

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.11.038

雏鸡舍留温新风换气系统设计与试验

陈辉¹ 仝亚广¹ 张岩² 宋将飞³ 周荣艳¹ 黄仁录¹

(1. 河北农业大学动物科技学院, 保定 071000; 2. 沈阳市沈海牧业有限公司, 沈阳 110000;
3. 河北尚飞农业科技有限公司, 石家庄 050065)

摘要: 为了验证所提出的一种保温、高效且运行成本低的雏鸡舍通风方式,依照热平衡原理,采用留温新风换气系统对雏鸡舍进行通风试验。对安装留温新风换气系统的雏鸡舍进行温湿度、显热交换效率和雏鸡生长性能监测,并且对留温新风换气机进行回收成本分析。试验表明:试验组与对照组的每周温湿度均可达到要求,在第4周时,试验组的空气温度和相对湿度极显著低于对照组($P < 0.01$);试验组的二氧化碳质量浓度、氨气质量浓度、PM2.5质量和PM10质量浓度均极显著低于对照组($P < 0.01$),试验组的空气质量和通风效果均优于对照组;留温新风换气机的显热交换效率在夜间(19:00—次日07:00)平均达到80%;两栋鸡舍的雏鸡生长性能无显著性差异($P > 0.05$);从热回收效果来看,测试期间室外温度为 $-8 \sim 8^{\circ}\text{C}$ 时,回收成本时间为80 d左右。当室外温度低于 19°C 时,留温新风换气机可平衡热回收效率及通风需求的关系,能够满足畜禽舍通风量及节能的需求。

关键词: 雏鸡舍; 留温新风换气机; 热回收; 通风; 显热交换效率

中图分类号: S817.3; S831.4⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)11-0320-08

Experiment and Design of Fresh Air Ventilation System for Chicken House

CHEN Hui¹ TONG Yaguang¹ ZHANG Yan² SONG Jiangfei³ ZHOU Rongyan¹ HUANG Renlu¹

(1. College of Animal Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China
2. Shenyang Shenhai Animal Husbandry Co., Ltd., Shenyang 110000, China
3. Hebei Shangfei Agricultural Technology Co., Ltd., Shijiazhuang 050065, China)

Abstract: In order to explore a kind of ventilation method with heat preservation, high efficiency and low operating cost about the chicken house, according to the principle of thermal balance, the fresh air ventilation system was adopted for the ventilation of chicken house, which used a high efficiency gas-air plate heat exchanger. It was different from the traditional plate-fin sandwich type heat exchange core body, but the special design at the inlet and outlet increased the length of countercurrent portion and reduced the length of cross-flow portion. The fresh air passage and exhaust passage were arranged at intervals in honeycomb body. It was a heat recovery ventilation system with low production cost, simple manufacturing process and high heat exchange efficiency. The temperature, relative humidity, sensible heat exchange efficiency, and growth performance of the chicken house were monitored with a fresh air ventilation system installed, and the cost of regenerative fresh air ventilator was analyzed. The test results showed that the temperature and relative humidity of test group and control group can meet the requirements of each week. And at the fourth week, the air temperature and relative humidity in the test group were 24.91°C and 48.96%, respectively, which were significantly lower than those in the control group ($P < 0.01$). At the fourth week, the carbon dioxide mass concentration, ammonia mass concentration, PM2.5 concentration and PM10 concentration in the test group were $2\,361.16\text{ mg/m}^3$, 7.28 mg/m^3 , 12.54 mg/m^3 and 107.58 mg/m^3 , respectively, which were significantly lower than those in the control group ($P < 0.01$). The air quality and ventilation effects of the test group were better than those in the control group. The average sensible heat exchange efficiency of the fresh air ventilation system can reach 80% during 19:00—07:00. The fresh air ventilation system can greatly recover the

收稿日期: 2018-05-13 修回日期: 2018-08-31
基金项目: 国家蛋鸡产业技术体系项目(CARS-40-K20)
作者简介: 陈辉(1981—),女,副教授,主要从事畜禽舍环境与工程研究,E-mail: 1173227666@qq.com
通信作者: 黄仁录(1957—),男,教授,博士生导师,主要从事畜禽舍环境控制研究,E-mail: 531613107@qq.com

heat from the exhaust gas; there was no significant difference in length and body weight between the test group and the control group ($P > 0.05$), which indicated that the heat recovery and fresh air ventilator can meet the growth needs of the chickens; from the heat recovery effect point of view, when the outdoor temperature during the test was $-8 \sim 8^{\circ}\text{C}$, the recovery cost days was about 80 d. When the outdoor temperature was lower than 19°C , the fresh air ventilation system can balance the heat recovery efficiency and ventilation requirements and meet the ventilation and energy saving needs of livestock houses. It was concluded that it had a good ventilation effect when the fresh air ventilation system was used in a chicken house. It was an effective way to solve the contradiction between heat insulation and ventilation of a chicken house.

Key words: chicken house; fresh air ventilation; heat recovery; ventilation; heat exchange efficiency

0 引言

目前, 畜禽舍在寒冷季节经常存在保温能耗与通风换气的矛盾, 雏鸡的生长需要较高的温度, 不合理的通风方式和保温措施可能导致雏鸡患病, 也会增加生产成本。因此, 既要满足雏鸡舍的通风, 又能减小保温能耗是当今环境调控的难点之一。

新风换气系统是一种新型通风系统, 具有高效节能的特点, 可以有效缓解寒冷季节舍内通风与保温的矛盾^[1-2], 在民用建筑上已经有广泛应用^[3-4]。畜禽舍和民用建筑相比, 舍内会产生更大的热量和有害气体^[5], 因此更有必要进行能量回收和加大通风量^[6]。GIESE 等^[7]最先开展畜禽舍应用热回收设备研究, 但由于设备投入高, 并未在畜禽舍得到推广使用, 随着热交换通风技术的成熟和设备的不断完善, 以热交换为原理的新风换热机开始应用于畜牧业中。STAUFFER 等^[8]使用热管换热器从猪圈的通风排气中回收热量, 热回收效率达到 53%, 可满足大约 45% 的热量需求。LIANG 等^[9]在鸡舍使用热回收通风机 (Heat recovery ventilators, HRV), 雏鸡阶段运行符合最低通风率, 投资回报期为 4 ~ 5 年。BOKKERS 等^[10]在鸡舍中使用空气热交换器 (Heat exchanger, HE) 发现, 在不影响其他性能的条件下, 天然气使用量减少了 38%, 还可提高肉鸡体质量。HAN 等^[11]研究表明, 冬季在鸡舍使用热回收通风设备后可节省能耗 55%。一般传统意义的新风换气机多采用含有波纹板支撑结构的板翅式错流热交换芯体, 波纹板支撑能解决换热板的支撑问题, 但阻力压降增大, 错落式热交换效率不入逆流; 而大多数逆流式热交换芯是采用波纹板互相叠合形成腔体, 加工工艺复杂, 而且换气机机芯的生产工艺成本非常高。

针对以上问题, 本文拟设计一种留温新风换气机, 在其壳体内设置一次成型的简便蜂窝体, 采用高效气-气板式热交换器, 研究此节能热回收通风系统的热回收效果、鸡舍环境以及雏鸡的生长性能, 为留

温新风换气机在畜舍中的应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验鸡舍与试验材料

试验在河北省沧州市某鸡场进行, 选取条件一致的鸡舍 2 栋, 东西走向, 鸡舍屋顶为高密度夹芯彩钢板结构 (厚度 0.10 m), 鸡舍长 31 m, 跨度 13 m, 脊高 3.6 m, 檐高 2.9 m, 采用 A 字三层阶梯笼, 笼具宽约 2.1 m, 笼具间走道宽 0.9 m。4 列 5 走道, 可饲养约 1 万只雏鸡。鸡舍南北两侧墙共设有 10 个采光窗 ($0.79 \text{ m} \times 0.63 \text{ m}$), 通风小窗共 28 个, 东侧有 4 个湿帘 ($2 \text{ m} \times 1.64 \text{ m}$), 清粪方式为刮板清粪, 暖气供暖。本试验设计 2 个处理组 (试验组和对照组), 试验组鸡舍在南面侧墙均匀安装 4 台留温新风换气机 ($500 \text{ mm} \times 1\,425 \text{ mm} \times 2\,050 \text{ mm}$) 进行通风, 每台留温新风换气机的通风量为 $3\,000 \text{ m}^3/\text{h}$, 新气与废气的通风量相同, 设备运行功率为 2 kW, 高效气-气板式热交换器芯体尺寸为 $165 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 1\,500 \text{ mm}$ 。对照组鸡舍在西墙设有 3 台风机进行通风, 风机尺寸为 $480 \text{ mm} \times 480 \text{ mm}$, 机器通风量为 $10\,000 \text{ m}^3/\text{h}$, 设备功率为 180 W, 试验期间只保持开启 1 个风机, 饲养密度等其他条件均保持一致。

1.2 试验方法

试验在 2017 年 10 月 15 日—11 月 12 日期间进行。环境参数测量是于第 4 周在鸡舍的正中央位置上距地面 1.5 m 高水平面上, 分别放置 DL-31 型有害气体监测仪 (氨气质量浓度检测精度 $\pm 0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$, 二氧化碳质量浓度检测精度 $\pm 2.0 \text{ mg}/\text{m}^3$)、DL-31 型颗粒物浓度监测仪 (检测精度 $\pm 0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$)、DL-11 型环境监测仪 (温度检测精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 相对湿度检测精度 $\pm 4.5\%$)。并且每周采用 CENTER-310 型高精度温湿度计 (台湾群特有限公司, 温度检测精度 $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$, 相对湿度检测精度 $\pm 2.5\%$) 测量各过道前、中、后位置的上、中和下层的温、湿度 (图 1), 并计算每个过道温、湿度的均值和标准差。

如图 2 所示, 显热交换效率 (又称温度热效率)

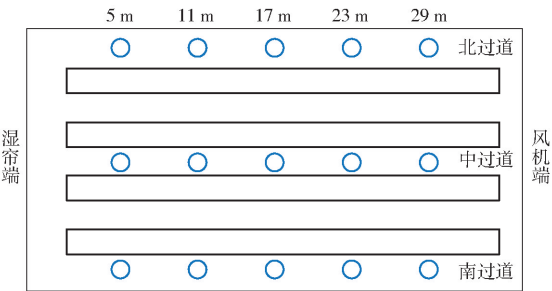


图1 鸡舍内各温湿度测点平面示意图

Fig.1 Schematic of temperature and relative humidity measurement points in chicken house

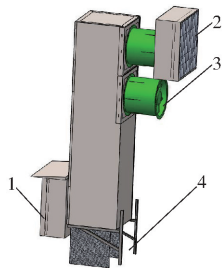


图2 新、废气进出口监测位置示意图

Fig.2 Schematic of inlet and outlet detection of new gas and exhaust gas

1. 新气进口 2. 废气进口 3. 新气出口 4. 废气出口

的测定是在11月11日的19:00至次日07:00,每间隔1h连续测量留温新风换气机的新气进出换气机口的温度和废气进出换气机口的温度,记录并计算每时间点的显热交换效率,并求其平均值与室内外温差。其显热交换效率为

$$\eta = (T_b - T_c) / (T_b - T_a) \times 100\% \tag{1}$$

式中 η ——显热交换效率,%
 T_a ——废气进换气机温度,℃
 T_b ——新气进换气机温度,℃
 T_c ——新气出换气机温度,℃

已知留温新风换气机每小时空气流量和室内外温差,计算回收热量

$$Q = m_s \rho c_p \Delta T / 3\,600 \tag{2}$$

式中 Q ——回收热量,J
 m_s ——流量, m^3/h ρ ——密度, kg/m^3
 c_p ——比热容, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
 ΔT ——鸡舍内外温差,K
留温新风换气机能效比为

$$N = Q / W \tag{3}$$

式中 W ——留温新风换气机运行功率
生长性能测定是通过每周每栋随机抽取100只鸡进行称量与胫长测量,并计算其平均值和标准差。

1.3 数据处理方法

试验数据用Excel进行均值处理,结果用平均值±标准差表示。差异显著性采用SPSS中的独立

样本 T 检验进行处理, $0.01 \leq P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 留温新风换气机通风系统设计

2.1 留温新风换气机原理

留温新风换气机依照热交换原理,特别针对畜禽行业舍内通风需求而设计,如图3所示。设备内部核心部件为高效气-气板式热交换器,换气机芯进出口特殊的设计(换气机的进气口设置于蜂窝体两端的侧面上,出气口设置于蜂窝体的两端面上)增加了逆流部分的长度,减小了错流部分的长度,提高了热交换的长度,提升了单位体积的热交换效率。壳体内设置有一次成型的蜂窝体芯体,蜂窝体内间隔地设置有新风通道和排风通道。在畜禽舍通风换气的过程中最大限度地回收废气中的热量,对进入畜禽舍的新鲜空气进行预热,减少舍内温度流失,在通风换气的同时保证了畜禽舍内的温度需求;通过排出来的废气进入换气机芯体废气腔体中,舍外的新气同时进入芯体新气腔体中,废气与新气由薄壁隔开,同时在薄壁之间形成热量交换,使进入舍内的新气进行预热,减少热量的损失,从而达到节能减排的效果。如图4所示,废气从最上层通过换气机排到舍外,新气从下层侧面通过换气机排到舍内,废气和新气形成逆流,通过很薄的孔壁形成热交换,显热交换效率可达到75%以上。

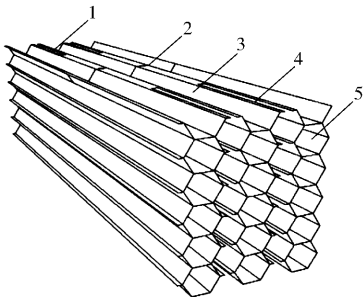


图3 蜂窝体结构示意图

Fig.3 Schematic of honeycomb structure

1,4. 进气口 2. 隔热材料 3. 蜂窝体 5. 出风口

2.2 风机的安装及数量的确定

已知留温新风换气机的通风量为 $3\,000\text{ m}^3/\text{h}$,最小通风量的计算公式为

$$L_{\min} = 1.0188G \tag{4}$$

$$G = mG_f + nG_m \tag{5}$$

其中 $L_{\min}$ ——最小通风量, m^3/h
 G ——鸡总体质量,kg
 G_f ——母鸡平均质量,kg
 G_m ——公鸡平均质量,kg
 m ——母鸡数量,只 n ——公鸡数量,只

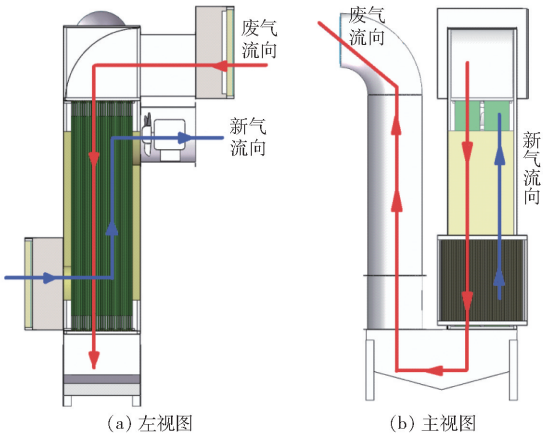


图 4 留温新风换气机结构示意图

Fig. 4 Schematic of heat recovery and fresh air ventilator

表 1 一台换气机供不同体质量下的母鸡数量

Tab. 1 Number of hens under different weights for one ventilator

母鸡体质量/kg	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
可饲养母鸡数量/只	6 000	3 000	2 000	1 500	1 200	1 000	850	750

注：通风量参考值为每千克体质量需要通风量 1.018 8 m³/h。

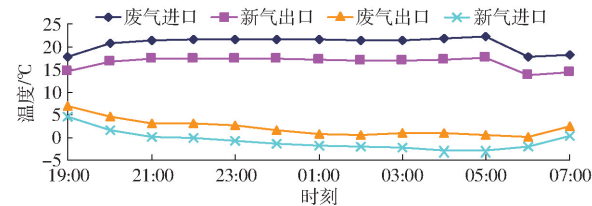


图 5 废气与新风进出换气机温度

Fig. 5 Inlet and outlet ventilator temperatures of exhaust air and fresh air

19:00—次日 07:00 期间,新风进换气机温度和废气出换气机温度比较接近,新风进换气机温度在 05:00 下降到最低温度 -2.9°C ,然后上升到 0.4°C ;废气出换气机温度在 06:00 下降到最低温度 0.1°C ,然后上升到 2.5°C 。而废气进换气机温度与新风出换气机温度走向基本一致,废气进换气机和新风出换气机温度分别逐渐上升到最高,为 05:00 的 22.4°C 和 17.7°C ,然后 07:00 温度分别逐渐降低到 18.2°C 和 14.5°C 。由图 6 可知,显热交换效率在 23:00—05:00 达到最大,为 81%,

表 2 舍内环境参数对比

Tab. 2 Comparison of internal environment parameters

处理	空气温度/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿度/ %	二氧化碳质量浓度/ $(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$	氨气质量浓度/ $(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$	PM2.5 质量浓度/ $(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$	PM10 质量浓度/ $(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$
试验组	$(24.91 \pm 1.82)^{\text{B}}$	$(48.96 \pm 6.80)^{\text{B}}$	$(2\,361.16 \pm 189.85)^{\text{B}}$	$(7.28 \pm 1.80)^{\text{B}}$	$(12.54 \pm 3.27)^{\text{B}}$	$(107.58 \pm 22.25)^{\text{B}}$
对照组	$(27.12 \pm 0.82)^{\text{A}}$	$(51.83 \pm 1.16)^{\text{A}}$	$(3\,501.30 \pm 339.14)^{\text{A}}$	$(19.20 \pm 2.62)^{\text{A}}$	$(33.14 \pm 8.40)^{\text{A}}$	$(187.17 \pm 17.85)^{\text{A}}$

注：同列数据上标不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)；上标字母相同或者没标字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下同。

3.1.3 舍内不同过道的温湿度

由表 3 可知,试验组与对照组的温度差异比较明显,其中试验组在 1 日龄的北过道和南过道的温度均

从表 1 可以知道一台换气机可供不同体质量鸡的数量。安装换气机时,由于不同日龄雏鸡的体质量不同,所需要的通风量也不同,应根据雏鸡出栏或转群时的最大体质量,计算 1 台换气机可饲养母鸡数量,再计算出 1 栋鸡舍要安装留温新风换气机台数,本试验鸡舍可饲养雏鸡 1 万只,安装 4 台留温新风换气机。

3 试验

3.1 鸡舍的环境参数测定结果

3.1.1 留温新风换气机的显热交换效率

由图 5 可以发现,留温新风换气机在夜间

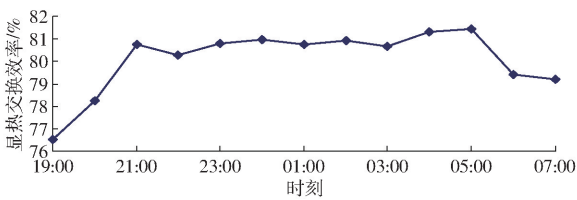


图 6 留温新风换气机显热交换效率曲线

Fig. 6 Sensible heat exchange efficiency of heat recovery and fresh air ventilator

然后又逐渐降低到 79%,在 19:00 显热交换率达到最低,为 76.5%。

3.1.2 舍内环境参数对比

表 2 是试验期间试验组与对照组所测得的舍内环境参数结果,试验组与对照组相比,空气温度、相对湿度、二氧化碳质量浓度、氨气质量浓度、PM2.5 质量浓度和 PM10 质量浓度分别降低了 3.21°C 、2.87 个百分点、 $1\,140.14\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $11.92\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $20.60\text{ mg}/\text{m}^3$ 和 $79.59\text{ mg}/\text{m}^3$,并且差异均达到极显著水平 ($P < 0.01$)。

极显著低于对照组 ($P < 0.01$)；在 1 周龄时,试验组中过道的温度极显著低于对照组；在 3 周龄时,3 个过道的温度均极显著低于对照组 ($P < 0.01$)；而在 2 周龄和

表 3 试验组与对照组的鸡舍温度

Tab.3 Chicken house temperature in test group and control group

雏鸡日龄	组别	北过道	中过道	南过道
1 日龄	试验组	(33.59±0.14) ^B	33.96±0.42	(34.16±0.16) ^A
	对照组	(34.53±0.13) ^A	34.01±0.15	(32.54±0.75) ^B
1 周龄	试验组	31.66±0.19	(31.23±0.13) ^B	30.82±0.10
	对照组	31.69±0.06	(31.58±0.04) ^A	30.96±0.27
2 周龄	试验组	30.77±0.44	(31.21±0.08) ^A	(31.10±0.05) ^A
	对照组	30.53±0.33	(30.60±0.23) ^B	(30.20±0.15) ^B
3 周龄	试验组	(28.76±0.15) ^B	(28.51±0.03) ^B	(28.72±0.06) ^B
	对照组	(29.09±0.08) ^A	(29.08±0.04) ^A	(28.93±0.07) ^A
4 周龄	试验组	24.71±0.19	(25.19±0.26) ^A	(25.47±0.13) ^A
	对照组	24.61±0.18	(24.74±0.07) ^B	(24.57±0.33) ^B

4 周龄的中过道和南过道的温度均极显著高于对照组($P<0.01$)。

由表 4 可知,在 1 日龄和 1 周龄时,试验组的相对湿度均极显著低于对照组($P<0.01$);而在 2 周龄和 4 周龄时,试验组的相对湿度均极显著高于对照组($P<0.01$)。

表 5 试验组和对照组的雏鸡生长性能

Tab.5 Growth performance measurement of chickens in test group and control group

雏鸡日龄	组别	胫长		体质量	
		测量值/mm	P	测量值/g	P
1 周龄	试验组	35.37±1.37	0.430	78.44±7.33	0.487
	对照组	35.52±1.28		77.75±7.27	
2 周龄	试验组	49.75±2.03	0.666	139.78±10.91	0.799
	对照组	49.84±2.02		140.58±10.53	
3 周龄	试验组	51.39±2.06	0.273	223.05±17.94	0.064
	对照组	51.78±2.71		228.84±21.38	
4 周龄	试验组	56.26±2.85	0.794	275.62±28.18	0.513
	对照组	56.17±2.18		278.24±24.31	

3.3 留温新风换气机的回收成本分析

由式(2)可知
 $Q=3\,000\times1.218\times1\,000\times\Delta T/3\,600\approx\Delta T$
育雏鸡舍的平均温度为 28℃,显热交换效率按 75% 计算。则实际回收热量

$Q_a=0.75Q=0.75\Delta T$

标准煤的燃烧值为 29 260 kJ/kg,24 h 回收热量折换为标准煤为

$Q_a\times24\times3\,600/29\,260=$
 $0.75\Delta T\times24\times3\,600/29\,260=2.21\Delta T$

每千克标准煤的热值为 29 308 kJ,考虑到一般锅炉使用的是热值为 20 934 kJ 的煤,考虑锅炉和采暖设施的燃烧效率,最后采暖效率按 50% 计算,则 24 h 回收热量折换为热值 20 934 kJ 的煤为

$2.21\Delta T\times29\,308/20\,934/0.5=6.20\Delta T$

市场上的煤价按 0.7 kg/元进行计算,则 24 h 回

表 4 试验组与对照组的鸡舍相对湿度

Tab.4 Relative humidity of chicken house in test group and control group

雏鸡日龄	组别	北过道	中过道	南过道
1 日龄	试验组	(49.72±1.61) ^B	(48.18±2.52) ^B	(48.06±1.39) ^B
	对照组	(63.93±2.07) ^A	(65.58±2.42) ^A	(70.70±3.94) ^A
1 周龄	试验组	(56.28±1.72) ^B	(58.61±1.25) ^B	(58.48±2.26) ^B
	对照组	(63.04±3.66) ^A	(64.99±1.04) ^A	(66.98±3.30) ^A
2 周龄	试验组	(51.21±1.42) ^A	(50.98±1.15) ^A	(53.29±0.99) ^A
	对照组	(34.07±4.41) ^B	(35.38±2.66) ^B	(35.57±3.01) ^B
3 周龄	试验组	(52.80±0.84) ^B	(56.74±0.71) ^b	55.47±1.62
	对照组	(57.67±3.08) ^A	(58.48±1.75) ^a	57.20±3.04
4 周龄	试验组	(65.12±8.28) ^A	(62.94±2.92) ^A	(62.39±4.29) ^A
	对照组	(52.53±8.00) ^B	(54.91±2.65) ^B	(52.01±7.59) ^B

注:同列数据不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

3.2 不同处理组的雏鸡生长性能

由表 5 可知,试验组与对照组鸡舍相比,雏鸡的胫长和体质量在 1~4 周龄均未出现显著性差异($P>0.05$),试验组与对照组鸡舍的雏鸡生长性能良好。

收热量所节约的燃煤费用为

$6.20\Delta T\times0.7=4.34\Delta T$

节约燃煤费用的同时,也会节约机器折旧费用(燃煤锅炉等)和人工费用(运煤和烧锅炉等),每吨煤节约费用按 200 元估算,则 24 h 所节约费用为

$(6.20\Delta T/1\,000)\times200=1.24\Delta T$

设备运行一昼夜消耗 48 kW·h 电能,1 kW·h 电按 0.6~0.7 元计算约 30 元;设备折旧按运行 30 个月计算,8 000/(30×30)约为 10 元,则 24 h 费用约 40 元。

使用留温新风换气机 24 h 所节约的费用为

$V=4.34\Delta T+1.24\Delta T-40=5.58\Delta T-40$

由表 6 可知,室外温度越低,所对应的每日节省的燃煤费越多,日节约费用越高,回收成本时间越少。当室外温度达到 -28℃ 时,日节约费用最高,为 272.5 元,回收时间最少,为 29 d;当

室外温度为 16℃,日节约费用为 27 元,回收成本时间为 297 d;当室外温度再增加时,日节约成本较少,为 4.6 元,而回收成本时间比较长,为 1 724 d,机器的使用年限按 30 个月计算,不经

济。通过计算可得出,当室外温度大于 19℃时,使用留温新风换气机不再经济,应改用普通风机比较合适。测试期间室外温度为 -8 ~ 8℃,回收成本需要 80 d 左右。

表 6 留温新风换气机的回收成本分析

Tab. 6 Analysis of recycling costs of heat recovery and fresh air ventilator

室外温度/℃	能效比	锅炉日燃煤量/ kg	日燃煤费用/元	机器折旧和人工 费用/(元·d ⁻¹)	日节约费用/元	回收成本时间/ d
-28	19.09	347	243.0	69.4	272.5	29
-24	17.73	322	225.7	64.5	250.2	32
-20	16.36	298	208.3	59.5	227.8	35
-16	15.00	273	191.0	54.6	205.5	39
-12	13.64	248	173.6	49.6	183.2	44
-8	12.27	223	156.2	44.6	160.9	50
-4	10.91	198	138.9	39.7	138.6	58
0	9.55	174	121.5	34.7	116.2	69
4	8.18	149	104.2	29.8	93.9	85
8	6.82	124	86.8	24.8	71.6	112
12	5.45	99	69.4	19.8	49.3	162
16	4.09	74	52.1	14.9	27.0	297
20	2.73	50	34.7	9.9	4.6	1724

4 讨论

4.1 留温新风换气机保温性能分析

对试验组和对照组鸡舍进行环境监测时正值寒冷季节,室外温度在夜间可达 0℃以下。试验组鸡舍第 4 周的平均温度比对照组降低了 3.21℃,但是试验组雏鸡的胫长和体质量与对照组并未产生显著性差异。这些试验结果说明,试验组雏鸡舍环境与对照组一样,均可满足雏鸡正常生长。有关资料表明,育雏阶段是养鸡的一个重要技术环节,提供雏鸡生长发育所需适宜环境条件是至关重要的。雏鸡对温度反应敏感^[12-13],一般育雏舍,1 周龄温度控制在 34 ~ 36℃、2 周龄温度控制在 32 ~ 34℃、3 周龄温度控制在 29 ~ 32℃、4 周龄温度控制在 27 ~ 30℃^[14],因此试验组与对照组鸡舍保温性能良好。而畜禽舍小气候的形成受到舍内家畜种类、密度、外围结构的保温隔热性能、通风换气、排风防潮等因素以及舍外气象因素影响^[15],而畜禽舍的潮湿是由水汽造成的,水汽主要来源于畜禽皮肤和呼吸道蒸发出来的湿气、排出的粪便和设备漏水等^[16-17]。试验组第 4 周的相对湿度比对照组低 2.87 个百分点,虽然数据分析中已经达到差异极显著,但在实际养殖中相对湿度波动也较大,育雏湿度要求 1 周龄雏鸡舍内相对湿度保持在 70% ~ 75%,2 周龄时降至 65%,3 周龄后,相对湿度保持在 55% ~ 60%,因此试验组与对照组鸡舍相对湿度偏低,应适当提高其相对湿度。

研究也说明畜禽舍的保温与通风是一对突出的矛盾体^[18-19],雏鸡舍通过留温新风换气机的显热交换将保温与通风的矛盾有效地进行缓解。废气进换气机的平均温度为 20.8℃,废气出换气机的平均温度为 2.2℃;新气进换气机的平均温度为 -0.7℃,新气出换气机的平均温度为 16.6℃。因此废气的热量通过蜂窝芯体传递给新气,将新气进行预热,有效提高热量的回收。显热交换效率是衡量能量回收的主要指标,目前市场上从价格上容易接受的是显热换气机^[20]。本试验中所使用的留温新风换气机在夜间的显热交换效率在 76.5% ~ 81%,与吴丽等^[21]介绍的板式热回收装置的效率为 50% ~ 80% 相一致。相对试验的夜间时间,白天的显热交换效率略低一些。室外温度越低时,留温新风换气机的能效比越高,因此留温新风换气机适用于冬季或其他季节较为寒冷的地区。试验评价了留温新风换气机在华北地区使用的效果,也为其在更寒冷地区的使用提供依据。

4.2 雏鸡舍通风换气效果与生产性能评价

畜舍空气质量直接反映了畜舍通风换气的效果,新风换气机不仅很好地解决了室内空气换气问题,也是一种很好的高效节能产品,具有通风换气、能量回收、运行费用低和抑菌的优点^[20,22]。相关资料表明,LIU 等^[23]将能量回收通风机 (Energy recovery ventilator, ERV) 应用于建筑物,可有效地将废气和湿气转换到室外空气中,并进行热量的回收;刘建禹^[24]在冬季进行畜禽舍通风系统热能回收

试验发现,在小温差下能有较大的余热回收效果,并且进排气之间无交叉感染;高继伟等^[25]设计的畜禽舍用全热回收新风换气一体装置以及刘红光^[26]设计的畜禽舍新风换气机均表明,采取热量回收式通风方式,其在环境调控方面具有很大优势。本研究试验组与对照组相比,在空气温度、相对湿度、二氧化碳质量浓度、氨气质量浓度、PM_{2.5} 质量浓度和 PM₁₀ 质量浓度上均出现极显著性降低。经过 1 周的系统连续监测,试验组鸡舍除日平均温度低于雏鸡所需最低标准外,相对湿度、二氧化碳质量浓度、氨气质量浓度、PM_{2.5} 质量浓度和 PM₁₀ 质量浓度均符合环境卫生学标准,并且试验组空气质量优于对照组。试验组鸡舍温度明显降低,可能是因为试验组通风量略大;试验组的空气质量明显提升,可能是因为留温新风换气机使用后,新风经过预热后进入鸡舍,减少鸡群由于受寒冷而引起的冷应激,减少鸡群的活动,从而提高试验组鸡舍的空气质量。试验组与对照组雏鸡的胫长和体质量在 1~4 周龄生长性能良好,均未出现显著性差异($P > 0.05$)。因此装有留温新风换气机的试验组同装有普通风机的对照组一样可满足雏鸡生长环境,4 台留温新风换气机的使用,可以满足雏鸡舍雏鸡阶段的饲养,改善雏鸡舍生长环境。说明在雏鸡舍使用留温新风换气机具有良好的通风换气效果,这一方式是解决雏鸡舍保温和通风换气突出矛盾的有效途径。

4.3 留温新风换气机的经济效益分析

鸡舍适宜温湿度对雏鸡至关重要,归根到底还是解决雏鸡舍保温和通风换气的突出矛盾。如果鸡舍通风量过大,鸡群精神萎靡,并造成煤、电等能源的浪费和人员工作量的增加,经济效益降低;如果鸡舍通风量过小,鸡群出现结膜炎、呼吸道等疾病,鸡群体质变差,同样降低经济效益。北方冬季畜禽舍一直使用燃煤作为采暖的方式,随着环保压力的加大,迫使养殖场必须改变原有的方式,养殖的经济效益取决于畜禽的健康,畜禽的健康取决于畜禽舍的

环境质量,畜禽舍的环境质量取决于通风换气,通风换气必须以保证温度为前提。留温新风换气机与普通风机组在雏鸡胫长与体质量上均无显著差异,说明留温新风换气机代替普通风机应用于鸡舍的方案具有一定的可行性。新风换气机的使用是有条件的,如果使用、安装环境或安装条件等不当,不仅不能节能,反而增加能耗。通过计算,留温新风换气机适用于当室外温度小于 19℃ 时,此时在不影响雏鸡生长性能的前提下,满足鸡舍温湿度需求,并且可有效节约成本,经济效益显著。但是必须根据鸡群密度,计算所需通风量,合理设置留温新风换气机的开启与关闭温度值。

5 结论

(1) 经过 1 周的连续监测,试验组鸡舍除日平均温度低于雏鸡所需最低标准外,相对湿度、二氧化碳质量浓度、氨气质量浓度、PM_{2.5} 质量浓度和 PM₁₀ 质量浓度均符合环境卫生学标准,并且试验组空气质量优于对照组。

(2) 试验后期,试验组鸡舍的空气温度、相对湿度、二氧化碳质量浓度、氨气质量浓度、PM_{2.5} 质量浓度和 PM₁₀ 质量浓度均极显著低于对照组($P < 0.01$),说明雏鸡舍采用留温新风换气机是解决雏鸡舍保温和通风换气突出矛盾的有效途径。

(3) 留温新风换气机的显热交换效率在测试期间平均达到 80%,可最大回收废气中的热量。

(4) 试验组与对照组雏鸡胫长和体质量无显著性差异($P > 0.05$),2 组的环境对雏鸡胫长和体质量无显著差异。

(5) 对回收成本进行计算发现,室外温度越低,日节约费用越高,回收成本时间越短。测试期间室外温度为 -8~8℃,回收成本时间为 80 d 左右;留温新风换气机适用于当室外温度小于 19℃ 时,此时在不影响雏鸡生长性能的前提下,满足鸡舍温湿度需求,并且可有效节约成本,经济效益显著。

参 考 文 献

- 1 MARDIANA-IDAYU A, RIFFAT S B. Review on physical and performance parameters of heat recovery systems for building applications[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2013, 28: 174–190.
- 2 O'CONNOR D, CALAUTIT J K S, HUGHES B R. A review of heat recovery technology for passive ventilation applications[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2016, 54: 1481–1493.
- 3 LAU J, CHEN Q. Floor-supply displacement ventilation for workshops[J]. Building & Environment, 2007, 42(4): 1718–1730.
- 4 WANG H Q, HUANG C H, LIU D, et al. Fume transports in a high rise industrial welding hall with displacement ventilation system and individual ventilation units[J]. Building & Environment, 2012, 52(6): 119–128.
- 5 PHILLIPS V R, HOLDEN M R, SNEATH R W, et al. The development of robust methods for measuring concentrations and emission rates of gaseous and particulate air pollutants in livestock buildings[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1998, 70(1): 11–24.
- 6 TAKAI H, PEDERSEN S, JOHNSEN J O, et al. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern

- Europe[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1998, 70(1): 59–77.
- 7 GIESE H, IBRAHIM A A. Ventilation of animal shelters by the use of heat exchangers[J]. Agricultural Engineering, 1950, 31(7): 329–333.
- 8 STAUFFER L A, VAUGHAN D H. Heat reclamation from ventilation exhaust of livestock shelters[J]. Transactions of the ASAE NO 80–4014, 1980.
- 9 LIANG Y, TABLER G T, REYNOLDS A W, et al. Heat recovery ventilators in a broiler house to reduce energy use[C]// American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2011.
- 10 BOKKERS E A, VAN ZANTEN H H, VAND B H. Field study on effects of a heat exchanger on broiler performance, energy use, and calculated carbon dioxide emission at commercial broiler farms, and the experiences of farmers using a heat exchanger[J]. Poultry Science, 2010, 89(12): 2743.
- 11 HAN H, JANG K J, HAN K S, et al. Energy consumption and indoor environment of broiler houses with energy recovery ventilators[J]. Advanced Science Letters, 2013, 19(9): 2547–2552.
- 12 布仁. 环境因素对雏鸡生长及增重效果的影响[J]. 家畜生态学报, 2005, 26(4): 42–43.
BU Ren. Research on the effect of environment factors to the growth and weight gain of chicken[J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2005, 26(4): 42–43. (in Chinese)
- 13 赵宇, 陈辉, 黄晨轩, 等. 蛋鸡育雏舍环境参数与育雏效果的评测[J]. 中国家禽, 2017, 39(11): 42–45.
ZHAO Yu, CHEN Hui, HUANG Chenxuan, et al. Evaluation of environmental parameters and brooding effect on laying hens [J]. China Poultry, 2017, 39(11): 42–45. (in Chinese)
- 14 李中习. 商品蛋雏鸡饲养[J]. 四川畜牧兽医, 2013, 40(12): 35–36.
- 15 颜培实, 李如治. 家畜环境卫生学[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- 16 任春环, 王强军, 张彦, 等. 江淮地区冬季羊舍供暖及通风换气效果[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23): 179–186.
REN Chunhuan, WANG Qiangjun, ZHANG Yan, et al. Effect of electric heating and ventilation in goat shed of Jianghuai region in winter[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(23): 179–186. (in Chinese)
- 17 张利平, 吴建平. 从环境工程学论北方冬季畜舍的保温防湿[J]. 甘肃农业大学学报, 1994, 29(1): 117–121.
ZAHNG Liping, WU Jianping. The environmental engineering technic in preventing cold and humidity of the house of livestock [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 1994, 29(1): 117–121. (in Chinese)
- 18 马春宇. 寒区育肥牛舍冬季环境测定与通风改造的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
MA Chunyu. Research on winter environment of different type of beef house and ventilation modified in cold regions[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- 19 张会春. 冬季鸡舍的保温和通风[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2017(10): 94.
- 20 刘晓海. 新风换气机对促进节能推广的重要性[J]. 建筑节能, 2008, 36(4): 1–3.
LIU Xiaohai. Significance of new wind exchanger in energy efficiency promotion[J]. Energy Efficiency in Architecture, 2008, 36(4): 1–3. (in Chinese)
- 21 吴丽. 板式热回收新风换气机[J]. 节能, 2016, 35(5): 50–52.
- 22 刘晓海, 刘振华. 浅谈新风换气机的机理和推广的必要性[J]. 山西建筑, 2008, 34(13): 214–215.
LIU Xiaohai, LIU Zhenhua. The brief talk about the principle and the extension necessity of fresh air ventilator[J]. Shanxi Architecture, 2008, 34(13): 214–215. (in Chinese)
- 23 LIU Junjie, LI Wenshen, LIU Jiang. Efficiency of energy recovery ventilator with various weathers and its energy saving performance in a residential apartment[J]. Energy & Buildings, 2010, 42(1): 43–49.
- 24 刘建禹. 冬季畜禽舍通风系统热能回收设备的试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 122–125.
LIU Jianyu. Experiment of exchanger for thermal energy recovery in the ventilation system of livestock house in winter[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(4): 122–125. (in Chinese)
- 25 高继伟, 真田, 雷王, 等. 畜禽舍用全热回收新风换气一体装置: ZL201281420[P]. 2009–07–29.
- 26 刘红光. 畜禽舍新风换气机: ZL203723217U[P]. 2014–07–23.