

实际复杂山地地形下建筑选址与布局研究

冯林^{1a},傅军^{1b},郑刚兵²,施红辉^{1a},董若凌^{1a}

(1. 浙江理工大学, a. 机械与自动控制学院; b. 建筑工程学院, 杭州 310018; 2. 杭州华新检测技术股份有限公司, 杭州 311215)

摘要:以某村复杂山地地形为例,利用三维软件对该村地形等高线数据进行处理并建立模型,运用CFD软件对该地形进行三维数值模拟分析,得出该村地形风环境下舒适性较好位置并提出建筑布局的最佳方案。比较西南风和西北风下该村附近的风速和风速比的大小,以及各形式下建筑布局的通风性分析,提出复杂山地地形下风环境选址及建筑布局一般性的建议。结果表明:在背风面上风速和风速比较大处居住舒适性更好;风向与建筑大约有45°时,建筑布局形式中行列式布局方案较好,且通风性较好。

关键词:复杂山地地形; CFD; 舒适性; 通风性; 选址; 建筑布局

中图分类号: TU984.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2017) 02-0305-06

0 引言

近些年在山地丘陵地区开发建设越来越多,这些区域的地形地貌结构比较特殊,会影响建筑的通风性,从而影响行人居住的舒适性,因此研究复杂地形下建筑选址及建筑的通风性非常重要。梁思超等^[1]通过模拟复杂地形中风加速与湍流强度的变化,得出风场中风资源分布状况;唐昂等^[2]研究了复杂地形下风速和湍流强度的变化,并提出了建筑选址的建议;Kubota等^[3]通过风洞实验研究了住宅小区的风环境,提出了建筑密度和行人高度处风速比的关系;Mahmoud等^[4]通过实验研究表明建筑布局对住宅小区的空气流动和污染物的分布有着影响;曾彪^[5]通过CFD软件模拟分析小区风周围环境,并提出了建筑布局与风场的关系;龚晨等^[6]研究了建筑布局对住宅小区风环境的影响。

以上学者对建筑的通风性开展了模拟研究,但这些研究都在水平面上进行,并未结合复杂地形开展建筑通风性研究。本文以实际地形为例,研究在复杂地形风环境下舒适性较好处建筑布局的通风性,并提出最佳建筑布局的方案。

1 几何模型与边界条件

本文从美国太空总署(NASA)和国防部国家测绘局(NIMA)联合发布的SRTM数据库中下载某村山体地形的高程数据,生成tif格式的地形数据文件^[7]。将该文件导入GlobalMapper软件,生成分辨率为5 m的等高线,再导入三维软件,对等高线进行处理生成三维地形模型,如图1所示。某村附近山体大致可分为5座山,分别记为A₁、B₁、C₁、D₁、E₁,而该村大多建筑则位于A₁、B₁、E₁之间。

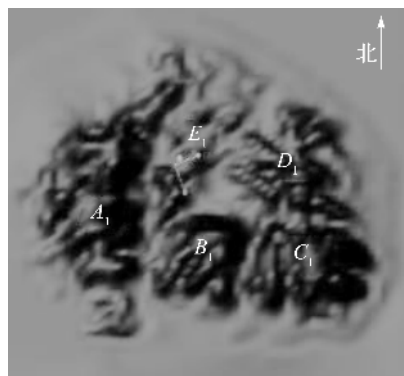


图1 某村的三维地形模型

收稿日期: 2016-09-18 网络出版日期: 2017-01-03

基金项目: 住房和城乡建设部科技计划项目(2013-k6-13)

作者简介: 冯林(1991-),男,安徽六安人,硕士研究生,主要从事风工程方面的研究。

通信作者: 傅军, E-mail: fujun@zstu.edu.cn

对计算的模型选用不可压缩及低速流动流体的全隐式分离式求解器,采用 Realizable $k-\epsilon$ 湍流模型,速度与压力的耦合采用 SIMPLE 算法,对流项的离散使用二阶迎风格式,收敛标准为流场中所有物理量的残差为 10^{-5} 。

流场入口为速度入口。由表 1 显示了我国建筑结构荷载规范参数和该地形的特征,因此采用 B 类地貌地形,地面粗糙度系数取值为 0.16,大气边界层厚度取值为 350.00 m。采用指数律风速剖面表达式:

$$\frac{v(z)}{v_0} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^{0.16} \quad (1)$$

其中: v_0 为附近气象观测站在 z_0 高度所测的风速; z 和 $v(z)$ 分别为任意高度和对应高度的平均风速; z_0 为参考高度,即为 10.00 m。

表 1 我国规范四类地貌表

类别	下垫面性质	α	H_T/m
A	近海海面、海岛、海岸、湖岸及沙漠地区	0.12	300
B	田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇和城市郊区	0.16	350
C	有密集建筑群的城市市区	0.22	400
D	有密集建筑群且房屋较高的城市市区	0.30	450

注: α 为地面粗糙度系数; H_T 为边界层厚度。

流场出口条件为压力出口。地面采用无滑移边界条件,并引入非平衡壁面函数解决近地面相对复杂的湍流运动形式,并设置粗糙度值^[8]。流体域顶面和侧面采用对称边界条件。

2 风环境对地形宜居性的影响

本文主要通过来流条件、风速和风速比 3 个评价准则来分析行人的舒适性。

2.1 风速评价

通过风洞试验中行人行为举止的观察,得出风速与人体舒适度的关系^[9]:当 $v=6.00$ m/s 时,行人开始感到不舒适;当 $v=9.00$ m/s 时,风影响行人动作;当 $v=15.00$ m/s 时,风影响行人步履控制;当 $v=20.00$ m/s 时,行人比较危险。

根据当地气象部门的数据,该村过去 3 年内标准高度处每月最大的风速平均值和年平均风速分别为 12.32、6.50 m/s,主要风向为 NW 和 SW。所以本文模拟了 NW 和 SW 风向下的风速分别为 6.50、9.00、12.32 m/s 的情况。在该村附近选取了 20 个参考点,并考察距地表 1.50 m 处风速,参考点的位置如图 2 所示。在 NW 风向下该村地形可以认为是在 A1 山背风坡山脚下,而在 SW 下可以认为是 E1 山的迎风坡山脚下。

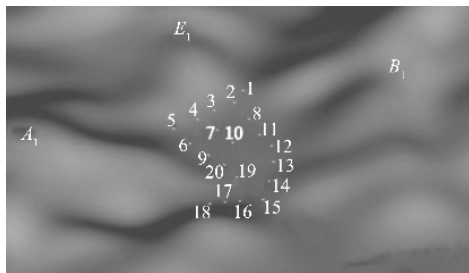


图 2 参考点的位置

NW 和 SW 风向下各点的风速如图 3 所示。从图 3 中可以看出,在相同的风速大小下,风向为 NW 的各点风速比 SW 下小很多,且速度大小为 12.00 m/s 左右以下。由于在 NW 情况下,该村处于 A1 山背风坡山脚下,降低了大部分来流的风速大小,所以风速比 SW 低。NW 下风速为 6.00、9.00 m/s 时,该村内风速基本保持在 9.00 m/s 以下,所以不会影响动作;而风速为 12.32 m/s,各参考点风速为 9.00~13.00 m/s 之间,不会影响步履控制。在 SW 风向下,风速分别为 6.50、9.00、12.32 m/s 时,5、16、17、18 点的风速最小。当为最大风速时,这 4 点处风速在 15.00 m/s 以下,会影响动作的但不会影响步履控制,当风速为 6.50 m/s 时,这 4 点风速都在 9.00 m/s 以下,已经不会影响行人的动作。按日常生活中的规律,最大风速发生的概率较低,以年平均风速为基准,这 4 点处的舒适性较好。所以就风速评价标准进行分析,无论风向为 NW 或 SW,5、16、17、18 这 4 点的舒适性较好。

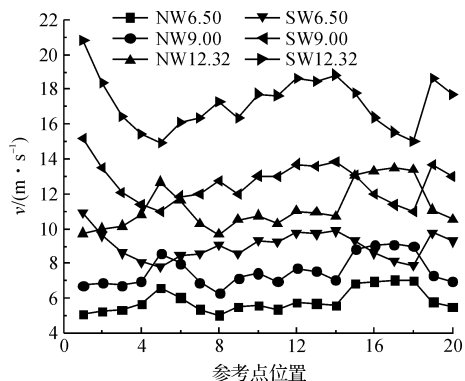


图 3 NW 和 SW 风向下各点的风速

2.2 风速比评价

风速比能够反映该位置地形造成的风速变化大小,风速比越大空气的流通性越好,其表达式为:

$$S_\theta(x, y, z) = \frac{v(x, y, z)}{v_{01}} \quad (2)$$

其中: v 为 (x, y, z) 位置行人高度(1.50 m)处的风速; v_{01} 为行人高度处的来流风速; S_θ 为 (x, y, z) 位置的风速比。

由式(1)可以得出: $v_{01} = v_0 \left(\frac{z_{1.5}}{z_0} \right)$,即行人高度处的来流风速为 4.80、6.64、9.09 m/s。

在 NW 和 SW 风向下各参考点的风速比大小如图 4 所示。从图 4 中可以得出,来流风速大小对风速比大小影响较小,可以忽略不计;NW 风向下风速比比 SW 小很多,且风速比大小为 1.40 左右以下。在 NW 风向下,位于点 5、15、16、17、18 时风速比达到最大,空气的流通性好。点 5 和 15 位于峡谷,由于峡谷效应的影响,此处不适宜行人居住。在 SW 风向下,风速比为 1.60 以上,最大风速比位于 1 点处,因 1 点刚好位于峡谷入口处,风速会达到最大,所以风速比达到最大值。相对与 NW 风向下,SW 风向风速比大,空气的流通性更好。

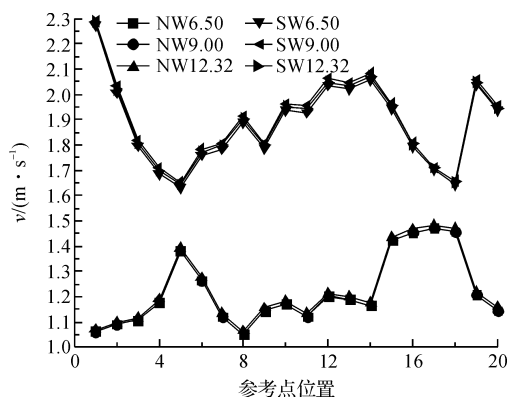
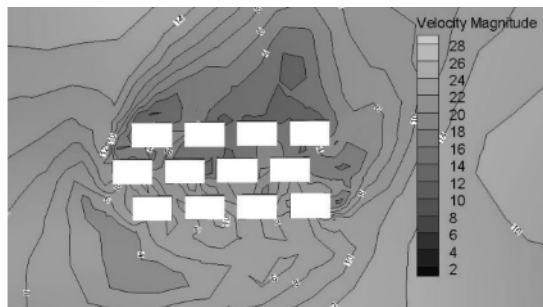


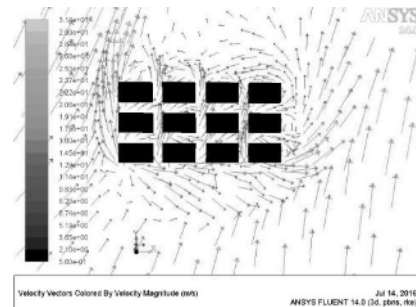
图4 NW和SW风向下各点的风速比

2.3 综合评价

在 NW 风向下,该村位于 A1 山背风坡下,风速较低,风速比也是在 1.05~1.40 之间,而 5、16、17、18 点处风速达到最大,风速比同样也达到最大值;在 SW 风向下,风速比在 1.60~2.30 之间,空气流通性较好,但风速过高会影响行人的动作,而在 5、16、17、18 点处风速较低,风速比为 1.65 左右,但比 NW 风向时最大风速比值大,所以综合风速和风速比评价,点 16、17、18 处风速比较大,空气流通性较好,风速不影响行人步履动作,适宜行人居住。



(a) 速度云图



(b) 速度矢量图

图5 错列式布局的速度云图和矢量图

3 建筑布局

根据以上研究可知,在该村内点 16、17、18 处位置适宜行人居住,所以研究该处的建筑布局形式的通风性。常见的居住小区布局形式有行列式、错列式、围合式、斜列式 4 种布局形式。

3.1 建筑模型

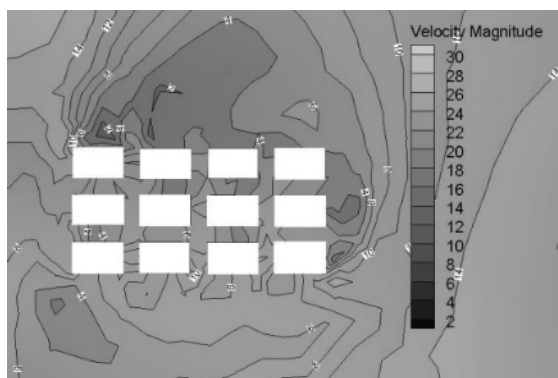
本文研究的 4 种布局形式中行列式和错列式布局均由 12 栋单体建筑组成,围合式布局由 10 栋单体建筑组成,斜列式布局由 9 栋单体建筑组成,单体建筑的长宽高分别为 30.00 m×18.00 m×18.00 m,建筑前后的间距和侧向间距均为 10.00 m。

3.2 模拟结果分析

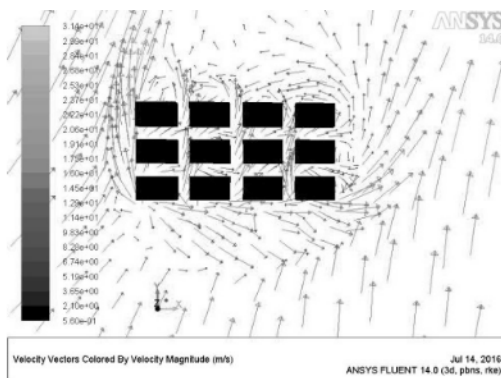
采用的风向为西南风且风向与建筑大约成 45°。以当地气象观察点的最大风速 12.32 m/s 作为来流风速,更能实际模拟当地的建筑布局情况,以便能得出通风性较好的建筑布局形式。

错列式布局的速度云图和矢量图如图 5 所示。从图 5(a)中得出:建筑通道附近的风速为 2.00~10.00 m/s。气流经过 A1 山迎风面后速度变小,由于巷道效应的影响下,到达第一排与第二排巷口时风速逐渐变大,但由建筑的阻挡和摩擦作用,风速沿着风向逐渐减小,风速比也随之减小。气流通过第一排建筑的巷道时,由于第二排建筑的阻挡而改变了风向,使前两排建筑之间有较大的风速而有利于通风,但是气流不能顺畅的进入到后排建筑周围,而使第三排建筑周围出现了较多的低风速为 4.00 m/s 和 2.00 m/s 区域,所以第三排建筑的通风性较差。中间两建筑的背风面风速大多为 4.00 m/s 左右,迎风面风速为 6.50 m/s 左右,中间的通道风速为 2.00 m/s 左右,通风性较差。从图 5(b)速度矢量图中也可得知:第三排建筑背风面出现的回流区域,造成空气滞留,引起行人舒适性较差,第一排建筑周围气流随着风向流动,不存在空气滞留或污染,所以通风性较好,适宜行人居住。

行列式布局的速度云图和矢量图如图6所示。从图6(a)中可以看出:建筑通道之间的风速为 $5.00 \sim 10.00$ m/s。由于建筑阻挡和摩擦的影响下,风速随着风向逐渐减小,三排建筑的侧方向风速为 $6.00 \sim 10.00$ m/s,前后排间的风速为 $5.00 \sim 8.00$ m/s,就风速大小说,侧间通风性比较好。经过三排建筑的阻挡和摩擦影响下,位于第三排建筑的背风面出



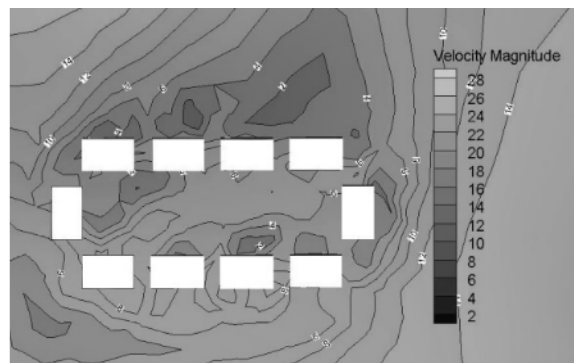
(a) 速度云图



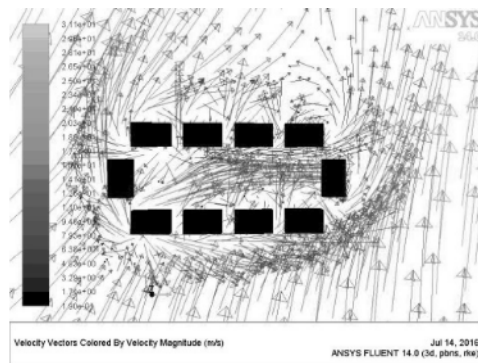
(b) 速度矢量图

图6 行列式布局的速度云图和矢量图

围合式布局的速度云图和矢量图如图7所示。从图7(a)中得出:建筑通道之间的风速为 $5.00 \sim 11.00$ m/s。由于巷道效应的影响,气流到达第一排与左边建筑巷口时,风速逐渐变大,过巷口后由于中间有大片空旷地方,风速会逐渐减小,在到达最后一排与右边建筑巷口时,风速又逐渐的增大。建筑



(a) 速度云图



(b) 速度矢量图

图7 围合式布局的速度云图和矢量图

斜列式布局的速度云图和矢量图如图8所示。从图8(a)中得出:三排建筑通道的风速为 $6.00 \sim 12.00$ m/s,在侧间通道风速平均值为 7.00 m/s。气流在通过第一排建筑的巷道后,由于第二排建筑的阻挡而改变了风向,而有利于通风,同理气流到达第三排与第二排建筑巷口时,由于第三排建筑的阻挡也改变了风向,使得建筑通道的通风性变好。最

现了较多的低风速区域,且风速大小为 4.00 m/s左右。中间两建筑的背风面平均风速为 5.00 m/s左右,迎风面平均风速为 6.50 m/s左右,中间的通道风速为 8.00 m/s左右。从图6(b)速度矢量图中可以得出,整体建筑通道的速度矢量分布均匀,通道的通风性相差不多,没有忽大忽小的变化,适宜行人居住。

迎风面风速为 6.00 m/s左右,背风面风速为 4.00 m/s左右。到达第三排建筑后,背风面出现较多低速区域,风速为 4.00 m/s和 2.00 m/s左右。从图7(b)速度矢量图中得出:在最后一排建筑的迎风面上风速突然变大且流通性较好,但由于巷道效应的影响,此处并不适宜行人居住行走。

中间的建筑四周风速平均值为 10.00 m/s左右,除了右侧间通道风速为 5.00 m/s左右。风速沿着风向到达第三排建筑物时,建筑背风面出现较多低速区域,风速为 4.00 m/s左右。从图8(b)速度矢量图中得出:第二排与第三排之间的通道通风性比第一排与第二排之间的通道通风性好,位于整体建筑右边侧通风性逐渐变好。

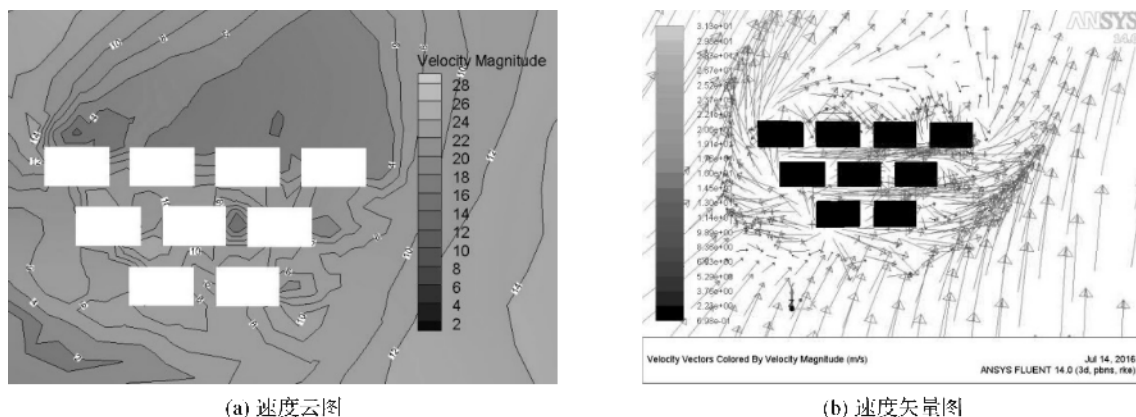


图 8 斜列式布局的速度云图和矢量图

3.3 建筑布局结论

从图 2 中看出,16、17、18 处位于 A1 山脉的背风面上,谷底较浅且坡度较为平缓,所以风向为 SW 时,该处形成了下坡风,使风速沿着风向方向变大,有利于建筑的通风。4 种建筑布局中,建筑通道之间的风速为 15.00 m/s 以下,不会影响行人的步履控制。经过建筑的阻挡和摩擦影响下,斜列式影响最小,三排建筑之间的通道风速为 6.00 m/s 以上,其次是行列式、围合式和错列式,其中错列式布局中建筑物背风面出现低速区域最多。从中间建筑四周的风速大小看,斜列式布局通风性较好,其次是行列式、错列式。从速度矢量图来看,斜列式布局的通风性最好,其次是围合式、行列式,错列式布局的通风性最差。在斜列式布局中两两排建筑之间通道的风速为 9.00 m/s 以上,占的比例较多,而风速大于 9.00 m/s 时会影响了行人动作;再结合考虑到对土地的利用率,行列式布局是一种较合理的布局建筑方案。

4 建筑选址及布局建议

在建筑设计规划选址及布局前,需对该地形的地质特征、风向及舒适性等因素综合分析。山谷入口处由于产生峡道效应而造成风速加速效应,会对建筑造成破坏;山谷谷底较深易形成上坡风和下坡风来流循环,造成涡流区不易通风,舒适性较差;风速较大会影响行人步履控制或有危险;风速比较小会影响空气的流动,造成行人舒适性较差;建筑布局不妥会造成巷道效应和空气污染,不利行人居住。

本文以某村地形为研究对象通过 SRTM 数据库下载该地形的高程数据,经过 GlobalMapper、三维软件以及数值模拟软件 CFD,对该地形的风环境仿真模拟,分别在 NW 和 SW 风向下,对比风速和

风速比大小,根据风速与人体舒适度的关系及风速比越大舒适性越好,得出参考点 16、17、18 处风速比较大,且风速大小不会影响行人的动作,适宜作为建筑选址区域;对应的建筑区域内,通过对 4 中建筑布局周围的风速大小和矢量关系分析,得出行列式布局是一种通风性较好的合理布局方案。

5 结 语

以某村地形为研究对象,以不同的风向和风速为来流条件,分析风速和风速比,选取舒适性较好处作为建筑选址区域,并分析在此区域内 4 中建筑布局的通风性,结果表明:

a) 当风向与峡谷地形走势一致或夹角较小时,位于峡口处风速和风速比大小较大,背风面比迎风面上的风速和风速比较小,且背风面上风速和风速比较大处,行人居住舒适性较好;

b) 当来流风向与建筑大约成 45° 时,建在背风面谷底不深且风速和风速比较大处,选址布局中行列式布局是一种较为合理的建筑布局方案;

c) 参考点 16、17、18 处风速比较大且风速大小不会影响行人动作,形成上坡风有利于通风,适宜作为建筑选址的区域,在此区域中行列式布局是一种较为合理的布局方案。

参考文献:

- [1] 梁思超,张晓东,康顺,等. 基于数值模拟的复杂地形风场风资源评估方法[J]. 空气动力学学报,2012,30(3): 415-420.
- [2] 唐昂,傅军,施红辉,等. 基于实际峡谷地形风场数值模拟的建筑微观选址[J]. 浙江理工大学学报,2015,33(3): 423-428.
- [3] KUBOTA T, MIURA M, TOMINAGA Y, et al. Wind tunnel tests on the relationship between building density

- and pedestrian-level wind velocity: Development of guidelines for realizing acceptable wind environment in residential neighborhoods[J]. *Building & Environment*, 2008, 43(10):1699-1708.
- [4] MAHMOUD B, SHINSUKE K, TAKEO T, et al. An experimental investigation of the wind environment and air quality within a densely populated urban street canyon[J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2011, 99(8):857-867.
- [5] 曾彪. 基于 CFD 风环境模拟对小区建筑布局的优化[J]. *建筑节能学报*, 2014, 6(42):79-83.
- [6] 龚晨, 汪新. 建筑布局对住宅小区风环境的影响研究[J]. *建筑科学学报*, 2014, 30(7):6-12.
- [7] 陈士凌. 适于山地城市规划的近地层风环境研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012:45-54.
- [8] 邓院昌, 刘沙, 余志, 等. 实际地形风场 CFD 模拟中粗糙度的影响分析[J]. *太阳能学报*, 2010, 12(31):1644-1647.
- [9] SIMIU E, SCANLAN R H. *Wind Effects on Structures* [M]. New York: John Wiley and Sons, 1996:519-520.

Study on Residential Site Selection and Layout on the Actual Complex Mountain Terrains

FENG Lin^{1a}, FU Jun^{1b}, ZHENG Gangbing², SHI Honghui^{1a}, DONG Ruoling^{1a}

(1a. Faculty of Mechanical Engineering & Automation; 1b. School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Hangzhou Huaxin Testing Technology Co., LTD., Hangzhou 311215, China)

Abstract: This paper takes the complex mountain terrain of a village as an example, and uses three-dimensional software to deal with topographic contour data and establish the model. CFD software is applied for three-dimensional numerical simulation analysis of the terrain, and the best location of a village with good comfort is obtained and the best scheme of residential layout is proposed. Wind speed and wind speed ratio under the southwest and northwest in the village nearby are compared, and the ventilation of various forms of residential layout is analyzed. Finally, some suggestions are given for site selection and residential layout on complex mountain terrain. The results show that the site with large wind speed and wind speed ratio has better living comfort in the leeward side. When the angle between wind direction and the construction is about 45°, in the form of architectural layout, the row layout scheme is better and the ventilation is better.

Key words: complex mountain terrains; CFD; comfort; ventilation; site selection; residential layout

(责任编辑: 康 锋)