

包装机供料装置的改进与曲槽槽轮机构设计

Improvement of feeding device of packaging machine and design of geneva mechanism with curved slots

刘亚丽¹ 张俊¹ 杨晓平¹ 解邦银²

LIU Ya-li¹ ZHANG Jun¹ YANG Xiao-ping¹ XIE Bang-yin²

(1. 湖北文理学院机械工程学院, 湖北 襄阳 441053; 2. 襄阳逸顺机电科技有限公司, 湖北 襄阳 441000)

(1. School of Mechanical Engineering, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang, Hubei 441053, China;

2. Xiangyang Yishun Mechanical and Electrical Technology Co., Ltd., Xiangyang, Hubei 441000, China)

摘要:针对粉料包装机在高速包装时存在卸料不完全和撒料的问题,将曲槽槽轮机构应用于自动包装机中,实现变速供料,卸料区域低速运行、非卸料区域高速运行;利用Pro/E软件的关系式,建立包装机供料装置的三维参数化模型。结果表明:变速供料的最大包装速度可提高35.6%,曲槽槽轮机构能适用高速包装的需求。

关键词:曲槽槽轮;供料装置;包装机;变速转盘

Abstract: Aimed at the problem of incomplete discharge and sprinkling of powder material packaging machine during high-speed packaging, the geneva mechanism with curved groove was applied to automatic packaging machine to realize variable-speed feeding. This mechanism could run at lower speed in unloading area and at higher speed in non-unloading area. Using the relationship of Pro/E software, the 3D parameterized model of the feeding device was established. The results showed that the maximum packaging speed of variable speed feeding could be increased by 35.6%, and the geneva mechanism with curved groove was suitable for higher speed packing.

Keywords: geneva with curved groove; feeding device; packaging machine; turntable with variable speed

在食品、医药、化工等行业中有大量的粉料物品需进行小袋全自动包装,而包装机的供料装置用于将待包装的粉料物品从料堆中定量分离,并按全自动包装机设定的时间节拍快速、平稳地输送到卸料位置处放料^[1]。目前广泛使用的供料装置为可量杯式计量装置,其计量准确,能对计量容积进行调节以满足不同包装规格的需求^[2]。但现有供料装置的转盘均为匀速旋转,包装速度

为中、低速,提高转速后存在卸料不完全和撒料的问题,主要是因为提高转速后,卸料时间变短,同时粉料的离心力增加后易在料门打开时产生飞溅。

试验拟将曲线槽槽轮机构应用于粉料包装机的供料装置中,实现供料转盘的周期性变速旋转,即卸料区转盘低速旋转而非卸料区转盘高速旋转,旨在为保证稳定供料的前提下极大地提高转盘的平均转速,实现高速自动包装。

1 供料装置的工作原理和改进

全自动小型包装机中通常采用容积方式进行计量,其中可调量杯式计量的供料装置应用较为广泛,其结构示意图如图1所示,主要由装填计量部件和容积调节机构两部分组成,包括料斗、转盘、刮料器、量杯和蜗轮蜗杆机构等^[3]。

1.1 可调量杯式供料装置结构及工作原理

6套圆筒形状的定量杯13和可量量杯14分别安装在转盘9和量杯座8上并形成一个整体,通过连接盘12与主轴2连接,主轴2通过轴承安装在固定座3上;蜗轮6通过轴承空套在主轴2上,蜗轮6与量杯调节座7之间通过螺纹副连接。当需要容积调节时,装置不工作,主轴2以及与其连接的转盘9和定量杯13静止不动,通过旋转与蜗杆5相连接的手柄驱动蜗轮6旋转,因受到立杆17的限制,量杯调节座7不能旋转,则在螺纹副作用下向上或向下移动,从而带动量杯座8和可量量杯14上升或下降,使量杯组的容积增大或减小,实现容量调节。当供料装置工作时,量杯调节座7及蜗轮蜗杆机构固定不动,转盘9经由齿轮传动、槽轮机构1和主轴2驱动,带动量杯组一起旋转,量杯座8下部安装的料门15封住可量量杯14的底面,并通过安装在卸料口处的拨杆16完成料门15的打开和关闭。转盘9旋转时,粉料靠自重装填至量杯组内,并被固定不动的刮料器10刮平。

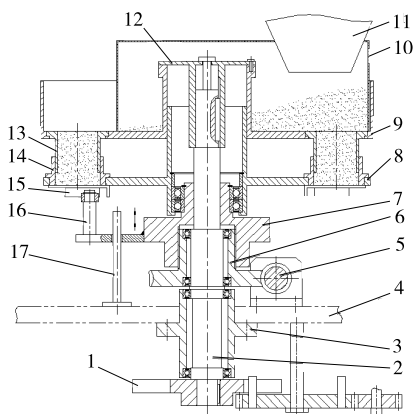
基金项目:湖北文理学院学科开放基金项目(编号:XK2020003)

作者简介:刘亚丽,女,湖北文理学院讲师,硕士。

通信作者:张俊(1967—),男,湖北文理学院教授,硕士。

E-mail: 2434371466@qq.com

收稿日期:2020-05-13



1. 槽轮机构 2. 主轴 3. 固定座 4. 机架 5. 蜗杆 6. 蜗轮
7. 量杯调节座 8. 量杯座 9. 转盘 10. 刮料器 11. 料斗
12. 连接盘 13. 定量杯 14. 可定量杯 15. 料门 16. 拨杆
17. 立杆

图 1 可调量杯式供料装置结构图

Figure 1 Structure diagram of feeding device with adjustable cup type

1.2 装置改进

原装置均布有 6 组量杯,其动力分配是从分配轴上通过两对传动比分别为 3 和 2 的两级齿轮进行传动,保证分配轴每转 1 周,供料装置卸料 1 次,热封机构完成 1 次封装^[3]。为实现供料装置变速供料,采用 3 拨销 6 槽槽轮机构取代传动比为 2 的一对齿轮机构,3 拨销 6 槽槽轮机构可以实现变速、连续运转,拨销盘每转 1 周则槽轮转 1/2 周,能满足装置时间节拍的需求,也能保证包装机的整个结构不被改变,按对应的中心距来设计槽轮机构即可。

2 匀速供料时卸料时间的计算

可调量杯式供料装置的卸料过程如图 2 所示, A、B 处是内径为 r_1 的量杯, O' 处是内径为 r_2 的卸料口, R 为量杯的分布圆半径。当转盘 9 逆时针旋转时,量杯从 B 处开始卸料,旋转 2θ 后到达 B' 处时卸料完毕, 2θ 称为单量杯的卸料角,量杯扫过圆弧 $BO'B'$ 所需的时间即单量杯的卸料时间。

由图 2 可知, $\theta_1 = \arcsin \frac{r_1}{R}$, $\theta_2 = \arcsin \frac{r_2}{R}$ 。

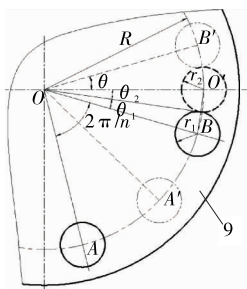


图 2 粉料卸料过程示意图

Figure 2 Schematic diagram of powder material unloading process

实际上, r_2 略大于 r_1 , 为了计算方便, 取 r_2 近似等于 r_1 , 则:

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 \approx 2\arcsin \frac{r_1}{R}. \quad (1)$$

设供料装置上分布有 n 组量杯, 包装机的最大包装速度为 m 袋/min, 则单量杯扫过一个卸料角 2θ (rad) 所需的时间 (s) 为:

$$t_\theta = \frac{60}{m} \times \frac{2\theta}{2\pi/n} = \frac{60n\theta}{\pi m}. \quad (2)$$

3 曲槽槽轮机构设计

3.1 运动参数

直槽槽轮机构由于在拨销进出槽口时加速度不连续而导致柔性冲击, 不适合于高速运动^[4], 因此设计了曲槽槽轮机构, 使槽轮的角速度和角加速度在整个运动过程中连续变化, 其运动关系如图 3 所示。当主动拨销盘绕 O_1 顺时针旋转时, 槽轮绕 O_2 按事先选取的凸轮从动件运动规律顺时针旋转, 前半程加速段, 拨销与曲槽的 I—II 段侧面接触, 驱动槽轮旋转; 后半程减速段, 拨销与曲槽的 II—III 段侧面接触, 阻止槽轮旋转。为保证角加速度在槽底部换向, 避免横向冲击的发生, 需选取具有对称性的运动规律, 如正弦、修正正弦、对称梯形等^[5]。

设拨销盘与槽轮的中心距为 a , 槽轮的分度角为 2Φ , 槽轮的槽数应与供料装置上量杯的分布组数 n 一致, 则:

$$\Phi = \pi/n, \quad (3)$$

$$L = a \times \sin \Phi, \quad (4)$$

$$R_c = \sqrt{(a \times \cos \Phi)^2 + r_0^2}, \quad (5)$$

式中:

r_0 ——拨销半径, mm;

L ——拨销回转半径, mm;

R_c ——槽轮外径, mm。

若槽轮无停留地周期性运动, 可在拨销盘上均匀分布多个拨销, 在前一个拨销刚脱离槽轮时, 后一个拨销进入槽轮, 而符合这个条件的槽轮槽数只能为 3、4、6 槽, 实际工作中一般选择 6 槽槽轮机构, 其对应的拨销数为 3。

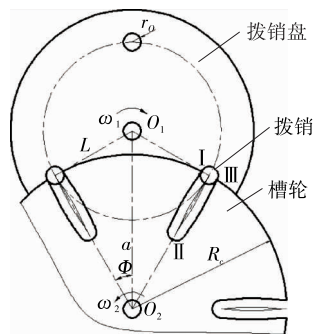


图 3 槽轮机构的运动关系示意图

Figure 3 Schematic diagram of motion relationship of Geneva mechanism

3.2 变速供料时卸料时间的计算

当供料装置的转盘按事先选取的运动规律做变速运动时,为保证卸料充分,卸料口位于拨销进出曲槽槽轮槽口的时刻,应是槽轮周期性变速运动前一周期的终止端和后一周期的起始端,其运动速度较低,扫过卸料角 2θ 的时间较长,有利于卸料。

在槽轮的一个分度周期 2Φ 中,扫过半卸料角 θ 的无因次角位移为 S_θ , 则:

$$S_\theta = \frac{\theta}{2\Phi} = \frac{n\theta}{2\pi} \quad (6)$$

根据所选取的无因次运动规律 $S = S(T)$, 利用数值计算方法或 Excel 公式功能,可以方便地求解出无因次角位移为 S_θ 所对应的无因次时间 T_θ , 即:

$$S(T_\theta) = S_\theta \quad (7)$$

假设变速供料时的最大包装速度为 m' 袋/min, 则量杯扫过一个卸料角 2θ (rad)所需的时间(s)为:

$$t'_\theta = \frac{60}{m'} \times 2T_\theta = \frac{120}{m'} \times T_\theta \quad (8)$$

假设变速供料和匀速供料具有相同的卸料时间时, 即 $t'_\theta = t_\theta$, 将其代入式(2)、(8)后, 可得最大包装速度之比:

$$\frac{m'}{m} = \frac{2\pi T_\theta}{n\theta} \quad (9)$$

3.3 槽轮轮廓曲线的生成

根据作图法设计凸轮轮廓曲线的反转法原理, 现假设整个槽轮机构以 $-\omega_2$ 的角速度反转, 如图 4 所示, 槽轮将相对静止不动, 拨销盘绕其回转中心以角速度 ω_1 匀速自转, 又随机架 O_2O_1 绕槽轮回转中心 O_2 以角速度 ω_2 公转, ω_2 的大小由所选定的运动规律决定, $O_2O_1'C'$ 为任一位置, 在这种复合运动过程中, 拨销中心 C 的运动轨迹即为槽轮的理论廓线, 而拨销圆族的包络线形成了实际廓线, 也是距离理论廓线为 r_0 的等距线^[6-7]。

其轮廓曲线生成的方法是在 Pro/E 三维软件中先按机构的几何尺寸建立槽轮坯体、机架和拨销盘的参数化骨架模型, 并根据反转法原理要求的装配顺序进行组装; 再在“应用程序→机构”模块中分别设置两个伺服电机, 一个伺服电机使机架按所选的运动规律绕槽轮回转中心

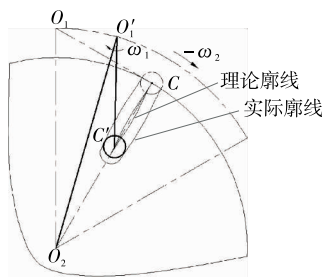


图 4 槽轮曲线的反转法生成原理

Figure 4 Principle of generating slot curve by reverse method

旋转 2Φ , 该电机角位移定义为 $2\Phi \times S(T)$, $T \in [0, 1]$, 其中 $S(T)$ 为所选取的无因次运动规律, 如正弦运动规律的无因次表达式为 $S(T) = T - \frac{1}{2\pi} \sin(2\pi T)$; 同时另一个电机使拨销盘匀速旋转 $(\pi - 2\Phi)$, 其电机角位移定义为 $(\pi - 2\Phi) \times T$, 使整个机构做虚拟运动; 最后使用 Pro/E 提供的“插入→轨迹曲线”功能, 可绘制出拨销中心的运动轨迹, 该轨迹即槽轮的理论廓线, 再利用“使用边→偏距”功能绘制出槽轮的实际廓线。

3.4 供料装置参数化三维模型的建立

参数化设计有利于提高产品的设计效率, 其在建立三维模型过程中对零件几何参数和结构参数添加不同的方程式, 施以各种合理的约束, 通过修改这些参数的具体数值, 自动更新并生成新的三维模型, 实现模型的尺寸驱动^[7-8]。以包装机中槽轮为例进行建模:

(1) 确定零件的主参数: 一般将零件的设计参数、重要结构尺寸确定为主参数, 如槽轮的中心距、槽数、运动规律类型、拨销直径等。在 Pro/E 软件中点选“工具→参数”下拉菜单项, 设置各主参数名称、类型和初始值, 在“工具→关系”下拉菜单项建立各参数之间的关系式。

(2) 建立反转法装配模型: 使用主参数建立的槽轮机构各零件模型, 其中槽轮为无槽的坯体, 并按反转法原理的装配顺序建立装配模型^[9], 添加约束类型和条件。

(3) 绘制槽轮的理论廓线: 在“应用程序→机构”模块, 定义拨销电机的速度表达式为 120 、机架电机的位置表达式为 $60 \times [t - 0.5 \times \sin(360 \times t) / \pi]$, 其中 t 为系统变量, 其值从 0 到 1 变化。对机构进行运动仿真后, 点取“插入→轨迹曲线”菜单项, 在槽轮零件中绘制拨销中心点的轨迹曲线, 即槽轮的理论廓线^[10]。

(4) 阵列槽轮曲槽创建: 对槽轮坯体编辑, 利用偏距功能, 将偏距设为拨销半径, 可切除得到槽轮的一个曲槽, 使用轴阵列创建各个曲槽, 周向阵列个数为槽轮槽数。

(5) 虚拟装配: 完成各零件的参数化模型后, 在部件级建立各零件间相对位置的关系式和装配约束类型, 可实现装配组件的同步更新, 供料装置的虚拟装配模型如图 5 所示。

4 实例应用

针对某公司使用的 DXDK40II 型自动包装机存在的撒料问题, 对其中的 10 台包装机实施改进设计。由该机的铭牌可知, 其主要技术参数为总功率 1.4 kW , 包装速度 $50 \sim 100$ 袋/min, 计量范围 $5 \sim 40 \text{ mL}$ 。

4.1 改进方案

通过对 DXDK40II 型包装机进行实测, 测得供料装置结构参数为量杯内径 $r_1 = 15 \text{ mm}$, 组量杯 $n = 6$, 量杯分布圆半径 $R = 100 \text{ mm}$; 传动系统为二级减速齿轮机构, 一

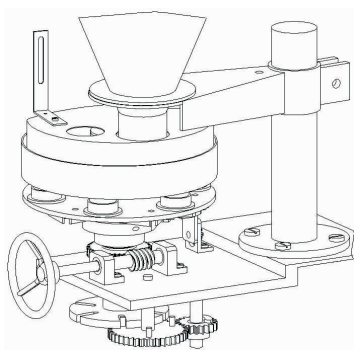


图 5 供料装置的三维模型

Figure 5 Three dimensional model of feeding device

级齿轮的模数 1.5, 齿数分别为 75, 25, 二级齿轮的模数为 2.5, 齿数分别为 26, 52。

经计算可得:一级齿轮机构的中心距为 75 mm、传动比为 3;二级齿轮机构的中心距为 100 mm、传动比为 2。为保证供料装置原有的时间节拍和结构尺寸,改进后的方案保留原有一级齿轮机构,将二级齿轮机构改成具有 6 槽 3 拨销的曲槽槽轮机构,槽轮机构的中心距保持为 100 mm,拨销半径取 $r_0 = 6$ mm,由式(5)得槽轮外径 $R_c = 86.81$ mm,拨销回转半径 $L = 50$ mm,拨销盘直接使用一级齿轮机构中的大齿轮,在其上加工 3 个 $\Phi 10$ mm 的均布孔、安装 3 个 $\Phi 12$ mm 的台阶拨销轴,改进后供料装置的传动系统三维模型如图 6 所示。

4.2 卸料时间和包装速度的对比

由式(1)、(2)可知,半卸料角 $\theta = 0.301$ rad,按最大包装速度(100 袋/min)进行匀速供料时,单量杯的卸料时间 $t_\theta = 0.345$ s。

在曲槽槽轮机构设计中,选取正弦运动规律,其无因次表达式为 $S(T) = T - \frac{1}{2\pi} \sin(2\pi T)$,将式(6)的无因次位移 $S_\theta = 0.288$ 代入该无因次表达式,计算出对应的无因次时间 $T_\theta = 0.390$ 。

由式(8)可知,在具有相同的最大包装速度时,即 $m' = m$,变速供料下的单量杯卸料时间为 $t'_\theta = 0.468$ s,因此变速供料降低了卸料角的转速,既减少了粉料的飞溅,也提供了更充裕的卸料时间。

由式(9)可知, $m' = 1.356m$,在保证相同的卸料时

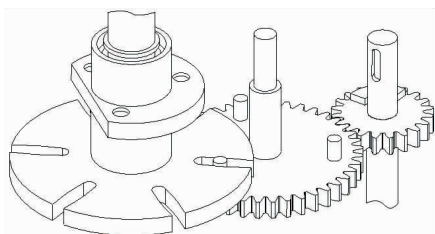


图 6 改进后的传动系统三维模型

Figure 6 3D model of improved transmission system

间前提下,即 $t'_\theta = t_\theta$,变速供料的最大包装速度将提高 35.6%,因此曲槽槽轮机构能适用于高速包装的需求。

4.3 应用效果

通过试验改进,解决了包装机在包装速度达到 75 袋/min 后开始出现卸料不完全和撒料的问题,避免了横缝不牢靠,包装速度提高至 90 袋/min 时仍运行良好。改进后包装速度为 90 袋/min 时的单量杯卸料时间为 0.52 s、卸料区转盘的平均转速为 1.16 rad/s,而改进前包装速度为 75 袋/min 时的单量杯卸料时间为 0.46 s、卸料区转盘转速为 1.31 rad/s,各运动参数均得到了改善。

5 结论

(1) 将曲槽槽轮机构应用于自动包装机中,实现了变速供料,即卸料区域低速运行、非卸料区域高速运行,可以有效减少物料在卸料过程中造成的飞溅,为卸料提供了充裕的时间。

(2) 在保证匀速供料和变速供料具有相同卸料时间的条件下,变速供料的最大包装速度比匀速供料时提高了 35.6%,因此曲槽槽轮机构适用于高速包装场所。

(3) 利用 Pro/E 软件参数化设计功能,在各零部件间建立了结构尺寸关系式和约束关系式,实现了包装机的自动化和系列化设计,有利于产品更新换代,提高了产品设计效率与质量。

(4) 试验设计的曲槽槽轮机构是为了实现连续变速旋转,只适用于 3、4、6 分度供料装置。

参考文献

- [1] 许林成. 包装机械原理与设计[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004: 150-177.
- [2] 张国全. 食用碘盐重力量杯式计量装置的设计[J]. 包装与食品机械, 2000, 18(1): 12-15.
- [3] 刘海生, 张俊, 李茜. 全自动立式颗粒包装机传动系统及横封机构的改进与仿真[J]. 食品与机械, 2015, 31(7): 94-96, 137.
- [4] 惠烨, 李翔. 包机中外槽轮机构的运动分析[J]. 包装工程, 2009, 30(7): 45-46.
- [5] 彭国勋, 肖正扬. 自动机械的凸轮机构设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990: 20-95.
- [6] 李干, 尹成龙, 蒋德富, 等. 组盖机圆柱凸轮轮廓线的设计与分析[J]. 食品与机械, 2020, 36(1): 131-135.
- [7] 张俊, 高成慧. 基于多电动机运动仿真的捆扎机凸轮快速设计[J]. 制造业自动化, 2014, 36(1): 120-123.
- [8] 杨振和, 苏振, 华杨卓. 齿轮轴承结构参数优化设计[J]. 食品与机械, 2011, 27(2): 50-51.
- [9] 余剑武, 舒新, 罗红, 等. 灌装中弧面凸轮建模与造型研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 77-82.
- [10] 韩炬, 曹利杰, 张宏宇. 基于 Creo Parametric"轨迹曲线"的袋成型包装机热封凸轮轮廓线设计[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 83-86.