

民用航空发动机燃油附件恒加速验证符合性分析方法研究

游雅利, 曾夏青, 张伟锋, 江平, 许晨昱

中国航发湖南动力机械研究所, 湖南 株洲 412002

摘 要 : 本文阐述了民用航空发动机燃油附件恒加速验证适航要求, 并提出了一种从损伤评估以及性能评估两个方面进行燃油附件恒加速验证符合性分析方法, 可为后期恒加速验证符合性分析提供参考。

关 键 词 : 民用航空发动机; 燃油附件; 恒加速; 分析

Study On Conformance Analysis Method For Constant Acceleration Verification Of Fuel Accessories Of Civil Aviation Engines

You Yali, Zeng Xiangqing, Zhang Weifeng, Jiang Ping, Xu Chenyu

Avic Hunan Power Machinery Research Institute, Zhuzhou, Hunan 412002

Abstract : This paper describes the airworthiness requirements of constant acceleration verification of fuel accessories of civil aviation engines, and proposes a method of conformity analysis of constant acceleration verification of fuel accessories from two aspects of damage assessment and performance assessment, which can provide reference for the conformity analysis of constant acceleration verification in the later stage.

Keywords : civil aviation engine; fuel accessories; constant acceleration; analyze

一、引言

根据 CCAR-33R2 航空发动机适航规定第 33.91 条发动机部件试验要求, 对不能在 33.87 条持久试验中予以充分验证的系统或部件, 申请人必须进行附加的验证, 以证明这些系统或部件在所有已声明的环境和工作条件下能可靠地完成预定功能^[1]。验证工作可以是试验、分析、与先期取证发动机附件的类比, 或者三者的结合^[2]。

恒加速试验作为附件适航试验, 适用于所有内部有活动零件的附件, 其常用试验设备为离心机, 这导致对于燃油附件、滑油附件、空气系统附件等需要通油通气试验的附件很难实现工作状态来进行试验验证。对此, 本文提出了一种从损伤评估以及性能评估两个方面进行燃油附件恒加速验证符合性分析方法, 并结合实例进行符合性分析。

二、适航要求

根据民用航空发动机系统和附件试验 33.91 的要求, 恒加速试验参考 SAE ARP5757A 第 5.7 节。恒加速试验验证附件暴露在加速载荷下不会出现损伤, 并且在这些载荷下仍然能够执行预期的功能, 验证过程可从“损伤评估”和“性能评估”两方面分别进行^[3]。

a) 损伤评估——许多控制系统部件暴露在要求的振动或冲击下产生的“g”载荷比暴露在要求的恒加速力下产生的“g”载荷更高。在这种情况下, 振动试验或冲击试验可同样表明部件在要求的恒加速载荷下不会出现损伤。如果需要进行恒加速试验, 试验程序可参照 MIL-STD-810 方法 513 的程序 I 或者 ISO 2669 进行。

b) 性能评估——部件暴露在恒加速力下的功能验证可以通过试验方法或者分析方法进行。如果无法通过分析得到部件功能, 则需要通过试验进行, 试验程序可参照 MIL-STD-810 方法 513 的程序 II 或者 ISO 2669。在试验期间, 部件必须处于运行状态, 将加速度加在部件的 3 个轴向上, 同时应进行测量以验证部件运行正常。

通常, 可以通过分析表明可移动零件的位置不会因恒加速力的影响而使部件不能达到预期的功能。许多可移动零件都是闭环控制系统的一部分, 因此决定零件位置的定位力是可变的。在闭环控制中, 当零件暴露在恒加速力下时, 只要有充足的定位力裕度, 零件就不会移动。在这种情况下, 通过分析来表明可用定位力大于需用定位力是可接受的验证方法之一。

三、符合性分析

依据 SAE ARP 5757A 中 5.7 节要求, 可通过试验或分析的方法, 评估附件在加速度载荷下的损伤和性能情况, 表明其恒加速符合性。因此, 民用航空发动机燃油附件恒加速验证符合性分析可从对燃油附件的损伤评估以及性能评估两个方面来分析说明。

(一) 损伤评估

依据 SAE ARP 5757A 中 5.7 节, 在振动试验或工作冲击试验下产生的加速度载荷比恒加速载荷更高时, 可通过振动试验或工作冲击试验代替独立试验表明符合性。民用航空发动机燃油附件损伤评估当通过独立试验表明符合性时, 通常采用试验程序 ISO 2669: 1995 的 B 类^[4], 其加速度试验量值见表 1。工作冲击和坠撞安全试验的坠撞安全(冲击)采用程序 RTCA/DO-160G 第 7

章,其试验量值20 g,大于恒加速度试验要求的量值,因此,民用航空发动机燃油附件恒加速的损伤评估可通过附件的工作冲击和坠撞安全试验的坠撞安全(冲击)试验结果进行评估。根据燃油附件通过工作冲击和坠撞安全试验考核,可表明燃油附件在恒加速载荷下不会出现损伤。

表1 燃油附件加速度试验量值

严格等级	任意安装的设备的加速度	
	功能试验	结构试验
1	4g	6g
2	7g	10g
3	8g	12g
4	10g	15g

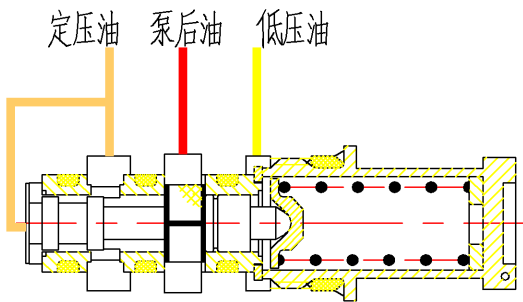
(二) 性能评估

燃油附件性能评估通过试验表明符合性时,采用试验程序 ISO 2669:1995的B类,试验期间在附件的3个轴向上施加加速度,同时需测量以验证部件运行正常。根据 SAE ARP 5757A 中5.7节,采用分析方法进行燃油附件性能评估,需表明可移动零件的位置不会因恒加速力的影响而使部件不能达到预期的功能^[5]。

对于民用航空发动机燃油附件而言,可移动零件主要有定压活门、计量活门、增压活门、安全活门等各类活门,可通过受力计算分析表明活门受加速度附加力不产生位移从而影响其功能正常,或者在闭环控制中,其受到的驱动力裕度远大于加速度附加力,可调控活门稳定在给定位置,使其性能不受影响。通过对燃油附件的所有活门进行分析,表明其性能不受恒加速力的影响,则可表明燃油附件不会因恒加速力影响其性能。本文以定压活门、计量活门两个典型活门进行分析评估^[6]。

1. 定压活门

定压活门是为提供压力稳定的油源,起到稳压作用,其结构见图1。低压油和弹簧的共同作用力为: $F=PS$ (P 为定压油压力, S 为阀芯端面面积);定压活门阀芯和腔体燃油产生的加速度附加力为: $F_{加}=ma$ (m 为阀芯和腔体燃油的质量, a 为加速度量值)。通过计算低压油和弹簧的共同作用力 F 裕度远大于定压活门阀芯受到的加速度附加力 $F_{加}$,则表明定压活门阀芯位置不会产生移动,定压活门稳压性能不受加速度附加力的影响^[7]。

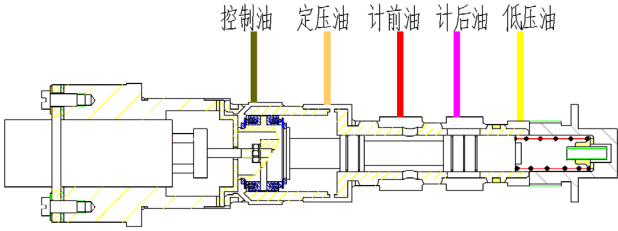


> 图1 压差活门结构原理图

2. 计量活门

计量活门主要用于燃油计量,其常见结构见图2,有位置闭环性能和响应时间性能,受伺服阀输出控制油的作用产生位移,再通过位移传感器将活门位置信号反馈给电子控制器,当给定位置

与反馈位置不一致时,计量活门阀芯在液压驱动力的作用下向开启方向(向右)或者向关闭方向(向左)运动,最终达到给定位置与反馈位置一致,形成位置闭环;计量活门的响应时间,是阀芯在液压驱动力控制下阀芯的移动到规定位置的时间^[8]。



> 图2 计量活门结构原理图

对于计量活门,其主要受到控制油压力 $F_{控}$ (伺服控制系统液压驱动力)的调控,在受到恒加速附加力时,只需 $F_{控}$ 裕度远大于计量活门阀芯和腔体燃油受到的加速度附加力 $F_{加}$,则可表明计量活门在伺服系统液压驱动力的调控下可以回到给定位置,闭环控制不会产生影响;同时,计量活门打开和关闭的响应时间,是液压驱动力控制下计量活门阀芯的移动的时间,伺服控制系统提供的液压驱动力裕度远大于计量活门阀芯受到的加速度附加力,因此对计量活门的响应时间不会产生影响^[9]。

综上,在进行燃油附件性能评估时,可对燃油附件的可移动零件进行单独的受力情况计算分析,通过对比驱动力或者定位力与加速度附加力,当驱动力或者定位力远大于加速度附加力时,可表明其在恒加速环境中可移动零件不会受力移动或者移动影响其性能^[10]。

四、结论

本文通过对民用航空发动机燃油附件恒加速验证适航要求的梳理,提出了一种从损伤评估以及性能评估两个方面进行民用航空发动机燃油附件恒加速验证符合性分析方法,为后期恒加速验证符合性分析提供参考。

参考文献:

[1] 中国民用航空局. 航空发动机适航规定 CCAR 33-R2 [S]. 2011.
[2] 刘富荣, 高艳蕾. 涡轮发动机附件环境试验适航符合性审查策略 [J]. 航空维修与工程, 2022, (05): 40-43. DOI: 10.19302/j.cnki.1672-0989.2022.05.019.
[3] SAE Technical Committee. Guide-lines for engine component tests: SAEARP 5757A [S]. USA: SAE International, 2016.
[4] International Standard. Environmental tests for aircraft equipment—steady-state acceleration: ISO 2669 [S]. 1995.
[5] 陆思达, 王玉东, 严红明. 民用涡扇发动机高原起动机风险规避试验方法 [J]. 航空发动机, 2023, 49(2): 160-167. DOI: 10.13477/j.cnki.aeroengine.2023.02.021.
[6] 陈礼顺, 张莹松, 赵翌, 等. 航空发动机轴承失效分析 [J]. 航空制造技术, 2015(23): 120-123, 128.
[7] 詹婷受. 航空油料储罐结构特性与优化设计 [J]. 化工管理, 2018(35): 22-23.
[8] 余杰. SR20型飞机电动燃油增压泵密封性测试改进 [J]. 机电信息, 2022(11): 62-65.
[9] 周莉, 是介, 王占学. 开式转子发动机研究进展 [J]. 推进技术, 2019, 40(9): 1921-1932.
[10] 李果, 鲍梦瑶, 丁水汀. 航空发动机安全性与适航学科建设思考 [J]. 工业和信息化教育, 2023, (12): 1-5+15.