

民用飞机燃油箱微生物污染原因与预防要求

何昌升* 张锦 叶柯华

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

摘要: 针对民用飞机燃油箱微生物污染问题,对油箱内常见的微生物进行分类,并研究其在燃油箱中的生长条件和机理,分析其对油箱结构、燃油系统和发动机的功能、性能、安全等影响,并总结针对飞机研制和生产阶段,在燃油箱结构设计、燃油系统设计上提出了微生物污染的防护设计要求,针对飞机运营和维护阶段,在勤务和停放等方面提出了微生物污染的预防与监控措施。在飞机生命周期的研制阶段对燃油箱微生物进行预防设计,在飞机生命周期的运营阶段对燃油箱微生物进行持续监控,可有效提高民用飞机燃油箱防微生物污染能力。

关键词: 燃油箱;微生物污染;控制;制造;运行

中图分类号: V312+.1

文献标识码: A

OSID:



0 引言

飞机燃油箱不仅可存储航空燃油,还能保证油箱内的燃油清洁,以保证燃油泵正常向动力装置系统和辅助动力装置系统提供可用的清洁燃油。

然而,经调查,近年发生的多起民用飞机运行问题均与油箱内发生的微生物污染有关。日本某机型飞行时发生过油箱渗漏,经调查发现原因为微生物污染导致的结构腐蚀;1972年,波音737飞机的燃油箱结构底部发现有重度微生物污染的情况;1996年,我国某机场的多台航空发动机连续出现供油不足或无法供油的问题,更换发动机后相同问题继续出现,经调查发现,是微生物污染形成的团簇结构导致了飞机燃油系统燃油泵堵塞^[1-2]。

微生物污染严重时可导致飞机燃油箱结构腐蚀造成燃油泄漏或堵塞燃油泵入口导致发动机无法正常工作甚至发动机停车等影响运行安全的问题。可见,微生物污染问题影响着飞机正常运行和安全^[3]。

1 燃油箱微生物污染物的种类和生长机理

1.1 燃油箱微生物污染物的种类

微生物是一切无法通过肉眼识别的微小生物的总称,包括细菌、真菌、病毒以及部分小型的原生生物和藻类,主要分为细菌类、衣原体类、病毒类、支原体类、真菌类、立克次氏体类、放线菌类和螺旋体类^[4-5]。

民用飞机燃油箱和燃油中微生物种类较多,主要有真菌、铜绿假单胞菌、浮游球衣菌、梭菌、杆状菌、微球菌、镰刀霉菌和硫酸还原菌等。树脂枝孢霉菌(*hormoconis resinae*)是引起航空燃油微生物污染的主要真菌,经统计,超过半数以上的燃油箱微生物污染问题中都有发现此种真菌^[6-7]。在航空燃油中,树脂枝孢霉菌可显现为桃红色,但也会呈现其他颜色,例如灰褐色和橄榄绿。此外,航空燃油中的硫酸还原菌造成的危害较大,是造成油箱结构金属腐蚀的主要微生物种类,曾发生过因硫酸还原菌污染腐蚀机身结构导致的飞机安全事故。硫酸还原菌通过还原反应产生硫化氢,硫化

* 通信作者. E-mail: hechangsheng@comac.cc

引用格式: 何昌升,张锦,叶柯华. 民用飞机燃油箱微生物污染原因与预防要求[J]. 民用飞机设计与研究,2024(3):122-127. HE C S,ZHANG J,YE K H. Microbial contamination effects and control requirements for fuel tank of the civil aircraft [J]. Civil Aircraft Design and Research,2024(3):122-127(in Chinese).

氢腐蚀金属的能力极强,可直接造成油箱结构强度降低。

1.2 燃油箱微生物污染物的来源

民用飞机燃油箱中微生物来源可分为两类:

1) 加油时带入的微生物。由于我们生活的环境中有各类微生物,微生物在燃油的生产或运输环节都有可能进入燃油,导致燃油被污染,并随着加油过程进入燃油箱。

2) 生存在空气中的微生物。民用飞机通常采用开式油箱布局,即燃油箱与外界大气直接连通,在着陆阶段,由于燃油箱内气压低于外界大气,空气会流入油箱,微生物也会随空气直接进入燃油箱。

1.3 燃油箱微生物污染物的生长条件

微生物的生长繁殖需要养料、水和适宜的温度^[8-9]。

水是微生物生长繁殖的必要条件,油箱中的微生物通常生长在燃油和水的分界面处,同时微生物生长过程中也会合成水,进一步促进微生物繁殖,因此燃油箱内水分越多,微生物繁殖的速度越快。在燃油箱中微生物污染主要出现在油箱最低处、燃油泵滤网等燃油和水的分界面处。

油箱中的航空燃油、密封胶等是微生物的养分来源。

自养类微生物可从油箱中常见的金属氧化物(例如氧化铝、氧化铁等)中得到养分,进行繁殖。

异养类微生物则可直接分解碳链长度为9~18的有机物获得养分,而航空燃油的碳链长度正好在9~18范围内。油箱中异养微生物可直接从航空燃油获取营养,进行繁殖。

不同微生物可存活温度范围不同,部分微生物可在0℃以下的温度范围内存活,部分微生物则可在55℃以上的温度存活。合适的温度范围不仅是微生物繁殖的重要条件,也对油箱中微生物的繁殖速度有影响。

有学者研究了航空燃油中微生物在不同温度下的繁殖速度,以及在不同时间段内的繁殖速度^[10]。航空燃油中的微生物繁殖速度最快的温度范围是30~38℃。在32℃的温度环境中,前50h内微生物生长繁殖较慢,而在50~144h时间段生长繁殖速度最快。

此外,低温不能作为杀死微生物的有效手段,

只能使微生物休眠,而随着温度回升,微生物便能重新生产繁殖。

只要在合适的温度范围内,且油箱中存积有一定的水分和航空燃油,油箱内的微生物便可繁殖生长。

因此,相比于干燥的北方环境,微生物污染多发生在常年高温且潮湿的南方地区。值得注意的是,长期停放的飞机更容易发生微生物污染。

2 燃油箱微生物污染危害分析

2.1 结构腐蚀

硫酸还原菌代谢产生的硫化物造成的金属腐蚀是结构腐蚀的主要方式^[11]。硫酸还原菌可分解有机物作为养分,并产生硫化物腐蚀防护涂层,在防护涂层被腐蚀失去防护能力后,硫化物可直接腐蚀结构铝合金,造成结构强度降低,严重时会导致燃油渗漏。油箱结构腐蚀如图1所示。



图1 油箱结构腐蚀^[12]

朱绒霞等^[13]研究了微生物对铝合金材料的影响,主要是点蚀,影响了材料的力学性能,使材料的临界应力下降。

2.2 堵塞燃油系统

微生物在燃油泵滤网等燃油和水的分界面处生长繁殖,形成团簇结构,导致滤网的堵塞,影响燃油系统供油功能。燃油箱通气管路内也可能有游离水,微生物可在通气管内生长繁殖,并可能影响燃油箱的通气功能。滤网堵塞情况如图2所示。

此外,微生物的堆积也会导致油箱中油量传感器、补偿传感器等各类传感器故障,进而影响燃油量测量系统功能,造成燃油量指示丧失等运行问题。



图 2 滤网堵塞

2.3 影响发动机性能

微生物在燃油泵滤网形成的团簇结构若随燃油系统供油管路进入发动机,由于发动机内部油滤滤网较细密,微生物团簇易附着聚集,造成油滤堵塞,可直接导致发动机供油量不足,同时微生物也会随发动机供油系统进入燃油喷嘴并团聚,降低喷嘴的燃油雾化性能,进而极易造成燃烧不充分导致发动机无法启动的情况以及燃烧不均匀导致超温现象或喘振现象进而损伤发动机的情况。

3 燃油箱微生物污染预防和控制要求

3.1 减少油箱中的水分

微生物生存的必要条件是水,因此预防燃油箱中微生物的污染,减少油箱中的水分是最有效的手段。

1) 油品控制

完善航空燃油存储库和加油车的排水系统,保持油库和加油车干燥,同时加油前尽可能保证加油车中航空燃油与游离水分离,加油后使用飞机燃油箱放沉淀阀排水以降低油箱中的水分。

定期检测航空燃油存储库和加油车的微生物污染情况,及时发现并处理微生物,避免微生物在油库和加油车中滋生。

2) 结构以及燃油系统设计

结构设计时,在油箱底部设置合理的排水通道,使燃油中的游离水能够在油箱底部通过排水通道流动,尽可能使游离水流动至油箱的最低处,同

时燃油系统在油箱的最低处设置放沉淀阀,定期将水排至机外,减少油箱内水含量,并设计除水子系统,引射泵入口布置在油箱较低位置,可将水引入集油箱,并通过燃油泵送至发动机中燃烧掉,消耗油箱中的水分。

燃油箱通气子系统设计通气管时在低凹处布置排液阀,可将管路中的水分及时排入油箱中,保证通气管不存积水分,降低微生物滋生的可能。

因此,推荐定期开展油箱中的燃油循环。一方面可通过燃油的流动带动油箱中的困水,将水分带到油箱的最低处,再通过放沉淀阀排出油箱;另一方面可降低微生物附着在油箱角落而产生团簇结构的可能性。

3.2 减少微生物的养分

由于燃油箱中结构防护涂层和密封剂通常与微生物直接接触,因此可通过优化防护涂层的性能,提升其耐微生物腐蚀能力,也可在防护涂层及密封剂中添加特殊抑菌材料,提升其抑菌能力。

3.3 定期检测油箱微生物污染情况

国际航空运输协会建议民用飞机每年至少开展一次油箱微生物污染度检测^[14],可采样后通过目视检查、设备检测包或实验室仪器检查等方式,确定油箱中微生物污染情况。

针对长期停放的飞机,推荐缩短定期检测的间隔,并在长停结束后检测油箱内微生物污染情况。

3.4 使用灭菌剂

控制微生物污染的最有效手段是使用灭菌剂杀灭油箱中的微生物,目前民用飞机常用的灭菌剂是 Biobor JF,选用合适浓度和比例的灭菌剂,并在油箱中留存足够的时间,才能最大程度地灭菌。KATHON FP1.5 灭菌剂由于影响发动机工作已被 GE 公司禁用。除上述两种外,灭菌剂还有很多种,例如活性溴和异噻唑啉酮,但民用飞机燃油箱灭菌剂的选择不仅需要考虑灭菌效果,还需要考虑是否可能影响设备的功能等,因此真正应用于民用飞机燃油箱系统的灭菌剂较少^[15]。

微生物会对灭菌剂产生相应抗体,降低灭菌效果直至失效,因此,不推荐频繁在油箱中加注预防剂量的灭菌剂。针对长期停放时间超 3 个月的飞机,推荐进入长停时使用灭菌剂进行预防处理。

4 燃油箱微生物污染预后处理措施

4.1 燃油箱微生物污染程度检测方法

目前,常用于检测燃油箱微生物污染程度的方法有目视检查法、实验室菌落培养法及设备检测包检测法^[16]。

1) 目视检查法

目视检查法是通过观察燃油的外观,间接判断样品的微生物污染程度。微生物污染程度不同,燃油中漂浮异物数量也不同。同时微生物污染程度越高,燃油的颜色也越深,如图3所示^[17]。此外还可通过清洁度检查(颗粒物)、PH值等指标辅助判断。



图3 不同程度微生物污染颜色示意

2) 实验室菌落培养法

实验室菌落培养法是在实验室微生物培育环境下培养样品燃油中的微生物,再收集记录培养皿上的菌落数、样品体积等数据,得出燃油箱燃油的微生物含量,通过微生物含量判断燃油箱微生物污染程度^[18]。

实验室菌落培养法准确性高,但步骤复杂,需要良好的实验室条件,对操作人员有资质要求,因此耗时较长,不能快速判断微生物污染程度^[19]。

3) 设备检测包检测法

设备检测包检测法是通过检测包的检验结果给出微生物污染程度,常用的微生物设备检测包有MICROBMONITOR 2 Test Kit、HY-LITE JET A1 Fuel Test Kit 和 FUELSTAT[®] resinae PLUS FHR8-2 等检测包。与实验室菌落培养法相比,设备检测包检测法使用更简便,相比目视检查法,能更准确地判断燃油样品的微生物污染程度。民航飞机常用此方法对样品进行检测。

目前,燃油箱微生物污染程度的检测方法有很多种,且不同方法适用的场景不同,因此,推荐根据

实际情况选择可行的检测方法,结合不同方法的结果综合判断燃油箱微生物污染程度。

4.2 燃油箱微生物污染的处理措施

在民用飞机燃油箱维护阶段,燃油样品的微生物污染程度不同,采取的处理措施也不同,在发现燃油箱微生物污染程度为中度或重度后,一般采用加注灭菌剂的方法和人工手动去除的方法,推荐按图4流程进行微生物污染处理。

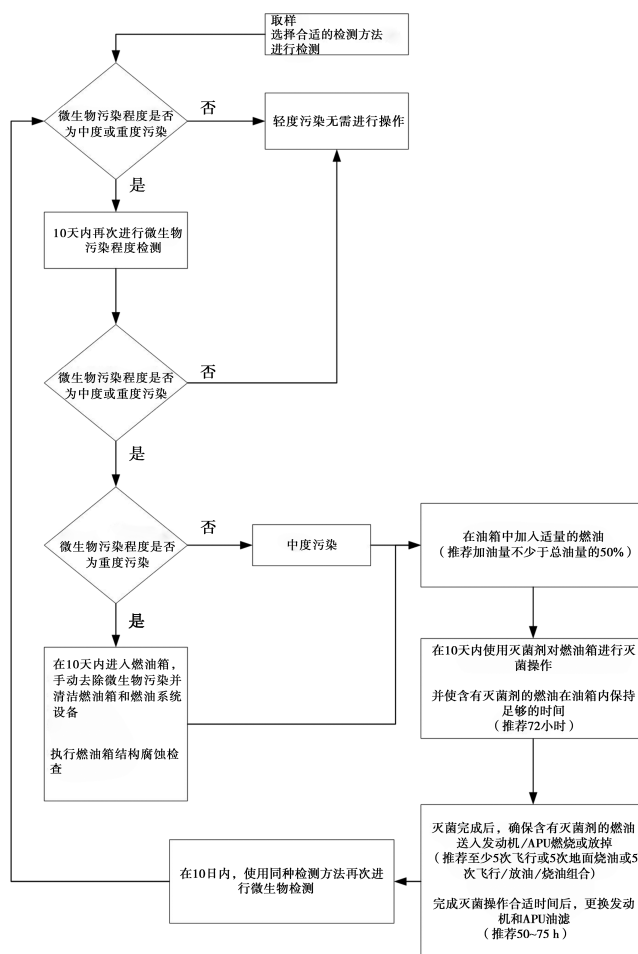


图4 微生物污染检测及处理流程

此外,许长明等^[20]研究了超声波与紫外线协同的灭菌效果,针对微生物样品先用超声波进行预处理,再使用紫外线照射,实验结果表明协同处理后的灭菌效果较好且耗时短。

5 结论

燃油箱微生物污染会影响飞机正常运行,且处理微生物污染的成本较大,其防护控制涉及设计、制造、运营、维护等各个环节,需进行管理控制。

1) 在飞机设计时,要从源头保证燃油箱中游离水可汇聚到油箱确定位置处,并进行相应消耗和排出;

2) 在航空燃油的生产制造与运输环节,需控制油品的质量,定期检测油品的微生物污染程度并降低油品中的水分含量;

3) 生产运营时,需持续监控燃油箱中微生物污染程度,并定期排出油箱的水分以控制其影响。

参考文献:

- [1] 李忠东. 飞机油箱微生物腐蚀及防护[J]. 飞机设计, 2017, 37(1):64-66.
- [2] 杨松艳, 张俊, 曾程. 微生物对航空安全的影响[J]. 农技服务, 2010, 27(11):1535-1536.
- [3] 李岩, 蔡增杰, 林明. 飞机燃油系统微生物污染的检测及防治研讨[J]. 液压气动与密封, 2017, 37(10): 1-4.
- [4] 周德庆. 微生物学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 25- 35.
- [5] 李瑜, 余红伟, 魏微, 等. 航空燃料系统微生物危害及防护[J]. 广州化工, 2013, 41(7): 27-28,55.
- [6] 郭启营. 航空煤油中微生物污染及防治[J]. 河北科技大学学报, 2010, 31(3): 270-273.
- [7] 杨浩, 熊云, 和倩倩, 等. 喷气燃料中微生物污染的研究概况[J]. 当代化工, 2015, 44(6): 1377-1380, 1384.
- [8] SOWARDS J W, WILLIAMSON C H D, WEEKS T S, et al. The effect of acetobacter sp. and a sulfate-reducing bacterial consortium from ethanol fuel environments on fatigue crack propagation in pipeline and storage tank steels[J]. Corrosion Science, 2014, 79: 128-138.
- [9] 吴晓金. 喷气燃料的微生物危害及对策[J]. 中国民航飞行学院学报, 2001, 12(4): 20-22.
- [10] 许长明. 温度对航空煤油中微生物生长繁殖的影响[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2011, 28(1): 23-25.
- [11] 吴旻, 侯民利, 胡成江. 飞机燃油系统中微生物的污染[J]. 失效分析与预防, 2007, 14(2): 58-61.
- [12] 梁俊. 航空燃料的大敌——微生物[J]. 油气储运, 1995, 14(5): 52-56,65,8.
- [13] 朱绒霞, 杜会玲. 航空燃料系统铝合金的微生物腐蚀[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2002, 19(2): 28-29.
- [14] IATA Aviation Fuel Working Group. Guidance material on microbiological contamination in aircraft fuel tanks: IATA guidance mater[S]. Montreal: International Air Transport Association, 2005: 1-20.
- [15] 郑娜. 民机整体油箱的防腐蚀设计及维护措施[J]. 科技创新导报, 2012(27): 39-40.
- [16] 仇义霞, 柳华, 邓川, 等. 喷气燃料中微生物污染检测方法研究进展[J]. 广东化工, 2015, 42(2): 86,73.
- [17] 夏祖西, 苏正良, 彭华乔, 等. 谈航油中的微生物污染[J]. 中国民用航空, 2009(4): 62-63.
- [18] 崔艳雨, 王宁. 航空油料系统微生物污染研究现状[J]. 油气储运, 2017,36(6):651-656.
- [19] 刘洪飞, 宋世国, 王雪峰, 等. 航空油料储运系统中污染问题与防治措施[J]. 当代化工, 2022, 51(7): 1647-1650.
- [20] 许长明, 崔艳雨. 超声波对航煤中微生物的杀灭效果实验[J]. 油气储运, 2011, 30(10): 775-777,780, 717.

作者简介

何昌升 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 民用飞机燃油系统设计。E-mail: hechangsheng@comac. cc

张 锦 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 民用飞机燃油系统设计。E-mail: zhangjin1@comac. cc

叶柯华 男, 博士, 工程师。主要研究方向: 民用飞机燃油系统设计。E-mail: yekehua@comac. cc

Microbial contamination effects and control requirements for fuel tank of the civil aircraft

HE Changsheng* ZHANG Jin YE Kehua

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

Abstract: To address the microbial contamination of civil aircraft fuel tanks, the common microorganisms in the fuel tanks were classified. The growth condition and the growth mechanisms of microbial contamination in the civil aircraft fuel tanks were studied. The impact on the function, performance and safety of the aircraft structure, the fuel system and the power plant system were analyzed. For aircraft development and production stage, the microbial contamination protection design requirements of microorganisms were summarized in terms of the structural design of the fuel tanks and the design of the fuel system. For aircraft operation and storage stage, the prevention and monitoring measures requirements of microorganisms were put forward for service and maintenance. The preventive design and continuous monitoring of microorganisms during the life cycle of civil aircraft will effectively improve the ability of civil aircraft fuel tanks to prevent microbial contamination.

Keywords: fuel tank; microbial contamination; control manufacturing; operation

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