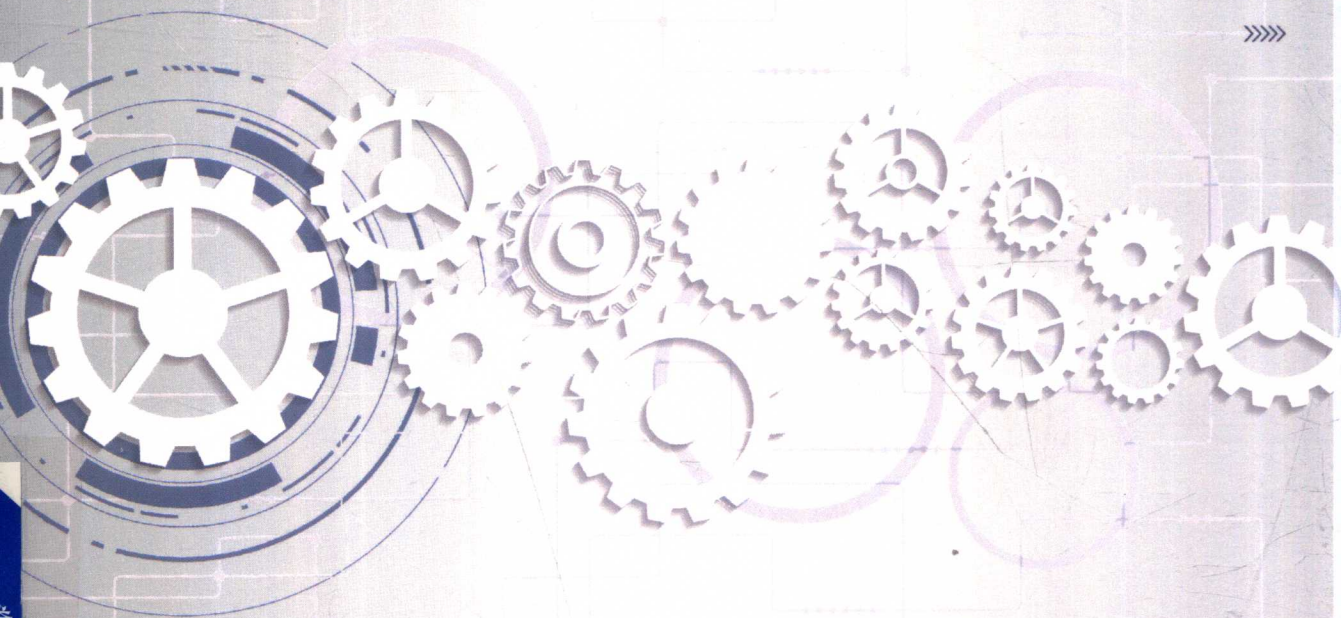


机械 润滑故障 与油液分析

刘峰壁 任和 著



»»»»



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

机械 润滑故障 与油液分析

上

刘峰壁 任和 著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

内容简介

本书围绕与润滑有关的机械故障的监测,结合大量实例,介绍了机械失效模式及其影响和危害性分析方法;常用机械零件和系统的构造特点、润滑方法、故障形成和失效特征;润滑剂的组成、性能、试验方法;润滑剂的失效及维护。主要供从事机械设备管理、维修以及磨损和润滑状态监测的人员阅读,也可供从事机械设计和使用的人员使用,或作为有关行业技术培训之用。

图书在版编目(CIP)数据

机械润滑故障与油液分析. 上 / 刘峰壁, 任和著. —广州: 华南理工大学出版社, 2019.2

ISBN 978-7-5623-5917-3

I. ①机… II. ①刘… ②任… III. ①机械设备-润滑管理 ②机械采油
IV. ①TH117.2 ②TE355.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第025997号

Jixie Runhua Guzhang Yu Youyue Fenxi · Shang

机械润滑故障与油液分析. 上

刘峰壁 任和 著

出版人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学17号楼, 邮编510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 吴兆强

责任编辑: 吴兆强

印刷者: 虎彩印艺股份有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 13.5 字数: 296千

版 次: 2019年2月第1版 2019年2月第1次印刷

定 价: 42.00元

前 PREFACE 言



在过去的几十年里，设备维护和监测技术取得了极大发展。视情维修（CBM）和以可靠性为中心的维修（RCM）日益成为使设备使用效益最大化的得力工具。在解决设备“什么时候维修和维修什么”的问题时，设备维护人员也越来越多地开始运用状态监测数据进行决策。

机械设备润滑是决定设备寿命、性能和使用成本的关键。本书围绕机械设备的合理润滑及润滑状态监测，结合大量实例，阐述了常见机械零件及系统的构造、特点、故障形成及失效模式和特征；润滑剂的组成、特性及其常用试验方法；润滑剂的失效、影响和日常维护。此外，鉴于失效模式以及其影响和危害分析（FMECA）在故障根源分析和监测方法选择方面的重要性，本书通过实例简要介绍了FMECA在润滑状态监测或油液分析中的应用。

本书在完成过程中得到胡青青、沈自林、张丽燕和吕梅香等老师的帮助，在此表示感谢。

由于本人水平有限，书中错误在所难免，敬请读者批评指正。联系邮箱：fengbi.liu@163.com。

著 者
2018年12月

佛山科学技术学院广东省机器油液监测与 分析工程技术中心配套经费资助

前
言

目
录



目 录
CONTENTS

 1 绪 论 001

1.1 概述	/ 003
1.2 油液分析的策略	/ 004
1.2.1 新油分析	/ 004
1.2.2 在用油分析	/ 006
1.2.3 小结	/ 010
1.3 油液分析的任务及效益	/ 011
1.4 回顾	/ 015

 2 设备的失效与维修 019

2.1 机器的失效	/ 020
2.1.1 早期失效	/ 021
2.1.2 随机性失效	/ 023
2.1.3 时间性失效	/ 025
2.1.4 状态性失效	/ 027
2.1.5 使用寿命最大化	/ 029
2.1.6 生产能力最大化	/ 029
2.2 失效及其原因分析	/ 030
2.2.1 设备原制造商（OEM）的数据	/ 031

2.2.2 失效根源分析	/ 034
2.2.3 失效的计算机建模	/ 034
2.2.4 技术购买	/ 034
2.2.5 历史数据分析	/ 035
2.2.6 事后评价	/ 036
2.2.7 失效模式、影响及危害性分析	/ 036
2.3 维修要求	/ 040
2.4 维修方式	/ 041
2.4.1 事后维修	/ 042
2.4.2 预防性维修（PM）	/ 043
2.4.3 视情维修（CBM）	/ 045
2.4.4 以可靠性为中心的维修（RCM）	/ 049
2.4.5 视情维修和以可靠性为中心的维修对设备监测的要求	/ 050

 3 机械润滑 053

3.1 引言	/ 054
3.2 润滑剂的基本功能	/ 055
3.2.1 承受载荷并隔开摩擦面	/ 055
3.2.2 冷却零件	/ 060

3.2.3	控制腐蚀与锈蚀	/ 061	3.5.3	灰分	/ 077
3.2.4	控制摩擦和黏着磨损	/ 062	3.5.4	色度	/ 078
3.2.5	维持氧化稳定性和中和酸	/ 063	3.5.5	铜抗腐蚀性	/ 078
3.2.6	分散和悬浮积炭	/ 063	3.5.6	抗乳化性	/ 079
3.2.7	控制磨粒磨损和冲蚀磨损	/ 066	3.5.7	密度和比重	/ 080
3.2.8	抑制成泡和乳化	/ 067	3.5.8	闪点和燃点	/ 080
3.3	润滑油的类型	/ 067	3.5.9	成泡性	/ 081
3.3.1	API I——蒸馏/溶剂精炼石油基 润滑油	/ 067	3.5.10	水解稳定性	/ 082
3.3.2	API II——加氢裂化石油基润 滑油	/ 068	3.5.11	中和值 (NN/AN/BN)	/ 083
3.3.3	API III——严重加氢裂化石油基 润滑油	/ 069	3.5.12	氧化稳定性	/ 084
3.3.4	API IV——合成聚 α 烯烃	/ 069	3.5.13	倾点和浊点 (雾点)	/ 086
3.3.5	API V——合成酯、二酯、乙二 醇等	/ 070	3.5.14	沉淀值 (不溶物)	/ 087
3.4	润滑剂添加剂	/ 071	3.5.15	戊烷不溶物	/ 087
3.4.1	抗泡剂	/ 072	3.5.16	皂化值	/ 088
3.4.2	抗氧化剂	/ 072	3.5.17	硫含量	/ 089
3.4.3	抗磨剂	/ 072	3.5.18	黏度	/ 090
3.4.4	腐蚀抑制剂	/ 073	3.5.19	抗磨和承载特性	/ 098
3.4.5	清净剂和分散剂	/ 073	3.5.20	相容性	/ 100
3.4.6	极压 (EP) 添加剂	/ 074	3.6	润滑脂	/ 101
3.4.7	摩擦改进剂	/ 074	3.6.1	铝皂和铝复合皂润滑脂	/ 101
3.4.8	倾点改进剂	/ 075	3.6.2	钙皂和钙复合皂润滑脂	/ 102
3.4.9	防锈剂	/ 075	3.6.3	锂皂和锂复合皂润滑脂	/ 103
3.4.10	黏附剂	/ 075	3.6.4	钠皂润滑脂	/ 104
3.4.11	黏度指数改进剂	/ 075	3.6.5	有机粘土润滑脂	/ 104
3.5	润滑剂的特性及其试验	/ 075	3.6.6	聚脲和聚脲复合润滑脂	/ 104
3.5.1	苯胺点	/ 076	3.6.7	硅润滑脂	/ 105
3.5.2	防锈性	/ 076	3.7	润滑脂的特性及试验	/ 105
			3.7.1	稠度	/ 105
			3.7.2	铜抗腐蚀性	/ 106
			3.7.3	滴点	/ 107
			3.7.4	蒸发性和分油性	/ 107

3.7.5	可泵性和塌陷性	/ 109
3.7.6	氧化稳定性	/ 109
3.7.7	抗水洗性	/ 110
3.7.8	防磨和承载能力	/ 111
3.8	国内外润滑剂试验方法	/ 113
3.8.1	润滑油特性试验	/ 113
3.8.2	润滑脂特性试验	/ 117



4 机械系统和机械零件 121

4.1	油润零部件	/ 122
4.4.1	滑动轴承	/ 122
4.1.2	滚动轴承	/ 124
4.1.3	活塞、活塞环和缸套组件	/ 126
4.1.4	齿轮	/ 127
4.1.5	花键联轴器	/ 129
4.1.6	链和链轮	/ 129
4.2	机械系统	/ 130
4.2.1	工业循环油系统	/ 131
4.2.2	集中全损耗润滑用润滑器	/ 136
4.2.3	通用轴承系统	/ 136
4.2.4	工业机床	/ 140
4.2.5	机械压机和冲压机	/ 141
4.2.6	齿轮系统	/ 141
4.2.7	变速箱系统	/ 143
4.2.8	液压系统	/ 144
4.2.9	曲轴箱系统	/ 147



5 润滑油的过滤与纯化 155

5.1	油液清洁度	/ 156
5.1.1	认识油液清洁性的步骤	/ 156
5.1.2	过滤系统评级	/ 159
5.2	过滤系统的类型	/ 160
5.2.1	筒形介质过滤	/ 160
5.2.2	深度型介质过滤	/ 161
5.2.3	金属滤网过滤	/ 162
5.2.4	涡旋式分离	/ 162
5.2.5	静电过滤	/ 163
5.2.6	磁过滤	/ 163
5.2.7	静置和沉淀	/ 163
5.3	纯化	/ 164
5.3.1	电子纯化原理	/ 164
5.3.2	化学介质纯化原理	/ 165
5.3.3	除水原理	/ 167
5.4	过滤器的选择	/ 169
5.4.1	提高去除颗粒污染物的效率	/ 169
5.4.2	提高除水效率	/ 171

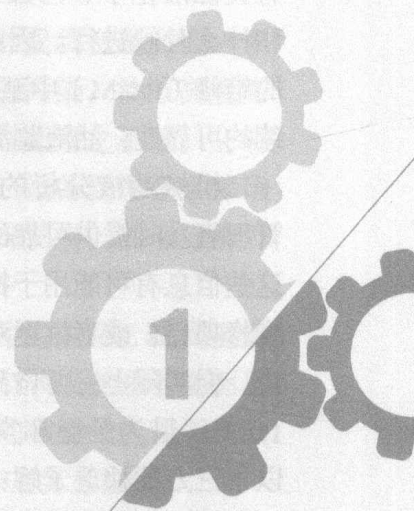


6 机器失效模式 173

6.1	引言	/ 174
6.2	油液常见问题	/ 174
6.2.1	颜色变化	/ 175
6.2.2	出现可见污染物	/ 176

6.2.3	气味变化	/ 176	6.4.3	添加剂耗尽	/ 188
6.2.4	稠度变化	/ 176	6.5	过滤器失效模式	/ 188
6.2.5	黏度变化	/ 177	6.6	设备的磨损阶段和失效模式	/ 190
6.2.6	加错油	/ 178	6.6.1	磨合磨损	/ 191
6.3	与污染有关的失效模式	/ 179	6.6.2	正常磨损	/ 191
6.3.1	水污染	/ 179	6.6.3	异常磨损机理和征兆	/ 192
6.3.2	乙二醇污染	/ 181	6.6.4	其他磨损/损坏模式	/ 199
6.3.3	燃油稀释	/ 181			
6.3.4	固体颗粒物和尘土污染	/ 182			
6.4	与油液失效模式有关的降解	/ 184			
6.4.1	石油基润滑油的氧化降解	/ 184			
6.4.2	合成酯的降解	/ 187			

主要英文名缩写中、英文含义对照	/ 202
参考文献	/ 204



绪论

设备正常运行离不开可靠的润滑，它需要设备管理者具备各种设备润滑状态和性能的最新知识。近年来，在进行设备维修决策时，维修人员已经越来越多地应用有关油液化学、污染物和金属磨粒等方面的知识及其他运行数据决定进行什么维修和什么时候进行。因此，机器油液分析已成为视情维修（CBM）和以可靠性为中心的维修（RCM）中至关重要的组成部分。为了使对所有潜在故障的预测/诊断都有持续的可靠性，油液监测必须和其他监测技术配合使用。

机械油液分析的主要功能是向设备管理者及时提供可靠的油液和机器信息。这些信息有可能用于推迟某个具体的计划维修项目，或者推迟对某个异常状态的检查。但实际上，要做到这一点比较难（图1.1）。最为关键和常被忽略的原因是对以下三方面缺乏了解：

- （a）设备和油液失效的机理；
- （b）主要和次要失效模式的征兆；
- （c）与具体失效模式相关的状态

指标。



图1.1 毁坏的滚动轴承

油液分析的经济效益主要来源于以下几个方面：早期发现问题；可靠的征兆溯源；及时对机器维修或对润滑剂进行干预；推迟不必要的维修计划。实施合理的油液监测计划将减少次生损坏、增加零件的预期寿命、降低维护成本并增加有效工作时间。在美国，根据对铁路部门、军队的调查和凯特皮勒公司的统计，在状态监测上每投入1美元可以使维修费用节约8~10美元。

为了对油液分析的效益和过程有一个更好的理解，有必要简要回顾一下机械润滑，油液的功能、试验和数据表达等。一个好的油液分析计划必须融入或者成为设备润滑规划的一部分。润滑过程，如润滑剂的选择、购买、存储、分配、加注和废弃等都可能对油液分析产生积极或消极的影响。为了使油液分析的效益最大化，就必须对这些消极影响有所了解，并试图予以消除。

此后的章节将讨论如何从机器油液分析中获得最大的经济效益，具体涉及：

- （a）哪些机器适合于进行油液监测；
- （b）与油液相关的失效模式；
- （c）哪种油液监测方案最合适；
- （d）对油液采样监测还是采用在线传感器；
- （e）采样的方法、时机和位置；
- （f）采用何种试验方法；
- （g）如何表达从传感器和仪器获得的数据；
- （h）如何实施、完成和修正油液监测方案。

1.1 概述

油液从进入运行着的机器的那一刻起,就开始发生降解,并受到金属磨粒、氧化物和外部物质,如水、燃油、灰尘和(或)工艺过程材料等的污染。油液高度降解或污染通常预示着机械或润滑剂出现某种形式的失效。如果对此置之不理,它将导致机器出现更多的损坏或失效。为保证设备运行可靠性最大,设备管理者必须确定润滑剂是否有效工作,以及是否有污染、降解和过度磨损情况发生。油液分析可以用来监测这些失效模式。

传统上,设备使用者一直用油液分析确定润滑液和油润零件的寿命。现代视情维修和以可靠性为中心的维修认为,油液分析的重点应放在为制订设备维修计划而足够早地提供设备的状态信息上。设备和润滑剂寿命的统计数据 and 可靠性信息用于建立初步维修计划,而状态监测和运行数据可用于确立最终的维修工作方案和程序。

为确定哪个零件“有缺陷”而进行的监测和为确定哪台设备“继续使用没问题”而进行的监测之间很难区别,但两者的成本效益差别却很大。前者只是要减少次生损坏(图1.2)。而后者,则意在消除不必要的维修,从而最大限度地利用零件和劳动力——这具有重大的经济效益。现代视情和以可靠性为中心的维修的油液分析有两个重要功能:

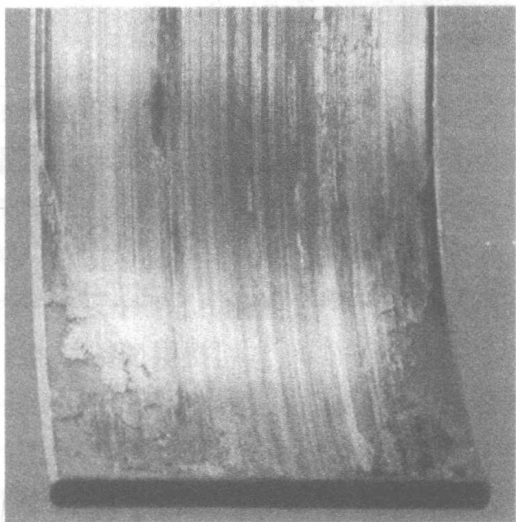


图1.2 咬死是贫油或润滑油耗尽所造成的轴承损坏的最后阶段

(1) 日常状态监测。用于确定可能出现的润滑和摩擦学问题的本质。这包括周期性采样、分析测试、测试数据的解释及确定以下两条对设备维修至关重要的信息:

(a) 正常运行零件的状态。据此对预先安排的维修时间和计划好的任务进行调整,从而最大限度地减少不必要的零件更换和劳动成本。

(b) 与油液相关的失效模式的严重性及其对机器运行的潜在影响。对所有的异常报警,应在损坏扩大和失效发生之前安排合理的补救维修。若提早报警,一般能将所需的维修推迟在正常计划的维修时间进行。

(2) 可靠性监测。保证油液监测方案持续有效。一般来说,可靠性可被定义为一个系统在某一性能水平上工作一定时间周期的概率。为了达到某个可靠性水平,系统的每个零件和(或)功能都需要达到这个可靠性水平。从系统观点看,周期性地定期进行可靠性评估将保证所有监测活动的持续有效,这些活动包括采样程序、测试方法、报警界限、数据表达准则及所需的报告过程。

在履行上述功能时，周期性地从各设备中采取油样并分析，以确定：

- (a) 侵入的污染物的量及其特性；
- (b) 油液的化学特性；
- (c) 由腐蚀和磨损而产生的金属颗粒的量及其特性。

经验已经表明，油液的化学特性和污染物数据能可靠地指明很多常见的与油液有关的设备失效模式。专业分析师或专家可根据测试数据对异常情况进行解释，并提出合理的维修建议。但很多因素，如机器类型、油样的可取性、润滑剂类型、润滑剂的量、润滑剂消耗率、可做的测试项目及其相应的成本等共同作用，会使各设备使用者的油液分析方案都有所不同。因此，在建立方案时，各设备使用者必须承担由此带来的相关费用。实际当中，很少有设备使用者对建立标准测试仪器、数据通信协议、分析软件或数据管理系统感兴趣。所以，除受设备制造商或大量设备用户资助外，油液分析方案很少采用最新的技术、分析方法、分析仪器或软件。

1.2 油液分析的策略

由于各种原因，油液分析贯穿于油液的整个生命周期。虽然大多数油液分析通常着重于对在用油进行分析，但在制造过程之前、当中和之后也同样会对做试验的调合油液和新油产品进行测试。尽管对设备用户来说，在用油的分析非常重要，但新油的测试不能忽略。此外，分析从设备上拆卸的过滤器上沉积的或用逆流法冲洗过滤器后所得的过滤物是新出现的一种油液分析趋势。这项技术通常被称为过滤器碎片分析（FDA），可提供设备和油液状况的附加数据。

对大多数工业领域，新的在用油液或过滤器是由专业的商业化分析实验室分析的。这些机构采用的一般是标准化了的试验方法。可是，在军队、铁路和金属制造业界却流行现场油液分析。因为方法简易、测试速度快、测试成本低，现场油液分析在其他工业领域也已流行起来。不管分析是外包还是由自己进行，为了满足所有设备的需要，可能需要一个或多个油液分析策略。每个分析策略都有其对应的测试方法和数据表达准则。

1.2.1 新油分析

油液分析始于油液生产商的调合工厂，在那里新调合的油要经过测试，以证明其适合于既定设备。设备原制造商（OEM）也要对新油做很多试验，以验证各油品生产商所生产的油品能在其机器中可靠发挥作用（图1.3）。



图1.3 OEM对润滑油合格性进行全面试验验证

新油的监测程序包括：设备润滑的合格性检测、调合质量保证性检测、新油验收检测和新油存贮检测。

(1) 设备润滑的合格性检测。油液的合格性测试是检验调合的润滑油是否能在特定运行条件下，对特定的机器可靠地润滑一定的时间。它是设备原制造商为检查润滑剂及其所保护的设备是否具有所需的设计期望寿命而进行的。合格性分析所确定的油液的关键技术参数如下：

- (a) 油液的黏度和润滑性；
- (b) 抗氧化性和稳定性；
- (c) 酸性和碱性；
- (d) 倾点、闪点和燃点；
- (e) 可溶和不溶污染物；
- (f) 空气释放和成泡特性；
- (g) 抗腐蚀及抗锈蚀性；
- (h) 抗磨和极压特性；
- (i) 水分离性和乳化性；
- (j) 与寒冷天气有关的特性。

在原则上获准通过之前，还需要在目标设备、磨损性能试验机或专门制造的试验发动机上对润滑剂进行一些附加测试。在美国，油液特性标准和所需的合格性测试项目由设备生产厂商、油品生产厂商和有关的工程学会联合决定，其具体如下：

- (a) 汽油机和柴油机的油液规范和合格性试验，由美国汽车工程师学会 (SAE) 和美国石油学会 (API) 决定；
- (b) 工业齿轮油的黏度、抗磨性、极压和其他性能规范，由国际标准化组织 (ISO) 和美国齿轮制造者协会 (AGMA) 决定；
- (c) 工业涡轮和压缩机油标准，由ISO和API决定；
- (d) 各种液压油标准（黏度、抗磨性、可燃性等），由ISO、工厂联合研究实验室，维克斯公司、辛辛那提-米拉克隆化学公司及其他组织决定。

大多数油液制造商都有其产品手册，详述其生产的润滑油和液压油的通用和特殊性能。因为大约75%的润滑油基础油都源自石油，所以大多数润滑油特性是根据石油润滑油的技术要求而定义的。

(2) 调合质量保证性检测。此为油品生产商为保证产品质量和一致性在油液精制和调合过程中所安排的测试（图1.4）。进行质量保证性测试是为了迅速

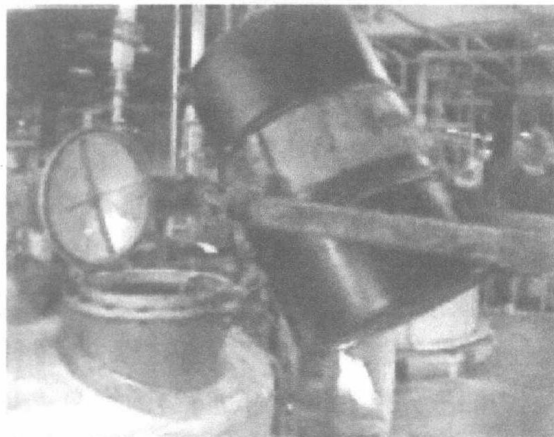


图1.4 润滑油制造商保证油品含足够量必需的添加剂

地验证基础油和基础油与添加剂混合后的一些显著特性。这套试验没有合格性测试那么复杂，一般包括如下：

- (a) 油液黏度和（或）黏度指数；
- (b) 硫酸盐灰分；
- (c) 酸性和（或）碱性；
- (d) 添加剂浓度。

此外，可能还周期性地对一些测试来确定任何可能出现的污染物，如对制造工艺过程有害或对最终产品不利的金属。

(3) 新油验收检测。尽管新油一般是按照设备制造商所要求的润滑剂参数购买的，但设备使用者还是需要进行验收检测，以保证发送的新油类型和黏度等级正确，而且不与已有的油液在化学上相冲突。新油接收检验一般限于对油液做正确性识别所需的最少检验：

- (a) 油黏度/黏度指数；
- (b) 原子发射光谱（添加剂中所含金属）；
- (c) 傅立叶变换红外光谱等；
- (d) 水污染；
- (e) 颗粒计数（清洁度）。

(4) 新油存贮检测。存贮的新油能受污染和发生降解，因此应对之进行周期性检验以保证其仍有新油质量（图1.5）。对存贮的大量油液所进行的检验一般限于确定具体污染物，例如水、灰尘和锈蚀物（由存贮容器产生）、生物体或降解产物。合成油，例如多元醇酯（类）有一定的储存期限，因此应做周期性检验，以确定是否存在油液分解物。



图1.5 新油存贮期间也可能受到污染

1.2.2 在用油分析

过去，对在用油的分析一直由专门的分析师进行。他们会对油液特性和磨损金属试验的结果给予解释并说明异常的原因，同时给出合理的维修建议。作为一个纯粹的预防性维修手段，油液是成功的。可是，应油液分析结果的要求而需要进行临时补救性维修，或不时提出关掉一台特定机器并没有为油液分析赢得更多的声誉，因为油液分析者似乎总是带来坏消息。值得庆幸的是，现代在用油分析通常是在视情和以可靠性为中心的维护环境下运作的，这使得油样数据更多地用来优化设备维修计划而不是发出临时性维修请求。这样，关闭设备的请求就相对要少，而且油液

分析也认为是维修工作必不可少的。

设备类型和用途的多样性要求有相应的多样性的油液分析方法。但根据设备的应用情况,这些要求可简化为以下策略,它们有各自的具体试验方法和数据表达准则。

(1) 油液性能分析。油液性能分析确定油液的剩余可用寿命。这对安排维修很有意义,通常用于以下情形:

- (a) 采样间隔太长,难以可靠地指明危急失效模式;
- (b) 进行(频繁地)日常采样不现实;
- (c) 通过大的集中润滑系统润滑多个设备;
- (d) 没有足够的历史数据进行可靠的趋势分析。

油液性能分析经常用于监测加油间隔期间海上运行的舰船或原子能发电厂设备润滑系统的功效(图1.6)。对于这些设备来说,因为不容易接近,其采样周期相对很长,润滑的可靠性是通过综合以下几方面实现的:高质量的油液、有效的油液维护、改进的过滤器和其他能去除可能产生的污染物的装置、补充添加剂/油液以恢复使用期间所正常消耗的添加剂。在某些情况下,采用实时测量油液中携带的磨粒或机器振动等附加



图1.6 应对在用润滑油试验以保证性能可靠

手段对与磨损有关的失效模式进行报警更好。油液性能分析项目包括确定润滑剂添加剂性能、氧化稳定性和润滑性等方面的试验,其具体试验项目如下:

- (a) 油液黏度;
- (b) 法莱克斯磨损和极压特性(润滑性);
- (c) 旋转氧弹氧化安定性;
- (d) 颗粒计数及粒度分布;
- (e) 添加剂耗尽;
- (f) 酸值/碱值。

油液性能试验非常耗时和昂贵。例如,完成一个油样的氧化或抗腐蚀试验可能要花数十至数百小时。在选择油液性能分析而舍去其他可以取代它的油液监测方法时,应该考虑附加的特殊过滤和监测装置的成本。那些耗时比普通失效模式间隔长的检测试验,对于减少设备突发故障和调整设备维修时间几乎没有什么作用,记住这一点很重要!润滑油性能试验和关键润滑油失效模式征兆之间相关性不强。大多数传统的油液特性试验方法是为测定油液的性能特性而开发的,并不针对在用润滑油的降解和污染。

(2) 油液状态监测。从定义上讲, 油液状态监测是通过监测状态指标来评估油液失效模式的(图1.7)。因此, 所做的任何一个试验必须测量一个可辨识的失效模式。油液性能和特性试验与临界油液失效模式之间的关系很微妙。大多数传统的油液试验方法本来是用于测量油液的特性而不是油液的降解或污染的。一些石油产品的试验常被用作油液状态监测, 忽略了其适用性或可靠性。一个恰如其分的例子是用卡尔-费希尔滴定法(GB/T 11133)测水的含量。按GB/T 11133规定, 它是测量航空燃油中水分含量的一种标准方法。该标准没有提及它对润滑油的适用性。因此, 上述性能试验其实仅适用于航空燃油而非润滑油。

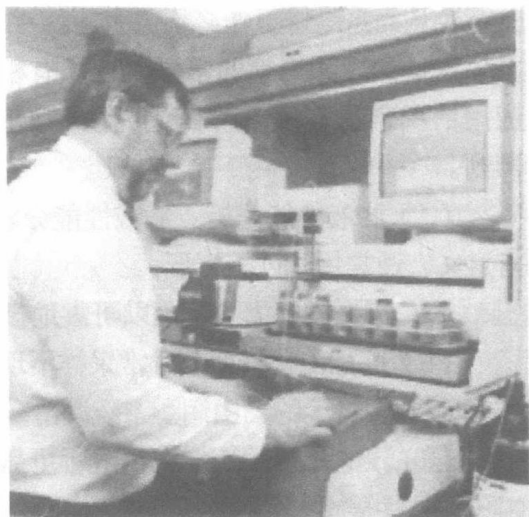


图1.7 在实验室对发动机油进行试验

任何关于失效模式、其对应征兆以及应采用哪些试验测量这些征兆等问题都能够通过失效模式, 以及其影响和危害性分析(FMECA)得以解决。为使所提出的维修请求可靠, 关键是油液分析者必须具有被监测机器的详尽知识, 以及其运行和维修信息。换句话说, 油液分析者和设备维修者之间须建立有效的联络和沟通。

例1-1 美国军方联合油液分析机构(JOAP)和开特皮勒S.O.S流体分析机构对每台特殊的设备都采用对应的特殊试验。设备工程师所选择的每套试验都是为了验证故障模式和系统的可靠性。

油液分析成本的不断增加使大多数设备用户倾向于采用以下两种截然不同的油液状态监测方法中的一种:

(a) 频繁、简便试验法。该法通过对用简单试验方法, 如原子发射(AE)和傅立叶变换红外(FT-IR)光谱等获得的数据做统计趋势分析来确定润滑状态。这种方法利用成本低、高度自动化的仪器提供大量日常监测数据, 获得可靠的趋势分析。而且, 所测的数据从统计意义上说与设备的失效模式指标相关, 能够用来指出具体的故障及它们可能的发展速度。

(b) 非经常性、综合分析法。润滑剂的性能特性用很全面的性能特性试验确定, 而污染则用类似于油液质量检测的试验确定。这种情况下, 如果润滑剂无污染和性能特性无异常就认为是可以的。取样间隔随意确定, 每月一次或每个季度一次, 一方面是为了节省昂贵的试验费用, 另一方面是因为对所监测的失效模式不一定有清楚的认识。这种方法要求监测人员对设备零件和油液退化过程有一定的了解。采样时间间隔长不利于对数据做趋势分析, 而且难以考虑发生周期较短的磨损损坏。在这些情况下, 由于维修周期相对较短, 与润滑油有关的失效会被削弱。另外, 维修周期比取样周期短也对试验数据的解释不利。