

文章编号:1674-2869(2014)010-0075-04

# 双向拉伸聚酯薄膜纵向拉伸机的摆辊张力控制

童帮毅,李雪明,焦文辉,赖福刚,陆春立

桂林电器科学研究院有限公司,广西 桂林 541004

**摘 要:**针对双向拉伸聚酯薄膜生产中,纵向拉伸机入口及出口张力对薄膜拉伸质量具有重要影响,提出了一种运用摆辊张力进行调节的闭环控制方式.当摆辊位移时,直线位移传感器反馈信号产生波动,经与标准电压信号比较后得出的偏差值传递给变频器,然后变频器输出控制信号改变电机转速,以实现闭环控制.该系统通过增大膜片包角、采用低摩擦气缸、精密电气比例阀和高精度直线位移传感器等措施灵敏度得以提高.经实际生产应用验证,该闭环张力控制系统较张力传感器直接控制和磁粉离合器控制转矩间接控制,系统的控制精度更高、动态性能更好,对双向拉伸聚酯薄膜的纵向拉伸质量有显著提升.

**关键词:**双向拉伸聚酯薄膜;纵向拉伸机;摆辊;张力控制

**中图分类号:**TQ320.66

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2014.010.016

## 0 引 言

双向拉伸聚酯薄膜(简称 BOPET)广泛应用于彩色印刷、电子电器绝缘、高强度金拉线、粘胶带、复合、转移、包装等领域<sup>[1]</sup>.随着我国国民经济持续快速稳步增长,BOPET 行业也发展迅猛,其产能不断扩大,用途也由包装等领域发展到电子、光学、影像、磁记录等现代工业领域.

鉴于 BOPET 的广泛应用前景和发展潜力,为适应国内 BOPET 行业的发展需求,大量研究者将目光投向 BOPET 的生产节能效益和质量提高上.纵向拉伸机是 BOPET 生产中的一个核心组成部分,对拉伸薄膜的质量有着至关重要的影响<sup>[2-3]</sup>.

通过对摆辊张力闭环控制的研究,即通过辊筒之间的速度关系计算、气压及力学受力分析和信号采集图像分析,结合 PID 运算及 PLC 控制技术,经实机验证,摆辊张力控制在 BOPET 生产上有显著优势,破膜率明显降低.

## 1 张力控制在纵拉机中的作用

纵向拉伸机主要由入出口摆辊、压辊、预热辊、拉伸辊和定型辊等组成,其中入出口的张力控制辊对 BOPET 张力控制的精确度直接关系到薄膜质量的好坏和纵向拉伸机机组的使用寿命.而对于预热辊、拉伸辊、定型辊,主要是实现热交换的功能,膜贴辊的松紧程度将直接影响到传热效

果.故膜的张力在纵拉机中显得尤为重要.而入出口摆辊张力控制主要是为了匹配纵拉机前单机(铸片机)和纵拉机后单机(横拉机)的速度,从而使得纵拉入出口的张力稳定,不至于薄膜过紧拉断或过松跑偏.

张力控制的目的是保持膜片的张力恒定,以提高产品的质量.根据张力的力学机理,从某种意义上讲,控制薄膜的张力,实际上就是控制薄膜间的速度差.而在纵拉机中速度差是通过控制电机的转速来实现的,即速度模式下的张力闭环控制.

纵拉机中,常用的张力控制方式有张力传感器方式和摆辊控制方式.前者的特点是安装空间小,结构简单,测量并显示实际的张力,控制精确,但没有缓冲,无法储存膜片,并需要人工经常校正器件.而后者则有减少冲击,有缓冲的作用,设备结构相对需要较大的安装空间,结构较复杂,控制模型较复杂,更适用于超薄薄膜的张力控制.

纵拉机入口、出口摆辊张力控制系统用来精确控制膜片在纵拉机入口、出口的张力,避免膜片张力过大发生拉断薄膜的现象或者张力过小导致薄膜在辊筒表面发生轴向滑移和错位<sup>[4]</sup>.

在张力控制系统中,为达到闭环控制的目的,往往需要检测薄膜间的张力.在薄膜生产过程中,张力的检测是十分关键的,要实现张力的高精度检测,选择合适的传感器显得十分关键.

收稿日期:2014-10-08

作者简介:童帮毅(1982-),男,湖北丹江口人,工程师.研究方向:双向拉伸塑料薄膜设备设计研发及工程技术工作.

2 摆辊张力控制应用分析

在 BOPET 双向拉伸机中,为保证纵拉机入口和出口膜片的张力稳定,防止薄膜发生过紧拉断或者过松跑偏现象,采用摆辊张力控制<sup>[5]</sup>的方式通过闭环调节来实现。

摆辊张力控制系统结构如图 1 所示,该系统主要由摆辊、低摩擦气缸、直线位移传感器、比例阀、PLC 控制器、变频器、变频电机等组成。当低摩擦气缸接入压缩空气时,通过数字设定的固定张力值,该值转换成比例阀上的气压作用于薄膜上。气缸的垂直作用力和辊的重力垂直分力之和为薄膜有效张力,由于摆辊的浮动对摆辊的垂直分力影响可忽略,因此薄膜张力的调整可通过改变低摩擦气缸的压力实现<sup>[6]</sup>。当张力发生变化时,直线位移传感器通过测量摆辊位移,经 PID 运算后调节后级辊筒的速度,保持摆辊处于中间位置,以保证薄膜张力恒定。

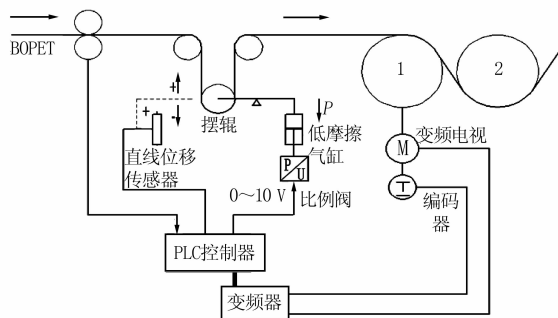


图 1 BOPET 摆辊张力控制系统示意图  
Fig. 1 The schematic diagram of the BOPET roll tension control system

整个闭环控制是在 PLC 里进行,通过 PID 运算将设定值和实际值的差值做比例积分后来改变后级电机的速度。由于不同的线速度下会有不同的 PID 参数值,这里采用动态参数计算方式,即不同的速度下用不同的  $P$  值做线性标定。

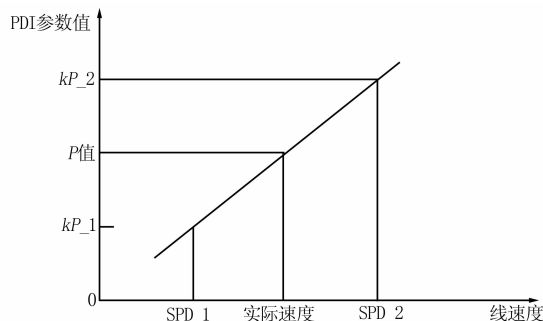


图 2 动态参数坐标系

Fig. 2 The coordinate system of dynamic parameters

如图 2 所示,线速度 SPD\_1 为横坐标第 1 个点,SPD\_2 为横坐标第 2 个点; $kP_1$  为纵坐标第 1 个点, $kP_2$  为纵坐标第 2 个点, $P$  值就是在实际横坐标下对应的纵坐标的值。

纵拉机入口张力由纵拉机预热 1 号辊筒的速度  $V_M$  控制,调节过程是:

$$V_0 \times i_1 + V_{PID} = V_M \tag{1}$$

其中  $V_0$  为激冷辊速度, $i_1$  为激冷辊与纵拉机 1 号辊速度比, $V_{PID}$  为根据纵拉机入口张力得出的 PID 运算输出量。同理,纵拉机出口张力由横向拉伸机(TDO)入口的速度  $V_T$  控制,调节过程为

$$V_5 \times i_2 + V_{PID} = V_T \tag{2}$$

其中  $V_5$  为纵拉机(最后)定型 5 号辊速度, $i_2$  为定型 5 号辊与横拉机速度比, $V_{PID}$  为根据纵拉机出口张力得出的 PID 运算输出量。

如图 3 所示,该系统正常运行时,作用于摆辊上张力的有效合力、气缸的推力和辊自身的重力相互平衡,使得摆辊处于中间的平衡位置。如果张力偏大,摆辊向上摆动,带动直线位移传感器动作,反馈信号产生波动,经与给定电压信号相比较,积分得出偏差值后向变频器输出控制信号,使后级电机的转速下降,张力恢复到给定值,摆辊回到初始的平衡位置。总之,总是通过微小的调整后级电机的转速,来使摆辊处于水平的位置,即在整个闭环控制的过程中,电机转速不断进行微小调整,使薄膜张力始终保持在设定值。

在本控制系统中摆辊检测膜片张力的变化,同时起到吸收或缓冲张力波动对系统的冲击的作用,因此摆辊的正确安装和使用,直接关系到控制系统的灵敏度<sup>[7]</sup>。

首先,膜片在摆辊上要有足够大的包角,如图 3 所示。

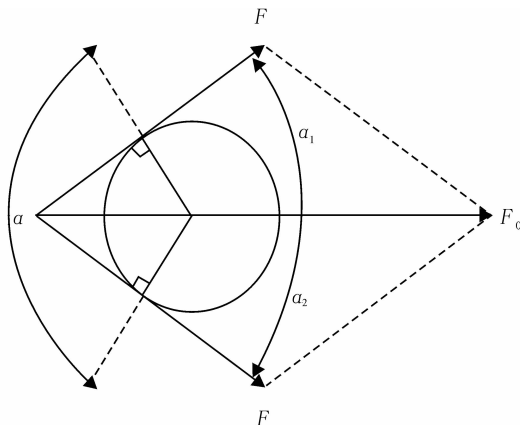


图 3 膜片张力在摆辊上受力分析

Fig. 3 The analysis of the film tension on roller

由图 3 可知,作用与摆辊上的有效合力  $F_Q$  为:

$$F_Q = F \cdot \cos\alpha_1 + F \cdot \cos\alpha_2 \quad (3)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \pi - \alpha \quad (4)$$

由公式(4)可知,  $\alpha$  越小  $\alpha_1 + \alpha_2$  越大,根据公式(3)有效合力  $F_Q$  则越小,降低了薄膜张力变化反应的灵敏度. 如图 2 所示,本系统中为  $180^\circ$ ,摆辊有效合力  $F_Q$  达到最大值时灵敏度最高.

其次由于低摩擦气缸的活塞跟缸体间的摩擦力较小,因此气缸的灵活性得到提高,使摆辊上张力的较小波动便能够引起直线位移传感器做出较大反应<sup>[8]</sup>. 气缸进气口接压缩气体且出气孔安装一个节流阀,在通过进气口气压调节气缸推力时,通过节流阀调节排气量,防止气缸因进出气速度过快而产生冲击. 为延长气缸的使用寿命,防止活寒撞击缸体,在摆辊上装有缓冲装置.

再次,调压阀采用精密 E/P 比例阀,通过控制气缸不同压力来改变张力变化. 且因进气口气体压力波动而引起张力变化的现象可因精密 E/P 比例阀的高精度而避免<sup>[9]</sup>. 精密 E/P 比例阀能迅速将气体通过排气口排出,使气缸内的压力恒定.

最后,位移检测采用高精度直线位移传感器,保证微小的张力变化引起的摆辊位移也能被采样.

### 3 结 语

薄膜张力控制主要有通过张力传感器直接控制、摆辊张力控制和采用磁粉离合器控制转矩间接控制张力三种形式. 而摆辊张力控制通过增大膜片包角,采用低摩擦气缸、精密 E/P 比例阀和高精度直线位移传感器等一系列增强系统灵敏度措施,使得本闭环张力控制系统相比其它两种类型的张力控制系统优势明显,控制精度高,动态性能好,系统配盘广,尤其适用于超薄 BOPET.

纵拉机是 BOPET 生产线的重要组成部分之一, BOPET 拉伸质量主要受薄膜进出口张力影响,因此张力控制系统是核心所在. 本文将摆辊张力控制系统应用于 BOPET 生产中,确保了纵拉机进出口张力的恒定,并研发出相应设备用于实践,结果表明,该系统极大提高了 BOPET 纵向拉伸机的平稳性和薄膜产品的质量.

### 致 谢

感谢武汉工程大学机电工程学院郑小涛副教授对本文提供的建议与帮助.

### 参考文献:

- [1] 崔春芳,王雷. 塑料薄膜制品与加工[M]. 北京:化学工业出版社,2012.  
CUI Chun-fang, WANG Lei. Plastic film products and processing [M]. Beijing: Chemical industry press, 2012. (in Chinese)
- [2] 尹燕平. 双向拉伸塑料薄膜[M]. 北京:化学工业出版社,1999.  
YIN Yan-ping. Two-way stretch plastic film[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1999. (in Chinese)
- [3] 张玉霞,刘伟. 薄膜纵向拉伸技术—MDO 技术[J]. 塑料包装,2008,18(3):54-60.  
ZHANG Yu-xia, LIU wei. The longitudinal stretch technique of film - MOD [J]. Plastic Packaging, 2008, 18(3): 54-60. (in Chinese)
- [4] 高宏保. 双向拉伸 PET 薄膜的制膜技术[J]. 聚酯工业,2008,21(5):1-5.  
GAO Hong-bao. The production technology of the two-way stretch PET film[J]. Polyester Industry, 2008, 21 (5): 1-5. (in Chinese)
- [5] 周泽波. 张力辊控制的研究[J]. 昆钢科技,2010 (4):38-41.  
ZHOU Ze-bo. The research of tension roll control [J]. Kunming Steel Science and Technology, 2010 (4): 38-41. (in Chinese)
- [6] 胥小勇,孙宇,蒋清海. 薄膜张力控制系统的建模与设计[J]. 中国机械工程,2013(18):2452-2457.  
XU Xiao-yong, SUN Yu, JIANG Qing-hai. Modeling and design of a film tension control system[J]. China Mechanical Engineering, 2013 (18): 2452-2457. (in Chinese)
- [7] 张宏展. 双向拉膜生产线控制系统实现及收卷张力控制算法研究[D]. 北京:北京机械工业自动化研究所,2010.  
ZHANG Hong-zhan. Realize on control system in biaxially oriented film line and research on winding tension algorithm[D]. Beijing:Beijing Research Institute of Automation for Machine-building Industry, 2010. (in Chinese)
- [8] 冯树铭. PET 薄膜双向拉伸技术及发展方向[J]. 聚酯工业,2009(2):1-3.  
FENG Shu-ming, PET film biaxial stretching technique and development direction [J]. Polyester Industry, 2009(2): 1-3. (in Chinese)
- [9] 何元亨,宋武. 双向拉伸薄膜生产线控制系统故障排除[J]. 设备管理与维修,2007(3):28-29.  
HE Yuan-ting, SONG Wu. The troubleshoot of the

control system of the two-way stretch film production line[J]. Plant Maintenance Engineering, 2007

(3):28-29. (in Chinese)

## Application of roll tension control system on machine direction orienter of bi-oriented stretching polyester film

**TONG Bang-yi , LI Xue-ming , JIAO Wen-hui , NAI Fu-gang , LU Chun-li**

Guilin Electrical Equipment Scientific Research Institute Co. Ltd. , Guilin 541004, China

**Abstract:** Aimed at the tension of the entry and exit of machine direction orienter produced by the two-way stretch polyester having important influence in the quality of the film, a closed-loop roll tension control system was proposed. The feedback signal of the linear displacement sensor fluctuated with the moving roll, then the difference between this signal and the standard signal was delivered to the frequency converter, and the motor speed was controlled by the signal from the frequency converter. Finally, the purpose of closed-loop control was achieved. The sensitivity of the system increased by increasing the angle of diaphragm, adopting the low friction cylinder, the precision electric proportional valve and the high precision linear displacement sensor. Confirmed by the practical production application, the tension closed-loop control system has more accurate precision and better dynamic performance compared with the direct control system by the tension sensor and the indirect control system by the magnetic clutch, which improves the quality of the two-way stretch polyester film.

**Key words:** two-way stretch polyester film; machine direction orienter; roll; tension control

本文编辑:陈小平