

江苏电网夏季空调负荷特性挖掘与温度敏感性辨识

史静¹, 周琪², 谈健¹, 杨俊义¹, 李琥¹, 朱磊¹

(1. 国网江苏省电力有限公司经济技术研究院, 江苏 南京 210008;
2. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210024)

摘要:江苏最高调度负荷已超过100 000 MW,夏季空调负荷对于最高负荷具有较高贡献。夏季空调负荷特性对于负荷高峰、电网规划、需求响应等有显著影响。文中首先从江苏实际数据出发,使用基准负荷比较法,选取春秋夏季典型周作为研究对象,对夏季空调负荷进行了深入挖掘,并进一步量化出夏季空调负荷及电量。其次对工作日及休息日的空调负荷分别进行最高温度、最低温度及平均温度的敏感性辨识,得出不同温度类型、不同温度区间内空调负荷与温度之间的关系。最后给出了江苏夏季空调负荷的研究结论,对于后续夏季负荷预测的进一步研究具有重要意义。

关键词:空调负荷;温度;敏感性辨识;负荷特性

中图分类号:TM714

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2018)03-0028-05

0 引言

江苏省经济发达,最高调度负荷已超过1亿千瓦,仅次于广东省。江苏最高负荷一般发生在夏季,夏季空调负荷特性对于负荷高峰、电网规划、需求响应等工作有较大的影响。随着经济的进一步发展以及人们对舒适度要求的进一步提高,夏季负荷中空调负荷的占比日益加大^[1],因此对江苏夏季空调负荷的研究至关重要。

文献[2—5]分别研究了湖南、西北、广东等地的负荷特性,对于负荷的构成及典型负荷日的负荷特性进行了分析。文献[6—7]介绍了张家界、重庆的夏季负荷特性,不同地区的负荷结构差异较大,夏季空调负荷特性差别明显。文献[8—9]研究了江苏夏季空调负荷,但是年代较远,分别为2005年和2006年,随着经济的发展、产业结构的变化,负荷构成有较大变化。文献[10]研究了江苏省无锡市的负荷特性,文献[11—12]研究了江苏全省在春节期间的负荷特性。苏南、苏中、苏北地区经济发展水平不一,用电结构差异较大,某一地区的负荷特性难以代表全省的负荷特性,近年尚未有文献对江苏全省的夏季负荷特性进行研究。

本文以近年江苏实际负荷数据为基础,使用基准负荷比较法,选取春秋夏季典型周作为研究对象,对夏季空调负荷进行了深入研究,量化夏季空调负荷及电量,并分别对工作日及休息日的空调负荷进行与温度的敏感性分析。最后给出了江苏夏

季空调负荷的研究结论,对于后续夏季负荷预测的进一步研究具有重要意义。

1 基准负荷比较法

基准负荷比较法的流程如图1所示。

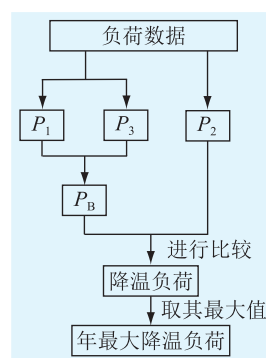


图1 基准负荷比较法

Fig.1 The process of basic load comparison

(1) 选择春季和秋季的典型日;

(2) 设春季典型日负荷曲线(绝对值)为 P_1 ,设秋季典型日负荷曲线为 P_3 ,将春、秋季典型日负荷曲线取平均作为当年的基础负荷曲线:

$$P_B = \frac{1}{2}(P_1 + P_3) \quad (1)$$

(3) 将 P_2 曲线减去基础负荷曲线,即为夏季降温负荷曲线:

$$P = P_2 - P_B \quad (2)$$

(4) 步骤(3)中的最大值即为最大降温负荷;

(5) 对(3)中得到的每一天的降温负荷曲线进行积分得到日空调电量,对所有日求和,得到夏季的空调电量。

收稿日期:2018-01-06;修回日期:2018-02-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71471036)

2 降温负荷及降温电量的计算

2.1 典型日的选取

一般认为4月或10月温度低于20℃的某天不含空调负荷,将其作为春季或秋季典型日,该方法选取到的典型日具有较大的随机性,对降温负荷及电量的分析带来较大偏差。本文采用平均温度作为温度指标,定量研究其与日最大负荷和日电量的关系,从而为典型日的选取提供依据。

图2、图3中均呈现二次曲线的形状,在曲线对称轴左边,日最大负荷与日电量为负相关关系;在对称轴右边,日最大负荷与日电量为正相关关系。二次拟合曲线的对称轴处的温度认为不含空调负荷。2015—2016年日最大负荷曲线对称轴为13.6℃,日电量曲线对称轴为13.0℃。通过散点图及拟合曲线的对称轴可知,温度在14℃左右时可以认为没有空调负荷。

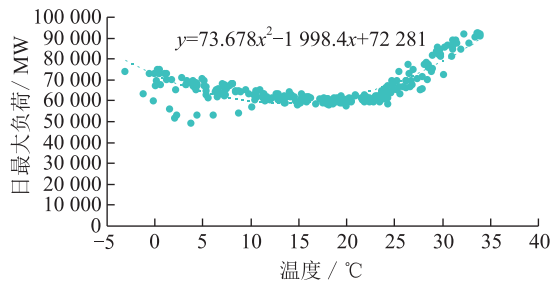


图2 2015—2016年日平均温度与最高负荷散点图
Fig.2 The scatter plot of maximum load and average temperature in 2005 and 2006 year

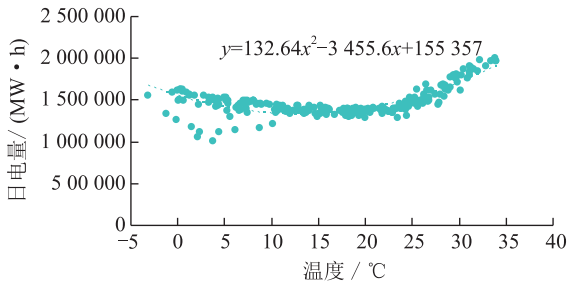


图3 2015—2016年日平均温度与电量散点图
Fig.3 The scatter plot of daily power and average temperature in 2005 and 2006 year

为减少随机性,增加分析的准确性,本文选择日平均温度为14℃左右的典型周负荷曲线的平均值作为典型日负荷曲线。以2016年为例,其春秋季节典型周如表1所示。

2.2 降温负荷及降温电量的计算

据图1的计算方法流程,计算出2011—2016年降温负荷(电量),如图4、图5所示。

2011—2016年,江苏降温负荷总量增长较快,

表1 2016年典型周
Tab.1 The typical weeks of 2016

名称	工作日	休息日
春季典型周	04-04—04-08	04-02—04-03
秋季典型周	10-24—10-28	10-29—10-30

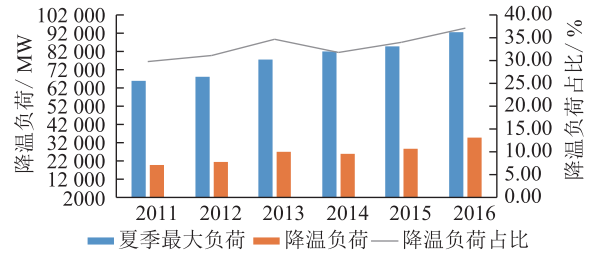


图4 2011—2016年降温负荷
Fig.4 The cooling load in 2011—2016

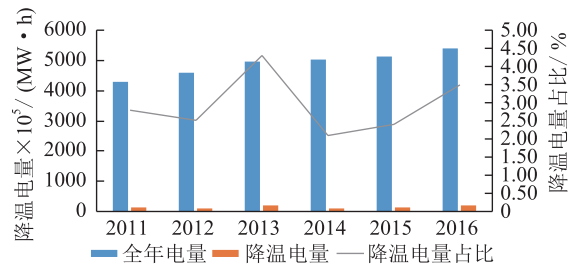


图5 2011—2016降温电量
Fig.5 The cooling power in 2011—2016

年均增长率达到11.9%,高于最高负荷增长速度;降温负荷占最高负荷比例基本在30%以上,除2013、2016年因极端酷热天气造成降温负荷增长较快外,其余年份基本处于缓慢增长趋势中。

江苏降温电量占全年电量比例基本在2.5%左右,受2016年的两轮持续晴热高温天气影响,降温电量年均增长率为9.9%,高于全年电量增长率4.8%。

3 降温负荷与温度之间关系分析

3.1 工作日温度敏感性分析

3.1.1 整体分析

对2016年6—8月降温负荷与气温进行拟合,结果如图6—8所示。从图6—8可以看出,对于工作日,其降温负荷与平均温度、最高温度、最低温度的线性拟合关系如下。

降温负荷与平均温度关系:25~34℃之间, $y = 3132.3x - 59170$ (MW),即最低气温每升高1℃,降温负荷增加3132 MW;

降温负荷与最高温度关系:25~39℃之间, $y = 2640.4x - 56089$ (MW),即最高气温每升高1℃,降温负荷增加2640 MW;

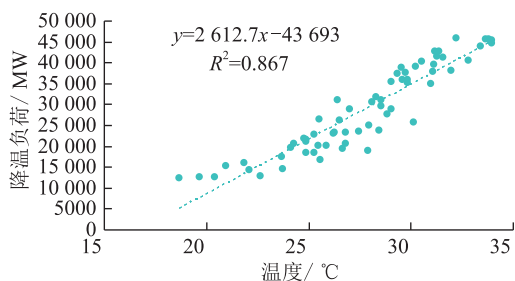


图6 工作日降温负荷与平均温度关系
Fig.6 The relation of cooling load and average temperature

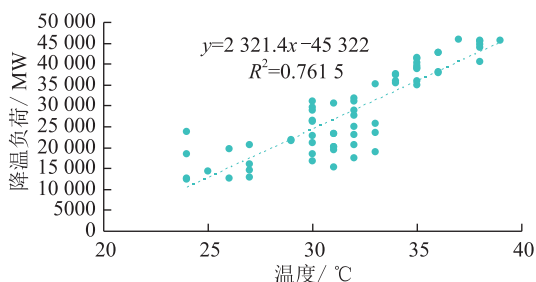


图7 工作日降温负荷与最高温度关系
Fig.7 The relation of cooling load and maximum temperature

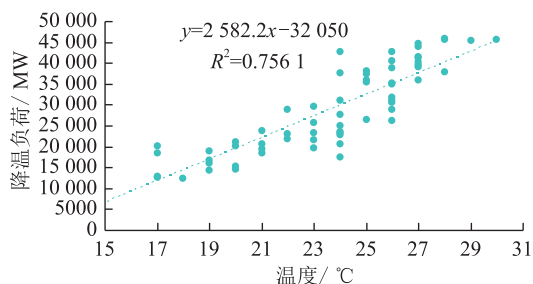


图8 6—8月工作日降温负荷与最低温度关系
Fig.8 The relation of cooling load and lowest temperature of 6—8 month workday

由图6—8降温负荷与不同类型温度的拟合图中可以看出,降温负荷与最高温度、最低温度的相关性仅为0.76、0.75,拟合度较低。而降温负荷与平均温度的相关性为0.87。可见,相对于最低气温与最高气温,平均气温对降温负荷的影响程度更大。

3.1.2 分段拟合分析

为进一步明晰降温负荷与温度的关系,对2016年降温负荷与平均温度、最高温度、最低温度进行分段拟合分析,结果如下。

(1) 降温负荷与平均温度。不同温度区间时,降温负荷与平均温度的拟合关系如表2所示。

温度在25~27℃时,温度每上升1℃,最大负荷增加1926 MW;温度在27~31℃时,温度每上升1℃,最大负荷增加3939 MW;温度在31~35℃时,温度每上升1℃,最大负荷增加1669 MW。

表2 不同区间平均温度与降温负荷辨识系数

Tab.2 The identification factor between the average temperature and the cooling load in different intervals

温度/℃	平均温度与降温负荷辨识系数
25~27	192.6
27~31	393.9
31~35	166.9

(2) 降温负荷与最高温度。降温负荷与最高温度不具有较强的线性关系。连续高温时,相同的温度下用电量却有较大的差别。本文中的分析结果与文献[13—19]中关于夏季最高温度对于最高负荷的影响一致,夏季持续高温天气造成的积温效应,导致负荷出现一定程度的非常规增长。

(3) 降温负荷与最低温度。不同温度区间时,降温负荷与最低温度的拟合关系如表3所示。

表3 分区间最低温度与降温负荷辨识系数

Tab.3 The identification factor between the lowest temperature and the cooling load in different intervals

温度/℃	最低温度与降温负荷辨识系数
14~21	108.6
22~26	306.3
27~30	187.7

温度在14~21℃时,温度每上升1℃,最大负荷增加1086 MW;温度在22~26℃时,温度每上升1℃,最大负荷增加3063 MW;温度在27~30℃时,温度每上升1℃,最大负荷增加1877 MW。

3.2 节假日温度敏感性分析

采用3.1中的方法,对2016年6—8月节假日降温负荷与气温进行关联分析,结果如图9—11所示。

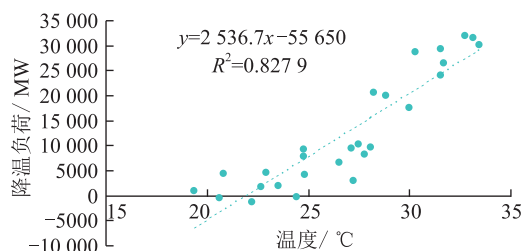


图9 6—8月节假日降温负荷与平均温度关系
Fig.9 The relation of cooling load and average temperature of 6—8 month holiday

降温负荷与平均温度关系:19~34℃之间, $y=2 536.7x-55 650$ (MW),即最低气温每升高1℃,降温负荷增加2537 MW。

降温负荷与最高温度关系:25~38℃之间, $y=2 325.8x-60 262$ (MW),即最高气温每升高1℃,降

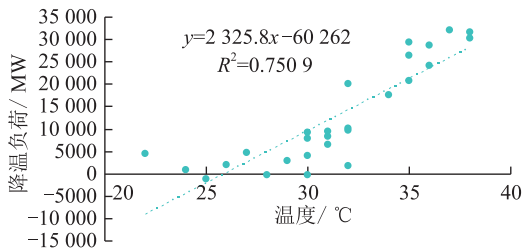


图 10 6—8 月节假日降温负荷与最高温度关系
Fig.10 The relation of cooling load and highest temperature of 6—8 month holiday

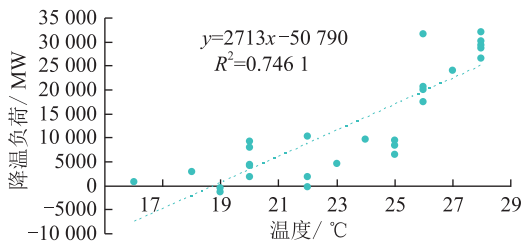


图 11 6—8 月节假日降温负荷与最低温度关系
Fig.11 The relation of cooling load minimum temperature of 6—8 month holiday

温负荷增加 2326 MW。

降温负荷与最低温度关系: 16~28 °C 之间, $y = 2713x - 50790$ (MW), 即最低气温每升高 1 °C, 降温负荷增加 2710 MW。可见, 相对平均气温与最高气温, 最低气温对降温负荷的影响程度更大。

可见, 相对平均气温与最高气温, 降温负荷受平均气温的影响更敏感。

4 结语

江苏降温负荷总量增长较快, 高于最高负荷增长速度, 降温负荷占最高负荷比例基本在 30% 以上。随着经济社会的发展, 人们对舒适度要求的提高, 降温负荷比例将进一步上升。

江苏降温电量占全年电量比例基本在 2.5% 左右, 受 2016 年的两轮持续晴热高温天气影响, 降温电量年均增长率为 9.9%, 高于全年电量增长率 4.8%。

通过降温负荷与温度的敏感性分析发现, 相较于最高温度、最低温度, 平均温度对负荷的影响程度最大。

参考文献:

[1] 张 贲, 史沛然, 蒋 超. 气象因素对京津唐电网夏季负荷特性影响分析[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(12): 140-144.
ZHANG Ben, SHI Peiran, JIANG chao. Impact of meteorological factors on summer load characteristics of Beijing-Tianjin-Tangshan power grid[J]. Power System Protection and

Control, 2013, 33(12): 140-144.

- [2] 廖 峰, 徐聪颖, 姚建刚, 等. 常德地区负荷特性及其影响因素分析[J]. 电网技术, 2012, 36(7): 117-125.
LIAO Feng, XU Congying, YAO Jiangang, et al. Load characteristics of Changde region and analysis on its influencing factors [J]. Power System Technology, 2012, 36(7): 117-125.
- [3] 魏 磊, 张 琳, 姜 宁, 等. 西北地区电网负荷特性研究[J]. 电网与清洁能源, 2010, 26(7): 57-62.
WEI Lei, ZHANG Lin, JIANG Ning, et al. Analysis of load characteristics for Northwest China power grid [J]. Power System and Clean Energy, 2010, 26(7): 57-62.
- [4] 邹嘉嘉, 左郑敏. 广东电网负荷特性典型日选取研究[J]. 电力科学与技术学报, 2017, 32(1): 164-170.
HUAN Jiajia, ZUO Zhengmin. Resaerch on typical day selection method of Guangdong power grid load characteristics [J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2017, 32(1): 164-170.
- [5] 贺 辉. “十二·五”期间湖南电力负荷特性分析及其相关建议[J]. 电力需求侧管理, 2017, 19(3): 39-42.
HE Hui. Analysis on load characteristics of Hunan power grid in 12th five year plan and its suggestions[J]. Power Demand Side Management, 2017, 19(3): 39-42.
- [6] 熊龙珠, 向 伟, 秦月桃. 张家界地区电网夏季空调负荷特性分析[J]. 湖南电力, 2016, 36(6): 64-68, 71.
XIONG Longzhu, XIANG Wei, QIN Yuetao. Characteristics analysis of air-conditioning load about Zhangjiajie grid in summer [J]. Hunan Electric Power, 2016, 36(6): 64-68, 71.
- [7] 石 峰, 吴 笛, 李宝珠. 重庆市夏季空调负荷分析及有效调节空调负荷的措施建议[J]. 电力技术经济, 2008, 20(1): 42-46.
SHI Feng, WU Di, LI Baozhu. Analysis of air-conditioning load in summer and suggestion for effective measures of air-conditioning load in Chongqing[J]. Hunan Electric Power, 2008, 20(1): 42-46.
- [8] 宋宏坤, 唐国庆, 卢 毅, 等. 江苏省夏季空调负荷分析及需求侧管理措施的削峰效果测算[J]. 电网技术, 2006, 30(17): 88-91.
SONG Hongkun, TANG Guoqing, LU Yi, et al. Analysis on summer air-conditioning loads composition in Jiangsu Province and estimation of peak load shifting effect by DSM measures [J]. Power System Technology, 2006, 30(17): 88-91.
- [9] 李志祥, 仇新宇, 翟晶晶, 等. 江苏省夏季空调负荷调查分析[J]. 华东电力, 2005, 33(11): 31-33.
LI Zhixiang, QIU Xinyu, ZHAI Jingjing, et al. Investigation on summer air conditioning loads of Jiangsu [J]. East China Electric Power, 2005, 33(11): 31-33.
- [10] 张春明. 无锡市电力负荷特性及 DSM 分析[D]. 南京: 东南大学, 2006.
ZHANG Chunming. Power load characteristics and DSM analysis in Wuxi[D]. Nanjing: Southeast University, 2006.
- [11] 杨俊义, 周 琪, 赵宏大, 等. 春节假期对江苏电网负荷及电量影响研究[J]. 电力需求侧管理, 2015, 17(6): 19-22.

- YANG Junyi, ZHOU Qi, ZHAO Hongda, et al. Affection study on load and electricity consumption of Jiangsu power grid during Spring Festival[J]. Power Demand Side Management, 2015, 17(6):19-22.
- [12] 谈康. 江苏电网负荷特性研究及有序用电管理措施探讨[D]. 南京:东南大学, 2015.
- TAN Kang. Study on load characteristics of Jiangsu power network and the research on the management measures for the orderly use of electricity [D]. Nanjing: Southeast University, 2015.
- [13] 黎灿兵, 杨朋, 刘玮, 等. 短期负荷预测中考虑夏季气温累积效应的方法[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(9):96-99.
- LI Canbing, YANG Peng, LIU Wei, et al. An analysis of accumulative effect of temperature in short-term load forecasting [J]. Automation of Electric Power System, 2009, 33(9):96-99.
- [14] 高赐威, 李倩玉, 苏卫华, 等. 短期负荷预测中考虑积温效应的温度修正模型研究[J]. 电工技术学报, 2015, 30(4):242-248.
- GAO Ciwei, LI Qianyu, SU Weihua, et al. Temperature correction model research considering temperature cumulative effect in short-term load forecasting[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(4):242-248.
- [15] 彭堃, 陈星莺, 李斌, 等. 气象环境对电网负荷的影响因素分析[J]. 电力需求侧管理, 2016, 18(1):8-13.
- PENG Kun, CHEN Xingying, LI Bin, et al. Analysis of the impact factors of meteorological environment on power load. Power Demand Side Management, 2016, 18(1):8-13.
- [16] 贺琛, 王彦波, 王云焯. 基于电力通信传输网大数据的温度监测系统研究[J]. 浙江电力, 2016, 35(7):65-68.
- HE Chen, WANG Yanbo, WANG Yunye. Research on temperature monitoring system based on big data of power communication transmission system[J]. Zhejiang Electric Power, 2016, 35(7):65-68.
- [17] 肖伟, 罗滇生, 董雪. 积温效应分析及日最大负荷预测中的应用[J]. 微机计算机信息, 2009, 25(1-1):262-264.
- XIAO Wei, LUO Diansheng, DONG Xue. Analysis of accumulated temperature effect and application in forecasting[J]. Microcomputer Information, 2009, 25(1-1):262-264.
- [18] 方鸽飞, 胡长洪, 郑奕辉, 等. 考虑夏季气象因素的短期负荷预测方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(22):100-104.
- FANG Gefei, HU Changhong, ZHENG Yihui, et al. Study on the method of short-term load forecasting considering summer weather factors [J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(22):100-104.
- [19] 张伟. 基于人体舒适度指数的配电网短期负荷预测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(9):74-79.
- ZHANG Wei. A distribution short-term load forecasting based on human comfort index [J]. Power System Protecting and Control, 2013, 41(9):74-79.

作者简介:



史静

史静(1990—),女,硕士,工程师,从事电力市场、负荷预测、能源经济等相关工作(E-mail:shijing0119@126.com);

周琪(1968—),女,硕士,从事生产经营计划、负荷预测等相关工作(E-mail:zhouqi@js.sgcc.com.cn);

谈健(1974—),男,硕士,高级工程师,从事能源经济、综合规划、负荷预测等工作。

The Load Excavation and Temperature Sensitivity Identification of Air Conditioning in Summer of Jiangsu Power Grid

SHI Jing¹, ZHOU Qi², TAN Jian¹, YANG Junyi¹, LI Hu¹, ZHU Lei¹

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Economic Research Institute, Nanjing 210008, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210024, China)

Abstract: Jiangsu's highest dispatch load is greater than 100 million kilowatts, and summer air conditioning load has a higher contribution to the highest load. Summer air-conditioning load characteristics have a great impact for the load peak, power grid planning, demand response and so on. Firstly, starting from the actual data of Jiangsu, using the benchmark load comparison method, the paper selects the typical spring and summer week as the research object, for the summer air conditioning load in-depth mining, and further quantifying the summer air conditioning load and electricity. Secondly, the sensitivity of the air conditioning load to the maximum temperature, the lowest temperature and the average temperature are respectively studied in the working day and the rest day, and the relationship between the air conditioning load and the temperature in different temperature types and different temperature ranges is obtained. Finally, the conclusion of the study on the summer air-conditioning load in Jiangsu is given, which is of great significance for the further study of the follow-up summer load forecast.

Key words: air-conditioning load; temperature; sensitivity identification; load characteristics

(编辑 钱悦)