

基于氦质谱检漏仪的飞机机翼整体油箱检漏技术

Leakage Testing Technology by Means of Helium Mass Spectrum for Integral Oil Tank of Aircraft Wing

中航工业西安飞机工业(集团)有限责任公司 蒋永宏

[摘要] 介绍了氦质谱检漏的原理,基于氦质谱检漏技术,提出面向机翼整体油箱的检漏方案,包括粗漏检测方法和细漏检测方法,在此基础上,开展氦气-航空煤油泄漏对比试验,确定了能够应用于生产的初步标准。

关键词: 氦质谱检漏 整体油箱 检漏方案

[ABSTRACT] The basic principle of the leakage testing technology by means of helium mass spectrum is introduced. The leakage testing scheme for the integral oil tank of wing is proposed based on helium mass spectrum leakage technology. The scheme consists of two parts, one is gross leakage testing method, and the other is fine leakage testing method. Then, the leakage relationship between helium and aero kerosene is compared. The preliminary standard which can be used in production is established.

Keywords: Leakage testing by helium mass spectrum Integral oil tank Leakage testing scheme

机翼整体油箱的密封是机翼翼盒制造技术中的关键,其密封性能直接影响飞机的服役与安全。

某型机机翼整体油箱容积大、密封性要求高,传统的检漏方法采用气密试验和油密试验,这些方法存在精度低、成本高、定量困难、效率不高等缺点,而且进行油密试验需要向整体油箱中注入大量的航空煤油,在没有配备专用油密防爆厂房和专用油密试验台的条件下,存在巨大的安全隐患。因此,急需一种检测精度和效率高、安全可靠的先进泄漏检测技术来克服上述困难,以提高整体油箱的制造水平和生产效率。

氦质谱检测技术以其灵敏度高、速度快、使用安全、适用范围广以及可以量化漏点的漏率等特点,在航空、航天、汽车和电力行业得到了广泛的应用,与其他诸多传统检漏方法相比,氦质谱检漏具有不可比拟的技术优越性^[1]。

在某型号飞机研制中,采用氦质谱检漏技术,可以实现飞机机翼整体油箱渗漏点的快速定位检测与修补,保证机翼翼盒的高质量、高效率装配。

1 氦质谱检漏的原理

图1是氦质谱检漏的示意图,灯丝电离出来的电子经加速进入电离室,在电离室内与残余气体分子和经被检件漏孔进入电离室的氦气相互碰撞,使氦分子发生电离。这些离子在加速电场的作用下进入磁场,洛伦兹力使得氦离子发生偏转,形成圆弧形轨道,半径公式为^[2]:

$$R = \frac{144}{B} \times 10^{-4} \sqrt{\frac{M}{Z} \cdot U} \quad (1)$$

式(1)中, R 为离子偏转轨道半径, B 为磁场强度, M/Z 为离子的质量与电荷之比, U 为离子的加速电压。由此可见,当 R 、 B 为固定值时,改变加速电压,可使氦离子到达固定的接收极,而其余离子则被屏蔽掉,这样检漏仪不仅能够通过是否接收到氦离子而判断出可疑漏点是否泄漏,而且还能根据氦离子的浓度确定出该漏点处的漏气率大小。

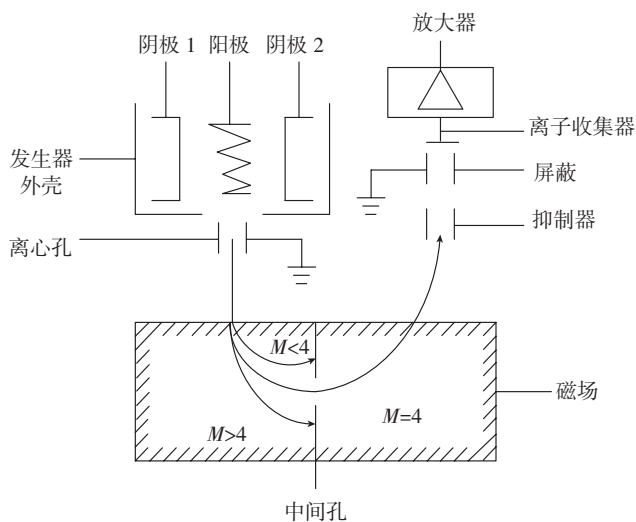


图1 氦质谱检漏示意图

Fig.1 Principle of helium mass spectrum leakage testing

2 整体油箱检漏方案

整体油箱采用整体设计、整体装配,即将整体壁板、

梁以及肋采用高锁螺栓进行连接,内部肋开有通孔,机翼前后梁不开孔,高锁螺栓的夹层处涂密封胶使之密封,形成一个密封的翼盒。在实际生产中,由于各种不确定的因素,使得一些螺栓和夹层处的密封性达不到要求,因而存在漏油的现象。为了解决这一问题,有必要对油箱进行密封性检测,找出准确的漏点并加以修补。

采用试验件对机翼整体油箱漏率进行摸索,整体油箱试验件检漏总体上分为两个部分:一是粗漏漏点检测与工艺修补;二是氦质谱细漏检测,其总体方案如图2所示。

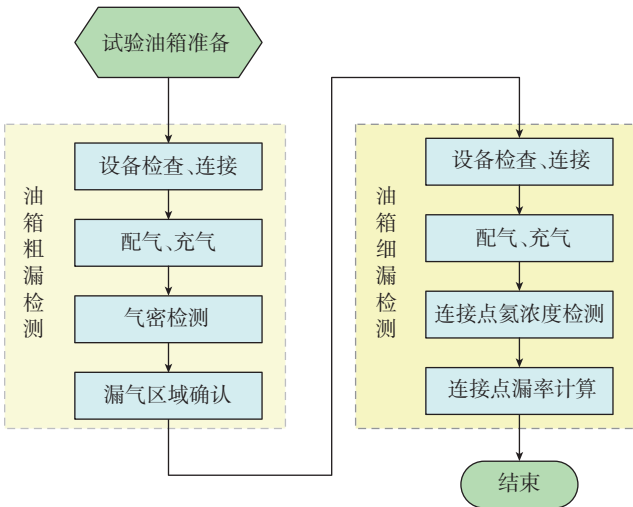


图2 整体油箱检漏总体方案

Fig.2 Leakage testing scheme for integral oil tank

2.1 粗漏检测方法

粗漏检测过程涉及的主要设备有压缩空气气源、自动配气平台、控制阀等,其检测示意图如图3所示。试验时,首先接通压缩空气气源,启动整体油箱快速检漏设备,设定充气气压。充气过程结束后,稳压15min,观测检漏设备上的压降曲线,确定是否存在粗漏。若压降明显,说明有粗漏漏点存在。经肥皂泡方法确定粗漏漏点位置后,利用涂密封胶的方法对粗漏漏点进行工艺修补,重复检测修补后,至油箱试验件在规定的压降符合技术要求后,可以进行氦质谱细漏检测。

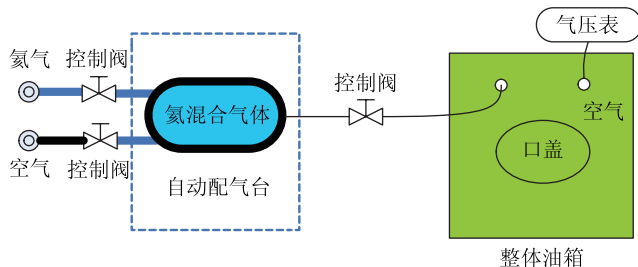


图3 油箱粗漏检测示意图

Fig.3 Diagram of large leakage testing

2.2 细漏检测方法

油箱试验件的细漏漏点采用正压法检测。试验时,向油箱试验件内部充入氦气和压缩空气的混合气体,使油箱内部压力大于外界大气压,如果有漏点存在,氦气就通过漏点泄漏出来,用吸枪进行探测,就能确定是否存在泄漏。

检测过程要保证在吸枪上加罩盒,罩盒结构如图4所示。一是为了防止环境中氦浓度过高,影响检测;二是为了防止一大片的漏点同时泄漏,不能检测到漏点的确切位置及单个漏点的漏率。检测时,吸枪要沿着可疑漏点缓慢移动,以便能够检测出漏源的准确反应值;再应用氦质谱吸枪法对标准漏孔(充入的混合气体压力和氦浓度与油箱试验件相同)进行检测,得到已知漏率标准漏孔的反应值,由此可计算出漏源点的漏率数值;记录超过临界值漏率、可能漏油的漏源点,然后通过油密试验加以验证。

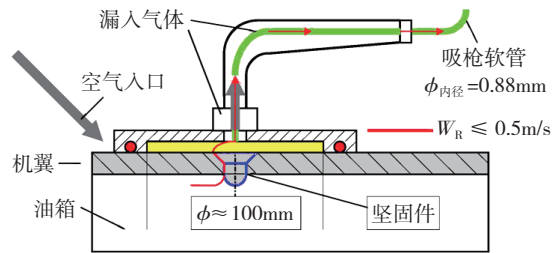


图4 罩盒结构与工作原理

Fig.4 Structure and principle of cover box

细漏检测过程涉及的主要设备有压缩空气气源、氦气气源、自动配气平台、氦质谱检测仪、吸枪、罩盒、控制阀等,其检测示意图如图5所示。本试验采用正压法对油箱试验件进行氦质谱细漏检测。

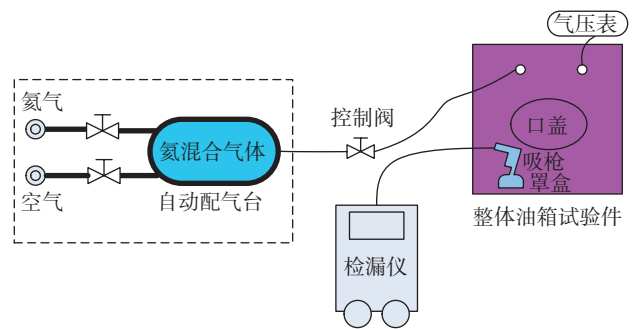


图5 细漏检测示意图

Fig.5 Diagram of fine leakage testing

试验时,接通压缩空气气源和氦气气源,通过整体油箱快速检漏设备,设定配气比例和充气压力(如图6所示),分别向油箱试验件内部充一定气压的混合气体,

使油箱内部压力大于外界大气压,如果有漏点存在,氦气就会通过漏点泄漏出来,再利用氦质谱检测仪(如图7、图8所示),配合吸枪和罩盒沿连接件表面进行检测,就能确定是否存在泄漏和具体的漏率大小。



图6 配气比例设定用户界面
Fig.6 User interface of gas distribution ratio

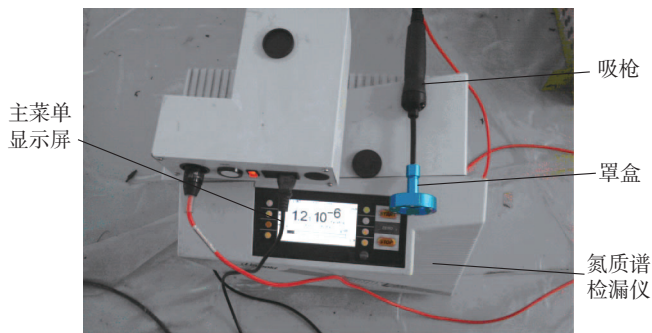


图7 氦质谱检漏仪、吸枪、罩盒
Fig.7 Helium mass spectrum leakage detector, suction gun and cover box

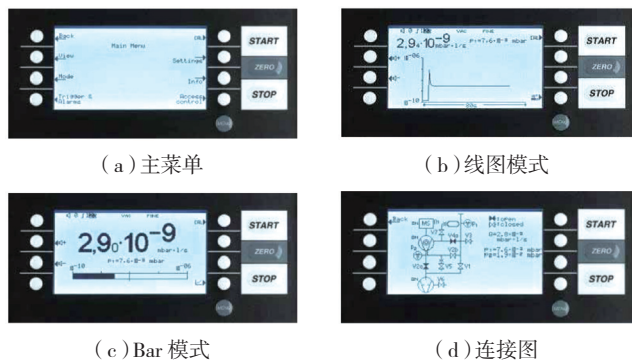


图8 氦质谱检漏仪操作界面
Fig.8 User interface of helium mass spectrum leakage detector

3 漏率标定试验

应用氦质谱检漏技术检测出的漏点的漏率都是该漏点处氦气的漏率,并不是航空煤油的漏率,油箱检测的目的是确定漏点处是否漏油,对于漏油的漏点进行修补,而对于那些只漏氦气而不漏油的漏点则不必进行修补。一个漏点处的氦气的漏率值超过一定上限值时,漏

点处就会漏油。因此,亟需开展氦气-航空煤油泄漏对比试验,以期找出一个能够判断整体油箱是否漏油的初步标准。

3.1 试验件及泄漏判断

试验件为一带口盖的长方形容器,在容器底面安装有高锁螺栓,其材料与整体油箱所用材料相同或相近,口盖通过托板螺母实现与容器的连接。由于托板螺母可拆卸,检漏时可根据测定的漏气率值略微调整螺母的松紧程度,达到所期望的漏气率值后,即可将试验件取下,实现整体油箱试验件的缺陷设计。

由于对漏点处航空煤油的漏油率值进行定量测试是一项十分复杂的工艺,因而我们仅仅作了定性判断,即借用传统的油密性试验方法来判断试验件是否漏油。油密检测过程涉及的物品和主要设备有压缩空气气源、15#航空煤油、油密试验平台、精密气压表、白垩粉等,其检测示意图如图9所示。

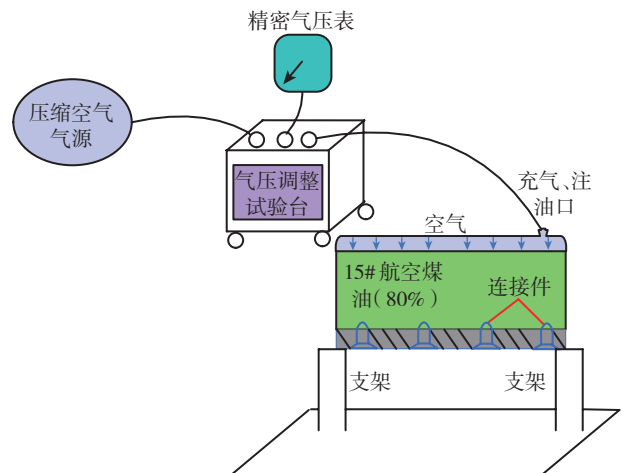


图9 试验件油密试验原理图
Fig.9 Diagram of oil tight test for test samples

试验过程中,向试验件内部充注入一定量的航空煤油(占容积的80%),连接气源、气压调整试验台、精密气压表,检查气源与气压调整试验台进气口、气压调整试验台与精密气压表、气压调整试验台出气口与试验件接口等各部分连接接头有无漏气情况,如有漏气,及时修补并重新检测,直至密封性完好。试验连接件上刷涂白垩粉,以便观测煤油泄漏情况。接通气源,打开试验台气压调整控制开关,向试验件内部充气,在充气过程中实时观测精密气压表的读数,待气压表读数达到预定气压值时,关闭试验台气压控制开关,保压18h后,观察连接件处的煤油渗漏情况,并记录在保压时间内试验件内部压力下降数值,同时观察预定压力状态下白垩粉是否变色,一旦变色,就说明有漏油现象存在,即可终止试验。(下转第83页)

为吻合,均呈现电子束焊接典型的“钉子形”焊缝。

由于数值模拟中受到热源模型计算参数、高温区物理性能参数难以精确的制约,模拟结果与实际试验结果存在误差。从表1不同深度熔池尺寸计算值与试验值对比可知,上表面误差为6.77%,熔池底部误差为7.65%,整体误差在允许范围之内。从而验证了传热方式为深熔焊的电子束焊接选择组合热源模型进行数值模拟的合理性,也表明熔池传热与流动的计算能够较为准确地模拟实际焊接过程。

4 结论

(1) 验证了高斯面热源与峰值热流递增的旋转体热源组成的复合热源模型模拟10mm厚TC11钛合金电子束焊接熔池传热与流动行为的适用性。

(2) 在熔池上表面表面张力差的驱使下,高温液态金属向熔池边缘流动,且熔池前部对流较为强烈。

(3) 计算得出的焊缝熔宽和熔深与试验结果接近,并且熔合线走向基本吻合。建立的组合热源模型可以较好地模拟电子束深熔焊的焊缝特征,通过适当调整模型中的参数,可以对不同工艺参数条件下不同材料的电子束焊接进行模拟。

参考文献

- [1] Oh J, Kim N J, Lee S, et al. Correlation of fatigue properties and microstructure in investment cast Ti-6Al-4V welds. *Materials Science and Engineering*, 2003, A340:232-242.
- [2] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [3] 张利军, 黄亚荣. TC4钛合金真空电子束焊接工艺研究. *现代焊接*, 2009(9): J-1-J-3, J-10.
- [4] 康文军. TC11材料的电子束焊接[D]. 西安: 西北工业大学, 2005.
- [5] Ho C Y. Fusion zone during focused electron-beam welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 2005, 25(5): 265-272.
- [6] Ahmada M, Akhtera J I, Akhtara M, et al. Microstructure and hardness studies of the electron beam welded zone of Hastelloy C-276. *Journal of Alloys and Compounds*, 2005, 31(8): 88-93.
- [7] Ferroa P, Zambonb A, Bonollo F. Investigation of electron-beam welding in wrought Inco-nel 706-experimental and numerical analysis. *Materials Science and Engineering (A)*, 2005, 39(10): 94-105.
- [8] 史平安, 赵朋成, 莫军, 等. 铍材激光钎焊过程中熔池流场和热场的动态模拟技术. *焊接技术*, 2009, 38(8): 13-17.
- [9] 黄伯云, 李成功, 石力开, 等. 中国材料工程大典(第4卷). 有色金属材料工程. 北京: 化学工业出版社, 2006.

(责编 夏宛)

(上接第79页)

3.2 气密-油密关联关系标定

油箱检漏的目的是确定油箱的密封性,从而确定航空煤油的泄漏点并进行工艺修补。经氦质谱细漏检测获得的漏率并不是航空煤油的漏率,因此需要确定一个对比的标准,标定煤油泄漏所对应的氦质谱检漏的最小漏率值。

经氦质谱气密与油密检测对比试验结果分析,连接件漏油处主要集中在试验件上经过缺陷设计的托板螺母区域即003号和006号连接件处,具体的试验结果如表1所示。

表1 氦气漏气率-航空煤油泄漏对比试验

连接件 编号	漏率	充气气压/kPa				
		氦质谱气检漏率值: $10^{-6}\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$, 配气比例: He/N ₂ =1/4, 施气时间: 1h。				
		26	28	30	32	35
001	不泄漏	1.28	1.29	1.48	1.54	1.75
002	不泄漏	1.26	1.32	1.43	1.48	1.61
003	轻微泄漏	15.79	16.33	16.52	17.21	17.51
004	不泄漏	1.24	1.29	1.48	1.65	1.90
005	不泄漏	1.30	1.35	2.20	2.93	3.91
006	轻微泄漏	15.91	16.32	16.81	17.35	17.68
007	不泄漏	1.27	1.47	1.69	1.95	2.41
008	不泄漏	1.27	1.58	1.71	2.12	3.11

经分析表明,在氦气、氮气比为1:4时,在26~35kPa的压力下,当氦质谱细漏检测的值超过 $3.11\times 10^{-6}\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 时,航空煤油会轻微渗漏,鉴于安全性考虑,取安全系数为150%,即漏率值为 $1.5\times 10^{-6}\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 时,可以满足密封安全性要求。

4 结论

本文基于氦质谱检漏技术提出一套整体油箱检漏方案,实现机翼整体油箱装配过程中的密封性监控,以达到找出漏点并进行修补的目的,并通过氦气-航空煤油泄漏对比试验确定出一个判断是否需要补漏的初步标准。

参考文献

- [1] 孙开磊, 孙新利. 真空氦质谱检漏原理与方法综述. *真空电子技术*, 2007(6): 62-65.
- [2] 陈向东, 薛航, 唐传兵. 机翼整体油箱氦质谱检漏技术. *航空制造技术*, 2002(2): 62-64.

(责编 亦非)