

# 综框的模态识别

祝章琛 韩万军

(咸阳纺织机械厂)

**【摘要】** 本文介绍了通过输入输出数据分析识别综框模态参数的方法,给出了综框固有频率、模态阻尼和振型等模态参数测定的实例,讨论了模态参数在综框设计中的应用。

综框是织机开口部件中的重要器材,它的固有频率数值上接近织机运转频率,因此,高速运动的综框应具有良好的动态特性。

## 一、综框的结构

综框的上下横梁多用铝合金扁管制成,表面精细抛光和硬化处理,在其内腔填有泡沫材料或薄片形阻尼材料,以减少运动时的噪声和振动。在上下横梁两端用两根横档联接,横档用不锈钢板或铝材制成,综框厚10毫米,相邻两页综框用木板隔开以减少综框之间的摩擦。综框在上下往复运动时带动经纱实现开口动作,故承受经纱张力载荷。在高速织机上,每根经纱的张力峰值达48.4~57.2厘牛,经密达510~600根/10厘米,且幅幅宽的达380厘米,故综框必须具有高强度和刚性,以满足在承受经纱作用力时,综框下挠度允差仅为1毫米以下,且不能扭曲的要求。故多采用重量轻、强度高的铝合金和碳纤维做原材料。以往评定综框的标准只有平直度、强度等静态指标,随着高速织机的出现,它还应具有运动稳定、变形和振动小等良好的动态性能。

织机的经纱断头主要发生在综框邻近区域内,这是因为经纱在综眼中的摩擦和剧烈的综框振动传递给了经纱。在无梭织机运行中,综框振动不仅造成断经,在与织机转速共振时还会使综框断裂。在综框设计中,应尽量增加它的刚度和减轻其重量,提高综框的固有频率和改善吸振能力。

## 二、综框的运动方程

在织机上,综框的振动主要体现在上下振动和横振动,上下振动在张力峰值区域会直接

迭加到经纱上;横振动在宽幅和特宽幅织机上尤其严重。两个方向的振动可由两个运动方程表示如下:

$$[M]\{X_k''(t)\} + [C]\{X_k'(t)\} + [K]\{X_k(t)\} = \{f(t)\} \quad (1)$$

式中:  $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ 表示质量、阻尼和刚度矩阵;  $\{X_k''(t)\}$ 、 $\{X_k'(t)\}$ 、 $\{X_k(t)\}$ 表示综框在运动方向上的加速度、速度和位移列阵;  $\{f(t)\}$ 表示激振力列阵;下标  $k$  代表运动方向。

设综框的阻尼是线性粘性阻尼,则在频域内位移对激振力的响应公式如下:

$$\{X\} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & \dots & H_{1n} \\ H_{21} & H_{22} & \dots & H_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{n1} & H_{n2} & \dots & H_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{Bmatrix} \quad (2)$$

式中:  $H_{ij} = x_i/F_j = \sum_{r=1}^n [\psi_{ir}\psi_{jr}/m_r] / -\omega^2 + \omega_r^2 + j \cdot 2\zeta_r\omega \cdot \omega_r$ ;  $H$ 矩阵表示频响函数矩阵,表示在  $j$  点作用的外力  $F_j$  与  $i$  点位移响应之间的关系,是位移-力频响函数形式  $i H_{ij}(\omega)$  表示对于一定频率  $\omega$ ,在  $j$  点单位力引起在  $i$  点时的变形。在第  $r$  个阶振型共振时,其他阶形的影响可忽略不计。

固有频率、阻尼和振型组成综框的模态参数。分析综框的振动,首先求模态参数,然后在试验模态分析的基础上预测综框的振动特性。

## 三、单点激振试验

用频响测量数据得到的频域曲线确定机械系统的模态参数。试验装置见图1。综框用绳悬挂,测试时在综框上施加激振力,激振器采

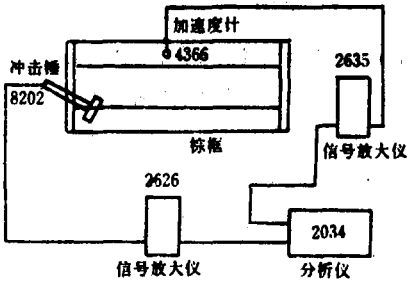


图 1 综框测试示意图

用布鲁爱尔克雅公司的8202型冲击锤。其外表类似普通的锤子，在其头部装有一只力传感器。冲击锤把伪随机激振信号施于综框，把综框的各阶振动同时激励起来。安装在综框上的加速度计接受综框的振动信号，响应传感器用4366型加速度计，它的下限频率为3.0赫，小于综框第一阶固有频率。信号送入双通道FFT 2034型频谱分析仪，将激励和响应的时域信号转换成频谱，并计算这两个函数之比，即频率响应函数。

试验模态分析用测试计算得到的频响函数求出下列模态参数：综框各阶固有频率；各阶模态频率共振的锐度即模态阻尼；综框在各阶固有频率下呈现的变形状态即振型。

为求得式(2)中的频响函数矩阵，用单点激振法。在测定矩阵的某一行时，把响应点固定在某一点，在综框上取若干点，满振点依次移动，求得频响函数矩阵的各分量。

对应于频响函数幅频曲线(图2a)共振峰

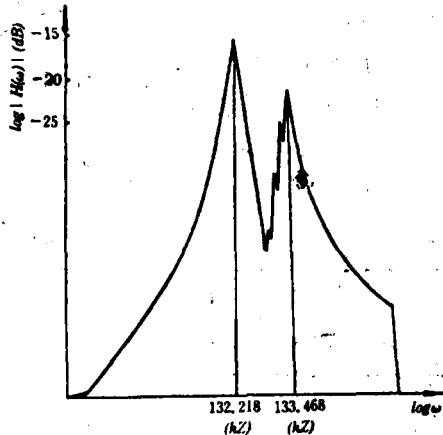


图 2a 新光 1.9 米箱幅综框的幅频曲线(双密模态结构)

值的频率，即在相频曲线(图2b)上相位 $\phi = -90^\circ$ 处的频率 $\omega_i$ ，被认为是第*i*阶共振频率。由于存在着结构阻尼，响应峰值对应的频率只是共振频率，在数值上与结构的固有频率稍有差别。在阻尼较小时，固有频率可近似认为等于共振频率。

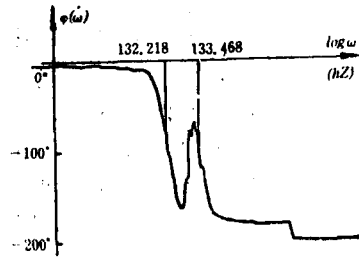


图 2b 新光 1.9 米箱幅综框的相频曲线

利用频响函数的实频和虚频曲线可以验证共振频率。实频曲线(图3a)拐点虚频曲线(图3b)负峰值对应的频率近似地等于共振频率。

幅频曲线每个共振峰的锐度用半功率法确定各阶模态阻尼比 $\zeta_i$ 。为了提高精度，测试时采用细化技术。

幅频曲线每个共振峰的锐度用半功率法确定各阶模态阻尼比 $\zeta_i$ 。为了提高精度，测试时采用细化技术。

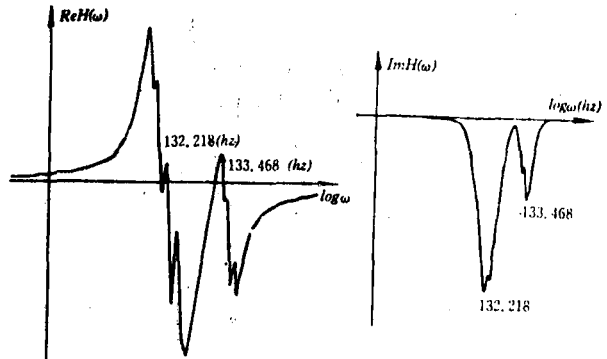


图 3a 新光 1.9 米箱幅综框响应的实频曲线 图 3b 新光 1.9 米箱幅综框响应的虚频曲线

$$\zeta_i = \Delta\omega_i / 2\omega_i \quad (3)$$

式中： $\Delta\omega_i$ 为半功率带宽。

振型是无因次量，以基准点的振动量为1，模态质量和模态向量长度等于1。

#### 四、测试结果

测试的综框有用于苏尔泽PU型片梭织机的grob铝合金综框，箱幅1.9米，扁管宽100毫米；用于津田驹ZA型喷气织机的新光铝合金综框，箱幅1.9米及2.8米(扁管宽90毫米)

三种。

1. 横振动：在综框上选16个点，上下横梁各5个点，左右横档各3个点。三种综框的模态频率和模态阻尼比的测试结果列于下表。

综框固有频率和阻尼系数测试结果

	Grob 综框		新光综框 (2.8米)		新光综框 (1.9米)	
	频率 (赫)	阻尼系数	频率 (赫)	阻尼系数	频率 (赫)	阻尼系数
横振动	12.062	0.029	5.250	0.004	11.5	0.007
			6.500	0.008	41.25	0.003
			10.125	0.006	75.50	0.005
					132.50	0.012
上下振动	70.25	0.006	5.300	0.003	59.71	0.003
	132.00	0.013	6.937	0.001	106.64	0.004
	242.00	0.008	53	0.002	220.45	0.001
			105	0.001		
		141	0.001			

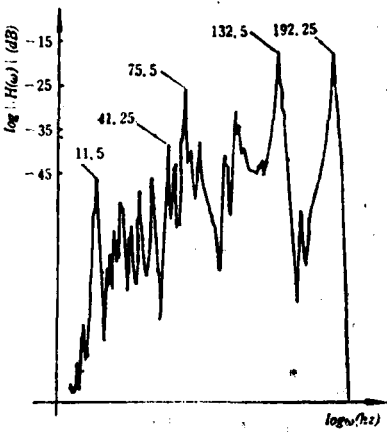


图4 新光1.9米综框幅频曲线图(0~200赫)

图4是新光1.9米箱幅综框的幅频曲线图，图中有多个共振峰值，综框是多自由度结构系统。

PU型片梭织机运行速度在400转/分左右，grob综框第一阶横振动固有频率为12.062赫，远高于织机运转频率。ZA型1.9米箱幅的喷气织机运行范围为420~600转/分，新光综框第一阶横振动固有频率为11.5赫，说明在ZA型喷气织机转速接近600转/分时，因两者频率接近而不宜使用新光综框。ZA型2.8米

箱幅的喷气织机转速范围为360~420转/分，新光综框在此车速范围有两个共振峰值(5.25和6.5赫)。说明ZA型2.8米喷气织机选用该种综框也是不适宜的(在实际使用中，该种综框多次发生断裂)。

阻尼是综框抵抗动态变形的能力。包括附件结构阻尼和填充材料的阻尼。为降低谐振的振幅，阻尼橡胶通过内摩擦衰减高频振动。在grob综框的扁铝型材内腔中填有阻尼材料，而新光综框的内腔是空心的。从上表可知，grob综框的横振动阻尼系数比新光综框大得多。

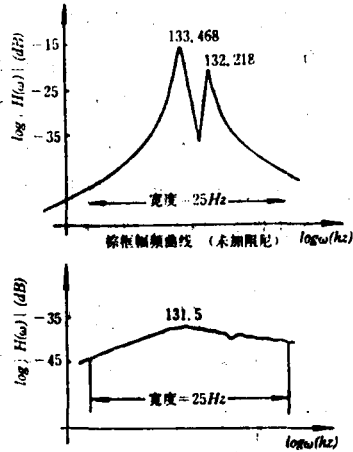


图5 综框幅频曲线

对于80赫以下的共振峰，阻尼材料作用不显著。综框横梁截面形状和径的分布都会影响阻尼系数大小，型材两外侧面稍向外鼓，内封闭腔以扁椭圆截面为好。合理的结构可增强抗变形能力并有利于吸振。

图6为grob1.9米箱幅综框在10.06赫时横振动振型。上下横梁都呈弯曲变形。在织机上，综框两端

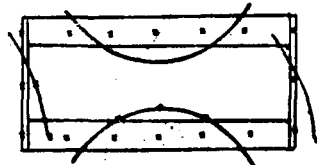


图6 grob1.9米箱幅综框的横振动振型(10.06赫)

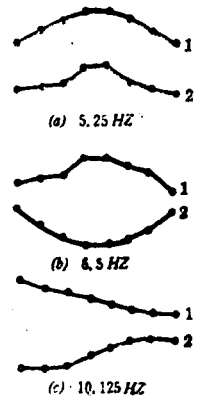


图7 新光2.8米箱幅综框的横振动振型 1—上横梁；2—下横梁。

在滑槽中滑动,约束了端部的形变,于是变形迭加到综框中部,变形最大,节点在距两端360毫米处。上下梁弯曲变形方向相反,左右变形方向一致,且在综丝挂条和横档交接处变形最小。

图7为新光2.8米箱幅综框的上下横梁振型。在5.25赫时,上下横梁呈弯曲变形,变形方向一致;在6.5赫时,上下横梁呈弯曲变形,变形方向相反;在10.125赫时,变形的节点在中部,以综框对角线为对称轴的扭曲变形。织机以380转/分速度运行,5.25和6.5赫的振型对综框影响最大,下横梁两种振型的变形方向相反,相互抵消,而上横梁两种振型的变形方向一致,结果变形迭加。因此,了解了振型和车速,就可以在综框设计时采取预防措施。

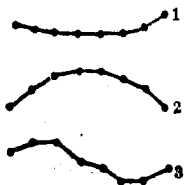


图8 grob 1.9米箱幅综框的上下振动振型  
1—70.25赫,  
2—132赫,  
3—24.2赫。

2.8米箱幅综框横振时中部最大弯曲值为1.9米箱幅综框的2.5~3倍,而且弯曲振动的固有频率很低,故在选用时应慎重。

图8为grob综框上横梁前三阶振动的振型。第一阶振动固有频率为70.25赫,单节点弯曲振型;第二阶振

动固有频率为132赫,双节点弯曲振动,中部变型最大;第三阶振动固有频率为242赫,三节点。织机车速如在第一阶固有频率以下,即可安全运行。

从表上可知,新光2.8米箱幅综框上下振动的前二阶频率为5.3和6.937赫,都在织机运行区域内,很不适宜。

综框上下振动的幅值比横振动小一个数量级。对于上下振动,综框的阻尼系数都很小,即综框在开口运动方向上的吸振能力很差,尤其是振动的高频部分会迭加到经纱上。

## 五、结 论

随着织机车速的提高,使用综框模态参数来设计综框是不可缺少的。本文说明在综框设计和选用中应注意以下问题:

1. 综框固有频率必须远高于织机车速,否则如新光2.8米箱幅的综框因共振而断裂。
2. 阻尼系数是综框很重要的机械特性,如grob综框阻尼系数大,因此振幅小、吸振力强、开口特性好。
3. 振型是分析综框动态特性的基础,可以用来评价综框的振动,并预测综框在一定车速范围内的变形状态。