

基于多变量设计的打纬箱座急回特性分析及优化*

ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF QUICK-RETURN CHARACTERISTICS OF THE BEATING-UP SLEY BASED ON MULTIVARIABLE DESIGN

邱海飞**

(西京学院 机械工程学院, 西安 710123)

QIU HaiFei

(School of Mechanical Engineering, Xijing University, Xi'an 710123, China)

摘要 为改进箱座后摆急回特性,通过打纬原理分析与机构学推演,提出了一种针对牵手栓最大曲线位移 S_m 的优化数学模型。利用构件长度(l_c, l_b, l_r, l_t)和曲柄转角 α 构建多变量设计空间,实现了短牵手四连杆打纬的参数化功能模型开发,并通过机构学仿真对其运动位姿与质心轨迹进行分析验证。实例研究结果表明,曲柄长度 l_c 和转角 α 对目标函数 $F(X)$ 的敏感度影响更大,多变量(DV_1、DV_2、DV_3)耦合可有效增强打纬箱座急回特性的设计可塑性;当牵手栓最大曲线位移 S_m 增大至71.41 mm时,极位夹角 θ 和行程速比系数 K 分别被提高了10.96°和0.131,箱座急回运动效果得到明显提升。优化结果符合杆长条件和机构传动要求,有助于四连杆打纬系统的设计创新和性能改进。

关键词 四连杆打纬 急回特性 连杆 传动角 优化 位姿 敏感度

中图分类号 TH122 TS103

Abstract For improving the quick-return characteristics of the sley movement, an optimal mathematical model for maximum curve displacement S_m of the connectingarm pin was proposed through beating-up principle analysis and mechanism deduction. A multivariable design space was constructed by use of the component length (l_c, l_b, l_r, l_t) and crankangle α . The parametric functional model development of the four-bar beating-up with short connecting rod was realized, and its kinematic posture and centroid trajectory were analyzed and verified through mechanism simulation. The results of the case study indicate that the variable l_c and α have more greater influence on the sensitivity of the objective function $F(X)$, and multivariable ((DV_1, DV_2, DV_3) coupling can effectively enhance the design plasticity of the quick-return characteristics of the sley. When the maximum curve displacement S_m of the connectingarm pin increases to 71.41 mm, the extreme position angle θ and the travel speed ratio coefficient K are increased by 10.96° and 0.131 respectively, and the quick-return motion effect of the sley is obviously improved. The optimization results accord with the conditions of rod length and mechanism transmission requirement, which are conducive to the design innovation and performance improvement of the four-bar beating-up system.

Key words Four-bar beating-up; Quick-return characteristic; Connecting rod; Transmission angle; Optimization; Posture; Sensitivity

Corresponding author: QIU HaiFei, E-mail: qhf8386@163.com, Fax: +86-29-85628021

The project supported by the Special Scientific Research Plan Project of Education Department of Shaanxi Provincial (No. 15JK2177), the Special Fund Project for High-Level Talents of Xijing University (No. XJ20B09), and the Transverse Item of Xijing University (No. 2019610002001915).

Manuscript received 20230206, in revised form 20230328.

0 引言

打纬系统是织机的五大运动构成之一,根据结构组成和运行原理,一般可将其分为3种类型:四连杆打纬、六连杆打纬以及共轭凸轮打纬^[1]。其中,四连杆打

纬是现代织机(如喷气织机、喷水织机)常用的一种打纬形式,由于这种连杆式打纬具有结构简单、加工方便及高速平稳等诸多优点^[2],所以目前已广泛应用于织造生产实践。

相较于其他打纬形式(如凸轮打纬、六连杆打

*20230206收到初稿,20230328收到修改稿。陕西省教育厅专项科研计划项目(15JK2177),西京学院高层次人才专项基金项目(XJ20B09),西京学院横向课题项目(2019610002001915)资助。

**邱海飞,男,1983年生,陕西西安人,汉族,西京学院机械工程学院副教授,硕士,主要研究方向为机械系统动态设计、机电产品数字化设计与研发。

纬),四连杆打纬具有典型的急回运动特性,即当钢筘在前死心完成打纬后,筘座应急速向后摆动至后死心位置。在此过程中,要求从动摇杆的空回行程平均角速度大于其工作行程,以节省空回时间,提高织造效率^[3]。然而,考虑到开口机构与引纬系统之间的运动配合,如果不能合理地设计和控制四连杆打纬的急回特性,往往会使筘座在后死心位置产生较大加速度,加剧织机系统的振动和噪声。因此,筘座的后摆运动并不是越急越好。

现有关于四连杆打纬的设计研究基本都以机构分析、运动学或动力学仿真为主,而在其性能优化和急回特性改进方面的探索则并不多见。目前能检索到的相关研究有:徐步高等^[4]80-83通过分析有梭织机四连杆打纬运动配合存在的问题,指出急回特性可有效扩大梭口飞行角,并采用内点罚函数法实现了四连杆打纬机构的再设计;周井玲等^[5]以打纬力恒定为优化目标,对弹性打纬系统中的弹性节机构参数进行了优化设计,为弹性打纬动力学问题研究奠定了基础;祝章琛等^[6]提出了一种基于杆件质量和几何位置分布的优化设计方法,并通过实例研究对其可行性进行了分析验证;周志明等^[7]构建了针对四连杆打纬的模糊优化数学模型,在此基础上,实现了四连杆打纬系统的模糊优化和实例分析。

由于以往的研究大都是以理论推演为主的解析方法,这种复杂烦琐的设计过程不仅工作量大、求解难度高,而且精度和可靠性等已不能满足现代织机对于高速打纬系统的设计要求。因此,有必要借助现代设计方法和计算机仿真技术等,对四连杆打纬系统及其工作性能进行优化再设计,以获得满足机构条件和动力要求的最优急回特性。

1 打纬系统构成

在织造生产过程中,打纬作业与开口、引纬、送经及卷取运动同步进行,织机系统利用筘座往复运动来实现纬纱打紧。如图1所示,当曲柄 AB 以角速度 ω 绕曲轴轴心 A 作 360° 回转时,通过 B 点带动连杆(牵手)使其作平面运动。与此同时,动力由 C 点传递至摇杆和筘座脚,使其绕摇轴回转中心 D 点发生往复摆动,进而驱动钢筘将纬纱逐根打向织口形成织物。

对于曲柄-摇杆形式的四连杆打纬系统,其机构动力学性能主要取决于曲柄与牵手的长度。按照牵手长度 L_{BC} 与曲柄长度 L_{AB} 的比值不同,可将其分为3种形式:短牵手($L_{BC}/L_{AB} < 3$)、中牵手($3 \leq L_{BC}/L_{AB} < 6$)、长牵手($L_{BC}/L_{AB} > 6$)^[8]。其中,短牵手打纬不仅能够增大钢筘在前死心(E 点)的加速度,而且还可以延长筘座在后死心(F 点)的停顿时间。因此,考虑到织造幅宽

和打纬惯性等工艺因素,现代无梭织机大多都采用短牵手打纬。

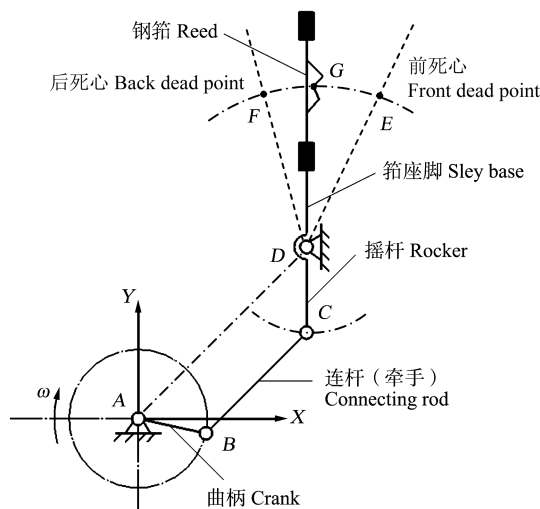


图1 四连杆打纬原理示意图

Fig. 1 Schematic of four-bar beating-up mechanism

2 机构学特性

根据机构学原理,当曲柄 AB 沿顺时针方向作整周回转时,平面四连杆机构将出现两次运动极限位置,如图2所示。在曲柄 AB 与连杆 BC 重合或共线的情况下,由连线 B_1C_1 与连线 AC_2 构成的夹角 θ ,称之为极位夹角,变化范围为 $0^\circ \leq \theta < 180^\circ$ 。

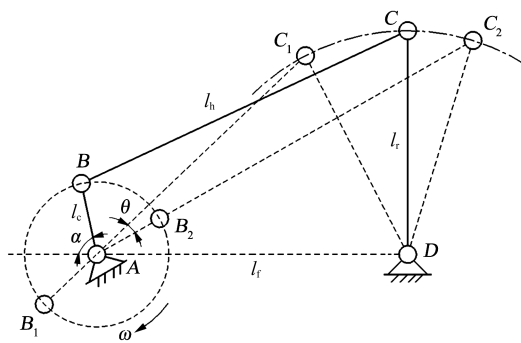


图2 曲柄-摇杆机构运动简图

Fig. 2 Motion diagram of crank-rocker mechanism

为准确分析平面四杆机构的急回特性,采用行程速比系数 K ($K \geq 1$)衡量其急回运动的相对程度,计算式为

$$K = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta} \quad (1)$$

显然,机构的急回程度与极位夹角 θ 的大小成正比,即 θ 值越大,行程速比系数 K 越大,机构急回运动越明显。在极位夹角 θ 为0的情况下,行程速比系数 $K=1$,此时机构不具备急回特性。

3 数学模型

3.1 变量分析

以平面四连杆机构尺寸为寻优要素,构建如式(2)

所示的包含多个变量的设计空间 $\mathbf{X}$,为

$$\mathbf{X} = [l_c \ l_h \ l_r \ l_f]^T \quad (2)$$

式中, l_c 、 l_h 、 l_r 、 l_f 分别为曲柄、连杆、摇杆及机架的有效长度。

根据箱座前行打纬和空行后摆的运动特点,要求四连杆打纬运动应尽可能具有较大急回特性。因此,优化设计应使极位夹角 θ 趋于最大。由图2可知,极位夹角与各杆件长度之间存在如下关系:

$$\cos \theta = \frac{2(l_h^2 + l_c^2) - \overline{C_1 C_2}^2}{2(l_h^2 - l_c^2)} \quad (3)$$

式中, $\overline{C_1 C_2}$ 为牵手栓在箱座摆动过程中的最大直线位移。

分析式(3)可知,当 θ 值趋于最大时, $\cos \theta$ 将趋于最小,又由于牵手长度 l_h 始终大于曲柄长度 l_c ,所以可将目标函数设定为寻求 $\overline{C_1 C_2}$ 的最大值,如式(4)所示,即牵手栓的最大直线位移愈大,四连杆打纬系统的急回运动愈明显。

$$\overline{C_1 C_2} = \sqrt{2(l_h^2 + l_c^2) - 2(l_h^2 - l_c^2)\cos \theta} \quad (4)$$

3.2 问题转化

由图2中的机构运动关系可知,当曲柄 AB 从水平位置旋转 α 角度时,牵手栓正处于 C 点位置,其运动轨迹 S 可认为是以 D 点为圆心、 l_r 为半径的圆弧^[9],即

$$S = l_r \left(\beta - \arccos \frac{l_r^2 + u^2 - l_h^2}{2l_r u} - \arctan \frac{-l_c \sin \alpha}{l_f - l_c \cos \alpha} \right) \quad (5)$$

其中,

$$\beta = \arccos \frac{l_r^2 + l_f^2 - (l_h + l_c)^2}{2l_r l_f} \quad (6)$$

$$u = \sqrt{(l_f - l_c \cos \alpha)^2 + l_c^2 \sin^2 \alpha} \quad (7)$$

又由于极位夹角 θ 与牵手栓运动轨迹 S 及各杆件长度(l_c 、 l_h 、 l_r 、 l_f)存在如下关系^{[4]81-82}:

$$\cos \theta = \frac{l_c^2 + l_h^2 - 2l_r^2 \sin^2(S_m/2l_r)}{l_h^2 - l_c^2} \quad (8)$$

因此,可通过求解牵手栓最大曲线位移 S_m (即 $\overline{C_1 C_2}$ 的最大值)来确定四连杆打纬系统的最大极位夹角 θ_m 。这种情况下,优化问题被等效转化为寻求 S_m 的最大值,其目标函数 $F(\mathbf{X})$ 如式(9)所示,此时,设计空间被拓展为 $\mathbf{X}' = [l_c \ l_h \ l_r \ l_f \ \alpha]^T$ 。

$$F(\mathbf{X}) = \max \{ S_{m1}, S_{m2}, S_{m3}, \dots, S_{m(i-1)}, S_{mi} \} \quad (9)$$

式中, S_{mi} 为牵手栓最大曲线位移 S_m 的第 i 次寻优结果。

3.3 约束状态

当平面四杆机构为曲柄-摇杆形式时,必须满足机构学条件。已知曲柄 AB 始终与机架 AD 相连,根据曲柄存在条件,可构建如式(10)所示的约束关系。

$$\begin{cases} g_1(\mathbf{X}) = l_c + l_h - l_r - l_f \leq 0 \\ g_2(\mathbf{X}) = l_c + l_r - l_h - l_f \leq 0 \\ g_3(\mathbf{X}) = l_c + l_f - l_h - l_r \leq 0 \end{cases} \quad (10)$$

同时,为保证机构能够适应高速状态下的打纬运动,应使其具备灵活的传动特性,所以该四杆机构的传动角 γ 应满足约束条件^{[4]81}:

$$\begin{cases} g_4(\mathbf{X}) = \cos 40^\circ - \cos \gamma_{\min} \geq 0 \\ g_5(\mathbf{X}) = \cos \gamma_{\max} - \cos 140^\circ \geq 0 \end{cases} \quad (11)$$

式中, $\gamma_{\min}$ 为最小传动角; $\gamma_{\max}$ 为最大传动角。

根据机构学理论,曲柄在回转一周过程中,最小传动角 $\gamma_{\min}$ 、最大传动角 $\gamma_{\max}$ 先后出现于曲柄与机架共线位置,其与设计变量之间的关系可通过反三角函数来表示,其表达式分别为

$$\gamma_{\min} = \arccos \frac{l_h^2 + l_r^2 - (l_c - l_f)^2}{2l_h l_r} \quad (12)$$

$$\gamma_{\max} = \arccos \frac{l_h^2 + l_r^2 - (l_c + l_f)^2}{2l_h l_r} \quad (13)$$

4 研究实例

以某型喷气织机四连杆打纬系统为研究对象,在Adams/View环境下对其进行机构学设计和仿真优化。

4.1 机构位姿

织机启动后,曲柄在主轴电动机驱动下沿顺时针方向发生高速旋转。在一个整周回转过程中,曲柄将与牵手和机架产生两次共线^[10],如图3所示,为不同共线位置时的机构位姿。其中, S_1 、 S_2 、 S_3 分别代表曲柄、牵手及摇杆的质心轨迹。可以清楚地看到, S_1 轨迹为一标准圆, S_2 轨迹为一近似椭圆,而 S_3 轨迹则为一段圆弧,符合曲柄-摇杆机构运动学特征。

进一步分析机构位姿可知,在前死心初始位置,曲柄与牵手处于不重合共线,随着打纬运动的进行,曲柄转动过程先与机架发生第1次共线(重合),再与牵手在后死心位置发生重合共线,然后又与机架发生第2次共线(不重合),紧接着再运动至初始位置。按照这一运动规律,箱座通过周期性往复运动不断将纬纱打向织口形成织物。为避免四杆机构发生锁死,必须保证曲柄在共线位置具有良好的传动特性^[11],尤其是在前死心和后死心处,应使其传动角具有足够的设计冗余度。

4.2 参数化实现

已知各杆长度分别为 $l_c = 35 \text{ mm}$ 、 $l_h = 75 \text{ mm}$ 、 $l_r = 145.24 \text{ mm}$ 、 $l_f = 160 \text{ mm}$ 。在打纬起始阶段,钢筘位于前死心位置,此时曲柄与牵手发生不重合共线,即四连杆打纬机构的初始相位。

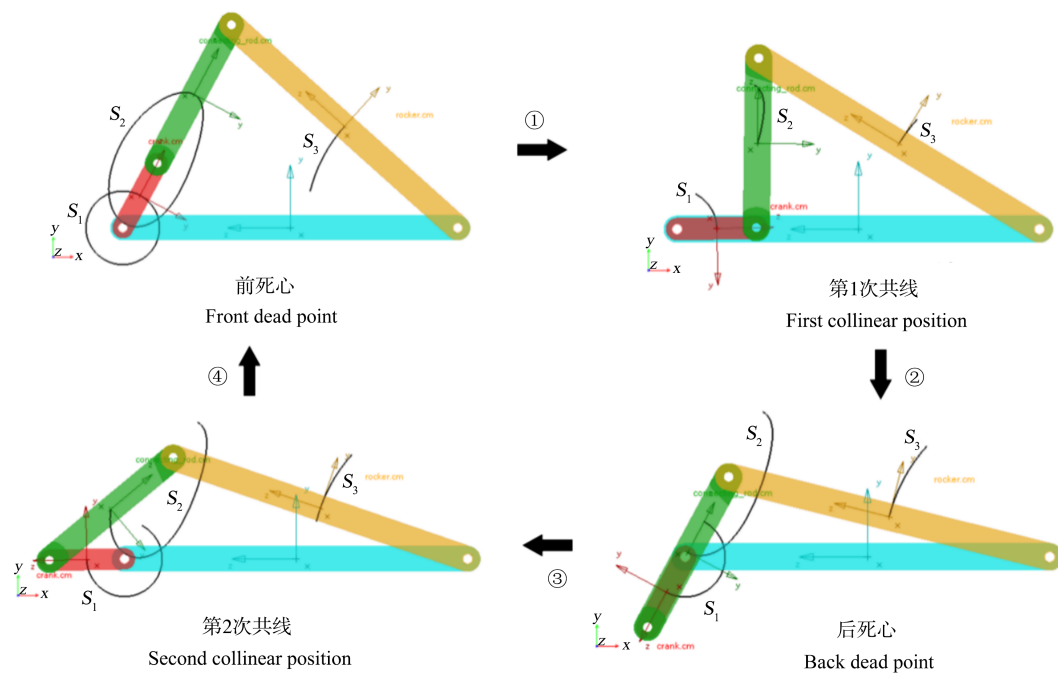


图3 曲柄-摇杆机构运动位姿

Fig. 3 Kinematic posture of crank-rocker mechanism

以曲柄、牵手、摇杆及机架的长度为设计参数,通过分析机构前死心位姿计算各杆件连接点的 X 、 Y 坐标,由此确定参数化建模所需的POINT几何点[图4(a)].为实现四连杆打纬机构的参数化驱动,将各点坐标以

参数关系式进行关联^[12],在此基础上生成曲柄-摇杆机构几何模型,同时对其赋予材料、外观、运动约束和驱动等属性,建立功能型参数化模型[图4(b)].

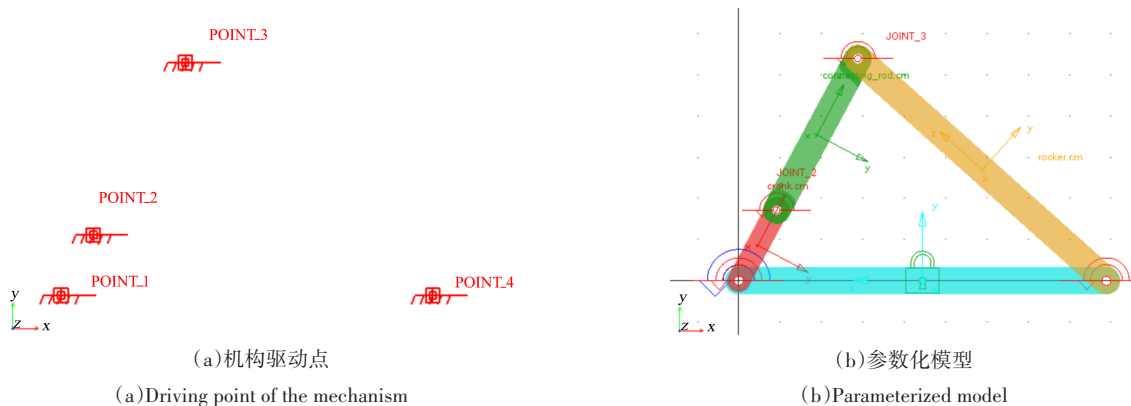


图4 四连杆打纬机构参数化设计

Fig. 4 Parametric design of four-bar beating-up mechanism

4.3 敏感度分析

4.3.1 设计研究

由式(5)~式(9)可知,寻优目标 $F(X)$ 与设计变量 l_c 、 l_h 、 l_r 、 l_f 、 α 之间存在一定函数关系。为评估不同设计变量对优化目标产生的影响,在Adams/View中通过设计研究来分析目标函数在单一变量驱动下的变化情况,相关敏感度分析曲线如图5所示。为便于优化计算和结果分析,将设计变量与目标函数分别定义为 l_c -DV_1、 l_h -DV_2、 l_r -DV_3、 l_f -DV_4、 α -DV_5、 $F(X)$ - S_m 。

通过分析和比较设计变量敏感度曲线可知,DV_1对 S_m 的取值影响较大,如图5(a)所示。说明通过改

变曲柄长度可有效控制牵手栓的最大位移;当单一设计变量选择DV_2、DV_3或DV_4时,牵手栓最大位移 S_m 的取值波动相对较小,如图5(b)、图5(c)、图5(d)所示。敏感度曲线纵坐标分布范围约在70.65~70.1 mm,说明这3个变量的变化不会对目标函数 $F(X)$ 产生较大影响;由图5(e)中的曲线形态可以看出,变量DV_5在曲柄转动一周过程中亦会对 S_m 产生较大影响,尤其是在 $90^\circ \sim 180^\circ$ 内,更容易使 S_m 的寻优值变大。由此可见,相较于变量DV_2、DV_3和DV_4,目标函数 $F(X)$ 对于变量DV_1和DV_5的变化更为敏感。

4.3.2 试验设计

为探究多变量耦合下的目标函数变化,令机架有效长度 l_4 保持不变,通过组合变量DV_1、DV_2和DV_3进行试验设计,获得如图6~图8所示的试验设计结果曲线。对比分析可知,当变量DV_1、DV_2、DV_3取不同设计组合时,牵手栓最大曲线位移 S_m 共执行27次试验计算,且取值范围为57.6~84.01 mm。其中,当 S_m 达到最大值时,变量DV_1、DV_2、DV_3的试验值分别为41、83、152 mm。

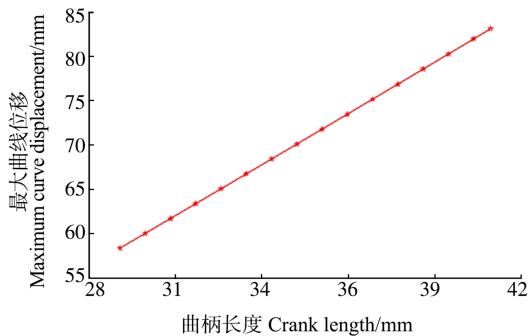
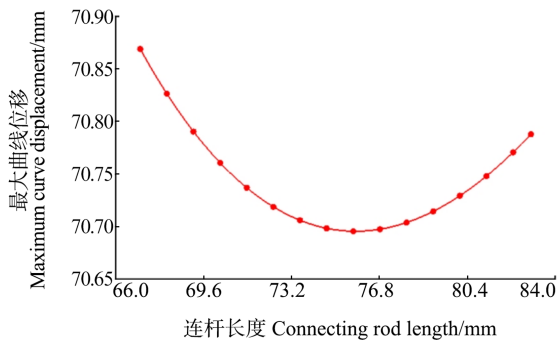
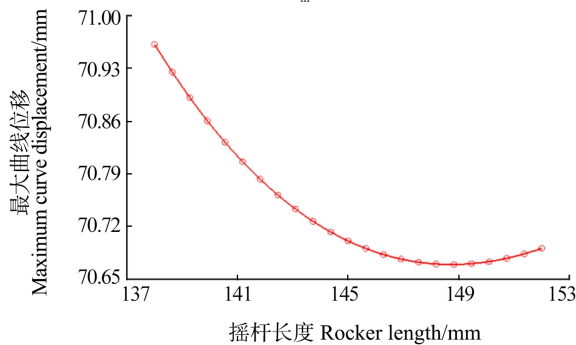
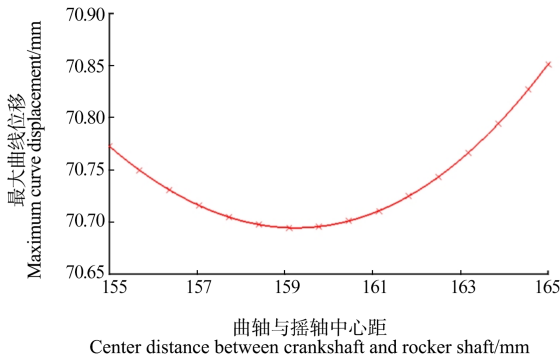
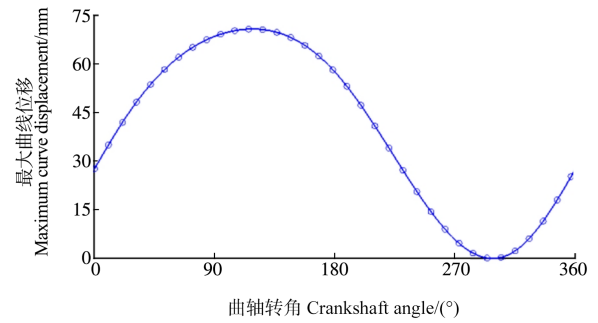
(a) S_m -DV_1(b) S_m -DV_2(c) S_m -DV_3(d) S_m -DV_4(e) S_m -DV_5

图5 设计变量敏感度曲线

Fig. 5 Sensitivity curve of the design variable

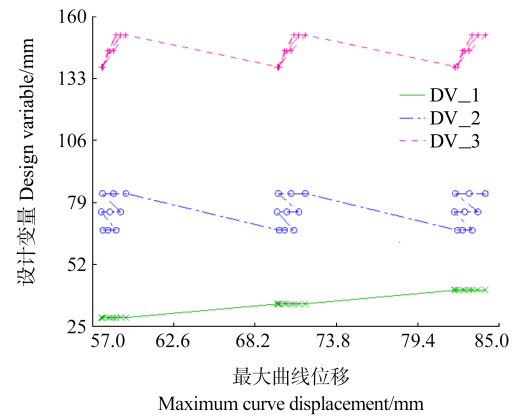
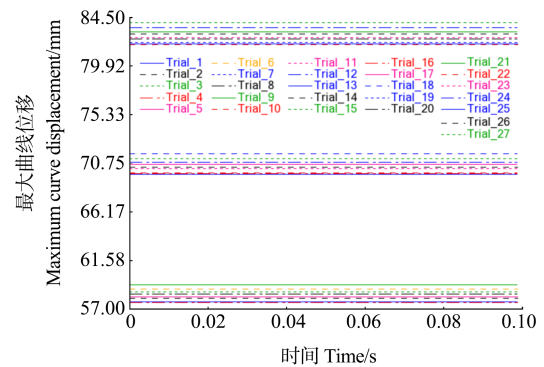
图6 变量耦合对 S_m 影响Fig. 6 Effect of variable coupling on S_m 

图7 试验设计过程目标值曲线

Fig. 7 Target value curve of experimental design process

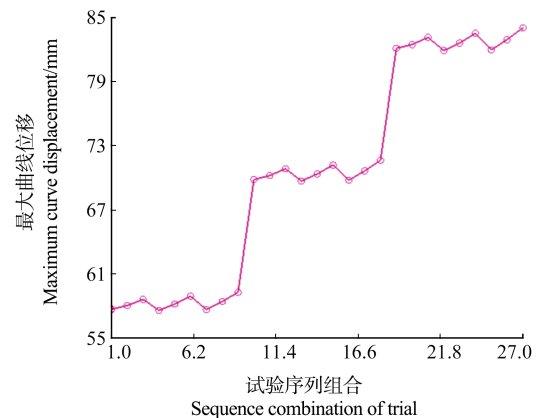


图8 试验设计计算结果

Fig. 8 Calculation results of experimental design

相对于目标函数初始值($S_{m0}=70.7\text{ mm}$), S_m 试验设计值有些部分是增大的,而有些部分则是减小的,说明四连杆打纬急回特性变化明显。由此可知,目标函数对于多变量驱动具有较强敏感度,通过多变量耦合分析有助于提升四连杆打纬的设计可塑性。

4.4 优化设计

在脚本仿真基础上运行优化计算,获得如图9、图10所示的优化过程曲线。显然,在优化迭代过程中,设计变量和传动角约束变量等均发生了不同程度变化,说明设计空间构建合理,优化变量驱动效应明显。与此同时,四连杆打纬系统的运动学特性也在随之改变,如图11所示。Adams经过26次迭代运算后,牵手栓角加速度曲线峰值相对初始状态显著减小,可见优化设计在一定程度上增强了牵手栓的摆动平稳性,对于减轻摇轴冲击载荷、平衡惯性打纬力等具有积极作用。

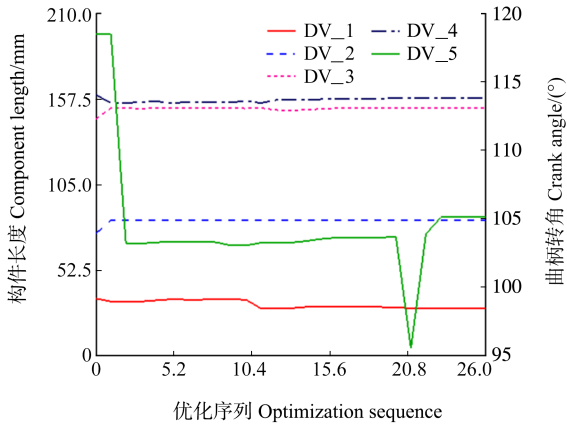


图9 设计变量迭代曲线

Fig. 9 Iteration curve of the design variable

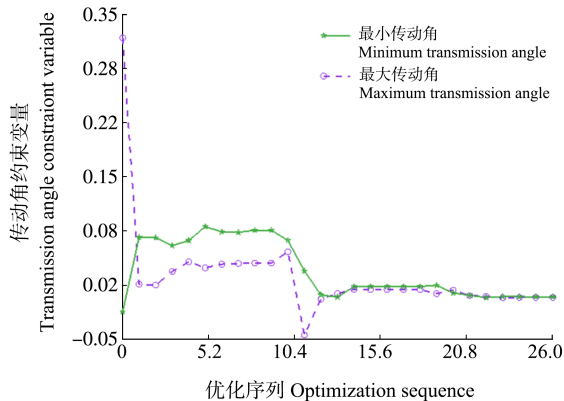


图10 传动角约束变量迭代曲线

Fig. 10 Iteration curve of transmission angle constraint variable

同样地,随着优化运算的执行,目标函数在设计变量和约束变量影响下也发生了相应变化,如图12所示。当迭代运算结束后,目标函数曲线逐渐趋于平稳,可见优化设计结果具有良好的收敛性。分析曲线形态可

知,目标函数在第5次迭代时达到最大值约为71.41 mm,此即牵手栓最大曲线位移 S_m 的寻优结果。

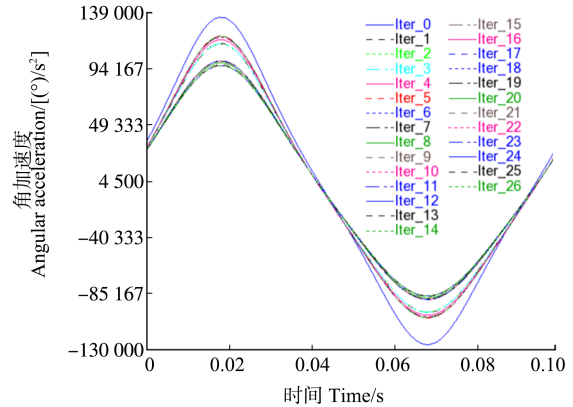


图11 牵手栓角加速度曲线

Fig. 11 Angular acceleration curves of connecting arm pin

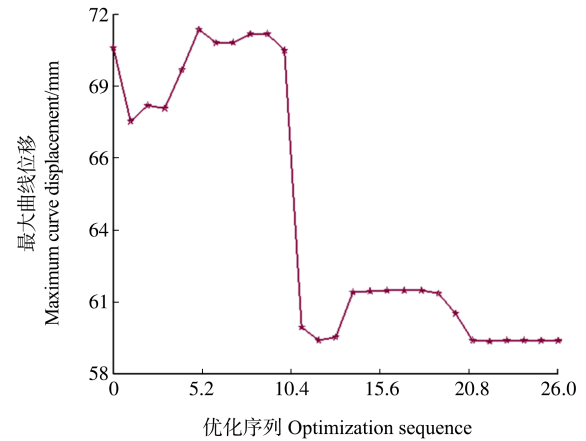


图12 目标函数迭代曲线

Fig. 12 Iteration curve of objective function

4.5 结果分析

为准确分析优化设计的过程和结果,通过后处理模块提取设计变量的初始值、优化值及敏感度,如表1所示。由表1中数据可知,优化后的打纬机构仍为短牵手形式,且曲柄长度从35 mm减小至34.59 mm,可见优化前后的变化幅度十分微小,其原因主要是变量DV_1的敏感度区间(2.041~2.089)较大,即曲柄长度的小幅变化便可在很大程度上影响牵手栓最大位移 S_m 。

不同的是,由于变量DV_2、DV_3、DV_4和DV_5的敏感度区间相对较小,所以当迭代运算结果向目标函数逼近时,各变量取值将发生不同程度的增大或减小,且其增减幅度明显大于变量DV_1,符合敏感度分析预期。

根据式(8)可知,极位夹角 θ 与设计变量和目标函数之间存在如式(14)所示函数关系。将DV_1、DV_2、DV_3、DV_4、DV_5和 S_m 代入式中,即可计算得出 θ 值。由表2中的优化数据可知,当牵手栓最大曲线位移 S_m

从 70.7 mm 增大至 71.41 mm 时,极位夹角 θ 由最初的 0.34° 提高至 11.3°, 而且行程速比系数 K 也随之增大了 0.131, 说明机构急回特性得到明显改进, 符合四连

杆打纬系统优化设计初衷。

$$\theta = \arccos \frac{l_c^2 + l_h^2 - 2l_r^2 \sin^2(S_m/2l_r)}{l_h^2 - l_c^2} \quad (14)$$

表 1 设计变量优化结果

Tab. 1 Optimization result of design variable

变量 Variable	DV_1/mm	DV_2/mm	DV_3/mm	DV_4/mm	DV_5/(°)
初始值 Initial value	35	75	145.24	160	118.47
优化值 Optimization value	34.59	83	152	155	103.35
敏感度 Sensitivity	2.041~2.089	-0.041~0.024	-0.059~0.012	-0.035~0.055	-0.644~0.696

表 2 急回特性优化结果

Tab. 2 Optimization result of quick-return characteristics

参数 Parameter	S_m /mm	θ /(°)	K
初始值 Initial value	70.70	0.34	1.003
优化值 Optimization value	71.41	11.30	1.134

5 结论

在纬纱打紧过程中,考虑到织机开口运动与引纬运动的工艺配合,应使箱座后摆运动在满足传动传力要求条件下具备合理的急回特性。本文通过机构学推演、数学建模、参数化设计、敏感度分析及动态仿真等,实现了一种短牵手式四连杆打纬系统的运动学优化,在增大机构极位夹角 θ 和行程速比系数 K 的同时,有效降低了牵手栓角加速度曲线峰值,有利于减轻摇轴和箱座的惯性冲击载荷,对于改进打纬运动急回特性具有重要借鉴意义。

参考文献 (References)

- [1] 魏展, 金国光, 袁汝旺, 等. 高速共轭凸轮打纬机构柔性动力学分析[J]. 机械工程学报, 2017, 53(3): 81-89.
WEI Zhan, JIN GuoGuang, YUAN RuWang, et al. Flexible dynamic analysis of high-speed conjugate cam beating-up mechanism[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(3): 81-89 (In Chinese).
- [2] 邱海飞, 李春风, 韩斌斌. 含间隙织机四连杆打纬机构动力学建模与仿真分析[J]. 丝绸, 2022, 59(7): 49-55.
QIU HaiFei, LI ChunFeng, HAN BinBin. Dynamic modeling and simulation analysis of four-bar beating-up mechanism on the loom with clearances[J]. Journal of Silk, 2022, 59(7): 49-55 (In Chinese).
- [3] 董少伟, 张建民, 袁伟, 等. 喷气织机分段式打纬机构与通轴打纬机构对比分析[J]. 纺织器材, 2021, 48(2): 12-14.
DONG ShaoWei, ZHANG JianMin, YUAN Wei, et al. Comparison and analysis of sectional beating-up mechanism and shaft beating-up mechanism of air-jet loom[J]. Textile Accessories, 2021, 48(2): 12-14 (In Chinese).
- [4] 徐步高, 张平国. 四连杆打纬机构的优化设计[J]. 纺织学报, 1987, 8(2): 80-83.
XU BuGao, ZHANG PingGuo. Optimum design for a four-bar-linkage

beating-up motion[J]. Journal of Textile Research, 1987, 8(2): 80-83 (In Chinese).

- [5] 周井玲, 刘延山, 曹清林, 等. 弹性打纬系统弹性节机构的参数优化[J]. 南通工学院学报, 1998, 14(2): 24-28.
ZHOU JingLing, LIU YanShan, CAO QingLin, et al. Optimization of the elastic pair mechanism[J]. Journal of Nantong Institute of Technology, 1998, 14(2): 24-28 (In Chinese).
- [6] 祝章琛, 范辰五. 高速织机四杆打纬机构的优化平衡[J]. 中国纺织大学学报, 1988, 14(5): 59-66.
ZHU ZhangChen, FAN ChenWu. Optimum balance of four-bar beat-up mechanism of high-speed looms[J]. Journal of China Textile University, 1988, 14(5): 59-66 (In Chinese).
- [7] 周志明, 梁海顺. 四连杆打纬机构的模糊优化设计[J]. 机械, 1998, 25(3): 26-29.
ZHOU ZhiMing, LIANG HaiShun. Fuzzy optimization design of four-link beating-up mechanism[J]. Machinery, 1998, 25(3): 26-29 (In Chinese).
- [8] 邱海飞, 王益轩. 双侧四连杆打纬机构动态载荷计算与仿真[J]. 纺织学报, 2014, 35(9): 144-148.
QIU HaiFei, WANG YiXuan. Calculation and simulation of dynamic load for four-bar beating-up mechanism at both sides[J]. Journal of Textile Research, 2014, 35(9): 144-148 (In Chinese).
- [9] 朱万前. 四连杆打纬机构牵手栓运动再探[J]. 苏州丝绸工学院学报, 1993, 13(3): 38-47.
ZHU WanQian. Further research on the motion of sword pin of four-bar linkage beating-up mechanism[J]. Journal of Suzhou Institute of Silk Textile Technology, 1993, 13(3): 38-47 (In Chinese).
- [10] 唐雪梅, 巫世晶, 朱伟林, 等. 高速剑杆织机打纬机构运动精度可靠性分析与计算[J]. 天津工业大学学报, 2015, 34(1): 78-83.
TANG XueMei, WU ShiJing, ZHU WeiLin, et al. Analysis and calculation of kinematics accuracy reliability on beating-up mechanism of high-speed rapier loom[J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2015, 34(1): 78-83 (In Chinese).
- [11] 鲁宁, 陈换过, 胡旭东, 等. 剑杆织机打纬机构动力学分析及仿真[J]. 现代纺织技术, 2012, 20(2): 33-37.
LU Ning, CHEN HuanGuo, HU XuDong, et al. Dynamics analysis and simulation of beating-up motion of a rapier loom[J]. Advanced Textile Technology, 2012, 20(2): 33-37 (In Chinese).
- [12] 伊启平, 黄秀琴. 基于 Adams 八连杆冲压机构的参数化设计与优化[J]. 常州工学院学报, 2018, 31(1): 27-31.
YI QiPing, HUANG XiuQin. Parametric design and optimization of eight-rod stamping mechanism based on Adams[J]. Journal of Changzhou Institute of Technology, 2018, 31(1): 27-31 (In Chinese).