

溶液式环境控制设备在实验动物设施中的应用

张 婷, 陈亮亮, 李海翔, 黄发洲, 蔡武凯

(北京华创瑞风空调科技有限公司, 北京 100084)

[摘要] 近年来溶液式环境控制设备在实验动物设施建设中逐渐得到了应用和推广。本文实测和分析了溶液式环境控制设备在实验动物设施中的应用情况, 从环境控制效果、系统配电、运行能耗、排气处理、安装条件以及使用维护等方面, 将其与传统环境控制设备进行了对比, 为进一步促进溶液式环境控制设备在实验动物设施中的应用提供参考。

[关键词] 实验动物设施; 溶液式环境控制设备; 传统环境控制设备

[中图分类号] R-331; Q95-33 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1674-5817(2021)02-0161-05

Application of Liquid Desiccant Environmental Control Equipment in Laboratory Animal Facilities

ZHANG Ting, CHEN Liangliang, LI Haixiang, HUANG Fazhou, CAI Wukai

(Sinorefine Air Conditioning Technology Co., Ltd, Beijing 100084, China)

Correspondence to: ZHANG Ting, E-mail: zt@sinorefine.com.cn

[Abstract] In recent years, liquid desiccant environmental control equipment has been gradually applied in the laboratory animal facility settings. This study measured and analyzed the application of liquid desiccant environmental control equipment in laboratory animal facilities and compared it with traditional systems for environmental control, power distribution, energy consumption, exhaust air treatment, installation conditions, use and maintenance, in order to provide a reference for promoting the application of liquid desiccant environmental control equipment in laboratory animal facilities.

[Key words] Laboratory animal facilities; Liquid desiccant environmental control equipment; Traditional environmental control equipment

近年来, 实验动物设施建设发展迅速, 实验动物设施的能耗和环保问题也得到越来越多学者和建设者的关注^[1]。为保证医学实验的精密性和药物试验的可靠性, 实验动物设施对环境控制的要求较高^[2]。实验动物设施普遍采用全新风系统, 全年 24 h 昼夜运行, 传统环境控制设备运行能耗大, 且对排气的环保处理能力较弱^[3]。溶液式环境控制设备 (liquid desiccant environmental control system) 利用盐溶液 (氯化钙、氯化锂等溶液) 的吸湿、放湿特性, 实现新风和排风之间热量和水分的传递过程^[4]; 其具有强控湿、低能耗、高效除氨等多方面的优势, 近年来在实验动物设施建设中得到广泛应用, 并取得了良好的环境控制、节约能量和排气处理效果^[5]。

本文以北京某实验动物设施为例, 从环境控

制效果、系统配电量、运行能耗、排气处理效果和安装条件等方面, 对溶液式环境控制设备与传统环境控制设备进行了对比分析, 为促进溶液式环境控制设备在实验动物设施中的应用提供参考。

1 实验动物设施概况

1.1 基本信息

北京某生物科技有限公司新建实验动物设施约 3 262 m², 其中小动物屏障区面积约 2 600 m²。项目采用溶液式环境控制设备, 于 2020 年投入运行。设计要求参照 GB 14925—2010《实验动物环境及设施》, 室内设计温度 20~26℃, 相对湿度 40%~70%, 换气次数≥15 次/h, 空气洁净度 7 级, 氨浓度≤14 mg/m³。作者对溶液式环境控制设备进行了测试, 并以厂区内另一栋具有相

同设计要求的旧设施作为对照,比较新旧设施的运行效果。旧设施于2009年投入运行,大鼠、小鼠屏障区面积约2140 m²,采用传统环境控制设备。

1.2 溶液式环境控制设备

新建设施采用溶液式环境控制设备,设备集冷热源、风机、全热回收^[6]、初中效过滤、排风除臭等功能为一体,系统形式如图1所示。送风侧空气处理过程:室外新风—初效过滤段—溶液全热回收和溶液除湿段—风机段—中效过滤段—送入室内。排风侧空气处理过程:室内排风—初效过滤段—溶液除臭段—溶液全热回收和溶液再生段—风机段—排至室外。

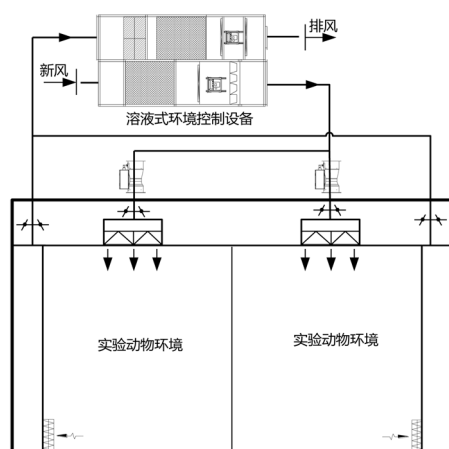


图1 溶液式环境控制系统示意图

Figure 1 Schematic diagram of liquid desiccant environmental control system

溶液式环境控制设备由溶液空调段和溶液除臭段两部分组成。溶液空调段采用氯化钙盐溶液作为工作介质,来自室外的新风进入除湿塔与溶液逆流接触,进行热湿传递,被冷却除湿到送风状态点;机组采用回风再生,来自室内的回风先经过喷淋酸溶液去除氨气,之后进入再生塔与溶液接触,带走溶液中水分,从而完成溶液的浓缩再生,吸水后的再生空气被排放到室外;溶液空调段内置热泵系统,热泵系统蒸发器为溶液提供冷量,用于对空气的降温 and 除湿,热泵系统冷凝器为溶液提供热量,用于溶液的浓缩再生。实验动物设施排气的主要有害成分为氨气。针对氨气,溶液除臭段采用磷酸稀溶液作为工作介质,利用喷淋酸性溶液高效吸收排风中的氨气。设备原理如图2所示。

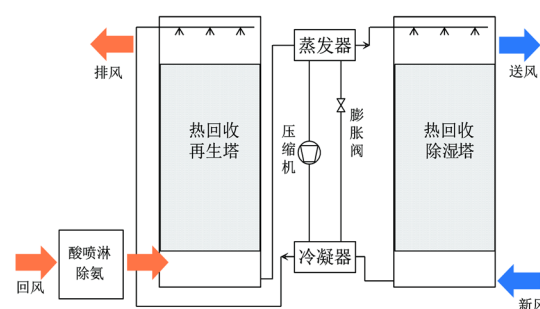


图2 溶液式环境控制设备原理示意图

Figure 2 Principle of liquid desiccant environmental control equipment

1.3 传统环境控制设备

旧设施采用传统环境控制设备,由风冷热泵制取冷冻水提供给组合式空调机组,由空调机组将室外新风处理至适宜的温湿度状态后送入室内。组合式空调机组包含初效过滤段、两级表冷段、蒸汽加湿段、电加热段、中效过滤段和风机段。排风经过水喷淋塔除臭后排至高空。系统形式如图3所示。

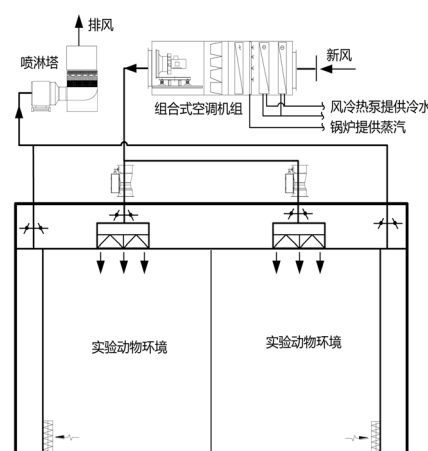


图3 传统环境控制系统示意图

Figure 3 Schematic diagram of traditional environmental control system

2 测试结果比较

2.1 室内温湿度环境控制效果

选取2020年8月份新设施与旧设施室内温湿度环境控制参数进行比较(图4)。从图中可以看出,新旧设施都很好地满足了20~26℃的温度控制要求,但旧设施室内的空气相对湿度偏高,部分时段旧设施室内的相对湿度甚至超过了70%。

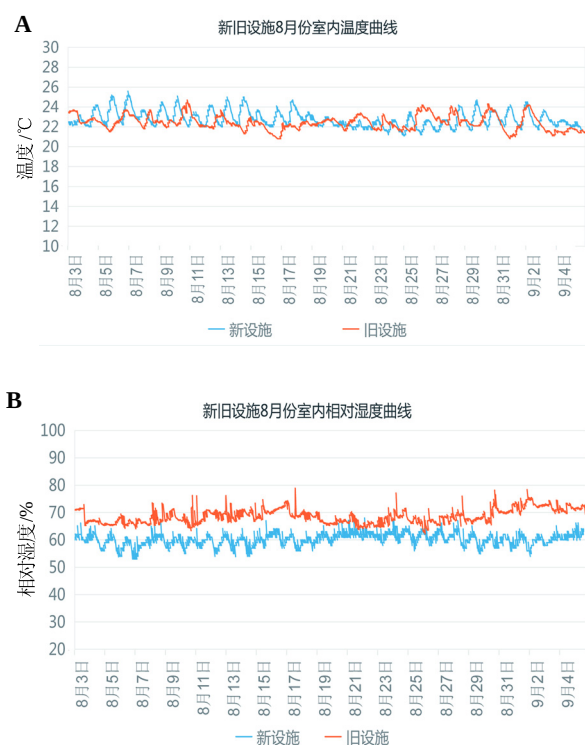


图4 新旧设施室内温度曲线(A)和相对湿度曲线(B)
 Figure 4 Indoor temperature curve (A) and relative humidity curve (B) of new and old facilities

2.2 配电量

计算同等面积和风量下新旧设施的配电量。从表1~2可以看出,旧设施配电量为1 300 kW,其中空调配电量为1 198 kW;新设施配电量为654 kW,其中空调配电量为552 kW,即新设施比旧设施整体配电量节约50%,其中空调配电量节约54%。

2.3 运行能耗

选取2020年8月3日至9月4日电表实测数据,对比新旧设施的耗电量,详见表3。由于实验动物设施的能耗与新风量相关,在能耗比较时采用单位风量、单位时间的能耗指标。测试时,设备风量均未满负荷运行,实际运行风量小于设计风量。从表3可以看出,新设施的运行能耗明显低于旧设施,单位风量、单位时间的能耗指标下降50%,效果显著。

2.4 排风氨浓度

旧设施采用了水喷淋塔除臭的方式,将排风通过水喷淋后高空排放,主要利用氨易溶于水的原理进行除氨。新建设施采用了溶液喷淋除氨的

表1 旧设施的配电量

Table 1 Power distribution of old facility

用电设备组名称	功率/kW
照明	67
空调机组(30 000 m ³ /h, 共4台)	
送风机(共2台,其中1台备用,每台30 kW)	120
排风机(共2台,其中1台备用,每台22 kW)	88
电再热(每台89 kW)	356
螺杆式风冷热泵机组(共3台,每台156 kW)	468
冷冻水泵(共3台,每台22 kW)	66
轴流风机(共4台,每台15 kW)	60
除臭设备(共4台,每台10 kW)	40
高压灭菌器(共4台,每台5 kW)	20
动物饮水机(共2台,每台4 kW)	8
弱电设备预留	7
合计	1 300

表2 新设施的配电量

Table 2 Power distribution of new facility

用电设备组名称	功率/kW
照明	67
溶液式环境控制设备 (30 000 m ³ /h, 共4台,每台123 kW)	492
轴流风机(共4台,每台15 kW)	60
高压灭菌器(共4台,每台5 kW)	20
动物饮水机(共2台,每台4 kW)	8
弱电设备预留	7
合计	654

表3 新旧设施运行能耗对比

Table 3 Comparison of energy consumption between two facilities

项 目	旧设施	新设施
运行风量/(m ³ ·h ⁻¹)	64 000	87 000
运行时间/h	768	768
总电耗/kWh	199 400	136 457
单位时间电耗/(kWh·h ⁻¹)	260	178
单位风量单位时间 电耗/(kWh·10 ⁴ m ⁻³ ·h ⁻¹)	40.6	20.4
新设施单位风量节能率/%		50

方式,利用氨气水合物呈碱性的特征,采用酸性溶液进行喷淋吸收。含氨排风进入溶液除臭段后,与磷酸稀溶液充分进行反应,空气中的氨气(NH₃)以铵根(NH₄⁺)的形式进入吸收液中,反应生成磷酸二氢铵,空气中的氨气含量大幅减

少,降低至国家排放标准允许范围后排至室外。吸收液中的磷酸二氢铵通过结晶生成固体沉淀,最终过滤去除,实现彻底除氨。磷酸二氢铵属于一般固废,收集后交由物资回收公司利用。

采用氨浓度计对两种除氨方式进行测试对比,结果见表4。从实测结果可以看出,酸溶液喷淋的除氨效果优于水喷淋塔的除氨效果,酸溶液喷淋的除氨效率可以达到90%以上。

表4 两种设备除氨方式效果对比

Table 4 Comparison of ammonia removal effect between two equipments

除氨方式	区域	设备进口空气氨气含量/(mg·m ⁻³)	设备出口空气氨气含量/(mg·m ⁻³)	除氨率/%
喷淋塔	动物饲养区	4.18	2.88	31
	SPF级动物区	3.80	3.58	6
溶液喷淋	车间一	4.70	0.42	91
	车间二	4.30	0.34	92
	车间三	3.50	0.24	93

注:动物饲养区、SPF动物区以及车间一~三均为屏障环境实验动物生产间。

2.5 设备安装条件

溶液式环境控制设备集成了冷热源、除臭装置、输配系统等于一体,因此单机设备体积较大,以30 000 m³/h设备为例,设备尺寸为10.6 m(长)×5 m(宽)×4.2 m(高)。以本项目为例,共选用4台30 000 m³/h设备,机房面积约为300 m²。同时,由于设备集成度较高,因此设备安装较为简单,只需连接风管、电源、补水管即可。

若采用传统环境控制系统,设备数量相对较多,施工安装相对复杂,但单机设备体积较小,且设备高度一般不超过2.5 m,同样设施条件下,所需机房总面积约为260 m²。相比溶液式环境控制设备,传统环境控制设备所需机房占地面积更小,对机房层高要求低。

2.6 系统造价对比

溶液式环境控制设备的造价高于传统环境控制设备。综合考虑设备费用的增加,水系统安装和配电费用的减少等,通常初投资增加20%左右,投资回收期在1~2年。

2.7 使用维护

溶液式环境控制设备集成度较高,相对传统环境控制系统而言,设备少,系统简单,因此,实际使用中更易操作,管理更为方便。但溶液式环境控制设备对于大多数用户尚属于新技术,可能对设备缺乏了解,操作经验不足。

溶液式环境控制设备与传统环境控制系统相比,压缩机及氟系统、风机、过滤器等主要部件维护工作基本相同,不同的是前者增加了溶液系统的维护,减少了水系统的维护。对于溶液空调段,氯化钙盐溶液长期使用后不需要补充和更换,溶液中氯化钙含量不变则其空气处理能力不会衰减,但需定期过滤清洁溶液,去除空气带入溶液中的灰尘和颗粒物。对于溶液除臭段,需定期补充机组磷酸溶液用于除氨,需定期处理产生的固废磷酸二氢铵。

由于氯化钙盐溶液具有腐蚀性,因此溶液式环境控制设备内部与溶液接触的部件必须采用耐腐蚀型材料,对设备耐腐蚀性、防泄漏性等生产工艺要求较高。同时,设备须严格满足国家标准GB/T 27943—2011《热泵式热回收型溶液调湿新风机组》中对送风携带溶液离子量的要求,保证不会对环境造成不良影响^[7]。溶液式环境控制设备虽然在民用及工业行业中应用时间已有20余年,但近10年才开始应用于实验动物设施中,目前项目最长应用时间为8年,机组使用寿命初步得到验证。

3 结语

本研究实测了溶液式环境控制设备在实验动物设施中的应用效果,从室内环境控制、配电

量、运行能耗、排风除氨效果、安装条件和使用维护等方面,与传统环境控制设备进行了对比分析。研究表明:①溶液式环境控制设备由于除湿能力强,在湿度控制方面体现出明显的优越性,在高湿度地区可能有较大应用价值。②采用溶液式环境控制设备的实验动物设施配电量明显下降,设施整体配电量可下降 50% 左右,空调配电量可下降 54% 左右。③采用溶液式环境控制设备的设施,运行能耗显著下降,单位风量、单位时间的节能率达到 50%,节能效果显著。④排风采用酸溶液喷淋除氨的效果优于水喷淋塔,酸溶液喷淋除氨率可达到 90% 以上。⑤溶液式环境控制设备集成度高,安装简单,但单机设备体积较大,机房占地面积增加,对机房层高要求高。⑥与传统环境控制设备相比,溶液式环境控制设备初投资增加 20% 左右,投资回收期一般为 1~2 年。⑦溶液式环境控制设备操作简单,但用户对新技术缺乏了解,操作经验不足;除溶液系统外,主要部件的维护与传统设备基本相同;设备对溶液的耐腐蚀性和防泄漏性要求较高,目前该

设备在实验动物设施最长的运行时间为 8 年左右,机组使用寿命初步得到验证。

参考文献:

- [1] 王一航. 实验动物房投资现状及减少运行费用的探讨[J]. 中国实验动物学杂志, 2001,11(3):188:190. DOI:10.3969/j.issn.1671-7856.2001.03.017.
- [2] 何婧,沈晋明,汪亚兵. 实验动物房环境特点与空调设计[J]. 洁净与空调技术, 2003(1):32-37. DOI:10.3969/j.issn.1005-3298.2003.01.006.
- [3] 丁德,杨毅,曹志刚,等. 浙江大学动物实验中心空调设计[J]. 暖通空调, 2013, 43(9):19-23.
- [4] 江亿,李震,陈晓阳,等. 溶液式空调及其应用[J]. 暖通空调, 2004, 34(11):88-97.
- [5] 李海翔,张婷,从琳,等. 溶液式空调系统在实验动物中心的应用[J]. 暖通空调, 2017, 47(3):85-89.
- [6] 韩俊召,裴清清. 溶液全热回收装置在 SPF 实验动物环境中的应用分析[J]. 洁净与空调技术, 2007(1):46-48. DOI:10.3969/j.issn.1005-3298.2007.01.014.
- [7] 吴蔚兰,王蕊. 溶液调湿空调系统在电子厂房中的应用分析[J]. 暖通空调, 2012, 42(12):75-80.

(收稿日期: 2020-11-23 修回日期: 2021-01-18)

(上接第 147 页)

- [15] NETO W K, CIENA A P, ANARUMA C A, et al. Vertical climbing for rodent resistance training: a discussion about training parameters[J]. Int J Sports Sci, 2016, 2016(61A): 36-49. DOI:10.5923/s.sports.201601.07.
- [16] CONSITT L A, DUDLEY C, SAXENA G. Impact of endurance and resistance training on skeletal muscle glucose metabolism in older adults[J]. Nutrients, 2019, 11(11):2636. DOI:10.3390/nu11112636.
- [17] NICASTRO H, ZANCHI N E, DA LUZ C R, et al. An experimental model for resistance exercise in rodents[J]. J Biomed Biotechnol, 2012, 2012:457065. DOI:10.1155/2012/457065.
- [18] DOS SANTOS J L, DANTAS R E, LIMA C A, et al. Protective effect of a hydroethanolic extract from Bowdichia

virgilioides on muscular damage and oxidative stress caused by strenuous resistance training in rats[J]. J Int Soc Sports Nutr, 2014, 11(1):58. DOI:10.1186/s12970-014-0058-3.

- [19] TAKEGAKI J, OGASAWARA R, KOTANI T, et al. Influence of shortened recovery between resistance exercise sessions on muscle-hypertrophic effect in rat skeletal muscle[J]. Physiol Rep, 2019, 7(13): e14155. DOI:10.14814/phy2.14155.
- [20] TAVASSOLI H, HEIDARIANPOUR A, HEDAYATI M. The effects of resistance exercise training followed by detraining on irisin and some metabolic parameters in type 2 diabetic rat model[J]. Arch Physiol Biochem, 2019:1-8. DOI:10.1080/13813455.2019.1673432.

(收稿日期: 2020-06-26 修回日期: 2020-11-13)