

负压二级生物安全实验室防护措施设计分析与评价

谢景欣, 王建锋, 杨杰, 张峰, 徐燕琼

摘要: [目的] 指导负压二级生物安全实验室防护措施设计。[方法] 就负压二级实验室建造中的突出问题, 结合工程实例, 通过实验工艺、功能分区、平面布局、人流与物流组织、通风空调方式、气流组织、环境参数等关键因素分析, 提出实施意见。[结果] 应设缓冲间; 核心间/动物间形态宜规整; 宜设更衣和准备间。宜采用直流系统; 整体气流由清洁区流向核心/动物间, 核心/动物间气流由相对清洁处流向污染源。气压梯度不小于 10Pa; 负压名义值: 核心间, 包括合并动物间的宜 -20Pa; 独立动物间宜 -30Pa。[结论] 设计不仅应符合生物安全理念和实验工艺要求, 而且应符合暖通、建筑等原理与要求。该指导性意见对科学建设实验室具有积极意义, 并已在许多工程中得以验证。

关键词: 二级生物安全实验室; 负压; 防护措施; 设计

Design and Evaluation of Protection System for Biosafety Laboratory Level-2 with Negative Air Pressure XIE Jing-xin, WANG Jian-feng, YANG Jie, ZHANG Feng, XU Yan-qiong (Jiangsu Provincial Center for Disease Control and Prevention, Nanjing, Jiangsu 210009, China)

Abstract: [Objective] To guide the design of protection system for biosafety laboratory level-2(BSL-2) with negative air pressure. [Methods] The suggestions were proposed through summarized the significant problems in laboratory construction, experiment process, function isolation, floor layout, organization of people and logistics, ventilation, air flow and other environment parameters. [Results] Buffer room and dressing room should be included in BSL-2 as well as preparation room. The form of animal room should be regulated and should apply co-current system. The entirely current should flow from pristine area to animal room and air current in animal room should flow from relative cleaning to pollution zone. Baric gradient should not be less than 10Pa. The value of negative pressure should be -20Pa in core room included combination animal room and -30Pa in the independence animal room. [Conclusion] The design must consistent with biosafety and requirement of experiment process but also should agree with the need of heating ventilation and construction principle. In the paper, the proposed suggestions can guide the construction of laboratory and have been confirmed in the many projects.

Key Words: Biosafety laboratory level-2; Negative pressure; design; Evaluation

病原微生物实验室因其空气有被生物污染的可能而给实验人员和环境带来风险。实验室应通过科学合理的设计建造等措施, 来确保实验人员不受生物因子的伤害、环境不受其污染, 从而达到一定的生物安全防护水平。二级生物安全实验室(以下称 BSL-2 实验室和 ABSL-2 实验室, 分别表示“二级生物安全防护水平”和“动物二级生物安全防护水平”实验室)往往涉及致病性较强的生物因子实验活动, 在各级生物安全实验室中适用面最广、使用量最大。GB 19489—2008《实验室生物安全通用要求》(以下简称《通用要求》)等标准规范未对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, 负压状态实验室的生物安全防护性能高于常压状态^[1]。

本研究拟就负压状态二级生物安全实验室的防护措施设计集中存在的关键性问题进行分析评价, 提出实施意见。

1 对象与方法

1.1 设计依据盲点

对于 BSL-2 实验室, 我国大陆现行的标准规范未对气压、温湿度、洁净度等室内空气指标, 以及空调、新风量、气流组织等提出具体要求。对于 ABSL-2 实验室, 《通用要求》规定动物饲养间为负压, 但未明确负压控制值。

1.2 工程现况

许多操作经空气传播的致病性生物因子的实验室, 出于进一步减低风险, 以及保持室内清洁和延长生物安全柜寿命的考虑, 希望室内空气呈负压洁净状态。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。但由于缺乏标准规范具体规定的支持, 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]。

1.3 重点内容

影响实验室防护措施合理性的关键环节是功能分区、平面布局、通风空调方式、气流组织、人流与物流组织、环境参数确定等, 本研究就此存在的设计问题进行识别、分析、提炼, 针对性和系统性地提出比较合理的实施意见。

[作者简介] 谢景欣(1963—), 男, 学士, 高级工程师; 研究方向: 卫生工程; E-mail: cdcxjx@163.com

[作者单位] 江苏省疾病预防控制中心, 江苏 南京 210009

1.4 方法路线

基于目前疾病预防控制系统负压二级生物安全实验室建设中存在的问题,充分运用工程实例和理论图例体现设计理念。在经研讨并能够理解、融合和运用《通用要求》等各有关领域的标准与规范要求的基础上,将生物安全理念、实验工艺要求、通风空调和建筑等学科知识结合起来,转化为工程设计与评价要求。

2 结果

2.1 功能分区与平面布局

2.1.1 基本分区与布局 (1)核心工作间及其缓冲间: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应尽量规整^[2]。为减少核心工作间与相邻相通区域的空气交换量,保证负压等参数的稳定,其出入口应设置缓冲间^[1]。为保持核心工作间的规整性,缓冲间宜设于其外侧。对于 ABSL-2 实验室,可设独立动物室,也可将动物室与核心工作间合并^[3]。(2)更衣室:设置专用更衣室,便于实验室管理,有利于洁污分离,避免交叉污染。人员更衣后须经缓冲间进出核心间,形成合理人流组织。(3)准备(洗涤)间:出于建立合理的实验工艺流程需要,通常在清洁区域设置准备(洗涤)间。为减少实验室负压等指标的丢失,降低因物品输送带来的风险,应与核心间之间设置双扉传递窗,物品按照“准备间—传递窗—核心间”的途径进出。因废弃物必须经安全处理方可离开核心间,故无需设污物专用走廊^[1],减少了核心间的开口,有利于空气指标的稳定。

综合上述因素分析结果,即可明确负压状态二级生物安全实验室的基本功能分区及其平面布局的相互逻辑关系(图1)。

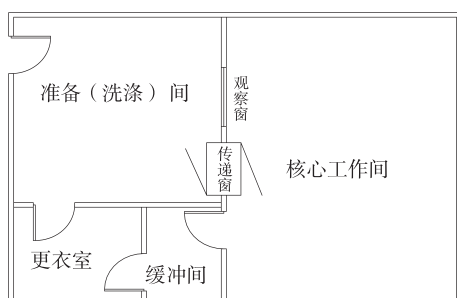


图1 某市某负压二级生物安全实验室平面设计

2.1.2 样品库和淋浴间 基于某些原因,一些单位为负压状态BSL-2(ABSL-2)实验室配置样品库和淋浴间。

样品库的设计应保证其具备独立的人流、物流通道,以满足单独使用的要求;另外,由于冰箱散热的因素,还应特别考虑夏季通风降温的措施。

淋浴间的设计宜满足人员按“更衣室—缓冲间—核心工作间”的途径进入,按“核心工作间—缓冲间—淋浴间—更衣室”的途径离开。

配置样品库和淋浴间的实验室功能分区及其相互逻辑关系可见图2所示。

2.2 通风空调方式

应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。既然实验室作出了负压状态的选择,其前提是认定实验室空气中有病原微生物污染的隐患,因此至少核心工作间不宜采用循环空气,而应采用直流系统^[4]。动物室按《通用要求》规定应采用直流系统^[3]。排风应经高效过滤器过滤后排出,避免影响环境。有洁净要求的应采取初、中、高三级过滤模式,以延长送风高效过滤器的使用寿命。

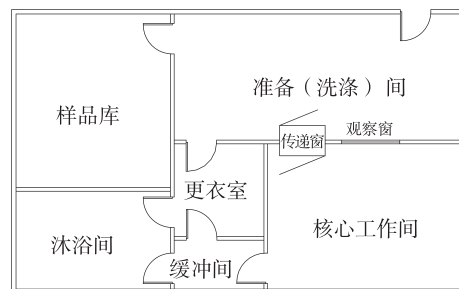


图2 某市某负压二级生物安全实验室平面设计

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的扩散和对操作人员的危害,反之,不仅会削弱通风防护的效果,而且往往会加重危害的程度。

2.3.1 整体区域气流组织 为防止有害因子无序或逆向扩散,气流方向应由清洁区流向核心间,形成定向气流组织,如图3所示。



图3 实验室整体气流组织

2.3.2 核心工作间气流组织 核心工作间是污染隐患最大的区域。通常,紧邻出入口的房间两侧是相对清洁侧;生物安全柜和负压柜/罩被视为污染源,应同侧布置,并置于清洁侧的对侧;气流应从相对清洁侧送入,经实验人员从污染源一侧排出,保证实验人员处于上风向^[5],如图4所示。



图4 核心工作间内气流组织

气流组织还应遵循气流均匀,并与生物安全柜、负压罩等局部排风气流相协调的原则。送风口应呈“一”字形排列,尽量贴近顶棚边缘处,排风口应布置在生物安全柜、离心机一侧下方墙体或上方顶棚边缘处,如图5所示。房间气流应避免对局部排风气流造成横向干扰(图6)。送风口不得设置于生物安全柜等局部排风装置的上方以及顶棚中央,一是避免送风气流对局部排风气流造成纵向干扰;二是避免形成较大的死角和涡流^[6](图7、图8)。

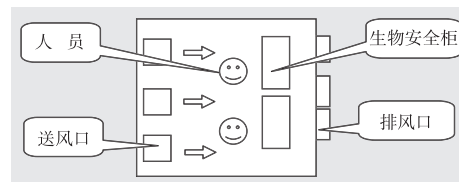


图5 某省CDC实验室对侧上送下排风口布置和气流组织平面示意

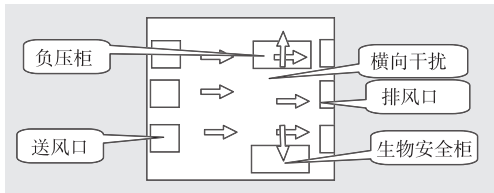


图 6 房间气流对局部排风气流横向干扰平面示意

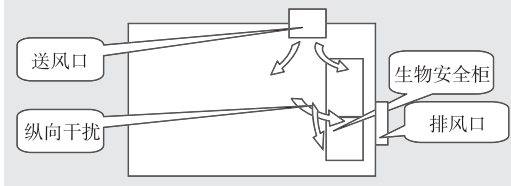


图 7 某市实验室房间气流对局部排风气流纵向干扰示意

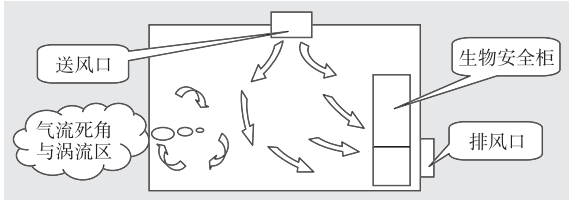


图 8 某市实验室形成较大死角和涡流区的气流组织示意

2.4 室内环境指标

2.4.1 BSL-2 实验室气压 为保证空气由洁净区流向污染区,区域之间应保持一定的压力梯度。通常,可靠的压力梯度应不小于 10Pa^[2]。从清洁区(外部环境)经缓冲间至核心工作间推算:清洁区气压为零,当缓冲间采取机械通风时,其负压应不小于 -10Pa;核心工作间的负压宜增加一级梯度,即不小于 -20Pa。

三级生物安全实验室(以下称 BSL-3 实验室)核心工作间最小负压规定不小于 -30Pa^[3],按 BSL-2 实验室应降低一个等级,压力梯度不小于 10Pa 进行逆向验证,结论与上述推算结果相吻合,见图 9 所示。

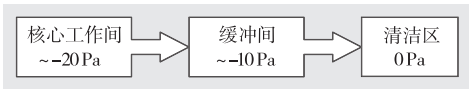


图 9 实验室各空间压力及压力梯度示意图

2.4.2 ABSL-2 实验室气压 按“2.4.1”的分析方法与结果推算:若分别设置动物饲养间和核心工作间,饲养间负压自然应大于核心间一级梯度,即宜不小于 -30Pa,其缓冲间不小于 -20Pa;若饲养间与核心间合并,负压宜不小于 -20Pa,其缓冲间不小于 -10Pa。

2.4.3 其他指标 《通用要求》等有关生物安全标准和规范未对 BSL-2(ABSL-2)实验室的洁净度和温湿度作出规定,但在有关实验动物标准中对动物的饲养环境有相应要求^[7]。在一般情况下实验室温度宜为 18℃~26℃,相对湿度宜为 30%~70%,上述要求是针对病原微生物实验活动以及职业卫生提出的通用要求,也是基本要求,同样适用于负压状态 BSL-2(ABSL-2)实验室^[3]。BSL-3 实验室静态洁净度应不低于 8 级^[3],是出于保证实验活动提出的基本要求,BSL-2(ABSL-2)实验室可参照设计^[1],有利于保证实验质量与消毒效果,并有利于延长生物安全柜等局部排风装置的使用寿命。

2.4.4 归纳汇总 上述分析提出了负压状态 BSL-2/ABSL-2 实验室环境指标的设计参考值,这些指标已在多项工程中得以运用,易于实现,效果良好。各参数见表 1。

表 1 负压状态 BSL-2/ABSL-2 实验室环境主要参考指标

实验室名称	房间名称	负压名义值 (Pa)	相邻相通房间的最小负压差 (Pa)	最低洁净度 (级)	温度 (℃)	湿度 (%)	备注
BSL-2	核心工作间	-20	-10	8	18~26	30~70	—
	缓冲间	-10	-10	8	18~26	30~70	—
ABSL-2	动物饲养间室	-30	-10	8	18~26	30~70	—
	缓冲间(动)	-20	-10	8	18~26	—	设独立动物
	核心工作间	-20	-10	8	18~26	30~70	饲养间
	缓冲间(核)	-10	-10	8	18~28	30~70	—
	核心工作间	-20	-10	8	—	—	动物饲养间与核心工作间合并
	缓冲间	-10	-10	8	—	—	—

[注]缓冲间(动)、缓冲间(核),分别指动物间和核心间出入口的缓冲间。

3 讨论

科学合理的工程设计是保障实验室生物污染防治效果的前提。《通用要求》等标准规范未对 BSL-2/ABSL-2 实验室的负压防护措施作出具体规定。从各地实际情况看,常压状态实验室基本符合标准要求,负压状态实验室存在问题较多,主要体现在功能分区、平面布局、空调通风、气流组织、人流物流、环境参数等方面设计理念的含混,表现出实验室防护系统各相关措施之间逻辑关系的混乱。设计人员应融会贯通生物安全理念,结合通风、空调、建筑等多领域的标准与规范,以及相关学科的知识,根据实验室的工艺要求、建筑条件、经济能力等个性因素,兼顾运行能耗等问题,进行分析与体现,才能取得科学、合理、适用、可靠、经济的效果。目前,这些要求已用于江苏省 CDC 等国内多家单位的流感、结核等实验室的设计,经实际项目运行验证了防护措施的合理性、有效性和可靠性。

参考文献:

[1] 谢景欣. 负压二级生物安全实验室设计要点[J]. 中国公共卫生, 2010, 26(10): 1231-1232.

[2] 谢景欣. 全国 CDC 实验室设计中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] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 19489—2008 实验室生物安全通用要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[4] 中华人民共和国卫生部. GBZ 1—2010 工业企业设计卫生标准[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2010.

[5] 茅清希. 工业通风[M]. 上海: 同济大学出版社, 1998: 17-18.

[6] 全国认证认可标准化技术委员会. 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.

[7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 14925—2001 实验动物 环境与设施[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.

(收稿日期: 2011-03-11)

(英文编审: 金克峙; 编辑: 丁瑾瑜; 校对: 王晓宇)