

# GDX2 硬盒包装机组 CH 与 CV 联接传动轴的优化设计

Improvement of transmission shaft connecting CH and CV in GDX2 packer

王广胜 王文辉 曹兴强 王中青 杨光露

WANG Guang-sheng WANG Wen-hui CAO Xing-qiang WANG Zhong-qing YANG Guang-lu

(河南中烟工业有限责任公司南阳卷烟厂, 河南 南阳 473007)

(Nanyang Cigarette Factory, China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Nanyang, Henan 473007, China)

**摘要:** GDX2 硬盒包装机组的 CH 与 CV 联接传动轴经常因磨损损坏, 传动轴结构上是一体化设计, 且操作维修空间狭小, 更换费时费力, 为此对万向联轴器组件进行改进。在不改变现有传动原理的基础上把原来的传动装置改为可快速单独拆卸的组件, 维修时只需拆下损坏的万向联轴器组件, 安装上备用的组件。应用结果表明, 改进后的快装式万向联轴器组件, 结构简单, 运行可靠, 降低了维修工时, 有效地提高了设备的有效作业率。

**关键词:** GDX2 硬盒包装机组; 万向联轴器; 组件; 维修工时

**Abstract:** The transmission shaft connecting CH and CV in GDX2 packer always breaks down due to attrition. Its integrated design and small repair space make it time-and-energy consuming to replace the damaged transmission shaft, which inspires us to improve its universal joints. Based on its original transmission principle, we substitute the fast respectively demountable units for the transmission gear, which made the installment more efficient. While repairing, only the broken units needed to be replaced. The application result showed that the improved universal joints function reliably, with less labors, and greatly increased the effective operation rate because of its simple structure.

**Keywords:** GDX2 packer; universal joints; component; repair hour

GDX2 硬盒包装机组是烟草行业的主力机型, 具有工作平稳、故障率低、调试方便、有效作业率高等特点, 其辅机 CH 盒外透明包装机、CT 条盒包装机和 CV 条外透明包装机采用同一电机驱动, 具有良好的机械同步性能<sup>[1]</sup>。但由于 CV 机输入轴与 CH 机输出轴轴线不同心, 且 CV 机与 CH 机距

离较远, 所以 CV 机需要通过万向联轴节组件从 CH 机获取动力, 万向联轴节与轴颈采用锥销联接(图 1)<sup>[2]</sup>。在工作过程中, 由于动力传递的扭矩较大, 所以万向联轴节组件经常损坏, 而 CV 机万向联轴节组件所处的位置在机器里侧, 空间狭小, 维保困难, 可操作性差, 传动轴结构上一体化的特点决定了维修必须拆除很多相关零部件, 需要多人分工协作才能进行更换, 同时在拆除和装配的过程中也容易致使其它零件损坏, 影响生产效率。目前意大利 GD 公司未对万向联轴器进行改进, 本设计通过对万向联轴器组件的机械原理分析和运动学仿真试验分析, 对其机构进行改进, 以期解决上述问题。

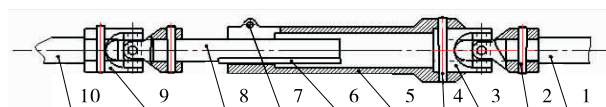
## 1 问题分析

### 1.1 系统构成

CV 条外透明包装机是由 CH 盒外透明包装机提供动力, 由于两机之间距离较大, 结构上采用由十字万向联轴器组成的传动轴传递动力。传动轴由 CH 输出轴、一对十字万向联轴器、套筒、轴、键、CV 输入轴组成, 零件之间采用锥销和键连接<sup>[3]</sup>。传动轴向 CV 机传递动力, 如图 1 所示<sup>[4]</sup>。

### 1.2 原因分析

从 CH 盒外透明包装机与 CV 条外透明包装机联接结构示意图(图 1)可以看出, 传动轴在 CH 盒外透明包装机和 CV 条外透明包装机之间, 它所承受的负荷较重且有周期性



1. CH 输出轴 2. 锥销 3. 9. 十字万向联轴器 4. 锥销 5. 套筒  
6. 长键 7. 螺钉 8. 轴 10. CV 输入轴

图 1 原传动轴结构示意图

Figure 1 The previous structure of transmission shaft

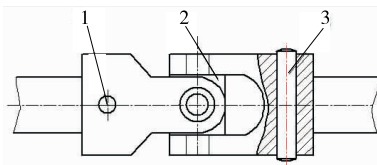
**基金项目:** 河南中烟科技创新项目(编号: YN2014009, ZW201732)

**作者简介:** 王广胜, 男, 河南中烟工业有限责任公司工程师, 硕士。

**通信作者:** 杨光露(1979—), 男, 河南中烟工业有限责任公司高级工程师, 本科。E-mail: 78600322@qq.com

**收稿日期:** 2018-05-20

变化,这种运行情况将使十字万向联轴器承受较大的扭矩和交变负荷,造成十字万向联轴器的损坏。其损坏形式主要是万向联轴器十字轴轴颈与叉形板上孔或滚针轴承工作面产生压痕与剥落(图2)<sup>[5-7]</sup>。



1,3. 锥销 2. 十字块  
图2 十字万向联轴器示意图

Figure 2 The schematic diagram of universal cross joints

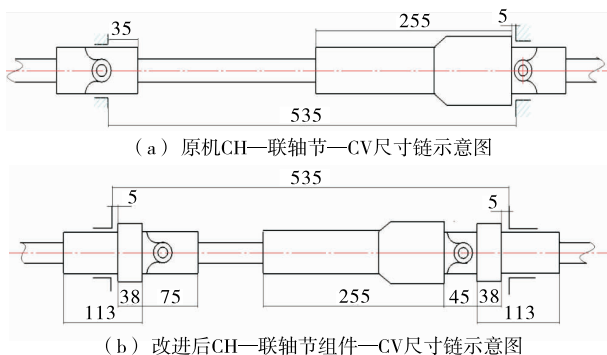
通过以上分析,产生故障和维修困难的主要原因有:  
① 磨损造成的损坏。由于万向联轴节使用中产生的扭矩较大,且随着两轴的瞬时传动比在不断变化,伴随有振动、冲击等附加载荷,再加上润滑条件不够理想,连续运转使万向联轴器相对运动元件之间磨损加剧。  
② 断裂造成的损坏,超过联轴接元件的疲劳极限造成元件断裂而损坏;  
③ 传动轴结构上一体化的特点决定了维修方式。在更换万向联轴器的过程中,必须拆下CH盒外透明包装机输出端、CV条外透明包装机输入端上一系列的零件,需要多人分工协作来完成,而且十字万向联轴器处于机器内侧,操作维修空间小,在维修中拆除和配作销孔的工作耗时较长,在拆除和装配的过程中,容易致使其它零件损坏。短时间内难以修复,每次更换需要3人协作,180 min左右方可更换完毕,影响了生产设备的有效作业率。

## 2 改进方法

### 2.1 设计方案

为了满足生产和维修要求,在不改变传动原理的基础上对现有传动装置结构进行改进,将传动轴由原来的一体化结构,改为可快速单独拆卸的组件,实现快装要求。通过在两端分别增加自制的联轴节,利用中间套筒与轴的滑动调整,实现新的尺寸链(图3)<sup>[8]</sup>。

设计方案:① 对原传动组件进行分段,采用CH盒外透明包装机输出端、万向联轴器组件、CV条外透明包装机输入



(a) 原机CH—联轴节—CV尺寸链示意图  
(b) 改进后CH—联轴节组件—CV尺寸链示意图

图3 改进前、后传动尺寸链示意图(单位:mm)  
Figure 3 The diagrams before and after modification of dimensional chain for transmission

端,并利用原结构两机之间空间来实现各部分的结合,组成快装式传动组件。  
② 在CH盒外透明包装机输出端、CV条外透明包装机输入端两端分别加装固定联轴节,用以与装配好的万向联轴器组件联接。  
③ 为了不影响万向联轴器转向,故在套筒与右端联轴节之间留出45 mm空间。  
④ 将联轴节的外形尺寸确定为 $\varphi 75 \text{ mm} \times \varphi 50 \text{ mm} \times 113 \text{ mm}$ 。与联轴节配合孔深度30 mm。满足实现快速安装万向联轴器组件的要求。  
⑤ 联轴节与轴的联接方式仍采用锥销联接。  
⑥ 为了满足动力的传递和拆装的方便性,联轴节与万向联轴器组件的联接不再采用锥销联接,改为平键联接,并加装紧固螺钉固定。

### 2.2 快装式万向联轴器组件的设计和安装

2.2.1 材料的选择 零件材料采用45#优质碳素结构钢。45#钢中的硫、磷及非金属夹杂物的含量比较少,表面质量、组织结构的均匀性较好。经过热处理调质后,具有较好的综合机械性能,主要用来制造齿轮、套筒、轴等零件,应用非常广泛,能够满足使用要求。

2.2.2 零件加工 依据所采集的数据,结合实际情况,设计加工联轴节(图4)。通过对万向联轴器进行加工键槽的方式,满足工艺要求,需将万向联轴器的一端加工出 $8 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ 的键槽。改造完成后成品见图5。

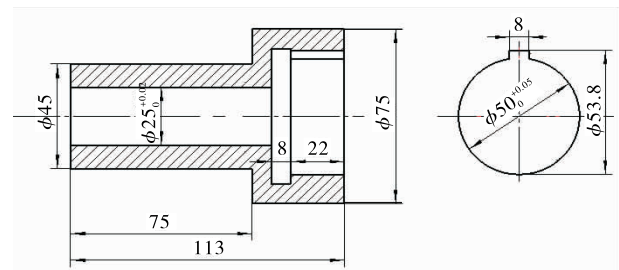


图4 联轴节示意图(单位:mm)

Figure 4 The schematic diagram of universal joints

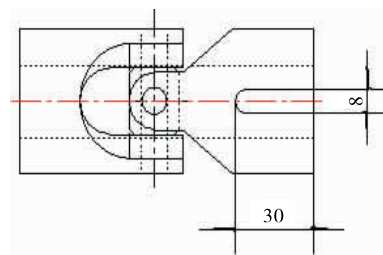
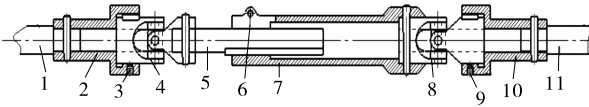


图5 加工后的万向联轴节(单位:mm)

Figure 5 The assembly diagram of universal cross joints

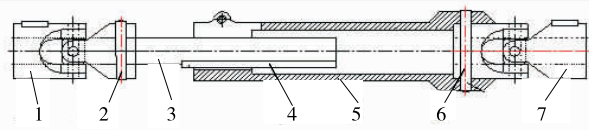
2.2.3 快装式万向联轴器组件的组合安装 将加工的联轴节分别装入CH盒外透明包装机输出端、CV条外透明包装机输入端,用 $\varphi 8 \text{ mm}$ 锥销连接固定。完成方案实施的CH输出端、CV输入端的独立。松开M8锁紧螺栓。利用74 mm的可调整范围,缩短装配完整的万向联轴器组件的长度。采用键联接形式分别装入联轴节(2件)。并用2个M8的紧固螺钉加以固定(图6、7),改造部位改造前后对比图见图8。



1. CV 输入轴 2、10. 联轴节 3、9. 紧固螺钉 4、8. 万向联轴器  
5. 轴 6. 锁紧螺栓 7. 套筒 11. CH 输出轴

图 6 快装式万向联轴器组件装配示意图

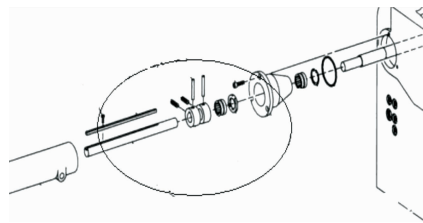
Figure 6 The schematic diagram of universal cross joints



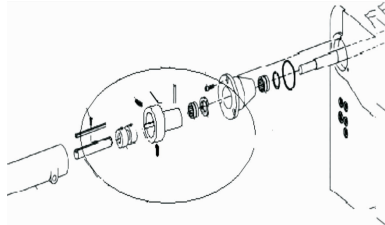
1、7. 万向联轴器 2. 销 3. 轴 4. 键 5. 套筒 6. 销

图 7 万向联轴器组件示意图

Figure 7 The schematic diagram of universal crosscomponents



(a) 改造前



(b) 改造后

图 8 改造部位改造前后对比图

Figure 8 The comparison diagram before and after transformation

### 3 新结构的仿真试验

#### 3.1 联轴器的运动特性分析

根据文献[9]描述的单十字轴万向联轴器连接时的传动关系图,当单万向联轴器的主动轴与从动轴的轴间夹角  $\alpha$  的取值不为零时,转角之间存在式(1)的依赖关系:

$$\frac{\tan\varphi_1}{\tan\varphi_2} = \cos\alpha, \quad (1)$$

式中:

$\varphi_1, \varphi_2$ ——分别为单万向节时联轴器主动轴和从动轴的转角, ( $^\circ$ ).

针对式(1)时间  $t$  进行求导,得到式(2).

$$\omega_2 = \frac{\omega \times \cos\alpha}{1 - \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1}, \quad (2)$$

式中:

$\omega_1, \omega_2$ ——分别为主动轴和从动轴的角速度, rad/s.

在主动轴角速度  $\varphi_1$  取值等于  $0^\circ$  或者  $180^\circ$  时,接管角速度的最大取值  $\omega_{2\max}$  按式(3)计算:

$$\omega_{2\max} = \frac{\omega_1}{\cos\alpha}. \quad (3)$$

在主动轴角速度  $\varphi_1$  取值等于  $90^\circ$  或者  $270^\circ$  时,接管角速度的最小取值  $\omega_{2\min}$  按式(4)计算:

$$\omega_{2\min} = \omega_1 \cos\alpha. \quad (4)$$

针对式(2)进一步按照时间  $t$  进行求导,在主动轴角加速度  $\varepsilon_1$  的取值为 0 时,则:

$$\varepsilon_2 = \frac{d\omega_2}{dt} = -\omega_1^2 \frac{\sin\alpha \sin 2\alpha \sin 2\varphi_1}{2(1 - \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1)^2}. \quad (5)$$

同理,针对图 7、8 描述的万向联轴器双十字轴连接结构,可以进行类似推导,得出如式(6)、(7)的对比关系。

$$\frac{\omega_3}{\omega_1} = \frac{\cos^2\varphi_3 \cos\alpha_1}{\cos^2\varphi_1 \cos\alpha_3}, \quad (6)$$

$$\frac{\tan\varphi_3}{\tan\varphi_1} = \frac{\cos\alpha_1}{\cos\alpha_3}, \quad (7)$$

式中:

$\varphi_1, \varphi_3$ ——分别为双万向节时联轴器主动轴和从动轴的转角, ( $^\circ$ );

$\alpha_1, \alpha_3$ ——分别为接管与双万向节时,联轴器主动轴和从动轴之间的轴间夹角, ( $^\circ$ );

$\varepsilon_1, \varepsilon_3$ ——分别为主动轴和从动轴的角速度, rad/s.

#### 3.2 运动学仿真试验与结果分析

本试验采用有限元分析软件 ANSYS Workbench 进行仿真试验,计算得到各个部件的应力情况,通过试验数据结果发现十字轴式万向联轴器结构的关键零部件——十字轴,是一个非常脆弱的构件,在动力学仿真软件 ADAMS 上进行多次仿真测试,分析测算十字轴的磨损寿命时长。选择 Hertz 理论的非线性等效弹簧阻尼模型作为耐磨性测试基准,充分分析库仑摩擦的影响情况,在仿真试验平台 ADAMS 中,选定接近现实情况的接触力参数去设置和初始化模型,构件基于十字轴和中间轴等柔性构件的刚柔耦合仿真系统,分析在不同间隙情况下的变化状况<sup>[10]</sup>。重点对十字轴式万向联轴器仿真系统的各种角速度、角加速度和接触力的变化情况开展研究分析,在不同参数设置情况下,将模拟模型的动力学仿真分析的结果对比分析,结合现场实际情况,发现本试验仿真结果可以较好地反映万向联轴器系统在不同间隙和柔性体情况下,动力学性能所受到的影响<sup>[11-12]</sup>。下面是针对万向联轴器进行仿真试验的具体实现步骤:

(1) 建立观测点。先分别在接管和主动轴表面各选取一个观测点,再测量所选取 2 个观测点的速度和加速度,可以通过鼠标点击设立的观测点获取相关数值。

(2) 运动学仿真。在激活传感器的素材清单,选择主动轴角速度和接管角速度这 2 个选项,模拟这 2 个传感器随时间而变化的曲线。在试验平台仿真后,发现主动轴的角速度呈一条直线,接管的角速度变化趋势为正弦函数曲线,  $\omega_1$  与  $\omega_2$  的对比变化曲线,见图 9。在仿真平台上设定驱动角速度取值为  $20^\circ/\text{s}$ ,此时,主动轴旋转一周的时间为 18 s;并且,当主动轴回转一周时,接管也伴随回转一周。从图 9 中可得,在主动轴按照等角速度回转一周的过程中,接管的角速度并

非匀速变化,而是呈现时快、时慢的交替性和周期性变化,在 18 s 一个间隔周期内,快于和慢于主动轴角速度的变化情况均出现了 2 次,仿真情况与式(2)描述原理基本吻合。

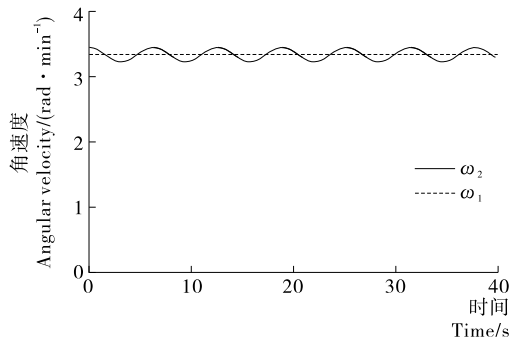


图 9  $\omega_1$  与  $\omega_2$  的对比曲线

Figure 9 The contrast curve diagram between  $\omega_1$  and  $\omega_2$

按照类似仿真步骤分析主动轴的角速度  $\omega_1$  和从动轴角速度  $\omega_3$  的变化关系,2 个角速度对比变化曲线见图 10。当仅接管与主动轴和从动轴之间的轴间夹角  $\alpha_1$  和  $\alpha_3$  取值相同时,主动轴转角同从动轴转角相同,从而实现主动轴和从动轴同步转动,2 条曲线关于时间的变化趋势完全重合,验证了式(6)、(7)所描述的理论。为进一步详细分析  $\omega_1$  和  $\omega_3$  的对比情况,试验选取在一个时间段内不同时间点的仿真结果做对比分析,它们的取值几乎相同<sup>[13]</sup>。

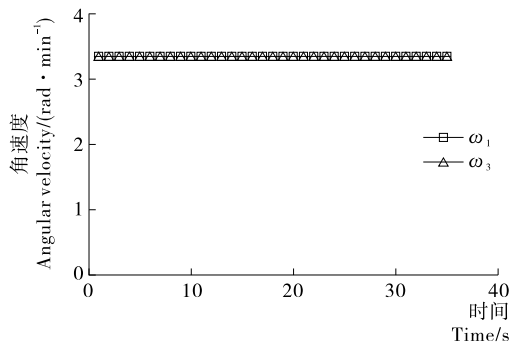


图 10  $\omega_1$  与  $\omega_3$  的对比曲线

Figure 10 The contrast curve diagram between  $\omega_1$  and  $\omega_3$

当仿真模型和理论模型的初始位置不相同,运动规律曲线更为复杂。此时,进一步分析传感器的联合曲线,先选定激活清单中的主动轴转角和接管角速度传感器进行分析,再计算接管角速度相对于主动轴转角的变化情况见图 11。经过仿真试验,发现在  $\alpha$  和  $\omega_1$  取确定数值时, $\omega_2$  是依赖于主动轴转角  $\varphi_1$  的函数,且  $\omega_2$  随着  $\varphi_1$  的变化呈周期性改变。在这种情况下,由于初始位置不同,仿真曲线和理论计算相差  $90^\circ$ ,从侧面验证仿真结果同式(2)描述的理论是一致的。同理进行类似仿真试验,接管角加速度相对主动轴转角传感器的变化趋势曲线见图 12。试验结果表明,当  $\alpha$  和  $\omega_1$  取确定数值时, $\varepsilon_2$  是关于主动轴转角  $\varphi_1$  的函数,并且  $\varepsilon_2$  随  $\varphi_1$  呈周期性变化,同式(5)的理论描述的结果是一致的<sup>[14]</sup>。

针对新结构的运动学仿真可以同传感器检查干涉一起进行,可以动态地检查新结构设计中的错误,对结构中不完

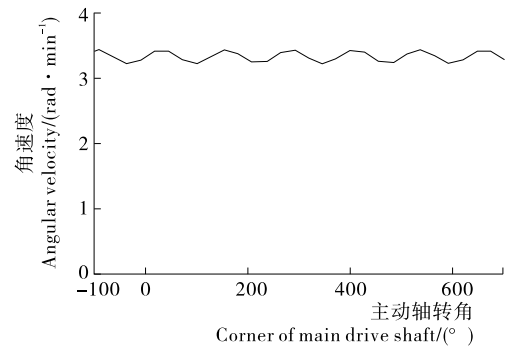


图 11 接管角速度相对于主动轴转角的变化曲线

Figure 11 The curve diagram of tube angular velocity which relative to corner of main driver shaft

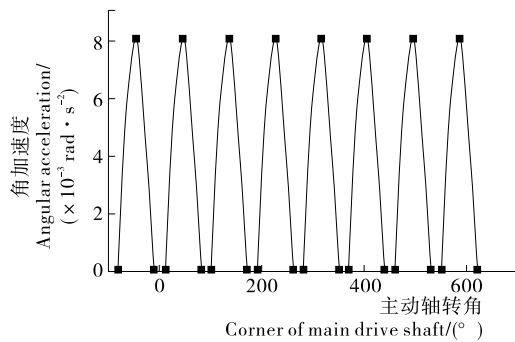


图 12 接管角加速度相对于主动轴转角的变化曲线

Figure 12 The curve diagram of tube angular acceleration which relative to corner of main driver shaft

善的部件进行修正<sup>[15]</sup>。同时,还可以对已经装配好的构件进行全面的空间分析,检测出零部件之间可能存在的冲突之处,在树形图上直接实现对零件修改,消除干涉造成的影响。在本模型的仿真试验中,未发生模型的动态干涉现象。

#### 4 结论

改进后的快装式万向联轴器组件具有以下特点:①新设计的传动轴既不改变原传动方式,又能实现快速拆卸和安装,降低故障停机时间;②摒弃了原有的传动轴一体化结构,改进为可快速单独拆卸的组件形式,通过在两端分别增加自制的联轴节,利用中间套筒与轴的滑动调整,实现新的尺寸链;③万向联轴器组件提高了承载力,转动更加灵活,磨损小,能量传递损耗更小,使用寿命长,不需购置额外备件,稳定性好,可靠性高;简化维修过程,减少不必要的零件拆装,降低维修劳动强度。当万向联轴器损坏时,单人即可维修操作,简单高效。原有 3 人配合维修更换需 180 min,现在单人 40 min 即可完成。

GDX2 硬盒包装机组 CH 与 CV 联接传动轴经过改进后,解决了更换万向联轴器费时费力的问题,有效地提高了设备的有效作业率,保证了设备的正常运行。改进后的快装式万向联轴器组件,结构简单,运行可靠,在 GDX1 软盒包装机组、GDX2 硬盒包装机组中具有很好的推广价值,目前该项目已获得国家实用新型专利,并在 30 多家卷烟厂推广应用。

(下转第 151 页)

质相比,具有可以迅速提供能量、消化吸收利用率高和生物活性强等优点。再由图 1~3 可以看出,玉米蛋白水解产物具有较强的抗氧化能力,所以玉米蛋白粉经过双酶协同作用后可以提高玉米蛋白粉在食品行业的利用价值。

### 3 结论

美拉德糖基化可以增强玉米蛋白水解物的抗氧化活性,CGH 和 CGG 随着蛋白浓度的增加,抗氧化活性上升趋势明显,在一定的蛋白浓度范围内剂量依赖关系明显。后续将利用细胞试验继续研究 CGH 和 CGG 的抗氧化活性,并对比两者之间的区别。美拉德糖基化改性蛋白质在食品中的应用潜力巨大,并且正在逐步扩大到功能食品行业中,本研究在功能食品生产中具有广阔的应用前景。

#### 参考文献

- [1] 李鸿梅. 玉米功能肽的制备及其生理活性的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008: 159-161.
- [2] 彭楠, 刘晓兰, 郑喜群. 酶底比对玉米蛋白水解物抗氧化活性的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(7): 226-232.
- [3] 陈霞, 罗良煌. 蛋白质翻译后修饰简介[J]. 生物学教学, 2017, 42(2): 70-72.
- [4] OHTSUBO K, MARTH J D. Glycosylation in cellular mechanisms of health and disease[J]. Cell, 2006, 126(5): 855-867.
- [5] 赵文竹, 张瑞雪. 食源性植物糖蛋白研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 389-395.
- [6] 胡燕, 陈忠杰, 李斌. 美拉德反应产物的功能特性和安全性研究进展[J]. 食品工业, 2016(10): 258-262.
- [7] VHANGANI L, VAN Wyk J. Antioxidant activity of Maillard reaction products (MRPs) derived from fructose-lysine and ribose-lysine model systems[J]. Food Chemistry, 2013, 137(1/2/3/4): 92-98.
- [8] ZHANG Ru, ZHANG Bian-ling, HE Ting, et al. Increase of rutin antioxidant activity by generating Maillard reaction products with lysine[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2016, 26(11): 2 680-2 684.
- [9] 陈金斌, 奚秀秀. 花蟹肉酶解多肽美拉德反应产物的抑菌性研究[J]. 食品工业科技, 2017(5): 88-92.
- [10] MARKO D, HABERMEYER M, KEMENY M, et al. Maillard reaction products modulating the growth of human tumor cells in vitro[J]. Chem Res Toxicol, 2003, 16: 48-55.
- [11] 袁建平, 李国辉, 王淑敏, 等. 聚合度 4~6 壳寡糖的制备及其活性研究[J]. 食品科技, 2012, 37(8): 248-251.
- [12] 杨双, 郑喜群, 刘晓兰, 等. 水解时间对玉米蛋白粉酶解物抗氧化活性的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 154-158.
- [13] 刘玥, 刘晓兰, 郑喜群, 等. 复合蛋白酶水解玉米谷蛋白产物的抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 141-145.
- [14] 汪姣玲. 乳清蛋白美拉德改性及其产物功能特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 33-36.
- [15] 尹晨玲, 谢一丹, 吴高琪, 等. 美拉德反应对泥鳅蛋白酶解产物抗氧化性能的强化研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(4): 77-81, 105.
- [16] GOTTARDI D, HONG P K, NDAGIJIMANA M, et al. Conjugation of gluten hydrolysates with glucosamine at mild temperatures enhances antioxidant and antimicrobial properties[J]. Food Science and Technology, 2014, 57: 181-187.
- [17] OH P S, LIM K T. Antioxidant activity of Dioscorea batatas Decne glycoprotein [J]. European Food Research & Technology, 2008, 226(3): 507-515.
- [18] 姚金凤, 白露, 宋亚芳, 等. 多肽类药物代谢研究进展[J]. 中国药理学通报, 2013, 29(7): 895-899.

(上接第 114 页)

#### 参考文献

- [1] 《ZB45 包装机组》编写组. ZB45 包装机组[M]. 北京: 北京出版社, 2013: 48-75.
- [2] 意大利 G. D 公司. YB45 型硬盒包装机说明书[Z]. 博洛尼亚: 意大利 G. D 公司, 2010: 25-29.
- [3] 上海烟草机械有限责任公司. YB45 型硬盒包装机说明书[Z]. 上海: 上海烟草机械有限责任公司, 2014: 65-68.
- [4] 上海烟草机械有限责任公司. GDX2 机械立体图册[Z]. 上海: 上海烟草机械有限责任公司, 2013: 18-27.
- [5] 邓永祥, 李高军. CH 透明纸包装机烟包压紧装置的改进[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 110-113, 213.
- [6] 罗彩丽. GDX2 包装机组 CH 小包透明纸检测系统的设计应用[J]. 烟草科技, 2013(3): 25-26, 30.
- [7] 邓海东. GDX1 包装机商标纸上胶机构的改进[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 78-81.
- [8] 阮忠唐. 联轴器、离合器设计与选用指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 136-139.
- [9] 晋萍, 聂宏. 运用 CATIA 和 ADAMS 的十字轴万向联轴器的运动学和动力学仿真[J]. 现代制造工程, 2011(2): 124-129.
- [10] 刘盛娟. 十字轴式万向联轴器的动力学特性仿真分析[D]. 太原: 太原理工大学, 2016: 27-30.
- [11] 高治华, 秦爱中, 熊珍凯. 十字轴式万向联轴器的运动仿真分析[J]. 矿山机械, 2017, 45(11): 43-46.
- [12] 谢明金, 韩红彬, 李义端. 双通道滤棒切割装置设计及仿真分析[J]. 烟草科技, 2015, 48(10): 84-88.
- [13] 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.
- [14] 徐华俊, 汤萍. 基于 Solidworks 的包馅机械成型刀盘的仿真分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 104-106.
- [15] 袁昌富, 张宏文, 马万里, 等. 基于 Solidworks Motion 的番茄收获机测产装置的运动学仿真分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 96-99, 180.