



我国实验动物科学技术的基础与前沿 —实验动物发展的战略思考 —实验动物设施的设计特点和建议

王 漪¹ 张道茹¹ 戴玉英¹ 刘 冕² 王吉星²

(1. 中国中元国际工程公司,北京 100010; 2. 北京市动物管理办公室,北京 100010)

【摘要】 本文通过对实验动物设施设计中工艺、建筑、结构、给排水、采暖通风、电气、弱电自控的设计特点的论述,针对目前国内该领域存在的有关设计、施工以及设施验收中存在的一些问题,提出了相应的建议和解决方法。

【关键词】 实验动物设施; 问题; 建议

【中图分类号】 R332 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7856(2011)10、11-0061-05

doi: 10.3969/j.issn.1671.7856.2011.10、11.014

The Basis and Frontier of Laboratory Animal Science and Technology —the Strategic Thinking of Laboratory Animal Development —the Design Features and Recommendations of Laboratory Animal Facilities

WANG Yi¹ ZHANG Dao-ru¹ ,DAI Yu-ying¹ ,LIU Mian² ,WANG Ji-xing²

(1. China IPPR International Engineering Corporation ,Beijing 100010 ,China;

2. Animal Management Office in Beijing ,Beijing 100010 ,China)

【Abstract】 This paper reviews the design features of Laboratory Animal facilities , which including the design process , building , structure , drainage , heating , ventilation , electrical , weak current control system. It shows the problems in the aspects of design , construction and facilities acceptance in the field in China. In addition , the recommended solutions were proposed.

【Key words】 Laboratory animal facilities; Problems; Recommendations

借中国工程院夏咸柱院士发起,中国工程院主办的“中国工程科技论坛——实验动物与生命科学”大会之机,就实验动物建筑设施设计的特点、以及存在的一些问题和建议与大家交流。

现代实验动物科学技术对于生物、医药、农牧、生态、环保、化工、航天、军事等科技的发展起着越来越重要的作用,其应用领域极其广泛,包含医院、药厂、科研院所、大专院校、质检部门、疾病预防控

制中心(CDC)系统等。

1 现状

1.1 动物种类

常用实验动物有哺乳类动物:如大小鼠、仓鼠、地鼠、豚鼠、兔子、猴、犬、猪、牛等。

最常用的实验动物是大小鼠、豚鼠、兔、比格犬和恒河猴。

禽类: 如鸡、鸽子、鸭子等;
水生动物: 如斑马鱼等;
两栖动物: 如爪蟾等;
昆虫类: 如果蝇等;

1.2 设施级别

实验动物环境设施按照使用功能不同,分为实验动物生产设施和动物实验设施。在每种使用功能中,根据空气净化控制程度要求不同,实验动物环境设施又划分为普通环境设施、屏障环境设施和隔离环境设施,这三种设施环境又针对实验动物安全性的考虑,分别分为正压环境和负压环境。

实验动物环境设施的分类

环境设施分类	使用功能	适用动物级别
普通环境	正压 实验动物生产	普通级动物
	负压 动物实验、检疫	清洁级动物、SPF 级动物
屏障环境	正压 实验动物生产、动物实验	普通级动物、清洁级动物、SPF 级动物
	负压 动物实验、检疫	SPF 级动物、无菌级动物
隔离环境	正压 实验动物生产、动物实验、检疫	普通级动物、清洁级动物、SPF 级动物、无菌级动物
	负压 动物实验、检疫	清洁级动物、SPF 级动物

2 实验动物设施的设计特点

2.1 工艺设计

实验动物设施不同于普通的民用建筑,有较复杂的功能分区,工艺流程(包括人流、物流、动物流、污物流),以及动物饲养方式和设备选型的多样性。所以对工艺设计有着较高的要求。

(1) 屏障系统 + IVC 的设计

我公司设计项目涉及的国内实验动物设施种类繁多:以动物的种类分为牛、马、猪、猴、犬、兔、鸡、豚鼠、大小鼠、果蝇、斑马鱼等数十种;根据净化控制级别有普通环境、屏障环境和隔离环境;从微生物安全级别分有正压屏障环境和负压屏障环境,负压屏障环境级别涵盖 ABSL-1 ~ ABSL-4,此外还包括屏障环境的放射动物的实验设施。以上实验动物设施具有共性,但每种设施又各有特点,以下仅以屏障环境正压系统的小动物(一般为大小鼠)设施为例,具体说明实验动物设施中小动物设施的特点。

动物设施的运行,能源消耗巨大,很多设施出现了“建得起而用不起”的状况。IVC 笼架的使用

可以在一定程度上改善目前设备运行成本高这一现实问题。该系统采用笼具水平的隔离技术,通过在笼子内部输送经过高效过滤的空气以保证动物免受微生物的污染。使其具有许多传统 SPF 实验动物设施无法比拟的优势。

IVC 笼具的推广应用将成为啮齿类实验动物饲养设施重要的发展趋势。在国内外很多研究所的动物实验设施中,IVC 笼具的应用已占很大比例,并有逐渐增加的趋势。将重要的实验研究动物品系饲养于 IVC 笼具中更是得到了广泛使用。IVC 笼具优势明显,不同笼具中动物互不干扰,确保实验动物的净化要求,加强了对实验者和饲养人员的保护,同时使得系统更加节能。该笼具的缺点是应用程序比较繁琐,造成饲养人员工作量增加。

采取将 IVC 笼具放置在屏障环境内的方法,可以克服以上缺点。此方法在国外的动物实验设施中已有多年实践。屏障环境中 IVC 笼架内动物的饲喂和更换垫料操作将大大简化。

目前 SPF 级的动物饲养和实验大多采用屏障系统或通风笼架的方法。但这两种方法各有其不足。前者操作简便,但能耗大;后者节能,但操作繁琐。小动物的饲养采用屏障系统和独立通风笼架(IVC)相结合的方式(屏障系统和通风笼架有各自独立的送排风系统,以及各自独立的空气净化和温湿度保证),对动物的简单操作和换笼等工作可直接在屏障系统内进行,省去了超净工作台,简化了操作步骤,改善了工作条件,提高了工作效率。在夜间或无人工作时,通风笼架可正常工作,而屏障系统内只需维持风量,可大大降低换气次数,节约能源。

但是,采用屏障系统和独立通风笼架(IVC)相结合的方式会造成设施建设的初期投入增加。

(2) 大型设备的采用

屏障环境除必要的高压灭菌器等设备外,大型设施采用先进的自动化、机械化设备(洗瓶机、洗笼机、动物自动饮水系统等)是建设现代化的实验动物设施的必然选择,给规范化的操作提供了保障。但是目前多数大型设备均为进口,价格昂贵,前期建设的巨大投入使设施的建设者望而却步。为了确保实验动物事业健康稳健的发展,希望政府有关部门扶植国内有实力的厂家进行开发和研制符合国际标准又适应我国具体国情的实验动物设施设备,或在进口设备关税等方面能给予政策支持。

2.2 建筑结构设计

屏障环境设施的结构安全等级不宜低于二级。

应充分考虑空调机组等设备的面积需求,并对噪音和震动进行处理。二层以上的实验动物设施宜设置货梯。电梯不宜与动物生产室和动物实验室相邻,应避免运行时气流和噪音对实验区的影响。屏障环境设施的层高不宜小于 4.2 m。室内净高不宜低于 2.4 m,并应满足设备对净高的需求。设计实践中我们层高通常采用 4.2~5.5 m 之间,净高采用 2.4 m~2.8 m 之间。

门窗应有良好的密闭性。屏障环境设施的密闭门宜朝空气压力较高的房间开启,并能自动关闭,各房间门上宜设观察窗,缓冲室的门宜设互锁装置。

饲养室的门,要能经受反复消毒和清洗,最好选用金属制的光面门(上面涂耐药性兼耐热性的涂料)或不锈钢光面门。

所有围护结构应选用无毒、无放射性材料。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。屏障环境内所有相交位置应做半径不小于 30 mm 的圆弧处理。目前一般选用彩色夹芯钢板,厚度一般为 100 mm,60 mm 和 50 mm。为符合防火要求,屏障系统一般采用岩棉夹芯板。

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。根据情况还可能需要考虑耐热性。

犬和猴等动物的实验设施,须考虑相适应的吸音、隔音措施。若在发声处把吸音和隔音材料进行组合则隔声效果更好,但必须注意使用的材料需兼有耐水性、耐药性。

目前动物设施的吊顶分为两种形式,一种称为硬吊顶,可供人在其内部站立行走,是用于设备管线安装、维修的设备层。其优点是设备和管道布置的自由度大,无需进入房间就可以进行管理维修和改造,缺点是建筑费用高,设备布置的灵活性相应减小。所以目前在动物实验室的设计中,软吊顶(彩钢板)的采用较为广泛。

动物实验室的地面材料应防滑、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,潮湿地区的地面垫层应做防潮处理。实验动物室的清洁要求各有不同,因此,要选用与之相适应的材料和防水工程。SPF 级大鼠、小鼠等的饲养室地面,原则上只擦抹而无需

清洗;一般小动物和豚鼠、兔子等的饲养室,不仅需擦抹还要清洗;养狗室原则上用水清扫,养猴室除用水清扫之外,有时要与热水或蒸气并用进行清洗。

此外,动物实验室地面的颜色要使用不眩目,使亮度分布均匀的明亮材料,还需在紫外线的照射下抗变色和抗老化。目前大多采用优质的 PVC 卷材或环氧树脂自流平的地面材料。

2.3 给排水设计

屏障环境设施的净化区和隔离环境设施的用水应达到无菌要求。

大型实验动物生产的场所每天要消耗大量的无菌水,须安装无菌水生产系统,以满足实验动物生产的需要。无菌水生产一般采用超滤法和反渗透法。

管材最好选用不锈钢管和具有高生物稳定性(适用于严格的溶出标准)的塑料管等材质。另外,使用不锈钢等金属管材时,必须有防止异种金属之间产生电蚀等的措施。

大动物的生产区和实验区的排水宜单独设置化粪池。动物生产和实验设施的排水宜与建筑生活排水分开设置。

2.4 通风空调系统的设计

(1) 空调方式的分类

根据具体用途不同,实验动物生产设施和动物实验设施应分别设置空调系统。

空调系统应经技术经济比较确定系统划分和空调方式,并采取有效措施避免污染和交叉污染。系统的划分和空调方式应有利于实验动物设施的消毒灭菌、自动控制系统的设置和节能运行。对于普通环境,生产区、实验区及辅助区的空调系统宜分开设置。

(2) 空调系统的设计

空调系统的设计应充分考虑动物隔离器、动物饲养架、生物安全柜、高压灭菌器等动物、人员、设备的污染负荷及冷、热、湿负荷。送、排风系统的设计应考虑所用动物饲养设备、生物安全柜、洁净工作台等设备的使用。动物隔离器、动物解剖台及其他产生污染气溶胶的设备不应向室内排风。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。对于采用屏障环境设施的动物生产区,送风机和排风机应考虑备用,当风机故障时,应能维持实验动物设施所需最低通风量及温度要求。对

于采用屏障环境设施的动物实验区,送风机和排风机宜考虑备用,当风机故障时,宜能维持实验动物设施所需最低通风量及温度要求。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产区和动物实验区以及普通环境的 IVC、隔离器。

(3) 送风系统的设计

使用开放式笼架具的屏障环境送风系统宜采用全新风系统。使用独立通风笼具的实验动物设施室内可以采用回风,其空调系统的新风量应取以下两项中较大值:补充室内排风与保持室内压力梯度所需风量之和;实验动物和工作人员所需新风量。

(4) 排风系统的设计

有正压要求的实验动物设施,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。

有负压要求的实验动物设施排风应与送风连锁,排风先于送风开启,后于送风关闭。

动物房排风除氨气目前主要采用的方法为吸附法。吸附法主要采用活性炭、活性二氧化锰、活性铝等吸附剂进行吸附。但多数吸附剂对各种产生异味的成分吸附性能存在差异,吸附时效短,因此吸附剂针对某一种或几种异味气体的吸附能力有一定了解后才能进行最优选择。

(5) 节能措施

实验动物设施区别于其他建筑的特点之一是:全年 365 天每天 24 小时连续运行。尤其是屏障系统,能耗极大。据统计:建成的屏障系统动物设施每年的运行费用约为每平方米 600 元以上。很多动物设施建成后,巨大的日常运行费用成为业主沉重的经济负担。

减少能耗的能力是动物房设计水平极其重要的指标,而空气换气次数过多是能量消耗的主要因素。目前,确定合理的新风量、设法降低空气换气次数是动物设施节能的关键。

动物饲养室、实验室的换气次数多,以全新风方式运行,冷热源设备和容量需求非常大,全年 24 小时运行的部分也多。因此,实验动物房的空调系统是高能耗的,因而其运行费用也非常大。为此,有必要在设计阶段充分采取节能措施。

实验动物设施空调系统的节能措施有下面几项:

围护结构:加强外墙、屋面的隔热保温能力;降低空调冷热负荷。

空调系统:根据实验目的、动物种类和房间功能的不同进行分区,特别是 24 小时运行和间断运行的部分要区分开来;根据动物饲养室内的动物数量调整换气次数,宜采用变频方式。饲养室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。

冷热源系统: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。

能量回收系统: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。据了解欧洲已有实验室动物设施采用 3A 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。

2.5 电气设计

屏障环境和隔离环境的用电负荷不宜低于 2 级。当供电负荷达不到要求时,宜设置备用电源。

动物饲养室内的灯具,要有防水性能,同时必须具有对灭菌消毒剂的耐蚀性。小动物(鸡、鼠等)的照明应采用照度可调的开关。

2.6 弱电自控的设计

实验动物设施一般设专用的监控室,以保证设施的正常运行。

屏障环境设施宜设门禁系统。缓冲间的门,宜采取互锁措施。

屏障环境应具有送、排风机是否正常运转的指示,风机故障时应能报警,相应的备用风机应能自动或手动投入运行。

屏障环境的送风和排风机必须可靠连锁,风机的开机顺序应根据设施内的压力梯度不同符合有关要求。

空调通风系统的配电应设置自动和手动控制。

空气调节系统的电加热器应与送风机连锁,并应设无风断电、超温断电保护装置,电加热器的金属风管应接地。

屏障环境和隔离环境的压力梯度超过设定范围时,宜有声光报警功能。

屏障环境设施内宜设必要的摄像监控(随时监控特定环境内的动物活动情况)。

3 存在问题

3.1 规范问题

(1) 设计领域不规范

有些设计单位仅具有建筑资质,对实验动物领

域缺乏专业基础知识,不了解实验动物和生物安全的有关规范、实验动物设施的基本布局、实验动物本身的基本习性,也不了解设施内使用的相关设备的性能和要求。如果对动物实验设施的设计缺乏足够的认识,就会给日后设施的质量和功能留下隐患。缺乏经验的设计单位在设计时通常采用两种方法,一种是甩项的做法,仅预留一般的电量或通风量,待二次装修时再设计,结果往往造成预留的电量、通风量、管井、机房面积等严重不足,给后续工作带来很大的困难。再一种方式是让业主提出工艺平面或布局,但业主往往对工程设计缺乏认识,对设施的全面把握不够,无法达到和工程的标准和规范有机结合,不可避免给工程带来缺憾。

(2) 施工领域不规范

如果让没有经验,缺乏资质认证的施工队伍进行施工,施工单位不了解实验动物建筑设施的特殊性,导致众多的“病态”实验动物设施的出现。有些业主在设施建成后又不得不进行再改造,造成了人力、物力的巨大浪费。

3.2 资金问题

资金短缺,自动化程度较低,人为因素(不可控因素)较大都会对实验动物设施建设造成较大影响。有些单位缺乏对国情等许多不可预见因素的考虑,或对投入估计不足,建成基础设施后无资金购置笼具等设备,使耗巨资建成的设施不能投入使用。这些问题急需既符合国家标准、又符合中国国情,还能够充分满足实验动物生产及动物实验要求的实验动物设施设备的出现。

4 解决办法

4.1 对设计和施工单位进行资质认可

(1) 对实验动物设施设计单位资质和资格的认证

实验动物设施的设计是一个系统工程,需要很强的工艺性,它既要符合各专业的设计规范(包括

实验动物、生物安全、洁净实验室等),又要有丰富的经验。对于该设施的设计特点、对各种各样的实验动物的了解、对相关参数的统计、对常用设备性能参数的收集综合集成取舍的能力,以及与实验动物设施的使用者沟通的能力,都对设施的设计者提出了明确严格的要求。只有这样,才有设计好该类设施的基础条件。

(2) 对实验动物设施施工单位资质和资格的认证

正因为实验动物设施的重要性和特殊性,决定了施工的重要性。施工单位的资质、经验、管理、就成为该设施质量的好坏的关键。

4.2 希望国家给予经费支持

(1) 在设施的建设经费上给予支持

在实验动物设施的设计特点中可以看出,其设施不但在主体结构、使用材料、给排水及污水处理、通风空调的配备、电气自控等都与一般实验室有很大的不同,都需要更多的建设费用和运行费用。

(2) 对提高自动化程度给予支持

实验动物自动化水平的高低,对于节约人力成本、提高饲养水平、保障各个饲养环节规范操作,有着重要的作用,但建设先期的投资费用较高,希望国家对前期建设的投入给予较宽松的政策,使实验动物设施的配置标准有所提高、采用优质材料,使设施的整体水平处在一个协调的状态。大大的提升设施的使用能力。

(3) 对节能新技术的研究给予支持

实验动物设施的建设和使用是一项耗能巨大的系统工程,在耗能大的环节上采取节能措施是降低能耗的关键,比如动物实验设施的回风问题,希望国家给予一定的政策扶持和经费支持,并组织有关专家进行攻关,将节约巨大的开支。

(修回日期)2011-09-16