

doi: 10.7690/bgzd.2021.04.017

基于 AMESim 某风洞柔壁喷管液压系统仿真及优化

张 胜, 汪路路, 陈海峰, 阎 成

(中国空气动力学研究与发展中心, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为解决某风洞柔壁喷管液压系统从高压锁紧状态切换到低压回零工况时执行机构冲击过大的问题, 对系统加装卸压控制回路进行改进。基于 AMESim 建立改进前后系统仿真模型, 分别对其工作过程进行模拟分析, 同时利用遗传算法对卸压时间进行优化。结果表明, 优化后模型在节约能源的同时能有效减小执行机构冲击。

关键词: 柔壁喷管; 冲击; 卸压; 遗传算法

中图分类号: TH137 **文献标志码:** A

Simulation and Optimization on Flexible Nozzle Hydraulic System of Certain Type Wind Tunnel Based on AMESim

Zhang Sheng, Wang Lulu, Chen Haifeng, Yan Chen

(China Aerodynamic Research & Development Center, Mianyang 621000, China)

Abstract: To solve the problem that the impact of the actuator is large when the flexible nozzle hydraulic system of wind tunnel switches from lock state in high pressure to zero condition in low pressure, the pressure relief control loop is added to improve the system. The system simulation mode before and after improvements are established based on AMESim to simulate the working process and then genetic algorithm is used to optimize the relief time. Results show that the optimized model can effectively reduce the impact of actuator while saving energy.

Keywords: flexible nozzle; impact; pressure relief; genetic algorithm

0 引言

喷管是保证风洞模型试验区获得设计马赫数的均匀气流的重要部件^[1]。柔壁喷管控制系统工作原理为通过交流伺服驱动系统, 控制执行机构的定位螺母运动到指定位置, 实现系统的预定位。待预定位完成后, 通过控制液压系统驱动执行机构成型、锁紧和回零^[2-3]。其中, 液压系统在整个控制过程中起着关键作用, 其工作特性直接影响喷管执行机构的性能。

笔者针对某风洞柔壁喷管液压系统从高压锁紧状态切换到低压回零工况时执行机构冲击过大的问题, 对系统加装卸压控制回路进行改进。基于 AMESim 建立改进前后系统仿真模型, 分别对其工作过程进行模拟分析, 同时利用遗传算法对卸压时间进行优化。经过仿真分析检验, 优化后的方案在节约能源的同时能有效减小执行机构冲击, 提升柔壁喷管性能。

1 某风洞柔壁原喷管液压系统冲击过大原因

某风洞柔壁喷管液压系统原理如图 1 所示, 采用高压泵与低压泵双联油泵供油方式。当柔壁喷管

需要成型时, 调节比例溢流阀溢流压力为 6 MPa, 启动双泵, 换向阀左位工作, 油缸无杆腔进油; 待柔壁喷管成型到位需要锁紧时, 关闭低压泵, 调节溢流压力为 21 MPa; 柔壁喷管回零时, 再将溢流压力调节为 6 MPa, 启动低压泵, 换向阀右位工作, 油缸有杆腔进油。蓄能器预充压力为 17 MPa, 其功能主要是吸收高压锁紧时压力脉动, 此外还作为机构回零的应急能源。这是因为柔壁喷管不工作时最好处于零位状态, 以保护柔壁^[4-5]。

在实际操作过程中发现:液控卸荷阀发热严重, 双泵同时运行相对单泵噪声大, 油温升高快, 能量损失多, 低压泵单独运行足以满足系统流量需求, 系统从高压锁紧状态切换到低压回零工况时执行机构冲击过大。经分析, 液控卸荷阀控制油路反复高低压切换造成发热, 油液温升过快主要是由于高压泵运行时间长, 系统流量溢出较多, 而产生冲击的主要原因是单向阀的存在使得蓄能器内存储的高压无法及时卸掉, 导致在低压回零时高压又被瞬间释放。针对上述问题, 在系统加装卸压控制回路, 成型和回零时仅用低压泵, 锁紧时仅用高压泵^[6], 液控卸荷阀改为叠加式手动溢流阀。

收稿日期: 2020-11-30; 修回日期: 2021-01-14

作者简介: 张 胜(1992—), 男, 湖北人, 硕士, 工程师, 从事液压传动与控制研究。E-mail: 1447950983@qq.com。

系统改进后,卸压时间根据经验设置为 5 s,保证在回零时系统内高压能完全卸掉,执行机构冲击明显减小,噪声大大降低,油液温升过快得到有效减缓;但是由于单向阀到换向阀之间管路较长,油液填充体积大,如果在柔壁喷管回零时高压完全被卸掉,再次升压就会耗时耗能,进而降低液压系统的工作效率;因此,有必要对卸压时间进行优化。

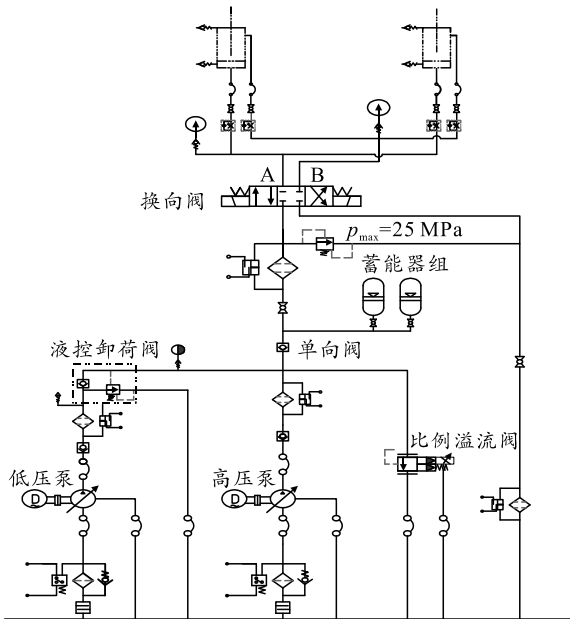


图 1 某风洞柔壁喷管液压系统原理

2 AMESim 仿真模型

AMESim 依靠其强大的数据库和仿真结果较高的置信度,非常适合机械液压和控制系统的建模仿真分析^[7-9]。基于 AMESim 软件,搭建如图 2 所示的柔壁喷管液压系统仿真模型,通过改变适当参数,可模拟改进前后系统的工作情况。在该模型中,采用重力场模拟执行机构自重,考虑了高压锁紧时负载的变化和重要管路模型。在蓄能器组支路加装二位三通换向阀,以此来控制柔壁喷管锁紧后至回零前系统是否卸压。为保证低压运行时不因高压泵的突然开启而产生冲击,在高压泵出口加装二位三通换向阀,当检测到低压泵开启时自动断开高压油路,保证即使在误启动高压泵时系统也能正常工作。油泵的启闭由变量泵斜盘倾角信号控制,高压泵出口的二位三通换向阀也是根据此信号进行控制。

3 仿真结果及分析

3.1 主要参数设置

图 3 和图 4 分别为油泵控制信号和主换向阀控制信号。0~10 s,主换向阀处于中位,低压泵开启;

10~80 s,主换向阀右位工作,柔壁喷管低压成型;在 70 s 时,高压泵开启,这是模拟低压运行时高压泵突然启动的工况;80~150 s,换向阀切换到中位,蓄能器进行充液;150~180 s,高压锁紧,在此期间,通过油缸负载控制信号模拟负载变化情况;190 s 后,主换向阀切换到左位工作,柔壁喷管回零。在柔壁喷管成型和回零时均要求各油缸同步,采用调节回油节流阀方式达到同步。

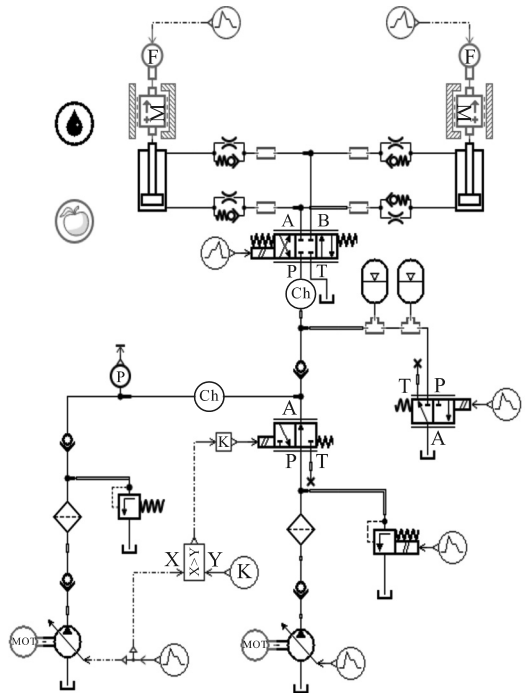


图 2 柔壁喷管液压系统 AMESim 仿真模型

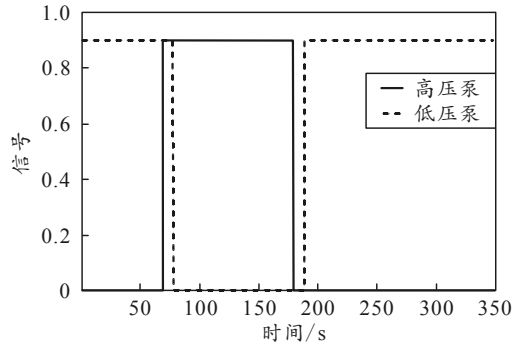


图 3 油泵控制信号

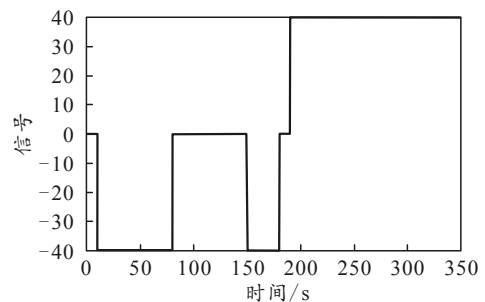


图 4 主换向阀控制信号

3.2 结果及分析

80~150 s, 控制蓄能器组支路上二位三通换向阀控制信号, 可模拟系统卸压或不卸压工况。图 5 和图 6 分别为柔壁喷管液压系统不卸压和卸压 5 s 时主进油管路压力及油缸位移。

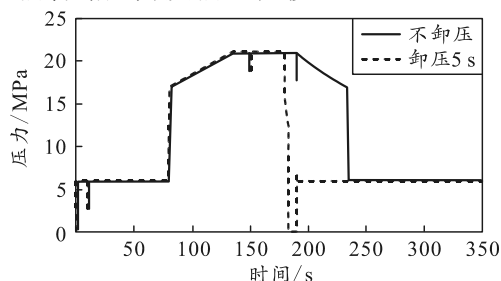


图 5 主进油管路压力

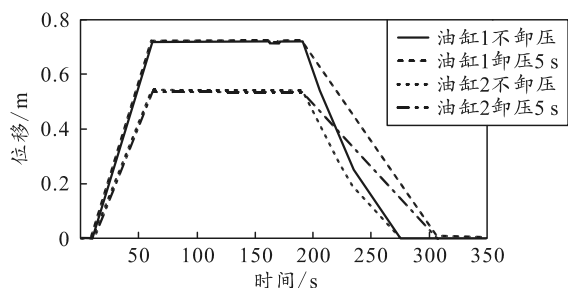


图 6 油缸位移

从图 5 和图 6 可以看出：1) 70~80 s 主进油管路仍是低压，高压泵输出压力并未进入系统，表明高压泵出口的二位三通换向阀能够实现低压泵开启时自动断开高压油路功能；2) 系统不卸压时，蓄能器内存储的压力在回零过程中逐渐释放，进而影响液压缸的运行速度，对执行机构造成冲击；3) 卸压时间设为 5 s 时，系统压力可被完全卸掉；4) 系统是否卸压不会影响油缸的同步。

为进一步明确卸压时间和系统主进油管路压力变化关系，采用 AMESim 软件批处理功能得到如图 7 所示卸压时间分别为 2.5、2.6 和 3.7 s 时主进油管路压力曲线。可以看出：卸压时间过短，系统仍将保持较高压力，回零时压力波动时间较长，执行机构冲击得不到有效缓解；卸压时间过长，压力卸掉太多就会降低系统工作效率。

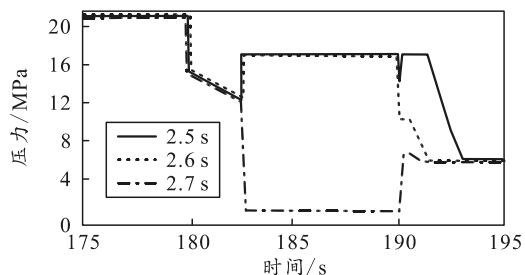


图 7 不同卸压时间下系统主进油管路压力

4 卸压时间优化

由上述分析可知：在减小执行机构冲击的同时提高工作效率，须保证回零前主进油管路压力接近低压运行时的压力。考虑成本，可以在现有设备的基础上采用优化卸压时间的方法。AMESim 软件优化工具箱中提供了遗传算法和序列二次算法解决模型优化问题^[10-11]，文中采用软件自带的遗传算法收敛效果更好。

为提高计算效率，结合批处理结果，取优化对象卸压时间的取值范围为 $2.6 \leq t \leq 2.7$ 。根据图 7 所示的卸压时主进油管路压力曲线规律，以系统主进油管路压力在 183~192 s 范围内最大值与最小值之差为目标，则在 AMESim 软件中目标函数为 $y=(\text{globMax}(\text{restrict}(p,183,192))-\text{globMin}(\text{restrict}(p,183,192)))$ ，其中 p 为系统主进油管路压力。考虑到设备运行的安全性，系统卸压完成后，油源输出压力要求不能超过 8 MPa，因此目标函数值 $y \leq 80$ 。设定树始种群大小 30，复制率 80%，最大遗传代数 80，变异概率 10%，变异幅度 0.2，经过 600 多次迭代完成优化计算。

图 8 给出了寻优过程，将优化结果应用到系统，可得到图 9 所示的优化前后结果。从图中可看出：回零前主进油管路压力接近低压运行时的压力，达到优化目标，说明优化目标的选择可靠。

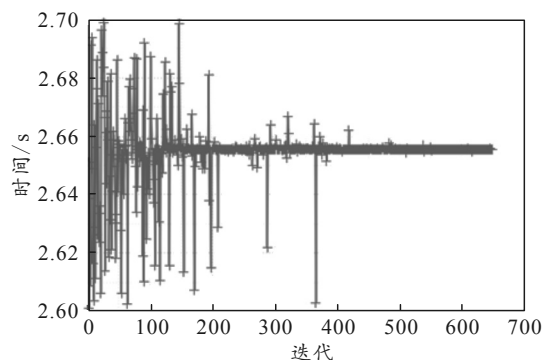


图 8 寻优过程

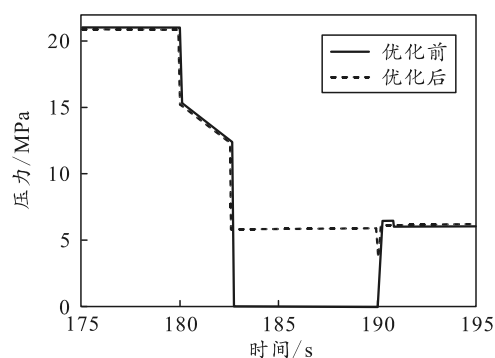


图 9 优化前后系统主进油管路压力

5 结论

笔者针对某系统执行机构冲击过大的问题，利用 AMESim 软件模拟了加装卸压回路后的工作过程，并基于遗传算法优化卸压时间。在优化时根据卸压特性选取优化目标，经过仿真分析检验，优化后的方案在节约能源的同时能有效减小执行机构冲击，提升柔壁喷管性能，为柔壁喷管驱动方式的优化设计提供参考。

参考文献：

[1] 周廷波, 刘卫红, 张国彪. 2 m×2 m 超声速风洞全挠性壁喷管气动设计及动态调试结果分析[J]. 实验流体力学, 2012, 26(4): 68-72.

[2] 高川, 芮伟, 秦建华, 等. 某跨超声速风洞全挠性壁喷管控制系统设计与实现[J]. 实验流体力学, 2016, 30(6): 98-104.

[3] 涂清, 周波, 高川. 某超声速风洞喷管控制系统的设计与应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2014, 15(10): 92-94.

(上接第 48 页)

5 结束语

在某新型研究项目中，笔者设计的非标准射击条件弹道诸元解算精度检验方法，实现了对弹道诸元解算软件进行自动测试、检验，并能统计、分析弹道诸元解算软件的整体精度情况。该方法是对常规符合射表和单项修正量精度检验方法的补充，改善了火炮弹道诸元解算软件计算精度检验的理论和方法。

参考文献：

[1] 韩子鹏. 弹箭外弹道学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014: 88-89.

[2] 王玄静. 正交试验设计的应用及分析[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版), 2016, 30(1): 17-22.

[3] 王全政, 姚世锋, 吴海锋, 等. 正交试验法在改进某狙击步枪射击精度中的应用[J]. 兵工自动化, 2014, 33(2): 21-23.

[4] 边晓阳, 赵修平, 李显龙, 等. 基于正交试验的航行体弹道仿真优化设计[J]. 海军航空工业学院学报, 2017, 32(4): 365-400.

[5] 王敏忠. 炮兵应用外弹道学及仿真[M]. 北京: 国防工

[4] 郭北涛, 柳洪义, 王菲, 等. 蓄能器对电磁阀试验台流体脉动消减作用的研究[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2010, 31(11): 1623-1627.

[5] 荣祥森, 邓章林, 贾霜, 等. 基于 PROFINET 和 VXI 总线的 1.2 m 风洞测控系统设计与实现[J]. 计算及测量与控制, 2019, 27(5): 87-90.

[6] 张海华. J1140 型压铸机液压泵站设计研究[J]. 液压与气动, 2012, 36(3): 81-82.

[7] 陈新中, 夏宗记, 王玲君. AMESim 仿真分析方法在燃油调节器排故中的应用[J]. 航空发动机, 2019, 45(1): 46-50.

[8] 谭桂玲, 杨文举. 基于 AMESim 的超高压水射流破拆机器人机械臂架仿真[J]. 兵工自动化, 2018, 37(3): 73-76.

[9] 张胜, 丁寿和, 廖明, 等. 基于 AMESim 先导式减压阀动态仿真[J]. 兵工自动化, 2019, 38(11): 55-57.

[10] 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): 54-57.

[11] 张啟晖, 熊伟, 熊庆辉, 等. 车辆换挡缓冲阀的优化设计研究[J]. 液压与气动, 2017, 41(12): 65-68.

业出版社, 2009: 302-304.

[6] 段菖蒲, 张志远, 刘玉文, 等. 新弹种射击诸元精度检验系统设计与实现[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(5): 41-56.

[7] 刘明辉, 谢婷婷, 石景岚, 等. 面向诸元计算精度鉴定的二次抽样试验设计方法[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(7): 139-146.

[8] 欧阳中辉, 赵均伟, 刘东鑫. 基于误差传递和逐步回归法的火控系统精度分析[J]. 指挥控制与仿真, 2009, 31(2): 112-115.

[9] 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017: 153-158.

[10] 盛骤, 谢式千, 潘承毅. 概率论和数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 376-377.

[11] 刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜, 等. 正交试验设计和分析方法研究[J]. 实验技术与管理, 2010, 27(9): 52-53.

[12] 胡昌华, 扈晓翔, 骆功纯. 基于试验设计与弹道仿真的制导工具误差快速评价方法[J]. 中国惯性技术学报, 2007, 15(5): 542-545.

[13] 陈敬志. 机载空空导弹火控系统精度试验设计技术[J]. 火力与指挥控制, 2019, 44(4): 184-187.

[14] 郝拉娣, 于化东. 正交试验设计表的使用分析[J]. 编辑学报, 2005, 17(5): 334-335.