基于 SolidWorks Motion 分析的贝壳去壳设备的设备设计和刚体动力学分析

杨天淳，何政洋
四川大学锦江学院，四川 眉山 620860
DOI:10.61369/ETQM.2026090017

摘　　要： 以全自动贝壳去壳设备中的振动筛网模块和破碎装置模块为研究对象，采用 SolidWorks Motion 开展刚体动力学建模与仿真分析。在 SolidWorks 中完成两个模块的三维实体建模及关键零部件的强度校核与行程分析。基于牛顿－欧拉法构建动力学方程，并在 SolidWorks Motion 环境中分别完成正向与逆向动力学仿真。振动筛网模块重点分析了曲柄滑块机构的运动精度、关节反力与反力矩变化规律。仿真提取了力、力矩及位移、速度、加速度等关键运动参数随时间的变化曲线。所获得的载荷与运动数据可为后续设备的动平衡改进、结构参数标定以及整机动态性能优化提供数值参考。

关 键 词： 贝壳去壳设备；振动筛网；建模；仿真；SolidWorks；SolidWorks Motion

Equipment Design and Rigid Body Dynamics Analysis of Shellfish De-shelling Equipment Based on SolidWorks Motion

Yang Tianchun, He Zhengyang
Sichuan University Jinjiang College, Meishan, Sichuan 620860

Abstract: This paper takes the vibrating screen module and crushing device module of a fully automatic shellfish de-shelling equipment as the research objects, and employs SolidWorks Motion for rigid body dynamic modeling and simulation analysis. Three-dimensional solid modeling of the two modules and the strength check and stroke analysis of key components are completed in SolidWorks. The dynamic equations are established based on the Newton-Euler method, and both forward and inverse dynamic simulations are carried out in the SolidWorks Motion environment. For the vibrating screen module, the analysis focuses on the motion accuracy, joint reaction force, and reaction torque variation of the crank-slider mechanism. The simulation extracts the variation curves of force, torque, and key motion parameters such as displacement, velocity, and acceleration over time. The obtained load and motion data can provide numerical references for subsequent dynamic balance improvement, structural parameter calibration, and overall dynamic performance optimization of the equipment.

Keywords: Shellfish de-shelling equipment; vibration screen; modeling; simulation; SolidWorks; SolidWorks Motion

贝壳去壳效率与壳肉完整度直接影响产品价值。日本、冰岛等国已实现热激、高压水射流及辊压式去壳设备的产业化，但对原料一致性要求高且技术受封锁 [1]。国内样机多基于曲柄滑块敲击与振动筛分原理，设计以经验和静力学校核为主 [2]；少数仿真研究模型过度简化，难以反映力与运动的耦合规律 [3]。刚体动力学仿真是解决该问题的有效途径，其中牛顿－欧拉方法物理意义明确、递推规范，适用于连杆机构的动力学求解 [4]；SolidWorks Motion 可直接对接三维模型，在传动与筛分设备中应用广泛，但在全自动贝壳去壳装置的系统级仿真中尚不多见 [5-6]。本文首先对振动筛网与破碎装置模块进行三维建模及强度校核，基于牛顿－欧拉法建立动力学方程，利用 SolidWorks Motion 完成正、逆动力学仿真。通过分析关键部件的运动与载荷曲线，检验额定工况下的动态可靠性，为结构优化提供数值参考 [4-5]。

作者简介：杨天淳（2006.09—）男，汉族，四川成都人，本科，研究方向为机械设计制造及其自动化。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

一、去壳设备方案

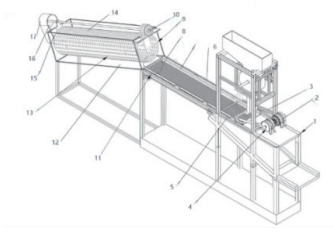


图1 贝壳去壳装置模型图

（一）零部件设计及尺寸计算

（1）偏心轮：图2-3,45号钢，调质，屈服≥355 MPa；轮径100 mm，偏心距70 mm。

（2）压头；图2-3,20mm厚硅胶，邵氏60~70HA，弹性模量5~10MPa。

（3）连杆：如图1-5，Q235钢，矩形截面30×15mm，长200mm，两端铰接。

（4）驱动装置：如图1-4，伺服电机，1.0kW，300r/min，额定转矩31.83N·m。

（5）振动筛网：如图1-10，304不锈钢，850×1600mm，筛孔12mm，倾斜1~5cm。

（二）应力计算与强度校核

（1）偏心轮与压头的冲击力计算

贝壳壳体破碎力根据实测约为200-500N，取最大破碎力F=500N。冲击力通过压头传递至连杆和偏心轮。曲柄长R=70mm，连杆长L=200 mm，连杆最大摆角$\phi max=arcsin(R/L)=arcsin(0.35\approx20.5°$。取连杆与竖直方向最大夹角$\alpha=20.5°$，则连杆承受的轴向力：$Fl=F/cos\alpha=500/cos20.5°\approx534N$。

（2）连杆强度校核

连杆截面积$A=30\times15=450mm^2$，连杆压应力$\sigma=Fl/A=534/450\approx1.19MPa$，连杆两端铰孔处挤压应力：铰孔直径d=12 mm，孔壁厚度t=15 mm，挤压面积$Ab=d\times t=12\times15=180mm^2$，挤压应力$\sigma b=Fl/Ab=534/180\approx2.97$ MPa。Q235钢材屈服强度$\sigma s=235$ MPa，安全系数$n=\sigma s/\sigma max=235/2.97\approx79.1$，强度裕量充足。

（3）偏心轮轴强度校核

轴径ds=25 mm，承受扭矩T=31.83N·m。扭转剪应力$\tau=T/Wt$，其中$Wt=\pi ds^3/16=\pi\times25^3/16\approx3068mm^3$，$\tau=31.83\times10^3/3068\approx10.37MPa$,45号钢许用剪应力$[\tau]\approx0.6\times355=213$ MPa，$\tau<[\tau]$。弯曲应力远低于许用值，轴强度满足要求。

（4）处理能力验证

单次冲击处理贝壳量约0.05kg，冲击频率300次/min，每小时理论处理量约$0.05\times300\times60=900kg/h$。总处理能力可达3吨/小时以上，满足设计指标。

（三）曲柄滑块行程分析

振动筛网模块采用曲柄滑块机构，实现对贝壳壳体和壳肉的筛选。根据设备技术参数，曲柄转速为300r/min，行程为140mm。曲柄长度R=140/2=70mm。曲柄滑块机构的运动方程如下：滑块位移方程：$x=R(1-\cos\theta)+L(1-\cos\phi)$，式中，$\theta$为曲柄转角，$\phi$为连杆摆角，L为连杆长度，取L=200mm。由于R/L=0.35，属小比值机构，可近似认为连杆摆角ϕ的影响较小，简化分析中滑块行程近似等于2R=140mm。在额定转速300r/min下，曲柄角速度$\omega=2\pi\times300/60=31.42rad/s$。滑块最大速度近似发生在$\theta=90°$时，$vmax\approx\omega R=31.42\times0.07=2.20$ m/s。

综上所述，柔性去壳机构的曲柄滑块行程参数、零部件尺寸及材料选择均满足强度和使用要求，为后续SolidWorks Motion动力学仿真分析提供了准确的边界条件和载荷数据。

二、SolidWorks建模与SolidWorks Motion仿真设置



图2 SolidWorks装置建模图

（一）动力学分析方法

针对振动筛网和破碎装置的动力学分析，主要实现：检验额定工况下运动平稳性与位移、速度的精度；揭示驱动力、约束力及力矩的变化规律，为电机选型与结构减重、刚强度优化提供依据；校核满载承载和运动能力，防止驱动力不足或过载失效。因物理样机试验成本高、周期长且极限工况有危险，选用SolidWorks Motion进行刚体动力学仿真。在方法比较中，牛顿-欧拉递推法物理意义清晰、便于编程；欧拉-拉格朗日法方程构建繁琐；李群李代数方法过于抽象。最终采用牛顿-欧拉法建立动力学方程，并借助该工具完成数值仿真，以平衡理论严谨性与工程实用性。

（二）SolidWorks Motion仿真设置

振动筛网模块是仿真分析的重点，其运动核心为曲柄滑块机构。首先在SolidWorks中完成三维建模，并按实际装配关系组装。启动SolidWorks Motion插件后，对曲柄回转副和滑块移动副分别添加运动约束，同时设置导轨与振动板之间的接触约束及摩擦参数。

曲柄驱动按额定工况设置：转速为300r/min，仿真时长为5s，步长取0.0005s。为模拟3t/h处理量下的物料负载，在振动板上表面施加3000N的均布压力。在曲柄轴处布置旋转速度与位移传感器，在曲柄与连杆的铰接点处设置反作用力和反作用力矩传感器，用于提取后续分析所需的运动及动力响应曲线。通过上述设置，可以较为准确地捕捉曲柄滑块机构在额定工况下的运动精度、关节载荷以及整体筛分平稳性。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

三、SolidWorks Motion 仿真结果

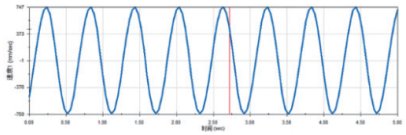


图3 振动筛网曲柄处线性速度

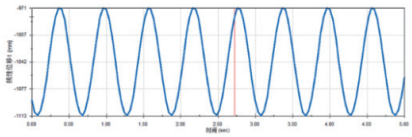


图4 振动筛网曲柄处线性位移

仿真结果表明：滑块实际行程约147 mm，与设计值140 mm偏差约5%，主要源于铰接间隙和接触刚度等非线性因素，在允许范围内。速度曲线呈正弦规律，启动峰值563 mm/s，稳态最大速度2.18 m/s，与理论值2.20 m/s接近，运动平顺无突变。铰链反力峰值约680N，比静力校核值534 N偏高27%，主要来自惯性力（滑块质量1.2 kg）和冲击偏角，但远低于材料屈服极限；反力矩最大约12.5 N·m，电机额定转矩31.83 N·m，裕量超过60%。筛面沿导轨往复移动平稳。综上，振动筛网的运动精度与动力裕量满足3 t/h处理能力要求。获得的载荷与运动数据可为后续动平衡调整和结构参数标定提供数值参考

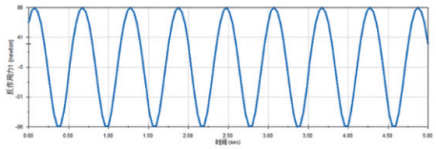


图5 振动筛网曲柄处反作用力

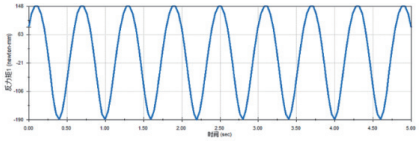
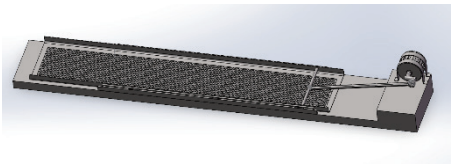
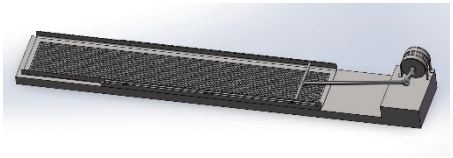


图6 振动筛网曲柄处反力矩





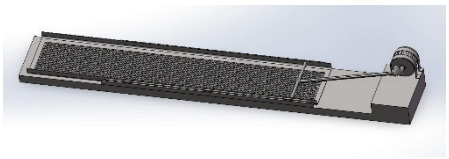


图7 模型在仿真软件中1s,3s,5s的状态

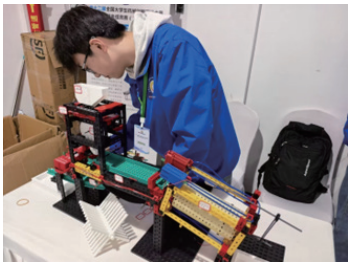


图8 模型慧鱼实物图

图8所示模型在第12届全国大学生机械创新设计大赛中荣获二等奖。

四、结论

本文利用SolidWorks软件，对全自动贝壳去壳设备的振动筛网模块做了三维建模和刚体动力学仿真。仿真结果来看，在额定工况下，振动筛网的运动参数和关节力都处在设计允许的范围内，曲柄驱动电机的转矩裕量比较充足，偏载带来的影响也可控；破碎装置这边，刀辊旋转平稳，实际受到的冲击力矩远低于驱动电机的输出能力，结构强度能满足长期运行要求。这些仿真数据能为后续的整机轻量化、多工况载荷谱研究和疲劳寿命评估提供比较可靠的数值依据和参数化模型基础。

参考文献

[1] 欧阳杰，张军文，谈佳玉，沈建. 贝类开壳技术与装备研究现状及发展趋势 [J]. 肉类研究，2018，32(5)：64-68.

[2] 王珩. 贝类脱壳机设计 [D]. 大连海洋大学，2013.

[3] 浦宏毅，李再参，叶愈，等. 基于Solidworks-Motion的旋耕机动力学仿真 [J]. 科学技术创新，2020,(35):76-77.

[4] 冯志友，张燕，杨廷力，等. 基于牛顿欧拉法的2UPS-2RPS并联机构逆动力学分析 [J]. 农业机械学报，2009,40(04):193-197.

[5] 崔舒然，李光，许光明，孙文良，马明洋，张冲，赵春凯. 条耕机碎土辊仿形装置的仿真与试验 [J]. 农业与技术，2024，44(21)：36-39.

[6]YAMAMOTO K. Food shucking of bivalves by high hydrostatic pressure treatment[J]. Journal of the Japanese Research Group of High Pressure Bioscience and Biotechnology，2008，2(1)：190-194.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.