



ABSL-2 实验室相对湿度波动原因的分析与对策

谷鑫, 吕阳, 卢选成, 李雪柏, 王晓雪, 高连胜*

(中国疾病预防控制中心, 北京 102206)

【摘要】 分析中国疾病预防控制中心实验动物中心 ABSL-2 实验室相对湿度波动现象产生的原因, 提出解决对策。阐述实验动物中心 ABSL-2 实验室系统加湿、除湿、送风、自动控制、湿度传感器的工作原理, 论述各实验区域送风、加湿蒸汽供应、除湿时间长短、湿度传感器误差等是影响相对湿度使其产生波动的基本因素, 并逐一分析其影响程度, 以确定科学有效的稳定相对湿度的方法。通过采取实时调节风阀、持续稳定的蒸汽供应、设置二级表冷器、定期保养更新湿度传感器、科学合理的管理等有效可行的对策, 可以减少相对湿度波动现象的发生, 提高生物安全动物实验室保障水平, 并为今后实验动物中心空调系统的设计和管理提供可借鉴的经验。

【关键词】 ABSL-2 实验室; 湿度; 加湿; 除湿; 生物安全

【中图分类号】 R-33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7856(2018) 08-0112-06

doi: 10.3969/j.issn.1671-7856.2018.08.020

Analysis and discussion of relative humidity fluctuation in ABSL-2 laboratory

GU Xin, LV Yang, LU Xuancheng, LI Xuebai, WANG Xiaoxue, GAO Liansheng*

(Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China)

【Abstract】 To analyze the causes of the fluctuation in relative humidity at the ABSL-2 laboratory and propose countermeasures. According to the ABSL-2 laboratory humidification, dehumidification, air humidity, automatic control, sensor working principle. Owing to inconsistency of the air supply in various laboratory areas, humidified steam is not continuously supplied, and excessive dehumidification time and humidity sensor monitoring error occur, resulting in the fluctuation of relative humidity. The influences of these factors were analyzed one by one to establish an effective method of humidity stabilization. Through real-time regulation of air valves, continuous and stable steam supply, establishment of a two-level surface cooler, regular maintenance and updating of humidity sensors, and appropriate management practices, we further improved the stability of the relative humidity index of the ABSL-2 laboratory. Improve the level of laboratory biosafety, and provide information for the future design and management of air-conditioning systems in laboratory animal centers.

【Keywords】 ABSL-2 laboratory; humidity; humidification; dehumidification; biosafety

中国疾病预防控制中心实验动物中心 ABSL-2 实验室(以下简称 ABSL-2 实验室)近年来为 H7N9、HIV、EV71 等新发、再发传染病的病毒和细

菌致病性研究、疫苗研究及抗体制备等相关动物实验提供实验平台^[1]。目前 ABSL-2 实验室存在相对湿度波动的问题, 已不满足《实验动物环境与

[基金项目] 中国疾控中心昌平园区实验室及工作维持运行项目(1311500000102)

[作者简介] 谷鑫(1984—), 男, 本科, 助理研究员, 研究方向: 实验室微环境控制。E-mail: guxin@chinacdc.cn

[通信作者] 高连胜(1970—), 男, 副主任技师, 研究方向: 医疗卫生设备管理。E-mail: gaosl@chinacdc.cn

设施》(GB14925-2010)规定的标准,为实验室规范运行带来不利的影响^[2]。本文通过分析可能造成相对湿度波动的原因,提出解决对策,为今后 ABSL-2 实验室的设计和管理提供借鉴和参考。

1 ABSL-2 实验室相对湿度控制系统

ABSL-2 实验室相对湿度控制系统以空调系统为基础,通过组合式空调机组实现除湿、加湿、送风的功能;自控控制系统由监控系统监测相对湿度,通过现场直接数字控制器(DDC)、末端设备调节相对湿度。ABSL-2 实验室使用净化空调,净化级别万级(7 级),系统为负压全新风直流系统。每年 11 月至次年 3 月使用加湿系统,5 月至 9 月使用除湿系统,4 月、10 月过渡季节根据天气情况,使用加湿或除湿系统^[3-4]。自动控制系统根据各实验区湿度传感器的监测情况,采用温度和湿度调节相结合的方式控制相应送风阀。根据各实验区温度控制表冷段送风阀,以调节送风温度;根据各实验区湿度控制加湿、除湿段送风阀,以调节送风湿度^[5-6];使 ABSL-2 实验室的温度、相对湿度均符合《实验动物环境与设施》(GB14925-2010)要求。

1.1 ABSL-2 实验室加湿原理

冬季室外空气含湿量低,ABSL-2 实验室因供暖温度较高,相对湿度超出 40%~70% 范围,组合式空调机组将开启加湿段进行加湿。首先室外空气经表冷段的盘管进行升温;之后进入加湿段的蒸汽加湿器进行加湿;最后经加湿阀调整加湿量,送风温度湿度达到要求,进入 ABSL-2 实验室。加湿蒸汽来自锅炉

房的两台蒸汽锅炉(4 t/h),每天早 8 时至晚 22 时,供应加湿蒸汽(压力不低于 0.2 MPa)。(图 1)

1.2 ABSL-2 实验室除湿原理

夏季室外空气含湿量高,ABSL-2 实验室因制冷温度较低,相对湿度超出 40%~70% 范围,组合式空调机组将开启除湿段进行除湿,这种方式叫直接蒸发抽湿再热。首先室外空气经表冷段的冷水盘管进行降温;之后进入除湿段的蒸发器进行除湿;最后经除湿段的冷凝器进行等湿升温,送风温度湿度达到要求,进入 ABSL-2 实验室。冷源来自实验动物中心的三台风冷热泵机组。(图 2)

1.3 送风方式

组合式空调机组主要由初效过滤器、表冷器、除湿段、加湿段、风机、中效过滤器、高效过滤器组成,以冷水、热水、蒸汽为媒介,完成对空气的过滤、加热、冷却、加湿、除湿等功能^[7]。(图 3)

ABSL-2 实验室采用全空气的送风,其原理如图 4 所示,首先利用负压按照一定比例将新风吸入风道,经初效过滤器完成一次过滤;过滤后的新风与回风混合,经表冷器完成冷热交换;再经加湿段或除湿段完成湿度调节;最后经风机,由中效、高效过滤器完成二次、三次过滤后,按一定比例送入 ABSL-2 实验室内。同时,组合式空调机组的加湿蒸汽管道、除湿段均设置电动两通阀,根据湿度传感器测量值和设定值的偏差调节加湿、除湿量,以满足 ABSL-2 实验室的相对湿度要求^[8-9]。

1.4 湿度传感器

相对湿度的稳定控制通过设在实验动物中心

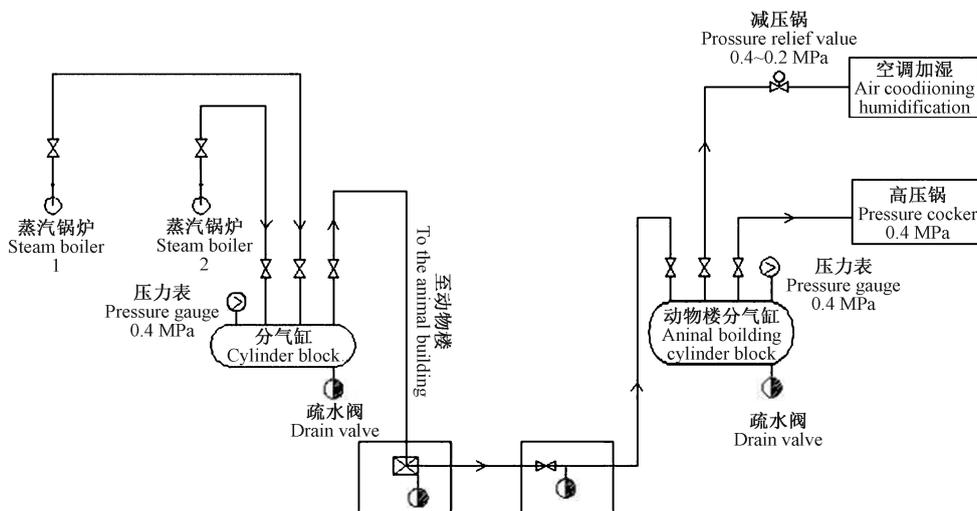


图 1 ABSL-2 实验室加湿蒸汽原理图

Figure 1 Humidification steam at ABSL-2 laboratory

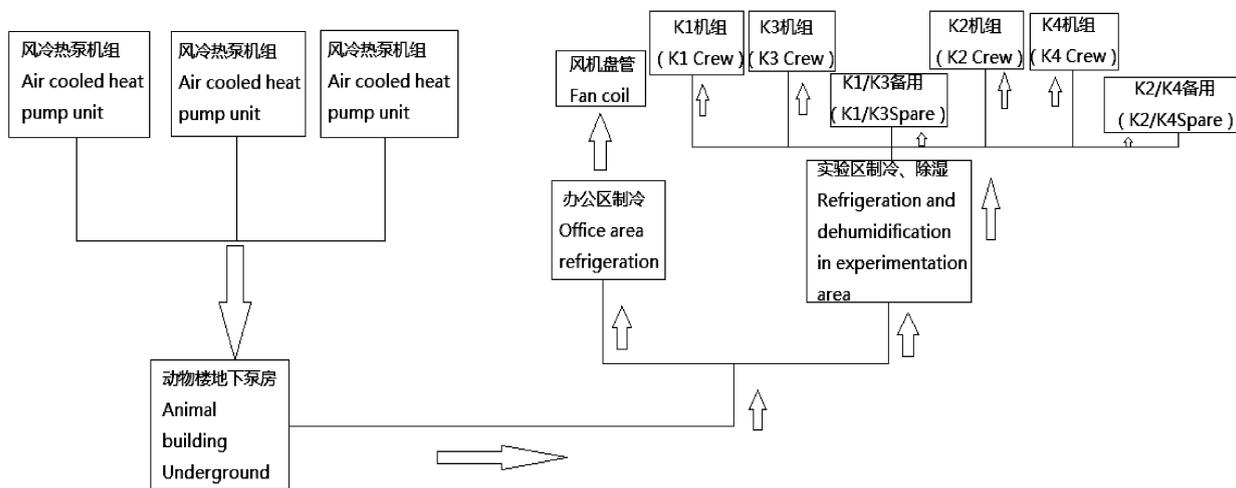


图 2 ABSL-2 实验室除湿蒸汽原理图

Figure. 2 Dehumidification steam at ABSL-2 laboratory

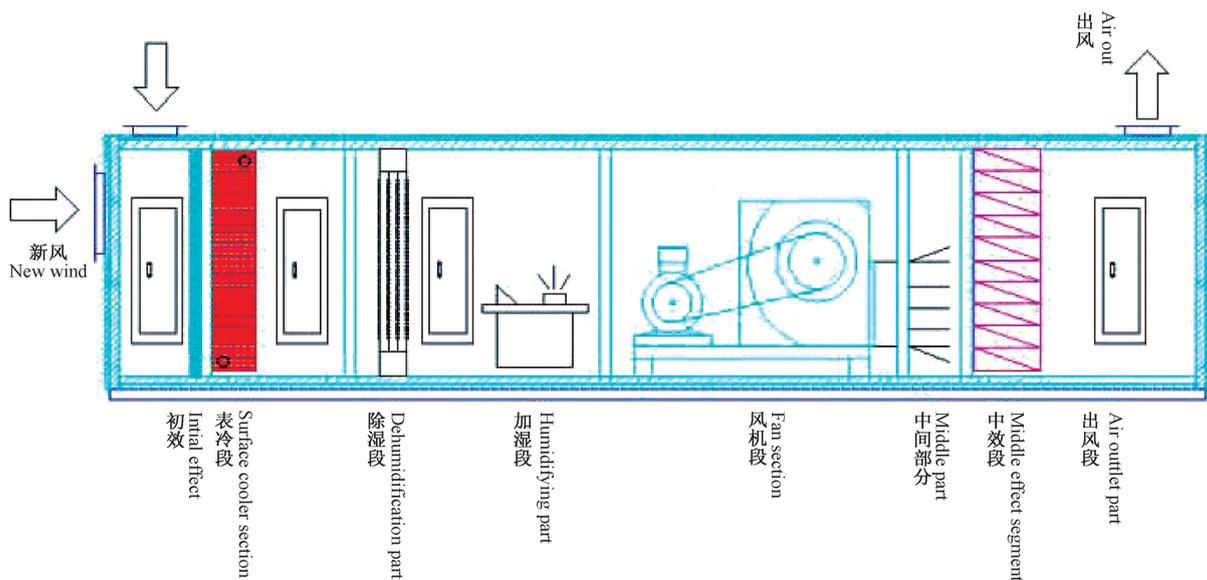


图 3 组合式空调机组原理图

Figure. 3 The principles of the combined air conditioning unit

一层监控室的自动控制系统来完成。自动控制系统由中央监控系统、现场直接数字控制器 (DDC)、末端设备和各实验区湿度传感器组成。湿度传感器是将湿度的物理信号直接转化为电信号的装置,由湿敏电容和转换电路组成。当环境湿度发生变化时,湿敏元件的电容量随之发生改变,即当相对湿度增大时,湿敏电容量随之增大,反之减小(电容量通常在 48 ~ 56 pf)。转换电路把湿敏电容变化量转换成电压量变化,对应于相对湿度 0 ~ 100 RH 的变化,传感器的输出呈 0 ~ 1 v 的线性变化。

2 相对湿度波动对 ABSL-2 实验室的影响

ABSL-2 实验室的运行要符合《实验动物环境与设施》(GB14925-2010),GB14925 明确规定相对湿度应控制在 40% ~ 70% 之内^[10]。ABSL-2 实验室相对湿度过低,会产生静电故障、尘埃附着等情况;相对湿度过高,会产生仪器氧化、水蒸气扩散等情况,容易引起精密仪器误差,实验样本保存时间缩短,进而影响动物实验数据的可靠性^[11-14]。相对湿度过高或过低,也影响实验动物的福利伦理,过高的相对湿度通常会引起大鼠的环尾病。

3 湿度波动较大的原因分析

3.1 各实验区域送风不一致

ABSL-2 实验室按房间布局、动物类型划分为四个区域,分别为:一层西侧实验区(K1)、一层东侧实验区(K2)、二层西侧实验区(K3)、二层东侧实验区

(K4),四个实验区域均设置送、排风机。为满足送、排风机故障或检修时实验室压差和洁净度的要求,一层和二层西侧实验区共同一套备用机组,一层和二层东侧实验区共同一套备用机组^[15]。(图5)

以实验动物中心一层东侧实验区为例,加湿蒸汽经组合式空调机组处理,达到一定的送风湿度,

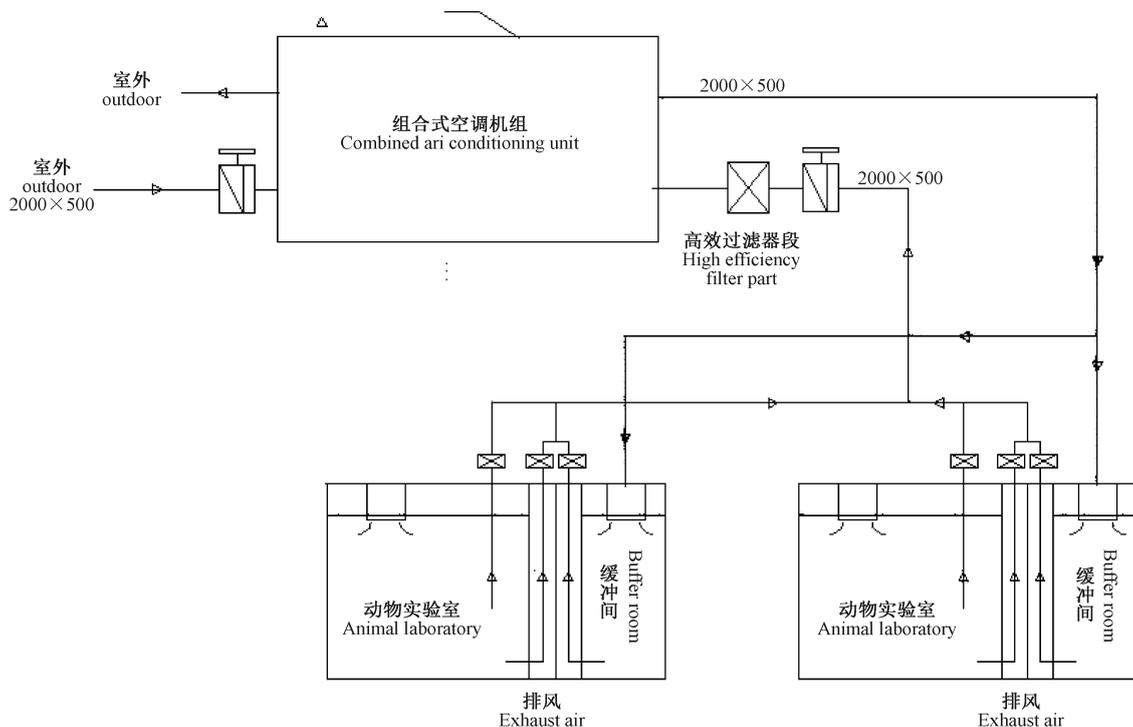


图4 ABSL-2 实验室送风原理图

Figure. 4 Air-conditioning air supply at ABSL-2 laboratory

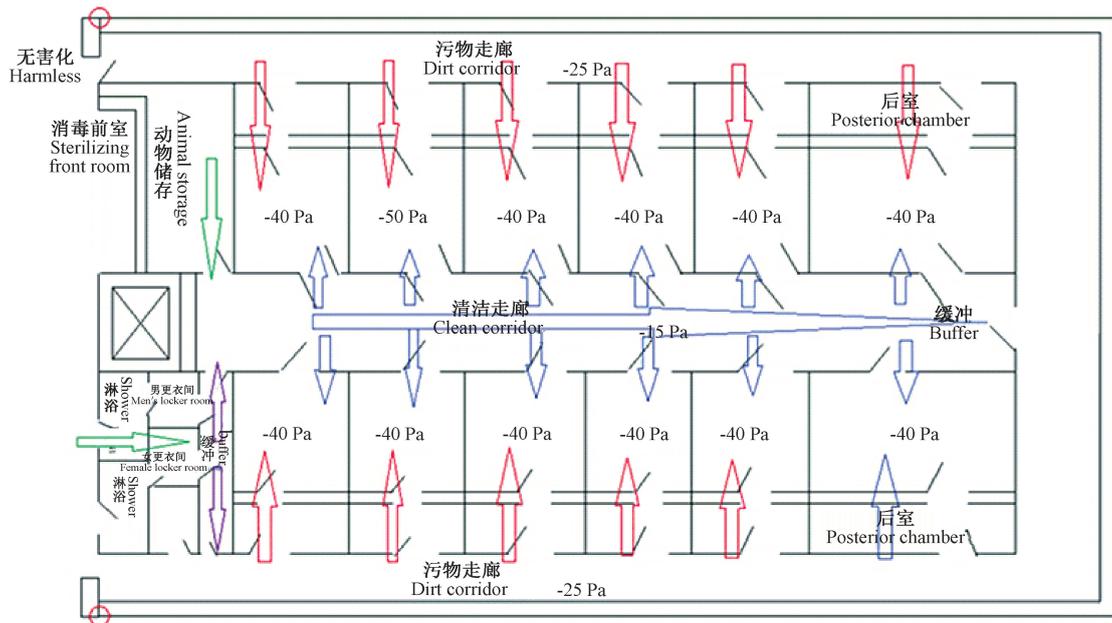


图5 ABSL-2 实验室区域送风原理图

Figure. 5 Air flow at ABSL-2 laboratory

通过风道以并联形式依次进入各实验室。进入送风主管道的湿度是一致的,由于送风有先后之分,管道有湿度损失,湿度由高到低传递,各实验室相对湿度必然有所不同。

3.2 加湿蒸汽供应不持续

冬季供暖期为每年 11 月 1 日至次年 3 月 31 日, ABSL-2 实验室因供暖温度较高,导致实验室内相对湿度较低,所以室外空气进入组合式空调机组需进行加湿处理。目前蒸汽锅炉维修、年检时存在停炉情况,蒸汽管道泄漏、维修存在停止供气情况。在蒸汽停供期间,由于没有加湿蒸汽供应,各实验室相对湿度较低。

3.3 除湿时间过长

夏季制冷期为每年 5 月 1 日至 9 月 30 日,因为室外空气含湿量高,导致实验室内湿度较高,所以室外空气进入组合式空调机组需进行除湿处理。处理后送风温度一般小于 23°C ,湿度一般小于 50%,在室外湿度大(80%以上)的情况下,空调机组的除湿段会延长除湿时间以增加除湿量。虽然送风湿度可以控制在 50% 内,但由于增加了蒸发器除湿时间,冷凝器的等湿升温时间也会相应增加,冷凝器产生大量的副加热,实验室内温度升高,湿度也相应升高。另外冷凝器产生的副加热使空调机组局部温度过高,引发电气事故无法正常除湿,造成送风湿度过高。

3.4 湿度传感器监测误差

ABSL-2 实验室通过湿度传感器的湿敏电容监测相对湿度。当检测湿度低于设定湿度范围,自动控制系统输出加湿蒸汽的 ON/OFF 接点信号,自动打开蒸汽阀门,开启加湿段;当检测湿度高于设定湿度范围,自动控制系统输出蒸发器的 ON/OFF 接点信号,开启除湿段。湿度传感器是准确测量实验室内湿度的重要设备,当湿敏电容灵敏度下降时,湿度控制会出现误差,造成实验室相对湿度波动现象。

4 对策探讨

4.1 实时调节风阀

以实验动物中心一层东侧实验区为例,加湿后的空气进入送风主管道,送风的第一个实验室至最后一个实验室,湿度呈由高至低的变化趋势,应将每间实验室的风阀开度按送风顺序依次由低到高调节,解决湿度不均问题;除湿后的空气进入送风

主管道,送风的第一个实验室至最后一个实验室,湿度呈由低至高的变化趋势,应将每间实验室的风阀开度按送风顺序依次由高到低调节,解决湿度不均问题。风阀是 ABSL-2 实验室温度、湿度、压力等空气控制的关键设备,调节风阀时还应综合考虑送风应符合实验室温度($20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$)、压力(20 ~ 30 Pa)、换气次数(> 16 次)的标准^[16-17]。(图 6)

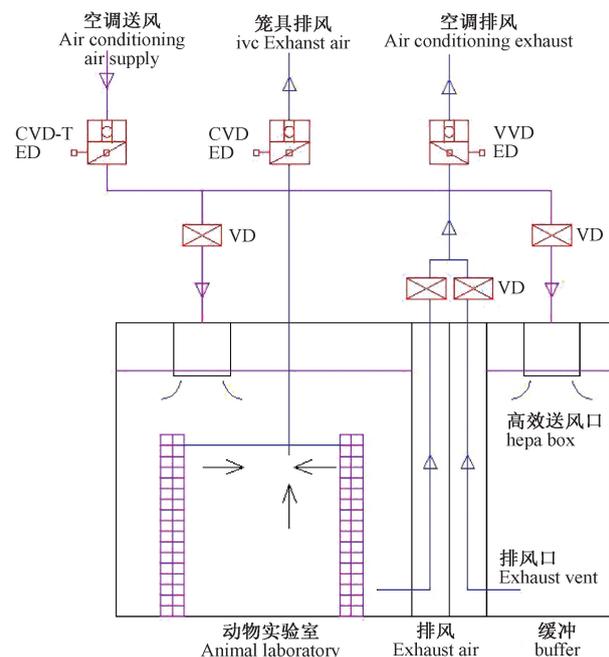


图 6 ABSL-2 实验室气流原理图

Figure. 6 Air flow at ABSL-2 laboratory

4.2 持续稳定的蒸汽供应

持续稳定的蒸汽供应,是 ABSL-2 实验室加湿系统正常运转的前提,应保证蒸汽锅炉 24 h 不间断供应。为防止因蒸汽锅炉维修、年检造成的停炉情况,蒸汽锅炉采用 1 用 1 备;为防止因蒸汽管道维修造成的停止供气情况,在实验动物中心增加一套电子蒸汽辅助设备,避免由于蒸汽停供,引起的各实验室相对湿度较低现象,确保蒸汽供应的稳定性、持续性。

4.3 设置二级表冷器

空气经表冷段降温后,由蒸发器进行除湿处理,再经冷凝器等湿升温,这样既可以将送风湿度降到设计范围,也可以使送风温度不会太低^[18]。空调机组可在冷凝器后增加二级冷冻水表冷器,减小冷凝器产生大量的副加热效应,即如果冷凝器后的送风温度高于设计温度,自动启动二级表冷器水阀,降低送风温度;如果冷凝器后的送风温度低于设计温度,增加回风量,提高送风温度。

4.4 定期保养更新湿度传感器

避免将传感器安装在离墙壁太近或空气不流通的位置。定期清扫风道灰尘,防止湿度传感器的保护滤膜罩被灰尘污染,每月拆开传感器的网罩用毛刷对其清洁或更换过滤罩。此外每日 16 时应将中央监控系统测量值和手持仪器测量值进行对比,若相对湿度相差在 5% 以内,可视湿度传感器正常;若相对湿度相差超过 5%,则视为湿度传感器超差,应及时进行维护。

4.5 科学合理的管理

使用自控系统、湿度监测仪实时监测湿度,手持湿度检测仪每日定期监测湿度,当三类监测湿度超过标准湿度范围,可以及时调节加湿、除湿程序。建立完善的设备检修保养制度,对三台风热泵机组、三台循环泵每月进行一次保养,风阀、水阀、湿度传感器、自控控制系统每季度进行一次检修,每月对组合式空调机组进行一次保养。

5 ABSL-2 实验室使用情况

ABSL-2 实验室使用实时调节风阀、稳定持续的蒸汽供应、设置二级表冷器、定期更新传感器及科学合同的管理等方法进行运行。经一年的监测,ABSL-2 实验室在启动使用过程中室内相对湿度在 40.5%~63.4% 之间,保持在《实验动物环境与设施》(GB14925-2010)规定的范围之内。测试湿度的方法有三种,一是直接在实验室内的湿度表上监测,二是由自动控制系统通过湿度传感器监测,三是使用手持电阻型湿度检测仪监测。另外,合理安排各实验区的实验动物品种及相应的技术操作,使同一区域在较长时间内饲养的动物品种及数量基本达到动态一致。通过控制各区域实验动物品种和数量,也可以有效控制区域内的人员、物品流动方向和频率,减少由于人员和物品出入屏障系统、同一区域内各个实验间流通所导致的对湿度的影响。

通过上面的分析可以看出,ABSL-2 实验室相对湿度波动较大的原因有实验区域送风不一致、加湿蒸汽供应不持续、除湿时间过长、湿度传感器监测有误差,需要采用不同方法逐步解决。根据长期运行管理的经验,仅靠自动控制系统来确保湿度稳定是不现实的,因此管理人员需加强对空调机组的日常维护保养,按月按季度进行检修。使用多种测湿仪器共同监测的方法,针对不同环境因素,及时调

整设备运行参数,如调节风阀、机组交替启动等。定期对湿度传感器进行保养更新,确保 ABSL-2 实验室空气环境指标的稳定性,进一步提高 ABSL-2 实验数据的可靠性^[19-20]。

参考文献:

- [1] 李晓燕,李春雨,刘艳,等. 负压感染性动物设施试运行期间的问题及解决对策[J]. 中国医学装备,2013,10(5):6-8.
- [2] 薛康宁,李晓燕,荣蓉,等. 动物生物安全二级实验室实验活动管理要点探讨[J]. 实验动物科学,2014,31(5):42-45.
- [3] 谢景欣,王欢,王建锋,等. 负压二级生物安全实验室设计关键控制点分析[J]. 暖通空调,2013,45(5):38-42.
- [4] 罗瑞云,杜琳. 疾病预防控制中心实验室空调通风系统的设计要求[J]. 中国卫生工程学,2008,7(4):114-116.
- [5] 徐春华,杨华,秦波音,等. ABSL-2 动物实验室的建筑设计及环境控制[J]. 实验动物与比较医学,2008,28(3):192-194.
- [6] 张潇,谭德讲,杜颖,等. 动物实验室管理系统软件的构建及功能[J]. 中国比较医学杂志,2008,18(8):74-77.
- [7] 刘培源,李侃,李著萱. 高等级生物安全实验室全新风直流空调系统热回收方案分析[J]. 暖通空调,2011,41(9):31-33.
- [8] 程水生,滕颖. 北美国大动物生物安全实验室的建设与管理[J]. 中国比较医学杂志,2011,21(10):170-172.
- [9] 魏强. 动物实验中的生物安全问题[J]. 中国比较医学杂志,2015,25(6):75-78.
- [10] GB14925-2010. 实验动物环境与设施[S].
- [11] 田小芸,颜培实,恽时锋,等. IVC-B 型独立通气笼盒系统运行时的微环境分析[J]. 中国比较医学杂志,2006,16(9):529-532.
- [12] 汤家铭,吴文斌,孙晓琴,等. IVC 设备笼内小环境部分指标检测[J]. 实验动物与比较医学,2013,33(6):448-450.
- [13] 杜颖,李秀记,谭德讲. 实验兔皮炎与相对湿度的相关性以及对热原筛选实验的影响分析[J]. 中国比较医学杂志,2008,18(8):21-24.
- [14] 赵维波,闵凡贵,刘香梅. 外环境湿度和换气次数对独立通风笼盒微环境湿度和氨浓度的影响[J]. 中国比较医学杂志,2014,24(8):36-40.
- [15] 卢选成,李晓燕,张奇,等. 屏障环境动物实验设施的改建和使用[J]. 实验动物科学,2010,27(4):49-54.
- [16] 薛敬礼,杜春燕,王纯耀,等. 实验动物环境设施技术指标的探讨[J]. 中国比较医学杂志,2006,16(6):362-364.
- [17] 吕阳,徐立大,刘光栓. 清洁级实验动物设施环境指标的跟踪监测与分析[J]. 中国实验动物学报,2002,10(3):27-29.
- [18] 赵侠. 高等级生物安全实验室暖通消防设计探讨[J]. 暖通空调,2013,43(10):70-74.
- [19] 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.
- [20] 孔琪,赵永坤. 中国实验动物环境丰富化发展现状[J]. 中国比较医学杂志,2015,25(8):79-82.