第 47 卷　第 12 期
2019 年 12 月

西北农林科技大学学报(自然科学版)
Journal of Northwest A&F University(Nat. Sci. Ed.)

Vol. 47　No. 12
Dec.　2019

网络出版时间:2019-06-12　09:41　　DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2019.12.018
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20190612.0939.036.html

4ZQ-13 型落地红枣捡拾机的设计

徐家忠[1],潘俊兵[1,2],丁　凯[2],张志元[2]

(1 陕西国防工业职业技术学院 数控工程学院,陕西 西安 710300;2 石河子大学 机械电气工程学院,新疆 石河子 832000)

[摘　要] 【目的】研制落地红枣采收机械,为落地红枣的采收提供支持。【方法】针对新疆红枣种植面积大,落地红枣人工捡拾采收费时费力的问题,基于气力式捡拾的优点,设计了 4ZQ-13 型落地红枣捡拾机,并运用 CFD (Computational fluid dynamic)仿真分析方法探究气流分配装置内速度场的分布规律与喷嘴出口风速的均匀性。【结果】仿真分析表明,4ZQ-13 型落地红枣捡拾机的气流分配装置满足落地红枣捡拾要求,但气流进口区流场有扰动,该区域的喷嘴出口风速低于其余喷嘴,其余区域流场分布均匀。对 4ZQ-13 型落地红枣捡拾机进行的台架试验表明,其捡拾率为 76.5%,伤枣率为 0,其中气流进口区喷嘴的漏捡率较高,需进一步优化该区域结构。【结论】4ZQ-13 型落地红枣捡拾机满足落地红枣捡拾要求。

[关键词] 红枣;红枣捡拾机;红枣采收;气流流场分析;流体仿真

[中图分类号] S225.93　　[文献标志码] A　　[文章编号] 1671-9387(2019)12-0147-08

Design of 4ZQ-13 ground jujube picker

XU Jiazhong[1], PAN Junbing[1,2], DING Kai[2], ZHANG Zhiyuan[2]

(1 *Numerical Control Engineering College, Shaanxi Institute of Technology, Xi'an, Shaanxi* 710300, *China*;
2 *College of Mechanical and Electronical Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang* 832000, *China*)

Abstract:【Objective】This study developed the ground jujube harvesting machinery to provide support for the harvesting of ground jujubes.【Method】Aiming at the large planting area of Xinjiang jujube and the laborious problem of ground jujube artificial picking and collecting, the 4ZQ-13 ground jujube picker was designed using the advantages of pneumatic picking, and the distribution law of velocity field in the air distribution device and the uniformity of the nozzle exit wind speed were explored by computational fluid dynamics (CFD).【Result】The airflow distribution device met the requirement of landing jujube picking, but the flow field in the airflow inlet area was disturbed. The nozzle outlet velocity in this region was lower than the other nozzles, and the flow field in the other regions was evenly distributed. The bench test showed that the pick-up rate of the machine was 76.5% and the rate of injury was 0. The leakage rate of nozzle in air inlet area was higher and the structure needs to be further optimized.【Conclusion】The 4ZQ-13 type ground jujube picker meets the requirement of ground jujube picking and lays foundation for the development and improvement of air blowing type jujube picker.

Key words: jujube; jujube picker; jujude harvest; airflow field analysis; fluid simulation

红枣是我国特有的一种林果,其药用价值和经济价值极高[1-5]。目前,我国红枣栽植面积和产量均居世界第一,其中新疆红枣栽植面积已突破 52 万 hm^2[6],约占我国红枣总面积的 1/5,新疆已成为

[收稿日期] 2018-10-19
[基金项目] 陕西省教育厅高等教育教学改革研究项目(17GY04);陕西省教育厅教育科学"十三五"规划项目(SGH16V038)
[作者简介] 徐家忠(1970-),男,陕西西安人,副教授,主要从事机械设计与智能制造研究。E-mail:41619523@qq.com
[通信作者] 潘俊兵(1992-),男,甘肃天水人,助教,硕士,主要从事机械设计与应用研究。E-mail:pjbdzq@163.com

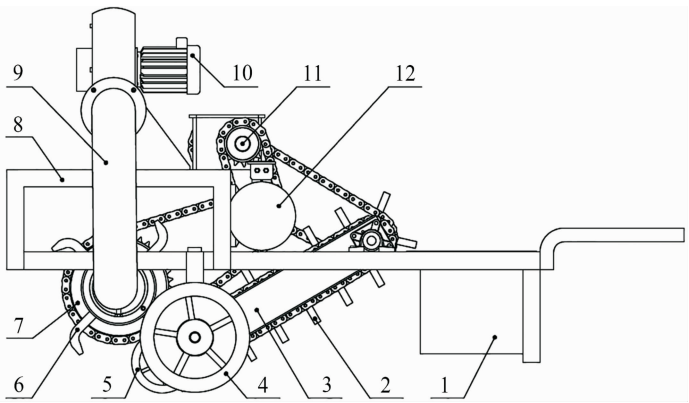
我国红枣主产区之一[7-9]。新疆红枣栽植模式主要以矮化密植为主,采收期落地红枣占红枣总产量的30%～60%,落地红枣收获主要以人工捡拾为主,而人工捡拾劳动强度大、作业效率低、成本高,难以满足新疆红枣产业发展的需要,亟待研发落地红枣捡拾机械以解决落地红枣的捡拾问题。

近年来,我国科研院所已相继开展了落地红枣捡拾机具的相关研究。史高昆等[10]于 2014 年研制出一种结构简单的气吸式红枣捡拾机,其捡拾效率是人工捡拾的 5.2 倍,但存在风机功耗高、噪音大的不足;张亚欧等[11]于 2016 年研制了适用于矮化密植枣园的机械式落地红枣捡拾装置,该装置与红枣收获机联合,能够一次性完成树上红枣采收与地面红枣捡拾作业;其后孙鸣仪等[12]为了减小机具对红枣的损伤,研制出一种自走式红枣捡拾机,采用气吸式捡拾,捡拾效果好,操作便利,但采收过程中需要1～2 人辅助作业,作业效率较低;2017 年,鲁兵等[13]针对矮化密植模式枣园的特点,研制出一种地面红枣机械式集条与气吸式捡拾相结合的新型落地红枣收获机,但随着机具前进速度的增大,捡拾率呈下降趋势;党凯峰等[14]研制出一种气吸式红枣捡拾收获机,该机采用双气流分离装置,分离效果好,收获红枣的含杂率低,但收获作业需要人工手持吸枣管,劳动强度较大。综观上述关于气吸式红枣捡拾机具的研究,多具有捡拾效果好、伤枣率低等优点,但也均存在作业效率低或者劳动强度大等不足。为此,本研究基于气力式红枣捡拾机械伤枣率低的优点,在前人研究基础上研制了 4ZQ-13 型落地红枣捡拾机,并对气流分配装置流道的速度场进行了数值模拟,对整机进行了台架试验,旨在为落地红枣捡拾机的进一步改进提供理论依据。

1 4ZQ-13 的机构与工作原理

1.1 整机结构

4ZQ-13 型落地红枣捡拾机的整机结构如图 1 所示。该机主要由电动机、风机、气流分配装置、输送装置、行走轮、仿形轮、地轮及机架等组成。其中输送装置通过铰接倾斜安装在该机中部,其下端通过仿形轮与地面接触;气流分配装置主要由进风管、气流喷管、旋转风管及避风板等组成;进风管进口端通过导管与风机相连,另一端密封;进风管与 2 个避风板组成“Ω”形避风器,2 个避风板间的夹角为 90°;4 排喷嘴均布在旋转风管周向(每排 18 个)。4ZQ-13 型落地红枣捡拾机的作业幅宽为 1.3 m,其他结构参数见表 1。



1. 集枣箱;2. 毛刷;3. 输送装置;4. 行走轮;5. 仿形轮;6. 气流喷管;7. 气流分配装置;8. 机架;9. 导管;10. 风机;11. 齿轮箱;12. 电动机

1. Jujube collector;2. Brush;3. Transporter;4. Road wheel;5. Profiling wheel;6. Airflow spray tube;
7. Airflow distribution device;8. Rack;9. Duct;10. Blower;11. Gearbox;12. Motor

图 1 4ZQ-13 型落地红枣捡拾机的整机结构

Fig. 1 Whole machine structure of the 4ZQ-13 ground jujube picker

1.2 工作原理

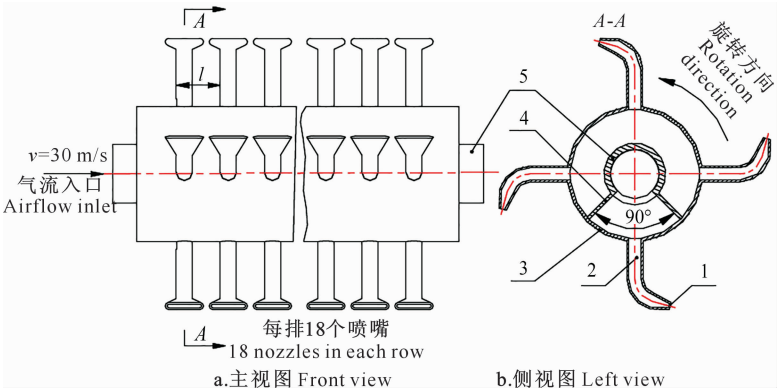
4ZQ-13 型落地红枣捡拾机整机由人力推动,在枣树行间行走,其传动系统由电动机提供动力,电动机输出动力通过链传动分别传递至输送装置和气流分配装置。工作时,风机吹出的高速气流沿导管进入进风管,在避风器区域形成高压流场。同时旋转风管绕其轴线逆时针旋转(图 2),当旋转风管上的气流喷管转入高压流场时,气流喷管与高压流场连通,高速气流沿嘴喷切线方向喷出,将地面红枣吹向输送装置;在高速气流和毛刷共同作用下,地面红枣被“捡”上输送装置。输送装置将红枣送至集枣箱,完成落地红枣捡拾作业,进而连续进行捡拾工作。工作过程中,在仿形轮的作用下,输送装置下端与地面间距始终处于合理范围内,从而保证捡拾作业效

果。旋转风管工作过程中，当前一列气流喷管转出高压流场区时，后一列气流喷管转入高压流场区，且前一列气流喷管转出高压流场区的面积与后一列转入的面积相等，该过程可看作只有一排完整的喷嘴处于工作状态。

表 1　4ZQ-13 型落地红枣捡拾机的结构参数

Table 1　Structural parameters of the 4ZQ-13 ground jujube picker

参数 Parameter	数值 Value	参数 Parameter	数值 Value
机具总长/mm Total length	1 520	喷嘴过渡圆中心距(a)/mm Center distance of nozzle transition circle	50
进风管直径(d_i)/mm Diameter of airflow inlet pipe	80	喷嘴过渡圆半径(r)/mm Radius of nozzle transition circle	3
旋转风管直径(d_r)/mm Diameter of rotating duct	210	喷嘴角(θ)/(°) Nozzle angle	115
气流喷管直径(d_1)/mm Diameter of airflow spray tube	20	喷嘴间距(l)/mm Nozzle distance	71



1. 喷嘴；2. 气流喷管；3. 旋转风管；4. 避风板；5. 进风管

1. Nozzle; 2. Airflow spray tube; 3. Rotating duct; 4. Shelter plate; 5. Airflow inlet pipe

图 2　4ZQ-13 型落地红枣捡拾机气流分配装置结构示意图

Fig. 2　Structure of airflow distribution device of the 4ZQ-13 ground jujube picker

2　气流分配装置流道内速度场的 CFD 分析

2.1　CFD 动态分析

在气流分配装置工作过程中，为了确定喷嘴气流对落地红枣的作用形式，从而验证该机具结构设计的合理性，运用 CFD 分析方法[15-22]对气流分配装置进行动态数值模拟。

2.1.1　CFD 动态分析模型的建立　气流分配装置工作过程中，同排喷嘴运动状态一致[23]，为了提高计算效率，以气流分配装置的 1/9 作为仿真对象，该模型如图 3-a 所示。

2.1.2　动网格划分　运用 Gambit 软件进行网格划分。用 UG 软件将模型(图 3-a)导出为“*.step”格式，将“*.step”模型文件导入 Gambit 软件中，抽取该模型空气流道。外环境取直径 1 000 mm 的半圆柱形，喷嘴(旋转区)与地面的距离为 10 mm。

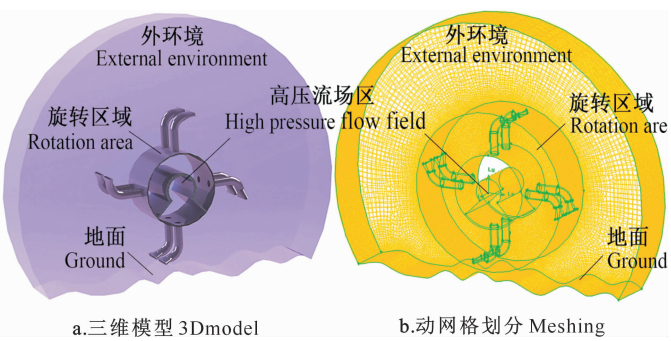


图 3　4ZQ-13 气流分配装置的动态仿真结构参数化模型

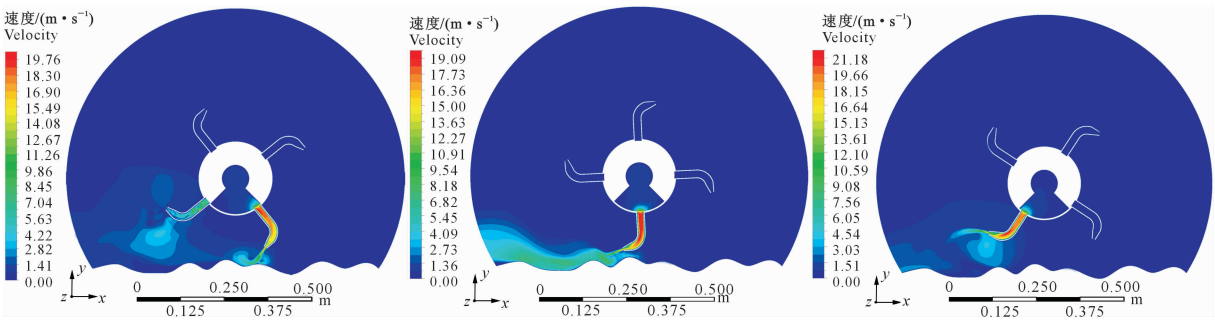
Fig. 3　Parameterized model of the simulation structure of the 4ZQ-13 airflow distribution device

为了提高计算精度,旋转区 8 个喷嘴划分为 2 mm Quad 网格,旋转区其余网格划分为 5 mm Tet/Hybrid 网格,网格增长率为 1.2;进风管网格划为 5 mm Tet/Hybrid 网格,外环境为 10 mm Hex/Wedge 网格,共划分了 5 293 376 个网格,结果如图 3-b 所示。

旋转区与外环境之间及气流分配管与旋转区之间以滑移网格的形式交换数据,气流分配管及外环境的两侧面的仿真条件设为对称面。将网格输出为 3D Fluent 网格格式“*.msh”。

2.1.3 *求解方法及初始条件设定* 将“*.msh”格式的网格(图 3-b)导入 Fluent 17.0 软件,进行一次网格光顺,光顺后网格最小正交质量为 0.25,最大正交偏斜度为 0.69,网格质量良好,满足计算要求。根据气流分配装置的工作环境,不考虑温度和黏度变化,设定流体属性为不可压缩流体,其雷诺数 $R_e>2\ 300$。为了提高计算精度,增强模拟的准确性,在 Fluent 计算中采用 RNG 的 k-ε 湍流模型、标准壁面函数和动态求解器进行计算。设定外环境边缘为 0 压力参考,取值为 1 个标准大气压,即 1.01×10^5 Pa,求解器残差为 0.000 5,进行标准初始化,计算到收敛为止。

2.1.4 *CFD 动态仿真* 4ZQ-13 气流分配装置的动态仿真结果如图 4 所示。



a. 喷嘴转入高压流场区 Nozzle enters the high pressure flow field

b. 喷嘴转至高压流场中央 Nozzle enters the center of the high pressure flow field

c. 喷嘴转出高压流场区 Nozzle leaves the center of the high pressure flow field

图 4 4ZQ-13 气流分配装置的动态仿真云图

Fig. 4 Cloud map of dynamic simulation results of the 4ZQ-13 airflow distribution device

图 4-a 为气流喷管转入到转出高压流场区的整个过程中,气流喷管转入高压流场区时,喷嘴由 45°向 0°过渡,气流沿喷嘴轴向方向倾斜吹向地面,此时红枣运动轨迹具有随机性,但其运动总体朝着输送装置方向,位于两端喷嘴(1 和 18 号)的红枣,在气流作用下,易向装置外运动,在实际工作时,前后两次作业行程需要有重合,以降低漏检率。图 4-b 为气流喷管转到高压流场中央位置,此时喷嘴与地面平行,在此位置喷嘴风速在地面上方水平吹动,将红枣吹向输送装置方向。图 4-c 为气流喷管离开高压流场区,此时喷嘴气流倾斜向上吹,将红枣吹向输送装置。在气流分配装置转动过程中,各喷嘴重复图 4-a、b、c 3 个过程,循环将地面红枣吹向输送装置。仿真结果表明,喷嘴结构设置合理,喷出气流能够满足落地红枣捡拾过程对气流流向的要求。

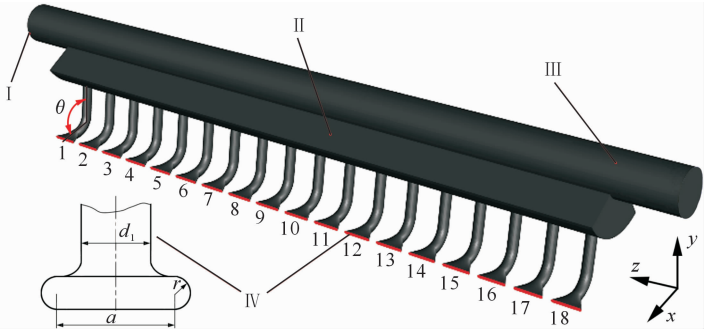
2.2 CFD 静态分析

各喷嘴出口风速的均匀性决定着 4ZQ-13 型落地红枣捡拾机的工作性能。为了确定各喷嘴出口风速的均匀性,运用 CFD 分析方法对气流分配装置内部速度场的分布规律进行探究。

2.2.1 *气流分配装置流道模型的建立* 在工作过程中,气流分配装置仅有 1/4 处于工作状态,用 UG 软件建立相应流道的三维模型如图 5 所示,沿气流进口方向将喷嘴依次编为 1~18 号。

2.2.2 *网格划分及求解条件设定* 4ZQ-13 气流分配装置流道模型的网格划分及边界条件的定义方法与 2.1.2 及 2.1.3 基本相同。为提高网格质量,确保仿真结果的可靠性,整体采用 6 mm 四面体非结构化网格;对喷嘴与气流喷管进行网格加密,均采用 1.5 mm 四面体非结构化网格,气流喷管与高压流场过渡区网格增长率设为 1.1,网格数为 3 013 401,设气流进口边界条件为 velocity-inlet,所有喷嘴出口边界条件为 pressure-outlet,将网格模型导出为“.msh”(3D)格式。

本次仿真为稳态模式,为提高计算精度,增强模拟的准确性,在 Fluent 计算中采用 RNG 的 k-ε 湍流模型、标准壁面函数和稳态求解器进行计算。设定气流进口流速为 30 m/s(与实际风机出口风速相同),喷嘴出口压力为 1 个标准大气压,即 1.01×10^5 Pa,求解器残差为 0.000 5,进行标准初始化,计算到收敛为止。



Ⅰ. 气流入口；Ⅱ. 高压流场区；Ⅲ. 进风管流道；Ⅳ. 喷嘴流道；

θ. 喷嘴角，(°)；d_1. 气流喷管直径，mm；a. 喷嘴过渡圆中心距，mm；r. 喷嘴过渡圆半径，mm；1～18. 喷嘴序号

Ⅰ. Airflow inlet；Ⅱ. High-pressure flow field；Ⅲ. Airflow inlet pipe；Ⅳ. Nozzle flow path；

θ. Nozzle angle，(°)；d_1. Aairflow spray tube diameter，mm；a. The center distance of the nozzle transition circle，mm；

r. The radius of the nozzle transition circle，mm；1－18. Serial numbers of nozzles

图 5　4ZQ-13 气流分配装置流道模型

Fig. 5　Flow path model of the 4ZQ-13 airflow distribution device

2.2.3　仿真结果分析　为了便于观察，取 yz 面上经过进风管轴线的截面与 18 个喷嘴出口作为观察面，仿真结果如图 6 所示。图 6 表明，气流入口速度为 30 m/s，速度大小沿流动方向逐渐减小。各喷嘴进口速度为 10～14 m/s，进口气流流速稳定，但 1，2 号喷嘴进口速度较低，存在较大扰动。主要是由于在气流进口区，气流分配装置导流结构的过渡梯度较大，引起气流流动梯度变化较大，存在流体回流，进而影响气流在该区域流动的稳定性。

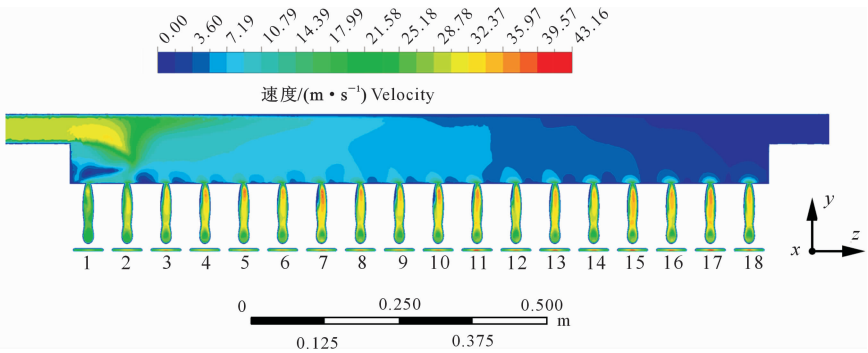


图 6　4ZQ-13 气流分配装置流道内速度场的分布

Fig. 6　Velocity field distribution of flow paths of the 4ZQ-13 airflow distribution device

4ZQ-13 气流分配装置流道内 18 个喷嘴的出口风速如图 7 所示。

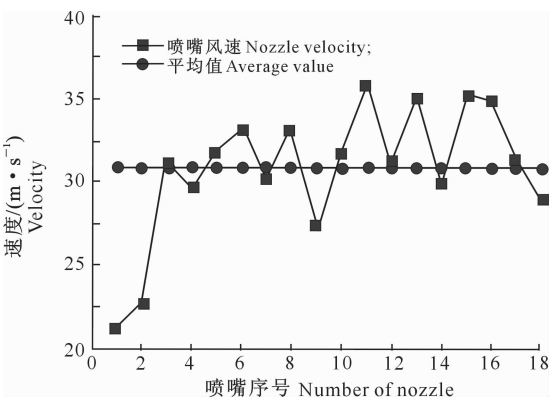


图 7　4ZQ-13 气流分配装置流道内各喷嘴的出口风速

Fig. 7　Outlet velocity of whole nozzle of the 4ZQ-13 airflow distribution device

由图 7 可知，随着喷嘴序号的增大，喷嘴出口风速总体呈递增趋势，其平均值为30.85 m/s，变异系数为 13.48%。其中 1，2 号喷嘴出口风速小于 23 m/s，明显低于其余喷嘴，主要是由于 1，2 号喷嘴进口端气流存在扰动，降低了喷嘴出口风速；3～8 号喷嘴出口风速平均值为 31.58 m/s，变异系数为 4.83%，均匀性好，该区域喷嘴进口端距气流入口近，气流稳定性较好；9～18 号喷嘴出口风速平均值为 32.18 m/s，变异系数为 15.87%，均匀性是 3～8 号喷嘴出口风速的 1/3 左右，主要是由于该区域喷嘴进口端距气流入口较远，气流在该区域自由扩散较大，降低了气流进口端速度场的稳定性，同时降低了该区域喷嘴出口风速的均匀性。从喷嘴出口风速的整体均匀性来看，3～18 号喷嘴出口风速均匀性

较好,满足落地红枣捡拾的要求。

3 4ZQ-13 整机工作性能试验

3.1 试验设计

为了验证 CFD 仿真结果及 4ZQ-13 整机结构设计的合理性,于 2017 年 11 月 25 日在石河子市五工村天立鑫农机有限公司进行了台架试验,试验现场如图 8 所示。试验中,用变频器调节风机转速,待风机出口风速为 30 m/s 时关闭风机,并与气流分配装置相连。保持变频器调节参数不变,重新启动风机,待风机运行稳定后,依次测量 18 个喷嘴的出口风速,每个喷嘴测量 3 次,以其平均值作为该喷嘴的出口风速值。测量过程中,采用 SMART SENSOR AS8336 型手持式风速仪测定风速,该风速仪测量范围为 0～45 m/s,测量精度为 0.001 m/s。

图 8 4ZQ-13 整机工作性能试验现场

Fig. 8 Test site of the 4ZQ-13 work performance

红枣捡拾率及伤枣率是落地红枣捡拾机械评价的重要指标,捡拾率是指捡拾至集枣箱中的红枣数量与投放地面的红枣数量之比;伤枣率是指捡拾至集枣箱中的损伤红枣数与捡拾至集枣箱中的总红枣数之比。损伤红枣计数时,红枣表面出现明显损伤或超过 1/4 表面积出现凹陷时,均计为损伤红枣。在 4ZQ-13 型红枣捡拾机的作业幅宽内,于水泥地面(未模拟枯枝落叶环境)随机撒放 500 个红枣模拟落地红枣,供试红枣的横轴直径平均为 41.21 mm,纵轴直径平均为 29.27 mm,质量平均为 9.76 g。4ZQ-13 型红枣捡拾机整机由人工推动,以约 1 m/s 的速度前进,行程为 5 m;输送装置和气流分配装置由电机带动,转速分别为 105 和 75 r/min,捡拾试验后统计捡拾率,重复 3 次取平均值作为统计结果。红枣捡拾率和伤枣率的计算公式为:

$$P=\frac{b_1}{b}\times 100\%。\tag{1}$$

式中:P 为捡拾率,%;b_1 为捡拾至集枣箱的红枣数;b 为模拟落地红枣的样本总量。

$$Q=\frac{b_2}{b_1}\times 100\%。\tag{2}$$

式中:Q 为伤枣率,%;b_2 为捡拾至集枣箱的红枣中损伤的红枣数;b_1 为捡拾至集枣箱的红枣数。

3.2 试验结果分析

4ZQ-13 整机工作性能试验中,其气流分配装置流道内 18 个喷嘴出口风速的试验测定值与仿真结果的比较如图 9 所示。

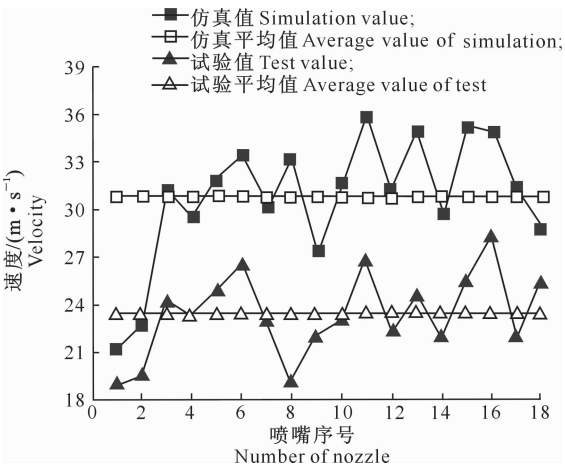


图 9 18 个喷嘴出口风速的试验测定值与仿真值的对比

Fig. 9 Comparison between simulation and test values of outlet velocities of 18 nozzle

由图 9 可知,18 个喷嘴出口风速试验值与仿真值的变化趋势总体一致,试验值约为仿真值的 76%;从 8 号喷嘴开始出口风速试验值出现了较大波动,且较仿真值波动提前出现,主要是试验样机的气流分配装置存在安装间隙,气流出现了泄露,加快了气流在气流分配装置中后部的自由扩散。另外,仿真值与试验值之间产生误差的主要因素有以下几个方面:首先,避风板与旋转风管间存在安装间隙,

造成了较大的流体损失；其次，由于仿真模型未考虑流体流动损失、机械损失等；第三，试验环境的变化及测量误差的存在，导致仿真值与试验值的不同；最后，仿真参数流体属理想化模型，仿真的初始条件和边界条件均取自经验值和计算值，因此 CFD 分析结果也存在一定的误差[24-25]。

上述试验结果表明，喷嘴最小出口风速大于 18.50 m/s（该值为前期枣园试验中，吹动地面红枣运动的最小值），该机捡拾率为 76.5%，伤枣率为 0，满足落地红枣捡拾需要。由于 1，2 号喷嘴出口风速较小，相邻喷嘴出口风速较大，在侧向风力的作用下，该区域地面红枣易滚出捡拾装置，降低了整机的捡拾率，因此该机的捡拾率仍存在一定的提升空间。

4　讨论与结论

根据新疆红枣种植现状，依据气力式捡拾的优点设计了 4ZQ-13 型落地红枣捡拾机。采用 CFD 分析方法对该机的气流分配装置进行了模拟分析，验证了气流分配装置设计的合理性，表明其能够满足落地红枣的捡拾要求；通过稳态仿真，探明了分配装置内部流场的分布情况，气流总体分布较均匀，但气流进口区存在扰动，影响该区域喷嘴的工作效率。由于在分析过程中，忽略了避风板与旋转风管间的安装间隙，导致喷嘴出口风速的试验值小于仿真值，试验值约为仿真值的 76%，但二者变化趋势总体一致，表明 CFD 仿真具有一定的参考意义。对该机进行的台架试验结果表明，该机捡拾率为 76.5%，伤枣率为 0，能够完成落地红枣捡拾作业。另外，相关学者已研制的气吸式红枣收获机械[10,12-14]，其吸枣管直径均小于 100 mm，数量小于 4，单程作业幅宽均小于 700 mm，吸枣管易堵塞。与上述气吸式红枣收获机械相比，4ZQ-13 型落地红枣捡拾机作业幅宽大，单程捡拾率高，不存在气流管道堵塞的问题。机械式落地红枣捡拾机具作业时，与地面红枣刚性接触，对红枣损伤较大[11]；4ZQ-13 型落地红枣捡拾机通过气流捡拾落地红枣，不会损伤红枣；在出现漏捡时，虽输送装置从红枣上方经过，但输送装置上的毛刷弯曲、分叉，即使从红枣上方划过，仍具有伤枣率低的优点。

在新疆红枣的收获期（一般为 11 月初，已降霜），地面落叶已干枯，质量远小于地面红枣。作业时，枯叶先于红枣吹起，对地面红枣捡拾的影响较小。因此，台架试验未模拟落叶对捡拾率的影响。4ZQ-13 型落地红枣捡拾机实际工作时，电机无法使用，但该机可与拖拉机相连，由减速器将拖拉机输出动力传递给该收获机，以解决动力问题；也可连接在自走式红枣收获机的前端，由液压马达提供动力。

由于避风板的安装存在安装间隙，造成了较大的能量损失。同时，气流进口区存在气流扰动，造成处于该区域的 1 和 2 号喷嘴出口风速较小，降低了气流喷嘴出口风速的均匀性，影响了整机捡拾率。因此，对气流进口区结构的优化与避风板安装间隙合理值的确定将是未来继续研究的方向。

[参考文献]

[1] Hu Y X，Li Y N，Zhang Y. A study on crop coefficients of jujube under dripirrigation in Loess Plateau of China [J]. African Journal of Agricultural Research，2012，7(19)：2971-2977.

[2] Saket Mishra1，Boris Krška. Value addition，sensory and evaluation of jujube products [J]. Int J Pure App Biosci，2017，5(3)：540-547.

[3] 施　奕，李　丽. 大枣的营养成分及药用价值 [J]. 智慧健康，2018，4(2)：194-196.
Shi Y，Li L. The nutritional components and medicinal value of Chinese jujube [J]. Smart Healthcare，2018，4(2)：194-196.

[4] 付　威，何　荣，曲金丽，等. 自走式矮化密植红枣收获机的设计 [J]. 农机化研究，2014，36(4)：106-109.
Fu W，He R，Qu J L，et al. Design of self-propelled dwarf and close planting jujube harvester [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research，2014，36(4)：106-109.

[5] 靳玉红，李志西，乔艳霞，等. 红枣乳酸发酵饮料的抗氧化活性 [J]. 西北农林科技大学学报（自然科学版），2016，44(1)：199-205.
Jin Y H，Li Z X，Qiao Y X，et al. Antioxidant activity of jujube beverage fermented with lactic acid bacteria [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)，2016，44(1)：199-205.

[6] Fu W，Zhang Z Y，Ding K，et al. Design and test of 4ZZ-4A2 full-hydraulic self-propelled jujube harvester [J]. Int J Agric & Biol Eng，2018，11(4)：98-104.

[7] 陈文博，余国新，刘运超. 基于新疆红枣产业景气分析的抗风险研究 [J]. 新疆农业科学，2015，52(2)：386-391.
Chen W B，Yu G X，Liu Y C. Countermeasures of anti-risk based on the analysis of Xinjiang jujube industry boom [J]. Xinjiang Agricultural Sciences，2015，52(2)：386-391.

[8] 崔　健. 基于自激振动力补偿红枣采收装置设计及试验研究 [D]. 新疆石河子：石河子大学，2017.
Cui J. The design and experimental research of jujube harvest device based on self-excited vibration and force compensation [D]. Shihezi，Xinjiang：Shihezi University，2017.

[9] 赵　英，张开春，张春山，等. 新疆特色林果业发展面临的机遇与挑战 [J]. 北方园艺，2011(19)：166-168.
Zhao Y，Zhang K C，Zhang C S，et al. Opportunities and challenges in the development of Xinjiang characteristic fruit [J].

Northern Horticulture,2011(19):166-168.

[10] 史高昆,马少辉.气吸式红枣捡拾机设计与试验[J].农业工程,2014,4(3):109-112.
Shi G K,Ma S H. Design and experiment of air-suction red dates picking machinery [J]. Agricultural Engineering,2014,4(3):109-112.

[11] 张亚欧,坎 杂,李成松,等.矮化密植红枣收获机捡拾装置的设计[J].农机化研究,2016,38(4):71-75.
Zhang Y O,Kan Z,Li C S,et al. Design of dwarf and close planting jujube harvester pickup device [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2016,38(4):71-75.

[12] 孙鸣仪,马少辉.自走式红枣捡拾机的设计与试验[J].农机化研究,2016,38(5):143-147.
Sun M Y,Ma S H. Design and experiment of self-propelled red date collector [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2016,38(5):143-147.

[13] 鲁 兵,王旭峰,张攀峰,等.新型落地红枣收获机的设计[J].农机化研究,2017,39(12):68-72.
Lu B,Wang X F,Zhang P F,et al. Design of new type landing-jujube harvest machine [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2017,39(12):68-72.

[14] 党凯锋,张鹏霞,杨 震,等.一种气吸式红枣捡拾收获机的研制[J].农产品加工,2017(16):31-34.
Dang K F,Zhang P X,Yang Z,et al. Research on a pressure inhale equipment in red jujube collecting [J]. Farm Products Processing,2017(16):31-34.

[15] Zhang Z Q,McHugh A D,Li H W,et al. CFD numerical simulation and optimization of the flow fields in the chopping chamber of flail chopper [J]. International Agricultural Engineering Journal,2017,26(4):74-84.

[16] 赵伟国,盛建萍,杨军虎,等.基于CFD的离心泵优化设计与试验[J].农业工程学报,2015,31(21):125-131.
Zhao W G,Sheng J P,Yang J H,et al. Optimization design and experiment of centrifugal pump based on CFD [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2015,31(21):125-131.

[17] Gebrehiwot M G,Baerdemaeker J D,Baelmans M. Effect of a cross-flow opening on the performance of a centrifugal fan in a combine harvester: computational and experimental study [J]. Biosystems Engineering,2010,105(2):247-256.

[18] 陈树人,肖 君,饶师任,等.黄花苜蓿收获机吹送装置气流速度场CFD分析[J].农业工程学报,2016,32(12):39-46,315.
Chen S R,Xiao J,Rao S R,et al. CFD numerical analysis of airflow blowing velocity-field of medicago hispida harvester [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2016,32(12):39-46,315.

[19] 童水光,沈 强,唐 宁,等.纵轴流清选装置混合流场数值模拟与优化试验[J].农业机械学报,2016,47(7):135-142.
Tong S G,Shen Q,Tang N,et al. Numerical simulation and optimization experiment of mixed flow field on longitudinal axial flow cleaning device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(7):135-142.

[20] Wu W Y,Hu Y G,Yang S,et al. Optimal design of wind machine impeller for frost protection based on CFD and its field test on airflow disturbance [J]. Int J Agric & Biol Eng,2015,8(5):43-49.

[21] 高雄发,施卫东,张德胜,等.基于CFD正交试验的旋流泵优化设计与试验[J].农业机械学报,2014,45(5):101-106.
Gao X F,Shi W D,Zhang D S,et al. Optimization design and test of vortex pump based on CFD orthogonal test [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(5):101-106.

[22] 常莹华,牛文全,王维娟.滴灌灌水器迷宫流道的内部流体数值模拟与流动分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(2):203-208.
Chang Y H,Niu W Q,Wang W J. Numerical simulation and flow analysis of labyrinth path of drip irrigation emitters [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition),2009,37(2):203-208.

[23] 潘俊兵,刘玉冬,丁 凯,等.气吹式落地红枣捡拾装置的设计与运动仿真[J].农机化研究,2018,40(9):139-143.
Pan J B,Liu Y D,Ding K,et al. Design and motion simulation of pneumatic device for picking up ground Jujube [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2018,40(9):139-143.

[24] 丁雄飞,朱金光,赵玉垒,等.清选装置中离心风机的CFD分析与试验验证[J].农业机械,2013(25):158-161.
Ding X F,Zhu G J,Zhao Y L,et al. CFD analysis and test verification of centrifugal fan in cleaning device [J]. Farm Machinery,2013(25):158-161.

[25] 曹国强,梁 冰,包明宇.基于FLUENT的叶轮机械三维紊流流场数值模拟[J].机械设计与制造,2005,10(8):22-24.
Cao G Q,Liang B,Bao M Y. The numerical simulation of blade machine 3D turbulence flow field based on fluent [J]. Machinery Design & Manufacture,2005,10(8):22-24.