恩施某公共建筑风环境的数值模拟分析

丁思　唐小虎　张东

（湖北省建筑科学研究设计院 湖北武汉 430000）

摘　要：随着绿色建筑在我国的不断推广，风场作为在建筑室外设计中的重要因素和客观存在，将成为城市建筑指导设计中日益重要的设计项目。城市规划中，建筑环境质量是在设计中考虑的很重要的方面，建筑流场则是影响建筑环境质量的主要特征参数，与设计中建筑的形状、布局、风向等因素有关。以恩施某公共建筑为例，运用 Phoenics 软件进行风环境的数值模拟，研究得出不同方案的设计风环境状况，从构建良好风环境的角度为绿色公共建筑规划设计提供了一定的参考依据。

关键词：风环境；CFD；数值分析

0 引言

近年来,高层建筑的出现使得再生风或二次风环境问题凸现出来。在鳞次栉比的建筑群中，由于建筑单体设计和群体布局不当，有可能导致局部风速过大，行人举步维艰或强风卷刮物体伤人等事故,或者因为建筑的设计方位问题造成自然通风能力受到影响。因此，针对室外风环境，国内外建立了相关的标准。我国住建部于 2006 年出台了《绿色建筑评价标准》（GB/T 50378-2006），要求室外风环境有利于冬季室外行走舒适及过渡季、夏季的自然通风。因此，从建筑规划设计阶段开始，需对整个建筑群进行风环境模拟分析，优化室外风环境，提高室外环境舒适度。本文以恩施市某公共建筑为例，探讨公共建筑风环境的数值模拟方法和优化措施。

1 建筑构建及环境情况

本项目位于恩施市金龙大道东侧临山地段，地块大致矩形。项目地块三面临路，一侧靠山，且正处于城市的中心地带。建筑群由多个建筑单体组成，具体布局方案见图 1 和图 2。方案一中建筑群由 6 个不规则形建筑单体组成，建筑层数最高为 16 层，建筑高度为 56 米。方案二中，建筑群由 4 个建筑单体组成,建筑最高为 10 层，建筑高度为 35 米。

根据《中国建筑热环境分析专用气象数据集》：该项目所处地区夏季的平均风速为 1.18m/s，风向为 SSE，冬季最不利风速为 1.13m/s，风向为 SW。

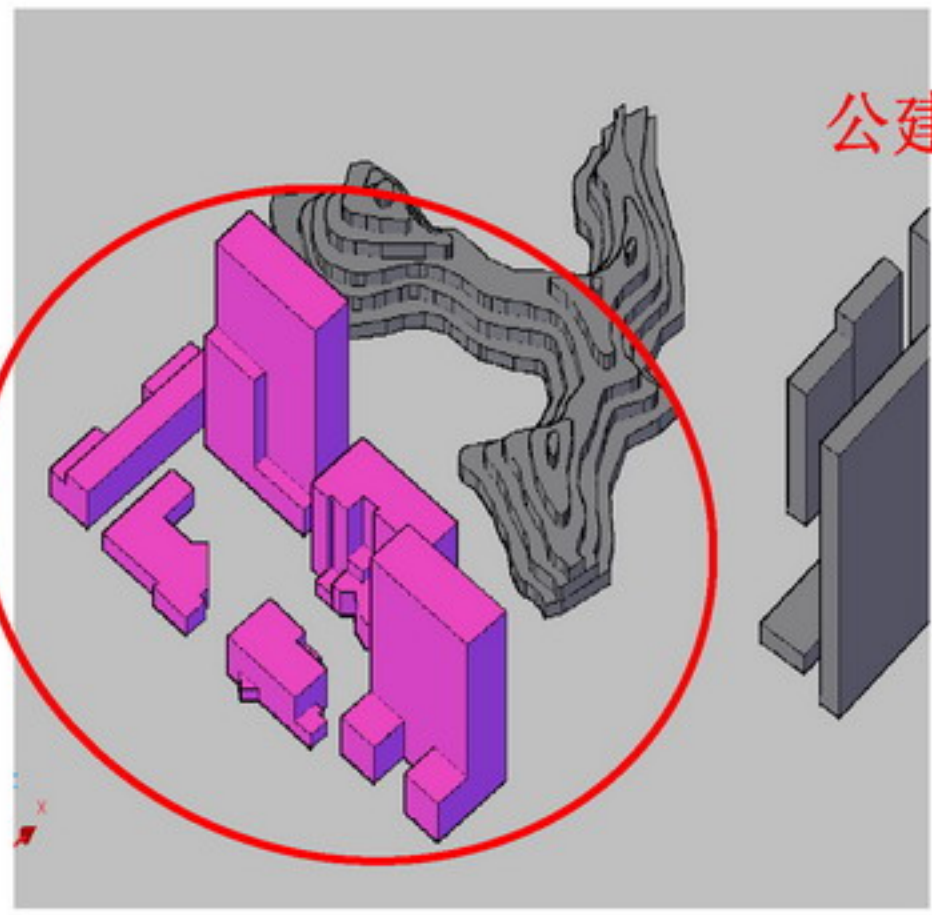


图 1　方案一

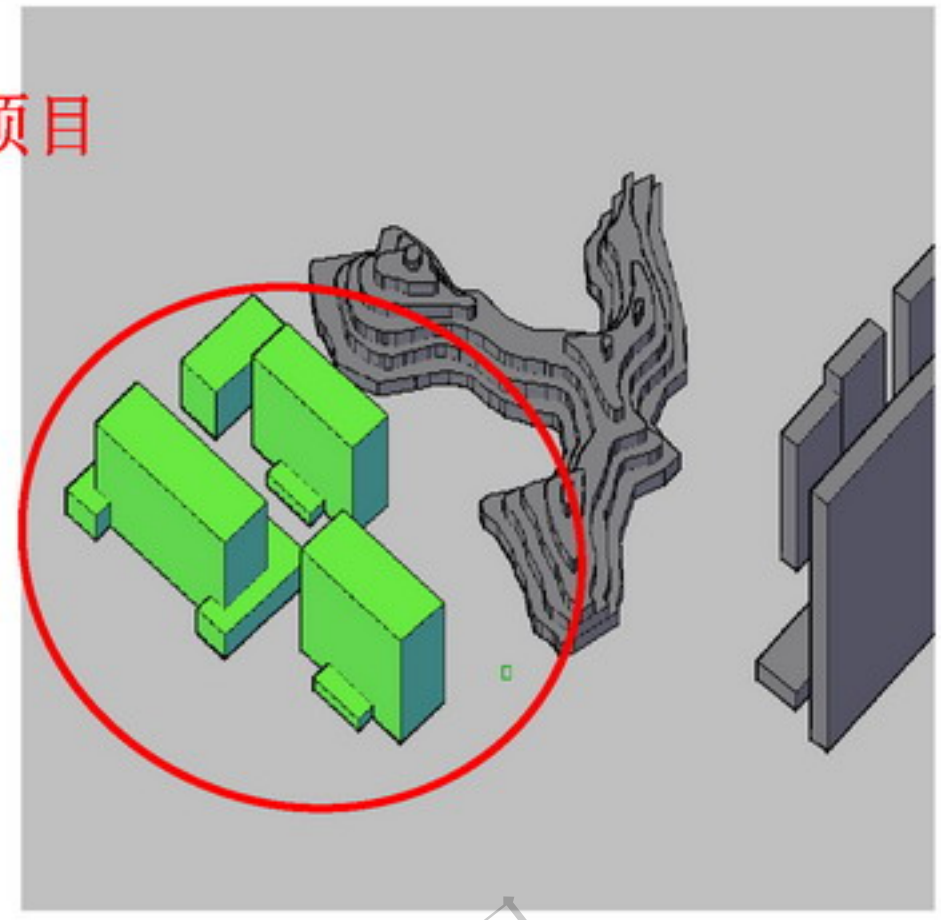


图 2　方案二

2 数值模拟方法

2.1 几何模型

分析模型包括该项目全部建筑物和其周边 50 m 范围内的建筑物，项目周边建筑物高度根据总图进行设置。模型外场选择主要以不影响建筑群边界气流流动为准，其外场尺寸按照本建筑群的最长最宽处 5 倍选取，设置外场计算尺寸为 1000 m×1000 m×200 m（长×宽×高）。

2.2 数值模型

CFD 方法是针对流体流动的质量守恒、动量守恒和能量守恒建立数学控制方程，其一般形式如下：

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t}+div\left(\rho\vec{U}\phi\right)=div\left(\Gamma_{\phi}grad\phi\right)+S$$

该式中的 Φ 可以是速度、湍流动能、湍流耗散率以及温度等。针对不同的方程，其具体表现形式如表 1 所示。

表 1　计算流体力学的控制方程

名称	变量	Γ_{ϕ}	S_{ϕ}
连续性方程	1	0	0

中国建筑节能网 能源世界 http://www.cabeb.net

名称	变量	Γ_ϕ	S_ϕ
x 速度	u	$\mu_{eff}=\mu+\mu_t$	$-\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_{eff}\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_{eff}\frac{\partial v}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\mu_{eff}\frac{\partial w}{\partial x}\right)$
y 速度	v	$\mu_{eff}=\mu+\mu_t$	$-\frac{\partial P}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_{eff}\frac{\partial u}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_{eff}\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\mu_{eff}\frac{\partial w}{\partial y}\right)$
z 速度	w	$\mu_{eff}=\mu+\mu_t$	$-\frac{\partial P}{\partial z}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_{eff}\frac{\partial u}{\partial z}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_{eff}\frac{\partial v}{\partial z}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\mu_{eff}\frac{\partial w}{\partial z}\right)-\rho g$
湍流动能	k	$\alpha_k\mu_{eff}$	$G_k+G_B-\rho\varepsilon$
湍流耗散	ε	$\alpha_\varepsilon\mu_{eff}$	$C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k+C_{3\varepsilon}G_B)-C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}-R_\varepsilon$
温度	T	$\frac{\mu}{\Pr}+\frac{\mu_t}{\sigma_T}$	S_T

式中：

$G_k=\mu_t S^2$，$S=\sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$，$S_{ij}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i}+\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)$，$G_B=\beta_T g\frac{\mu_t}{\sigma_T}\frac{\partial T}{\partial y}$，$\mu_t=\rho C_\mu\frac{k^2}{\varepsilon}$，

$C_\mu=0.0845$，$C_{1\varepsilon}=1.42$，$C_{2\varepsilon}=1.68$，$C_{3\varepsilon}=\tanh\left|\frac{v}{\sqrt{u^2+w^2}}\right|$，$\sigma_T=0.85$，$\sigma_C=0.7$，

$\alpha_k=\alpha_\varepsilon$ 由 $\left|\frac{\alpha-1.3929}{\alpha_0-1.3929}\right|^{0.6321}\left|\frac{\alpha+2.3929}{\alpha_0+2.3929}\right|^{0.3679}=\frac{\mu}{\mu_{eff}}$ 计算

其中 $\alpha_0=1.0$。如果 $\mu\ll\mu_{eff}$，则 $\alpha_k=\alpha_\varepsilon\approx1.393$

$R_\varepsilon=\frac{C_\mu\rho\eta^3(1-\eta/\eta_0)}{(1+\beta\eta^3)}\times\frac{\varepsilon^2}{k}$，其中 $\eta=Sk/\varepsilon$，$\eta_0=4.38$，$\beta=0.012$

建筑来流方向风速为均匀分布，不同高度平面上的来流风速大小沿建筑高度方向按梯度递增。按大气边界层理论设置风速，不同地形的风速梯度不同,不同高度的风速不

同，高度与风速的计算公式如下：

$$V_h = V_0(\frac{h}{h_0})^n$$

式中：

Vh—高度为 h 处的风速，m/s；

V0—基准高度 h0 处的风速，m/s，一般取 10 m 处的风速；

n—指数。市区 n 值取 0.2～0.5；空旷或临海地区 n 值取 0.12 左右。

该项目处于恩施市中心区，但是因为该建筑临山，模拟计算时 n 值设置为 0.22。

3 数值模拟结果及分析

根据《绿色建筑评价标准》的规定：建筑周围行人区距地面 1.5m 高度处的风速小于 5m/s，风速放大系数小于 2，严寒、寒冷地区冬季保证除迎风面之外的建筑物前后压差不大于 5Pa；夏季建筑物压差应保持在 1.5Pa 左右，建筑物周围避免出现局部漩涡和死角，保证室内有效的自然通风。

3.1 风速数值模拟结果及分析

图 3-图 4 分别为方案一和方案二的夏季该公建群 1.5m 高度行人区风速矢量图和风速分布图，风来流来自东南偏南的方向。如图所示，方案一和方案二中本区域周边人行区域流场分布均匀，基本无涡流形成，整体通风状况良好，并且方案一和方案二中建筑周边人行区域的风速均在 1.5m/s 以下，整体均小于 5m/s。

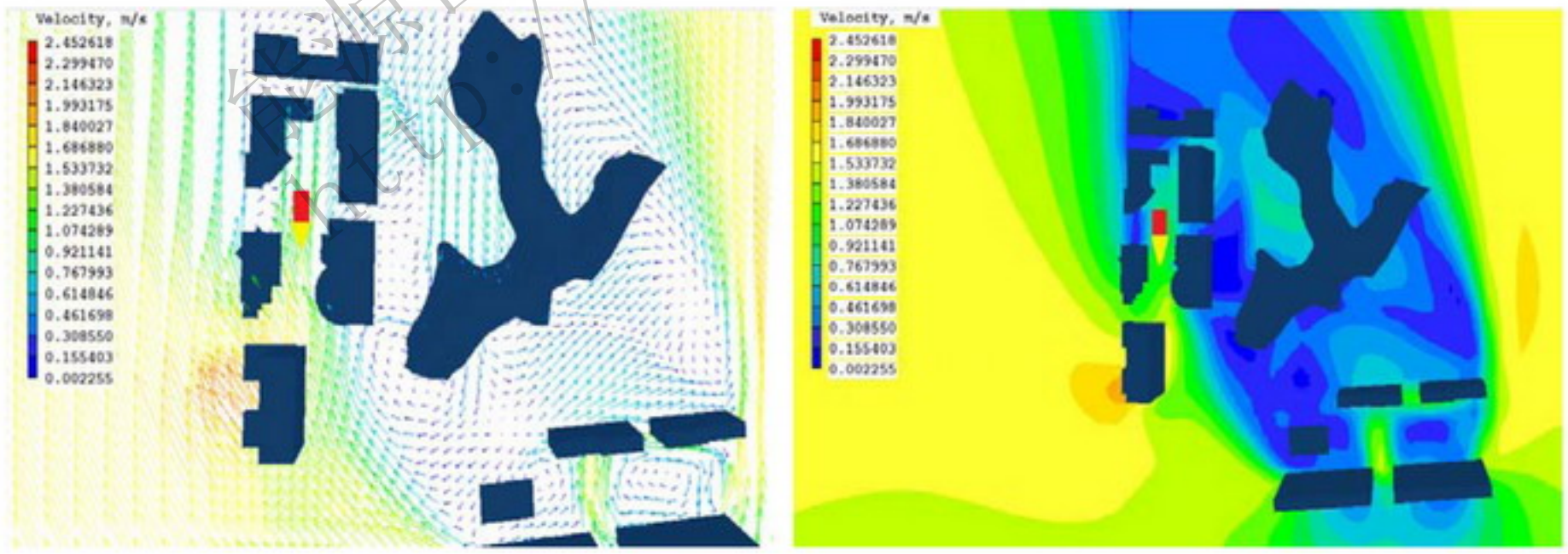


图 3 方案一 夏季距地 1.5 m 高度处风速矢量图和风速云图

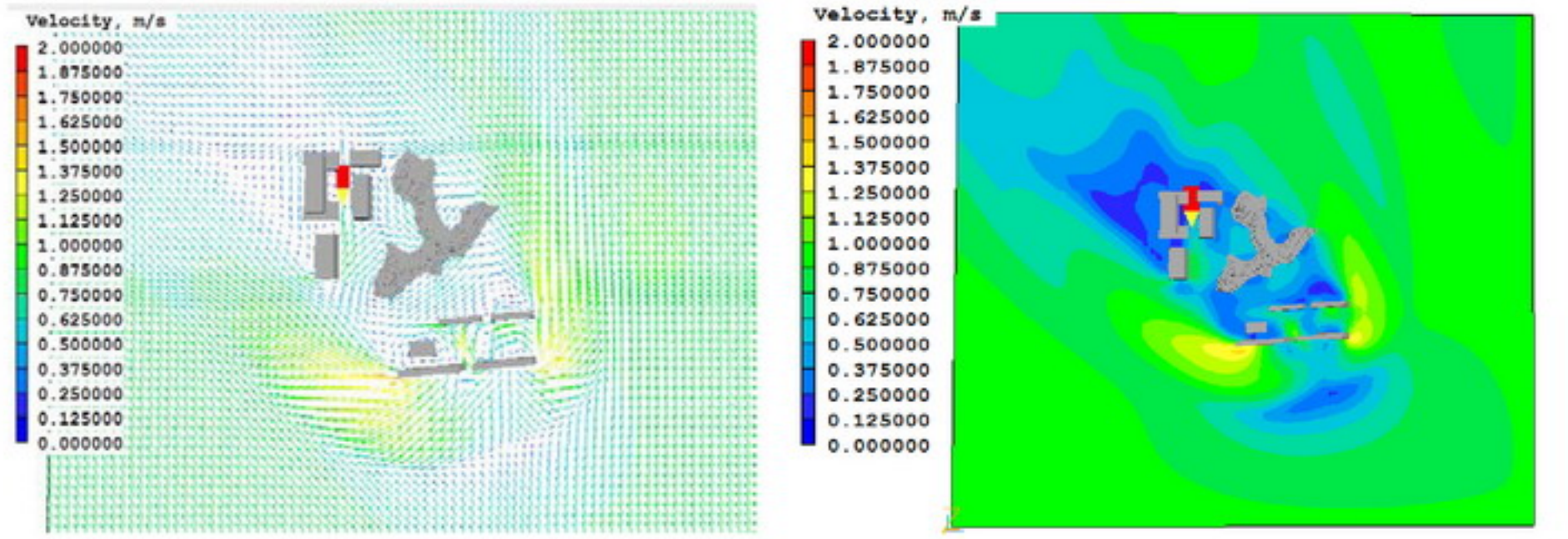


图 4 方案二 夏季距地 1.5 m 高度处风速矢量图和风速云图

图 5-图 6 分别为方案一和方案二的冬季该公建群 1.5m 高度行人区风速矢量图和风速分布图，风来流来自西南的方向。如图所示，方案一中建筑附近的人行区域的风速基本处于 1m/s 以下，只有在建筑群的南部风速有所偏大为 1.8m/s 左右；在方案二中建筑附近的人行区域的风速在 0.5m/s 以内；两方案的风速整体小于 5m/s，并且周边人行区域流场分布均匀，基本无涡流形成，整体通风状况良好。

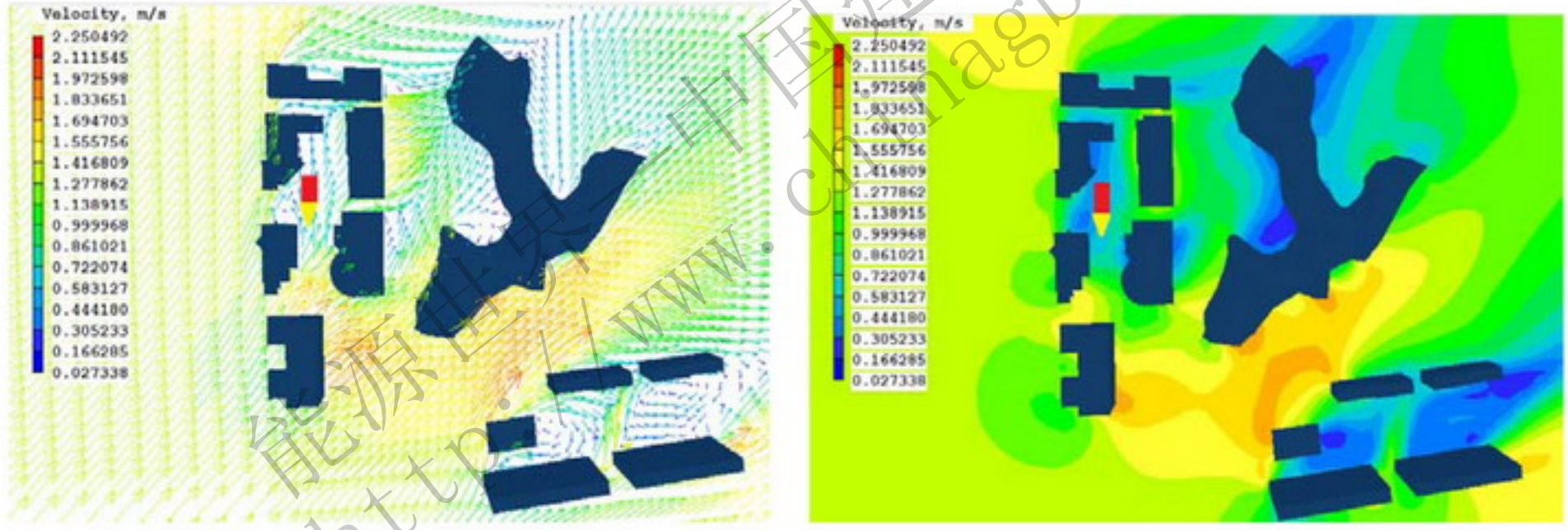


图 5 方案一 冬季距地 1.5 m 高度处风速矢量图和风速云图

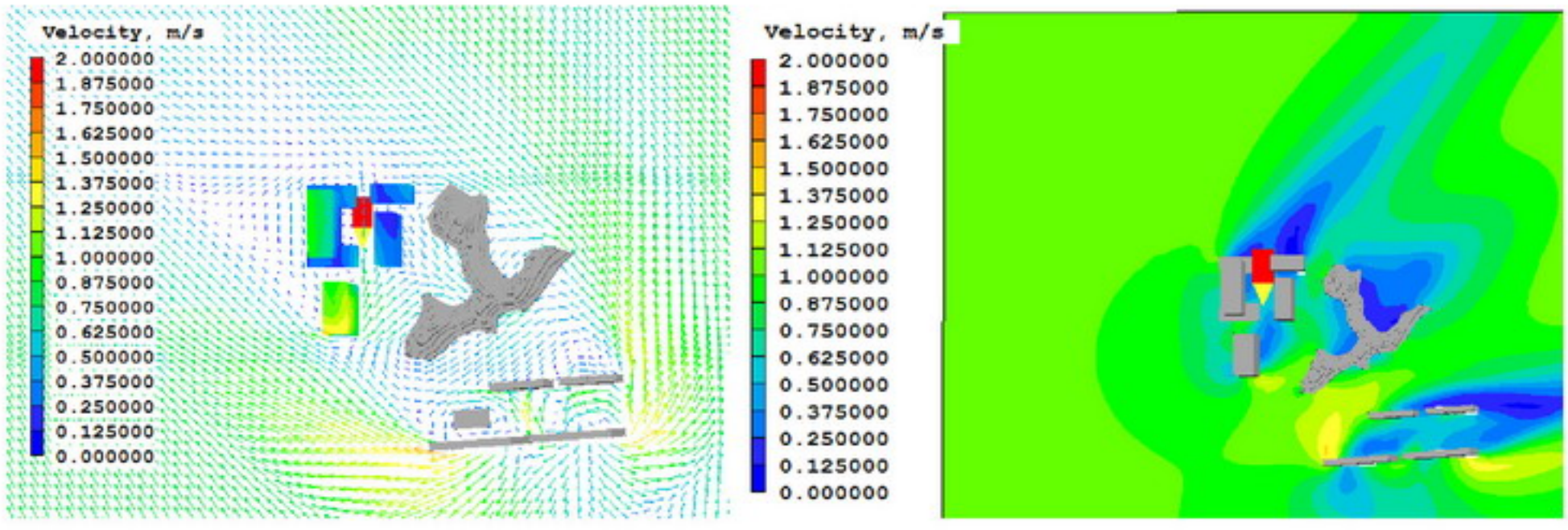


图 6 方案二 冬季距地 1.5 m 高度处风速矢量图和风速云图

能源建筑网 http://www.chinagb.net

从上述对比中可看出，在不同季节、不同风向及不同风速的情况下，方案一和方案二均符合绿色建筑在风速方面对建筑物的要求。但是绿色建筑对风环境的定义不仅限于对风速的要求，也需要了解建筑前后的风压，看其是否可以有助于建筑物的夏季自然通风以及冬季自然防风的效果。

3.2 风压数值模拟结果及分析

图 7-图 8 为方案一和方案二夏季建筑物表面风压图，可以看到在方案一中，建筑群楼迎风面和逆风面的前后压差最小处大约在 2Pa 左右，最大处为 4.3Pa。而在方案二中建筑群楼迎风面和逆风面的前后压差最大处仅为 1.2Pa，这不满足《绿色建筑评价标准》中的对于在夏季建筑前后压差不大于 1.5 Pa 的规定。

图 7 方案一 夏季建筑物迎风面和逆风面风压力图

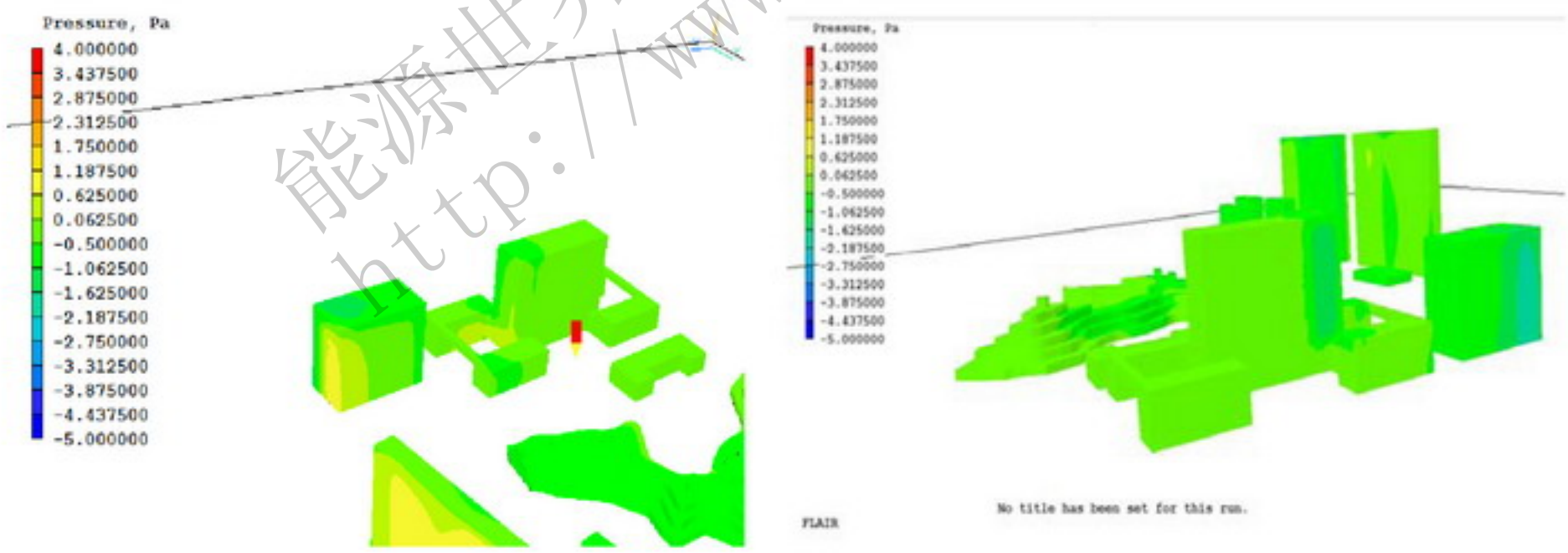


图 8 方案二 夏季建筑物迎风面和逆风面风压力图

图 9-图 10 为方案一和方案二冬季建筑物表面风压图，可以看到在方案一中，建筑群楼迎风面和逆风面的前后压差最大处大约在 2.3Pa 左右，在方案二中建筑群楼迎风面和逆风面的前后压差最大处为 1.7Pa，满足《绿色建筑评价标准》中的对于在冬季建筑前后压差小于 5 Pa 的规定。

能源世界—中国建筑节能网 http://www.chinagb.net

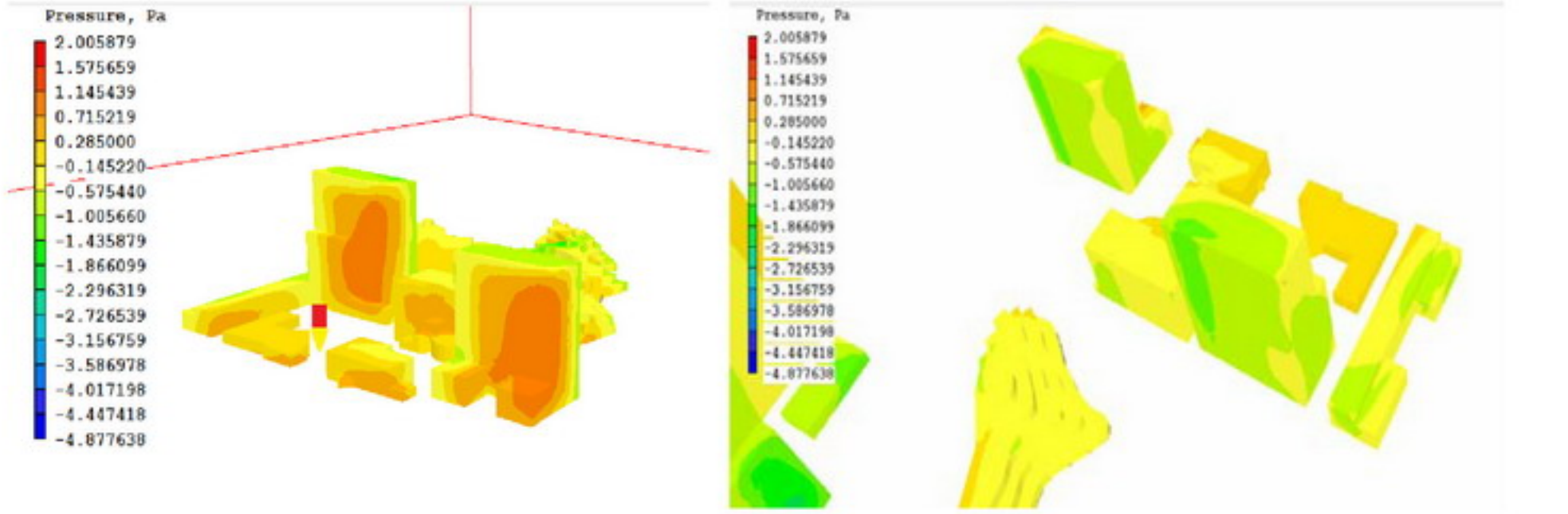


图 9 方案一 冬季建筑物迎风面和逆风面风压力图

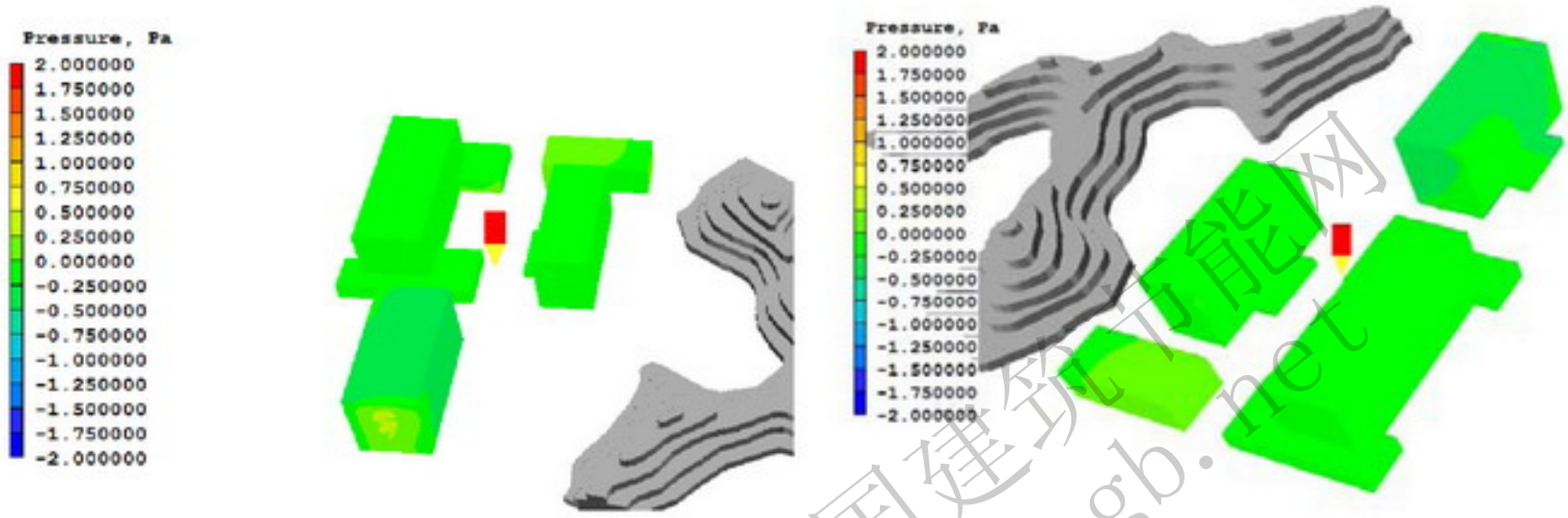


图 10 方案二 冬季建筑物迎风面和逆风面风压力图

表 2 方案一和方案二风速以及风压对比值

	风速(m/s)			迎风面和逆风面的压差（Pa）			
	标准值	模拟值		夏季		冬季	
		夏季	冬季	标准值	模拟值	标准值	模拟值
方案一	<5	1.5	1-1.8	>1.5	2-4.3	<5	2.3

从表 2 中的风速以及风压的数值比对结果可以看出，在不同季节、不同风向及不同风速的情况下，方案一无论是在夏季还是冬季，在建筑风环境方面都优于方案二；方案二，虽然在风速和冬季防风方面都满足绿色建筑的要求，但是在夏季对于建筑自身的自然通风上存在不足，这样会使夏季在内办公的人员的舒适感有所下降，也会增加该建筑的运营成本。

4 结束语

随着社会的不断发展，城市的风环境，已经成为和城市热环境、声环境以及光环境并列的重点城市环境问题。而室外风环境的状况不仅仅由自然因素引起的，更多的是由于建筑物的形态、方位改变了风的流向而引起的，因此建筑群的优化布局对改善室外风

能源建筑网 http://www.chinagb.net

环境十分重要。建筑群的规划布局，既需要建筑师的设计经验，也需要结合 CFD 数值模拟手段，对建筑物周围的风环境进行模拟分析，对规划设计方案进行优化，从而创造更加舒适的室外风环境。

参考文献：

[1] 王福军.计算流体动力学分析[M]. 清华大学出版社，2004

[2] 余庄，张辉. 城市规划 CFD 模拟设计的数字化研究[J]. 城市规划，2007,31（6）: 52-55

[3] 陈水福，孙炳南，唐锦春. 建筑表面风雅的三维数值模拟[J]. 工程力学，1997,14（4）: 38-43

NUMERICAL SIMULATION ANALYSIS OF WIND ENVIRONMENT AROUND PUBLIC BUILDING IN ENSHI

DING Si, TANG Xiaohu, ZHANG Dong

(Hubei Provincial Academy of Building Research and Design, Wuhan 430000)

Abstract: With the green architecture at a constantly promotion process in our country, as a key factor and an objective existence in the urban construction design guidance domain, wind field will Become the most common design project. In the city planning, Architectural environment quality as a important aspect is considered in the design. As a main characteristic parameters which have effect on the Architectural environment quality, construction flow field is concerned with the shape, the layout, the wind direction and other factors in the building design. In this paper, we used an EnShi public building as the example, through Phoenics software to finish the numerical simulation process of wind environment, received the designed wind environment condition in different programs, provided meaningful reference to the work about green public architecture planning and design at the degree of Constructing a good wind environment.

Keywords: Wind Environment; CFD; Numerical Simulation

资源共享—中国建筑节能网 http://www.chinabuildingenergy.net