

细纱动态纺纱张力的特性

李德昭 沈蓉芬

(上海市纺织科学研究所)

前 言

由于环锭细纱机的断头大部分出现在前罗拉至导纱钩间的纺纱段，而断头是细纱张力与强力矛盾的表现，因此纺纱段张力的研究一直引起重视，甚至将纺纱张力作为衡量加捻卷绕正常与否的依据。

纺纱张力由气圈张力所决定，而气圈张力与钢领和钢丝圈间的摩擦力、管纱卷绕角等因素有关，这已为大家所熟知。本文主要研究纺纱张力的某些动态特性及导纱钩对它的影响。

利用相关分析仪和频谱分析仪对纺纱张力的规律进行分析研究，通过数据分析提供的信息，再以高速定片及高速连续摄影等方法进行验证，得到动态纺纱张力的某些频率特性和幅值特性，叙述如下。

一、表征动态纺纱张力的统计量

我们常常把物理数据看作静态分量（即不随时间变化的分量）和动态分量（即波动分量）之和，静态分量可用均值来描述，动态分量可用方差来描述，对于时间历程 $x(t)$ ，其均值 μ_x 、方差 σ_x^2 的表示式为：

$$\mu_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (1)$$

$$\sigma_x^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - \mu_x]^2 dt \quad (2)$$

另一非常有用的描述量是均方值 ψ_x^2 ，它是时间历程平方值的简单平均值，其表示式为：

$$\psi_x^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (3)$$

$$\psi_x^2 = \mu_x^2 + \sigma_x^2 \quad (4)$$

由于均方值与信号的能量（或强度）直接有关，并计及时间过程，且综合反映了静态和动态分量，因此认为它是一个重要的描述量。均方值的正平方根值称为均方根值或有效值 $X_{有效}$ ：

$$X_{有效} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (5)$$

由(2)式可知，当平均值 μ_x 为零时， $X_{有效} = \sigma_x$ 。

运用上述统计量，将一次测定的动态纺纱张力数据列于表 1。

从表 1 数值可见，以有效值反映的纺纱张力比分别用平均值或均方差较为合理。

表 1 动态纺纱张力统计量

		平均值 μ_x (克)	均方差 σ_x (克)	变异系数 $C = \frac{\sigma_x}{\mu_x}$ (%)	有效值 ψ_x (克)
空 管	d_0	27.0	10.1	37.4	28.8
	d_m	33.9	8.6	25.5	35.0
大 纱	d_0	23.9	20.9	87.3	31.8
	d_m	17.4	11.7	67.2	21.0

注： d_0 ——钢领板在一次升降中的上部位置；

d_m ——钢领板在一次升降中的下部位置；

习惯上常用四种统计函数来描述随机数据的基本特性。它们是：

(1) 均方值 ψ_x^2 ，如上所述用以描述数据的强度；

(2) 概率密度函数 p_x ，它提供数据在振幅域内的有关特性；

(3) 自相关函数 $R_x(\tau)$ ，它提供在时域内的信息；

(4) 功率谱密度函数 $G_x(f)$ ，它提供在频域内的信息。

动态纺纱张力作为随机数据，也可以上述函数来描述其特性，由相关分析仪及频谱分析仪*得到的有关数据如图1。

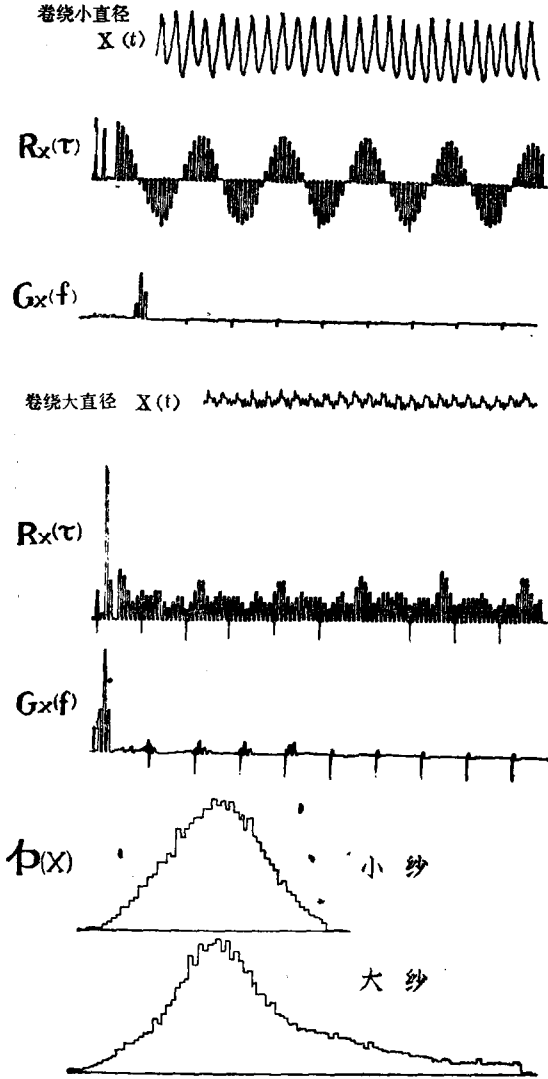


图1. 动态纺纱张力的有关函数图形

二、动态纺纱张力的频率特性

由自相关函数及功率谱密度函数获得动

态纺纱张力的有关信息是：

(1) 纺纱张力主要是周期函数；

(2) 纺纱张力的功率谱是以转速为基频的整倍频谱，有两种现象：

① 钢领板在上部位置即卷绕小直径的部位，仅有一个相当于转速的谱值，此时的张力波形为正弦波；

② 钢领板在下部位置即卷绕大直径的部位，有相当于转速的一倍、二倍、三倍、四倍四个谱值。

进一步分析，得出动态纺纱张力的有关频率特性如下：

一、不取决于钢领、钢丝圈间的摩擦力

为了分析造成张力波频率变化的原因，首先认为振源来自于钢丝圈在钢领上回转时的跳动。因此，将纺纱张力信号与钢领和钢丝圈的摩擦力信号同时录出，如图2所示。

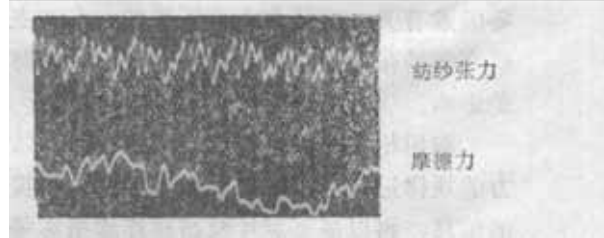


图2 纺纱张力和钢领、钢丝圈的摩擦力

在信号波形中可以看出，钢领与钢丝圈间的摩擦力有波动时，纺纱张力的波形仍按原规律振动。二者的互相关谱仅有转速的频率，而钢丝圈摩擦力频谱中的其他频率并不反映在纺纱张力的功率谱中。因此可认为，纺纱张力的交流分量与钢领、钢丝圈摩擦力的瞬变无关，即钢领、钢丝圈间摩擦力的波动不影响纺纱张力的波动。

纺纱张力的来源是由于纱线在运动过程中做功，所作的功主要是钢领、钢丝圈的摩擦功。但是，气圈张力传递至导纱钩上方的纺纱段部分，有一个大的阻尼件即气圈，因此可以设想，钢领、钢丝圈摩擦力的瞬变，为气圈的弹性及纱线在导纱钩部分的摩擦阻力所

* 参看《数据分析技术在纺织上的应用》，“纺织学报”1980年第6期47页。

吸收，而不传递至纺纱段。

二、与钢丝圈在钢领上回转周期有关

将纺纱张力与钢丝圈回转的信号同时取出，钢丝圈的信号取在钢领正前方的位置(即相当于时钟 6 点时)，其波形如图 3。

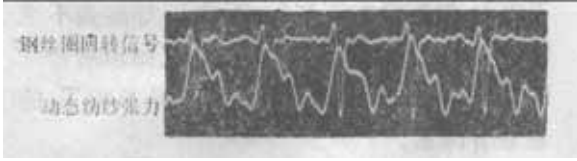


图3 纺纱张力与钢丝圈回转信号

从图 3 可看出，纺纱张力以钢丝圈的回转周期为周期，二者以相同周期而对应变化着。并可看出，当钢丝圈在相当于时钟 6 点位置时(即出现脉冲信号)的纺纱张力幅值最大。

再用高速定片摄影，将钢丝圈在该位置时的纱线与导纱钩的接触情况摄下，发现该时纱线是跳离导纱钩而不接触，如图 4。

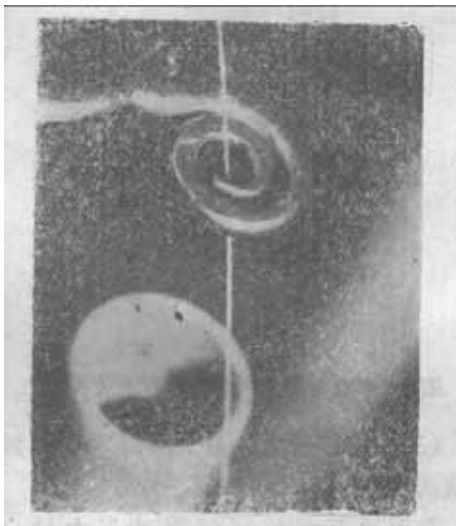


图4 纱线跳离导纱钩

由此可认为，纱线张力依钢丝圈回转周期而波动，主要由于与导纱钩的接触状态的周期变化所致，其所以与钢丝圈摩擦力在转速频率上有互相关系，即因为两者的波动都是由钢丝圈的回转而引起的。

三、导纱钩的因素

纱线与导纱钩除沿输出方向有滑动外，尚有因钢丝圈引导纱线回转使纱线在导纱钩孔内有回转方向的滑动。纱线与导纱钩接触时的受力分析如图 5 所示。

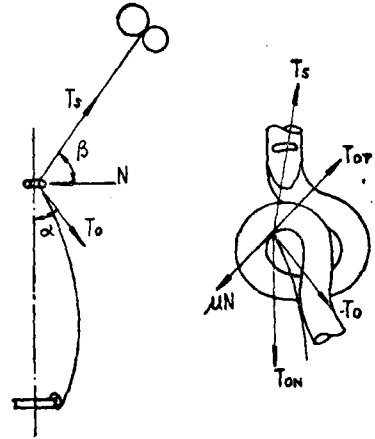


图5 纱线在导纱钩处的受力分析

图中： T_s ——纺纱段张力；
 T_o ——气圈顶端张力；
 T_{oT} ——气圈顶端在导纱钩部位的切向分力；
 T_{oN} ——气圈顶端张力在导纱钩部位的法向分力；
 μN ——导纱钩对纱线滑动的摩擦阻力，其中摩擦系数 μ 由导纱钩与纱线的材料决定，正压力 N 取决于 T_o 及气圈顶角 α 与导纱角 β 。

分析图 5，当钢丝圈在钢领上的位置为后半周时(即顺时针 9 点至 3 点时)，纱线在导纱钩上会有滑动。

(1) 当 $T_{oT} > \mu N$ 时，纱线很快会滑至导纱钩上的一个平衡位置，相当于钢领板位置在小直径时。

(2) 当 $T_{oT} < \mu N$ 时，纱线会因摩擦太大而不会滑动，这个现象出现于纱线嵌入有磨损沟槽的导纱钩。

(3) 当 $T_{oT} \approx \mu N$ 时，纱线在导纱钩上间隙滑动，当钢领板在由卷绕小直径逐步向卷绕大直径方向运动时出现。

由高速连续摄影可看出，纱线在导纱钩上滑动速度是不均匀的，有时快，有时慢，参见图 6。

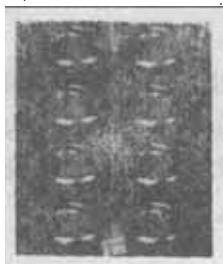


图6 纱线在导纱钩上滑动时的高速摄影照片

从图6左面连续四张照片中纱线的位置说明, 纱线在导纱钩上滑动很快, 而右面四张照片则说明, 纱线在导纱钩上滑动很慢。

用磁带记录器反复重放纺纱张力波形, 发现在卷绕小直径向卷绕大直径过渡时, 张力波形由简单的正弦波逐步向较为复杂的周期波变化, 其功率谱渐次分出不同频率的谱, 可认为这就是纱线在导纱钩上跳动频率的谱。

由于纱线与导纱钩接触状态周期地变化, 所以动态纺纱张力的振幅也因与导纱钩的接触位置的变化而改变, 纱线与导纱钩接触的两个极端位置如图7所示。

三、动态纺纱张力的幅值特性

由于纱线与导纱钩接触状态周期地变化, 所以动态纺纱张力的振幅也因与导纱钩的接触位置的变化而改变, 纱线与导纱钩接触的两个极端位置如图7所示。

由图7可知, 纺纱段张力最低值对应于钢丝圈在12点钟的位置, 纺纱段张力最高值对应于钢丝圈在6点钟的位置, 表示式为:

由图7可知, 纺纱段张力最低值对应于钢丝圈在12点钟的位置, 纺纱段张力最高值对应于钢丝圈在6点钟的位置, 表示式为:

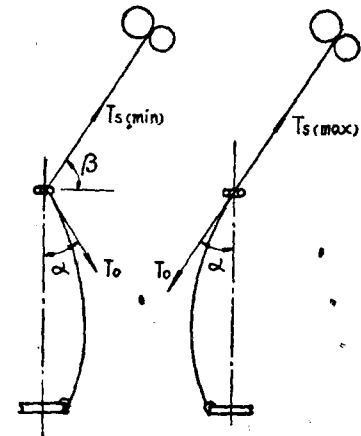


图7 在钢丝圈回转一周中, 纱线与导纱钩接触的两个极端位置, 表示式为:

$$T_{S(\min)} = T_0 e^{-\mu\theta} = T_0 e^{-\mu(90^\circ - \beta + \alpha)}$$

$$T_{S(\max)} = T_0$$

式中: μ ——纱线与导纱钩的摩擦系数;

θ ——纱线对导纱钩的包围角。

因此, 纺纱张力的最简单波形如图8。

(一) 纺纱张力的峰峰值 T_{PP} 随 T_0 而变化

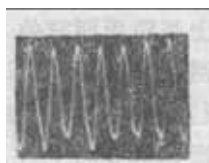


图8 张力最简波形

$$\begin{aligned} T_{PP} &= T_{S(\max)} - T_{S(\min)} \\ &= T_0(1 - e^{-\mu\theta}) \\ &= T_0[1 - e^{-\mu(90^\circ - \beta + \alpha)}] \end{aligned}$$

如导纱钩不变 (μ 不变)、气圈形态不变 (α 不变)、导纱角不变 (β 不变), 则张力的峰峰值随气圈顶端部位的纱线张力 T_0 而变, 而锭速 n 是影响 T_0 的最显著因素。

(二) 纺纱张力峰峰值随气圈顶角 α 而变化

在钢领板单升降的往复间, 由于管纱卷绕直径的变化使气圈顶角 α 变化, 因而 T_0 也变化, 综合反映在管纱卷绕大、小直径时的峰峰值差异很大, 如图9所示, 特别当满纱卷绕小直径时, 气圈几乎近直线, T_{PP} (小直径) 的幅值很大。

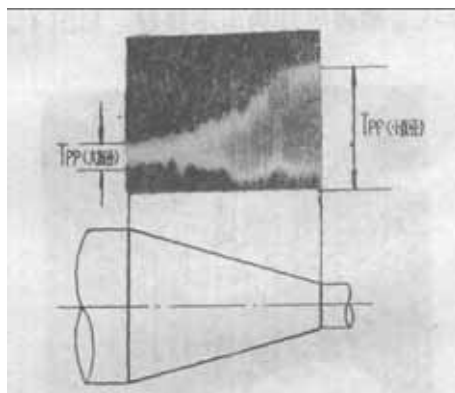


图9 卷绕大小直径时的纺纱张力峰峰值

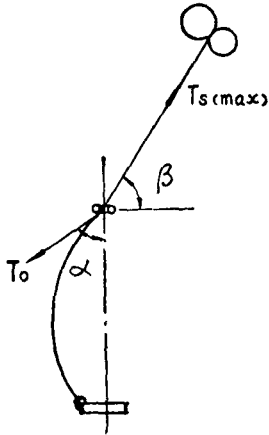
(三) 纺纱张力的最大值随不同导纱钩参数而变化

在钢丝圈回转一周中的张力最大值 $T_{S(\max)}$ 并不一定为 T_0 , 而与导纱钩的参数有关。由于导纱钩的孔径、线径、形状以及安装位置等参数的影响, 在某些条件下, 即使在钢丝圈到达6点钟的位置时, 纱线不能完全与导纱钩脱离, 因此 $T_{S(\max)}$ 不能等于 T_0 。

设导纱钩孔径相对于前罗拉至导纱钩水

平距离很小,因此可认为钢丝圈位置在12点时及6点时的导纱角 β 不变。纱线对导纱钩的包围角 θ 在钢丝卷位置6点时(见图10)为:

$$\theta = 90^\circ - \alpha - \beta$$



(1) 如 $\alpha + \beta < 90^\circ$, 纱线包围导纱钩, 包围角 $\theta = 90^\circ - \alpha - \beta$, 此时

$$T_{S(\max)} = T_0 e^{-\mu(90^\circ - \alpha - \beta)}$$

(2) 如 $\alpha + \beta = 90^\circ$, 此时纱线脱离导纱钩, $T_{S(\max)} = T_0$.

(3) 如 $\alpha + \beta > 90^\circ$, 则纱线反包围导纱钩, 反包围角为 θ' , $\theta' = \alpha + \beta - 90^\circ$, 此时

$$T_{S(\max)} = T_0 e^{-\mu(\alpha + \beta - 90^\circ)}$$

由上分析可知, 如果 β 很小, 则钢丝圈即使到达6点钟位置, 纱线也不可能脱离导纱钩。如果导纱钩孔径较小, 厚度较大, 在导纱角不很大的情况下, 纱线同样不能脱离导纱钩, 纺纱张力的最大值 $T_{S(\max)}$ 也不可能等于 T_0 。所以说, 导纱钩的各参数以及纱线对导纱钩的摩擦系数直接影响着纺纱张力的幅值。

(四) 振幅在谱密度函数中的表现

纱线张力除了最大值 $T_{S(\max)}$ 和最小值 $T_{S(\min)}$ 有上述特性外, 对不同频率域的振幅描述, 可以功率谱密度函数表示, 因为功率谱密度函数 $G_x(f)$ 与振幅具有下列关系式:

$$G_x(f) = |X(f)|^2$$

式中: $|X(f)|$ 是函数 $x(t)$ 傅里叶变换的模, 即将振幅/时间函数变换成振幅/频率函数。因此, 功率谱各谱值表示函数 $x(t)$ 在各个频域范围内振幅的平方值。

用功率谱密度函数也可表示纺纱张力的均值和均方值。即 $x(t)$ 的均值 μ_x 为在 $G_x(f)$ 中零频处 δ 函数曲线下面积的正平方根; $x(t)$ 的均方值 ψ_x^2 等于功率谱密度函数下的总面积。

以纺纱张力的最简形式正弦函数为例:

$$x(t) = X \sin 2\pi f \tau + X_0$$

式中: $X_0 =$ 均值 $\mu_x = \frac{1}{2} [T_{S(\max)} + T_{S(\min)}]$

$$X = \text{振幅} = \frac{1}{2} [T_{S(\max)} - T_{S(\min)}]$$

其自相关函数 $R_x(\tau)$ 为:

$$R_x(\tau) = X^2 \cos 2\pi f \tau / 2$$

式中: τ 为采样时间。

当 $\tau = 0$ 时, $R_x(\tau) = R_x(0)$, 其功率谱密度函数 $G_x(f)$ 为:

$$G_x(f) = X^2 \delta(f - f_1) / 2$$

式中: $\delta(f - f_1)$ 表示 $f = f_1$ 处的 δ 函数, 功率谱在其它频率处为零。

所以, $G_x(f) = R_x(0) = \psi_x^2 = X^2 / 2$

(五) 纺纱张力振幅在测试中的误差

如不考虑传感器、放大器的失真, 则可认为实测纺纱张力 $x(t)$ 的波形是真实的, 误差主要产生于测试时的标定。因一般使用的标定方法为静态标定, 与实际情况有下列差异:

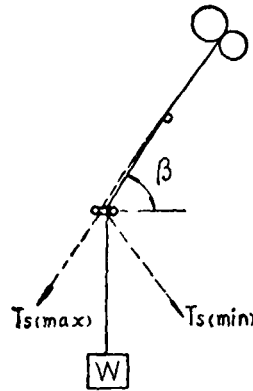


图11 纺纱张力标定误差

1. 以纱线对导纱钩及传感器的静摩擦代替了动摩擦。

2. 以纱线对导纱钩的包围角 $90^\circ - \beta$ 替代了 $T_{S(\min)}$ 的 $(90^\circ - \beta + \alpha)$ 以及 $T_{S(\max)}$ 的 0 , 如图11。

上述差异使纺纱张力对应于标定量的测试值与实际数值有一定误差。

四、结 语

本文主要研究动态纺纱张力的交流分量。

1. 动态纺纱张力的一个非常有用的描述量为有效值 $X_{有效}$ ，它包含了静态分量及动态分量。

2. 由一系列的试验说明，动态纺纱张力为一个以钢丝圈在钢领上回转周期为周期的周期函数，其最简单形式为正弦波，出现在钢领板位置为卷绕小直径部位；复杂的形式为有钢丝圈回转频率的一倍、二倍、三倍、四倍四个谱值。

3. 动态纺纱张力的交流分量与钢领、钢丝圈摩擦力的瞬变无关，主要与纱线和导纱钩接触位置的变动有关。

4. 动态纺纱张力在各频域的振幅可由纺纱张力的功率谱函数图获得，张力波振幅的最大值为 T_0 ，此时纱线跳离导纱钩，最小值为 $T_0 e^{-\mu(\alpha+90^\circ-\beta)}$ 。导纱钩的参数对振幅最大值影响很大。

5. 由于动态纺纱张力与导纱钩关系比较密切，因此在进一步研究细纱断头机理时，必须重视对导纱钩及其工艺特性的研究。

(完)

Some Dynamical Characteristics of Yarn Tension During Ring Spinning

(Abstract)

In this paper, the dynamical characteristics of yarn tension during ring spinning were investigated by means of the data analyser. Based on the data obtained, the characteristics of frequency and amplitude of dynamical yarn tension were derived through the high speed photography and other techniques.

The paper proposes to use the effective value of yarn tension as its physical measurement. It

includes the static component of its average value, and the dynamical component of its variances.

Experiments show that dynamical yarn tension is a function of traveller revolution period. The simplest form of the function is a sine curve, which takes place at the nose of cop build during each ringrail movement. The complicated forms consist of four spectral values, i. e. fundamental, twice, triple, quadruple frequency traveller revolution. The dynamical component of yarn tension has no connection with the instantaneous changes of the friction between ring and traveller, but does depend on the change of contact between the yarn and thread guide.

The amplitude of different spectral band of yarn tension can be obtained from the power spectrum. The maximum tension during each traveller revolution is T_0 , which is the tension at the top of ballon, and at this instant, yarn slips off the thread guide as Fig. 4 shows.

Finally, the paper points out that yarn tension has a close relation with the conditions of the thread guide.

Li Dezhaoh, Shen Rongfen

欢迎订阅

上海科技报

《上海科技报》是广大科技工作者自己的报纸，是关心科学技术的广大干部、群众和科技爱好者喜爱的读物。1982年将进一步提高质量，充实内容，更好地为建设社会主义物质文明和精神文明贡献力量。

根据科学技术与经济、社会发展相结合的方针，《上海科技报》经常报道科技新闻，发表文章建议，结合上海科技战线的实际情况，宣传党的路线、方针、政策；发扬新人新事新思想；反映广大科技人员和干部群众的意见要求、呼声、建议；交流学术动态，推动学术争鸣；提供国内外科技信息；介绍科技工作和技术改造的经验；推广新技术、新工艺、新材料、新产品，开展技术交流和咨询服务。同时，经常深入浅出地介绍现代科学技术的新进展、新成果、新动向，针对科研、生产、学习、生活中普遍关心的问题普及科技知识。

欢迎向附近邮局订阅（代号3—29），报费每月0.13元，全年1.56元（增版订户不增收报费）。