

文章编号 :0253-9721(2006)03-0040-03

# 基于 MATLAB 的六连杆打纬机构优化设计及仿真

马世平

(浙江师范大学 电气自动化研究中心,浙江 金华 321004)

**摘要** 提出一种利用工具软件对织机六连杆打纬机构进行优化设计及运动仿真的新方法。介绍了 MATLAB 软件工具箱中处理这类优化设计的函数,建立了含有 8 个独立变量的数学模型并求解;利用优化后的结果在 ADAMS 软件中构建仿真模型,通过仿真得到期望的运动特性。

**关键词** 打纬机构;六连杆;优化设计;仿真;MATLAB;ADAMS

中图分类号:TS103.135 文献标识码:A

## Optimal design and simulation on 6-link beating construction based on MATLAB

MA Shi-ping

(Research Center of Electrical Automation, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China)

**Abstract** This paper presents a new method for performing optimal design and kinematical simulation on a 6-link beating construction with tool software. First, the optimization function in MATLAB toolbox is introduced, and a mathematical model containing eight independent variables is built and solved. Then, a simulation model is constructed in ADAMS using the optimal design, and the expected kinematical characteristics are achieved.

**Key words** beating construction; 6-link; optimal design; simulation; MATLAB; ADAMS

一般认为,理想的打纬机构是共轭凸轮打纬机构,因为它使引纬和打纬相互分离,并且能够长时间的绝对静止。然而,凸轮机构虽然设计容易,但是制造困难而且成本高。六连杆打纬机构经合理设计,既能保证筘座在打纬后心位置附近有较长的停顿时间又具有良好的机构动态性能,因此用连杆机构取代凸轮机构一直是老机改造和简易无梭织机开发中的重要课题<sup>[1,2]</sup>。六连杆打纬机构的设计精度要求较高,作图法和实验法不能满足设计精度,误差很大;而且设计周期较长,不能满足现代产品开发的要求。

优化设计为上述问题的解决提供了一条有效途径,它是以数学规划为理论基础,以计算机为工具寻求最佳设计方案的现代设计方法之一。给定的载荷或环境条件下,在对产品的几何尺寸或其它因素的限制范围内选取设计变量,建立目标函数并使其获得最优值的一种新的设计方法。本文首先介绍了 MATLAB 优化工具箱在织机六连杆打纬机构设计中

的应用,为了方便快速地验证设计结果是否满足工艺要求,利用机械系统动力学仿真分析软件 ADAMS 对其进行了仿真分析。

### 1 多变量约束优化算法及模型

连杆机构的优化设计多数是多变量非线性约束最小化问题。早期的方法通常是通过构造惩罚函数来将有约束的最优化问题转化为无约束最优化问题进行求解。现在,这些方法已经被更有效的基于 Kuhn-Tucker(K-T)方程解的方法所取代。K-T 方程是有约束最优化问题求解的必要条件,是非线性规划算法的基础,这些算法直接计算拉格朗日乘子。通过拟牛顿法更新过程,给 K-T 方程积累二阶信息,可以保证有约束拟牛顿法的线性收敛。这些方法称为序列二次规划法(SQP法),因为在每次主要的迭代中都求解 1 次二次规划问题。

目前,已有很多成熟的优化程序可供选择,但它

们都有各自的特点和适用范围,实际应用时必须注意因为优化方法或初始参数的选择而带来的收敛性问题。MATLAB 的优化工具箱选用最佳方法求解,初始参数输入简单,语法符合工程设计语言要求,编程工作量小,算法可靠,能够显著提高设计效率。MATLAB 中 SQP 法的实现主要分 3 步:拉格朗日函数 Hessian 矩阵的更新、二次规划问题求解以及一维搜索和目标函数的计算。

非线性多变量约束优化问题可做如下描述<sup>[3]</sup>:

$$\begin{aligned} & \min f(x) \\ & \text{s.t.} : Ax \leq b \text{ (线性不等式约束)} \\ & A_{eq} x = b_{eq} \text{ (线性等式约束)} \\ & C(x) \leq 0 \text{ (非线性不等式约束)} \\ & C_{eq}(x) = 0 \text{ (非线性等式约束)} \\ & L_{bound} \leq x \leq U_{bound} \end{aligned}$$

在 MATLAB 中调用 fmincon 函数实现求解非线性多变量约束优化问题。fmincon 函数的调用格式如下: [xopt,fxopt] = fmincon( UserFunction, x0, A, b, AEQ, bEQ, LBnd, UBnd, ' NonLinConstr', options, p1, p2, ...)。其中, xopt 为最优解向量; fxopt 和 UserFunction 为目标函数的函数文件名; x0 为变量向量的初始值; 矩阵 A 和向量 b 为线性不等式约束方程的系数; 矩阵 AEQ 和向量 bEQ 为线性等式约束方程的系数; LBnd 和 UBnd 分别为变量向量的上界和下界; options, p1 和 p2 则为附加参数; NonLinConstr 为函数名, 该函数定义了非线性约束条件。

## 2 六连杆打纬机构的优化模型

六连杆打纬机构的形式有多种,图 1 所示为典型的六连杆打纬机构示意图。曲柄 AB 装在织机主轴 A 上,随着曲柄回转,通过连杆 BC 使摇杆 CD 绕过渡轴 D 摆动,再通过摇杆 DC'、连杆 C'E 带动摇杆 EF 绕摇轴 F 往复摆动,从而驱动打纬机构。六连杆打纬机构一般用于低速宽幅织机,其织造工艺要求主轴转动在 120° ~ 150° (即筘座相对静止时间) 之间,筘座在后心相对静止 (摆动小于

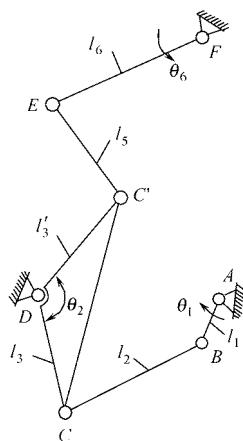


图 1 六连杆打纬机构示意图

0.8°)。如图 1 所示,已知曲柄 AB 的长度  $l_1$  为 70 mm, 3 根轴的位置 5 根连杆的长度以及 2 根摇杆之间的夹角均是设计变量,它们之间的组合可以根据实际情况来选取,令  $x = [l_2, l_3, l'_3, X_c, Y_c, l_5, \alpha, l_6]$  作为一种设计向量(针对老机改造),其余的则作为已知量。

设主轴的角位移为  $\theta_1$ , 摇臂的角位移为  $\theta_2$ , 筘座的角位移为  $\theta_6$ , 在 MATLAB 中分别用 theta1, theta3 和 theta6 表示。根据几何关系用以下语句建立的函数关系式  $\theta_6 = \text{func}(\theta_1)$  如本段代码:

```

A1 = 12 * 12 - 13 * 13 - (11 * cos(theta1) - Xc)^2 - (11 * sin(theta1) - Yc)^2;
B1 = 2 * 13 * (Xc - 11 * cos(theta1));
C1 = 2 * 13 * (Yc - 11 * sin(theta1));
theta3 = atan( A1/sqrt( B1 * B1 + C1 * C1 )) + atan( C1/B1 );
A2 = 15 * 15 - 16 * 16 * (Xc - Xf + 13 * cos(theta3))^2 - (Yc - Yf + 13 * sin(theta3))^2;
B2 = 2 * 16 * (Xf - Xc - 13 * cos(theta3));
C2 = 2 * 16 * (Yf - Yc - 13 * sin(theta3));
theta6 = acos( A2/sqrt( B1 * B1 + C1 * C1 )) + atan( C2/B2 );
    
```

设筘座推回程的运动规律相同,主轴转角  $\Delta\theta_1$  为 120° ~ 150°, 筘座在后心的相对静止摆动角  $\Delta\theta_6$  为

$$\Delta\theta_6 = \text{func}(\pi) - \text{func}(\pi - \Delta\theta_1/2)$$

优化设计的目的是使  $\Delta\theta_6$  最小 (< 0.8°), 目标函数定义如下:

$$\text{function } f = \text{ObjFunc}(x)$$

考虑约束条件,该机构的约束条件共有 4 类: 筘座动程约束、打纬角约束、杆件的几何关系约束以及压力角约束。这些约束条件在 MATLAB 中统一分为线性不等式约束、线性等式约束、非线性不等式约束和非线性等式约束。由线性不等式约束导出矩阵 A 及向量 b, 由于没有线性和非线性等式约束,其相应的矩阵 AEQ 及向量 bEQ 均用 [] 表示; 根据经验值给出设计变量的上下边界向量 LBnd 和 UBnd; 非线性不等式约束则需要编写程序, 函数定义如下:

$$\text{function } f = \text{NonLinConstr}(x)$$

在 MATLAB 命令窗口中调用优化程序: (初始化语句省略)

```

[x, f] = fmincon(' ObjFunc', x0, A, b, [], [], LBnd, UBnd, ' NonLinConstr' )
    
```

运行结束后,系统将提示:

Optimization terminated successfully:

执行结果为:  $x = [l_2, l_3, l_3', X_C, Y_C, l_5, \alpha, l_6] = [225, 180, 189, -266, 17, 121, 171, 239]$  及  $f=0.78$ 。

### 3 六连杆打纬机构的验证模型

由于机构较为复杂而且设计变量较多,还需要对优化后的结果是否满足设计要求进行运动特性分析。传统的做法是根据六连杆打纬机构的几何关系分别求出筘座脚的角位移、角速度和角加速度相对于主轴转角的关系表达式,然后用曲线表示出来。这种方法比作图法精确,但推导过程比较复杂且计算量大。机械系统动力学仿真分析软件 ADAMS 为这类问题的解决提供了方便快捷的途径,它使用交互式图形环境和零件库、约束库、力库,创建完全参数化的机械系统几何模型,其求解器采用多刚体系统动力学理论中的拉格朗日方程方法,建立系统动力学方程,对虚拟机械系统进行静力学、运动学和动力学分析,输出位移、速度、加速度和反作用力曲线,已在纺织工业中得到应用<sup>[41]</sup>。

根据 MATLAB 优化后得到的结果,在 ADAMS 的交互式图形环境中建立起六连杆打纬机构的几何体,然后依次添加约束副和驱动副,完成的虚拟样机模型如图 2 所示。

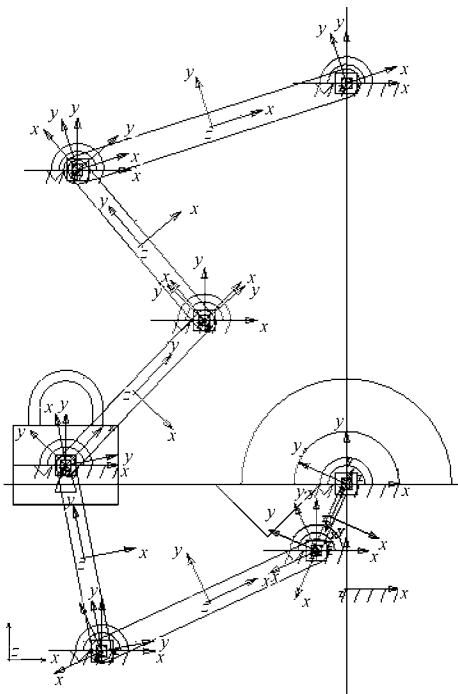


图 2 六连杆打纬机仿真模型图

最后进行仿真和测量曲线的输出,如图 3 所示,3 条曲线分别为六连杆机构的位移、速度和加速度曲线,3 条曲线的横坐标均为曲柄转角,纵坐标的幅值分别为  $0.125 \text{ m}$ 、 $3.5 \text{ m/s}$  和  $325.4 \text{ m/s}^2$ 。由位移曲线可以看出,筘座的相对静止时间约为  $160^\circ$ ,梭子可以在不动的筘座上长时间飞行,能够满足提出的工艺要求。由速度和加速度曲线可以看出,该机构运动较为平衡,具有良好的动态性能,所以该设计较为合理。

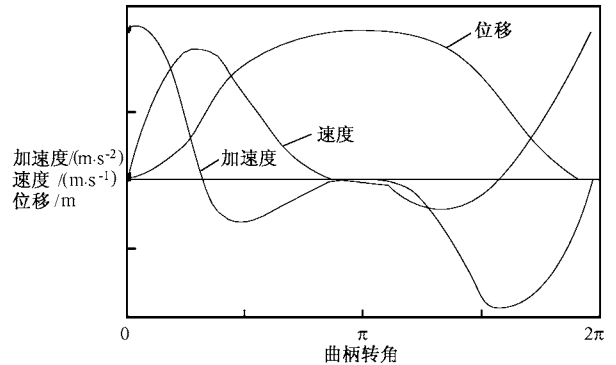


图 3 六连杆打纬机运动曲线图

### 4 结 论

1) 运用 MATLAB 优化工具箱进行连杆机构优化设计问题的求解,不用编写大量算法程序并且提高了设计效率,从而获得很好的优化结果。

2) 运用 ADAMS 软件进行连杆机构的运动特性分析,是一种高效准确的方法。利用优化的杆件几何尺寸,通过图形化的操作就可以完成连杆机构的运动学分析,省去了耗时、繁琐的编程工作。

3) 经过合理设计,六连杆打纬机构既能够在打纬后心位置附近有较长的停顿时间,又具有良好的机构动态特性。

FZXB

#### 参考文献:

- [1] 袁守华,朱国华. 织机六连杆打纬机构的计算机辅助设计[J]. 纺织学报,1999,20(2):37-39.
- [2] 徐浩贻. 现代喷气织机打纬机构及其分析对比[J]. 广西纺织科技,2001,(3):38-42.
- [3] 席平原,魏伟. 基于 MATLAB 机械优化设计问题的分析[J]. 煤矿机械,2003,(9):9-11.
- [4] 张喜妮,王生泽. 基于 CAD/CAE 集成环境快速实现精梳机钳板机构的运动学与动力学仿真[J]. 纺织机械,2004,(6):40-43.