

垫圈式张力器的静态与动态工作特性分析

易洪雷 陈鸿坤

(中国纺织大学) (新疆工学院)

【摘要】 本文建立了垫圈式张力器的输入-输出特性关系,分析其静态工作特性,得出了用于调节上机张力的半经验公式,并根据理想纱条波谱图所建立的简化纱条模型,采用 FFT 技术对其动态特性进行了分析,从而得到了一些对生产实践有益的结论。

1452 型整经机所采用的垫圈式张力器,其结构如图 1 所示:从筒子上引出的纱线 1 通过导纱瓷座 2 上的导纱瓷眼 3,从垫圈 4 的下面绕过瓷芯 5 与导柱 6 向前引出,垫圈 4 套在瓷芯 5 上起加压作用^[1]。今就其静态和动态特性作如下分析:

一、垫圈式张力器的输入-输出特性

1. 受力分析

由图 1 显见,纱线在穿过导纱瓷眼 3,绕过瓷芯 5 与导柱 6 时,均与所接触面产生一定角度的包围弧。根据广义欧拉公式^[2]:

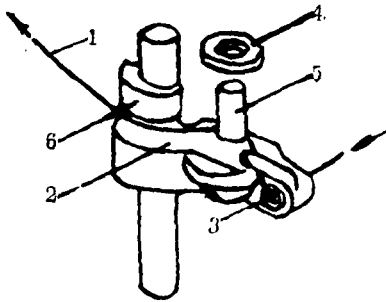


图 1 垫圈式张力器

$$T_1 = T_0 e^{f_1 \theta_1} - 0.1 \times mv^2 (e^{f_1 \theta_1} - 1) \quad (1)$$

$$T_3 = T_2 e^{f_2 \theta_3} - 0.1 \times mv^2 (e^{f_2 \theta_3} - 1) \quad (2)$$

式中: T_0, T_1 —导纱瓷眼包围弧两侧的纱线张力(cN); T_2, T_3 —导柱包围弧两侧的纱线张力(cN); $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ —纱线对导纱瓷眼、瓷芯、导柱的包围角(rad); f_1, f_2 —纱线与瓷座、张力圈间的摩擦系数; m —纱线线密度(g/m); v —纱线行

进速度(m/s)。

纱线通过瓷芯 5 时的受力情况较为特殊,对此部位而言,既有张力片在纱线上所造成的累加作用,又有纱线在绕过瓷芯时所产生的倍积作用,因此在受力分析时需同时考虑这两种作用。在纱线与瓷芯的包围弧上取一微元纱段 ds ,其受力情况如图 2 所示。

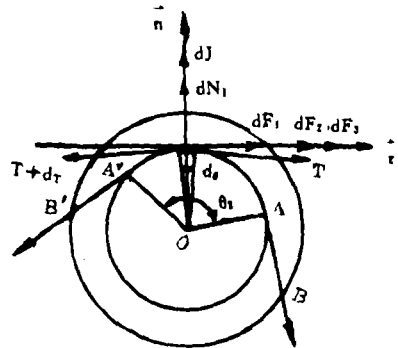


图 2 受力分析图

考虑到纱线的匀速运动,故在 τ, n 方向上可列出其力平衡方程:

$$\begin{aligned} \tau \text{ 方向: } & (T+dT)\cos(d\theta/2) - T\cos(d\theta/2) \\ & - dF_1 - dF_2 - dF_3 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ 方向: } & (T+dT)\sin(d\theta/2) + T\sin(d\theta/2) \\ & - dN_1 - dJ = 0 \end{aligned}$$

式中: dJ —微元纱段惯性力, $dJ = mv^2 d\theta$; dN_1 —瓷芯作用于微元纱段上的支持力; dF_1, dF_2, dF_3 —微元纱段受到瓷芯、瓷座、张力圈的摩擦力,其中, $dF_1 = f_1 dN_1, dF_2 = f_1 W(1+a/g)rd\theta/L, dF_3 = f_2 W(1+a/g)rd\theta/L$ 。解之,可

得：

$$T_2 = T_1 e^{f_1 \theta_2} - 0.1 \times mv^2 (e^{f_1 \theta_2} - 1) + (c_1 e^{f_1 \theta_2} + c_2)W(1 + a/g) \quad (3)$$

式中： $c_1 = (f_1 + f_2)(\overline{AB} + r/f_1)/L$ } 张力器的
 $c_2 = (f_1 + f_2)(\overline{AB} - r/f_1)/L$ } 结构参数； r —瓷芯半径(m)； W —张力圈质量(g)； L —纱线与张力圈的接触长度(m)； a —张力圈的瞬时加速度(正方向垂直瓷座平面向上)(m/s^2)。

联立式(1)、(2)、(3)可得：

$$T_3 = T_0 e^{f_1(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)} - 0.1 \times mv^2 [e^{f_1(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)} - 1] + (c_1 e^{f_1 \theta_2} + c_2) e^{f_1 \theta_3} W(1 + a/g) \quad (4)$$

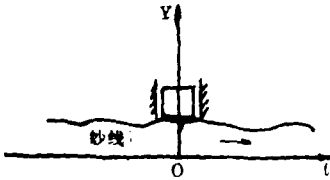


图3 纱线通过张力器的模型图

纱线通过张力片时的情形可用图3所示模型来描述。令纱线直径变化规律 $Y = f(t)$ ，则与张力

片接触一段纱线的平均直径为：

$$\bar{Y} = \frac{v}{L} \int_t^{t+v/L} f(t) dt$$

$$a = d^2 \bar{Y} / dt^2 = v/L [f'(t + L/v) - f'(t)]$$

考虑到稳定生产时， $t \gg L/v$ ，故有

$$a \approx f''(t) \quad (5)$$

依线密度 m 的定义，可知：

$$m = \rho s \times 10^6 = 7.854 \times 10^5 \times \rho f^2(t) \quad (6)$$

式中： ρ —纱线体密度(g/cm^3)； $f(t)$ —纱线直径(m)。

将式(5)、(6)代入式(4)，则有垫圈式张力器的输入输出特性式为：

$$T_3 = T_0 e^{f_1(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)} - 7.854 \times 10^4 \times \rho f^2(t) v^2 \times (e^{f_1(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)} - 1) + W(1 + f''(t)/g) \times e^{f_1 \theta_3} (c_1 e^{f_1 \theta_2} + c_2) \quad (7)$$

2. 调节上机张力的半经验公式

取 $\theta_1 = 180^\circ$ ， $\theta_2 = 90^\circ$ ， $\theta_3 = 45^\circ$ ， $f_1 = 0.3$ ， $f_2 = 0.4$ ，并对上式用纱线不匀率周期 T_f 求输入输出张力的平均值，则有：

$$\bar{T}_3 = 5.2 \bar{T}_0 - 1.1667 \times 10^{-7} \times Nt \times$$

$$(1 + cv^2)v^2 + W\eta \quad (8)$$

式中： \bar{T}_3 、 \bar{T}_0 —垫圈式张力器的输入、输出张力的平均值(cN)； Nt —纱条号数(tex)； cv —纱条条干不匀率； η — $\eta = e^{f_1 \theta_3} (c_1 e^{f_1 \theta_2} + c_2) \int_0^{T_f} (1 + f''(t)/g) dt$ ，它与张力器的结构参数和纱线条干有关。考虑到张力片重量对纱条直径变化规律的影响，一般地，随着张力片重量的增加 η 值应略有减少。

为方便上机工艺计算，上式中 v 的单位已改为米/分。

用[3]中提供的实验数据对上述半经验公式进行了验证，实验参数为： $Nt = 14.5 \text{tex}$ ， $v = 190 \text{m/min}$ ， $\bar{T}_0 = 0.5 \text{cN}$ ， cv 值[3]中未列出，按纱条不匀率一般水平取 $cv = 16\%$ ， η 值取 $0.97 \sim 1.17$ (随张力片重量的增加而减小，并按插值法确定)。结果对比如下表所示：

两个公式的比较

W(g)	实测张力(cN)	资料[3]公式(cN)	本文式(8)(cN)
2.25	5.17	5.65	5.17
3.55	6.11	7.08	6.35
4.42	7.81	8.02	7.15
6.01	8.48	9.97	8.60
10.05	12.25	13.72	12.29

从表中可见，本文公式的最大预报误差为 0.66cN ，原公式的最大预测误差为 1.49cN ，说明式(8)较[3]中提出的经验公式预报精度高，效果好，可取代原经验公式使用。同时，从该式还可看出，当车速增高时，公式中的第二项也随之迅速增大，故在高速情况下，垫圈所产生的倍积与累加作用不能忽视，以往只独立讨论垫圈式张力器的累加或倍积作用是不合适的。

二、对垫圈式张力器动态工作特性的讨论

1. 各种工艺参数一定的情况下，输入直径不变的理想纱条

将式(7)两边对 dT_0 进行微分，可得初始张力波动放大倍数 K_1 ：

$$K_1 = dT_3 / dT_0 = e^{f_1(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)} \quad (9)$$

其物理意义是输入初张力 T_0 产生波动 dT_0 ，该波动经过张力器后被放大的倍数。

2. 在初始张力 T_0 及各种工艺参数一定的情况下，输入实际纱条

同时将式(7)两边对 $df(t)$ 进行微分，可得到纱条不匀张力波动放大倍数 K_2 ：

$$K_2 = dT_s / df(t) = AWf''(t) / f'(t) - Bv^2 \rho f(t) \quad (10)$$

其中： $A = e^{f_1 \theta_3} (c_1 e^{f_1 \theta_2} + c_2) / g$ ； $B = \pi (e^{f_1 (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)} - 1) / 2$ 。

其物理意义是输入纱条直径 $f(t)$ 产生 $df(t)$ 波动，经过张力器表现为张力波动的放大倍数。

3. 对垫圈式张力器动态特性的讨论

由式(9)可知， K_1 唯一地由纱线通道上的包围角所决定。因此减少张力器上的纱线包围角是降低初始张力波动放大倍数的唯一途径，在国外有些整经机上张力装置采用零包围角是有一定道理的。

式(10)反映了纱条直径波动对纱条张力波动所产生的影响。

若将纱条直径模型 $Y = f(t)$ 视为复杂周期函数，则根据富里叶级数公式：

$$Y = f(t) = a_0 [1 + \sum_{i=1}^{\infty} A_i \sin(W_i t + \Phi_i)]$$

假定纱条中纤维是等长的和等粗细的，且纱条截面内纤维根数服从泊松分布，则理想纱条不匀率的振幅 A_i 与波长 λ_i 的关系为^[4]：

$$A_i = (K \sin \pi L_f / \lambda_i) / (\pi L_f / \lambda_i)$$

式中： L_f —纤维长度(mm)， K —常数，取决于纱条截面内纤维的根数。

根据纱条的理想波谱图，若纤维长度为 31mm，则其纱条不匀率波长主要集中于 0~8.65m 之间。按乌斯特电容式条干均匀度仪的分类方法，则纱条短、中、长片段不匀所对应的波长范围分别为：0.031~0.31m，0.31~3.1m，3.1~8.65m，在上述

范围内，选取三种典型的不匀率波(幅值最大)，则可到下面简化的纱条模型(由于后面主要的分析工具是功率谱密度函数^[5]，其中不含相位信息，因此各函数的相位差均未考虑)：

$$Y = a_0 [1 + 5.64 \times 10^{-4} \times K (500 \sin 1.13vt + 98 \sin 0.35vt + 3.14 \sin 0.035vt)]$$

将上述模型代入式(10)，采用 FFT 技术编制相应的程序，对垫圈式张力器的动态特性进行分析。

实验中，FFT 点数 $N = 1024$ ，采样频率按 NIQUIST 采样定理 $f_s \geq 2f_{\max}$ 计算，其值随车速不同而异，如图 4 所示。

由图 4 可知，在各种车速下，高频信号在功率谱中所占的比例都较大，考虑到函数 $K_2(t)$ 是由几个周期函数叠加而成的准周期信号，其高频信号频率十分接近纱条短片段不匀所对应的频率，说明短片段不匀是造成纱线张力波动的主要原因，为减少纱条动态附加张力，工艺上应努力降低输入纱条的短片段不匀，由于短片段不匀与纱条 CV 值密切相关，因此改进前道

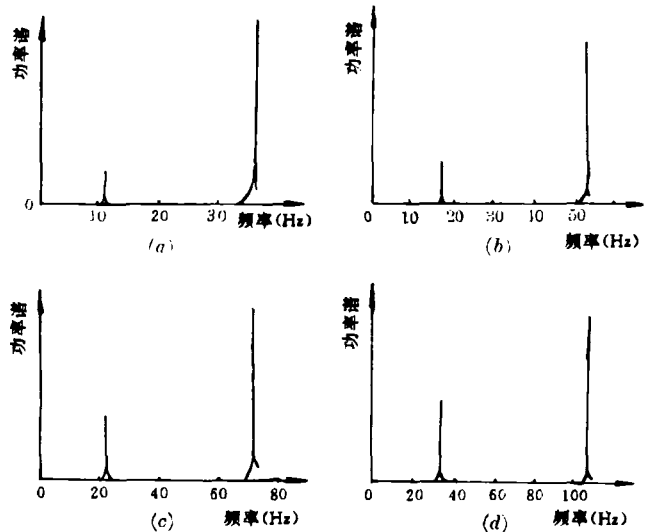


图 4 功率谱密度函数图

实验条件：(a) 为 $v = 200 \text{m/min}$, $T_s = 0.01395 \text{s}$ ；
 (b) 为 $v = 300 \text{m/min}$, $T_s = 0.0093 \text{s}$ ；
 (c) 为 $v = 400 \text{m/min}$, $T_s = 0.006975 \text{s}$ ；
 (d) 为 $v = 600 \text{m/min}$, $T_s = 0.00465 \text{s}$ ；

(上接第 17 页)

工艺,降低纱线 CV 值是减小纱条附加动态张力的关键。长片段不匀率对纱条附加张力基本没有影响,而中片段不匀只在车速较高(400m/min 以上)时才起作用。

三、主要结论

1. 调节 1452 型整经机上张力时,本文所得到的半经验公式(8)可供参考,其中 η 值首先应根据以往上机工艺确定其与张力片重量的线性关系(或其他非线性回归方程),然后与式(8)联立,即可求出所需上机张力下应采用的张力片重量。

2. 在高速情况下,垫圈式张力器的累加与倍积作用不容忽视。

3. 减小张力器上纱线与导纱器件间的包围角,可以降低由筒子退绕所产生的纱线张力

波动。

4. 在纱线条干不匀所造成的纱线张力波动中,长片段不匀影响较小,而中片段不匀只在车速较高(400m/min 以上)时才起作用,影响最大的是短片段不匀。

作者谨向中国纺织大学严灏景教授,朱苏康教授,李毓陵副教授对本文所给予的指正表示衷心的感谢。

参 考 资 料

- [1] 陈元甫:《机织工艺与设备》,纺织工业出版社,1982年,P. 37~47。
- [2] 《纺织学报》,1985年,NO. 3, P. 23~25。
- [3] 任焕金等:《整经》,纺织工业出版社,1992年,P. 35~36。
- [4] 朱红等:《纺织材料学》,纺织工业出版社,1987年,P. 177~180。
- [5] 应怀樵:《波形和频谱分析与随机数据处理》,中国铁道出版社,1983年,P. 274~287。