

# 基于 Solidworks 的丝饼推送电机的参数研究

郑祥盘<sup>1,2</sup>

(1. 闽江学院, 福建 福州 350108; 2. 福建锦江科技有限公司, 福建 长乐 350212)

**摘要:** 化纤长丝生产中, 卷装丝饼自动落筒是企业实现智能化生产的重要环节。如何选配合适的驱动电机以满足能短时间加减速和适应速度过载和转矩过载, 对于丝饼自动落筒和卷装堆放具有重要作用。针对自动落筒装置上的丝饼推送机构, 通过理论计算驱动电机的最大扭矩和最大功率, 采用 Solidworks 中的运动分析工具 Solidworks motion 进行动力学数值仿真, 进而在满足丝杠推送过程的功能需要前提下, 合理、经济地选择伺服电机, 并通过试验验证所选电机的有效性。

**关键词:** 化纤长丝; 丝饼; 推送机构; 卷装

**中图分类号:** TM383.4; TP391.9 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2019)06-0101-03

## Research on Parameters of Cake Push Motor Based on Solidworks

ZHENG Xiangpan<sup>1,2</sup>

(1. Min Jiang University, Fuzhou, 350108, China; 2. Fujian Jinjiang Science and Technology Co., Ltd., Changle 350212, China)

**Abstract:** In the production of chemical fiber filament, the automatic winding of the package cakes is an important link for enterprises to realize intelligent production. This paper selects a suitable driving motor to meeting the short time speed mutation and the motor is adapted to speed overload and torque overload. It is of important action on automatical winding and stacking of the cake. For the cake pushing mechanism on the automatic winding device, the maximum torque and power of the driving motor is theoretically calculated, and Solidworks motion analysis tool is used to do the dynamic numerical simulation. Then, on the premise of meeting the technical requirement of the cake pushing process, the servo motor is suitably selected.

**Keywords:** chemical fiber filament; cake; pushing mechanism; package

## 0 引言

目前, 化纤长丝卷绕机生产线在国内外都得到大量应用。卷绕机每天产出的卷装丝饼的大量堆积, 需要人工取卸、检测、包膜、打包包装、搬运, 对于用卷绕机生产的企业来说, 需要花费巨大的人力及搬运设备去完成丝饼的输送。面临着人工成本上升等市场压力<sup>[1]</sup>, 迫切需求配备能实现自动化落筒、卷装堆放的自动化装置, 取代人工操作。作为此自动落筒装置上重要的丝饼推送机构, 如何选配合适的驱动电机以满足能短时间加、减速、适应速度过载和转矩过载, 对于自动落筒的研发具有重要作用<sup>[2]</sup>。

本课题开发的锦纶长丝自动化生产与智能物流系统, 能够解决生产线丝饼需要人工落卷、输送、智能检测、包膜、打包包装及搬运的问题, 也免除了人工在近 100 m 生产线上的等候; 同时通过多机器人的协调合作能够轻松完成所有卷绕机的满卷请求, 在要求时间内完成落卷, 并将 12 个丝饼一次输送至指定货架上。作为该智能物流系统中重要一环, 就是推块将丝饼推离筒轴时, 丝饼与筒轴之间有相对的滑动摩擦, 加上电机与丝杠之间的推力, 使得电机负载较为复杂, 因而必须选取合适的驱动电机来完成

这项工作<sup>[3-4]</sup>。

## 1 丝饼推送各参数及速度曲线确定

卷绕机生产出锦纶卷装丝饼在丝杆上堆满后, 电机通过丝杆带动推块将丝饼推出落筒, 丝饼推送结构如图 1 所示。其工作过程是: 电机通过旋转, 推块 1 s 内经过静止—匀加速—匀速—匀减速—静止。丝饼推送期间运行距离共 120 mm, 其中丝饼的纸管长度 100 mm, 丝饼端面距离落筒边缘 15 mm, 并且为了能够保证丝饼脱离, 再推进 5 mm, 使最外缘的一个丝饼脱离落筒。

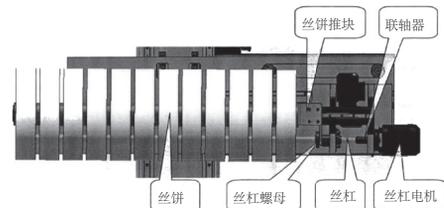


图 1 丝饼推送结构图

根据企业自动化生产线运转工况, 锦纶卷装丝饼整个推送过程相关的参数如表 1 所示<sup>[4]</sup>。

**基金项目:** 福建省科技厅引导性项目 (2019H0028); 福建省福州市科技计划项目 (2018G85)

**作者简介:** 郑祥盘 (1981—), 男, 福建大田人, 高级工程师, 工学博士, 主要从事机械装备及其自动化研究。

表 1 丝饼推送过程中运动参数表

参数名称	数值	参数名称	数值
丝杠效率 $e$	0.9	丝杠长度 $L/\text{mm}$	1 755
直线导轨副摩擦系数 $\mu_{\text{导}}$	0.01	丝杠直径 $D/\text{mm}$	32
丝饼总质量 $m_{\text{丝饼}}/\text{kg}$	180	丝杠导程 $dc/(\text{mm}/\text{r})$	25
重力加速度 $g/(\text{m}/\text{s}^2)$	0.98	丝杠螺距 $p/(\text{r}/\text{mm})$	0.04
纸管与筒轴的摩擦系数 $\mu_{\text{纸}}$	0.4	丝杠质量 $m_{\text{丝}}/\text{kg}$	10
滚珠螺母质量 $m_{\text{螺}}/\text{kg}$	1.22	联轴器直径 $D_{\text{联}}/\text{mm}$	35
丝饼推块质量 $m_{\text{推}}/\text{kg}$	5.70	联轴器质量 $m_{\text{联}}/\text{kg}$	0.35

按照锦纶卷装丝饼推送设定,要使丝杠在 1 s 内将丝饼推块移动 120 mm,可推导出电机的转速:

$$R = \frac{L}{dc} = \frac{120}{25} = 5.2 \text{ (r)}$$

$$R = \frac{2}{3} w_{\text{max}} t, \text{ 可得 } w_{\text{max}} = 468 \text{ (r/min)}$$

可将  $w_{\text{max}}$  圆整为 470 r/min,重新带入可算得实际推送时间为 0.996 s。这样可将丝杠电机的静止—匀加速—匀速—匀减速—静止过程进行时间均分,即电机通过匀加速 0.322 s 至 470 r/min,然后匀速运行 0.332 s,最后匀减速 0.332 s 到静止。丝饼整个推送过程的速度如图 2 所示。

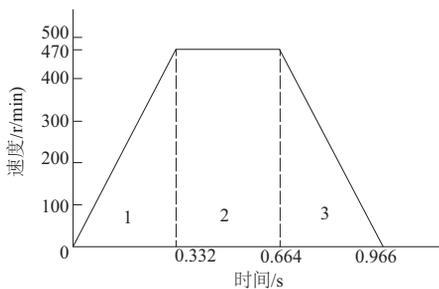


图 2 电机速度曲线需求

通过速度曲线计算,各个区间的面积可得到各个区间的丝杠运行距离,分别为匀加速阶段 30 mm,匀速阶段 60 mm 和匀减速阶段 30 mm。

## 2 丝饼推送中各参数理论需求

锦纶卷装丝饼丝杠推送过程中的总惯量

$$J_{\text{总}} = J_s + J_{L-M} + J_{\text{联}}$$

其中: $J_s$  为丝杠的惯量; $J_{L-M}$  为负载到电机的惯量; $J_{\text{联}}$  为联轴器的惯量。以上 3 个惯量可通过相应的质量和直径计算得到:

$$J_s = \frac{1}{2} m_s \left( \frac{D_s}{2} \right)^2 = 1.29 \times 10^{-3} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

$$J_{L-M} = \frac{m_{\text{推}} + m_{\text{丝}} + m_{\text{螺}}}{e} \left( \frac{1}{2\pi p} \right)^2 = 3.40 \times 10^{-3} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

$$J_{\text{联}} = \frac{1}{2} m_{\text{联}} \left( \frac{D_{\text{联}}}{2} \right)^2 = 0.05 \times 10^{-3} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$$

因而得到  $J_{\text{总}} = J_s + J_{L-M} + J_{\text{联}} = 4.7 \times 10^{-3} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$ ,通过总惯量,根据图 2,可得到各个运动区间所需的加速转矩  $T_a$ ,如图 3 所示。

从图 3 可知,在丝饼推送过程最大的加速转矩为

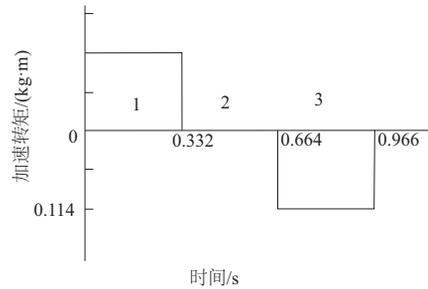


图 3 各运动区间的所需加速转矩

0.114 kg · m。

$$\text{电机的推力转矩: } T_{\text{推}} = \frac{F_{\text{推}}}{2\pi p e} = \frac{m_{\text{丝}} g \mu_{\text{纸}} + m_{\text{推}} g \mu_{\text{导}}}{2\pi p e} =$$

3.210 (N · m)。

在得到电机的推力转矩后,即可得到各个运行阶段所需的最大转矩  $T_{\text{max}} = T_{\text{推}} + T_a$ ,再结合图 3 即可知最大的转矩发生在 1 阶段,即电机从静止加速到 470 r/min 的时候,此时电机所需的最大转矩为 3.324 N · m。

电机的最大功率  $P_{\text{max}} = T_{\text{max}} w_{\text{max}} / 9550 = 163.6 \text{ W}$ ,若电机功率效率为 90%,则电机所需的功率最少为 181.8 W。

## 3 基于 Solidworks motion 的电机选择与试验验证

前面就丝杠电机已经进行了理论上的分析与计算,但是计算过程中却忽略了丝杠运动过程中运动材料属性、惯性以及各部件之间阻尼和摩擦力的影响,为了能够满足基本功能需求,本文采用 Solidworks 中的运动分析工具 Solidworks motion 进行动力学仿真,选择更加合理的电机,以节约电源,提高效率。

由于 Solidworks 中的运动分析工具 Solidworks motion 能够精确模拟和分析运动单元的效果,包括力、弹簧、阻尼以及摩擦,并在计算过程中考虑到了材料属性以及惯性<sup>[5-8]</sup>,因而能够更加精确模拟丝杠推送过程。

如图 4 所示,本文首先将丝饼推送的各个部件按照实际位置进行虚拟装配。随后将 12 个丝饼按照实际位置装配在固定轴上,并在丝饼的外圆面上添加一旋转电机,其运动参数为在 0.966 s,按图 2 中的速度曲线执行静止—匀加速—匀速—匀减速—静止。所有丝饼之间按实体接触添加,纸管间的动摩擦因数设为 0.3,静摩擦因数设为 0.4。丝饼与其他钢铁接触,其动摩擦因素取 0.4,静摩擦因素取 0.45。添加好重力后,将所有丝饼相关联的参数配合压缩并进行仿真。

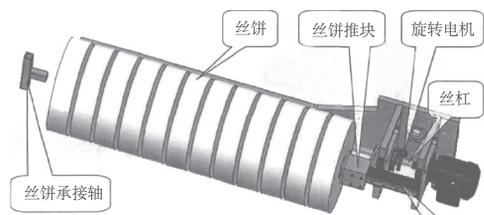


图 4 丝饼推送过程仿真

电机的仿真结果如图 5 所示。电机在整个运动过程中,所需最大的转矩为  $4.58 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,大于理论计算所得到的  $3.324 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

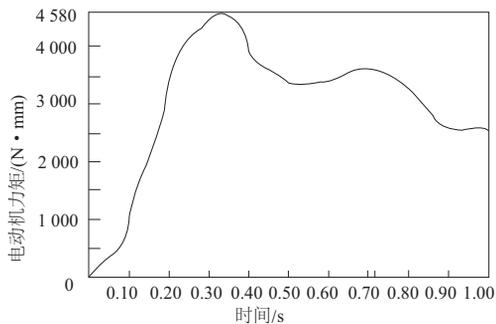


图 5 电机转矩图

图 6 所示,电机在整个丝饼推送过程中,所需最大功率为  $221 \text{ W}$ ,大于理论计算得到的  $181.8 \text{ W}$ 。

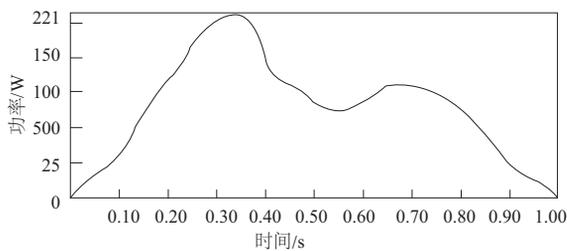


图 6 电机功率图

根据图 5 和图 6 可得,理论计算的最大转矩和最大功率均小于 Solidworks motion 中分析得到的  $4.58 \text{ N} \cdot \text{m}$  和  $221 \text{ W}$ ,这是由于理论计算中忽略了丝杆运动过程中运动材料属性、惯性以及各部件之间阻尼和摩擦力的综合作用,因此,采用 Solidworks motion 能够更加经济地选择相应电机,从而避免所选伺服电机功率过小导致力矩不足或者功率过大导致能源的浪费。

根据上述计算得到的所需参数,可选择德国 SEW 系列的 R17 CT71D4 伺服电机,该电机的参数如下:

额定功率 =  $0.25 \text{ kW}$ ,额定转速 =  $1200 \text{ r/min}$ ,额定转矩 =  $4.70 \text{ N} \cdot \text{m}$

经试验验证(图 7)上述锦纶卷装丝饼推送电机参数选择符合生产线丝饼落卷及输送的要求,解决了以往需要人工在近百米的锦纶卷装丝饼生产线上等待处理落卷的问题;同时通过多机器人的协调合作,能够轻松完成所有锦纶卷绕机的满卷请求,在要求时间内完成落卷,并将 12 个丝饼一次输送至指定货架上,满足现场各项工艺要求。



图 7 锦纶卷装丝饼推送图

## 4 结语

本文针对自动落筒装置上重要的丝饼推送机构,通过理论计算出伺服电机参数,并采用 Solidworks motion 综合考虑了运动材料属性、惯性以及各部件之间阻尼和摩擦力的影响,通过运动仿真能够更加经济地选择所需电机。在满足基本功能需求的前提下,达到节约能源的目的。经试验验证,所选电机符合锦纶卷装丝饼推送工况要求。自动落筒系统的使用代替了大部分人工,减少了劳动成本上涨带来的成本上涨;同时系统拥有高度的灵活性,对于不同的卷绕机批次情况都能适应,能够根据卷绕机满卷的时间进行系统调整,满足现场各项工艺要求。

### 参考文献:

- [1] 陆晨. 化纤长丝自动落卷输送控制系统研究[D]. 上海: 东华大学, 2016.
- [2] 张佐营. 高速滚珠丝杠副动力学性能分析及其实验研究[D]. 济南: 山东大学, 2008.
- [3] 段宝利, 徐晓东. 运动控制中伺服电机选型需求分析[J]. 自动化与仪器仪表, 2017(2): 70-73.
- [4] 丛国栋. 化纤长丝自动落筒、上纸管机械系统设计与仿真[D]. 上海: 东华大学, 2014.
- [5] 易勇帆, 栾伟, 王钦若, 等. 基于 STM32 的伺服电机控制系统设计[J]. 工业控制计算机, 2017, 30(2): 63-64.
- [6] 冯桂辰, 崔素华, 程玮燕. 轻松学 SolidWorks 机械设计[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [7] 彭军. SOLIDWORKS Simulation 机构运动仿真在驱动马达选型中的应用[J]. 智能制造, 2016(11): 46-48.
- [8] 聂挺. 超高速卷接机组伺服控制策略的改进[J]. 机械工程师, 2017(3): 79-80.

收稿日期: 2018-07-24