

郑琳琳,舒加乐,徐汪节,等. 实验动物设施洗笼机配置调研及安装设计 [J]. 中国比较医学杂志, 2019, 29(9): 92-96.
Zheng LL, Shu JL, Xu WJ, et al. Investigation of the configuration and installation of cage washers for laboratory animal facilities in China [J]. Chin J Comp Med, 2019, 29(9): 92-96.
doi: 10.3969/j.issn.1671-7856. 2019.09.014

实验动物设施洗笼机配置调研及安装设计

郑琳琳,舒加乐,徐汪节,王朝霞*

(上海交通大学 实验动物中心,上海 200240)

【摘要】 我国实验动物行业伴随着单体设施饲养规模的扩大,实验动物饲养用具的清洗问题也越来越凸显,本文就目前国内柜式、步入式、隧道式洗笼机的配置情况进行调研,已有 66 家单位或企业配置洗笼机,其中配置 2 种及以上的单位占 67%,同时在新建设计阶段,列举了不同洗笼机诸多需考虑的因素以供参考。在未来,配套清洗设备作为实验动物设施的基础,其自动化将会是我国实验动物发展又一阶段性标志。

【关键词】 实验动物中心;实验动物设施;清洗自动化;洗笼机

【中图分类号】 R-33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7856(2019) 09-0092-05

Investigation of the configuration and installation of cage washers for laboratory animal facilities in China

ZHENG Linlin, SHU Jiale, XU Wangjie, WANG Zhaoxia*

(Laboratory Animal Center of Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

【Abstract】 With the expansion of single facilities in the Chinese laboratory animal industry, optimal cage washing method are becoming more important. The current study investigates the configuration of cage washing machines in China, where 66 facilities have been equipped with washers, of which 67% are equipped with two or more types. Many factors need to be considered for cage washers, cage and rack washers and tunnel washing machines during the design stage of newly-built facilities, and these factors are discussed in the current study. Washing equipment is the foundation of laboratory animal facilities, and in the future, automatic washers will be another milestone in the development of laboratory animal facilities in China.

【Keywords】 laboratory animal center; laboratory animal facility; washing automation; cage washer

实验动物是生命科学研究的重要支撑之一,随着我国生命医药行业的迅速发展以及我国实验动物行业中单体设施饲养规模的扩大^[1],国内各高校、科研院所对实验动物资源需求日益增加^[2],逐渐形成的实验动物管理体系体现了管理的规范化、标准化和法制化,而完善的实验动物管理体系从实验动物环境设施^[3]、动物质量检测、人员操作培训、动物福利方面健全了标准操作程序(standard operation procedure, SOP)^[4],而在清洗配套设施方面也逐渐规范化和自动化。过去因实验动物设施单体规模小,人工清洗是饲养笼具主要的清洗方式^[5],但人工清洗存在工作效率低、清洗用水用热损耗大、清洗质量难以保证等诸多问题。随着新建实验动物设施规模日趋增大,日常工作量增加、人

【作者简介】 郑琳琳(1991—),女,硕士,执业兽医师,研究方向:实验动物管理,兽医微生物学。E-mail: linlinzheng@sjtu.edu.cn
【通信作者】 王朝霞(1969—),女,博士,教授研究员,实验动物中心主任,研究方向:实验动物学、免疫学。E-mail: zhaoxiaw@sjtu.edu.cn

员招聘和培训难、用工成本增加、节假日值守等问题已严重制约了设施的良好运行和发展^[6],此人工清洗不再是首选方案,洗笼机及自动化清洗流线更加符合大规模实验动物设施的需求。就三种洗笼机的适用性及安装条件进行介绍。

1 三种洗笼机介绍

1.1 柜式洗笼机

适合规模较小,饲养笼位在 5000 笼左右的动物设施。因其体积小、能耗少,在现有设施基础上经适当改造水电布排就能满足其工作要求,见图 1。柜式洗笼机可清洗笼底、笼盖、食槽,并具备多种清洗模式^[7],吞吐量可达每小时 300 个小鼠笼盒。本中心为提升硬件配置于 2017 年购置了 3 台柜式洗笼机,安装时未考虑蒸汽供热,初期使用过程中发现热水供应慢,清洗耗时长的问题。但经过加装电热水器直接供应热水后可按预期设计工作,该洗笼机实际清洗工作效率可达每小时 192 ~ 240 个小鼠笼盒或每小时 2400 个铁网食槽,大大提高了清洗效率。

1.2 步入式洗笼机

适合较大型动物设施。步入式洗笼机的主要特点是强大的兼容性和高效性,可以清洗笼盒、笼盖、铁网、水瓶、IVC 笼架、大动物笼架等。步入式洗笼机普遍设计吞吐量可达每小时 800 ~ 1200 个小鼠笼盒。但因其体积大、能耗高,对安置的楼层高度、楼板地坑及承重都有一定的要求,因此在基础设施建设过程中应预先确定安装位置^[8]。另外该设备一般为整机出厂,若在高楼层安装需要事先预留出大型设备的安装通道。

1.3 隧道式洗笼机

适合大型且对自动化清洗有一定需求的动物

设施。隧道式洗笼机的主要特点是高效性和连续性,吞吐量可达每小时 800 ~ 1200 个笼盒。单台设备可清洗笼盒、笼盖、铁网等。在日本、美国、欧洲的大型实验动物设施中均已将其对接笼盒自动翻转系统,实现高度自动化的清洗模式,甚至形成集约式自动清洗中心。整个自动化清洗线主要包括脏区笼盒自动翻转系统、垫料倾倒系统、隧道式洗笼机、自动装填干净垫料系统及笼盒自动堆叠系统。工作人员只要将脏笼盒装载到配套的转运车上,然后将其与自送清洗线前端对接好即可离开,经洗笼机一系列自动清洗后笼盒会被堆叠到转运车上,然后将笼盒分配到不同屏障区的高压灭菌设备处灭菌后,笼盒即可进屏障使用,该过程只需配备 1 ~ 2 人在始末端进行操作和管理。可大大减少人力的投入,也避免了工作人员因直接接触动物废垫料带来的臭气、粉尘、微生物等问题,保障了人员福利。

2 新建设施集中清洗设计

2.1 集中清洗模式优势

新建实验动物房在完成选址和建筑总体设计后^[9],在工艺平面设计上根据设计的饲养量设计清洗间面积^[10]。传统设计理念每个屏障设施配置清洗间,但随着设施建设规模的增加,多层或多设施的不同屏障区域逐渐形成集约化清洗中心的模式,目前国际上大型实验动物设施集约化清洗以隧道式洗笼机为基础^[11],配机器人手臂、平面自动翻转系统等智能化模块发展为高度自动化清洗线^[12],如美国^[13]华盛顿大学、加州大学、日本理化研究所^[14-16]等均为集中化清洗^[17-18],以美国加州大学圣地亚哥分校为例,该校区有 19 个动物房,饲养总量约 7 万笼小鼠,若每个动物房配置清洗间,需要

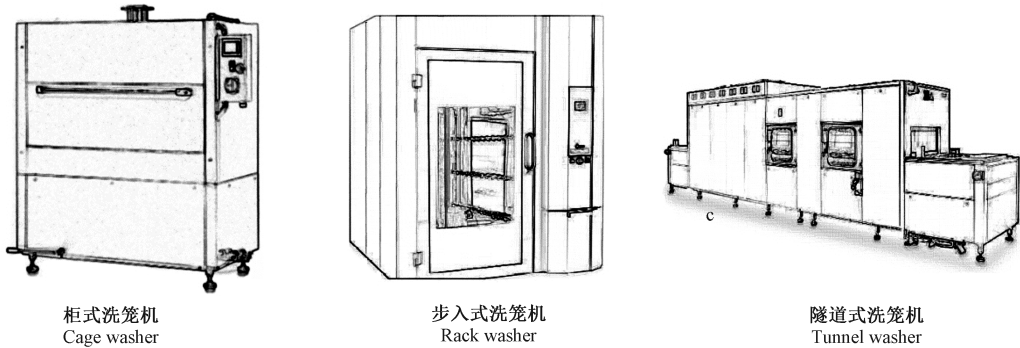


图 1 三种洗笼机模式图
Figure 1 Schematic illustration of three types of washers

19 台步入式洗笼机、10 台隧道式洗笼机,专职清洗人员 47 人,而采用集中化清洗只需配置 2 台步入式洗笼机,3 台隧道式洗笼机,清洗转运人员共 16 人,相比传统清洗方案,集中化清洗从设备、能耗、人工等方面均极大减少运行支出,具体见表 1。

2.2 布局设计

脏/洁分区,形成闭环。集中清洗主要配置设备包括步入式洗笼机、隧道式洗笼机、脏垫料处理

系统、干净垫料处理系统以及全自动翻转系统,在平面设计阶段,根据规划的饲养量配置洗笼机的型号和数量。在实验动物设施中,人流、物流、动物流是否合理直接关系到交叉污染风险的大小^[19],可利用洗笼机双门或隧道设计,脏进洁出单向流线实现清洗间脏/洁分区,实现笼具单向运输形成闭环^[20],见图 2。

表 1 加州大学圣地亚哥分校动物房清洗对比
Table 1 Comparison of the details of animal room cleaning in University of California, San Diego

序号 Number	类别 Categories	分布式清洗 ^a Dispersed washing ^a	集中式清洗 ^b Centralized washing ^b
1	步入式洗笼机 Rack washers	19	2
2	隧道式洗笼机 Tunnel washers	10	3
3	脏垫料传送设备 Conveying systems, soiled bedding	5	1
4	干净垫料传送设备 Conveying systems, clean bedding	5	1
5	人员-洁区 Personnel, clean side	23	4
6	人员-脏区 Personnel, soiled side	23	4
7	人员-转运 Personnel, transportation	0	4
8	蒸汽 (kg/d) Steam (kg/d)	22 285 000	11 272 000
9	水 (吨/年) Water (ton/year)	122 600	52 500
10	电 (kW/年) Electricity (kW·h/year)	853 667	294 681
11	运输汽车汽油 (L/年) Gasoline (L/year)	0	1382

注:^a:45 000 个笼具的承载能力;^b:100 000 个笼具的承载能力。
Note. ^a, Capacity of 45 000 cages. ^b, Capacity of 100 000 cages.

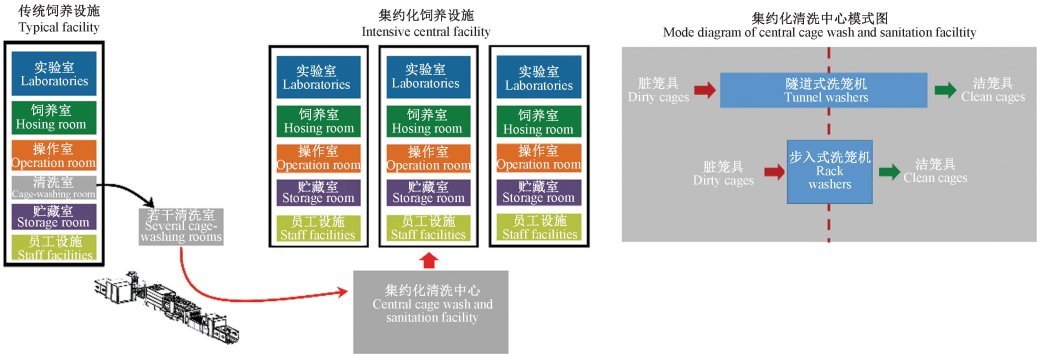


图 2 集约化清洗中心模式图
Figure 2 Schematic diagram of the central cage wash and sanitation facility

2.3 楼层选择

方便运输,基建承重。大型设备体积和质量决定安装的位置承重比一般设备高,步入式洗笼机体积大,底面积小,安装位置承重要求大于 1250 kg/m^2 (12.25 kN/m^2),有 20 cm 左右深度的地面下沉要求,工作时噪音可达 $70\sim 80\text{ dB}$ 以上,并有一定的震动,因此选择底层能够减少楼层加大承重造价,减少对动物在噪音和震动上的影响。

2.4 供能要求

合理设计,布排管道。洗笼机属高能耗设备,为了保证清洗效果,一般采用 $82^\circ\text{C}/55^\circ\text{C}$ 的热水清洗漂洗^[21-22],因此在设计阶段需要预留管道空间。大型设施优先选择锅炉供能,若无配置锅炉条件,也需要配置蒸汽发生器供能,可保证短时间开机工作,并可避免工作中水温^[23]不够等问题而影响清洗效率^[24]外供排水、散热排风、压缩空气、检修空间等管道也需一并预留。

2.5 安装要求

清洗设备均为大型仪器设备,尤其是全自动清洗线,单台隧道式洗笼机长度不小于 6 m ,若加上前后装载模块预计达 10 m 以上,出厂前组装测试无误后,然后按模块拆机运输到目的设施。一般清洗设备在设施土建完成后进场,与内部装修同步,保证各式管道布排合理^[25]。全自动清洗线安装调试的难点是整个控制系统的精准性和同步性,自动翻转夹取模块对不同尺寸的笼盒的精准识别是整个技术关键,售后技术支持与服务是设备正常运行的重要保障,因此最好安排相关操作人员全程参与安装调试,以便后期使用有专业人员进行维护。

3 洗笼机配置现状

3.1 洗笼机配置情况调研

对国内有实验动物设施^[26]的 66 所单位洗笼机配置情况调研,总共 131 台洗笼机,其中柜式洗笼机 55 台,步入式洗笼机 58 台,隧道式 18 台,如图 3。对配置不同类型洗笼机的单位统计,见图 4,单配置柜式洗笼机的有 27 家,占总的 41%,其中 985、211 高校、大型企业单位占比 26%,事业单位、医院、研究所、普通高校占比 74%;单配置步入式洗笼机的有 20 家,占总的 30%,其中 985、211 高校、大型企业单位占比 35%,事业单位、医院、研究所、普通高校占比 65%;有步入式柜式两种洗笼机的有 7 家,985、211 高校、大型企业单位占 71%,研究所只有 2 家,

占比 29%;有步入式隧道式两种洗笼机的有 5 家,企业占 60%,研究所、普通高校为 2 家,占比 40%;三种类型洗笼机均配置的有 3 家,均为 985 高校;配置两种或以上的单位有 15 家,其中 985、211 高校、大型企业单位有 11 家,占 73%。

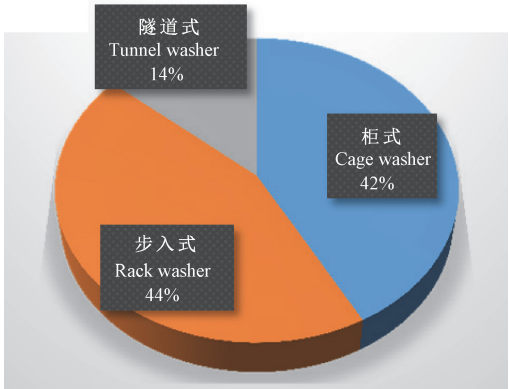


图 3 不同类型洗笼机占比
Figure 3 Proportion of different types of cage washers

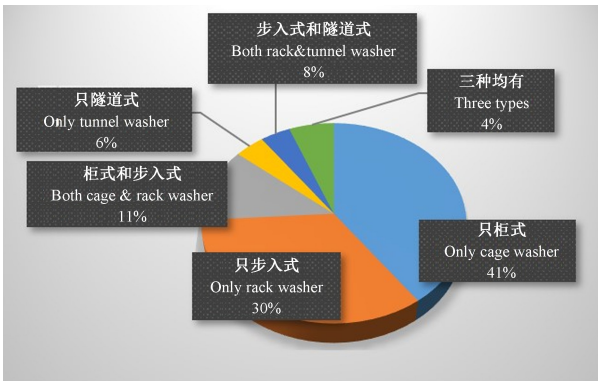


图 4 不同类型洗笼机配置
Figure 4 Configuration of different types of cage washers

事业单位、医院、研究所、普通高校实验动物设施规模较小的单位选择柜式洗笼机或者步入式洗笼机较多,结合设备的安装条件及投入,此最为适合。985、211 高校,大型企业等实验动物设施较大的一般会选择两种或三种类型洗笼机的配置方案,以满足大批量、多种类的实验动物用具的清洗。但在这 12 家配置隧道式洗笼机的单位中,目前还没有一家单位完全实现自动化清洗。

3.2 洗笼机配置建议

根据调研分析,以小鼠饲养笼位为例,笼位小于 5000 笼设施可选择单柜式洗笼机。笼位大于 5000 笼小于 10 000 笼,可选择步入式洗笼机。笼位大于 10 000 笼可选择步入式洗笼机配合隧道式洗笼机,数量根据实际情况选择,隧道式洗笼机优先

清洗盒底,并配合垫料处理设备,步入式洗笼机优先清洗笼架、盒盖、铁网、水瓶,可满足清洗要求。

4 讨论与展望

中国实验动物行业虽起步较晚,但发展快,已在法律法规、行业标准、科学研究、生产供应、质量保障和人才培养等各方面建立了较为完善的管理体系,国家也加大了对实验动物行业的投入,在清洗配套设备上也将从传统的人工清洗到机械化清洗甚至全自动化清洗发展。而随着配套设备机械自动化程度越高,对操作人员素质的要求必然也会提高,加强相关人员的技能操作培训、提高理论与实操基础、建立一支操作熟练、维修有素的设备保障队伍亦是关键之一。相信在不久的将来,实验动物设施清洗自动化将会是我国实验动物发展又一阶段性标志。

参考文献:

[1] 中国科学技术协会. 2014~2015 实验动物学学科发展报告 [M]. 北京:中国科学技术出版社,2016.

[2] 秦川. 中国实验动物学科发展 40 年 [J]. 科技导报, 2017, 35(24): 20-26.

[3] 张文慧,王芳. 实验动物设施的建设与管理 [J]. 实验室研究与探索, 2009, 28(11): 183-186.

[4] 丁燕霞,李琳,朱莉莉,等. 中南大学实验动物屏障环境运行初期总结 [J]. 中国比较医学杂志, 2017, 27(9): 83-86.

[5] 王昌耀,钱丹萍,孔庆学,等. 使用动物垫料添加机或垫料倾倒地时人员呼吸防护用品的评估 [J]. 中国比较医学杂志, 2018, 28(8): 19-23, 28.

[6] 蒙少鹏. 实验动物设施自动控制系统的应用问题及对策 [J]. 中国比较医学杂志, 2015, 25(8): 72-75.

[7] 马雷,温福利,张诗兰,等. IWT650 洗笼机在动物实验室的应用体会 [J]. 实验动物科学, 2016, 33(6): 50-54.

[8] 李可欣,张凤梅,杨根岭,等. 实验动物屏障设施系统自动化控制技术体系应用探索 [J]. 中国比较医学杂志, 2018, 28(12): 105-110.

[9] 管国华,邵义祥. 建立标准化动物实验室 创建实验服务技术平台 [J]. 实验室研究与探索, 2005, 24(10): 107-109.

[10] Zynda JR. A shift in designing cage-washing operations [J]. Lab Anim (NY), 2015, 44(4): 146-149.

[11] 孔琪,夏霞宇,赵永坤. 美国实验动物品种资源现状分析 [J]. 中国实验动物学报, 2016, 23(5): 539-542.

[12] 庞万勇,朱德生,贺争鸣,等. 美国实验动物医学发展简史——对中国实验动物医学发展的思考 [J]. 中国比较医学杂志, 2011, 21(10-11): 81-86, 38.

[13] 沈晋明,刘洋,汪亚兵. 简介美国实验动物饲养环境管理和使用 [J]. 实验动物与比较医学, 2011, 31(4): 304-307.

[14] 汤家铭. 日本大学动物实验设施的管理 [J]. 中国比较医学杂志, 2001, 11(4): 253-256.

[15] 樊波,闫红霞,李洪涛. 日本庆应大学 SPF 级实验动物设施情况介绍 [J]. 实验动物科学与管理, 2003, 20(2): 38-40.

[16] 沈晋明,汪亚兵. 浅谈日本实验动物饲养环境标准 [J]. 实验动物与比较医学, 2010, 30(4): 305-307.

[17] 林金杏. 赴日本参加第 60 届日本实验动物学会年会及参观日本部分实验动物研究机构个人感受 [J]. 中国比较医学杂志, 2014, 24(1): 78-79.

[18] 师长宏. 美国比较医学中心实验动物管理与保障工作介绍 [J]. 中国比较医学杂志, 2016, 26(1): 86-88.

[19] 李志满,佟晓华,安连华,等. 复合式实验动物屏障系统一款集动物饲养、实验一体化的屏障设备的设计 [J]. 中国比较医学杂志, 2007, 17(9): 544-546.

[20] 林健,黄忠兴,何宏星,等. 创立实验动物屏障系统的消毒灭菌压力设备的安全管理及质量管理体系 [J]. 中国消毒学杂志, 2008, 25(1): 96-98.

[21] Zwarun AA, Weisbroth SH. Development of an 82.2 degrees C (180 degrees F) temperature indicator system for monitoring equipment washing and sanitizing programs [J]. Lab Anim Sci, 1979, 29(3): 395-397.

[22] Compton SR, Macy JD. Effect of cage-wash temperature on the removal of infectious agents from caging and the detection of infectious agents on the filters of animal bedding-disposal cabinets by PCR analysis [J]. J Am Assoc Lab Anim Sci, 2015, 54(6): 745-755.

[23] 刘峰松. 湖北省药物安全性评价中心实验动物设施建设与管理 [D]. 武汉:华中农业大学, 2006.

[24] 王锡乐,巩薇,贺争鸣,等. 中国大陆地区实验动物生产现状分析 [J]. 实验动物科学, 2017, 34(4): 67-74.

[25] 李学勇,靳洪涛,刘欣. 实验动物屏障设施管理中的几个关键问题 [J]. 中国比较医学杂志, 2008, 18(1): 69-76.

[26] 孔琪. 中国实验动物行业发展现状调查研究 [J]. 中国比较医学杂志, 2017, 27(5): 19-22.

[收稿日期]2019-02-22