

航空液压油的污染及其测定

贾博

(上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘要:航空液压油污染度的测定是监测飞机液压系统工况和预测其故障的重要手段,对保障飞行安全具有重要意义. 研究分析了航空液压油主要污染物的来源、种类及危害;介绍了航空液压油污染度的等级标准、测定方法及其优缺点. 目前,遮光型自动颗粒污染度测定方法是技术最成熟、评价最科学和较全面的方法之一.

关键词:航空液压油;污染度等级;污染度测定方法

中图分类号:TH 117

文献标志码:A

文章编号:1003-4315(2012)06-0156-05

Pollution and measuring methods of aviation hydraulic fluid

JIA Bo

(School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: The measuring and analysis of pollution in aviation hydraulic fluid are important ways to diagnose a breakdown of aviation hydraulic system, which have positive effects in ensure the safety of aviation. The source and harm of the main pollution in aviation hydraulic fluid were analyzed. The evaluation standard, measuring methods and characteristic of pollution level in aviation hydraulic fluids were introduced. Finally, the conclusion that the automatic particle counting method was the best in the evaluation methods of pollution level in aviation hydraulic fluids was gained.

Key words: aviation hydraulic fluid; pollution level; pollution measuring methods

液压系统的液压油起着传递动力、提供润滑、吸收热量、排除污染物等作用. 有资料表明^[1-2], 40%以上的飞机故障是由液压系统的故障引起的, 而这些液压系统的故障中 70%~80%是由航空液压油受到污染所导致, 航空液压油污染度的测定是监测飞机液压系统工况和预测其故障的重要手段, 对保障飞行安全具有重要意义.

1 污染的来源、种类与危害

1.1 污染的来源

1.1.1 外界污染物的侵入 液压元件在制造、组装时残留的污染物是外界污染物侵入的途径之一^[1-3],

如液压元件在制造、运输、储存、组装等过程中可带入尘粒、铁屑、磨料、焊渣、铁锈等. 此外, 液压装置的维护也是污染物侵入的重要途径, 如更换元件、加注新油以及元件维护时将外界尘粒、空气、水滴、杂质等带入, 导致液压油被污染.

1.1.2 液压系统内部产生的污染物 液压装置中相对运动元件的磨损产生金属微粒、磨屑以及密封材料的磨损颗粒等是系统内部产生的重要污染物^[4-5]. 如液压元件的磨损, 导致运动元件表面产生切削磨损或疲劳磨损, 使运动元件间隙变化, 导致更多的磨损颗粒产生. 此外, 航空液压油在发生物理、化学变化时可导致污染物的产生, 液压油发生变质后甚至还可产生胶状物^[6-8].

1.2 污染物的种类与危害

1.2.1 固体颗粒污染物 固体颗粒污染物是由外界侵入和内部产生的各种颗粒污染物(如尘粒、铁屑、焊渣等)的总称^[9-10]. 这些固体颗粒污染物由各种不同的材料组成,其形状、尺寸各不相同. 根据固体颗粒污染物质地将其分为硬质颗粒污染物(砂粒、尘粒、铁屑等)和软质颗粒污染物(油液中的分解物与聚合物、粘性胶质等)2种. 固体颗粒污染物可造成飞机液压系统元件的磨损和堵塞两方面的危害. 较大的硬质颗粒,可导致飞机液压系统元件严重的划伤、压痕等损伤,迅速引发液压系统出现故障,甚至引起严重的安全事故. 较小的硬质颗粒可加速液压系统元件磨蚀磨损,降低其使用寿命. 当较小固体颗粒污染物卡在液压系统元件密封部位时,可导致元件密封性被破坏,使缸体内表面拉伤,泄漏大大增加,功率下降,甚至使液压缸动作不稳定,速度降低. 严重时,还会堵塞飞机液压系统元件的小孔,致元件失灵,使过滤器堵塞,减少过滤面积并增大阻力,最终使系统功能障碍,引发严重飞行事故. 此外,在飞机液压系统工作过程中,固体颗粒污染物随油液快速流动,还会加速油液变质.

1.2.2 空气 空气是航空液压油污染的重要来源之一^[9-11]. 空气在液压油中以混入和溶入2种状态存在. 混入液压油中的空气以气泡的形式悬浮于油液中,导致液压油的体积弹性模量降低和粘度增加. 溶入油液中的空气则以溶解态分布于其中. 空气对航空液压油及液压系统的危害主要体现在以下几方面:①使航空液压油变质并腐蚀液压系统元件. 空气中含有 O_2 、 N_2 、 CO_2 及 SO_2 等气体,这些气体进入油液后,一方面可直接诱发油液氧化变质;另一方面气体与混入油液中的水结合后形成一系列酸性物质,对飞机液压系统元件产生明显的腐蚀,并加速了油液的变质. ②导致飞机液压系统出现空穴现象,严重影响飞机液压系统的正常运行. 在液压系统中,当系统局部压力下降到一定程度时,油液中溶解的空气可与油液逐渐分离,产生大量气泡和气囊. 这些气泡和气囊在油液中出现使油液产生了空间间隙,称之为“空穴”. 这些空穴可使系统元件和连接管道中充满的油液成为不连续状态,导致空穴现象. 当航空液压油中混入大量空气时,在常压下就能形成大量气

泡和气囊,导致空穴现象出现,引发严重的后果. ③产生气蚀. 当液压油空穴现象出现时,处在高压区的油液将以极高的速度向原来气泡和气囊所占据的空间流动,导致液压油猛烈撞击,局部压力急剧增高. 在高压的冲撞下,液压系统元件壳体和内壁表层极易受到腐蚀而破裂,可导致系统元件的迅速报废. ④产生流量与压力脉动. 由于液压油空穴现象出现,液压油中的空气时而以溶解状态出现,时而以气泡和气囊的形式出现,就诱发液压系统出现流量与压力脉动,液压系统元件不能稳定工作,传动速度变慢,运动精确性降低,甚至引起强烈振动,使整个飞机操纵失控. ⑤产生液压泵气塞. 液压油中气泡和气囊还可随液压油的运动导致液压泵被大量气体堵塞的气塞现象. 当液压泵气塞发生后,导致液压泵出口流量大大降低,甚至为零,可引发严重的液压系统故障.

1.2.3 水分 侵入液压油的水分有3种形式:游离态、乳化态和溶解态. 当多量游离态与乳化态水出现在液压油中可对液压系统产生明显不良影响^[7-8,12-14]. ①导致金属锈蚀. 水分可使液压系统元件金属表面发生腐蚀,产生锈斑,缩短使用寿命. 同时,锈蚀能导致运动机件失灵,并加速油液变质. ②促使微生物生长,加重对液压系统的污染. 通常在液压油中存在某些嗜油菌,而水的存在又为该菌提供了有利的生长条件. 当嗜油菌大量繁殖,可产生大量酸性产物,对液压系统元件产生更大腐蚀,加速液压油变质. ③低温结冰现象. 飞机在高空飞行中,处在低温状态下的液压油中如有水污染,可致液压油中水结冰,引起节流孔或滤网被堵塞.

1.2.4 液压油变质 航空液压油变质使液压油理化性状发生改变,粘度下降、润滑性变差、油液中出现凝胶状沉淀物,并且油液酸性产物增加,酸度明显升高. 变质主要是由于液压系统工作时产生大量的热量加速了油液氧化所致. 液压油的变质一方面加速液压系统元件的磨损;另外,可使液压系统泄漏增加,生成的胶状物还可导致液压系统小孔堵塞.

2 污染度的等级与测定

2.1 污染度等级

当前,国际上对航空液压油污染度等级的评

定主要采用 2 种标准^[2-5,14-15]:美国国家宇航标准 NAS 1638(表 1)和国际标准化组织制定的 ISO 11218(SAE AS4059A)(表 2)油液污染度等级标准.我国在国际标准化组织 ISO 11218(SAE AS4059A)油液污染度等级标准的基础上,结合国

内实际与未来发展的需要,制定了飞机液压油固体污染度分级的国家军用标准 GJB420A-96(现已发展为 GJB420B).然而,不论 NAS 1638 还是 ISO 11218 均以固体颗粒污染物的多少与直径分布作为分级评定的标准.

表 1 NAS 1638 液压油污染度等级

Tab. 1 Clean lines classes of aircraft hydraulic fluids for NAS 1638 criterion

液压油清洁度等级	100 mL 液压油中含固体颗粒数/ μm				
	> 100	5~15	15~25	25~50	50~100
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1 000	178	32	6	1
3	2 000	356	63	11	2
4	4 000	712	126	22	4
5	8 000	1 425	253	45	8
6	16 000	2 850	506	90	16
7	32 000	5 700	1 012	180	32
8	64 000	11 400	2 025	360	64
9	128 000	22 800	4 050	720	128
10	256 000	45 600	8 100	1 440	256
11	512 000	91 200	16 200	2 880	512
12	1 024 000	182 400	32 400	5 760	1 024

表 2 ISO 国际标准化组织液压油污染度分类等级

Tab. 2 Clean lines classes of aircraft hydraulic fluids for ISO criterion

1 mL 油液中含有的颗粒污染物个数	液压油等级	1 mL 油液中含有的颗粒污染物个数	液压油等级
320 000	25	20	11
160 000	24	10	10
80 000	23	5	9
40 000	22	2.5	8
20 000	21	1.3	7
10 000	20	0.64	6
5 000	19	0.32	5
2 500	18	0.16	4
1 300	17	0.08	3
640	16	0.02	1
320	15	0.01	0.9
160	14	0.005	0.8
80	13	0.0025	0.7
40	12		

2.2 污染度的测定方法

2.2.1 质量测定法 将 100 mL 液压油通过 0.8 μm 滤膜的真空过滤器过滤.过滤结束后,再把获得的固体颗粒物用溶剂处理,用分析天平称出颗粒物质量.根据污染颗粒物质量确定污染度等级.质量测定法所需测定装置简单,操作较简便,重复性好.但其试验过程相对较长,环节较多,并只反映油液中

颗粒污染物的总质量而不反映污染颗粒的大小和尺寸分布.

2.2.2 显微镜颗粒计数法 将 100 mL 液压油真空过滤后,把获得的固体颗粒物用溶剂处理.随后,将这些固体颗粒物分散淤积在两维平面上,放置在显微镜下测定固体颗粒物的数量和尺寸.此法可测定 5 μm 以上固体颗粒物的数量和最大尺寸.其最

大特点是可以直接观察到固体颗粒污染物种类、形态、大小和数量,并可通过观测分析推测出固体颗粒污染物的来源及类型,因此,具有直观性。但此法所需时间较长,且测定的准确性与测定人员的技能、熟练程度、工作强度等密切相关,在一定程度上受到人为因素的影响。

2.2.3 自动颗粒计数法 自动颗粒计数法是采用自动颗粒污染度测定仪对液压油固体颗粒污染物进行测定。目前自动颗粒计数器主要有遮光型、光散射型和电阻型,其中使用最多的是遮光型。遮光型自动颗粒污染度测定仪,主要是通过遮光传感器接受被颗粒遮挡后的光通量,然后将其转换成电信号,再经前置放大器将电信号传输到相应计数器进行计数。自动颗粒计数法在方便、高效、减少人为主观误差等方面具有明显优势。但本法不能准确区分水滴、气泡与固体颗粒。

2.2.4 光测法 光测法是让光线通过被污染的液压油,液压中存在的颗粒物等会导致光的散射和反射发生,而剩余部分可透过油液成透射光。采用透射光接收器接受透过油液的透射光强度,并将其转化成可显示电信号,从而反映液压油液污染度。但不同油液其颜色存在差异,甚至同型号液压油,使用后其颜色可逐渐加深。所以,采用光测法时,应同时对油液进行透射光和散射光测定,方可较准确把握液压油污染度。目前,关于光测法结果的判定尚无统一的标准。

2.2.5 淤积法 淤积法是让液压油流过滤网或微小间隙,其中固体颗粒污染物可逐渐在滤网处发生淤积,致滤网堵塞,从而使通过滤网的油液流量和压差发生改变。随着污染程度的不同,淤积在滤网处固体颗粒等污染物的多少也不同,导致压差和流量的变化也不同。因此,测定压差或流量的变化,可反映油液污染度。在淤积法中,以滤网作传感元件,有恒压差测量和恒流量测量2种。前者在测量过程中保持滤网前后压差的恒定,测量经过一定时间后流过的液压油总体积。后者在测量过程中,保持通过滤网的油液流量恒定,测量压差达到某一预定值的时间或测量达到某一预定时间的压差(或比值 $P_{终}/P_{始}$)。淤积法测定液压油污染不受固体颗粒的成分、气泡、油液颜色及水分等的影响。但是,液压油中颗粒尺寸

的分布与系统压力的波动会对测定结果产生影响。

2.2.6 电测法 电测法是测定在一定温度条件下液压油的电阻率大小,来检测其污染度大小。通常在一定温度条件下影响液压油导电性的主要因素是其中颗粒污染物的含量和水分。因此,可通过测定一定温度条件下的液压油电阻率大小确定其污染度的大小。电测法可以总体反映油液中各种污染物的情况。但是,目前尚无统一评价标准。

2.2.7 超声波法 超声波法是利用压电晶体产生的超声波,在液压油中传播后被反射回接收器,如果液压油中有各种污染物就可严重影响到反射波的强度与波形,通过接受器转换成电信号并放大显示,从而反映油液的污染情况。但目前仍无统一标准。

3 小结

在飞机液压系统中,液压油的被污染程度直接影响飞机液压系统运行的可靠性和稳定性。因此,必须高度重视油液的污染防控,认真做好航空液压油污染的监测、预防和控制,确保飞行安全,航空液压油污染度的测定是监测飞机液压系统工况和诊断故障的重要手段。

目前,对航空液压油污染度的测定有多种方法,并各有其优缺点;其中,遮光型自动颗粒污染度测定方法是现有测定方法中技术最成熟、评价最科学和较全面的方法之一,其不仅能快速测定液压油中颗粒污染物的浓度,同时还能确定颗粒污染物的尺寸分布;但此方法的缺点是不能区分水滴、气泡与固体颗粒。因此,在航空液压油污染度的测定中应在颗粒污染度测定的同时增加其他方法(如淤积法等)进行辅助性测定,以确保对各种污染的准确把握。

参考文献

- [1] 阎欢,梁宇翔,贺景坚,等.航空液压油固体颗粒污染度的测定与分级[J].润滑与密封,2008,33(10):79-90
- [2] 冯雷星,杨钰,卢大鹏.飞机液压系统污染控制理论研究[J].液压与气动,2007(1):46-47
- [3] 郭辉,王平军.飞机液压系统固体颗粒污染分析与控制[J].机床与液压,2007,35(1):248-249
- [4] 王会.飞机刹车装置的油液污染控制研究[J].液压与气动,2012(3):64-66
- [5] 张奕.中俄飞机液压系统污染度等级标准研究[J].航

- 空标准化与质量,2002(1):21-24
- [6] 杜来林. 飞机液压系统油液的颗粒污染与维护[J]. 液压气动与密封,2010(5):12-15
- [7] 杨进. 液压油固体颗粒污染检测技术与方法[J]. 淮海工学院学报,2000(9):14-16
- [8] 夏志新. 液压系统污染控制技术现状与发展[J]. 液压气动与密封,2000(2):32-38
- [9] 马丽英,曹源文,归少雄. 液压油污染度自动监测技术研究[J]. 重庆交通大学学报,2007,26(4):156-159
- [10] 杜峰峰,王强. 液压系统的污染平衡及其控制[J]. 机床与液压,2008,36(2):99-102
- [11] Li Y J. Hydraulic oil contamination testing and technology an its development[J]. Aviation Metrology and Measurement Technology,2002,22(2):13-15
- [12] Hunt T M. Which debris monitor for what application? [J]. Insight,2005(6):180-185
- [13] Kirk T B, Panzera D, Anamalay R V, et al. Computer image analysis of wear debris for machine condition monitoring and fault diagnosis[J]. Wear,2004(2):17-22
- [14] Roylance I A, Price A L. The development of a computer-aided systematic particle analysis procedure-CASPA[J]. Lubrication Engineering,2002(12):40-46
- [15] Rudolph G. Convergence analysis of canonical genetic algorithms [J]. Transactions on Neural Networks, 2004,5(1):96-101
- [16] Koutroulis, Eftichios, Kalaitzakis. Development of an integrated data-acquisition system for renewable energy sources systems monitoring[J]. Renewable Energy,2003,28(1):139-152
- [17] 张志强,于达仁. 流体污染监测中清洁度等级评判标准的应用研究[J]. 中国机械工程,2006,13(1):50-53
- [18] 张庆良. 液压油污染度的在线监测技术[J]. 液压与气动,2011,12:87-88
- [19] 冯毅,张春平,张铁强. 液压油污染颗粒光电检测系统[J]. 光学技术,2007,33(2):255-257
- [20] 邓翊,袁作新. 液压系统污染原因分析及控制[J]. 武钢技术,2010(3):113-117
- [21] 刘金华,明兴祖. 液压油的污染与控制[J]. 矿山机械,2005(8):131-136
- [22] 王士钊,付洪瑞,谭胜,等. 装备液压系统污染控制建模分析[J]. 军械工程学院学报,2006,18(5):1-3
- [23] Behera B, Mishra B K, Murty C V R. Experimental analysis of charge dynamics in tumbling mills by vibration signature technique [J]. Minerals Engineering, 2007,20(1):84-91
- [24] Huang Peng, Jia Min ping, Zhong Bing lin. Investigation on measuring the fill level of an industrial ball mill based on the vibration characteristics of the mill shell[J]. Minerals Engineering, 2009, 22(14):1200-1208

(责任编辑 赵晓倩)

版权声明

为扩大本刊及作者知识信息交流渠道,加强知识信息推广力度,本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在 CNKI 中国知网及其系列数据库产品中,以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该著作权使用费及相关稿酬,本刊均用作为作者文章发表、出版、推广交流(含信息网络)以及赠送样刊之用途,即不再另行向作者支付。凡作者向本刊提交文章发表之行为即视为同意《甘肃农业大学学报》编辑部上述声明。