

海洋环境下飞机液压系统水污染问题研究

朱武峰¹, 吴文海¹, 李昆², 李旭东¹

(1. 海军航空工程学院 青岛校区, 山东 青岛 266041; 2. 中航一集团六〇三研究所, 西安 710089)

摘要: 通过水污染危害实例和外军水污染对比试验资料, 提出了重视海洋环境下飞机液压系统水污染问题的必要性。分析了水污染的作用机理, 重点研究了水分监测、水污染净化和防护等几个关键问题, 为飞机液压系统水污染监控和净化提供了有益的借鉴。

关键词: 水污染; 海洋环境; 飞机液压系统

中图分类号: V233; TG172.5 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)05-0087-05

Research on Water Contamination of Aircraft Hydraulic System in Marine Environment

ZHU Wu-feng¹, WU Wen-hai¹, LI Kun², LI Xu-dong¹

(1. Qingdao Branch of Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao 266041, China;

2. No. 603 Research Institute of China Aviation Industry Group I, Xi'an 710089, China)

Abstract: Water contamination hazards and water contamination test data of aircraft hydraulic system in marine environment of foreign military labs were introduced and analyzed. The necessity to solve the water contamination problem of aircraft hydraulic system in marine environment was put forward. The work mechanism of water contamination was analyzed and the critical problems of water measurement, water contamination purge and protection were studied. The purpose was to provide for reference for water contamination monitor and purge of aircraft hydraulic system.

Key words: water contamination; marine environment; aircraft hydraulic system

由于海洋环境下, 高温、高湿、盐雾等诸多因素持续对飞机液压系统产生影响^[1-2], 水污染的危害逐渐凸显出来。液压系统中的水分会造成金属件的腐蚀, 加速新的固体颗粒污染物产生, 并对油液品质恶化起催化作用。水污染具有隐蔽性强、易对飞机液压系统造成系统级危害的特点。据相关资料表明,

水分侵入飞机液压系统, 曾导致飞机无法正常放下起落架、起飞后突然以一定坡度向右滚转、飞仪表科目时全过程驾驶杆自动左倒回杆不柔和、飞机自动右滚、杆力增大等多起事故征候, 严重危及飞机飞行安全。目前, 按照 GJB 420A 和 GJB 420B 等标准, 对飞机液压系统颗粒污染物进行了严格的控制, 取得

收稿日期: 2012-05-20

作者简介: 朱武峰(1971—), 男, 湖北黄石人, 硕士, 讲师, 从事飞机工程及应用领域的教学与研究工作。

了良好的效果,但由于水污染造成的故障反馈时间长,故障现象和原因联系不明显,而且监控难度大,目前还未得到应有的重视。文中就水污染的危害试验及作用机理、油液中水分测量以及脱离等几个方面展开研究。

1 水污染的危害试验及作用机理

1.1 水污染的危害试验

有关资料表明,将铁棒分别放入注入蒸馏水和注入海水的液压油 MIL-PRF-5606 中,经过 4 h 后,铁棒的状态如图 1、图 2 所示^[3-4]。说明铁棒能通过注水航空液压油测试,但未通过注海水液压油测试。试验采用的液压油 MIL-PRF-5606,与我国 10 号、12 号、15 号航空液压油类似。由于飞机长期处于海洋环境下,液压系统中进入的水分和盐雾,将会导致液压系统动部件(如液压泵的柱塞、配流盘)腐蚀,加速系统固体颗粒物产生,继而引起连锁反应,使得系统性能明显衰减,固体颗粒污染度超标,直至系统失效。通过上述几起事故征候,如液压系统产生大量锈蚀产物、助力器油滤堵塞、钢管内壁腐蚀等,可见水污染造成的危害是十分严重的。因此,在海洋环境下,必须更加重视飞机液压系统水污染的防治工作。



图 1 铁棒在浸入注水 MIL-PRF-5606 液压油中 4 h 后无腐蚀
Fig. 1 No corrosion occurs on iron bar after 4 h in MIL-PRF-5606 hydraulic oil with water affusion

1.2 水分的侵入途径及存在状态

水分的侵入途径主要有:

- 1) 通过密封处进入;
- 2) 当系统停止工作时,温度会下降,液压油中



图 2 铁棒在浸入注海水 MIL-PRF-5606 液压油中 4 h 后腐蚀十分严重

Fig. 2 Serous corrosion occurs on iron bar after 4 h in MIL-PRF-5606 hydraulic oil with sea water affusion

的溶解水会凝结出来;

- 3) 加入的新油中含有水污染;

4) 将液压站的液压软管与机上液压系统连接时,软管中的积水进入系统;

- 5) 地面维护不当造成水进入系统。

水分在油液中一般处于溶解状态或游离状态。由于油和水的亲和作用,几乎所有的矿物油都具有不同程度的吸水性。当液压传动系统中进入少量水时,水就能溶解于工作液中。在一定的压力和温度下,水的溶解量是一定的,达到极限溶解量时,称为饱和状态。液压油的吸水饱和度一般为 $2 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-4}$ 。在一定的大气温度条件下,油液的温度越高,其吸水量愈大。假若再进入更多的水分,就不能再溶解而成为游离状态。当系统温度降低时,溶解水会析出为游离水。为了降低游离水对系统的危害,应尽可能把油中的含水量(质量分数,全文同)控制在远低于饱和度曲线以下的区域(如图 3 所示)。

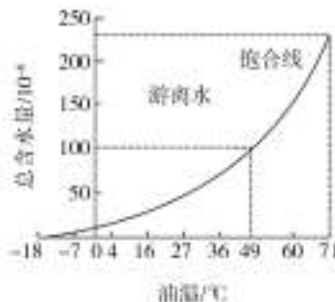


图 3 油液游离水溶解水含量-温度曲线

Fig. 3 Water content-temperature curve of free water and dissolved water in oil

1.3 水污染的作用机理

水污染的作用机理为:水与液压油中的金属硫化物和氯化物(来自某些添加剂,如抗磨添加剂)以及某些氧化物作用产生酸类物质,不仅会腐蚀元件,还会增加油液的酸值,见表1;水与油液中某些添加剂(如抗氧化剂)作用产生沉淀物和胶质等有害污染物,加速油液的变质劣化;水能使油液乳化,改变油液黏度,降低油液的润滑性能;在低温工作条件下,油液中的微小水珠凝结成冰粒,堵塞控制元件的间隙或小孔,引起系统故障。

表1 水和颗粒污染物共存对油氧化的影响

Table 1 Influence of water and particles contamination on oil oxidation

序号	颗粒	水	运行时间/h	酸值变化
1	无	无	3500	0
2	无	有	3500	0.73
3	铁	无	3500	0.43
4	铁	有	400	7.93
5	铜	无	3000	0.72
6	铜	有	100	11.03

注:当酸值超过0.5时,表示油液恶化。

2 油液中水分的测定方法及检测标准

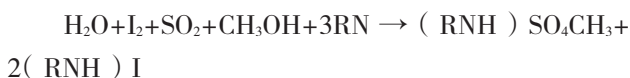
水含量测定原理利用了水存在时液压油的性能变化或水本身的性质,如密度、黏度、表面张力、介电穿透性、参加化学反应能力、蒸汽压力、各种射线的吸收能量(紫外线、红外线、核射线等)。目前常用的液压油含水量的测定方法主要有卡尔费休微量水分测定法、蒸馏法、电容法等^[5]。

2.1 卡尔费休法

卡尔费休法是航空工业常用的方法,它采用一种广泛应用的标准仪器,将标准卡尔试剂的油液滴定到静电计的终点,就可以测出一定油液容积中的游离水和溶解水的含量,然后与GJB 3058给出的性能指标对比,以断定是否超出标准。卡尔费休法操作简单,应用广泛,自动化程度高,结果较可靠,在操作、准确性、精度、速度、测量范围(0.0001% ~

100%)等方面都具有明显优势。

卡尔费休法的测量原理^[5]是:存在于试样中的任何水分(游离水或结晶水)与已知滴定度的卡尔费休试剂(I₂, SO₂, 吡啶和甲醇组成的溶液)进行定量反应^[6]。将试样注入盛有滴定溶剂的滴定池内,用标准溶液进行滴定,通过双铂电极自动检测终点,根据所消耗标准溶液的体积,仪器自动计算出试样的水分。其化学反应方程式为:



从上述反应式可见,甲醇不仅充当了溶剂,还直接参与了反应。吡啶并非直接参与反应,而是仅作为缓冲剂。

2.2 蒸馏法

采用一定量的试样与无水溶剂混合,进行蒸馏,测量其水分含量。蒸馏法所需装置简单,但测定的精确度较低,可测得水的体积分数下限值为0.03%,用于定量分析误差较大;而且测试时间长,易受环境条件影响。

2.3 电容法

电容法是利用水与油液的介电常数相差较大,将被测非电量转换成电量的一种测量水含量的方法。其特点是结构简单、工作可靠、非接触测量,并能在高温、辐射和强烈振动等恶劣条件下工作。电容法常用于地面液压系统的在线水分测量,但对飞机液压系统来说,还存在测量精度不高(含水量测量最低限只能达到0.1%)、设备体积较大、不适于在飞机上安装等问题,需进一步改进。

2.4 检测标准

根据GJB 3058规定,飞机液压系统油液含水量验收水平不超过 1×10^{-4} ;飞机液压系统油液含水量控制水平不超过 2.5×10^{-4} ;油泵车的含水量不超过 1×10^{-4} 。

3 油液中的水分脱离方法

液压系统的含水量超标,需要进行油液脱水。在工业上,常用的油液中水分的脱离方法有聚结

法、吸附法、离心法、真空脱水法等。其中真空脱水法由于脱水效率高、速度快,在航空领域得到广泛应用。

3.1 聚结法

如图4所示,聚结法是重力脱水法的一种。油水乳化液通过凝聚层破乳,微小水滴破乳后聚结在过滤元件的表面,将这些水滴引到过滤元件的底部,由于水的密度大于液压油的密度,水分就会在底部沉集,液压油通过斥水层,水分被阻隔,实现油水彻底分离。有关实验数据表明,取用含水量为 1.05×10^{-2} 的10号航空液压油,经过120 min的过滤脱水后,其含水量降低为 1.5×10^{-4} ,符合液压系统含水量标准;运用上海敏泰科技有限公司研制的液压油过滤脱水装置,对航空液压油净化后水含量小于等于 2×10^{-4} ,能够基本符合GJB 3058的飞机液压系统油液含水量标准,但达不到油泵车含水量标准^[7]。

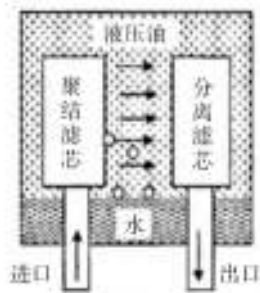


图4 过滤分离器结构

Fig. 4 Structure of filter/separator

3.2 吸附法

吸附法的主要原理是依据吸附现象,利用某些用作吸附的物质能够将水分子截留在自身活性表面的特性进行脱水,这种方法能排除游离的水以及部分溶入油的水。高分子吸水性树脂是一种交联密度很低的、不溶于水的高水膨胀性高分子化合物,具有相当于自身数十倍甚至数百倍的吸水性能。高分子吸水性树脂除具有高效吸水性能外,还由于其价格低廉、吸水后凝胶强度高及加压不脱水的高保水性能,受到了越来越多的重视。有关资料表明,在流量小于2 L/min时,液压系统在线脱水效果可满足GJB 3058的要求^[8],但飞机液压系统工作时的流量远大于该值。因此,需对高分子吸水性树脂的性能进一步

改进才能满足飞机液压系统在线脱水的需要。

3.3 离心法

通过离心力脱水方法,采用一种使液压油旋转的离心装置,借离心力将水、油进行分离。本方法只能排出游离的水分,而且一般离心设备比较昂贵,维护使用不便。

3.4 真空脱水法

采用油液净化器(真空脱水辅以高性能的过滤器)可清除液压油中的水分、氯化物、空气,滤除颗粒污染物,可排除系统中100%的游离水和95%溶于油液中的水。地面液压站在向飞机液压系统供压或压力加油以前,运用真空脱水法进行自循环脱水。图5所示为地面液压油液净化器的工作原理^[5]。

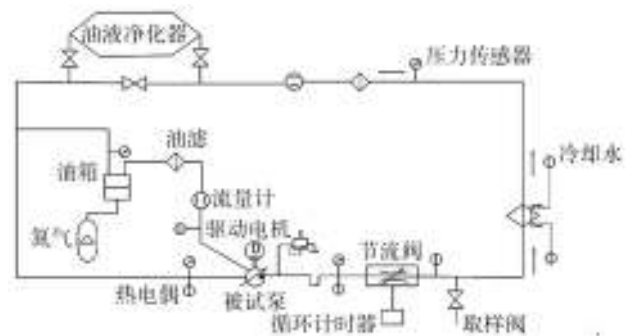


图5 真空脱水法工作原理

Fig. 5 Work principle of vacuum dehydration method

4 水污染监控的维护注意事项

1) 油液中的水主要是从加油口侵入,平时的维护工作中首先要把好加油口这一关。特别是雨雪天气,必须采取措施挡好、盖严,防止雨雪进入油箱。地面使用的油泵车导管要有堵头,接油泵车前对导管接头和飞机上的接头检查其有无水分和脏物,工作后立即堵上。油桶开封前,必须把油桶表面擦拭干净,并对加油设备、用具、加油口进行清洗。

2) 加强飞机液压系统水污染监控,尽早配备适用可靠的液压油水分测量仪和水分脱离设备,使机上和液压站的液压油水含量符合GJB 3058。

3) 建立健全污染控制制度,使维护工作制度化、规范化。各种试验台、油泵车、液压站、加油处

备、储存库等设备设施,应建立严格的防尘、防水和维护制度,并定期进行检查,确保液压系统的工作可靠性。

5 结语

海洋环境下,液压系统水污染问题越来越受到大家的重视,水污染监控与净化是提高飞机液压系统海洋环境下可靠性、安全性,延长其使用寿命的重要措施。目前,实施水污染监控及净化还有一定的难度,特别是水分脱离属于液-液分离技术,在技术上处理的难度较大。水污染监控是一个系统工程,要从水分测量、水分脱离、液压油改进和系统防护等诸多方面着手,进行全系统、全过程的维护保障。通过研究表明,立足国内现有的水分测量、水污染净化和自动控制技术,通过适当改进完善,是完全可以开发出适用有效的、具备快速高效脱水及在线水分监测等功能的水污染监控系统。

参考文献:

- [1] 陈群志,房振乾,康献海. 军用飞机外场腐蚀防护方法研究[J]. 装备环境工程,2011,8(2):72—77.
- [2] 杨晓华,金平. 飞机使用环境谱的编制[J]. 装备环境工程,2010,7(6):99—102.
- [3] SHARMA Shashi K, SNYDER Carl E Jr, GSCHWENDER Lois J, et al. Endurance Pump Tests with Fresh and Purified MIL-PRF-83282 Hydraulic Fluid[J]. ADREPORT, 1999(9):14—15.
- [4] JACKMAN Rachel, TEBBE Jill M, VILLAHERMOSA Luis A. Corrosion Preventing Characteristics of Military Hydraulic Fluids Part II[J]. ADREPORT, 2006(10):21—22.
- [5] 史强. 油液中水污染的危害分析及处理方法[J]. 装备维修技术,2009(1):60—64.
- [6] 李芳,于素青,原雯. 卡尔费休水分测定仪在分析中的应用[J]. 化学工程师,2011(9):61—64.
- [7] 王建忠. 液压油过滤脱水的研究[J]. 黑龙江矿业学院学报,2000,10(1):15—19.
- [8] 赵秋红,吴勇,夏志新,等. 高分子吸水性树脂在液压油中吸水性能的研究[J]. 液压与气动,1999(4):12—13.

(上接第70页)

- (5):263—266.
- [20] 沈文雁,徐福源. Ti-15-3 钛合金电偶腐蚀与防护研究[J]. 表面技术,1997,26(1):20—22.
 - [21] 宋诗哲. 腐蚀电化学研究方法[M]. 北京:化学工业出版社,1988:129—130.
 - [22] 陈铠,叶赐麒. 海水中921钢及其焊接接头的腐蚀性能[J]. 北京工业大学学报,1992,18(1):11—16.
 - [23] AKID R, MILLS D J. A Comparison between Conventional

- Macroscopic and Novel Microscopic Scanning Electrochemical Methods to Evaluate Galvanic Corrosion[J]. Corrosion Science,2001,43(7):1203—1216.
- [24] FUSHIMI K, NAGANUMA A. Current Distribution during Galvanic Corrosion of Carbon Steel Welded with Type-309 Stainless Steel in NaCl Solution[J]. Corrosion Science, 2008,50(3):903—911.
 - [25] 蔡建平,范林. 7A04铝合金在周浸实验中的腐蚀行为研究[J]. 装备环境工程,2011,8(1):53—56.

(上接第74页)

- 保障探讨[J]. 装备环境工程,2007,4(2):55—57.
- [2] 张伟,康建设,王亚彬. 基于状态的维修及其建模研究[J]. 计算机仿真,2006,23(1):26—28.
 - [3] 陈旭华,贾云献,殷苏东. 基于状态的维修及其决策模型研究[J]. 军械工程学院学报,2007,19(3):13—18.
 - [4] 陈丽. 基于状态的维修模型综述[J]. 装备质量,2009(9):26—32.
 - [5] 李文昆,姚鹏,胡细木,等. 美陆军航空兵“增强型基于状

- 态的维修”对我军的启示[J]. 桂林空军学院学报,2008,25(6):27—29.
- [6] 康广,陈晓东. 信息化条件下装备保障研究[M]. 北京:解放军出版社,2011:303—307.
 - [7] 张伟,康建设,贾云献,等. 军用装备基于状态的维修策略研究[J]. 装甲兵工程学院学报,2005,19(3):16—19.
 - [8] 康建设,尹健. 武器装备基于状态的维修系统设计[J]. 计算机仿真,2007,24(6):5—8.