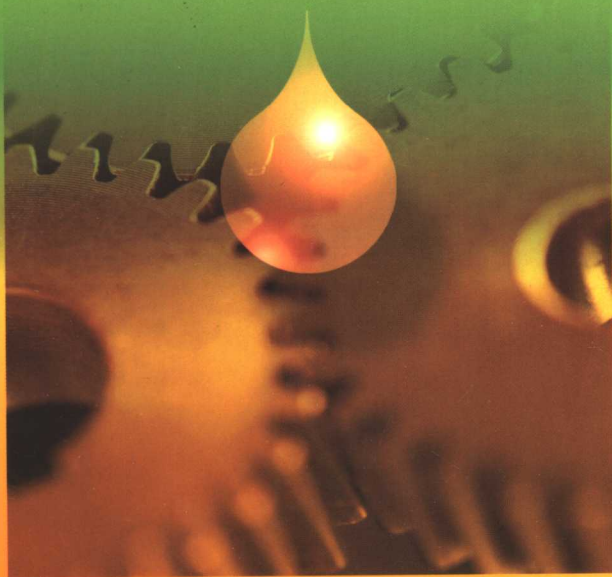


润滑油与设备故障 诊断技术

(第二版)

关子杰 编著



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

润滑油与设备故障诊断技术(第二版)

关子杰

编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书着重阐述如何从润滑油在使用中的变化预测设备故障及寻找故障原因,明确提出以润滑油作为设备故障诊断技术的主体,与设备的温升、振动和磨粒分析等常用方法结合起来,提高设备故障诊断的预知性、准确性和及时性。在设备故障诊断技术中,机械行业仅把润滑油当成磨损颗粒的携带介质,实际上润滑油在使用中的降解使性能下降,在设备内生成沉积物,被各种外来异物污染等会使摩擦、磨损恶化而造成故障。因此,在机械设备的运转过程中,可以从润滑油的变化分析得知设备运行的状态信息。

本书供机械设备管理者和润滑油销售人员及润滑油技术服务人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

润滑油与设备故障诊断技术/关子杰编著. —2版.
—北京:中国石化出版社,2007
ISBN 978-7-80164-189-2

I. 润… II. 关… III. 润滑油-应用-机械
设备-故障诊断 IV. TH17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 158203 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 32 开本 5.125 印张 1 插页 112 千字

2007 年 1 月第 2 版 2007 年 1 月第 3 次印刷

定价:15.00 元

前言

近年来，人们对设备故障诊断这一领域较为关注。润滑油在设备各运动部位循环流动，不仅润滑这些部位，还带来与故障和设备状况有关的丰富信息。其温度、压力的变化，各种异物进入润滑油造成的污染以及它本身在工作中不断因化学反应而劣化，在机体中生成沉积物，这些情况不但是设备产生故障的征兆，也是造成设备故障的原因之一。而且很多润滑油测试方法省时省事，方法本身已标准化，有固定数值，通用性强，这些是机械方法所不能比拟的，只有把机械方法与润滑油方法相结合，才能使设备故障诊断更准确更及时，更好地为生产服务。

本书从润滑油专业的角度，阐述了润滑油在使用中的劣化，在机体中生成沉积物，使用中受水、灰尘、空气及其他杂物污染对设备故障的影响，从而得到润滑油指标变化与故障诊断的关系。书中还有较多实际发生的案例剖析。

我国在生产建设中朝节约型发展，而搞好润滑管理正是投入小而收益大的措施之一。因此，本文有两个分支内容，一是搞好润滑管理，使设备故障少、维修少、寿命长；二是润滑油经营中做好技术服务，这些内容是作者的工作体会小结，相信能对读者提供帮助。

本人为润滑油专业人员，对设备故障诊断这个机械专业内容知之不广，错误之处难以避免，欢迎指正。

关子书

目 录



1 设备故障诊断基础知识	(1)
1.1 设备故障的原因分析	(1)
1.2 设备故障的分类	(2)
1.3 设备维修	(3)
1.4 实用设备故障诊断技术简介	(6)
2 润滑油与设备故障诊断相关的知识	(12)
2.1 润滑油、润滑管理、设备故障和维修	(12)
2.2 润滑油在使用中的变化	(25)
2.3 设备的磨损	(34)
2.4 油样采集技术	(39)
3 润滑油的劣化和异物污染与设备故障	(43)
3.1 润滑油在使用中的劣化造成设备故障	(44)
3.2 润滑油在机体内生成沉积物造成设备故障	(52)
3.3 润滑油中的异物污染造成设备故障	(55)
3.4 润滑油和进气的过滤系统失效造成 设备故障	(72)
3.5 润滑油与橡胶密封件的相容性不良 造成设备故障	(77)
4 用润滑油对设备故障的诊断技术及应用	(81)
4.1 润滑油的常规指标变化分析法	(81)
4.2 润滑油的性能指标测定分析法	(86)

4.3	红外光谱分析法	(87)
4.4	磨损颗粒分析法	(91)
4.5	机油压力变化分析法	(99)
4.6	机油消耗异常分析法	(103)
4.7	几种简易机油分析方法及在线监测仪	(105)
4.8	传感器型的在线直读油质变化仪表	(110)
4.9	有关专家系统	(114)
5	以润滑油监测为主体与其他几种监测方法相结合 对设备故障诊断	(118)
5.1	现行机械行业采用润滑油诊断技术的局限 ...	(119)
5.2	几种方法的比较及合理配置	(122)
6	用润滑油对设备故障诊断与加强润滑管理	(128)
6.1	润滑油价格的深层次分析和招标	(129)
6.2	加强润滑管理要点	(131)
7	用润滑油对设备故障诊断与润滑油的技术服务 ...	(141)
7.1	通则	(142)
7.2	分析故障原因常用的几种方法	(144)
7.3	故障后设备残骸分析	(149)
7.4	用润滑油的设备故障诊断技术的发展设想 ...	(156)

1 设备故障诊断 基础知识

人的身体受外力打击，受外来细菌侵蚀，其器官衰老等使身体运行不平衡时就要生病，设备也由于种种相似原因而产生故障，除了外在因素外，产生故障主要有如下原因。

1.1 设备故障的原因分析

(1) 设计缺陷

- ① 存在结构薄弱环节，主要结构计算不合理。
- ② 存在材料选择薄弱环节，主要是材料选择或代用材料选择不合理。

(2) 制造缺陷

- ① 不严格按设计要求加工(几何尺寸、选材、热处理工艺等)。

② 装配失误。

(3) 操作缺陷

- ① 参数调节失误。
- ② 参数调节不及时。
- ③ 超温，超速，超负荷。
- ④ 润滑油、冷却液等辅助材料选用不当及更换不及时。

(4) 工作环境恶劣、环境灰尘大、高温、潮湿、存在腐蚀性气体等

(5) 设备老化，主要零件长期工作达疲劳极限

设备只要存在上述各因素之一，就有潜在故障发生的可能，故障诊断时应从产生故障的原因着手，才能准确地进行诊断。故障发生后也应寻找其原因，加以整改，避免同种故障多次重复发生。

1.2 设备故障的分类

就像人要生病一样，设备在运行中也会发生故障。从故障发生的原因、造成的危害性、发生的快慢、发生的范围、频率等可分为不同的类别，不同教科书或不同的资料有不同而详细的分法。从实际故障诊断应用的角度，笔者分为下列几类：

(1) 按发生故障的过程分，故障缓慢发生为渐发性故障，故障突然发生为突发性故障。

(2) 按发生故障的次序分，分为原发性故障和继发性故障。

① 原发性故障，往往先在某局部发生小故障，此故障暂时未被发现或对设备运转未造成大影响。

② 继发性故障，当继续运转时，原发性故障损坏的部分造成设备的不平衡或碎片进到邻近运转部分而造成“健康”的部分损坏，这情形再往后发展直至设备整体或主要部分毁坏而停止运转，后面阶段是继发性故障。例如，一台柴油机可能一开始其中一个缸的活塞销挡圈脱落，然后活塞滑出把汽缸拉伤而其他缸仍运转，拉伤的汽缸破坏扩大到卡住使曲轴断裂至停机。其原发性故障仅是小小的活塞销挡圈脱落。维修人员面对破坏得面目全非的设备，要全力找出什么是原发性故障，才能正确采取预防性措施。

一般原发性故障过程较长，而继发性故障则在短期内发生，作为设备故障诊断的先进性就要在原发性故障刚发生时可诊断出来，及时采取维修措施，使损失较少。而当继发性故障发生后才诊断出来的“马后炮”式是不可取的，不但造成损失大，而且故障后分析故障原因困难，不利于以后的改进。

(3) 按发生故障的大小分，定性地分为小故障、中故障、大故障和灾难性故障。如表 1-1 的分类。

表 1-1 故障危害程度等级

等级	危害程度	影响程度	出现频繁程度	排除故障紧急程度
I	灾难性	重大事故	极易发生	立即
II	损失严重	严重事故	容易发生	尽快
III	损失一般	一般事故	偶尔发生	可慢些
IV	障碍性	轻微事故	极少发生	不受限制

(4) 按发生故障的表征分，分为隐性故障、半隐性故障和显性故障。它们之间的关系一般可分为如下两类型：

- ① 原发性故障→隐性或半隐性→小到中故障→渐发性。
 - ② 继发性故障→半隐性到显性→大到灾难性→突发性。
- 这两类中每类间，在一定情况下有一定的因果关系。

1.3 设备维修

1.3.1 维修原因

这与人体有病就要去医治的简单道理一样，因为设备维修是设备管理的一个重要内容，一方面通过维修更换已损坏或可能将损坏的零部件，调整长期运行中变化了的一些机械参数，使维修后的设备提高效率，维持至下一维修

周期内不发生意外故障；另一方面通过维修能积累设备管理经验，实行对设备改进的措施。

1.3.2 设备维修的进展

就像人生病一样，医生通过对病人的常规检查或各种透视等的的数据，结合人体解剖学知识和临床经验，推测体内各器官的病变，尽量不用开刀而准确诊断，从而对症下药。设备故障诊断也希望无需把正在运转的设备停下来拆开而用各种方法取得有关数据，诊断设备内部的故障状况，从而采取一定的维修措施，使设备长周期、高效率运转。

设备维修一方面是消除故障隐患，在发生上述两类故障前把隐性故障排除；另一方面使设备长周期高效率运转，也为设备的进一步改进提供依据。

按执行维修的内容和周期可分如下三种。

(1) 事后维修(BM)

俗语“坏了就修”，故障发生后根据故障的性质及范围决定维修内容，这类维修造成损失较大，它打乱了生产计划。因维修准备仓促而无法保证维修质量，停机周期长，往往不能在停机维修发生故障部位的同时，维修设备中其他“亚健康”部位，会防不胜防。

(2) 预防性维修(TBM)

为定期维修，设备管理者根据设备资料和同行业与本企业的多年经验，从制度上规定设备或车辆按一定周期进行规定内容的大、中、小维修或一、二、三保(养)。设备运行到规定周期后不管设备状况如何，都要执行进行规定内容的维修，这种维修对消除故障隐患和设备在运行周期中不出大故障有好的保障，但经济性不佳。一是这些维修规范的制定以在恶劣条件下维修间隔内不出故障为前提，

因而在正常条件下会有一定余量；二是某些还很健康的零部件也会被换掉；三是一些已磨合好的运动副换了新品需再磨合，效率会下降。

(3) 预知维修或视情维修(CBM)

对一些主要设备或易出故障设备进行状况监护，在设备将出故障时维修，既延长了设备运行周期，又有的放矢地安排维修内容，提高效率，节省人力财力和时间，是较先进的维修方式。而要实行此种维修方式，就要建立在及时有效的故障诊断技术的基础上，研究设备故障诊断的目的就是要达到实施预防维修。

这三种维修的停工时间和工作量的比较如图 1-1^[1]。

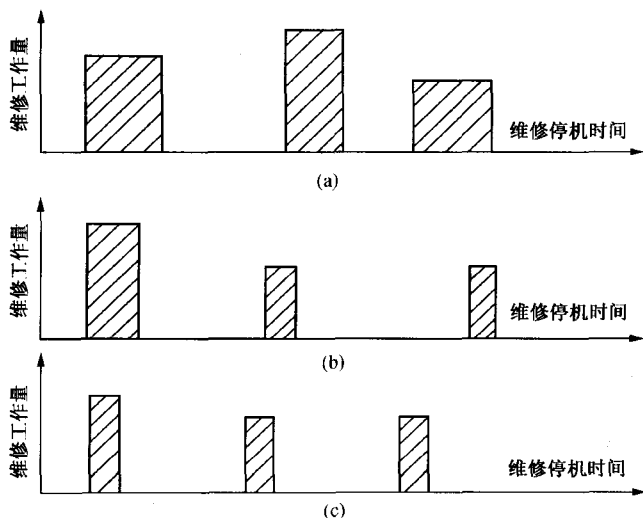


图 1-1 设备维修方式与维修工作量的关系
(a)事后维修(BM)；(b)定期维修(TBM)；(c)视情维修

从以上可知，科学合理的设备故障诊断技术是实行预知维修的基息，也只有行之有效的设备故障诊断技术，才能实施高水平的预知维修计划，才能保证设备的长周期、高效率运转。

1.4 实用设备故障诊断技术简介

设备故障诊断起码有以下三个任务：

一是监控设备运行状况，通过诊断掌握运行中设备的“健康”状况，预测设备某部位可能的潜在故障。在不停机的情况下，通过调整达到正常或应在某时间内应停机排除故障，避免因产生大的后继故障而造成灾难性损失。

二是通过已产生故障后的现场的诊断，找出故障原因，特别是原发性故障，进行相应整改，以避免同种故障多次发生。

三是通过诊断提供的信息，及时掌握准确的管理措施，如何时换润滑油，何时更换或清洗润滑油滤清器等不停机或短时停机可执行的处理，使设备保持正常运行，从而提高经济效益，也为制定停机大维修的时间及内容提供重要依据。

一般有两个诊断源，一是从故障发生产生的前兆现象作诊断，如振动、温升、机油滤清器有大量磨粒等。另一是从造成故障的原因作诊断，如润滑油进了水或污染物，常用很多手段对运转中的设备作为故障诊断的方法。

(1) 操作参数观察

运转设备都有反映运行状态参数的显示仪表。如转速、主要部位温度、输出输入电压及电流、液体或气体介质压力及流量等。操作员的主要职责是观察记录这些参数，并及时调节控制这些参数在正常范围内。通常这些参数在设

计范围内时表明设备各部位达到相对平衡，若某参数超出正常值又无法通过调节而达到规定范围，肯定某部位的平衡受到破坏，预示有发生故障的可能。

(2) 振动和噪音

设备正常运转时，其振动和噪音均匀而柔和，表示其机械状态是平衡的，当某部位严重磨损或部件断裂或应力变化时，破坏了原有的平衡状态，会发生大的振动或异常响声，预示将发生故障或已发生了局部故障。一般从某特定部位的方位、相位、频率和振幅等判定故障的程度、性质和部位，已有一些专用仪器用于测定振动和噪音。每台特定设备的特定运动部位都有正常运转状态下的振动或噪音的上述参数，当这些参数有异常时表明了故障的存在。

(3) 温度状况

设备异常的摩擦和磨损、冷却系统异常、物料流动的畅通程度和热平衡失调等，都会使设备某部位的温度发生变化和波动，这些温度变化超过规定范围或不稳定，也预示故障出现的可能性。也有一些专用仪器，以接触或非接触的方式测定设备相关部位的温度变化状态。

(4) 润滑油

润滑油流经设备的各运转部位，除了进行它的主要职责——润滑冷却等外，还带来设备内部的各种信息，应充分从这些信息中得到设备内部的运转状态及故障情况，就像人们对血液的化验不仅了解血的组成，而且得到各器官的健康状态一样。

到目前为止，从事设备故障诊断研究人员的知识全是属于机械专业，他们感兴趣的是仅把润滑油当成磨损颗粒的载体。从分离的金属颗粒的数量、性质、形态进行故障

诊断，但这是远远不够的，它包含丰富的信息使我们了解非常多的和非常早期的设备运行状态，从而更及时、更准确地作出故障诊断。因为它的表观参数如温度、压力变化，可以反映设备的运行状况，它本身在设备中的受热、有害气体、金属催化、污染物等作用下不断劣化，其劣化速度也表示设备状况，劣化了的润滑油反过来也是造成设备产生故障的原因之一。它的污染物如气体(空气、燃料燃烧气体)、液体(燃料、水、冷却液)和固体(金属磨损颗粒、砂子)不但表示设备内部的摩擦磨损、泄漏等情况，污染了的润滑油反过来又加速了故障的发生。因此，通过润滑油可得到丰富的设备内部信息，绝非磨损颗粒那么简单，同时对润滑油的各种分析值大都有标准方法，结果数据的大小都有明确的参考或推荐值，比大多机械方法仅有相对值或强烈的依赖人的素质和经验更易于操作和通用。

(5) 非接触性方法

如采用射线、磁性、超声波等手段探测设备金属内部裂缝、砂眼等构造性缺陷的存在和扩展，也是故障诊断的方法之一。

(6) 故障诊断技术的实用性讨论

由于故障诊断技术是实践性很强的技术，理想的设备故障诊断技术应是：

① 及时性。预报期早，给予足够的时间提前量以处理故障或制定维修计划。

② 准确性。在设备无需停机拆开检查的情况下，预知故障部位和性质。

③ 方法标准化。监测结果有具体数值(不单靠文字描述)并可通用化，尽量消除对人的经验和操作水平的依

赖性。

④ 快捷、费用低、能在线监测。

根据这几条，凡是从故障发生的后果进行诊断的技术，其及时性肯定不够好，如设备某部位的温度、振动和噪音有异常，通过铁谱发现有异常磨粒时，说明故障已发生了，只不过此故障的程度不足以对设备运转有明显影响而已，这样留给处理故障的时间较为紧迫。从故障发生的原因进行诊断的技术的及时性较好，因为这些原因的存在不等于故障一定发生，更不会近期就会发生。若二种技术结合起来，使设备故障诊断更为多、快、好、省。

设备故障诊断属于机械专业范畴，从事设备故障诊断技术开发的人员是机械行业专家，像振动、噪音、温度等监测技术就是这些技术的代表，近年也把润滑油纳入了监测内容，但也仅把润滑油看作携带设备内磨损颗粒的液体介质，称“油液”。

润滑油从设备的各运动部件中流过，润滑这些部件，它的质量及使用中的变化，是造成故障的原因之一。它除了携带磨粒外，还携带一些气体、液体和固体，这些携带物，既是故障的产物，也是造成故障的原因之一。因此，仅把润滑油当作携带磨粒的液体而忽略其他与设备故障有关的信息太可惜了。本书通过润滑油的全面讨论充分把润滑油中带出来的设备内部的丰富信息诠释出来，大大提高诊断设备故障的及时性、准确性。另外，润滑油的检测方法大多已标准化，有具体数值，润滑油在使用中变差，劣化到某种程度就不能再用，否则就会危害设备，这方面也已做了大量研究，提出很多推荐数值，这些也是机械技术所缺少的。

近年来，在设备故障诊断领域似乎热闹非凡，光从《润滑与密封》杂志 2004 ~ 2005 这两年共 12 期上发表与设备故障诊断有关的文章超过 24 篇，每期平均在 2 篇以上，而 1999 年以来也有 3 本以上的专著，从这些论文及专著内容可看出有几个特点：

一是作者，专著都为高校的教授、老师，论文以学校师生为主，少量为生产企业在职人员；

二是论文内容可分四类：一类为一般叙述或综述，占一半以上，内容较重复。二类题目很大，如题目为“xxx 故障诊断技术”，但内容仅为用发射光谱或铁谱分析润滑油中的金属含量，在这些作者的认识中，故障诊断就是观察设备磨损，设备磨损就是观察润滑油中的金属含量，把故障诊断简单化。三类用某些数学方法计算，通过计算达到什么目的，并不明确，把故障诊断复杂化。四类为其他。这类以高校师生为主的专著和文章总的是创见不多，与实际结合较弱设备故障诊断技术是一门与实际生产结合很强的实用技术，这类技术的先进性评价原则应有预报性、准确性、方便快速性及通用性，而不是此技术中的难度和复杂性。由此可看出以机械专业为基础的设备故障诊断技术包含振动、噪音、温度，以铁谱为代表的润滑油中磨粒分析等方法存在以下难于克服的局限性：

① 都是监测设备的局部故障出现后的效果作诊断，因此，预报期短，无法了解故障原因。

② 数据通用性差，诊断技术对人员素质要求高。

由于从事设备故障诊断属于机械行业，与润滑油行业沟通少，若用润滑油作设备故障诊断，可以在很大程度上弥补以上不足，它有以下优点：

a. 润滑油的质量及在使用中老化程度是造成设备故障的原因之一，老化程度也可表示设备运行状况。

b. 润滑油使用中含的污染物(气、液、固)的品种和数量不但是造成设备故障的原因之一，也表示设备运行状况及发生故障的可能。

c. 很多润滑油化验方法已标准化，简单快捷，减少人为因素，结果有明确的数值表示，实用性强，又有现场快速的定量或半定量方法供现场决策用。

因此，应大力推广润滑油设备故障诊断技术的应用，与机械方法结合，普及设备故障诊断，从而普及预知维修，把设备管理推向现代化。