

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.04.003

# 成卷电线产品热收缩包装机设计

王勇<sup>1</sup>,王利强<sup>1,2</sup>

(1. 江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214122;  
2. 江南大学江苏省现代食品加工装备重点实验室, 江苏无锡 214122)

**摘要:**针对目前电线卷产品包装普遍存在样式单一、品质较低及包装机械生产效率不高等问题,提出一种采用套膜方式对电线卷进行裹包,进而完成热收缩包装的新工艺方法。课题组设计了基于套标技术的电线卷套膜装置,介绍了套膜工艺过程,采用中心柱结构实现了筒状折叠薄膜的展开、切割及套膜动作;设计了电线卷下料装置,介绍了下料控制的原理,并对于下料控制机构进行参数化设计。仿真结果表明该机构不仅具有运行平稳、结构简单等优点,而且有效地控制电线卷的下放输送。本设计使电线卷包装美观,提高了包装的品质。

**关键词:**包装机械;热收缩包装;电线卷;套膜方式;曲柄摇块机构;SolidWorks Motion 模块  
中图分类号:Th486 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2018)04-0014-06

## Design of Heat Shrink Packaging Machine for Coil Wire Products

WANG Yong<sup>1</sup>, WANG Liqiang<sup>1,2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;  
2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment & Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

**Abstract:** In view of the problems that the present wire coil packaging has few styles and low quality, and packaging machinery production efficiency is not high, a way of using sets of membrane was applied on the wire coil wrapping packaging, to carry out the new technology of heat shrink packaging. The wire coil sleeve film device based on the sleeve labeling technology was designed, and the process of the sleeve film was introduced. The expansion, cutting and sleeve motion of the cylindrical folded film was realized with the use of the central column structure. A wire coil falling device was designed, and the principle of falling control was introduced in this paper, and the parametric design of feeding control mechanism was carried out. The simulation results show that this mechanism not only has the advantages of stable operation and simple structure, but also effectively controls the decentralized transport of wire coils. This design can improve the appearance of the wire coil packaging and improve the quality of packaging.

**Keywords:** packaging machinery; heat shrink packaging; wire coil; sleeve mode; crank rocker mechanism; SolidWorks Motion module

电线作为广泛应用于社会生产、生活中各个领域的工业产品,随着我国经济的快速发展,使用量大幅增长,电线生产也成为我国很大的一个产业<sup>[1-3]</sup>。就包装而言,电线产品大多都是成卷进行包装的,目前电线卷的包装形式比较单一,不美观,市场上同质化现象严重。国内很多生产企业对于电线的包装不太重视,包装的效率和质量的要求很难跟上市场需求的发展<sup>[4]</sup>。

国际上对于电线卷包装的要求较高,有些国家要求采用热收缩包装形式且包装过程中留下的热封缝不

能超过一条,国内包装机械目前难以达到要求。由于全自动热收缩包装机价格昂贵,国内企业很难承受,因此需要开发一种新的热收缩包装机械,提高包装品质,降低企业成本。

### 1 电线卷热收缩包装总体工艺方案

#### 1.1 电线卷包装形式确定

目前,市场上常见的电线卷包装方式主要有缠绕、捆扎和热收缩等。热收缩包装以其优良的包装效果,

收稿日期:2018-01-06;修回日期:2018-04-10

第一作者简介:王勇(1990),男,陕西咸阳人,硕士研究生,主要研究方向为包装工艺与机械。E-mail:550510495@qq.com

方便灵活的工艺方法,在整个包装行业中获得了较好的发展。薄膜热收缩包装常见的是采用双张薄膜进行裹包<sup>[5]</sup>,一般分为电线卷水平和垂直放置2种方式。其中采用水平方式,热收缩后电线卷的两端被覆盖,不仅浪费包装材料,且人工搬运不方便,在侧面上形成开放口。采用垂直方式,最明显区别是电线卷2个端面是开放的,电线卷中间空间释放出来。由于采用双张薄膜进行热封切,以上2种方式得到的包装上面都会留有2条热封缝<sup>[6]</sup>,很不美观,也不符合包装上热封缝不超过一条的标准。因此课题组提出一种采用筒状薄膜套在电线卷上进行热收缩的包装形式,其上下2个端面是开放的,节省材料的同时也不会留下热封缝,基本热收缩包装如图1所示。

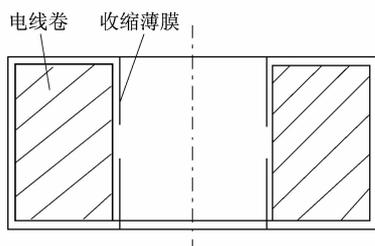


图1 电线卷套膜裹包热收缩包装示意图  
Figure 1 Schematic diagram of heat shrink wrap packaging of wire coil membrane

## 1.2 电线卷包装工艺方案的确定

根据确定的包装形式,设计一种新的基于电线卷套膜裹包热收缩的工艺方案,工艺过程如图2所示。一般采用筒状薄膜进行裹包,首先利用机械手结构,撑开折叠膜,待包装的物品被推入筒膜中,进行切断完成工作。其特点是工艺过程复杂,机械手要实现的动作较多,裹包的过程是间歇式的,不能连续进行,因此生产效率不高。课题组设计方案采用筒膜作为包装材料,应用套膜的方式,材料本身为筒状没有热封缝,利用这个特点设计简单的包装工艺,可以简化复杂的机械结构,实现连续高效、稳定地包装,减少设备的投入,降低包装的成本,增强产品的竞争力,比较适合国内实际情况。

## 2 整机结构与工作原理

### 2.1 整机结构

本方案包装机械主要由电线卷下料装置、链板式输送机及电线卷套膜等装置组成,能够自动、连续完成电线卷的热收缩包装,机械结构简单,维修方便。包装机的基本结构如图3所示。

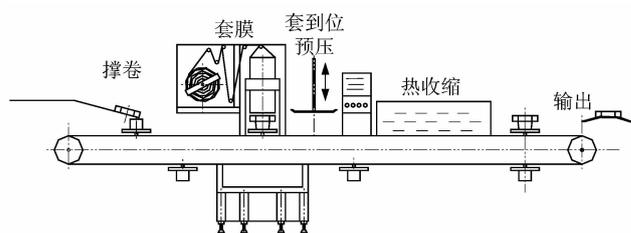
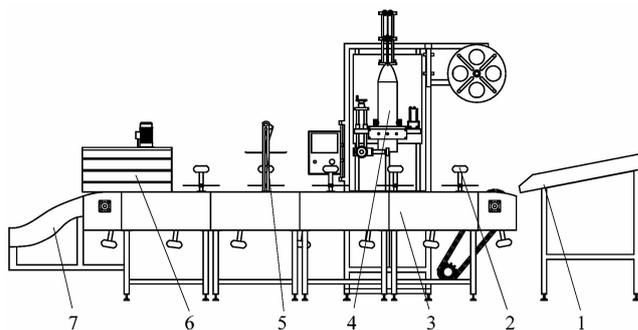


图2 电线卷热收缩包装工艺结构简图  
Figure 2 Wire coil shrink packaging process structure diagram



1—下料装置;2—撑卷装置;3—链板输送机;4—套膜装置;5—拍平装置;6—热收缩装置;7—出料装置。

图3 包装机械总体布局

Figure 3 Packaging machinery overall layout

### 2.2 工作原理

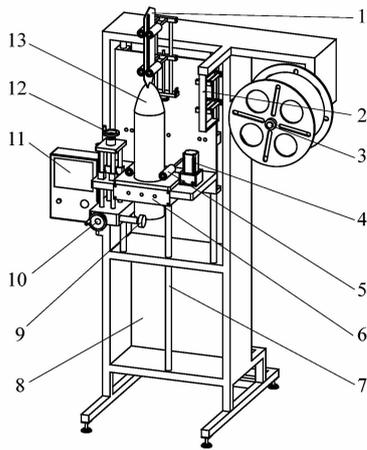
生产的电线产品,成卷后,经过下料装置上阻挡翻板的调整,电线卷按照一定的规律下滑套在撑卷装置上;撑卷装置固定安装在链板输送机的链条上,链板输送机在电机的带动下,随输送链向前运行;当电线卷行至套膜工位处,将薄膜以类似套标的模式裹在电线卷的外面;在拍平装置的作用下,将薄膜进行拍打调正,经过薄膜旋转装置,摩擦带与撑卷装置薄膜盘接触,由于装置中心轴安装在转动轴承之上,因此,撑卷装置带动电线卷一起转动。电线卷维持转动状态进入热收缩室进行加热,可以使包装薄膜受热更均匀,保证包装的品质,提高成品率。经过热收缩的包装最后经过出料装置输出成品。

## 3 关键装置设计

### 3.1 电线卷套膜装置

根据电线卷套膜的原理和要求设计的机构装置如图4所示。电线卷套膜装置主要由中心柱、护膜辊及薄膜张力辊等部件组成。薄膜从放料卷上放出经张力调节后,接入到中心柱导板上,折叠的薄膜经中心柱后展开成为筒装薄膜<sup>[7]</sup>;中心柱采用送膜辊夹持在指定位置处,送膜辊滚动将薄膜向下输送,薄膜经过刀盘

时,成组的割刀同步转动,高速旋转的割刀将薄膜切断,套膜轮将切割的薄膜套在电线卷上;当套膜传感器感应到电线卷靠近时,将信号传递到 PLC 并下达送膜、切割及套膜等命令。套膜前,应先确保中心柱的安装位置准确,不出现松动,否则会影响薄膜的切割与套膜;刀盘的切刀安装时,应注意刀片的长度,避免刀片发生碰撞损坏,且使用环境的湿度不能过高,振动与冲击不能太强烈。电线卷由撑卷装置输送到套膜工位,将薄膜套在电线卷外面,撑卷装置上的圆盘将其支撑,保证其竖直放置,最后进入热收缩室加热,完成电线的热收缩包装。



1—护膜辊;2—薄膜张力辊;3—膜卷辊;4—电机;5—送膜辊;6—刀盘机构;7—落膜高低调整杆;8—机架;9—套膜轮;10—套膜前后调整杆;11—设备显示器;12—套膜上下调节杆;13—中心柱。

图4 套膜装置

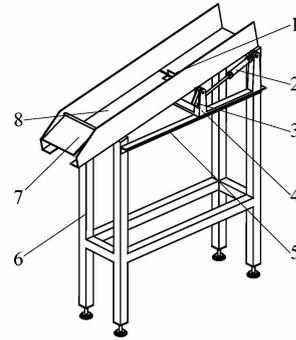
Figure 4 Wear film mechanism

### 3.2 电线卷下料装置

电线卷下料装置是将生产好的成品电线卷输送到包装机械内的装置,其主要的作用是接收传感器的信号控制电线卷间歇的平稳下料。传感器安装在下料输送槽下面,用来检测撑卷装置是否靠近,当撑卷装置靠近时,依靠下料装置上面的控制机构结合链板输送机将电线卷准确地套在撑卷装置上。

根据电线卷下料的原理和工作要求,设计的装置实体模型如图5所示,主要由阻挡翻板、气缸、曲柄、底座、控制机构支架和支架等组成。电线卷经下料装置引入包装工位,在控制机构的作用下将电线卷间歇性地释放,其原理如图6所示。依靠下料控制机构完成阻挡翻板的转动,使得电线卷可以按照信号在阻挡和释放电线卷之间自由转换,阻挡翻板的设计工作范围为 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。在此过程中,当阻挡翻板与输送槽斜面成直角时电线卷被阻挡,当与斜面水平时电线卷可以

继续下滑,控制机构完成对于电线卷下滑的控制调节。



1—阻挡翻板;2—气缸;3—曲柄;4—固定底座;5—控制机构支架;6—机架;7—缓冲夹板;8—输送槽。

图5 下料装置

Figure 5 Unloading device design

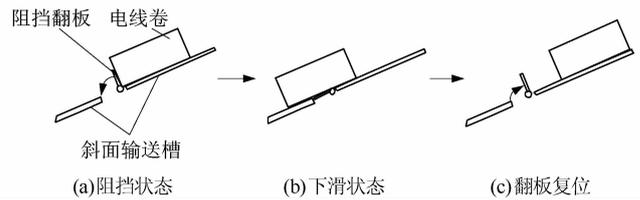


图6 电线卷下料控制机构运动示意图

Figure 6 Schematic diagram of wire coil decentralization

#### 1) 下料控制机构选型

下料控制机构简图如图7所示。课题组提出的下料控制机构,主要实现的是对于电线卷的阻挡和释放2个操作动作。选择曲柄摇块机构由若干杆件组成,结构简单、成本较低、制造方便,能在载荷较大的条件下正常使用,组合的方式多样,在工程实际中应用广泛。

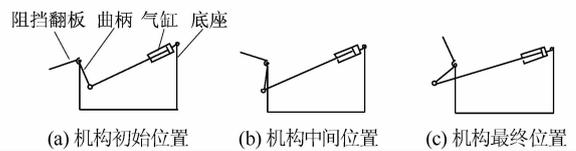


图7 下料装置控制机构简图

Figure 7 Bief diagram of control mechanism of feeding device

采用曲柄摇块机构来实现需要的运动过程<sup>[8-10]</sup>。气缸是曲柄摇块机构的动力源,将气缸的直线运动转变为曲柄的转动,阻挡翻版连接在曲柄上面,随着曲柄一块运动。当向气缸充入压缩空气,气缸活塞杆向外推出,带动曲柄和翻板转动,电线卷被挡住,机构变为阻挡状态;当电线卷要继续沿输送槽向下运动时,抽取气缸空气,则气缸活塞杆向内运动,带动曲柄沿逆时针

方向旋转,阻挡翻板随着曲柄运动,回到与底面平行的初始状态,电线卷沿着输送槽继续向下滑动,完成一次电线卷下放的控制过程。

### 2) 下料控制机构参数计算

曲柄摇块机构是包装机械中常用的平面连杆机构,如图 8 所示。设计平面杆件机构的方法有解析法、作图法和实验法,传统的作图法和实验法工作量很大,设计精度普遍偏低,适用于快速了解机构的某几个点的工作状态,或使用环境对于精度要求不高的场合。高速发展的工业领域对于精度越来越重视,单纯的图解、实验设计方法已不能满足要求。下料控制装置选择曲柄摇块机构方案,采用解析法按照最大驱输出力矩<sup>[11-12]</sup>来设计。确定各杆件的长度、相互位置关系及气缸的行程,保证在给定的范围内曲柄可以输出最大平均力矩。

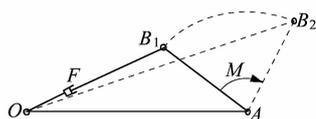


图 8 曲柄摇块机构设计简图

Figure 8 Crank rocker mechanism diagram

图 9 所示为采用最大输出力矩准则设计对应的机构模型,图中几何关系:OB ⊥ AB 处为输出力矩的最大处;AB<sub>1</sub>、AB<sub>2</sub>是曲柄 2 个极限位置;AB 为 ∠B<sub>1</sub>AB<sub>2</sub> 的角平分线;OB<sub>1</sub>和 OB<sub>2</sub>为连杆长度最小值与最大值。

令: ∠OAB = β; ∠OAB<sub>1</sub> = β<sub>1</sub>; ∠OAB<sub>2</sub> = β<sub>2</sub>。

曲柄 AB 的角度变化极限位置与 OA 的夹角:

$$\beta_1 = \beta - \frac{\varphi}{2}; \beta_2 = \beta + \frac{\varphi}{2}。$$

式中, φ 为曲柄的摆角。

令: OA = a, a 即为机架的长度, AB = AB<sub>1</sub> = AB<sub>2</sub> = r, r 即为曲柄的长度。

在 △OAB 中有

$$\cos \beta = r/a, \sin \beta = \sqrt{\frac{a^2 - r^2}{a^2}}。$$

连杆 OB 由气缸驱动实现,根据气缸的结构特点,极限长度分别为 L<sub>max</sub> 和 L<sub>min</sub>, c 为气缸的特征参数,其中有

$$L_{\min} = L_0 + c;$$

$$L_{\max} = 2L_0 + c。$$

由余弦定理可知,在 △OAB<sub>1</sub> 和 △OAB<sub>2</sub> 中有

$$\begin{cases} a^2 + r^2 - 2ar \cos \beta_1 = L_{\min}^2, \\ a^2 + r^2 - 2ar \cos \beta_2 = L_{\max}^2. \end{cases}$$

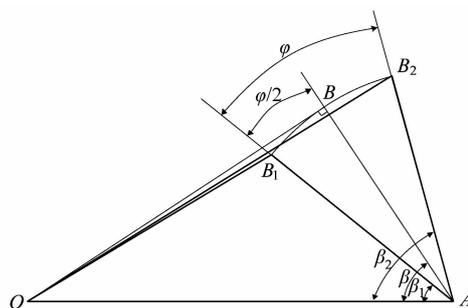


图 9 输出力矩最大曲柄摇块机构模型

Figure 9 Maximum output torque crank rocker mechanism model

整理可得

$$\begin{cases} a^2 + \left(1 - 2\cos \frac{\varphi}{2}\right)r^2 + 2r \sqrt{a^2 - r^2} \sin \frac{\varphi}{2} = L_{\max}^2, \\ a^2 + \left(1 - 2\cos \frac{\varphi}{2}\right)r^2 - 2r \sqrt{a^2 - r^2} \sin \frac{\varphi}{2} = L_{\min}^2. \end{cases}$$

解析式是根据机构最大输出力矩准则确定的,因此机构参数满足上式关系就能保证机构在给定的角度范围内运动时可以输出最大的平均力矩,且存在最大力矩值。根据工作的要求,阻挡板要旋转的角度 φ 的范围是 0 ~ π/2,根据机构实际工作布局的要求,选择参

数,则 φ = π/2, c = 200 mm, r = 50 mm, 试取 a = 300 mm, 计算气缸的行程 L<sub>0</sub>。将已知的参数带入公式中经整理计算得 L<sub>0</sub> = 68.93 mm, 取 L<sub>0</sub> = 70 mm。

机构杆长等参数已知,因此进行机构的位置等参数确定,可以将所求值代入相关公式中计算角度值,最终可以确定曲柄的 2 个极限位置。在这里还可以采用作图法结合计算机绘图软件快速地确定曲柄的 2 个极限位置<sup>[13]</sup>,如图 10 所示。

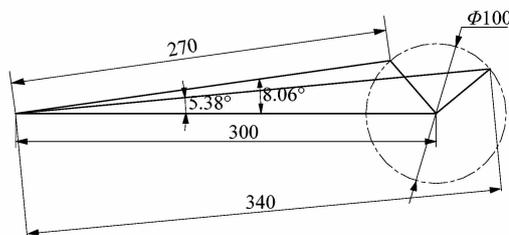


图 10 作图确定机构极限位置

Figure 10 Sketch of limit position of mechanism

对于下料输送槽,要求电线卷可以自然下滑,因此需要对下滑面的倾角进行计算以满足设计要求。对于电线卷在斜面上的受力情况如图 11 所示,要使电线卷能自行下滑,则必有

$$G \sin \theta - f \geq 0;$$

又因为

$$f = \mu N;$$

$$G = mg;$$

$$N = mg \cos \theta。$$

整理得

$$mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta \geq 0。$$

因此有

$$\mu \leq \tan \theta;$$

$$\theta \geq \arctan \mu。$$

式中： $G$  为电线卷所受重力； $f$  为最大静摩擦力； $N$  为斜面所受压力； $\mu$  为最大静摩擦因数； $g$  为重力加速度； $\theta$  为斜面与水平面的夹角。

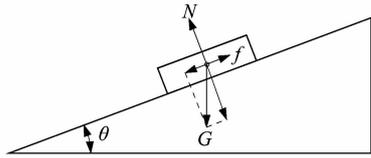


图 11 电线卷下滑受力分析简图

Figure 11 Wire coil down force analysis diagram

由于下料滑槽的材料为钢材，电线卷的外层为护套，两者相接触，常见的电线外层材料与钢材之间的最大静摩擦因数如表 1 所示。以常见的 PVC 材料为例，则其与滑槽的最大摩擦因数  $\mu$  为 0.45，因此斜面与水平的夹角  $\theta$  应该符合： $\theta \geq 24.3^\circ$ 。

表 1 常见的护套材料最大静摩擦因数

Table 1 Common maximum static coefficient of sheath material

材料	与钢材最大静摩擦因数 $\mu$
聚氯乙烯 (PVC)	0.45
低密度聚乙烯 (LDPE)	0.27
高密度聚乙烯 (HDPE)	0.18
聚酰胺 (尼龙 66)	0.37

#### 4 下料控制机构运动仿真

下料装置是将生产的电线卷按一定的运动规律输送到包装工位的装置，主要的作用是控制电线卷准确放置在撑卷装置上，其主要的控制机构是曲柄摇块机构。利用 SolidWorks 软件建立拍平装置的三维模型，使用软件的 Motion 运动模块对建立的机构模型进行运动仿真，分析机构的位移、速度和加速度<sup>[14-15]</sup>，以此为参考来改进机构的设计。

根据机构的实际运动情况，为运动机构部件之间添加配合关系，在 Motion 模块中进行运动分析时配合关系自动转化为相应的约束。分析时运动模型中的螺栓、销及支架这类零部件应进行略去或压缩，这样可以简化仿真模型，减少计算量同时不会影响结果精度。

#### 1) 参数设置

为保证电线卷下放的顺畅，控制机构的动作要迅速，机构动作时间较短。为曲柄摇块机构添加线性马达，添加的位置为气缸的活塞杆圆柱面上，方向为沿着活塞杆向外；将每秒帧数设置为 100。为模型添加引力，方向竖直向下，数值保持默认；经过前面的计算，仿真算例持续时间为 0.5 s，使得机构可以从起始位置到达阻挡的状态，整个过程阻挡翻板刚好转过  $\pi/2$ 。完成参数设置，点击“计算”开始仿真。

#### 2) 仿真结果分析

算例仿真结束后，选择工具栏的结果和图解选项，查看翻板角位移与角速度变化曲线。图 12 所示的是角位移随时间变化的曲线。可知阻挡翻板仿真角位移为  $35^\circ - (-53^\circ) = 88^\circ$ ，与设计要求的  $90^\circ$  相比，误差范围为 2.22%。图 13 所示为阻挡翻板角速度随时间变化的曲线图，由图可得阻挡翻板的角速度变化趋势为先变小再变大，角速度范围为  $\frac{158}{360} \cdot 2\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \leq$

$$\omega \leq \frac{267}{360} \cdot 2\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

，以此判断符合设计要求。

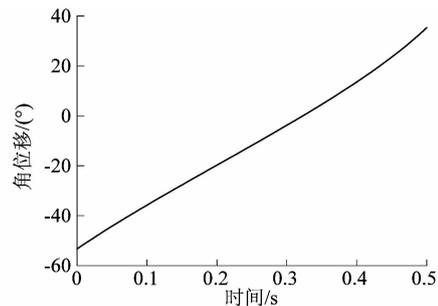


图 12 翻板角位移曲线

Figure 12 Angular displacement of flap and cylinder piston rod

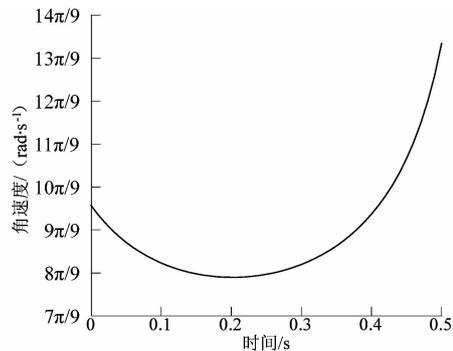


图 13 翻板的角速度曲线

Figure 13 Angular velocity of flap and cylinder piston rod