

CFM56-3 飞机发动机稳定性控制系统研究

The Research of CFM56-3 Stability Control System

(中国民航大学) 张 学 焦黎明

ZHANG Xue JIAO Li-ming

摘要: 主要研究 CFM56-3 飞机发动机的稳定性控制系统;在研究发动机稳定性控制系统逻辑的基础上,建立稳定性控制系统简单数学模型,用模型分析这种控制方法的优缺点,提出改进措施;CFM56-3 发动机的稳定性控制系统主要包括可调静子叶片(VSV)控制子系统和可调放气活门(VBV)控制子系统,这两个子系统都是闭环控制系统,系统间有信号交联,正是这种交联方式使该发动机稳定性控制存在着缺陷,本文最后提出发动机稳定性控制系统的改进方案。

关键词: 高压转子; 低压转子; 可调放气活门; 可调静子叶片; MEC

中图分类号: V263

文献标识码: B

Abstract: This paper major researches the CFM56-3 aircraft engine stability control system; Under researching of the engine stability control system logic diagram, establish a simple mathematical model of this system, using this model to analyse the control method, find out the advantages and disadvantages of control method, and then give a improvement; The stability control system of CFM56-3 engine includes VSV control subsystem and VBV control subsystem, the two subsystems are the closed-loop control systems, the subsystem has the signal between the cross-linking, It is this cross-linking method to make the engine stability control is deficient.

Key words: N2; N1; VSV; VBV; MEC

CFM56-3 是设计成熟、性能优良的发动机之一,其控制系统属于监控电子控制式,该发动机控制系统主要是通过主发动机控制器(MEC)和功率管理控制器(PMC)实现的。MEC 负责发动机的完全控制,包括启动、加速、减速、转速、稳定性控制等;PMC 具有监督功能,对推力进行精确控制和对发动机重要工作参数进行安全限制。

发动机的稳定性控制主要是防止发动机产生喘振或失速等不稳定状态,提高发动机的稳定性和飞机的安全性。CFM56-3 发动机稳定性控制系统包括可调静子叶片控制子系统(VSV 控制系统)和可调放气活门控制子系统(VBV 控制系统)。VSV 控制系统主要调整静子叶片出口气流,让气流以优化攻角进入高压压气机转子叶片,控制进入高压压气机的气流量,提高高压压气机的工作稳定性;VBV 控制系统主要是实现高、低压压气机之间的空气流量匹配,提高低压压气机的工作稳定性。

1 可调静子叶片控制系统

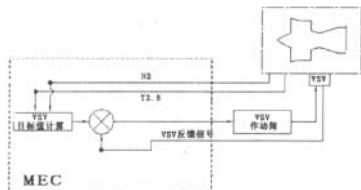


图 1 可调静子叶片控制系统

可调静子叶片系统由 2 个曲柄机构、2 个作动筒、4 级作动环和 1 根反馈钢索构成,其控制逻辑是输入信号在 MEC 里转换,产生控制信号,控制 VSV 作动筒供给伺服燃油,调节高压压气机进口导向叶片和前 3 级静子叶片的角度,同时 VSV 反馈信号反馈给 MEC 构成闭环系统,以使高压压气机在较宽的范围内

保持高效率 and 稳定性,达到控制目的。可调静子叶片控制系统如图 1 所示。

MEC 系统输入信号有 N2、高压压气机进口温度 CIT(T2.5)和 VSV 反馈信号(VSV),目标 VSV 信号(VSV*)是由 N2 和 T2.5 来计算产生的,通过 VSV* 与 VSV 的差值信号,产生系统输出信号,即 VSV 作动筒控制信号。根据控制逻辑,可调静子叶片系统的模型可表示为:

$$VSV^* = f_1(N2, T2.5); C_{VSV} = F_2(VSV^* - VSV);$$

即:

$$C_{VSV} = F_1\{f_1(N2, T2.5) - VSV\};$$

f_1 : VSV 目标值计算函数; C_{VSV} : VSV 作动筒输出信号; F_1 : VSV 作动筒作动控制函数

根据模型可知:当目标信号和反馈信号不一致时,由 MEC 产生差值控制信号,驱动可调静子叶片作动筒供给伺服燃油,使可调静子叶片的位置趋近于目标位置,最终使控制系统稳定。影响可调静子叶片开度的因素有 N2 转速、T2.5 和 VSV 反馈。

2 可调放气活门控制系统

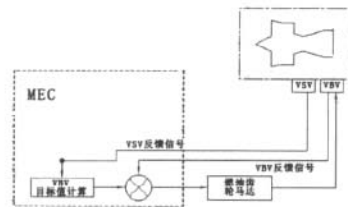


图 2 可调放气活门控制系统

可调放气活门控制系统由 1 个燃油齿轮马达、1 根反馈钢索、1 个止动机构和 12 个放气活门构成。燃油齿轮马达用于控制可调放气活门开度大小;止动机构用于限制放气活门开关的

张 学: 讲师

极限位置;反馈钢索用于向 MEC 提供 VBV 开度的反馈信号。其控制逻辑是 MEC 根据输入信号,产生控制信号,控制燃油齿轮马达,调节放气活门的开度,然后 VBV 反馈信号反馈给 MEC,构成闭环控制系统,实现控制放气量,提高低压压气机的工作稳定性控制目的。可调放气活门控制系统如图 2 所示。

该控制系统输入信号主要有 VSV 反馈信号(VSV)和 VBV 反馈信号(VBV),目标 VBV 信号(VBV*)由 VSV 反馈信号计算得到;输出信号,即控制信号是由 VBV* 和 VBV 的差值信号产生,驱动燃油齿轮马达,控制放气活门的开度。根据以上控制逻辑,可调放气活门系统的模型可表示为:

$$VBV^* = f_2(VSV); C_{VBV} = F_2(VBV^* - VBV);$$

即:

$$C_{VBV} = F_2\{f_2(VSV) - VBV\};$$

f_2 : VBV 目标值计算函数; C_{VBV} : 燃油齿轮马达输出信号; F_2 : 燃油齿轮马达作动控制函数;

当 VBV* 与 VBV 二者不一致时, MEC 产生控制信号向 VBV 燃油齿轮马达提供伺服燃油,改变放气活门的开度,最终使活门实际位置与目标位置一致,提高低压压气机稳定性。发动机可调放气活门的开关情况与可调静子叶片的开关情况相反:当发动机转速增大时关小,当 T2.5 变大时开大。

3 稳定性控制系统存在的问题

由上分析可知, VSV 控制系统和 VBV 控制系统其控制逻辑都是反馈式闭环控制系统, 这种控制方式能够保证这两个子系统保持各自的控制稳定性。在它们在控制逻辑里的, VSV 控制系统的 VSV 反馈信号恰好是 VBV 系统的目标信号计算的参考信号, 这种设计使得该型发动机在稳定性控制方面存在着优缺点。

这种控制系统的优点是, 保证 VBV 控制系统的可调放气活门的开度始终受 VSV 的反馈信号, 即 VSV 的实际位置控制, 不会出现超调现象, 保证发动机稳定性控制系统的控制连续性。

这种控制系统的缺点是, 在可调静子叶片系统处于过渡状态时, VSV 反馈信号(VSV)滞后于 VSV 目标信号(VSV*), 会出现只有 VSV 控制系统稳定之后, VBV 控制系统才停止作动, 即造成 VBV 控制系统的迟滞性。尤其 VSV 控制系统作动频繁时, 会造成 VBV 控制系统的波动性。在发动机状态变化不大的情况下, 这种设计对发动机稳定性影响不大, 在状态变化非常大或者频繁的情况下, 该发动机稳定性控制系统本身具有的迟滞性和波动性会造成发动机的不稳定性。

4 稳定性控制系统问题解决方法

要解决上面的问题, 需考虑发动机工作状态。只要发动机工作在稳定状态, 发动机的推力和动力的稳定性和可变性是主要的, 这时稳定性控制系统的控制作用处在次要地位, 可调放气活门的迟滞性不会对发动机或飞机带来危险因素。

当发动机工作在不稳定状态、临界不稳定状态或者 VSV 控制系统作动频繁时, 发动机的稳定性是主要的。为了避免稳定性控制系统的迟滞性和波动性对飞机系统的影响, 这时 VBV 控制系统的目标 VBV 计算参考信号改变为目标可调静子叶片信号, 即 VSV*, 这样就让 VSV 系统和 VBV 系统同时以 VSV* 为目标信号, 实现稳定性控制, 以保证发动机快速到达稳定性。这时的

控制模型可调整为: $C_{VSV} = F_1\{f_1(N2, T2.5) - VSV\}$ 和 $C_{VBV} = F_2\{f_2(VSV^*) - VSV\}$

经过上面分析, 可以如下这样表达发动机稳定性控制系统:

$$\begin{cases} C_{VSV} = F_1\{f_1(N2, T2.5) - VSV\} \\ C_{VBV} = K_a \cdot F_2\{f_2(VSV^*) - VBV\} + K_b \cdot F_2\{f_2(VSV) - VBV\} \\ K_a + K_b = 1; K_a \cdot K_b = 0 \end{cases}$$

K_a 、 K_b 为状态选择参数, 当稳定性控制处于次要地位时 $K_b = 1, K_a = 0$; 当飞机的稳定性控制为主时 $K_a = 1, K_b = 0$ 。

综上, CFM56-3 发动机稳定性控制系统包括可调放气活门控制系统和可调静子叶控制系统, 因 VBV 控制系统的设计原因, 该系统会造成稳定性控制系统的迟滞性和波动性。除了发动机本身自有的起飞状态时的延时拟制以外, 还可以在发动机工作在临界状态或 VSV 控制系统频繁作动时, 让原先 VBV 控制系统的目标 VBV 计算信号的参考信号, 由 VSV 控制系统的目标 VSV 信号(VSV*)替代, 减小系统的迟滞或波动, 提高发动机稳定性控制的可靠性。

本文作者创新点: 用简单的数学模型表达复杂的发动机稳定性控制系统, 通过模型分析该控制系统的优缺点, 并提出改进措施。

参考文献

- [1] 孙海东 尚永锋. 航空发动机控制系统[J]. 北京: 微计算机信息. 2007(06S). -65-66, 69.
- [2] 彭泽琰, 刘刚. 航空燃气轮机原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [3] 许春生. 燃气涡轮发动机[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2006.
- [4] Customer Training Center. CFM56-3 Line Maintenance [Z]. CF-MI. 1995.
- [5] Boeing. Boeing 737-300 Maintenance Manual[Z]. Boeing 1999.
- [6] Ted Colins. CFM56-3 Advanced Engine Systems Training Manual [Z]. GEAE. 2000.

作者简介: 张学, 男, 汉族, 1978.3, 山东人, 中国民航大学工程技术训练中心, 讲师。主要领域飞机导航、制导与控制研究与教学。

Biography: ZHANG Xue (1978-), male (han), Shandong, Civil Aviation University of China, lecturer, mainly research and teaching in Navigation, Guidance and Control

(300300 天津市 中国民航大学工程技术训练中心) 张学 焦黎明 (Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China) ZHANG Xue JIAO Li-ming

通讯地址: (300300 天津市东丽区中国民航大学工程技术训练中心模拟机教研室) 张学

(收稿日期: 2009.12.07) (修稿日期: 2010.03.07)

(上接第 32 页)

作者简介: 刘德生 (1976.11-), 男, 汉族, 辽宁丹东人, 讲师, 博士, 主要研究方向为系统分析与集成; 郭静 (1977.04-), 女, 蒙古族, 吉林长春人, 讲师, 博士, 主要研究方向为系统分析与集成。

Biography: LIU De-sheng (1976.11-), male (Han), docent, Ph.D, research topics: system analysis and synthesis.

(101416 北京 装备指挥技术学院重点实验室) 刘德生 郭静 (The Key Laboratory, the Academy of Equipment Command & Technology, Beijing, 101416, China) LIU De-sheng GUO Jing 通讯地址: (101416 北京市怀柔区 3380 信箱 165 号) 刘德生

(收稿日期: 2009.11.17) (修稿日期: 2010.02.17)