

超低阻高中效过滤器在健康快车通风空调系统改造中的应用*

中国建筑科学研究院 张益昭[☆] 曹国庆 梁 磊 潘红红
卫生部国际交流与合作中心 郑 岩
南车四方车辆有限公司 姜 炯

摘要 通过健康快车空调系统的改造实践,提出了空调系统中空气生物污染的一种控制方法,给出了超低阻高中效过滤器的性能参数及其在健康快车通风空调系统中的应用效果。

关键词 健康快车 通风空调系统 手术室 超低阻高中效空气过滤器

Application of high efficiency filters with ultra-low resistance to retrofit of HVAC systems for Lifeline Express

By Zhang Yizhao[★], Cao guoqing, Liang Lei, Pan Honghong, Zheng Yan and Jiang Jiong

Abstract Regarding retrofit of the HVAC system for the Lifeline Express, puts forward a method for controlling microbial contamination in the air conditioning system. Presents performance parameters of the filters and their application effect in HVAC systems for Lifeline Express.

Keywords Lifeline Express, ventilation and air conditioning system, operating room, high efficiency filter with ultra-low resistance

★ China Academy of Building Research, Beijing, China

①

0 引言

在 1997 年香港回归之际,为表达对内地人民的情谊,香港人民捐资赠送给内地普通百姓一份特殊的礼物——一列专门治疗白内障的眼科火车医院,这是第一列健康快车。由于健康快车驶往的地区既有风沙较大的地区,又有污染较严重的地区,因此对车上手术室的空调系统提出了很高要求。但由于缺乏建造列车手术室的经验,且受列车空调机组不能任选、车内空间平面布置及空调系统设计不尽合理等因素的限制,在实际运行中发现车厢内各项空调净化参数指标均无法满足使用要求。

中国建筑科学研究院在“十一五”国家科技支撑计划项目资助下,成立了“建筑室内生物污染控制与改善关键技术研究”课题组,对不同功能建筑室内生物污染综合治理技术进行了深入研究,给出了一般空调系统室内生物污染控制的治本措施^[1-2]。受卫

生部相关部门委托,在中国医院协会建筑系统分会的支持下,课题组与卫生部国际交流与合作中心、南车四方车辆有限公司一道以健康快车手术室为示范工程建设试点之一,对健康快车手术车厢内的房间布局及通风空调系统进行了重新设计和改造。

由于改造时对手术室空调气流组织进行了优化,并以许钟麟研究员的专利产品超低阻高中效空气过滤器作为车厢空调系统的送风末端,使得换气次数明显增加,送风风速及温湿度分布均匀,手术室对邻近房间及室外均为正压,显著降低了室内含尘浓度。改造后的健康快车现已在多个地区使用,车上的工作人员对改造后的工作环境非常满意,车厢内的洁净度基本为 10 万级,在新疆喀什等风沙较大的地区,室内洁净度也能达到 30 万级。

* 国家“十一五”科技支撑计划课题:建筑室内生物污染控制与改善关键技术研究(编号:2006BAJ02A10)

①☆ 张益昭,女,1951 年 10 月生,大学,教授级高工
100013 北京市北三环东路 30 号建研院空调所
(010) 64517663
E-mail:cgq2000@126.com
收稿日期:2009-02-16

本文旨在通过健康快车示范工程建设,向业内介绍一种简单有效控制室内生物污染的方法及配套的超低阻高中效空气过滤器。这种方法由于不需更换空调设备,操作简单,适用于医院及其他公共建筑空调系统,以减少室内生物污染和空气交叉感染。

1 原通风空调系统及存在的问题

由于健康快车停靠之处空气环境差异很大,有时停靠在青山绿水之间,更多的时候停靠在自然环境较差(天气热、风沙大、卫生状况不好等)的地区。原手术车空调系统送风口只平铺安装了粗效滤布,由于过滤面积太小,送风阻力较大。每间手术室内只有两个回风口,总回风口在车厢一端的顶棚上,各功能房间回风不畅,特别是手术室,回风阻力大;而设有总回风口的检查室,由于送回风的阻力都最小,送回风量都大于设计值。所以其结果是各功能间风量和冷量分配严重失调。这种状况使得手术室医护人员感到温度高、憋气。实测发现设计风量为 $1\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 的手术室,实际只有 $500\text{ m}^3/\text{h}$,含尘浓度与室外相近,甚至高于室外;而检查室温度低且有吹风感,舒适性较差,夏季空调运行时,当手术室温度达到 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时,检查室只有 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2 改造方案

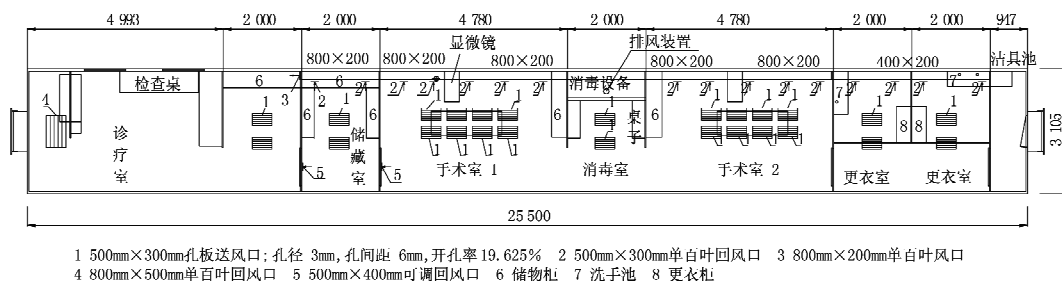


图 1 手术车厢功能间布局及送回风口布置平面图

2.2 通风空调系统改造

通风空调系统改造,首先要理清风路,就是让各功能间的送、回风管阻力平衡,关键是保障手术室。由于手术室的净宽度与一般客车相同,只有 $2\,760\text{ mm}$,原来的空调方案就是因为怕影响车厢净宽度引起使用不便,从而没有设均匀回风管道。改造方案为达到回风畅通的目的,同时尽量节省空间,经与车长和医护人员商量,去掉了车厢一侧用途很少的电暖气,增加了可利用宽度,在离手术台较近的一侧设置了回风总管(管厚 200 mm ,高度 800 mm),从外观上看像一个小平台,做手术时可以在上面摆放一些东西,同时保证了回风较均匀。

受卫生部相关部门委托,笔者首先对手术车厢的空调系统进行了实地考察和现场测试,以确定系统运行现状和各项运行参数,同时与车辆改造单位的工程师共同探讨了可行性方案。给出的改造方案如下:首先,按照手术室工作流程完善平面布置;第二,重新设计空调送回风系统,使各功能间温湿度满足舒适要求;第三,在不能更换空调机型号的限制下加强污染控制,尽量使室内含尘浓度和菌浓接近普通手术室标准要求(按待批的国家标准《综合医院设计规范》(以下简称《设计规范》)规定,普通空调系统回风口应有“初阻力低于 50 Pa 、微生物一次通过率和尘粒一次计重通过率均不大于 10% 的过滤器”),又能接近洁净手术室的要求(按《设计规范》报批稿,Ⅳ级洁净用房的送风末端可设高中效过滤器),超低阻高中效过滤器符合这些要求。

2.1 手术车厢功能间平面布局优化

原手术车厢各功能间平面布局不是很合理,医护人员工作路线复杂。借鉴《医院洁净手术部建筑技术规范》(GB 50333—2002)^[3](以下简称《技术规范》)有关条款,按照手术室工作流程完善了平面布局,优化后的平面布局如图 1 所示。

总回风道贯穿整个车厢,在检查室开口。检查室对空气洁净程度要求不高,因此不送风,而作为整个系统的总回风道。在每间手术室开 5 个 $500\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ 的回风口,分别在更衣间、消毒室、储藏室各设 2 个回风口,为保证均匀回风,回风速度按小于 0.5 m/s 计算。为了更好地调节手术室的压力,在手术室门下部安装了可调回风口。

对于手术室,保证手术区有一定的洁净度和适宜的温湿度是至关重要的。《技术规范》要求眼科洁净手术室为一级手术室,健康快车上的手术室当初设计时并未提出洁净手术室的要求,而且即使提出这种要求,也是难以实现的,又因非内眼手术的

白内障手术切口小、不复杂、时间短,可以参照《设计规范》报批稿的要求。要达到这一要求,送风必须经过较好的过滤。为此去掉了原来空调系统风口上阻力大、效率低的平板粗效过滤器,按照室内 30 万级洁净度水平计算,选用了一种超低阻高中效过滤器。每间手术室设置 8 个 500 mm×300 mm 的送风口,超低阻高中效过滤器不用螺杆螺栓就可安装在送风口上。为避免医护人员有吹风感,控制送风口风速小于 0.4 m/s,送风口面积增大,降低了过滤器阻力。为了避免消毒室内消毒器散发的热气影响手术室,将消毒器所在空间进行封闭,并在封闭空间内设置排风,使其两面手术室的气流流向消毒间。改造后的手术车厢空调系统送、回风口平面布置如图 1 所示。

2.3 超低阻高中效过滤器

在送风系统中使用低阻、高效率的空气过滤器,是手术室实现所需洁净度的关键。一般而言,效率较高的过滤器运行阻力较大,影响其在空调系统中的应用。一般空调通风系统的改造,由于空调机组所能提供的机外余压往往不易提高,故增加高效率的过滤器困难较大。为了减少室内空气污染,国内外研制了各种空气净化器,大多数产品在不同的应用场合各有一定的效果,但其效果的稳定性和是否对人体完全无副作用等问题还有待认定。特别是对于易感人群集中的医疗环境,使用哪种设备安全可靠还需要推敲,目前通过物理方法进行过滤仍是人们普遍认可的减少室内空气尘埃颗粒物及微生物污染的主流方法^[4-5]。如何使过滤器效率高、阻力小、安装方便,始终是需要研究改进的焦点问题。

由于列车空调机组不能改型,即送风系统压力不能提高,为保证送风量满足设计要求,在改造中选用了专利产品——I 型超低阻高中效过滤器,其

过滤效率如表 1 所示。

表 1 I 型超低阻高中效空气过滤器过滤效率

额定风量/ (m ³ /h)	过滤效率 η /%					
	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 0.7 \mu\text{m}$	$\geq 1.0 \mu\text{m}$	$\geq 2.0 \mu\text{m}$	$\geq 5.0 \mu\text{m}$
400	61.8	61.6	79.2	86.3	94.2	96.4

某 I 型超低阻高中效空气过滤器(500 mm×400 mm×60 mm)的阻力与风量关系曲线如图 2 所示,可以看出该过滤器的阻力与风量基本呈线性关系,风量为 700 m³/h 时,阻力不足 20 Pa,可广泛应用于一般通风空调系统。

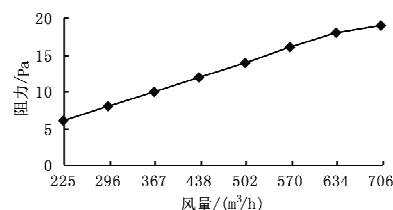


图 2 I 型超低阻高中效空气过滤器阻力-风量关系曲线

3 应用效果

对改造后的健康快车手术车箱内的手术室 1、2 的送风风速进行了测定,测试结果如表 2 所示。

表 2 手术室送风及新风风速、风量测定

	手术室 1	手术室 2
风口平均风速/(m/s)	0.43	0.40
风量/(m ³ /h)	1 870	1 742
设计送风量/(m ³ /h)	1 490	1 490

由表 2 可以看出,健康快车空调系统送风口加装超低阻高中效空气过滤器后,风口送风风速及风量并未减小,甚至大于设计风量。改造后的空调系统在实际运行中由于送、回风较均匀,保证了手术室内的温湿度。车厢空调系统维护人员证实了改造后手术车厢各功能间风量分配均匀合理,在车厢空调器低速运行的条件下,温湿度一般也能满足舒适要求。

另外,对健康快车手术车箱内的手术室 1 的室内含尘浓度进行了测定,测试结果如表 3 所示。

表 3 手术室 1 的含尘浓度测试结果及与室外含尘浓度的对比

手术室 1 的含尘浓度/(粒/L)				30 万级含尘浓度上限/(粒/L)		室外含尘浓度/(粒/L)	
点平均最大值		室平均统计值					
$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 5.0 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 5.0 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 5.0 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 5.0 \mu\text{m}$
3 988.2	7.7	4 379.5	8.3	10 500	90	33 459.8	63.6

由表 3 可以看出,室内含尘浓度明显降低,远低于室外含尘浓度,室内空气洁净度达到 30 万级净化水平。系统改造调试结束后,使用方疾控中心做了细菌测定,测定结果合格。迄今,该超低阻高中效过滤器已在多列健康快车上使用。

改造后的健康快车在实际运行过程中,一年之内换了两批超低阻高中效空气过滤器,即在没有粗效过滤保护的条件下,健康快车上的超低阻高中效空气过滤器的使用寿命约为 4 个月。

(下转第 98 页)

非能量费用主要包括空调机组的成本折旧费和维修管理费。在目标函数中, C_1 和 C_2 为电焓的价格, 取为 0.6 元/(kWh)。设备使用年限为 20 年, 分摊因子 α_1 , α_2 均为 0.05。空调期取 4 个月, 年运行时间 2 880 h。计算结果见表 8。

表 8 不同工况和送风方案的焓价格 10^{-3} 元/kJ

	$t_1/t_2/^\circ\text{C}$			
	10/5	12/7	14/9	16/11
方案 1	3.386	3.176	3.018	2.957
方案 2	3.405	3.218	3.077	2.992
方案 3	3.467	3.303	3.185	3.111
方案 4	5.690	5.450	5.272	5.150
方案 5	9.520	9.224	9.006	8.860

由计算结果可以看出, 在保证进出口温差为 5 $^\circ\text{C}$ 的情况下, 焓价格随着冷水进出口平均温度的升高而下降, 但下降的趋势逐渐减缓。因此, 通过提高冷水进出口平均温度的方法来提高整个系统的经济性收效越来越不明显, 而且必然导致冷却器面积增加、体积增加, 受安装空间的限制。在全空气系统的 5 种方案中, 一次回风机器露点送风方式和二次回风送风方式的焓价格相差不大, 但前者略低于后者。一次回风电再热的送风方式的焓价格远远高于一次回风机器露点送风和二次回风方式, 应尽量避免采用一次回风电再热方案。一次回风电再热方案的焓价格随送风温差的增加而降低, 在采用一次回风电再热送风方式的情况下, 应尽量采用大温差送风方式。二次回风方式随送风温差的增加, 焓价格下降, 应尽量采用大温差送风。在 5 种送风方案中, 机器露点送风方案从焓价格来看最优。

4 结论

(上接第 67 页)

目前新型号健康快车手术室正在设计试验, 将采用效率更高的 II 型超低阻高中效过滤器。

4 结语

在易感人群集中的医院和污染较严重的公共场所等处, 如何减少灰尘和微生物所带来的公共卫生问题, 是 SARS 以后一直亟待解决的问题。本文所尝试的在一般空调系统中使用超低阻高中效过滤器的方法和适用于列车的送、回风方式, 是一种简单有效、改造成本低廉的好方法, 在健康快车上应用时收到了较好的效果。空调机组机外余压条件允许时, 在空调系统回风口设置此类超低阻高中效过滤器, 可减少回风对风道的污染及可能产生

4.1 压缩式制冷系统的焓效率随蒸发温度的升高和冷凝温度的降低而增大。在相同的冷凝温度下, 最小允许温差为 5 $^\circ\text{C}$ 时焓效率最高, 而且焓效率在冷水进出口温度为 12 $^\circ\text{C}$ /7 $^\circ\text{C}$ 时达到峰值。保持冷水进出口温差不变时, 焓效率随其平均温度的升高而降低。

4.2 全空气空调系统中, 一次回风电再热方式的焓效率最低, 一次回风机器露点送风方式焓效率最高, 略高于二次回风方式。大温差送风方式焓效率高于小温差送风。提高冷水平均温度时, 空调系统的焓效率提高。

4.3 制冷和空调两个系统通过冷水互相联系, 其焓效率互相制约, 应利用热经济法综合考虑, 才能得到最佳的设计和运行工况。

参考文献:

- [1] 沈浩, 李念平. 商场空调能耗系统评价与节能研究[J]. 制冷空调与电力机械, 2005, 25(2): 31-33
- [2] 杨爽言, 李芳芹, 曹叔维. 焓经济系数在制冷方案选择中的应用[J]. 制冷技术, 2004(4): 16-17
- [3] Tozer R, Valero A, Lozano M A. Thermoeconomic applied to HVAC systems[G]// ASHRAE Trans, 1999, 105(1): 1247-1255
- [4] Ferrer M A, Lozano M A, Tozer R. Thermoeconomics applied to air-conditioning systems[G]// ASHRAE Trans, 2001, 107(1): 638-643
- [5] 岳孝方, 陈汝东. 制冷技术与应用[M]. 上海: 同济大学出版社, 1992
- [6] 王加旋. 动力工程热经济学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995
- [7] 程伟良, 黄其励, 杨勇平. 基于热经济学的空调系统建模[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(13): 94-97

的交叉污染。

参考文献:

- [1] 许钟麟. 集中空调净化系统风道污染的治本方向[J]. 洁净科技(台湾), 2007, 18
- [2] 潘红红, 许钟麟. 集中空调系统风道污染的治理[J]. 洁净与空调技术, 2007(4): 42-44
- [3] 中国卫生经济学会医疗卫生建筑专业委员会. GB 50333-2002 医院洁净手术部建筑技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2002
- [4] 许钟麟, 张益昭, 曹国庆, 等. 公共场所集中空调通风系统卫生达标措施的探讨[J]. 医用工程, 2008(5): 26-31
- [5] 曹国庆, 张益昭. 室内生物污染控制技术研究: 通风与空气过滤[J]. 土木建筑与环境工程(原重庆建筑大学学报), 2009(1)