

# 再制造设计在食品机械中的应用

## The application of remanufacturing design in food machinery

张丹<sup>1</sup> 于福才<sup>1</sup> 廖攀<sup>1</sup> 周朝宾<sup>2</sup> 蔡宗琰<sup>1</sup>

ZHANG Dan<sup>1</sup> YU Fu-cai<sup>1</sup> LIAO Pan<sup>1</sup> ZHOU Chao-bin<sup>2</sup> CAI Zong-yan<sup>1</sup>

(1. 长安大学工程机械学院, 陕西 西安 710061; 2. 兰州理工大学机电工程学院, 甘肃 兰州 730050)

(1. College of Engineering and Mechanical Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710061, China;

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu 730050, China)

**摘要:**文章分析了影响食品机械再制造设计的诸多关键因素,在再制造设计定义与特点的基础上,通过实地调研,对一些现有结构进行面向再制造改进设计,使其结构更加合理,并运用再制造设计原理对月饼自动刷油扎孔机进行创新设计。面向再制造设计能充分挖掘废旧食品机械所蕴含的资源价值,推动可持续发展战略方针。

**关键词:**面向再制造设计;再制造;资源节约;食品机械;设计实例

**Abstract:** This paper analyzes many key factors influencing the design of remanufacturing of food machinery. Based on the definition and characteristics of remanufacturing design, the remanufacturing design of some existing structures is improved by field investigation, so that the structure is more reasonable and the remanufacturing design principle of the moon cake automatic brush oil hole machine for innovative design. The face-to-face remanufacturing design maximizes the wealth of resources contained in waste food machinery and promotes a strategic approach to sustainable development.

**Keywords:** design for remanufacturing; remanufacturing; resource conservation; food machinery; design example

市场竞争的日益激烈与技术环境的日渐复杂,和可持续发展的紧迫性与重要性,对食品机械企业的产品创新研制提出了更高要求。环境友好设计方法急需引入食品机械设计中,提升企业绿色产品设计能力。绿色设计指对食品机械结构及零件使用面向再制造设计(Design for Remanufacturing),使设备在设计初始便考虑其后续再制造可行性,令设备在生命周期末端获得优良的再制造能力。鲍宏等<sup>[1]</sup>将面向再制造设计思维和创新设计两者结合,面向设备生命周期

再制造性能多角度开展产品设计方法研究及应用。

### 1 面向再制造设计概述

#### 1.1 中国食品机械现状

中国食品机械行业起步较晚,高起点企业较少,仍存在一些问題,例如,创新点弱,低水平产品较多,没有自主研发品牌,一些技术被国外垄断,需从国外进口大量食品机械,甚至一整套生产线。从事食品机械的研发团队较少,国家在该领域投入的科研经费、人力物力不足,导致食品机械更新换代较慢,生产线较为落后。由于食品机械质量欠缺,无法长时间服役,导致大量设备以及零部件废弃。进口设备消耗了国家大量资金,如果能将这些废旧设备回收再利用,将为国家以及企业节省一大笔开支<sup>[2]</sup>。

#### 1.2 面向再制造设计概念

再制造设计是依据再制造设计要求,利用先进的技术与设计方法,针对产品自身再制造属性和再制造生产流程中各个生产环节、技术单元以及资源使用进行全方位规划,得到最优再制造方案的全过程。再制造设计的研究重点是产品设计初始的再制造性和验证评价;再制造系统涵盖了人员、设备及技术的功能、构成、构建、及运作规律的优化设计方法等。再制造设计的最终目的是运用全系统全生命过程理论,使用先进的科学技术法与手段,设计出拥有优良再制造性的产品。

再制造设计相比传统设计具有更高难度和技术要求,它有特殊约束条件和更高层次技术难度。利用再制造设计,依据设备情况,对再制造经济性与资源有害程度进行前期计算和预判,确定具体技术单元,最终得到面向废弃资源的最优再制造方案。在保证再制造品质的前提下,完成了再制造资源回收最大化,环境污染最小化,是废旧产品进行再制造的科学依据<sup>[3]</sup>。

#### 1.3 再制造性与再制造度

再制造性为物体所固有,作为设备进行再制造的先决条

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(编号:51305042)

**作者简介:**张丹,女,长安大学在读博士研究生。

**通信作者:**蔡宗琰(1964—),男,长安大学教授,博士。

E-mail: 2309588978@qq.com

**收稿日期:**2017-09-25

件,是再制造研究的基础。相同设备在不同条件下具有不同的再制造性,再制造性不能脱离具体条件。设计初始无论是否面向再制造设计,产品的再制造性都客观存在,随着时间的推移再制造性会产生变化,并且由于智能化,创新化的技术发展,再制造性随之增加。

设备回收体现了再制造性,设备价值回收作为一个随机变量,它随外部条件变化,因此使用再制造度来定量描述。再制造度指以指定时间和条件为前提,设备服役完毕,考虑在环境技术等诸多因素的前提下,利用再制造所得到利润和再制造品价值比,可用  $R_n$  表示<sup>[4]</sup>。

$$R_n = \frac{C_r + C_e - C_c}{C_r + C_e} = 1 - \frac{C_c}{C_r + C_e}, \quad (1)$$

式中:

$C_r$  ——再制造设备自身价值;

$C_e$  ——再制造环境效益价值;

$C_c$  ——过程总投入成本。

若  $R_n < 0$ , 则说明  $C_c$  大于  $C_r + C_e$  (即再制造得到的所有价值), 再制造有所亏损。若  $C_c > C_r$ , 再制造环境效益价值  $C_e$  值大时, 再制造能够通过寻求资金支持开展, 例如政府。在此条件下, 再制造得到了环保价值, 政府为主要投资者, 企业利润由政府再制造补助得到。

## 2 面向食品机械再制造设计内容

### 2.1 再制造设计与评价理论

传统的食品机械设计通常考虑设备可靠性、运行平稳性、可维护性等, 为了提高设备在生命周期末端可用于再制造的能力, 需对设备自身的再制造属性进行综合设计, 即在设备设计初期需面向再制造整体过程进行设备结构等系列设计, 并且对设计指标评估与校验, 全面提升食品机械设备的再制造能力和效率。所以, 需基于设备属性设计的相关方法和理论, 建立再制造设计指标体系和新设备设计初始再制造设计和评价理论<sup>[5-6]</sup>。

机械与电子产品失效曲线类似于浴盆形状, 见图 1。在设备服役前期需调试, 处于磨合期, 失效率较高, 但此时间段内维修简单, 成本低廉; 磨合期结束后为设备平稳运行阶段, 此阶段偶发故障, 多由于人工操作失误, 维修较为容易; 曲线第三阶段为损耗期, 此阶段维修频次与维修成本上升。面向再制造设计考虑到零部件替换与核心零部件保护等, 可延长设备偶发故障期, 使损耗期故障率下降, 减少零部件更换难度与维修难度, 降低维修成本, 使核心零部件重复利用, 最终为企业节省成本<sup>[7-9]</sup>。

### 2.2 食品机械梯度寿命设计

传统食品机械设备属于单周期产品, 利用再制造技术可使其达到多寿命周期循环使用。面向再制造设计的食品机械多寿命周期是一种新型的设备服役模式, 因而设计要求不同于传统的食品机械, 其设计核心为针对再制造运用寿命梯度理论, 以食品机械服役条件及时间作为基础进行零件梯度寿命设计。使价值较低, 需要反复更换的零件服役时间等于设备单次服役时间; 高价值可多次利用的零件服役时间根据

工况与性能要求设计为设备单次服役时长的不同梯度倍数。那么在某种食品机械的第  $N$  次再制造中仅需更换一次寿命与已达到设计倍数服役年限的零件, 简化了该设备再制造过程中零件剩余寿命评估与再制造工艺的使用。梯度寿命设计见图 2<sup>[10-12]</sup>。

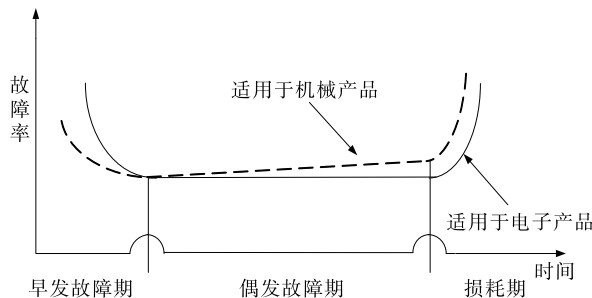


图 1 浴盆曲线

Figure 1 Tub curve

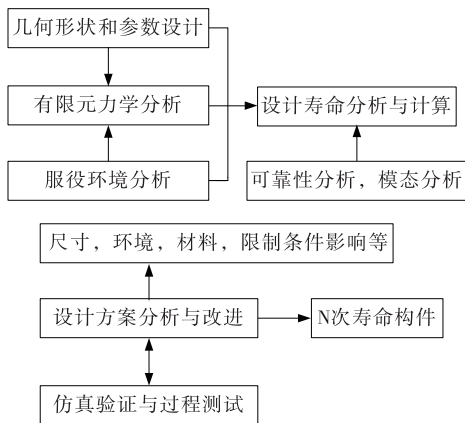


图 2 梯度寿命设计流程

Figure 2 Gradient life design flow

## 3 面向再制造的食品机械设计

### 3.1 易于拆卸

拆解是进行再制造的必要过程。再制造拆解不同于一般拆卸, 要求尽量多地保留拆卸下的零部件使其不受损坏, 并保留核心零部件。部分企业已意识到此问题, 开始运用卡式与接入式接头、模块化零部件, 此类型零件更易被拆卸, 大大缩短了拆解与装配耗时。拆卸需要按照一定的顺序进行, 同一个设备有几种不同的拆卸顺序, 面向再制造设计应该考虑拆卸顺序合理性, 以下列举几种易拆卸结构<sup>[13-15]</sup>。

(1) 如图 3 所示, Snap-fit 结构可以替代食品机械中的传统螺栓连接, 并且能够确保连接有效。

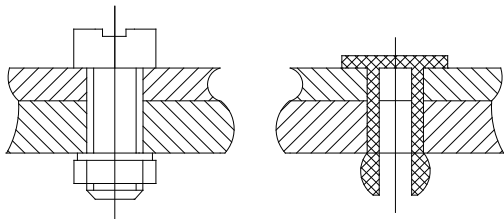


图 3 Snap-fit 结构

Figure 3 Snap-fit structure

(2) 图 4 为一种重力连接结构,使用时将一侧的接头搁置于槽孔中,结构的稳定性依靠重力维系,该结构又称为:搁置式重力连接结构。该结构可以取代传统结构,不会产生破坏性拆卸。

(3) 图 5 为插销紧扣连接,销轴 2 被固定于管接头 1 上,管接头 3 有开口,当销轴插入接口并旋转一定程度后,两者连接,如需拆修,同样只需旋转一定角度即可完成拆卸。

(4) 图 6 为普通卡扣。

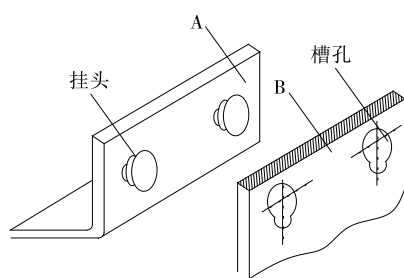
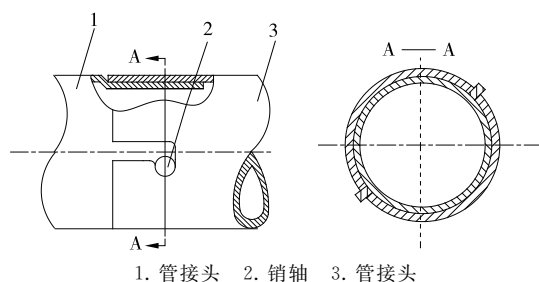


图 4 重力连接结构

Figure 4 Gravity connection structure



1. 管接头 2. 销轴 3. 管接头

图 5 插销紧扣连接

Figure 5 Latches tightly connected

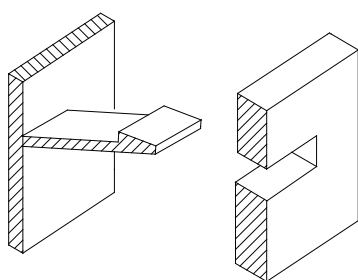


图 6 普通卡扣

Figure 6 Ordinary buckle

### 3.2 易于运输

再制造是将处于生命周期末端的设备进行回收,为再制造品提供原材料。面向再制造设计的食品机械应尽量节省运输过程中所占空间,避免过多突出部分,因为结构突出部分易被损坏或需要独立空间。结构设计合理在装载过程中也具有优势,尽量使底面接触部分面积足够<sup>[16]</sup>。

### 3.3 易于分类

零件合理分类,对再制造设备质量有直接影响。合理并且快速地分类可以优化回收库存成本,缩短再制造时间。在面向再制造设计时应尽量使用标准件,避免出现过多零部件

种类,使设备尽可能简化。为了使分类迅速进行,分类明朗化,应对相同零部件使用可识别记号进行标记,缩短分类耗时<sup>[17]</sup>。

### 3.4 易于清洗

清洗为再制造中至关重要的一步,影响再制造后续修复成功与否。由于拆卸下的零部件存在几何尺寸受损和螺纹结构等,加之食品机械所处的环境,使零部件易被油垢、食品残渣等污染,需彻底清洗才能提高再制造品的质量。面向再制造设计应尽量使设备表面光滑,易于清洗。可适当使用表面涂料等方法,减少由于清洗所造成的零部件损伤。

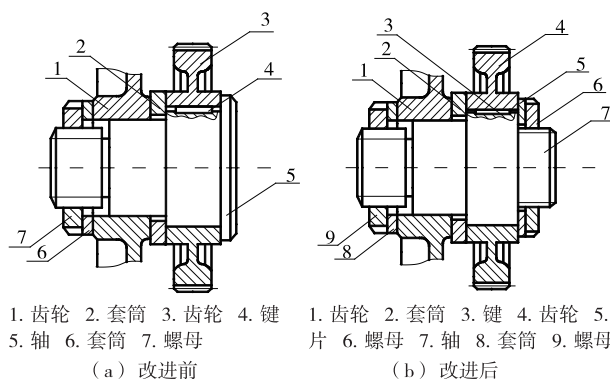
### 3.5 易于修复

设备的修复和升级是再制造的一个重要程序,使其到达新品,甚至高于新品的质量,从而提升设备的市场竞争力。面向再制造设计时应增加零件可靠性,尽可能降低材料与结构的磨损与折断,锈蚀与污垢堆积。设计的部件应易于替换,有较好的升级性<sup>[18-20]</sup>。

## 4 设计实例

### 4.1 实例 1

图 7 为食品机械中常用的齿轮连接结构。改进前,该齿轮连接结构的螺母 7 联合轴端限位将零件 1 与齿轮 3 串连在轴 5 上;零件 2 和零件 6 是限位所用套筒,4 为键。齿轮属于易损零件,常被用于食品机械中,服役过程中需经常维护或更替,改进前对齿轮 3 进行维护或更换时,需要反复拆装零件 6、7、1、2,加大作业量,过程中如有不慎,会损坏周围零部件,造成额外损失。



1. 齿轮 2. 套筒 3. 齿轮 4. 键 5. 轴 6. 套筒 7. 螺母 8. 套筒 9. 螺母

(a) 改进前

(b) 改进后

图 7 齿轮结构改进对比图

Figure 7 Comparison chart of gear structure improvement

利用再制造设计原理对图 7(a) 所示结构改进设计,将轴 5 左侧螺纹连接镜像地设计在右侧,改进后对齿轮 4 进行维护时,避免了反复拆、装的问题。

面向再制造设计还可对一些其它结构进行改进设计,图 8 为食品机械中的一种换热结构,零件 2、3 与零件 1 间有三层连接。图 8(a) 所示结构 1 的两侧零件无法独立装卸,同样出现维护不便的情况。对该结构进行面向再制造设计后,如图 8(b) 所示,两边的板管可独立装卸<sup>[21-22]</sup>。

### 4.2 实例 2

4.2.1 面向再制造的月饼自动刷油孔机设计 通过对陕

西省咸阳市红星软香酥厂调研了解到,在烤制时为了确保饼体不粘盘,且彻底烤熟,需在饼体表面刷油,并扎孔,而该程序完全依赖人工进行,耗时费力。现利用面向再制造设计原理设计针对该操作的自动刷油扎孔机。

对月饼自动刷油扎孔机进行面向再制造创新设计,设备示意图见图 9。

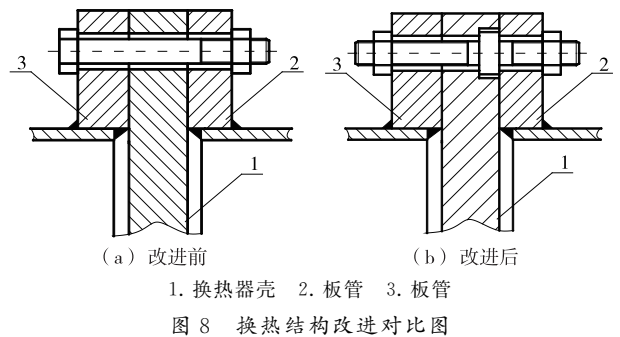


Figure 8 Comparison chart of heat transfer structure improvement

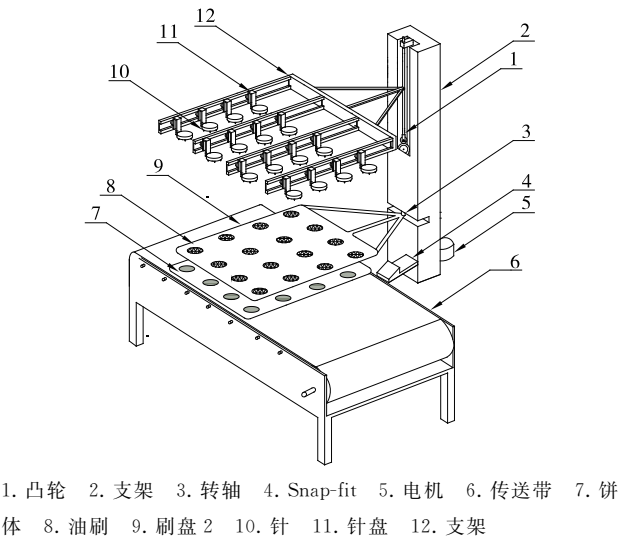


Figure 9 Automatic structure of moon cake

设备通过 Snap-fit 结构 4 固定在传送带的一侧,或对称的两侧,视产量而定。刷盘 9 可绕轴 3 在水平面做  $180^{\circ}$  转动,生产旺季时可连续刷油,淡季可间歇刷油,当转离传送带时可粘取定量食用油。支架 12 与针盘 11 在凸轮机构的带动下做上下往复运动。刷油结束,支架 12 带动针盘 11 对饼体扎孔,针盘上升过程中,由于刷盘 9 的阻挡,避免了针盘将饼体带离。设备整体结构简单合理,针盘独立,针与针盘采用螺纹连接,更换简单。设备连接处采用 Snap-fit 易拆卸机构,设备整体再制造性强。

图 10 为设备刷盘结构,刷盘共 16 个正圆孔,孔上装有油刷,孔直径应略小于饼体直径,以传统月饼为例,直径在 5~8 cm,研究取月饼直径为 7 cm,则刷孔直径设计为 6.7 cm,0.3 cm 的直径差可保证刷盘向上运动时不带走饼体。刷盘上的油刷与油刷孔采用螺纹旋接,方便清洗时油刷

的拆卸,同样为油刷的替换提供了便利条件。刷盘可绕轴在水平面做  $180^{\circ}$  转动,运动范围可根据实际情况调整。装置两侧或者单侧放置食用油,每次刷盘运动食用油处蘸取适量油进行刷油工作。

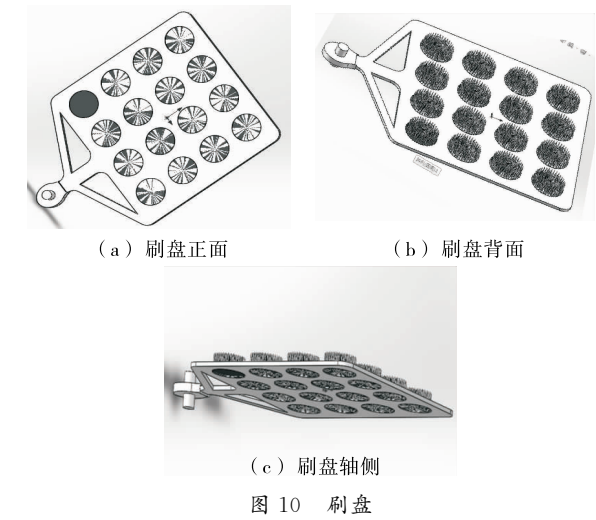


Figure 10 Brush plate

图 11 为针盘结构,针的覆盖直径应等于或略小于刷盘上孔的直径,研究取 6.6 cm,以便针顺利进行扎孔作业。

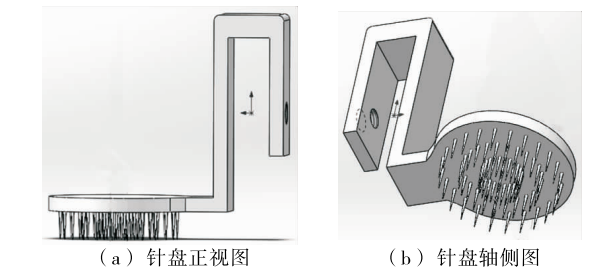


Figure 11 Needle plate

图 12 为针盘整体图。针盘同样使用螺纹连接固定于支架间隙中,该设计便于拆卸与位置调整。

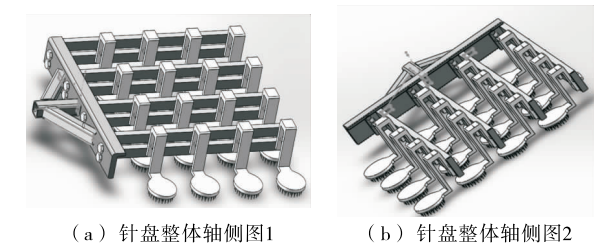


Figure 12 The overall image of the dial

图 13 为支架与刷盘装配图,支架凹槽内使用凸轮结构,凸轮带动针盘做上下往复运动。

4.2.2 设备仿真 图 14 为面向再制造设计的月饼自动刷油扎孔机三维图。设备可根据实际生产需要安装在传送带一侧,或是两侧,研究使装置安装在传送带一侧。

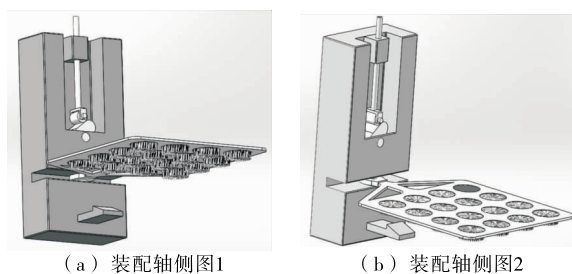


图13 装配图

Figure 13 Assembly Figure

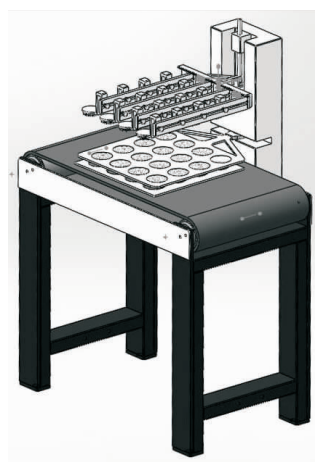


图14 整体三维图

Figure 14 Whole 3D graph

## 5 结语

本文通过对面向再制造设计理论的分析,结合实际情况,对现有食品机械设备中存在的一些不合理结构,例如齿轮与换热结构,利用面向再制造设计理论进行改进设计,使其结构更加合理,便于拆卸,提升其再制造价值。并利用该理论对月饼自动刷油扎孔机进行创新设计,将传统需要人工操作的工序自动化,设备连接处采用易拆卸结构,整体结构设计合理,再制造性强,提升企业效益的同时,使废旧设备最大程度地投入再制造循环使用,节约了更多资源。

## 参考文献

- [1] 鲍宏,刘志峰,胡迪,等.应用TRIZ的主动再制造绿色创新设计研究[J].机械工程学报,2016,52(5):33-39.
- [2] 朱胜,徐滨士,姚巨坤.再制造设计基础及方法[J].中国表面工程,2003(3):27-31.
- [3] 张凯,陈浩.包装与食品机械发展及相关问题阐述[J].中国高新区,2017(2):104.
- [4] 张秀芬,蔚刚,刘行.支持再制造设计的产品失效模式信息传递模型[J].机械工程学报,2017,53(3):201-208.
- [5] YAO Ju-kun, ZHU Sheng, CUI Pei-zhi. Design for remanufacturing and remanufacturability based on process[J]. Advanced Materials Research, 2011, 1452(338): 18-21.
- [6] 王中营,任宁,武文斌,等.TQLZ型往复振动筛动力学模型与虚拟样机仿真[J].食品与机械,2016,32(2):67-70.
- [7] 龙哲,申桂香,张英芝,等.基于浴盆曲线的数控机床早期故障

试验时间研究[J].机床与液压,2017,45(11):175-178.

- [8] 邱海飞.旋转机械基础部件动态分析与仿真研究[J].食品与机械,2017,33(6):101-104.
- [9] WU Zhi-qiao, KWONG C K, AYDIN Ridvan, et al. A cooperative negotiation embedded NSGA-II for solving an integrated product family and supply chain design problem with remanufacturing consideration[J]. Applied Soft Computing, 2017, 57: 19-34.
- [10] 姚巨坤,朱胜,时小军,等.再制造设计的创新理论与方法[J].中国表面工程,2014,27(2):1-5.
- [11] 宋守许,刘明,刘光复,等.现代产品主动再制造理论与设计方法[J].机械工程学报,2016,52(7):133-141.
- [12] 王刚令,王国栋,李媛.面向再制造的快速机加工系统设计与研究[J].科技风,2017(3):121.
- [13] 李东旭.面向拆卸的液晶显示器结构设计方法及可靠性研究[D].合肥:合肥工业大学,2013:40-49.
- [14] ROSI A, ZERBINI C, PELLEGRINI N, et al. How to improve food choices through vending machines: the importance of healthy food availability and consumers' awareness[J]. Food Quality and Preference, 2017, 62: 262-269.
- [15] YANG S S, KONG S, NEE A Y C. A decision support tool for product design for remanufacturing[J]. Procedia CIRP, 2016, 40: 144-149.
- [16] 王军.面向制造和装配的食品机械设计相关探讨[J].科技创新与应用,2016(4):17.
- [17] 付宏生,张景黎,梁凯.新型食品机械开发与结构设计[J].食品研究与开发,2013,34(1):117-120.
- [18] 刘亚军.常用再制造修复技术探讨[J].山西焦煤科技,2015,39(1):51-53,56.
- [19] 白晓丽,伍毅.面向制造和装配的食品机械设计[J].食品与机械,2012,28(1):146-147.
- [20] 杨明.基于TRIZ的可拆卸连接结构设计研究[D].合肥:合肥工业大学,2010:17-21.
- [21] 宋守许,刘明,刘光复,等.现代产品主动再制造理论与设计方法[J].机械工程学报,2016,52(7):133-141.
- [22] 吴雨唐,罗书强,杨明金,等.往复式切割器的切割性能仿真研究[J].食品与机械,2016,32(6):87-90.