

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.08.010

基于 NLPQL 的球型单向阀性能优化研究^{*}

李胜永

(江苏航运职业技术学院 交通工程系, 江苏 南通 226010)

摘要:针对球型单向阀压力—流量特性优化问题,利用单向阀阀芯直径、阀座通径、弹簧预紧力和弹簧刚度进行了优化参数组合。构建了实际出口流量与目标出口流量误差平方积分的目标函数,提出了一种单向阀压力—流量特性优化方法;通过 AMESim 搭建了球型单向阀的优化模型,对球型单向阀压力—流量特性展开了优化研究;基于遗传算法和序列二次规划方法,对相同优化参数区间的优化结果进行了对比分析,进行了优化参数区间对遗传算法优化结果的影响分析。研究表明:通过缩小优化参数区间,基于遗传算法优化的单向阀压力—流量特性得到了提高;在同一优化参数区间下,相比遗传算法,序列二次规划方法优化结果更逼近目标值。

关键词:球型单向阀;优化方法;遗传算法;序列二次规划;压力—流量特性

中图分类号:TH137.52

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2020)08-0916-05

Performance optimization of ball type check valve based on NLPQL

LI Sheng-yong

(Department of Traffic Engineering, Jiangsu Vocational & Technical Shipping College, Nantong 226101, China)

Abstract: Aiming at the optimization problem of pressure flow characteristics of ball type check valve, the optimal parameters combination was made by using the diameter of check valve diameter, valve seat diameter, spring preload and spring stiffness. The objective function was built based on the integral of the error square between the actual outlet flow and the target outlet flow, and an optimization method of pressure flow characteristic of ball type check valve was proposed. The optimization of ball type check valve was built based on AMESim. The optimization research of pressure flow characteristics of ball type check valve was carried out. Based on genetic algorithm and sequential quadratic programming, the optimization comparative analysis of the same optimization parameter interval was developed. The influence of optimization parameter interval on the optimization results of genetic algorithm was analyzed. The results indicate that the pressure flow characteristics of the ball type check valve optimized based on GA are improved by reducing the optimization parameter range and the result of NLPQL is more close to the target value.

Key words: ball type check valve; optimization method; genetic algorithm (GA); sequential quadratic programming (NLPQL); pressure flow characteristic

0 引 言

在液压系统中,单向阀主要控制油液单向流动,也是一种原理最简单的液压元件,具有单向传递压力、压力切断等功能^[1-3]。单向阀应用比较广泛,液压泵站出

口常设单向阀,防止油液逆流^[4];液压缸进出口管路中常设液控单向阀,起到负载保持锁紧功能^[5];挖掘机多路阀片间常设单向阀,起到压力传递作用;控制液压挖掘机动臂和斗杆动作的工作联配置单向阀,主要使系统具备流量再生功能^[6-7]。

收稿日期:2019-10-27

基金项目:南通市科技局科技计划项目(MS12018080);南通航运职业技术学院科技研究项目(HYKY/2017KJA02);江苏省教育厅优秀科技创新团队(2017049);江苏省交通运输厅科技研究项目(2018Y26)

作者简介:李胜永(1981-),男,河南南乐人,副教授,主要从事机电液自动控制技术方面的研究。E-mail:lsyong@126.com

目前,相关单向阀的研究成果较多,王海芳等^[8-9]以单向阀阀芯质量为目标优化设计了阀芯质量,并建立了锥阀阀芯的两种工作状态的振动可靠性功能函数;曹超等^[10]研究了流体和弹性材料相互作用过程中流场的变化和阀芯的关键承载部位,内环突起的尺寸、加工质量和材料性能对弹性阀芯动密封性能的影响情况;杨春啟等^[11]提出了一种斥力、引力两种永磁弹簧单向阀结构,基于 Fluent 进行了流场仿真分析;姚丽英等^[12]基于 AMESim 研究了液压支架用液控单向阀工作特性,搭建了 FDY480/50 型液控单向阀仿真模型;邹亮等^[13]利用 Fluent 动网格技术对单向阀关闭过程进行了数值仿真,得到了在不同弹簧刚度系数作用下,阀芯关闭速度、关闭时间及阀芯前后压差情况;刘磊等^[14-15]研究了反向冲击下的液控单向阀多级节流特性,并分析了不同过流面积大流量液控单向阀反向开启特性;赵云等^[16]基于 Fluent 动网格技术与瞬态动力学对球形单向阀进行了联合仿真,分析了阀芯关闭过程中管路应力应变情况。

由于相关单向阀性能优化研究理论较少,本文基于 AMESim 建立单向阀液压仿真模型,仿真得到球型单向阀压力—流量特性曲线,基于单向阀仿真模型,提出一种单向阀压力—流量特性优化方法;结合误差平方积分法则,以阀芯直径、阀座通径、弹簧刚度及弹簧预紧力为优化设计参数,基于遗传算法 GA 和序列二次规划 NLPQL 分别优化单向阀压力—流量特性,为单向阀的优化研究提供参考及指导。

1 球形单向阀工作原理及数学模型

1.1 单向阀工作原理

球型单向阀工作原理简图如图 1 所示。

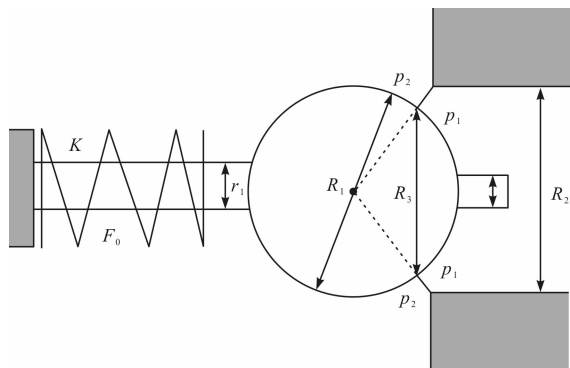


图1 球型单向阀工作原理简图

r_1 —弹簧腔导向杆直径; r_2 —入口导向杆直径; R_1 —球型单向阀阀芯直径; R_2 —球型单向阀阀座通径; R_3 —球型单向阀入口压力作用于球阀圆形区等效直径; p_1 —单向阀入口压力; p_2 —球型单向阀出口压力

在图 1 中,左侧为弹簧腔,右侧为流量入口。

1.2 单向阀数学模型

球型单向阀通流面积 A 为:

$$A = \frac{\pi}{4} \times (R_2^2 - r_2^2) \quad (1)$$

球型单向阀右侧作用力为:

$$F_1 = p_1(R_3^2 - r_2^2) - p_2(R_3^2 - r_1^2) \quad (2)$$

球型单向阀左侧作用力为:

$$F_2 = F_0 + F_3 \quad (3)$$

式中: F_0 —弹簧预紧力; F_3 —弹簧压并后弹簧腔对阀芯的反作用力。

球型单向阀开启过程中,出口流量 Q 满足:

$$Q = kA\Delta p^m \quad (4)$$

式中: k —阀口节流系数; m —由节流口形状和结构决定的指数, $0.5 < m < 1$ 。

其中, $\Delta p = p_1 - p_2$,当 $p_2 = 0$, $\Delta p = p_1$ 。

2 球型单向阀仿真模型

仿真模型中所涉及到的参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数一览表

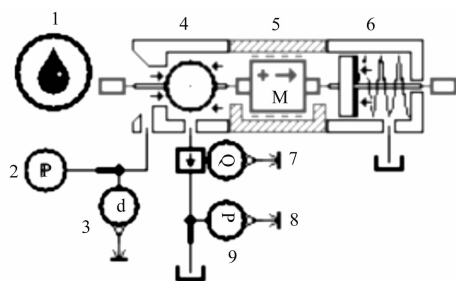
参数	数值
单向阀阀座通径 R_2/mm	5
单向阀阀芯直径 R_1/mm	10
单向阀阀芯质量 m/kg	0.02
单向阀阀芯位移范围 x/mm	0 ~ 0.002
弹簧预紧力 F_0/N	3
弹簧刚度 $K/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-1})$	1
入口压力 p_1/MPa	0 ~ 0.5
出口压力 p_2/MPa	0
弹簧腔导向杆直径 r_1/mm	0
入口导向杆直径 r_2/mm	0

结合球型单向阀启闭控制原理,笔者利用 AMESim 进行仿真分析。

基于 AMESim 仿真模型及结果的示意图如图 2 所示。

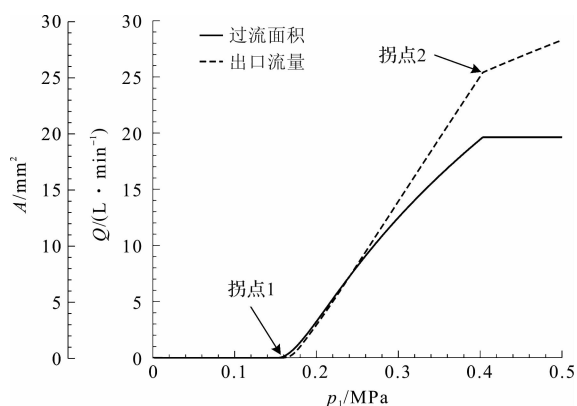
图 2 中,拐点 1 表示单向阀阀芯开启点,拐点 2 表示单向阀过流面积达到最大点。

由图 2 可知:单向阀阀芯在 0.13 MPa 时开启,在 0.4 MPa 时达到最大通流面积 20 mm²,同时达到设计通流流量,设计通流流量流量为 26 L/min。



(a) 球型单向阀仿真模型

1—液控油模型;2—入口压力;3—入口压力传感器;4—球形阀芯;5—阀芯质量;6—弹簧腔;7—出口流量传感器;8—出口压力传感器;9—油箱



(b) 单向阀压力—流量特性曲线

图2 基于 AMESim 仿真模型及结果示意图

3 球型单向阀优化理论及模型搭建

3.1 单向阀优化理论

球型单向阀压力—流量特性优化模型如图3所示。

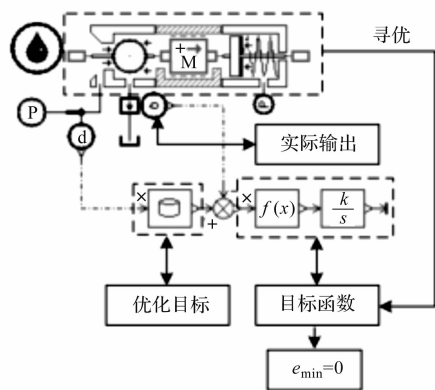


图3 球型单向阀压力—流量特性优化模型

球型单向阀优化理论为:

(1) 给定单向阀入口输入压力 p , 经单向阀阀口节流阻尼作用会输出流量 Q ;

(2) 在单向阀入口处设置压力传感器, 压力传感器采集输入压力 p , 通过优化目标函数模型输出理想流量 Q_0 ;

(3) 将实际输出 Q 与理想流量 Q_0 的误差平方积分值作为目标函数 $e_{\min}$, 通过寻优算法变换调整仿真模型中的参数, 使得目标函数 $e_{\min}$ 达到最小。

3.2 模型搭建

球型单向阀优化参数为:

单向阀阀芯直径 R_1 , 单向阀阀座通径 R_2 , 单向阀弹簧预紧力 F_0 , 单向阀弹簧刚度 K ;

目标函数为: $e_{\min} = \int (Q - Q_0)^2 dp$;

约束条件为:

$R_1 > R_2, 0 < R_1 < R, 0 < R_2 < r, 0 < F_0 < F, 0 < K < K_1$ 。

其中: R, r, F, K_1 —优化参数区间最大点。

4 球型单向阀参数寻优过程分析

给定球型单向阀入口压力 p_i , 通过函数转化为目标出口流量 Q_0 , 其目标和初始压力—流量特性曲线如图4所示。

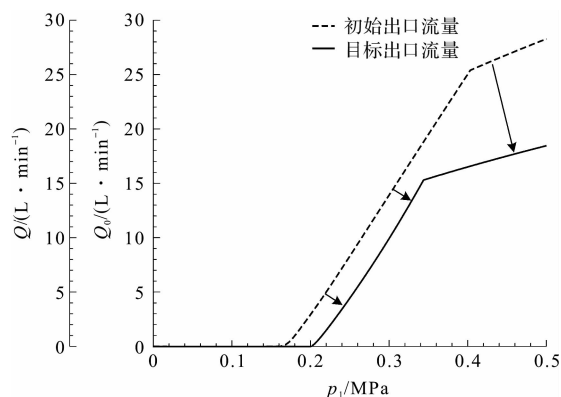


图4 目标和初始压力—流量特性曲线

由图4可知: 单向阀初始阀芯开启压力点为0.13 MPa, 初始设计通流流量为26 L/min, 达到初始设计通流流量的压力点为0.4 MPa, 阀芯目标开启压力点为0.2 MPa, 目标设计通流流量为15.5 L/min, 达到目标设计通流流量的压力点为0.32 MPa。

本文所述的优化法则即为通过调整给定区间的参数, 使得实际出口流量曲线逼近目标出口流量曲线。

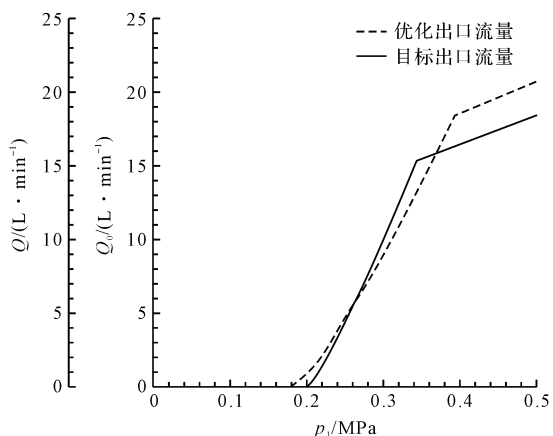
4.1 基于 GA 的球型单向阀参数寻优

参数初始值与寻优范围如表2所示。

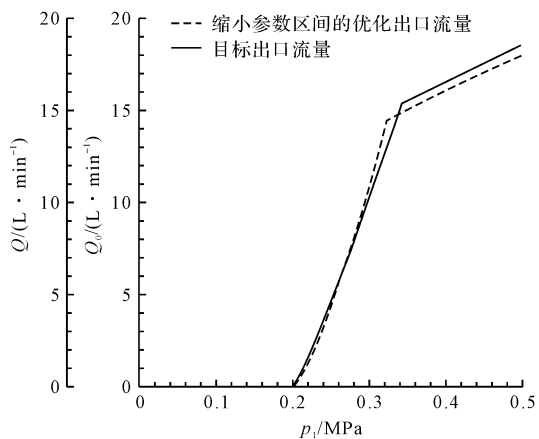
表 2 参数初始值与寻优范围一览表

参数名称	初始值	第一次寻优范围	第二次寻优范围
阀芯直径 R_1/mm	5.0	1 ~ 30	1 ~ 20
阀座通径 R_2/mm	10.0	1 ~ 30	1 ~ 15
弹簧预紧力 F_0/N	3.0	0 ~ 50	0 ~ 30
弹簧刚度 $K/(\text{N} \cdot \text{mm}^{-1})$	1.0	0 ~ 10	0 ~ 30

以误差平方积分准则为目标函数,笔者基于 GA 进行球型单向阀的参数优化,可得到目标流量与基于 GA 优化的压力—流量曲线,如图 5 所示。



(a) 第一次优化对比曲线



(b) 第二次优化对比曲线(缩小寻优范围)

图 5 目标流量与基于 GA 优化的压力—流量曲线

由图 5 可知:

(1) 基于 GA 第一次优化后,单向阀开启压力点由 0.13 MPa 优化为 0.18 MPa,设计通流流量由 26 L/min 优化为 18.5 L/min,其对应压力点由 0.4 MPa 优化为 0.38 MPa;

(2) 缩小优化参数区间基于 GA 优化后,单向阀开启压力点由 0.13 MPa 优化为 0.2 MPa,设计通流流量由 26 L/min 优化为 14.5 L/min,其对应压力点

由 0.4 MPa 优化为 0.31 MPa;

(3) 参数优化区间对寻优结果具有很大的影响,减小优化区间,有助于 GA 更好地优化单向阀参数,使得优化后的单向阀压力—流量曲线更逼近目标压力—流量曲线。

4.2 基于 NLPQL 的单向阀参数寻优

优化参数按第一次寻优范围进行设置,基于 NLPQL 的单向阀参数寻优,优化得到阀座通径为 4 mm,阀芯直径为 12 mm,弹簧预紧力为 2.3 N,弹簧刚度为 0.45 N/mm。

将优化参数代入球型单向阀仿真模型,可得到目标流量与基于 NLPQL 优化的单向阀压力—流量曲线,如图 6 所示。

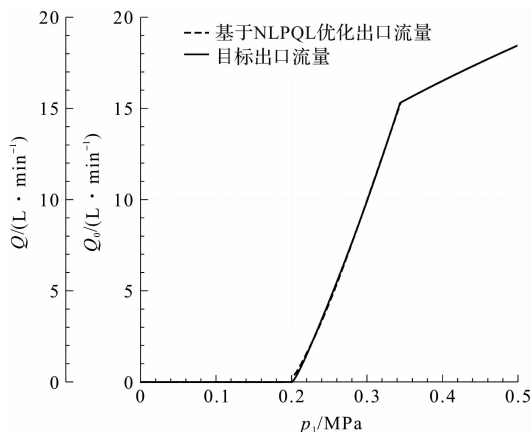


图 6 目标流量与基于 NLPQL 优化的压力—流量曲线

由图 6 可得:基于 NLPQL 优化后,单向阀开启压力点由 0.13 MPa 逼近目标值 0.2 MPa,设计通流流量由 26 L/min 优化至目标值 15.5 L/min,对应压力点由 0.4 MPa 优化至目标值 0.32 MPa。

显然,基于 NLPQL 优化的单向阀压力—流量特性曲线基本与目标压力—流量曲线吻合,相比 GA, NLPQL 的优化流量更好。

5 结束语

笔者给出了球型单向阀模型及工作原理,搭建了基于 ANESim 的单向阀仿真模型,提出了一种单向阀压力—流量特性优化方法;基于 GA 和 NLPQL,分别进行了单向阀压力—流量特性的优化探究。

该研究主要得出以下结论:

(1) 缩小设计参数优化区间,基于遗传算法优化的单向阀压力—流量曲线更逼近目标值;

(2) 相同优化参数区间下, NLPQL 优化的单向阀压力—流量特性与目标值基本完全吻合。

笔者所提出的单向阀性能优化方法也同样适用于其他液压元件及系统性能的优化。

参考文献(References):

- [1] 袁海丽, 冀宏, 高名乾, 等. 调速阀建模及仿真分析[J]. 液压与气动, 2019(7): 27-32.
- [2] 张睿, 吴帅, 焦宗夏. 一种典型盘式单向阀的动力学建模与优化设计[J]. 北京航空航天大学学报, 2013, 39(9): 1197-1202.
- [3] 韩国瑞, 李新平, 王大伟, 等. 液控单向阀应用及动态仿真[J]. 煤矿机械, 2013(1): 231-232.
- [4] 杨辉琴, 金波. 泵站止回阀关闭特征和条件的研究探讨[J]. 水利水电技术, 2016, 47(3): 106-108.
- [5] 李晓祥, 赵建军, 马新国, 等. 无负载保持单向阀的负载敏感阀负载保持性能分析与研究[J]. 液压与气动, 2013(3): 107-108.
- [6] 李晓祥, 王安麟, 樊旭灿. 高负压液压油缸系统流量再生液压阀再设计和能效分析[J]. 西安交通大学学报, 2019, 53(7): 52-59.
- [7] 周智勇. 液压挖掘机动臂流量再生节能系统研究[J]. 机电工程, 2019, 36(9): 959-963.
- [8] 王海芳, 王继强, 褚天争, 等. 基于可靠性分析的单向阀阀芯优化设计[J]. 中国工程机械学报, 2019, 17(3): 221-225.
- [9] 王海芳, 任明, 王晨炜, 等. 单向阀阀芯的振动可靠性分析[J]. 中国工程机械学报, 2019, 17(1): 85-89, 94.
- [10] 曹超, 李桂林, 金欣, 等. 弹性单向阀阀芯设计与密封分析[J]. 润滑与密封, 2019, 44(1): 53-57.
- [11] 杨春啟, 吴张永, 王瑞, 等. 永磁弹簧单向阀的设计与特性研究[J]. 液压与气动, 2018(1): 89-95.
- [12] 姚丽英, 高宇龙, 张占东. 基于 AMESim 的液压支架用液控单向阀工作特性分析[J]. 煤矿机械, 2019, 40(9): 75-77.
- [13] 邹亮, 胡光忠, 文华斌, 等. 不同弹簧刚度系数下单向阀关闭过程仿真[J]. 流体机械, 2017, 45(11): 55-59.
- [14] 刘磊, 赵继云, 石高亮. 反向冲击下的液控单向阀多级节流特性研究[J]. 机床与液压, 2018, 46(3): 128-133.
- [15] 刘磊, 赵继云, 石高亮. 不同过流面积大流量液控单向阀反向开启特性研究[J]. 机床与液压, 2016, 44(23): 77-80.
- [16] 赵云, 胡光忠, 文华斌, 等. 球形止回阀关闭过程流固耦合特性研究[J]. 流体机械, 2019, 47(5): 28-32.

[编辑: 李辉]

本文引用格式:

李胜永. 基于 NLPQL 的球型单向阀性能优化研究[J]. 机电工程, 2020, 37(8): 916-920.

LI Sheng-yong. Performance optimization of ball type check valve based on NLPQL[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2020, 37(8): 916-920.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>