

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.10.019

叶片式贻贝清洗设备的结构与仿真分析*

程 海,袁跃峰*,李德然

(浙江海洋大学 船舶与机电工程学院,浙江 舟山 316022)

摘要:针对目前我国贻贝清洗加工存在自动化程度低、工人劳动强度大和工序离散化等问题,设计了一种叶片式清洗设备。采用了 Solid works 软件和 Simulation 软件分别对该设备进行了结构设计和相关部件的有限元分析;同时,采用 Step7 软件对设备电机控制电路进行了设计及仿真。研究表明:该设备的打散和清洗叶片的工作应力和变形均在安全范围内,工作产生的振动频率均避开了设备机架固有的共振频率段,设备可长时间运行,而且清洗后的贻贝表面附着物更少。

关键词:贻贝清洗;贻贝打散;清洗机械;有限元分析

中图分类号:TH122;S986.1

文献标识码:B

文章编号:1001-4551(2020)10-1236-04

Structure design and simulation of blade type mussel cleaning equipment

CHENG Hai, YUAN Yue-feng, LI De-ran

(School of Naval Architecture and Mechatronics Engineering, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: Aiming at the current problems of mussel cleaning and processing in China, such as low degree of automation, high labor intensity and discrete processes, a blade-type cleaning equipment was designed. Solid works software and Simulation software were used to carry out structural design and finite element analysis of the relevant components of the device. At the same time, Step7 software was used to design and simulate the device motor control circuit. The results indicate that the working stress and deformation of the equipment for breaking and cleaning the blades are within the safe range, and the vibration frequency generated by the work avoids the natural resonance frequency band of the equipment frame, and the device can run for a long time, there is less attachment to the mussel surface after cleaning.

Key words: mussel cleaning; mussels breaking; cleaning machine; finite element analysis

0 引 言

贻贝具有极高食用价值和药用价值^[1-4]。舟山嵊泗县作为国内贻贝重要养殖基地之一,2018 年贻贝总产量突破 8 万吨^[5-7]。

贻贝在收割后,要经过卸苗、打散、清洗和装袋等工序。目前,贻贝打散作业主要利用搅拌机的旋转臂对贻贝进行搅动,迫使足丝发生破坏。清洗工序主要使用惯性筛对贻贝产生振动力,配合水流的冲洗^[8-11]。由于振动筛主要输出振动力,产生的摩擦力有限,清洗后的贻

贝仍然存在一定的附着物,仍然需要进一步清洗。

为了发展船上加工模式,同时保证加工效率,需要对设备进行工序集成^[12-13],笔者提出一种集贻贝打散和清洗于一体的叶片式贻贝清洗设备。

1 整机结构及工作原理

贻贝清洗设备要以紧凑为主,在提升清洗效率的同时,提升贻贝的清洗品质。

设备结构如图 1 所示。

该设备清洗部分主要由清洗叶片和赶料叶片所组

收稿日期:2020-01-05

基金项目:舟山市科技计划专项项目(2014C41014)

作者简介:程海(1994-),男,安徽安庆人,硕士研究生,主要从事贻贝自动化加工方面的研究。E-mail:c18858386167@163.com

通信联系人:袁跃峰,男,博士,副教授。E-mail:1838373712@qq.com

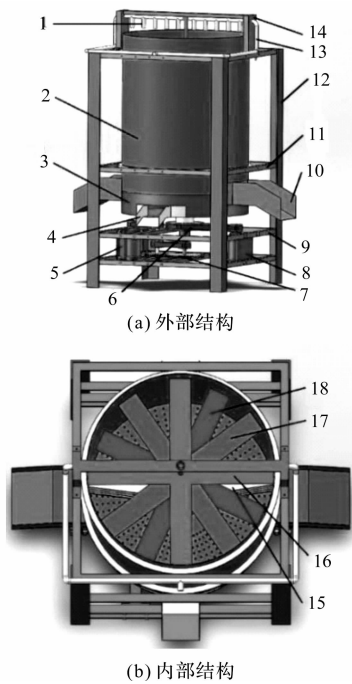


图 1 叶片式贻贝清洗机结构图

1—喷头;2—清洗桶;3—集水槽;4—出水口;5—打散叶片电机;6—同步带;7—传动齿轮;8—叶片驱动电机;9—电机支架;10—贻贝出料口;11—清洗桶支架;12—机架;13—水管;14—顶部支架;15—清洗叶片;16—第一级打散叶片;17—第二级打散叶片;18—第三级打散叶片

成,经过叶片打散的贻贝,在清洗叶片的作用下,进一步对足丝、泥沙和海草形成破坏,配合水流的冲洗,去除表面附着物。

清洗完成的贻贝由于重力的作用落入圆桶底部,由赶料叶片将贻贝送出清洗圆桶;同时设计了集水槽,安装于清洗圆桶底部,由出水口排出污水。

为了保证最先进入清洗桶内的贻贝拥有足够的清洗时间,特将清洗叶片电机延迟一定的时间后,再开始工作^[14-15]。

2 部件的设计

2.1 贻贝相关尺寸

在设备设计之前,需要对贻贝相关尺寸进行测量分析。笔者随机抽取 10 颗贻贝作为样本,贻贝壳长、壳宽和壳高的测量结果如表 1 所示。

表 1 贻贝壳长、壳宽和壳高的测量结果(单位:mm)

序号	壳长	壳宽	壳高	序号	壳长	壳宽	壳高
1	60.12	43.22	35.42	6	59.26	40.80	34.16
2	60.22	43.24	36.24	7	60.20	40.16	32.18
3	59.14	42.22	34.80	8	59.80	40.20	35.20
4	58.58	40.16	35.26	9	60.32	39.80	36.10
5	59.16	41.28	36.28	10	60.22	40.20	34.20

从表 1 可知,贻贝的壳长基本在 60 mm 左右,壳宽在 42 mm 左右,壳高在 35 mm 左右。

2.2 清洗桶

清洗桶主要为贻贝提供清洗环境,考虑到设备的紧凑性等因素,笔者设计的清洗桶直径为 1 m,采用 2 mm 厚度的 316# 不锈钢板进行制作。在贻贝尺寸测量基础上,可以得到正常厚壳贻贝的基本尺寸,壳长×壳宽×壳高基本保持在 60 mm×42 mm×35 mm。基于以上数据,清洗桶的底部出水孔设计为直径 20 mm 的圆孔。出料口的大小设计为 $L=150\text{ mm}$ 、 $B=100\text{ mm}$ 的方孔。

2.3 打散叶片

打散叶片主要承受贻贝倒入瞬间的冲击力以及叶片和贻贝之间的撞击力。该叶片设计为 4 叶式结构;同时,每块扇叶的边角设计成具有刃口的菱角,以增强打散效果。

2.4 清洗叶片

清洗叶片结构如图 2 所示。

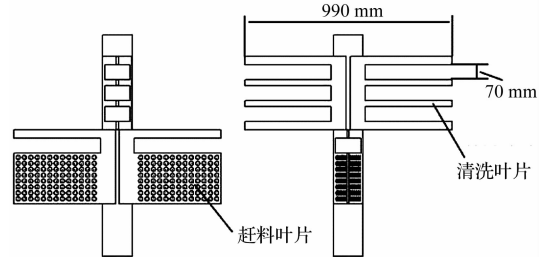


图 2 清洗叶片结构

该部件由清洗叶片和赶料叶片组成。考虑到叶片终端与桶壁间隙过大,将叶片的最大旋转轨迹直径设计为 990 mm。为防止贻贝在清洗叶片中卡住,将叶片间隙增大为 70 mm。赶料叶片在清洗过程中受到贻贝和水的混合阻力,在叶片上开出大小均匀的通孔。

2.5 驱动轴之间的嵌套

由于该设备包含多个旋转部件,运用多轴的嵌套设计,以保证各轴的独立旋转。

各轴之间的装配如图 3 所示。

该结构主要由叶片轴、滚动轴承等组成,前一级轴的外表面与滚动轴承的内圈形成过盈配合,后一级轴的内表面与轴承的外圈形成过盈配合。

2.6 传动路线

设备各部件的传动路线如图 4 所示。

由于工作转速不同,笔者选用 2 台电机分别为打散叶片和清洗叶片提供动力。打散叶片驱动电机,通过同步带将动力传送给中间轴,由中间轴将扭矩分送到各级打散叶片轴;由于打散叶片之间存在交错旋转运动,第 1 级和第 3 级打散叶片轴采用齿轮传动,第 2 级打散叶片轴采用同步带传动。该设备清洗叶片采用

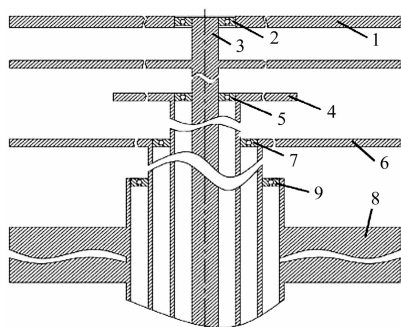


图3 叶片轴装配简图

1—顶部固定支架;2—第1级滚动轴承;3—第1级打散叶片轴及叶片;4—第2级打散叶片轴及叶片;5—第2级滚动轴承;6—第3级打散叶片轴及叶片;7—第3级滚动轴承;8—清洗叶片轴及叶片;9—第4级滚动轴承

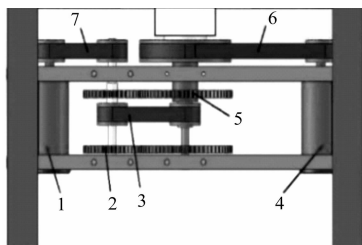


图4 设备各部件的传动路线

1—打散叶片轴电机;2—第1级打散叶片轴传动齿轮;
3—第2级叶片轴传动同步带;4—清洗叶片轴电机;5—第3级打散叶片轴传动齿轮;6—清洗叶片轴传动同步带;7—打散叶片轴电机传动同步带

正反转的方式进行清洗,因此,电机与清洗叶片轴直接采用同步带传动方式进行传动^[16]。

3 关键部件有限元分析

3.1 清洗叶片有限元分析

清洗叶片工作的可靠性直接影响设备工作状态,

因此笔者对清洗叶片的应力和变形进行分析,主要是叶片满载情况下的应力分布和变形情况。

笔者选择 Solid works 中 Simulation 模块为分析软件,并且理论分析选择满载的情况作为分析基础。贻贝壳与清洗桶、叶片之间的摩擦系数选择为 0.21(钢和铸铁摩擦系数)。经过相关计算得出满载情况下,单个赶料叶片所受压力为 0.014 MPa,上端清洗叶片所受压力载荷减半,即 0.007 MPa,温度设定为 30 ℃,材料选取 316#不锈钢,采用材料标准参数,叶片转速设定为 50 r/min 和 100 r/min。

仿真结果表明,两种转速下的最大应力分别为 1.19 MPa 和 1.23 MPa,最大变形量分别为 0.007 9 mm 和 0.007 8 mm,两种转速下的应力最大值均未超出屈服极限 206 MPa,变形最大值均在安全范围之内^[17-18]。

3.2 打散叶片有限元分析

该设备拥有 3 块打散叶片。在加工过程中,第一级打散叶片承受的冲击力最大,因此对第一级打散叶片中的一块扇叶受到冲击时的瞬态动力学进行分析。根据调研结果,采用 3 kg 质量的块状贻贝作为冲击力对象进行叶片分析。仿真选取叶片的转速分别为 150 r/min 和 250 r/min,环境温度设为 30 ℃,材料选取 316#不锈钢,采用材料标准参数,分别设定转速为 150 r/min 和 250 r/min。

仿真结果表明,两种转速下的应力最大值分别为 0.685 MPa 和 1.42 MPa,远小于材料的屈服强度 206 MPa;最大变形量为 0.007 32 mm 和 0.007 26 mm,变形量较小,在实际中不影响加工。因此,该部件的设计满足实际使用要求^[19-21]。

3.3 设备机架的模式分析

仿真结果形成的机架模式云图如图 5 所示。

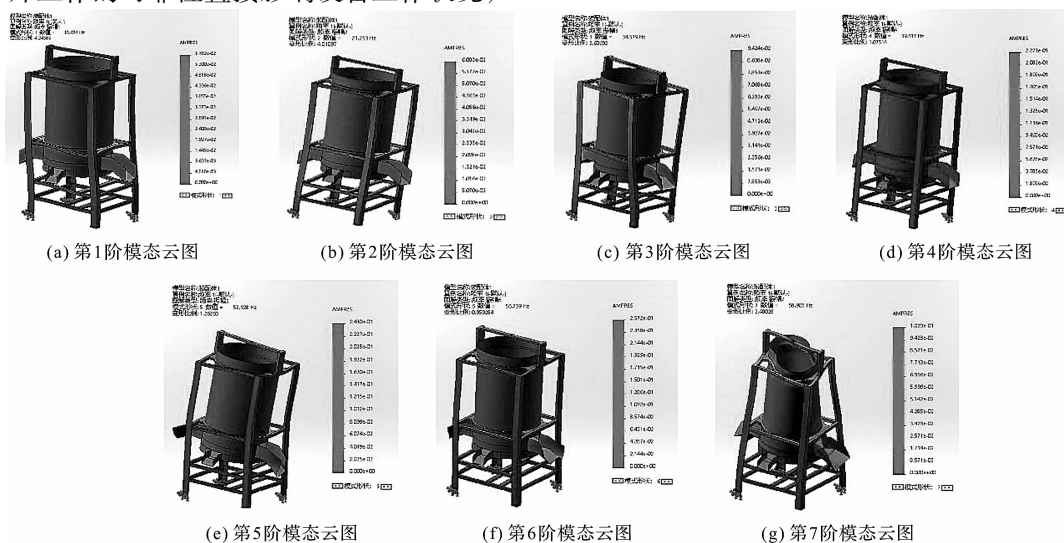


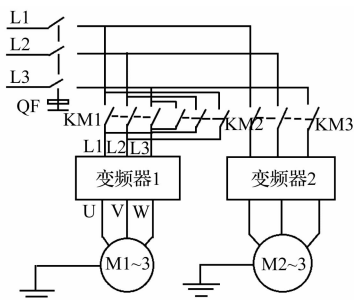
图5 设备机架前7阶模式云图

仿真结果表明:前 3 阶模态,振型主要集中于支架位置,支架发生较小的扭曲;第 4 阶模态,振型主要集中于集水槽位置;第 5、第 6 阶模态,振型主要集中于支架和出料口位置;第 7 阶模态,振型主要是机架和清洗圆桶的综合变形,支架发生扭曲,清洗桶发生变形^[22]。

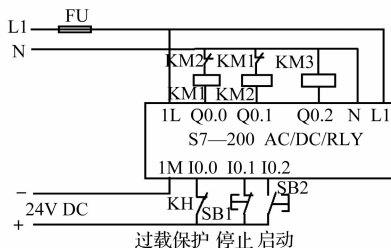
机架共振频率如表 2 所示。

表 2 设备机架前 7 阶共振频率

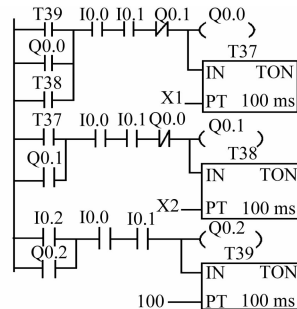
阶数	共振频率/Hz	阶数	共振频率/Hz
1	18.674	5	52.128
2	21.253	6	56.739
3	34.579	7	58.905
4	39.617		



(a) 主电路



(b) PLC 控制电路



(c) PLC 控制程序

图 6 电机主电路、控制电路及控制程序

M1—清洗叶片电机,利用接触器 KM1 控制正转,KM2 控制反转,变频器 1 调节电机转速;M2—打散叶片电机,通过 KM3 控制运行,变频器 2 调节转速

图 6 中,两台电机的主电路分别接入控制各自转速的变频器,叶片转速可以通过变频器的面板来调节。

控制电路采用西门子 S7-200 型号 PLC。控制程序中,支路 1 和支路 2 分别为清洗叶片电机正转和反转控制电路,支路 3 为打散叶片控制电路。由于不同种类的贻贝清洗时间不同,具体清洗时间需要进行实验后才能确定;梯形图定时器 T37 和 T38 的时间用 X_1 和 X_2 表示,为了保证贻贝拥有足够的清洗时间,设定定时器 T39 在打散叶片工作 10 s 后,清洗叶片开始工作。

5 结束语

笔者设计了一款集打散、清洗工序于一体的叶片式贻贝清洗设备,打散部分由 3 层旋转叶片组成;卸苗后的大块贻贝经过打散叶片被逐步细化,落入清洗部分,清洗叶片通过摩擦力促使贻贝表面附着物脱离。

从计算结果可知,机架前 7 阶共振频率在 18 Hz ~ 59 Hz 之间,而该设备正常工作情况下,打散叶片和清洗叶片产生的振动均在 10 Hz 以下,避开了机架固有的共振频率段,可见该设备可长时间正常工作。

4 控制系统的设计

由于打散叶片和清洗叶片采用两电机分别进行动力输送,根据设备运行要求,笔者利用 PLC 设定正反转程序控制电机转向和时间。打散叶片拥有专门的传动部件,因此,控制电路中接有变频器,控制打散叶片转速。

电机主电路、控制电路及控制程序如图 6 所示。

研究表明:该设备的打散叶片和清洗叶片的工作应力和变形均在安全范围内,工作产生的振动频率均避开了机架固有的共振频率段,设备可长时间正常运行。相对于振动式清洗设备,该设备清洗后的贻贝表面附着物更少;设备结构更加紧凑、运行更加平稳。

参考文献 (References):

- [1] 刘志峰. 紫贻贝营养成分的分析及重金属的检测[J]. 烟台大学学报, 2002, 15(2): 147-150.
- [2] 宋广磊. 贻贝的加工与利用[J]. 渔业现代化, 2003(3): 30-31.
- [3] 刘焕亮. 水产养殖生物[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [4] 刘红英. 水产品加工与贮藏[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [5] 郭玉华. 贻贝食品的研究进展[J]. 电气时代, 2011, 24(3): 39-44.

(下转第 1256 页)

本文引用格式:

程海,袁跃峰,李德然. 叶片式贻贝清洗设备的结构设计及仿真分析[J]. 机电工程, 2020, 37(10): 1236-1239, 1256.

CHENG Hai, YUAN Yue-feng, LI De-ran. Structure design and simulation of blade type mussel cleaning equipment[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2020, 37(10): 1236-1239, 1256.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>