

# 低能耗建筑室内热环境质量评价

5  
19-22

彭绪亚 李百战  
(重庆建筑大学城建学院 400045)

陈启高 姚润明  
(重庆建筑大学建筑城规学院 400045)

x21  
TU834.5

**摘要** 通过对室内热环境的理论分析,建立了室内热环境质量评价模型。利用该模型并结合计算机模拟技术对地下埋管通风的低能耗建筑室内热环境质量进行了评价。评价结果表明,PPD < 25%,室内热舒适性可达到令人满意的水平。

**关键词** 低能耗建筑, 室内热环境, 评价, 人居环境, 地下埋管通风  
**中图分类号** TU834

低能耗建筑是指充分利用自然能源的被动式供暖空调建筑 (Free Cooling and Heating Bulding), 它能提供人们生活和生产需要的建筑环境, 保证人体的卫生和健康, 具有能耗低, 对环境污染小的特点。低能耗建筑是人居环境可持续发展的一个重要内容, 近年来受到了国内外学术界的广泛重视<sup>[1]</sup>。笔者通过对建筑室内热环境的理论分析, 建立了室内热环境质量评价模型, 利用该模型并结合计算机模拟技术, 对地下埋管通风的低能耗建筑室内环境质量进行了评价, 为低能耗建筑的发展与推广作了有益的探索。

## 1 室内热环境质量评价模型

为了对室内热环境质量进行评价, 对室内热环境进行了理论研究, 建立了室内热环境评价模型, 开发了室内热环境质量模拟分析及评价软件, 该模型的建立及软件的开发, 为室内热环境质量研究打下了坚实的基础, 提供了有力的工具。

### 1.1 室内热过程描述

通过屋顶和墙体的导热传热, 可采用ASHRAE设计基础手册推荐的传递函数法。其计算公式为:

$$Q_t = \sum_{j=0} Y_j T_{o,t-j} - \sum_{j=0} X_j T_{a,t-j} + RQ_{t-1} \quad (1)$$

这里,  $X_j, Y_j (j = 0, 1, 2, \dots, N)$ , 和  $R$  为导热传递函数, 方程中,  $T_{o,t-j}, T_{a,t-j}$  分别表示早于  $Q_t$  对应时间第  $j$  小时的室外空气温度和室内空气温度。  $Q_{t-1}$  为在  $Q_t$  前 1 小时的得热, 得知了  $T_{o,t-1}, T_{o,t-2}, \dots, T_{o,t-j}$  及  $T_{a,t-1}, T_{a,t-2}, \dots, T_{a,t-j}$  就可以确定瞬时导热传热, 并可通过  $X_j, Y_j$  及  $R$  对  $Q_t$  进行计算。

通过玻璃的瞬时得热可以通过单位面积与其热环境之间的热平衡计算获得。无论有无阳光, 都存在通过窗户的导热传热。通过玻璃的太阳辐射得热和对流得热, 可分别用(2)式

收稿日期: 1998-05-18

彭绪亚, 男, 1963年生, 讲师

和(3)式计算。

$$q_1 = S [\tau_1 (I_t - I_d) + \tau_2 I_d] \quad (2)$$

式中:  $q_1$ ——透过窗玻璃的太阳辐射得热量  $W/m^2$ ;  $S$ ——玻璃遮阳系数;  $\tau_1$ ——太阳直接辐射透过率;  $\tau_2$ ——太阳散射辐射透过率;  $I_t$ ——太阳总辐射  $W/m^2$ ;  $I_d$ ——太阳散射辐射  $W/m^2$ 。

当太阳光照射在窗户玻璃上时,窗玻璃吸收太阳能提高温度后,部分能量通过长波辐射及对流传热进入室内。

对流及长波辐射得热量计算公式为:

$$q_2 = \Phi_1 (I_t - I_d) + \Phi_2 I_d \quad (3)$$

式中:  $q_2$ ——为长波辐射及对流得热量  $W/m^2$ ;  $\Phi_1$ ——为太阳总辐射吸收率;  $\Phi_2$ ——为太阳辐射散射吸收率。

采用 ASHRAER 手册提出的冷负荷计算法计算太阳辐射得热冷负荷:

$$(q_c)_n = \sum_{j=0} [ (q)_{n-j} \cdot (\varphi)_j ] \quad (4)$$

式中:  $(\varphi)_j$  ( $j=0, 1, 2, \dots, N$ )——为太阳得热的冷负荷系数;  $(q_c)_n$ ——为太阳得热冷负荷  $W/m^2$ ;  $(q)_{n-j}$ ——表示早于  $(q_c)_n$  第  $j$  小时的太阳得热  $W/m^2$ 。

通过窗的总冷负荷为导热传热与太阳辐射得热的冷负荷之和。

## 1.2 室内气流模型

室内热舒适性很大程度受气流分布的影响,室内气流流场特性可以通过实验室和现场测试获得。随着计算机技术的迅速发展,计算流体动力学(CFD)用于预测室内气流分布及评价室内热环境质量已成为热门课题<sup>[2]</sup>。课题组在吸收国内外最新成果的基础上,作了进一步的研究,开发出室内气候模拟模型及分析软件<sup>[3]</sup>。

气流模型包括连续性方程,动量方程( $N-S$ 方程),热能方程,及  $k-\epsilon$  紊流模型方程。对非压缩紊流时均方程为:

连续方程: 
$$\partial(\rho U_i) / \partial X_i = 0 \quad (5)$$

动量方程:

$$\frac{\partial}{\partial X_i} (\rho U_i U_i) = \frac{\partial}{\partial X_i} [ (\mu + \mu_r) (\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i}) ] - \frac{\partial C}{\partial X_i} [ P + \frac{2}{3} (\rho k \delta_{ij}) ] + g_i (\rho_s - \rho) \quad (6)$$

热能方程: 
$$\frac{\partial}{\partial X_i} (\rho U_i H) = \frac{\partial}{\partial X_i} [ (\frac{\mu}{\sigma} + \frac{\mu_r}{\sigma_r}) \frac{\partial H}{\partial X_i} ] + q \quad (7)$$

紊流耗散系数: 
$$\mu_r = (C_\mu \rho) k^2 / \epsilon \quad (8)$$

紊流动能方程:

$$\frac{\partial}{\partial X_i} (\rho U_i k) = \frac{\partial}{\partial X_i} [ (\mu + \frac{\mu_r}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial X_i} ] + \mu_r \frac{\partial U_i}{\partial X_j} (\frac{\partial U_j}{\partial X_i} + \frac{\partial U_i}{\partial X_j}) - C_d \rho \epsilon + G \quad (9)$$

紊流动能耗散率方程:

$$\frac{\partial}{\partial X_i} (\rho U_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial X_i} [ (\mu + \frac{\mu_r}{\sigma_\epsilon}) \frac{\partial \epsilon}{\partial X_i} ] + C_1 \mu_r \frac{\partial U_i}{\partial X_j} (\frac{\partial U_j}{\partial X_i} + \frac{\partial U_i}{\partial X_j}) \frac{\epsilon}{k} - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} + C_3 G - \frac{\epsilon}{k} \quad (10)$$

此处,  $G$  为浮力,表示热扩散及浓度扩散的联合作用。

$$G = g_i (\beta \frac{\mu_r}{\sigma_T} \frac{\partial T}{\partial X_i} + \beta_c \frac{\mu_r}{\sigma_C} \frac{\partial C}{\partial X_i}) \quad (11)$$

式中,  $C$  为空气中水蒸汽含量 ( $kg/kg$ ),  $H$  为混合空气比焓 ( $J/kg$ ),  $k$  为紊流动能 ( $m^2/s^2$ ),  $P$  为空气静压 (Pa),  $T$  为平均空气温度  $^\circ C$ ,  $U_i$  为  $X_i$  方向的平均速度 ( $m/s$ ),  $\beta$  为混合气体

体积膨胀系数,  $\delta$  为克罗内尔数, 当  $I = j$  时,  $\delta_{ij} = 1$ , 其他为 0,  $\mu$  及  $\mu_r$  分别为层流和紊流耗散率  $\text{kg/m} \cdot \text{s}$ ,  $\rho$  为空气密度,  $\sigma_e$ 、 $\sigma_k$  分别为帕朗特数和施密特数。式中各经验系数取值如下:  $C_\mu = 0.09$ ;  $C_d = 1.0$ ;  $C_1 = 1.44$ ;  $C_2 = 1.92$ ;  $C_3 = 1.0$ ;  $\sigma_e = 0.9$ ;  $\alpha = 1.0$ ;  $\sigma_k = 1.0$ ;  $\sigma_\epsilon = 1.22$ 。

### 1.3 室内热环境质量评价——热舒适评价模型

人在室内对热环境的满意程度, 即热舒适性是评价室内热环境质量的直接指标。它受环境参数即空气温度、湿度、气流速度、平均辐射温度以及活动量和衣阻的影响。室内热舒适评价采用建立在丹麦 P.O. Fanger 教授研究基础上的 PMV/PPD 评价指标<sup>[4]</sup>。

$$\text{PMV} = 0.303e^{-0.036M} + 0.028 \{ (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - P_a] - 0.42[(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M (5867 - P_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] - f_{cl} \times h_{cl}(t_{cl} - t_a) \} \quad (12)$$

$$\text{PPD} = 100 - 95 \exp(-0.3353 \text{PMV}^4 - 0.2179 \text{PMV}^2) \quad (13)$$

课题组在传热模型、气流模型及热舒适模型的基础上开发了建筑物动态模拟和室内气候模拟及热舒适评价综合软件, 该软件可根据室外气象参数, 对室内气候环境进行模拟, 并对室内热环境质量进行评价。

## 2 低能耗建筑室内热环境模拟与评价

利用地下埋管通风建筑是一种典型的低能耗建筑。研究表明, 在重庆地区, 当夏季室外空气温度为  $36^\circ\text{C}$  时, 通过地下埋管的送风温度可低于  $28^\circ\text{C}$ , 见表 1<sup>[4]</sup>。本文应用建立的室内热环境质量评价模型及计算机分析软件对地下埋管通风房间的室内热环境进行评价。当送风风速为  $0.5 \text{m/s}$  时, 室内气温、气速及 PPD 分布分别见图 1、图 2 和图 3。

表 1 地下埋管空气进出口温度

日期	时间	$t_{a1}$	$t_{a2}$	$\Delta t$
7月14日	9:30	31.4	27.5	3.9
	15:30	36.2	27.9	8.3
7月15日	9:40	30.6	27.8	2.8
	15:30	34.7	27.8	6.9
7月16日	9:00	29.7	26.8	2.9
	15:00	36.3	27.6	8.7

注:  $t_{a1}$ ——埋管进口空气温度 $^\circ\text{C}$ (室外空气温度)  
 $t_{a2}$ ——埋管出口空气温度 $^\circ\text{C}$ (送风温度)

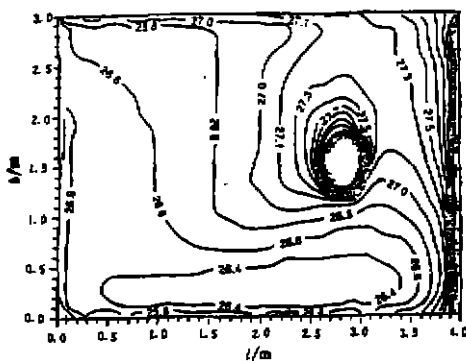


图 1 夏季晴天埋管通风室内水平面温度分布

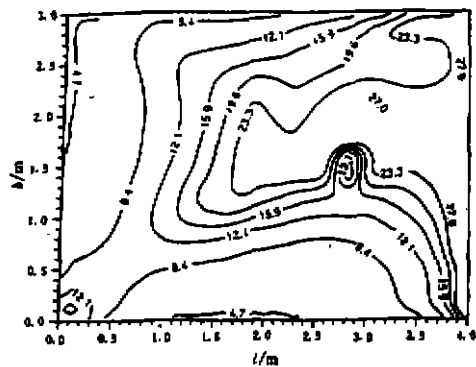


图 2 夏季晴天埋管通风室内水平面 PPD 分布

从图中可以看出, 当室外空气温度为  $36^\circ\text{C}$  时, 地下埋管通风建筑室内空气温度低于  $28^\circ\text{C}$ , 室内绝大部分区域  $\text{PPD} < 25\%$ , 室内热舒适性达较好的水平。

### 3 结束语

大力发展低能耗健康建筑,是促进人居环境可持续发展的一个重要内容。本文的分析表明,在重庆夏季典型气候条件下,利用地下埋管通风建筑,室内大部分区域 PPD < 25%。因此,地下埋管通风建筑是一种值得推广的低能耗健康建筑。

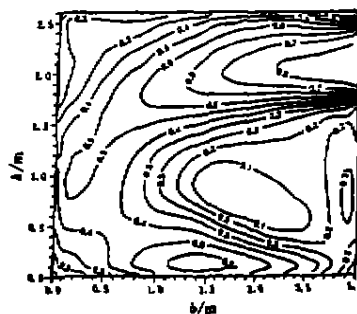


图 3 夏季晴天埋管通风室内垂直面风速分布

### 参考文献

- 1 洪天真,江亿.低能耗健康建筑与可持续发展,暖通空调,1996,27(6):28-30
- 2 G Gan.Numerical Method for a Full Assessment of Indoor Thermal Comfort.Indoor Air, 1994, 4(4): 154-169
- 3 姚润明.室内气候模拟及热舒适研究,重庆建筑大学博士论文,1997
- 4 P O Fanger.Thermal Comfort.McGram-Hill company,New York,1972
- 5 陈启高,等.用地下埋管的空气对房间舒适空调.中国建筑学会建筑热环境综合应用与技术讨论会论文集,1995

## Assessment of Indoor Thermal Comfort for Low Energy Consumption Buildings

*Peng Xuya Li Baizhan*

(Faculty of Urban Construction,CJU 400045)

*Chen Qigao Yao Runming*

(Faculty of Architecture and Urban Planning,CJU 400045)

**Abstract** A model for indoor thermal comfort assessment was investigated in this paper. By using this model, the indoor thermal comfort of low energy consumption building with buried pipe system was evaluated. The result shows that the buried pipe ventilation can improve indoor thermal comfort in hot climates.

**Key Words** low energy consumption building, indoor thermal comfort, assessment

(编辑:袁江)