
环境与能源约束下的湖北省经济增长

——Solow 增长模型框架下的量化研究

李雪平

(武汉设计工程学院, 湖北 武汉 430205)

[摘要] 将能源消耗、污染排放作为生产要素引入到传统Solow 增长模型中, 在此拓展模型基础上实证研究发现, 近十多年来, 各生产要素对湖北省经济增长的贡献由大到小依次为物质资本投入、技术进步、能源消耗和劳动力, 污染排放对经济增长产生了15% 的显著负面影响, 抵消了其他生产要素的贡献, 抑制了GDP 的增长。树立正确的环境观、能源观, 通过政策和经济手段激励和引导社会和主体节能减排是未来湖北省经济可持续发展的必由之路。

[关键词] Solow 增长模型; 环境污染; 能源消耗; 经济增长

[中图分类号] F124.1; X820.3

[文献标识码] A

1 引言

2014 年中国经济总量首次超过了整个欧元区, 成为仅次于美国的第二大经济体。而根据国际能源署的统计, 中国消费化石燃料而产生的二氧化碳排放量从2007 年开始就已经超过美国, 成为全球最大的碳排放国。在经济高速发展过程中, 不可否认增长是以巨大的资源消耗和严重污染为代价的, 而这种“高投入、高消耗、高污染”的经济发展模式所带来的恶果也日益威胁人类的生存和发展。作为中国首批五个低碳试点省份之一, 湖北省是中部地区重要的经济省份, 也是产业门类较为齐全的老工业基地, 第二产业仍占主导地位且重点集中在钢铁、机器制造、电力、化工等高能耗和高排放行业。2015 年全省能源消费量达到16404 万t 标准煤, 比2005 年上涨了85%。如何降低经济快速发展对能源消耗的高度依赖、减少污染排放的负向影响已成为湖北省面临的紧迫问题。本文将对Solow 模型进行拓展, 将能源消耗和污染排放纳入到模型中, 考察湖北省能源消耗、污染排放、技术进步以及传统的劳动、资本对经济增长的作用大小, 这对于更准确的把握湖北省经济增长与资源、环境的关系具有重要的意义, 将为相关政策的制定和实施提供理论和经验依据。

2 Solow 增长模型的拓展

[收稿日期] 2016-10-19

[基金项目] 湖北省教育厅人文社会科学项目“湖北‘两江’流域资源环境保护与社会经济可持续发展研究”(14G536); 武汉设计工程学院校级科研项目“湖北省农村人力资本投资与经济增长关系研究”(K201208)

[作者简介] 李雪平(1983—), 女, 湖北荆门人, 讲师, 主要研究方向: 区域经济、贸易与环境。

Solow 模型中没有将自然资源和环境视为投入品，认为环境资源的可得性对经济增长不是一个主要的约束，这是由于在 Solow 所处的年代环境资源对经济增长的约束并没有引起大多数人的关注。随着环境问题的加剧，众多学者开始将资源、环境纳入到经济增长模型中，但现有的环境与经济增长的理论模型多数是将环境污染与资源利用分割开，把资源看作生产的要素投入，环境污染是生产的副产品。虽然污染是一种副产品，但是我们能够等价地把它作为一种投入要素，因为随着环境规制的日益完善，企业必须对其排放到环境中的污染物进行处理，可以把污染理解成企业利用“环境服务”而付出的代价。本文在 Solow 模型中将能源消耗、污染排放作为生产要素引入，研究其对经济增长的影响，模型中的主要变量包括：产出 (Y)、物质资本 (K)、劳动 (L)、劳动的有效性或知识 (A)、能源消耗 (E) 和污染排放 (P)。假设在任一时间，经济中有一定量的资本（后文的资本均指物质资本）、劳动、知识、能源消耗和污染。假定生产函数规模报酬不变，即函数为线性齐次函数。并假设生产函数中资本、劳动、能源消耗的边际产量为正，污染的边际产量为负，为了估算投入要素随时期而变化的产出弹性系数，本文采用 C-D 函数形式：

$$Y(t) = A(t)K(t)^\alpha L(t)^\beta E(t)^\gamma P(t)^\tau, \quad \alpha, \beta, \gamma > 0, \quad \tau < 0 \quad (1)$$

对于生产要素的变动，假定模型的时间是连续的，资本、劳动、知识、能源消耗和排放的初始水平看作是既定的。劳动、知识、排放以不变速度增长，增长速度分别为 n 、 g 和 m ；将能源看做不可再生能源和可再生能源的单一混合体，其消耗率为 b ，再生率为 c ；产出分为消费和投资，产出中用于投资的比例 s ，即储蓄率是外生不变的，现存资本的折旧率是 δ 。根据 Solow 的经典方法，对 (2) 式取对数得到：

$$\ln Y(t) = \ln A(t) + \alpha \ln K(t) + \beta \ln L(t) + \gamma \ln E(t) + \tau \ln P(t) \quad (2)$$

(4) 式两端对时间 t 求导数后，根据假设可得：

$$g_{bgp} = \frac{g + \beta n + \gamma(c - b) + \tau m}{1 - \alpha} \quad (3)$$

g_{bgp} 是在引入了在能源消耗和污染排放后，经济体在平衡增长路径上的增长率。对经济增长而言，不可再生能源对其存在阻

碍，可再生能源对经济增长存在促进作用，整体而言能源对经济增长的作用为 $\frac{\gamma(c - b)}{1 - \alpha}$ ，其最终对经济增长的影响方向大小取决于 b 和 c 的相对大小。换言之，能源消费结构对经济增长起决定作用，即可再生能源的占比越高，能源消费对经济体的促进

作用就越大。技术进步和劳动增长对经济增长起推动作用，力量大小分别为 $\frac{g}{1 - \alpha}$ 和 $\frac{\beta n}{1 - \alpha}$ ，，污染排放对经济增长存在大小

为 $\frac{\tau m}{1 - \alpha}$ 的阻碍作用。

3 环境与能源约束下的湖北省经济增长实证分析

3.1 样本数据的选取和处理

根据模型需要和湖北省经济发展特点，本文选取了1995～2014年的相关数据作为样本空间，数据全部来自1996～2015年的《湖北省统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》。模型中的产出（Y）采用湖北省统计局公布的国内生产总值来表示，并通过平减指数转变为1995年实际值；劳动（L）选取的是湖北省历年的从业人员总数；能源消耗以湖北省统计局公布的能源消费总量来衡量。

$$K_t = \frac{I_t}{P_t} + (1 - \delta)K_{t-1}$$

本文采用永续盘存法来估算物质资本存量，其中 I_t 为新增固定资产， P_t 为固定资产投资价格指数， δ 为折旧率， K_{t-1} 为 $t-1$ 期的资本存量。由于本文是以湖北省1995～2014年的数据为样本，要估算各年的固定资

$$S_{1994} = \frac{L_{1994}}{(g + \delta)^{\delta}}$$

产存量，需要先已知1994年的固定资产存量，笔者借鉴霍尔和琼斯（1999）的方法进行模拟，即

其中， S_{1994} 为1994年的全社会固定资产投资存量， L_{1994} 为1994年的全社会固定资产投资额， g 是固定资产投资额的平均增长率， δ 是折旧率。参照了张军（2004）所采用的方法，将湖北省固定资本总额的折旧率定为9.6%，以此计算出湖北省1994年的固定资本存量，进而得到历年的固定资本存量。

因污染物类型纷繁复杂，衡量污染排放（P）的指标非常之多。考虑到近年来全球性气候变暖不断加剧，成为威胁人类生存和发展的重要环境问题之一，而导致气候变暖的主要原因是由于大气中 CO_2 和各种气体微粒含量不断增加造成的，所以本文的污染排放指标选取的是湖北省 CO_2 的年排放量。具体关于 CO_2 排放量的估算，《2006年IPCC国家温室气体清单指南》中提供了三种估算化石燃料燃烧的 CO_2 排放量的方法，本文采用其提供的第一种方法。根据《中国能源统计年鉴》划分的最终能源消费种类，本文以煤炭、焦炭、原油、汽油、柴油、煤油、燃料油和天然气这八种化石燃料能源为基准来核算湖北省的 CO_2 排放量，

计算公式为： $CO_2 = \sum CO_{2,i} = \sum C_i \times NCV_i \times CEF_i \times COF_i$ ，其中 i 表示八种化石燃料； C 表示各种化石燃料的消费量； NCV 为化石燃料的低位发热量； CEF 表示氧化率； COF 为化石燃料的含碳量；后三项的乘积即为碳排放系数。采用潘家华，张丽峰（2011）的研究结果，利用其计算出各种化石燃料的碳排放系数，与湖北省各种燃料的消费量相乘得出各种燃料的碳排放量。因污染排放是经济增长的一种负向排放，所以在数据处理过程中对其进行了正向化处理。

3.2 计量分析与检验

3.2.1 变量的平稳性检验。为了消除异方差影响，也为更好的解释经济增长与劳动、资本、能源消费和污染排放之间数量关系的经济意义，需对以上变量取对数。模型中的样本数据都是典型的时间序列，如果直接采用最小二乘法进行回归估计会造成“伪回归”的现象，所以首先要检验变量的平稳性，对不平稳的变量序列进行差分处理使其稳定，运用Eviews6.0采用ADF单位根检验方法对各变量进行平稳性检验，结果如表1。

表 1 各变量平稳性的 ADF 检验结果

变量	检验形式 (C, T, N)	ADF 检验值	5% 的 临界值	结论
$D(LnY)$	(C, T, 3)	-4.4262	-3.7597	平稳
$D(LnL)$	(C, T, 1)	-4.5591	-3.7332	平稳
$D(LnK)$	(C, T, 1)	-3.8392	-3.7105	平稳
$D(LnE)$	(0, 0, 0)	-4.9537	-4.8001	平稳
$D(LnP)$	(C, T, 1)	-3.3195	-3.3103	平稳

注：检验类型中 (C, T, N) 分别表示包含截距、有时间趋势以及滞后的阶数。

检验结果表明，在5% 的置信水平下，所有变量的水平序列一阶差分的ADF 值都小于麦金农临界，说明这些变量的一阶差分序列是平稳的，符合协整检验的基本前提。

3.2.2 变量的协整检验。协整检验的目的是为判断一组非平稳序列的线性组合是否协整关系，从而判断线性回归方程的设置是否合理。本文运用 Johansen 检验法来对多变量系统进行检验。根据 AIC 信息准则，将 VAR 模型中的自回归阶数确定为 2，协整方程设定为含有截距项，协整检验结果见表 2。

表 2 协整关系检验结果

假定协整关 系数数量 (r)	特征值	迹统计量值	5% 的临界值	P 值
$r=0$	0.961114	107.6041	69.81889	0.0000
$r \leq 1$	0.851712	55.65015	47.85613	0.0078
$r \leq 2$	0.679697	25.11258	29.79707	0.1574

检验说明在显著水平为5% 时存在1个长期协整关系，协整方程可表示为：

$$\ln Y = -4.17 + 0.29 \ln L + 0.63 \ln K + 0.36 \ln E - 0.33 \ln P \quad (4)$$

(2.69) (0.05) (0.42) (0.07) (0.09)

上式协整关系表明了湖北省产出和劳动、资本、能源消费、污染排放之间的长期关系。各生产要素对经济增长的弹性系数符号均与预期一致，劳动、资本与能源消费都对湖北省经济增长产生了正向作用，其中资本的弹性系数最大，而污染排在长期内对于经济增长的负面作用也非常明显。

根据协整所得的各变量的弹性系数，还可计算出在能源和环境约束下的各生产要素对经济增长的贡献率，具体计算公式

$$F_i = \varepsilon_i * \frac{G_i}{G_{GDP}}$$
，其中 F_i 为模型中各要素的贡献率， ε_i 为各生产要素的弹性系数， G_i 为各生产要素的增长率， G_{GDP} 为国内生产总值的增长率。采用几何平均法可测得湖北省GDP、全要素生产率、劳动力、固定资本存量、能源消费和污染排放的年平均增长率分别为12.8%、14.26%、0.6%、14.7%、9.2%和7.7%，根据上述公式可得近十年来各生产要素对湖北省GDP的平均贡献率，其中物资资本的贡献率最大，达到54.4%，说明资本投入仍是湖北省经济增长的主要拉动力；其次是技术进步对产出的贡献，达到30.2%；能源消费对产出的贡献为19.9%，能源消费也是影响湖北省产出水平的重要因素，表明湖北省经济增长仍然是以高耗能产业为主，处于能源依赖型的经济增长阶段，若是要保持经济增长速度不变，全省节能减排的形势依然严峻。劳动力对产出的影响较小为10.4%，本文采用的是全社会从业人数作为劳动力规模的衡量指标，未考虑到劳动力的质量，即人力资本问题，有可能导致劳动力的贡献被低估。污染排放对经济增长产生了15%的显著负面影响，抑制了GDP的增长，说明在GDP的增长过程中污染排放所增加的环境成本，抵消了其他生产要素的贡献，成为经济发展过程中不可忽视的阻力。

4 主要结论

通过对索洛模型的拓展，在引入了能源消费和污染排放之后发现，湖北省经济增长主要依赖的是资本投入、技术进步和能源消耗，与高能耗相伴的是高排放，污染排放所增加的环境成本对湖北省经济增长的负向影响较为显著。但有一点值得关注的是，自2010年湖北省成为全国首批低碳试点省份以来，全省实施的一系列低碳建设措施，如各项机制健全、政策配套、资金扶持政策。从污染排放经济增长的年度贡献率数据来看， CO_2 排放对经济增长的负向抵消作用呈逐年下降趋势。由此可见，节能减排政策或者技术进步等外部冲击在一定程度上有效地降低了 CO_2 排放对经济增长的影响作用。因此，对于社会各主体而言首先要从观念上树立正确认识，在追求经济增长的同时，要更多的关注生活质量和生活环境。政府需通过实施有效的环境政策，激励和引导企业和个人在污染排放和能源消费上朝着有利于提高环境质量的方向发展。另外，加大保护环境的科研技术投入对减少污染物排放有积极影响，因此通过各种经济手段激励低碳环保技术的发展是环境保护的必由之路。

[参考文献]

- [1] Apergis N, Payne J E. CO_2 emissions, energy usage, and output in Central America[J]. Energy Policy, 2009, 37 (8): 3282-3286.
- [2] Brock W A, Taylor M S. The Green Solow Model[J]. Journal of Economic Growth, 2004, 15 (2): 127-153.
- [3] Taylor M S, Copeland B R. Trade, Growth, and the Environment[J]. Journal of Economic Literature, 2004, 42 (1): 7-71.
- [4] 戴维·罗默. 高级宏观经济学（第四版）[M]. 吴化斌，龚关，译. 上海财经大学出版社，2014.
- [5] 郭辉，董晔. 碳排放和能源消费约束下的中国绿色全要素生产率和经济增长研究—基于扩展的索洛模型分析[J]. 经济经纬，2012 (6): 77-81.
- [6] 李兰冰. “能源—环境”约束下的中国区域经济增长绩效评价与模式识别[J]. 南京社会科学，2013 (12): 7-14.
- [7] 王建民，杨文培，杨力. 中国省际经济增长—能源消费—碳排放的传导效率研究[J]. 统计与决策，2015 (2): 104-106.