

Mechanical Fault Diagnosis Examples of the Ship Based on the Oil Detection

Feng Chen

Shanghai Branch of the Ship, Sinopec Offshore Oil Engineering Co., LTD., Shanghai
Email: 908963326@qq.com

Received: May 2nd, 2016; accepted: May 16th, 2016; published: May 23rd, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The management of marine lube use directly affects the reliable operation of the machinery and equipment, so regular inspection of marine lube is an important part of the ship's machinery management. Through oil analysis of ship machinery, and understanding the quality of the oil and the operation condition of mechanical equipment of ship machinery, this paper provides instance analysis on fault diagnosis of ship machinery and puts forward corresponding management advice.

Keywords

Oil Analysis, Fault Diagnosis, Routine Physical and Chemical Analysis, Spectral Analysis

基于油液检测的船舶机械故障诊断实例

陈 峰

中石化海洋石油工程有限公司上海船舶分公司, 上海
Email: 908963326@qq.com

收稿日期: 2016年5月2日; 录用日期: 2016年5月16日; 发布日期: 2016年5月23日

摘 要

船用润滑油的使用管理直接影响机械设备的可靠运行, 因此对船用润滑油进行定期检验是船舶机务管理

的重要组成部分。通过对船舶机械的油液分析，了解船舶机械在用油的品质及机械设备的运转状况，为船舶机械故障诊断提供实例分析并提出相应的管理建议。

关键词

油液分析，故障诊断，常规理化分析，光谱分析

1. 引言

船舶柴油机润滑油的使用管理直接影响其可靠运行[1]-[3]，因此对船用润滑油进行定期检验是船舶机务管理的重要组成部分。船用润滑油的分析化验一般包括常规理化、光谱分析、铁谱分析和颗粒计数分析等[4]-[6]，通常，通过常规理化检测和光谱检测来进一步确认船用油的品质性能及机械设备的运转状态。作为机务管理人员或船上高级轮机人员，特别是大管轮和轮机长，应该掌握分析润滑油检测化验报告技能，以便对所管理的船舶机械设备的润滑状况进行分析判断，从而做到心中有数。

2. 油液分析技术简述

2.1. 常规理化分析技术

理化性能分析是利用常规理化性能分析仪测量润滑油的黏度、水分、总碱值(TBN)、机械杂质或不溶物、闪点、总酸值、凝点、灰分、残炭等指标；或者利用油料红外光谱仪对润滑油因降解、衰败、污染而导致的性能变化进行定性与定量的分析，包括测定结焦物质、积炭成分、燃油稀释、水分、添加剂消耗、氧化物、硫化物、硝化物等。常规理化性能检验是油液检测的基础内容，不仅可以反映润滑油本身性能的变化，而且还可以判断机械设备相应的技术状态。

2.2. 光谱分析技术

光谱分析技术是通过分析润滑油中金属磨损微粒的材料成分和数量，对比机械设备使用过程中金属磨损微粒数量的变化速度，了解机械设备摩擦副的磨损情况，以正确判断机械设备异常和预测故障，为机械设备科学检修提供依据。此外，通过润滑油的光谱分析，还可以分析得到润滑油中的添加剂元素含量和污染物元素含量，由此可以对机械设备所使用的润滑油的品质及污染状况进行判断和评价，同时也是诊断机械设备因其他原因而造成故障[7] [8]。

目前，在油液检测技术中使用较多的原子发射光谱仪器主要由美国 SPECTRO INCORPORATED 公司的 M 型和美国 BAIRD CORPORATION 公司的 MOA 型油液分析直读光谱仪。这两种仪器在美国三军油料检测机构中应用也相当普遍，它们可以定量检测润滑油及燃油油样中的磨损微粒、污染元素、添加剂成分等，其检测精度高，分析速度快，1 h 可分析 60 个油样，并突破了光谱仪不能检测大磨粒的限制，可以检测铝、铁、银、硅、钛、镁等 6 种元素的较大颗粒。它们操作简单，由于仪器采用全封闭，所以可以用于污染环境下现场检测。

MOA 原子发射光谱测量的原理基于以下公式

$$\text{Conc} = A * (IR)^3 + B * (IR)^2 + C * (IR) + D(1)$$

式中：A、B、C 和 D 为常数；IR 为强度比例；Conc 为元素含量。

利用发射光谱分析及技术，可测定下列元素的含量：铁(Fe)、铜(Cu)、铅(Pb)、铝(Al)、硅(Si)、铬(Cr)、镁(Mg)、钠(Na)、镍(Ni)、锡(Sn)、钛(Ti)、硼(B)、钡(Ba)、钼(Mo)、锌(Zn)、钙(Ca)、磷(P)、锑(Sb)、锰

(Mn)和银(Ag)。

其中，应重点分析以下元素：

1) 与磨损金属(曲轴、轴承、缸套活塞环等部分材料)有关的元素：铁(Fe)、铜(Cu)、铅(Pb)、铝(Al)、镍(Ni)、铬(Cr)、锡(Sn)、钼(Mo)等；

2) 与污染有关的元素(来自空气或冷却水)：镁(Mg)、钠(Na)、硅(Si)、钙(Ca)等；

3) 与添加剂有关的元素：钡(Ba)、硼(B)、钙(Ca)、镁(Mg)、磷(P)、锌(Zn)、钠(Na)等。

油样光谱分析所获得的油样中含有的各种元素的成分及其含量，是评价柴油机磨合过程磨损程度的一个重要指标。每种磨损元素浓度绝对值的大小与柴油机中某种摩擦副磨损量的多少有直接的关系，可判断磨粒产生的部位。例如，铁(Fe)元素主要来自气缸套、气阀、摇臂、活塞环、滚动轴承、轴瓦等部件，铜(Cu)元素主要来自轴承、轴套等部件，铅(Pb)元素主要来自轴瓦部件，铝(Al)元素主要来自活塞、凸轮轴、轴瓦等部件[9]-[11]。

3. 润滑油常规理化分析案例

表 1 为目前世界范围内各知名供油商或检测机构对船用润滑油的常规理化指标提出的船用润滑油常规理化指标的警告值与极限值，虽然目前没有相应国际标准和国内标准，但对油液数据分析仍然具有重要的参考价值。

实例 1

表 2 为某船舶发电柴油机系统油 4030 的常规理化检测数据，从表中的数据发现，黏度和机杂均已超过表 1 所示的极限标准，表明该发电柴油机的润滑油已经严重劣化变质，不能满足柴油机的润滑要求，所以建议更新全部柴油机润滑油，以确保其可靠运行。

同时，为了便于轮机管理人员对船用润滑油化验数据的分析判断，应向供油商索取所用油的技术数据或者通过其官方网站查找所用润滑油的相关技术参数，这样做一方面为了对所使用润滑油的性能进行充分了解，另一方面也为船舶机械在用油的化验分析数据提供判断依据。如果没有船舶机械所使用新油的相关技术参数，同时，机务和相关管理人员又不了解该油的性质，就很难对化验机构提供的润滑油分析报告进行评判，因此也就失去了对油品进行分析化验的目的和意义。

表 3 为某船舶主柴油机系统油 4008 的常规理化分析数据，同样，从表中的分析数据发现，黏度和机械杂均已超过表 1 所示极限标准，表明该润滑油已经严重劣化变质，不能满足柴油机的润滑需要，所以应更新全部润滑油。

实例 2

表 4 为某船舶发电柴油机系统油 4030 的常规理化分析结果，从表中的数据可以发现，除水分指标外，其他各项指标均在表 1 所示的正常范围内，并且该油样在送检时并未发现乳化变质的情况，因此建议船舶轮机人员立即查找漏泄部位，另一方面建议追加光谱分析，以确认该水分是淡水还是海水，因为常规理化检测无法确定油品中的水分是否属于淡水还是海水，只有通过光谱检测是否含有高浓度的钠、镁、钾等元素，才能确定润滑油中水分的性质。该样品经光谱分析后发现并未含有高浓度的钠、镁、钾等元素，从而可以确认该水分为淡水，于是立即建议船舶轮机人员查找该淡水的泄漏源，并要求轮机人员加强润滑油的分离，以便分离掉润滑油中的水分，使油品的使用性能得以恢复正常。

实例 3

表 5 为某船舶热油锅炉的热导油的常规理化检测数据，从表中的数据可以发现，该油的闪点指标已严重超过表 1 的标准，因此建议船东查找原因。一般其原因有两种，一种是因为油品长时间使用后衰变劣化所致；另一种是由于该系统漏泄等原因混入了低闪点的柴油或燃油所致。在查找到具体原因后再更

Table 1. Marine oil warning value and limit to conventional physical and chemical indicators**表 1. 船用润滑油常规理化指标的警告值与极限值**

项目	黏度	水分/%	碱值	机械杂质/%	闪点/°C
警告值	±25%	0.5	±50%	0.1	<200
极限值	±30%	1.0	±75%	0.2	<170

Table 2. Routine physical and chemical analysis data of ship vice machine system oil**表 2. 某船副机系统油常规理化分析数据**

项目	黏度(40°C)/cSt	水分/%	碱值	机械杂质/%	闪点/°C
分析值	175.3	无	23	0.386	232

Table 3. Routine physical and chemical analysis data of ship main engine system oil**表 3. 某船主机系统油常规理化分析数据**

项目	黏度(40°C)/cSt	水分/%	碱值	机械杂质/%	闪点/°C
分析值	177.4	无	5	0.443	232

Table 4. Routine physical and chemical analysis data of ship vice machine system oil**表 4. 某船副机系统油常规理化分析数据**

项目	黏度(40°C)/cSt	水分/%	碱值	机械杂质/%	闪点/°C
分析值	138.2	0.6	26	0.0632	230

Table 5. Routine physical and chemical analysis data of heat transfer oil of hot oil boiler**表 5. 某热油锅炉的热传导油常规理化分析数据**

项目	黏度(100°C)/cSt	水分/%	碱值	机械杂质/%	闪点/°C
分析值	6.12	无	Pass	0.003	170

新全部热导油，一方面可以避免事故的再次发生，另一方面也避免了严重的事故隐患。

事实上，闪点指标是热导油最为重要的一项指标，如果热导油的闪点太低，热油锅炉就存在爆炸的危险。因此，作为闭式系统的热导油，其闪点一般需要确保在 220°C 以上。

实例 4

表 6 为某船舶发电柴油机系统油 3030 的常规理化分析数据，从表中的数据发现，黏度和闪点指标已超过表 1 所示的标准，而其他各项指标基本在正常范围内，同时，该油品在送检时有强力的柴油气味，因此可以判断油品中混入柴油，因此，建议船上查找混入柴油的原因，同时建议全部更新润滑油，以避免发电柴油机恶性事故的发生。

4. 润滑油光谱分析

实例 1

表 7 为某船舶发电柴油机系统油 4030 的 3 次连续光谱检测数据，由于该船为新造船舶，3 次光谱分析均为船舶投入使用后的连续检测数据。从 3 次连续检测数据中可以发现，铁、铅和铜等元素明显呈连续升高的趋势，因此，怀疑该发电柴油机存在磨合不良的问题，导致汽缸套及轴瓦的异常磨损，立即建议船上吊缸检查气缸组件的磨损状况。船上吊缸检查后发现，汽缸套、活塞环的磨损率确实远远大于标准，立即采取相应的措施，从而避免了恶性事故的发生。

实例 2

图 1 为某船舶主机连续光谱检测数据图, 经检测发现, 在 2005 年 8 月 11 日以前的各次光谱检测数据均比较稳定, 但 8 月 11 日检测的光谱分析数据却呈明显的上升趋势, 表明可能存在汽缸套异常磨损的问题, 因此建议船舶所有人再次取样分析。在 2005 年 9 月 3 日再次取样光谱分析发现, 各磨损性元素依然呈上升的趋势, 并且上升幅度增加较快, 因此进一步怀疑缸套异常磨损, 建议船上立即吊缸检修, 吊缸后轮机人员发现主机缸套和活塞环确实异常磨损, 从而避免了拉缸等事故的发生。

实例 3

图 2 为某船舶主推进动力装置的连续光谱数据趋势图, 主要监测其磨损性元素铜、铁、铝和铅的变

Table 6. Routine physical and chemical analysis data of ship vice machine system oil

表 6. 某船副机系统油常规理化分析数据

项目	黏度(40℃)/cSt	水分/%	碱值	机械杂质/%	闪点/℃
分析值	92.36	无	23	0.048	173

Table 7. Spectrometric analysis data of ship vice machine system oil

表 7. 某船副机系统油(4030)的光谱分析数据

分析项目	1	2	3
Iron (Fe)铁	15.3	34.0	53.7
Lead (Pb)铅	3.6	8.4	17.4
Copper (Cu)铜	3.6	6.1	10.7
Tin (Sn)锡	0.0	0.0	0.0
Antimony (Sb)锑	4.0	4.9	6.1
Chromium (Cr)铬	3.6	6.0	8.9
Aluminum (Al)铝	7.3	11.3	12.8
Nickel (Ni)镍	15.2	38.6	56.4
Molybdenum (Mo)钼	0.3	0.0	0.0
Vanadium (V)钒	30.5	70.4	93.2
Silicon (Si)硅	10.5	11.2	12.8
Calcium (Ca)钙	>10,000	>10,000	>10,000
Sodium (Na)钠	73.0	97.0	127.4
Phosphorus (P)磷	382.2	383.0	363.8
Zinc (Zn)锌	591.6	570.1	545.0
Magnesium (Mg)镁	82.3	82.2	74.8
Barium (Ba)钡	2.7	2.4	2.4

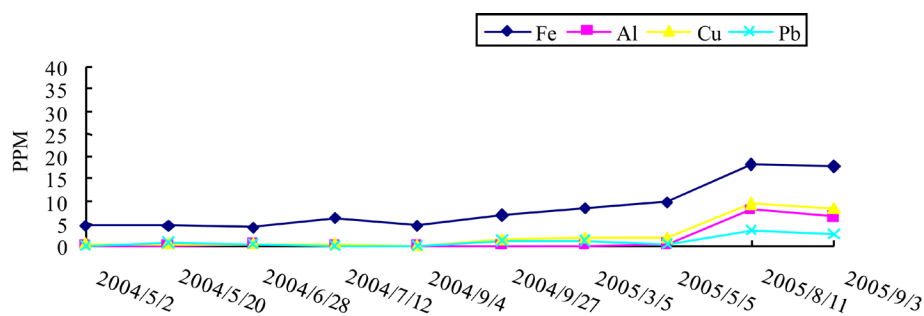


Figure 1. Spectrometric analysis trend chart of main engine

图 1. 某船主机连续光谱分析的趋势图

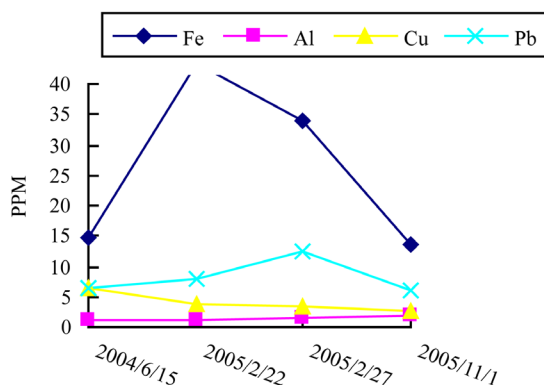


Figure 2. Spectrometric analysis trend chart of main engine

图 2. 某船主机连续光谱分析的趋势图

化趋势。从图中可以发现，在 2005 年 2 月 22 日光谱检测数据出现了异常突变，铁元素升高较快，而其他磨损性元素却相对稳定。因此，怀疑主机缸套可能存在异常磨损的问题，立即建议船上吊缸检修，吊缸后发现主机缸套和活塞环均存在异常磨损。在采取相应的措施后，随后的 2 次跟踪光谱检测发现磨损性元素含量均呈下降趋势，表明该柴油机的运转恢复了正常。

从上述 3 个实例中可以看出，油液光谱检测的主要作用是判断船舶机械设备的磨损情况，为其视情维修提供相应的技术依据。

5. 结论

通过上述分析可知，船舶机械的油液分析能够有效地防止其突发事故的发生，为船舶设备开展视情维修提供技术支持。

参考文献 (References)

- [1] 满一新. 轮机维护与修理[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2001.
- [2] 张翠凤, 龚光寅. 机械设备润滑技术[M]. 广州: 广州高等教育出版社, 2001.
- [3] You, Y.-L., Yang, K., Su, M., et al. (2009) Failure Analysis of the Corrugated Pipe. *Heat Treatment of Metals*, **30**, 74-77.
- [4] Meakawa, K. (2001) Experimental Estimation for Behavior of Cylinder Oil on Cylinder Liner Surface. *Bulletin of the JIME*, **29**, 62-66.
- [5] 董凌修. 润滑原理及润滑油[M]. 北京: 中国石化出版社, 1998.
- [6] 张晨辉, 等. 设备润滑与润滑油应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.
- [7] 陈国, 左洪福. 润滑油金属磨粒的分类参数研究[J]. *航空学报*, 2002, 23(3): 279-281.
- [8] 王伟华, 殷勇辉, 王成焘. 基于径向基函数神经网络的磨粒识别系统[J]. *摩擦学学报*, 2003, 23(4): 340-343.
- [9] Wu, T., Peng, Y., Wu, H., Zhang, X. and Wang, J. (2014) Full-Life Dynamic Identification of Wear State Based on On-Line Wear Debris Image Features. *Mechanical Systems and Signal Processing*, **42**, 404-414. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ymssp.2013.08.032>
- [10] Wu, T., Wu, H., Du, Y., Kwok, N. and Peng, Z. (2014) Imaged Wear Debris Separation for On-Line Monitoring Using Gray Level and Integrated Morphological Features. *Wear: An International Journal on the Science and Technology of Friction Lubrication and Wear*, **316**, 19-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2014.04.014>
- [11] Wang, J., Zhang, L., Lu, F. and Wang, X. (2014) The Segmentation of Wear Particles in Ferrograph Images Based on an Improved Ant Colony Algorithm. *Wear: An International Journal on the Science and Technology of Friction Lubrication and Wear*, **311**, 123-129. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2014.01.004>