

# 夏季湿球温度日变化规律的探讨

6  
26-29

刘朝贤

TU831.1

(中国建筑西南设计研究院 成都 610081)

**摘要** 夏季湿球温度,是以日为周期波动的时变量。目前采用固定湿球温度计算新风冷负荷的方法,是与现代建筑物空调冷负荷算法不匹配的,因此应及早解决夏季湿球温度“计算日”模型问题。

作者根据前人对夏季室外空气湿球温度日变化规律提出的图形和近年来一些学者对这一问题的研究成果,结合现行规范中有关气象参数的法定数据,综合整理出了“计算日”室外空气湿球温度逐时值的简化计算公式,按此公式计算出了全国九个城市的有关数据,并且根据气象台站的实测资料整理的的数据,对部分城市作了验证和对比。

**关键词** 逐时湿球温度, 计算日, 时变量, 空气调节。  
中图法分类号 TU831.1

## 1 问题的提出

建筑物夏季空调冷负荷计算方法,由静态(稳定)向动态(不稳定)变革,其突破性的进展在于区分了得热量与冷负荷两个不同的概念。因此新的冷负荷计算方法,所有各项冷负荷都是采用以“计算日”为周期的时变量来表述以适应相同时刻负荷叠加的需要。然而新风冷负荷的计算例外,至今仍是按常量取值,不能不令人遗憾。其实,在清华大学、同济大学等四校合编的高等学校教材《空气调节》一书1979年第一版和1986年第二版<sup>[1]</sup>,都编入了一幅“气温日变化曲线图”。其中包括了室外湿球温度日变化曲线、室外干球温度日变化曲线和室外相对湿度日变化曲线。从图中我们可以悟出以下几点结论:

- 1) 湿球温度是个时变量,其图形可以视为以日为周期近似余弦波的曲线,与室外干球温度的变化规律相似。
- 2) 湿球温度与干球温度在一天中都有一个峰、谷值,不同点在于峰、谷值出现的时间不同,湿球温度峰值出现的时间接近上午9时,低谷时间接近21时。干球温度峰值出现时间接近15时,低谷为3时。
- 3) 二者日较差不同,湿球温度日较差较小,干球温度的日较差较大。湿球温度日较差为3℃左右,干球温度日较差为9℃左右,前者与后者的比约为1/3。

## 2 夏季湿球温度日变化模型

收稿日期:1997-08-05

刘朝贤,男,1934年生,教授级高工

1) 根据上述结论, 将湿球温度日变化曲线, 采用余弦函数项的级数来表达, 亦即将其变换为傅里叶级数展开式。将其分解为多阶谐波组合的方式, 得出逐时湿球温度的表达式如下:

$$t_{s,\tau} = t_{s,p} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\omega_n \tau - \varphi_n) \quad (1)$$

式中:  $t_{s,p}$ —“计算日”湿球温度变化曲线的平均值, 即平均湿球温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A_n$ —第  $n$  阶室外空气湿球温度变化的振幅,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\varphi_n$ —第  $n$  阶室外空气湿球温度的初相角, 弧度或度;

$\omega_n$ —第  $n$  阶室外空气湿球温度的变化频率,  $\text{deg/h}$ ,  $\text{rad/h}$ ;

$\tau$ —计算时刻,  $\text{h}$ ;

$t_{s,\tau}$ — $\tau$  时刻的室外空气湿球温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

现将我们已经确定的条件对(1)式作些技术上的处理, 按:

(1) 室外湿球温度以 24h 为一周期变化, 则式中频率  $\omega_1 = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{24} = \frac{\pi}{12}$  (或  $\omega_1 = 15^{\circ}$ ), 采用一阶型:

(2) 室外湿球温度的最大值出现在 9 时, 则式中  $\varphi_1 = \varphi_1 = \frac{\pi}{12} \times 9 = \frac{3}{4}\pi$  (或  $\varphi_1 = 135^{\circ}$ )。

(3) 对一阶型振幅  $A_1 = t_{s,\max} - t_{s,p}$ , 即  $t_{s,p} = t_{s,\max} - A_1$

现将上述值代入(1)式得:

$$t_{s,\tau} = (t_{s,\max} - A_1) + A_1 \cos(\pi/12 \cdot \tau - \frac{3}{4}\pi) \quad ^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

或者:

$$t_{s,\tau} = (t_{s,\max} - A) + A \cos(15 \cdot \tau - 135) \quad ^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

式中:  $t_{s,\max}$ —为“计算日”室外湿球温度日变化曲线的峰值,  $^{\circ}\text{C}$ , 按现行规范, 应以历年平均不保证 50 h 的湿球温度值代替, 即夏季空气调节室外计算湿球温度代替, 即  $t_{s,\max} = t_s$ ;

$A$ —为室外湿球温度计算日变化曲线的振幅, 即  $A = t_s - t_{s,p}$ ;

$t_{s,p}$ —为计算日湿球温度变化曲线平均值 $^{\circ}\text{C}$ , 目前规范中室外气象参数, 无此数据, 应从气象资料中统计整理得出。

上式可写成:  $t_{s,\tau} = (t_s - A) + A \cos(15 \cdot \tau - 135) \quad ^{\circ}\text{C} \quad (4)$

2) 利用现行规范中室外空气气象参数进行简化计算

室外空气湿球温度的变化, 与室外逐时气温有关, 与当地局部地理环境条件有关。平时还受一系列随机因素如风、雨、云等等的影 响, 使其具体数值带有一定的随机性, 因此, 随意测得的数据, 都不一定具有代表性, 特别是不连续的孤立数据。随机性问题, 只能在大量连续测试的数据中, 取其平均值才能消除其影响, 因此, “计算日”湿球温度的精确模型, 还应从十年以上气象台站的气象数据记录中整理。这是一项比较繁重的工作。

动态负荷算法<sup>[7][8]</sup>虽然已经解决了这一难题, 但采用的方法, 已属于另一体系, 它的气象资料的构成是“标准年”, 因此现行规范中有关室外气象参数数据, 在那里已不能通用。它的理论和实践的成功, 是冷负荷算法发展史上的又一突破。但目前还未得到规范和公众的认同, 而且计算比较复杂, 不能手算, 设计人员在短时间内掌握和应用还有一个过程。

近年来许多学者对夏季湿球温度的简化计算方法, 进行了许多有益的工作, 特别是同济

大学吴喜平和上海城建学院周子成等的研究,除了对教材中许多问题作了有独到见解的解释之外,还提出了夏季湿球温度的简化计算公式。计算式的最大特点是:

(1) 所有参与计算的参数都是现行规范中的现成数据:如  $t_m$ 、 $t_p$ 、 $t_w$ 、 $B$  和  $B'$ ;

(2) 把室外空气“计算日”干球温度的波动振幅(日较差的一半)和“计算日”湿球温度波动振幅(日较差的一半),联系在一起。考虑的系数  $S$ 、赋予他多变的功能,对不同地理条件的因素,可以进行区别。

(3) 与当地实际大气压有机地联系起来。

我们用计算机对全国九个城市  $t_{17}$ 、 $t_w$  值的 24 小时逐时值作了计算。

现摘录我们用吴、周氏简化算法(简称简化法)计算的最大湿球温度  $t_{w,max}$  及最大焓值  $I_{w,9}$ (上午 9 时),并与现行规范的数据作了比较。见表 1。

序号	地名	夏季空调室外计算		按吴、周氏简化公式计算							
		湿球温度 $t_w$ (°C)	焓值 $I$ (kJ/kg·t)	湿球温度最大 值 $t_{w,max}$ (°C)	相应最大焓 值 $I_{w,9}$ (kJ/kg)	与规范值比较				湿球温 度日较 差 $\Delta t_w$	湿球温度波 幅比干球温 度振幅
						湿球温度 差 $\Delta t_w =$ $t_{w,max} - t_w$	$\frac{\Delta I}{A}$ (A 振幅)	焓差 $\Delta I =$ $I_{w,9} - I$	$\frac{\Delta I}{I_{w,9}}$		
1	北京	26.4	82.29	27.21	86.14	0.81	44.6%	3.85	48.2%	3.62	0.39
2	成都	26.7	83.69	27.05	85.34	0.35	26.0%	1.65	27.4%	2.69	0.37
3	重庆	27.3	86.55	27.84	89.19	0.54	35.2%	2.64	37.3%	3.07	0.37
4	天津	26.9	84.64	27.57	87.85	0.67	40.2%	3.21	42.6%	3.33	0.40
5	南京	28.3	91.33	28.73	93.73	0.43	30.2%	2.20	31.8%	2.85	0.40
6	广州	27.7	88.51	28.05	90.25	0.35	25.9%	1.74	27.4%	2.70	0.40
7	西安	26.0	80.46	26.70	83.71	0.70	41.1%	3.25	44.2%	3.41	0.38
8	武汉	28.2	91.02	28.50	92.58	0.30	23.1%	1.50	24.8%	2.61	0.40
9	上海	28.2	91.02	28.63	93.22	0.43	30.1%	2.20	31.9%	2.86	0.40
	平均	27.3	86.63	27.81	89.11	0.51	33.8%	2.48	35.1%	3.02	0.39

从表 1 中看出:

(1) 所算得的九个城市的最大湿球温度  $t_{w,max}$ (上午 9 时),都比现行规范规定的夏季空调室外计算湿球温度大,比九个城市的平均值大 0.51℃,占平均湿球温度波动振幅的 33.8%,由于湿球温度比现行规范规定的大,其最大焓值也比规范规定的大,如果房间或建筑物最大负荷是上午 9 时,则新风冷负荷比过去用夏季空气调节室外湿球温度下的焓值的冷负荷还大。

(2) 最大湿球温度大于夏季空气调节室外计算湿球温度,不保证 50 h 的概念不复存在,如果采用这一湿球温度,实际上就是提高了不保证率。

为此,我们比较了吴、周氏的简化计算式与本文推导的公式(4),并根据部分城市的气象数据作了验证吸收了吴、周氏对湿球温度波动振幅  $A$  表示方式即:

$$A = \frac{2}{S} \cdot \frac{B'}{B} (t_w - t_p) \quad ^\circ\text{C} \quad (5)$$

最后整理出夏季室外空气湿球温度日变化模型为:

$$t_{w,\tau} = (t_w - A) + \frac{2}{S} \cdot \frac{B'}{B} (t_w - t_p) \cos(15 \cdot \tau - 135) \quad (6)$$

式中:  $t_{w,\tau}$ —夏季时刻  $\tau$  的室外空气湿球温度, 即逐时湿球温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_w$ —夏季空气调节室外计算湿球温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A$ —常数,  $A = \frac{2}{S} \cdot \frac{B'}{B} (t_w - t_p)$ , 或湿球温度日较差的一半;

$S$ —系数, 暂取 5, 应根据地理环境条件调整

$B$ —标准大气压力, 取 1 013.25 mbar (hPa);

$B'$ —夏季当地大气压力, mbar (hPa);

$t_w$ —夏季空气调节室外计算干球温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_p$ —夏季空气调节日平均温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\tau$ —计算时刻 (h), 以 1. 2. 3. 4. …… 24 代入。

$t_w$ 、 $B'$ 、 $t_w$  及  $t_p$  都是现行规范中的数据。

### 参 考 文 献

- 1 清华大学, 同济大学合编. 空气调节. 北京: 中国建筑工业出版社 1980 年第一版, 1986 年第二版
- 2 吴喜平, 周子成. 夏季大气湿球温度分析和计算. 1994 年暖通年会论文集
- 3 卜永芳主编. 气象学与气候学基础. 北京: 高等教育出版社, 1987
- 4 ASHRAE Handbook Fundamental. 1981
- 5 刘朝贤. 夏季新风逐时冷负荷计算方法的探讨. 1997
- 6 刘朝贤. 夏季新风“逐时焓值”冷负荷算法与新风“常量焓值”冷负荷算法的比较. 1997
- 7 田胜元, 李百战. 空调负荷动态分析与空调设计负荷. 全国暖通空调制冷论文集, 1988
- 8 李百战. 空调动态负荷计算及其应用. 全国暖通空调制冷论文集, 1988

## Study on Day-Variation of Wet-bulb Temperature in Summer

*Liu Chaoxian*

(Southwest Architecture Design and Research Institute of China Chengdu 610081)

**Abstract** The article indicates that in summer, the wet-bulb temperature is a hour-variable which undulates periodically in a day. It's not suitable to the calculation method of the fresh air load of modern buildings. So we must solve the problem of the wet-bulb temperature calculation Day's mathematical model in summer as soon as possible.

On the basis of the figure obtained from the law of summer air wet-bulb temperature's day-variation and the research achievements acquired by others recent years, combining with legal data concerning meteorological parameter in current standards, the author sorts out the simplified calculation formula for per-hour value of wet-bulb temperature of a calculation Day's outdoor air. By the formula, the author calculates the data of nine cities in our country and compares partly the results with the actually measured data from meteorological stations.

**Key Words** per-hour wet-bulb temperature, calculation days, hour-variation

(编辑: 袁 江)