

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.05.024

## 重载车辆发动机油液的多技术监测方法

邢志娜, 瞿军, 王菊香

(海军航空工程学院飞行器工程系, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 针对部队军械装备中大量重载车辆急需实现工作状态的监测和维护的现状, 从车辆发动机油液状态监测的角度, 介绍油液的多技术监测手段。从油液的性能监测分析、磨损颗粒监测分析和污染度监测分析 3 个方面对多种监测技术进行详细的论述和对比, 并提出多技术监测的油液维护理念。该方法可为现场及时检修保养、视情维修提供科学可靠的依据, 对进一步发展部队军械装备保障技术, 完善保障技术手段具有积极意义。

**关键词:** 重载车辆; 发动机; 油液监测; 多技术

**中图分类号:** TJ810.3<sup>+</sup>6 **文献标志码:** A

## Oil Multi-Technique Monitoring Methods of Heavy-Duty Vehicle Engine

Xing Zhina, Qu Jun, Wang Juxiang

(Dept. of Aircraft Engineering, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** Aiming at condition of many heavy-duty vehicles in troop ordnance equipments extremely needing of condition monitoring and maintenance, multi-technique monitoring method of vehicle engine was introduced based on motor oil state monitoring. Multi-technique including oil quality analysis, wear particle analysis and contamination were expatiated and compared in detail. In result, the multi-technique monitoring of oil maintenance idea was put forward. This oil maintenance idea provided the scientific basis for field in time overhaul and maintenance, condition-based maintenance. In conclusion, the application of oil multi-technique monitoring has an active signification for development and perfection of the ordnance equipment safeguard technique.

**Key words:** heavy-duty vehicle; engine; oil monitoring; multi-technique

### 0 引言

车辆的核心是发动机, 发动机的状态决定了车辆能否正常使用。因此, 必须对其进行状态监测和故障诊断, 确保其处于最佳运行状态, 而油液分析是对发动机状态监测非常有效的方法措施。油液分析的功能有故障诊断、确定油液的使用期限、判定油液的污染、了解添加剂的损耗、对新油的评定、基于摩擦学的设计以及确定机械设备的维修规范等。油液分析的内容有性能监测分析、磨损颗粒监测分析和污染度监测分析。其中性能监测分析包括理化性能分析和性能衰变分析。

磨损、污染和油品衰变是引起故障的 3 大原因, 它们之间相互影响又有各自特定故障信息, 必须用不同监测仪器去分析, 称为多技术油液分析。所有的油液都是石油产品, 种类繁多, 组分极其复杂。当今石油产品分析技术方法主要有常规理化分析方法、近红外光谱分析、红外光谱分析、铁谱分析、原子发射光谱分析、颗粒计数和磁塞等。目前重载车辆的油液监测主要以摩擦磨损的光谱分析为主, 而国家颁布的某些油液的换油标准则以理化性能为

主, 在实际应用中难以做到统一。并且不同的油液监测方法各有其优缺点, 信息互为补充。因此, 笔者对油液的多种技术分析方法进行介绍和对比, 并提出包括理化分析、性能衰变分析、磨损监测分析和污染度监测分析的多技术监测的油液维护理念。

### 1 性能监测技术

#### 1.1 理化性能分析技术

理化性能分析主要包括粘度、水分、总酸(碱)值、洁净度和粘度指数等, 经过油液理化性能的分析可以了解油液的质量, 制定合理的换油周期, 指导视情用油, 科学润滑, 发现潜在的问题和阻止故障的发生。

##### 1.1.1 常规理化分析技术

常规理化分析是指采用油品的物理化学化验方法对润滑油的各类理化指标一对一进行测定。通过这些指标的测定, 能够有效反映油液的润滑性能状态。以车辆柴油机油为例, 具体分析方法见表 1。

常规理化分析方法精度高, 但操作耗时费力, 需要接触大量有毒试剂, 有一定的危害性。同时,

收稿日期: 2011-12-02; 修回日期: 2011-12-26

作者简介: 邢志娜(1974—), 女, 山东人, 硕士, 副教授, 从事推进剂及油液分析研究。

因在用油液特别是柴油机油的颜色非常深并有一定的粘稠度，故在测定粘度和酸度等理化指标时，存在操作水平要求高、实验误差大和重现性差的难题。

表 1 车辆发动机油液常规理化分析方法一览表

理化指标	分析方法	国内标准	国外标准
粘度	粘度计法	GB/T265-83	ASTM D445
粘度指数	计算法	GB/T1995	ASTM D2270
水分	KF 方法	GB/T7600	ASTM D6304
闪点	开口杯法	GB/T3536	ASTM D92
酸(碱)值	酸碱滴定法	GB/T7304	ASTM D664
不溶物含量	分离恒重法	GB/T8926	ASTM D893

### 1.1.2 近红外光谱分析技术

随着仪器分析手段和计算机技术飞速发展，近年来人们逐渐将注意力放在快速高效的综合分析方法的研究，例如近光谱技术逐渐在理化指标分析中得到越来越多的重视。

近红外光谱技术(near-infrared, NIR)是一种高效快速的现代分析技术,它综合运用了计算机技术、光谱技术和化学计量学等学科的最新研究成果,以其独特的优势在多个领域得到了日益广泛的应用,并已逐渐得到大众的普遍接受和官方的认可<sup>[1]</sup>。油液主要是各种含氢的石油馏分组成,利用近红外光谱的特点,能够实现粘度、粘度指数、酸(碱)值、水分和闪点等理化指标的快速高效和同时监测。近年来,许多专家学者在该领域获得非常多的研究成果<sup>[2-4]</sup>,证明了该技术在此方面应用的可行性。

### 1.2 性能衰变监测技术

油液的性能衰变分析主要是指:对油液在使用过程中由于自身降解和外界污染而导致的油液本身劣化变质,从而造成氧化和硝化等表征使用性能参数的变化分析。目前对油液的衰变性能分析的主要技术是中红外光谱分析技术,俗称红外光谱技术<sup>[5]</sup>。

利用红外光谱技术分析油样中有机化合物的基团结构,通过比较新、旧油的红外吸收峰的峰位与峰高,可定性与定量监测基础油与添加剂组分是否发生了化学变化,以及变化的类型与程度;利用红外光谱技术监测润滑油的衰变过程以及控制其他外来有害物质;利用红外光谱的分析软件可定量测试在用油的氧化值、硫化值、硝化值、积炭、水、乙二醇和燃油稀释度等参数;通过对谱图分析,结合各参数的数值,可获得油样品质变化方面的信息,研究油品变化规律,达到监控油品质量的目的<sup>[6]</sup>。以车辆柴油机油为例,油液具体的使用性能变化途径和红外光谱参数见表 2。陈学峰、董元虎、石永刚等人在这方面先后发表了多篇相关研究论文<sup>[7-9]</sup>。

表 2 油液使用性能变化途径及红外表征参数

油液变质途径	红外光谱参数
氧化	氧化深度
硝化	硝化深度
水分	水(羟基)水平
燃料稀释	燃料水平
添加剂损耗	抗氧化磨剂水平
积碳	积碳水平

## 2 磨损颗粒监测技术

任何机械运动都伴随有磨擦和磨损的发生并产生磨损微粒。磨损是发动机零部件失效的主要原因之一。不同的磨损状态产生不同特征的磨损微粒,并伴有浓度上的变化。大量的研究实例表明,润滑油中的磨粒携带有关机械磨损状态的详细信息,这些信息通过磨粒的浓度、尺寸、形态及组成等表现出来。根据这些特征,可以判断零件所处的磨损状态以及该状态下发生的磨损原因、磨损类型和磨损部位,可以定量地分析磨损的严重程度,监测出运行中机械的不正常情况,考察油品对机械的适应性及在使用过程中的质量衰变规律,从而科学合理地提出控制对策。

油液磨损颗粒分析包括磨损微粒的数量、微粒尺寸分布、微粒化学成分以及几何形态等方面。主要方法有原子发射光谱分析(atomic emission spectroscopy, AES, 俗称光谱分析)和铁谱分析 2 种方法。此外,还有磁塞和过滤器 2 种在线磨粒监测方法。

### 2.1 原子发射光谱分析技术

原子发射光谱分析技术是机械设备故障诊断和状态监测中应用最早的现代技术之一。原子发射光谱分析根据待测元素的激发态原子所辐射的特征谱线的波长和强度,对元素进行鉴别和含量测定<sup>[10]</sup>。

因为油液携带有磨损接触产生的颗粒。非正常磨损状态,如腐蚀、磨粒磨损、严重磨损和剥落等,促使油液中磨损金属含量增加。通过添加剂元素的浓度,可以监测出污染物,鉴别润滑油污染程度或润滑油的严重变质程度。多元素分析加上结构的材料知识可以鉴定发生故障的特定零部件。因此,原子发射光谱分析技术可以监测机械设备润滑系统中润滑油所含磨损颗粒的成分及其含量的变化,同时也可以准确地监测润滑油中添加剂的状况以及润滑油污染度变质的程度<sup>[11]</sup>。田莉利用光谱分析对柴油机油中的金属元素和添加剂含量测定作了研究<sup>[12]</sup>。

常用的发射光谱分析技术通常只能激发 10 μm 以下的颗粒,对累积磨损有效,对突发性故障产生

的较大颗粒无效。近几年随着银电极的应用,激发颗粒的直径已扩大到 100  $\mu\text{m}$  以上,极大地拓展了发射光谱分析技术的应用范围。

## 2.2 铁谱分析技术

铁谱分析技术是一种从润滑油中分离并监测铁磁磨粒从而判断设备故障的诊断技术。该技术监测内燃机零部件的磨损状态,不需破坏零部件的结构关系,在不解体的条件下就可确定其磨损状态。

铁谱分析技术利用高梯度强磁场,把机油中的铁磁性磨损颗粒(通常是微米级,肉眼看不到)从油液中分离出来,并把它们按大小粒度有规律地排在玻璃基片上,然后借助其他分析方法对颗粒定性和定量分析。通过对磨损颗粒的大小、多少、成分和形貌进行分析,可以掌握设备运行时的实际磨损情况,判断磨损的状态和机理。铁谱分析主要以直读铁谱仪和分析式铁谱系统为分析手段,可以及时监测到 10~100  $\mu\text{m}$  甚至更大的颗粒。姜旭峰等利用直读铁谱对航空发动机润滑油进行分析研究<sup>[13]</sup>。

由于铁谱不适合非铁系磨粒的分析,因此需要应用光谱等技术对非铁系物质进行分析,以补其不足。夏燕冰等利用铁谱-光谱对挖掘机油液进行了磨损分析<sup>[14]</sup>。

## 2.3 磁塞监测

在润滑系统中安装磁塞或探针,将油液中的磨粒吸附到磁塞上,用磁屑监测仪与磁强计估量收集到的磨粒数量以及磨粒产生趋势。也可定期更换磁塞,分析取出的磁塞上的磨粒大小和数量,从而有效地分析装备的磨损情况。对比不同时期所保存的磁塞上磨粒信息,有助于分析磨损趋势<sup>[15]</sup>。该方法适用于在线磨粒监测分析,例如飞机动力系统就通过定期更换磁塞监测大颗粒磨粒情况。

## 3 污染度监测技术

油液的污染度是指单位容积油液中固体颗粒污染物的含量,即油液中所含固体颗粒污染物的浓度。常用的油液污染度监测方法有重量分析法、显微镜法和颗粒计数法。其中,污染度测试的主要手段是对油品进行颗粒计数。

重量分析法和显微镜法属于磨屑分析,是一种原始、简单、有效的分析技术。它是通过收集设备机油循环柜中积存的大磨损颗粒和碎屑,利用简单的观测设备,如目视显微镜等,对颗粒的数量、大小、形状和成分进行分析,进而可判定设备摩擦副

过度磨损的部位。

颗粒计数主要通过遮光和滤网 2 种方法测试,测定的参数有污染物颗粒的数量及尺寸分布。目前普遍执行 ISO 标准(SAE 或 NASA 标准),并提供油液污染度评价等级。油液不同装备对污染的耐受能力、使用状况及环境等条件要求不同,所选用固体颗粒污染度等级也不同。

大量的调查发现,油液中的固体颗粒污染物是机械设备磨料磨损的主要原因,由其诱发的磨损故障占总磨损故障的 82%。液压系统故障的 60%~70%是由颗粒污染物引起的<sup>[16]</sup>。因此,控制油液中污染物颗粒的大小和数量,对控制零件的磨损,避免磨损故障的发生以及提高设备的工作可靠性和延长设备的使用寿命有着明显的作用。高虹亮等对船用柴油机进行污染度检测与分析的可行性和必要性进行了分析<sup>[17]</sup>。

## 4 多技术油液监测与维护

油液分析技术是一项对机械设备使用油液的物理、化学性能以及油液中所含磨屑杂物等进行分析的技术,是当今设备状态监测的有效方法之一。目前,油液监测和诊断技术采用的理化分析技术、光谱技术、铁谱技术和颗粒计数技术等技术的原理和应用范围有其各自的优点和缺点,单一运用某一种方法监测和评判都存在局限性,必须综合运用,统筹分析。其中光谱技术定性自动化程度高,分析速度快,数据精确度高、重复性好,但其分析能力较差;用铁谱分析可以定性了解磨粒尺寸、数量、形貌等,但其定量分析能力较差。上述技术侧重于油液中的磨粒分析,对于油品衰败程度的监测,红外光谱和理化性能分析则更为有效,但后两者无法明确设备的摩擦磨损。因此,只有将油液理化性能分析、光谱分析和红外光谱分析及铁谱分析等方法相结合,综合分析评价才能全面掌握设备的工作状态。

## 5 结束语

笔者从油液的性能监测、磨粒监测和污染度监测 3 个角度出发,对油液监控相关的分析手段作了比较全面的介绍和对比。在装备状态监测中,应将性能监测、磨粒监测和污染度监测 3 方面的分析技术综合运用起来,融合多技术监测信息,为现场及时检修保养、视情维修提供科学可靠的依据。总之,油液的多技术监测方法的应用对于进一步发展军械装备保障技术,完善保障技术手段具有积极意义。

## 参考文献:

- [1] 陆婉珍, 袁洪福, 徐广通, 等. 现代近红外光谱分析技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2000: 146-147.
- [2] 周鑫. 在用车发动机油快速检测质量的研究[J]. 汽车工艺与材料, 2005(7): 39-45.
- [3] 宋延东. 润滑油基础油粘度性能的近红外光谱研究[J]. 化工时刊, 2008, 22(4): 9-12.
- [4] 陈斌, 王忠. 用近红外透射光谱快速检测内燃机润滑油性能[J]. 农业机械学报, 2002, 33(5): 17-30.
- [5] 张红革. 红外光谱在内燃机油研究中的应用[J]. 润滑油, 2001, 16(5): 48-51.
- [6] 陈学峰, 赵质良. 红外光谱分析技术在船舶装备油液监测中的应用[J]. 机械管理开发, 2009, 24(6): 7-8.
- [7] 董元虎, 尹兴林, 王娇. 基于红外光谱技术的两用燃料发动机油抗劣化性研究[J]. 润滑与密封, 2006(10): 145-147.
- [8] 化岩, 史永刚, 任连岭, 等. 红外光谱技术在润滑油分析中的应用[J]. 合成润滑材料, 2008, 35(2): 5-7.
- [9] Mike J. Adamsa, Melissa J. Romeoa, Paul Rawsonb. FTIR analysis and monitoring of synthetic aviation engine oils[J]. Talanta, 2007, 73(4): 629-634.
- [10] 龙凤乐. 基于光谱分析技术的大型石油设备故障诊断方法应用[J]. 长江大学学报: 自科版, 2005, 2(1): 52-54.
- [11] 陈云彪. 油料光谱分析技术在发动机磨损监测中的应用[J]. 柴油机设计与制造, 2000(1): 44-56.
- [12] 田莉. 柴油机油中金属元素和添加剂含量分析[J]. 润滑油, 2004, 19(3): 63-64.
- [13] 姜旭峰, 张源, 季峰, 等. 航空发动机直读铁谱状态监测技术研究[J]. 润滑油, 2009, 24(4): 56-59.
- [14] 夏燕冰, 赵剑锋, 赵华. 隧道全断面岩石挖掘机的铁谱-光谱技术监测[J]. 中国铁道科学, 2002, 23(5): 112-117.
- [15] 苏建成, 徐元强. 汽车内燃机状态监控油液分析技术研究[J]. 交通标准化, 2006(5): 150-152.
- [16] 毛美娟, 朱子新, 王峰. 机械装备油液监控技术与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 166.
- [17] 高虹亮, 赵新泽, 汤双清. 油液污染度分析在船用柴油机状态监测中的应用[J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2003, 25(2): 157-160.
- \*\*\*\*\*
- (上接第 82 页)
- [5] 陈小前, 袁建平, 等. 航天器在轨服务技术[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2009: 115.
- [6] Tammy Jones. HUBBLE Facts[EB/OL]. [1997-01-01]. [http://hubble.nasa.gov/a\\_pdf/news/facts/overview.pdf](http://hubble.nasa.gov/a_pdf/news/facts/overview.pdf)
- [7] NASA. STS-125, The Final Visit to HUBBLE[EB/OL]., [2009-06-01]. [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/shuttle/shuttlemissions/sts125/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/shuttle/shuttlemissions/sts125/main/index.html).
- [8] J. Kreisel. Commercial Implications & Social-Economic Benefits of OOS[EB]. OOS 2004 Workshop, 2004.
- [9] Jean-Claude Piedboeuf. On-orbit Servicing in Canada: Advanced Developments and Demonstrations[EB/OL]. [2004-10-01]. [http://www.on-orbit-servicing.com/pdf/OOS2004\\_presentations\\_pdf/SettingTheScene\\_Piedboeuf.pdf](http://www.on-orbit-servicing.com/pdf/OOS2004_presentations_pdf/SettingTheScene_Piedboeuf.pdf).
- [10] Dr. Arno G. Ledebuhr. Microsats for On-Orbit Support Missions[C]. Italy: XI Generali International Space Conference, Rome, March, 2001: 15-16.
- [11] Shane Stamm, Pejmun Motaghedi. Orbital Express Capture System: concept to reality[J]. SPIE, 2004, 5419: 78-91.
- [12] Pejmun Motaghedi, Shane Stamm. 6 DOF Testing of the Orbital Express Capture System[J]. SPIE, 2005, 5799: 66-81.
- [13] Roshanak Nilchiani, Daniel E. Hastings. Measuring the Value of Space Systems Flexibility: A Comprehensive Six-element Framework[D]. Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- [14] Nilchiani. Measuring Flexibility In Design Of An Orbital Transportation Network[J]. AIAA 2003: 63-67.
- [15] Bounova, G., Ahn, J., Hofstetter, W., Wooster, P., Hassan, R., de Weck, O., Selection and Technology Evaluation of Moon/Mars Transportation Architectures[C]. AIAA-2005-6790, Space 2005, Aug 30-Sept 1, 2005, Long Beach, California.
- [16] 冉隆燧. 空间交会对接控制原理与飞船控制系统设计[C]. 北京: 中国载人航天工程办公室, 2002.
- [17] Xavier Cyril, Gilbert Jaar, Jean St-Pierre. Advanced Space Robotics Simulation For Training And Operations[C]. AIAA-2000-4087, 2000.
- [18] Bernd Sommer. Automation & Robotics (A&R) within the German Space Program[EB/OL]. [2003-01-01]. [http://on-orbit-servicing.com/policy/iSAIRAS\\_03\\_paper.pdf](http://on-orbit-servicing.com/policy/iSAIRAS_03_paper.pdf).
- [19] Dennis Ray Wingo, Orbital Recovery's Responsive Commercial Space Tug for Life Extension Missions[C]. Space 2004 Conference and Exhibit, San Diego, California. AIAA 2004-6118, 2004.
- [20] Masahiro Koike. 2004 OOS Workshop on Orbit Servicing from an Insurance Standpoint[EB/OL]. [2004-10-02]. [http://www.on-orbit-servicing.com/pdf/OOS2004\\_presentations\\_pdf/DefiningTheEnvironment\\_Koike.pdf](http://www.on-orbit-servicing.com/pdf/OOS2004_presentations_pdf/DefiningTheEnvironment_Koike.pdf).
- [21] Andrew M., Matthew G. On-Orbit Servicing: A New Value Proposition for Satellite Design and Operation[J]. JOURNAL OF SPACECRAFT AND ROCKETS. 2007, 44(4): 964-976.
- [22] German Federal Ministry of Education and Research. On Orbit Servicing Workshop[EB/OL]. [2004-10-01] <http://www.on-orbit-servicing.com/>
- [23] Bernd Sommer. Future Evolution of OOS & OOA[C]. CSA: DLR & JAXA, 2004.
- [24] 刘永健, 谭春林, 等. 在轨服务体系研究[C]. 空间在轨服务技术研讨会文集, 北京: 国家高技术 863-7 领域办公室, 2007: 1-8.