

张大维,徐彩云,李晓慧,等.热管式空气换热器在实验动物设施建设上的应用[J].中国比较医学杂志,2020,30(1):109-112.

Zhang DW, Xu CY, Li XH, et al. Application of heat pipe air heat exchanger in the construction of experimental animal facilities [J]. Chin J Comp Med, 2020, 30(1): 109-112.

doi: 10.3969/j.issn.1671-7856.2020.01.018

热管式空气换热器在实验动物设施建设上的应用

张大维¹,徐彩云¹,李晓慧¹,王彦¹,甘振威^{2*}

(1.吉林大学基础医学院,长春 130021; 2.吉林大学公共卫生学院,长春 130021)

【摘要】目的 利用热管式空气换热器对实验动物设施排放的气体进行换热,回收排放气体中的温度能量,并对回收的能量在新风上进行利用,降低新风的能量消耗,达到节能减排的目的。**方法** 使用热管式空气换热器在实验动物设施进排风系统之间进行热交换。**结果** 实验动物设施利用热管式空气换热器进行换热,回收排风中的能量进行利用,全年节约能源约45%。**结论** 热管式空气换热器适合于室内外温差较大、需大量换气、能够产生一定热量的空调设施,该环境下应用该设备,节能效果显著,能够明显实现节能减排的目的,具有广泛的社会和经济意义。

【关键词】 热管式空气换热器;实验动物设施;换热;节能减排

【中图分类号】 R-33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7856(2020) 01-0109-04

Application of heat pipe air heat exchanger in the construction of experimental animal facilities

ZHANG Dawei¹, XU Caiyun¹, LI Xiaohui¹, WANG Yan¹, GAN Zhenwei^{2*}

(1. College of Basic Medicine, Jilin University, Changchun 130021, China.

2. College of Public Health, Jilin University, Changchun 130021)

【Abstract】Objective A heat pipe air heat exchanger is used to exchange the heat of gas discharged from experimental animal facilities, the energy of which is recovered. To save energy and reduce emissions, the recycled energy is utilized in the fresh air to reduce energy consumption. **Methods** A heat pipe air heat exchanger was used for exchanging heat between the intake and exhaust systems of an experimental animal facility. **Results** The experimental animal facility recovered the energy in the exhaust air by using a heat pipe air heat exchanger to exchange heat. This can save about 45% of energy throughout the year. **Conclusions** The heat pipe air heat exchanger is suitable for situations in which indoor and outdoor temperatures differ significantly. The system requires a large amount of air exchange and it can produce guaranteed heat in air-conditioning facilities. The energy-saving effect of the heat pipe air heat exchanger is remarkable, and it can achieve energy-saving and emissions reduction, which has huge social and economic benefits.

【Keywords】 heat pipe air heat exchanger; experimental animal facility; heat transfer; energy-saving and emissions reduction

实验动物设施的目的是保证动物生存所需空气,排除动物饲养过程中产生的有害气体,防止洁净区内

被微生物污染^[1]。动物饲养设施环境需要保证时刻处于恒温、正压(或负压)和全新风状态下^[2],为此,

【基金项目】吉林省科技发展计划项目(20170623093TC)。

【作者简介】张大维(1963—),男,研究员,研究方向:实验动物学。E-mail:13019225999@126.com

【通信作者】甘振威(1966—),男,高级工程师,研究方向:人体健康与实验动物营养。E-mail:ganzw@jlu.edu.cn

中央空调通风系统需要全天候不间断的运行,以供给动物生存必需的恒温、洁净的新鲜空气,同时排出动物饲养过程中产生的有害气体和微生物,这就导致了实验动物设施空调通风系统能源消耗量较大^[3-4]。如何降低实验动物设施运行中的能耗,降低运行成本,实现节能减排成为实验动物设施建设和运行管理的难点^[5]。目前,实验动物设施建设的发展方向,通过细化管理,应用新能源技术,将实验动物设施运行过程中产生的“废气(汽)、废水”进行二次利用,实现节能减排^[6]。本研究中的新型的热管式空气换热器是一种行之有效的节能减排方法之一,将其应用于实验动物设施进排风系统之间,通过热量交换,回收设施排放空气的冷热能量,加以利用,从而达到节能减排的目的^[7]。

1 热管式空气换热器的结构组成及工作原理

1.1 热管

热管是一种具有高导热性能的管式传热组件,是由铜、铝等管材两头密封,经抽真空后,填充变相工质(由氟里昂-12 等复合材料)配合制成^[8]。热管内同时存在气相和液相工质,管内压力由气液交界面的温度所决定^[9],利用蒸发制冷管内产生温差和压差的原理,两段之间的蒸汽压力不同,热量自高温热源(放热段或蒸发段)传入热管时,处于与热源接触段的热管内壁吸液芯中的饱和液体吸热气化,蒸汽在压差的推动下进入热管空腔^[10],空腔内的压力不断升高,蒸汽分子便由气化段流向热管的另一端,蒸汽在这里遇到冷原(受热段或冷凝段)凝结成液体,同时对冷源放出潜热^[11],从而完成一个循环。如此循环不止,使热量源源不断地进行传导。

1.2 热管式空气换热器

热管式空气换热器是一种蒸发-冷凝器型的换热设备,将热管按一定行列间距布置,成束装在框架的壳体内,用中间隔板将热管的蒸发段和冷凝段隔开。利用热管进行空调热回收时,由于冷、热空气的温差较小,为了提高换热效率,必须选择热阻小的管芯结构,如轴向槽道或周向槽道管芯、金属烧结管芯、内螺旋沟槽^[12];为了增大传热面积,管外加有翅片,肋化系数(翅化比)一般为 10~25。沿气流方向的热管排数通常为 4~10 排^[13]。

用中间隔板将热管的蒸发段和冷凝段分隔开,分为冷、热两个流体通道,避免蒸发段和冷凝段交叉,中间热媒在自然对流或毛细管压力作用下实现其中的循环。水平放置的热管式空气换热器在冬

季和夏季使用时,蒸发段和冷凝段可自由切换,从而无需季节转换。且每个通道的底部均开有液体排放口,在排放口外接有排放管路,即实现了进排风系统的隔离,又实现了换热作用,保证了进排风空气不能交叉污染。其具体结构如图 1,图 2。

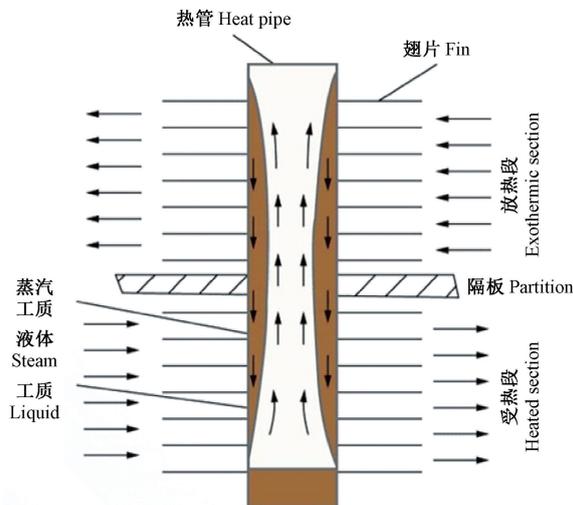


图 1 热管和热管式换热器结构原理图

Figure 1 Schematic diagram of heat pipe and heat pipe heat exchanger

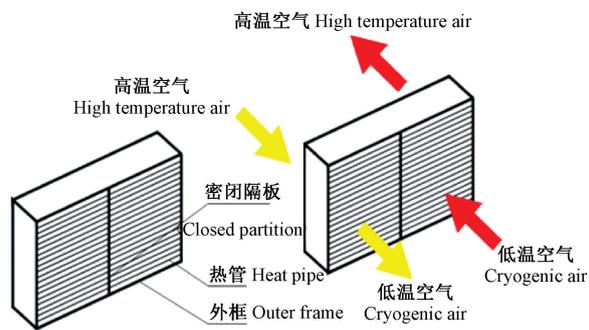


图 2 热管式空气换热器结构原理图

Figure 2 Schematic diagram of the structure of the heat pipe air heat exchanger

2 热管式换热器在实验动物设施上应用

实验动物设施(长春地区)常年排出的空气温度为 20℃~26℃,实验动物设施冬季室内外温差最大达 55℃,夏季温差最大 12℃,室内外温差的存在为使用气-气热管式空气换热器进行能量回收创造了基本条件,温差越大,换热效果越明显。

由于实验动物设施排放气体有机物质(动物背毛、皮屑)和粉尘较多,极易导致空气换热器堵塞和腐蚀,因此在空气换热器使用上需要进行改造,根据动物饲养设施的特点建立完整的设备体系,形成

一个可应用于动物饲养设施空气换热系统,实现节能设备在实验动物设施高效、稳定运行^[14]。

该系统包括壳体、设置在壳体内部的过滤装置、热管换热器、新风进气总管和新风出气总管。壳体上设置有新风进口和新风出口;新风进口与换热装置之间设置有过滤装置,且单体均通过出风分管与新风出气总管连通;每个进风分管上均设置有气阀;每个出风分管上均设置有测温装置。

3 实验设计及数据处理

本研究通过采用铜铝复合和纯铝材质的热管式换热器,水平放置,在实验动物饲养设施进排风通风系统间,使用该设备进行能量交换。利用可编程控制器(PLC)和采集模块,设计温度记录仪,对换热器进行测试和记录,评价低温空气换热器能量回收效率。其热回收原理如图 2;为便于理解将热管低温热回收设备立面图及俯视图附于下图 3。

以月份为横坐标,以温度为纵坐标,统计各个

月份的室内、室外温度,统计换热效率。换热效率计算公式如下:

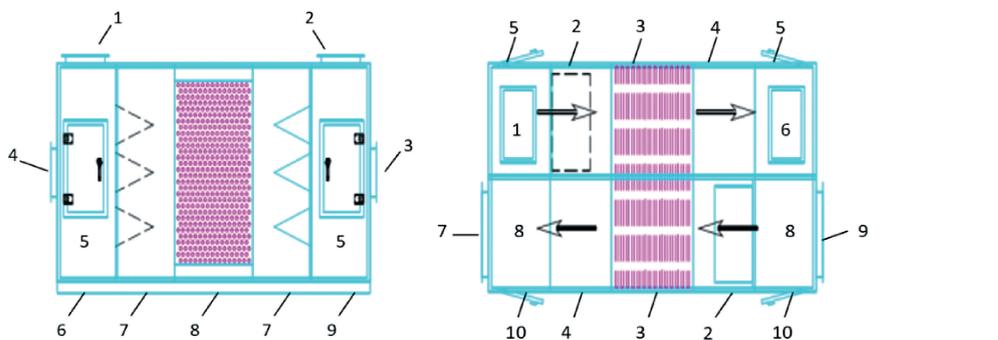
$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_3} \times 100\%$$

其中 T_1 为新风换热前温度(室外温度), T_2 为新风换热后温度, T_3 为排风换热前温度(室内温度)。

4 实验结果与讨论

采用铜铝复合翅片的热管式空气换热器,材质为铜铝复合材料,水平放置,风量为 12000 m³/h,迎面风速为 1.72 m/s。全年平均换热效率为 42.5%(全年换热效率详见图 4),其中冬季(10 月份~4 月份)平均换热效率可达到 43.7%。夏季可节约用电量 0.43 万 kW·h,冬季可节约电量 12.55 万 kW·h。

采用工业纯铝螺旋一体化翅片(内螺旋沟槽)的热管式空气换热器,材质为纯铝,水平放置,风量为 25 000 m³/h,迎面风速为 1.38 m/s。全年平均换热效率为 72.6%(全年换热效率详见图 5),其中冬



注:左图:1、新风口;2、新风出口;3、排风进口;4 排风出口;5、检修段;6、新风出风段;7、过滤段;8、热回收段;9、排风新风段。右图:1、新风口;2、过滤段;3、热回收段;4 空段;5、新风段;6、新风出口;7、排风出口;8、检修段;9、排风进口;10、排风段。

图 3 热管式热回收设备立面图(左)、俯视图(右)

Note. Left: 1. fresh air outlet; 2. fresh air outlet; 3. exhaust air inlet; 4 exhaust air outlet; 5. bolt repair section; 6. fresh air outlet section; 7. filtration section; 8. heat recovery section; 9. exhaust air fresh air section. Right: 1. fresh air outlet; 2. filter section; 3. heat recovery section; 4. empty section; 5. fresh air section; 6. fresh air outlet; 7. exhaust air outlet; 8. bolt repair section; 9. wind inlet; 10. exhaust section.

Figure 3 Heat pipe heat recovery equipment elevation (left), top view (right)

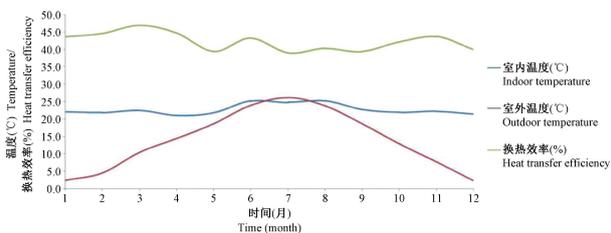


图 4 铜铝复合翅片的热管式空气换热器换热效率图

Figure 4 Heat transfer efficiency diagram of heat pipe air heat exchanger with copper-aluminum composite fins

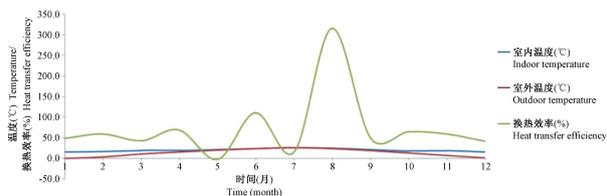


图 5 工业纯铝螺旋一体化翅片(内螺旋沟槽)的热管式空气换热器换热效率图

Figure 5 Heat transfer efficiency diagram of heat pipe air heat exchanger with industrial pure aluminum spiral integrated fins (inner spiral groove)

季(10月份~4月份)平均换热效率可达到 54.6%。夏季可节约用电量 0.47 万 kW·h,冬季可节约电量 22.35 万 kW·h。在室内外温差很小,或室外温度与控制温度相近时,可能会出现负效应结果,尤其是夏季(5~9月份)^[15]。

由此可见,两台设备均有较好的节能效果,工业纯铝螺旋一体化翅片(内螺旋沟槽)的热管式空气换热器换热效率(73%)明显高于铜铝复合翅片的热管式空气换热器(45%),且工业纯铝螺旋一体化翅片(内螺旋沟槽)的热管式空气换热器冬季节节能效果(22.35 万 kW·h)也明显高于铜铝复合翅片的热管式空气换热器(12.55 万 kW·h)。

5 结论

本研究结果证实,热管式空气换热器在实验动物设施上的应用,能够达到较好的节能减排效果。实验动物设施利用热管式空气换热器在空调通风设备的排风和新风之间进行能源交换,回收设施排放气体中的(冷、热)能量,对新风能量进行补充,提高(降低)设施新风温度,降低电器使用负荷,实现了能源的二次利用,较好地解决了实验动物设施能耗高的问题,具有广泛的社会和经济意义^[16]。

参考文献:

[1] 吕阳,徐立大,等.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(1):27-29.

[2] 王贵平,薛智谋,周正宇,等.排气通风笼具微环境的动态检测[J].实验动物与比较医学,2017,37(2):150-154.

[3] 李军延,卢选成,赵金鹏.实验动物设施通风空调系统节能探讨[J].实验动物科学,2006,23(2):35-38.

[4] 郭志鹏,阚安康,杨帆,等.布置真空绝热板的冷藏集装箱内温度分布[J].南京航空航天大学学报,2017,49(1):29-33.

[5] 申超群,杨静.温室温度控制系统的RBF神经网络PID控制[J].控制工程,2017,24(2):361-364.

[6] 张泽全,常晟,栗克强,等.SPF级实验动物设施的能源供应及备用系统[J].实验动物科学,2003,20(4):28-31.

[7] 姚国清.实验动物屏障设施应用节能减排新技术探讨[C]//中南地区实验动物科技交流会.2009.

[8] 张文静,陈渭,门日秀,等.浮环轴承温度预测模型的仿真及试验验证[J].内燃机工程,2017,38(1):50-55.

[9] 郭文晋,连帅,李悦,等.miRNA与热应激的关系及检测方法进展[J].中国实验动物学报,2016,24(6):666-669.

[10] Liu KL, Chen PY, Wang CM, et al. Dose-related effects of ferric citrate supplementation on endoplasmic reticular stress responses and insulin signalling pathways in streptozotocin-nicotinamide-induced diabetes[J]. Food Funct, 2016, 7(1):194-201.

[11] Mohammad MK, Mohamed MI, Zakaria AM, et al. Watermelon (Citrullus lanatus (Thunb.) Matsum. and Nakai) juice modulates oxidative damage induced by low dose X-ray in mice [J]. Biomed Res Int, 2016, 2014(1):512834.

[12] Večerič-Haler Ž, Erman A, Cerar A, et al. Improved protective effect of umbilical cord stem cell transplantation on cisplatin-induced kidney injury in mice pretreated with antithymocyte globulin[J]. Stem Cells int, 2016, 2016(2):3585362.

[13] Akbari OA, Toghraie D, Karimipour A, et al. The effect of velocity and dimension of solid nanoparticles on heat transfer in non-Newtonian nanofluid [J]. Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, 2017, 86:68-75.

[14] Sun F, Yao Y, Li X, et al. The mass and heat transfer characteristics of superheated steam coupled with non-condensing gases in perforated horizontal wellbores[J]. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2017, 156:460-467.

[15] Sun F, Yao Y, Li X, et al. The flow and heat transfer characteristics of superheated steam in concentric dual-tubing wells[J]. International Journal of Heat & Mass Transfer, 2017, 115(Part B):1099-1108.

[16] 李秦,李六斤,扬贵忠,等.空调净化实验动物设施节能设计的探讨[C]//中国实验动物学会青年科技协会第二届学术研讨会论文集.2001.

[收稿日期]2019-08-23