

某涡扇发动机加力供油和喷口控制系统 间相互影响分析

刘 杰 张绍基

(沈阳航空发动机研究所, 110015)

摘要:本文对某涡扇发动机加力数控系统进行了仿真研究。首先建立了加力供油和喷口控制系统的数学模型, 分析喷口控制系统结构变化对系统动态特性的影响, 最后对加力供油和喷口控制系统间相互影响进行了分析。

关键词: 发动机 数字控制 仿真

1 引言

航空仿真技术在航空研究、试验、设计、制造和使用中已成为一项极为重要的技术。在方案研究阶段, 可以通过数学建模和计算仿真对虚拟系统的硬件和软件进行可行性研究和优化; 在研制阶段, 可以通过含实物的仿真对实物进行评价, 减少不必要的破坏试验、差错和风险, 从而大大降低成本。

国外航空推进系统数字仿真技术从总体性能开始, 首先用于发动机控制系统试验、发动机整体试车和发动机循环方案优化。而我国航空仿真技术目前还处于落后状态。

某涡扇发动机加力数控系统包括传感器、数字电子控制器、燃油泵和加力燃油和喷口控制装置。本文采用工程上常用的 PID 控制。通过仿真分析喷口控制装置结构变化对系统工作的影响, 分析加力供油和喷口控制系统间相互影响。

本文采用 MATLAB 的控制系统工具箱和软件 simulink, 特别简捷、高效和方便, 并且具有很强的功能。

2 系统仿真模型

加力供油数学模型包括内涵供油模型和外涵供油模型, 根据部件数学模型可得到加力供油数学模型, 如图 1、2 所示。

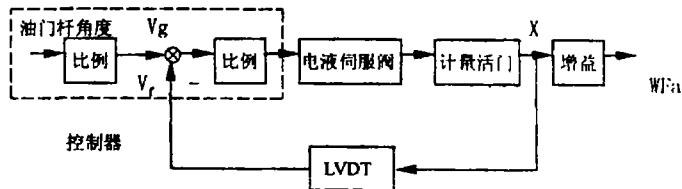


图 1 加力供油控制回路

收稿日期: 1998-08-26

系统工作原理:数字电子控制器按油门杆角度 PLA, 高压压气机后压力 P_{31} , 发动机进口温度 T_1 的要求运算, 得到代表内外涵燃油流量的控制作用量, 分别与内外涵控油活门位移反馈信号相比较, 产生误差信号, 内外涵电液伺服阀感受各自误差信号控制内外涵控油活

门的轴向位移, 改变计量窗口面积, 内外涵压差活门感受内外涵计量活门计量窗口前后压差调节内外涵节流活门来保证计量窗口前后压差为定值, 内外涵燃油流量单值取决于窗口面积。

喷口控制系统工作原理如图 3 所示。

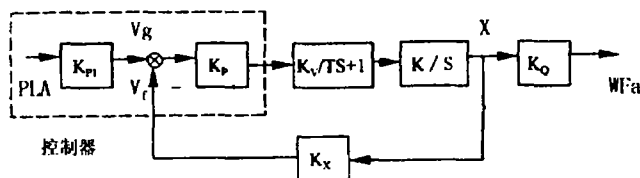


图 2 加力供油仿真框图

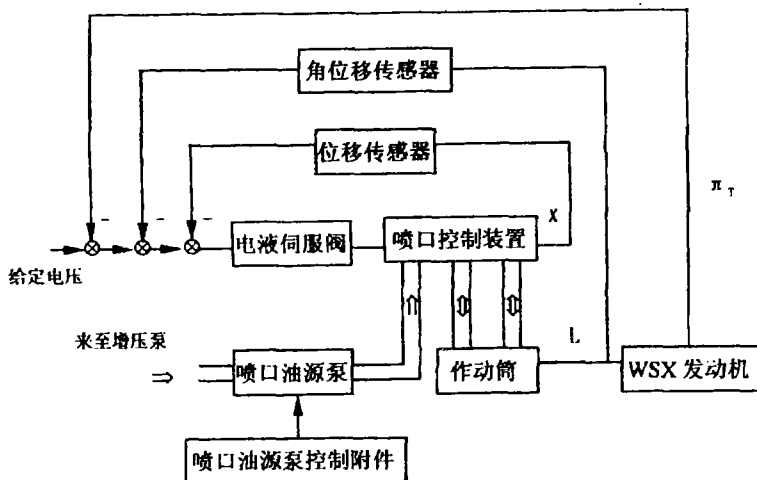


图 3 喷口控制系统原理图

根据各部件数学模型可得到喷口控制系统数学模型, 如图 4 所示。

系统工作原理:数字电子控制器按油门杆角度 PLA 和发动机状态变化的要求运算, 得到代表喷口喉道面积的控制作用量, 分别与作动筒位移反馈信号和喷口控制装置分油活门位移反馈信号相比较, 产生误差信号, 电液伺服阀感受误差信号控制喷口控制装置分油活门的轴向位移, 改变分油活门控制窗口面积,

来自喷口油源泵的高压燃油经过分油活门控制窗口, 进入作动筒控制腔, 使作动筒产生位移, 从而调节喷口喉道面积发生变化。

3 喷口控制系统结构变化仿真分析

3.1 小闭环控制回路结构变化仿真分析

在小闭环控制回路中, 喷口控制装置的分油活门上的 LVDT 位移传感器, 感受分油活门的位移, 反馈给数字电子控制器, 产生误差信

号,控制分油活门的轴向位置。在分油活门上设置 LVDT 位移传感器,其目的就是增强系统工作的稳定性,并改善系统的动态性能。

在小闭环控制回路中,如果不用 LVDT 位移传感器,控制回路结构发生变化,这样对系统的工作是否能产生影响,通过仿真分析,在

没有 LVDT 位移传感器的情况下,系统的动静态特性如何变化。

由图 5 仿真结果可以得出结论:在没有 LVDT 位移传感器的情况下,喷口小闭环控制回路仍能正常工作,但动态性能明显变差。

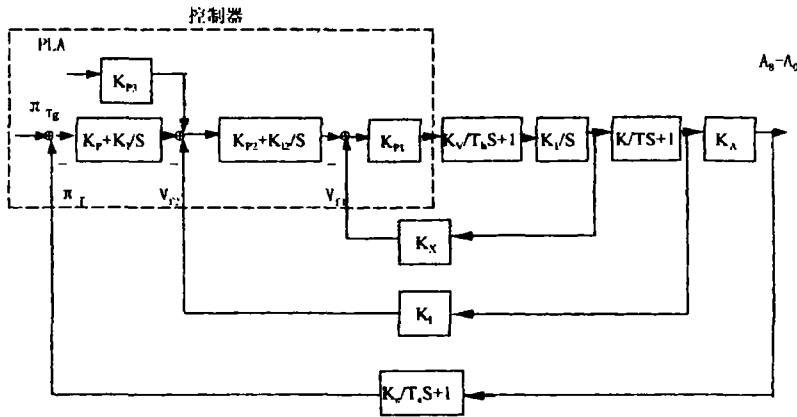


图 4 喷口控制系统仿真框图

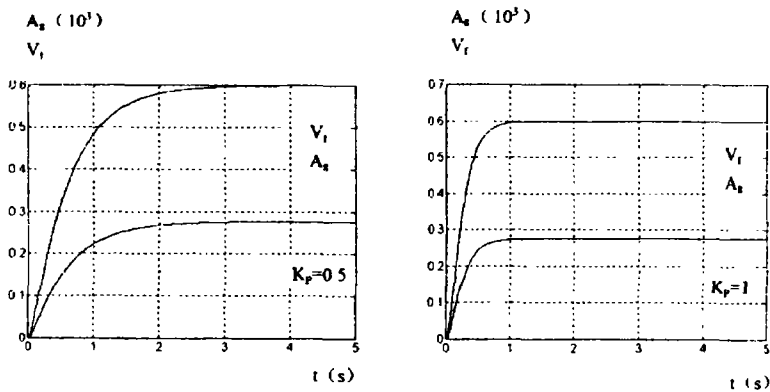


图 5 闭环控制回路结构变化仿真曲线

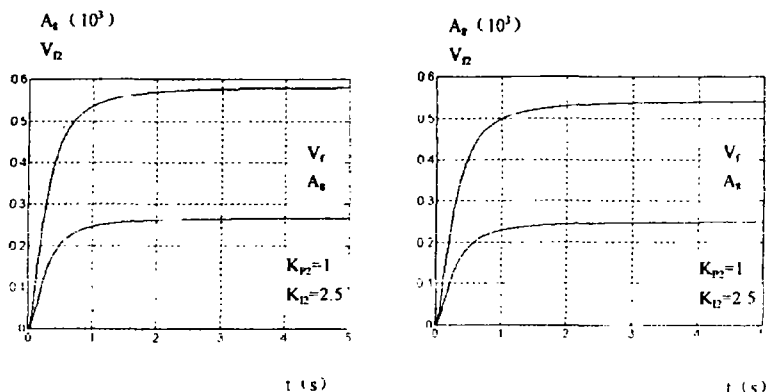


图 6 喷口控制装置结构变化仿真曲线

3.2 喷口控制装置结构变化仿真分析

喷口控制装置是喷口控制系统中一个重要部件,此装置工作性能好坏将影响到喷口控制系统的性能,为了提高系统的稳定性,在分油活门左端径向加一个氟塑料碗,此腔通过节流嘴与定压油相通,这样就形成了一个阻尼腔,在活门运动时,阻尼腔形成的阻尼力大小与活门运动的速度成正比,其比例系数取决于节流嘴的节流面积。同时由于加氟塑料碗,活门运动时必然要产生摩擦力,通过仿真,分析采用此结构的分油活门,系统动静态特性的变化。

由图 6 仿真结果可以看出,响应时间增加,同时出现稳态误差,并且氟塑料碗与衬套间摩擦力加大,稳态误差也加大,系统稳定性得到很大改善。因此可以认为通过在分油活门上加氟塑料碗增大阻尼,提高了稳定性,但活门与衬套的紧度必须选择合适,否则将产生较大的控制静差。

4 加力供油和喷口控制系统间相互影响分析

某涡扇发动机加力控制规律是开环控制加力供油,按 π_T 闭环控制喷口,加力燃油系统和喷口闭环系统之间的关系如图 7 所示。

如果发动机油门杆角度 PLA 发生变化,加力燃油供给量 WF_a 发生变化,从而影响发动机的 π_T 值,因此可以认为加力燃油系统是通过影响 π_T 值来影响喷口闭环系统。同时由于 PLA 的变化,喷口喉道面积随之同步变化,引起 π_T 值变化,由于 $\pi_T = P_{31}/P_6$,所以 P_{31} 将变化,从而影响加力燃油供给量 WF_a 变化,可以认为喷口闭环是通过影响 P_{31} 来影响加力燃油系统。但是 π_T 值变化时, P_6 变化很大,而 P_{31} 却变化很小,也就是说 π_T 值的变化主要是由 P_6 引起的,因此可以认为喷口喉道面积 A_n 的变化对 P_{31} 影响很小,即喷口闭环系统对加力燃油系统的影响很小,可以忽略。因此,加力燃油系统和喷口控制系统间相互影响可简化为如图 8 所示,下面仅分析加力燃油对喷口闭环系统的影响。

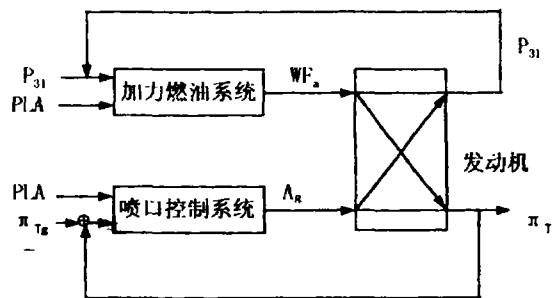


图 7 加力供油和喷口控制回路

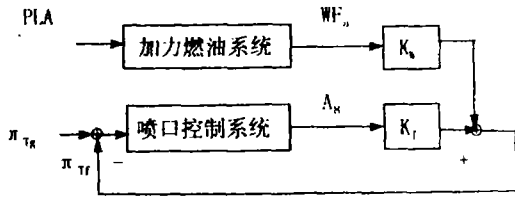


图 8 加力供油和喷口控制回路简图

喷口的变化总是滞后于供油量的变化, 如果供油量发生较大的变化, 喷口控制系统总是要感受到发动机状态变化后才能调节喷口面积, 因此喷口控制系统响应跟不上。由于加力燃油系统是通过影响 π_T 来影响喷口闭环系统, 因此可以认为加力燃油系统是喷口闭环系统的一个扰动量, 对于这种扰动, 可以在喷口系统加前馈调节器, 加前馈调节器后, 加力供油量一旦出现变化, 前馈调节器就直接先根据其大小和方向按照一定的规律控制喷口喉道面积的变化, 调节 π_T 值, 使喷口与供油量同步变化。

下面推导前馈控制律, 设前馈控制律为 $D(S)$, 为便于分析, 将扰动 PLA 的作用通道看作两条, 如图 9 所示。

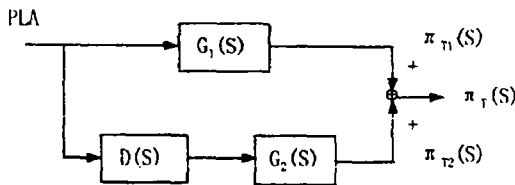


图 9 控制框图

图中一条是扰动通道, 扰动作用 PLA 通过加力燃油执行机构及对象引起 π_T 值变化为 $\pi_{T1}(S)$, 另一条是控制通道, 扰动作用通过前馈

调节器 $D(S)$ 和对象控制通道 $G_2(S)$ 使 π_T 值变化为 $\pi_{T2}(S)$, 显然, 希望 $\pi_{T1}(S)$ 和 $\pi_{T2}(S)$ 大小相等、方向相反。

$$\pi_T(S) = \pi_{T1}(S) + \pi_{T2}(S) = 0$$

$$\pi_{T1}(S) = PLA(S) \cdot G_1(S)$$

$$\pi_{T2}(S) = PLA(S) \cdot G_2(S) \cdot D(S)$$

$$\text{则 } PLA(S)[G_1(S) + G_2(S) \cdot D(S)] = 0$$

$$\text{即 } G_1(S) + G_2(S) \cdot D(S) = 0$$

$$D(S) = -\frac{G_1(S)}{G_2(S)} \quad (1)$$

根据加力燃油和喷口控制系统数学模型, 可得到简化的 $G_1(S)$ 和 $G_2(S)$, 从而得到所求的前馈调节器 $D(S)$ 。

有了前馈调节器, 当油门杆角度 PLA 发生变化时, 前馈调节器就进行了补偿, 使供油量和喷口良好匹配。

结论

在喷口控制系统小闭环控制回路中, 在喷口控制装置上设置 LVDT, 其结果能提高系统动态性能; 在喷口控制装置分油活门上运用氟塑料碗结构可增大阻尼, 提高系统稳定性, 但同时出现稳态误差; 推导出前馈调节器, 当油门杆角度发生变化时, 前馈调节器就进行了控制, 使加力供油和喷口良好匹配。

参考文献

- 1 张培强. MATLAB 语言. 科学技术大学出版社. 1995
- 2 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计. 清华大学出版社. 1996. 7
- 3 王占林. 液压伺服控制. 北京航空学院出版社. 1987. 10
- 4 刘长年. 液压伺服系统优化设计理论. 冶金工业出版社. 1989. 8