

民用飞机发动机备份控制 工作模式设计考虑

Design Consideration of Engine Alternate Control Mode for Civil Aircraft

李 婧 / Li Jing

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

阐述了当发动机无法正常接收来自飞机的大气数据时,设计发动机备份控制工作模式的几种考虑,并详述了波音 787 和 A380 的发动机备份控制工作模式方案,提供了一种新设计的发动机备份控制工作模式方案。

关键词: 民用飞机; 发动机控制系统; 备份控制工作模式

中图分类号: V219

文献标识码: A

[Abstract] This paper presents several design consideration of alternate control mode for civil engine, when engine couldn't receive the air data from aircraft normally. Further, the proposal of alternate control mode for Boeing 787 and A380 was provided in detail. Additionally, a new proposal of alternate control mode was also provided for civil engine.

[Key words] civil aircraft; engine control system; alternate control mode

0 引言

民用航空发动机通常具有正常控制工作模式和备份控制工作模式。在发动机正常控制工作模式下,发动机的控制系统正常接收飞机的大气数据信号——静压 P_0 、总压 PT_2 、总温 TAT 和油门杆位置信号,通过设定的燃油调节控制律控制发动机的功率输出;如果因为某些原因,如飞机与发动机之间的数据总线故障或者飞机大气数据信号源丢失等,发动机无法正常接收到飞机的大气数据,则发动机控制系统会进入备份控制工作模式。

1 发动机控制系统两种控制工作模式

民用飞机的发动机除了提供飞机的推力之外,也为飞机提供气源、电源和液压源。在发动机控制系统的正常控制工作模式下,发动机需要接收来自飞机的大气数据、油门杆位置命令、环控引气构型、飞控自动油门命令、配平命令、起落架轮载信号以

及来自发动机自身传感器的信号(如转速、振动、滑油温度等),按照设定的燃油调节律和控制规律输出发动机功率,支持飞机所需的推力和气源/电源/液压源的功率提取。

发动机控制系统会根据飞机的大气数据,计算出不同飞行条件下发动机的输出功率,所以飞机的大气数据是发动机控制系统的关键控制输入参数。飞机的大气数据主要包括总温(TAT)、静压(P_0)和总压(PT_2)。发动机控制系统会根据飞机提供的静压(P_0)计算出飞机的压力高度,总压(PT_2)计算出飞机的马赫数,发动机控制系统根据当前飞机的高度、马赫数和外界的总温等数据判断当前的飞行工况,控制输出飞机所需功率。

如果因为某些故障,比如飞机与发动机的数据传输总线物理中断或者大气数据源丢失,发动机控制系统无法正常接收到飞机的大气数据,发动机控制系统会由正常控制工作模式转换到备份控制工作模式。此时,发动机控制系统会使用发动机自带传感器数据计算飞行条件,然后输出飞机所需功率。

2 发动机备份控制工作模式原理

发动机的正常控制工作模式和备份控制工作模式的控制规律不一样,并且在备份控制工作模式下发动机控制系统是使用发动机自身的传感器参与控制,所以在备份控制工作模式下会存在左右发动机推力不一致的情况。发动机自身的传感器主要包括发动机进口的静压(P0)、风扇进口总温(T12)和风扇进口静压(PS12),利用发动机的P0和PS12可以计算出飞机的PT2和马赫数。由于左右发动机传感器的安装坐标位置不一样,不同发动机之间的传感器数据会存在一定的区别,所以不同发动机控制系统参与控制的参数不是同一数据源,计算出的输出功率就会不一致。

备份控制工作模式是发动机的一种降级工作模式,主要目的是保证飞机和发动机的飞行安全,其次才会考虑飞机经济性等其他因素,所以备份控制工作模式的输出功率不小于正常控制工作模式。备份控制工作模式分为软备份控制工作模式和硬备份控制工作模式,软备份控制工作模式的输出功率不小于硬备份控制工作模式。如果发动机控制系统自动探测到丢失飞机的大气数据并且飞行员此时没有发出进入备份控制工作模式的命令,为保证飞机安全,这时发动机的控制系统会自动进入软备份控制工作模式。软备份控制工作模式是利用丢失飞机大气数据前一时刻的大气数据值按照发动机降级模型计算输出推力,此推力值一般为发动机最大安全推力值。如果发动机控制系统在一定时间内没有收到飞行员进入备份控制工作模式的命令,考虑到经济性等因素,会自动转换到硬备份控制工作模式,此时发动机控制系统会接收发动机自身传感器的数据按照发动机正常模型计算输出推力,此推力值一般接近正常控制工作模式的输出功率值,只是会存在左右发动机推力不平衡的情况。但是这样的推力不平衡不会影响飞机的飞行安全,经过模型计算,左右发动机推力差值在3%~5%区间内。

3 现有先进机型的备份控制工作模式设计

3.1 波音787备份控制工作模式设计方案

波音787的备份控制工作模式方案是遵从波音驾驶舱设计理念的,以飞行员主观判断为主要手段

的设计。波音787的备份控制工作模式开关分为上下两层,每一台发动机都有独立的备份控制工作模式开关,如图1所示。图1中标号1所示的开关上层为带指示灯的按压开关,开关标识为NORM,表示发动机处于正常控制工作模式;标号为2的下层为指示灯,标识为ALTN,当指示灯被点亮表示发动机处于备份控制工作模式(包括软备份控制工作模式和硬备份控制工作模式)。



图1 波音787备份控制工作模式开关示意图

在波音787发动机的正常工作模式下,上层按压开关被飞行员按下,开关上的指示灯NORM会显示成白色,告知飞行员发动机处于正常控制工作模式。波音787发动机进入备份控制工作模式有两种方式,一种是人工触发进入,另一种是控制系统自动进入。(1)当发动机出现某些故障或者丢失某些大气数据,飞行员判断需要使用备份控制工作模式时,只需要再次按压上层按压开关,此时按压开关会弹起,NORM指示灯熄灭,下层的ALTN指示灯被点亮,发动机控制系统人工进入硬备份控制工作模式。(2)当波音787的发动机控制系统无法正常接收飞机的大气数据进行发动机输出功率控制时,下层的ALTN指示灯会自动被点亮,并且上层按压开关的NORM指示灯熄灭,发动机控制系统自动进入软备份控制工作模式,并且同时通知飞行员发动机因为某些故障丢失了飞机的大气数据;此时,如果飞行员再次按压上层NORM按压开关,上层按压开关会弹起,下层的指示灯ALTN保持点亮,发动机控制系统人工进入硬备份控制工作模式。

3.2 A380备份控制工作模式设计方案

A380发动机的备份控制工作模式方案是遵从空客驾驶舱设计理念,以电脑的自动判断和控制为主要手段的设计,不需要飞行员更多的判断和人工操作。A380发动机的备份控制工作模式开关非常简单,为单层按压开关,开关上的标识为ON,如图2所示,一个开关控制A380的四台发动机。



图2 A380备份控制工作模式开关

在 A380 发动机的正常工作模式下,备份控制工作模式开关为弹起状态。A380 发动机进入备份控制工作模式有两种方式,一种控制系统自动进入,另一种是人工触发进入。一般情况下,发动机控制系统能够自动探测到飞机无法正常接收到飞机的大气数据,进而自动进入发动机备份控制工作模式。如果发动机发生某些故障,飞行员需要人工进入发动机备份控制工作模式,只需要按压备份控制工作模式开关的 ON 开关,此时 A380 的四台发动机同时进入备份控制工作模式。A380 的备份控制工作模式只有一种,不分软备份控制工作模式和硬备份控制工作模式。

4 新设计的备份控制工作模式方案

当前现役的发动机备份控制工作模式开关和逻辑是每台发动机都有一个单独的备份模式的开关且无法辨识发动机软/硬备份控制工作模式,或者是所有发动机共用一个备份模式开关且没有任何告警灯指示发动机应该进入备份控制工作模式。

基于以上设计方案的优缺点考虑,依据某新型机型驾驶舱“全黑”设计理念,设计出一种新型备份控制工作模式方案。新设计的触发发动机备份控制工作模式方案的操作开关和逻辑主要描述如下:

新设计的备份控制工作模式开关分为上下两层,所有发动机都共用一个备份控制工作模式开关,如图 3 所示。当发动机处于正常控制工作模式,备份控制工作模式开关没有任何操作和指示。当发动机处于备份控制工作模式,图 3 中标号 1 所示的开关上层为指示灯,开关标识为 AUTO,被点亮时表示某一台或两台发动机控制系统自动进入软备份控制工作模式;下层为带指示灯的按压开关,标识为 MAN,当飞行员按压点亮开关,表示两台发动机控制系统进入硬备份控制工作模式。

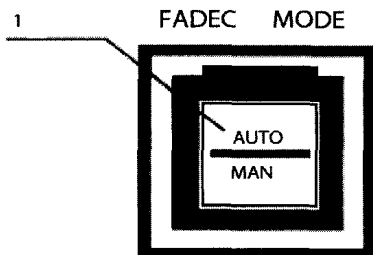


图3 新设计备份控制工作模式开关

在发动机的正常工作模式下,备份控制工作模式开关没有任何操作和指示。发动机进入备份控

制工作模式有两种方式,一种是控制系统自动进入,另一种是人工触发进入。当其中一台或者多台发动机控制系统无法正常接收飞机的大气数据进行发动机输出功率控制时,上层的 AUTO 指示灯会自动被点亮,发动机控制系统自动进入软备份控制工作模式,并且会有 CAS 信息通知飞行员某台或者多台发动机因为某些故障丢失了飞机大气数据,控制系统已经进入备份控制工作模式,指示灯和 CAS 信息都会提醒飞行员需要按压 MAN 按压开关使得所有发动机进入硬备份控制工作模式,如图 4 所示。如果飞行员按照指示按压下层 MAN 的按压开关,下层的指示灯 MAN 保持点亮,上层的 AUTO 指示灯熄灭,发动机控制系统人工进入硬备份控制工作模式;如果飞行员忽略了指示没有任何操作,发动机控制系统在 10 分钟之后会自动由软备份控制工作模式转换为硬备份控制工作模式,AUTO 灯一直保持点亮状态。另外,当发动机出现某些故障或者丢失某些大气数据,飞行员判断需要使用备份控制工作模式时,此时只需要按压下层 MAN 按压开关,下层的 MAN 指示灯被点亮,发动机控制系统直接人工进入硬备份控制工作模式。

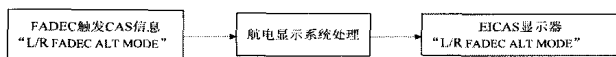


图4 发动机备份控制工作模式 CAS 告警示意图

5 结论

新设计的发动机备份控制工作模式开关和逻辑需要具备能够清楚指示给飞行员发动机是否应该进入备份控制工作模式和发动机处于软/硬备份控制工作模式的特点,并且只用一个开关就能控制所有的发动机,这样能够减少飞行机组在故障状态下的工作和心理负担,降低系统的复杂程度,提高飞机的飞行安全。

参考文献:

- [1] 中国民用航空总局. CCAR25-R4 中国民用航空规章第 25 部:运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空局,2011.
- [2] Airbus Commercial Airplanes Group. Flight Deck and Systems Briefing for Pilots. 2006.
- [3] Boeing Commercial Airplanes Group. B787 Flight Crew Operations Manual. 2007.