

## 变距供送螺杆数学模型的研究

赵静<sup>1</sup>, 张金<sup>2</sup>, 查新龙<sup>1</sup>, 汪飞<sup>1</sup>, 武世豪<sup>1</sup>

(1. 蚌埠学院 机械与电子工程系, 安徽 蚌埠 233030; 2. 徐州徐工铁路装备有限公司, 江苏 徐州 221000)

**摘要:**以3段式变距螺杆为研究对象,通过对原数学模型仿真,找到螺杆螺旋线存在干涉的原因。依据供送容器的输送方式,推导供送变距螺杆新数学模型,仿真发现新数学模型可消除供送过程中出现的“挤瓶”现象。采用实测和仿真结合的方法,通过现场测试数据和仿真提取数据对比,验证了新数学模型的正确性。

**关键词:**变距供送螺杆;数学模型;实验研究

**中图分类号:**TH224 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2014)04-0037-05

随着包装业的快速发展,现代包装生产线要求多样的输送方式、较高的输送速度、精确的输送位置,这对供送螺杆的种类、结构、精度有了更高的要求。目前国内的供送螺杆大都采用国外进口产品,国外有关变距供送螺杆设计及加工方法研究的报告很少,只有德国、日本、美国等国家几家为数不多的公司开展了这方面的研究<sup>[1-4]</sup>。国内关于供送螺杆研究的报道更少,徐整域提出了2段组合螺杆的设计方法<sup>[5]</sup>,许林成和高永绪等提出了3段组合式变螺距螺旋线的一套设计方案<sup>[6-7]</sup>;李军霞提出了4段组合式螺旋线的设计方法<sup>[8]</sup>,进一步丰富了螺杆设计理论。

变距螺杆的螺旋线组合形式有多种,考虑加工方法的复杂性和实际应用的适用性,针对最为广泛使用的3段式变距输送螺杆(供送速度为中速,第1阶段为匀速实现供送容器的直立匀速输送,第2阶段为变加速实现供送容器的横向转身输送,最后一段为匀加速实现供送容器的纵向躺倒输送),本文分析了原数学模型存在的问题,通过修正的数学模型消除了以往输送过程中常出现的“挤瓶”现象,并采用UG软件仿真和实物测量比对两组螺杆数据,验证修正数学模型的正确性,为后续的3段式变距螺杆加工研究奠定了理论基础。

### 1 螺杆数学模型

原3段式的螺旋线运动方程如下<sup>[9]</sup>:

匀速段的运动方程:

$$\begin{cases} a_1 = 0 \\ v_1 = (2b_1 + \delta) \times n \\ H_1 = 2b_1 + \delta \end{cases} \quad (1)$$

变加速段运动方程:

$$\begin{cases} a_2 = a_{\max} \sin\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{t_2}{t_{2m}}\right) \\ v_2 = v_1 + \frac{2a_{\max}t_{2m}}{\pi} - \frac{2a_{\max}t_{2m}}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{t_2}{t_{2m}}\right) \\ H_2 = \left(v_1 + \frac{2a_{\max}t_{2m}}{\pi}\right)t_2 - \frac{4a_{\max}t_{2m}^2}{\pi^2} \sin\frac{\pi t_2}{2t_{2m}} \end{cases} \quad (2)$$

匀速加速段运动方程:

$$\begin{cases} a_3 = a_{\max} \\ v_3 = v_1 + \frac{2a_{\max}t_{2m}}{\pi} + a_{\max}t_3 \\ H_3 = \left(v_1 + \frac{2a_{\max}t_{2m}}{\pi}\right)t_3 + \frac{a_{\max}t_3^2}{2} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $a_i$ 为第*i*段螺杆供送加速度( $\text{mm/s}^2$ ); $v_i$ 为第*i*段螺杆供送速度( $\text{mm/s}$ ); $H_i$ 为第*i*段供送件沿螺杆轴向移动行程( $\text{mm}$ ); $2b_1$ 为容器输送部位长轴长度( $\text{mm}$ ); $\delta$ 为两相邻物件间的平均间隙,

收稿日期:2014-05-21

基金项目:蚌埠学院自然科学项目(2013ZR02zd);国家级大学生创新创业训练计划项目(201311305014);蚌埠学院自然科学项目(2014ZR19)

作者简介:赵静(1986-),女,安徽蚌埠人,助教,主要研究方向为机械设计及理论。

为避免供送件间的干涉,取  $\delta = 10\text{mm}$ ;  $a_{\max} = \frac{\pi[v_m - (2b_1 + \delta)n]}{2t_{2m} + \pi t_{3m}}$  为变加速段螺杆供送最大加速度( $\text{mm/s}^2$ );  $v_m$  为供送容器的输出速度( $\text{mm/s}$ );  $t_i$  为在第  $i$  段螺旋线的时间;  $t_{im}$  为供送容器完全移过第  $i$  段螺旋线所用时间。

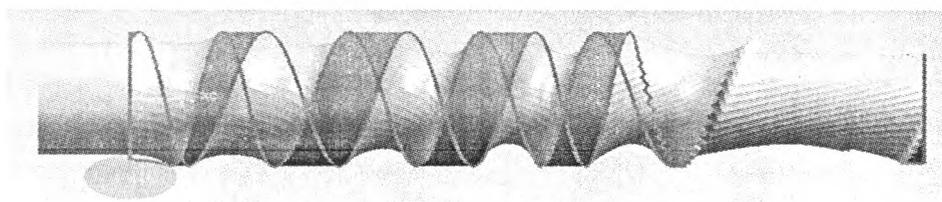


图 1 干涉螺杆

Fig. 1 Interference screw

用 UG 软件按此螺旋线方程编程仿真加工<sup>[9]</sup>,加工结果如图 1 所示,可见在螺杆后段即等加速段螺杆的螺旋槽面发生了干涉,说明等加速度段螺旋线方程不合理,这会导致在输送过程中产生后一个倾倒的容器倒在其前一个供送容器上面的“挤瓶”现象。

## 2 匀加速段螺旋线方程的修正

由上面的公式可知,原匀加速段螺旋线方程是按容器输送宽度为定值来设计,没有考虑到在第三供送阶段(匀加速段)供送容器由直立逐渐倾斜至水平过程中其输送宽度是在不断变大的,因此需对此段螺旋线方程进行修正,以消除干涉。供送容器输送至变距供送螺杆的匀加速段时,其宽度变化规律如式(6),计算模型如图 2 所示。修正的方程推导过程如下:

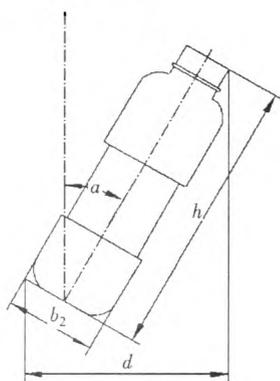


图 2 计算模型

Fig. 2 Calculation model

将式(1)及  $a_{\max} = \frac{\pi[v_m - (2b_1 + \delta)n]}{2t_{2m} + \pi t_{3m}}$  代入式

(3)得:

$$H_3 = \left\{ (2b_1 + \delta)n + \frac{2[v_m - (2b_1 + \delta)n]t_{2m}t_3}{2t_{2m} + \pi t_{3m}} \right\} + \frac{\pi[v_m - (2b_1 + \delta)n]^2}{4t_{2m} + 2\pi t_{3m}} t_3^2 \quad (4)$$

设定参数,令  $t_{2m} = 1(\text{s})$ ,  $t_{3m} = 1.5(\text{s})$ ,  $n = 2$

( $\text{r/min}$ ),得到:

$$H_3 = 4b_1 + 20 + \frac{2(v_m - 4b_1 - 20)}{2 + 1.5\pi} t_3 + \frac{\pi(v_m - 4b_1 - 20)^2}{4 + 3\pi} t_3^2 \quad (5)$$

$$d = h \sin \alpha + 2b_1 \cos \alpha \quad (6)$$

式中:  $h$  为容器高度 ( $\text{mm}$ );  $\alpha$  为容器主轴与  $z$  轴间夹角 (度)。

将式(6)代入式(5),将  $2b_1$  用  $d$  替换得:

$$H_3 = \left[ 2d + 20 + \frac{2(v_m - 2d - 20)}{2 + 1.5\pi} \right] t_3 + \left[ \frac{\pi(v_m - 2d - 20)^2}{4 + 3\pi} \right] t_3^2 = \left\{ 2(h \sin \alpha + 2b_1 \cos \alpha) + 20 + \frac{2[v_m - 2(h \sin \alpha + 2b_1 \cos \alpha) - 20]}{2 + 1.5\pi} \right\} t_3 + \left\{ \frac{\pi[v_m - 2(h \sin \alpha + 2b_1 \cos \alpha) - 20]^2}{4 + 3\pi} \right\} t_3^2 \quad (7)$$

用修正后的数学模型即式(1)、(2)、(7)进行编程<sup>[9]</sup>,通过 UG/Open Grip 工具模拟仿真,结果如图 3 所示。由图 3 可见,通过数学模型的修正,变距供送螺杆干涉现象消除了,输送容器不再发生“挤瓶”现象。

## 3 新数学模型验证

用某公司进口的变距供送螺杆实物(如图 4 所示)和用上述方法修正后的数学模型仿真生成的变距供送螺杆(如图 5 所示)进行比对,验证修正后数学模型的正确性和准确度。供送容器的模型如图 6、图 7 所示,尺寸如表 1,输出速度  $v_m = 600 \text{ mm/s}$ 。

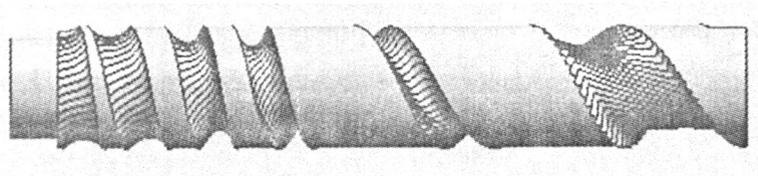


图3 修正后的螺杆  
Fig.3 Corrected screw

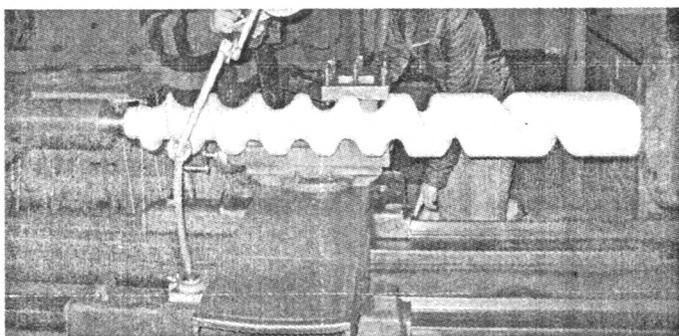


图4 变距送料螺杆实物  
Fig.4 Variable pitch screw in kind

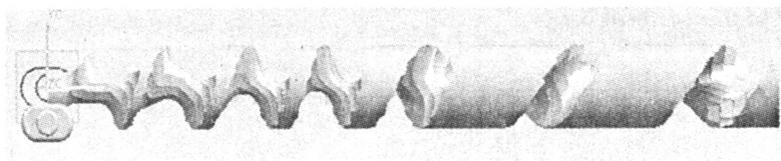


图5 变距送料螺杆仿真  
Fig.5 Variable pitch screw simulation

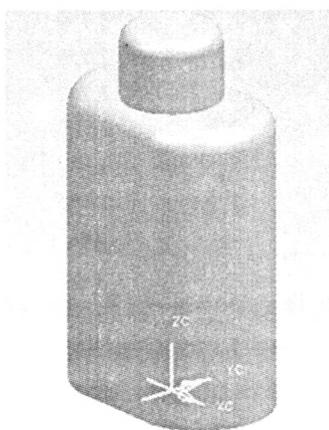


图6 送料容器模型  
Fig.6 Feeding container model

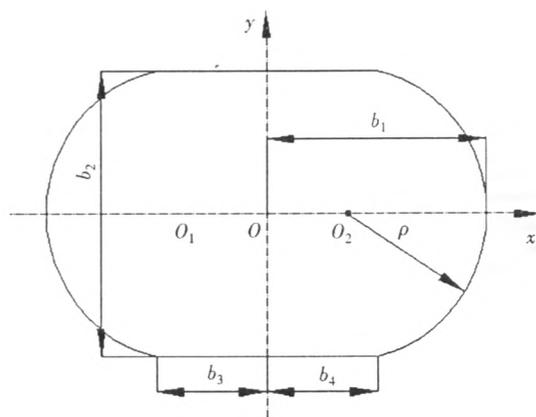


图7 送料容器底部  
Fig.7 Feeding bottom of the container

表 1 送料容器尺寸

Table 1 Feeding container size mm

标注	数值	标注	数值
$b_3$	20	$\rho$	25.55
$b_4$	20	$2b_1$	80
$l_{001}$	14.75	$b_2$	50
$l_{002}$	14.75	$h$	130

### 3.1 数据提取

提取变距螺杆实物数据的方法如图 4 所示:



图 8 提取仿真数据

Fig. 8 Simulation data extraction

表 2 部分实测数据

Table 2 Part of the measured data

旋转度数/(°)	位移/mm	旋转度数/(°)	位移/mm
0	0	2 720	1 060.0
5	1.43	2 725	1 062.9
10	2.85	2 730	1 065.9
15	4.29	2 735	1 073.2
20	5.61	2 740	1 076.8
25	7.04	2 745	1 079.4
30	8.42	2 750	1 082.6
35	9.80	2 755	1 085.2
40	11.28	2 760	1 088.4
45	12.63	2 765	1 091.6
50	14.12	2 770	1 096.6
55	16.43	2 775	1 101.5
...	...	2 780	1 105.5

表 3 部分仿真数据

Table 3 Part of the simulation data

旋转度数/(°)	位移/mm	旋转度数/(°)	位移/mm
0	0	2 720	1 060.1
5	1.4	2 725	1 063.8
10	2.8	2 730	1 066.9
15	4.2	2 735	1 071.1
20	5.7	2 740	1 075.3
25	6.8	2 745	1 078.5
30	8.2	2 750	1 083.5
35	9.6	2 755	1 086.5
40	10.9	2 760	1 091.2
45	12.2	2 765	1 095.8
50	13.6	2 770	1 099.7
55	15.6	2 775	1 103.8
...	...	2 780	1 107

### 3.2 数据比对

将实测数据与仿真数据进行比对,两组数据在螺杆旋转角度为 2 765 度时相差最大,最大差值为 4.2 mm,最大误差率为 0.38%。考虑到测量误差、安装精度等因素,可忽略误差认为两组数据吻合。

## 4 结论

(1) 通过原 3 段式变距螺杆数学模型的仿

真,发现在螺杆的匀加速段送料容器会发生干涉现象;通过新数学模型的推导及仿真模拟,发现新数学模型可消除原数学模型由干涉存在的输送“挤瓶”现象,改善了输送条件。

(2) 结合进口变距螺杆实物的测量和仿真模型数据的提取,通过两组数据比对,最大误差率仅为 0.38%,可认为两者数据基本吻合,验证了新数学模型的正确性。

## 参考文献:

- [1] Stosic N. A geometric approach to calculating tool wear in screw rotor machining[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2006,46(15):1 961 - 1 965.
- [2] Xu J Q, Duffy G G. Operational parameters in screw press dewatering[J]. Appite Journal, 2000,54(4):369 - 375.
- [3] Mundo D, Yan H S. Kinematic optimization of ball - screw transmission mechanisms[J]. Mechanism and Machine Theory, 2007,42(1):34 - 47.
- [4] Stosic N. Evaluating errors in screw rotor machining by tool to rotor transformation[J]. Journal of Engineering Manufacture, 2006,220(10):1 589 - 1 596.
- [5] 徐整域. 二段组合螺杆的设计[J]. 轻工机械, 1998(4):22 - 24.
- [6] 许林成, 蔡建新, 张红伟, 等. 高速定时分件供送螺杆系统研究新进展——变螺距螺旋线设计新方法初探[J]. 包装工程, 1997,18(2,3):20 - 23,28.
- [7] 高永绪. 变螺距供送螺杆的原理与计算[J]. 包装与食品机械, 1993,11(2):18 - 21.
- [8] 李军霞, 姚云峰, 史荣. 分件供送变螺距螺杆螺旋线形式的探讨[J]. 包装工程, 2009, (11):50 - 52.
- [9] 张金. 变距螺杆的设计与加工技术研究[D]. 秦皇岛:燕山大学, 2010.

## Study of Variable Pitch Supplying Screw Mathematical Model

ZHAO Jing<sup>1</sup>, ZHANG Jin<sup>2</sup>, ZHA Xinlong<sup>1</sup>, WANG Fei<sup>1</sup>, WU Shihao<sup>1</sup>

(1. Mechanical and Electronic Engineering Department, Bengbu University, Bengbu Anhui 233030, China;  
2. XCMG Xuzhou Railway Equipment Company, Xuzhou Jiangsu 221000, China)

**Abstract:** By the original mathematical model simulation the three - pitch variable screw was studied, and the cause of screw helix interference were found. According to the feeding container transportation methods, variable pitch supplying screw new mathematical model was derived, then the simulation shows that the new mathematical model can eliminate the feeding process of "squeeze bottle" phenomenon. At last, using a combination of measurements and simulation methods, the correction of a new mathematical model was verified by comparison of field test data and extracting simulation data.

**Keywords:** variable pitch supplying screw; mathematical model; experimental study

(责任编辑:张振华)

# 变距供送螺杆数学模型的研究

作者: [赵静](#), [张金](#), [查新龙](#), [汪飞](#), [武世豪](#), [ZHAO Jing](#), [ZHANG Jin](#), [ZHA Xinlong](#), [WANG Fei](#), [WU Shihao](#)

作者单位: [赵静, 查新龙, 汪飞, 武世豪, ZHAO Jing, ZHA Xinlong, WANG Fei, WU Shihao\(蚌埠学院机械与电子工程系, 安徽蚌埠, 233030\)](#), [张金, ZHANG Jin\(徐州徐工铁路装备有限公司, 江苏徐州, 221000\)](#)

刊名: [盐城工学院学报\(自然科学版\)](#)

英文刊名: [Journal of Yancheng Institute of Technology\(Natural Science Edition\)](#)

年, 卷(期): 2014, 27(4)

引用本文格式: [赵静. 张金. 查新龙. 汪飞. 武世豪. ZHAO Jing. ZHANG Jin. ZHA Xinlong. WANG Fei. WU Shihao 变距供送螺杆数学模型的研究\[期刊论文\]-盐城工学院学报\(自然科学版\) 2014\(4\)](#)