



华中农业大学学报
Journal of Huazhong Agricultural University
ISSN 1000-2421, CN 42-1181/S

《华中农业大学学报》网络首发论文

题目： 仔猪喂奶系统设计与输送管道优化
作者： 吴壮壮，牛智有，刘梅英，刘静，李洪成
收稿日期： 2022-06-07
网络首发日期： 2023-03-10
引用格式： 吴壮壮，牛智有，刘梅英，刘静，李洪成. 仔猪喂奶系统设计与输送管道优化[J/OL]. 华中农业大学学报.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1181.S.20230309.1435.010.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

仔猪喂奶系统设计与输送管道优化

吴壮壮, 牛智有, 刘梅英, 刘静, 李洪成

华中农业大学工学院/农业农村部智慧养殖技术重点实验室, 武汉 430070

摘要 针对当前仔猪喂奶自动化水平程度较低、劳动强度较大、饲喂效率低下这一问题,设计一种仔猪喂奶系统,开发以PLC控制器为核心的自动控制系统,实现仔猪喂奶过程中加水、控温、搅拌和饲喂等操作的自动化控制,并应用CFD数值模拟探究管径、管道材质、入口温度和管道流速对奶水输送管道压力分布及温度分布的影响,依据仿真结果确定了输送管路的基础参数值,即管道材质为PPR材质、管径为6分管(外径25 mm,壁厚2.8 mm)和管道流速为0.8 m/s。性能试验表明:仔猪配奶罐温度控制精度的平均相对误差为0.91%,温度变化幅度保持在 $\pm 1^\circ\text{C}$;仔猪配奶罐温度控制稳定性试验的温度样本标准差为 0.2263°C ,变异系数为0.499%;仔猪饲喂点的温度分布范围在 $36\sim 45^\circ\text{C}$;仔猪喂奶器压力分布范围在 $28.36\sim 53.20\text{ kPa}$ 。研究结果表明,该仔猪喂奶系统可以正常实现供水、搅拌、加热、循环和排水等功能,各饲喂点的管道压力及温度分布均满足仔猪饲喂要求。

关键词 哺乳仔猪;喂奶系统;配奶罐;输送管道;CFD数值模拟;智慧养殖

中图分类号 S817.3

哺乳阶段是生猪生长过程中的关键环节,仔猪的存栏量、成活率不仅影响着生产者的经营效益,更影响到每个地区乃至国家猪肉的有效供给水平,提高仔猪的成活率是决定生猪养殖产业的经济效益和社会效益的关键指标^[1-3]。目前,由于生猪养殖中母猪产仔数量与母猪抚养能力不匹配、母猪泌乳障碍或泌乳量不足等原因,导致哺乳仔猪无奶或缺奶,造成仔猪成活率低、断奶体重小和均匀度差等健康问题比较普遍^[4-6]。因此,满足哺乳仔猪的营养摄取,及时喂奶或补奶是提高仔猪成活率的重要措施。

传统的哺乳仔猪喂奶方法主要包括人工喂奶、寄养或并养等,虽然缓解了哺乳仔猪营养摄取不足的问题,但是仍然存在一些不足之处^[7-8],比如人工喂奶劳动强度较大、饲喂效率低下,对仔猪的喂奶量及喂奶温度主要依靠饲养员的主观判断^[9];寄养时要求寄养母猪性情温顺、泌奶量高,哺育性能好等^[10]。国内外研究学者针对仔猪喂奶的问题研发了仔猪喂奶装置,俗称“奶妈机”,喂奶装置的出现改善了仔猪喝奶不足的问题,保证了哺乳仔猪对奶水的摄取^[11-12]。Mccallum等^[13]设计了一种自动饲喂奶嘴

装置,试验表明该自动喂奶乳头能够有效对仔猪进行饲喂。杨亮等^[14]设计了一种新型仔猪补奶机,在进行仔猪饲喂时,养殖人员仅需设定好喂奶次数和所需奶水浓度,仔猪补奶机便可自动运行。Partridge等^[15]研发了一款仔猪液态饲料自动饲喂器,相较于传统人工饲喂,能大幅提高饲喂效率。但是,当前的喂奶装置主要以半自动饲喂设备为主,仍存在一些不足之处,比如需要将已制备好的奶水倒入储奶装置中,无法控制奶水的温度^[16];不具备自动清洗的功能,自动化水平较低^[17];每次仅可饲喂几只或十几只仔猪,饲喂效率低下。

基于此,笔者在已有研究的基础上,设计了一种仔猪喂奶系统,并开发基于PLC为核心控制器的仔猪喂奶控制系统,以期实现仔猪喂奶过程自动化,为仔猪提供温度适宜、营养均衡、安全卫生的奶水,解决哺乳仔猪奶水供应不足的问题。

1 材料与方法

1.1 总体结构与工作原理

本研究参照GB/T 17824.1—2008《规模猪场建

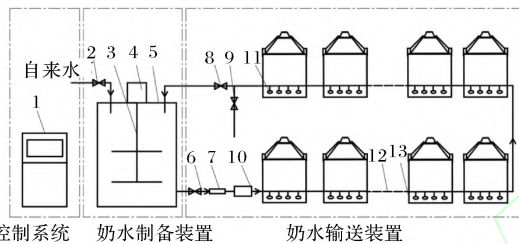
收稿日期: 2022-06-07

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(2662019PY065)

吴壮壮, E-mail: 32749010628@qq.com

通信作者: 刘梅英, E-mail: meiyong_liu@mail.hzau.edu.cn

设》要求,对某仔猪保育舍(猪舍长 18 m,跨度 4 m)进行了仔猪喂奶系统的总体设计,总共可放置 28 个仔猪保育箱,分 2 排摆放,每个仔猪保育箱饲喂 8 头哺乳仔猪,并配备 4 个仔猪喂奶碗。所设计的仔猪喂奶系统的总体结构如图 1 所示,主要包括控制柜、奶水制备装置和奶水输送装置。其中,控制柜由控制箱、触摸屏、PLC、中间继电器等元器件组成,主要用于饲喂参数的设置和工作状态的监控;奶水制备装置由供水电磁阀、仔猪配奶罐、搅拌器和搅拌电机等零部件组成,主要用于奶水的制备和承载;奶水输送装置由饲喂电磁阀、饲喂泵、喂奶器、输送管道、循环电磁阀和排水电磁阀等零部件组成,主要用于奶水的循环与输送。



1. 控制柜 Control cabinet; 2. 供水电磁阀 Water supply solenoid valve; 3. 搅拌器 Agitator; 4. 减速电机 Gear motor; 5. 仔猪配奶罐 Piglet milk jar; 6. 饲喂电磁阀 Feeding solenoid valve; 7. 过滤器 Filter; 8. 循环电磁阀 Circulating solenoid valve; 9. 排水电磁阀 Drain solenoid valve; 10. 饲喂泵 Feeding pump; 11. 喂奶器 Breast feeder; 12. 输送管道 Transmission pipeline; 13. 仔猪保育箱 Piglet conservation box.

图1 仔猪喂奶系统总体结构示意图

Fig.1 Overall structure diagram of piglet feeding system

仔猪喂奶系统具有 2 种工作模式:自动控制 and 手动控制。饲养员可以通过触摸屏选择不同的控制模式,在手动控制模式下,饲养员可以通过触摸屏上执行件所对应的按钮单独控制供水、搅拌、加热、循环和排水等操作;在自动控制模式下,饲养员只需要在触摸屏上完成相关参数的设置,系统便可依据所设定的参数自动完成供水、加热、搅拌和输送等操作。

1.2 仔猪奶水输送管道数值模拟与优化

仔猪奶水输送管道作为奶水输送装置的重要组成部分,其管道材质、管道流速、奶水入口温度、管径影响着管道内温度场分布和压力场分布,对仔猪喂奶器饲喂效率和喂奶温度也有着重要影响。因此,对奶水管道进行数值模拟优化,探究其管道材质、管道流速、入口温度、管径对管道内温度场分布和压力

场分布的影响规律,可为奶水输送装置的设计与优化提供理论指导和参考。

本研究在进行数值模拟时提出了以下假设:仅研究流经第 1 个保育箱至最后 1 个保育箱内的奶水输送管道,忽略管道末端返回配奶罐的连接管道;忽略喂奶器与管道连接处的压力损失;假设流体密度不变、不可压缩。

1) 物理模型构建。本研究选取流经第 1 个保育箱至最后 1 个保育箱内的奶水输送管道作为仿真对象,简化模型如图 2 所示。

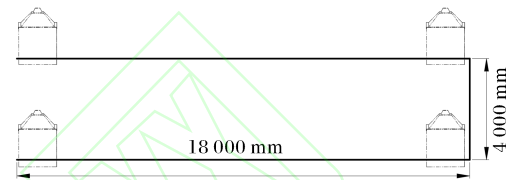


图2 奶水输送管路简化模型

Fig.2 Simulation model of milk conveying pipeline

2) 网格划分。采用网格划分软件 Mesh,选用六面体结构化网格对几何模型进行网格划分,并对流体域与壁面的接触面划分边界层,网格划分如图 3 所示。

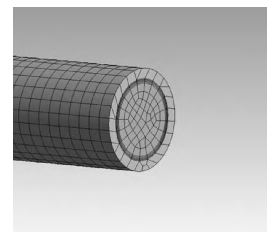


图3 奶水输送管道局部网格划分

Fig.3 Local mesh generation of milk delivery pipeline

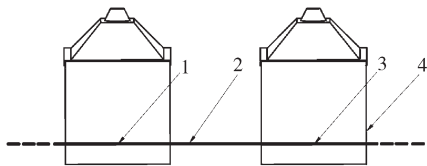
3) 模拟参数及边界条件设置。在稳态条件下采用速度入口、压力出口边界。流体域介质为奶水,奶水密度 $1\ 062\ \text{kg}/\text{m}^3$,粘度 $8\ \text{mPa}\cdot\text{s}$,比热容 $3.5\ \text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$,导热系数 $0.45\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。参考 GB/T 17824.3—2008《规模猪场环境参数及环境管理》要求,取恒温无滑移壁面 $20\ ^\circ\text{C}$ 。在进行模拟仿真时应确定流体的运动状态,流动状态可由公式(1)计算,当雷诺数 Re 小于 $2\ 300$ 时为层流,处于 $2\ 300\sim 4\ 000$ 时为过渡状态,大于 $4\ 000$ 为湍流流动。

$$Re = \frac{\rho v d_i}{\mu_a} \quad (1)$$

式(1)中, Re 为雷诺数, ρ 为密度, kg/m^3 ; v 为管道流速, m/s ; d_i 为管道内径, mm , μ_a 为流体动力粘度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。

4)模拟方法。分别设定管径为4分管(外径20 mm、壁厚2.3 mm)和6分管(外径25 mm、壁厚2.8 mm);管道材质为无规共聚聚丙烯(polypropylene random, PPR)和不锈钢材质;入口温度为40、45、50℃;管道流速为0.2、0.5和0.8 m/s。

此外,选取流经每个保育箱内的管道的中心点为监测点(共28个),分别对每个保育箱的压力和温度进行监测,监测点位置如图4所示。



1. 第1个监测点位置 Location of the first monitoring point; 2. 输送管道 Transmission pipeline; 3. 第2个监测点 Location of the second monitoring point; 4. 仔猪保育箱 Piglet conservation box

图4 管道监测点示意图

Fig.4 Schematic diagram of pipeline monitoring points

1.3 控制系统设计

1)硬件组成。仔猪喂奶控制系统硬件组成主要包括西门子S7-200smart、AE04模拟量输入模块、MCGS触摸屏模块、温度采集模块、继电器模块、开关电源、液位采集模块和电磁阀等器件,控制系统结构框架如图5所示。

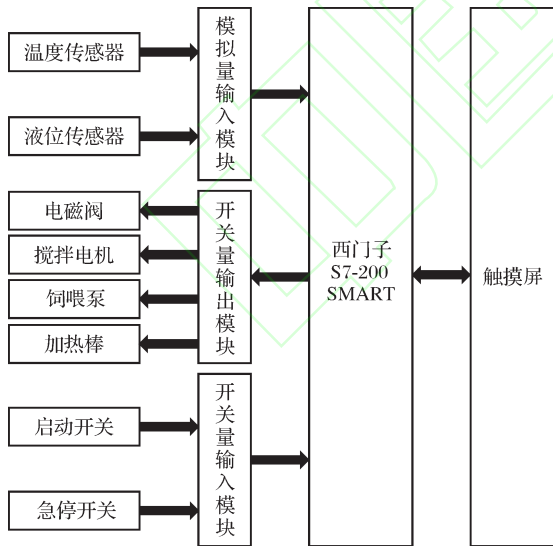


图5 控制系统结构框架

Fig.5 Structure framework of control system

2)软件设计。仔猪喂奶控制系统以PLC为核心控制器,通过PLC对触摸屏、传感器等输入信息的采集和判断,控制各执行部件的启停,进而达到供水、加热、搅拌、循环和排水的功能。并利用MCGS设计

了人机交互界面,使仔猪饲喂过程可视化,方便了对仔猪饲喂的管理。其中,自动饲喂是仔猪喂奶控制的核心功能,其控制流程如图6所示。此外,为了保证对仔猪奶水温度的精准控制,应用了PID控制算法对温度调节。

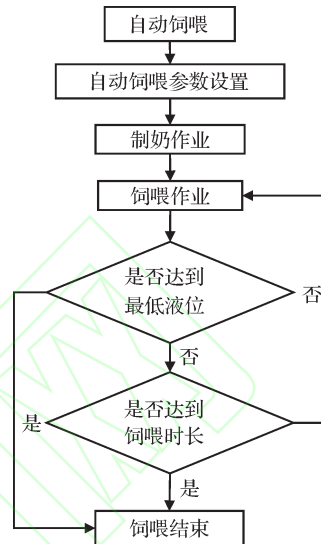


图6 自动饲喂流程图

Fig.6 Automatic feeding flow chart

1.4 仔猪喂奶系统性能试验

1)仔猪配奶罐温度控制精度试验。奶水温度不仅对奶水质量安全有一定的影响,还对猪生长发育有着重要影响,应当保证对温度的精准控制,防止过热或过冷。使用自来水与仔猪代乳粉(购自成都特驱农牧科技有限公司)按照质量比1:5配制奶水。利用仔猪喂奶系统的PT100温度传感器测定了仔猪配奶罐在设定温度为30、40、50和60℃时,所对应的仔猪配奶罐内最终稳定的实际温度。在进行温度测量时对仔猪配奶罐内的温度分别采集3次,取平均值作为实际温度。

2)仔猪配奶罐温度控制稳定性试验。在仔猪饲喂过程中,会造成一定的热量损失,致使循环到仔猪配奶罐内的奶水温度低于初始温度,所以应当保证仔猪配奶罐内的奶水能维持设定温度。因此,使用PT100温度传感器测定了仔猪配奶罐设定温度在45℃时,奶水温度随时间变化的稳定性,在试验中每隔3 min测定1次,测试时间为1 h。并以标准差和变异系数作为温度控制稳定性的评价指标^[18],标准差和变异系数的计算公式分别如式(2)和式(3)所示。

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum_{a=1}^n (x_a - \mu_e)^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$CV_a = \frac{\sigma_a}{\mu_e} \times 100\% \quad (3)$$

式(1)~(2)中, σ_a 为样本标准差, μ_e 为样本平均值, x_a 为样本数据, n 样本个数, CV_a 为变异系数。

3) 仔猪喂奶器温度分布测定。在进行仔猪饲喂时应保证奶水温度不能低于 32 °C。因此, 在仔猪配奶罐内的奶水温度设定在 45 °C 时, 使用 GIS-500 红外温度检测仪逐个对仔猪喂奶器的出奶温度进行测量, 每个测量点测量 3 次取平均值。

4) 仔猪喂奶器压力分布测定。在进行仔猪饲喂时应保证喂奶器出奶压力达到饲喂要求。根据仔猪喂奶器厂家提供的参考压力, 可将管道压力稳定在 100 kPa 以内供仔猪喂奶。因此, 使用 QDW90A-VD-S 数显式压力传感器对输送管道上的仔猪喂奶器的出奶水压进行逐一测量, 并记录。

2 结果及分析

2.1 数值模拟结果

1) 管径对管道压力及温度分布的影响。在管道材质为 PPR、管道流速为 0.8 m/s、入口温度为 45 °C 时, 管径对管道压力及温度分布的影响如图 7 所示。由图 7A 可知, 管径对管道内压力分布影响较大, 入口与出口的压损分别为 18.46、11.18 kPa, 4 分管明显比 6 分管压力损失更多, 且 4 分管内压力波动梯度较大, 压力分布不均匀, 在实际操作中应当保证管道内压力分布波动较小, 因此 4 分管不利于仔猪饲喂。由图 7B 可知, 管径对管道内温度分布有一定的影响, 不同入口温度入口与出口的温度损失分别为 8.33、8.97 °C, 入口与出口的温差相差不大。总体看来, 6 分管相对 4 分管压力分布相对均匀, 温度损失相对较少, 因此可选用 6 分管作为仔猪喂奶系统的输送管道。

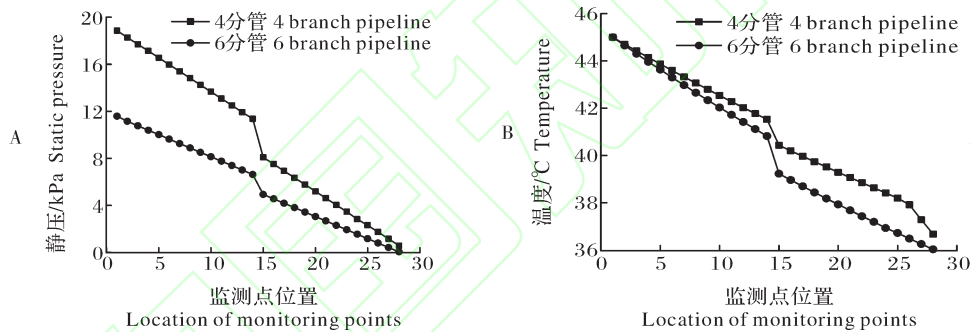


图7 不同管径对管道压力(A)及温度(B)分布的影响

Fig.7 Influence of different pipe diameters on pipeline pressure(A) and temperature(B) distribution

2) 管道材质对管道压力及温度分布的影响。在管径为 6 分管、入口温度为 45 °C、管道流速为 0.8 m/s 时, 管道材质对管道压力及温度分布的影响如图 8 所示。由图 8A 可知, 管道材质对管道压力分布没有影响。由图 8B 可知, 管道材质对管道温度分布有较大

影响, 不同管道材质入口与出口的温度损失分别为 9.35、25 °C, PPR 材质热量损失明显低于不锈钢材质, 究其原因是因为 PPR 的导热系数远远小于不锈钢材质的导热系数。总体来看, PPR 材质更适用于仔猪喂奶系统。

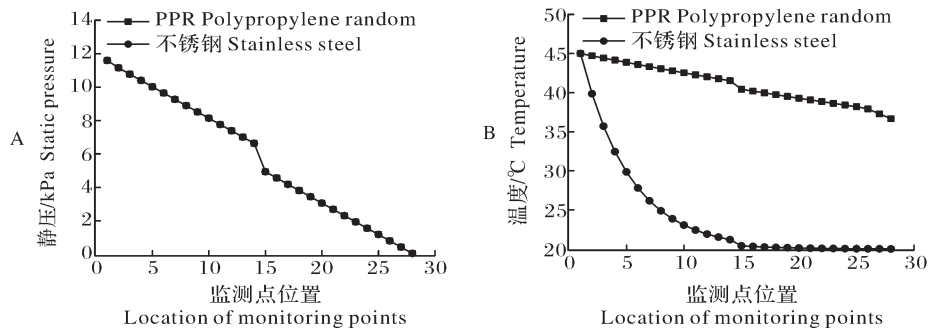


图8 不同管道材质对管道压力(A)及温度分布(B)的影响

Fig.8 Effects of different pipe materials on pipe pressure(A) and temperature(B) distribution

3)入口温度对管道压力及温度分布的影响。在管径为6分管、管道材质为PPR、管道流速为0.8 m/s时,入口温度对管道压力及温度分布的影响如图9所示。由图9A可知,入口温度对管道内压力分布没有影响。由图9B可知,入口温度对管道内温度分布有较大的影响,不同入口温度入口与出口的温度损失分别为8.33、24.98 °C,这表明入口温度越大,温度损失越大,但是管道内平均温度提高。因此,在进行仔猪饲喂时,应根据实际情况合理设置饲喂温度,避免导致仔猪饮用到温度不适宜的奶水。

4)管道流速对管道压力及温度分布的影响。在管径为6分管、管道材质为PPR、入口温度为45 °C

时,管道流速对管道压力及温度分布的影响如图10所示。由图10A可知,管道流速对管道压力分布有较大影响,不同入口速度下入口与出口压降分别为20.36、11.18、4.52 kPa,入口速度越大管道内平均压力越大,管道压力损失越大,压力分布越不均匀,压力梯度波动越大。由图10B可知,不同入口速度下入口与出口温差分别为4.94、8.33、14.07 °C,这表明入口速度越大温度分布越均匀,温度变化梯度越小,温差越小。总体看来,管道流速为0.8 m/s时,虽然管道内压力损失较大,但是温度损失少,加快了奶水的循环,保证了仔猪都可以饮用到温度适宜的奶水,因此,可以选用管道流速为0.8 m/s作为奶水输送管道的基本参数。

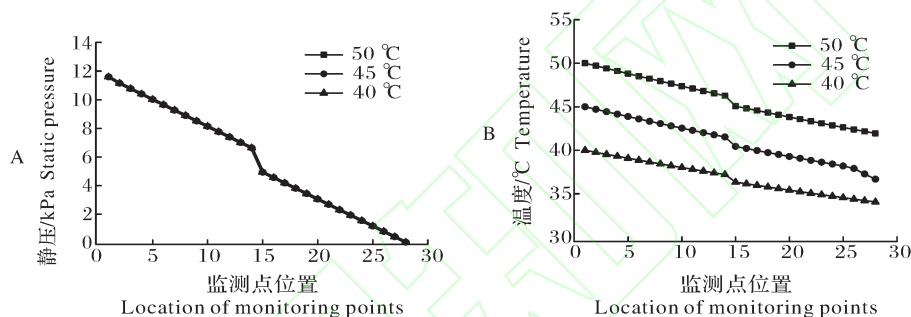


图9 不同入口温度对管道压力(A)及温度(B)分布的影响

Fig.9 Effects of different inlet temperatures on pipeline pressure(A) and temperature(B) distribution

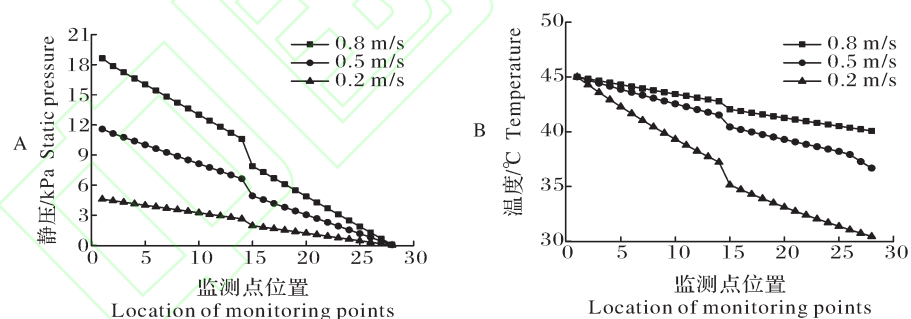


图10 不同管道流速对管道压力(A)及温度(B)分布的影响

Fig.10 Effects of different pipeline flow rates on pipeline pressure(A) and temperature(B) distribution

综上可知,管道材质和入口温度对管道压力分布没有影响,管径和管道流速对压力分布有影响,管径越大,压力场分布越均匀,压力损失越小,管道流速越大,压力分布越不均匀,压力损失越大。管道材质、入口温度、管径和管道流速均对管道温度分布有较大影响。PPR材质导热系数小,保温性能远远高于不锈钢材质。4分管温度分布优于6分管,但两者温度损失相差不大。入口温度越大,管道内平均温度越大,温度损失越多。管道流速越大,温度分布越

均匀,温度损失越小。综合考虑影响因素对管道压力分布和温度分布的影响,最终选用管道材质为PPR材质、管径为6分管(外径25 mm、壁厚2.8 mm)和管道流速为0.8m/s作为奶水输送管道的基本参数,并根据仿真结果选用了BAW1-10卫生级离心泵为奶水输送装置的动力源。

2.2 性能试验结果

1)仔猪配奶罐温度控制精度。温度控制精度试验结果如表1所示。通过分析比较可知,温度控制的

相对误差较小,总平均相对误差为0.91%,温度变化幅度在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 范围内,这表明仔猪喂奶系统温度控制精度较好,符合设计要求。

表1 仔猪配奶罐温度控制精度试验结果
Table 1 Test results of temperature control accuracy of piglet milk tank

项目 Items	实际温度/ $^\circ\text{C}$ Actual temperature			
	30	40	50	60
测试1 Test 1	30.39	40.26	50.26	60.54
测试2 Test 2	30.42	40.31	50.32	60.62
测试3 Test 3	30.40	40.44	50.24	60.48
平均值 Average value	30.40	40.34	50.27	60.55
相对误差/% Relative error	1.33	0.85	0.54	0.92

2)仔猪配奶罐温度控制稳定性结果。由图11可知,仔猪配奶罐内奶水温度样本的标准差为 0.2263°C ,变异系数为0.499%,奶水温度的标准差和变异系数较小,这表明仔猪喂奶系统温度控制稳定性较好,符合设计要求。

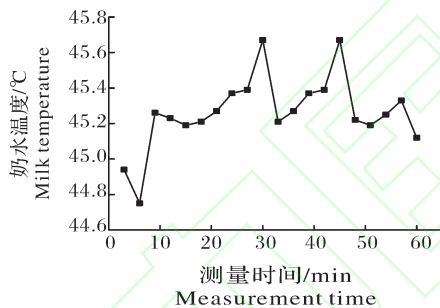


图11 仔猪配奶罐奶水温度测量数据

Fig.11 Measurement data of milk temperature in piglet milk tank

3)仔猪喂奶器温度分布测定结果。试验测定了28个仔猪饲喂点的温度数据,其结果如图12A所示。由图12A可知,仔猪饲喂点的温度范围在 $36\sim 45^\circ\text{C}$,符合仔猪饲喂要求。但是整体看来温度损失相对较大,这是因为在实际饲喂中奶水经过电磁阀、过滤器、水泵及其之间的管道时造成了热量损失,使温度下降。因此,在实际饲喂中,可采取对管路增加保温层等措施,以降低奶水输送中的热量损失。

4)仔猪喂奶器压力分布测定结果。通过试验对喂奶器进行压力测定,试验结果如图12B所示。由图12B可知,管道压力分布范围为 $28.36\sim 53.20\text{ kPa}$,管道压力分布满足仔猪喂奶器的工作压力范围,可

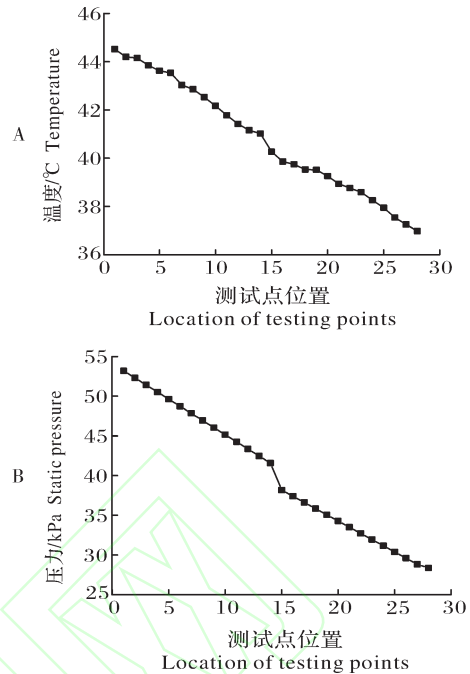


图12 出奶温度分布测定(A)及出奶压力分布测定(B)

Fig.12 Determination of milk temperature distribution(A) and measurement of milk outlet pressure distribution(B)

以实现仔猪的正常饲喂。在实际饲喂中,可以采取使管路末端管道变径等措施,以提高管路末端压力,进而提高管道压力分布的均匀性。

3 讨论

为了提高仔猪喂奶的自动化水平、降低劳动强度、提高饲喂效率,本研究设计了1种仔猪喂奶系统,开发了以PLC为核心的自动控制系统,实现了仔猪喂奶过程的自动化控制。应用CFD数值模拟探究了管径、管道材质、入口温度和管道流速对奶水输送管道压力场及温度场的影响规律,确定了输送管道材质为PPR材质、管径为6分管(外径25 mm、壁厚2.8 mm)和管道流速为 0.8 m/s 作为奶水输送管道的基本参数。

利用制作完成的仔猪喂奶系统样机,分别开展了仔猪配奶罐温度控制精度试验、仔猪配奶罐温度控制稳定性试验、仔猪喂奶器温度分布测定试验和仔猪喂奶器压力分布测定试验。温度控制精度的平均相对误差为0.91%,温度变化幅度保持在 $\pm 1^\circ\text{C}$,温度控制精度较好;温度控制稳定性试验的温度样本标准差为 0.2263°C ,变异系数为0.499%,温度控制稳定性较好;设定饲喂温度在 45°C 时,仔猪饲喂点的温度分布范围在 $36\sim 45^\circ\text{C}$,满足仔猪饲喂温度要求;

仔猪喂奶器压力分布范围在 28.36~53.20 kPa, 各饲喂点的管道压力均满足仔猪饲喂要求。

本研究设计的仔猪喂奶系统可以满足哺乳仔猪的饲喂需求, 减轻仔猪饲养强度, 对提高仔猪喂奶自动化水平和饲养管理水平具有重要的现实意义和推广应用前景。本研究设计的仔猪喂奶系统仅能实现仔猪保育舍群体仔猪的定时定量饲喂, 无法实现对个体仔猪的精准饲喂, 在后续的研究中应结合个体标识和智能传感器等技术实现对个体或群体仔猪的智能饲喂, 便于管理者随时了解仔猪饲喂情况, 高效制定管理决策, 提高仔猪智能精细化管理水平。

参考文献 References

- [1] 于虹, 戴香华, 崔超. 里岔黑猪哺乳仔猪饲养管理技术[J]. 猪业科学, 2021, 38(6): 124-125. YU H, DAI X H, CUI C. Feeding and management techniques for suckling piglets of Licha black pig[J]. Swine industry science, 2021, 38(6): 124-125 (in Chinese with English abstract).
- [2] 柳岩. 规模猪场哺乳仔猪管理和保健措施[J]. 山东畜牧兽医, 2017, 38(3): 77. LIU Y. Management and health care measures of suckling piglets in large-scale pig farms[J]. Shandong journal of animal science and veterinary medicine, 2017, 38(3): 77 (in Chinese with English abstract).
- [3] 吴壮壮, 牛智有, 刘梅英, 等. 基于响应面法的仔猪配奶罐搅拌机数值模拟与优化[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(1): 248-257. WU Z Z, NIU Z Y, LIU M Y, et al. Numerical simulation and optimization of stirrer in piglet milk tank based on response surface method[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2023, 42(1): 248-257 (in Chinese with English abstract).
- [4] 韩若婵, 左玉柱, 赛力克·巴合达吾列提, 等. 仔猪肠道免疫与肠道健康[J]. 猪业科学, 2020, 37(5): 52-55. HAN R C, ZUO Y Z, SERK B, et al. Intestinal immunity and intestinal health of piglets[J]. Swine industry science, 2020, 37(5): 52-55 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王佳. 哺乳仔猪的生理特点与饲养管理技术[J]. 中国畜牧业, 2022(17): 63-64. WANG J. Physiological characteristics and feeding management techniques of suckling piglets[J]. China animal industry, 2022(17): 63-64 (in Chinese).
- [6] 宋美玲, 张济福, 崔超. 提高里岔黑猪哺乳仔猪成活率的技术要点[J]. 猪业科学, 2019, 36(6): 134-135. SONG M L, ZHANG J F, CUI C. Technical points of improving survival rate of suckling piglets of Licha black pig[J]. Swine industry science, 2019, 36(6): 134-135 (in Chinese with English abstract).
- [7] 赵祖凤. 提高仔猪断奶窝重的饲养管理措施[J]. 畜禽业, 2019, 30(10): 39. ZHAO Z F. Feeding management measures for increasing weaning litter weight of piglets[J]. Livestock and poultry industry, 2019, 30(10): 39 (in Chinese with English abstract).
- [8] 孙素声. 仔猪饲养管理技术[J]. 农业开发与装备, 2019(8): 226. SUN S S. Feeding and management techniques of piglets[J]. Agricultural development & equipments, 2019(8): 226 (in Chinese with English abstract).
- [9] 时佰勇, 刘纪玉, 任夫波, 等. 一种哺乳仔猪喂奶器: CN210168721U [P]. 2020-03-24. SHI B Y, LIU J Y, REN F B, et al. A feeding device for suckling piglets: CN210168721U [P]. 2020-03-24 (in Chinese).
- [10] 胡月超, 辛英霞. 如何养好哺乳仔猪[J]. 中国畜禽种业, 2006, 2(4): 10-11. HU Y C, XIN Y X. How to raise suckling piglets well[J]. The Chinese livestock and poultry breeding, 2006, 2(4): 10-11 (in Chinese with English abstract).
- [11] 胡新军. 提高哺乳仔猪成活率的综合技术措施[J]. 畜禽业, 2019, 30(6): 16, 18. HU X J. Comprehensive technical measures to improve the survival rate of suckling piglets[J]. Livestock and poultry industry, 2019, 30(6): 16, 18 (in Chinese with English abstract).
- [12] 王立男. 仔猪饲养管理过程中提高成活率的方法[J]. 现代畜牧科技, 2019(6): 23-24. WANG L N. Methods of improving survival rate in piglet feeding and management[J]. Modern animal husbandry science & technology, 2019(6): 23-24 (in Chinese with English abstract).
- [13] MCCALLUM I M, OWEN B D, FARMER M J. An automated nipple feeding system for artificially rearing colostrum-deprived neonatal piglets[J]. Canadian journal of animal science, 1977, 57(3): 489-493.
- [14] 杨亮, 裴孟侠, 肖强, 等. 新型仔猪补奶机的研制[J]. 现代农业装备, 2019, 40(6): 28-33. YANG L, PEI M X, XIAO Q, et al. Research on a new type milk machine for piglet[J]. Modern agricultural equipment, 2019, 40(6): 28-33 (in Chinese with English abstract).
- [15] PARTRIDGE G G, FISHER J, GREGORY H, et al. Automated wet feeding of weaner pigs versus conventional dry diet feeding-effects on growth rate and feed consumption[J/OL]. Proceedings of the British society of animal production (1972), 2017, 1992: 136. <https://www.researchgate.net/.doi:10.1017/S0308229600022479>.
- [16] 欧淑姬, 周波, 李智, 等. 仔猪喂奶装置: CN206932964U [P]. 2018-01-30. OU S J, ZHOU B, LI Z, et al. Milk feeding device for piglets: CN206932964U [P]. 2018-01-30 (in Chinese).
- [17] 杨磊. 羔羊自动喂奶装置的设计研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019. YANG L. Study on the design of automatic feeding device for lambs[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019 (in Chinese with English abstract).
- [18] 戚江涛, 蒙贺伟, 坎杂, 等. 犊牛饲喂常乳加工与供给系统设计与试验[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(5): 177-180. QI J T,

MENG H W, KAN Z, et al. Design and experiment of processing and feeding system of calf feeding regular milk[J]. Jiangsu agri-

cultural sciences, 2018, 46(5): 177-180 (in Chinese with English abstract).

Design and experiment of piglet feeding system and transmission pipeline optimization

WU Zhuangzhuang, NIU Zhiyou, LIU Meiyong, LIU Jing, LI Hongcheng

College of Engineering, Huazhong Agricultural University/Ministry of Agriculture and Rural Affairs Key Laboratory of Smart Farming for Agricultural Animals, Wuhan 430070, China

Abstract Aiming at the problems of low automation level, high labor intensity and low feeding efficiency of piglet feeding, a piglet feeding system was designed, and an automatic control system with PLC controller as the core was developed to realize the automatic control of water addition, temperature control, stirring and feeding in the process of piglet feeding. The effects of pipe diameter, pipe material, inlet temperature and pipe flow rate on the pressure distribution and temperature distribution of milk water pipeline were investigated by CFD numerical simulation. Based on the simulation results, the basic parameters of the pipeline were determined, namely, the pipe material was PPR material, the pipe diameter was 6 branch pipeline (external diameter was 25 mm, wall thickness was 2.8 mm) and the pipe flow rate was 0.8 m/s. The performance test showed that the average relative error of the temperature control accuracy of the piglet milk jar was 0.91%, and the temperature variation was maintained at $\pm 1^\circ\text{C}$. The standard deviation of temperature sample was $0.226\ 3^\circ\text{C}$, and the coefficient of variation was 0.499%; the temperature range of piglets feeding point was 36-45 $^\circ\text{C}$; the pressure distribution of piglet feeder ranged was 28.36-53.20 kPa. The results showed that the piglet feeding system could normally realize the functions of water supply, stirring, heating, circulation and drainage. The pipe pressure and temperature distribution at each feeding point met the requirements of piglet feeding. This study has important practical significance and application prospect for improving the level of feeding automation and feeding management of piglets.

Keywords suckling piglet; feeding system; milk preparation tank; transmission pipeline; CFD numerical simulation; smart farming

(责任编辑:陆文昌)