

# 关中“窄院民居”庭院空间的自然通风定量分析

李涛<sup>1</sup>, 杨琦<sup>2</sup>, 伍雯璨<sup>1</sup>

(1. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055; 2. 陕西省城乡规划设计研究院, 陕西 西安 710075)

**摘要:** 关中地区“窄院民居”的庭院空间具有良好的自然通风效果, 选取典型的“窄院民居”庭院空间进行夏季风环境定量分析, 采用计算流体动力学软件模拟了几种不同比例的庭院空间风环境, 通过比较分析, 揭示了传统“窄院民居”庭院空间的比例对于促进夏季自然通风具有重要作用。

**关键词:** “窄院民居”; 庭院空间; 自然通风; 定量分析

**中图分类号:** TU241.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2014)05-0721-05

我国传统民居建筑作为一种自发形成的建筑形式, 千百年来积累了与自然环境相协调的丰富经验。民居建筑中所蕴藏的丰富价值是当代建筑创作藉以参考的巨大宝库。然而, 在当代建筑创作中常常“断章取义”地提取传统民居中的形式与符号, 忽略了民居建筑与其所处环境中所包含的更深层的生态价值。

随着人们认识的不断深入, 传统民居所包含的生态价值不断地被挖掘。庭院空间作为传统民居中联系建筑室内外环境的重要纽带, 对调节和改善建筑的采光、通风等具有重要的作用。以往的传统民居研究受条件所限, 多采用定性方法分析总结经验价值, 而随着计算机技术的进步, 为民居的定量分析研究提供了条件, 定量分析可以避免定性分析中的不确定性, 从而提供更为准确的设计参考。发达国家较早利用计算机技术定量分析建筑的风环境<sup>[1]</sup>, 近年来国内有学者也开始利用计算机技术研究民居建筑风环境, 如林波荣等利用计算机模拟技术对北京四合院冬季风环境进行了分析, 提出四合院冬季防风的若干建议<sup>[2]</sup>; 林晨、刘加平利用计算机模拟技术研究了云南彝族传统民居室内和院落风环境, 分析了各建筑因素对自然通风的影响<sup>[3]</sup>。然而, 我国各地的民居丰富多样, 目前仍缺少定量研究, 没有充分揭示民居空间中所蕴含的生态价值。

选取陕西关中“窄院民居”的庭院空间作为研究对象, 提取典型的庭院空间尺寸, 采用计算流体力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)对其室外庭院空间的夏季自然通风进行定量分析研究, 试图揭示传统民居所包含的生态价值。

## 1 关中“窄院民居”的庭院空间

关中地区位于陕西中部、渭河两岸, 南依秦岭、北眺北山、古称八百里秦川, 包含了6市、39县。关中地区属大陆性季风区, 半湿润半干旱气候, 夏季气候干燥、气温炎热, 其中有5市、30县的夏季气温高达40℃左右<sup>[4]</sup>。因此, 关中民居中夏季的遮阳庇荫和自然通风显得尤为重要。“窄院民居”作为关中地区特有的建筑形态广泛分布在关中地区的众多县、市当中, 它是自然、社会、文化等多重因素共同影响下的产物。“窄院民居”的主要特征是: 建筑的开间一般都很小、进深很大, 布局通常由纵向展开的一系列院落构成, 建筑围合成狭长的室外庭院空间, 形成了封闭和内向的院落空间形态(图1)。从生态的角度来看, “窄院民居”的布局形式有利于节约土地资源, 其狭长的室外庭院正好可以减少夏季过多的太阳辐射、便于组织自然通风。小型“窄院民居”的面宽一般在9~10 m左右, 大型民居的也尽量减少面宽。正房和倒座一般分为三开间, 进深5~7 m左右, 两侧的厢房(厦房)进深一般不超过3 m<sup>[5]</sup>。庭院的宽度取决于正房中间开间, 庭院纵深的长度, 取决于两侧厢房的间数<sup>[6]</sup>。一般情况下, 中间的庭院面宽为3~4 m, 进深为3~4个厢房, 构成了大约为1:3至1:4的空间比例关系。“窄院民居”的入口一般布置在东南角, 也有布置在正中的, 在正房与厢房中间常常留有1 m左右的天井。韩城党家村党宅代表了典型“窄院民居”平面布局形制(图2)。这样的一进院落平面形制经过纵向的串联组合和横向的联系之后可以变幻出多种综合交错的大院形式, 从而构成了关中地区丰富的“窄院民居”建筑群。

收稿日期: 2013-12-19

修改稿日期: 2014-10-13

基金项目: 西安建筑科技大学人才科技基金项目(DB02069)

作者简介: 李涛(1984-), 男, 博士, 讲师, 主要从事绿色建筑设计方面的研究。E-mail: jessaman@sina.com



图1 “窄院民居”的庭院空间  
Fig.1 Courtyard space of narrow courtyard house

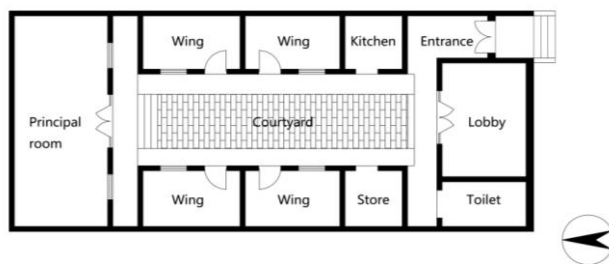


图2 “窄院民居”典型平面布局  
Fig.2 Typical plan of narrow courtyard house

## 2 研究方法

目前对于建筑室外风环境的研究有现场测试、风洞实验和计算机模拟技术3种方法。现场测试法可以收集到第一手的资料,数据可靠、简单易行,然而却要耗费大量的时间和人力;风洞实验是一种物理研究方法,它需要建立被测试建筑的缩尺模型,通过风洞实验测试出建筑周围的风场环境,风洞实验的设备前期投入成本较大;计算机模拟技术主要是指利用计算流体动力学(CFD)原理将建筑的风环境以图形化的形式反映出来,它依赖计算机进行,结果直观,研究周期短,投入成本低。准确的计算机模拟可以代替现场测试和风洞试验,从而大大降低研究成本,节约时间。近年来,CFD计算机模拟技术开始逐渐地应用在建筑室外环境领域,这种方法能够对建筑的风环境进行精确和定量的研究,从而为建筑方案的优化提供定量的依据。本文采用CFD中的主流软件Fluent Air-pak进行研究。

## 3 研究模型

以典型“窄院民居”的一进院落作为分析对象。根据相关文献资料提供的数据<sup>[5-6]</sup>,提取出“窄院民居”房屋与庭院空间的尺寸。如图3所示,该“窄院民居”坐北朝南,在庭院前后各留出3m的通道,正房位于北侧,厢房位于东西两侧,入口布置在东南角;整个庭院面宽10m(三开间),进深24m,门厅和堂屋进深为6m,厢房的开间和进深均为3m;在正房和厢房以及倒座和厢房之间各留有1.5m的天井。正房和倒座为双坡顶(坡度2:3),厢房为单坡顶(坡度2:3.5),房屋的檐口高度取4m,地面到屋脊总高度为6m;在民居中间形成了面宽为4m,进深为12m,高度为4m的室外庭院空间,庭院空间的面宽、进深、高度之比约为1:3:1;建筑主要的门和窗均开向庭院内部,因而庭院的风向和风速对各房间的自然通风具有重要的影响。根据提取的尺寸采用Air-pak建立研究模型如图4所示。

CFD常用的数学模型有标准k-ε湍流模型和大涡模拟模型(LES)等<sup>[7]</sup>,标准k-ε湍流模型相比较而言计算成本低,在数值模拟中波动小、精度高,易于进行网格自适应。因此本文采用RNG k-ε湍流模型进行模拟,来流面的来流风采用大气边界宏命令来设置,出流面采用齐次Neumann边界条件,地面和建筑作为障碍物采用控制粘性系数方法进行处理。为了保证来流面和出流面的流场不受建筑影响,采用前、后、高度分别大于3倍建筑高度的计算空间。

受到地面建筑和树木等环境的影响,由高空吹来的风遵循梯度风分布规律,风速从地面向高空逐渐增加,当高度大于380m时趋于均匀(图5)。根据关中地区1970—2010年的全年风玫瑰显示(图6),风向频率最高的是东北风(NE),占有风时间的25%。风向频率次高的是西南风(SW),占有风时间的18%。全年的平均风速为0.7~2.6 m/s。由于关中传统民居比较低矮,通风季节庭院和外部环境温差不大,热压通风并不明显,自然通风主要由风压作用完成,因此,取主导风向东北风(NE)和基准高度10m处风速2 m/s作为边界条件建立计算模型。

采用Air-pak模拟研究模型风场分布状况,选取民居庭院中心位置的剖面和平面的1.5m人行高度作为风场分布分析的主要截面。在平面1.5m高度处分别取A、B、C三个点作为典型的分析对象(见图3)。A点处于庭院的中心位置,B点位于正房和厢房之间一侧天井中,C点位于靠近入口处的倒座和厢房之间的天井中。

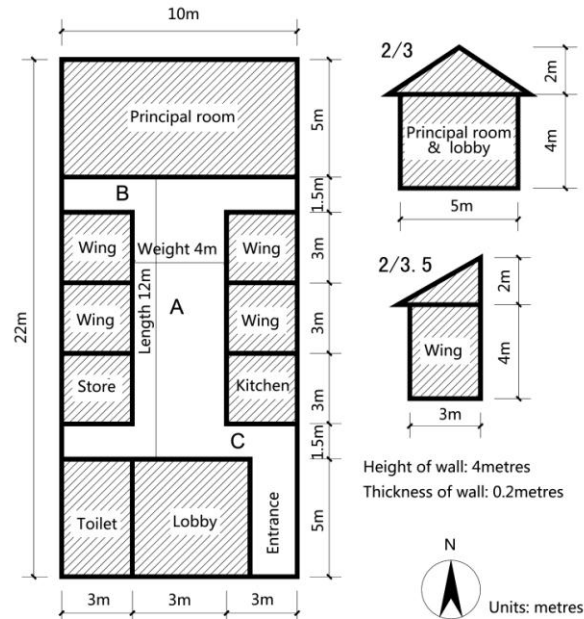


图 3 “窄院民居”空间尺寸提取  
Fig.3 Space dimensional of narrow courtyard house

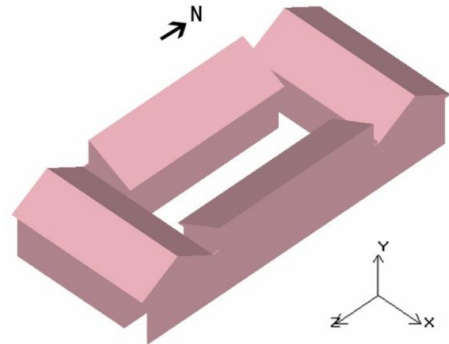


图 4 建立研究模型  
Fig.4 Research modeling

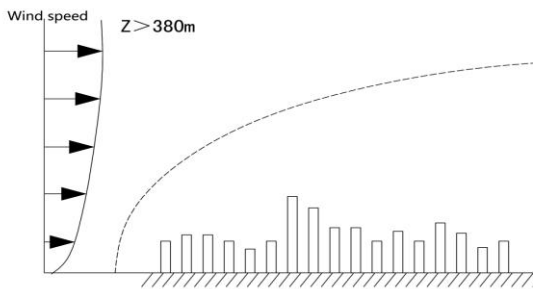


图 5 梯度风原理  
Fig.5 The gradient wind principle

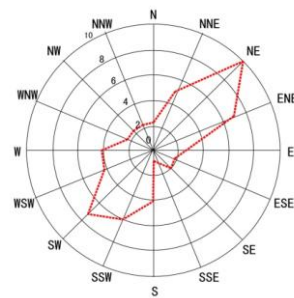


图 6 关中地区 1970-2010 年风玫瑰图  
Fig.6 1970-2010 years of wind rose diagram of Mid-Shaanxi area

4 结果分析

对所建立研究模型和边界条件下的 5 种典型的工况进行风环境模拟(表 1)。工况 1 为“窄院民居”庭院原有尺寸的研究模型。然后分别改变庭院的面宽(Weight)、进深(Length)、高度(Height),建立工况 2 至工况 5。工况 2 为庭院进深和高度不变,面宽增加 1 倍,工况 3 为庭院面宽和进深不变,高度增加 1 倍,工况 4 为庭院面宽和高度不变,进深增加 1 倍,工况 5 为庭院面宽、进深、高度均增加 1 倍,最后对 5 种工况下的风环境分布进行比较分析。

表 1 庭院尺寸变化的五种工况  
Tab.1 Five cases of courtyard dimensional change

模拟工况	面宽: 进深: 高度	面宽变化/m	进深变化/m	高度变化/m	层数
工况 1	4:12:4	0	0	0	1F
工况 2	8:12:4	4	0	0	1F
工况 3	4:12:8	0	0	4	2F
工况 4	4:24:4	0	12	0	1F
工况 5	8:24:8	4	12	4	2F

## 工况 1:

如图 7 所示,从庭院高度上的风环境分布可以看出:风速在高度上的分布遵循梯度风分布规律.自东北向吹来的  $2\text{ m/s}$  的室外风在经过建筑的阻挡后进入庭院的风速降低至  $0.8\text{ m/s}$  左右,其中庭院中心位置的风速最大.坡顶对引导气流平缓经过建筑与进入庭院内部起到了一定的作用.从  $1.5\text{ m}$  人行高度上的风环境分布可以看出:庭院中心处 A 点的风速最大,接近  $1\text{ m/s}$ ,风向向北吹向正房,有效地促进了正房的自然通风;天井内 B 处风速接近于静风,仅为  $0.2\text{ m/s}$  左右;靠近入口的天井 C 处由于门廊的存在加强了对流通风,最大风速接近  $1.5\text{ m/s}$ ,该处的风向由门廊外部吹向庭院.

## 工况 2:

当庭院高度和进深不变,面宽增加 1 倍时,风环境分布如图 8 所示.  $1.5\text{ m}$  高度平面风场分布扩散, A 点的风速为  $0.9\text{ m/s}$  左右,相比初始研究模型 A 点风速有所降低.从剖面上来看,风速也有所减弱.因此,加大庭院面宽时,由于“窄院”空间形成的“狭管效应”的减弱从而影响庭院的自然通风.

## 工况 3:

当庭院面宽和进深不变,高度增加 1 倍时,风环境的分布如图 9 所示.和原来设想有所差别的是:  $1.5\text{ m}$  高平面上的风速明显减弱,整个庭院的风场分布出现了偏移, A 点处的风速不再是最大风速,降低为  $0.4\text{ m/s}$  左右.通过分析发现:增加庭院的高度后,能够达到庭院内部人行高度处的气流变弱,风场的分布出现了上移的现象.因此,仅仅增加庭院的高度并不有利于庭院的自然通风.

## 工况 4:

当庭院面宽和高度不变,进深增加 1 倍时,风环境分布如图 10 所示.庭院中心区域的风速出现了显著的增加,在靠近两侧厢房中间区域出现了  $1.6\text{ m/s}$  的风速,随着庭院进深的增加,“狭管效应”增强.然而,庭院中部风速的增加并未对靠近北侧正房的自然通风起到促进作用.

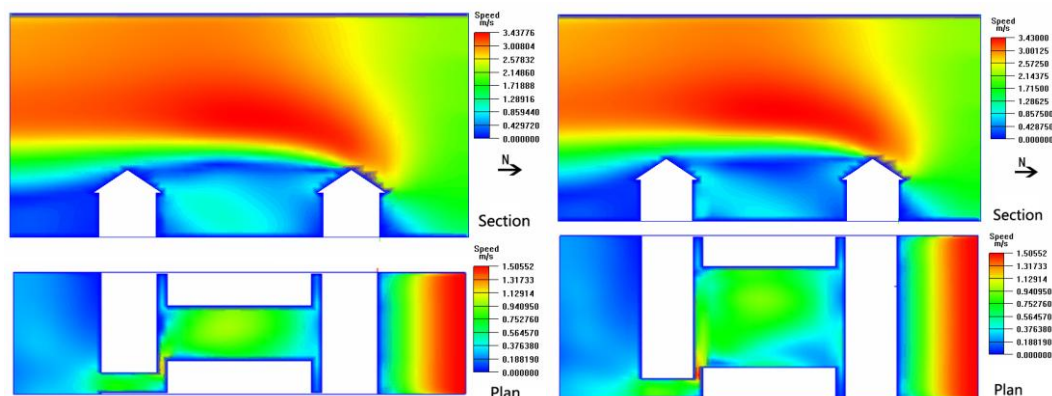


图 7 工况 1  
Fig.7 Case 1

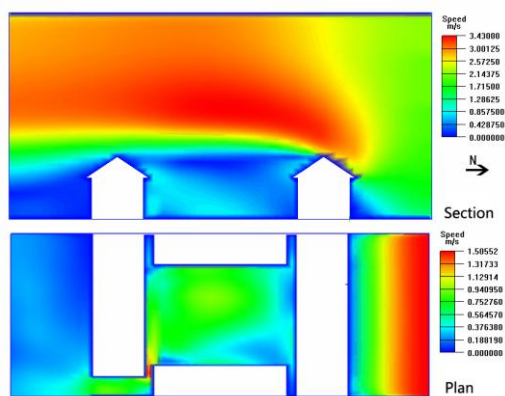


图 8 工况 2  
Fig.8 Case 2

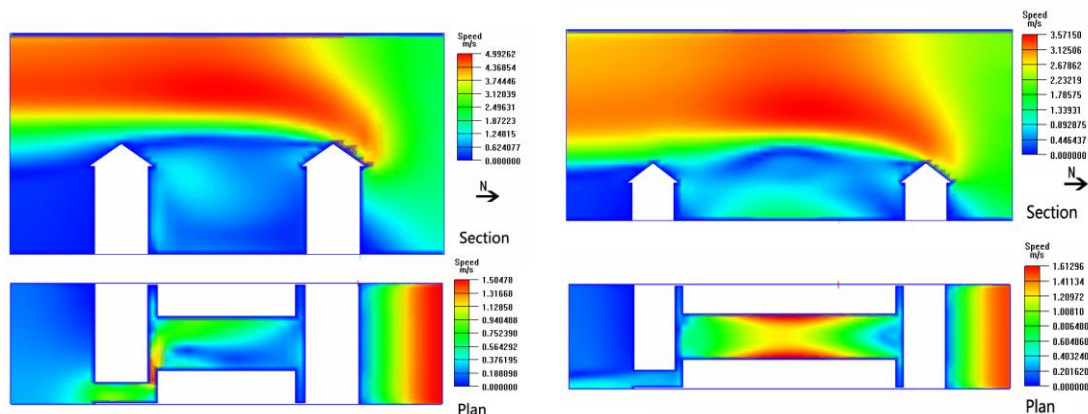


图 9 工况 3  
Fig.9 Case 3

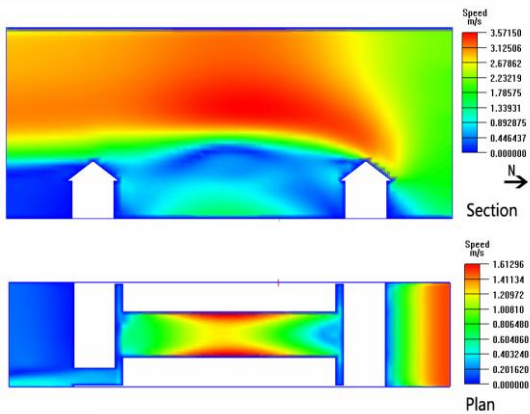


图 10 工况 4  
Fig.10 Case 4



### 工况 5:

庭院的面宽、进深、高度同时增加 1 倍时, 风环境的分布如图 11 所示. 风场的分布无论从剖面上还是 1.5 m 高度平面上与初始模型都较为相似. 整体的风速有所增加, 平面 A 点处的风速增加为 1.1 m/s 左右. 因此, 庭院的面宽、进深、高度的同时增加, 在保持原有风场分布的同时有利于促进庭院内部的自然通风.

## 5 结论与启示

采用计算机模拟技术对关中传统民居进行的自然通风研究是对传统民居定性理论研究的必要补充, 本文通过 CFD 技术对关中地区“窄院民居”庭院空间的自然通风进行了定量研究和分析, 得出以下结论:

1) 验证了关中“窄院民居”庭院空间 1 (面宽): 3 (进深): 1 (高度) 的比例能够有效促进夏季自然通风.

2) 当“窄院民居”庭院空间的比例发生变化, 即改变庭院的面宽、进深、高度其中任意一个变量, 其夏季庭院自然通风效果相应减弱; 而当保持“窄院民居”庭院空间 1 (面宽): 3 (进深): 1 (高度) 的比例关系, 同时改变庭院的面宽、进深、高度三个变量时, 仍能够获得良好的夏季自然通风效果.

因此, 关中“窄院民居”庭院空间面宽、进深、高度之比为 1:3:1 的整体比例关系对促进夏季庭院的自然通风最有利, 其空间比例关系值得继承和借鉴.

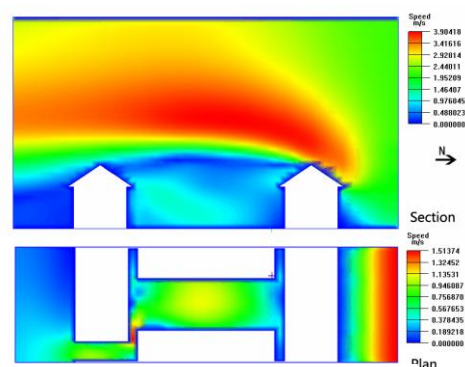


图 11 工况 5

Fig.11 Case 5

## 参考文献 References

- [1] BERANEK WJ. Wind environment around single buildings of rectangular shape[J]. Heron, 1984, 29 (1): 3-8.
- [2] 林波荣, 王鹏, 赵彬, 等. 传统四合院民居风环境数值模拟研究[J]. 建筑学报, 2002 (5): 47-48.  
LIN Borong, WANG Peng, ZHAO Bin, et al. Traditional courtyard houses wind environment numerical simulation study[J]. Architectural Journal, 2002 (5): 47-48.
- [3] 林晨, 刘加平. 新型传统民居风环境研究——以云南彝族民居为例[J]. 建筑科学, 2011 (12): 25-31.  
LIN Chen, LIU Jiaping. Study on wind environment of new type traditional dwelling houses-taking yunnan yi minority dwelling houses as an example[J]. Building Science, 2011 (12): 25-31.
- [4] 刘舜芳. 关中窄院民居[J]. 西安冶金建筑学院学报, 1993 (5): 11-19.  
LIU Shunfang. Guanzhong narrow courtyard houses[J]. Xi'an Inst. of Metall. & Cons. Eng. 1993 (5): 11-19.
- [5] 王军. 西北民居[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.  
WANG Jun. Northwest vernacular dwellings[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2010.
- [6] 张碧田, 刘振亚. 陕西民居[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989.  
ZHANG Bitian, LIU Zhenya. Shaanxi vernacular dwellings[M]. Beijing: China Building Industry Press, 1989.
- [7] [日]村上周三. CFD 与建筑环境设计[M]. 朱清宇, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.  
SHUZO Murakami. CFD and building environment design[M]. ZHU Qingyu Translated. Beijing: China Building Industry Press, 2007.

## Natural ventilation quantitative analysis on the courtyard space of narrow courtyard houses in mid-Shaanxi

LI Tao<sup>1</sup>, YANG Qi<sup>2</sup>, WU Wencan<sup>1</sup>

(1.School of Arch., Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China; 2.Shaanxi Academy of Urban and Rural Planning and Design, Xi'an 710075, China)

**Abstract:** Courtyard space of "narrow courtyard houses" in Guanzhong has good ventilation. The paper selects the typical courtyard space of "narrow courtyard houses" for a quantitative analysis of the summer wind environment, and uses computational fluid dynamics software to simulate several different courtyard proportions. By comparison and analysis, it reveals that courtyard proportions of traditional "narrow courtyard houses" play an important role natural ventilation promotion in summer.

**Key words:** narrow courtyard houses; courtyard space; natural ventilation; quantitative analysis

(本文编辑 沈波)