

高速卷绕机飞筒现象的分析

蔡玉华

(中国纺织大学)

周皓军

(金山石化总厂涤纶厂)

【摘要】 作者通过分析筒管夹头在卷绕过程中的受力情况,找出№713型卷绕机飞筒现象的原因是由于夹紧力不够而造成的。提出了解决飞筒现象的四种途径:1.增大弹簧的作用;2.提高关键部件的动平衡精度;3.对夹紧件表面粗糙度进行改进;4.适当延长制动时间,减小惯性力矩。

№713型卷绕机的筒管夹头是靠摩擦辊摩擦传动的,其结构见图1,靠压缩弹簧①的弹性恢复力推动斜块②,斜块又推动夹紧块③而夹紧筒管④。

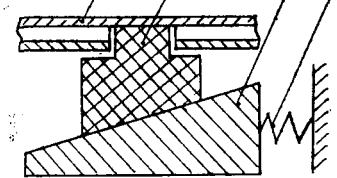


图1 筒管夹头结构示意图

在实际运转中,常发生飞筒现象,影响生产且造成工伤事故。现通过对起动、卷绕和制动三个阶段中筒管受力的分析,找出了解决飞筒的途径,现分述于下。

一、起动阶段

起动阶段增速轮加速后速度为2400m/min的筒管夹头与正常运转的摩擦辊相接触,直至其达到与摩擦辊同步速度3200m/min的水平。

1. 摩擦辊与筒管间接触压力 N_{11} : 筒管夹头(包括筒管)所受的力及力矩见图2。

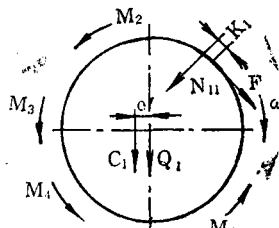


图2 起动时筒管夹头离心平面内受力图

(1) 由摩擦辊与筒管接触点处的摩擦力 F 引起的传动力矩 M ;

$$M = N_{11} \cdot f_1 \cdot r \approx 1.925 \times 10^{-2} \cdot N_{11} \quad (1)$$

式中: f_1 为摩擦辊与筒管的摩擦系数; r 为筒管半径(m),

(2) 惯性力偶矩 M_2 (假设起动时为等加速度)

$$M_2 = J\varepsilon = (1/2)mr^2 \cdot (V_s - V_{s0})/r \cdot t_1 \approx 1.218(N \cdot m) \quad (2)$$

式中: J 为筒管夹头相对于其轴线的惯性矩 (kgm^2); ε 为筒管夹头的角加速度 (rad/s^2); t_1 为起动时间(s); V_s 为卷绕速度(卷绕的表面线速度)(m/s); m 为筒管夹头质量(kg); V_{s0} 为起动时卷绕速度(m/s)。

(3) 空气阻力偶矩 M_3

$$M_3 = 2(r + 4 \times 5H) \cdot \lambda / Re \cdot \rho \cdot V_s^2 = 0.59(N \cdot m) \quad (3)$$

式中: H 为筒子长度(m); Re 为雷诺准数; ρ 为空气重度 (N/m^2); λ 为空气与筒子表面的摩擦系数 ($\text{m} \cdot \text{s}^2$)。

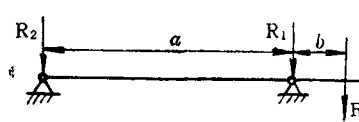


图3 筒管夹头受力图

(4) 筒管夹头轴承处的摩擦阻力矩 M_4 : 筒管夹头受力如图3所示。

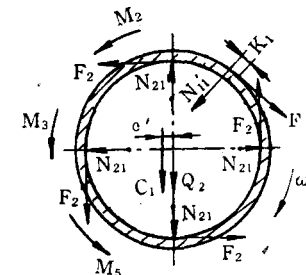


图4 筒管受力图

反力(N),

图中 R 为所有作用力(重力 Q_1 、接触压力 N_{11} 、由偏心量 e' 引起的离心力 C_1 、摩擦力 F)的合力(N); R_1 、 R_2 为两轴承处的

$$M_4 = M_{R1} + M_{R2} = (R_1 + R_2) \cdot A \cdot K \cdot (1 + r_3/r_1) \\ = 1.57 \times 10^{-4} \cdot \sqrt{(0.3625N_{11})^2 + (363.1 + N_{11})^2} \quad (4)$$

式中： M_{R1} 、 M_{R2} 为由 R_1 、 R_2 引起的轴承摩擦阻力矩(N·m)、 A 为轴承系数； r_3 为轴承内环外半径(m)； r_1 为滚珠半径(m)； K 为滚珠与轴承环间的滚动摩擦力系数(m)。

(5) 筒管与摩擦辊接触点处摩擦阻力矩 M_5 ：

$$M_5 = N_{11} \cdot K_1 = 2.5 \times 10^{-3} \cdot N_{11} \quad (5)$$

式中： K_1 为摩擦辊与筒子间的滚动摩擦力系数(m)。

(6) 偏心量 e' 引起的偏心力矩值太小，忽略不计。按力矩平衡方程： $M = M_2 + M_3 + M_4 + M_5$ 得： $N_{11} = 115.10(N)$ ，每个筒管所受接触压力 $N'_{11} = N_{11}/4 = 28.78(N)$ 。

2. 夹紧筒管所需夹紧力 N_{21} (见图 4)

$$(1) M = N'_{11} \cdot f_1 \cdot r = 0.554(N \cdot m) \quad (5)$$

(2) 夹紧块与筒管间摩擦力 F_2 引起的力矩 M'

$$M' = 8 \cdot N_{21} \cdot f_2 \cdot r' = 0.152 \cdot N_{21} \quad (6)$$

式中： f_2 为筒管与夹紧块间滑动摩擦系数； r' 为筒管内径(m)。

$$(3) M_2 = J_e = (1/2)m_2 \cdot (R'^2 + r^2) \\ \times (V_s - V_{s0}) / \left(\frac{R' + r}{2} \right) \cdot t_1 \\ \approx 0.0147(N \cdot m) \quad (7)$$

式中： m_2 为筒管的质量(kg)； R' 为筒管外径(m)。

$$(4) M_3 = 2(r + 5H) \cdot \lambda / Re \cdot \rho \cdot V^2 \\ = 0.1534(N \cdot m) \quad (8)$$

$$(5) M_5 = 2.5 \times 10^{-3} \cdot N'_{11} = 0.072(N \cdot m) \quad (9)$$

按平衡方程： $M = M' + M_2 + M_3 + M_5$ ，得： $N_{21} \approx 2.06(N)$

3. 作用在夹紧元件上所需的弹簧作用力 N_{31} 夹紧元件③及斜块②受力如图 5.6 所示。现假设：夹紧元件③及斜块②质量不计。且合力 P 作用于点 S ，离心力 C 及夹紧力 N_{21} 均通过点 S 。

图 5 中按力矩平衡方程得：

$P =$

$$\frac{(N_{21} - C) \cdot e_1}{e_1 \cos(\alpha + \varphi) + \mu_1(2\mu_1 a - e - e^2) \sin(\alpha + \varphi)}$$

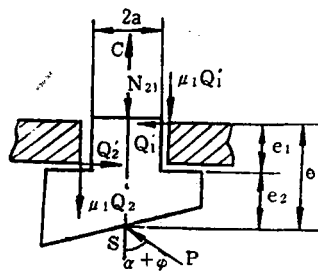


图 5 夹紧元件③受力图

式中： C 为夹紧元件高速运转产生的离心力(N)； μ_1 为塑料与金属间的摩擦系数；

图 6 中令 $\text{tg} \phi = \mu_2$ ， $\text{tg} \gamma = \mu_1$ ，由矢量三角形关系得：

$$N_{31} = \{ \sin(\alpha + \varphi + \gamma) / \cos \gamma \} P'$$

式中： μ_2 为塑料间摩擦系数； P' 为与 P 为对作用与反作用力(N)。

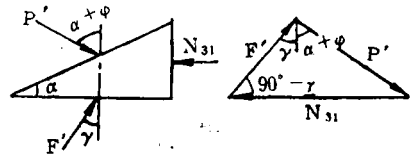


图 6 斜块②受力图

由上述两式得：

$$N_{31} = \frac{\sin(\alpha + \varphi + \gamma)}{\cos \gamma} \\ \times \frac{(N_{21} - C) \cdot e_1}{e_1 \cos(\alpha + \varphi) + \mu_1(2\mu_1 a - e - e_2) \sin(\alpha + \varphi)} \\ r \approx - 82.15(N)$$

式 $N_{21} = N_{31} + C$ 说明起动阶段，夹紧块产生的离心力大于所需夹紧力，此时弹簧不起作用。

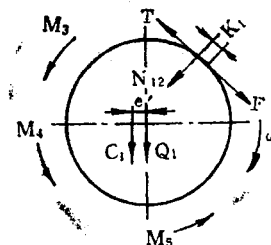


图 7 正常运转时筒管夹头重心平面内受力图

二、正常运转阶段分析

正常运转阶段 即从丝线开始卷绕至满筒的一段时间。由于离心惯性力随卷绕直径的增大而增加，故分刚卷绕时及满卷两种情况分析，

正常运转阶段筒管夹头及筒子受力如图

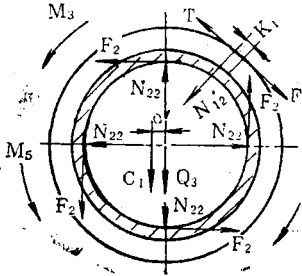


图8 正常运转时筒子受力图

7、8所示,分析方法同前,可得如下结果。

$$\text{式 } N_{22} = N_{32} + C$$

说明正常运转阶段夹紧块产生的离心力远大于筒管所需夹紧力,此时弹簧不起作用。

力的种类	刚卷绕	满卷时
每个筒管所受接触压力 N'_{12} (N)	10.5	3.32
夹紧筒管所需夹紧力 N_{22} (N)	0.08	0.1
夹紧元件所需的弹簧作用力 N_{32} (N)	-159.1	-159.1

三、制动阶段分析

制动阶段指卷装脱离摩擦辊至刹车停止运转的一段时间。

1. 刚脱离摩擦辊时筒子受力如图9所示。分析方法同上,可得:每个筒管所受接触压力 $N'_{13} = 0$; 夹紧筒管所需夹紧力 $N_{23} = 139.44$ (N); 每个弹簧所需产生的夹紧力 $N'_{23} = N_{23} / 2 = 69.72$ (N);

夹紧元件所需的弹簧作用力 $N_{33} \approx -19.77$ (N)。式 $N_{23} = N_{33} + C$ 说明:

刚脱离摩擦辊时,夹紧块产生的离心力大于筒管所需夹

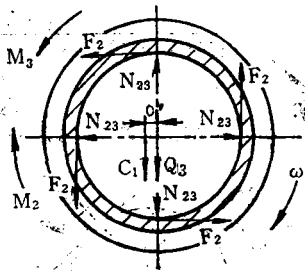


图9 制动时筒子受力图

紧力,此时弹簧不起作用。

2. 随 V_s 降低时筒子受力如图9所示。

① 夹紧筒管所需的夹紧力 N_{23} : $\because M' = 8 \cdot N_{23} \cdot f_2 \cdot r' = M_2 - M_3$, 且 $M_2 \propto V_s$ 、 $M_3 \propto V_s^2$ \therefore 随着 V_s 降低, M' 降低, N_{23} 亦降低。 V_s 与 N_{23} 的关系见图10中的曲线3。

② 作用在夹紧元件上所需弹簧作用力 N_{33} :

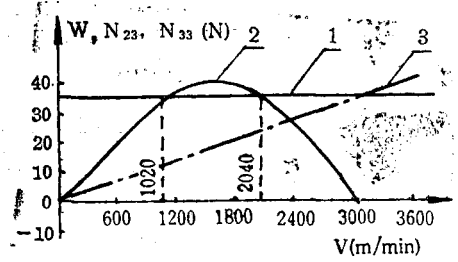


图10 制动阶段 $W-V$ 曲线; $N_{33}-V$ 曲线; $N_{23}/4-V$ 曲线
曲线1: 弹簧实际产生的作用力 W 与速度的关系 $W-V$,
曲线2: 夹紧筒管所需的弹簧作用力与速度的关系 $N_{33}-V$,
曲线3: 夹紧筒管所需的夹紧力与速度的关系 $N_{23}/4-V$

$\therefore N_{33} = N_{23} - C$: 随着 V_s 降低, N_{23} 、 C 均降低, N_{33} 与 V 的关系见图10中的曲线2。

3. 当速度 V 降为 $2000 \text{ m/min} \sim 1000 \text{ m/min}$ 时, No. 713 型筒管夹头弹簧产生的作用力小于夹紧筒管所需的弹簧作用力, 这就是在 No. 713 型卷绕机生产中, 当制动到某一速度时产生飞筒现象的症结所在。

四、讨论结果与改进措施

1. 讨论结果

(1) 分析比较三阶段接触压力 N'_{11} 、 N'_{12} 、 N'_{13} (见图11曲线1) 可知: 为了克服启动时惯性矩, 摩擦辊与筒管夹头的接触压力在启动

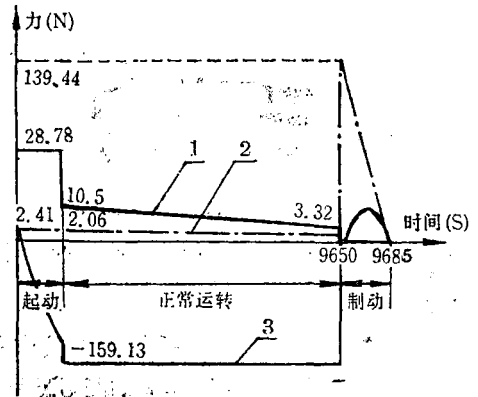


图11 卷绕过程中接触压力与时间(曲线1)所需夹紧力与时间(曲线2)及所需弹簧作用力与时间(曲线3)变化的大致关系图(其中曲线3的纵坐标缩小4倍)

阶段要求最大,而正常运行时则要求小一些,故 No. 713 型筒管夹头的接触压力应由两部分组成,即 $N_{\text{接触}} = N_{\text{正常}} + N_{\text{附加}}$; 其中 $N_{\text{附加}}$ 仅在启动时需要,这样既节约能源,又保证卷装成形良好。

(2) 分析比较卷绕三阶段所需夹紧力 N_{21} 、 N_{22} 、 N_{23} (见图11,曲线2)可知:(a) 启动阶段 $N_{21} >$ 正常运转阶段 N_{22} ,这是由于启动阶段筒管夹头有启动惯性矩的作用。(b) 制动阶段 $N_{23} >$ 启动阶段 N_{21} ,这是由于制动时卷装质量及惯性力矩大于启动阶段的缘故。因此,如果弹簧产生的夹紧力小于夹紧筒管所需的最大夹紧力,则就会发生飞筒现象。

(3) 分析比较卷绕过程三阶段所需弹簧的作用力 N_{31} 、 N_{32} 、 N_{33} (见图11曲线3)及夹紧筒管所得到的夹紧力 $N_2 =$ 弹簧实际产生的作用力 $W +$ 夹紧元件产生的离心力 C 可知:(a) 夹紧筒管所需的弹簧作用力在制动阶段最大。(b) 在制动阶段,速度由 3300m/min 降低到 2000m/min~1000m/min 范围时, N_2 、 C 亦减小,但并不同步。当 $N_2 > W + C$,即弹簧实际产生的作用力与夹紧元件产生的离心力 C 之和不足以满足夹紧力的要求时,则发生飞筒现象。(c) 在 No.713 型卷绕生产中,筒管夹

头弹簧产生的作用力 $W \approx 36(N)$,在启动及正常运转阶段均能夹紧筒管、但在制动阶段,当速度降为 2000m/min~1000m/min 时,则 $N_2 > W + C$,此时发生飞筒现象,这一结论与生产中发生飞筒现象相符合。

2. 克服飞筒现象的技术措施:

(1) 提高弹簧的弹性系数或加大压缩量,经实践,在弹性系数不变时,将弹簧压缩量由 2.3cm 改为 3.5cm 可防止飞筒现象发生。

(2) 定期对关键零部件进行精度及动平衡检查,使产生的不平衡力矩减小,从而减少飞筒现象的发生。

(3) 对夹紧元件表面滚花,增大摩擦系数;对夹紧元件内孔抛光,减小摩擦系数。经多次实验,证明此法能大大减少飞筒现象。

(4) 适当延长制动时间,减小角加速度,使惯性力矩相应减小,从而避免飞筒现象的发生,但此法对非自动切换落丝的卷绕机,会增加丝束的单耗。经实践,将制动时间由 35 秒改为 42 秒或更长,则可避免飞筒现象的发生。

(5) 在后道工序允许小卷装的情况下,如将卷装直径由 360mm 改为 320mm 时也不发生飞筒现象。这是因为卷装减小后,惯性力矩相应减小的缘故。