

LUDV 多路阀中节流阀的仿真分析*

张圣峰¹, 徐 兵^{1*}, 刘 伟¹, 牛越胜²

(1. 浙江大学 流体动力与机电系统国家重点实验室, 浙江 杭州 310027;

2. 河北天择重型机械有限公司, 河北 邯郸 050001)

摘要: LUDV 多路阀中 LS 油路的节流阀是 LUDV 液压系统的重要流量控制元件, 其性能的好坏直接影响 LUDV 系统的节能性和稳定性。针对这些问题, 分析了 LUDV 多路阀中节流阀的结构和功能, 并在 AMESim 环境下建立了节流阀的仿真模型, 通过改变节流阀的节流孔和弹簧预紧力等参数值进行了仿真。仿真分析结果表明: 节流阀的定流量值设计为多少, 与 LS 油路压力的响应有关; 流量设定太大, LS 压力响应慢, LS 油路未必能建立起足够的压力; 流量设定太小, 响应太快导致系统压力冲击, 且易形成 LS 油路憋压。

关键词: 负载独立流量分配系统; 节流阀; AMESim; 仿真

中图分类号: TH122; TH137.52

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)09-1036-04

Simulation & analysis of throttle valve in LUDV multi-way valve

ZHANG Sheng-feng¹, XU Bing¹, LIU Wei¹, NIU Yue-sheng²

(1. The State Key Lab of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Hebei Tianze Heavy Machinery Co., Ltd., Handan 050001, China)

Abstract: The throttle valve is the important flow control component of LUDV hydraulic systems. Its performance, good or bad, directly effect the energy saving and stability of LUDV system. Aiming at this problem, the structure and function of throttle valve in LUDV multi-way valve were analyzed, throttle valve simulation model in AMESim was established, and through changing the throttle valve's parameters such as spring preload force etc., the simulation was done. The analysis results of simulation indicate that, the response of LS pressure has some connections with the setting flow of the throttle; flow sets too big, LS pressure responds slowly, not necessarily LS pressure establishes enough; flow sets too small, LS pressure responds fast and causes the system's pressure shocking, and easily form LS pressure build-up.

Key words: load independent flow distribution(LUDV); throttle valve; advanced modeling environment for simulation of engineering systems (AMESim); simulation

0 引 言

不受载荷影响的流量分配系统(LUDV)是一种广泛应用于各类挖掘机的液压系统。由于该系统只采用一个变量泵,省掉了复杂的合流控制系统,减小了系统的安装尺寸,使系统的结构变得更简单。它既具有传统负载敏感控制系统节能增效的优点,又通过后置压

力补偿阀解决了流量饱和时复合动作的协调性问题。LUDV 系统一般由一个变量泵、负载感应(LS)压力补偿阀、多路换向阀、先导供油装置、液压执行器和管路等组成,其中具有负载补偿功能的多路阀一般称为 LUDV 多路阀^[1-2]。

LS 油路与变量泵负载感应控制阀的 X 口相连,则系统在工作时,LS 油路形成一个闭死的容积,形成困油现象,导致 LS 油路压力升高形成系统压力冲击^[3-6]。

收稿日期:2011-04-11

基金项目:国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(2010AA044401);教育部博士点基金资助项目(20090101110041);贵州省重大科技专项资助项目(20096003)

作者简介:张圣峰(1978-),男,安徽淮北人,主要从事机械电子工程方面的研究. E-mail: zsf05057768@126.com

通信联系人:徐 兵,男,教授,博士生导师. E-mail: bxu@zju.edu.cn

为了避免 LS 油路形成困油,增加系统的稳定性,因此在 LUDV 多路阀的进油联设有泄荷机构—节流阀。

本研究应用 AMESim 仿真软件建立节流阀模型,对节流阀的主要性能进行分析研究,变参分析结构参数对系统性能的影响。

1 LUDV 多路阀中节流阀的基本原理

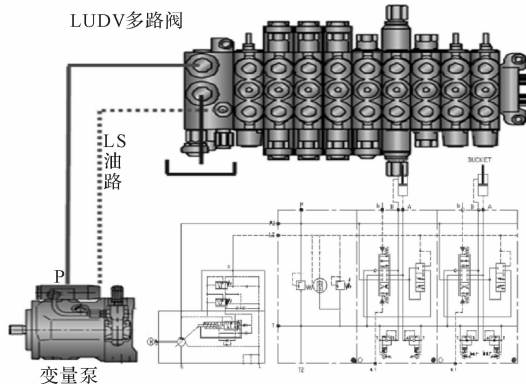


图1 LUDV 液压系统原理图

LUDV 液压系统原理图如图 1 所示,LUDV 系统中检出最高负载压力不采用梭阀网络,而是采用三位三通压力补偿阀,此压力补偿阀实际上起了负荷均衡器的作用,使得工作中的各联换向阀的压差相等,也就是说各回路所得到的流量只与换向阀的开度成比例。

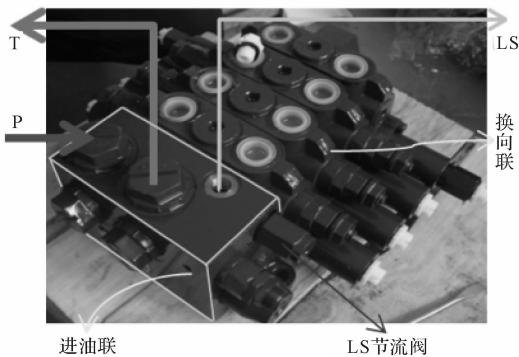


图2 多路阀实物图

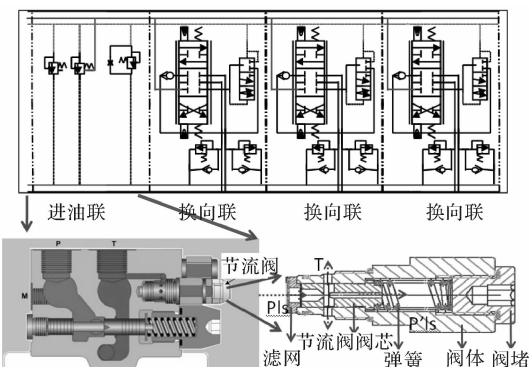


图3 LUDV 多路阀中的节流阀

多路阀实物图与 LUDV 多路阀中的节流阀如图 2、图 3 所示,LUDV 多路阀是系统的核心部件之一,由进油联、换向联和回油联共 3 部分组成。该多路阀包含了 LUDV 液压系统所需要的主要元件:换向阀、主安全阀、压力补偿阀、冲洗阀、防吸空阀以及 LS 油路节流阀。

在进油联中,LS 油路的节流阀(也称补偿压力卸压阀)的流量一般设定在 2 L/min 左右,其作用是通过其节流孔有极少量地油流至油箱,防止换向阀中位时 LS 油路(压力补偿腔)产生困油现象,同时使 LS 油路油压升压速度变缓,增强系统动态稳定性。

节流阀结构原理图如图 4 所示。其工作原理是:换向阀中位时,节流阀中没有油液流过,阀处于全开状态。换向阀换向时(即系统工作时),LS 油道产生的液压油首先作用在节流阀阀芯上,同时由于节流阀弹簧腔油压很低,阀芯向弹簧腔移动,阀口被关小,通过的流量很小。当 LS 油路油压建立起来后,阀芯两端受力逐渐达到平衡,阀口维持一个适当的开口。当换向阀再次工作在中位时,此时 LS 油路没有持续的油源,同时又继续流过节流阀,所以 LS 油路压力降低,节流阀阀芯又在弹簧力的作用下使阀口朝开大的方向移动直至全开。当换向阀再次换向时就能防止换向阀中位时压力补偿腔产生困油现象。

负载敏感型多路阀基本都会配置的节流阀,它是一个两通减压阀和一个固定阻尼构成的恒流量阀,即定流量阀。在正常工作时,因为是定流量的,所以这里的流量不会随 LS 油路的压力升高而提高,避免在这里发生过多的热量。这是加载这个两通节流阀的好处。有些厂家的产品就一个节流孔,这样发热就多一点了。在换向阀停止工作时,节流阀负责把残余在 LS 油路里的压力释放掉,避免泵维持在高压状态。工作时,也能顺利地建立起 LS 的通道压力。

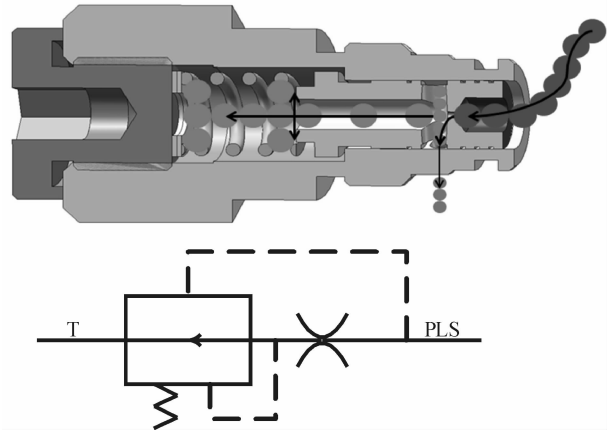


图4 节流阀结构原理图

2 仿真建模

LS 节流阀采用 AMESim 软件(Advanced Modeling Environment for Simulation of Engineering Systems)进行建模。AMESim 为流体动力(流体及气体)、机械、热流体和控制系统提供了一个完善、优越的仿真环境及最灵活的解决方案。

AMESim 使得用户从繁琐的数学建模中解放出来从而专注于物理系统本身的设计,即从所有模型中提取出的构成工程系统的最小单元使得用户可以在模型中描述所有系统和零部件的功能,而不需要书写任何程序代码^[7-10]。

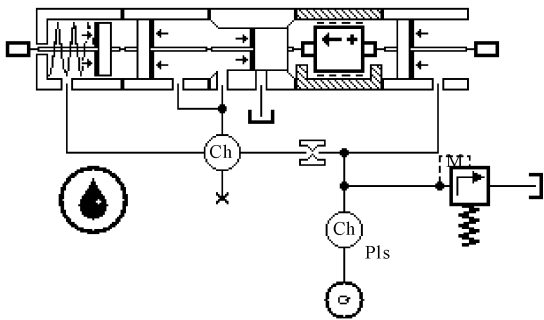


图 5 节流阀的 AMESim 模型

根据上述节流阀结构图,结合该阀的外特性和元件尺寸参数,本研究采用 AMESim 软件中的 HCD 模块对液压系统进行建模,采用流量源模拟 LS 油路流量,如图 5 所示。

本研究在 Submodels 和 Parameters 模式下按现有设计选取数学模型,并将实际节流阀阀体的主要参数代入作为仿真条件。此处列举了其大部分,如表 1 所示,其他参数在默认的参数下稍作修改得到。

表 1 AMESim 仿真模型的主要参数

子模块	变量	值
工作温度	温度/($^{\circ}\text{C}$)	50
液压油	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	850
液压油	弹性模量/bar	1 700
节流阀弹簧	刚度/($\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$)	15
节流阀弹簧	预紧力/N	100
阀芯	质量/kg	0.006 16
阀芯	摩擦系数/($\text{N} \cdot (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^{-1}$)	50
阀芯	直径/mm	8
阀芯	遮盖/mm	2
节流孔	直径/mm	0.6
节流孔	流量系数/($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	1

3 仿真分析

3.1 特性分析

LUDV 包括两个概念:负载敏感和负载补偿。“负载敏感”通常是描述开式回路变量泵时常用的术语。之所以称之为“负载敏感”,是因为变量泵可以感应换向阀的出口负载感应压力,泵可以维持换向阀进出口两端的压差恒定,并实现流量的比例调节。

因此,负载感应压力即 LS 油路压力的建立在 LUDV 系统中起至关重要的作用。如果 LS 油路节流阀流量过大,则负载敏感(LS 油路)压力不能真实反映最大负载压力,而且能耗损失过大;如果 LS 油路节流阀流量过小,则不能解决 LS 油路的困油问题,使负载敏感压力减压过快,对系统产生冲击。因此,LS 节流阀的作用就是在防止 LS 油路产生困油,且使 LS 油路升压变缓。

在 AMESim 参数模式下,本研究依据试验工况设置 PLS 的参数如图 6 所示。设置仿真时间为 10 s,通讯间隔 0.001 s,采用变步长积分。节流阀的流量特性和 PLS 压力响应特性曲线如图 7 所示。

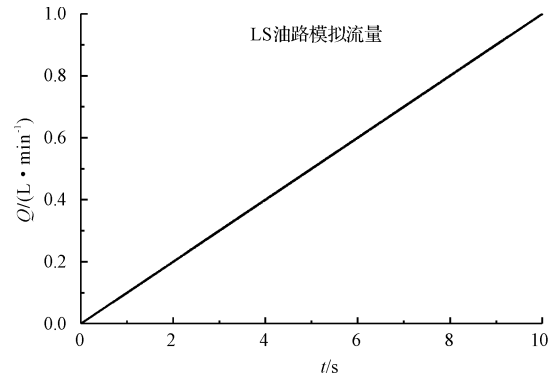
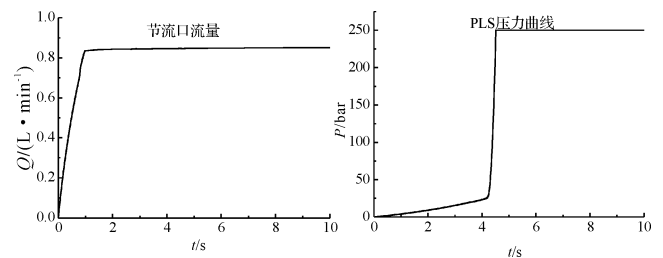


图 6 LS 油路模拟流量曲线



(a) 流量特性 (b) PLS 压力响应特性

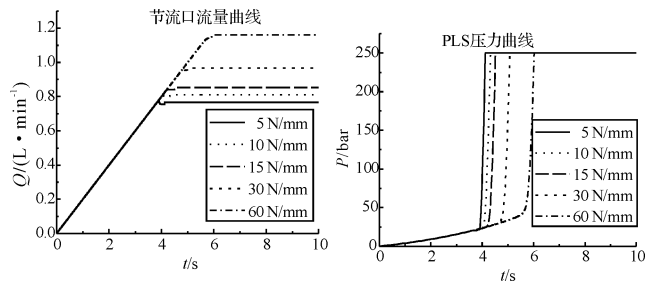
图 7 节流阀流量和 PLS 压力响应曲线

从节流阀的流量曲线可以看出,该节流阀为恒流阀。

3.2 弹簧刚度对 PLS 压力响应的影响

在弹簧预紧力和其他条件不变的情况下,分别设定弹簧刚度为 5 N/mm、10 N/mm、15 N/mm、30 N/mm、60 N/mm,进行仿真可得结果如图 8 所示。

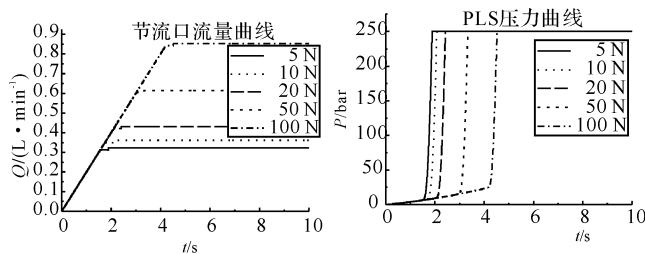
可以看出,增大弹簧刚度会导致节流阀流量增大,LS油路的升压速度变慢,系统的响应降低。



(a) 流量特性 (b) PLS 压力响应特性
图8 节流阀流量和 PLS 压力响应曲线

3.3 预紧力对 PLS 压力响应的影响

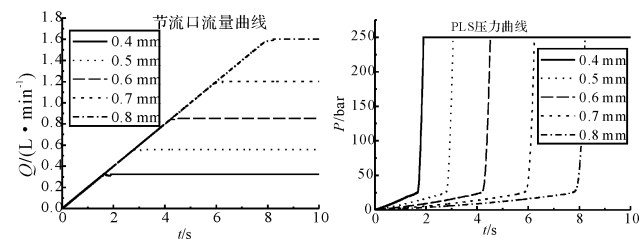
在弹簧刚度和其他条件不变的情况下,分别设定预紧力为 5 N、10 N、20 N、50 N、100 N,进行仿真可得结果如图 9 所示。从图 9 可以看出,提高弹簧的预紧力会导致节流阀流量值升高,LS 油路压力响应越来越慢。



(a) 流量特性 (b) PLS 压力响应特性
图9 节流阀流量和 PLS 压力响应曲线

3.4 节流孔直径对 PLS 压力响应的影响

在其他条件不变的情况下,分别设定节流孔直径为 0.4 mm、0.5 mm、0.6 mm、0.7 mm、0.8 mm、0.9 mm。节流阀的流量特性和 PLS 压力响应特性曲线如图 10 所示,从图 10 可以看出,增大节流孔直径会导致节流阀流量增大、LS 油路的升压速度变慢。

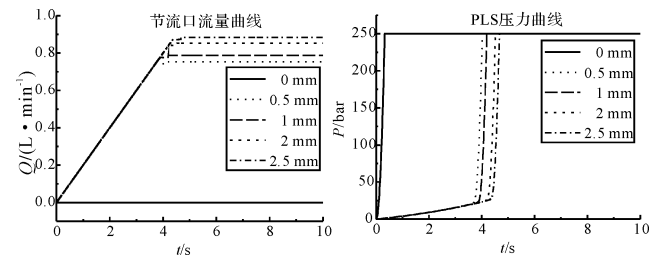


(a) 流量特性 (b) PLS 压力响应特性
图10 节流阀流量和 PLS 压力响应曲线

3.5 阀口遮盖量对 PLS 压力响应的影响

在其他条件不变的情况下,本研究分别设定节流阀口的正遮盖量为 0 mm、0.5 mm、1 mm、2 mm、2.5 mm,进行仿真可得结果如图 11 所示。从图 11 可

以看出,增大阀芯的初始遮盖量会增大节流口的流量,但是 LS 油路升压变缓,LS 油路的稳定性增大。



(a) 流量特性 (b) PLS 压力响应特性

图11 节流阀流量和 PLS 压力响应曲线

4 结束语

本研究利用 AMESim 软件对节流阀进行了建模和仿真,分析了节流阀的特性以及结构参数对性能的影响。通过变参数仿真,分析了弹簧预紧力、弹簧刚度、节流孔直径和遮盖量对 LS 油路压力响应的影响。

从仿真模型和分析结果中可以看出各变量参数对 LS 油路压力的影响,为 LUDV 多路阀及系统的优化设计提供了一定的理论依据。

参考文献 (References) :

- [1] 蒋道成,于兰英,柯坚,等. LUDV 控制系统的动态仿真[J]. 机械工程师,2008(4):27-29.
- [2] Rexroth Bosch Group. RC 92500/03. 97[K]. Rexroth Bosch Group, 1997.
- [3] 李中复,唐剑锋,吴友义. 博世力士乐 M7 多路阀中定流量阀与差压式顺序阀分析[J]. 机床与液压,2010,38(18):46-50.
- [4] HENKE R. The Evolution of Load-sensing Hydraulics[M]. Diesel Progress;Engne & Drives, 1998.
- [5] JOHN P M, DUNLAPI L. Load Sensing Hydraulic Control System for Variable Displacement Pum; US, 6 216 456 B1 [P]. 2001-04-17.
- [6] LANTO B, PALMBERG J O, KRUS P. Staic and Dynamic Performance of Monile Load Sensing systemwith Two Different Types of Pressure Compensated Valves[N]. SAE Technical Papers, 1990 -09 -01(901552).
- [7] 余佑官,龚国芳,胡国良. AMESim 仿真技术及其在液压系统中的应用[J]. 液压气动与密封,2005,25(3):28-30.
- [8] 付永领,祁晓野. AMESim 系统建模和仿真[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [9] 秦家升,游善兰. AMESim 软件的特征及其应用[J]. 工程机械,2004,35(12):6-8.
- [10] 曾庆良,万丽荣,张鑫. 大流量安全阀的动态特性分析与计算机仿真[J]. 煤矿机械,1999,20(8):27-29.

[编辑:罗向阳]