

负压隔离病房压力控制中存在的问题

天津大学 刘俊杰[☆] 王斌 赵歆治 王志强

摘要 春、秋季节是禽流感等呼吸性传染疾病可能暴发的危险时段,负压隔离病房专用于收治呼吸道传染病病人,但目前我国尚无负压隔离病房设计及施工验收规范。根据国内外的相关标准,对两家传染病医院(分别为新建和改建)进行了实际测试,对负压隔离病房设计和建造中在负压控制方面存在的问题进行了总结分析,并提出了改进建议。

关键词 负压隔离病房 压力控制 负压梯度 换气次数

Issues in pressure control of negative pressure isolation wards

By Liu junjie[★], Wang Bin, Zhao Xinzhi and Wang Zhiqiang

Abstract The spring and autumn are the high risk seasons for H5N1 avian influenza and other respiratory infection to seriously outbreak. All provinces and large cities are preparing or have prepared emergent negative pressure isolation wards to collect the possible infected patients in China. But so far there is no official published design and construction code for negative pressure isolation wards in China. Based on the criterions of both domestic and the foreign design guideline, tests two infectious disease hospitals (one is newly built, the other is rebuilt), sums and analyses the issues in the design and construction process of negative pressure control system for this kind of isolation wards and presents some suggestions.

Keywords negative pressure isolation ward, pressure control, pressure gradient, air changes

★ Tianjin University, Tianjin, China

①

0 引言

传染病负压隔离病房的功能如文献[1]中总则所述:是从硬件设施方面为社会提供不污染周围环境的隔离医疗环境,为一线医护工作者提供安全可靠的工作环境,为呼吸道传染病患者提供舒适便捷的就医环境。这一功能主要是靠维持房间内相对于大气或周围环境呈负压状态,防止致病微生物以空气为媒介进行传播而实现的。高致病性禽流感在一年四季均可发生,但冬春季节是禽流感等呼吸性传染疾病可能暴发的危险时段,目前各个省市都在或已经准备好了紧急备用传染病隔离病房用于收治病人。

一般来讲,接受流入空气的区域(相对污染区)空气压力小于输送空气的区域(相对清洁区)的空气压力,前者为负压状态。负压值的大小与房间的

密封程度紧密相关。美国 CDC (Centers for Disease Control and Prevention) 和 HICPAC (the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee) 于 2003 年发布的标准建议将负压隔离病房的负压值设定为 2.5 Pa (0.01 in H₂O)^[2], 较 1994 年的 CDC 标准提高了 10 倍。我国台湾省建议将负压隔离病房病室与前室的压差值设定为 8 Pa, 将前室与护士站的压差值设定为 2.5 Pa^[3]。到目前为止,关于负压隔离病房的负压值,我国相关设计规范中尚无明确规定,国标《传染病医院建

①[☆] 刘俊杰,男,1969年8月生,在读博士研究生,副教授
300072 天津大学环境科学与工程学院
(022) 27409500

E-mail: jliu@tju.edu.cn

收稿日期:2005-12-30

修回日期:2006-02-28

风速仪测量),计算风量;测量排风机进、排风口处静压,计算其全压。

测试中发现如下问题:

1) 内部压力梯度不符合要求。在对 2,3 层进行压力及流向检测中发现,在战时新、排风阀全部开大的情况下,外部走廊压力为 0 Pa 左右,病房内压力为 -3 Pa 左右,内部走廊压力为 +1 Pa 左右。无法满足压力梯度要求。只有在新风阀全部关闭,排风阀开到最大时才能勉强达到设计压力。

2) 排风机出力不够。由于安装了高效过滤器,在高速运行状态下,2 层排风机实际风量为 4 380 m³/h,约为设计值 8 000 m³/h 的一半,在未装高效过滤器的情况下,3 层排风机实际风量仅为 5 660 m³/h,也远小于设计风量。

3) 室内通风器排风扇虽能满足 220 m³/h 设计风量要求,但由于总排风机压头不够,造成排风竖井局部正压,竖井结构风道和排风管道之间密封困难,存在渗漏;另外由于竖井结构风道未经过密封,造成室内机械排风部分向外渗漏到吊顶等处,容易造成传染病交叉传染。

4) 各个负压隔离房间排风口均没有安装高效过滤器及止回阀,有可能出现交叉串风、相互传染问题,不符合设计规范要求。

5) 新风定风量阀及排风定风量阀最大可调节风量为 300 m³/h。在漏风状态下,排风量很可能满足不了房间的负压排风需要。

1.2 改建负压隔离病房(如医院乙)

该医院主体建筑共 3 层,各层都设计成负压隔离病房,作为观察、疑似、确诊传染病人诊疗区域。每层有 18 间负压隔离病房,各层均分为左右两部分,每 9 个房间为一个部分,每个部分 3 层之间相互连通构成一个系统,病房及卫生间内分别设置机械通风器(不可调节),污染空气经通风器、排风管,由屋顶混流排风机送入消毒处理装置后排至室外。房间外围设置外走廊,与室外连通,建筑内部设置内走廊。由于该医院属于改造工程,设计时没有专门的规范参考,是在原有建筑的基础上改造而成的,受原有建筑结构的影响,空调系统不十分完善,仅具有维持负压的功能,未设新风机组,新风由室内负压造成的渗漏补充。屋顶两台排风机型号相同,均为混流风机,额定风量 5 000 m³/h,全压 388 Pa。病区空调系统的布置形式如图 2 所示。具体

设计参数见表 2。

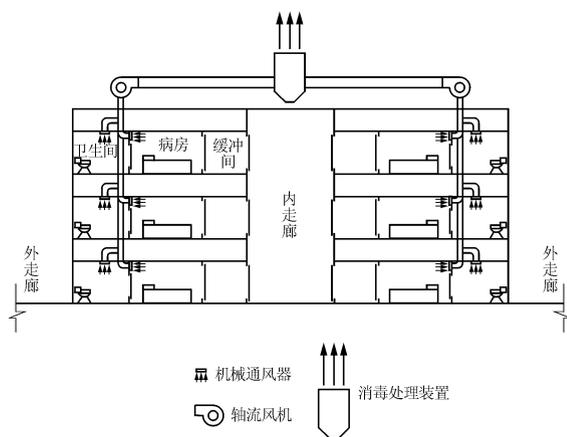


图 2 医院乙负压病房空调送排风系统示意图

表 2 医院乙室内通风设计参数

| | 房间设计 排风量/ (m ³ /h) | 卫生间设计 排风量/ (m ³ /h) | 换气次数/ h ⁻¹ | 设计压力/ Pa |
|------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------|
| 医技用房 | 90 | 90 | 3 | -8 |
| 内走廊 | 90 | 90 | 3 | -5 |
| 病房 | 90 | 90 | 3 | -8 |
| 办公室 | 90 | 90 | 3 | -8 |
| 卫生间 | 90 | 90 | 3 | -8 |
| 外走廊 | 90 | 90 | 3 | 0 |

测试中发现以下问题:

1) 选用的屋顶混流排风机压力不足,应选用离心式排风机。

2) 管道设计不合理,阻力偏大,造成屋顶风机压力不够;同时,各个负压隔离房间的排风管上均没有设计止回阀,有可能出现串风,严重违反设计规范的规定。

3) 房间内排风器型号偏小,无法满足 6~8 h⁻¹的换气要求;且放置位置不合理,应放在房间下部。部分室内排风器转向装反。

4) 室内没有设计新风,无法满足病人健康需要。

2 经验总结

基于实际测试数据,笔者发现当前新建和改建的负压病房存在诸多问题,认为负压隔离病房在收治禽流感病人之前,必须对现有空调系统进行检测验证,否则可能大量发生医院内部传染。

对于负压病房空调系统设计,给出以下建议,供参考。

2.1 合理选用房间压力控制策略

房间的压力控制策略对于能否成功实现房间

的压力梯度设计要求极其关键。上述两家医院负压病房均采用在送风管道上加装定送风量阀、在排风口处加装机械通风器的控制策略。这实质上是定送风量、定排风量的方法。然而,由于受房间的建造方式、工艺水平等影响,每个病室的漏风量都很可能与设计值产生较大的偏差。因此,对一个病室来说这种设计是不能完全满足压力梯度的要求的。建议采用定送风量以保证室内的卫生条件和洁净条件而用变风量(采用变频风机配电动风阀)调节来克服外界干扰,满足其压力梯度要求的策略。此外,排风机组的排风机应设在机组末端,以保持整个排风部分的负压,防止微生物的外泄,如图 3 所示。

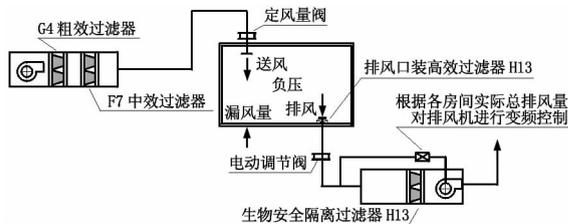


图 3 压差控制系统原理图

2.2 正确处理和排放污染空气

负压隔离病房除保护内部人员的生命安全之外,一个重要的功能就是保护病房外界的人员和环境不受污染。因此,对污染空气的排放也是负压病房设计中的关键部分。很多医院常用的方法是在排风机处加装高效过滤器,这种方法存在的问题。负压病房一般都是战时运行,平时作为一般病房使用。如将高效过滤器安装在排风机组内,战时由于排风管道内处于负压可以保证污染微生物不扩散到周围环境中,但这些微生物有可能在排风管道中残留和滋生。疫情过后,在排风机停运的情况下,这些致病微生物极有可能从管道中扩散出去,造成交叉污染。因此,最好的办法是在室内排风口和机组内排风机前都装高效过滤器,如图 3 所示。如果考虑到能耗和成本等问题,只能在一处装高效过滤器的话,应将其装设在病房排风口处,战时安装,平时拆除,保证排风风道内不会残留污染微生物,以免留有隐患。如因建筑结构等的限制,高效过滤器必须安装在排风机组内时,应将高效过滤器安装在排风机进风口前,防止病菌在风机中滋生。应使用能在被污染过滤器完全不接触外界的情况下进行更换的生物安全隔离型过滤器(袋进袋出

bag-in/bag-out),保证过滤器更换时维修人员及周围环境的安全。排风用高效空气过滤器应在安装后逐台检漏,检漏方法参照文献[5]的相关规定,用 DOP(或替代物 PAO)发尘,使用光度计或激光粒子计数器检漏;同时,应考虑高效过滤器满足消毒及安全更换的要求。

2.3 排风机必须选择离心式风机,否则会造成排风量不足

按照文献[6]的要求,负压隔离病房的排风必须经过高效过滤或消毒处理之后才能排放。一般在负压隔离病房排风口要预留加装高效过滤器的位置,以备战时使用。排风高效过滤器和其他消毒处理装置的阻力一般都很大,设计风道时要注意这点。目前很多负压病房都是改造而成,要在原有的吊顶上加装送、排风管路,会造成管道阻力过大,如仍按照一般管道阻力系数进行估算,就会对管道阻力估计不足,造成风量不足;并且由于医院施工时不按照洁净室的标准进行管道的打压等测试,管道或排风竖井等处渗漏情况较为严重,也会在很大程度上影响风量。很多设计者根据以往设计医院病房经验估算,选用简单的混流排风机,其特点是风量较大,静压头较小。建议使用较高静压的离心式风机,并加装变频控制,以保证排风量的要求。例如对于上述新建负压隔离病房(医院甲),将屋顶排风机采用的双速混流风机改为全压 1 600 Pa 的离心风机之后,再进行测试,各个负压隔离病房都能满足设计要求。

2.4 合理选择通风器排风扇

为了保证室内的排风量恒定,一般设计人员在设计中经常会选用机械排风扇作排风通风器。但是由于建筑施工等方面的原因,设计估算的漏风量往往会与实际值有较大的偏差,一旦出现这种情况,由于排风扇的风量不可调节就会使室内压力无法调节。采用简单的手动调节阀来控制各个末端排风口的风量,可以使系统具有一定的可调节性。另外,排风口的安装位置也很重要,有的医院如医院乙为了便于管道布置,将排风口安装在房间顶部。由于污染物一般悬浮于人们活动的房间下部,且排风口和送风口同时布置在顶部会造成气流短路,这种安装方式会严重影响污染物的排出,建议将排风口位置改到距地面 1 m 以内,以改善换气效果。

2.5 适当增加新风量,满足换气次数要求

由于负压病房都采用全新风直排式系统,换气次数由新风量决定。但很多改造的医院,如医院乙,由于受原有建筑楼层高度限制,无法新增新风系统,换气次数很小,不利于污染物浓度的控制。根据文献[2,7],建议将换气次数设定在 $12\sim 15\text{ h}^{-1}$ 范围内,至少也应在 10 h^{-1} 以上。

2.6 提高房间的气密性

从以往洁净室压力控制的经验中可知,房间的压差与房间的漏风量有很大关系,表3为笔者在以往洁净室测试中得到的不同类型的门在不同压力下的单位长度缝隙的漏风量数据。表4为文献[8]中的漏风量推荐值。从中可以看出,房间设施(如门窗)的密闭性能变化会直接影响房间的送、排风量和压差。由于经验不足,很多负压病房在建造过程中,经常不注意门窗等缝隙的密封,因病房里经常有大型设备,电线桥架及穿墙孔处会形成漏风,不仅影响房间压力控制,还会造成不同房间之间交叉污染。建议借鉴洁净室密封经验,对电线孔等处进行打胶密封,尽量选用带衬垫的滑动门,采用对开门时也要在门缝处加装密封条。

表3 单位长度缝隙漏风量测试数据 m^3/h

| | | 压差/Pa | | |
|-----|----|-------|------|-------|
| | | 5.0 | 10.0 | 15.0 |
| 自动门 | 正压 | 70.0 | 90.0 | 110.0 |
| | 负压 | 3.5 | 6.0 | 9.0 |
| 对开门 | | 28.5 | 37.0 | 46.5 |
| 单开门 | | 3.5 | 5.5 | 8.5 |

表4 《洁净厂房设计规范》推荐的单位长度缝隙漏风量数据 m^3/h

| | | 压差/Pa | | |
|------|--|-------|------|------|
| | | 5.0 | 10.0 | 15.0 |
| 非密闭门 | | 17 | 24 | 30 |
| 密闭门 | | 4 | 6 | 8 |

(上接第100页)

一体化的解决方法,并且在AutoCAD环境下采用Visual Basic进行了尝试。由于时间的限制,软件的部分功能还有待开发和完善,离实用软件还有相当长的路要走,在此抛砖引玉,请读者指导。

参考文献

- [1] 殷平. 多分支风道系统静压复得计算方法的新算法[J]. 暖通空调, 2001, 31(2)
- [2] 王汉青, 黄春华. 空调风管计算与绘图一体化软件的开发[J]. 暖通空调, 1999, 29(2)

2.7 注意门窗的开启方式

对于负压病房,参照文献[9]中的要求,门的开启方向应为从负压朝向正压,避免由于开关门窗造成的交叉污染。

3 结语

我国的负压隔离病房建设还处于起步阶段,但当年的SARS和如今禽流感的来袭已经给我们敲响了警钟,国家应尽快发布相关设计和改造的标准,对负压隔离病房的空调系统设计进行严格规范。希望本文中所提出的问题能够起到抛砖引玉的作用,促进负压隔离病房技术的进一步发展。

参考文献

- [1] 中华人民共和国卫生部办公厅, 建设部办公厅. 收治传染性非典型肺炎患者医院建筑设计要则[R], 2003
- [2] CDC. Guidelines for preventing the transmission of mycobacterium tuberculosis in health care facilities [R]. Morbidity and Mortality Weekly Report, 1994, 43, No RR-13, <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/00035909.htm>
- [3] 台湾区冷冻空调工程同业公会. 呼吸道传染病隔离病房空调系统设置指针[R], 2003
- [4] 杨可, 刘俊杰, 朱能, 等. 负压隔离病房空调系统设计与节能[J]. 煤气与热力, 2005, 25(2): 48-51
- [5] Institute of Environmental Sciences and Technology. IEST-RP-CC034. 2 HEPA and ULPA filter leak tests [S], 2005
- [6] 中华人民共和国卫生部. 医院预防与控制传染性非典型肺炎(SARS)医院感染的技术指南[R], 2003
- [7] Australia Standing Committee on Infection Control Department of Human Services. Guidelines for the classification and design of isolation rooms in health care facilities [R], 1999
- [8] 电子工程设计院. GB 50073—2001 洁净厂房设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2001
- [9] Brian W. Room pressure for critical environmental [J]. ASHRAE Journal, 2003, 45(2)

- [3] 郭平平, 梁帆. AutoLISP R13 & DCL从入门到精通[M]. 北京: 科学出版社, 1997
- [4] 苏鸿根, 魏竞武, 刘海滨. 怎样使用AutoCAD R12[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994
- [5] 莫勒 H H. 数据结构与程序设计技术[M]. 孙永强, 张然, 译. 北京: 科学出版社, 1984
- [6] 程海峰, 沈致和. 空调管网的图论模型[J]. 安徽建筑, 1998(5)
- [7] 吕政. 三叉树在空调风管设计中的计算机应用[J]. 制冷与空调, 2004(1)