

负压二级生物安全实验室 设计关键控制点分析

江苏省疾病预防控制中心 谢景欣[☆] 王欢 王建锋 杨杰

摘要 以两个负压二级生物安全实验室为例,分析了实验室的功能分区与平面布局、通风空调方式、气流组织、送排风系统等关键控制点的设计。建议核心工作间(动物室)划分相对清洁侧和相对污染侧;设置缓冲间、更衣室和准备间;通风空调采用全空气直流系统;整体气流由清洁区流向核心工作间(动物室),核心工作间(动物室)气流由相对清洁侧流向污染侧;送风采用粗、中、高三级过滤,排风采用一级高效过滤;生物安全柜单独排风;IVC动物笼具和负压柜的排风并入实验室排风系统;设置备用排风机。

关键词 二级生物安全实验室 负压 功能分区 平面布局 通风空调 气流组织 送排风系统

Critical control point design of negative pressure biosafety level-2 laboratories

By Xie Jingxin[★], Wang Huan, Wang Jianfeng and Yang Jie

Abstract With two examples of negative pressure biosafety level-2 laboratories, discusses the design of functional zoning and layout, ventilation and air conditioning modes, air distribution, air supply and exhaust systems. Offers following suggestions: to divide the core working room (or animal room) into the relatively clean side and the relatively polluted side, to arrange the buffer, dressing and preparation rooms, to use the all-air direct flow air conditioning system, to set the flow direction of the overall airflow from the clean area to the core working room (or animal room), and the airflow in the working room (or animal room) from the relatively clean side to the polluted side, to use the primary-intermediate-high efficiency three-stage filtration in the air supply system, and the one-stage high efficiency filtration in the air exhaust system, to design separate air exhaust in the biological safety cabinets, to incorporate the IVC and negative pressure cabinet exhaust as part of the laboratory exhaust system, and to set spare exhaust fans.

Keywords biosafety level-2 laboratory, negative pressure, functional zoning, layout, ventilation and air conditioning, air distribution, air supply and exhaust system

★ Jiangsu Provincial Center for Disease Control and Prevention, Nanjing, China

① 引言

病原微生物实验室因操作致病性生物因子而存在污染源。生物安全实验室建设的目的是控制室内生物污染,确保实验人员不受伤害、环境不受污染,同时为实验过程提供清洁的环境,从而达到一定的生物安全防护水平。二级生物安全实验室分为二级生物安全防护水平(BSL-2)实验室和动物二级生物安全防护水平(ABSL-2)实验室,在各级生物安全实验室中适用面最广、使用量最大。许

多操作经空气传播的致病性生物因子的实验室,出于进一步降低人员感染和周边环境受到污染的风险,以及保持室内空气清洁从而保证实验质量和生

①[☆] 谢景欣,男,1963年11月生,大学,高级工程师
200028 南京市迈皋桥合班村122号江苏省疾病预防控制中心
(0) 13851668801
E-mail: cdcxjx@163.com
收稿日期:2013-03-22
修回日期:2013-04-01

物安全柜可靠性的考虑,希望室内呈负压洁净状态。目前,越来越多的单位建造了负压状态的二级生物安全实验室。但由于缺乏相关标准规范,许多建设与设计单位对负压实验室的设计理念含混不清,致使工程缺陷较多^[1-2]。本文选取笔者设计的两项工程实例,对二级生物安全实验室平面布局和通风空调系统的送排风、负压控制、气流组织、空气过滤等关键设计内容进行分析,为实验室设计提供参考。

1 对象与方法

1.1 项目概况

2个负压状态的二级生物安全实验室,一个为BSL-2实验室,另一个为ABSL-2实验室,分布在不同楼层,分别用于结核病实验室诊断和病原微生物科学研究。两实验室均配置生物安全柜、CO₂培养箱、冰箱、高压灭菌器等仪器设备。除此之外,ABSL-2实验室还配置3个小动物IVC(individual ventilated cage,独立通气笼)笼具和1个负压柜。工程竣工后经现场检测,各项指标都符合设计要求。实验室运行结果表明,平面布局适宜,既满足实验工艺要求,又符合生物安全防护要求;通风空调系统性能可靠、室内压力及压力梯度和温湿度比较稳定。上述情况验证了该项目生物安全防护措施的合理性、有效性和可靠性。

1.2 总体原则

通过平面设计,使负压二级生物安全实验室具有合理的功能布局,以符合生物安全关于洁污布置、交叉污染和气流组织等方面的理念;通过压力控制,使室内保持一定的负压及压力梯度,防止污染物扩散;采取过滤措施有效地去除空气中的微生物和尘埃;采取合理的气流组织,保证室内气流均匀、减少死角,并保证全面通风气流(全室气流)与生物安全柜等局部排风装置的气流相协调。

1.3 技术路线

1.3.1 功能分区与平面布局

为提高室内气流的均匀性,并易于实验设施、设备的布置,以避免交叉污染,核心工作间的平面结构尽量规整^[2]。为减少核心工作间与相邻相通区域的空气交换量,保证负压等空气指标的稳定,其出入口设置缓冲间^[1]。为保持核心工作间的规整性,缓冲间设于其外侧。为便于实验室管理,设置专用更衣室,有利于洁污分离,避免

交叉污染。出于建立合理的实验工艺流程需要,在清洁区域设置准备/洗消间。为降低因物品传输而使实验室与外界直接相通所带来的风险,在准备/洗消间与核心工作间之间设置双扉传递窗。

1.3.2 通风空调方式设计

采用独立于楼宇和其他实验室的通风空调系统,避免交叉污染。根据GB 19489—2008《实验室生物安全通用要求》(以下简称《通用要求》)的规定,ABSL-2实验室的动物室(核心工作间)采用直流系统^[3];为与实验室负压防护以降低风险的定位相对应,BSL-2实验室核心工作间也采用直流系统^[1]。排风经高效过滤器过滤后排出,避免影响环境。采取粗、中、高三级过滤净化措施,以保证室内空气的洁净度,有利于保证实验质量与消毒效果以及延长生物安全柜、送风和排风高效过滤器的使用寿命。

1.3.3 气流组织设计

为防止有害因子无序或逆向扩散,实验室整体区域气流方向为由外向内,经清洁区流向核心工作间,形成单向(定向)气流组织,如图1所示。核心

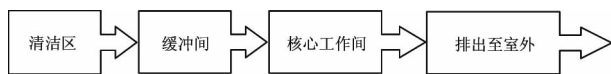


图1 实验室整体气流组织

工作间(动物室)是污染隐患最大的区域。将核心工作间(动物室)入口一侧设为相对清洁侧,远离出入口的一侧设为相对污染侧;将电脑、传真机、冰箱等相对清洁的设备布置在清洁侧,生物安全柜、IVC动物笼具和负压排风柜等直接产生污染物的设施、设备布置在污染侧;气流组织采用上送下排方式,新鲜空气从相对清洁侧送入,经实验人员后从污染源一侧排出,保证实验人员处于上风向^[4],如图2所示。送风口不得设置于生物安全柜等局部排风装置的上方及顶棚中央,以避免送风气流对局部排风气流造成横向干扰,并避免气流在房间内形成较大的死角和涡流^[5]。

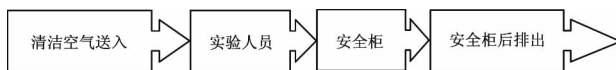


图2 核心工作间内气流组织

1.4 设计参数

实验室环境指标见表1^[1]。

表1 负压状态BSL-2/ABSL-2实验室环境指标

房间名称	负压名义值/ Pa	相邻相通房间的 最小负压差/Pa	洁净度	温度/℃	相对湿度/%	备注
BSL-2 核心工作间	-20	-10	8	18~27	30~70	
缓冲间	-10	-10	8	18~27	30~70	
ABSL-2 核心工作间	-20	-10	7	18~28	30~70	动物饲养间与核心工作间合并; 洁净度同SPF级
缓冲间	-10	-10	8	18~28	30~70	

2 结果

2.1 功能分区与平面布局

2个负压实验室用途不同,建筑条件也不同,因此规模和形态也不相同,但设计原则相同。从始终把握实验室生物安全理念和设计原则的统一性出发,为两实验室分别设置了核心工作间、缓冲间、更衣室和清洗/准备间。ABSL-2实验室,在核心工作间内除了配置BSL-2实验室必要的仪器设备外,还配置了3台IVC笼具,用于动物饲养;配置了1台负压排风柜,用于动物换窝和更换垫料;用1台双扉高压灭菌器替代一般立式高压灭菌器,布置于核心工作间和清洗/准备间之间,用于处理动物尸体、垫料等比BSL-2实验室更多的危险废弃物。为了形成合理的气流组织,将生物安全柜、IVC动物笼具和负压柜并排布置于核心工作间出入口的对侧(相对污染侧)。BSL-2和ABSL-2实验室的基本功能分区和其平面布局及仪器设备布置、人流物流设计等情况如图3,4所示。

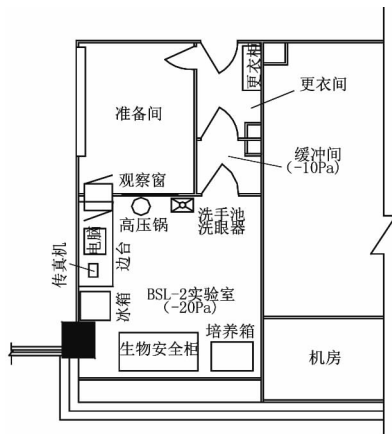
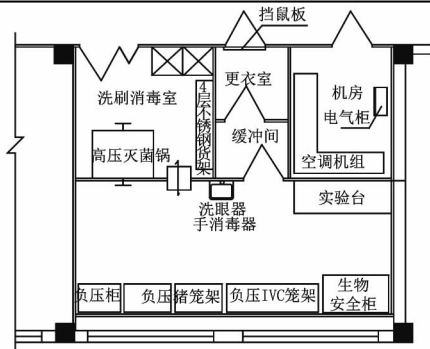


图3 BSL-2实验室工艺平面布置

2.2 通风空调方式

针对两实验室的洁净控制要求,结合当地气象条件特点(实验室位于华东地区),冷热源采用空气源热泵机组,可保证不同季节正常使用,空调采用全空气直流系统,换气次数不小于 12 h^{-1} [6]。BSL-2实验室空调机组采用制冷剂直膨式机组,ABSL-2实验室空调机组采用冷热水机组。空调



注:1) 负压IVC笼架为组合笼架,可同时放置大鼠15笼、小鼠28笼;
2) 负压猪笼架每架可放置猪笼6笼;
3) 生物安全柜为单人操作30%外排风

图4 ABSL-2实验室工艺平面布置

机组均包括新风段+粗效过滤段+表冷段(加热段)+加湿段+风机段+中效过滤器+出风段等功能段。实验室空调系统设计原理如图5所示。

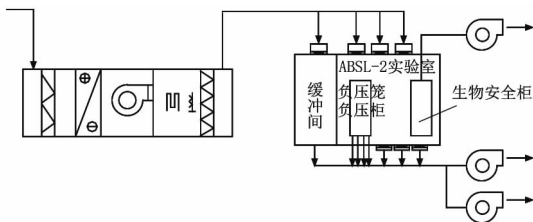


图5 空调系统原理图

2.3 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的扩散和减少对操作人员的危害[1]。气流组织由送风口和排风口的布置方式决定。基于气流单向、均匀并与生物安全柜、负压罩等局部排风气流相协调,避免产生横向干扰的原则[5],送风口呈“一”字形布置,尽量贴近顶棚边缘处,排风口布置在生物安全柜、IVC动物笼具、负压排风柜一侧下方墙体上,以形成空气从相对清洁侧送入,从相对污染侧排出,以及气流比较均匀的气流组织。BSL-2实验室和ABSL-2实验室送风口、排风口的布置如图6,7所示。

2.4 送风和排风系统

实验室送风系统采取粗、中、高三级过滤措施,高效过滤器设于实验室送风管道的末端,即房间送

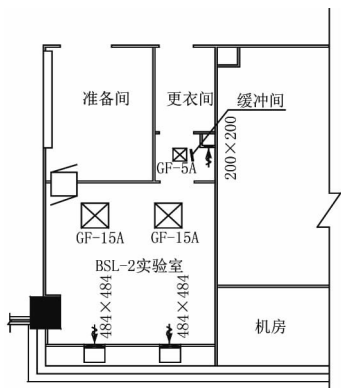
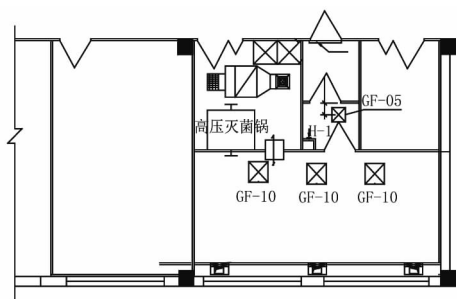


图6 BSL-2实验室送风口、排风口布置



□ 200×320铝合金排风口1个 □ 100m³/h高效过滤送风口3个 ■ 350×350方形送风口1个
 □ 500m³/h高效过滤送风口1个 ■ 500m³/h高效过滤送风口3个 ■ 300×420蛋格式回风口1个

图7 ABSL-2实验室送风口、排风口布置

风口处。排风系统采取一级高效过滤措施,高效过滤器设于排风管道的起始端,即房间吸风口处。上述措施的主要目的是省去高效过滤器与实验室之间的连接管道,以避免管道破损、局部空间藏污纳垢等带来的隐患,并充分体现采取过滤措施的意义,提高设计的合理性。

2.4.1 BSL-2实验室

在实验室邻室靠外窗侧划出一部分空间作为机房,将主机和空调机组安装于机房内。主机通过机房窗户进行通风散热。

实验室配置 ClassB2 型生物安全柜,按其技术要求,进入柜内的空气须全部排至室外。出于方便独立控制、避免与实验室整体通风空调系统相互干扰的考虑,为生物安全柜设计独立的排风系统。

BSL-2实验室送风、排风系统设计如图8所示。

2.4.2 ABSL-2实验室

主机安装于建筑楼顶。在实验室更衣和缓冲间的邻室划出一部分空间作为机房,将空调机组安装于机房内。

实验室配置 ClassA2 型生物安全柜,按其产品技术要求,70%的空气在柜内循环,另 30%的

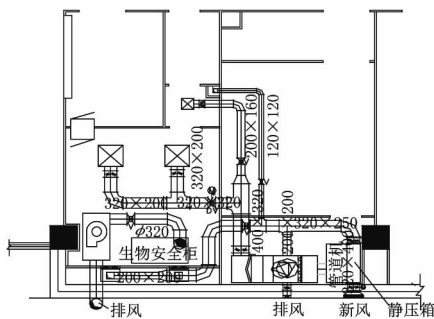


图8 BSL-2实验室送、排风系统

空气排到柜外,在保证柜内高效过滤器完好的前提下可以排至室内。出于进一步提高安全性的考虑,要求其 30% 的空气排至室外,因此,为生物安全柜设计独立排风系统,将柜内排出的空气引至室外排放。IVC 动物笼具和负压柜是直接产生生物污染物的设备,在其排风口安装高效过滤器,将排风管连接于实验室排风系统,保证动物笼具和负压柜内的污染空气经高效过滤后安全排至室外。

为了保证给动物笼具不间断供应空气,防止动物缺氧死亡;保证实验室和动物笼具持续处于负压状态,防止致病生物因子扩散,实验室排风系统配置了 2 台排风机。2 台排风机设计为相互备用,其意义在于:1) 当运行风机发生故障时,另 1 台可以及时自动切换运行。2) 2 台风机轮流运行(在下一个实验活动开始前调换风机运行),一是便于及时发现问题并予以维修,保证备用风机处于正常状态;二是有利于延长风机的使用寿命。

ABSL-2实验室送、排风系统设计如图9,10所示。

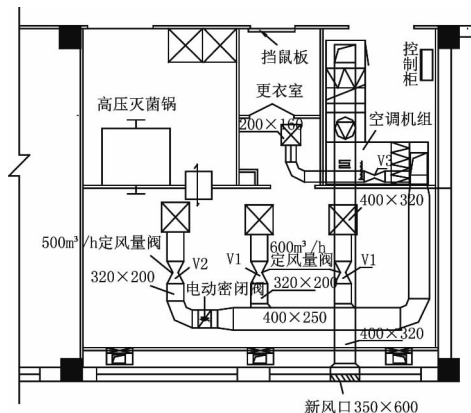


图9 ABSL-2实验室送风系统

3 讨论

对于生物安全实验室,有下列几方面问题需予

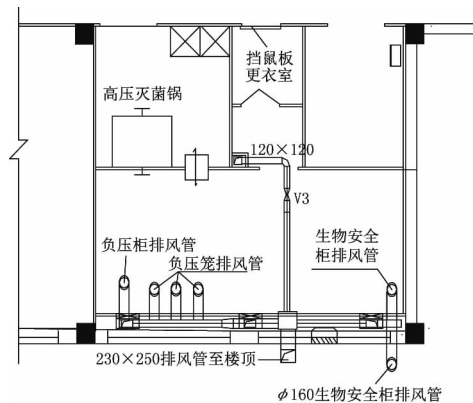


图 10 ABSL-2 实验室排风系统

以关注。

1) 在正常状态下,实验室所产生的污染物主要被控制在生物安全柜、IVC 动物笼具和负压柜等局部排风装置内,实验室空间受到严重污染的概率较低。

2) 任何一种局部排风装置的通风防护效率都无法达到 100%,含有污染物的气溶胶会随人员动作或高温热源等产生的干扰气流从操作口逸出;另外,对于将排风排至室内的生物安全柜等局部排风装置,所安装的高效过滤器可能出现未被发现的破损等泄漏,而致使实验室受到污染。

3) 实验室始终存在生物样本泼洒或跌落等造成污染物大量散放的风险隐患。

4) 虽然实验室空气有不可避免的污染,但由于实验人员穿戴防护服、口罩和手套等个人防护用品,因此,通常并不足以构成严重威胁,然而这并不能成为不采取通风防护措施的理由。

5) 对于采取负压防护(全面通风)措施的实验室,应遵循气流组织设计原则,即将送风口设在相对清洁(隐患小)的一侧,排风口设在相对污染(隐患大)的一侧,使工程设计具备科学性,以及实验室形成合理的定向气流,提高防护效果;空调宜

采用全空气直流系统,避免循环使用实验室排出的空气;设置缓冲间,使核心工作间与外界之间形成压力梯度,可有效降低人员进出对房间压力的影响,以及提高防止污染物扩散的效果。

《通用要求》等标准规范未对二级生物安全实验室的气压作出规定,表明实验室在常压状态下可满足相应防护水平实验活动的要求,但并未排除实验室可以呈负压状态。毋庸置疑,在科学合理设计和建造的前提下,负压状态实验室的生物安全防护性能优于常压状态。因此可以认为,二级生物安全实验室可呈常压状态,也可呈负压状态。对于实验室压力状态的选择,应由实验室根据所操作病原微生物的致病性与传播特点(如经气溶胶传播)、建筑条件(如面积、层高)、经济实力以及对于防护措施的期许等因素自行确定。

参考文献:

- [1] 谢景欣. 负压二级生物安全实验室防护措施设计分析与评价[J]. 环境与职业医学, 2011, 28(9): 561-563
- [2] 谢景欣. 全国 CDC 实验室设计中普遍存在的主要问题及应对措施[J]. 中国卫生工程学, 2007, 6(2): 65-69
- [3] 中国合格评定国家认可中心, 国家质量监督检验检疫总局科技司, 中国疾病预防控制中心, 等. 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] 邵强. 职业病危害卫生工程控制技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 92
- [5] 吕京. GB 19489—2008 《实验室 生物安全通用要求》理解与实施[M]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 42
- [6] 中国建筑科学研究院, 江苏双楼建设集团有限公司. 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