

文章编号:1000-582X(2006)12-0056-05

综合气象指数对电力负荷的影响分析*

杜彦巍¹, 林莉¹, 牟道槐¹, 何潇²

(1. 重庆大学电气工程学院 高电压与电工新技术教育部重点实验室, 重庆 400030;

2. 重庆电力公司 长寿供电局, 重庆 401220)

摘要:引入了生物气象学中的实感温度、温湿指数、寒湿指数、舒适度指数4个指标来综合衡量气象因素对电力负荷的影响. 以重庆市为例, 分析了各综合指数与负荷的关系, 并绘制出观测年内的电力负荷与综合指数的关系曲线. 分析表明: 负荷-舒适度指数比值曲线在整个坐标轴范围内比值很稳定, 说明舒适度指数相对于温度能更好地反映电力负荷的变化. 同时还定性分析了降雨量对电力负荷的影响.

关键词:电力负荷; 实感温度; 温湿指数; 寒湿指数; 舒适度指数

中图分类号:TM714

文献标识码:A

负荷的变化在一定程度上具有周期性, 但同时也伴随着一定的波动. 一般而言, 负荷的变化受多种因素制约, 并且这些因素对负荷变化规律的影响互不相同, 从而导致了负荷变化的波动性. 根据其表现方式, 可以将负荷的外在特性分为宏观特性与微观特性两类. 对负荷具有长期效应的影响因素被称为宏观影响因素, 它对负荷的影响表现为负荷变化的长期趋势性. 人为因素对负荷的影响一般具有长期效应, 例如经济因素就是一种典型的宏观影响因素. 负荷外在微观特性是由具有短期效应的影响因素引起的, 自然因素对负荷的影响一般具有短期效应, 表现为比较相邻日的负荷时, 负荷具有相对波动性. 典型的微观影响因素有温度、湿度、风力、降雨量、日照等等. 研究表明, 气象因素是电力负荷时间序列混沌特性的重要成因之一.

由于电力负荷具有混沌特性, 而混沌是介于确定性与随机性之间的一种行为, 因此, 混沌运动长期是不可预测的. 然而, 由于混沌行为中奇怪吸引子的存在, 使得短期预测是可行的^[1-2]. 在电力短期负荷预测模型及方法的研究中, 不少模型考虑到了天气对电力负荷的影响. 这些模型大都只使用温度这个单一的气象因素, 仅有个别文献考虑了湿度的影响.

事实上气象因素与负荷变化之间是以人为纽带的. 具体而言, 气象因素对负荷的影响是通过改变人体对环境的舒适度感觉, 从而影响人的行为而实现的.

温度当然是最重要的一个指标, 但这并不全面, 湿度、风力等因素也会对人体舒适度产生很大影响. 所以, 在负荷预测中仅仅考虑温度指标不够全面和准确^[3-5]. 在诸多因素中, 气温、湿度及风力这3个气象要素对人体舒适度的影响最为明显, 因此成为影响电力负荷短期波动的主要因素. 笔者就单一指数和同时反应这3个因素的实感温度、温湿指数、寒湿指数、舒适度指数等4个综合指数对电力负荷的影响进行了对比分析.

1 综合气象指数对电力负荷的影响

1.1 实感温度对电力负荷的影响

实感温度^[6-8] (Effective Temperature) 是由 Houghten 和 Yagtoou 提出来的, 它是人体在不同气温、湿度和风速条件下所产生的热感觉指标.

实感温度以静止饱和的大气(风速=0时, 相对湿度=100%)条件下使人产生舒适的温度来代表不同风速、不同相对湿度、不同气温使人产生的同样感觉. 例如下述3种情况所说的感觉都相当于实感气温 17.7℃.

1) 气温 17.7℃, 相对湿度 100%, 风速 0;

2) 气温 22.4℃, 相对湿度 75%, 风速 0.5 m/s;

3) 气温 25℃, 相对湿度 20%, 风速 2.5 m/s.

实感温度的计算公式为^[8]:

* 收稿日期:2006-08-11

作者简介:杜彦巍(1980-),男,黑龙江齐齐哈尔人,重庆大学硕士研究生,主要从事电力系统运行控制与分析计算方面的研究.

$$T_e = 37 - \frac{(37 - T_a)}{[0.68 - 0.14R_h + 1/(1.76 + 1.4V^{0.75})] - 0.29T_a(1 - R_h)}, \quad (1)$$

式中 T_e 、 T_a 、 R_h 、 V 分别是实感温度(°C)、气温(°C)、相对湿度(%)和风速(m/s)。

对式(1)进行变换,可得到:

$$T_e = 37 - Q_1/Q_2 - T_r, \quad (2)$$

$$Q_1 = \Delta T(1.76 + 1.4V^{0.75}), \quad (3)$$

$$Q_2 = (0.68 - 0.14R_h)(1.76 + 1.4V^{0.75}) + 1, \quad (4)$$

$$T_r = 0.29T_a(1 - R_h), \quad (5)$$

其中 $\Delta T = (37 - T_a)$ 是体温与气温的差值; Q_1 为温度变量与风速的乘积项,反映风速在不同温度下对热度的影响; Q_2 反映风速在相对湿度的影响下对热度的作用; T_r 反映的是温度在湿度的影响下对热度的作用。单独分析 Q_1 项发现,当 $T_a < 37$ °C 时风速 V 增大使 T_e 值减小,当 > 37 °C 时 T_e 值随风速 V 增大;单独分析 Q_2 时可看出,风速 V 与 T_e 值成正比;由式(5)可得,湿度的增大将使 T_e 值增大。综合考虑所有因素时,情况则略有不同:1) 风速增大使实感温度降低,但随着气温升高,风速对实感温度的影响越来越小,当气温超过 37 °C 时,风速增大反而使实感温度升高。2) 湿度对实感温度的影响比较复杂,通过计算发现:在风速一定的情况下,气温较高时湿度增加使实感温度升高;而气温较低时湿度增加则使实感温度降低。例如 $V = 3$ m/s 时,15 ~ 17 °C 是气温的临界值,当气温大于 17 °C 时,相对湿度的增加使实感温度升高;当气温小于 15 °C 时,湿度的增加使实感温度降低。从以上分析可以看出,实感温度这一指标基本上反映了实际情况,并且由于它使用的参数来源于气象台日常天气预报,故计算方便。

1.2 温湿指数对电力负荷的影响

温湿指数^[9] (Temperature Humidity Index, THI) 是由 Tom 提出的,这里引用国家气候中心提出的温湿指数计算式^[8,10]:

$$E_T = T_d - 0.55(1 - R_d)(58 - T_d), \quad (6)$$

式中 E_T 为温湿指数,单位为°C; T_d 为 14 时的温度; R_d 为 14 时相对湿度; $E_T < 18.9$ 可看作由冷应力引起的不舒适指标; $E_T > 25.6$ 为由热应力引起的不舒适指标。

1.3 寒湿指数对电力负荷的影响

南方冬季气候属于大陆性季风气候,不像北方那么干燥,有时寒潮会带来连续性雨雪天气,湿度大,甚至近于饱和,尽管气温不低,但却给人一种阴冷的感觉,即所谓的湿寒。所以,在南方衡量寒冷程度时,除了

考虑气温、风速两种指标,还应考虑湿度作用。适用于南方的寒湿指数(Chillness Humidity Index, CHI) E_c ^[5,8] 计算公式为:

$$E_c = (33 - T_a)(3.3\sqrt{V} - V/3 + 20)e^{0.0051R_h - 401}. \quad (7)$$

公式(7)不适用于夏季,在南方划分夏季的一般标准是平均温度稳定在 22 °C 以上,由于进入夏季仍有低于 22 °C 的日期,经统计分析日平均温度小于 20 °C 为公式适用期。

1.4 舒适度指数对电力负荷的影响

舒适度指数^[5,8] (Comfort Index, CI) 度量温度、湿度、风等气象要素对人体的综合作用,表征人体在大气环境中舒适与否。

舒适度指数 k 的算式为:

$$k = 1.8T_a - 0.55(1.8T_a - 26)(1 - R_h) - 3.2\sqrt{V} + 3.2. \quad (8)$$

2 实例分析

取重庆市江北区 2003 年 8 月 1 日至 2004 年 7 月 31 日每天的温度、相对湿度、风力来计算以上各项综合指数。为了分析各综合指数与负荷的关系,绘制了观测年内的电力负荷与综合指数的关系曲线。

2.1 实感温度及温度与电力负荷的关系比较

实感温度及温度与电力负荷的关系如图 1 所示。

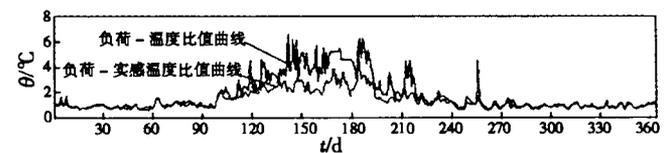


图 1 电力负荷与温度及实感温度比值曲线的对比

从图 1 中可以看出如下特点:

1) 两比值曲线在两端的值明显低于中间段,即 0 - 90 和 270 - 360 区间(对应于 5、6、7、8、9、10 月)对应的比值明显低于 90 - 270 区间(即 11、12、1、2、3、4 月)的比值,这说明在夏季电力负荷受天气因素的影响比冬季大,与冬季相比,夏季负荷与气象因素的关系紧密得多。

2) 在 90 - 270 区间(即 11、12、1、2、3、4 月),负荷 - 实感温度比值曲线明显低于负荷 - 温度比值曲线,表明了重庆冬季实感温度对负荷变化的跟踪性能明显强于温度,实感温度与负荷之间的关系比温度与负荷之间的关系更紧密。

3) 在 0 - 90 和 270 - 360 区间(即 5、6、7、8、9、10 月),两比值曲线的变化趋势及值的大小都很相近,

实感温度比值曲线较温度比值曲线略低,表明了重庆夏季实感温度与温度和负荷的紧密程度很接近,实感温度与负荷的关系略为紧密一些。

重庆的气候夏季炎热而冬季不太冷,夏季制冷负荷占的比重大,因而和天气的关系紧密,而冬季由于不太冷,取暖负荷很小,因此和天气的关系较弱,反映在曲线的第1个特点上.重庆冬天湿度很大,素有“雾都”之称,比如从2003年11月到2004年4月,重庆平均湿度是83.317%,而期间平均风速为2.5367 m/s,平均气温11.2℃,在这种情况下,皮肤温度大约会下降10℃以上,人体对冷的感觉比实际温度的要低得多,也就是说气温不能真实反映人体的冷感,而实感温度指标有效地考虑了湿度及风速的影响,对人体感受的反映比气温准确,因而对电力负荷中受气象影响的部分民用负荷的变动反映更准确,表现为曲线的第2个特点.夏天重庆气温很高,比如2003年8月的平均气温为30.3℃,个别的日最高气温达到40℃,平均湿度低于70%,平均风力2.6814 m/s,这种情况下湿度及风力的大小对人体对热的感觉贡献不大,温度占了主导地位,加上夏季重庆民用负荷占总负荷的比重较大,因而实感温度及气温对负荷变动的反映都很准确,虽实感温度略胜一筹,但差别不大,体现为曲线的第3个特点.

2.2 温湿指数及温度与电力负荷的关系比较

从图2可以看出,负荷-温湿指数比值曲线与负荷-实感温度比值曲线具有相同的总体特征:冬季对负荷的跟随性大大优于气温,夏季对负荷的跟随性与气温相当.与图3对比还可发现,温湿指数从3月下旬至11月中旬(对应于坐标230-364,0-105)对负荷的跟随性不如温度和实感温度,而在11月中下旬至3月上旬(坐标110-220),跟随性明显较温度强,比实感温度也略为强些.

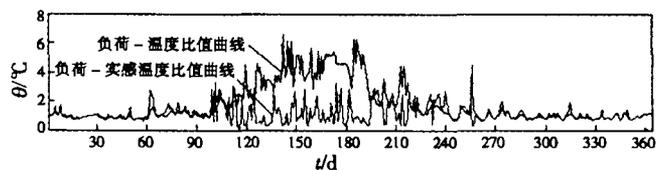


图2 电力负荷与温度及温湿指数比值曲线的对比

在温湿指数和实感温度中都考虑了湿度对人体冷暖感觉的作用,因而总体看来与电力负荷的关系比温度紧密,在冷天特别明显.这也说明了在重庆冬季湿度对人体冷暖感觉的贡献很大,强于风力;而在夏季,由于实感温度和温湿指数相比多考虑了风力因素,对电力负荷的跟随性更强,说明了在重庆的夏季,风力对人体冷暖感觉的贡献强于湿度.

2.3 寒湿指数及温度与电力负荷的关系比较

寒湿指数及温度与电力负荷的关系见图3,由于寒湿指数只适用于平均温度小于20℃的环境,所以图3中与夏季相对应的曲线两端波动很大,属于公式的不适用范围.对于公式适用的冬季,在图4中将曲线的中间段放大.

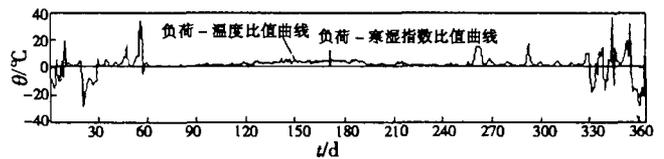


图3 电力负荷与温度及寒湿指数比值曲线的对比

由图4可知:负荷-寒湿指数比值曲线在坐标100-240区间(2003年11月7日至2004年3月27日)非常平稳(这段时间对应的平均温度只有2003年12月6日大于20℃,为21.7℃,其余日期均小于20℃),说明在重庆的冬季,由于寒湿指数充分考虑了湿度和风力的影响,并且对湿度和风力的影响进行了恰当的拟合,所以能很好地反映电力负荷的变化.

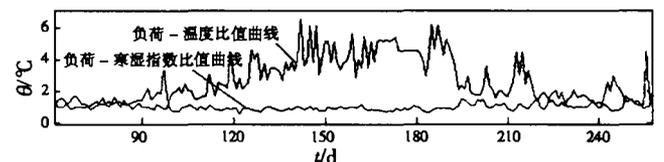


图4 冬季负荷与温度及寒湿指数比值曲线的对比

2.4 舒适度及温度与电力负荷的关系比较

由舒适度及温度与电力负荷的关系图可见:负荷-舒适度指数比值曲线在整个坐标轴范围内都很平滑,且比值稳定,说明舒适度指数对电力负荷的跟随性很好.曲线不仅在冬季范围(90-270)明显低于负荷-温度比值曲线,在曲线两端对应的夏季(0-90和270-360区间)也是如此,这说明舒适度指数在对电力负荷变化的反映明显强于温度指标.图5也具有图1和图2的总体特点,即冬季指标对负荷的跟随性能弱于夏季,其原因与上面的分析类似,在此不再赘述.

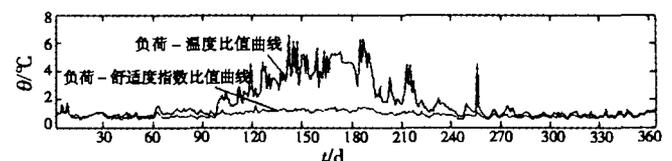


图5 电力负荷与温度及舒适度指数比值曲线的对比

3 电力负荷与降雨量的关系

上面分析了各综合指数对负荷预测的影响,而降雨量对电力负荷的变化也有着不可忽视的作用.但由于降雨量与负荷变化的关系复杂,难以针对降雨量对负荷的影响程度进行详尽的定量分析,故只能通过掌

握的气象及负荷数据,对负荷与降雨量的关系进行定性分析。

图6是重庆江北区2004年4月11日至4月25日两周负荷的变化情况。从图中可以看出,降雨对降雨后几天内的负荷均有所影响,图中4月13日和4月14日分别降水28mm和18mm,其后从4月15日至4月18日的负荷均受其影响而有所降低。

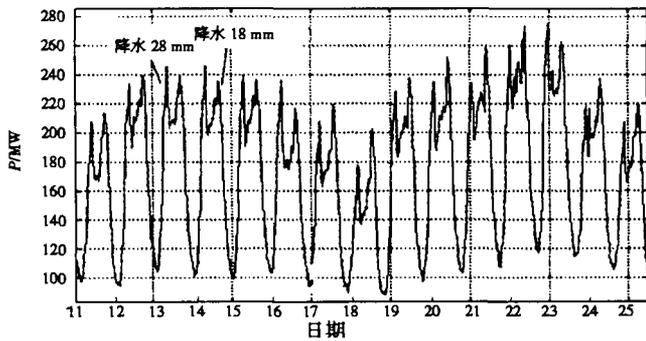


图6 降水对电力负荷的影响

与第2周对应日的负荷变化情况相比较可以看出,4月22日至4月25日的负荷在没有降水的情况下有所回升,4月25日的负荷又回升到了与4月11日负荷相当的水平;同为周日,4月18日的负荷因受降水的影响而明显低于4月11日及4月25日。通过大量的观测,发现降雨量在一定程度上直接影响到随后几天内的负荷情况。经统计,降雨量与影响天数的关系如表1所示。

表1 降雨量对负荷的影响天数统计

降雨量/mm	影响天数
<4	0
≥4 或 <9	1
≥9 或 <20	2
≥20 或 <30	3
≥30 或 <40	4
≥40	5

4 结论

笔者引入了实感温度、温湿指数、寒湿指数、舒适度指数4个气象综合指数来评价气象对短期电力负荷的影响,以重庆市江北区为例,分析了各综合指数与负

荷的关系,并绘制出观测年内的电力负荷与综合指数的关系曲线。

1)通过对负荷与各综合指数及负荷与气温关系的比较可以看出,利用各综合指数评估气象因素对电力负荷的影响效果明显优于纯温度指标。

2)实例分析:实感温度在冬季的跟踪性明显强于温度,而夏季也比温度对负荷变化的反映好;温湿指数从3月下旬至11月中旬,对负荷的跟随性不如温度和实感温度,而在11月中、下旬至3月上旬,跟随性比温度强,比实感温度也略为强些;寒湿指数在夏季相对应的曲线两端波动很大,属于公式的不适用范围,而冬季可以很好地反映负荷变化;舒适度在几个综合指数中对负荷变化的反映最明显,冬季指标对负荷的跟随性能弱于夏季。

3)降雨量对负荷的变化也起着不可忽视的作用,通过大量的观测与实验分析,得出降雨对负荷影响天数的统计表。

参考文献:

- [1] 刘延柱,陈立群. 非线性动力学[M]. 上海:上海交通大学出版社,2000.
- [2] KANTZ H, SCHREIBER T. Nonlinear Time Series Analysis[M]. London: Cambridge University Press, 1996.
- [3] 谢宏,陈志业,牛东晓. 短期电力负荷预测的数据主成分分析[J]. 电网技术, 2000, 24(1): 43-46.
- [4] 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): 49-52.
- [5] 张书余. 城市环境气象预报技术[M]. 北京:气象出版社,2002.5.
- [6] GREGORCZUK M, CENA K. Distribution of Effective Temperature over the Surface of the Earth[J]. Bioclimeteor, 1967, (11): 145-149.
- [7] 黄静. 天气舒适度的分析和应用[J]. 气象, 2001, 27(11): 47-51.
- [8] 张书余. 医疗气象预报基础[M]. 北京:气象出版社, 1998.12.
- [9] TROMP S W. Medical Biometeorology[M]. Amsterdam: Elsevier, 1963.
- [10] 张清. 从人体舒适度看高温及其影响[J]. 气象与健康, 1998, 16(2): 38-39.

Analysis of the Effect of Compositive Meteorology Index on Power Load

DU Yan-wei¹, LIN Li¹, MU Dao-huai¹, HE Xiao²

(1. Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology,

Ministry of Education, Electrical Engineering College of Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Changshou Power Supply Bureau of Chongqing, Chongqing Electric Power Corporation, Chongqing 401220, China)

Abstract: The four indexes sensory temperature, temperature-humidity index, cold-humidity index, amenity index in biology meteorology are introduced to compositive analyses the effect of meteorologic factor to power load. Take Chongqing for example, the relation between each compositive index and load is analyzed, and the relation curve of power load and compositive index in observation year is also drawn. The analysis indicates: the load amenity index ratio curve is very stable in all axis range, this indicates amenity index can better reflect the change of power load relative to temperature. At the same time, the effect of rainfall to power load is qualitatively analyzed.

Key words: power load; sensory temperature; temperature-humidity index; cold-humidity index; amenity index

(编辑 李胜春)

(上接第47页)

参考文献:

- [1] GEOMAR MACHADO MARTINS, JOSE ANTEENOR POMILIO, SIMONE BUSO. A Single-Phase Low-frequency Commutation Inverter for Renewables[C]. Industrial Electronics Society, 2001, IECON 01. The 27th Annual Conference of the IEEE, 2001, 3(2):1976-1981.
- [2] 吴洪洋,何湘宁. 级联型多电平变换器 PWM 控制方法的仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(8):42-46.
- [3] OMAR BOUHALI, EI MADJID BERKOUK, BRUNO FRANCOIS, et al. Direct Generalized Modulation of Electrical Con-
- versions Including Self Stabilization of the DC-Link for a Single Phase Multilevel Inverter Based AC Grid Interface[J]. Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004, 35:1385-1391.
- [4] 彭容,杜雄,周锥维. 一种新型的电压源换流器[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2005, 28(3):16-21.
- [5] 周锥维,彭容,杜雄. 单周控制双 Buck 型电压源换流器[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(17):11-14.
- [6] 李广凯,梁海峰,赵成勇,等. 适用于风力发电的输电技术——轻型直流输电技术[J]. 国际电力, 2004, 8(1):38-40.

A Control Algorithm to Regulate the Active and Reactive Power and Simulation Research of Dual-frequency Dual-Buck Inverter

WANG Juan, ZHOU Luo-wei, DU Xiong

(Key Laboratory of High voltage and Engineering and Electrical New Technology of Ministry of Education, Collge of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: This paper deduces the control algorithm, which can both regulate the active and reactive power of the novel dual-frequency dual-Buck inverter, and the control function. The control function based on one cycle control can control the AC-side active and reactive power by simple circuit. The simulation is given and the results prove the validity of the theory analysis. This inverter is valuable for the research of grid-connected inverters.

Key words: dual-frequency dual-Buck inverter; one cycle control; the regulate of active power; the regulate of reactive power

(编辑 陈移峰)