

Analysis of the Relationship between Chinese Urbanization and Environmental Pollution

—An Empirical Study Based on Panel Data Model with Variable Coefficients and VAR Model of 31 Provinces and Cities

Ji Zhao¹, Haiqiang Lan¹, Wen Gan²

¹College of Statistics and Mathematics, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming

²International Business School, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming

Email: yingyingzj@126.com

Received: Jun. 24th, 2014; revised: Jul. 21st, 2014; accepted: Aug. 1st, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Since the 10th Five-Year Plan of China, “actively yet prudently moving forward with urbanization” has been a fundamental development strategy in our country. With rising living standards, people increasingly concern about environmental issues. Therefore, it is quite meaningful to study the relationship between urbanization and environmental pollution. First of all, we use environmental indicators to structure environmental pollution index and conduct a statistical correction on the urbanization rate over the years. Then, features of the relationship between Chinese urbanization and environmental pollution are studied by descriptive statistics. Finally, by using varied coefficients Panel Data model and VAR model, we deeply discuss the relationship between the development of urbanization and environmental pollution from the perspective of both static and dynamic. The result shows that, the majority of our provinces in the left sections of the inverted U shaped curve, namely the development of urbanization has brought some environmental problems. While for few provinces (such as Beijing, Shanghai and Tianjin etc.), urbanization will improve the environment. According to these conclusions, the paper puts forward the corresponding development suggestions.

Keywords

Urbanization, Environmental Pollution, Inverted U-Shaped Curve, Panel Data Models with Variable Coefficients, VAR Model

我国城镇化发展与环境污染的关系研究

—基于31个省市Panel Data变系数模型与VAR模型的实证分析

赵吉¹, 兰海强¹, 千文²

¹云南财经大学统计与数学学院, 昆明

²云南财经大学国际工商学院, 昆明

Email: yingyingzi@126.com

收稿日期: 2014年6月24日; 修回日期: 2014年7月21日; 录用日期: 2014年8月1日

摘要

“积极稳妥地推进城镇化”自纳入“十五”规划以来,已成为我国一项基本发展战略。而随着生活水平的日益提高,人们对环境问题也越来越关注。因此,研究城镇化发展与环境污染的关系有重要意义。本文首先利用环境类指标构造环境污染指数,并对历年城镇化率的统计口径进行了修正,然后用描述性统计方法对我国城镇化发展与环境污染的关系进行了特征研究,最后利用Panel Data变系数模型和VAR模型从静态和动态角度对城镇化发展与环境污染的关系进行了深入探讨。研究结果表明,我国大多数省市处于倒U型曲线的左半段,即城镇化的发展带来了一定的环境污染问题。然而对于少数省市(如北京、上海和天津等),城镇化发展会改善环境状况。针对这些结论,提出了相应的对策建议。

关键词

城镇化, 环境污染, 倒U型曲线, Panel Data变系数模型, VAR模型

1. 引言

城镇化是伴随着农村劳动力大量的向城镇转移,城市和农村、大中小城市共同发展的过程。改革开放以来,我国的城镇化进程快速发展,全国城镇化率从1978年的17.92%到2011年51.27%,年平均增长约3.24个百分点。城镇化的快速发展,可以促进经济、社会的发展,为城镇居民提供优越的物质文化生活。但同时也会造成严重的环境污染,严重威胁着城镇居民的生存安全,成为人类健康和社会可持续发展的重大障碍。因此,研究城镇化发展与环境污染问题非常有必要且意义重大。它不仅关系到我们每一个人的切身生活,而且关系到我国是否可以实现城镇化的可持续发展。

对于城镇化发展规律,现有理论认为一般呈现S型曲线特征:起步阶段,加速阶段和稳定发展阶段。2011年我国城镇化率达到了51.27%,已处于城镇化加速阶段中的增速相对缓慢阶段。在城镇化加速阶段,根据“S”曲线所描述的城镇化率与人均收入间呈“S”型正相关关系,再依据环境库兹涅茨曲线(EKC),人均收入的快速增长在一定范围内必然又会带来环境压力。是否就此可认为城镇化率与环境污染应该呈倒U型关系,值得深入研究分析。

关于城镇化与资源、环境污染的关系,我国学者从定性与定量两方面进行了相关研究。定性研究大多关注城镇化过程中城镇所面临的水资源短缺、大气污染严重、垃圾围城、噪声污染等具体环境问题(周宏春等[1], 2010)。定量研究主要包括以下两个方面:1) 城镇化与相应环境压力的因果关系研究。刘耀

彬[2](2008)发现江西省城镇化发展水平是生态环境综合质量、生态环境压力、生态环境响应的格兰杰原因；张子龙[3]等(2011)得出宁夏城镇化与环境压力之间存在单向因果关系。2) 用城镇化率或经济发展等变量共同作为解释变量对环境压力进行分析。章泉[4](2009)研究表明，以城镇人口占总人口比重为指标的城镇化率对环境质量具有正影响，而以建成区面积为指标的城镇化进程的加快对环境质量具有显著的负影响；部分研究得到多数工业污染排放量与城镇化率之间存在较为明显的倒 U 型关系(杜江[5]等, 2008；王一惠[6]，2009；马磊[7]，2010)。

当前我国各省市城镇化的发展是否带来环境污染以及我国各省市城镇化发展所处的阶段正是本文分析的核心。在已有研究的基础上，本文基于我国 31 个省市城镇化率和环境污染数据构造环境污染指数，全面刻画各省市环境污染程度；从图形的角度直观展示了城镇化发展与环境污染之间的关系；运用 Panel Data 变系数模型和 VAR 模型分别从静态和动态角度来研究我国各省市城镇化发展与环境污染的问题。

2. 统计模型研究

2.1. 建模准备

2.1.1. 指标选取及数据来源和处理

本文选取了 1997~2010 年间我国城镇化发展与环境污染的多项指标。其中，总人口和城镇人口为常住人口统计口径数据，两者相比可以衡量我国各省市的城镇化率。借鉴工业三废(即工业废水、废气和固体废弃物)的想法可以衡量我国各省市环境污染程度。数据来源于《中国统计年鉴》、《中国环境年鉴》各省市历年统计年鉴以及各省市历年统计公报。

能搜集到的已有总人口和城镇人口数据基本上都呈现线性趋势，采用二次指数平滑法[8]对缺失值进行插补，对异常值进行替换。能搜集到的已有环境污染指标数据不呈现特定的趋势，故采用 missForest 插补法[9]进行插补。为了消除变量数量级和单位等对建模结果的可能影响，本文采用的数据均为相对数。本文采用兰海强[10]基于周一星等(2002)[11]提出的循环修正法对我国 1997~2005 年的城镇化率进行修正，以统一到“六普”口径，保证数据的可比性。

2.1.2. 环境污染指数的确定

本文 Panel data 变系数模型中，选取人口城镇化率为城镇化率作为自变量，设为 X ；构造出环境污染指数作为因变量，设为 Y 。环境污染指数具体构造如表 1 所示。这里，各指标排放量相对值 = 某省市该指标排放量/全国该指标排放量。

2.2. 我国城镇化进程与环境污染关系的特征研究

基于修正的城镇化率和构造的环境污染指数，通过散点图和趋势线，可以对我国城镇化发展与环境

Table 1. The structure of environmental pollution index

表 1. 环境污染指数的构造

环境 污 染 指 数	废污水排放量相对值 (权重 1/3)	废污水排放量(万吨)	工业废水排放总量(万吨) 生活污水排放量(万吨)
	二氧化硫排放量相对值 (权重 1/6)	二氧化硫排放量(万吨)	工业二氧化硫排放量(万吨) 生活二氧化硫排放量(万吨)
	烟尘排放量相对值 (权重 1/6)	烟尘排放量(万吨)	工业烟尘排放量(万吨) 生活烟尘排放量(万吨)
	工业固体废弃物产生量相对值(权重 1/3)	工业固体废弃物产生量(万吨)	工业固体废弃物产生量(万吨)

污染关系的特征进行研究。如果将我国所有城市的城镇化率放在一起研究，发现没有呈现明显倒 U 型曲线关系特征。

除了城镇化率偏高的北京、上海、天津和城镇化率水平偏低的西藏，剩下的 27 个省市的城镇化率均处于中等水平。而这 27 个省市环境污染指数呈现出明显的分段现象。环境污染指数位于 0.04~0.09(即环境污染程度较高)的省市包括：河北、山西、辽宁、江苏、山东、河南、广东和四川；环境污染指数位于 0.01~0.04(即环境污染程度中等)的省市包括：内蒙古、吉林、黑龙江、浙江、安徽、福建、江西、湖北、湖南、广西、重庆、贵州、云南、陕西、甘肃和新疆；环境污染指数位于 0.01 以下(即环境污染程度较低)的省市包括：海南、青海和宁夏。城镇化率处于中等水平的这 27 个省市分段环境污染指数与城镇化率的散点图及趋势线如图 1 所示，其中，左上图为环境污染程度偏高省市的情况，右上图为环境污染程度中等省市的情况，左下图为环境污染程度偏低省市的情况，右下图为西藏的情况。

图 1 中红色线均为拟合的趋势线，旁边为拟合的趋势线公式，三条趋势线二次项系数均为负数，分别为 -0.133 、 -0.05 及 -0.153 ，从图形上也可以明显的看出呈倒 U 型趋势。同时也可以观察到这三条趋势线(除第二条外)基本上都呈现左偏特征，即处于倒 U 型曲线左半段的省市偏多，即这些省市城镇化的发展会带来环境污染；第二条趋势线也呈倒 U 型，但是趋势不是特别明显，这可能是有些省市数据波动太大造成的。从图形的角度展示了我国大多数省市城镇化发展与环境污染呈倒 U 型的特征。

北京、上海和天津城镇化率很高。其中，北京和上海 1997~2010 年环境污染指数与城镇化率的关系位于倒 U 型曲线的右半段，即城镇化发展程度越高，环境污染程度越低，这与它们作为直辖市的结果是分不开的。西藏 1997~2010 年城镇化率偏低且波动较大，如图 1 右下图所示。

因此，通过分析各省市城镇化目前所处的阶段，研究城镇化发展与环境污染关系的特征可以发现：城镇化率很高的城市(如北京、上海和天津)位于倒 U 型曲线右段，即城镇化发展程度越高，环境污染程度越低；数据波动较大的省市(西藏、内蒙古和新疆)不符合倒 U 型特征；而将余下的我国大多数省市分三类后每类均呈倒 U 型特征，且处于倒 U 型曲线左半段的省市偏多，即城镇化的发展会带来环境污染。

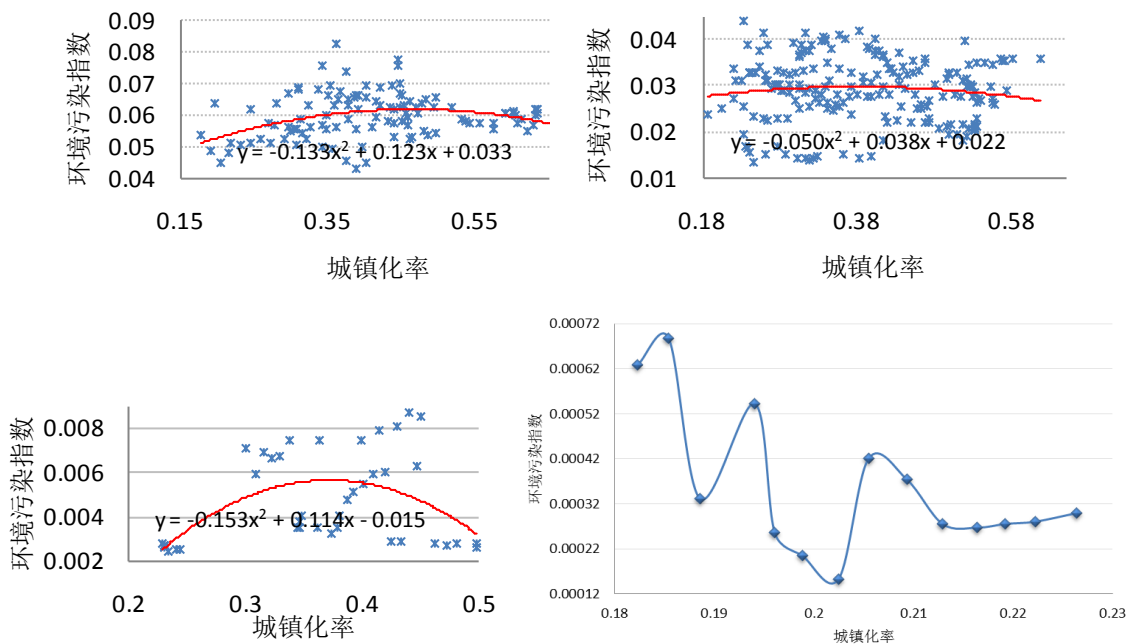


Figure 1. Curve: the relationship of urbanization rate and environmental pollution index

图 1. 城镇化率与环境污染指数关系图

2.3. 基于 Panel Data 的变系数模型的实证研究

在进行经济分析时经常会遇到横截面和时间序列相结合的数据。这类具有三个维度(即截面、时期和变量)信息的数据称为 Panel Data(面板数据)。根据对截距项 α_i 和系数向量 β_i 的不同限制, Panel Data 模型可分为 3 种类型: 不变系数模型、变截距模型和变系数模型。

利用 R 软件包 plm[12]中的 pooltest()函数, plmtest()函数, pwtest()函数, pbgtest()函数, 检验统计量的 p 值均小于 0.05。考虑到本文实际的数据背景, 即选取了全国 31 个省市(不包括香港、澳门和台湾地区)。数据所包含的截面成员为所研究总体的所有单位, 此时截面成员之间的差异可以被看作回归系数的参数变动, 因此选择固定效应是比较合理的。所以本文选择 Panel Data 变系数模型。由于存在异方差和序列相关问题, 本文选择广义最小二乘(GLS)进行参数估计。

2.3.1. 变系数模型的建立

本文建立的 Panel Data 变系数模型如式 1 所示

$$Y_i = \alpha_i + \beta_i X_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

其中, Y_i 为第 i 个省市 1997~2010 年环境污染指数的列向量, X_i 为第 i 个省市 1997~2010 年城镇化率的列向量, α_i 为第 i 个省市的个体影响, β_i 为第 i 个省市解释变量城镇化率的系数参数, ε_i 为随机扰动项, 均值为 0、存在异方差和序列相关, $N = 31$ 为所考察的我国省市个数(不包括香港、澳门和台湾地区)。

2.3.2. 变系数模型的求解

利用 plm 软件包中的 pvcmm()函数, 可以求解 Panel Data 变系数模型。pvcmm()函数基于广义最小二乘法对变系数模型各参数进行估计。估计的结果整理如附录所示。估计的 Panel Data 变系数模型的 $R^2 = 0.99999$, 残差平方和为 0.0026478, 因此, 所建立的模型整体显著, 有较好的可信度。

2.3.3. 变系数模型的结论分析

在 0.05 的显著性水平下, 模型回归系数的 P 值显示, 23 个省市的城镇化发展对环境污染有显著的影响, 8 个省市的城镇化发展对环境污染没有显著的影响。有显著影响的 23 个省市中, 城镇化率与环境污染指数正相关的省市共有 11 个, 负相关的省市共有 12 个。

城镇化率与环境污染指数正相关的 11 个省市分别为: 福建、广东、广西、海南、河南、江苏、内蒙古、宁夏、青海、新疆和浙江。这与前文城镇化发展与环境污染关系的图形分析一致, 我国绝大部分省市处于倒 U 型曲线左半段, 即城镇化越发展会带来环境质量的下降。如城镇化水平中等且环境污染偏高和偏低的城镇化率与环境污染指数关系图 1 左上图和左下图所示。

城镇化率与环境污染指数负相关的 12 个省市, 应排除北京和上海, 因为这两个直辖市城镇化发展的程度很高, 应该处于倒 U 型曲线的右半段, 即城镇化越发展会带来环境的改善。而其它 10 个省市, 分别为甘肃、贵州、黑龙江、湖北、湖南、辽宁、山东、四川、西藏和重庆, 处于倒 U 型曲线的右半段是明显不合理的, 因为从这些省市的实际情况看, 这些省市的城镇化发展水平还没有高到足以使它们发展城镇化能改善环境。出现这一问题, 主要可能是这些省市城镇化率与环境污染指数 1997~2010 年波动较厉害, 以西藏为例, 如图 1 右下图所示。

模型回归系数不显著的 8 个省市分别为: 安徽、河北、吉林、江西、山西、陕西、天津和云南, 不能武断地说这些省市城镇化发展不会造成环境污染, 只能在当前的显著性水平下认为, 这些省市城镇化发展对环境污染不存在统计意义上的显著影响。

2.4. VAR 模型分析

本文基于以上 Panel Data 变系数模型的分析结果, 对回归系数不显著的省市(以安徽省为例)、对回归

系数显著且为负值的省市(以湖北省和北京市为例)和对回归系数显著且为正值的省市(以广东省为例)分别进行 VAR 模型分析,以探究这些代表省市城镇化率与环境污染指数的动态变化。

2.4.1. VAR 模型的建立

对所选出的各代表省市 1997~2010 年城镇化率与环境污染指数进行 Johansen 协整检验,两类检验统计量(迹统计量和最大特征根统计量)的 P 值都较小,在 5% 的显著性水平下均拒绝原假设,因此,可进行 VAR 模型分析。

根据似然比(LR)检验,最终预测误差(FPE)准则以及 AIC、SC 和 HQ 信息准则等 5 个评价统计量的值,再结合拟建立的 VAR 模型的稳定性检验(AR 根检验),可以确定 VAR 模型的最佳滞后期数。分别对安徽省、湖北省、北京市和广东省选择建立 VAR(1)模型、VAR(3)模型、VAR(1)模型和 VAR(1)模型,而且各个模型均稳定,即各个代表省市城镇化率与环境污染指数均存在着长期稳定的均衡关系。其回归估计结果分别如式(2)至式(5)所示。其中, ε_{1t} 和 ε_{2t} 均为随机干扰项,满足式(1)中的条件; X_{t-1} , X_{t-2} , X_{t-3} 和 Y_{t-1} , Y_{t-2} , Y_{t-3} 分别为序列 X_t 和 Y_t 滞后一期,二期和三期的值。

$$\begin{pmatrix} Y_t \\ X_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.01 \\ 0.06 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.58 & 0.01 \\ -1.33 & 0.97 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{t-1} \\ X_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{pmatrix}, \quad t = 1, 2, \dots, 14. \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} Y_t \\ X_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.04 \\ 0.43 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.74 & -0.05 \\ 7.11 & 0.08 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{t-1} \\ X_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -0.37 & 0.07 \\ -5.96 & 0.75 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{t-2} \\ X_{t-2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.01 & -0.05 \\ -6.66 & -0.32 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{t-3} \\ X_{t-3} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$t = 1, 2, \dots, 14.$

$$\begin{pmatrix} Y_t \\ X_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.02 \\ 0.20 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.56 & -0.01 \\ -2.86 & 0.80 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{t-1} \\ X_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{pmatrix}, \quad t = 1, 2, \dots, 14 \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} Y_t \\ X_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.04 \\ 0.02 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -0.05 & 0.03 \\ 2.61 & 0.73 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{t-1} \\ X_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{pmatrix}, \quad t = 1, 2, \dots, 14. \quad (5)$$

2.4.2. 脉冲响应分析

根据代表省市所建立的 VAR 模型,分别做出它们的环境污染指数对城镇化率冲击的脉冲响应函数图。如图 2 所示。其中,横坐标表示跟踪期,纵坐标表示脉冲响应;实线代表脉冲响应函数,虚线代表正负两倍标准差偏离带。

1) 对于 Panel Data 变系数模型中回归系数不显著的省市,以安徽省为例。

从图 2 左上图可知,安徽省环境污染指数对城镇化率新息的一个标准差冲击的响应先是显著地提高,然后又平稳地下降,到第 9 期时基本达到稳定状态。表明安徽省城镇化率的发展会带来环境污染。这类的省份还包括:河北、吉林、江西、山西、陕西、天津和云南等 7 个省市。

2) 对于 Panel Data 变系数模型中回归系数显著但为负值的省市,以湖北省和北京市为例。

从图 2 右上图可知,湖北省环境污染指数对城镇化率新息的一个标准差冲击的响应波动的尤为剧烈,这也可能是湖北省 Panel Data 变系数模型回归系数虽然显著但与实际城镇化发展不相符的原因。这类的省份还包括:甘肃、贵州、黑龙江、湖南、辽宁、山东、四川、西藏和重庆等 9 个省市。

从图 2 左下图可以看到,北京市环境污染指数对城镇化率新息的一个标准差冲击的响应首先是有个较大下降,再缓慢上升,但一直为负响应,这表明北京市城镇化的发展可改善环境,其城镇化进程与环境污染的关系已处于倒 U 型曲线右半段,这与模型分析结果一致。与北京市类似的还有上海市和天津市。

3) 对于 Panel Data 变系数模型中回归系数显著且为正值的省市,以广东省为例。

从图 2 右下图可见,广东省环境污染指数对城镇化率新息的一个标准差冲击的响应一直为正值,先

是有一个缓慢上升趋势，在第 2 期时达到最大后又平稳下降，这表明长期内广东省城镇化的发展对环境的污染不会消失，但随着城镇化发展，环境污染会慢慢减弱。这与模型分析结果也是一致的。与广东省类似的省份还包括：福建、广西、海南、河南、江苏、内蒙古、宁夏、青海、新疆和浙江等 10 个省份。

2.4.3. 方差分解分析

脉冲响应函数形象地展示了 VAR 模型中每个内生变量的冲击对其他内生变量产生的影响，而要准确地确定出每一个结构冲击对每个内生变量变化的贡献度，并评价不同结构冲击的相对重要程度，则需建立方差分解模型。以安徽省 VAR(1)模型为例，可以得到各变量的方差分解结果，如图 3 所示。

图 3 左方为城镇化率变动方差分解图，蓝线为城镇化率自身冲击的贡献率，红线为环境污染指数冲击对城镇化率的贡献率；右方为环境污染指数变动的方差分解图，蓝线为城镇化率冲击对环境污染指数

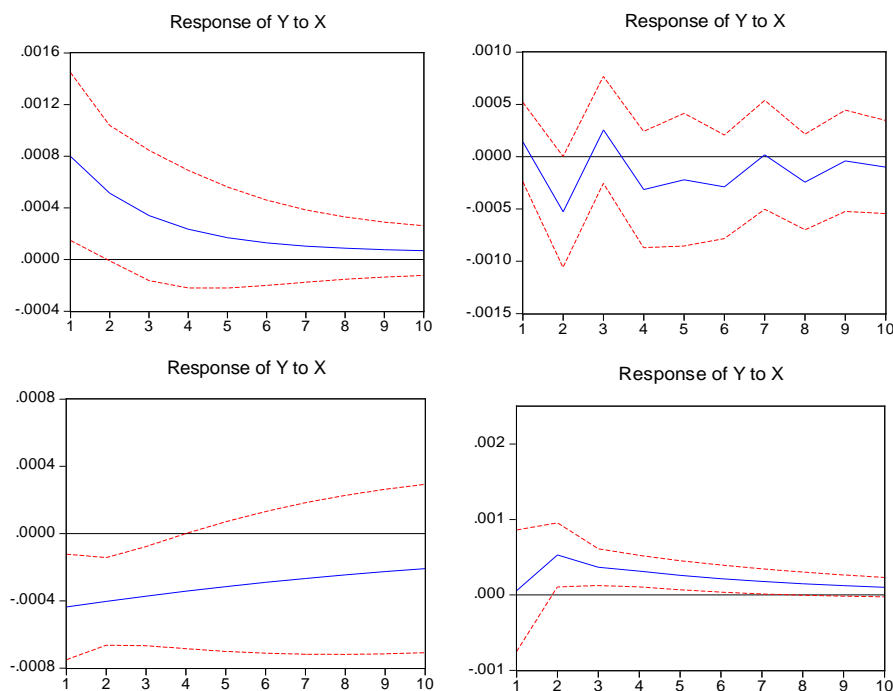


Figure 2. Curve: impulse response function
图 2. 脉冲响应函数图

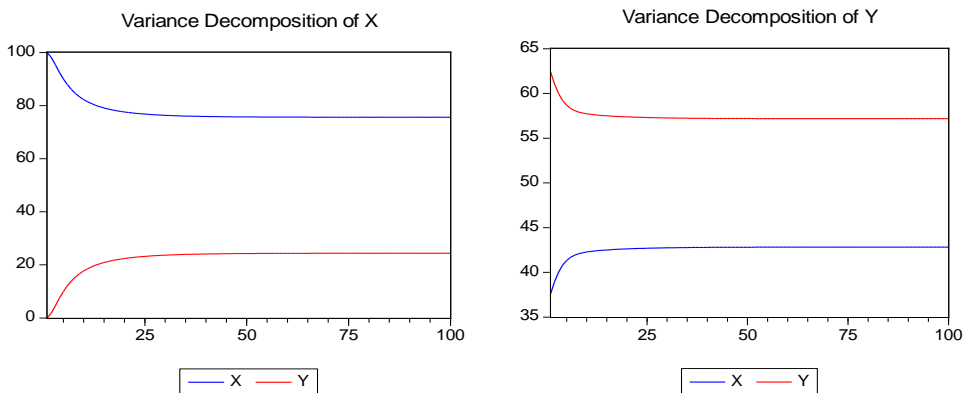


Figure 3. Variance decomposition of Anhui VAR (1) model
图 3. 安徽省 VAR(1)模型的方差分解图

的贡献率, 红线为环境污染指数自身冲击的贡献率。其中, 横轴表示跟踪期, 纵轴表示贡献率。从图中可看到, 安徽省 1997~2010 年城镇化率与环境污染指数自身冲击的贡献率都较大, 即城镇化率与环境污染指数受自身冲击影响较大。但是环境污染指数冲击对城镇化率的贡献率以及城镇化率冲击对环境污染指数的贡献率随着时期的增加呈上升趋势, 当时期延长到第 100 期时, 可以观察到两者的贡献率基本上分别稳定在 24.38% 和 42.82%, 可见城镇化的发展与环境污染之间存在着长期而又稳定的相互影响关系。

2.4.4. VAR 模型结论分析

通过方差分解和脉冲响应分析可知, 安徽省城镇化发展与环境污染还是紧密相关的, 这一结论可对前文 Panel Data 变系数模型得到的安徽省回归系数不显著的结论做出修正性的说明。其它部分省市均可以利用相同的方法对城镇化发展与环境污染之间的关系作进一步的探讨分析, 以修正 Panel Data 变系数模型的模型结果。

3. 结论分析与建议

本文构造的环境污染指数可在一定程度上衡量各省市环境污染程度, 1997~2010 年我国各省市城镇化率与环境污染指数基本上呈倒 U 型关系。大多数省市处于倒 U 型曲线左半段, 即城镇化发展会带来环境污染; 个别省市处于倒 U 型曲线右半段, 即城镇化发展会改善环境状况, 如北京、上海和天津等。

Panel Data 变系数模型结果显示, 大多数省市的城镇化发展对环境污染都有显著的影响, 即城镇化的发展带来了环境污染问题; 个别省市由于 1997~2010 年城镇化与环境污染等指标波动较剧烈, 导致了模型结果不好解释。

向量自回归(VAR)模型可以对以上 Panel Data 变系数模型不好解释的回归结果做出修正性的说明。经过 VAR 模型的动态分析, 可知我国各省市城镇化发展与环境污染问题联系的非常紧密, 除个别省市外(即北京、上海和天津), 目前而言, 我国各省市城镇化发展都会带来一定程度的环境污染问题。因此, 如何协调好城镇化发展与环境污染问题迫在眉睫。

对于大多数省市, 城镇化发展会带来环境污染。政府应重视城镇化与环境的协调发展, 有规划、有计划地推进现代城镇发展模式; 应灵活运用市场机制, 推进城镇环境产权化, 建立惩罚、激励机制保护环境; 应着力推进生态城镇建设, 倡导生活方式城镇化, 加强环境资源的保护。对于少数省市(如北京、上海和天津等), 城镇化发展会改善环境状况。应加快推进城镇化, 优化全省城镇空间布局, 加快形成以中心城市和城市群为核心、大中小城市和小城镇协调发展的现代城镇体系; 应加强城镇规划, 完善城镇功能, 强化城镇管理, 培育城镇特色, 不断增强城镇综合承载能力; 应着力提高城镇化发展质量和水平, 促进城镇化的持续快速健康发展。

参考文献 (References)

- [1] 周宏春, 李新 (2010) 中国的城镇化及其环境可持续性研究. *南京大学学报(哲学人文科学社会科学)*, 4, 66-75.
- [2] 刘耀彬 (2010) 江西省城镇化与生态环境关系的动态计量分析. *资源科学*, 6, 829-835.
- [3] 张子龙, 等 (2011) 宁夏城镇化与经济增长和环境压力互动关系的动态计量分析. *自然资源学报*, 1, 22-26.
- [4] 章泉 (2009) 中国城镇化进程对环境质量的影响——基于中国地级城镇数据的实证检验. *教学与研究*, 3, 32-38.
- [5] 杜江, 刘渝 (2008) 城市化与环境污染: 中国省际面板数据的实证研究. *长江流域资源与环境*, 6, 825-830.
- [6] 王一惠 (2009) 基于中国的城市化与环境发展关系的实证研究. *统计与咨询*, 3, 6-7.
- [7] 马磊 (2010) 中国城镇化与环境质量研究. *中国人口科学*, 2, 73-81.
- [8] MBA 智库百科, 二次指数平滑法.
<http://wiki.mbalib.com/wiki/%E4%BA%8C%E6%AC%A1%E6%8C%87%E6%95%B0%E5%B9%B3%E6%BB%91%E6%B3%95>

- [9] Stekhoven, D.J. and Bühlmann, P. (2012) MissForest—Non-parametric missing value imputation for mixed-type data. *Bioinformatics*, **28**, 112-118.
- [10] 兰海强, 孟彦菊, 张炯 (2014) 我国 2030 年城镇化率的预测——基于四种方法比较. *统计与决策*. (已接受, 拟 2014 年 1-3 月刊出)
- [11] 周一星, 于海波 (2002) 以“五普”数据为基础对我国城镇化水平修补的建议. *统计研究*, **4**, 44-47.
- [12] Croissant, Y. and Millo, G. (2008) Panel data econometrics in R: The plm package. *Journal of Statistical Software*, **27**, 1-43.

附录

Table. Estimation results of Panel Data Models with variable coefficients of China's 31 provinces and cities
表. 全国 31 个省市 Panel Data 变系数模型估计结果

地区	α_i	β_i	Std.Error	T-value	$\Pr(> t)$
安徽	0.029874347	-0.0009266032	2.284695e-03	-0.40557	0.346098
北京	0.002836215	-0.0489591369	6.721388e-03	-7.28408	4.84E-06
福建	0.050529298	0.0331570163	8.719111e-03	3.802798	0.001258
甘肃	0.008510125	-0.0054796007	2.623979e-03	-2.08828	0.029377
广东	0.069671368	0.0207259829	2.517231e-03	8.233644	1.4E-06
广西	0.059453775	0.0198446005	6.055142e-03	3.277314	0.003306
贵州	0.004389558	-0.0210193191	8.754056e-03	-2.40109	0.016726
海南	0.002983085	0.0002423041	9.200398e-05	2.633626	0.010915
河北	0.086348022	0.0167893929	9.697010e-03	1.731399	0.054492
河南	0.071472661	0.0144230123	1.899554e-03	7.592841	3.2E-06
黑龙江	-0.030218253	-0.0943738297	2.846445e-02	-3.3155	0.003081
湖北	0.023143606	-0.0139035222	3.643838e-03	-3.81563	0.001229
湖南	0.031683396	-0.0061954244	1.838207e-03	-3.37036	0.002783
吉林	0.010278041	-0.0161850716	9.920008e-03	-1.63156	0.06436
江苏	0.064017823	0.0066317765	3.652297e-03	1.815782	0.047228
江西	0.028199007	-0.0033810742	2.794335e-03	-1.20997	0.124792
辽宁	0.048515718	-0.0200198345	1.082257e-02	-1.84982	0.044554
内蒙古	0.088380059	0.0669548481	1.216400e-02	5.504345	6.77E-05
宁夏	0.016362762	0.0085678460	1.810496e-03	4.73232	0.000243
青海	0.015924969	0.0118142344	1.842201e-03	6.413108	1.67E-05
山东	0.048577634	-0.0197414996	5.493351e-03	-3.59371	0.001844
山西	0.048891446	-0.0109337754	8.629713e-03	-1.26699	0.114598
陕西	0.023830126	-0.0032133498	2.547620e-03	-1.26131	0.115582
上海	0.016884042	-0.0371806700	4.491739e-03	-8.27757	1.32E-06
四川	0.032943121	-0.0159238125	5.316225e-03	-2.99532	0.005582
天津	0.008563640	-0.0022083077	1.787512e-03	-1.23541	0.12016
西藏	-0.001854303	-0.0013901850	5.289477e-04	-2.62821	0.011024
新疆	0.052855265	0.0373752663	3.519374e-03	10.61986	9.31E-08
云南	0.025961182	0.0010175962	2.214983e-03	0.459415	0.327074
浙江	0.054391091	0.0330356859	5.094714e-03	6.484306	1.5E-05
重庆	0.006445570	-0.0207265041	2.903261e-03	-7.13904	5.91E-06

注：后三列仅为解释变量 $\log(X)$ 的标准差、t 统计量值和相应的 P 值。