



剑杆织机剑带运行失稳的条件与避免措施

朱金杰¹, 周香琴^{1,2}

(1. 浙江理工大学浙江省现代纺织装备技术重点实验室, 杭州 310018; 2. 万利纺织机械研究院, 杭州 311243)

摘要: 为了避免无导钩约束的剑带在高速运行过程中受压失稳, 以引纬运动过程中的剑带为研究对象, 对其进行载荷特性研究。针对剑带的运行环境, 对织机引纬机构进行运动学分析, 获取剑带受惯性力随主轴转角变化的函数关系; 基于压杆失稳模型, 模拟剑带实际约束条件, 获取剑带失稳临界载荷的计算公式; 通过量化参数, 构造惯性力小于失稳临界载荷的数学模型, 获取避免剑带运行失稳的条件。研究表明: 织机车速越高, 剑带受惯性力越大; 剑带与静导轨之间的间隙是影响剑带失稳的关键因素; 织机门幅越小, 剑头质量越小, 剑带刚度越大, 剑带与静导轨间隙越小, 纬纱张力越小, 运行车速越低, 剑带不易失稳。根据剑杆织机的载荷特性, 提出了避免剑带失稳的措施: 在设计织机时, 应限制织机门幅, 降低剑头质量, 增强剑带刚度, 减小纬纱张力; 在织机使用时, 应严格控制剑带与静导轨的间隙, 适当降低车速。

关键词: 剑杆织机; 剑带; 失稳; 力学特征; 车速条件

中图分类号: TS 103.337.3; TH 112.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2021) 07-0497-08

Conditions of the instability of rapier belt in the rapier loom and avoidance measures

ZHU Jinjie¹, ZHOU Xiangqin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Modern Textile Machinery Technology of Zhejiang Province, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;
2. Wanli Textile Machinery Research Institute, Hangzhou 311243, China)

Abstract: In order to avoid the rapier belt without the guide hook constraint from being compressed during high-speed operation and causing instability, taking the rapier belt in the process of weft insertion as the research object, the author investigates its load characteristics. According to the operating environment of rapier belt, a kinematic analysis is carried out on the weft insertion mechanism of the loom, and the functional relationship between the inertial force the rapier belt undergoes and the changes in the rotation angle of the main shaft is obtained. Based on the instability model of pressure lever, the actual constraint conditions of the rapier belt are simulated, and the calculation formula for the critical load of rapier belt instability is obtained. Through quantization parameters, a mathematical model where the inertial force is less than the critical load of instability is built, to obtain conditions for avoiding the instability of the rapier belt. Research shows that the higher speed of the loom, the greater inertial force of the rapier belt; the gap between the rapier belt and the static guideway is a key factor affecting the instability of the rapier belt; the smaller width of the loom, the lower quality of the rapier head, the greater rigidity of the rapier belt, the smaller gap between the rapier belt and static guideway, the lower weft tension, the lower running speed, and the less likely the rapier belt loses its stability. According to

the load characteristics of the rapier loom, measures to avoid the instability of rapier belt are proposed; when designing a loom, the width of the loom should be limited, the mass of the rapier head should be lowered, the rigidity of the rapier belt should be reinforced, and the weft tension should be diminished. When using a loom, the gap between the rapier belt and static guideway should be strictly controlled, and the vehicle speed should be lowered as appropriate.

Key words: rapier loom; rapier belt; instability; mechanical characteristics; loom speed

0 引言

引纬机构是剑杆织机的关键机构。为实现输送纬纱的功能,很多剑杆织机采用无导钩约束的碳纤维剑带驱动带有纬纱的剑头穿越梭口。采用这种无导钩剑带的剑杆织机,经纱在开口过程中无导钩的阻碍,梭口清晰,可有效避免剑头撞断经纱的风险,在无捻纱、网络丝等经纱原料的织物生产中优势明显。然而这种剑杆织机也存在弊端,剑带在梭口内运行时存在一段正加速区,由于剑带缺少约束,容易受压失稳,引起断经或剑头剑带损坏等情况,从而大大降低了生产效率。为了提高纺织设备的运行性能和高效使用剑杆织机,研究剑带失稳条件,探索避免剑带失稳的措施,具有重要的工程意义。

近年来,有关剑杆织机引纬机构的创新已经取得了不少成果。已有研究发现引纬机构结构参数影响剑头运动规律,为研究剑带的运动规律奠定了基础^[1-4];张雷等^[5]研究发现对空间四连杆引纬机构进行柔性动力学仿真更符合纺织机械高速的发展方向,能更真实地反映剑杆织机引纬机构的响应特性,为研究剑带的运动学仿真提供了参考方向;周香琴等^[6]研究剑杆织机惯性载荷变化规律,结果表明减小剑头剑带质量和传剑轮转动惯量能有效减小织机惯性载荷,为研究剑头质量对剑带的力学特征影响作铺垫;当前研究发现运动副间隙和尺寸误差对引纬机构精度有影响,为研究剑带与静导轨的间隙对引纬机构的影响提供借鉴^[7-8];已有研究发现引纬运动规律影响纬纱张力,有助于研究纱线张力对剑带力学特征的影响^[9-10];当前研究探索了剑带磨损现象产生的原因,提出剑带磨损后的解决办法以及提高剑带使用寿命的方法^[11-12];Owlia 等^[13]研究引纬系统电磁发射器的设计与建模;Xu 等^[14]进一步研究电磁引纬机构,研究表明:电磁引纬系统具有良好的柔韧性,且通过改变线圈的电流或发射系统的线圈级数,可以获得不同宽度的织机所需的引纬速度。

目前尚未发现对引纬机构剑带运行失稳的研究。本文为解决实际织造时剑带运行不稳定问题,

提高织机的生产效率,探究剑带失稳条件,研究剑带在引纬运动中的力学特征。根据引纬机构运动规律得到剑带惯性力,将其与压杆失稳模型下的失稳临界载荷做对比,获得剑带失稳的影响因素,针对其影响因素提出避免剑带失稳的有效措施。

1 剑带工作环境

剑杆织机的工作示意图如图 1 所示。引纬过程如图 1(a)所示:左剑头 7 在左传剑轮 3 和左剑带 2 带动下,沿静导轨 1 和走剑板 6 运动,带着纬纱进入由上层经纱 4 和下层经纱 5 形成的梭口,在梭口中央位置,把纬纱交给右剑头 7'; 纬纱在右传剑轮 3' 和右剑带 2' 驱动下,穿越梭口,实现引纬。织机引纬失稳现象如图 1(b)所示:剑头剑带在进入梭口前,由静导轨支撑和约束,剑头剑带在离开静导轨后,由走剑板支撑,剑带受到的约束减少。由于剑带各方向的刚度差异悬殊,剑带的运动存在正加速区域,存在失稳的可能,一旦剑带失稳,容易引起断经。

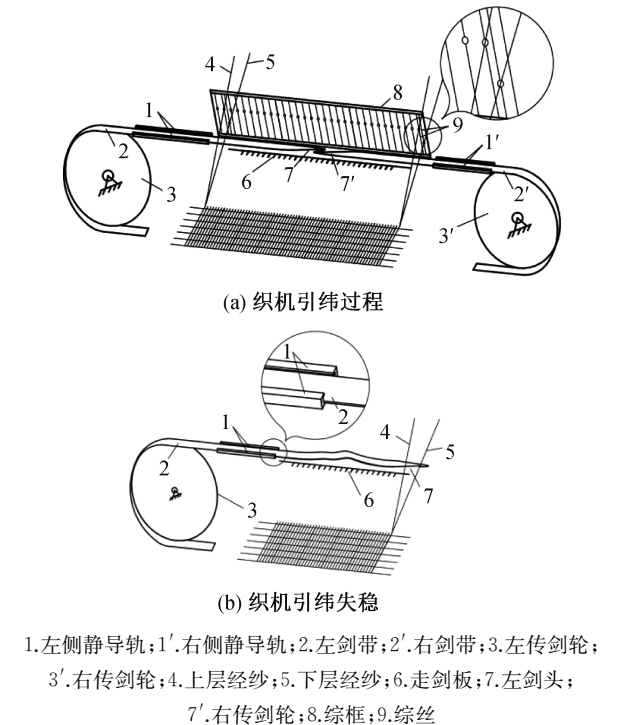
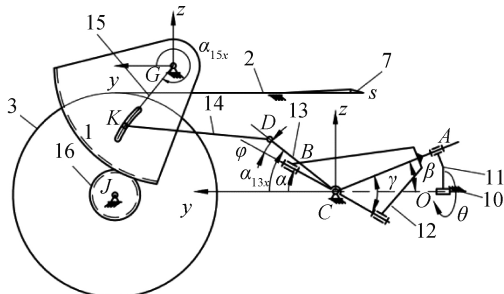


图 1 剑带织机工作示意

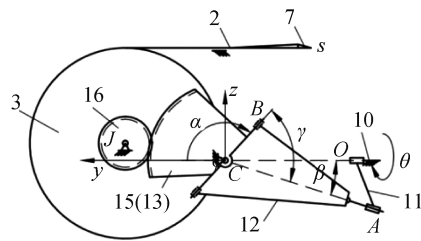
目前无导钩剑杆织机的引纬机构有很多,本文以浙江万利纺织机械有限公司生产的 WL680、WL800 以及 WL450 系列剑杆织机为研究对象,研究剑带运行的失稳条件。

剑杆织机引纬机构简图见图 2 所示,主轴匀速转动,带动由曲柄 11、空间连杆 12、摇摆杆 13 和机箱 10 组成的空间曲柄摇杆机构(OABC)运动,通过连杆 14(部分机型无此连杆,见图 2(b))、扇形齿轮 15、传剑轴 16 和传剑轮 3,通过剑带 2 驱动固连在其上的剑头 7 作往复的直线运动。以摇摆杆 13 的

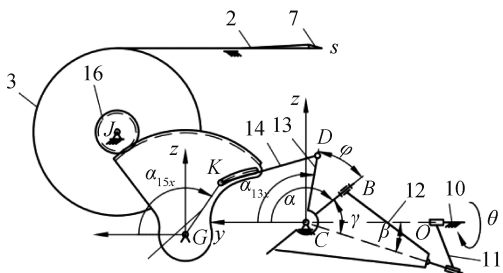
转动中心 C 为坐标原点建立平面坐标系 Cyz ,其中: O 为曲柄 11 的轴心, A 为空间连杆 12 与曲柄 11 的交点, B 为空间连杆 12 上的移动副, C 为摇摆杆 13 的轴心, D 为摇摆杆 13 与连杆 14 的交点, K 为连杆 14 与扇形齿轮 15 的交点, G 为扇形齿轮 15 的轴心, J 、 Q 为传剑轴 16 的轴心, s 为剑头行程; θ 为主轴转角, α 为杆 BC 角位移, β 为杆 AC 与杆 OC 夹角, γ 为杆 AC 与杆 BC 夹角, φ 为杆 BC 与杆 DC 夹角, α_{13x} 为杆 DC 角位移, α_{15x} 为杆 KG 角位移,均以逆时针方向为正。



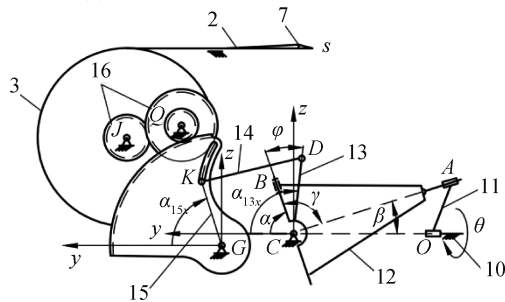
(a) WL680型剑杆织机引纬驱动机构



(b) WL800型剑杆织机引纬驱动机构



(c) WL450型剑杆织机一级传动引纬驱动机构



(d) WL450型剑杆织机二级传动引纬驱动机构

2. 剑带; 3. 传剑轮; 7. 剑头; 10. 机箱; 11. 曲柄; 12. 空间连杆; 13. 摇摆杆; 14. 连杆; 15. 扇形齿轮; 16. 传剑轴

图 2 剑杆织机引纬机构简图

2 引纬运动规律

针对图 2 所示的 4 种引纬机构,根据文献[3]的研究结果,构件的运动参数之间存在以下关系:

$$\cos\gamma - \cos\beta\cos\alpha + \sin\beta\sin\alpha\cos\theta = 0 \quad (1)$$

根据式(1)得到杆 BC 角位移 α ,令 $\alpha = f(\theta, \beta, \gamma)$ 。根据摇摆杆的结构参数可得 α_{13x} 为:

$$\alpha_{13x} = \alpha + \varphi = f(\theta, \beta, \gamma) + \varphi \quad (2)$$

根据平面四连杆机构(CDKG)的结构参数可得 α_{15x} 为:

$$\alpha_{15x} = g(\alpha_{13x}, l_{13}, l_{14}, l_{15}, y_G, z_G) = g(\theta, \beta, \gamma, \varphi, l_{13}, l_{14}, l_{15}, y_G, z_G) \quad (3)$$

各结构参数含义见表 1,函数 $g(x)$ 推导过程见文献[4]。若机构中无平面四连杆机构(CDKG),则

$$\alpha = \alpha_{13x} = \alpha_{15x} \quad (4)$$

将结构参数代入 α_{15x} ,可得扇形齿轮动程 H 为:

$$H = g(\theta, \beta, \gamma, \varphi, l_3, l_4, l_5, y_G, z_G) -$$

$$g(0, \beta, \gamma, \varphi, l_3, l_4, l_5, y_G, z_G) \quad (5)$$

动程 H 通过传动放大系统获得剑头行程 s :

$$s = \frac{H \cdot i \cdot d}{2} \quad (6)$$

其中: i 为传动比, d 为传剑轮底径。剑头行程 s 经 Matlab 软件差分可得到剑头速度 v 和加速度 a 。

将表 1 参数代入式(1)~(6),获取剑头的运动曲线。在主轴转速 n 为 400 r/min 时,织机剑头运动曲线如图 3 所示,其中:机型 1 代表门幅为 3.6 m 的 WL680 机型,机型 2 代表门幅为 3.8 m 的 WL800 机型,机型 3 代表门幅为 4.6 m 的 WL450 机型。

3 剑带载荷状况

3.1 惯性力分析

剑带在引纬过程中所受惯性力 F_g 如图 4 所示,惯性力方向与加速度 a 方向相反,可知剑带受

表 1 剑杆织机引纬驱动机构参数

机型	WL680 型			WL800 型		WL450 型				
	型号 1	型号 2	型号 3	型号 1	型号 2	型号 1	型号 2	型号 3	型号 4	型号 5
织机门幅/mm	3.4	3.6	3.8	3.6	3.8	3.6	3.8	4.0	4.6	5.4
BC 与 AC 夹角/(°)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	57.00	57.00	57.00	129.00	129.00
AC 与 OC 夹角/(°)	28.00	28.00	28.00	33.00	34.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
BC 与 DC 夹角/(°)	9.81	9.81	9.81	0	0	-41.02	-41.02	-41.02	26.00	26.00
DC 杆长/mm	150	150	150	—	—	120	120	120	120	120
DK 杆长/mm	245	245	245	—	—	155	155	155	155	155
KG 杆长/mm	110	121	113	—	—	118	130	124	124	122
G 点坐标/mm	(243.0,258.0)			—	—	(151.7,-32.0)				
传动比	152:18	154:16	154:16	169:17	169:17	141:15	141:14	141:14	77:6	74:5
传剑轮底径/mm	397.0	397.0	397.0	369.0	369.0	397.0	431.5	431.5	369.0	369.0
剑头与剑带刚性段总长度/mm	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550
空动程/mm	212	243	243	253	253	329	336	356	272	322
正加速度区/(°)	0~104, 256~360			0~103, 257~360			0~104, 256~360	0~104, 256~360	0~104, 256~360	0~107, 253~360
剑带游离始点/(°)	94	92	92	88	90	91	90	89	86	84
可能失稳区域/(°)	94~104, 256~266	92~103, 257~268		88~103, 257~272	90~103, 257~270	91~104, 256~269	90~104, 256~270	89~104, 256~271	86~107, 253~274	84~107, 253~276
游离剑带最值/mm	206	243	276	325	352	283	327	371	573	778

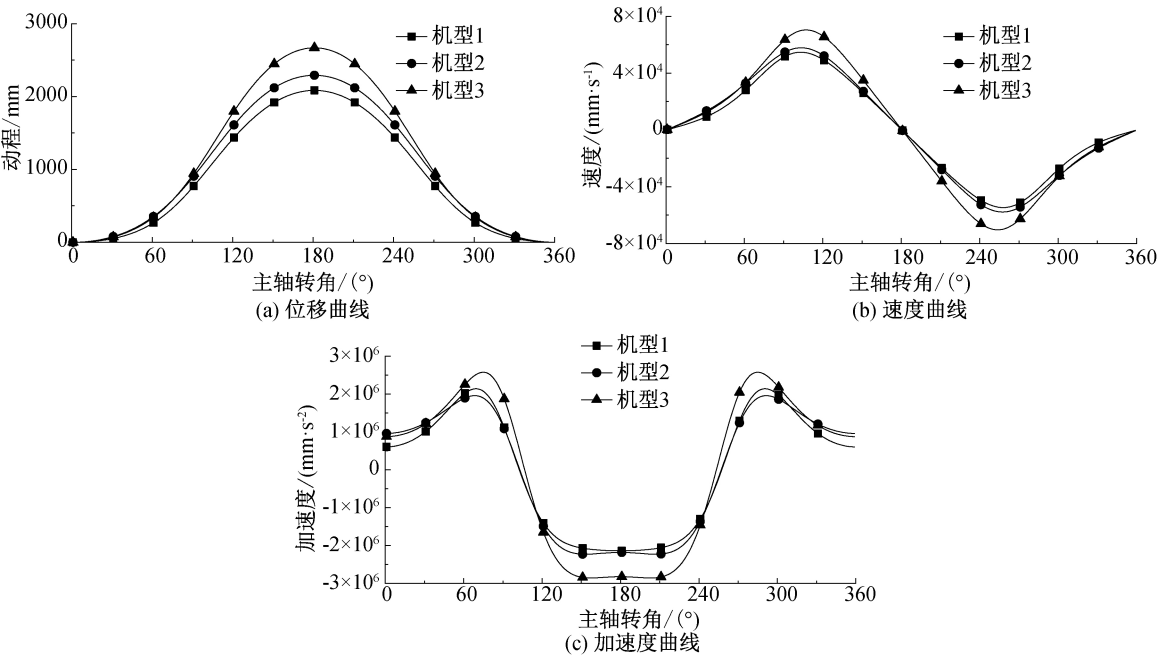


图 3 不同主轴转角下织机剑头的运动曲线

压只发生在剑头正加速度区。以图 3(c)为例,计算得到各系列剑杆织机的引纬正加速度区 W ,见表 1。

在引纬过程中,剑头从初始位置 A_0 运动到 A_1 位置,如图 5 所示惯性力 F_g 作用点在刚性剑带末端,剑头的动程为 s ,那么: $s=s_k+l_1+s_1$,其中 s_k 为空动程(剑头在梭口外的动程), s_1 为剑头与剑带刚性段总长度, l_1 为处于无导钩约束的挠性剑带长度

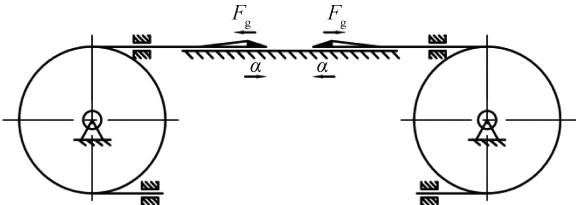
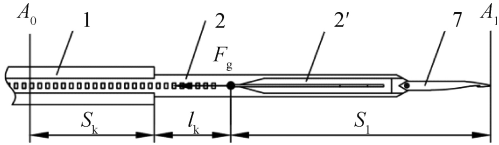


图 4 剑带引纬过程中惯性力示意

(称游离段)。当 $l_1 > 0$, 加速度 $a > 0$ 时, 剑带有可能失稳。结合正加速度区 W , 令剑带游离始点 $l_1 = 0$ 时的主轴转角为 ξ , 得剑带可能失稳区域为 w ; 令加速度 a 值大于 0 时对应的 l_1 的游离剑带最大值为 $l_{1\max}$, 见表 1。



1. 静导轨; 2. 剑带; 2'. 加强筋; 7. 剑头

图 5 剑头剑带示意

利用 Matlab 差分函数求得加速度 a , 令主轴的转速为 n (r/min):

$$a = \left(\frac{2\pi n}{60} \cdot \frac{180}{\pi} \right)^2 \frac{d^2 s}{d\theta^2}$$

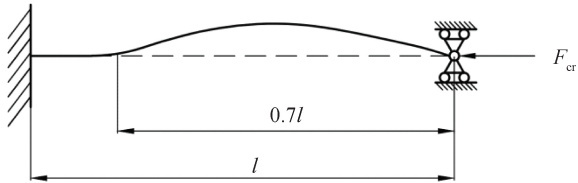
假设剑头 (含剑带刚性段) 的质量为 m , 则剑带 (挠性段) 受到的惯性力 F_g 为:

$$F_g = ma = 36m \cdot n^2 \cdot \frac{d^2 s}{d\theta^2} \quad (7)$$

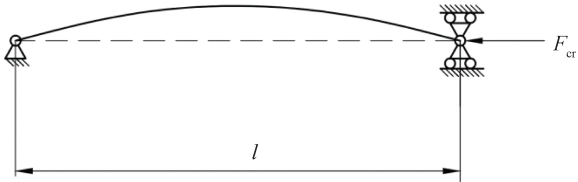
3.2 剑带失稳模型

3.2.1 标准模型

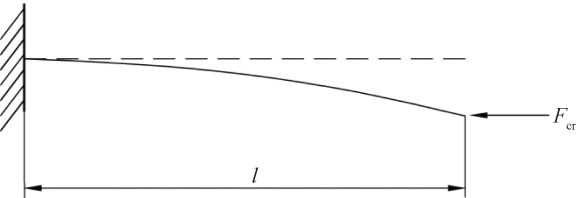
根据传统的材料力学理论, 细长杆失稳有三种模型, 如图 6 所示, 其中 μ 为长度因数, F_{cr} 为受压失稳的临界载荷。



(a) 一端固定一端铰支($\mu=0.7$)



(b) 两端铰支($\mu=1$)



(c) 一端固定一端自由($\mu=2$)

图 6 细长杆失稳模型

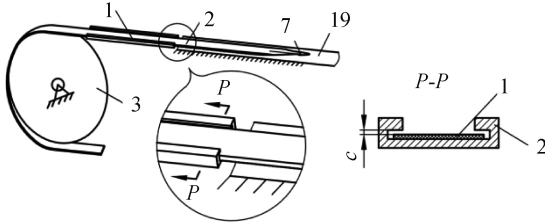
失稳临界载荷公式为:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu L)^2} \quad (8)$$

其中: E 为弹性模量, I 为惯性矩, $EI = 0.25 \text{ N} \cdot \text{m}^2$, l 为杆长。

3.2.2 剑带失稳模型验证结果

剑带在静导轨的约束下沿剑带长度方向有一个自由度, 该自由度受传剑轮位置的约束, 剑带与导轨在前后方向和上下方向存在间隙 c , 如图 7 所示中 $P-P$ 截面所示。剑带的约束与图 6 的三种状态有一定的差异。游离段 $l_{1\max} > l_1 > 0$ 时, 剑带处于受压状态, 可能产生失稳。



1. 静导轨; 2. 剑带; 3. 传剑轮; 6. 走剑板; 7. 剑头

图 7 剑带边界条件示意

模拟剑带实际约束进行实验, 由于剑头被走剑板支撑, 且剑头较重, 故认为剑头始终贴着走剑板运动, 因此简化成双滚动轴承无间隙限位, 剑带在静导轨中存在间隙 c , 简化成双滚动轴承有间隙限位, 间隙为 c , 两约束之间的剑带间距为 l_1 , 剑带上方施加压力 F_{cr} , 直至剑带失稳, 约束简化示意图见图 8, 实验见图 9, 分别测量不同间隙值 c 对应的剑带失稳的临界载荷 F_{cr} , 如表 2 所示。

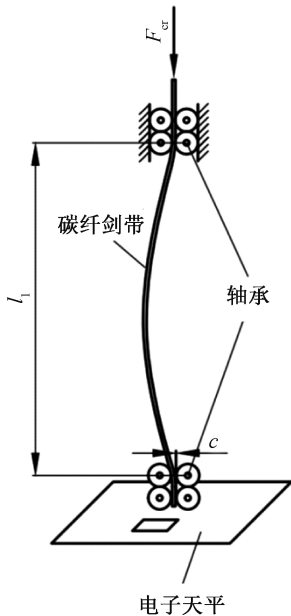


图 8 剑带失稳实验示意

用式(8)拟合表 2 数据, 得出间隙 c 与长度因数 μ 的对应关系, 如表 3 所示。从表 3 可知, 失稳长度因数 μ 随间隙值 c 增大而增大。



图9 剑带失稳实验照片

表2 剑带失稳的临界载荷

游离段/ mm	临界载荷/N				
	$c=0$	$c=0.30$	$c=0.50$	$c=0.75$	$c=0.80$
414	29	22	18	15	14
514	19	15	12	10	9
665	11	9	7	6	5

表3 间隙 c 对应的长度因素 μ

间隙/mm	长度因数
0	0.70
0.30	0.80
0.50	0.90
0.75	0.97
0.80	1.00

当剑带所受惯性力不超过剑带失稳的临界载荷,联立式(7)—(8)可得:

$$n \leq \frac{\pi}{6\mu L_1} \sqrt{\frac{EI}{m \frac{d^2 s}{d\theta^2}}} \tag{9}$$

其中: l_1 是关于 θ 的函数。令

$$h(\theta) = \frac{\pi}{6\mu L_1} \sqrt{\frac{EI}{m \frac{d^2 s}{d\theta^2}}}, \theta \in w,$$

$h(\theta)$ 在可能失稳区域 w 中存在最小值,即安全运转车速 n 不超过 $h(\theta)$ 的最小值,

$$n \leq n_{\max} = \min(h(\theta)) \tag{10}$$

由式(9)—(10)可知安全运行车速上限 n_{\max} 与长度因数 μ 、剑头质量 m 以及剑带截面抗弯刚度参数 EI 有关。

4 剑带安全运行条件

针对具体的织机,在实际运行过程中,车速决定剑带的惯性载荷,也是决定剑带失稳的重要因素。本文以 G6300 剑带和 GS900 剑带为例,分析剑头运行失稳的临界车速,剑带参数如表 4 所示。

上述剑头剑带的参数分成四种不同工况:工况 I 为 G6300 左侧剑头剑带;工况 II 为 G6300 右侧剑

表 4 剑头、剑带相关参数

剑头剑带		质量/g
G6300	左侧	110.50
	右侧	107.00
GS900	左侧	122.20
	右侧	113.40

头剑带;工况 III 为 GS900 左侧剑头剑带;工况 IV 为 GS900 右侧剑头剑带。

4.1 剑带安全运行车速

一般新剑带安装在织机上,间隙值 $c=0.30$ mm,随着剑带的磨损,间隙值 c 不断增大,一般间隙值 c 达到 1.00,需要更换剑带,或降速运行。利用 Matlab 软件编程计算剑带的失稳临界载荷 F_{cr} 和不同机型、不同车速下剑带头部所受的惯性力 F_g (见图 5),结果如图 10 和表 5 所示。

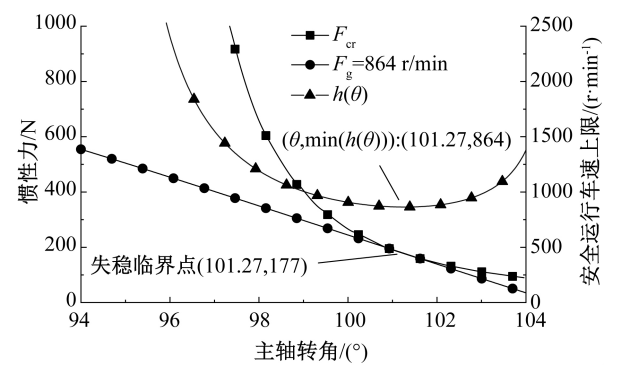


图 10 WL680 系列剑杆织机剑带力学特征对比曲线

注:测试所用为 G6300 左侧剑头参数, $\mu=0.8$ 。

由图 10 可知,惯性力 F_g 随主轴转角的增大而减小,失稳临界载荷 F_{cr} 亦是如此的。此外,可知 $h(\theta)$ 最小值的主轴转角 $\theta=101.27^\circ$,其对应的最小值为 864 r/min,令转速 $n=864$ r/min,织机失稳临界点的主轴转角与 $h(\theta)$ 最小值的主轴转角为同一处,进一步证明式(10)成立。

表 5 不同 μ 对应的安全运行车速上限及其对应临界载荷

机型	安全运行车速上限/ ($r \cdot \min^{-1}$)					临界载 荷/N
	$\mu=0.8$	$\mu=0.9$	$\mu=1.0$	$\mu=0.8$	$\mu=0.9$	$\mu=1.0$
WL680-3400	864	774	697	177	138	115
WL680-3600	685	605	547	131	100	83
WL680-3800	525	465	422	93	72	59
WL800-3600	552	493	443	85	67	54
WL800-3800	471	418	376	71	56	45
WL450-3600	636	565	510	104	82	66
WL450-3800	505	450	404	79	62	50
WL450-4000	475	420	378	73	57	46
WL450-4600	214	187	170	27	21	17
WL450-5400	136	120	110	15	11	9

注:测试所用为 G6300 左侧剑头参数, $\mu=0.8$ 。

由表 5 可知,当间隙 c 对应的 μ 值越大,织机的安全运行车速上限就越小,剑带失稳的临界载荷也越小。设置间隙 $c=0.30$, $\mu=0.80$,对各工况条件

下织机的安全运行车速上限以及剑带失稳的临界载荷进行仿真,结果如表 6 所示。

表 6 剑杆织机的安全运行车速上限及其对应临界载荷

机型	安全运行车速上限/(r•min ⁻¹)				临界载荷/N			
	工况 I	工况 II	工况 III	工况 IV	工况 I	工况 II	工况 III	工况 IV
WL680-3400	864	878	853	823	177	180	175	172
WL680-3600	685	699	675	650	131	130	128	126
WL680-3800	525	533	517	503	93	95	91	91
WL800-3600	552	563	547	527	85	86	83	82
WL800-3800	471	480	465	448	71	72	71	70
WL450-3600	636	646	628	605	104	105	104	103
WL450-3800	505	516	500	479	79	80	79	78
WL450-4000	475	485	469	448	73	74	73	72
WL450-4600	214	216	209	200	27	27	27	26
WL450-5400	136	140	132	127	15	14	14	13

由表 6 可知,同一型号织机,门幅越大,其安全运行车速上限越低,剑带失稳的临界载荷也越低;在四种工况条件下,剑头质量越大,其安全车速上限越低。

综合图 10、表 5、表 6 数据,得出以下结论:

- a)剑带安全运行车速上限 n_{\max} 与间隙 c 成反比。
- b)剑带所受惯性力 F_g 在 ω 区域内随主轴转角 θ 增大而减小。
- c)剑带失稳的临界载荷 F_{cr} 随主轴转角 θ 的增大而减小。
- d)剑带安全运行车速上限 n_{\max} 随剑杆织机门幅 M 增大而下降。
- e)同型号、同门幅剑杆织机在不同工况下,剑头质量 m 越大,车速上限 n_{\max} 越低。

4.2 剑带超速运行的可行性

剑带发生失稳时,剑带弯曲产生较小挠度的情况下,参考文献[15],压杆以两端铰支的边界条件为模型,可推导出剑带失稳后产生小变形的最大挠度值为:

$$N=\frac{2\sqrt{2}l}{\pi}\sqrt{\frac{1-\sqrt{\frac{F_{cr}}{F}}}{\frac{2F}{F_{cr}}+\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{F}{F_{cr}}}\sin2\pi\sqrt{\frac{F}{F_{cr}}}}}\tag{11}$$

假如实际车速大于安全运行车速,碳纤剑带失稳后变形,剑头处的变形量即为最大挠度值 N ,而此时的最大挠度值并不影响剑头在梭口内继续引纬工作,则可将安全运行车速进行修正。根据式(11)可将最大挠度值 N 设置为 2 mm。以 WL680 系列 3600 mm 门幅剑杆织机在工况 I 条件下为例,表 7

中显示其安全运行车速上限为 685 r/min,现将织机主轴转速设置为 686 r/min,此时剑带的挠度曲线如图 13 所示。由图 11 可知,当实际车速比安全运转车速大 1 r/min 时,剑带失稳后的最大挠度可达 8 mm,远大于 2 mm。故剑带的安全运行车速上限极其严苛,车速一旦超过安全运行上限剑带的弯曲形变必定导致剑头突破梭口撞断经纱。

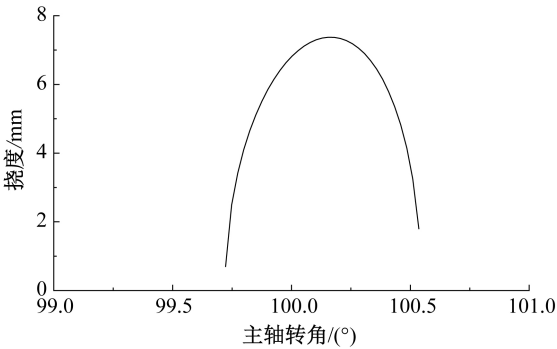


图 11 剑带失稳挠度曲线

4.3 纱线张力对安全运行车速的影响

实际生产织造中,剑带在引纬过程中受纱线张力 F_z 的作用,故剑带所受合力 F_m 为:

$$F_m=F_g+F_z\tag{12}$$

已知纱线张力随剑头速度变化而变化,本文不作详细计算,仅将纱线张力以固定值作为计算。设置式(12)中纱线张力 F_z 为 200~2000 g,模拟剑带失稳的临界载荷 F_{cr} 随主轴转角变化的曲线以及不同转速下剑带所受惯性力 F_g 随主轴转角变化的曲线,整理得在 $\mu=1$ 条件下,各纱线张力作用下 WL680 系列 3600 mm 门幅织机各工况下安全运行车速上限如下表 7 所示。

表 7 纱线张力作用下 WL680 系列 3600 mm 门幅剑杆织机的安全运行车速上限

纱线张 力/g	安全运行车速上限/(r•min ⁻¹)			
	工况 I	工况 II	工况 III	工况 IV
200	539	547	532	512
400	531	540	526	506
600	524	532	518	500
800	516	525	511	494
1000	509	517	502	488
1200	501	509	495	480
1400	493	500	487	470
1600	486	492	478	460
1800	477	483	470	451
2000	469	474	461	441

比较表 6 和表 7 可知,在纱线张力作用下,织机各工况下的安全运行车速上限均有所下降;由表 7 可知,在失稳载荷不变的情况下,纱线张力 F_z 越大,剑带的安全运行车速上限 n_{\max} 就越低。

5 结 语

本研究针对剑杆织机采用无导钩剑带的安全运行车速上限进行分析,避免剑带运行失稳的条件如下:

- a)织机门幅窄,织机引纬动程短,剑带不易失稳;
- b)剑头质量小,剑带受惯性力小,不易失稳;
- c)剑带截面抗弯刚度大,剑带失稳临界载荷大,不易失稳;
- d)剑带与静导轨间隙小,剑带失稳临界载荷越大,不易失稳;
- e)纱线张力小,剑带受压力小,不易失稳;
- f)运行车速低,剑带受惯性力小,不易失稳。

根据上述研究结论,在避免剑杆织机剑带运行失稳时可采取如下措施:

- a)在设计时尽可能减小剑头质量,提高剑带刚度;
- b)门幅超过 380 cm 的剑杆织机尽量不要使用无导钩约束的碳纤剑带;
- c)在设计和使用时,严格控制剑带与静导轨之间的间隙的同时,提高剑带和静导轨的耐磨性,减少磨损;
- d)当纬纱张力较大时,应适当降低车速运行。

参考文献:

[1] Eren R, Erturk M, Hascelik B. Kinematic design and motion analysis of spatial rapier drive mechanisms used in weaving machines[J]. Textile Research Journal, 2014, 84(19): 2065-2073.

[2] 周香琴,顾叶琴,吴震宇.可简便调幅的剑杆织机引纬机构参数特征[J]. 纺织学报, 2019, 40(9): 173-179.

[3] 周香琴.球面 4R 机构运动特性研究及其应用探索[J].中国机械工程,2011,22(2):153-158.

[4] 徐永康,张雷.基于 MATLAB 空间四连杆引纬机构运动仿真[J].轻工机械,2012,30(3):17-21.

[5] 张雷,余克龙,陈少钟,等.基于 ANSYS 和 ADAMS 空间四连杆引纬机构的柔性动力学仿真[J]. 纺织学报, 2013, 34(5): 116-120.

[6] 周香琴,杨胜蛟,王琴龙,等.剑杆织机惯性载荷变化规律及提速试验[J].纺织学报,2017,38(8):144-149.

[7] 张雷,贺虎,孔佳元.含间隙和尺寸误差空间连杆引纬机构运动精度综合分析[J]. 纺织学报, 2016, 37(6): 124-129.

[8] 周香琴.GA731 织机引纬机构运动副游隙对引纬的影响[J].纺织机械,2002(4):30-33.

[9] Kinari T. Weaving machinery and its related technologies[J]. Journal of Textile Engineering, 2007, 53(2): 43-52.

[10] Washida K, Sugimoto H, Masuda A. Servo-controlled weft yarn inserting mechanism for rapier loom[J]. Journal of Textile Engineering, 2000, 46(3): 83-92.

[11] 施盛威,朱美男,郑智毓.剑杆织机剑带磨损及处理[J].现代纺织技术,2006,14(3):35-36.

[12] 唐朝飞,李晶,张利锋,等.挠性剑杆织机剑头剑杆带磨损因素探讨[J].纺织器材,2014,41(2):8-10.

[13] Owlia E, Mirjalili S A, Shahnazari M. Design and modeling of an electromagnetic launcher for weft insertion system[J]. Textile Research Journal,2019,89(5):834-844.

[14] Xu Q, Mei S Q, Yan X Y, et al. Analysis of the magnetic field and electromagnetic force of a non-striking weft insertion system for super broad-width looms, based on an electromagnetic launcher[J]. Textile Research Journal,2019,89(21/22):4620-4631.

[15] 董冠文,李宗义,赵彦军,等.细长压杆失稳时最大挠度的确定[J].机械研究与应用,2014,27(1):15-18.

(责任编辑:康 锋)