

昆明冶金高等专科学校安宁校区建设工程项目


-体育用房及学生生活用房

## 室外风环境模拟分析报告

编制人：马庶平



校核人：周敏杰



审定人：罗文兵



云南省设计院集团

2018年3月

# 目录

一、模拟概述.....	3
1.1 气候概况 .....	3
1.2 风环境影响 .....	3
1.3 参考依据 .....	3
1.4 评价标准 .....	4
二、分析流程.....	4
2.1 评价方法 .....	4
2.2 几何模型 .....	4
2.3 网格划分 .....	5
2.4 湍流模型 .....	6
2.5 边界条件 .....	6
2.5.1 入口设置 .....	6
2.6 数学模型 .....	7
2.7 求解方法 .....	8
2.7.1 算法说明 .....	8
2.7.2 差分格式 .....	9
2.8 模拟风况 .....	9
三、结果分析.....	9
3.1 风况 1（夏季风况） .....	9
风速矢量图.....	10
风速云图.....	10
建筑前后压差.....	11
3.2 风况 2（冬季风况） .....	12
风速矢量图.....	13
风速云图.....	13
建筑前后压差.....	15
四、结论.....	16

# 一、模拟概述

## 1.1 气候概况

昆明市地处亚热带高原季风湿润气候区，干、湿季分明，春、冬风大干旱，夏、秋雨量集中，冬无严寒，夏无酷暑。据国家气象中心资料，昆明冬季主导风为西南风，风向频率 32%，夏季则以西南风及南风为主导风，风向频率 30%，大风天数 45 天。

## 1.2 风环境影响

建筑群和高大建筑物会显著改变城市近地面层风场结构。近地风的状况与建筑物的外形、尺寸、建筑物之间的相对位置以及周围地形地貌有着很复杂的关系。在有较强来流时，建筑物周围某些地区会出现强风；如果这些强风区出现在建筑物入口、通道、露台等行人频繁活动的区域，则可能使行人感到不舒适、甚至带来伤害，形成恶劣的风环境问题。在一般的气候条件下，他们直接影响着城市环境的小气候和环境的舒适性；一旦遇到大风，这种影响往往会变成灾害，使建筑外墙局部的玻璃幕墙、窗扇、雨棚等受到破坏，威胁着室内外的安全。

调查统计显示：在建筑周围行人区，若平均风速  $V > 5 \text{ m/s}$  的出现频率小于 10%，行人不会有什么抱怨（在 10% 大风情况下建筑周围行人区风速小于  $5 \text{ m/s}$ ，即可认为建筑周围行人区是舒适的）；频率在 10%~20% 之间，抱怨将增多；频率大于 20% 则应采取补救措施以减小风速。另外，行人在风速分布不均区域活动时，若在小于 2m 的距离内平均风速变化达 70%，即从低风速区突然进入高风速区，人对风的适应能力将大减。

因此在设计阶段，应对建筑物的室外风环境做出评价，分析建筑之间位置关系对室外风环境的影响。同时，室外风环境深刻影响建筑室内风环境，特别是对建筑防风与自然通风有着决定性影响。冬季建筑防风，有效减少气流渗透，降低采暖能耗，而夏季与过渡季节的自然通风则能降低建筑空调能耗。自然通风主要有以下 3 种作用：舒适通风、降温通风、健康通风。通过通风增加人的舒适度，从而提高人体热舒适感觉；通过建筑周围气流将建筑周边以及房间里的热量散发到空气中去；同时通过通风，为室内提供新鲜空气，降低室内二氧化碳浓度。建筑室外风环境模拟分析，主要考虑室外风场以及室外风环境对室内环境影响两方面内容。

本报告综合考虑风速、风压两个因素，对昆明冶金高等专科学校安宁校区建设工程项目-体育用房及学生生活用房及周边的风环境进行分析评价，并进一步为室内自然通风分析提供参考数据。

## 1.3 参考依据

本项目主要依据标准为《昆明市绿色建筑导则》及《云南省绿色建筑评价标准》DBJ53/T-49-2015，其他标准同时作为参考依据，包括：

- ★《建筑通风效果测试与评价标准》JGJ/T 309—2013；
- ★《绿色建筑评价技术细则》
- ★《民用建筑设计通则》GB 50352—2005

## 1.4 评价标准

《昆明市绿色建筑设计导则》第 4.4.3 条：应从建筑规划布局及建筑设计着手，提升光环境和风环境质量，改善热环境质量，并符合下列要求：

- 1 满足日照标准，且不得降低周边建筑的日照标准，避免产生光污染。
- 2 场地内风环境有利于室外行走、活动舒适和建筑的自然通风。
- 3 采取措施降低热岛强度

《云南省绿色建筑评价标准》DBJ53/T-49-2015 第 4.2.6 条：场地内风环境有利于室外行走、活动舒适和建筑的自然通风。

## 二、分析流程

本报告主要对昆明冶金高等专科学校安宁校区建设工程项目-体育馆及周边的风场分布状况及其对室内通风的影响进行分析，验证其是否满足其是否达到第 4.4.3 条的相关要求。

### 2.1 评价方法

建筑通风效果的测评方法包括风洞实验、模型试验和数值模拟三种，分别针对室外和室内两部分。室外通风涉及的室外风场范围非常大，采用前两种方法的成本过高并且周期很长，可行性较差。

模拟实验是计算流体力学 CFD（Computational Fluid Dynamics）在建筑通风模拟评价领域的应用，可以大大降低测试成本，缩减评价周期。

本项目采用斯维尔 Vent2014 软件实现建筑室外风环境的数值模拟评价。

斯维尔 Vent2014 软件依据 CFD 基本求解原理和流程，紧贴《云南省绿色建筑评价标准》DBJ 53/T-49-2015 对风速和风压的要求，以及《建筑通风效果测试与评价标准》JGJ/T309-2013 标准对于模拟评价的要求；件软件构建于 AutoCAD 平台，形成基于 BIM 技术并被 CFD 计算核心识别的模拟模型。

同时，软件根据建筑风环境模型的特征实现了“一键式”操作的智能化计算，涵盖了模型处理、网格划分和网格质量判断、模拟工况数据库、计算参数设置、迭代求解控制、结果管理的整个流程。

此外，Vent2014 通过实验测试（参照权威的 AIJ 风洞模拟数据），模拟值与实测值误差小于 20%。

综上所述，本项目选择采用 Vent2014 软件。

### 2.2 几何模型

本报告根据建筑总平面图以及其他相关资料建立项目的室外风环境模拟模型。

室外通风的几何模型实际为包围建筑群的风场范围，该风场范围确定了计算区域，以下为本项目风场范围创建。

通过 Vent 模型观察功能分析模型中包括项目中建筑物的高度以及分布情况，并通过建筑总平面图分析建筑群整体尺寸，依据《建筑通风效果测试与评价标准》JGJ/T 309—2013

对于室外风场尺寸的要求，软件自动创建合适的风场范围。模型观察及风场范围分别如下图所示：

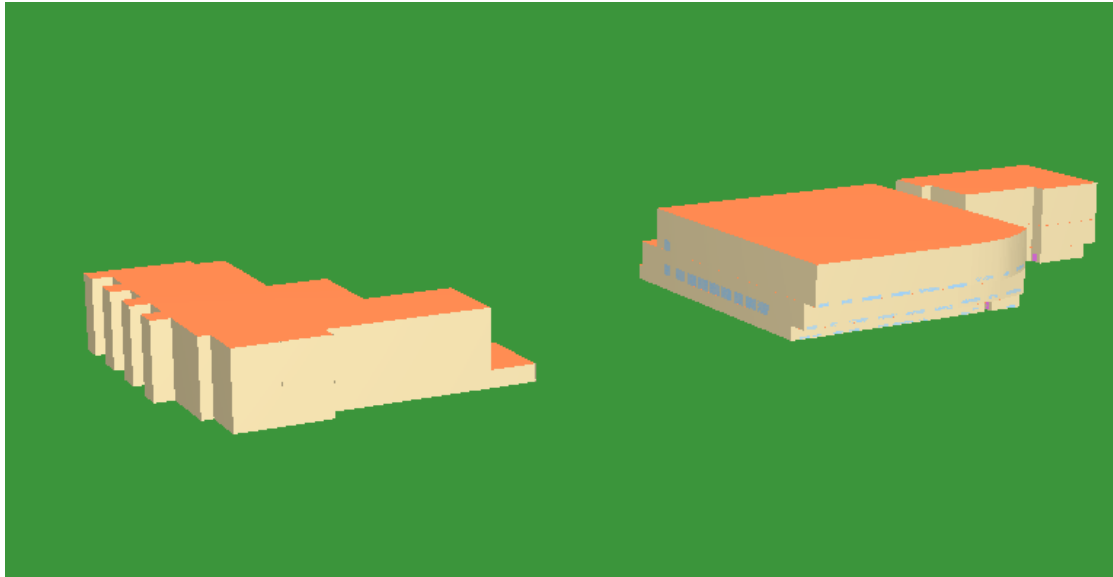


图2.2-1模型观察

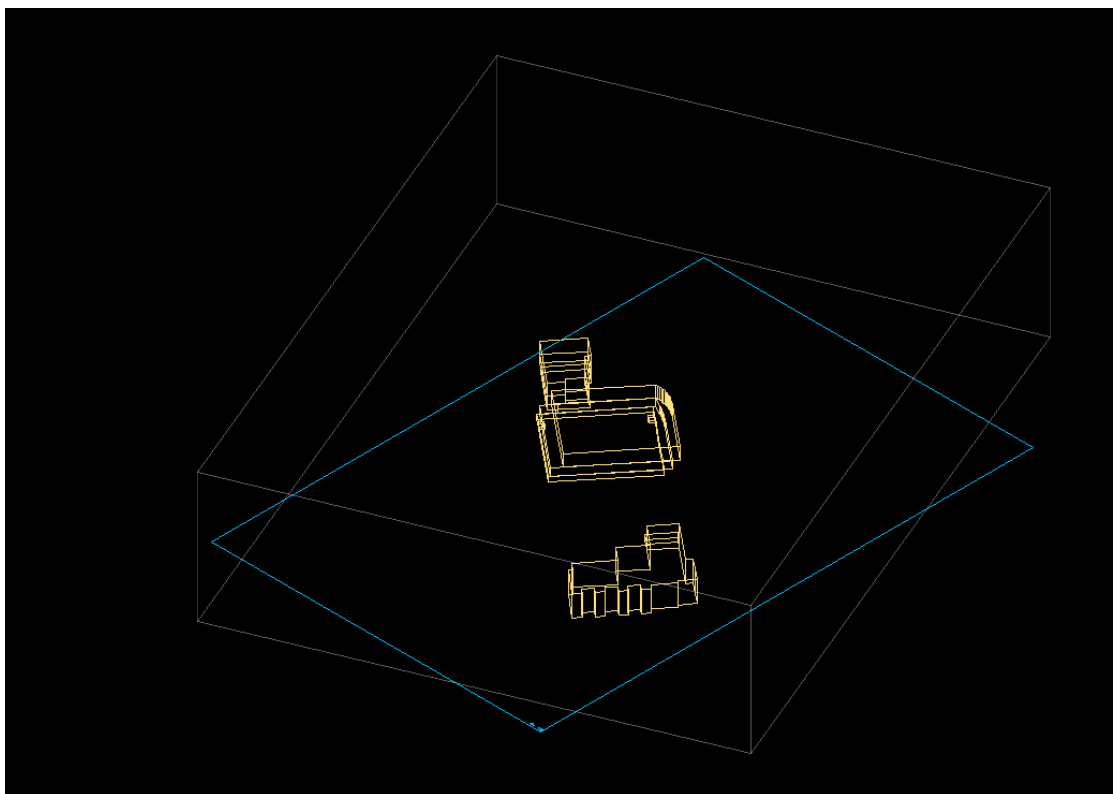


图2.2-2风场范围

## 2.3 网格划分

网格参数对网格划分的精度和效果起决定性作用。网格太密会导致计算速度下降并浪费计算资源；网格太疏导致计算精度不足结果不够准确，合理的网格方案需要考虑对计算域中不同的部分采用不同的网格方案。

Vent2014 充分考虑以下影响网格划分和网格质量的因素：

建筑附近或者远离建筑的区域：前者要求网格较密，后者网格密度可以适当减小；

贴近地面的区域：网格需要加密以捕捉地面摩擦力对近地面层风场的影响；

贴近建筑的区域：网格需要加密以捕捉建筑表面摩擦力对靠近建筑表面风场的影响；

有明显局部特征的建筑物轮廓：如较大尺寸的尖角、凹槽、凸起，网格需要加密捕捉局部特征对风场的影响；

## 2.4 湍流模型

湍流模型反映了流体流动的状态，在流体力学数值模拟中，不同的流体流动应该选择合适的湍流模型才会最大限度模拟出真实的流场数值。

Vent2014 依据《建筑通风效果测试与评价标准》JGJ/T 309—2013 推荐的 **RNG k-ε** 湍流模型进行室外流场计算。

下表为几种工程流体中常见的湍流模型适用性：

表 2.4 常用湍流模型适用范围

常用湍流模型	特点和适用工况
standard k-ε 模型	简单的工业流场和热交换模拟，无较大压力梯度、分离、强曲率流，适用于初始的参数研究
<b>RNG k-ε 模型</b>	适合包括快速应变的复杂剪切流、中等旋涡流动、局部转捩流如边界层分离、钝体尾迹涡、大角度失速、房间通风、室外空气流动
realizable k-ε 模型	旋转流动、强逆压梯度的边界层流动、流动分离和二次流，类似于 RNG

## 2.5 边界条件

边界条件为进行数值模拟计算的必要条件，对于建筑风场，需要输入风场的入口和出口边界条件。

### 2.5.1 入口设置

#### 1) 入口风设置

风场入口平均风速为风场计算的必要边界条件，Vent2014 依据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012 提供全国各地冬夏两季的风速数据库，过渡季节的风速要以当地气象资料作为参考。

项目的入口风速参考数据库中项目所在地昆明的冬夏两季气象资料，并结合昆明当地过渡季节的气象数据，具体数据见 2.7 章模拟工况。

#### 2) 梯度风

由于随着高度的增加，风速会增大，而且风速随高度增大的规律还与地面粗糙度有关。Vent2014 参考《建筑通风效果测试与评价标准》JGJ/T 309—2013，采用指数函数梯度风。

四类地貌（不同地面粗糙度）中平均风速随高度变化的规律：

$$v = v_R \left( \frac{z}{z_R} \right)^\alpha$$

式中：

$v$ 、 $z$ ——任何一点的平均风速和高度；

$v_R$ 、 $z_R$ ——标准高度  $z_R$  处的平均风速  $v_R$  和标准高度值，《建筑结构荷载规范》GB50009-2001

规定自然风场的标准高度取 10m；

$\alpha$ ——地面粗糙度指数，其取值如下表；

表 2.5.1 不同类型地表面下的  $\alpha$  值与梯度风高度表

地面类型	适用区域	指数 n
A	近海海面、海岛、海岸、湖岸及沙漠地区	0.12
B	田野乡村、丛林、丘陵，房屋较稀疏的乡镇和城市郊区	0.16
C	密集建筑群的城市市区	0.22
D	密集建筑群且房屋较高的城市市区	0.30

### 3) 出流边界条件

建筑出流面上空气流动按湍流充分发展考虑，边界条件按自由出口设定。

## 2.6 数学模型

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，其一般形式如下表 2 所示：

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\vec{U}\phi) = \text{div}(\Gamma_\phi \text{grad}\phi) + S_\phi$$

该式中的  $\phi$  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 2.4。

表 3 计算流体力学的控制方程

名称	变量	$\Gamma_\phi$	$S_\phi$
连续性方程	1	0	0
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	$w$	$\mu_{eff} = \mu + \mu_t$	$-\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_{eff} \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_{eff} \frac{\partial w}{\partial z} \right) - \rho g$

名称	变量	$\Gamma_\phi$	$S_\phi$
湍流动能	$k$	$\alpha_k \mu_{eff}$	$G_k + G_B - \rho \varepsilon$
湍流耗散	$\varepsilon$	$\alpha_\varepsilon \mu_{eff}$	$C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_B) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon$
温度	$T$	$\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_T}$	$S_T$

表 1 中的常数如下:

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

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad C_\mu = 0.0845, \quad C_{1\varepsilon} = 1.42, \quad C_{2\varepsilon} = 1.68, \quad C_{3\varepsilon} = \tanh \left| \frac{v}{\sqrt{u^2 + w^2}} \right|,$$

$$\sigma_T = 0.85, \quad \sigma_C = 0.7,$$

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

其中  $\alpha_0 = 1.0$ 。如果  $\mu \ll \mu_{eff}$ , 则  $\alpha_k = \alpha_\varepsilon \approx 1.393$

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

## 2.7 求解方法

### 2.7.1 算法说明

目前 CFD 计算方法主要采用有限差分法和有限体积法。一般情况下, 两者的数学本质及其表达是相同的, 只是物理含义有所区别, 有限差分基于微分的思想, 有限体积基于物理守恒的原理。

Vent2014 软件采用有限体积法, 同时采用压强校正法 (SIMPLE) 处理连续性方程, 将运动方程的差分方程代入连续性方程建立起基于连续性方程代数离散的压强联系方程, 求解压强量或压强调整量。



## 2.7.2 差分格式

CFD 计算需要将 CFD 数学模型中的高度非线性的方程离散为可用于求解的方程, 这个过程需要用到差分方法。

Vent2014 采用二阶迎风格式对方程进行离散, 二阶迎风格式的准确性可满足一般流体模拟计算的要求, 同时满足《建筑通风效果测试与评价标准》JGJ/T 309—2013 对于数值模拟算法的要求。

## 2.8 模拟风况

本报告根据全年的气象参数确定典型的夏季和冬季工况, 各工况的具体风向及风速设置如表 2.8 所示。

表 2.8 模拟的工况

风况	季节	风向	平均风速 (m/s)
风况 1	夏季典型风况	202.5°	2.6
风况 2	冬季典型风况	202.5°	3.7

## 三、结果分析

### 3.1 风况 1（夏季风况）

模拟夏季平均风速情况下的建筑周边流场分布状况

## 风速矢量图

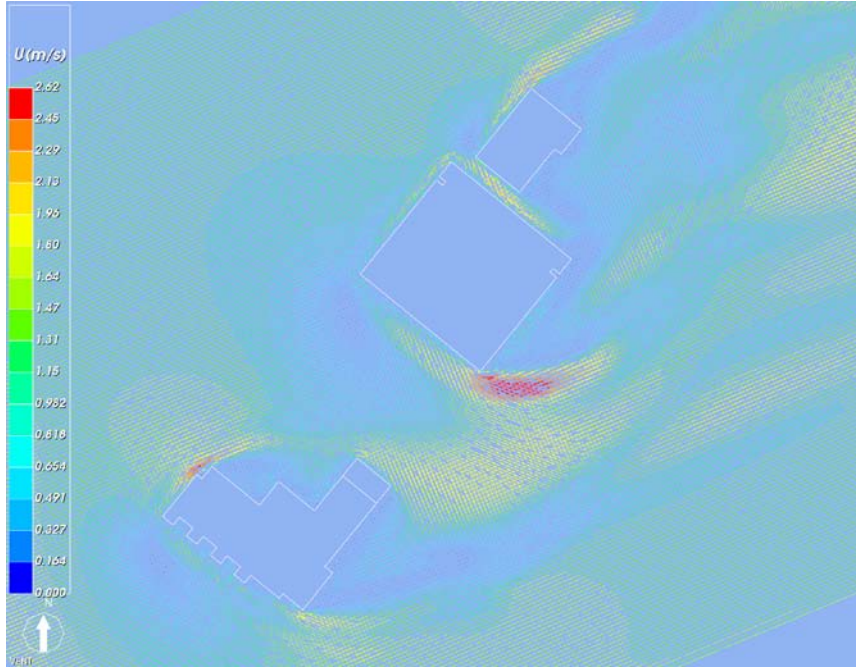


图 3.1-1 1.5 米高处夏季风况风速矢量图

## 风速云图

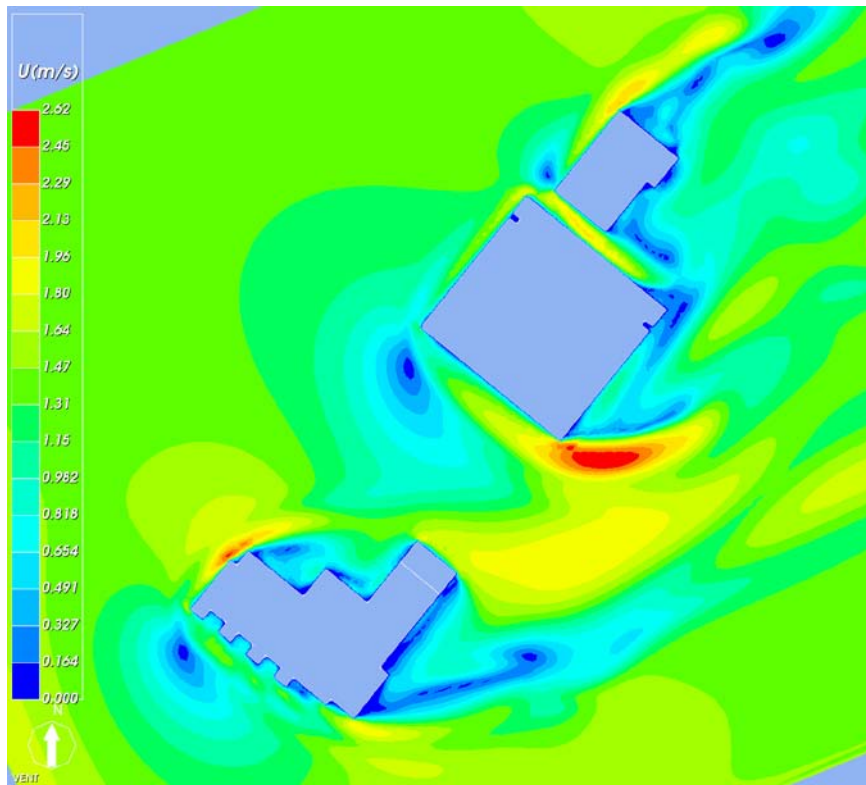


图 3.1-2 1.5 米高处夏季风速云图

## 建筑前后压差

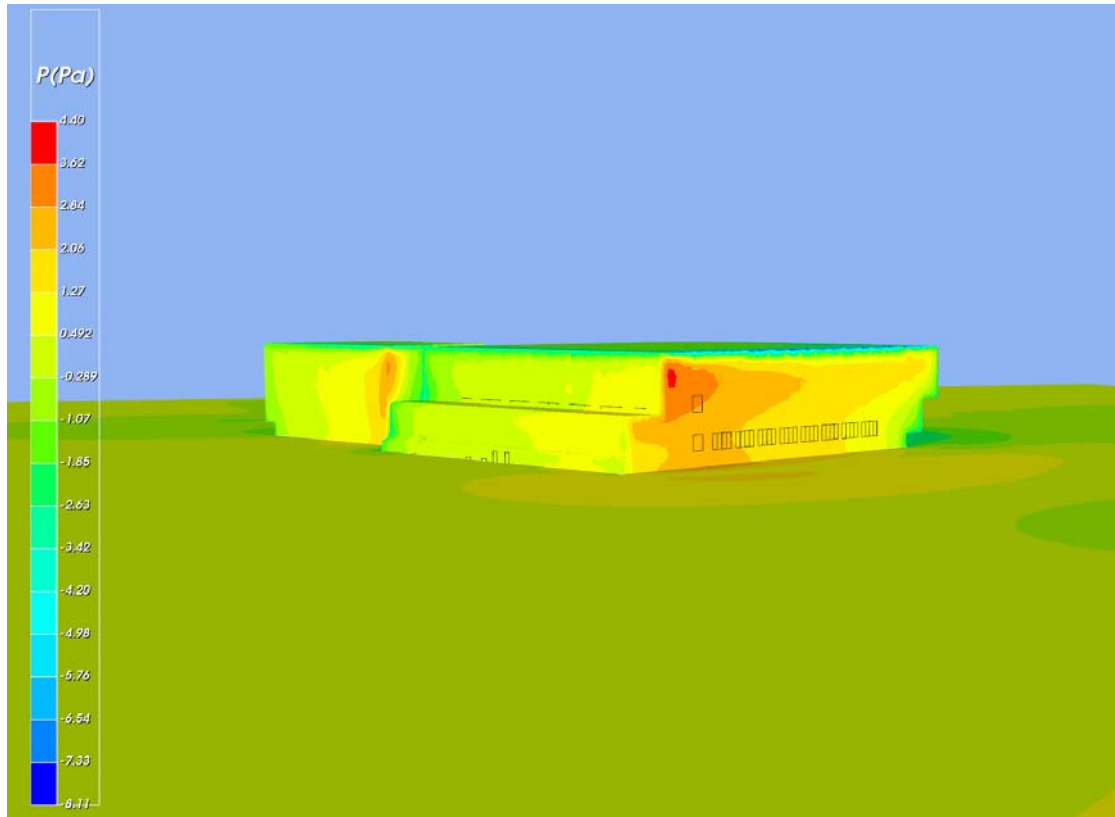


图 3.1-3 建筑夏季风况迎风面表面压力分布图

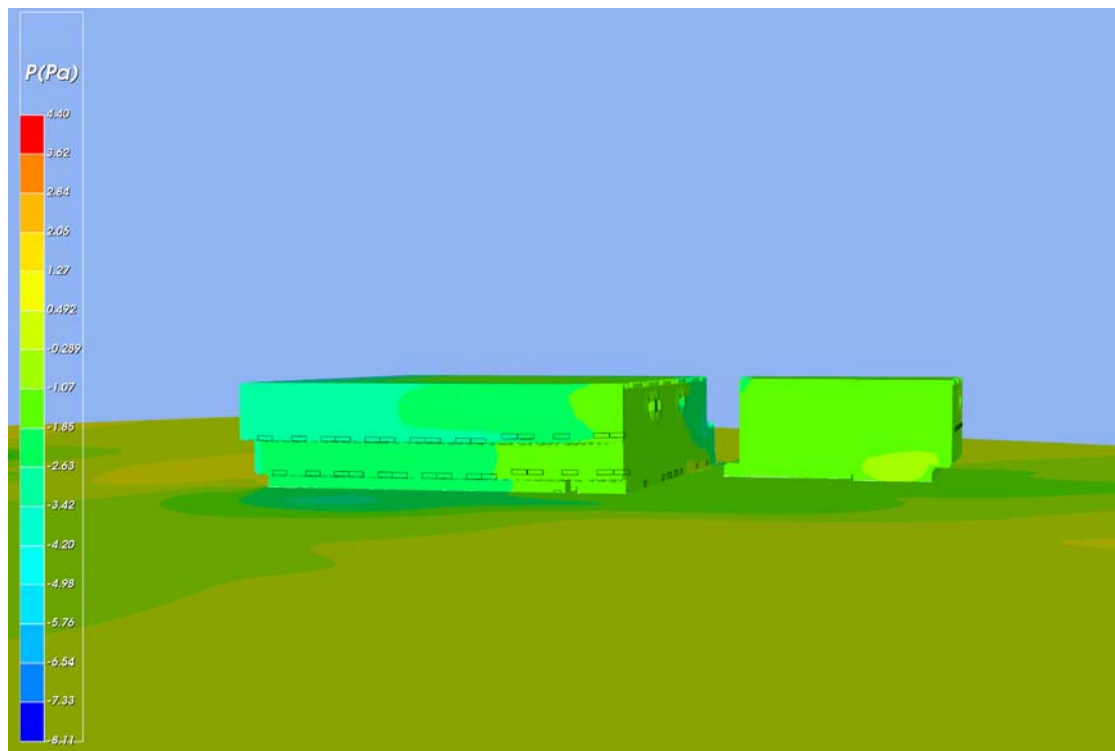


图 3.1-4 建筑夏季风况背风面表面压力分布图

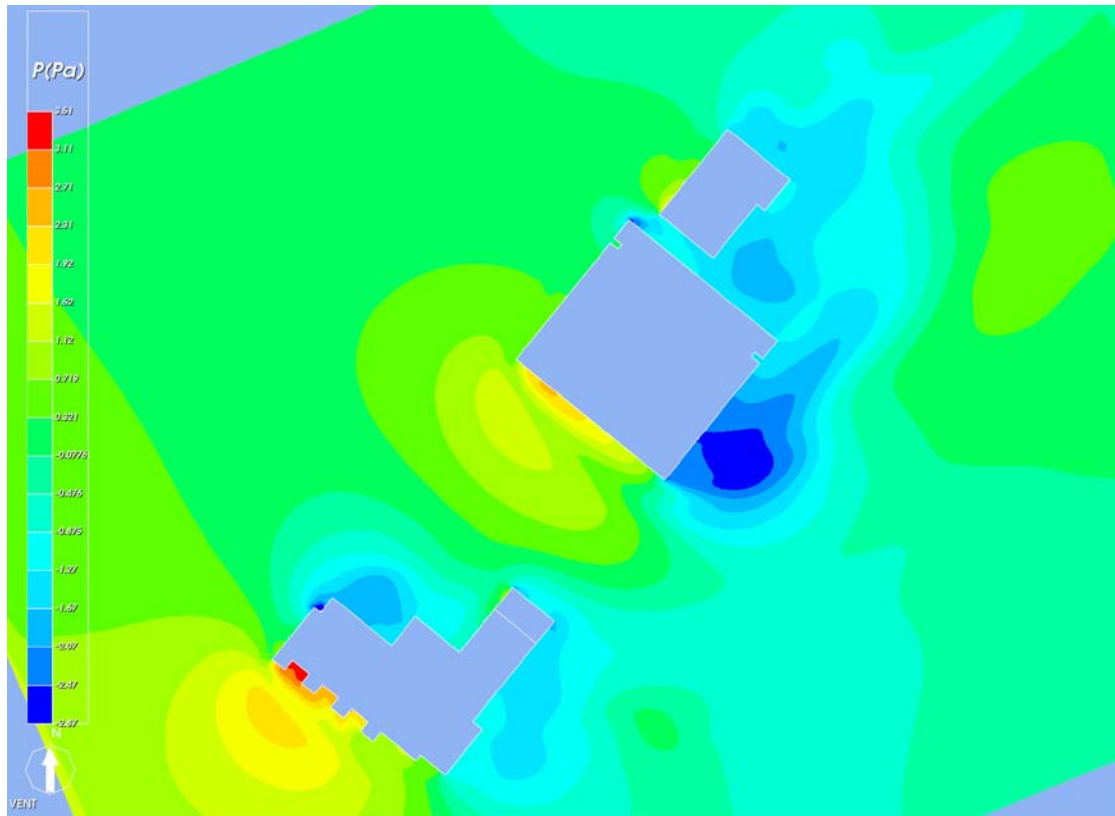


图 3.1-5 1.5 米高处夏季风况水平压力云图

夏季平均风速条件下项目周边距地 1.5 m 高度处风速分布情况，图中可见：参评建筑周边人行区通风良好，建筑周边整体未出现涡旋及无风区。建筑迎风面表面风压平均为 2.06Pa，背风面表面风压平均为-1.07Pa，建筑迎风面与背风面表面压差平均为 3.13Pa。50%以上可开启外窗室内外表面的风压差大于 0.5Pa。

### 3.2 风况 2（冬季风况）

模拟冬季平均风速情况下的建筑周边流场分布状况

## 风速矢量图

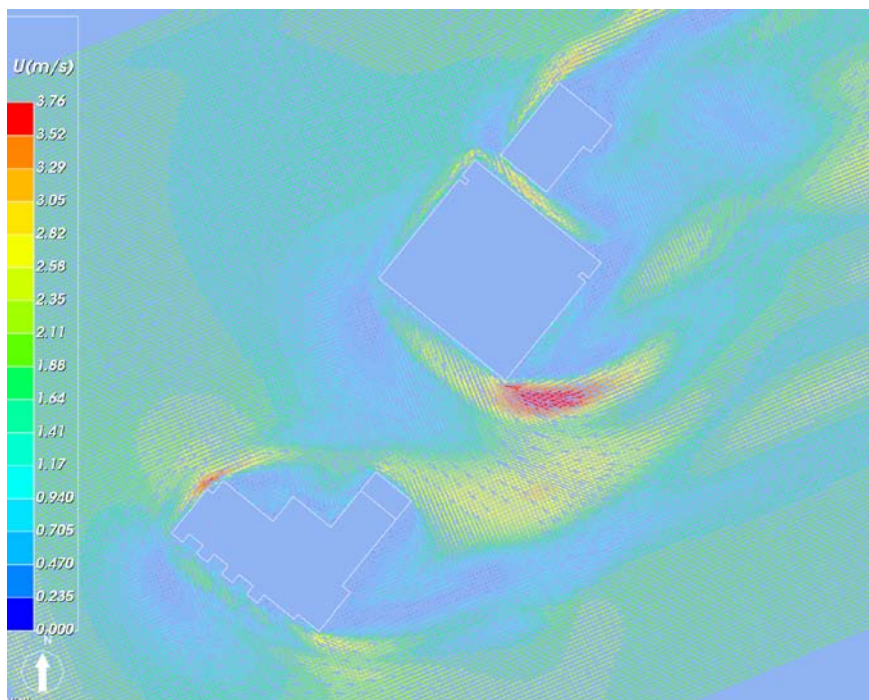


图 3.2-1 1.5 米高处冬季风速矢量图

## 风速云图

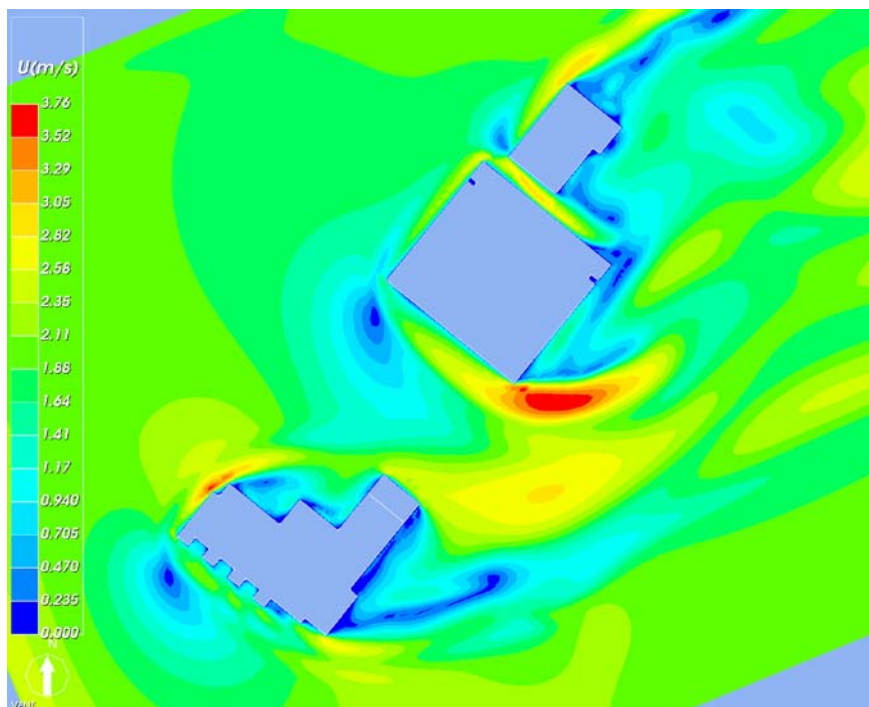


图 3.2-2 1.5 米高处冬季风速云图

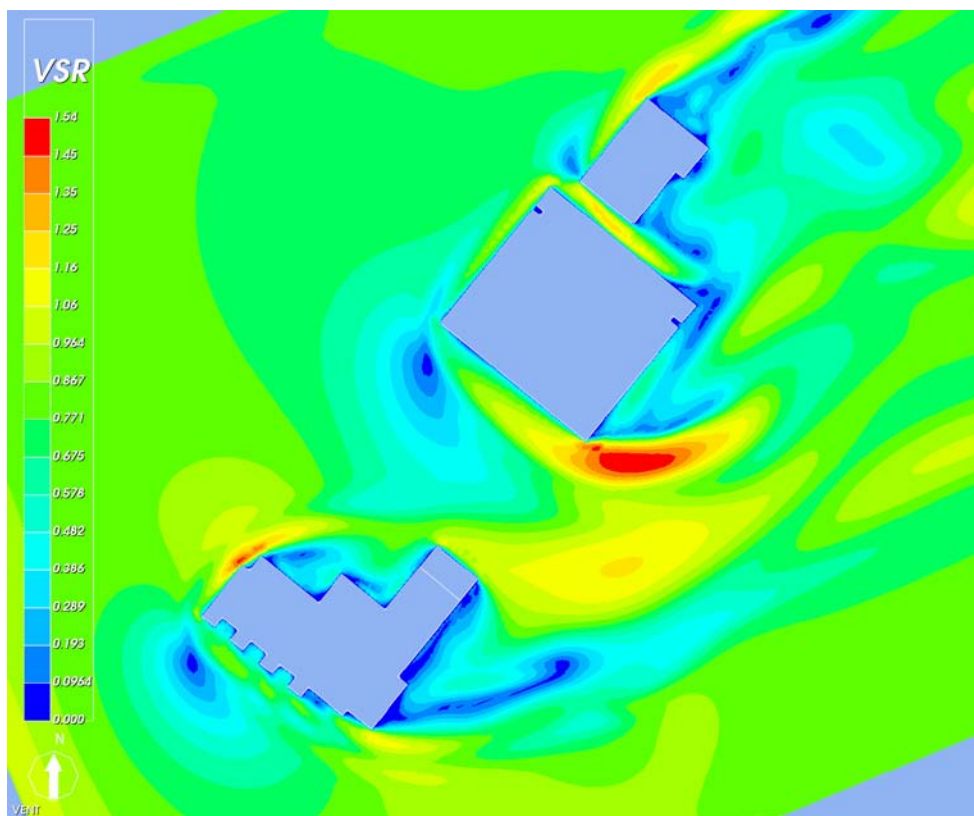
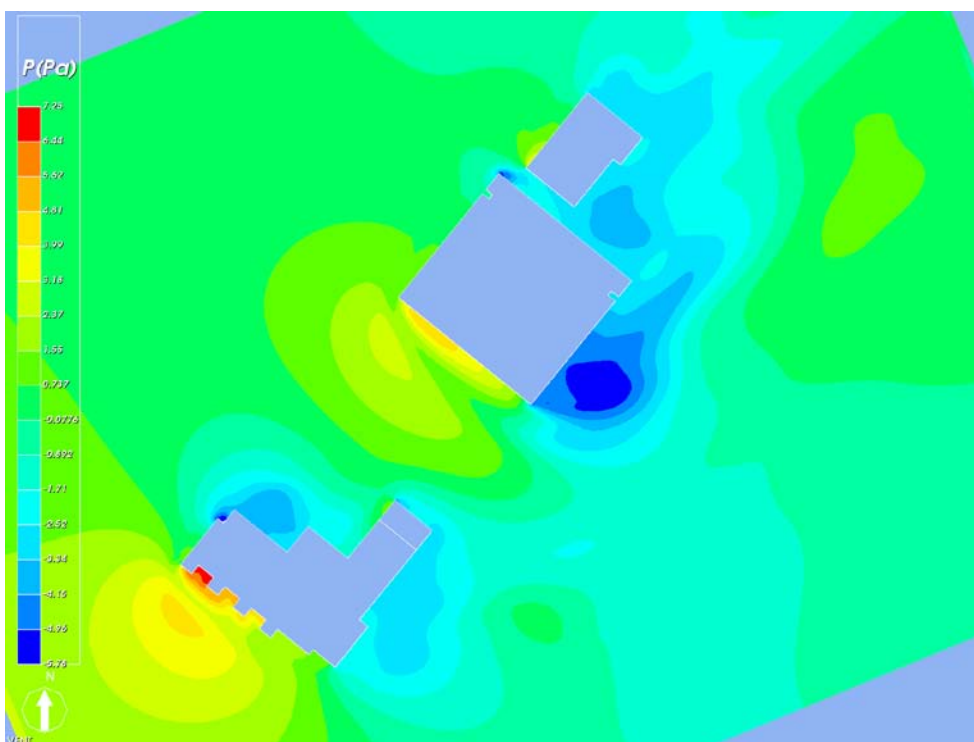


图 3.2-3 1.5 米高处冬季风速放大系数云图



距地 1.5 m 高度处压力云图 (冬季)

## 建筑前后压差

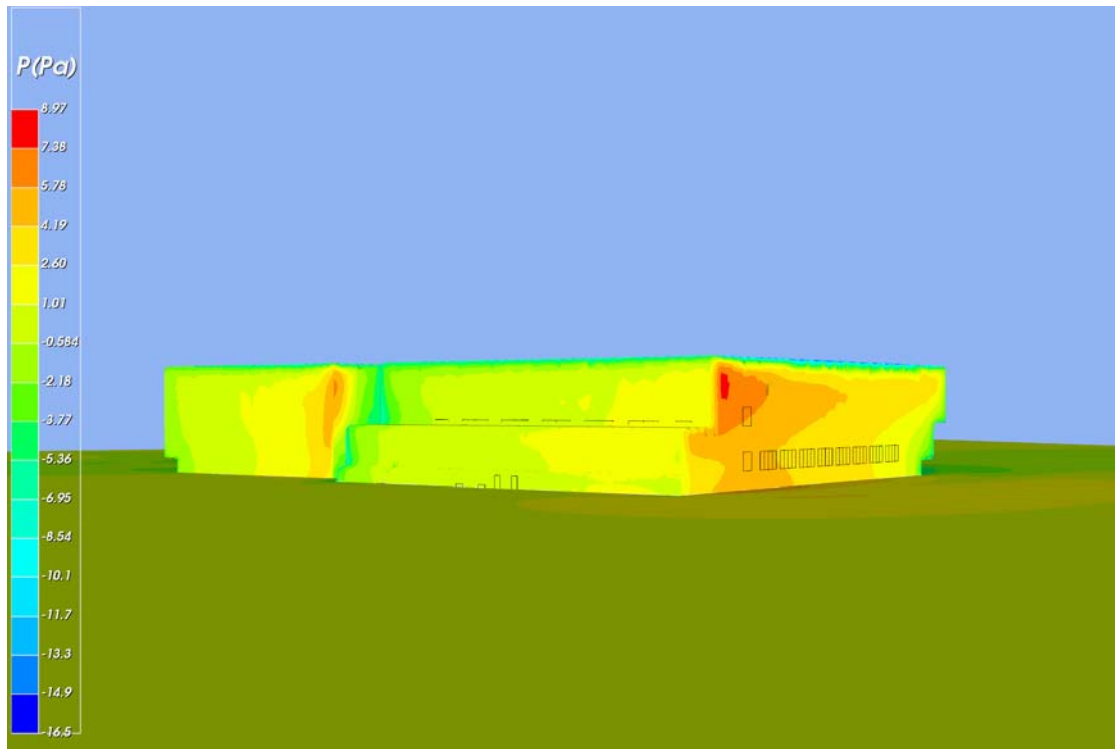


图 3.2-4 建筑冬季风况迎风面表面压力分布图

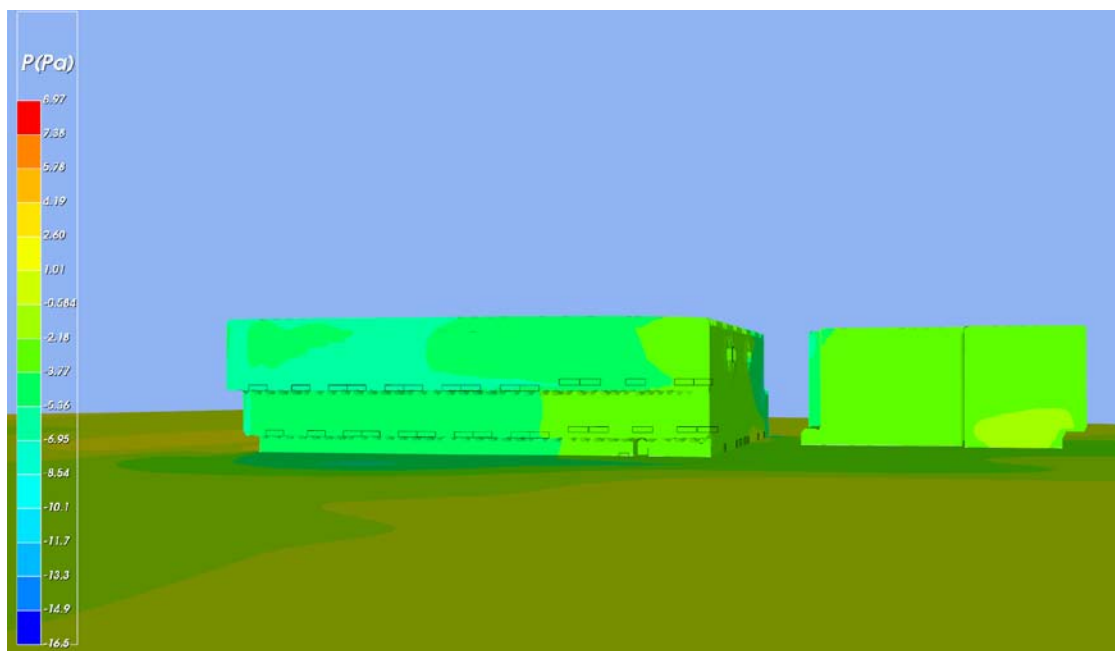


图 3.2-5 建筑冬季风况背风面表面压力分布图

冬季风速条件下项目周边距地 1.5 m 高度处风速分布情况，图中可见：参评建筑周边人行区风速平均值为2.58m/s，风速放大系数平均值1.06。参评建筑为迎风第一排建筑。

## 四、结论

### 1) 冬季

在冬季室外主导风向下，人行高度处的平均风速小于5m/s，平均风速放大系数小于2，参评建筑为迎风第一排建筑。

### 2) 夏季

在夏季室外主导风向下，建筑周边整体未出现涡旋及无风区。50%以上可开启外窗室内外表面的风压差大于0.5Pa，有利于夏季室内自然通风。

根据以上分析，本项目满足《云南省绿色建筑评价标准》DBJ53/T-49-2015第4.2.6条：场地内风环境有利于室外行走、活动舒适和建筑的自然通风，得分6分。