

# 基于人体热舒适的室内顶板送风个人制冷系统的入风参数研究

胡嘉文<sup>1</sup>,赵诗庆<sup>1</sup>,邹金成<sup>1</sup>

1.生物医学工程学院,上海交通大学,上海市

(联系电话: 18817552011, E-mail: hu39517@163.com)

## 简介:

介于人们日常生活中所依赖的空调系统耗电量居高不下,同时调查表明人们对于其工作所处的热环境不甚满意<sup>[1]</sup>,室内空气调节系统的设计被提出了更高的挑战,对于只关注目标区域的直送风式工位-环境空调系统的研究也逐渐兴盛。本研究即关注到在夏季炎热环境下人们对于快速降温的需求,对小房间内垂直向下将冷空气送向人体位置的顶板送风系统进行了CFD模拟研究,通过对入风口尺寸、送风参数的调节观测人体热舒适结果,进而对类似系统的设计开发起到了一定的指向作用。

## 计算方法:

模型的构建如图1所示,为模拟人体在室内正常工作的情形,在一个4m×4m×3m的房间正中间构建了一个坐姿人体模型,其几何特征参照Xu<sup>[2]</sup>中所使用的人体尺寸。

入风口设置在人体模型的前上方,横截面为1m×0.1m矩形的出风口位于人体后下方离地0.1m高处。根据模型的对称性,计算时采用了XZ面对称的边界条件,即在计算中只使用y>0m的半个计算域,从而有效地降低模型计算量。

模型仅有计算域,材料选择为空气。共引入传热和流体两个模块,流体选择使用标准 k-ε 模型来描述湍流。

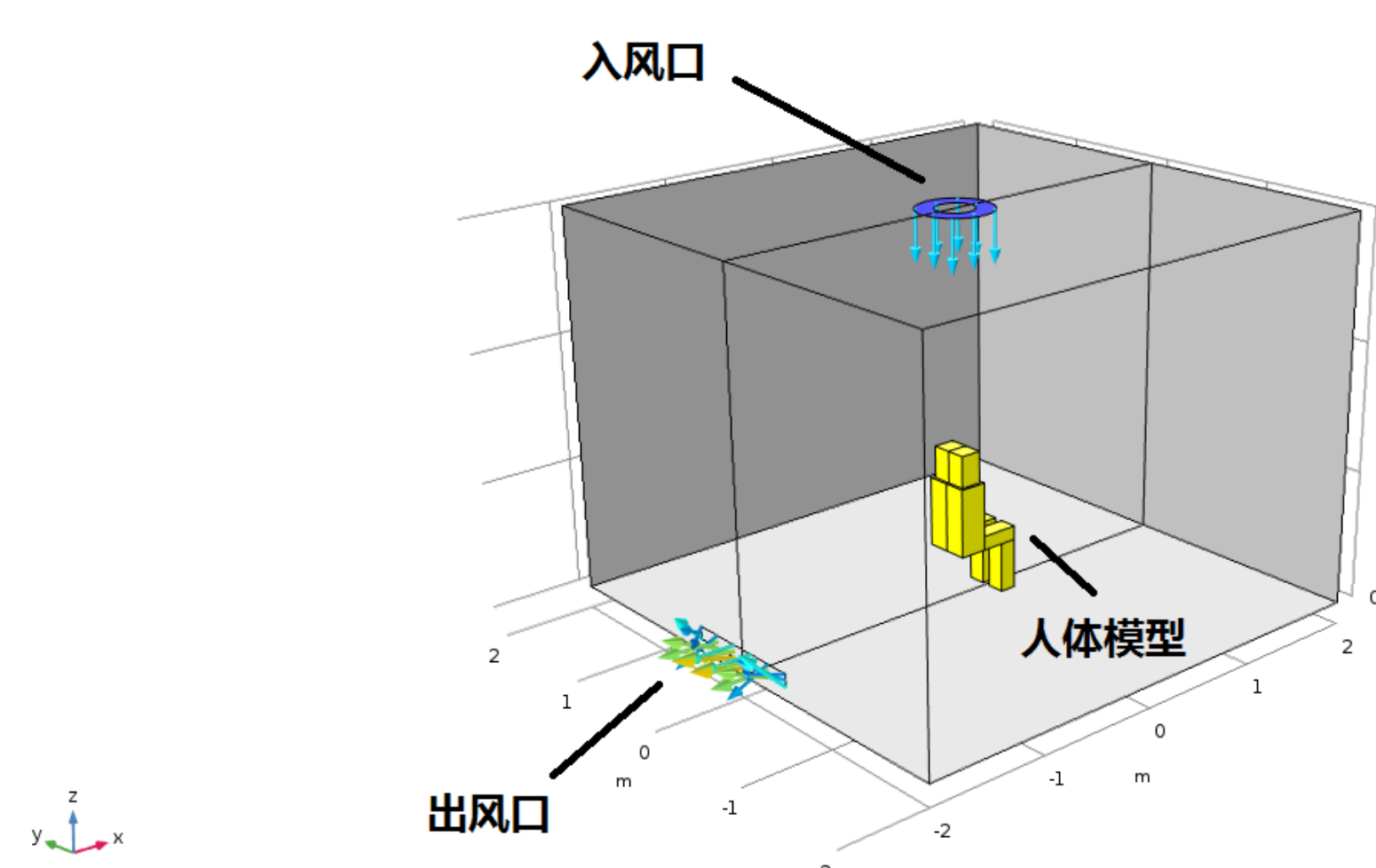


图 1.几何模型

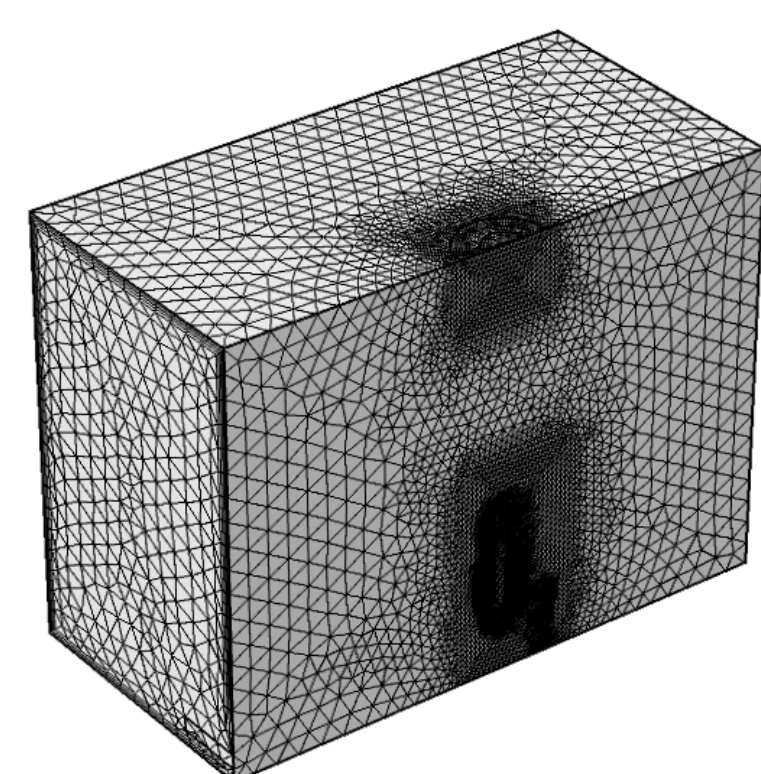


图 2.网格剖分

模型中流场计算采用三维求解雷诺平均的N-S方程(RANS)结合连续方程和能量守恒方程计算,控制方程如下:

$$\text{连续性方程: } \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$

$$\text{能量方程: } \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{v} \cdot \nabla T + \nabla \cdot (-k \nabla T) = Q$$

$$\text{动量方程: } \rho \left( \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} \right) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu \nabla \mathbf{v} + \mu_t \nabla \mathbf{v}) - \frac{2}{3} (\mu + \mu_t) (\nabla \cdot \mathbf{v}) \mathbf{I} - \frac{2}{3} \rho k \mathbf{l} + \mathbf{F} + (\rho - \rho_{ref}) \mathbf{g}$$

$$\nabla \cdot \{ -p \mathbf{l} + (\mu + \mu_t) [\nabla \mathbf{v} + (\nabla \mathbf{v})^T] \} - \frac{2}{3} (\mu + \mu_t) (\nabla \cdot \mathbf{v}) \mathbf{I} - \frac{2}{3} \rho k \mathbf{l} + \mathbf{F} + (\rho - \rho_{ref}) \mathbf{g}$$

模型的主要边界条件如表1所示。网格剖分如图2所示。

为方便计算描述人体热舒适程度的PMV值,采用Parsons<sup>[3]</sup>书中相关计算公式,并将其中的迭代项修改为平衡状态下的线形公式。所有公式被依次输入在模型定义中,并读取人体边界温度、风速值进行计算。

表 1.主要边界条件

边界	边界条件
壁面	绝热
人体边界	第三类边界条件 $h=4[W/(m^2 \cdot K)]$
入风口	19°C, 风速为V或Q/S
出风口	压力边界

## 结果:

计算中当采用Q=160m<sup>3</sup>/h圆环入风口时,结果示意图如图3,图4所示。图5展示了同样入风条件在四种不同形状入风口下的计算结果。总体而言,在该顶板入风模式下,人体周围的热环境将在10-20s内迅速达到相对稳定。在同样的送风条件下,圆环和圆形的设计相比于方形设计将产生更多的冷量,使得PMV稳定值更低。同时,实心风口相对于空心风口而言,能使研究参数在更短的时间内达到平衡。

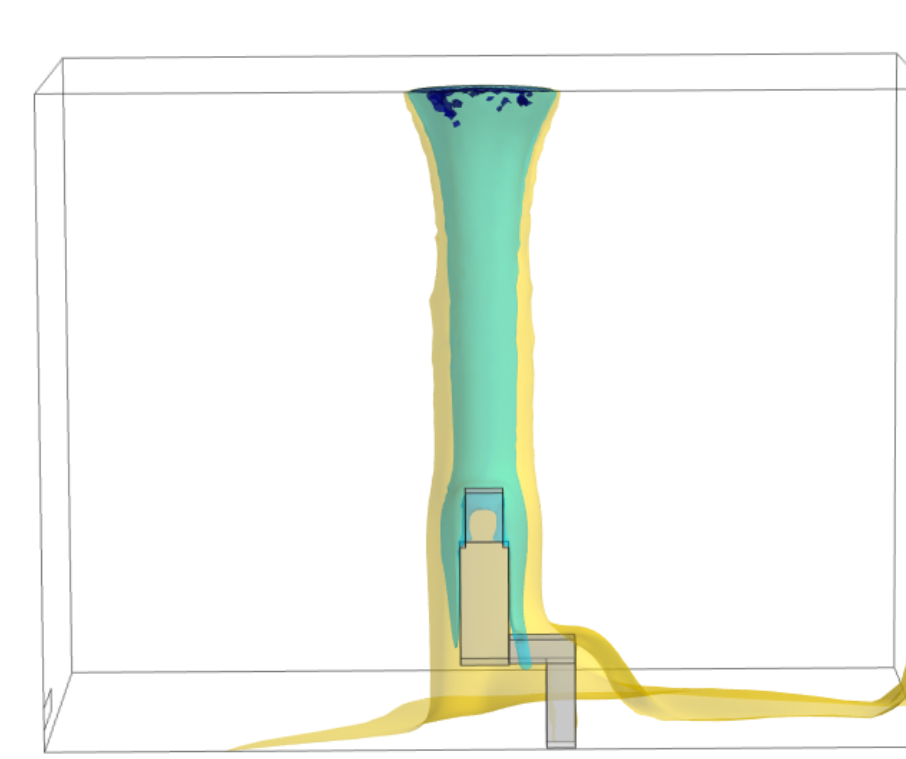


图 3.结果等温线展示

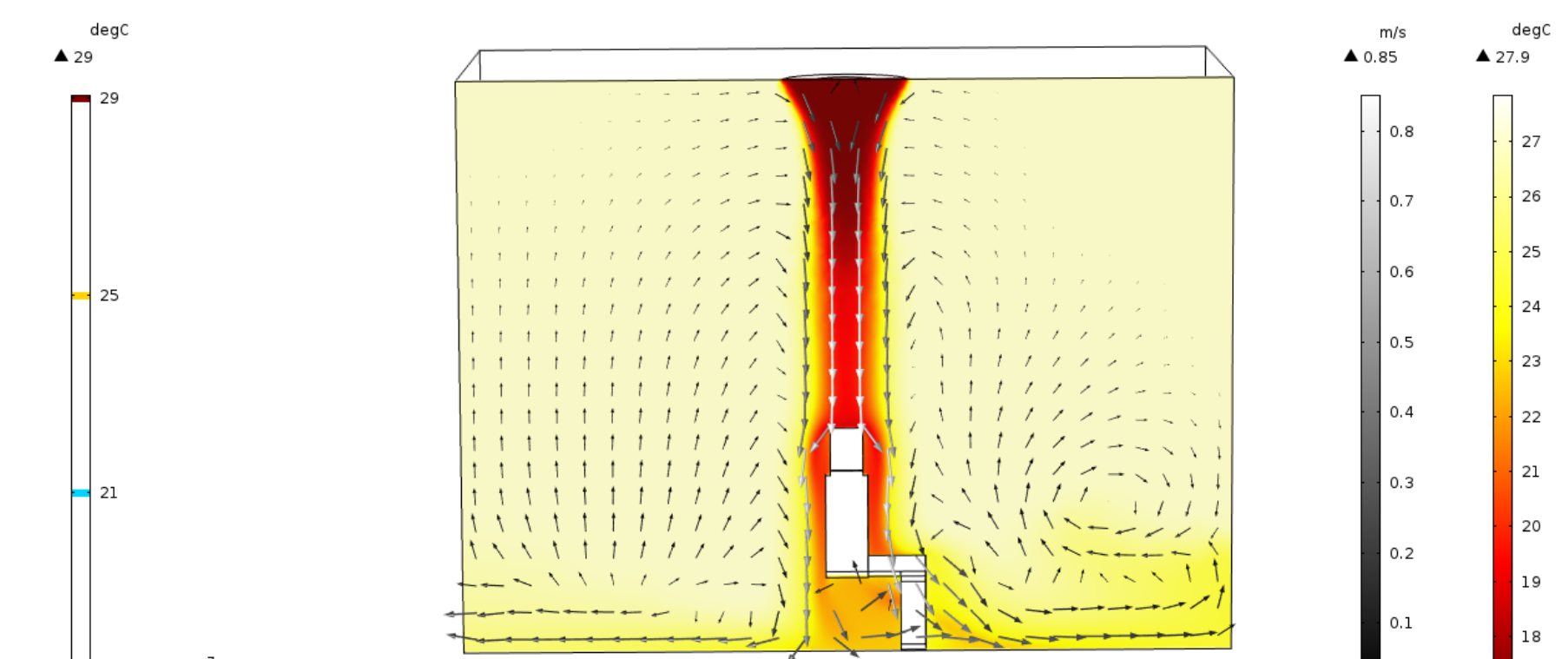


图 4. y=0.05m截面温度云图,速度矢量图

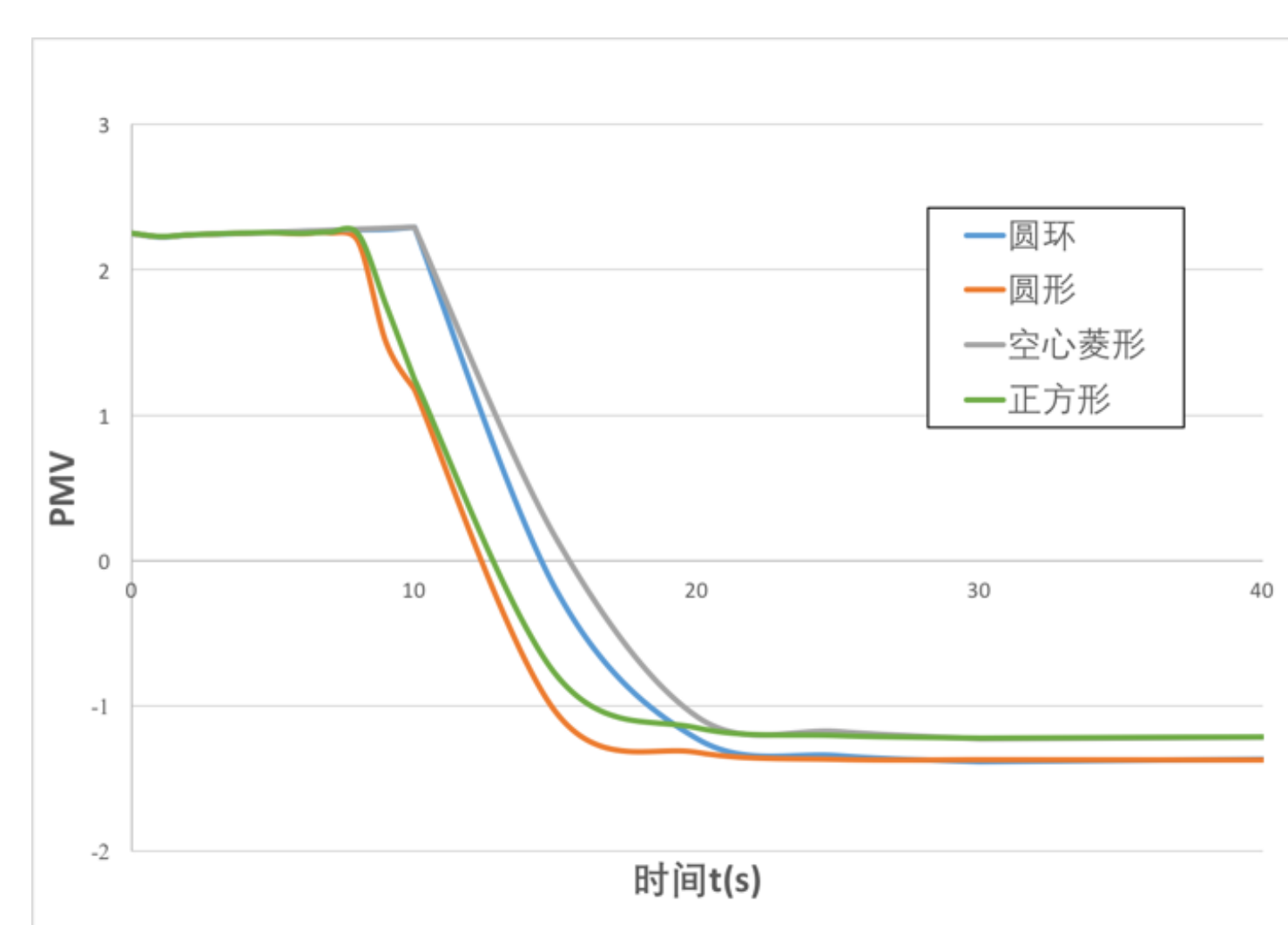


图 5.不同风口形状下结果

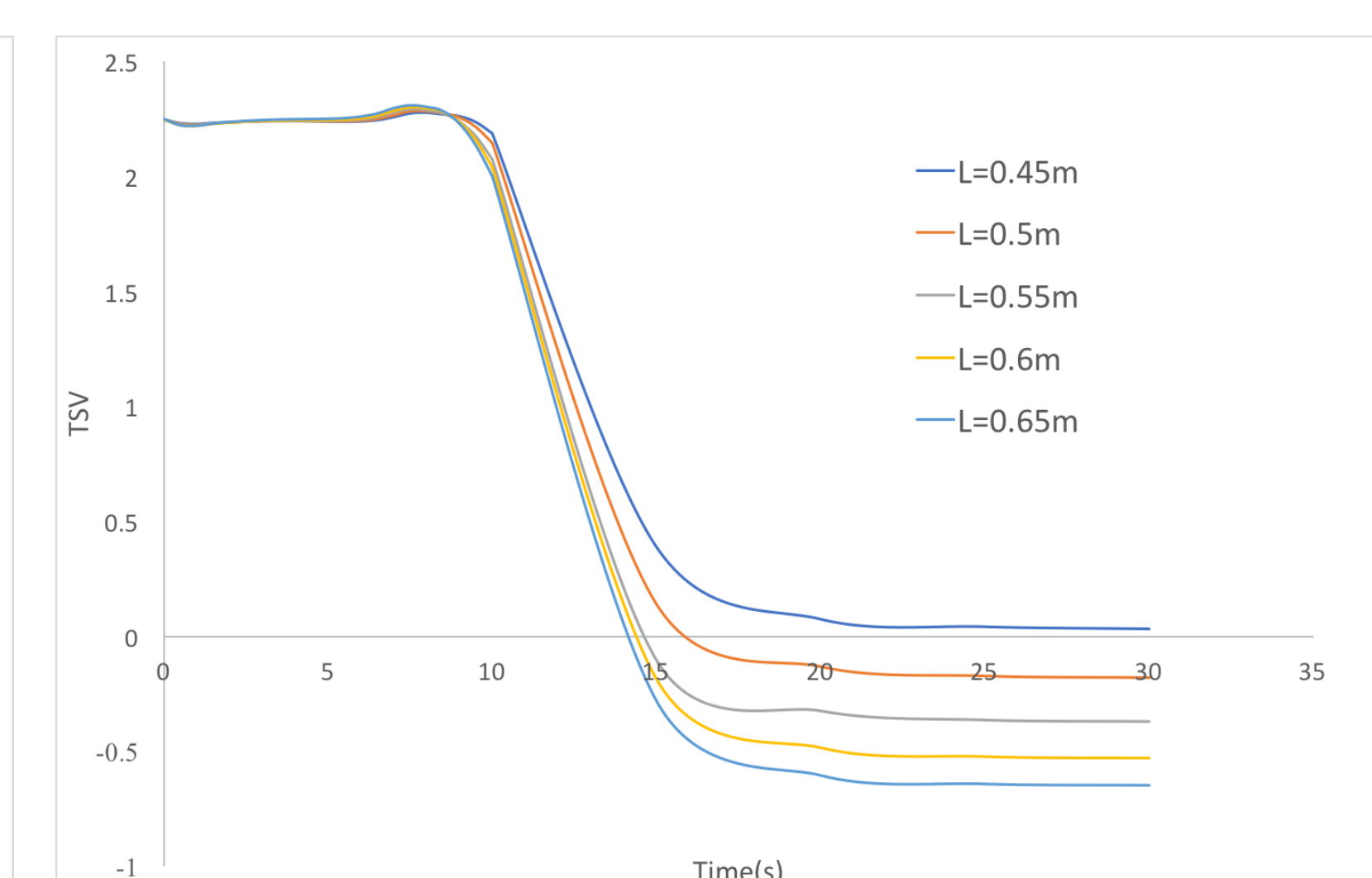


图 6.方形风口尺寸扫掠结果

图6为方形风口在不同尺寸下的扫掠结果。当风速确定时,增大入风口尺寸即增大了入风流量,也即增大了制冷量,人体的热感受也会随之降低。图7表示,当入风面积一定时,制冷效果随入风流量的增大而增大。同时其体表风速仍处于合理区间。

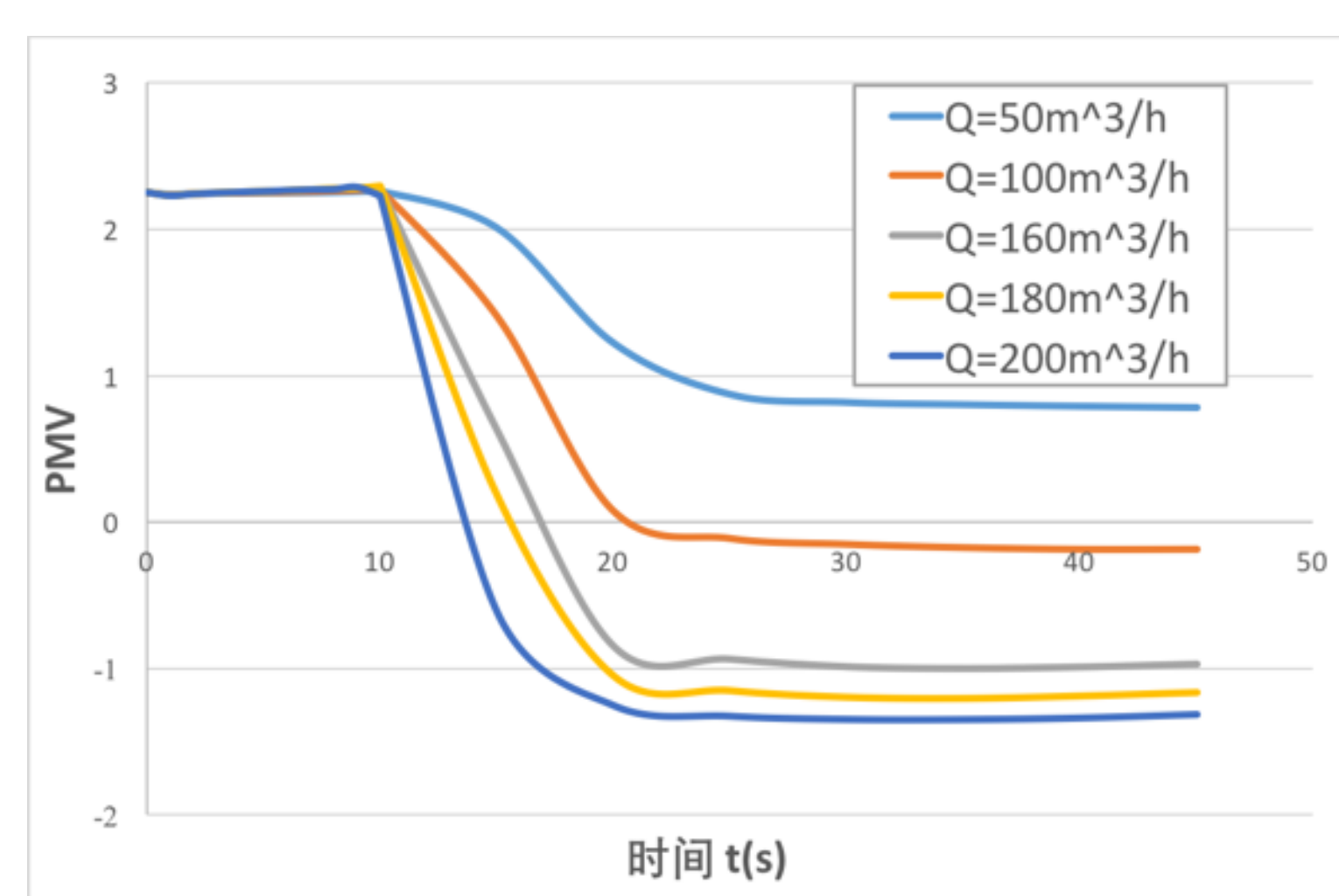


图 7.圆环形风口流量扫掠结果

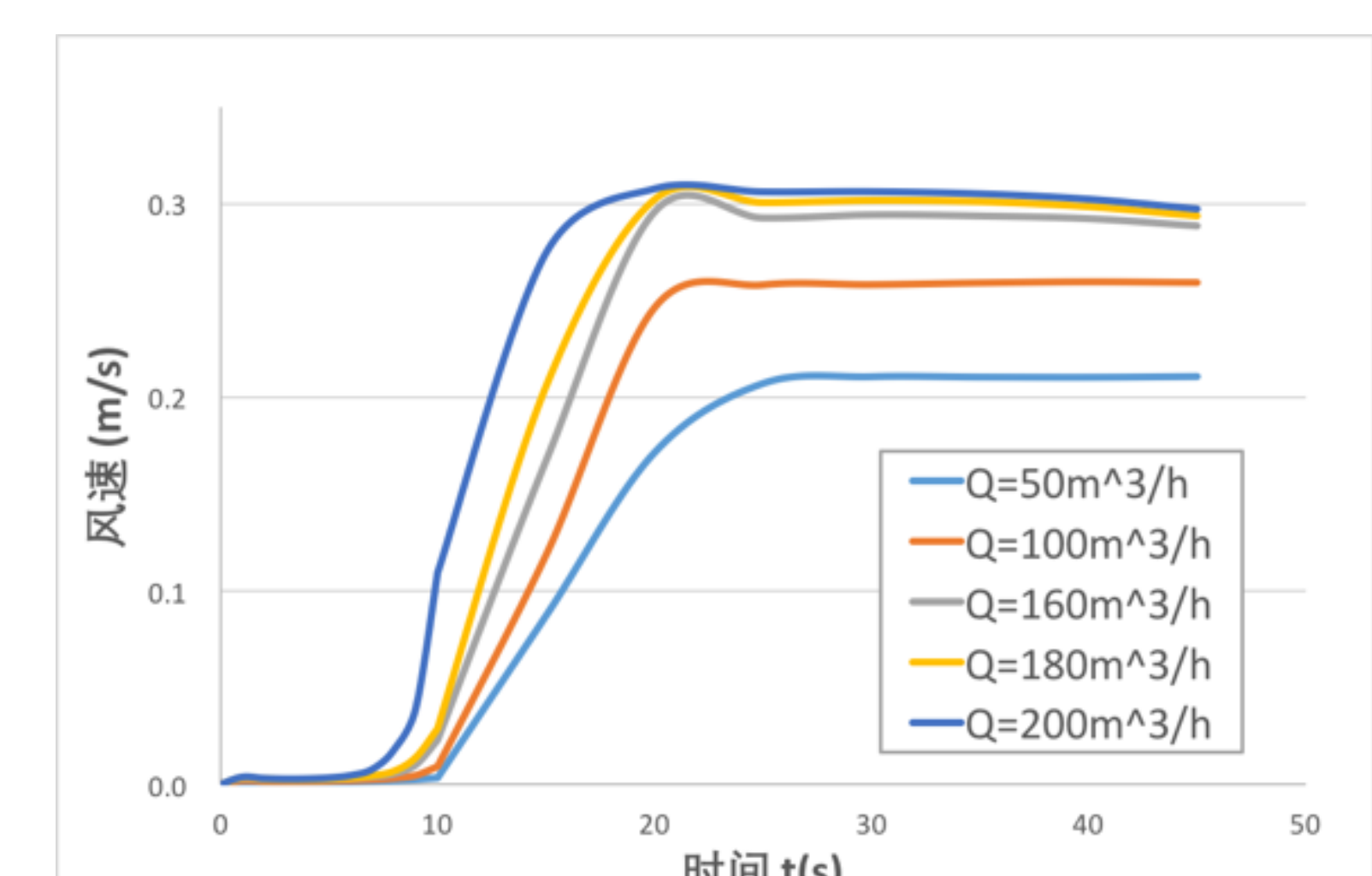


图 8.圆环形风口不同流量下风速

## 结论:

模型的仿真结果定量地将顶板送风系统中入风口尺寸和送风参数的设计结果以人体直观的热舒适程度表达了出来,该系统制冷效果随各送风参数的变化规律也给相关系统的设计者提供了一定的思路和参考。

## 参考文献:

1. Da Li and V. R. K. Carol C. Menassa, "Personalized human comfort in indoor building environments under diverse conditioning modes," Building and Environment, vol. 126, pp. 304-317, 2017.
2. Y. Xu, X. Yang, C. Yang, and J. Srebric, "Contaminant dispersion with personal displacement ventilation, Part I: Base case study," Building and Environment, vol. 44, no. 10, pp. 2121-2128, 2009.
3. K. Parsons, Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance, 3 ed. CRC Press, 2014.