

文章编号: 1000-8055(2004)04-0572-05

基于 AMESim 的航空发动机防喘 调节器性能仿真研究

任新宇¹, 郭迎清¹, 姚华廷²

(1. 西北工业大学 动力与能源学院, 陕西 西安 710072;

2. 贵州航空发动机研究所, 贵州 平坝 561102)

摘要: 某型航空发动机在试车过程中多次出现防喘过程发生爆燃、富油等异常现象。为解决这一问题, 本文利用 AMESim 软件对航空发动机防喘切油过程进行了动态仿真。仿真结果表明: 应用 AMESim 语言能较好的解决液压系统动态仿真问题, 发动机防喘切油过程异常的主要原因是切油过程油压变化过于剧烈导致发动机燃烧室燃烧不稳定, 适当修正防喘调节器主、副油路节流嘴直径可以使这一现象得到改善。

关键词: 航空、航天推进系统; 航空发动机; 防喘调节器; 建模与仿真; AMESim

中图分类号: V233.95

文献标识码: A

A Simulation of the Anti-Surging Regulator Performance for the Aero-Engine Using AMESim

REN Xin-yu¹, GUO Ying-qing¹, YAO Hua-ting²

(1. College of Propulsion and Energy, Northwestern Polytechnical University,
Xi'an 710072, China;

2. Guizhou Aero-Engine Institute, Pingba 561102, China)

Abstract: Abnormal phenomena of detonation and fuel-rich were observed when the anti-surging regulator was employed to reduce the fuel during the grand test of an aero-engine. In order to solve this problem, a dynamic simulation of the anti-surging process was conducted using the AMESim software. The simulation has showed that the AMESim software can deal with such hydro-mechanic dynamic process. The dramatic change of the fuel pressure, which results in unstable burning, causes these abnormals, but they can be alleviated if the diameters of the main throttle and the auxiliary throttle are properly changed.

Key words: aerospace propulsion system; aero-engine; anti-surging regulator;
modeling and simulating; AMESim

随着航空推进系统性能的迅速提高, 要求更充分地发挥发动机的潜力, 发动机参数更接近于极限状态, 喘振裕度更小; 飞机装载的武器更先进、发射的尾流废气对发动机影响更为强烈; 飞机

机动性要求更高, 使用条件更为恶劣; 所有这些都使防喘控制成了现代航空发动机控制系统必不可少的组成部分。某型航空发动机在试车过程中多次出现防喘过程发生爆燃、富油等异常现象, 这就

收稿日期: 2003-08-20; 修订日期: 2003-12-05

作者简介: 任新宇(1978-), 男, 辽宁省凌源人, 西北工业大学动力与能源学院博士生, 主要从事航空发动机建模、仿真研究。

需要通过对发动机防喘切油过程进行建模和仿真,来探讨防喘调节器各结构尺寸与发动机及调节器各参数之间的关系,以及发动机防喘切油故障的原因,并给出防喘装置改进设计的具体措施。由于发动机在 1 秒中内切油 4 次,切油过程中各截面燃油压力、流量变化非常剧烈,传统的液压建模方法难以建立出准确的动态数学模型。AMESim 是法国 IMAGINE 公司于 1995 年推出的专门用于液压/机械系统的建模、仿真及动力学分析的优秀软件,本文利用 AMESim 软件对发动机的切油过程进行了仿真,取得了令人较为满意的仿真结果。

1 防喘调节器工作原理及性能

防喘调节器见图 1,它主要由:断油控制电磁活门、联锁活门、主油路断油活门、副油路断油活门、回油活门、定压油滤、层板节流器、主油路回油节流嘴和副油路回油节流嘴等组成。该装置的主、副油路进口与主燃油泵后流量分配器的主、副油路出口相接,它的主、副油路出口通过主、副喷嘴通向发动机主燃烧室。

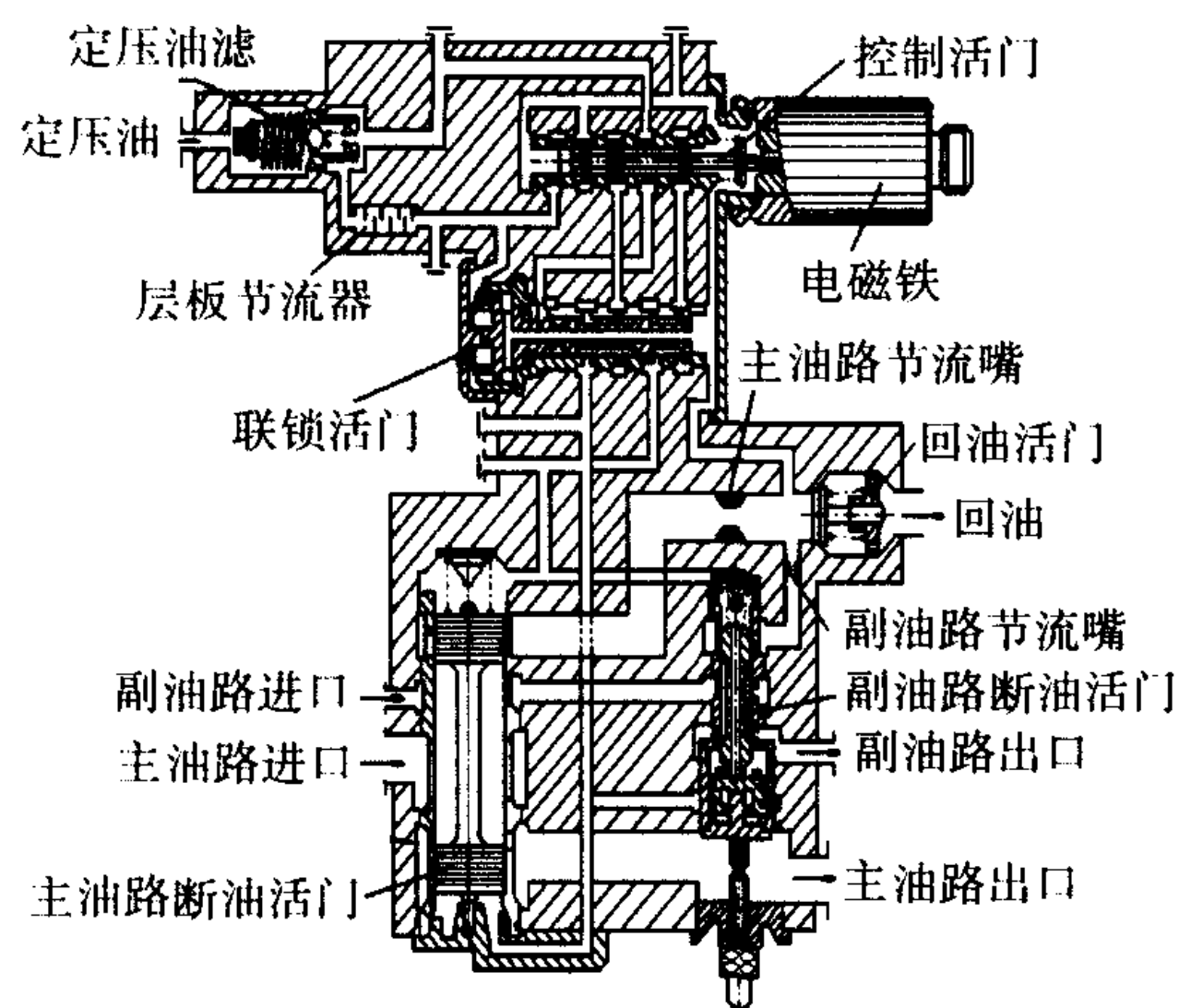


图 1 防喘调节器结构示意图

Fig. 1 Structure of anti-surfing regulator

电磁铁接受从防喘盒来的固有脉冲信号(0.15 秒通电、0.1 秒断电),并跟随脉冲信号而周期性动作。进而通过控制活门、联锁活门改变主、副断油活门两端燃油压力,使主、副断油活门上下移动,完成主、副油路的燃油的通断。从而减小供油流量,预防发动机喘振。

2 AMESim 软件介绍

AMESim 是法国 IMAGINE 公司于 1995 年推出的专门用于液压/机械系统的建模、仿真及动力学分析的软件,该软件包含了 IMAGINE 的专门技术并为工程设计提供交互能力。AMESim 为流体动力(流体及气体)、机械、热流体和控制系统提供一个完善、优越的仿真环境及最灵活的解决方案。使用户能够借助其友好的、面向实际应用的方案,研究任何元件或回路的动力学特性。这可以通过模型库的概念来实现,而模型库可通过客户化不断升级和改进。AMESim 在航空航天工业、汽车制造和传统液压行业等领域得到了广泛的应用。

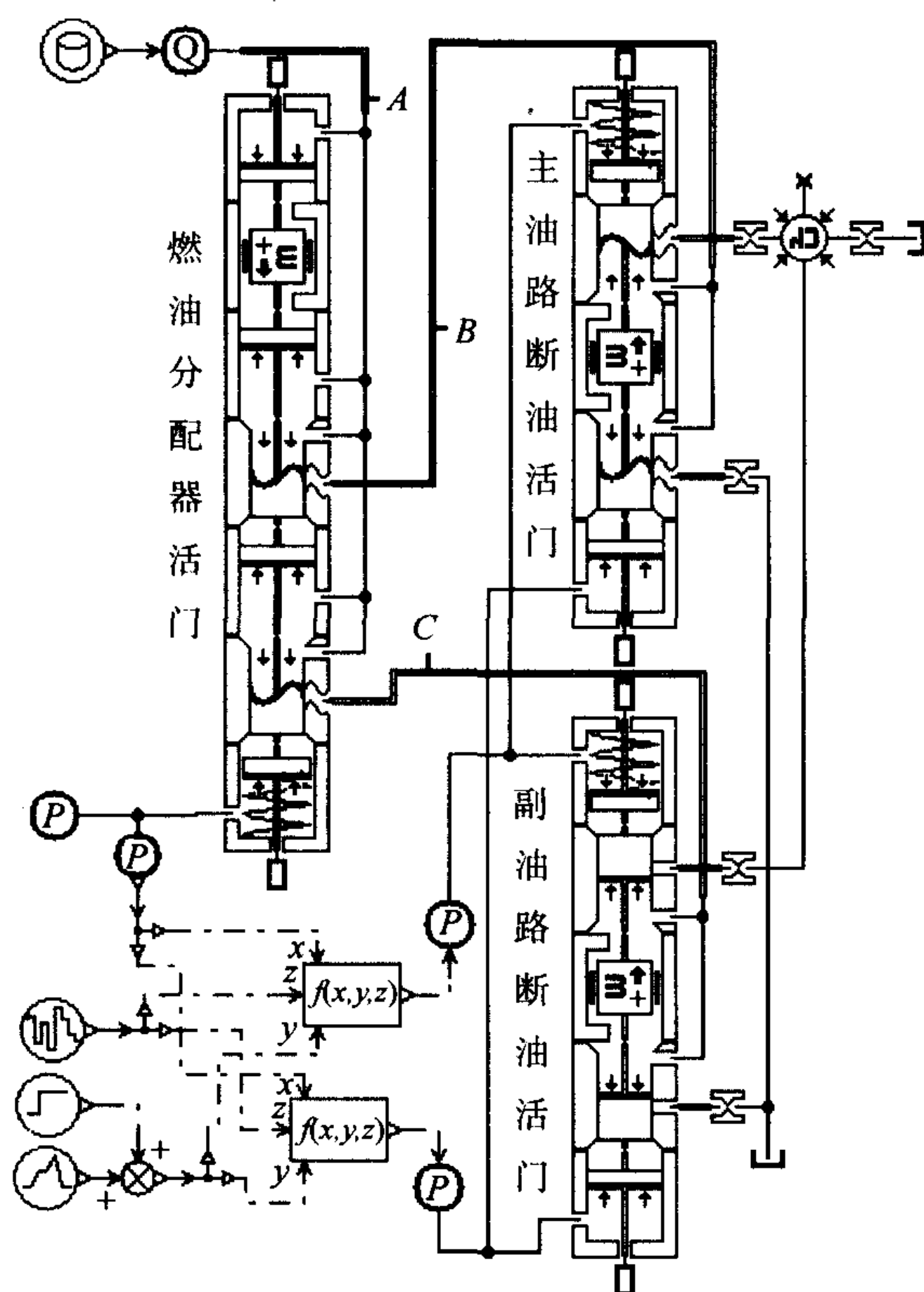


图 2 AmESim 系统仿真结构图

Fig. 2 AMESim sketch of the system

在仿真研究中,最初利用 FORTRAN 语言利用部件法建立模型的力平衡方程和流量连续方程进行了建模。但是,建模过程比较复杂,而且由于部分“软参数”不易确定,导致仿真精度不高。而 AMESim 语言是基于物理意义下的建模,只需给出元件的物理结构、尺寸,就可以自动给出“软参数”,并做出较准确的仿真曲线。而且,AMESim 语言是底层开放的,可以通过查看编译产生的 C

语言和 FORTRAN 语言源代码和帮助用户理解软件的建模思想。

在建模过程中,需依次完成草图模式(Sketch mode)、子模型模式(Submodel mode)、参数模式(Parameter mode)和运行模式(Run mode)四步。其中草图模式是建模的核心部分,在这一步中,应仔细考虑部件功能,并将系统实际元件按功能分成各个部分,再用 AMESim 模型库中提供的功能模块加以表示,仿真结构图如图 2 所示。图 2 中左下方利用 AMESim 中数学库中的子模块搭建完成,实现图 1 中控制活门和联锁活门的功能,按定压油油压变化和切油脉冲求出主、副油路断油活门两端压力的变化。而主、副油路断油活门和与防喘切油过程密切相关的燃油分配活门则利用 AMESim 液压元件库中提供的各功能子模块搭建而成。在建立了各个部分的模型之后,连接相应油路,再设置子模型参数,就可以对系统进行仿真、分析了。

3 性能仿真研究

3.1 主、副油路节流嘴直径对防喘切油过程的影响

安装主、副油路节流嘴的目的是为了防止切油前后的主、副油路燃油压力的突变,而燃油压力的突变对发动机主燃烧室的燃烧稳定性非常不利。燃烧室燃烧的不稳定可能导致爆燃等现象,而且爆燃会导致发动机转速下降过快,进一步引起发动机富油等问题,甚至导致发动机的熄火。

而切油前后燃油压力的突变是由流量分配器位置脉动、节流面积变化和液压撞击等原因引起的。其中由于切油前后流量分配器前燃油压力变化引起的流量分配器位置脉动是引起压力突变的主要原因。因此应按下列条件选取主、副油路节流嘴直径:

(1) 当选取燃油流量接近最大值时,切油前后流量分配器活门进口压力接近保持不变;

(2) 为了保证恢复供油时燃油压力不增加太多,需要使切油后流量分配器活门后副油路压力下降一定的值。

图 3、图 4 分别为原有尺寸条件下和修正主、副回油路节流嘴直径后的系统燃油压力变化曲线。其中,测点 A, B, C 分别对应燃油分配器活门前和主、副油路燃油压力的变化情况,通过仿真研究可以发现,仿真曲线较好的体现了切油过程中

燃油压力的动态变化情况。而图 3 所示的切油过程中,可以看出切油前后流量分配器前燃油压力存在明显下降,燃油压力脉动明显,可以通过适当减小主、副油路节流嘴直径来减小压力的脉动,经仿真计算,当选取主油路节流嘴直径 $D_m = 5.2$ mm,副油路节流嘴直径 $D_s = 2.3$ mm 时可保证燃油压力接近保持不变,仿真曲线如图 4 所示。可以看出在对主、副油路截流嘴直径修正后燃油压力脉动明显减小。

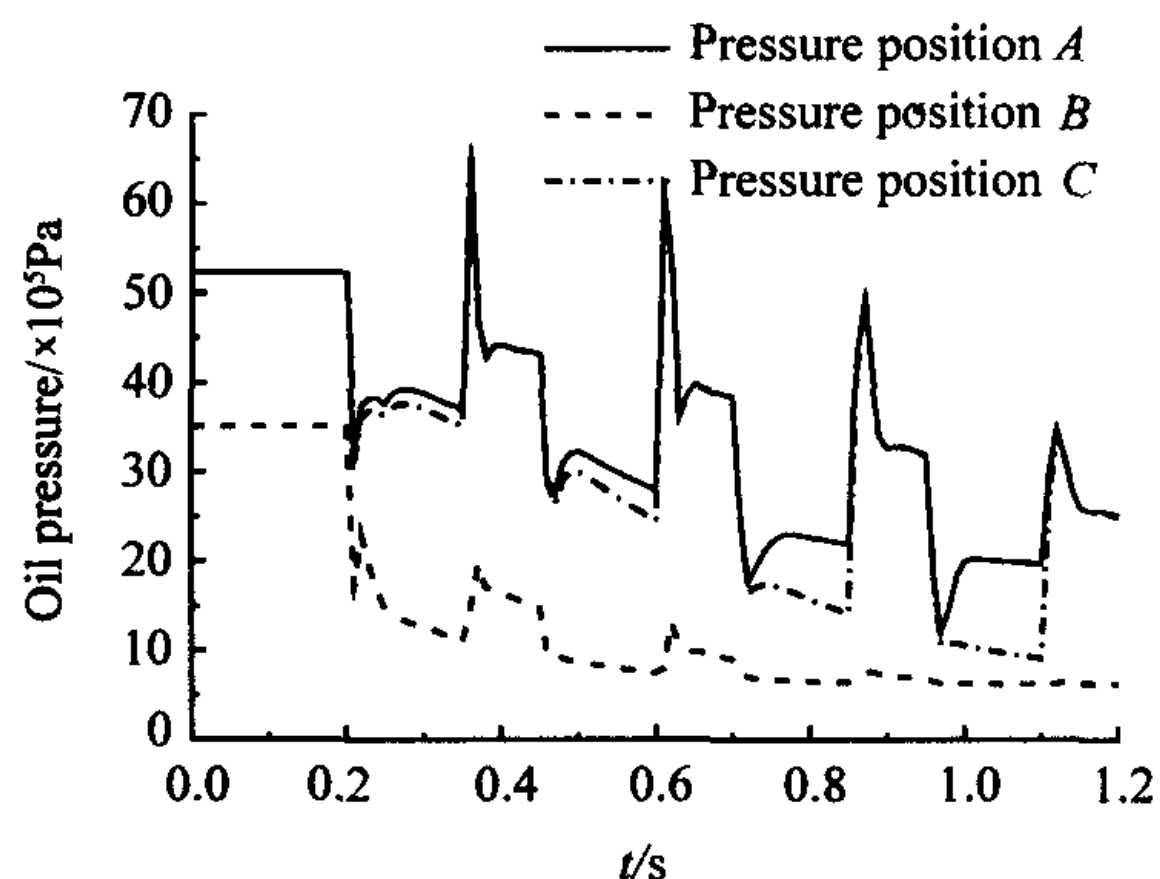


图 3 $D_m = 5.2, D_s = 4.2$ 时的压力变化

Fig. 3 Oil pressure of $D_m = 5.2, D_s = 4.2$

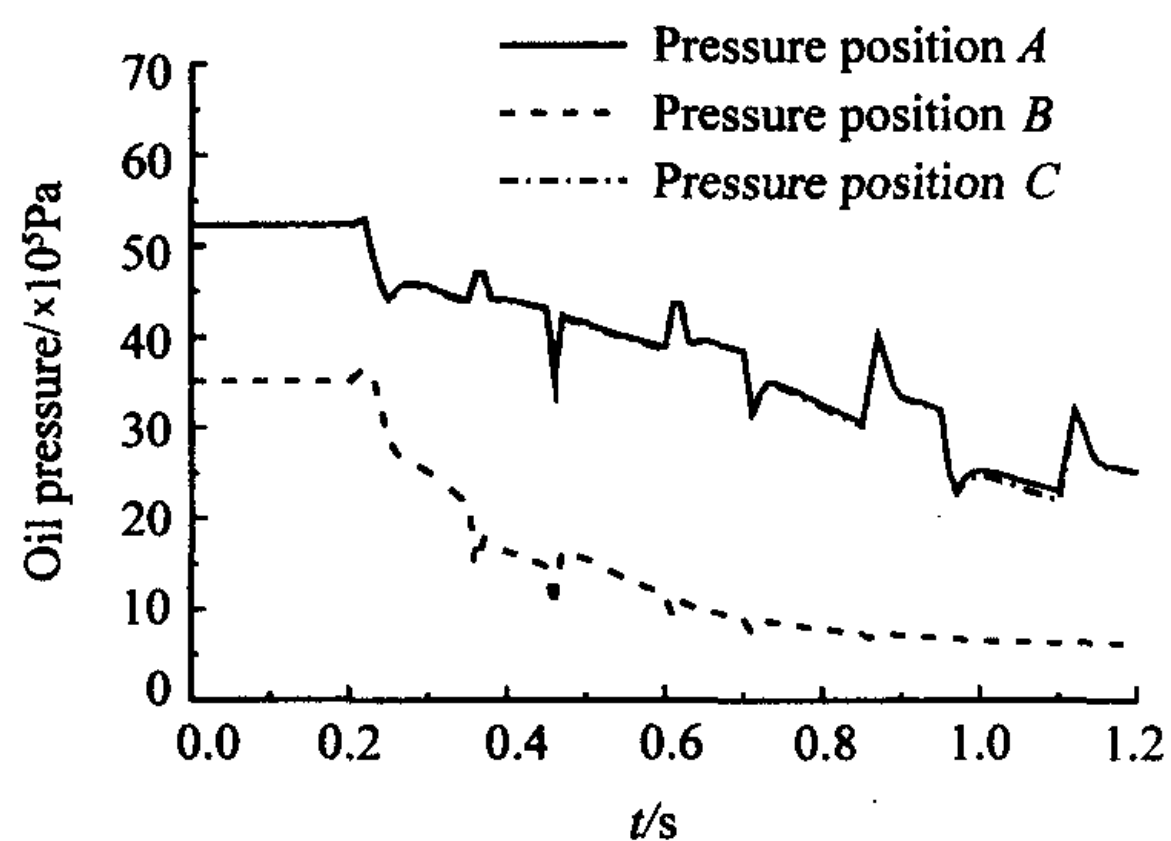


图 4 $D_m = 5.2, D_s = 2.3$ 时的压力变化

Fig. 4 Oil pressure of $D_m = 5.2, D_s = 2.3$

3.2 升压限制器投入工作点对防喘切油的影响

升压限制器和流量分配器共同工作按给定的控制规律保持发动机主燃烧室供油量,其中升压限制器决定着副油路压力随时间的变化,而流量分配器决定着与副油路压力相应的燃烧室主副油路供油量。升压限制器工作过程系统主、副油路压力及供油量关系如图 5、图 6 所示。观察曲线可以看出,在升压限制器投入工作后,副油路压力呈线性上升,上升斜率大致为:每秒 3.0×10^5 Pa,主油路压力和供油量随副油路压力增大而增大,而

且在副油路增大后,主油路压力和供油量增大幅度明显变大,增大幅度由流量分配器决定。

而在发动机改型后,发动机最大状态供油量有所增加,副油路压力也有较大的增加。再延用原有的升压限制器就不太合适了,应该按照新的加速供油规律重新设计升压限制器和流量分配器,或者在现有升压限制器的基础上修改限制器参数,提高升压限制器退出工作点副油路压力。

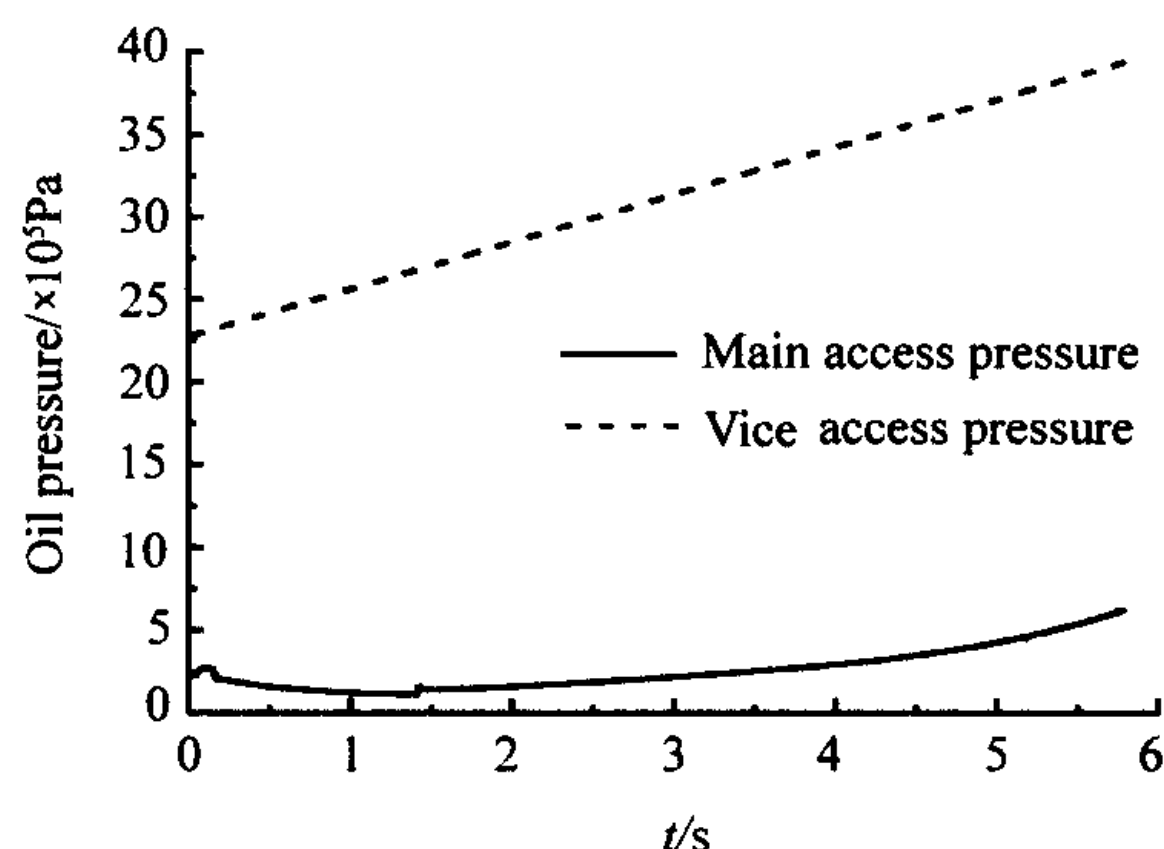


图 5 升压限制器工作段油压变化曲线

Fig. 5 Variation of oil pressure with time

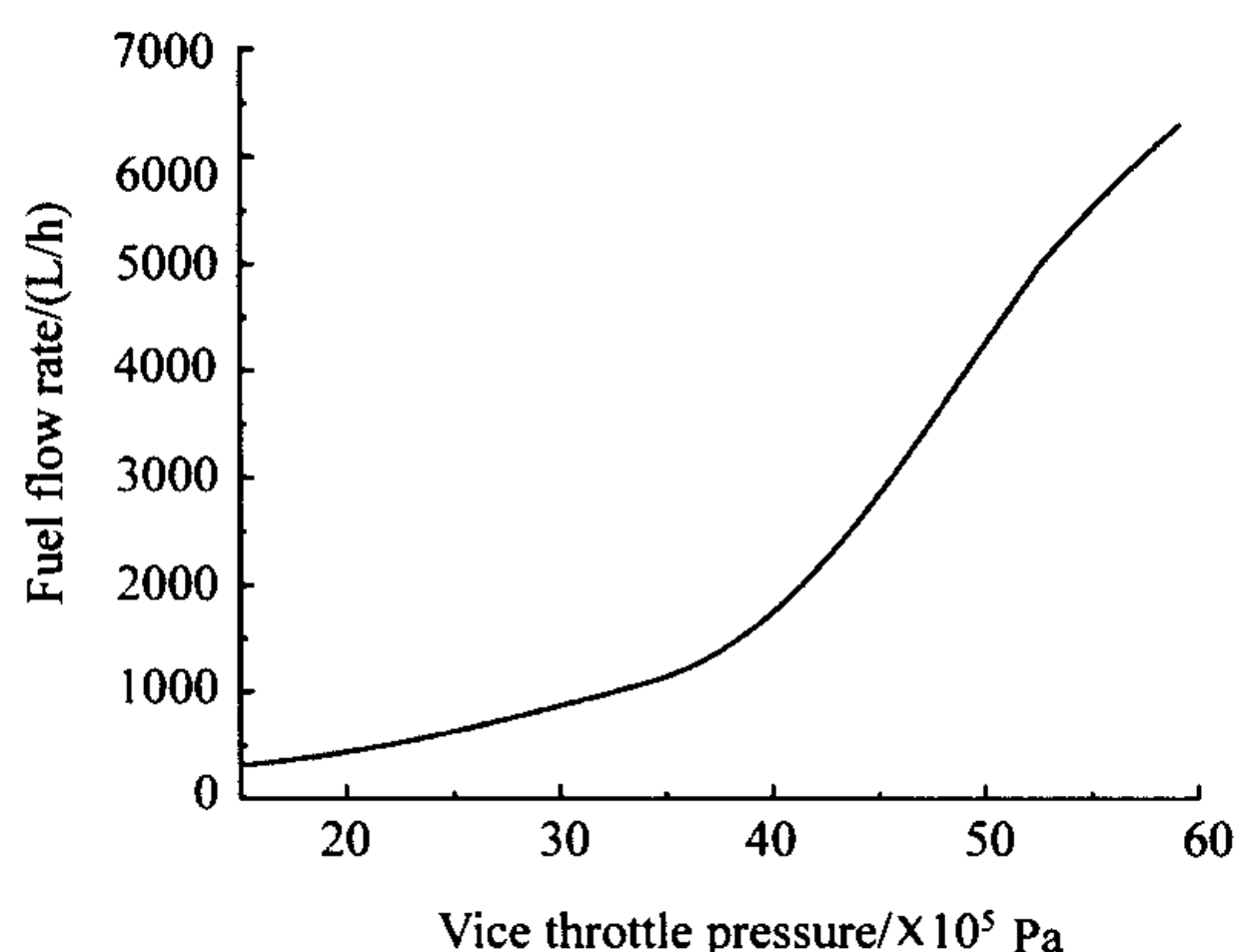


图 6 副油路压力与供油量关系曲线

Fig. 6 Vice throttle pressure vs fuel flow rate

试车过程中升压限制器工作段存在的主要问题是有可能发生富油熄火,从上面的分析中可以看出主要是由于燃油压力脉动较大导致燃油爆燃,使发动机转速下降过多引起的。可以通过修正主、副节流嘴直径降低燃油脉动加以缓解,此外也应该保证这一阶段供油量不过快增加。

3.3 定压源不稳定对切油过程的影响

在切油过程中,流量分配器活门前的压力存在脉动,燃油泵后的压力也会随之变化。因此定压活门进口的压力是不断变化的,定压活门出口的

压力也会有一定的变化。下面对定压油压力不稳定对切油过程的影响做出分析:

图 7、图 8 所示为:定压油油压 P_d 均值为 15×10^5 Pa、干扰幅值为 4×10^5 Pa 时和 P_d 均值为 12×10^5 Pa、干扰幅值为 2×10^5 Pa 时的主、副断油活门位置变化曲线。可以看出前者断油活门稳定地顶靠在最大位置,切油正常,而后者断油活门位置存在脉动,系统切油异常。

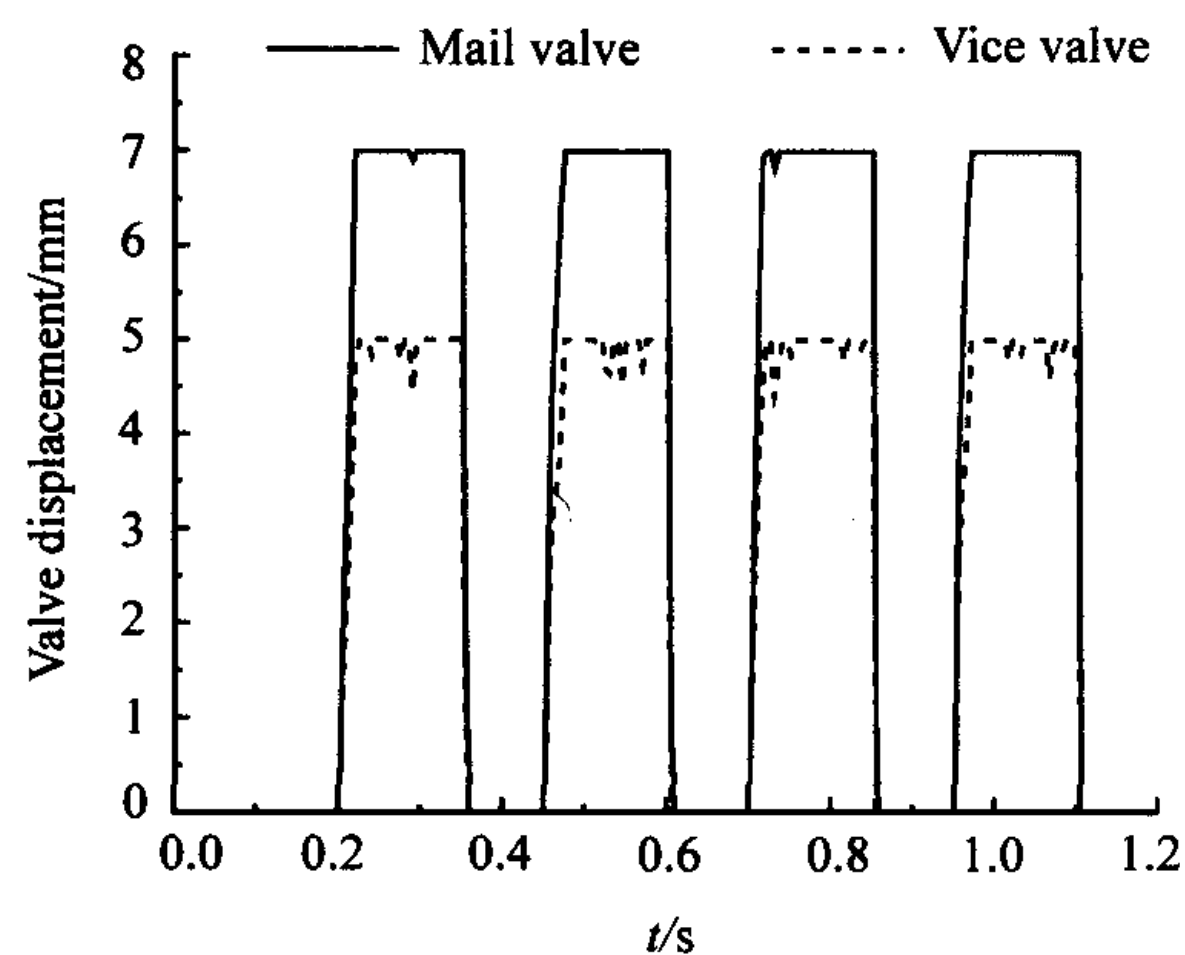


图 7 主副油路断油活门位置变化曲线

Fig. 7 Variation of valve displacement with time

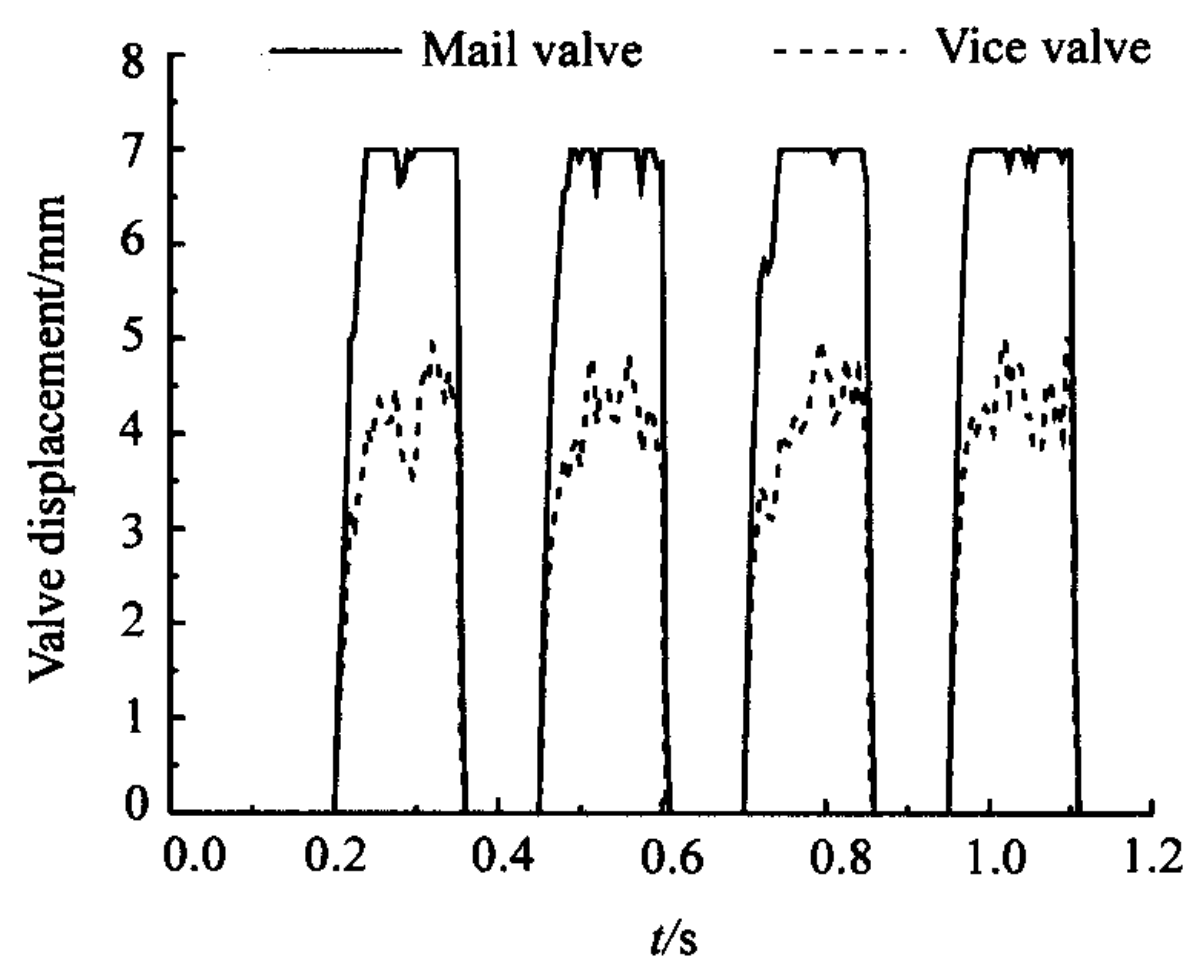


图 8 主副油路断油活门位置变化曲线

Fig. 8 Variation of valve displacement with time

从断油活门力平衡方程可以看出,当 P_d 小于 12.8×10^5 Pa 时,副油路断油活门无法关闭副油路通往燃烧室的油路。因此定压油油压的均值应迅速恢复到 13×10^5 Pa 以上,而由于断油活门具有一定惯性,因此燃油压力在合适范围内的脉动对切油不会产生很大的影响。

由于需要定压油油压迅速恢复,且油压在一定范围内的脉动对切油过程影响很小,因此应选择质量及阻尼系数较小的定压活门。从而使定压

油油压尽快恢复,并保持在 13×10^5 Pa 以上。

4 结 论

(1) 防喘装置切油异常的主要原因是主、副油路节流嘴尺寸选择不当导致切油时燃油压力脉动,引起燃烧室燃烧效率下降,甚至导致爆燃等现象,通过选取合适的主、副油路节流嘴,可以有效降低切油过程发动机供油量脉动,提高燃烧品质。

(2) 由于该型发动机是在原型机基础上改进的,其最大状态供油量高于原型机,而升压限制器仍保留使用原型机的。升压限制器退出工作后加速过程由中腔层板节流器控制,供油量增加较快,可能会导致发动机加速过程异常,建议根据新的加速供油规律重新设计升压限制器和流量分配器,或者提高升压限值器退出工作点副油路压力。

(3) 由于切油过程中供油系统压力存在脉动,因此应选择动态性能较好的定压活门,保证切油过程中定压油压力保持在允许的范围内,而定

压油油压在一定范围内的脉动不影响切油过程进行。

(4) 应用 AMESim 软件可以较为简便的对液压系统进行仿真,且仿真精度较高。

仿真得出的结论与实际发动机试车的实际数据非常吻合,利用该仿真结果指导实际中对节流嘴尺寸进行调整,证实了理论分析的正确性,为该型发动机解决防喘过程异常问题提供了重要参考和指导作用。

参考文献:

- [1] 樊思齐. 机载武器发射对发动机稳定性影响的研究[R]. 西北工业大学研究报告,1984.
- [2] 樊思齐,徐芸华. 航空推进系统控制[M]. 西安:西北工业大学出版社,1995.
- [3] 顾民,曾俊英,梁万云,等. 航空动力装置(元件部分)[M]. 北京:国防工业出版社,1984.
- [4] 吴琪华. 航空发动机自动控制[M]. 西安:西北工业大学出版社,1985.