

# 多环境参数控制的猪养殖箱设计及箱内气流场分析

高云<sup>1,2</sup>, 陈震撼<sup>1,4</sup>, 王瑜<sup>1</sup>, 李小平<sup>3</sup>, 郭继亮<sup>1</sup>

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 生猪健康养殖协同创新中心, 武汉 430070;  
3. 华中农业大学动物科技学院, 武汉 430070; 4. 江西奥斯盾农牧设备有限公司, 南昌 330115)

**摘要:** 在规模化养殖中猪舍环境日益重要的背景下, 为了便于研究猪舍内不同环境对猪健康的影响, 该文设计了基于多环境参数控制的猪养殖箱。养殖箱采用气流自循环的通风模式, 通过 ANSYS 对该养殖试验箱的气流场走向、模式以及风速适宜性进行模拟仿真。该养殖箱利用环境因子检测模块中的传感器集成节点和激光 NH<sub>3</sub> 传感器实时获取养殖箱内的温度、相对湿度、NH<sub>3</sub> 浓度、CO<sub>2</sub> 浓度、风速等环境数据, 并通过通信中转节点 STM32 发送至主控制器可编程逻辑控制器 (programmable logical controller, PLC), PLC 对环境数据进行处理, 并根据已处理的环境数据进行环境调控, 实现箱内环境的自动控制。与此同时, PLC 将环境数据上发至上位机 PC, 通过 WinCC 监控软件实现了环境数据动态显示, 通过 VB 脚本实现了历史数据自动定时导出至 Excel 文件功能。养殖箱气流烟雾试验、空箱试验以及保育猪养殖试验结果表明: 养殖箱内气流走向形成大循环, 且通风无死角, 养殖箱环境控制系统的温度控制精度为  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度可以控制在 50%~80% 的适宜范围内, NH<sub>3</sub> 浓度控制精度小于  $\pm 3 \times 10^{-6}$ , CO<sub>2</sub> 浓度可以控制在  $1540 \times 10^{-6}$  以下, 养殖箱能够在较长时间稳定运行的同时, 实现了箱内温度、相对湿度、NH<sub>3</sub> 浓度、CO<sub>2</sub> 浓度等环境因子精确控制, 为不同环境的养殖试验提供试验平台。

**关键词:** 环境控制; 温度; 风速; 猪舍环境; ANSYS 流场仿真

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.02.026

中图分类号: S223.2<sup>+</sup>5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2019)-02-0203-10

高云, 陈震撼, 王瑜, 李小平, 郭继亮. 多环境参数控制的猪养殖箱设计及箱内气流场分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35(2): 203-212. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.02.026 http://www.tcsae.org

Gao Yun, Chen Zhenhan, Wang Yu, Li Xiaoping, Guo Jiliang. Design for pig breeding chamber under multiple environment variable control and analysis of internal flow field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(2): 203-212. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.02.026 http://www.tcsae.org

## 0 引言

近年来, 随着中国生猪养殖向规模化、集约化的方向发展, 猪舍环境控制在养猪过程中的重要性更加凸显, 猪舍环境状况将直接影响猪的存活率、健康状况、生产性能, 进而影响猪肉产量和品质<sup>[1-3]</sup>。猪舍内环境温度过高不仅会引起猪的热应激反应, 且会降低猪的进食量, 增加料肉比<sup>[4-6]</sup>。温度过低则会导致母猪生产成绩下降, 猪群抵抗力降低, 并且降低饲料转化率<sup>[7-9]</sup>。猪只为了维持自身恒定的体温会不断和周围环境进行热交换, 其机体产生的热量分为潜热和显热。外界环境温度越高, 显热散失越少, 机体更多通过潜热即呼吸蒸发散热。然而当外界环境为高温高湿状态时, 环境湿度接近或已达到饱和状态, 呼吸蒸发受阻, 猪核心体温上升从而引发猪的热应激反应, 进而降低日增质量指标, 影响猪的健康<sup>[10-13]</sup>。猪舍内有害气体如 NH<sub>3</sub>、CO<sub>2</sub> 对猪的生长与健康有显著影响<sup>[14-16]</sup>。

仔猪舍内的 NH<sub>3</sub> 浓度高于  $50 \times 10^{-6}$  时, 其日增质量降低 10% 以上<sup>[17]</sup>。NH<sub>3</sub> 浓度由  $21.9 \times 10^{-6}$  增加到  $65.1 \times 10^{-6}$  时, 猪呼吸病和萎缩性鼻炎的发病率大幅升高<sup>[17]</sup>。在高密度养殖环境下, 猪舍内 CO<sub>2</sub> 浓度较高<sup>[18]</sup>, 出于对猪的健康考虑, 其生活环境中的 CO<sub>2</sub> 浓度应低于  $1540 \times 10^{-6}$ <sup>[19-20]</sup>。

国外众多专家学者在猪舍环境控制方面开展了大量研究, 如美国研究者 Stinn<sup>[21]</sup> 在美国中西部进行了育肥猪舍环境监测与控制试验, 为进一步研究猪舍环境控制提供了环境数据资料与环境控制方案。Seo 等<sup>[22]</sup> 建立了商品猪猪舍内温度场、气流场的计算流体力学 (computational fluid dynamics, CFD) 模型, 为不同季节通风模式的选择提供最优方案。德国 Big Dutchman 公司研发的集环境监测传感装置、微型控制器和环境调控设备于一体的综合性环境控制系统, 可实现对猪舍环境的完全自动化控制。瑞典 Munters 公司研发的 MX2 Plus 温湿度控制器可过滤猪舍内的污浊空气, 在为猪舍提供更清新的空气的同时, 有效地调节舍内温湿度, 为猪提供更舒适的生活环境。

国内在猪舍环境控制的研究开发起步较晚, 但近年来发展迅速。贺城等<sup>[23-24]</sup> 将 CFD 技术应用于猪舍气流场、温度场的模拟研究, 为猪舍内气流控制和温度控制提供了科学的理论支撑。赖国洪<sup>[25]</sup> 在垫料式发酵床封闭式猪

收稿日期: 2018-09-01 修订日期: 2019-01-03

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目 (2016YFD0500506); 国家自然科学基金 (31872402); 中央高校自主创新基金 (2662018JC003)

作者简介: 高云, 副教授, 博士, 主要从事农业智能检测与控制方面的研究。Email: angelclouder@mail.hzau.edu.cn

中国农业工程学会会员: 高云 (E041700006M)

舍中建立了集环境因子采集、PLC控制、TD400文本显示的一整套猪舍环境自动检测与控制系统,通过传感器检测舍内环境温度与湿度,垫料温度以及NH<sub>3</sub>浓度等数据,并由S7-200 PLC控制湿帘-风机降温系统、喷淋设备等,实现了南方密闭式猪舍内温度、相对湿度、NH<sub>3</sub>浓度的自动控制。范留伟<sup>[26]</sup>设计了基于STM32单片机的猪舍环境监控系统,该系统以控制器局域网(controll area network, CAN)总线通信方式建立了检测模块与控制模块之间的联系,可实现舍内温度、相对湿度、风速、光照及有害气体的检测与控制,并且通过CAN总线实现了下位机与上位机数据交互,便于猪场管理人员对舍内环境进行监控和环境参数设定。

猪舍环境控制系统的研究尽管有些成果,但这些研究成果主要实现了猪舍环境适宜度的提升,而应用于环境多变量控制试验的控制系统还鲜有涉及。目前国内关于不同环境因子对猪生长影响的研究多为人工控制或半自动化控制模式,存在控制精度差、人工成本高等缺点,为了提高环境因子的控制精度,降低人工成本,需要为这些研究提供工作性能优良的环境多变量自动控制试验平台。

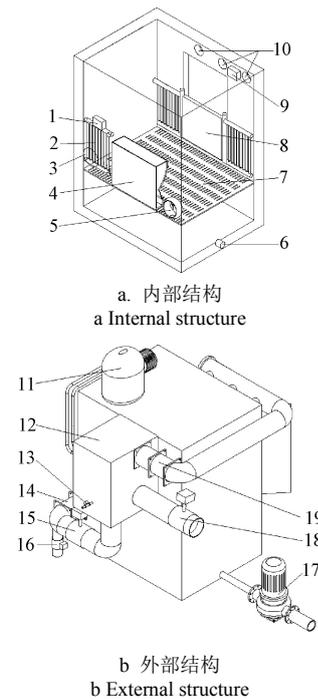
针对应用于猪舍多环境因子自动控制试验平台缺乏的问题,本文设计了基于气参数的环境控制养殖箱,该养殖箱采用自循环的通风模式,利用环境因子检测模块实时获取养殖试验箱内的温度、相对湿度、NH<sub>3</sub>浓度、CO<sub>2</sub>浓度、风速等数据,发送至主控制器PLC,一方面实现箱内多环境因子的自动控制,另一方面将环境数据上发至上位机,通过WinCC监控软件实现环境数据动态显示和自动定时存储至Excel文件,该养殖试验箱不仅可满足不同的环境控制试验需求,而且实现了环境控制自动化。

## 1 材料与方法

### 1.1 养殖试验箱结构

养殖箱内部空间以饲养6头保育猪或4头生长猪为准,长×宽×高设计为2 m×1.5 m×2 m。粪槽深度以4头生长猪每周排粪量为准,其深度设计为0.45 m,因此整体内部尺寸为2 m×1.5 m×2.45 m。大门位于正面墙壁外侧中间部位,小门位于大门内侧。正面墙壁上部靠左位置有3个半径为0.063 m,圆心距为0.5 m的进风口,进风口对面墙壁的右下角有1个半径为0.11 m的出风口,并在出风口处安装1号风机,在靠近1号风机的内墙壁上安装镀锌栏杆网,在镀锌栏杆网上放置1号传感器节点和激光NH<sub>3</sub>传感器,在进风口处放置2号传感器节点。在门的对面墙角固定安装饲料槽和饮水碗。养殖试验箱内部结构如图1a所示。养殖箱由主箱体、气体混合箱、通风系统、环境调控设备等组成,外部结构如图1b所示。

通风系统由1号风机、2号风机、通风管道组成。1号风机与2号风机同时工作,将养殖箱内的空气抽入通风主管道,流经气体混合箱,通过3个进风口吹入养殖箱内,在养殖箱内形成涡流后再次被抽入主管道,以此方式持续循环通风。



1. 1号传感器节点 2.镀锌栏杆网 3.出风口 4.饲料槽 5.饮水碗 6.粪槽出口 7.漏缝地板 8.小门 9. 2号传感器节点 10.进风口 11.制冷压缩机 12.气体混合箱 13. NH<sub>3</sub>电磁阀 14. 1号风机 15.通风主管道风阀 16.废气风阀 17.抽粪泵 18.新鲜空气风阀 19. 2号风机  
1. Sensor node 1 2. Galvanized railing net 3. Air outlet 4. Trough 5. Water bowl 6. Manure pit export 7. Slotted floor 8. Small door 9. Sensor node 2 10. Air inlets 11. Air conditioning compressor 12. Gas mixture chamber 13. Electromagnetic valve for ammonia gas 14. Fan 1 15. Air volume control valve of main pipe 16. Exhaust air valve 17. Manure pump 18. Fresh air valve 19. Fan 2

图1 养殖试验箱结构示意图

Fig.1 Structure diagram of breeding test chamber

环境调控设备由制冷机组、空气加热管、NH<sub>3</sub>电磁阀、风量调节阀等组成。空气混合箱内的制冷机组铜管用以降低进入箱体的空气温度,空气加热管用来提升进入箱体的空气温度,如用制冷机组将空气温度降低至露点温度以下,再辅以加热管进行加热,则可降低空气中水份含量,从而在某种程度上降低进入箱体空气的相对湿度。为了使养殖箱内的NH<sub>3</sub>维持在某设定浓度值,需根据NH<sub>3</sub>传感器测得的浓度来控制NH<sub>3</sub>的进气和排放,如果箱内NH<sub>3</sub>浓度大于设定浓度则控制废气风阀和新鲜空气风阀,加大废气排放,增加新空气进气,降低NH<sub>3</sub>浓度,如NH<sub>3</sub>浓度小于设定浓度则开启空气混合箱上的NH<sub>3</sub>电磁阀,提升NH<sub>3</sub>浓度。

### 1.2 ANSYS 气流场模拟验证

该文使用ANSYS 12.0软件对该养殖试验箱的气流场走向和模式以及风速适宜性进行模拟仿真。试验箱通风模式为负压通风,入口边界条件设为速度入口,风速为夏季最高通风模式2 m/s,出口边界条件设为压力出口<sup>[27-32]</sup>。按照6头保育猪或4头生长猪夏季最大通风量设计,进风口面积为0.0375 m<sup>2</sup><sup>[33]</sup>,使进气口总面积与出风口总面积相等,进风口设计为3个圆孔,出风口为单圆孔,得到进风口半径为0.063 m,出风口半径为0.11 m。流场模拟效果如图2所示。

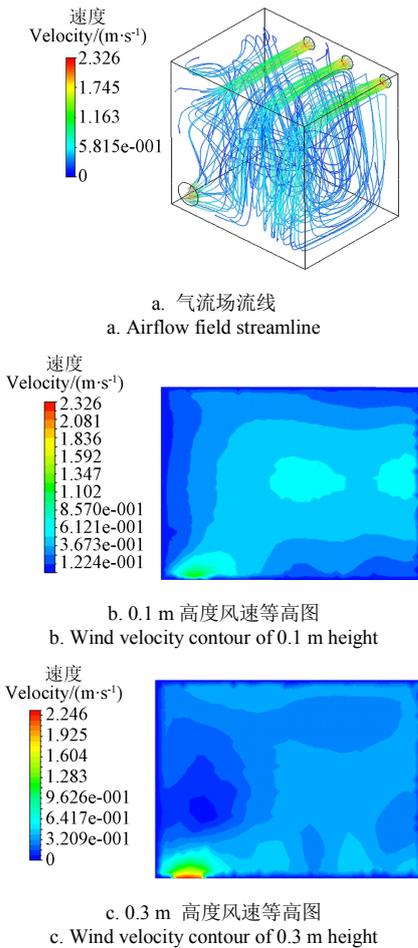


图 2 养殖试验箱流场模拟效果图

Fig.2 Diagram of airflow field simulation of breeding test chamber

由图 2 a 可知，气流循环覆盖整个养殖箱空间，猪生活区无通风死角。按照保育猪或生长猪站立高度取 0.3 m，躺卧高度取 0.1 m，由图 2b 和图 2c 可知，养殖箱内除去靠近出风口的位置外，距地板 0.1 m 高度和 0.3 m 高度平面上风速不高于 0.4 m/s，风速基本处于猪只的耐受范围。实际养殖箱在靠近出风口位置安装有围栏，防止猪只靠近，且控制系统可通过降低风机转速来精确调节猪的过体风速。

在养殖箱内在 0.1 m 和 0.3 m 2 个水平高度上，距离箱壁为 0.5 m 水平均匀布置 4 个自制全向风速传感器对仿真结果进行验证，风速传感器布置方法参照文献[34]，全向风速传感器为设计者前期的研制成品，传感器参数及测量值的不确定性分析见文献[35]。实地测量 0.1 m 高度风速约为 0.25±0.02 m/s，0.3 m 高度猪活动区域风速约为 0.31±0.11 m/s。2 个水平高度的风速近似且 4 个点风速相近与仿真结果类似，实地测量通风无死角。由于该风速模拟为夏季最高通风模式下，实际在养殖试验时，适宜温度下控制进风口风速低于仿真试验中设置。

### 1.3 养殖试验箱控制系统

#### 1.3.1 控制系统组成

养殖试验箱控制系统框图如图 3 所示。系统由主控

制器 S7-200 PLC、环境因子检测模块、PC 机和执行机构组成，主要完成多环境因子自动检测与控制，以及环境数据监控和自动定时保存。S7-200 PLC 与环境因子检测模块和 PC 机建立数据传输通道，与模拟量输出扩展模块 EM232 和继电器组建立控制输出通道。环境因子检测模块中的 STM32F1 作为通信中转节点，将 1 号传感器节点、2 号传感器节点、激光 NH<sub>3</sub> 传感器检测的温度、相对湿度、NH<sub>3</sub> 浓度、CO<sub>2</sub> 浓度、风速等数据整理为数据包并通过串口发送至 S7-200 PLC 的 RS-485 通信端口 Port 2，PLC 程序对数据进行处理后，将已处理的环境数据通过通信端口 Port 1 实时上传至 PC 机的 WinCC 监控软件，实现环境数据动态显示和自动定时存储。与此同时，PLC 向模拟量输出扩展模块 EM232 发出模拟量控制信号，进而调控 2 个风机的转速和 3 个风阀的开合角度，向继电器组发出数字量控制信号，进而控制制冷压缩机、空气加热管、NH<sub>3</sub> 电磁阀、抽粪泵和照明灯的开启与关闭，从而实现箱内环境控制。

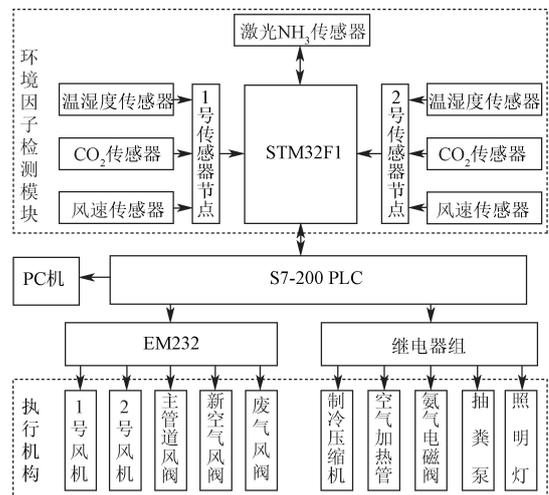


图 3 环境控制养殖试验箱控制系统框图

Fig.3 Schematic diagram of control system for breeding test chamber of environmental control

该文选用 SIEMENS 公司旗下 S7-200 系列中的 CPU224XP 继电器输出型 PLC 作为控制系统的主控制器；STM32F103ZET6 为核心控制器的开发板作为通信中转节点。传感器节点使用课题组现有的集成有温湿度传感器、CO<sub>2</sub> 传感器和风速传感器的集成节点；选用武汉弘光亿源技术有限公司研制的激光 NH<sub>3</sub> 传感器。执行设备包括制冷压缩机、空气加热管、NH<sub>3</sub> 电磁阀、抽粪泵、风机和风量调节阀等。执行设备参数如表 1 所示。

#### 1.3.2 通信中转程序设计

通信中转节点 STM32 芯片的串口 1 (USART1) 用于读取 1 号传感器节点的数据；串口 2 (USART2) 用于读取 2 号传感器节点的数据；串口 4 (UART4) 用于读取激光 NH<sub>3</sub> 传感器的数据；串口 3 (USART3) 用于与 PLC 通讯。

表1 执行设备参数  
Table 1 Parameter of executing device

设备名称 Device name	设备型号 Device model	工作电压 Working voltage/V	额定功率 Rated power/W	主要参数 Main parameter
制冷压缩机 Refrigeration compressor	QX-C214E030g	AC 220	1 200	制冷量 2 460 W
空气加热管 Air heating pipe	HK1K	AC 220	1 000	加热量 900 W
风机 Fan	AFC2012DG	DC 12	21.6	0~580 (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )
NH <sub>3</sub> 控制电磁阀 NH <sub>3</sub> control electron magnetic valve	ZC01-1B-1.6	DC 12	4.8	0.5 s, 1.6 MPa
抽粪泵 Manure pump	MP-3500-24	DC 12	168	45 (L·min <sup>-1</sup> )
风量调节阀 Ventilation valve	DA4MU24-A/AS	DC 12	3	0~90°

1号传感器节点与2号传感器节点分别与通信中转节点 STM32 的 USART1 和 USART2 进行数据传输。2个传感器节点采样周期为每 2 s 采集 1 个数据,每个传感器节点每 2 s 检测 1 次温度、相对湿度、CO<sub>2</sub> 浓度和风速,并分别发送至 STM32 的 USART1 和 USART2。传感器节点发送的数据格式为“起始字符+温度字符+相对湿度字符+CO<sub>2</sub> 字符+风速字符+校验字符”,其中起始字符为 2 个字节的“FF 05”。温度字符、相对湿度字符、CO<sub>2</sub> 字符和风速字符均由高位字节和低位字节组成,高位字节可转换为环境数据的实数部分,低位字节可转换为小数部分,校验字符为 10 个字节数据。因此 2 个传感器节点的数据均为长度为 20 字节的字符串。

激光 NH<sub>3</sub> 传感器通信方式为 RS485 通信,STM32 串口的电平标准为 TTL 电平,因此激光 NH<sub>3</sub> 传感器与 STM32 的通信端口之间连接 TTL-RS485 电平转换模块。STM32 读取 NH<sub>3</sub> 浓度的通信协议为 STM32 向激光 NH<sub>3</sub> 传感器发送“:09NH0100C0\r\n”,传感器检测 NH<sub>3</sub> 浓度后应答“:09NH0104+ NH<sub>3</sub> 浓度+校验字符+\r\n”。其中应答语句中的 NH<sub>3</sub> 浓度为 4 位十六进制数。校验字符共 2 字节,除去首端“:”和尾端“\r\n”的所有字符的 ASCII 码之和对 256.0 取模。激光 NH<sub>3</sub> 传感器的 NH<sub>3</sub> 浓度数据共 17 个字节。

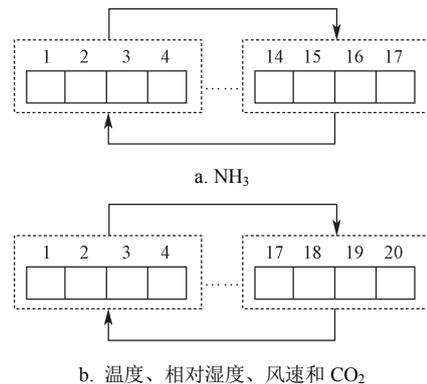
控制系统依据激光 NH<sub>3</sub> 传感器和 1 号传感器节点的环境数据进行环境控制,2 号传感器节点起参照作用。在 STM32 接收到 1 号传感器节点发送数据的同时,NH<sub>3</sub> 读数标志位 NH<sub>3</sub> Flag 置 1,STM32 向激光 NH<sub>3</sub> 传感器发送 NH<sub>3</sub> 浓度读取指令,并随即接收到 NH<sub>3</sub> 浓度读取应答。为了便于 PLC 识别 3 个节点的数据,STM32 在 1 号传感器节点发送的字符串前增加“16#41”,即字符“A”;在 2 号传感器节点发送的字符串前增加“16#42”,即字符“B”。在激光 NH<sub>3</sub> 传感器发送的字符串前增加“16#43”,即字符“C”。因此环境因子检测模块的数据共有 60 字节。STM32 与 PLC 通信的 USART3 波特率设置为 9 600 Bd,在数据读取完毕后统一由 USART3 发送至 PLC 的通信端口 Port 0。

### 1.3.3 PLC 程序设计

为了实现 PLC 与 STM32 之间的通信,首先设置通信

端口 Port 0 的通信模式与接收模式。设定通信端口的通信模式为自由口通信,通信波特率为 9 600 Bd,每个字符的数据位为 8 位,无奇偶校验。设定接收模式应先设置特殊寄存器 SMB87 中的接收消息控制字节,再设置具体的消息接收条件。设置使用消息起始检测功能,起始字符为“FF 05”;使用空闲线检测功能,空闲线检测时长为 5 ms;设置最大接收字符数为 60。

PLC 接收到的 3 组环境数据需要进行字节调序和数值转换以得到温度、相对湿度、NH<sub>3</sub> 浓度、CO<sub>2</sub> 浓度、风速的实数值。对于 1 号传感器节点的数据,使用 For-Next 循环语句建立 1 个最大循环次数为 20 次的循环判断语句,其判断字符是首端 2 个字节为“FF 05”。若判断结果为假,则将首端 1 个字节的数据移动至尾端,并使用块传送指令 BLKMOV\_B 将数据整体向前移动 1 个字节,继续进行判断。若判断结果为真,则跳出循环,并将“FF 05”之后 8 个字节的有效数据提取出来存储到 VB50~VB57 的存储地址中。对于 2 号传感器节点的数据,将“FF 05”之后的 8 个字节的有效数据提取出来存储到 VB60~VB67 的存储地址中。对于激光 NH<sub>3</sub> 传感器的数据,其循环判断语句的判断字符为“3A 30”,最大循环次数为 17 次。若判断结果为真,则将“3A 30”之后的 4 个字节有效数据存储至 VB30~VB33 中。字节调序模式如图 5 所示。



b. Temperature, relative humidity, wind velocity and CO<sub>2</sub>

注: 1~20 每个框为 1 个字节。

Note: Each box of 1-20 refers to one byte.

图4 温度、相对湿度、风速、CO<sub>2</sub> 和 NH<sub>3</sub> 传感器数据字节调序模式图

Fig.4 Diagram of byte rearrange pattern for temperature, relative humidity, wind velocity, CO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> sensors

PLC 通过数值转换程序将有效环境数据进行实数化处理。1 号传感器节点的环境数据存储至 VB50~VB57 中。温度数值整数部分存储于 VB50 中,小数部分存储于 VB51 中;相对湿度数值整数部分存储于 VB52 中,小数部分存储于 VB53 中;风速数据存储于 VB54~VB55 中;CO<sub>2</sub> 数据存储于 VB56~VB57 中。对 VB50~VB57 中的数据依次执行字节转整数、整数转双整数、双整数转实数等指令转换为实数值。其中温度小数部分数值除以 10 之后与整数部分数值相加,得到 1 号传感器节点温度,存入变量存储区 VD320 中。相对湿度小数部分数值除以 10 之后与整数部分数值相加,得到 1 号传感器节点相对

湿度，存入变量存储区 VD370 中。风速数据经过数值转换后存储于 VD406 和 VD416 中，VD406 中的数值与实数 256.0 相乘，再与 VD416 中的数值相加，最后将相加的和除以 1000.0 得到风速，并存入 VD420 中。CO<sub>2</sub> 数据经过数值转换后存储于 VD456 和 VD466 中。VD456 中的数值与 256.0 相乘后与 VD466 中的数值相加，最终得到 CO<sub>2</sub> 浓度，并存入 VD470 中。NH<sub>3</sub> 浓度数据存储区为 VB30~VB33，数据类型为 ASCII 码。对 VB30~VB33 中的数据依次执行 ASCII 码转十六进制数、整数转双整数、双整数转实数等指令转换为 NH<sub>3</sub> 浓度实数值，并存入 VD80 中。

PLC 程序对数据进行实数化处理后进入控制子程序，进行温度、相对湿度、NH<sub>3</sub> 浓度、CO<sub>2</sub> 浓度等环境变量的控制。4 周至 8 周日龄保育猪适宜环境温度范围为 22~30 ℃，每周下降 2 ℃。生长猪适宜环境温度为 18~22 ℃<sup>[33]</sup>。保育猪和生长猪生活环境相对湿度适宜范围是 50%~80%。

养殖箱控制系统通过控制制冷压缩机和空气加热管的开启与停机来调节环境温度和相对湿度，控制流程如图 5 所示。

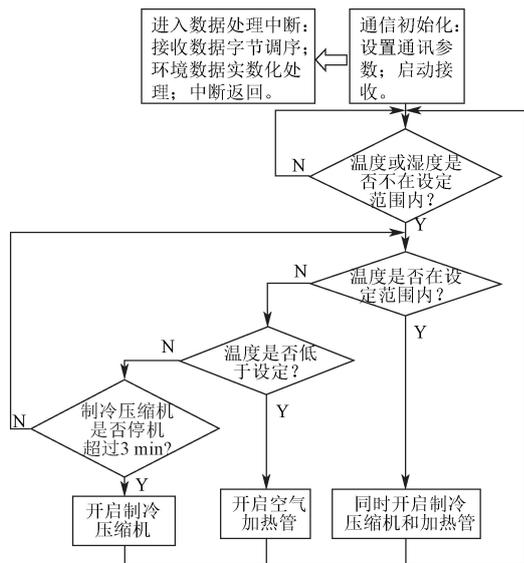


图 5 温湿度控制流程图

Fig.5 Procedure diagram of temperature and relative humidity control

PLC 程序开始运行后，首先进行通信初始化设置，包括设置通信方式为自由口通信，波特率为 9 600 Bd，起始检测字符为“FF 05”，空闲线检测时长 5 ms，最大接收字符数 60，并启动接收模式。当数据接收完成时，进入数据处理中断，对接收到的数据进行字节调序和实数化处理，由此开始温湿度控制。首先判断温度或湿度是否在设定范围内，若温度过低，则开启空气加热管使环境温度上升；若温度过高，且制冷压缩机停机超过 3 min，则开启制冷压缩机使环境温度下降；养殖箱为封闭空间，猪呼吸作用和粪槽中的水产生较多湿气，因此若湿度过高，则同时开启制冷压缩机和空气加热管进行除湿。

养殖箱控制系统通过控制通风阀门的打开角度和 NH<sub>3</sub> 补气电磁阀的开闭控制养殖箱内的 NH<sub>3</sub> 浓度水平，通过控制通风阀门的打开角度降低 CO<sub>2</sub> 浓度，控制流程如图 6 所示。

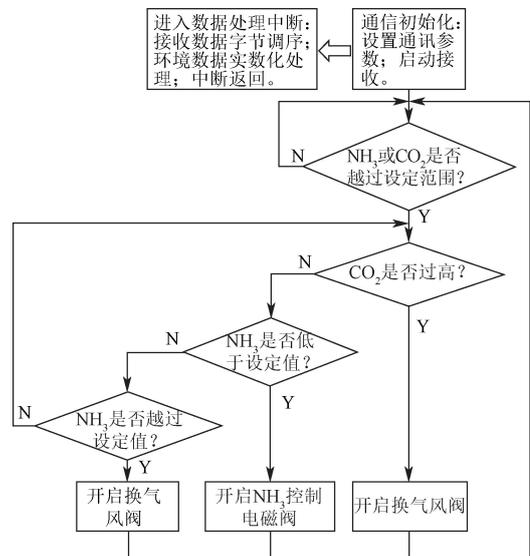


图 6 NH<sub>3</sub>、CO<sub>2</sub> 浓度控制流程图

Fig.6 Procedure diagram of concentration of NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub> control

出于对猪的健康考虑，其生活环境中的 CO<sub>2</sub> 浓度应低于 1 540×10<sup>-6</sup>。使用接通延时定时器 T33 建立 1 个周期为 60 s，占空比可变的 PWM 波控制 NH<sub>3</sub> 补充程序。若养殖箱内需维持 10×10<sup>-6</sup> 的 NH<sub>3</sub> 浓度，当补 NH<sub>3</sub> 程序的 60 s 定时结束时，如果 NH<sub>3</sub> 浓度介于 7×10<sup>-6</sup>~9×10<sup>-6</sup> 之间，则 PWM 波的占空比为 1/120，NH<sub>3</sub> 电磁阀开启 0.5 s。如果浓度介于 5×10<sup>-6</sup>~7×10<sup>-6</sup> 之间，则 PWM 波占空比为 1/80，NH<sub>3</sub> 电磁阀开启 0.75 s。如果浓度低于 5×10<sup>-6</sup>，则 PWM 波占空比为 1/60，NH<sub>3</sub> 电磁阀开启 1 s。当 NH<sub>3</sub> 浓度介于 11×10<sup>-6</sup>~13×10<sup>-6</sup> 之间或 CO<sub>2</sub> 浓度介于 1 540×10<sup>-6</sup>~1 740×10<sup>-6</sup> 之间时，控制系统控制废气风阀和新鲜空气风阀的调风板打开角度为 30°，控制主管道风阀调风板打开角度为 60°。当 NH<sub>3</sub> 浓度介于 13×10<sup>-6</sup>~15×10<sup>-6</sup> 之间或 CO<sub>2</sub> 浓度介于 1 740×10<sup>-6</sup>~1 940×10<sup>-6</sup> 之间时，控制系统控制废气风阀和新鲜空气风阀的调风板打开角度为 60°，控制主管道风阀调风板打开角度为 30°。当 NH<sub>3</sub> 浓度高于 15×10<sup>-6</sup> 或 CO<sub>2</sub> 浓度高于 1 940×10<sup>-6</sup> 之间时，控制系统控制废气风阀和新鲜空气风阀的调风板打开角度为 90°，控制主管道风阀调风板打开角度为 0°。

定时照明功能的实现是通过指令 READ\_RTC 读取实时时钟，设定开灯与关灯时间点，实现定时照明。特殊寄存器 SMB0 的状态位 SM0.5 提供了 1 个周期为 1 s，占空比为 50%的时钟脉冲，使用上升沿触发 READ\_RTC 指令读取 PC 机的实时时钟，并以十六进制数的形式存储至 VB1010 为首地址的 8 个字节存储区中。地址 VB1013 存储小时数值，可自主设置每天的开灯与关灯时间节点。

4 头生长猪每天排粪量为 1.6×10<sup>-2</sup> m<sup>3</sup>，每周排粪量为

0.112 m<sup>3</sup>，因此粪槽液面高度每周上升 0.037 m，考虑加上落入粪槽的水和饲料，按猪浪费水和饲料占消耗量的 5%估算<sup>[33]</sup>，粪槽液面高度每周总共上升约 0.05 m，加上水泡粪模式下水深为 0.2 m，则每周需抽出 0.75 m<sup>3</sup>粪水混合物。抽粪泵的流量为 45 L/min，工作 16.7 min 可将 0.75 m<sup>3</sup>的粪污抽出粪槽。设计抽粪泵每周工作 1 次，工作时长为 15 min。定时抽粪以 READ\_RTC 指令读取的 PC 机实时时钟的星期数为准。

### 1.3.4 监控软件设计

养殖箱控制系统监控界面由标题栏板块、环境数据显示板块、设备运行状态显示板块和报警指示灯显示板块组成，控制系统监控界面如图 7 所示。



注：●为运行状态，●为停止状态  
Note: ● refers to running state, ● refers to stop state.

图 7 养殖箱控制系统监控界面

Fig.7 Monitoring interface of control system in breeding chamber

标题栏板块中的日期窗口、星期窗口和时间窗口分别与系统变量 Sysinfo\_Date、Sysinfo\_Week、Sysinfo\_Time 相关联，设置 I/O 域类型为输出类型，更新周期为 1 s，即可显示系统时钟信息。环境数据板块中的实时环境数据窗口分别与相对应环境数据所在的存储地址关联起来，设置 I/O 域类型为输入/输出类型，实时环境数据窗口即可实现环境数据动态化显示。设备运行状态显示板块实时显示执行设备的运行状态。对于依靠模拟量信号控制的风机和风阀，则设置其电压控制信号高于 0 时显示运行状态，等于 0 显示停止状态。报警指示灯显示板块将温度上限、温度下限、NH<sub>3</sub> 浓度上限、NH<sub>3</sub> 浓度下限与报警指示灯关联起来，如果实际环境数据超出设定范围，则报警指示灯闪烁，并有语音报警。

为了实现环境数据收集，在 WinCC 组态软件中设计了基于 VB 脚本的历史数据自动导出功能，实现养殖箱温度、相对湿度、风速、CO<sub>2</sub> 浓度和 NH<sub>3</sub> 浓度数据以设定的周期定时自动导出至指定的 Excel 文件中，其 VB 脚本包括四大板块，分别为打开 Excel 模板、设置查询条件、创建数据库连接并查询数据、填充数据至 Excel 文件。

## 2 结果与分析

### 2.1 养殖箱气流烟雾试验

#### 2.1.1 气流试验步骤

气流烟雾试验材料包括 GoPro Hero 5 摄像机，烟雾

饼，黑卡纸，壁挂灯。GoPro Hero 5 摄像机为美国 GoPro 公司生产的运动摄像机，用来拍摄烟雾在箱内的流动效果图片。烟雾饼在燃烧时可产生较浓的烟雾，养殖箱通风系统中的风机驱动烟雾在箱内流动，可通过观察烟雾的流路检验实际情况与 ANSYS 气流场走向和模式是否一致。黑卡纸用以覆盖浅色墙壁，便于观察烟雾的准确流路。壁挂灯用来提供观察烟雾流路必要的光照。

试验目的在于验证实际情况与 ANSYS 模拟的气流场走向和模式相同。气流烟雾试验方法的制定主要应考虑烟雾通过何种方式进入箱内可使进入箱内的烟雾较浓以便观察，并且箱内背景如何布置可以更清晰地表现出烟雾流路。为了使进入箱内的烟雾较浓，首先应使风机处于停止工作状态，在空气混合箱中点燃烟雾饼，等待烟雾饼充分燃烧并产生大量浓烟后再开启风机，此时集中于空气混合箱内的大量浓烟在风机推动下统一流过通风管道，并通过 3 个进风口流入箱内。为了使 GoPro Hero 5 摄像机能够拍摄到清晰的烟雾流路，摄像机固定在摄像机支架上，并紧靠养殖箱内一侧墙壁，高度为 1 m。另外应在摄像机拍摄的主要背景墙壁上贴满黑卡纸，在进风口对面墙壁上安装一个照明灯，在地板上也安装一个照明灯，黑色背景与白色烟雾可形成较大的颜色反差，并且借助壁挂灯的光照，摄像机可以拍摄到清晰的烟雾流路图片。

#### 2.1.2 试验结果分析

按照制定的试验方法进行气流烟雾试验，试验效果如图 8 所示。图 8 中，烟雾进入箱的动作依按图片间的箭头顺序，烟雾通过 3 个进风口进入养殖箱后，先到达对面墙壁，然后沿着墙壁向下到箱底，从箱底沿地面回转，最后弥散到整个箱体内，形成气流循环。由此可知，气流在风机的驱动下进入养殖箱内，紧贴箱体天花板流向对面墙壁，并在天花板的阻挡和风力推动下沿着墙壁向下流动，随后沿着地面向进风口所在墙壁流动，此时气流的动压减小弥散到整个箱体空间，形成整个箱体内的气流循环。因此，此烟雾试验验证了实际情况与 ANSYS 气流场走向和模式相同。

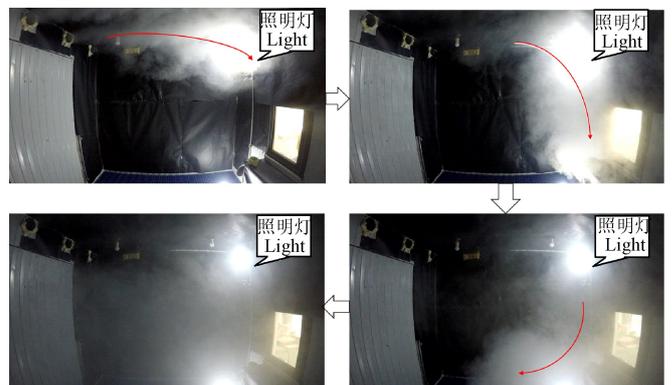


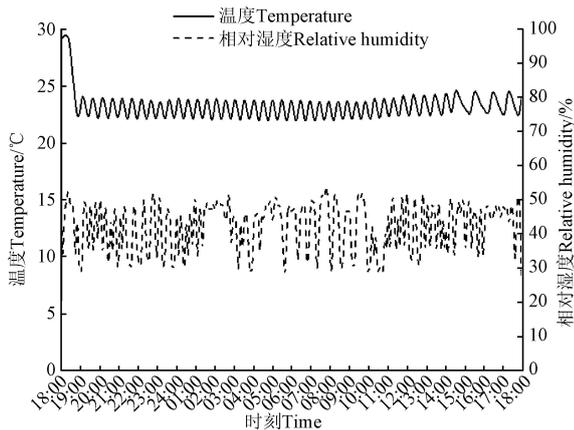
图 8 养殖箱流场烟雾试验

Fig.8 Smoke test of airflow field in chamber

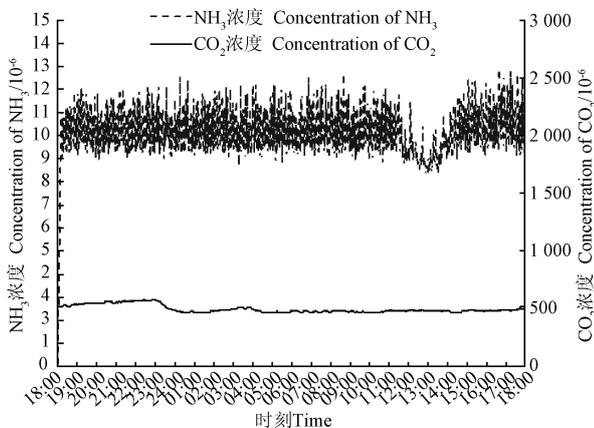
## 2.2 养殖箱空箱试验

为了在动物养殖试验之前检验养殖箱的使用性能,对养殖箱进行空箱试验。温度传感器的工作范围为 $-10\sim 135\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,精度为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。湿度传感器的测量范围为 $0\sim 100\%$ ,精度为 $\pm 3\%$ ;  $\text{NH}_3$ 传感器的测量范围为 $0\sim 100\times 10^{-6}$ ,精度为 $\pm 1\times 10^{-6}$ ;  $\text{CO}_2$ 传感器的测量范围为 $0\sim 10\,000\times 10^{-6}$ ,精度为 $\pm 1\times 10^{-6}$ 。

空箱试验起止时间为2017年8月31日18时至9月1日18时,温度控制设定范围为 $22\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{NH}_3$ 浓度设置为 $10\times 10^{-6}$ ,试验数据曲线如图9所示。



a. 温度、湿度曲线图  
a. Graph of temperature and relative humidity



b.  $\text{NH}_3$ 、 $\text{CO}_2$ 浓度曲线图  
b. Graph of concentration of  $\text{NH}_3$  and  $\text{CO}_2$

图9 空箱试验环境数据曲线图

Fig.9 Graphs of environmental data of empty chamber test

养殖箱内的起始温度为 $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,已超过设定的最高温度值 $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,控制系统控制制冷压缩机开始工作,降低箱内环境温度。当温度降低至 $23.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,制冷压缩机停止工作,但由于气体混合箱中的制冷铜管在压缩机停止工作后仍有制冷效果,养殖箱内的温度继续下降。当温度低于设定的最低温度值 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,控制系统控制空气加热管开始工作,提高箱内环境温度。当温度升高至 $22.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,空气加热管停止工作,养殖箱内的环境温度即可维持在 $22\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。由于进行空箱试验时的天气较干燥,箱内未养猪,因此不产生湿气,且制冷压缩机和空气加热管具有除湿作用,养殖箱内的相对湿度维持在 $30\%\sim 50\%$

之间。图10a中,养殖箱内的温度介于 $22\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,去掉开机后前30 min的数据后,温度值为 $(23.10\pm 0.76)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;相对湿度介于 $30\%\sim 50\%$ 之间,去掉开机后前30 min的数据后,湿度值为 $42.98\%\pm 8.72\%$ 。

养殖箱内的起始  $\text{NH}_3$  浓度为 0, 控制系统开始运行后, PLC 根据  $\text{NH}_3$  传感器检测的实时  $\text{NH}_3$  浓度控制  $\text{NH}_3$  电磁阀, 将  $\text{NH}_3$  注入箱内,  $\text{NH}_3$  浓度上升并在  $8\sim 12\times 10^{-6}$  范围内波动。空箱内无  $\text{CO}_2$  产生源, 因此  $\text{CO}_2$  浓度未超过设置的最高值  $1\,540\times 10^{-6}$ , 而是处于  $500\times 10^{-6}$  左右之间。在图10b中, 养殖箱内的  $\text{NH}_3$  浓度介于  $8\sim 12\times 10^{-6}$  之间, 去掉开机后前30 min的数据后, 均值为  $11\times 10^{-6}\pm 2.50\times 10^{-6}$ ;  $\text{CO}_2$  浓度在  $500\times 10^{-6}$  左右, 去掉开机后前30 min的数据后, 均值为  $492.11\times 10^{-6}\pm 4.09\times 10^{-6}$ 。

根据空箱试验的结果可知, 养殖箱控制系统对温度的控制精度为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 对  $\text{NH}_3$  浓度的最佳控制精度可达 $\pm 2.50\times 10^{-6}$ , 养殖箱控制系统的控制性能良好。

## 2.3 保育猪养殖试验

此次保育猪养殖试验的试验对象为华中农业大学精品猪场预定的6只大白保育猪, 出生日期为2018年1月30日, 日龄40 d左右, 质量为 $10\pm 1.5\text{ kg}$ 。饲喂方式为自由采食自由饮水, 上午九点喂料, 饲料为教槽料。喂料量为每天每头1 kg, 即每天向饲料槽中添加6 kg教槽料。清粪方式为每周1次。

本次养殖试验时间为2018年3月12日至2018年4月2日, 共3周。由于试验猪日龄未到6周, 按保育猪生长最佳适宜温度随日龄增加温度降低, 因此设定养殖箱温度由 $27\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 开始每周下降 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 即第1周的温度控制范围为 $26\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 第2周为 $24\sim 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 第3周为 $22\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。相对湿度控制范围为 $50\%\sim 80\%$ ,  $\text{CO}_2$ 浓度控制在 $1\,540\times 10^{-6}$ 以下, 为了研究  $\text{NH}_3$  对猪肺纤维化的影响,  $\text{NH}_3$  浓度控制在 $50\times 10^{-6}$ 左右, 养殖试验数据曲线如图10所示。

图10a中, 第2周的养殖箱内温度介于 $24\sim 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 去除掉开机后30 min及第2周至第3周温度切换30 min数据后, 平均值为 $(24.81\pm 0.84)\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 第3周的温度介于 $22\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 去除掉第2周至第3周温度切换30 min数据后平均值为 $(23.76\pm 0.50)\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度介于 $60\%\sim 80\%$ 之间, 平均值为 $74.05\%\pm 6.64\%$ 。根据武汉市历史天气记录, 3月20日前后最低气温为 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 4月1日前后最高气温达到 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 且经过实地测量, 养殖箱周围最高气温达到 $31.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此本次试验期间的箱外环境温度变化较大, 但根据图10a中的温度曲线可知, 虽然外界环境温度过低或过高会导致箱内温度有下降或上升的趋势, 但养殖箱控制系统稳定地控制箱内的温度使温始终保持在设定值范围内, 且温度较为稳定控制精度小于 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

在图10b中,  $\text{NH}_3$ 浓度数值整体介于 $47\times 10^{-6}\sim 53\times 10^{-6}$ 之间, 平均值为 $50.18\times 10^{-6}\pm 2.85\times 10^{-6}$ ,  $\text{CO}_2$ 浓度大部分低于 $1\,540\times 10^{-6}$ , 平均值为 $1\,338.5\times 10^{-6}\pm 150.3\times 10^{-6}$ 。  $\text{NH}_3$ 浓度控制精度小于 $\pm 3\times 10^{-6}$ ,  $\text{CO}_2$ 浓度基本可以控制在 $1\,540\times 10^{-6}$ 以下。

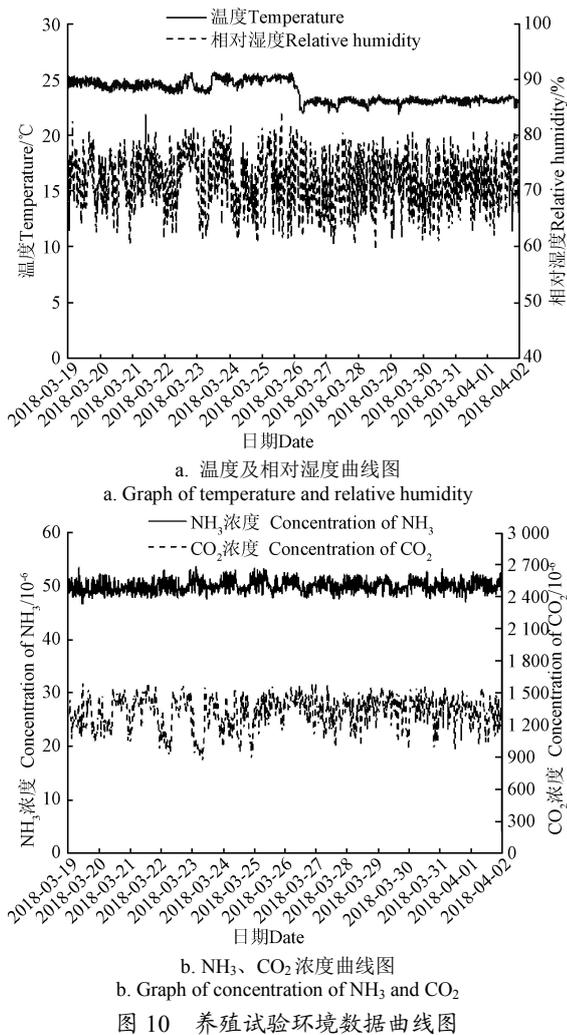


图10 养殖试验环境数据曲线图

Fig.10 Graphs of environmental data of breeding test

综合以上空箱及保育猪养殖试验结果可知, 养殖箱环境控制系统的可对箱内空气温度进行精度控制, 控制精度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度可以控制在 50%~80%的适宜范围内,  $\text{NH}_3$  浓度控制精度小于 $\pm 3 \times 10^{-6}$ ,  $\text{CO}_2$  浓度基本可以控制在  $1\ 540 \times 10^{-6}$  以下。国内外的环境控制养殖试验大部分都是对现有的猪舍进行环境控制改造, 密封性差, 控制精度远大于该文养殖箱控制精度, 且很难做到稳定的有害气体的控制<sup>[36-38]</sup>。该文中养殖箱控制系统能够在长时间稳定运行的同时, 实现了箱内温度、相对湿度、 $\text{NH}_3$  浓度、 $\text{CO}_2$  浓度等环境因子精确控制。

### 3 结论

本文以 PLC 控制技术为核心, 设计了多环境参数控制的猪养殖箱, 实现了箱内温度、相对湿度、 $\text{NH}_3$  浓度、 $\text{CO}_2$  浓度等环境参数的自动检测与控制。

1) 用 ANSYS 对该养殖试验箱的气流场走向和模式以及风速适宜性进行模拟仿真, 养殖箱内除去靠近出风口的位置外, 距地板 0.1 m 高度和 0.3 m 高度平面上风速不高于 0.4 m/s, 风速基本处于猪只的耐受范围, 且与实测风速基本相符。

2) 基于主控制器 S7-200 PLC、环境因子检测模块、

PC 机和执行机构的控制系统可以满足整个养殖试验环境控制要求, 并实现了环境因子监测和控制流程和监控组态的数据记录及显示。

3) 空箱及动物养殖试验结果表明, 养殖箱环境控制系统的温度控制精度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度可以控制在 30%~80%的适宜范围内,  $\text{NH}_3$  浓度控制精度小于 $\pm 3 \times 10^{-6}$ ,  $\text{CO}_2$  浓度可以控制在  $1\ 540 \times 10^{-6}$  以下, 养殖箱环境控制系统能够在长时间稳定运行的同时, 实现了箱内温度、相对湿度、 $\text{NH}_3$  浓度、 $\text{CO}_2$  浓度等环境因子精确控制。

### 【参考文献】

- [1] 曹进, 张峥. 封闭猪场内氨气对猪群生产性能的影响及控制试验[J]. 养猪, 2003(4): 42-44.
- [2] Wathes C M. Environmental control in pig housing[C]// The 15th International Pig Veterinary Society Congress, Birmingham, UK, 1998: 257-265.
- [3] Lay D C J, Haussmann M F, Daniels M J, et al. Swine housing impacts on environment and behavior: A comparison between hoop structures and total environmental control[C]// First International Conference on Swine Housing, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, 2000: 49-55.
- [4] 刘胜军, 卢庆萍, 张宏福, 等. 高温高湿环境对生长猪生长性能、血浆皮质醇浓度和免疫功能的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(5): 1214-1219.  
Liu Shengjun, Lu Qingping, Zhang Hongfu, et al. Effects of high ambient temperature and humidity on growth performance, plasma cortisol concentration and immune function in growing pigs[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2010, 22(5): 1214-1219. (in Chinese with English abstract)
- [5] 高云, 刁亚萍, 林长光, 等. 机械通风楼房猪舍热环境及有害气体监测与分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(4): 239-247.  
Gao Yun, Diao Yaping, Lin Changguang, et al. Monitoring and analysis of thermal environment and harmful gases in mechanically ventilated multistory pig buildings[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2018, 34(4): 239-247. (in Chinese with English abstract)
- [6] 汪开英, 苗香雯, 崔绍荣, 等. 猪舍环境温湿度对育成猪的生理及生产指标的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 99-102.  
Wang Kaiying, Miao Xiangwen, Cui Shaorong, et al. Effects of ambient temperature and relative humidity on physiological parameters and performance of growing pigs[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2002, 18(1): 99-102. (in Chinese with English abstract)
- [7] 陈绍孟, 魏郑谊, 周婉珠. 高温对杜洛克母猪繁殖性能影响的调查[J]. 养猪, 2013(3): 25-27.
- [8] 周水岳, 杨润泉, 郭球松, 等. 温湿度和有害气体对妊娠母猪繁殖性能的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2017(12): 101-106.  
Zhou Shuiyue, Yang Runquan, Guo Qiusong, et al. Effect of temperature humidity and harmful gas on performance of pregnant sow[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2017(12): 101-106. (in Chinese with English abstract)

- [9] 王清义, 王占彬. 环境温度对仔猪、繁殖母猪及生长肥育猪的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2002(11): 15—16.  
Wang Qingyi, Wang Zhanbin. The effect of Environmental temperature on piglet, sow and growing-finishing pigs[J]. Heilongjiang Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2002(11): 15—16. (in Chinese with English abstract)
- [10] 汪开英. 育成猪的体温与猪舍温湿度指标(THI)的相关性研究[J]. 浙江大学学报, 2003, 29(6): 675—678.  
Wang Kaiying. Study on the relationship between body temperature of growing pigs and temperature-humidity index of pig housing[J]. Journal of Zhejiang University, 2003, 29(6): 675—678. (in Chinese with English abstract)
- [11] 夏九龙, 刁华杰, 冯京海, 等. 温热环境对育肥猪体温调节的影响规律[J]. 动物营养学报, 2016, 28(11): 3386—3390.  
Xia Jiulong, Diao Huajie, Feng Jinghai, et al. Regularities of thermoregulation in finishing swine affected by thermal-humidity environment[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(11): 3386—3390. (in Chinese with English abstract)
- [12] 谢秋菊, 苏中滨, Ni Jiqin, 等. 密闭式猪舍多环境因子调控系统设计及调控策略[J]. 农业工程学报, 2017, 33(6): 163—170.  
Xie Qiujun, Su Zhongbin, Ni Jiqin, et al. Control system design and control strategy of multiple environmental factors in confined swine building[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(6): 163—170. (in Chinese with English abstract)
- [13] 邵燕华, 陈志银, 崔绍荣, 等. 畜舍小气候对猪的影响[J]. 家畜生态学报, 2002, 23(1): 67—69.  
Shao Yanhua, Chen Zhiyin, Cui Shaorong, et al. The effects of microclimate on pigs in the livestock house[J]. Ecology of Domestic Animal, 2002, 23(1): 67—69. (in Chinese with English abstract)
- [14] Zong C, Li H, Zhang G. Ammonia and greenhouse gas emissions from fattening pig house with two types of partial pit ventilation systems[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2015, 208: 94—105.
- [15] Philippe F X, Laitat M, Nicks B, et al. Ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs kept on two types of straw floor[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2012, 150(6): 45—53.
- [16] Saha C K, Zhang G Q, Kai P, et al. Effects of a partial pit ventilation system on indoor air quality and ammonia emission from a fattening pig room[J]. Biosystems Engineering, 2010, 105(3): 279—287.
- [17] 易中华. 畜禽排泄物污染及其饲料对策[J]. 国外畜牧学, 1999(5): 45—46.
- [18] Huffel K V, Hansen M J, Feilberg A, et al. Level and distribution of odorous compounds in pig exhaust air from combined room and pit ventilation[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2016, 218(9): 209—219.
- [19] Kliebenstein J. Iowa concentrated animal feeding operation air quality study[J]. Staff General Research Papers Archive, 2002.
- [20] Banhazi T M, Stott P, Rutley D, et al. Air exchanges and indoor carbon dioxide concentration in Australian pig buildings: Effect of housing and management factors[J]. Biosystems Engineering, 2011, 110(3): 272—279.
- [21] Stinn J P. Environmental Assessment and Control Towards Improved Swine Breeding-gestation-farrowing Operation in the Midwestern United States[D]. Ames: Iowa State University, 2014.
- [22] Seo I H, Lee I B, Moon O K, et al. Modelling of internal environmental conditions in a full-scale commercial pig house containing animals[J]. Biosystems Engineering, 2012, 111(1): 91—106.
- [23] 贺城, 牛智有, 廖娜. 基于 CFX 的猪舍纵向与横向通风流场模拟[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28(5): 641—644.  
He Cheng, Niu Zhiyou, Liao Na. Numerical simulation of vertical and horizontal ventilation in the piggery based on CFX[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2009, 28(5): 641—644. (in Chinese with English abstract)
- [24] 贺城, 牛智有, 齐德生. 猪舍温度场和气流场的 CFD 模拟比较分析[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(1): 134—136.  
He Cheng, Niu Zhiyou, Qi Desheng. CFD simulation and comparative analysis about air temperature and airflow in the piggery[J]. HuBei Agricultural Science, 2010, 49(1): 134—136. (in Chinese with English abstract)
- [25] 赖国洪. 工厂化养猪环境自动控制系统[D]. 福州: 福建农林大学, 2011.  
Lai Guohong. Environmental Automatic Control System of Factory raising[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [26] 范留伟. 基于 STM32 的猪舍环境自动监控系统的设计[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2014.  
Fan Liuwei. Design of Automatic Monitoring System for Piggery Environment Based on STM32[D]. Hangzhou: Hangzhou University of Electronic Technology, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [27] Bjerg B, Svidt K, Zhang G, et al. Modeling of air inlets in CFD prediction of airflow in ventilated animal houses[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2002, 34(1): 223—235.
- [28] Tomas N, Jim G, Richard F, et al. Assessing the ventilation effectiveness of naturally ventilated livestock buildings under wind dominated conditions using computational fluid dynamics[J]. Biosystems Engineering, 2009, 103(1): 78—99.
- [29] Gebremedhin K G, Wu B. Simulation of flow field of a ventilated and occupied animal space with different inlet and outlet conditions[J]. Journal of Thermal Biology, 2005, 30(5): 343—353.
- [30] Seedorf J, Hartung J, Schröder M, et al. A Survey of ventilation rates in livestock buildings in Northern Europe[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1998, 70(1): 39—47.
- [31] 窦轩. 基于 CFD 的猪舍小气候环境模糊控制系统设计[D]. 西安: 陕西科技大学, 2017.  
Dou Xuan. Design of Fuzzy Control System for Piggery Microclimate Environment Based on CFD[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science & Technology, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [32] 林加勇. 公猪舍冬夏两季舍内环境的数值模拟研究与设计方案优化[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.  
Lin Jiayong. Numerical Simulation of Internal Environment Conditions in a Boar Building During Summer and Winter and Design Scheme Optimization[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [33] Iowa State University. MWPS-8 Swine Housing and

- Equipment Handbook[M]. Iowa: Midwest Plan Service, 1983: 1—112.
- [34] Brett C Ramirez, Gao Yun, Steven J Hoff, et al. Thermal environment sensor array: Part 1 development and field performance assessment[J]. Biosystems Engineering, 2018, 174: 329—340.
- [35] Gao Yun, Brett C Ramirez, Steven J Hoff. Omnidirectional thermal anemometer for low airspeed and multi-point measurement applications[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 127: 439—450.
- [36] Zong Chao, Li Hao, Zhang Guoqiang. Ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs kept on two types of straw floor[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2015, 208: 94—105.
- [37] Chayan Kumer Saha, Guoqiang Zhang, Peter Kai, et al. Effects of a partial pit ventilation system on indoor air quality and ammonia emission from a fattening pig room[J]. Biosystems Engineering, 2010, 105: 279—287.
- [38] Katrijn Van Huffel, Michael J Hansen, Anders Feilberg, et al. Level and distribution of odorous compounds in pig exhaust air from combined room and pit ventilation[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2016, 218: 209—219.

## Design for pig breeding chamber under multiple environment variable control and analysis of internal flow field

Gao Yun<sup>1,2</sup>, Chen Zhenhan<sup>1,4</sup>, Wang Yu<sup>1</sup>, Li Xiaoping<sup>3</sup>, Guo Jiliang<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. The Cooperative Innovation Center for Sustainable Pig Production, Wuhan 430070, China; 3. College of Animal Science and Technology, HuaZhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 4. Jiangxi Osding Agri-machinery Co., Ltd., Nanchang 330115, China)

**Abstract:** In the context of the increasing importance on environmental control in large-scale pig farming operations, more attention is being given to the research on different environmental impacts on pig health. In order to conduct variable environments for pig health experiments, a pig breeding chamber under multiple environment variable control was designed in this paper for more precise environmental control experiments. The pig breeding chamber was composed of 4 parts, the main chamber, the air mixing box, the environmental regulation executing devices, and the environmental control system. The main chamber was the living space for experimental animals. The air mixing box was used to regulate the air variables, such as temperature, relative humidity, NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub> concentration, before the air entering the main chamber. The environmental regulation executing devices involved the fans, the air valves, the air conditioning compressor, the air heating pipe, the electromagnetic valve for NH<sub>3</sub>. Then the environmental control system read environment variables through sensors and controlled the working of all the environmental regulation executing devices to limit the environment variables in the main chamber in a setting range. Main ventilation mode of the pig breeding chamber was self-circulated. A fan working at the outlet built a negative pressure to exhaust the airflow entering the main chamber through the air mixing box and the ventilation pipe. The air flow entered the main chamber through three air inlets, dissipated in the chamber and then was exhausted from the outlet, thereby forming the air circulation. The air conditioning compressor and air heating pipe in the air mixing box could cool down or heat up the airflow respectively, and the electromagnetic valve for NH<sub>3</sub> gas could increase NH<sub>3</sub> concentration of the airflow. The exhaust air valve was working with the fresh air valve to reduce NH<sub>3</sub> concentration or CO<sub>2</sub> concentration in the chamber. The airflow in the main chamber was optimized previously by ANSYS flow field simulation. The environmental control system of the chamber was composed of environmental variable detection module, S7-200 PLC (Programmable Logical Controller), and host computer. The environment variable detection module sampled all the environmental data, such as temperature, relative humidity, air velocity, NH<sub>3</sub> concentration, and CO<sub>2</sub> concentration, and sent to a STM32 microcontroller every 2 seconds. The program embedded in STM32 integrated these data into one data packet and sent them to the S7-200 PLC through a serial port. The S7-200 PLC transferred the data to the host computer and simultaneously calculated out control instructions to control environmental regulation executing devices, limited the chamber's internal environments to a setting range. Besides, the manure pump and LED lights were also controlled by the PLC to realize automatic manure cleaning and lighting timing. The host computer realized dynamic and real-time display and storage of environmental data. The running states of the executing devices were showed on the screen through WinCC monitoring software. Three tests for the pig breeding chamber were conducted, including the smoke test for air flow field, an empty chamber test and a full-loaded chamber test. The smoke test of air flow field verified the airflow pattern, which was simulated by ANSYS previously. Result showed the smoke formed a circle in the main chamber and dissipated all through the chamber without leaving any dead space. The test in the empty chamber verified the function and performance of the control system. The results of the environmental test with animals loaded showed that the control precision of temperature was limited within  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , the relative humidity could be controlled within the pig comfortable range of 50%-80%, the oscillations of NH<sub>3</sub> concentration were limited less than  $\pm 3 \times 10^{-6}$  when the setting value of NH<sub>3</sub> concentration was  $10 \times 10^{-6}$ , and the concentration of CO<sub>2</sub> could be controlled below  $1\ 540 \times 10^{-6}$  basically, which was a standard for animal health. During the full-loaded experiment, which lasted for almost 3 weeks, temperature, relative humidity, NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations variables inside the chamber were accurately controlled. This shows the pig breeding chamber can provide an effective platform for more precise pig, especially nurseries, breeding experiments under variable environments and potentially helps improve the research method to reveal the relationship between pigs and their environments.

**Keywords:** environmental control; temperature; air velocity; pig building environment; ANSYS flow field simulation