

滑油光谱分析技术在航空发动机滑油系统健康监测中的应用

唐晨雨 李凡 马建徽 曾凤英 杨方璐 党婷

中国航发四川燃气涡轮研究院

DOI:10.12238/pe.v3i4.15150

[摘要] 本文从航空发动机滑油系统健康监测的必要性和滑油光谱分析技术入手,以转盘电极原子发射光谱仪获取的某发动机光谱数据为分析对象,进行趋势分析,依据元素控制标准,评估航空发动机滑油系统磨损状态,为航空发动机滑油系统健康监测提供宝贵经验及技术支持。

[关键词] 转盘电极原子发射光谱; 滑油光谱检测数据及趋势; 元素控制标准; 发动机滑油系统健康监测
中图分类号: S219.031 **文献标识码:** A

The Application of Lubricating Oil Spectral Analysis Technology in the Health Monitoring of the Lubricating Oil System of Aero Engines

Chenyu Tang Fan Li Jianhui Ma Fengying Zeng Fanglu Yang Ting Dang

Aero Engine Corporation of China Sichuan Gas Turbine Research Institute

[Abstract] This paper starts with the necessity of health monitoring of the lubricating oil system of aero engines and the spectral analysis technology of lubricating oil. Taking the spectral data of a certain engine obtained by the turntable electrode atomic emission spectrometer as the analysis object, trend analysis is conducted. Based on the element control standard, the wear state of the lubricating oil system of aero engines is evaluated, providing valuable experience and technical support for the health monitoring of the lubricating oil system of aero engines.

[Key words] Rotating disk electrode atomic emission spectroscopy; Spectrometric data and trend analysis of lubricating oil; Standards for elemental control; Health monitoring of the engine lubricating oil system

航空发动机滑油系统(Engine Lubrication System)作为保障发动机轴承、齿轮等关键摩擦部件正常工作的核心系统,其主要功能包括润滑、冷却、清洁、防腐和密封。航空发动机的可靠性、寿命和飞行安全等性能直接被其性能所影响^[1],对滑油系统进行健康监测有助于发动机正常运行。

油液分析诊断技术凭借成熟可靠、环境干扰少,不需对飞机和发动机进行拆装,也不受机载设备所提供有限监测参数的限制,在航空发动机滑油系统的健康监测受到世界各国的普遍重视,发展十分迅速^[2]。

油液分析诊断技术主要有三种方法:一是分析滑油受外界污染的程度,称为污染度分析;二是通过分析在用滑油介质的理化性能变化和其衰败而引起的机械故障,称为滑油性能分析;三是分析在用滑油中所含磨损微粒,判断监测对象的磨损状态及程度、判断磨损类型和零件,称为磨粒分析,包含磁塞检测法、铁谱分析法、光谱分析法等^[3]。其中,滑油光谱分析技术,因其可快速检测元素种类及其含量,高效诊断发动机运行磨损和污染情况,成为目前最常用的磨粒分析技术,用于监测发动机试验健康运行情况。

1 滑油光谱分析技术

滑油光谱分析技术,是基于原子发射光谱原理,通过测量滑油中各种元素的原子在跃迁过程中吸收、发射或散射的电磁辐射的波长及强度,分析出油样中含有的元素种类及含量,推断机械设备运行状态、污染物类型及油品质量。它可以直接检测滑油中金属和非金属元素的含量,并根据油样中元素含量的变化趋势,直接评价设备的磨损状况和污染情况,有利于设备的早期故障预测^[2],有助于发动机健康监测。

滑油光谱分析设备主要有旋转盘电极原子发射光谱仪、电感耦合等离子体光谱仪、X射线荧光光谱仪等,其中旋转盘电极原子发射光谱仪无需对样品进行复杂的预处理,可快速分析油液中的磨损颗粒成分及含量,并且一次分析可以在一个试样中同时测得多种元素的含量,在航空发动机健康监测领域应用更为广泛。朱庆虹利用旋转盘电极原子发射光谱法,在测定润滑油中金属磨粒和污染物成分过程中,通过定期用单标及多元素的混标进行校准和验证的方式,提高预置的标准曲线的有效性,提高了润滑油光谱分析速度,也保证了分析结果的准确度^[4]。

本文采用旋转盘电极原子发射光谱对发动机试验前后滑油进行检测,并通过光谱数据分析发动机滑油系统磨损或污染情况,为某型航空发动机滑油系统健康监测提供技术支持。

2 滑油光谱检测

2.1 实验器材

本文采用型号为MOA(美国BAIRD公司生产)的转盘电极式原子发射光谱仪,主要由光源、光学系统和检测系统三大部分组成,其组成及工作原理见图1。

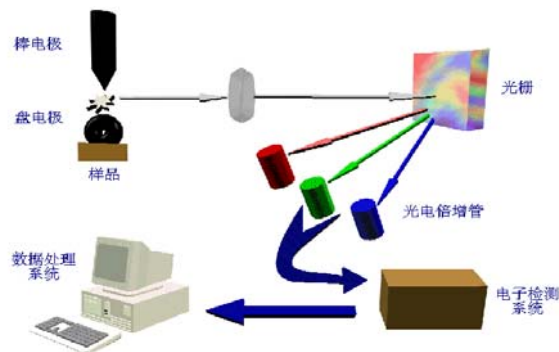


图1 转盘电极式原子发射光谱组成及原理

2.2 实验方法

润滑油作为样品,在样品激发室中被一旋转圆盘石墨电极带入分析间隙,通过程序激发,油样发射的光通过透镜进入入射狭缝,经分光光栅,按波长长短从各自的对应的出射狭缝到达其后面设置的光电倍增管,在这里光信号被转换为可测量的电信号(一般称为激发强度),最终在计算机上显示元素及其含量。

因滑油箱作为滑油系统循环的起终点,具有良好的代表性,本次实验选择某航空发动机累积试车试验前和试验期间(备注:试车过程中为保证润滑油的清洁度,第6次采样后更换了滑油)的滑油箱油样作为样本点,对其进行光谱检测。获得摩擦副组成元素和滑油污染元素的试验前、试验期间光谱含量样本数据。

表1 光谱检测数据 含量单位: ppm

采样次数	Fe	Cu	Ag	Al	Ti
试验前	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	2.4	0.5	0.1	0.0	0.7
2	1.9	0.5	0.2	0.0	0.4
3	2.4	0.7	0.1	0.0	0.7
4	2.8	1.3	0.1	0.0	0.6
5	2.9	1.9	0.2	0.0	0.9
6	3.4	3.7	0.2	0.0	0.4
7	1.1	0.9	0.0	0.0	0.1
8	1.3	1.0	0.0	0.0	0.1
9	1.8	1.3	0.0	0.0	0.5
10	1.5	1.3	0.1	0.0	0.4
11	2.0	1.1	0.2	0.0	0.2

3 磨损元素与部件故障判断分析

本文筛选Fe、Cu、Ag、Al和Ti的检测数据,进行数据趋势分析,分析滑油系统磨损情况,并以振动监测结果验证。

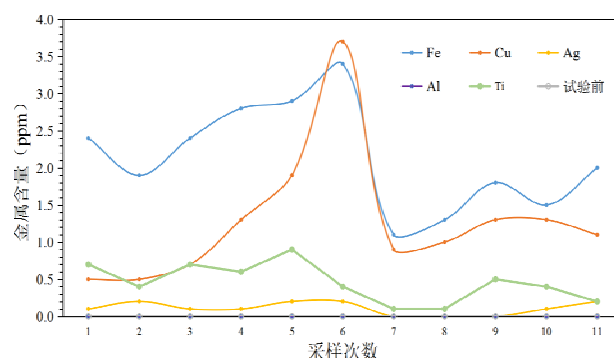


图2 元素含量关系趋势图

3.1 滑油污染识别

试验前滑油的检测结果可反映油液清洁情况。从表1数据中看出Fe、Cu、Ag、Al和Ti未检出,表明试验前滑油中基本无Fe、Cu、Ag、Al和Ti元素杂质。

加工、装配、试验前运转过程产生的机械杂质、化学试剂在试验前发动机润滑系统中可能存在,滑油可能受污染,试验初始的光谱检测结果能够反映发动机是否有杂质和污染,若存在该情况,进行滑油更换操作,排除大部分杂质和污染,防止对后续发动机本身磨损和污染分析进行干扰。

3.2 磨损元素识别

将试验阶段各元素光谱数据与试验前数据对比,差值在光谱仪示值误差要求范围内,识别判断为未磨损元素;差值大于光谱仪示值误差要求范围,识别判断为磨损元素。

根据表1和图2相关数据可以看出Ag和Al检测结果与试验前滑油检测结果相比基本未检出,Ag和Al为未磨损;Fe、Cu和Ti检测结果普遍超出试验前,Fe、Cu和Ti元素发生磨损。

3.3 基于磨损元素对应部件的故障分析

基于试验期间,相关元素磨损含量、含量波动与增长,分析发动机故障位置及磨损情况。

根据发动机各磨损元素含量控制指标,对比各磨损元素含量值,可初步预警发动机磨损故障状态。当各磨损元素含量值均未超标,表明发动机处于正常磨损状态,各部件无异常或故障;当有磨损元素含量值超标,表明发动机处于非正常磨损状态,对应所有超标磨损元素,精准判别磨损部件及位置,同时可结合发动机其他安全参数监测值等关联手段,锁定发动机磨损部件及位置,可识别对应部件有异常或故障;当各元素磨损值低于控制指标,但含量在一定范围内波动,综合考虑发动机润滑系统管路复杂性、润滑油在管路中的流动的不均匀性导致油样样本的差异以及光谱仪测量误差等因素,表明磨损元素含量无增加,在波动阶段发动机未新增磨损;当有磨损元素含量在一定阶段持续上升,表明发动机磨损在持续,应密切关注其含量是否超过控制指标,方便后续监测。

根据图2可看出, 发动机累积试车期间, Fe、Cu、Ti元素磨损量有波动, Fe元素有持续上升, Cu元素有持续上升甚至陡增、超标。发动机运转在第7-11次采样时, Fe、Cu和Ti含量均未超过控制指标, 该期间发动机运转处于安全状态; 发动机运转在第1-6次采样时, Ti未超标, Fe、Cu含量持续上升, Cu元素含量增长率、增量持续增大, 至第6次采样, 其含量超标。表明发动机滑油系统含有Cu的部件有磨损。试验期间, 对发动机高低压转子、附件等位置进行了振动监测, 在第6次采样试验阶段, 飞附机匣振动发现异常频谱, 如图3所示, 表示飞附机匣在试验过程中可能发生异常情况, 结合该型号发动机设计文件得知, Cu元素仅在飞附机匣摩擦副含有, 将异常磨损的部件锁定在飞附机匣。

