

工艺·设备

绕线机绕线张力控制方法分析

曹施展

(南京利德东方橡塑科技有限公司, 江苏 南京 210028)

摘要:分析胶管和电缆等纤维线绕线机的绕线过程和绕线张力,得出绕线张力变化发生在排线跃层提速的过程中,建立了恒转速模式下的绕线张力计算模型,得出绕线张力变化率正比于小线轴卷绕转速平方和线直径,并给出了恒转速控制方法的应用范围,其经济性好。与恒转速控制方法相比,当选取的小线轴卷绕转速和线直径较大时,恒线速度控制方法的绕线张力控制效果更优,但系统复杂性和成本显著提高。

关键词:绕线机;绕线张力;恒转速;恒线速度;控制方法

中图分类号:TQ330.4⁺6

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2021)03-0212-04

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2021.03.0212



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

绕线机在纺织纱线和漆包线的卷绕、纤维复合材料及胶管和电缆纤维织物的编织和缠绕等工程领域有着广泛的应用^[1-4]。在绕线机的应用中,稳定的绕线张力对产品质量影响重大^[5-7],如在纺纱过程中,绕线张力直接影响织物的质量、性能和加工效率^[8-9];漆包线绕线张力对高速绕线质量和绝缘层缺陷等影响颇大^[10];纤维复合材料缠绕时,稳定的绕线张力可提高纤维的增强特性^[11]。然而,绕线机在不同的应用过程中对绕线张力的精度和稳定性要求不同,需要采取差别化的控制方法,以适应经济性和实用性的要求。

胶管和电缆等纤维织物编织和缠绕工序所用的线坨一般较小,以便其跟随锭子在编缠机上高速运转。因此,需要将大线坨上的线经过绕线机卷绕在小线轴上形成小线坨。绕线过程控制参数一般包括绕线张力、线长、速度和导程,其中绕线张力和线长为关键控制参数,决定着线轴的质量;速度为过程从动参数,由控制要求和控制方式确定;导程只取决于线直径,控制较为简单。本工作主要分析胶管和电缆等行业常用绕线机对绕线张

力控制方法的选择和应用。

由于通常使用的聚酯纤维或棉纤维经拉伸后发生弹性形变,在一定范围内伸长率与拉力成正线性关系^[12],因此,绕线机的绕线张力大小和变化会导致线长的误差。

1 绕线过程分析

1.1 绕线机的结构及工作过程

绕线机一般结构如图1所示。大线坨上的线依次经过张力控制装置、计米装置和排线装置,最后卷绕在小线轴上,形成小线坨。小线轴由电动机提供卷绕动力。排线装置可使线按照调节好的排线方式从小线轴一端到另一端均匀卷绕,然后反向排线。随着排线层数增多,卷绕直径增大,直到达到长度要求。

1.2 绕线速度分析

绕线速度取决于小线轴卷绕转速(同电动机转速 ω)和线卷绕直径(即小线轴小直径 d)。对小线轴的排线进行分析,如图2所示(d_0 为线直径, D 为小线轴大直径, L 为线轴长度)。

作者简介:曹施展(1990—),男,山东临沂人,南京利德东方橡塑科技有限公司工程师,学士,主要从事橡胶制品工艺设备的研发和管理工作。

E-mail:csz_qust@163.com

引用本文:曹施展.绕线机绕线张力控制方法分析[J].橡胶工业,2021,68(3):212-215.

Citation:CAO Shizhan. Analysis of winding tension control method of winding machine[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(3): 212-215.

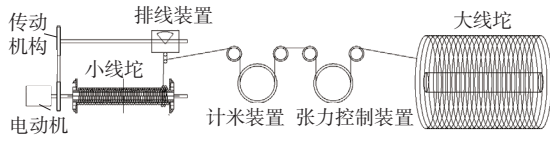


图1 绕线机结构示意图

Fig. 1 Diagram of winding machine structure

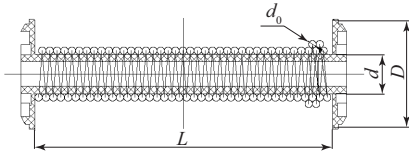


图2 小线轴排线示意

Fig. 2 Diagram of small spool line layout

设排线导程为 P , 绕线速度为 V 。为使小线坨排线紧密而平整(没有空隙和压线情况), P 应等于 d_0 , 则卷绕到每一层的线速度($V_i, i=1 \cdots n, i$ 为层数, n 为自然数)满足下式:

$$V_1 = \pi(d + d_0) \frac{\omega}{60} \quad (1)$$

$$V_2 = \pi(d + d_0 + d_0 \sin 60^\circ) \frac{\omega}{60} \quad (2)$$

$$V_3 = \pi(d + d_0 + 2d_0 \sin 60^\circ) \frac{\omega}{60} \quad (3)$$

$$V_n = \pi[d + d_0 + (n-1)d_0 \sin 60^\circ] \frac{\omega}{60} \quad (4)$$

相邻层间的绕线速度变化量(ΔV , 由第1层到第2层、第2层到第3层直到第 $n-1$ 层到第 n 层的线速度变化量)的计算如下:

$$\Delta V = V_2 - V_1 = V_3 - V_2 = \cdots = \quad (5)$$

$$V_n - V_{n-1} = \pi d_0 \omega \sin 60^\circ$$

跃层时间(ΔT)为线轴转动一圈的时间, 计算如下:

$$\Delta T = \frac{1}{\omega} \quad (6)$$

1.3 绕线张力分析

对绕线过程分析可知, 卷绕电动机提供牵引动力, 而张力控制装置提供恒定阻力。等速绕线时, 二力平衡, 绕线张力保持恒定; 跃层提速时, 由于张力控制装置的转子需跟随线同步加速, 于是将对线产生额外的拉力, 导致张力变化。对张力控制装置的转子进行动力学分析, 如图3所示。图中 M 为阻力矩; $F + \Delta F$ 为绕线张力, F 为恒定张

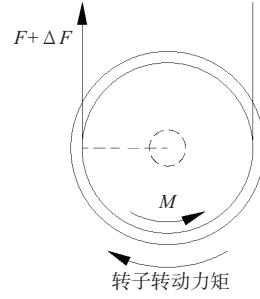


图3 转子的动力学分析示意

Fig. 3 Diagram of rotor dynamic analysis

力, ΔF 为跃层提速时张力变化。

张力控制器的转子可视为圆盘, 设其质量为 m , 旋转半径为 r , 转动惯量为 J , 角加速度为 α , 线加速度为 A , 绕线张力变化率为 λ , 根据牛顿第二定律和转子的动力学分析, 可得:

$$M = J\alpha = mr^2\alpha \quad (7)$$

$$F = \frac{M}{r} \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{A}{r} \quad (9)$$

由式(7)~(9)可推出:

$$\Delta F = mA = m \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (10)$$

综合式(5), (6)和(10), 有

$$\Delta F = \frac{\sqrt{3}}{2} \pi m d_0 \omega^2 \quad (11)$$

$$\lambda = \frac{\Delta F}{F} \quad (12)$$

由式(11)可知, ΔF 与 m, d_0, ω^2 成正比, 而 F 越大, 所需的 m 也越大, 所以, λ 主要取决于 d_0 和 ω 。假定卷绕电动机匀速旋转, ΔF 仅在跃层时发生, 且相等, 跃层后绕线张力恢为 F 。

2 绕线张力控制方法的选择

2.1 恒转速控制方法

选取普通三相异步电动机作为卷绕动力, 输出 ω 为 $23.5 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$; 选取永磁制动器(型号为MB-2)作为张力控制装置提供恒定阻力矩, m 为 0.1 kg ; $F + \Delta F$ 设定为 $(5 \pm 0.25) \text{ N}$; d_0 为 0.0005 m 。由此计算出的 ΔF 为 0.075 N , λ 为 0.015 , ΔT 为 0.043 s 。可以看出, 张力波动较小, 且持续的时间较短, 满足工艺要求。该张力控制方式从系统硬件和控制方法上都较为简单、经济和实用。

进一步分析发现, ω 和 d_0 增大影响张力变化。将 ω 从 $23.5 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$ 递增到 $70.5 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$, d_0 分别选取 $0.0002, 0.0006, 0.001, 0.0014 \text{ m}$,其他参数保持不变, λ 的变化如图4所示。很明显,随着 ω 的增大, λ 快速增大,并且与 d_0 基本成正比例关系。鉴于 λ 在不大于 0.10 范围内的 ω 和 d_0 满足胶管和电缆等生产的绕线工艺要求,因此,该计算模型可用于绕线机的设计参考。

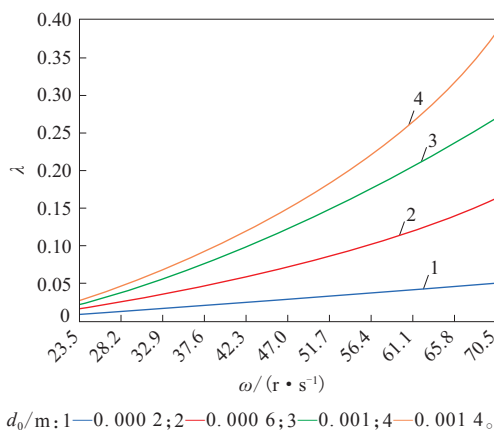


图4 λ , ω 和 d_0 的关系

Fig. 4 Relationship between λ , ω and d_0

2.2 恒线速度控制方法

对于 $\lambda > 0.10$ 的 ω 和 d_0 ,通常采用恒线速度控制方法。即控制卷绕电机的 ω ,使得排线跃层时,仍然保持绕线速度不变,进而保持张力稳定。通常选择编码器作为计米装置,并实时测量输出绕线速度;选择伺服电机用于卷绕驱动。当排线发生跃层时,编码器将绕线转速变化信号实时传输给控制系统,并与绕线速度设定值进行对比运算,然后输出信号给到伺服电机进行降速,即对绕线速度进行实时跟踪的闭环控制。此控制系统可通过优化硬件配置和控制方法参数来实现低延时、高响应和低震荡的稳态。如利用交流伺服电机响应时间短、加减速度快、转速稳定性好的特点,可快速跟踪绕线速度的变化;采用光电式编码器及带有脉冲输入捕捉和脉宽调频输出模块的数字式控制器,通过全数字式的信号采集传输和控制,可降低模拟信号的处理和转化时间,使控制系统更加精简和稳定^[13];通过采取模糊PID算法[在过程控制中,按照偏差的比例(P)、积分(I)和微分(D)

进行控制的方法]和 H_∞ 算法(现代控制理论中设计多变量输入输出鲁棒控制系统的一种方法)等方式来提高系统的动态响应和抗干扰性能^[14]。显然,此种控制方式对硬件和算法都有更高的要求,系统复杂性和成本显著提高。

2.3 两种方法对比分析

针对恒线速度控制方法,选取宋辰亮等^[13]的试验研究进行分析。该试验选取的 ω 为 $2500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ($41.7 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$), d 为 78 mm , d_0 为 0.0002 m ,并给予频率为 1 Hz 、大小为 $250 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的扰动速度。通过换算,其扰动速度变化率为 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。结果显示,系统参数虽经整定和优化,但仍然有至少 3.5 ms 的纯滞后, λ 为 0.0096 。按照恒转速输出的计算模型,在同样的参数下,其跃层产生的速度变化率约为 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, λ 为 0.019 。对比结果可知,在同样的参数设置下,采用恒线速度控制方法的 λ 明显更小。

3 结论

绕线机的 λ 正比于 d_0 和 ω^2 , ΔF 仅发生在排线跃层提速时,采用恒转速的控制方法,可满足胶管和电缆等行业绕线的一般工艺要求,具有系统结构简单,经济性好,实用性强等优点。当绕线过程需选取的 ω 和 d_0 较大时,可采用恒线速度控制方法,其张力控制效果明显更优,但系统复杂性和成本显著提高。

参考文献:

- [1] 胡红钱,高奇峰,刘健,等.一种全自动绕线机的设计[J].上海纺织科技,2017,45(3):56-59.
HU H Q, GAO Q F, LIU J, et al. Design of an automatic winding machine[J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2017, 45(3): 56-59.
- [2] 刘枫,王亮燕,岳小雪,等.制动胶管编织骨架层的参数化建模[J].橡胶工业,2019,66(12):895-903.
LIU F, WANG L Y, YUE X X, et al. Parametric modeling of braided skeleton layer for brake hose[J]. China Rubber Industry, 2019, 66(12): 895-903.
- [3] 马质璞,刘宏伟,张抗,等.自动小型电机绕线机的设计[J].微特电机,2018,46(8):93-96.
MA Z P, LIU H W, ZHANG K, et al. Design of small-sized automatic motor winding machine[J]. Small & Special Electrical

- Machines, 2018, 46 (8) : 93-96.
- [4] 夏树发, 梁永斌, 黄康飞, 等. 绕线机智能防护系统[J]. 金属矿山, 2015 (6) : 113-117.
- XIA S F, LIANG Y B, HUANG K F, et al. The intelligent protection system for coiling machine[J]. Metal Mine, 2015 (6) : 113-117.
- [5] 朱耀麟, 周晓东, 武桐, 等. 模糊神经网络的长丝恒张力控制系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2019, 19 (12) : 72-75.
- ZHU Y L, ZHOU X D, WU T, et al. Design of filament constant tension control system based on fuzzy neural network[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2019, 19 (12) : 72-75.
- [6] 宋波. 经曲线织物的生产与实践[J]. 上海纺织科技, 2019, 47 (11) : 58-60.
- SONG B. Production and practice of warp curved fabrics[J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2019, 47 (11) : 58-60.
- [7] FRANZ C, HOFFMANN G, CHERIF C, 等. 在高性能经编机上加工低弹纱线[J]. 国际纺织导报, 2019, 47 (10) : 14-16.
- FRANZ C, HOFFMANN G, CHERIF C, et al. Processing of yarns with low stretchability on high-performance warp knitting machine[J]. Melliand China, 2019, 47 (10) : 14-16.
- [8] 徐云龙, 夏凤林. 双针床经编机梳栉摆动对瞬时需纱量和纱线张力的影响[J]. 纺织学报, 2019, 40 (6) : 107-111.
- XU Y L, XIA F L. Influence of guide-bar swing on instantaneous yarn demand and yarn tension on double needle bar warp knitting machine[J]. Journal of Textile Research, 2019, 40 (6) : 107-111.
- [9] 韩帅, 狄士春, 杨俊杰. 嵌入式纱线张力控制系统设计[J]. 机械设计与制造, 2015 (8) : 140-142.
- HAN S, DI S C, YANG J J. Design of embedded yarn tension control system[J]. Machinery Design & Manufacture, 2015 (8) : 140-142.
- [10] 温何, 惠延波. 超细漆包线高速绕制张力自动控制系统[J]. 机械与电子, 1999 (3) : 50-51.
- WEN H, HUI Y B. Automatic tension control system for high speed winding of ultra fine enameled wire[J]. Machinery & Electronics, 1999 (3) : 50-51.
- [11] 王吉庆. 电子纤维张力控制系统研制[J]. 纤维复合材料, 2008 (2) : 37-38.
- WANG J Q. Electrical fiber tensioner control system[J]. Fiber Composites, 2008 (2) : 37-38.
- [12] 吴贻珍, 蔡伟, 邵旖磊, 等. 高模量低收缩聚酯绳在汽车传动带中的应用[J]. 橡胶工业, 2007, 54 (2) : 96-100.
- WU Y Z, CAI W, SHAO Y L, et al. Application of HMLS polyester cord in automotive V-belt[J]. China Rubber Industry, 2007, 54 (2) : 96-100.
- [13] 宋辰亮, 余振平, 高景衡, 等. 用于绕线机的全数字张力控制系统研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2019 (9) : 60-63.
- SONG C L, YU Z P, GAO J H, et al. Research on full digital tension control system of winding machine[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2019 (9) : 60-63.
- [14] 赵朋飞, 胡国清, 孙奇伟, 等. 一种绕线伺服张力器建模及其 H_∞ 仿真控制研究[J]. 机电工程, 2016, 33 (7) : 878-882.
- ZHAO P F, HU G Q, SUN Q W, et al. Modeling and H_∞ control simulation of servo coil winding tensioner[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016, 33 (7) : 878-882.

收稿日期: 2020-10-13

Analysis of Winding Tension Control Method of Winding Machine

CAO Shizhan

(Nanjing Orientleader Technology Co., Ltd, Nanjing 210028, China)

Abstract: The winding process and winding tension of fiber winding machine for hose and cable were analyzed. It was concluded that the winding tension changed in the speed-up process of the winding. The winding tension calculation model under the constant rotating speed mode was established. It was concluded that the winding tension change rate was proportional to the square of small spool rotating speed and the wire diameter. The application scope of the constant rotating speed control method was then obtained, and the economic benefit of this method was good. Compared with constant rotating speed control method, when the selected small spool rotating speed and wire diameter was large, the winding tension control effect of constant linear speed control method was better, but the system complexity and cost increased significantly.

Key words: winding machine; winding tension; constant rotating speed; constant linear speed; control method