

飞机燃油箱系统关键设计构型控制研究

Study on the Critical Design Configuration Control of Aircraft Fuel Tank System

魏书有 毛可毅 于学民 / Wei Shuyou Mao Keyi Yu Xuemin

(中国民航大学航空工程学院, 天津 300300)

(College of Aeronautical Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

摘要:

飞机燃油箱系统关键设计构型控制限制是适航限制项目的组成部分,是一种强制性适航维修项目。分析和研究了确定关键设计构型控制的方法和要求。

关键词: 飞机燃油箱系统; 防爆; 关键设计构型; 适航性限制

[Abstract] Aircraft fuel tank system critical design configuration control limitation, as a part of the airworthiness limitation item, is a mandatory maintenance item. The method to determine the critical design configuration control limitation is analyzed here.

[Key words] Aircraft Fuel Tank; Ignition Protect; Critical Design Configuration; Airworthiness Limitation

0 引言

关键设计构型特征是指可能会在燃油箱系统中导致形成引燃源或使油箱易燃性暴露超过规定限制的设计特征,它们可能存在于燃油箱系统及其相关安装中;或者存在于这样的系统中,即这些系统的失效会与燃油系统相互作用,使燃油箱系统出现不安全状态。飞机燃油箱系统适航限制项目分为两类:一类是关键设计构型控制限制(CDCCL);一类是依赖于检查或寿命限制项目。控制关键设计构型不发生改变,对于燃油箱系统防燃防爆具有重要意义。

1 关键设计构型控制限制的规章要求

CCAR25.981(d)中指出:必须制定必要的关键设计构型控制限制(CDCCL)、检查和其它程序,以防止燃油箱系统内形成引燃源;防止油箱易燃性暴露时间超过规定的允许值;防止任何降低易燃性措施的功能和可靠性的降低。

CCAR26.33(e)要求:对于采用易燃性降低方法(FRM)或缓解引燃方法(IMM)的油箱,其型号合格证(TC)持有人必须制定包括CDCCL、检查和其它程序在内的适航性限制(25部的附录M25.4也给出了类似要求)。对于采用FRM的油箱,这些限制的目的是为了防止油箱易燃性超过CCAR26.33的允许值;对采用IMM的油箱,其目的是防止所安装IMM的性能退化。

2 确定关键设计构型控制限制的方法

对于不同的油箱类型、燃油系统和相关安装、燃油类型以及油箱系统所采用的易燃性降低方法和引燃缓解方法,其关键设计构型特征存在较大差异。

为确保维护、修理或更改不会无意破坏油箱系统初始型号设计的完整性,以至影响到飞机的可靠性和安全性,应通过对油箱系统进行分析(意在消除引燃源)和工程判断(多数情况下,需要依据相同或相似关键设计构型特征的使用经验),并通过试

验证,正确识别关键设计构型特征和确定关键设计构型控制限制。

设计批准持有人(DAH)可以在单个零、构件级别(例如,油泵的叶轮)上确定一个 CDCCL,也可以在组件(例如,油泵)级别上确定一个 CDCCL。将一个 CDCCL 定位在组件上,相对于定位在零、构件上,可以减少适航限制项目。如果将 CDCCL 定位在组件级别上,DAH 应负责审查 CMM(组件维修手册)文件,以确保所有组件设计的关键特征都经过适航当局监督办公室批准。

虽然可能需要检查来确保 CDCCL 不会由于采取的某些行为而改变,但 CDCCL 不要求重复检查,它们不是检查或寿命限制项目。要求确保所有相关维修人员意识到确保飞机运行寿命中保持由 CDCCL 确定关键设计构型的重要性。

3 关键设计构型控制限制的涉及方面

燃油箱系统关键设计构型特征可包括以下方面:

- (1)非加热铝合金机翼油箱的易燃性暴露,以及相应的冷却速率;
- (2)对热输入的限制(例如,设置热隔离层);
- (3)对辅助油箱如何与现有飞机燃油系统组合在一起的限制(如果安装辅助油箱(通常安装在尾翼、货舱中)的话),例如,限制向具有 FRM(基于惰性化)油箱的通风或从辅助油箱传输温油;
- (4)对飞机系统的限制,例如,尽可能使来自发动机的引气流量达到最小或使供给 FRM 能源的电力达到最小,同时应设有防护设施;
- (5)对采用高挥发性燃油(例如,JP-4)的限制,如果对所使用的燃油和加油速率存在限制性要求,应确定为一个 CDCCL;
- (6)用于惰性化处理的发动机引气流量;
- (7)对于系统零、构件穿过油箱的限制;
- (8)对于可能影响 FRM 的任何改动油箱管理的限制;
- (9)用于目视识别燃油箱系统关键设计构型特征的识别标记或其它方式的限制,它们在飞机运行寿命内必须保持完好;
- (10)对构件寿命的限制,例如,作为 IMM 使用的聚氨酯泡沫材料和用于惰性化系统的气体分离组件,另外,如果泡沫材料的安装存在特定要求,或

存在实现 IMM 预定功能必不可少的其它特征,应确定为 CDCCL;

(11)对于飞机的改型或衍生型,可能影响油箱易燃性的设计变动(油箱容积或可用燃油载量的变化,燃油管理程序的改变,可能会影响飞机参数(例如,飞机爬升率)的发动机变更,在油箱中安装燃油再循环系统、液压热交换器或油箱附近出现热源,增设能够通风到安装 FRM 油箱的辅助油箱,以及 FRM 所需引气的变化),需要考虑给出一个或多个 CDCCL;

(12)对燃油添加剂的限制(如果存在);

(13)由油箱系统安全性分析(例如,故障树分析、失效模式分析和影响后果分析)所确定的关键设计构型特征;

(14)银硫化物的沉淀会降低导体间的电阻,并能在暴露于极低电能水平下引燃燃油蒸汽,因此,如果在油箱中电组件和导线上使用银金属,它应被确定为 CDCCL;

(15)含有危险气体的油箱或任何其它相邻密闭区域,其检查口盖上必须设置永久性图案、标记、标牌,它们应视为 CDCCL,并应加入到维修文件的标记规定中;

(16)安全评估表明,应禁止在油箱内实施导线(例如,油箱内油量指示装置的导线或燃油泵线圈)的连接,并将其确定为 CDCCL;

(17)导致形成引燃源的维修差错也可列为 CDCCL,例如,燃油泵的修理。

4 典型机型的关键设计构型控制要求

下文给出了波音系列飞机油箱系统关键设计构型控制限制项目及部分控制参数。

4.1 导线分离与固定设计要求

为了防止燃油系统的导线与其它系统导线之间,燃油箱区域其它系统导线相互之间,导线与使用中产生变形的油箱结构之间,发生接触与磨损,形成短路,产生火花或电弧,在油箱外部形成热源,甚至形成引燃源,应当使它们之间处于分离状态,并且各种导线应牢固和可靠地固定于油箱结构外部或其它结构上。

AC 25.981-1C 指出:对于不同制造商和机型,运输机的导线布线设计存在显著差异。不可能在导线束之间给出一个具体的普遍适用的间隔距离

或物理屏障特征来防止关键导线之间的磨损破坏。

要求导线分离与固定设计的例子包括:

(1) 中央油箱外侧导线;

(2) 油量指示系统(FQIS)和辅助油箱电子油位指示系统(EFLI)——油箱外侧导线;

波音 737-600/700/800 型飞机燃油系统适航性限制中指出:铺设或安装新的导线必须使用 BMS 13-48、13-60 或 13-50 型号的导线,并且与 FQIS 导线的距离在 2.0in 以上。当一个单独的夹子或支架失效时,必须与 FQIS 导线保持 0.5in 以上的距离。

(3) 辅助油箱的外侧导线。

4.2 防雷电屏蔽

(1) FQIS 油箱外侧导线防雷电屏蔽接地

在没有屏蔽装置的情况下,雷击对进入油箱的 FQIS 导线会形成雷电感应电压。FQIS 油箱外侧导线应设置屏蔽接地。

波音 777-200 型飞机燃油系统适航性限制中指出,如果对机身非增压区及油箱外的 FQIS 导线进行维修,后翼梁插座与接地柱螺栓或结构之间存在搭接线,且搭接线红色端与结构之间的电阻不超过 0.001Ω。

(2) 易燃性降低系统(FRM)的浓缩氮气(NEA)分配管路雷电屏蔽

在发生雷击时,油箱内部舱壁接头与翼梁之间的界面可能产生电弧、火花或细丝加热。因此,需要安装相应雷击屏蔽。

波音 737-600/700/800 型飞机燃油系统适航性限制中指出,拆卸、更换和重新安装上、下雷击屏蔽时:

确认到后翼梁腹板的上雷电屏蔽连接电阻为 0.001 0Ω 或更小;

确定到后翼梁腹板的下屏蔽连接电阻为 0.001 5Ω 或更小。

4.3 燃油系统零、构件穿过油箱壁

(1) 发动机燃油供给管路穿过油箱壁

B737-600/700/800 型飞机燃油系统适航性限制中指出,如果舱壁接头或连接的管路被拆下或更换:

保证舱壁接头与结构之间的电结合面连接电阻为 0.000 5Ω 或更小。(但对波音 777-200 型飞机,为 0.001Ω 或更小);

保证结构与舱壁接头接触的第二个管路配合处的电连接电阻为 0.010Ω 或更小。

(2) 液压管路穿过油箱壁

波音 777 型飞机燃油系统适航性限制中指出,

当拆卸和更换舱壁接头或连接管路时,应在舱壁接头与翼梁之间的结合面处,维持液压管路和油箱壁结合面的贴合特征。该种构型具有以下 CDCCL:

舱壁接头结合面要贴合,接头与翼梁之间的连接电阻必须为 0.001Ω 或更小;

液压热转换器与油箱结构之间设置搭接线,热转换器与搭接线之间的最高电阻为 0.002 5Ω。

(3) 雷电、故障电流或热短路防护装置穿过油箱壁

波音 777-200 型飞机燃油系统适航性限制中指出:任何新的穿过油箱壁的设计特征(例如,添加支架、舱壁接头或设备)或改变现有设备(例如,燃油测量棒、储油槽放泄活门、燃油支管、燃油温度传感器和电机运行燃油切断活门适配器板)的设计特征,要求由适航当局批准。

(4) 氮气生成系统(NGS)的浓缩氮气(NEA)配气管线穿过油箱壁

波音 737-600/700/800 型飞机燃油系统适航性限制中指出,拆卸和更换或重新安装舱壁接头时:

确认在油箱内部舱壁接头与后梁之间的电结合面连接电阻为 0.000 5Ω 或更小;

确认从结构到舱壁接头的第一个管路配合处的电连接电阻为 0.1Ω 或更小。

(5) 易燃性降低系统(FRS)的浓缩氮气(NEA)分配管路穿过油箱壁

波音 737-600/700/800 型飞机燃油系统适航性限制中指出,当拆卸和更换舱壁接头或连接管时:

确认在油箱内部舱壁接头与前梁结构间的电连接电阻为 0.000 5Ω 或更小;

确认结构到舱壁接头第一个管路配合面处的电连接电阻为 0.010Ω 或更小。

在上述的情况下,当发生雷击事件时,油箱内侧箱壁接头与翼梁结构之间的界面可能产生电弧、火花或细丝加热。因此,需要在此处设置关键设计构型特征及控制参数,消除引燃源。

4.4 AC 和 DC 燃油泵维修

(1) 燃油泵大修时的潜在维修差错

在燃油泵进行大修时,可能会存在潜在的维修差错。波音 777-200 型飞机燃油系统适航性限制中指出:修理或大修燃油泵必须依照组件维修手册(CMM)实施。

(2) AC 燃油泵故障电路搭接线的安装

波音 777-200 型飞机燃油系统适航性限制中

指出,更换燃油泵时,必须按照 AMM 28-26-06 维修,确保:

电机叶轮到结构的电连接电阻小于或等于 $0.000\ 25\Omega$ (对于波音 737-600/700/800 型飞机,此值为 $0.000\ 4\Omega$ 或更小)。

(3) 重置跳出的燃油泵跳开关或地面故障断路器(GFI)

在油箱内部,燃油泵与它的外壳之间,以及在油箱外部,燃油泵导线与易燃液体泄漏区域结构之间,存在潜在的电弧或火花。因此,应设置相应的关键设计构型特征,以防止出现引燃源。

4.5 中央油箱储油槽放泄活门和油箱检查口盖

(1) 中央油箱储油槽放泄活门

在雷击事件中,中央翼油箱储油槽放泄活门与下壁板之间的交界面处存在潜在电弧或火花。应当设置关键设计构型特征,预防产生引燃源。

(2) 油箱检查口盖

波音 777-200 型飞机燃油系统适航性限制中指出,安装位于机翼下蒙皮的油箱检查口盖时,在口盖外表面和机翼蒙皮之间安装编织铝合金网状垫圈,将紧固件拧紧到 AMM 规定的扭矩。

对于有通风口的均压油箱检查口盖,确认上管道与口盖之间安装了搭接线,其电阻为 0.010Ω 或更小。

4.6 油箱加油子系统

(1) 中央油箱加油活门和辅助油箱加油活门

波音 777-200 型飞机燃油系统适航性限制中指出,当拆卸和更换加油活门时,必须做到:

油箱内部的活门体和后翼梁结构之间的电结合面电阻为 $0.002\ 5\Omega$ 或更小。

(2) 加油浮子转换器系统的安装

4.7 油量指示系统

(1) 中央油箱热短路保护器(HSP)的安装

进入中央油箱的油量密度计导线存在潜在的导线热短路电压。波音 737-600/700/800 型飞机燃油系统适航性限制中指出:确认从 HSP 到梁腹板的电连接电阻为 $0.002\ 5\Omega$ 或更小;

(2) 油箱内硬件的修理

(3) 油箱内部导线束的修理或更换

波音 737-600/700/800 型飞机燃油系统适航性限制中指出:对油箱内部导线束进行修理或大修时,确认翼梁连接管到结构之间电结合面的电阻为 0.001Ω 或更小(对于波音 777-200 型飞机,此值为 $0.000\ 5\Omega$ 或更小)。导线与结构之间的间隔必须大

于 0.125in 。

(4) 处理器组件的修理

4.8 电动活门(MOV)驱动器

(1) 雷击和故障

在发生雷击事件或出现故障电流时,油箱内部导电金属——接地结构结合面处存在潜在的电弧或火花。应采取相应的关键设计构型特征,避免形成引燃源。

(2) 修理

在燃油箱内侧导电金属——接地结构交界面处,雷击或电气故障电流会引起电弧或火花,这是潜在性的。

4.9 辅助油箱系统

(1) 辅助油箱雷电防护

在辅助油箱内部,放泄口处的导电金属——接地结构交界面处存在潜在电弧或火花。应设置相应的关键设计构型特征,避免产生引燃源。

(2) 辅助油箱对中央油箱易燃性暴露的影响

按补充型号合格证(STC)增设的辅助油箱系统,一定不能对氮气生成系统(NGS)性能产生重大影响。所有通过 STC 增加的辅助油箱必须经适航机构审定和批准。

5 结论

对构型具有限制要求的关键设计构型一般确定为关键设计构型控制限制(CDCCL),并列为燃油箱系统适航性限制的一部分,确保飞机改装和更改以及修理和维护过程中,关键设计构型特征不会发生改变,不会在燃油箱系统中形成引燃源。因此,必须意识到维持关键设计构型控制要求的重要性。CDCCL 是强制性的,未经适当适航机构批准,不能更改或删除。

参考文献:

- [1] AC25. 981 - 1C. Fuel Tank Ignition Source Prevention Guidelines.
- [2] AC25. 981-2A. Fuel Tank Flammability Reduction Means.
- [3] Policy Statement on Process for Developing SFAR 88-related Instructions for Maintenance and Inspection of Fuel Tank Systems.
- [4] CCAR-25. 中国民用航空规章第 25 部——运输类飞机适航标准[S].
- [5] Boeing 777 Maintenance Planning Data. Dec 2007.