

一种大型飞机飞行自动控制系统设计

Design of Automatic Flight Control System for Large Aircraft

空军工程大学工程学院 李 宁 孙秀霞 田 松 陈金科 侯 颖

现代飞机的各项性能都大幅度提高,飞行控制系统变得越来越复杂,使得设计也变得更加复杂和困难,这都会使飞行控制系统发生故障的可能性越来越大。相应地,对各相关部件的可靠性、准确性也提出了越来越高的要求。

飞行自动控制系统是大型飞机的重要组合驾驶设备,该系统与飞机组成一个闭环控制系统。在这个闭环控制系统中,飞机是被控对象,飞行自动控制系统是控制器。利用飞行自动控制系统控制飞机,可实现飞机的自动飞行和自动着陆。

由于大型飞机的载重量大、机动性小,它的飞行自动控制系统同战斗机的差别很大。本文针对大型飞机的特点,对其飞行自动控制系统的研究方法进行研究,主要对飞行自动控制系统的系统组成、所要完成的任务、同机载其他系统的交联关系以及飞行中所要具备的各种飞行状态、系统安全性等方面进行论述。所设计的系统能够保证飞机完成飞行任务,达到预期的设计目标。

飞行自动控制系统组成

针对静稳定的大型飞机设计的飞行自动控制系统能够对升降舵、方向舵和副翼 3 个操纵舵面进行控制,方向舵和副翼的操纵采用电传操纵。

每个系统主要包括 5 个分系统:自动驾驶仪,自动油门控制系统,轨迹控制系统,横、航向增稳控制器,监控系统。

自动驾驶仪系统用于控制飞机相对重心角位置的自动稳定。

自动油门控制系统保证飞机按航线飞行和进入着陆时,自动驾驶仪在自动或指令控制状态下,调节发动机的推力来稳定表速。

航迹控制系统用于飞机按航迹飞行的自动和指令控制,此航迹由导航计算机在水平面内给出。当采用“方块航线”机动时,飞机按导航计算机给定的航行角或航迹角飞行;在进入着陆按航向-下滑信标台到达高度 60m 时,则按偏离给定高度的偏差信号进行指令控制。

横、航向增稳控制器保证飞机在所有飞行状态(从飞行到着陆)且无脚踏与驾驶盘位移情况下手动或指令操纵时,能够消除航向和倾斜的短周期振荡。

监控系统在飞机自动控制时监

控自动油门和自动驾驶仪的工作。

飞行自动控制系统的功能

飞行自动控制系统用于飞机的自动操纵和指令驾驶,它应具备以下功能:

- 保证飞机相对于重心的稳定;
- 依靠“倾斜”、“航向”、“下降-上升”等手动控制,能够修正飞机的转弯、爬高和下降;
- 在航线上飞行时,借助升降舵保持表速和 M 数给定值及其稳定性;
- 在航线上飞行时,保证高度给定值的稳定;
- 在自动和半自动操纵情况下,自动油门能在航线飞行时和着陆下滑时稳定给定表速;
- 按照导航计算机在航线上给定的航迹飞行时,实现飞机的自动和指令操纵;
- 根据惯性导航系统的信号,实现飞机在航线上的自动操纵;
- 控制飞机按导航计算机给定

的航向或航迹角飞行；

- 控制飞机由飞行员或领航员给定的航向或航迹角飞行；

- 根据偏离给定高度的信号,对飞机实行指令控制；

- 利用升降舵在飞行中自动限制表速；

- 在自动控制和指令控制情况下,根据无线电自动罗盘信号,进行“方块航线”的机动；

- 在 60m 以下高度,根据符合国际民航组织 1 类标准的下滑航线信标台的信号,自动和指令引导进入着陆；

- 目视显示当前和给定航向的倾斜角、俯仰角、航迹角、偏流角或无线电台航向角等；

制组件等故障的信号,的显示以及部件故障后的保障措施；

- 在所有状态下,连续检查系统的工作,在具有相应信号的主系统故障情况下,从主系统向备份系统的自动转换；

- 当主系统和备份系统出现故障或具有相应信号的 $\alpha_{\text{极限}}$ 、 $\Pi_{\text{极限}}$ 以及 $\theta_{\text{极限}}$ 等过大时,自动控制系统应自动关断。

飞行自动控制系统同其他机载系统的交联

飞行自动控制系统与机载系统是密切相关的,要完成以上设定任务,需要其他机载设备提供所使用的信号。其中包括:来自航向姿态

来自无线电着陆系统的下滑线偏差信号(包括下滑航向偏差信号和下滑偏差信号);来自高度控制器的高度差信号;来自速度控制器的速度差信号。

自动控制系统工作时,在不同交联设备信号的作用下,对飞机的控制作用是不相同的,主要是利用俯仰通道控制升降舵机的偏转,进而控制飞机的俯仰姿态、飞行高度、速度和 M 数;利用倾斜通道控制副翼的偏转,来控制飞机的航向或航迹;利用航向通道控制方向舵的偏转,来消除飞机的航向摆动和侧向过载。

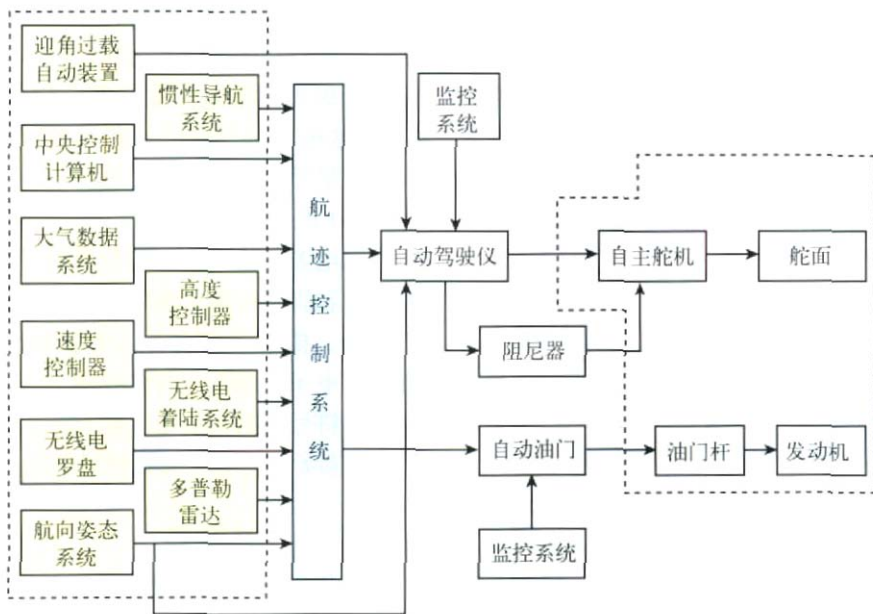
另外,为了保证进入自动控制系统信号的正确性,各交联系统必须在正常工作,才能向自动控制系统提供信号。因此,在自动控制系统与各交联系统之间,设置了用来表示交联系统工作状态的工作准备信号或故障信号。自动控制系统根据有无工作信号或故障信号,来判断交联系统的工作状态,并确定是否接受其提供的信号或转换自身的工作状态。

飞行自动控制系统的工作方式

自动驾驶仪的工作方式都是为飞机纵向运动和侧向运动姿态控制提供引导量值。这些量值同时也显示在飞行指引仪表上,作为飞行员的引导量。这样,飞行员既可以选择“手动”操纵,也就是通过电传操纵系统的预置控制;也可以选择自动驾驶仪工作方式。即使在航迹参数预置的层级上,飞行员也可以选择是在控制器的操作设备上手动输入航向、俯仰、倾斜等规定值,还是由导航计算机直接规定这些值。飞行自动控制系统应具有如下飞行状态:

(1) “俯仰角稳定”状态。

该状态是根据航向姿态系统产生的俯仰角信号 θ ,来修正俯仰角偏差,保持飞机俯仰姿态的控制过程。



自动控制系统组成

- 在进行“方块航线”机动和进入着陆情况下,对于给定航线的侧向偏离、飞机相对于下滑航向信标台等信号区的位置、以及航线飞行操纵飞机的控制(指令)信号等的目视显示；

- 在自动飞行时,舵面和副翼操纵线系中作用力的显示；

- 进入着陆时有关自动控制系统工作状态、临界倾斜、航向和下滑道等信号区的临界偏离的信号,有关无线电技术设备、航向姿态系统和自动控

系统的航向、俯仰、倾斜信号;来自大气数据系统的飞行速度表速信号及马赫数偏差信号;来自飞机迎角过载信号系统的临界迎角信号;来自导航计算机的航向给定信号;来自导航计算机或惯性导航系统的航迹信号(包括航迹控制信号、航迹偏差信号和航迹偏离速度信号);来自无线电罗盘的无线电方位角;来自无线电高度表的飞机真实高度信号;来自多普勒雷达系统的偏流角信号;

(2) “高度稳定”状态。

该状态是根据高度控制器产生的高度差信号,修正高度偏差,保持飞机高度的控制过程。

(3) “速度和 M 数稳定”状态。

该状态是根据速度控制器产生的速度信号 V 和速度差信号 ΔV 或根据 M 数偏差信号 ΔM ,修正极限速度或 M 数偏差,稳定飞行速度或 M 数的控制过程。

(4) “航向稳定”状态。

该状态是指根据航向姿态系统产生的航向信号 ψ ,修正航向偏差的控制过程。

(5) “操纵”状态。

•“升、降操纵”状态:该状态是指根据飞行员利用“升-降”操纵方式发出的俯仰角给定信号 $\theta_{给}$,操纵飞机做爬高或下滑的控制过程。

•“倾斜操纵”状态:根据飞行员利用“倾斜”操纵方式发出的倾斜角

(7) “最短距离”状态。

根据导航计算机给出的航向角给定信号 $\psi_{给}$,操纵飞机航向飞行的控制过程。

(8) “方块航线”状态。

根据无线电罗盘提供的无线电方位角,操纵飞机按标准方块航线(左或右方块航线)进行着陆前机动飞行的控制过程。

(9) “进入着陆”状态。

根据无线电着陆系统提供的下滑线偏差信号,操纵飞机按给定的下滑线下滑至距地面 60m 高度的控制过程。

安全性功能

飞行自动控制系统应能够完成如下的飞行操纵和控制规律:

(1) 正常操纵规律。

无故障时使用正常操纵和控制规律。在纵向和侧向运动中,飞行员

以保证正常的操纵规律。

(2) 备用操纵规律。

当发生一定故障组合时,将自动切换到备用操纵规律,此时,包括自动配平在内的俯仰操纵保持不变,但在着陆进近时(起落架放下),转换成直接操纵。

倾斜操纵的备用操纵规律是直接操纵,也就是由侧杆和倾斜调节器(副翼/扰流板)之间的“电传动系统”组成,其传动比与空速大小和着陆襟翼偏角有关。取消了对飞行状态的监控(除 Π_z 外),由声音和视觉告警显示(失速和超速告警),允许的飞行范围被限制在 $M \leq M_{极限}$ 。

(3) 直接操纵。

当发生另一类故障时,俯仰操纵恢复到直接操纵,侧杆和俯仰操纵指令都转换成比例电操纵信号。同时,俯仰操纵要同襟翼位置和重心位置匹配,这相当于“智能”操纵。此时,偏航阻尼器被降低权限使用。

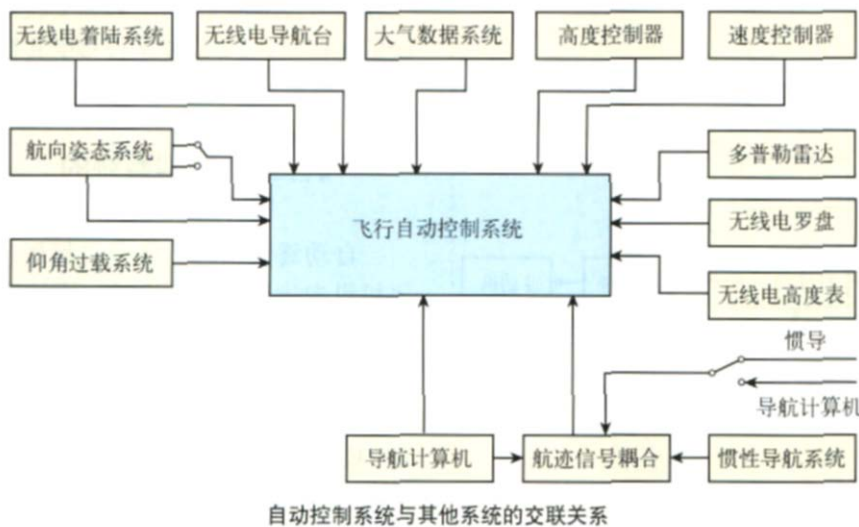
(4) 机械式应急操纵。

当电源供给发生短暂故障时,用操纵盘和脚蹬机械式操纵飞机,并紧急着陆。操纵状态或者以文字形式显示在电子控制和飞行监控器上,也可以用符号标明在主飞行显示器上,使飞行员始终能够了解系统的状况。

结束语

现代飞机的各项性能都大幅度提高,飞行控制系统变得越来越复杂,使得设计也变得更加复杂和困难,这都会使飞行控制系统发生故障的可能性越来越大。相应地对各相关部件的可靠性、准确性也提出了越来越高的要求。为了提高飞行控制系统的可靠性和可维修性,在上述飞行控制系统设计思路的基础上,利用现代控制理论设计此飞行控制系统,实现故障的快速诊断和隔离,从而提高飞机的生存性,减轻飞行员的负担,具有非常重要的意义。

(责编 晓霏)



自动控制系统与其他系统的互联关系

给定信号 $\gamma_{给}$,操纵飞机改变倾斜姿态(实际上是改变航向)的控制过程。

•“航向操纵”状态:根据飞行员或领航员发出的航向角给定信号 $\psi_{给}$,操纵飞机改变航向的控制过程。

(6) “给定航迹”状态。

根据导航计算机或惯性导航系统提供的航迹控制信号,航迹偏离信号和偏航速度信号,操纵飞机按给定航迹飞行的控制过程。

可以预置在全部飞行范围内都能得到最优的飞行品质(动态特性、机动性、扰动性),而且飞行品质尽量要同飞行速度、重量或重心位置无关。另外,采用监控系统和自动遵守飞行范围边界(最大和最小空速、最大迎角、载荷系数、横向和纵向倾角),这样飞行员任何时候都可以没有危险地使用全部飞行范围,而不会无意地超过安全限制。当发生个别故障时,仍可