

文章编号: 1000-6788(2005)10-0138-07

# 基于科学发展观的能源系统协调优化配置理论与应用

郭小哲, 葛家理, 涂 彬

(中国石油大学复杂科学研究中心, 北京 昌平 102249)

**摘要:** 我国能源系统单一化发展模式成为 2003 年能源全面紧缺的根本性原因, 以科学发展观为指导思想的能源系统协调发展模式是解决这种紧张状况的必须途径. 以此模式为出发点, 经过泛函优化配置理论的计算, 确定了到 2020 年实现全面小康社会的能源目标, 并进行了高效、持续、洁净、经济、民本五个方面的验证, 取得了较好的结论. 在此优化目标的基础上, 最后给出了七个方面的能源系统协调发展战略建议.

**关键词:** 能源; 泛函理论; 系统经济; 科学发展观; 协调

**中图分类号:** TK01

**文献标识码:** A

## Research and Application of Theory on Coordination and Optimizing Arrangement in Our Energy System Based on Viewpoint of Scientific Development

GUO Xiao-zhe, GE Jia-li, TU Bin

(Center of Complexity Science, University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** In our country, energy supplying happened to become very shortage in 2003 by reason that single-development model was hold in our energy system. Until the viewpoint was announced, the systematic coordinated-development model is confirmed to be the radical means to resolve the puzzledom. From this point, the functional theory is used to calculate the energy targets to realize the all-sided well-off society in 2020. And this paper verified the results in five aspects, drawing the conclusion it can meet the requirement that the development of energy should be high efficiency, sustainable, clean, economical and for the people. At the end, it presents seven suggestions of energy development based on the optimized target.

**Key words:** energy; functional theory; systematic economy; viewpoint of scientific development; coordination

### 0 引言

2003 年, 中国有两件大事值得关注.

一是煤油电运全面紧张.

防非典型性肺炎疫情的第一年, 我国能源突现全面紧缺. 大中小煤矿明显供销两旺, 基本是开足马力生产, 而无论产出多少都被在煤矿蹲点的购煤用户买走, 如此热销与煤炭紧俏直接带来了民用煤炭价格上涨, 极大影响了人们基本生活; 煤炭紧张带来另一个大的影响是火电厂不能正常运转, 这样造成电力紧张的进一步恶化, 以至于全年 24 个省市拉闸限电; 电的紧缺形成的煤炭的大量外运以供火电厂的充分利用, 又形成了铁路与公路运输的高度紧张, 而由此也带来了柴油等油品的供不应求, 迫使中国当年进口石油达 1 亿吨以上. 2003 年的能源突发紧缺给中国经济发展提出了新问题.

二是科学发展观的提出.

基于 2003 年能源供给的突发紧缺, 中共十六届三中全会提出了以人为本、全面协调和持续的科学发

收稿日期: 2004-10-10

资助项目: 国家自然科学基金委管理学部主任应急项目《我国能源政策及战略设计研究》(70041046)

作者简介: 郭小哲(1975 - ), 男, 河北保定人, 博士, 研究方向为石油工程管理及能源经济安全等; 葛家理(1933 - ), 男, 重庆人, 教授, 博士生导师, 研究方向为复杂系统、能源安全战略、系统工程及石油工程管理等.

展观. 一直以来的固定资产投资拉动 GDP 快速增长形成了高耗能低能效的行业粗放型发展, 给能源供给埋下了巨大隐患; 能源的开发、生产和利用造成了环境严重污染、资源严重浪费和可持续发展受到很大威胁. 这些都构成了能源系统的盲目发展. 可以说科学发展观的提出给当前能源系统面临的困境指明了方向.

### 1 能源系统单一化发展模式

在能源系统中, 与科学发展观对应的盲目发展观主要体现在能源系统单一化发展模式, 所谓单一化发展模式是指单一依靠能源数量及高耗能行业拉动经济发展、单一依靠低效率高污染的煤炭消费来补充能源的供给紧缺, 它包括四个方面:

#### 线性能源拉动与 GDP 单一目标模式

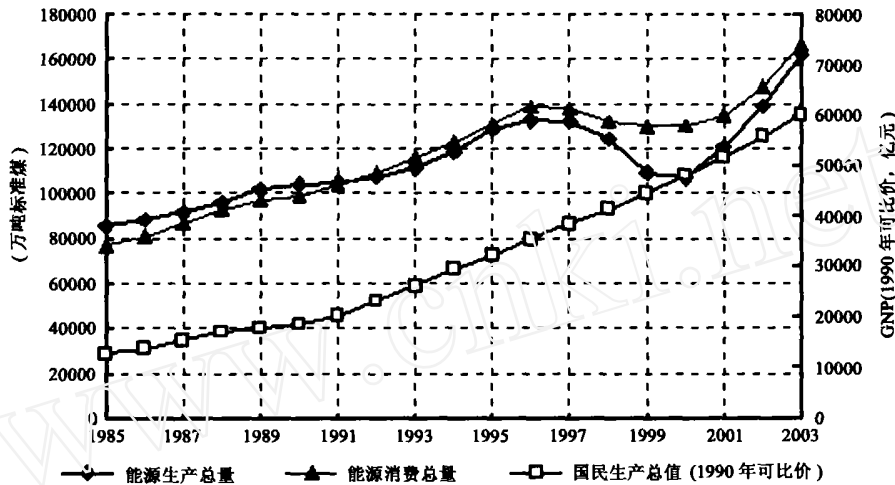


图 1 能源与经济增长曲线

能源发展牵动国民经济增长的理论长期以来是“线性弹性系数理论”<sup>[1-3]</sup>, 即主要依靠能源发展速度的增加来推动国民经济增长, 在能源与经济增长曲线上表现为能源曲线与经济曲线近似平行线 (如图 1). 而我国又是以高速 GDP 的发展为单一评价国家经济发展的目标, 因此, 势必会使能源供给紧张.

#### 固定资产投资与高耗能行业单一产业模式

高增速的 GDP 是由大量的固定资产投资得来的 (如图 2), 而固定资产投资必然会带动钢铁、水泥等高耗能行业的快速发展, 进而拉近了能源突发危机的时间.

#### 低效能源利用与煤炭在能源结构中单一主体模式

在以煤占 65% 以上的能源消费结构中, 当经济需求能源过多时, 低效率的煤炭会加大能源需求量, 大的需求量返过来又促进低效的煤炭生产, 反复如此, 形成一个恶性循环, 极不利于能源的可持续发展.

#### 环境污染严重与火电单一构成模式

火电占电源总量的 80% 以上, 缓解电力紧缺将会加大火电工作量, 随之加大煤炭用量, 造成更大的污染.

综上所述, 虽然“能源系统单一化发展模式”在我国经济振兴起步时, 由于盘子很小, 用集中目标、集中资源、集中能源来拉动单一性产业和行业时, 便于启动和起飞, 但是当滚雪球到一定规模时, 这种单一的发展链就会超载超速, 容易断链而造成系统不稳定, 所以, 2003 年的能源危机预警更加强调了全面协调的科学发展观的重要意义.

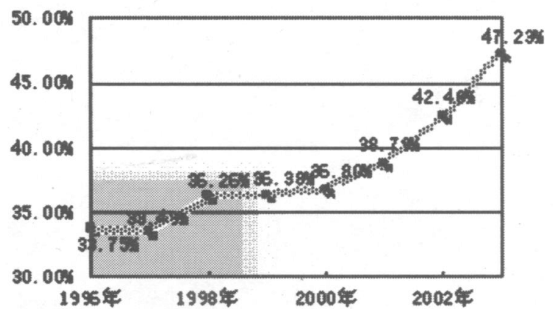


图 2 固定资产投资占 GDP 比例变化

## 2 能源系统协调发展模式

能源是人们生活的最基本资源,是国家发展的源动力,它的作用渗透到人类社会的各个领域,所构成的能源系统本身就成为一个复杂的巨系统,因此,能源问题并不是单独一个产业或者一个问题,而是整个系统相互协调的问题.具体表现在:

### 能源与经济协调互动

改变高耗能行业的低效粗放型经济生产方式,使有限的能源被充分利用来发展经济<sup>[4]</sup>;

### 能源与环境协调共存

低水平的能源使用效率不利于生态环境保护,形成生态环境反过来要求和促进能源产业的进步,然而这需要一个很长的过程,即使是生态环境的要求很高,也应该考虑到这个过程是需要时间的.因此,生态环境应该能包容这一过程,与能源相容协调发展,互相促进、互相补充,而不是互相限制、互相排挤.

### 能源与稳定协调共存

能源不但成为人类社会发展的必需资料,而且能源产业已经成为部分国家的经济支柱产业,能源的供给将成为社会稳定的最重要因素之一,因此,能源与稳定将是协调共存的.

### 能源与人本协调共赢

人们生活质量的提高与能源的使用有极密切关系,解决好贫穷端与富裕端的双元能源使用成为能源与人本协调共赢的关键.

综合以上内容,能源系统协调发展模式贯彻了科学发展观的基本思想,把效率、环境、稳定、经济和民本协调起来,确保共同达到可持续,乃至全面小康社会的顺利实现.

基于科学发展观的能源系统协调发展最基本的要求是能源的优化配置,而且验证其是否优化的标准也应该考虑效率、环境、稳定、经济和民本的优化.基于此本文给出了泛函结构优化配置理论<sup>[5]</sup>及验证方法.

## 3 泛函结构优化配置理论

若总系统由  $n$  个子系统组成,在这个总系统所形成的一类协调函数  $f(y(x))$  中的每一个函数  $y(x)$  都有一个值与之对应,与此同时,总函数还依赖另一个多变量目标控制函数  $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,我们称总系统是同时依赖两个未知函数的泛函,记作  $V[f(y(x)), X(x_1, x_2, \dots, x_n)]$ . 则总系统的优化配置问题,就是使泛函  $V[f(y(x)), X(x_1, x_2, \dots, x_n)]$  达到极值.

建立模型(极小值模型):

$$\min V[f(y(x)), X(x_1, x_2, \dots, x_n)] \quad (1)$$

$$X = f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n X_i = b \quad (2)$$

引入辅助函数

$$V = f(y(x)) + \lambda [X - (x_1 + \dots + x_n)] \quad (3)$$

则

$$V = \sum_{i=1}^n y_i(x_i) + \lambda [X - (x_1 + \dots + x_n)] = y_1(x_1) + y_2(x_2) + \dots + y_n(x_n) + \lambda [X - x_1 - \dots - x_n] \quad (4)$$

对上式在  $x_1 \dots x_n$  点求导,且为零,则在平稳点处存在:

$$\frac{\partial y_1(x_1)}{\partial x_1} = \frac{\partial y_2(x_2)}{\partial x_2} = \dots = \frac{\partial y_n(x_n)}{\partial x_n} = \lambda \quad (5)$$

满足上式条件时,也即  $y_i(x_i)$  曲线斜率相等时,泛函  $V$  有极小值.

$y_i(x_i)$  共有  $n$  条曲线,在  $x_1, \dots, x_n$  处斜率相等,且  $n$  个点  $x_i$  之和满足给定的目标条件:

$$X = x_1 + x_2 + \dots + x_n = b \quad (6)$$

则目标  $x_i$  即为最优配置量。

### 4 能源系统协调优化配置

能源系统协调优化配置的目的是：通过调整能源消费结构与产业结构从而达到保证 GDP 的预定增长速度，同时保证能源消费总量的平稳走势。

建立产业结构与能源消费结构双重结构关系式如下：

$$E_n = E_c( {}_1S_1 + {}_2S_2 + {}_3S_3 ), \tag{7}$$

$$E_c = E_n( {}_1T_1 + {}_2T_2 + {}_3T_3 + {}_4T_4 ), \tag{8}$$

式中： $E_n$  为能源消费量，万吨； $E_c$  为国内生产总值，亿元； $i$  为第  $i$  产业能源密度，吨标准煤/万元； ${}_1, {}_2, {}_3, {}_4$  分别为煤、油、气、水核电利用效率，万元/吨标准煤； $S_i$  为第  $i$  产业生产总值结构比； $T_i$  为能源拉动经济贡献结构比。

把(7)、(8)式变化为：

$$\frac{E_n}{E_c} = f( S_1, S_2, S_3 ), \tag{9}$$

$$\frac{E_c}{E_n} = f( T_1, T_2, T_3, T_4 ). \tag{10}$$

经 1993 年到 2003 年数据可回归(9)与(10)的关系式。

变(9)与(10)式为泛函模型为：

$$\min V_S = [ y( S ), S( S_1, S_2, S_3 ) ]; \tag{11}$$

$$\max V_T = [ y( T ), T( T_1, T_2, T_3, T_4 ) ]. \tag{12}$$

且满足  $S_1 + S_2 + S_3 = 1$  和  $T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 1$ 。

则当： $\frac{\partial y_1(S_1)}{S_1} = \frac{\partial y_2(S_2)}{S_2} = \frac{\partial y_3(S_3)}{S_3}$  时，可确定  $S [ S_1, S_2,$

$S_3 ]$  为最优结构； $\frac{\partial y_1(T_1)}{T_1} = \frac{\partial y_2(T_2)}{T_2} = \frac{\partial y_3(T_3)}{T_3} =$

$\frac{\partial y_4(T_4)}{T_4}$  时，可确定  $T [ T_1, T_2, T_3, T_4 ]$  为最优结构。

最后计算得出  $S_1, S_2, S_3, T_1, T_2, T_3, T_4$  如表 1 所示。

参照 2020 年我国全面小康社会实现 GDP 比 2000 年翻两番，并考虑我国近 20 年 GDP 发展速度，设计 GDP(90 年价)分阶段增长方式如表 2 所示。

结合泛函结构优化结果，得到能源经济系统总体目标(如表 3 所示)。

表 1 2020 年产业结构和能源消费结构

第一产业结构 $S_1, \%$	11
第二产业结构 $S_2, \%$	50
第三产业结构 $S_3, \%$	39
煤消费结构 $T_1, \%$	55
石油消费结构 $T_2, \%$	24
天然气消费结构 $T_3, \%$	10
水核电消费结构 $T_4, \%$	11

表 2 双重结构优化配置 GDP 目标增长方式

阶段	2004 - 2010	2010 - 2015	2015 - 2020
增长率	8 %	7 %	6.5 %

### 5 优化配置结果验证

#### 5.1 验证指标体系

1) 效率性指标(能源利用效率 )

能源利用效率描述的是消耗单位能源的经济产出，单位为万元/吨标准煤，公式为：

$$= \frac{E_c}{E_n}. \tag{13}$$

2) 可持续性指标(储采比 )

指标的含义是指以现有规模生产，剩余储量可以支撑的年限。

表3 未来15年能源战略总目标及相关指标

指标	2003年	2010年	2015年	2020年
国内生产总值(亿元)	116694	220570.6	318700.3	446914.6
GDP年均增长率(%)	9.1	8	7	6.5
人口(亿)	13	13.5	13.75	14
人均GDP(元/人)	8976.46	16338.56	23178.20	31922.47
第一产业比重(%)	15	12	12	11
第二产业比重(%)	53	52	51	50
第三产业比重(%)	32	36	37	39
能源总量(亿tce)	16.7	21.23	22.61	22.96
年均能源增长率(%)	12	3.48	1.27	0.31
能源利用效率(元/kgce)	6.98	10.39	14.10	19.46
煤(t, %)	16.26(68.2)	19.44(64)	19.41(60)	18.07(55)
石油(t, %)	2.68(22.7)	3.40(23)	3.47(22)	3.84(24)
天然气(亿方, %)	397.86(2.7)	1013(6)	1438(8)	1826(10)
水电、核电(亿度, %)	2915.31(6.3)	4282(7)	6514(10)	7277(11)
发电总量(亿度)	16380	29080	32885	33043
人均能耗(tce/人)	1.28	1.57	1.64	1.64
人均发电量(度/年)	1260	2154	2291	2360
人均生活用电量(度/年)	162	323	406	448

注:2003年“年均能源增长率”为2002年到2003年增长率.计算数据来自中国统计局和中国统计年鉴.

若计算2020年储采比则有:

$$\text{储采比} = \frac{\text{剩余可储量} + \text{年新增储量} - \text{年产量}}{\text{2020年产量}} \quad (14)$$

储采比表示为  $= C O G$ ; 其中下标  $C, O, G$  分别代表煤、油、气.

3) 环境性指标(空气污染物排放量  $P$ )

空气污染物排放量由  $SO_2$  和  $CO_2$  排放量组成,公式如下:

$$P_{ii} = E_n (E_b, E_o, E_g) \begin{bmatrix} X_{1i} \\ X_{2i} \\ X_{3i} \end{bmatrix}, \quad (15)$$

其中:  $i=1, 2$ , 分别代表  $SO_2$  和  $CO_2$ ;  $P_{ii}$  为污染物总排放量;  $E_n$  为能源消费总量;  $E_b, E_o, E_g$  分别代表煤、油、气结构百分比;  $X_{1i}, X_{2i}, X_{3i}$  分别代表单位煤、油、气使用排放污染物的量.

空气污染物排放量表示为  $P = P_S P_D$ .

4) 经济性指标(结构比例指数)

它由两项组成,其一是相对工业化水平指数,其二是三次产业结构演进系数.

相对工业化水平指数  $_{21}$  标志着第二产业的发展程度,公式为:

$$\text{相对工业化水平指数}_{21} = \frac{\text{第二产业比重}}{\text{第一产业比重}} \quad (16)$$

三次产业结构演进系数  $_{31}$  标志着第三产业的发展程度,公式为:

$$\text{三次产业结构演进系数}_{31} = \frac{\text{第三产业比重}}{\text{第一产业比重}} \quad (17)$$

结构比例指数表示为  $= z_1 \dots z_{31}$ .

5) 民本性指标 (人均能耗)

人均能耗由三部分组成, 其一是人均综合能源消耗, 它标志着人们的用能水平.

$$\text{人均能耗 } z = \frac{\text{能源消费总量}}{\text{人口总数}} \quad (18)$$

其二是人均生产电量:

$$\text{人均生产电量 } s = \frac{\text{电力生产总量}}{\text{人口总数}} \quad (19)$$

其三是人均生活用电量:

$$\text{人均生活用电量 } H = \frac{\text{居民生活用电总量}}{\text{人口总数}} \quad (20)$$

人均能耗表示为  $= z \cdot s \cdot H$ .

## 5.2 能源经济系统泛函优化配置方案验证

通过以上数据得到以下几点验证结论:

1) 能源利用效率大幅提高, 到 2020 年比当前世界平均能源利用效率 (15.25 元/kgce) 高出 27%, 并且几乎达到了设定的小康目标 (20 元/kgce);

2) 通过储采比可看出, 2020 年, 煤、油、气尚有近 20 年以上持续年限, 而且石油达到了稳油增储的目的, 天然气达到跨越发展. 相对煤炭在 2004—2020 年间没有新增储量的情况下, 也达到了煤炭的稳产与持续;

3) 2003—2020 年空气污染物排放量控制的很好, 几乎没有增加, 这得益于能源消费结构与产业结构双重调整;

4) 工业化演进指数与第三产业演化指数都有所增长, 2020 年现代化程度逐渐加强, 但第二产业仍将处于较核心地位 (占 GDP 比重为 50%);

5) 人均能耗、电耗大幅增长, 人均电量达到当前中等发达国家水平 (世界平均为 2345 度/人), 人民生活质量进一步提高.

表 4 能源双重结构泛函优化结果验证

指标	2003	2020 年
能源利用效率 (元/千克煤) $= V$	6.98	19.46
储采比 (年) $= c \ o \ g$	67.35 15.05 46.78	43.65 16.62 27.59
空气污染物排放量 (亿吨) $P = P_s \ P_D$	0.24 11.04	0.28 12.14
结构比例指数 $= z_1 \dots z_{31}$	3.53 2.13	4.55 3.55
人均能耗 (tce/人 : kwh/人) $= z \ s \ H$	1.28 1260 162	1.64 2360 448

## 6 结论与建议

2003 年能源实现紧缺标志着能源系统单一化发展模式的历史作用已经到了尽头, 而全面的、协调的、民本的、持续的科学发展观将成为我国能源系统协调发展模式的立足之本. 基于科学发展观的能源系统优化配置结果得到了效率性、持续性、环境性、经济性和民本性的五个方面的验证, 取得较好的验证结论.

为了实现这一优化目标, 本文结合我国当前能源的形势, 给出如下建议:

1) 应用科学发展观与系统协调观, 建立我国能源经济系统发展模式, 取得能源本身与经济产业之间的紧密配合与协调;

2) 一方面深化能源企业的现代化管理改革, 一方面实行政府干预, 强调优化能源消费结构, 稳油增储, 跨越兴气, 国际共享, 持续发展;

3) 加强高耗能产业的节能管理, 鼓励节能型产品的生产与消费;

- 4) 建立国家级能源经济安全监测预警中心,及时地调整我国能源战略的方向和任务,并做出快速反应;
- 5) 进行能源与经济区域特色化发展规划,强调能源的就近开发与利用,以减轻由于运输方面的压力和降低能源终端使用成本;
- 6) 积极实施能源经济的科技创新与制度创新,提高能源综合使用效率,减少空气污染物排放量,美化人民生活环境和提高人民生活水平;
- 7) 必须实施能源发展的有限制目标,确保国家经济的稳定发展与人民生活的逐步提高,同时采取节能增效、跨国共享、多种经营以减轻本土能源供给的压力。

#### 参考文献:

- [1] 谢志军,庄幸. 宏观经济结构与能源密度的变化[J]. 中国能源,1996,5:13-17.  
Xie Zhijun, Zhuang Xing. Research of variation between macro-economy structure and energy density [J]. Energy of China, 1996, 5:13-17.
- [2] 石瑛,虞镇国. 中国能源密度分析[J]. 中国能源,1993,9:25-29.  
Shi Ying, Yu Zhenguo. Analysis of energy density in China [J]. Energy of China, 1993,9:25-29.
- [3] 陈书通,耿志成,董路影. 九十年代以来我国能源与经济增长关系分析[J],中国能源,1996,12:24-30.  
Chen Shutong, Di Zhicheng, Dong Luying. Analysis of relationship between energy and economy from 1990 in China [J]. Energy of China, 1996,12:24-30.
- [4] 张宏民. 我国能源政策及战略设计——现代能源战略经济学理论及应用研究[D]. 北京:石油大学,2002,5:18-24.  
Zhang Hongmin. Research of China's energy policy and strategy based on the theory of energy strategic economics in modern times [D]. Beijing: Petroleum of University, 2002,5:18-24.
- [5] 葛家理,申炼. 系统协调论[M]. 北京:石油工业出版社,1997,11:48-66.  
Ge Jiali, Shen Lian. The Theory of Coordination in System [M]. Beijing: the Press of Petroleum Industry, 1997,11:48-66.