

开窗渗透对于空调房间热湿环境影响分析

黄森¹, 潘毅群²

(1.奥雅纳工程咨询(上海)有限公司, 上海 200031; 2.同济大学中德工程学院, 上海 200082)

摘要: 定量分析了空调房间开窗对室内热湿环境的影响, 主要采用计算流体力学及系统仿真方法分别对建筑渗透风量及在此风量下室内的温湿度进行了分析, 并以上海某高层建筑为例具体阐述了上述方法。案例分析表明对于特定建筑来说, 当室外温湿度在一定的范围内时可以在保证室内舒适性的前提下利用开窗渗透进行通风换气以补偿新风, 同时稀释室内污染物。

关键词: 渗透; 室内热湿环境; 定量评估

中图分类号: TU831.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-7237(2012)06-0015-06

Impact of Infiltration by Openable Windows on Thermal Environment of Conditioned Zones

HUANG Sen¹, PAN Yi-qun²

(1.Arup Consulting (Shanghai) Company Limited, Shanghai 200031, China;

2.Sino-German School of Applied Sciences, Tongji-University, Shanghai 200082, China)

Abstract: A quantitative analysis was proposed to the impact of infiltration with openable windows on thermal environment of conditioned zone. Employing Computation Fluid Dynamic model combined with system simulation method, infiltrating air flow rate was calculated and indoor thermal environment under this infiltration was studied as well. A case was also studied to elaborate the above methods which also revealed that when outdoor temperature and humidity are within certain ranger, the infiltration could be used as an approach to make up fresh air and dilute indoor pollutants while ensuring indoor thermal comfort.

Key words: infiltration; indoor thermal environment; quantitative analysis

0 引言

近年来,随着办公建筑人员密度日益增大,其室内环境问题也越来越引起人们的关注。此类建筑室内污染源较多,既有各类装饰装修材料释放的有机类污染物,又有办公设备释放的无机污染物(如臭氧),还有烟草类污染物(ETC)。且由于采用集中式空调系统,往往会产生交叉污染;新风集中处理再输送到各个空调房间,在设计不够合理的情况下很容易发生新风分配不均匀的问题,即总新风量符合标准,但部分区域新风不足。因此,一些住户希望能够在空调运行的同时开窗换气以补充新风同时稀释污染物。然而这样做会为空调系统增加额外的新风负荷,有可能会影响室内的舒适性。因此,在空调系统开启的同时,开窗通风会对室内热环境造成怎样的影响,本文对此问题展开分析。

国内外学者们围绕这个问题已开展了一些相关研究。

在分析开窗对于室内环境的影响之前,首先要知道开窗后的渗透风量究竟有多大,由于渗透主要受室外风环境的影响,因此,目前对于这方面的研究主要集中于建筑外表面风压的计算,采用的主要方法有两种:一为测试,主要针对特定的建筑来进行室内外压

力测试,以期发现其分布规律^[1];二为风洞试验,即按一定的相似比例建立缩微模型,通过风洞试验来研究相应的实际建筑在特定外界风环境下的表面风压分布^[2-4]。需要特别指出的是,文献[5]在前述研究基础上提出了一种被动式通风风量计算的简易通用方法。然而该方法存在一定的局限性:一方面精确性不高,另一方面由于所依赖的风压系数主要针对建筑外形为规则立方体的建筑,因此,对于其他类型的建筑并不适用。

此外,一些学者对开窗渗透与室内环境的关系进行了定性研究。文献[6]采用集总参数法讨论了在何种室外温度范围内,引入室外新风不会对室内热舒适性产生影响。Emmerich等人提出了平衡温度的概念用以表示可引入新风的室外温度下限,即在此温度下,室内得热刚好可以抵消围护结构热损失,此时如果引入室外新风则需要考虑供热以维持室内温度。而室外温度上限则简单地取为供冷室内设计温度,并没有考虑渗透与供冷同时运行的工况。作为一种初步的定性研究,文献[6]为自然通风的潜力分析提供了一定的方向性指导。也有一些学者将室外渗透和建筑能耗模拟软件结合起来,对室内热环境进行深入的分析,较为常见的方法是利用多区域网络模型(multi-zone air-

收稿日期:2012-03-20; 修回日期:2012-04-01

flow model) 得到的渗透风量结果输入到能耗模拟软件中进行分析,如 Klein^[7]等人将 CONTAMW 软件与 TRNSYS 软件结合起来,讨论渗透风量对于商业建筑的影响。然而多区域网络模型相对于计算流体力学方法精确性有限。

以上的研究工作存在一些问题:①开窗渗透风量估算,由于建筑物外形对于表面风压分布的影响较大,因此,不同外形的建筑物的风压分布规律相互之间不具有推广性,而目前的研究大多是针对特定外形

的建筑,因此,较难获得普适性的结果;②室内热湿环境评估,目前的研究更多是集中于定性研究,较为可行的定量分析较少。针对这两个问题,首先采用计算流体力学(CFD)方法对特定建筑的渗透风量进行模拟计算;其次将计算获得的风量作为输入变量结合系统仿真的方法对室内热湿环境进行定量分析。

1 方法概述

主要通过模拟的方法,具体的思路如图 1 所示。为便于计算,本文作了如下的假设。

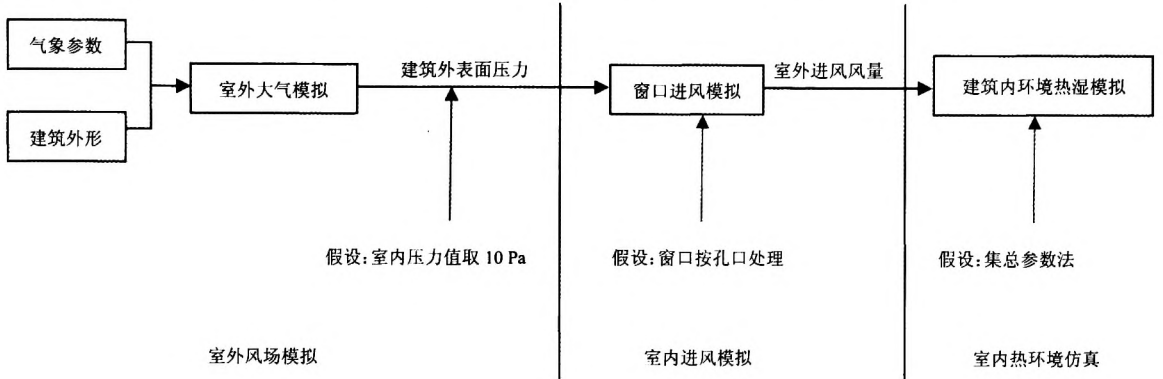


图1 研究思路

Fig.1 Research flow schematic

1.1 室内压力假定为 10 Pa

室内的压力分布和很多因素有关,如是否有通风系统、通风系统形式、内部隔断等。而对其进一步讨论已远超出本文的范畴。考虑到本文主要讨论室外气象参数与建筑外形对于开窗通风的影响,为简化问题,本文根据常规空调设计的要求取室内正压为 10 Pa。

1.2 在建筑热环境模拟中考虑房间温湿度分布均匀

为了简化问题,这里采用集总参数法,即考虑室内空气充分混合,温湿度分布均匀,进而对建筑内热环境进行分析。

1.3 将窗户抽象为孔口来考虑

建筑的外窗类型很多,不同类型外窗的流量系数也各不相同。本文忽略因外窗形式不同所造成的影响,将其假设为简单的孔口进行分析。

以下将通过一个例子具体说明上述方法。

2 案例分析

所研究对象位于上海市陆家嘴金融贸易区内,总建筑面积 75 000 m²,高 140 m,地上 38 层,地下 3 层。塔楼部分为办公层,按空调系统不同可分为两个部分:风机盘管楼层及变风量系统楼层(如图 2 所示),本文主要对塔楼部分进行分析。

2.1 室外风场分析

按该建筑实际尺寸建立 CFD 模型,以该模型为中心选取一定区域作为风场模拟的计算区域,该区域的尺寸根据前人模拟^[8]的经验取建筑尺寸的 10 倍左

右,为 450 m×500 m×280 m(如图 3)。

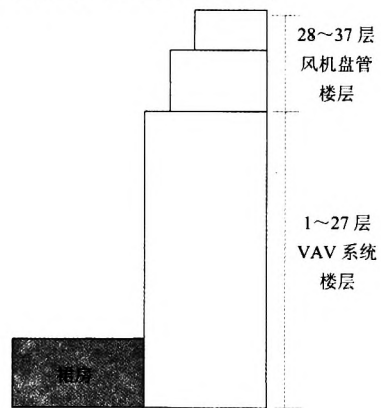


图2 研究对象

Fig.2 Object Building

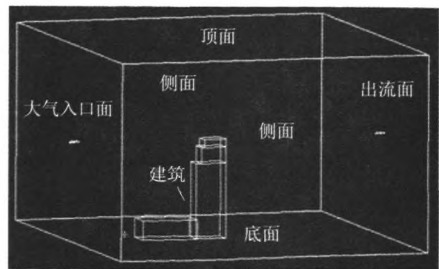


图3 建筑外流场模型图

Fig.3 External flow filed model

其中大气入口的参数按上海地区典型气象年参数中出现频率较大的参数选取为 3 m/s,如图 4;风向取上海夏季的主导风向:东南方向。

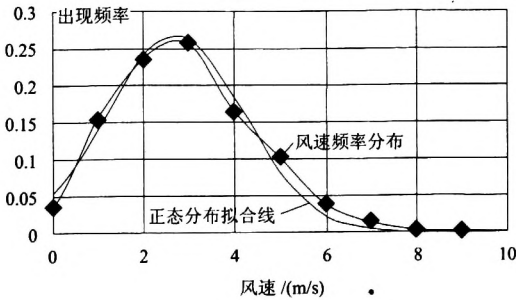
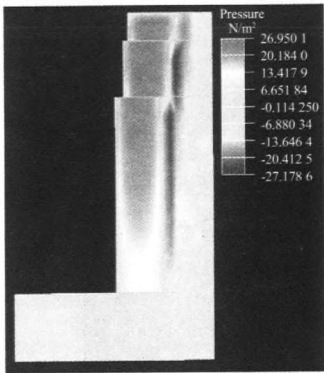


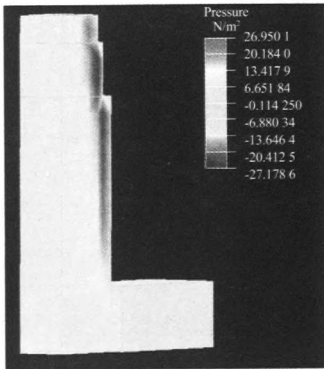
图 4 上海典型气象年夏季风速频率分布图

Fig.4 The wind velocity histogram for typical meteorological year of Shanghai

将以上参数作为边界条件输入 CFD 软件 Airpak 中,可得建筑外表面风压分布,如图 5。



迎风面



背风面

图 5 建筑外表面风压图

Fig.5 Wind pressure distribution on building outside surface

从建筑风压图可以看出,迎风面由于建筑的阻挡作用,动压转化为静压,导致压力很高,而建筑的两侧面以及背面则形成负压区。风压随高度的增加而增加(如图 6);在水平方向,则差别较大,以建筑 27 层迎风面为例,基本呈现两端低、中间高的分布。根据这种分

布情况,考虑选取新风引入点的平均压力作为室外风压,具体计算时可取窗户所在平面各端点的压力算术平均值,如图 7,面 ABCD 的压力值取端点 A、B、C 及 D 的平均。

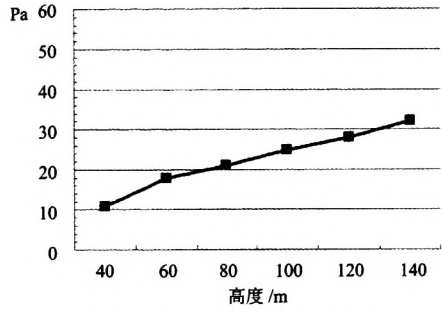


图 6 迎风面的最大静压值随高度的变化

Fig.6 The peak static pressures for windward side with height changes

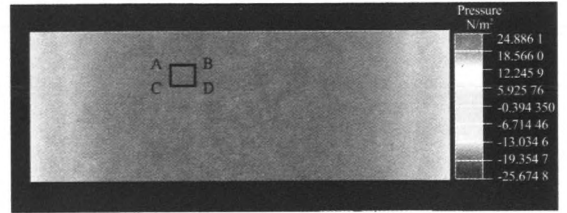


图 7 第 27 层迎风面风压图

Fig.7 Wind pressure for windward side wall of Floor 27

2.2 自然通风风量模拟

在室外风压已知的情况下就可以对开窗渗透的风量进行计算,基本方法是给定外窗(孔口)两段的压力,通过 CFD 计算来获得孔口的流量,模型示意图如图 8。

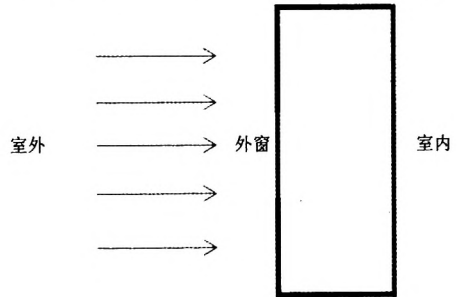


图 8 渗透模拟模型示意

Fig.8 Infiltration model

在模型中,外窗所在面设为压力出口,其压力值为上节中得到的风压,而室内压力则按前面的假设取 10 Pa。窗户的面积取值主要参考目标建筑中开启外窗的实际大小。目标建筑所采用的是推拉式外窗,窗户开度的选取主要考虑到安全,取上限为 0.2 m(如图 9)。为简化建模,将上悬窗等效为一个窗口,该窗口的面积为上悬窗下面开口和两侧开口的面积之和。例如,在上悬窗的窗台下沿伸出 0.2 m 时,该等效窗口面积经计算为 0.63 m²,可等效为一扇 0.95 m×0.66 m

的窗口。

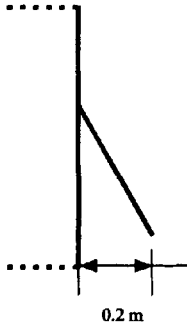


图9 可开启外窗示意图

Fig.9 Openable window

图2所示的风机盘管和变风量系统空调楼层中分别取27层和34层为例,假设在其迎风面中间位置开一扇外窗,其风压根据端点平均法求得分别为24.89 Pa和24.95 Pa,则其进风量可由上文模拟计算得到,分别为1.626 kg/s和1.63 kg/s。

2.3 室内热环境模拟

室内热环境模拟主要采用系统仿真法,目的在于分析在室外进风及室内空调系统的共同影响下的室内温湿度变化。这里考虑对系统不同部件分别建立模块,再组成系统分析其稳态过程。之所以采用仿真的方法来研究室内热环境,主要是因为对于空调房间来说,当冷热负荷超过系统相应容量时,室内温湿度和送风温度是相互耦合的,因此,无法通过显式的形式来直接求解。系统仿真的具体实现方法是针对空调系统和空调房间分别建立相应的解析模块,通过模块之间的联立来对整个系统进行稳态分析。

2.3.1 模块搭建

这里以变风量系统房间热环境和湿环境模块为例,具体阐述系统仿真的过程。需要说明的是对于不同空调末端来说,相应的热湿环境模块也各有不同。例如对于变风量和风机盘管系统来说,前者是一种集中式的系统,因此,一个房间的负荷增加会影响到同一AHU服务的其他区域;而后者则相对独立,各房间负荷增加相互之间基本没有影响,因此,需要根据末端不同进行具体分析。

2.3.1.1 变风量系统房间热环境模块

变风量空调系统是一种典型的集中式全空气空调系统,该系统的回风和新风通常在楼层空调箱(AHU)中混合后再处理,对同一AHU服务的一个楼层来说,一个房间负荷增加,将影响到整个楼层的送风温度,因此,变风量系统房间的热环境模块是针对整个楼层建立的。对于整个楼层,其热环境的解析描述为:

$$\rho V C_p \frac{d(T_r)}{dt} = Q + \rho C_p m_s (T_s - T_r) + \rho C_p m_{wm} (T_o - T_r) \quad (1)$$

式中: ρ 为空气密度,取1.2 kg/m³;

C_p 为空气定压比热,取1.01 kJ/kg·K;

m_s 为送风量,取额定最大值,m³/s;

m_{wm} 为通过窗户进入室内的风量,取前面的模拟结果;

T_r 、 T_s 、 T_o 分别为房间的送风温度、回风温度及室外温度;

Q 为房间固有冷负荷,可用式(2)计算:

$$Q = Q_{con} + Q(T_r, T_o) \quad (2)$$

式中: Q_{con} 为不随室内温度变化的负荷项,主要指如照明等室内负荷, W ;

$Q(T_r, T_o)$ 为与室内外温差有关的负荷项,如围护结构负荷、渗透负荷, W ,其值根据式(3)确定:

$$Q(T_r, T_o) = K(T_o - T_r) \quad (3)$$

当室外温度取上海地区空调室外设计温度34℃、室内温度取室内设计温度26℃时, $Q(T_r, T_o)$ 近似为围护结构设计冷指标,而该冷指标可按文献[9]中的简易空调负荷估算方法,由式(4)计算:

$$Q(T_r, T_o) = C_1 \cdot (Q_{全} - Q_{新风} - Q_{照明及设备}) \quad (4)$$

式中: C_1 为上海地区供冷修正系数,为1.07(按文献[9]及[10]取得);

$Q_{全}$ 、 $Q_{新风}$ 、 $Q_{照明及设备}$ 为总负荷、新风负荷及照明设备负荷指标,分别取143 kW、48 kW、30 kW(按文献[9]中19.5-8及19.5-10中阅览室相关数值选取)。

故可得到 K 的取值为8.7,按每层空调面积为1000 m², $Q_{con} = C_1 \cdot Q_{照明及设备} = 32.1$ kW。

根据以上分析可在Matlab/Simulink中建立变风量系统房间热环境模块,如图10。

该模块输入参数为送风温度、室外温度及通过窗户进入室内的风量,输出变量为回风温度。

2.3.1.2 变风量系统房间湿环境模块

同样对于整个楼层,其湿环境的解析描述为式(5):

$$\rho V C_p \frac{d(D_r)}{dt} = D_{con} + \rho m_s D_s + \rho m_{wm} D_o - \rho (m_s + m_{wm}) D_r \quad (5)$$

式中: D_r 为房间的绝对湿度,kg水/kg空气;

D_s 及 D_o 分别为送风及室外空气的绝对湿度,kg水/kg空气;

D_{con} 为房间人员散湿量,kg/s,按式(6)取值:

$$D_{con} = 0.001 n \varphi g / 3600 \quad (6)$$

式中: n 为室内人数,按4 m²/人的人员密度,变风量系统标准层1000 m²建筑面积有250人;

φ 为群集系数,取0.96;

g 为成年男子小时散湿量,取109 g/h。

根据以上分析可在Simulink中建立变风量系统房间湿环境模块,如图11。

该模块输入参数为送风绝对湿度及通过窗户进入室内的风量,输出变量为回风绝对湿度。

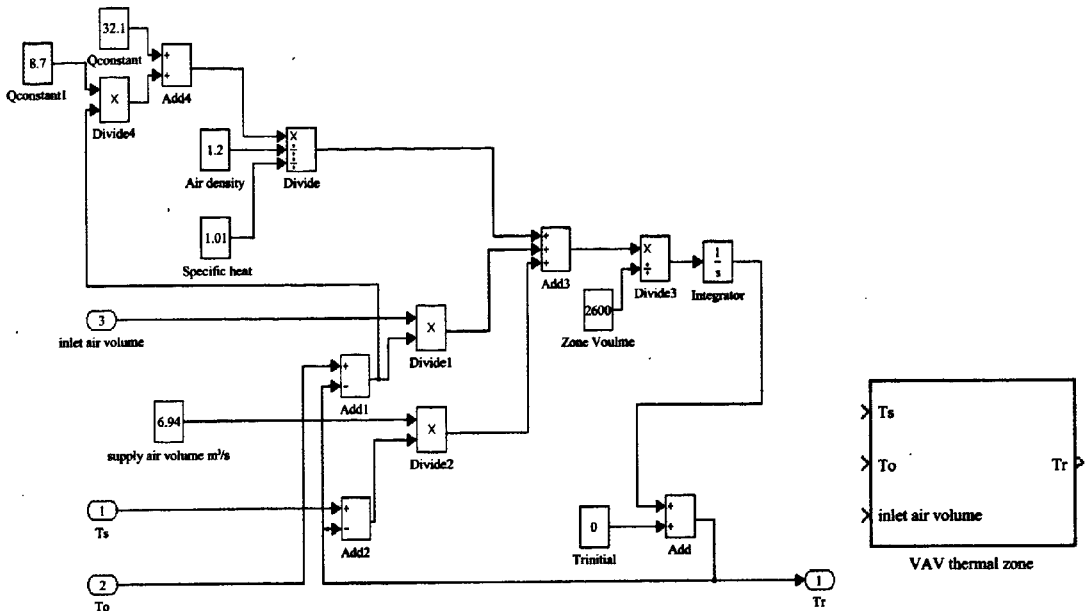


图 10 变风量系统房间热环境及封装模块

Fig.10 VAV thermal zone model and corresponding masking module

同理建立风机盘管房间热环境模块、湿环境模块、AHU 模块及风机盘管模块。

进行阐述，将已建好的变风量系统房间热环境模块、变风量系统房间湿环境模块及 AHU 模块按链接关系搭建成一个完整的变风量系统空调系统仿真平台，如图 12 所示。

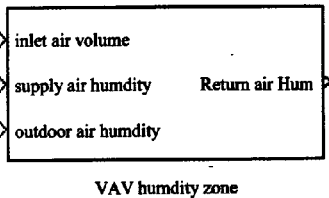


图 11 封装后的变风量系统房间湿环境模块

Fig.11 Module of masking VAV humidity zone

该平台的输入参数为室外温湿度及从窗户进入室内的空气体积流量，而输出参数则为送风温湿度以及房间回风温湿度，其可作为房间舒适性评断的参考指标。

2.3.2 仿真系统的搭建

2.3.3 仿真模拟及结果分析

这里同样以变风量空调系统仿真平台建立为例

(1)变风量系统：对变风量系统的仿真平台，取 27 层作为研究对象，假设迎风面开 6 扇窗户，AHU 容量取额定容量为 145.8 kW，相关输入变量如表 1。

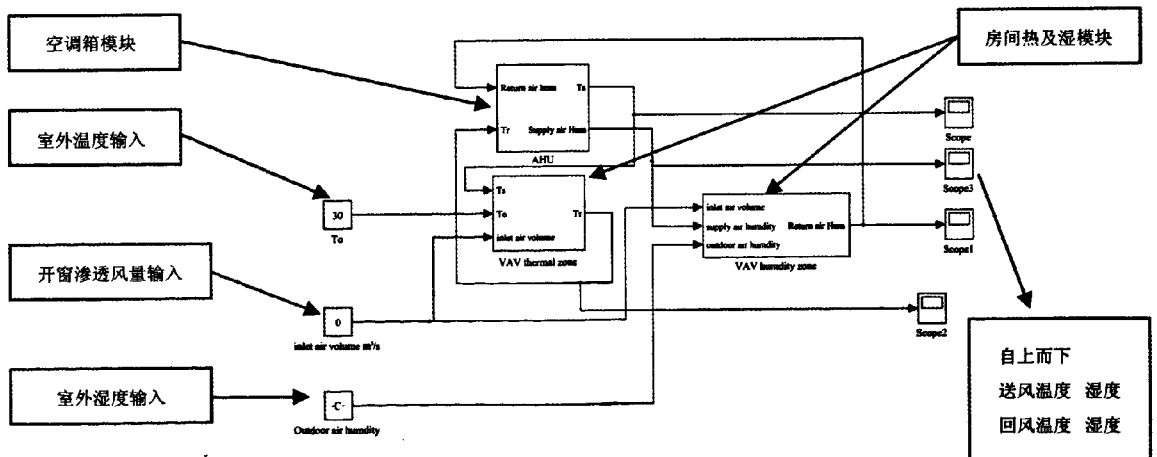


图 12 变风量系统空调系统仿真平台

Fig.12 Simulation test bed for VAV system

表1 变风量系统房间仿真模拟输入参数表

Tab.1 Input data summary of room with VAV

室外温度 /℃	28,30,32,34
室外相对湿度 /%	65
室外渗透风量 /(kg/s)	9.78

相关结果如图 13。

(2)对风机盘管系统仿真平台,取风机盘管服务最高楼层 37 层的空调房间作为研究对象,取位于迎风面的空调面积为 21.75 m² 的房间,假设其开一扇窗

户,为其服务的风机盘管制冷量按额定值取为 8.24 kW,输入参数如表 2,则模拟得到的不同室外温度下房间平均温湿度如图 14。

表2 风机盘管房间仿真模拟输入参数表

Tab.2 Input data summary of room with fan-coil

室外温度 /℃	28,30,32,34
室外相对湿度 /%	65
室外渗透风量 /(kg/s)	1.626

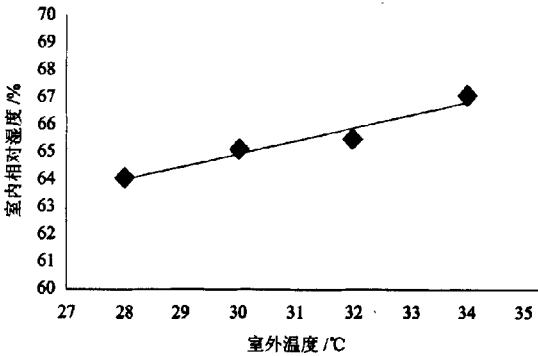


图 13 开窗通风时不同室外温度下室内平均温度和湿度

Fig.13 Indoor temperature and humidity for VAV thermal zone under different outdoor condition using infiltration by windows

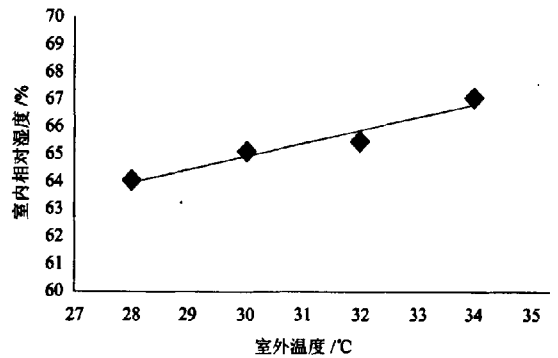


图 14 开窗通风时不同室外温度下室内平均温度和湿度

Fig.14 Indoor temperature and humidity for Fan-coil thermal zone under different outdoor condition using infiltration by windows

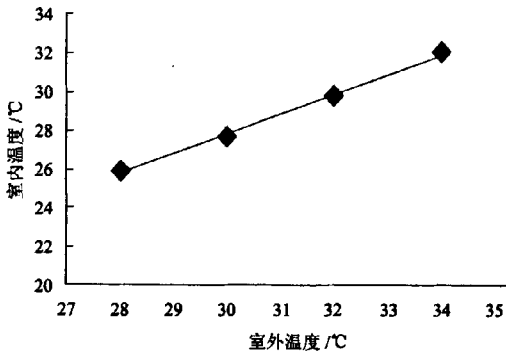
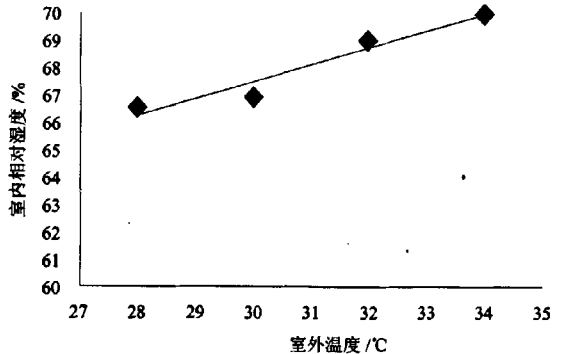


图 14 开窗通风时不同室外温度下室内平均温度和湿度

Fig.14 Indoor temperature and humidity for Fan-coil thermal zone under different outdoor condition using infiltration by windows



从图 13、14 我们可以看到,对于目标建筑来说,室外温度在 30 °C 以下的时候,在空调运行的情况下,所研究区域室内能够维持在温度 28 °C 以下、相对湿度低于 70% 的舒适性。

3 结论

从以上案例可以看出,是否可以通过直接开窗在保证热舒适性的前提下增加室内的换气次数以补充新风,需要根据所研究建筑的外形、高度、位置及空调系统容量等因素确定。本文所提出的方法可作为一种初步的定量评估工具来评估特定气候条件下特定建筑是否可以在空调运行的同时开窗换气。但需要指出的是,在模型的建立过程中为简化计算做了一些假设;而另一方面来说在对建筑外界风压影响分析时,

也未考虑周围建筑对于目标建筑所在风场的影响,这些都必然会影响到这种方法的精确性,笔者也希望在未来的研究工作中能就以上问题进行修正,为实践提供更精确的理论指导。

参考文献:

[1]Girma T. Bitsuamlak, Amanuel S. Teclé. Full-scale external and internal pressure measurements for a Low-rise building[R]. Florida International University, Sept.,2009.
 [2]Ashley S K. Field and wind tunnel testing on natural ventilation cooling effects on three navy building[R]. Naval Civil Engineering Laboratory, Port Hueneeme, California,1993.
 [3]Bowen A J. A wind tunnel investigation using simple building models to obtain mean surface wind pressure coefficient for air (下转第 23 页)

两套净化空调系统。将净化处理后的新风与回风混合后,经制冷(或加热)后,通过中效过滤器过滤后,送至室内手术台上空的送风静压箱,再经高效过滤器过滤,通过送风口以单向流形式送入室内,Ⅰ级洁净手术室送风口风速 0.28 m/s,Ⅱ级洁净手术室送风口风速 0.24 m/s,Ⅲ级洁净手术室送风口风速 0.2 m/s。各手术室的回风均采用双侧下部回风,回风口采用阻尼风口,回风口风速小于 1.6 m/s。各手术室设置独立的排风系统,排风口设于手术室顶部靠近患者头部的墙角处,室内空气经排风口、过滤器过滤后,通过排风机排至室外大气中,其中Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级洁净手术室排风均采用中效及亚高效两极过滤,另对麻醉室及洁净手术部辅助用房等分别采用阻尼风口加止回阀的独立排风方式。

手术室内为受控环境,GB50333—2002《医院洁净手术部建筑技术规范》对各级手术室与相邻低级别洁净手术室的最小静压值有明确的规定,为确保手术室不使用时维持最小静压值,除新风系统提供正压送

(上接第 14 页)在 4 个因素中,窗户高宽比 L 和窗户开度 θ 和窗户面积 A 对悬窗的流量系数影响的显著性更大。流量系数随窗户高宽比 L 、窗户开度 θ 和窗户面积 A 均呈线性规律增加。

4 结语

本文采用 Fluent 模拟的方法计算了平开窗、推拉窗以及悬窗 3 种自然通风口在不同条件下的流量系数,分析了它们受窗户面积、窗口高宽比、窗口开度以及窗口两侧温差的影响情况。结果表明,将各类通风口的流量系数直接看成一个定值进行自然通风流量计算不准确,窗户面积、窗口高宽比、窗口开度以及窗口两侧温差均对窗户流量系数有影响,对不同的通风口应做具体分析。最后利用 SPSS 软件进行了多元线性回归,得到 3 种形式的通风口流量系数与窗户面积、窗口高宽比、窗口开度以及窗口两侧温差 4 个因素的计算公式。该结果可为人们在计算建筑外窗自然通风流量时提供一定的参考,可以根据实际的窗户类型、窗户面积、窗口高宽比、窗口开度以及窗口两侧温差等参数直接计算出相应的流量系数,进而进行窗口流量的计算。

(上接第 20 页)infiltration estimates [R]. National aeronautical establishment, Canada, Dec.,1976.

[4]Chandra S, Fairey P, Kerestecioglu A, et al. Wind tunnel and full scale data on airflows from natural ventilation and ceiling fans [J]. ASHRAE transactions,1986,92(2).

[5]Muthusamy V Swami. Procedures for calculating natural ventilation air-flow rates in buildings[R]. Florida Solar Energy Center, March,1987.

[6]Steven J. Emmericha, Brian Polidorou, James W. Axleyb. Impact of adaptive thermal comfort on climatic suitability of natural ventilation in office buildings[J]. Energy and Buildings,2011,43(9).

风外,手术室净化空调系统内的回风管、排风管上设置的电动阀均应关闭。手术室工作时,排风机与电动门连锁,自动门瞬间开启时,排风机立即关闭,达到室内要求正压时才能启动排风系统。

本工程手术部净化空调系统的施工,由院方委托的净化空调公司进行,其间对原设计的新风系统进行了合并,由原来的 5 个系统集中为每层设置一个新风系统,各净化空调系统及排风系统维持原设计,该工程 2009 年投入使用,运行正常。

参考文献:

[1]沈晋明.洁净手术部的净化空调系统[C]//第五届海峡两岸制冷空调技术交流会议论文集,2001.

[2]吴有寿,殷毓珍.浅谈医院洁净手术室空调设计[J].暖通空调,2001,31(5).

作者简介:李红英(1968),女,蒙古族,高级工程师,专业总工,暖通专业(Lklyh88@163.com)。

参考文献:

[1]Per Heiselberg, et al. Characteristics of airflow from open windows[J]. Building and Environment(S0360-1323),2001,36:859-869.

[2]Caiqing Yang, et al. Research on Flow Resistance Characteristics with Different Window/Door Opening Angles [J]. HVAC&R Research,2010,16(6):813-824.

[3]刘方,等.建筑开口流量系数及其对火灾烟流的影响[J].重庆建筑大学学报,2000,22(3):86-92.

[4]石卉,等.门窗不同开度下自然通风对室内空气品质及能耗的影响[C]//全国暖通制冷 2008 年学术年会论文集,2008.

[5]蔺光彩,等.建筑大孔口阻力特性与通风量计算[C]//第七届全国工程学和工业空气动力学学术会议论文集,2006:365-370.

[6]金良超.正交设计与多指标分析[M].北京:中国铁道出版社,1988.

[7]骆方,等.SPSS 数据统计与分析[M].北京:清华大学出版社,2011.

作者简介:王龙(1988),男,安徽人,供热供燃气通风及空调工程专业,从事建筑节能方向的研究(wanglongsin@126.com)。

指导教师:潘毅群,同济大学中德工程学院,博士生导师。

黄治钟,同济大学中德工程学院,高级工程师。

[7]Klein S.TRNSYS-A Transient system simulation program engineering experiment station report[R].38-13. Solar energy laboratory, University of Wisconsin-Madison,2000.

[8]赵福云,汤广发,周安伟.住宅小区热环境数值分析-风环境的数值模拟[C]//全国暖通空调制冷 2002 年学术年会论文集(下册),2002.

[9]陆耀庆.供暖通风设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社.

[10]GB 50019—2003,采暖通风与空气调节设计规范[S].

作者简介:黄森(1987),男,安徽人,毕业于同济大学,暖通专业,从事建筑节能方向的研究(jawhasway@yahoo.com.cn)。

开窗渗透对于空调房间热湿环境影响分析

作者: [黄森](#), [潘毅群](#), [HUANG Sen](#), [PAN Yi-qun](#)
作者单位: [黄森, HUANG Sen\(奥雅纳工程咨询\(上海\)有限公司, 上海, 200031\)](#), [潘毅群, PAN Yi-qun\(同济大学中德工程学院, 上海, 200082\)](#)
刊名: [建筑节能](#)
英文刊名: [Building Energy EFFICIENCY](#)
年, 卷(期): 2012, 40(6)

参考文献(10条)

1. [陆耀庆 供暖通风设计手册](#)
2. [赵福云;汤广发;周安伟 住宅小区热环境数值分析-风环境的数值模拟](#) 2002
3. [Klein S TRNSYS-A Transient system simulation program engineering experiment station report](#) 2000
4. [Steven J.Emmericha;Brian Polidoma;James W.Axleyb Impact of adaptive thermal comfort on climatic suitability of natural ventilation in office buildings](#) 2011(09)
5. [Muthusamy V Swami Procedures for calculating natural ventilation airflow rates in buildings](#) 1987
6. [Chandra S;Fairey P;Kerestecioglu A Wind tunnel and full scale data on airflows from natural ventilation and ceiling fans](#) 1986(02)
7. [Bowen A J A wind tunnel investigation using simple building models to obtain mean surface wind pressure coefficient for air infiltration estimates](#) 1976
8. [Ashley S K Field and wind tunnel testing on natural ventilation cooling effects on three navy building](#) 1993
9. GB 50019-2003, [采暖通风与空气调节设计规范](#)
10. [Girma T.Bitsumlak;Amanuel S.Teclle Full-scale external and interhal pressure measurements for a Low-rise building](#) 2009

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_fcyyy201206006.aspx