

室内 PMV-PPD 达标比例报告书

项目名称	图书馆
工程地点	江西-南昌
设计编号	
建设单位	
设计单位	
设计人	
校对人	
审核人	
审定人	
设计日期	2024 年 01 月 01 日



采用软件	室内热舒适评价 ITES2022
软件版本	20220808 (SP1)
研发单位	北京绿建软件股份有限公司
正版授权码	T17114979081

目 录

1. 项目概况	3
1.1 三维视图.....	4
2. 计算依据	5
3. 参考标准	5
4. 计算方法	5
4.1 CFD 计算原理.....	5
4.1.1 湍流模型.....	5
4.1.2 边界条件.....	6
4.1.3 求解计算.....	6
4.2 热湿环境评价指标计算.....	7
4.2.1 PMV 计算公式	8
4.2.2 PPD 计算公式	8
4.2.3 PMV 和 PPD 达标比例计算.....	9
5. 结果分析	9
5.1 7 层-房间 7001 分析图	10
5.2 室内 PMV 与 PPD 达标比例统计.....	12
6. 结论	12

1 项目概况

本次大赛项目建筑为南昌大学前湖校区图书信息中心，建筑面积 43154.58 平方米，建筑总高度 77.10 米。本建筑为一类建筑，使用年限 50 年，耐火等级为一级，防水等级为二级。建筑物室内外高差为 300，绝对高程由施工现场确定。

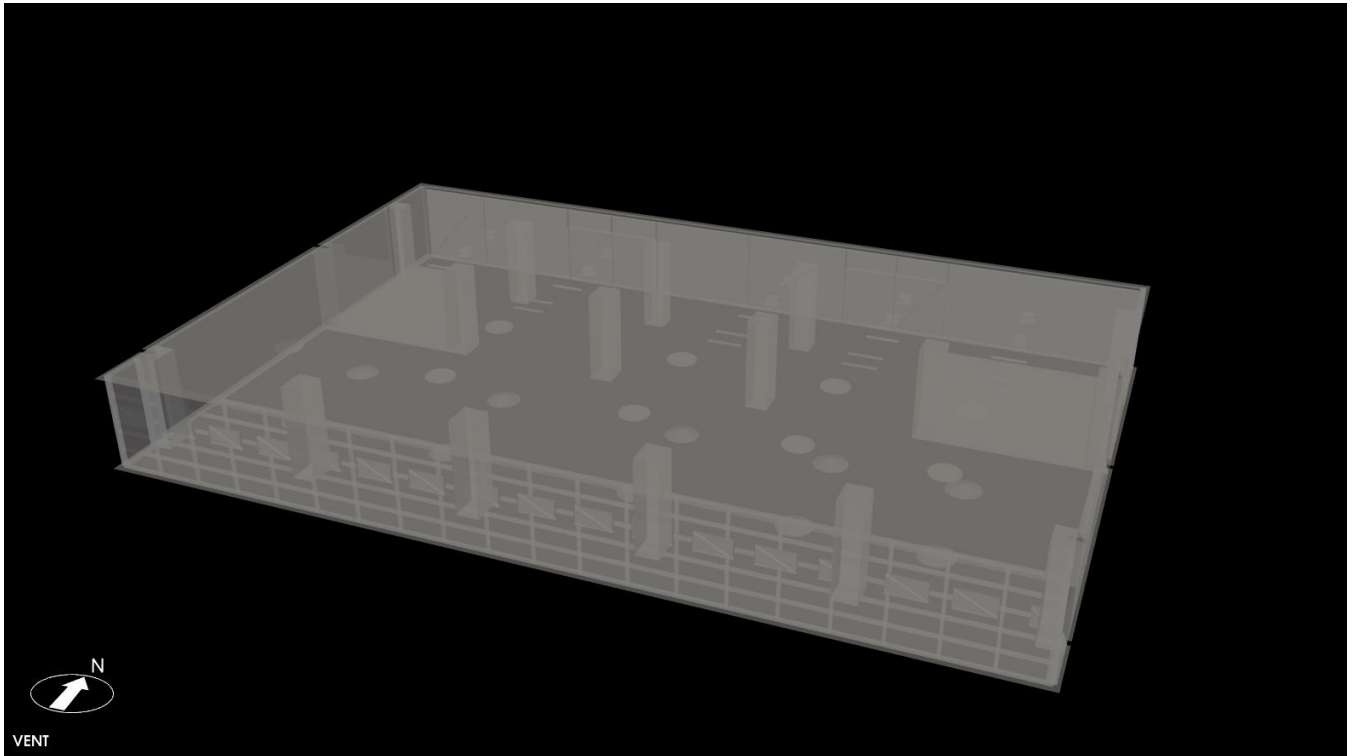
一、南昌地理位置：位于江西中北部，东经约 $115^{\circ} 27' \sim 116^{\circ} 35'$ 北纬约 $28^{\circ} 10' \sim 29^{\circ} 11'$ 之间；其中，市区位于北纬 $28^{\circ} 35' \sim 28^{\circ} 55'$ ，东经 $115^{\circ} 38' \sim 116^{\circ} 03'$ 之间。处赣江、抚河下游，濒临我国第一大淡水湖-鄱阳湖西南岸；地势平坦，湖泊星罗密布，全市平原面积 2651.79 平方公里，占总面积的 35.8%；水系面积 2146.04 平方公里，占 29.0%；全市西北以岗地丘陵为主，山地面积 87.21 平方公里，占全市总面积的 1.2%，丘陵面积 879.62 平方公里，占 11.9%；岗地面积 1637.7 平方公里，占 22.1%。

二、南昌气候类型：地处北半球亚热带内，受东亚季风影响，形成了亚热带季风气候。市内热量丰富、雨水充沛，光照充足。但是，由于每年季风强弱和进退迟早不同，气温变化较大，降水分布不均，高温干旱，低温冷害和暴雨洪涝等气象灾害发生较频繁，人们生产、生活带来不利影响。

三、南昌热工分区：热工分区为夏热冬冷地区，最冷月平均温度为 0.89°C ，最热月平均温度为 29.52°C ，日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数为 50 天，日平均温度 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的天数为 93 天；必须满足夏季放热需要和适当兼顾冬季保温。

四、南昌风向：南昌冬季室外平均风速 3.4m/s ，多为北风，其冬季室外最多风向的平均风速为 4.8m/s ；夏季室外平均风速 2.3m/s ，多为南风；年最多风向为北东方向。

1.1 三维视图



请先在【模型观察】命令中保存图片

2 计算依据

本项目主要参照资料为：

1. 《绿色建筑评价标准》GB/T50378-2019
2. 《绿色建筑评价技术细则》
3. 《民用建筑室内热湿环境评价标准》GB/T 50785-2012
4. 《热环境人类工效学 通过计算 PMV 和 PPD 指数与局部热舒适准则对热舒适进行分析测定与解释》

GB/T18049-2017

5. 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012
6. 《民用建筑热工设计规范》GB 50176-2016
7. 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
8. 委托方提供的其他相关资料

3 参考标准

室内热湿环境评价的主要依据为《绿色建筑评价标准》GB/T50378-2019 中 5.2.9 条第 2 款的要求，具体评分规则如下：

采用人工冷热源的建筑，主要功能房间达到现行国家标准《民用建筑室内热湿环境评价标准》GB/T50785 规定的室内人工冷热源热湿环境整体评价 II 级的面积比例，达到 60%，得 5 分；每再增加 10%，再得 1 分，最高得 8 分。

4 计算方法

本项目首先采用 CFD 计算得出室内流速分布和温度分布，进而得出室内热湿环境评价指标分布，并进行达标比例计算，下面依次介绍 CFD 和室内热湿环境评价指标的计算方法。

4.1 CFD 计算原理

4.1.1 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 $k-\epsilon$ 湍流模型进行室内流场计算。下表为几种工程流体中常见的湍流模型适用性：

表 4.1-1 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

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

4.1.2 边界条件

围护结构：外围护结构采用传热系数作为边界条件，内围护结构根据实际情况可选择传热系数 或者绝热边界条件；

送风口：采用温度和风速作为边界条件；

回风口：采用绝热和定压边界条件；

注：围护结构传热系数选取依据《民用建筑热工设计规范》等相关的建筑热工设计规范，空调送风口温度和风速选取依据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012 相关条款。

4.1.3 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：

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

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 4.1-2 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
x 速度	u	$\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t$	$-\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_{\text{eff}} \frac{\partial u}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_{\text{eff}} \frac{\partial v}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu_{\text{eff}} \frac{\partial w}{\partial x}\right)$
y 速度	v	$\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t$	$-\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_{\text{eff}} \frac{\partial u}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_{\text{eff}} \frac{\partial v}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu_{\text{eff}} \frac{\partial w}{\partial y}\right)$
z 速度	w	$\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t$	$-\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_{\text{eff}} \frac{\partial u}{\partial z}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_{\text{eff}} \frac{\partial v}{\partial z}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu_{\text{eff}} \frac{\partial w}{\partial z}\right) - \rho g$
湍流动能	k	$\alpha_k \mu_{\text{eff}}$	$G_k + G_B - \rho \varepsilon$

名称	变量	Γ_ϕ	S_ϕ
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

上表中的常数如下：

$$G_k = \mu_t S^2, \quad S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}, \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right), \quad G_B = \beta_T g \frac{\mu_t}{\sigma_T} \frac{\partial T}{\partial y}, \quad \mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad C_\mu = 0.0845$$

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

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

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. 差分格式

本项目采用二阶迎风格对方程进行离散，二阶迎风格式的准确性可满足一般流体模拟计算的要求。

4.2 热湿环境评价指标计算

人类的热感觉主要与其全身热平衡有关。这种平衡不仅受空气温度、平均辐射温度、风速和空气湿度等环境参数影响，还受人体活动和着装的影响。对这些参数估算或测量后，人的整体热感觉可以通过计算预计平均热感觉指数（PMV）进行预测。

预计平均热感觉指标 PMV（Predict mean vote）为人群对热感觉等级投票的平均指数，根据人体热平衡的基本方程式以及心理和生理主观热感觉的等级为出发点，考虑了人体热舒适感的各种相关因素的全面评价指标。本项目采用《民用建筑室内热湿环境评价标准》GB/T 50785-2012 中所示的计算程序完成上述 PMV 的计算。

4.2.1 PMV 计算公式

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \left\{ \begin{aligned} &(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5\,733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ &- 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5\,867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ &- 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \right\} \quad (2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl} & \text{for } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases} \quad (4)$$

式中：

PMV——预计平均热感觉指数；

M ——代谢率（W/m²），参考附录 B 不同活动的代谢率；

W ——有效机械功率（W/m²），通常情况下可近似为零；

I_{cl} ——服装热阻（m²·K/W），参考附录 C 服装组合热阻估算；

f_{cl} ——服装表面系数，通过公式（4）求解；

t_a ——空气温度（℃），CFD 求解；

$\bar{t}_r$ ——平均辐射温度（℃），通过 CFD 求解获得室内各围护结构平均温度，再加权平均计算；

v_{ar} ——相对风速（m/s），CFD 求解；

P_a ——水蒸气分压（Pa）；

h_c ——对流换热系数，可通过计算程序迭代计算得出；

t_{cl} ——服装表面温度，可通过计算程序迭代计算得出（℃）；

说明：其中水蒸气分压也可以用空气相对湿度代替作为输入的参数。

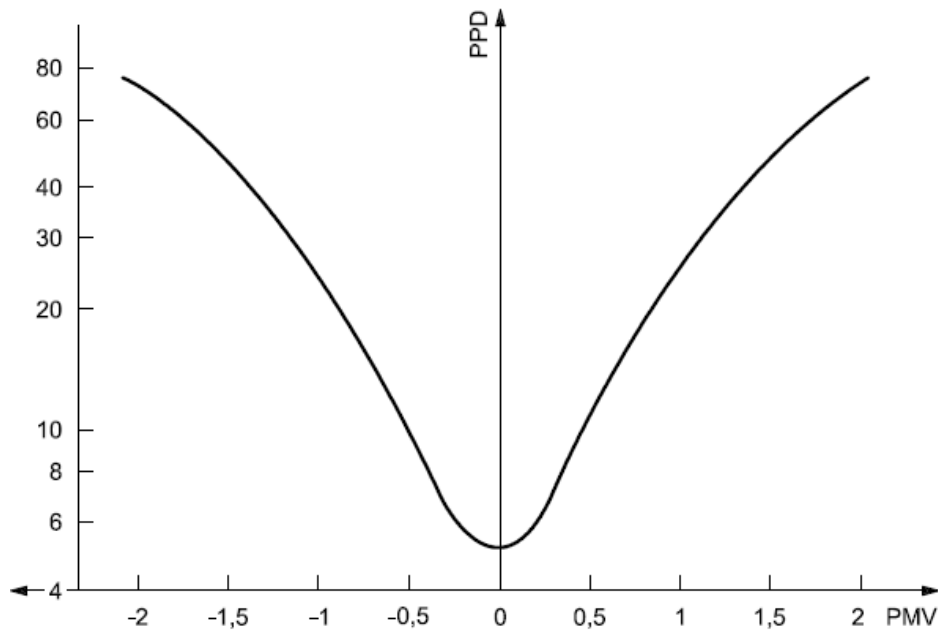
4.2.2 PPD 计算公式

PPD 为处于热湿环境中的人群对于热湿环境不满意的预计投票平均值，PPD 可预测在一给定环境中可能感觉过热或过冷的人的百分数来提供有关热不适或者热不满意的信息。PPD 可由 PMV 得出：

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,033\,53 \cdot PMV^4 - 0,217\,9 \cdot PMV^2) \quad (5)$$

式中：PMV 为平均热感觉指数；

PPD 为预计不满意率，%；



PPD 与 PMV 的关系

4.2.3 PMV 和 PPD 达标比例计算

先通过 CFD 法求解室内温度场和速度场分布，再根据 PMV 和 PPD 计算公式获取室内 PMV 和 PPD 分布，参考《民用建筑室内热湿环境评价标准》GB/T 50785-2012 中的评价方法统计 PMV 和 PPD 达标面积比例，最后给出评价结果。

5 结果分析

该项目基于以下参数计算室内热湿环境评价指标 PMV 和 PPD 达标情况，首先进行温度场计算，再进行 PMV 和 PPD 计算。

序号	分析对象名称	室外温度 (°C)	人体代谢 (met)	对外做功 (met)	服装热阻 (clo)	相对湿度 (%)
1	7 层-房间 7001	31	1.2	0	0.5	50

5.1 7 层-房间 7001 分析图

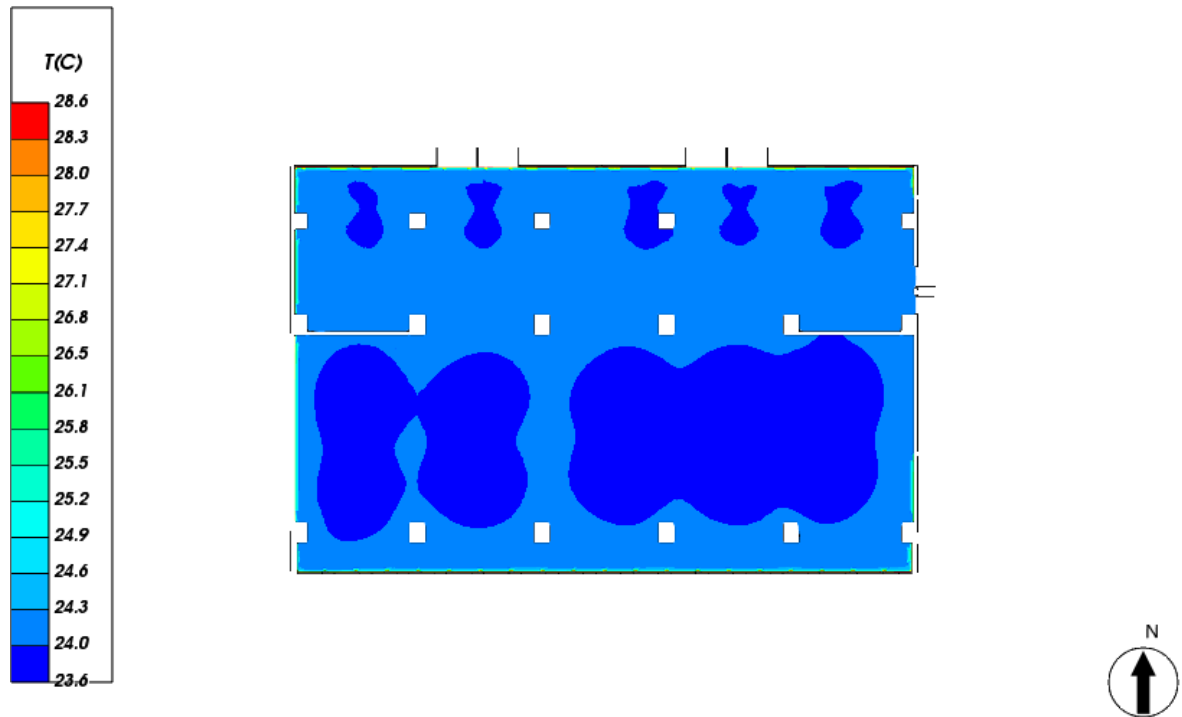


图 5.1-1 人行高度处温度场分布

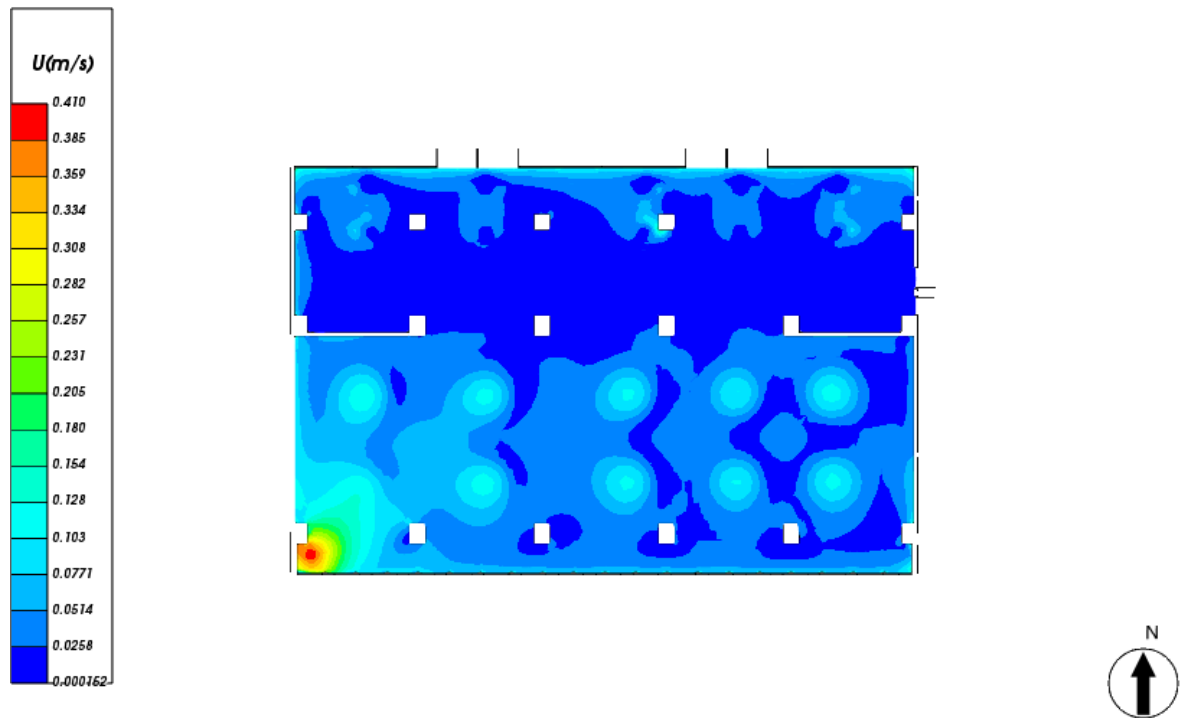


图 5.1-2 人行高度处速度云图

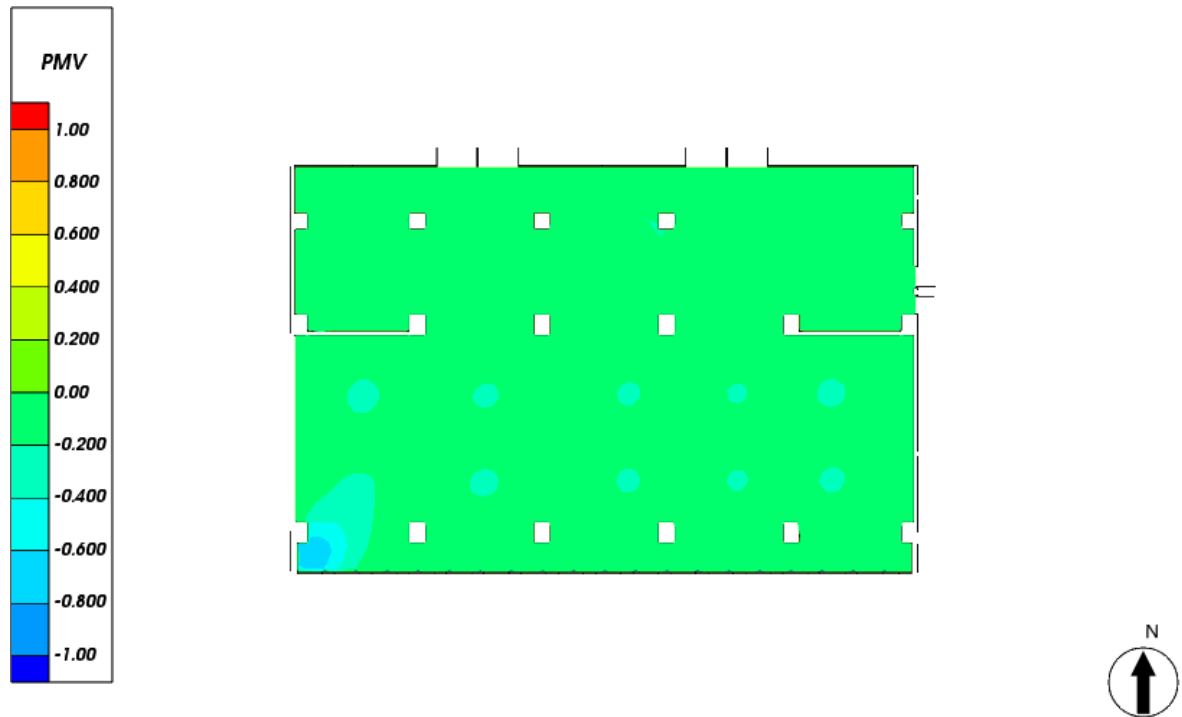


图 5.1-3 人行高度处 PMV 分布

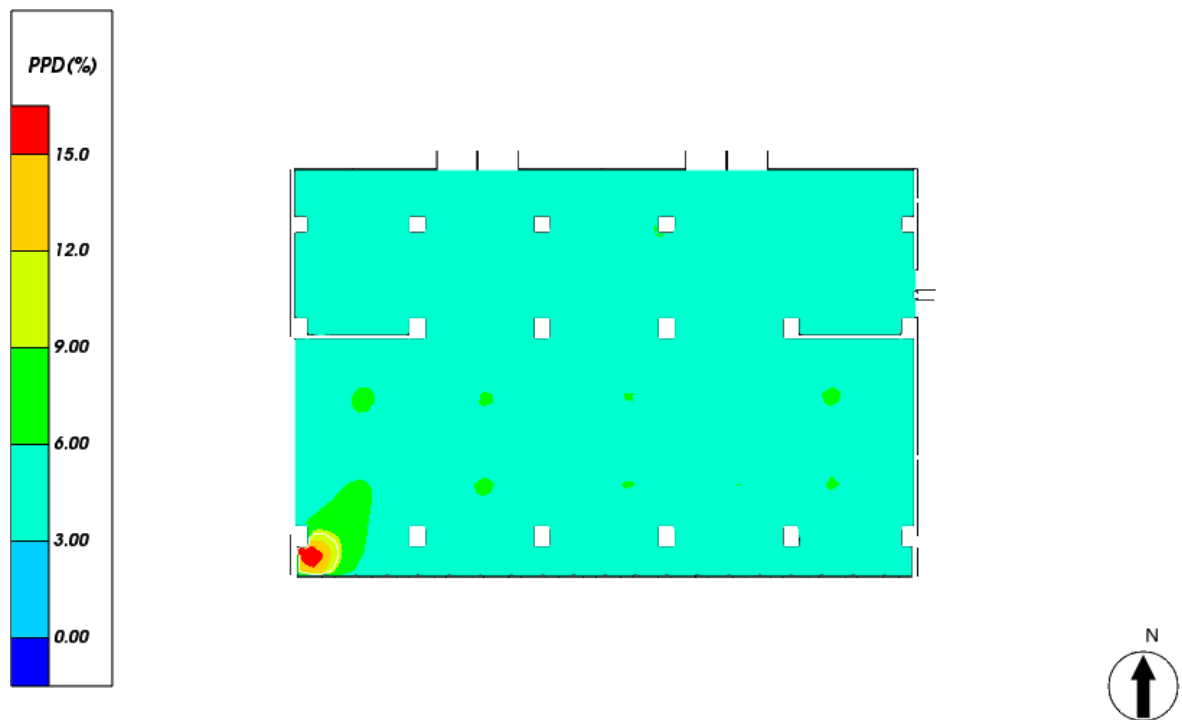


图 5.1-4 人行高度处 PPD 分布

5.2 室内 PMV 与 PPD 达标比例统计

《民用建筑室内热湿环境评价标准》GB/T 50785-2012 中给出如下评价标准。软件依据该标准对各个主要功能房间进行 PMV 以及 PPD 的达标面积统计，并且依据《绿色建筑评价技术细则》按照主要功能房间面积加权平均计算得出建筑的 PMV-PPD 整体评价结果。

表 5.2-1 PMV-PPD 整体评价指标

等级	整体评价指标	
I 级	PPD $\leq$ 10%	$-0.5\leq PMV\leq +0.5$
II 级	10% $<$ PPD $\leq$ 25%	$-1\leq PMV< -0.5$ 或 $+0.5< PMV\leq +1$
III 级	PPD $>$ 25%	PMV < -1 或 PMV $> +1$

层号	户型	房间编号	房间名称	PMV-PPD 达标面积 (m ²)	面积(m ²)	PMV-PPD 达标 面积比例(%)	得分
7	7001		阅览室	570.2	570.2	100.00	8
	X002		办公-其它	-	28.6	0.00	0
建筑 PMV-PPD 达标面积比例 (%)				95.23%			

说明：建筑整体的 PMV-PPD 达标面积比例按照建筑各主要功能房间的计算值进行面积加权平均得出。

6 结论

该建筑主要功能房间热湿环境评价指标 PMV 和 PPD 达到整体评价 II 级的面积比例为 95.23%，根据绿标 5.2.9，应得 8 分。