

基于 MATLAB/Simulink 的脱模液压系统动态特性仿真

Dynamical characteristics simulation of pushing mould hydraulic system based on matlab/simulink

庞博, 侯守全, 王慧, 钟亮

PANG Bo, HOU Shou-quan, WANG Hui, ZHONG Liang

(内蒙古工业大学 机械学院, 呼和浩特 010051)

摘要: 研究了利用 MATLAB/Simulink 软件包对脱模液压系统进行动态仿真的方法。介绍了 Simulink 软件包的特点, 并以脱模液压缸为对象建立了液压系统的动态模型, 给出了仿真模型, 详细介绍了如何利用 Simulink 对液压系统的动态特性进行仿真。同时, 详细讨论了影响液压系统动态特性的主要因素。这为脱模液压系统的设计和优化提供了重要的依据, 对提高脱模液压系统的动态性能具有十分重要的意义。

关键词: 仿真; 液压系统; 动态特性

中图分类号: TH 137.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-0134(2009)06-0110-04

0 引言

目前, 液压技术的应用场合日益广泛, 对液压元件和系统的可靠性、精确性和快速性等要求不断提高, 液压系统动态特性的分析研究也日益得到重视。随着液压系统逐渐趋于复杂和对液压系统仿真要求的不断提高, 传统的利用微分方程和差分方程建模进行动态特性仿真的方法已经不能满足需要。而 MATLAB 作为一种面向科学与工程计算的高级语言, 集科学计算、自动控制、信号处理、图像处理等功能于一体, 它所提供的 Simulink 是一个用来对动态系统进行建模、仿真和分析的软件包, 支持连续、离散及两者混合的线性、非线性系统, 从而成为对液压系统动态特性进行仿真的强有力的工具。Simulink 为用户提供了用方框图进行建模的图形接口, 与传统的仿真软件包用微分方程和差分方程建模相比, 具有更直观、方便和灵活的优点。

固体火箭发动机是使用固体火箭推进剂燃烧产生推力的化学火箭发动机, 脱模是将固化在药柱中的芯模通过拉或顶的施力方式将其取出, 是固体火箭发动机制造中非常重要且又具有高度危险性的一个环节。因此, 针对某发动机制造厂产品的要求, 设计出一套能替代人工完成导向、定位、执行动作及

传动机构的一整套装置, 如图1所示。工作过程中, 脱模顶升液压缸按照所设定的脱模速度及脱模力完成固定行程的顶升, 此时芯模与药柱已脱离接触, 由提升液压缸带动活动横梁完成对发动机的快速脱模工作。

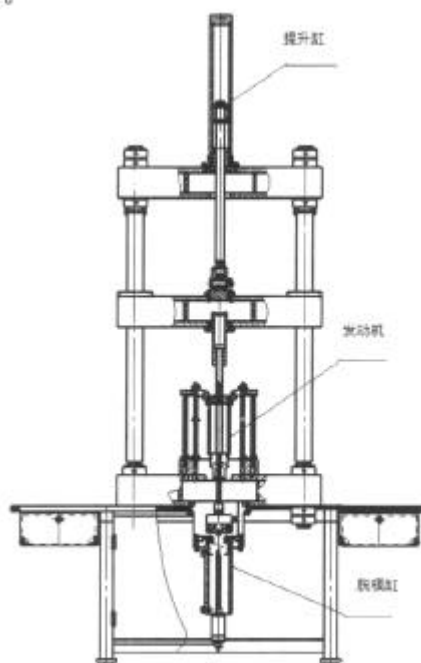


图1 脱模主机布局图

收稿日期: 2008-12-03

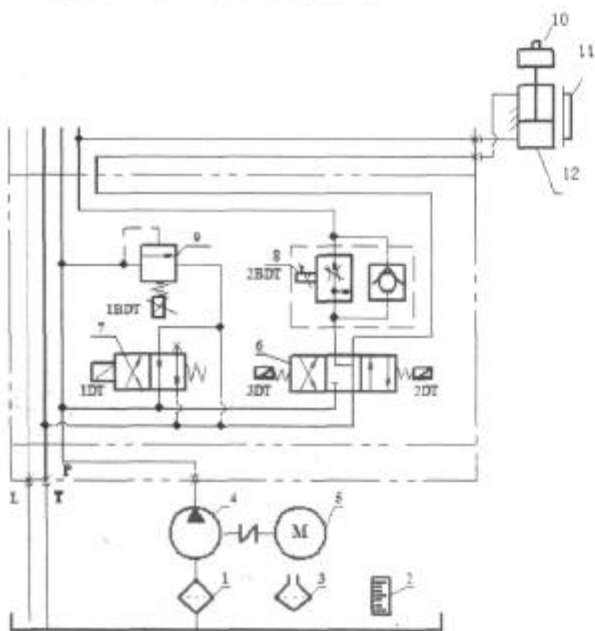
作者简介: 庞博(1982-), 男, 山西太原人, 硕士研究生, 主要从事机电一体化装备研究。

【110】 第31卷 第6期 2009-06

1 固体火箭发动机脱模的液压工作原理

考虑到脱模对象是固体火箭发动机,其易燃易爆性要求系统的脱模力和脱模速度是平稳易控制的,并且为了保证操作人员的安全要求实现远程控制,系统选用液压传动来传递系统所需的动力,故此设计液压系统部分如图2所示。

脱模过程中压力和速度控制是非常重要的两个参数,在液压控制系统中分别采用比例溢流阀和比例调速阀,通过改变输入比例电磁铁的励磁电流来改变负载缸的压力和运动速度。



1 滤油器 2 油标 3 空气滤清器 4 齿轮泵 5 异步电机 6 三位四通换向阀 7 二位四通换向阀 8 比例单向调速阀 9 比例溢流阀 10 称重传感器 11 磁致伸缩线性位移传感器 12 顶升缸

图2 脱模液压控制原理图

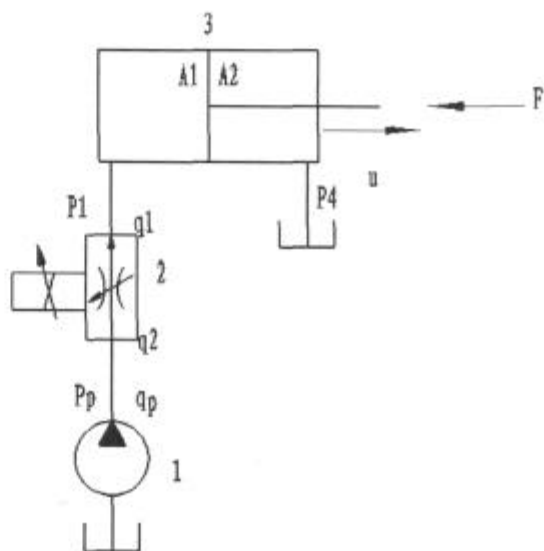
2 建立液压缸运动速度与流量的传递函数

电液比例控制指系统的输出量,如压力、位移、速度等能随输入控制信号连续成比例地得到控制。本调速系统是进口节流调速回路构成的循环油路系统,调速回路简化原理图如图3所示。

参见图3,考察液压缸和负载的力平衡方程,忽略库仑摩擦等非线性负载和油液的质量,根据牛顿第二定律,液压缸活塞运动的动力平衡方程为:

$$p_1(t)A_1 = m \frac{du(t)}{dt} + Bu(t) + f(t) \quad (1)$$

其中 A_1 —液压缸无杆腔有效工作面积,单位: m^2 ;



1 齿轮泵 2 比例调速阀 3 脱模液压缸

图3 调速回路简化原理图

$p_1(t)$ —液压缸无杆腔的压力,单位: Pa;

m —液压缸所驱动的工作部件质量(包括活塞、活塞杆等移动部件质量),单位: kg;

B —活塞和负载的粘性阻尼系数,单位: $N \cdot s/m$;

$f(t)$ —外负载,单位: N;

$u(t)$ —活塞的运动速度,单位: m/s 。

式(1)等号左边 $p_1(t)A_1$ 为液压缸产生的推力;等号右边第一项 $m \frac{du(t)}{dt}$ 为惯性力,第二项 $B_u(t)$ 为阻尼力,第三项 $f(t)$ 为外负载力。

根据液压缸工作腔的流量连续方程有:

$$q_1(t) = A_1 u(t) + \frac{V}{E} \cdot \frac{dp_1(t)}{dt} + \lambda_c p_1(t) \quad (2)$$

其中 $q_1(t)$ —液压缸进油流量,单位: m^3/s ;

V —液压缸进油腔的总容积,单位: m^3 ;

λ_c —液压缸的总泄漏系数,单位: $m^3/(Pa \cdot s)$;

E —油液体积弹性模量,单位: $kg/(cm \cdot s^2)$ 。

式(2)中等号右边第一项 $A_1 u(t)$ 是活塞移动所需流量,第二项 $\frac{V}{E} \cdot \frac{dp_1(t)}{dt}$ 是因油液被压缩所引起的体积变化率,第三项 $\lambda_c p_1(t)$ 是泄漏量。

假设初始条件为零,将式(1)和(2)写成增量形式,并进行拉氏变换,可得:

$$Q(S) = A_1 U(S) + (\lambda_c + \frac{V}{E} S) P_1(S) \quad (3)$$

$$P_1(S) A_1 = (mS + B)V(S) + F(S) \quad (4)$$

3 用 SIMULINK 建立仿真模型

根据式(3)和(4),以液压缸工作腔的流量为仿真

的输入、以脱模顶升缸的运动速度为仿真的输出，可建立起液压缸系统的传递函数方框图，如图4所示。根据这个框图即可以得到用于Simulink仿真的仿真模型。

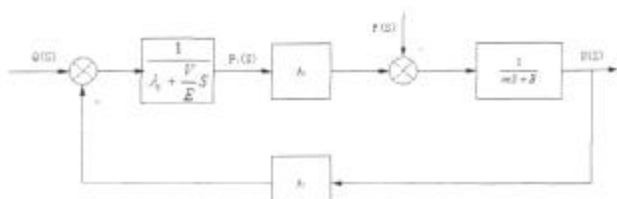


图4 液压缸系统传递函数方框图

仿真模型利用 Matlab/Simulink 建立，Simulink 包含很多模块，比如 Sinks(输出方式)模块、Source(输入源)模块、Linear(线性环节)模块、Nonlinear(非线性环节)模块和 Connections(连接与接口)模块，每个模块里面又包含很多子模块。利用这些模块可以很方便地把图4所示的方框图转化成如图5所示的仿真模型，为了仿真方便，模型中各参数进行初始化，参数的选取如表1所示。

表1 仿真参数

λ_1	V	E	B	m	λ_2	F
4.47×10^{-11}	0.0004	1.4×10^7	15680	1044	0.005024	10177.875
m^2 (MPa·s)	m^3	$kg/(cm \cdot s^2)$	N·s/m	kg	m^2	N

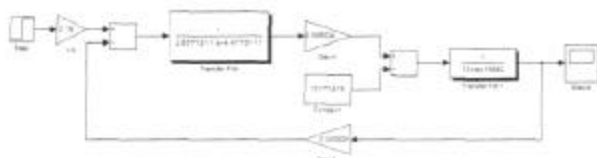


图5 脱模液压系统的仿真模型

图5中输入源子模块对应于图4的Q(S)，本仿真模型输入源选取阶跃信号。2个增益子模块分别代表图4中的。求和运算子模块与图4中的求和符号相对应。2个传递函数子模块分别与图4中的和相对应。常量子模块对应于图4中的F。示波器为显示子模块，用于显示仿真结果。

4 动态特性的仿真与优化

构建好一个系统的模型之后，接下来的事情就是运行模型，得出仿真结果。为了较快地获得理想的仿真结果，需要进行仿真参数的设置并选择积分方法。其中仿真参数包括：仿真的起始和终止时间，积分步长，允许误差及返回变量等，而积分方法则包括：二阶或五阶龙格库塔法、亚当斯预测—校正法、吉尔法等。

选择 Simulation 菜单下的 Parameters 命令，就会弹出一个仿真参数对话框，如图6。它主要用前3个页面来管理仿真的参数，Solve 页进行的设置有：选择仿真开始和结束的时间；选择解法器，并设定它的参数；选择输出项。

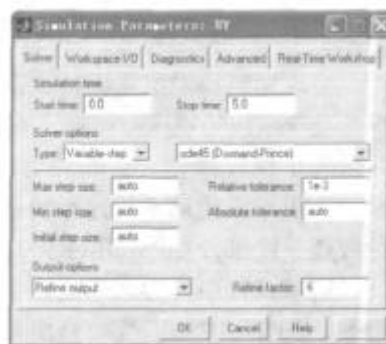


图6 Simulink 仿真参数设置对话框

由于采用变步长算法仿真时，常会发现输出信号过于粗糙，所以要对得出的输出进行更精确的处理，这就需要在 Output options 栏目中选择 Refine output 选项，并将其 Refine factor 选项选择一个大于1的数值。经实践检验，设置为6，可以产生更光滑的输出曲线。

设置完仿真参数之后，就可以开始对液压系统进行动态仿真。在 Simulink 软件界面上选择 SIMULATION 的 START 选项，就

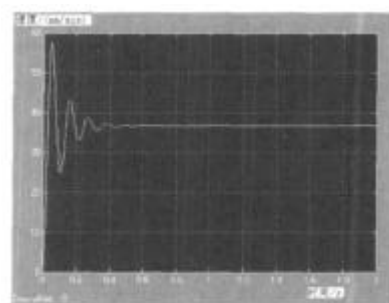
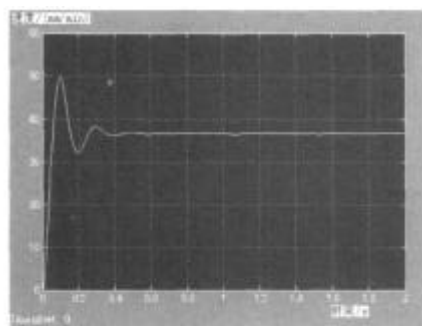


图7 脱模缸速度阶跃响应仿真曲线

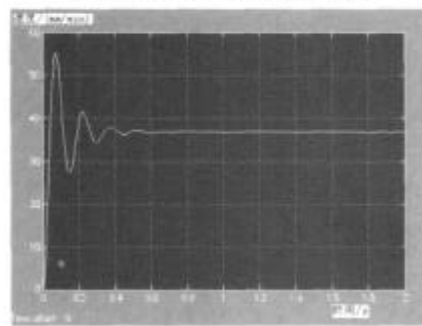
可以得到图5所示模型的仿真结果，如图7所示。由脱模缸活塞在系统阶跃输入作用下的速度仿真曲线，可以看出活塞速度有超调，如果要减小超调，就要对系统的动态特性进行优化。在上面仿真的基础上，可以通过改变某些参数的大小得出该参数对系统动态特性的影响，从而确定一个适当的数值使系统呈现良好的动态特性。

利用 Simulink 对液压系统进行动态仿真可以考察系统的参数对其动态特性的影响，为液压系统的设计提供依据。在表1的基础上，个别参数改变以后的动态仿真结果见图8。把图8的结果和图7进行比较，考察系统的参数变化对其动态特性的影响。从图8a可以看出，当负载质量降低以后，系统响应明显变快，在0.4s左右就已经稳定，且振荡幅度减小，说明系统低负载质量情况下的动态特性要优于高负载质量时的动态特性，但在一般情况下，改变

外负载的余地不大。从图8b可以看出,当液体有效体积弹性模数 E 提高以后,系统动态响应也明显变快,在0.5s处系统就已稳定,但振荡幅度稍大,说明提高液体有效体积弹性模数,可以改善系统的动态特性。影响 E 的因素很多,其中混入油中的空气对 E 影响最大,因此要想提高系统的响应速度,应严格控制油中的空气含量。



(a) 减小负载质量 m 至 800 kg 时



(b) 提高液体有效体积弹性模数 E 至 $3.0 \times$ 时

图8 参数改变后的动态仿真结果

从图9可以看出,当液压缸进油腔的总容积 V 减小以后,系统响应明显变快,在0.5秒就已基本稳定。因此减少 V ,可以提高系统的稳定性。所以应尽量缩短阀至油缸间的距离,做成一体更好,尽量去掉油缸没有用的行程空间,以缩短缸腔长度。

泄漏是液压系统常见的故障,对于液压系统的动态特性有着很大的影响。通过改变液压缸的总泄漏系数得到系统相应的响应曲线,如图10所示,可

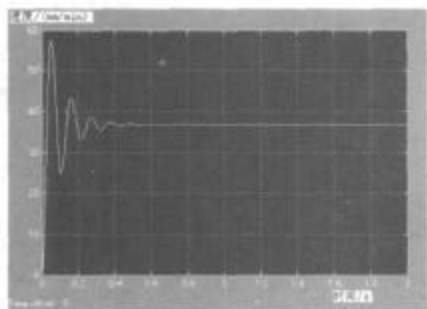


图9 当 V 降至 0.0001 时对油缸速度影响的仿真曲线

以确定液压系统泄漏量的变化与液压系统动态特性之间的关联。

由图10可知,随着液压缸的总泄漏系数的增加,系统的调整时间变短,并且在平衡位置的振荡现象愈加不明显。可见,当液压缸的总泄漏系数出现比较大的变化时,系统的动态特性也将发生很大的变化,这将影响系统的正常工作。因此,分析泄漏变化对系统动态特性的影响,对于指导液压系统故障分析有很重要的意义。

综上所述,通过仿真试验所得到的曲线对于现场管理者及时了解液压系统的动态特性、开展检测和诊断以及对系统进行调整、改造都具有一定的参考价值。

综上所述,通过仿真试验所得到的曲线对于现场管理者及时了解液压系统的动态特性、开展检测和诊断以及对系统进行调整、改造都具有一定的参考价值。

5 结论

在设计真实的系统前进行仿真,通过调整不同的参数,观察曲线的变化,可知道各参数对系统的影响,有利于选择优化参数、设计出合理的系统,从而降低了设计成本,大大地缩短了设计周期。通过对已研发的系统进行仿真,可以了解和评价系统的特性,找出影响系统性能的关键参数,从而提出合理的改进方案,提高系统的工作性能。

因此,通过MATLAB/Simulink方法对脱模液压系统进行动态仿真,可以快速、方便地设计并优化液压系统的相关参数,从而提高了液压系统的设计效率,且具有直观、准确的优点,为液压系统动态特性的分析研究和改善提供了一条有效的途径。

参考文献:

- [1] 张利平. 液压控制系统及设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [2] 黄永安, 马路, 刘慧敏. MATLAB7.0/Simulink6.0 建模仿真开发与高级工程应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [3] 赵周礼, 周恩涛, 周士昌, 等. 非对称缸系统精确建模方法研究[J]. 机床与液压, 2002, 1.
- [4] 卢贵主, 胡国清. 利用功率键合图和 Simulink 实现液压系统动态仿真[J]. 机床与液压, 2001, 4.

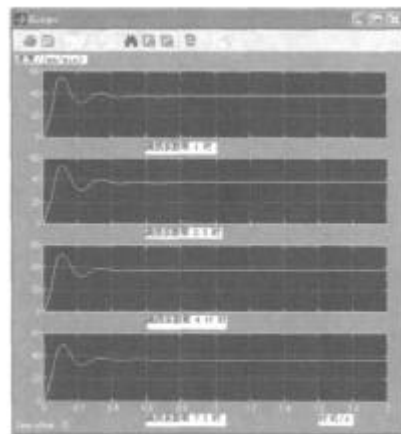


图10 当降至不同数值时对油缸速度影响的阶跃响应曲线