

一种蛤蜊分级除杂装置的设计

A design of the device for clam sorting and impurity removing

鲍成伟¹ 段 兰² 宋孟华¹

BAO Cheng-wei¹ DUAN Lan² SONG Meng-hua¹

(1. 西北工业大学明德学院, 陕西 西安 710124; 2. 西安工业大学北方信息工程学院, 陕西 西安 710200)

(1. Mingde College, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710124, China;

2. China Xian University of Technological Information, Xi'an, Shaanxi 710200, China)

摘要:为改进传统人工方式分拣蛤蜊的诸多不利,根据蛤蜊的生物性状特点利用离心法和不同密度原理设计一种能解决蛤蜊分级筛选及去除杂质功能的装置。该装置由三级分级环组成不同间隙的滚筒对不同壳厚蛤蜊进行筛选、清洗。经过仿真分析,装置的结构强度及刚度满足设计需求。

关键词:蛤蜊生物性状;分级除杂;滚筒;分级环

Abstract: In order to optimize the traditional manual method for clam sorting, a device was designed, based on the biological characteristics of clams and the principle of centrifugation and different density, to solve the problem of clam sorting, screening and impurity removing. The device was composed of three grades of rings with different clearance rollers for screening clams with different shell thickness. It could screen out small shells, conch and gravel. Through simulation analysis, the structural strength and stiffness of the device met the design requirements. Through the application, it was proved that the equipment could effectively improve the efficiency and accuracy of clam sorting, reduce labor intensity, lower production cost and improve the automation level of enterprises.

Keywords: biological characteristics of clams; sorting and impurity removal; roller; grading ring

蛤蜊是生活在海洋中的软体动物,其肉质鲜美、营养价值高、具有重要的药用价值,在中国水产养殖业中占有重要地位^[1]。蛤蜊捕捞后一般要进行除杂和分级处理之后才能流入市场。但由于蛤蜊存活时间较短,这给从打捞到流入市场这短暂时间内高效实现上述处理带来较大困难^[2-3]。当下蛤蜊分级筛选主要按照蛤蜊的外形尺寸进行分类,但死亡、空壳蛤蜊主要依靠人工经验分拣,待人工挑

选清洗完毕后冷藏包装流入市场。一般10人同时进行上述操作,平均每日可处理1t左右蛤蜊,生产效率低且劳动强度大。在查阅国外相关产业和机械化加工发展现状的基础上^[4-5],拟设计一种蛤蜊分级除杂装置,通过对比滚筒分级环间隙以及蛤蜊的壳厚,对蛤蜊进行除杂、筛选以及分类处理,可有效提升生产效率并降低生产成本。

1 蛤蜊生物特征性状分析

蛤蜊的生物性状主要包括尺寸特征性状以及重量特征性状两类,其中尺寸特征包括壳高、壳宽以及壳厚^[6]。考虑到蛤蜊的称重过程比较繁琐,而蛤蜊的尺寸特征性状比较容易被检测。采用多元回归方法分别探究蛤蜊壳高、壳宽以及壳厚等尺寸性状对蛤蜊重量性状影响因子的大小。

1.1 材料与方法

以辽宁丹东海湾蛤蜊作为研究样本,其养殖周期为8~12个月;养殖地:丹东蛤蜊岛;样本获取时间范围:48h以内;样本数量200枚(已剔除畸形蛤蜊、死亡蛤蜊);对200枚蛤蜊样本的壳高、壳宽、壳厚进行测量,并对这些尺寸特征进行性状分类,如图1所示。

因为需要探究蛤蜊壳高、壳宽以及壳厚等尺寸性状对蛤蜊重量性状影响因子的大小,所以除了对蛤蜊样本的尺寸性状进行测量外,还需对蛤蜊的活体湿重进行测量^[7-8]。为了保证蛤蜊尺寸生物性状的测量精确度,采用游标卡尺测量蛤蜊的尺寸,选用天平测量蛤蜊的重量。

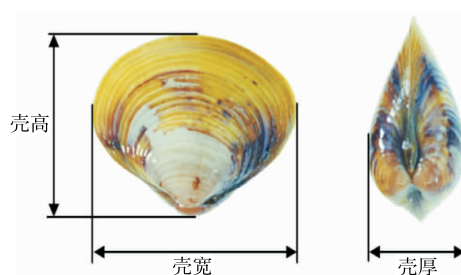


图1 蛤蜊尺寸特征性状

Figure 1 Size and properties of clams

基金项目:教育部协同育人项目(编号:201802204005)

作者简介:鲍成伟(1989—),男,西北工业大学明德学院实验师,硕士。E-mail: baocw@npum.edu.cn

收稿日期:2019-11-10

其中,壳高指的蛤蜊扇翼边缘到壳顶的距离,壳宽指的是蛤蜊扇翼边缘的最大直线距离,壳厚指的是蛤蜊两壳间的最大直线距离。样本各项特征参数统计如表 1 所示。

表 1 样本各项特征参数统计表

Table 1 Statistical tables for various characteristic parameters of samples

统计项	壳高/cm	壳宽/cm	壳厚/cm	活体湿重/g
平均值	2.247	3.145	1.344	7.871
标准误差	0.072	0.098	0.057	0.082
标准差	0.168	0.206	0.493	0.677
方差	0.463	0.578	0.276	1.473
偏度	0.216	0.187	0.215	0.187

由表 1 可知,蛤蜊样本的每一个测量参数的偏度都比较小(<0.22),说明选取的样本的各特征参数满足正态要求,接下来进行相关性分析以及尺寸特征分析。

1.2 结果分析

对样本蛤蜊的尺寸形状数据以及活体湿重数据进行相关性分析,结果如表 2 所示。从表 2 可知,样本蛤蜊的各参数之间都呈正相关,均达到极显著水平,说明所选蛤蜊样本的测量参数具有较强的可靠性以及特征性。同时,从表 2 还可知,在样本蛤蜊的生物性状参数中,蛤蜊的壳厚与其活体湿重的相关性最大,相关系数为 0.798 7;其次为壳高,相关系数 0.778 3;最后为壳宽,相关系数是 0.657 4。

表 2 蛤蜊各特征性状数据相关分析

Table 2 Data correlation analysis of clams' characteristics

相关系数	壳高	壳宽	壳厚	活体湿重
壳高	1.000 0			
壳宽	0.902 4	1.000 0		
壳厚	0.635 1	0.875 6	1.000 0	
活体湿重	0.778 3	0.657 4	0.798 7	1.000 0

1.3 回归方程的建立以及显著性测验

运用 Excel 软件对蛤蜊样本的生物性状统计数据进行分析^[9-10]。建立的回归方程($y=1.507x-0.116$)中,蛤蜊的壳高(H)、壳宽(B)、壳厚(T)为自变量,蛤蜊的活体湿重为因变量,结果如表 3 所示。

由表 3、4 可知,蛤蜊壳厚性状与其活体湿重性状达到极显著水平,而壳高以及壳宽与活体湿重呈现一般显著水平。所以可以根据蛤蜊的壳厚数值来设计分级除杂机。理论上要实现对蛤蜊的分级除杂,其重量性状是可参考的最主要因素。但是在实际情况下,对蛤蜊进行称

表 3 蛤蜊活体湿重对尺寸特征性状的回归分布[†]

Table 3 Characteristics of size and characteristics of wet weight in clams

差异源	自由度	均方平方和	均方差	统计量	显著性
回归分析	3	173.230	56.767	16.674	1.68E-05
残差	13	32.370	2.583		
总计	16	205.600			

[†] 多元相关 $R=0.915\ 8$; $R^2=0.838\ 8$; 校正 $R^2=0.801\ 6$; 标准误差为 1.783 8。

表 4 偏回归系数显著性检验

Table 4 Significance test of partial regression coefficient

名称	回归系数	标准误差	回归系数/系数误差	显著性
截距	-28.754 0	6.902 0	-4.045 8	0.001 0
壳高	0.314 5	0.304 7	0.987 4	0.351 2
壳宽	0.331 7	0.313 9	1.012 3	0.337 1
壳厚	0.694 1	0.289 7	2.413 5	0.031 3

重的过程比较繁琐,而且容易受到杂物(泥沙、其他贝类)的影响,蛤蜊称重所要求的环境也相对比较苛刻,所以较难实现机械自动化分级。而采用壳厚作为对蛤蜊分级的依据则相对比较容易实现,蛤蜊壳厚与其活体重量呈极显著相关,意味着通过对蛤蜊的壳厚性状选择可以实现重量特征性状的分级效果,因此选择蛤蜊壳厚作为分级的主要参考因素。样本中大部分蛤蜊壳宽在 12~35 mm,故将 10 mm 以下的物体当作杂物剔除;10~25 mm 的蛤蜊通过一级滚筒筛选出;25 mm 以上的蛤蜊通过二级滚筒筛选出。通过上述以壳厚为主要参考因素的方式将输送来的蛤蜊进行有效的除杂和分级。

2 蛤蜊分级机的结构设计

采用二级滚筒分级装置,装置中的滚筒筛由分级环并列方式组成。利用蛤蜊壳厚与分级环之间的间隙实现蛤蜊的分级以及对杂物的剔出。

2.1 蛤蜊分级机的整体结构以及工作原理

设计的蛤蜊分级筛选机主要结构包括:喂料口、传送带、滚筒筛、机架、电机、螺旋升降杆、拨动板以及导向拨杆等,整体结构如图 2 所示^[9]。喂料口用于放入蛤蜊原料;传送带的作用是分散和传输蛤蜊;滚筒筛的作用是对蛤蜊进行分级和除杂;电机同于调整滚筒筛以及传送的转速;螺旋升降杆可以调整滚动筛的倾角;拨动板置于喂料口中,可以起到分散蛤蜊原料,防止原料堵塞的作用;导向拨杆与分级环处于同一平面,当滚筒筛转动时,导向拨杆与滚筒筛呈相对运动。

蛤蜊分级机的工作原理:① 当蛤蜊原料通过喂料口放入,带有滤网的传送带(其运行速度由电机控制)通过

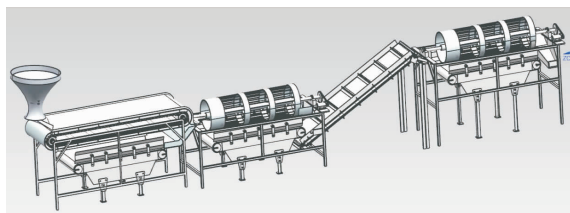


图 2 整体结构图

Figure 2 Overall structure diagram

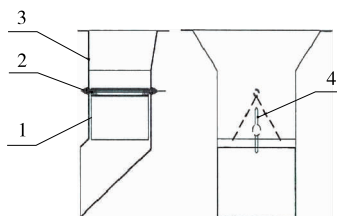
振动初步筛选小型贝类、泥沙等杂物落入杂物箱内,此作为一级筛选;②通过一级筛的蛤蜊利用重力落于导料板中,此时一级滚筒筛处于工作状态,一级滚筒筛的分级环间隙设定值较小,通过电机(50 r/min)连接滚筒筛的筛选可将小蛤蜊沿着滚动筛倾斜方向进入到储料桶中,大型蛤蜊通过导向拨杆沿着槽进入到二级滚筒筛中,此作为二级筛选;③较大蛤蜊通过一级筛中的导向装置向二级筛方向运动,二者之间通过斜向上带有隔板的传输板运送,隔板的高度和间隙分别是 10 cm 和 30 cm。二级滚筒筛的分级环间隙设定值较大,通过电机(100 r/min)连接滚筒,在重力和导向轴套上导向拨杆的共同作用下筛选大蛤蜊到出料斗,此为三级筛选。通过三级层层筛选可有效筛出清洁、不同尺寸且存活的蛤蜊^[10-13]。

2.2 喂料装置的设计

设计的喂料装置如图 3 所示,该装置分为喂料斗以及拨动杆两个部分。来料均匀是实现蛤蜊分级的前提条件,蛤蜊从喂料斗进入喂料箱中时堆积在拨动杆的周围,拨通通过左右反复摆动可使蛤蜊原料均匀下落到传送带上。为了使拨动杆能够进行左右摆动,在拨动杆两侧配置了同样长度和弹性系数的弹簧,当喂料装置不工作时,拨动杆处于正中间位置。而且通过变动拨动杆的工作频率可以调整出口的蛤蜊原料流量,同时还可以避免蛤蜊原料堆积、喂料斗堵塞的情况出现。

2.3 拨动板的参数设计

图 4 为拨动板的两种运动状态,拨动板往复运动的频率以及转角角度对喂料装置的工作性能有较大影响。拨动板在摆动过程中,摆动转角的角度既不能过小也不



1. 入料口 2. 弹簧 3. 喂料斗 4. 拨动板

图 3 蛤蜊分级机喂料装置结构设计

Figure 3 Structure design of feeding device of clam classifier

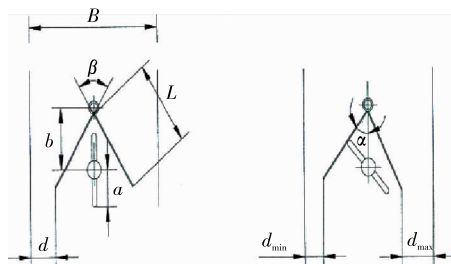


图 4 蛤蜊拨动板运动状态图

Figure 4 Motion diagram of clam's toggle plate

能过大,过小容易使拨动板被物料压实卡住,过大使得物料出口流量的均匀度达不到工作要求,因此需要对拨动板的参数进行分析和设计。

通过图 4 可知,当拨动板处于正中间位置时,可按式(1)计算出拨动板与喂料箱之间的间距 d ;拨动板处摆动到极限位置时,可按式(2)~(4)计算拨动板与喂料箱的最小间距 $d_{\min}$ 和最大间距 $d_{\max}$ 。

$$d = \frac{B}{2} - L \times \sin \frac{\beta}{2}, \quad (1)$$

$$\alpha = \arcsin \frac{a}{b}, \quad (2)$$

$$d_{\min} = \frac{B}{2} - \frac{L \times a}{b}, \quad (3)$$

$$d_{\max} = \frac{B}{2} - L \times \sin(\beta - \alpha), \quad (4)$$

式中:

d ——拨动板与喂料箱间距,mm;

B ——喂料箱宽度,mm;

L ——拨动板宽度,mm;

a ——拨杆长度,mm;

b ——拨杆到拨动板中心的距离,mm;

α ——拨动板与喂料箱中心平面的夹角,°;

β ——拨动板之间的夹角,°;

$d_{\min}$ ——拨动板与喂料箱最小间距,mm;

$d_{\max}$ ——拨动板与喂料箱最大间距,mm。

但拨动板在往复运动时,其与喂料斗之间的距离最小值为 $d_{\min}$,最大值为 $d_{\max}$ 。通过上述分析表明,拨动板摆动转角的角度过小容易使拨动板被物料压实卡住,过大容易使得出口物料流量不均匀。因此拨动板摆弧长要控制在 2~3 个蛤蜊的壳宽尺寸以内。设定间隙变化值为:

$$D = d_{\max} - d_{\min}, \quad (5)$$

$$D = L \times \left[\sin \frac{a}{b} - \sin(\beta - \alpha) \right], \quad (6)$$

式中:

D ——拨动板最大间隙,mm。

样本中大部分蛤蜊壳宽处于 122~35 mm 的范围内,综合考虑,设定 $D=80$ mm。

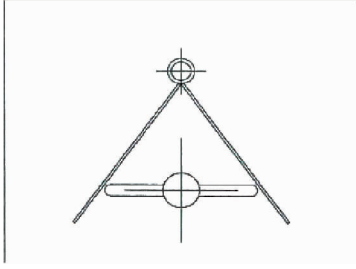


图5 拨动杆与拨动板位置

Figure 5 The position of toggle lever and toggle plate

在喂料装置工作过程中,需要拨动杆来推动拨动板进行往复运动,因此需要使拨动杆与拨动板能够顺利接触,拨动杆长度需要满足:

$$a < L \times \sin \frac{\beta}{2}. \quad (7)$$

综合式(7)和实际情况,设定 L 为 180 mm, a 为 80 mm, b 为 110 mm, β 为 70° 。

2.4 分级环直径的确定

蛤蜊与分级环的接触受力情况如图 6 所示,蛤蜊受到自身的重力作用 G ,分级环对蛤蜊的支撑力为 F_{n1} 和 F_{n2} ,其计算过程:

$$F_{n1} = F_{n2} = \frac{G}{2\sin\alpha}, \quad (8)$$

$$\cos\alpha = \frac{B + d_2}{d_1 + d_2}. \quad (9)$$

显然 B 要比 d_1 小,设定 B 与 d_1 的差值为 C ,有

$$\cos\alpha = 1 - \frac{C}{d_1 + d_2}, \quad (10)$$

$$F_{n1} = F_{n2} = \frac{G}{2\sqrt{1 - \left(1 - \frac{C}{d_1 + d_2}\right)^2}}, \quad (11)$$

式中:

F_{n1} ——分级环支撑力, N;

F_{n2} ——分级环支撑力, N;

G ——蛤蜊重量, N;

α ——支撑力与水平面的夹角, $(^\circ)$;

B ——分级环之间的间隙, mm;

d_1 ——蛤蜊壳厚, mm;

d_2 ——分级环直径, mm;

C ——分级环之间的间隙与蛤蜊壳厚的差值, mm。

从式(4)~(11)可知,在 C 值固定的情况下,如果增加分级环的直径,会使得蛤蜊受到的支持力 F_{n1} 以及 F_{n2} 增大,导致蛤蜊受到分级环带来的挤压力也增大。壳厚小于分级环间隙的蛤蜊会被滚筒筛剔除,但是设置分级环间隙过大容易导致分级机的筛选精度降低,起不到良好的分级作用。而设置的分级环间隙过小,容易使得蛤蜊被分级环卡住,进而导致滚筒筛内部蛤蜊的原料堵塞

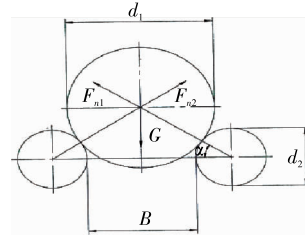


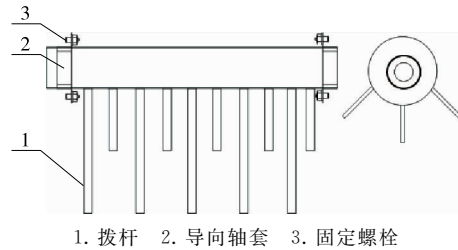
图6 与分级环接触受力图

Figure 6 Contact force diagram with grading ring

和堆积。所以合理地设置分级环之间的间距有着重要意义,试验结合样本蛤蜊壳厚数据的统计情况,将分级环之间的间距设置为 12 mm,设计的滚筒直径为 610 mm。

2.5 导向装置的设计

导向装置不仅可以对滚筒筛内的蛤蜊进行波动,防止原料堆积以及蛤蜊卡在分级环之间等情况出现,还可以调整蛤蜊姿态,提高蛤蜊分级效率。试验设计的蛤蜊导向装置如图 7 所示。



1. 拨杆 2. 导向轴套 3. 固定螺栓

图7 蛤蜊导向装置结构图

Figure 7 Structural diagram of clam guiding device

从图 7 可知,设计的蛤蜊导向装置主要由拨杆 1、导向轴套 2 以及固定螺栓 3 组成。拨杆可以波动滚筒筛内的蛤蜊,起到导向作用。导向轴套是基于轴承工作的,其与主轴之间用轴承进行连接,可以实现小幅度摆动或者不动的状态。当分级机工作时,对于导向轴套,滚筒筛相转速比较快,所以蛤蜊会受到导向杆力的作用。设计的导向杆处于交叉分布,每个导向杆之间的间距为分级环直径的 4 倍,同时考虑到实际导向效果,设计的导向拨杆与分级环都能处于同一平面。因为滚筒筛内可能发生蛤蜊卡在分级环之间或者堵塞的情况,所以在选取制作导向杆时,选择有一定强度、韧性、耐磨损的碳素钢材料。

3 仿真分析

因喂料斗中导向装置受力情况最复杂,故对此装置进行应力、应变、安全系数仿真分析。通过 ANSYS 软件对其导向拨杆进行有限元分析,导向拨杆材料为 Q235,定义其密度为 7850 kg/m^3 ,弹性模量为 $2.0 \times 10^{11} \text{ Pa}$,泊松比为 0.25。根据模型特征其网格划分类型选为 Curvature 类型,得到细化网格的有限元模型的节点为 124 612,单元数为 79 422。载荷及约束设定之前统计的 200 枚蛤

蜊(评价活体湿重量为 7.8 g/个)样本经过导向装置的一侧,得到导向装置的网格划分图、应力分布云图及总变形量云图如图 8 所示。

由图 8 可看出,导向杆旋转中心变形量较小而边缘

的变形量最大,最大值为 0.82 mm,满足刚度要求。导向杆根部受力最大,应力集中处极限值为 212 MPa,小于其屈服极限。而整体结构的大部分应力 < 25 MPa,安全系数符合国家标准,因此结构强度满足使用要求。

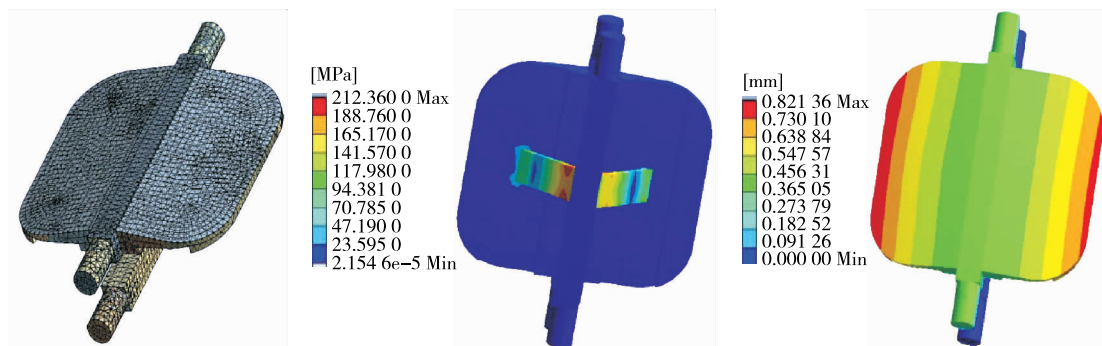


图 8 ANSYS 分析图

Figure 8 ANSYS analysis

4 结论

(1) 利用离心法和不同密度原理提出了一种由三级分层环组成的滚筒式蛤蜊分拣除杂装置,通过研究拨动板的运动状态并结合分析蛤蜊的生物性状,发现拨动板摆弧长需控制在 2~3 个蛤蜊的壳宽尺寸以内才能保证蛤蜊顺利通过,通过计算确定拨动板最大间隙 $D = 80$ mm,进而确定了喂料装置。

(2) 通过理论分析发现,随着入料量的增加,筛筒的理论长度增加,再对蛤蜊与分级环接触受力进行分析,在确保蛤蜊不受分级环较大挤压力的情况下,得到分级环间间隙 $B = 12$ mm,滚筒直径 $d_2 = 610$ mm。

(3) 通过对关键部件的仿真分析,装置的结构强度及刚度满足工作要求。两人共同操作即可实现该装置的正常应用,较大程度地提高了生产效率并降低了企业生产成本^[14]。

参考文献

- [1] 张士军. 海洋蛤类产业价值链及价值增值的实证研究: 以红岛蛤蜊为例[J]. 世界农业, 2014(12): 38-44.
- [2] 张士军. 中国蛤类产业结构与特征研究: 以“红岛蛤蜊”产业为例[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 1-51.
- [3] 张莹玟, 玉霄. 山东省蛤蜊养殖的生态经济效益分析[J]. 农村经济与科技, 2017(8): 44-45.
- [4] 张问采, 贾文月, 张翔. 缢蛏采收机械化的现状与发展趋势[J]. 福建农机, 2017(1): 29-30.
- [5] 文怀兴, 王春普, 周改梅. 辊轴式大枣自动分级机的研制[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 86-89.
- [6] 闫喜武, 王琰, 郭文学, 等. 四角蛤蜊形态性状对重量性状的影响效果分析[J]. 水产学报, 2011(10): 1 513-1 518.
- [7] KONS K, BERGSTROM D, FULVIO D F. Effects of sieve

size and assortment on wood fuel quality during chipping operations[J]. International Journal of Forest Engineering, 2015(8): 114-123.

- [8] LIM B.Y, SHAMSUDIN R, BAHARUDIN B T H T, et al. Performance evaluation and CFD multiphase modeling for multistage jatropha fruit shelling machine[J]. Industrial Crops & Products, 2016(7): 125-138.
- [9] 时明明, 周洁, 金瑶, 等. 小型红枣去核机料斗机械振动装置设计及仿真分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 76-79.
- [10] 董彬. 冷却式滚筒分筛机的改造设计与应用[J]. 广东科技, 2015(12): 40, 39.
- [11] 张大卫. 用于粗煤泥脱水脱泥滚筒筛的研制及其性能试验研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2015: 39-78.
- [12] 薛然. 花生荚果圆筒筛筛分特性研究与参数优化[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015: 1-54.
- [13] 施昱, 王庆海, 叶伟. EDEM 数值模拟在垃圾处理机械滚筒筛中的应用[J]. 制造业自动化, 2015(17): 102-105.
- [14] 鲍成伟. 一种蛤蜊除杂分级分拣专用设备: 中国, 201910071303.5[P]. 2019-01-02.