

(2)

9-14

# 改善温暖地区室内热环境 的新途径——除湿

陈启高  
(建筑系)

TU111.43

A

**摘要** 长江流域广大地区有夏闷热而冬阴冷的气候特征,过去以夏日通风隔热而冬日保温防寒的传统措施有一定效果,但不很显著,原因是尚未抓着主要矛盾,以此来改善环境未能收到理想功效。本文论证,以降低湿度以改善室内热环境这一新途径。这可能是湿热地区最为有效和最经济和节能的方法。

**关键词** 温暖地区热环境特征,潮湿,闷热,阴冷,湿建筑病,建筑湿损,人体散热,蒸发散热数字系数公式,强化蒸发散热,室内凉风,现代凉房

除湿、室内

**中图法分类号** TU1, 191

对热环境的冷热认识,过去主要放在温度的问题上,以室内空气温度为主要指标,(几乎是唯一的指标),隔热、保湿、通风都是针对这一指标的,至于防潮往往放于顺便解决的次要地位。此前的苏联(1)和中国(2)都是如此。

其实,通风对解决温暖地区的房间热舒适度有作用,对解决室内空气质量已有效果。但尚未将空气湿度摆在很重要的地位。更尚未明确提出在节能与改善功能上防潮湿问题的特别重要性,特别是对于亚热带的温暖地区,可以说,应当是头等重要的问题。因为,如果潮湿问题不解决,室内空气质量将是恶化的。春末夏初季节的空气潮湿,会引起房中的低温表面泛潮,特别是底层房间地面,比较长期的保持低温而潮湿,引起霉菌繁殖,使衣物,鞋靴,家具霉烂,能够诱发人体的许多疾病,例如,关节炎、支气管炎、心肌炎、腮腺炎、皮肤炎之类,这是一种十足的病建筑。

由于空气潮湿,在夏季人体靠汗液蒸发散热受到限制,虽然,机体紧张调节而仍汗流如注,但仍不能顺畅散热。近年来电风扇问世,由于有人工风速,虽然闷热情况有所减轻,仍不能达到舒适的情况。并且在长期无节制的用电扇下会引起老年人的支节不随、甚至暴亡。

本文企图从人体各种散热方式论证,说明解决温暖地区室内热环境的关键应当是着眼于降低空气湿度,这比降温空调要节资、节能和卫生些。因为,蒸发散热是夏季室内温度接近人体温度时的主要的散热方式。强化这种散热的一种方式,就可改善人的热舒适度。

\* 收稿日期:1993-02-20  
陈启高,男,1925年生,教授,重庆建筑工程学院建筑系(630045)

虽然风扇可加大湿交换系数,也是强化湿的蒸发散热的一种方式。但是,这是有限的,因为,风速太大时,人是不能忍受的,并且,当空气的温度和湿度均高时,吹风有相反的效果,而是对人体加热,不是散热。因此,降低室内空气的相对湿度才是根本的解决方法。因为,在较低湿度的热空气中人体不会大汗淋漓,潜在的潜热蒸发散热会对人带来舒适感,甚至可调节人体处于热负荷为零的最舒适的热状况。

## 1 夏季人体主要散热方式

以单位面积计算(夏天一般人体裸露表面的面积与此值接近)人体上的各种散热方式。

对流方式传热:

$$q_c = \alpha_c(t_b - t_a) \quad (1)$$

辐射方式传热:

$$q_r = \alpha_r(t_b - t_e) \quad (2)$$

蒸发方式传热:

$$q_m = \alpha_m(E_b - e_a)/P \quad (3)$$

蒸发散热:

$$q_e = q_m L = \alpha_m L(E_b - e_a)/P \quad (4)$$

式中  $\alpha_c$ —人在室内的对流换热系数,  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ;  
 $\alpha_r$ —人在室内的辐射换热系数,  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ;  
 $\alpha_m$ —人在室内的质交换热系数,  $kg/(m^3 \cdot Pa/Pa)$ ;  
 $t_b$ —人体的表皮平均温度,  $^\circ C$ ;  
 $t_a$ —室内空气温度,  $^\circ C$ ;  
 $t_e$ —环境物体表面平均温度,  $^\circ C$ ;  
 $E_b$ —人体表面表面平均温度,  $^\circ C$ ;  
 $e_a$ —室内空气中水蒸汽压力,  $Pa$ ;  
 $P$ —室内的大气压力,  $Pa$ ;

另外,人体的呼吸散热,也包括了潜热和显热两部分,即

$$Q_{res} = V_m \gamma_0 (L/P)(E_{res} - e_a) + V_{ef} \gamma_0 (t_{res} - t_a) \quad (5)$$

式中  $V$ —人呼吸空气的容积流量,  $m^3/h$ ;  
 $c_m$ —空气的比湿容,  $c_m = \mu_{res}/\mu_{air} = 0.621$ ;  
 $E_{res}$ —人呼出气的饱和蒸汽压力;  
 $t_{res}$ —人呼出气的温度。

从以上共计五种传热方式的计算公式可见,在夏季炎热时候,人体所指望的散热方式应当是汗液和呼吸的蒸发潜热,当温度高于体温时其它方式是使人体得热。

## 2 人体表面发散热的计算

饱和水蒸汽压力  $E$  是热力学温度  $T$  的函数,当然也是摄氏温度的函数,因为,  $T = T_0 + 1$ , 即  $E = E(t)$ , 此式展成泰乐级数,得:

$$\begin{aligned} E(t) = & E(t_0) + E^{(1)}(t_0)(t - t_0) \\ & + E^{(2)}(t_0)(t - t_0)^2/2! \\ & + E^{(3)}(t_0)(t - t_0)^3/3! \\ & + E^{(4)}(t_0)(t - t_0)^4/4! + \dots \end{aligned} \quad (6)$$

因为一般有汗的皮肤表面温度取为  $35^\circ\text{C}$ , 将上式(5)在此温度  $t_0 = 35^\circ\text{C}$  处展开, 而得:

$$\begin{aligned} E(t_0) &= 0.056218 \times 10^5 \text{ Pa} \\ E^{(1)}(t_0) &= 0.003172 \times 10^5 \text{ Pa} \\ E^{(2)}(t_0) &= 0.000146 \times 10^5 \text{ Pa} \\ E^{(3)}(t_0) &= 0.000011 \times 10^5 \text{ Pa} \\ P &= 1.0130 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

将以上这些值代入(5)式,并考虑  $P$  之值而得:

$$E(t) = P\Theta(t) \quad (7)$$

$$\Theta(t) = \Theta_0 + \Theta_1(t - t_0) + \Theta_2(t - t_0)^2 + \dots \quad (8)$$

式中

$$\begin{aligned} \Theta_0 &= 5.5501 \times 10^{-2} \\ \Theta_1 &= 2.132 \times 10^{-3} \\ \Theta_2 &= 7.207 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

或将  $\Theta_0$  从式的右边提出在括号外,有

$$\Theta(t) = \Theta_0[1 + \beta_1(t - t_0) + \beta_2(t - t_0)^2 + \dots] \quad (9)$$

式中

$$\begin{aligned} \Theta_0 &= 5.5501 \times 10^{-2} \\ \beta_1 &= \Theta_1/\Theta_0 = 5.6431 \times 10^{-3} \\ \beta_2 &= \Theta_2/\Theta_0 = 1.2985 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

可见,这里的  $\Theta(t)$  和  $\Theta_0$  分别表示饱和水蒸气在温度  $t$  和  $t_0$  下的迁移势的,(8)式表明它们间的关系。

据喇乌尔定律(3),盐溶液的水蒸汽压力  $E'$  小于纯水饱和蒸汽压力  $E$ ,即是

$$E' = E/(1 + \chi) \quad (10)$$

$\chi$  为溶质的相对分子浓度,它等于溶质的分子数  $n_s$  与溶液分子数  $n_m$  之比,即:

$$\chi = n_s/n_m \quad (11)$$

对人体有汗皮肤上的饱和绝对湿度为:

$$\begin{aligned} E(b) &= E(t_0) / (1 + \chi) \\ &= P\Theta(t_0) / (1 + \chi) \end{aligned} \quad (12)$$

对室内空气的绝对湿度  $e$ ,表示成

$$\begin{aligned} e &= \varphi E = \varphi P\Theta(t) \\ &= \varphi P\Theta_0[1 + \beta_1(t - t_0) + \beta_2(t - t_0)^2 + \dots] \end{aligned} \quad (13)$$

将(11)和(12)两式代入(4)式中而得:

$$q_L = q_m L = \alpha_m L \theta_0 [\{1/(1 + \chi) - \varphi\} - \varphi\{\beta_1(t - t_0) + \beta_2(t - t_0)^2 + \dots\}] \quad (14)$$

在上式温差的高次项与一次项比较在工程应用上可以忽略不计,故得计算公式为:

$$q_L = \alpha_m L \theta_0(t_0) [\{1/(1 + \chi) - \varphi\} - \varphi\{\beta_1(t - t_0)\}] \quad (15)$$

下面研究上式中有关量质的确定。

关于质交换系数  $\alpha_m$ . 根据雷诺类似率,有(4)

$$\alpha_m / \alpha_r = c_m / c_r = 0.621/0.279 = 2.225$$

此质叫做刘易斯数  $Lew$ , 它有一个有量纲担, 即  $Lew = 2.225 \text{ kg} \cdot \text{C}/(\text{W} \cdot \text{h})$

故有公式

$$\alpha_m = Lew \cdot \alpha_r \quad (16)$$

关于蒸发潜热  $L, \text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ , 有近似公式(5):

$$L = 691.99 - 0.64 t \quad (17)$$

式中  $t$  为蒸发温度,  $^{\circ}\text{C}$ . 对于  $30^{\circ}\text{C}$  时, 有  $L = 672.79 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ .

关于相对分子数  $\chi$ . 对人体的汗液来说, 其中的 99% 的水, 1% 的食盐(6). 据此计算它们的相对分子数. 分子量:  $\text{H}_2\text{O} = 18$ ;  $\text{NaCl} = 28$ . 据此算得:  $v_{\text{H}_2\text{O}} = 99/18$ ;  $v_{\text{NaCl}} = 1/28$ . 故得:

$$\chi = 1 \times 18 / (28 \times 99) = 6.4935 \times 10^{-2}.$$

考虑到盐的电离成双原子, 而  $\chi$  实际应加倍, 即  $\chi = 1.2987 \times 10^{-2}$ .

从而得到计算  $x$  的公式. 对非电解质有:

$$\chi = (m_{st} / m_{sol}) \cdot (\mu_{st} / \mu_{sl}) \quad (18)$$

即溶质与溶剂的重量比乘以溶剂与溶质的分子量比之积. 对电解质还应乘以每个分子解离成的离子数  $N$ , 对于食盐  $N=2$  有:

$$\chi = 2(m_{st} / m_{sol}) \cdot (\mu_{st} / \mu_{sl}) \quad (19)$$

故含盐汗上饱和蒸汽压力降低系数  $D$  为:

$$D = 1/(1 + \chi) = 1/(1 + 1.2978 \times 10^{-2}) = 0.9872$$

根据以上这些数质代入(15)式而得:

$$q_L = 83.08 \alpha_r [\{0.9872 - \varphi\} - \varphi(0.056431(t - t_0))] \quad (20)$$

对关闭门窗的条件下, 取  $\alpha_r = 4.07 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$ , 有数字系数计算公式为:

$$p_L = 338.19(0.9872 - \varphi) - 19.08\varphi(t - 35) \quad (21)$$

这个公式具体反映在关闭房间中人体的汗液蒸发潜热受空气的温度  $t$  和相对湿度  $\varphi$  的影响, 当  $t = 35^{\circ}\text{C}$  时, (21) 式右边只有第一项; 当  $\varphi = 0.9872$  时, 则第一项消失, 只剩第二项;

若这二个条件同时成立,则汗液蒸发为零。此式是对在关闭房间中的人体的蒸发潜热的计算。若要求其它的热状况,可改变对流热交换系数而得别另外的数字系数计算公式。

### 3 人体表面各种散热的数字比较

以室内温度  $30^{\circ}\text{C}$  和相对湿度 80% 的关闭房间热情况为例进行计算。取对流热交换系数  $a_c = 4.07 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ , 辐射热交换系数  $a_r = 4.65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ , 按对流换热计算公式(1), 辐射换热计算公式(2), 以及蒸发换热计算公式(21) 计算, 结果列如于下表一中进行比较。

表 1 人体单位表面积三种散热方式的散热量比较

散热方式	散热量 $\text{W}/\text{M}^2$	百分比 %
对流散热	20.35	11.1
辐射散热	23.25	12.7
蒸发散热	139.63	76.2
总的散热	183.23	100.0

可见,在所计算的室内热环境下,蒸发散热占绝对的优势,占 76%, 对流和辐射散热共占 24%。对室内有风速的情况,因仅有对流热交换改变,对流和蒸发的比值是不变的,它们仅对辐射换热的比值变化了,在强化对流下,辐射换热将处于可忽略的状况。假定其它的条件与前面的算例一样,仅相对湿度发生变化,计算结果列如于下表 2 中。从表 2 上的数据计算得:当相对湿度每减少 10%,人体皮肤蒸发潜热增加  $24.28 \text{ W}/\text{m}^2$ 。事实上,当空气的相对湿度降低时,人的呼吸的蒸发散热也相应增加。日本现正发展凉房民居,就是以低空气湿度的凉风来改善室内热环境的(7)。

表 2 不同相对湿度下的蒸发散热  $\text{W}/\text{m}^2$

相对湿度 $\varphi$	第一项潜热值 $338.19(0.9872-\varphi)$	第二项潜热值 $-19.08\varphi(t-35)$	总潜热值 $q_L$
0.9872	0	94.18	94.18
0.9	29.49	85.86	115.35
0.8	63.31	76.32	139.63
0.7	97.13	66.78	163.91
0.6	130.95	57.24	188.19
0.5	164.77	47.70	212.47
0.4	198.59	38.16	236.75
0.3	232.41	28.62	261.02

## 4 结束语

温暖地区的建筑是普遍受潮湿的害的,对人的夏季闷热、冬季阴冷和风湿病害,对物的因潮霉而腐烂变质,建筑围护结构中因反复潮湿、干燥盐析使材料的分子结构破坏,缩短使用年限。如果采用在室内空气中经常的除湿方法,保持室内干燥,则上述因建筑潮湿所引起的种种弊端,都可一揽子解决。

除湿是改善温暖地区热环境的根本方法。

除湿是温暖地区建筑健康化的基本保证。

由除湿产生的凉房的热环境,将是最经济、最实用、比空气调节更为健康、舒适的和节约能源的。本文仅在理论作一些论证和强调。欢迎批评指正!

### 参 考 文 献

- 1 普洛荷洛夫 B. H., 努莫娃 A. JI. 斑海迪著房间热微气候一书的俄文板序言. 莫斯科, 1981
- 2 中华人民共和国城乡建设环境保护部. 民用建筑热工设计标准. 北京, 1986
- 3 福力斯 C. 3., 季莫列娃 A. B 原著, 梁宝洪译. 普通物理学. 第一卷, 上海, 340~344, 1962
- 4 陈启高, 李英. "对流热流计测热湿交换系数". 中国建筑学会建筑热环境论文集, 西安交通大学出版社, 西安, 1990, 93~99
- 5 雷科夫 A. B 著, 任兴季, 张志清译. 建筑热物理理论基础. 科技出版社, 北京, 1965, 10
- 6 吉沃尼 B. 著, 陈士林译, 王珊瑚校"人·气候·建筑". 中国建筑工业出版社, 北京, 1982, 34
- 7 (日本)木村建一"日本太阳能建筑经验"日本早稻田大学, 1992, 东京. 在重庆重庆建筑工程学院的讲学材料, 1992. 5

## A NEW METHOD FOR AMELIORATING INDOOR THERMAL ENVIRONMENT BY DEHUMIDIFYING

*Chen Qigao*

(Dept. of Architecture)

**ABSTRACT** The climate in the region of the Yangtze River is sultry in summer and wet and cold in winter. The conventional building measures are shading in summer and insulating in winter, which have been gotten some effects. Because the sultry, wet and cold sensation still affect, the indoor thermal environment can not get an ideal improvement. This paper shows that the new method by dehumidifying is the most effective and the most economic.

**KEY WORDS** thermal environment, dampness, sultry, wet and cold, sick building by dampness, building destruction by moisture, heat loss on human body, evaporating heat loss formula with digital coefficients, intensifying wind in a room, modern cooling room