

## 某大学校园风环境模拟分析及评价

李顺<sup>1</sup> 张浩<sup>1,2\*</sup> 宗玉召<sup>1</sup>

1 山东建筑大学热能工程学院

2 可再生能源建筑利用技术教育部重点实验室

**摘要:**本文采用CFD数值模拟分析技术,建立校园风环境的物理模型,采用 $k-\varepsilon$ 湍流模型,对某大学校区校园风环境进行模拟计算,获取校园内风速分布和压力分布。模拟结果表明,在夏季气象条件下建筑前后压差可以满足室内自然通风的要求,有效降低空调开启时间,达到建筑节能效果;冬季气象条件下基本满足室外风环境的指标要求,可以保证师生室外活动的安全性。

**关键词:**校园风环境 数值模拟 风速分布 压力分布

### Simulation Analysis and Evaluation of Campus Wind Environment

LI Shun<sup>1</sup>, ZHANG Hao<sup>1,2\*</sup>, ZONG Yu-zhao<sup>1</sup>

1 School of Thermal Energy Engineering, Shandong Jianzhu University

2 Key Laboratory of Renewable Energy Utilization Technologies in Buildings, Ministry of Education

**Abstract:** The CFD numerical simulation analysis technology was adopted to establish the physical model of Campus wind environment, adopting the turbulence model to simulate the campus wind environment of the university, getting the wind speed distribution and pressure distribution in campus. The simulation results show that the pressure difference before and after the buildings in the summer weather conditions can meet the requirements of indoor natural ventilation, which can reduce air conditioning open time effectively, achieving the effect of building energy efficiency; in the winter weather conditions, it can satisfy the demands of outdoor wind environment indicators basically, and guarantee the safety of outdoor activities between teachers and students.

**Keywords:** campus wind environment, numerical simulation, wind speed distribution, pressure distribution

随着我国经济的飞速发展,能源需求和消耗日益增加,节约资源,保护环境早已成为世界各国发展的主题。因此,建立绿色生态校园的任务迫在眉睫。而在绿色生态校园的建设过程中,最为重要的评价指标是人体的安全性和舒适度,其中风环境是其主要影响因素之一。目前风环境研究主要从实验和数值模拟两方面展开。本文采用CFD软件 $k-\varepsilon$ 数学模型,使用ICEM划分网格<sup>[1-2]</sup>,对校园风环境进行数值模拟与评价,并在此基础上对优化校园环境提出具体改进措

施。

### 1 校园环境及气象条件

#### 1.1 校园环境简介

本文以济南某校区为研究对象,该校区占地面积2500余亩,校舍面积70余万 $m^2$ ,共有23座建筑,最高建筑六层,高度20 m,最低建筑3层,高度15 m。该校区平面分布如图1。

收稿日期:2015-11-23

通讯简介:张浩(1977~),博士,副教授;E-mail: qdzhanghao@126.com

基金项目:山东省住房和城乡建设厅科技项目计划(KY017);山东省住房和城乡建设厅科技项目计划(KY008);

山东省高校科技计划项目(J14LN14)

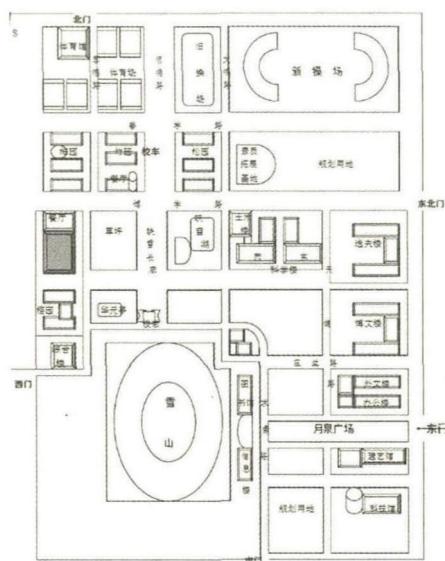


图 1 某高校校区平面示意图

## 1.2 气象条件及概化

济南属于暖温带大陆性季风气候<sup>[3]</sup>,根据济南市气象局提供的气象资料,冬季和夏季室外典型气象参数见表 1<sup>[4]</sup>。

表 1 冬季和夏季室外风速

| 工况      | 最多频率风向 | 室外平均风速/m/s |
|---------|--------|------------|
| 夏季(工况一) | 西南     | 2.8        |
| 冬季(工况二) | 东北     | 2.7        |

在校园风环境设计中需主要考虑以下几点:1)冬季主要考虑室外人行活动区域应尽量避风,以及建筑局部区域风压过大可能会导致冷风渗透进室内;2)夏季主要考虑露天公共场所借助风力降低气温,提高舒适性及建筑物表面利用风力散热,同时考虑室内充分利用自然通风,降低室内空气龄。

## 2 物理模型及网格划分

### 2.1 物理模型

为了方便数值模拟计算,简化的物理模型如图 2 所示。为了保证模拟区域内空气流动充分、稳定,将计算区域定为 640 m(X)×950 m(Y)×120 m(Z),计算区域的长度、宽度和高度均取最高教学楼(6 层)的 5 倍。物理模型的简化:认为所有建筑的地面标高都相同,即不考虑地形起伏的影响。没有考虑校园雪山和映雪湖以及各种植被对周围环境的影响。图 3 中蓝色代表夏季工况进风口,绿色代表夏季工况出风口,冬季工况情况则相反,进、出风口对调。

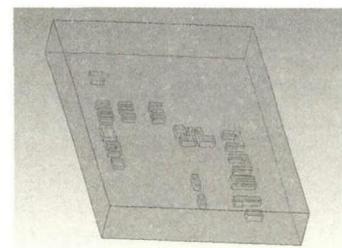


图 2 物理模型

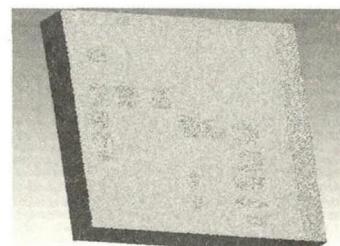


图 3 网格划分

### 2.2 计算区域网格划分

采用非结构化网格,为了保证模拟结果的准确性,计算区域尤其是建筑区域内部网格划分的比较密集,建筑区域以外的网格划分的比较稀疏,共计 128 万个网格,整个建筑区域上的网格如图 3。

### 2.3 模型边界条件设定

建立流动数学模型前做以下假设:假定校园内的温度是均匀一致的,即为等温流动。对气流进行 Boussinesq 假设,为粘性、不可压缩流体,风速成典型的梯度分布。选用数值波动较小、精度相对较高的标准  $k-\varepsilon$  模型。

在数值模拟计算中,边界条件设置如下:

1)入口边界条件:来流面的风速  $u(y)$  与高度  $y$  的关系为

$$u(y)=u_0(y/y_0)^\alpha \quad (1)$$

式中: $u(y)$  为高度  $Z$  处的水平方向风速,  $m/s$ ;  $u_0$  为室外参考高度  $y_0$  处的平均风速,  $m/s$ ;  $y$  为研究点的高度,  $m$ ;  $y_0$  取  $10 m$ ;  $\alpha$  为由地形粗糙度所决定的幂指数,无量纲,根据我国建筑结构荷载规范,  $\alpha=0.16^{[5-6]}$ 。

2)出口边界条件:假定出口边界上为充分发展流动,流动已恢复为无建筑物阻碍的正常流动,即出口压力为大气压。

3)固壁边界条件:建筑物壁面和下垫面均采用无滑移条件,边界处用壁面函数法来处理。

鉴于相关规范、人体舒适度要求以及本研究自身情况,分别选取人行高度  $Z=1.5 m$ 、标准层高度  $Z=10 m$ 、屋面高度  $Z=20 m$  三个典型水平截面,从区域内

风速和压力分布等几个角度,分别对夏季和冬季两种工况进行模拟分析。

自然通风的要求,有利于提高室内空气质量,有效降低空调系统负担,节约空调能耗,降低室内空气龄,达到建筑节能效果。

### 3 数值模拟计算结果分析

#### 3.1 夏季工况

图4是建筑区域在人行高度 $Z=1.5\text{ m}$ 处,夏季风作用下的风场分布矢量图,图5是建筑局部风场分布矢量图。从图4及图5可以看出,当吹西南风时,建筑背风侧有旋涡产生,其原因是室外风遇到建筑物阻挡,发生绕流,在建筑物的背风侧形成旋涡。这些区域的静压力均低于大气压力,形成空气动力阴影区。若空气中有污染物,则在这些区域会停留较长时间,很难扩散出去,易形成高污染区域,故可将此区域作为绿化用地。

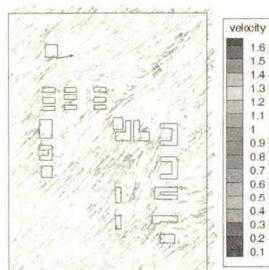


图4  $Z=1.5\text{ m}$  处风场分布矢量图

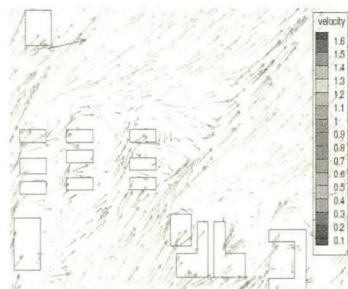


图5  $Z=1.5\text{ m}$  处局部风场分布矢量图

我国目前还没有关于风速标准的规范,但大多数国外文献都证明人体舒适的分界线是 $5\text{ m/s}$ <sup>[7-8]</sup>。从图4可以看出,尽管都存在不同面积的动力阴影区,但区域内的最高风速均低于 $5\text{ m/s}$ ,不影响人行走时的舒适性。图6是 $Z=10\text{ m}$ 处风速分布等值线图,图7是 $Z=20\text{ m}$ 处风速分布等值线图,比较图4~7,可以看出风速随着高度的增加而逐渐增大,符合风速梯度指数分布。

图8~10是建筑小区在夏季风作用下,离地面不同高度截面处的压力分布图。通过模拟得到建筑迎风面与背风面最大压差为 $10.2\text{ Pa}$ ,能够充分满足对室内

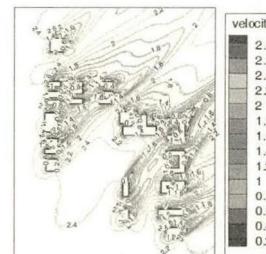


图6  $Z=10\text{ m}$  处风速分布等值线图

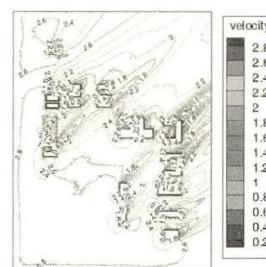


图7  $Z=20\text{ m}$  处风速分布等值线图

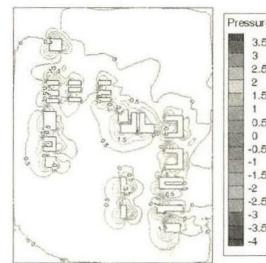


图8  $Z=1.5\text{ m}$  处风压分布

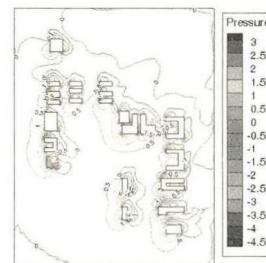


图9  $Z=10\text{ m}$  处风压分布

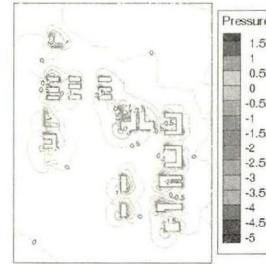


图10  $Z=20\text{ m}$  处风压分布

### 3.2 冬季工况

冬季工况与夏季类似,风向为东北风,在建筑的背风侧也有漩涡产生,为提高居住环境质量,行人的舒适性及降低采暖能耗,可在建筑周围多种植树木,以降低风速,洁净美化环境及提高行人舒适度。图11~16分别为不同高度下的冬季风场分布矢量图、等值线图及压力分布等值线图。随着高度的增加,速度呈指数分布增大,在行人高度截面上,风速小于5 m/s,大体可以满足室外风环境的各项指标要求,可以保证师生室外活动的安全性,但舒适性有待提高。最大压差为14.2 Pa,局部区域需要提高结构气密性,采取保温隔热措施,防止冷风渗透。可以在墙体种植植被,降低风速,以减少采暖所需能耗,达到建筑节能效果。

图11及图12分别为人行高度截面上的风场分布矢量图及风压分布等值线图。从图中可以看出,建筑迎风侧转角区均存在较高风速,背风侧建筑表面大体受低负压控制,抗风设计时可参考迎风最前排建筑的表面风压大小和分布,以达到合理规划区域建筑的目的。

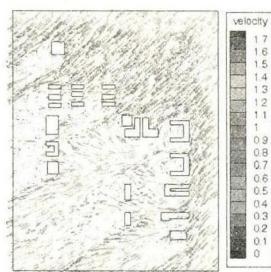


图11 Z=1.5 m 处风场分布矢量图

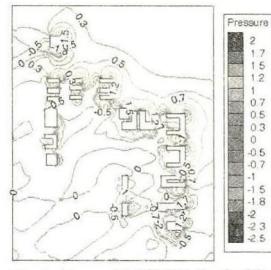


图12 Z=1.5 m 处风压分布等值线图

图13~16分别是Z=10 m和Z=20 m高度时,风速分布等值线图和风压分布等值线图。比较可以发现,随着高度的增加风速越来越大,为避免峡谷风的出现,可在人行道路两边及建筑物周围适当位置多种植树木,建立绿化带,以适当降低风速,同时为了达到节能目的,也可采用太阳能发电,实现建筑节能、绿化环境及提高居民舒适性的一体化。

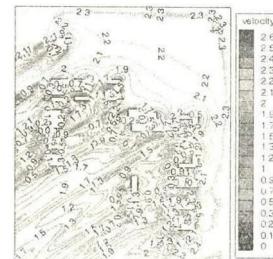


图13 Z=10 m 处风速分布等值线图

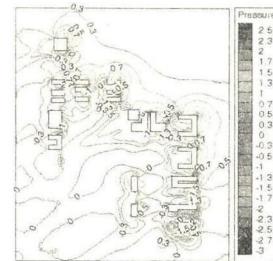


图14 Z=10 m 处风压分布等值线图

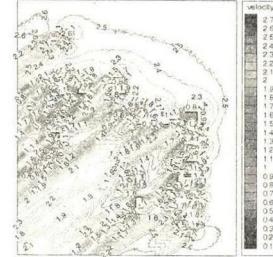


图15 Z=20 m 处风速分布等值线图

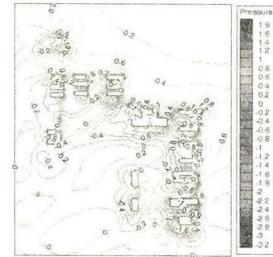


图16 Z=20 m 处风压分布等值线图

## 4 结论

1) 本文以某校区为研究对象,模拟分析了夏、冬两季的室外平均风速下区域内的风场以及压力场,得出了在常规冬夏季室外平均风速下区域内的风速均低于5 m/s,楼与楼之间不会形成较高的峡谷风,区域内有一个较舒适的风环境,进而验证了该校区设计的合理性。

2) 大气中风环境直接影响人们的生活,其不仅与当地气候有关,还与建筑物布局、体型等诸多因素有关。由校园模拟实例可以看出,区域的建筑规划布局,

(下转25页)

从以上分析可以得出,通风腔内空气流动的促进背板温度降低存在一个“S”型规律,在这一“S”区间内,通风高度的提升可以获得最佳的温度降低作用,并且能使得背板温度获得相对低值。在这“S”区间外,通风腔的背板温度降低能力趋于稳定,但不如“S”区间显著。在此案例中由于组件尺寸为长1300 mm,宽1100 mm,这一“S”区间长度约为4.5 m。若能利用间距变化使得光伏阵列频繁出现“S”区间,则可以降低光伏阵列的背板温度,提高发电效率。

## 4 结论及展望

本文通过对上海沪上生态园实际坡屋顶布置太阳能光伏板的温度分布实测,将测试结果与数值模拟分析进行比对,获得较准确具有一定可靠性的分析模型。在此基础上,对光伏板背板通风腔的高度变化进行数值模拟,将模拟结果中的背板温度进行分析,得到一些有价值的结果,主要有以下几点:

1)上海气象条件下,夏季炎热时间段,薄膜太阳能电池的光伏板背板平均温度可达到54~58 °C,相比气温可超出近21~25 °C。

2)通风腔高度的提升对光伏板正面温度几乎无影响,对背板温度的降低有着显著作用,但这一作用

存在一定有效距离。当来风趋于稳定后,每10 cm通风腔高度的增大可平均带来2 °C左右的温度降低幅度。

3)若来风与光伏板组件呈一定角度,通风腔在风进入前段存在一个“S”区域,此区域类似紊流能够加强气流与光伏板背板之间的换热,在这一区域内通风腔高度的增加能够带来较大的温度降低,并能够使得光伏背板温度获得相对温度低值,所以建议在光伏板布置中,建议一定距离增大光伏板组件之间的间距,从而人为制造这一“S”区域。在本次分析案例条件中建议每隔4.5 m增加光伏板组件之间的间距。

本次模拟分析研究主要基于上海市气象参数及坡屋面这一形式,进一步研究可以通过对各种各地气象参数及平屋顶、角度安装等形式进行全面研究从而得到更加广泛的结论。

## 参考文献

- [1] Brinkworth B J, Cross B M, Marshall R H, et al. Thermal regulation of photovoltaic cladding [J]. *Solar Energy*, 1997, 61(3): 169-178.
- [2] Brinkworth B J, Sandberg M. A validated procedure for determining the buoyancy-induced flow in ducts [J]. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2005, 26: 35-48.
- [3] 喜文华.太阳能实用工程技术[M].兰州:兰州大学出版社,2000
- [4] 中国气象局气象信息中心气象资料室.中国建筑热环境分析专用气象数据集[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [5] Baines W D. Effect of velocity distribution on wind load and flow patterns on buildings[C]//Proc Symp Wind Effects on Buildings and Structures. 1963. 198-223.
- [6] 建筑结构荷载规范(GB 50009)[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [7] 赵万英,马金花.建筑物周围人行高度风环境质量评估[J].工业建筑,2006,36(6): 141-144.
- [8] 沈绮,王国砚,顾明.某商业街区建筑风压及风环境数值模拟[J].力学季刊,2007,28(4): 661-666.

(上接36页)

不仅是建筑师单方面的经验设计,结合CFD模拟,可对建筑布局优化起到重要作用。

3)对于不同的建筑体型、布局方式及风向的群体建筑,在规划布局初期对建筑物周围风环境进行模拟分析,不仅可以对规划布局方案提供改进措施,为风洞试验提供参考,还将有效改善建筑物周围的风环境,创造舒适的室外活动空间。

4)运用CFD软件模拟建筑群风环境,能以较短周期和较高精度,为建筑群的合理布局及结构抗风设计提供科学依据,并且本文还可为校园建筑合理规划布局提供一定借鉴。

## 参考文献

- [1] B Blocken, W D Janssen, T van Hooff. CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas: General decision framework and case study for the Eindhoven University cam-