

民用飞机燃油泵的点火源防护

Fuel Pump Ignition Source Prevention of Civil Aircraft

上海飞机设计研究院电气系统设计研究部 李庆南

[摘要] 本文介绍民用飞机点火源防护的历史来源,提出接地故障保护的概念,分析接地故障中断继电器的基本工作原理及其在民用飞机上的应用。

关键词: 点火源 接地故障中断 故障电流

[ABSTRACT] The history background of ignition source prevention of civil aircraft is introduced, the concept of ground fault protection is put forward, and basic working principle and application in civil aircraft of ground fault interrupter (GFI) relay is analyzed.

Keywords: Ignition Source GFI Fault Current

空难一般是由燃油箱爆炸引起的,适航当局逐步认识到燃油箱保护的重要性。燃油泵作为燃油箱的关键部件,点火源的防护特性受到了前所未有的关注。民用飞机制造商纷纷采用大量先进技术来满足燃油泵的防爆需求。

1 点火源防护的来源

1996年7月17日,一架服役25年的波音747-100系列飞机从纽约肯尼迪国际机场起飞后在空中爆炸,造成230人死亡。美国国家运输安全局(NTSB)对所发生的事故进行调查,结果显示:事故的主要原因是中央翼油箱存在未知的点火源。联邦航空局(FAA)在此后的第102条修正案中强调要对燃油箱系统(包括其所有部件,如传感器、燃油泵、连接器等)进行点火源防护,并且在联邦航空规章(FAR)第25部运输类飞机适航标准的第4次修订中,把§25.981条款“燃油箱温度”更改为“燃油箱点燃防护”;增加第102条修正案中的关键内容,增加燃油箱不得有点火源存在,必须建立必要的关键设计构型控制限制(CDCCL)、检查或其他程序,以防止燃油箱系统附近形成点火源等内容^[1-3]。

燃油泵作为燃油箱系统的一个重要部件,其连接器和电缆等成为了点火源防护的重点对象。所谓点火源,一般是指点燃燃油箱内燃油或燃油蒸汽的源泉。这些源泉主要有电弧和电火花、细丝加热、摩擦火花以及热表面点燃或自燃。涉及到燃油泵的点火源集中体现在电弧和电火花。

2 接地故障保护

大多数情况下,使用一个三相断路器来保护燃油泵的电机。在某些断路器中,断路器的复位会在燃油箱附近产生电弧并且形成一种点火源。因此,如果断路器有复位功能,那么燃油泵电路同样应该排除点火源的形成。在该故障模式下,使用无复位功能的断路器就可满足§25.901条款自动防护故障的要求。当三相燃油泵中有一相电源发生故障时,将会明显地加大燃油泵剩余两相的负载,并且在泵体内产生热量。许多情况下,泵内的过热保护特性可以防止此类过热故障,但是在单相故障的情况下连续操作燃油泵,这种过热保护的方法就不是很有效了。另外一种需要考虑的故障情况是:继单相故障之后,燃油泵的第二相也出现故障,并且可能导致电弧或热破坏。通常,那样的操作会形成一个点火源,那么在单相故障后应该不允许操作燃油泵。因此,当发生单相故障时,应该提供自动保护装置,如接地故障中断器(GFI)或其他有效的设备,来切断燃油泵的电源。

目前,许多航空公司通过在其飞机的燃油泵上加装GFI继电器来对接地故障进行保护,使来自燃油泵点火源的概率降到极低。比如,波音公司在707、727、737CL、737NG、747CL、747-400、757、767及777机型上加装GFI继电器,空客公司也在A380机型上加装GFI继电器。

3 GFI 继电器的工作原理

3.1 故障电流的产生

通常使用接地故障探测与保护的方法来连续监测交流(AC)燃油泵的故障状态,瞬时切断燃油泵的电源以便减少设备的损坏或生命的丧失。

对于三相AC供电负载,一般使用三相独立的电源线给负载供电。该三相电源的电压值相等,只是相位不同,而且任意两相电源线之间的相位差为 120° 。有时需要第四根线,即中线,连接到负载上。在平衡负载的情况下,每根相线上的电流值相等,因此在中线上的电流矢量和为0,故可以省略中线^[4]。如果三相电源线之间电流的矢量和不为0,则意味着负载不平衡,并且该

不平衡电流将通过意想不到的途径返回到发电机或者是电流源。通常把该不平衡电流称之为接地故障电流。

3.2 检测接地故障电流的工作原理

对于三相三线制(无中线)的系统,通常计算三相电流的矢量和来测量接地故障电流。在流经三相线电流的地方加装电流互感器来感应三相电流的矢量和,如图1所示。通过在电流互感器的内部感应出三相电流磁场的矢量和,并且在电流互感器的次级线圈上感应出一个电动势信号(也称为电压信号),用电压信号来表示三相电流的矢量和,即接地故障电流的矢量和。

GFI主要由电源转换模块、电流互感器、信号滤波、电感驱动触点作动和测试开关等组成。GFI继电器内部电子元器件的工作电源取自负载端三相电源中的两相,再经过电压尖峰抑制单元和AC-DC转换器的处理后,给控制逻辑电路提供符合要求的直流DC电源。当三相AC电源中有一相或者两相发生接地故障时,并且漏电流无法通过接地来正常释放,则会导致负载不平衡,即三相交流电的矢量和不等于0,在电流互感器的线圈中感应出变化的磁场,从而在电流互感器的次级线圈感应出故障电流。该故障电流流经抽样电阻,并且在滤波器的输入端形成AC抽样电压。该电压信号经过低通滤波、全波整流和再次低通滤波及延时后,转换成易于处理的平稳DC电压信号。

脉冲发生器控制比较电路,从而产生比较器的基准参考电压。平稳的DC抽样电压与基准参考电压进行比较,从而产生场效应管的驱动信号。场效应管导通后,与场效应管相连的电磁线圈使机械锁存开关 S_1 弹起,断开继电器的DC电源控制回路,使闭合的常开开关弹起,起到保护负载的作用。

双向可控硅,也称为晶闸管,通常可以承受较高的电流和电压。正常状态下,晶闸管处于断开状态。当A相电路发生异常,产生过压时,晶闸管控制端导通,使其阳极和阴极也导通,从而起到A相的

分压作用。为了防止导通瞬间产生过高电流,需要在晶闸管与A相之间接一个限流电阻来保护晶闸管。保护A相的主要目的在于:故障电流的检测、滤波、整流和驱动等GFI继电器的内部控制电路都是由A相来供电的。

GFI继电器还具有模拟故障电流的作用。按下测试开关 S_2 后,脉冲发生器改变电压比较器的基准电压,输出一个驱动信号,使场效应管导通,与DC控制电源回路串联在一起的开关 S_1 弹起,切断主电路,从而模拟发生故障电流的状态。再次按下测试开关 S_2 ,此时测试开关 S_2 弹起,使场效应管截止,机械锁存开关 S_1 闭合。在没有发生故障电流且测试开关 S_2 弹起的状态下,机械锁存开关 S_1 一直保持闭合状态。故机械锁存开关 S_1 也作为故障指示开关。

3.3 GFI继电器的性能

检测故障电流的精度期望值为 $1.5A \pm 0.15A$,检测时间为不超过一个供电周期,工作频率为380Hz到800Hz。包括检测故障电流和断开继电器触点在内,整个响应时间不超过20ms。

3.4 GFI继电器在燃油泵上的应用

民用飞机使用的燃油泵通常都是平衡负载,故一般采用无中线的三相供电线路,其典型的GFI继电器保护电路,如图2所示。

4 其他注意事项

4.1 燃油泵的连接

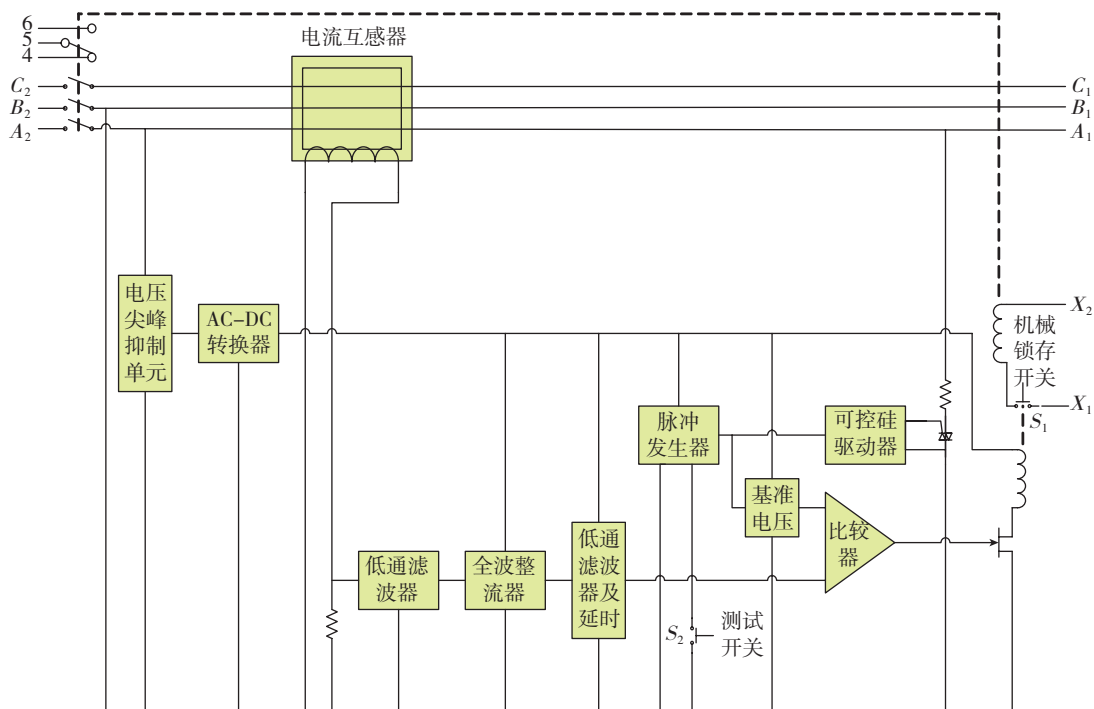


图1 GFI继电器的工作原理

Fig.1 Diagram of GFI relay

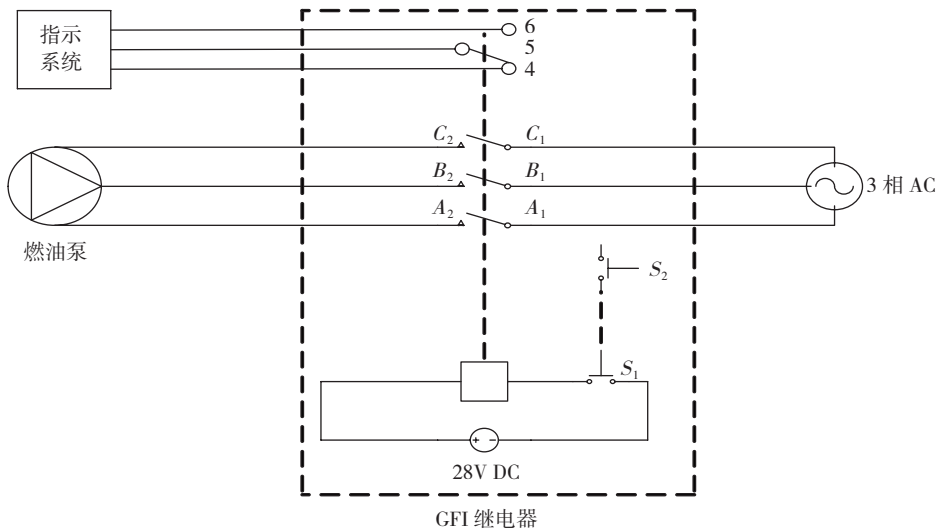


图2 燃油泵供电线路上的GFI继电器保护电路
Fig.2 Protection circuit of GFI relay on fuel pump power supply wiring

一般选用电气连接器在油箱外面的燃油泵,这样就可以避免电气连接器及其电缆浸泡在油箱内,减少电缆腐蚀后产生电火花,从而避免点火源的形成。选用合适的材料,使电气连接器具有防电弧击穿的特点,并且使内部的插针抗腐蚀且难以弯曲,避免由于插针弯曲或腐蚀,在电连接器内部各连接处产生电弧。

4.2 燃油泵的安装环境及电缆敷设

燃油泵的周围最好避免安装大功率的发热设备,如空调系统等。在这方面,典型的应用就是空客大量采用机翼油箱设计,整个中央翼设计成无油空腹,该空腹用来安装空调系统,避免空调系统产生的热量传输到燃油箱内形成点火源。

电缆的敷设需要与其他系统的电缆有一定距离的物理隔离,减少电磁效应所形成的点火源。在电缆的外面加装聚四氟乙烯等绝缘防磨护套。

5 结束语

在燃油泵的三相 AC 供电线路上加装 GFI 继电器的方法已经成为民用飞机燃油泵点火源防护的发展趋势, GFI 继电器必将对提高民用飞机的安全性起到重大作用。

参考文献

[1] Final Rule: Transport Airplane Fuel Tank System Design Review, Flammability Reduction, and Maintenance and Inspection Requirements. 66 FR 23085, Jun. 6, 2001.
[2] Advisory Circular 25.981-1C: Fuel Tank Ignition Source Prevention Guidelines, Sep. 19, 2008.
[3] Final Rule: Fuel Tank System Fault Tolerance Evaluation

Requirements (SFAR No.88). 68 FR 37735, Jun. 25, 2003.

[4] Fink D G, Beatty H W. Standard Handbook of Electrical Engineering. 15th edition. New York: McGraw Hill, Inc.2-31.

(责编 三丰)

(上接第 87 页)

图 6 为软件实现界面示例。

3.4 最终验证和调整

使用 CATIA V5 软件,在理论数模上采集关键点编制并生成垂直于型面方向的验证校验程序。在数控机床上运行程序,并测量理论型面数据点与实际工装型面间的偏差,并记



图6 软件实现空间旋转角度计算示例
Fig.6 Calculation of compensation angle for rotation in software

录。如果偏差的状态与数模上分析的最终偏差不符,在确定此次偏差测量正确的情况下,对数模上的定位点进行修正,直至实测偏差达到预期的效果为止,整个工装基准重新确定的过程结束。

4 结论

此次工装找正基准重新确定的工艺方法研究,采用数据采集、CATIA V5 数模比对、三点定位旋转角度计算、新基准下的工装型面偏差分析等措施,解决了型号研制中的复合材料切钻工装加工基准丢失的问题,也进一步掌握了工装的变型情况,为下一步工装的处理提供了准确的依据和基准,也为数控加工中采用三点定位提供了有效的方法和处理工具。

此次工艺方法研究,形成了比较系统和可行的分析、处理方法,技术通用性比较强,不但适用于制造复合材料构件的数控加工工装,也适用于其他类产品的数控加工工装。因此,对航空制造企业中类似的工装问题处理具有很好的借鉴作用。

(责编 小城)