

能源消费、环境污染与经济增长效应

——基于四川省 1991—2010 年样本数据

袁程炜¹ 张 得²

【内容摘要】 本文在四川省能源消费、环境污染和经济增长的时间序列数据基础上,利用主成分和因子分析的方法将工业废水、工业固体废物排放量等六个指标折算为环境污染综合指数,并通过建立向量自回归模型,发现污染综合指数、能源消费与污染交叉乘积项对经济增长存在长期稳定关系,能源消费对经济增长的正向效应大于环境污染对经济增长的负向效应,但环境污染本身对经济增长负向效应显著,且能源消费与环境污染对经济的脉冲效应在第 5 年开始趋于平稳。建议通过配额管理、优化要素投入结构、推动产业结构升级等措施提高能源消费效益。

【关键词】 能源消费; 环境污染; 经济增长效应

一、引言

能源是人类生产生活的物质基础,人类社会的发展离不开能源的勘探和先进能源技术的利用,因而能源消费以及能源和环境的关系一直是全世界、全人类共同关心的话题。世界上大多数国家经济增长与能源消费关系密切,美国 1947—1974 年的国内生产总值增长严重依赖于能源消费,^[1]而在发展中国家能源消费只有在短期才能促进经济增长。^[2]与此同时,在工业化时代,科技水平不高,产业结构不合理,能源利用率低,只能依靠“高污染、高能耗、高排放”方式带动经济短期增长。有学者对全球环境监测系统所监测的城市大气数据进行分析,发现二氧化硫和烟尘的排放量在短期可以带动经济增长,但达到一定限度后这种排放量的增加会阻碍经济增长。^[3]研究中国能源消费与经济增长的文献很多,林伯强采用协整理论及误差修正模型,认为中国能源消费、GDP、能源价格、重工业份额存在长期稳定的协整关系。^[4]夏泽义、张炜将人口规模引进模型,得出了我国能源消费和人口、经济、技术之间存在长期动态关系。^[5]李晓燕将能源消费的产业结构和类别纳入模型,认为它们与经济增长的关联度存在差异。^[6]孙爱军、方先明考虑到了进出口贸易认为中国经济增长总体上有高能耗、高对外依存度的特征。^[7]曾胜、黄登仕将能

作者简介:袁程炜(1983—)男,西南财经大学经济学院(成都 611130)博士生。研究方向:区域经济学。

张 得(1988—)男,西南财经大学中国西部经济研究中心(成都 611130)。研究方向:人口学。

源利用效率引入模型证明了能源消费与经济增长之间的特定比例关系。^[8] 齐绍洲、罗威则将能源消费强度引入模型,认为能源消费强度差异是东西部发展差异的函数,且这种差异随着 GDP 的收敛而收敛。^[9] 同时,也有研究环境污染与经济增长关系的文献,很多学者围绕两者是否存在库兹涅茨曲线展开讨论,孙浦阳、武力超^[10]认为存在环境库兹涅茨曲线,而李珀松、朱祉熹,^[11]丁继红、年艳,^[12]张成、朱乾龙等^[13]则认为不存在环境库兹涅茨曲线,而应该是“N”型曲线或其他类型曲线。黄菁、陈霜华则将环境污染治理引入内生增长模型,认为中国对环境污染一直以来缺乏足够的重视,而清洁要素以及技术的使用是可持续发展的关键。^[14] 刘海英、何彬认为经济增长中环境污染的路径是变化的,主要来自于经济投入产出结构、污染治理投入和环境政策等因素作用。^[15]

综上可得,研究结论的差异主要归因于研究样本、指标选择和计量方法的不同,同时对西部地区的研究也较少。对经济增长与环境是否存在库兹涅茨曲线不宜过多争论,因为环境的改善需要更多来自政府、社会团体、企业和个人的关注,而不应该简单寄托于经济的增长实现环境的自我改善。同时,相关文献很少有将能源消费、环境污染与经济增长纳入一个模型进行研究的。经济增长需要能源要素投入,而能源消费本身会产生环境污染问题,能源与环境对经济增长存在交互影响的作用。本文以四川为例,选取向量自回归模型研究三者的相互关系以及能源和污染的不确定冲击对经济增长产生的影响,具有一定现实价值。这将有利于实现四川经济发展方式转变和产业结构升级,走上绿色经济和循环经济的可持续发展道路。

二、环境污染、能源消费与经济增长“三角关系”

近年来,环境污染、能源消费与经济增长之间关系的问题已经成为学术界的热门课题,对三者之间的关系研究可以遵从两条脉络进行综述。其一为环境污染与经济增长,其二为能源消费与经济增长。将能源消费、环境污染和经济发展纳到一个统一框架中分析研究,是近两年研究的一个热点。基于 EKC 假说,加上能源消费与经济增长之间的四种假说,可以把环境污染、能源消费与经济增长纳入到一个统一框架之中。根据 EKC 假说,环境污染与经济增长存在倒“U”型关系,初期随着经济的增长,环境污染程度增加;而在后期,随着经济增长,环境污染程度会逐步降低,如图 1 中的 ZP 曲线所示。而能源消费对经济的增长效应为正,经济增长起初会引起能源消费的快速增长,而随着技术进步和生产方式转变,经济增长对能源消费的依赖程度趋向于稳态水平,如图 1 中的 EC 曲线所示。而能源消费与环境污染相伴而生,但就目前发展水平而言,能源消费对经济增长的正向效应大于环境污染对经济增长的负向效应,ZP * EC 曲线仍然斜率仍然为正。

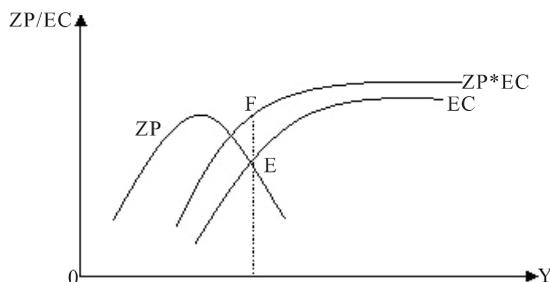


图1 理论假说模型

三、研究方法及变量说明

(一) 研究方法

本文首先建立向量自回归 (VAR)，它是基于数据的统计性质建立模型，VAR模型把系统中每一个内生变量作为系统中所有内生变量的滞后值的函数来构造模型。本文协整检验和脉冲响应函数均是建立在 VAR 模型的基础上。设含有 N 个变量滞后 k 期的 VAR 模型表示如下：

$$Y_t = c + \Pi_1 Y_{t-1} + \Pi_2 Y_{t-2} \dots \Pi_k Y_{t-k} + u_t$$

其中 u_t , $Y_t = (y_1, t y_2, t \dots y_{N_t})'$, $c = (c_1, c_2, \dots c_N)'$, u_t 为服从白噪声的冲击向量。是 $N \times N$ 阶方差协方差矩阵, Π_j 可表示为如下矩阵 (下标 $j = 1, 2, \dots, k$, 与滞后阶数 k 有关)。

$$\Pi_j = \begin{Bmatrix} \pi_{11j} & \pi_{12j} & \dots & \pi_{1Nj} \\ \pi_{21j} & \pi_{22j} & \dots & \pi_{2Nj} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \pi_{N1j} & \pi_{N2j} & \dots & \pi_{NNj} \end{Bmatrix}$$

从上述定义可以看出，VAR 模型中每个方程的右侧只含有内生变量的滞后项，它们与 u_t 是渐近不相关的。

(二) 变量说明

本文经济增长指标选用的是可比价格计算的 GDP，用 Y 表示；资本存量选取的是固定资本投资，通过永续盘存法计算得到，用 K 表示；能源消费是指生产和生活所消耗的能源，用 EC 表示；劳动力指标用职工工资 L 代替，比单纯用年末就业人员数更能反映劳动力质量变化所带来的影响，y、k、ec 分别表示劳均 GDP、劳均资本存量、劳均能源消费。工业废水排放量用 W 表示、工业固体废物用 S 表示、工业粉尘用 P 表示、工业烟尘用 M 表示、工业二氧化硫用 N 表示、工业废气排放量用 G 表示，单位均为万吨。环境污染指标用 ZP 表示，是利用主成分和因子分析

将工业废水排放量和工业固体废物等六个指标折算为一个能够反映污染的综合指标,这样做可以避免多重共线性对模型造成的伪回归。模型中用到对数处理是为减小数据剧烈波动带来的异方差影响。需要特别说明的是,综合污染指数是一个复合指标,而由于统计原因,工业固体废物、工业粉尘、工业烟尘和工业废气排放量四个指标的最新数据仅能收集到2010年。本文数据来源于1991—2011年统计年鉴,且剔除了重庆历年数据,为保证时间序列分析结果的有效性,本文选取1991—2010年的数据进行分析。

四、实证分析

(一) 主成分分析

主成分分析是通过投影的方法实现数据的降维,在损失较少数据信息的基础上将多个指标转化为几个具有代表性的指标,可有效避免多重共线性的影响。利用样本数据得到公因子载荷值与主成分系数表,见表1。

表1 公因子载荷值与主成分系数表

系数 变量	公因子载荷值				主成分系数			
	因子1	因子2	因子3	因子4	系数1	系数2	系数3	系数4
W	0.171	0.676	-0.302	-0.414	0.109	0.430	-0.192	-0.264
S	0.090	0.063	0.912	-0.373	0.075	0.052	0.759	-0.310
P	0.596	-0.128	0.012	0.137	0.581	-0.125	0.012	0.133
M	0.542	0.028	0.115	0.551	0.659	0.035	0.140	0.669
N	-0.102	0.723	0.206	0.436	-0.215	1.524	0.434	0.920
G	-0.550	-0.024	0.143	0.420	-1.515	-0.066	0.394	1.158
特征值	2.467	1.45	1.053	0.678				
累计贡献率	0.4112	0.6521	0.8276	0.9406				

注:因子1~4分别表示公因子1~4的载荷值,系数1~4分表表示第1~4主成分系数,主成分系数是因子载荷值与对应特征值的平方根的比值。

根据主成分个数 m 的确定原则,一般所取 m 使得累计贡献率达到85%以上。从表1来看前四个指标的累计贡献率已达到94.06%,超过85%,基本保留了原来六个指标的信息。这四个指标 P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4 是各自主成分系数与这六个指标的线性组合,计算结果即为:

$$P_1 = 0.109 \times W + 0.075 \times S + 0.581 \times P + 0.659 \times M - 0.215 \times N - 1.515 \times G$$

$$P_2 = 0.430 \times W + 0.052 \times S - 0.125 \times P + 0.035 \times M + 1.524 \times N - 0.066 \times G$$

$$P_3 = -0.192 \times W + 0.759 \times S + 0.012 \times P + 0.140 \times M + 0.434 \times N + 0.394 \times G$$

$$P_4 = -0.264 \times W - 0.310 \times S + 0.133 \times P + 0.669 \times M + 0.920 \times N + 1.158 \times G$$

再计算综合污染指数，该指标是 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 与对应特征值占四个特征值综合的比重的一个线性组合，即：

$$ZP = \lambda_1 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) \times P_1 + \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) \times P_2 + \lambda_3 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) \times P_3 + \lambda_4 / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) \times P_4 = 0.437 \times P_1 + 0.256 \times P_2 + 0.187 \times P_3 + 0.120 \times P_4$$

其中， ZP 为综合污染指数，如图 2 所示。

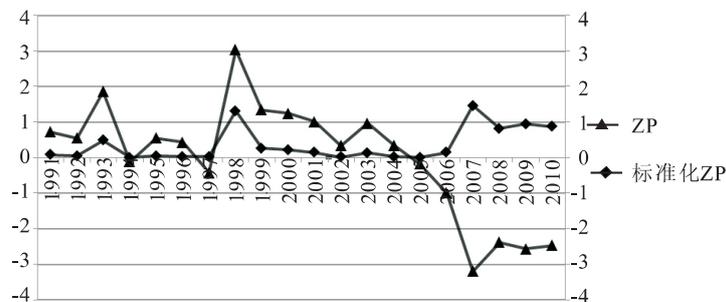


图 2 标准化后的综合污染指数 ZP

在图 2 中，综合污染指数是由工业废水排放量和工业废物等六个指标通过主成分分析得出的一个标量，因此其数值本身有正有负。为了消除变量的量纲和自身的变异影响，本文需对 ZP 进行标准化。具体方法是利用观测值减去均值后除以样本标准差，其结果如图 2 中标准化 ZP 所示。因此，标准化以后的 ZP 既保留了六个指标提供的信息，同时又能避免多重共线性，便于做进一步的实证分析。

(二) 回归分析

对影响经济增长的各项指标包括能源消费、污染综合指数、污染与能源消费的交互影响和能源消费与资本存量的交互影响得到以下结论，如表 2 所示。

表 2 回归分析结果

变量 $\ln y$	模型 1	模型 2	模型 3
C	0.111 (0.843)	-0.280 (-1.970**)	0.394 (6.194*)
$\ln k$		0.327 (5.608*)	
$\ln ec$	0.317 (6.716*)	0.267 (6.602*)	
ZP		-0.924 (-3.540*)	-1.099 (-6.447*)
$\ln ec * ZP$		0.338 (3.465*)	0.401 (6.071*)
$\ln k * \ln ec$			0.133 (9.835*)
调整的 R^2	0.699	0.887	0.902

注：括号内为系数对应的 t 值，*、**、*** 分别为 1%、5%、10% 置信水平下通过显著性检验。

通过表 2 可以得出如下结论：在仅考虑能源消费与四川经济增长效应的模型 1 中，能源消费对经济增长效应系数为 0.317，与图 1 理论模型所假设条件一致，且通过了 1% 显著性水平下的检验，说明在现有的能源结构和生产技术条件下，能源

消费的大量投入可以带动产值的提升,这也从能源角度证明了发展中国家或地区经济增长需要更多能源投入^[16]的观点。模型2引入固定资本存量指标,拟合优度明显提高,模型解释能力增强,且 $nR^2 = 17.66 < x^{20.05} (13) = 22.3621$,说明模型不存在异方差。在考虑固定资本存量对四川经济增长的影响时,能源消费对经济增长效益系数为0.267,虽然数值有所降低,但依旧通过了1%显著性检验,与模型1所得结论保持一致,说明就目前来讲,能源仍是保持经济增长的重要要素。但综合污染指数对经济增长存在负效应,影响系数为-0.924,与图1理论模型所假设条件一致,说明经济增长方式依然相对粗放,工业“三废”的直接排放对环境造成的污染较为严重,这是企业治理污染技术和资金相对短缺造成的,一定程度上可能与近十年来治理工业污染占GDP的平均比例一直维持在1.62‰这一较低水平有关。而能源消费与综合污染指数的交叉项对经济增长的影响系数为0.338,也与图1中的理论模型所假设条件一致,说明了虽然能源消费是环境污染的重要原因,但能源消费对经济增长的正向效应依然大于环境污染对经济的负向效应,短期内能源消费对经济增长的贡献不会因为环境污染而抵消。模型3中调整的 $R^2 = 0.902$,模型拟合优度较好, $bR^2 = 16.55 < x_{0.05}^2 (9) = 16.919$,拒绝模型存在异方差假设, $DW = 1.81 > d_U$ 拒绝模型存在自相关假设。将资本存量与能源消费的交叉乘积项引入模型其系数为0.133,且影响显著,说明投入到能源消费企业的投资本身是拉动经济增长的重要因素,也说明通过技术更新和升级增强了能源消费效率,从而降低了能源消费强度。^[17]

(三) 协整检验

本文在向量自回归模型的基础上,通过Johansen and Juselius^[18]提出的基于VAR方法的协整检验思想,对经济增长 $\ln y$,污染综合指数 ZP ,能源消费与污染的交叉乘积项 $\ln ec \times ZP$ 进行长期稳定关系的协整检验。由于协整检验的前提是数据平稳,因此需要通过ADF单位根检验验证数据是否平稳。

表3 变量平稳性 ADF 单位根检验

变量名	ADF 检验值	临界值	是否稳定
$\ln y$	-3.875	-3.857*	是
ZP	-2.886	-2.655***	是
$\ln ec \times ZP$	-3.215	-3.030**	是

注*、**、***分别为1%、5%、10%置信水平下的界值。

在给定的置信水平下数据均通过了ADF检验,说明数据是平稳的,可以建立VAR模型,利用Johansen and Juselius检验法(即JJ检验法)进行协整检验。该方法基于向量自回归的高斯误差修正表达式,利用极大似然法估计参数,具有很好的小样本性质。模型的滞后项的选取为1。JJ检验结果如下:

表4 JJ 协整检验

协整方程	JJ 协整检验之迹检验				JJ 协整检验之最大特征值检验			
	特征值	迹统计	临界值	P 值	特征值	迹统计	临界值	P 值
0 个	0.928	53.762	29.797	0.000	0.928	44.811	21.132	0.000
最多一个	0.409	8.951	15.495	0.370	0.409	8.945	14.264	0.291
最多两个	0.001	0.006	3.841	0.938	0.001	0.006	3.841	0.938

注：样本区间为 1991—2010 年；趋势设定：线性确定趋势；迹检验表明在 1% 显著性水平下存在一个协整方程。

从表 4 可得 JJ 协整检验之迹检验和最大特征值检验都在 1% 的显著性水平下接受“存在 1 个协整方程”备择假设，拒绝“没有协整方程”的零假设。也就是说， $\ln y$ 、 ZP 、 $\ln ec \times ZP$ 之间存在长期的协整关系，即为：

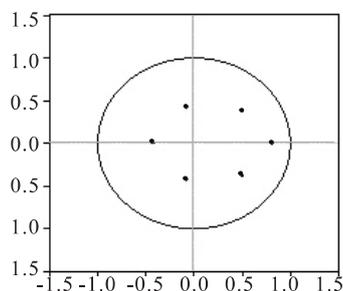
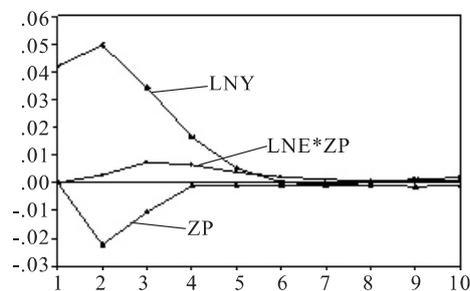
$$\ln y = -0.876ZP + 0.331\ln ec \times ZP$$

(0.103) (0.041)

从长期来看，能源消费、环境污染与经济增长效应之间存在长期稳定的关系，能源消费与环境污染指数的交叉项系数为 0.33，一定程度上说明能源消费对经济增长的正向效应大于环境污染对经济增长的负向效应，依靠“三高”产业发展依然有利于经济增长，即使这种增长是粗放的、有污染的。然而，环境污染本身对经济增长的系数为 -0.876，说明粗放经济发展模式是不可取的。随着污染的逐步加大，这种效应将越发明显，最终成为阻碍经济发展的主要因素。

(四) 脉冲响应分析

利用 VAR 模型构建脉冲响应函数能够度量一个随机扰动项的一次性冲击对模型的当前值和未来值产生的影响。本文以 $\ln y$ 、 ZP 和 $\ln ec \times ZP$ 为变量建立 VAR 模型，首先对其进行稳定性检验，以确保脉冲响应标准误差的有效性。模型的 AR 根图如图 2 所示。

图3 $\ln y$ 、 ZP 和 $\ln ec \times ZP$ 的 AR 根图4 $\ln y$ 对各内生变量冲击的脉冲响应

根据图 3 得到所有单位根位于单位圆内，其模小于 1，说明 VAR 模型是平稳

的,满足脉冲响应分析的条件。由图4可得,能源消费与环境污染指数的交叉项 $\ln ec \times ZP$ 对经济增长产生正向冲击且在第3年达到最大值,而环境污染指数本身对经济增长产生负向冲击且在第2年达到最大值,然后在第5年开始趋向平稳,这也是图1理论模型中EC曲线和 $ZP \times EC$ 曲线末端较平缓的原因,一方面说明四川经济增长的能源依赖度还是较高,能源消费依然是推动经济增长的重要因素;另一方面也说明环境污染将会使得区域环境恶化,从而阻碍经济发展。

五、结论与建议

通过实证分析可以得出以下结论:(1)能源消费对四川经济增长的正向效应大于环境污染对经济增长的负向效应,因此对能源行业不能搞“一刀切”,要对能源行业推动经济增长和社会发展的贡献加以肯定,同时要对粗放投入的“三高”产业加以限制。(2)环境污染对经济增长存在长期的、负向的效应,要通过转变经济发展方式、促进产业结构升级,实现经济由粗放向集约转变、由低效向高效转变、由高污染向生态绿色转变。(3)能源消费与环境污染对经济增长的脉冲影响在第5年开始才逐渐趋于平稳,说明能源消费与环境污染对经济增长存在一定的滞后效应,需要优化能源利用结构,提高能源利用效率,减少对经济发展的负面影响。基于以上结论,建议如下:

第一,制定共同但有区别的能源消费和排污配额管理。对能源生产行业、能源消费行业和一般行业制定不同标准的污染排放份额,积极构建区域性碳交易市场和排污权标准化市场,对企业技术改造和节能减排给与适度补贴,利用市场和政府的双重手段建立起“节能有奖、排污必究”的激励约束机制。

第二,调整要素投入结构、推动产业结构升级。优化要素市场,加大知识、科技和创新等要素对经济增长的推动作用,寻找新能源、新材料,逐渐减少能源依赖度和消费量。同时加强市场经济体制改革,不断完善和发展现代市场体系,建立良性循环的能源行业进入和退出机制,通过营造良好的投资环境和市场氛围,促进经济内生增长。

第三,优化能源利用结构,提高能源利用效率。将能源利用效率作为提升地区经济竞争力、环境保护和可持续发展的重要战略,大力提倡绿色、环保的消费理念和文化,通过完善新型消费业态,发展新兴服务性消费,通过消费结构和层次升级加速优化能源利用结构。☆

主要参考文献:

- [1] Kraft J. Kraft A.. On the Relationship between Energy and GNP[J]. Energy Development 1978(3):401-403.
- [2] Asafu - Adjaye J.. The Relationship between Electricity Consumption, Electricity Price and Economic Growth:

- Time Series Evidence from Asian Developing Countries [J]. *Energy Economics*, 2000 (22): 615-625.
- [3] Grossman, G. M. and A. B. Krueger. Environmental Impacts of A North American Free Trade Agreement [R]. NBER Working Paper 3914, 1991.
- [4] 林伯强. 中国能源需求的经济计量分析 [J]. *统计研究*, 2001 (10): 34-37.
- [5] 夏泽义, 张 伟. 中国能源消费与人口、经济增长关系的实证研究 [J]. *人口与经济* 2009(5): 7-11.
- [6] 李晓燕. 中国能源消费与经济增长的灰色关联分析 [J]. *重庆大学学报*, 2010 (5): 31-35.
- [7] 孙爱军, 方先明. 进出口贸易、能源消费与经济增长研究 [J]. *中央财经大学学报* 2010(5): 75-80.
- [8] 曾 胜, 黄登仕. 中国能源消费、经济增长与能源效率——基于 1980—2007 年的实证分析 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2009 (8): 17-27.
- [9] 齐绍洲, 罗 威. 中国地区经济增长与能源消费强度差异分析 [J]. *经济研究*, 2007 (7): 74-81.
- [10] 孙浦阳, 武力超, 陈思阳. 外商直接投资与能源消费强度非线性关系探究 [J]. *财经研究*, 2011 (8): 79-90.
- [11] 李珀松, 朱祉薰, 朱 坦. 滨海新区能源消费环境库兹涅茨曲线的实证分析 [J]. *环境污染与防治*, 2010 (5): 85-88.
- [12] 丁继红, 年 艳. 经济增长与环境污染关系剖析——以江苏省为例 [J]. *南开经济研究*, 2010 (2): 64-77.
- [13] 张 成, 朱乾龙, 等. 环境污染和经济增长的关系 [J]. *统计研究*, 2011 (1): 59-66.
- [14] 黄 菁, 陈霜华. 环境污染治理与经济增长: 模型与中国的经验研究 [J], *南开经济研究*, 2011 (1): 142-152.
- [15] 刘海英, 何 彬. 经济增长中环境污染路径的不确定性分析 [J]. *工业技术经济* 2009(7): 77-79.
- [16] Grossman, G. M. and A. B. Krueger. Economic growth and the environment [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1995, (2): 353-378.
- [17] 齐绍洲, 云 波, 李 楷. 中国经济增长与能源消费强度差异的收敛性及机理分析 [J]. *经济研究*, 2009 (4): 56-64.
- [18] 高铁梅. 计量经济分析方法与建模: Eviews 应用及实例 [M]. 北京: 清华大学出版社 2006: 178-180.

Energy Consumption , Environment Pollution and Economic Growth Effects: Analysis Based on Data Analysis in Sichuan from 1991 to 2010

Yuan Chengwei¹ Zhang De²

Abstract: Energy consumption is an important guarantee for economic growth and social development and also an important reason for environmental pollution. The problem of environmental pollution and economic growth caused by energy consumption is very complicated , which is worthy of attention. On the basis of Sichuan's time series data about energy consumption , environmental pollution , and economic growth , this paper firstly makes use of principal component and factor analysis method to change six indicators such as industrial wastewater , industrial solid waste emissions into a comprehensive indicator reflecting the level of pollution. Then we calculate comprehensive pollution index by building vector auto regression model and using the method co - integration test method and confirm the stable long - term relationship between the cross product of energy consumption and pollution and the economic growth. Positive effect on economic growth caused by energy consumption is larger than the negative effect on economic growth caused by environmental pollution , but environmental pollution leads to significantly negative influence on economic growth and. Impulse effect of energy consumption and environmental pollution on economic growth has leveled off in the fifth year. The author suggests to improve energy consumption efficiency through quota management , optimization of factor input structure , and promoting the upgrading of the industrial structure and other means.

Key words: Energy Consumption; Environment Protection; Economic Growth Effects

[收稿日期: 2015. 4. 27 责任编辑: 陈健生]

[中图分类号] F407. 2 [文献标识码] A [文章编号] 1000 - 8306 (2015) 07 - 0132 - 09