**室外风环境模拟分析报告**

|  |  |
| --- | --- |
| **项目名称:** | **{ProjectName}** |
| **设计编号:** | **{ProjectId}** |
| **建设单位:** | **{$建设单位$}** |
| **设计单位:** | **{$设计单位$}** |
| **计 算 人:** | **{$计算人$}** |
| **审 计 人:** | **{$审定人$}** |
| **校 对 人:** | **{$校对人$}** |
| **计算日期:** | **{$计算日期$}** |

计算软件：建筑性能分析平台-室外风环境模拟分析

软件版本：HYBPA2023

研发单位：广联达科技股份有限公司

# 一、项目概述

## 1.1 项目概况

**项目名称**： {**ProjectName**}

**建设单位**： {**ProjectId**}

**建筑功能**： {$建筑功能$}

## 1.2 项目气象资料

{$气象参数$}{$气象资料$}

## 1.3 行人舒适感与风速关系

行人的舒适感和风速之间的关系

|  |  |
| --- | --- |
| **风速** | **人的感受** |
| V＜1m/s | 感觉不到风 |
| 1m/s＜V＜5m/s | 舒适 |
| 5m/s＜V＜10m/s | 不舒适，行动受影响 |
| 10m/s＜V＜15m/s | 很不舒服，行动受严重影响 |
| 15m/s＜V＜20m/s | 不能忍受 |
| V＞20 m/s | 危险 |

## 1.4 评价标准

**《绿色建筑评价标准》GB/T 50378-2019**中8.2.8条对建筑的室外风环境状况提出了明确的要求：

**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，评价总分值为10分，并按下列规则分别评分并累计：

1. 在冬季典型风速和风向条件下，按下列规则分别评分并累计：

1）建筑物周围人行区距地高1．5m处风速小于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；

2）除迎风第一排建筑外，建筑迎风面与背风面表面风压差不大于5Pa，得2分。

1. 过渡季、夏季典型风速和风向条件下，按下列规则分别评分并累计：

1）场地内人活动区不出现涡旋或无风区，得3分；

2）50%以上可开启外窗室内外表面的风压差大于0.5Pa，得2分。

## 1.5 计算依据

### 1.5.1 主要参照资料

* 《绿色建筑评价标准》GB/T 50378—2019
* 《民用建筑绿色性能计算标准》JGJ/T449-2018
* 《建筑通风效果测试与评价标准》JGJ/T 309—2013
* 《建筑环境数值模拟技术规程》DB31/T922-2015
* 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012
* 《绿色建筑评价技术细则》2015
* 《民用建筑设计通则》GB 50352—2005
* 《中等热环境PMV和PPD指数的测定及热舒适条件的规定》 GB/T 18049-2000
* 《CFD与建筑环境设计》，北京，中国建筑工业出版社，2007
* 委托方提供的建筑总平面图、建筑设计图纸等图纸资料
* 委托方提供的其他相关资料

### 1.5.2 问题描述

建筑室外风环境是城市微热环境的重要组成部分，涉及行人的安全和舒适、小区气候和居民健康、绿色建筑与节能等问题。建筑风环境问题在发达国家已经引起相当的重视，不仅运用先进的技术手段开展对建筑风环境的系统研究，而且已经上升到立法规范管理的层面上。

室外风环境模拟分析需要对建筑群进行建模，设置计算域范围；设置网格参数，划分网格；设置进口、出口、建筑外表面等位置边界条件， 设置偏微分方程差分格式，计算算法，计算控制参数进行设置，然后调用求解器进行计算，计算完成后，用后处理部分展示计算结果，并分析计算结果。

建筑风环境的测评方法包括风洞试验、模型试验和数值模拟，其中风洞试验和模型试验的花费很大而且试验周期很长。随着计算机技术的发展，计算流体力学CFD（Computational Fluid Dynamics）在建筑通风模拟评价领域的应用越来越广泛，采用CFD数值模拟技术对建筑风环境进行测评，可以大大降低测试成本，缩减评价周期。CFD 软件种类繁多，但基本都是由前处理（Preprocessor）、求解器（Solver）及后处理（Post-processor）三大模块组成。前处理主要是对描述问题的几何模型（或者由CAD 等其它软件建立并导入）进行网格划分，选择合适的湍流模型、离散方法和计算方法等（如SIMPLE、PIMPLE），设置初始条件、边界条件、松弛因子、物性参数和收敛精度等必需参数。求解器是CFD 的核心，将前处理建立的系统进行迭代求解，并输出计算结果。后处理主要对计算结果进行处理，获得所需的温度、速度、压力及浓度等的分布云图等。

### 1.5.3 计算软件

当前采用的软件为建筑性能分析平台中室外自然通风模块，软件版本号为 {AppVer}，运行于windows64位平台。建筑性能分析软件室外风环境模块采用OpenFOAM做为计算核心，主要应用于建筑室外风环境的模拟分析。

# 二、计算设定

本报告主要针对某项目建筑室外风环境状况进行模拟分析计算设定主要是几何模型建立、计算域范围、网格划分、边界条件、控制方程选取以及计算方法设置。

## 2.1 几何模型

室外通风的几何模型主要是建筑模型。在进行建筑模型建模时，对主体建筑进行详细建模，对周围建筑进行大体轮廓建模，以减少画网格时的网格数。

## 2.2 计算域范围

根据绿建计算标准中规定，室外风环境的计算域分为4个部分，分别为来流区域、侧流区域、尾流区域和顶部区域，其中对室外风环境影响最大的是尾流区，尾流区域需要保证足够的长度。按照标准中规定，来流区域为4H距离，侧流区域为2H距离，尾流区域为6H距离，顶部区域3H距离，其中H为建筑群中最高建筑高度。

{$计算域图$}

计算域范围

## 2.3 网格划分

利用CFD对建筑风环境进行评价分析，需要对建筑几何模型的空间区域进行网格划分。网格数量和质量对CFD模拟的结果和计算速度有很大影响。网格参数设置对网格数量和质量起决定性作用。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。只有根据流动状态对计算域中不同的部分采用不同的网格参数设置才能获得合理的网格方案。

HY-CFD软件充分考虑影响网格划分和网格质量的因素，对于建筑空间先进行网格粗分，然后对空间中速度梯度较大的建筑外壁面和建筑群区域进行网格加密，HY-CFD通过设置最小细分级数、最大细分级数建筑外表面进行网格加密，通过设置远场加密和近场加密对靠近地面附近以及建筑群附近区域进行网格加密，通过设置地面附面层和建筑附面层数对地面附近和建筑外表面附近进行网格加密。

网格划分参数

|  |  |
| --- | --- |
| 初始网格大小 | {InitBlock} |
| 最小细分级数 | {$最小细分级数$} |
| 最大细分级数 | {$最大细分级数$} |
| 远场细分级数 | {$远场细分级数$} |
| 近场细分级数 | {$近场细分级数$} |
| 地面附面层数 | {$地面附面层数$} |
| 建筑物附面层数 | {$建筑物附面层数$} |

本研究主要针对建筑室外自然通风状况进行模拟分析，参照建筑平面图进行几何建模，HY-CFD软件对建筑模型进行网格划分,网格划分结果如图所示:

{$网格划分图$}

网格划分效果图

## 2.4 边界条件

边界条件设置对CFD模拟结果准确性有很大影响，对于建筑风场，需要设置风场的进口和出口边界条件。

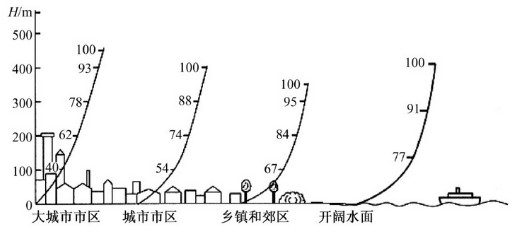
### 2.4.1 进口边界

1)进口风速设置

风场进口风速默认为项目所在地的平均风速，HY-CFD软件记录了《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012中全国各地冬夏两季的气象参数，根据项目所在地可就近选取需要的气象参数，过渡季节的风速要参考项目所在地气象资料手动输入。

2) 来流梯度风

由于受到地面的摩擦影响，地面附近的风速会在垂直方向上发生很大变化，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。任意高度处的来流风速，可以通过计算和参考高度处的风速之间的函数关系来计算，HY-CFD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：



不同粗糙度下的平均风剖面

指数梯度风计算公式如下：

式中：

、——任何一点的平均风速和高度；

、——标准高度处的平均风速和标准高度值，《建筑结构荷载规范》GB50009-2001规定自然风场的标准高度取10m；

——地面粗糙度指数，其取值如下表；

不同类型地表面下的地面粗糙度指数值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地面类型 | 适用区域 | 指数 |
| 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 |

同时为了适用不同场景和方便用户选择，软件亦提供对数函数计算方式。

### 2.4.2 出口边界条件

在设置计算范围时，出口位置距离建筑物足够远，可以认为出口位置的流动已充分发展，流动已恢复为无建筑物阻碍时的正常流动，故其出口边界采用局部单向化处理。

软件中默认出口位置边界为给定压边界，压力大小为当地大气压。

### 2.4.3 计算域两侧边界

在设置计算域范围时，两侧位置距离建筑距离足够远，可以认为两侧位置的流动不受建筑物影响，流动已恢复为无建筑阻碍时的正常流动。

软件中默认计算域两侧边界为滑移边界（slip）。

### 2.4.4 计算域顶部边界

在设置计算域范围时，计算域顶部距离建筑距离足够远，可以认为顶部位置的流动不受建筑物影响，流动已恢复为无建筑阻碍时的正常流动。

软件中默认计算域顶边界为滑移边界（slip）。

### 2.4.5 壁面的边界条件

建筑物表面采用壁面函数法进行处理。

湍流动能壁面函数

湍动能耗散率壁面函数

其中，为边界位置湍流耗散率。

## 2.5 控制方程的选取

### 2.5.1 控制方程简介

在室外风环境模拟时认为空气是不可压缩的，并且不考虑重力影响。

不可压缩流的其控制方程主要有以下几个：

连续性方程：

动量方程：

### 2.5.2 湍流模型选择

由于以现有的技术不能直接求解流体动量方程，需要对动量方程做适当的简化才能进行求解。现有的湍流模型都是针对特定流动状态，做出一定的简化。只有根据流动状态，选择合适的湍流模型，才能准确模拟出流体的流动状态。

室外风环境采用《建筑通风效果测试与评价标准》JGJ/T 309—2013推荐的标准κ-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 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 |
| RNG k-ε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-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 |

标准κ-ε湍流模型具体方程如下：

湍流动能方程：

湍动能耗散率方程：

其中：

湍流粘度

模型常数：，，，，

## 2.6 计算方法

### 2.6.1差分格式

控制方程中对流项采用一阶迎风格式，扩散项采用二阶中心差分格式，梯度项采用一阶迎风格式。

### 2.6.2 算法

压力速度耦合算法采用SIMPLE算法。

### 2.6.3 松弛因子

|  |  |
| --- | --- |
| 松弛因子项 | 值 |
| 压强(P) | {Relaxation.Press} |
| 速度(U) | ${Relaxation.Uspeed} |
| 温度(T) | ${Relaxation.Temperature} |
| 湿度(YH₂O) | ${Relaxation.Yh2o} |
| 空气龄(age) | ${Relaxation.Age} |
| 紊流耗散率(ε) | ${Relaxation.Epsilon} |
| 紊流脉动动能(K) | ${Relaxation.K} |

### 2.6.4 收敛标准

在粗略模式下，压力收敛精度为0.0005，速度、湍动能、湍动能耗散率的收敛精度为0.0001，空气龄的收敛精度为0.1；

在一般模式下，压力收敛精度为0.00005，速度、湍动能、湍动能耗散率的收敛精度为0.00001，空气龄的收敛精度为0.01；

在精细模式下，压力收敛精度为0.000005，速度、湍动能、湍动能耗散率的收敛精度为0.000001，空气龄的收敛精度为0.01。