

# 厦门地区高层住宅中间户型的室内风环境模拟和分析

Simulation and Analysis on Interior Wind Environment of Middle Flats of High-rise Residential Buildings Based on Xiamen Area

石峰 | Shi Feng

庄涛 | Zhuang Tao

中图分类号 TU831.8

文献标识码 B

文章编号 1003-739X(2018)06-0038-06

收稿日期 2017-07-07

**摘要** 自然通风设计一直都是改善人居环境的重要手段,通过对厦门地区户型的整理与分析,提炼出高层住宅中间户型的几种典型形式。运用CFD的方法,针对住宅中不同的内天井和凹口形式进行模拟,如内天井的有无、对位布置与错开布置、封闭与否,以及凹口所在的不同位置,分别讨论其不同形式对高层住宅中间户型的风环境所产生的影响。模拟结果的对比和分析表明,非封闭内天井和凹口均对室内风环境有较大提升,封闭内天井会降低局部楼层室内风环境的质量。

**关键词** 高层住宅中间户型 风环境 CFD模拟 内天井 凹口

DOI:10.13942/j.cnki.hzjz.2018.06.010

**Abstract** Natural ventilation design has always been an important means to improve the living environment. Through the arrangement and analysis of house types in Xiamen area, several typical forms of middle flats of high-rise residential buildings has been extracted. Using CFD method, we simulate the different forms of courtyard and notch in the apartment, such as the existence of the courtyard, the position and the situation of the courtyard and the different position of the notches. We also discuss the influence of all these different forms in wind environment of the high-rise residential buildings. The comparison and analysis of the simulation results show that open courtyard and notches will greatly improve the interior wind environment and the closed courtyard will form a completely opposite effect.

**Keywords** Middle flats of high-rise residential buildings, Wind environment, CFD simulation, Courtyard, Notches

## 1 研究背景

厦门市作为一个海滨城市、现代化国际性港口风景旅游城市,有大量的人口涌入,然而其陆地面积只有1699.39km<sup>2</sup>。土地资源的稀缺、高容积率的规定以及开发商的利益驱使,使得一梯多户的高层住宅大量出现,以一梯四户居多。其中,北侧户型由于北侧交通空间的阻隔,无法实现南北通透的“穿堂风”模式,往往只能向一侧或者相邻两侧开窗,根据此类户型的通风特点,可以称之为“中间通风户型”。其往往存在室内通风不畅、空气质量差、夏季室温高等缺点,但在现代高层住宅中又大量存在。因此,改善这类户型的自然通风对降低空调的使用率以及改善居住环境具有显著意义。

目前,国内外关于高层住宅通风已有较多的相关研究,如日本大阪大学Kotani等人对带有采光井的高层住宅建筑的自然通风特征进行了分析<sup>[1]</sup>;Priyadarsin等人研究了在高层住宅中使用热压通风系统促进自然通风的方法<sup>[2]</sup>;针对单侧通风建筑的理论研究,国外也有所涉及,如普渡大学Haojie Wang等提出了一个计算风压驱动下中间通风的经验模型<sup>[3]</sup>;Marcello等人搭建了一个单侧通风建筑的足尺寸实体模型,对其通风效果进行了实测研究<sup>[4]</sup>。在国内,由于高层住宅的建设量大,关于高层住宅通风的研究也逐渐丰富,如郭飞等关于上海高层住宅自然通风的研究,分析了几种不同类型高层住宅的通风特点及节能效果<sup>[5]</sup>;天津大学杜晓辉等对居住区风环境进行了分析<sup>[6]</sup>;华南理工大学唐毅等使用CFD模拟的方法对某居住区的风环境进行了研究<sup>[7]</sup>;湖南大学邓巧林对带有中庭的高层住宅进行了理论和实测研究,分析了影响其自然通风的各个因素并建立了理论模型<sup>[8]</sup>。以上的研究往往偏于理论,或者较为笼统,缺乏针对中间通风户型通风策略的比较分析,特别是对于气候炎热潮湿的厦门地区,有必要根据其具体的气候条件,比较分析中间户型风环境的优劣形式,得出改善其自然通风的设计策略。

## 2 研究方法

研究主要采用了CFD模拟的方法,选取数值模拟软件Phoenics进行模拟分析。

### 2.1 研究模型的设定

研究选取厦门地区具有中间通风户型的高层住宅作为模拟对象。不同建筑高度下室内风环境改善效果虽有所差异,但其规律类似<sup>[9]</sup>,考虑到国家对高层住宅的定义和规范要求,以及模拟的便利性和直观性,本研究将模型层数设定为20层,层高3m,窗大小1.5m×1.8m(窗默认全开敞状态),不同研究类型的户型有不同的设置方法。

### 2.2 参数设置

#### (1) 模拟工况

本模拟工况采用《中国建筑热环境分析专用气象数据集》中厦门地区典型气象年的数据统计(表1)。其中,平均风速对应的风向为主导风向。厦门湿冷的冬季风会给室内的舒适

度造成不利的影 响，一般情况下，窗 户均处于紧 闭状态，故 具体模拟 只取过渡 季和夏季 的风向和 风速值。

(2) 计算模拟区域的设定

模拟区域的大小会对模拟结果产生直接的影响<sup>[10]</sup>。模拟区域参考绿色建筑设计标准<sup>[11]</sup>对模拟域的规定和建议，并将室外风环境和室内通风风在同一模型中模拟。立面阻塞比符合Baetke等人提出的模拟风流经立方体壁面最大阻塞比小于3%的建议<sup>[12]</sup>。

(3) 模拟条件数值的设定

①梯度风按照常规取值，参考高度取10m。根据日本建筑协会AIJ建议的5种不同的地况分类，粗糙指数取0.2<sup>[13]</sup>。

②采用雷诺平均纳维-斯托克斯方程及k-ε闭合模式(RANS equations with k-ε turbulence closure)湍流模型进行风环境的模拟。

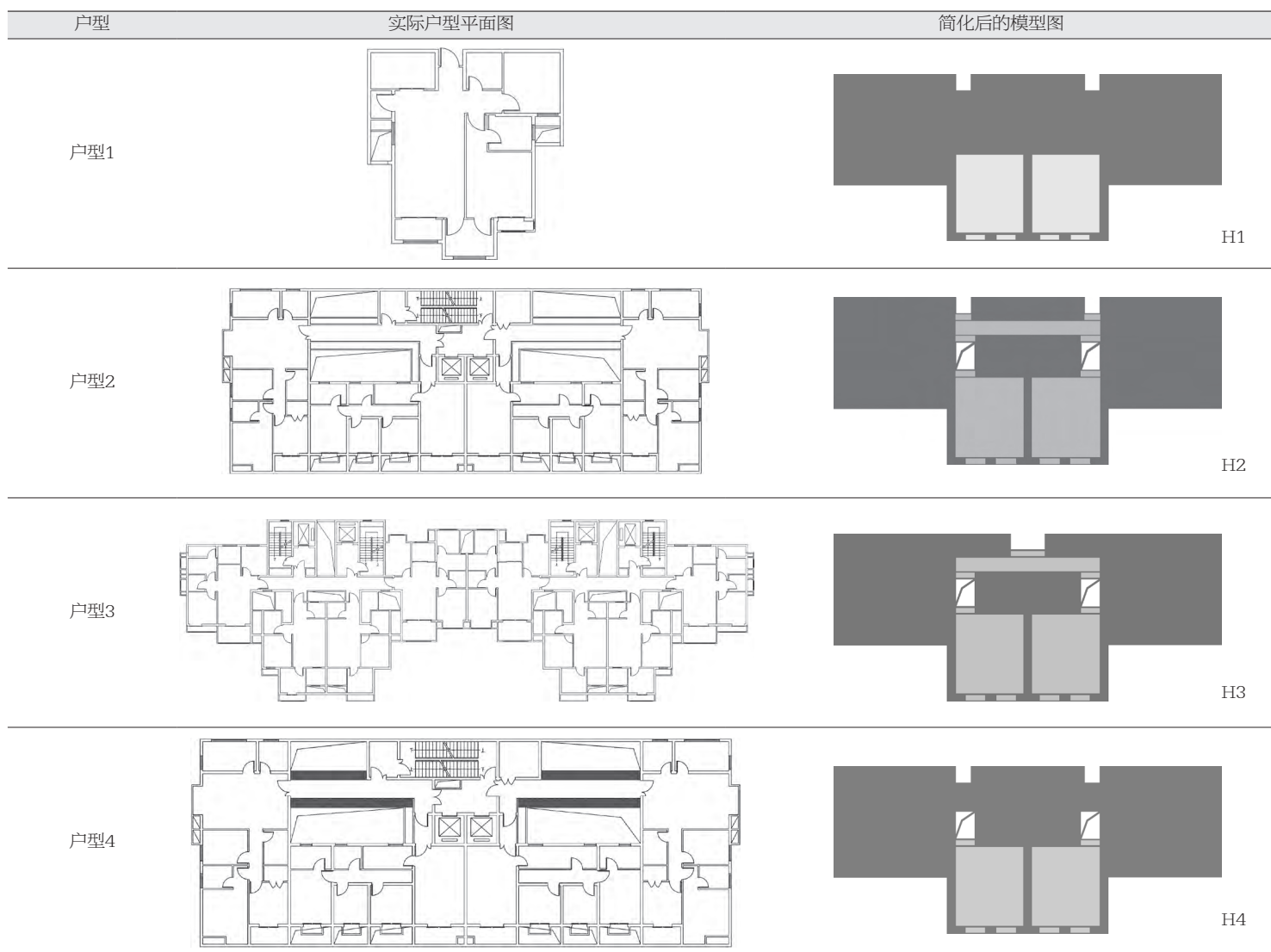
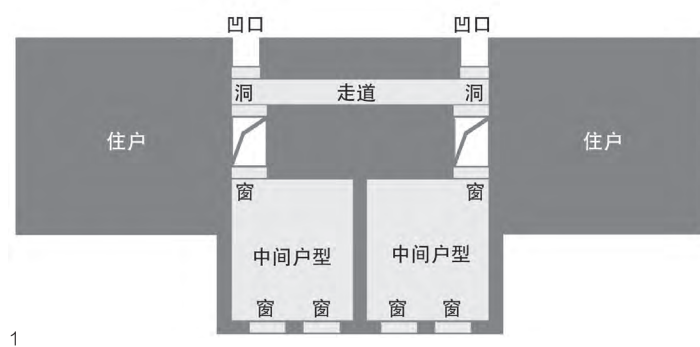
(4) 模拟结果对比方法

本研究选取了几种不同的楼层平面形式用于分析，将每种形式中各楼层的风速进行模拟测试，针对不同楼层的风环境进行比较，得出该户型形式的风速变化规律；同时，将几种形式楼层平面的风环境进行对比

表1 厦门地区室外风环境模拟工况

工况	风向（主导风向）	平均风速（m/s）
过渡季	东南向	3.34
夏季	南向	3.60
冬季	东向	3.24

图1 具有内天井的高层住宅建筑物理模型  
图2 模拟户型



研究,分析其优劣性,从而较为全面的得出高层住宅中间户型的设计策略。研究中的风速值为各层距该层室内地面1.5m处的数值。

### 3 不同内天井形式对风环境的影响

#### 3.1 模型设置

户型1为常见旧户型,其只是通过单侧开窗实现通风(图2-实际户型图)。高层住宅加内天井在南方地区已较为常见,其户型一般是在走道内侧设置内天井,户型2北侧开敞,与走道南侧的内天井对位布置;户型3北侧设置的通风开口布置在中间,与内天井错开布置。户型4常为户型2在特殊情况下的类型,一些住户为更好地“利用”空间,往往会在内天井或者凹口的位置进行加建,

形成一种封闭内天井的形式,给住户造成困扰,故设置封闭内天井来探究内天井对中间户型产生的影响具有重要意义。内天井形式较为复杂,影响中间户型风环境的因素较多,本研究只针对几种不同的户型形式进行探讨。

为研究以上几种户型在不同条件下的通风工况,需对建筑形式进行提取、简化,建立模型。默认所有模拟户型为一梯四户;北面为交通空间,宽1.5m,旁为设置的凹口;中间两户为中间户型,内部可通风,墙上设置通风窗口;内天井布置在住户与交通空间的中间部分;走道与凹口和内天井交界处均为通风洞口(图1)。按照上述原则,户型1-4分别设置为H1-H4(图2-简化后的模型图)。

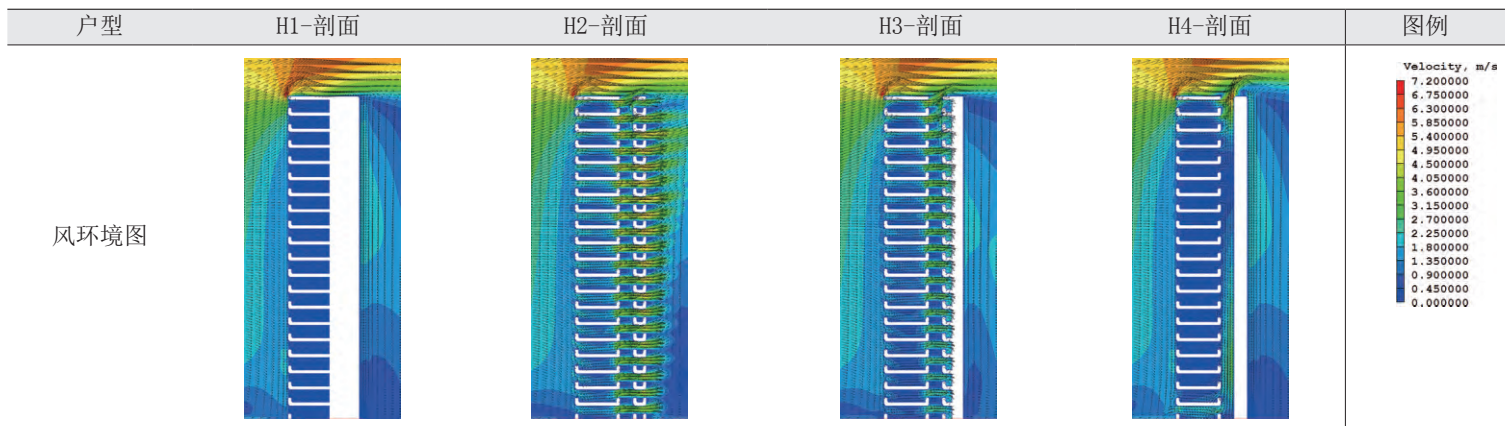
#### 3.2 模拟结果及其分析

##### (1) 南向风的情况

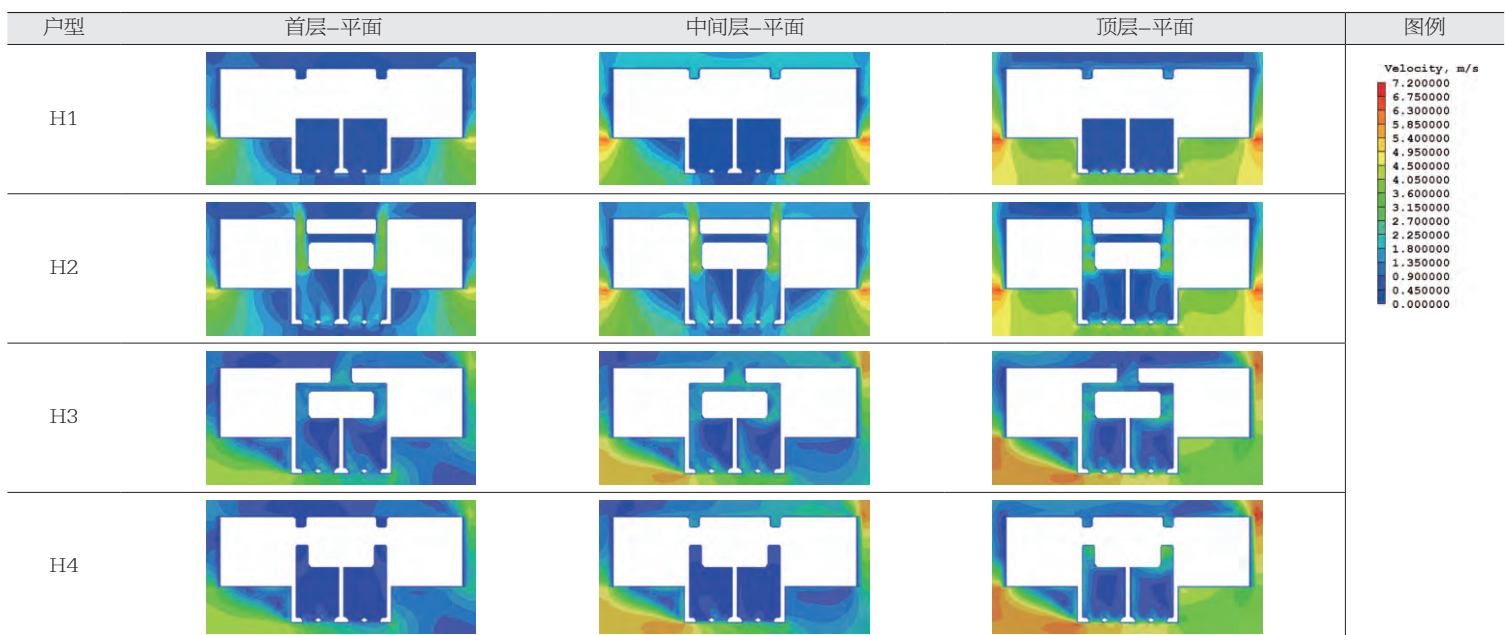
图3表明:在南向风情况下,设有非封闭内天井户型的室内风速明显高于没有内天井的室内风速,说明增加内天井可以明显增加室内风速。

结合图3和图4的H2和H3户型,可以看出:①将建筑北侧的通风凹口与内天井对位布置要比将两者错开布置通风要好;②两者有十分吻合的通风轨迹。这是由于将凹口和内天井错开布置,使得风无法直接顺畅通过,需经过中间的走廊。

图3中H4户型的底层住户室内出现了风速急速增大和减小的情况,结合图5的H4剖面图可以得出:封闭内天井的存在几乎没有改善

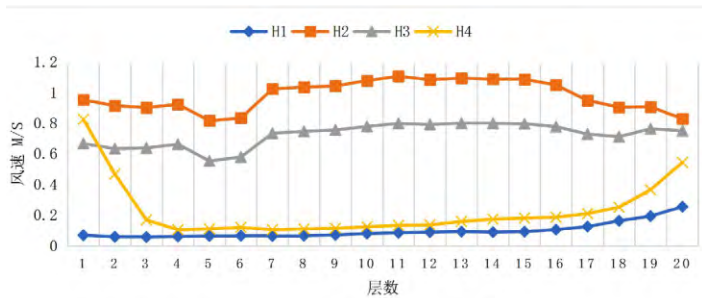


5

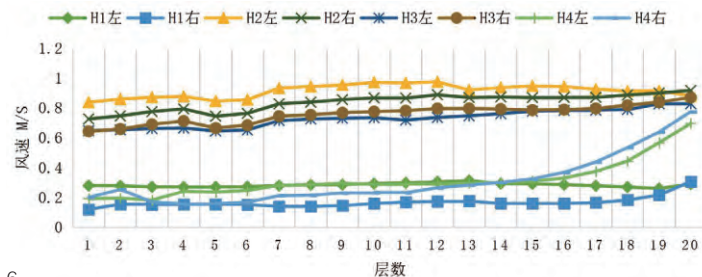


4





3



6

图3 四种户型的风速对比

图6 四种户型的风速对比

图4 风速云图一

图7 风速云图二

图5 风速矢量图(剖面处)一

通风, 进入内天井的风在碰到北向墙体之后, 使得上部分的风向上移动, 由顶部排出; 下部分的风向下移动, 由底部室内倒灌出去。

#### (2) 东南向风的情况

图6表明: 在东南向风的情况下, 有内天井的户型风速明显高于无内天井的户型; 左右两侧的户型拥有较为相似的风速变化, 通过图7各户型左右两侧的风速云图对比, 也可得知这一结果。

图6的H4左右户型表明: 在东南向风的情况下, 并没有在建筑底层出现严重的倒灌风现象, 只是在顶部户型出现了风速逐步增加

的情况, 这是由于在东南向风的情况下, 风不再垂直吹向建筑, 而是通过南向窗户吹向西侧墙体, 在室内形成了一个较为稳定的环流; 顶部出现风速增大的情况是由于顶部的风压差引起的。

综合以上, 非封闭的内天井有助于加强室内风流动, 改善室内风环境; 而封闭的内天井对于室内风环境的改善并不大, 反而会破坏局部楼层的室内风环境, 故在设计中要极力避免此类设计和住户加建的行为。

## 4 不同凹口形式对风环境的影响

### 4.1 模型设置

在前文模拟研究的基础上, 现对厦门地区高层住宅中普遍存在的凹口形式进行模拟和分析。图8是常见的两种中间户型凹口形式: 一种是在两个中间户型的中间部分开凹口并开窗, 设置为H5; 一种是在两侧开凹口并开窗, 为H6。现对两种户型进行风环境模拟, 其他设置均同上文模拟内天井因素时给定的条件。

### 4.2 模拟结果及其分析(图10~11)

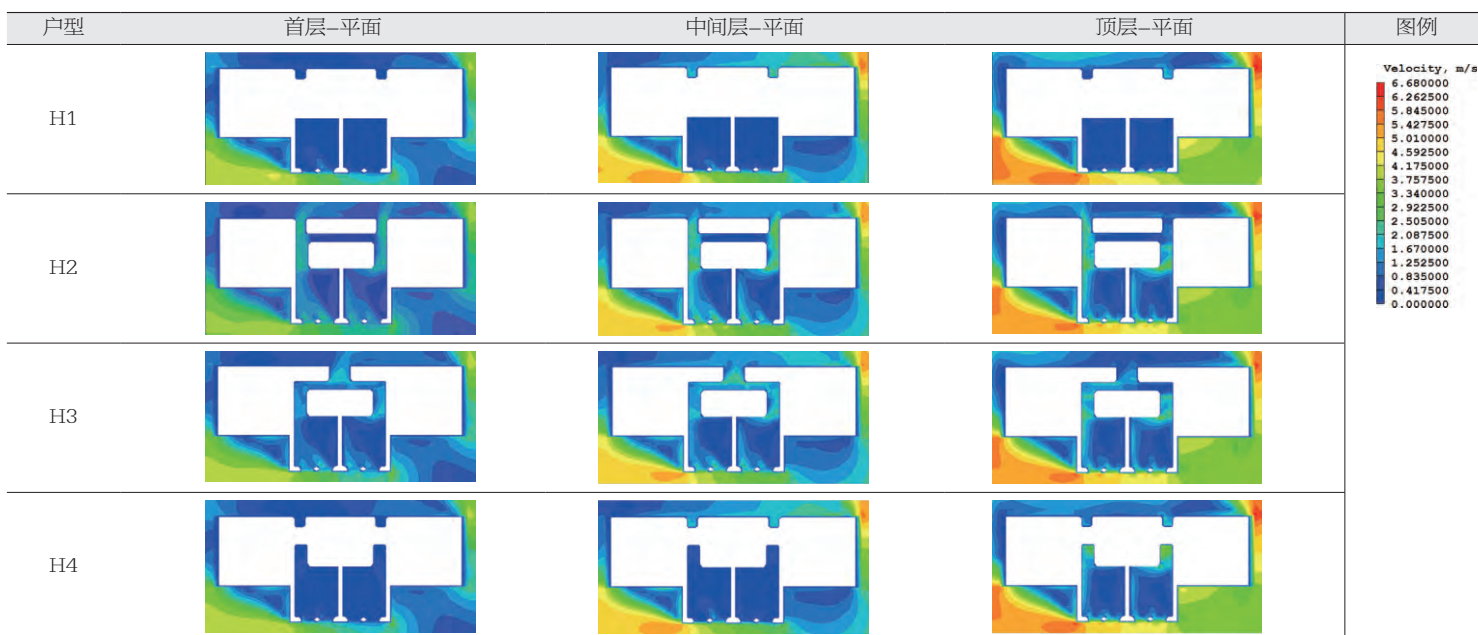
#### (1) 南向风的情况

结合图9和图3的H1户型可以发现: 凹口同样可以使得室内的风速得到提升, 且两侧凹口的风速要普遍大于中间凹口的风速。这是由于H5户型中狭长的中间凹口形成了“狭管效应”, 使得大量的风从凹口处进入室内, 引发较为严重的倒灌现象, 造成室内风速的抵消。

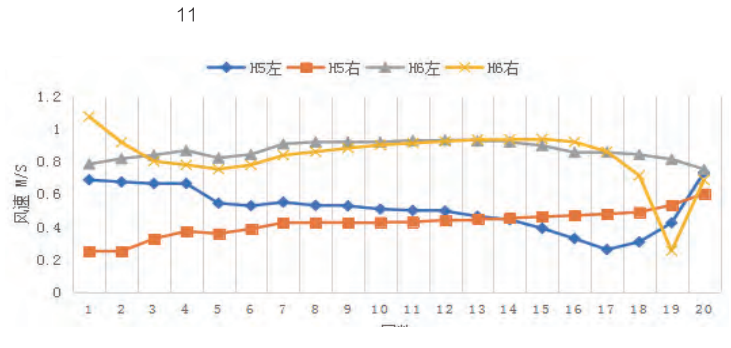
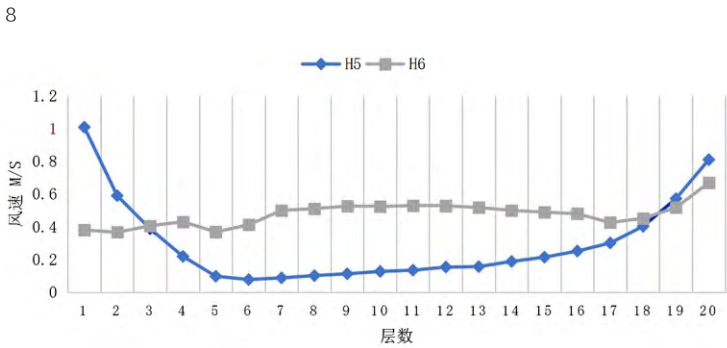
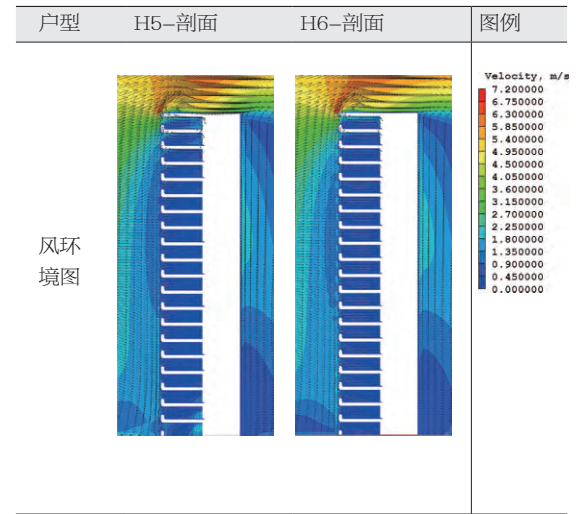
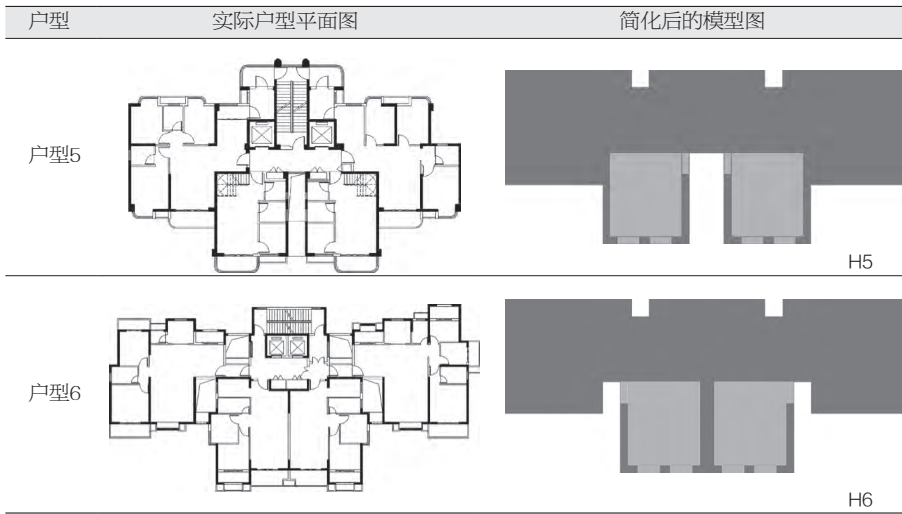
图9中H5户型出现了风速变化较大的现象: 建筑顶部风速变大, 是由于中部的风受到墙体的阻挡后, 一部分向上移动, 从顶部排出, 风压差变大, 增强了风的流动; 建筑底部风速变大, 是由于风从中部向底部运动, 在遇到地面后, 被迫向窗户倒灌进入室内。

相比较而言, H6户型的风速则较为稳定。此外, 一般在凹口处开窗的位置, 会设置一些厨房和卫生间, 严重的室内倒灌会使得风把厨房和卫生间的污浊气体倒灌进入室内, 影响室内的风环境。

综合以上, 在南向通风的情况下, 两侧凹口要优于在中间凹口。

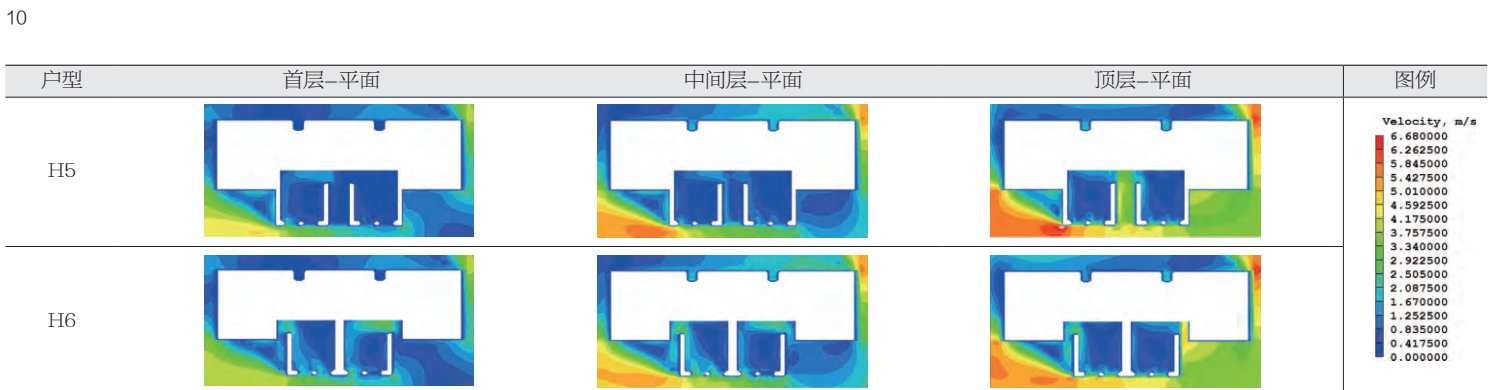
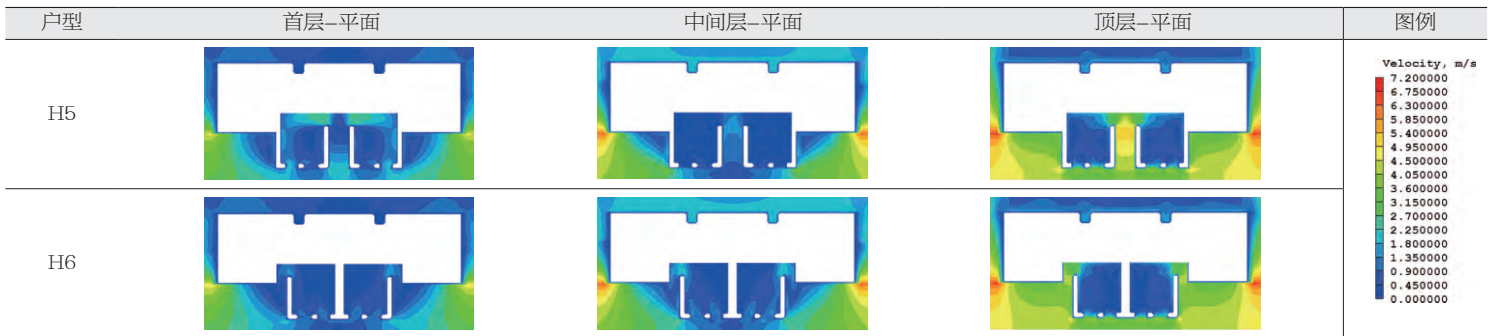


7



8 模拟户型  
9 两种户型的风速对比一  
图10 风速云图三

11 风速矢量图(剖面处)二  
图12 两种户型的风速对比二  
图13 风速云图四



10  
13

## (2) 东南向风的情况

图12可以得出:在东南风情况下,两侧凹口的室内风速要普遍高于中间凹口的室内风速,原因同上述南向风。

图13的H5和H6都出现了凹口处风向室内倒灌的情况,且在东南风情况下,H5的倒灌现象主要发生在左侧住户,而H6主要发生在右侧。H5的左侧倒灌是由于:①东南向风通过中间凹口进入到左侧住户,继续保持前行方向;②穿过右侧建筑的风加强了左侧的东南风。H6的右侧倒灌是由于东南风受到了西侧和北侧两面墙体的阻挡,使得从右侧凹口吹进室内的风速变大。

图12中H6右侧户型在建筑顶部出现了急速下降又回升的情况,这是由于在东南风的情况下,住宅右侧住户室内风是通过凹口和正面两部分获得的,其中主要来在于凹口。在上部分,凹口处的风一部分进入室内,一部分向上移动,由顶部排出,使得正面的风可以顺利的通过最顶层住户,那么在中间的某些层(这里为17-19层)由于凹口处的一部分风和来自于正面的风强度相差不大,从而逐步被抵消掉,在某一层出现极值(这里为19层)。

## 结语

本文通过提炼建筑的共性与差异性建立了相应的建筑物理模型,然后模拟几种不同的户型形式,比较得出各种户型在不同方面的优劣。

①在南向通风情况下,增加开敞的内天井可有效改善中间户型的室内通风;将内天井和凹口对位和两者错开布置虽有相同的通风轨迹,但前者明显优于后者;封闭内天井不仅没有改善改善室内通风,反而降低底层住户的室内风环境质量。

②在东南向通风情况下,增加内天井同样可以明显改善中间户型的室内通风;左右两侧的风速会存在一些差异,但两者变化规律一致;封闭内天井虽没有在底层出现严重

倒灌现象,但也并没有明显改善室内通风,仅在建筑顶部有一些改善。

③在南向通风情况下,侧面凹口开窗同样是改善室内通风的有效措施,两侧凹口开窗要明显优于中间凹口开窗;两侧凹口和中间凹口开窗都会出现倒灌现象,且这些位置往往靠近厨房和卫生间,会降低风环境质量,故在设计时需采取一些措施来避免发生。

④在东南向风情况下,会出现左右两侧建筑通风轨迹相差较大的现象,中间凹口的倒灌现象主要发生在左侧建筑,而两侧凹口的倒灌现象主要发生在右侧建筑,且倒灌进入建筑的风成为了室内风的主要组成部分,同样需要注意防护。

由于人口密度的原因,高层住宅和人们的生活息息相关,住宅内的风环境好坏严重影响着住户的生活质量以及身体健康。本文通过对高层住宅中出现的内天井和凹口分别进行了研究,得出以上结论,作为参考可用于高层住宅的设计当中。

## 资料来源:

户型1~户型6为作者根据搜集资料绘制;其他图表均为作者绘制。

## 参考文献

- [1] Kotani H, Satoh R, Yamanaka T. *Natural ventilation of light well in high-rise apartment building*[J]. *Energy & Buildings*, 2003, 35(4):427-434.
- [2] Priyadarsini R, Cheong K W, Wong N H. *Enhancement of natural ventilation in high-rise residential buildings using stack system*[J]. *Energy & Buildings*, 2004, 36(1):61-71.
- [3] Wang H, Chen Q. *A new empirical model for predicting single-sided, wind-driven natural ventilation in buildings*[J]. *Energy & Buildings*, 2012, 54(54):386-394.

- [4] Caciolo M, Stabat P, Marchio D. *Full scale experimental study of single-sided ventilation: Analysis of stack and wind effects*[J]. *Energy & Buildings*, 2011, 43(7):1765-1773.
- [5] 郭飞,王时原. 上海高层住宅自然通风节能设计研究[J]. *建筑学报*, 2008, 483(11): 46-49.
- [6] 杜晓辉,高辉. 天津高层住宅小区风环境探析[J]. *建筑学报*, 2008, 476(4): 42-45.
- [7] 唐毅,孟庆林. 广州高层住宅小区风环境模拟分析[J]. *西安建筑科技大学学报(自然科学版)*, 2001, 33(4): 352-356.
- [8] 邓巧林. 具有中庭空间的高层住宅建筑自然通风特性研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.
- [9] 胡晓军,蔡李凯,应小宇. 一梯多户高层住宅内天井平面形态对中间户型室内风环境影响研究[J]. *建筑学报*, 2015, 561(6): 58-62.
- [10] 周莉,席光. 高层建筑群风场的数值分析[J]. *西安交通大学学报*, 2001, 35(5): 471-474.
- [11] 北京市质量技术监督局,京市规划委员会. DB 11/938-2012绿色建筑设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013
- [12] Baetke F, Werner H, Wengle H. *Numerical simulation of turbulent flow over surface-mounted obstacles with sharp edges and corners*[J]. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 1990, 35(1-3): 129-147.
- [13] 村上周三. *CFD与建筑环境设计*[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.

## 基金项目:

国家自然科学基金资助项目(编号: 51778549)  
厦门市建设局科技计划资助项目(编号: XJK2015-1-5)

## 作者信息:

石峰, 博士, 厦门大学建筑与土木工程学院副教授  
庄涛, 厦门大学建筑与土木工程学院硕士研究生(通讯作者), zhuangtao@163.com