

# 能源需求组合预测方法及其应用<sup>①</sup>

贺祖琪 王 谦  
(中国矿业大学北京研究生部)

吴加明  
(北京煤炭管理干部学院 100083)

**提 要** 本文建立了包括部门分析法、能源消费弹性系数法、人均能耗法、回归分析法和重点工业耗能部门分析法的能源需求组合预测模型,关加权系数的确定,我们采用了专家征询法和层次分析法相结合的方法。同时给出了在四川省能源需求预测中的具体应用。

**关键词** 能源需求 预测 层次分析法

## 一、引 言

组合预测方法是当前预测科学研究得最热烈的课题之一。组合预测的基本含义是把两个或两个以上的预测模型采用加权平均的方式组合为一个模型。组合预测的关键是确定各个组合系数或加权系数。在能源部的西南地区(四川、贵州、云南三省)能源发展规划战略研究课题中的能源需求预测的研究中,为提高能源需求预测的预测精度,我们首先采用部门分析法、能源消费弹性系数法、人均能耗法、回归分析法和重点工业高耗能部门分析法五种方法,以1990年为基期分别进行了2000年、2010年的西南三省的能源需求量预测,然后在此基础上又建立了包括这五种方法的组合预测模型,并以此模型的预测结果作为各省的能源需求总量。采用组合预测方法可以综合每个预测方法的特点,进一步提高预测结果的可信度。关于组合预测模型中的加权系数,采用专家征询和层次分析法相结合的方法确定。本文最后将以四川省为例说明此方法的具体应用。

## 二、能源需求组合预测模型的主要计算分式

### 1、部门分析法预测的能源需求量 $E_i(t)$

部门分析法是立足于我国现有能源消费统计方法和口径的一种常用预测方法,其计算分式为:

<sup>①</sup> 本文1992年6月18日收到。

$$E_1(t) = \sum_{i=1}^n a_i(t) \cdot G_i(t) + b(t) \cdot p(t) \quad (1)$$

其中  $t$  为时间变量,  $t=2000, 2010$  分别表示 2000 年, 2010 年;  $G_i(t)$  为第  $i$  部门的产值;  $a_i(t)$  为第  $i$  部门的单位产值能耗;  $n$  为部门的个数;  $b(t)$  为人均生活能耗;  $p(t)$  为人口总数。本文产业部门分为: 第一产业, 第二产业(又分为重工业、轻工业、建筑业), 第三产业(又分为运输邮电业、商业、非物质生产部门)和居民生活消费部门。关于  $a_i(t)$  和  $b(t)$  的估计, 我们根据 1978—1990 年数据以及节能规划, 采用时间序列分析和定性分析相结合的办法确定。

## 2、各产业部门的产值 $G_i(t)$

根据国家国民经济发展目标及国家有关方面的预测成果, 确定出全国的国民生产总值  $M(t)$ , 然后再根据西南各省在全国经济中所占的地位和比重, 并结合各省经济发展的趋势, 预测出各省的国民生产总值  $m(t)$ , 最后根据各省的资源状况, 现有产业结构及未来产业结构调整方向, 预测出各省的国民经济各产业部门的产值  $G_i(t)$ , 其计算公式为:

$$G_i(t) = a_i(t) \cdot c(t) \cdot m(t) \quad (2)$$

其中  $a_i(t)$  为第  $i$  部门占国民生产总值的比重;  $c(t)$  为各省占全国国民生产总值的比重。

## 3、能源消费弹性系数法预测的能源需求量 $E_2(t)$

能源消费系数法是一种宏观的计量经济分析法。此法把能源消费总量作为一个指标, 研究它与国民经济总量指标的关系, 并用“能源”消费弹性系数、来定量地表示, 其计算公式为

$$E_2(t) = (1 + \epsilon r)^{t-t_0} \cdot E_0 \quad (3)$$

其中  $t_0$  表示基期(年);  $\epsilon$  为基年  $t_0$  到  $t$  年的能源消费弹性系数;  $r$  为  $t_0$  年到  $t$  年的国民生产总值年均增长率;  $E_0$  为基年的能源消费量。

## 4、人均能耗法预测的能源需求量 $E_3(t)$

人均能耗法是一种类比的方法。它是根据世界上发达国家和发展中国家的经济发展规律, 找出人均能耗与人均国民生产总值的关系, 通过类比来推算本国或本地到一定的国民经济发展水平和人均国民生产总值达到一定指标时的能源消费量。其计算分式为:

$$E_3(t) = \beta(t) \cdot (1 - Z)^{t-t_0} \cdot P_0 \quad (4)$$

其中  $\beta(t)$  为人均能耗量;  $Z$  为基年  $t_0$  到  $t$  年的人口自然增长率;  $P_0$  为基年人口总数。

## 5、回归分析法预测的能源需求量 $E_4(t)$

回归分析法是根据历史上能源消费与其影响因素和统计数据, 进行回归分析, 找出合适的回归方程及其回归系数, 然后以此方程外推来预测未来的能源需求量。影响能源消费的因素很多, 如国民经济发展速度、人口增长、气候变化、能源价格、政策因素等。但从我国历史情况来看, 影响能源消费的主要因素是国民经济的发展速度和人口增长, 而其它因素影响较小。因此我们建立如下二元非线性方程:

$$E_4(t) = K \cdot m(t)^a \cdot p(t)^b \quad (5)$$

其中  $m(t)$  为国民生产总值;  $p(t)$  为人口总数;  $k, a, b$  为相应的回归系数, 由最小二乘法估计。

## 6、重点工业高耗能部门分析法预测的能源需求量 $E_5(t)$

工业部门是整个国民经济中的高耗能部门,而煤炭、化学工业等又是工业中的高耗能部门。因此,首先测算出重点工业高耗能部门的能耗,然后,根据其占总能耗的比重,预测出总能耗,这个方法是可行的。重点工业高耗能部门的能耗从各部门的主要产品产量与其产品单耗的实物量单位计算,从而避免采用价值量计算中一些不易预测的因素(如价格因素)。此方法的计算公式:

$$E_5(t) = f(t) \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^k C_{ij}(t) \cdot d_{ij}(t) \quad (6)$$

其中  $i=1, 2, \dots, 6$  分别表示煤炭、电力、钢铁、有色冶金、建材、化学工业;  $C_{ij}(t)$  为第  $i$  部门的第  $j$  种产品的产量,  $d_{ij}(t)$  为第  $i$  部门的第  $j$  种产品的单位能耗;  $f(t)$  为重点工业高耗能部门占总能耗的比重。

### 7、组合方法预测的能源需求总量 $E(t)$

在采用以上五种方法进行预测的基础上,我们又建立了能源需求组合预测模型,并以此模型的计算结果作为各省的能源需求总量。其计算分式为:

$$E_t = \sum_{i=1}^5 W_i(t) E_i(t)$$

其中  $E_i(t)$  为第  $i$  种方法预测的能源需求量;  $W_i(t)$  为第  $i$  种预测结果的加速系数,满足  $0 < W_i(t) < 1$ , 且  $\sum_{i=1}^5 W_i(t) = 1$ 。  $W_i(t)$  与时间变量  $t$  有关,即不同年份的加权系数是不一样的。

## 三、加权系数的确定

本文建立的能源需求组合预测模型,其关键是加权系数的确定。我们采用专家征询和层次分析相结合的办法来确定,具体方法如下:

### 1、构造判断矩阵

我们用专家征询法完成判断矩阵的构造。首先请每位专家根据表 1 的说明填写表 2。

标度  $E_{ij}$  的取值依赖于诸位(设  $m$  位)专家对预测结果相对精确性的看法。记第  $k$  位专家的  $E_{ij}^{(k)}$ , 然后求  $E_{ij}^{(1)}, E_{ij}^{(2)}, \dots, E_{ij}^{(m)}$  的几何均值,即  $\bar{E}_{ij} = \sqrt[m]{\prod_{k=1}^m E_{ij}^{(k)}}$ 。

表 1. 判断矩阵的标度及其含义

$E_{ij}$	含 义
1	预测结果 $E_i$ 与 $E_j$ 之间同等精确
2	预测结果 $E_i$ 比 $E_j$ 稍微精确, 反之为 1/3
3	预测结果 $E_i$ 比 $E_j$ 明显精确, 反之为 1/5
4	预测结果 $E_i$ 比 $E_j$ 更为精确, 反之为 1/7
5	预测结果 $E_i$ 比 $E_j$ 绝对精确, 反之为 1/9
2, 4, 6, 8	介于上述标度之间

表 2. 判断矩阵

$E_{ij}$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$
$E_1$	$E_{11}$	$E_{12}$	...	...	$E_{15}$
$E_2$	$E_{21}$	$E_{22}$	...	...	$E_{25}$
$E_3$	⋮				⋮
$E_4$					
$E_5$	$E_{51}$	$E_{52}$	...	...	$E_{55}$

$$K = \begin{bmatrix} \bar{E}_{11} & \bar{E}_{12} & \cdots & \bar{E}_{15} \\ \bar{E}_{21} & \bar{E}_{22} & \cdots & \bar{E}_{25} \\ \bar{E}_{31} & \bar{E}_{32} & \cdots & \bar{E}_{35} \\ \bar{E}_{41} & \bar{E}_{42} & \cdots & \bar{E}_{45} \\ \bar{E}_{51} & \bar{E}_{52} & \cdots & \bar{E}_{55} \end{bmatrix}$$

故得到判断矩阵  $R$ 。易验证  $R$  为一正互反矩阵, 即  $R$  的元素满足  $\bar{E}_{ij} = 1, \bar{E}_{ji} = \frac{1}{\bar{E}_{ij}} > 0$ 。

## 2、求加权系数向量

求出判断矩阵  $R$  的最大特征值  $\lambda_{\max}$  对应的特征向量  $\bar{W}$ 。由于  $R$  为正互反矩阵, 其特征向量  $\bar{W}$  有如下简便算法:

1) 计算  $R$  的每行元素的乘积  $M_i = \prod_{j=1}^5 \bar{E}_{ij}$ ;

2) 计算  $M_i$  的 5 次方根  $\bar{W}_i = \sqrt[5]{M_i}$ , 则  $\bar{W} = (\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_5)$  即为  $\lambda_{\max}$  对应的特征向量。对  $\bar{W}$  作归一化处理, 即令  $W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^5 \bar{W}_i}$ , 则  $W = (W_1, W_2, \dots, W_5)$  即为所求的加权系数

向量。

## 3、一致性检验

对所求得的加权系数向量, 要进行一致性检验, 通过后才能使用。检验公式为  $CR = \frac{CI}{RI}$ , 其中  $CR$  为判断矩阵的随机一致性指标;  $CI$  为判断矩阵的一般一致性指标, 其计算公

式为  $CI = \frac{1}{n-1}(\lambda_{max} - n)$ ,  $n$  为判断矩阵的阶数;  $RI$  为判断矩阵的平均一致性指标, 它与判断矩阵的阶数有关, 为定值, 对于  $n=5, RI=1.12$ 。

#### 四、应用举例

我们在能源部的西南地区能源发展规划战略研究课题中, 应用本文建立的组合预测模型预测了四川、贵州、云南三省的 2000 年和 2010 年的能源需求量。下面以四川省为例说明其具体应用。

##### 1、五种预测方法的预测结果

根据国家制定的国民经济发展目标及国内有关方面的预测结果, 以 1980 年美元计算, 2000 年我国人均国民生产总值约为 1000 美元, 2020 年为 2000~2500 美元, 2050 年为 4000~5500 美元。根据全国国民经济发展目标, 结合四川省国民经济占全国的地位和比重, 以及四川省国民经济占全国的地位和比重, 以及四川省经济发展趋势和省内提出的国民经济发展规划, 预测出四川省国民经济发展目标, 见表 3。

表 3. 全国及四川省国民经济发展目标预测结果

年 度	项 目	全 国	四 川 省
1990	GNP(亿元)	10562	694
	GNP(亿美元)	6903	454
	人口(万人)	114333	10813
	人均 GNP(美元/人)	604	420
2000	GNP(亿元)	19569	1272
	GNP(亿美元)	12790	831
	人口(万人)	12790	12200
	人均 GNP(美元/人)	1000	681
1991-2000	GNP 年均增长率(%)	6.4	6.3
2010	GNP(亿元)	30524-36628	2015-2417
	GNP(亿美元)	19950-23940	1317-1580
	人口(万人)	133000	12800
	人均 GNP(美元/人)	1500-1800	1030-1234
2001-2010	GNP 年均增长率(%)		

注: ①全国人口数采用清华大学核能技术研究所《2050 年中国能源需求》中提出的

数字。

②四川省人口数采用四川省政府在十年规划中提出的数字。

根据四川省国民经济产业结构的历史及变化趋势,结合省内提出的产业结构调整方向,并参考世界其它国家人均国民生产总值与产业结构的关系,采用定性与定量相结合的办法确定出预测期内的产业结构,从而由公式(2)即可得到各部门的产值,见表4。

根据四川省各部门单产能耗的历史情况以及变化趋势,并参考其它地区的单产能耗水平,结合省内提出的各部门节能规划,采用趋势分析法和定性分析法综合确定出四川省未来的单位能耗水平。由此可预测出四川省分部门的能源需求量,如表4。

表4. 四川省部门能源需求量(万吨标煤)

项目 \ 年份 数值	2000			2010		
	产值	单耗	需求量	产值	单耗	需求量
国民经济	1272.0		9627.16	2015.0—2417.7		12485.67—14290.52
一、物质生产部门	1092.7		6847.41	1724.9—2069.0		8866.24—10633.36
1、农业	318.0	0.5504	175.03	463.5—555.9	0.5728	265.49—318.2
2、工业	480.0		6121.05	770.8—924.5	0.5728	7758.72—9305.18
重工业	250.0	17.3781	4344.53	385.4—462.3	13.4910	5199.43—6235.89
轻工业	230.8	7.7240	1776.52	385.4—462.2	6.6406	2559.29—3069.29
3、建筑业	91.6	0.8827	80.86	136.0—163.2	0.7212	98.08—117.70
4、运输邮电业	42.0	9.5553	401.32	77.4—92.8	8.2150	635.84—762.35
5、商业	160.3	0.4314	69.15	2777.2—348.0	0.3900	108.11—129.71
二、非物质生产部门	173.3	0.5340	95.75	290.1—348.0	0.5899	189.03—226.76
三、生活消费	12200	0.2200	2684.00	12800	0.2680	3430.40

部门分析法主要是根据各个部门的产值及单产能耗的变化来预测能源需求量。由于中近期内国民经济及社会发展计划已有安排或设想,国家或地区已提出或设想了各个生产和消费部门发展水平的方案,各个部门的单产能耗的变化也是可以估算的,因此部门分析法适宜中近期的能源需求预测,近期预测值比较准确。四川省提出2000年能源需求量为9500万吨标煤,而我们用部门分析法预测为9627.16万吨标煤,预测相对误差只有1.4%,可见预测精度是比较高的。

#### 2) 能源消费弹性系数法

四川省能源消费弹性系数(按国民生产总值增长速度计算)1978—1990年为0.49,1981—1985年为0.52,1986—1990年为0.16,而全国同期分别为0.52,0.49,0.72。现代社会能源经济的发展历史证明,世界各国在工业化发展初期的能源消费弹性系数大于1,

只有当工业化发展到比较高的水平之后,弹性系数才有可能开始降低到接近于 1,以到小于 1。我们采用综合分析与类比的方法,并参照有关单位的研究成果,估计出预测期内的能源消费弹性系数,由式(3)即可得到能源需求量,见表 5

表 5. 四川省能源需求量预测结果(万吨标煤)

	2000	2010
1. 部门分析法( $E_1$ )	9627. 16	12485. 67—14290. 52
2. 弹性系数法( $E_2$ )	9718. 71	12550. 64—14086. 54
3. 人均能耗法( $E_3$ )	9247. 60	12211. 20—13491. 20
4. 回归分析法( $E_4$ )	9859. 23	12824. 54—13885. 38
5. 重点部门法( $E_5$ )	9367. 00	11743. 24
6. 组合方法( $E_6$ )	9549. 99	12135. 24—12988. 66

### 3) 人均能耗法

人均能耗水平是与人均国民生产总值有一定内在关系的。我们采用 1970—1990 年的数据,经过回归计算得到回归方程:

$$\ln Y = 0.5558 \ln Z + 3.0045$$

$$R(\text{相关系数}) = 0.9698$$

其中  $Y$  为人均能耗量(公斤标煤/人);  $Z$  为人均国民生产总值(美元/人,1980 年价格)。根据回归方程,同时参考其它地区人均能耗与人均国民生产总值的关系,综合确定出预测期内的人均能耗量,由式(4)即可得到能源需求量,如表 5。

### 4) 回归分析法

我们采用 1970~1990 年的数据,经过计算得到回归方程:

$$\ln E = -6.0695 + 0.4369 \ln M + 1.2905 \ln p$$

$$R(\text{相关系数}) = 0.9794$$

其中  $E_4$  为能源消费需求(万吨标煤);  $m$  为国民生产总值(亿元,1980 年价格);  $p$  为人口总数(万人)。我们还对回归方程及每个参数回归值进行了显著性检验,都得出高度显著的结果,且相关系数高达 0.9794,因此可以认为估计结果是满意的。根据前面预测的国民生产总值和人口总数,由回归方程即可得到能源需求量,如表 5。

### 5) 重点工业高耗能部门分析法

我们首先根据式(6)中的待估计参数的历史数据和各部门规划,采用时间序列分析法和定性分析法估计其参数值,然后利用式(6)即可得到能源需求量,如表 5。

## 2. 组合方法的预测结果

对于 2000 年的加权系数,我们采用专家征询法(经几何平均后)得到判断矩阵

$$R = \begin{bmatrix} 1.00 & 5.50 & 7.50 & 2.50 & 0.50 \\ 0.18 & 1.00 & 2.50 & 0.22 & 0.13 \\ 0.13 & 0.40 & 1.00 & 0.18 & 0.12 \\ 0.40 & 4.55 & 5.55 & 1.00 & 0.41 \\ 2.00 & 7.69 & 8.33 & 2.44 & 1.00 \end{bmatrix}$$

按照上述计算方法,得到加权系数向量  $W_{2000} = (0.30, 0.06, 0.04, 0.18, 0.42)$ 。  $\lambda_{\max} = 5.17$ ,  $CI = \frac{1}{5-1}(\lambda_{\max} - 5) = 0.043$ ,  $RI = 1.12$ , 从而

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0.038 < 0.10$$

具有满意的一致性,因此加权系数的分配是合理的。

对于 2010 年的加权系数,采用与 2000 年类似的方法,求得加权系数向量并进行一致性检验。

$$W(2000) = (0.29, 0.12, 0.08, 0.06, 0.45)$$

$$\lambda_{\max} = 5.14, \quad CI = 0.035, \quad CR = 0.03 < 0.10$$

于是按照公式(7),即可得到四川省的能源需求总量 2000 年为 9549.99 万吨标煤, 2010 年为 12135.24~12988.66 万吨标煤。

四川省规划到 2000 年能源需求量为 9500 万吨标煤。根据上述五种方法和组合方法的预测结果,我们可以计算出相对规划目标的相对误差,见表 6。由表 6 可看出,五种方法的相对误差均小于 4%,从而说明五种方法的预测结果是可信的。而经过组合预测得到的结果的相对误差只有 0.5%,大大小于每个方法的相对误差,由此可见,采用组合预测方法是合理的。实验表明,在能源需求预测中,组合预测方法是一种值得推荐的方法。

表 6. 各种方法的预测结果的相对误差(%)

方法	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	E
相对误差	1.4	2.3	2.7	3.8	1.4	0.5

## 参 考 文 献

- [1] 四川省统计局,1991 年四川统计年鉴,中国统计出版社,1991 年;
- [2] 国家统计局工业交通统计司,1989 年中国能源统计年鉴,中国统计出版社,1990;
- [3] 辛文、蒙尊谭等,四川能源资源及发展战略,四川科学技术出版社,1989;
- [4] 赵焕臣、许树柏、和金生,层次分析法,科学出版社,1986 年。