

关于对薄膜分切机收卷张力控制的探讨

刘志美¹, 孙聪明², 李中国^{1*}

(1. 富维薄膜(山东)有限公司, 山东 潍坊 261061;

2. 潍坊德高新材料有限公司, 山东 潍坊 261061)

摘要: 收卷张力作为薄膜分切机收卷过程中的一个重要参数, 本文从张力控制原理、影响因素、计算方式等方面展开论述, 并且对三种常用的收卷张力控制方式和它们的利弊以及收卷张力施加在膜卷上的效果进行了阐述。

关键词: 薄膜; 分切机; 收卷; 张力

中图分类号: TQ320.66

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2025)12-0044-04

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2025.12.009

0 前言

张力, 一个物理学名词, 指的是物体受到拉力作用时, 存在于其内部的相互牵引力。作为薄膜而言, 有两个表述张力的参数, 一个是膜层的表面张力, 单位为达因(dyn), 是薄膜表面润湿性的一种体现, 它是物体表面所具有的固有特性; 另一个是收卷张力, 是在传动和卷取的过程中, 在辊筒速差或者电机等各种类型的驱动力的作用下, 平行于薄膜的表面, 使薄膜张紧的力。这种力使膜面更加平整, 有利于薄膜在卷取时, 不易形成皱筋等问题, 它作为薄膜卷取过程中一个重要的工艺参数, 下面所论述的张力, 主要是指这种收卷张力, 本文根据目前常用的主流薄膜分切机收卷过程中所采用的张力控制原理、影响因素、计算方式、张力控制种类、以及收卷张力的作用效果等方面展开论述。

1 收卷张力的作用原理

如图1所示, 放卷辊与传辊之间, 由放卷的制动力和传辊驱动力之差(膜间张力 F_1)形成的速差带动膜卷转动, 辊筒之间的驱动力之差(膜间张力 F_2)带动膜幅继续转动; 而到了收卷端, 收卷电机或者气压摩擦等其它动力带动下, 它与收卷前的带驱动力辊筒形成的力差(收卷张力 F_3), 成为收卷质量好坏的关键性因素。这三种张力是整个分切机的张力处于一种整体平衡状态。

收卷张力主要是由收卷电机驱动或者其它动力驱动来实现的, 其原理就是, 在收卷电机或者其它驱动

动力作用下, 带动收卷管芯, 产生的理论线速度大于传动辊的线速度, 达到我们所要的合适张力, 在张力作用下, 膜幅在拉紧的状态下进行收卷, 使收卷层与层之间比较一致^[1]。

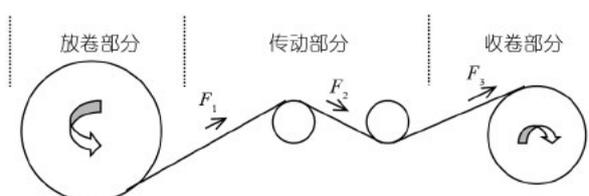


图1 分切机驱动示意图

张力控制目前常用的是速度、直径、压力等外部传感器, 将所采集到的信号通过 PLC 的内部计算, 转化成 0~10 V 电压模拟信号, 控制收卷电机的扭矩变化或者控制比例阀输出不同的气压, 从而达到对收卷张力的控制。

收卷张力的主要影响因素为收卷驱动力(电机扭矩或者其它驱动力)、收卷直径、摩擦力矩、收卷速度和收卷宽度。收卷过程中, 各辊筒和收卷卷取轴之间摩擦力矩较小, 可以忽略不计^[2]。收卷速度只有在分切机升速过程中和降速过程中才会对收卷张力有所要求, 一般在收卷首尾升速和降速的这两个过程中都会有线性的张力加大补偿或者衰减, 当分切机在升到正常工作速度后, 张力速度补偿这一部分就不会有变化,

作者简介: 刘志美(1972-), 女, 硕士, 主要从事 PET 薄膜生产质量研发管理工作。

* 为通讯联系人

相当于对收卷的膜卷施加了一部分恒定的张力。分切机根据订单规格的不同,需要将大母卷分切成不同的宽度,从而对作用在收卷上的张力也提出了不同的要求,单个收卷工位独立收卷的分切机,在这方面都做了考虑,按照分切不同规格,对各个工位施加了不同的收卷张力,这个张力的大小一般是以规格宽度的比例施加的,这部分张力从开机到停机是恒定不变的。剩余的两个因素收卷驱动力和收卷直径,是在整个收

卷过程中两个变动的量,也是影响收卷质量的最重要的两个因素,在实际的分切机收卷张力的控制中,无论是函数线性曲线控制还是锥度斜率控制,整个过程中,它是不断变化的,它随着收卷直径的不断变大,而作用在膜幅上的张力,总体呈现衰减的趋势,以实现保证收卷过程中扭矩(驱动力×收卷半径)的稳定性^[3]。

以康甫分切机为例,它的收卷张力计算公式如下:

$$F = Z_0 \times \frac{S_B}{1000} \times \left(\frac{f(d)\%}{100} \times \frac{f(S_B)\%}{100} \times \left(\frac{k(n)\%}{100} + 1 \right) \right) + Z_{0v} \times \frac{S_B}{100} \times \frac{f(v)\%}{100}$$

式中: Z_0 为基础张力值, N; S_B 为分切宽度, mm; $f(d)$ 为直径曲线的设置百分比; $f(S_B)$ 为宽度曲线的百分比; $f(n)$ 为人工输入的设置倍率百分比; Z_{0v} 为速度曲线基础张力值, N; $f(v)$ 为速度曲线的设置百分比。

从公式中可以看出,收卷张力除了两个基础张力值 Z_0 和 Z_{0v} 外,它主要是跟宽度 S_B , 直径张力曲线百分数值 $f(d)$, 宽度曲线百分数值 (S_B), 速度曲线百分数值 $f(v)$, 人工设置的倍率百分数值 $k(n)$ 有关,所以说分切机的最终作用在收卷上的张力是以上几个因素对应的数值叠加在一起的综合数值。这种线性控制的张力对应着不同的复杂计算叠加,控制精准,整个收卷过程按照张力设计者的设计思路走,并且便于收卷过程中校正更改,所以这种张力控制方式逐步的被薄膜行业所认可,国内大型薄膜生产线分切机多数接受这种张力模式。

实际上一些普通的分切机,相对来说简单一些,这种控制方式一般只用在一些小型的分切机上,可以用来二次分切。这种张力控制的公式为:

$$F = F_0 \left(1 - k \left(1 - \frac{D_0}{D} \right) \right)$$

式中: F_0 为基础张力值, N; k 为锥度系数百分比; D_0 为收卷辊直径, mm; D 为当前收卷直径, mm^[4]

从公式中可以看出,这种方式主要由基础值 F_0 和锥度 k 来控制。

以上卷取曲线的设置,根据总体呈现衰减的收卷原理,配合膜材的不同厚度、摩擦系数、弹性模量、拉伸强度等物性指标来设定,不同的设备它的张力曲线不尽相同,但可以根据卷取原理的大致趋势来设置,过程中再根据收卷效果进行人工干预,最终依据对收卷效果的评估,将人工干预的成分加入到曲线中去,

最终得到比较理想的张力控制曲线,同样,基础值加锥度控制方式的张力系统设置同样采用以上方式,这里面包含有操作者大量的经验。

2 收卷张力的控制种类和利弊

分切机张力控制种类主要有磁粉控制,滑差控制,电机控制这三种方式并且不局限于这三种方式,比如日本东伸株式会社早期一种卧式分切机采用的是用液压油作为动力的驱动方式来提供收卷张力,目前这种方式已不多见。

2.1 磁粉控制方式

磁粉张力控制模式主要是由磁粉控制系统和终端的磁粉制动离合系统组成,利用岛津理论,在稳定的磁场中,使受驱动的金属产生磁场分布,形成一定的摩擦力,从而产生张力。跟电动机转子切割磁力线提供动能一样,PLC 根据接收到的各个传感器和人工的指令,经过合成计算,然后输出模拟电压信号来控制收卷轴的扭矩,达到传输和控制张力的目的。



图2 磁粉张力器

这种控制方式,结构相对简单,噪音低,响应快,

但曲线线性控制受磁场、温度等影响，控制精度有偏差，并且这种收卷方式用以控制气胀轴来运行^[5]。这种磁粉张力控制的气胀轴方式比较适合分切规格相近，厚度均匀性比较好的膜材。因为这种收卷方式靠气囊充气膨胀将收卷管芯固定住，所以每个规格速度都同步于收卷轴，如果分切的规格差别较大，作用在单个分切成品上的张力会有明显差异，各个规格不能进行单独调整。目前这种张力控制方式主要用在一些要求不高、收卷卷径不大、规格接近的小型分切机上。图2为磁粉张力器。

2.2 滑差控制方式

滑差控制方式是由一个个独立的滑差单元组成，一个滑差单元主要分为AB两部分轴套，都是套在收卷轴上，其中A轴套通过键与收卷轴硬性连接，B轴套则通过摩擦衬片与A轴套软性连接，同时B轴套又通过凸轮结构，将收卷管芯固定住。这种张力控制方式靠调节轴向的气压来控制的，收卷时，由施加于轴向的气压，将AB轴套及各个滑差单元压紧在一起，因为滑差单元的AB轴套是靠摩擦衬片连接在一起的，所以当轴向的气压越大，AB轴套间的摩擦力就越大，通过收卷轴传递给膜卷的张力就越大，反之则越小。

这种控制方式优点是分切的膜材范围广、车速快^[5]，又因为每个滑差单元独立，能较好的解决收卷长度增大后受厚度等的影响卷径出现不一致而导致膜幅不同步的问题；并且因为每个滑差单元较小，所以可以分切较小规格的产品，多个滑差单元共同作用，又可以同时分切较大规格产品；缺点是由于滑差单元的摩擦，容易产生污染物；收卷张力的的大小受摩擦衬片的摩擦力大小影响较大；并且摩擦衬片在低温和高温时的摩擦力有所差别。这种张力控制方式主要用在卷径小，对张力大小影响不是特别敏感的产品上。图3为滑差收卷轴。



图3 滑差收卷轴

2.3 收卷电机控制方式

收卷电机控制方式由多个独立的电机控制的收卷工位组成，一般由两个电机控制两个收卷臂，通过皮带和齿轮传动变速，再通过凸轮卡盘将收卷张力传递给管芯。也有一个收卷工位只有一个收卷臂带有电机的结构，另外一个收卷臂只是起支撑作用；随着现在客户需求的尺寸越来越宽，收卷长度越来越长，单件重量突破一吨以上，为了降低电机载荷，每个工位用联轴器将多个收卷臂连接在一起，就出现了3~4个电机共同收卷的情况。

这种张力控制方式的每个电机都有独立的PLC，所以每个工位都能独立控制，具有速度快，控制精度高，收卷规格大，效率高等优点，这种控制方式被广泛应用在大型的薄膜生产线中，目前分切机宽度已突破10m，设计车速突破每分钟千米。图4为独立电机收卷工位。



图4 独立电机收卷工位

3 收卷作用的效果

现实中有单纯由张力控制收卷的情况，但为了提高收卷质量和收卷硬度，减少收卷皱筋，张力一般不单独作用于膜卷，它是跟压力一起作用的。张力控制方面，影响因素也很多，聚酯薄膜厚度的不均匀性、薄膜弹性的波动，薄膜的厚度，以及生产环境温度、湿度变化，也会对整个分切机的张力带来影响^[1]。

张力控制线性曲线上的每个基点跟压力配合的过程中，实际作用在膜卷上存在过大或者过小两个问题。

3.1 张力过小

主要表现在收卷硬度低，张紧力不够，容易在压辊压力作用下，形成乱纹死折，或者窜边，导致收卷断端面不齐。

3.2 张力过大

主要表现在膜幅拉伸变形，尤其是薄膜厚度不均

的地方,形成张力纹路,严重的还因为薄膜的弹性原因,膜材在收卷后,内应力逐步的释放可导致收卷管芯变形,还可能导致皱筋的出现。

因此了解收卷张力的原理基础上,设置合适的工艺曲线,以适应不同膜材的收卷至关重要。

4 结语

收卷张力作为薄膜分切机收卷的一个重要参数是能否根据它的工作原理予以合理配置是十分必要的,收卷张力不是一个独立的参数,而是要充分考虑到收卷压力、设备的控制方式、薄膜本身的固定特性等因素,在未来分切机的制作过程中,可以充分考虑到这

些因素,试验设计出完美稳定的分切收卷工艺。

参考文献:

- [1] 李中国. PET 薄膜分切机收卷张力和压力的控制 [J]. 聚酯工业 .2012,25(05):37-39.
- [2] 张琴,王宝升,方建士.基于模糊 RBF 神经网络 PI 控制的塑料薄膜收卷张力控制系统研究 [J]. 制造业自动化 .2024,46(08):63-68.
- [3] 刘立军,李翔龙.基于模糊 PID 控制的薄膜分切机恒张力控制系统 [J]. 机械工程与自动化 .2020,(06):13-15+18.
- [4] 王奔,朱龙彪,沈祖军,等.LYP1050 轮转胶印机控制系统设计 [J]. 工程设计学报 .2021,28(01):112-120.
- [5] 潘炳哲,潘玉军,吴江寿,等.高速分切机张力控制系统研究 [J]. 机电信息 .2020,(23):41-42.

Discussion on the control of winding tension in film slitting machines

Liu Zhimei¹, Sun Congming², Li Zhongguo^{1*}

(1.Fuwei Film (Shandong) Co. LTD., Weifang 261061, Shandong, China;
2.Weifang Degao New Material Co. LTD., Weifang 261061, Shandong, China)

Abstract: Winding tension is a crucial parameter in the winding process of film slitting machines. This article delves into the principles of tension control, influencing factors, and calculation methods. Additionally, it discusses three commonly used methods for controlling winding tension, their advantages and disadvantages, and the effects of applying winding tension to the film roll.

Key words: film; slitter; winding; tension

(R-03)

软控联合科技柬埔寨公司举行奠基仪式

MESNAC United Technology (Cambodia) Co., Ltd. held a groundbreaking ceremony

10月30日上午,软控联合科技(柬埔寨)有限公司在柬埔寨柴桢省柴桢市齐鲁柬埔寨经济特区举行奠基仪式。齐鲁经济特区相关领导、软控股份有限公司董事长兼总裁官炳政等领导 & 轮胎行业客户代表等出席仪式。

在奠基仪式上,软控联合科技有限公司总经理周传海致辞,他首先向客户、齐鲁工业园、各界朋友、合作伙伴,以及为项目付出辛勤努力的全体同仁表达了感谢。周传海表示,软控联合科技越南工厂开园与柬埔寨工厂奠基开工,共同彰显了联合科技团队敢打敢拼、务实高效的执行力,更印证了联合科技布局海外、服务全球轮胎企业的坚定决心。柬埔寨地处东南亚核心区域,区位优势得天独厚,拥有广阔的市场潜力。联合科技将持续秉承“让橡胶工业站上世界新高度”的使命,进一步完善全球生产服务网络,为全球轮胎企业提供更便捷、更高效的一体化解决方案。

在全场嘉宾的共同见证下,软控联合科技柬埔寨公司顺利培土奠基,仪式圆满完成。

此次柬埔寨项目的启动,是软控联合科技继越南工厂后的又一重要海外布局,将进一步提升在东南亚地区的产能供给和市场服务能力。未来,软控联合科技将继续深化国际市场布局,为国际轮胎产业注入源源不断的活力,为全球轮胎客户提供更全面、系统的解决方案。

摘编自“软控股份”

(R-03)