

室外风环境模拟分析报告

项目名称	财智中心
工程地点	石家庄
设计编号	2023 (03) 106
建设单位	河北和华房地产开发有限公司
设计单位	河北建筑设计研究院有限责任公司
设计人	孟世杰
校对人	郜文晖
审核人	张雪梅
审定人	
设计日期	2024 年 04 月 16 日



采用软件	建筑通风 Vent2024
软件版本	20231016
研发单位	北京绿建软件股份有限公司
正版授权码	P4A2B3977

目 录

1 项目概况	3
1.1 总平面图	4
1.2 三维视图	5
2 计算依据	6
3 参考标准	6
4 计算原理	6
4.1 风场计算域	6
4.1.1 夏季工况风场计算域	6
4.2 网格划分	7
4.3 边界条件	9
4.3.1 入口与出口边界条件	9
4.3.2 壁面边界条件	10
4.4 湍流模型	10
4.5 求解计算	10
4.6 风速放大系数计算	11
5 结果分析	13
5.1 工况表	13
5.2 夏季工况	13
5.2.1 人活动区域无风区计算分析	13
5.2.2 人活动区域旋涡区分析	14
5.2.3 人活动区域旋涡区/无风区达标结果汇总	14
5.2.4 外窗内外表面风压差达标分析	14
5.3 结论	15
5.3.1 过渡季、夏季工况达标判断	15

1 项目概况

1.1 总平面图

停车场 (人行区)	儿童娱乐区 (人活动区)	广场 (人活动区)	游憩场 (人活动区)
人行道 (人行区)	庭院 (人活动区)	户外休息区 (人活动区)	乔木林地

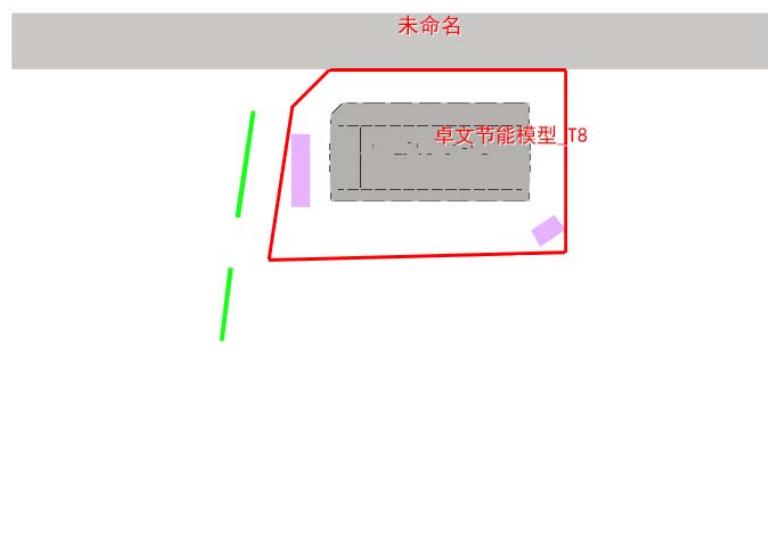


图 1.1-1 总平面图

1.2 三维视图

停车场 (人行区)	儿童娱乐区 (人活动区)	广场 (人活动区)	游憩场 (人活动区)
人行道 (人行区)	庭院 (人活动区)	户外休息区 (人活动区)	乔木林地

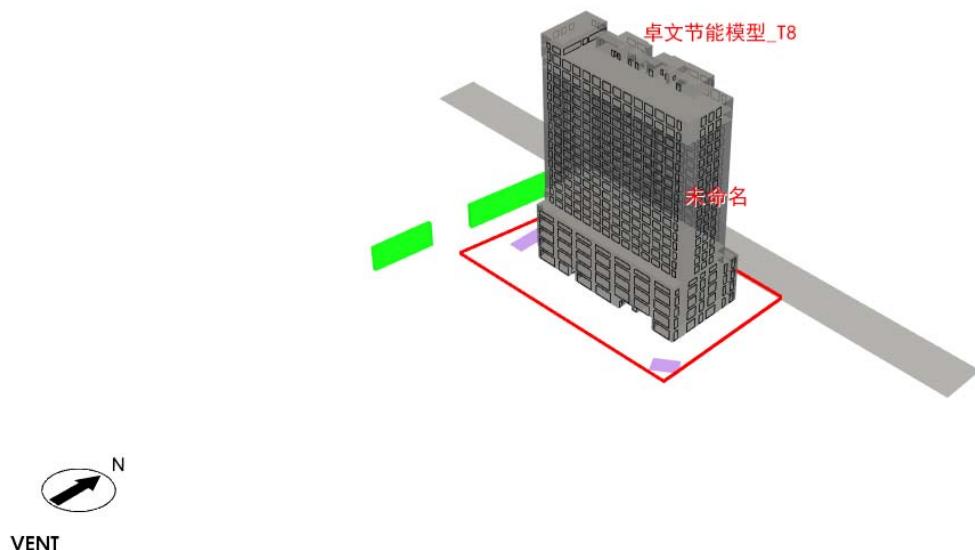


图 1.2-1 三维视图

2 计算依据

本项目主要参照资料为：

1. 《绿色建筑评价标准》（京津冀）DB11/T 825-2021
2. 《建筑通风效果测试与评价标准》JGJ/T 309—2013
3. 《绿色建筑评价技术细则》
4. 委托方提供的总平面图、建筑专业设计图纸、设计效果图等图纸资料

3 参考标准

室外风环境评价依据为《绿色建筑评价标准》（京津冀）DB11/T 825-2021 中有关室外风环境的条目要求。具体要求如下：

8.2.8 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。评分规则如下：

- 1 冬季典型风速和风向条件下，建筑物周围人行区距地高 1.5m 处风速低于 5m/s，户外休息区、儿童娱乐区风速小于 2m/s,且室外风速放大系数小于 2，得 3 分；除迎风第一排建筑外，建筑迎风面与背风面表面风压差不超过 5Pa，得 2 分。
- 2 过渡季、夏季典型风速和风向条件下，场地内人活动区不出现涡旋或无风区，得 3 分；50% 以上可开启外窗室内外表面的风压差大于 0.5Pa，得 2 分。

4 计算原理

4.1 风场计算域

进行室外风场计算前，需要确定参与计算风场的大小，在流体力学中称为计算域，通常为一个包围建筑群的长方体或正方体，本项目的风场计算域信息如下：

4.1.1 夏季工况风场计算域

表 4.1-1 夏季工况风场计算域信息

顺风方向尺寸 (m)	325
宽度方向尺寸 (m)	445
高度方向尺寸 (m)	189

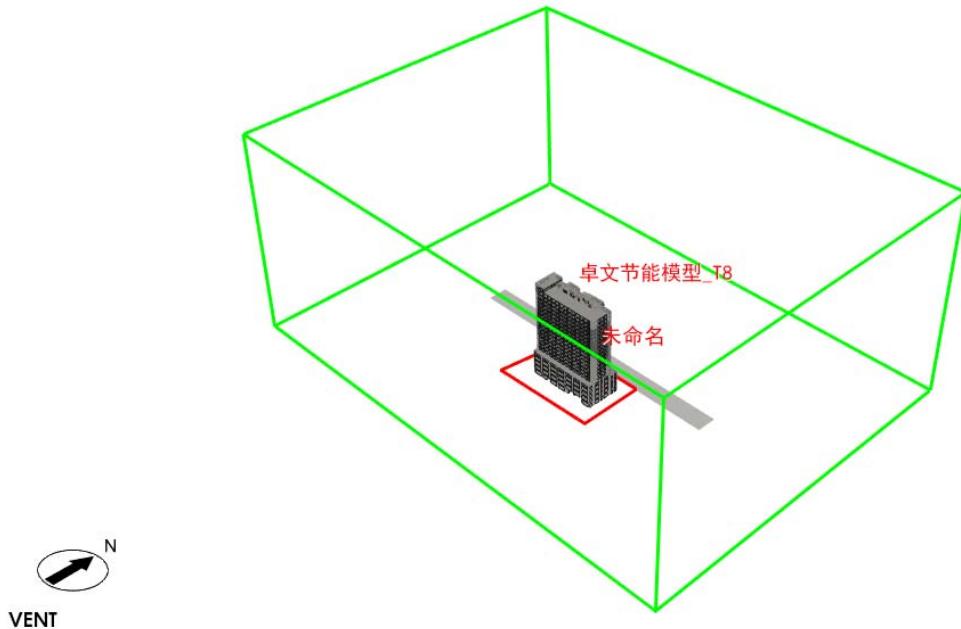


图 4.1-1 夏季工况风场计算域图示

注：不同季节因风向不同，为了最大限度反映项目周围区域风场特征，根据不同风向划定不同的计算域。

4.2 网格划分

网格划分决定着计算的精确程度并影响计算速度，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。建筑周围，远离建筑的区域，建筑物轮廓有明显的局部特征（如尖角，凹槽，凸起等细微的外装饰），贴近地面的区域，都需要采用不同的网格方案。下面为本项目所采用的加密方案：

1) 一般网格：指除靠近地面和建筑以外的网格，通常不需要特别加密处理

- 分弧精度：对于有圆弧特征的建筑局部，把圆弧分解为线段时，弦到弧的最大距离；
- 最大网格尺寸：计算域内最大网格的尺寸；
- 最小网格尺寸：计算域内最小网格的尺寸；
- 建筑表面细分层厚度：靠近建筑的区域要进行细分，这个包围着建筑的区域边界与建筑表面的距离为建筑表面细分层厚度；

2) 地面网格

靠近建筑物的区域称为近场，远离建筑物的区域称为远场。

近场的地面网格需要加密，对应地面细分级数较大；而远场地面对应网格较疏，地面细分级数较小。

以下为本项目的网格划分信息，上述网格方案对网格的控制分别体现在相应的网格参数中：

表 4.2-1 夏季网格划分信息

网格总数(个)	网格类型	网格尺寸	
479747	普通网格	分弧精度(m)	0.18
		最大网格尺寸(m)	16.0
		最小网格尺寸(m)	2.0
		建筑表面细分层厚度(m)	4.0
479747	地面网格	远场网格尺寸(m)	4.0
		近场网格尺寸(m)	2.0

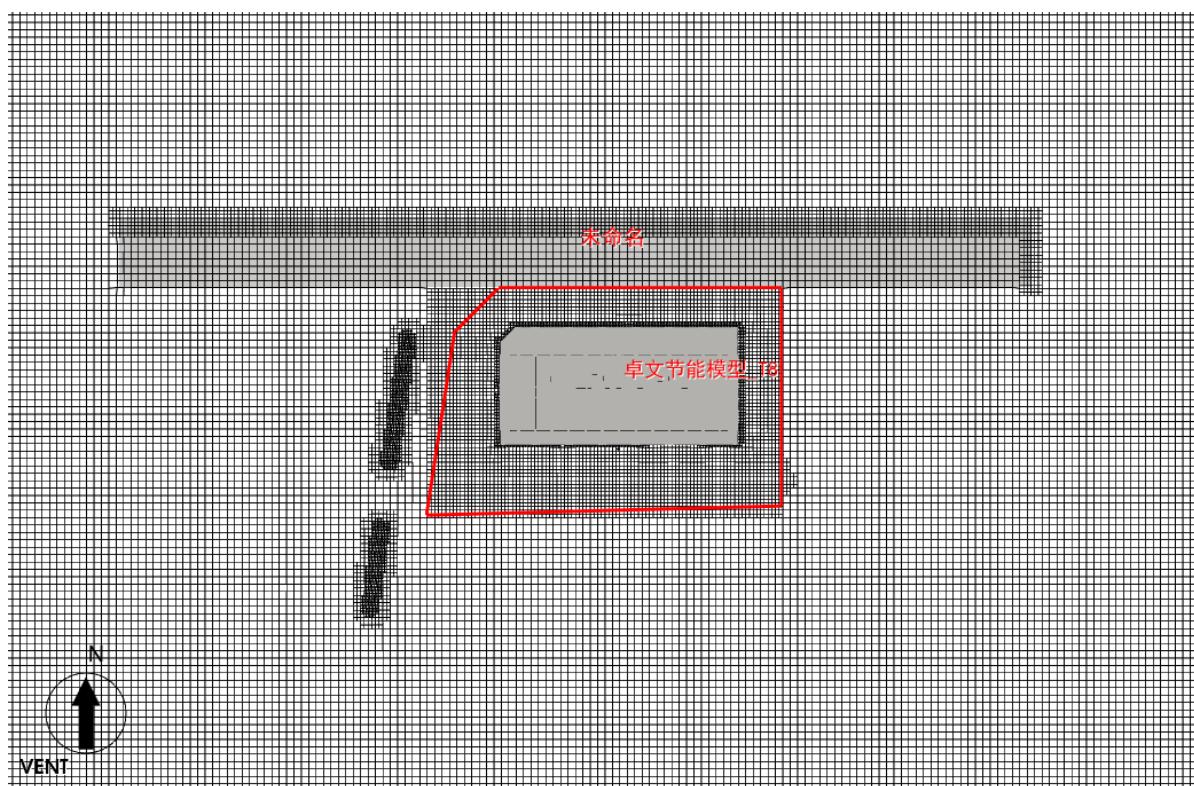


图 4.2-1 网格图-夏季

注：前述计算域随风向不同，所以相同的网格方案会产生不同的网格数量。

4.3 边界条件

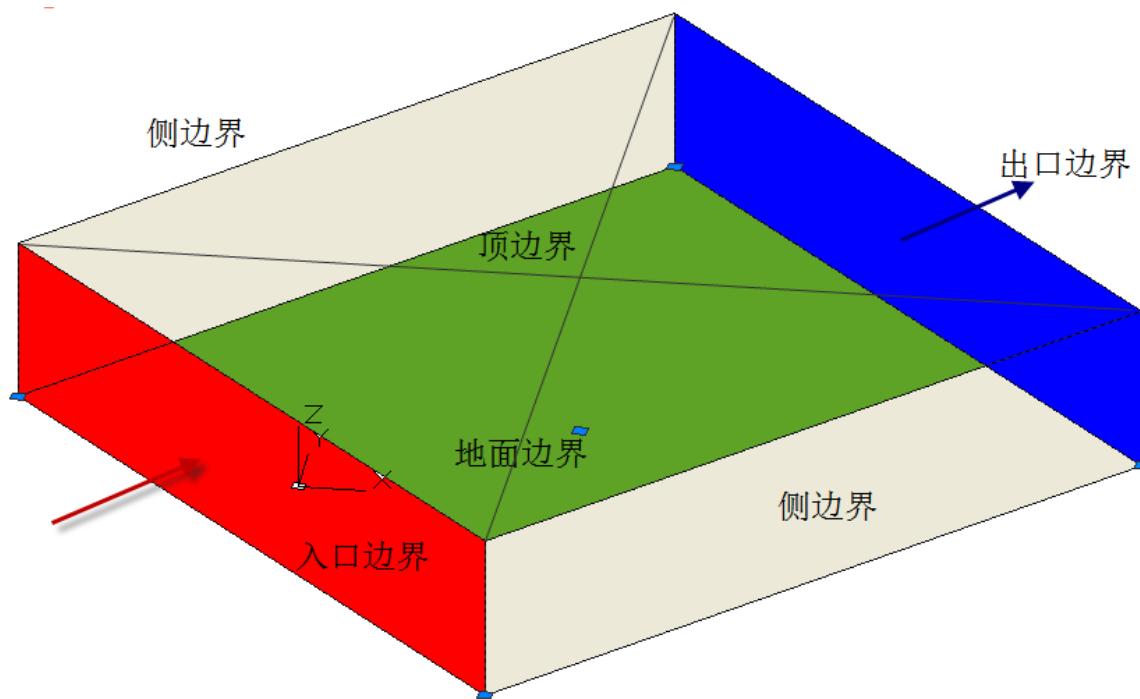


图 4.3-1 风场边界类型示意图

上图展示了计算域中风场边界的类型，本小节将给出不同边界的边界条件。

4.3.1 入口与出口边界条件

1) 入口风速梯度

本项目中，入口边界条件主要包括不同工况下的风速和风向数据，其中入口风速采用下列梯度风：

$$v = v_R \left(\frac{z}{z_R} \right)^a \quad (4.3-1)$$

式中：

v, z ——任何一点的平均风速和高度；

v_R 、 z_R ——标准高度处的平均风速和标准高度值，《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 规定自然风场的标准高度取 10m，此平均风速对应入口风设置的数值；

a ——地面粗糙度指数，本项目为 0.28；

表 4.3-1 地面粗糙度指数参考值

参考标准	地貌类别	地面粗糙度指数
《绿色建筑评价技术细则》	空旷平坦地面	0.14
	城市郊区	0.22
	大城市中心	0.28

注：上述地面粗糙度指数参考《绿色建筑评价技术细则》关于 4.2.6 节条文说明，也可酌情参考《建筑通风效果测试与评价标准》JGJT3099-2013 中 5.2.1 节

2) 出口边界条件

本项目采用自由出流作为出口边界条件。

4.3.2 壁面边界条件

风场的两个侧面边界和顶边界设定为滑移壁面，即假定空气流动不受壁面摩擦力影响，模拟真实的室外风流动。

风场的地面边界设定为无滑移壁面，空气流动要受到地面摩擦力的影响。

4.4 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。

本项目依据《绿色建筑评价技术细则》推荐的标准 $k-\epsilon$ 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 4.4-1 常用湍流模型适用范围

常用湍流模型	特点和适用工况
standard $k-\epsilon$ 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，一般的建筑通风均适用。
RNG $k-\epsilon$ 模型	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 $k-\epsilon$ 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。

4.5 求解计算

1. 数学模型

本项目采用 CFD（计算流体力学）方法对风场进行求解，即在所分析的计算域内建立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，其一般形式如下所示：

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

该式中的 ϕ 可以是速度、湍流动能、湍流耗散率以及温度等物理量，参照下表

表 4.5-1 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

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	$\alpha_k \mu_{eff}$	$G_k + G_B - \rho \epsilon$
湍流耗散	ϵ	$\alpha_\epsilon \mu_{eff}$	$C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_B) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R_\epsilon$
温度	T	$\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_T}$	S_T

上表中的常数如下：

$$\begin{aligned}
 G_k &= \mu_t S^2, \quad S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}, \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right), \quad G_B = \beta_T g \frac{\mu_t}{\sigma_T} \frac{\partial T}{\partial y}, \quad \mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}, \\
 C_\mu &= 0.0845, \quad C_{1\epsilon} = 1.42, \quad C_{2\epsilon} = 1.68, \quad C_{3\epsilon} = \tanh \left| \frac{v}{\sqrt{u^2 + w^2}} \right|, \quad \sigma_T = 0.85, \quad \sigma_C = 0.7, \\
 \alpha_k &= \alpha_\epsilon \text{ 由 } \left| \frac{\alpha - 1.3929}{\alpha_0 - 1.3929} \right|^{0.6321} \left| \frac{\alpha + 2.3929}{\alpha_0 + 2.3929} \right|^{0.3679} = \frac{\mu}{\mu_{eff}} \text{ 计算}
 \end{aligned}$$

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

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

2. 算法说明

本项目采用 SIMPLE 算法求解上述方程组。

4.6 风速放大系数计算

风速放大系数反映了高层建筑对风速的放大作用，通常指建筑物周围离地面高 1.5m 处最大风速与开阔区域同高度风速之比。可采用下式平均风速随高度变化的指数函数进行风速放大系数的计算：

$$\int v' = \frac{v_{1.5B}}{v_{1.5f}} \quad (4.6-1)$$

(4.6-2)

其中：

ν' ——风速放大系数；

$v_{1.5B}$ ——建筑物周围距离地面高 1.5 米处最大风速，该风速通过前述风速计算获取，对应 1.5 高度处风速云图中的数据。

$v_{1.5f}$ ——远离建筑的开阔区域，距离地面 1.5 米高度处风速。

v_{10f} ——远离建筑的开阔区域，距离地面 10 米高度处风速，此处取室外风场入口边界风速。

a ——地面粗糙度指数，本项目为 0.28；

5 结果分析

5.1 工况表

本结果基于以下几个工况进行计算：

序号	季节	风速(m/s)	风向	风向 (°)
1	夏季	2.60	S	270.0

说明：风向逆时针为正，正东为 0° ，正北为 90° ，正西为 180° ，正南为 270° 。风向字母意义如下图所示：

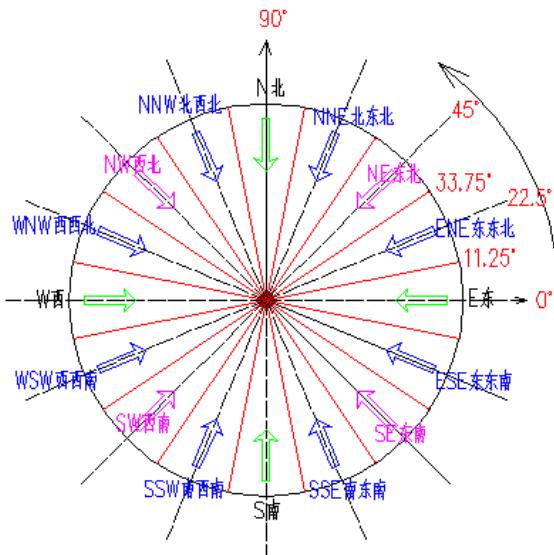


图 5.1-1 风向示意图

5.2 夏季工况

本项目夏季工况的入口边界风速为 2.60m/s ，风向为 S。

根据前述《绿色建筑评价标准》对于夏季工况的要求，夏季典型风速和风向条件下，场地内人活动区不出现涡旋或无风区。通过该项标准指导设计确保合理的建筑布局，在夏季形成有效的巷道风，优化街区自然通风环境，避免夏季人活动区有明显的气流旋涡和无风区，从而造成闷热不适感。因此本项目需要分析人活动区的风速，并作出判断。

无风区的定义 通常当人活动区域风速 $\leq 0.2\text{m/s}$ 时，该区域风向标处于静止状态，在此区域活动的人会有明显的无风感，则该区域为无风区。

注：无风区的定义参考《建筑设计资料集》第一分册，第二版。

5.2.1 人活动区域无风区计算分析

(本项目未划分人活动区域)

5.2.2 人活动区域旋涡区分析

(本项目未划分人活动区域)

5.2.3 人活动区域旋涡区/无风区达标结果汇总

表 5.2-1 夏季无风区/旋涡区达标分析汇总

评价量	标准要求	是否有无风区/旋涡区	达标判断
无风区	无风区面积为 0	否	是
旋涡区	旋涡区面积为 0	否	是

5.2.4 外窗内外表面风压差达标分析

分析《绿色建筑评价标准》，夏季为充分利用自然通风获得良好的室内风环境，要求 50%以上可开启外窗室内外表面的风压差大于 0.5Pa。

可见在夏季，为了获得良好的室内风环境，首先要有良好的室外风环境。当外窗关闭时，外窗内表面风压近似为 0，因此标准要求外窗室内外表面的风压差大于 0.5Pa，即为关窗状态下外窗外表面的风压绝对值需大于 0.5Pa。只有外窗外表面的风压绝对值足够大时，才可以确保良好的开窗通风效果，形成较好的室内风环境。

下图为夏季工况下，建筑迎风面和背风面对应外窗表面的风压分布图，结合图例数值可以清晰看到外窗表面风压小于 0.5Pa 的外窗区域。

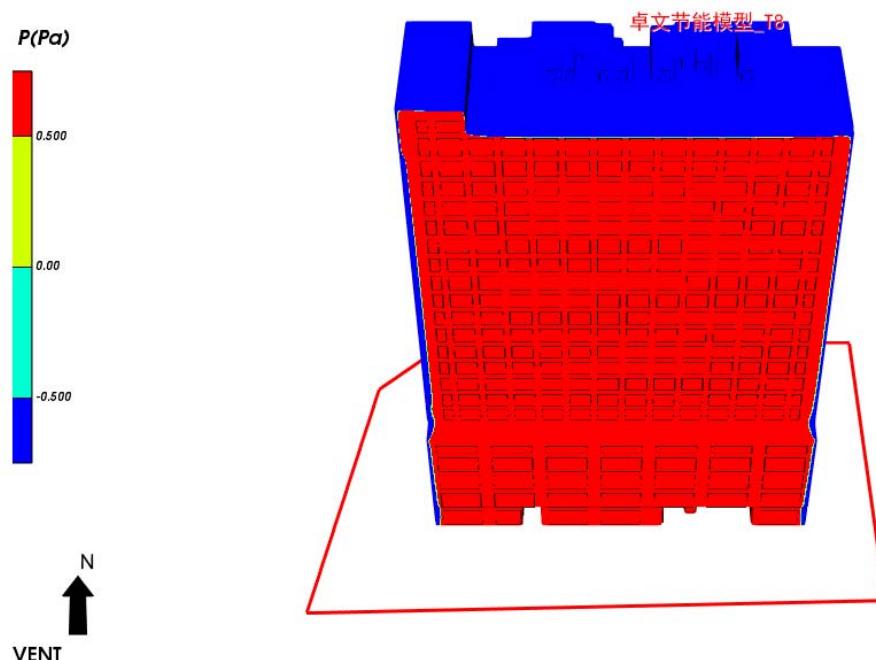


图 5.2-1 建筑迎风面外窗表面风压云图-夏季

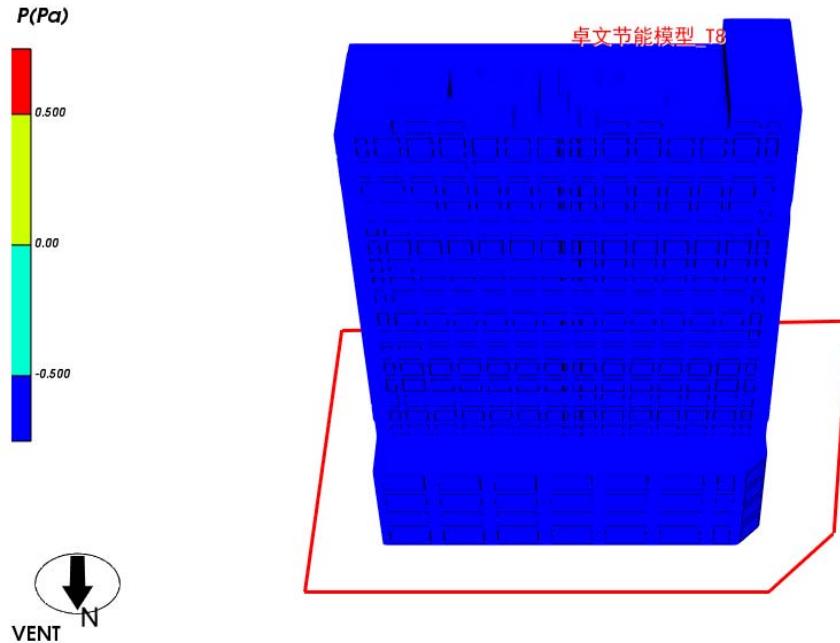


图 5.2-2 建筑背风面外窗表面风压云图-夏季

下表为依据上图提取的外窗外表面平均风压数据，相当于外窗室内外表面风压差数据，并依据标准做出达标判断：

表 5.2-2 建筑外窗室内外风压差达标判定表

建筑编号	可开启外窗总数	室内外风压差大于 0.5Pa 的外窗总数	达标比例 (%)	是否达标
卓文节能模型_T8	753	753	100.00	是

说明：达标比例 = (室内外风压差大于 0.5Pa 的总数 / 可开启外窗总数) * 100%

结论：本项目中所有建筑均满足“50%以上可开启外窗室内外表面的风压差大于 0.5Pa”的要求。

5.3 结论

5.3.1 过渡季、夏季工况达标判断

表 5.3-1 过渡季、夏季工况达标判断表

评价项目	标准要求	项目计算结果	达标判定	得分
无风区	场内人活动区不出现涡旋或无风区，得 3 分	没有无风区	达标	3 分
旋涡区		没有旋涡区		
外窗室内外表面的风压差	50%以上可开启外窗室内外表面的风压差满足标准	可开启外窗室内外表面的风压差满足标准	达标	2 分

	压差大于 0.5Pa , 得 2 分。	要求		
--	-------------------------------	----	--	--

综合上述达标判断详表的信息，可知本项目得分为 5 分。