

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第6期

Vol.33 No.6

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

我国湖泊富营养化效应区域差异性分析 曹金玲,许其功,席北斗,李小平,杨柳燕,江立文,魏自民,吴献花(1777)

基于“源”“汇”景观格局指数的海河流域总氮流失评价 孙然好,陈利顶,王伟,王赵明(1784)

云蒙湖流域土地利用变化对非点源氮污染负荷的影响 孟晓云,于兴修,泮雪芹(1789)

深圳市沿岸表层海水中全氟化合物的残留特征及其分布规律 陈清武,张鸿,柴之芳,沈金灿,杨波(1795)

典型电器工业区河涌沉积物中多环芳烃的分布、来源和潜在生态风险 邓代永,邱孟德,孙国萍,郭俊,张宏涛,张琴,许玫英(1801)

珠江下游河段沉积物中重金属含量及污染评价 谢文平,王少冰,朱新平,陈昆慈,潘德博,洪孝友,尹怡(1808)

扎龙湿地南山湖沉积岩芯重金属污染特征及来源判别 苏丹,臧淑英,叶华香,孙丽,贾晓丹,李苗(1816)

汕头湾沉积物磷的形态分布与季节变化特征研究 赵建刚,乔永民(1823)

氮磷比对东海浮游植物群落生长影响的微宇宙实验 黄伟,朱旭宇,曾江宁,寿鹿,陈全震,江志兵(1832)

春季福建北部海域浙闽沿岸流消亡期浮游桡足类种类组成及其分布 王彦国,林景宏,王春光,林茂(1839)

滩涂红树林种植-养殖耦合系统中多环芳烃含量水平分析 陈冠秋,李耀初,黄晋沐,南燕,林茂宏(1846)

四溴双酚 A 在 5 种巢湖鱼类体内的组织分布与生物浓缩因子研究 杨苏文,王圣瑞,闫振广,张普青(1852)

五氯酚对稀有鮑肌卵黄蛋白原及 p53 的诱导效应 熊力,马永鹏,张晓峥,金帮明,李伟,苏永良,毛思予,刘堰(1858)

全氟辛烷磺酸 (PFOS) 对斑马鱼卵黄蛋白原 mRNA 水平的影响 程艳,崔媛,党志超,谢文平,李海山,殷缓缓,陈会明(1865)

水溶性有机物电子转移能力与荧光峰强度的关系研究 陶亚,袁田,周顺桂,袁勇,庄莉,王辉亮(1871)

MIEX 中试实验对二级出水中有机物去除的 3DEEM 解析 杨建,高金华,常江(1878)

XDLVO 理论解析钙离子对腐殖酸反渗透膜污染的影响机制 姚淑娣,高欣玉,郭本华,包南,谢慧君,梁爽(1884)

栅藻 LX1 在水产养殖废水中的生长、脱氮除磷和油脂积累特性 马红芳,李鑫,胡洪管,于茵,巫寅虎(1891)

氯化铁用于反硝化同步化学生物絮凝工艺研究 王宏杰,董文艺,刘莉莎,韩贵超(1897)

合成氨废水短程反硝化特性研究 李妍,李泽兵,马家轩,王晓毅,赵白航,李军(1902)

基于新型反应器的好氧颗粒污泥的稳定性控制 李志华,杨帆,李胜,谢磊,王晓昌(1907)

采用非生长能量代谢参数表征颗粒污泥稳定性 李志华,吴军,李胜,谢磊,王晓昌(1913)

酸-碱预处理促进剩余污泥厌氧消化的研究 袁光环,周兴求,伍健东(1918)

小回流比条件下污泥浓度分区试验研究 史思,王素兰,李瑞,邢传宏(1923)

非离子表面活性剂对污泥调理脱水效果的影响 侯海攀,濮文虹,时亚飞,于文华,樊明明,刘欢,杨昌柱,李野,杨家宽(1930)

中国空气污染指数变化特征及影响因素分析 李小飞,张明军,王圣杰,赵爱芳,马潜(1936)

南京 3 类不同大气污染过程下气溶胶水溶性无机离子的特征研究 张秋晨,朱彬,苏继峰,王红磊(1944)

深圳市郊区大气中 PM_{2.5} 的特征分析 戴伟,高佳琪,曹罡,欧阳峰(1952)

餐饮业油烟的颗粒物分析 谭德生,邝元成,刘欣,戴飞鸿(1958)

Fe-MnO_x-CeO₂/ZrO₂ 低温催化还原 NO 性能研究 刘荣,杨志琴(1964)

自然型氨基酸及其钾盐的 CO₂ 吸收和再生特性 晏水平,陈竞翔,徐明亮,艾平,张衍林(1971)

耕作方式对紫色水稻土农田生态系统 CH₄ 和 N₂O 排放的影响 张军科,江长胜,郝庆菊,唐其文,程炳红,李辉,陈璐豪(1979)

垄作覆膜条件下田间氨挥发及影响因素 上官宇先,师日鹏,李娜,韩坤,李会科,王林权(1987)

添加不同 N 源条件下典型除草剂对土壤呼吸和 N₂O 排放的影响 孙青,史淳星,石坤,言儒斌,蒋静艳,吴以中(1994)

某石墨阳极法氯碱生产场地二噁英污染特征分析 余立凤,魏文侠,田亚静,吴广龙,李培中,赵丹(2000)

脱硫石膏对酸化森林土壤短期修复效果的研究 罗遥,康荣华,余德祥,谭炳全,段雷(2006)

岩溶山地土壤氧化铁形态及其与成土环境的关系 张治伟,朱章雄,傅瓦利,文志林(2013)

废弃尾矿库 15 种植物对重金属 Pb、Zn 的积累和养分吸收 施翔,陈益泰,王树凤,李江川(2021)

铬胁迫对 3 种草本植物生长及铬积累的影响 王爱云,黄姗姗,钟国锋,徐刚标,刘志祥,申响保(2028)

湘西花垣矿区主要植物种类及优势植物重金属蓄积特征 杨胜香,田启建,梁士楚,周耀渝,邹慧成(2038)

增施 CO₂ 对 C3 和 C4 植物根际氯氰菊酯残留浓度的影响 慕楠,刁晓君,王曙光,王鹏腾,李攀峰(2046)

生物强化去除吡啶的特性及微生物种群动态变化分析 乔琳,赵宏,王建龙(2052)

A/O MBR 处理生活污水效率与菌群多样性的关系 邝斌宇,史青, Montcho Leon Monthero,丁嫄,温东辉(2061)

石油污染土壤生物修复过程中氮循环功能基因的动态检测 吴彬彬,卢滇楠,刘铮(2068)

武汉市儿童多途径铅暴露风险评估 郝汉舟,陈同斌,吴基良,雷梅,田辉,祖文普,钟学斌(2075)

电子鼻预处理装置的开发及适用性研究 卜凡阳,文晓刚,万梅,刘锐,陈吕军,张永明(2083)

ToxTell 生物传感器在 Cu²⁺、Cd²⁺ 冲击活性污泥系统分析中的应用 王学江,王鑫,刘免,吴真,杨连珍,夏四清(2090)

环境样品免疫检测基质效应分析与控制 盛建武,何苗,施汉昌(2095)

热等离子体熔融固化模拟医疗废物的研究 张璐,严建华,杜长明,陆胜勇,李晓东(2104)

城市生活垃圾组分低温干燥特性及模型研究 吴亚娟,刘红梅,陆胜勇,严建华,李晓东(2110)

厌氧-准好氧联合型生物反应器填埋场产气规律的研究 韩智勇,刘丹,李启彬(2118)

处理垃圾渗滤液的 Fe/C 空气阴极 MFC 性能研究 唐玉兰,彭漫,于燕,何亚婷,傅金祥,赵玉华(2125)

基于冗余分析的典型喀斯特山区土壤-石漠化关系研究 龙健,廖洪凯,李娟,陈彩云(2131)

北京市能源消费与经济增长关系的协整检验分析 陈操操,张妍,刘春兰,王海华,李铮(2139)

《环境科学》征稿简则(1877) 《环境科学》征订启事(1890) 信息(1822,1857,1896,2138)

北京市能源消费与经济增长关系的协整检验分析

陈操操¹, 张妍², 刘春兰¹, 王海华¹, 李铮¹

(1. 北京市环境保护科学研究院, 北京 100037; 2. 清华大学环境学院, 北京 100084)

摘要: 采用协整分析并建立向量误差修正模型(VECM)检验了北京市1980~2008年能源消费与经济增长之间的因果关系。结果表明,北京市能源消费与经济增长之间存在长期均衡状态,体现为从经济增长到能源消费单向的因果关系。经济对能源的长期与短期弹性分别为0.44和0.12,北京市1980~2008年GDP年均每增长1%,带动能源消费增长约0.4%。经济发展对能源消费提升是滞后的,能源消费并不是经济增长的一个强的外生变量。研究结论能够对北京市制定节能减排目标以及促进区域经济发展提供重要参考依据。

关键词: 能源消费; 经济增长; 协整分析; 误差修正模型

中图分类号: X22 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)06-2139-06

Energy Consumption and GDP Growth in Beijing: Cointegration and Causality Analysis

CHEN Cao-cao¹, ZHANG Yan², LIU Chun-lan¹, WANG Hai-hua¹, LI Zheng¹

(1. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China; 2. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In this paper, the Johansen cointegration technique and the vector error correction model (VECM) were used to examine the causal relationship between energy consumption (LEC) and gross domestic product (LGDP) for Beijing during the period of 1980 to 2008. Results indicated that LEC and LGDP for Beijing were related by one cointegrating vector and there was a long-run unidirectional causal relationship from GDP to energy consumption. The long-term and short-term elasticity from economy to energy consumption were 0.44 and 0.12 separately. Statistic analysis showed that from 1980 to 2008 every 1% growth in GDP annually would drive energy consumption increasing rate by 0.4% correspondently. And the effect imposed from economy to energy consumption was lagging. It showed that energy consumption was not a strong exogenous variable as to economy. The finding has significant implications from the point of view of energy conservation, emission reduction and economic development.

Key words: energy consumption; economic growth; granger causality; vector error correction model(VECM)

近年来北京市经济以前所未有的速度增长,能源消耗也随之快速增加。从能源供需平衡看,北京市能源资源约束非常突出,能源平衡处于紧平衡状态。这主要是由于北京市属于能源资源短缺地区,能源生产能力远不能满足消费需求的增长造成,目前北京市超过90%的能源依赖外部调入。因此引出一个疑问,未来一旦城市能源供应不足,是否会影响北京市经济的发展?这是本研究的核心问题。

在学术界,能源消费与经济增长的关系一直是能源经济学研究领域的一个焦点^[1]。能源是人类生存和发展不可缺少的物质基础。一方面是经济增长对能源的依赖性,即能源促进了经济的增长;另一方面能源发展要以经济增长为前提,经济增长促进了能源大规模开发与利用。经济与能源中哪一方是刺激对方增长的原动力^[2]? 经济发展受能源约束影响有多大? 能源给经济增长带来了机遇还是挑战等? 近年来针对能源消费与经济增长关系问题研究开始迅速增加,而大多数研究者倾向于选择协整检

验和格兰杰因果分析检验(Granger test)进行实证^[2~12]。

在当前宏观经济分析中,协整检验和格兰杰因果分析检验已成为分析非平稳经济变量之间数量关系的最主要工具之一。Kraft等^[3]是较早使用普通格兰杰因果检验的研究者,他发现美国存在从GNP到能源消费的单向因果关系。Yu等^[4]采用美国1947~1979年能源消费和GNP数据样本,研究结论为两者之间无因果关系存在。Erol等^[5]分别对6个工业化国家开展分析,结论是能源消费、GDP及就业之间不存在因果关系。Yu等^[6]采用两步格兰杰因果检验法(Engle-Granger test),发现美国的能源消费和收入之间不存在长期因果关系。Masih等^[7]检验

收稿日期: 2011-08-21; 修订日期: 2011-11-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(41001380);北京市科技新星计划项目(2010B023);北京市自然科学基金项目(8122023)

作者简介: 陈操操(1980~),男,博士,副研究员,主要研究方向为资源与环境管理/气候变化与能源战略与政策, E-mail: ecoduron@163.com

了亚洲 6 个国家(印度、巴基斯坦、印度尼西亚、马来西亚、新加坡和菲律宾)能源消费和收入之间的关系,研究方法为 VECM 模型,结果显示印度、巴基斯坦和印度尼西亚存在能源消费与收入双向或单向的因果关系. Asafu-Adjaye^[8]采用协整和 VECM 模型研究能源消费与收入的关系,在短期印度尼西亚、泰国、菲律宾等发展中国家存在能源与收入双向或单向的因果关系,并不支持能源与经济呈中性的观点. Narayan 等^[9]同样采用 VECM 模型检验澳大利亚国家的电力消费、就业和收入之间协整和因果关系,发现在长期关系上就业和收入是能源消费的格兰杰原因,而短期关系表现为收入刺激电力消费并且收入能够增加就业. 此外,利用协整及 VECM 长短周期分析提供的有效工具, Mozumder 等^[1]对孟加拉国, Erdal 等^[10]对土耳其, Belloumi 等^[11]对突尼斯, Narayan 等^[12]对经合组织 30 个成员国的情况进行了研究. 从上述研究可以发现,在方法的改进上,采用修正向量误差模型(VECM)取代了向量自回归模型(VAR). 因为 VAR 模型仅可以解释变量之间的短期关系,但对长期关系解释能力缺失,将损失许多有用信息,使结果出现偏差. 而 VECM 模型能够辨别变量之间长期与短期的因果关系,弥补了通常采用的 VAR 分析不足^[8]. 总体上的研究结果反映,在大多数发达国家经济增长与能源消费没有因果关系,与此相反,发展中国家或欠发达国家经济增长与能源消费之间存在双向或单向的因果关系.

国内学者在 2000 年以后开始关注国家能源消费与经济增长关系问题. 韩智勇等^[13]选取 1978 ~ 2000 年数据对中国能源消费与经济增长协整和因果关系进行分析,得出结论中国能源消费与经济增长存在双向因果关系. 唐小淇等^[14]对中国能源消费与经济关系研究持相同的观点,认为中国能源消费和 GDP 之间的协整关系主要通过第二产业体现. 然

而,汪旭晖等^[15]选取 1978 ~ 2005 年我国能源消费和 GDP 数据,运用协整分析和格兰杰因果检验方法得到的结论为,能源消费与经济增长长期稳定均衡,存在从能源消费到经济增长单向的因果关系. 吴巧生等^[16]研究结论与汪旭晖类似,即我国 GDP 提高或降低将引起能源消费水平的提高或降低. 张学志等^[17]基于 VECM 模型,检验了中国石油消费与经济增长之间的长期和短期因果关系,发现无论长期还是短期,经济增长都是石油消费的原因,未发现反向因果关系存在. 综合国内现有文献,国内研究多关心能源消费数量或种类与产业和经济的相关关系,针对典型性地区或城市开展研究涉及较少,采用普通格兰杰检验较多,而选择改进的 VECM 模型研究较少^[18~20].

通过上面的研究回顾可见,尽管有关能源与经济关系研究结论存在分歧,但是该研究能够为未来国家或区域制定能源政策提供明确的参考依据,有利于能源政策的实施^[1]. 在全球发展低碳经济大背景下,能源与经济关系协调问题是摆在北京市面前的一个重要命题. 因此本研究选择北京市作为分析对象,以 1980 ~ 2008 年为研究的基本样本区间,对北京市能源消费与经济增长的长期均衡与因果关系进行细致的实证性研究.

1 模型、数据和方法

本研究采用北京市经济与能源时间序列(time data series)数据进行分析. 数据来源为北京市历年统计年鉴和中国统计年鉴,样本区间为 1980 ~ 2008 年. 经济变量为北京市国民生产总值(GDP),为了保证数据的可比性,经济变量经过换算调整为 1980 年不变价,单位为亿元;能源数据为北京市能源总消费量(EC),单位为 10^4 t 标煤. 原始经济与数据描述性统计分析可见表 1.

表 1 原始能源与经济变量描述性统计值

Table 1 Descriptive statistics of original variables of EC and GDP

变量	时间段(年)	均值	中位数	标准差	最小值	最大值
EC(以标煤计) $\times 10^4$ /t	1980 ~ 2008	3 544.3	3 385.9	1 340.8	1 902.6	6 343.7
GDP(亿元)	1980 ~ 2008	731.9	505.6	616.7	138.4	2 266.5

首先对经济和能源两序列取自然对数生成对数时间序列,分别记为 LGDP 和 LEC,然后再进行后续的计量检验与分析. 对数据的自然对数处理一方面符合统计学和经济学意义,另一方面能够消除数据波动的异方差(heteroscedasticity problem),使能源消费量与 GDP 时间序列平整,避免出现伪回归

(spurious regression).

其次以格兰杰因果分析(Granger test of causality)检验经济与能源消费之间双向因果关系. 一个完整的格兰杰因果检验过程包括,时间序列的单位根检验(unit root test)、变量协整检验(cointegration test)以及格兰杰因果关系检验(vecm model). 在进行

格兰杰因果检验之前,使用单位根检验保证变量时间序列的平稳性,这是协整检验及格兰杰因果检验步骤的前提。如果存在协整,意味着变量间具有长期均衡关系(long-run equilibrium relationship)。

采用 Augmented Dickey-Fuller (ADF) 单位根检验模型分析变量时间序列的稳定性^[21],基本原理是通过 n 次差分将非平稳序列转化为平稳序列,基于以下回归方程。

$$\Delta y_t = \alpha_t + \eta y_{t-1} + \sum_{i=1}^k \varphi_i \Delta y_{t-i} + e_t \quad (1)$$

式中, y_t 代表变量的时间序列,如 LGDP 和 LEC; k 为模型的滞后阶数; Δ 代表序列的一阶差分; e_t 代表白噪声残差(white noise); α_t 为常数项,代表回归方程的截距; η 为回归方程的趋势系数。ADF 检验针对常数项和趋势项选取方式的不同,应开展 3 类检验:①模型拥有截距和趋势项($C=1, T=1$) C 与 T 分别为常数项(Constant)和趋势项(Trend)的首字母缩写;②模型拥有截距无趋势项($C=1, T=0$);③模型无截距和趋势项($C=0, T=0$)。如果 3 种不同情况中任何一种 ADF 检验值小于显著性水平临界值,可认为该序列没有单位根,是平稳的序列^[22]。

ADF 单位根检验先从水平(level)序列开始检验,如果序列不平稳,则对该序列进行一阶差分后继续检验,若仍存在单位根,则进行二阶甚至高阶差分后检验,直至序列平稳为止。记 $I(0)$ 为零阶单整, $I(1)$ 为一阶单整,依次类推, $I(N)$ 为 N 阶单整。根据 Engle 等^[23]提出的协整关系理论,尽管 2 个或 2 个以上的变量序列为非平稳序列,但它们的某种线性组合却可能呈现稳定性,则这 2 个变量之间便存在长期稳定关系即协整关系。

根据两变量或多变量长期协整关系可构建协整

关系方程(cointegrating equation)。针对协整关系检验的方法有许多种,目前使用较多的方法是 Johansen 等^[24,25]提出的一种用极大似然法进行检验的方法,通常称为 Johansen 检验。Johansen 检验基于 VAR 自回归模型,根据两类最大似然检验值,即最大特征值检验(max-eigenvalue test)与迹检验(trace test)决定协整关系方程的数量,同时求出方程变量之间存在的若干协整关系。这也是本研究采取的协整检验方法。

协整关系意味着变量间长期稳定均衡关系的存在,然而并不能指明因果关系的方向。文献[26]提到向量误差修正模型(vector error correction model, VECM),将因果关系分解为长期(long-run)与短期(short-run)的因果关系,不但能够反映时间序列之间的长期均衡关系,而且能反映短期偏离长期均衡的修正机制。长期因果关系由误差修正项(error correction term, ECT)决定,若 ECT 系数通过显著性水平检验,反映由自变量到因变量的长期因果关系。因此本研究采取 VECM 模型辨别变量间长期与短期的因果关系。回归和检验借助统计分析软件 Stata 完成。

2 实证分析

由于本研究中采用经济和能源时间序列可能具有非平稳性,首先要对各变量进行单位根检验,如果检验结果为同阶单整数列,可以采用协整检验分析经济与能源变量之间的关系,进而对两者之间关系开展 Granger 因果分析。

2.1 单位根检验

变量的平稳性是建立时间序列模型的重要前提。ADF 单位根检验的零假设为序列存在单位根。滞后阶数的大小根据赤池准数判定(AIC)。表2为

表2 能耗与 GDP 的 ADF 单位根检验结果¹⁾

Table 2 Unit root test of LEC and LGDP

检验变量	模型检验类型 (C, T)	ADF 检验值	显著性 ($\alpha=1\%$)	显著性 ($\alpha=5\%$)	显著性 ($\alpha=10\%$)	结论
LGDP	(1, 1)	-2.081	-4.362	-3.592	-3.235	不平稳
	(1, 0)	0.064	-2.492	-1.711	-1.318	不平稳
	(0, 0)	4.222	-2.657	-1.950	-1.601	不平稳
Δ LGDP	(1, 1)	-5.686***	-4.371	-3.596	-3.238	平稳
	(1, 0)	-5.565***	-2.500	-1.714	-1.319	平稳
	(0, 0)	-0.883	-2.658	-1.950	-1.600	不平稳
LEC	(1, 1)	-2.209	-4.362	-3.592	-3.235	不平稳
	(1, 0)	0.379	-2.492	-1.711	-1.318	不平稳
	(0, 0)	4.086	-2.657	-1.950	-1.601	不平稳
Δ LEC	(1, 1)	-2.818	-4.371	-3.596	-3.238	不平稳
	(1, 0)	-3.113***	-2.500	-1.714	-1.319	平稳
	(0, 0)	-0.858	-2.658	-1.950	-1.600	不平稳

1) C 表示截距项, T 表示时间趋势项; 滞后阶数根据赤池准数(AIC)并考虑整体情况确定, 滞后期为 2; *, ** 和 *** 分别表示在 90%、95% 和 99% 置信水平上的显著性; Δ 代表一阶差分。

对数变换后的能耗(LEC)与经济(LGDP)分别进行 ADF 单位根检验结果.从检验结果看,在截距与趋势项的 3 种不同组合下,取对数后经济和能源的水平序列 ADF 检验值均大于 90%、95% 及 99% 检验水平的 3 个临界值,为非平稳性序列.经过一阶差分处理后,ΔLEC 与 ΔLGDP 能够通过 90%、95% 或 99% 显著性水平检验,因此不能拒绝单位根零假设,LEC 和 LGDP 成为一阶单整序列 $I(1)$,可以对变量进行下一步的协整分析.

2.2 协整分析检验

由于检验的经济和能源变量满足同阶要求,第二步对变量间协整关系进行检验,所用方法为 Johansen 协整检验.根据通用惯例,研究通过计算赤池准数(AIC)与施瓦茨准数(SIC),确定 Johansen 协整检验的最优滞后阶数.表 3 为最优滞后阶数计算结果,基于最小赤池准数原则,选择滞后阶数为 2.变量时间序列协整关系的数量由最大特征值检验(max-eigenvalue test)与迹检验(trace test)判定.以 r 代表协整关系或协整关系方程的数量,因此零假设为变量不存在协整关系, $H_0: r=0$; 非零假设为变量至少存在 n 个协整关系, $H_1: r \leq n$, 从 1, 2, ...,

表 4 Johansen 协整检验结果¹⁾

Table 4 Johansen cointegration estimation results between series of LEC and LGDP

迹统计量检验(trace)				最大特征根检验(maximum eigenvalue)			
协整方程个数 rank $\leq (r)$	特征根	迹检验值	5% 置信水平	协整方程个数 rank $\leq (r)$	特征根	最大特征根值	5% 置信水平
$r=0$	0.898	63.826	15.41	$r=0$	0.898	63.795	14.07
$r \leq 1$	0.001	0.0305	3.76	$r=1$	0.001	0.0305	3.76

1) trace 与 maximum eigen 检验的差别体现在具体假设上,trace 检验的零假设为协整变量阶数小于或等于 r ,非零假设为阶数大于 r ; 而 maximum eigen 检验的零假设为阶数等于 r ,对应的非零假设是阶数等于 $r+1$; 滞后阶数根据赤池准数(AIC)并考虑整体情况确定,滞后期为 2

2.3 向量误差修正模型

在协整检验的基础上,对 1980~2008 年北京市能源与经济之间关系进行格兰杰因果关系检验,检验结果可见表 5. 检验结果显示,能源消费对经济增长影响不明显,没有通过 5% 显著性检验,然而经济增长对能源消费刺激明显,通过了 5% 显著性水平检验.分析结果反映从 1980~2008 年,北京市仅存

表 5 能源消费与经济增长的因果关系检验¹⁾

Table 5 Pair-wise granger causality test

因果关系假定	F	P	结论
LEC 不是 LGDP 的原因	0.84	0.3688	接受
LGDP 不是 LEC 的原因	5.53	0.0269**	拒绝

1) 统计量的 P 值为检验的概率值,若 $P < 0.05$,表示因果关系在 5% 的显著性水平下成立,若 $P < 0.1$,表示因果关系在 10% 的显著性水平下成立,反之,因果关系不成立; 滞后阶数根据赤池准数(AIC)并考虑整体情况确定,滞后期为 2

开始逐次向后检验.

表 4 为对 LEC 和 LGDP 变量序列采取 Johansen 最大似然协整关系检验的结果.首先,检验的零假设为变量间不存在协整关系, $H_0: r=0$; 检验结果中最大特征值(max-eigenvalue test)为 63.795,高于 5% 置信临界值(14.07),迹检验(trace)也得到了相似的结论.因此拒绝零假设 $r=0$,即拒绝不存在变量间协整关系的零假设.对应非零假设认为变量间至少存在一个协整关系, $H_0: r \leq 1$,最大特征值(max-eigenvalue test)与迹检验(trace)结果同为 0.0305,均小于 5% 置信临界值(3.76),表示至少有一个协整向量,北京市经济(LGDP)与能源(LEC)变量存在一个长期均衡的协整关系方程.

表 3 最优滞后阶数判定¹⁾

Table 3 Selection of lag length

滞后阶数	对数似然比	赤池准数	施瓦茨准数
4	64.3158	-4.78151	-4.56513
3	64.3147	-4.94289	-4.69747
2	63.0519	-4.98723*	-4.83997*
1	62.8467	-4.92099	-4.72465

1) * 代表在 95% 置信水平上的显著性

在从经济到能源单向的格兰杰因果关系,并不存在互为因果的反馈性联系,经济是拉动能源消费增长的原因,能源消费增加对于经济还没有显著的效应.

向量误差修正模型是建立在协整基础上的 VAR 模型,不但能够反映时间序列之间的长期均衡关系,又能反映短期偏离的修正机制.由于 VECM 的滞后期是无约束 VAR 模型一阶差分变量的滞后期,无约束 VAR 模型最优滞后期为 2,因此设定 VECM 的滞后期为 1.本研究首先对构建的 VECM 模型方程的回归残差进行检验,检验结果发现 2 个残差序列均满足正态性,不存在自相关和异方差,验证了模型的有效性.同时 VECM 模型检验似然函数值足够大(128.89),AIC 和 SIC 准数相当小,分别为 -8.88 和 -8.45,说明模型的整体解释能力强.可由此判断各变量短期和长期的因果关系.变量

LGDP 和 LEC 的 VECM 模型方程可改写为式(2)和式(3).

$$\Delta \text{LGDP}_t = \alpha_1 + \sum_{i=1}^k \beta_{1i} \Delta \text{LGDP}_{t-i} + \sum_{i=1}^k \gamma_{ei} \Delta \text{LEC}_{t-i} + \delta_1 \varepsilon_{t-1} + \mu_{1t} \quad (2)$$

$$\Delta \text{LEC}_t = \alpha_2 + \sum_{i=1}^k \beta_{2i} \Delta \text{LEC}_{t-i} + \sum_{i=1}^k \gamma_{yi} \Delta \text{LGDP}_{t-i} + \delta_2 \varepsilon_{t-1} + \mu_{2t} \quad (3)$$

式中, ε_{t-1} 代表长期协整关系的误差修正项. 本研究通过检验式(2)和式(3)中各相关变量的系数显著性, 利用 Wald 检验对能源与经济分别进行了短期、长期以及长期联合因果分析. 首先短期因果关系反映短期冲击对随机性环境的影响, 本研究分别检验经济 and 能源是否互为短期因果关系, 零假设为 $H_0: \gamma_{ei} = 0$ [公式(2)] 或 $\gamma_{yi} = 0$ [公式(3)]. 而对误差修正项 ε_{t-1} 的系数反映长期因果关系, 检验零假设 $H_0: \delta_1 = 0$ [公式(2)] 或 $\delta_2 = 0$ [公式(3)]. 另外, 还进行了长/短期的联合格兰杰检验, 反映各变量在系统受到冲击后恢复长期平衡的能力, 检验零假设 $H_0: \gamma_{ei} = 0$ 且 $\delta_1 = 0$ [公式(2)] 或 $\gamma_{yi} = 0$ 且 $\delta_2 = 0$ [公式(3)].

表 6 为向量误差修正模型格兰杰因果检验结果, 其中检验结果可见经济与能源消费相互之间不存在短期格兰杰因果关系, 检验值没有通过 5% 的显著性水平. 在能源消费的 VECM 模型方程中, 误差修正项 ECT 的系数以及长/短期联合格兰杰检验都通过 5% 显著性水平, 拒绝零假设, 笔者认为经济和能源在长期范围内存在单向的格兰杰因果关系, 北京市经济增长将带动能源消费的扩大.

表 6 向量误差修正模型格兰杰因果检验结果¹⁾

因变量	短期因果关系		长期因果关系		
	ΔLGDP	ΔLEC	ECT	ECT/ ΔLGDP	ECT/ ΔLEC
ΔLGDP	—	-0.10	-0.05	—	0.41
ΔLEC	0.12	—	-0.34**	6.11**	—

1) * * 表示通过 5% 的显著性检验

得到估计后的 VECM 方程如下, 公式中括号中数字为系数的标准差.

$$\begin{aligned} \Delta \text{LEC}_t = & -0.01 + 0.09 \Delta \text{LEC}_{t-1} \\ & (0.02) (0.24) \\ & + 0.12 \Delta \text{LGDP}_{t-1} - 0.34 \varepsilon_{t-1} \\ & (0.19) (0.17) \end{aligned} \quad (4)$$

$$R^2 = 0.80, \chi^2 = 94.29, \varepsilon_{t-1} = \text{LEC}_{t-1}$$

$$-0.44 \text{LGDP}_{t-1} - 5.49 \quad (5)$$

式(4)方程反映北京市经济与能源消费长期均衡的稳定关系. 从长期来看, GDP 对能源的弹性是 0.44, 即北京市 GDP 每增长 1%, 能源消费将增长 0.44%, 反映经济对能源消耗的拉动作用非常显著. 从短期来看, GDP 对能源的弹性为 0.12, 远小于长期弹性, 刻画了经济对能源的短期动态关系. 误差修正项的系数为负数 (-0.34), 表明对偏离长期均衡的调整幅度为 34%, 符合负反馈修正机制, 即上年度能源和经济的非均衡误差以 34% 的比率对本年度的能源消费增长作出修正, 使短期内能源消费由非均衡状态逐渐向长期的均衡状态趋近.

3 结论与政策建议

(1) 北京市能源消费与经济增长之间存在一种长期均衡状态. 北京市能源消费增长的本质是由经济驱动得到实证, 两者之间只有由经济到能源消费单向的因果关系, 并不存在互为因果的反馈性联系. 由 VECM 方程刻画的能源消费与经济发展长期均衡方程中, 经济对能源的长期与短期弹性分别为 0.44 和 0.12, 经济发展对能源消费提升是滞后的, 能源消费并不是经济增长的一个强的外生变量.

(2) 研究结果更深层的意义是证明北京市在一定程度上采取保守型的能源政策将不会对城市经济发展产生负面影响. 虽然当北京城市经济总量扩大时, 对能源要素的需求会随之增加. 但是通过调整经济结构和能源结构, 推动能源结构下降, 用尽可能少的能源消费总量支撑经济的持续增长是可行的. 这有利于缓解北京市能源供需紧张态势, 制定有关的能源战略及温室气体减排政策. 北京市 1980 ~ 2008 年 GDP 年均每增长 1%, 带动能源消费增长约 0.4%, 单位经济能源强度一直保持下降趋势, 从长期看是降低能源消费的同时保持经济增长. 北京市在“十二五”时期能源发展规划提出了加快能源结构调整, 实现清洁转型的能源政策, 到 2015 年清洁能源能源比重达 80% 以上, 大力消减煤炭比重, 加快推进太阳能、地热能、生物质能和风电开发利用. 清洁和多元化的能源供应与北京建设世界城市、绿色城市的定位协调. 同时北京市“十二五”规划纲要还提出经济增速由“十一五”时期的 9% 调低为 8%, 发展高端制造业, 促进生产性服务业升级, 淡化经济增长指标, 着力于通过经济结构调整提升经济增长的质量和效益, 这说明适度控制经济增幅也是降低能源需求, 减少温室气体排放的有效途径.

参考文献:

- [1] Mozumder P, Marathe A. Causality relationship between electricity consumption and GDP in Bangladesh [J]. *Energy Policy*, 2007, **35**(1): 395-402.
- [2] Masih A M M, Masih R. A multivariate cointegrated modelling approach in testing temporal causality between energy consumption, real income and prices with an application to two Asian LDCs [J]. *Applied Economics*, 1998, **30**(10): 1287-1298.
- [3] Kraft J, Kraft A. On the relationship between energy and GNP [J]. *Journal of Energy and Development*, 1978, **3**: 401-403.
- [4] Yu E S H, Hwang B K. The relationship between energy and GNP: Further results [J]. *Energy Economics*, 1984, **6**(3): 186-190.
- [5] Erol U, Yu E S H. On the causal relationship between energy and income for industrialized countries [J]. *Journal of Energy and Development*, 1987, **13**(1): 113-122.
- [6] Yu E S H, Jin J C. Cointegration tests of energy consumption, income, and employment [J]. *Resources and Energy*, 1992, **14**(3): 259-266.
- [7] Masih A M M, Masih R. Energy consumption, real income and temporal causality: results from a multi-country study based on cointegration and error-correction modelling techniques [J]. *Energy Economics*, 1996, **18**(3): 165-183.
- [8] Asafu-Adjaye J. The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries [J]. *Energy Economics*, 2000, **22**(6): 615-625.
- [9] Narayan P K, Smyth R. Electricity consumption, employment and real income in Australia evidence from multivariate Granger causality tests [J]. *Energy Policy*, 2005, **33**(9): 1109-1116.
- [10] Erdal G, Erdal H, Esengün K. The causality between energy consumption and economic growth in Turkey [J]. *Energy Policy*, 2008, **36**(10): 3838-3842.
- [11] Belloumi M. Energy consumption and GDP in Tunisia: cointegration and causality analysis [J]. *Energy Policy*, 2009, **37**(7): 2745-2753.
- [12] Narayan P K, Prasad A. Electricity consumption-real GDP causality nexus: evidence from a bootstrapped causality test for 30 OECD countries [J]. *Energy Policy*, 2008, **36**(2): 910-918.
- [13] 韩智勇, 魏一鸣, 焦建玲, 等. 中国能源消费与经济成长的协整性与因果关系分析 [J]. *系统工程*, 2004, **22**(12): 17-21.
- [14] 唐小淇, 谢丽安. 中国各产业能源消费与经济成长的协整性及因果关系分析 [J]. *统计与决策*, 2009, (14): 70-71.
- [15] 汪旭晖, 刘勇. 中国能源消费与经济增长: 基于协整分析和 Granger 因果检验 [J]. *资源科学*, 2007, **29**(5): 57-62.
- [16] 吴巧生, 成金华, 王华. 中国工业化进程中的能源消费变动—基于计量模型的实证分析 [J]. *中国工业经济*, 2005, (4): 30-37.
- [17] 张学志, 才国伟. 基于 VECM 模型的石油消费与经济增长因果关系检验 [J]. *清华大学学报 (自然科学版)*, 2010, **50**(5): 681-685.
- [18] 张传国, 陈蔚娟. 广东省能源消费与经济增长关系实证研究 [J]. *国际经贸探索*, 2008, **24**(6): 29-33.
- [19] 肖冬荣, 江莹, 赵靖. 上海市能源消耗与经济增长的协整分析 [J]. *安徽农业科学*, 2007, **35**(18): 5602-5603.
- [20] 刘健, 王润. 福建省能源消费主要影响因素分析及 2020 年能源消费预测 [A]. 见: 中国环境科学学术年会 [C]. 上海, 2010.
- [21] Dickey D A, Fuller W A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root [J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1979, **74**(366): 427-431.
- [22] 李子奈, 叶阿忠. 高等计量经济学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [23] Engle R F, Granger C W J. Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing [J]. *Econometrica*, 1987, **55**(2): 251-276.
- [24] Johansen S. Statistical analysis of cointegration vectors [J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 1988, **12**(2-3): 231-254.
- [25] Johansen S, Juselius K. Maximum likelihood estimation and inference on cointegration-with applications to the demand for money [J]. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 1990, **52**(2): 169-210.
- [26] Johansen S. Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models [J]. *Econometrica*, 1991, **59**(6): 1551-1580.

CONTENTS

Regional Heterogeneity of Lake Eutrophication Effects in China	CAO Jin-ling, XU Qi-gong, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (1777)
Correlating Landscape Pattern with Total Nitrogen Concentration Using a Location-weighted Sink-source Landscape Index in the Haihe River Basin, China	SUN Ran-hao, CHEN Li-ding, WANG Wei, <i>et al.</i> (1784)
Impact of the Land-use Change on the Non-point Source Nitrogen Load in Yunneng Lake Watershed	MENG Xiao-yun, YU Xing-xiu, PAN Xue-qin (1789)
Residue Characteristics and Distributions of Perfluorinated Compounds in Surface Seawater Along Shenzhen Coastline	CHEN Qing-wu, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> (1795)
Distribution and Potential Ecological Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments from Typical Electronics Industrial Zone	DENG Dai-yong, QIU Meng-de, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (1801)
Residues and Potential Ecological Risk Assessment of Metal in Sediments from Lower Reaches and Estuary of Pearl River	XIE Wen-ping, WANG Shao-bing, ZHU Xin-ping, <i>et al.</i> (1808)
Character and Sources Identification of Heavy Metals Contamination in Sediment from the Core Sediment in Nanshan Lake, the Zhalong Wetland	SU Dan, ZANG Shu-ying, YE Hua-xiang, <i>et al.</i> (1816)
Distribution Characteristics of Phosphorus Forms in Surface Sediments of the Shantou Bay in China	ZHAO Jian-gang, QIAO Yong-min (1823)
Microcosm Experiments on the Influence of Different N/P Ratios on Phytoplankton Community Growth in the East China Sea	HUANG Wei, ZHU Xu-yu, ZENG Jiang-ning, <i>et al.</i> (1832)
Species Composition and Distribution Characteristics of Pelagic Copepods in the Northern Sea of Fujian During Withdraw of Zhe-Min Coastal Current	WANG Yan-guo, LIN Jing-hong, WANG Chun-guang, <i>et al.</i> (1839)
PAHs Concentrations in Aquatic Products and Food Safety Evaluation in the Coupled Mangrove Planting-Aquaculture Ecological System	CHEN Guan-qiu, LI Yao-chu, HUANG Jin-mu, <i>et al.</i> (1846)
Tissue Distribution and Bioconcentration Factors of Tetrabromobisphenol A in Five Fishes in Lake Chaohu	YANG Su-wen, WANG Sheng-rui, YAN Zhen-guang, <i>et al.</i> (1852)
Induction Effects of Pentachlorophenol on Vitellogenin and p53 in Chinese Rare Minnow (<i>Gobiocypris rarus</i>)	XIONG Li, MA Yong-peng, ZHANG Xiao-zheng, <i>et al.</i> (1858)
Effects of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) Exposure on Vitellogenin mRNA Level in Zebrafish (<i>Brachydanio rerio</i>)	CHENG Yan, CUI Yuan, DANG Zhi-chao, <i>et al.</i> (1865)
Relationship Between Electron Transfer Capacity and Fluorescence Characteristics of Dissolved Organic Matter	TAO Ya, YUAN Tian, ZHOU Shun-gui, <i>et al.</i> (1871)
Characterization of the Change in DOM During Municipal Secondary Effluent Treatment with Magnetic Ion Exchange Resin by 3DEEM	YANG Jian, GAO Jin-hua, CHANG Jiang (1878)
Reverse Osmosis Membrane Fouling by Humic Acid Using XDLVO Approach; Effect of Calcium Ions	YAO Shu-di, GAO Xin-yu, GUO Ben-hua, <i>et al.</i> (1884)
Growth, Removal of Nitrogen and Phosphorus, and Lipid Accumulation Property of <i>Scenedesmus</i> sp. LX1 in Aquaculture Wastewater	MA Hong-fang, LI Xin, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (1891)
Iron Chloride for Simultaneous Denitrification and Chemical-Biological Flocculation Process	WANG Hong-jie, DONG Wen-yi, LIU Li-sha, <i>et al.</i> (1897)
Characteristic Research of Shortcut Denitrification in Synthetic Ammonia Industrial Wastewater Treatment Process	LI Yan, LI Ze-bing, MA Jia-xuan, <i>et al.</i> (1902)
Stability Control of Aerobic Granules Using an Innovative Reactor	LI Zhi-hua, YANG Fan, LI Sheng, <i>et al.</i> (1907)
Description of the Stability of Granules Using Nongrowth-related Parameters	LI Zhi-hua, WU Jun, LI Sheng, <i>et al.</i> (1913)
Enhancement of Anaerobic Digestion of Excess Sludge by Acid-Alkali Pretreatment	YUAN Guang-huan, ZHOU Xing-qiu, WU Jian-dong (1918)
Pilot Validation of Sludge Concentration Partition at Small Reflux Ratio Condition	SHI Si, WANG Su-lan, LI Rui, <i>et al.</i> (1923)
Influence of Non-ionic Surfactants on Sludge Dewaterability	HOU Hai-pan, PU Wen-hong, SHI Ya-fei, <i>et al.</i> (1930)
Variation Characteristics and Influencing Factors of Air Pollution Index in China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, <i>et al.</i> (1936)
Characteristics of Aerosol Water-Soluble Inorganic Ions in Three Types Air-Pollution Incidents of Nanjing City	ZHANG Qiu-chen, ZHU Bin, SU Ji-feng, <i>et al.</i> (1944)
Characterization of Atmospheric PM _{2.5} in the Suburb of Shenzhen	DAI Wei, GAO Jia-qi, CAO Gang, <i>et al.</i> (1952)
Analysis on Oil Fume Particles in Catering Industry Cooking Emission	TAN De-sheng, KUANG Yuan-cheng, LIU Xin, <i>et al.</i> (1958)
Low-Temperature Catalytic Reduction of NO over Fe-MnO _x -CeO ₂ /ZrO ₂ Catalyst	LIU Rong, YANG Zhi-qin (1964)
CO ₂ Absorption and Regeneration Performance of a Natural Amino Acid and Its Potassium Salt	YAN Shui-ping, CHEN Jing-ao, XU Ming-liang, <i>et al.</i> (1971)
Effects of Tillage-Cropping Systems on Methane and Nitrous Oxide Emissions from Agro-Ecosystems in a Purple Paddy Soil	ZHANG Jun-ke, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (1979)
Factors Influencing Ammonia Volatilization in a Winter Wheat Field with Plastic Film Mulched Ridges and Unmulched Furrows	SHANGGUAN Yu-xian, SHI Ri-peng, LI Na, <i>et al.</i> (1987)
Effects of Typical Herbicides on Soil Respiration and N ₂ O Emissions from Soil Added with Different Nitrogen Fertilizers	SUN Qing, SHI Chun-xing, SHI Kun, <i>et al.</i> (1994)
Analysis of Characteristics of Dioxin Contamination in the Chlor-alkali Site that Uses Graphite Anode for Production	YU Li-feng, WEI Wen-xia, TIAN Ya-jing, <i>et al.</i> (2000)
Effect of Flue Gas Desulfurization Gypsum Application on Remediation of Acidified Forest Soil	LUO Yao, KANG Rong-hua, YU De-xiang, <i>et al.</i> (2006)
Morphology of Soil Iron Oxides and Its Correlation with Soil-Forming Process and Forming Conditions in a Karst Mountain	ZHANG Zhi-wei, ZHU Zhang-xiong, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2013)
Pb, Zn Accumulation and Nutrient Uptake of 15 Plant Species Grown in Abandoned Mine Tailings	SHI Xiang, CHEN Yi-tai, WANG Shu-feng, <i>et al.</i> (2021)
Effect of Cr(VI) Stress on Growth of Three Herbaceous Plants and Their Cr Uptake	WANG Ai-yun, HUANG Shan-shan, ZHONG Guo-feng, <i>et al.</i> (2028)
Bioaccumulation of Heavy Metals by the Dominant Plants Growing in Huayuan Manganese and Lead/Zinc Mineland, Xiangxi	YANG Sheng-xiang, TIAN Qi-jian, LIANG Shi-chu, <i>et al.</i> (2038)
Effect of CO ₂ Fertilization on Residual Concentration of Cypermethrin in Rhizosphere of C3 and C4 Plant	MU Nan, DIAO Xiao-jun, WANG Shu-guang, <i>et al.</i> (2046)
Bioaugmented Removal of Pyridine and the Microbial Community Dynamic Analysis	QIAO Lin, ZHAO Hong, WANG Jian-long (2052)
Relationship Between Sewage Treatment Efficiency and Bacterial Community Diversity in an A/O MBR	KUANG Bin-yu, SHI Qing, Montcho Leon Monthero, <i>et al.</i> (2061)
Dynamic Changes in Functional Genes for Nitrogen Cycle During Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soil	WU Bin-bin, LU Dian-nan, LIU Zheng (2068)
Risk Assessment of Lead Exposure from Different Intake Pathways for Children in Wuhan City	HAO Han-zhou, CHEN Tong-bin, WU Ji-liang, <i>et al.</i> (2075)
Implementation of a Pretreatment Device for an Electronic Nose	BU Fan-yang, WEN Xiao-gang, WAN Mei, <i>et al.</i> (2083)
Copper and Cadmium Toxicities to Activated Sludge Investigated with ToxTell Biosensor	WANG Xue-jiang, WANG Xin, LIU Mian, <i>et al.</i> (2090)
Matrix Effect and Control of Immunoassay for Environmental Samples	SHENG Jian-wu, HE Miao, SHI Han-chang (2095)
Study on Vitrification of Simulated Medical Wastes by Thermal Plasma	ZHANG Lu, YAN Jian-hua, DU Chang-ming, <i>et al.</i> (2104)
Study on the Low Temperature Drying of Components of Municipal Solid Waste and Its Model Analysis	WU Ya-juan, LIU Hong-mei, LU Sheng-yong, <i>et al.</i> (2110)
Aerogenesis Evolution of the Anaerobic-semiaerobic Bioreactor Landfill	HAN Zhi-yong, LIU Dan, LI Qi-bin (2118)
Performance of Microbial Fuel Cells with Fe/C Catalyst Carbon Felt Air-Cathode for Treating Landfill Leachate	TANG Yu-lan, PENG Man, YU Yan, <i>et al.</i> (2125)
Relationships Between Soil and Rocky Desertification in Typical Karst Mountain Area Based on Redundancy Analysis	LONG Jian, LIAO Hong-kai, LI Juan, <i>et al.</i> (2131)
Energy Consumption and GDP Growth in Beijing: Cointegration and Causality Analysis	CHEN Cao-cao, ZHANG Yan, LIU Chun-lan, <i>et al.</i> (2139)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年6月15日 33卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 6 Jun. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行