

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2021.09.038

基于MCU和CFD的鸡舍氨气检测装置设计与试验

邹修国¹ 祝忠钲¹ SU Steven² 宋圆圆³ 徐泽颖¹ 刘文超¹

(1. 南京农业大学人工智能学院, 南京 210031; 2. 悉尼科技大学工程与信息技术学院, 悉尼 2007;
3. 南京农业大学工学院, 南京 210031)

摘要: 为了准确测量肉鸡养殖过程中鸡舍内的氨气浓度,实现舍内氨气环境的精准调控,设计了一种由气体检测系统、气体循环系统和辅助装置构成的主动式氨气检测装置。装置通过控制风扇实现状态切换,使用电化学氨气模组检测气体,通过微控制器(Micro control unit,MCU)实现浓度数据分析、处理,并运用计算流体力学(Computational fluid dynamics, CFD)技术模拟装置在不同状态下的速度云图和速度矢量图,由此得到空气龄,确定单次进气时间。装置在氨气检测状态时气流呈逆时针循环流动,使氨气浓度更均匀,最大空气龄为0.804 s,装置设定单次检测时间为1 s,每10 s检测一次,每6个值的均值作为1 min的值。在养殖鸡舍内进行现场试验,结果表明本文装置检测的氨气浓度和氨气变送器检测值的Pearson相关系数达到0.832,与检测结果趋势相符,平均相差为3.46%,方差也较小,总体比氨气变送器检测值波动小,检测更稳定。该检测装置具有速度快、精度高和稳定性强等优点。

关键词: 鸡舍; 氨气检测装置; 微控制器; 计算流体力学

中图分类号: TP23 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2021)09-0338-08 **OSID:** 

Design and Test of Ammonia Detection Device in Broiler Chamber Based on MCU and CFD

ZOU Xiuguo¹ ZHU Zhongzheng¹ SU Steven² SONG Yuanyuan³ XU Zeying¹ LIU Wenchao¹

(1. College of Artificial Intelligence, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China
2. Faculty of Engineering and IT, University of Technology Sydney, Sydney 2007, Australia
3. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: In order to accurately measure the ammonia concentration in the broiler chamber during broiler breeding and precisely regulate the ammonia environment in the chamber, an active ammonia detection device, which was composed of a gas detection system, gas circulation system and auxiliary device, was designed. The device realized state switching by controlling the fan. The electrochemical ammonia module was used to detect the ambient gas. After the concentration data were analyzed and displayed by STM32 micro control unit (MCU), computational fluid dynamics (CFD) technology was used to simulate the velocity nephogram and velocity vector diagram of the device in different states. The time of each intake was determined by air age. In ammonia detecting, the air flow presented a counterclockwise circulation flow, which can make the ammonia concentration more uniform and the measurement results more accurate. The airflow velocity in the device was mostly about 2 m/s and the maximum air age was 0.804 s, so the single detection time was set to 1 s. The device detected 6 times per minute and then took the mean value as the minute value. Through the field test in the broiler chamber, the results showed that the Pearson correlation coefficient between the ammonia concentration values detected by the active ammonia detection device designed and the ammonia transmitter was 0.832, which showed that the detected results were basically consistent, with an average difference of 3.46%. Generally, the fluctuation was smaller than that of the ammonia transmitter, and the measured value was more stable. The detection device had the advantages of fast speed, high stability, and low power consumption. It can be used as an ammonia detection device in the broiler chamber, and also can provide a theoretical basis

收稿日期: 2021-03-14 修回日期: 2021-07-04
基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0700904)、江苏省现代农机装备与技术示范推广项目(NJ2020-01)和江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(19)2025)
作者简介: 邹修国(1979—),男,副教授,博士,主要从事农业空气质量检测与控制研究,E-mail: zouxiuguo@njau.edu.cn

and reference for the development and improvement of ammonia detection devices in the broiler chamber and other poultry houses.

Key words: broiler chamber; ammonia detection device; micro control unit; computational fluid dynamics

0 引言

氨气是肉鸡养殖过程中主要污染气体之一。根据美国环境保护署 (Environmental Protection Agency, EPA) 的估计,肉鸡氨气排放占美国养殖家禽氨气排放量的 54%^[1]。我国是仅次于美国的第二大肉鸡生产国^[2],过高的氨气浓度会对肉鸡生长造成严重影响^[3]。REECE 等^[4]研究表明,在 28 d 的育雏期内,肉鸡暴露在氨气体积浓度 $2.5 \times 10^{-5} \sim 5.0 \times 10^{-5}$ 下,体重增加慢,死亡率提高;在氨气体积浓度 $1 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-4}$ 下,肉鸡的死亡率明显上升; 2.5×10^{-5} 被认为是氨气体积浓度的建议上限值^[5]。为准确获取肉鸡养殖过程中氨气的排放规律及排放系数,提高肉鸡的养殖效益,必须精确、实时、稳定地检测氨气浓度。

氨气属于粘性气体,易与材料表面发生反应,对检测响应时间有一定的影响^[6]。目前,检测氨气浓度的主流传感器有金属氧化物传感器 (Metal oxide semiconductor, MOS)^[7-8]、光学传感器^[9] 和电化学传感器^[10] 等,近年来不断有学者对其展开研究。SAMOTAEV 等^[11] 利用脉冲式温度调制技术实现了 MOS 型传感器在甲烷、一氧化碳和水蒸气存在下对氨气的高选择性。MOSELEY 等^[12] 发现掺杂少量钛的氧化铬也能增强 MOS 对氨气的选择性。ISMAIL 等^[13] 研究了 PANI、PEDOT 和 PPy 3 种不同导电聚合物对氨气的光学传感性能。LIANG 等^[14] 通过研究氨气在多孔 Cr_2O_3 上的催化行为,提出了基于 NASICON 和 Cr_2O_3 电极的氨气传感器。以上传感器在氨气检测设备研究上得到了广泛应用。YOO 等^[15] 针对量子级联激光器和量子级联探测器构成的单片集成电路,制作了无源波导光学气敏器件,对氨气体积浓度 5×10^{-6} 进行了试验测定,估算最小可检测气体浓度为 8.4×10^{-8} 。方箫等^[16] 结合二氧化锡氨气传感器 (TGS826) 设计了基于片上可编程系统的氨气浓度检测仪^[17]。此外,电子鼻是近年来检测气体的主流仪器之一^[18],PEARCE 等^[19] 将其定义为由一系列具有部分特异性的电化学传感器和适当的模式识别系统组成的仪器。PAN 等^[20] 在养殖场构建了用于气体分析的电子鼻网络系统,通过无线传输获取各节点实时信息。但多数电子鼻为台式系统,体积较大,选择性不稳

定,其输出受湿度和无嗅化合物的影响,常需要使用神经网络模型进行现场校准^[21]。传感器和电子鼻研究虽然较为完善,但是检测方式是将传感器被动地置于被测环境中,这样获得的数据不仅实时性差,而且检测精度也会降低。

本文设计主动式氨气检测装置,使用电化学氨气模组对辅助装置主动采集的气体进行检测,通过微控制器 (Micro control unit, MCU) 实现氨气浓度数据分析和处理,并使用计算流体力学 (Computational fluid dynamics, CFD)^[22] 对装置仿真得到气体完成更新的时间,由此确定检测周期,旨在为肉鸡养殖氨气检测提供实时稳定的设备。

1 材料与方法

1.1 氨气检测装置设计

1.1.1 辅助装置设计

本文氨气检测装置设计了辅助装置,使被测气体能够主动流向氨气模组,在设定采样时间内进行多次数据采集,经过数据处理后输出。辅助装置使用 Creo 软件进行三维设计,由气体循环系统和气体检测系统组成,采用 SLA (Stereolithography) 树脂 3D 打印,尺寸为 $22.8 \text{ cm} \times 22.8 \text{ cm} \times 11.8 \text{ cm}$,装配图如图 1 所示。

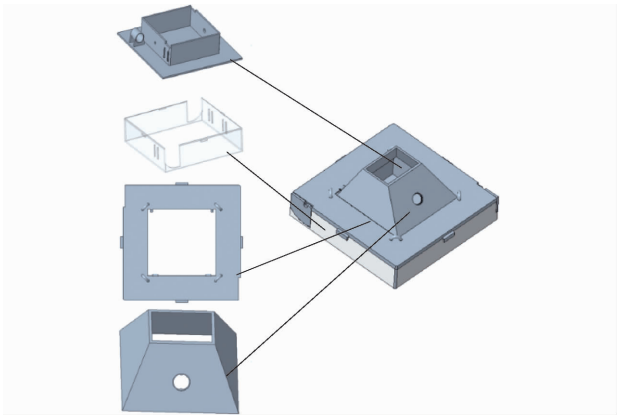


图 1 辅助装置装配图

Fig. 1 Assembly drawing of auxiliary device

辅助装置结构图如图 2 所示。气体循环系统由进气结构、出气结构、内循环结构和 4 条气体通道构成,前 3 个结构包含一个风扇插槽和 1 个转向固定的静音风扇 ($0 \sim 5 \text{ V}$),风扇可以嵌入插槽内,为气体在循环通道内流动提供动力,加快检测装置的响应时间。

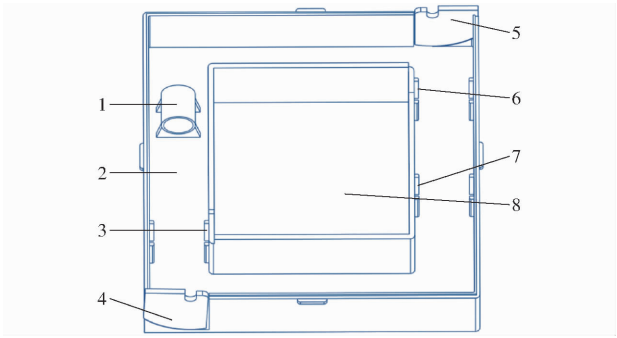


图2 辅助装置结构图

Fig.2 Structure diagram of auxiliary device

1. 氨气模组基座 2. 气体循环通道 3. 进气风扇插槽 4. 进气口 5. 出气口 6. 出气风扇插槽 7. 气体循环风扇插槽 8. 系统仓

1.1.2 硬件设计

系统设计2种工作状态,分别为进气状态和氨气浓度检测状态。系统上电后处于进气状态,单片机控制舵机旋转使进气口和出气口打开,然后进气风扇和出气风扇工作,从进气口吸入被测气体的同时将装置内原有气体从出气口排出,风扇通过电机驱动板驱动,可使用脉冲宽度调制(Pulse width modulation, PWM)进行调速,改变风扇转速可以控制进风口风速,从而完成进气;然后系统进入氨气浓度检测状态,关闭进气口和出气口,开启循环风扇和进气风扇使被测气体在装置通道内循环流动,在可设定的循环时间内不断读取氨气模组发送出的串口数据,经过STM32 MCU的数据加工处理后排列显示在TFTLCD屏上。系统硬件框架如图3所示。

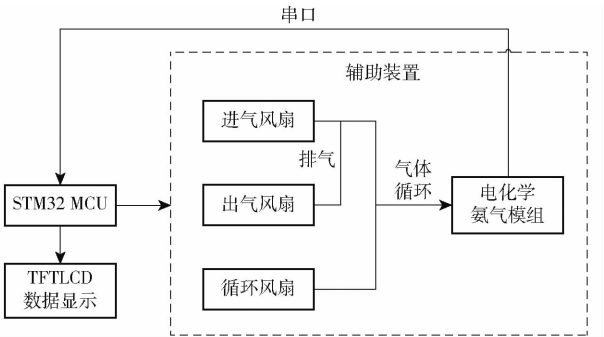


图3 氨气检测系统硬件框架

Fig.3 Hardware frame diagram of ammonia detection system

氨气检测系统由电化学氨气模组和系统仓构成。氨气电化学模组安装在模组基座上,采用美国Honeywell 4NH3-100型传感器和高性能微处理器,通过内置的温度传感器进行温度补偿,可精确测量环境中氨气浓度,测量范围为 $0 \sim 1 \times 10^{-4}$,分辨率为 1×10^{-8} ,通电预热时间小于80 s,误差小于2%;系统仓中容纳了STM32 MCU、TFTLCD屏、电压转换模块、12 V电源模块、电机驱动板和开关模块。

STM32 MCU是系统主控芯片,可通过串口读取氨气模组发送的数据;12 V电源模块为系统供电,经电压转换模块输出5 V供其他模块使用;电机驱动模块可驱动风扇旋转和控制风扇的转速;TFTLCD用于显示交互信息与测量数据。采用CFD模拟方法确定系统上电进气时间和检测周期。

1.1.3 软件设计

氨气模组每次发送出的串口数据长度为9个字节,第1个字节是起始位0xFF,第2个字节是命令位,可以通过命令0x86来读取氨气浓度,第3、4个字节分别为浓度的高字节和低字节,浓度计算式为

$$c = (256B_H + B_L)r \tag{1}$$

式中 c ——氨气浓度 r ——分辨率

B_H ——气体浓度高字节

B_L ——气体浓度低字节

采集到浓度数据后,采用卡尔曼数字滤波器^[23]对数据进行加工去噪,然后显示在TFTLCD屏上。软件系统流程如图4所示。

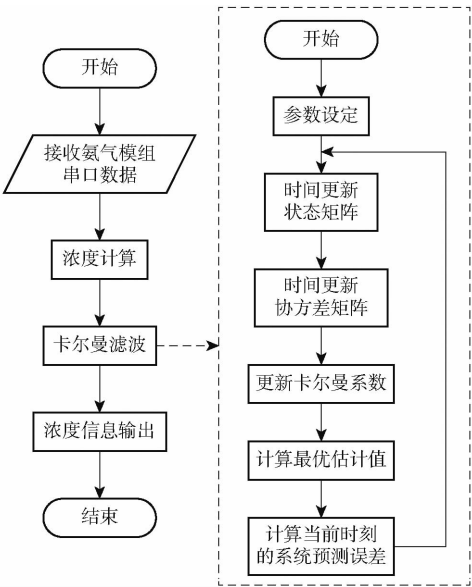


图4 软件系统流程图

Fig.4 Software system flow chart

卡尔曼滤波器利用线性系统的状态方程,通过系统输入输出观测数据,对系统状态进行最优估计,预测状态方程和预测协方差方程分别为^[24]

$$\hat{X}_{k|k-1} = F_k \hat{X}_{k-1|k-1} + B_k u_k \tag{2}$$

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k \tag{3}$$

式中 $\hat{X}_{k|k-1}$ ——利用 $k-1$ 时刻预测的当前状态结果
 $\hat{X}_{k-1|k-1}$ —— $k-1$ 时刻最优值
 F_k ——状态转移矩阵
 B_k ——状态控制矩阵 u_k ——控制增益
 $P_{k-1|k-1}$ —— $k-1$ 时刻系统协方差矩阵预测值

Q_k ——系统过程噪声的协方差

由于浓度数据为一维数据,有 $F_k = 1, u_k = 0$ 。根据协方差矩阵的预测值,卡尔曼增益 K_k 计算式为^[25]

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T (H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k)^{-1} \tag{4}$$

式中 H_k ——对象的预测矩阵

R_k ——对象测量噪声的协方差矩阵

对于一维矩阵 $P_{k|k-1}, H_k = 1$ 。

为了计算 k 时刻氨气浓度的最优值,滤波输出为

$$\hat{X}_{k|k} = \hat{X}_{k|k-1} + K_k (Z_k - H_k \hat{X}_{k|k-1}) \tag{5}$$

式中 Z_k ——对象的测量值

为了使卡尔曼滤波迭代运行到结束,引出 k 时刻系统协方差矩阵 $P_{k|k}$ 为

$$P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1} \tag{6}$$

式中 I ——单位矩阵

1.2 基于 CFD 的装置仿真

1.2.1 模型构建及网格划分

根据三维建模的结构对气体的流通区域进行 CFD 仿真,在 ICEM CFD 15.0 中对流通域进行建模和网格划分,并进行网格独立性验证,最终全局网格尺寸选取最大尺寸为 3.0 mm、循环风扇处部件网格尺寸选取最大尺寸为 2.0 mm,全局面网格类型采用四边形占优面网格、全局体网格类型采用四面体网格,设置后进行非结构性网格划分,网格总数为 2 421 274,总节点数为 409 140^[26-27]。检查质量总体大于 0.3,满足计算要求。网格划分结果如图 5 所示。

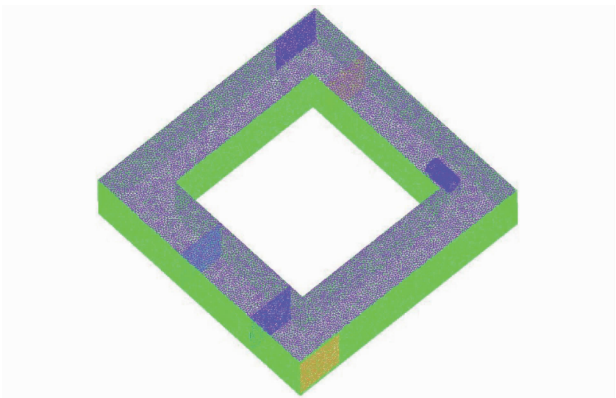


图 5 装置网格划分结果

采用 Fluent 软件进行数值求解,选择 $k-\varepsilon$ 湍流模型^[28],压力离散方式为 Standard,压力速度耦合迭代采用 SIMPLE 算法,迭代次数为 800。

1.2.2 边界条件

利用 KREVOR AR866A 型手持热敏式风速仪对装置的进出风口进行测量,其风速测量范围为

0.3 ~ 30 m/s,风速风量误差为 $\pm 1\%$ 。通过测量得到进出口处的风速为 1.65 m/s。在 Fluent 15.0 中进行数值模拟计算,装置模型边界条件设置如表 1 所示。

表 1 边界条件设置

Tab. 1 Boundary condition settings

工作状态	边界名称	边界类型	数值属性
进气状态	进气风扇	Interior	默认值
	出气风扇	Interior	默认值
	循环风扇	Interior	默认值
	进气口	速度入口	1.65 m/s
	出气口	自由流出	默认值
	装置壁面	Wall	无滑移壁面
氨气浓度检测状态	进气风扇	Interior	默认值
	出气风扇	Interior	默认值
	循环风扇	Interior	默认值
	进气口	速度入口	1.65 m/s
	出气口	速度出口	-1.65 m/s
	装置壁面	Wall	无滑移壁面

1.3 氨气变送器

对比试验采用 Renke 氨气变送器,实物如图 6 所示。变送器尺寸为 8.5 cm × 11 cm × 4.4 cm,传输采用 485 总线,传输采用标准 Modbus - RTU 通信协议,通信地址及波特率可设置,通信距离最远 2 000 m,供电电源:12 V 直流电源,平均功率:0.12 W,通电预热时间不小于 20 min,氨气浓度测量范围为 $0 \sim 5 \times 10^{-5}$,分辨率为 1×10^{-8} ,数据记录频率是 1 次/min。可以对鸡舍内养殖过程中产生的氨气进行实时检测,获取的数据通过 485 转换器传送到监测主机对数据进行显示、存储,以便及时读取、分析。



图 6 氨气变送器

Fig. 6 Ammonia transmitter

2 结果与讨论

2.1 仿真结果

对系统的两个工作状态分别进行模拟计算,选取氨气检测传感器中心水平方向 $Y = 0.02$ m 截面,能够反映气流通过传感器在装置内的流通情况。选

取传感器中心竖直方向 $Z = 0.02\text{ m}$ 截面,易于观察传感器底座对装置整体内部气流的影响。在 CFD -

Post 中对结果进行后处理,得到进出气状态下速度云图和速度矢量图,如图 7 所示。

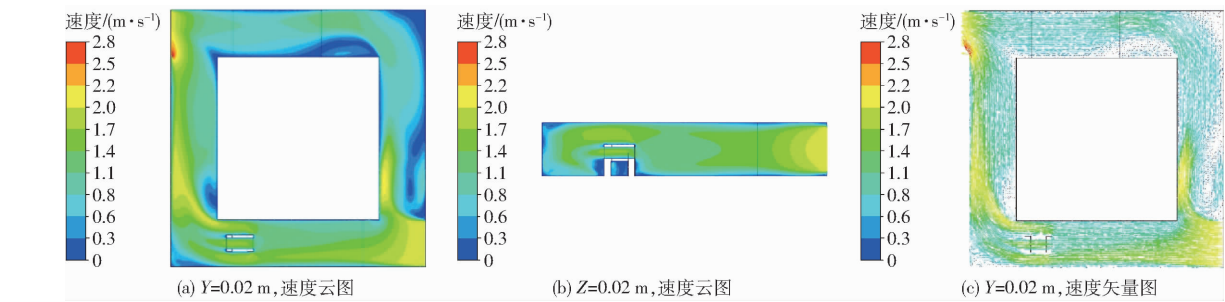


图 7 进出气状态下不同截面气流速度场模拟结果

Fig. 7 Simulation results of airflow velocity field at different sections under inlet and outlet state

在进出气状态下,进出口均打开,进气风扇和出气风扇同时工作,使外界空气快速进入到装置内的同时排除在装置内原有的废气。由图 7a、7b 可以看出,氨气传感器处横截面由于空间狭窄问题,其上方及其两侧速度较高,通过传感器的速度为 2.0 m/s ,较为快速的气流更容易排出存留的废气,而传感器下方由于底座的阻挡,空气流速较低。从图 7c 可以看出,外界空气进入进风口后,分成两条路径通往出风口,一路通过氨气检测装置,另一路通过循环风扇安装处路径,在出风口附近汇聚成一股气流被排出到外界,有效地排除装置内废气,涌入外部新的气体。

氨气检测状态下的气流场数值模拟结果如图 8

所示,该状态下进出气口关闭,进气风扇和循环风扇开启。由图 8a、8b 可得,由于氨气传感器底座的阻碍作用,使得流通面积变小,通过氨气传感器的速度相对提高,同时底座与壁面之间存留空隙,避免附近的高速气流直接通过氨气传感器,既保证氨气传感器的准确度,又保证其耐久度。在靠近外侧的壁面处,气流速度可达 2.8 m/s ,循环速度较快,可在短时间内使装置中的氨气浓度分布均匀。由图 8c 可看出,装置内风速矢量线呈逆时针循环均匀分布,有利于准确测量装置内气体浓度,此外矢量线在靠近外壁边缘时较聚集、风速较大(表现为图中红色部分),在氨气传感器位置处的矢量线仍分布均匀,利于氨气浓度的测量。

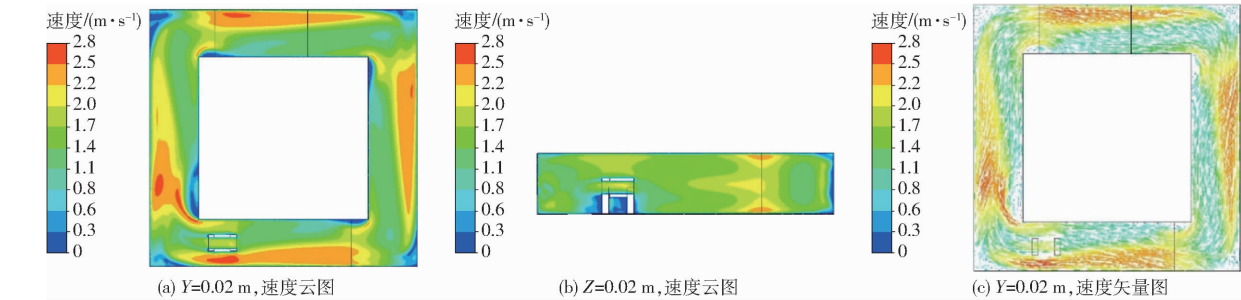


图 8 氨气检测状态下不同截面气流速度场模拟结果

Fig. 8 Simulation results of airflow velocity field at different sections under ammonia detection state

将气流场仿真结果转换成输出流线图,气体流通区域内的气流运行情况如图 9 所示。

是氨气传感器附近的流线均匀度高。在氨气检测状态下,气流流线无漩涡流线,整体流动状态清晰,氨气传感器附近的气流运行方向一致,便于精准检测氨气浓度。

空气龄是指鸡舍内混有氨气的空气从检测装置的辅助装置进口到每一网格单元所用的时间,可以反映检测装置内空气流动情况以及气流滞留时间,从而反映出装置内空气的更替速度^[29]。为了验证进出气状态下检测装置的换气效果,采用 CFD 对空气龄进行模拟,模拟结果如图 10 所示。

由图 10 可以看出,在进出气状态下整个装置的空气龄小于 1 s ,最大空气龄为 0.804 s ,在氨气传感

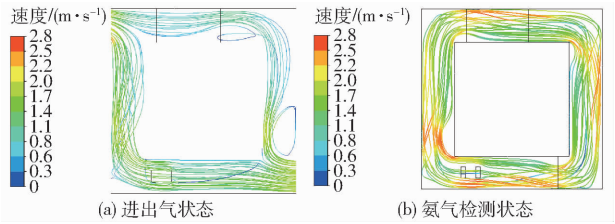


图 9 $Y = 0.02\text{ m}$ 截面气体流线图

Fig. 9 Gas flow diagram with cross section $Y = 0.02\text{ m}$

由图 9 可以得到,在进出气状态下进气口上侧的通道流向和进气口流向垂直导致上侧通道出现少量的漩涡流线,但进气口下侧的通道流线平稳,尤其

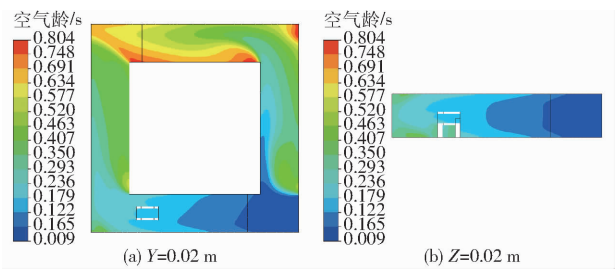


图 10 进出气状态下不同截面空气龄模拟结果

Fig. 10 Simulation results of air age at different sections under inlet and outlet state

器处的空气龄低于 0.2 s,表明系统设置 1 s 的进出气时间符合实际要求。

2.2 鸡舍氨气检测试验

在江苏省南京市六合区金牛湖街道黄羽鸡养殖实验基地(118°52'64"E,32°26'77"N)进行氨气检测装置检测试验,每个鸡舍宽度为 1.9 m,长度为 2.9 m,鸡舍内养殖有 45 只黄羽肉鸡,地面铺设松木屑作为垫料,舍内设置食槽和自动饮水器供鸡只日常营养摄取,在鸡舍出风口墙上安装 2 个负压风机调节鸡舍内养殖气体环境。氨气由排在垫料上的鸡粪发酵产生,由于鸡活动范围不均匀,靠近垫料层氨气浓度不均匀,但鸡舍上部氨气浓度比较均匀,经过变送器多点检测,各点相差在 5% 内,因此将氨气检测装置固定在鸡舍靠近顶部位置,并在氨气检测装置 0.75 m 处放置一个氨气变送器用于试验结果对比,安装垂直于检测装置的进出气口连线方向,以最大限度降低气流对变送器检测值的影响。试验时,根据 CFD 模拟结果,为了方便计时,氨气检测装置通过硬件按键设定单次检测进出气时间为 1 s,设定单次检测时间为 1 s,则单次检测周期为 2 s,每 10 s 检测一次,每 6 个值取均值作为 1 min 的值。试验现场如图 11 所示。



图 11 现场试验

Fig. 11 Ammonia detecting test in broiler chamber

氨气检测装置检测试验时间为 2021 年 1 月 29 日 10:00—15:00,氨气检测装置和变送器在 10:00 同时上电,每分钟各采集 1 次数据,分别记录了 300 次数据。试验初始时,控制鸡舍负压风机的变频器

设定为 10 Hz,一段时间后,为了验证氨气检测装置检测氨气浓度快速变化时效果,14:15 将变频器关闭,14:30 再将变频器设定为 20 Hz 开启负压风机,最终氨气检测装置和氨气变送器检测氨气质量浓度如表 2 所示,绝对差值统计结果如图 12 所示。

表 2 氨气浓度检测试验值			
Tab. 2 Experimental values of ammonia concentration detecting			
	concentration detecting		mg/m ³
时间	氨气检测装置检测值	氨气变送器检测值	绝对差值
10:01	2.63	2.66	0.03
10:02	2.67	2.72	0.05
10:03	2.72	2.87	0.15
10:04	2.86	2.98	0.12
10:05	2.87	2.99	0.12
⋮	⋮	⋮	⋮
14:56	1.76	1.79	0.03
14:57	1.49	1.73	0.24
14:58	1.51	1.77	0.26
14:59	1.34	1.45	0.11
15:00	1.19	1.44	0.25

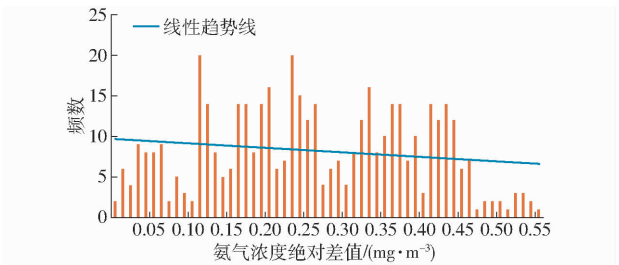


图 12 氨气检测装置与氨气变送器采集的氨气浓度绝对差值频数统计直方图

Fig. 12 Frequency statistical histogram of absolute difference value of ammonia concentration collected by ammonia detection device and ammonia transmitter

通过对比,本文设计的氨气检测装置检测氨气浓度平均值 3.18 mg/m³,氨气变送器检测平均值为 3.07 mg/m³,氨气检测装置和氨气变送器的检测结果趋势相符,氨气变送器检测值总体偏小,平均相差为 3.46%。氨气检测装置和氨气变送器检测值平均绝对差值为 0.25 mg/m³,差值占检测均值比为 7.86%,因为每个小时氨气浓度变化相对较小,因此本文按小时统计方差,最后 1 h 由于采用风机调控,不参与统计,小时方差统计结果见表 3。

从图 12 线性趋势线可以看出,氨气检测装置与变送器的绝对差值越大,频数相对越小,可见两者的检测结果比较相近,氨气检测装置的检测效果较好。由表 3 可见,检测装置的氨气浓度检测值与实际变化规律相符,方差比较稳定,氨气变送器由于上电预热的需求导致第 1 小时检测值偏高,方差为 0.094 mg²/m⁶,相对较大,检测装置方差相对变送器

表 3 氨气浓度检测值小时均值和方差
Tab.3 Hour variance and hour mean of ammonia
detecting values

时间	氨气检测装置		氨气变送器	
	小时均值/	小时方差/	小时均值/	小时方差/
	(mg·m ⁻³)	(mg ² ·m ⁻⁶)	(mg·m ⁻³)	(mg ² ·m ⁻⁶)
第 1 小时	2.938	0.038	3.157	0.094
第 2 小时	3.273	0.043	2.977	0.053
第 3 小时	3.400	0.040	3.284	0.042
第 4 小时	3.222	0.040	2.937	0.048

都小,说明值波动小,整体运行更加稳定。对试验值进行统计分析,分布直方图如图 13 所示,Pearson 相关性分析结果见表 4。

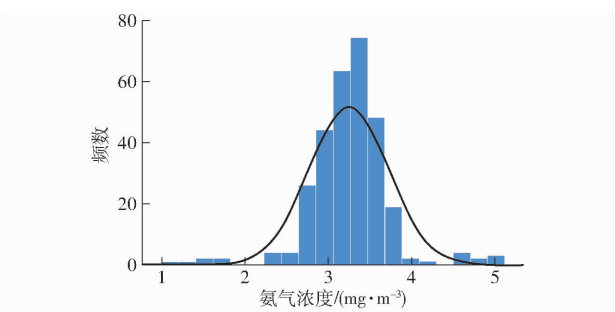


图 13 氨气检测装置试验值分布直方图
Fig. 13 Histogram value of ammonia detection device

从图 13 可看出,试验值基本符合正态分布,遵循中心极限定理,具有良好的可靠性,可以进行相关性分析。由表 4 可知,在整个试验阶段,检测装置与变送器的 Pearson 相关系数为 0.832,说明检测装置具有良好的检测效果。变送器由于上电后前 20 min

表 4 Pearson 相关性分析结果
Tab.4 Analysis results of Pearson correlation

时间区间	Pearson 相关系数
10:00—10:20	0.801
10:20—15:00	0.844
10:00—15:00	0.832

处于预热阶段,剔除前 20 min 的数据重新进行分析,相关系数提高至 0.844,可见由于变送器需要上电预热导致数据误差增大。

3 结论

(1)设计了一种主动式氨气浓度检测装置,包含辅助装置设计、硬件设计和软件设计,该装置可以实现主动吸入气流后进行氨气浓度检测,经过数据处理后方便显示和存储氨气浓度。

(2)使用 CFD 技术对两种状态下内部气流速度场进行模拟,通过速度云图和速度矢量图得到该装置可以实现有效的进出气和气流循环,通过空气龄模拟得到 0.804 s 可以完成装置内气体完全更新,在氨气检测过程中保证气流均匀,进一步提高氨气浓度检测准确率。

(3)设计的氨气检测装置具有响应时间快、通电预热时间短、检测效果稳定等优点,检测氨气浓度和氨气变送器的检测结果趋势相符,平均相差为 3.46%,方差也相对较小,总体比氨气变送器值波动小,检测值更加稳定可靠,Pearson 相关系数达到 0.832,检测效果良好,灵敏度高。

参 考 文 献

[1] BURNS R T, XIN H, GATES R S, et al. Tyson broiler ammonia emission monitoring project: final report[C]// Agricultural and Biosystems Engineering Technical Reports and White Papers, 2007.

[2] 刘雪,陈雪瑞,李鑫星,等. 基于 WebGIS 的肉鸡养殖技术效率测评系统研究[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 252 - 257.
LIU Xue, CHEN Xuerui, LI Xinxing, et al. Design of technical efficiency evaluation system for broiler based on WebGIS[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10): 252 - 257. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20141039&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.10.039. (in Chinese)

[3] 杨断利,李今,陈辉,等. 基于 IPSO 优化 BP 神经网络的蛋鸡舍有害气体监测系统[J/OL]. 农业机械学报, 2021, 52(4): 327 - 335.
YANG Duanli, LI Jin, CHEN Hui, et al. Monitoring system of harmful gas in layer house based on improved particle swarm optimization BP neural network [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(4): 327 - 335. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20210435&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2021.04.035. (in Chinese)

[4] REECE F N, LOTT B D. The effect of ammonia and carbon dioxide during brooding on the performance of broiler chickens[J]. Poultry Science, 1980, 59(7): 1654 - 1661.

[5] MILES D M, BRANTON S L, LOTT B D. Atmospheric ammonia is detrimental to the performance of modern commercial broilers[J]. Poultry Science, 2004, 83(10): 1650 - 1654.

[6] LIU P, LI Y, WANG Y, et al. Highly viscous states affect the browning of atmospheric organic particulate matter[J]. ACS Central Science, 2018, 4(2): 207 - 215.

[7] KWAK D, LEI Y, MARIC R. Ammonia gas sensors: a comprehensive review[J]. Talanta, 2019, 204: 713 - 730.

[8] LSPEZ T D, LOPEZ A A, AGUADO C E, et al. Sensitivity optimization of a microstructured optical fiber ammonia gas sensor by means of tuning the thickness of a metal oxide nano-coating[J]. IEEE Sensors Journal, 2019, 19(13): 4982 - 4991.

- [9] 郭庆辉, 彭彦昆, 李永玉, 等. 肉品无损检测光学传感器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2020, 51(增刊2): 484–490. GUO Qinghui, PENG Yankun, LI Yongyu, et al. Design and test of optical sensor for meat non-destructive detection[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(Supp. 2): 484–490. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2020s260&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2020.S2.060. (in Chinese)
- [10] MUHAMMAD Y, MUHAMMAD A H, KHURSHID A. Nitrogenated holey graphene (C₂N) surface as highly selective electrochemical sensor for ammonia[J]. Journal of Molecular Liquids, 2019, 296: 111929–111941.
- [11] SAMOTAIEV N N, PODLEPESKY B I, VASILIEV A A, et al. Metal-oxide gas sensor high-selective to ammonia[J]. Automation and Remote Control, 2013, 74(2): 308–312.
- [12] MOSELEY P T, WILLIAMS D E. A selective ammonia sensor[J]. Sensors & Actuators B: Chemical, 1990, 1(1–6): 113–115.
- [13] ISMAIL A H, MOHD Y N A, YAACOB M H, et al. Optical ammonia gas sensor of poly(3,4-polyethylenedioxythiophene), polyaniline and polypyrrole; a comparative study[J]. Synthetic Metals, 2020, 260: 116294–116302.
- [14] LIANG X, ZHONG T, GUAN H, et al. Ammonia sensor based on NASICON and Cr₂O₃ electrode[J]. Sensors & Actuators B: Chemical, 2008, 136(2): 479–483.
- [15] YOO K M, MIDKIFF J, ROSTAMIAN A, et al. InGaAs membrane waveguide: a promising platform for monolithic integrated mid-infrared optical gas sensor[J]. ACS Sensors, 2020, 5(3): 861–869.
- [16] 方箫, 陈林, 严赫, 等. 基于PSoC的氨气浓度检测仪[J]. 自动化与仪表, 2014, 29(1): 19–22, 26. FANG Xiao, CHEN Lin, YAN He, et al. Design of ammonia measuring instrument based on PSoC[J]. Automation & Instrumentation, 2014, 29(1): 19–22, 26. (in Chinese)
- [17] 朱宝余, 孙成勋, 王兰, 等. 氨气检测仪研究现状[J]. 化工进展, 2017, 36(增刊1): 27–33. ZHU Baoyu, SUN Chengxun, WANG Lan, et al. Research status of ammonia gas detector[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2017, 36(Supp. 1): 27–33. (in Chinese)
- [18] 王俊, 崔绍庆, 陈新伟, 等. 电子鼻传感技术与应用研究进展[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(11): 160–167, 179. WANG Jun, CUI Shaoqing, CHEN Xinwei, et al. Advanced technology and new application in electronic nose[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(11): 160–167, 179. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20131129&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2013.11.029. (in Chinese)
- [19] PEARCE T C, SCHIFFMAN S S, NAGLE H T, et al. Handbook of machine olfaction: electronic nose technology[M]. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2002.
- [20] PAN L, YANG S. An electronic nose network system for online monitoring of livestock farm odors[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2009, 14(3): 371–376.
- [21] DESHMUKH S, BANDYOPADHYAY R, BHATTACHARYYA N, et al. Application of electronic nose for industrial odors and gaseous emissions measurement and monitoring—an overview[J]. Talanta, 2015, 144: 329–340.
- [22] 姚征, 陈康民. CFD通用软件综述[J]. 上海理工大学学报, 2002, 24(2): 137–144. YAO Zheng, CHEN Kangmin. Review on the commercial CFD softwares[J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2002, 24(2): 137–144. (in Chinese)
- [23] 蒋焕煜, 周鸣川, 童俊华, 等. 基于卡尔曼滤波的PWM变量喷雾控制研究[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 60–65. JIANG Huanyu, ZHOU Mingchuan, TONG Junhua, et al. PWM variable spray control based on Kalman filter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10): 60–65. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20141010&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.10.010. (in Chinese)
- [24] MANANIS C, ASSIMAKIS N, VIKIAS V, et al. Power generation prediction of an open cycle gas turbine using Kalman filter[J]. Energies, 2020, 13(24): 6692–6706.
- [25] ZHU H, ZHANG G, LI Y, et al. A novel robust Kalman filter with unknown non-stationary heavy-tailed noise[J]. Automatica, 2021, 127: 109511–109516.
- [26] 杜哲, 胡永光, 仇树成, 等. 喷雾降温风机风筒优化设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2020, 51(8): 118–125, 151. DU Zhe, HU Yongguang, QIU Shucheng, et al. Optimization design and experiment of air duct on spray cooling fan[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(8): 118–125, 151. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20200813&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2020.08.013. (in Chinese)
- [27] ZHANG S, DING A, ZOU X, et al. Simulation analysis of a ventilation system in a smart broiler chamber based on computational fluid dynamics[J]. Atmosphere, 2019, 10(6): 315.
- [28] WANG C, LI H, WANG J, et al. CFD simulation and optimization of a pneumatic wheat seeding device[J]. IEEE Access, 2020, 8: 214007–214018.
- [29] 曹孟冰, 杨婷, 宗超, 等. 进风口高度与导流板角度对猪舍空气龄和CO₂分布的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2020, 51(增刊2): 427–434, 441. CAO Mengbing, YANG Ting, ZONG Chao, et al. Influence of air inlet height and angle on air age and CO₂ distribution in pig house[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(Supp. 2): 427–434, 441. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2020s252&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2020.S2.052. (in Chinese)