

文章编号: 1000-8055(2009)12-2808-06

现代航空发动机液压机械控制器仿真研究

徐 敏, 王 曦, 曾德堂, 薛敏东

(北京航空航天大学 能源与动力工程学院, 北京 100191)

摘 要: 利用先进的计算机技术和数字仿真技术进行现代航空发动机的液压机械控制器的精确仿真. 在 Matlab/ Simulink 环境下, 建立了一套元件模型库, 并将航空发动机控制系统部件利用此模型库进行数学建模. 对某型发动机控制器进行了仿真验证, 仿真结果与试验数据吻合.

关 键 词: 航空发动机; 液压机械控制器; 元件模型库; 仿真

中图分类号: V233.7

文献标识码: A

Simulation on hydromechanical controller of modern aero-engine

XU Min, WANG Xi, ZENG De-tang, XUE Min-dong

(School of Jet Propulsion,

Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: The accurate simulation of aero-engine hydraulic mechanical controller was investigated by combining the computer technique and numerical simulation. A set of components library was founded, and then the whole control system of aero-engine was simulated accordingly. This simulation method was applied to the control system design of an aero-engine. Simulation results show that the requirement for controller is satisfied.

Key words: aero-engine; hydraulic-mechanical controller; component library; simulation

液压仿真技术在液压系统设计中的应用对系统性能改进与提高发挥着越来越重要的作用, 引起了各国液压领域学者的重视^[1]. 现代航空发动机液压机械控制器能实现一些较复杂的控制计划, 其结构复杂、部件精度高、安装调试过程复杂. 这些特点给建立准确的非线性动态模型和液压系统动态仿真设计带来很大的难度. 在完成某型发动机液压机械器的建模仿真过程中, 有效地解决了建模与仿真过程中遇到的难点, 包括仿真平台的选择、开发具有针对性的仿真库、按功能和结构对控制器进行建模、元件参数和装配参数的查询、模型的调试和验证.

1 Simulink 下搭建液压仿真平台

通用的仿真软件, 如 Matlab 和 ADAMS, 提供一个框架, 可以创建特定的液压仿真包. 专用液

压仿真软件, 如 HYPNEU 和 EASY 5, 直接提供用于液压仿真的专用仿真包^[2], 但这些仿真包设计得比较通用和复杂, 通常不适合复杂的机械燃油控制器的仿真. 考虑到控制器的仿真通常需要与发动机模型、数字或模拟电子调节器模型进行联合仿真, 因此需要提供与这些模型的接口. Matlab 能够用于创建机、电、液压等各个子模块, 并能提供和其他的仿真软件的接口. 基于以上的考虑, 选择 Matlab 作为仿真平台作为框架, 开发针对控制器的仿真库.

Matlab/ Simulink 为用户提供了用方框图进行建模的图形接口, 包括连续和离散、线性和非线性环节, 并可方便地进行扩展, 使系统的构建更加容易, 适合于液压系统中普遍存在的非线性问题的求解, 方便构造通用的液压仿真库^[3]. 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

收稿日期: 2008-12-01; 修订日期: 2009-01-19

作者简介: 徐敏(1979-), 男, 湖北大冶人, 博士生, 主要从事航空发动机液压机械控制器仿真与设计.

观、方便、灵活的优点.用 Simulink 创建的模型可以具有递阶结构,因此可采用创建元件库、从上到下或从下到上的结构创建复杂系统的仿真模型.

建立模型后,可通过可视的窗口和界面对系统进行仿真.采用 Scope 等图形模块,在仿真的同时,就可以观看到仿真的结果,存放结果到 Matlab 的工作空间,采用 Matlab 命令或编程,能灵活处理仿真结果.

2 液压元件模型库的建立

按控制功能划分,机械燃油控制系统由指令

给定装置、比较装置、液压放大位置、液压执行装置、测量装置和反馈装置等组成.指令给定装置和反馈装置通常由杠杆、弹簧、齿轮和凹轮等组成,比较放大装置包括喷嘴挡板、开口阀等,液压放大器通常为液压分压器,执行装置通常为液压作动筒.按照具体元件的分类,模型库包括机械元件和液压元件两部分,如图 1、图 2 所示.机械液压燃油控制系统模型库包括构件系统常用的液压元件,机械零件的所有的最小构件元素,即这些构件元素已经不能划分为更小的元素,而且利用这些构件元素足以构建通用的液压元件和机械元件.

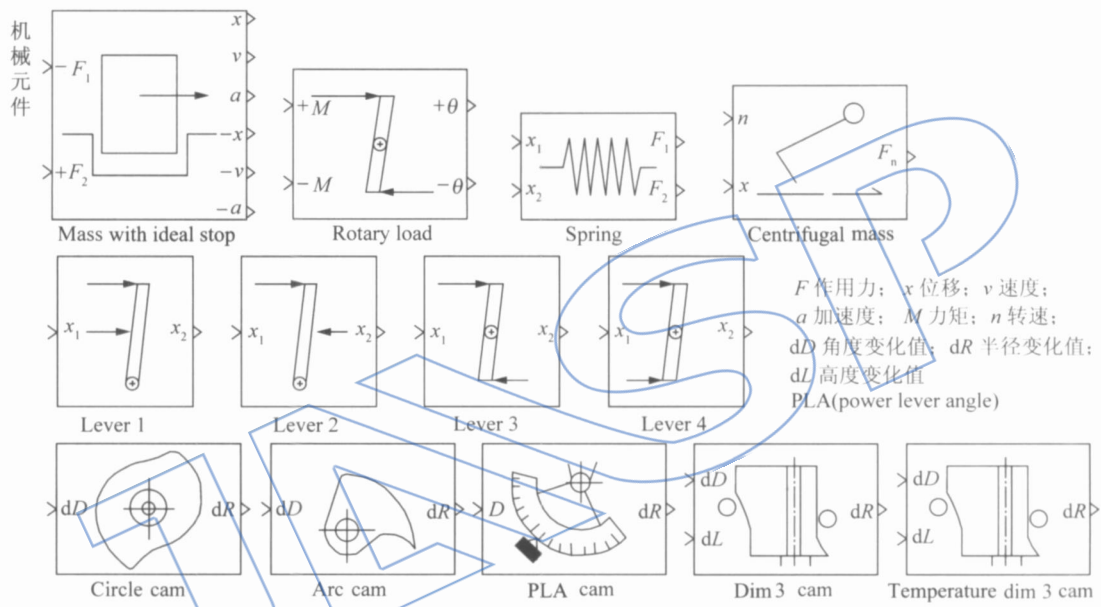


图 1 仿真库机械元件
Fig. 1 Mechanical components in simulation library

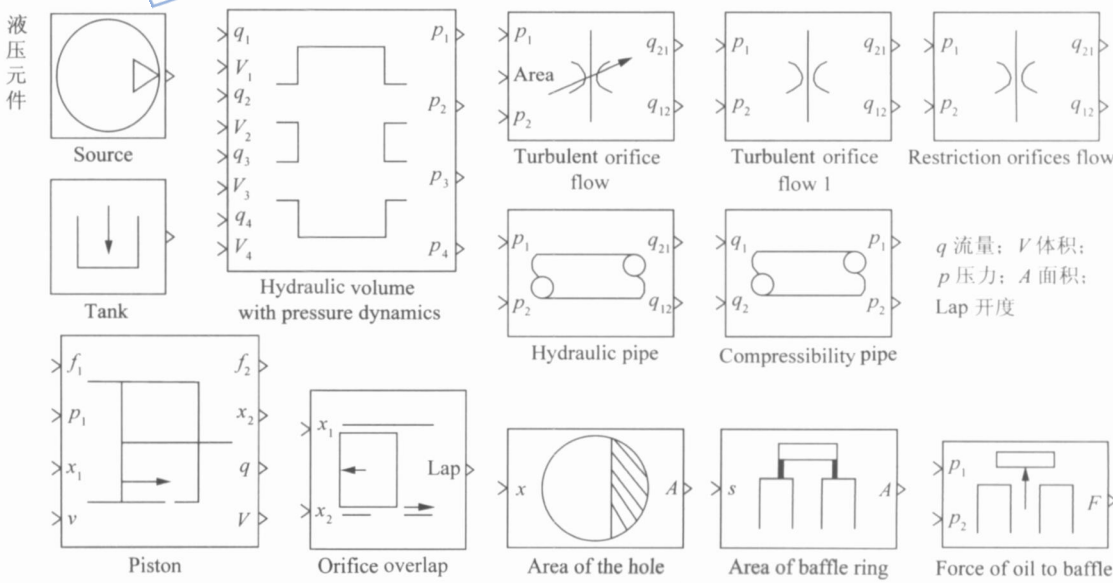


图 2 仿真库液压元件
Fig. 2 Hydraulic components in simulation library

机械元件中以质量模块为重点,质量模块是一个一维运动的质量块,有质量、摩擦系数和位置限制等属性,输入两个方向的力,输出为加速度、速度和位移.按牛顿运动定律构建的质量模块是一个二阶模型,主要反映机械运动的动态特性.其他机械元件如杠杆、凸轮、齿轮和弹簧只起到传递作用,但它们的座标原点选取某个装配位置或稳定位置,保证一个模块的位移、速度、加速度等输出参数能够与相连接的下一个模块存在确定的对应关系.机械元件通过设置和调整初始值来保证精确的装配和调试.

液压元件以变体积压缩腔为重点,变体积压缩腔根据流入流出的液体流量和压缩腔的体积计算压缩腔的压力,是组成液压作动筒和液压分压器的重要元件.变体积压缩腔是一个一阶模型,主要反映液体的压缩特性.管道和节流嘴也是重要的液压元件,流量有正负方向,通常与液压元件配合使用.

作动筒是常用的液压动力元件,考虑活塞具有质量,且与作动筒和油液存在摩擦和阻尼,是典型的有阻尼的一维力学系统,其数学模型是二阶微分方程;考虑油液的压缩性,可变容积的活塞腔的数学模型是一个一阶微分方程.我们在作动筒的建模过程中,将其抽象为三个部分:活塞筒,用于给定活塞的结构尺寸和外界作用力;质量模块,用于描述动力学系统;可变容积压缩腔,用于描述液体的压缩动态特性.同样,我们也可以用弹簧和质量模块搭建常用的弹簧质量模块,用两个单液压缸和一个质量模块搭建双液压缸,用变容积压缩腔来外接节流嘴和实现缸内流体的动态压缩特性.通过自定义接口间的连接,来实现多种作动筒,起到模块化建模的效果.

3 发动机控制器模型

复杂的液压机械控制器可按功能模块分类为:敏感元件(压力敏感元件、温度敏感元件、转速敏感元件等)、放大元件(分油活门式、喷嘴挡板式、单/双摆活门式放大元件)、执行元件等.按上述准则划分为最小的构件元素,其中,液压构件包括:定压油源、回油箱、变容积压缩腔、可调面积节流器、固定面积节流器、层流板节流器、流通管道、作动筒、开口度模型、变截面面积计算模型、喷嘴挡板开度计算模型、喷嘴挡板反力计算模型;机械构件包括:线性质量模块、旋转体模块、弹簧、杠杆、凸轮、离心飞重^[4].

将控制器按照功能划分为模块,如转速调节器、加速控制器、导叶控制器、加力燃油和喷口控制器等.这些模块功能相对比较独立,控制功能也比较清晰.再对以上功能模块按结构进一步划分,使其功能更加明确.如加速控制器可划分为温度放大器、 n_2 转速测量元件、 p_2 压力测量元件、随动活塞执行机构,以及相关的凸轮和连杆机构.温度放大器、 n_2 转速测量元件、 p_2 压力测量元件均是带有负反馈的液压伺服机构,为保证独立的功能,不适合再进行划分.随动活塞虽然带反馈的对数凸轮,但由于和其他连杆之间存在复杂的比较关系,而且随动活塞的位置不能由自身单独确定,所以进行了分解.

3.1 凸轮与杠杆传动机构

多输入杠杆模型通过线性分解为单输入单输出的通用杠杆组模型,再将通用杠杆组模型的输出叠加即为多输入杠杆的输出.图 3 所示模型计算左凸轮和油门杆控制凸轮转动共同作用下小弹簧左端位移,与右凸轮作用下小弹簧左端位移进行比较,选择较大的值,从而给定了发动机所需的转速.

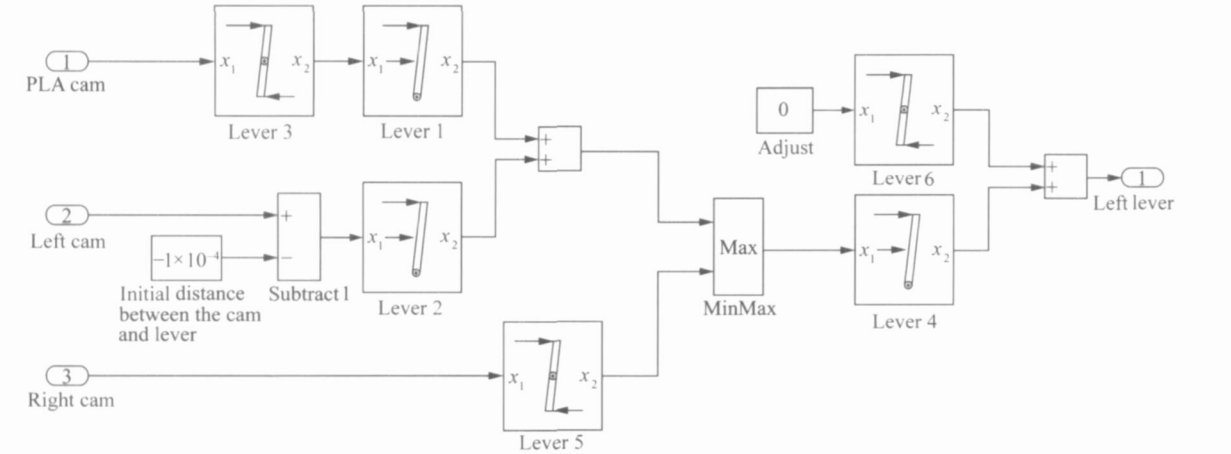


图 3 杠杆传动机构模型

Fig. 3 Model of levers system

3.2 转速给定装置

转速给定装置建模由传动轴、飞重支架、两个离心飞重块、顶杆、摆杆等组成. 输入是转速、小弹簧右端位移, 输出是摆杆顶端位移. 其 Simulink 模型如图 4. 模型可以设置离心飞重顶杆长度、大弹簧预紧力和更改小弹簧组, 实现转速准确给定.

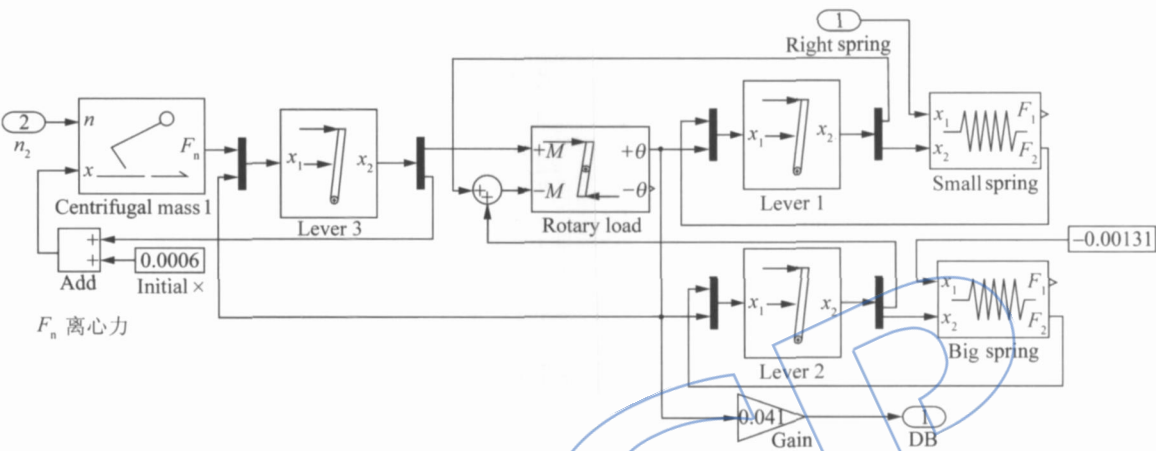


图 4 转速给定装置模型

Fig.4 Model of speed input device

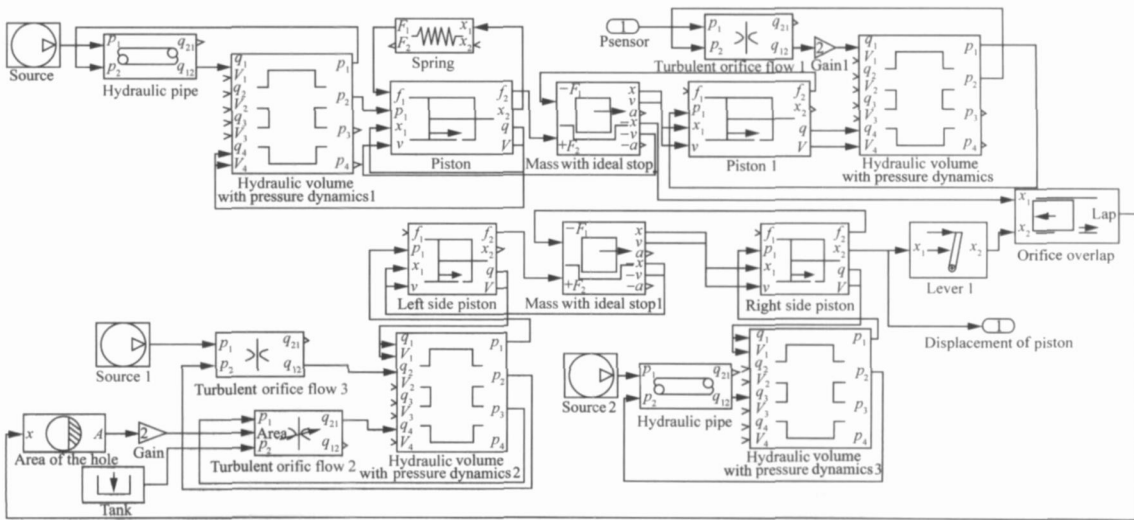
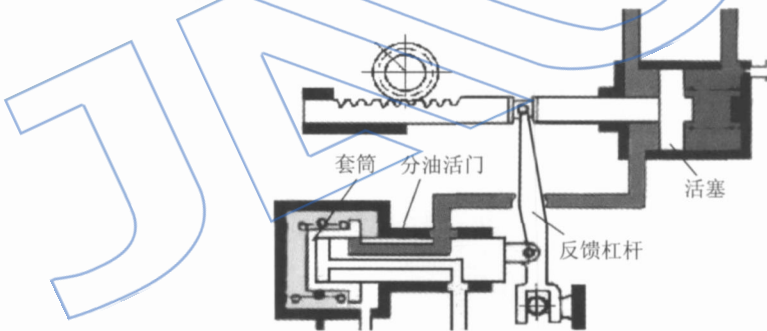


图 5 温度放大器原理图及模型

Fig.5 Illustration and model of temperature amplifier

- 1) 输入为温度油压,作用在套筒右端,和弹簧力共同作用决定套筒的位置,用质量模型计算;
- 2) 套筒与分油活门的位置共同决定活塞左腔出口节流器面积,用开口度模型计算,需要活塞的位移计算分油活门的位置;
- 3) 用节流嘴模型计算流入活塞左腔的流量,需要左右腔的油压;
- 4) 用压缩腔模型计算左右两活塞腔的油压,需要 3) 中的流量和活塞排量及活塞腔体积;
- 5) 用弹簧模型计算右端弹簧力,需要活塞位移;
- 6) 根据 4) ,5) 两步计算的作用力,用质量模块计算出随动活塞的位移,代入 2) ,4) ,5) .

3.4 发动机控制器调试与仿真

按模块化建模思路将以上单元模型进行组合,建立转速控制器模型如图 6. t_1 为 15 °C,录取转速随油门杆变化关系、慢车转速温度修正、大车转速温度修正曲线如图 7、图 8、图 9 所示. 三条曲线分别为仿真稳态转速曲线(实线),转速范围的上限和下限(虚线).

加速控制器模型如图 10 所示. 转速恒定不变,压气机后压力 p_2 增大时加速油量的变化曲线如图 11 所示. 压力 p_2 恒定不变,转速增大时加速油量的变化曲线如图 12 所示.

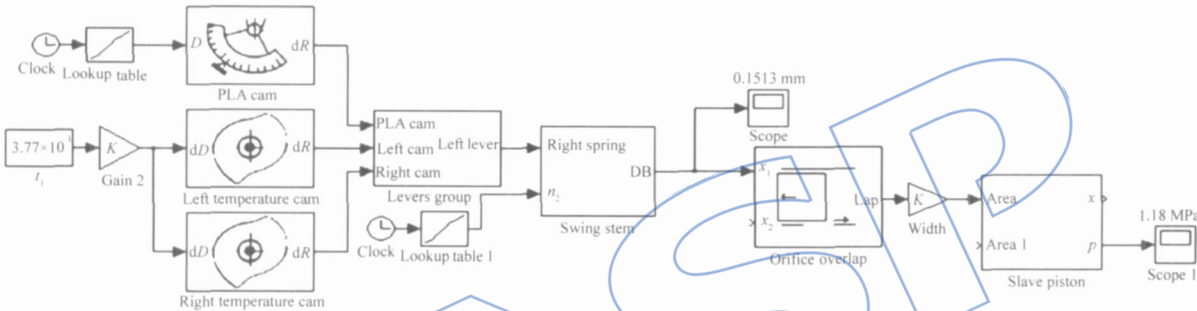


图 6 转速调节器模型
Fig. 6 Model of speed regulator

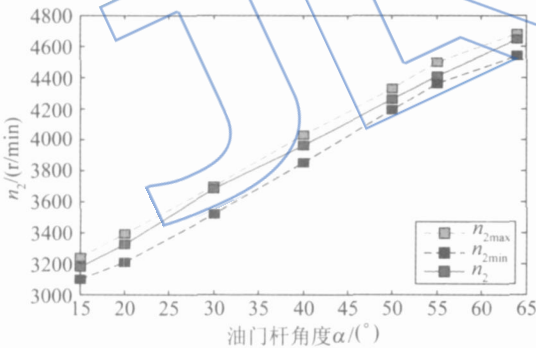


图 7 按油门杆角度录取转速
Fig. 7 Rotate speed with power lever angle

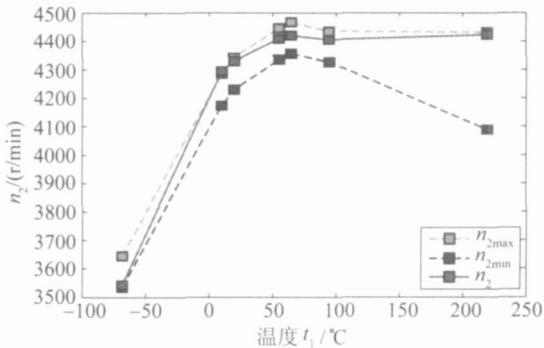


图 9 大车转速温度修正
Fig. 9 Intermediate speed with temperature change

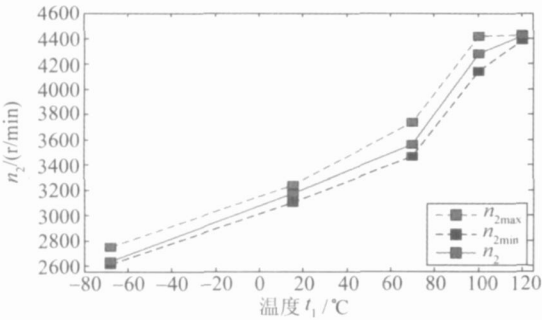


图 8 慢车转速温度修正
Fig. 8 Idle speed with temperature change

模型的调试和验证是建模中最重要也是最困难的工作. 控制器模型的调试和实际控制器的调试步骤几乎相同,包括稳态调试和动态调试,需要对控制器的工作原理和调试方法十分熟悉. 稳态调试即模块实际稳态试验台调试工作进行调试,把控制器稳态点调试到调试大纲要求的范围内,调试过程中也采用实际稳态试验台调整一样的方法,即给模型建立好与实际稳态试验台一样的调整接口和可更换部件. 动态调试包括零部件的动态仿真和控制器与发动机的联合仿真. 模型仿真

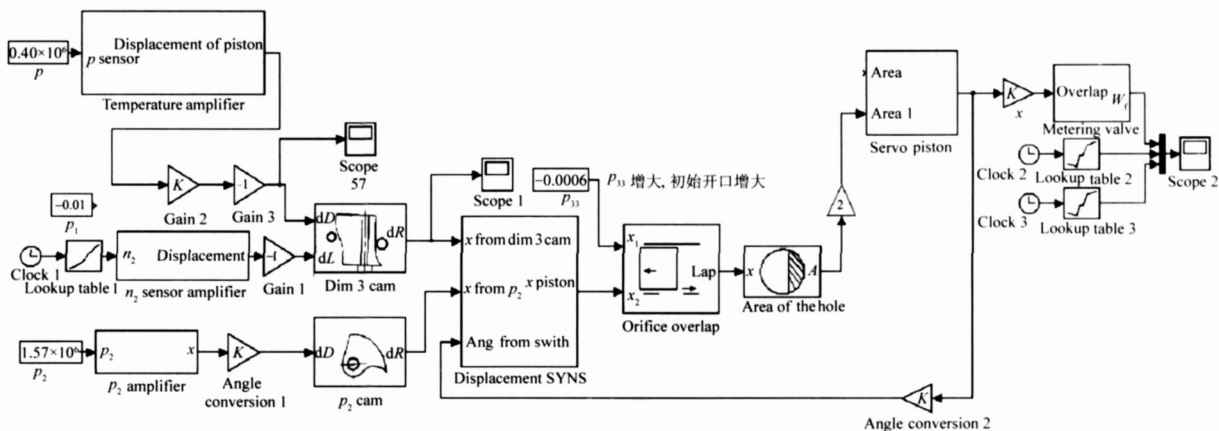


图 10 加速控制器模型
Fig. 10 Model of acceleration regulator

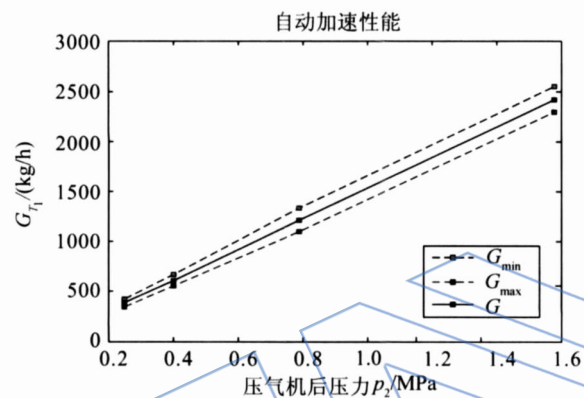


图 11 加速油量随 p_2 变化曲线
Fig. 11 Acceleration fuel with different p_2

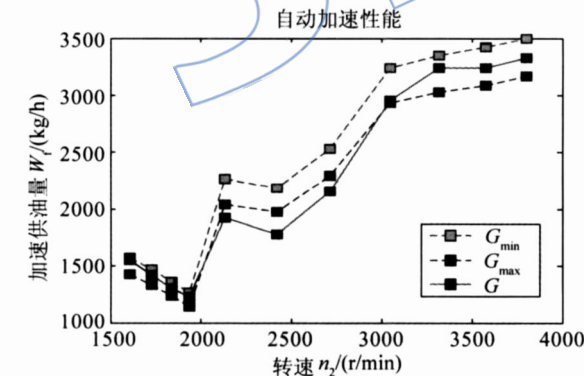


图 12 加速油量随 n_2 变化曲线
Fig. 12 Acceleration fuel with different n_2

结果与实际控制器数据基本一致,能完成实际控制器的功能,达到指定的性能指标,才能验证模型的正确。

4 结 论

通过在 Simulink 下搭建现代航空发动机燃油机械液压控制器专用模型库,建立与实际控制器一致的图形化的非线性仿真模型,实现了对发动机控制器的快速、高效和精确的建模。模型仿真数据与调试台数据基本吻合,为控制器的改进和设计提供了一个高效通用的平台。

参考文献

[1] Fitch E C, Hong I T. Hydraulic system design for service assurance[M]. Okalhoma :BarDyne. Inc , 2004.

[2] Joshi A ,Jayan P G. Modeling and simulation of aircraft hydraulic system[R]. Monterey , California : AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit , 2002.

[3] 王沫然. Simulink 建模及动态仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2002.

[4] 孙健国. 现代航空动力装置控制[M]. 北京:航空工业出版社,2001.