

# 建筑外窗自然通风流量系数的影响因素分析

王 龙, 潘毅群, 黄治钟

(同济大学机械工程学院, 上海 201804)

**摘要:** 流量系数是反映建筑开口自然通风量的一个重要参数。利用 Fluent 软件对不同形式的建筑开口在自然通风下的流量系数进行了模拟计算, 分析其各项影响因素包括通风口面积、通风口高宽比、通风口开启角度、通风口两侧温差等的影响情况。再利用 SPSS 软件对模拟结果进行多元回归, 定量分析平开窗、推拉窗以及悬窗 3 种开口的流量系数。

**关键词:** 自然通风; 流量系数; 正交实验; SPSS

**中图分类号:** TU834.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-7237(2012)06-0012-03

## Factors Affecting Discharge Coefficient of Building Ventilation Windows

WANG Long, PAN Yi-Qun, HUANG Zhi-zhong

(School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** Discharge coefficient is an important parameter that reflects the natural ventilation airflow rate through building opening. Fluent software is utilized to get the discharge coefficient of different kinds of building natural ventilation openings; It analyzes the influence of the main factors, such as the area of opening, the height/width ration of opening, the opening degree, and the temperature difference across the opening, on discharge coefficient of casement window, sliding window and pivot window. The regression equation of discharge coefficient and the four factors to the three kinds of windows are expounded respectively with SPSS software.

**Key words:** natural ventilation; discharge coefficient; orthogonal design experiment; SPSS

## 0 引言

自然通风能够直接向室内提供新鲜空气, 改善室内空气品质, 同时能节省机械通风能耗, 现在得到越来越多的应用和研究。自然通风口作为连接室内和室外环境的载体, 其开口特性的研究非常重要。Per Heiselberg 等人<sup>[1]</sup>研究了两种不同形式的外窗的流量特性, 分析了外窗流量系数受两侧压差和温度差的影响规律。文献[2]~[4]研究了门、窗在不同开度时的流量系数。结果表明, 流量系数值会随着开度的变化而变化, 这说明不管窗户、门开度的变化而将其流量系数看成一个定值是不准确的。龚光彩等人<sup>[5]</sup>分析了大开口房间通风时开口的阻力特性, 当开口大小及位置不同时, 开口通风阻力特性存在较大差异。这些研究均表明, 不能将建筑自然通风开口的流量系数看成一个定值。本文将讨论常见的平开窗、推拉窗以及悬窗 3 种建筑自然通风开口的流量系数, 分析它们受窗户面积、窗户高宽比、窗户开度以及窗户两侧温度差等因素的影响情况, 并定量得到相应的计算公式。

## 1 研究方法及模型建立

本文采用 Fluent 软件进行模拟分析计算, 通过建立不同窗户的模型, 并将窗户置于一定的气流下, 模拟得到相应参数工况下的流量系数, 之后分析数据, 收稿日期: 2012-04-23; 修回日期: 2012-05-02

得到各因素对窗户流量系数的影响情况。物理模型图见图 1 所示。

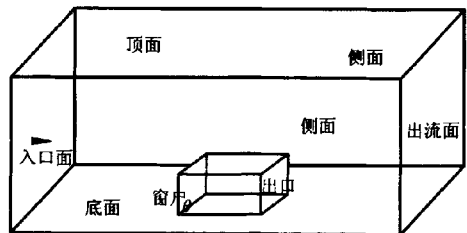


图 1 窗户流量系数模型图

湍流模型采用 RNG  $k-\epsilon$  两方程湍流模型。其控制方程由连续性方程、动量方程、能量方程、湍流脉动能  $k$  方程及湍流能量耗散  $\epsilon$  方程和确定湍流系数的方程组成。通过引入时均值和脉动值, 经过若干假设和简化, 发展成为适于湍流粘性流的湍流时均方程。RNG  $k-\epsilon$  两方程湍流模型在传统  $k-\epsilon$  模型的基础上做了改进: 在动量方程、能量方程、 $k$  方程与  $\epsilon$  方程中均考虑了分子黏性作用; 考虑了因素流强度衰减引起的低  $Re$  数的影响等。因此, 此处用这种湍流模型更能准确反映在建筑流场及室内空气分布情况。

边界条件:

(1)入口面: 设为速度出口, 任给定一个速度, 本文中取为 3 m/s, 用于确定通过窗口处的空气流量。

(2)出流面: 设为自由出口, 空气从出口面流出。

(3)侧面: 两个侧面均设为对称边界, 即在边界处速度梯度为 0。

(4)顶面和底面: 均设为无滑移墙面。

(5)窗口: 按照实际模型建立, 设为自由出口, 根据其两侧的压差作用有空气流进出。

## 2 单因素分析研究

本文中讨论 3 种窗户类型(见图 2), 并且分析流量系数分别受窗户面积、窗口高宽比、窗口开度(其中平开窗和悬窗以开启角度  $\theta$  表示, 而推拉窗以相应开启率  $S/R$  表示)以及窗口两侧温差 4 个因素的影响情况。

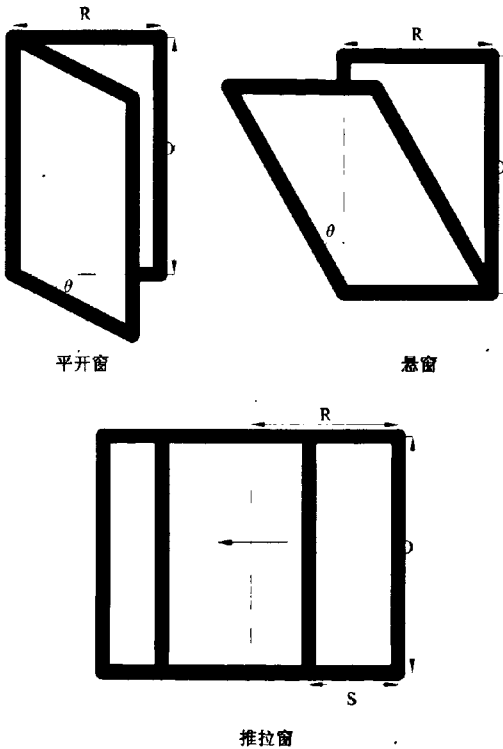


图 2 窗户类型图

### 2.1 窗户面积的影响分析

为分析窗户面积  $A$  对流量系数的影响, 本文中将其其他参数取一定值(对于平开窗和悬窗, 窗口高宽比为 1、窗口开度为  $45^\circ$  以及室内外温差为  $0^\circ\text{C}$ ; 对于推拉窗, 开启率为 0.45, 其他参数相同), 讨论了窗户面积分别取值为  $1\text{ m}^2$ 、 $2\text{ m}^2$ 、 $3\text{ m}^2$ 、 $4\text{ m}^2$  和  $5\text{ m}^2$  时几种情况下的流量系数, 结果见图 3 所示。从图中可以看出, 随着窗口面积的增加, 3 种窗户的流量系数均逐渐增大, 且呈线性关系, 但总体变化不是很大。如当窗户面积由  $1\text{ m}^2$  增至  $5\text{ m}^2$  时, 平开窗的流量系数是从 0.650 增至 0.662, 变化率为 1.8%; 推拉窗的流量系数从 0.348 增至 0.372, 变化率为 6.9%; 悬窗的流量系数从 0.514 增至 0.57, 变化率为 10.9%。同时可以看出,

将各种窗口的流量系数均直接按 0.6 计算不够准确, 各类窗户之间的流量系数相差较大。

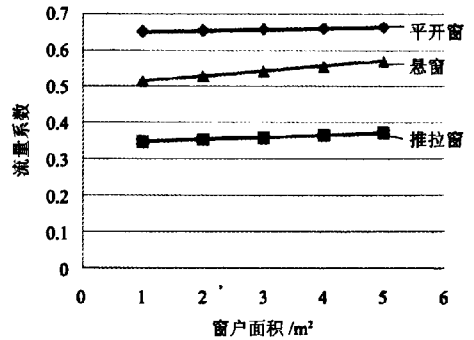


图 3 流量系数受窗户面积的影响图

### 2.2 窗户高宽比的影响分析

当窗口面积等参数一定时, 窗口高宽比若不同, 窗口流量系数同样会不同。本文讨论当窗口面积为  $4\text{ m}^2$ 、窗口开度为  $45^\circ$  (或开启率为 0.45) 以及室内外温差为  $0^\circ\text{C}$  时, 高宽比  $L$  依次取 0.25、0.5、1.2 和 4 计算得到的流量系数见图 4。从图中可以看出, 随着窗户高宽比的增加, 推拉窗和悬窗的流量系数均会逐步增加, 而平开窗的流量系数逐步减小, 但它们均随着窗户高宽比值的不断增大变化会越来越缓慢。其中平开窗随窗户高宽比的变化规律与悬窗的不同, 这可以从二者的窗户结构分析得到。将平开窗旋转  $90^\circ$  即变成了悬窗, 此时它的高宽比恰好是悬窗高宽比的倒数, 所以二者随高宽比的变化规律相反。

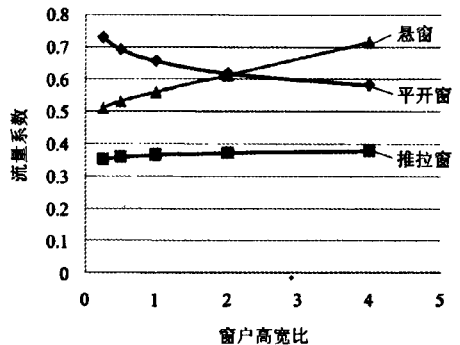


图 4 流量系数受窗户高宽比的影响图

### 2.3 窗户开度的影响分析

窗口开度是影响窗口流量系数的又一个重要因素, 开度不同表明窗户实际的有效面积不同, 从而流量系数会相差较大。在窗户面积为  $4\text{ m}^2$ 、窗口高宽比为 1 以及室内外温差为  $0^\circ\text{C}$  时, 对于平开窗和悬窗, 当窗口开度  $\theta$  依次取  $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$  和  $90^\circ$  时, 计算得到流量系数见图 5。从图中可知, 随着窗口开度的增大, 窗口流量系数逐步增加, 且变化幅度较大, 如平开窗的流量系数由 0.395 增至 0.82, 悬窗的流量系数由 0.346 增至 0.81。而对于推拉窗, 当窗户的开度为 0.15、0.3、0.45、0.6 和 1 时, 计算得到流量系

数见图 6, 流量系数与窗户开度呈线性增长趋势, 值从 0.11 增为 0.833。由此可以看出, 在窗户面积一定的情况下, 实际开度不同(也即实际有效面积不同)流量系数会相差很大。

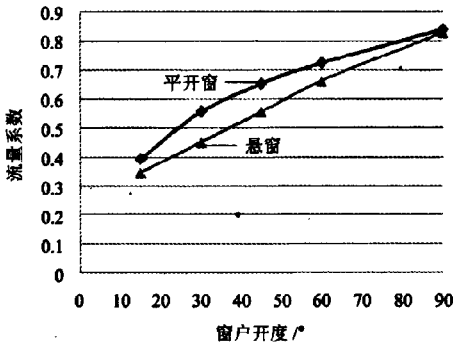


图 5 流量系数受窗户开度的影响图

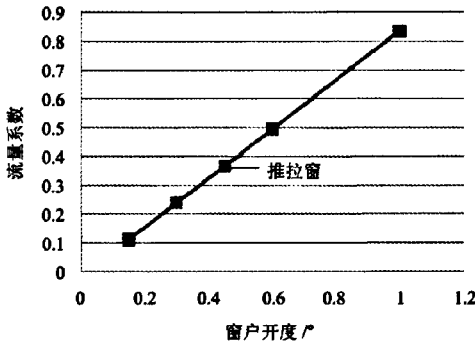


图 6 流量系数受窗户开度的影响图

#### 2.4 窗户两侧温差的影响分析

窗户两侧的温差不同, 产生的热压作用大小就不同, 同样会影响窗户处的空气流量。当窗户面积为  $4 \text{ m}^2$ 、窗口高宽比为 1 以及窗口开度为  $45^\circ$  (或开启率为 0.45) 时, 窗户室外侧和室内侧的温度差依次取  $-10^\circ\text{C}$ 、 $-5^\circ\text{C}$ 、 $0^\circ\text{C}$ 、 $5^\circ\text{C}$  和  $10^\circ\text{C}$  时, 计算得到流量系数见图 7。从图中可以看出, 随着室外和室内温差的增大, 窗口处流量系数逐步减小。这说明随着室外和室内温差的不断增大, 热压的作用不断减小, 并最终和风压的作用方向相反, 从而引起流量系数的减小。

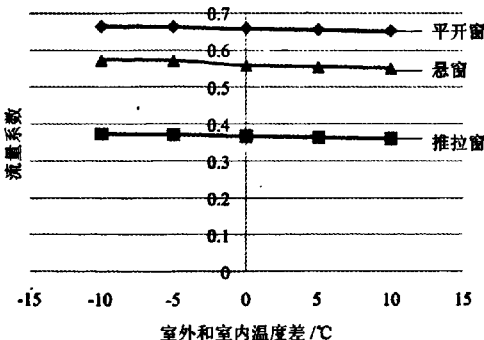


图 7 流量系数受窗户两侧温差的影响图

### 3 多因素的回归分析研究

由上面的分析可知, 窗户面积、窗口高宽比、窗口开度以及窗口两侧温差均对建筑外窗的流量系数有一定的影响, 为准确地反映以上 4 个因素对流量系数的综合影响情况, 现对每个因素均取 5 个值, 进行组合模拟计算, 见表 1 所示。

表 1 各因素的水平划分表

因素水平	窗户面积 A m <sup>2</sup>	高宽比 L	窗户开度 $\theta$ °	室外内温差 $\Delta t$ °C
1	1	0.25	15	15%
2	2	0.5	30	30%
3	3	1	45	45%
4	4	2	60	60%
5	5	4	90	100%

当每个因素取 5 个参数值时, 按全排列一共要进行 1 875 次模拟计算, 显然这个工作量是相当大的, 特别是如果影响因素更多, 要进行的模拟次数将是巨大的。为此, 本文中采用“正交实验法”<sup>[9]</sup>, 不仅可以大大减小模拟次数, 同时由于按照正交表选取的模拟工况具有代表性和典型性, 可以保证结果的准确性。本文采用 6 因素 5 水平正交表  $L_{25}(5^6)$  来分析, 一共进行 25 次模拟计算。

利用 SPSS 软件<sup>[7]</sup>对正交实验得到的数据结果进行回归分析, 得到多参数对窗户流量系数的计算公式。

对于平开窗, 利用 SPSS 逐步多元回归得到流量系数  $\mu$  与窗户面积 A、窗口高宽比 L、窗口开度  $\theta$  以及窗口两侧温差  $\Delta t$  的计算式为:

$$\mu = -0.053 \ln(L) + 0.238 \ln(\theta) - 0.25 \quad (1)$$

其中复相关系数为 0.979, 经过其他参数的检验, 证明回归效果明显。从式(1)可以看出, 在 4 个因素中, 窗户高宽比 L 和窗户开度  $\theta$  对平开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 呈对数规律减小, 而随窗户开度  $\theta$  呈对数规律增加。

对于推拉窗

$$\mu = 0.01 \ln(L) + 0.849 \theta + 0.006 A - 0.04 \quad (2)$$

其中复相关系数为 0.999, 经过其他参数的检验, 证明回归效果明显。从式(2)可以看出, 在 4 个因素中, 窗户高宽比 L 和窗户开度  $\theta$  和窗户面积 A 对推拉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 呈对数规律增加, 随窗户开度  $\theta$  和窗户面积 A 均呈线性规律增加, 但窗户开度比窗户面积的影响显著性更大。

对于悬窗,

$$\mu = 0.007 \theta + 0.014 A L + 0.185 \quad (3)$$

其中复相关系数为 0.965, 经过其他参数的检验, 证明回归效果明显。从式(3)可以看出, (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室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

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(Lkthy88@163.com)。

(上接第 14 页)在 4 个因素中,窗户高宽比  $L$  和窗户开度  $\theta$  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  $\theta$  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。

#### 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]龚光彩,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。

(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 date on airflows from natural ventilation and ceiling fans [J]. ASHRAE transactions,1986,92(2).

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

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

[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)。

# 建筑外窗自然通风流量系数的影响因素分析

作者: [王龙](#), [潘毅群](#), [黄治钟](#), [WANG Long](#), [PAN Yi-Qun](#), [HUANG Zhi-zhong](#)  
作者单位: [同济大学机械工程学院, 上海, 201804](#)  
刊名: [建筑节能](#)  
英文刊名: [Building Energy EFFICIENCY](#)  
年, 卷(期): 2012, 40 (6)

## 参考文献(7条)

1. [骆方](#) [SPSS数据统计与分析](#) 2011
2. [金良超](#) [正交设计与多指标分析](#) 1988
3. [龚光彩](#) [建筑大孔口阻力特性与通风量计算](#) 2006
4. [石卉](#) [门窗不同开度下自然通风对室内空气品质及能耗的影响](#) 2008
5. [刘方](#) [建筑开口流量系数及其对火灾烟流的影响](#)[期刊论文]-[重庆建筑大学学报](#) 2000 (03)
6. [Caiqing Yang](#) [Research on Flow Resistance Characteristics with Different Window/Door Opening Angles](#) 2010(06)
7. [Per Heiselberg](#) [Characteristics of airflow from open windows](#) 2001

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_fcyy201206005.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_fcyy201206005.aspx)