

大型民用飞机燃油箱污染影响与控制要求

卞刚* 宋志强 葛锐

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

摘要:

基于大型民用飞机燃油箱常见污染物,对其进行分类,研究其来源,分析其对飞机及系统功能、性能、安全、经济性等的影响。针对飞机研制、生产阶段,从材料选用、燃油箱结构、燃油系统及相关系统设计上提出污染防治设计要求,从生产制造各环节与要素上提出污染防治控制要求。针对飞机运营阶段,对其勤务与维护维修提出污染防治监控要求。通过对飞机生命周期内燃油箱污染物的持续监控管理,实现支持飞机高效生产、安全运行的目标。

关键词: 燃油箱; 污染物; 制造; 运行

中图分类号: V228.1⁺1

文献标识码: A

OSID:



0 引言

燃油箱的基本功能是存储燃油,并保证油箱内燃油向油泵入口顺畅流动。燃油是燃油系统、动力装置系统、辅助动力装置系统的工作介质,是全机能源的源头。燃油系统、动力装置系统、辅助动力装置系统包含较多精密设备,为保证各系统正常工作,必须保证燃油足够清洁。在燃油箱结构与燃油箱内系统件制造、飞机部装总装、试验、加油、运行以及维护维修过程中,往往会产生、遗留各类杂质、颗粒物等污染物质或多余物,并对系统正常工作产生影响。为保证飞机正常运行,有必要针对各种环节产生的燃油箱污染物/多余物,采用各种手段减少、控制其产生,或降低其影响。

1 燃油箱污染物类型与影响

1.1 燃油箱污染物类型

燃油箱污染物特指飞机制造、运行、维护过程中自然滋生、制造遗留、损伤脱落产生的洁净燃油、干净产品所不允许的多余物。通过对生产制造、运行维护过程的统计,燃油箱内污染物/多余物主要有以下种类,见表 1。其中制造维护过程中的污染物、多

余物一般源于制造加工过程中清洁工作不到位、工艺程序不完善、生产技能不熟练、质量控制不严等因素。

表 1 燃油箱污染物/多余物类型与产生阶段

序号	污染物/多余物类型	产生阶段	
		制造/维护	运行
1	金属屑、金属丝	●	
2	润滑油、润滑脂、润滑剂	●	
3	胶粒、胶块、	●	●
4	(涂层)漆片、漆屑	●	●
5	金属锈		●
6	水分、冰渣/屑		●
7	微生物		●
8	油液分解物		●
9	泥砂	●	●
10	棉絮	●	
11	胶带、标签	●	
12	绳带	●	
13	头发	●	
14	工具	●	
15	紧固件及碎片	●	●
16	搭接线、丝及碎片	●	●
17	卡箍、卡箍丝、轴销及碎片	●	●
18	密封圈及碎片	●	●
19	绑扎带及碎片	●	●
20	液压油		●
21	其它非许用燃油		●

* 通信作者. E-mail: biangang@comac.cc

引用格式: 卞刚,宋志强,葛锐.大型民用飞机燃油箱污染影响与控制要求[J].民用飞机设计与研究,2019(3):42-46. BIAN G, SONG Z Q, GE R. Contaminant Effects and Control Requirements for Fuel Tank of the Large Civil Aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2019(3):42-46(in Chinese).

正常运行过程中产生的污染物、多余物则一般源于油箱内自然运行环境、燃料自身化学物理特性、零部件和材料的自然老化或失效等因素。

1.2 燃油箱污染物/多余物的影响

与燃油相关的机载系统包括燃油系统、动力装置系统、辅助动力装置系统、油箱内其它系统以及燃油箱结构,燃油的污染有可能引起上述系统的功能失效或性能降级等,对于不同的污染物,其产生的影响如下所述。

1.2.1 机械产品功能丧失与性能下降

各种固体杂质、不溶于燃油的胶体、絮状物等随燃油流动,极容易堵塞细小流动通道,比如压力传感器的测压管路、引射泵喷嘴、伺服部件的精细孔道等,从而引起相关性能下降、功能丧失或可靠性降低,如图1中的颗粒污染物。某些固体污染物或多余物,容易卡滞活动部件的运动机构,导致部件功能降级或丧失,如单向阀被卡住不能打开或关闭,浮子转轴或滑动轴被卡住而不能浮动;在低温情况下,燃油中水分易形成积冰,堵塞流动通道,导致系统性能下降或功能丧失。最终的影响可能是发动机供油功能丧失,导致发动机停车。2008年1月17日,英航一架由北京飞伦敦的B777-200ER在希斯罗机场跑道入口前330 m处坠撞着陆,调查结论表明发动机供油能力大幅下降,导致推力减小,而其原因可能是燃油热交换器处出现燃油中水分结冰堵塞流动通道导致供油不足引起。

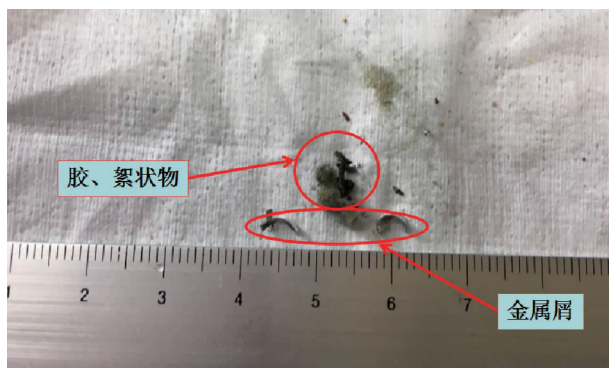


图1 引射泵喷嘴堵塞物

1.2.2 结构腐蚀

水分在油箱中积聚,一方面易腐蚀结构,另一方面易滋生微生物;微生物在其生长过程中,从周围环境吸收营养素,并产生有害气体、酸性物质及其它分泌物等,影响燃料稳定性,产生电化学环境致使金属

腐蚀、复合材料降解。

1.2.3 传感器感应偏离或功能丧失

水分与燃油属性不同,过多水分会导致油量传感器测量偏差;胶带、标签、绳带、丝线、微生物等粘覆住传感器感应装置,易使传感器感应功能丧失或出错,导致产生错误的信号,如图2为油箱里脱落的胶带。

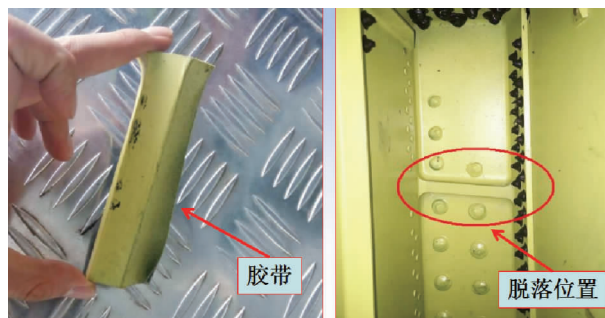


图2 油箱内脱落胶带

1.2.4 燃油箱燃爆风险

脱落的金属丝、金属线等搭接在不同结构间,在两端大电势差情况下可能会产生放电,导致燃油箱有燃爆风险。

1.2.5 飞机运行经济性下降

燃油箱中过多的污染物会导致产品损伤、性能下降,并需为此安排排故、更换产品、油箱清洁等维护工作。燃油箱内的相关工作通常需要3 d~7 d的周期,停机维修产生的成本高达数百万元。

2 燃油箱污染防护控制环节

燃油箱污染控制需要从产品全生命周期及场景研究污染的来源,对其实施控制。需要从源头上针对工作介质——燃油的清洁特性,基于飞机结构、系统特点与制造工艺技术水平,定义结构、系统防污染相关设计要求,并延伸至制造、运行维护各阶段与过程,在全生命周期中需接受相关质量要求的控制,燃油箱污染防护控制主要环节见图3。通常燃油的存储、运输过程中燃油品质由航油公司、机场控制,相关规定如MH/T6020^[1]、MH/T6005^[2]、ATA Specification 103^[3]等。飞机运行维护中燃油箱清洁由航空公司、维修公司控制,一般按相关手册及航空公司、维修公司规定执行。飞机研制、生产中燃油箱清洁则由飞机制造商、供应商控制,下文仅针对制造商研制生产与航空公司运营维护角度提出相关要求。

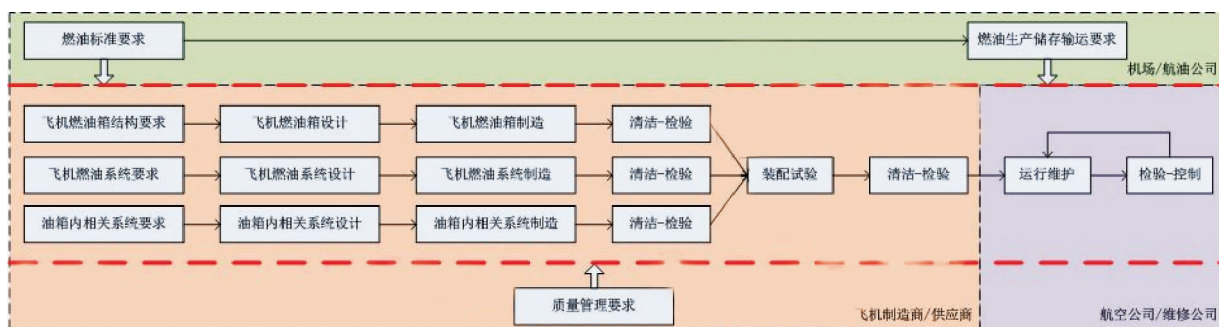


图 3 飞机燃油箱污染控制环节

3 燃油箱污染防护制造商控制

基于燃油/燃油箱/燃油系统中可能产生的污染物类型与特点,从设计上应考虑避免/降低污染物产生的可能。产品研制生产中可充分借鉴 GJB5296^[4]及其它相关标准规范,从组织管理、设计制造等多方面控制多余物。系统设计中应将预防污染与多余物、提供清洁燃油作为设计需求,保证产品设计时充分考虑预防污染、多余物产生,以及便于检查、清除污染、多余物,控制其风险。同时,组织上应建立完善的质量控制要求,对全生产环节进行管理。

3.1 燃油箱及相关系统设计一般要求

3.1.1 材料选用要求

燃油箱内及与燃油接触的产品材料选用一般要求如下:

1) 油箱内所有产品及各类材料应与燃油及其添加剂相容;

2) 与燃油接触的零部件表面不应采用镁、铜、镉及其合金材料,油箱内避免使用含银材料;

3) 不应选用在产品使用环境及寿命期内易发生虫蛀、腐蚀、脱皮、龟裂以及滋生霉菌的材料,应保证产品在规定的使用期限内和使用环境条件下不脱漆、不脱镀层、不氧化生锈、不发生催化断裂;

4) 新材料必须在燃油环境中开展相容性试验才可应用,可参照 RTCA DO-160^[5]第 11 章“流体敏感性”。

3.1.2 燃油箱结构设计要求

燃油箱结构主要设计要求如下:

1) 油箱内部结构应尽可能避免液体流动死区的设计,使油箱内油液、水分等能够顺畅流向燃油泵吸油口或油箱沉淀区域,降低水分积聚滋生微生物和结冰的可能;

2) 在油箱中易产生微生物的区域,结构表面涂

防腐涂层,通常是在油箱下壁板以上 80mm 以下区域,都需要涂覆;

3) 油箱开口应不易进入外物,如雨水、冰雪、沙尘、小动物、落叶等;

4) 油箱中肋板最底部应布置排液孔,大的过油孔布置在接近肋板底部位置,这样一方面可以保证正常串油、过水,一方面肋板底部的结构又可以一定程度上阻挡固体污染物在油箱里的输运;

5) 油箱结构应能保证油箱内所有区域可以接近、检查及清洁。

3.1.3 系统设计要求

燃油箱内除了燃油系统,通常还可能布置有惰化系统、液压系统以及电缆等,这些系统的设计,应考虑到以下原则与要求:

1) 系统自身应避免产生污染物、多余物,应避免系统之间以及系统与结构之间相互影响而带来污染物、多余物,系统应能够耐受一定的污染物、多余物影响而不产生降级、退化,同时系统应避免将不可控的污染物、多余物带出至其它下游系统(譬如动力装置、辅助动力装置等系统);

2) 系统架构设计中应考虑避免因油箱污染产生共因失效,并导致灾难性的事件;

3) 系统件应与燃油及其添加剂相容;相接触的系统件之间、系统件与结构件之间应避免产生腐蚀反应;系统件材料包括表面处理材料应能耐受飞机飞行包线内的自然环境变化,包括温度变化、湿热环境、压力变化、盐雾环境、高空臭氧、振动、燃油冲击、气流吹洗等;

4) 每一系统零件、装配应研究其失效模式中是否存在小零件脱落的失效,应有充分的防失效设计,比如紧固件的放松。通常需考虑的脱落小零件,如柔性接头的轴销、卡扣、绑扎带、搭接丝,搭接线的金属丝、耳片,部件、管路安装采用的紧固件,卡箍橡胶

件,线缆上的标签等;

5)燃油箱气路、油路等各种开口处,应充分利用滤网,阻挡各类杂质多余物进入;

6)燃油系统管路布置应尽量避免出现积液而堵塞流动通道,同时部件应减少微细通道的应用;

7)燃油箱应该具备措施,能够在正常运行中方便的排放、检查油箱中沉积的主要污染物,如水分、微生物等。

3.2 燃油箱及相关系统制造一般要求

制造过程中的防污染与多余物控制除了技术上的因素,还重点包含质量与管理的因素。同时,燃油箱内的产品制造分多个层级,来自于多家供应商、不同的制造企业,因此从制造上亦应分层级、分阶段进行控制,其控制环节如图4所示。

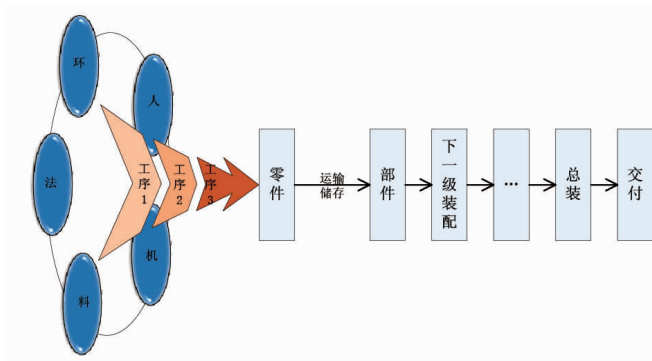


图4 燃油箱污染防护制造控制环节

3.2.1 通用管理与质量要求

制造环节防污染与多余物控制首先要从管理与质量上制定相关的要求,通常从产品制造的人、机、料、法、环等方面考虑:

1)制造相关人员应具备相应操作上岗资格,人员应经培训上岗;进入工作区域人员、衣着应满足相关清洁规定。

2)采用的工具工装应满足精度、质保要求;工具、工装干净整洁;每次使用的工具、工装应建立清单,进、出工作区域,应进行比对检查,避免有遗落;工艺设备应具备自净化能力和防污染入侵的措施。

3)确保制造所需原材料满足图纸要求,各类耗材、油料满足质保要求;进、出工作区域,材料清单应进行比对检查,避免有遗落;消耗、磨损类的材料在使用后应对工作区进行清洁。

4)工艺程序和规范应经验证,并在生产制造过程中持续完善;制造操作应严格按照工艺程序和规范执行;特殊的工艺、人员技能水平影响比较大的工

艺,应有相对严格的检查措施;不同制造工序间转移应有严格的污染控制技术措施和管理措施。

5)生产制造环境应干净整洁,确保周围环境中沙尘、水分、杂质等外来物不会进入油箱;不同作业环境应有隔离防护;在部装、总装环节尤其需要对环境进行监控。

3.2.2 各生产制造环节要求

应从零部件生产制造源头至飞机最终交付的所有环节对污染物与多余物防护进行控制:

1)零部件制造中应避免出现毛刺、金属屑、夹渣等,应保证表面涂层的完整、光滑,表面不应有粗糙的凹坑或死腔;应确认部件上的零件装配紧固完好,无任何损伤、松动迹象;不应使用钢丝刷打磨导管表面,不应使用棉织品擦洗导管内表面;制造完成应进行清洁,并予以必要的包装。

2)所有层级产品都应根据产品特点制定相应储存运输要求;对于存在老化退化可能的零部件,有必要控制保存期限;包装产品的材料不应产生污染。

3)飞机装配环节是所有控制环节的关键,必须确保人员、工具、材料等进、出油箱的控制,并需控制飞机装配环境满足要求;尤其需要注意机加工、涂胶、涂漆、安装、调试等工作中产生污染、二次污染或多余物,充分做好清洁;每次进油箱工作结束应对油箱内环境、产品进行检查。

4)飞机总装完成后,应安排油箱燃油清洁度检查,并在供油管路上安装临时过滤装置,在交付前的发动机运转或飞行时搜集过滤燃油中的污染物;飞机交付前应安排油箱燃油微生物检查,确认微生物含量满足客户需求;另外需制定飞机停放期间的污染防护控制要求。

4 燃油箱污染防护运营商控制

运行维护过程中的防污染与多余物控制指在飞机航线运行过程中对燃油箱多余物控制的技术与管理要求。该阶段的多余物控制分不同使用维护场景进行管理,包括:日常勤务中的防污染工作、维护维修中的防污染工作以及飞机贮存停放期间的防污染工作,其中维护维修及贮存停放期间工作要求与在生产制造阶段基本相同。

飞机燃油箱日常勤务工作日常勤务工作包括飞机常规的例行检查、放沉淀、加油等,需要在这些勤务工作中检查、控制油箱污染物的产生;例行检查中

需检查油箱通气口无明显的杂物、多余物;重点是每日排放油箱中水分,取样并检查排出油液中的微生物、颗粒物杂质情况,确保燃油清洁。

5 结论

燃油箱中污染物产生的影响成本巨大,其防护控制涉及设计、制造、运营等各个环节,需要从产品不同层级、不同要素、不同环节进行管理控制:

1) 飞机设计上要从源头避免燃油箱应用易产生污染物的产品,并且确认能否容忍一定程度的污染;

2) 生产制造与维护维修环节要控制人为或环境等引入污染物;

3) 生产运营中需要持续监控污染物的滋生,并控制其影响。

参考文献:

- [1] 中国民用航空局. 中华人民共和国民用航空行业标准:民用航空燃料质量控制和程序 MH/T6020-2012[S]. 北京:中国科学技术出版社, 2012.
- [2] 中国民用航空局. 中华人民共和国民用航空行业标

准:民用航空器加油规范 MH/T6005-2009 [S]. 北京:中国科学技术出版社, 2009.

- [3] Air Transport Association. Standard for Jet Fuel Quality Control at Airports ATA Specification 103-2006 [S]. Washington: Air Transport Association of America, Inc, 2006.
- [4] 国防科学技术工业委员会. 中华人民共和国国家军用标准:多余物控制要求 GJB5296-2004[S]. 北京:国防科工委军标出版发行部, 2004.
- [5] Radio Technical Commission for Aeronautics. Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment RTCA DO-160G [S]. Washington: RTCA, Inc, 2010.

作者简介

卞刚 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞机燃油惰化系统集成设计。E-mail: biangang@comac.cc

宋志强 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞机燃油惰化系统集成设计。E-mail: songzhiqiang@comac.cc

葛锐 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞机燃油惰化系统集成设计。E-mail: gerui@comac.cc

Contaminant Effects and Control Requirements for Fuel Tank of the Large Civil Aircraft

BIAN Gang* SONG Zhiqiang GE Rui

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

Abstract: Based on common contaminants in the fuel tank of large civil aircraft, contaminants were classified, the sources were studied, and the effects on the function, performance, safety and economy of the aircraft were analyzed. For aircraft development and production stage, contaminant protection design requirements were put forward from the aspects of material selection, fuel tank design, fuel system and related aircraft systems design, and contaminant protection control requirements were put forward from each link and element in manufacturing. For aircraft operation stage, contaminant protection monitoring requirements were put forward for service and maintenance. Continuous monitoring and management of fuel tank contaminants during the life cycle of the aircraft will support efficient production and safe operation for aircraft.

Keywords: fuel tank; contaminant; manufacturing; operation

* Corresponding author. E-mail: biangang@comac.cc