

# 基于负荷误差和经济发展趋势的组合预测模型 在中长期负荷预测中的应用

温青<sup>1</sup>, 张筱慧<sup>1</sup>, 杨旭<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 绵阳电业局游仙供电局, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 针对组合预测未来预测期权重的确定, 充分考虑电力需求与未来经济发展的关系, 提出基于两个评价指标来计算各单一预测模型的权重, 指标一是各单一模型预测值与实际负荷的误差, 指标二是各预测值的年增长率与国内生产总值年增长率的误差。采用客观熵权法和主观 G1 法来确定两指标的相对重要性, 最后综合得出各单一预测模型的权重。该改进组合预测模型解决了未来预测阶段权重的求解问题, 通过对农网中长期电力负荷进行预测, 结果表明该方法比常规方差优选组合预测模型更为准确和可信。

**关键词:** 组合预测; 电力负荷; 经济发展; 误差指标; 熵权法

## The application of combination forecasting model in medium-long term load forecasting based on load error and economic development trend

WEN Qing<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-hui<sup>1</sup>, YANG Xu<sup>2</sup>

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;  
2. Youxian Power Supply Bureau, Mianyang Power Administration, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** In point of the acquiring of the weight of the combination forecasting method in the future, and fully considering the relationship between power demand and economy development, this paper proposes two indicators to calculate the weight of each single model. One refers to the value of errors between each single-model predictions and the actual load, and the other refers to the errors between annual growth rate of each forecast value and annual growth rate of GDP. The objective entropy method and subjective G1 method are adopted to determine the relative importance of the two indicators and to integrately get the weight of each single model. The improved combination forecasting model solves the weight solution in future forecast and is applied in medium-long term load forecasting for rural distribution network and the results show that this method is more accurate and credible than the conventional variance optimized combination forecasting model.

**Key words:** combination forecasting; power load; economic development; error indicator; entropy

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)03-0057-05

## 0 引言

组合预测是将多种单一预测方法赋予不同的权重, 从而形成综合预测结果的预测方法<sup>[1]</sup>。利用组合预测方法进行中长期电力负荷预测, 可综合各种单一方法的优点, 得到更为准确的预测结果。通常情况下, 是基于各单一模型预测值与历史负荷的误差, 考察这些误差所蕴含的信息, 来确定各单一模型的权重。但是, 对于未来预测段, 由于没有真实的负荷, 得不到预测段的误差, 只能通过历史段误差来代替未来的误差。因此, 确定的权重也就不够

准确。电力负荷与国民经济的发展密切相关, 而经济发展的未来趋势可以通过相关政府部门得到比较权威的预测值。充分考虑预测时期经济发展的预测值, 挖掘各单一模型未来预测值与经济发展预测值之间的关系, 来确定各模型的权重。通过结合历史负荷误差和未来经济发展误差建立的组合预测模型, 能够得到比较可信的结果。

## 1 传统组合预测模型介绍

设某一预测对象为  $Y$ , 实际观测时间段为  $t = 1, 2, \dots, n$ , 实际观测值为  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , 预测时间段为  $t = n + 1, n + 2, \dots, n + l$ 。利用  $k$  种预测方法

基金项目: 国家科技支撑计划 (2006BAJ04B06-001)

对 Y 进行预测, 其预测值为<sup>[2]</sup>:

$$\hat{y}_{it} (i=1, 2, \dots, k, t=1, 2, \dots, n+l)$$

组合预测结果为:

$$\hat{y}(t) = \sum_{i=1}^k w_{it} \hat{y}_{it} (t=1, 2, \dots, n+l) \quad (1)$$

其中:  $\hat{y}(t)$  为  $t$  时刻的组合预测值;  $w_{it}$  表示第  $i$  种预测方法在  $t$  时刻的权重。如果对于  $i=1, 2, \dots, k$  限定  $w_{i1} = w_{i2} = \dots = w_{in+l}$ , 即各种预测方法在不同时刻的权重相同, 则称上面的组合预测为不变权重组合预测。显然, 不变权重组合预测权系数的确定比较简单, 但是没有考虑单一预测模型“时好时坏”的特点, 预测结果不够科学。而变权重组合预测的权系数是随时间变化的函数, 能够更好地综合单一预测模型的信息, 所以预测结果更为准确。

基于负荷误差求权重的组合模型, 由于未来预测段没有负荷的实际值, 只能通过历史段获得固定权重来近似代替未来的权重。而经济发展趋势能获得比较权威的预测值, 通过单一模型负荷预测值的年增长率和经济发展的年增长率每年的误差, 可以求出预测段每一年的权重, 获得变化的权重。显然考虑经济发展趋势因素后, 预测结果会较为可信些。以下计算都以预测用电量为例。

## 2 误差评价指标的选取

### 2.1 电量误差评价指标

本文电量误差指标选取的是平均相对误差。

$$d1_{it} = [(\hat{y}_{it} - y_{it}) / y_{it}] \times 100\% \quad (2)$$

$$d1_i = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |d1_{it}|$$

其中:  $d1_{it}$  表示第  $i$  种预测方法在  $t$  时刻与历史电量的相对误差;  $d1_i$  表示第  $i$  种预测方法在一定时间段内的平均相对误差。

### 2.2 经济发展误差评价指标

根据文献[3]研究结论, 20世纪90年代以后, 电力需求增长速度与GDP增长速度表现出较明显正相关关系, 即经济增长速度快, 用电增长速度也快, 反之亦然。一般以10年左右作为一个观察期, 大体上能反映出电力与经济增长速度规律性的关系。由此, 电力消费与经济增长具有内在性。

在实际预测某地区未来用电量时, 可以通过相关部门获取当地未来国内生产总值 (GDP) 的预测值或年增长率。设 GDP 年增长率为:

$$y_{-r_t} (t=1, 2, \dots, n, n+1, \dots, n+l)$$

求各单一模型预测值  $\hat{y}_{it}$  的年增长率:

$$\hat{y}_{-r_{it}} = [(\hat{y}_{it} - \hat{y}_{i,t-1}) / \hat{y}_{i,t-1}] \times 100\% \quad (3)$$

$$(t=2, 3, \dots, n, n+1, \dots, n+l)$$

求单一模型预测值年增长率与GDP年增长率的平均相对误差:

$$d2_{it} = [(\hat{y}_{-r_{it}} - y_{-r_t}) / y_{-r_t}] \times 100\% \quad (4)$$

$$d2_i = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |d2_{it}|$$

## 3 确定各单一预测模型的权重

### 3.1 熵权法确定各评价指标的客观权重<sup>[4-5]</sup>

熵的概念最初产生于热力学, 它被用来描述运动过程中的一种不可逆转现象。后来在信息论中用熵来表现事物出现的不确定性。熵权法的基本思想是把个体预测方法的各种误差所包含的信息量化, 进而建立基于熵的组合预测权重模型。该方法的具体步骤如下<sup>[6-7]</sup>:

(1) 构造评价指标矩阵

设评价指标矩阵为:

$$X = (x_{ij}) = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (5)$$

$x_{ij}$  表示在评价指标  $j$  下, 预测方法  $i$  得到的估计值。设  $x_j^*$  是误差评价指标  $j$  的理想值, 本文中, 两个评价指标都属于成本型指标, 即越小越好, 则  $x_j^* = \min_i \{x_{ij}\}$ 。计算各误差评价指标与理想值的接近度  $d_{ij} = \frac{x_j^*}{x_{ij}}$ , 得到列归一化后的误差评价矩阵:

$$D = (d_{ij}) = \begin{pmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ d_{m1} & \dots & d_{mn} \end{pmatrix} \quad (6)$$

(2) 计算熵值

由熵的定义, 误差指标  $j$  对各预测方法的相对重要性的不确定性由下列条件熵来度量:

$$E_j = - \sum_{i=1}^m \frac{d_{ij}}{d_j} \ln \frac{d_{ij}}{d_j} (d_j = \sum_{i=1}^m d_{ij}) \quad (7)$$

对  $E_j$  进行归一化处理得到误差评价指标  $j$  的重要性熵值为:

$$e(d_j) = - \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m \frac{d_{ij}}{d_j} \ln \frac{d_{ij}}{d_j} \quad (8)$$

(3) 计算各评价指标的客观权重

$$w'_j = \frac{1 - e(d_j)}{\sum_{j=1}^n (1 - e(d_j))} \quad (9)$$

3.2 G1 法确定各评价指标的主客观权重

运用熵权法确定的各指标权重具有客观性强、数学理论完善等优点, 然而却忽视了人工干预决策的主观信息。为了引入决策者的主观经验, 这里采用 G1 法<sup>[8]</sup>来确定各指标的主观权重  $w''_j$ 。该方法简便, 计算量少, 对指标个数没有限制。假设决策者对  $n$  个评价指标按其重要性程度进行排列为

$S_1 \succ S_2 \succ \dots \succ S_n$  (“ $\succ$ ”表示优于)。令

$$r_j = \frac{w''_j - 1}{w''_j} \quad (j = 2, 3, \dots, n)$$

代表相邻两个指标的重要程度(即权重)之比, 其取值如表 1 所示, 则

$$w''_n = \frac{1}{1 + \sum_{j=2}^n \prod_{i=j}^n r_i}, w''_{j-1} = r_j w''_j \quad (j = n, n-1, \dots, 2) \quad (10)$$

表 1  $r_j$  赋值参考表

Tab.1 Reference table

1.0	指标 $S_{j-1}$ 与指标 $S_j$ 同等重要
1.2	指标 $S_{j-1}$ 比指标 $S_j$ 稍微重要
1.4	指标 $S_{j-1}$ 比指标 $S_j$ 明显重要
1.6	指标 $S_{j-1}$ 比指标 $S_j$ 强烈重要
1.8	指标 $S_{j-1}$ 比指标 $S_j$ 极端重要

将各评价指标的主、客观权重相结合, 确定各指标的综合权重<sup>[9]</sup>:

$$\theta_j = w'_j \times w''_j / (\sum_{j=1}^n w'_j \times w''_j) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (11)$$

3.3 计算各单一模型的最终权重

在各指标下, 通过方差优选组合预测法计算各预测方法的组合权重  $w_i^j (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ , 再结合各指标的重要程度, 得到组合预测方法的最终权重<sup>[4]</sup>:

$$W_i = \sum_{j=1}^n w_i^j \times \theta_j \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (12)$$

4 方法验证和结果分析

本文以浙江省某县 1999~2008 年的历史数据为依据, 数据如表 2。同时, 根据该地区“十一五”规划和该县“经济社会发展规划(2008~2012)”, 预计该地区未来五年 GDP 年增长率约为 15%。

本文采用趋势外推法、线性回归法、非线性回归法、灰色预测法等四种单一模型对 1999~2013 年的电量进行预测, 并求出每种方法预测值的年增长率, 结果如表 3 所示。

表 2 1999~2008 年数据

Tab.2 Data in the year 1999~2008

年份	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
用电量/万 kWh	79 414	85 604	92 310	105 437	117 885	146 528	179 370	205 023	245 598	286 200
GDP/亿元	75.43	81.36	89.93	104.60	117.03	132.06	157.15	188.07	217.96	255.66

表 3 1999~2013 年预测值和年增长率

Tab.3 Annual predictions and its growth rate in the year 1999~2013

年份	历史 电量	GDP 增长率	趋势 外推法	趋势外推法 增长率	线性 回归法	线性回归法 增长率	非线性 回归法	非线性回归法 增长率	灰色 预测法	灰色预测法 增长率
1999	79 414	0.000 0	79 414	0.000 0	76 386	0.000 0	77 406	0.000 0	79 414	0.000 0
2000	85 604	0.078 6	79 414	0.000 0	83 337	0.091 0	83 997	0.085 1	76 845	-0.032 3
2001	92 310	0.105 3	91 794	0.155 9	93 384	0.120 6	93 589	0.114 2	90 480	0.177 4
2002	105 437	0.163 1	99 016	0.078 7	110 581	0.184 2	110 177	0.177 2	106 535	0.177 4
2003	117 885	0.118 8	118 564	0.197 4	125 153	0.131 8	124 379	0.128 9	125 438	0.177 4
2004	146 528	0.128 4	127 364	0.074 2	142 772	0.140 8	141 713	0.139 4	147 695	0.177 4
2005	179 370	0.190 0	175 459	0.377 6	172 185	0.206 0	170 994	0.206 6	173 902	0.177 4
2006	205 023	0.196 8	212 250	0.209 7	208 432	0.210 5	207 592	0.214 0	204 758	0.177 4

续表

年份	历史 电量	GDP 增长率	趋势 外推法	趋势外推法 增长率	线性 回归法	线性回归法 增长率	非线性 回归法	非线性回归法 增长率	灰色 预测法	灰色预测法 增长率
2007	245 598	0.158 9	209 124	-0.014 7	243 472	0.168 1	243 433	0.172 7	241 089	0.177 4
2008	286 200	0.173 0	283 753	0.356 9	287 667	0.181 5	289 197	0.188 0	283 867	0.177 4
2009		0.150 0	327 357	0.153 7	332 623	0.156 3	336 307	0.162 9	334 235	0.177 4
2010		0.150 0	368 533	0.125 8	384 322	0.155 4	391 090	0.162 9	393 540	0.177 4
2011		0.150 0	409 708	0.111 7	443 780	0.154 7	454 802	0.162 9	463 368	0.177 4
2012		0.150 0	450 884	0.100 5	512 148	0.154 1	528 883	0.162 9	545 585	0.177 4
2013		0.150 0	492 060	0.091 3	580 293	0.133 1	603 495	0.141 1	642 392	0.177 4

将 2004~2008 年作为虚拟预测段检验模型的效果, 为了更加重视近几年的数据变化规律, 虚拟预测的数据样本选取近三年的数据, 即以 2001~2003 年的数据建立组合模型, 来预测 2004~2008 年的电量, 以此和实际电量作比较。根据公式 (2) 和公式 (4) 求得各单一模型的两种误差评价指标, 如表 4 所示。

表 4 各种预测方法的误差评价指标

Tab.4 Error indicators of each forecasting method

评价指标	趋势	线性	非线性	灰色
	外推法	回归法	回归法	预测法
电量平均相对误差	0.024 1	0.407 0	0.038 0	0.031 4
经济增长率平均相对误差	0.553	0.127 4	0.085 1	0.421 8

通过熵权法确定出电量误差的客观权重为 0.081, 经济增长率误差的客观权重为 0.919。同时, 假设决策者认为两评价指标同样重要, 即两指标的主观权重各为 0.5。根据公式 (11) 求得电量误差指标的最终权重为 0.081, 经济增长率误差指标的最终权重为 0.919。

根据 2001~2003 年各单一模型预测值和历史电量的误差, 通过方差优选组合法求得各单一模型的权重和组合预测值, 并将此权重近似看作 2004 年各单一模型的权重, 组合预测值近似看作 2004 年的历史总电量值。这样就可以根据 2002~2004 年各单一模型预测值和历史电量的误差来求得 2005 年的各模型权重和组合预测值。以此类推, 求出虚拟预测段各单一模型的权重, 如表 5。

表 5 在电量误差指标下各模型权重

Tab.5 Weight of each model under error indicator of the power

年份	趋势外推法	线性回归法	非线性回归法	灰色预测法
2004	0.353	0.184	0.223	0.240
2005	0.172	0.278	0.362	0.188
2006	0.170	0.297	0.384	0.148
2007	0.052	0.368	0.506	0.074
2008	0.002	0.520	0.318	0.160

2004~2008 年每一年各单一模型预测值的年增长率和经济增长率都知道, 所以在该评价指标下, 可以计算出各单一模型每年的权重, 如表 6。

表 6 在经济增长率误差指标下各模型权重

Tab.6 Weight of each model under error indicator of annual growth rate of GDP

年份	趋势外推法	线性回归法	非线性回归法	灰色预测法
2004	0.022	0.418	0.533	0.027
2005	0.002	0.280	0.260	0.457
2006	0.346	0.306	0.194	0.155
2007	0.002	0.589	0.264	0.145
2008	0.000	0.200	0.065	0.734

根据公式 (12) 计算各单一预测模型的最终权重, 如表 7。

表 7 各单一预测模型最终权重

Tab.7 Final weight of each model

年份	趋势外推法	线性回归法	非线性回归法	灰色预测法
2004	0.049	0.399	0.508	0.044
2005	0.016	0.280	0.269	0.435
2006	0.332	0.305	0.209	0.154
2007	0.006	0.571	0.284	0.139
2008	0.001	0.226	0.085	0.688

根据式 (1) 计算出该改进组合预测模型的预测值, 并与只根据历史电量误差指标计算的组合预测值进行比较, 如表 8。

表 8 2004~2008 年组合预测值

Tab.8 Value of combination forecasting in the year 2004~2008

年份	实际值	方差优选组合	本文方法
2004	146 528	138 284	141 701
2005	179 370	172 640	172 665
2006	205 023	208 217	208 955
2007	245 598	241 479	242 931
2008	286 200	287 536	285 183
平均相对误差	—	0.026 2	0.020 8

对于未来 2009~2013 年的预测, 以 2006~2008 年的数据为历史样本, 建立组合模型, 其计算步骤与前面虚拟预测时一样, 这里不再赘述。其中电量误差指标的最终权重为 0.429, 经济增长率误差指标的最终权重为 0.571, 最终组合预测结果 2009~2013 年分别为: 331 382, 386 218, 447 633, 518 882, 590 473。

通过比较可以看出, 在考虑了经济发展因素后, 组合预测值比普通的方差优选法更准确可信。由于经济发展数据在预测年份可以获得, 根据经济发展误差可以计算出每一个预测年份各单一模型的权重, 通过这个权重对电量误差所得权重进行综合, 从而得到各单一模型最终的权重。至于两权重如何综合, 谁占的分量更重, 完全可以通过客观计算和人工干预相结合的办法来确定。决策者可以通过对未来经济的宏观把握, 来掌控哪个指标更重要。这样既保证了预测模型对历史阶段的拟合性, 又考虑了未来经济发展趋势对用电量的影响。

## 5 结语

根据中国电力消费与经济发展“共同趋势和共同波动特征”的内在性关系, 本文提出的改进组合预测模型充分考虑了历史负荷误差和未来经济发展趋势, 采用客观熵权法和主观 G1 法来确定两评价指标的权重, 最后综合得到各单一预测模型在未来预测期的权重。通过算例的检验, 证明预测结果在一定程度上比常规的组合预测法要准确和可信。

## 参考文献

- [1] 刘博, 张筱慧, 许璞. 变权重组合预测方法用于电力负荷预测[C]. //中国高等学校电力系统及其自动化专业第二十四届学术年会. 北京: 2008.  
LIU Bo, ZHANG Xiao-hui, XU Pu. The application of variable weighting combination method in load forecasting[C]. //The 24th China Universities Annual Conference on Electric Power Systems & Automation. Beijing: 2008.
- [2] 陈存, 郭伟, 范建中. 基于改进的预测有效度的中长期负荷组合预测[J]. 继电器, 2007, 35(4):70-74.  
CHEN Cun, GUO Wei, FAN Jian-zhong, Combined method of mid-long term load forecast based on improved forecasting effectiveness[J]. Relay, 2007, 35(4):70-74.
- [3] 李翔, 梁亚丽. 我国电力需求与GDP趋势分解比较研究[J]. 现代电力, 2005, 22 (5) : 83-86.  
LI Xiang, LIANG Ya-li. Comparative study on trend decomposition of electricity demand and GDP[J]. Modern Electric Power, 2005, 22 (5): 83-86.
- [4] 王德金, 杨京燕, 郭健. 基于多误差指标的电力中长期负荷组合预测[C]. 中国高等学校电力系统及其自动化专业第二十二届学术年会. 南京: 2006.  
WANG De-jin, YANG Jing-yan, Guo Jian. Combined method of mid-long term load forecast based on much error index[C]. //The 22th China Universities Annual Conference on Electric Power Systems & Automation. Nanjing: 2006.
- [5] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [6] 李金颖, 李金超, 牛东晓. 基于熵权法的供电商竞争力组合评价[J]. 继电器, 2008, 36(6): 42-47.  
LI Jin-ying, LI Jin-chao, NIU Dong-xiao. Comprehensive evaluation of power suppliers' competitive ability based on entropy [J]. Relay, 2008, 36(6): 42-47.
- [7] 冯义, 李洪东, 田廓, 等. 基于熵权和层次分析法的电力客户风险评估及其规避 [J]. 继电器, 2007, 35(24):66-70, 73.  
FENG Yi, LI Hong-dong, TIAN Kuo, et al. Risk evaluation and avoidance of electric customers based on entropy weight and AHP[J]. Relay, 2007, 35(24):66-70, 73.
- [8] 李桥兴. 多属性决策中指标权重确定的理论研究与应用[D]. 南宁: 广西大学, 2004.  
LI Qiao-xing. The theory research and application of index weight to determine in multi-attribute decision[D]. Nanning: Guangxi University, 2004.
- [9] 王才宏, 杨世荣, 董茜. 目标选择决策的组合熵权系数方法研究[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26 (4): 377-380.  
WANG Cai-hong, YANG Shi-rong, DONG Qian. Research on combined entropy-weights coefficient method for targets selection decision making[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2006, 26 (4) : 377-380.

收稿日期: 2010-01-29; 修回日期: 2010-04-09

作者简介:

温青 (1985-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统中长期负荷预测研究;

张筱慧 (1962-), 女, 副教授, 从事电力系统自动化技术研究; E-mail: zhx8366@sina.com

杨旭 (1986-), 男, 助理工程师, 从事电力系统检修工作。