

大型综合医院建筑暖通空调系统设计中的一些问题

天津市建筑设计院 伍小亭[☆]

摘要 分析了大型综合医院的建筑与功能特点,认为医院 HVAC 系统是医疗的一个环节,是提高疗效的手段,所以医院 HVAC 系统设计应有别于舒适性空调。从设计标准把握与系统设计理念两方面总结了存在的问题,并提出了建议与措施,指出 HVAC 系统是污染源。

关键词 综合医院建筑 HVAC 易感人群 舒适性空调 新风量

Problems in HVAC design for large general hospital buildings

By Wu Xiaoting[★]

Abstract Analyses the characteristics of building and function of large general hospitals. Considers that HVAC system is a link of health care and a measure of improving curative effect, and the design of HVAC system for hospital building is different from that of ordinary comfort air conditioning system. Summarizes some problems from understanding and implementation of design standard and system design idea, provides some suggestions and measures, and points out that HVAC system is a pollutant source.

Keywords general hospital building, HVAC, susceptible population, comfort air conditioning, outdoor air volume

★ Tianjin Architecture Design Institute, Tianjin, China

①

0 引言

随着国家经济持续快速发展以及政府对民生问题的高度重视,我国的医院建设处在高速发展阶段,大型综合医院越来越多,单体规模动辄 5~6 万 m²,10 多万 m² 的规模也不鲜见。

大型综合医院建筑布局复杂,特殊功能科室多,无外围护结构的内部区域多;作为医疗场所,易感人群高度集中,多种病源并存。目前医院 HVAC 系统的设计除无菌环境区外,多数仍沿用了舒适性空调的设计理念,不能充分满足医院建筑的特殊性要求,出现了诸如:建筑热环境不佳,室内空气质量相对易感人员而言差,空调系统自生性污染源量大面广且难于消除等问题。这些问题应引起业内人士的重视,应从医疗建筑特点入手更新设计理念,创新系统形式,使 HVAC 系统实现控制污染、保障医疗、热环境舒适的目标。

1 综合医院的建筑与功能特点

大型综合医院建筑目的性极强、专业性极强,它既要满足医疗工艺的合理性以保障各部分在管

理体系下正常运行,又应为作为易感人群的病人及处于高度紧张状态的医护人员提供一个舒适、温馨的就医与工作环境,具体体现为如下特点:

- 1) 单体建筑涵盖一所医院的几乎全部功能,内部布局非常复杂,常形成大面积建筑内区,多数房间无法实现自然通风。
- 2) 有严格的空间秩序和功能要求,空间连通性强,房间数量庞大且多为小房间。
- 3) 科室众多且不同的科室对设备和环境的要求差异大,像手术部、CT 室、MR 室、ICU 病房、中心供应室等。
- 4) 医疗设备、医疗支持系统、建筑机电系统庞杂分散,安装空间局促。
- 5) 连续性运转,一天 24 h 就诊不能间断,需

①☆ 伍小亭,男,1958 年 3 月生,大学,教授级高级工程师
300074 天津市河西区气象台路 95 号
(022) 23543481
E-mail: surenwu@163.com
收稿日期:2009-03-03
修回日期:2009-03-12

要全方位、全天候地为病人提供服务。

6) 易感人员高度集中、多种病源并存,病人对环境比健康人敏感,这种敏感同时体现在生理上和心理上。因此,医院建筑需要考虑病患对环境的感觉、经验和评价。

综合医院建筑的以上特点决定了其 HVAC 系统的设计不同于其他公共建筑,否则无法实现控制污染、保障医疗、热环境舒适的目标。

2 综合医院 HVAC 系统的设计问题与对策

2.1 设计标准把握不当,不能完全适应医院特点

1) 新风量标准未充分考虑医院特点。我国目前的综合医院设计规范并没有给出除无菌环境控制区外其他区域的新风量标准,设计中只能参考舒适性空调新风量标准,随意性较大,有时甚至会刻意降低标准,减小风道尺寸以适应紧张的吊顶空间。应该引起注意的是,医院多数房间为封闭的空调空间,采用舒适性空调新风量标准会造成空气细菌浓度相对易感人群而言过高。为此,在确定新风量标准时应充分考虑到空调服务对象为易感人群、医院的污染源多且复杂、封闭的空调空间利于细菌繁殖,通风是保证医院室内空气质量最有效的方法。

结合 ASHRAE 相关标准的规定与设计经验,建议除无菌环境控制区外其他区域的新风量标准当规范无明确规定时宜为 $30 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$,最低不小于 $25 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$ 。另外值得注意的是,近年来关注普通病房的通风,ASHRAE 62 标准规定每位病人新风量至少 $13 \text{ L/s}(46.8 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h}))$,同时应考虑陪护及医护人员的新风需要。

2) 室内设计温、湿度确定的目的性与针对性不强。对于舒适性空调,室内温、湿度只影响热环境的舒适性;对于医院空调,则应被视为医疗工艺的一个环节,体现为治疗需要、提高疗效、降低感染,最后才是热环境舒适。

适宜的室内温、湿度利于患者的新陈代谢,但有些疾病患者对空气温、湿度有特殊要求,像风湿病人需要较高的温度与较低的相对湿度($32^\circ\text{C}/35\%$)。合适的相对湿度也有助于抑制微生物生长,提高空气质量。原《综合医院建筑设计规范》(JGJ 49—88)对设计温湿度的规定较宽泛,没能引起设计师的重视,希望随着国家标准《综合医院建筑设计规范》(2004 征求意见稿)的实施,室内设计

温、湿度的选取能更有针对性地符合各类房间医疗工艺与控制污染的需要。相关设计规范未给出明确的室内设计温、湿度要求的房间可取:冬季室内设计温度 $20\sim 22^\circ\text{C}$,相对湿度 $30\%\sim 40\%$;夏季室内设计温度 $25\sim 27^\circ\text{C}$,相对湿度 $45\%\sim 55\%$ 。表 1 为不同疾病患者对室内空气温湿度的要求^[5]。

表 1 不同疾病患者对室内空气温湿度的要求

患者类型	室内空气热湿环境
一般及呼吸道急性病	相对湿度 $30\%\sim 60\%$
慢性肺病	暖湿
需吸氧的病人	暖湿
心脏病	相对低温
头部受伤病人	相对低温干燥
风湿痛病	温度 32°C ,相对湿度 35%
烧伤	温度 32°C ,相对湿度 95%

3) 人员密度取值往往偏小。人员密度值是空调设计非常重要的基础数据之一,对空调末端容量与室内通风量的影响很大,但对空调系统总负荷的影响相对较小。迄今国内对综合医院内部各部位人员密度的研究很少,设计师通常只能根据预计日门诊量以及与医院管理部门的沟通确定人员密度取值。调查发现医院某些部位的实际人员密度值远高于设计预设值,特别是急诊室、急诊观察室、候诊室、门诊区没被划定为候诊区的走廊等。在同等门诊量的医院中又以儿童医院的实际人员密度最大,天津儿童医院建成之初有一个约 400 m^2 、专供儿童嬉戏的四季厅,后来不得不改为候诊室,即便如此,每年秋冬、冬春之交仍然人满为患,体现在空调系统上就是原有末端能力不够,通风量不足,空气污浊。

为此建议:首先,设计师应树立人员密度取值“就高不就低”的观念,因为较高的取值虽然会使系统投资增加,但更利于保证室内环境,控制院内感染;其次,取值必须建立在对拟建医院功能特点、坐落区域、辐射范围等的深入了解以及与医院运行管理方充分沟通的基础之上,切忌以不变应万变。

以下经验数据供参考:

① 普通诊室,当班医生数 $\times 2.5 \text{ 人}/\text{m}^2$ (儿科, $\times 3.5 \text{ 人}/\text{m}^2$);急诊诊室,当班医生数 $\times 3.0 \text{ 人}/\text{m}^2$ 。

② 候诊区, $1.25 \text{ 人}/\text{m}^2$;儿童医院候诊区, $2.0 \text{ 人}/\text{m}^2$ 。

③ 输液室、观察室, $1.5 \text{ 人}/\text{m}^2$;儿科输液室、观察室, $2.0 \text{ 人}/\text{m}^2$ 。

④ 门诊区不作为候诊功能的走廊, $1.0 \text{ 人}/\text{m}^2$ 。

⑤ MRI, CT 等医技检查的控制室, 当班医生数 $\times 3.0$ 人/ m^2 (考虑实习与观摩人数)。

表 2 给出了医院各区域的通风换气量建议值^[5]。

表 2 医院各区域的通风换气量建议值

区 域	相对于邻近 区域的压力	最小新风换气 次数/h ⁻¹	最小送风换气 次数/h ⁻¹	全新风 换气
手术室(全新风系统)	正压	15	15	要求
手术室(全回风循环 系统)	正压	5	25	选项
产房(全新风系统)	正压	15	15	选项
产房(全回风循环 系统)	正压	5	25	选项
恢复室	同压	2	6	选项
婴儿室	正压	5	12	选项
外伤科治疗室	正压	5	12	选项
麻醉剂仓库	负压		8	要求
护理部				
普通病房	负压	2	4	选项
厕所	负压		10	要求
加护病房	正压	2	6	选项
保护隔离病房	正压	2	15	要求
传染隔离病房	负压	2	6	要求
隔离病房接待室	负压	2	10	要求
分娩/生产/恢复/ 产后(LDRP)	同压	2	4	选项
走廊	同压	2	4	选项
其他				
X-光(外科及急症)	正压	3	15	选项
X-光(诊断及治疗)	负压	2	6	选项
实验室, 种原区	正压	2	4	选项
组织移植	负压	2	12	要求
非冷藏遗体保存 (福尔马林)	负压		10	要求
配药区	正压	2	4	选项
行政区				
入口及等候区	负压	2	6	要求
诊断及治疗区				
支气管、唾液检体室	负压	2	10	要求
检查室	负压	2	6	选项
药物治疗室	正压	2	4	选项
普通治疗室	负压	2	6	选项
物理治疗及水疗室	负压	2	6	选项
污染工作区及储存区	负压	2	10	要求
清洁工作区及储存区	正压	2	4	选项

2.2 HVAC 系统设计不当, 与医院特点不适应

1) 空调系统未按冷、热负荷特征划分, 造成内区等全年有内热冷负荷的区域冬季过热。在冬季需供暖地区, 近几年兴建的综合医院建筑的内区及部分医技用房往往表现为供暖季室内温度过高, 空气干燥污浊, 患者与医护人员均感觉不舒适。笔者曾接触一案例, 其冬季内区房间的平均温度为 25℃以上, 个别房间甚至到了 28℃, 而相对湿度仅

15%左右, 医患对热环境反映强烈。

产生以上现象的原因很简单, 医院建筑的许多区域全年存在内热冷负荷, 冬季同样需要供冷, 但此特点常被忽视, 往往是一个空调系统既负担有内热冷负荷的区域又负担有热负荷需求的区域, 结果冬季有热负荷需求的区域必须供热, 并联在同一个系统上的内热冷负荷区域无冷可供, 必然过热。其实解决此问题并不复杂, 关键是在设计阶段对此应有足够重视与分析。以下为通常采用的解决方案。

① 适宜采用风机盘管加新风系统的区域: 空调水系统采用分区双管制或四管制, 并推荐采用分区双管制, 不应采用双管制; 空调水系统仍采用双管制, 但应独立设置服务内热冷负荷区域的变风量新风系统, 该新风系统冬季大风量运行, 实现焓差供冷, 夏季按保证健康需要的最小新风量运行, 此方式的缺点是, 冬季室外空气含湿量低的地区加湿能耗大, 干燥地区不推荐采用。

② 适宜采用全空气系统的区域: 避免一个风系统同时服务于有与没有内热冷负荷的区域; 非净化空调系统冬季可采用增大新风比的方法实现焓差供冷, 但干燥地区不推荐采用, 因为加湿能耗大; 净化空调系统宜采用表冷器换热供冷, 因为利用新风供冷会使空气过滤器频繁更换, 运行费用与管理难度增加。

2) 空调系统自生性污染是医院空气质量对易感人群而言较差的重要原因。现代综合医院建筑的多数空间为无法实现自然通风的封闭空调空间, 其室内空气质量除无菌环境区外, 普遍较差。而室内空气质量不好是造成院内感染的主要原因。

逢冰洁于 2005—2006 年针对北方医院的空气污染与消毒控制进行了研究, 以国家标准《医院消毒卫生标准》(GB 15928—1995) 中环境Ⅲ类区域允许空气细菌总数 ≤ 500 cfu/ m^3 为评价依据, 对黑龙江省 6 所医院进行了检测, 在总计 896 个检测样本中, 合格率为 11.6%, 其中 241 个样本超标达 20 倍之多^[4]。国家标准《公共场所卫生标准》(GB 9663—1996/GB 16153—1996) 规定的空气细菌总数范围为 1 000~7 000 cfu/ m^3 。两标准对空气细菌总数的规定有差异表明, 尽管空气中较高的细菌浓度对健康人群无碍, 不会因弱致病菌引起感染, 但对易感人群由于其免疫力低下, 舒适空调环境可接受的空气细菌浓度也会引起感染。

综合医院室内空气质量差的主要原因是通风不足与空调系统严重的自生性污染,后者并未引起足够重视。虽然我们知道,保证室内空气质量的最佳方式是自然通风,因为在清洁的室外空气中致病细菌很少,但医院的某些区域因环境控制需要不允许自然通风,另一些区域则由于建筑条件限制或出于控制能耗需要不能实现自然通风。所以,医院多数区域是按舒适性空调的新风量标准引入室外空气,与自然通风量相比远不足以稀释室内空气细菌浓度。因此,只能寄希望于通过空调循环风实现对易感人群而言良好的室内空气质量。而实际情况却是,通常被作为室内环境控制最有效手段的空调系统(除净化空调系统外)对控制温、湿度的作用是正面的,但对控制污染的作用基本上是负面的,因为空调系统存在太多的本体污染源,其表冷器、集水盘、加湿器、空气过滤器及风道等均为藏污纳垢的场所,加之空调系统提供了极其适宜微生物生长的温湿度环境,使在大气中很少存在的致病菌,如绿脓杆菌、金黄色葡萄球菌(MRSA)、军团菌等,在医院空调环境中存活繁殖。于是,空调循环风不仅没能作为清洁空气稀释室内空气细菌浓度,反而成为室内空气污染的重要来源。因此,只有将空调系统视为污染源而采取相应技术措施,空调循环风才能起到稀释空气细菌浓度、提高医院室内空气质量的作用。以下技术措施有助于减少空调系统自生性污染的产生与传播:

① 采用温、湿度独立控制空调系统,使风机盘管加新风系统的风机盘管干工况运行,因为湿工况运行的风机盘管的盘管与接水盘是医院数量最多、最难于管理的污染源。

② 采用卫生型空气处理设备(AHU,PAU),使空气集中处理系统的污染从源头得到控制,因为卫生型空气处理设备能最大限度控制其内部微生物的滋生与聚集。

③ 空气处理设备只适合采用干蒸汽、电极式或高压微雾加湿器,不能采用湿膜与超生波加湿器。

④ 静电除尘器、紫外线杀菌灯、TiO₂光催化等空气净化消毒装置不能替代传统空气过滤器,迄今为止传统空气过滤器被证明是最有效、最可靠的空气净化设备,因为在生物粒子尺度上其能使通过空气的粒子浓度趋近于零。

⑤ 非无菌控制环境空调系统的 AHU,PAU

需设不少于两级的空气过滤器,其粗效级过滤效率不应低于 G5,中效或亚高效级过滤效率不应低于 F9,根据 ASHRAE 52.1 标准,对粒径 $\leq 1 \mu\text{m}$ 的灰尘过滤效率为 90%~95%的中效过滤器可以拦截 99.9%的细菌。

⑥ 送、回风管道系统应尽量简单,减少管件阀门,并应采用不易积尘、易于清洗的金属材质风管。

⑦ 风机盘管不应采用吊顶回风,应采用回风箱回风,回风口设方便拆卸清洗的低阻抗菌过滤器。

3) 多种原因造成通风量不足、通风效率偏低,体现为新风量标准低,人员实际数量大于设计数量,新风输送系统不平衡,末端风量调节装置调节性差,忽略排风、送回风/送排风“短路”等。因此,空调与通风设计必须重视以下问题,以保证医院室内空气质量:

① 不能用舒适性空调观点对待设计新风量,更不能以节能为理由降低设计新风量取值,因为良好的通风是医疗工艺的一个环节与医疗效果的保障。

② 医院空调风系统往往输送距离长、管系复杂、风口数量多但每个风口的风量小,很难做到设计平衡,需依赖现场调试。实践表明,有上述特点的复杂管系几乎不可能靠手动风量调节阀实现风系统平衡,因为手动阀,特别是规格较小时,调节性能较差。自力式定风量阀是实现风系统平衡的理想装置,而平衡的风系统才能保证各区域各房间的设计风量。

③ 必须设有相应的排风系统,房间内单靠新风稀释及微弱的正压很难使污染物从门缝等建筑物缝隙排出。对于病房必须保证 24 h 排风,对于公共卫生间等易产生气味的场所,其排风量对应的换气次数不应小于 15 h⁻¹。

④ 进入呼吸区的新风与送入室内的新风之比为通风效率,通风效率的高低与气流组织及送风状态(送冷风还是送热风)密切相关,如:气流组织为上送上回/排且送热风时,通风效率只有 0.8。

设计中往往对通风效率重视不够,表现为送回风/排风口距离过近、回风口风速高、送回风/排风口位置不合理导致室内气流涡流区大。应该说只要重视此问题很容易解决,关键是必须建立通风效率概念,并据此指导室内气流组织设计。

4) 宏观气流组织不当产生空气途径交叉污染。这里所谓的宏观气流组织的含义是:将单体的

医院建筑作为整体,其各部位间的空气流动方向及建筑物进、排风口间的关系。正确的宏观气流组织表现为:区域间空气总是由洁净区流向污染区(表 3 给出了医院中区域洁净度等级区分);建筑物所有对环境的排风口总是位于所有进风口的上方并保持一定的垂直距离。保证宏观气流组织合理只需做到:

① 重视建筑内部各区域间基于压力梯度的通风量平衡计算,至少在设计上保证预设的区域间气流流向。通风量平衡计算很简单,关键是必须重视。

② 不同区域空调风系统应独立,并应尽量避免走廊回风。

③ 医院的任何排风都是污染源,与医疗及研究有关的所有排风都应集中至建筑物最高点排放,并应采取措施防止排风回流进新风口。

表 3 医院中区域洁净度等级区分

洁净度	区域	科室
I	高度洁净区	单向流 BCR 手术室、单向流 BCR 病房、骨髓移植中心
II	洁净区 A	手术室、急诊手术室、准备室、洁净走廊、洗手室、烧烫伤加护病房、无菌制剂室、无菌仓库
III	洁净区 B	早产儿病房、手术恢复室、手术更衣室、加护病房、产房、特殊检查室、医材仓库
IV	准洁净区	病房、诊疗室、治疗室、调剂室、一般检查室、水疗室、物理治疗室、X 光检查室、待诊室
V	一般区域	办公室、会议室、厨房、餐厅、药房、研究室(无实验设备)、洗涤室
VI	污染扩散防止区	微生物检查室、感染隔离病房、解剖室、污染物处理室
VII	污染区	一般厕所、器具洗涤室、医疗废弃物处理室

5) 系统设计时对日常清洁消毒操作考虑不周。作为污染源的空调系统必须定期清洁消毒,系统设计时如对此没有充分考虑,会使空调系统成为医院环境控制的难点。设计者应使空调系统具备以下利于日常清洁消毒操作的条件:

① 所有空气处理设备除风机盘管外均应安装在设备用房内,实践表明安装在吊顶内的空气处理设备往往很难进行日常清洁消毒操作。

② 所有空气处理设备的安装必须留有更换空气过滤器以及对其内部进行清洁消毒操作的空间。

③ 空调风系统应留有便于风管清洗与熏蒸消毒操作的检修孔及密闭阀等。

3 结语

医院 HVAC 系统与舒适性空调系统的最大区别在于,它服务的是易感人群,是医疗的一个环节,是提高疗效的手段。由于医院是各种病源密集场所,不当的 HVAC 系统设计会造成或加重院内感染,甚至 HVAC 系统本身就已成为污染源,也会产生不能很好保证室内热环境的问题,如内区过热。有感于此,笔者将一些肤浅的设计体会与同行分享。

参考文献:

- [1] 沈晋明. 医院建筑特点与节能[J]. 暖通空调, 2007, 37(8): 72-78
- [2] 沈晋明. 医院建筑空调设计[M]//殷平. 空调设计. 长沙:湖南科学技术出版社, 1997
- [3] 李秀琴. 廊坊市人民医院空气质量监测结果分析[J]. 预防医学情报, 2008, 24(9)
- [4] 逢冰洁. 北方冬季医院空气质量评价与控制对策[J]. 中国医院管理, 2006, 26(7)
- [5] ASHRAE. ASHRAE handbook, HVAC applications, health care facilities[M]. ASHRAE, 1999
- [6] ANSI/ASHRAE standard 52. 1-1992 Gravimetric and dust-spot procedures for testing air-cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter[S]. ASHRAE, 1992
- [7] ASHRAE 62-1999 Ventilation for acceptable indoor air quality[S]. ASHRAE, 1999

• 简讯 •

中国-欧盟可再生能源建筑供热与制冷国际研讨会在杭州召开

2009 年 2 月 18~19 日中国可再生能源学会太阳能建筑专业委员会和浙江省能源研究所在杭州联合举办“中国-欧盟可再生能源建筑供热与制冷国际研讨会”。本次会议得到了欧盟能源交通总司、中国住房和城乡建设部、科技部等部门的支持,出席会议的有中国、法国、德国、英国、意大利、希腊、西班牙等国家可再生能源和建筑节能专家以及相关企业的代表。会议分为政策解读与国际合作、建筑能源技术两大专题进行研讨,介绍了中国和欧洲可再生能源供热制冷及建筑节能技术的发展动态、

高效节能的技术产品等,欧洲低能耗制冷的建筑、地源热泵应用、太阳能除湿、空调和供热技术和上海世博园建设的可再生能源利用等报告引起了与会人员的极大兴趣。会后国家住宅与居住环境工程技术研究中心仲继寿主任作了总结发言。通过中国和欧洲与会代表的广泛交流,大家反映收获很大,为寻求中欧双方更多的合作机会搭建了平台,会议还安排了杭州乐园水源热泵工程以及浙江太阳能热水器企业的参观。

(本刊特约通讯员 吴廷鹏)