



关于四连杆打纬运动学的讨论

对四连杆打纬运动学的分析研究已作了不少工作。但从实际情况来看,对有些问题的分析似乎还不够严格。所以,还有继续讨论的必要。

一、轴向与非轴向打纬

1. 问题的由来

众所周知,四连杆打纬有轴向与非轴向之分。而非轴向打纬,又有非轴向偏上与偏下之分。轴向与非轴向,偏上或偏下,在打纬运动学研究上占有重要位置,但如何加以判别,以往是不够严格的,以K251(或K252)与1511为例,非轴向偏度 e 值,几本大学的教材,就有几种数据或缺此数据(见下表)。形成这种状况的主要原因是,对四根连杆的长短和非轴向偏度的关系缺乏正确的理论分析,判断机构的轴向或非轴向,有时用作图法,然而作图法的精度是有限的。为此,应建立一定的关系式。

不同资料非轴向偏度 e 值

机型	资料来源	R	L	B	D_x	D_y	R/L	e
K251 (K252)	[1]							11.8
	[2]							-12
	[3]	65	525	660	635	565	1/8.1	-16
	[4]							12
	[5]							/
5111	[1]							14.5
	[2]							-20.6
	[3]	70	289	685	410	632	1/4.1	-20.6
	[4]							16.4
	[5]							-20.6

注:表中[1]、[2]、[3]、[4]、[5]见本文参考资料。 R 为曲轴半径; L 为牵手长度; B 为牵手栓到摇轴距离; D_x 为曲轴与摇轴的水平距离; D_y 为曲轴与摇轴的垂直距离。

2. 建立判别关系

见图1, O' 为摇轴中心, O (或 O_U 、 O_F)为曲轴中心。如保持 R 、 L 、 B 的长度不变,摇轴位置 O' 不变,牵手栓前心位置 C 不变,仅改变 D 的长度,可

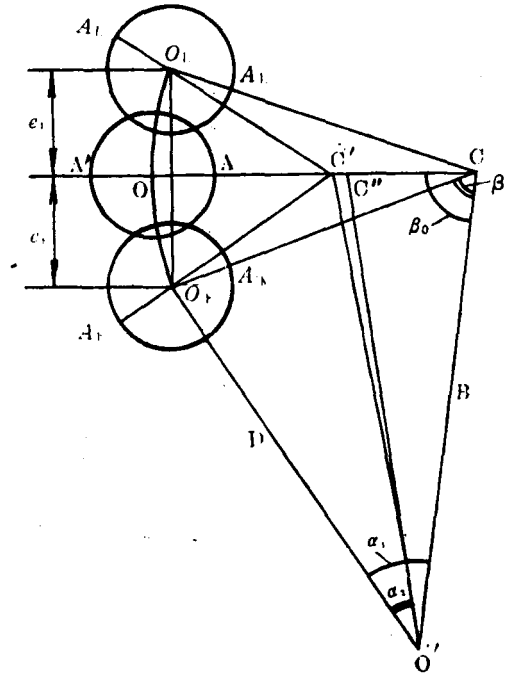


图1 轴向与非轴向打纬的关系

得到轴向打纬,非轴向偏上及偏下三种打纬机构,且非轴向偏度 $e_{\pm} = |e_F|$ 。

设定:①前心时 L 与 B 的夹角为 β (以 O_F 为例);②箱座摆动形成等腰 $\Delta O'CC'$ (或 C'')的底角为 β_0 。

则判别打纬机构性质可用以下三式:

若 $\beta = \beta_0$,则此机构为轴向打纬;

$\beta > \beta_0$,则此机构为非轴向偏上打纬。

$\beta < \beta_0$,则此机构为非轴向偏下打纬。

3. 非轴向偏度计算

见图1,在 $\Delta O'OF_C$ 及 $\Delta O'OF_C'$ 中分别有:

$$(L + R)^2 = B^2 + D^2 - 2BD\cos\alpha_1 \quad (1)$$

$$(L - R)^2 = B^2 + D^2 - 2BD\cos\alpha_2 \quad (2)$$

从(1)及(2)式中可求得 α_1 和 α_2 ,则 β_0 可从下式求得:

$$\beta_0 = [180 - (\alpha_1 - \alpha_2)]/2 \quad (3)$$

β 可从下式求出:

$$D^2 = (L + R)^2 + B^2 - 2(L + R)B\cos\beta \quad (4)$$

非轴向偏度 e 可从下式求得:

$$e = (L + R) \sin(\beta - \beta_0) \quad (5)$$

(5)式中,若 $\beta > \beta_0$,则 $e > 0$,为 $e_{\text{上}}$ 。反之,则 $e < 0$,为 $e_{\text{下}}$ 。

举例:①K251织机,用上表数据可算得 $\alpha_1 = 43.88^\circ$; $\alpha_2 = 32.48^\circ$; $\beta_0 = 84.3^\circ$; $\beta = 85.49^\circ$; $e_{\text{上}} = 12.55$ 。

②1511织机,同理可求得 $\alpha_1 = 28.41^\circ$; $\alpha_2 = 16.63^\circ$; $\beta_0 = 84.1^\circ$; $\beta = 86.73^\circ$; $e_{\text{上}} = 16.52$ 。

二、轴向打纬的运动学分析

以往对此问题的分析多数是设定数据后,对结果进行整体分析,这样就难以看出各因素对运动的影响,而在轴向与非轴向的关系上也缺乏有机联系,现用三角函数合成法来分析。

1. 位移的分析

由资料^[4]知,轴向打纬时牵手栓位移的方程是:

$$S_{\text{轴向}} = R(1 - \cos\alpha) + R^2 \sin^2\alpha / 2L \quad (6)$$

式中: $S_{\text{轴向}}$ 为牵手栓位移, α 为曲轴自前心起的转角。这里以 $\sin^2\alpha = (1 - \cos 2\alpha) / 2$ 代入(6)式,得:

$$S_{\text{轴向}} = R[(1 - \cos\alpha) + R(1 - \cos 2\alpha) / 4L] \quad (7)$$

经这样变换后,可把牵手栓位移看作是二个简谐运动之和,再放大 R 倍。因此, $S_{\text{轴向}}$ 的变化状况就取决于这两个简谐运动,为此设:

$$S_1 = (1 - \cos\alpha), S_2 = R(1 - \cos 2\alpha) / 4L$$

$$\text{则: } S_{\text{轴向}} = R(S_1 + S_2)$$

可以看出, S_1 的振幅为1,其运动速度就是曲轴的转速($\alpha = \omega t$, ω 为曲轴转速),而 S_2 的速度则是曲轴转速的两倍,振幅不是一个定值,它随 $R/4L$ 而异,因 $R < L$,故 $R/4L < 1$,可见 S_2 的振幅一定小于1。故 $S_{\text{轴向}}$ 是一个低速高振幅与另一个高速低振幅的简谐运动的叠加,见图2。图中上方是综框方向,下方是织口方向, $S_{\text{轴向}}$ 就是在 S_1 基础上附加了一个 S_2 ,因两者均是正号,故 $S_{\text{轴向}}$ 为单向增加,其中在 90° 及 270° 处增加最多,而在 0° , 180° 及 360° 没有增加。这一现象可想像为一个弹性膜在 0° , 180° , 360° 三处固定,在薄膜下方充气使它向上凸起,上凸的程度则随 R/L 而异, R/L 增大,则上凸较多。在织造工艺上可理解为牵手越短,则 R/L 增大,筘座在后心附近停留时间增多,增加了梭子飞过梭口的时间,这对高速织机及阔幅织机尤为必要,从图2还可看出,轴向打纬的位移规律是以 180° 位置为对称轴的对称曲线。

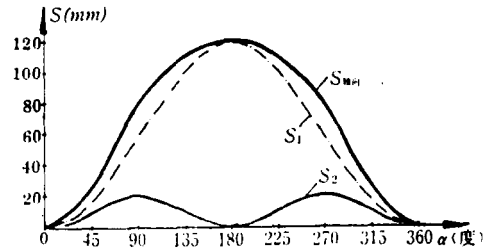


图2 轴向打纬的位移合成
注: $R = 60\text{mm}$; $L = 90\text{mm}$ (以下各图皆同)。

R/L 值对丝织机的意义:丝织机属长牵手打纬, $R/L \approx 1/8$,则 $R/4L = 3\%$,该值与1相比是一个很小的数,故对长牵手四连杆打纬机构而言, S_2 的振幅完全可以略而不计,则 $S_{\text{轴向}} = S_1$,故筘座运动基本上就是一个简谐运动,前心处运动不快,后心处运动不慢,始终处于不停的运动之中。

2. 速度的分析

(7)式对时间的微分,可得牵手栓的速度

$$V_{\text{轴向}} = R\omega(\sin\alpha + R\sin 2\alpha / 2L) \quad (8)$$

$$\text{设 } V_1 = \sin\alpha, V_2 = R\sin 2\alpha / 2L$$

$$\text{则 } V_{\text{轴向}} = R\omega(V_1 + V_2)$$

上式可理解为 $V_{\text{轴向}}$ 是两条不同速度、振幅的正弦曲线叠加再放大 $R\omega$ 倍,其中 V_1 是高振幅低速度, V_2 是低振幅高速度,见图3。这里的 V_1 与 V_2 叠加有时是正负相消的,在 0° 、 90° 、 180° 、 270° 和 360° 处,因 $V_2 = 0$ 故 $V = V_1$ 。在 0° 附近(指 $270^\circ \rightarrow 0^\circ \rightarrow 90^\circ$) V_1 与 V_2 同号,故 $V_{\text{轴向}}$ 增加,即前心附近筘座运动速度快,在 180° 附近(指 $90^\circ \rightarrow 180^\circ \rightarrow 270^\circ$) V_1 与 V_2 异号,故 $V_{\text{轴向}}$ 减小,即后心附近速度减慢,这可以理解为 $V_{\text{轴向}}$ 是 V_2 对 V_1 扭曲的结果,没有 V_2 作用时, V_1 在 90° 及 270° 处均是左右对称,由于 V_2 的作用使 V_1 对称性破坏,使 $V_{\text{轴向}}$ 变为前心处快后心处慢,这对打纬及引纬均是有利的,其有利程度是随 R/L 值的增大(牵手的缩短)而增加

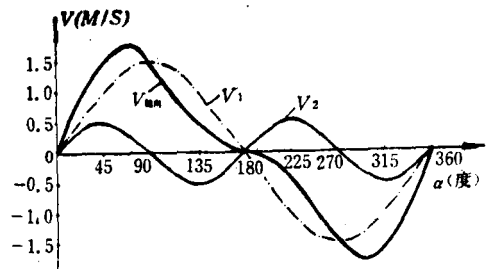


图3 轴向打纬的速度合成
注: $\omega = 25\text{S}^{-1}$ (以下各图皆同)。

的。从图中还可见，随 R/L 的增大， $\pm V_{max}$ 更靠近前心。对丝织机而言， $R/2L=6\%$ ，故 V_2 对 $V_{轴向}$ 的影响仍很小，可不予考虑。所以，丝织机牵手栓的速度变化基本上是正弦运动。

3. 加速度的分析

对(8)式微分可得加速度

$$a_{轴向} = R\omega^2(\cos\alpha + R\cos 2\alpha/L) \quad (9)$$

同前述方法，设 $a_1 = \cos\alpha$ ； $a_2 = R\cos 2\alpha/L$ ，则 $a_{轴向} = R\omega^2(a_1 + a_2)$ 。 a_1 、 a_2 对 a 的影响见图4。由图中可见， a_1 、 a_2 对 $a_{轴向}$ 的影响要比 V_1 、 V_2 和 S_1 、 S_2 对 $V_{轴向}$ 和 $S_{轴向}$ 的影响复杂得多。

$\alpha = 90^\circ$ 、 270° 时， $a_1 = 0$ ，故 $a_{轴向} = a_2$ ；

$\alpha = 45^\circ$ 、 135° 、 225° 、 315° 时， $a_2 = 0$ ，故 $a_{轴向} = a_1$ ；

a_1 ；

$\alpha = 0^\circ$ 、 360° 时， $a_{轴向} = a_1 + a_2 = +a_{max}$ ；

$\alpha = 180^\circ$ 时， $a_{轴向} = a_1 - a_2 = -a_{max}$ 。

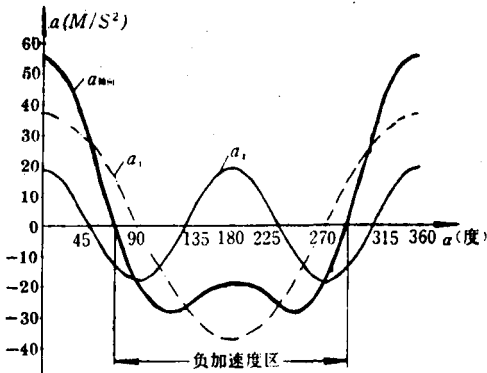


图4 轴向打纬的加速度合成

这样除了可得到 $a_{轴向}$ 曲线上的9个点外，还可以找到两个 $a_{轴向} = 0$ 的位置，这就是在 $\alpha = 45^\circ \sim 90^\circ$ 和 $270^\circ \sim 315^\circ$ 处，因这里 a_1 、 a_2 反号，故 $a_{轴向} = 0$ 总在此区间中。由上所述，随 R/L 值的增大， $\pm V_{max}$ 更靠近前心，与 $\pm V_{max}$ 对应的是 $a_{轴向} = 0$ ，故 $a_{轴向} = 0$ 的位置，亦随 R/L 的增大而靠近前心。两个 $a_{轴向} = 0$ 所包括的负加速度区，就是梭子稳定飞行的区间，牵手越短，这个区间越大。加速度曲线也是在 180° (后心)处左右对称。

对丝织机而言 $R/L = 1/8.1 = 12\%$ ，该值相对于1而言也是一个较小的数，故 a_2 对 $a_{轴向}$ 的影响也较小，负加速度区增加不大，不能提供较长的梭子飞行区间，前心处加速度增加也不大，也不能提供较大打纬力。

①加速度多峰值问题：众所周知，随着牵手长度的缩短，在负加速度区出现的负加速度峰值不止一

个，那么牵手短到何等程度，将出现多峰呢？为此，可求加速度一次导数为零时的 α 值。

$$a_{轴向} = R\omega^2(-\sin\alpha - 2R\sin 2\alpha/L) = 0 \quad \text{即：}$$

$$-\sin\alpha - 2R\sin 2\alpha/L = 0$$

式中 $\alpha = 0^\circ$ 、 180° 时，肯定能满足上式。此外还有满足上式的可能情况如下：以 $\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$ 代入，得 $\cos\alpha = -L/4R$ 。式中负号表明，此 α 存在于第2、3象限中。显然，上式存在的条件：

$$L/4R \leq 1 \quad \text{即} \quad L \leq 4R$$

上式表明，当牵手长度小于4倍曲柄长度时，将在第2、3象限内各出现一个加速度负峰值。

②举例：设 $L = 3R$ ，

则 $\alpha = 0^\circ$ 时， $a_{轴向} = 1.33R\omega^2$ ；

$\alpha = 180^\circ$ 时， $a_{轴向} = -0.67R\omega^2$ ；

$\alpha = 138.6^\circ$ 及 221.4° 时， $a_{轴向} = -0.71R\omega^2$

附带提一下，以往把 $R/L > 1/3$ 定义为短牵手，不知根据何在？依据以上分析， $R/L \leq 1/4$ 是出现多峰值的分界线，故建议把 $R/L \leq 1/4$ 出现多峰值的打纬机构定义为短牵手打纬机构。

三、非轴向打纬运动学分析

1. 位移的分析

根据资料[4]，非轴向打纬牵手栓位移的公式是：

$$S_{非轴向} = \sqrt{(L+R)^2 - e^2} - L + e^2/2L$$

$$+ R[R\sin^2(\alpha + \theta)/2L$$

$$- e\sin(\alpha + \theta)/L - \cos(\alpha + \theta)] \quad (10)$$

式中： $\theta = \sin^{-1}e/(L+R)$ ，其他符号意义同前。这里为便于分析，特作如下变换：①在(10)式中各加减一个 R ；②因 $\theta = \sin^{-1}e/(L+R)$ ，故令 $\sqrt{(L+R)^2 - e^2} = (L+R)\cos(\alpha + \theta)$ ；③将 $\sin^2(\alpha + \theta) = [1 - \cos 2(\alpha + \theta)]/2$ 代入(10)式；④令 $[e^2/2L - (L+R)(1 - \cos\theta)]/R = S_0$ 。经上述变换后，(10)式可表达为：

$$S_{非轴向} = R\{S_0 + [1 - \cos(\alpha + \theta)]$$

$$+ R[1 - \cos 2(\alpha + \theta)]/4L$$

$$- e\sin(\alpha + \theta)/L\} \quad (11)$$

在 R 、 L 、 e 为定值时， S_0 为常数。比较(11)与(7)式可见，轴向与非轴向位移的区别仅在于 e 的存在，(11)式中以 $(\alpha + \theta)$ 取代了(7)式中 α ，另外还多了一个常数项和一个正弦项。再设： $S_1 = 1 - \cos(\alpha + \theta)$ ； $S_2 = R[1 - \cos 2(\alpha + \theta)]/4L$ ； $S_3 = -e\sin(\alpha + \theta)/L$

故有： $S_{非轴向} = R(S_0 + S_1 + S_2 + S_3) \quad (12)$

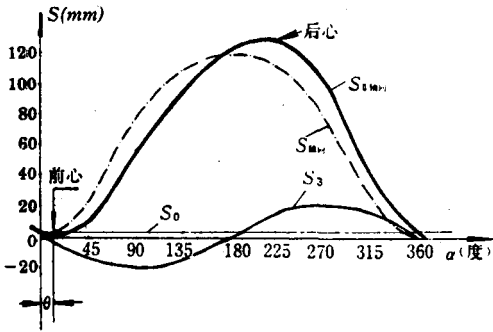


图5 非轴向打纬位移合成
注: $e = 45\text{mm}$, $\theta = 12^\circ$ (以下各图皆同)。

因 $S_{\text{轴向}} = R(S_1 + S_2)$, 所以

$$S_{\text{非轴向}} = S_{\text{轴向}} + R(S_0 + S_3) \quad (13)$$

(13)式可用图5示之, 图中横座标表示 $\alpha + \theta$ 。

在横座标为 θ (即 $\alpha = 0$) 处, 因 $S_{\text{轴向}} + S_0 = S_3$, 故 $S_{\text{非轴向}} = 0$, 此处即为前心, 由于 S_3 的作用, 后心不在 $\alpha + \theta = 180^\circ$ 处, 曲线也不左右对称, 且 $S_{\text{非轴向}} > S_{\text{轴向}}$, 在非轴向偏上时, 前心到后心的时间大于 180° 。

2. 速度的分析

将(11)式对时间微分, 可得速度:

$$V_{\text{非轴向}} = R\omega[\sin(\alpha + \theta) + R\sin 2(\alpha + \theta)/2L - e\cos(\alpha + \theta)/L] \quad (14)$$

同样, 令 $V_1 = \sin(\alpha + \theta)$; $V_2 = R\sin 2(\alpha + \theta)/2L$; $V_3 = -e\cos(\alpha + \theta)/L$ 。因 $V_{\text{轴向}} = R\omega(V_1 + V_2)$ 故

$$V_{\text{非轴向}} = V_{\text{轴向}} + R\omega V_3 \quad (15)$$

(15)式可用图6示之, 在非轴向偏上的情况下, $+V_{\text{max}}$ 比轴向打纬时减小, 而 $-V_{\text{max}}$ 则有所增加, $V = 0$ 处即为前、后心。

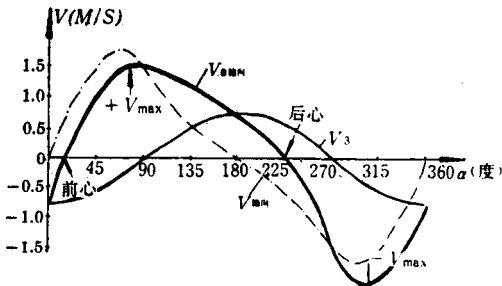


图6 非轴向打纬的速度合成

3. 加速度分析

将(14)式对时间微分可得加速度

$$a_{\text{非轴向}} = R\omega^2[\cos(\alpha + \theta) + R\cos 2(\alpha + \theta)/L$$

$$+ e\sin(\alpha + \theta)/L] \quad (16)$$

同样令 $a_1 = \cos(\alpha + \theta)$; $a_2 = R\cos 2(\alpha + \theta)/L$; $a_3 = e\sin(\alpha + \theta)/L$ 。因 $a_{\text{轴向}} = R\omega^2(a_1 + a_2)$, 则

$$a_{\text{非轴向}} = a_{\text{轴向}} + R\omega^2 a_3 \quad (17)$$

(17)式可用图7示之, 由于 a_3 的作用, $a_{\text{轴向}}$ 的对称性被破坏, $+a_{\text{max}}$ 由 0° 移至前心, 两个负加速度极值不相等, 另一负加速度极值不明显。

e/L 值对丝织机的意义, 以 K251 为例, $L = 525$, $e = 12.55$, 则 $e/L = 0.02$, 此值甚小, 故 e 值对打纬起不了什么作用。若要 e 能对打纬运动产生影响, 只有在短牵手的条件下才能实现。

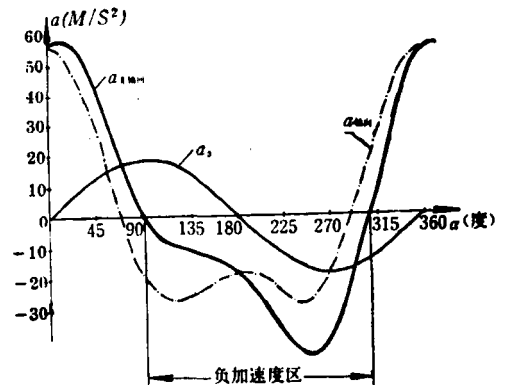


图7 非轴向打纬的加速度合成

四、结论

1. 判别是否轴向打纬, 取得准确的非轴向偏度值, 使用本文计算法较为正确。

2. 研究 R/L 及 e/L 对四连杆打纬运动的影响使用三角函数合成法较为直观。

以上看法不知是否正确, 愿通过你刊向同行专家请教。

参 考 资 料

- [1] 陈元甫主编:《机织工艺与设备》, 下册, p.270, 纺织工业出版社, 1984年。
- [2] 兰锦华主编:《毛织学》, 下册, p.201, 纺织工业出版社, 1987年。
- [3] 浙江丝绸工学院主编:《丝绸机械设计》, p.163, 纺织工业出版社, 1983年。
- [4] 浙江丝绸工学院, 苏州丝绸工学院编:《丝织学》, 下册, p.101, 纺织工业出版社, 1982年。
- [5] 刘裕璋、陈人哲编:《纺织机械设计原理》, p.79, 纺织工业出版社, 1981年。

(浙江丝绸工学院 王光华)