

VC473 等弹力丝假捻机卷绕机构的运动分析及其设计

潘汉良

(机械工程系)

摘要 对 VC473 等弹力丝假捻机卷绕机构进行了运动分析,将导得的方程用计算机进行了计算。论证了该机构工作可靠、运转平稳、结构合理。探讨了该机构主要设计参数的选择对运动的影响。

主题词 假捻变形机;卷绕装置;运动学分析

中图分类号 TS103.11

筒子卷绕线圈时,应避免其前后线圈重叠,否则会造成筒子两端蛛网或跨边,退解时会出现乱丝或断头。

筒子的直径随着所绕线圈的增多而逐渐增大,其转速会相应的降低。导纱器的运动若不作相应的调整,就很有可能会遇上在导纱器的一个往复循环中,筒子的转数恰是整数转,这样筒子卷绕的线圈前后就会重叠起来。

VC473 等弹力丝假捻机卷绕机构中,采用了齿轮-连杆组合机构,使导纱器的运动在一个大循环中,每个瞬时的速度在作微量的改变,从而避免了筒子上前后线圈的重叠。

1 结构图及机构运动简图

结构图见图 1。

机构运动简图见图 2。

齿轮 1,4 空套在 II 轴上,由 I 轴上的双联齿轮 6,7 传动,(I 轴的转动由另一减速器传动,图中未画。)II 轴运转后,再经过一级传动,传给带动导纱器运动的圆柱凸轮(图中未画)故 II 轴若变速转动,圆柱凸轮亦变速转动,导纱器也就变速运动。齿轮 3 是个扇形齿轮,与齿轮 4 在 C 点铰联,与环 2 在 O 点铰联,DC 间长度 L_3 ,并与齿轮 5 相啮合。

圆环 2 套在齿轮 1 的偏心圆槽中,二者能作相对转动。

齿轮 5 与 II 轴用键联接。

收稿日期:1994-01-24

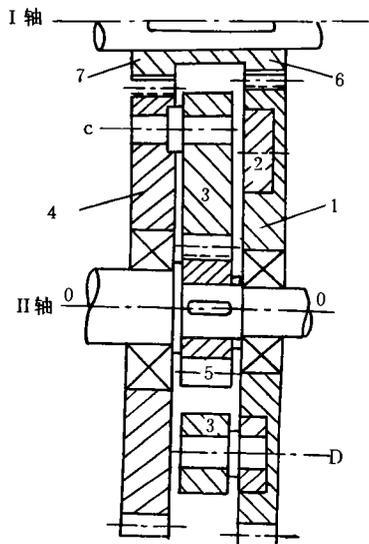


图 1 结构图

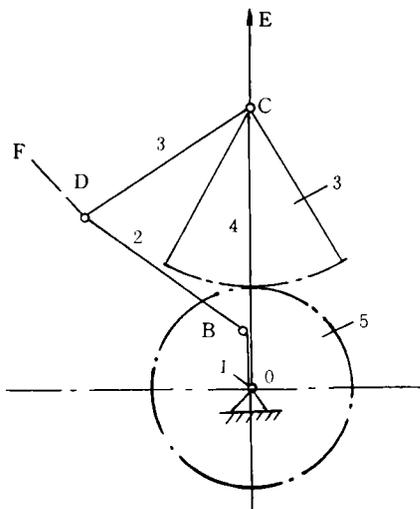


图 2 机构运动简图

在机构运动简图中的 B 铰接点即为齿轮 1 上偏心圆的圆心。杆 2 即为圆环 2 上 O 点所在圆的半径 L_2 (也是齿轮 1 上相应偏心圆槽的半径)。

齿轮 1 在运动简图中即为杆 OB (杆 1), 其长度 L_1 , 即为 O, B 间的偏心距。

齿轮 4 在运动简图中即为杆 OC (杆 4), 其长度为 L_4 。

2 运动分析

齿轮 1、4 由与 I 轴用键相联接的双联齿轮 6、7 传动, 齿轮 1、4 的转向为逆时针。

导纱器由 II 轴、即齿轮 5 传动, 故只需求出齿轮 5 的运动规律, 导纱器的运动规律也就可知。

在运动简图中杆 1、2、3、4 为五杆机构 (另一杆为机架, 即 O 点)。

中心齿轮 5, 行星齿轮 3 和系杆 4 组成周转轮系, (杆 4 即为齿轮 4)。

2.1 求相对角位移 φ_{24} 、 φ_{34} , 相对角速度 ω_{24} 、 ω_{34} , 相对角加速度 α_{24} 、 α_{34}

其封闭矢量式为

$$L_1 e^{i\varphi_{14}} + L_2 e^{i\varphi_{24}} = L_4 + L_3 e^{i\varphi_{34}} \dots \quad (1)$$

按欧拉式展开, 取等式两边实部、虚部分别相等, 化简后可得^[1]

$$\varphi_{34} = 2 \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{B \pm \sqrt{A^2 + B^2 - C^2}}{A - C} \right)$$

$$\varphi_{24} = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{B + L_3 \sin \varphi_{34}}{A + L_3 \cos \varphi_{34}} \right)$$

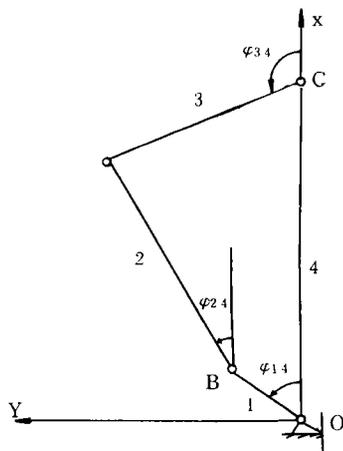


图 3 五杆机构运动简图

式中

$$A = L_4 + L_1 \cos \varphi_{14}$$

$$B = -L_1 \sin \varphi_{14}$$

$$C = \frac{A^2 + B^2 + L_3^2 - L_2^2}{2L_3}$$

将式(1)求导一次, 再按欧拉式展开, 取等式两边实部、虚部分别相等, 化简后可得

$$\omega_{34} = \omega_{14} \frac{L_1 \sin(\varphi_{14} - \varphi_{24})}{L_3 \sin(\varphi_{34} - \varphi_{24})} \quad (2)$$

$$\omega_{24} = -\omega_{14} \frac{L_1 \sin(\varphi_{14} - \varphi_{34})}{L_3 \sin(\varphi_{24} - \varphi_{34})} \quad (3)$$

将式(1)求导二次, 按欧拉式展开、化简后可得

$$\alpha_{34} = \frac{L_2 \omega_{24}^2 + L_1 \omega_{14}^2 \cos(\varphi_{14} - \varphi_{24}) - L_3 \omega_{34}^2 \cos(\varphi_{34} - \varphi_{24})}{L_3 \sin(\varphi_{34} - \varphi_{24})} \quad (4)$$

$$\alpha_{24} = \frac{L_3 \omega_{34}^2 + L_1 \omega_{14}^2 \cos(\varphi_{14} - \varphi_{34}) - L_2 \omega_{24}^2 \cos(\varphi_{24} - \varphi_{34})}{L_2 \sin(\varphi_{24} - \varphi_{34})} \quad (5)$$

2.2 求 $\varphi_5, \omega_5, \alpha_5$

在齿轮 1, 3 及杆周转轮系中

$$\frac{\omega_5 - \omega_4}{\omega_3 - \omega_4} = -\frac{Z_3}{Z_5}$$

$$\omega_5 = \omega_4 - \frac{Z_3}{Z_5}(\omega_3 - \omega_4) = \omega_4 - \frac{Z_3}{Z_5}\omega_{34} \quad (6)$$

将式(2)代入式(6)得

$$\omega_5 = \omega_4 - \frac{Z_3}{Z_5}\omega_{14} \frac{L_1 \sin(\varphi_{14} - \varphi_{24})}{L_3 \sin(\varphi_{34} - \varphi_{24})} \quad (7)$$

$$\alpha_5 = \frac{d\omega_5}{dt} = \frac{d\omega_4}{dt} - \frac{Z_3}{Z_5} \frac{d\omega_{34}}{dt} = -\frac{Z_3}{Z_5}\alpha_{34} \quad (8)$$

将式(4)代入式(8), 得

$$\alpha_5 = -\frac{Z_3}{Z_5} \left[\frac{L_2 \omega_{24}^2 + L_1 \omega_{14}^2 \cos(\varphi_{14} - \varphi_{24}) - L_3 \omega_{34}^2 \cos(\varphi_{34} - \varphi_{24})}{L_3 \sin(\varphi_{34} - \varphi_{24})} \right] \quad (9)$$

将式(6)积分就可得 φ_5

$$\varphi_5 = \int_{t_0}^t \omega_5 dt = \int_{t_0}^t \omega_4 dt - \frac{Z_3}{Z_5} \int_{t_0}^t \omega_{34} dt = \varphi_4 - \frac{Z_3}{Z_5}(\varphi_{34} - \varphi_{340}) \quad (10)$$

取 t_0 时的 $\varphi_{40} = 0$ 为起始位置

φ_{340} 值由起始条件决定。

3 计算实例

已知: $Z_1 = 110, Z_4 = 107, Z_5 = 40, Z_3 = 70$ (扇形齿轮 3 补成整圆后的齿数), $Z_6 = 23, Z_7 = 26, L_1 = 24\text{mm}, L_2 = 82\text{mm}, L_3 = 75\text{mm}, L_4 = 110\text{mm}, n_1 = 270\text{r/min}$ (顺时针)。(此例为 VC473 假捻机卷绕机构上的实测数)。

3.1 初始运动角 φ_{340} 的确定

见图 4。

$$\varphi_{340} = 180^\circ - \cos^{-1} \left[\frac{L_3^2 + (L_4 - L_1)^2 - L_2^2}{2L_3(L_4 - L_1)} \right] = 119.218^\circ$$

3.2 $\omega_1, \omega_4, \omega_{14}$ 的数值

$$\frac{n_1}{n_1} = \frac{Z_6}{Z_1} \quad n_1 \text{ 为顺时针}$$

$$n_1 = \frac{Z_6}{Z_1} n_1$$

$$\omega_1 = \frac{\pi}{30} n_1 = 5.9119 \text{ rad/s} \quad \text{逆时针}$$

$$\frac{n_4}{n_1} = \frac{Z_7}{Z_4}$$

$$n_4 = \frac{Z_7}{Z_4} n_1$$

$$\omega_4 = \frac{\pi}{30} n_4 = 6.8704 \text{ rad/s} \quad \text{逆时针}$$

$$\omega_{14} = \omega_1 - \omega_4 = -0.9585 \text{ rad/s} \quad \text{顺时针}$$

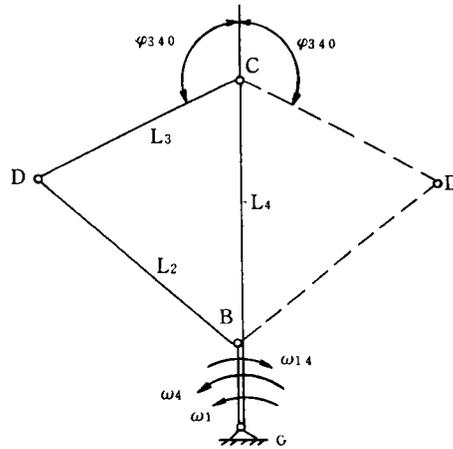


图 4 五杆机构起始位置图

3.3 导纱器运动的一个循环周期(即齿轮 5 的周期)时, 齿轮 1,4,5 的转角 $\varphi_{1T}, \varphi_{4T}, \varphi_{5T}$

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_4} = \frac{\omega_1}{\omega_4}$$

$$\varphi_4 = \frac{\omega_4}{\omega_1} \varphi_1$$

$$\varphi_{14} = \varphi_1 - \varphi_4 = \varphi_1 - \frac{\omega_4}{\omega_1} \varphi_1 = \left(1 - \frac{\omega_4}{\omega_1}\right) \varphi_1$$

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_{14}}{1 - \frac{\omega_4}{\omega_1}}$$

同理可求得式

$$\varphi_4 = \frac{\varphi_{14}}{\frac{\omega_1}{\omega_4} - 1}$$

当 $\varphi_{14} = -360^\circ$ 时, 齿轮 1,4 又回到起始位置(杆 1、杆 4 又回到重合位置), 即为一个循环周期。

$$\varphi_{1T} = \frac{-360^\circ}{1 - \frac{\omega_4}{\omega_1}} = 2220.45^\circ$$

$$\varphi_{4T} = \frac{-360^\circ}{\frac{\omega_1}{\omega_4} - 1} = 2580.45^\circ$$

$$\varphi_{5T} = \varphi_{4T} - \frac{Z_3}{Z_5} (\varphi_{34} - \varphi_{340}) = \varphi_{4T} = 2580.45^\circ$$

一个循环周期后, $\varphi_{34} = \varphi_{340}$ 。

3.4 $\varphi_{34} = \text{tg}^{-1} \left(\frac{B \pm \sqrt{A^2 + B^2 - C^2}}{A - C} \right)$ 式中“±”号的确定

“±”应由运动的连续条件来定

将 φ_4 按 60° 一个等分点等分后代入 φ_{34} 式,若用“+”号代入,得出的结果适用于图 4 中的实线初始位置;若用“-”号代入,得出的结果适用于图 4 中的虚线初始位置。由图 1 测绘的机构运动简图 2 与图 4 的实线位置相符。其数据如右。

φ_4	φ_{34} (式中以“+”代入)	φ_{34} (式中以“-”代入)
0°	119.218°	-119.218°
60°	122.0014°	-117.4119°
120°	124.6892°	-115.6967°
180°	127.5011°	-113.4617°
\vdots	\vdots	\vdots

因之,这个算式中应以“+”号代入。

3.5 将 $\varphi_{1T} = 2220.45^\circ$,按每隔 50° 为一个分点,计算 $\varphi_4, \varphi_{14}, \varphi_5, \omega_5, \alpha_5$ 的值

从计算机打印出来的表如下:

$$L_1 = 24, L_2 = 84, L_3 = 75, L_4 = 110, Z_1 = 110, Z_4 = 107, Z_6 = 23, Z_3 = 70, Z_5 = 40, N_1 = 270$$

$F_1(\varphi_1)$	$F_4(\varphi_4)$	$F_{14}(\varphi_{14})$	$F_5(\varphi_5)$	$W_5(\omega_5)$	$F_5(\alpha_5)$
0	0	0	0	6.664672	-0.5965054
50	58.10646	-8.106461	53.89811	6.591205	-0.5425165
100	116.2129	-16.21292	107.4098	6.524071	-0.4793306
150	174.3194	-24.3194	160.7043	6.463812	-0.4123144
200	232.4259	-32.42585	213.9398	6.410703	-0.346504
250	290.5323	-40.53231	267.2521	6.364922	-0.2860449
300	348.6388	-48.63879	320.7492	6.326673	-0.2338465
350	406.7453	-56.74524	374.511	6.296258	-0.1913984
400	464.8517	-64.8517	428.5925	6.274088	-0.1586955
450	522.9582	-72.9582	483.0292	6.260675	-0.1342519
500	581.0646	-81.06462	537.843	6.256603	-0.1152063
550	639.1711	-89.17112	593.0471	6.262491	-9.754682E-02
600	697.2776	-97.27758	648.6502	6.278954	-7.64907E-02
650	755.3841	-105.384	704.6601	6.306546	-4.705987E-02
700	813.4905	-113.4905	761.0856	6.345698	-4.83187E-03
750	871.597	-121.597	817.9384	6.396613	5.309759E-02
800	929.7034	-129.7034	875.2331	6.459157	0.127134
850	987.8099	-137.8099	932.9879	6.532716	0.2143832
900	1045.916	-145.9164	991.2219	6.616066	0.30838
950	1104.023	-154.0228	1049.954	6.707292	0.3997153
1000	1162.129	-162.1292	1109.201	6.803788	0.4776696
1050	1220.236	-170.2358	1168.969	6.902405	0.5325555
1100	1278.342	-178.342	1229.258	6.999707	0.5579993
1150	1336.449	-186.4487	1290.05	7.092334	0.5522688
1200	1394.555	-194.5552	1351.315	7.177347	0.5181316
1250	1452.662	-202.6617	1413.006	7.252475	0.4614492
1300	1510.768	-210.7681	1475.062	7.316209	0.3892636
1350	1568.875	-218.8746	1537.412	7.367755	0.3081251
1400	1626.981	-226.9810	1599.978	7.406879	0.2231497
1450	1685.087	-235.0875	1662.673	7.433718	0.1377146
1500	1743.194	-243.1940	1725.412	7.448612	5.366915E-02
1550	1801.3	-251.3004	1788.101	7.451967	-2.826675E-02
1600	1859.407	-259.4068	1850.65	7.444175	-0.1080597
1650	1917.513	-267.5133	1912.964	7.425576	-18.59657
1700	1975.62	-275.6199	1974.948	7.39647	-26.21941

1750	2033.726	-283.7263	2036.503	7.357161	-0.3366288
1800	2091.833	-291.8328	2097.534	7.308023	-0.4086036
1850	2149.939	-299.9391	2157.943	7.249607	-0.4767085
1900	2208.046	-308.0457	2217.642	7.182732	-0.5387121
1950	2266.152	-316.1521	2276.55	7.1086	-0.5916058
2000	2324.259	-324.2585	2334.608	7.28828	-0.6319023
2050	2382.365	-332.3651	2391.783	6.945432	-0.6561754
2100	2440.472	-340.4715	2448.077	6.860699	-0.6617956
2150	2498.578	-348.5779	2503.538	6.776961	-0.6476789
2200	2556.685	-356.6845	2558.256	6.696337	-0.6147603
2220.45	2580.450	-360.0000	2580.450	6.66459	-0.596458

4 计算后的分析

齿轮 5 作变速运转,其转 7 转多一点,才是一个循环周期。在此周期内, ω_5 作缓慢的变化,其 $\omega_{5max} = 7.451967\text{rad/s}$, $\omega_{5min} = 6.256603\text{rad/s}$,所以运转平稳,且防止了筒子卷绕线圈时前后线圈的重叠。

在实际机构中,为了平衡扇形齿轮 3 的惯性力,在其对称位置,还有另一个扇形齿轮 3', 见图 5。

扇形齿轮 3' 仅与齿轮 4 在 C' 铰接,就如一般的行星轮系中,为了平衡的目的,行星轮必须对称布置一样。其大小完全同扇形齿轮 3,亦与齿轮 5 相啮合,达到平衡扇形齿轮 3 的惯性力的目的。

综上所述,该机构工作可靠,运转平稳,结构紧凑、合理。

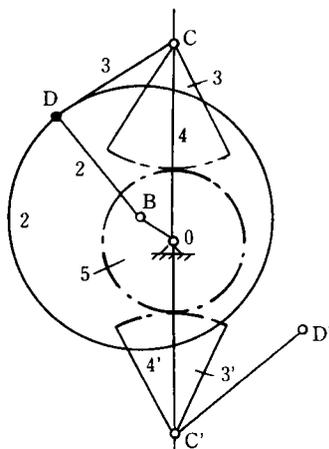


图 5 有扇齿轮 3' 时的机构运动简图

5 机构设计——主要设计参数的不同选择

时对机构运动的影响

5.1 改变齿轮 5 运动的循环周期方法

只要改变 ω_1 与 ω_4 的差值: $\omega_1 - \omega_4 = \omega_{14}$ 愈小,其循环周期愈长。反之,愈短。这是因为

$$\varphi_{5T} = \varphi_{4T} = \frac{-360^\circ}{\frac{\omega_1}{\omega_4} - 1}$$

ω_1 与 ω_4 由齿轮 1,6 及齿轮 4,7 的齿轮数决定。

例

组别	Z_1	Z_6	Z_4	Z_7	φ_{5T}
I	110	23	107	26	2580.45°
II	109	24	107	26	3835.48°
III	109	24	108	25	7375.95°

I 组为实例中的参数值。

可见齿数的少量变化,可使齿轮 5 运动的循环周期变化很大。但不能使 $\omega_1 = \omega_4$, 这样 $\omega_{14} = 0$, 使

$$\omega_{34} = \omega_{14} \frac{L_1 \sin(\varphi_{14} - \varphi_{24})}{L_3 \sin(\varphi_{34} - \varphi_{24})} = 0$$

$$\omega_5 = \omega_4 - \frac{Z_3}{Z_5} \omega_{34} = \omega_4$$

就成了齿轮5也在作等速转动了,这与设计要求不相符,因而是不可行的。

5.2 L_1, L_2, L_3, L_4 各杆长度关系的探讨

从式(2)的方程中, L_1, L_3 对 ω_{34} 有直接的影响, L_2, L_4 的变化,当然亦会使 $\varphi_{24}, \varphi_{34}$ 有变化,但对 ω_{34} 的影响较小,(计算机上的验算,符合这个判断)。事实上 $L_4 = \frac{m}{2}(Z_5 + Z_3)$,当 m (模数)、齿数 Z_3, Z_5 选定后, L_4 也就成定值。

下面就 L_1, L_3 的几组不同数值代入计算式后,打印出来的 $\omega_{5\max}, \omega_{5\min}, \Delta\omega_5 = \omega_{5\max} - \omega_{5\min}$ 和齿轮3的摆角 θ , 最小传动角 γ_{\min} 的数值进行比较分析:

组别	L_1	L_3	$\omega_{5\max}$	$\omega_{5\min}$	$\Delta\omega_5$	θ°	γ_{\min}
1	24	75	7.4519	6.2566	1.1938	37.3259	65.20
2	24	80	7.4099	6.2944	1.1555	34.987	63.19
3	24	70	7.4986	6.2109	1.2876	40.200	59.32
4	20	75	7.3531	6.3664	0.9867	30.9358	68.68
5	20	80	7.300	6.3978	0.9222	29.392	66.51
6	20	70	7.3926	6.3289	1.0636	33.2457	65.139
7	28	75	7.5484	6.1413	1.4070	43.850	59.67
8	28	80	7.5004	6.1862	1.3142	41.0238	59.94
9	28	70	7.60872	6.0872	1.5195	47.371	52.93

1组为前面举例中的参数值。

从表中可得:

L_1 增大, L_3 降低, 可使 $\Delta\omega_5$ 增大, 如第9组的数据。反之, L_1 降低, L_3 增大, 会使 $\Delta\omega_5$ 减小, 如表中第5组的数据。

导纱器导不同的纱型, 欲使 $\Delta\omega_5$ 有所不同时, 可以上面的方案为依据, 再适当调整, 达到满足不同的要求。传动角 γ_{\min} 值不宜作评定机构优劣的标准。

扇形齿轮3的摆角 θ (也就是 L_3 的摆角), 随 L_1, L_3 长度的改变有所变化, 在计算扇形齿轮扇面上的齿数 Z_3' 时, 应以 θ 角的大小为依据。

5.3 扇形齿轮3扇面上的齿数 Z_3' 的确定

扇形齿轮3的摆角 θ , 即为摆杆 L_3 的二个极限位置间的夹角(见图6)。

图6中 CD_1, CD_2 为摆杆 L_3 的二个极限位置。扇形齿轮3为摆到最左时的位置, 摆到最右时的位置未画。

按举例中的1组值, 其 $\theta = \theta_2 - \theta_1 = 37.3259^\circ$ 。扇形齿数 $Z_3 = 70$, 每个齿对的中心角为

$$\Delta = \frac{360^\circ}{70} = 5.413^\circ$$

设扇形齿轮摆到最左、最右位置时, 其扇形面上二边各有二个齿未参与啮合, 即使余量为4个齿。则扇形面上的齿数 Z_3' 应为

$$Z_3' = \theta / \Delta + 4 = 11.2$$

若取 $Z_3' = 12$, 则扇形齿轮所对的圆心角 β 为

$$\beta = Z_3' \cdot \Delta = 12 \times 5.413^\circ = 64.956^\circ$$

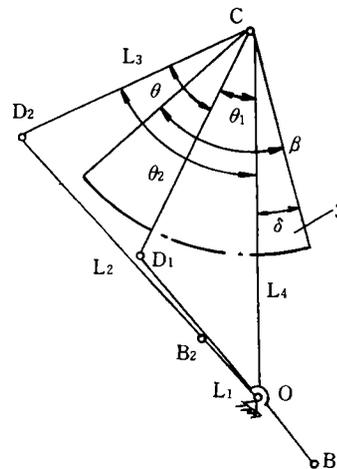


图6 摆杆 L_3 的二个极限位置图

$$\delta = 2\Delta = 10.286^\circ$$

δ 为二个齿所对的圆心角,此角在定扇形齿轮的结构时,即定扇形齿轮 3 与摆杆 L_3 的相对位置时有用。

在实际机构中, $Z_3' = 18$, 即 $\beta = 91.574^\circ$, 比实际需要值大了一半, 这不合理, 可按 $Z_3' = 12$ 来修正。

参 考 文 献

- 1 黄锡恺, 郑文纬. 机械原理. 高等教育出版社, 1989

Kinematic Analysis and Design of Wiring Unit of Stretch Yarn False-twist Texturing Machine Model VC473

Pan Hanliang

(Dept. of Mach. Eng.)

Abstract The wiring unit of stretch yarn False-twist texturing machine model VC473 is analyzed kinematically in this paper. The results show that the unit has features with working reliability, motion stability and fitness in terms of the derived formulas by computer. The influence of main parameters on motion is studied.

Subject-words Falsetwist texturing machines; Windling mechanism; Kinematica analysis