

北京中医院怀柔院区发热门诊改造 HVAC 系统设计的思考

杨常青

(中咨海外咨询有限公司 北京 100048)

摘要:发热门诊是 COVID-19 病毒患者在医疗救治中的一个重要的医疗环节,隔离区环境的特殊负压要求是医疗环节的必要条件。从 COVID-19 病毒的特性出发,介绍 HVAC 系统对隔离防护区 COVID-19 病毒消杀与防止二次污染的应对,分析负压隔离区 HVAC 系统的设计理论与负压区维护结构漏风在实际工程应对措施,阐述对负压隔离防护区 HVAC 系统及气流组织、空调系统控制的设计思路与工程实际使用情况的思考。

关键词: COVID-19 病毒;负压隔离区; HVAC 系统控制

【中图分类号】R197.323 【文献标识码】A

【DOI】10.12293/j.issn. 1671-2226.2022.18.082

2020 年初一场 COVID-19 疫情突袭我国,继武汉大面积爆发疫情后,全国各地也零星的爆发疫情。作为工程人的笔者,为了医患的健康防护,响应国家卫健委号召。于 2020 年 6 月份应邀参与了北京中医院怀柔院区发热门诊的设计。

项目位于北京市怀柔区北京中医院院内,新增改造的发热门诊位于 3# 病房楼的一层,发热门诊总建筑面积约 1121.02 m²,改建建筑面积约 777.49 m²,新建建筑面积约 343.53 m²。新增建筑采用钢结构主体现浇混凝土板的做法,为发热门诊负压隔离区域。本项目的特点是选址难度大,既不能影响院区运行,还要满足院区消防环路,同时还需设置独立分诊专用通道。经过几轮协商把负压隔离区设置在 3# 楼新建建筑内,并通过区政府的评审和疾控中心与卫健委专家组的竣工验收。本论文就负压隔离区域在 HVAC 系统设计及施工过程中的关键几个方面进行下述探讨。

1 空调系统对隔离防护区的应对。

1.1 COVID-19 病毒流行病学特征:

目前流行病学资料显示 COVID-19 病毒的特征: COVID-19 病毒属于 β 属的 COVID-19 病毒,有包膜,颗粒呈圆形或者椭圆形,常为多形性,直径约 60-140nm。经过病毒学家体外分离培养实验证明:COVID-19 病毒的跨宿主感染能力主要取决于 COVID-19 病毒表面棘突蛋白的变异及其与受体相互作用的特异性改变。COVID-19 病毒对紫外线和热敏感,56℃ 时存活时间 30 分钟;且乙醚、75% 酒精、含氯消毒剂、过氧乙酸等脂溶剂均可有效灭活病毒。因此可以通过以上一些病毒特性对空调环境的病毒进行消杀处理。

1.2. 隔离区病毒的消杀和防护对 HVAC 系统的配置思考。

从隔离区病毒的消杀和防护方面考虑 HVAC 系统的配置,由于 COVID-19 病毒具有依靠肺呼吸动物为载体的高传染性,因此用于重症 COVID-19 患者的治疗用房要采取防止污染空气向外倾泄的措施。依据《新型冠状病毒感染的肺炎传热病

应急医疗设施设计标准》在发热门诊区域按三区两通道的原则设置空调系统并保证隔离区的负压。其中隔离病房、抢救室、患者走廊按污染区域独立设置一套空调送回风系统;医护走廊、医疗敷料库房及医护办公、会诊、护士站等按半污染区设置一套空调送回风系统;医生休息室、医生值班室按清洁区单设一套空调送回风系统。清洁区送风空调机组均按规范要求设置粗效、中效两级过滤。半污染区、污染区的送风空调机组均设置粗效、中效、亚高效三级过滤,排风经过高效过滤后方可排入室外大气。

排风系统和隔离区的消毒措施,是根据室内静态环境状态下紫外线消毒的科学原理,在长时间紫外线照射的作用下,破坏 COVID-19 病毒 DNA 结构,使之失去繁殖和自我复制的功能从而达到杀菌消毒的目的。同时保洁人员使用化学消毒液(84 水溶液)对房间内表面及座椅等进行擦拭、喷洒、拖洗从而再次对残留病毒进行消杀。84 的主要消毒原理是通过化学反应($\text{NaClO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{NaHCO}_3 + \text{HClO}$)氧化合成 HClO(次氯酸)。HClO 是一种极弱的酸。其具有极强的氧化性,能够将大多数物质氧化,使其变性,因而能够起到消毒的作用。最后通过排风空调系统末端高效排风口的过滤和不同等级过滤器的拦截,采用过滤分离的方法,除去空气中的悬浮粒子和微生物(微生物一般包括病菌、立克次氏菌、细菌、菌类、原生虫、藻类。),且高效过滤器的等级为 E11 级,对细菌的过滤效率为 99.99%。以此实现净化室内排风系统排出的空气,有效防止污染空气病毒的二次扩散,为隔离区外医护人员及工作人员提供一个安全健康的生活环境。

2 负压隔离防护区的设计计算依据与维护结构漏风应对措施的思考

隔离区按负压设计考虑,从而达到两个目的,一是利用负压原理隔离病原微生物,同时将室内被患者污染的空气经特殊处理后排放,不会污染环境;二是通过通风换气及合理的气

流组织,稀释病房内的病原微生物浓度,并使医护人员处于有利的风向段,保证医护人员的安全。

2.1.负压隔离防护区通风量理论计算依据

HVAC 系统新风量的考虑是依据《新型冠状病毒肺炎应急救治设施负压病区建筑技术导则(试行)2020 年版》的规定,清洁区新风量采用 3 次/h 换气,半污染区新风量采用 6 次/h 换气,污染区新风量采用 12 次/h 换气,同时负压隔离病房、抢救室新风量按照 12 次/h 或 160 升/s 计算,取两者中较大者为新风量 L1。最终选取的新风量再叠加上门窗压差漏风量。

门窗压差漏风量依据《全国民用建筑工程设计技术措施暖通空调.动力》2009 版,规定的压差法计算:

$$L_2 = 0.827 \times A \times \Delta p^{\frac{1}{n}} \times 1.25 \times 3600$$

式中:A——每个疏散门窗的有效漏风面积(m²);疏散门窗的缝宽度取 0.0035m。

ΔP ——计算漏风量的平均压力差(Pa);取相邻压差房间的相对压差值,一般是 5-10Pa。

n——指数(一般取 n = 2);

1.25——不严密处附加系数;

因此,最终的送风量为 L=L1 ± L2 (向房间内渗入风量为+,房间向外渗出风量为-)。最终一个空调系统负担所有房间的总排风量的累加值要大于送风量的累加值,送排风比约为 80%-90%。在计算过程中所有维护结构外窗要求建筑按平时不开启,仅消防工况开启设置,因此该部分也按缝隙法计算。

最终计算送风量还须满足清洁区办公等房间以送风为主且送风量大于排风量 150m³/h,污染区负压隔离室每个房间排风量大于送风量 250m³/h 保持负压。

2.2.负压隔离防护区维护结构漏风的应对措施

由于本项目为平疫两用的半永久性钢结构建筑,因此墙体维护密封性较好(相比雷神山医院采用集装箱式结构,其维护结构密封性随着年久变差,这也是院方采用钢结构利用其维护结构较好密封性的初衷。)。二次砌筑墙体采用轻质砌块墙贴网格布做相关防裂纹的密封措施,吊顶采用了矿棉吸音板吊顶(考虑到节能成本没有采用洁净板吊顶)和石膏板吊顶。在病房和抢救室考虑到病人需要静养,因此在材料选取上考虑消音和防火特性,采用了价格贵一些的矿棉吸音板,在走廊和医生办公区域考虑到密封性和吊顶的整体性,采用了石膏板吊顶的做法。由于以上两种材料均为保温阻燃性能良好、成本价格低廉的材料,因此选为吊顶材料。但这两种吊顶材料的交接处密封性较差,对于负压房间是一个不利的控制因素,因此对吊顶装修做了二次封堵,在两块石膏板(或矿棉吸音板)接缝处,先贴网眼尺寸 5(mm)*5(mm)的网格布粘胶(各自厂

家专用粘结剂)包裹吊顶板材压缝并留 10mm 的富余,再在缝隙表面采用嵌缝腻子找平,吊顶下方刮一层腻子粉找平层,保证顶部平整无缝痕迹,后上乳胶漆 2-3 道。通过以上工序保证了吊顶的密封性和完整性。

3.负压隔离防护区 HVAC 系统及气流组织与空调控制系统的设计思考

在隔离区房间密封性得到保证的前提下,考虑环境舒适度达标和降低能耗及院区现有情况,负压防护隔离功能区空调系统设计如下表:

表 1 负压防护隔离功能区空调系统表

功能区名称	供暖空调系统
隔离病房(污染区)	直膨式新风机+病房及卫生间排风+冬季散热器采暖
护士站和诊室(半污染区)	直膨式新风机+护士站、诊室及卫生间排风+夏季多联机空调+冬季散热器采暖
医生办公、值班(清洁区)	直膨式新风机+办公、值班及卫生间排风+夏季多联机空调+冬季散热器采暖

3.1.散热器采暖系统设计

由于考虑到隔离区的独立性,并且原有 3# 楼的散热器采暖系统为异程式上供上回垂直双管系统,所以隔离区采用首层上供上回异程式独立的采暖系统。对原 3# 楼的散热器采暖系统立管,在首层顶部进行截断并封堵。初衷想法是让施工在二楼散热器回水管与立管连接处下方进行截断并封堵,但是最终施工方和院方考虑二层处理破坏装修面太大,最终协商在首层顶部进行截断并封堵,但是这样留下了首层吊顶内漏水的安全隐患和二层以上原散热器系统故障不宜泄水检修的弊端。竣工后 2020 年冬季确实出现了原系统局部不热的故障和泄水难的问题,因此建议大家后面在做相关改造时,一定要采取二层截断并封堵的做法。发热门诊区采暖系统将污染区、清洁区、空调新风机组区(由于项目在寒冷地区,直膨机出热效率低的特点,在直膨机室内机的功能段单加了热水盘管加热段。)分为三个支路负担各区。

3.2.多联机空调系统与直膨式新风机系统设计

根据传染病医院规范要求设置机械通风系统,新风系统设置变频直膨式新风机组并设置冬季热水加热盘管段供冬季新风预热,同时设置初效过滤+亚高效过滤。排风系统设置集中变频排风机并设置初效+高效过滤段。

多联机室内机+直膨式新风机的考虑,由于原 3# 楼的夏季供冷系统为多联机空调系统,发热门诊区域的新风需求量较大且要求进行 G4(初效)+F7(中效)+H10(亚高效)三级过滤,同时发热门诊区域的就诊时间要 24 小时运行与 3# 空调系统运行时间不统一,因此对发热门诊区域的空调系统进行

独立设置,这样该空调系统既可以满足夏季发热门诊区域的供冷需求,又可负担过渡季隔离区域的供热需求(COVID-19 病毒患者的症状之一就是发热,发热时房间温度太低会让病人有不舒适感,因此考虑过渡季供热)。隔离病房污染区域新风换气次数为 12 次/h,该换气次数已经满足全空气空调系统运行条件,且经过计算采用全新风运行可以满足污染区房间舒适度规范要求,同时不设置多联机室内机可以减少室内机翅片上污染病毒源二次扩散风险,因此该区域内不在单独设置多联机室内机空调系统(由于钢结构房屋围护结构的密封性远远优于集装箱房屋围护结构的密封性,因此不考虑单设多联机室内机,经后期验收房间温湿度和压力均满足规范要求,也证明了选择的正确性)。同时对污染区隔离病房的回风总支管上设置电动密闭阀(电动密闭阀设置的目的是便于房间内病毒消杀时候,完全关闭系统),各房间送回风支管上设置定风量阀。污染区隔离室、抢救室的总送、排风管的支风道上设置开关两位电动密闭阀,可单独关断进行房间消毒,各房间排风支管电动调节阀与变频风机联动,由电动阀开启数量控制排风机转速,同时各房间新风支路上的电动调节阀与排风电动阀联动启闭,排风电动阀关闭新风电动阀必须关闭,但排风电动阀可单独开启。新风支路电动阀与直膨式新风机组联动,根据电动阀开启数量控制新风及转速。污染区、半污染区送排风支路设置定风量阀。

3.3. 负压隔离区气流组织

3.3.1. 负压隔离病房区气流组织

污染区的隔离室、抢救室,送风口位于房间上部、病房排风位于房间下部,同时卫生间设置顶部排风口;半污染区诊室、处置室等的排风设置于房间下部,且风口底部距地不小于 150mm。

3.3.2. 发热门诊区气流组织

隔离区气流应形成从清洁区至半污染区至污染区有序的压力梯度,房间气流组织应防止送排风短路,送风口位置应使清洁空气为首。每间负压隔离病房应在医护走廊门口视线可视高度安装微压差显示装置,并标示出安全压差范围。与其相邻相通缓冲间、缓冲间与医护走廊应保持 5Pa—15Pa 的负压差。因房间压差是一个相对压差,因此安装相对压差表要求压差表的负压侧接管接入室内,正压侧接管穿过相邻室隔墙裸露在室外,在观察窗附近就可以看到屋内压力为相对负压。

3.4. 空调系统的控制

系统运行维护的控制要求,各区域排风机和送风机应连锁控制,半清洁区优先启动送风机,后连锁启动排风机;隔离区先启动排风机,后连锁启动送风机。整个区域通风系统启动

顺序为污染区→半污染区→半清洁区。

同时在高效排风口的前后设置压差传感器及压差超压报警装置。如启动空调系统后负压达标,且压力传感器没有超压报警,隔离区可正常运营。若压差传感器超压报警应及时更换高效过滤器。如房间压差不满足负压要求,应停止隔离区运营,全面消杀后找空调系统及维护结构泄漏位置及原因,并维修直至压力合格后方启用。

4 结束语

发热门诊 HVAC 系统与普通传热病医院 HVAC 系统的最大区别在于,他服务的医疗环境内 COVID-19 病毒具有传播力高、致病力强、毒性大、致死率的特殊性,并且负压隔离区是医疗救治的一个重要环节,是避免病毒扩散的必要手段。由于发热门诊区域是病源密集场所,不当的 HVAC 系统和管理失误会造成院内医护感染,导致 HVAC 系统本身就成为污染源。面对未知瘟疫病毒的来袭,建议严谨对待 HVAC 系统设计。有感于此,笔者将一些肤浅的设计施工过程的体会与同行分享,不恰当之处望指正。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家卫生健康委员会办公厅 中华人民共和国住房和城乡建设部办公厅. 2020 年版. 新型冠状病毒肺炎应急救治设施设计导则(试行)[S].
- [2] 卫生部医院感染控制委员会. WS/T311-2009. 医院隔离技术规范[S].
- [3] 中国中元国际工程有限公司. GB50849-2014. 传染病医院建筑设计规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2014.
- [4] 北京市疾病预防控制中心. 2020 年版. 集中隔离观察点设置标准及管理技术指引(第六版)[S].

作者简介:杨常青、性别:男、民族:汉、籍贯:山西、职称:中级暖通工程师、学历:本科、研究方向:暖通制冷空调工程。