

# 青饲机青贮块间歇型自动撑袋机构的设计与优化

郑占贺<sup>1</sup>, 王莹<sup>2</sup>, 任文营<sup>1</sup>, 郑绍成<sup>3</sup>

(1.华北理工大学 机械工程学院, 河北 唐山 063021; 2.唐山师范学院 物理科学与技术学院, 河北 唐山 063000; 3.唐山鑫万达实业股份有限公司, 河北 唐山 063000)

**摘要:** **目的** 为青饲机青贮块成型后的套袋装置中的撑袋结构设计一款基于连杆开槽的偏置曲柄滑块与双滑块组合的间歇型机构, 以实现可停歇的撑袋功能, 并具有急回特性, 提高工作效率。**方法** 分析人工撑袋过程, 进行撑袋机构的设计, 推导该机构的停歇时间与连杆滑槽长度的数学关系式, 通过 Matlab 优化偏置曲柄滑块的杆长参数, 并利用 Solidworks 进行建模仿真, 模拟撑袋机构的运行, 对比分析 3 种不同行程速比系数下撑袋机构杆长参数与各自运动特点。**结果** 从 3 组数据中选取 1 组相对合适的参数进行公式验证, 得出撑袋机构具有停歇功能和急回特性, 仿真结果与解析公式计算结果一致。**结论** 撑袋机构设计合理, 满足工艺要求, 为青贮块的自动化装袋提供了可行方案。

**关键词:** 撑袋机构; 组合机构; 间歇机构; 优化仿真

**中图分类号:** TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)03-0179-08

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.03.022

## Design and Optimization of Intermittent Automatic Bag-supporting Mechanism for Silage Block in Fodder Machine

ZHENG Zhan-he<sup>1</sup>, WANG Ying<sup>2</sup>, REN Wen-ying<sup>1</sup>, ZHENG Shao-cheng<sup>3</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, North China University of Science and Technology, Hebei Tangshan 063021, China; 2. School of Physical Science and Technology, Tangshan Normal University, Hebei Tangshan 063000, China; 3. Tangshan Xinwanda Industrial Co., Ltd., Hebei Tangshan 063000, China)

**ABSTRACT:** The work aims to design an intermittent mechanism based on the combination of the connecting rod slotted offset crank-slider and the double-slider for the bag-supporting structure in the bagging device used after the formation of silage block in fodder machine, so as to realize the bag-supporting function of stopping and emergency returning, thus improving work efficiency. The artificial bag-supporting process was analyzed to design the bag-supporting mechanism and deduce the mathematical relationship between the stop time of the mechanism and the length of the connecting rod slot. Then, the rod length parameters of the offset crank-slider were optimized by Matlab, and Solidworks was used to establish model to simulate the operation of the bag-supporting mechanism. Finally, the rod length parameters and movement characteristics of the bag-supporting mechanism under three different stroke speed ratio coefficients were compared and analyzed. A set of relatively suitable parameters was selected from three sets of data to verify the formula, indicating that the bag-supporting mechanism had the function of stopping and emergency returning, and the simulation results were consistent with the calculation results of the analytical formula. The bag-supporting mechanism is reasonably designed, which meets the technological requirements, and provides a feasible solution for the automatic bagging of silage blocks.

**KEY WORDS:** bag-supporting structure; combination mechanism; intermittent mechanism; optimization simulation

收稿日期: 2022-04-20

基金项目: 河北省科技厅科技重大专项项目 (19027216Z)

作者简介: 郑占贺 (1996—), 男, 硕士生, 主攻机构学与机械动力学。

通信作者: 王莹 (1981—), 女, 博士, 副教授, 硕导, 主要研究方向为机构学与机械动力学。

随着现代农业科技的飞速发展,青饲料收获机逐渐代替人工收获玉米秸秆、高粱、牧草等农作物<sup>[1]</sup>。如今国内外青饲机的制造技术已经越来越成熟,但是在青贮块成型以后对其进行套袋的技术还有很大的研究空间<sup>[2]</sup>。现在国内外许多企业针对青饲机压成型的青贮块,在袋装过程中依然使用人工进行套袋,这就会产生工作量大、效率低的难题,因此,对自动套袋工艺进行研究,并设计开发与设备配套的套袋装置是十分必要和有实际意义的。

撑袋机构是在各类食品及药品包装机械中应用较广泛的一类包装辅助机构,属于中间转换机构,其主要功能是撑开包装袋的袋口,便于后续的主要包装操作。近年来,很多学者对满足不同包装要求的各种类型的撑袋机构进行了研究,如河北农业大学的柏亚萌等<sup>[3]</sup>研究了一种水果套袋机器人,对整个套袋过程中的执行机构分别进行了设计及分析,其中撑袋环节采用真空负压的方式实现撑袋功能,整个装置具有检测系统,可以进行果实识别和避障。该装置实现了幼果套袋的自动化与智能化。徐雪萌等<sup>[4]</sup>研究了挂面包装机的撑袋机构,其撑开袋口的机构是滑块摆杆机构,同时配合多种气缸达到撑开袋口装入挂面的功能,求解了机构的运动学曲线,通过实验验证机构的可靠性,解决了包装袋落料的问题。这些机构的研究,解决了水果自动套袋和挂面撑袋机构的问题,极大地实现了生产的自动化,但对应用于青饲机青贮块套袋操作的撑袋机构研究尚属空白。

间歇机构大致可以分为两大类:一类如针轮机构、槽轮机构等;另一类如凸轮-连杆组合机构等组合型<sup>[5]</sup>,例如吕方梅<sup>[6]</sup>研究了高速模切机的凸轮与五杆机构,为低副结构间歇机构提供了可靠的理论基础。通过查阅文献可知,大多数学者都是对凸轮与不完全齿轮间歇机构进行研究<sup>[7]</sup>,应用连杆机构实现间歇功能的装置和文献少之又少<sup>[8]</sup>。连杆机构具有价格便宜,寿命长,结构简单等优点,因此其应用越来越广泛,越来越受企业的青睐。

文中针对青饲机压成型的青贮块,在分析其自动套袋工艺流程的基础上,选择偏置曲柄滑块-双滑块组合机构作为撑袋机构本体进行设计,并对其结构参数进行优化,实现青饲机青贮块的自动套袋。

## 1 青贮块自动套袋工艺及机构组成

依据青贮块袋装流程,如图1所示,在青饲机出料口处设计了自动套袋装置<sup>[9]</sup>,该装置由撑袋机构和套袋机构组成,见图2。撑袋机构处在撑袋工位,用来将青贮袋袋口完全撑开;套袋工位在出料筒前端,套袋机构沿滑轨平移实现在撑袋工位取撑开口的青贮袋和在套袋工位套袋的操作。显然,为保证套袋机构能稳定可靠地取到袋子,要求所设计的撑袋机构把

袋口撑开以后有一定的停留时间。

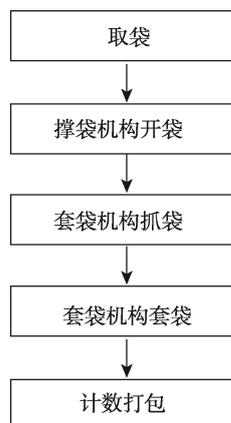


图1 青贮块袋装流程  
Fig.1 Silage block bagging flow chart

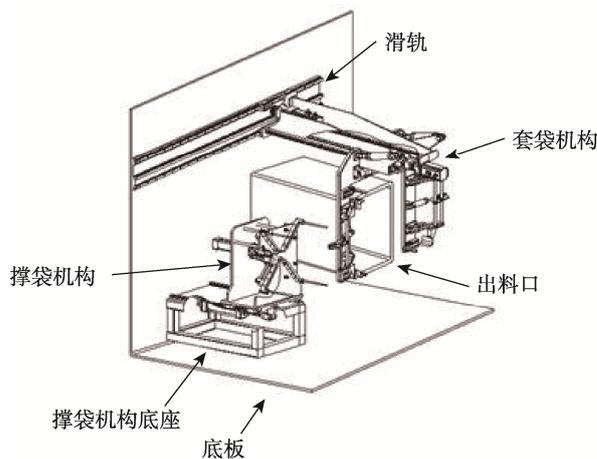


图2 自动套袋装置  
Fig.2 Automatic bagging device

## 2 间歇型撑袋机构设计

### 2.1 基本结构组成和工作原理

撑袋机构是连接取袋及套袋操作的一个中间转换机构,主要由两大部分组成,一部分结构由偏置曲柄滑块机构和双滑块机构串联而成的组合机构,见图3。该结构由固定销轴、转盘曲柄、开槽连杆、连接滑块、连接杆、底座、外支撑、滑块、导杆和撑袋杆组成。其功能是将由取袋机构运来的青贮专用袋袋口完全撑开,使袋口截面成为一个长方形,如图4中中线框所示。其执行部件为4个完全相同的撑袋杆,分别与导杆上的4个滑块连接。通过偏置曲柄滑块-双滑块机构能实现4个撑袋杆在平面内的缩放,从而完成青贮袋口的撑开。选择偏置曲柄滑块机构,是因为偏置曲柄滑块机构具有急回特性,在生产实际当中可以很好地提高工作效率<sup>[10]</sup>。

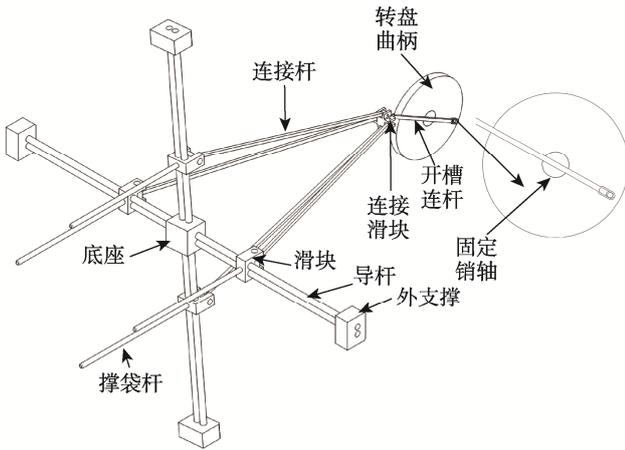


图 3 撑袋装置主要结构  
Fig.3 Main structure of bag-supporting device

另一部分为移动撑袋机构的装置, 主要由气缸、推杆支座、底板、滑块、滑轨、移动板等组成, 见图 4。其主要功能是撑袋前将撑袋结构向前移动, 使撑袋杆进入青贮袋口里, 以便实现袋口的撑开; 撑袋后套袋机构抓袋, 撑袋结构向后退回, 使撑袋杆离开青贮袋口, 以便套袋机构携袋到套袋工位进行套袋操作。

撑袋机构的工作原理: 取袋机构将青贮袋送到撑袋工位后, 由开袋吸盘吸开袋口, 撑袋机构沿底板向前滑动, 随着撑袋杆向前伸进袋子, 偏置曲柄滑块-双滑块组合机构中的转盘曲柄以一定的转速旋转, 然后带动开槽连杆运动, 使得撑袋杆顺着长方形对角线方向运动到长方形的 4 个角, 从而将袋口完全撑开, 见图 4。显然, 撑袋杆移动的距离应为撑开袋口截面长方形对角线的一半。

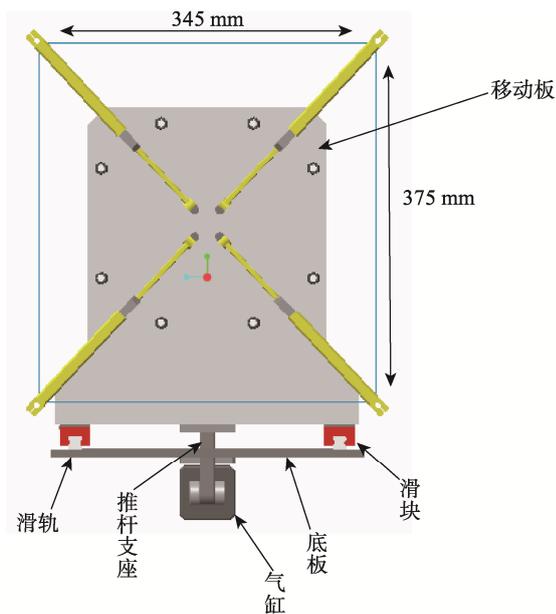


图 4 撑袋机构前视图  
Fig.4 Front view of bag-supporting mechanism

整个运动过程中, 当转盘曲柄上的圆销在开槽连杆的滑槽内运动时, 撑袋杆处于停歇状态, 方便撑袋杆在取袋机构将袋子送到撑袋工位后进入青贮袋口, 以及便于袋口撑开后套袋机构有足够时间抓取撑开的青贮袋口。

## 2.2 偏置曲柄滑块-双滑块组合机构设计

由于袋口的撑开形状是长方形 (见图 4), 4 个撑袋杆分布在长方形的对角线上呈对称分布, 运动规律一致, 为了简化计算选取其中一个杆进行分析。所设计的偏置曲柄滑块-双滑块机构为一个串联式组合机构, 包含曲柄 1、连杆 2 和 4、滑块 3 和 5 共 5 个活动构件, 见图 5。其中, 杆件 1、2 和 4 的长度分别为  $l_1$ 、 $l_2$  和  $l_4$ , 偏置曲柄滑块的偏心距为  $e$ , 机构输出构件滑块 5 的导路与曲柄轴的距离为  $l$ 。该机构在滑块 3 和 5 处共 2 个移动副,  $A$ 、 $B$ 、 $C$  和  $D$  处均为转动副, 且  $C$  处为复合铰链, 所以机构包含 5 个转动副。

由自由度计算公式可得该组合机构的自由度为:  
 $F = 3 \times 5 - 2 \times (2 + 5) - 3 \times 0 = 1$  (1)

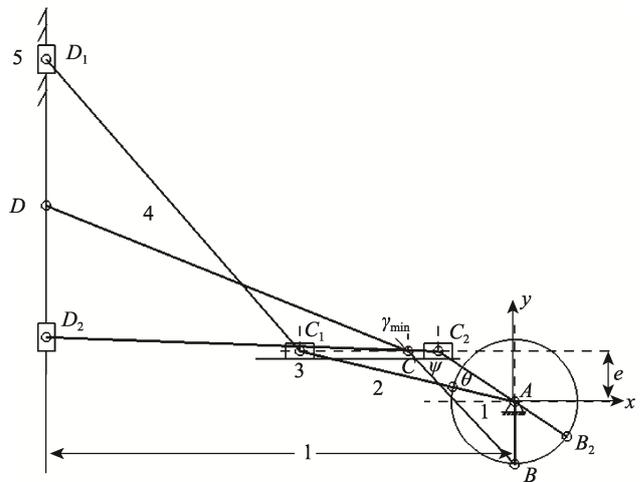


图 5 机构运动简图  
Fig.5 Diagram of mechanism movement

通常在进行组合机构设计时, 先做其中一个子机构的运动综合, 然后通过机构共有构件, 再做另一个子机构的运动综合与设计<sup>[11]</sup>。在文中设计的撑袋机构中, 选取偏置曲柄滑块机构为前置机构, 双滑块机构为后接机构, 两基本机构共有的运动构件为滑块 3。由机构运动简图可知, 以  $A$  点建立直角坐标系, 选取偏置曲柄某一运动位置, 可写出该偏置曲柄滑块机构运动方程的解析表达式:

$$\begin{cases} l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_2 = l_3 \\ e + l_1 \sin \theta_1 = l_2 \sin \theta_2 \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $l_3$  为滑块 3 与  $y$  轴的距离;  $\theta_i$  为杆件  $i$  与  $x$  轴的夹角。

由式(2)消去 $\theta_2$ 后,可求出机构共有运动构件滑块3的位移:

$$l_3 = l_1 \cos \theta_1 \pm \sqrt{l_2^2 - (e + l_1 \sin \theta_1)^2} \quad (3)$$

再写出双滑块机构运动方程的解析表达式:

$$(l - l_3)^2 + l_5^2 = l_4^2 \quad (4)$$

式中: $l_5$ 为滑块5与 $x$ 轴的距离。

由此,可得滑块5的位移为:

$$l_5 = \sqrt{l_4^2 - (l - l_3)^2} \quad (5)$$

将式(3)带入式(5),得到组合机构输出与输入之间的关系式为:

$$l_5 = \sqrt{l_4^2 - \left[ l - l_1 \cos \theta_1 \pm \sqrt{l_2^2 - (e + l_1 \sin \theta_1)^2} \right]^2} \quad (6)$$

可见, $l_5$ 可以由 $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_4$ 、 $e$ 等参数表示。给定一组曲柄长度 $l_1$ 、连杆长度 $l_2$ 和 $l_4$ 、偏心距 $e$ 和距离 $l$ ,即可求出输出构件的运动距离,从而获得青贮袋撑开袋口的尺寸。

### 2.3 开槽连杆滑槽长度设计

为了满足工艺要求,偏置曲柄滑块机构的滑块在近端和远端时,要有一定的停歇,所设计的连接曲柄1和滑块3的连杆2是开槽连杆,其上的滑槽长度决定着撑袋杆停歇时间的长短<sup>[12]</sup>。图6所示为撑袋杆在离底座最近时,曲柄1与开槽连杆2的位置,此时滑块3处于近端点 $C_2$ 。如转盘曲柄继续转动,在一定旋转角度内,曲柄的圆销会在连杆滑槽内移动,此时连杆2和滑块3不动,实现了撑袋杆在近端的停歇。

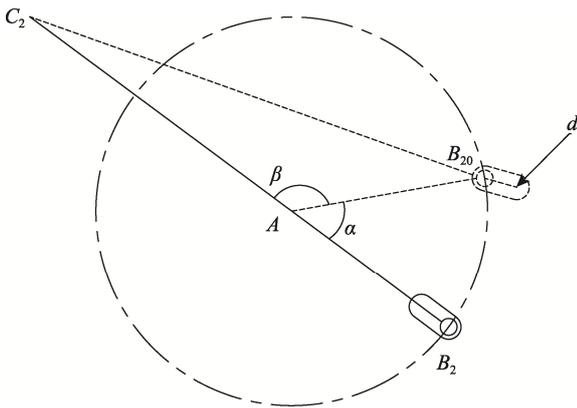


图6 偏置曲柄滑块机构近端停歇位置  
Fig.6 Near-end stop position of offset crank-slider mechanism

图6中,在 $\triangle AB_{20}C_2$ 中,由余弦定理可得:

$$\cos \beta = \frac{l_1^2 + (l_2 + d - l_1)^2 - l_2^2}{2l_1(l_2 + d - l_1)} \quad (7)$$

式中: $d$ 为滑槽长度。

由于曲柄与开槽连杆重合所以 $\alpha$ 与 $\beta$ 互为补角,由此可求得曲柄转过的弧度:

$$\alpha_{\text{弧}} = \frac{\alpha \pi}{180^\circ} = \frac{(180^\circ - \beta) \pi}{180^\circ} \quad (8)$$

停歇时间为:

$$t = \frac{\alpha_{\text{弧}}}{\omega} \quad (9)$$

式中: $\omega$ 为转盘曲柄角速度。

联立式(7) — (9),可得出滑块3在近端时的停歇时间 $t$ 与槽口长度 $d$ 之间的关系式:

$$t_{\text{近}} = \frac{\pi \left[ 180^\circ - \arccos \frac{l_1^2 + (l_2 + d - l_1)^2 - l_2^2}{2l_1(l_2 + d - l_1)} \right]}{180^\circ \omega} \quad (10)$$

当滑块3到达远端位置 $C_1$ 时,曲柄与开槽连杆也共线,其位置见图7。此时,曲柄与滑槽连杆不仅共线而且重合。

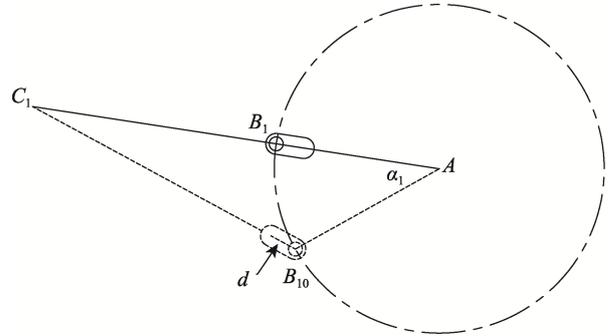


图7 偏置曲柄滑块机构远端停歇位置  
Fig.7 Remote-end stop position of crank-slider mechanism

同理,在 $\triangle AB_{10}C_1$ 中,由余弦定理可知:

$$\cos \alpha_1 = \frac{l_1^2 + (l_1 + l_2)^2 - (l_2 + d)^2}{2l_1(l_1 + l_2)} \quad (11)$$

可以求出滑块3在远端时的停歇时间 $t$ 与槽口长度 $d$ 之间的关系式:

$$t_{\text{远}} = \frac{\pi \cdot \arccos \frac{l_1^2 + (l_1 + l_2)^2 - (l_2 + d)^2}{2l_1(l_1 + l_2)}}{180^\circ \omega} \quad (12)$$

由此,可以得出滑块3在近端 $C_2$ 与远端 $C_1$ 2种情况下滑槽长度与时间的关系,从而得到撑袋杆在两极限位置的停歇时间,通过改变滑槽的长度可以获得撑袋杆不同的停歇时间。

## 3 间歇型撑袋机构杆长优化设计

### 3.1 建立优化模型及其约束条件

由上述分析可知,如果已知青贮袋撑开袋口的尺寸要求,即 $l_5$ 已知,撑袋机构的各组成构件的尺寸参数会有多种可能,这里就存在结构参数最优化的问

题<sup>[13]</sup>。根据机构运动规律, 机构运动过程中其传动角  $\gamma$  的大小是不断变化的。为保证机构每一瞬间都有良好的传力性能, 在实际工程当中把最小传动角  $\gamma_{\min}$  作为衡量机构传动性能的标准,  $\gamma_{\min}$  越大, 表示其传动性能越好。如图 5 所示, 机构  $\gamma_{\min}$  出现在曲柄 1 与滑块 3 导路垂直的位置, 此时,  $\gamma_{\min}$  可表示为:

$$\gamma_{\min} = \arccos \frac{l_1 + e}{l_2} \quad (13)$$

显然, 想要使得  $\gamma_{\min}$  最大, 可以转化为求  $\cos \gamma_{\min}$  最小, 即优化模型为:

$$\min \cos \gamma_{\min} = \frac{l_1 + e}{l_2} \quad (14)$$

为保证曲柄存在, 需满足杆长约束条件:  $l_1 + e \leq l_2$

对于前置的偏置曲柄滑块机构, 当滑块 3 处于两极限位置  $C_1$  和  $C_2$  时, 在  $\triangle AC_1C_2$  中, 由余弦定理可得:

$$H^2 = (l_2 - l_1)^2 + (l_2 + l_1)^2 - 2(l_2 - l_1)(l_2 + l_1) \cos \theta \quad (15)$$

式中:  $\theta$  为极位夹角,  $\theta = 180^\circ \times (K-1)/(K+1)$ ;  $K$  为行程速比系数, 通常在机构设计时直接给定;  $H$  为滑块 3 的行程。

在  $\triangle AC_1C_2$  中, 由正弦定理可得:

$$\frac{H}{\sin \theta} = \frac{l_1 + l_2}{\sin \psi} = \frac{l_1 + l_2}{e/(l_2 - l_1)} = \frac{l_2^2 - l_1^2}{e} \quad (16)$$

以上为优化模型需满足的约束条件。该模型既含有不等式约束又含有等式约束, 可选择求解约束极小值的基本函数  $fmincon$  进行求解<sup>[14-15]</sup>。

### 3.2 优化实例

在工程实际问题中一般已知行程速比系数  $K$  和行程  $H$ , 根据任务要求, 可选取 3 组偏置曲柄滑块机构的行程速比系数  $K$  进行对比。  $H$  可通过计算求得, 计算过程如下。

通过企业实际测量可以测得出料口的宽度和高度分别为 355 mm 和 325 mm, 包装袋在未张开时长度

为 720 mm, 其技术参数见表 1。为满足青贮袋撑袋要求, 撑开袋口的形状为长方形 (见图 4), 由出料口的尺寸可以设定其撑开袋子的长和宽分别为 375 mm 和 345 mm。

表 1 技术参数  
Tab.1 Technical data

项目	参数	备注
包装袋种类	一字袋	由塑料复合材料制成, 气密性强, 质地柔软且表面光滑, 为平口型结构
出料筒参数	宽和高分别为 355 mm 和 325 mm	
包装袋尺寸	未张开时宽为 720 mm	
包装物料	青贮块	
套袋速度	1 200 包/h	

初步定撑袋杆的直径为 10 mm。由勾股定理求得每个撑袋杆 (即滑块 5) 的行程, 然后取整得出:

$$l_5 = \frac{1}{2} \sqrt{(375-10)^2 + (345-10)^2} = 248 \text{ mm}$$

对于后接的双滑块机构, 因为  $l_4 > l_5$ , 且受工作空间尺寸限制, 选定两滑块间的连杆的长度  $l_4$  为 326 mm, 滑块 3 的行程取整得出:

$$H_{\max} = l_4 - \sqrt{l_4^2 - (l_5 - \delta)^2} = 326 - \sqrt{326^2 - (248 - 9)^2} = 104 \text{ mm}$$

考虑偏置曲柄滑块机构中滑块实际结构尺寸的影响, 连杆  $l_4$  与滑块 3 中心并不重合, 式中,  $\delta$  为连杆  $l_4$  与滑块 3 中心偏置的距离。

以最小传动角作为优化的目标函数, 选取转盘曲柄、连杆的长度和偏距为设计变量。通过 Matlab 建立偏置曲柄滑块机构的优化数学模型<sup>[16]</sup>, 编写优化程序 (见图 8), 进行优化计算, 得出  $K$  不同取值时, 机构参数的最优解并取整。由于滑槽长度影响撑袋杆初始位置的距离, 滑槽过长会对取袋后初始袋口张开度要求较高, 因此初步设定滑槽长度为 8 mm, 见表 2。

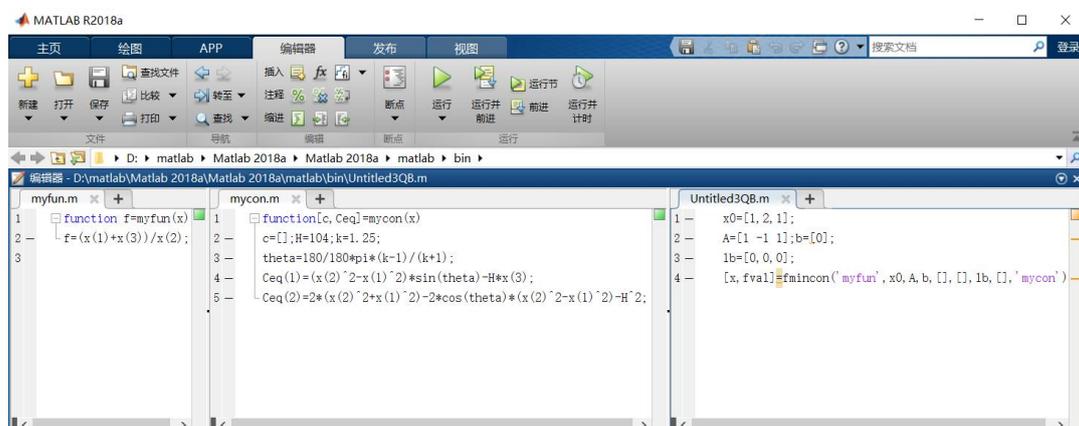


图 8 优化程序  
Fig.8 Optimization program

表 2 机构的参数优化结果

Tab.2 Optimization results of mechanism parameters

$n/(r \cdot \text{min}^{-1})$	$K$	$l_1/\text{mm}$	$l_2/\text{mm}$	$l_4/\text{mm}$	$e/\text{mm}$	$d/\text{mm}$
20	1.10	50	187	326	46	8
20	1.25	48	119	326	39	8
20	1.39	47	97	326	34	8

### 4 撑袋机构运动仿真

采用传统建立实体模型的方法进行设计的周期长、效率低,耗费的人力物力太大,而用三维软件进行虚拟模型的建立可以提高效率、降低成本<sup>[17]</sup>。以实例中优化计算结果为基础(参数见表 2),选用 Solidworks 建立撑袋机构虚拟装配体,并运用其自带的 motion 模块进行仿真分析。图 9 为在转盘曲柄处施加一个转速  $n=20 \text{ r/min}$  的马达,所得到的一个撑袋杆的仿真运动曲线。

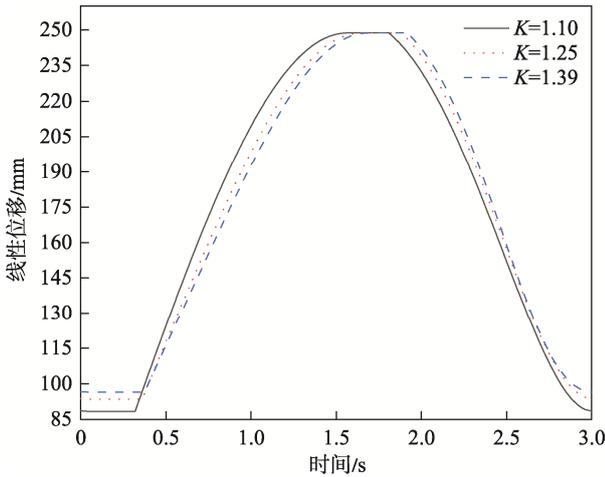


图 9 位移曲线  
Fig.9 Displacement curve

从图 9 可以看出,机构进程曲线相较于回程曲线要平缓一点,符合机构具有急回特性的要求。保留 2 位小数对整体时间基本无影响,因此当行程速比系数  $K=1.10$  时,曲线在  $0 \sim 0.32 \text{ s}$  和  $1.58 \sim 1.80 \text{ s}$  时间段内位移值一定;当  $K=1.25$  时,曲线在  $0 \sim 0.35 \text{ s}$  和  $1.64 \sim 1.88 \text{ s}$  时间段内位移值一定;当  $K=1.39$  时,曲线在  $0 \sim 0.37 \text{ s}$  和  $1.68 \sim 1.91 \text{ s}$  时间段内位移值一定,这说明撑袋机构具有停歇功能,符合机构设计要求。

从图 10 可以看出,行程速比系数  $K=1.10$  比  $K=1.25$  和  $K=1.39$  一开始的速度突变较大,机构容易产生较大的震动。从图 11 可以看出,当  $K=1.10$  和  $K=1.39$  时都存在较大的加速度突变,而  $K=1.25$  时加速度变化相对平缓,相对而言没有很大的冲击,更符合设计要求。

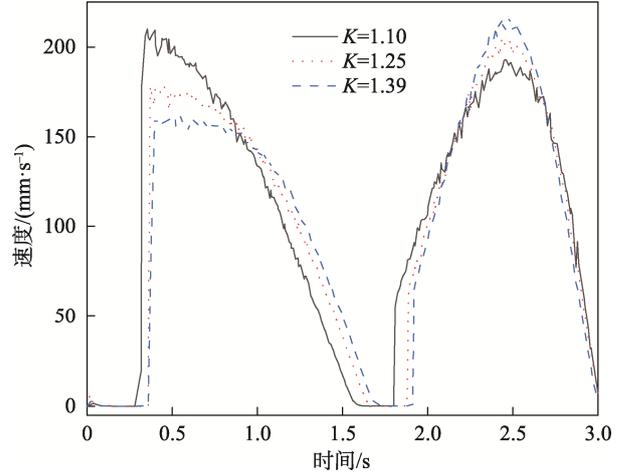


图 10 速度曲线  
Fig.10 Speed curve

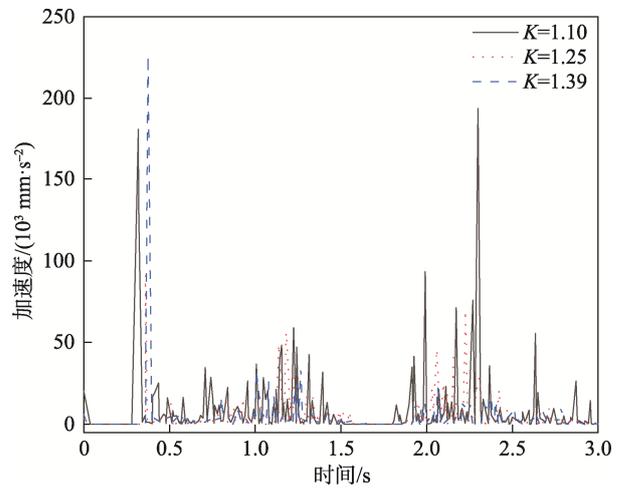


图 11 加速度曲线  
Fig.11 Acceleration curve

将表 2 中的  $K=1.25$  的机构已知参数带入式(10)和式(12)中进行验证(通常保留 2 位小数,对结果基本无影响),得出结果如下:

$$t_{\text{近}} = \frac{\pi \left[ 180^\circ - \arccos \frac{l_1^2 + (l_2 + d - l_1)^2 - l_2^2}{2l_1(l_2 + d - l_1)} \right]}{180^\circ \omega} = \frac{\pi \left[ 180^\circ - \arccos \frac{48^2 + (119 + 8 - 48)^2 - 119^2}{2 \times 48 \times (119 + 8 - 48)} \right]}{180^\circ \times 2\pi \times \frac{20}{60}} = 0.35 \text{ s}$$

$$t_{\text{远}} = \frac{\pi \cdot \arccos \frac{l_1^2 + (l_1 + l_2 - d)^2 - l_2^2}{2l_1(l_1 + l_2 - d)}}{180^\circ \omega} = \frac{\pi \cdot \arccos \frac{48^2 + (48 + 119 - 8)^2 - 119^2}{2 \times 48 \times (48 + 119 - 8)}}{180^\circ \times 2\pi \times \frac{20}{60}} = 0.24 \text{ s}$$

显然,解析计算结果和机构仿真结果基本一致,说明模型正确。

## 5 结语

通过分析青贮块的套袋工艺,针对青饲机青贮块的套袋装置中的撑袋机构进行设计和优化,使其袋子撑口的尺寸及形状达到了工艺所需的要求,同时机构具有停歇特性,可以很好地衔接取袋机构和套袋机构,解决了青贮袋自动撑袋口的难题,实现了青饲机青贮块的自动套袋操作。

所设计的撑袋机构利用偏置曲柄滑块和双滑块组合连杆机构,在连杆处设计一个滑槽实现了机构的停歇功能,并通过公式推导确定停歇时间,通过仿真建模验证了机构可行性,为连杆类停歇机构提供了一个新的设计思路。

计算了不同行程速比系数  $K$  下机构的杆件参数,并比较了其运动规律,结果表明  $K=1.25$  时,具有停歇功能的运动特性较平稳,冲击较小。

### 参考文献:

- [1] 刘忠宽,刘振宇,李江,等. 中国青贮饲料产业发展现状分析[J]. 草学, 2020(1): 70-75.  
LIU Zhong-kuan, LIU Zhen-yu, LI Jiang, et al. Analysis on the Development Status of Chinese Silage Feed Industry[J]. Prataculture & Animal Husbandry, 2020(1): 70-75.
- [2] 包攀峰,吕江南,王加跃,等. 青贮饲料收获机械的发展现状与对策[J]. 粮食与饲料工业, 2018(1): 42-45.  
BAO Pan-feng, LYU Jiang-nan, WANG Jia-yue, et al. Research Progress and Suggestions on Harvesting Machinery for Silage Fodder[J]. Cereal & Feed Industry, 2018(1): 42-45.
- [3] 柏亚萌,张德林,程园. 水果套袋机器人[J]. 河北农机, 2021(3): 38-39.  
BAI Ya-meng, ZHANG De-lin, CHENG Yuan. Fruit Bagging Robot[J]. Hebei Farm Machinery, 2021(3): 38-39.
- [4] 徐雪萌,陈留记,王志山,等. 给袋式挂面包装机撑袋机构设计与分析[J]. 包装工程, 2019, 40(15): 181-188.  
XU Xue-meng, CHEN Liu-ji, WANG Zhi-shan, et al. Design and Analysis of Bag-Opening Mechanism of Automatic Bag-Delivering Machine for Dried Noodles[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(15): 181-188.
- [5] 邹慧君,殷鸿梁. 间歇运动机构设计与应用创新[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 1-8.  
ZOU Hui-jun, YIN Hong-liang. Design and Application Innovation of Intermittent Motion Mechanism[M]. Beijing: China Machine Press, 2008: 1-8.
- [6] 吕方梅. 一种新型模切机间歇机构的设计与运动学[J]. 包装工程, 2020, 41(12): 204-209.  
LYU Fang-mei. Design and Kinematics of a New Intermittent Mechanism for Die Cutting Machine[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(12): 204-209.
- [7] 张晓瑞,张立中,李小明. 双凸轮和不完全齿轮传动机构设计[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2019, 42(4): 9-14.  
ZHANG Xiao-rui, ZHANG Li-zhong, LI Xiao-ming. Design of Double Cam and Incomplete Gear Transmission[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2019, 42(4): 9-14.
- [8] 张春,胡小春,林佳裔. 平面复合连杆机构设计及可动性分析[J]. 机械设计与制造, 2020(1): 48-51.  
ZHANG Chun, HU Xiao-chun, LIN Jia-yi. The Design and Movability Analysis of Planar Combined Bar Mechanism[J]. Machinery Design & Manufacture, 2020(1): 48-51.
- [9] 王莹,李晨辉,任文营. 三自由度青储饲料打包机出料筒套袋装置: 中国, 112550837A[P]. 2022-03-18.  
WANG Ying, LI Chen-hui, REN Wen-ying. Three-Degree-of-Freedom Bagging Device for Discharging Barrel of Ensilage Packaging Machine: China, 112550837A[P]. 2022-03-18.
- [10] HE Zhen-zhi. Analysis on the Quick-Return Kinematic Characteristics of the On-Line Slider Elliptic Crank Mechanism[C]// Proc. of the 2016 International Conf. Mechatronics and Manufacturing[MMT 2016], New Jersey: World Scientific, 2017: 137-146.
- [11] 吕庸厚,沈爱红. 组合机构设计与应用创新[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.  
LYU Yong-hou, SHEN Ai-hong. Design and Application Innovation of combined Mechanism[M]. Beijing: China Machine Press, 2008.
- [12] 张国全. 摇块式摆动导杆滑槽间歇机构在小袋包装机上的应用[J]. 粮油加工与食品机械, 2000(1): 19-20.  
ZHANG Guo-quan. The Application of the Intermittent Mechanism of the Rocking Block Swing Guide Rod Chute in the Small Bag Packaging Machine[J]. Grain and Oil Processing and Food Machinery, 2000(1): 19-20.
- [13] HAN Ji-guang, ZHANG Chuan-yan, ZUN Wei-yang. Analysis and Synthesis of the In-Line Slider-Elliptic Crank Dwell Mechanism[J]. International Journal of Control and Automation, 2014, 7(10): 233-242.

- [14] 龚纯, 王正林. 精通 MATLAB 优化计算[M]. 4 版. 北京: 电子工业出版社, 2016.  
GONG Chun, WANG Zheng-lin. Proficient in MATLAB Optimization Calculation[M]. 4th ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2016.
- [15] 朱天天, 邓援超, 夏万. 利用连杆机构实现纸盒折边装置铲刀轨迹的优化设计[J]. 包装工程, 2021, 42(23): 232-237.  
ZHU Tian-tian, DENG Yuan-chao, XIA Wan. Optimal Design of Cutter Track of Paper Box Edge Folding Device by Connecting Rod Mechanism[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(23): 232-237.
- [16] 曹保金, 秦小屿. MATLAB 优化工具箱在机械优化设计中的应用[J]. 现代机械, 2009(6):11-13.  
CAO Bao-jin, QIN Xiao-yu. Application MATLAB Optimization Toolbox in Mechanical Optimization Design[J]. Modern Machinery, 2009(6):11-13.
- [17] 蔡文书, 程志红, 沈春丰. 基于 SolidWorks 的液压支架三维建模和运动仿真[J]. 煤矿机械, 2008, 29(11): 165-167.  
CAI Wen-shu, CHENG Zhi-hong, SHEN Chun-feng. 3D Modeling and Dynamic Simulation of Hydraulic Support with Solidworks[J]. Coal Mine Machinery, 2008, 29(11): 165-167.

责任编辑: 曾钰婵