

面向芒果包装线的分拣机械手臂承载能力研究

时强胜, 刘世豪

(海南大学 机电工程学院, 海口 570228)

摘要: **目的** 为了减少芒果包装线上生产事故的发生, 解决并联分拣机械手臂承载能力的问题。**方法** 深入讨论芒果分拣机的并联机构与大小臂结构设计问题。通过 SolidWorks simulation 有限元分析各关键构件的应力状态, 并且定义安全系数图解以评价其结构设计是否合理。**结果** 大臂所受最大应力为 8.056 MPa, 其许用应力为 75.829 MPa; 小臂所受最大应力为 31.659 MPa, 其许用应力为 50 MPa; 安全系数图解显示大臂和小臂颜色均为蓝色(蓝色则表示处于安全区域)。**结论** 构件所受应力远远小于许用应力, 并且构件处于安全区域, 证明所设计的芒果分拣机械手结构具有可行性。

关键词: 包装线; 并联分拣机械手; 有限元分析; 安全系数分析

中图分类号: TB486; TH122 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)11-0193-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.11.034

Carrying Capacity of Sorting Manipulator for Mango Packaging Line

SHI Qiang-sheng, LIU Shi-hao

(Mechanical and Electrical Engineering College, Hainan University, Haikou 570228, China)

ABSTRACT: The work aims to reduce the occurrence of production accidents on mango packaging line and solve the problem of carrying capacity of parallel sorting manipulator. The parallel mechanism of mango sorting machine and the structure design of large and small arms were under in-depth discussion. Through SolidWorks simulation finite element analysis, the stress state of each key component was analyzed, and the safety factor diagram was defined to evaluate whether the structure design was reasonable. The maximum stress of the large arm was 8.056 MPa and its allowable stress was 75.829 MPa. The maximum stress of the forearm was 31.659 MPa and its allowable stress was 50 MPa. The safety factor diagram showed that both large and small arms were blue (the blue color indicated it was in the safe area). The stress of the component is much less than the allowable stress, and the component is in a safe area, which shows that the structure of designed mango sorting manipulator is feasible.

KEY WORDS: packaging line; parallel sorting manipulator; finite element analysis; safety factor analysis

近些年来, 海南岛逐渐建设成为国际旅游岛, 随着建设步伐的加快, 海南本地热带特色芒果产业面临着新的机遇与挑战。当前, 芒果采摘后处理仍使用传统的人工分拣方式, 效率低下、费时费力, 迫切需要机械化生产模式来代替传统的包装模式^[1]。为此, 文中提出将并联分拣机械手引入芒果包装领域。

传统工业机械手大多为串联机械手, 只有唯一的运动链, 并且组成机构的零件数目较多。在材料和自

重相同条件下, 并联机械手的承载能力比串联机械手更强, 因为并联机械手的每一条运动链都能够分担载荷, 所以变形程度更小, 能够在高速运转下保持位置的精确性。

并联机械手在位置正解与位置逆解模型研究已经很成熟, 但对于其工作手臂的承载能力的分析还相对较少。为了解决上述问题, 文中通过 SolidWorks simulation 软件对一种面向芒果包装线的分拣机械手

收稿日期: 2017-10-09

基金项目: 海南省自然科学基金(20165195)

作者简介: 时强胜(1997—), 男, 海南大学本科生, 主攻智能农业机械设计。

通信作者: 刘世豪(1981—), 男, 博士, 海南大学副教授, 主要研究方向为机械智能优化。

进行强度分析与安全校核。

1 问题的提出

并联分拣机械手臂的承载能力是评价其性能好坏的一个重要指标。在芒果包装线上,机械手臂的强度决定了包装线的安全。对于机械手臂而言,材料的选择,结构的设计都是其承载能力的重要影响因素^[2]。

文中以一种面向芒果包装线的分拣机械手作为研究对象,见图1。它主要由大臂、小臂、电机以及吸盘等部件组成,用以分拣不同大小的芒果等作业,也可以作为研究并联分拣机械手的实验平台,文中运用SolidWorks simulation软件的应力分析模块,对其进行强度分析以及评价其结构是否设计合理。

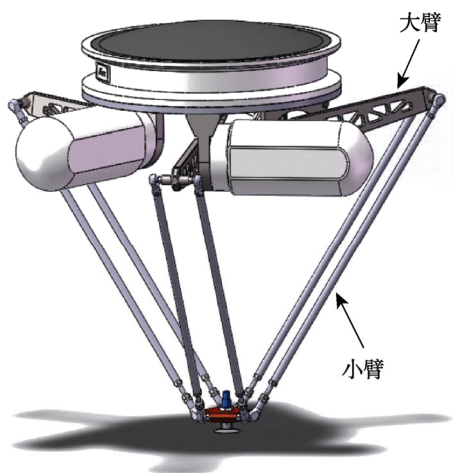


图1 一种芒果分拣机械手设计原理
Fig.1 Design principle of a mango sorting manipulator

2 分析流程

SolidWorks Simulation 是一款基于有限元(即FEA数值)技术的设计分析软件,是SRAC开发的工程分析软件产品之一^[3]。SolidWorks Simulation提供了单一屏幕解决方案来进行应力分析、频率分析、扭曲分析、热分析和优化分析,满足大部分用户的需求^[4]。其中,SolidWorks Simulation的应力分析流程见图2。

3 创建算例

对于并联分拣机械手,大臂和小臂是整个并联机械手装置的关键部位,其强度大小决定了芒果包装线是否能安全工作^[5],因此,以图1中的大、小臂为例,对其进行结构分析。

3.1 定义材料属性

在对模型进行应力分析之前需要对模型进行预

处理,首先需要创建一个算例,然后需要指定材料属性。材料的选择对其自身的质量、强度和刚度都有决定性作用。文中大臂选用的是2024合金,是一种高强度的硬铝,焊接性能较好^[6],其材料性能见表1。

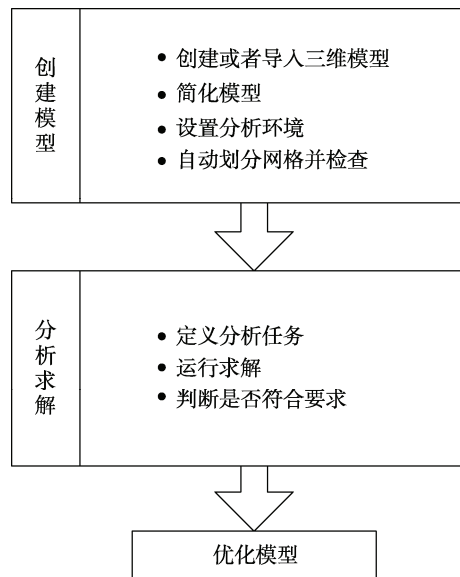


图2 SolidWorks simulation 应力分析流程
Fig.2 SolidWorks simulation stress analysis process

表1 2024合金的材料性能
Tab.1 Material properties of 2024 alloy

密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	抗拉强度/ ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)	屈服强度/ ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)
2730	390	245

考虑到小臂材料需要具有一定的韧性,并且质量轻等特点,文中选用ABS材料。ABS具有良好的综合性能,较高的冲击强度,较强的柔韧性,较好的表面光泽性,相对密度为 1.05 g/cm^3 ,还可以进行表面喷镀金属、电镀、热压等二次加工^[7],其材料性能见表2。

表2 ABS的材料性能
Tab.2 Material properties of ABS

相对密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	抗弯强度/ ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)	屈服强度/ ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)
1050	80	50

3.2 网格划分

导入模型之后,应添加模型的夹具,定义力或力矩的大小以及参考方向,然后生成网格^[8]。Solidworks simulation软件通过离散化过程将模型的网格划分为有限单元,基于曲率的网格算法用可变化的单元大小来生成网格,有利于在几何体的细小特征处获得精确的结果^[9]。

在网格参数一栏中选中基于曲率的网格,设置雅

可比点值为 4，网格质量选用高品质，其他选项默认值，最终生成的模型见图 3。

4 求解分析

将预处理工作准备好之后，对模型的算例进行运

行求解。根据 SolidWorks simulation 软件的算例分析，可以获得应力、应变和位移云图，运行上述算例之后所得云图结果见图 4。

大臂材料为 2024 合金，当大臂前端连接轴受到 40 N 向下的力的作用，最大应力约为 8.056 MPa 时，

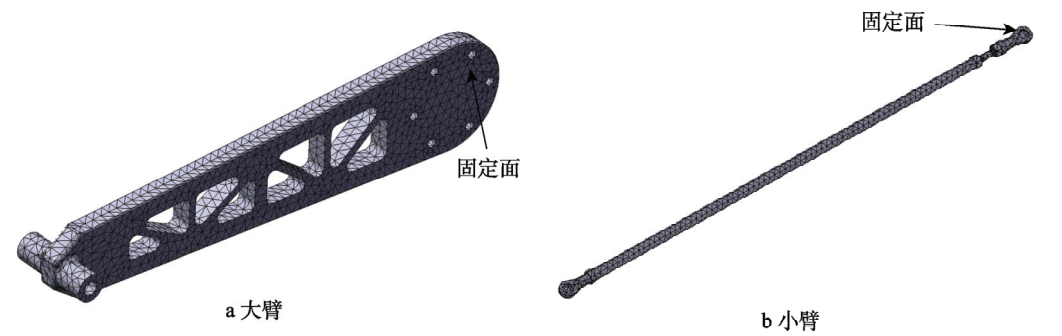


图 3 应力分析模型
Fig.3 Stress analysis model

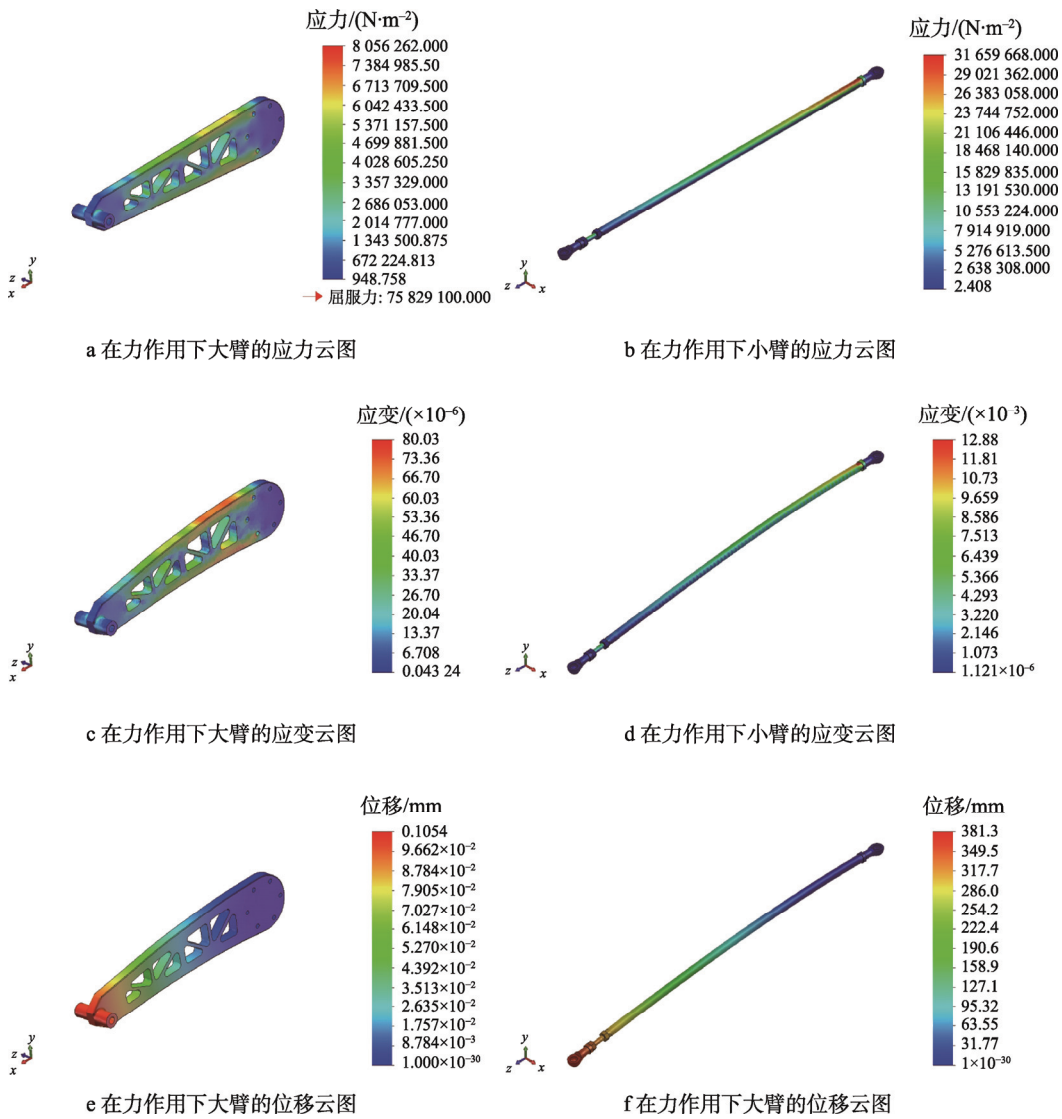


图 4 基于 SolidWorks simulation 的大、小臂分析结果
Fig.4 Analysis results of large and small arms based on SolidWorks simulation

承受最大应力处于靠近固定面的桁架下方,见图4a;而大臂的许用应力为 75.829 MPa,当施加的载荷为 40 N 时,承受的最大应力远远小于许用应力,但由于芒果大小不一,质量不等,因此在模拟仿真的时候,许用应力应远大于最大应力才更加合理。

小臂材料为 ABS,小臂采用的是对称结构,当小臂一端端面受到 20 N 向下的力作用,承受的最大应力为 31.659 MPa 此时,承受最大应力处于固定端,见图 4b,而小臂的许用应力为 50 MPa,承受的最大应力在许用应力范围之内。

5 安全校验

安全系数是考虑计算载荷及应力准确性、机件工作重要性以及材料的可靠性等因素影响机件强度的强度裕度,其值大于等于 1^[10]。

SolidWorks simulation 可以通过定义安全系数图来分析构件设计是否合理。在 SolidWorks simulation 软件中通常有以下 4 种屈服准则:最大 von Mises 应力、最大抗剪力 (Tresca)、Mohr-Coulomb 应力以及最大法向应力^[11-13]。

对于大臂和小臂选用 von Mises 应力准则,它常用来检查延性材料的屈服失败,其检验结果见图 5。



图 5 安全系数分析

Fig.5 Safety factor analysis

SolidWorks simulation 软件安全系数分析图解中若是出现红色区域,则表示非安全区域,蓝色则表示安全区域^[14-16],因此大臂和小臂设计符合安全要求,见图 5。

6 结语

运用 SolidWorks simulation 的有限元分析模块,对大臂小臂进行了力学性能的仿真分析;机械手臂的安全系数图解表明,大臂小臂结构设计均处于安全区域,设计符合要求;通过应力云图、应变云图可以得出,大臂小臂刚度均符合要求,观察位移云图可得大小臂的变化均匀,能够保证芒果包装线安全工作。

参考文献:

- [1] 谢国干,张海林,林尤河,等.海南芒果业现状、存在问题与对策[J].热带地理,2000,20(4):282—285.
XIE Guo-gan, ZHANG Hai-lin, LIN You-he, et al. The Present Situation, Existing Problems and Development of Mango Industry in Hainan[J]. Tropical Geography, 2000, 20(4): 282—285.
- [2] 吴春华.搬运机械手及其强度特性分析技术研究[D].杭州:杭州电子科技大学,2016.
WU Chun-hua. Handling Manipulator and Its Strength Characteristic Analysis Technique Research[D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2016.
- [3] 陈永当,鲍志强,任慧娟,等.基于 SolidWorks Simulation 的产品设计有限元分析[J].计算机技术与发展,2012,22(9):177—180.
CHEN Yong-dang, BAO Zhi-qiang, REN Hui-juan, et al. Finite Element Analysis for Product Design Based on SolidWorks Simulation[J]. Computer Technology and Development, 2012, 22(9): 177—180.
- [4] 陈永当,任慧娟,武欣竹.基于 SolidWorks Simulation 的有限元分析方法[J].CAD/CAM 与制造业信息化,2011(9):48—51.
CHEN Yong-dang, REN Hui-juan, WU Xin-zhu. Finite Element Analysis Method Based on SolidWorks Simulation[J]. Digital Manufacturing Industry, 2011(9): 48—51.
- [5] 陈鹏. Delta 并联机械手的机构特性与刚柔耦合分析[D].西安:西安理工大学,2017.
CHEN Peng. Mechanism Characteristics and Rigid-flexible Coupling Analysis of Delta Parallel Manipulator[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2017.
- [6] 王祝堂. 2024 型铝合金的热处理[J].金属世界,2009(2):43—48.
WANG Zhu-tang. Heat Treatment for 2024 Aluminum Alloy[J]. Metal World, 2009(2): 43—48.
- [7] 张涛.功能性 ABS 多孔材料的制备及应用[D].青岛:青岛科技大学,2017.
ZHANG Tao. Preparation and Application of Functional Micro-cellular (Porous) Materials[D]. Qingdao: Qingdao University of Science & Technology, 2017.
- [8] 李健. Solidworks Simulation 软件在产品开发中的应用[J].武汉职业技术学院学报,2012,11(3):84—87.
LI Jian. Application of Solidworks Simulation in

- Product Development[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2012, 11(3): 84—87.
- [9] 何庆中, 王明超, 赵献丹. 基于 Solidworks Simulation 码垛机械手末端执行器导杆静力学分析[J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2011, 24(1): 109—112.
HE Qing-zhong, WANG Ming-chao, ZHAO Xian-dan. Static Analysis for Holding Rod of Palletizing Robots on Solidworks Simulation[J]. Journal of Sichuan University of Science & Engineering: Natural Science Edition, 2011, 24(1): 109—112.
- [10] 颜芳芳. 复合材料性能的分散性与安全系数[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009.
YAN Fang-fang. Research on Discrepancy of Composite Properties and the Safety Factor[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2009.
- [11] 贾善坡, 陈卫忠, 杨建平, 等. 基于修正 Mohr-Coulomb 准则的弹塑性本构模型及其数值实施[J]. 岩土力学, 2010, 31(7): 2051—2058.
JIA Shan-po, CHEN Wei-zhong, YANG Jian-ping, et al. An Elastoplastic Constitutive Model Based on Modified Mohr-coulomb Criterion and Its Numerical Implementation[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(7): 2051—2058.
- [12] 崔学军, 程平, 张海涛, 等. 涂层与基体界面结合强度测定模型的有限元模拟[J]. 吉林大学学报(工学版), 2007(2): 357—361.
CUI Xue-jun, CHENG Ping, ZHANG Hai-tao, et al. Finite Element Simulation of a Test Model for Interface Bonding Strength between Coating and substrate[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition, 2007(2): 357—361.
- [13] 胡小荣, 俞茂宏. 材料三剪屈服准则研究[J]. 工程力学, 2006, 23(4): 6—11.
HU Xiao-rong, YU Mao-hong. Research on Triple-shear Yield Criterion for Materials[J]. Engineering Mechanics, 2006, 23(4): 6—11.
- [14] 方显明. SolidWorks Simulation 图解应用教程(一)[J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2009(7): 106—109.
FANG Xian-ming. SolidWorks Simulation Diagram Application Tutorial(1)[J]. Digital Manufacturing Industry, 2009(7): 106—109.
- [15] 方显明. SolidWorks Simulation 图解应用教程(二)[J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2009(8): 86—90.
FANG Xian-ming. SolidWorks Simulation Diagram Application Tutorial(2)[J]. Digital Manufacturing Industry, 2009(8): 86—90.
- [16] 方显明. SolidWorks Simulation 图解应用教程(三)[J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2009(9): 88—92.
FANG Xian-ming. SolidWorks Simulation Diagram Application Tutorial(3)[J]. Digital Manufacturing Industry, 2009(9): 88—92.