

• 技术专论

环锭纺纱气圈顶端张力 T_o 的分析

周炳荣

(东华大学, 上海 201620)

摘要:为了弄明白环锭细纱机纺纱张力 T_o 与有关因素的关系,从三维的气圈方程求得,仅计离心力时气圈纱曲线近似是平面上正弦曲线,定义域为 $[0, \pi]$;再从三维的气圈张力参数 p 计算式求得二维的气圈张力参数 p_z 和 p_p ,确定气圈纱曲线形状和张力,纱张力 $T_o = m\omega^2 p_p^2$ 。在一落纱期间,纱张力 T_o 主要随气圈高度 h 和卷绕直径 d_w 变化。实例计算结果表明,筒管底部直径放大使做管底时纱张力 T_o 降低;做管身时纱张力 T_o 逐渐增大,做管顶时纱张力 T_o 迅速增至最大。恒张力纺纱中张力 T_o 不变,它要求锭速 ω 做调节变化,锭速 ω 随着气圈高度 h 变化作调节称为基本调节,其规律是 $h\omega$ 为常数;随卷绕直径 d_w 变化作调节称为逐层调节,其规律是 $\frac{\omega}{\sqrt{d_w}}$ 为常数,最后按实例草拟锭速变化曲线图。

关键词:环锭纺;锭速变化规律;纱张力;控制;气圈

中图分类号:TS103.11⁺⁵

文献标志码:A

文章编号:1001-9634(2015)03-0001-07

Analysis of Yarn Tension T_o on the Balloon Top in the Ring Spinning Process

ZHOU Bingrong

(Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: To make clear the relationship between the balloon tension T_o and the involved factors, this paper shows that the yarn-curve for balloon is nearly a sinus in definition domain $[0, \pi]$, on analyzing the 3D equation for balloon by only considering the centrifugal force, and finds the tension parameter p_z and p_p of 2D balloon deduced from the formula of tension parameter p . So the yarn-curve shape and balloon tension can be determined, consequently with the yarn tension $T_o = m\omega^2 p_p^2$. The yarn tension T_o follows changes of balloon height h and winding diameter d_w during spinning in one lift. An example with calculating shows that as the bobbin base diameter amplifies, the yarn tension T_o of the bobbin drops in bottom, grows steadily in middle, and rises rapidly in top. In the spinning with constant tension, the tension T_o keeps constant, which yet allows spindle speed ω variation; variation along with balloon height h called basic control, i. e. $h\omega$ is const. Variation along with winding diameter d_w called layer-by-layer control, i. e. $\frac{\omega}{\sqrt{d_w}}$ is const. In the end of the paper, a sketch of spindle speed variation is schemed as an example.

Key Words: ring-spinning process; the law of spindle speed variation; yarn tension; control; balloon

0 引言

在环锭细纱机上气圈顶点 o 的纱张力是 T_o , 假定纱和导纱钩之间摩擦很小, 则在导纱钩上方纱张

力近似是 T_0 。纱张力 T_0 因气圈纱高速回转的离心力和筒管卷绕的纱张力共同作用而产生,随气圈高度 h 和卷绕直径 d_w 大小而变化;由于其大小及变化影响到成纱质量、卷绕紧密、气圈回转稳定、纺纱断头率、机器生产率、锭子功率消耗等,因而应设法调节和控制它,使纺纱工艺在最有利情况下进行。

纱张力 T_0 大小及变化只能从气圈理论的分析获得。气圈理论主要是研究气圈纱曲线形状与张力,这两者是相互关联的;准确地说,气圈纱曲线是瞬时纱张力与外力平衡作用的标志。作用在纺纱气圈纱曲线任意质点上外力有离心力、空气阻力、科氏力、纱自重;其中以离心力最大,纱自重最小。为简便计,在计算纱张力 T_0 时只考虑离心力作用。过去多位学者论证得出,仅计离心力作用时气圈纱曲线近似于正弦曲线,迄今这仍然是共识。然而纱张力计算就不同了,它须“取钢丝圈为脱离体”做分析得到,这就与钢丝圈—钢领接触型式有关。早在 1950 年, P. F. 格罗申, A. П. 拉科夫等认为钢丝圈—钢领为两点接触,得出纱张力 T_x 计算式,如本文式 (f1)^[1-2]。现在已认识到钢丝圈—钢领为一点接触,这个公式就不能用了。1996 年,我校陈人哲教授在《纺机设计》中提出纱张力 T_i 计算式^[3]是正确的——笔者再次导出,如本文式 (f2),以期广泛应用。

笔者经研究认为, C. 马克在 1956 年给出的气圈方程^[4]——如本文式 (1a) 所示是正确和全面的,它计及了离心力、空气阻力、科氏力、纱自重等作用,可用电脑计算和绘出三维的气圈纱曲线形状。为计算纱张力 T , 笔者补充了气圈张力参数 p 计算式^[5], 它适用于钢丝圈—钢领为一点接触情况;纱张力 $T_0 = m\omega^2 p^2$, 是空间力。然而,从这个气圈方程也能导出仅计离心力作用时气圈纱曲线近似为正弦曲线,如本文式 (3), 其形状由张力参数 p_z (cm) 确定;纱张力 $T_0 = m\omega^2 p_p^2$, 在平面 xoz 内, 如图 1 所示。

1 气圈纱曲线方程式

计及纱自重 mg , 科氏力 $2m\omega v$, 空气阻力 $\frac{1}{2}C_1\rho du^2$, 及离心力 $m\omega^2 r$ 作用, 气圈纱曲线方程式如下:

$$\begin{aligned} \frac{d}{ds}(T \frac{dx}{ds}) + m\omega^2 x + 2m\omega v \frac{dy}{ds} + \frac{1}{2}C_1\rho dl_1 u^2 &= 0, \\ \frac{d}{ds}(T \frac{dy}{ds}) + m\omega^2 y + 2m\omega v \frac{dx}{ds} + \frac{1}{2}C_1\rho dm_1 u^2 &= 0, \\ \frac{d}{ds}(T \frac{dz}{ds}) + mg + \frac{1}{2}C_1\rho dn_1 u^2 &= 0 \end{aligned} \quad (1a)$$

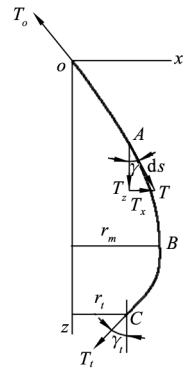


图 1 气圈纱曲线为正弦曲线

式 (1a) 含有 x, y, z 三个变量, 表明气圈纱曲线是一支空间曲线(称为三维)。仅计离心力作用, 则气圈纱曲线在平面 xoz 内是一条平面曲线(称为二维), 导出如下: 在式 (1a) 中令 $y=0$ 和略去项 $m\omega v$ 、 $\frac{1}{2}C_1\rho du^2$ 及 mg , 这时气圈方程式如式 (1)。

$$\begin{aligned} \frac{d}{ds}(T \frac{dx}{ds}) + m\omega^2 x &= 0, \\ \frac{d}{ds}(T \frac{dz}{ds}) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

解式 (1) 的第二分式得 $T_z = T \frac{dz}{ds}$ 为定值; 意即纱张力 T 的 z 向分量 T_z 不因弧长 s 变化而变化, 即气圈纱曲线上每点的纱张力 T_z 值恒定。

由图 1 可知, 纱张力 T 由分量 T_x 与 T_z 合成, 则有关系 $T^2 = T_x^2 + T_z^2$, 及 $\sin\gamma = T_x/T$; 式中: γ 为纱曲线切线对于轴 z 的斜角, 故得:

$$dT = \frac{T_x}{T} dT_x = -m\omega^2 x \sin\gamma ds = -m\omega^2 x dx$$

上式积分后得:

$$T = T_0 - \frac{m\omega^2}{2} r^2 \quad (2)$$

式中:

T ——纱曲线上任意点的纱张力;

T_0 ——在导纱钩处气圈顶端纱张力;

r ——纱曲线上任意点的转动半径;

m ——纱的线密度;

ω ——气圈纱曲线绕轴 z 回转的角速度(≡锭速)。

因此, 在钢丝圈接触处气圈底端纱张力 T_i 按式 (2a) 确定。

$$T_i = T_0 - \frac{m\omega^2}{2} r_i^2 \quad (2a)$$

式中:

r_i ——在钢丝圈上纱接触点的回转半径。

力 T_0 和 T_i 都在平面 xoz 内, 且 $T_0 > T_i$ 。接着

解式(1)的第一分式,近似取纱微段质量 $m ds \cong mdz$, 则得:

$$dT_x = -m\omega^2 x ds \cong -m\omega^2 x dz$$

又由图 1 得: $\tan\gamma = \frac{T_x}{T} = \frac{dx}{dz} = \dot{x}$;

故又得: $dT_x = T_z \ddot{x} dz$ 。将这两个表示式联立, 得到下式:

$$\ddot{x} = \frac{-m\omega^2}{T_z} x = \frac{-1}{p_z^2} x$$

其解是

$$x = r_m \sin \frac{z}{p_z} \quad (3)$$

式中:

r_m ——任意常数, 及

$$p_z = \sqrt{\frac{T_z}{m\omega^2}} \quad (3a)$$

当气圈高度为 h 时, 即 $z = h$, $x = r_r$ (钢领半径), 则得:

$$r_m = \frac{r_r}{\sin \frac{h}{p_z}} \quad (3b)$$

式(3)表明, 在纱质点的离心力作用下气圈纱曲线近似是一支正弦曲线, 位于平面 xoz 内, 最大半径是 r_m , 其定义域为 $[0, \pi]$; 纱曲线斜率的通式为:

$$\tan\gamma = \dot{x} = \frac{r_m}{p_z} \cos \frac{z}{p_z} \quad (4)$$

令 $z=0$, 代入则得气圈纱曲线顶角 γ_o ; 又令 $z=h$, 代入则得气圈纱曲线底角 γ_t ; 故得:

$$\tan\gamma_o = \frac{r_m}{p_z} = \frac{r_r}{p_z \sin(h/p_z)} = \frac{r_r}{p_z} \csc \frac{h}{p_z} \quad (4a)$$

$$\tan\gamma_t = \frac{r_r \cosh/h/p_z}{p_z \sinh/h/p_z} = \frac{r_r}{p_z} \cot \frac{h}{p_z} \quad (4b)$$

纱张力沿着纱曲线的切向, 力 T_z 是它在轴 z 方向上分量, 故有 $T_z = T_o \cos\gamma_o$ 为定值; 此式两端同除以 $m\omega^2$ 得:

$$p_z^2 = p_p^2 \cos\gamma_o \text{ 或 } p_z = p_p \sqrt{\cos\gamma_o} \quad (5)$$

式中:

$$p_p = \sqrt{\frac{T_o}{m\omega^2}} \quad (5a)$$

及

$$p_z = \sqrt{\frac{T_z}{m\omega^2}} \quad (5b)$$

称 p_p 为气圈纱曲线(二维的)张力参数; p_z 为 z 向张力参数。

2 气圈纱张力 T

如上所述, 必先给出张力参数 p_z 值才能用式

(3) 确定纱曲线的形状; 然而张力参数 p_z 值的确定又与气圈纱曲线形状(角 γ_o, γ_t) 有关。那怎么解出张力参数 p_z 呢?

取钢丝圈为脱离体进行力学分析, 对于三维的气圈纱曲线, 导出气圈张力参数 p 计算式, 见参考文献[5]式(2-7)。现在用于二维的气圈纱曲线, 可令该式中 $Y_t = 0$; 又根据纱曲线形状, 该式中 $X_t = -\sin\gamma_t$, $Z_t = \cos\gamma_t$; 最后得到二维的气圈纱曲线的张力参数 p_p 计算式如下:

$$p_p^2 = \frac{M/m \times r_M}{\sqrt{(\exp(\mu_1 \varphi) \sin\beta/\mu)^2 - \cos^2 \gamma_t + \exp(\mu_1 \varphi) \cos\beta - \sin\gamma_t}} + 0.5r_t^2 = p_z^2 / \cos\gamma_o \quad (6)$$

式中:

$$\cos\varphi = \sin\gamma_t \cos\beta, \sin\beta = r_w / r_r \quad (6a)$$

M ——钢丝圈质量;

r_M ——钢丝圈质心的转动半径;

μ ——钢丝圈与钢领的摩擦因数;

μ_1 ——纱与钢丝圈接触表面的摩擦因数;

φ ——纱在钢丝圈截面上接触包围角;

β ——纱卷绕角;

r_w ——纱管卷绕半径($=0.5d_w$); 角 γ_t, γ_o 的计算按式(4a)、(4b), 它们与 h, p_z 有关。

将 μ, μ_1, φ, r_M 及 r_t 视作常数, 式(6)可演算成 $F(p_z, r_w, h) = 0$ 类型的式子, 意即张力参数 p_z 由 h, d_w 确定。就某气圈来说, 其气圈高度 h 及卷绕直径 d_w 值为已知, 使用电算二分法, 从式(6)可解出这气圈的张力参数 p_z 及 p_p , 相应的纱张力 $T_o = m\omega^2 p_p^2$ 。

3 计算实例

例 1: 国产某型细纱机, 纺 T/R 65/35 纱, $T_t = 18.5 \text{ tex}$, 锭速 14 kr/min , 钢丝圈 6802-5/0, 钢领 PG1-4554, 筒管直径 18 mm (有锥度), 满管直径 42 mm , 钢领板短动程 53.23 mm , 钢领板升降为 180 mm 。

计算参数: $\mu = 0.22, \mu_1 = 0.37, M = 0.042 \text{ g}$, $r_M = 2.465 \text{ cm}, m = 0.000185 \text{ g/cm}, r_r = 2.25 \text{ cm}, \omega = 1466.075 \text{ rad/s}, r_f = 4.2 \text{ cm}$, 筒管半径 r_o 与筒管自身锥度有关, 可按其零件图算出, 取 $r_t = 2.3 \text{ cm}$ 。

图 2 是本例细纱机气圈高度变化规律图, 可获得一落纱期间任意时刻 t 气圈高度 h 和卷绕直径 d_w 值, 用式(6)算得 p_z, p_p 及 T_o 。表中字符脚标为“ f ”者, 属于在钢领板短动程下端的参数, 而字符脚标为“ o ”者, 属于在钢领板短动程上端的参

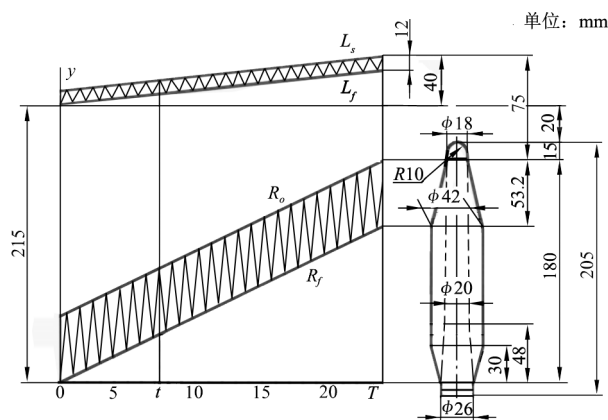
数。例： d_f 和 d_o 表示满管直径和空管直径； T_{of} 表示在钢领板短动程下端的纱张力， T_{oo} 表示在钢领板短动程上端的纱张力。表 1 中位置 0~6 是纱管的管底期，7~24 是管身期，25~34 是管顶期。

按表 1 所载的数据制成纱张力 T_o-t/T 曲线图，如图 3 所示。由图 3 可知：① 在同一个 t/T 位置上曲线 T_{oo} 在上而 T_{of} 在下，说明一落纱期间钢领板在短动程顶端时纱张力 T_{oo} 大于在短动程底端纱张力 T_{of} ；也说明卷绕直径小，气圈高度小的情况气圈纱张力 T_o 大；② 一落纱期间纱张力 T_{oo} 的变化呈上升（而不是下降）趋势，大纱时达到最大；③ 一落

表 1 纱张力 T_{of} 及 T_{oo}

d_f	h_f	p_{zf}		T_{of}/cN	位置	d_o	h_o	p_{zo}		T_{oo}/cN
		cm	cm					cm	cm	
2.60	21.50	8.835 9	9.156 5	33.339	0	1.992	17.38	10.481 0	10.600 6	44.685
2.88	21.09	8.295 9	8.738 3	30.364	1	1.984	16.96	10.524 1	10.642 6	45.039
3.16	20.68	/	/	/	2	1.976	16.56	10.566 5	10.684 3	45.393
3.50	20.27	7.828 0	8.358 1	27.779	3	1.968	16.15	10.608 3	10.725 9	45.748
3.73	19.85	/	/	/	4	1.960	15.73	10.649 6	10.767 5	46.103
4.01	19.44	7.485 0	8.048 9	25.761	5	1.952	15.32	10.690 7	10.809 4	46.462
4.20	19.03	7.714 9	8.104 5	26.119	6	1.944	14.91	10.731 5	10.851 4	46.824
4.20	18.62	7.846 7	8.161 0	26.484	7	1.936	14.49	10.772 3	10.893 9	47.191
4.20	18.21	7.929 7	8.200 5	26.741	8	1.928	14.09	10.813 1	10.936 8	47.564
4.20	17.80	7.991 1	8.232 2	26.948	9	1.920	13.67	10.854 0	10.980 4	47.944
4.20	17.38	8.040 4	8.259 3	27.126	10	1.912	13.26	10.895 2	11.024 8	48.333
4.20	16.97	8.080 7	8.283 2	27.283	11	1.904	12.85	10.936 6	11.070 1	48.730
4.20	16.56	8.115 4	8.304 8	27.426	12	1.896	12.44	10.978 4	11.116 3	49.138
4.20	16.15	8.145 7	8.324 7	27.557	13	1.888	12.02	11.020 7	11.158 8	49.515
4.20	15.74	8.172 7	8.343 4	27.681	14	1.880	11.62	11.063 6	11.212 6	49.993
4.20	15.33	8.196 9	8.361 0	27.798	15	1.872	11.21	11.107 2	11.263 0	50.444
4.20	14.91	8.218 9	8.377 7	27.910	16	1.864	10.79	11.151 6	11.315 2	50.913
4.20	14.50	8.239 0	8.393 8	28.017	17	1.856	10.38	11.196 8	11.369 4	51.401
4.20	14.09	8.257 7	8.409 6	28.122	18	1.848	9.97	11.243 0	11.425 9	51.913
4.20	13.68	8.275 0	8.424 9	28.224	19	1.840	9.56	11.290 3	11.458 0	52.452
4.20	13.27	8.291 2	8.439 8	28.325	20	1.832	9.15	11.338 8	11.547 1	53.021
4.20	12.86	8.306 2	8.439 9	28.325	21	1.824	8.74	11.388 6	11.612 7	53.624
4.20	12.44	8.320 8	8.469 7	28.526	22	1.816	8.32	11.439 9	11.682 2	54.269
4.20	12.03	8.334 4	8.484 5	28.626	23	1.808	7.91	11.492 6	11.756 2	54.959
4.20	11.62	8.347 2	8.499 5	28.727	24	1.800	7.50	11.547 0	11.835 6	55.703
3.59	11.40	8.759 2	8.910 7	31.574	25	/	/	/	/	/
2.99	10.10	9.411 9	9.581 4	36.506	26	/	/	/	/	/
2.39	8.80	10.296 4	10.506 0	43.890	27	/	/	/	/	/
1.80	7.50	11.547 0	11.836 0	55.703	28	/	/	/	/	/

纱期间纱张力 T_{of} 的变化在始纺时迅速下降，位置 5 附近达到最小，此后呈上升趋势，在大纱时迅速增长达到最大；④ 因所使用的筒管在形状上有了改进，下部做成有一定锥度的锥台，使始纺时卷绕直径 d_w 较大，故小纱期间纱张力 T_{oo} 、 T_{of} 降低。

图 2 某细纱机气圈高度 h 的变化规律

4 转数可变的锭子

在环锭细纱机上应用转数可变的锭子主要是希望降低过高的纱张力而把较低的纱张力提升到平均值；使导纱钩至前罗拉钳口之间的纱线保持一个均

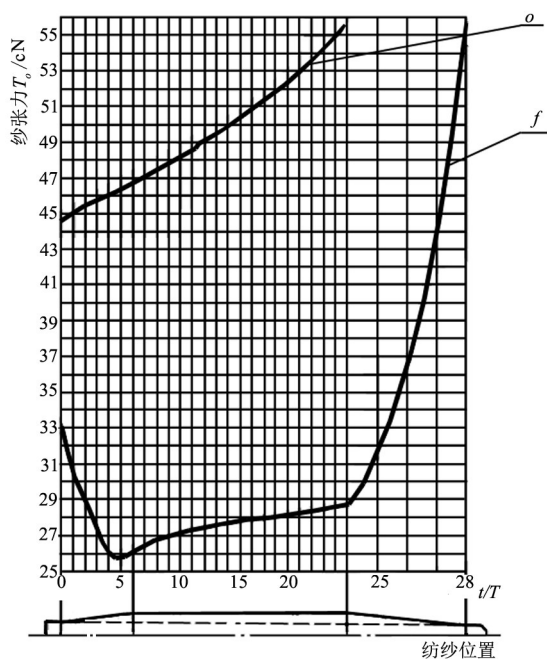


图 3 一落纱期间纱张力 T_o 的变化

匀稳定的张力,以期提高成纱质量,降低纺纱断头和提高机器生产率,这里最主要的要求是纱张力 T_o 为定值。

分析式(2a), $T_o = T_i + \frac{m\omega^2}{2}r_i^2$, 式中, T_i 为气圈底端纱张力,随卷绕直径 d_w 大小而变化;项 $\frac{m\omega^2}{2}r_i^2$ 近似于气圈纱的离心力,随气圈高度 h 大小而变化。于是,为保持纱张力 T_o 为定值,锭速 ω 变化规律须由下列两项构成:① 锭速 ω 随着气圈高度 h 连续地减少应采取的变化规律,称为锭速基本调节;② 锭速 ω 随着卷绕直径 d_w 变化——在区间 $d_o \sim d_f$ 应采取的变化规律,称为锭速逐层调节。

4.1 锭速基本调节规律

如上所述,仅计离心力作用时气圈纱曲线近似是一条正弦曲线,定义域为 $[0, \pi]$, 从式(3b)得 $\frac{r_r}{r_m} = \sin \frac{h}{p_z}$, 此式两端取函数 arcsin 得到下列两式:

$$\frac{h}{p_z} = \arcsin \frac{r_r}{r_m}$$

$$\frac{h}{p_z} = \pi - \arcsin \frac{r_r}{r_m}$$

第二分式仅适用于 $h \geq \frac{\pi}{2}p_z$ 的情况——气圈纱曲线的最大半径能看见,由此式得:

$$\frac{h}{p_z} = \frac{\pi}{2} \quad (7)$$

于是 $\frac{h}{p_p} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\cos \gamma_o}$, 或

$$h = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{T_o \cos \gamma_o}{m\omega^2}} \quad (7a)$$

按表 1 结果, $\cos \gamma_o$ 值为 0.93 ~ 0.98, 今取 $\cos \gamma_o = 0.95$, 则得:

$$h \approx 1.535 p_p = 1.535 \sqrt{\frac{T_o}{m\omega^2}}, \text{ 或}$$

$$h\omega \approx 1.535 \sqrt{\frac{T_o}{m}} \quad (8)$$

式(8)展示了参数 h, ω, T_o, m 之间的关系。对于锭速 ω 不变的细纱机,始纺时气圈高度为最大值 h_m , 则乘积 $h_m\omega$ 也最大;若采用式(8)确定所纺纱号 m 的纱张力 T_o 值也是最大,再大的纺纱张力是做不到的;所以乘积 $h_m\omega$ 标志着这台细纱机的纺纱能力,这参数也正是纺纱工艺和纺机设计者感兴趣的。

若要求一落纱期间纱张力 T_o 为定值,则锭速 ω 须与气圈高度 h 成反比例变化,即:

$$h\omega = \text{定值} \quad (8a)$$

4.2 锭速逐层调节规律

纺纱过程中钢丝圈与钢领接触摩擦力 F 产生筒管卷绕纱张力 T_w , 这两个力对转轴的力矩互为平衡, 则得: $T_w \frac{d_w}{2} = Fr_r = \mu Mr_M \omega^2 r_r$ 。

又气圈底端纱张力 $T_i = T_w / \exp(\mu_1 \varphi) = 2\mu Mr_M \omega^2 r_r / d_w \exp(\mu_1 \varphi) = k_i / d_w$ (因此,常数 k_i 内含因数 ω^2), 将它代入式(2a)则得下式:

$$T_o = \frac{k_i}{d_w} + \frac{1}{2} m \omega^2 r_i^2$$

从此式可看出,在要求纱张力 T_o 为定值下 ω 与 d_w 须成相同的变化,即 d_w 小, ω 小;或 d_w 大, ω 大。这个等式的各项都除以 $m\omega^2$, 并将项 $\frac{1}{2}r_i^2$ 弃之, 则得下式:

$$\frac{T_o}{m\omega^2} \approx \frac{k_p}{d_w}$$

于是在纱张力 T_o 为定值条件下,锭速 ω 须与 $\sqrt{d_w}$ 成正比例,如下式示:

$$\frac{\omega}{\sqrt{d_w}} = k \quad (9)$$

上列式中 k_i, k_p, k 均为常数。

例 2: 承上例,今取纱张力 $T_o = 33.34$ cN, 这是位置 o 时 T_{of} 值, 此时 $h = 21.5$ cm, $d_w = 2.6$ cm, 按式(8)算得 $\omega_h = 0.9585 \times 10^3$ rad/s。此后气圈高度 h 减小,按式(8a)计算得到 ω_h 值,见表 2。在位

置 20 以后气圈最大半径不能看到,式(8a)失效,不适用。

表 2 锭速 ω_h 、 ω_o 及 ω_f

h/cm	$\omega_h \times 10^3 / (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$	位置	d_o/cm	$\omega_o \times 10^3 / (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$	d_f/cm	$\omega_f \times 10^3 / (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$
21.50	0.958 5	0	2.600	0.958 5	2.60	0.958 5
21.09	0.977 1	1	2.534	0.964 6	2.88	1.028 4
20.68	0.996 5	2	2.468	0.970 9	3.16	1.098 6
20.27	1.016 6	3	2.402	0.977 1	3.45	1.171 0
19.85	1.038 1	4	2.336	0.984 0	3.73	1.243 4
19.44	1.060 0	5	2.270	0.990 4	4.01	1.316 4
19.03	1.082 9	6	2.204	0.997 0	4.20	1.376 3
18.63	1.106 1	7	2.138	1.003 0	4.20	1.405 8
18.21	1.131 6	8	2.072	1.010 2	4.20	1.438 2
17.80	1.157 7	9	2.006	1.016 9	4.20	1.471 4
17.38	1.185 7	10	1.992	1.037 8	4.20	1.507 0
16.97	1.214 3	11	1.984	1.060 7	4.20	1.543 3
16.56	1.244 4	12	1.977	1.085 1	4.20	1.581 6
16.15	1.276 0	13	1.967	1.109 9	4.20	1.621 8
15.74	1.309 2	14	1.961	1.137 0	4.20	1.664 0
15.33	1.344 2	15	1.953	1.165 0	4.20	1.708 4
14.91	1.382 1	16	1.945	1.195 4	4.20	1.756 6
14.50	1.421 2	17	1.937	1.226 7	4.20	1.806 3
14.09	1.462 5	18	1.929	1.259 7	4.20	1.858 8
13.68	1.506 4	19	1.922	1.295 2	4.20	1.914 6
13.27	1.552 9	20	1.914	1.332 4	4.20	1.973 7

表 2 中 ω_h 可看成是纱卷绕在直径 $d_w = 2.6 \text{ cm}$ 的锭速,那么在卷绕直径 d_w 为其它值时,按式 $\omega = \frac{\omega_h}{\sqrt{2.6}} \sqrt{d_w}$ 计算,所得锭速值如 ω_o 、 ω_f 也列在表 2 中。

根据表 2 的数据绘出图 4。图中曲线 $oabcd$ 为

基本调速曲线(图中线段 bcd 系自行拟订),然后在位置 0~20 各根纵线上划定逐层调速区间,最后勾划出上、下两根虚线,形成调速区间的界线,这样就制成锭速变化曲线图。它所表达的是在维持纱张力 $T_o = 33.34 \text{ cN}$ 情况下锭速 ω 变化规律。

本例原定锭速 $\omega_s = 1466.075 \text{ rad/s}$ 恒定,现改为锭速可变的,以完成纺纱张力 $T_o = 33.34 \text{ cN}$ 为定值的要求,从图 4 的结果来看,在卷绕小直径 d_o 时锭速 ω_o 降低了,并且始终是 $\omega_o < \omega_s$;卷绕大直径 d_f 时锭速 ω_f 提升了,虽然 $\omega_f > \omega_s$ 占有位置一半左右(10~24);但总的来说,细纱机产量较原来下降。

5 结论

5.1 仅计离心力作用时气圈纱曲线近似是正弦曲线,在平面 xoz 上,定义域 $[0, \pi]$,气圈张力参数 p_p 由式(6)确定之,纱张力 $T_o = m\omega^2 p_p^2$ 。

5.2 实例计算的结果表明,由于现用的筒管底部直径放大,做管底时纱张力 T_o 降低了;但在做管身时纱张力 T_o 逐渐增大,以至于做管顶时纱张力 T_o 增至最大。

5.3 在环锭细纱机上应用转数可变的锭子主要要求纱张力 T_o 恒定,降低过高的纺纱张力,把较低的

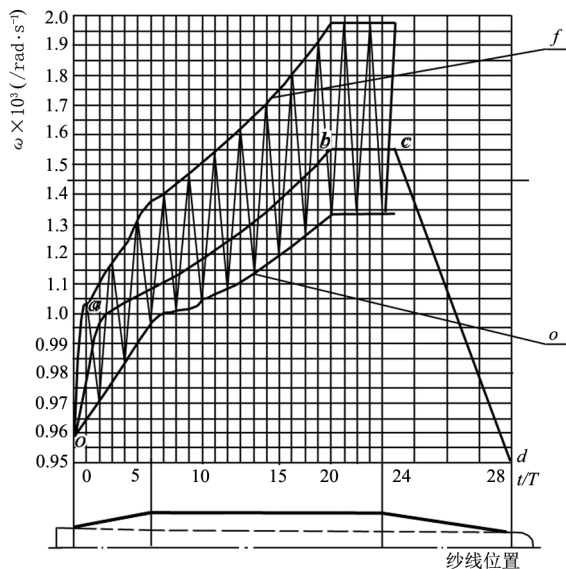


图 4 锭子变速曲线

纺纱张力提升到平均值。这个纱张力 T_0 似以始纺时纱张力 T_{of} 为宜。

5.4 锭速 ω 所采取的变化规律有: ① 基本调节, 锭速 ω 随着气圈高度 h 连续地减小而增大, 两者成反比例变化, 如式(8a)示; ② 逐层调节, 当气圈高度 h 为某值时, 锭速 ω 随着卷绕直径 d_w 增大而增大, 如式(9)示。如要求纱张力 T_0 为定值, 则二者必须兼有, 如图 4 曲线所示。

5.5 过去曾使用锥轮无级变速器完成锭速阶段调节, 现在使用的筒管底部直径放大, 已降低了小纱期间纱张力 T_w 、 T_{of} ; 但是若要降低大纱期间纱张力 T_{of} 、 T_w , 只有选择锭速可变的途径了。

5.6 从锭子变速曲线(图 4)可以看出, 改为锭速可变的细纱机后细纱产量有所降低。

6 附录

6.1 关于文献“balloon control”

文献 balloon control(P. F. Grishin 著)过去曾在国内部分地区受到注意, 今指出它的不足和错误之处, 防止谬以千里。

a) 对空气阻力 dS 处理不当。他认为空气阻力 $dS = K_1 \rho^{m-1} \rho \omega^m ds = a_1 \rho ds$ (ρ 为气圈半径) 是个平面力, 仅对纱微段 ds 回转产生阻力, 所以他导出的气圈纱曲线方程式不全面。C. Mack 认为空气阻力 $F_a = \frac{1}{2} c_1 \rho du^2$ (这里 ρ 为空气密度) 是个空间力, 除了对纱微段 ds 产生回转阻力外, 还对纱线产生垂直向下的作用力。

b) 他取纱微段 $ds \approx dx$, 所以列出的气圈方程式和解不完整($ds = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$)。

c) 他认为“钢丝圈—钢领是离散的多点接触, 这比取钢丝圈—钢领单点接触计算摩擦更为真切”, 故他在文中取钢丝圈—钢领的摩擦力为 $F = fN_x + fN_y$, 得出纱张力 T_x 计算式如下:

$$T_x = \frac{F_c}{v_1 \dot{\phi} + \dot{y}_1 + \frac{1}{f} \dot{z}_1 - 1} \quad (f1)$$

式中:

$$\dot{\phi} = \mu(\cos\gamma + \frac{1}{f} \sin\gamma);$$

$$v_1 = \sqrt{1 + \dot{y}_1^2 + \dot{z}_1^2};$$

$$F_c = 5.6GDn^2.$$

这个说法也出现在前苏联的拉科夫著《精纺工程》里(参见文献[2])。现代钢丝圈与钢领已改进为

一点接触, 式(f1)不适用。

6.2 纱张力 T_i

如上所述, 仅计离心力作用时气圈纱曲线近似是正弦曲线, 它在平面 xoz 内; 纱张力 T 沿着纱曲线切向作用, 则气圈顶端张力 T_0 和气圈底端张力 T_t 都在平面 xoz 内; 但卷绕张力 T_w 在平面 xoy 内, 并有关系 $T_w = T_t \exp(\mu_1 \varphi)$ 。

今取钢丝圈为脱离体, 作用在钢丝圈上力有: ① 钢丝圈离心力 F_M , $F_M = Mr_M \omega^2$; ② 气圈底端纱张力 T_t , 卷绕纱张力 T_w ; ③ 钢领接触面上反作用力 N 及钢丝圈与钢领之间摩擦力 F , $F = \mu N$; 以上诸力互为平衡, 则组成一个空间的封闭的多边形, 如图 5 所示, 于是得出下式:

$$\sum x = 0, \text{ 即 } F_M + T_t \sin\gamma_t - T_w \cos\beta - N_x = 0;$$

$$\sum y = 0, T_w \sin\beta - \mu N = 0;$$

$$\sum z = 0, -T_t \cos\gamma_t + N_z = 0.$$

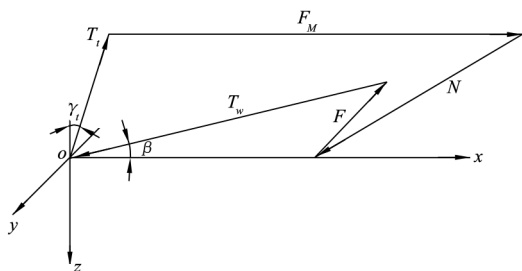


图 5 钢丝圈受力分析

因为 $N_x = \sqrt{N^2 - N_z^2}$, 故得下式:

$$\sqrt{\left(\frac{T_w \sin\beta}{\mu}\right)^2 - (T_t \cos\gamma_t)^2} = F_M + T_t \sin\gamma_t - T_w \cos\beta,$$

将 $F_M = Mr_M \omega^2$ 、 $T_w = T_t \exp(\mu_1 \varphi)$ 代入, 解得:

$$T_t = \frac{Mr_M \omega^2}{\sqrt{(\exp(\mu_1 \varphi) \sin\beta / \mu)^2 - \cos^2 \gamma_t + \exp(\mu_1 \varphi) \cos\beta - \sin\gamma_t}} \quad (f2)$$

联立式(2a)、(f2)及应用式(5a)也能得到式(6)。

参考文献:

- [1] Grishin P. F. Balloon control[J]. Platts-Bulletin, 1954, 8 (6): 8.
- [2] A. П 拉科夫. 精纺工程[M]. 北京: 纺织工业出版社, 1952: 82-83.
- [3] 陈人哲. 纺织机械设计原理: 上[M]. 2 版. 北京: 中国纺织出版社, 1996: 303-304.
- [4] DE BARR A. E. The principles and theory of ring spinning[M]. London: The Textile Institute, 1965.
- [5] 周炳荣. 纺纱气圈理论[M]. 上海: 东华大学出版社, 2010.