

双曲柄串联低速急回机构及其遗传算法优化

赵升吨, 何予鹏, 杨 辉

(西安交通大学机械工程学院, 710049, 西安)

摘要: 采用几何分析的方法建立了机械压力机使用的双曲柄串联机构中滑块位移及速度的表达式. 采用遗传优化算法对 J23-80 型机械压力机使用的双曲柄串联机构参数进行了优化设计, 获得了最佳的机构参数. 优化后的结果表明, 该机构的结构简单紧凑、受力性能好, 具有良好的低速锻冲急回特性, 在曲柄转角为 $0^\circ \sim 45^\circ$ 的范围内可使滑块速度最高仅为 82 mm/s, 并存在着一个明显的速度平台, 其滑块速度特性甚至还优于结构复杂的专用冷挤及拉延压力机.

关键词: 机械压力机; 急回特性; 遗传算法

中图分类号: TG386.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2005)09-0913-04

Series-Double-Crank Mechanism with Low-Speed and Quick-Return Motion and Its Genetic Algorithm Optimization

Zhao Shengdun, He Yupeng, Yang Hui

(School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The equations of displacement and speed of slider in series-double-crank mechanism are established based on the geometric analysis. The mechanism of J23-80 type mechanical press is designed with the genetic optimizing algorithm, and the optimum parameters are acquired. It shows that the mechanism with a simpler structure possesses fine characteristics of low-speed and quick return under lower internal stresses. The maximum speed of the slider reaches only 82 mm/s within the range of 0° to 45° crankshaft angle, and a speed flat roof in the slide speed curve is found. The speed traits of the slider are even better than that of the special cold extrusion press and drawing press with complex structures.

Keywords: mechanical press; quick-return motion; genetic algorithm

机械压力机是塑性成形的最重要设备之一, 并且在工业生产中得到了广泛的应用. 机械压力机的工作机构通常是对心正置曲柄滑块机构, 滑块的速度与曲柄转角之间的关系近似呈现正弦变化规律^[1], 使得在工件变形阶段滑块速度太高、机床振动噪声过大, 不仅降低了模具的寿命, 甚至无法满足工件变形的要求.

目前, 人们一直都在进行着降低滑块的工作速度和提高机械压力机工作性能的研究工作. 文献^[2]采用伺服电机驱动肘杆多连杆机构, 使滑块具有柔性工作速度, 从而提高了加工质量, 扩大了加工范

围. 但是, 由于伺服电动机价格昂贵, 使得机械压力机的整机成本大大提高. 文献^[3]采用具有 2 个自由度的 7 连杆机构作为传动机构, 为使滑块的工作速度可调, 用一个伺服电动机和一个普通电动机共同驱动连杆机构, 但仍存在着滑块调速幅度过大的问题, 因此很难满足滑块工作速度的要求.

多连杆机构不仅价格便宜且制造容易, 因此可以满足不同场合的工作要求. 本文对 J23-80 型闭式传动曲柄纵放的机械压力机进行了改造, 用双曲柄串联曲柄滑块机构代替原来的传动机构, 虽然仍采用普通电动机驱动, 但可使滑块具有低速急回的工

作特性.

1 低速急回机构类型的选择

在低速锻冲机构类型的确定过程中,分别详细地对偏置的曲柄连杆滑块机构^[4]、多连杆机构^[5]、双曲柄连杆滑块机构^[6]和齿轮连杆组合机构的低速急回特性进行了分析,在这 4 种机构中,前 2 种属于非组合机构,后 2 种属于串联组合机构^[4]. 根据国内三家机械压力机制造企业提供的 10 种常用中小型通用机械压力机的主要技术参数,分别对上述 4 种机构进行了计算机模拟. 结果表明,除了偏置曲柄连杆滑块机构外,三齿轮连杆机构、六连杆机构及双曲柄串联机构基本上都能够满足滑块低速急回运动特性的要求,经过优化设计计算,不仅可以找到合理的结构尺寸,而且还可使滑块具有良好的低速急回运动特性. 三齿轮连杆组合机构的最大缺点就是中间的大齿轮是浮动的,并且该浮动的大齿轮尺寸过大,使机构的动态性能变差,特别是浮动齿轮的存在及曲柄的不均匀转动,都会引起机身的振动,而要消除该振动的影响,则需要增加一些尺寸很大的平衡装置,这更会增加结构的复杂程度及成本,因此三齿轮连杆组合机构不适合在通用机械压力机中应用. 当多连杆机构在现有的中小型通用机械压力机上实现时,要获得良好的结构难度较大,而本文在中小型通用型机械压力机上仅采用了双曲柄串联的机构,就能够很好地实现低速锻冲的要求.

2 滑块的运动特性分析

为了实现对双曲柄串联曲柄滑块机构的运动分析,需要建立该机构滑块的运动方程,该机构的各个几何和运动参数如图 1 所示. 该机构实现滑块低速运动的实质是双曲柄机构的主动曲柄作匀速转动,经过连杆传动的变换使得从动曲柄作变速转动,因此对双曲柄机构运动的分析是对该机构进行运动分析的关键(见图 2).

对图 2 中的 $\triangle O_2AO_1$ 进行分析后得到

$$\tan\varphi_4 = \frac{l_1 \sin\varphi_1}{l_1 \cos\varphi_1 - l_0} \quad (1)$$

$$l_4 = l_1 \cos(\varphi_4 - \varphi_1) - l_0 \cos\varphi_4 \quad (2)$$

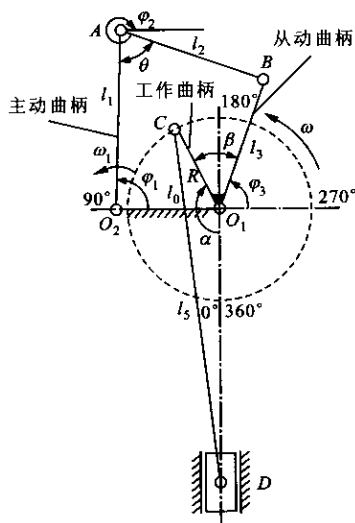
在图 2 的 $\triangle O_1AB$ 中应用余弦定理,令

$$T_1 = \cos(\varphi_2 - \varphi_4) = l_3^2 - l_2^2 - l_4^2 / 2l_2l_4 \quad (3)$$

则

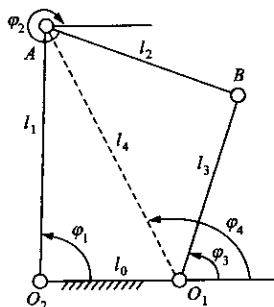
$$T_2 = \sin(\varphi_2 - \varphi_4) = -(1 - T_1^2)^{1/2} \quad (4)$$

$$\tan(\varphi_2 - \varphi_4) = T_1 / T_2 \quad (5)$$



l_0, l_1, l_2, l_3, l_5 : 杆的长度; R : 曲柄长度; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$: 各杆转角; θ : 传动角; β : 安装角; α : 曲柄的转角; ω_1 : 主动曲柄角速度; ω : 从动曲柄角速度; A, B, O_1, O_2 : 各转动铰链中心; D : 滑块的移动副

图 1 双曲柄串联曲柄滑块机构



l_4 : A 点和 O_1 点之间的辅助线; φ_4 : AO_1 的转角

图 2 双曲柄机构的几何关系

式中: T_1, T_2 是中间变量. 同样由图 2 中的 $\triangle O_1AB$ 可得

$$\tan\varphi_3 = l_4 \sin\varphi_4 + l_2 \sin\varphi_2 / l_4 \cos\varphi_4 + l_2 \cos\varphi_2 \quad (6)$$

由图 1 可知

$$\alpha = 3\pi/2 - \varphi_3 - \beta \quad (7)$$

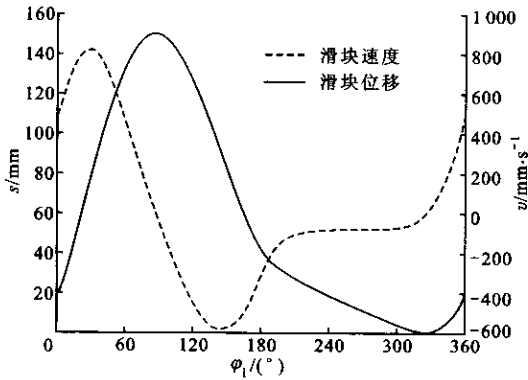
滑块位移

$$s = R((1 - \cos\alpha) + (R/l_5)(1 - \cos 2\alpha)/4) \quad (8)$$

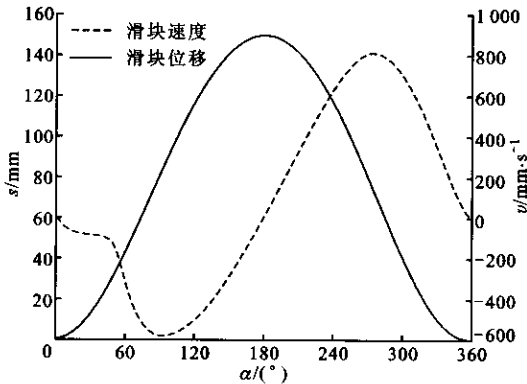
对式(8)中的 s 关于时间 t 求导,并考虑到 ω 已是变量,可得到滑块速度 v 的计算公式,但该公式复杂,受篇幅限制,此处从略.

对于 J23-80 型机械压力机可采用图 1 的机构,分别选取 $\omega_1 = 2\pi n/60 = 6.283 \text{ rad/s}$, $R = 75 \text{ mm}$, $l_0 = 81.1 \text{ mm}$, $l_1 = 260 \text{ mm}$, $l_2 = 220 \text{ mm}$, $l_3 =$

125 mm, $l_5=625$ mm, $\beta=40^\circ$, 由此计算得到的相应滑块运动性能如图3所示。



(a) 主动曲柄转角



(b) 从动曲柄转角

图3 滑块的位移和速度($\beta=40^\circ$)

从图3a中可以看出,滑块速度在 $\varphi_1=220^\circ\sim 320^\circ$ 内大致保持匀速,且速度低于100 mm/s,而滑块在匀速段运动的时间约占整个运动周期的38.89%左右。由图3b可看出,滑块在整个锻冲工件行程阶段($\alpha=0^\circ\sim 45^\circ$)的速度保持在98 mm/s以下,完全满足一般拉延工艺对拉延速度的要求,其急回系数高达1.973,因此具有良好的急回运动特性。由文献[1]提供的双动拉延专用机械压力机主滑块的速度高达225 mm/s,而J23-80型机械压力机采用未改进的曲柄滑块机构($\alpha=0^\circ\sim 45^\circ$)时的速度高达362 mm/s,由此可见,双曲柄串联机构的低速急回运动特性良好,并优于双动拉延专用机械压力机的急回运动特性。

3 遗传算法的优化设计

由运动分析及结构分析可知,该双曲柄串联机构的低速急回特性良好,为了使该机构的运动性能

达到最优,下面针对J23-80型机械压力机使用的双曲柄串联机构采用遗传优化算法进行优化[7]。图1中的双曲柄串联机构的优化设计变量可选取为

$$\mathbf{X} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)^T = (l_0, l_1, l_2, l_3, \beta)^T \quad (9)$$

双曲柄机构的优化问题是个非线性规划问题,在锻冲工件阶段,根据双曲柄串联机构滑块($\alpha=0^\circ\sim 45^\circ$)速度需要平稳的要求,将机构优化设计的目标函数取为

$$f(\mathbf{X}) = W_1 \left| \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [v(\varphi_i) - v_m]^2 \right|^{1/2} + W_2 |v_{\max}| + W_3 \min |\theta - 90| \quad (10)$$

式中: m 为曲柄所在位置角的等分点数; v_m 为滑块锻冲工件行程阶段的平均运动速度; W_1, W_2, W_3 为加权系数,本文取 $W_1=0.5, W_2=0.4, W_3=0.2$ 。

下面列出相关设计变量的约束条件,除了要满足曲柄的条件外,还要考虑到被改造的J23-80型机械压力机本身结构条件的限制,由此得到的约束条件为

$$g_1(x) = -x_1 - x_4 + 360 \geq 0 \quad (11)$$

考虑到滑块在机械压力机锻冲工件阶段($\alpha=0^\circ\sim 45^\circ$)要保持低速运动,滑块的平均速度不应超过100 mm/s,则约束条件为

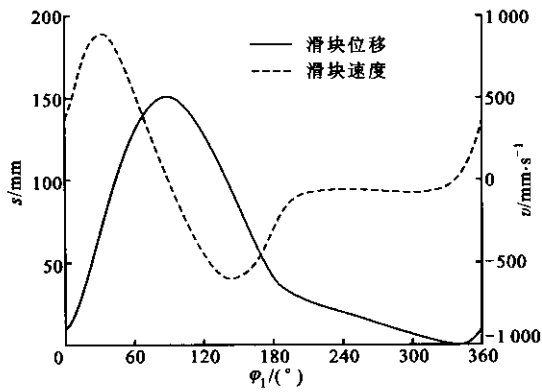
$$g_2(x) = 100 - v \geq 0 \quad (12)$$

在实际生产中,不仅要求滑块在锻冲工件阶段保持低速平稳,而且要求滑块在锻冲工件阶段作用的时间要尽可能长,并能存在速度平台区。本文取滑块在锻冲工件阶段作用的时间不应小于其运动周期的1/4,由此得到的约束条件为

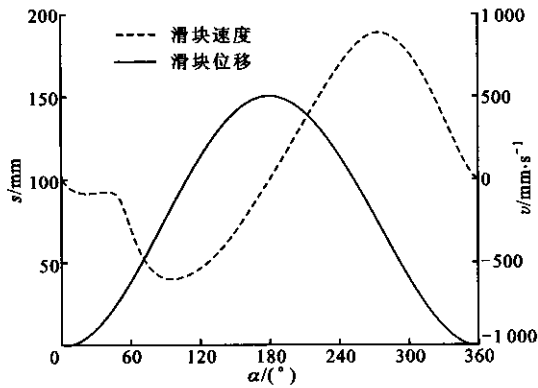
$$g_3(x) = m/n - 0.25 \geq 0 \quad (13)$$

式中: n 为机械压力机的总等分点数。考虑到J23-80型机械压力机所受结构条件的限制,取设计变量的可行域为 $\mathbf{X} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)^T \in [55 \text{ mm}, 130 \text{ mm}; 215 \text{ mm}, 340 \text{ mm}; 150 \text{ mm}, 340 \text{ mm}; 115 \text{ mm}, 210 \text{ mm}; -\pi, \pi]$,经过984次遗传迭代,得到的最优结果为 $\mathbf{X} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)^T = [101.683 \text{ 2 mm}; 311.489 \text{ 4 mm}; 281.125 \text{ 2 mm}; 137.240 \text{ 4 mm}; 0.749 \text{ 2 rad}]$,目标函数 $f(\mathbf{X})=14.218 \text{ 8}$ 。

图4为双曲柄串联机构优化后的结构参数,对比图3和图4可以看出,在优化后的低速锻冲阶段($\alpha=0^\circ\sim 45^\circ$),滑块速度由优化前的98 mm/s下降为82 mm/s,且速度平台区明显,由此反映出优化结果的有效性。



(a) 主动曲柄转角



(b) 从动曲柄转角

图4 优化后的滑块位移和速度

4 结论

(1) 双曲柄串联式曲柄连杆滑块机构具有良好的低速锻冲急回特性,而且结构简单紧凑、造价低,尤其适合于对现有中小型通用机械压力机的改造.将它应用于 J23-80 型机械压力机时,在 $\alpha = 0^\circ \sim 45^\circ$ 的范围内可使滑块速度由原有机机构的 362 mm/s 下

降为 98 mm/s,因此这是一种值得大面积推广应用的低速急回机构.

(2) 分析了双曲柄串联式曲柄连杆滑块机构的运动特性,建立了滑块位移和速度的计算公式,从而为该机构在工业实际中的应用奠定了良好的理论基础.

(3) 由于遗传算法是一种行之有效地解决双曲柄串联机构参数最优化问题的新型方法,因此本文为该机构的优化提供了设计变量、约束条件和优化目标函数.通过遗传算法对 J23-80 型机械压力机进行参数优化,可使滑块 ($\alpha = 0^\circ \sim 45^\circ$) 的最高速度由优化前的 98 mm/s 降低为 82 mm/s,并存在着明显的速度平台,因此优化后的机构具有良好的低速急回特性.

参考文献:

- [1] 何德誉. 曲柄压力机 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1981. 11-18, 274-307.
- [2] Yossifon S, Shivpuri R. Analysis and comparison of selected rotary linkage drives for mechanical press [J]. Int J Mach Tools Manufact, 1993, 33(2): 175-192.
- [3] Du R, Guo W Z. The design of a new metal forming press with controllable mechanism [J]. ASME Journal of Mechanical Design, 2003, 125(9): 582-592.
- [4] 张世民. 平面连杆机构设计 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1983. 80-95.
- [5] 江琪. 机械运动方案及机构设计 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1991. 105-118.
- [6] 华大年. 连杆机构设计 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1995. 91-113.
- [7] 玄光男. 遗传算法与工程设计 [M]. 北京: 科学出版社, 2000. 7-15, 20-70.

(编辑 管咏梅)

[文摘预登]

基于克隆选择的粗糙集属性约简方法

梁霖¹, 徐光华²

(1. 西安交通大学机械工程学院, 710049, 西安; 2. 西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 710049, 西安)

基于免疫克隆选择的原理,提出了一种新的粗糙集属性约简方法.将属性集合的分类近似质量作为进化目标,利用免疫反应的分布性特点通过局部并行搜索实现全局优化,并采用抗体更新和亲和力抑制手段来维持群体的多样性,保证了各抗体局部优化解的稳定性.通过机械故障诊断数据的实例应用,表明该方法可以获得多个符合分类质量要求的属性约简集合,因此满足了设备故障诊断的特征优化选择的要求.