

机械压力机六连杆机构优化设计

杨春峰¹, 张盛¹, 李云鹏^{*1}, 陈飙松¹, 刘宁²

(1. 大连理工大学 工业装备结构分析国家重点实验室, 辽宁 大连 116024;

2. 中国一重大连设计研究院, 辽宁 大连 116600)

摘要: 使用自主研发的通用优化设计软件系统 SiPESC. OPT, 基于某型号机械压力机结构参数, 构建机械压力机六连杆机构动力学优化模型. 采用随机优化算法-梯度优化算法相结合的方法, 使用 GA、SQP 和 SLP 多种算法组合优化计算. 与初始设计相比较, 优化后机械压力机的锻冲阶段滑块最大速度、行程速比系数等工作性能指标均有所改善.

关键词: 机械压力机; 优化; GA; SLP; 六连杆机构

中图分类号: TH115 **文献标志码:** A

0 引言

连杆机构应用广泛^[1-3], 使用六连杆机构作为机械压力机的工作机构, 可以较小的偏心距实现大的滑块行程. 在工件的塑性变形区, 滑块具有较低的工作速度, 可防止工件产生裂纹, 满足工件拉延的加工要求, 提高模具使用寿命, 降低冲击振动和噪声, 延长模具寿命^[4]. 六连杆机构的运动规律与连杆机构参数之间存在着复杂的非线性关系, 要设计一个满足各项要求的多连杆机构目前仍有很多困难.

连杆机构传统的设计方法有图解法和解析法, 这两种算法计算量大, 精度不高. 使用优化方法设计连杆机构得到了国内外的广泛关注, 传统优化算法多基于目标函数梯度分析寻优, 对于复杂的非线性问题, 优化结果往往是局部最优解, 并且受优化初始点影响较大. 遗传算法是参考生物进化规律的随机搜索算法, 它具有全局寻优能力, 目前, 研究人员多采用遗传算法优化连杆机构设计方案. 文献[5]提出使用优化方法设计连杆尺寸使得机构末端执行器的运动轨迹落入目标工作空间. 文献[6]使用遗传算法计算出一个满足运动曲线轨迹要求的四连杆机构, 文献[7]指出使用模糊与遗传算法相结合的方法比单纯使用遗传算法具

有更好的精度. 文献[8]使用遗传算法优化斯蒂芬森六连杆机械压力机构, 获得了一个具有良好低速锻冲特性的六连杆机构. 但是, 遗传算法使用概率化寻优方法, 未利用优化模型的函数梯度信息, 不仅求解效率上不如梯度优化算法, 对于复杂非线性问题, 其优化结果有时未达到最优解, 仍然有优化潜力可挖. 将遗传算法优化结果作为初始值, 使用梯度优化算法继续寻优, 往往能得到更好的结果.

本文根据机械压力机的性能要求, 对六连杆机构作位移分析和运动分析, 建立机械压力机六连杆机构的优化模型, 在自主研发的通用优化设计软件 SiPESC. OPT 上综合使用遗传算法 (GA)、逐步线性规划 (SLP) 算法、逐步二次规划 (SQP) 算法等多种优化算法, 在遗传算法优化结果的基础上, 使用梯度算法优化计算, 以获得一个具有良好工作特性的六连杆机构优化方案.

1 机械压力机的性能要求

1.1 低速锻冲特性

机械压力机滑块在锻冲阶段的工作速度应小于工件变形所容许的最大速度. 在板材拉延工艺中, 不同材质所允许的最大速度分别为低碳钢

收稿日期: 2011-04-04; 修回日期: 2012-11-04.

基金项目: “九七三”国家重点基础研究发展计划资助项目 (2010CB832704); “八六三”国家高技术研究发展计划资助项目 (2009AA044501); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (DUT12ZD206).

作者简介: 杨春峰 (1972-), 男, 博士生; 李云鹏* (1971-), 男, 副教授, E-mail: lyp@dlut.edu.cn.

400 mm/s, 不锈钢 190 mm/s, 纯铝 800 mm/s, 锌 760 mm/s^[3]. 机械压力机的滑块在工件塑性变形阶段应具有较低的速度, 可以减少工件裂纹、振动和噪声, 延长模具寿命.

1.2 急回特性

在大批量零件生产中, 机械压力机的滑块行程次数是其主要技术性能参数, 不同规格的机械压力机滑块行程次数从每分钟十几次到几千次不等. 机械压力机的生产率与滑块行程次数成正比, 降低滑块行程次数无法充分发挥机械压力机的公称力. 在工件塑性变形阶段, 滑块处于低速状态, 相应的滑块下行时间增长, 为了不降低滑块的行程次数, 应缩短滑块向上回程的时间, 提高回程速度, 故机械压力机应具有急回特性.

2 运动分析

本文采用的六连杆机构如图 1 所示, $OA = R_1$, $BE = R_2$, $AB = L_1$, $AC = L_2$, $CD = L_3$, $BC = L_4$, θ 为曲柄 OA 的转动角度. 其中 OA 、 AB 、 BE 、 OE 构成一个四杆机构, ABC 和 CD 构成一个二级杆机构. 滑块 D 沿导轨在垂直方向上运动. 当 $\theta = 180^\circ$ 时, 要求滑块到达下死点, 并且 O 、 A 、 C 、 D 共线.

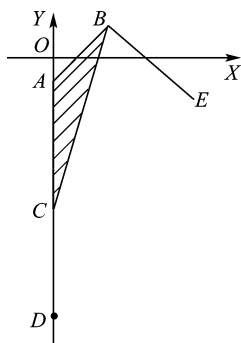


图 1 六连杆机构

Fig. 1 Six-bar linkage

2.1 位移分析

以 O 为坐标原点, 水平方向为 X 轴, 竖直方向为 Y 轴, E 点的坐标为

$$X_E = a, Y_E = b \quad (1)$$

OA 杆与 Y 轴的夹角为 θ , OA 杆长度为 R_1 , 则点 A 的坐标 (X_A, Y_A) 为

$$\begin{aligned} X_A &= R_1 \sin \theta \\ Y_A &= R_1 \cos \theta \end{aligned} \quad (2)$$

AE 的距离为

$$L_{AE} = \sqrt{(X_A - X_E)^2 + (Y_A - Y_E)^2} \quad (3)$$

AE 与 X 轴负方向的夹角:

$$\angle AEX = \arcsin((Y_A - Y_E)/L_{AE}) \quad (4)$$

在三角形 ABE 中, 根据三角形公式计算出 BE 与 AE 的夹角:

$$\angle BEA = \arccos((R_2^2 + L_{AE}^2 - L_1^2)/2R_2L_{AE}) \quad (5)$$

BE 杆与 X 轴的夹角为

$$\angle BEX = \angle AEX + \angle BEA \quad (6)$$

点 B 的坐标 (X_B, Y_B) 为

$$\begin{aligned} X_B &= X_E + R_2 \cos \angle BEX \\ Y_B &= Y_E + R_2 \sin \angle BEX \end{aligned} \quad (7)$$

当 $\theta = 180^\circ$ 时, 要求滑块到达下死点, 并且 O 、 A 、 C 、 D 共线, 可计算出 BC 长度:

$$L_4 = \sqrt{X_B^2 + (Y_B + R_1 + L_2)^2} \quad (8)$$

三角形 ABC 中内角为

$$\angle BAC = \arccos((L_1^2 + L_2^2 - L_4^2)/2L_1L_2) \quad (9)$$

根据 A 、 B 两点的坐标得杆 AB 与 Y 轴的夹角为

$$\angle BAY = \arccos((Y_B - Y_A)/L_1) \quad (10)$$

则杆 AC 与 Y 轴的夹角为

$$\angle CAY = \angle BAY + \angle BAC \quad (11)$$

根据点 A 的坐标得点 C 的坐标为

$$\begin{aligned} X_C &= X_A - L_2 \sin \angle CAY \\ Y_C &= Y_A - L_2 \cos \angle CAY \end{aligned} \quad (12)$$

杆 CD 与 Y 轴的夹角为

$$\angle CDY = \arcsin(X_C/L_3) \quad (13)$$

则点 D 的 Y 坐标为

$$\begin{aligned} Y_D &= R_1(1 + \cos \theta) + L_2(1 - \cos \angle CAY) + \\ &L_3(1 - \cos \angle CDY) \end{aligned} \quad (14)$$

2.2 速度分析

杆 OA 围绕点 O 转动, 点 A 的速度方向垂直于 OA 杆, 设 OA 杆转动的角速度为 φ , 则点 A 的速率为

$$v_A = R_1 \varphi \quad (15)$$

BE 杆绕点 E 摆动, 点 B 的速度方向垂直于 BE 杆, 则 ABC 的速度瞬心坐标为

$$\begin{aligned} X_{ABCVC} &= X_A(bX_B + aY_B)/(X_AY_B + \\ &X_Ab + aY_A - Y_AX_B) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} Y_{ABCVC} &= Y_A(bX_B + aY_B)/(X_AY_B + \\ &X_Ab + aY_A - Y_AX_B) \end{aligned} \quad (17)$$

点 A 到 ABC 的速度瞬心的距离为

$$L_{A_ABCVC} = \sqrt{(X_A - X_{ABCVC})^2 + (Y_A - Y_{ABCVC})^2} \quad (18)$$

根据 AB 所在直线的方程:

$$(X - X_B)/(X_A - X_B) = (Y - Y_B)/(Y_A - Y_B) \quad (19)$$

可确定点 O 和 ABC 的速度瞬心在直线 AB 的侧边,当点 O 和 ABC 的速度瞬心在直线 AB 的同侧时,ABC 转动方向与杆 OA 转动的方向相同,否则 ABC 转动方向与杆 OA 转动的方向相反,则 ABC 转动的角速度为

$$\omega_{ABC} = v_A/L_{A_ABCVC} \quad (20)$$

点 C 到 ABC 的速度瞬心的距离为

$$L_{C_ABCVC} = \sqrt{(X_C - X_{ABCVC})^2 + (Y_C - Y_{ABCVC})^2} \quad (21)$$

点 C 的速度为

$$v_C = L_{C_ABCVC} \omega_{ABC} \quad (22)$$

同理可得滑块 D 的速度.

3 优化建模

一般的优化问题是在 n 维欧氏空间中寻找一个点 $\mathbf{x} = (x_1 \ x_2 \ \cdots \ x_n)^T$, 在满足约束条件

$$g_i(\mathbf{x}) \leq 0; \ i = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

$$h_j(\mathbf{x}) = 0; \ j = m+1, \dots, p \quad (24)$$

时,使 $f(\mathbf{x})$ 取极小值. 上述优化问题可简写为

$$\begin{aligned} \min \quad & f(\mathbf{x}) \\ \text{s. t.} \quad & g_i(\mathbf{x}) \leq 0; \ i = 1, 2, \dots, m \\ & h_j(\mathbf{x}) = 0; \ j = m+1, \dots, p \end{aligned} \quad (25)$$

其中 $f(\mathbf{x})$ 、 $g_i(\mathbf{x})$ 、 $h_j(\mathbf{x})$ 为 n 元函数, $f(\mathbf{x})$ 称为目标函数, $g_i(\mathbf{x})$ 称为不等式约束条件, $h_j(\mathbf{x})$ 称为等式约束条件, $\mathbf{x} = (x_1 \ x_2 \ \cdots \ x_n)^T$ 称为设计变量^[9].

通过对六连杆机构的运动分析可知,决定本文六连杆机构运动规律的参数有曲柄长度 R_1 , 调整杆长度 R_2 , 调速杆长度 L_1 、 L_2 , 连杆长度 L_3 , 以及决定 E 点位置的参数 a 和 b . 六连杆机构优化模型的设计变量可取为 R_1 、 R_2 、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 a 和 b .

为了保证机械压力机满足锻冲要求,在不超过设计要求的前提下,锻冲阶段滑块速度应最小;为提高经济效益,各个杆的杆长之和应最小. 滑块行程次数也不能低于设计要求,滑块行程、传动角等均要满足设计要求,例如:滑块最大行程为

1 000 mm,传动角不大于 18° 等.

优化目标指引优化算法的搜索方向,在设计优化模型时,定义优化目标至关重要. 在六连杆机构的优化问题中,如果直接以降低滑块速度、减少各杆长度为优化目标,使用加权系数法将它们组合成一个优化目标函数,滑块速度和连杆长度不仅量纲不同,而且它们的数量级也有差别,在优化求解过程中,数量级大的优化目标会过于强势,最终难以得到满意结果. 本文分别对各个优化目标做归一化处理,将它们累加作为优化目标函数.

减少各个杆的杆长之和是六连杆机构设计的经济目标,如果以它作为优化目标,会干扰优化算法的搜索方向,难以得到良好的机械压力机设计方案. 本文将其转换为各杆之和小于某个设定值的约束来处理.

一个好的机械压力机设计方案不仅要满足其锻冲特性,而且要满足其急回特性等其他设计要求. 如果仅仅以降低锻冲阶段滑块速度为优化目标,则会破坏机械压力机的其他设计要求. 本文不仅将减小锻冲阶段滑块速度列为优化目标,也将减小六连杆机构到达上死点时 BE 杆摆角作为优化目标,以保证机械压力的急回特性.

如果仅仅以降低六连杆机构机械压力机锻冲阶段的滑块速度等作为优化目标,在优化求解过程中,优化算法会一味地沿着降低优化目标值的方向搜索,得到的设计方案往往会破坏机械压力机的传动角小于设定值等其他设计要求,本文采用逐步降低优化目标的方法,以保证机械压力机具有良好的综合特性.

综上所述,六连杆机构优化模型优化目标函数为

$$f(\mathbf{x}) = v_{\max}/(380 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}) + \alpha/45^\circ \quad (26)$$

其中 $v_{\max}$ 为锻冲阶段滑块的最大速度,380 mm/s 是优化所要达到的滑块速度, α 为六连杆机构到达上死点时 BE 杆摆角, 45° 是优化所要达到的角度.

优化模型的约束条件为滑块行程、传动角、各个杆件长度满足设计要求,例如:滑块最大行程为 1 000 mm,传动角不大于 18° ,各个杆件长度之和不大于 6 000 mm 等,

$$h_1(\mathbf{x}) = Y_{D\max} - 1\ 000 = 0 \quad (27)$$

$$g_1(\mathbf{x}) = \gamma - 18 \leq 0 \quad (28)$$

$$g_2(\mathbf{x}) = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + R_1 + R_2 - 6\,000 \leq 0 \quad (29)$$

其中 Y_{Dmax} 为滑块最大行程, γ 为六连杆机构的传动角。

4 使用 SiPESC.OPT 优化求解

本文的工作是在自主研发的通用优化设计软件系统 SiPESC.OPT 上完成的。SiPESC.OPT 是大连理工大学工程力学系在开放性软件架构基础上,使用面向对象方法及插件技术,构建的一个通用优化软件,可用于求解单目标、多目标、线性及非线性优化问题,设计变量可以是连续型或离散型。

对于六连杆机构优化模型这样的非线性、有约束优化问题,目前没有有效的优化算法求解这类问题^[10]。SLP、SQP 作为梯度优化算法,它们只能得到局部最优解,其优化结果对初始值的依赖性很大;遗传算法使用概率化寻优方法,对于复杂非线性问题,其优化结果有时未达到最优解。本文根据遗传算法、SLP 算法、SQP 算法的特点,首先使用遗传算法得到一个优化结果,然后使用这个优化结果作为初始解,分别使用 SLP 和 SQP 算法优化求解,比较 3 种算法的优化结果,最终得到一个满意的优化结果。

根据上述分析,本文基于 SiPESC.OPT 优化软件编写用于六连杆机构运动分析和优化分析的 JavaScript 脚本语言文件,建立了六连杆机构的优化模型,完成了对六连杆机构的优化设计,代码如下:

```

1 // 创建一个优化模型对象。
2 var theModel = new OptModel;
3 // 设置优化模型的名称。
4 theModel.setModelName("sixbar");
5 // 设置优化变量的初始值。
6 theModel.setVariable("A", 1500);
7 ...
8 // 计算优化模型中目标函数值
9 //和约束函数值。
10 function eval() { ... }
11 // 设置优化算法参数。
12 SQP.setMINMAX(-1);
13 var Solver = SQP;
14 // 使用优化模型初始化优化算法。
15 Solver.initialize(theModel);
16 ...
17 do{

```

```

18 // 计算优化模型响应值。
19 eval();
20 // 更新设计变量。
21 Solver.renewModel(theModel);
22 } while(! Solver.isComplete());

```

SiPESC.OPT 提供 GA、SLP 和 SQP 等多种优化算法,上述代码使用了 SQP 算法对优化六连杆机构模型优化计算,首先为六连杆机构优化模型创建一个优化对象,命名为“sixbar”,设置优化变量的初始值等参数;接着定义了计算优化模型目标函数和约束函数的函数 eval();然后设置 SQP 算法参数,最后对优化模型迭代优化计算。当要使用 GA 或 SLP 算法优化六连杆机构模型时,仅需将 SQP 更换为 GA 或 SLP 并设置相应参数即可。

5 计算实例

某型号机械压力机每分钟行程次数为 18 次,滑块行程为 1 000 mm,在 300 mm 行程到下死点之间的锻冲工作区间内滑块工作速度要求小于 400 mm/s。六连杆机构优化模型的设计变量为 R_1 、 R_2 、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 a 和 b 。各设计变量的取值范围分别为曲柄长度 R_1 在 100~300 mm;调整杆长度 R_2 在 800~1 500 mm;调速杆长度 L_1 在 700~1 500 mm;调速杆长度 L_2 在 1 000~1 500 mm;连杆长度 L_3 在 1 000~1 600 mm;确定 E 点位置的参数 a 在 1 000~1 500 mm;确定 E 点位置的参数 b 在 -400~500 mm。

六连杆机构的初始设计参数为 $a=1\,411$ mm, $b=280$ mm, $L_1=879$ mm, $L_2=1\,495$ mm, $L_3=1\,014$ mm, $R_1=237$ mm, $R_2=1\,112$ mm。分别使用 SLP、SQP、GA 对六连杆优化模型优化,结果如表 1 所示,六连杆机构运动特性见表 2。

初始设计六连杆机构与优化后六连杆机构的滑块行程曲线比较结果如图 2 所示,图 3 是初始设计与优化设计的六连杆机构速度曲线的比较结果。初始设计与优化设计的六连杆机构在锻冲阶段速度曲线的比较结果如图 4 所示。由表 2 六连杆机构运动特性可以看出,SLP 得到的优化设计方案的行程速比系数 K 最大,急回特性最明显(回轮过程最大速度 v_t 最大),锻冲过程最大速度 v_f 最小,性能最优,遗传算法得到的设计方案性能次之, SQP 得到的设计方案最差。

表 1 六连杆机构优化模型设计变量

Tab. 1 Design variables of six-bar linkage optimization model							mm
设计方案	a	b	L_1	L_2	L_3	R_1	R_2
初始设计	1 411.00	280.000	879.000	1 495.00	1 014.00	237.000	1 112.000
SLP	1 489.21	330.803	778.950	1 414.00	1 549.98	213.191	967.175
SQP	1 424.95	247.965	901.324	1 431.41	1 243.04	265.293	1 113.920
GA	1 500.00	450.000	848.000	1 385.00	1 429.00	265.000	1 199.000

表 2 六连杆机构运动特性

Tab. 2 Six-bar linkage kinetic performance				
设计方案	$\theta/(^{\circ})$	K	$\omega/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	$\alpha/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$
初始设计	139	1.58	1 329.0	396
SQP 优化结果	144	1.50	1 315.6	437
SLP 优化结果	119	2.02	1 700.0	363
GA 优化结果	140	1.57	1 347.0	514

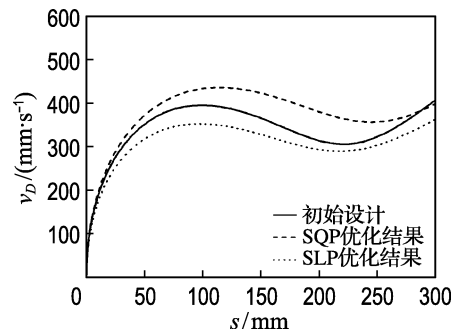


图 4 机械压力机锻冲阶段滑块速度曲线比较
Fig. 4 Comparison of mechanical press slider speed curves in impact forging

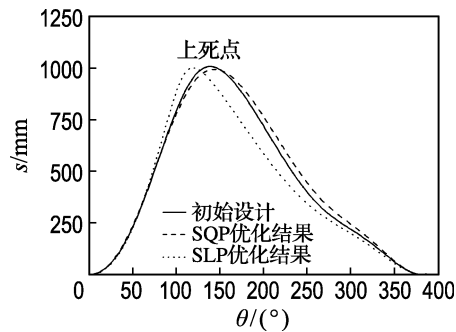


图 2 机械压力机滑块行程曲线比较
Fig. 2 Comparison of mechanical press slider stroke curves

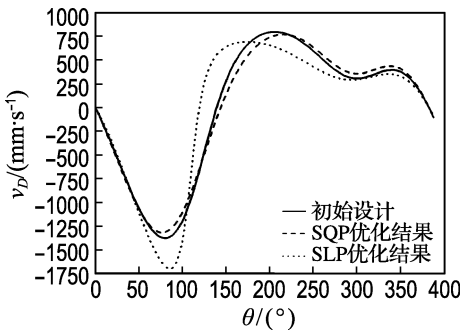


图 3 机械压力机滑块速度曲线比较
Fig. 3 Comparison of mechanical press slider speed curves

表 3 改进方案的六连杆机构优化模型设计变量

Tab. 3 Design variables of improved six-bar linkage optimization model							mm
设计方案	a	b	L_1	L_2	L_3	R_1	R_2
初始设计	1 500	450	848	1 385	1 429	265	1 199
SLP	1 500	449	793	1 379	1 123	209	1 032
SQP	1 492	414	740	1 455	1 395	221	1 100
GA	1 444	207	790	1 388	1 445	271	1 208

表4 初始设计和优化设计的六连杆机构特性
Tab.4 Six-bar linkage performance of initial design and optimal design

设计方案	$\theta/(^{\circ})$	K	$v_t/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	$v_r/(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$
初始设计	150	1.40	1 329	411
SQP 优化结果	132	1.73	1 468	371
SLP 优化结果	129	1.79	1 510	340
GA 优化结果	140	1.57	1 347	514

改进的初始设计六连杆机构与3种优化设计六连杆机构在锻冲阶段速度曲线的比较结果如图7所示.在锻冲阶段(从300 mm行程到下死点),六连杆机构滑块速度不应大于400 mm/s.由表4可知,SQP和SLP算法优化设计满足低速锻冲设计要求,其中SLP算法优化设计的六连杆机构在锻冲阶段的最大速度为340 mm/s,低速锻冲特性改善最为明显.

SQP和SLP是基于目标函数梯度信息寻优的,优化结果的优劣受初始值的影响较大,只有提供好的初始值,才能得到良好的优化结果.对比

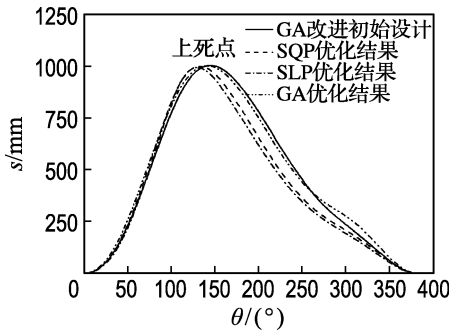


图5 机械压力机滑块行程曲线比较(使用改进初始值)
Fig.5 Comparison of mechanical press slider stroke curves (using improved initial value)

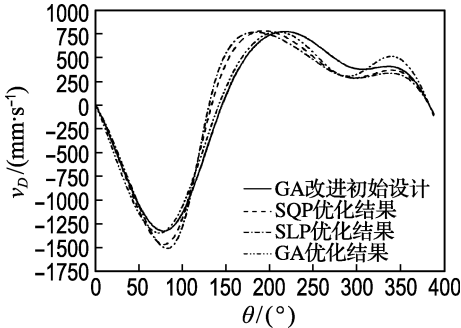


图6 机械压力机滑块速度曲线比较(使用改进初始值)
Fig.6 Comparison of mechanical press slider speed curves (using improved initial value)

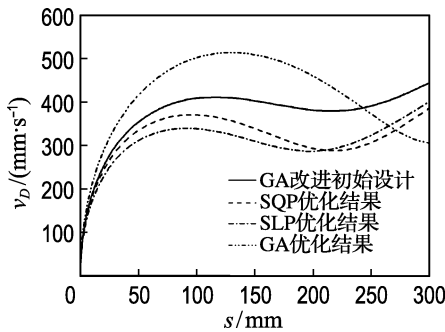


图7 机械压力机锻冲阶段滑块速度曲线比较(使用改进初始值)
Fig.7 Comparison of mechanical press slider speed curves in impact forging (using improved initial value)

表2和4,使用改进初始值后,SLP算法优化设计方案在锻冲阶段的最大速度由363 mm/s降低至340 mm/s,SQP算法优化设计方案在锻冲阶段的最大速度由437 mm/s降低至371 mm/s.应用改进的初始值,这两种梯度优化算法得到的优化结果均有明显改善.

综上所述,遗传算法使用概率化寻优方法,对于复杂非线性问题,其优化结果有时未达到最优解.使用遗传算法优化结果作为初始值,再使用梯度优化算法继续寻优,往往能得到满意的结果.

采用随机优化算法-梯度优化算法相结合的方法得到的六连杆机构设计方案的运动急回特征明显,在锻冲过程中滑块速度满足设计要求,整体速度较初始设计有明显提高.

6 结 论

- (1)六连杆机构具有低速锻冲特性和急回特性,适于机械压力机低速锻冲急回之用.六连杆机构锻冲阶段的最大速度为340 mm/s,行程速比系数为1.79,具有明显的急回特性.
- (2)在优化设计中,首要任务是从实际问题中抽象并建立合理的优化模型;对于复杂的非线性优化问题,应根据优化算法的特点和适用范围,综合运用多种优化算法才能得到满意的结果.本文采用随机优化算法-梯度优化算法相结合的方法,使用GA、SQP、SLP对六连杆机构的参数进行优化设计,得到了一组满足机械压力机性能要求的优化结果,对实际生产设计具有一定指导作用.
- (3)通用优化软件SiPESC.OPT包含多种优化算法,具有图形用户界面和脚本语言用户界面,使用方便,可用于处理复杂的实际工程优化问题.

致谢:王建博士验证了部分位移分析公式。

参考文献:

- [1] 马世平. 基于 MATLAB 的六连杆打纬机构优化设计及仿真[J]. 纺织学报, 2006, **27**(3):40-42.
MA Shi-ping. Optimal design and simulation on 6-link beating construction based on MATLAB [J]. **Journal of Textile Research**, 2006, **27**(3):40-42. (in Chinese)
- [2] 宁晓瑞,梁玉海,焦福成. 六连杆抽油机的运动和动力特性分析[J]. 石油机械, 2001, **29**(6):23-24.
NING Xiao-rui, LIANG Yu-hai, JIAO Fu-cheng. Analysis of kinetic and dynamic characteristics of pumping unit with six-bar linkage [J]. **China Petroleum Machinery**, 2001, **29**(6):23-24. (in Chinese)
- [3] 赵升吨,何予鹏,王 军. 机械压力机低速锻冲急回机构运动特性的研究[J]. 锻压装备与制造技术, 2004, **38**(3):24-43.
ZHAO Sheng-dun, HE Yu-peng, WANG Jun. Investigation characteristics of forging-stamping with low-speed & quick-return motion mechanisms of the mechanical press [J]. **Metallforming Equipment & Industrial Furnace**, 2004, **38**(3):24-43. (in Chinese)
- [4] 何德誉. 曲柄压力机[M]. 北京:机械工业出版社,1981.
HE De-yu. **Crank Press** [M]. Beijing: China Machine Press, 1981. (in Chinese)
- [5] Dibakar S, Mruthyunjaya T S. Synthesis of workspaces of planar manipulators with arbitrary topology using shape representation and simulated annealing [J]. **Mechanism and Machine Theory**, 1999, **34**(3):391-420.
- [6] Cabrera J A, Simon A, Prado M. Optimal synthesis of mechanisms with genetic algorithms [J]. **Mechanism and Machine Theory**, 2002, **37**(12):1165-1177.
- [7] Laribi M A, Mlika A, Romdhane L, *et al.* A combined genetic algorithm-fuzzy logic method(GA-FL) in mechanisms synthesis [J]. **Mechanism and Machine Theory**, 2004, **39**(7):717-735.
- [8] 何予鹏,赵升吨,杨 辉,等. 机械压力机低速锻冲机构的遗传算法优化设计[J]. 西安交通大学学报, 2005, **39**(5):490-493.
HE Yu-peng, ZHAO Sheng-dun, YANG Hui, *et al.* Optimum design of the mechanical press with low-speed and stamping-punch mechanism based on genetic algorithm [J]. **Journal of Xi'an Jiaotong University**, 2005, **39**(5):490-493. (in Chinese)
- [9] 唐焕文,秦学志. 实用最优化方法[M]. 大连:大连理工大学出版社,2000.
TANG Huan-wen, QIN Xue-zhi. **Practical Methods of Optimization** [M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2000. (in Chinese)
- [10] Boyd S P, Vandenberghe L. **Convex Optimization** [M]. New York:Cambridge University Press, 2004.

Optimization design for six-bar linkage of mechanical press

YANG Chun-feng¹, ZHANG Sheng¹, LI Yun-peng^{*1}, CHEN Biao-song¹, LIU Ning²

(1. State Key Laboratory of Structural Analysis for Industrial Equipment, Dalian University of Technology,

Dalian 116024, China;

2. CFHI Dalian Design and Research Institute, Dalian 116600, China)

Abstract: Based on a practical mechanical press structural parameters, a dynamics optimization model of six-bar linkage is optimized by SiPESC. OPT, which is independently-developed optimization software for general purpose. A combined stochastic-gradient optimization method, combining genetic algorithm (GA) with sequential quadratic programming (SQP) algorithm and sequential linear programming (SLP) algorithm, is utilized for optimization calculation. The performance measures of the mechanical press, maximum speed of forging process and advance-to-return ratio, are improved.

Key words: mechanical press; optimization; genetic algorithm (GA); sequential linear programming (SLP); six-bar linkage