardized discharge of industrial waste water in China's eight regions during the same period. From the aspect of the time we can see that the spatial difference is not always becoming small in each year, although the trend is becoming small. As far as the temporal difference of China's eight regions is concerned, the in regional difference Southwest China is the largest among eight regions, while eastern coastal region presents the smallest difference. The model of absolute  $\beta$  convergence and conditional  $\beta$  convergence shows that the overall regional difference of standardized discharge of industrial waste water in China is becoming small, initial conditions in each region are critical factors narrowing the differences, and annual growth rate of industrial value-added plays a role as well. Thus these results could help to provide suggestions to policies making for water protection.

**Key words:** regional difference; industrial waste water;  $\sigma$  convergence;  $\beta$  convergence