

六连杆打纬机构运动学分析

高卫东

摘 要

本文用复数矢量解析法对 GN721 挠性剑杆织机的六连杆打纬机构进行精确的运动分析,作出了箱座脚的运动线图。并与 1511M 型织机的四连杆打纬机构相比较,六连杆打纬机构可以允许引纬器有较多的时间通过梭口。因此,在老机改造和新机设计时都可采用六连杆打纬机构。

六连杆打纬机构已广泛地应用在新型织机上,以适应不同引纬方式的要求。例如,意大利索密特挠性剑杆织机和中国纺织机械厂最新定型并已投入批量生产的 GN721 型挠性剑杆织机都采用了六连杆打纬机构。它能使引纬器在梭口里进行往复运动的时间增加,即箱座在后方的运动更为缓慢。它比共轭凸轮打纬机构的结构简单,运动副都是低副,便于加工制造。然而,对六连杆打纬机构的运动分析资料甚少,本文以复数矢量解析法对该机构进行精确分析,并与四连杆打纬机构对比,以供新机设计和老机改造时作参考。

一、机构简介

GN721 型挠性剑杆织机的六连杆打纬机构如图 1 所示。当曲柄 1 回转时,连杆 2 驱动摇杆 3 摆动,再经连杆 4 使箱座脚 5 以摇轴为中心前后摆动,完成打纬运动。

该打纬机构可以看成是由两个四连杆机构 ABCD 和 CDEF 串联而成。曲轴的回转运动经曲柄摇杆机构 ABCD 转变成 CD 的摆动,又通过双摇杆机构 CDEF 传动箱座脚往复摆动,使钢箱打纬。

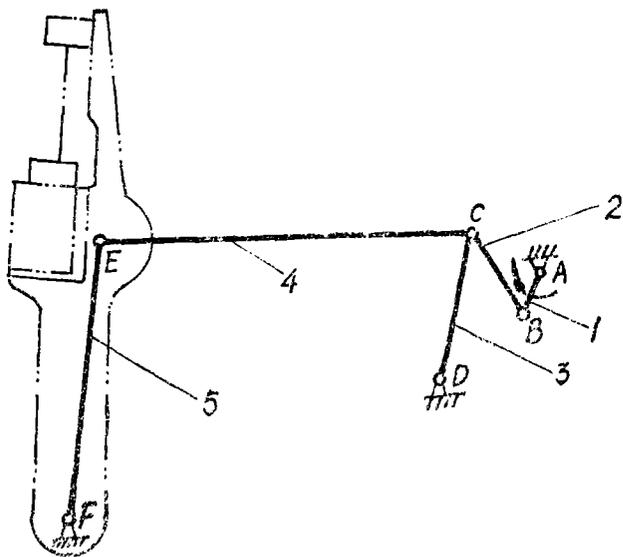


图 1 六连杆打纬机构

本文收到日期 1983 年 8 月 3 日

二、运动分析

六连杆打纬机构的机构简图如图2所示。以摇轴中心F为坐标原点，x方向(水平方向)为实轴，y方向为虚轴，建立如图所示的直角坐标系，并标出各杆件的矢量方向和位置转角。

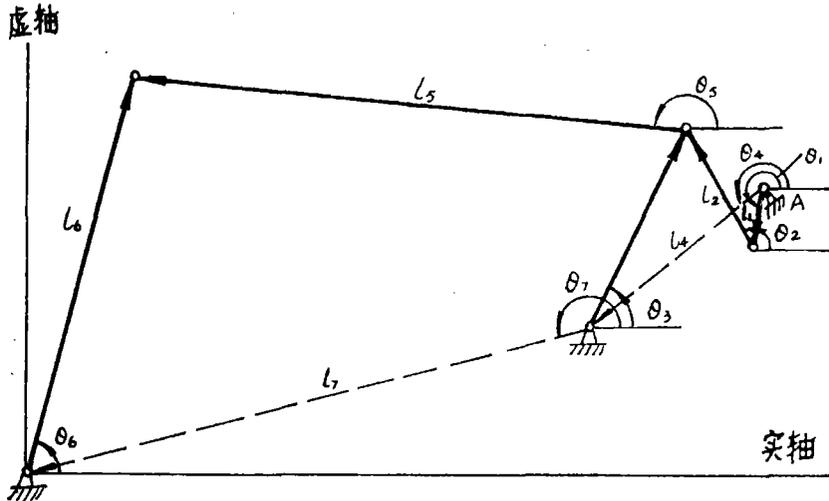


图2 六连杆打纬机构矢量多边形

(一) 首先求解曲柄摇杆机构中 CD 杆的角位移、角速度和角加速度
根据图2中矢量封闭多边形写出矢量方程式：

$$l_1 e^{i\theta_1} + l_2 e^{i\theta_2} = l_4 e^{i\theta_4} + l_3 e^{i\theta_3} \quad (1)$$

由欧拉方程 $e^{i\theta} = \cos\theta + i\sin\theta$ 展开，并根据方程式两边实部和虚部分别相等可得：

$$l_1 \cos\theta_1 + l_2 \cos\theta_2 = l_4 \cos\theta_4 + l_3 \cos\theta_3 \quad (2)$$

$$l_1 \sin\theta_1 + l_2 \sin\theta_2 = l_4 \sin\theta_4 + l_3 \sin\theta_3 \quad (2')$$

将式(2)(2')联立消去 θ_2

$$\begin{aligned} l_2^2 &= l_4^2 + l_3^2 + l_1^2 + 2l_3 l_4 \cos(\theta_3 - \theta_4) - 2l_1 l_4 \cos(\theta_1 - \theta_4) \\ &= 2l_1 l_3 \cos(\theta_1 - \theta_3) \end{aligned} \quad (3)$$

令

$$A_1 = \sin\theta_1 - \frac{l_4}{l_1} \sin\theta_4$$

$$B_1 = \cos\theta_1 - \frac{l_4}{l_1} \cos\theta_4$$

$$C_1 = \frac{l_4^2 + l_3^2 + l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_3} - \frac{l_4}{l_3} \cos(\theta_1 - \theta_4)$$

代入式(3)得

$$A_1 \sin\theta_1 + B_1 \cos\theta_1 = C_1 \quad (4)$$

由三角公式 $\sin\theta = \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\theta}{2}}$ ， $\cos\theta = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\theta}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\theta}{2}}$ 代入式(4)为

$$(B_1 + C_1) \operatorname{tg}^2 \frac{\theta_3}{2} - 2A_1 \operatorname{tg} \frac{\theta_3}{2} - (B_1 - C_1) = 0$$

解得摇杆 DC 的角位移计算公式

$$\theta_3 = 2 \arctg \frac{A_1 \pm \sqrt{A_1^2 + B_1^2 - C_1^2}}{B_1 + C_1} \quad (5)$$

式中的±号按机构运动的连续性确定。

我们对打纬机构的运动学分析,旨在确定箱座脚的运动性质,连杆的运动参数不需求出,所以将(3)对时间 t 求导数一次得

$$0 = -2l_3 l_4 (\theta_3' - \theta_4') \sin(\theta_3 - \theta_4) + 2l_1 l_4 (\theta_1' - \theta_4') \sin(\theta_1 - \theta_4) + 2l_1 l_3 (\theta_1' - \theta_3') \sin(\theta_1 - \theta_3)$$

因为 θ_4 为定角,所以 $\theta_4' = 0$ 。摇杆 CD 的角速度计算公式为

$$\theta_3' = \theta_1' \cdot \frac{\frac{l_4}{l_3} \sin(\theta_1 - \theta_4) + \sin(\theta_1 - \theta_3)}{\frac{l_4}{l_1} \sin(\theta_3 - \theta_4) + \sin(\theta_1 - \theta_3)} \quad (6)$$

将式(3)对时间 t 求导二次,并且设曲轴匀速回转, $\theta_1'' = 0$,

再将 $\theta_4' = 0$, $\theta_4'' = 0$ 代入得到:

$$0 = -l_3 l_4 \theta_3'' \cos(\theta_3 - \theta_4) - l_3 l_4 \theta_3'' \sin(\theta_3 - \theta_4) + l_1 l_4 \theta_1'' \cos(\theta_1 - \theta_4) + l_1 l_3 (\theta_1' - \theta_3')^2 \cos(\theta_1 - \theta_3) - l_1 l_3 \theta_3'' \sin(\theta_1 - \theta_3)$$

整理得摇杆 CD 的角加速度计算公式

$$\theta_3'' = \frac{\frac{l_4}{l_3} \theta_1'' \cos(\theta_1 - \theta_4) - \frac{l_4}{l_1} \theta_1'' \cos(\theta_3 - \theta_4) + (\theta_1' - \theta_3')^2 \cos(\theta_1 - \theta_3)}{\frac{l_4}{l_1} \sin(\theta_3 - \theta_4) + \sin(\theta_1 - \theta_3)} \quad (7)$$

(二) 在双摇杆机构 DCEF 中求箱座脚 EF 的角位移、角速度和角加速度

根据图 2 的矢量封闭多边形写出矢量方程式

$$l_3 e^{i\theta_3} + l_5 e^{i\theta_5} = l_7 e^{i\theta_7} + l_6 e^{i\theta_6} \quad (8)$$

由欧拉方程展开,并根据方程式两边实部和虚部分别相等得

$$l_3 \cos \theta_3 + l_5 \cos \theta_5 = l_7 \cos \theta_7 + l_6 \cos \theta_6 \quad (9)$$

$$l_3 \sin \theta_3 + l_5 \sin \theta_5 = l_7 \sin \theta_7 + l_6 \sin \theta_6 \quad (9')$$

联立(9)(9')式消去 θ_5

$$l_5^2 = l_7^2 + l_6^2 + l_3^2 + 2l_7 l_6 \cos(\theta_6 - \theta_7) - 2l_3 l_7 \cos(\theta_3 - \theta_7) - 2l_3 l_6 \cos(\theta_3 - \theta_6) \quad (10)$$

$$A_2 = \sin \theta_3 - \frac{l_7}{l_3} \sin \theta_7$$

$$B_2 = \cos \theta_3 - \frac{l_7}{l_3} \cos \theta_7$$

$$C_2 = \frac{l_7^2 + l_6^2 + l_3^2 - l_5^2}{2l_3 l_6} - \frac{l_7}{l_6} \cos(\theta_3 - \theta_7)$$

代入式(10)得

$$A_2 \sin \theta_6 + B_2 \cos \theta_6 = C_2$$

解此三角方程,同理可得箱座角位移的计算公式

$$\theta_6 = 2 \arctg \frac{A_2 \pm \sqrt{A_2^2 + B_2^2 - C_2^2}}{B_2 + C_2} \quad (11)$$

式中±号同样根据机构运动的连续性确定。

将式(10)对时间 t 求导一次, 并注意到 $\theta_7 = 0$, 同理可得箱座脚角速度计算公式

$$\theta_6' = \frac{\frac{l_7}{l_6} \sin(\theta_3 - \theta_7) + \sin(\theta_3 - \theta_6)}{\frac{l_7}{l_3} \sin(\theta_6 - \theta_7) + \sin(\theta_3 - \theta_6)} \cdot \theta_3' \quad (12)$$

将式(10)对时间 t 求导二次, 并注意 $\theta_7' = 0$, $\theta_7'' = 0$, 同理可得箱座脚角加速度的计算公式

$$\theta_6'' = \frac{\frac{l_7}{l_6} \theta_3'' \sin(\theta_3 - \theta_7) + \frac{l_7}{l_6} \theta_3' \cos(\theta_3 - \theta_7) - \frac{l_7}{l_3} \theta_3' \cos(\theta_6 - \theta_7)}{\frac{l_7}{l_3} \sin(\theta_6 - \theta_7) + \sin(\theta_3 - \theta_6)} + \frac{\theta_3'' \sin(\theta_3 - \theta_6) + (\theta_3' - \theta_6')^2 \cos(\theta_3 - \theta_6)}{\frac{l_7}{l_3} \sin(\theta_6 - \theta_7) + \sin(\theta_3 - \theta_6)} \quad (13)$$

(三) 求作箱座脚的运动线图

已知 GN721 型挠性剑杆织机六连杆打纬机构的有关尺寸: $l_1 = 55\text{mm}$, $l_2 = 125\text{mm}$, $l_3 = 203\text{mm}$, $l_4 = 251.18\text{mm}$, $l_5 = 500\text{mm}$, $l_6 = 374\text{mm}$, $l_7 = 518.87\text{mm}$; $\theta_4 = 209.32^\circ$, $\theta_7 = 195.08^\circ$ 。

将主轴一回转为 24 等份, 每等份 15° , 根据所导出的公式求 θ_1 的各对应值 θ_6 、 θ_6' 和 θ_6'' 数据见表一。

表一 GN 721 织机箱座脚角位移、角速度、角加速度

主轴转角 θ_1 (度)	θ_3 (度)	θ_3' (θ_1')	θ_3'' (θ_1'')	箱座角位移 θ_6 (度)	箱座角速度 θ_6' (θ_1')	箱座角加速度 θ_6'' (θ_1'')
0	42.45	0.0403	0.2289	65.44	0.0176	0.1002
15	43.54	0.1074	0.2800	65.92	0.0474	0.1265
30	45.72	0.1830	0.2872	66.89	0.0825	0.1378
45	48.99	0.2514	0.2244	68.39	0.1168	0.1189
60	53.14	0.2968	0.1189	70.35	0.1426	0.0759
75	57.75	0.3135	0.0105	72.60	0.1555	0.0230
90	62.41	0.3033	-0.0868	74.95	0.1546	-0.0301
105	66.73	0.2689	-0.1744	77.18	0.1399	-0.0815
120	70.37	0.2124	-0.2556	79.08	0.1121	-0.1295
135	73.00	0.1358	-0.3284	80.48	0.0723	-0.1731
150	74.36	0.0421	-0.3821	81.20	0.0225	-0.2039
165	74.22	-0.0609	-0.3966	81.14	-0.0325	-0.2114
180	72.55	-0.1495	-0.3450	80.24	-0.0794	-0.1813

(续表二)

主轴转角 θ_1 (度)	θ_3 (度)	θ_3' (θ_1')	θ_3'' (θ_1'')	箱座角位移 θ_6 (度)	箱座角速度 θ_6' (θ_1')	箱座角加速度 θ_6'' (θ_1'')
195	69.52	-0.2382	-0.2356	78.63	-0.1253	-0.1177
210	65.58	-0.2815	-0.0913	76.58	-0.1457	-0.0366
225	61.27	-0.2877	0.0374	74.37	-0.1457	0.0308
240	57.08	-0.2665	0.1152	72.27	-0.1316	0.0790
255	53.34	-0.2316	0.1418	70.45	-0.1114	0.0826
270	50.15	-0.1934	0.1447	68.93	-0.0907	0.0728
285	47.53	-0.1567	0.1352	67.72	-0.0718	0.0678
300	45.44	-0.1225	0.1274	66.77	-0.0551	0.0610
315	43.85	-0.0892	0.1284	66.06	-0.0395	0.0588
330	42.77	-0.0540	0.1434	65.58	-0.0236	0.0635
345	42.26	-0.0125	0.1770	65.36	-0.0054	0.0771

当 $\theta_1 = 156.21^\circ$ 时,箱座到达其最前位置,即前死心,作图时定曲柄转角在该位置为零度。运动线图如图3所示。由图上可以看到该机构在曲柄一回转中运动的主要特征:(1)箱座总摆动角 15.92° 。箱座从前死心摆动到后死心占主轴转角 167.28° 。(2)角速度的两个峰值在 80° 及 300° 左右,引纬阶段箱座运动缓慢,引纬时间角大。(3)加速度变化较为缓和,最大

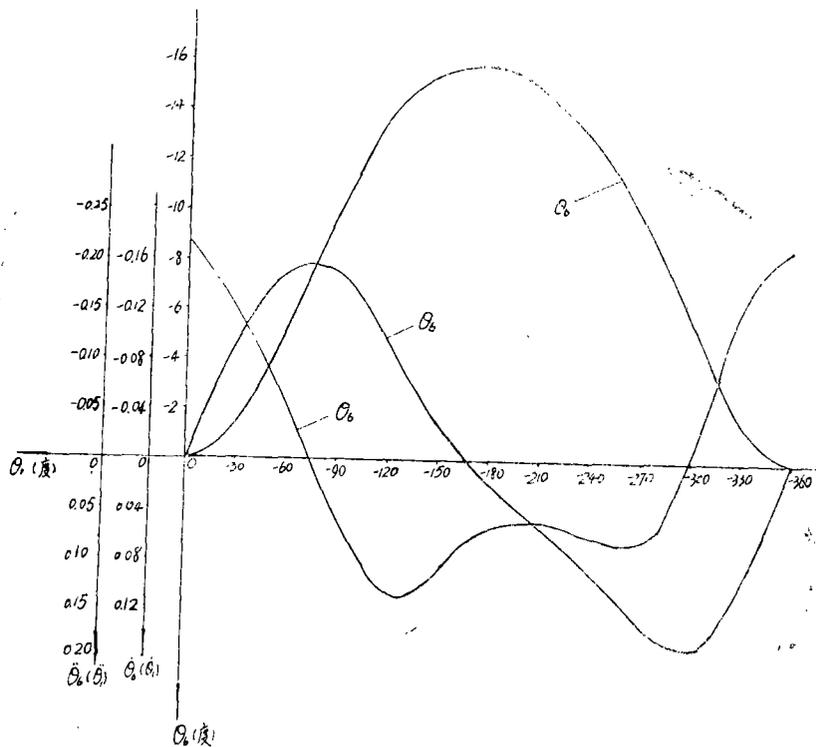


图3 箱座脚运动曲线

峰值在最前位置,有利于惯性打纬。

三、与四连杆打纬机构的比较

为了进一步了解六连杆打纬机构的运动性质,假定把它移植到有梭织机上,以便与四连杆打纬机构作比较。取 1511M 型织机的四连杆打纬机构作为比较对象。为了说明问题,应在两者织口高度上钢筘动程 S 相等的情况下比较:为此,把 GN 721 打纬机构的钢筘动程扩大到 153.5mm (该数值为 1511M 织机织口高度上的钢筘动程),曲柄 AB 的长度可用前面的公式进行相应的换算,应由 55mm 放大到 62mm,再按这样尺寸的六连杆打纬机构计算并作出织口高度上钢筘的线位移曲线,如图 4 实线所示,虚线为用解析法求作的四连杆打纬机构织口高度上钢筘的线位移曲线。

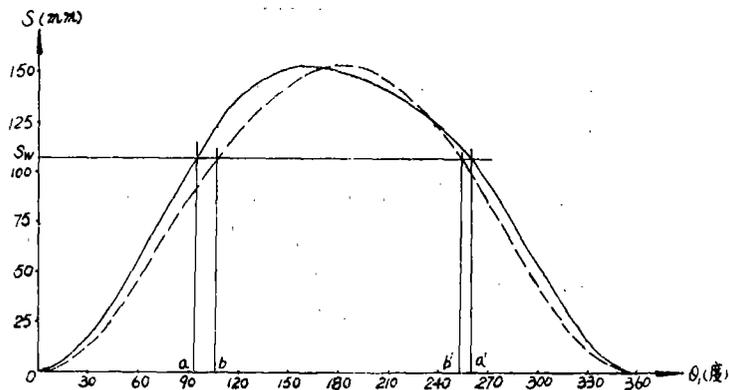


图 4 筘座位移曲线的对比

在图 4 的线位移曲线上作平行于 θ_1 轴的 S_w ^[1] 直线, S_w 的数值为允许梭子进出梭口时,织口高度上钢筘到其最前位置的距离,即 $S > S_w$ 梭子可以安全地进出梭口。该直线分别截两条曲线于 aa' 和 bb' ,可以看出 aa' 为六连杆打纬机构允许梭子在梭口中飞行的时间,约占主轴转角 168° ; bb' 为四连杆打纬机构允许梭子在梭口中飞行的时间,约占主轴转角 147° 。对比表明六连杆打纬机构可供引纬的时间角比四连杆打纬机构大 21° ,对梭子飞行是有利的。

若要求筘座在其后死心附近运动更慢些,以便梭子有更长的时间在梭口中飞行,则可进一步修改六连杆打纬机构的有关参数,使两套串联的四杆机构尽量同时接近于各自的极限位置,设计时可利用已导出的筘座脚运动的解析方程式。利用电子计算机精确求解是很方便的。

综上所述,六连杆打纬机构筘座运动的平稳性较好,允许引纬器在梭口中往返运动的时间较长,在老机改造和新机设计时都可以采用。

主要参考文献

- [1] 上海纺织工学院,《织机》,上海人民出版社,1976, P107~109
- [2] 张清武,《纺织学报》,1980年1期 P18
- [3] C. H. Suh, C. W. Raclcliffe, Kinematics and Mechanisms Design, John Wiley and Sons Book Company, 1978年 P9~13.

The kinematic Analysis of The Six-Link mBeating-Up Mechanism

Gao Wei-dong

Abstract

This article derives analytical equations calculating the angular displacement, the angular velocity and the angular acceleration of the sword in the six-link beating-up mechanism of type GN721 flexible-rapier loom. The kinematic diagram has been drawn. The comparison with the four-link beating-up mechanism of type 1511M shows that the six-link beating-up mechanism has more time for the weft carrier to pass through the shed, so that it is available to the improvement and the design of looms.