

浅析生物安全三级实验室特殊房间密封性施工技术

周刚 年翠芳 何英

中建新疆建工(集团)有限公司西北分公司 甘肃 兰州 730000

摘要:生物安全实验室的控制技术指标很多,如压差、洁净度、温度、相对湿度、噪声、照度、围护结构的密封性等。在项目实施中,最关键、最困难的就是结构的紧密性。密封性涉及工期长、点多、面广,直接关系到工人操作和现场控制。施工完成后,围护结构的紧密性抑制试验也是最难通过的;如果过程控制不好,反复检漏,反复检测,会影响实验室的服务时间。即使是发现的缺失点也很难修复。

关键词:生物安全;密封节点;施工技术

前言

在生物安全实验室工程项目实施中,最关键、最难达标的是结构的严密性。针对 ABSL-3 大动物混凝土结构实验室密封节点技术措施及质量控制,通过生物安全实验室方面的实际施工经验,对混凝土结构实验室的常见密封节点进行了分析,为实验室建设提出控制措施和合理化建议,从项目落地实施的角度,为生物安全实验室工程项目提供参考及借鉴。

一、新版国家标准的解读

1. 细化 BSL-3 的分类

根据生物安全实验室建设和管理的原则,以病原传播特性和实验室所采用的安全隔离设施为基础,明确了从操作人类免疫缺陷病毒(HIV)等非经空气传播致病性生物因子的实验室,到操作禽流感病毒等经空气传播致病性生物因子的实验室的要求。在不降低安全水平的同时,使国家标准的适用性更广泛,利于节约资源和科学管理实验室。

2. BSL-3 分区与国际接轨

新版国家标准明确了实验室防护区的概念。“防护区”概念是基于风险评估的宏观控制理念,利于实验室根据需求建设适用的实验室。引入防护区的概念,并不影响实验室现有的分区方法,且使国家标准与国际标准互通性更强,利于国际合作与交流,符合国家标准的制定原则。

3. 定义实验室严密性和其他控制参数

新版国家标准定义了实验室严密性和其他控制参数数值范围,明确了采用烟雾测试、空气泄漏率检测法或压力衰减法检查实验室防护区内围护结构严密性的适用条件,并将检测方法作为标准的资料性附录。

4. 实验室内的送排风方式

新版国家标准引入国际成熟经验和做法,不具体限制房间的送排风方式。标准强调气溶胶概念,在实验工作中尽可能减少产生气溶胶的操作,所有可能产生气溶胶的实验操作应在生物安全柜内进行,同时在通风系统设计中,

对实验室内的气流采取流向控制的手段,保持室内的空气定向流动,避免产生乱流。

5. 过滤器单元的属性 and 功能。

新版国家标准提出排风系统高效微粒空气过滤器(HEPA)单元的具体属性和功能,保证过滤器的有效性,明确要求可以原位消毒和检漏,并将公认的扫描检漏方法作为标准的资料性附录。

二、通讯系统技术改造措施

1. 新版国家标准要求,“需要时,应可立即解除实验室门的互锁;应在互锁门的附近设置紧急手动解除互锁开关”。核心工作间附属的缓冲间,具有双门互锁功能以保障核心工作间的压力梯度及感染型气溶胶的外泄,但是该装置不利于紧急撤离时的逃生。通讯及弱电系统改造时按新标准规定,增加实验室门的互锁解除的解除按钮,以便在需要时人员可立即逃出。实验室互锁的门会影响人员的通过速度,应有解除互锁的控制机制。当出现紧急状态时,监控室工作人员通过通讯系统中的对讲机告知核心工作间人员需要紧急撤离,并通过中控系统解除所有门或指定门的互锁。同时,撤退人员也可以手动解除设在每扇互锁门附近的紧急手动解除互锁开关,安全撤离。

2. 核心工作间的缓冲间的入口处应有指示核心工作间工作状态的装置(如文字显示或指示灯),必要时,应同时设置限制进入核心工作间的连锁机制。按规定,在BSL-3核心工作间的缓冲间的入口处,安装工作状态显示装置,其目的是防止人员意外或随意进入核心工作间。在实验进行中或发生溢洒事故时,不允许人员随意进出房间。基于此,在实验室改造过程中,缓冲间的入口处应有表明核心工作间内部状态的显示,如红灯、绿灯、黄灯3组,提示其他人员暂时不要进入核心工作间。必要时应在核心工作间内部锁住缓冲间对外的门,限制人员进入。

三、通讯及弱电系统的技术改造

1. 新版国家标准要求,“实验室防护区内应设置向

外部传输资料和数据传真机或其他电子设备;监控室和实验室内应安装语音通讯系统。如果安装对讲系统,宜采用向内通话受控、向外通话非受控的选择性通话方式;通讯系统的复杂性应与实验室的规模和复杂程度相适应”。该条款是关于BSL—3通讯系统的要求。实验室通讯系统的形式包括语音通讯、视频通讯和数据通讯等,均在网络综合布线系统的基础上完成,传输的基带信号为数字信号,目的主要有两个,安全方面的信息交流和实验室数据传输,包括语言、文字、图像和数据。在实验室运行期间,监控室内要有工作人员值守。

2. 为避免污染扩散的风险,在实验室防护区内(通常为核工作间)设置的传真机或计算机网络系统,将实验数据、实验报告、数码照片等资料和数据向实验室外传递。在BSL-3实验室内从事的高致病性病原微生物相关的实验活动,是一项复杂、精细、高风险和高压力的活动,需要工作人员高度集中精神,始终处于紧张状态。为尽量减少外部因素对实验室内工作人员的影响,监控室内的通话器宜为开关式。在实验室内采用免接触式通话器,使实验操作人员随时可方便地与监控室人员通话。

3. 适用的通讯设备设施包括电话、传真机、对讲机、选择性通话系统、计算机网络系统、视频系统等等,根据实验室的规模和复杂程度选配,已经合理的设置通讯点的位置及数量。保证了实验室通讯的畅通,并符合实验室安全性的要求。目前在两个核工作间、缓冲间、准备间、一更衣间、二更衣间均安装电话,在核工作间安装了对讲机、传真机和网络接口。在实验室改造过程中,应用了第四代通讯技术4G网络,安装了短信收发器,内置移动的SIM卡,可将设施运行过程中发生的报警和故障信息发给指定人员,便于及时了解和快速处置。

四、密封性施工工艺

1. 气密门的安装

(1) 组成部分

主要部件:门框、门板、观察窗、铰链、密封框、控制系统、压力显示器与状态显示器;电磁锁、闭门器;空气管;双路应急开关。

(2) 预埋门框安装技术要点

1) 预埋的子门框尺寸一般为两种:1398mm×2250mm及1198mm×2250mm,分别对应1200mm×2100mm及1000mm×2100mm气动密闭门。

2) 由于子门框尺寸大于结构预留洞尺寸,需确认门边暗柱竖向钢筋是否与子门框产生干涉。如现场未施工,且结构图纸未考虑此情况,应立即反映于建设单位修改门

边暗柱竖向钢筋位置;如现场已经施工,则将此情况反映于建设单位,制定完善措施及方案。如需切割钢筋,原则:门边一侧给压差计、进线盒位置预留出足够安装空间,但需保证相邻两樘门位置移动后位于同一纵线上(激光水平仪找正后弹线)。

3) 垂直度安装要求:浇灌混凝土后气密门子门框(即预埋件)垂直度在最上端与最下端差距不超过5mm。

4) 净空安装要求:子门框上口外边缘距完成面±0.00m标高为2150mm,子门框上口内边缘距完成面±0.00m标高为2055mm。

(3) 密封测试

1) 将泄漏测试设施连接到门座上快速作用连接器上。

2) 利用手动泵将空气泵送到测试槽内直到达到测试压力(2000Pa)为止。

3) 平稳地按住手动泵保持该压力为一个恒定值。

4) 读得的体积流量应该低于允许的泄漏速率。

2. 双扉高压灭菌柜的安装

1) 根据灭菌器的尺寸在墙体预留预埋件。

2) 设备到场后,将设备平移到预留的孔洞中。

3) 将设备的连接件与预埋件连接。

4) 设备与墙体之间的缝隙进行生物密封。

3. 气密传递窗的安装

(1) 组成部分

主要部件为传递窗主体、送排风高效接口(若有)、消毒喷口、自动控制系统。

(2) 安装技术要求

先根据传递窗的尺寸在墙体上预留预埋件;设备到场后,再将设备平移到预留的孔洞中;然后将设备的连接件与预埋件连接;最后将设备与墙体之间的缝隙进行生物密封。

(3) 检验检测

混凝土墙体上安装的,进行500Pa压力测试,30min压力衰减不超过250Pa即合格。

4. 管道、电气、暖通预埋件安装

所有进入防护区的管线均需进行预埋。预埋采用定制不锈钢制品。预埋工作需要和土建浇筑工作紧密配合,不得漏埋、错埋。预埋件的安装技术要点:

(1) 预埋时确保调平、调正,与土建钢筋连接牢固,浇混凝土前需要复测。

(2) 定制预埋件时需重新复核预埋件尺寸数量,需出具详细大样图给厂家定做。

(3) 穿墙密闭器、风管等预埋件安装时由工程师确定数量尺寸及安装位置,技术负责人进行复核。

(4) 所有防护区顶板预埋件高度应高于土建楼板完成面高度。

(5) 所有打压区顶板预埋件安装完后应及时做好封口, 保证预埋件内侧洁净。

5. 穿墙密闭器安装

(1) 穿墙密闭器组成部分

1) 垫板垫板放在每排模块之间, 简化安装, 提高稳定性并且固定住框中的模块。材质为不锈钢。

2) STG - 紧固件。安装在压紧板与框架顶部之间完成密封。由配有不锈钢配件的 Lycron 制成。Lycron 为一种带有润滑功能的复合聚合物。

3) 压紧板。压紧板通常装在顶部一排填充模块的上面。拧紧板上的螺栓使电缆周围的模块收紧密封, 同时为 STG 紧固件提供空间。它由 GRP (玻璃纤维增强聚酯) 制成。

4) PTG - 楔形压紧块。代替 STG 紧固件与压紧板, 可安装于框架中的任何位置。由配有不锈钢配件的 Lycron 制成, 必须与垫板组合安装。

(2) 安装技术要求

1) 测量开口以确保其尺寸为公差标准 $120.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 。

2) 确保框架清洁, 对内部进行润滑, 然后铺入电缆, 将最大的电缆放于底部。

3) 开始封装。在各层填充模块间插入垫板。

4) 放置最后一排模块前在框架中插入压紧板。

5) 插入最后一排模块, 拧紧螺栓, 直到压紧板顶部与框架内侧间隙为 32mm。

6) 插入紧固件 STG, 用其舌环绕压紧螺栓。上紧紧固件的螺母, 压紧密封。螺栓有约 12mm 螺纹外露。注意: 安装后 48 h 内不可对密封加压, 以使系统稳定下来 (基于 20℃ 环境温度), 温度越低, 稳定下来所需时间越长, 测试压力为 0.5MPa。

(3) 压力测试

1) 测试准备。用扳手拆除上下两个测试管口的密封螺栓。在下部的测试管口安装一个截止阀。在上部的测试管口安装一个带压力表的截止阀。进气压力软管连接到下部的截止阀。上部截止阀连接排气软管。打开两个截止阀, 将气体注入密封测试件中。当上部的排气管有气排出时, 关闭下部的截止阀。然后关闭上部的排气截止阀。

2) 测试过程。打开下部的注入阀, 开始打压。压力每增加 0.1MPa, 停止打压维持 5min。当压力到达 0.5MPa 时, 停止打压, 并维持 30min, 无气泄漏且密封件无损坏,

测试通过。

3) 测试完成。打开上部的截止阀, 对密封测试件内部泄压。拆除上下两个端口的连接软管, 并在下部管口连接一个排气管。打开下部的截止阀, 将密封测试件内部的气全部排出。拆除两个截止阀及压力表。将密封测试管口用密封螺栓和垫片密封。密封测试件密封完毕, 压力泄漏测试完成。

6. 生物安全地漏安装

(1) 地漏定制产品要求

生物安全实验室如进行大动物实验, 地漏应采用定制产品, 满足以下要求。

1) 易于清理, 无消毒死角。

2) 不易堵塞, 有过滤装置, 应为三级过滤。

3) 有防止液体回流的措施, 水封高度不低于 150mm。

4) 地漏应为双层结构, 防止漏液。

5) 具有耐腐蚀性, 能耐有机废水腐蚀、具有足够的强度, 能经受大动物的踩踏, 普通常规的地漏无法满足其使用功能。

(2) 地漏套筒预埋

在土建施工阶段进行套筒的预埋, 并做好封口, 防止混凝土进入。

1) 套筒加工要求: ①定点加工制作。②套筒的翼环应双面满焊, 且焊缝饱满、平整、光滑、无夹渣、无气泡、无裂纹等现象, 并及时清除焊渣。③套筒内采用软性物填充严密, 端部用封口胶带封闭保护。

2) 套筒定位: ①套管定位应准确 (含标高和平面定位)。②在混凝土浇筑过程中必须有安装人员旁站守护以防止预埋套管移位。除以上主要密封节点外, 消毒接口、压力测试口、穿墙固定螺栓等也应作为重点关注。

结语

总之, 高级别生物安全实验室的建设越来越受到国家的重视, 新冠疫情的暴发和持续又加快推进了规划建设的进程。生物安全实验室在设计 and 理论研究方面, 取得很多的成果。生物安全实验室又不同于一般的工程建造, 是介于设备制造和工程建设中间的一个关键性存在。单从围护结构严密性上来讲, 可以将其视为一个密闭的“容器”, 只不过它的材料、构成和控制与以往不同。

参考文献

[1] 刘晓玲. 空气洁净技术原理. 2020.

[2] 许浩宇. 关于生物安全三级实验室特殊房间密封性施工技术探讨. 2022.