

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.03.009

新型打结装置打结过程的关键参数研究*

黄松檀, 胡冲, 吕俊杰, 马亮亮, 应富强*

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要:针对包装袋手绳手工打结劳动成本高、效率低的问题,设计了一种新型手绳打结装置,并对打结过程的关键参数进行了研究。利用建立的打结装置三维模型对关键参数绕绳圈数和成结移动距离的取值范围进行了计算,利用工程分析软件 Adams 建立了打结装置虚拟样机模型,并对打结过程进行了运动学仿真,得到了转动角度及成结移动距离的值,利用 Matlab 构建的“绕绳圈数-移动距离”关系图进一步确定了关键参数值,最后制作了样机并进行试验验证。研究结果表明:试验结果与理论计算及仿真结果相符,对提高包装袋手绳打结成功率及打结装置结构进一步改进可提供一定的参考。

关键词:打结装置;虚拟仿真;打结试验;绕绳机构;成结机构

中图分类号:TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2018)03-0261-05

Key parameters of knotting process of new knot tying device

HUANG Song-tan, HU Chong, LV Jun-jie, MA Liang-liang, YING Fu-qiang

(Key Laboratory of Special Purpose Equipment and Advanced Manufacturing Technology, Ministry of Education, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the problem that the high labor cost and the low efficiency for the manual knotting of the hand bag of a packaging bag, the key parameters of knotting process were studied. The range of the key parameters of the around loop number and the knot moving distance were calculated based on the established three-dimensional model of the knotting device. The kinematic simulation of the knotting process and the parametric modeling of knotting device were done by engineering analysis software Adams, the values of the angle of rotation and the knot moving distance were given, through the Matlab to draw the relation schema between the around rope number and the moving distance to further determined the value of key parameters. At last, a prototype was made for test and verification. The results indicate that the experimental data is similar that of theoretical calculation and simulation, which provide a certain reference for increasing the successful rate of knotting of hand bag and improving the structure of knotting device.

Key words: knotting device; virtual simulation; knot test; roping mechanism; knotting mechanism

0 引言

目前包装袋行业的打结,依旧是人工打死扣的方式,劳动强度大、效率低。现在打结器主要用于农业,如对牧草进行打结捆扎的 D 型打结器,外科手术

最后缝线动作的丝线打结器等,因此对包装袋手绳的打结装置进行设计研究具有一定的科研和市场价值。

国内外学者对打结装置开展了大量研究,包括打结器运动仿真、动作功能及运动时序分析^[1-3],结构性

收稿日期:2017-06-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51475425)

作者简介:黄松檀(1991-),男,浙江金华人,硕士研究生,主要从事机械设计及理论方面的研究。E-mail:1440687807@qq.com

通信联系人:应富强,男,教授,博士生导师。E-mail:motor@zjut.edu.cn

能分析^[4-5],空间结构参数分析^[6-7],改进设计与试验^[8-9],新型打结器设计等^[10-12]。如在打结器运动仿真方面,江苏大学的尹建军等对 D 型打结器及其辅助机构进行了运动仿真与时序分析,揭示了 D 型打结器的成结原理,确定了各构件耦合动作时序关系;中国农业大学的陈龙健等利用逆向工程技术对 D 型打结器进行了三维重构,并进行了运动仿真研究;在结构性能分析方面,内蒙古大学的刘智强对 D 型打结器的钳嘴结构性能进行了分析研究,确定了钳嘴的应力分布及疲劳寿命;在空间结构参数分析方面,中国农业大学的张安琪分析了割绳脱扣机构的空间结构参数,对打结器割绳脱扣机构进行运动学分析,建立了其参数设计理论模型,描述了与其他机构之间的参数匹配关系;在结构优化、改进设计及试验方面,中国农业大学的李海涛等对割绳脱扣机构进行了磨损分析与改进设计,提出以凸轮理论廓面的等距圆弧面代替现有柱面轮廓的解决方案,通过磨损试验对比有明显改善;在新型打结器设计方面,HE Long, ZHANG Qin 和 CHARVET H J 设计了一种机械化操作的新型绕绳机器人,其原理是以一根格状线基准轴,通过气缸与勾子做绕绳动作,最后由钳子完成成结动作;天津大学自行研制了“妙手”系列的外科手术机器人;哈尔滨工业大学的李哲与王宇锐进行了海带打结原理的研究以及新一代海带打结机器人的系统设计。上述研究均未涉及包装袋手绳打结过程中关键参数如绕绳角度及成结移动距离的研究,因此有必要对包装袋手绳打结过程的关键参数进行研究,有助于包装袋手绳打结实现机械化,降低工人劳动强度,提高生产效率。

本研究将针对包装袋手绳打结设计一种新型打结装置,并对其打结过程中的关键参数进行研究,进而制作样机进行试验验证。

1 新型打结装置的设计

打结装置包括绕绳机构、传动机构及移动成结机构,绕绳机构由主动齿轮、从动齿轮、夹子及夹持板组成,传动机构由传动齿轮、主从动斜齿轮及相应的连接轴组成,移动成结机构由勾槽、移动轴及不完全齿轮组成。

打结装置示意图如图 1 所示。

绕绳机构绕绳圈动作,主动轮带动从动轮及固定在从动轮上的绕圈夹持板转动,夹持板上的夹子就能夹住手绳进行绕圈动作。

绕绳圈如图 2 所示。

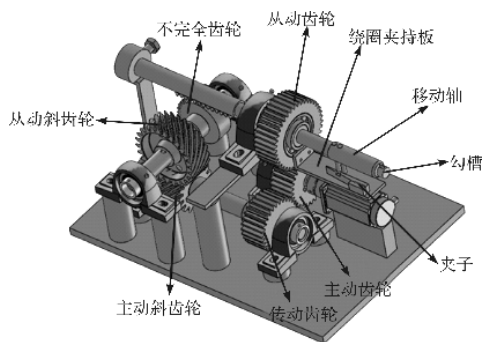


图 1 打结装置示意图

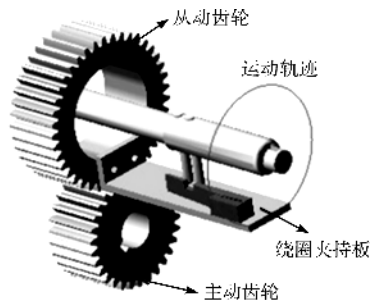


图 2 绕绳圈

成结机构由电机输入驱动到主动齿轮,其再通过传动齿轮将动力传递到与之同轴的交错斜齿轮机构,进而带动不完全齿轮机构工作,移动轴实现匀速直线运动。

机构及轨迹如图 3 所示。

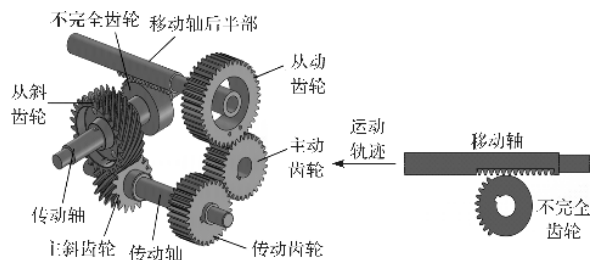


图 3 成结机构及移动轴运动轨迹

2 打结过程关键参数计算

打结装置机构简图如图 4 所示。

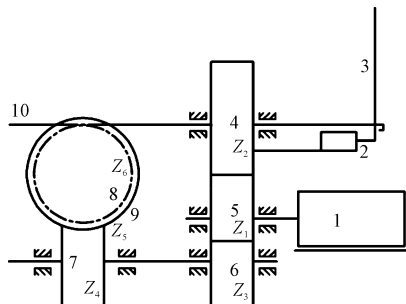


图 4 打结装置机构简图

1—电机;2—夹子;3—手绳;4—从动齿轮;5—主动齿轮;6—传动齿轮;7—主动斜齿轮;8—不完全齿轮;9—从动斜齿轮;10—移动轴

本研究根据机械设计知识,以绳子开始绕圈到绕到凹槽总用时为桥梁,计算得到传动比、绕绳圈数及移动距离之间的关系,进一步确定3者的范围。设绳子开始绕圈到绕到凹槽总用时为 t ,其由绳子绕到凹槽时移动轴移动时间和从动齿轮旋转出绳圈所用时间组成,设为 t_1 和 t_2 ,总的绕绳圈数为 k ,绳子绕到凹槽时移动轴移动距离为 s 。

从移动轴移动开始分析,不完全齿轮的转速、移动轴移动速度、移动轴移动距离及从动齿轮周长公式如下所示:

$$\begin{cases} n_8 = \frac{n}{i_{13}i} = \frac{1}{2}n \\ v = w_6r_6 = \frac{w_6d_6}{2} \\ s = vt_1 \\ C = 2\pi r_2 = \pi m_2 z_2 \end{cases} \quad (1)$$

式中: n —电机转速; i —传动比; w_6 —不完全齿轮角速度; d_6 —不完全齿轮分度圆直径; z_2 —从动齿轮齿数; m_2 —模数。

由式(1)可得:

$$t_1 = \frac{120s}{\pi n \cdot d_6} \quad (2)$$

$$t_2 = \frac{C}{v_2} = \frac{60i_{12}}{n} \quad (3)$$

从动齿轮总的旋转圆周长为:

$$C' = C \cdot k = \pi m_2 z_2 k \quad (4)$$

所以从动齿轮带着夹持机构中的绳子绕到凹槽时间:

$$t = \frac{C'}{v_2} = \frac{60i_{12} \cdot k}{n} \quad (5)$$

总时间为:

$$t = t_1 + t_2 \quad (6)$$

联立式(2,3,5,6),得传动比、绕绳圈数及移动距离关系式:

$$i_{12}d_6 \cdot (k - 1) \cdot \pi = 2s \quad (7)$$

式中: k —从动齿轮带动夹持机构中的绳子绕到凹槽的绕圈数,其值应小于从动齿轮的总绕圈周数为1.3圈~1.6圈,故可以设定 $k \in [1, 1.2]$ 。

根据实际手工模拟打结动作可知,当绳子绕到凹槽时移动轴移动的距离一般在 $s \in [10, 30]$ 。

至此,可以确定变量的范围如表1所示。

表1 各变量范围

变量	取值范围
s	(10,30)
i_{12}	(1.25, 1.54)
k	(1, 1.2)

3 打结过程仿真分析

3.1 前处理

本研究利用 Adams 软件对打结过程进行仿真分析,确定转动角度和移动距离的值,并为样机制作及试验提供一定的指导。首先笔者将建立好的模型进行简化,再将三维模型转换成 Parasolid 格式导入到 Adams 中,根据实际运动情况创建各相邻构件之间的运动副。

绕绳机构带动手绳绕绳圈和移动轴带动手绳成结是打结过程中的关键环节,所以仿真时夹子锁定在安装板上,安装板锁定在从动齿轮上,对从动齿轮添加旋转驱动,移动轴与地面通过移动副相连并对其添加位移驱动,手绳用同规格的圆柱体通过轴套力 bushing 相连,轴套力的添加通过宏程序实现^[13-14]。

命令如下:

```
.....
variable create variable_name = ip integer_value = 1
while condition = (ip < 300)
marker create &
marker_name = (eval(". model_1. part_" //
ip//". MARKER_327" //ip + 1000)) &location =
-77.4 192478322, 149. 7071613161, (eval((ip -
420) * 1)) &
.....
```

3.2 结果分析

本研究经过上述驱动及约束设置和宏程序添加后,利用 Adams 求解器对打结装置虚拟样机模型进行仿真。

其仿真结果如图5所示。

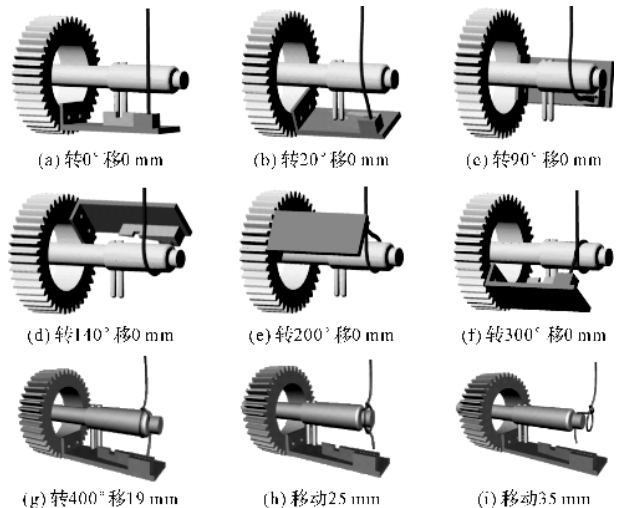


图5 打结装置打结仿真过程图

同时得到转动角度与时间的关系曲线和移动距离与时间的关系曲线。

其中角度与时间关系如图 6 所示。

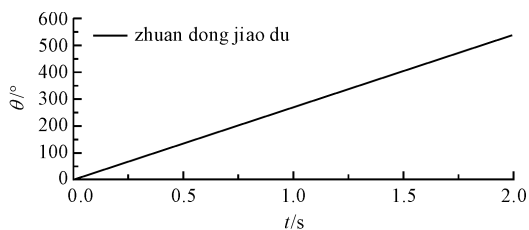


图 6 转动角度与时间的关系

从图 6 可知:由于电机提供稳定不变的动力,则从动齿轮的角速度即绕绳机构的角速度也为匀速,所以绕绳机构在整个过程中的转动角度是匀速增加的。

距离与时间关系如图 7 所示。

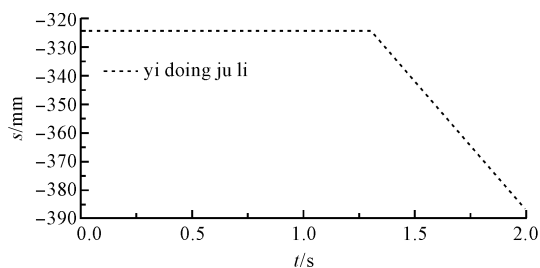


图 7 移动距离与时间关系

由图 7 可知:成结机构在 $t = 1.3$ s 之前没有移动量,处于静止状态,而这个时间区间刚好是绕绳机构绕出绳圈的阶段。过了这个时间点绳圈被绕出,成结机构也从此时开始移动,由于整个系统只有一个动力源而且是匀速的,移动轴移动过程也是匀速进行的,而且这个过程中绕绳机构保持旋转。 $t = 2$ s 时,整个打结装置停止工作,移动轴停止运动,完成打结,总移动量为 60 mm 左右,这符合实际所需的成结要求。

本研究对转动角度-时间关系曲线和移动距离-时间关系曲线进行拟合,得到的三者关系如图 8 所示。

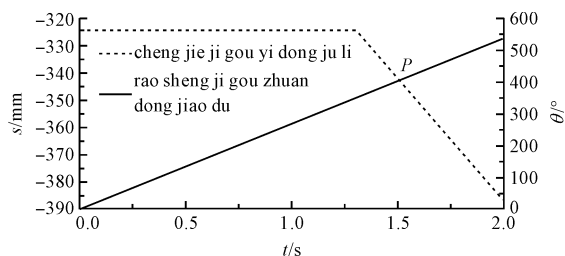


图 8 移动距离—时间—转动角度关系

由图 8 可知:P 点坐标 (343, 1.51, 400), 其含义是绳体绕入到勾槽,移动轴移动 19 mm、时间 1.51 s 和

转动角度 400° 左右,也就是说停止绕绳圈,移动轴夹住绳端穿过绳圈进行最后成结动作。得出结果,绕绳 400° ,移动轴移动,绳体进入勾槽中。

对图 8 得到的 P 点进一步分析,将 $i_{12} = 4/3$, $d_6 = 60$ mm 代入前面移动距离的参数关系式(7),可得:

$$s = 40\pi(k - 1) \quad (8)$$

其中: $s \in [10, 30]$, $k \in [1, 1.2]$ 。

本研究利用 Matlab 绘制移动距离 s 与绕绳圈数 k 的关系图,如图 9 所示。

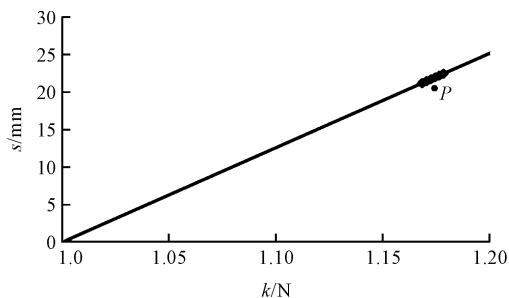


图 9 绕绳圈数与移动距离关系图

由图 9 可知:Adams 仿真得到的 P 点在 Matlab 绘制的关系斜线附近,可看出相差不多,故仿真得到转动角度及成结移动距离在前面理论计算得到的范围内,符合设计要求。

4 样机制作及试验验证

本研究通过上述理论计算、仿真分析及相关机械设计知识,确定绕绳机构转动角度和成结机构移动距离的值,根据 Solidworks 里建立的打结装置三维模型,进行实物样机的制作,并试验验证。

打结装置样机如图 10 所示。

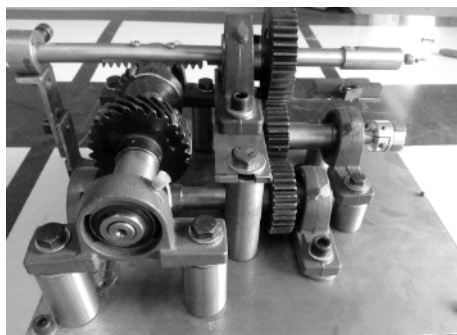


图 10 打结装置样机

试验打结过程如图 11 所示。

本研究通过试验测量得出转动角度在 $395^\circ \sim 405^\circ$ 之间,移动距离在 336 mm ~ 345 mm 之间,与上述理论计算和仿真结果基本相符。

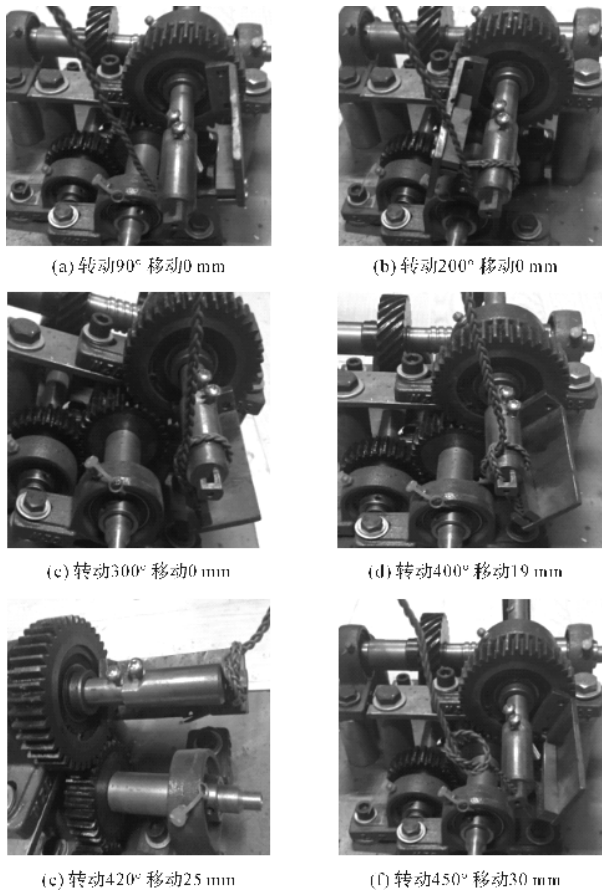


图 11 打结试验过程

5 结束语

根据手工打结过程和机械设计经验,本研究通过对打结过程进行理论计算,得到了转动角度和移动距离的取值范围;为了得到关键参数的确定值,本研究借助仿真软件 Adams 对打结过程进行了仿真分析,得到了关键参数转动角度 400° , 移动距离 19 mm, 时间 1.51, 并用 Matlab 绘制绕绳圈数与移动距离关系曲线进行了验证,最终确定了转动角度和移动距离的值,并制作样机进行试验验证。

研究表明:试验测量的结果与理论计算得到的范围及仿真结果基本相符,可对提高包装袋手绳打

结成功率及今后打结装置的改进提供一定的参考。

参考文献 (References):

- [1] 尹建军,李双,李耀明. D型打结器及其辅助机构运动仿真与时序分析[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 103-107.
- [2] 黄伟,张志毅,刘志强,等. D型打结器 Pro/Engineer 仿真及动作功能分析[J]. 农机化研究, 2009(9): 58-60.
- [3] 陈龙健,李诚,张安琪,等. 基于逆向工程的 D型打结器重构与运动仿真[J]. 农业机械学报, 2014, 45(12): 104-108.
- [4] 刘智强. D型打结器钳嘴结构性能分析研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学机电工程学院, 2009.
- [5] 李慧,王庆杰,何进,等. 打结器驱动齿盘打结性能对比试验研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 27-33.
- [6] 张安琪,陈龙健,董浩,等. D型打结器割绳脱扣机构空间结构参数分析[J]. 农业机械学报, 2017, 48(1): 73-80.
- [7] 李慧,何进,李洪文,等. 芳草捆压捆机打结器空间参数研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(8): 99-105.
- [8] 李海涛,熊亚,陈龙健,等. 打结器割绳脱扣机构磨损分析与改进设计[J]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 118-124.
- [9] 尹建军,张万庆,陈亚明,等. 打结器夹绳-绕扣-钳咬动作参数分析与打结试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 135-143.
- [10] HE L, ZHANG Q, CHARVET H J. A knot-tying end-effector for robotic hop twining[J]. *Biosystems Engineering*, 2013, 114(3): 344-350.
- [11] 王慧娟. 面向微创手术机器人系统的缝合打结行为研究[D]. 天津:天津大学机械工程学院, 2012.
- [12] 王宇锐. 海带打结原理研究及海带打结机器人系统设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学船舶工程学院, 2011.
- [13] 徐国宝,马金凤,王延军,等. 基于 ADAMS 的跌落式装箱机动力学仿真研究[J]. 包装与食品机械, 2016(1): 44-47.
- [14] 李海军,杨兆建. Adams 中钢丝绳索类物体建模方法研究[J]. 机械管理开发, 2007, 97(4): 4-5, 7.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

黄松檀,胡冲,吕俊杰,等. 新型打结装置打结过程的关键参数研究[J]. 机电工程, 2018, 35(3): 261-265.

HUANG Song-tan, HU Chong, LV Jun-jie, et al. Key parameters of knotting process of new knot tying device[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2018, 35(3): 261-265.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>