

# 陕西省能源供给系统稳定性及其影响因素分析

沈明<sup>1,2</sup> 沈镭<sup>1</sup> 张艳<sup>3</sup> 刘立涛<sup>1</sup> 薛静静<sup>4</sup> 陈枫楠<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 中国 北京 100101 2. 中国科学院大学, 中国 北京 100049;  
3. 中国地质科学院, 中国 北京 100037 4. 湖南文理学院 资源环境与旅游学院, 中国湖南 常德 415000)

**摘要** 基于影响能源供需的9个因素,应用C-D生产函数和STIRPAT方程,构建了能源供给稳定性模型。通过对陕西省1990—2011年的数据分析,得到:能源投资(0.8293)、碳排放强度(-0.2373)、人均GDP(-0.2876)、产业结构(-2.1336)、人口规模(-2.4144)是影响陕西省能源供给系统稳定性的主要因素。能源投资增加将提高现阶段能源供给的稳定性,但影响长期能源供给的稳定性。而人口规模、第二产业产值比重等四因素则会降低能源供给系统的稳定性。人均GDP是降低陕西省能源供给系统稳定性的主导因素,第二产业产值比重过高(55%),也是降低稳定性的主要因素。

**关键词** 能源供给 稳定性 影响因素 陕西

中图分类号 F206 文献标志码 A 文章编号 1000 - 8462(2015)07 - 0039 - 08

DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2015.07.006

## The Stability of Shaanxi's Energy Supply System and Its Influencing Factors

SHEN Ming<sup>1,2</sup> SHEN Lei<sup>1</sup> ZHANG yan<sup>3</sup> LIU Li - tao<sup>1</sup> XUE Jing - jing<sup>1,2</sup> CHEN Feng - nan<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research(IGSNRR), CAS Beijing 100101, China;  
2. University of Chinese Academy of Science Beijing 100049, China; 3. Chinese Academy of Geological Science Beijing 100037, China; 4. College of Resources and Environment and Tourism Hunan University of Arts and Science Changde 415000, Hunan, China)

**Abstract:** Based on the nine factors that affect energy supply and demand, and C-D production function and STIRPAT equation, we constructed a model of energy supply stability. From the analysis of partial correlation, we know that there is multicollinearity in these factors which affects supply and demand of energy. Stepwise regression and ridge regression was used to eliminate multicollinearity for energy supply and demand equation respectively. Analysis the data of Shaanxi in the year of 1990-2010, we note that energy investment, carbon intensity, per capital GDP, industrial structure, population scale are the main factors affecting the stability of Shaanxi energy system. Their elasticity was 0.8293, -0.2373, -0.2876, -2.1336, and -2.4144 respectively. This means that increasing energy investment, reducing the proportion of secondary industry output, per GDP carbon emission, population scale and economic growth will make Shaanxi's energy stability better. Increased energy investment will improve the current stability of energy supply, and will affect the stability in long term. These four factors, carbon intensity, per capital GDP, industrial structure, population scale, will reduce the stability of the energy supply system. The dominant factor, which reduces the energy stability of Shaanxi Province, is per capital, and the high proportion of secondary industry is the major factor. During the period (1990-2010), energy investment is the driving force to increase the energy stability of Shaanxi Province, but the factors to reduce the stability is different. We divide this period into 3 stages, according to the main factor affecting the stability in different stages. They are high secondary industry stage, population scale and per capital GDP stage and per capital stage. Comparing Shaanxi with eastern provinces, we concluded that there is great potential to improve energy stability by adjusting industry structure and reducing carbon emission intensity in Shaanxi Province.

**Key words:** energy supply; stability; affecting factors; Shaanxi

能源是区域经济社会发展的重要要素,地区能源安全与否最终将直接制约并影响着国家能源

安全,重视区域能源安全应该成为研究的趋势和方向。对于能源富集地区而言,能源安全的关键是能

收稿时间 2014 - 12 - 30,修回时间 2015 - 03 - 18

基金项目 国家自然科学基金面上项目(41271547)

作者简介 沈明(1988 )女,湖北鄂州人,博士研究生。主要研究方向为资源经济与资源政策。E-mail:shenming88604@163.com。

否保障能源的稳定供给。能源供给稳定性可以从以下几个方面理解:其一是在新能源能够支撑经济发展和需求前,要使现有的能源资源合理利用,调整能源资源使用结构。其二是保证能源、经济、环境的协调发展。能源、经济、环境的协调发展才能实现能源供给的可持续发展,长期保证能源供给系统的稳定性。

国家能源安全包含能源供应的稳定性和能源使用的安全性两个方面的含义<sup>[1]</sup>,涵盖供应风险、需求风险和使用风险三方面的风险<sup>[2]</sup>。能源安全状态可用稳定性、足量性、经济性、清洁性进行描述<sup>[3]</sup>。能源供应量充足是能源安全的根本,对于国内区域能源供给系统的稳定性仅需要考虑能源来源、经济、交通运输和技术等方面的因素,而政治因素和军事因素则不予考虑。足量合理性指在能源数量上和质量上能满足经济发展和人民生活的需要,强调合理和高效使用能源,经济增长率、人均GDP、能源结构、产业结构、单位GDP能耗等是其重点考量因素。

能源供给系统的稳定性受历史与现实、内部与外部、经济和技术等不确定性因素和随机性因素的影响,并且区域能源供给系统的稳定性评价属于可持续发展评价的范畴,是一个多指标多层次的系统评价问题。从目前国内外的相关研究来看,尚未形成一套公认的评价体系,定量评价和动态研究仍处于探索阶段,多数是对能源安全进行的评价。现阶段区域能源安全的评价多采用加权标准化指数法,在确定评价指标权重时多采用主观赋权法,这种权重的确定带有很强的主观因素,许多指标进行独立加权,指标间的相关性、内生性及一致性问题均无法讨论<sup>[4]</sup>,容易影响评价的客观性。因此,本研究基于STIRPAT方程和C-D生产函数构建模型,运用多元回归对陕西省能源供给系统稳定性及其影响因素进行客观的分析和评价,使结果更具有客观性。同时,揭示了陕西省能源供给系统稳定性历年的变化趋势、驱动力因子及主要影响因素,为进一步进行情景分析打下基础,为保障陕西省能源供给系统稳定性政策的探讨提供参考。

## 1 陕西省能源现状概述

陕西省化石能源丰富而新能源和可再生能源禀赋较差。陕北是世界罕见的能源富集区,榆林是国家级能源化工基地。根据第三次全国油气资源评价结果,陕北石油地质总资源量为43.16亿t,可采资源量为9.93亿t,剩余可采量为9.5亿t。陕北

靖边、斜坡探明了大型气田分布,探明储量分别为4309亿m<sup>3</sup>和11800亿m<sup>3</sup>,陕北气田的发展潜力还很大,是西气东输的重要气源地之一。据《陕西省统计年鉴》,2011年煤炭、石油、天然气基础储量分别为107亿t、29844万t和5478亿m<sup>3</sup>,占全国的比重分别为4.74%、9.42%和14.56%。

随着经济的发展和人民生活水平的提高,陕西省能源消费量由1990年的2239万tce增长到2011年的9761万tce,单位GDP能耗由5.54tce/万元下降为0.78tce/万元(现价)。能源生产增长率一直高于能源消费增长率。一次能源净调出量由1990年的161万tce增长到2010年的23449.9万tce。按现阶段能源基础储量和开采规模,陕西省煤炭、石油和天然气的资源保障年限分别为37.5年、9.25年和20.12年,均低于全国水平。同期储消比显示,在仅依靠本地资源供给的情况下,陕西石油、天然气和煤炭资源可以支撑当地经济和社会需求分别为153.20年、26.22年和451.12年。

## 2 研究方法数据来源

### 2.1 指标的选择

在梳理、分类、归并文献中有关能源安全评价指标的基础上,充分考虑国家与区域能源安全的差异以及能源供给系统的动态变化,依据科学、系统、客观、可操作性的思想,遵循能源供应稳定与使用安全的基本原则,结合陕西省能源生产与消费实际情况,构建影响区域能源供给系统稳定性的主要指标。

2.1.1 能源生产因素。能源储量( $C_e$ ):区域煤炭、石油、天然气剩余基础储量,单位:万tce。反映其能源的赋存状况及其对经济发展的保障程度。其计算公式为:

$$C_e = \sum_{i=1}^3 C_i \times T_i \quad (1)$$

式中: $C_i$ 表示*i*种能源的基础储量; $T_i$ 表示*i*种能源转换系数(单位:1ec/t或tec/万m<sup>3</sup>); $t$ 表示时间(年)。

能源投资额( $I_e$ ):表示煤炭采选业和石油和天然气开采加工业的投资额度,以1990年不变价计量,单位:亿元。其计算公式为:

$$I_e = \sum (I_i + O_{G_i}) \quad (2)$$

式中: $I_i$ 表示能源年投资额; $I_i$ 表示煤炭采选业年投资额; $O_{G_i}$ 表示石油天然气开采加工业年投资额。

能源行业从业人员数( $E_m$ ):表示煤炭、石油、天然气行业从业人员数。统计数据中无对区域能源行

业的从业人员数统计, 本文用采掘业从业人员数来表示能源从业人员数, 单位: 万人。

2.1.2 能源消费因素。总人口( $P_o$ ): 区域总人口数衡量, 单位: 亿人。人口越多对能源的需求就越旺盛, 能源消费就越高, 对能源的供给压力就越大。

人均GDP( $C_{GDP}$ ): 反映地区的经济发展水平。社会越富裕, 能源的消耗也就越多。考虑到通胀等因素, 以1990年不变价计算, 单位: 万元/人。

产业结构( $I_s$ ): 第二产业产值比重, 单位: %。

能源消费结构( $E_i$ ): 煤炭消费量占能源消费总量的比例, 单位: %。

能源强度( $E_g$ ): 单位GDP的能源消费情况。同样考虑通胀因素, 以1990年不变价计算, 单位: tce/万元。

2.1.3 能源环境因素。单位GDP碳排放( $C_g$ ): 以煤炭、石油和天然气三种主要一次能源消费作为碳总排放的测算依据。单位GDP碳排放的计算公式为:

$$C_{gt} = \frac{\sum_{i=1}^3 C_{ei} \times \eta_i \times EF_i}{GDP_t} \quad (3)$$

式中:  $C_{ei}$  为能源消费总量;  $\eta_i$  为第  $i$  种能源的消费比重;  $EF_i$  是第  $i$  种能源的碳排放系数。原煤、原油、天然气的碳排放系数分别为 0.7559、0.5857、0.4483<sup>[5]</sup>。

## 2.2 模型构建

经典IPAT模型 ( $I = P \times A \times T$ ) 用来反映环境影响( $I$ )与人口数量( $P$ )、富裕程度( $A$ )和技术水平( $T$ )三个因素之间的关系<sup>[6]</sup>。IPAT等式认为  $I$  是  $P$ 、 $A$ 、 $T$  等3种驱动力共同作用, 且  $I$  与各驱动力间均成 1:1 等比例变化关系, 即任何一个驱动力发生 1% 的变化都会引起环境压力相应发生 1% 的变化。IPAT模型不能对漏项进行假设检验, 也不能反映驱动力之间函数关系的非单调或非比例效应。因此, York 等在经典IPAT模型的基础上提出了随机回归影响模型, 即STIRPAT模型<sup>[7]</sup>:

$$I = aP^b A^c T^d e \quad (4)$$

式中:  $a$  是常数项;  $b$ 、 $c$ 、 $d$  是人口、富裕度、技术的指数, 可以解释为驱动力影响因素改变 1% 引起环境影响  $I$  的改变的百分数(弹性系数);  $e$  是误差。当  $a = b = c = d = 1$  时, STIRPAT 就还原为 IPAT 模型。在实际应用中, 为检验人文因素对环境的影响, 通常将对等式(4)进行对数化处理, 得到对数化的STIRPAT模型:

$$\ln I = a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + \xi \quad (5)$$

STIRPAT模型不仅允许将各个系数作为参数来进行估计, 而且也允许对各个影响因素进行适当的分解, 因而被广泛用于实际环境问题分析上<sup>[8-9]</sup>。在实际应用中, 可根据需要在式(5)中增加社会或其他控制因素来分析各驱动力对环境的影响, 但增加的变量需要与方程指定的乘法形式具有概念上的一致性<sup>[10]</sup>。于强将  $A$  分解为人均GDP和第二产业产值比重, 将技术分解为城市化率和能源强度<sup>[11]</sup>。STIRPAT模型在国内的应用非常广泛, 在这些研究中, 表征环境影响的指标涉及了能源消费<sup>[12-15]</sup>、碳排放<sup>[9, 11, 16-17]</sup>、水足迹<sup>[10]</sup>、生态足迹等。影响因素除了人口、富裕度<sup>[18]</sup>之外, 还涉及到产业结构<sup>[19-20]</sup>、碳排放量<sup>[20]</sup>、城市化水平、对外贸易度、固定资产投资、R & D比重、科技支出占财政支出比重、气候因素、区位条件等。

借鉴STIRPAT多变量非线性模型, 本文构建了能源消费( $C$ )与其驱动因子关系的计量模型, 表达式为:

$$C = a \times P_o^{k_1} \times C_{GDP}^{k_2} \times I_s^{k_3} \times E_i^{k_4} \times E_g^{k_5} \times C_g^{k_6} \times l \quad (6)$$

该等式将富裕度分解为人均GDP( $C_{GDP}$ )和产业结构比重( $I_s$ )来表示, 将技术由能源结构( $E_i$ )、单位GDP能耗( $E_g$ )和单位GDP碳排放量( $C_g$ )来表示。 $a$ 、 $l$  分别为常数项和误差项。

依据C-D生产函数, 本文建立了能源生产( $P$ )的初步函数形式, 其表达式为:

$$P = b \times C_e^{\beta_1} \times I_e^{\beta_2} \times E_m^{\beta_3} \times \rho \quad (7)$$

式中:  $C_e$  表示能源基础储量;  $I_e$  表示能源年投资额;  $E_m$  表示能源产业年均产业人员数;  $b$ 、 $\rho$  分别为常数项和误差项。

为了通过回归分析确定有关参数, 对公式(6)(7)两边取对数, 得:

$$\ln C = \alpha + k_1 \ln P_o + k_2 \ln C_{GDP} + k_3 \ln I_s + k_4 \ln E_i + k_5 \ln E_g + k_6 \ln C_g + \phi \quad (8)$$

$\ln P = \beta_0 + \beta_1 \ln C_e + \beta_2 \ln I_e + \beta_3 \ln E_m + \beta$  (9)  
式中:  $\alpha$ 、 $\beta_0$  为常数项;  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$ 、 $k_4$ 、 $k_5$  分别为人口规模、人均GDP和产业结构比重、能源结构、单位GDP能耗和单位GDP碳排放量的弹性系数, 即这些因变量变化 1% 将引起能源消费变化的百分比;  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$  为能源基础储量、能源年投资额和能源产业人数对能源生产量的弹性系数;  $\phi$ 、 $\beta$  为随机误差项。

将区域能源供给系统稳定度, 表示为区域能源生产量与区域能源消费量的百分比, 即:

$$E_s = \frac{P}{C} \quad (10)$$

### 2.3 数据来源

鉴于数据获取的可靠性与完整性,本文选取1990—2011年陕西省能源生产、消费数据,能源投资及从业人员、经济社会发展相关数据对能源供给系统稳定性的驱动因素进行动态测度与分析。文中陕西省煤炭、石油、天然气基础储量数据来自于《中国统计年鉴》(2004—2012),能源生产量及构成,能源消费量及消费结构、总人口、GDP、产业结构比重、GDP指数均来自《陕西省统计年鉴》(2012),采掘业从业人员数来源于《中国城市统计年鉴》(1999—2012),煤炭采选业投资、石油和天然气开采加工业投资数据来源于《陕西六十年》,能源转换系数来自于《中国能源统计年鉴》。并对能源储量、能源从业人员数等指标进行修正和调整,以达到使用要求。对1990—2002年能源基础储量数据依据公式(11)进行估算。

$$C_{e_{t-1}} = \sum_{i=1}^3 C_{e_{t-1}} + \frac{P_i}{\text{煤炭回采率}} \quad (n=1991, 1992, 2003) \quad (11)$$

式中: $P_i$ 表示*i*种能源*n*年生产量; $i=1, 2, 3$ ,分别表示煤炭、石油、天然气。对2009—2011年石油和天然气开采加工业投资取近3年投资均值。对1990—1997年能源从业人口,以1997年能源从业人口占总人口比重进行等比估算。模型中各变量含义及其描述性统计见表1。

## 3 实证分析

### 3.1 能源消费函数预测模型构建

利用相关对数数据对等式(8)进行偏相关分析,得到变量间的相关系数见表2。由表2可知各解释变量之间存在多重共线性。因此,不能根据普通

最小二乘法拟合的结果进行判断,必须消除自变量的多重共线性才能得到稳健的结果。

表2 等式(8)各自变量偏相关性分析  
Tab.2 Partial correlation analysis of the variables in equation (8)

控制变量	$P_o$	$C_{GDP}$	$I_s$	$E_i$	$E_g$	$C_g$
$P_o$	1.000	0.888	-0.142	-0.677	-0.909	-0.897
$C_{GDP}$	0.888	1.000	-0.021	-0.848	-0.999	-0.950
$I_s$	-0.142	-0.021	1.000	-0.172	0.034	-0.087
$E_i$	-0.677	-0.848	-0.172	1.000	0.839	0.910
$E_g$	-0.909	-0.999	0.034	0.839	1.000	0.954
$C_g$	-0.897	-0.950	-0.087	0.910	0.954	1.000

岭回归分析法、主成分分析法、逐步回归法等可以解决多重共线问题。岭回归为有偏估计,但能显著改善最小二乘估计量的均方误差,提供一个比最小二乘法更加稳定的估计,而且所得到的回归系数标准差更小。因此,本文采用岭回归法计算模型的回归系数。

### 3.2 能源消费函数岭回归分析

岭回归分析是一种专用于共线性数据分析的有偏估计回归方法,它通过放弃最小二乘法的无偏性,以损失部分信息、放弃部分精度为代价来获取更符合实际、更可靠的回归方程。故岭回归所得剩余标准差比最小二乘法回归要大,但对病态数据的耐受性远远强于最小二乘法<sup>[21]</sup>。

进行岭回归分析时,岭回归系数*K*在[0, 1]之间,步长为0.01。通过岭回归分析,得到的各自变量的迹岭图(图略),对于不同的岭回归系数*K*,对应的可决系数变化趋势可知,当*K*取0.2时,回归系数开始趋于稳定。当*K*=0.2时,岭回归分析结果见表3。

从表3可以看出,当*K*取0.2时,岭回归的*F*统计量为131.63,在1%的显著性水平下通过了显著性检验,即回归方程显著成立。 $R^2$ 为0.9614,岭回归

表1 模型各变量描述性统计

Tab.1 Descriptive statistics of the model variables

变量	符号	含义	方向	极小值	极大值	均值	标准差
能源生产量(万吨)	$P$	能源生产规模		2 505.30	37 152.64	10 685.30	10 644.74
能源基础储量(亿tce)	$C_e$	区域能源禀赋	+	159.20	217.24	208.31	15.00
能源从业人员数(万人)	$E_m$	能源产业人员规模	+	14.36	23.40	16.56	2.70
能源产业投资额(亿元)	$I_e$	能源产业投资情况	+	6.44	238.08	59.36	66.94
能源消费量(万吨)	$C$	年能源消费量		2 239.00	9 761.00	4 402.36	2 376.94
总人口数(亿人)	$P_o$	人口规模	+	0.33	0.37	0.36	0.01
人均GDP(万元/人)	$C_{GDP}$	人民富裕程度	+	0.12	1.11	0.41	0.29
产业结构(%)	$I_s$	第二产业产值比重	+	41.31	55.43	46.47	4.76
能源消费结构(%)	$E_i$	煤炭占能源消费量比	+	68.90	87.00	77.61	6.87
能耗(tce/万元)	$E_g$	万元GDP能耗	+	2.35	5.54	3.48	1.08
GDP碳排放量(t/万元)	$C_g$	万元GDP碳排放量	+	2.31	5.18	3.41	0.97
能源安全度(%)	$E_s$	能源消费保障情况		106.54	380.62	196.15	92.71

注:因变量符号方向仅对能源生产或消费量而言。

表3 岭回归结果及其方差(K=0.2)  
Tab.3 The results and variance of ridge regression  
(when K=0.2)

	回归系数	标准误差	标准化系数	T值	P值
$P_o$	2.4144***	0.4695	0.1790	5.1420	0.0001
$C_{GDP}$	0.2876***	0.0196	0.4061	14.6918	0.0000
$I_s$	2.1336***	0.1766	0.4381	12.0821	0.0000
$C_g$	0.2373***	0.0690	0.1343	3.4413	0.0031
Constant	2.5976**	0.9885	0.0000	2.6279	0.0176
	自由度	平方和	均方	F值	P值
回归	4	4.833	1.208	131.6279***	0
残差	17	0.156	0.009		
复相关系数	0.9842		可决系数	0.9614	

注 \*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%、10%的置信度水平下显著。

分析法估计的模型的解释能力有所下降。 $\ln P_o$ 、 $\ln C_{GDP}$ 、 $\ln I_s$ 、 $\ln C_g$ 都通过了显著性检验。

由表2可以得到式(8)的岭回归方程,具体为:

$$\ln C = 2.5976 + 2.4144 \ln P_o + 0.2876 \ln C_{GDP} + 2.1336 \ln I_s + 0.2373 \ln C_g \quad (12)$$

得到22个样本的拟合值和实际值的均方差为1.208,两者关系曲线如图1,表明模型拟合效果很好。还原STIRPAT能源需求方程表达式为:

$$C = 13.43 \times P_o^{2.4144} \times C_{GDP}^{0.2876} \times I_s^{2.1336} \times C_g^{0.2373} \quad (13)$$

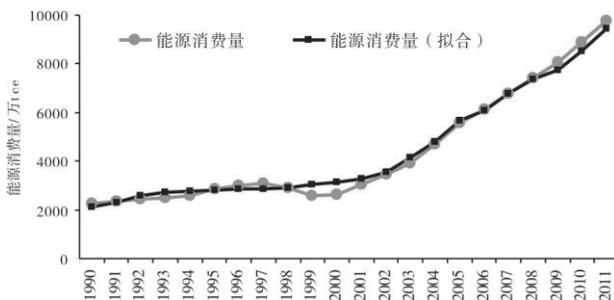


图1 能源消费函数拟合值与实际值的关系图曲线  
Fig.1 The curve of fitted and the actual value of energy consumption function

### 3.3 能源生产函数回归分析

通过对能源生产数据进行相关性分析(表4),可得:能源生产量与能源投资存在显著的相关,相关系数达到了0.9892,与能源从业人数的相关系数也较高,为0.9172,与能源基础储量负相关为0.8505。这些现象都使我们可以判定解释变量之间存在着严重的多重共线性。

对能源生产函数,本文应用逐步回归的方法以解决解释变量的共线性问题。对于能源生产量相关性最显著的能源投资建立回归模型I(表5),解释变量系数为0.8293和常数项为5.9475,调整后的 $R^2$ 为0.9439,F统计量为354.53,通过了相关1%置信度水平下显著性检验。将能源产业从业人员,能源

基础储量引入模型II、模型III,其回归系数并未通过显著性检验(表5)。

表4 能源生产函数变量相关性分析  
Tab.4 correlation analysis of the variables in energy production function

	$C_e$	$E_m$	$I_e$	$P$
$C_e$	1.0000	-0.7765	-0.8546	-0.8505
$E_m$	-0.7765	1.0000	0.9522	0.9172
$I_e$	-0.8546	0.9522	1.0000	0.9892
$P$	-0.8505	0.9172	0.9892	1.0000

表5 能源生产函数回归拟合结果  
Tab.5 Regression results of energy production function

	模型I	模型II	模型III
常数项	5.9475(0.0000)***	4.6293(0.0055)***	11.0357(0.0219)**
$\ln I_e$	0.8293(0.0000)***	0.7655(0.0000)***	0.7843(0.0000)***
$\ln E_m$	-	0.5512(0.3804)	-
$\ln C_e$	-	-	-0.9241(0.2635)
调整 $R^2$	0.9439	0.9434	0.9448
F统计量	354.5343	175.9551	180.8343
P值	0.0000***	0.0000***	0.0000***

注 \*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%、10%的置信度水平下显著。

通过以上对能源生产各解释变量的分析,我们得到陕西省能源生产函数的对数回归方程为:

$$\ln P = 5.9475 + 0.8293 \ln I_e \quad (14)$$

以1990—2011年陕西省数据对其进行拟合,拟合值和实际值的关系曲线如图4,表明模型拟合效果好,其原能源生产函数方程为:

$$P = 382.78 I_e^{0.8293} \quad (15)$$

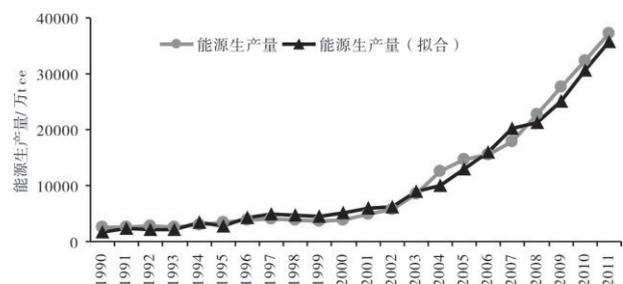


图2 能源生产函数拟合值与实际值的关系图曲线  
Fig.2 The curve of fitted and the actual value of energy production function

### 3.4 回归结果分析

通过以上对陕西省能源消费函数和能源生产函数的回归分析,我们通过等式 $ES = \frac{P}{C}$ 得到,陕西省能源供给系统稳定性的测度模型为:

$$ES = 28.50 I_e^{0.8293} P_o^{-2.4144} C_{GDP}^{-0.2876} I_s^{-2.1336} C_g^{-0.2373} \quad (16)$$

从回归的结果的系数来看, $\beta_2 = 0.8293$ , $k_1 = -2.4144$ , $k_2 = -0.2876$ , $k_3 = -2.1336$ , $k_6 = -0.2373$ ,说明能源投资增加将提高能源供给系统的稳定性,

而人口规模、人均GDP、第二产值比重、能源消费碳排放则会降低能源供给系统的稳定性。按各因素对能源供给系统稳定度的弹性大小排序,依次为:能源投资(0.8293)、能源碳排放强度(-0.2373)、人均GDP(-0.2876)、第二产业产值比重(-2.1336)、人口规模(-2.4144)。

能源投资对能源供给系统稳定性的弹性系数为0.8293,小于1,缺乏弹性。说明能源投资每增加1%,将使得陕西省能源供给系统稳定程度提升0.83%。自1990年以来,陕西省能源投资由6.44亿元,增长到2011年的238亿元,增长了近36倍,年均增长18.76%,导致能源供给系统稳定形势年提升15.55%。同时我们也应注意到,随着能源投资的增加,陕西省能源生产量由1990年的2505万tce增长到2011年的3.75亿tce,年均增长13.7%。能源储采比也由867年减少为42.85年,资源储量年均减少1.47%。在保证区域能源供给系统稳定性的情况下,大规模的能源开采却损害了陕西省的长期能源供给系统稳定性。现阶段能源供给系统的高度稳定是在损害长期区域能源供给系统稳定性下获得的。因此,增加能源勘探投入,在保障区域能源需求的情况下,减少能源开采量将可有效保障陕西省长期的能源供给系统稳定状况。

碳排放强度对能源供给系统稳定性具有负相关性,其相关系数为-0.2373。单位GDP的碳排放强度增加1%,将导致区域能源供给系统稳定形势降低0.24%。因此,促进产业结构升级,降低单位GDP能耗和转变以煤炭为主的能源消费结构将有利于提升陕西省的能源供给系统稳定性。1990—2011年陕西省万元GDP碳排放量由5.18t/万元减少至2.86t/万元,降低了44.79%,年均减少2.79%,则其年均增加能源强度0.66%。陕西省碳排放强度显著地高于中国东部省份,主要基于两个原因:①第二产业产值比重高;②以煤炭为主的能源消费结构。煤炭是陕西的主要能源,在能源结构中所占比重超过70%。21年间(1990—2011年),1995年煤炭所占能源消费比重达到最高值86.5%,伴随着全球经济增长减缓,2001、2002年陕西省能源消费水平下降明显,煤炭所占消费比重降低于70%。石油、天然气的碳排放因子分别是煤炭的77.48%和59.31%。因此降低煤炭的消费比重,将有助于减少陕西省碳排放强度,有利于提升区域能源供给系统稳定度。2011年陕西石油、天然气基础储量占全国的比重分别为9.42%和14.56%,具有很好的资源基础。伴随着煤

炭资源的减少、区域产业的转移,油气将成为陕西未来的主要能源资源。随着油气替代煤炭成为其支柱资源,将有效增加陕西的能源供给系统稳定性。因此,转变陕西能源以煤炭为主的消费也将是提升区域能源供给系统稳定性的主要措施。

人均GDP的系数为-0.2376,这从一方面说明人均GDP的提高将降低能源供给系统的稳定程度,另一方面也说明人均GDP对区域能源供给系统稳定性缺乏弹性。从相关数据来看,1990—2011年陕西国内市场总值(1990不变价)增长了9倍,年均增长11.73%。人均GDP由1219元增长到2011年的1.11万元,年均增长11.09%,将导致年均能源供给系统稳定度降低2.63%。人均收入的快速增长,促进了消费品尤其是耐用品消费的增长,这些耐用品将导致能源直接消费和间接消费的增长。如随着人均拥有的汽车数量的增加,这些耐用设备一方面需要消耗能源,另一方面导致生产这些设备的碳排放大幅增加,给陕西省能源需求带来了压力。人均社会越富裕,能源的消耗也就越多,经济的发达伴生了诸多能源消耗的物品。这些能源的消耗将降低区域的能源供给系统稳定程度。

第二产业产值的弹性系数为-2.1336,比重对区域能源供给系统稳定性富有弹性。从弹性系数来看,第二产业产值占GDP比重减少1%,则区域能源供给系统稳定形势将提高2.13%。1990—2011年陕西省第二产业产值占GDP比重由41.32%增长到55.43%,增长了14.11个百分点,而其对能源供给系统稳定性的态势降低了30.13%。第二产业单位产值能耗显著地高于其它产业,减少第二产业,特别是高耗能产业的比重,将有效地减少区域能源消费,有利于提升区域能源供给系统稳定形势。因此,促进陕西省产业结构转型和升级,减少高耗能产业的发展,将是陕西提高能源供给系统稳定性的主要措施。

人口是能源供给系统稳定性的主要决定因素,其弹性系数为-2.4144,即人口规模增长1%,将降低能源供给系统稳定形势2.41%。1990—2011年,陕西省人口规模由3316万人,增长到3742万人,增长了426万人,年均增长0.58%,年均降低能源供给系统稳定度1.4%。人口的增加,将在吃穿住行用多方面影响到能源的需求。计划生育政策的实施,人口的低速增长,有力地提高了陕西省的区域能源供给系统稳定性。因此,控制人口低速增长也将是保障陕西省能源供给系统稳定性的主要手段。

### 4 能源供给系统稳定性的贡献率分析

对对数能源模型两边同时减去基期(设为第  $t_0$  年)的相关数据,省略误差项,得到如下等式:

$$\Delta \ln ES_t = 0.8293 \Delta \ln I_{e_t} - 2.4144 \Delta \ln P_{o_t} - 0.2876 \Delta \ln C_{GDP_t} - 2.1336 \Delta \ln I_{s_t} - 0.2373 \Delta \ln C_{g_t} \quad (17)$$

式中:  $\Delta \ln ES_t = \ln ES_t - \ln ES_{t_0}$  为第  $t_0$  至第  $t$  年的能源供给系统稳定度累计增长率;  $\Delta \ln P_{o_t}$ 、 $\Delta \ln C_{GDP_t}$ 、 $\Delta \ln I_{s_t}$ 、 $\Delta \ln C_{g_t}$  依次表示人口累积增长率、人均GDP累积增长率、产业结构累积增长率、碳强度累积增长率。各因素年增长率与弹性系数的乘积与总能源强度年变化的百分比即为该影响因素的年贡献率。

#### 4.1 各因素对能源强度影响演进阶段

由1990—2011年陕西省各影响因素数据,通过计算,我们得到了能源强度累积贡献率和各因素的驱动能源强度累积贡献率(图5)。能源投资的增加及碳强度的减少是驱动陕西省能源供给系统稳定度提升的主要因素,而人口、人均GDP及二产产值比重则是驱动区域能源供给系统稳定度降低的主要因素。在提升的因素中,能源投资的贡献份额最大,累积贡献率达到2.84,碳排放强度降低也是提升能源供给系统稳定度的主要因素,其累积贡献0.14。人均GDP和二产产值比重是降低能源供给系统稳定度的主要原因,其累积贡献率均在0.6以上。由图3将各因素对陕西能源供给系统稳定度的贡献划分为三个阶段。

第一阶段(1990—1993年)这一阶段能源投资是提升区域能源供给系统稳定性的主要因素,而产业结构重型化,二产比重提升快速(年均增长1%),是减低能源供给系统稳定性的主要因素。人口增长快于人均GDP对降低能源供给系统稳定性的影响。能源投资和碳排放对能源供给系统稳定性的提升程度小于产业结构、人口、人民财富增长对能源供给系统稳定性的减低深度。这一时期,区域能源强度有下降的趋势,1993年区域能源强度增幅为-0.094。

第二阶段(1994—2003年):能源投资持续增加,碳强度降低的速度也小幅攀升,它们对提升区域能源供给系统稳定性的贡献大于其他影响因素。这一时期,人口和人均GDP增长是降低能源供给系统稳定性的主要因素,人口增长率大于研究期的平

均增速,人均GDP年均增长10.12%。而第二产业产值比重在这一时期经历了U型的发展,1997年期产值比重降低至41%,而后几年增长迅速,到2003年,其占GDP的比重提升至47%。同时我们也注意到这一时期碳强度呈现了快速降低的趋势。

第三阶段(2004—2011年)随着全球经济的恢复,能源的需求增幅迅速,这一时期能源的投资年均增长24.75%,远远高于1994—2003年的年均增长速度13.32%。碳排放的强度也出现降低的态势。而驱动能源供给系统不稳定的因素中,人均GDP则成为第一因素,在这一阶段,人均GDP由4402元增长到11099元,年均增长14.12%。第二产业产值所占比重也提升到55%。而这一时期,人口增长缓慢,年均增长0.24%。引起能源供给系统不稳定因素的累积贡献额为-1.55。

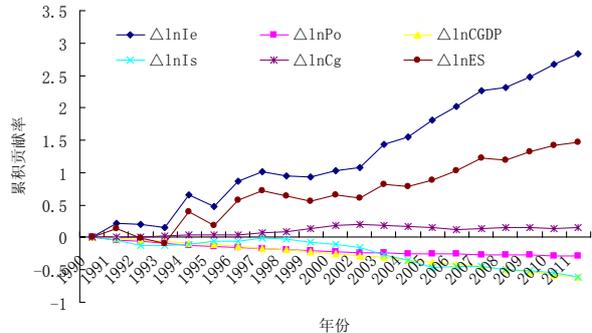


图3 陕西省能源供给系统稳定性及其影响因素累积贡献率(1990—2011)

Fig.3 The accumulative contribution rate of affecting factors for energy supply system stability of Shaanxi Province(1990-2011)

#### 4.2 各影响因素的年贡献率比重

基于各影响因素对区域能源供给系统稳定性的贡献额与区域能源强度总变动,我们得到了各驱动因素逐年的贡献额和所占比重(表6)。

由图3可知,1990—2011年陕西能源供给系统稳定度提升了1.58,分解后的各影响因素中,能源投资、碳排放强度对区域能源供给系统稳定性的影响表现为正效应,其贡献率分别为189.34%和8.91%;而人口、人均GDP和第二产业产值比重对区域能源供给系统稳定性的影响则表现为负效应,其平均贡献率依次为-18.46%、-40.14%和-39.65%。

### 5 结论

对1990—2010年影响陕西省能源供需的9个因素进行回归分析,能源投资将提高能源供给系统的稳定性,其弹性系数为0.8293,但高能源投资将

表6 各影响因素对区域能源供给系统稳定性的贡献率/%  
Tab.6 The contribution rate of affecting factor for regional energy supply system stability/%

年份	$I_e$	$P_o$	$C_{GDP}$	$I_s$	$C_g$
1991	164.17	-25.03	-11.75	-32.35	4.96
1992	18.18	21.13	13.65	52.44	-5.40
1993	42.37	30.23	33.45	11.30	-17.35
1994	103.18	-5.43	-4.21	4.34	2.12
1995	95.97	11.00	12.85	-20.60	0.78
1996	106.62	-5.46	-7.26	3.97	2.13
1997	93.89	-11.54	-17.04	22.37	12.32
1998	74.32	19.41	32.66	4.13	-30.53
1999	33.79	20.30	36.44	77.26	-67.79
2000	128.25	-20.23	-30.89	-34.54	57.41
2001	149.35	-5.63	-24.35	-14.91	-4.46
2002	-71.88	12.70	62.54	102.76	-6.12
2003	173.61	-2.98	-14.91	-54.74	-0.99
2004	-368.48	20.18	110.71	246.84	90.75
2005	261.15	-5.84	-33.24	-113.24	-8.83
2006	144.91	-4.01	-24.84	3.95	-20.01
2007	117.34	-3.00	-20.95	-0.94	7.56
2008	-168.29	18.93	135.63	133.87	-20.13
2009	136.42	-4.73	-28.90	-8.29	5.49
2010	204.05	-5.81	-40.40	-42.64	-15.21
2011	270.66	-8.16	-63.19	-109.40	10.09

造成陕西长期能源供给稳定性的下降。而人口规模、人均GDP、第二产值比重、能源消费碳排放则会降低能源供给系统的稳定性,其弹性系数分别为-2.4144、-0.2876、-2.1336、-0.2373。

提升陕西能源供给系统稳定性的主要因素来自于能源投资,但这是一种不可持续的发展方式。在可以预见的年限内,陕西省能源供给系统稳定性将受到严重的威胁。因此,我们要在保证区域能源供给系统稳定性的情况下,合理投资开发能源资源。

造成陕西区域能源供给系统稳定性降低的主要原因在于:1990—2009年人均实际GDP年均增长率达到11.09%,人均GDP持续增长是现阶段陕西省能源强度降低的主导因素,其贡献率最大。倡导简约、低碳、节能的生活方式成为陕西省进一步提高能效的重要环节。第二产业产值比重过高(55%)。应积极淘汰落后生产力,调整产业结构,增加第三产业的比重,以达到减少能源消耗量和污染排放的目标。通过转变区域经济发展模式,加速产业结构转型升级,推广先进节能降耗技术,提倡低碳节能生活等方式提升能源经济利用效率,转变粗放的消费方式,缓解能源使用安全恶化形势。碳排放强度在提升区域能源供给系统稳定性的贡献率较少,主要原因是陕西省重型化的工业结构和以煤炭为主的能源消费结构。从优化地区能源生产与消费结构、提高能源利用效率和减轻生态环境压力的

角度考虑,应大力发展新能源与可再生能源,实现能源种类多元化。

#### 参考文献:

- [1] 蔡国田,张雷. 中国能源安全研究进展[J]. 地理科学进展, 2005, 24(6): 79 - 87.
- [2] 吴初国,何贤杰,盛昌明,等. 能源安全综合评价方法探讨[J]. 自然资源学报, 2011, 26(6): 964 - 970.
- [3] 杨彦强,时慧娜. 中国能源安全问题研究进展述评[J]. 北京科技大学学报:社会科学版, 2012, 28(3): 112 - 119.
- [4] 苏铭,张有生. 能源安全评价研究述评[J]. 浙江社会科学, 2012(4): 126 - 132.
- [5] 赵敏,张卫国,俞立中. 上海市能源消费碳排放分析[J]. 环境科学研究, 2009, 22(8): 985 - 989.
- [6] Ehrlich P R, Ehrlich A H. Population, Resources, Environment: Issues in Human Ecology[M]. San Francisco: Freeman, 1970.
- [7] York R, Rosa E A, Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytical tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. Ecological Economics, 2003, 46: 351 - 365.
- [8] Shi A. The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975-1996: Evidence from pooled cross-country data[J]. Ecological Economics, 2003, 44: 24 - 42.
- [9] 吴敬锐,杨兆萍,阿达衣赛肯. 基于STIRPAT模型分析新疆能源足迹的影响因素[J]. 干旱区地理, 2011, 34(1): 187 - 192.
- [10] 龙爱华,徐中民,王新华,等. 人口、富裕及技术对2000年中国水足迹的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(10): 3359 - 3365.
- [11] 于强,周忠宝,赵立婷. 基于STIRPAT模型的湖南省环境污染排放影响因素分析[J]. 湖南大学学报:社会科学版, 2012, 26(4): 87 - 90.
- [12] 焦文献,陈兴鹏. 基于IPAT等式的甘肃省能源消费碳排放特征分析及情景预测[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(10): 180 - 184.
- [13] 万磊,郑季良. 基于IPAT方程的云南省能源消耗分析及情景预测[J]. 昆明理工大学学报:理工版, 2009, 34(10): 93 - 96.
- [14] 田园宏,刘国平,曹莉萍. 上海市能源消费影响因素研究[J]. 盐城工学院学报:社会科学版, 2011(4): 37 - 40.
- [15] 李斌. 基于IPAT模型的我国经济发展与能源消耗的实证研究[J]. 中国管理信息化, 2012, 15(13): 34 - 36.
- [16] 张乐勤,李荣富,陈素平,等. 安徽省1995年—2009年能源消费碳排放驱动因子分析及趋势预测[J]. 资源科学, 2012, 34(2): 316 - 327.
- [17] 陈可嘉,梅赞超. 基于STIRPAT扩展模型的福建省CO<sub>2</sub>排放影响因素研究[J]. 福州大学学报:哲学社会科学版, 2013(4): 16 - 20.
- [18] 何文举,陈雄超,卜赛男. 城镇人口规模与能源资源消费关系的实证研究[J]. 经济地理, 2013, 33(11): 70 - 76.
- [19] 吕可文,苗长虹,尚文英. 工业能源消耗碳排放行业差异研究[J]. 经济地理, 2012, 32(12): 15 - 20.
- [20] 杨嵘,常钰钰. 西部地区碳排放与经济增长关系的脱钩及驱动因素[J]. 经济地理, 2012, 32(12): 34 - 39.
- [21] 姜磊,季民河. 基于STIRPAT模型的上海市能源消费影响因素研究[J]. 上海环境科学, 2011, 30(6): 240 - 244.