

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2017.09.074

# 民用飞机短舱防火试验件设计及验证

李森\*, 陈西锋

中航飞机股份有限公司研发中心, 陕西 西安 710089

**摘要:** 针对短舱火区典型结构设计了防火试验件, 通过试验比较了两种复合材料及防火涂层的防火性能, 测试了防火橡胶型材进行密封防火的可行性。试验结果表明, 相比使用防火涂层, 苯并噁嗪树脂碳纤维织物和普通树脂碳纤维织物材料本身无须涂覆防火涂层, 也能满足防火要求, 但前者防火性能更佳; 采用防火橡胶型材进行密封防火是可行的, 为发动机短舱结构的防火设计提供参考并可实际应用。

**关键词:** 短舱; 防火; 复合材料; 试验

中图分类号: V250.2 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2017) 09-0074-05

作为飞机的重要部件之一, 发动机短舱结构除了包容发动机及其附件、系统, 在飞行时承受气动载荷、起整流作用外, 还应具有防火功能, 以便在短舱内部发生着火且灭火系统失效的情况下, 短舱结构能包容和隔离火焰, 阻止火焰进入其他燃油或气源区域, 尽最大可能来保证飞行安全和减小损失。为此, 短舱火区结构应满足适航防火要求, 在美国联邦航空局 (FAA) 咨询通报 AC 20-135<sup>[1]</sup> 中, “防火”是指材料或部件在承受  $1093\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 66\text{ }^{\circ}\text{C}$  的火焰至少 15min 后, 仍能满足其设计目标的能力。

现代民用飞机的发动机短舱广泛使用复合材料, 且多用复合材料 (复材) 蜂窝夹芯结构, 在满足刚度的要求下能达到很好的减重效果, 并且具有良好的抗疲劳和减振性能。按照咨询通告 AC25.865-1 Draft<sup>[2]</sup>, 如果承力的防火墙为钢或镍基合金, 则无须对着火状态下 (火焰温度  $1093\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 66\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 15min 内承受飞行载荷进行额外的符合性验证; 如果使用的是其他材料, 则需要通过强度计算分析或者试验验证, 证明其在着火情况下仍能够满足载荷传递的要求。因此, 作为发动机的“防火罩”, 应选取其典型结构进行试验验证。

## 1 防火试验件设计

发动机短舱一般分为火区和非火区, 非火区的结构需

充分考虑发动机工作时的高温影响, 位于火区的结构应满足防火设计要求, 两个区域通过防火墙隔离, 图 1 为短舱火区分区典型实例。

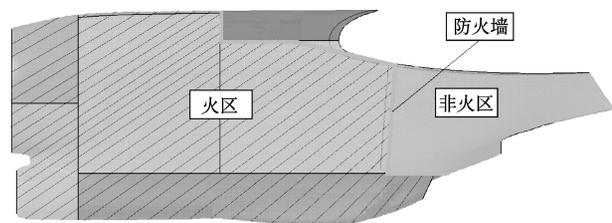


图 1 短舱火区分区典型实例

Fig.1 Typical example of the fire area in nacelle

针对火区典型结构, 设计了以下三种构型试验件:

(1) 构型 1 为模拟短舱口盖的中心区域, 不考虑外形, 简化为平板, 尺寸为  $610\text{mm}\times 410\text{mm}$ 。试验件采用蜂窝夹芯结构, 蜂窝芯的材料为芳纶纸蜂窝芯材, 高度为 12mm。内表面 (蜂窝凸出面) 为测试表面, 如图 2 所示。

(2) 参考某些飞机短舱使用防火涂层的情况, 构型 2 为一块厚度为 1mm 的薄铝板, 尺寸为  $610\text{mm}\times 410\text{mm}$ , 表面涂覆防火涂料, 如图 3 所示。与构型 1 进行比较, 此构型主要测试防火涂层的防火性能。

收稿日期: 2017-03-28; 退修日期: 2017-05-12 录用日期: 2017-05-15

\* 通信作者. Tel.: 15829914710 E-mail: lisenabcxyz@126.com

引用格式: LI Sen, CHEN Xifeng. Design and verification of fireproof test specimens for civil aircraft nacelle[J]. Aeronautical Science & Technology, 2017, 28 (09): 74-78. 李森, 陈西锋. 民用飞机短舱防火试验件设计及验证[J]. 航空科学技术, 2017, 28 (09): 74-78.

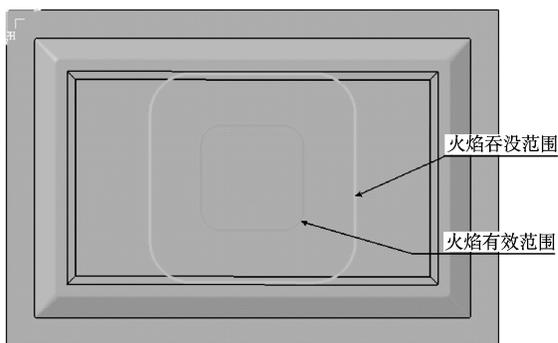


图2 复材蜂窝夹芯结构

Fig.2 Composite honeycomb sandwich structure

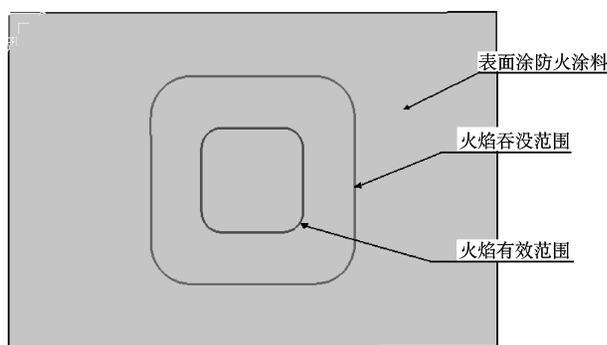


图3 薄铝板和防火涂层

Fig.3 Thin aluminium plate and fireproof coating

(3) 构型3 模拟短舱舱门边缘与周围结构的连接处,简化成平板,使用厚5mm的矩形钛板模拟周围的框架,支撑厚0.4mm的钛合金板弯件,密封处采用防火橡胶型材,其压缩量为30%~40%,蜂窝夹芯板选用高度为12mm的芳纶纸

蜂窝芯材,如图4所示。

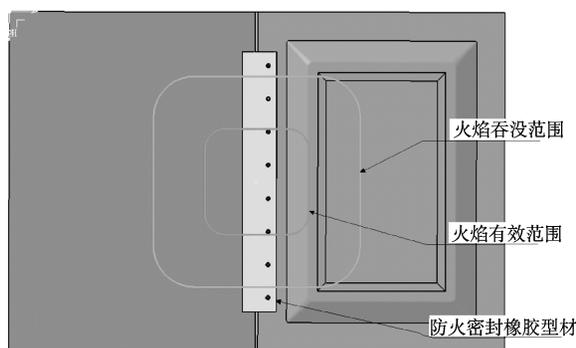


图4 蜂窝夹芯板、钛板、钛合金板弯件和橡胶型材

Fig.4 Honeycomb sandwich panel, titanium alloy plate, titanium alloy plate-bending part and rubber profile

试验件分为四组,其中利用构型1分别比较普通树脂碳纤维织物预浸料和耐高温的苯并噁嗪树脂碳纤维织物预浸料两种碳布的防火性能。前三组试验件用于比较材料的防火性能;第四组试验件用于测试密封性能。图5为防火橡胶型材安装示意图,复合材料零件使用苯并噁嗪树脂碳纤维预浸料。试验件清单见表1。

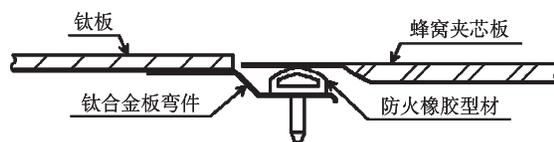


图5 防火橡胶型材安装示意图

Fig.5 Fireproof rubber profile installation diagram

表1 试验件清单

Table 1 The list of test samples

组号	构型	结构形式	备注
1	构型1	复材蜂窝夹芯结构	使用普通树脂碳纤维预浸料
2	构型1	复材蜂窝夹芯结构	使用苯并噁嗪树脂碳纤维预浸料
3	构型2	薄铝板+防火涂层	涂有总厚度为0.8mm的防火涂层
4	构型3	蜂窝夹芯板+钛板+钛合金板弯件+橡胶型材	复材使用苯并噁嗪树脂碳纤维预浸料

## 2 试验方法

试验件采用四周简支的安装形式,通过螺栓与试验台架相连,测试表面朝向椭圆形火焰筒,安装时要求试验区域应该接近火焰。

在试验中需要使用六根热电偶对试验件背面温度进行测量:第6号热电偶测量点位于燃烧器锥形火焰筒中轴线

上,离试样表面正上方102mm处,用于测试环境温度;其余五根热电偶测量点位于火焰筒开口投影到试验件上表面的椭圆上,依次是投影椭圆短轴两个端点、长轴两个端点和中心点,用以考核防火材料的隔热效果。测量时热电偶紧贴试验件,并记录这六个点处的温度变化趋势。热电偶测量点分布示意如图6所示。

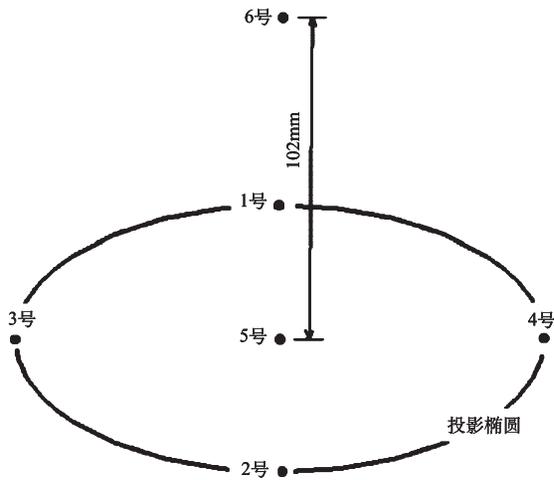


图6 热电偶测量点分布

Fig.6 The distribution of measuring points for the thermocouples

试验件安装完毕后,点燃燃烧器,预热2min。将热电偶(七根热电偶组成)置于燃烧器中心线的上方,在距离试验件测试表面6.4mm范围内的位置处测量火焰温度,确认每个热电偶的温度均达到 $1093^{\circ}\text{C} \pm 66^{\circ}\text{C}$ ,且用热流计测量该位置处并确认热流密度至少为 $10.602\text{W}/\text{cm}^2$ 。在火焰温度和热流密度数据达到咨询通报AC 20-135的要求值后,将燃烧器移至试验位置处,即可保证在距离试验件6.4mm的范围内能产生所要求的温度和热流密度,且在试验时,火焰应该能够吞没试验件下表面大约 $254\text{mm} \times 254\text{mm}$ 的区域,并在大约 $127\text{mm} \times 127\text{mm}$ 的区域内维持所要求的温度和热流密度,对试验件进行15min的防火试验。

试验结束后,对于第1~3组试验件,若未出现烧穿现象,则表明试验件满足防火要求;对于第4组试验件,若未出现火焰蹿出现象,则表明试验件满足密封防火要求。

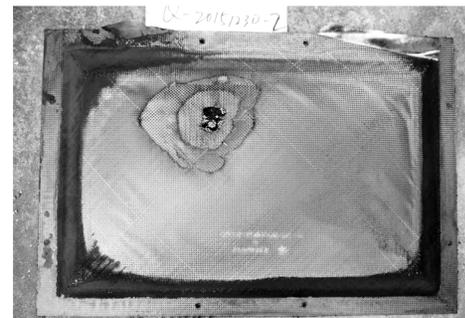
### 3 试验结果及分析

经过15min的防火试验,四组试验件均没有发生烧穿或火焰蹿出现象,满足防火要求。试验后所有复材蜂窝夹芯板的蜂窝芯均已碳化,边缘局部出现脱层现象。试验结果如图7~图10所示,第1~3组试验件背面温度曲线如图11所示。

从图7~图10可以看出:第1组试验件受火面的三层碳布均已烧穿,可以看见蜂窝芯;第2组试验件表面碳布均未烧穿,可见苯并噁嗪树脂碳纤维预浸料的防火性能优于普通树脂碳纤维预浸料。第3组试验件的防火涂层遇火后体积迅速膨胀,将火焰隔离,试验中出现膨胀后的防火涂层脱落现象。通过图11对比前三组试验件的背面温度曲线图



(a) 试验前



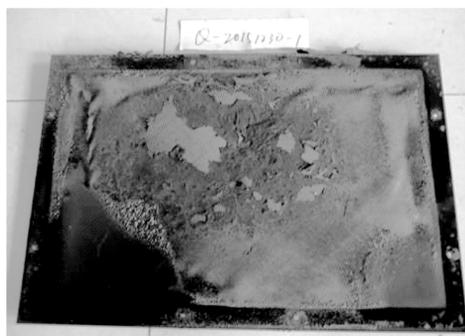
(b) 试验后

图7 第1组试验件试验前后照片对比

Fig.7 The comparison between the tests before and after for the first group



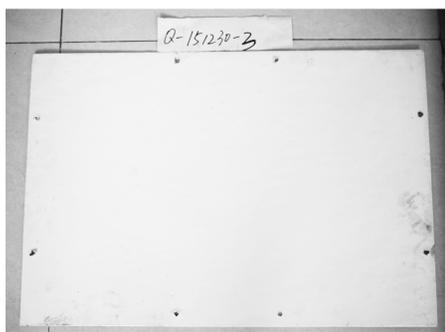
(a) 试验前



(b) 试验后

图8 第2组试验件试验前后照片对比

Fig.8 The comparison between the tests before and after for the second group



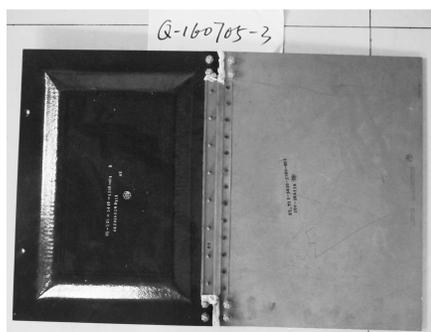
(a) 试验前



(b) 试验后

图9 第3组试验件试验前后照片对比

Fig.9 The comparison between the tests before and after for the third group



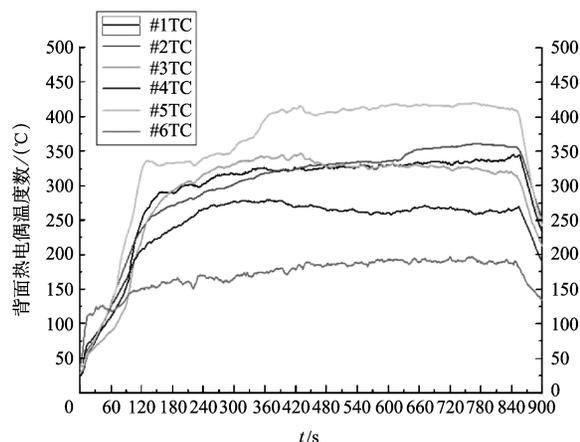
(a) 试验前



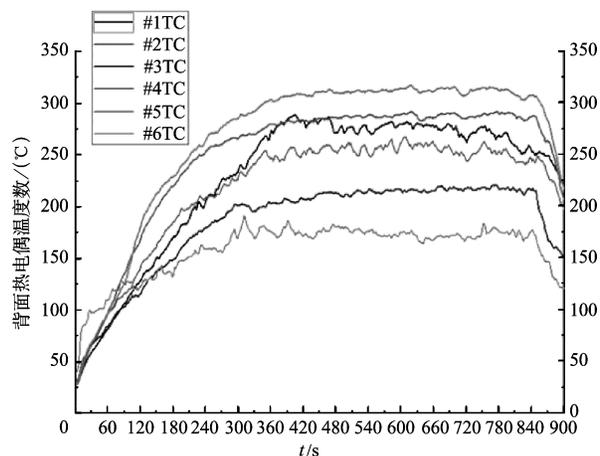
(b) 试验后

图10 第4组试验件试验前后照片对比

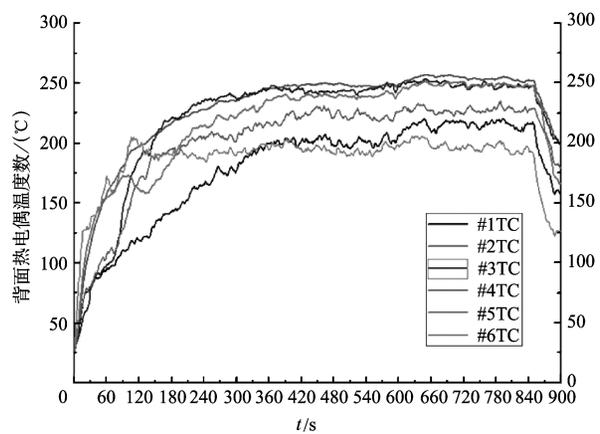
Fig.10 The comparison between the tests before and after for the fourth group



(a) 第1组试验件



(b) 第2组试验件



(c) 第3组试验件

图11 试验件背面温度曲线

Fig.11 The backside temperature curve of test samples

可以发现,因防火涂层受热生成的膨胀物较厚,其隔热性能最佳,使用苯并噁嗪树脂碳纤维预浸料蜂窝夹芯板的隔热性能次之,使用普通树脂碳纤维预浸料蜂窝夹芯板的隔热性能最差。根据实际应用中的情况反馈得知,防火涂层密度较大,会使结构明显增重,在短舱结构中易受油液浸渍、振动影响

而经常脱落,且修补困难;受热生成的膨胀物脆性易碎,在短舱的振动环境中容易脱落,会导致防火性能下降。

综上可知,复材件应优先选择使用苯并噁嗪树脂碳纤维预浸料,不需要增加防火涂层,材料本身即可满足防火要求,且综合性能优于防火涂层。

第4组试验件没有火焰蹿出,证明其结构密封设计方案满足适航防火要求,可以实际应用。

#### 4 结束语

按照适航条款要求,通过对短舱火区典型结构设计试验件并进行防火试验验证,结果表明,所设计的四组试验件均满足适航防火要求。其中防火涂层方案因为涂层密度大会使结构明显增重,并且实际使用中容易脱落且修补困难,因此不建议使用,相较而言,苯并噁嗪树脂碳纤维织物预浸料和普通树脂碳纤维织物预浸料均无须额外涂覆防火涂层,就可以满足防火要求,但前者防火性能更佳;采用防火橡胶型材进行密封防火是可行的。该试验结果可为发动机短舱

结构的防火设计及适航取证提供参考。

AST

#### 参考文献

- [1] FAA. AC20-135 Powerplant installation and propulsion system component fire protection test methods, standards, and criteria [S]. USA: Federal Aviation Administration, 1990.
- [2] FAA. AC25.865-1 Draft fire protection of flight controls, engine mounts, and other flight structure [S]. USA: Federal Aviation Administration, 1999. (责任编辑 刘玲蕊)

#### 作者简介

李森(1988-)男,学士,助理工程师。主要研究方向:飞机结构设计。

Tel: 15829914710

E-mail: lisenabcxyz@126.com

陈西锋(1978-)男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞机结构设计。

## Design and Verification of Fireproof Test Specimens for Civil Aircraft Nacelle

LI Sen\*, CHEN Xifeng

AVIC Aircraft Co., Ltd. R&D Center, Xi'an 710089, China

**Abstract:** This paper designed test specimens for the typical structure in the fire area of the nacelle, compared two different composite materials with the fireproof coating, and test the feasibility of sealing fireproof of the rubber profiles. The results show, compared with the fireproof coating, the benzoxazine resin/carbon fiber fabric and general resin/carbon fiber fabric met the fireproof requirements without fireproof coating, but the former performs better. It is feasible to use the rubber profile for the sealing fireproof. It provides a reference for the fireproof design of airplanes engine nacelles, which could be made a practical application.

**Key Words:** nacelle; fireproof; composite; test

Received: 2017-03-28; Revised: 2017-05-12; Accepted: 2017-05-15

\*Corresponding author. Tel.: 15829914710 E-mail: lisenabcxyz@126.com