

民用飞机发动机监测方法研究

Study of Monitoring Method for Civil Aircraft Engine

詹志娟 / Zhan Zhijuan

(中国航空无线电电子研究所, 上海 200233)

(China National Aeronautical Radio Electronics Research Institute, Shanghai 200233, China)

摘要:

对民用飞机发动机状态监测和故障诊断方法进行了研究,提出了一种能够实时反映零件故障信息的油液在线静电监测方法,设计并搭建了一套静电监测系统及实验平台,开展了循环润滑条件下销盘滑动摩擦磨损实验,使用自制的油液静电传感器对油路中磨粒进行监测。实验结果表明油液静电传感器能够监测到金属材料荷电颗粒,感应电压幅值与磨粒大小具有相关性,感应电压波形与磨粒荷电特性有关,验证了静电传感器在线监测的有效性,为判断故障提供了进一步的依据。

关键词: 监测原理; 静电监测系统; 发动机状态监测

[**Abstract**] The method of civil aircraft engine condition monitoring and fault diagnosis is studied. Come up with a new monitoring techniques, which can reflect real parts fault information, early warning failure. In this paper, electrostatic monitoring principle is analyzed, and electrostatic monitoring system and experimental platform had been designed and developed. The circulation lubrication conditions pin plate sliding friction and wear experiment is carried out, using a homemade electrostatic sensor circuit in fluid abrasive grains to monitor. The results show that the oil-line electrostatic sensor can monitor the charged particles of various metallic materials, inductive voltage is relevant to the debris size, shape of the inductive voltage is relevant to the debris charging characteristics, indicating availability of on-line monitoring in the model of electrostatic sensor and providing a further evidence for the fault.

[**Key words**] Monitor Principle; Electrostatic Monitoring System; Engine Condition Monitoring

0 引言

在民用飞机发动机中的零部件失效前需要对其进行早期的可靠诊断,这是维修活动中的关键一步。在民用飞机发动机状态监测和故障诊断中,常用的方法有基于滑油分析的发动机磨损状态诊断、发动机内部气路部件的孔探检测、基于发动机气路性能参数的状态诊断和发动机转子系统的振动诊断等技术。对民用飞机发动机来说,一方面,滑油系统出现故障的概率比较大;另一方面,滑油系统的故障可能会带来更严重的故障。所以滑油系统的状态监测非常重要,在监测滑油系统自身情况的同时,还能够对发动机及其它子系统进行状态监测。油液静电监测技术是一种新型的监测技术,该技术是基于静电感应原理,对滑油系统回路中荷电颗粒通过感应探极所引起感应信号的变化来进行

监测,从而实现对润滑条件下摩擦副磨损状态的实时监控。静电监测技术的监测对象为磨损故障本身产生的磨粒,而不是其二次效应,相比于振动监测、温度监测等更能对零件衰退早期症状(磨损初期产生的大量微细磨粒)敏感,同时能提供实时监测信息^[1]。本文介绍了油液静电传感器监测的基本原理以及实验模拟装置,并对发动机油液静电监测方法做了探索性的研究,最后对静电监测信号进行了特征分析和研究。

1 静电监测基本原理

H. E. G. Powrie 基于高斯定理对油液静电传感器的数学模型进行了推导^[1]。设一个正点电荷,电量为 q ,当它开始进入敏感区域时,电荷会在周围的空间激发出电场,以电荷作为中心,作一个高斯球面 S ,半径是 r ,电场为 E ,由电场的定义可得:

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 \cdot 4\pi r^2} \quad (1)$$

ϵ_0 为空气中的介电常数。

设在静电传感器上感应到的电荷量为 q , 由高斯定理可知, 静电传感器电极表面的电通量可以近似表示为:

$$\phi_E = \int E_A \cos\theta dA = AE_A \approx \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (2)$$

其中, A 为静电传感器的感应面积, E_A 为静电传感器感应区域的电场强度, 传感器的表面 E_A 约等于 E , 而电场强度的方向跟传感器的表面相垂直, 即 θ 为 90° , 由式(1)和(2)得:

$$q \approx \frac{A \cdot q}{44\pi r^2} \quad (3)$$

由式(3)可知, 点电荷 q 增大, 传感器电极表面所感应到的电量 q 就会增加, 点电荷与电极之间距离的平方增加, 传感器电极表面所感应到的电量 q 就会减少, 油液静电传感器感应测量模型如图 1 所示。

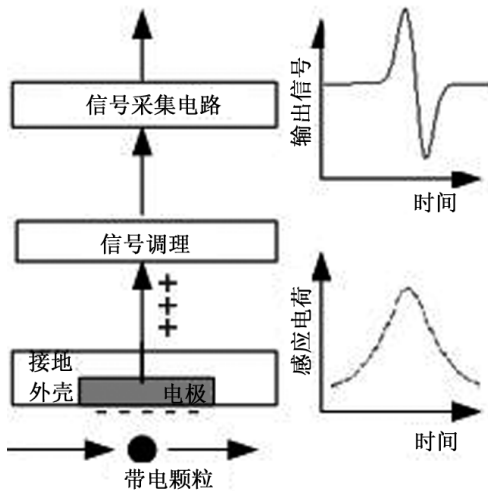


图1 油液静电传感器感应测量模型

上述油液静电传感器的机理, 给传感器传感特性的分析提供了理论基础, 本文静电传感器的模型如图 2 所示。

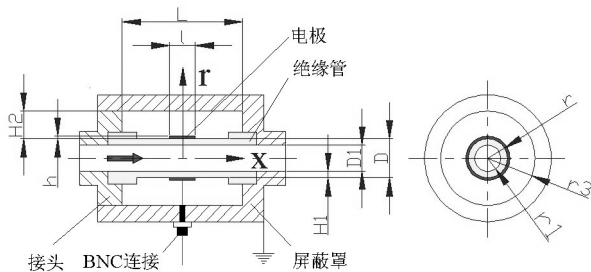


图2 油液静电传感器的物理模型

2 实验装置介绍及试验结果分析

2.1 实验装置

MMW-1A 型万能摩擦磨损试验机的销盘摩擦副外接便携式的滑油系统, 润滑油携带磨粒经过油液静电传感器。实验装置如图 3 所示。

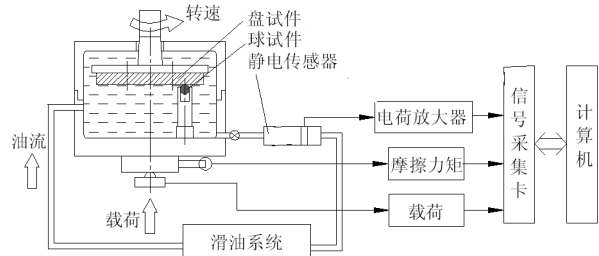


图3 实验装置

滑油系统稳定运行时, 压力 0.3 MPa、流量 15 L/min, 管内径为 10mm, 滑油采用 L-HM46 液压油, 计算得到油液平均流速为 3.183m/s, 油液磨粒静电传感器的进出油管段均采用长度为 500mm 的不锈钢直圆管。

2.2 静电监测系统

荷电颗粒在绝缘油中经过静电传感器探极时, 虽然绝缘油以及荷电颗粒物不直接与传感器探极直接接触, 但由于静电感应作用, 在探极表面产生感应电荷。随着油路中施感电荷的变化, 传感器探极表面产生的感应电荷也发生相应的变化, 通过信号调理电路将电荷的变化转化为电压信号, 静电信号被采集卡采集并输入计算机保存和处理。油液静电监测系统如图 4 所示。

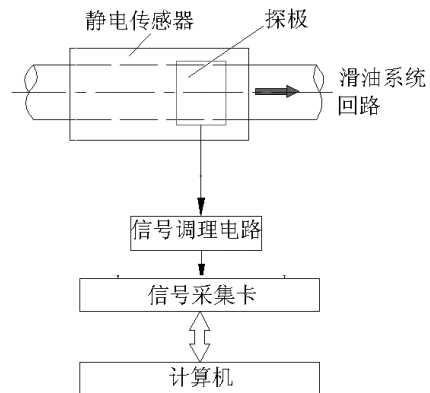


图4 油液静电监测系统

静电监测系统各部分的基本功能如下:

(1) 油液静电传感器, 把润滑油中所含荷电磨粒的电荷量感应形成电流信号。

静电传感器直接安装在滑油系统主循环回路

上,荷电颗粒经过传感器探极时,产生电流感应。

(2)信号调理电路,信号调理电路在监测系统中具有重要的作用,由于磨损过程中磨粒荷电量微小,相应传感器信号也微小,需要对传感器信号进行放大,同时将放大电路设计在合适的频带宽度(比传感器宽)以确保使其包含在传感器信号中的所有信息都能传送到下一阶段进行分析。

采用 SINOCERA 牌高精度低噪音电荷放大器 YE5854A,增益 100mV/pC,带通滤波频率设为 1Hz~3KHz,响应时间小于 1ms,测量精度 $\pm 0.5\%$ 。

(3)信号采集卡,将感应电流转换为感应电压,并进行连续采集。实验中采用四通道 NI-WLS9234 信号采集卡进行静电感应信号的采集,采样精度为 24bit。

(4)计算机,使用 NI LabVIEW 编译的信号采集程序,其采样频率为 12 000Hz,对感应电压信号记录、存储并处理信号数据。

2.3 实验结果与分析

2.3.1 实验条件

盘试件选用 GCr15 轴承钢,球试件也采用 GCr15 轴承钢球,盘试件与球试件通过上下油槽的封闭,形成了摩擦副的循环润滑。当模拟滑油系统开始工作时,流动的滑油会将摩擦区域产生的磨粒带出来,油液静电传感器安装在滑油的下游,能够实现在线油液磨粒静电监测,在实验装置的回油箱处安装了过滤器,可以用来收集磨粒。

实验时,首先将齿轮泵开启,滑油系统持续运行 10 分钟后保持油液平稳流动。设定加载的载荷为 40N,转速为 3m/s,开始销盘摩擦磨损实验的同时打开静电监测系统,采样频率设定为 1k。

2.3.1 实验结果分析

图 5 为球试件与盘试件整个实验过程的滑动摩

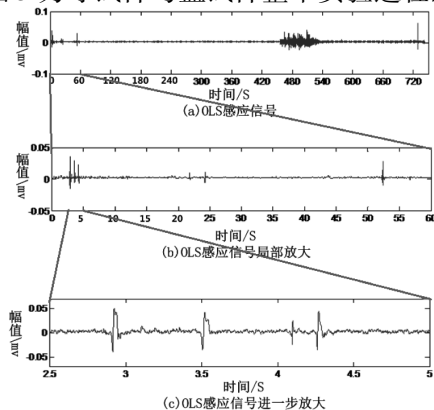


图 5 GCr15-GCr15 滑动摩擦磨损信号局部放大图

擦副所监测到的感应信号图,图 5(b)是 0~60s 的局部信号的放大图,可以看到,信号中有多个尖峰脉冲,幅值有大有小。为了进一步看清静电信号的特征,对(b)图进行进一步的放大,图 5(c)是 2.5~5.0s 的进一步局部信号放大图,可以看到,第一、二、四尖峰的幅值比较大,第三个的尖峰幅值较小。

根据参考文献(2),材料剥离过程中产生的磨粒携带的正或负电荷量在真空中能达到 $3 \times 10^{11} \text{ e/cm}^2$,在其他环境下,如液/固接触过程,由于其随机性和过程的复杂性,荷电情况通常由经验确定,荷电量与颗粒等效直径间存在如下指数关系^[2]:

$$q_p = \alpha \cdot d_p^\gamma \quad (4)$$

式中: d_p 为颗粒等效直径; γ 为由实验确定的常数,通常在 1.2~1.6。式(4)表明,颗粒荷电量与直径存在相关性。

根据式(4)可知,感应信号的幅值随着颗粒尺寸的增加而增大,图 5(c)中三个感应信号的幅值较大表明磨粒的尺寸较大,其中较小幅值的信号表明磨粒的尺寸较小。同时,从图 1 可知,感应信号波形先上后下,表明磨粒带正电,先下后上表明磨粒带负电。从图 5(c)中看出,感应信号的幅值不论大小,它们的波形都是先下后上,即可以推断出磨粒携带负电荷。

3 结论

本文阐述了民用飞机发动机在线油液静电监测技术的基本原理,介绍了实验装置以及静电监测系统,并在滑油系统上进行可行性实验。实验结果表明,滑油静电在线监测技术能够实时监测到发动机故障情况,表明了静电监测的可行性,可为民用飞机发动机的故障判断提供依据。

参考文献:

- [1] Powrie H E G, Fisher C E. Engine health monitoring: towards total prognostics[C]. IEEE Aerospace Conference Proceedings, 1999, 11-20.
- [2] Rossner M, Singer H. Measurement of micrometer particles by means of induced charges[C]. Industry Applications Society Annual Meeting, Conference Record of the 1989 IEEE, 1989, 2233-2238.