

文章编号: 1671-6612 (2021) 01-111-04

某负压二级生物安全实验室空调通风设计探讨

龙洋波 房电伟 邢哲理

(军事科学院国防工程研究院 北京 100036)

【摘 要】 生物安全实验室在新冠病毒肺炎防治中起着举足轻重的作用, 其建设也越来越受到社会重视。本文以北京市某二级生物安全实验室工程为例, 分析了项目的工艺布局, 对空调通风系统的设计参数、压力梯度、气流组织、净化消毒设计以及自动控制措施等进行了原理性阐释。认为负压生物安全实验室的空调通风设计应以控制污染物扩散和减少对操作人员的危害为根本出发点, 以确保房间压力梯度和气流流向正确为主要任务。期望能增进工程建设、设计以及管理人员对生物安全实验室空调通风系统的理解, 更好地为实验室安全稳定运行保驾护航。

【关键词】 生物安全实验室; 空调通风; 气流组织; 压力梯度; 自动控制

中图分类号 TU246.1+1 文献标识码 A

HVAC Design of Negative Pressure Biosafety Level-2 Laboratory

Long Yangbo Fang Dianwei Xing Zheli

(Research Institute for Nation Defense Engineering of Academy of Military Science PLA, Beijing, 100036)

【Abstract】 Biosafety laboratory plays an important role in the prevention and control of COVID-19, and its construction has been paid more and more attention. Taking a negative Pressure Biosafety Level-2 laboratory project in Beijing as an example, this paper analyzes the process layout of the project, and explains the design parameters, pressure gradient, air distribution, purification and disinfection design, automatic control measures of the air conditioning and ventilation system in principle. The air conditioning and ventilation design of the negative pressure biosafety laboratory should be based on controlling the diffusion of pollutants and reducing the harm to the operators, and the main task is to ensure the correct pressure gradient and air flow direction in the room. It is hoped that this paper can enhance the understanding of the HVAC system of the biosafety laboratory for the engineering construction, design and management personnel, and better guarantee the safe and stable operation of the laboratory.

【Keywords】 biosafety laboratory; air condition and ventilation; air distribution; pressure gradient; automatic control

作者简介: 龙洋波 (1982.04-), 男, 硕士, 工程师, E-mail: lybisok@163.com

通讯作者: 房电伟 (1990.10-), 男, 本科, 工程师, E-mail: fangdianwei@126.com

收稿日期: 2020-04-24

0 引言

2020 年初, 一场突如其来的新冠病毒肺炎疫情在我国爆发, 并迅速席卷全球。在党中央的正确领导下, 全国人民勠力同心, 共同抗击疫情。目前, 我国防控形势持续向好, 疫苗研究工作正有序展开。作为抗击疫情的排头兵, 生物安全技术病毒分析、

病患筛选、疫苗研发等过程中起到了举足轻重的作用。生物安全实验室作为生物安全技术重要组成部分, 其建设的目的是要控制室内生物污染、确保试验人员不受伤害、环境不受污染, 同时为试验提供清洁的环境, 从而达到一定的生物安全防护水平^[1]。本文中笔者选取一项实际工程, 对二级生物安

全实验室空调通风系统设计进行总结分析,期待能为类似工程建设提供帮助。

1 项目概况

本项目属于改造工程,建设地点位于北京某实验楼一层,实验室上部有设备夹层,便于通风空调设备及管道布置。项目内容主要包括两个生物安全实验室以及相关配套用房。前期论证时,从建设需求、资金投入出发,同时考虑将来业务拓展,将本项目界定为负压二级生物安全实验室。

2 实验室工艺平面

建筑平面的合理布置、工艺流程的科学划分直接关系到生物安全实验室的安全使用。本项目根据实验室操作流程要求,从安全使用,科学管理二方面着手,在整个实验区域设置核心工作间、缓冲、更衣室、高压灭菌室等。每个实验核心区靠外墙处设置一台Ⅱ级 A2 型生物安全柜、培养箱等实验仪器,在辅助功能区设置有高压灭菌器和传递窗。实验室工艺布局如图 1 所示。

为保证气密型,实验室的围护结构采用不锈钢整体焊接工艺来建造,既耐酸碱腐蚀也能保证围护结构的抗压强度,同时采用气密门、传递窗等防护设备,并且所有穿墙、吊顶处均采用专用穿墙密封

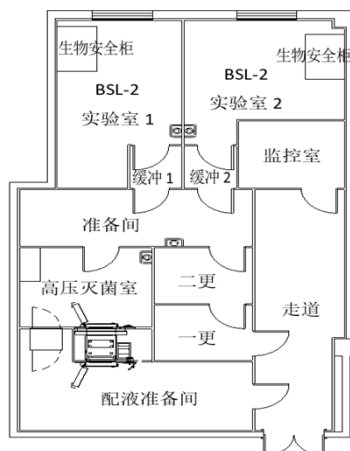


图 1 实验室平面图

Fig.1 Floor plan of laboratory

3 空调通风设计

3.1 设计参数

空调通风系统设计参数的合理选取,是实验室建成后能正常运行的重要保证,也是建设投资与运行费用的重要影响因素。根据文献[2,3],结合业主的使用要求,主要房间设计指标确定如表 1 所示。

表 1 实验室房间设计参数

Table 1 Design parameters of laboratory

房间名称	洁净度	换气次数 (次/h)	温度 (°C)		湿度 (%)		相对压力 Pa	送风量 (m³/h)	排风量 (m³/h)
			冬季	夏季	冬季	夏季			
一更	8 级	13	20~22	24~26	40~50	50~60	+10	220	200
二更	8 级	13	20~22	24~26	40~50	50~60	-10	220	229
高压灭菌室	7 级	16	20~22	24~26	40~50	50~60	-35	421	486
准备间	7 级	16	20~22	24~26	40~50	50~60	-20	533	574
缓冲	7 级	16	20~22	24~26	40~50	50~60	-35	164	177
BSL-2 实验室 1	7 级	16	20~22	24~26	40~50	50~60	-50	794	968
BSL-2 实验室 2	7 级	16	20~22	24~26	40~50	50~60	-50	670	822

注:本工程Ⅱ级 A2 型生物安全柜为全内排。

3.2 压力梯度

合理的压力梯度有利于实验室正常运转,压差越大,对围护结构气密性要求越高,初投资和运行费用增加,反之,压差越小,控制越难以实现^[4]。本实验室负压梯度从更衣间向主实验室依次递增,保证空气的有序流向,保障运行安全可靠。

3.3 风量计算^[5]

生物安全实验室送、排风量的确定,应考虑适当的安全柜同时使用系统,既要满足实验室最大运行风量要求,也不要盲目加大风量,造成设备选型过大,投资增加。

房间送风量:

$$S=S_1+S_2$$

式中, S 为房间送风量, m^3/h ; S_1 为按换气次数计算得出的风量, m^3/h ; S_2 为局部排风量, m^3/h 。

房间排风量:

$$P=S+P_1+P_2+P_3$$

式中, P 为房间排风量, m^3/h ; S 为房间送风量, m^3/h ; P_1 为缝隙渗透风量, m^3/h ; P_2 为开关门引起的渗入风量, m^3/h ; P_3 为开关传递窗引起的渗入风量, m^3/h 。

主要房间风量计算结果见表 1。

3.4 通风空调方式

根据实验室使用要求, 本项目冷热源平时采用大楼集中冷热源, 并备用空气源热泵机组, 供与大楼冷热不同步时使用。空调方式采用全空气直流系统, 送风机组采用带冷热水盘管的直膨式组合空调机组, 机组由进风段、初中效过滤段、预热段、表冷/加热段、再热段、蒸汽加湿段以及出风段组成。排风机组由进风段、活性炭过滤段、排风机段及出风段组成。空调系统原理如图 2 所示。按文献[2,3]的要求, 二级生物安全实验室排风机可不备用, 本项目根据使用要求, 在实验室运行过程中, 为降低污染风险, 排风不允许中断, 因此排风系统配置 2 台排风机组, 互为备用。

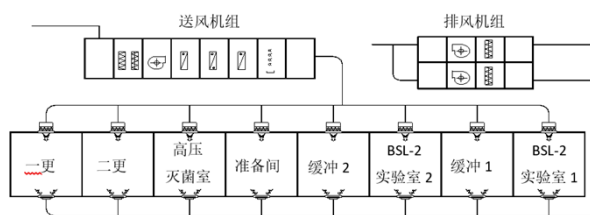


图 2 空调通风原理图

Fig.2 Principle of air condition and ventilation

房间每个送、排风支管上设不锈钢变风量调节阀, 保证每个送、排风口风量均匀。变风量调节阀根据房间压力传感器信号自动调节送、排风量。系统风量调节时, 应先确定送风量, 以送风量为基准, 调节排风量来适应送风量, 以保证房间的换气次数及相邻房间的压差。同时反馈信号给送排风机组, 调节送排风机组风量与末端风量相匹配。

当房间风量较大时, 也可将房间送、排风均调整为定风量加变风量的模式, 一般将定风量阀风量设定为总风量的 90%, 变风量阀风量允许调整范围为 10%, 定风量阀维持房间定量送排风, 维持室内

的换气次数及人员新风量, 通过变风量阀的调整维持室内压力梯度。这种方式可选用小规格变风量阀, 不仅降低了投资, 也能增加系统的响应速度。

3.5 气流组织

气流组织设计是降低空气污染隐患的重要举措, 合理的气流组织可以有效地控制污染物扩散和减少对操作人员的危害[6]。

根据室内污染源位置, 合理设置送风口和排风口。排风口应设置在室内被污染风险最高的区域, 因此排风口靠近生物安全柜设置, 送风口位于生物安全柜对面的房间入口处, 使得新鲜空气由清洁侧流向相对污染侧, 保证试验人员处于上风向, 实验室内设备的正常工作不受排风口和送风口的气流影响[7]。对于本实验室而言, 生物安全柜是最大的污染隐患, 因此将其布置于远离入口的相对污染侧, 其余实验仪器布置于清洁侧。气流组织采用上送下排方式, 确保污染空气经室内空间排出的距离最短, 减少回流与涡流, 送排风口布置如图 3 所示。

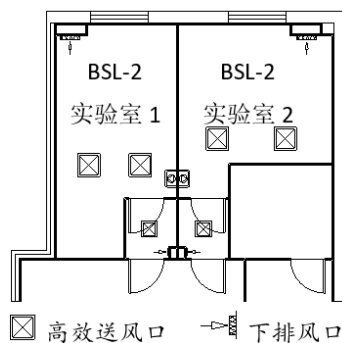


图 3 实验室风口布置图

Fig.3 Layout of the air port

3.6 净化消毒

室外新风送至室内时, 经过三道过滤器, 在空调送风机组内设置第一、二道过滤器, 末端风口设置第三道过滤器。空调送风机组采用 G4+F7, 送风末端采用高效过滤器 H14, 高效过滤器采用耐高温、高湿、金属框型, 高效过滤器箱上安装压力表, 持续监测阻力变化。排风高效过滤器具备原位检漏和消毒条件。

生物安全型密闭阀与防护区相通的送风管道及所有排风管道使用 304 不锈钢焊接 (氩弧焊满焊连接)。实验室送、排风管道支管安装耐腐蚀的生物安全型电动密闭阀, 消毒过程时关闭。消毒完毕后, 重新开启电动密闭阀及送排风机组, 将残留室

内的消毒气体排出室外。

实验室冬季加湿采用干蒸汽加湿器,有效避免微生物滋生。

4 自动控制

自控系统对于生物安全实验室而言,主要有两点要求:第一是保证实验室舒适的温湿度;第二是时刻保证实验室所要求的负压值及压力梯度。要实现以上两点,离不开先进的变风量技术,而变风量技术的实现,也需要自动控制系统的保障[8]。本项目实验室自控系统采用 PLC 控制系统,通过网关读系统内相关设备的运行状态及运行参数,并将数据实时反馈至监控室。

(1) 温湿度控制。根据室内设定的温湿度传感器实测值和系统设定值进行比对,实时控制空调机组的制冷、加热、加湿等环节。

(2) 压力控制。排风机组和空调机组可靠连锁,实验室运行时,排风机组先于空调机组开启,后于空调机组关闭。2台排风机组互为备用,运行机组故障时可在60秒内自动切换至备用机组,平时两台机组可轮流运行,延长使用寿命。为保证压力梯度,在相关房间设置微压计,当房间压力破坏时,自控系统能迅速做出反应,自动调整变风量阀的状态,调整送排风机的转速,在最短时间内恢复房间风量平衡[4]。

(3) 监控及门禁。门禁系统与实验室自控系统连锁,可实现门禁互锁机制,只有获得授权的人才能进入实验室。

5 结论

生物安全实验室建设越来越引起社会重视,肩

负的责任也越来越重大,必须对其进行周密设计,才能保证实验和生产的顺利进行。

(1) 各实验室情况千差万别,通风空调方案也必须根据实际情况,结合房间功能、投资需求、使用要求等确定。

(2) 气流组织设计要特别注意送风口的形式、位置以及送风速度,减少涡流和乱流,避免气流影响实验设备的正常运行。对于负压运行的生物安全实验室,风口布置应保证实验室形成定向气流,提高防护效果。

(3) 为保证系统安全运行,必须设置可靠的自控程序,确保送、排风系统启停顺序正确。保证实验室温湿度、压力梯度等满足设计和使用要求。

参考文献:

- [1] 谢景欣,王欢,王建锋,等.负压二级生物安全实验室设计关键控制点分析[J].暖通空调,2013,(5):38-42.
- [2] GB 50346-2011,生物安全实验室建筑技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [3] GB 19489-2008,实验室生物安全通用要求[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [4] 龙洋波,邢哲理,温旭怡,等.可正负压切换隔离病房通风空调设计探析[J].制冷与空调,2019,33(1):44-48.
- [5] 杨鹏,赵兵.P3生物安全实验室的空调系统设计[J].发电与空调,2013,34(3):64-67.
- [6] 谢景欣,王建锋,杨杰等.负压二级生物安全实验室防护措施设计分析与评价[J].环境与职业卫生,2011,28(9):561-563.
- [7] 袁胜鸿,肖晶.P3生物安全实验室安全防护技术设计分析[J].城市建筑,2019,332(16):126-129.
- [8] 云婷,魏一,邢国华,等.高等级生物安全实验室的自动控制方法[J].暖通空调,2020,50(1):25-30.