

# 考虑夏季气象因素的短期负荷预测方法研究

方鸽飞<sup>1</sup>, 胡长洪<sup>1</sup>, 郑奕辉<sup>2</sup>, 蔡金明<sup>3</sup>

(1. 浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027; 2. 广州供电局, 广东 广州 510620;  
3. 德清供电局, 浙江 湖州 313200)

**摘要:** 由于夏季电力负荷受气象因素影响较大, 尤其是连续高温情况下, 短期负荷的预测结果往往存在较大偏差。通过对气象敏感负荷与温度、湿度等气象因素的相关性研究, 提出了考虑温度累积效应的修正模型。该模型不仅考虑了多日前温度对负荷的影响, 还考虑了待预测时段之前时段的温度对负荷的影响, 同时对湿度进行了相关性修正。通过综合预测模型试算, 实例表明, 引入修正模型后夏季高温负荷的预测精度有了较大提高。

**关键词:** 短期负荷预测; 累积效应; 修正模型; 非线性回归

## Study on the method of short-term load forecasting considering summer weather factors

FANG Ge-fei<sup>1</sup>, HU Chang-hong<sup>1</sup>, ZHENG Yi-hui<sup>2</sup>, CAI Jin-ming<sup>3</sup>

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 2. Guangzhou Power Supply Bureau, Guangzhou 510620, China; 3. Deqing Power Supply Bureau, Huzhou 313200, China)

**Abstract:** Load forecasting in summer is greatly affected by weather factors, and it will cause relatively big errors especially in continuous hot days. By analyzing the co-relationships between weather factors and weather-sensitive load, a correction model considering the accumulation effect of temperature is proposed. This model not only considers the influence of the temperature on the load few days ago, but also considers the influence of the temperature on the load in the few hours before the to-be-forecasted hour. Correction model corresponding to the humidity is also developed. Based on the research above, a comprehensive forecasting model is proposed. Test results show that the proposed model has a high level precision in continuous hot days.

**Key words:** short-time load forecasting; accumulation effect; correction model; nonlinear regression

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)22-0100-05

## 0 引言

负荷预测是电力生产的基础, 负荷预测精度直接关系到各项生产的开展, 因此精确地对负荷进行预测具有重大的现实意义。短期负荷预测是针对未来一天到数天各时段的负荷预测的研究, 是电网调度的重要环节。影响短期电力负荷的因素较多, 例如: 负荷水平、气候条件、生活习惯及社会发展水平等, 因此短期负荷预测具有很强的非线性特点。

气象因素对于短期负荷预测有着重要的影响。其中温度对负荷影响最大, 其次还有湿度、风力、降水等。随着社会经济不断发展, 夏季负荷比重逐步提升, 气象因素对负荷的影响越来越显著。这方面的研究较为广泛, 其中较多的文献研究主要考虑温度、湿度等气象因素的日特征值对负荷的影响,

运用神经网络、小波分析等各种方法进行负荷预测<sup>[1-3]</sup>。也有文献提出将多个气象因素经耦合后引入建模, 例如人体舒适度<sup>[4-5]</sup>。文献[6]剖析了实时气象因素对负荷的影响并提出了处理策略, 对实时气象因素的应用研究具有指导作用。文献[7]利用实时气象数据, 分别建立了夏季气象敏感负荷与温度、湿度、风速等气象因素的关系模型, 通过回归分析得到综合模型。但是该方法只考虑到待预测时段温度对负荷的影响, 没有考虑到温度累积效应的影响, 所建模型对高温负荷的预测能力不足。

本文通过对杭州地区夏季负荷与气象因素的相关性研究, 重点分析了累积效应与各时段温度的关系, 并提出了考虑温度累积效应的温度修正方法, 同时对湿度进行相关性修正, 在此基础上建立多元回归预测模型。通过仿真试算, 证明了该方案对夏季高温负荷有较好的追踪效果。

## 1 负荷特性分析与气象敏感负荷提取

### 1.1 夏季电力负荷的描述性分析

夏季电力负荷受气象因素的影响较大, 但不同地区的电力结构与气候条件各不相同, 导致负荷变化形式也不尽相同, 因此首先需要对负荷情况进行特性分析, 掌握其变化规律。

本文通过对 2006~2008 年杭州地区夏季负荷及气象历史数据的分析可知: 进入 6 月后, 温度上升幅度较快, 夏季日平均温度在 30℃ 以上的天数在 40 天左右, 其中日最高温度超过 35℃ 的天数也在 40 天左右, 而夏季日降雨大于 10 mm 的天数平均为 10 天。盛夏少雨, 负荷受气象因素影响很大, 降温负荷不断攀升。

通过对该市夏季日负荷曲线进行分析, 可以得出其日负荷特征规律: 该市电网日负荷曲线基本呈现三峰三谷的特性, 其中日最大负荷值出现在 14 时的午高峰, 早高峰稍次之, 谷荷出现在凌晨 6 点左右。图 1 为该市 2006 年夏季典型日负荷曲线。

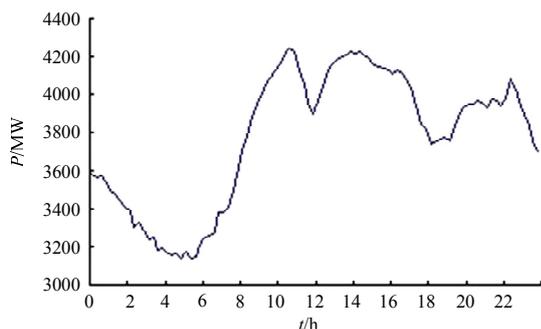


图 1 2006 年夏季典型日负荷曲线

Fig.1 Typical daily load curve in summer of 2006

### 1.2 气象敏感负荷的提取

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。基础负荷部分, 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。除此之外的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(温度、湿度、降雨、风速等)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, 可将电力负荷按式(1)分解:

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

式中:  $L$  为总负荷;  $L_t$  为基础负荷;  $L_m$  为气象敏感负荷;  $x$  是由随机因素产生的负荷, 对总负荷影响较小, 这里暂忽略不计。

基础负荷主要受社会经济发展的影响。通过对杭州地区电网负荷历史数据统计分析可知, 杭州电

网负荷随着经济的发展逐年提高, 且增长幅度较为平稳, 因此可将基础负荷  $L_t$  用式(2)表示:

$$L_t = a + bt \quad (2)$$

式中:  $a$ 、 $b$  为常数;  $t$  为时间。

考虑到夏季负荷中降温负荷所占比例较大, 在求上述参数值时若不把夏季电力负荷事先排除, 则上式求得的基础负荷实际上已经包含了部分气象敏感负荷, 因此在求上述参数时应先去除 6 月至 9 月的夏季电力负荷, 进而回归得到各时段的基础负荷表达式。图 2 为 2006~2007 年杭州地区午高峰的基础负荷曲线。

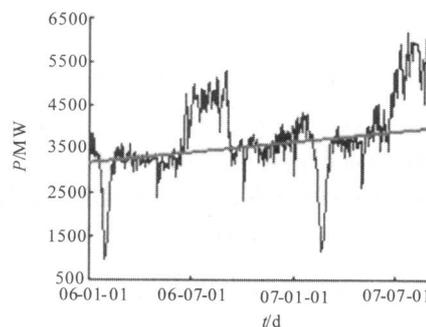


图 2 午高峰基础负荷曲线

Fig.2 Linear regression curve of basic load in daily peak

在总负荷  $L$  中, 扣除已算出的基础负荷  $L_t$ , 就可以提取出气象敏感负荷  $L_m$ 。

## 2 温度累积效应对电力负荷的影响分析

气象因素中温度对负荷的影响最大。夏季高温天气时, 电网负荷随着温度的升高急剧升高, 特别是持续的高温天气还会对电力负荷产生累积效应。目前, 这方面的研究不多, 其中文献[8]考虑了累积效应对日负荷的影响, 但建模所用的气象信息是传统的日特征气象值。下文将直接考虑气象敏感负荷与各时段实时温度因素, 以午高峰为例研究温度累积效应对电力负荷的影响机理。

### 2.1 日内温度累积效应分析

如上所述杭州电网夏季日最大负荷基本出现在 14 时的午高峰。本文收集 2007 年 7、8 两个月杭州电网每个正常工作日的午高峰总负荷, 并由上文方法计算得午高峰敏感负荷, 分别计算这两个负荷值与午高峰所在时段及之前三个时段(本文中的一个时段为 1 小时)温度的相关系数, 形成表 1。由表 1 可知, 本文方法分离出的气象敏感负荷与温度的相关系数整体高于总负荷与温度的相关系数, 证明了敏感负荷分离方法的有效性。午高峰敏感负荷与实

时温度数据的相关系数高于其与日特征温度的相关系数,说明实时温度信息比日特征温度更具有价值。值得注意的是午高峰敏感负荷与其前一时段、前两时段的温度具有很好的相关性,相关系数甚至高于其与当前时段的相关系数。而与前三时段的温度的相关性则减弱很多。通过对这三个时段温度的比较可知:夏季 14 时之前的两个小时的温度都已经上升到较高的位置,与 14 时的温度偏差基本在 1~3℃,可以推测这两个时段的温度已经决定了大部分调温负荷是否开启,因此这两个时段的温度对午高峰调温负荷具有较大影响。本文建议将这一影响归为温度累积效应对负荷的影响,因其发生在待预测日当日,故称之为日内温度累积效应。

基于上述分析,本文采用待预测时段的前两时段的温度对待预测时段温度进行修正,使修正后的温度值能够体现日内温度累积效应的影响。

表 1 2007 年杭州地区夏季日负荷与温度相关系数表

Tab.1 Correlation of load and temperature in Hangzhou area in summer of 2007

温度	午高峰敏感负荷与温度的相关系数	午高峰总负荷与温度的相关系数
平均温度	0.802 8	0.764 4
最高温度	0.882 8	0.863 6
当前时段温度	0.883 3	0.861 3
前一时段温度	0.909 7	0.899 5
前两时段温度	0.905 5	0.885 7
前三时段温度	0.802 3	0.834 8

### 2.2 多日温度累积效应分析

电力负荷中的多日积温效应是指在持续低温或高温天气状况下,负荷出现一定程度的反常增长。南方地区夏季积温效应尤为明显。本文选取了 2007 年杭州地区夏季持续高温日期间的几个午高峰负荷,由上文方法求得各日的气象敏感负荷值,并收集与之对应的实时温度数据形成表 2。由表 2 可知,7 月 18 日的午高峰温度比前两日有所提高,午高峰敏感负荷随之产生较大的提升,接下来连续 7 天都是午高峰温度在 36℃ 以上的持续高温天气,该段时期的午高峰敏感负荷一直较高。但当高温期持续 3 天及以上时,敏感负荷对气温增长的敏感度下降,增长趋于缓和,此时绝大部分降温负荷都已开启,电网负荷趋于饱和。由此可见,预测夏季电网负荷时,不仅要考虑待预测日的温度,还要考虑到待预测日之前几天的温度情况,分析待预测日所处时期的温度累积效应对负荷的影响,对温度进行修正,以期提高预测的准确性。

表 2 2007 年杭州地区夏季日负荷及温度的数据表

Tab.2 Data of load and temperature in Hangzhou area in summer of 2007

日期	星期类型	午高峰敏感负荷/MW	午高峰温度/℃
7-16	周一	873.4	32.9
7-17	周二	846.4	34.1
7-18	周三	1 181.1	36.3
7-19	周四	1 352.6	36.1
7-20	周五	1 437.7	37.2
7-21	周六	1 461.8	37.8
7-22	周日	750.5	35.6
7-23	周一	1 101.1	35.7
7-24	周二	1 208.6	36.1

### 2.3 温度累积效应的修正模型

综上所述可知,温度累积效应对负荷的影响,不仅与待预测日之前几日的温度情况有关,并且与待预测时段之前时段的温度表现出较大的相关性。因此本文将温度累积效应对气象敏感负荷的影响分为两部分进行修正,即待预测时段之前时段的温度产生的累积效应对待预测日之前几日该时段温度产生的累积效应对负荷的影响。修正模型如下:

$$T = \sum_{i=0}^p m_i T_{th} + \sum_{i=0}^q n_i (T_{id} - T_{(i+1)d}) \quad (3)$$

式中:  $T$  为考虑温度累积效应后的温度修正值;  $T_{th}$  为待预测时刻前  $i$  小时的温度真实值;  $T_{id}$  为待预测日前  $i$  天该预测时刻的温度真实值;  $m_i$ 、 $n_i$  为累积效应系数; 本文  $p$  取 2,  $q$  取 1。

### 3 其他气象因素对负荷的影响分析

夏季电网负荷除了受温度的影响外,还受到湿度、风速、降雨等气象因素的影响。表 3 所示为杭州地区夏季午高峰敏感负荷与湿度、风速的相关系数,可以看出,湿度与负荷成负相关性,相关系数较高,与温度相类似的是午高峰敏感负荷与前几时段的湿度值具有较好的相关性。本文对待预测时段湿度值作如下修正:

$$H = H_0 + \sum_{i=0}^p k_i (H_i - H_{i+1}) \quad (4)$$

式中:  $H$  为修正后的湿度值;  $H_0$  为待预测时段湿度真实值;  $H_i$  为待预测时段前  $i$  时段的湿度真实值;  $k_i$  为待求参数; 本文  $p$  取 1。

对于风速,由表 3 可知风速与电力负荷的相关性很小,且风速具有较大的跳跃性,模型中引入风

速反而会增加干扰因素, 影响模型的预测精度。

对于日照和降雨, 温度实际上能体现它们对负荷的影响。温度直接受日照强度影响, 日照强烈时, 温度随之升高。降雨会使温度有所下降, 负荷也随之降低, 因此可以认为日照与降雨对负荷的影响已经包含在温度对负荷的影响中。

表3 杭州地区夏季午高峰负荷与湿度、风速的相关系数

Tab.3 Correlation of load and humidity, load and wind speed in Hangzhou area in summer

项目	午高峰敏感负荷	午高峰原始负荷
当前时段湿度	-0.740 4	-0.749 8
前一时段湿度	-0.757 6	-0.742 2
前两时段湿度	-0.741 5	-0.758 9
前三时段湿度	-0.734 4	-0.736 8
午高峰时段风速	0.084 8	0.040 2

## 4 气象敏感负荷综合模型与算例分析

### 4.1 多元非线性回归模型

回归预测是电力系统负荷预测的一种常用方法, 即根据历史的变化规律寻找自变量与因变量之间的回归方程, 确定模型参数, 并据此方程做出预测。非线性回归模型是回归预测的一种, 具有直观性强, 计算简单, 检验方便等优点。

综上温度、湿度对电力负荷的影响分析, 对午高峰气象敏感负荷建立包含实时温度、湿度因素的回归模型, 如下:

$$L_m = k_1 T^2 + k_2 T + k_3 H + C \quad (5)$$

式中:  $L_m$  为气象敏感负荷;  $T$  为经累积效应修正后的温度值;  $H$  为相关性修正后的相对湿度值;  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  为待定参数;  $C$  为常数。

将上文提出的温度累积效应修正公式与湿度修正公式代入到回归模型中, 编程求解各待定系数。

### 4.2 算例分析

日最大负荷预测是短期负荷预测的一个重要课题。下面根据 2007 年 7~8 月杭州地区负荷与气象历史数据, 对日最大负荷即午高峰负荷值进行预测。将上文建立的温度、湿度修正公式代入综合模型对 8 月 6 至 8 月 31 日间每个正常工作日的日最大负荷进行预测。图 3 为按本文方法修正后的日最大负荷预测曲线与实际负荷曲线对比。

为了验证本文方法的有效性, 将不经过修正的温湿度值直接代入综合模型进行预测, 预测曲线与

实际曲线的对比如图 4 所示。对比图 3、图 4 可以看出, 本文方法所得的预测曲线与实际曲线的偏差较小, 对日最大负荷的跟踪效果比较理想, 20 个工作日的日最大负荷预测平均误差为 1.34%, 拟合精度比不经温湿度修正方法有了较大的提高。两者的误差比较如表 4 所示。

表4 2007年8月6日~31日间工作日最大负荷预测误差对比

Tab.4 Statistic of forecasting results of the two models (Aug.6-31, 2007)

日期	星期类型	修正后预测 误差/%	未修正的预测误 差/%
2007-08-06	周 1	0.56	1.85
2007-08-07	周 2	1.25	3.04
2007-08-08	周 3	1.12	4.95
2007-08-09	周 4	0.70	4.16
2007-08-10	周 5	0.67	1.67
2007-08-13	周 1	0.23	2.82
2007-08-14	周 2	2.03	1.01
2007-08-15	周 3	1.08	1.09
2007-08-16	周 4	0.62	0.46
2007-08-17	周 5	1.67	2.22
2007-08-20	周 1	2.51	1.25
2007-08-21	周 2	1.10	1.41
2007-08-22	周 3	2.12	2.41
2007-08-23	周 4	2.51	3.86
2007-08-24	周 5	3.60	7.54
2007-08-27	周 1	0.73	2.20
2007-08-28	周 2	0.16	4.13
2007-08-29	周 3	0.76	1.44
2007-08-30	周 4	1.11	0.13
2007-08-31	周 5	2.42	4.30

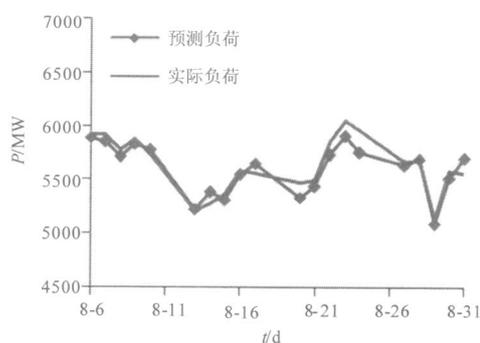


图3 经温湿度修正后的工作日最大负荷预测结果 (8.6~8.31, 2007)

Fig.3 Forecasting results of working days using correction model (Aug.6-31, 2007)

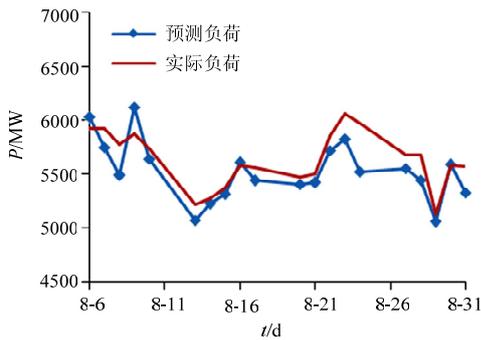


图4 未经过温湿度修正的工作日最大负荷预测结果  
(8.6~8.31, 2007)

Fig.4 Forecasting results of working days without using correction model (Aug.6-31, 2007)

## 5 结语

本文将气象敏感负荷从总负荷中分离出来, 分析研究实时气象因素, 尤其是温度、湿度对气象敏感负荷的影响。通过对杭州地区午高峰敏感负荷与实时温度的相关性分析, 提出将温度累积效应对负荷的影响分为日内温度累积效应和多日温度累积效应两部分进行处理的新思路, 并据此对温度进行修正处理, 使其能够体现温度累积效应对负荷的影响。最终建立了气象敏感负荷与温湿度修正值的非线性回归模型。算例分析表明, 本文方法对日最大负荷具有较强的跟踪预测能力, 预测精度较高。

值得指出的是, 本文给出的分析方法, 同样适用于夏季其他受气象因素影响较大的时段。

## 参考文献

- [1] 张宏刚, 蒋传文, 王承民, 等. 基于气象因素粗糙集理论的负荷预测方法[J]. 电力系统及其自动化, 2004, 28(8): 60-64.  
ZHANG Hong-gang, JIANG Chuan-wen, WANG Cheng-min, et al. Load forecasting based on rough set of weather factors[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(8): 60-64.
- [2] Satish B, Swarup K S, Srinivas S, et al. Effect of temperature on short term load forecasting using an integrated ANN[J]. Electric Power System Research, 2004, 72 (1): 95-101.
- [3] 谢宏, 陈志业, 牛东晓, 等. 基于小波分解与气象因素影响的电力系统日负荷预测模型研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21 (5): 5-9.  
XIE Hong, CHEN Zhi-ye, NIU Dong-xiao, et al. The research of daily load forecasting model based on wavelet decomposing and climatic influence[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21 (5): 5-9.
- [4] 秦海超, 王玮, 周晖, 等. 人体舒适度指数在短期电力负荷预测中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18 (2): 63-66.  
QIN Hai-chao, WANG Wei, ZHOU Hui, et al. Short-term electric forecast using human body amenity indicator[J]. Proceedings of the CSU-EPSSA, 2006, 18 (2): 63-66.
- [5] 周巍, 陈秋红, 肖晶, 等. 人体舒适度指数对用电负荷的影响[J]. 电力需求侧管理, 2004, 6 (3): 54-56.  
ZHOU Wei, CHEN Qiu-hong, XIAO Jing, et al. The effect of human body amenity indicator to load characteristic[J]. Power Demand Side Management, 2004, 6 (3): 54-56.
- [6] 康重庆, 周安石, 王鹏, 等. 短期负荷预测中实时气象因素的影响分析及其处理策略[J]. 电网技术, 2006, 30 (7): 5-11.  
KANG Chong-qing, ZHOU An-shi, WANG Peng, et al. Impact analysis of hourly weather factors in short-term load forecasting and its processing strategy[J]. Power System Technology, 2006, 30 (7): 5-11.
- [7] 朱振伟, 方鹤飞, 王国福, 等. 电网夏季气象敏感负荷特性分析[J]. 华东电力, 2008, 36 (9): 1075-1080.  
ZHU Zhen-wei, FANG Ge-fei, WANG Guo-fu, et al. Characteristic analysis for summer weather sensitive loads of power grids[J]. East China Electric Power, 2008, 36 (9): 1075-1080.
- [8] 陈根永, 史敬天, 毛晓波, 等. 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.  
CHEN Gen-yong, SHI Jing-tian, MAO Xiao-bo, et al. 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.

收稿日期: 2009-11-20; 修回日期: 2010-03-23

作者简介:

方鹤飞 (1955-), 男, 副教授, 主要研究方向为电力系统稳定分析与控制;

胡长洪 (1985-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为负荷预测; E-mail: changhhu@126.com

郑奕辉 (1985-), 男, 本科, 主要研究方向为负荷预测。