

# 油液分析现状与发展方向研究

黎琼炜 毛美娟 陈 勇

航空仪器设备计量总站,北京,100070



**摘要:**从技术和管理两个层面详细介绍了发达国家油液分析的现状和发展趋势;在深入研究的基础上,明确了我国在该领域存在的主要问题,结合我国国情,针对这些问题提出了相应的对策。

**关键词:**油液分析;状态监控;诊断;机械设备

**中图分类号:**TH117.1 **文章编号:**1004-132 (2004)03-0272-04

黎琼炜 博士

## Research on State-of-the-Art and Trends of Oil Analysis for Equipment

Li Qiongwei Mao Meijuan Chen Yong

Aero-instrument Test and Calibration Center, Beijing, 100070

**Abstract:** This paper presents the state-of-the-art and trends of oil analysis in view of management and technology in the developed countries in detail, based on a thorough researches, main problems in China in the field are found, and some corresponding countermeasures are put forward according to the conditions of China. The research is helpful to improve the level of applications and researches in China.

**Key words:** oil analysis; condition monitoring; diagnosis; mechanical equipment

## 0 引言

油液分析是对润滑油和其它润滑或操纵机械设备的液体进行分析,对油液或所润滑的设备状况进行评估,并提出维修建议的过程。进行油液

分析,无需对系统分解和拆卸,就可获知油品本身的性能和机械设备工况,并对机械设备进行故障检测、定位和预报,可减少维修时间和人力、物力,提高设备的完好率。本文在研究国内外油液分析现状和发展趋势的基础上,针对我国存在的问题,基于国情,提出了相应的对策。

收稿日期:2003-05-15

- [13] Vollertsen F, Prange T, Sander M. Hydroforming: Needs, Developments and Perspectives. Geiger M ed. Proceedings of 6th International Conference on Technology Plasticity. Berlin & Heidelberg: Springer-verlag, 1999
- [14] Lettermann W, von Zengen K H. Innovative Forming Technologies for Space Frame. Geiger M ed. Proceedings of 6th International Conference on Technology Plasticity. Berlin & Heidelberg: Springer-verlag, 1999
- [15] Sokolowski T, Gerkek K, Ahmetoglu M, et al. Evaluation of Material Characteristics in Tube Hydroforming: Hydraulic Bulge Testing of Tubes. Geiger M ed. Proceedings of 6th International Conference on Technology Plasticity. Berlin & Heidelberg: Springer-verlag, 1999
- [16] Wang Z R. Numerical Simulation of Some New Integrated Hydroforming Process. Geiger M ed. Proceedings of 6th International Conference on Technology Plasticity. Berlin & Heidelberg: Springer-verlag, 1999

- [17] Yuan S J, Zheng Y S, Wang Z R. The Integrally Hydro-Bugle Forming of Elliptical Shells. Altan T ed. Proceedings of 5th International Conference on Plasticity of Technology, Ohio, USA, 1996
- [18] 郎利辉. 内高压技术及其成形过程数值模拟:[博士后出站报告]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2001
- [19] Liu S D, Meuleman D. Analytical and Experimental Examination of Tubular Hydroforming Limits, SAE Technical Paper, No 980449, 1998

(编辑 卢湘帆)

**作者简介:**郎利辉,男,1970年生。Aalborg 大学生产系助理教授、博士。主要研究方向为内高压成形和先进成形技术。获中国专利 1 项,发表论文 30 篇。苑世剑,男,1963 年生。哈尔滨工业大学材料科学与工程学院材料工程系教授、博士研究生导师。王仲仁,男,1934 年生。哈尔滨工业大学材料科学与工程学院材料工程系教授、博士研究生导师。王小松,男,1976 年生。哈尔滨工业大学材料科学与工程学院材料工程系博士研究生。Joachim Danckert,男,1948 年生。Aalborg 大学生产系教授。Karl Brian Nielsen,男,1962 年生。Aalborg 大学生产系教授。

1 油液分析简介

油液分析参数见图 1。通常,油液分析主要是进行金属颗粒分析、污染度的测定和部分理化性能的分析,其中,由于金属颗粒分析可以检测、定位和预测机器浸油部件故障,因此是油液分析中最为重要的内容。目前,油液中金属屑分析主要由各种光谱仪和铁谱仪完成,污染度分析主要借助于各种颗粒计数器,理化性能测定仪器有粘度计、水分测定仪、酸碱度测定仪、闪点测定仪等。



图 1 油液分析参数

2 国外油液分析现状及发展趋势

2.1 油液分析现状

20 世纪 40 年代,美西部铁路部门率先开始对铁路机车进行油液分析,取得了巨大效益;50 年代,美海军开始对其喷气发动机实施油液光谱分析;50 年代至 60 年代早期,美陆军和空军普遍开展装备油液监控工作;70 年代,美海军开始对舰船设备进行油液监控;至 90 年代,仅美海军就有 12 000 种航空部件、20 000 种船用部件采用油液监控。

1976 年 1 月,美军根据需求强制性地成立了联合油液分析机构(joint oil analysis program, JOAP)。截止 2002 年 10 月,JOAP 在 18 个国家建立了 300 多个实验室,其中包括 2 个陆军移动实验室,共拥有 440 多台套油液光谱分析仪,并颁布了一系列油液监控技术规范,可对飞机、舰艇、直升机、坦克装甲车辆及雷达等军用装备进行有效监控。

由陆海空三军组成的 JOAP 实验室受本军种和联合机构的双重领导。实验室基本按区域分布,而不按军队的行政划分。

由于执行联合油液分析计划,军种间实现联合保障,实验室数量减少,分布趋于合理,促进了信息交流,避免了大量重复工作,取得了明显的军事效果与经济效益。

鉴于美军的成功经验,近年来,北约集团在各军种也开始实施油液光谱分析计划(spectrographic oil analysis program, SOAP),并于 2001 年 11 月颁布了相应的 7017 号协议。该计划与 JOAP 类似,其技术保障中心就是 JOAP 的技术保障中心和美驻欧洲陆军油液分析实验室;JOAP 在欧洲的实验室同时也被 SOAP 认可和授权;SOAP 和 JOAP 的油液分析标准也是一致的。至 2001 底,除希腊陆军航空兵和英国空军外,北约成员国的各军兵种都已加入该计划。

2.2 发展趋势

近年来,各种机械设备日趋先进和复杂,对油液分析技术提出了新的要求。而电子、信息、人工智能和微细加工等技术的突飞猛进及故障诊断理论的发展,则为油液监控技术革新奠定了基础。

2.2.1 管理

油液监控工作社会化、商业化和全球化是近年来国外油液监控工作管理上的趋势,出现了许多专业性的油液分析中心;在油液分析中采用代理制,由代理人或单位作为中介代理委托方将油样交专业分析单位分析;通过规范统一、签订互认协议、有偿服务等措施实现跨国联合,JOAP 和 SOAP 间的标准统一,分析结果互认就是跨国联合的典范。目前,日本、文莱、马来西亚、新加坡等国的海军和各种民用船只的油液分析工作都依托就近的 JOAP 实验室来完成,加拿大 Wearcheck 实验室已与匈牙利、德国、南非、澳大利亚等 7 个国家签订了油液分析章程,该实验室的分析结果得到这 7 个国家的认可。

2.2.2 技术

(1) 嵌入式传感器和在线监控系统 为节约分析时间,确保诊断的及时性,利用电子技术和信号处理技术,各国研制了多种新型嵌入式油液分析传感器。其中,已成功应用的有美国 Advance Technology Materials Research 研制的在线 X 荧光油磨损金属分析装置<sup>[1]</sup>、加拿大 GasTOPS 公司研制的 MetalSCAN 磨损金属监测传感器、美国代顿大学和比利时 Fluitec International 研制的在线伏安法油液氧化性能监测传感器等<sup>[2]</sup>。基于各种嵌入式油液分析传感器,各国还针对各种不同类型的武器装备,研制了油液在线监测系统。如美 PNNL (pacific northwest national laboratory)

为美海军研制了两套在线油液分析自动系统,可分别对船用燃气涡轮发动机和柴油机的润滑油、液压油理化性能、磨损金属含量等进行分析<sup>[3]</sup>;英国 Foster - Miller 公司为美空军开发了在线红外油液状态监测系统,可对油液各种理化性能进行分析<sup>[4]</sup>。

(2) 便携式和微型化仪器 近年来,各国研制了多种便携式通用油液分析仪器,以适应于外场使用,并弥补在线油液监测系统的不足。这些仪器的特点是成本较低、体积小、重量轻,对环境要求低。如美国 MIDAC 公司开发的军用便携式傅里叶红外光谱仪只有 11kg,可工作在 - 20 ~ 60 的环境中<sup>[5]</sup>。利用微机电技术,美国海军水面战争中心开发了微型燃油稀释测量计和总碱测量计<sup>[6]</sup>。

(3) 多参数、多功能、综合化油液分析仪器 为更好地确定油品和机械设备的性能和状况,必需进行多参数、多维分析,而若用传统单一功能的仪器,则对一个油样进行多参数分析就需要多种仪器,这会消耗大量的人力、物力和时间,为此,多参数、多功能、综合性油液分析仪器研制也是各国普遍关注的问题。2001 年,英国 Foster - Miller 公司研制成功油液状态监测仪<sup>[7]</sup>,可同时测量油的总酸、水分、热氧化分解、冷却剂稀释、积炭、硝化、硫化、添加剂损耗。该仪器现已用于美海军尼米兹级航母。

(4) 智能化、自动化监测系统及软件 根据油液分析数据进行自动故障定位和颗粒形貌分析是油液分析的瓶颈,长期以来,一直只能依赖于高层次的油液分析人员。近年来,由于人工智能技术和图像识别技术的发展,这两个问题的解决有了突破性的进展。英国 Swansea 大学等单位开发了 SYCLOPS 浸油颗粒自动识别软件包,利用贝叶斯置信网络进行自动颗粒识别<sup>[8]</sup>。洛克希德 - 马丁公司和美海军研究实验室共同研制的 Laser-Net Fines 则是目前唯一产品化的颗粒自动形貌辨识仪,它采用神经网络和模糊识别技术进行自动形貌分析。

(5) 远程诊断和油液分析服务 20 世纪 90 年代,挪威船级社 (DNV) 和英国劳氏船级社 (Lloyds) 等相继开展了基于 Internet 和卫星 C 站的远程油液监测技术研究与应用。1998 年,加拿大 Wearcheck 实验室建立了基于 Internet 的 WebCheck 系统,首次为世界各国用户提供网上油液分析服务。这些油液远程诊断和分析服务系统的建立,不仅加速了技术合作和信息交流,还为舰船

等远离基地的各种油液分析提供了强有力的技术支持。

(6) 融合其它监测手段的信息,对机器进行综合状态监测 国外还普遍利用信息融合技术,综合利用油液分析、振动分析等多种监测手段,对机械设备实施监测。加拿大空军于 20 世纪 90 年代末,针对 CH124 海王直升机开展了综合“健康”监测计划 (integrated health monitoring program, IHM)<sup>[9]</sup>,综合利用油液光谱、铁谱、振动、滤屑分析监测飞机的主齿轮箱。实践表明,采用 IHM 后,原本使用几小时后就要维修的 C - 22 型主齿轮箱可持续工作 500h。

### 3 我国油液分析存在问题与对策

#### 3.1 我国油液分析现状

我国从 20 世纪 80 年代开始进行油液分析工作,已对飞机、舰船、大型工程车辆等实施油液分析,并已成立了大批油液分析实验室,有些部门和行业还建成了专业的油液监测技术中心,颁布了一系列油液分析行业标准,取得了一大批高水平的研究成果。通过油液分析,已成功消除了几十起飞机发动机的严重故障隐患,准确诊断了柴油机主轴瓦、活塞销座、离合器轴承异常磨损等多起船舶故障,节约维修经费达几十亿元。

我国的油液分析主要依靠各专业实验室,主要分析对象是各类大型机械设备的润滑系统和液压系统,采用的仪器主要有光谱分析仪和污染度测定仪。

#### 3.2 存在问题

随着高新技术的发展,我国的油液分析工作有了长足的进步,但无论在管理上还是在技术上,都不能很好地满足机械设备快速更新换代和日趋复杂的需求,与国外相比,存在较大差距,主要存在如下问题: 在管理上缺乏统一部署和集中管理,造成实验室整体布局不合理,技术力量分散,各单位间技术交流合作渠道不顺畅,严重制约我国油液分析整体水平的提高。在技术上我国目前的油液分析工作主要以实验室仪器分析为主,不能完全满足外场快速分析诊断的需求。同时,由于这些仪器大都依赖于进口,其相配套的智能诊断软件往往并不能完全适用于我国机械设备,严重制约了诊断的准确性。

#### 3.3 对策

(1) 建立全国性油液分析体系,实现各行业、各部门的联合 我国可参照美 JOAP 组织,将各部门的油液分析机构联合起来,建立全国性的油

液分析体系。这样,不仅可以避免重复投资,还可实现优势互补,也便于集中优势力量,解决重大或急需的技术难题。全国联合油液分析体系构想见图2。全国性的油液分析技术保障中心可依托现有的专业技术中心组建,地区性专业实验室负责本地区机动保障和深层次油液分析。为尽快实现全国油液分析联合,必需首先建立和健全油液分析管理和技术法规体系。

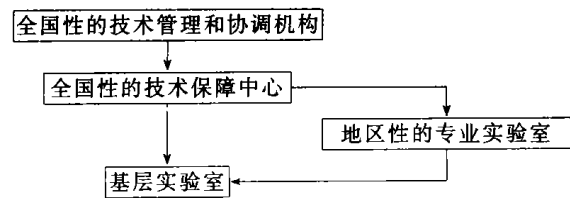


图2 全国联合油液分析体系

(2) 研制随行式油液分析系统 目前,我国油液分析主要依赖各种实验室仪器,这些仪器普遍较昂贵,分析所需时间较长,且不能用于外场,必需研制随行式油液分析仪器。所谓随行式油液分析系统可分为两类:一类是系统成为被监测设备的组成部分,通常采用嵌入式传感器,对油样进行连续分析;另一类是系统独立于被监测设备,通常是便携式小型化仪器,在现场完成油样分析。此类系统的特点是能及时反映机械设备信息,机动性好、操作简单,适用于外场,价格普遍较低,便于大批量配备。

(3) 研究适应于我国机械设备的智能油液分析技术 我国的油液分析一线工作人员往往文化程度有限,且流动性较大,而依赖我国现有的油液分析仪器对机械设备进行准确故障定位,需摩擦学、模式识别等专业知识和长期的经验积累。目前,我国虽然已研制了一批油液分析专家系统,但故障定位还不够准确,虚警率较高,因此,迫切需要进一步研究智能油液分析技术,实现高精度的自动油液分析和故障诊断。智能油液分析技术的研究重点有两个,一是磨粒自动识别方法,二是各种机械设备的油液分析判断标准。

(4) 建立全国性油液分析信息和远程诊断网络 建立油液监测信息和远程诊断网络不仅可以缓解我国油液分析点多,但油液分析专家有限的矛盾,还可为油液分析技术人员和决策者提供及时掌握情况和进行技术交流互助的信息平台。目前,我国的信息化基础建设已初具规模,互联网和自动电话交换网已遍布全国,且近年来我国远程诊断技术也有了长足的进步,因此,建立这样的网络是完全可行的。

参考文献:

[1] Nelson I. Compact High Performance XFS Instrument for On - Line Real - Time Metal Analysis of Lubricating Oils. JOAP International Condition Monitoring Conference, Mobile, Alabama, USA, 2000

[2] Kauffman R E, Ameye J. Development and Seeded Fault Engine Test Evaluation of On - Line Oil Condition Monitoring Sensors for the Joint Strike Fighter. JOAP International Condition Monitoring Conference, Mobile, Alabama, USA, 2002

[3] Wilson B W, Silvernail G. Automated In - Line Machine Fluid Analysis for Marine Diesel and Gas Turbine Engines. JOAP International Condition Monitoring Conference, Mobile, Alabama, USA, 2002

[4] Chadha S, Stevenson C, Kyle W, et al. On - line Oil Condition Monitor a Cost Effective Cross - platform Tool for Condition Based Maintenance. JOAP International Condition Monitoring Conference, Mobile, Alabama, USA, 2000

[5] Tack L M. A Portable FTIR for Field Analysis of Lubricants. JOAP International Condition Monitoring Conference, Mobile, Alabama, USA, 2000

[6] Jarvis N L, Wohltjen H. Solid - State Microsensors for Lubricant Condition Monitoring - Part : Fuel Dilution Meter. Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, 1994(9) :689 ~ 693

[7] Rowe R, Henning P, Damren R, et al. On - Line Oil Condition Monitor. JOAP International Condition Monitoring Conference, Mobile, Alabama, USA, 2002

[8] Nowell T J, Curran A, Pyestock D, et al. The Development of a Software Based Tool for the Systematic Classification of Oil - wetted Particles (SYCLOPS) for Use by the Royal. JOAP International Condition Monitoring Conference, Mobile Alabama, USA, 2000

[9] Donahue A, Fisher G. CH124 Main Gearbox Integrated Health Monitoring Program - Three Case Studies. JOAP International Condition Monitoring Conference, Mobile, Alabama, USA, 2000

(编辑 苏卫国)

作者简介:黎琼炜,女,1972年生。航空仪器设备计量总站博士。研究方向为航空测试和状态监控。获部委科技进步二等奖1项。发表论文23篇。毛美娟,女,1939年生。航空仪器设备计量总站高级工程师。陈 勇,男,1962年生。航空仪器设备计量总站硕士。