

# Study on Ventilation Schemes in Isolation Ward Based on Human Factors

Haijun Jia<sup>1,2</sup>, Yanan Wu<sup>1,2</sup>, Zhi Yang<sup>1,2</sup>, Wei Zhang<sup>1,2</sup>, Xiaofeng Liu<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Hygienic Research in Ordnance Industry, Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Key Laboratory of China Ordnance Industry Group, Xi'an Shaanxi

Email: feajia@126.com

Received: Jul. 6<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jul. 20<sup>th</sup>, 2017; published: Jul. 24<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

Computational model of indoor fluid flow parameters was developed by numerical simulation method. Indoor turbulent flow and heat parameters were studied by this numerical simulation method, and the thermal comfort index PMV values of isolation ward were obtained in different air conditions. By comparison, reasonable ventilation scheme was put forward for isolation ward.

## Keywords

Thermal Comfort, Dress Heat Resistance, Isolation Ward, Numerical Simulation

---

# 基于人机工程的隔离病房通风方案研究

贾海军<sup>1,2</sup>, 吴亚楠<sup>1,2</sup>, 杨智<sup>1,2</sup>, 张伟<sup>1,2</sup>, 刘晓峰<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>兵器工业卫生研究所, 陕西 西安

<sup>2</sup>中国兵器工业集团重点实验室, 陕西 西安

Email: feajia@126.com

收稿日期: 2017年7月6日; 录用日期: 2017年7月20日; 发布日期: 2017年7月24日

---

## 摘要

本文采用数值模拟方法, 建立考虑人体模型的室内气流参数计算模型。针对不同的空调通风方案, 应用所建立的计算模型对隔离病房室内三维紊流流动和热舒适性参数进行了研究, 得到不同通风方案时室内热舒适性指标PMV值分布情况。通过对不同方案下室内热舒适性对比分析, 给出隔离病房内最佳的通风方案。

## 关键词

热舒适, 服装热阻, 隔离病房, 数值模拟

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在呼吸内科隔离病房, 呼吸道疾病主要通过空气传播, 对医护人员和其他病人构成很大隐患。医护人员必须穿上多层严密的防护服, 防护服热阻较大, 夏季长时间穿这些防护装备时容易引起胸闷、大量出汗、中暑甚至虚脱晕倒等生理现象。本文针对隔离病房这一特殊场所, 建立数值模拟计算模型, 对机械通风、空调方案热舒适性进行了研究, 并给出合理的通风方式。

## 2. 物理模型

选择某医院典型隔离病房结构及通风系统布置如图 1 所示, 病房包括了医护人员、病人、病床、通风系统、灯光及其它设备等标准特征, 其中天花板通风系统由天花板散流器、天花板及洗手间排气装置构成。新鲜空气经位于病床斜上方入风口进入隔离病房, 带走房间内的热负荷及含有病毒的污染空气, 再从天花板通风系统的回风口排出病房, 由此, 构成循环系统。病房内的热负荷主要有灯光、医疗设备、电视机、病人以及护理人员。

## 3. 通风换气方案

由于隔离病房医护人员服装热阻大, 按照国家标准[1] [2]进行空调设计时, 难以满足人体热舒适性要求, 因此本文提出两种新的空调通风方案, 通过降低空调送风温度达到改善热舒适性的目的。计算方案及参数见表 1。

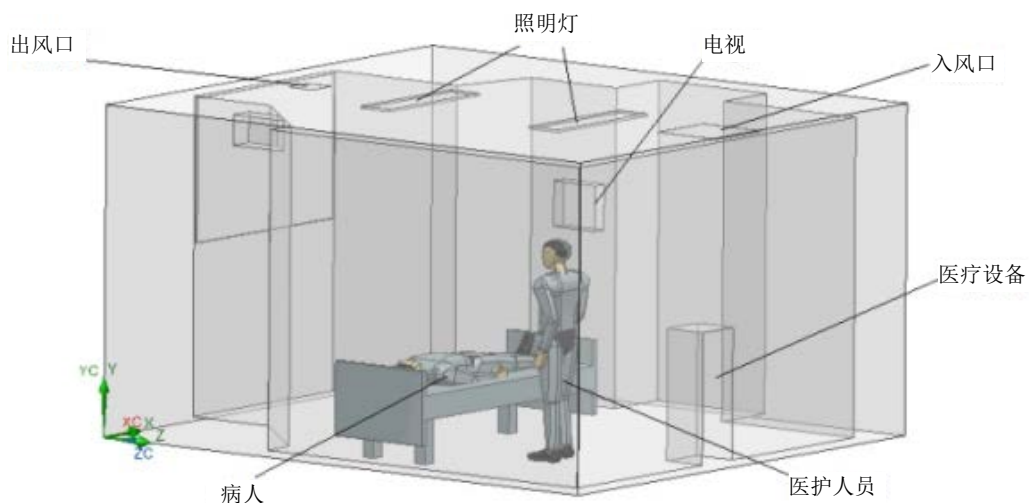


Figure 1. Geometric model of isolation ward

图 1. 隔离病房几何模型

**Table 1.** Ventilate schemes and parameters**表 1.** 四种通风换气方案及参数

种类	通风方式	温度/℃	流量/m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>
方案一	机械通风	33	0.06
方案二	传统空调方案	18	0.06
方案三	改进空调方案	15	0.10
方案四	改进空调方案	10	0.10

#### 4. 数学模型

在笛卡尔坐标系下，适用于隔离病房三维流动数学模型可用下述方程组表示[3] [4]：

连续性方程：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = S_m \quad (1)$$

动量守恒方程：

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \mathbf{v}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \mathbf{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau}) + \rho \mathbf{g} + \mathbf{F} \quad (2)$$

能量方程：

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot ((E + p) \mathbf{v}) = \rho \mathbf{F} \mathbf{v} + \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{v}) + \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (3)$$

上式适用于不同压缩流动与可压缩流动计算。 $\rho$  为密度， $\mathbf{v}$  为速度，源项  $S_m$  为分散相或其他用户自定义源项附加到连续相的质量， $p$  为静压， $\boldsymbol{\tau}$  为应力张量， $\rho \mathbf{g}$  及  $\mathbf{F}$  为重力及外部体力， $\mathbf{F}$  同时包含了模型相关的源项。

网格建模与求解利用大型商业流体软件 FlowEFD 计算。其中网格数量总共为 201,932 个，图 2 为各截面网格，采用六面体网格进行建模。方程组求解采用有限体积法进行计算。其中热舒适性参数结合 P. O. Fanger 提出的人体热平衡原理，确定衡量人体热感觉的 PMV 参数数学计算公式[5]，根据该参数将人体热感觉划分为不同的等级，PMV = 0 时表明处于舒适状态，PMV > 0 且越大时表明人感觉越热，PMV < 0 且越小时表明人感觉越冷。

#### 5. 边界条件

外部气流参数采用西安地区夏季空调室外设计参数，室内医护人员的能量代谢率[6] [7]取 80 W/m<sup>2</sup>，服装热阻取 0.35 m<sup>2</sup>·℃/W，热源条件：室内照明负荷(三盏日光灯，共 120 W)、人员散热(定员数 2 人，共 200 W，按照均布热源处理)、墙体热负荷及太阳辐射。除送、回风口外，壁面边界取无滑移边界条件。

方案 1 入口边界：进口流量  $V = 0.06 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ， $t = 33^\circ\text{C}$ 。出口边界： $P = 101325 \text{ Pa}$ 。

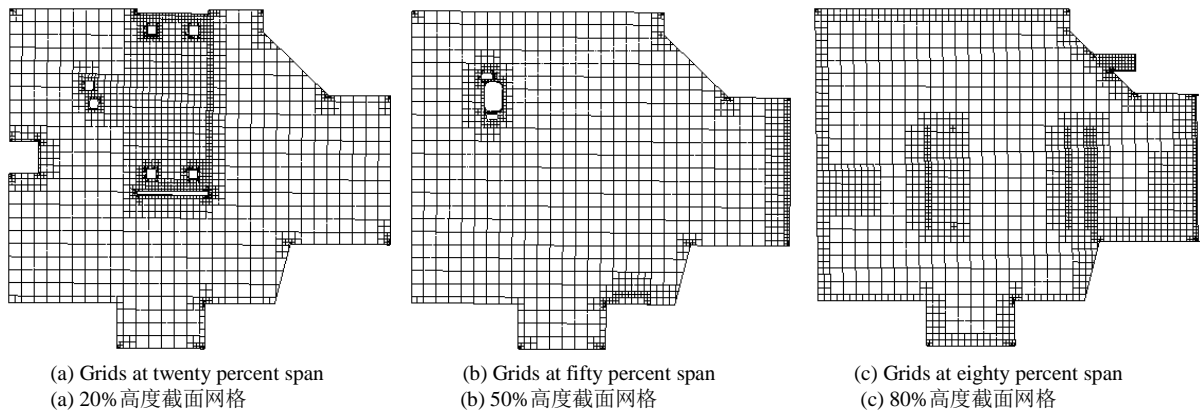
方案 2 入口边界：进口流量  $V = 0.06 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ， $t = 18^\circ\text{C}$ 。出口边界： $P = 101325 \text{ Pa}$ 。

方案 3 入口边界：进口流量  $V = 0.10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ， $t = 15^\circ\text{C}$ 。出口边界： $P = 101325 \text{ Pa}$ 。

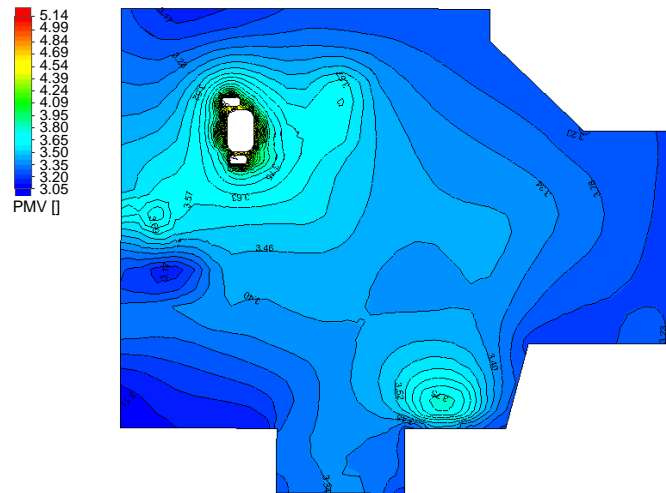
方案 4 入口边界：进口流量  $V = 0.10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ， $t = 10^\circ\text{C}$ 。出口边界： $P = 101325 \text{ Pa}$ 。

#### 6. 结果及分析

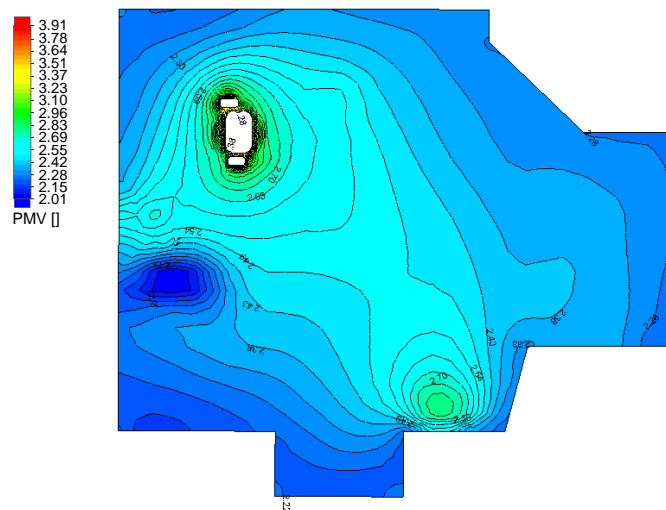
根据上述 4 种计算方案，分别进行了计算，本文列出每个方案在室内 50% 高度截面的计算结果，见图 3~6。



**Figure 2.** Computed grids  
**图 2.** 计算网格



**Figure 3.** Computed PMV distributions for case 1 (50% span)  
**图 3.** 方案 1 计算 PMV 分布(50%截面)



**Figure 4.** Computed PMV distributions for case 2 (50% span)  
**图 4.** 方案 2 计算 PMV 分布(50%截面)

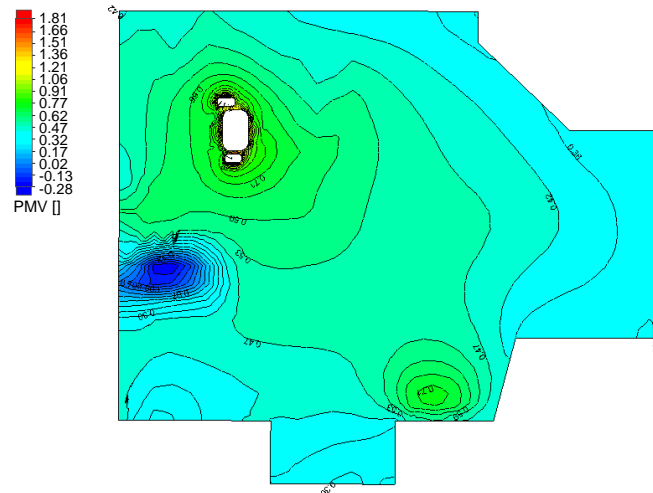


Figure 5. Computed PMV distributions for case 3 (50% span)  
 图 5. 方案 3 计算 PMV 分布(50%截面)

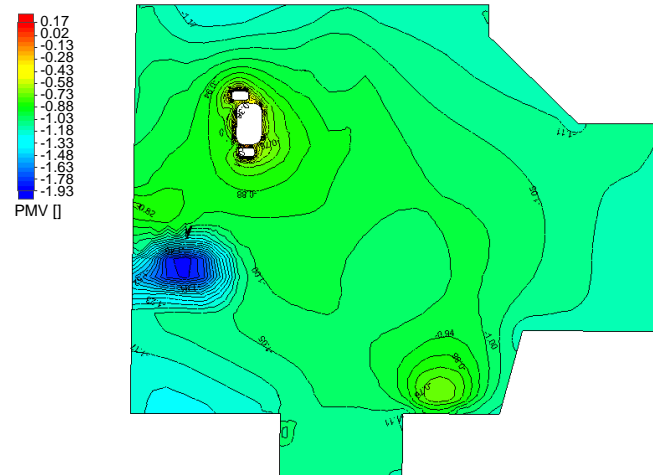


Figure 6. Computed PMV distributions for case 4 (50% span)  
 图 6. 方案 4 计算 PMV 分布(50%截面)

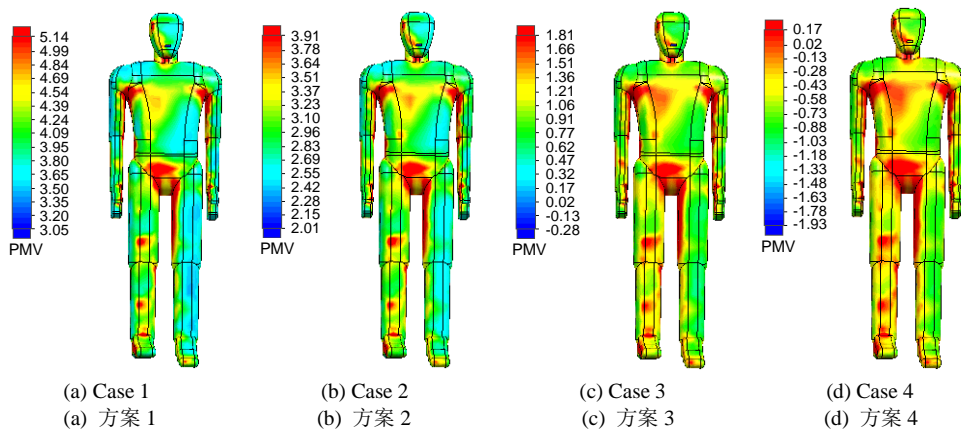


Figure 7. Computed PMV distributions around doctor's body  
 图 7. 医护人员身体周围 PMV 分布

图3为通风状态下计算的截面PMV数值,可以看到,室内整体PMV值偏高。气流通过入风口进入到室内时,由于垂直入风口平面进入到室内气体来不及扩散,与室内周围空气热量交换较少,该区域气流速度大,温度低,因此PMV值相对较小,最小值为3.05。当气体在室内扩散时,由于医护人员人体散热及对气流的阻滞作用,使得人体周围温度相对较高,气流速度相对较低,使得医护人员身体附近PMV值相对较高,最大值达到了5.14,表明该状态下人体热舒适性较差。

图4为方案2传统空调工况下计算的截面PMV数值,可知该工况下医护人员的热舒适性仍然很差,达到了3.91,室内最低热舒适性指数为2.01,说明室内人体热感觉偏热。

图5为方案3计算结果。可知人体周围PMV为0.71左右,室内其余位置PMV值主要分布在-0.28至0.71之间,室内基本处于热舒适范围。

图6为方案4计算结果。可知人体周围PMV为-0.88左右,室内其余位置PMV值主要分布在-1.93至-0.88之间,表明室内热感觉偏冷。且耗能最大。

图7给出了四种工况计算得到的医护人员身体周围热舒适性参数分布,可以看出,方案1至方案3对应的人体PMV主要分布大于0,且参数依此减小,表明人体热舒适性逐步提高。方案4对应的人体PMV参数在人体表面主要分布在-0.88左右,人体热感觉偏冷。在人体腋下及大腿根部附近由于气体流动速度较低,热交换不充分,使得该位置人体热舒适性相对较差。

## 7. 结论

本文建立了考虑人体模型的热舒适性计算模型,针对某隔离病房,计算获得不同空调通风方案下室内热舒适参数分布,结果表明,由于隔离服装热阻较大,采用传统空调方案已不能满足人体热舒适性需要,在设计隔离病房空调系统时,应考虑医护人员服装热阻的影响。在4种送风方案中,方案3改进后的空调送风方式下,室内热舒适性最佳,表明该送风状态下送风方式最合理。

## 参考文献 (References)

- [1] 中华人民共和国建设部. GBJ19-1987 供暖、通风和空调设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2004.
- [2] 中华人民共和国国家技术监督局. GB/T50785-2012 民用建筑室内热湿环境评价标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [3] Awbi, H.B. (1989) Application of Computational Fluid Dynamics in Room Ventilation. *Building and Environment*, **24**, 73-83. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(89\)90018-8](https://doi.org/10.1016/0360-1323(89)90018-8)
- [4] Ghiaus, C.M. and Ghiaus, A.G. (1999) Evaluation of the Indoor Temperature Field Using a Given Air Velocity Distribution. *Building and Environment*, **34**, 671-679. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(98\)00051-1](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(98)00051-1)
- [5] Fanger, P.O. (1982) *Thermal Comfort*. Krieger Publishing Company, Malabar.
- [6] 陈焕新, 宋耀祖, 任建勋, 等. SARS 传染病房内热舒适性研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(4): 86-89.
- [7] 吴小舟. 基于人体工效的低温供暖与新风复合系统设计理论及应用研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)