

文章编号: 0253-9721(2007)07-0101-04

# 运用数值逼近法改进飞梭刺绣机布框运动规律

程小雄

(中山大学 科学计算与计算机应用系, 广东 广州 510275)

**摘要** 介绍了采用伺服电机及微机技术改造老式大型飞梭刺绣机纯机械传动方式的设计与实现。用伺服电机取代原机械头驱动飞梭机布框。采用测绘凸轮获得的基本轮廓线数据,再用数值方法中的差分法和三次样条函数数值逼近法,逼真模拟原机的运行曲线,并将曲线数据变换成伺服电机的步进时间间隔,由控制程序控制伺服电机模拟运行。改造后飞梭机故障率降低,刺绣精度得到改善,机器转速提高 30%,从而提高了机器的整体效率。该方法可以作为同类旧设备以及完成类似将老式凸轮传动改造为电控变速驱动的借鉴。

**关键词** 飞梭机; 凸轮; 轮廓曲线; 数值逼近; 三次样条函数

中图分类号: TP205 文献标识码: A

## Using numerical approximation method to improvement movement regularity of the cloth frame of embroidery machines

CHENG Xiaoxiong

(Department of Scientific Computation and Computer Applications, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China)

**Abstract** This paper introduced the reformation of the pure mechanical drive system of the old style embroidery machine using servo motor and microcomputer technique with focuses on its design and execution. The original machine head was replaced with servo motor to drive the cloth frame. The basic outline data of the cam was measured and the lifelike imitation of the movement curve of the old machine was obtained by numerical approximation methods such as difference equation and third order spline function. Then the movement curve data was converted into step-by-step time partition of the servo motor and the simulation operation of the servo motor was controlled by program controller. After reformation of the machine, the breakdown is down, precision of embroidery is up, and the efficiency is raised by 30%. This method can be used as an reference for the renovation of the old machine of the same kind.

**Key words** embroidery machine; cam; outline curve; numerical approximation; third order spline function

飞梭刺绣机是通过大型布框(其质量可能超过 1 t)平面移动、梭子上下运动和穿线针与布面垂直运动,从而在布面刺绣出任意图案的大型刺绣机械。目前纯机械传动的老式飞梭机仍在国内大量使用。老式飞梭机由于机头结构复杂,使用年头长,机头部件磨损大,使飞梭机故障率高,刺绣精度下降,生产效率低。用伺服电机取代原机头驱动布框,并配加电脑控制,投入较低的改造费用,可使老式飞梭机的性能上一个台阶是当前刺绣行业的一种需求。本文对改造的关键思想进行简要介绍。

### 1 布框移框的运行曲线

老式飞梭刺绣机控制布框的水平与垂直移动及其他功能的控制是通过穿孔卡带控制机头的探针,经过机头的水平变速齿轮组与垂直变速齿轮组,根据布框移动量的要求,改变齿轮的变速比,再通过蜗轮蜗杆或齿轮齿条传动,将旋转运动变为直线运动,从而带动布框的水平与垂直运动。伺服电机取代机头驱动布框移框所采用的的速度曲线是改造成功与

收稿日期: 2006-09-15 修回日期: 2007-03-16

作者简介: 程小雄(1954—),男,工程师,学士。主要研究领域为嵌入式系统应用及工业自动控制、刺绣设备的研制与改造。

E-mail: mcscxx@mail.sysu.edu.cn

否的关键。传统的伺服电机速度曲线可分为 3 种：梯型控制曲线、双反向抛物线(S 曲线)以及正弦曲线。先后用这 3 种曲线做过运行试验,均不能使布框稳定运行,其结果为布框振荡严重。这是由于布框质量超过 1 t,惯性大,而布框的运动为快速移动,在 120 ms 的时间内完成电机的启动—加速—恒速—减速—停止的全过程。经对原机工作原理的分析,注意到原机头拖动布框运动的核心部件是凸轮,它决定了布框的运行曲线。要使改造后的布框正常运行,必须使伺服电机按照原凸轮的运行曲线运转。

## 2 飞梭机机头传动原理及凸轮测量

图 1 为瑞士苏拉公司飞梭机机头传动原理示意图,其中 A 为凸轮,凸轮上按一条特定曲线铣出一个封闭槽,B 为沿着凸轮滑槽滑动的辊子,C 为活动连杆摇臂,辊子 B 连接在连杆 C 上,D 为固定的芯轴,支承摇臂,E 为一个扇形齿轮,当连杆摇臂 C 运动时也带动 E 往复运动。F 为过桥齿轮,G 为与齿轮箱主轴相连的另一个扇形齿轮,E、G 均与 F 啮合,H 为齿轮箱主轴,主轴带动变速齿轮箱。变速齿轮箱在图中未画出,它的作用是根据穿孔数据卡带的有孔与否来改变齿轮箱输出轴的角速度和方向,最终带动布框移动。当机器运行时,凸轮 A 以高速旋转。由于凸轮的滑槽边与中心轴的距离在变化,凸轮旋转时,辊子 B 沿着凸轮滑槽的槽上下移动,从而使扇形齿轮 E 作高速的左右方向摆动。再通过过桥齿轮 F 和扇形齿轮 G,带动变速齿轮箱主轴 H 作有特定规律的转动。为了研究此运动规律,作简化图,见图 2。

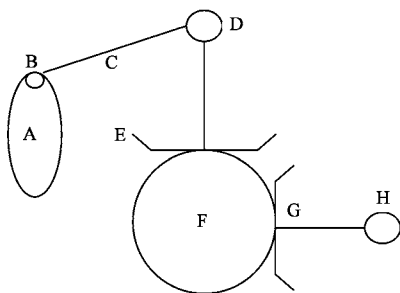


图 1 机头传动原理示意图

Fig. 1 Principle sketch of the machine head transmission

图 2 中 AD、BD 为定长,当凸轮转动时,AB 边变化。假设在  $t_1$  时刻, $\angle ADB$  为  $\varphi_1$ ;当凸轮旋转到  $t_2$  时刻, $\angle ADB'$  为  $\varphi_2$ ,则  $t_2 - t_1$  时间内的平均角速度  $\omega = (\varphi_2 - \varphi_1) / (t_2 - t_1)$ ,由于凸轮轮廓线决定了

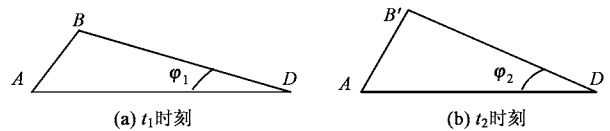


图 2 凸轮传动原理简化图

Fig. 2 Principle simplification diagram of the cams transmission

每一时刻的旋转角速度均不同,故只要知道了凸轮轴心到辊子的距离变化规律,就可求出齿轮箱主轴 H 的速度变化曲线,从而确定整个布框的运动曲线。

从机头中拆出凸轮,经过扫描打印出凸轮的形状轮廓,确定布框移动时的角度位置,再用游标卡尺测绘出凸轮轮廓线到凸轮轴心距离,整理出型值如表 1 所示。表 1 中  $\alpha$  为凸轮旋转角度, $h$  为图 1 中凸轮 A 轴心到凸轮边 B 的距离,二者均为实测值。 $\varphi$  为计算值,计算公式为

$$\cos \varphi = (b^2 + c^2 - h^2) / 2bc \quad (1)$$

式中: $b$  为图 2 中三角形固定边 AD, $c$  为三角形固定边 BD。经测量, $b = 165 \text{ mm}$ , $c = 135 \text{ mm}$ 。

表 1 凸轮测量值及计算值

Tab. 1 Actuality and calculation value of the cam

$\alpha(^{\circ})$	$h/\text{mm}$	$\varphi(^{\circ})$
0	89.00	32.60
5	89.50	32.86
10	89.68	32.89
15	89.90	32.99
⋮	⋮	⋮
75	109.72	41.41
⋮	⋮	⋮
120	127.58	46.16
125	128.34	47.13
130	128.68	48.44
135	128.94	49.68

由于只有 100 多个测量点,但要真正仿真运行,伺服马达最大需要走 8 000 步左右,故其他的点需要用数学方法算出。本文采用的方法是差分法和三次样条函数数值逼近法。

## 3 用差分法对实测凸轮型值的预光顺

由于测量型值数量有限,且测量误差不可避免,使测量的凸轮型值数值  $h_1, h_2, \dots, h_n$  围绕原机凸轮型值左右晃动,这些数值晃动的大小将影响到用三次样条函数数值逼近法来光顺的结果。因为这些晃动引起数值一阶、二阶差分很大跳动,使数值逼近的收敛速度减慢,结果不理想,因此,必须先进行一次预光顺,即对实测凸轮型值  $h_1, h_2, \dots, h_n$  进行预修正,其原则是使各点的一阶与二阶差分值的变化



有 3 个元素,其他位置均为 0,方程组具有严格的对角优势,并有唯一解。矩阵中  $a_i = h_{k-1}$ ,  $b_i = 2(h_{k-1} + h_{ki})$ ,  $c_i = h_{k+1}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N - 1$ 。当得到系数  $\{m_k\}$  后,利用如下公式计算  $s$  的样条系数  $\{S_{k,j}\}$

$$S_{k,0} = y_k, S_{k,1} = d_k - \frac{h_k(2m_k + m_{k+1})}{6},$$

$$S_{k,2} = \frac{m_k}{2}, S_{k,3} = \frac{m_{k+1} - m_k}{6h_k} \quad (13)$$

将式(13)代入式(1),得到下列线性方程组:

$$2(h_0 + h_1)m_1 + h_1m_2 = u_1$$

$$h_{k+1}m_{k+1} + 2(h_{k-1} + h_k)m_k + h_k m_{k+1} = u_k \quad (14)$$

$$h_{N-1}m_{N-2} + 2(h_{N-2} + h_{N-1})m_{N-1} = u_{N-1}$$

$(k = 2, 3, \dots, N - 2)$

上述方法用数学软件 MatLab 编程<sup>[4]</sup>进行一轮三次样条函数的插值,得到样条函数  $h(\cdot)$ 。由于三次样条插值时曲线严格通过结点,而结点为实测值,存在着原始凸轮磨损误差和测量误差,使得一轮三次样条函数插值的结果曲线不够光滑,须反复进行插值。因为每 2 个型值点都有压铁,当其通过所有型值点后,再在每 2 个型值点之间的中点处压上压铁,然后把原来型值点处压铁拿掉...如此反复进行,直到相邻 2 次修正值之差满足型线精度要求的条件。实现方法如下:

1) 根据实测的凸轮型值,设有  $n$  个型值点  $a_1, h_1; a_2, h_2; \dots; a_n, h_n$  和端值条件  $h'_1, h'_n$ , 其中  $a_i$  为凸轮角度,  $h_i$  为测量的凸轮型值。

2) 根据节点和经过预光顺后的凸轮型值  $h_1, h_2, \dots, h_n$  首先进行一轮三次样条函数的插值,得到样条函数  $h(\cdot)$ 。

3) 在每个区间  $(a_i, a_{i+1})$  引进其中点值  $\frac{a_i + a_{i+1}}{2}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), 再加上两边端点,共得  $n + 2$  个节点,然后将这  $n + 2$  个节点重新排列,并记为  $a_0 = \beta, \beta = (a_i + a_{i-1})/2, \beta_i = a_n$ , 并计算这  $n + 2$  个节点在三次样条函数  $h(\alpha)$  的数值,依次记为  $h_0, h_1, \dots, h_{n+1}$ 。

4) 根据节点  $\beta, \beta, \dots, \beta_i$  和新型值  $h_0, h_1, \dots, h_n$  再进行一轮三次样条函数插值,得到新的插值函数  $h(\alpha)$ 。

5) 利用  $h'(\alpha)$  来计算原节点  $a_0, a_1, \dots, a_n$  的型值  $h'_1, h'_2, \dots, h'_n$ , 就是原测量型值  $h_1, h_2, \dots, h_n$  的第一次修正值。

6) 这样的修正称为回弹,可以反复进行,直到相邻 2 次的修正值  $h_i$  和  $h'_i$  之间的差满足  $|h_i - h'_i| < \varepsilon$  时结束。 $\varepsilon$  为事先指定的很小的正数。

7) 令  $t_i = h'_{i+1} - h'_i$ , 通过适当的变换将  $t_i$  变换为伺服电机的步进时间间隔。

控制布框伺服电机的步进运动是根据布框移框的运行曲线,预先编制好步进间隔的时间表,在移框的过程中,依次抽取本次步进与下次步进的时间间隔,每次步进后进行延时直到下一次步进动作,依此类推,直到预定移框长度结束。由于主轴转速是相对恒定的,而每次移框均为主轴旋转一周的 1/3(约 120 ms, 依主轴转速而变)。但每次移框的长度是不同的,依花稿的要求而定,故每一移框的运行曲线均不同。由于布框移框的单位长度为 0.1 mm, 最大移框长度为 16.5 mm, 故需编制多达 165 条运行曲线的数据表格。将该数据表格做成文件存放在控制系统的电子硬盘中,共 165 个数据文件。控制程序在不需要移框的时间内(主轴旋转一周的另外 2/3, 约 240 ms, 依主轴转速而变), 根据花稿的要求来选取其中 2 个文件的全部数据(分别控制 X 轴和 Y 轴)调入内存,在下次移框时刻,通过查找内存中的数据来控制伺服电机步进动作。为了使伺服电机处于最佳随动控制状态,在选择伺服电机时以所需力矩的 6~10 倍选取<sup>[5]</sup>, 并选择低惯量伺服电机。

## 5 结束语

通过对瑞士苏拉公司 2S-55 的十五码飞梭机和日本平冈公司 SG10 的十码飞梭机进行技术改造,使飞梭机故障率大为降低,刺绣精度得到改善,机器转速提高 30%, 从而提高了机器的整体效率。实践证明,该系统能够较好地替换旧机头,故障率大大减少,生产效率明显提高。鉴于国内仍在大量使用老式飞梭机,该系统具有推广价值,对于国内刚刚起步的飞梭机制造业也有借鉴作用。 FZXB

### 参考文献:

[ 1 ] John H, Mathews Kurtis D. 数值方法[ M]. 陈渝,译. 北京:电子工业出版社,2002.

[ 2 ] 苏步青,刘鼎元. 计算几何[ M]. 上海:上海科学技术出版社,1981.

[ 3 ] 黄友谦,李岳生. 数值逼近[ M]. 北京:高等教育出版社,1987.

[ 4 ] 李丽,王振领. MATLAB 工程计算及应用[ M]. 北京:人民邮电出版社,2001.

[ 5 ] 寺野寿郎. 机械系统设计[ M]. 姜文炳,译. 北京:机械工业出版社,1983.