

二级生物安全实验室暖通系统如何设计

暖通空调系统作为生物安全室二级屏障重要的环节，其主要功能是为实验室工作人员及周围提供保护，同时避免交叉感染，为了达到这个目的，暖通空调系统需要提供新风、控制温湿度、减少异味和污染，对于生物安全实验室，暖通系统的设计还需通过运行管理人员、使用人员以及生物安全负责人员的审查。

一、空调负荷

一般办公房间的空调负荷包括围护结构负荷、新风负荷、照明负荷、办公设备负荷、人员负荷以及其他负荷等。对于生物安全实验室，其空调负荷相比一般办公房间的空调计算负荷要大得多，它需要额外考虑实验设备的散热量。

实验室相比于一般办公房间，除办公设备散热量外还需要额外考虑实验室用设备的高散热量，如低温冰箱、高压灭菌器等都会影响实验室的显热负荷；另外为维持房间风量平衡而补充的新风量（make-up fresh air），实验室因为存在局部排风设备，如生物安全柜，为了维持实验室的风量平衡，除人员新风外还要补充新风，需要考虑额外的新风负荷。

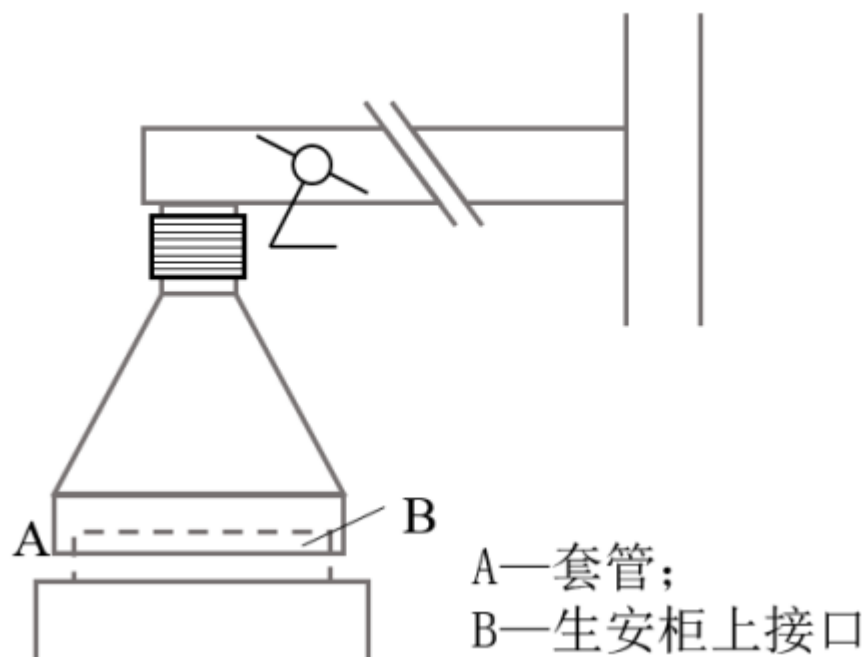
二、空调及通风系统

生物安全实验室的空调及通风系统设置应根据操作对象的危害程度、平面布置、风险评估等情况经技术经济比较后确定，普通型 BSL-2 级生物安全实验室一般可选择采用全空气系统、“空气—水”系统、变冷媒流量多联机（VRF）系统或者分体空调等多种形式。

在空调通风系统设计时应注意采取有效措施避免实验室之间以及与其他区域的交叉污染。普通型 BSL-2 级生物安全实验室当配置有生物安全柜时应设置机械通风系统：设置内循环型生物安全柜的实验室应设置全室排风系统；而全排型生物安全柜需要设置独立于建筑物其他公共通风系统的专用风机及管道将其排出。

需要注意的是，全排型生物安全柜的排风并未在有关规范中禁止与所在实验室的通风系统合并，国外的相关标准中还提供了合并排风的具体做法，美国 BMBL 标准以及 NSF/ANSI-49 给出了合并排风的实施方案。

1、对于 TYPE A1/A2 CLASS II 生物安全柜，可通过伞形罩或套管将部分排风接至实验室排风系统。套管或伞形罩的尺寸比生物安全柜的上接口 B 稍大些（直径差通常为 2.5cm），A、B 之间的空隙提供了一个缓冲调节空间保证生物安全柜的排风不受外部排风变化的影响，即使外部风机停止运行，生物安全柜仍可继工作。《WHO 实验室生物安全手册》要求“实验室排风系统的排风能力应能满足房间排风和安全柜排风的要求，套管应可拆卸，或者设计成对安全柜进行操作测试的类型”。



2、对于 TYPE B1/B2 CLASS II 生物安全柜，则通过硬管严密地连接到实验室排风系统或者针对每一个生物安全柜安装专用风管与风机。WHO 实验室生物安全手册要求“建筑排风系统的排风量和排风静压必须与生产厂商所指定的要求正好一致，对硬管连接的生物安全柜进行认证时，要比将空气再循环送回房间或采用套管连接的生物安全柜更费时。

三、气流组织

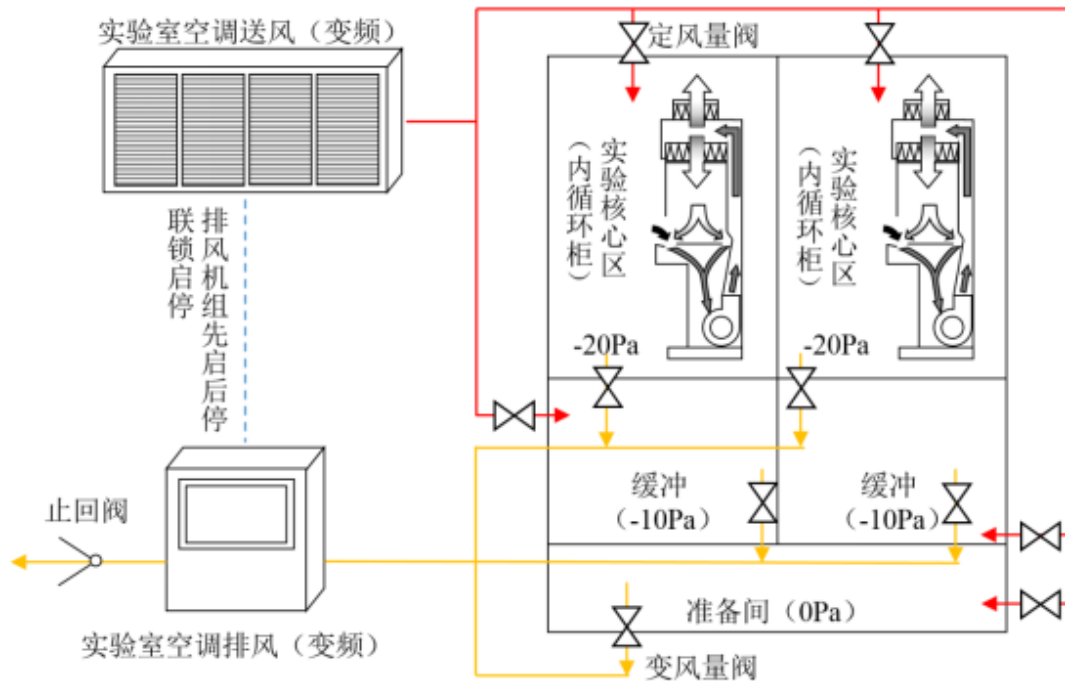
为了防止有害生物因子无序或逆向扩散，不论是哪种类型的实验室都应重视室内的气流组织，生物安全实验室的气流组织宜采用上送下排方式，其送风口和排风口的布置应形成向内的定向气流，从低污染区流向高污染区，避免气流在房间内形成较大的死角或者涡流，而且务必不能影响生物安全柜的性能表现。《生物安全实验室建筑技术规范》中明确“在生物安全柜操作面或其他有气溶胶产生地点的上方附近不应设送风口。气流组织上送下排时，高效过滤器排风口下边沿离地面不宜低于 0.1m，且不宜高于 0.15m；上边沿高度不宜超过地面之上 0.6m。排风口排风速度不宜大于 1m/s”。

四、加强型医学二级生物安全实验室暖通系统设计

加强型医学二级生物安全实验室的空调通风系统设计首先需满足普通型二级生物安全实验室的设置要求。除此外，《医学二级生物实验室建筑技术标准》对其排风做了特别要求——“加强型医学 BSL-2 实验室应经高效过滤器过滤后排出”。

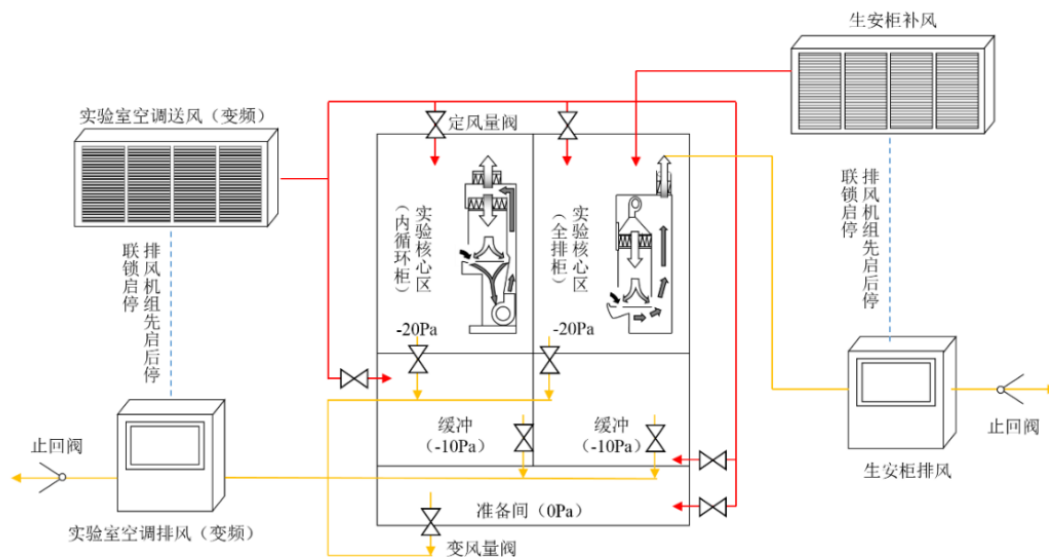
加强型 BSL-2 级生物安全实验室建议每个实验单元设置独立的一套空调通风系统，送、新风系统至少需设置初效+中效过滤。排风系统不与其他实验单元合用，排风机根据需要宜设置备用风机，排风侧设置高效过滤器。根据实验室所使用的生物安全柜的不同类型，即“全排型生物安全柜”或“内循环型生物安全柜”，可进一步划分，现以全空气空调系统为例进行介绍。

1、带内循环生物安全柜的加强型 BSL-2 级生物实验室典型暖通空调系统原理，如图所示。



一般送风侧采用定风量阀（文丘里阀或可靠的电动蝶阀）保证风量在风压波动时保持相对稳定，排风侧根据压力梯度控制要求或余风量通过变风量阀（文丘里或可靠的电动蝶阀）进行调整满足压力梯度要求。此外，为了保证实验室要求的负压，排风机应与送风机连锁，排风先于送风开启，后于送风关闭，维持室内负压。

2、带全排型生物安全柜的加强型 BSL-2 级生物实验室典型暖通空调系统原理，如图所示。



对于带全排柜的实验室，一种典型的做法是额外增加一组生物安全柜的专用排风与专用补风，为了防止生物安全柜内的有害生物因子外逸，生物安全柜专用排风机应与专用补风风机连锁，排风先于补风开启，后于补风关闭，始终保持负压。

五、动物生物安全实验室暖通系统设计

动物生物安全实验室的生物安全防护原则与防护设施与微生物生物安全实验室基本相似，但是因为动物生物安全实验室的操作对象既有微生物又有动物，因此考虑的因素相比微生物生物安全实验室更加复杂。例如，动物生物安全实验室的设计要考虑人流、物流与动物流避免交叉污染，动物生物安全实验室排风不得循环使用等。

由于 a 类和 b1 类动物生物安全二级实验室对洁净度、换气次数以及负压均无特殊要求，下面仅对要求相对较高的 b2 类动物生物安全二级实验室的暖通系统设计进行简要介绍。

1、b2 类动物生物安全二级实验室内一般设有独立通风笼盒系统，(简称 IVC)，作为一级屏障，IVC 的送、排风量取决于笼盒数量、设计通风换气率等，一般换气次数在 40 次/h~70 次/h 这个范围内，IVC 的排风通常经专用排风机排出室外，不可直接排放至实验室内。

2、b2 类动物生物安全二级主实验室的二级屏障要求，如图所示。

级别	相对于大气的 最小负压	与室外方向上 相邻相通房间 的最小负压差 (Pa)	洁 净 度 级 别	最小换 气次数 (次/h)	温度 (℃)	相对 湿度 (%)	噪声 [dB(A)]	平均 照度 (lx)	围护结构严密 性（包括主实 验室及相邻缓 冲间）
ABSL-2 中 的 b2 类	-30	-10	8	12	18~27	30~70	≤ 60	300	—

b2 类动物二级生物实验室空调系统一般采用全新风直流净化空调系统，送风侧设置初效、中效、高效三级空气过滤，排风侧设置高效过滤。由于要保证主实验区的负压，排风机应先于送风机开启，后于送风机关闭；排风机应设备用风机。

3、动物生物安全二级实验室净化通风基本要求

动物生物安全二级实验室采用顶送下排气流组织方式。气流组织应采用控制进入室内空气流动方向及各区域间空气流动方向，避免交叉感染。动物生物安全二级实验室采用采用全新风通风换气形式，稀释及消除空气中之臭（异）味、微生物、病毒、有害化学及放射性物质等。应保证其换气量及空气过滤质量。避免实验室各区域的污染物扩散到其他房间，实验室内应维持适当负压。不同的区域皆能满足其各自需求之不同温、湿度、洁净度要求。温湿度与洁净度要求：负压洁净空气设计。

动物安乐死工作站应比污染区主实验室低 10 Pa。室内噪音及风速必须考虑到实验动物的感受，并避免使实验动物感受到不舒适之气流(建议风速在 0.18-0.21m/s 范围内)。

排风处理：动物生物安全二级实验室臭气排放应满足 GB14554《恶臭污染物排放标准》要求。

六、PCR 实验室暖通系统设计

PCR 实验室，又称基因扩增实验室，是专门用来检验艾滋病、乙型肝炎、禽疫病等病毒感染性疾病的专用特殊实验室。PCR 是聚合酶链式反应（Polymerase Chain Reaction）的简称，它是一种分子生物技术，用于放大 DNA 片段，可看作生物体外的特殊 DNA 复制。当前，PCR 实验室广泛应用于医院及各疾病预防控制中心的疫病检验，2010 年，卫生部办公厅制定并发布了《医疗机

构临床基因扩增检验实验室管理办法》以及《医疗机构临床基因扩增检验实验室工作导则》（以下简称导则）。导则规定了 PCR 实验室设计的基本原则，原则上 PCR 实验室需设置 4 个区域：试剂储存和准备区、标本制备区、扩增区、产物分析区，各个分区具体设备配置如表所示。

实验区域	主要设备配置
试剂储存和准备	2~8℃和-20℃以下冰箱，可移动紫外灯，混匀器，微量加样器等
标本制备区	2~8℃冰箱、-20℃或-80℃冰箱、高速离心机、水浴箱、生物安全柜等
扩增区	核酸扩增仪、微量加样器、可移动紫外灯等
产物分析区	微量加样器、可移动紫外灯等

PCR 反应的最大特点就是极高的灵敏性，极其微量的污染就会造成 PCR 实验结果的假阳性，因此组合型 PCR 实验室设计的核心问题就是避免交叉污染，而组合型 PCR 实验室的平面布局模式及各区域的压力梯度控制成为了解决这一核心问题的关键。

根据导则要求，PCR 实验室各个区域无论在空间上还是使用中必须完全独立，不能有任何空气的直接相通。空气流向可按照试剂储存和准备区—标本制备区—扩增区—产物分析区压力递减的方式进行，防止各区域空气的交叉污染。

《疾病预防控制中心建筑技术规范》（以下简称规范）对 PCR 实验室的各项设计参数进行了规范与要求，PCR 实验室各区域并没有净化控制要求，但为了避免交叉感染，通常采用全送全排的直流空调系统，并且需要严格控制好送排风的比例，保证各实验区域的压力梯度。

组合型 PCR 实验室应设置缓冲间，如图所示。缓冲间在实验核心区与专用走廊区域形成一道双向保护屏障，既阻止外部环境的潜在污染物质如气溶胶等进入实验核心区，同时控制核心实验（产物分析）的有害物质渗入环境，对实验区外部环境及内部试剂均起到了保护作用。

空气流向可按照:试剂储存和准备区—标本制备区—扩增区—产物分析区压力递减的方式进行，防止各区域空气的交叉污染。

组合型 PCR 实验室的空调负荷、换气次数等要求与 BSL-2 生物安全实验室原则一致。PCR 实验室的暖通空调系统需设置独立的一套全新风空调系统，PCR 实验室并无空气净化的强制性要求，因此只需要设置初效+中效过滤器即可，不同房间的排风宜设置止回装置，排风机吸入侧设置活性炭等生物净化装置。