

A Relationship between Electrical Load and Meteorological Factors for Haikou and Forecasting

Tiansheng Zhang, Kunti Wu, Ming Chen

Hainan Meteorological Service Center, Haikou Hainan
Email: 1946458566@qq.com

Received: Dec. 29th, 2016; accepted: Jan. 14th, 2017; published: Jan. 19th, 2017

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

With the help of wavelet analysis, correlation analysis, the relationship between electrical load and meteorological factors for Haikou are studied by using electrical load and meteorological factors data during the period 2008-2009 years. Results show that: Haikou electrical load is high on Monday to Friday, low on Saturday and Sunday; it reaches the highest value on Friday and reaches the lowest value on Sunday. Haikou electrical load is lowest in 1 - 2 months, highest in 5 - 6 months, and the variation trend shows a single peak structure. There are 56-day, 83-day and larger characteristic timescale for Haikou electrical load, and 56-day characteristic timescale has a tendency to move towards smaller timescale. The positive correlation between the electrical load and the temperature factor of Haikou is obvious; temperature is the main affecting factor, as in other areas in China. The electrical load also has relationship with other meteorological elements to some extent during different seasons. Stepwise regression equation properly expresses the variation trend of the electrical load. By considering the variation of the percentage of electrical load during the holidays and working days, the error is obviously diminished, especially for the fitting and forecasting of the power load during the summer, autumn, The Spring Festival and National Day.

Keywords

Electrical Load, Wavelet Analysis, Meteorological Elements, Stepwise Regression

海口用电负荷与气象要素的影响关系及预测

张天圣, 吴坤悌, 陈 明

海南省气象服务中心, 海南 海口
Email: 1946458566@qq.com

收稿日期: 2016年12月29日; 录用日期: 2017年1月14日; 发布日期: 2017年1月19日

摘 要

利用2008和2009年海口用电负荷资料和气象资料, 通过小波分析和相关分析研究了海口用电负荷与气象要素的关系, 结果表明: 海口用电负荷从周一至周五偏高, 周五的用电负荷达到最高值, 周六和周日偏低, 周日用电负荷达到最低值, 海口用电负荷最低值出现在1~2月份, 5~6月份达到最高值, 呈现出单峰结构。海口用电负荷的特征时间尺度为56天、83天和更大时间尺度, 56天的时间尺度震荡具有明显地向高频时间尺度(较小时间尺度)方向演变的趋势。海口用电负荷与温度因子具有较稳定明显的正相关关系, 温度是主要的影响因子, 在不同的季节与不同的气象因子还有一定的关系。逐步回归方程可以较好地反映用电负荷趋势变化, 通过考虑节假日及工作日用电负荷百分比的变化, 误差明显减小, 尤其是对夏季和秋季、“春节”、“国庆”期间的用电负荷的拟合和预报。

关键词

用电负荷, 小波分析, 气象要素, 逐步回归

1. 引言

随着国民经济的快速发展和人民生活水平的提高, 用电量大幅度攀升, 用电负荷是电力系统规划设计和运行管理的最重要指标之一, 现代电网的特殊性使电力系统的偶然事故、局部事故迅速波及整个网络, 往往造成巨大的经济损失。气象条件的变化对用电负荷的影响越来越引起人们的关注[1] [2] [3] [4], 特别是随着我国经济的迅速发展, 人们的生活用电不断增加, 气象条件的变化对供电量的影响更加显著, 为了充分地利用电力资源, 合理调配电力供应, 发达国家及我国许多大中城市都进行了城市用电量与气象条件的关系研究, 为电力供应部门在用电调度、用电供求方面提供了较为科学的依据, 并产生了良好的经济效益[5]-[16]。

本文在分析海口用电负荷特征以及气象特点的基础上, 依托本省地面气象资料信息, 建立起对电力部门合理调度具有指导作用的用电负荷预报模型, 提升对电力部门的服务能力, 为提高效率、减少浪费提供重要的参考依据。

2. 研究方法和资料处理

利用 2008 年海口每 15 分钟用电负荷资料资料, 取平均值, 得到逐日用电负荷值。地面气象资料为 20~20 时的逐日平均气温、日最高气温、日最低气温、降水量、日平均相对湿度、日平均气压, 日最大风速、日平均风速, 日平均总云量、日平均低云量等 10 种气象要素, 通过 Morlet 小波分析、相关分析等方法研究了海南用电负荷的变化特征及与气象因子的关系, 建立逐步回归方程。

3. 用电负荷的特征分析

3.1. 用电负荷日变化特征

从图 1 中可以看到, 用电负荷的日变化很有规律, 04:00 为最低值, 最高峰出现在 20:00 左右, 11:00

和 18:00 为次高峰，而 12:00 和 21:00 左右用电负荷下降，这些用电负荷的起伏其实是和人们的日常生活规律息息相关的：大多数人选择在 11:00 和 18:00 左右烹饪食物，用电时段集中，因此用电负荷偏高，而 20:00 左右家庭照明灯、降温设备都已开启，因而用电负荷会高于 11:00 和 17:00。一天当中温度最高时段一般出现在下午，但此时段人们大多在外工作，共享空调等降温设备资源，因而下午时段虽然温度最高但却不是用电的高峰期。而 12:00 和 21:00 左右人们结束烹饪食物时间，烹饪电器关闭，因此用电负荷下降。

3.2. 用电负荷一周变化特征

从表 1 中可以看出，用电负荷有明显的周变化，工作日周一至周五偏高，周五的用电负荷达到最高值，双休日周六和周日偏低，周日用电负荷达到最低值。这是由于双休日许多单位不上班，包括一些工厂的用电量也减少，虽然双休日第三产业居民用电量会有所增加，但增加的幅度有限，周内用电负荷变化幅度大小为 23.49 万千瓦。

3.3. 节假日期间用电负荷的分布特点

为分析节假日对用电负荷的影响，求出“春节”期间(2月6日~12日)及“五一”(1日~3日)、“国庆节”长假7天(9月29日~10月5日)与其前后一周用电负荷平均值的百分比，从图 2 中可以看到，在春节期间用电负荷都呈现出明显的下降趋势，年初一至初三(2月6~8日)为最低点，之后缓慢回升，海口初八(13日)后逐渐恢复到正常状态。从图 3 中可以看到，受“国庆”长假影响，海口从9月29日开始逐渐下降，到10月4日达到最低值，8号恢复到正常状态，从图 4 中可以看到，“五一”节假日对海口用电负荷的影响主要在 1~2 日，4 日基本恢复到正常状态。

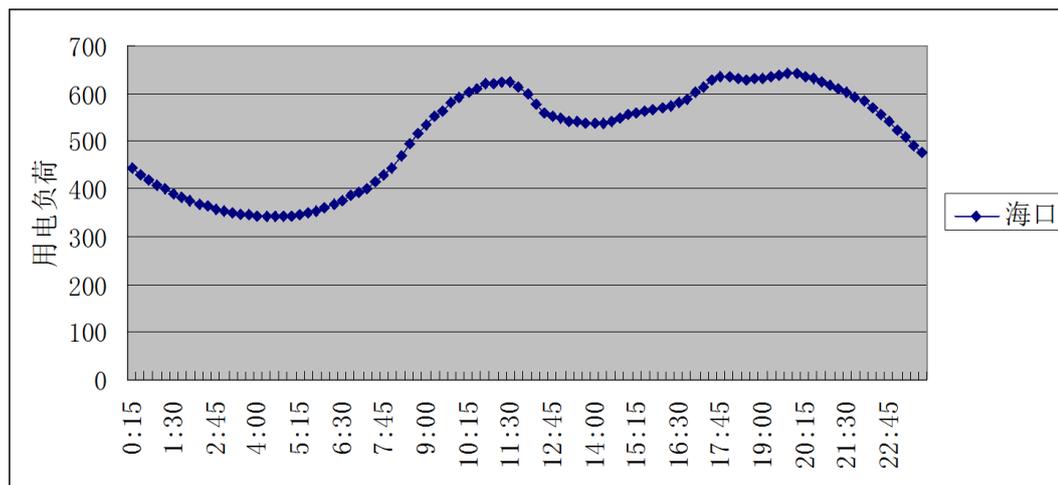


Figure 1. Daily variation of the electrical load in Haikou in 2008 (unit: 10^4 KW)

图 1. 海口 2008 年全年用电负荷日变化(单位: 万千瓦)

Table 1. Daily electrical load from Monday to Sunday in 2008 (unit: 10^4 KW)

表 1. 2008 年星期一至星期日用电负荷(万千瓦)

市县	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	星期日
用电负荷	515.769	520.280	514.273	517.789	520.733	501.085	494.290
百分比	100.73	101.611	100.437	101.124	101.699	97.862	96.535

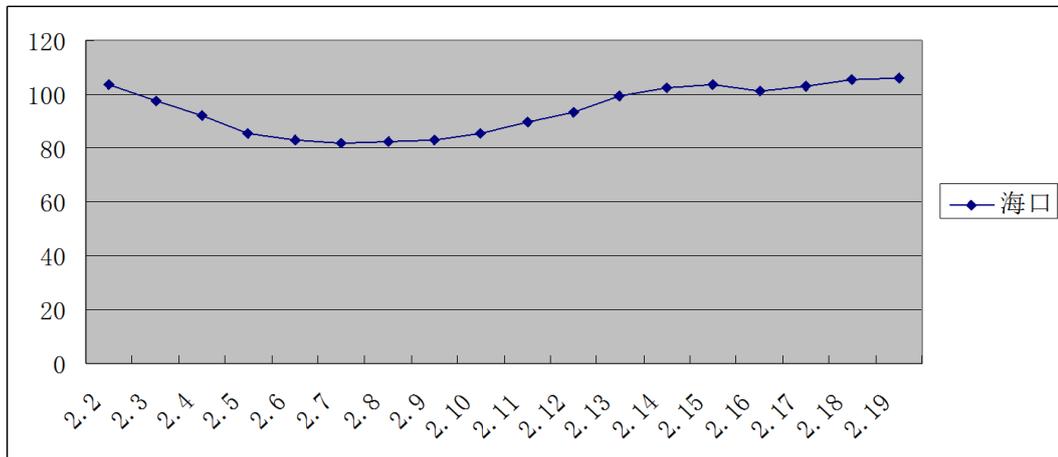


Figure 2. The distribution of the average value percent of the electrical load of one week before and after the “Spring Festival”

图 2. “春节”期间用电负荷与其前后一周平均值的百分比分布

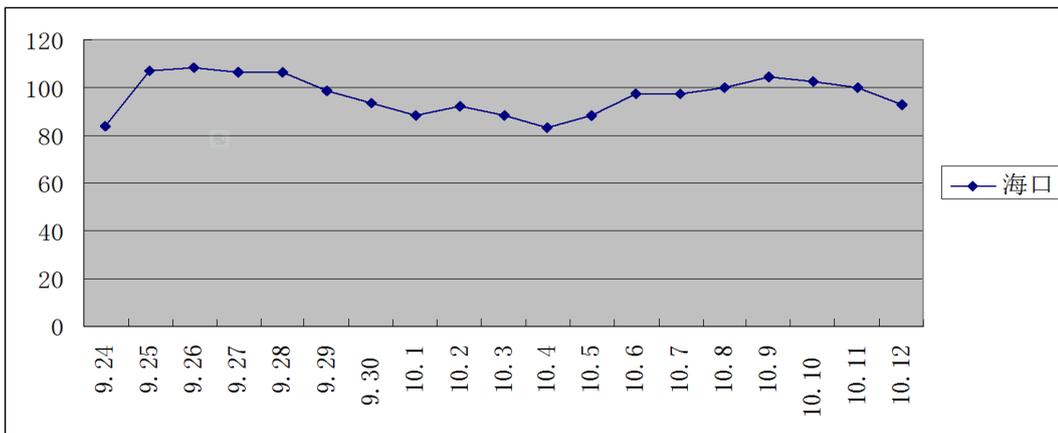


Figure 3. The distribution of the average value percent of the electrical load of one week before and after the “National Day”

图 3. “国庆”期间用电负荷与其前后一周平均值的百分比分布

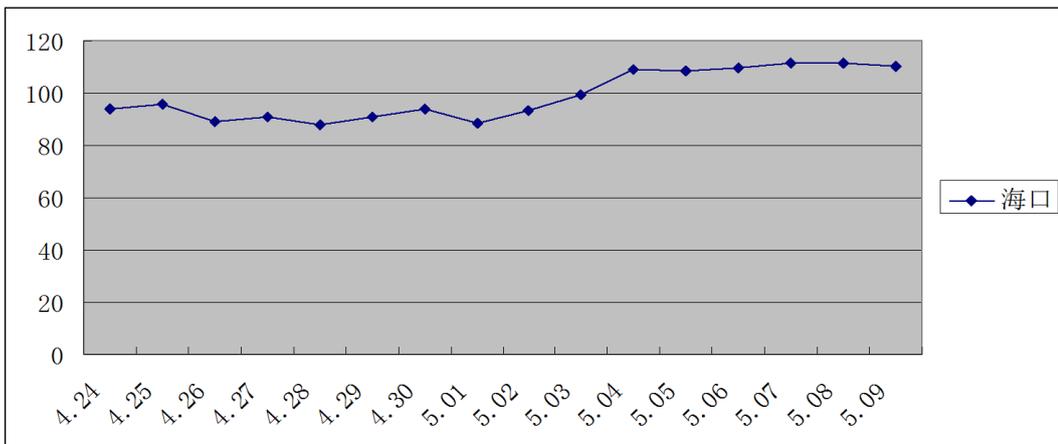


Figure 4. The distribution of the average value percent of the electrical load of one week before and after the “May Day Holiday”

图 4. “五一”期间用电负荷与其前后一周平均值的百分比分布

3.4. 用电负荷的季节变化

随着春夏秋冬四季的更替,用电负荷也呈现出明显的变化,图 5 中可以看到,用电负荷最低值出现在 1~2 月份,3 月份开始逐渐增加,到 5~6 月份达到最高值,此时海南岛月平均气温也是一年中比较高的时候,气温较高时,各制冷设备被大量投入使用,用电量必然增加,而且夏季也是生产旺季,7 月份以后开始逐渐下降,冬季虽然温度相对北方的温度高,但是没有用于升温取暖,不会造成用电负荷的增长,与北方冬季出现负荷的极大[17]或次峰值[18]有明显的不同。另外,用电负荷最低值多出现在 1、2 月,另一个主要原因是春节长假影响,工厂多停工停产导致用电负荷最低,海口用电负荷全年呈现出单峰结构。海口峰值(6 月份: 625.9 万千瓦)和谷值(1 月份: 397.4 万千瓦)的差值为 228.5 万千瓦。

3.5. 用电负荷的周期变化

为了更清楚的了解海南用电负荷的周期变化规律,首先用日平均资料时间序列减去季节平均值,以消除季节影响,然后进行 Morlet 小波分析,从图 6 中可以看到,海口用电负荷的特征时间尺度为 56 天、83 天和更大时间尺度,这显然是受到大尺度气候变化的影响,从小波变换系数实部图中可以看到 56 天的时间尺度震荡具有明显地向高频时间尺度(较小时间尺度)方向演变的趋势。

4. 用电负荷与气象要素的相关分析

由于节假日对用电负荷的影响较大,而星期一至星期五的变化相对平稳,只有星期六、星期日才具有较明显的下降。为分析用电负荷与气象因子的关系,首先去掉春节(2 月 4~13 日)、“五一”(4 月 29~5 月 4 日)、“国庆”长假(9 月 29~10 月 5 日)有关的序列,去掉双休日。这样,用电负荷资料中与天气无关的部分基本上就被剔除了,但这并不意味着剩下的用电负荷就是只受天气影响的部分,因为这里面还包含其它一些未知因子影响因子。

从表 2 中可以看到,海口逐日电力负荷与日平均气温、日最高气温、日最低气温具有较稳定明显的正相关关系,均超过 0.01 的显著性检验,尤其是春季和秋季有较高的正相关,冬季稍低,说明海口电力负荷与我国其它地区一样,对温度的变化最敏感,温度是其主要的影响因子,因为当温度偏高时,人们就通过开空调、风扇等进行降温,用电负荷增加。夏季降水量、春、夏、冬季的平均相对湿度与电力负

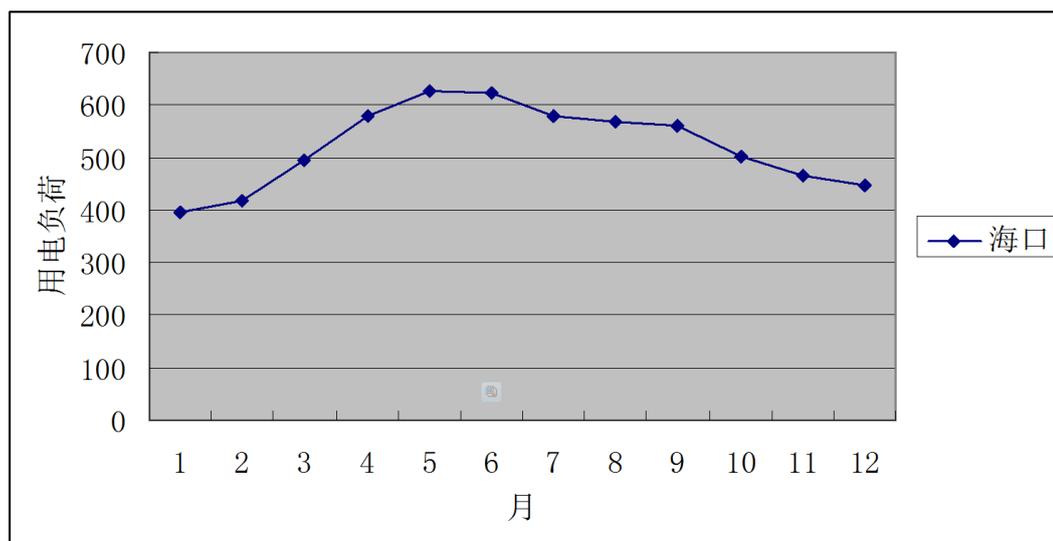


Figure 5. Monthly electricity of electrical load change (unit: 10^4 KW)

图 5. 用电负荷逐月变化(单位: 万千瓦)

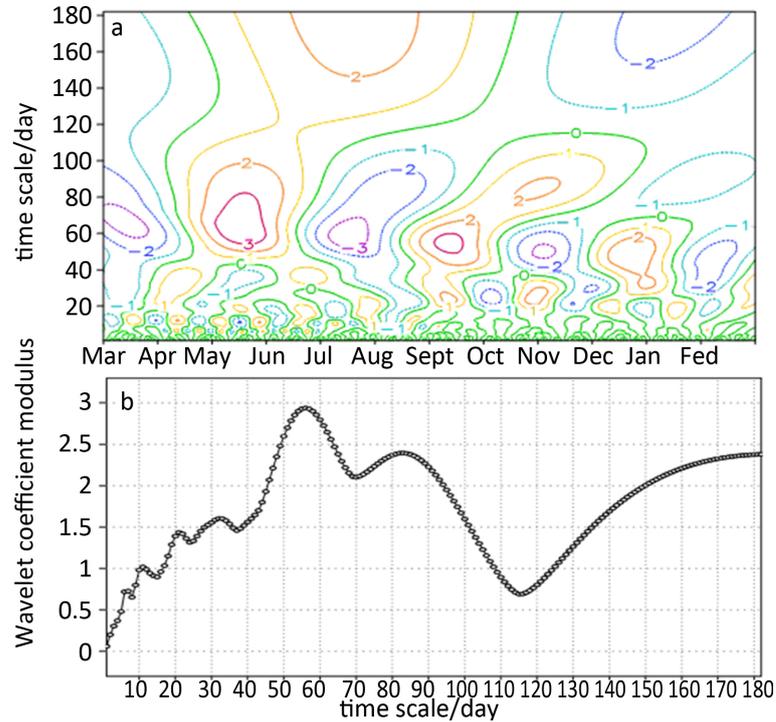


Figure 6. Wavelet analysis of electrical load in Haikou
图 6. 海口用电负荷小波分析

Table 2. The correlation coefficient between electrical load and meteorological factors in Haikou (** indicates through 0.01 significance test)

表 2. 海口用电负荷与气象要素的相关系数(**表示通过 0.01 显著性检验)

	春季	夏季	秋季	冬季
日降水量	0.22	-0.40**	-0.25	-0.07
日最高气温	0.83**	0.38**	0.89**	0.46**
日最低气温	0.88**	0.58**	0.83**	0.47**
日平均气温	0.91**	0.54**	0.88**	0.50**
日平均气压	-0.84**	0.13	-0.6**	0.11
日平均相对湿度	-0.52**	-0.46**	0.26	-0.41**
日最大风速	0.022	-0.23	-0.52**	0.29
日平均风速	-0.07	-0.17	-0.55**	0.26
日平均总云量	-0.054	-0.11	0.27	-0.32**
日平均低云量	-0.37**	-0.43**	-0.21	-0.39**

荷均存在明显负相关、秋季最大风速、平均风速与用电负荷存在明显负相关，说明降水多、湿度和风速大对降温的作用明显，从而导致电力负荷下降，另外，春季和秋季的平均气压与用电量存在明显的负相关，均超过 0.01 的显著性检验，这是因为气压下降时往往伴随闷热天气，气温会较高，冬季的总低云量与用电负荷存在负相关、说明冬季云量增多，用电负荷下降，而春季、夏季低云量则与用电负荷存在正相关，说明云量的多少对用电负荷的影响在各个季节不是一样的。

5. 海南用电负荷的逐步回归预测方程

5.1. 逐步回归方程的建立

考虑到节假日和周末的影响,建立逐步回归方程之前,首先去掉“春节”、“五一节”、“国庆节”长假和周末的影响,用逐步回归方法来建立用电负荷与气象因子之间的回归方程,使用 SPASS 软件来处理,将气象因子日降水量(X1)、日最高气温(X2)、日最低气温(X3)、日平均气温(X4)、日平均气压(X5)、日平均相对湿度(X6)、日最大风速(X7)、日平均风速(X8)、日平均总云量(X9)、日平均低云量(X10)输入软件中,得出各季节的逐步回归方程,用电负荷的方程则可以描述为 $Y = Y_m \times (\text{节假日百分比和周一到周日百分比})$, Y_m 为采用逐步回归方法来建立的逐步回归方程,节假日和周一到周日的百分比参考表 1 和图 2~图 4,从表 3 中可以看到,海口四季用电负荷回归方程所选入的因子最少 1 个(春季),最多 3 个(秋季)。四季所选入的气象因子均有温度因子(X2、X3、X4),即温度是海口用电负荷主要的影响因子。另外,除春季所选入的因子仅为温度外,其余各季还选入其它的因子。方程的复相关系数在 0.629~0.917 之间,夏季的较差,春季和秋季最好。

5.2. 逐步回归方程的拟合

将所选入因子代入各季节的逐步回归方程,得到拟合值(Y_m),再根据表 1 所得到的星期一至星期日百分比值,图 2~图 4 所得到的“春节”、“五一”与“国庆”百分比值,将它们分别乘上对应的 Y_m 值,即可得到考虑节假日及星期一至星期日影响的 Y 值,得到 2008 年拟合效果图。图 7(a)可以看到,拟合值的变化趋势和实况值的变化趋势有较为一致的吻合,除了冬季拟合误差较大外其余季节均拟合得较好,尤其是秋季,由图 7(b)可以看到,通过考虑星期一至星期日,“春节”、“五一”、“国庆”期间用电负荷百分比的变化,拟合值更接近实况,拟合效果有明显的改善,尤其是对“春节”、“国庆”期间的用电负荷的拟合,图 8 为根据回归方程和考虑节假日后对 2009 年用电负荷的预测,可以看到,冬季和春季预测值普遍偏高,但是升降趋势基本都较为吻合,夏季和秋季除了个别时段外,预测值和实况都较为接近,尤其是考虑星期一至星期日电负荷百分比的变化后,对夏季峰值的预测就更接近实况。从表 4

Table 3. Stepwise regression equation between electrical load and meteorological elements in the four seasons of Haikou
表 3. 海口四季用电负荷与气象要素之间的逐步回归方程

季节	逐步回归方程	复相关系数
春季	$Y_m = 21.121X_4 + 61.418$	0.917
夏季	$Y_m = 25.784X_3 - 5.364X_{10} - 16.102$	0.629
秋季	$Y_m = 9.201 X_2 + 11.374 X_3 - 1.517X_6 + 110.739$	0.917
冬季	$Y_m = 13.983 X_4 + 7.193 X_5 - 7904.292$	0.716

Table 4. The error analysis of stepwise regression equation (a) and the fitting of considering the impact of holidays (b) in Haikou

表 4. 海口逐步回归方程(a)及考虑节假日影响的拟合(b)误差分析

	平均相对误差%	平均绝对误差(10^4 KW)	均方根误差(10^4 KW)
拟合 (a)	5.4	27.21	35.81
拟合(b)	4.8	24.13	32.37
预报 (a)	6.4	34.5	41.16
预报(b)	5.6	30.4	37.81

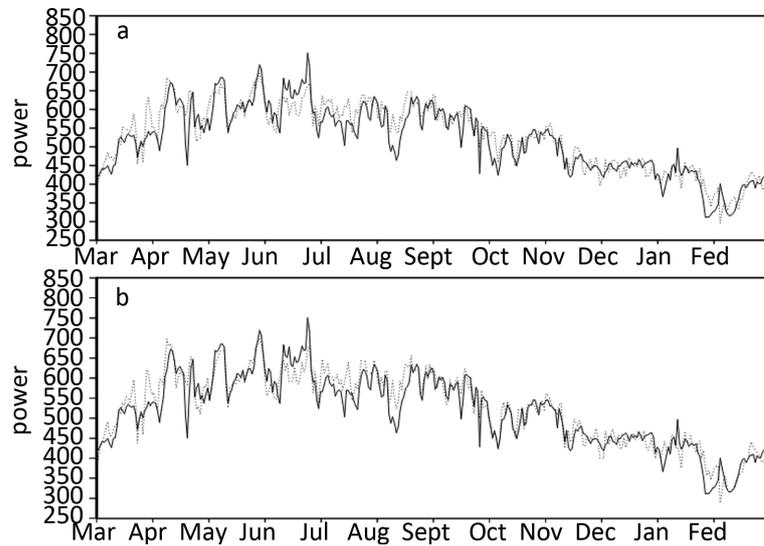


Figure 7. Daily electricity load regression equation (a) fitting of considering the impact of holidays (b) in Haikou. Solid line: Observations, point line: Fitting value. (Unit: 10^4 KW)

图 7. 海口逐日用电负荷逐步回归方程(a)以及考虑节假日影响的拟合(b) 实线：观测值，点线：拟合值。单位：万千瓦

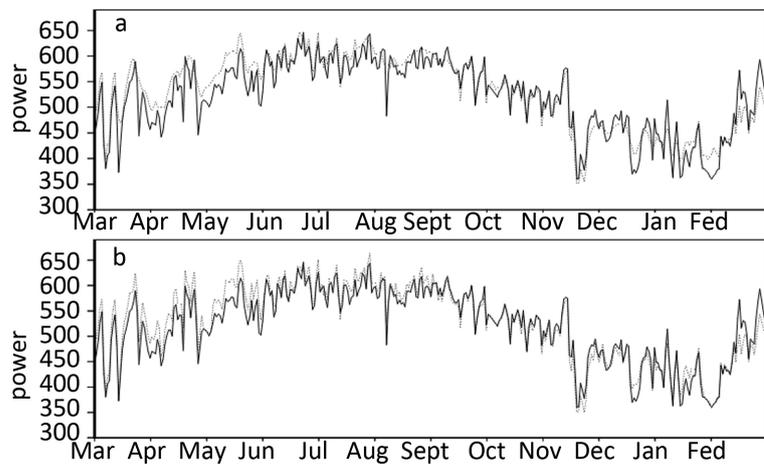


Figure 8. The same with Figure 7, but it is the Haikou daily electricity load forecasting in 2009

图 8. 同图 7，但为对 2009 年海口逐日用电负荷的预测

中的误差分析可以看到，在考虑星期一至星期日，“春节”、“五一”、“国庆”期间用电负荷百分比的变化后，不管是拟合值还是预报值，相对误差、绝对误差和均方根误差都有所减少，所以从上面分析可见，各季节逐步回归方程可以较好地反映用电负荷趋势变化，通过考虑节假日及星期一至星期日用电负荷百分比的变化，使方程的拟合与预测误差明显减小，尤其是对夏季、秋季、“春节”、“国庆”期间的用电负荷的拟合和预报。

6. 结论

本文利用海口 2008 年和 2009 年用电负荷和气象数据，通过对用电负荷自身的变化规律的研究，对各个季节用电负荷与气象因子的相关分析和回归分析，得出结论如下：

(1) 用电负荷的日变化和人们的日常生活有关, 04:00 达到最低值, 最高峰出现在 20:00 左右, 11:00 和 18:00 为次高峰, 用电负荷有明显的周变化, 工作日周一至周五用电负荷偏高, 周五的用电负荷达到最高值, 双休日周六和周日偏低, 周日用电负荷达到最低值。

(2) 海口用电负荷最低值出现在 1~2 月份, 到 5~6 月份达到最高值, 呈现出单峰结构。

(3) 海口用电负荷的特征时间尺度为 56 天、83 天和更大时间尺度, 这显然是受到大尺度气候变化的影响, 56 天的时间尺度震荡具有明显地向高频时间尺度(较小时间尺度)方向演变的趋势。

(4) 海口用电负荷与温度因子具有较稳定明显的正相关关系, 温度是主要的影响因子, 在不同的季节与不同的气象因子还有一定的关系。

(5) 各季节建立的逐步回归方程可以较好地反映用电负荷趋势变化, 通过考虑节假日及星期一至星期日电负荷百分比的变化, 误差明显减小, 尤其是对夏季和秋季、“春节”、“国庆”期间的用电负荷的拟合和预报。

7. 讨论

气象因素是影响用电负荷的重要因素, 研究气象与负荷的关系对当地用电部门的负荷预测工作具有重要意义, 同时也应该注意到, 用电负荷受到诸多因素的影响, 因此在进行实际的负荷预测时还要综合考虑其它的影响因素以及预测人员的经验, 这样才能得到更加合理的结果。由于资料有限, 本文只是以海口用电负荷与气象要素关系研究为例, 在利用气象因子的变化来预测用电负荷这方面做了初步的探索, 今后可以利用更多市县的资料进一步探讨, 另外在不同的时间尺度上还需要做进一步的研究。

基金项目

海南省气象局科技创新项目资助(HN2013MS20)。

参考文献 (References)

- [1] 林小红, 夏丽花, 黄美金, 等. 福州市夏季用电气象等级预测模型初探[J]. 气象科技, 2006, 34(6): 774-777.
- [2] 张小玲, 王迎春. 北京夏季用电量与气温的关系及预报[J]. 气象, 2002, 28(2): 17-20.
- [3] 陈正洪, 洪斌. 华中电网四省日用电量与气温关系的评估[J]. 地理学报, 2000, 55(增刊): 34-37.
- [4] 黄朝迎. 北京地区 1997 年夏季高温及其对供电系统的影响[J]. 气象, 1999, 25(1): 20-24.
- [5] Douglas, M.L.C. and Henry, E.W. (1981) Modeling the Impact of Summer Temperatures on National Electricity Consumption. *Journal of Applied Meteorology*, **20**, 1415-1419.
- [6] Quayle, R.G. and Diaz, H.F. (1980) Heating Degree Day Data Applied to Residential Heating Energy Consumption. *Journal of Applied Meteorology*, **19**, 241-246.
- [7] 严智雄, 陈以洁. 气候对南昌用电需求的影响分析[J]. 气象, 1994, 20(2): 44-46.
- [8] 陈正洪, 魏静. 武汉市供电量及其最大负荷的气象预报方法[J]. 湖北气象, 2000(3): 25-28.
- [9] 孙东霞, 杨建成. 克拉玛依电网用电负荷与气象条件关系的研究[J]. 新疆气象, 2002, 25(6): 9-11.
- [10] 王治华, 扬晓梅, 李扬, 等. 气温与典型季节用电负荷关系的研究[J]. 用电自动化设备, 2002, 22(3): 16-18.
- [11] 林小红, 夏丽花, 黄美金, 等. 福州市夏季用电气象等级预测模型初探[J], 气象科技, 2006, 34(6): 774-777.
- [12] 张远亲, 房云龙, 汤燕冰. 浦东用电负荷特性及与气象条件关系的研究[J]. 科技通报, 2006, 22 (1): 21-27.
- [13] 陆建宇, 王亮, 王强, 等. 华东电网气象负荷特性分析[J]. 华东用电, 2006, 34(11): 38-42.
- [14] 周巍, 陈秋红, 肖晶, 等. 人体舒适度指数对用电负荷的影响[J]. 用电需求侧管理, 2004, 6(3): 54-56.
- [15] 秦海超, 王玮, 周晖. 人体舒适度在短期用电负荷预测中的应用[J]. 用电学报, 2006, 21(2): 143-145.
- [16] 钱卫华, 姚建刚, 龙立波, 等. 基于负荷特性分析的短期负荷预测相似日选择方法[J]. 华中用电, 2007, 20(1): 17-21.
- [17] 蔡新玲. 陕西省日用电量、最大负荷的气象预报模型[J]. 陕西气象, 2004(3): 40-42.
- [18] 胡江林, 陈正洪, 洪斌, 等. 华中电网日负荷与气象因子的关系[J]. 气象, 2002, 28(3):14-18. .

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ccrl@hanspub.org