

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.05.009

# 基于遗传算法的溢流阀缓冲特性优化分析\*

江 伟,包从望

(六盘水师范学院 矿业与土木工程学院,贵州 六盘水 553000)

**摘要:**针对溢流阀缓冲系统中缓冲腔存在压力冲击问题,对液压缸回油路连接溢流阀缓冲系统进行了研究。利用 AMESim 搭建了溢流阀缓冲特性仿真模型,对受冲击的质量块速度位移动态曲线和缓冲腔压力流量动态曲线进行了仿真,提出了一种溢流阀缓冲特性的优化方法;构建了溢流阀缓冲特性的理想模型和优化模型,对缓冲腔压力与理想模型压力的误差绝对值积分目标函数进行了构造;最后基于遗传算法,对溢流阀相关结构参数进行了优化。研究表明:优化后的溢流阀通径为 22 mm,弹簧刚度为 15 N/mm,弹簧预紧力为 700 N;优化后的溢流阀缓冲特性得到了改善,缓冲腔压力峰值降低了 2.2 MPa。

**关键词:**遗传算法;AMESim;缓冲特性;优化模型;压力峰值

中图分类号:TH137.521

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2020)05-0512-05

## Optimization analysis of buffer characteristics of relief valve based on genetic algorithm

JIANG Wei, BAO Cong-wang

(School of Mining & Civil Engineering, Liupanshui Normal University, Liupanshui 553000, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of pressure overshoot of buffer chamber in the relief valve buffer system, the hydraulic cylinder return circuit buffer system connected with the relief valve as the carrier was researched. The simulation model of buffer characteristic of relief valve was built based on AMESim, and the dynamic curve of velocity and displacement of impacted mass and the dynamic curve of pressure and flow of buffer chamber were obtained. An optimization method of buffer characteristic of relief valve was proposed. The ideal model and optimization model of the buffer characteristics of the relief valve were built. Taking the integral of the absolute value of the error between the buffer chamber pressure and the ideal model pressure as the objective function, the relevant structural parameters of the relief valve were optimized based on the genetic algorithm. The results indicate that the optimized relief valve diameter is 22 mm, spring stiffness is 15 N/mm, and spring preload is 700 N. After optimization, the buffer characteristics of the relief valve are improved, and the top pressure reduced 2.2 MPa.

**Key words:** genetic algorithm; AMESim; buffer characteristics; optimization model; top pressure

## 0 引 言

在工程机械液压系统中,溢流阀作为安全阀得到了广泛应用,被用于限定液压回路的最高压力。由于溢流阀自有的近似恒压功能,溢流阀又作为一种缓冲阀被应用在许多工程机械缓冲工况中。

近几年来,对溢流阀的缓冲工况应用较多。在大惯性负载回转液压系统中,溢流阀对回转机械的启制动特性起着决定作用<sup>[1-4]</sup>;在立体车库过放液压缓冲系统应用中,王其松<sup>[5]</sup>研究了不同溢流阀弹簧预压缩量和刚度,对缓冲缸压缩腔及载车板位移的影响规律;在下运带式输送机断带抓捕液压缓冲系统应用中,成志

收稿日期:2019-11-19

基金项目:贵州省科技厅技术基金资助项目(黔科合 LH 字[2015]7623 号)

作者简介:江伟(1987-),男,河南邓州人,硕士,副教授,主要从事机械电子工程方面的研究。E-mail:jiangw2018@163.com

锋<sup>[6]</sup>仿真分析了溢流阀开启压力、液压软管直径及长度、蓄能器气囊容积及充气压力,对溢流阀缓冲特性的影响情况;在立井提升机过卷液压缓冲系统应用中,尹文军<sup>[7]</sup>进行了插装式溢流阀的缓冲特性的研究;在无人机液压弹射滑行小车缓冲系统应用中,唐友亮<sup>[8]</sup>研究了高速滑行小车溢流缓冲制动动态性能;在液压打桩锤大流量缓冲装置中,胡均平等<sup>[9]</sup>研究了溢流阀最高设定压力对缓冲装置的性能影响规律;在三峡升船机防撞液压系统应用中,李飞等<sup>[10]</sup>分析了溢流阀设定值对防撞液压系统安全性能的影响。

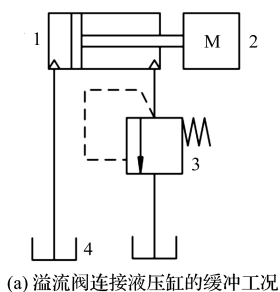
显然,以上文献对溢流阀的缓冲应用研究较多,而对溢流阀缓冲性能优化的相关研究较少。

因此,针对溢流阀的缓冲应用工况,笔者提出一种溢流阀缓冲性能优化思路及方法;利用 AMESim 搭建一种溢流阀的缓冲工况模型和优化方法模型,并基于两种算法进行溢流阀结构参数的优化工作,优化研究溢流阀缓冲性能,比较两种算法的优劣,为溢流阀缓冲特性的优化研究提供参考。

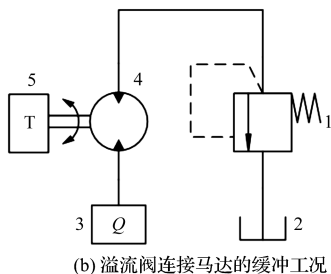
## 1 溢流阀缓冲工况原理

溢流阀缓冲应用工况一般有两种,即应用液压缸回油路上和马达回油路上。

溢流阀缓冲工况原理图如图 1 所示。



1 - 液压缸;2 - 冲击质量块;3 - 溢流阀;4 - 油箱



1 - 溢流阀;2 - 油箱;3 - 泵源流量;4 - 马达;5 - 回转冲击扭矩

图 1 溢流阀缓冲工况原理图

缓冲油路系统压力可保持恒定,对运动体反向产生恒定阻力,使运动体近视匀速运动,从而制动缓冲运动体。

在溢流阀连接液压缸的缓冲工况中,当与活塞杆连接的质量块受冲击作用下(获取一定的速度),液压缸有杆腔(下面统称缓冲腔)油液压力瞬间增大至溢流阀的开启压力,若压力增速较大,有杆腔瞬时压力可能远超溢流阀的开启压力,当溢流阀开启后,维持缓冲腔恒定压力,该压力对活塞杆产生反向阻尼力,使冲击质量块减速运动。

这里冲击质量块可模拟工程机械缓冲工况,如受冲击作用的断带抓捕装置缓冲过程<sup>[11]</sup>和液压机末端有冲击的冲裁缓冲过程<sup>[12]</sup>。

在溢流阀连接马达的缓冲工况中,受冲击作用的回转机构带动马达瞬间高速旋转,马达回油路连接溢流阀,回油腔压力瞬间增大至溢流阀设定的开启压力,对马达产生反向扭矩,从而阻碍回转体旋转,直至回转机构停止旋转,该过程若冲击较大,马达回油腔压力也会远远超过溢流阀的溢流压力值,如无人机液压弹射滑行小车的缓冲过程<sup>[13]</sup>。后续选取溢流阀连接液压缸的缓冲工况进行仿真及优化。

## 2 溢流阀缓冲工况模型搭建

笔者以液压缸外接溢流阀缓冲系统为载体,进行研究溢流阀的缓冲特性。

基于 AMESim 搭建的溢流阀缓冲工况仿真模型,如图 2 所示。

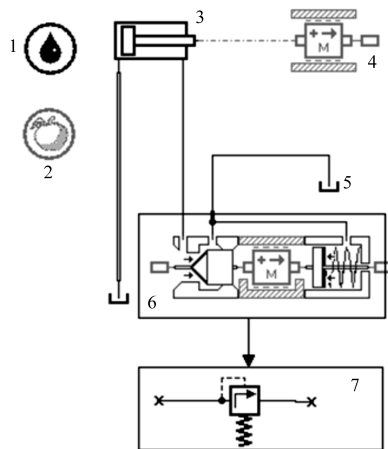


图 2 溢流阀缓冲工况仿真模型

1 - 油源;2 - 重力加速度;3 - 液压缸;4 - 受冲击的质量块;5 - 油箱;6 - 溢流阀 HCD 模型;7 - 溢流阀

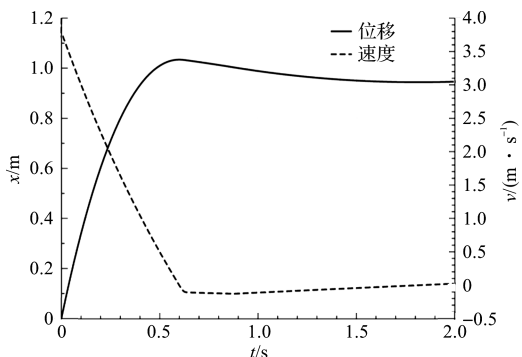
仿真参数设置如表 1 所示。

图 1 中,溢流阀缓冲工况主要利用溢流阀开启后

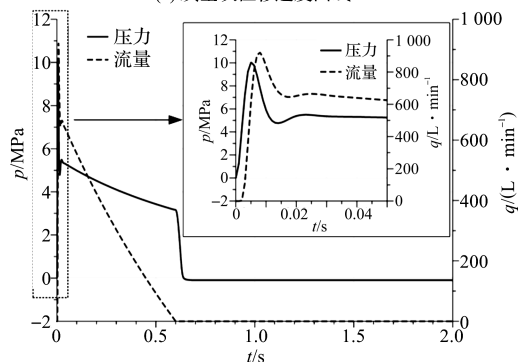
表 1 液缸缸外接溢流阀缓冲系统仿真参数

参数名称	参数值
溢流阀弹簧刚度 N/mm	50
溢流阀预紧力/N	1 000
溢流阀质量块/kg	0.065
溢流阀阀芯通径/mm	20
液缸缸活塞杆直径/mm	80
液缸缸活塞杆直径/mm	50
液缸缸行程/m	2
受冲击的质量块质量/kg	2 000
受冲击的质量块速度/(m·s <sup>-1</sup> )	4
液压油弹性模量/MPa	1 700
液压油密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	850
重力加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	9.8

仿真得到溢流阀缓冲特性曲线如图 3 所示。



(a) 质量块位移速度曲线



(b) 缓冲腔压力流量曲线

图 3 溢流阀缓冲特性曲线

由图 3 可知:

受冲击的质量块基本成匀减速运动,停止运动的位移为 0.95 m,缓冲减速运动持续时间为 0.6 s,缓冲腔瞬时流量达到 900 L/min,瞬时压力达到 10 MPa,而溢流阀关闭时的压力仅约有 3.5 MPa(即为溢流阀的开启压力),缓冲腔瞬时压力超过溢流阀的开启压力的 1.86 倍。

由于基于溢流阀缓冲过程瞬时压力远超过溢流阀压力设定值,有必要对其展开优化分析及研究。

### 3 溢流阀缓冲特性优化模型搭建

溢流阀的缓冲特性优化方法首先需要确定一个理想的缓冲特性,然后调整相关参数使实际缓冲特性逼近理想模型。

溢流阀缓冲过程满足能量守恒式:

$$\frac{1}{2}Mv_0^2 = pAx_0 \quad (1)$$

式中: $x_0$ —活塞位移,m; $A$ —活塞有效作用面积,m<sup>2</sup>; $p$ —缓冲腔压力,MPa; $M$ —受冲击作用的质量块质量,kg; $v_0$ —质量块冲击速度,m/s; $x_0$ —活塞位移,m。

受冲击的质量动能等于溢流阀缓冲系统形成的恒定阻力所做功,因此溢流阀缓冲的理想模型满足以下条件:

(1) 系统吸能量达到最大,在液缸缸活塞行程留有一定安全余量下,活塞位移尽可能最大;

(2) 缓冲腔压力冲击尽可能小,即压力超调较小。

理想模型确定过程如下:

在液缸缸结构尺寸确定的情况下,通过式(1)计算出溢流阀的开启压力值  $p$ :

$$p = \frac{2}{\pi} \frac{Mv_0^2}{(D^2 - d^2)x_0} \quad (2)$$

式中: $D$ —活塞直径,m; $d$ —活塞杆直径,m。

若活塞行程留有 0.2 m 的安全余量,那么取活塞位移  $x_0 = 1.8$  m,取  $D = 0.08$  m, $d = 0.05$  m, $M = 2 000$  kg, $v_0 = 4.0$  m/s,代入式(2)进行计算溢流阀的开启压力值为  $p \approx 2.9$  MPa。

若质量块匀减速进行,缓冲腔压力持续时间  $t = 2x_0/v_0 = 0.9$  s。

溢流阀缓冲动态特性为二阶模型,阻尼系数取 0.707,自然频率取 25。

笔者通过 AMESim 信号库模型,确定溢流阀缓冲理想特性模型如图 4 所示。

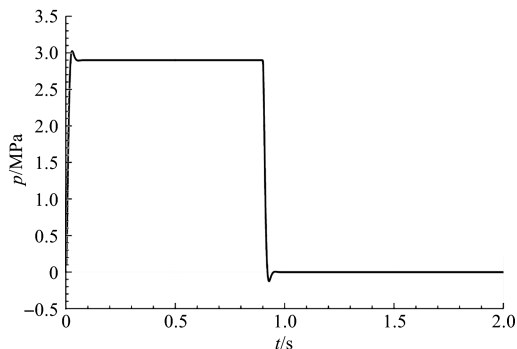


图 4 溢流阀缓冲理想特性模型

进一步搭建溢流阀优化模型,如图5所示。

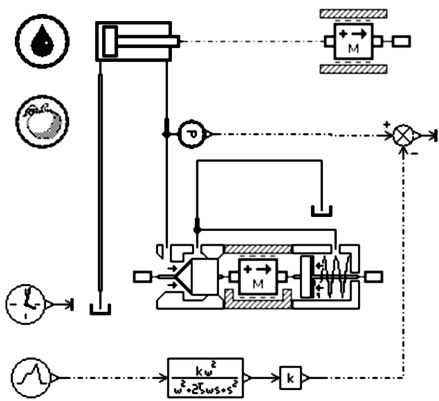


图5 溢流阀优化模型

## 4 基于遗传算法的溢流阀缓冲特性优化

### 4.1 目标函数确定

笔者将系统实际输出的压力与理想模型压力的误差绝对值积分作为目标函数。

### 4.2 设计变量优化

优化设计变量范围:

溢流阀通径  $d_1$ : 0 ~ 40 mm;

弹簧刚度  $K$ : 0 ~ 1 000 N/mm;

预紧力  $F$ : 0 ~ 10 000 N。

### 4.3 约束条件

具体的约束条件为:

$0 \leq x_p \leq 0.78$  m;

$P \leq 30$  MPa。

### 4.4 遗传算法参数设置

种群个体大小  $n = 80$ , 最大迭代次数  $N = 100$ , 交叉概率  $P_c = 0.8$ , 变异概率  $P_m = 0.1$  [14-18]。

### 4.5 优化结果分析

通过优化后得到溢流阀结构参数优化前后对比一览表,如表2所示。

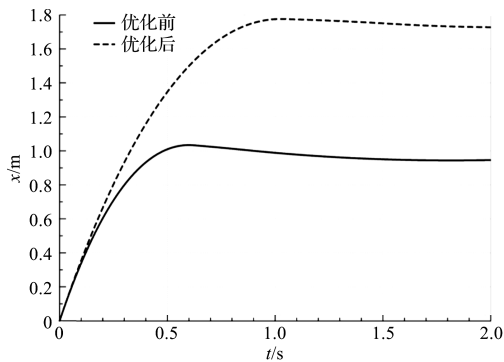
表2 溢流阀结构参数优化前后对比一览表

优化参数名称	优化前	优化后
溢流阀弹簧刚度/(N·mm <sup>-1</sup> )	50	15
溢流阀预紧力/N	1 000	700
溢流阀阀芯通径/mm	20	22

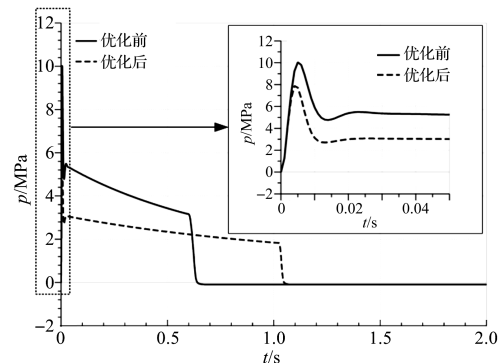
代入优化后的参数,可得到优化前后的溢流阀缓冲特性曲线如图6所示。

由图6可知:

优化后的溢流阀缓冲特性得到提高,缓冲腔压力峰值由10 MPa减小至7.8 MPa,冲击质量位移由0.95 m



(a) 受冲击质量块位移动态对比曲线



(b) 缓冲腔压力动态对比曲线

图6 优化前后的溢流阀缓冲特性曲线

增加至1.75 m。

## 5 结束语

溢流阀缓冲应用工况较多,本文以液压缸回油连接溢流阀为载体,研究了溢流阀的缓冲特性,基于缓冲腔压力峰值较大,对溢流阀缓冲特性开展了优化分析,搭建了溢流阀二阶动态理想模型和参数优化模型,基于遗传算法和 AMESim 进行了溢流阀结构参数的优化,优化的溢流阀缓冲特性得到了提高,主要得到以下结论:

- (1) 基于 AMESim 搭建的优化模型对溢流阀的参数优化具有一定参考价值;
- (2) 优化后溢流阀缓冲腔压力峰值减小 2.2 MPa, 缓冲特性明显得到改善;
- (3) 优化的溢流阀通径为 22 mm, 弹簧刚度为 15 N/mm, 弹簧预紧力为 700 N。

虽然优化的溢流阀缓冲特性得到了一定程度的提高,但距离理想模型的特性还有一定差距。后续研究还需进一步作算法改进,并继续就溢流阀结构参数的优化开展相关的研究。

### 参考文献 (References):

[1] 张远深,鲜雪萍,於又玲,等. 基于 AMESim 的螺纹插装式缓冲溢流阀的缓冲特性[J]. 兰州理工大学学报, 2015 (5): 46-49.  
 [2] 汤何胜,阎耀保,杜广杰. 带螺纹插装式溢流阀的液压马

- 达特性及试验研究[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2014, 45(1):77-83.
- [3] 彭 贝,高 宇,冯培恩,等. 液压挖掘机回转启动过程节能技术[J]. 吉林大学学报:工学版, 2016, 46(6):1912-1921.
- [4] 李沛剑. 先导溢流阀节流孔特性的仿真研究[J]. 流体机械, 2019, 47(8):28-31.
- [5] 王其松. 立体车库过放液压缓冲系统研究[J]. 液压与气动, 2018(7):47-51.
- [6] 成志锋. 下运带式输送机断带抓捕液压缓冲系统研究[J]. 工矿自动化, 2019, 45(3):64-68.
- [7] 尹文军. 立井提升机过卷液压缓冲系统研究[J]. 液压与气动, 2016(2):124-128.
- [8] 唐友亮. 无人机液压弹射滑行小车缓冲系统仿真研究[J]. 液压与气动, 2018(2):46-51.
- [9] 胡均平,刘 坤,郭 勇,等. 液压打桩锤大流量缓冲装置的建模与分析[J]. 振动与冲击, 2013, 32(10):7-11.
- [10] 李 飞,鄢玲祉,邹 涛. 基于 AMESim 的三峡升船机防撞缓冲液压系统仿真分析[J]. 数码设计, 2018(5):43-45, 50.
- [11] 王利锋. 基于 AMESim 断带抓捕缓冲系统仿真研究[J]. 液压与气动, 2018(4):101-104.
- [12] 唐友亮. 无人机液压弹射滑行小车缓冲系统仿真研究[J]. 液压与气动, 2018(2):46-51.
- [13] 叶 臻,王晋抚. 大型精密冲裁液压机缓冲装置的研究[J]. 机床与液压, 2015(14):13-15, 19.
- [14] 鲍仲辅,曾德江,陈梓龙. 基于 AMESim 和遗传算法对直线滑台控制系统优化[J]. 液压气动与密封, 2019, 39(5):54-58.
- [15] 张文铎,王自勤,田丰果,等. 基于 AMESim 和遗传算法的发动机配气相位仿真与优化[J]. 机械设计与制造, 2016(7):20-23.
- [16] 曹运江,杨奔奔,刘容松. 高速取纸机构主凸轮廓线设计及其优化[J]. 包装与食品机械, 2019(4):29-33.
- [17] 王强,雷欣瑞,闫尚荣. 基于 CFD 的轴向柱塞泵腔道设计优化[J]. 液压气动与密封, 2018(1):72-74.
- [18] 刘 超. 基于 AMESim 和遗传算法的海水泵配流盘参数仿真与优化[J]. 现代制造技术与装备, 2019, 267(2):63-65, 67.

[编辑:方越婷]

## 本文引用格式:

江 伟,包从望. 基于遗传算法的溢流阀缓冲特性优化分析[J]. 机电工程, 2020, 37(5):512-516.

JIANG Wei, BAO Cong-wang. Optimization analysis of buffer characteristics of relief valve based on genetic algorithm[J]. Journal of Mechanical &amp; Electrical Engineering, 2020, 37(5):512-516.

《机电工程》杂志; <http://www.meem.com.cn>

(上接第 483 页)

- [6] CHEN J H, JUARBE F M, HANLEY M A. Factors affecting fatigue strength of nylon gears[J]. **Journal of Mechanical Design**, 1981, 103(2):543-548.
- [7] FRANKLIN S E, KRAKER de A. Investigation of counterface surface topography effects on the wear and transfer behaviour of a POM-20% PTFE composite[J]. **Wear**, 2003, 255(1):766-773.
- [8] 胡斌良,龙春光. 聚甲醛耐磨复合材料的研究[J]. 湖南科技大学学报:自然科学版, 2004, 19(4):51-54.
- [9] 王洪涛,杨生容,薛群基. 聚甲醛/聚四氟乙烯共混物的摩擦学性能研究[J]. 高分子材料科学与工程, 1996, 12(2):115-118.
- [10] WALLACE D B, SEIREG A. Computer simulation of dynamic stress, deformation, and fracture of gear teeth[J]. **Transaction of the ASME, Journal of Engineer for Industry**, 1973(1):108-114.
- [11] 吴 茵,华煜煜,龙春光. 聚甲醛复合材料在不同载荷和转速下的摩擦学特性[J]. 润滑与密封, 2006(6):32-35.
- [12] TABURDAGITAN M. Determination of surface temperature rise with thermo-elastic analysis of spur gears[J]. **Wear**, 2006(261):656-665.
- [13] DENG G, NAKANISHI T, MOUE K. Bending load capacity enhancement using an asymmetric toothprofile (1st report, influences of pressure angle on tooth root stress and bending stiffness) [J]. **JSME International Journal, series C**, 2003, 46(3):1171-1177.
- [14] KAPELEVICH A L. Geometry and design of involute spur gears with asynvnetricteeth[J]. **Mechanism and Machine Theory**, 2000, 35(1):117-130.
- [15] 胡夏夏,宋斌斌,戴小霞,等. 基于 Hertz 接触理论的齿轮接触分析[J]. 浙江工业大学学报, 2016, 44(1):19-22.
- [16] 何国旗,严 宏. 面齿轮啮合过程中压力角对齿面摩擦生热的影响分析[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2012, 43(9):3415-3419.
- [17] 汪一麟,朱安德,范明德. 磨擦磨损计算原理[M]. 重庆:机械工业出版社, 1982.
- [18] DIAB Y, VILLE F, VELEX P. Investigations on power losses in high-speed gears [J]. **Engineering Tribology**, 2006, 220(3):191-198.
- [19] YELLE H, BUMS D J. Techniques for assessing the running temperature and fatigue strength of thermo-plastic gear [J]. **Mech. Math. Theory**, 1973, 8(2):175-185.
- [20] 樊智敏,朱东华. 圆柱齿轮啮合干涉及根切的分析研究[J]. 机械设计与制造, 2003(4):24-26.

[编辑:李 辉]