

基于面板数据的中国区域水环境污染 EKC 分析

郭清斌¹, 邹结富^{1,2}, 陈积微¹, 宋 静¹

(1. 中节能工程技术研究院有限公司, 北京 100082; 2. 中国节能环保集团公司, 北京 100082)

摘要:为深入探讨环境指标选择对库兹涅茨曲线(EKC)的影响,利用对数多项式函数,通过改变具体水环境污染指标,分别采用工业废水排放量、工业废水排放当量以及提出污染感知度等环境指标与人均 GDP 进行模型拟合。研究发现,环境指标越能反映真实水环境污染情况,拟合结果越符合 EKC 规律,中国的水环境污染和人均 GDP 的关系在统计上符合 EKC 规律。探讨水资源丰富程度和经济发达程度对 EKC 的影响。水资源匮乏的省份,水环境质量与经济增长符合 EKC 规律。经济发达的省份,水环境持续恶化的趋势全部得到扭转,经济落后的省份表现不一,部分省份的水环境污染依然在加剧。

关键词:水环境;经济增长;环境指标;EKC

中图分类号:X502

文献标识码:A

文章编号:1003-9511(2018)02-0049-05

在 1955 年, Kuznets^[1] 提出收入不平等与经济增长之间呈倒 U 型曲线关系。而 Grossman 等^[2] 则首先提出了环境污染水平与人均收入之间存在明确关系,他们利用全球环境监测系统提供的烟尘和悬浮颗粒物数据,实证分析了世界上很多城市的环境污染水平和人均收入之间的关系,认为某国的人均收入水平达到一定值时,其污染物的浓度将达到峰值。

Panayoutou 等^[3] 则借用库兹涅茨曲线,定义了环境库兹涅茨曲线(EKC),说明环境与人均收入之间存在倒 U 型关系。经济增长早期,污染排放增加,环境质量下降。当人均收入超过某一水平时,随着收入继续增加,环境质量趋于改善。这一发现极大影响了全球环境政策。EKC 的结论指出,虽然经济增长在早期阶段会导致环境的恶化,但对绝大多数国家来说,改善环境的最佳也可能是唯一的途径就是变得富有^[4],甚至环境规制措施在降低经济增长的同时也降低了环境质量。也就是说,先污染再治理的道路其实是符合规律的。

EKC 假说提出后,关于假说的争论和质疑一直没停止过。国内外很多学者进行了大量的实证研究后,不仅没有达成统一认识,反而出现了相互矛盾的结论。例如,国外的一些研究结果表明随着人均收入的增加,人均二氧化碳排放量呈线性上升态势,而

另一些研究则认为硫化物和 GDP 之间不符合 EKC 规律^[5]。造成结论矛盾的一个重要原因是环境指标的选择,不同研究往往选择不同的指标,从而导致了相反的结论,甚至在同一研究中,选取不同指标也可能得到不同的曲线形态。

国内外学者应用 EKC 理论对环境和经济增长的相关性进行了很多研究,但这些研究并未深入考虑环境指标选择的影响,因此得到的结论大相径庭^[6-12]。并且许多研究只考虑数据的可得性,直接采用从统计年鉴中获得的污染指标数据用于研究,而不考虑环境数据的真实性。例如常用的工业废水排放量,该项指标由企业自行统计上报,与真实情况存在一定偏差,并且不同企业排放废水水质差别巨大,产生的环境影响有很大差异,这就导致了采用这些数据得到的研究结论经不起推敲。此外,国家间差异也可能造成研究结果偏差。

中国的七大水系覆盖了全国绝大多数省份,可以代表中国诸多省份的水环境状况,各大流域的环境质量状况差别很大。同时中国经济发展也表现出了强烈的地区差异性,且中国省份众多,有着相同的政治体制,同时拥有相对独立的社会经济发展数据,这对于识别 EKC 的存在性给出了近似自然实验的条件。

笔者收集了中国 30 个省份在 2000—2011 年间

的水污染数据和经济发展数据(数据来源于国家统计局公布的环境统计数据以及中国城市建设统计年鉴),在此基础上针对不同水环境污染指标与人均 GDP 的关系,采用模型拟合的方法对 EKC 进行验证,指出同一环境要素不同指标之间的差异所在,提出进行水环境 EKC 研究时对指标进行修正的方法,并试图分析数据背后反映的中国水环境污染治理现状。

1 工业废水排放量与经济增长的关系

使用工业废水排放量作为水环境污染指标,经济指标采用人均 GDP 和人均 GDP 平方项。假设如下的回归模型:

$$\ln P_{\text{water}, it} = \alpha + \alpha_i + \beta_1 \ln y_{it} + \beta_2 \ln y_{it}^2 + u \quad (1)$$

式中: P_{water} 为工业废水排放量; y 为人均 GDP; $i = 1, 2, 3, \dots, N$,表示省份变量; $t = 1, 2, 3, \dots, T$,表示时间变量; u 为误差项。

对数据进行 F 检验,检验结果支持采用个体固定效用模型。考虑到各省工业废水排放量之间的绝对差距很大,故而采用个体固定效用模型,工业废水排放量与人均 GDP 拟合结果如表 1 所示。

包含人均 GDP 平方项的估计结果如下:

$$\ln P_{\text{water}, it} = 5.034 + \alpha_i + 1.082 \ln y_{it} - 0.0512 \ln y_{it}^2 + u$$

表 1 工业废水排放量与人均 GDP 拟合结果

变量	参数值	标准差	t 值	P 值
α	5.034044	2.055591	2.448952	0.0149
$\ln y$	1.082366	0.431512	2.508313	0.0126
$\ln y^2$	-0.051211	0.022586	-2.267359	0.0241
$DW = 0.485337$		$R^2 = 0.975477$		$F = 423.6416$

从回归方程的形式上看,一次项系数为正,二次项系数为负,面板数据支持遵从倒 U 型曲线。但系数的绝对值很小,所以大体上可以估计当前中国工业污染处于 EKC 的上升阶段,已经隐约出现了污染排放增长率下降的趋势。

这个结果与中国近十多年的经济增长归因分析的结论吻合。中国在 1998 年之后进入了一个新的经济增长阶段,要素投入对经济增长的贡献率达到 95% 以上^[13],其中又以资本投入和自然资源投入为主。从绿色增长模型中生产函数的形式考虑,在没有技术进步支持的情况下,环境与经济之间更多体现出规模效应,即随着经济增长,污染排放持续增加。同时此模型显示,污染排放增长率呈下降趋势。

2 工业废水排放当量与经济增长的关系

之前面板数据分析的基本模型是直接采用工业废水排放量作为水环境污染指标数据,考虑的是经

济增长过程中,生产技术的环境直接排放系数变动情况。如果生产企业本身更多地采用从源头控污的生产技术,那必然会减少工业废水排放量。然而 2000—2011 年的面板数据表明,中国的工业生产中,工业废水排放量并没有下降,减少水资源消耗的绿色生产技术并没有得到广泛应用。另外一方面,企业可以采取更直接的末端处理技术,在不改变废水排放量的情况下,降低废水中的污染物浓度,使水环境污染物的总排放量显著下降,从而实现环境保护的目标。

采用新的水环境污染指标数据进行新模型构建拟合。有研究曾经统计出中国工业废水直接排放的平均污染物浓度,以 COD 计约为 400 mg/L;达标排放的数据由各行业数据加权后,平均污染物浓度以 COD 计约为 188 mg/L,近似为直接排放的一半^[14]。因此本研究中,将直接排放的工业废水定义为 1 个当量,达标排放的工业废水为 -0.53 个当量。具体到某个省,工业废水排放量为 P_{water} ,其中达标排放量为 E_{water} ,定义新的水环境污染指标为工业废水排放当量 D_p 。

$$D_p = P_{\text{water}} - 0.53E_{\text{water}} \quad (2)$$

假设存在如下的回归模型:

$$D_p = \alpha + \alpha_i + \beta_1 \ln y_{it} + \beta_2 \ln y_{it}^2 + u \quad (3)$$

拟合结果如下:

$$D_p = 33766.00 + \alpha_i + 0.466023 \ln y_{it} - 6.9 \times 10^{-7} \ln y_{it}^2$$

工业废水排放当量与人均 GDP 拟合结果如表 2 所示。

表 2 工业废水排放当量与人均 GDP 拟合结果

变量	参数值	标准差	t 值	P 值
α	33766.00	1530.333	22.06449	0.0000
$\ln y$	0.466023	0.124833	3.733182	0.0002
$\ln y^2$	-6.9×10^{-7}	1.84×10^{-6}	-3.087637	0.0022
$DW = 0.596062$		$R^2_{\text{校正}} = 0.926599$		$F = 134.9751$

与采用工业废水排放数据的拟合结果相比,该模型拟合结果在二次项系数显著性上表现更好,t 值约为 3.087。这意味着采用了工业废水排放当量数据后,更多的省份数据都表现出遵循 EKC 规律。同时拟合结果也表明,独立的污染治理部门有效运作能够使污染排在更低的人均 GDP 时期达到转折点,从而加快了经济体向可持续发展的道路前进。

3 污染感知度与经济增长的关系

3.1 工业废水排放污染感知度与人均 GDP 的模型拟合

国内不同省份间自然水环境差异非常大,有些

省份拥有大江大河,降雨量大,水资源总量非常丰富;有些省份天气干旱,降雨稀少,过境河流也寥寥无几,水资源非常稀缺。所以对于同样数量的污染物排放,不同的水资源总量会表现出不同的污染程度,使周边居民对水环境质量的感知产生巨大差异。

一般情况下,人们总是会对引起自己关注的变化感兴趣,而对一些看不见、摸不着、体会不到的变化熟视无睹。如果感受到了环境退化,人们首先会通过自己的行为去延缓这种变化,同时也会通过政治渠道,对引起自己关注的问题向政府施压,让政府设法缓解环境退化问题。故对于水污染而言,污染物排放是否引起了水环境质量的变化,这种变化是否能够被居民所感受到是研究关键。

在此基础上,笔者提出污染感知度的概念,工业废水排放当量 D_p 与当地水资源总量 Q 的比值决定了污染感知度 P_i ,污染感知度从一定程度上来说直接与水环境质量呈线性关系。

$$P_i = D_p/Q \quad (4)$$

构造新的模型如下:

$$P_i = \alpha + \alpha_i + \beta_1 \ln y_{it} + \beta_2 \ln y_{it}^2 + u \quad (5)$$

采用变截距固定效用模型,得到如下结果:

$$P_i = 123\,068 + \alpha_i + 0.006\,311 \ln y_{it} - 1.23 \times 10^{-7} \ln y_{it}^2$$

污染感知度与人均 GDP 拟合结果如表 3 所示。

表 3 污染感知度与人均 GDP 拟合结果

变量	参数值	标准差	t 值	P 值
α	123 068	11.182 75	11.205 37	0.000 0
$\ln y$	0.006 311	0.000 912	6.918 591	0.000 0
$\ln y^2$	-1.23×10^{-7}	1.35×10^{-8}	-9.169 496	0.000 0
$DW = 1.086 685$		$R^2_{校正} = 0.948 009$		$F = 194.516 5$

与之前的拟合结果相比,该模型二次项系数显著性大大提高,t 值约为 9.169,表示在采用污染感知度作为水环境污染指标后,水环境污染指标与人均 GDP 的关系非常契合 EKC 规律,同时该模型的 DW 值也更接近 2,表明与之前的模型相比,遗漏影响因素更少。

3.2 加入生活污水修正后污染感知度与人均 GDP 的模型拟合

随着生活改善和工业节水的进步,生活污水已经成为最主要的水污染来源。从 1999 年起,生活污水排放量就超过了工业废水排放量,并且逐年增多,到 2010 年,生活污水已经成为最主要的水污染来源,生活污水排放 COD 总量约为工业废水排放 COD 总量的两倍(数据来源于中国环境状况公报)。因此,有必要考察加入生活污水排放后对模型拟合的影响。

依然采用污染感知度指标,工业废水排放当量与生活污水排放当量之和与当地水资源总量的比值决定了污染感知度。

随着时间推移,生活污水排放的污染物浓度越来越低。因此,在计算污染物排放当量时,需要给生活污水增加一个随时间变化的系数。由全国的统计数据估算,生活污水中 COD 的排放浓度以每年 11% 的速度下降。考虑这个因素后的拟合结果如下(表 4):

$$P_i = 197.6057 + \alpha_i + 0.028642 \ln y_{it} - 7.75 \times 10^{-7} \ln y_{it}^2$$

表 4 考虑生活污水排放的污染感知度与人均 GDP 拟合结果

变量	参数值	标准差	t 值	P 值
α	197.6057	44.66001	4.424667	0.0000
$\ln y$	0.028642	0.003190	8.977913	0.0000
$\ln y^2$	-7.75×10^{-7}	4.43×10^{-8}	-17.47141	0.0000
$DW = 0.683236$		$R^2_{校正} = 0.906927$		$F = 76.12478$

拟合结果的一次项系数为正,二次项系数为负。表明在考虑生活污水排放浓度逐渐降低的因素后,中国的水污染排放量符合 EKC 规律。

在当前阶段,生活污水造成的水环境污染已经高于工业废水,说明环境红利已经从企业手中向居民手中转移,由于居民的压力,政府加强了对企业的监管,提高了企业生产废水排放的标准,企业享受环境红利的比重已经在下降。但居民还没有意识到自己已成为最主要的排污者,而政府也没有采取强有力的措施削减居民的排放。例如水价改革,由于居民反对声音居多,政府顺从民意,调价幅度始终不大,且政府财政投入用于污水处理的部分占比较小,居民与政府分享了这部分环境红利。

4 资源丰度对拟合结果的影响

有研究认为,资源的丰富程度会对经济增长产生影响^[7,15],考虑到地区水资源总量可能会对污染排放量的选择产生影响,因此将考察地区分为资源丰裕组和资源匮乏组,进行对比探讨污染感知度与人均 GDP 的相关性。其中,资源匮乏组即人均水资源量少的地区包括北京市、天津市、河北省、山西省、辽宁省、上海市、江苏省、安徽省、山东省、河南省、陕西省、甘肃省、宁夏回族自治区。资源丰裕组即人均水资源量多的地区包括内蒙古自治区、吉林省、黑龙江省、浙江省、福建省、江西省、湖北省、湖南省、广东省、广西壮族自治区、海南省、重庆市、四川省、贵州省、云南省、西藏自治区、青海省、新疆维吾尔自治区。

资源匮乏组的拟合结果如下(表 5):

$$P_i = 694.7704 + \alpha_i + 0.027867 \ln y_{it} -$$

$$8.14 \times 10^{-7} \ln y_{it}^2$$

表5 资源匮乏组污染感知度与人均GDP拟合结果

变量	参数值	标准差	t 值	P 值
α	694.7704	101.2838	6.859641	0.0000
$\ln y$	0.027867	0.006215	4.483949	0.0000
$\ln y^2$	-8.14×10^{-7}	7.39×10^{-8}	-11.01563	0.0000
DW=0.808834		$R_{校正}^2=0.906830$	F=72.60745	

在资源匮乏组的拟合结果中,二次项系数为负,t 值约为 11,统计结果显著,说明这一组里的省份都明显符合倒 U 型曲线。

资源丰裕组的拟合结果如下(表 6):

$$P_i = 103.7626 + \alpha_i - 0.002648 \ln y_{it} -$$

$$4.4 \times 10^{-9} \ln y_{it}^2$$

表6 资源丰裕组污染感知度与人均GDP拟合结果

变量	参数值	标准差	t 值	P 值
α	103.7626	969358	17.38255	0.0000
$\ln y$	-0.002648	0.000560	-4.724255	0.0000
$\ln y^2$	-4.40×10^{-9}	1.11×10^{-8}	-0.396547	0.6924
DW=0.558587		$R_{校正}^2=0.875180$	F=53.58664	

在资源丰裕组拟合结果中,二次项系数为负,但 t 值约为 0.4,统计结果不显著,约有 70% 的省份不符合倒 U 型曲线。

两组拟合结果对比表明,资源丰裕程度对污染排放强度与人均 GDP 关系存在影响。资源稀缺的地区全部遵循 EKC 规律,而资源丰裕的地区则不符合 EKC 规律。推测存在环境“资源诅咒”的现象,越是水资源丰富的地区,越不重视水环境保护。环境红利对此解释为水资源丰富的地区环境红利的总量大,因此在环境红利耗尽之前可以支撑当地经济达到更高的人均收入水平。

5 初始收入水平对拟合结果的影响

按照绿色增长模型的推论,EKC 是较为长期的规律,如果时间节点选取恰好落入上升阶段或者下降阶段,则数据不会表现出倒 U 型的关系。另外,收入水平较低时,社会倾向于消费环境红利赚取直接经济收益,而收入水平较高时,社会则更多倾向于节约环境红利。因此,将考察地区分为经济发达和经济落后 2 个组进行对比,考察污染感知度与人均 GDP 的相关性。其中经济发达地区包括北京市、天津市、辽宁省、上海市、江苏省、浙江省、福建省、山东省、广东省。经济落后地区包括河北省、山西省、内蒙古自治区、吉林省、黑龙江省、安徽省、江西省、河南省、湖北省、湖南省、广西壮族自治区、海南省、重庆市、四川省、贵州省、云南省、西藏自治区、陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自

治区。

经济发达地区的拟合结果如下(表 7):

$$P_i = 84.11364 + \alpha_i + 0.065516 \ln y_{it} -$$

$$1.17 \times 10^{-6} \ln y_{it}^2$$

表7 经济发达地区污染感知度与人均GDP拟合结果

变量	参数值	标准差	t 值	P 值
α	84.11364	168812	0.507072	0.6139
$\ln y$	0.065516	0.008272	7.920415	0.0000
$\ln y^2$	-1.17×10^{-6}	9.51×10^{-8}	-12.34717	0.0000
DW=0.831841		$R_{校正}^2=0.918756$	F=81.29070	

经济落后地区拟合结果如下(表 8):

$$P_i = 271.0425 + \alpha_i - 0.008848 \ln y_{it} +$$

$$7.09 \times 10^{-8} \ln y_{it}^2$$

表8 经济落后地区污染感知度与人均GDP拟合结果

变量	参数值	标准差	t 值	P 值
α	271.0425	26.45219	10.24650	0.0000
$\ln y$	-0.008848	0.002963	-2.985798	0.0033
$\ln y^2$	7.09×10^{-8}	7.41×10^{-8}	0.956416	0.3405
DW=1.510500		$R_{校正}^2=0.949359$	F=143.3063	

两组拟合结果可看出,经济发达的省份,其水环境污染与经济增长之间全部都表现出倒 U 型的关系(一次项系数为正,二次项系数为负,统计结果显著);经济落后的省份则不存在这种关系(二次项系数为正,统计结果不显著)。拟合结果验证了收入水平对水污染排放量的变动趋势产生影响。利用环境红利理论可解释为,当收入水平较低时,环境红利的边际产出更高,因此当地政府和居民都倾向于消费环境红利换取经济增长。

6 结论

工业废水排放量与人均 GDP 的拟合结果大致遵从 EKC 曲线,但系数的绝对值很小,估计当前中国工业污染处于 EKC 的上升阶段。然而工业废水排放量直接来源于统计数据,只考虑排放的水量,没有反映水中污染物浓度的大小以及企业是否对废水进行后处理,因此并不能很好地反应环境污染情况。

工业废水排放当量考虑了企业对废水进行处理后向水环境排放的污染物的总量,本研究中忽略了各省工业结构、生产技术水平、环境监管强度等差异,认为各省排放的工业废水中的污染物浓度一样,并且达标排放的工业废水中的污染物浓度也一样。在此基础上,拟合结果表明采用工业废水排放当量作为水环境污染指标后,更多的地区数据都表现出遵循 EKC 规律。

污染感知度考虑了工业废水中的污染物排放量和受纳水体的水资源总量的共同影响。随着污染物排放量增加,环境质量下降,污染感知度上升,人们

能直观感觉到污染带来的不适,水资源总量越大,其在一定量污染物排放的影响下产生的环境质量退化越小,污染感知度的变化也越小。与上述两项指标相比,污染感知度与人均 GDP 的关系契合 EKC 规律,遗漏因素更少。而在考虑了生活污水排放,以及生活污水中污染物浓度逐年降低的因素后,污染感知度与人均 GDP 之间在统计学上也符合 EKC 规律。

此外,资源丰度会影响污染物排放,水资源越丰富的省份,水环境质量没有出现明显的转变,而水资源匮乏的省份,水环境质量与经济增长符合 EKC 规律。并且收入水平所处的阶段不同,水环境变化的趋势也不同,经济发达的省份已全部扭转水环境继续恶化的趋势;而经济落后的省份表现不一,大多数落后省份的水环境污染依然在加剧。

总的来说,通过逐渐改变水环境污染指标的具体指代内容,分别利用工业废水排放量、工业废水排放当量、加入生活污水修正后的污水排放当量、污染感知度分别与人均 GDP 进行拟合。拟合结果表明,EKC 存在与否,跟环境指标的选择有很大关系,环境指标越是能表征真实的污染情况,其与经济增长的关系就越符合 EKC 规律。

实证分析表明,中国的水环境污染基本符合 EKC 规律,中国在经济增长的同时在一定时间内必然会承受一定的环境压力。但是,通过技术进步、职能部门以及政策的完善等手段能够缩短环境“阵痛”的周期,加快可持续发展的进程。在此基础上,笔者尝试提出若干政策建议以供参考。一方面,提高排放标准,同时加大资金投入规模解决环境污染问题,能够有效补偿已经存在的水环境赤字,弥补环境红利损失。另一方面,技术进步,特别是清洁生产技术以及末端污染治理技术的使用与推广,在有效降低污染物排放的同时,能缓解由于提高污染物排放标准给工业企业及居民带来的压力,补偿由于换取环境红利而损失的部分利益。此外,独立的污染治理部门有效运作,能够使污染排在更低的人均 GDP 时达到转折点,从而加快经济体绿色健康发展。

参考文献:

[1] KUZNETS S. Economic growth and income inequality [J]. The American Economic Review, 1995(8):1-28.
[2] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Economic growth and the environment[J]. The Quarterly Journal of Economics, 1995,110(2):353-377.
[3] PANAYOUTOU T, PERRINGS C A, MOLER K G, et

al. Conservation of biodiversity and economic development: the concept of transferable development right[J]. Environmental and Resource Economics, 1994, 4 (1): 91-110.

[4] 孔凡斌,许正松,黄思明. 经济增长与环境污染的关系:文献评述与研究展望[J]. 鄱阳湖学刊, 2015 (3): 5-25.
[5] 张成,朱乾龙,同申. 环境污染和经济增长的关系[J]. 统计研究, 2011, 28(1):59-67.
[6] 丁焕峰,李佩仪. 中国区域污染影响因素:基于 EKC 的面板数据分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2010 (10):117-122.
[7] 段利民,杜跃平. 自然资源禀赋与区域经济增长关系实证研究[J]. 生产力研究, 2009(24):117-118.
[8] ARIASTER B C, JOHN B B. Total factor productivity and the Environmental Kuznets Curve[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2005, 49 (2): 366-380.
[9] MATTHEW A. C. Trade, the pollution haven hypothesis and the Environmental Kuznets Curve: examining the linkages[J]. Ecological Economics, 2004, 48 (1): 71-81.
[10] NEHA K, FLORENZ P. The demand for environmental quality and the Environmental Kuznets Curve hypothesis [J]. Ecological Economics, 2004, 51:225-236.
[11] SINGH K P, MALIK A, MOHAN D, et al. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River(India): a case study[J]. Water Research, 2004, 38(18): 3980-3992.
[12] SOUMYANANDA D. Environmental Kuznets Curve hypothesis: a survey[J]. Ecological Economics, 2004, 49 (4),431-455.
[13] 钟若愚. 中国资源生产率和全要素生产率研究[J]. 经济动态, 2010(7):28-33.
[14] 马中. 中国水价政策研究[M]. 北京:中国环境出版社, 2014.
[15] 孙大超,司明. 自然资源丰裕度与中国区域经济增长:对“资源诅咒”假说的质疑[J]. 中南财经政法大学学报, 2012(1):84-89, 144.

(收稿日期:2017-03-24 编辑:方宇彤)

