

天气舒适度的分析和应用

黄 静

(广东省中山市气象台, 528401)

提 要

人体舒适度的研究侧重于为人们提供一种服务,使人们能从感性上了解天气,从而有效地指导公众的生活和工作。在对多种舒适度指标进行比较分析的基础上选择出有效温度作为衡量舒适度的主要工具,并对它作了适当的修正。针对广东省中山市的气候特点将平均有效温度划分为9级。近一年的试用收到较好的效果。此外当白天平均、最低、最高有效温度以及湿度、风力异常时,应用程序也会输出必要的信息,从而给公众以详细的天气说明。

关键词: 舒适度 有效温度 体感温度

引 言

人类在大气环境中活动,经受着气象要素的综合作用,尽管人们通常用气温高低来衡量环境的冷热,但是人体对外界冷热的舒适感,并不能仅仅根据气温或其他任何单一气象要素来评价,人们对环境温度的感觉受诸多因素的综合影响,这也是通常我们对天气预报所预告的温度和自身的实际感觉常常存在差异的原因。目前大多数台站发布的天气预报模式都较为简单,仅仅包括天气状况、温度、湿度和风向、风力,给人的感觉是枯燥和单调的。而研究人体舒适度就侧重于为人们提供一种服务,使人们能从感性上了解天气,从而指导公众的着衣和小气候电器的使用,方便公众的日常生活和旅行,对节约能源、提高工作效率也有很大意义。目前人们在研究和实践中提出了许多表征人体舒适度的方法,主要包括体感温度、不适指数、有效温度、体表温度、寒冷指数、中暑指数等等。本文针对广东省中山市的天气,对这些指数的特征做了一些分析,提出自己的观点,并应用到广东省中山市的舒适度预报中去,效果较好。

1 几种有关人体舒适度的指标及其特点

1.1 体表温度

高桥浩一郎^[1]利用物理学的方法来计算人的体表温度,他给出了以下公式:

$$Q = K \cdot (T_s - T_a) / d \cdot S$$

$$Q = Q_{\text{辐射}} + Q_{\text{传导}} + Q_{\text{蒸发}}$$

$$Q_{\text{辐射}} = 5(T_s - T_a)$$

$$Q_{\text{传导}} = 20.8(T_s - T_a) \cdot V^{1/2}$$

$$Q_{\text{蒸发}} = 5.97(E_s - r \cdot E_a) \cdot V^{1/2}$$

其中 K 为导热系数, T_s 、 T_a 分别为皮肤表面和空气的温度($^{\circ}\text{C}$), 皮肤厚度 $d = 5\text{mm}$, S 为皮肤面积取为 1m^2 。人体产生的热量 Q 是以辐射、传导、蒸发水分的过程传送给大气,从而使体温稳定。 E_s 为皮肤表面的饱和水汽压(Pa), E_a 为气温所对应的饱和水汽压(Pa), V 为人体高度上的风速(m/s), r 为空气的相对湿度。计算体表温度 T_s 必须通过数值求解,这就要求确定 T_s 的初始值以及确定迭代循环退出的条件,而确定过程是非常复杂的。

1.2 体感温度

体感温度的公式为 $T_g = T_a + T_r + T_u + T_v$ ^[2], 其中 T_g 为体感温度, T_a 为气温, T_r 、 T_u 、 T_v 分别为辐射、湿度和风速对体感温度的修正。 T_u 和 T_v 可从相应的表中查出。由于这种体感温度可与气温作对比,直观性

强,但由于其是经验公式,不同的地区修正值要做适当的调整,处理起来也较为繁琐。

1.3 有效温度

有效温度定义^[3]为:与任一温、湿度组合的空气中的热感觉相同的饱和湿空气温度。有效温度^[4]在室内定义为:

$$ET = T_a - 0.4(T_a - 10)(1 - Rh) \quad (1)$$

在室外考虑了风的作用为:

$$ET = 37 - (37 - T_a) / [0.68 - 0.14Rh + 1 / (1.76 + 1.4V^{0.75})] - 0.29T_a(1 - Rh) \quad (2)$$

其中 ET 、 T_a 、 Rh 、 V 分别是有效温度(°C)、气温(°C)、相对湿度和风速(m/s)。本文通过比较分析,选用它作为我们实际应用的舒适度指标,后面将会对它作详细介绍。

1.4 不适指数(温湿指数)

由 Tom 提出的、Bosen 进一步发展的评价人体舒适度^[5]的公式如下: $B_{cm} = 0.72(T_a + T_w) + 40.6$, 其中 T_a 、 T_w 分别为气温和湿球气温(°C), B_{cm} 为不适指数。指数在 60~65 大部分人舒适, 75 时一般人不适, >80 大部分人不舒适。不适指数未考虑风速对舒适度的影响。

为了对以上几种舒适度指标进一步比较,我们将气温在 15~38°C 之间的天气划分为 9 个区(图 1),并分别计算了对应这 9 个

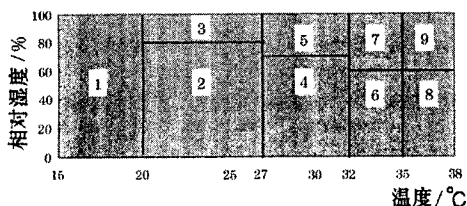


图 1 温湿分区图

区的几种舒适度指数的范围(在不考虑风速的影响下),结果见表 1。根据 Burton^[6]等关于湿度对人体舒适度影响的分析,1、2 区属于舒适,3 区皮肤温度稍微升高但仍属舒适,4 区皮肤温度稍有上升也属舒适,5 区会有湿热感,6 区感到热,7 区会感到闷热,8 区人体感到炎热,9 区感到很闷热。从他的分析可看出 2 与 3、4 与 5、6 与 7、8 与 9 区的体感有明显差别,但我们从表 1 可以看出对于 2 与

3、4 与 5、6 与 7、8 与 9 区计算所得的体感温度、体表温度、不适指数的数值较接近,区分不明显;而有效温度在这几个区域差异较为明显。综合以上分析我们决定选用有效温度作为评价人体舒适度的主要指标。

2 针对中山市天气具体分析舒适度,确定舒适度指标

通过对以上舒适度指标比较分析,我们确定使用室外的有效温度(ET)作为评价人体舒适度的主要指标。对公式(2)进行变换就可以得到下式:

$$37 - ET = Q'_t / Q'_q + T_R \quad (3)$$

$$Q'_t = \Delta T(1.76 + 1.4V^{0.75})$$

$$Q'_q = (0.68 - 0.14Rh) / (1.76 + 1.4V^{0.75}) + 1$$

$$T_R = 0.29T_a(1 - Rh)$$

其中 $\Delta T = (37 - T_a)$ 是气温与体温的差值, Q'_t 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,而 Q'_q 反映了风速在相对湿度的影响下对热度的作用;而 T_R 则反映的是温度在湿度的影响下对热度的作用。在式(3)中单独分析 Q'_t 项发现当 $T_a < 37^\circ\text{C}$ 时风速 V 增大使 ET 值减小,当 $T_a > 37^\circ\text{C}$ 时风速 V 增大使 ET 值增大;而单独分析 Q'_q 时可看出风速 V 增大将使 ET 值增大;同样对 T_R 单独分析看出湿度的增大将使 ET 值增大。综合考虑所有因素时情况就略有不同,总结如下:(1)风速增大使有效温度降低;但随着气温增加,风速对有效温度的影响越来越小,当气温超过 37°C 时,风速增大反而使有效温度升高。(2)湿度对有效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有效温度增加;而气温较低时湿度增加则使有效温度降低。如当 $V = 3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,气温 $15\sim 17^\circ\text{C}$ 是其临界,气温大于 17°C 时相对湿度的增加使有效温度增加,而气温小于 15°C 时湿度增加使有效温度降低。从上面的分析可以看出有效温度这一指标基本上反映了实际情况,且由于它使用的参数都是台站日常天气预报的内容,对于开展业务较为方便,所以我们选择它作为评价舒适度的主要指标。在实际应

用有效温度这一指标时着重考虑了以下问题。

2.1 日照对温度的影响

由于公式(3)未考虑日照作用,所以要对温度值进行修正,通过对百叶箱内外的气温进行长时间的比较分析,我们发现百叶箱内外的温差与日照存在很大相关。为了避免日光直接照射以及背阴处的影响,我们分析时选用14时百叶箱内外的气温差,而14时的温差基本上反映了当天的最大温差,且受日照影响最大。一般来说,日照时数与当天的日照状况有很大相关,所以我们采用当天的日照时数来研究温差与日照的关系。通过将

14时百叶箱内外的气温差与日照时数的0.3倍曲线(图2)相对比就可以看出两者曲线拟合较好,两者相差较大的时候往往跟14时前后天气发生显著变化有关。从图2中还可以看出降水可以导致温差出现负值,但温差的负值一般都在 -1°C 以内,而且与降水量大小的关系不是很明显,为此我们在对温度进行订正时只考虑持续性降水。由于在公式(3)中温度对有效温度的贡献最大,而天气状况的预测相对于温度的预测准确率要低很多,所以当预测天气状况出现错误时就容易造成有效温度的较大误差,为此我们采取适当调低日照对温度的影响的做法。

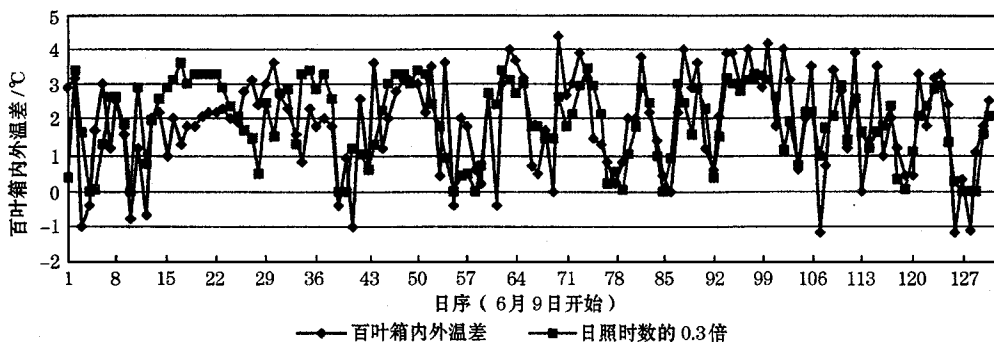


图2 百叶箱内外温差与日照时数对比曲线

2.2 选择平均有效温度作为衡量舒适度的主要参数

尽管夜间大部分为睡眠时间,但人们会对一天的天气有一个综合的感受,所以我们仍采用日平均气象要素计算出的平均有效温度指标作为衡量舒适度的主要参数,然后在此基础上再对它作进一步的补充。

2.3 应用指标值划分人体对天气的感觉

由于不同地区人群对冷热的敏感程度有明显的不同,单纯地套用别人使用的指标划分方法会存在很大的问题。

我们通过对广东省中山市历年的气象资料分析得出了适合中山市民的舒适度指标的划分界限。由于对于舒适度的分析很容易加入许多主观因素,而且不同人的感觉差异也较大,为了排除个人主观因素,获得一个对大多数人都较适用的指标,我们首先对中山市历年平均的旬平均温度计算出的有效温度进行分析(图略),根据季节的冷暖变化大致确

定出舒适度指标界限,再对1991~2000年每年的逐旬平均温度计算出的有效温度进行分析,根据结果进一步订正指标值,从而得到的划分见表2。平均来说1~2月份很冷,3月初较冷,随后有效温度迅速升高,直到4月初天气都属于稍冷,4月中至5月初属于较凉,5月初~6月初属于较为舒适的月份,而6月中~9月初就比较热了,到了9月中以后又开始转凉,转为比较舒适的天气,10月份较凉,11月初到11月中都稍冷,11月末到12月初较冷,12月初以后天气都很冷,最冷的应属1月份。由于热季有效温度相对变化较小,所以我们所选的舒适度的指标值变化范围也较小,而冷季有效温度相对变化较大,所选的舒适度的指标值变化范围也较大。

2.4 对有效温度作进一步分析

我们发现若采用单一时刻(或平均)的指标值来表征人对一天天气的全部感觉的话,经常会产生偏差。另外当我们试图用一种指

标来表征人体对温度、湿度、风、天气状况的全部感觉的话,也会遇到一些问题,比如对于同一种热度,干热和湿热、干冷和湿冷给人的感觉是完全不同的,但无论哪一种舒适度指标给出的值却都是相同的,有效温度这一指标也不例外,所以我们采取几种不同的指标值和其它气象要素相结合的方法来解决这些问题。首先使用气象要素的日平均值作为参数计算平均有效温度,然后再计算白天平均有效温度、最高有效温度和最低有效温度。通过计算发现一般情况下白天平均有效温度与平均有效温度的差值主要集中在 $1\sim 4^{\circ}\text{C}$ 之间,最集中在 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 之间,也就是说当两者之间的差值在 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 之间时,人们会视它为正常现象,而当两者差异过大的时候,人们就会认为天气出现了特殊变化,这时候人们都希望能从气象部门提前获取这样的信息,于是我们就有必要对白天平均有效温度、最高有效温度和最低有效温度与平均有效温度的差值进行分析,当出现较大差异时应用程序就输出必要的提示信息。

另外,尽管有效温度的计算已考虑了湿度和风的影响,但是应用程序输出的有效温度仅仅反映的是一个热度信息,而公众对湿度和风的信息也是同样关心的,为此我们对湿度和风的异常作了进一步分析。对于湿度和风,我们采取的判断标准根据温度的不同而不同,比如当气温大于 32°C 时,平均相对湿度大于70%被认为是湿度较大,而当气温在 $27\sim 32^{\circ}\text{C}$ 之间时,平均相对湿度大于75%才被认为是湿度较大;同样对于风速也是如此,冬季和夏季处理方法有所不同,在冬季气温越低我们考虑风速影响越大,比如在冬季当风速大于3级时就会认为风速较大,而在夏季仅当风速大于4级时才会提示风速较大。

3 资料检验和实际应用

通过对1999年10月1日到2000年9月30日每天的平均有效温度进行分析(图略)发现,去年的冷天(包括较冷、很冷、寒冷天)是从去年11月28日正式开始的,之前只有一天(11月18日)较冷,在3月13日结束。在冬季12月~1月期间共出现21天很

冷,20天较冷,14天寒冷,由于中山的冬季冷空气过后的晴天气温回升较快,所以出现了较多的稍冷天(共33天)。2000年炎热的天气是从5月26日开始,9月5日结束。在夏季6~8月份的炎热天气较多,达到54天,较热天有19天,酷热天有9天,而5月份和9月份就没有酷热天气了,6~8月份的较凉天3天(6月12~14日)和舒适天7天对应的天气状况都为阴天或是雨天,而6月12日更是出现了大暴雨。一般来说,在相对湿度正常,风力又不是很大的情况下,对应平均有效温度 27°C ($>27^{\circ}\text{C}$ 为酷热)的平均气温大约为 30°C ,而这时一般中山市会出现的最高气温在 35°C 附近,这正好是目前广东省定义的高温天气的底线;而一般情况下对应有效温度 20°C ($>20^{\circ}\text{C}$ 为舒适)的平均气温大约为 25°C ,而在一般情况下由 25°C 计算出的体表温度接近人体正常的体表温度 32°C ,低于这一温度人就会觉得冷,高于这一温度人就会觉得热。

这些都说明我们划分的指标界限是比较合理的,相应的应用系统也已完成,它能够定时采集人工预报结果,并把它转化为详细的舒适度说明语句,并自动输出到121电话平台和输出到气象网站上。实际应用中反映良好,能较好地反映实际情况。实际上人工预报比数值预报在1~2天的短期天气预报中准确率要高,因此我们作出的舒适度预报也要比相应数值预报的准确率要高。

参考文献

- 1 高桥浩一郎. 应用气象论. 东京:岩波书店,1961.
- 2 吕伟林. 体感温度及其计算方法. 北京气象,1997,(4):23~25.
- 3 Gregorcuk M, Cena K. Distribution of effective temperature over the surface of the earth. Int. J. Bioclimatol, 1967(11):145~149.
- 4 Laqndsberg H E. Weather and Health. Garden City, N. Y.: Doubleday, 1969.
- 5 Tromp, S. W. Medical biometeorology. Amsterdam: Elsevier, 1963.
- 6 Burton, A. C. et al. Damp cold versus dry cold specific effects of humidity in heat exchange of unclothed men. J. Appl. Physical., 1955, (8):269~278.
- 7 徐大海,朱蓉. 人对温、湿、风速的感觉与着衣指数的分析研究. 应用气象学报, 2000, 11(4):430~439.

Analysis and Application of Comfort Index

Huang Jing

(Zhongshan Weather Observatory, Guangdong 528401)

Abstract

Human beings are subject to comprehensive influence of various meteorological elements. Quantitative description of man's perception of weather makes it necessary to study comfort index, whereby to better serve the public. A study is done on comfort according to the weather conditions in Zhongshan, Guangdong. As a result of the comparative study of various comfort indexes, effective temperature (ET) is taken as the criterion for the judgement of comfort. In order to accurately depict man's overall perception of weather, daily mean effective temperature (MEP) is calculated according to daily average states of various meteorological elements, which is then grouped into one of the nine categories. Analysis of daily mean effective temperature over the past year indicates that such a classification is satisfactory. Apart from MEP, corresponding ETs are also calculated separately for the periods of time when the highest and lowest temperatures are observed. Our program reacts satisfactorily when abnormalities occur in temperature, humidity, and wind force, thus giving the public necessary detailed description. The program has proved satisfactory in application.

Key Words: comfort effective temperature sensitive temperature