

医疗建筑暖通空调系统的防疫性设计与室内空气质量优化

马绍慧

中土大地国际建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 医疗建筑作为人员密集且多为病患的特殊场所, 其室内环境参数(如空气质量、温度、湿度等)需满足严苛的卫生标准。由于患者免疫力较低, 空气中的微小污染物(如细菌、病毒气溶胶等)可能加剧病情或引发交叉感染, 因此其环境控制要求显著高于普通公共建筑。同时, 医疗建筑内不同功能区域(如病房、手术室、检查室等)对环境参数的需求也存在差异, 这进一步增加了环境控制的复杂性。暖通空调系统作为调节室内环境的核心设备, 在维持适宜温湿度、保障空气清洁度及阻断病毒传播路径中发挥关键作用。例如, 在北方严寒地区, 医疗建筑需结合高效空调系统与散热器、地暖等辅助供暖设备, 确保冬季室内环境的稳定性与舒适性。由此可见, 暖通空调系统的设计直接关系到医疗建筑的整体环境质量, 进而影响患者康复效率与医护人员工作安全性。

[关键词] 医疗建筑; 暖通空调系统; 防疫性设计; 空气质量

DOI: 10.33142/ec.v9i2.19076

中图分类号: TU242

文献标识码: A

Epidemic Prevention Design and Indoor Air Quality Optimization of HVAC Systems in Medical Buildings

MA Shaohui

Zhongtu Dadi International Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: As a special place with dense population and mostly patients, medical buildings require strict hygiene standards for indoor environmental parameters such as air quality, temperature, humidity, etc. Due to the low immunity of patients, small pollutants in the air (such as bacteria, viral aerosols, etc.) may exacerbate the condition or cause cross infection, so their environmental control requirements are significantly higher than those of ordinary public buildings. At the same time, there are differences in the environmental parameter requirements for different functional areas within medical buildings, such as wards, operating rooms, examination rooms, etc., which further increases the complexity of environmental control. As the core equipment for regulating indoor environment, HVAC system plays a crucial role in maintaining appropriate temperature and humidity, ensuring air cleanliness, and blocking virus transmission pathways. For example, in cold northern regions, medical buildings need to combine efficient air conditioning systems with auxiliary heating equipment such as radiators and underfloor heating to ensure the stability and comfort of indoor environments during winter. It can be seen that the design of HVAC systems is directly related to the overall environmental quality of medical buildings, which in turn affects the efficiency of patient rehabilitation and the safety of medical staff.

Keywords: medical buildings; HVAC system; epidemic prevention design; air quality

1 暖通空调系统对防疫的基础性作用

暖通空调系统在医疗建筑的防疫工作中扮演着基础支撑角色, 其设计合理性与运行稳定性直接影响病毒传播风险控制效果, 保障室内空气的清洁与安全。世界卫生组织(WHO)研究表明, 空气中的病毒气溶胶是呼吸道传染病(如新冠病毒、流感病毒等)的主要传播途径之一, 而暖通空调系统通过优化气流组织、提升过滤效率及调控通风量, 可显著降低气溶胶的扩散范围与浓度。合理的气流组织设计能够避免污染空气与清洁空气的交叉混合, 从而减少交叉感染的可能性; 同时, 高效的过滤系统可去除空气中的颗粒物与微生物, 进一步降低病毒传播的潜在风险。此外, 在应对突发性传染病疫情时, 动态通风调控则能在疫情暴发时快速实现区域负

压隔离, 防止污染扩散。例如, 2020年新冠疫情期间, 武汉多家方舱医院通过临时改造暖通空调系统的送排风模式, 使室内病毒气溶胶浓度降低60%以上, 有效遏制了交叉感染。因此, 暖通空调系统不仅是医疗建筑环境控制的核心组成部分, 更是防疫工作中不可或缺的技术手段。

2 医疗建筑暖通空调系统防疫性设计要点

2.1 合理的气流组织设计

2.1.1 避免交叉感染的送排风方式

在医疗建筑中, 合理设计送排风口的位置、形式及风速是防止室内空气交叉混合的关键措施之一。病房和诊室作为患者集中活动的区域, 其送排风系统的设计需特别注重避免病毒通过空气传播的风险。例如, 在病房内, 送风

口通常布置在房间侧墙上方,而回风口则位于房间顶部或对侧下方,以确保气流从清洁区流向污染区,并形成有效的单向流动路径。此外,送排风口的设计应避免产生局部涡流或死角,从而减少病毒在特定区域的滞留时间。所有送排风口均需采用防结露设计,以防止因高湿度环境导致的细菌滋生问题。同时,送风速度应根据房间功能进行优化调整,如在门诊医技科室及办公区域,送风速度一般控制在 $2\sim 3\text{m/s}$ 之间,既保证了舒适性,又避免了因风速过高引起的扬尘现象。通过上述措施,可以显著降低病毒在室内传播的概率,为医护人员和患者提供更加安全的空气环境。

2.1.2 不同功能区域的压差控制

医疗建筑中不同功能区域对空气品质的要求存在显著差异,因此需要通过送排风量调节建立合理的压差分布,以实现病毒从污染区向清洁区的有效隔离。根据“三区两通道”原则,医疗建筑可划分为清洁区、半污染区和污染区,各区域之间的压差控制是防止交叉感染的核心手段之一。具体而言,污染区应保持相对负压状态,以确保其内的污染空气不会向其他区域扩散;半污染区则维持微负压状态,起到缓冲作用;而清洁区需保持相对正压,避免外界污染空气进入。例如,在负压隔离病房中,全新风直流式空调系统的设计需满足换气次数 ≥ 12 次/h的要求,同时排风系统需配备高效过滤器,以确保排出空气的清洁性。此外,通过对送排风量的精确调控,可以实现各区域之间稳定的压差梯度。研究表明,合理的压差控制不仅能够减少病毒传播风险,还能提高医疗建筑的整体运行效率,为疫情防控提供有力支持。

2.2 高效的过滤系统设置

2.2.1 过滤器的选择与分级配置

在医疗建筑暖通空调系统中,过滤器的选择与分级配置直接影响室内空气品质及防疫效果。根据不同区域对空气质量的需求,应合理选用粗效、中效和高效过滤器,并通过分级配置提高过滤效率。例如,在清洁区,新风系统通常采用粗效过滤器去除较大颗粒物,再结合中效过滤器进一步净化空气;而在污染区,则需增设亚高效或高效过滤器,以有效拦截空气中的细菌和病毒。HEPA(高效颗粒空气)过滤器在医疗建筑中的应用尤为重要,其能够过滤掉直径 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 的微粒,过滤效率可达99.97%以上,显著降低了病毒通过空气传播的风险。此外,针对特定区域(如发热门诊和隔离病房),还需在空调室内机回风口处设置低阻力高中效静电过滤器,以增强局部空气净化能力。通过科学合理的过滤器分级配置,不仅可以满足不同区域的空气品质要求,还能延长过滤器使用寿命,降低运行成本。

2.2.2 过滤器的维护与更换策略

过滤器的性能衰减会直接影响防疫效果,需建立全生命周期管理机制。首先,应建立定期检测机制,通过专业的空气质量监测设备对过滤器的性能进行评估,及时发现并解决潜在问题。例如,当过滤器阻力达到初始阻力的两倍时,需立即进行更换,以避免影响系统正常运行。其次,针对不同过滤等级的过滤器,应制定差异化的更换周期。粗效过滤器通常每3~6个月更换一次,中效过滤器每6~12个月更换一次,而高效过滤器则需根据使用情况每年更换一次。此外,在疫情期间,过滤器的更换频率应适当增加,特别是在高污染区域,如发热门诊和隔离病房,建议每1~3个月更换一次,以确保过滤效果。最后,更换过滤器时需严格遵守操作规程,佩戴防护用品,并对废旧过滤器进行妥善处理,防止二次污染。通过上述措施,可以有效保障过滤系统的长期稳定运行,为医疗建筑的防疫工作提供坚实保障。

3 医疗建筑室内空气质量优化措施

3.1 温湿度控制

3.1.1 适宜的温湿度范围确定

医疗建筑内不同功能区域对温湿度具有特殊要求,这不仅关系到患者的康复效果,还直接影响病菌的滋生与传播。例如,在病房区域,适宜的温度范围通常为 $24\sim 26^\circ\text{C}$,相对湿度应控制在40%~60%之间,以防止病原微生物的繁殖并提高患者的舒适度。而在手术室等高度洁净区域,温度需严格控制在 $22\sim 25^\circ\text{C}$,相对湿度则维持在30%~50%,以避免因高湿度导致的感染风险增加以及低湿度引发的静电问题。此外,药品储存区对温湿度的要求更为苛刻,一般需要保持温度在 20°C 左右,相对湿度不超过60%,以确保药品的有效性和安全性。通过科学分析各功能区域的需求,确定合理的温湿度范围,不仅能够抑制病菌滋生,还能显著提升医疗环境的整体质量。

3.1.2 温湿度控制技术手段

为实现精准的温湿度控制,医疗建筑中广泛应用了先进的传感器技术与自动控制系统。温湿度传感器作为核心设备,能够实时监测室内环境参数,并将数据反馈至中央控制系统,从而实现对空调系统运行状态的动态调整。例如,采用高精度数字式温湿度传感器,可精确感知环境变化并通过智能算法优化运行模式,确保室内环境始终处于设定范围内。此外,自动控制系统可通过变频技术调节冷热源输出量,结合新风系统的湿度处理功能,进一步优化温湿度控制效果。同时,部分高端医疗建筑还引入了基于人工智能的预测控制技术,通过分析历史数据与外部环境因素,提前调整系统运行状态,以应对可能的环境波动。这些技术手段的应用不仅提高了温湿度控制的精度,还有

效降低了能源消耗,为医疗建筑提供了高效且可持续的解决方案。

3.2 通风换气策略

3.2.1 自然通风的利用

在条件允许的情况下,充分利用自然通风是改善医疗建筑室内空气品质的重要手段之一。通过合理设计建筑朝向、开窗位置及开窗形式,可以有效促进室内外空气流通,减少机械通风系统的依赖,同时降低能耗。例如,在医疗建筑的设计中,通常将主要功能区域布置在南北朝向,以充分利用自然风压与热压作用实现通风效果。此外,开窗位置的设计需综合考虑室内气流组织与室外环境条件,避免因不当设计导致气流短路或污染物倒灌。研究表明,合理的自然通风设计不仅能够显著改善室内空气质量,还可提升使用者的舒适度与满意度。然而,在缺乏自然通风条件的情况下,需通过机械通风系统进行补充,以满足室内空气品质的要求。

3.2.2 机械通风的优化

机械通风系统的设计在医疗建筑中占据重要地位,其关键点包括通风量、通风时间及通风路径的合理确定。首先,通风量应根据不同功能区域的使用需求进行计算,例如清洁区需保持每小时3次换气次数,污染区则需达到每小时6次以上,以确保空气的新鲜度与清洁度。其次,通风时间的设计需结合建筑的实际情况,如公共区域应在非高峰时段增加通风时长,以全面置换室内空气并减少污染物积累。此外,通风路径的规划同样至关重要,特别是在医疗建筑中,需通过合理布置送风口与排风口的位置,避免气流交叉污染。例如,送风口应设置在医护人员活动区域的上部,而排风口则应靠近污染源或患者床位,以最大限度地减少病毒传播风险。通过上述优化措施,机械通风系统能够在保障室内空气品质的同时,进一步提升医疗建筑的防疫性能。

4 实际案例分析

4.1 案例介绍

某城市的一所大型综合医院作为本次分析的实际案例,该医院拥有1000张病床和20个手术室,每天接诊患者数千人,规模庞大且功能复杂。医院的功能分区主要包括门诊区、住院部、手术室、隔离病房以及医技科室等,各区域对暖通空调系统的需求差异显著。例如,手术室对空气洁净度要求极高,而隔离病房则需要严格的负压控制以防止病毒扩散。这种多样化的功能分区为暖通空调系统的设计带来了挑战,同时也为防疫性设计与室内空气质量优化提供了丰富的实践场景。

4.2 防疫性设计与室内空气质量优化实践

在防疫性设计方面,该医院针对过去暖通空调系统中

存在的问题进行了多项改进。首先,在气流组织设计中,引入了可调节风量系统,根据不同区域的人员密度和污染程度动态调整空气流量,确保高峰时段的空气流动满足需求,同时避免交叉感染。其次,医院采用了高效过滤器以提高空气中细菌和病毒的过滤效率,并在特定区域如隔离病房和手术室引入负压控制,有效防止病毒通过空气传播。此外,医院还通过智能化控制系统实现了对送排风系统的精准调控,进一步提升了防疫性能。在室内空气质量优化方面,医院通过合理设计温湿度控制策略,确保不同功能区域的温湿度处于适宜范围,从而抑制病菌滋生并保障人员舒适。同时,医院充分利用自然通风条件,结合机械通风系统的优化设计,确保室内空气得到及时有效的更新,显著改善了室内空气质量。

4.3 经验与不足总结

该案例的成功经验主要体现在其全面的防疫性设计和科学的室内空气质量优化措施上。例如,通过引入可调节风量系统和高效过滤器,医院显著提升了暖通空调系统的防疫性能;而通过智能化控制系统的应用,医院实现了对空气流动和热湿环境的精准调控。然而,该案例也存在一些不足之处。例如,在过滤器的维护与更换策略上,医院尚未建立完善的监测机制,可能导致过滤器工作状态不佳时未能及时发现和处理。此外,尽管医院在智能化控制方面取得了一定进展,但其系统的自动化程度仍有待进一步提高。这些经验与不足为其他医疗建筑在暖通空调系统设计与优化中提供了重要的参考依据。

5 未来发展趋势展望

5.1 智能化控制系统应用

随着科技的快速发展,智能化控制系统在医疗建筑暖通空调系统中的应用前景广阔。智能化控制系统通过集成传感器、数据采集模块与自动控制算法,能够实现对环境参数的实时监测与精确调节,从而显著提升系统的运行效率和防疫性能。例如,在疫情防控常态化背景下,智能化控制系统可基于室内空气质量传感器的反馈数据,自动调整新风量大小、送风方式以及过滤器的运行状态,以降低病毒传播风险。此外,智能化控制系统还具备故障预警功能,能够通过分析设备运行数据提前识别潜在问题,并及时发出警报,从而减少因设备故障导致的室内环境污染或防疫漏洞。远程监控技术的应用则进一步增强了系统的可操作性,管理人员可通过移动端随时查看系统运行状态并进行远程调控,确保医疗建筑暖通空调系统在各种应急情况下均能保持高效稳定运行。因此,智能化控制系统不仅是提升医疗建筑防疫能力的重要手段,也是实现暖通空调系统精细化管理的必然趋势。

5.2 绿色低碳技术融合

在追求防疫性与室内空气品质的同时,医疗建筑暖通空调系统的节能降耗问题同样不容忽视。新型节能环保技术的引入为解决这一矛盾提供了可行路径。例如,地源热泵技术利用地下恒温层的热能进行能量交换,具有高效、稳定、清洁等特点,可显著减少传统能源的使用量,同时降低碳排放。热回收技术则通过回收排风中的余热或余冷,将其用于预热或预冷新风,从而大幅降低空调系统的能耗。这些技术在保障室内环境舒适性的同时,有效缓解了能源消耗压力,符合绿色建筑的发展理念。此外,新型材料的应用也为节能环保提供了新的可能性,如采用相变材料调节室内温度波动,或利用高性能隔热材料减少冷热桥效应,均能进一步提升系统的能源利用效率。值得注意的是,这些技术的应用需结合医疗建筑

的具体需求进行优化设计,以确保在满足防疫性和空气质量要求的前提下实现最大化的节能效果。未来,医疗建筑暖通空调系统将向“防疫可靠、舒适健康、低碳环保”的一体化方向发展。

[参考文献]

- [1]赵建博.医疗建筑暖通空调设计浅谈[J].建筑热能通风空调,2021,40(5):69-72.
- [2]赵炯.基于平疫结合的医院建筑暖通空调设计分析[J].中国厨卫,2024,23(6):272-274.
- [3]周伟明,侯会芹.医院建筑暖通空调平疫结合设计思路探讨[J].中国医院建筑与装备,2021,22(1):54-55.

作者简介:马绍慧(1994.10—),女,汉族,毕业院校:河北工程大学,现就职单位:中土大地国际建筑设计有限公司。