

# A New Method of Short-Term Load Forecasting Based on Online Weather Factors

Gefei Fang, Yanping Zhu, Wei Li

College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

Email: zhuyanping\_09@163.com

**Abstract:** Based on the influencing factor of load, the relationships between meteorology sensitive load and each weather factor were analyzed. An optimization algorithm is used to improve the traditional method of Artificial Neural Network (ANN), besides, three integrated meteorology indexes are proposed: the direct input of weather factors, Human Body Amenity, and Temperature-Humidity Index. The load and hourly meteorological data from Jan. 2006 to Aug. 2007 in the region of Hangzhou were used as example to verify the three ANN models proposed. A conclusion can be drawn that the accuracy is apparently improved compared to the traditional method thus having more practical applications and exploitability.

**Key words:** meteorology sensitive load; integrated meteorology indexes; improved ANN; hourly weather factors

## 考虑实时气象因素的短期负荷预测新方法

方鹤飞, 祝燕萍, 李 玮

浙江大学 电气工程学院, 杭州, 中国, 310027

Email: zhuyanping\_09@163.com

**摘 要:** 立足于影响负荷的因素, 分析了敏感负荷与各气象因素的关系, 得到与之相关的量化关系。提出了用有自适应学习速率的梯度下降算法改进 BP 神经网络, 建立了三种预测气象敏感负荷的综合气象模型: 气象因子直接输入、人体舒适度、温湿指数。以杭州地区 2006 年 1 月至 2007 年 8 月的负荷以及实时气象数据为例, 对建立的三个人工神经网络模型进行验证。结果表明, 与传统方法相比预测精度得到了明显提高, 更具有实用性和可开发性。

**关键词:** 气象敏感负荷; 综合气象模型; 改进的人工神经网络; 实时气象因素

### 1 引言

在电力系统中短期负荷预测是不可缺少的运算, 预测结果的准确性直接关系到系统运行的安全性和经济性, 因此如何提高短期负荷预测的精确性一直是人们致力研究的方向之一。

在众多影响负荷的因素中, 气象因素是非常重要的因素, 但目前的预测方法只考虑了温度的因素, 而对于湿度、风速、气压等因素考虑较少<sup>[1]</sup>。本文综合考虑温度、湿度、风速、气压等因素, 引入气象因子综合模型并将其应用到短期负荷预测中, 在传统的非线性回归法基础上, 采用改进的人工神经网络法, 得到预测结果。

### 2 气象敏感负荷与气象因素的相关分析

#### 2.1 杭州地区气候与负荷特点

杭州地区属亚热带季风气候, 春季气温平和、夏季湿热多雨、秋季天高气爽、冬季寒冷多风, 并且有春秋两季短暂、夏冬两季时日相对较长的显著特征。因此气象敏感负荷研究的重点时间是夏季和冬季。

图 1 是杭州地区 2006 年 1 月 1 日至 2007 年 8 月 31 日的日平均负荷。

随着经济的增长和人民生活水平的提高, 全社会用电负荷不断增加, 电力负荷呈逐年增加趋势。夏季和冬季负荷偏高, 这是由于夏季气温较高时, 各种制冷设备被大量使用, 用电量大幅度增加, 使得夏季负

荷值大大高于其它季节；冬季气温较低，负荷主要为生产负荷与取暖负荷。可见负荷对气象变化是非常敏感的。

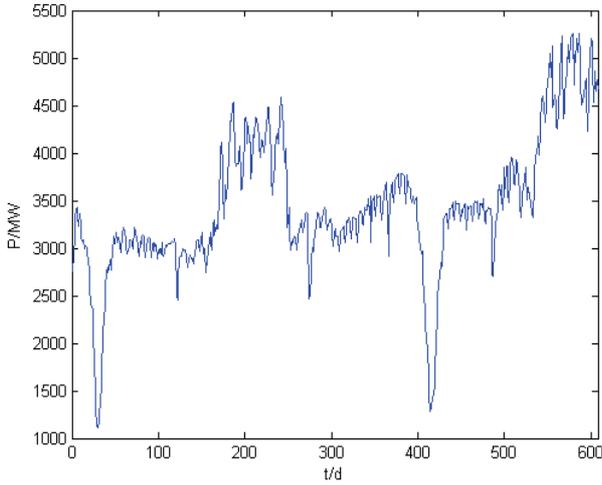


Figure 1. Curve: average daily load of Hangzhou region from Jan. 2006 to Aug. 2007

图 1. 杭州地区 2006 年 1 月至 2007 年 8 月日平均负荷

图 2 和图 3 分别为杭州市 2007 年 4 月和 7 月的日负荷曲线。4 月份由于存在周末与工作日用电负荷的差别，双休日工业用电负荷大大减少，但是从整体来看春秋季节受气温影响较小，所以日负荷以周为周期的波动比较规律；7 月份负荷曲线周规律性减弱，这是由于 7 月份酷热少雨，此时电网的中负荷除受日常类型因素影响外，很大程度上受到气象因素的影响。

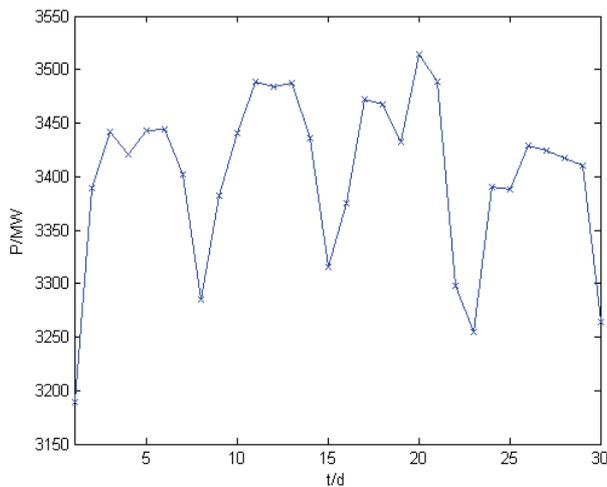


Figure 2. Curve: average daily load of Hangzhou region in Apr. 2007

图 2 杭州市 2007 年 4 月份和 7 月份日平均负荷

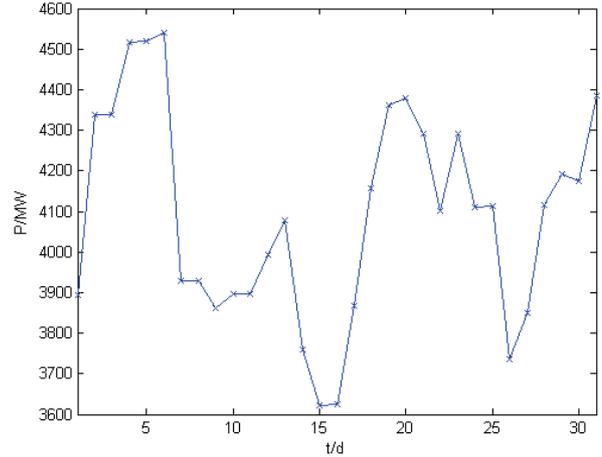


Figure 3. Curve: average daily load of Hangzhou region in Jul. 2007

图 3. 杭州市 2007 年 4 月份和 7 月份日平均负荷

根据调度中心的负荷数据显示，杭州市电网夏季典型日的负荷曲线大致是三峰三谷，分别是早高峰(10: 30)、下午高峰(13: 45)、晚高峰(22: 15)、夜晚低谷(4: 45)、午间休息低谷(11: 45)、傍晚下班低谷(18: 15)。

## 2.2 敏感负荷的分离

电力负荷是具有很强周期性的时间序列，主要由两部分组成<sup>[1]</sup>：基础负荷部分，代表了电力负荷的长期变化趋势，主要受到社会经济发展的影响，具有一定的稳定性、周期性和季节性。另外一个重要组成部分，即气象敏感负荷。气象敏感负荷反映负荷波动受气象因素的影响，主要表现在调温负荷，对夏季、冬季的电网负荷影响较大。综上分析，可将电力负荷按下式分解<sup>[2]</sup>：

$$L=L_s+L_m+x \quad (1)$$

式中：L为总负荷； $L_s$ 为基础负荷； $L_m$ 为气象敏感负荷；x是随机因素产生的负荷，由于随机因素对总负荷影响较小，本文暂忽略不计。通过对杭州地区电网负荷历史数据统计分析可知，杭州电网负荷随着经济发展逐年增长，且增长幅度较为平稳，因此可将基础负荷 $L_s$ 用线性化模型表示为：

$$L_s=a \cdot t+b \quad (2)$$

式中：a、b为常数，t为时间。

由于夏季负荷受气象因素影响较大，本文将去掉夏季后所剩 353 天、每日 96 点的负荷作为数据，用直

线回归得到基础负荷,然后可得每日 96 点的气象敏感负荷部分。图 4 为晚高峰(22:15)时气象敏感负荷的分离图。

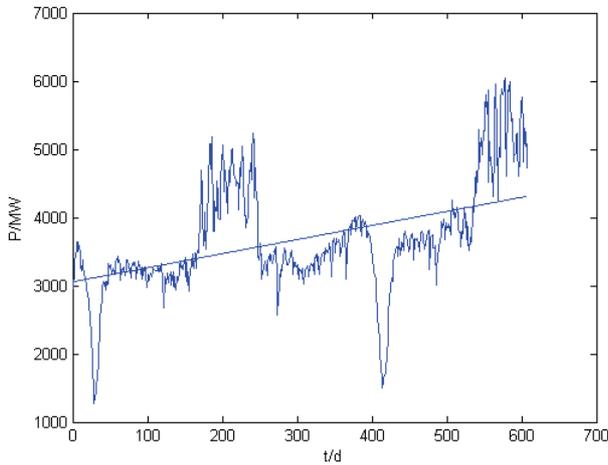


Figure 4. Curve: meteorology sensitive load separation of evening peak

图 4. 晚高峰气象敏感负荷的分离图

### 2.3 气象敏感负荷与各气象因子的关系分析

在夏季影响负荷的主要气象因素有温度、湿度、风速、气压等等,表 1 列出了杭州电网 2006 年和 2007 年夏季晚高峰气象敏感负荷与各气象因子的回归方程,其中 T 为温度, H 为相对湿度, V 为风速, P 为气压。

Table 1. regression equation between weather factors and meteorology sensitive load of evening peak

表 1. 杭州电网 2006-2007 年夏季晚高峰敏感负荷与各气象因子的回归方程

气象因子	回归方程
温度	$L_m=6.290T^2-166.690T-100.244$
湿度	$L_m=-39.688H+3344.527$
风速	$L_m=90.014V-6.748$
气压	$L_m=-78.104P+78545.158$

事实上,气象敏感负荷不是仅仅与单个气象因子作用的,而是与各个气象因子综合作用的。例如,在气温 35<sup>0</sup>C 的环境中,如果空气的相对湿度在 40%-50% 左右,风速在 3m/s 以上时,人体不会感到很热,这样空调负荷就不会很高;在同样的温度条件下,如果相对湿度达到 70% 以上,而风速较小时,人体会产生闷

热的感觉,相对应的空调负荷会明显增加。

## 3 综合考虑各实时气象因子的敏感负荷预测

### 3.1 非线性回归法

回归法是电力系统中负荷预测常用的方法<sup>[3]</sup>,综合考虑气象敏感负荷与温度、湿度、风速等各气象因子的关系,建立敏感负荷与气象因子回归模型<sup>[4]</sup>:

$$L_m=k_1T^2+k_2T+k_3H+C \quad (3)$$

式中:  $L_m$  为气象敏感负荷; T 为预测时刻温度值; H 为预测时刻的相对湿度值;  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  为待定参数; C 为常数。

考虑温度的累积效应<sup>[5]</sup>以及湿度的修正,重新建立气象敏感负荷与各气象因子的回归模型:

$$L_m=k_1T^2+k_2T+k_3T_1+k_4T_2+k_5T_3+k_6T_4+k_7H+k_8H_1+k_9H_2+C \quad (4)$$

式中:  $T_1$  和  $T_2$  分别表示预测时刻的前一小时、前两小时温度,  $T_3$  和  $T_4$  分别表示前一天、前两天此刻的温度,  $H_1$  和  $H_2$  分别表示预测时刻前一个小时、前两个小时的相对湿度。

由于工作日和周末用电情况不同,将工作日和周末分开预测。表 2 为采用回归模型对杭州电网 2007 年 8 月 6 日至 8 月 31 日工作日三峰三谷的预测误差平均值。

Table 2. Average forecasting errors of three peaks and three valleys in working days of Aug. 2007 in Hangzhou region

表 2. 杭州地区 2007 年 8 月工作日三峰三谷预测误差平均值

时间	预测平均误差/(%)
04:45	2.64
10:30	2.01
11:45	2.04
13:45	1.37
18:15	1.63
22:15	2.52

### 3.2 改进的 BP 神经网络法

#### 3.2.1 BP 神经网络基础

BP 网络(Back Propagation Network)是目前应用最广泛的人工神经网络之一,在人工神经网络的实际应用中,大部分模型都采用 BP 网络以及它的变化形式<sup>[6]</sup>。BP 网络的训练过程分为两个阶段<sup>[7]</sup>:

第一阶段是输入已知的学习样本，通过已设置的网络结构和上一次迭代的阈值和权值，从网络的第一层向后计算各神经元的输出，即信息的正向传递；

第二个阶段是对阈值和权值进行修改，从最后一层向前计算各阈值和权值对误差的影响，据此进行修改，即误差的反向传播。

以上两个过程反复交替，直到达到期望目标为止。

传统的BP算法在训练过程当中，存在容易陷入局部极小值、训练时间较长、学习过程中常常出现震荡等缺点<sup>[8]</sup>，从而限制了神经网络在负荷预测中的实际应用，因此出现了许多改进算法，包括：有动量的梯度下降法、有自适应学习速率的梯度下降法、非线性阻尼最小二乘法等等。

本文采用有自适应学习速率的梯度下降法，自适应学习速率的梯度下降法在训练过程中，在保持算法稳定的前提下，根据局部误差对学习速率做出相应调整，使学习步长尽量地大。当误差减小趋于目标时，说明修正方向正确，可增加步长，使学习速率乘以增量因子，从而提高学习速率；当误差变大，超过设定值时，说明修正过头，应减小步长，使学习速率乘以减量因子，从而减小学习速率，这样误差会不断减小最后趋于目标。

### 3.2.2 预测模型总体结构

神经网络可采用多输出和单输出两种输出方式。多输出结构是指输出层神经元数量较多，由于本文要预测每天 96 点负荷，需建立一个包含 96 个输出神经元的网络，这种模型的网络结构异常庞大，训练所需时间长，且精度较低；单输出结构是对全天 96 个预测点建立 96 个神经网络，这种输出模型的网络结构较小，具有速度快，不容易过度训练等优点，所以本文采用这种模型。

### 3.2.3 各气象因子直接作为输入量

如何有效处理各气象因素，是提高短期负荷预测精度的重要内容。随着现代科学技术的发展，气象数据的获取也越来越及时和精确，因此在预测模型中考虑实时气象因素已成为可能，以各实时气象因子直接输入，建立综合气象模型对敏感负荷进行预测。

### 3.2.4 人体舒适度作为输入量

人体舒适度就是指在不特意采取任何防寒保暖或防暑降温措施的前提下，人在自然环境中是否感到舒适及其达到怎样一种程度的具体描述<sup>[9]</sup>，它表征人体在大气环境中舒适与否。

夏季温度较高，人体舒适程度的差异将直接影响空调等降温、制冷设备的使用，从而导致负荷的变化。因此，人体舒适度同夏季负荷具有很强的相关性。

本文拟定杭州市夏季人体舒适度计算公式为：

$$DI=1.8T+0.55(1-H)-3.2\sqrt{V}+27 \quad (5)$$

式中：DI 为人体舒适度指数，T 为气温，U 为相对湿度，V 为风速。

### 3.2.5 温湿指数作为输入量

温湿指数<sup>[10]</sup>(THI, Temperature and Humidity Index)是由过去建立的温度计算公式演化而来，能够较好地描述温度和湿度因素对电力负荷的影响，本文采用的计算公式如下：

$$THI=T_H-0.55(1-H)\times(T_H-58) \quad (6)$$

式中， $T_H$  为华氏温度，H 为相对湿度。

## 4 实例计算与分析

选择杭州地区 2007 年夏季负荷数据和实时气象数据作为神经网络训练和预测的样本，分别以气象因子、人体舒适度指数和温湿指数作为输入，建立 BP 神经网络。在建立的神经网络模型中，只含有一个隐含层，隐含层的神经元数选取采用试凑法，先放入较少神经元，通过增加神经元数目，直到网络训练成功，且误差达到指定要求为止。训练函数的最大训练次数为 1000，训练目标误差为 0.001。图 5 为采用非线性回归法对杭州电网 2007 年 8 月 25 日（星期五）全天 96 点负荷预测结果；图 6、图 7 和图 8 为采用神经网络有动量自适应学习速率算法预测结果，其中图 6 为以气象因子直接作输入，图 7 为以人体舒适度指数作输入，图 8 为以温湿指数作输入。

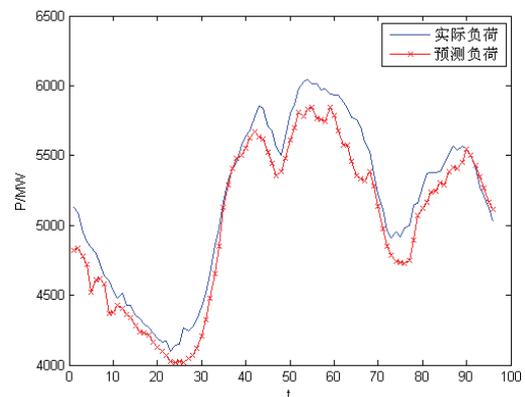


Figure 5. Curve: forecasting result though the method of regression  
图 5.非线性回归法预测结果

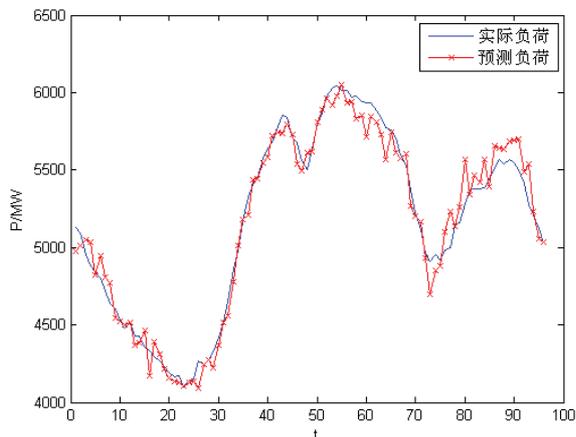


Figure 6. Curve: forecasting result though the direct input of weather factors  
图 6.气象因子直接输入预测结果

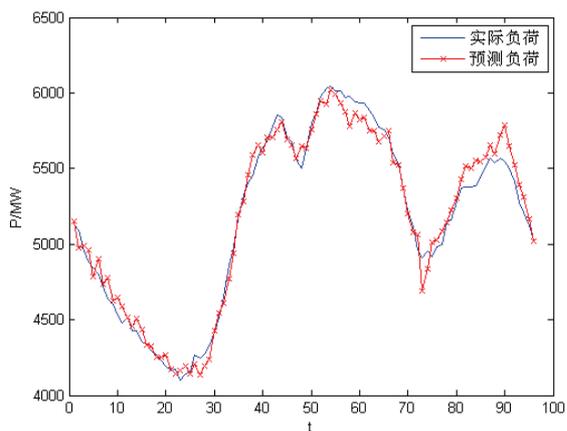


Figure 7. Curve: forecasting result though Human Body Amenity  
图 7.人体舒适度输入预测结果

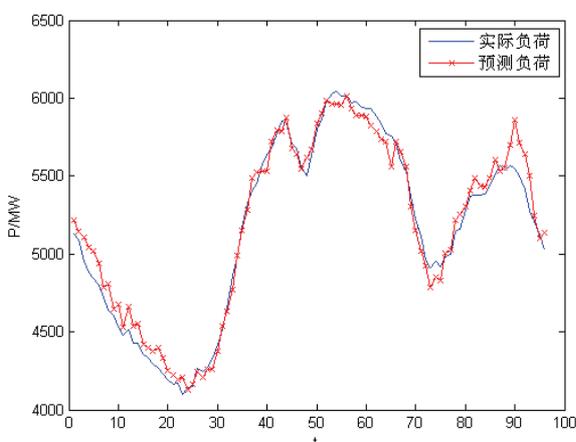


Figure 8. Curve: forecasting result though Temperature-Humidity Index  
图 8.温湿指数输入预测结果

表 3 为杭州电网 2007 年 8 月 25 日负荷预测误差，可以看出人工神经网络法的预测结果要比传统的多元非线性回归法精度高很多。

Table 3. Average forecasting errors of Aug25,2007 in Hangzhou region

表 3. 杭州地区 2007 年 8 月 25 日负荷预测误差

多元非线性回归法/(%)	人工神经网络法		
	气象因子直接输入/(%)	人体舒适度作输入/(%)	温湿度指数作输入/(%)
2.94	1.50	1.32	1.46

在人工神经网络法的三种预测模型中，当各个气象因素单独输入时，气象因子之间的权重是一样的，但是温度、湿度对负荷的影响比风速对负荷的影响大很多，同时由于风速的变化幅度很大，通过插值得到的每日 96 点风速数据的合理性较低，因此将风速作为一个单独的气象因子输入，反而会影响整个模型的预测精度，利用人体舒适度指数和温湿指数建模时弱化了风速的影响，取得了较好的预测精度。

### 5 结语

在预测短期负荷时，不同地区负荷水平、负荷构成和所处地理位置不同，受到的气象影响因素也不同，因此在设计神经网络时，应与该地区的实际负荷情况相结合，将最重要的气象因素考虑进去。本文在杭州地区负荷特性的基础上，考虑温度累积效应和湿度修正，提出了改进的BP神经网络算法以及三种综合气象模型，并用杭州地区实际数据进行仿真，得出：(1)建立的以各气象因子、人体舒适度和温湿指数作为输入的三种模型对杭州地区负荷预测的有效性；(2)与传统的非线性回归法相比，改进的BP网络算法预测精度明显提高；(3)采用以温湿指数作为输入的模型预测精度最高，速度最快。建立合理的模型以及采用更好的算法来提高负荷预测的精度，将给电力系统经济和安全运行带来显著性的影响，本文也是基于这一思想，探索将先进的智能方法用于电力负荷预测，其效果也是比较明显的。

### References (参考文献)

- [1] Jiang Yong. Brief Introduction for Medium & Short Term Load Forecasting Method for Power Systems[J].Northeast Electrical Engineering, 2002,19(8):19-52.  
姜勇.电力系统中短期负荷预测方法简介[J].东北电力技术, 2002,19(8):19-52.
- [2] Zhu Zhenwei. Study on the impact of weather factors on charac-

- teristics of electric load[D]. Hangzhou: A Dissertation submitted to Zhejiang University for the degree of Master,2008.  
朱振伟. 气象因素对电网负荷特性影响的研究[D]. 杭州: 浙江大学硕士学位论文, 2008.
- [3] G. T. Heinemann, D. A. Nordman. The relationship between summer weather and summer loads-a regression analysis[J]. IEEE Trans. Power apparatus and systems, 1966, 85(11): 1144-1151.
- [4] Hu Changhong. Research on Short-term Load Forecasting Based on Hourly Weather Factors [D]. Hangzhou: A Dissertation submitted to Zhejiang University for the degree of Master, 2010.  
胡长洪. 考虑实时气象因素的短期负荷预测[D]. 杭州: 浙江大学硕士学位论文, 2010.
- [5] Chen Genyong, Shi Jingtian, Mao Xiaobo. Study on the method of short-term load forecasting considering the accumulation effect of temperature[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(16): 24-28.  
陈根永, 史敬天, 毛晓波. 考虑温度累积效应的短期电力负荷预测方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(16): 24-28.
- [6] Intelligent control and its implementation by MATLAB[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2005, 05.  
李国勇. 智能控制及其 MATLAB 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005, 05.
- [7] Zhou Kaili, Kang Yaohong. Neural network models and its emulation programming [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.  
周开利, 康耀红. 神经网络模型及其 MATLAB 仿真程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [8] Liu Kai. Short-Term Load Forecasting Based on Improved BP Neural Network [D]. A Dissertation submitted to Hehai University for the degree of Master, 2005.  
刘凯. 基于改进 BP 神经网络的短期负荷预测研究[D]. 河海大学硕士学位论文, 2005.
- [9] Qin Haichao, Wang Wei, Zhou Hui. Short-Term Electric Load Forecast Using Human Body Amenity Indicator[J]. Journal of Electric Power, 2006, 21(2): 143-145.  
秦海超, 王伟, 周晖, 等. 人体舒适度在短期电力负荷预测中的应用[J]. 电力学报, 2006, 21(2): 143-145.
- [10] Yang Huiping, Bai Hui, Liu Jiaxue. Electric Power System's Short-Term Load Forecasting Based on Radial Basis Function Neural Network[J]. JOURNAL OF DONG HUA UNIVERSITY, 2008, 34(2): 204-207.  
杨胡萍, 白慧, 刘家学. 基于改进RBF神经网络的电力系统短期负荷预测[J]. 东华大学学报, 2008, 34(2): 204-207.
- [11] Wu Tingting, Sun Hongmei. Application of Weather Sensitive Neural Network used in Power Net Short-term Load Prediction[J]. SHANXI ELECTRIC POWER, 2006, 6: 36-42.  
吴婷婷, 孙红梅. 天气敏感型神经网络在电网短期负荷预测中的应用[J]. 山西电力, 2006, 6: 36-42.