

舱门信号控制系统设计

Design of Door Signal Control System

中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究 徐李云 孙欢庆

[摘要] 随着民用飞机的发展,舱门信号系统也变的越来越重要了。特别是经历了几次有关货舱门故障导致飞机坠毁之后,舱门系统的重要性越来越突出。因此 FAA 出台了 AC25.114 修正案,给出了舱门信号系统设计应注意的事项,保证飞机飞行的安全。参照最新的 FAA 适航条例为依据,给出了某型飞机舱门信号控制系统的功能描述、设计方案和控制流程,并对该系统的核心部分进行了分析。

关键词: 先进民用飞机 电气系统 舱门信号系统 接近传感器

[ABSTRACT] With the modernization of civil aircraft, door signal system has become more and more important. In particular, the importance of the door signal system is more evident after several failures on the cargo door caused the aircraft crashes highlighted the increasing importance of door systems. Therefore, FAA issues a AC25.114 amendment which gives some the door signal system design requirements which make sure the safety of aircraft. In reference to the latest FAA airworthiness regulations as the basis, door signal control system functional descriptions, design and control process for a certain type aircraft, and the core of the system is analyzed.

Keyword: Modern civil aircraft Electrical system Door signal system Proximity sensor

随着民用飞机的发展,飞机由传统的机械式控制逐渐过渡到电气系统控制。飞机逐渐变得更加智能化和多电化。同时舱门系统也经历了原始的无任何舱门状态提示到机械式提示方式,最后到现代的由一系列接触传感器、接近传感器等给出飞机舱门详细的状态的指示方式。但是各型飞机由于舱门信号担负任务不同,因此舱门信号系统所需传感器数量也是不同的,数量从十几个到几百个都有。因此某些型号的飞机会设立独立的舱门信号控制系统来对舱门进行控制和状态显示,而其他飞机则借用起落架控制盒等系统的控制器来对舱门信号进行控制和显示。

现介绍某型飞机舱门信号控制系统。该控制系统在整个飞机系统中承担的任务主要是:

(1)使能环控系统进行全机加压操作;

- (2)飞行锁控制与显示;
- (3)飞机残余压力报警;
- (4)滑梯系统状态监控以及预位报警;
- (5)舱门显示面板显示控制;
- (6)滑梯气瓶压力采集及压力不足报警;
- (7)货舱门作动器供电控制及货舱门状态检测与报警;
- (8)为提高签派可靠度,执行 overri function;
- (9)全机舱门传感器信号采集及状态显示;
- (10)系统 BITE 功能。

1 适航条例

根据 FAA 提供的最新的适航条例,舱门系统有如下的要求^[1]。

(1)对如果未锁闭可能有危险的每个门必须设计成在增压和非增压飞行中从完全关闭的、锁闭和锁定的状态打开是极不可能的。这必须由安全性分析来表明。

可能引起任何舱门解锁或脱闭的所有动力源都必须在飞行前与上闭和上锁系统自动脱开,并且在飞行中不得向舱门重新功能。

(3)每扇舱门必须有措施防止飞行中被人无意打开。此外,必须采取设计预防措施以把舱门在飞行中被人故意打开的可能性减到最低程度。如果这些预防措施中包括使用辅助装置的话,那么这类装置及其操作系统必须设计成使得:

- 单个故障不会造成一扇以上的舱门打不开的后果;
- 发生导致着陆后会打不开舱门的故障的概率很小。

(4)必须有措施防止任何承压的门在未完全关闭、锁闭和锁定的情况下将飞机增压到不安全的水平。

(5)警告、戒备和提示指示。

· 必须有明确的措施,给每个门的操作人员位置指示,所有要求的关闭、锁闭和锁定门的操作都已经完成。

· 对于如果未锁闭则可能有危险的任何门,必须有明确的、从每个操作人员位置都清晰可见的措施,指示该门没有完全关闭、锁闭或锁定。

· 在驾驶舱内必须有目视措施,如果门没有完全关闭、锁闭和锁定则给驾驶员发出信号。该措施必须被设

计成任何失效或者失效组合导致错误的关闭、锁闭和锁定指示是不可能的：每一承压和打开时首先作内向运动的门；每一未锁闭可能有危险的门。

(6) 在起飞滑跑最初阶段之前或者在起飞滑跑最初阶段中,任何门没有完全关闭、锁闭和锁定并且其打开可能妨碍安全起飞或返航着陆,则必须给驾驶员声学告警。

(7) 目视检查规定。每一未锁闭可能有危险的门必须有清晰的直接目视检查措施,确定门是否完全关闭、锁闭和锁定。在运行照明条件下或者通过手电筒或同等光源的手段,该措施必须是永久和清晰可辨的。

2 舱门信号系统设计

舱门信号系统的设计必须遵循上述适航条例,为满足适航条例而服务。

现给出某型舱门信号系统的架构图(图1)。

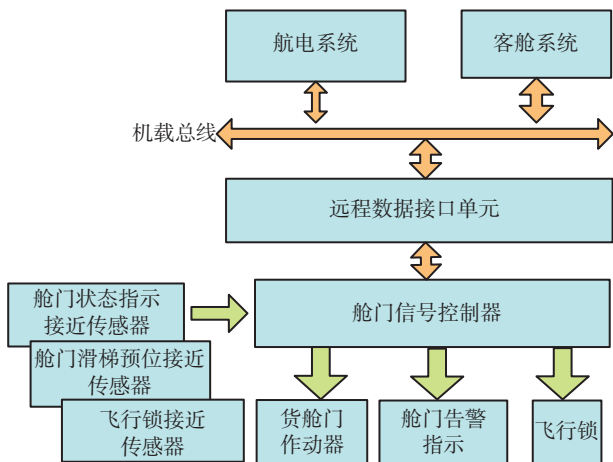


图1 舱门信号系统架构

Fig.1 Door signal system structure

舱门信号系统主要功能为：

(1) 集成舱门系统和滑梯系统接近传感器信号的处理,预留通道来完成如飞控系统地面扰流板等接近传感器的处理；

(2) 接受航电空速总线信号,完成全机飞行锁的控制；

(3) 集成滑梯系统控制和显示逻辑；

(4) 接受发动机关闭信号和起落架系统空地信号,完成货舱门作动器的供电控制和状态指示逻辑控制；

(5) 双余度 ARINC429 总线输出,与航电显示系统、远程数据接口单元和中央维护系统等的交联,完成舱门系统的状态指示、报警和故障信息存储；与环控压调系统交联,提供舱门状态信息作为地面预增压的条件,并

提供前登机门接近传感器信息用于压调系统监控机内外压差；

(6) 指示面板和指示灯的状态显示,显示舱门状态、滑梯状态和剩余压力指示；

(7) 完成补偿功能来消除接近传感器虚警问题。

为完成上述功能,并符合适航要求。舱门信号系统包括的设备有:(1) 舱门信号系统控制盒;(2) 接近传感器;(3) 实现补偿功能的外部设备;(4) 指示面板、指示灯。

接下来对各个部分进行介绍。

2.1 舱门信号控制盒

舱门信号控制盒为舱门信号系统的处理核心,控制盒由电源模块,处理模块和传感器信号处理模块,驱动模块组成,结构如图2所示。

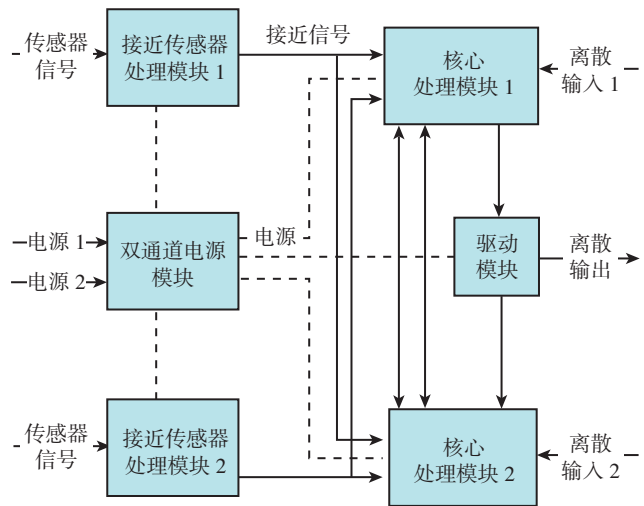


图2 舱门信号控制盒

Fig.2 Door signal control box

电源模块为2路28V双通道电源模块,为整个控制盒提供合格品质的电源。一般情况下电源模块一路接应急电源,另一路则接28V正常电源。电源模块在正常情况时使用正常电源进行供电,当飞机处于应急模式时,使用应急电源保证舱门系统正常工作。

控制盒处理模块为整个控制盒的大脑,处理控制盒同其他系统之间的交联信息,并负责整个系统的控制逻辑和处理逻辑。

接近传感器处理模块,负责将有关舱门/滑梯上的接近传感器状态采集并提交给处理模块进行处理。

驱动模块接受处理模块的控制,负责发送和接收离散信号,用于整个舱门系统显示和舱门作动器的控制等。

2.2 接近传感器

随着现代传感器技术发展,舱门系统使用的传统微

动开关式接触式传感器被现代接近传感器所替代。

现在民机上广泛使用的接近式传感器为电涡流式接近传感器。这类传感器又名无触点行程开关^[2]。它能在一定的距离(几 mm 至几十 mm)内检测有无物体靠近。当有物体接近到一定的距离时,就可以发出“动作”信号。接近传感器的核心部分为“感辨头”,它对正在接近的物体有很高的感辨能力,原理如图 3 所示,其中 B_1 为传感器线圈电场, B_2 为金属导体电涡流产生电场, i_e 表示电涡流。

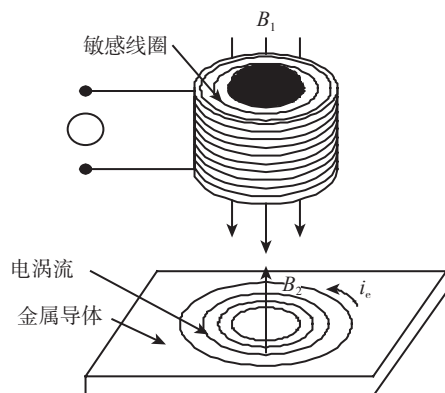


图3 接近传感器原理

Fig.3 Principle of proximity sensor

电涡流接近传感器的主要分为二线制的被动传感器和三线制的主动传感器^[3]。所谓被动传感器即需要后续电路进行鉴幅等操作,而主动传感器则传感器上集成了鉴幅等信号处理电路。两者可靠性因为主动传感器集成了信号处理电路因此比被动式传感器要差。目前国际上被动式传感器可靠性已经可以达到 10^6 h,而主动式传感器则达不到上述标准。正因为如此民机大量采用了被动式接近传感器外加后续信号控制盒模式的工作方式。

2.3 补偿面板

补偿面板的设置主要是为了提高民航飞机的派遣率。因为按照民航飞机适航条例,在飞机起飞时,如果检测到飞机舱门未全部关闭,飞机压力调节系统是不允许给飞机加压的。因此如果飞机舱门信号系统不具备补偿能力,那么在舱门信号系统误警的情况下,将极大地降低飞机的派遣率,这也是航空公司不愿意看到的情况。

为了克服上述问题,舱门信号系统的补偿面板的安装也呼之欲出。现代民航飞机补偿面板的设置一般有 2 种方式:

(1)第 1 种方式为安装物理结构式的补偿面板,飞行驾驶舱设置一块物理的补偿面板,如果发现飞机舱门报警,飞行员通过目视检查舱门没有问题的情况下,通

过补偿面板给舱门信号控制盒发送相应传感器一个假的信号,来使飞机能够加压和起飞。

(2)第 2 种方式为虚拟的补偿面板,该方式的出现是随着信息技术的发展而发展起来的。现代飞机触摸屏的使用,使得飞行员与航电系统的交互性做的越来越好,因此飞行员可以通过在飞机触摸屏点击相应传感器,由航电系统同舱门信号系统交联,将相关传感器关闭。因此能够在舱门传感器误报警的情况下使飞机加压和起飞。

2.4 指示面板、指示灯

为满足适航条例关于乘务员对舱门状态的目视检查方便性,对于滑梯系统、飞机残余压力的指示,现代民用飞机舱门都会安装各式各样的指示灯,指示面板之类的提示装置。

对于滑梯系统以及飞机残余压力告警,飞机一般采用频闪型的指示灯,用于对乘务人员在飞机打开舱门时飞机状态的告警。

而对于适航规定的用于目视检查装置一般都采用一块显示舱门状态:关闭、上闭、上锁的指示牌类的指示面板。

3 舱门信号系统信号处理

传感器信号处理电路采用阻抗桥探测接近传感器内电感量的变化,当目标导体远离传感器时电桥平衡的,而后经过解调输出相应的信号,该电路响应速度快,探测距离准确,精度高^[4]。

处理电路输出多路信号,由于每个接近传感器的电阻值是基本相同的,当接近传感器本身或者连接回路中有存在断路和短路的现象,对应的阻值发生变化,“测试输出”的信号就会发生跳变,驱动故障报警;“电平输出”的信号用于指示目标导体与接近传感器的距离,当目标导体处于“远”的位置时,输出高电平,当物体处于“近”的位置时,输出低电平;解调电压的电压值大小完全正比于接近传感器的检测距离,二者具有一定的比例关系,当位置确定时,输出电压值的大小就是固定不变的,主要适用于判断接口电路的工作是否正常以及目标导体与接近传感器的位置状态。信号处理电路见图 4。

4 现代舱门信号系统发展与展望

随着现代传感器处理技术向智能化方向发展,在信号处理系统不断引入 DSP 等可编程控制芯片,信号处理系统拥有的功能越来越多。目前,国外最新舱门信号处理系统已经具备动态配置传感器参数的能力。比如,传感器测量距离,传感器特性曲线等等。因此舱门信号处

(下转第 75 页)

3 仿真试验与结果分析

设定某型号飞机初始速度为 72m/s,最大刹车压力为 10MPa,在积水跑道下进行的仿真试验,仿真步长为 1ms。从仿真曲线中可以看出,初始阶段机轮打滑较深,刹车力矩突变,这是刹车系统在落地瞬间尚未进入正常工作状态。经短时间的调节,刹车系统工作趋于稳定,打滑变浅,刹车力矩曲线的振幅逐渐加强,这时刹车效率较高,飞机速度不断减小直至刹停^[6]。

在图 5 中,蓝线表示的刹车压力曲线,红线代表机轮速度曲线,绿线代表飞机速度曲线,黑线代表飞机从刹车开始到停止走过的距离。当机轮速度下降时,刹车压力增大,当机轮速度下降过快时,控制盒会认为出现了机轮打滑现象,这时会输出一个大的防滑电流,以减少刹车压力,机轮打滑越严重,打滑时间越长,防滑电流越大,刹车压力越小;当刹车压力减小时,机轮速度上升,控制盒输出较小的防滑电流,增大刹车压力,以控制机轮速度。所以机轮速度曲线总是一升一降的,刹车压力曲线也是一升一降的。从刹车速度曲线可以看出飞机的防滑功能还是比较好的,没有出现严重的抱死现象,且打滑频率在正常的范围之内,刹车效率达到了 91.33%,刹车时间为 45.7s,刹车距离为 1659m,说明建立的飞机模型较为合理,实物系统正常工作;并且在 1ms 的仿真步长设定下,半实物仿真系统较好地达到了实时性的要求,满足了各软、硬件系统不同模块之间的同步要求。因此,该半实物仿真系统能够真实地模拟这个飞机的刹车过程,反映飞机刹车的状态变化,证明了整套飞机刹车半实物仿真系统的可行性与有效性。

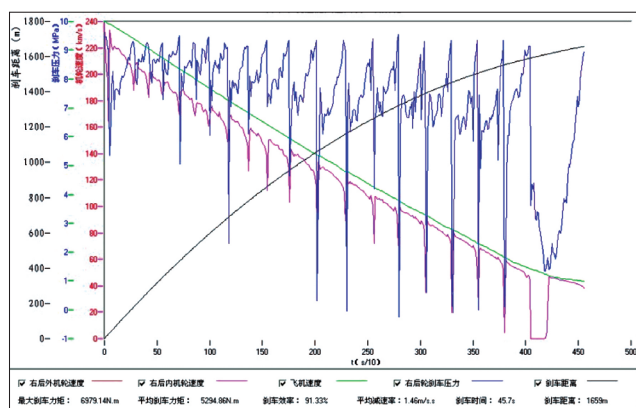


图5 飞机刹车系统半实物仿真波形

Fig.5 Semi-physical simulation waveforms of aircraft brake system

4 结束语

本文介绍了基于 iHawk 并行仿真平台、Simulation

Workbench 仿真环境下对飞机防滑刹车系统的研究,仿真曲线能够较为准确地反映飞机刹车过程中的状态变化,证明了整套飞机刹车半实物仿真系统的可行性与有效性。该方法可以及早发现系统设计中的缺陷,确定最佳控制策略以降低风险、缩短设计周期、减少试验成本,而且有助于新技术、新理论在飞机刹车系统设计中的应用与推广,具有较强的实际工程意义。

参考文献

- [1] 宋海滨. 飞机防滑刹车控制方法研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2010.
- [2] 温兴清. 基于动态摩模型的路面辨识及最优刹车控制研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2008.
- [3] 张谦. 飞机电传数字防滑刹车系统控制律仿真研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 1999.
- [4] 鄢全文. 航空机轮试验台电器柜改造与能量控制 [D]. 西安: 西北工业大学, 2003.
- [5] 姜伟, 谢利理. 飞机刹车系统的并行计算机半实物仿真. 航空精密制造技术, 2006, 42(5): 43-47.
- [6] 齐洁, 谢利理, 王健. 基于并行计算机的飞机刹车系统半实物仿真. 系统仿真学报, 2007, 19(13): 3101-3104. (责编 小城)

(上接第 71 页)

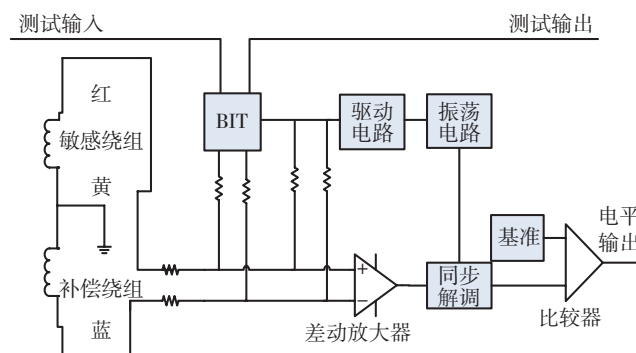


图4 信号处理电路

Fig.4 Signal processing circuit

理系统发展的方向为更加智能化,更加客户化。

而随着接近传感器不断地优化结构设计和电路设计,传感器向着更长平均故障间隔时间、更高测量精度和更低廉价格的方向发展。

参考文献

- [1] FAA. 美国联邦航空条例 FAR-25 部, 2009.
- [2] 伊恩·莫伊尔, 阿伦·西布里奇. 民用航空电子系统. 北京: 航空工业出版社, 2009.
- [3] 陈圣灵, 侯成晶. 传感器技术及应用电路. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [4] 飞机设计委员会总编委会. 飞机设计手册·电气系统设计. 北京: 航空工业出版社, 1999. (责编 良辰)