

摩擦学原理在汽车故障诊断中的应用*

司传胜 陈明华

(淮阴工学院 交通系 江苏 淮安 223001)

摘 要 通过对汽车发动机润滑系统磨损微粒的润滑介质进行光谱分析和理化性能测试,来判断发动机的故障状态及故障部位,提高发动机的可靠性。

关键词 发动机;摩擦学;故障诊断技术

中图分类号 TH17

文献标识码 A

文章编号 1671-532X(2002)03-0038-03

汽车发动机工作时,由于各运行部位表面间的相互摩擦,必然导致零件的磨损。随着时间的增长,磨损量也随之增多,若不了解发动机的磨损情况,很可能导致各种恶性事故的发生。据统计,在一般机械零件的失效过程中,磨损失效占 80% 以上。汽车发动机的润滑油在使用一定行程后必须更换。润滑油中磨粒的数量及特征和发动机的各部件的磨损状况密切相关。由于润滑油中包含了磨损微粒,携带着机械运动的大量信息^[1],因此对润滑系统油液及磨粒监测与分析,是判断发动机运行状态,对其进行故障诊断的重要且有效的方法。

近年来,一种以润滑油光谱分析为基础,结合润滑油其它分析方法而形成的汽车发动机诊断技术新体系,获得了较快发展。该技术体系的理论基础建立在机械故障诊断学和摩擦学上。磨损研究是针对一副相互接触并且运动的表面在润滑介质作用下复杂过程的研究。磨损研究的对象是:磨损表面、磨损产生的磨损颗粒,以及磨损表面之间的润滑介质。摩擦学故障诊断技术也主要包括这三个方面的内容^[2],其关系如表 1 所示。采用润滑油光谱分析、铁谱分析、常规润滑油物理化学分析和红外线光谱分析等检测手段,分析测定磨损颗粒和润滑介质,以实现汽车发动机主要摩擦磨损表面故障诊断和状态监控。

表 1 磨损研究的内容

Table 1 Researches of wear

| 磨损表面分析 | 磨损颗粒分析 | 润滑介质分析 |
|----------|---------|--------|
| 表面磨损严重程度 | 磨损量 | 粘度变化 |
| 表面组织变化 | 磨粒尺寸及分布 | 污染程度 |
| 磨损特征 | 磨粒化学成份 | 添加剂衰减 |
| 表面硬度分布 | 磨粒形貌 | 氧化度 |

1 磨损颗粒的分析

应用润滑油光谱分析技术获得磨损颗粒的化学成分和该成分零件的磨损量(即浓度值),判断发动机主要摩擦副的磨损程度及磨损颗粒的来源,而铁谱技术可直观地观察到磨损颗粒的形态和尺寸分布,了解发动机的摩擦磨损过程和进行磨损机理的研究。目前大部分采取光谱和铁谱综合监测的方法,可充分发挥各自的优点,提高故障诊断的准确率。

由于直读发射光谱仪的效率,对磨损颗粒直径小于 7 mm 的磨料存在非常敏感,故能在早期预报异常状况,以便及时采取防范措施,不致出现分析尚未完成事故已经发生,这是其它监测设备很难达到的。

1.1 润滑油中的金属元素

通过对铁、铝、铜、铅、铬、硅等元素的测定,可以判断发动机主要摩擦副的状态^[1]。

Fe—主要显示气缸套、曲轴、活塞销及活塞

* 收稿日期 2002-04-25

作者简介:司传胜(1968-)男,江苏淮阴人,淮阴工学院讲师,南京航空航天大学在职硕士研究生。

环的磨损。

Al — 主要显示活塞的磨损。

Cu、Pb — 主要显示曲轴、连杆轴瓦的磨损。

Cr — 主要显示第一道镀铬活塞环、活塞销的磨损。

Si — 主要显示空气中的杂质(二氧化硅)和空气滤清器的效果和装配时零部件的清洁程度。

1.2 汽车发动机主要摩擦副故障诊断模型

1.2.1 线性回归模型

发动机零件的磨损过程,从开始到失效,其磨损量与行走里程之间具有一定的规律性(见图1)。其中走合期,零件配合面较粗糙,易发生干摩擦,磨损率较大,经走合一段时间后,其磨损量随时间的增长趋于缓和,可认为磨损量与行走里程呈线性关系。

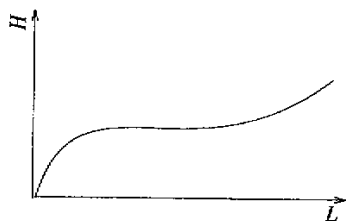


图1 发动机零件的磨损过程

Fig.1 Wear process of engine

在稳定性磨损期,磨损量与行走里程的线性关系,可用下式计算^[3]:

$$H = H_0 \times L \quad (1)$$

式中: H —磨损量(浓度值);

H_0 —单位行走里程的磨损量(浓度梯度值);

L —行走里程。

选用如下一元线性回归的数学模型描述汽车发动机零件的摩擦磨损规律。

直线方程为

$$\hat{y} = ax + b \quad (2)$$

式中: \hat{y} —磨损元素估计浓度值;

x —润滑油使用里程;

a —回归系数;

b —截距。

由磨损元素实际浓度 y_i 、润滑油使用里程 x 按有关公式计算,求得公式(2)的数学参数 a 和 b 后,可得一元线性回归方程。此外,还可得到回归直线的精度 S 和相关系数 T 。

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2} \quad (3)$$

式中: n —油样个数;

y_i —磨损元素实际浓度值;

\hat{y} —磨损元素估计浓度值。

$$T = \frac{L_{xy}}{\sqrt{L_{xx}L_{yy}}}$$

式中: L_{xx} — x 的离差平方和;

L_{yy} — y 的离差平方和;

L_{xy} — xy 的离差乘积之和。

根据信度 a 和自由度 r ($r = n - 2$) 查相关系数检验表得 T_a 。

当计算所得的相关系数 $T > T_a$ 时,可判别为两个变量之间的相关显著。否则就是相关不显著。

经验证相关显著,用特征参数——随行走里程变化的 Fe、Cu、Pb、Cr、Al 等元素的浓度值(即该机型发动机零件的摩擦磨损过程),可用线性回归的数学模型描述。

1.2.2 控制图模型

根据发动机零件的摩擦磨损规律公式(1)选择另一特征参数——单位行走里程的磨损量 H_0 (即磨损元素浓度梯度值)作为监控对象。

控制图的计算^[3]:

(1) 平均浓度梯度值

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ii}}{n} \quad (5)$$

式中: y_{ii} —第 i 个油样浓度梯度值;

n —油样个数;

\bar{y}_i —平均浓度梯度值。

(2) 浓度梯度均方差

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{ii} - \bar{y}_i)^2} \quad (6)$$

式中的 n 、 y_i 、 \bar{y}_i 的含义同上述。

2 诊断故障标准的制订

2.1 回归直线方程

危险(故障)控制 = $ax + b + 3s = M + 3s$

警告(注意)控制 = $ax + b + 2s = M + 2s$

2.2 控制图

危险(故障)控制 = $\bar{y}_i + 3\sigma$

危险(注意)控制 = $\bar{y}_i + 2\sigma$

若磨损元素的浓度值或浓度梯度值点处在警告(注意)控制线之下,发动机的摩擦磨损状态正常,即在安全(正常)区内,若磨损元素的浓度值或

浓度梯度值点处在危险(故障)和警告(注意)控制线之间,即在警告(注意)区内,发动机摩擦磨损状态出现异常过程现象,检修人员应予以密切关注;若磨损元素的浓度值或浓度梯度值点处在危险(故障)控制线之上,即在故障(危险)区内,发动机摩擦磨损状态出现了故障磨损,检修人员应及时检查并排除故障。

按数理统计理论, $M \pm \sigma$ 概率为 68.3%, $M \pm 2\sigma$ 概率为 95.4%, $M \pm 3\sigma$ 概率为 99.7%, $M \pm 4\sigma$ 概率为 99.9%。根据该磨损元素零件的可靠度概率,选择合适的回归直线精度 S 和浓度梯度方差 σ 的系数,一般取 2 和 3。

某磨损元素的浓度梯度值 y_{ii} 是由一个油样的实际浓度值 y_i 派生的,若 $(y_i - \bar{y}_i)^2 \geq (y_{ii} - \bar{y}_i)^2$ 并且 $n > (n - 2)$,则回归直线的精度 S 大于浓度梯度均方差 σ ,含有该元素的零件,在相同可靠度概率分布条件下,控制图的监控精度比线性回归方程显得高些,运用控制图的诊断方法,可提高发动机的故障诊断的准确性。

3 润滑介质的分析

汽车发动机在工作过程中,受高温高压作用的润滑油不仅与空气、燃油的凝聚物和不完全燃烧的产物、水蒸汽、及吸入发动机的尘埃接触,还与零件的金属表面及磨损颗粒接触,这些金属或合金又如同化学催化剂,相互作用,使润滑油的物理化学性质不断发生变化,因此润滑油的工作过程是一个逐渐损耗并老化的过程,要随时掌握润滑油的使用情况,需定期分析测试润滑油的物理化学性能,如运动粘度、闪点、石油醚不溶物、水分、斑点试验、总碱值和 pH 值。

润滑油在老化过程形成的石油醚不溶物,可以分成有机不溶物和无机不溶物两类。有机物主要由润滑油中的燃料不完全燃烧的产物组成。如碳化物、胶质和沥青质等。无机物主要是尘埃和零件磨损颗粒(光谱技术分析为硅和金属元素)。

在气缸活塞组件配合副中,第一道气环和环槽的工作条件最恶劣。当第一道气环和环槽磨损显著增加时,润滑油中的有关金属元素也增加。

参考文献:

[1] 张建俊. 汽车检测技术[M]. 北京:人民交通出版社,1998.

[2] 李晓峰,严新平. 柴油机主要摩擦副磨损形式的识别[J]. 润滑与密封,1998(6):71-75.

[3] 陈国安,辛志南. 内燃机摩擦学设计势在必行[J]. 柴油机,1998(4):21.

万方数据

曲轴箱窜气量主要取决于气缸活塞组件的磨损,特别在环和环槽配合间隙增大而发生环震时,窜气量将剧增。窜入曲轴箱的燃气量增加时,也使进入曲轴箱的燃料不完全燃烧产物数量加大,润滑油温度也升高,加速了润滑油老化变质过程,并使气缸活塞组件的温度增高,活塞环失去弹性,增大气缸活塞组件的磨损,污染油底壳的润滑油,在环和环槽上形成积炭,致使活塞环卡死或折断、活塞环槽烧熔、增大润滑油的损耗^[1],所有这些,均降低了发动机的工作能力。

当曲轴箱内的窜燃气量增加时可使(1)进入曲轴箱的燃油不充分燃烧产物增加,润滑油温度升高,加速其氧化过程,运动粘度迅速增高。(2)进入曲轴箱的不完全燃烧产物、磨损颗粒和尘埃均增加,石油醚不溶物提高。(3)燃油中含的硫燃烧生成 SO_2 和 SO_3 ,化合形成腐蚀性强的酸性物质, pH 值显著下降。

当润滑油中测得的有关气缸活塞组件的元素浓度值或浓度梯度值超过故障标准限度规定时。润滑油的物理化学性能(1)运动粘度 $\geq 18 \text{ m}^2/\text{s}$,石油醚不溶物 $\geq 6\%$ 。(2) pH 值 < 5 ,总碱值 < 2.5 。其中任何一项指标接近或超过润滑油报废标准,可诊断在曲轴箱窜燃气故障。

4 结论

(1)应用润滑油光谱分析技术,可得磨损元素的线性回归和控制图的 3 种不同磨损状态的控制值,尤其是控制图,能实现汽车发动机故障诊断和状态监控,对防止和减少发动机事故,保证行车安全具有重要意义。

(2)在汽车发动机的检修实践中,应用摩擦学故障诊断技术,根据润滑油的光谱和理论性能数据,进行综合研究,不但能诊断出发动机曲箱窜燃气故障状态,并可确定其故障发生部位,在诊断故障发生部位的高难度技术方面有新的突破。

(3)摩擦学故障诊断技术应用于汽车发动机故障诊断,不但能诊断出曲轴箱窜燃气故障,而且能迅速反映出气缸活塞组件的磨损进程,对评定汽车发动机运行极限技术状况有重要意义。

(下转第 53 页)

The FEM Analysis of Seepage Field of Underground Plant and Its Cavities

WANG Feng ,ZHU Yue-ming

(College of Water Conservancy & Hydropower Engineering ,Hohai University , Jiangsu Nanjing 210098 ,China)

Abstract :In this paper ,the author imitate 3D model of underground plant of Sanbanxi and its cavities with the method of immobile mesh & virtual flux of node. Several difficulties caused by the variety of stratum structure , the special seepage-controlling measures and the complex plant structure are solved. The complex seepage field of underground plant of Sanbanxi is computed successfully. The advantage of improving on calculation precision by draining substructure is fully certificated.

Keywords :Underground plant ; Seepage field ; FEM ; Draining substructure ; Draining holes controller

(上接第 40 页)

The Application of Tribology Fault Diagnostic Technigue to AUTO Engine

SI Chuan-sheng ,CHEN Ming-hua

(Thraffic Engineering Department of Huaiyin Institute of Technology ,Jiangsu Huaiyin 223001 ,China)

Abstract :The article apply the tribology fault diagnostic technigne to the spectral analysis and measurements of physical and chemical properties which are made respectively for worn-out particles and lubricand in the lubricating system of the AUTO engine , The malfunction blow-by to the engine crankcase and its actual Position can be diagnosed , It aims to improve the reliability of the engine.

Keywords :Engine ; Tribology ; Diagnostic Technique