

# 层次结构下的中长期电力负荷变权组合预测方法

周淦<sup>1</sup>, 任海军<sup>1</sup>, 李健<sup>2</sup>, 张昀<sup>1</sup>, 周永勇<sup>1</sup>, 孙才新<sup>1</sup>, 邓景云<sup>1</sup>

(1. 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室(重庆大学), 重庆市 沙坪坝区 400030;

2. 四川省电力公司眉山公司, 四川省 眉山市 620010)

## Variable Weight Combination Method for Mid-long Term Power Load Forecasting Based on Hierarchical Structure

ZHOU Quan<sup>1</sup>, REN Hai-jun<sup>1</sup>, LI Jian<sup>2</sup>, ZHANG Yun<sup>1</sup>, ZHOU Yong-yong<sup>1</sup>, SUN Cai-xin<sup>1</sup>, DENG Jing-yun<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology (Chongqing University), Shapingba District, Chongqing 400030, China; 2. Sichuan Electric Power Company Meishan Company, Meishan 620010, Sichuan Province, China)

**ABSTRACT:** A new variable weight combination method for mid-long term power load forecasting based on hierarchical structure is presented. According to the idea of analytic hierarchy process, a hierarchical structure for determining combined weights was constructed: entropy method was introduced to ascertain the weights of model-evaluation indexes; variance-covariance optimization combination method and grey relational analysis were used to ascertain the weights of each single model under each evaluation index respectively, and determine the combined weights of combination forecasting model finally. In the whole process of combination forecasting, equal dimension information was introduced according to the “inertia principle” of load development, thus achieved variable weight combination forecasting, and forecasting results reasonably reflect the development law of power load. At last, the reliability was validated by an actual example.

**KEY WORDS:** load forecasting; hierarchical structure; entropy method; variable weight combination forecasting; equal dimension information

**摘要:** 提出了一种基于层次结构的中长期电力负荷变权组合预测方法, 借鉴层次分析法的思想, 构造一个层次结构来确定组合权重; 采用熵值法确定模型评价指标的相对权重; 采用方差-协方差优选组合预测方法和灰色关联分析分别确定各单一预测模型在各评价指标下的相对权重, 最终确定组合预测模型中的组合权重。在组合预测的整个过程中, 根据负荷发展的“近大远小”原则, 引入等维信息概念, 实现了变权组合预测, 使预测结果能够更合理地反映电力负荷的发展规律。最后通过一个实例验证了该方法的有效性。

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(50607023); 重庆市自然科学基金项目(2006BB2189)。

Project Supported by National Natural Science Foundation of China (50607023); Natural Science Foundation of Chongqing (2006BB2189)。

**关键词:** 负荷预测; 层次结构; 熵值法; 变权组合预测; 等维信息

## 0 引言

中长期负荷预测是电力系统规划与运行的基础, 其预测的准确性将对社会经济和人民生活产生重大的影响。常见的负荷预测方法有单耗法、模糊预测法、趋势外推法、弹性系数法、回归分析法、时间序列法、灰色模型法、人工神经网络法、专家系统法等<sup>[1-8]</sup>。不同的预测方法往往得到不同的结果, 各预测方法也有其各自的优缺点。

目前研究比较多的预测方法是组合预测法<sup>[1,9]</sup>, 其主要思想是选取多个预测模型, 按照某个标准(如预测有效度和残差等)求取最优的组合权系数, 将多个模型的预测结果进行拟合, 组合预测法能够有效降低单个模型的预测风险, 提高预测精度<sup>[10-15]</sup>。但是, 就实际问题而言, 最优组合模型只对历史数据的最优拟合进行考虑, 这样是不够的。通过分析得知, 评价一个预测模型的优劣可以通过拟合误差和发展相关性这 2 个指标来评价。“拟合误差”是指各种单一预测模型对历史负荷的预测值与实际历史值的误差; “发展相关性”是指将历史负荷和各单一预测模型对历史负荷的预测值都看成一条向前发展的曲线, 通过数学方法来挖掘各预测值的发展曲线与历史值的发展相似程度。拟合误差可以反映预测模型的适用性程度; 发展相关性能够反映出预测结果与负荷发展规律的一致性程度。

本文借鉴层次分析法<sup>[16]</sup>的思想, 将组合预测中

的权重确定问题按层次进行分解,构成一个递阶层次结构,从而将模型的评价指标进行综合考虑。分别采用方差-协方差优选组合预测方法和灰色关联分析确定层次结构中各层元素的相对权重,采用熵值法确定拟合误差和发展相关性这2个指标的相对权重,进而得到组合预测模型的最终组合权重,并将等维信息的概念引入到组合预测中,实现了变权组合预测。最后通过算例进行分析说明。

## 1 电力负荷组合预测的基本数学模型

设组合预测模型由  $m$  个单一预测模型组成,即  $f_1(t), f_2(t), \dots, f_i(t), \dots, f_m(t)$ ,  $f_i(t)$  是  $t$  时刻第  $i$  个模型的预测值,  $\omega_i(t)$  是  $t$  时刻第  $i$  个模型的权重系数,  $f(t)$  是  $t$  时刻组合模型的预测值,则组合预测模型可表示为

$$f(t) = \sum_{i=1}^m \omega_i(t) f_i(t) \quad (1)$$

式中组合预测模型的关键是权重系数  $\omega_i(t)$  的确定。按其确定权重方式的不同,可将组合预测方法分为固定权重组合预测方法和变权重组合预测方法:当权重系数  $\omega_i(t)$  与时间变量  $t$  无关时,上式为固定权重组合预测数学模型;反之,当权重系数  $\omega_i(t)$  与时间变量  $t$  有关时,上式为变权重组合预测数学模型。

## 2 熵值法的基本原理

熵值法(entropy method, EM)是一种依据各指标值所包含的信息量的大小来确定其权重的客观赋权法<sup>[17-18]</sup>。在组合预测过程中,需要确定模型拟合误差和发展相关性2个评价指标的相对权重,可以根据各单一模型预测结果的实际数据来确定各指标所包含的信息,并运用熵值法根据模型评价指标所包含信息量的大小确定其相对权重。

系统可能处于几种不同状态,若每种状态出现的概率为  $p_i (i=1, 2, \dots, m)$ , 则该系统的熵定义为

$$E = -k \sum_{i=1}^m p_i \ln p_i \quad (2)$$

设组合模型中有  $m$  种单一预测方法、 $n$  个评价指标,形成的原始指标数据矩阵为

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \quad (3)$$

式中:  $r_{ij}$  为第  $i$  种预测方法在第  $j$  个指标下的值;  $1 \leq i \leq m; 1 \leq j \leq n$ 。

熵值法的计算步骤如下:

1) 由于各个指标的量纲不一致,所以首先对原始指标数据矩阵都归一化,即对原始指标数据矩

阵  $R = (r_{ij})_{m \times n}$  用线性比例变化法作标准化处理,得到标准化矩阵。

$$R' = (r'_{ij})_{m \times n} \quad (4)$$

当指标为正指标时,指标数据越大越好,如本文中的相关性指标,其标准化公式为

$$r'_{ij} = r_{ij} / \max_j r_{ij} \quad (5)$$

当指标为逆指标时,指标数据越小越好,如本文中的误差指标,其标准化公式为

$$r'_{ij} = \min_j r_{ij} / r_{ij} \quad (6)$$

式中:  $1 \leq i \leq m; 1 \leq j \leq n$ 。

2) 计算第  $j$  个指标下第  $i$  个方案的指标值占全部方案取值之和的比重  $p_{ij}$ 。

$$p_{ij} = r'_{ij} / \sum_{i=1}^m r'_{ij} \quad (7)$$

式中:  $1 \leq i \leq m; 1 \leq j \leq n$ 。

3) 计算第  $j$  个指标的熵值。

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (8)$$

式中取  $k = 1/\ln m$ , 则有  $0 \leq E_j \leq 1$ 。

4) 计算第  $j$  个指标的差异系数。

$$h_j = 1 - E_j \quad (9)$$

式中  $1 \leq j \leq n$ 。

5) 利用熵值法对指标赋值,得到第  $j$  个指标的权重,即

$$\omega_j = h_j / \sum_{j=1}^n h_j \quad (10)$$

式中  $1 \leq j \leq n$ 。

熵值法是突出局部差异的权重计算方法,是根据某同一指标观测值之间的差异程度来反映其重要程度。各被评价方案在指标  $j$  上的值相差越大,熵值就越小,说明该指标向决策者提供的信息量就越大,该指标的权重系数相应就应该越大;反之,指标差异越小,熵值就越大,该指标提供的信息量就越小,指标的权重系数就应该越小。

## 3 方差-协方差优选组合预测方法

方差-协方差优选组合预测方法<sup>[1]</sup>是设有  $m$  个单一预测模型的  $m$  个无偏预测值,分别是  $f_1(t), f_2(t), \dots, f_i(t), \dots, f_m(t)$ , 各自预测误差的方差分别为  $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \dots, \sigma_{mm}$ , 且不同的预测方法误差之间是不相关的,则  $m$  个预测值的组合预测结果为

$$f = \sum_{i=1}^m \omega_i f_i(t) \quad (11)$$

式中各单一预测模型权重  $\omega_i$  之和  $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$ 。

组合预测误差的方差为

$$\sigma_{\text{Var}}(e) = \sum_{i=1}^m \omega_i^2 \sigma_{ii} \quad (12)$$

关于  $\omega_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 对  $\sigma_{\text{Var}}(e)$  求极小值是求条件极值问题。在约束条件  $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$  下, 对  $\sigma_{\text{Var}}(e)$  引入拉格朗日(Lagrange)乘子来求极小值, 可得

$$\omega_i = \frac{1}{\sigma_{ii}(\sigma_{11}^{-1} + \sigma_{22}^{-1} + \dots + \sigma_{mm}^{-1})} \quad (13)$$

式中  $i = 1, 2, \dots, m$ 。且

$$\sigma_{\text{Var}}(e) = \frac{1}{(\sigma_{11}^{-1} + \sigma_{22}^{-1} + \dots + \sigma_{mm}^{-1})} \quad (14)$$

当  $m$  个单一预测方法各自的预测误差分别为  $e_{1t}, e_{2t}, \dots, e_{it}, \dots, e_{mt}$ 、且服从零均值正态分布时, 估计  $\sigma_{ii}$  可表示为

$$\hat{\sigma}_{ii} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (e_{it})^2 \quad (15)$$

式中:  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $t = 1, 2, \dots, n$ ;  $n$  为历史数据数目。因此, 可以给出  $\omega_i$  的估计式:

$$\hat{\omega}_i = (\sum_{t=1}^n e_{it}^2)^{-1} [\sum_{j=1}^m (\sum_{t=1}^n e_{jt}^2)^{-1}]^{-1} \quad (16)$$

#### 4 灰色关联分析的基本原理

灰色关联分析<sup>[19]</sup>(grey relational analysis, GRA)是灰色系统理论提出的一种实用方法, 它的基本思想是根据序列曲线几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密, 曲线越接近, 相应序列之间的关联度就越大, 反之就越小。该方法对样本的多少和样本有无规律都同样适用, 而且计算量小, 十分方便, 更不会出现量化结果与定性分析结果不符的情况, 弥补了采用数理统计方法需要大量样本数据的不足。用该方法可以比较各种单一预测模型的预测结果和负荷实际值的关联程度: 关联度越大, 表明预测模型越能反映该地区实际负荷发展的规律, 则该模型越优; 反之, 关联度越小, 表明预测模型越不能反映该地区实际负荷的发展规律, 则该模型越差。

设实际的历史负荷值序列为

$$X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n))$$

式中  $n$  为历史数据总数。

设第  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 种单一预测模型的预测结果序列为

$$X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n))$$

式中  $m$  为单一预测模型总数。

各单一预测模型预测结果序列点  $x_i(k)$  与实际历史负荷序列相对应点  $x_0(k)$  的关联系数为

$$r(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (17)$$

则各单一预测模型预测结果序列  $X_i$  与实际历史负荷序列的灰色关联度为

$$r_i = r(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r(x_0(k), x_i(k)) \quad (18)$$

式中  $\zeta$  称为分辨系数, 通常取  $\zeta = 0.5$ 。

根据各单一预测模型预测值序列与实际历史值序列的灰色关联度, 可得到各单一模型的相对重要程度。

定义各单一预测模型在相关性指标下的相对权重为

$$\omega_i = r_i / \sum_{i=1}^m r_i \quad (19)$$

进行灰色关联度计算时, 对于单位不同或初值不同的数列通常先要对序列作无量纲化和归一化预处理, 一般做法是用每一个数列的第一个数去除同数列其他数, 使得数列之间具有可比性。

#### 5 基于层次结构的中长期负荷变权组合预测基本步骤

本文提出的组合模型权重确定层次结构图如图 1 所示。在负荷预测过程中, 根据负荷发展的“近大远小”原则, 通常负荷未来的发展趋势很大程度上都取决于历史时段中近期负荷的发展规律, 远期

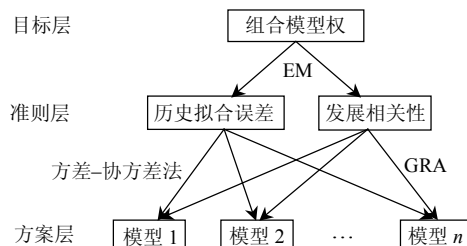


图 1 组合模型权重确定层次结构图

Fig. 1 Hierarchy structure diagram of combination model weight determination

的历史数据与负荷未来发展趋势的相关性较弱;且对于单一模型随着预测的进一步进行,下一时刻其预测误差可能发生变化,即在组合预测过程中相对其他单一模型的权重将发生变化。所以,本文将等维信息的思想与组合预测相结合,即通过组合预测方法得到一个预测值后,将这个值作为已知值补充到历史数据中去,同时去掉最早的一个历史数据,这样既实现了变权组合预测,又合理地体现了负荷的发展规律。

基于层次结构的负荷变权组合预测方法的基本步骤如下:

1) 单一模型的选择,并对负荷历史值进行分析,选择合适的时间段进行预测。

2) 根据各单一模型对历史值的预测结果,分别确定在相关性和误差水平这2个指标下各单一模型的相对重要程度( $\omega_{11}, \omega_{21}, \dots, \omega_{m1}$ )和( $\omega_{12}, \omega_{22}, \dots, \omega_{m2}$ )。由灰色关联分析来确定相关性指标下的各单一模型相对权重;由方差-协方差优选组合预测法来确定在误差水平指标下的各单一模型相对权重。

3) 根据各单一模型预测结果的灰色关联度(grey relational grade, GRG)和平均相对误差(mean relative error, MRE)构成指标矩阵,并运用熵值法根据指标矩阵确定2个指标的相对权重( $g_1, g_2$ )。

4) 通过综合2个指标的相对权重和各单一模型在每个指标下的相对权重,可以得到最终的组合权重系数 $\omega_i$ ,即

$$\omega_i = \omega_{i1}g_1 + \omega_{i2}g_2 \quad (20)$$

式中: $g_1$ 为相关性指标权重; $g_2$ 为误差指标权重; $i=1,2,\dots,m$ ,  $m$ 为单一模型总数。

5) 根据组合模型权重系数与下一时刻各单一模型的预测值即可得到该时刻的组合预测值,即将计算结果代入式(1)可得组合预测值。

6) 根据等维信息原理,将步骤5)中所得预测值作为已知数据添加到历史数据序列中,同时去掉一个时间最早的历史数据,再转到步骤2),循环计算得到各个年份的负荷值,从而实现变权组合预测。

7) 完成规划年的预测,并对预测结果进行分析,预测结束。

通过上述分析过程,基于层次结构的中长期负荷变权组合预测方法的总体流程图如图2所示。

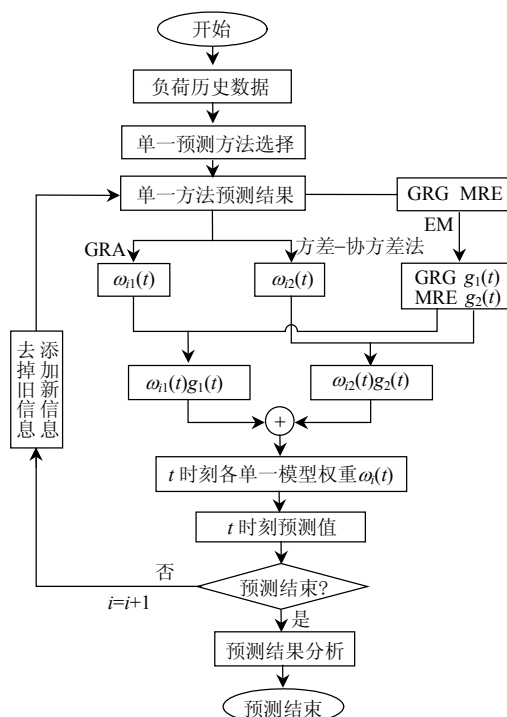


图2 负荷预测总体流程图

Fig. 2 General flow chart of load forecasting

## 6 实例分析

为了验证本文提出的变权组合预测方法,以某个电力系统的实际数据为例<sup>[20]</sup>,对该系统的电力负荷进行预测,并对预测结果进行评价分析。

运用组合预测方法对该系统年用电量进行预测,已知的7种单一预测模型分别为计量经济模型(模型1)、逐步回归模型(模型2)、灰色指数平滑模型(模型3)、模糊聚类模型(模型4)、模糊线性回归模型(模型5)、模糊指数平滑模型(模型6)和灰色群模型(模型7)。能够获取1986—2000年实际负荷数据,通过负荷数据分析,运用1986—1995年10年数据作为建立预测模型所需数据,对该系统1996—2000年5年的年用电量进行预测,历史实际值和各单一模型预测值如表1所示。

根据上述7种模型,采用本文所提出的组合预测方法(模型11)对该系统1996—2000年的年用电量进行组合预测,并与等权平均组合预测方法(模型8)、方差-协方差组合优选预测方法(模型9)、灰色关联组合预测方法(模型10)进行对比。模型11中模型评价指标权重如表2所示。

本文所提出的组合预测方法(模型11)中各单一预测方法的权重系数如表3所示。等权平均组合预测方法(模型8)中每个单一模型的权重都为固定的1/7,方差-协方差优选组合预测方法(模型9)的各单

表 1 某系统年用电量历史值和各单一模型预测值  
Tab. 1 Historical values and forecasting values of single models in a power system 100 GW·h

年份	历史值	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7
1986	831	831	831	831	831	916	831	849
1987	922	918	918	926	911	966	922	883
1988	986	1 009	987	995	985	1 027	1 004	963
1989	1 016	1 059	1 061	1 077	1 064	1 044	1 053	1 049
1990	1 097	1 089	1 110	1 166	1 149	1 078	1 049	1 143
1991	1 210	1 176	1 182	1 262	1 288	1 124	1 174	1 246
1992	1 356	1 318	1 312	1 366	1 413	1 275	1 319	1 357
1993	1 491	1 478	1 518	1 479	1 527	1 436	1 499	1 478
1994	1 677	1 636	1 650	1 601	1 649	1 592	1 626	1 608
1995	1 838	1 815	1 781	1 733	1 782	1 760	1 859	1 749
1996	1 968	1 979	1 936	1 875	1 925	1 909	2 002	1 901
1997	2 061	2 118	2 095	2 030	2 080	2 065	2 101	2 065
1998	2 130	2 231	2 196	2 197	2 247	2 206	2 157	2 241
1999	2 284	2 330	2 309	2 378	2 427	2 370	2 202	2 429
2000	2 617	2 488	2 598	2 574	2 622	2 564	2 431	2 631

表 2 模型 11 中模型评价指标权重  
Tab. 2 Weights of model-evaluation indexes in model 11

年份	发展相关性	拟合误差
1996	0.129	0.871
1997	0.122	0.878
1998	0.128	0.872
1999	0.100	0.900
2000	0.072	0.928

一模型权重分别为 0.268, 0.207, 0.071, 0.102, 0.047, 0.204, 0.101, 灰色关联组合预测方法(模型 10)的各单一模型权重分别为 0.159, 0.158, 0.143, 0.140, 0.107, 0.155, 0.138。各组合预测方法预测结果如表 4 所示。

各种预测模型的误差分别如表 5 和表 6 所示，

表 3 模型 11 中各单一预测方法的权重系数  
Tab. 3 Weight coefficients of single forecasting methods in model 11

年份	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7
1996	0.254	0.201	0.080	0.106	0.055	0.198	0.106
1997	0.251	0.217	0.074	0.113	0.067	0.172	0.106
1998	0.236	0.221	0.069	0.116	0.071	0.174	0.113
1999	0.249	0.227	0.069	0.111	0.076	0.154	0.114
2000	0.322	0.273	0.072	0.089	0.075	0.082	0.087

表 4 各组合预测方法预测值  
Tab. 4 Forecasting values of each combination forecasting method 100 GW·h

年份	模型 8	模型 9	模型 10	模型 11
1996	1 932.43	1 950.80	1 935.06	1 948.75
1997	2 079.14	2 091.85	2 080.82	2 090.11
1998	2 210.71	2 207.69	2 210.08	2 208.13
1999	2 349.29	2 324.62	2 345.26	2 332.71
2000	2 558.29	2 536.84	2 555.50	2 549.62

从表 5 和表 6 的误差分析结果可以看出：组合预测方法的误差一般都比单一预测方法的误差小，预测结果可靠性高；且在组合预测方法中，本文提出的变权组合预测方法(模型 11)更能反映实际的负荷发展规律，比固定权重组合预测方法的准确性更高。模型 8~10 采用的是固定权重的方法，方法比较简单，但是权重是固定的，实际上，在组合预测过程中，各单一预测方法会表现得时好时坏，使得采用固定权重的组合预测模型精度大为降低。模型 11 就是根据各单一模型预测结果的好坏来决定其权重的一种变权组合预测方法，比固定权重预测方法更科学、更合理，其预测结果更准确。因此，变权重组合预测方法是提高预测方法精度、增强预测方法适用性的有效途径。

表 5 各单一预测方法误差  
Tab. 5 Error of each single forecasting method %

误差	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7
1996 年	0.559	-1.626	-4.726	-2.185	-2.998	1.728	-3.404
1997 年	2.766	1.650	-1.504	0.922	0.194	1.941	0.194
1998 年	4.742	3.099	3.146	5.493	3.568	1.268	5.211
1999 年	2.014	1.095	4.116	6.261	3.765	-3.590	6.349
2000 年	-4.929	-0.726	-1.643	0.191	-2.025	-7.107	0.535
平均相对百分误差	3.002	1.639	3.027	3.010	2.510	3.127	3.139

表 6 各组合预测方法误差  
Tab. 6 Error of each combination forecasting method %

误差	模型 8	模型 9	模型 10	模型 11
1996 年	-1.807	-0.874	-1.674	-0.978
1997 年	0.880	1.497	0.962	1.412
1998 年	3.789	3.647	3.760	3.668
1999 年	2.859	1.778	2.682	2.133
2000 年	-2.243	-3.063	-2.350	-2.575
平均相对百分误差	2.316	2.172	2.285	2.153

7 结论

提出了基于层次结构的中长期电力负荷变权组合预测方法。构建了一个递阶层次结构来确定模型组合权重，采用灰色关联分析来确定相关性指标下的各单一模型相对权重；采用方差-协方差优选组合预测法来确定在误差水平指标下的各单一模型相对权重，并运用熵值法确定 2 个指标的相对权重，进而得到组合预测模型的最终组合权重，并将等维信息的概念引入到组合预测中，实现了变权组合预测。算例分析结果表明，本文提出的方法有效提高了电网中长期负荷总量预测的精度。

参考文献

[1] 牛东晓, 曹树华, 赵磊. 电力负荷预测技术及其应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998: 16-24, 188-209.

- Niu Dongxiao, Cao Shuhua, Zhao Lei. Power load forecasting technology and its application[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998: 16-24, 188-209(in Chinese).
- [2] 张友泉. 一种基于灰色系统理论的中长期电量预测模型[J]. 电网技术, 1999, 23(8): 47-50.
- Zhang Youquan. Middle and long term power consumption forecasting model based on grey system theory[J]. Power System Technology, 1999, 23(8): 47-50(in Chinese).
- [3] 雷绍兰, 孙才新, 周淦, 等. 电力短期负荷的多变量时间序列线性回归预测方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(2): 25-29.
- Lei Shaolan, Sun Caixin, Zhou Qian, et al. The research of local linear model of short-term electrical load on multivariate time series[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(2): 25-29(in Chinese).
- [4] 陈泽淮, 张尧, 武志刚. RBF 神经网络在中长期负荷预测中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(1): 15-19.
- Chen Zehuai, Zhang Yao, Wu Zhigang. Application of RBF neural network in medium and long term load forecasting[J]. Proceedings of the CSU-EPSSA, 2006, 18(1): 15-19(in Chinese).
- [5] Chow T W S, Leung C T. Neural network based short-term load forecasting using weather compensation[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1996, 11(4): 1736-1742.
- [6] Kandil M S, El-Debeiky S M, Hasanien N E. Long-term load forecasting for fast developing utility using a knowledge-based expert system[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2002, 17(2): 491-496.
- [7] Al-Hamadi H M, Soliman S A. Long-term/mid-term electric load forecasting based on short-term correlation and annual growth [J]. Electric Power System Research, 2005, 74(3): 353-361.
- [8] 张民, 鲍海, 晏玲. 基于卡尔曼滤波的短期负荷预测方法的研究 [J]. 电网技术, 2003, 27(10): 39-42.
- Zhang Min, Bao Hai, Yan Ling. Research on processing of short-term historical data of daily load based on Kalman filter[J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 39-42(in Chinese).
- [9] 谢敬东, 唐国庆, 徐高飞, 等. 组合预测方法在电力负荷预测中的应用[J]. 中国电力, 1998, 31(6): 3-5.
- Xie Jingdong, Tang Guoqing, Xu Gaofer, et al. The application of the combined forecasting method in the power load forecast [J]. Electric Power, 1998, 31(6): 3-5(in Chinese).
- [10] 谢开贵, 李春燕, 周家启. 基于神经网络的负荷组合预测模型研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(7): 85-89.
- Xie Kaigui, Li Chunyan, Zhou Jiaqi. Research of the combination forecasting model for load based on artificial neural network [J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(7): 85-89(in Chinese).
- [11] 谢开贵, 周家启. 变权组合预测模型研究[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 10(7): 36-40, 117.
- Xie Kaigui, Zhou Jiaqi. Research of the weight changeable combination forecast model[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2000, 10(7): 36-40, 117(in Chinese).
- [12] 顾洁. 电力系统中长期负荷的可变权综合预测模型[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(6): 56-60.
- Gu Jie. Study on the varied weight synthesis model of mid-long term load forecasting in power system[J]. Proceedings of Electric Power System and Automation, 2003, 15(6): 56-60(in Chinese).
- [13] 余健明, 燕飞, 杨文字, 等. 中长期电力负荷的变权灰色组合预测模型[J]. 电网技术, 2005, 29(17): 26-29.
- Yu Jianming, Yan Fei, Yang Wenyu, et al. Gray variable weight combination model for middle and long term load forecasting [J]. Power System Technology, 2005, 29(17): 26-29(in Chinese).
- [14] 刘兵军, 牛东晓. 灰色自适应滤波组合优化预测模型及其应用 [J]. 电网技术, 1998, 22(9): 43-45, 48.
- Liu Bingjun, Niu Dongxiao. Combined model and application of GM(1,1) and adaptive filter[J]. Power System Technology, 1998, 22(9): 43-45, 48(in Chinese).
- [15] 朱常青, 王秀和, 张鑫, 等. 基于灰色关联加权组合模型的电力负荷预测研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(2): 79-81.
- Zhu Changqing, Wang Xiuhue, Zhang Xin, et al. A novel load forecasting method based on grey relational weighing combination model[J]. Proceedings of the CSU-EPSSA, 2006, 18(2): 79-81(in Chinese).
- [16] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990: 5-24.
- Wang Lianfen, Xu Shubai. An introduction to analytical hierarchy process[M]. Beijing: China Renmin University Press, 1990: 5-24(in Chinese).
- [17] 侯勇, 张荣乾, 谭忠富, 等. 基于模糊聚类理论和灰色理论的各行业与全社会用电量关联分析[J]. 电网技术, 2006, 30(2): 46-50.
- Hou Yong, Zhang Rongqian, Tan Zhongfu, et al. Correlative analysis of power consumption for various industries to whole society based on fuzzy clustering and grey theory[J]. Power System Technology, 2006, 30(2): 46-50(in Chinese).
- [18] 孙晓东, 焦玥, 胡劲松. 基于组合权重的灰色关联理想解法及其应用[J]. 工业工程与管理, 2006, 11(1): 62-66.
- Sun Xiaodong, Jiao Yue, Hu Jinsong. Grey correlation based on combinational weight and its application[J]. Industrial Engineering and Management, 2006, 11(1): 62-66(in Chinese).
- [19] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 40-69.
- Liu Sifeng, Guo Tianbang, Dang Yaoguo. Gray system theory and its application[M]. Beijing: Science Press, 2000: 40-69(in Chinese).
- [20] 刘美杰, 顾洁. 基于物元理论的中长期电力负荷预测综合模型研究[J]. 供用电, 2006, 23(1): 19-22.
- Liu Meijie, Gu Jie. Research of the comprehensive forecasting model for middle and long term power load based on matter-element theory[J]. Distribution & Utilization, 2006, 23(1): 19-22(in Chinese).

收稿日期: 2009-01-12.

作者简介:

周淦(1973—), 男, 博士, 副研究员, 研究方向为电力地理信息系统、配电网规划、电气设备在线监测与故障诊断, zhouquan@cqu.edu.cn;

任海军(1978—), 男, 博士研究生, 研究方向为电力系统负荷预测;

李健(1983—), 男, 硕士, 研究方向为电力地理信息系统在配电网中的应用、电力系统负荷预测。

(责任编辑 刘浩芳)



周淦