

气调包装机气体置换结构优化与内部三维流场模拟

鱼灏, 瞿前进, 康宁波*

(宁夏大学 食品与葡萄酒学院, 银川 750021)

摘要: **目的** 针对现有的气体置换装置存在工作过程中气体置换精度不高、置换率低、内部流场复杂紊乱等问题, 对 DF-520 型气调包装机气体置换装置结构进行了改进以及内部流场数值模拟。**方法** 运用 FLUENT 软件在进口压力为 20 kPa, 混配 O₂ 体积分数为 2%、CO₂ 体积分数为 28%、N₂ 体积分数为 70% 的边界条件下对新旧 2 种换气装置进行数值模拟和对比分析, 进一步通过样机试验对比分析 2 种模型的气体置换率和气体置换精度。**结果** 数值模拟结果表明, 与旧构型相比, 新构型置换腔内部气体流速较平均、强流区面积小、漩涡区少、气体流向一致性高、气体置换速度快; 样机试验结果表明, 新旧构型气体置换装置平均气体置换率分别为 99.2% 和 95.6%, 新构型目标气体体积分数标准差、平均相对偏差以及变异系数更小。**结论** 本研究表明, 优化后的气体置换装置气流分布更稳定, 置换精度达到设计要求, 工作效率更高, 适用于气调包装机的包装工作, 能为后续研究提供思路。

关键词: 气体置换装置; 数值模拟; 气流场; 试验; 气调包装机

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)17-0174-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.17.021

Structural Optimization and Internal 3D Flow Field Simulation of Gas Displacement in MAP Machine

YU Hao, QU Qian-jin, KANG Ning-bo*

(School of Food & Wine, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the structure of the gas replacement device in DF-520 MAP machine and conduct internal flow field simulation to solve the problems of low accuracy and replacement rate and disordered internal flow field in operation of existing gas replacement device. The FLUENT software was used to make numerical simulation and comparative analysis for old and new gas replacement devices with boundary conditions of 20 kPa inlet pressure and gas mixture ratio of 2% O₂, 28% CO₂ and 70% N₂. Subsequently, the accuracy and replacement rate of two models were compared via prototyping test. Numerical simulation results indicated that compared with old configuration, the replacement chamber of new configuration had relatively even gas flow rate, smaller strong current and vortex area, high-consistency gas flow direction and rapid gas replacement speed. Prototype test results showed that the average gas replacement rates of new and old configurations were 99.2% and 95.6%, respectively. Meanwhile, for new configuration, the standard deviation, average relative deviation and coefficient of target gas concentration ration were smaller than those of the old configuration. The optimized gas replacement device has more stable gas flow distribution and higher efficiency, with replacement accuracy meeting the design requirements and it is suitable for packaging processing and can provide a theoretical reference for further research.

KEY WORDS: gas replacement device; numerical simulation; airflow field; experiment; modified atmosphere packaging machine

收稿日期: 2022-12-16

基金项目: 宁夏自然科学基金项目 (2022AAC03022); 宁夏回族自治区重点研发 (引才专项) 项目 (2020BEB04025)

气调包装技术 (Modified Atmosphere Packaging, MAP) 是一种将食品包装内的空气按合适比例置换为 O_2 、 CO_2 、 N_2 等气体, 在包装内形成理想气体环境, 降低果蔬呼吸强度, 延缓果蔬衰老, 从而延长食品货架期的包装技术。近年来, 气调包装技术广泛应用于食品保鲜与贮藏领域^[1-5]。气调包装机是将该技术应用于实践的直接工具, 气调包装机的性能决定了气调技术的应用高度^[6-7]。

气调包装机主要由气体置换装置、气体混配系统、包装输送机构等组成^[8]。气体置换装置是整机的核心部件, 其作用是将包装内的空气抽出, 并充入混合后的保护气体^[9-11]。现有的气体置换装置主要分为真空充气式和气体冲洗式^[12-13]。真空充气式是先将包装容器内部的空气抽出, 然后充入混合保护气体, 随后进行热封裁剪等流程, 此种方法应用范围广, 但工作效率略低; 气体冲洗式是用混合保护气将包装容器内的空气驱除, 然后封装, 该方法生产效率高, 但置换精度一般。彭群英等^[14]设计了一种新型气体置换装置, 设计以真空罩与下模具组合成真空室, 在包装盒上下 2 个表面同时进行抽气后同时送气, 工作性能良好, 提高了工作效率。黄小林等^[15]设计了新型袋式气调包装机, 针对袋式气调包装机气体置换率低的问题, 使用气管连接器实现了边抽气边送气。选用 3 组伺服系统, 精准控制物料输送速度、膜输送速度和横封器横封速度。陈秀等^[16]对枕形袋式气调包装机气体置换过程三维流程进行了模拟, 得出了优于传统构型的新型气体置换装置。气体置换装置性能对整机的置换精度以及最后的产品质量都有决定性的影响。朱明杰等^[17]设计了一种冲洗式方便食品自动气调保鲜装置, 利用高压进气管道对食品罐进行气体置换, 此方法不适用于盒式包装。周维兵等^[18]研制了一款气调保鲜包装机, 采用保鲜气体驱逐空气的方法实现气调包装, 有效提高了生产效率, 降低了保鲜气体的损耗。

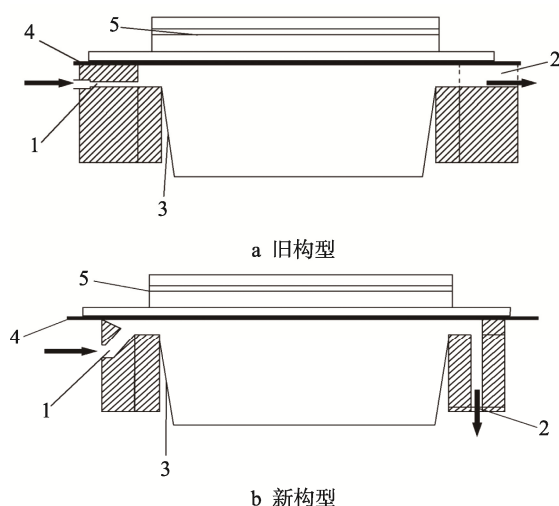
本研究选择冲洗式气调包装机为研究对象, 对其气体置换装置进行结构优化设计, 建立现有构型和优化构型的三维模型。使用 CFD 软件对其内部流场情况进行数值模拟, 比较现有结构和新结构的相关性能, 并进行样机试验, 进一步验证优化后气体置换装置的可使用性。

1 气体置换装置的结构优化

以 DF-520 型盒式气调包装机为载体, 该型号机气体置换方式为气体冲洗式。图 1a 为现有的气体置换装置的构型。由图 1a 可知, 旧构型进气口前端为一圆形接口, 末端接触包装盒一侧为缝隙状, 出气口为 3 条齿状通道。混配气体从进气口进入包装内,

将包装内的空气从出气通道推出包装盒。此种方法进气缝隙和出气通道处于包装膜顶端左右两侧, 且与包装膜平行安装, 会造成混配气体流速不均匀, 盒上部空气流速高, 底部流速低, 盒底部的空气不能被充分置换。

本文对现有气体置换装置进行了优化设计。在新构型 (图 1b) 左端顶部使用斜向上, 整齐排列的圆孔替代缝隙作为进气口, 在装置右端底部钻取均匀排列的圆孔作为出气口。混配气体从充气口斜向上进入置换腔体, 在与包装膜的作用下, 气体向盒内反射, 有利于对盒底部空气进行驱逐。进、出气口置于不同水平面, 避免了同一水平面下气流更倾向于“直来直去”, 减少了射入气体的损耗量。



1. 进气缝 (口); 2. 出气口; 3. 包装盒; 4. 薄膜; 5. 裁剪装置。

图 1 气体置换装置

Fig.1 Gas replacement device

2 气体置换装置 CFD 数值模拟

通过 Solidworks 建立 2 种气体置换装置的三维模型, 如图 2 所示, 由进气口、置换腔体、出气口组成。旧模型进气口直径为 8 mm, 进气缝规格为 80 mm×2 mm×2.5 mm, 出气口为 3 块大小为 21 mm×5 mm×7 mm 齿状出气口; 新模型进/出气口直径均为 5 mm, 进气口倾斜角度为 45°, 两模型置换腔体尺寸均为 140 mm×140 mm×45 mm。研究对象为模型内的气体流动情况, 忽略实际包装过程中包装膜的膨胀过程, 假设包装膜为壁面, 膜与盒之间的间隙加在分析模型的纵向高度上, 气体流动空间视为一固定形状。将建立好的模型导入 FLUENT 软件中进行处理, 采用四面体非结构网格对建立好的模型进行网格划分, 平均网格质量为 0.8、网格尺寸为 3 mm、网格偏度小于 0.9。添加 O_2 体积分数变化报告。

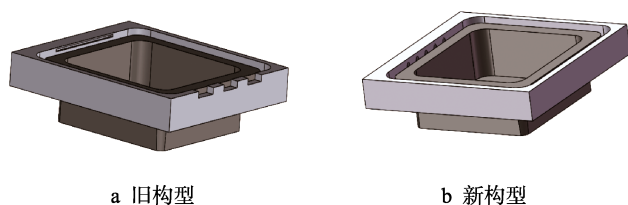


图2 气体置换装置分析模型
Fig.2 Analytical model of gas replacement device

2种构型均采用相同的边界条件,根据设备实际工况,气体置换方式为冲洗式,进出气口边界条件:进口压力为20 kPa、出口压力为环境压力、边界温度为300 K。进口气体设定为混配好的气体(O_2 (2%)、 CO_2 (28%)、 N_2 (70%)),置换腔内初始气体为空气,忽略外界温度影响,壁面绝热。气体置换装置的模型做出几个假设:假设腔内空气为不可压缩气体;壁面温度平均恒定;忽略气体流动过程中的热量辐射、传导和耗散。在以上前提下,计算模型采用 Realizable $k-\varepsilon$ 模型,求解方法为 SIMPLE,残差为0.001,最后增设 O_2 时间-浓度变化报告。

计算完成后,对流场模型进行后处理。分别在 xy 和 yz 平面设定2个监控面,通过观察各个监控面气体流速矢量图,直接对比新旧两构型的气体流动和分布状况。将得到的 O_2 时间-浓度变化报告绘制成折线图,观察对比两构型气体置换率和置换速度。

2.1 数值模拟结果分析

数值模拟得到的各截面气流速度分布如图3所示。由图3可知,旧构型气体置换装置在 xy 截面上,混配气体经接头流动至“出气缝”,在缝隙两端的空空间最狭小,气流到此处时压力变大,同时在壁面的反射作用下,气流会形成2股向腔体内反方向的强射流,两股强射流在腔体中部汇合成一主气流向出气口流动。 yz 截面上,中间部分存在一强流区,原因是2股强射流的碰撞时,碰撞处附近形成一个气流汇集区,该区域内气流流速高,碰撞后气流会朝向底部低压区方向散射,因此在该截面内形成一强流区。旧构型气体置换装置由于2股强射流的存在与碰撞,造成腔体内气体流向更复杂,同向性较差,形成了更多不规律的回流漩涡区,不利于气体置换。

图4为新构型气体置换装置的气流分布情况。在 xy 截面上,由于进气口变为5组平均排列的圆孔,形成了多股流速较快的射流,使得该截面中部约三分之二的区域内,气流流向稳定流速较平均,流向趋势一致。在远离进气口的位置,由于流速降低和壁面反射,形成了部分小面积的漩涡区。 yz 截面上,经顶部薄膜的反射作用,主要气流会向腔体底部进行流动,有利

于对腔体底部原有气体进行搅动和置换。部分气体经出气口下方壁面折射在底部形成回流,有利于对底部原有气体进行向上干扰,有利于汇入主流进行置换。由于远离进气口和出气口下壁面反射区,进气口下方底部区域形成一处较明显的漩涡区。该截面气体流动方向相对趋于一致,强流区主要集中在进气口以及腔体顶部区域,腔体内部气体流速和流向更加平均,气体置换效果更加稳定。

总结对比2种构型气流分布可得,旧构型装置产生的回流漩涡更多,气流在腔体内流动更凌乱复杂,对气体置换效率有更大影响,较大面积的强流区出现可能会引起实际包装时薄膜与包装盒受压过高而导致泄气、破损以及膨胀变形。新构型装置产生的回流区域面积较小,数量较少,气体流动方向相对趋于一致,流速更加平稳。因此,优化后的新构型气体置换装置的置换效果较优。

进一步分析两构型的气体置换速度(图5)可知,混合气体充入后(仅含有2%的 O_2),2种构型腔体内的空气中 O_2 体积分数逐渐减小至目标占比。由图5可知,新构型的置换速度大于旧构型的置换速度,旧构型气体置换装置在1.2 s时达到目标浓度趋于平稳,而新构型需要0.8 s。由此可知,2种构型达到相同的目标浓度时,旧构型对混配气体的需求量可能也会更大,成本更高。

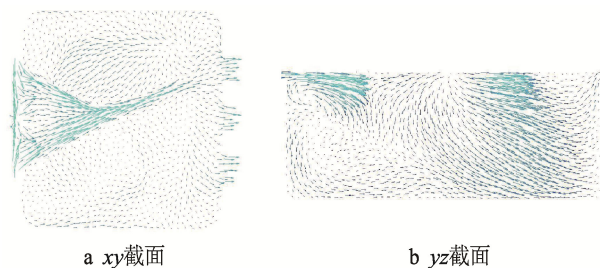


图3 旧构型内部气体流动情况示意图
Fig.3 Vector diagram of gas flow in old configuration

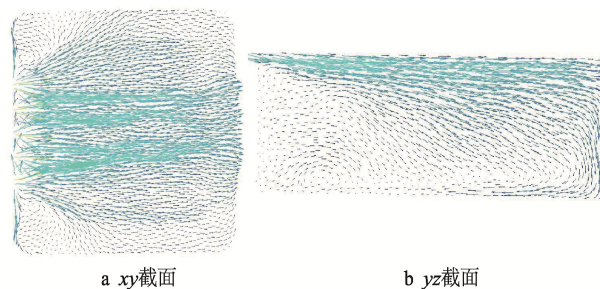


图4 新构型内部气体流动情况
Fig.4 Vector diagram of gas flow in new configuration

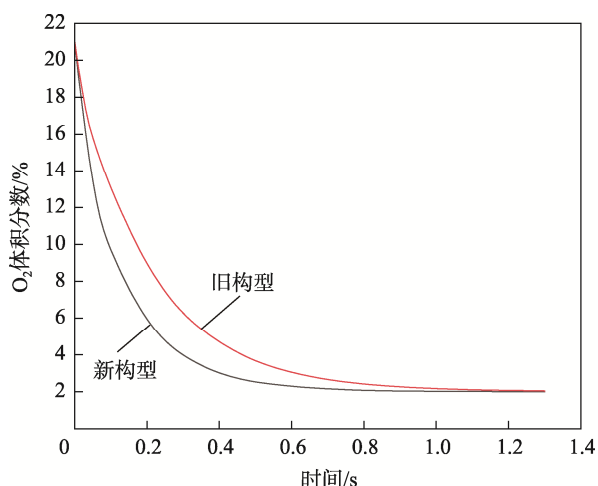


图 5 两构型内 O₂ 体积分数的变化
Fig.5 Schematic diagram of O₂ content change in two configurations

2.2 置入果蔬模型的模拟

在 2 种构型置换装置内中加入果蔬模型。根据本课题组先前研究气调包装对鲜切马铃薯的情况, 假设装置内果蔬为直径 50~70 mm、厚度 5 mm 的鲜切马铃薯, 共 5 片, 如图 6 所示。采用与前一节相同的条件进行仿真模拟。

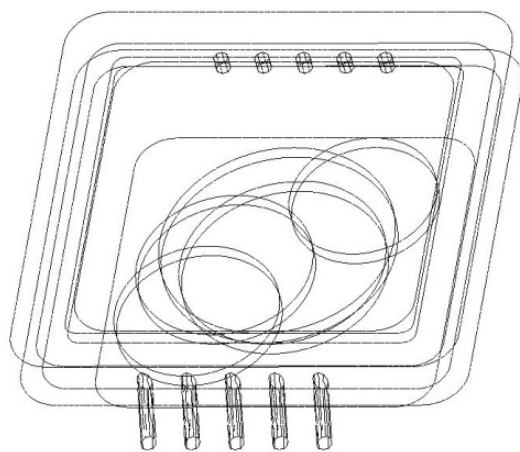


图 6 果蔬模拟模型
Fig.6 Schematic diagram of the fruit and vegetable simulation model

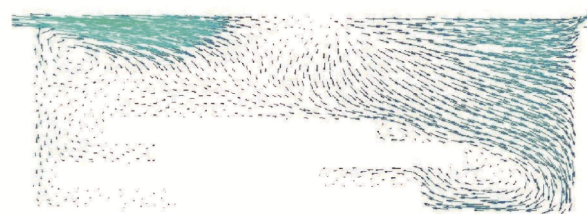
图 7 为 2 种果蔬模型 yz 截面的气流流动情况。加入马铃薯模型后, 对气流流动的影响是显著的, 盒内出现更多小型漩涡, 气流均匀性变差, 紊乱性增强。使用式 (1) 对 2 种模型气体置换率进行计算:

$$\eta = \frac{C'_n - C_i}{C'_n - C_n} \times 100\% \quad (1)$$

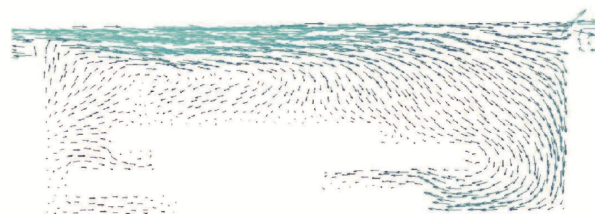
式中: C_i 为不同时间目标体积分数, %; C'_n 为空气中目标体积分数, %; C_n 为目标气体体积分数, %。

气体置换率 (图 8) 表明 2 种果蔬模型都能够实

现预设的置换浓度, 但由于果蔬的存在, 盒内空间形成更多小面积间隙, 使得气流阻力增大, 不利于流动, 需要消耗更多的充气时间来趋于稳定。整个过程内新的果蔬模型的气体置换率始终高于旧的果蔬模型的。说明新的构型耗费气体量低, 可以更快地完成气体置换。



a 旧的果蔬模型



b 新的果蔬模型

图 7 果蔬模型气体流动情况
Fig.7 Vector diagram of gas flow in fruit and vegetable model

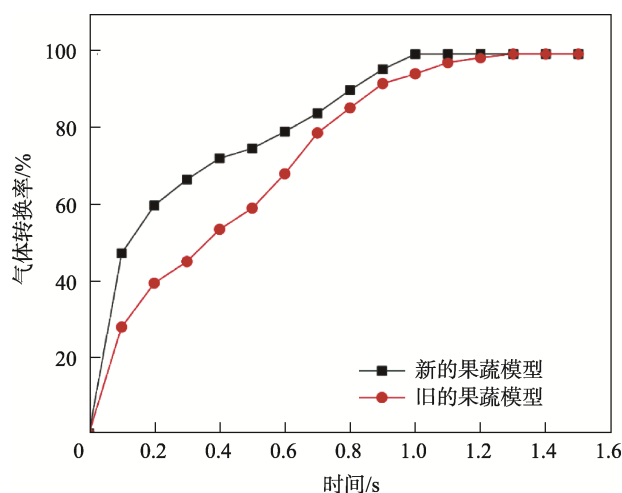


图 8 果蔬模型气体置换率
Fig.8 Gas displacement rate of the fruit and vegetable model

3 样机试验

3.1 仪器与设备

主要仪器与设备: DF-520 型气调包装机 (图 9a), 浙江鼎飞机械有限公司; 聚丙烯食品气调包装盒

(140 mm×140 mm×45 mm), 浙江利强包装科技有限公司; WITT 便携式气体分析仪(图 9b)(可检测 O₂ 和 CO₂), 德国威特气体技术有限责任公司。

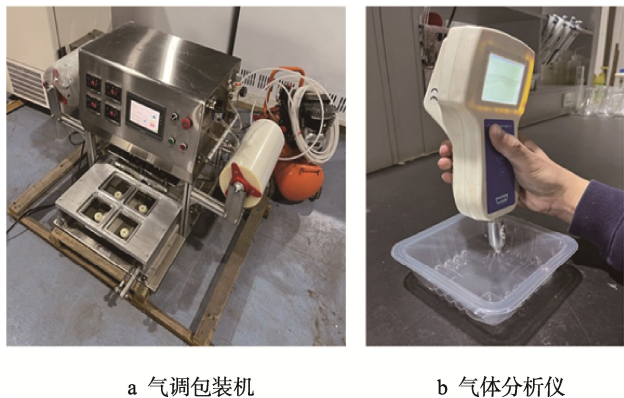


图 9 样机试验
Fig.9 Prototype experiment

3.2 试验方法与结果分析

3.2.1 气体置换率试验

分别将新旧 2 种构型气体置换装置安装于气调包装机上, 进行气体置换率试验, 该类型气调包装机进气端压力为 20 kPa、进气管径为 12 mm, 2 种构型气体置换装置均在此上述条件下进行对比试验。空气中 CO₂ 体积分数约为 0.031%, O₂ 体积分数约为 21%, N₂ 体积分数约为 78%, 忽略稀有气体和其他杂质的情况下, 空气中 CO₂ 体积分数足够低, 因此选择 CO₂ 为指标, 检测气体置换率。充气时间设定为 2 s、包装时间为 2 s, 充入包装盒内的气体体积比设定为 $V(\text{CO}_2):V(\text{O}_2):V(\text{N}_2)=100:0:0$ 。在新旧结构气体置换装置条件下, 分别打包 50 个包装盒, 随后从中各随机抽取 10 盒测量 CO₂ 的体积分数。测试结果如图 10 所示。

随机抽取的包装盒测试结果表明, 现有旧结构气体置换装置的置换率集中在 94.8%~96.1%, 平均气体置换率为 95.6%; 新构型气体置换装置的置换率为 98.7%~99.7%, 平均气体置换率为 99.2%。结果表明, 优化后的气体置换装置的置换率更高且效果更稳定。

3.2.2 气体混合精度试验

大部分果蔬对混配比例的要求: CO₂ 体积分数分布在 0%~30%, O₂ 体积分数集中于 5%~30%, 同时由于气体分析仪只能检测 O₂, 因此固定 N₂ 的体积分数为 70%, 设定了 5 组不同浓度梯度的目标比例值, 设定情况见表 1。在每组气调比例下, 装有新旧结构气体置换装置的气调包装机分别包装 50 个包装盒, 包

装完毕后, 每组分别随机抽取 10 盒, 采用气体分析仪对盒内气体组分进行测量。用统计学方法求出 CO₂ 和 O₂ 的体积分数变异系数 C_V (式 (1)), 可以反映数据测量值的离散程度, 从而评价 2 种气体置换装置的气体混合精度和稳定性。

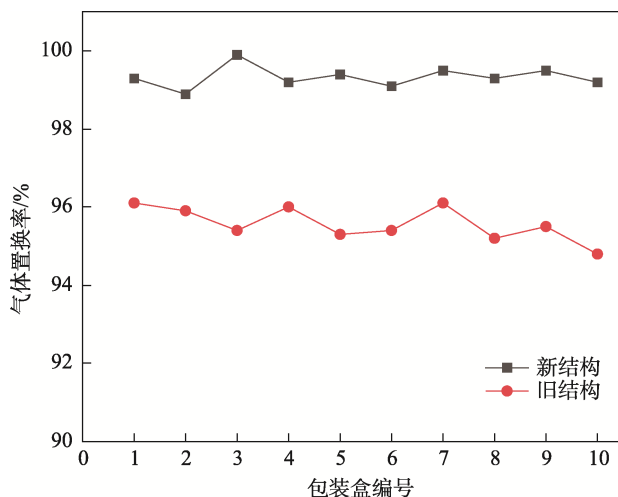


图 10 气体置换率试验结果
Fig.10 Gas replacement rate test results

$$C_V = \frac{\sigma}{\mu} \times 100\% \quad (1)$$

式中: σ 为气体体积分数标准差; μ 为气体体积分数平均值。

表 1 不同组别气体混配体积分数设定值
Tab.1 Setting value of mixed gas concentration ratios of different groups

组别	气体混配体积分数设定值/%		
	CO ₂	O ₂	N ₂
1	5	25	70
2	10	20	70
3	15	15	70
4	20	10	70
5	25	5	70

从表 2、3 可以看出, 使用优化后的新构型气体置换装置得到 CO₂ 和 O₂ 的气体体积分数标准差较旧构型的小, 表明优化后的新构型气体置换装置得到的混配气体离散程度低, 混配效果更均匀稳定。与此同时, CO₂ 和 O₂ 的气体体积分数平均相对偏差低, 表明新构型气体置换装置气体置换结果更精密, 更接近于目标气体混配浓度比例设定值。

表 2 新构型气体置换装置结果统计
Tab.2 Statistics results of new configuration gas replacement device

组别	CO ₂			O ₂		
	平均体积分数 $\bar{\mu}$ /%	标准差 σ	C_V /%	平均体积分数 $\bar{\mu}$ /%	标准差 σ	C_V /%
1	5.12	0.17	3.34	24.85	0.05	0.19
2	10.03	0.27	2.72	20.44	0.16	0.79
3	14.87	0.25	1.73	15.11	0.07	0.45
4	19.75	0.24	1.24	10.15	0.06	0.61
5	25.28	0.35	1.4	5.11	0.05	1
平均相对偏差/%	2.49			1.64		

表 3 传统构型气体置换装置结果统计
Tab.3 Statistics results of traditional configuration gas replacement device

组别	CO ₂			O ₂		
	平均体积分数 $\bar{\mu}$ /%	标准差 σ	C_V /%	平均体积分数 $\bar{\mu}$ /%	标准差 σ	C_V /%
1	4.66	0.05	1.13	25.20	0.65	5.22
2	9.42	0.94	10.06	20.66	0.60	7.35
3	14.05	0.60	4.31	15.23	0.73	4.84
4	21.56	0.34	1.61	10.70	1.51	5.64
5	24.48	1.12	4.57	5.27	1.31	12.34
平均相对偏差/%	6.97			7.40		

4 结语

本文对气调包装机气体置换装置结构进行了优化设计,使用 FLUENT 软件对 2 种构型进行了数值模拟。模拟结果表明,将进气口改变为平均分布的 5 个圆孔能够有效减少强射流的出现,置换腔内部回流区减小,流速更平均。处于不同平面的进气口与出气口可以提高置换效率,减少射入气体的损耗量。

在实际工况下对 2 种不同构型的装置进行了对比试验。气体置换率试验表明,在充气时间为 2 s 时,优化后的新型气体置换装置的平均气体置换率大于旧构型气体置换装置的平均气体置换率。气调精度试验表明,在 5 组不同混配比例条件下,新构型气体置换装置目标气体体积分数的标准差小、平均相对偏差小,优化后的新构型装置能够更加稳定地完成气体置换。

通过数值模拟和样机试验结果可知,优化后的新型气体置换装置使用效果更加稳定、气流场更加均匀、气体置换效率更高。改善后的新型装置可以更好地满足实际工况下的使用需求。

参考文献:

[1] 张鹏,朱文月,薛友林,等. 微环境气调对蓝莓贮藏

期软化的调控作用[J]. 中国食品学报, 2022, 22(5): 249-258.

ZHANG Peng, ZHU Wen-yue, XUE You-lin, et al. Regulation of Micro-Environmental Modified Atmosphere on the Softening of Bluberries during Storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(5): 249-258.

[2] 郑秋丽,王清,高丽朴,等. 蔬菜保鲜包装技术的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 317-323.

ZHENG Qiu-li, WANG Qing, GAO Li-pu, et al. Progress in Packaging Technologies for Vegetables[J]. FOOD SCIENCE, 2018, 39(3): 317-323.

[3] FU Man-qin, XIAO Geng-sheng, WU Ji-jun, et al. Effects of Modified Atmosphere Packaging on the Quality of Dried Lemon Slices[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2017, 41: 13043.

[4] 郑鄢燕,魏亚博,王宇滨,等. 气调贮藏对腐败菌引起的鲜切黄瓜品质、滋味和挥发性物质变化的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(5): 252-261.

ZHENG Yan-yan, WEI Ya-bo, WANG Yu-bin, et al. Effect of Controlled Atmosphere Storage on Changes in Quality, Taste and Volatile Compounds of Fresh-Cut Cucumber Caused by Spoilage Bacteria[J]. Food

- Science, 2021, 42(5): 252-261.
- [5] 陈磊, 黄杰, 杨瑞, 等. 臭氧结合气调包装对毛竹笋的保鲜作用[J]. 食品科学, 2021, 42(15): 200-205.
CHEN Lei, HUANG Jie, YANG Rui, et al. Preservation Effect of Ozone Treatment Combined with Modified Atmosphere Packaging on Moso Bamboo Shoots[J]. Food Science, 2021, 42(15): 200-205.
- [6] 左轩夷, 张海瑜, 葛蔚, 等. 基于 4G 网络的气调保鲜配气远程监控系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2022, 53(6): 416-424.
ZUO Xuan-yi, ZHANG Hai-yu, GE Wei, et al. Design and Experiment of Gases Distribution and Remote Monitoring System for Modified Atmosphere Packaging Based on 4G Network[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(6): 416-424.
- [7] ALTIERI G, GENOVESE F, MATERA A, et al. Characterization of an Innovative Device Controlling Gaseous Exchange in Packages for Food Products[J]. Postharvest Biology & Technology, 2018, 138: 64-73.
- [8] 聂学俊, 熊光洁, 汤晓华. 食品包装机械的自动控制[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(5): 76-78.
NIE Xue-jun, XIONG Guang-jie, TANG Xiao-hua. Automatic Control of Food Packaging Machine. Journal of Food Science and Technology, 2013, 31(5): 76-78.
- [9] 彭群英, 李保国, 顾小杰. 集预冷杀菌多功能气调包装机的设计[J]. 包装工程, 2012, 33(13): 22-25.
PENG Qun-ying, LI Bao-guo, GU Xiao-jie. Design of Multifunctional MAP Equipment Adding Pre-cooling and Sterilization Functions[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(13): 22-25.
- [10] 雷立雨, 赵有斌, 马季威, 等. 基于 PLC 的盒式气调包装机设计[J]. 包装与食品机械, 2016(5): 23-27.
LEI Li-yu, ZHAO You-bin, MA Ji-wei, et al. Design of Trays MAP Machine Based on PLC[J]. Packaging and Food Machinery, 2016(5): 23-27.
- [11] 李建国. 气调包装机和气调包装方法: China, 202010942883.3[P]. 2020-12-18.
LI Jian-guo. Modified Atmosphere Packer and Modified Atmosphere Packing Methods: China, 202010942883.3[P]. 2020-12-18.
- [12] 张浩楠. 多元气体自动混配系统设计与试验研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2021.
ZHANG Hao-nan. Design and Experimental Research of Automatic Mixing System Multielement Gas[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2021.
- [13] 马骋, 梁琪, 文鹏程, 等. 一种适合实验室自制的气调包装充气装置[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 170-172.
MA Pin, LIANG Qi, WEN Peng-cheng, et al. A Home-made Gas-Flushing Device of MAP Suitable for Laboratory[J]. Food & Machinery, 2016, 32(2): 170-172.
- [14] 彭群英, 李保国, 顾小杰. 新型置换式气调包装机结构设计及性能试验研究[J]. 包装工程, 2012, 33(17): 19-22.
PENG Qun-ying, LI Bao-guo, GU Xiao-jie. Structural Design and Performance Study of a New Replacement Type MAP Machine[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17): 19-22.
- [15] 黄小林, 陈秀, 徐贞, 等. 新型袋式气调包装机的设计[J]. 包装与食品机械, 2016(1): 34-37.
HUANG Xiao-lin, XU Xiu, XU Zhen, et al. The Design of a New Kind of Modified Atmosphere Packaging Machine with Bags[J]. Packaging and Food Machinery, 2016(1): 34-37.
- [16] 陈秀, 卢立新, 王军, 等. 枕形袋式气调包装气体置换过程三维流场模拟[J]. 包装工程, 2015, 36(15): 83-86.
CHEN Xiu, LU Li-xin, WANG Jun, et al. Three-dimensional Flow Field Simulation of the Gas Displacement Process during Modified Atmosphere Packaging with Pillow-Bag[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(15): 83-86.
- [17] 朱明杰, 张振彬, 张振军. 一种方便食品自动气调保鲜包装装置: 中国, 215591106U[P]. 2022-01-21.
ZHU Ming-jie, ZHANG Zhen-bin, ZHANG Zhen-jun. Automatic Modified Atmosphere Fresh-Keeping Packaging Device for Instant Food: China, 215591106U[P]. 2022-01-21.
- [18] 周维兵, 唐文文. 全自动气调包装机: 中国, 103466125B[P]. 2016-01-27.
ZHOU Wei-bing, TANG Wen-wen. Full-Automatic Air-Regulation Packaging Machine: China, 103466125B[P]. 2016-01-27.

责任编辑: 曾钰婵