

大型鸡舍诱导通风系统温度和浓度分布

王芳, 王鹏浩, 徐洪祥

(哈尔滨理工大学 机械动力工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 针对我国集约化养鸡场存在的氨气浓度高、气流组织不佳的问题,根据有限体积法,建立了某一智能鸡舍诱导通风系统的数学模型和物理模型,设置相应的边界条件,采用 Airpak 软件进行数值模拟,分析了诱导风机的布置参数及鸡舍中空气流动速度、温度以及氨气浓度等因素,研究表明,鸡舍中诱导风机的下倾角为 15° ,纵向间距为 12 m,横向间距为 7 ~ 7.5 m 时,采用诱导通风方式能有效解决鸡舍内温度过高与氨气浓度过高的问题,达到良好的通风效果,对改善鸡舍环境品质有显著作用。

关键词: 鸡舍通风; 诱导通风; 温度; 浓度

DOI: 10.15938/j.jhust.2019.01.005

中图分类号: TU834.28 文献标志码: A 文章编号: 1007-2683(2019)01-0029-05

Temperature and Concentration Analysis of Induced Ventilation System in Large Broiler House

WANG Fang, WANG Peng-hao, XU Hong-xiang

(School of Mechanical and Power Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: Aiming at the problem of the high concentration of harmful gases and poor air distribution in an intelligent control broiler house in China, the mathematical and physical models of induced ventilation system were established. According to the finite volume method, the corresponding boundary conditions were set up. Numerical simulation has been done by Airpak. It is analyzed how to set the parameter of induced fan and factors in broiler house, including the velocity, temperature, and ammonia concentration. The results prove that the induced ventilation method can effectively solve the problem of high temperature and ammonia concentration in broiler house, achieve the better ventilation effect, and improve the environment quality in broiler house when the induced fan is set at 15° of the declination, and 12 m of the appropriate longitudinal spacing, and the horizontal spacing from 7 m to 7.5 m.

Keywords: broiler house ventilation; induced ventilation; temperature; concentration

收稿日期: 2017-06-08

基金项目: 黑龙江省自然科学基金(E2016040).

作者简介: 王鹏浩(1992—),男,硕士研究生;

徐洪祥(1992—),男,硕士研究生.

通信作者: 王芳(1969—),女,博士,教授,硕士研究生导师, E-mail: wf69yuan@163.com.

0 引言

目前,国际上很多学者对鸡舍通风及诱导通风进行了广泛的研究。在国外,Seo LH 等人通过模拟鸡舍内6种不同的冬季自然通风模式,分析比较了不同通风情况下的通风效率^[1]。Bjerg B 等人研究了不同入口模型对鸡舍内气流分布的影响并进行实际数据测量,将模拟结果与测量结果进行了比较^[2-3]。Bustamante E 等人分析了机械通风系统中不同进排风口的位置对鸡舍内气流速度的影响^[4]。Ikeguchi A 等人研究了阻挡物对气流流动方向的影响,研究表明:在禽畜舍中,距风口较远的墙体附近,气流流动速度较慢,污染物浓度相对较高^[5]。对于诱导通风 Philip Hermann 建立了地下车库的混合通风模型,利用 CFD 软件模拟了地下车库有害污染物浓度分布规律^[6-7]。Betta V 等人针对隧道内气流压力损失等问题,利用 CFD 对隧道诱导通风系统进行模拟,研究风机出风口区气流的速度变化,优化了不同通风状况下的风机下倾角,为隧道通风系统的设计提供了指导^[8]。

目前在国内,很多学者也探讨了鸡舍通风系统设计及诱导通风的发展现状。顾华兵等学者对我国目前鸡舍通风系统的通风状况进行探讨,提出合理的设计方案,为鸡舍通风系统的发展提供了设计依据^[9]。翟耀芳等人研究了纵向通风技术在蛋鸡舍内的应用效果及其存在的问题^[10-12]。韩星、王煦研究了鸡舍内散热量、产湿量和 CO₂ 散发量对鸡舍内环境的影响,得出了鸡舍内散热量、产湿量及 CO₂ 散发量的实测数据,为鸡舍内环境控制系统提供设计依据^[13]。田宇等人研究了鸡舍在一定风量下的气流组织、温度以及氨气浓度的分布特性,其模拟结果为以后同类型的数值模拟提供了参考依据^[14]。杨其才等人针对汽机房运行过程中出现局部温度过高的问题,提出在局部高温区域设置诱导风机来降低温度的方案,并通过 CFD 模拟验证了设置诱导风机解决该问题的可行性^[15]。秦伯进等人将诱导风机应用于船舶机舱,减少了机舱通风中风管的数量^[16]。另外,国内很多学者通过研究诱导风机在地下车库中的应用,定性地介绍了诱导通风系统的原理和特点^[17-20]。

本文建立了鸡舍诱导通风的物理模型和数学模型,通过数值模拟的方法分析了该通风方式下鸡舍环境的速度、温度以及氨气浓度的分布特性,从而验

证了诱导通风具有良好的通风效果并确定了诱导风机的设置参数,为诱导风机在鸡舍中的应用提供依据。

1 基本假设与边界条件

1.1 基本假设

1) 热量和污染源的释放强度均不随时间变化,是稳态流动过程,污染源释放方向为垂直地面向上;

2) 研究诱导风机布置参数时,设置排风扇排风量为 92 160 m³/h,氨气污染物散发量为 30 mg/s。

3) 该鸡舍在入流和出流条件稳定的情况下,经过一定时间之后,将达到稳态状态,所以本文采用稳态模拟方法。

1.2 边界条件

1) 由于进风口处的风速为诱导风机和风扇的拉力引起,所以进风口设置为自然进风,不对其设置风速。

2) 诱导通风系统中排风扇的风量设置为 30 000 m³/h。

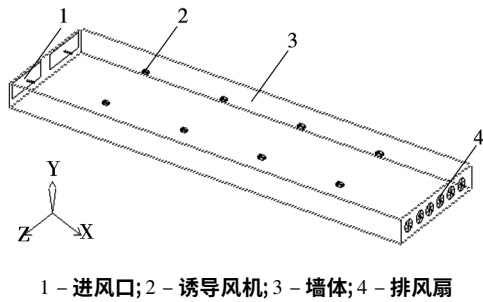
3) 诱导风机出风口风速为 13.48 m/s,方向为 15°向下。诱导风机回风口的流动方向为自然向里。为了保证诱导风机的喷嘴是自由射流,不受墙等边界的影响,将大空间的六个面的压力设置为大气压力。

2 物理模型和数学模型

2.1 物理模型

本文选取的研究对象是山东省潍坊某一智能养鸡场中的肉鸡养殖鸡舍,长度为 60 m,宽度为 16 m,高度为 3.2 m,墙壁采用厚度为 0.24 m 的墙。该鸡舍内鸡的养殖方式为平养,中间有宽度为 2 m 的过道以供饲养人员走动,在过道两端分别有 7 m 宽的场地供鸡活动,其中共有成年肉鸡 7 000 只。

该鸡舍采用的送排风方式是自然进风、机械排风。经计算,本文所研究的鸡舍通风换气量为 184 320 m³/h,取 8 台 YDF-B-3 型诱导风机(具体参数见表 1),六台 9FJ14.0 型排风机,设置两个面积为 13.82 m² 的细长进风口。进风口和排风扇设置于诱导风机机箱底面的下方,以使进风口、诱导风机以及排风扇之间的气流在高度方向上能够更好的衔接,该鸡舍诱导通风系统模型见图 1。在 Airpak 中分别采用 fan 模型和 opening 模型作为风机和进风口。



1-进风口; 2-诱导风机; 3-墙体; 4-排风扇

图 1 诱导通风鸡舍物理模型示意图

Fig. 1 Schematic plot of physical model for the broiler house with induced ventilation system

表 1 诱导风机主要性能参数

Tab. 1 the induced fan main performance parameter

喷嘴出口风速 /(m/s)	喷嘴尺寸 /m	诱导风机功率 /W	风量 /(m ³ /h)
13.48	D0.08×3	120	1 150

2.2 数学模型

任何流体的流动均受质量守恒定律、动量守恒定律和能量守恒定律三大定律的制约,湍流控制方程采用 $k-\varepsilon$ 两方程模型,稳态下 k 和 ε 的控制方程见下式:

$$-\rho u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\eta + \frac{\eta_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \eta_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho \varepsilon \quad (1)$$

$$-\rho u_k \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\left(\eta + \frac{\eta_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_k} \right] + \frac{c_1 \varepsilon}{k} \eta_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - c_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2)$$

式中: η_t 为湍流粘性系数, c_1 、 c_2 为经验系数, σ_k 为脉动动能的 Prandtl 数。

3 模拟结果及分析

3.1 诱导风机布置参数的研究

该鸡舍高度为 3.2 m,诱导风机的喷嘴中心距地面的高度为 2.8 m,按照设计规则选取诱导风机喷嘴下倾角为 15°时,在诱导风机的影响范围内,鸡呼吸区高度速度分布在 0.74 ~ 1.35 m/s(取鸡呼吸区高度 $y=0.35$ m),符合风速要求。

诱导风机间的纵向间距直接影响气流组织的衔接,分析不同间距下气流的衔接程度,确定合理的纵向间距。诱导风机纵向间距的推荐值为 10 ~ 14 m,通过模拟计算,当间距为 12 m 时,相邻风机喷嘴间

的相互衔接状况良好,前一个诱导风机的喷射气流在射程的末尾刚好和相邻的诱导风机的回风口相连接,速度分布情况见图 2。

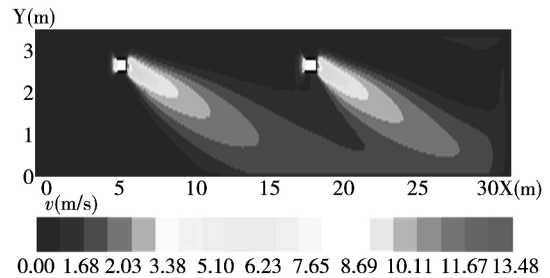


图 2 纵向间距为 12 m 时速度分布

Fig. 2 Velocity distribution when the longitudinal spacing is 12 m

横向间距的最佳值是比较在同一条件下,鸡舍内某一断面的氨气浓度大小来确定,具体情况见图 3。从图 3 中可以看出,在鸡舍中鸡呼吸区高度范围内(取鸡呼吸区高度 $y=0.35$ m)氨气的浓度在诱导风机的作用下,得到了稀释。当喷嘴之间的横向间距为 6.5 ~ 7.5 m 时,鸡呼吸区域平均浓度变化相对较小,当距离大于 7.5 m 的时候,图中曲线斜率变陡,氨气浓度急剧升高,所以合适的喷嘴横向间距为 7 ~ 7.5 m。

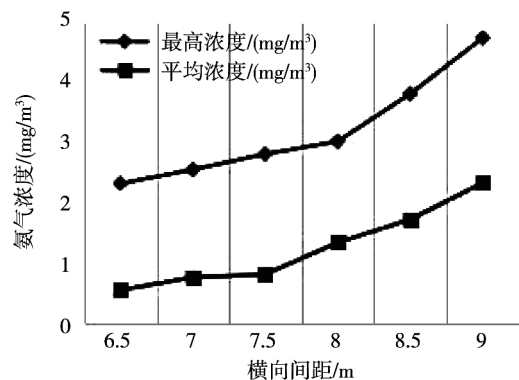


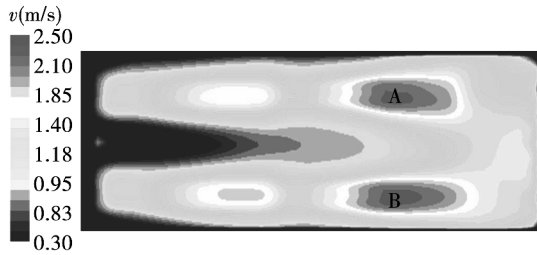
图 3 不同横向间距下的氨气浓度值

Fig. 3 The ammonia density under different horizontal spacing

3.2 鸡舍诱导通风下速度分布研究

为了更全面的反映诱导通风方式下鸡舍内速度分布情况,分析其通风效果,需要对几个典型的截面进行分析。在鸡舍中我们主要关注的是鸡呼吸区域内速度分布情况, $y=0.35$ m 为鸡的呼吸区高度,应对此平面着重分析。

图 4 为 $y=0.35$ m 截面速度分布云图,也就是鸡呼吸区所在高度的速度分布情况,从图 4 中可以

图4 $y=0.35$ m 截面速度分布云图Fig. 4 $y=0.35$ m sectional velocity distribution contour

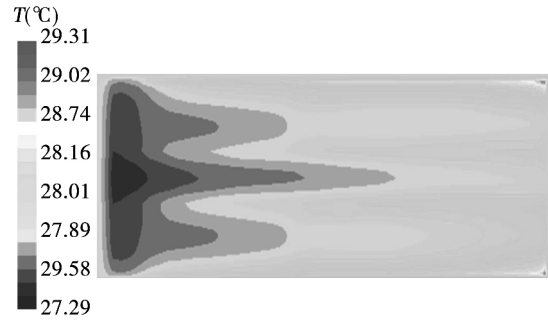
看出,在鸡呼吸区所在高度平面内,最低速度为 0.3 m/s,最高速度为 2.5 m/s,风速主要在 $1.2 \sim 2.5$ m/s 之间,约占 82.42% ,通风状况良好。在呼吸区高度,进风口处风速最低,低速的原因是进风口为自然进风口,仅靠诱导风机回风口的作用使空气产生流动。最高速度出现在图中 A、B 两个区域,诱导风机射流速度叠加造成两区域速度较高。在诱导风机气流的扰动和衔接作用下,鸡舍内的气流速度沿长度方向保持稳定。在鸡舍的末端,诱导风机沿宽度方向布置均匀,鸡舍末端没有气流死角。

3.3 鸡舍诱导通风下温度和氨气浓度研究

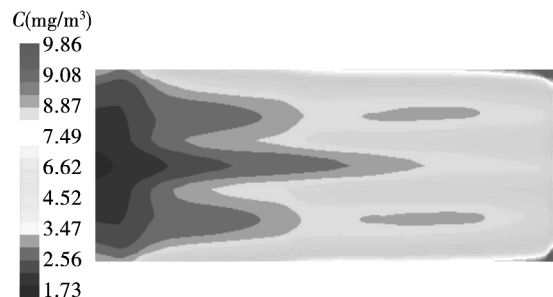
本文研究的鸡舍模型中,单个鸡只散热均匀,故将鸡群作为整体热源,同时考虑照明散热,得到等效热源的产热量为 753.67 W/m³。智能养鸡厂根据养殖品种以及鸡不同生长阶段,监测每间鸡舍的温湿度,氧气、氨气、硫化氢、二氧化碳浓度,光照度,用水量,用电量等数据。本文主要研究的污染物为氨气,将粪便看作是鸡活动区域占地面积相等的高度为 50 mm 的污染源,根据相关文献氨气浓度源产生氨气的速度为 30 mg/s^[9]。本文通过数值模拟,主要分析了鸡呼吸区高度上的温度和氨气浓度的分布情况。

图5是鸡呼吸区高度($y=0.35$ m)的温度分布情况。诱导通风方式下鸡舍的温度范围为 $27 \sim 29.31$ °C,虽然鸡会产生较多热量,但在诱导风机的作用下,温度并没有升高很多。从图5中可以看出,沿鸡舍长度方向,温度是逐渐升高的,在进风口处温度较低,此时新风携带的热量只是外界空气中的热量,空气在从进风口逐渐向出风口流动的过程中会将鸡产生的热量带走,导致在鸡舍的末端温度较高。在鸡呼吸区高度,温度主要分布在 $27 \sim 28$ °C,所占的比例约为 93.7% ,只有很少的一部分温度超过了 28.5 °C,因此温度是符合鸡舒适性要求的。

诱导通风方式下鸡呼吸区高度($y=0.35$ m)处

图5 $y=0.35$ m 截面温度分布Fig. 5 $y=0.35$ m section temperature distribution

的氨气浓度分布如图6所示。在整个鸡舍中,氨气浓度范围是在 $1.73 \sim 9.86$ mg/m³,没有超过最大限制 10 mg/m³。进风口处的新鲜空气被诱导风机的强烈扰动,带动附近的氨气随着射流一起运动,其附近的氨气浓度较低。由于诱导风机的作用,使鸡舍的氨气浓度沿鸡舍长度方向呈增加趋势,在鸡舍末端两个墙角处氨气浓度积累到了最大值,基本符合原理。在鸡呼吸区高度氨气浓度主要在 $1.73 \sim 7.7$ mg/m³ 之间,约占 92.46% ,被控制在了较低的水平。

图6 $y=0.35$ m 处氨气浓度分布云图Fig. 6 $y=0.35$ m ammonia concentration distribution contour

4 结 论

通过建立山东省潍坊某一智能养鸡场中的肉鸡养殖鸡舍诱导通风系统模型,设置相应的边界条件,运用数值模拟计算,得出了该鸡舍的速度,温度以及氨气的分布特性:

1) 在诱导风机的下倾角为 15° 的前提下,风机纵向间距设置为 12 m,横向间距设置为 $7 \sim 7.5$ m 时,鸡舍能得到较佳的通风效果。

2) 得到了诱导通风方式下鸡呼吸区速度、温度以及氨气浓度的分布情况。采用诱导通风模式时,

鸡舍内空气满足风速要求的约占 82.42%,通风效果好;满足温度要求的约占 93.7%,符合鸡的舒适性要求;满足氨气浓度要求的约占 92.46%,氨气浓度被控制在较低的水平。

综上所述,鸡舍中的空气在诱导风机的作用下气流衔接效果较好,能够将从进风口进入的空气不断向前推动,最终顺利地由排风扇排除,体现了改善鸡舍环境品质的积极作用,达到了预期的效果。

参考文献:

- [1] SEO LH, LEE IB, MOON OK, et al. Improvement of the Ventilation System of a Naturally Ventilated Broiler House in the Cold Season Using Computational Simulations [J]. Biosystems Engineering, 2009, 104(6): 106.
- [2] BJERG B, SVIDT K, MORSING S, et al. Modeling of a Wall Inlet in Numerical Simulation of Airflow in Livestock Buildings [J]. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 2014, 4(12): 234.
- [3] BJERG B, SVIDT K, MORSING S, et al. Modeling of Air Inlets in CFD Prediction of Airflow in Ventilated Animal Houses [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 34(1): 223.
- [4] BUSTAMANTE E, CALVET S, TORRES AG, et al. Measurement and Numerical Simulation of Single-sided Mechanical Ventilation in Broiler Houses [J]. Biosystems Engineering, 2017, 160: 55.
- [5] IKEGUCHI A, ZHANG G, OKUSHIMA L. Numerical Simulation of Particulate Matter Emission from Mechanically Ventilation Swine Bars [J]. Transaction of the ASAE, 2015, 46(6): 1685.
- [6] PAPAKONSTANTINO K, CHALOULAKOU A, DUCI A. Air Quality in an Underground Garage: Computational and Experimental Investigation of Effectiveness [J]. Energy and Building, 2003, 6(8): 933.
- [7] PHILIP Herman. Modeling of Heat and Carbon Monoxide Emitted from Moving Car in an Underground Car Park [J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2008, 1(7): 101.
- [8] BETTA Vittorio, CASCETTA Furio, MUSTO Marilena, et al. Numerical Study of the Optimization of the Pitch Angle of an Alternative Jet Fan in a Longitudinal Tunnel Ventilation System [J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2009, 24(2): 164.
- [9] RO KS, MOORE PA, SZOGI AA. Ammonia and Nitrous Oxide Emissions from Broiler Houses with Downtime Windrowed Litter [J]. Journal of Environmental Quality, 2017, 46(3): 498.
- [10] 顾华兵, 金光钧, 张建平. 鸡舍的通风技术及其进展 [J]. 中国家禽, 2002, 24(5): 17.
- [11] 翟耀芳, 张旭, 杨洁, 等. 纵向通风笼养鸡舍气流组织及热湿环境研究 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42(3): 337.
- [12] 王阳, 石海鹏, 王雅韬, 等. 侧墙进风小窗位置对蛋鸡舍内环境的影响 [J]. 中国家禽, 2016, 38(16): 38.
- [13] 韩星, 梁煦, 马克华. 华东地区封闭鸡舍内热、湿与污染物散发量的现场实测研究 [J]. 建筑科学, 2013, 08(10): 57.
- [14] 田宇. 大型鸡舍机械通风浓温场的数值分析 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2016: 34.
- [15] 杨其才, 刘刚, 杨小平. 诱导风机在某电厂汽轮机房通风系统的应用 [J]. 建筑热能暖通空调, 2011, 04(11): 68.
- [16] 秦伯进, 陈兵, 周文兵, 等. 一种船舶机舱诱导通风系统: 中国 CN104139844A [J]. 2016-01.
- [17] 何开远, 樊洪明, 赵耀华. 地下车库诱导式通风与风管式通风系统的数值模拟分析 [J]. 建筑科学, 2008, 10(19): 85.
- [18] 陈港, 金玮涛. 无风管诱导型通风系统的应用 [J]. 低温建筑技术, 2013, 94(4): 82.
- [19] 周永红, 程小军. 地下车库诱导通风系统气流组织研究 [J]. 指令空调与电力机械, 2013, 111(27): 25.
- [20] 顾登峰, 张冷, 兰丽, 等. 一种地下车库空气环境数值模拟方法 [J]. 制冷与空调, 2015, 7(1): 39.

(编辑: 王 萍)