

实验动物屏障设施的通风和空气净化要点

一、设施的运行特点实验动物屏障设

1、实验动物屏障设施必须保持 365 天/年、24 小时/天不间断运行。实验动物屏障设施实质是给实验动物初级环境提供：ISO7 级洁净度， ≥ 15 次换气/h，25℃（40-70%）温-湿度恒定。冬季升温加湿需要电加热能耗巨大，同时，为保障该环境空气的无污染状态而需要维持一定的压差。

2、保证实验动物接触物品灭菌所需要的灭菌设备的电蒸汽消耗。一般每台 1.0M³ 灭菌器需配置电蒸汽发生器 40-60KW 电耗。

3、有效使用面积小。按照国际通用设计理念，屏障设施有效使用面积不足 40%。（一般在 34-38%），导致投资大，使用效率低，运行成本高，不能见到显著投资效益。实验动物屏障设施另一个运行特点是污染臭气严重，对周边的医疗建筑物构成一定的空气污染，必须坚持局部污染局部处理后在汇入全面排风系统无害化处理的原则。建议采用有效处理方法，除应急除应急状态外禁止使用活性炭做无害化处理。

二、实验动物屏障设施净化空调系统模式

1、实验动物屏障系统模式目前国内较多采用方式。国标 GB50447《实验动物设施建筑技术规范》/14925《实验动物环境及设施》技术参数要求主要针对这类设施。SPF 动物在此环境中生存。目前国内主要有小型 SPF 啮齿类动物、禽类等，大型 SPF 动物较少。

2、独立通风笼盒系统模式或独立排气通风笼盒系统模式。是指在密闭独立单元（笼盒或笼具）内，洁净气流高换气频率独立通气，污染臭气集中外排的 SPF 级实验动物饲养与动物实验设备。一段时间内，该设备配套超净工作台使用可以保持 SPF 动物不被污染。此类设备目前国内贸易产品国家标准，一些省区仅使用 IVC 设备，不核发实验动物使用许可证。

3、屏障系统+IVC 模式。国内一些实验动物设施从节能角度出发，采用以屏障环境正压系统配合使用 IVC、EVC、隔离器等设备模式，也成为双系统模式。这类工程目前尚未推广，许多技术尚待完善，但可以确信，是未来实验动物屏障设施发展方向。

三、围护结构要点

围护结构应选用无毒、无放射性材料。墙面和天花板材料应易于清洗消毒、耐腐蚀、不起尘、不开裂、无反光、耐冲击、光滑防水。地面材料应防滑、耐磨、耐腐蚀、无渗漏，踢脚不应突出墙面。屏障环境设施的净化区内的地面垫层宜配筋，潮湿地区、经常用水冲洗的地面应做防水处理。

1、屏障系统一般采用 A-B1 级防火的无机板、金属板或者 B 级玻镁夹芯板、岩棉夹芯板。围护结构需要消毒，所以必须选用具有耐药性和耐水性的材料和施工方法。

2、屏障设施天花板一般为彩钢板吊顶，为便于设备管线安装和维修保养，应设供人行走的行走带。

3、地面要选用与之相适应的材料和防水工程。屏障设施小型啮齿类动物的饲养室地面不需冲洗，目前大多采用优质的 PVC 卷材。普通级动物的饲养室，不仅需擦拭还要清洗；犬、猴、小型猪设施除用水清洗外，还需要备用热水或蒸气清洗。目前多采用环氧树脂自流平的地面材料。

4、屏障环境设施的门窗应有较好的密闭性，门上设观察窗。设施内相邻 2 个区域的门应开向压力大的一侧，并能自动关闭，缓冲室的门宜设互锁装置。净化区设置外窗时，应采用具有良好气密性的固定窗，啮齿类动物的生产区（实验区）内不应设外窗、不设地漏。应有防止昆虫、野鼠等动物进入屏障区和实验动物外逃的措施。应在建筑设计窗高时，考虑装修材料不外漏，避免影响外立面。

5、大动物的实验设施应考虑耐水性、耐药性、无毒性的吸音、隔音材料和措施。有条件设施可以选择在负层为宜，但应留足光照与运动空间。

6、承重问题：屏障设施的高压灭菌、消毒设备、洗器笼清洗设备、大型浸泡水槽、冷热源机组、水生生物养殖装置、大型影像学设备等，应考虑设备运行重量对楼板荷载影响。大型实验动物屏障设施为降低员工劳动强度，一些新型灭菌设备，楼板需要下沉 35-40cm。设备厂商一般可以提供技术参数。因此，除灭菌、消毒设备应放置在物净通道关键位置外，其他重型设备最好要放置在负一层或一层。另外，灭菌设备冷却排水应采用耐 137℃ 高温金属管材料，应考虑灭菌设备更换时进出通道。

四、空调、通风和空气净化要点

1、净化空调方式的选择

临床医疗机构实验动物设施应由使用者根据具体用途划分详细的功能区域；设计机构再根据空调系统节能方式确定系统划分和空调方式，最好分时段、分区域确定净化空调系统。

2、净化空调系统的设计

临床医疗机构实验动物设施净化空调系统的设计，应充分考虑初级环境净化空调系统，也必须考虑隔离器、IVC、EVC 次级环境净化空调系统，同时兼顾换笼台、动物饲养架、生物安全柜等通风和动物、人员、设备的污染负荷及冷、热、湿负荷。

3、实验动物设施通风原则

为保证实验动物设施洁净度、臭气污染控制等特殊要求，通风设计应该依照初级环境与次级环境区分设计的原则，把全面通风、局部通风、应急通风根据具体用途划分详细的功能区域后综合考虑。屏障环境设施的动物洁净区，送、排风机应采用互为备用方式设计，当风机故障时，应能保证屏障区所需环境参数要求。

（1）送风系统的设计原则

根据国标要求，使用开放式笼架具的屏障环境，应采用全新风的顶送侧回送风方式。一般使用独立通风笼具的设施可以采用局部回风方式。其空调系统的新风量应满足补充室内排风与保持室内压力梯度所需风量之和。我国《实验动物设施建筑技术规范》也明确规定采用上送下排的气流组织形式，

并且要求对送风口和排风口的位置精心布置，尽可能减少气流停滞区域，确保室内可能被污染的空气以最快速度流向排风口。

（2）排风系统的设计原则

实验动物屏障设施根据各功能区域不同，应有多组局部排风系统组成的系统全面排风。各局部排风划分原则是：向大气排放污染臭气时，其污染物排放应遵循综合治理、循环利用、达标排放和总量控制。排出的污染臭气应首先进行无害化处理后才能排放，并应符合《大气污染物综合排放标准》相关规定。

负压区设定：可能对洁净动物构成污染或产生污染臭气的无洁净度要求的区域。如：笼器具清洗消毒区、普通级大动物饲育区、对外缓冲区、灭菌前区、电梯前厅等，宜设计单独（-10Pa）负压区。负压区要求排风应与送风连锁，排风先于送风开启，后于送风关闭。

正压区设定：有洁净度要求的区域一般按照国家标准，按照压力梯度设计为正压。排风系统的风机宜与送风连锁，送风先于排风开启，后于排风关闭。

（3）负压设备管道：在洁净区内相对于洁净室负压的管道系统。主要指与动物饲养设备密接的专门负压系统。如 IVC、EVC、隔离器、换笼台、生物安全柜、转运推车、洁净工作台等设备运行过程中，产生污染气溶胶，威胁洁净区动物，该类设备排风接入初级环境排风系统支管，又对其造成影响。因此不应向室内排风，也不应接入初级环境排风支管。

（4）局部排风计算

局部排风是局部换气，主要用在几种散发有害气体的点，比如生物安全柜，通风柜、IVC、隔离器、换笼台、动物转运车等。局部通风的计算方法：局部通风如无法确定换气体积，则不应按照换气次数计算。应按操作面风速计算法，比如局部排风罩，按照通过罩口面的风速，通风柜按照开口处的风速，一般取 0.5m/s 的风速。局部通风设备可以根据次级环境笼盒、隔离器等内容积确定换气次数，隔离器宜按照 ≥ 50 次/h、IVC、EVC 可以按照 ≥ 20 次/h 换气。空调净化系统送、排风支管宜安装气密阀门。空调净化系统的风机宜选用风压变化较大时风量变化较小的类型。屏障环境和隔离环境过渡季节应有冷热源。包括使用开放式笼具的屏障环境设施的动物生存区以及普通环境的 IVC、EVC、隔离器。排风口设置应远离新风取风口，且不应处于新风口常年风向的上方。排风应适当高排。如若采用射流风机，风速满足 ≥ 15.3 米/秒。

4、实验动物设施污染空气无害化处理原则

（1）满足国家现行有关大气污染物排放标准的要求

实验动物屏障设施主要向大气排放的空气污染物是氨气和硫化氢气体。GB14925《实验动物环境及设施》和 GB50447《实验动物设施建筑技术规范》中，提出设施内氨浓度（动态工况） $\leq 14.0\text{mg}/\text{m}^3$ ，向大气排放标准则强调“实验动物设施的建设除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定”，没有具体指标参数，目前国内外比较理想的处理方法较少，性价比很低。国家现行有关标准有：

例如《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB50325-2010 中氨气的排放标准：I 类、II 类民用建筑 $\leq 0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 。GB 14554《恶臭污染物排放标准》厂界标准值：氨浓度：一级：1.0、二级： ≤ 2.0 、三级： ≤ 5.0 。

公共场所的卫生标准中规定：空气中排放的氨浓度应 $\leq 0.5\text{mg}/\text{m}^3$ ；化工企业附近的居民区的大气中应小于 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。人可感知的最低的氨浓度：5.0PPM，大多数人明显刺激感觉的氨浓度：20PPM。

（2）满足快排除原则

实验动物屏障设施运行后，不断产生污染臭气，主要是氨气（ NH_3 ，小型啮齿类为主）和硫化氢气体（ H_2S ，大动物为主）。因此，通风设计时，应满足快排除原则。我国的《实验动物设施建筑技术规范》也明确规定了上送下排的气流组织形式，并且要求对送风口和排风口的位置精心布置，尽可能减少气流停滞区域，确保室内可能被污染的空气以最快速度流向排风口。实验动物设施产生污染臭气主要有：根据不同污染空气性质， NH_3 在洁净区内蓄积，不断上升到房间高处，硫化氢气体会下沉，对不同污染臭气采用不同高度排风口。风口风速控制在 $3\text{m}/\text{s}$ 左右，风管风速控制在 $7\text{m}/\text{s}$ 以下。

（3）实验动物屏障设施污染臭气应采用局部一级处理后再总排风管二级处理原则

目前，排风除 NH_3 、 H_2S 主要采用的方法有：

a. 局部化学法处理：目前主要有针对氨气、硫化氢气体的化学过滤器；排风系统支管应设置消除污染的化学装置，如化学过滤器等，并应设置在风机的负压段。应根据污染臭气处理量预留设备空间，同时预留有关设备的阀门、电动机、检测孔等处的操作空间。污染臭气处理系统的主体设备之间应留有足够的安装和检修空间，主体设备周边应应急通道及规范的要求。

b. 吸收法污染臭气处理：吸收工艺的选择应考虑的因素主要是污染臭气性质、流量、浓度、吸收剂性质、吸收装置特性以及经济性等。吸收装置有喷淋塔、板式塔、湍球塔等。活性炭吸附可以在应急工况下使用。

c. 光解法处理：光解工艺的选择应考虑的因素：污染气体的流量、流速、压力、组分、性质、进口浓度、排放浓度等。宜按最大污染臭气排放量的120%进行设计，并控制气流速度。光解设备连续工作时间不应少于12个月。气体的接触时间应 $\geq 1.0\text{s}$ 。

d. 射流排气法处理：也称排气射流筒法。排气筒的高度应满足国家现行有关大气污染物排放标准的要求，最低高度不得低于15m，排气筒高度指从地面至排气口的垂直高度。排气筒出口风速宜为 $\geq 15.5\text{m}/\text{s}$ ，对集中大型排气筒宜预留排风能力。排气筒应设置用于监测的采样孔和监测平台，以及必要的附属设施。排气射流筒顶端不应设置伞帽。

5、实验动物屏障设施节能原则

实验动物屏障设施净化空调系统成本非常昂贵，约为一般空调的7倍以上。同时，运行成本也及其巨大。一般情况下实验动物屏障设施净化空调系统用电量约佔了整个耗能的50-60%左右，在“节能减排，环保一票否决制”国策环境下，如何使设施能耗系统最佳设计与能源有效运用，达到低

能耗运行目的，就成为相当重要的工作。减少能耗的能力是动物房设计水平极其重要的指标。实验动物屏障设施能耗重点有以下几部分：

- ①以全新风方式，全年 24 小时运行，冷热源设备和容量需求巨大；
- ②物流需要的灭菌设备，6-8 小时/天，所需的电蒸汽发生器耗电量较大；
- ③满足 12/12 小时照明的人工光源需要较大耗电量；
- ④局部与全面通风臭气无害化处理系统。

实验动物屏障设施节能原则：

目前，确定合理的冷热源供给方式、功能区域详细划分、分时段、分系统设计全面、局部通风量，尽量降低换气次数，设备冷热量回收等是实验动物屏障设施节能的关键，也是体现设计机构技术水平的标志。因此，实验动物屏障设施的节能措施有以下几个重点：

（1）确定合理的冷热源供给方式：实验动物屏障设施为了维持实验动物次级环境的最适温、湿度，选定合理的冷热源极为重要。临床医疗机构一般供应室配备有数台灭菌设备，使用燃气锅炉为热源，因此，实验动物屏障设施以燃气锅炉作为供热源为首选。冷源可根据系统划分与设备节能特点选定。也可以采用地源、水源热泵机组，制冷制热工况稳定，能效比高，节能效果显著。

（2）功能区域详细划分，降低空调冷热负荷：实验动物屏障设施应根据使用特点详细划分各功能区域，净化空调系统新风的热湿和净化处理可集中也可分散设置。负压区划分以可能对动物构成污染或产生污染臭气的无洁净度要求的区域（生物安全类实验室 ABSL-2 以上除外）。如：笼器具清洗消毒区、普通级大动物饲养区、对外缓冲区、灭菌前区、电梯前厅等，宜设计单独（-10Pa）负压区。正压区划分依据国家标准，按照压力梯度划分为动物生存区和辅助区、通道区等。次级环境的设备通风：在洁净区内相对于洁净室设计负压的管道系统。主要指与动物饲养设备密接的专门负压系统。如 IVC、EVC、隔离器、换笼台、生物安全柜、转运推车、洁净工作台等设备运行过程中，产生污染气溶胶，威胁洁净区动物，该类设备排风接入初级环境排风系统支管，又对其造成影响。因此不应向室内排风，也不应接入初级环境排风支管。分时段设计：24 小时运行和间断运行的部分要区分开来：根据动物生存区动物数量调整换气次数，宜采用变频方式。动物生存区内采用换气效率高的送风口及气流控制方式，以及部分排风再循环，减少新风使用量。

（3）采用先进技术，充分回收能量：根据采用显热能量回收装置，在寒冷及严寒地区冬季大温差工况下，显热回收率 50-60，节能效果较为显著。国外已有实验动物设施采用分子筛式全热能量回收装置，全热回收效率 70%以上，节能效果显著。总排风管经无害化处理后可以全部排风再循环，减少新风使用量。

（4）围护结构保温：强化外墙与屋面的隔热保温能力：根据实验目的、动物种类和房间功能的不同进行分区。