

# 氦质谱检漏在某型机翼装配中的应用

周 大,张进海,朱志坤

(中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司,成都 610092)

[摘要] 采用氦质谱检漏技术对某型机翼整体油箱检漏方法进行工程化应用研究,提前并准确定位漏源、精准排除故障,避免因传统气油密试验工序滞后带来的问题,降低返工及时间周期成本,具有明显的效益。该研究成果可推广应用于飞机其他密封部件装配检测,同时也对数字化检测技术在飞机密封装配中的应用进行了有益探索。

关键词: 氦质谱仪; 整体油箱; 密封; 检漏

## Application of Helium Leak Detection in a Certain Type of Wing Assembly

ZHOU Da, ZHANG Jinhai, ZHU Zhikun

(AVIC Chengdu Aircraft Industrial(Group) Co. Ltd., Chengdu 610092, China)

[ABSTRACT] By researching engineering application of helium leakage detection technology on a certain type wing integral fuel tank leak detection to locate the leaking resource accurately and in advance, to remove the trouble precisely, to avoid the hysteresis of problem finding caused by the delay of traditional airtight and oil tightness test procedure, and to reduce rework and time cost, which has obvious benefits. The research result can be generated and applied in other sealing components assembly test, and it is a beneficial exploration on application of digital detection technology in aircraft sealing assembly as well.

Keywords: Helium mass spectrometer; Integral fuel tank; Seal; Leak detection

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.20.092

机翼整体油箱既是飞机机体结构的重要组成部分,也是飞机实现其系统功能的重要组成部分,整体油箱密封质量直接关系到飞机的飞行安全。某型机翼由若干梁、肋连接形成主体骨架,骨架上下翼面分别加盖整体壁板形成一个扁平腔体结构。因自身结构装配及燃油等系统需求,机翼整体油箱装配零件数量多、结构复杂、操作空间小,结构配合面多、密封面积大,装配用连接件种类多、数量大,这些特点都不利于油箱密封性能的保证。同时,为便于使用和维护,在机翼油箱区设计布局有多个可拆卸的维护口盖,也对油箱的整体性及密封性能产生一定影响。

机翼油箱密封不同于飞机其他油箱密封要求,其油箱压力通常较飞机其他油箱大,且不能出现泄漏。为达到该要求,需要在机翼装配过程中设置组合件的工序检漏,整体壁板装配件检漏及形成整体油箱后对其整体检漏。油箱密封检测是机翼装配过程中不可缺少的重要环节,通过适应的检测技术,测定其漏率是否技术标准或要求的许可范围之内。漏率超出其范围,选择合适的方法找出漏孔的准确位置,排除泄漏故障<sup>[1]</sup>。

## 1 机翼密封检测常用方法及存在问题

目前,在国内军机研制和生产中,油箱检漏技术基本停留在 20 世纪五六十年代的水平,以传统指针式压力表读数的压力变化检漏法、结合气泡检漏法、充煤油加压渗液检漏法为主。主要采用气密、油密试验两种检查方法<sup>[2]</sup>。气密试验是采用压降法进行整体检漏,以判断整体油箱气密性是否合格,采用皂膜气泡法进行漏源定位;油密试验,首先往油箱内充入一定容积的煤油,静置一定的时间,采用常压煤油渗透检漏进行漏源定位,随后采用压降法进行整体检漏,以判断整体油箱的密封性是否合格,同时采用加压煤油渗透检漏进行漏源监测。

传统气密、油密试验检测及检漏方法,主要存在以下问题:

(1) 试验过程对温度、湿度要求较高,温差较大的天气会直接影响试验的进程。

(2) 煤油的大量使用,需要建设专用油密场地用以存储煤油,油密试验需在专用厂房内进行,存在火灾等安全隐患<sup>[3]</sup>。

(3) 传统指针式压力表读数,试验时由测试者目测

压力指针变化来判别产品是否存在泄漏,人为因素对测试结果的影响较大。

(4) 泄漏的大小一定程度取决于测试者的主观判断,不能定量检测泄漏率。

(5) 试验效率较低,飞机批量生产时常为瓶颈工序。试验时,先往油箱内充油,静置数小时无渗漏后再做有压试验。试验过程中,气密试验器压力表读数若有下降时,在整个机翼油箱外表面刷涂肥皂水以查找漏源。若漏源所在处装配结构复杂、漏源位置隐蔽或压力变化较小等情况下,难以找到漏源的准确位置,这样的查漏及故障排除将费很大精力和较长时间,严重制约生产的正常进行<sup>[4]</sup>。

(6) 因受结构限制或特定产品存在无法采用气泡检漏法和传统指针式压力表读数的压力变化检漏法来实现检漏。

随着飞机产品生命周期的延长,飞机制造质量及可靠性要求的不断提高,传统采用充压涂肥皂水的检漏方法越来越不适应飞机批量生产效率和能力提升的现实需求,数字化快速检漏技术和方法的工程化应用变得急为迫切。

## 2 氦质谱检漏在机翼密封检测中的应用

在飞机密封结构的泄漏检测<sup>[5]</sup>中,国外较多地采用了氦质谱检漏技术。例如,空客公司于20世纪90年代初期引入氦质谱吸枪法泄漏检测技术,用于A310、A320飞机整体油箱的检漏中,并推广应用到所有空客飞机的制造和维修中,不仅仅提高了整体油箱的制造和修补质量,同时由于不需要进行燃油密封试验,也大大节省了检测成本。我国在民航领域已经应用吸枪法进行整体油箱的氦质谱检漏,实际应用效果较好。氦质谱检漏技术<sup>[6]</sup>以其灵敏度高、速度快、使用安全、适用范围广及可量化漏率等特点,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<sup>[7]</sup>。本文利用氦质谱检漏原理和方法,结合机翼整体油箱结构特点和密封检测要求,对氦质谱检漏法在机翼密封检测中的应用进行了探索。

### 2.1 检漏原理与方法

氦质谱检漏法<sup>[8]</sup>是利用氦质谱检漏仪氦分压力测量原理,实现被检件的氦泄漏量测量。当被检件密封面上存在漏孔时,示漏气体氦气及其他成分的气体均会从漏孔泄出,泄漏出来的气体进入氦质谱检漏仪后,由于氦质谱检漏仪的选择性识别能力,仅给出气体中的氦气分压力信号值。在获得氦气信号值的基础上,通过标准漏孔比对的方法就可以获得漏孔对氦泄漏量。该方法

是以氦气为示踪气体,使用质谱分析仪器进行密封检测的一种检漏方法,具有较高灵敏度,它不但能够检测工件的微小泄漏、漏点位置,还能应用已知漏率的标准漏孔,给出被检工件的漏率大小。

根据检漏过程中的示漏气体存贮的位置与被检件的关系不同,可将氦质谱检漏法分为真空法、正压法<sup>[9]</sup>、真空压力法等。根据机翼整体油箱结构特点,其下翼面组件及上下翼面封闭形成整体油箱后分别使用真空(负压)检漏法和充压吸枪(正压)检漏法<sup>[10]</sup>。真空负压检漏法和充压吸枪检漏法特点如下:

真空负压检漏法是将被检件内部抽成真空,形成气体内部压力低于外部大气压的状态,再将示漏气体氦气施于被检件外部,如果被检件有漏气,示漏气体通过漏孔进入被检件内部,利用检漏仪将漏进的示漏气体检测出来,从而判断出漏孔的存在、漏孔的位置和大小。真空负压检漏法主要有氦罩检漏法、检漏盒检漏法等等。这种方法的优点是灵敏度高、适用于总检,其缺点是只能测出所罩部位的总漏率,不易确定所有漏孔的准确位置。

充压吸枪正压检漏法是将被检件内部充入一定氦气,形成容器内气体内部压力高于外部大气压的状态,如果被检件有漏,示漏气体通过漏孔漏出被检件,采用氦质谱检漏仪,用吸枪在大气环境下获得漏出的示漏气体并检测出来,从而判断出漏孔的存在及漏孔的位置和大小。该方法主要有:充压吸枪法检漏、吸枪罩盒套检漏法等。

### 2.2 机翼下壁板组件真空负压检漏

机翼油箱上、下翼面壁板外表面平面度较好,壁板及局部可抽真空的零组件采用氦质谱真空负压检漏法。该方法可用于组合件及未封闭形成整体油箱之前工序,对上翼面壁板组合件、下翼面壁板组合件及机翼总装完成下翼面与机翼骨架装配连接区域进行工序检漏(即过程检漏)。

机翼整体壁板组合件、下翼面与机翼骨架装配连接完成后,先采用此方法测定总漏率,若漏率超出许可范围,再用局部氦罩法找出漏孔的准确位置。整体壁板负压检漏法见图1。

#### 2.2.1 整体壁板真空负压检漏过程

(1) 将机翼上、下壁板组合件完成密封装配及罩封后,对机翼壁板及相关连接区域进行清洗,保持工件外表洁净。

(2) 在机翼壁板边界部位粘贴腻子条,形成封闭回路。

(3) 在粘贴腻子条的范围内安放辅助材料一透气毡。

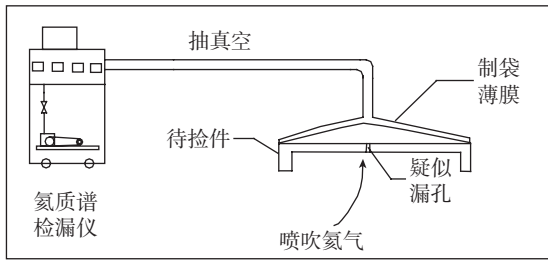


图1 整体壁板负压检漏示意图

Fig.1 Integral panel vacuum negative pressure leak detection schematic diagram

(4)将制袋薄膜拉直,使其长边压贴在腻子条上,并放置真空嘴。

(5)将氨质谱检漏仪与制袋薄膜上真空嘴相连接,开启氨质谱检漏仪并在壁板背面喷吹氮气,对所封闭的区域进行检漏。

(6)完成试验,整理设备。

若上述试验过程中发现整体壁板连接区存在泄漏,为确定具体的泄漏部位,可采用氨罩盒法查找漏源。氨罩盒法检漏示意图见图2。

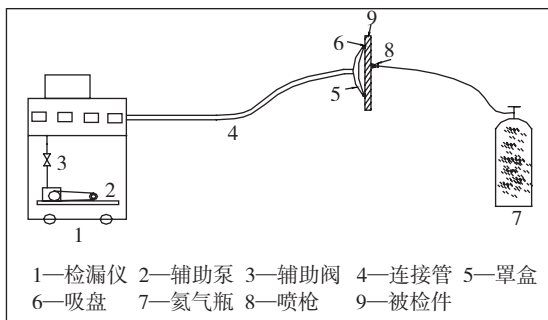


图2 局部检漏—氨罩盒法示意图

Fig.2 Local leak detection—helium cover box method schematic diagram

### 2.2.2 局部氨罩盒法检漏过程

(1)将吸盘罩盒扣在被检工件待检区域表面上密封好,启动氨质谱检漏仪,调整参数,使其工作在真空检漏状态;

(2)连接检漏盒与检漏仪;

(3)启动检漏仪检漏;

(4)待抽真空达到漏率值小于额定值并稳定时,使用带有喷枪的氮气袋在被吸盘罩盒罩住的被检工件的反面用喷枪喷吹氮气;

(5)若抽真空达到漏率值大于额定值时,示意有漏,补漏排除后重新试验。

检漏注意事项:

(1)检测过程中,严禁移动被测工件和检测设备;

(2)在使用喷吹法对被检工件进行真空检漏时,竖

直方向上要由上往下检,水平方向上要相对于氨质谱检漏仪由近及远检测;

(3)喷枪与被检件表面的距离值不应太大(不大于5mm);

(4)对于发现有漏的区域,待检漏仪示值升高达稳定后移开喷枪,等示值下降后再喷,观察示值是否再次升高并稳定,需重复三次以确定漏率。

### 2.3 机翼整体油箱正压检漏

机翼总装上翼面封闭后形成整体油箱,将油箱内部充入一定氮气,形成容器内气体内部压力高于外部大气压的状态,如果整体油箱边界面上有漏,氮气通过漏孔向外逸出。当吸枪正对漏孔位置时,氮气被吸入检漏仪而产生漏气反应,由此判断漏孔的存在及位置和大小,从而达到检漏目的。该方法用于机翼油箱装配完成后对其进行油箱密封的总检查。机翼整体油箱正压检漏法系统连接见图3。

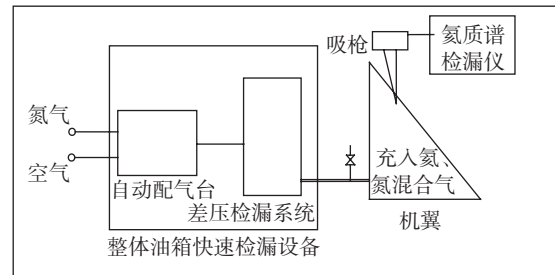


图3 机翼整体油箱正压检漏法系统连接示意图

Fig.3 Wing integral fuel tank pressurized leak detection method system connection schematic diagram

机翼整体油箱正压检漏过程如下:

(1)用工艺堵盖、堵帽将油箱区非试验充气接口处封堵,使其形成密封体;

(2)将整体油箱快速检漏设备充气口与被测机翼连接,形成封闭回路;

(3)启动整体油箱快速检漏设备,进行系统自检,确认差压检漏系统工作是否正常;

(4)充气:按检漏测试压力,设定的充气时间,经过检漏系统向被测机翼油箱内充入一定比例浓度的氮气和压缩空气,充压后不许移动或转动被检件;

(5)平衡:充压达到要求后,静置被检机翼,使其内部氮、氮混合均匀;

(6)检测:保压限定时间,其压力变化不大于某额定值的检测标准。若压力变化超过规定值时,则按照设定的测试压力对机翼油箱进行充气,检漏系统进入设定时间平衡,这时用氨质谱检漏仪吸枪法对部件进行单钉渗漏检查和油箱边界渗漏检查,漏率值不大于技术要求规定值。检测结束后,系统根据预设参数,自动显示检测

结果,并对检测作出结果判定;

(7)排气:检测完成后将机翼油箱内部混合气体排出。

注意事项:(1)要求所用连接吸枪的软管越短越粗越好,连接管内要清洁,要吸气、放气率小,最好选用金属软管,不宜采用橡皮软管;(2)检漏场地的空气不能有太大的流动,吸枪在被检件表面移动的速度不能太快,且与被检件表面的距离值不应太大(不大于5mm),以免灵敏度降低。

这种方法的优点是可以准确找到漏孔位置,缺点是与抽真空喷吹法检漏相比,灵敏度较低。该方法主要用于机翼形成整体油箱后的密封性总检查。

### 3 两种检漏法对比试验

在氦质谱检漏法工程化应用的研究过程中,各自选取了某型机的15个机翼部件分别进行氦质谱检漏法与传统密封检测法试验,其用时情况统计如表1和表2所示。

从表1中得出,采用传统密封检测法检漏,平均用时33.5h。其中,第XX126架充油后气密保压试验时存在泄露,查找漏源用时24h,排故(含重复油密保压试验)

表1 传统检漏法试验用时记录表

序号	气密试验		油密试验				合计用时
	气密试验	充油停放	气密保压	抗压保压/min	查找漏源/h	排故/h	
xx121	1h	25h	8h	5	—	—	34h5min
xx122	1h5min	24h	8h	5	—	—	33h10min
xx123	1h	24h	8h3min	5	—	—	33h8min
xx124	1h	24h30min	8h	5	—	—	33h35min
xx125	1h	25h	8h	5	—	—	34h5min
xx126	1h	24h	52h	5	24	20	77h5min
xx127	1h7min	26h	8h	5	—	—	35h12min
xx128	1h	24h	8h	5	—	—	33h5min
xx129	1h	25h	8h	5	—	—	34h5min
xx130	1h	24h	8h10min	5	—	—	33h15min
xx131	1h	24h	8h	5	—	—	33h5min
xx132	1h5min	24h	8h	5	—	—	33h10min
xx133	1h	25h	8h	5	—	—	34h5min
xx134	1h	24h	8h15min	5	—	—	33h20min
xx135	1h10min	24h	8h	5	—	—	33h15min

表2 氦质谱检漏法试验用时记录表

序号	壁板单面检漏	查找漏源/min	排故/h	整体油箱检漏	合计用时
xx203	3h10min	—	—	3h55min	7h5min
xx204	3h18min	—	—	4h	7h18min
xx205	3h	—	—	4h10min	7h10min
xx206	3h15min	—	—	4h5min	7h20min
xx207	3h10min	—	—	3h50min	7h
xx208	3h5min	—	—	4h	7h5min
xx209	3h8min	—	—	4h	7h8min
xx210	3h12min	—	—	3h58min	7h10min
xx211	3h25min	—	—	4h5min	7h30min
xx212	3h20min	—	—	4h3min	7h23min
xx213	3h16min	—	—	4h	7h16min
xx214	3h10min	—	—	4h10min	7h20min
xx215	7h15min	15	4	3h55min	11h10min
xx216	3h6min	—	—	4h5min	7h11min
xx217	3h12min	—	—	4h	7h12min

用时20h。表2采用氦质谱检漏法检漏,平均用时7.5h。其中,第XX215架壁板单面检漏试验时存在泄露,查找漏源用时15min,排故(含重复氦质谱检漏)用时4h。通过两种方法对比,传统方法用时是氦质谱检漏法检测的4倍多。使用传统方法密封检测,产品已形成完整整体油箱密封结构,结构复杂,查找漏源操作工艺性差,漏源定位困难,排故难度大、成本高。氦质谱检漏法可进行翼面结构单面检漏,操作工艺性好,易定位漏源,排故成本低、效率高<sup>[1]</sup>。

### 4 应用效果

经过多架次某型机翼组合件及整体油箱密封检漏试验证明,在飞机整体油箱装配过程中使用氦质谱检漏法是可行的。氦质谱检漏法相对于传统密封检测方法而言,确实有着无可比拟的优势,克服了传统方法受气温影响较大、准确率低、周期长等一系列缺点。氦质谱检漏法的高精度数字式判读,显著提高了产品质量,也大大降低了因过程控制不足而在后续工序乃至外场排故所产生的各项费用。应用该方法,操作人员数量可减少50%,尤其是工作效率得到大幅度提升,正常工序所需时间由原来的48h减少为8h。新旧检测方法对比见表3。

### 5 应用问题及改进措施

通过运用氦质谱检漏方法和技术,利用XX-401M

表3 传统检漏法与氦质谱检漏法对比表

要素	传统检漏法	氦质谱检漏法
效率	粗检、细检共需要约34h	粗检约需 2~3h,细检耗时视连接件数量而定,一般需 3~5h,共计约 8h
人员	3~4 人	设备的自动化程度高,操作只需 2 人即可
材料	煤油、肥皂水	氦气、氮气、压缩空气
安全性	使用煤油存在火灾等较大安全隐患	测试介质为氦、氮混合气体,不会给工作现场及环境带来污染
检测可靠性	不能定量,且粗、细检均靠目视判别,主观因素影响大,漏源查找效率低,排故成本高	能定量检测,检测中基本没有人为因素影响,测试结果更客观,能实现单翼面过程检测,操作工艺性好,漏源查找效率高,排故成本低

整体油箱快速检漏设备及 XX-L300 氦质谱检漏仪对机翼油箱密封装配检漏,在具体应用过程中也发现一些问题需改进:

(1) 整体油箱氦质谱检漏时,氦质谱检漏设备向被检工件充气用时长,影响效率。改进:加大检漏设备与机翼油箱连接的管路直径,增加单位时间内的气体流量,减少充气时间。

(2) 充气压力不精确,充气经平衡后,被检工件中气体实际压力值与设备预设值存在差异。改进:在靠近整体油箱充气接口处增加一个带压力传感器的压力检测装置,该处所测压力与被检工件内的实际压力可视作等值。把该处压力当作检测设备的检测压力,其压力与油箱内实际压力值差异最小,设备压力显示更准确,充气结束后较接近系统预设值。

(3) 单面检测时,氦质谱检漏仪配套的吸枪罩盒规格少,适用性不强;用制袋膜粘贴罩封检测,效率较低。改进:订制适用于产品结构特点的专用罩盒,配套增加各种罩盒规格,提高工作效率。

## 6 结论

研究成果表明,军机油箱检漏使用氦质谱检漏法在原理方法和操作上是可行的和有效的,提高了飞机整体油箱装配质量和生产效率。应用氦质谱检漏法,可对单面壁板或组合件进行检漏,也就是说在未形成封闭油箱之前即对壁板或壁板与梁肋骨架结构连接区进行气密性检测,真正意义上实现了整体油箱装配的密封检测过程控制,从而避免在形成封闭油箱后导致滞后发现漏源及排故困难所需的大量返工工作量,有效解决了机翼制造过程中密封工序周期长的生产瓶颈难题。

## 参考文献

- [1] 吴孝俭, 闫荣鑫. 泄漏检测 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.  
WU Xiaojian, YAN Rongxin. Leakage detection [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2005.
- [2] 苏再为, 吴孝俭, 张中平, 等. 柔性泄漏检测技术在航空航天工业中的应用 [J]. 航空制造技术, 2013(20):113-115.  
SU Zaiwei, WU Xiaojian, ZHANG Zhongping, et al. Application of flexible leakage detection in aeronautic and astronautic industry[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013 (20): 113-115.
- [3] 蒋永宏. 基于氦质谱检漏仪的飞机机翼整体油箱检漏技术 [J]. 航空制造技术, 2012(16):77-79.  
JIANG Yonghong. Aircraft wing integral fuel tank leakage detection with helium leak detectors[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012(16): 77-79.
- [4] 唐勇军, 辜亮波. 浅谈氦质谱检漏技术在机翼整体油箱中的应用 [J]. 装备制造技术, 2015(3):179-181.  
TANG Yongjun, GU Liangbo. Discussion on application of helium leak detectors in wing integral fuel tank detection[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2015 (3): 179-181.
- [5] 何凤涛. 飞机整体油箱的先进泄漏检测技术 [J]. 成飞科技, 2007(4):13-17.  
HE Fengtao. Advanced leakage detection technology of aircraft integral fuel tank[J]. CAC Science and Technology, 2007(4): 13-17.
- [6] 姚任远. 飞机整体油箱的氦质谱检漏技术 [C]. 中国航空学会航空 CAD、CAM 应用学术交流会, 日照, 1997.  
YAO Renyuan. Aircraft integral fuel tank helium mass spectrometry technology[C]. Application Symposium of Aeronautical CAD/CAM in Chinese Society of Aeronautics, Rizhao, 1997.
- [7] 孙开磊, 孙新利. 真空氦质谱检漏原理与方法综述 [J]. 真空电子技术, 2007(6):62-65.  
SUN Kailei, SUN Xinli. Summary of vacuum helium leak detection principle and methods[J]. Vacuum Electronic Technology, 2007(6): 62-65.
- [8] 肖祥正. 泄漏检测方法与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.  
XIAO Xiangzheng. Leakage detection methods and application[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2010.
- [9] 中国航天科技集团公司. QJ3089-99 氦质谱正压检漏方法 [S].  
China Aerospace Science and Technology Corporation. QJ 3089-99 pressurized helium leak detection methods[S].
- [10] 陈向东, 薛航, 唐传兵. 机翼整体油箱氦质谱检漏技术 [J]. 航空制造技术, 2002(2): 62-64.  
CHEN Xiangdong, XUE Hang, TANG Chuanbing. Wing integral fuel tank helium detection technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2002(2): 62-64.
- [11] 许国康. 面向先进检漏技术的航空产品密封实现与保证 [J]. 航空制造技术, 2013(20):103-108.  
XU Guokang. Aeronautical products sealing realization and guarantee confronted with advanced leak detection technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(20): 103-108.

(责编 海山)