

PCR实验室暖通空调系统设计的几个要点

陈以林¹ 韦小良²

1. 广西中信恒泰工程顾问有限公司; 2. 南宁市政工程集团有限公司

摘要:当前医疗事业稳步发展的过程中,国家陆续兴建了更多的PCR实验室,但这类型实验室的建设要求高,特别是在暖通空调系统设计中的技术难度大,需符合实用性、经济性与环保性等标准。国家相关部门针对PCR实验室暖通空调系统设计陆续出台了各种法律法规与技术标准,但由于每个实验室的情况各有不同,有关人员需立足实际情况优化暖通空调设计。基于此,本文从PCR实验室暖通空调系统形式着手,重点分析了暖通空调设计的相关要点,对实际工作具有指导与借鉴意义。

关键词: PCR实验室; 暖通空调; 设计要点

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.05.097

技术进步的过程中,生物医学呈高速发展态势,在此条件下我国PCR实验室的数量逐步增多、规模持续扩大,这些实验室承担着病原体检测、遗传病检测、个性化用药、肿瘤基因检测等重大任务,对传染病防治、医学发展的意义重大。但PCR实验室建设中的专业性要求较高,暖通空调系统作为其中的关键构成,其系统构成、工作原理影响着实验室的相关工作。为保障暖通空调系统设计水平,有关设计人员需遵循专业设计规范,采取一系列优化措施,提升暖通空调系统的性能,为实验室相关工作提供便捷。

一、暖通空调系统形式

(一) 冷热源形式选择与要点

PCR实验室的建设场所特殊,一般位于实验楼、医院门诊医技楼、交通枢纽站等地点,能满足24h不间断检测的需求,促进公共卫生安全。为此,PCR实验室的时间特性决定了其暖通空调一般为独立冷热源,空调氟系统、空调水系统的适用性高。有关人员在设计冷热负荷时需考虑诸多因素,如冷热源设备负荷的衰减系数、建筑围护结构保温特性、人员着装的防护能力、医疗设备的散热性能等^[1]。参考现行的设计标准与实际经验,设计冷热负荷时需将重点放在标本制备区的负荷方面,主要从以下方面考虑:医疗设备在散热时的负荷量大,特别是在室内布置有多台生物安全柜的情况下这一现象更为明显;人员数量多且密度大;如为B2型生物安全柜,一经启动房间内的排风量异常大,将同步存在较大的负荷损耗,此时补风系统应为冷热方式。

(二) 末端形式选择与要点

PCR暖通空调系统中末端形式也是需关注的重点方面,但在这一方面需遵循行业内的技术规范与标准。依据现行标准,其中明确指出医学BSL-2实验室不得采用循环风,为此,考虑通风空调系统选用全直流新风空调系统的可能性,如为医学BSL-2实验室,空调系统中可引入循环风模式。在该模式下新风处理机组不仅要承担

一定的新风负荷,室内余热余湿负荷也由其负责。为保障新风处理机组的功能优势,在设计时还需考虑地域条件、室外环境特点,必要时给新风处理机组增设其他设备,如电加热器、加湿器,使不同设备之间相互配合^[2]。

当前技术逐步发展的过程中,通风技术形式具有多样性,一般可根据需求选择分布式或者集中式两种。以动力分布式智能通风系统为例,通过合理设计,各支管上均存在有动力,这些动力能为风的流动创造良好条件,其构成如图1所示。因此,动力分布式智能通风系统中,除了主风机上无支路风机,其余每个支路都配套配备有一台支路风机,在系统运行过程中支路风机具有自动调节能力,而主风机能依据每个末端的新风需求总量实现精准控制,提供服务区域内所需的新风。

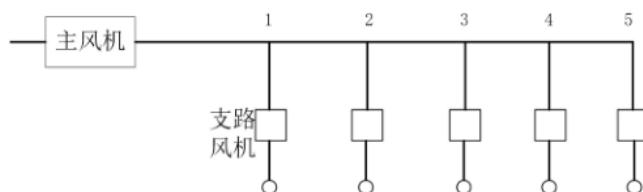


图1 动力分布式智能通风系统

主风机在通风系统中的地位不可替代,考虑到系统的智能化特征,主风机可选择数字化空气处理机组,并合理配别粗效、中效、高效三级过滤,将高级过滤器布设于时末端风口。数字化空气处理机组的结构体系复杂,内部为直流无刷外转子电机,兼具无级调速、零电流软启动优势。根据其机组运行特点,主风机的调节与控制具有便捷性、高效性,智能模块负责调控,可增强机组的稳定性与安全性。实际的工作中智能模块只需要接收和处理控制信号即可控制风机转速、调节风量。支路风机以自适应动力模块为主,该模块具有压力无关特点,能够将风量控制在正常标准。控制系统的电子压差表负责采集室内的相邻压差数据,将此数据处理后返回一个模块信号,智能模块可依据信号情况,并考虑通风需求合理调整风量、控制开关,并与主风机有效配合,确保房间中的压差梯度符合标准。

动力分布式智能通风系统在运行时具有以下特点:控制和调节更为灵活和便捷,各单元式空间具有独立性,均可根据实际需求来调节,即使某一单元空间出现异常,其他部分也能正常运行;稳定可靠,自动与管道压力相匹配,不需要额外开展水力平衡设计;安全性好,气流有序,压差正常;高度节能,为动态通风模式,整个系统运行时的能耗较低;智能化,系统的各个部分均具有智能化特点,几乎不需人工控制与调节。

二、设计中应注意的问题

(一) 适当提高暖通系统的安全系数

风管系统内连接有多个构件,系统运行中在这些连接部分的漏风现象相对明显,如漏风量超出正常标准,将影响系统运行状态,也会造成一定的能源消耗,难以达到经济性、节能性标准。通风与空调系统运行期间,有关人员需参考系统类别、风管工作压力、设备布置情况等,给系统附加其漏风量。

无论何种类型的建筑,暖通空调系统设计中都需将安全性作为首要任务,PCR实验室的暖通空调设计中,同样需遵循相应的安全标准。根据现行相关规范,通风机风量需合理附加风管、设备漏风量,送排风系统的附加范围在5%~10%之间。风管漏风量指的是负压段渗入风量、正压段泄漏风量,风量大小与许多因素都有直接关系,如风管材料、加工、安装质量、阀门设置、管内压力情况等。结合依据经验,5%~10%附加率并非适用于全部情况,在送风系统最长正压管段总长度不超50m、排风系统最长负压管段总长不超50m的情况下较为适用,如系统规模更大,可酌情增加漏风率^[3]。某排风风管有多次拐弯现象,管段长90m,与上述适用条件不一致,可依据系统管段长度合理增大漏风率,附加达到18%。依据系统工作情况,实测漏风率为18.2%,该数值与计算值18%偏差较小。为此,在设计PCR实验室的暖通空调系统时,设计人员需将管段长度作为首要参考依据,保障漏风率(安全系数)的合理性。

(二) 适当降低室内温度

暖通空调系统对PCR实验室内的各项工作有直接影响,为优化暖通空调系统设计,具体的设计中同样需合理控制室内温度。依据相关标准,二级生物安全实验室的最佳室内温度为18~27℃,相对湿度需保持在30%~70%。在特殊的检测任务下实验人员往往需穿戴隔离衣、佩戴护目镜,人员体感温湿度异常高,为符合实验室工作要求,应适当降低室内温度,如用于新冠病毒核酸检测的房间,其室内温度需在22~25℃之间。PCR实验室大部分为内区房间,无围护结构散热,考虑这一因素,暖通空调系统中的空调应有过渡季或冬季供冷的相关功能。

(三) 采用变频风机

2019年的《空气过滤器》与2008年的版本对比,过滤器初阻力无任何调整,但终阻力略微增大。如通风系统内配备有过滤器,设计人员需根据终阻力合理选定风机压头。为此,在PCR实验室内设计暖通空调系统时如执行2019年的相关标准,在风机选型方面应尤为注意。

以2019年相关标准为参考,新风系统终阻力、初阻力比值较大,增长率高达25.4%,这一数值意味着终新风系统初阻力、终阻力之间的差值较高,为保障系统的稳定、安全运行,可为新风机组配备变频风机,使机组工作时该风机可根据系统阻力情况合理调节相关参数。

(四) 采用合理的气流组织

PCR实验室的气流组织也影响暖通空调系统的工作状态,考虑到实验室内特殊的工作要求,上送下排方式更为适用,确保室内污染空气可顺利排出,避免其造成

室内更大范围内的污染。生物安全柜操作面、其他存在气溶胶的区域上方,不得布设送风口,因为送风口存在风流,一旦风直接在这些区域的上方流动,生物安全柜工作面的进风气流被打乱,一些特殊情况下带有致病因子的气溶胶将扩散到其他区域,引起室内更大范围和程度的污染。

(五) 空气处理

PCR实验室的暖通空调系统,其空气处理也是需关注的重点方面。如以核酸检测实验室为例,为避免病毒污染,排风必须经过高效过滤器,由过滤器过滤处理后,再排放,以降低污染,为此,排风口必须直通的室外,并严格控制其与进风口之间的距离,位于进风口下风向。排风口高度方面,应保障污染空气完全不混入送风系统进风口,一般其与进风口水平距离需超12m,且高度超屋面2m,创造高空排放条件。

三、PCR实验室暖通空调设计要点

(一) 设计依据

PCR实验室设计中需关注诸多方面,为避免出现设计质量缺陷,相关设计人员必须严格参考国内外相关标准,优化细节。如世卫组织的《实验室生物安全手册》、NIH/COD联合制定的《微生物学及生物医学实验室生物安全准则》,是各国生物安全实验室法律法规制定、设计标准确定时的主要参考。我国在PCR实验室暖通空调系统设计中,必须着力考虑一些设计标准:

(1) 全面排风与生物安全柜排风应完全独立。(2) 净化风机盘管与变风量新风系统相结合:净化风机盘管送风口、回风口,配备低阻高中效过滤器,由此过滤器过滤大气菌;新风系统采用变频调节方式,以生物安全柜运行状态为调节参考。

(二) 通风过滤与气流组织设计

1. 通风系统

通风系统的通风方式主要有以下两种:(1) 全面通风,换气次数超6次/h;送风由新风机组负责,以此经热、湿处理、三级过滤后风流进入室内;排风口处于房间下部,且在排风口应合理配备高效过滤器;新风机组、排风机均配备变频机组,以增强控制的灵活性、便捷性。(2) 局部排风,生物安全柜柜口面风速需超0.5m/s;选配II级B2型生物安全柜;保持生物安全柜排风系统的独立性,创造高空排放条件;排风入口需合理布置高效过滤器;室外排风口至少比屋面高2m;多台生物安全柜如为并联运行状态,排风与新风补风均应为变风量运行模式^[4]。

2. 过滤

因为PCR实验室内经常存在各种污染物或者病毒,为避免暖通空调系统运行中引发更大范围内的空气污染或者病毒传染,系统运行中需合理设计过滤模块。依据相关调查,空气中部分病毒、细菌的单体气溶胶单体中值直径在7.7~17.2 μm 这一区间内,为符合安全性标准,设计人员需参考过滤要求,在末端配备亚高效过滤器,由其与其他部分相配合,提高实验室环境的安全性。

3. 气流组织

为避免交叉污染, PCR实验室空气流向必须严格遵循单一方向进行, 即只能从试剂贮存和准备区一标本制备区一扩增反应混合物配制和扩增区一扩增产物分析区进行。此外, 还需遵循以下原则: 气流组织采用上送下排。送风口和排风口布置应使室内气流停滞的空间降低到最小程度。在生物安全柜操作面或其他有气溶胶操作地点的上方附近不得设送风口; 高效过滤器排风口应设在室内被污染风险最高的区域, 单向布置, 不应有障碍。

4. 压差控制

当实验室、缓冲间的压力固定时, 为得到送风量、排风量结果, 可引入缝隙法计算, 具体参考以下公式:

$$\Delta P = \frac{\rho}{2} \left(\frac{V}{3600 \times A \times \mu} \right)^2$$

上式中, ΔP 、 P 、 V 、 A 、 μ 分别为压差 (Pa)、空气密度 (kg/m^3)、流量 (m^3/h)、以缝隙宽度为前提得到的泄漏面积 (m^2)、常数。

结合上述公式, 如实验室排风量固定, 合理调节实验室的送风量, 可保障房间、参照区域压差的稳定性。这一计算风量十分重要, 后续新风机组、排风机组、风管、风口等的布设、计算方面均可利用此风量数值。

PCR实验室的暖通空调系统设计中, 虽设计人员往往严格参照了行业内的安装设计规范与标准, 但后续施工过程中受材质、安装等的影响, 如安装门、窗的结构形式等无法与设计要求完全一致; 实验室长时间运行中围护结构的气密性、缝隙宽度存在或大或小的变化, 这些数值变化时如继续采用原缝隙法来计算, 室内压力梯度同步有变化, 计算结果的偏差较大。

考虑上述问题, 设计人员在暖通空调系统中如需科学控制房间压差, 不仅需利用缝隙法得到基础风量, 还需在恰当的位置安装压差控制器, 测得实验室、缓冲区、参照区的压差, 将实际压差与设计压差相对比, 最后由控制器PID运算得到偏差数值, 参照这一数值保障送风阀控制动作的合理性, 精准调节房间进风量、送风量、排风量, 将房间压差控制在正常标准。为达到这些控制目标, 重点需优化系统中的变风量调节阀, 引入闭环控制模式, 增强送、排风阀执行模块的响应速度^[5]。一般情况下, 控制生物安全柜排风的变风量调节阀响应时间应在1s以内, 而实验室通风系统风量平衡的响应时间不得超3s。

PCR实验室工作时, 频繁开关门窗可能导致室内与缓冲间、缓冲间与专用走道之间的压差为零, 此时送风系统变风量风阀开度异常小或者关闭, 为避免出现这一方面的问题, PCR实验室送风变风量风阀需合理设置风量偏移限制, 在特殊情况下将风量风阀开度控制在正常标准内。

四、PCR实验室的暖通空调控制系统设计思路

(一) 压力梯度监控子系统

暖通空调中为合理控制房间相邻压差, 在系统中引入先进技术设计压力梯度监控子系统, 由其自动化模块负责精准调节, 不再需要人工参与。压力梯度监控子

系统的构成复杂, 主要有负压传感系统、彩色智能人机交互界面、负压监测保障系统等, 通过相互之间的配合来实时监控房间压差梯度, 并合理控制新风、排风设备、机组的转速, 使每个区域内的压差梯度均达到相关标准。压差梯阶控制过程为: 预设标本设备间相对大气压的压力值; 设定其他重点区域相对标准制备间的压差, 寻找相邻压差之间的关联关系; 以实际需求为基准控制新风设备、排风设备的转速, 将压差梯度控制在正常标准内。

(二) 室内温湿度监控子系统

为提高温度控制的精准度, 在PCR实验室内需合理设置温度传感器, 由这些传感器采集温度数据, 但与为房间换气次数要求相一致, 系统需保持房间风量最小。总之, 改变风量虽能调节室内温度, 但其调节能力相对较小, 通过调节空调水系统或空调氟系统, 更能保障室内温度的调节效果。湿度控制方面, 需分析空气干燥现象, 长期在干燥空气的影响下, 部分医疗设备可能有静电现象, 但如环境相对潮湿, 又会影响设备的正常使用, 为此, 在湿度控制方面需考虑当地的气候情况, 合理配备加湿器。

(三) 过滤脏堵报警子系统

过滤脏堵报警系统涉及新风处理机组过滤功能段、新风高效过滤风口、排风高效过滤风口的过滤器脏堵报警, 在这些报警模块工作能及时识别到过滤器的异常情况, 提醒后台人员重新配备过滤器, 保障良好的过滤效果。

(四) 生物安全柜联动控制子系统

B2型生物安全柜的启停阶段, 补风系统应与排风管道上的电动密闭阀连锁启停, 如外排风机的余压过小, 可结合需求增设排风机, 构建接力式排风体系。

结束语

暖通空调系统对PCR实验室至关重要, 为提高系统的科学性, 有关设计人员需遵循相关规范与标准, 合理优化系统设计。未来生物医学发展的过程中, 相关人员需持续研究PCR实验室暖通空调系统设计的相关理论和方法。

参考文献

- [1] 赵凌云, 吴青, 高克文. 疾控中心实验室暖通空调系统设计探讨[J]. 云南建筑, 2021, 171(004): 117-120.
- [2] 杨九祥, 谢景欣, 陶刚, 等. 集中式PCR实验室设计与建造关键技术分析[J]. 暖通空调, 2021, 51(7): 7.
- [3] 褚毅, 付宏伟, 霍志民. 新冠负压隔离病房暖通空调设计及项目管理要点[J]. 北方建筑, 2020, 5(6): 6.
- [4] 吴云凤, 刘青, 李少波. 优化PCR实验室以应对突发传染病检测[J]. 标记免疫分析与临床, 2022, 29(9): 1607-1611.
- [5] 黄君君, 鞠成飞, 刘振波, 等. 全自动设备在PCR实验室新冠检测中的应用探索[J]. 口岸卫生控制, 2022, 27(4): 3.