胶印机递纸机构运动规律研究与凸轮反求设计*

杨栋陈南李文威

东南大学 机械工程学院 (211189)

摘 要 对胶印机递纸机构进行了运动学仿真,对运动规律进行了反求分析。运用简谐梯形运动规律对递纸牙摆 臂的运动规律进行模拟,根据模拟数据正向设计凸轮轮廓。仿真分析表明,采用反求凸轮以后,递纸机构运动平 稳性大为提高。

关键词 递纸机构 凸轮 简谐梯形运动 反求设计

目前,国产印刷机械与进口设备相比还存在很 大差距,主要体现在印刷的速度与精度上。递纸机 构中的共轭凸轮控制着递纸牙轴的动作,直接影响 着印刷的速度与精度。国内企业多采用测绘方法对 进口设备进行仿制,用测绘方法得出的凸轮轮廓曲 线精度不高,曲率不连续,而且难以加工。要想实 现胶印机的高速及高精度印刷,对递纸牙轴运动规 律有很高的设计要求,既要满足递纸的精度要求, 同时要求加速度连续且峰值尽量小。

文献[1]提出用五次多项式模拟递纸牙摆臂的运动规律,但用这种方法存在着加速度峰值过大的问题。本文运用简谐梯形运动规律对递纸牙摆臂运动进行模拟,同时满足了加速度连续和最大加速度小的要求,具有更大的应用价值。

1 递纸机构运动简介

图 1 所示为某高速单张胶印机所采用的一种下 摆式递纸机构。它的运动过程可分为六个阶段,即



图1 胶印机下摆式递纸机构

接、摆到最远端、 远停、摆回输纸板 台以及停台咬纸。 部件1为共轭凸轮, 作为驱动件通过连 杆机构推动递纸牙 轴旋转,从而带动 递纸牙完成叼纸、 递纸动作。

带纸加速、等速交

*江苏省科技成果转化专项资金项目(编号: BT2007072)

2 递纸机构运动学仿真

采用 SolidWorks 的多体动力学仿真插件 COSMOS/Motion对下摆式递纸机构运动进行仿真。 删除不必要的零件,并添加约束副,得出如图2所 示的模型。



图 2 下摆式递纸机构运动仿真模型

设定凸轮的转速为 360°/s,得出递纸牙轴运动 的角位移 S 曲线图 (图 3)、角速度 V 和角加速度 A 的曲线图由仿真曲线图可以看出递纸机构运动的六 个阶段。位移和速度曲线图较平滑,但加速度曲线 不规则跳变很大,说明凸轮的轮廓线不够光滑,会 造成较大的运动冲击。



试验与研究

V

S

图 4、图 5 为角速度 V 和角加速度 A 的曲线图



3 运动规律的数学模型与数据拟合

3.1 数学模型

从图 5 可以看出,用简谐梯形加速度运动规律 对该运动进行拟合。图 6 为较通用的简谐梯形加速 度运动曲线,选择不同的 *E* 可得到不同的运动。其 中 *T*、*A* 为无因次时间和加速度。该曲线共分七段, 第 Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ 段为等加速运动,其余为简谐运动^[2]。



图 6 简谐梯形加速度运动规律

这种曲线各段的加速度表达式为^[3]:

$$A = \begin{cases} A_{1} \sin\left(\frac{T}{T_{1}} \frac{\pi}{2}\right) & (0 \leq T \leq T_{1}) \\ A_{1} & (T_{1} < T \leq T_{2}) \\ A_{1} \cos\left(\frac{T-T_{2}}{T_{3} - T_{2}} \frac{\pi}{2}\right) & (T_{2} < T \leq T_{3}) \\ 0 & (T_{3} < T \leq T_{4}) \\ -A_{2} \sin\left(\frac{T-T_{4}}{T_{5} - T_{4}} \frac{\pi}{2}\right) & (T_{4} < T \leq T_{5}) \\ -A_{2} & (T_{5} < T \leq T_{6}) \\ -A_{2} \cos\left(\frac{T-T_{6}}{T_{7} - T_{6}} \cdot \frac{\pi}{2}\right) & (T_{6} < T \leq T_{7}) \end{cases}$$
(1)

$$\stackrel{\text{A}}{\triangleleft}: \qquad F_i = (T_i - T_{i-1}) / \frac{\pi}{2}$$
 (2)

$$P_{i} = (T - T_{i-1})/F_{i}$$
(3)

$$P_{i} = \begin{pmatrix} A_{1} \sin P_{1} & (i = 1) \\ A_{1} \cos P_{3} & (i = 3) \\ 0 & (i = 4) & (4) \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} A_{1} \cos P_{1} + C_{1} & (i = 1) \\ A_{1}T + C_{2} & (i = 6) \\ -A_{2} \cos P_{6} & (i = 7) \end{pmatrix}$$

$$P_{i} = \begin{pmatrix} -A_{1}F_{1} \cos P_{1} + C_{1} & (i = 1) \\ A_{1}T + C_{2} & (i = 2) \\ A_{1}F_{3} \sin P_{3} + C_{3} & (i = 3) \\ C_{4} & (i = 4) & (5) \end{pmatrix}$$

$$= \begin{cases} -A_{1}F_{1} \cos P_{5} + C_{5} & (i = 5) \\ -A_{2}T + C_{6} & (i = 6) \\ -A_{2}F_{7} \sin P_{7} + C_{7} & (i = 7) \end{cases}$$

$$= \begin{cases} -A_{1}F_{1}^{2} \sin P_{1} + C_{1}T + B_{1} & (i = 1) \\ \frac{1}{2}A_{1}T^{2} + C_{2}T + B_{2} & (i = 2) \\ -A_{1}F_{3}^{2} \cos P_{3} + C_{3}T + B_{3} & (i = 3) \\ C_{4}T + B_{4} & (i = 4) & (6) \\ A_{2}F_{5}^{2} \sin P_{5} + C_{5}T + B_{5} & (i = 5) \\ -\frac{1}{2}A_{2}T^{2} + C_{6}T + B_{6} & (i = 6) \end{cases}$$

$$A_2 F_7^{\ 2} \cos P_7 + C_7 T + B_7 \qquad (i=7)$$

其中C_i、B_i为积分常量。

利用 T = 0 时, V=0、 S=0; $T = T_7$ 时, V=0、 S=1 以及 $T_1 \sim T_6$ 处 S 与 V 连续的条件, 从方程(5) 和(6)中,可以解出 C_i 、 B_i 、 A_1 、 A_2 共 16 个未知 数:

$$\begin{cases} C_{1} = A_{1}F_{1} \\ C_{2} = -A_{1}T_{1} + C_{1} \\ C_{3} = A_{1}T_{2} + C_{2} \\ C_{4} = A_{1}F_{3} + C_{3} \\ C_{5} = -A_{2}F_{5} + C_{4} \\ C_{6} = A_{2}T_{5} + C_{5} \\ C_{7} = -A_{2}T_{6} + C_{6} \end{cases}$$
(7)

$$\begin{cases} B_{1} = 0 \\ B_{2} = -A_{1}(F_{1}^{2} + \frac{1}{2}T_{1}^{2}) + T_{1}(C_{1} - C_{2}) + B_{1} \\ B_{3} = A_{1}(F_{3}^{2} + \frac{1}{2}T_{2}^{2}) + T_{2}(C_{2} - C_{3}) + B_{2} \\ B_{4} = T_{3}(C_{3} - C_{4}) + B_{3} \\ B_{5} = T_{4}(C_{4} - C_{5}) + B_{4} \\ B_{6} = A_{2}(F_{5}^{2} + \frac{1}{2}T_{5}^{2}) + T_{5}(C_{5} - C_{6}) + B_{5} \\ B_{7} = -A_{2}(F_{7}^{2} + \frac{1}{2}T_{6}^{2}) + T_{6}(C_{6} - C_{7}) + B_{6} \end{cases}$$
(8)

$$A_{1} = \{ [F_{3}^{2} - F_{1}^{2} - \frac{1}{2}(T_{2}^{2} - T_{1}^{2}) - F_{3}T_{3}] - M[F_{7}^{2} - F_{5}^{2} - \frac{1}{2}(T_{6}^{2} - T_{5}^{2}) - F_{7}T_{7} - F_{5}T_{5}] \}^{-1}$$
(9)

$$A_2 = MA_1 \tag{10}$$

$$M = \frac{F_3 + F_1 + T_2 - T_1}{F_2 + F_{\epsilon} + T_{\epsilon} - T_{\epsilon}}$$
(11)

至此求出十六个未知数,代入公式(4)、(5)、 (6)得出各段的位移、速度、加速度的表达式。

3.2 关键参数的确定

图 1 所示下摆式递纸机构的已知条件为:传纸滚筒半径 R_g =R145 mm,递纸牙摆臂长度 R_m =162 mm。根据仿真曲线图可以得出递纸牙摆角为 60°。

1) 等速交接时递纸牙摆臂速度 等速交接段 时递纸牙将纸张平稳地传递给传纸滚筒,因此要求 这时滚筒表面线速度 V_g等于递纸牙线速度 V_m,即:

$$R_{\sigma}\omega_{\sigma} = R_{m}\omega_{m} \tag{12}$$

式中: ω_s与ω_m分别为传纸滚筒与递纸牙摆臂 在等速交接段时的角速度。

仿真设定的速度为 360°/s, 在 ω_s=360°/s 的转 速下,纸张交接时递纸牙摆臂的角速度为:

$$\omega_m = \frac{\omega_g R_g}{R_m} = \frac{360 \times 145}{162} = 322.22 \,^{\circ}/\text{s}$$
(13)

2) 边界点的确认 边界点即在递纸牙各段运动的起始与结束时凸轮转过的角度。根据运动的顺序令带纸加速段为 0~θ₁,等速交接段为 θ₁~θ₂,摆到最远程段 θ₂~θ₃为,远停段为 θ₃~θ₄,摆回输纸板台段为 θ₄~θ₅,停台咬纸段为 θ₅~360°。边界点的确认是反求过程中非常重要的部分,也是比较困难的一部分。为了满足传动要求并使反求更加精确,

边界点的划分要尽量与原凸轮保持一致。根据仿真 得出的速度曲线图反求边界点(图 7)。



3.3 S、V、A 的数据拟合

升程段即 0~ θ_3 段的加速度与数学模型的加速 度曲线图形状相同,根据 ω_m =322.22°/s 以及最大角 位移 $S_m = 60$ °这两个条件,取适当的 $T_1 \sim T_7$ 的值, 计算出加速度峰值 A_1 、 A_2 ,再根据各段位移、速度、 加速度表达式拟合 S、V、A 曲线。

回程段相对于升程段少了等速交接段,故可令数学模型中的 $T_3 = T_4$,求解方法类似。

4 凸轮轮廓曲线生成与结果对比

在 COSMOS/Motion 里定义构件 3 的运动随位 移变化,采用样条插值的方法,得出主副凸轮的理 论轮廓曲线,导入 SolidWorks 生成新的凸轮。

将新生成的凸轮替换掉原凸轮,重新仿真。由 仿真结果可知,角位移与角速度曲线与原始凸轮曲 线基本重合,并且比原曲线更加平滑。加速度曲线 与原曲线相比变化明显,如图 8 所示。



由仿真结果对比可知,新生成的凸轮不仅满足 从动件运动角位移与角速度要求,而且由于加速度 不再有不规则的突变,凸轮对从动件的冲击小很多。 (下转第57页)



图 5 程序设计流程图

3.2 软件面板设计

软件的面板用 LabVIEW 提供的控件进行优化 设计,实现良好的人机交互功能。

用户可以通过键盘和鼠标对控件进行,类似于 操作真实的仪表。图6为软件界面。给出了实例中 测量的实测数据,测量者通过输入跨距等相关参数, 就可以快速准确得出误差曲线、直线度误差,而实 测数据以电子表格的形式存在计算机中。

(上接第27页)

5 结语

对下摆式递纸机构运动规律进行了仿真,提出 用简谐式梯形加速度规律模拟从动件的运动。分析 仿真结果选择合理的边界条件,拟合从动件的运动 规律,根据拟合数据反求出凸轮的轮廓。通过新旧 凸轮仿真结果的对比,验证了这种方法的可行性。 新凸轮在满足传动要求的同时,降低了加速度峰值 和波动,减少了对从动件的冲击。





4 结语

实验结果表明,软件能够完成被测信号的采集, 对其进行实时分析处理,给出误差曲线以及准确的 直线度误差值,能够满足工业测试的需要。基于 LabVIEW 的直线度误差测量与评定系统,将以前由 硬件电路以及大量人工计算所完成的工作由软件来 实现,大大减小了计算量,提高了效率,弥补了传 统方法的许多弊端,这将是测试技术发展的方向。

参考文献

- 魏斯亮,李时俊. 互换性与测量技术[M].北京:北京理 工大学出版社,2007.
- [2] 李岩,花国梁. 精密测量技术[M].北京:中国计量出版 社,2001.
- [3] 雷振山. LabVIEW 7 Express 实用技术教程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003.
- [4] 张永超,李冬梅,高峰,等.直线度误差评定方法简述[J].现代机械.2005(4):34-35.

参考文献

- 张晓玲,房瑞明.下摆式递纸机构共轭凸轮的设计与研究[J].机械设计,2004,2l(5):59-61.
- [2] 王海燕,袁清珂,赵汝嘉.凸轮 CAD 中简谐梯形运 动规律的研究及应用[J].机械科学与技术,1998, 17(4):653-655.
- [3] 彭国勋,肖正扬.自动机械的凸轮机构设计[M].北京: 机械工业出版社, 1990.