

低碳经济范式下能源消费结构的优化研究

王 贤，谷立霞，王俊岭

(石家庄经济学院，河北 石家庄 050031)

摘 要：能源结构的优化和调整是我国能源战略的核心，也是低碳经济顺利实现的重要保证。从能源消费产生的经济效益、社会效益和环境效益等角度出发，构建了综合评价能源消费结构优化程度的指标体系及评价模型，为科学评价能源消费结构的优化程度、合理制定政策提供了理论依据。

关键词：能源消费结构；优化；低碳经济范式；层次分析法

DOI：10.3969/j.issn.1001-7348.2010.22.07

中图分类号：F407.2

文献标识码：A

文章编号：1001-7348(2010)22-0026-04

0 引言

发展低碳经济、节约利用能源，对人类实现可持续发展具有重要意义，也是能源在后石油时代的必然发展方向。优化能源结构、提高能源供应质量是降低能源消耗，增加能源利用经济效益，改善环境质量的重要而有效的手段。我国是能源消耗大国，但能源消费弹性系数较低、品种多样化不足、生产至消费各环节的能源效率不高以及环境污染较为严重等一系列问题成为我国现阶段经济发展的制约瓶颈^[1]。本文尝试建立评价模型，科学度量能源消费结构的优化程度，从而为改善能源利用方式、确保低碳经济顺利实现奠定基础。

1 概念界定

1.1 低碳经济范式

低碳经济是以低能耗、低污染、低排放为基础，以能效技术、可再生能源技术和温室气体减排技术的开发和运用为核心，以市场机制、制度框架和政策措施为先导，以减少化石燃料消耗和温室气体排放为标志，以经济社会与生态环境相互和谐为目标的新型发展模式，是人类社会继农业文明、工业文明之后的又一次重大进步。它的实质是高能源利用效率和清洁能源结构的问题，核心是能源技术创新、制度创新和人类生存与发展观念的根本性转变^[2]。对于“低碳经济”而言，从概念上来说，它也是一个社会学范式，代表着一个新的社会发展模式，即“低碳经济范式”，它是相对于高消耗、高污染的传统社会发展模式“高碳经济范式”而言的。

目前通用的对低碳技术的定义是：涉及电力、交通、

建筑、冶金、化工、石化等部门以及在可再生能源及新能源、煤的清洁高效利用、油气资源和煤层气的勘探开发、二氧化碳捕获与埋存等领域开发的有效控制温室气体排放的新技术^[3]。

低碳技术存在于3个阶段：第一是源头上，即为了社会发展，利用什么样的能源以及怎样利用能源？这涉及到了如何开发利用新能源以及合理有效地利用现有的常规能源；第二是过程中，即在能源利用过程中，怎样改进技术装备和转变能源利用方式，以尽量减少温室气体的排放；第三是结尾里，即怎样尽量处理已经排放出的温室气体，这就具体到了“碳捕获”、“碳封存”和“碳转变”等技术。更具体一点，“低碳技术”就是指寻找新能源、更合理有效地利用能源、改变常规能源利用方式、开发和运用处理温室气体的技术。目前主要有可再生能源技术、新型发电技术、碳捕获与封存技术、节能技术等^[4]。

1.2 能源消费结构及其优化

一个国家的能源消费是由多种能源构成。能源消费结构是指各种能源(如煤炭、石油、天然气、电力、核能、太阳能等)占能源总量的比例。能源消费结构优化是指在一定的资源和技术条件下使这种比例关系趋于合理，以达到提高能源开发利用整体效益的目的。从能源利用的角度出发，能源消费结构对经济发展、能源利用效率和环境利用水平有重要影响作用^[5]。

从世界范围看，能源结构演变的基本方向是能源结构不断优质化，它的规律性特点主要表现为3个方面：在能源供应方面大力降低煤炭比重，主要通过工业化阶段尽早开发水力资源，在二次大战后实行以石油和天然气为中心的能源“流体化革命”，20世纪60年代后加快发展核电，

收稿日期：2010-07-20

基金项目：河北省社会科学基金项目(B10EYJ096)

作者简介：王贤(1976-)，女，河北石家庄人，石家庄经济学院讲师，研究方向为创新管理、综合评价理论与方法；谷立霞(1969-)，女，河北石家庄人，石家庄经济学院副教授，研究方向为区域经济管理、创新管理；王俊岭(1977-)，男，河北邯郸人，石家庄经济学院讲师，研究方向为循环经济与区域经济。

大力推进太阳能、热能、地热能、生物质能等再生资源的开发利用; 提高煤炭的加工转换能力, 一方面采用洁净煤技术, 另一方面把煤炭用于炼焦和少量作为化工原料, 其余的转化为电力; 改善终端用能质量, 并通过优质能源服务来提高能源利用效率和保护环境。

目前世界能源消费量已超过 100 亿 t 标准煤, 其中煤炭不到 1/3, 我国煤炭消费占能源消费总量的 3/4, 低于优质能源结构。先进工业国家普遍采用开发水力的办法来改善能源结构, 技术经济体条件好的国家几乎全部开发了自己的水力资源。我国水力资源储量占世界首位, 已开发的电量只占储量的 6%~7%, 存在很大的开发潜力。除中国外, 煤炭消费量较多的国家大部分将原煤入洗后再投放市场, 煤炭入洗率最低的国家也在 40% 以上, 我国的原煤入洗率较低, 仅有 16%-18%, 大量未经洗选的原煤直接供应给用户, 导致能源利用效率低下和环境质量恶化。火电厂是燃烧效率最高的用煤企业, 发达国家用煤发电占煤炭消费量的一半以上, 有的国家高达 85%, 我国用煤发电只占煤炭消费量的 30%。通过将更多的煤炭转化为高能级的电供给给用户来优化终端能源结构, 会使能源利用更趋于合理化^{[6][7]}。

2 能源消费结构评价指标体系的构建

本文以同一地区不同种类的能源终端消费量为依据, 对其产生的经济效益、社会效益和环境效益总量进行分析, 从而得到该地区能源消费结构优化程度的综合评价结果。本文建立的能源消费结构评价指标体系共分为 4 个层次、26 个四级指标, 构成如表 1 所示

第一层	第二层	第三层	第四层
能源消费结构优化度	经济效益 E	能源经济效益	1 能源消费弹性系数
			2 按国民收入计算的能源利用效率
			3 环境能源经济效果系数
		能源造成的环境费用 F	4 人体健康的经济损失
			5 居民生活费用方面的经济损失
			6 建筑物设备道路方面的经济损失
			7 大气污染对农业的经济损失
			8 酸雨造成的经济损失
	社会效益 C	9 人均资源消耗量	
		10 能源供应安全性	
		11 资源利用效率	
		12 单位产品能耗	
		大气污染 G	13 二氧化碳排放量
			14 二氧化硫排放量
	15 氮氧化物排放量		
	16 烃类排放量		
	环境效益 D	17 硫化氢排放量	
		18 放射性物质排放量	
		水污染 K	19 水温提高
			20 酸性物质
		对土地	21 地面破坏
			22 地面侵蚀
		资源影响 J	23 地面沉降
			24 淹没损失
			25 固体废物排放
			26 废水排放

3 利用层次分析法对各指标赋予权重

本文利用 AHP 方法确定各准则层、各指标的部分权重及整体权重。首先是进行专家调查, 比较各指标的相互关系。本文邀请了多位从事能源工作的专家和学者来共同完成。最后对收回的有效调查问卷进行处理, 采用 10 分制。

根据调查结果, 应用 AHP 方法计算各层次及指标权重的具体过程如下:

3.1 经济效益模型

(1) 衡量能源经济效益的模型。衡量发展水平的 3 个指标的判断矩阵 H11 为:

$$H11 = \begin{bmatrix} \hat{a}_{11} & 0.584 & 0.517 \\ \hat{a}_{21} & 1 & 0.899 \\ \hat{a}_{31} & 0.936 & 1.112 \end{bmatrix}$$

求出最大特征根 λ_{max} 及权重向量 W:

$$\lambda_{max} = 3.000029, W = [0.215, 0.371, 0.414]^T$$

检验值: CI=0.0000145, CR=0.000025

依据各指标权重, 可得到衡量 E 的模型:

$$E = 0.215f(I_1) + 0.371f(I_2) + 0.414f(I_3)$$

式中, $f(I_1) \sim f(I_3)$ 为发展水平 3 个指标 $I_1 \sim I_3$ 的度量值, 以下同理。

(2) 能源造成的环境费用模型。衡量环境费用 5 个指标的判断矩阵 H12 为:

$$H12 = \begin{bmatrix} \hat{a}_{11} & 1.873 & 1.644 & 1.190 & 3.013 \\ \hat{a}_{21} & 0.534 & 1 & 0.957 & 1.849 \\ \hat{a}_{31} & 0.608 & 1.045 & 1 & 1.917 \\ \hat{a}_{41} & 0.840 & 1.295 & 1.214 & 2.399 \\ \hat{a}_{51} & 0.332 & 0.541 & 0.522 & 0.417 \end{bmatrix}$$

最大特征根 λ_{max} 及权重向量 W:

$$\lambda_{max} = 5.003522, W = [0.295, 0.159, 0.181, 0.267, 0.098]^T$$

检验值: CI=0.000881, CR=0.000786

衡量 F 的模型:

$$F = 0.295f(I_4) + 0.159f(I_5) + 0.181f(I_6) + 0.267f(I_7) + 0.098f(I_8)$$

(3) 经济效益模型。经济模型包括能源经济效益和能源环境费用两个指标, 这两个指标的判断矩阵 H1 为:

$$H1 = \begin{bmatrix} \hat{a}_{11} & 2.331 \\ \hat{a}_{21} & 0.429 & 1 \end{bmatrix}$$

最大特征根 λ_{max} 及权重向量 W:

$$\lambda_{max} = 2, W = [0.750, 0.250]^T$$

衡量发展度 B 的模型:

$$B = 0.75E + 0.25F$$

3.2 社会效益模型

可得到衡量社会效益 4 个指标的判断矩阵 H21 为:

$$H21 = \begin{bmatrix} \hat{a}_{11} & 0.693 & 0.714 & 0.931 \\ \hat{a}_{21} & 1.443 & 1 & 1.365 \\ \hat{a}_{31} & 1.401 & 0.733 & 1 & 1.159 \\ \hat{a}_{41} & 1.074 & 0.677 & 0.863 & 1 \end{bmatrix}$$

最大特征根 λ_{max} 及权重向量 W :

$$\lambda_{max} = 4.006679, W = [0.203, 0.301, 0.257, 0.219]^T$$

检验值: $CI=0.00226, CR=0.0025$

衡量社会效益的模型:

$$C = 0.203f(I_9) + 0.301f(I_{10}) + 0.257f(I_{11}) + 0.219f(I_{12})$$

3.3 环境效益模型

(1)大气污染。衡量大气污染 6 个指标的判断矩阵 H31 为:

$$H_{31} = \begin{bmatrix} \hat{e} & 0.453 & 0.768 & 0.939 & 0.397 & 0.311 \\ \hat{e} & 2.208 & 1 & 1.185 & 2.012 & 0.837 \\ \hat{e} & 1.302 & 0.844 & 1 & 1.109 & 0.772 \\ \hat{e} & 1.065 & 0.497 & 0.902 & 1 & 0.556 \\ \hat{e} & 2.519 & 1.195 & 1.295 & 1.799 & 1 \\ \hat{e} & 3.215 & 1.727 & 1.464 & 2.024 & 1.093 \end{bmatrix}$$

最大特征根 λ_{max} 及权重向量 W :

$$\lambda_{max} = 6.047971,$$

$$W = [0.092, 0.184, 0.146, 0.112, 0.212, 0.254]^T$$

检验值: $CI=0.009594, CR=0.007737$

得到衡量大气污染的模型:

$$G = 0.092f(I_{13}) + 0.184f(I_{14}) + 0.146f(I_{15}) + 0.112f(I_{16}) + 0.212f(I_{17}) + 0.254f(I_{18})$$

(2)水污染。衡量水污染两个指标的重要性判断矩阵 H32 为:

$$H_{32} = \begin{bmatrix} \hat{e} & 1 & 0.319 \\ \hat{e} & 3.139 & 1 \end{bmatrix}$$

最大特征根 λ_{max} 及权重向量 W 为:

$$\lambda_{max} = 2, W = [0.242, 0.758]^T$$

检验值: $CI=0$

得到衡量大气污染的模型:

$$K = 0.242f(I_{19}) + 0.758f(I_{20})$$

(3)土地资源的影响模型。衡量土地资源污染 6 个指标的判断矩阵 H33 为:

$$H_{33} = \begin{bmatrix} \hat{e} & 1.105 & 1.113 & 0.871 & 0.931 & 0.906 \\ \hat{e} & 0.905 & 1 & 1.107 & 0.825 & 0.899 \\ \hat{e} & 0.898 & 0.903 & 1 & 0.761 & 0.837 \\ \hat{e} & 1.148 & 1.212 & 1.314 & 1 & 1.274 \\ \hat{e} & 1.074 & 1.112 & 1.195 & 0.785 & 1 \\ \hat{e} & 1.104 & 1.160 & 1.242 & 0.902 & 1.012 \end{bmatrix}$$

最大特征根 λ_{max} 及权重向量 W 为:

$$\lambda_{max} = 6.003494,$$

$$W = [0.163, 0.154, 0.143, 0.194, 0.169, 0.176]^T$$

检验值: $CI=0.0007, CR=0.0006$

得到衡量大气污染的模型:

$$J = 0.163f(I_{21}) + 0.154f(I_{22}) + 0.143f(I_{23}) + 0.194f(I_{24}) + 0.169f(I_{25}) + 0.176f(I_{26})$$

(4)环境效益模型。环境效益模型包括大气污染、水污染和土地资源 3 个指标,这 3 个指标的判断矩阵 H3 为:

$$H_3 = \begin{bmatrix} \hat{e} & 0.673 & 0.989 \\ \hat{e} & 1.486 & 1 & 1.375 \\ \hat{e} & 1.011 & 0.727 & 1 \end{bmatrix}$$

最大特征根 λ_{max} 及权重向量 W 分别为:

$$\lambda_{max} = 3.000491, W = [0.287, 0.417, 0.296]^T$$

检验值: $CI=0.00025, CR=0.00042$

得到衡量发展度 C 的模型:

$$C = 0.287G + 0.417K + 0.296J$$

3.4 能源消费结构的优化模型

能源消费结构的优化模型包括经济、社会和环境 3 个准则,其判断矩阵 H 为:

$$H = \begin{bmatrix} \hat{e} & 1.228 & 1.233 \\ \hat{e} & 0.814 & 1 & 1.094 \\ \hat{e} & 0.818 & 0.914 & 1 \end{bmatrix}$$

最大特征根 λ_{max} 及权重向量 W :

$$\lambda_{max} = 3.00363, W = [0.380, 0.319, 0.301]^T$$

检验值: $CI=0.0018, CR=0.00313$

得到衡量发展度 C 的模型:

$$A = 0.38B + 0.319C + 0.301D$$

3.5 各指标最终权重的确定

将各指标在该方案层得到的权重与所有与其相关联的准则层的权重累积相乘,得到的乘积结果就是该目标对于总目标的权重结果,所有指标的权重结果见表 2。

表 2 权重值的分配

经济效益	能源经济效	1能源消费弹性系数	$q=0.0613$
$q=0.38$	益 $q=0.285$	2按国民收入计算的能源利用效率	$q=0.1057$
		3环境能源经济效果系数	$q=0.1180$
	能源造成的	4人体健康的经济损失	$q=0.0280$
	环境费用	5居民生活费用方面的经济损失	$q=0.0151$
		6建筑物设备道路方面的经济损失	$q=0.0172$
		7大气污染对农业的经济损失	$q=0.0254$
		8酸雨造成的经济损失	$q=0.0093$
社会效益	$q=0.319$	9人均资源消耗量	$q=0.0647$
$q=0.319$		10能源供应安全性	$q=0.096$
		11资源利用效率	$q=0.082$
		12单位产品能耗	$q=0.0699$
环境效益	大气污染	13二氧化碳排放量	$q=0.0079$
$q=0.301$	$q=0.086$	14二氧化硫排放量	$q=0.0158$
		15氮氧化物排放量	$q=0.0126$
		16烃类排放量	$q=0.0096$
		17硫化氢排放量	$q=0.0182$
		18放射性物质排放量	$q=0.0218$
	水污染	19水温提高	$q=0.0305$
		20酸性物质	$q=0.0955$
	对土地	21地面破坏	$q=0.0145$
	资源影响	22地面侵蚀	$q=0.0137$
		23地面沉降	$q=0.0127$
		24淹没损失	$q=0.0173$
		25固体废物排放	$q=0.0150$
		26废水排放	$q=0.0157$
合计=1		1	1

4 能源结构优化的评价模型

本文对系统的综合评价采用的方法是计算整个系统(S)的能源优化程度,用公式表示为:

$$CO_i = \sum_{j=1}^{n_i} f(I_{ij})w_{ij}$$

$$CO = \sum_{i=1}^n w_i CO_i$$

其中, $f(I_{ij})$ 为第 i 子系统中第 j 个指标的度量值, $0 \leq f(I_{ij}) \leq 1$ 。 CO_i 表示第 i 子系统的优化程度, CO 为整个系统的优化程度值。然后依据某一地区历年的优化度进行比较,从而判定该地区在发展过程是否对能源结构进行了不断的优化,如果 $CO_{t-1} \leq CO_t$, t 为时间变量,则认为系统是优化了的;反之,如果 $CO_{t-1} > CO_t$, 则认为从能源优化角度来看,该地区是在退化的,需要引起政府相关决策部门的注意。同时,本文所提出的评价模型亦可用于同一时期不同地区能源消费结构的综合比较。

5 结论

从上面的分析可以看出,为实现能源消费结构的不断优化、促进低碳经济发展,政府及各决策部门应制定相关产业政策,努力提高能源的经济效益和社会效益,降低能源消费造成的环境费用,控制其产生的大气污染、水污染

及对土地资源的影响。我国现阶段经济发展的高耗能问题仍然较为突出,因此,通过节能减排来推动我国经济的发展仍是当务之急,同时加快开发和利用新能源和可再生能源,增加能源供应,保障能源安全,改善能源结构。

参考文献:

- [1] 吴晓青.关于中国发展低碳经济的若干建议 [A].张坤民,潘家华,崔大鹏,等.低碳经济论—挑战篇 [C].北京:中国环境科学出版社,2008:5.
- [2] 道格拉斯·诺斯.经济史中的结构与变迁 [M].上海:上海人民出版社,1999.
- [3] 张坤民,潘家华,崔大鹏,等.低碳经济论 [M].北京:中国环境科学出版社,2008:5.
- [4] 史丹.结构变动是影响我国能源消费的主要因素 [J].中国工业经济,1999(11).
- [5] 赵进文,范继涛.经济增长与能源消费内在依从关系的实证研究 [J].经济研究,2007(8).
- [6] Yu ESH, Choi JY. The Causal relationship between electricity and GNP: an international comparison [J]. Journal of Energy and Development, 1985(10).
- [7] 魏一鸣,刘兰翠,范英,等.中国能源报告(2008).北京:科学出版社,2008:4.

(责任编辑:胡俊健)

Research on the Optimization of Energy Consumption Structure under Low Carbon Economy

Wang Xian, Gu Lixia, Wang Junling

(Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: The structure optimization and adjustment of energy consumption is the hard-core in China's energy strategy, and also a guarantee for smooth out the low-carbon economy. Considering of the economic benefits, social benefits and environmental benefits, this paper constructed an comprehensive evaluation index system and an assessment model to evaluate energy consumption structure optimizing degrees, providing theory basis for evaluating energy consumption structure and making reasonable policy.

Key Words: Energy Consumption Structure; Optimization; Low-carbon Economy Paradigm; AHP