

文章编号:1007-6735(2010)05-0413-05

点源与建筑物窗口布置对室内空气质量的影响

谢海英¹, 陈康民²

(1. 上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093; 2. 上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093)

摘要: 采用数值模拟的方法, 对单个建筑物在自然通风方式下建筑外点源高度与 13 种建筑物窗口布置对室内空气质量的影响进行了讨论. 结果表明, 当源位于建筑物前约单倍建筑物高度时, 源的高低对室内浓度有影响, 源的高度为建筑物高度一半时的室内浓度要普遍高于源在地面时的室内浓度; 窗口布置对室内浓度的影响要结合源的高度考虑; 窗口布置情况会显著影响建筑物的通风量, 在迎风面, 特别是上部开窗时, 能有效增加通风量.

关键词: 自然通风; 点源高度; 窗口布置; 室内空气质量
中图分类号: X 169 **文献标志码:** A

Impact of point source height and window configuration on indoor air quality

XIE Hai-ying¹, CHEN Kang-min²

(1. School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The impacts of point source height and 13 kinds of window configuration on the indoor air quality of isolated building, adopting natural ventilation, were studied by the way of numerical simulation. The results show the indoor concentration is lower with the source on the ground than with the source located as high as one half of the building height. The influence of the window configuration on the indoor concentration should be considered combinedly with the height of the source, at the same time the configuration of the window would significantly affect the dimensionless ventilation rate and particularly the window on the upper part of the windward wall would obtain a higher ventilation rate.

Key words: natural ventilation; point source height; window configuration; indoor air quality

自然通风方式节能、简单且舒适感好于机械通风, 因此, 在室外空气温度适宜时, 成为人们改善室内空气质量的首选^[1,2]. 当利用建筑物壁面的风压作用实现穿堂式通风时, 由于窗口布置的不同必然造成不同的压差, 形成不同的通风效果^[2]. 同时由于交通污染已对城市空气质量造成较大的影响, 室外

空气污染物不可避免地会由自然通风带入室内, 从而对室内空气质量产生影响, 因此, 研究如何通过变化窗口布置来有效地利用自然通风, 同时尽可能避免室外污染对室内空气质量的影响问题, 对改善室内空气质量具有一定的实际意义. 对于室外空气污染对室内空气质量影响的研究, 目前国内外研究者

收稿日期: 2010-06-21

基金项目: 上海市科学技术委员会世博科技专项基金项目(06DZ05809)

作者简介: 谢海英(1973-), 女, 讲师. E-mail: xiehaiying_usst@163.com

普遍采用现场测量室内外空气污染物浓度的方法获得该问题的解,然而由于现场情况的不同、影响因素的不可控性,所得的结论既不便于推广,又不能确定各种因素的影响程度,因此,无法从机理上对该问题进行解释.实际上,交通污染物浓度分布主要受建筑内外气流的影响,如能用数值模拟法对室内外流场给出正确的描述,那么室内外污染物浓度的分布也就不难得到^[3].本文选用数值模拟法,参考风洞模型试验^[4,5],对单体建筑设计了13种常见的窗口布置,通过不同点源高度情况下室内的通风量和污染物浓度的分析与比较,给出较理想的窗口布置.

1 计算模型

图1是建筑物模型前后左右墙面上部开窗时的示意图,建筑物为立方体,模型与原型比尺为1/30.模型高 H 为180 mm,窗体为正方形,边长为50 mm,墙厚为4 mm.若将图1中窗体下沿与地面间的距离 h 由150 mm改为0,则为下部开窗.为方便描述,按图1中墙面前左右后的顺序,用U和D分别表示墙面上部和下部的窗体,如该面上无窗体则用N表示,则图1的窗口布置可命名为U-U-U-U,其余12种方式可以此类推,具体命名如表1所示.坐标系设置如图1所示, u_i ($i=1,2$ 和3)分别表示 x, y 和 z 向速度.特征速度 $u_H=4.17$ m/s,即建筑物高度处的来流速度.计算域 y 向的来流距离建筑物迎风面(即图1中的前面)为 $5H$,出流距离建筑物背风面(即图1中的后面)为 $15H$, x 向宽度各距离建筑物左、右墙面为 $5H$, z 向高度距离地面为 $5H$.计算域采用Gambit软件进行网格划分,选用非结构化四面体网格,各种工况的网格数约为730 000~850 000,最小网格约为 0.004 m $\times$ 0.004 m.计算采用Fluent软件,湍流模型选用RNG κ - ϵ 模型, κ 为湍动能, ϵ 为湍动耗散率.来流采用试验^[4]给定的速度, $u_2/u_H=(z/H)^{0.25}$, $u_1=0$, $u_3=0$,来流湍流强度取为2.5%.污染源置于建筑物正前方0.2 m处,污染物设为CO,源强 Q_s 为1.6 mL/s,沿 z

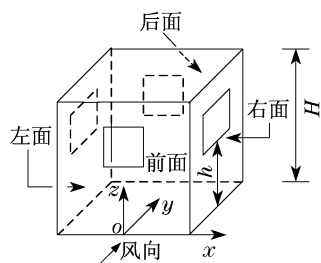


图1 建筑物窗口布置

Fig.1 Window configuration of the building

方向释放,速度为0.1 m/s,喷嘴直径为4.5 mm,高度分别为 $z=0$ 和 $z=H/2$,并将其命名为 $S=0$ 与 $S=H/2$.其余边界条件、计算方法及模型验证参考文献^[3].

表1 13种工况下的 Q_{rel}

Tab.1 Q_{rel} of 13 cases

窗口布置	$S=0$	$S=H/2$
U-U-U-U	0.055 61	0.055 85
U-U-U-N	0.050 07	0.049 35
U-U-N-U	0.054 28	0.055 29
N-U-U-U	0.010 03	0.009 84
N-U-U-D	0.018 01	0.017 58
N-U-N-U	0.008 18	0.008 05
N-U-N-D	0.009 31	0.009 06
N-U-U-N	0.001 31	0.001 27
U-U-N-N	0.038 57	0.039 12
U-N-N-U	0.048 12	0.049 52
U-N-N-D	0.035 25	0.035 77
D-N-N-D	0.034 04	0.033 82
D-N-N-U	0.026 56	0.026 60

2 计算结果和分析

2.1 速度场

图2仅给出了 $S=0$ 时,U-U-U-U、D-N-N-D、N-U-N-U和N-U-U-D等工况下 $x=0$ 面的速度场.由图2可知,当来流遇到建筑物时,迎风面靠近地面附近会形成回流区;若迎风面底部开窗,则回流区较小;当迎风面上部开窗或不开窗时,回流区较大,迎风面不开窗而背风面开窗会使气流从背风面进入室内.

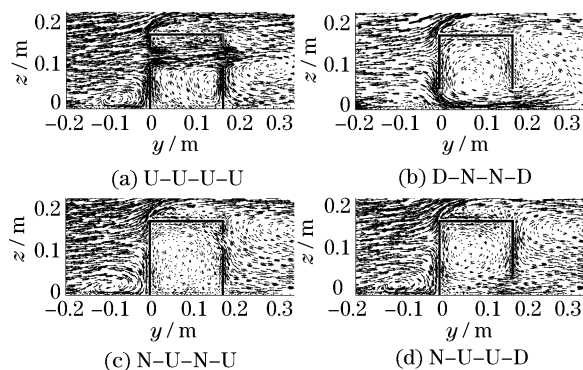


图2 部分工况下 $x=0$ 面的速度场

Fig.2 Velocity field on the plane of $x=0$ for some cases

2.2 通风量

表1给出了2种源高度及不同窗口布置时建筑物的无量纲通风量 Q_{rel} 的计算结果, $Q_{rel}=Q/(u_H H^2)$,其中, Q 为建筑物的通风量(m^3/s).由表1可知,源高度基本不影响建筑物通风量,同种窗口布置下的通风量差别小于3%.

由表1可知,当迎风面上部开窗时, $Q_{rel} = 0.035 \sim 0.056$,而当迎风面下部开窗时, $Q_{rel} = 0.027 \sim 0.034$,如果迎风面不开窗,则 Q_{rel} 将大大减小,为 $0.0013 \sim 0.0180$. 显然,迎风面窗体附近的风速越大,通风效果越好,如 U-N-N-U 的 Q_{rel} 大于 D-N-N-D 的, U-N-N-D 的 Q_{rel} 大于 D-N-N-U 的. 进出各窗体间的气流转弯越少,空气的流通阻力越小,通风效果也越好,如 U-U-N-U 的 Q_{rel} 大于 U-U-U-N 的, U-N-N-U 的 Q_{rel} 大于 U-N-N-D 的, U-U-N-N 的,而 D-N-N-D 的 Q_{rel} 大于 D-N-N-U 的. 利用建筑物侧面与背风面之间的压差来实现自然通风,其效果不甚理想,在 N-U-U-U、N-U-U-D、N-U-N-U、N-U

-N-D 和 N-U-U-N 工况下,其 Q_{rel} 均小于所有研究工况下 Q_{rel} 最大值的 $1/3$,其中, Q_{rel} 相对较好的 N-U-U-D 工况,也大约为迎风面通风最差的 D-N-N-U 工况的 $2/3$,但从 N-U-U-U 与 N-U-U-D 的 Q_{rel} 可知,背风面窗体由上部变至底部,可使 Q_{rel} 从 0.010 增加为 0.018 ,但如果侧面仅单侧开窗,则背风面底部开窗的效果不显著,如 N-U-N-D 的 Q_{rel} 较 N-U-N-U 的仅增加约 14% .

2.3 浓度场

图3和图4(见下页)给出了两种源高度时, $x = 0$ 面建筑物内外的浓度场分布. 图3和图4中的浓度采用无量纲浓度 K_{CO} , $K_{CO} = cu_H H^2 / Q_s$, 其中, c 为 CO 的体积分数.

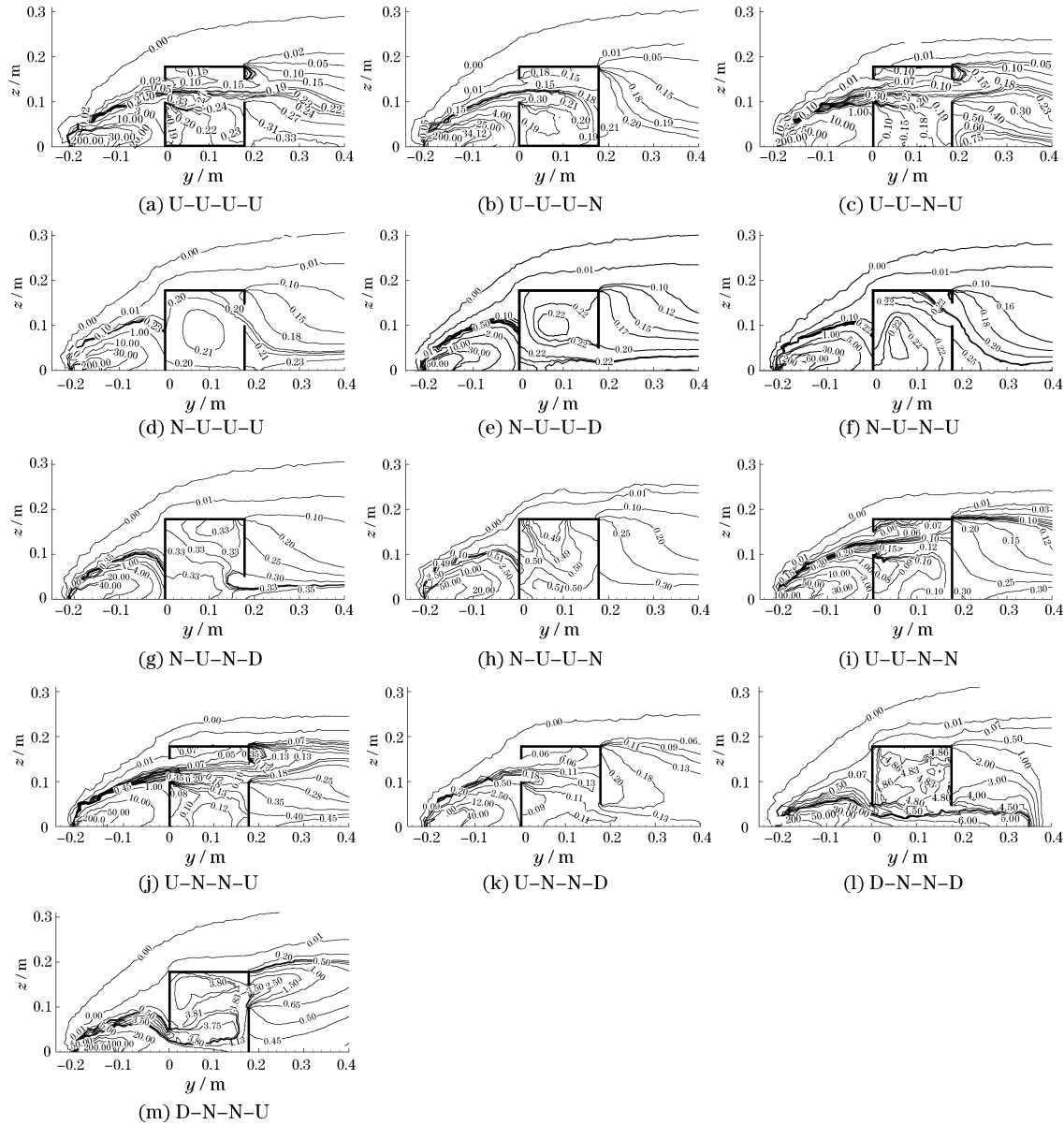
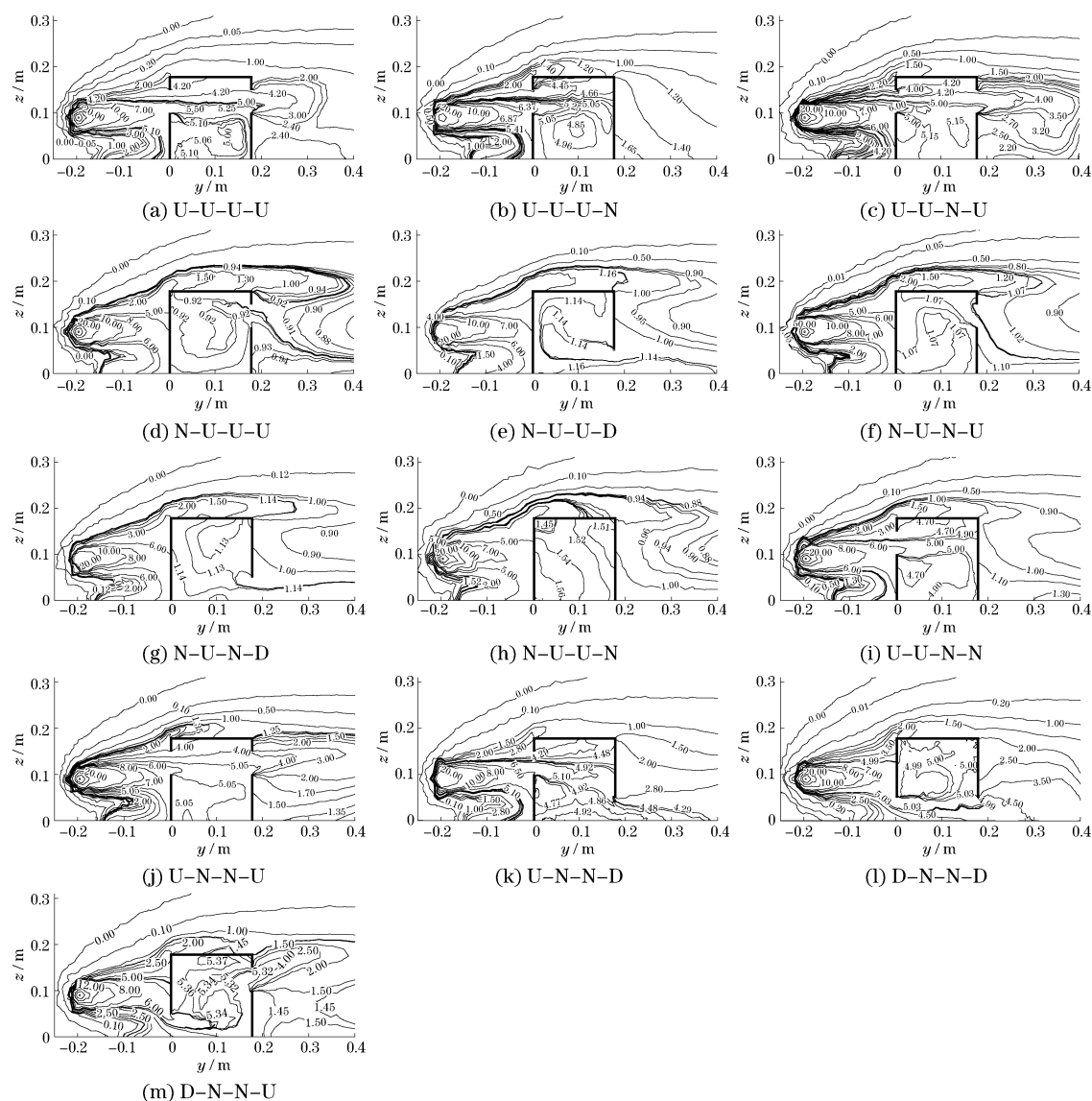


图3 $S=0$ 时 $x=0$ 面室内外浓度分布

Fig.3 Concentration field on the plane of $x=0$ when $S=0$

图4 $S=H/2$ 时 $x=0$ 面室内外浓度分布Fig.4 Concentration field on the plane of $x=0$ when $S=H/2$

当源位于地面时,13种通风方式中D-N-N-D的室内浓度最大.由图2可知,由于D-N-N-D工况下进口回流区较小,因此,进入室内的气流来源于室外靠近点源的浓度高区的气流,所以,D-N-N-D的室内浓度达到4.5~6.0,而D-N-N-U的室内浓度也达到了3.8左右,由于D-N-N-U方式下的气流阻力大于D-N-N-D的,因此,D-N-N-U进口气流速度须大于D-N-N-D的进口气流速度,而这部分气流显然浓度略低.若进风口设在迎风面浓度低区,即迎风面上部时,如U-N-N-D、U-N-N-U和U-U-N-N工况,室内浓度立即降至0.20以下,相比于D-N-N-D和D-N-N-U方式,缩减了约20倍,而通风量由于进风口速度的增大而增大.如果仍采用两窗体通风,但窗

口设于建筑物侧面或背风面(N-U-N-U和N-U-U-N),由图3可知,此时的室内浓度仍能保持在0.50以下,但通风量有所减少,特别是N-U-U-N工况,通风量几乎为0.按增加通风量并减少室内浓度的要求来看,以上9种两面通风的方式,仍以U-N-N-U方式最好,而U-U-N-N及U-N-N-D方式其次,D-N-N-D和D-N-N-U方式应当避免采用.

在3或4个墙面开窗,且窗体均位于上部时,N-U-U-U情况下通风量会急剧减少,室内浓度分布均匀,其值约为0.20;U-U-N-U的 Q_{rel} 要略大于U-U-U-N的,且都大于0.05,而两者的浓度分布都小于0.30;U-U-U-U的通风量为所有工况的最大值,且浓度分布也与上述3种3面开窗的

情况差别不大.因此,U-U-U-U、U-U-N-U要好于N-U-U-U工况.

将U-U-N-U与U-N-N-U比较可知,由于侧面开窗,增加了通风量,但同时也使建筑内地面附近的浓度略有增加,但浓度依然保持在低值.

从图4可知,当源位于建筑物一半高度时,无论是在迎风面的上部或下部开窗,室内浓度均较高,大约在4.0~5.5之间,且D-N-N-U时室内浓度最大;而风口开在侧面的N-U-N-U、N-U-N-D、N-U-U-U、N-U-U-D与N-U-U-N工况中,浓度水平大约为0.9~1.6,因此,从减少室内浓度,同时保持适当的通风量考虑,N-U-U-D为最佳,N-U-U-U次之,N-U-N-D与N-U-N-U的通风量相对较小,而迎风面开窗的各种通风形式由于较高的室内浓度应尽量避免.

从以上的计算结果可以看出,当 $S = H/2$ 时,如果窗口位于迎风面地面附近,显然,位于源下方与回流区上方的均为高浓度气流,这种源高度下的室内污染物浓度要略高于源在地面时的情况;当气流进口变成迎风面上部,进入建筑物内的气流正好处于点源上方的高浓度区,因此, $S = H/2$ 时,迎风面无论是靠近地面还是在上部开窗,均会带来较高的室内浓度;相反, $S = 0$ 时,由于建筑外的浓度高区位于建筑物前的回流区附近,一旦偏离该区域,气流浓度迅速降低,因此,只要进风口不设在迎风面底部,室内浓度均维持在较低水平.当采用侧面与背风面通风时,源高度也会产生一定的影响,当 $S = H/2$ 时,相应的室内浓度大约为地面源的3~5倍,但仍处于低浓度水平,如图3和图4所示.

3 结 论

采用数值模拟的方法,讨论了单个建筑物在自

然通风方式下点源高度及建筑物窗口的布置对室内空气质量的影响,得到以下结论:

a. 当建筑外点源位于建筑物前约单倍建筑物高度时,源的高低对室内浓度有影响, $S = H/2$ 时的室内浓度普遍高于 $S = 0$ 时的室内浓度;

b. 窗口布置对室内浓度的影响要结合源的高度考虑, $S = H/2$ 时,只要迎风面布置窗口,室内浓度为4.0~5.5,而地面源的室内浓度除了迎风面底部开窗时浓度在4.0以上,其余工况下均小于0.50,两种源高度下采用迎风面不开窗的通风形式时,室内浓度均保持在1.6以下;

c. 窗口布置会显著影响建筑物的通风量,在迎风面,尤其是上部开窗时,能有效增加通风量,利用建筑物侧面与背风面之间的压差来实现自然通风,其效果基本不理想.

参考文献:

- [1] JIANG Yi, CHEN Qingyan, Study of natural ventilation in buildings by large eddy simulation[J]. J Wind Eng Ind Aerodyn, 2001, 89(3): 1 155 - 1 178.
- [2] CHOW W K. Wind-induced indoor-air flow in a high-rise building adjacent to a vertical wall[J]. Applied Energy, 2004, 77(2): 225 - 234.
- [3] 谢海英, 陈康民. 室外空气污染对室内空气质量的影响研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(2): 73 - 78.
- [4] KATO S, MURAKAMI S, MOCHIDA A, et al. Velocity-pressure field of cross ventilation with open windows analyzed by wind tunnel and numerical simulation[J]. J Wind Eng Ind Aerodyn, 1992, 41 (1/2/3): 2 575 - 2 586.
- [5] HIGSON H L, GRIFFITHS R F, JONES C D, et al. Concentration measurements around an isolated building: a comparison between wind tunnel and field data[J]. Atmos Environ, 1994, 28(11): 1 827 - 1 836.