

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2020.04.003

布动式毛巾织机毛经纱张力变化规律

周东波, 周香琴

(浙江理工大学 浙江省现代纺织装备技术重点实验室, 浙江 杭州 310018)

摘要:为了减少毛巾织造过程中毛经纱张力波动,课题组以布动式毛巾织机为对象,运用几何分析方法,定量地分析了布动式毛巾织机布面移动、开口运动和打纬运动对毛经纱路径变化规律的影响;以织造过程中毛巾纱张力恒定为目标,获取了毛经活动后梁的理想位置。结果表明:毛经活动后梁的位置变化可以弥补起毛运动、开口运动和打纬运动对毛经纱张力变化产生的影响。根据研究结果,提出了几种毛经活动后梁的位置控制方式,并分析了相应的优缺点,为工程上设计毛巾织机张力调节和控制系统提供参考。

关键词:毛巾织机;毛经纱张力;开口;打纬;起毛;后梁摆动规律

中图分类号:TS103.3;TH133.5 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2020)04-0016-06

Change Law of Yarn Warp Tension of Cloth-Driven Towel Loom

ZHOU Dongbo, ZHOU Xiangqin

(Key Laboratory of Modern Textile Machinery & Technology of Zhejiang Province, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to reduce the fluctuation of wool and warp yarn tension during towel weaving, research group took the cloth towel loom as the object and used geometric analysis method to quantitatively analyze the influence of cloth cover movement, opening movement and beating-up movement on the change rule of wool and warp yarn path, aiming at the constant towel yarn tension during weaving to obtain the ideal position of the movable back beam of wool and warp yarn. The results show that several position control methods of the back tension beam of the warp yarn are proposed, and the corresponding advantages and disadvantages provide reference for the design of the towel loom tension adjustment and control system.

Keywords: towel loom; wool warp tension; shedding; beating-up; terry; back rest swing rule

在毛巾织机毛圈形成的过程中,毛巾织机毛经纱张力波动会加大毛经纱的断经概率,引起毛圈退毛等现象,降低织物质量。经纱张力可分为静态张力和动态张力。经纱的静态张力是织造前的上机张力,由操作者根据织物织造需求设定,要求经纱张力从满轴到空轴基本保持不变。经纱动态张力是织造过程中,经纱在开口运动、起毛运动和打纬运动等作用下的瞬时张力。随着织机速度的提高,经纱动态张力急剧上升。如何补偿织造过程中的经纱张力变化,应用于普通织机的研究成果较多:有涉及到后梁系统结构参数与经纱路径关系的研究^[1-2],开口与经纱张力和经纱微振动的关系研究^[3],后梁系统特性的研究^[4-6],部分机构参数与经纱张力波动规律的关系研究^[7-10],以及张力控

制算法的比较研究^[11]等。目前针对经纱张力调节的研究主要集中于普通织机,而毛巾织机毛经纱张力变化规律不同于普通织机,在送经和卷取运动正常的情况下,布动式毛经织机的毛经纱张力波动主要受布面移动、开口和打纬等运动的影响。研究这些因素对毛经纱张力的影响规律,有针对性地提出缓解毛经纱张力变化的成果相对不多。毛经纱在织造时属于低张力织造,毛经纱张力变化量对毛圈的质量影响显著。低惯量活动后梁是补偿毛经纱张力变化的关键机构,课题组研究了布面移动规律、开口运动规律及打纬运动规律对毛经纱路径变化的影响,提炼毛经纱恒张力的后梁理想位置变化规律,定性分析有关缓解毛经纱张力变化机构的优缺点,为实际应用提供理论依据。

收稿日期:2019-12-27;修回日期:2020-05-14

第一作者简介:周东波(1994),男,河南潢川人,硕士研究生,主要研究方向为毛巾织机、机构学。E-mail:947180006@qq.com

1 起毛运动过程中毛经纱的运动特征

毛巾组织常用的起毛周期有三纬、四纬和五纬等,具体由毛巾的织物组织决定,应用最多的起毛周期是三纬。课题组以三纬起毛为例,研究毛经纱在一个起毛周期中的路径变化规律。布带式起毛是钢筘相对于机架的打纬位置固定,用布面的移动,改变钢筘相对于布面的打纬位置实现起毛的一种毛巾织造方式。假设织口位置为 O_{11} ,打纬时刻钢筘与经位置线的交点(打纬点)为 O ,以 O 为坐标原点,经位置线方向为 X 轴,建立 $O-XY$ 坐标系;在毛经纱上取一点 O_{12} (起毛周期中第三纬与经纱的交织点),钢筘与综平位置线的交点为 O_{13} (见图1)。

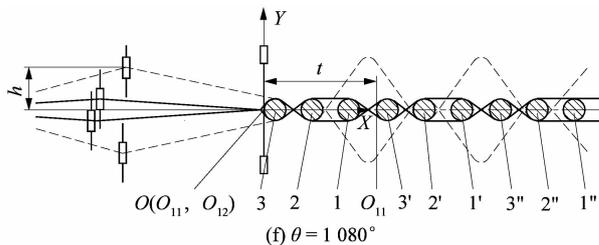
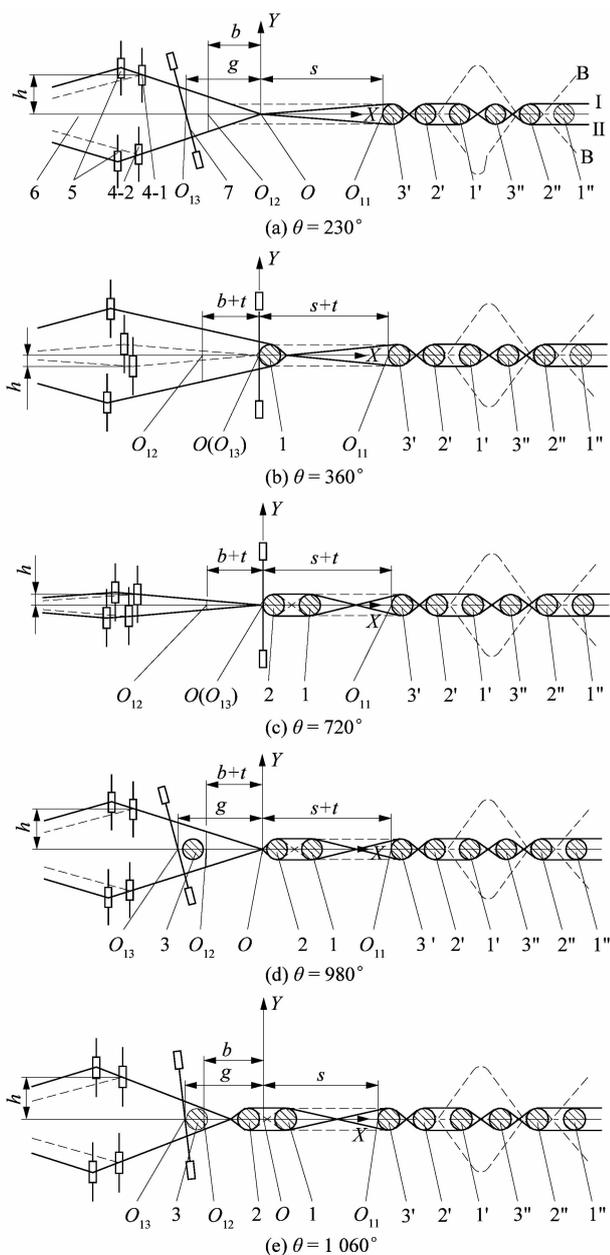


图1 三纬双面毛巾形成原理

Figure 1 Principle of forming three-wool double-sided towel

图中: b, s 和 g 分别表示 O_{12}, O_{11} 和 O_{13} 在坐标系中的 X 方向位置; h 表示毛经纱综框综眼在坐标系中的 Y 方向位置; t 表示布面的卷取量。根据毛巾织造原理和机构参数获取 s, g, h 和 t 参数随主轴转角 θ 的变化规律如图2所示。I 和 II 表示地经纱;B 为毛经纱;1, 2 和 3 为纬纱;4-1 和 4-2 为毛经纱综框;5 为地经纱综框;6 为综平位置线;7 为钢筘。

O_{12} 是当钢筘把第3根纬纱打到与第2根纬纱接触时,钢筘与毛经纱的接触点(即钢筘推动毛经纱形成毛圈的起点)。 s 的起始位置 $s_1(70, 0)$, 远休止起始位置 $s_2(230, -S)$, 远休止结束位置 $s_3(980, -S)$, 近休止点 $s_4(1060, 0)$; $\theta = 1060^\circ$ 时, $g = 19.4 \text{ mm}$ 。其中 S 为布面最大移动量, $S = 5 \sim 20 \text{ mm}$, $S_{\max} = 20 \text{ mm}$, 笔者选取 $S = 10 \text{ mm}$ 。因此毛经纱上一点 O_{12} 位置变化如图2中 b 曲线(s 曲线与 g 曲线的复合)所示。

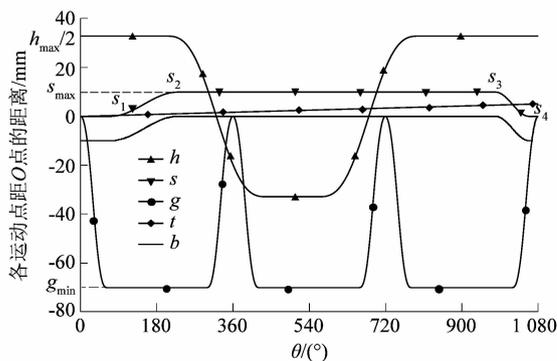


图2 毛巾织机相关运动规律曲线

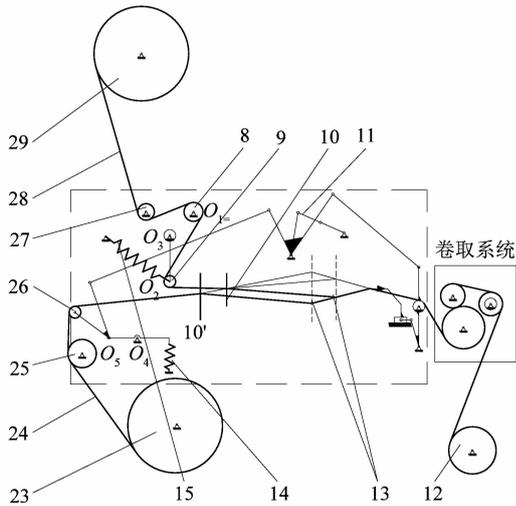
Figure 2 Related movement regularity curve of towel loom

2 毛经纱张力变化规律

国内某一毛巾织机经纱和织物的路径图如图3所示。从地经轴23上出来的地经纱24,绕过固定后梁25、活动后梁26,经停经架10',进入综框13;从毛经轴29上退绕下来的毛经纱28,经过导辊27、固定后梁8、活动后梁9和毛经纱停经架10,进入综框13。在开口

运动的作用下形成梭口,与纬纱交织同时起毛形成织物;织物经织口和卷取系统进入卷布辊形成布卷,完成织造。固定后梁 25 及固定后梁 8 的作用是实现经纱的转向、防止经轴上面原料的增加或减少导致经轴直径改变对织造的影响。活动后梁 26 和活动后梁 9 分别随活动后梁摆臂绕 O_4 和 O_3 点摆动,调节经纱张力。张力弹簧 14 和 15 用来平衡活动后梁自重及经纱对活动后梁的作用力。

起毛机构如图 3 虚线框内所示,由伺服电机带动一系列的连杆机构实现布面有规律地前后移动,布面移动规律见图 2 中的 s 曲线。



8—固定后梁;9—活动后梁;10—停经架;11—起毛机构;
12—卷取辊;13—综框;14—弹簧;15—弹簧;23—地经轴;
24—地经纱;25—固定后梁;26—活动后梁;27—导辊;28—毛经纱;29—毛经轴。

图 3 毛巾织机经纱和织物的路径图

Figure 3 Warp and fabric path of towel loom

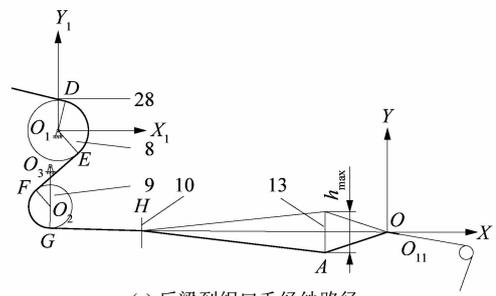
毛经纱的详细路径如图 4 所示,其中图 4(b) x_2 表示与坐标系 $O_1-X_1Y_1$ 中 X_1 平行。

对于毛巾织造系统从毛经轴到固定后梁的长度是不变的,从固定后梁到织口的长度随开口、打纬及布面移动量而变化,随活动后梁位置的变化而变化。毛经纱在起毛过程中路径变化引起毛经纱伸长量的变化,从而引起毛经纱张力的变化。因此,首先分析经纱在起毛过程中路径的变化量,毛经纱从固定后梁到织口所经过的路径长度为 L ,将毛经纱从后梁到织口分为 6 段,分别为 \widehat{DE} , \widehat{EF} , \widehat{FG} , \widehat{GH} , \widehat{HA} 和 $\widehat{AO_{11}}$ 。

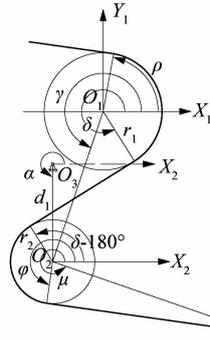
那么

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 \quad (1)$$

式中 L_i (i 是 1 ~ 6 的整数) 分别代表 \widehat{DE} , \widehat{EF} , \widehat{FG} , \widehat{GH} ,



(a) 后梁到织口毛经纱路径



(b) 后梁附近的毛经纱路径

图 4 毛经纱路径图

Figure 4 Graph of wool warp path

\widehat{HA} 和 $\widehat{AO_{11}}$ 。

以固定后梁的圆心为坐标原点,织机墙板底面为 X_1 方向,建立 $O_1-X_1Y_1$ 坐标系(见图 4 所示),毛经纱经过各关键点的坐标:经纱与固定后梁的上切点 $D(x_D, y_D)$;固定后梁与毛经纱下切点 $E(x_E, y_E)$;活动后梁与毛经纱的切点 $F(x_F, y_F)$ 和切点 $G(x_G, y_G)$;停经架中心点 $H(x_H, y_H)$;综眼 $A(x_A, y_A)$;织口 $O(x_0, y_0)$ 。

从固定后梁到织口的相关结构参数如下:固定后梁转动中心点 $O_1(x_1, y_1)$;活动后梁摆臂的转动中心点 $O_3(x_3, y_3)$;综平时时刻得眼坐标 (x_a, y_a) ;活动后梁摆臂 O_3O_2 的长度 d_1 ;活动后梁摆臂 O_3O_2 与 X_2 的夹角 α ;固定后梁半径 r_1 ;活动后梁半径 r_2 。毛巾织机结构参数及所涉及的运动点的数值如表 1 所示。

1) 计算 O_2 点的坐标:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_3 + d_1 \cos \alpha; \\ y_2 &= y_3 + d_1 \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

2) 计算 L_2 :

$$\begin{aligned} \overline{O_1O_2} &= \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}; \\ L_2 = \overline{EF} &= \sqrt{\overline{O_1O_2}^2 - (r_1 + r_2)^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

3) 计算 L_1 :

$$\gamma = \cos^{-1} \frac{y_2 - y_1}{O_1O_2} + 180^\circ;$$

表1 毛巾织机中毛经纱系统各类参数

Table 1 Original parameters of wool warp system in towel loom

$(x_1, y_1)/(mm, mm)$	$(x_3, y_3)/(mm, mm)$	$(x_H, y_H)/(mm, mm)$	$(x_0, y_0)/(mm, mm)$	$(x_a, y_a)/(mm, mm)$	r_1/mm	r_2/mm
(0.0, 0.0)	(-20.2, -53.8)	(218.0, -262.0)	(858.0, -266.0)	(695.7, -265.8)	50.0	25.0
d_1/mm	综眼最大移动量 h_{max}/mm	布面移动量 S/mm	钢箱离 O 点最远距离 g_{min}/mm	$\rho/(^\circ)$	$\alpha_0/(^\circ)$	
128.0	65.2	10.0	-70.0	86	272.37	

$$\delta = \gamma + \sin^{-1} \frac{EF}{O_1 O_2};$$

$$L_1 = \widehat{DE} = r_1(\rho + 360^\circ - \delta). \quad (4)$$

4) 计算 L_3 和 L_4 :

$$\overline{O_2 H} = \sqrt{(x_H - x_2)^2 + (y_H - y_2)^2};$$

$$\mu = 360^\circ - \sin^{-1} \frac{y_H - y_2}{O_2 H};$$

$$\varphi = \mu - \cos^{-1} \frac{r_2}{O_2 H};$$

$$L_3 = \widehat{FG} = r_2(\varphi - \delta + 180^\circ); \quad (5)$$

$$L_4 = \overline{GH} = \sqrt{O_2 H^2 - r_2^2}. \quad (6)$$

5) 计算 A 点的坐标:

$$\begin{cases} x_A = x_a; \\ y_A = y_a + h. \end{cases}$$

6) 计算 L_5 及 L_6 :

$$L_5 = \overline{HA} = \sqrt{(x_A - x_H)^2 + (y_A - y_H)^2}; \quad (7)$$

$$L_6 = \overline{AO_{11}} = \overline{AO} + \overline{OO_{11}} = \sqrt{(x_0 - x_A)^2 + (y_0 - y_A)^2} + (-b). \quad (8)$$

在织机的起毛过程中, h, b 和 α 是关于织机主轴转角 θ 的函数。根据上述分析以及式(1)~(8)可得: 固定后梁与织口之间长度 L 是结构参数 $d_1, x_1, y_1, x_3, y_3, x_H, y_H, x_A, y_A, x_0, y_0, \rho, r_1$ 和 r_2 以及运动参数 b, h 和 α 的函数。可定义为关系式:

$$L = f(x_1, y_1, x_3, y_3, x_H, y_H, x_A, y_A, x_0, y_0, d_1, r_1, r_2, \rho, h(\theta), b(\theta), \alpha(\theta), \theta).$$

为了讨论方便,以第3纬打纬时刻为织机主轴转角 0° 位置,织机打纬3次为1个计算周期,假设:

$$L_0 = f(x_1, y_1, x_3, y_3, x_H, y_H, x_A, y_A, x_0, y_0, d_1, r_1, r_2, \rho, h(0), b(0), \alpha_0, 0).$$

式中 α_0 代表主轴转角 0° 位置时设定的活动后梁位置。

任意时刻毛经纱长度变化量 $\Delta L = L - L_0$, ΔL 可表示为关于 h, α 和 b 的函数:

$$\Delta L = f_1(\alpha, b, h, \alpha_0) = f_2(\alpha, g, s, h, \alpha_0). \quad (9)$$

ΔL 引起的经纱张力的变化量为

$$\Delta F_M = k \Delta L. \quad (10)$$

式中 k 为经纱的弹性系数。

那么任意时刻经纱张力为

$$F = F_0 + \Delta F_M. \quad (11)$$

式中 F_0 为毛经纱上机张力。

假设 h 单独作用下的毛经纱长度变化量为 ΔD , 那么:

$$\Delta D = f_2(\alpha, 0, 0, h, \alpha_0). \quad (12)$$

假设布面移动 s 单独作用下的毛经纱长度变化量为 ΔE , 那么:

$$\Delta E = f_2(\alpha, 0, s, 0, \alpha_0). \quad (13)$$

假设第3纬打纬运动 g 单独作用下的毛经纱长度变化量为 ΔF , 那么:

$$\Delta F = f_2(\alpha, g, 0, 0, \alpha_0). \quad (14)$$

将毛巾织机中毛经纱系统原始参数以及图2中的起毛、打纬与开口运动规律代入式(1)~(14)得到的经纱路径变化规律如图5所示。

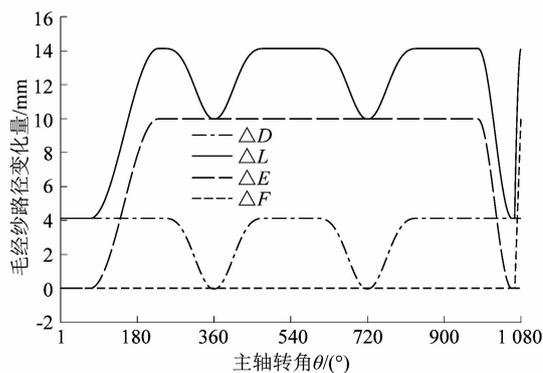


图5 毛经纱路径变化规律

Figure 5 Change law of wool warp path

由图5分析可知:如果活动后梁位置固定,在3个运动的作用下毛经纱路径变化明显,毛经纱路径变化量大($\Delta L_{max} = 14.1$ mm),毛经纱张力波动明显。毛经纱路径变化特点:①布面移动、开口运动及打纬运动造成的毛经纱路径变化速率不同,且打纬运动造成毛经纱路径的极速变化。②一次起毛周期内毛经纱路径变化量在增大和减小之间变化频繁(频率快)。

低惯量活动后梁具有感知毛经纱张力、补偿毛经

纱张力变化的功能,通过毛经纱路径变化规律,获取毛经纱张力恒定的毛经纱活动后梁位置变化规律,设计合适的活动后梁系统,即可实现减少毛经纱张力波动的目标。

3 毛经纱张力恒定的后梁位置变化规律

开口、打纬及起毛运动造成毛经纱路径变化,引起了毛经纱张力变化。在一般的织机中,活动后梁的位置变化可以补偿该张力的变化。要使毛经纱张力恒定,那么 $\Delta L = 0$,由公式(9)可以获取理想的毛经纱活动后梁位置参数 α 。假设 $\alpha = f_i(h, b, s, g, \alpha_0)$,可以根据 h, b, g, s 和 α_0 求出 α ,即完全抵消几大运动引起的毛经纱张力变化所需的活动后梁理想摆动规律。运动规律曲线如图6所示。

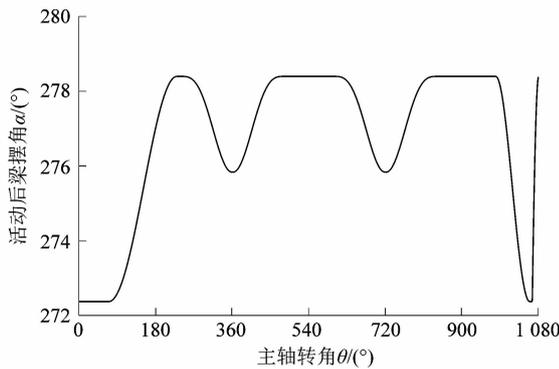


图6 活动后梁摆动规律

Figure 6 Swing rule of moving back rest

对图6中的曲线数值微分, $v = d\alpha/d\theta$,获取毛经纱活动后梁摆角变化速率曲线,如图7所示。

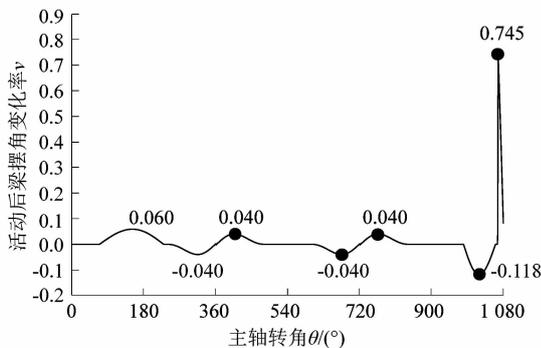


图7 活动后梁摆角变化率

Figure 7 Change rate of swing angle of moving back beam

从图7可知,活动后梁摆角变化率在主轴转角为 $1\ 066^\circ \sim 1\ 072^\circ$ 范围内急剧增大,超过前期最大值的10倍以上。此期间属毛圈成型时间,一旦毛经纱活动

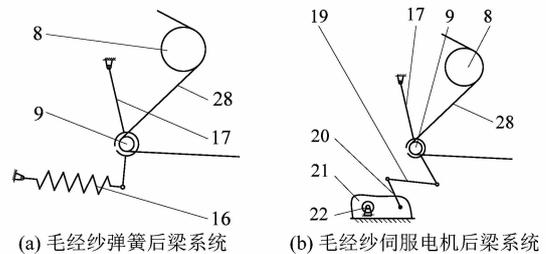
后梁的位置变化未能及时跟上,毛经纱张力急剧增大,毛圈无法形成。若由此引起毛经纱活动后梁位置震荡,将严重影响毛圈质量。

4 2种毛经纱后梁位置控制方式比较

目前一般的毛巾织机,活动后梁机构采用张力弹簧平衡毛经纱的张力,毛经纱活动后梁跟随毛经纱张力周期性变化而摆动,以此缓解高频的毛经纱张力变化,见图8(a)。毛经纱28张力增大,后梁摆臂17逆时针转动,毛经纱路径减小,同时弹簧16拉伸,弹力加大;毛经纱张力减小,后梁摆臂17顺时针转动,毛经纱路径增大,弹力减小,达到新的平衡位置。但新位置的弹簧伸长量与上机张力设定时的弹簧伸长量不同,因此毛经纱的张力也不同。根据前文的研究结果提出该系统的设计要求:

- 1) 因 α 的变化幅值较大,张力弹簧刚度小对缓解毛经纱张力变化有利;
- 2) 因 v 的值较大,毛经纱活动后梁的质量和转动惯量小,在毛经纱张力变化量的作用下,反应迅速,对缓解毛经纱张力变化有利,但应避免活动后梁发生震荡;
- 3) 活动后梁9及摆臂17的转动应灵活,阻力尽可能小,提高毛经纱张力变化需要的毛经活动后梁位置变化灵敏度。

为了减小活动后梁位置不同而产生的经纱张力变化,用伺服电机系统代替张力弹簧。图8(b)所示,伺服电机22通过减速箱21带动由张力摆杆20、张力连杆19、后梁摆臂17及机架组成的四连杆机构,给后梁摆臂17施加一个恒定的力矩,通过伺服电机的恒扭矩控制,实现毛经纱张力的恒定。



8—固定后梁;9—活动后梁;16—张力弹簧;17—后梁摆臂;19—张力连杆;20—张力摆杆;21—减速箱;22—伺服电机;28—毛经纱。

图8 毛经纱张力调节机构简图

Figure 8 Diagram of tension adjusting mechanism of wool warp