

以 PW4000 型发动机为例,在对滑油系统的功用及常见故障进行分析的基础上,提出了利用屑末分析和状态参数两种模式对滑油系统进行状态监控的方案,并对状态信息的来源、监控参数的选择、监控系统的功能等进行了分析和讨论。

# PW4000 型发动机滑油系统故障分析与状态监控

## *Fault Analysis and Condition Monitoring of Oil System on PW4000 Engine*

©王仲生 薛传琦 / 西北工业大学民航工程学院

PW4000 发动机是用于波音 747-400 和 767-300 飞机的一种大推力、高涵道比的先进发动机。发动机在工作过程中,滑油系统的工作状况不仅影响发动机的工作性能和寿命,而且由于滑油系统故障导致飞行事故也屡见不鲜。本文以 PW4000 型发动机为例,在对滑油系统典型故障进行分析的基础上,提出了对其进行状态监控的方案,并用 Microsoft Visual C++ 6.0 编写了监控软件,为保证发动机安全正常工作提供了一种实用方法

### 滑油系统故障分析

PW4000 发动机滑油系统主要由压力系统 PS (Pressure System)、回油系统 SOS (Scaveng Oil System) 和通气系统 BS (Breather System) 组成。PS 将适当压力的滑油提供给发动机主轴、传动装置、齿轮啮合处等,并使其表面形成连续的油膜;SOS 将润滑后的滑油送回滑油箱,并和 PS 一起构成滑油循环路径,实现润滑和冷却不间断;BS 保证发动机内部所有的滑油腔与大气相通,以维持滑油腔内的适当压力,防止产生空穴,排除滑油中的蒸气,降低滑油粘度。滑油系统的常见故障有:

#### 1. 滑油消耗量过大

滑油消耗量过大是指发动机滑油消耗量超过规定值。主要由于涨圈、篦齿在工作过程中磨损使挡油能力降低,螺栓、管路接头松动渗油,因转子不平衡引起的封严失效等造成。

#### 2. 滑油压力不正常

滑油压力不正常主要表现为压力偏高、偏低和压力脉动。引起滑油压力不正常的因素有活门卡死、油滤堵塞、滑油泄漏管路破裂、释压活门或滑油泵出现故障等。

#### 3. 滑油温度过高

滑油温度过高,会使滑油粘度降低,润滑效果变差,最终导致齿轮和轴承磨损加快,滑油泵效率降低,滑油喷嘴和散热器管路局部堵塞。引起滑油温度过高的主要原因是空气/滑油热交换器的冷却表面过脏使热效率降低所致。

#### 4. 滑油量增多

滑油量增多主要是由于燃油/滑油冷却器内燃油管道磨损,使燃油进入滑油系统。滑油量增多会使冷却效果变差。

### 滑油系统状态监控

#### 1. 状态信息来源

发动机在工作过程中,由于外来固

体微粒(浮尘、碳粒、纤维、金属磨粒等)的研磨作用,或有害气体和液体的腐蚀作用,都可使零件表面出现溃疡、应力集中、工作间隙超差、活动件受到阻滞等,最终影响发动机的工作性能,甚至造成严重故障。这些有害微粒在发展过程中,流动的滑油将不断地将它们从零件受害部位带走,活动的滑油就是受害零件的载体。这样,通过对受害载体的监测,就可及时了解零件缺陷的发展情况,并对发动机的运行状态进行监测、诊断和预报。

#### 2. 监控系统的组成和主要功能

监控系统的主要功能:

(1) 利用滑油压力、温度、消耗量等监测参数,监视滑油系统的工作状况,以保证发动机正常润滑;

(2) 通过分析滑油中屑末的含量、成分、形状、尺寸等,监视发动机润滑零部件的磨损状况和故障特征;

(3) 对滑油系统的工作情况进行趋势分析和状态监控。

为了实现上述功能,监控系统主要由数据管理 DM、屑末分析 DA、滑油监控 OM 三个模块组成。

DM 模块用来对不同的发动机进行开户、建档、追加数据,并对监测数据和

监测结果进行管理。

DA 模块通过提取屑末含量、成分、形状、尺寸、产生的速率等,建立磨损故障模式,并利用知识库中的知识和通过逻辑推理,判断故障原因和故障部位。诊断数据库包含 PW4000 发动机滑油系统中不同磨粒的特征和判别标准。

OM 模块包括滑油压力监视 OPM、滑油温度监视 OTM、滑油消耗量监视 OCM 三个子块。OPM 模块通过实时监测发动机滑油压力的变化来判断滑油系统的故障。如滑油压力升高,可能是油滤或滑油喷嘴堵塞、或释压活门故障;若滑油压力降低,可能是管路破裂、滑油泄漏、或调压活门工作不正常等。OTM 模块根据监视滑油温度的变化,判断空气/滑油热交换器冷却表面是否发生堵塞、齿轮或轴承严重磨损等。OCM 模块通过记录分析飞机飞行过程中的滑油消耗量和滑油消耗速率,从而得到滑油泄漏或燃油污染的有关信息。单位时间内滑油消耗速率可用下式计算:

$$V=(Q_2-Q_1)/\Delta t$$

其中,  $V$ —单位时间内滑油消耗速率;

$Q_1$ —飞行过程中  $t_1$  时刻的滑油量;

$Q_2$ —飞行过程中  $t_2$  时刻的滑油量;

$\Delta t$ —飞行时间,  $\Delta t=t_2-t_1$ 。

### 3. 滑油系统状态监控

滑油系统状态监控主要根据 DA 和 OM 模块提供的状态信息,由计算机发出指令,通过改变有关参数或采取相应动作,对滑油系统进行实时监控。

发动机在工作过程中,压力、温度和流量传感器将滑油系统的监测数据传递给 OM 模块,并在 CRT 上以图形方式对其变化过程进行实时显示。每个窗口分别设置了正常、异常和严重故障三个警戒线。

当发动机滑油系统在正常范围内工作时, CRT 显示“运行正常”状态信息,并对其变化情况进行状态预测;当发现异常情况时,红色信号灯亮, CRT 上实时显示出故障原因、部位和排除方法,并以声音方式提醒操作人员立即采取相应措施。

### 运行结果及分析

该监控软件采用 Microsoft visual C++6.0 编写,诊断知识库构建采用了 Microsoft Access 97,在 Celeron400、64M、

Win98 环境机上运行通过。

系统运行前,首先输入发动机编号,然后采用屑末分析和状态监控两种模式对滑油系统进行监测、监控和趋势分析。

在屑末分析模式下,用户只要输入磨粒的成分、形状、尺寸、颜色四个参数,计算机很快就判断出磨损原因、部位和严重程度,并提醒人们应采取的维护措施。

在状态监控模式下,滑油压力、温度和流量等监测参数通过相应的传感器送入计算机, OM 模块在 CRT 上实时显示出监测参数的变化情况,并对滑油系统进行实时状态监控。

### 结束语

该系统采用静、动态两种监测方式,可以对不同型号的发动机滑油系统进行监测、诊断和趋势分析,为保证发动机滑油系统的正常工作提供了一种实用监视手段,具有工程应用和推广价值。使用时,只要对知识库作相应修改,就可适用于不同型号发动机滑油系统的故障分析和状态监控。 □

## 制造设备简讯

### 孔探仪目镜

美国纽约梯度棱镜公司推出一种眼光敏锐的目镜,可以让操作人员从侧面观察孔探仪的图像。目镜夹持在孔探仪的眼杯上,可反射 90 度的图像。目镜的焦距可调,可以与带有标准 DIN 眼杯的任何刚性或柔性孔探仪配合使用。

### 钎焊烙铁

美国麻省 M.M. Newman 公司推出一种精密的微型钎焊烙铁,其特点是具有多种焊尖,是为电子装配及现场服务而设计的。Antex G/3u 微型钎焊烙铁有 40 多种专用的焊尖,其中包括针尖、铲尖、凿子以及各种尺寸的锥头。加热元件可在 45 秒内加热至 398℃。该装置的长度为 165 毫米,重 21 克。

### 螺旋桨的除冰器

BF 古德里奇航空航天公司的防冰系统分公司推出了它的新型快速断电系统 (QDS),它是一种电热螺旋桨除冰器,

它易于安装并可在现场置换。QDS 已取得补充技术证书 (STC) 及部件制造认证 (PMA),由除冰器、电线、安装夹及连接带组成。

### 新型锻造水压机

美国卡朋特特殊钢公司安装了一台 4500 吨的新锻造水压机。该机的总投资为 4200 万美元,它是由德国 Mannesmann Demag 公司制造的。该水压机投入使用后,可以使卡朋特公司易于控制毛坯的锻压并保证合金质量。

### 激光钻头

美国南卡罗来纳州的 Huffman 公司推出了 Huffman HD205 五轴计算机数控激光器钻头,该钻头是钻高细长比的孔以及高速钻用的理想钻头。该钻头适用于广泛的零部件,特别是涡轮工作叶片及导向叶片。钻头综合利用了 Auora P50L Nd:YAG 激光源及 Huffman 公司的操作机,能提供 3 个线性轴及 2 个旋转轴的切削。它能产生 5 万瓦的峰值功率及 500 瓦的平均功率。线性精度为  $\pm 0.0005$  英寸/英尺。

(石)