基于协整理论和 VAR 模型的河南省环境污染驱动因素研究

马孟华[1]，宋文博[2]，丁艳喜[3]，孟庆香[2,4]，郭子龙[2]，尚一珂[2]

(1. 郑州市土地利用规划院，河南 郑州 450006；2. 河南农业大学 资源环境学院，河南 郑州 450002；
3. 河南今辰信息科技有限公司，河南 郑州 450002；4. 河南省高校农业资源与环境工程技术研究中心，河南 郑州 450002)

摘　要：[目的] 分析河南省环境污染的驱动力机制，为经济发展与环境规划提供理论支撑。[方法] 尝试从动态的视角来解读河南省环境污染问题，借助协整分析、误差修正模型、脉冲响应函数和方差分解对河南省环境污染的驱动因素进行分析。[结果] 人均 GPD，第二产业比重，总人口，外商投资强度以及政府管制水平与环境污染指数存在长期协整关系，且系统存在误差修正机制；脉冲响应函数结果显示，人均 GDP，第二产业比重，总人口长期会加剧环境污染，外商投资强度对环境具有微弱地积极影响，政府管制水平对环境影响不明显；方差分解结果显示，总人口是环境污染的主要原因，其次是第二产业比重和人均 GDP。[结论] 调整人口布局和优化产业结构是河南省未来控制环境污染的发展方向。

关键词：环境污染；驱动因素；遗传算法；协整分析；VAR 模型

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2015)03-0162-06　　**中图分类号**：F205

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.036

Research on Driving Factors of Environment Pollution Based on Co-integration Analysis and Vector Autoregressive Model

MA Menghua[1], SONG Wenbo[2], DING Yanxi[3], MENG Qingxiang[2,4], GUO Zilong[2], SHANG Yike[2]

(1. *Zhengzhou Land and Resources Bureau, Zhengzhou, He'nan* 450006, *China*;
2. *College of Recourse and Environment, Henan Agriculture University, Zhengzhou, He'nan* 450002, *China*; 3. *Henan Jinchen Information Technology Co. Ltd, Zhengzhou, He'nan* 450002, *China*; 4. *Colleges and universities in He'nan Province of Agricultural Resources and Environmental Engineering Technology Research Center, Zhengzhou, He'nan* 450002, *China*)

Abstract: [Objective] To analyze the driving mechanism of environmental pollution, and privide support for economic derelopment and enviromental planning in Henan Province. [Methods] To interpret the dynamic changes in the environmental pollution of He'nan Province and its relationships with some driving forces based on co-integration analysis, error-correct model, impulse response function, and variance decomposition. [Results] Over all, environmental pollution had long-term co-integration relationship with GDP per capita, proportion of secondary industry, total population, foreign direct investment and government regulation, and the error correction mechanism existed. The impulse response analysis showed that GDP per capita, proportion of secondary industry and total population aggravated environmental pollution, while foreign direct investment had slightly positive impacts and government regulation has insignificant effects. According to the results of variance decomposition, total population was the most important factor for environmental pollution, followed by proportion of secondary industry and GDP per capita. [Conclusion] Rationalizing the population distribution and optimizing industrial structure is the future development orientation for environment pollution control.

Keywords: environmental pollution; driving factors; genetic algorithm; co-integration analysis; VAR model

近年来，河南省社会经济增长速度日益加快。然而，伴随社会经济发展的是越来越多的环境污染问题，它不仅影响到河南省的经济发展，对人类的健康和生产生活也造成极大的威胁。随着中原经济区战

收稿日期：2014-04-18　　**修回日期**：2014-04-28

资助项目：中国地质调查局项目“中原经济区资源环境承载力综合评价与区划”(12120113007300)

第一作者：马孟华(1964—)，女(汉族)，河南省郑州市人，高级工程师，本科，主要从事国土规划与土地综合整治研究。E-mail:zzgtgh@sina.com。

通信作者：孟庆香(1977—)，女(汉族)，河南省新乡市人，副教授，博士，主要从事土地资源调查评价工作。E-mail:qxmeng@126.com。

略的不断深入,未来一定时期河南省城市化、社会经济以及人们生活水平将不断提高,能源消费和环境污染物排放也会持续增加,社会经济发展和环境保护的矛盾将愈演愈烈,控制和减少环境污染显得极为迫切和必要。

关于环境污染驱动因素的相关研究主要集中在外商投资和经济发展对环境污染的影响,而对影响环境污染主要驱动因素的量化分析几乎空白。李国柱[1]采用面板 Grangerg 关系检验分析了外商投资和环境污染的因果关系;陈丽珍[2]等建立了外商投资与环境污染综合指数的回归方程模型,认为外商投资是环境污染物增加的重要原因;张学刚[3]等借助联立方程模型考察了外商直接投资对环境影响的作用方向和大小。经济发展对环境污染的影响研究主要基于环境库兹涅茨曲线(Environmental Kuznets Curve, EKC),EKC 曲线描述了经济增长和环境质量之间存在"倒 U 型"关系[4-5]。很多学者(Holtz-Eakin T M, Selden,刘荣茂)通过实证研究,发现环境污染和经济发展的确存在这种"倒 U 型"的关系[6-8]。

整体来看,国内外学术界对环境污染驱动因素的研究仍存在一些不足,相关研究多是研究单一变量或者双变量对环境污染的影响,而涉及多因素的研究在影响程度上也缺乏具体量化。笔者在相关研究的基础上,采用遗传算法—BP 神经网络模型对环境污染进行综合评价,在此基础上,借助协整理论和 VAR 模型找出河南环境污染的主要驱动因素,旨在定量揭示出环境污染驱动因素边际贡献和动态影响,为河南省经济发展与环境规划提供理论支撑。

1　研究方法和数据来源

1.1　研究方法

在遵循科学性、可操作性、动态性、代表性和全面性的基础上,参考现有的研究成果[9-14],从水、大气和固体污染三个方面构建河南省环境污染的指标体系,见表 1。采用遗传算法—BP 神经网络模型计算河南省环境污染综合指数。BP 神经网络(Back Propagation)是由一种利用误差反向传播训练算法的神经网络,有着很强的输入输出非线性映射能力以及优越的学习和训练优点,但是受初始权重和阈值影响较大,容易陷入局部最优集,且收敛速度不理想。遗传算法是模拟生物的遗传以及进化变异过程中一种全局寻优的算法,遗传算法在全局寻优上有较强的鲁棒性和效率。笔者构建遗传算法—BP 神经网络模型,采用遗传算法对 BP 神经网络的初始权重和阈值进行全局优化,实现了两种方法的优势互补,进而能更好地训练样本,使环境污染综合指数测算结果更加客观准确,计算流程见图 1。在此基础上,借助协整理论,对河南省环境污染与其驱动因素之间的协整关系进行检验,对存在协整关系的影响因素,建立 VAR 模型研究各驱动因素对环境污染的效应方向和冲击强度。

表 1　河南省环境污染水平评价指标体系

评价体系	具体指标
环境污染评价体系	工业污水排放量/10^4 t
	生活污水排放量/10^4 t
	生活污水 COD 排放量/10^4 t
	工业废气排放量/10^8 m^3
	二氧化硫排放量/10^4 t
	烟尘总排放量/10^4 t
	工业烟尘排放量/10^4 t
	工业固体废气物产生量/10^4 t

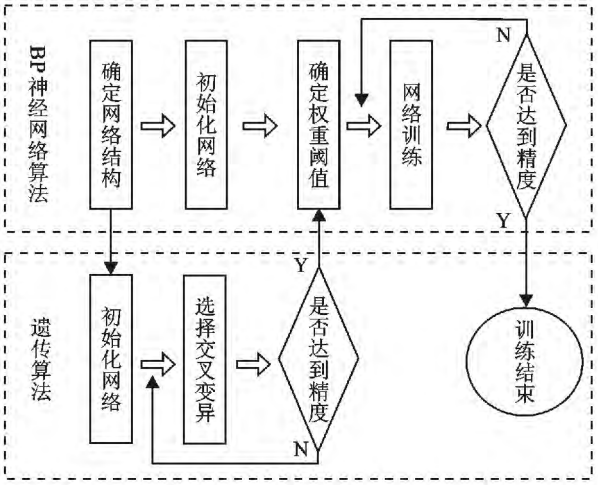


图 1　环境污染综合指数测算网络模型计算流程

1.2　变量选取与数据说明

环境污染(E)的驱动因素很多,结合河南省社会经济发展特征和已有的文献[15-18],最终筛选确定如下变量:(1)经济水平(J),以河南省各年人均 GDP(千元)表示,采用平减指数换算成 1985 年不变价计算的可比值;(2)产业结构(I),以河南省各年第二产业产值比重占 GDP 比重表示;(3)能源结构(N),以河南省各年煤炭消费(标准煤)占能源总消费的比重表示;(4)人口规模(P),以河南省各年总人口数(亿人)表示;(5)外商投资强度(F),以河南省各年外商直接投资额占 GDP 比重表示;(6)科技水平(S),以河南省各年从事科技人员数占第二产业从业人员总数的比重表示;(7)政府管制强度(G),以河南省各年政府对于环境污染治理投资总额占 GDP 比重表示。

以上数据取自《河南经济统计年鉴》(1992—

1993)、《河南省统计年鉴》(1986—2013)以及《河南省六十年:1949—2009》,时间跨度为1985—2012年,个别年份缺失的数据采用相邻年份插值法补全。为了克服数据中的异方差,对变量取对数并分别记为LE,LJ,LI,LN,LP,LF,LS,LG。

2 实证研究

2.1 河南省环境污染指数测算

由于环境污染的BP神经网络研究仍处于探索阶段,尚没有统一的判断标准。而BP神经网络的训练数据需要由研究对象的评价标准构成,笔者参照文献[19],选用线性内插法,通过构建全部指标的最大值和最小值区间,线性设定影响等级。定义环境污染综合指数为0—10分,梯度为0.1,由0至10分表示环境污染指数逐渐升高。

将梯度为0.1的101个得分值作为神经网络的输出数据,将线性内插处理得到的数据作为神经网络的输入数据。结合前述网络模型计算流程,设置神经网络的拓扑结构为$8\times17\times1$,最大循环次数为2 000,均方误差为10^{-8}。运用遗传算法工具箱和编程语言对BP神经网络权值和阈值进行优化,设置种群规模为80,遗传代数为500代,交叉概率为0.1,变异概率为0.05。经过638次训练后,BP神经网络均方误差达到设定的精度,将原始标准化数据导入训练好的网络,即可得到1985—2012年河南省环境污染综合指数(表2)。

表2 河南省环境污染综合指数

年份	综合指数	年份	综合指数	年份	综合指数	年份	综合指数
1985	0.076	1992	1.199	1999	3.776	2006	7.141
1986	0.237	1993	1.619	2000	3.926	2007	7.258
1987	0.945	1994	1.949	2001	4.218	2008	7.370
1988	1.037	1995	2.201	2002	4.696	2009	7.963
1989	1.183	1996	2.322	2003	4.958	2010	8.778
1990	1.085	1997	2.549	2004	6.537	2011	9.215
1991	1.009	1998	3.582	2005	6.682	2012	9.450

2.2 河南省环境污染驱动因素计量经济分析

2.2.1 协整检验和误差修正模型 利用EViews计量经济软件,对1985—2010年LE,LJ,LI,LN,LP,LF,LS,LG序列进行单位根的稳定性检验(最优滞后期根据AIC准则确定),结果如表3所示。

通过检验结果看出,在5%的显著水平下,接受LE,LJ,LI,LN,LP,LF,LG有单位根的假设,但是拒绝LE,LJ,LI,LP,LF,LG一阶差分具有单位根的假设。可知,LS,LN与LE的单整阶数不同,即LE与LS,LN不存在协整关系,而可能与LJ,LI,LP,LF,LG存在协整关系。建立LE,LJ,LI,LP,LF,LG回归模型,得到如下方程(括号内为t统计值):

$$LE=-0.311+0.651\times LJ-0.902\times LI+1.648\times LP-0.014\times LF+0.089\times LG \quad (1)$$
$$(-0.467\ 2)\ (4.700\ 2)\ (-1.483\ 9)\ \ (0.917\ 0)\ \ (-0.207\ 3)\ \ (1.247\ 5)$$

式(1)中:LI的系数符号与其经济意义不相符,且LP和LF的t统计值不显著,怀疑存在共线性。对其进行VIF共线性诊断,发现LJ,LI和LP的VIF值大于10,表明式(1)存在严重的多重共线性。采用岭回归对式(1)进行参数修正,调用SPSS19软件Ridge regression命令,得到5个驱动因素的岭迹图(图2)。岭迹图显示岭参数k为0.8时,各条岭迹趋于稳定,选用$k=0.8$进行结果输出,得到修正OLS回归方程:

$$LE=2.070+0.177\times LJ+1.032\times LI+2.730\times LP-0.116\times LF+0.168\times LG \quad (2)$$
$$(16.602)\ \ (13.017)\ \ \ (7.612)\ \ (11.519)\ \ \ (-2.115)\ \ (3.910)$$
$$R^2=0.915,\ F=47.329,\ \text{sig}\ F=0.000$$

式(2)中:$R^2=0.915$,方程的拟合优度较高;$p=0.000$,回归方程在1%的显著水平上通过了显著性检验;从t检验来看,各驱动因素对LE的影响均是显著的,对残差进行自相关性检验,其自相关系数对应的相伴概率为0.267,说明自相关不显著,残差单位根检验结果显示在5%置信水平下拒绝了存在单位根的原假设,表明LE和LJ,LI,LP,LF,LG存在协整关系。

可以看出,河南省环境污染指数与人均GDP,第二产业所占比重,总人口和政府管制水平呈现正相关关系,其每增长1%,会引起环境污染指数上升0.177%,1.032%,2.730%,0.168%;环境污染指数与外商投资强度呈现负相关关系,其每增加1%,会引起环境污染指数下降0.116%。

从检验结果看出,环境污染指数与各驱动因素之间存在协整关系,但是短期内由于受到外界干扰会导致偏离均衡状态,因此有必要对短期波动进行修正。误差修正模型(ECM)可以将短期波动和长期均衡进行直接的描述,把均衡误差引入一阶差分滞后模型,建立误差修正模型,得到公式(3)。

$$\mathrm{D}(\mathrm{L}E)=0.813-0.549\times\mathrm{D}(\mathrm{L}J)-0.535\times\mathrm{D}(\mathrm{L}I)-2.768\times\mathrm{D}(\mathrm{L}P)-0.046\times\mathrm{D}(\mathrm{L}F)-0.021\times\mathrm{D}(\mathrm{L}G)-0.229\times\mathrm{ECM} \quad (3)$$

式中:$\mathrm{ECM}=\mathrm{L}E_{t-1}-0.235\times\mathrm{L}J_{t-1}-1.672\times\mathrm{L}I_{t-1}+3.340\times\mathrm{L}P_{t-1}+0.486\times\mathrm{L}F_{t-1}+0.538\times\mathrm{L}G_{t-1}$

表 3　单位根检验结果

变 量	ADF 统计值	5%临界值	结论
L*E*	−2.050	−3.588**	非平稳
L*J*	−0.215	−2.986*	非平稳
L*I*	−0.738	−2.981*	非平稳
L*N*	−1.586	−3.603**	非平稳
L*P*	−2.002	−2.976*	非平稳
L*F*	−1.833	−1.954	非平稳
L*S*	−2.327	−1.954	平 稳
L*G*	−2.214	−3.588**	非平稳
D(L*E*)	−4.154	−3.612**	平 稳
D(L*J*)	−3.575	−2.986*	平 稳
D(L*I*)	−4.158	−3.595**	平 稳
D(L*N*)	−1.586	−3.603**	非平稳
D(L*P*)	−4.496	−3.595**	平 稳
D(L*F*)	−5.492	−3.595**	平 稳
D(L*G*)	−4.368	−3.595**	平 稳

说明:滞后期根据 AIC 准则;"*"表示只存在截距;"**"表示存在截距和趋势项;*L* 表示对变量取对数;*D* 表示一阶差分;*E* 表示环境污染;*J* 表示经济水平;*I* 表示产业结构;*N* 表示能源结构;*P* 表示人口规模;*F* 表示外商投资强度;*S* 表示经济水平;*G* 表示政府管制强度。下同。

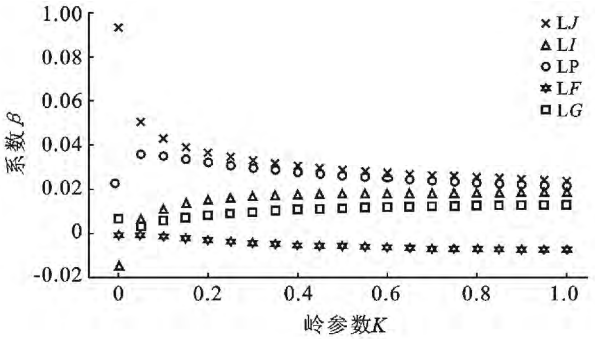


图 2　环境污染驱动因素岭迹

从式(3)可知,短期内人均 GPD、第二产业所占比重、总人口、外商投资强度以及政府管制水平对环境污染指数均有负向影响,其每增加 1%,会引起环境污染指数下降 0.549%,0.535%,2.768%,0.046%,0.021%,短期内总人口、人均 GDP 和第二产业比重仍是环境污染指数变化的重要驱动因素。另外,环境污染指数的变化不仅取决于驱动因素的变化,还受到上一期环境污染指数增长对均衡水平偏离的影响,误差修正项 ECM 的系数为 −0.229,说明河南省环境污染指数的短期波动较大,平均每年对上一期的偏离长期均衡水平的短期调整幅度达到22.9%,系统存在误差修正机制。

对比长期均衡回归方程和短期误差模型可以发现,短期内除外商投资强度之外,其余 4 个驱动因素对环境污染的影响方向与长期的影响方向相反,说明这些驱动因素对环境污染的影响需要经过一段时期才能完全释放出来;值得一提的是,总人口和第二产业比重对环境污染的短期系数和长期系数存在较大反差,说明它们对环境污染的作用机制可能存在短期行为。协整分析表明驱动因素对环境污染存在长期和短期作用关系,至于这种作用关系的强度和方向如何,仍需进行脉冲响应函数分析和方差分解。

2.2.2　脉冲响应函数和方差分解　在前文验证环境污染和各驱动因素的长期、短期作用关系的基础上,建立 VAR 模型,借助脉冲响应函数考察环境污染对各驱动因素的冲击响应及其差异性。检验结果如图 3所示,其中最优滞后期根据 AIC 和 SC 准则确定为 3 阶,作用时间为 15 a。

(1) 环境污染指数对人均 GDP 和第二产业比重新息的一个标准差扰动冲击响应走势比较相似,两者对环境污染的影响短期内不稳定,第 7 期之后出现持续的正向推动作用。可见,经济的发展、第二产业步伐的加快,长期会带来大量的污染排放物,最终导致环境质量的恶化。

(2) 环境污染指数对总人口的冲击响应在初期表现为微弱的负向冲击,第 3 期达到波谷,之后曲线走势呈现出"M"型,但是总体上正向响应高于负向响应。河南省作为人口大省,人口的乘数作用放大了人类的经济活动,加快了资源过度开发和生活污水的排放,长期内必然会加剧环境污染。

(3) 环境污染指数对外商投资的冲击响应在初期表现出较强的负向响应,之后虽有起伏但基本上均在水平线以下。外商投资虽然可能会使河南省成为国外高污染产业的"污染避难所",但是其发生的技术转移和溢出,促使行业结构的优化,而这种变化总体上对环境具有积极影响。

(4) 环境污染指数对政府管制水平的冲击响应

保持着沿着水平线正负起伏的趋势，长期内对环境污染的影响效应不明显。这显露出现有的政府管制水平仅能维持环境污染水平的稳定，并没有实现对环境污染的有效控制。

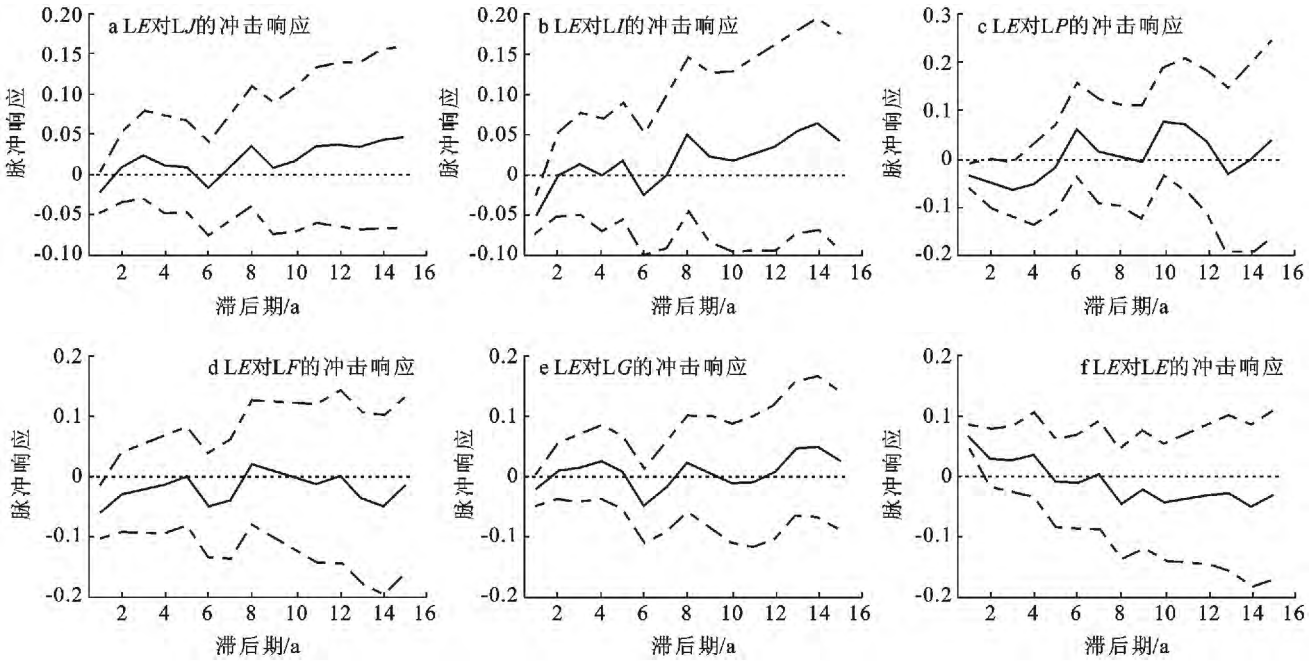


图 3 各驱动因素脉冲响应函数曲线

环境污染指数对自身新息的一个标准差扰动冲击响应，在第 1 期表现较高的正向冲击，之后呈现阶梯型下降趋势，在第 5 期之后保持负向冲击，说明环境污染对自身存在明显负向影响，且长期作用更为显著。方差分解主要分析系统中各个驱动因素的随机冲击对环境污染变化的贡献性。根据方差分解理论模型，对环境污染指数(LEPI)预测均方误差进行分解，结果见表 4。

表 4 环境污染指数方差分解结果

预测期	标准差	L*J*	L*I*	L*P*	L*F*	L*G*	L*E*
1	0.022	10.765	62.997	16.716	0.287	7.641	1.595
2	0.072	7.345	38.658	45.179	0.361	7.355	1.103
3	0.102	8.777	23.218	60.170	0.283	6.892	0.660
4	0.131	7.503	19.129	64.060	2.231	6.547	0.530
5	0.161	7.620	20.113	62.913	2.617	6.234	0.503
6	0.182	7.113	16.682	67.680	3.359	4.780	0.386
7	0.193	7.357	16.875	65.768	4.954	4.668	0.377
8	0.195	11.123	21.413	58.405	4.513	4.172	0.375
9	0.197	10.903	23.368	56.104	5.156	4.092	0.377
10	0.206	9.728	19.331	62.943	4.342	3.347	0.308
11	0.216	11.384	16.450	65.044	3.983	2.878	0.263
12	0.226	13.949	15.627	63.517	3.816	2.844	0.248
13	0.232	14.876	18.252	59.533	4.314	2.794	0.233
14	0.239	16.746	21.585	53.496	5.363	2.598	0.213
15	0.244	19.451	20.356	51.877	5.270	2.840	0.207

从表 4 可以看出，环境污染指数受自身波动影响较小，在整个观察期内影响程度不足 2%，且保持着不断下降的趋势；人均 GDP 对环境污染指数的影响在第 1 期为 10.77%，第 2 至 10 期均保持着小幅起伏，稳定在 8%左右，第 10 期之后稳定上升，第 15 期影响程度到达 19.45%；第二产业比重对环境污染指数的影响在第 1 期高达 63.00%，但是不容忽视的是随着时间的推移，影响程度也在迅速下降，第 4 至 15 期均在 18%上下小幅波动；总人口对环境污染的影响程度第 1 期为 16.72%，第 2，3 期增幅较大，第 3 期

已经达到 62.17%，并在第 6 期达到峰值 67.68%，之后影响程度虽有所下降，但保持在 50%以上；外商投资对环境污染的影响程度第 1 期仅为 0.28%，之后缓慢上升，第 15 期达到 5.27%，年均增长 0.33%；政府管制对环境污染的影响程度第 1 期为 7.64%，在此之后保持平稳下降，在第 15 期达到 2.84%，年均下降 0.32%。以上说明，环境污染受到人均 GDP，第二产业比重和总人口的影响较大，三者对环境污染预测方差的贡献度均在 15%以上，其中总人口的贡献度更是达到 50%以上；相比而言，外商投资和政府管制对环境污染预测方差的贡献较小。这样的结果表明，1985—2012 年期间，河南省人口规模是环境污染的最主要原因，其次是第二产业比重和人均 GDP。

3　结论与建议

3.1　结 论

（1）长期内，河南省人均 GDP，第二产业比重，总人口，外商投资强度和政府管制水平与环境污染存在着协整关系，人均 GDP，第二产业所占比重，总人口和政府管制水平每增长 1%，会引起环境污染指数上升 0.177%，1.032%，2.730%，0.168%，外商投资强度每增加 1%，会引起环境污染指数下降 0.116%。

（2）短期内，人均 GPD，第二产业所占比重，总人口，外商投资强度以及政府管制水平对环境污染指数均有负向影响，且系统存在误差修正机制，平均每年对上一期的偏离长期均衡水平的短期调整幅度为 22.9%。

（3）人均 GDP，第二产业比重，总人口长期会促使环境污染加剧，外商投资强度对环境具有积极影响，政府管制水平对环境污染的影响一直处于波动状态。

（4）总人口是环境污染的最主要原因，其次是产业结构和经济因素，它们带来的冲击分别能够解释环境污染变化的 51.88%，20.36%，19.45%。

3.2　建 议

（1）科学合理引导人口在产业间的分布。人是各种经济活动的主体，人口规模的剧增必然会放大各种经济活动对环境的污染。自 1985 至 2012 年，河南省总人口由 7 847 万增长到 10 543 万，年均 192.6 万人，河南省人口将会继续保持稳定增加，人口规模无法得到有效控制，但是可以通过合理调节人口在产业间的分布来改善环境，使人口向第三产业集中，推动第三产业发展，在经济增长的基础上减少对环境的污染。

（2）实现产业结构的逐步升级。河南省第二产业的重工业特征异常突出，主要集中在矿产、有色金属、装备制造业等工业重污染行业。因此，今后要加强产业结构优化，淘汰“高消耗，低产出”的粗放型生产企业，深化节能评估和审查制度，从源头控制高耗能产业增长。建立节约型产业奖励机制，鼓励发展新型产业，降低单位能耗；大力发展第三产业，逐步提升服务业在 GDP 的比重。

[参 考 文 献]

[1] 李国柱. 外商直接投资与环境污染的因果关系检验[J]. 国际贸易问题，2007(6)：105-109.

[2] 陈丽珍，鲁唯. 江苏省利用 FDI 对环境污染影响的实证分析[J]. 中国商贸，2012(21)：210-215

[3] 张学刚，钟茂初. 外商直接投资与环境污染：基于联立方程的实证研究[J]. 财经科学，2010(10)：110-117.

[4] 陆砀，郭路. 环境库兹涅茨倒 U 型曲线和环境支出的 S 型曲线[J]. 世界经济，2008(12)：82-92.

[5] 张宇青，易中懿，周应恒. 我国主要城市大气污染与经济增长关联分析：基于静态与动态面板数据的实证[J]. 江西社会科学，2013(6)：56-61.

[6] Holtz-Eakin D，Selden T M. Stoking the fires？CO_2 emissions and economic growth[J]. Journal of Public Economics，1995，57(1)：85-101.

[7] Selden T M，Song Daqing. Environmental quality and development：Is there a Kuznets curve for air pollution emissions？[J]. Journal of Environmental Economics and Management，1994，27(2)：147-162.

[8] 刘荣茂，张莉侠，孟令杰. 经济增长与环境质量：来自中国省级面板数据的证据[J]. 经济地理，2006，26(3)：374-377.

[9] 杨永华，诸大建，王辰，等. 经济学视角的能源使用与环境质量关系研究[J]. 资源环境与工程，2007，21(1)：71-74.

[10] 李国璋，江金荣，周彩云. 转型时期的中国环境污染影响因素分析：基于全要素能源效率视角[J]. 山西财经大学学报，2009(12)：32-39.

[11] 邵咪咪. 中国城市化和工业化阶段的环境污染影响因素及应对策略[D]. 南京：南京大学，2011.

[12] 宋香荣，苏斌，陈前鹏. 新疆环境污染影响因素分析[J]. 新疆财经大学学报，2010(3)：7-11.

[13] 周辉仁，郑丕谔. 基于递阶遗传算法和 BP 网络的时间序列预测[J]. 系统仿真学报，2007，19(21)：5055-5058.

[14] 李明，李雪铭. 基于遗传算法改进的 BP 神经网络在我国主要城市人居环境质量评价中的应用[J]. 经济地理，2007，27(1)：99-102.

[15] 谢地. 政府规制经济学[M]. 北京：高等教育出版社，2003.

[16] 刘志逊，刘珍奇，黄文辉. 中国化石燃料环境污染治理重点及措施[J]. 资源·产业，2005，7(5)：49-52.

[17] 李栋，何康林，纪振. 江苏省人口产业结构与环境污染的关系研究[J]. 资源开发与市场，2007，23(5)：458-459.

[18] 尚红云. 辽宁经济发展与环境污染的三次函数特征分析[J]. 城市发展研究，2009(1)：75-79.

[19] 许月卿，李双成. 中国经济发展水平区域差异的人工神经网络判定[J]. 资源科学，2005，27(1)：69-73.