

# 基于负压设计的应急发热门诊建筑空调通风系统设计研究

杨中<sup>1</sup> 刘美玲<sup>2\*</sup> 马钰婷<sup>3</sup>

1. 珠海市建筑设计院; 2. 中海海创智造科技(珠海)有限公司; 3. 珠海市建筑设计院

**摘要:** 传染病由于其感染性强, 传播速度快, 死亡率高的特点, 冲击着社会发展也威胁着患者及医护人员的安全; 在尚未清楚特性的病毒污染区内, 也应遵循呼吸道传染病医院的气流组织原则, 保证气流沿清洁区→半清洁区→缓冲区→污染区(病房)→室外顺向流动; 本研究以珠海某应急发热门诊作为研究对象, 对应急发热门诊内部气流组织进行模拟, 分析现有通风换气次数计算条件下应急发热门诊内部气流状态, 给出现有换气次数的优缺点, 提出合理性建议。

**关键词:** 应急发热门诊; 换气次数; 气流组织; 数值模拟

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.097

## 引言

众所周知, 很多传染病都是借助飞沫通过空气传播的, 现有的应急发热门诊建筑质量良莠不齐, 目前针对应急发热门诊空调与通风设计措施的条文也几乎空白, 《综合医院建筑设计规范GB51039-2014》中也只是建议部分区域不同功能用房之间设计5Pa压差, 针对具体房间设计的压力值并无统一标准, 笔者将通过对应发热门诊内各分区气流组织进行一系列的数值模拟研究, 运用CFD模拟气流组织的优势, 探讨不同分区内各功能房间之间合适的压力梯度, 进行应急发热门诊空调通风系统优化设计。

## 一、应急发热门诊压力梯度与气流路径设计

本文核心研究内容是探究现有应急发热门诊区域压力梯度及气流路径设计合理性, 切断携带感染性病菌的飞沫或液滴的空气传播途径, 保护易感人群, 预防交叉感染。参看20Z001-1应急发热门诊设计示例中分区及流线示意图, 设计满足使用及工艺要求的珠海某应急发热门诊。

发热门诊内部需要确定、稳定的压力差为气流流动提供动力使气流持续严格按照预设路径流动, 综合考虑建筑围护结构性能、建筑使用功能, 分析对应建筑的渗透风量, 设计合适的送、排风量, 使室内压差达到动态平衡的状态; 本文分析无特别指明压差均为相对压差。在理想状态下, 根据流体力学原理, 流速系数约为0.817; 流量系数取0.3~0.5; 0.228Pa的压差就能满足房间压力要求。当缝隙为非理想状态, 参看文献中通过

实验得出流速系数实际取值可在0.2~0.5之间选用, 取0.2时, 压差为3.83Pa, 由此可知理论上, 当压差绝对值大于等于3.83Pa时, 即满足房间的压力要求。参看各国医院标准规范中对需要进行压力控制的房间的压差值规定; 对于一般洁净要求或是负压隔离病房, 不同污染等级房间的压差5Pa可满足要求。

## 二、数值模拟研究

### (一) 物理模型的建立

考虑到模拟网格划分以及模拟工作开展的便利性、合理性, 模拟对象选用珠海某应急发热门诊局部区域作为研究对象。对建筑平内部格局进行合理简化, 主要有如下几点: ①发热门诊在使用期间, 病房内人员流通性不强, 室内固定人员较少, 人员及设备的散热对室内压差分布的干扰性影响相对于新排风形成的压差干扰性不强, 本次模拟研究忽略人体散热及设备散热。②将实际风口(风口尺寸、风量、风速)数值简化为模型中对应尺寸的矩形风口。物理模型其余各部分参数为实际项目设置值。

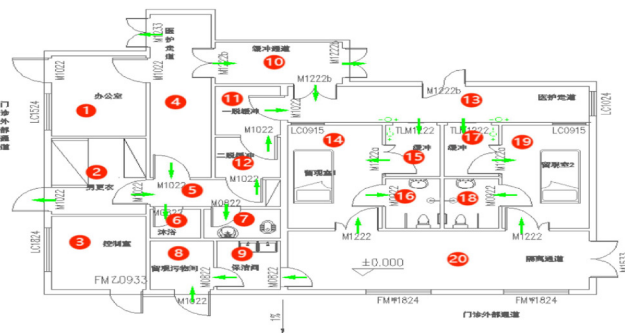


图1 发热门诊房间编号平面示意图

其中, 办公室、男更衣室、控制室、医护走道4、走道5、沐浴间、卫生间7、通道10属于清洁区; 一脱缓冲、二脱缓冲、医护走道13属于半污染区; 留观污物间、保洁间、隔离通道、留观室、缓冲15、缓冲17、卫生间16、卫生间18属于污染区。由图2平面可知, 此20个房间在平面分区上包含了污染区、半污染区、清洁区房间, 根据实际施工图设计中各房间室内送、回风口、门位置及尺寸, 利用ICEMCED16. 软件建立应急发热门诊区物理模型。

### (二) 数学模型

研究对象房间内温度一定, 外部压强无变化, 视为

不可压缩流体；引入Boussinesq假设对室内空气进行简化假设；采用两方程模式中的RNG  $k-\epsilon$  模型模拟应急发热门诊内气流流动。

(三) 初始与边界条件

本文进口边界指各房间内的送风口，已知其送风速度、送风温度；所有风口边界条件均设为速度进口，速度值进风为“+”，出风为“-”，并给定温度条件和湍流参数；由于应急发热门诊使用特殊性，简化为与外界无直接开口的条件，所以本文的排风既是出风为“-”的进口边界，也是出口边界。将外墙、屋面等设置为面热源，并给定其表面热流密度值，查找实际珠海某应急发热门诊设计资料外墙热工性能，计算得出其表面热流密度为 $6.468W/m^2$ 。

(四) 风口风量方案

根据《医院负压隔离病房环境控制要求GBT35428-2017》中说明，相邻相通不同污染等级房间的压差（负压）不小于 $5pa$ ，负压程度由高到低依次为病房卫生间、病房房间、缓冲间、潜在污染走廊等，以及参考《洁净厂房设计规范GB 50073-2013》中换气次数法，此次研究采用压差为 $5pa$ 时，采用 $1\sim 2$ 次/h；压差为 $10pa$ 时，采用 $2\sim 4$ 次/h；压差为 $15pa$ 时，采用 $4\sim 6$ 次/h；压差为 $20pa$ 时，采用 $6\sim 8$ 次/h。具体的送风方案按照换气次数法分区如下表1所示。

表1 送排风换气次数法取值表

区域	压差 (pa)	送风换气次数 (次/h)	排风换气次数 (次/h)	差值 (次/h)	
清洁区 +15	+10	8	5	3	
	9	5	4		
半污染区 -5	+5	7	5	2	
	6	8	2		
污染区	隔离通道	-5	6	8	2
	缓冲	-10	6	9	3
	留观室	-15	12	16	4
	卫生间	-20	0	15	/

(五) 数值求解方法

利用ICEMCFD16.0软件自动生成非结构化网格；利用Fluent16.0软件进行流场的数值求解。本次网格划分的网格质量基本大于0.3，满足计算需求。在保证计算精度及计算效率的情况下，为方便模拟，本文采用SIMPLER算法求解离散方程组，迭代计算的结果收敛。

三、模拟结果分析

(一) 模拟方案一：关门状态下

模拟室内所有房门关闭状态下的室内压力场，各房间压差不同以及房间门缝隙的存在，相邻相通的房间之间一定的气流流动，疏散门缝宽度综合考虑取 $25mm$ 高。

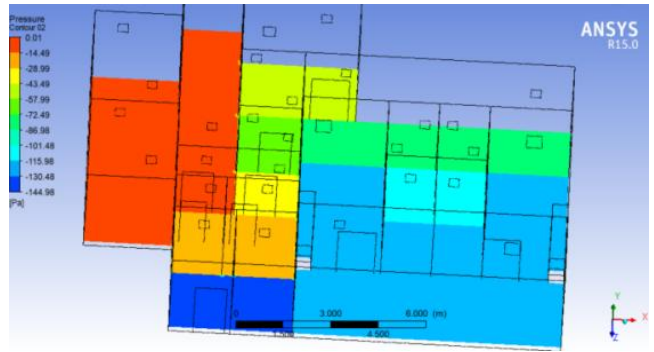


图2 关门状态下，Y轴0.2m平面室内压力场分布图

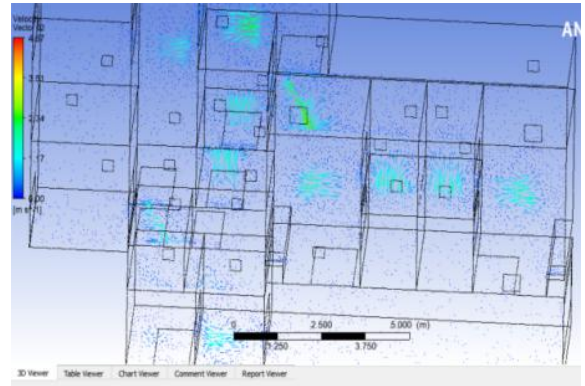


图3 关门状态下，Y轴0.2m平面室内速度矢量图

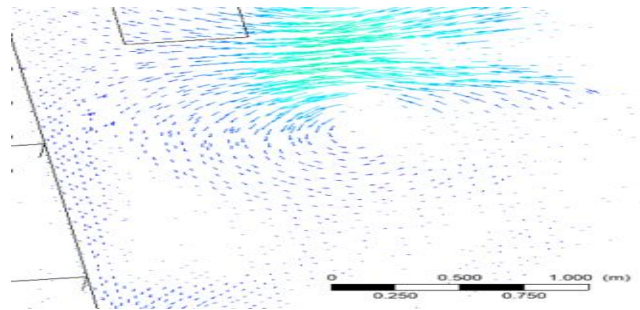


图4 关门状态下，下排风口病房速度矢量图

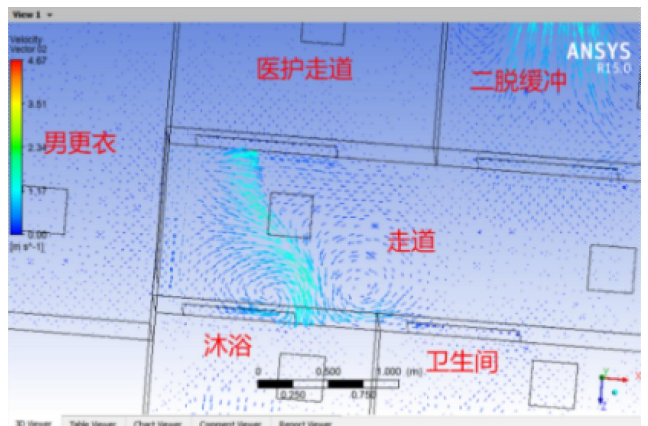


图5 关门状态下，局部相邻相通房间速度矢量图

由上图可知,此次研究对象应急发热门诊在已有的设计条件下,压力场基本符合三分区压力场的设置原则,清洁区房间为正压状态,半污染区、污染区房间为负压状态;室内送回风速度也在舒适范围内;留观室的下排风口的设置也使室内气流方向沿送风口顺流至下排风口,室内气流组织合理且不紊乱;同时由上述局部房间的气流矢量方向可知,在关门状态下,局部区域气流紊乱,近壁面处风速较大,造成以上原因最主要是通风方式不合理,包括送、排风口位置;送、排风量设置不合理,送、排风口大小设置不合理导致送、排风口风速不合理,其次由图2可知,室内只采用排风的房间负压过大,污染区房间负压值普遍过大,清洁区房间正压压力值较小,造成此情形的原因主要是清洁区房间送、排风量差值设置不合理,只设置排风的房间换气次数过大。

## (二) 模拟方案二: 开门状态下

模拟室内所有房门开门(瞬时开门)状态下的室内压力场,相邻相通房间之间在设置压差条件下视为自由流动状态,出口大小按照实际门的大小设置,模拟结果如下图所示。

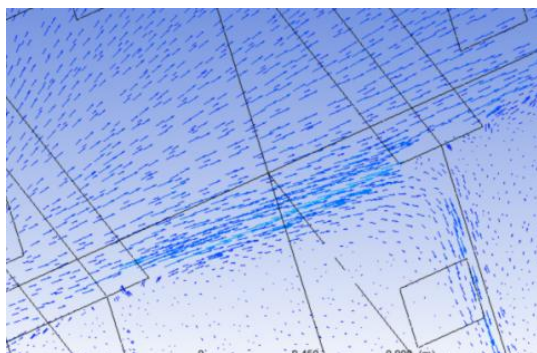


图6 开门状态下, 医护走道与留观室缓冲间速度矢量示意图

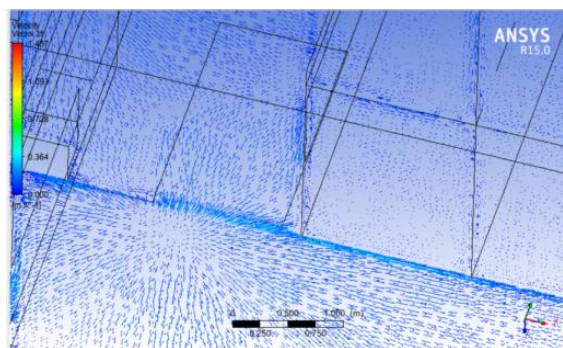


图7 开门状态下, 隔离通道与留观室之间速度矢量示意图

由于室内为开口自由出流状态,室内为均匀压力场;由无外门状态下房间内送风口至回风口流线示意图可知,室内气流存在局部房间内部气流紊乱的情况,送、排风口位置,风速大小存在可优化的空间,分区间房间与房间之间压力梯度合理,形成了较好的气流流

向。

## 四、结论与思考

上文针对已设计建成的珠海市某应急发热门诊进行了数值模拟分析,分别模拟了应急发热门诊在关门状态下以及开门状态下室内的压力场以及气流场。由上述分析得出:

- 1、三分区的压力场设置原则符合气流组织防疫要求;
- 2、留观室,负压隔离病房需采用上送下排的送风方式可减少污染物在室内的扩散程度;
- 3、负压区域压差值过大,从使用上看,局部房间负压过大,会导致开门、疏散不便;实际使用过程中会造成一定的资源浪费,不符合节能要求;建议在类似门诊设计中调整正压区房间与负压区房间的压力设置,适当减少例如卫生间、污物间的换气次数,减少排风量;
- 4、由上述局部房间的气流矢量分析可知,无论是在开门还是关门状态下,都存在局部区域气流紊乱的情况,主要因为送排风口位置、大小设置不合理,例如走道连通两个不同压力区域时,送排风口位置应尽量避免设置在出入口处;对于面积较小的房间,由于送、排风口尺寸设置较大,两风口距离较近,造成室内气流紊乱,近壁面处出现风速较大的情况,对于此类房间可适当减少送、排风量,减小风口尺寸,优化风口位置;
- 5、由于负压区存在只设排风而无送风的房间,正压区不存在只送风无排风的房间,导致整个负压区负压值过大而正压值相对较小的情况出现,在今后的工作中,可将此部分进行进一步探讨研究,以便在类似发热门诊内部形成更合理的压力梯度,更好的应对疫情。

6、以上模拟得出的结论,是在模拟参数满足各类规范设计要求的前提下,经过多次调整和优化各项设计参数后的结果,从以上分析中可知,发热门诊内部大部分区域气流组织良好,整体压力梯度合理,符合应急发热门诊设计原则,希望此次研究能为发热门诊等类似建筑空调通风设计提供参考。

## 参考文献

- [1] 杨立新, 吴晨旭. 新冠肺炎疫情下某医院空调系统气流组织分析与优化[J]. 中国医院建筑与装备, 2020, 21(10): 95-98.
- [2] 张安康. 综合医院门诊区域气流路径分析及空间压力管理[D]. 重庆大学, 2019.
- [3] 许钟麟. 隔离病房设计原理[M]. 科学出版社, 2006.
- [4] 许钟麟, 张益昭, 王清勤, 等. 关于隔离病房隔离原理的探讨[J]. 暖通空调, 2006(01): 1-7
- [5] 陶文铨. 数值传热学-第2版[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.