

正置空间曲柄摇杆引纬机构的运动规律研究

黄 晨

李克让 陈 明

(安徽农业大学蚕业丝绸系,合肥,230036)

(东华大学)

摘 要:通过对典型的正置空间曲柄摇杆引纬机构的运动学分析,研究了在摇杆最大摆角和输出杆长度取不同的值时输出杆的运动变化规律,选出了能满足传动性能要求的较佳机构参数。同时指出机构尚存在的有待进一步研究的问题。

关键词:剑杆织机 引纬机构 曲柄摇杆 运动性能 研究

中图分类号:TS 103.33.3

1 问题的提出

剑杆引纬机构是剑杆织机的一大关键机构,其运动特性在很大程度上决定了整台织机的性能与档次。文献^[1,2]指出理想的引纬机构传动系统应具备以下主要特点:(1)在前心位置附近的位移曲线要比较平缓,以减小剑头的空行程;(2)剑头加速度的最大绝对峰值应小,尤其在纬纱交接时加速度绝对值尽可能要小些。

鉴于此,下面以典型正置空间曲柄摇杆引纬机构为例,从运动学方面对该机构进行分析,找出较佳的机构参数组合,以提高织机的传动性能,满足剑杆织机的织造要求。

2 传动机构的运动学分析

剑杆织机采用正置空间曲柄摇杆引纬的传动机构^[3],其传动机构正视及侧视图如图 1 所示,AB、

CD 为实长, A'B'、C'D' 为投影。

轴 A 以 ω 速度转动,由曲柄 AB 通过连杆 BC 带动摇杆 CD 摆动,再通过四连杆机构将运动传给一扇形齿轮 E,带动剑轮 F 转动完成引剑过程。在空间机构 ABCD 中,转轴 A 与摆轴 D 呈正置,即垂直相交,D 点在轴 A 的轴线上。取 $AB = R_0$, $AD = L$,则 R_0/L 比值将决定空间机构的传动性能。如图所示建立 A-xyz 直角坐标系并设 CD 离垂线的偏角为 θ 、 $CD = r$,则应得

$$x_B = R_0 \sin \omega t, y_B = R_0 \cos \omega t,$$

$$z_B = 0; x_C = 0, y_C = r \cos \theta, z_C = L + r \sin \theta.$$

$$BC^2 = R_0^2 \sin^2 \omega t + (R_0 \cos \omega t - r \cos \theta)^2 + (L + r \sin \theta)^2$$

$$= R_0^2 + r^2 + L^2 + 2r(L \sin \theta - R_0 \cos \omega t \cos \theta)$$

解得

$$R_0 \cos \omega t = L \tan \theta + (R_0^2 + r^2 + L^2 - BC^2) / 2r \cos \theta$$

作为最简单形式的解,可取 $BC^2 = R_0^2 + r^2 + L^2$ 于是可得

$$\tan \theta = R_0 \cos \omega t / L (= A'B' / A'D = \tan \angle A'DB')$$

$$\theta (= \angle A'DB') = \arctan(R_0 \cos \omega t / L)$$

$$= \arctan(\tan \theta_0 \cos \omega t)$$

$$(t = 0 \text{ 时 } \theta_{max} = \theta_0) \quad (1)$$

在式(1)中,若 $R_0/L (= \tan \theta_0)$ 给定, θ 角就完全取决于 ωt 。现分别取 $\theta_0 = 45^\circ, 40^\circ, 35^\circ, 30^\circ, 25^\circ, 20^\circ, 15^\circ, 10^\circ$,画出 θ 与 ωt 的关系曲线如图

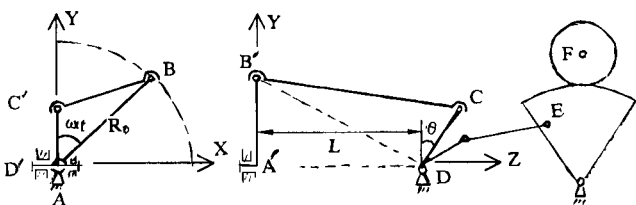


图 1 正置空间曲柄摇杆引纬机构示意图

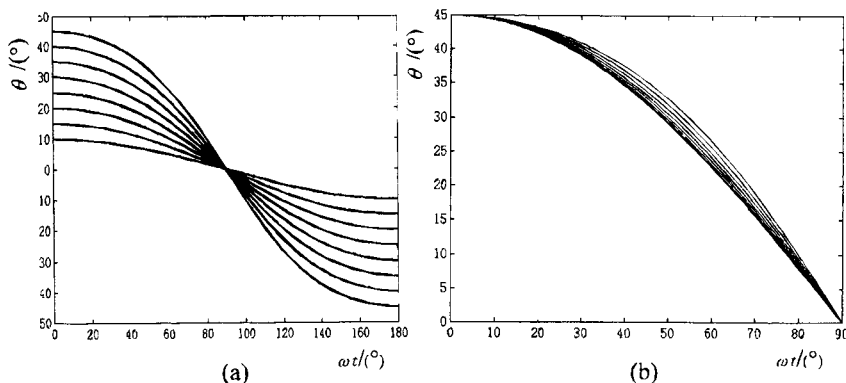


图 2 θ 与 ωt 的关系

2(a)(对应左侧曲线按从上至下顺序排列)所示,图2(b)则表示:以 $\theta_0 = 45^\circ$ 曲线为基准,将其它曲线的 θ 值乘以系数 $45^\circ/\theta_0$ (如表1)后所得的关系曲线,以便相互对比其各自的运动特性。

表1 不同 θ_0 值与其相应系数 $45^\circ/\theta_0$

$\theta_0/(^\circ)$	10	15	20	25	30	35	40	45
$45^\circ/\theta_0$	9/2	9/3	9/4	9/5	9/6	9/7	9/8	1

根据以上分析可得出:(1) R_0/L 的值给定, θ 与 ωt 的关系曲线近似余弦曲线;(2) R_0/L 的值愈大, θ 的峰值 θ_0 愈大;(3)在不同的 R_0/L 比值($\theta_0 < 45^\circ$)时,可以通过放大机构得到近乎一致的 θ 与 ωt 的关系曲线,见图2(b)。

在设计时似乎应尽可能地取 R_0/L 的值,以增大剑头动程。但应注意 R_0/L 的值也影响到剑头运动的加速度与压力角的大小。设A轴以 ω 等速回转,根据式(1)可得摇杆的角速度和角加速度如下:

$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= d\theta/dt = k\omega \sin\omega t / (1 + k^2 \cos^2\omega t), \\ (k &= R_0/L = \tan\theta_0) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \ddot{\theta} &= d^2\theta/dt^2 \\ &= - [(2k^2 \sin^2\omega t + k^2 \cos^2\omega t + 1) / \\ & (1 + k^2 \cos^2\omega t)^2] k\omega^2 \cos\omega t \end{aligned} \quad (3)$$

设 $\dot{\theta} = 0$ 则可得 $\omega t = \pi/2$,代入式(2)可得

$$|\dot{\theta}|_{\max} = k\omega = (\tan\theta_0)\omega$$

在 $\omega = 380 \text{ r/min}$ 时,根据式(2)(3)计算得出 θ 、 $\dot{\theta}$ 与 ωt 的曲线如图3、4所示。

图3、4中各曲线的 θ_0 值分别是 45° 、 40° 、 35° 、 30° 、 25° 、 20° 、 15° 、 10° 。由图4可知 $\theta_0 < 30^\circ$ 时的加速度曲线在 $\omega t = 0, \pi$ 附近变化缓和较为理想;而其它三条曲线则波动较大,且峰值绝对值及其波动值也大得多。

在式(3)中令 $\cos\omega t = x$,则得

$$\ddot{\theta} = - \{ [2k^2(1-x^2) + k^2x^2 + 1] / (1+k^2x^2)^2 \} k\omega^2 x \quad (4)$$

求极值,令

$$\begin{aligned} d\ddot{\theta}/d(\omega t) &= [d\ddot{\theta}/d(\cos\omega t)] [d(\cos\omega t)/d(\omega t)] \\ &= - (d\ddot{\theta}/dx) \sin\omega t = 0 \end{aligned}$$

故得(1) $\sin\omega t = 0; \omega t = 0, \pi$,即 $x = \cos\omega t = -1, 1$

$$\begin{aligned} |\ddot{\theta}|_{\min} &= k\omega^2 / (1+k^2), |\dot{\theta}|_{\min} / \omega^2 \\ &= k / (1+k^2) = \tan\theta_0 / (1+\tan^2\theta_0) \\ &= (1/2) \sin 2\theta_0 \leq 1/2 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{当 } \theta_0 = 45^\circ \text{ 时 } \max |\ddot{\theta}|_{\min} = \omega^2/2$$

$$(2) \quad -d\ddot{\theta}/dx = 0: k^4 x^4 - (6k^2 + 6)k^2 x^2 + 2k^2 + 1 = 0 \quad (6)$$

$$\text{解得 } x^2 = 3 + 3/k^2 - \sqrt{9 + 16/k^2 + 8/k^4} \quad (7)$$

因为 $x^2 = \cos^2\omega t \leq 1$,故根号前仅取负号。将

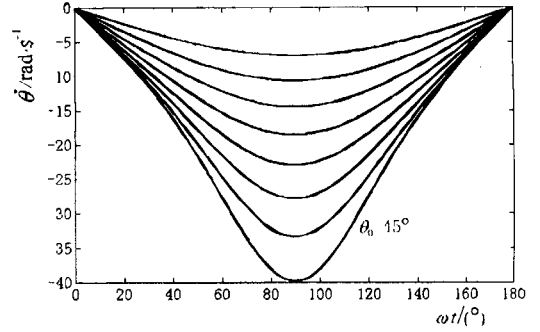


图3 角速度与 ωt 的关系

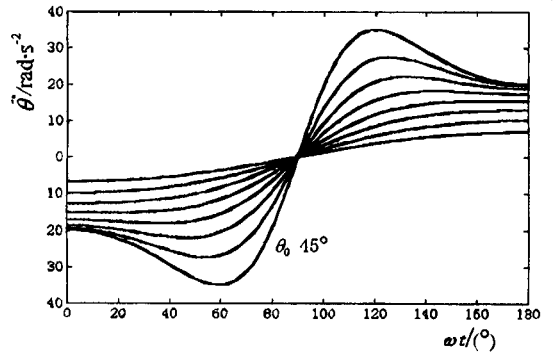


图4 角加速度与 ωt 的关系

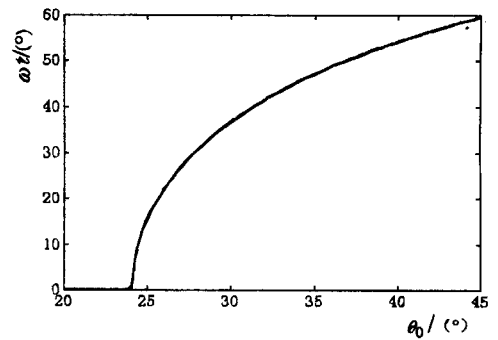


图5 角加速度取极值时 θ_0 与 ωt 的关系曲线

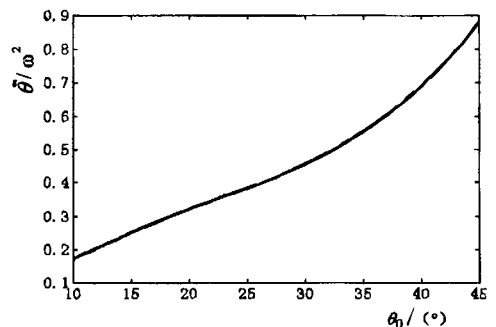


图6 θ_0 与角加速度极大值和 ω^2 比值之间的关系曲线

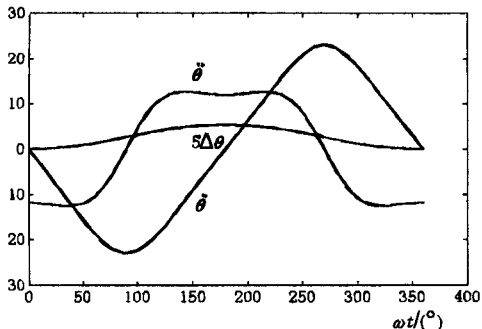


图7 角位移、角速度、角加速度与 ωt 的关系曲线
 $\Delta\theta = \theta_0 - \theta$, 当 $\theta = -\theta_0$ 时得

$$\Delta\theta_{\max} = 2\theta_0 = \pi/3 = 1.047\text{rad}$$

$$|\dot{\theta}|_{\max} = d\theta/dt|_{\max} = 0.5774\omega = 22.97\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$|\ddot{\theta}|_{\max} = 0.4553\omega^2 = 18.26\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$$

$$|\ddot{\theta}|_{\min} = 0.4330\omega^2 = 17.46\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$$

$x_{\max}^2 = 1$ 代入式(6)得:

$$k^4 - 6k^4 - 6k^2 + 2k^2 + 1 = (1 + k^2)(1 - 5k^2) = 0,$$

所以 $k^2 = 1/5$ 。

在 $x^2 < 1$ 时, 则应有 $k^2 > 1/5$, 或 $\tan\theta_0 = k > 0.4472$, 即 $\theta_0 > 24.094^\circ$ 。这表示当 $\theta_0 > 24.094^\circ$ 时, 角加速度曲线在 $0 \sim \pi$ 之间有极值点存在; 当 $\theta_0 < 24.094^\circ$ 时, 角加速度曲线就具有单调性(见图4)。

根据式(7) $x = \cos\omega t$ 与 $k (= \tan\theta_0)$ 可得在角加速度为极值时 ωt 与 θ_0 的关系曲线, 如图5所示, 另将式(7)代入式(4)则可得角加速度极值与 θ_0 的关系曲线以直观分析两者之间的变化趋势, 见图6。但其中当 $\theta_0 < 24.094^\circ$ 时的角加速度极值就成为 $\omega t = 0$ 时的角加速度值, 参见式(5)。

图7是当 $\theta_0 = 30^\circ$ 时的角位移 $\Delta\theta = \theta_0 - \theta$ 、角速度 $\dot{\theta}$ 、角加速度 $\ddot{\theta}$ 与 ωt 的关系曲线 ($\omega = 380 \text{ r/min}$), 相应的单位分别为 $\text{rad}, \text{rad/s}, \text{rad/s}^2$, 其中 $5\Delta\theta$ 表示角位移的真实值, $\Delta\theta$ 为图示标值的 $1/5$ 。

3 结束语

笔者对典型的正置空间曲柄摇杆机构进行了运动学分析, 指出了能使其获得最佳传动性能的参数组合。但同时也指出, 该机构在 0° 附近的角位移曲线不够平缓并且其加速度在交接时还比较大。更理想的设计方案还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 王生泽, 陈明: 剑杆引纬连杆机构的创新分析与设计研究, 《中国纺织大学学报》, 1997, 23(4): 16~20
- [2] 章建庆, 何敏英: 剑杆织机两种引剑机构的研究, 《中国纺织大学学报》, 1992, 18(6): 72~77
- [3] 陈明: 《新型织机》, 上海: 中国纺织大学出版社, 1999, 122~128