

# 组合预测方法在电力负荷预测中的应用

程建东<sup>1</sup>, 杜积贵<sup>2</sup>

(1.盐城供电公司, 江苏 盐城 224005; 2.南京供电公司, 江苏 南京 211800)

**摘要:**为了提高负荷预测的准确性,引入了组合预测模型,通过综合单一预测模型的优点,得出更为准确的结果。文中通过引入2个参数,将组合模型问题转化为极值问题,采用进化规划作为优化方法。最后运用文中所述的组合预测方法与传统的几种单一模型,分别对盐城市区的供电量和最高负荷的历史数据进行计算,比较发现组合预测模型的预测误差要小于任一单个预测模型的误差,并运用组合预测方法对盐城市区的中长期负荷进行了预测。

**关键词:**负荷预测; 组合预测; 进化规划

**中图分类号:** TM715

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2011)06-0038-03

电力系统负荷预测对电力系统的安全经济和可靠运行具有重要的作用。从发展的观点来看,负荷预测是我国实现电力市场的必备条件。但是由于负荷变化的不确定性,目前没有任何一种方法能保证在任何情况下都能获得令人满意的预测结果。如果简单地预测误差较大的一些方法舍弃掉,将会丢失一些有用的信息,这种做法应予以避免。因此,在做具体规划时,往往先对同一问题采用几种不同的方法进行预测,不同方法的预测精度往往不同。将不同的预测方法进行适当地组合,从而形成所谓的组合预测方法。组合的目的是充分利用各个负荷预测模型的有用信息,尽可能地提高预测精度。组合预测方法是当前预测科学研究中最热门的课题之一<sup>[1-4]</sup>。参考文献[5]中有些公式给出了最优组合预测方法,该方法的预测误差平方和是最小的,并且论证了该极小值小于或等于所有参与组合预测的各个单项方法的误差平方和。由上述内容可以看出,利用组合预测模型进行电力负荷预测可以将各个模型有机地组合在一起,综合各个模型的优点,提供更为准确的预测结果。

## 1 组合预测的基本原理

假设在某一负荷预测问题中,在历史时段 $t(t \in (1, n))$ 的实际值为 $y_t(t=1, 2, \dots, n)$ ,对未来时段有 $m$ 种方法预测方法,其中利用第 $i$ 种方法对 $t$ 时段的预测值为 $y_{it}(i=1, 2, \dots, m; t=1, 2, \dots, n)$ ,其预测误差为 $e_{it}=y_t-y_{it}$ 。组合预测方法就是寻求一组权重系数 $W=[w_1, w_2, \dots, w_m]^T$ ,则组合预测模型可以表示为:

$$\hat{y}_t = \sum_{i=1}^m w_i y_{it} \quad (t=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式1中:  $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ 。

这样,根据定义,预测的绝对误差和相对误差分别为:

$$e_t = y_t - \hat{y}_t \quad (2)$$

$$\eta_t \% = \frac{e_t}{y_t} \quad (3)$$

组合预测方法的难点在于权重系数的确定,希望所求得的权重系数使得 $e_t$ 和 $\eta_t$ 越小越好。目前所采用的方法大致有等权平均法、方差-协方差法、递归等权法、时间序列回归法等,不同的方法所确定的权重系数也不一样。本文引进如下2个参数<sup>[6,7]</sup>:

$$J_1 = \left( \sum_{t=1}^n |e_t|^\alpha \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (4)$$

$$J_2 = \left( \sum_{t=1}^n |\eta_t|^\alpha \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (5)$$

则求解最优组合模型问题将转化为以下条件的极值问题:

$$\begin{cases} e_t = y_t - \hat{y}_t \\ \min J_1 = \left( \sum_{t=1}^n |e_t|^\alpha \right)^{\frac{1}{\alpha}} \\ \sum_{i=1}^m w_i = 1 \\ w_i \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \end{cases} \quad (6)$$

或

$$\begin{cases} \eta_t = \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \\ \min J_2 = \left( \sum_{t=1}^n |\eta_t|^\alpha \right)^{\frac{1}{\alpha}} \\ \sum_{i=1}^m w_i = 1 \\ w_i \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \end{cases} \quad (7)$$

这样的优化问题,一般情况下不能应用常规的数学方法来求解,因此,本文采用进化规划方法来进行处理。

2 进化规划

进化规划是本世纪 60 年代由美国学者 L.J. Fogel 提出的。它是一类模拟生物进化过程与机制求解问题的自适应人工智能技术。依据达尔文的自然选择与孟德尔的遗传变异理论,将生物界中“优胜劣汰”规律引入到工程实际中。由于进化规划方法在处理优化问题时,避免了常规数学优化方法所存在的诸如局部最优、约束条件和目标函数的不易处理等问题。

因此,近几年进化规划在电力系统中的应用进展得很快,目前已可以解决大量复杂、繁琐的问题。进化规划在处理问题时,不需要对变量进行二进制编码和解码,因而它跟遗传算法相比,更适合于处理连续优化问题<sup>[8-11]</sup>。

2.1 编码并形成初始种群

将权重系数作为变量来进行编码,对每个变量在其取值的范围内随机取一值赋给相应的串码,形成一个初始解,如此重复  $n$  次,形成  $n$  个初始解群。

$$X_i=[w_1,w_2,w_i,\cdots,w_n] \quad (i=1,2,\cdots,n) \quad (8)$$

式(8)中: $w_i \in [w_{i\min},w_{i\max}]$ 。

2.2 选择适应度函数并计算群体中各个体适应度

以相对误差  $e_i$  最小作为优化标准,将  $J_i$  作为适应度函数,取二次范数( $\alpha=2$ ),计算出每个个体的适应度值,并统计出最大适应度值  $J_{\max}$  以及最小适应度值  $J_{\min}$ 。

2.3 变异操作

对当前种群的每个串进行变异操作。操作时对串中的每个码加一个变量,变量  $w$  取均值为 0,方差为  $\sigma^2$  的高斯随机变量,产生子个体后利用生物界中“优胜劣汰”的机制对其进行评价,经若干代遗传繁殖后而获得,第  $j$  代第  $i$  个子个体的第  $k$  个元素  $X'_{ji,k}$  的修正描述为:

$$X'_{ji,k}=X_{ji,k}+N(0,\beta(w_{k\max}-w_{k\min}))\frac{J_{li}}{J_{l\max}} \quad (9)$$

式(9)中: $k=1,2,\cdots,m$ ;  $X'_{ji,k}$  为第  $j$  代第  $i$  个个体经过变异后的第  $k$  个元素值;  $X_{ji,k}$  为变异前第  $j$  代第  $i$  个个体的第  $k$  个元素;  $N(0,\sigma^2)$  表示均值为 0,且方差为  $\sigma^2$  的高斯随机变量;  $w_{k\max}$  和  $w_{k\min}$  为第  $k$  个元素的上下限;  $\beta$  是变异尺度,在 0 到 1 之间取值;  $J_{li}$  为该个体的适应值;  $J_{l\max}$  为原来群体中适应值的最大值。

这样,组合种群的数量变为  $2n$  个个体,即变异后的  $n$  个个体加上原来群中的  $n$  个个体,再计算出新种群中每个个体的适应度。

2.4 竞争与选择

进化规划的选择采用随机型的  $q$ -竞争选择法。在这种选择法中,为了确定某一个个体  $i$  的优劣,从新、旧群体的  $2n$  个个体中任选  $q$  个个体组成测试群体。然后将个体  $i$  的适应度与  $q$  个个体的适应度进行比较,记录个体  $i$  优于或等于  $q$  内各个体的次数,此次数便是个体  $i$  的得分  $K_i$ ,即:

$$K_i=\sum_{m=1}^q \begin{cases} f_i \geq f_m & \text{则为 } 1 \\ f_i < f_m & \text{则为 } 0 \end{cases} \quad (10)$$

式(10)中: $f_i$  为个体  $i$  的适应度;  $f_m$  为  $q$  个测试群体中第  $m$  个个体的适应度。

上述得分的测试分别对  $2n$  个个体进行,每次测试时重新选择  $q$  个个体组成新的测试群体。最后,按个体的得分选择分值高的  $n$  个个体组成下一代新群体, $q$ -竞争选择法中, $q$  的大小是一个重要参数,通常  $q$  在 10 以上,一般可取  $0.9n$ 。

重复第 2.2 节、第 2.3 节、第 2.4 节,直到得到满意的解。

3 预测结果及分析

为验证本文组合预测方法理论的正确性和可靠性,以盐城市区供电规划报告中盐城市区电力负荷的原始数据为基础建立如下 3 种预测模型:线性回归模型、灰色模型和指数模型,利用本文所述的组合预测方法进行预测,并对预测结果进行了比较分析。

利用上述单个模型对盐城市的供电量和最高负荷历史数据分别进行处理,得到的供电量和最高负荷的拟合值如表 1、表 2 所示(由于历史数据有限,仅给出 5 年的拟合结果)。

表 1 盐城市区供电量历史数据和各模型拟合值 MW

年份	实际值	线性回归	灰色模型	指数模型
2005	14.87	15.46	14.24	15.63
2006	16.66	17.06	16.46	16.13
2007	19.10	18.66	19.78	18.80
2008	20.56	20.26	20.72	20.99
2009	22.32	21.86	23.01	23.73

表 2 盐城市区最高负荷历史数据和各模型拟合值 亿 kW·h

年份	实际值	线性回归	灰色模型	指数模型
2005	271.0	260	273.2	310.5
2006	330.0	301	341.2	382.4
2007	380.0	342	426.1	493.8
2008	366.4	383	532.2	682.2
2009	444.3	424	664.6	952.5

表 2 中, 由于受到金融危机的特殊影响,2008 年的实际最高负荷有了一定的下降,预测值与实际值相差较大。需注意的是,除历史数据外,还有一些因素,如气候、温度、经济、社会等因素,会对中长期负荷预测产生一定影响。如果实际值与预测中的数值相差很大,在确定组合预测方法的权重系数时,应对预测值和实际值做一折中处理,选择两者之间一个较适当的值作为该年的负荷值,然后再进行预测。依据上节所述的方法,经过编码、计算适应度、变异、竞争与选择几个步骤后,确定各预测模型的权重系数如表 3 所示。由此得出的盐城市区优化组合预测结果如表 4 所示。

表 3 应用于供电量和最高负荷预测的权重系数

预测模型	权重系数	
	供电量	最高负荷
线性回归	0.157	0.564
灰色模型	0.641	0.404
指数模型	0.202	0.032

表 4 盐城市区供电量和最高负荷的优化组合预测结果

年份	供电量 / 亿 kW·h	最高负 荷 /MW
2005	14.71	267
2006	16.49	319.7
2007	19.09	380.8
2008	20.70	452.7
2009	22.97	537.9

为方便比较,单个预测模型和优化组合预测模型的误差平方和如表 5 所示。

表 5 单个模型和优化组合预测模型的误差平方和

预测模型	误差平方和	
	用电量 (绝对误差)	最高负荷 (相对误差)
线性回归	1.42	0.019 4
灰色模型	1.00	0.015 9
指数模型	3.12	0.136 2
优化组合	0.49	0.014 7

由表 5 结果看出,组合预测模型的预测误差小于任一个预测模型的误差,预测结果有效精确。

运用优化组合预测方法得出的盐城市区中长期负荷的预测值如表 6 所示。盐城市区中长期最高负荷预测值如表 7 所示。

4 结束语

在传统的单个预测模型基础上提出了组合预测方法,并用进化规划作为优化方法,以实现预测误差的最小化。算例分析表明,运用优化组合预测方法

表 6 盐城市区中长期供电量预测值  
亿 kW·h

年份	组合预测值
2010	26.675
2011	31.631
2012	37.387
2013	43.929
2014	50.227
2015	55.608
2016	60.385
2017	64.606
2018	69.640
2019	74.603
2020	80.286

表 7 盐城市区中长期最高负荷预测值  
MW

年份	组合预测值
2010	517.953
2011	608.29
2012	718.987
2013	836.744
2014	956.694
2015	1 069.379
2016	1 201.268
2017	1 368.540
2018	1 465.653
2019	1 548.843
2020	1 605.782

能有效减小预测误差,可有效运用于中长期负荷预测中。

参考文献:

[1] LIU S L,HU Z Q,CHI X K.The Research of Power Load Forecasting Method on Combination Forecasting Model[J].Information Science and Engineering, 2010(26).

[2] QIAN W H,YAO J G,LONG L B,et al.Short-term Correlation and Annual Growth Based Mid-long Term Load Forecasting [J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31 (11): 59-64.

[3] 巩保峰,董 韬,赵树军,等.电力系统长期负荷预测的组合研究[J].江西电力职业技术学院学报,2006(3).

[4] 吉培荣,张玉文,赵 青.组合预测方法在电力系统负荷预测中的应用[J].三峡大学学报(自然科学版),2005,27(5): 398-400.

[5] 唐小我.最优组合预测方法及其应用[J].数理统计与管理, 1992(1).

[6] 牛东晓,曹树华,赵 磊,等.电力系统负荷预测技术及其应用[M].北京:中国电力出版社,1998.

[7] 王应明,傅国伟.基于不同误差准则和范数的组合预测方法研究[J].控制与决策,1994,09(1):20-28.

[8] 石立宝,华智明,徐国禹.启发式进化规划及其在最优潮流中的应用[J].重庆大学学报,1997,20(6).

操作回路具有重要的意义,同时保证二次回路与断路器操作回路配合的一致性,合理地选择接线方式和配置是必不可少。随着电子技术的进步,断路器操作回路也会向智能化方向发展,断路器的回路监视将向智能状态监视方向发展,将为微机保护装置提供更多的断路器状态信息,使得微机保护装置更加可靠,更准确切除故障,也更有利于提高系统的稳定运行。

参考文献:

[1] 郭占伟,原爱芳,张长彦,等. 断路器操作回路详述[J]. 继电器,2004,32(19):67-70.  
[2] DL/T 5136—2001,火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程[S].

[3] 刘永兴. 断路器操作回路中防跳继电器的选择[J]. 浙江电力,2004(4):73-75.  
[4] 曹树江,林 榕. 断路器操动机构与继电保护控制回路的协调与配合[J]. 继电器,2005,33(23):72-77.  
[5] 张雁文,铁丝佳. 搭建断路器跳闸回路的全回路监视[J]. 黑龙江电力,2008,30(1).

作者简介:

周华良(1980-),男,江苏吴江人,工程师,从事电力系统保护控制平台技术的研究开发工作;  
夏 雨(1976-),男,湖北宜昌人,工程师,从事电力系统保护控制技术的研究开发工作;  
邹志杨(1980-),男,广东梅县人,工程师,从事电力系统电磁兼容设计及测试的研究工作。

Design and Implementation of Breaker Operating Circuit with Trip  
Circuit Status Monitoring

ZHOU Hua-liang, XIA Yu, ZOU Zhi-yang

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Breaker operating circuit plays an important role in the breaker operation system. And its main function is to issue the circuit breaker tripping and closing pulse, prevent breaker "jump" phenomenon, and monitor on the status of breaker tripping and closing circuit. A reasonable designed operating circuit can effectively improve the reliability of the breaker operation. This paper describes the functions of breaker operating circuit and the main part of the circuit. Furthermore, a practical solution and its application for the issue of the trip circuit monitoring are proposed and discussed.

**Key words:** breaker; operating circuit; monitoring circuit; anti-breaker leaping circuit; current latching relay

(上接第 40 页)

[9] LAI L L, MA J T. Applications of Evolutionary Programming to Reactive Power Planning-comparison with Nonlinear Programming Approach [A]. IEEE Power Winter Meeting [C]. New York: John Wiley & Sons, 1996(96).  
[10] 商允伟,裘聿皇. 一种求解数值优化问题的快速进化规划算法[J]. 系统仿真学报,2004,16(6):1190-1197.  
[11] 石力宝,徐国禹. 基于自适应进化规划的多目标最优潮流

[J]. 电力系统自动化,2000,24(8).

作者简介:

程建东(1970-),男,江苏盐都人,工程师,从事电网规划和项目管理的工作;  
杜积贵(1973-),男,江苏南京人,高级工,从事配电线路运行维护工作。

Application of Combined Method in Power Load Forecasting

CHENG Jian-dong<sup>1</sup>, DU Ji-gui<sup>2</sup>

(1. Yancheng Power Supply Company, Yancheng 224005, China;

2. Nanjing Power Supply Company, Nanjing 211800, China)

**Abstract:** In order to improve the accuracy of load forecasting, a combined forecasting method has been introduced in this paper, which can obtain more accurate results through combining the advantages of single prediction models. Two parameters are introduced so that the combined model can be transformed into extreme value problem and solved by evolutionary programming. At last, the combined forecasting model and single models are used to calculate the historical power supply and maximum load of Yancheng city zone. By comparing the results, it is easy to find that the error of the combined model is less than that of any single model. Furthermore, the combined method is applied to mid-long term load forecasting.

**Key words:** load forecasting; combined forecasting; evolutionary programming