

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.01.011

基于遗传算法和差分进化的 高速冲床运动学优化

孙夕阳, 王栓虎

(南京理工大学 机械工程学院, 江苏 南京 210094)

摘要:提出一种可以实现自身动平衡的高速冲床的新型传动机构。针对优化算法的缺陷,提出一种遗传算法与差分进化相结合的混合算法,并阐述了该算法的流程。将该机构简化,进而建立其优化模型。利用混合算法对其进行优化,得出优化前后冲压滑块的运动学特性比较图。结果表明,优化后的结构在高速冲压时具有更好的输出运动特性,表明该算法是一种非常切实有效的优化算法。

关键词:高速冲床;运动学;优化设计;遗传算法—差分进化

中图分类号: TG385.1; TP391.7

文献标志码: A

文章编号: 1005-2895(2014)01-0045-04

Kinematic Optimization of High-Speed Press Based on Genetic Algorithm and Differential Evolution

SUN Xiyang, WANG Shuanhu

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The novel transmission mechanism of high-speed press which ensures inertial balance was proposed. For the deficiency of optimum algorithm, a hybrid algorithm combining genetic algorithm with differential evolution was presented and its scheme was stated. Then the mechanism was simplified and optimization model was established. A comparative study for kinematics was made between original and optimized dimensions by the GA-DE algorithm. As the result shown, the optimized mechanism is of better output motion for high-speed punching, which indicates the algorithm is highly effective.

Key words: high-speed press; kinematics; optimal design; genetic algorithm-differential evolution (GA-DE)

1 高速冲床的新型传动机构

动平衡是设计高速冲床的关键技术之一,为了解决这个问题,提出一种可以实现水平和垂直方向动平衡的新传动机构,如图1所示。该机构在水平方向上,由一个曲柄通过连杆带动水平滑块做往复运动,在相对位置上配置副连杆和水平副滑块。垂直运动的冲压滑块和平衡滑块布置在水平滑块和水平副滑块的两侧,用对称布置的连杆分别将水平滑块和水平副滑块与垂直的冲压滑块和平衡滑块相连接,实现垂直方向的惯性力平衡。

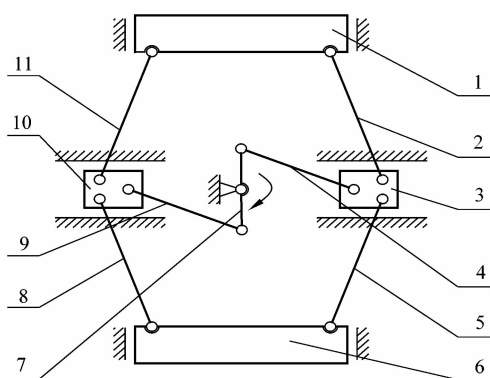
为了使此机构输出良好的运动特性,必须进行运动学优化设计。Cabrera等^[1]利用遗传算法对四杆机构进行优化设计,结果很快就收敛到最优解,但优化的精度不高,极易过早收敛而错过最优解。Shiakolas等^[2]采用差分进化与位置的几何形心技术对六连杆机构进行优化,提高了优化的精度,但计算效率较低。

针对上述问题,提出将遗传算法与差分进化相结合,形成一种混合优化算法。此新算法充分利用2种算法的优点,克服彼此的缺陷,既避免了过早收敛,又提高了计算的效率。

收稿日期:2013-08-21;修回日期:2013-10-28

基金项目:国家自然科学基金项目(51275243);江苏省科技支撑项目(BE2012174)

作者简介:孙夕阳(1988),男,江苏东台人,硕士研究生,主要研究方向为高速精密冲床设计与分析。E-mail:sunyang.89@163.com



1—平衡滑块;2—第三连杆;3—右水平运动滑块;4—主连杆;
5—第一连杆;6—冲压滑块;7—双曲柄杆;8—第二连杆;9—副
连杆;10—左水平运动副滑块;11—第四连杆

图1 高速冲床的新传动机构

Figure 1 Transmission of high-speed press

2 优化算法

与遗传算法相比,差分进化在每一个新个体的产生过程中采用了父代多个个体的线线组合,而不是遗传算法单一的父代染色体交叉技术,但差分进化未对参与繁殖的父代进行预优化处理,故其计算效率较低^[3-4]。基于此提出遗传算法与差分进化相结合的混合算法,算法主要流程如图2所示。

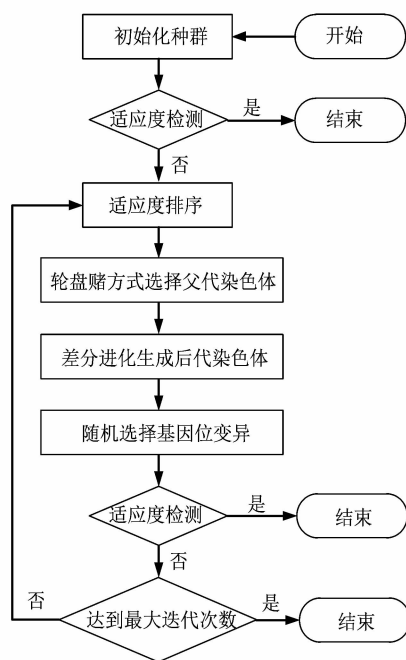


图2 混合算法流程图

Figure 2 Algorithm scheme for a new high-speed press

该混合算法的核心是借助于遗传算法的个体选择策略与差分进化的繁殖策略,下面讨论其主要步骤。

1) 染色体初始化。随机生成 N_p 个染色体的初始化种群,该种群内每个染色体中的基因 x_i 可以表示为

$$x_i = \min(x_i) + \gamma[\max(x_i) - \min(x_i)] \quad (1)$$

其中, γ 是 0 到 1 之间的随机实数。

2) 选择父代染色体。首先根据目标函数计算各染色体的适应度值,然后对其排序,最后利用轮盘赌方式来选择父代染色体,这样保证了适应度高的染色体被选为父代的概率就大。

3) 以差分进化方式生成下一代新染色体^[5]。所有被选择的父代染色体被随机分成 k 组,与之一对应的 k 个个体表示为 $X_{top1}, X_{top2}, \dots, X_{topk}$ 。 k 是自定义的一个整数,在第 i 代组中,后代染色体可表示为

$$X_1 = X_{topi} + F_1(X_{r1} - X_{r2}) \quad (2)$$

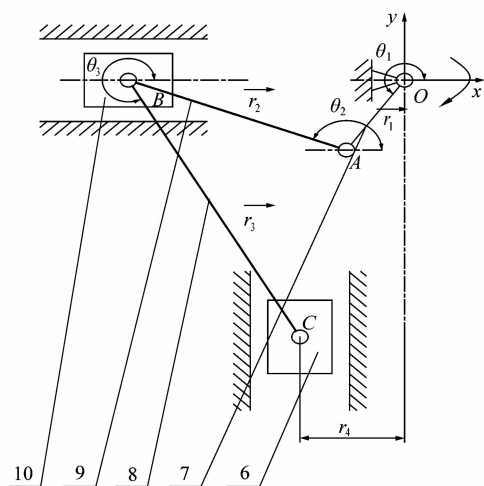
$$X_2 = X_{topi} + F_2(X_{r1} - X_{r2})$$

其中, X_{r1} 和 X_{r2} 是父代染色体, F_1 和 F_2 是 0 到 1 之间的随机实数。

4) 后代染色体的变异。首先对后代染色体中的所有个体以事先设定的变异概率判断是否进行变异,然后对需变异的个体随机选择变异位实施变异^[6-7]。

3 机构的优化模型

由图1可知,新传动机构是对称布置的,因此可简化成以下机构,机构简图如图3所示,以下讨论均针对机构简图进行。



6—冲压滑块;7—双曲柄杆;8—第二连杆;9—副连杆;10—左水平运动副

图3 机构简图

Figure 3 Simple mechanism

3.1 目标函数

对于曲柄来说电机输入力是驱动力,曲柄受到其他杆的作用力为阻力,而铰接点在端点,于是曲柄越长

阻力臂越长,越不利于力的传动^[8-10]。因此文章以高速冲床的曲柄长度最短为优化目标,曲柄越短冲床的受力情况越好,传动性能越好。

如图3所示,当冲压滑块位于上死点时,可以得到

$$r_4 + r_3 \cos \theta_{31} = r_1 + r_2 \quad (3)$$

$$r_3 \sin \theta_{31} = y_{C1} \quad (4)$$

类似地,当冲压滑块位于下死点时,可得

$$r_4 + r_3 \cos \theta_{32} = r_2 - r_1 \quad (5)$$

$$r_3 \sin \theta_{32} = y_{C2} \quad (6)$$

显然,根据冲压滑块极限位置与冲压行程间的关系可得

$$y_{C1} - y_{C2} = h \quad (7)$$

其中, y_{C1} 与 y_{C2} 分别代表冲压滑块位于上死点与下死点时的纵坐标值, h 是高速冲床的冲压行程。

利用等式(3)~(7),可推出目标函数为

$$f(X) = r_1 = \frac{h}{2} \sqrt{\frac{4r_3^2}{h^2 + 4r_2^2 - 8r_2r_4 + 4r_4^2} - 1} \quad (8)$$

其中,设计变量 X 为 $[r_2, r_3, r_4]$ 。

3.2 约束条件

约束条件主要由机构空间限制和传动角性能要求所决定。约束条件可表示如下

$$g_1 = 400 \leq r_2 \leq 500$$

$$g_2 = 400 \leq r_3 \leq 500$$

$$g_3 = 250 \leq r_4 \leq 350 \quad (9)$$

$$g_4 = \gamma_{\min} = \pi - \cos^{-1} \left(\frac{r_1 + r_2 - r_4}{r_3} \right) \geq \frac{50\pi}{180}$$

4 优化结果与分析

优化后的机构尺寸是利用第2节中的优化算法所得到的,该优化是利用 MATLAB R2010a 软件在 Core i5-2400 3.10 GHz 的处理器上执行的。机构原始尺寸以及优化后的尺寸见表1。

表1 机构的原始尺寸和优化后尺寸

Table 1 Original and optimized dimensions of the mechanism

算法	r_1/mm	r_2/mm	r_3/mm	r_4/mm
原始	18.00	480.00	434.00	260.00
优化	15.92	484.33	441.02	251.32

图3所示的简化机构的运动学分析,限于空间有限,就不在此赘述^[11-12]。该机构的输入转速 w_1 为1 000 r/min,冲压行程 h 为20 mm。将此已知条件与表1数据代入简化机构冲压滑块的位移、速度和加速度表达式可得图4。

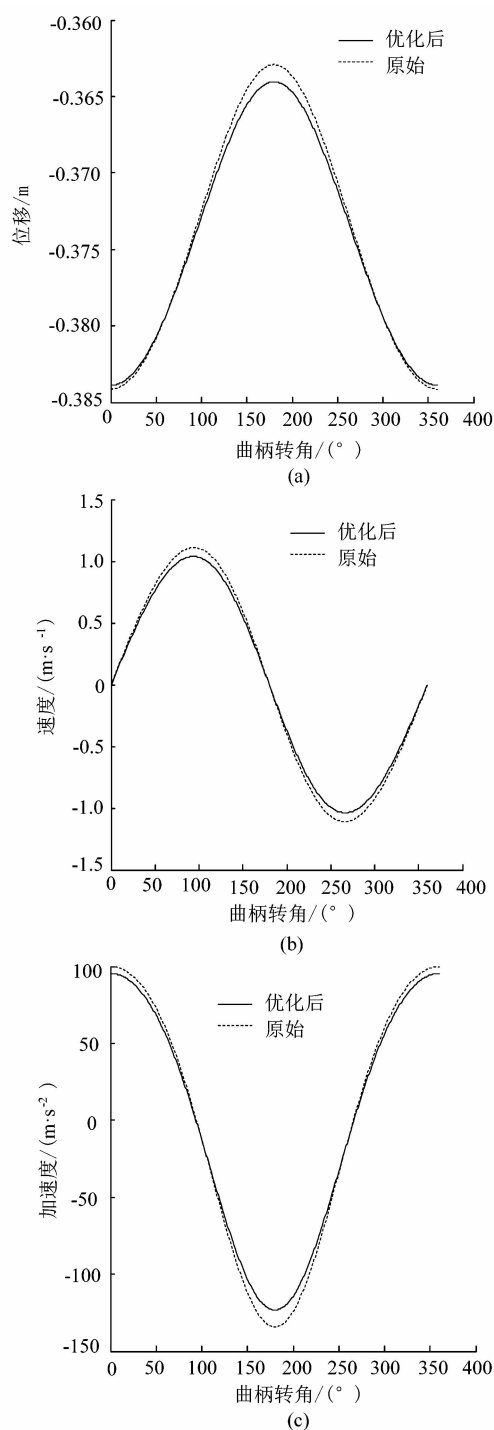


图4 优化后与原始的冲压滑块运动学特性对比

Figure 4 Kinematic comparisons

由图4可以看出,冲压滑块在冲压阶段优化后的速度比原始速度更稳定一点。因此,这种速度特性既有利于高速冲压,又提高了产品的质量。另外优化时考虑了高速冲床的冲压行程,从图4(a)中可以看出,优化后的冲压行程正好为20 mm,符合设计要求。

(下转第53页)