

中国民航学院 机电学院 张正洋

CFM56-3 型发动机主要用功率管理控制器(PMC)和发动机主调节器(MEC),而CFM56-7 型发动机则主要用电子发动机控制(EEC)和液压机械组件(HMU)来达到油路和气路控制。

发动机燃油控制的实现如图 1。发动机的控制通过使用功率杆,燃油切断杆,MEC 和 PMC 实现。MEC 响应功率杆输入并按发动机控制变量修正调节核心发动机转速 N_2 。它还通过外作动器自动调节 VSV 和 VBV。

1. CFM56—3 型发动机的控制和指示

(1) 发动机燃油和控制系统

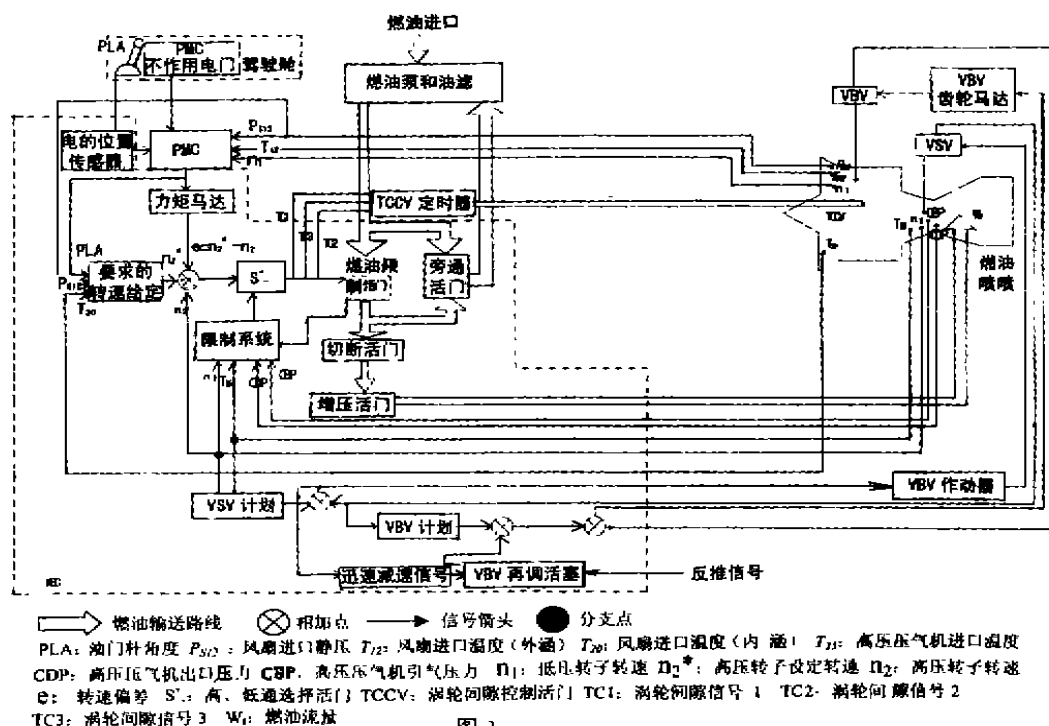


图 1

MEC 还提供信号(TC1 和 TC2)操纵高压涡轮间隙控制系统(HPTCCV)。MEC 的加速供油计划按飞机引气进行修正。

MEC 是一个液压机械组件,在所有工作状态通过计量到燃油喷嘴的流量控制核心发动机转速(N2)。调节器使用燃油泵后燃油作为液压介质。MEC 自动调节燃油流量保持驾驶舱转速给定和在任何工作条件下确立燃油最大安全限制。条件(参数)发生变化,规定加速和减速供油计划的限制发生变化。为了决定这些计划,MEC 感受高压压气机出口压力(CDP),高压压气机引气压力(CBP),压气机进口温度(CIT),风扇进口温度(T2)和高压转子转速(N2)。对这些参数进行放大计算,确立加、减速燃油限制。计算的限制值与实际燃油流量比较,当接近限制值时就起作用。MEC 根据 N2 和 CIT 信号计划 VSV 位置并用高压燃油通到 VSV 作动器改变 VSV 静子叶片角度,按照 VSV 计划的函数确定 VBV 活门的开度。MEC 通过 N2 信号,输出压力 TC1 和 TC2 操作 HPTCCV 的位置。

MEC 提供独立于功率杆位置的燃油可靠切断和泵卸荷系统。

PMC 是一个模拟式电子监控装置,由 N2 控制发电机供电并在有限的权限内调准 MEC 给定风扇转速 N1。当 PMC 接通,由感受的风扇进口温度和静压信号自动计算起飞 N1。功率杆角度信号用于选择推力大小;推力大小用于确立通过控制 MEC 燃油流量要求达到的风扇转速。当 PMC 断开,由 MEC 提供 N2 转速调节。

(2)CFM56-3 型发动机指示

发动机指示(EIS)是为了监控发动机的工作和健康状态而提供的指示,CFM56-3 型发动机指示系统主要是在驾驶舱中的发动机主显示组件和副显示组件。主显示组件提供推力模式、N1 手动设置、排气温度(EGT)、N1 转速、N2 转速、燃油流量(FF)、燃油耗量

(FU)指示。当 EGT、N1、N2 超限时,发动机的各参数会存储在存储器中。维护时,可以通过连接 ARINC429 总线的连接器获得超限时的发动机工作情况。副显示组件提供大气总温(TAT)、发动机滑油压力、滑油温度、滑油量、振动值,以及液压系统 A、B 的压力和油量。发动机振动值由机载振动系统(AVM)提供。发动机振动传感器、N1 和 N2 传感器将信号输给 AVM 调节器,经其处理后送至副显示组件。AVM 调节器可以记录发动机各单元体的振动情况,特别是能提供振动故障数据,可以通过连接 ARINC429 总线的连接器访问这些数据。

2. CFM56-7 型发动机的控制和指示

(1)发动机燃油和控制系统

发动机燃油和控制系统由燃油输送、控制和显示组成。它与发动机和飞机系统之间有数字和模拟信号的连接。电子发动机控制器(EEC)是发动机系统的主要控制部件。EEC 计算其输入数据并输出信号控制发动机的工作。EEC 与发动机连接的部件包括:程序塞、液压机械装置(HMU)、发动机空气控制系统、发动机传感器、燃油流量传感器、EEC 交流发电机、点火系统。与飞机系统的接口包括:电子显示装置(DEU)、启动杆停车指令、发动机灭火电门、交流转换汇流条 1 或 2、自动油门计算机、推力杆角度(TLA)、反推套筒位置。DEU 和自动油门计算机是通过 ARINC429 数据总线与发动机燃油和控制系统连接。EEC 通过 DEU 与发动机和燃油显示、启动杆慢车或停车指令、大气惯性基准数据组件(ADIRU)1 和 2、飞行管理计算机(FMC)和控制显示组件(CDU)、飞行数据采集组件(FDAU)连接,如图 2。

发动机燃油控制的实现。EEC 是发动机燃油和控制中心,它是一个双通道(A 和 B 通道)计算机。当发动机运行时,两个通道之间通过数据连接(CDDL)通信,一个主用

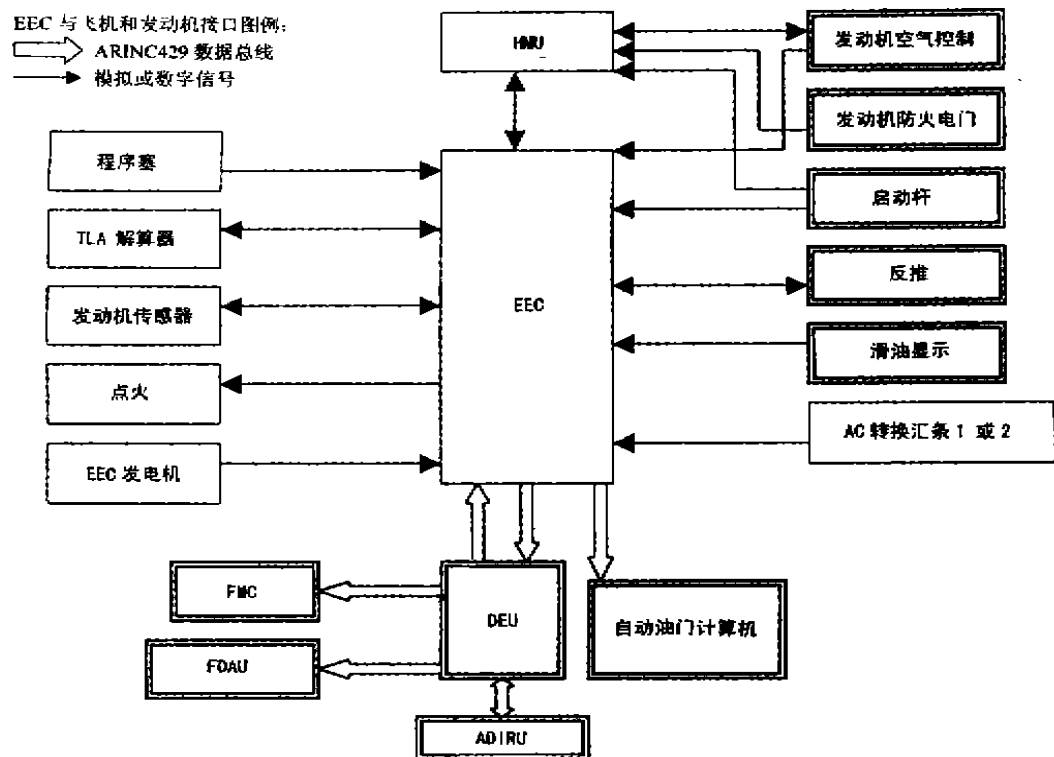


图 2

通道 A, 一个备用通道 B。EEC 从 A 或 B 收到信息并计算逻辑控制指令控制发动机。正常时, EEC 电源由 EEC 交流发电机提供, 转换汇流条 1 和 2 为备用电源。发动机程序塞提供配置数据包括“发动机类型、N1 调准、推力等级、发动机状态监控(可选)、发动机燃烧室构型”给 EEC。

EEC 通过 DEU 从飞机系统得到数据, 并将发动机数据传给飞机系统。发动机启动时, EEC 收到发动机启动信号, 提供发动机启动保护。当启动杆移到慢车位置时, 启动杆提供点火信号给 EEC, EEC 控制发动机点火系统和逻辑控制燃油计量活门(FMV)至慢车位置, 当启动杆在停车位置时, 高压切断活门(HPSOV)关闭, 启动杆给 EEC 信号告诉发动机处于停车模式。反推(T/R)套筒上的线性差动传感器(LVDT)传输 T/R 套筒位置给 EEC, EEC 用这个信号控制反推下的 FMV 位置。EEC 从发动机防冰和引气系统

得到数据控制 FMV 以保持推力。自动油门计算机从 EEC 中得到油门解算器角度(TRA)和最大额定推力数据, 自动油门计算机用这些数据计算油门杆角度(TLA), 并操作推力杆。ADIRU 提供大气总压、总温给 EEC, EEC 用这个数据计算发动机推力。FMC 提供 CDU、DEU 和 EEC 之间的连接, 并提供一些数据给 EEC。CDU 显示发动机维护数据, 并发出指令给 EEC 做系统自检。FDAO 收集发动机参数数据, 并将这些数据传给飞行数据记录仪(FDR)。

EEC 与发动机传感器联系。EEC 用 PT25 传感器提供的 HPC 进口温度和 T12 传感器提供的风扇进口总温控制伺服燃油系统和 FMV 位置; 用 PT25 传感器提供的 HPC 进口压力监控和控制发动机运行; 用 T3 传感器提供的压气机放气温度控制 FMV、瞬态引气活门(TBV)、BSV(燃烧级活门)、高压涡轮主动间隙控制(HPTACC)活

门;用 HPTACC 传感器提供的 HPT 机匣温度控制 HPTACC 系统;用 T49.5 传感器提供的涡轮排气温度传给 DEU,防止发动机启动时 EGT 超温。EEC 用 N1、N2 速度传感器提供的 N1、N2 速度控制 FMV 位置,并把他们发送给 DEU,N1、N2 速度传感器,也可以直接将 N1 和 N2 值传给 DEU。EEC 用 P0 传感器提供的外界大气压力和 PS3 传感器提供的 HPC 排气压力控制伺服系统和 FMV 位置。P0 提供的数据也是大气总压的备用选择,如果 EEC 不能从 ADIRU 中得到总压数据,则 EEC 用 P0 提供的数据取代总压。

HMU 从 EEC 和飞机收到燃油计量和发动机伺服指令信号,给发动机伺服系统和燃烧室提供燃油。HMU 转变 EEC 指令信号成伺服燃油液压信号,控制电液伺服活门(EHSV)操纵 FMV、TBV、HPATCC 活门、LPTACC 活门、VBV、VSV。EHSV 提供伺服燃油压力给伺服系统,EEC 收到的电气信号操纵 EHSV 中的扭矩马达。扭矩马达操纵活门,EEC 监控 EHSV 的位置。

HMU 中有一个机械的超转调节器,当它感受到 N2 超转时,将旁通活门开大,减少流入 FMV 的油量从而减小 N2 转速。EEC 监控它的工作状况。

EEC 的工作有三种模式:正常模式;软备用模式;硬备用模式。EEC 电门灯表明三种工作模式。正常模式下,EEC 从 ADIRU 中得到 PT 数据,当 ADIRU 中的 PT 数据不正确或没有时,EEC 进入软备用模式。此时,EEC 用 TAT 标准日温度、上一次相对于标准日温度变化的有效值确定马赫推力额定值。EEC 在软备用模式,推 EEC 电门至 OFF 位,移动推力杆至慢车位时,EEC 进入硬备用模式,此时,EEC 用从电子压力和高度表估算的马赫数额定推力及在额定中心点温度时计算的标准日变化温度确定马赫推力额定值。(在硬备用模式下没有发动机超转保护)。

(2)CFM56—7 型发动机指示

从 B757、767 开始应用的发动机指示和机组警告系统(EICAS)发展应用到 B737—700/800,功能完善,页面科学。CFM56—7 型发动机指示系统主要是在驾驶舱中的中央显示组件上。如果上中央显示组件故障,则显示在下中央显示组件上。显示组件提供显示的发动机参数与 3 型发动机类似。

当发动机参数超限时,超限时的相关数据存在存储器中,超限时能够在显示系统上看到超限情况发生,并在 CDU 的维护自检索引页中查询超限信息。维护自检索引页中选择 ENGINE 菜单,进入发动机/超限自检索引页,选择相应菜单,进入自检测试主菜单,此菜单包括:最近故障;故障历史;标识/配置;地面测试;输入监控;索引。“最近故障、故障历史”显示故障情况,如果有故障,可以查到故障的简单描述和故障信息号,帮助维护人员进行故障隔离。发动机故障被分成五种放行标准:发动机控制灯;备用模式灯;短期;长期和经济;放行标准表明故障的严重程度。“发动机控制灯”故障表明飞机不能放行;“备用模式灯”故障表明按照最低设备清单(MEL)可能允许放行;“短期、长期”故障表明必须按照维修计划数据(MPD)规定日期内修理;“经济”故障表明承运人可以按照自己的运营情况修理。选择“地面测试”,可以检查 EEC、反推互锁、作动筒、点火器是否正常。选择“输入监控菜单”可以监控控制回路、控制压力、控制温度、燃油系统、滑油系统、转速。“控制回路”包括 FMV、VSV、VBV、HP-TACC、LPTACC、TBV、BSV;“控制压力”包括 P0、PS3、PT;“控制温度”包括 TAT、T25、T3、TC(高压涡轮间隙温度)、T495(低压涡轮二级导向叶片温度);“燃油系统”包括燃油流量、FMV 位置、过滤旁通;“滑油系统”包括滑油压力、发动机滑油温度、过滤旁通;“转速”包括 N1 和 N2。

振动系统的 AVM 信号调节器有这些功能:计算发动机振动值和提供振动值给显示系统;保存发动机振动的历史数据;提供振动平衡的算法帮助发动机配平;隔离振动系统故障和保存故障数据。AVM 信号调节器前端有 BITE 电门和液晶显示,按下 BITE 电门后,出现自检主菜单,包括四项:自测;故障历史;航段历史;平衡。选择“自测”进行 AVM 信号调节器内部检查;用“故障历史”能看到振动系统的故障数据;用“航段历史”能看到最后 32 个航段上的振动数据;选择“平衡”,能看到 FAN 和 LPT 最后六个航段上的不平衡数据,看到和修改配重信息,为风扇、风扇与低压涡轮计算平衡的解决方法。

3. CFM56-3 型发动机与 CFM56-7 型发动机控制与指示的比较

(1) CFM56-3 型发动机与 CFM56-7 型发动机控制的比较

CFM56-3 型发动机控制主要由 MEC 和 PMC 实现,属于监控型发动机电子控制器。MEC 为液压机械式调节是核心控制器,由液压计算供应燃油量。MEC 负责发动机的完全控制,包括启动、加速、减速和转速控制。PMC 有监督能力,对推力(功率)进行精确控制,并对发动机的重要参数(如排气温度和转速等)进行安全限制。PMC 故障时,可以用 MEC 单独控制,但不能精确控制推力。

CFM56-7 型发动机的核心控制是 EEC,属于全权数字电子控制(FADEC)。所有的控制计算由 EEC 电子计算机实现,然后通过电液伺服机构输出控制 HMU,操作各个活门和作动器。HMU 属于执行机构。

由于 CFM56-3 型发动机的燃油计量由 MEC 计算,所以提供 MEC 的发动机上的各传感器、各作动筒大多为液压部件;而 CFM56-7 型发动机的燃油计量由 EEC 计算,所以提供 MEC 的发动机上的各传感器为电气部件、各作动筒为电液部件。CFM56

-7 型发动机提供了对启动的控制。当热启动或湿启动时,EEC 会自动发出命令停止启动,而 3 型发动机没有这项功能。EEC 是飞机和发动机联系的桥梁,由于电子控制便于同飞机、发动机接口,所以易于推力管理、状态监控、故障诊断以及信号显示和数据存储。由于 EEC 是电子控制,所以易于实现双通道设计,使发动机的控制成为容错余度控制。

(2) CFM56-3 型发动机与 CFM56-7 型发动机指示的比较

CFM56-7 型发动机显示不仅显示发动机的各有关参数还可以帮助故障隔离。由于 CFM56-7 型发动机控制是电子控制,发动机的数据便于传给飞机系统,所以利用驾驶舱中的 CDU,可以得到故障信息且隔离飞机发动机故障,另外,CFM56-7 型发动机的 AVM 调节器,有液晶显示并且可以进行平衡算法计算,而 CFM56-3 型发动机的 AVM 调节器不能显示,只能通过外界设备得到振动数据而且不能进行平衡算法计算。

4. 结束语

CFM56 发动机控制从液压机械加电子监控发展成 FADEC,成功取代了液压机械控制,大大提高了控制技术水平;从 B757、767 型开始应用的 EICAS 系统,成功发展应用于 B737-700/800,带来驾驶舱显示技术水平的变化。

新型控制及指示技术的应用,使得发动机的故障检测、隔离发展到新水平,使用/维修更科学化、规范化。

参考文献

1. 许春生.民用航空发动机控制.中国民航出版社.1995.5
2. B737-800 Training Manual. Boeing
3. B737-300 Maintenance Training Manual. Boeing