

# 民用飞机辅助动力装置排液 验证试验方法研究

## Research on APU Fluid Drainage Certification Test Methods of Civil Aircraft

刘大李 瑜章弘 刘林 / Liu Da Li Yu Zhang Hong Liu Lin

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

### 摘要:

民用飞机辅助动力装置(APU)排液验证试验涉及 APU 系统、总体布置及气动外形设计、APU 舱结构和后尾锥结构等多个专业,属于整机集成验证问题,是国内外民机取证过程中的共性难点。对民用飞机 APU 排液验证试验方法进行了研究,给出了 APU 排液地面试验和飞行试验时相关测试改装、试验方法的技术要点以及试验结果的符合性判据。

**关键词:** APU; 排液试验; 民用飞机

**中图分类号:** V228

**文献标识码:** A

[Abstract] Auxiliary power unit (APU) fluid drainage certification test for civil aircraft is one of the most difficult issues during civil aircraft certification. As an aircraft integration test, it is involved with APU system design, aircraft general layout design, aerodynamic design, APU compartment and tailcone structure design, etc. The paper studies auxiliary power unit (APU) fluid drainage certification test, and the key technology points for relevant test methods, modification and instrumentation and the compliance criteria during ground and flight tests are obtained.

[Key words] APU; fluid drainage test; civil aircraft

## 0 引言

民用飞机辅助动力装置(Auxiliary Power Unit, 简称 APU)排液验证试验(包括地面试验和飞行试验)不仅涉及 APU 系统排液的系统内部设计,还涉及 APU 排液管的总体布置及气动外形设计、APU 舱结构和后尾锥结构(处于可燃液体排放路径所在区域)等多个专业,属于整机设计和集成问题,需要各专业协调合作才能完成。相关资料显示,APU 排液验证试验是国内外民机取证过程中的共性难点,很多同类机型在 APU 排液验证试验中均出现过问题并导致了设计更改及项目延迟。例如,最新型的波音波音 787 飞机因为 APU 排液验证试验未能通过而进行了设计更改,在尾锥末端增加了导流条,如图 1 所示。



(a) 飞行测试期间的  
波音 787 尾段

(b) 取证交付后的  
波音 787 尾段

图 1 波音 787 飞机尾段

## 1 相关适航条款

APU 排液验证试验主要与 CCAR25.863 条款和 CCAR25.1187 条款相关<sup>[1]</sup>。CCAR25.863 条款

主要针对可燃液体或蒸气可能因液体系统渗漏而逸出的区域规定了防火安全要求,而 CCAR25.1187 主要针对火区的排液和通风规定了相关的适航要求。APU 舱既是可燃液体泄露区同时也是火区,需要同时满足以上两个条款的要求,具体如下:

(1) 当需要排放时,在预期液体会存在的各种情况下,必须是有效的。

(2) 必须布置成使放出的液体不会增加着火危险。

除非有充分的理由和依据,一般都应通过地面试验和飞行试验的方法对 APU 舱排液系统设计进行验证,以便早期暴露或发现 APU 舱排液系统设计和制造的缺陷与不足,尽早进行设计更改与完善。

## 2 测试改装

为模拟可能的可燃液体泄漏,飞机上应安装染色水喷射系统,即向 APU 舱内的不同区域喷射一定量的染色水。典型的染色水喷射系统如图 2 所示,由水泵、水箱、调节阀、阀门、管路、电气控制系统以及流量测量装置等组成。

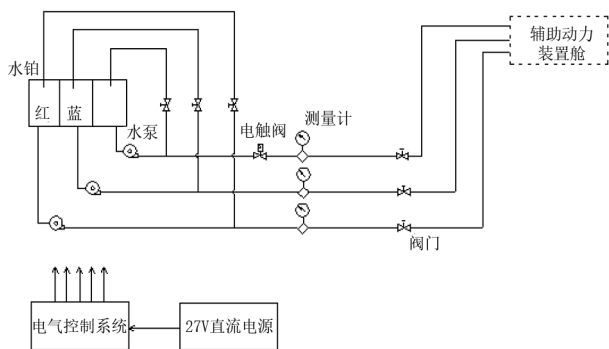


图 2 染色水喷射系统原理图

染色水喷射系统应在 APU 舱内分布不同的喷嘴,以模拟各种潜在的可燃液体泄漏点。可燃液体泄漏点的位置应基于可燃液体泄漏源的分析结果确定。典型的可燃液体泄漏点如下:

- (1) 燃油泵/燃油模块;
- (2) 燃油管路接头;
- (3) 滑油箱放油口。

染色水喷射流量应基于泄漏量分析结果确定,同时考虑排液试验试飞结果的有效性。对于 APU 舱底部结构联通的构型,典型的 APU 舱内染色水喷

射总流量为 3.79L/min(1gallon/min)<sup>[2]</sup>。

## 3 地面试验

飞行试验之前,应进行 APU 舱排液地面试验,以验证 APU 舱内液体可以被有效排出而无危险量的积存,并评估地面状态时液体排放路径是否安全。

### 3.1 试验方法

在进行地面试验时,应使飞机处于地面静止状态,向 APU 舱内注入一定量(通常是 1 UKgal ~ 4UKgal)的液体,同时在 APU 舱排液管出口处对排出的液体进行收集。试验前后,需对 APU 舱排液口及周围排液情况进行拍照,并检查 APU 舱内部液体积存情况。

进行该试验时,应综合考虑 APU 舱内可燃液体泄露的可能性及可燃液体排放的严酷性,决定是否启动 APU。

(1) APU 舱内可燃液体泄露的可能性。对于 APU 开车状态,存在可燃液体泄露的可能;对于 APU 关车状态,如果 APU 舱内仅布置有 APU 燃油供给系统,没有布置液压管路等其他可燃液体输送系统,并且 APU 关车时可以保证 APU 舱内燃油供给切断,那么显然在 APU 关车状态时 APU 舱内不可能有可燃液体泄露,也就无需对关车状态进行试验试飞验证。

(2) 可燃液体排放的严酷性。如果能通过分析,或者前期研发试飞的结果可以表明 APU 开车/关车状态时试验条件更严酷,则只需要进行 APU 开车/关车一个状态的验证;如果无法表明哪一种状态更严酷,则两个状态都需要进行试验验证。

### 3.2 试验判据

CCAR25.863 条款和 CCAR25.1187 条款并未对“无危险量的积存”做出定量的规定,对于液体排放路径是否安全也往往基于工程判断。一般而言,以下几条要求经常被作为 APU 排液地面验证试验的符合性判据:

(1) 在 10min 内,收集到的液体量占 APU 舱内液体总喷射量的 90% 以上;

(2) APU 舱内单个积液点液体积存量不超过 44ml(1.5 ounces);

(3) 液体排放路径不会产生显著的其他危害。

## 4 飞行试验

只有地面排液试验获得批准后方可进行飞行试验。APU 排液试飞用于验证在各种可能的飞行条件下,APU 舱液体排放路径不会产生其他危害。为避免湿气影响排液路径,飞行试验不可在有可见湿气(包括云)时进行。

### 4.1 试飞方法

在飞机各种可能的运行条件下(包括滑行、起飞、爬升、巡航、侧滑、盘旋、下降、进近、着陆等),均注入一定量(通常是 1gallon/min)的染色水,注入时间 30s ~ 120s。试验前后,需对 APU 舱排液路径进行拍照。进行该试验时,着陆时一般开反推和不开反推两种条件都应进行验证。同样,应综合考虑 APU 舱内可燃液体泄露的可能性及可燃液体排放的严酷性,决定是否起动 APU。巡航高度和速度一般选取某一特定高度和速度作为其典型代表。典型的 APU 舱排液飞行试验条件如图 3 所示。

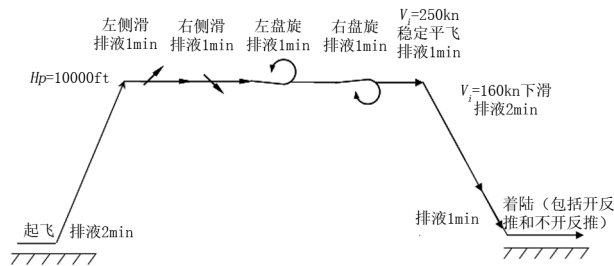


图 3 APU 排液飞行试验示意图

(上接第 27 页)

工具支持。从基于性能的节油策略出发,制造商为航空公司提供 QAR 性能数据实时监控、飞行计划工具的整体 IT 解决方案,合理优化和完善飞行性能,将是一个性价比极高的选择。

### 参考文献:

- [1] 中国民航大学. 飞机节油策略研究报告[R]. 天津:中国民航大学,2015.
- [2] 李宜. 航空节油飞行策略研究及分析软件的设计和开发[D]. 成都:电子科技大学. 2010.
- [3] 奥凯航空公司节能减排工作经验[R]. 空运商务, 2011,02.
- [4] 春秋航空公司节能减排工作经验[R]. 空运商务, 2011,02.

## 4.2 试飞判据

CCAR25.863 条款和 CCAR25.1187 条款并未对“危害”给出明确定义,因此审查代表往往基于主观的工程判断对排液试飞结果的符合性进行评判。一般情况下,液体进入以下区域是不可接受的:

- (1) 客舱,货舱;
- (2) 任何存在潜在点火源的区域;
- (3) APU 舱;
- (4) APU 进气口和尾喷口;
- (5) 发动机进气口和尾喷口;
- (6) 附件舱或可燃液体泄漏时可能有名义点火源存在的区域,例如电子电气舱,航灯或电池舱等;
- (7) 起落架舱。

## 5 结论

本文对民用飞机 APU 排液验证试验方法进行了研究,给出了 APU 排液地面试验和飞行试验时相关测试改装、试验方法的技术要点,以及试验结果的可接受判据等,供民机设计人员参考。

### 参考文献:

- [1] 中国民用航空局. CCAR25-R4 中国民用航空规章第 25 部:运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空局,2009.
- [2] Draft Advisory Circular AC No. 25.863-1 Flammable Fluid Fire Protection.

- [5] 山东航空股份公司节能减排工作经验[R]. 空运商务, 2011,02.
- [6] 中国东方航空公司节能减排工作经验[R]. 空运商务, 2011,02.
- [7] 中国国际航空股份公司节能减排工作经验[R]. 空运商务,2011,02.
- [8] 中国南方航空股份公司节油工作经验[R]. 空运商务, 2011,02.
- [9] 波音. 性能培训资料[Z]. 波音公司,2014.
- [10] 庞巴迪. Q400 下一代飞机节油手册[R]. 2005.
- [11] 空客. 性能培训资料[Z]. 空客公司,2008.
- [12] 中国民航大学. 经济飞行研究报告[R]. 天津:中国民航大学,2015.
- [13] 赴令. 四川航空节油系统策略研究及应用[D]. 重庆:重庆大学,2007.