

叠层笼养蛋鸡舍夏季环境特性与热湿环境模型^①

潘 强^② 黄之栋 张天柱

(中国农业大学水利与土木工程学院)

摘 要 蛋鸡叠层笼养舍在纵向通风情况下鸡舍断面空气不能充分混合,鸡舍热湿环境受围护结构传热影响较小。建立了鸡舍非稳态环境预测模型,引入围护结构传热影响系数对模型进行改进,并提出简化模型。验证结果表明,简化模型能满足生产管理要求。

关键词 蛋鸡舍; 叠层笼; 热湿环境; 数学模型

中图分类号 S 831.45

Thermal Environmental Study on High Density Stacked-cage-raising Layer House in Summer

Pan Qiang Huang Zhidong Zhang Tianzhu

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, CAU)

Abstract A transient mathematic model was provided to analyze the thermal behaviour, air temperature and moisture conditions of layer housing in summer. The response factor was used to calculate the heat transfer through opaque structure. Because of high bird density, large ventilation rates and tall erect cages, air flow can not be fully mixed. The insulation of existing house has little effect on the inside air thermal environment. An efficiency index which describes the influence of the heat transfer through opaque structure was given to build an improved and simplified model.

Key words laying house; stack-cage; thermal environment; mathematic models

叠层笼养蛋鸡舍在生产安排、设备运行管理方面具有自身的特点,其舍内环境有别于一般鸡舍。笔者根据海口罗牛山 20 万只蛋鸡鸡场叠层笼养生产实际,通过实地环境测试,建立夏季叠层笼养舍非稳态热湿环境模型,并提供一个简化环境模型,为该饲养工艺的推广提供依据。

1 鸡舍夏季环境特性

蛋鸡叠层笼养舍为全密闭型式,围护结构由砖墙、保温隔热屋顶和混凝土地面组成。鸡舍采用人工光照并全年进行机械通风,安装湿帘-风机降温系统,夏季进行大风量纵向通风、湿帘降温。纵向通风情况下,由于笼架的阻拦,气流混合不均,鸡舍断面的热湿环境状况不同于一般饲养工艺鸡舍。

叠层笼养舍内笼具的空间利用率高,笼架将鸡舍断面划分成巷道状,阻碍空气的水平横向

收稿日期:1997-12-22

①北京市“九五”重点攻关项目

②潘 强,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)213 信箱,100083

运动;各层笼底部的水平粪带将鸡舍空间沿鸡舍纵向隔成相对独立的平行条状空间,削弱了空气垂直方向的运动。因此,在纵向通风情况下,舍内风向平直,断面上空气的对流混合作用削弱,鸡舍断面环境分布呈现显著的区域性差异^[1]。从断面上看,笼架中心区与围护结构边缘区域(墙、屋顶和地面表面)温度分布差异显著,而各区域内部热湿参数的分布则相对均匀。夏季鸡舍环境测试结果表明,鸡舍断面可划分为5个区域(图1),笼区中央区域温湿度值高于周边。取舍内3个典型断面进行分析(表1),由于受笼具结构、通风方式及密集的鸡体散热影响,舍内空气未得到充分混合,夏季鸡舍笼区环境参数受围护结构传热、传质影响较小。

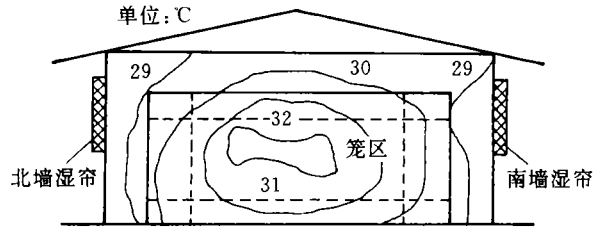


图1 09:00 鸡舍断面2 温度分布

表1 实验舍各断面不同区域的平均空气温度和空气流速分布

断面	$\theta/^\circ\text{C}$					$v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$				
	F	J	G	H	I	F	J	G	H	I
断面1	30.03	30.44	30.11	30.22	29.86	0.72	0.56	0.81	0.67	0.86
断面2	29.34	29.19	30.51	30.63	30.41	1.33	1.58	2.17	2.06	2.28
断面3	30.55	29.73	31.66	31.74	31.45	1.95	1.93	2.72	2.30	2.38

说明:1)断面1,2,3 分别在距山墙 11.7,45.7 和 71.7 m 处。

2)F, J 区指第1 走道(北墙侧)和第7 走道(南墙侧)笼架第1~6 层;G 区指第1~6 列笼架第6 层及笼上空0.5 m 处;H 区指第2~6 走道笼架第2~5 层;I 区指第1~6 列笼架第1 层及笼下地面。

2 鸡舍热湿环境模型

2.1 反应系数法非稳态环境模型的建立与验证

高密度叠层笼养蛋鸡舍采用全密闭型式,围护结构热阻较大,有一定热惰性。现以舍内空气为对象,采用反应系数法^[2]计算围护结构的动态传热^[3]。

沿鸡舍纵向取微段,以微段内空气的能量平衡和质量平衡方程为基础,考虑内、外扰动对舍内空气环境状况的影响,建立鸡舍热湿环境模型。

在 j 时刻舍外传到围护结构内表面的热量为

$$Q_{w(o \rightarrow i)}(j) = A \left[\sum_{i=0}^{48} y(i) t_{z(n-j)} - \sum_{i=0}^{48} z(i) t_{i(n-j)} \right]$$

式中 A 为围护结构内表面面积, m^2 。

在 j 时刻围护结构内表面传入舍内的热量为

$$Q_{w(i)}(j) = \alpha_i(j) [t_{w(i)}(j) - t_i(j)] + \sum_{k=1}^N C_b \epsilon_{ik} \varphi_{ik} \left[\left(\frac{T_{w(i)}(j)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_i(j)}{100} \right)^4 \right]$$

其中 $T_{w(i)}(j)$ 和 $T_i(j)$ 为热力学温度。

围护结构内表面的热平衡方程为 $Q_{w(o \rightarrow i)}(j) = Q_{w(i)}(j)$ 。

式中: $\alpha_i(j)$ 围护结构内表面对流传热系数; $t_{w(i)}(j)$ 为微体积 j 围护结构内表面温度; $t_i(j)$ 为微体积 j 空气温度; C_b 为黑体辐射常数; ϵ_{ik} 为内表面 i 与第 k 面之间的系统黑度; φ_{ik} 为内表面 i 与

第 k 面之间的辐射角系数。

微体积空气的热平衡方程为

$$Q_v = Q_{wv} + Q_s + Q_e \quad (1)$$

式中: Q_v 为微体积通风换热量(包括围护结构渗透风传热量); Q_{wv} 为微体积获得的围护结构内表面对流传热量; Q_s 为微体积内鸡体产热量; Q_e 为微体积内设备产热量。

对于第 j 个微体积, 热平衡方程可表示为

$$\begin{aligned} & \frac{1}{3600} \{ [c_p L_v(j) t_i(j) - t_i(j-1)] + c_p L_{vn} [t_i(j) - t_{in}] + c_p L_{vs} [t_i(j) - t_{is}] + c_p [L_{sw}(j) + L_{sq}(j)] [t_o - t_i(j)] \} = \\ & \left[\sum_{i=0}^{48} y_{qs}(i) t_{zqs}(n-i) - \sum_{i=0}^{48} z_{qs}(i) t_{i(n-i)}(j) \right] h dx - \sum_{k=1}^{N_i} C_b \epsilon_{ik} \varphi_{ik} \left[\left(\frac{T_{wi}(j)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_i(j)}{100} \right)^4 \right] + \\ & h dx \left[\sum_{i=0}^{48} y_{qn}(i) t_{zqn}(n-i) - \sum_{i=0}^{48} z_{qn}(i) t_{i(n-i)}(j) \right] + \left[\sum_{i=0}^{48} y_{wd}(i) t_{zwd}(n-i) - \sum_{i=0}^{48} z_{wd}(i) t_{i(n-i)}(j) \right] b dx + \\ & \left[\frac{t_{zqs} + t_{zqn}}{2} - t_i(j) \right] [4K_1 + 4K_2 + 4K_3 + (b-12)K_4] dx + n_s m_{av} q_s t_i(j) + \sum_{i=1}^p n_i Q_i + n_L Q_L \end{aligned}$$

式中: c_p 为空气的比定压热容, $1.01 \text{ kJ}(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$; L_{vn} , L_{vs} 分别为微体积 j 中的由北、南墙湿帘的进气量, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $L_{sw}(j)$, $L_{sq}(j)$ 分别为微体积 j 中由屋面和墙体渗透的进风量, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; t_i , $t_o(j)$ 分别为微体积 j 的舍内、外空气温度, $^\circ\text{C}$; t_{in} , t_{is} 分别为微体积 j 中由北、南墙湿帘的进气温度, $^\circ\text{C}$; x , y , z 分别为围护结构某一时刻的外表面吸热、传热和内表面吸热的反应因数^[2]; h , b 分别为微体积的高度和宽度, m ; K 为计算区域的地面传热系数, 地面 4 个传热区域的传热系数分别为 $K_1 = 0.465$, $K_2 = 0.233$, $K_3 = 0.116$, $K_4 = 0.070 \text{ W}(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$; n_s 为微体积内的蛋鸡数, 只; m_{av} 为蛋鸡的平均体质量, kg ; q_s 为蛋鸡单位体质量的产热函数^[1]; p , n_i , Q_i 分别为电机种类总数、第 i 类电机台数和单台电机的散热量(kJ); n_L , Q_L 分别为灯具数和单个灯具的散热量(kJ); 下标 w , q , s , n , wd 分别代表围护结构、墙体、南面、北面和屋顶。

鸡舍微段质量平衡方程为 $d_{qw}(j) = d_{qw}(j-1) + d_{qs}(j) + d_{qn}(j) + d_s + d_e + d_{sw}(j) + d_{sq}(j)$ 。式中: $d_{qw}(j)$, $d_{qw}(j-1)$ 分别为微体积 j 的纵向排气和进气含湿量; $d_{qs}(j)$, $d_{qn}(j)$ 分别为经南侧和北侧墙湿帘进入微体积 j 的空气含湿量; $d_{sw}(j)$, $d_{sq}(j)$ 分别为屋面、墙体渗透风进入微体积 j 的空气含湿量; d_s , d_e 分别为微体积内鸡体和设备的散湿量。

质量平衡方程可表示为

$$\begin{aligned} d_{qw}(j) = & d_{qw}(j-1) + 0.622 L_{vs} \frac{[\eta_{ss}(1-\varphi_o) + \varphi_o] p_{isb}}{p_a - [\eta_{ss}(1-\varphi_o) + \varphi_o] p_{isb}} + [d_{sw}(j) + d_{sq}(j)] + \\ & 0.622 L_{vn} \frac{[\eta_{sn}(1-\varphi_o) + \varphi_o] p_{inb}}{p_a - [\eta_{sn}(1-\varphi_o) + \varphi_o] p_{inb}} + n_s m_{av} d_s [t_i(j)] \end{aligned}$$

式中: η_{ss} , η_{sn} 分别为南、北墙湿帘的饱和效率; p_{isb} , p_{inb} 分别为通过南、北墙湿帘进入舍内冷空气的饱和水气压, Pa ; L_{vs} , L_{vn} 分别为通过南、北墙湿帘进入舍内的空气流量, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; φ_o 为舍外空气的相对湿度; p_a 为当地的大气压, Pa 。

舍内微段 j 处空气的相对湿度为 $\varphi_i(j) = d_{qw}(j) p_a \{ [0.622 + d_{qw}(j)] p_{ib}(j) \}^{-1}$ 。

对实验舍 6 月 6 日白天舍内空气环境参数的预测结果(图 2)表明: 用非稳态热湿环境模型预测舍内逐时平均气温的最大误差为 3.0%, 预测 14:00 舍内纵向气温最大误差为 4.7%; 白天舍内因湿帘运行, 整栋鸡舍空气逐时平均湿度变化不大, 预测 14:00 舍内纵向空气相对湿度

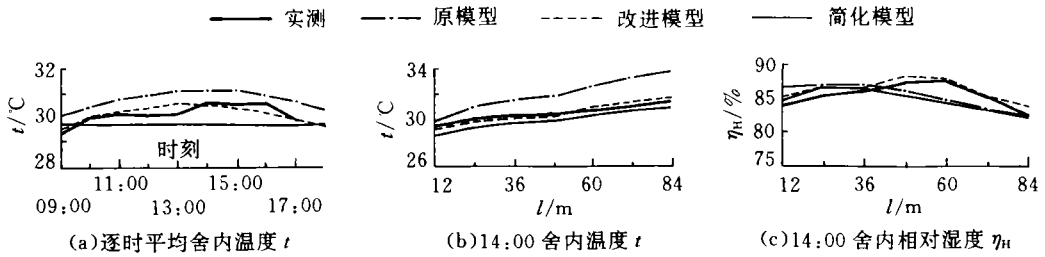


图 2 实验舍热湿环境参量预测值与实测值的比较(l 为鸡舍长度)

度最大误差为 6.6%。建立在反应系数法非稳态传热基础上的鸡舍环境模型基本反映了夏季舍内逐时环境状况,但对舍内纵向温度分布的预测误差较大,需进行改进。

2.2 非稳态热湿环境模型的改进

用原环境模型预测叠层笼养舍环境的误差较大,“舍内断面上空气充分混合”的假设与实际不符,因此,原预测模型需予改进。设定一个对流传热折减因数 β ,对热平衡方程中的围护结构传热量进行折减计算,认为折减后的围护结构传热量通过充分的空气对流换热均匀传至鸡群生产区,计算此时的微段空气温度。

鸡舍微段 j 的热平衡方程变为

$$\begin{aligned} & \frac{1}{3\ 600} \{c_p L_v(j)[t_i(j) - t_i(j-1)] + c_p L_{vn}[t_i(j) - t_{in}] + c_p L_{vs}[t_i(j) - t_{is}] + \\ & c_p [L_{sw}(j) + L_{sq}(j)][t_o - t_i(j)]\} = \beta_w(j) \left\{ \left[\sum_{i=0}^{48} y_{qs}(i)t_{zqs}(n-i) - \right. \right. \\ & \left. \sum_{i=0}^{48} z_{qs}(i)t_{i(n-i)}(j) \right] hdx + \left[\sum_{i=0}^{48} y_{qn}(i)t_{zqn}(n-i) - \sum_{i=0}^{48} z_{qn}(i)t_{i(n-i)}(j) \right] hdx + \\ & \left. \left[\sum_{i=0}^{48} y_{wd}(i)t_{zwd}(i)t_{zwd}(n-i) - \sum_{i=0}^{48} z_{wd}(i)t_{i(n-i)}(j) \right] bdx \right\} + \\ & [(t_{zqs} + t_{zqn})/2 - t_i(j)][4K_1 + 4K_2 + 4K_3 + (b-12)K_4]dx + n_s m_{av} q_s t_i(j) + \sum_{i=1}^p n_i Q_i + n_L Q_L \end{aligned}$$

式中: $\beta_w(j)$ 为围护结构传热量 $Q_w(j)$ 对微体积 j 空气热状况的影响因数,用于描述叠层笼养鸡舍围护结构传热对舍内空气的平均影响程度,即围护结构通过对流换热对舍内空气热状况产生有效影响的传热量与总传热量的比值。在舍内断面上空气充分混合时, $\beta_w=1$,空气混合程度越低, β_w 越小,当空气完全不混合时, $\beta_w=0$ 。

在纵向通风鸡舍内影响 β_w 的因素有:舍内空间尺寸、气流速度、壁面与气流的温差和笼架形状等。取 $\beta_w=0.29$,用叠层笼养舍热湿环境改进模型进行舍内温度和湿度预测,结果参见图 2。可见实验舍 6 月 6 日白天逐时平均气温预测值与实测值的最大误差为 1.3%,14:00 舍内纵向气温预测最大误差为 3.0%,14:00 舍内纵向相对湿度预测最大误差为 1.91%。

改进的环境模型引入了围护结构传热影响因数 β_w ,定性地描述了纵向通风情况下叠层笼养鸡舍空气对流的混合程度,在实际应用中难以确定其数值,仅能为纵向通风、叠层笼养舍热湿环境研究提供参考。

2.3 非稳态热湿环境模型的简化

在纵向通风、湿帘降温的条件下,叠层笼养舍内气流基本上是平直的,鸡舍断面上空气的

对流运动减弱,使围护结构特别是屋顶部分的传热对笼架中心鸡群生活区环境影响不大。忽略围护结构传热对舍内鸡群周围环境的影响,将鸡舍围护结构简化为绝热的通风管道,仅考虑管道中逐段通风换热量与鸡群散热量之间的热平衡和通风换湿量与鸡群产湿量之间的质量平衡,建立简化热湿环境模型,从而大大简化了模型的求解过程。

微体积内热平衡方程为 $Q_s = Q_v$ 。式中: Q_s 为单位时间微体积内鸡体的产热量; Q_v 为单位时间微体积内的通风换热量。这样,式(1)可表达为

$$\frac{1}{3600} \{c_p L_v(j)[t_i(j) - t_i(j-1)] + c_p L_{vn}[t_i(j) - t_{in}] + c_p L_{vs}[t_i(j) - t_{is}] + c_p [L_{sw}(j) + L_{sq}(j)][t_o - t_i(j)]\} = n_s m_{av} q_s t_i(j)$$

微体积内湿平衡方程为 $d_{qw}(j) = d_{qw}(j-1) + d_{qs}(j) + d_{qn}(j) + d_{so}$ 。

用热湿环境简化模型对实验舍6月6日白天舍内环境状况进行计算,求得舍内逐时温湿度分布的预测曲线(见图2)。可知用简化模型预测白天逐时舍内平均气温的最大误差为2.9%(假设白天湿帘进气温度不变);预测14:00舍内纵向气温的最大误差为2.3%;预测14:00舍内空气纵向相对湿度最大误差为3.4%。

叠层笼养舍简化热湿环境模型求解过程比较简单,可通过编制计算机程序,设定舍内各微段温度初值,采用迭代法计算各微段空气温度的平均值,并由此求得微段空气的相对湿度。此模型可用来确定鸡舍的机械通风量,便于生产管理者掌握使用;其缺点是不能进行全年舍内温湿度参数的动态预测,仅可在大风量纵向通风时预测舍内的纵向温湿度。

3 结 论

1) 叠层笼养、纵向通风鸡舍内风向平直,断面上的空气不能充分混合,笼区环境参数受围护结构传热、传质影响较小。

2) 改进的反应系数法非稳态热湿环境模型引入了围护结构传热影响因数,较为准确地描述了鸡舍内空气的热状况,适用于纵向通风、叠层笼养舍夏季热湿环境研究。

3) 简化的环境模型忽略了围护结构传热对舍内空气热状况的影响,仅考虑鸡体散热与通风换热之间的热平衡,可用于预测纵向通风、叠层笼养鸡舍的热湿环境,精度满足生产要求。

4) 叠层笼养舍围护结构隔热性能对夏季舍内环境影响不大,为降低鸡舍土建成本,南方地区宜采用轻型围护结构。

参 考 文 献

- 1 潘 强. 高密度叠层笼养蛋鸡舍热湿环境研究:[学位论文]. 北京:中国农业大学,1997
- 2 彦启森,赵庆珠合编. 建筑热过程. 北京:中国建筑工业出版社,1986. 76~80
- 3 董红敏. 肉鸡舍空气热湿环境系统的模拟及应用研究:[学位论文]. 北京:北京农业工程大学,1989