

(8)

冷库

自然通风

热工特性

温度

61-65

# 通风水果冷库的热工计算温度的确定

冯雅

陈启高

(建筑城规学院)

TU 111.19

**摘要** 对自然通风冷库的热工特性进行了分析,认为通风库内外计算温度主要受大气温度的影响,库内外计算温度应由反映实际情况的当地气象参数来确定。

**关键词** 通风冷库, 自然通风, 计算温度

**中图法分类号** TU1.19

在冷库设计中,确定库内外计算温度时,通常把暖通空调设计规范中的夏季空气调节日平均温度作为库外计算温度,库内计算温度的设计是根据各类物品冷藏工艺要求而制定的。而自然通风库的计算温度很难像一般冷库那样作明确的规定,库内外计算温度是受大气湿热气候的制约,受冷库围护结构和使用管理状况等因素的影响。如在确定库内计算温度时,因冷库处于自然通风状态,通风量直接影响库内温度,而库内温度与库外温度之间温差所形成的热压又影响着自然通风量的大小,它们是相互耦合,使通风库在确定库内外的计算温度增加了困难。

## 1 库外计算温度的确定

库外大气温度的精确计算,主要考虑以下因素的影响,太阳辐射 $q_{\odot}$ ,大气长波辐射 $q_{\text{a}}$ ,空气温度 $t$ 。它们共同作用于围护结构,常常用“室外综合温度 $t_e$ ”来表示,其当量温度为:

$$t_e = t + \frac{\rho q_{\odot} - \phi q_{\text{a}}}{\alpha_w} \quad (1)$$

式中:  $t$ —空气温度,℃;

$q_{\odot}$ —太阳辐射比热流,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;

$q_{\text{a}}$ —大气长波辐射比热流,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;

$\rho$ —围护结构表面的日辐射吸收系数;

$\phi$ —围护结构表面朝天的角辐射系数。

$q_{\odot}$ 的作用使围护结构得到热量, $q_{\text{a}}$ 的作用使围护结构放出热量,为了工程上的方便计算,我们忽略太阳辐射和大气长波辐射的影响,仅考虑空气温度 $t$ ,则作用在围护结构上的温度一次谐波量为:

\* 收稿日期,1993-10-20

冯雅,男,1959年生,博士研究生,重庆建筑大学建筑城规学院(630045)。

$$t = \bar{t}_w + \theta \cos(\omega\tau - 225^\circ) \quad (2)$$

式中:  $\bar{t}_w$ —日平均气温,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\theta$ —日温度振幅, 近似等于:

$$\theta = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{2} = \bar{t}_w - t_{\min} \quad (3)$$

$\tau$ —为从午夜 0 时算起的时间,  $\text{h}$ ;

$\omega$ —角频率,  $\omega = 360/24 \text{ h} = 15/\text{h}$ .

又因冷库通风一般在夜间气温低时进行, 据气象资料分析, 一次谐量的气温夜间 3 时最低, 因此, 库外通风计算温度取夜间 0 时到 6 时温度的平均值, 则

$$\begin{aligned} \bar{t}_{0\sim 6} &= \frac{1}{T} \int_0^T t(\tau) d\tau = \frac{1}{6} \int_0^6 \bar{t}_w d\tau + \frac{\theta}{6} \int_0^6 \cos(\omega\tau - 225^\circ) d\tau \\ &= \bar{t}_w - \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \theta \end{aligned} \quad (4)$$

式中  $\bar{t}_w$  的确定由下式给出:

$$\bar{t}_w = \frac{t_{\max} + t_{\min}}{2} \quad (5)$$

式中  $t_{\max}, t_{\min}$  分别为所建冷库当地日气温的最高值和最低值。将(3), (5) 两式代入(4) 式得:

$$\bar{t}_{0\sim 6} = 0.05t_{\max} + 0.95t_{\min} \quad (6)$$

## 2 库内计算温度的确定

通风冷库在不通风密闭状态下, 如果忽略库内贮藏物品的吸放热, 把冷库作为无源房间处理, 则库内计算温度主要由围护结构的热特性和室外空气温度决定的。一般冷库围护结构属于厚重墙体, 围护结构的总热阻  $R_0$ , 热惰性指标  $D$  值比较大, 温度波从围护结构室外空气传递到室内空气的温度  $t_i$  可由下式表示:

$$t_i = t_y + \frac{\bar{t}_w - t_y}{R_0 \alpha_i} + \frac{\theta}{\gamma_i \gamma_w 2^D} \cos\left(\omega(\tau - \tau_0) - \left(\frac{D}{\sqrt{2}} + \varphi_y - \varphi_i\right)\right) \quad (7)$$

式中:  $t_y$ —库内空气计算温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$R_0$ —围护结构总热阻,  $\text{m}^2 \text{C}/\text{W}$ ;

$\alpha_i$ —围护结构内表面换热系数,  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$ ;

$\gamma_i, \gamma_w$ —分别为库内、外表面的转移衰减倍数;

$D$ —围护结构热惰性指标;

$\frac{D}{\sqrt{2}} + \varphi_y - \varphi_i$ —温度波延迟相位角,  $\text{rad}$ .

在(7)式中右边第三项表示室外温度波动引起库内表面温度波动的变化值。因冷库围护结构热惰性指标  $D > 6$ 。在四川、湖北、湖南等长江流域一带冬季通风冷库工作时，日温度波振幅较小，一般不超过  $5^\circ\text{C}$ ，而

$$\gamma\gamma_w = \frac{S_i + \alpha_i}{S_i + Y_i} \cdot \frac{Y_N + \alpha_N}{\alpha_N} \quad (8)$$

对于冷库围护结构为厚重材料层，则  $Y_i = S_i, Y_N = S_N$ ，故(8)式为

$$\gamma\gamma_w = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\alpha_i}{S_i} \right) \left( 1 + \frac{S_N}{\alpha_N} \right) \quad (9)$$

而  $\alpha_i/S_i \rightarrow 1, S_N/\alpha_N \rightarrow 0.5$ ，故

$$\gamma\gamma_w = 1.5 \quad (10)$$

因此，日温度波在围护结构内表面引起温度波动值为

$$\frac{\theta}{\gamma\gamma_w 2^0} = \frac{5}{1.5 \times 2^0} = 0.052^\circ\text{C}$$

由此可见，室外温度日波动对库内影响很小，这样通过围护结构传给库内的温度主要由库外空气温度的平均值  $\bar{t}_w$  来决定，可以认为通风冷库的室内计算温度  $t_N$  等于库外平均气温。即  $t_N = \bar{t}_w$ 。但在通风过程中  $t_N$  是随通风量而变化的，设通风过程中通风带走的热流量为  $Q$ ，那么 6 小时带走的热量为

$$6Q = GC_p(t_N - \bar{t}_{0-6}) \times 6 \quad (11)$$

相应 24 小时平均热流量为

$$\bar{Q} = 6Q/24 = \frac{1}{4}GC_p(t_N - \bar{t}_{0-6}) \quad (12)$$

平均比热流为

$$\bar{q} = \frac{\bar{Q}}{\sum F_i} = \frac{1}{4} \frac{GC_p}{\sum F_i} (t_N - \bar{t}_{0-6}) \quad (13)$$

式中： $G$ —通风量， $\text{kg/h}$ ；

$C_p$ —空气的定压比热， $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ；

$\sum F_i$ —冷库围护结构总传热面积， $\text{M}^2$ 。

关于通风量的确定，在自然通风状态下，自然通风主要靠热压和风压作动力，在库内自然风速  $v_N$  比较小，可以忽略，压头损失主要在进出风口处。即热压头和风压头克服两口上的压头损失而平衡。产生的总压头为

$$\Delta p = \Delta p_t + \Delta p_e = \xi_i \frac{\gamma_i v_i^2}{2g} + \xi_r \frac{\gamma_r v_r^2}{2g} \quad (14)$$

式中  $v_i, v_r$  为进出口风速， $\text{m/s}$ ； $\gamma_i, \gamma_r$  分别为进出口空气容重， $\text{kg/m}^3$ ； $\Delta p_t, \Delta p_e$  为热压头和风压头； $\xi_i, \xi_r$  为进出口局部阻力系数，取 2.5。根据图 1，可求了热压和动压分别为

$$\Delta p_t = H(\gamma_i - \gamma_r) = H\gamma_0 \frac{t_N - \bar{t}_{0-6}}{T} \quad (15)$$

$$\Delta p_e = (\gamma_i v_i^2 - \gamma_r v_r^2) \quad (16)$$

式中:  $H$ — 进出口风口高差,  $m$ ;  
 $\gamma_0$ — 空气温度为  $0^\circ C$  时容重,  $\gamma_0 = 1.293 \text{ kg/m}^3$ ;  
 $T$ — 库内空气的热力学温度,  $T = 273 + t_N$ ;  
 $\gamma$ — 库外空气容重,  $\text{kg/m}^3$ ;  
 $v_0$ — 库外风速,  $m/s$ ;  
 $n_1$ — 进风口处的动压系数, 进风口常设计在迎风面有正值;  
 $n_2$ — 出风口处的动压系数, 出风口常设在北风面有负值。

由此可见, 库内自然风量的大小是库内外温差和风压二个因素影响。在通风过程通风带走的热流量应与围护结构传入库内的热流相等。传入热流为

$$\bar{q} = \frac{\bar{t}_w - t_N}{R_0} = \alpha \Delta t \quad (18)$$

所以

$$\frac{\bar{t}_w - t_N}{R_0} = \frac{GCp}{4 \sum_j F_j} (t_N - \bar{t}_{0-s}) \quad (19)$$

解得上式为

$$t_N = \frac{\frac{\bar{t}_w}{R_0} + \frac{1}{4} \frac{C_p G}{\sum_j F_j} \bar{t}_{0-s}}{\frac{1}{R_0} + \frac{1}{4} \frac{C_p G}{\sum_j F_j}} \quad (20)$$

从(18)式可以看出  $t_N$  是受通风量  $G$  的影响, 而通风量  $G$  又受库内外空气温度的制约,  $t_N$  和  $G$  相互耦合, 当  $G \rightarrow 0$  时,  $t_N = \bar{t}_w$ ,  $G \rightarrow \infty$ ,  $t_N = \bar{t}_{0-s}$ , 说明  $t_N$  的变化范围为  $\bar{t}_{0-s} \sim \bar{t}_w$ , 如图 3-2 所示。

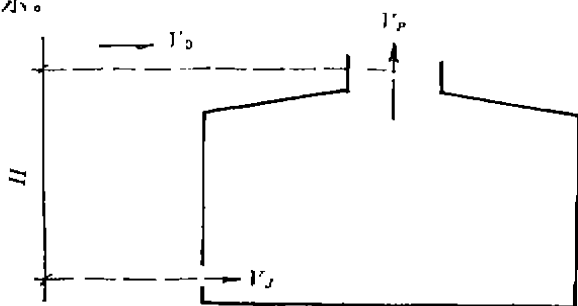


图 1 自然通风原理示意图

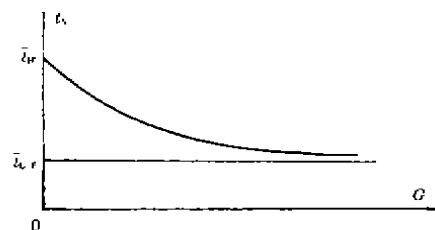


图 2 通风库库内温度的变化曲线

显然由(18)式无法确定库内计算温度的具体值, 工程上也不可能采用上式来确定库内计算温度  $t_N$ 。如果(18)式中, 令

$$X = \frac{1}{4} \frac{C_p G R_0}{\sum_j F_j}$$

则

$$t_N = \frac{\bar{t}_w + X \bar{t}_{0-s}}{1 + X} \quad (21)$$

这样就可以由当地气象条件决定的  $\bar{t}_w$ ,  $\bar{t}_{0-s}$  和工程现场测试的  $t_N$  来确定  $X$  值, 而  $X$  为一无量

纳数,可定义为通风库库温数。在我国南方通风库在夜间进行自然通风时 $X$ 的变化范围并不大。 $X$ 值确定可根据对某一类型的通风库在运行过程中对通风时库内温度 $t_{wv}$ 的一系列实测值所对应的 $X_i$ 值,取其 $X_i$ 的平均值作为库温数 $X$ 。因此通风库库内计算温度 $t_w$ 的确定,在工程上可根据某一类型通风库上的库温数 $X$ 和式(19)来确定。

### 3 结 论

本文从分析通风库的室外大气温度对冷库的热作用和冷库围护结构的热稳定性、衰减特性出发,认为通风冷库的室外计算温度 $t_{wv}$ 由反映实际情况的当地气象参数用

$$\bar{t}_{0\sim 6} = 0.05t_{\max} + 0.95t_{\min}$$

决定,库内计算温度由工程实际测试而决定的通风库温数 $X$ 以及当地气象参数用下式确定

$$t_w = \frac{\bar{t}_w + X\bar{t}_{0\sim 6}}{1 + X}$$

### 参 考 文 献

- 1 商业部设计院编著,冷库制冷设计手册,北京:农业出版社,1991
- 2 陈启高编著,《建筑热物理基础》,西安:西安交通大学出版社,1991,6

(编辑:徐维森)

## THE CALCULATING TEMPERATURE OF THERMAL CHARACTERISTICS OF NATURAL VENTILATION FOR A COLD FRUIT STORAGE DETERMINATION

*Feng Ya*      *Chen Qigao*

(Faculty of Architecture and Urban Planning)

**ABSTRACT** The paper analyzes the thermal characteristics of a natural ventilation cold storage. It shows that the calculating temperature in or outside the room is mainly effected by atmospheric temperature and the calculating temperature for a cold storage. They are determined by the local meteorological parameters.

**KEY WORDS** natural ventilation cold fruit storage, natural ventilation, calculating temperature