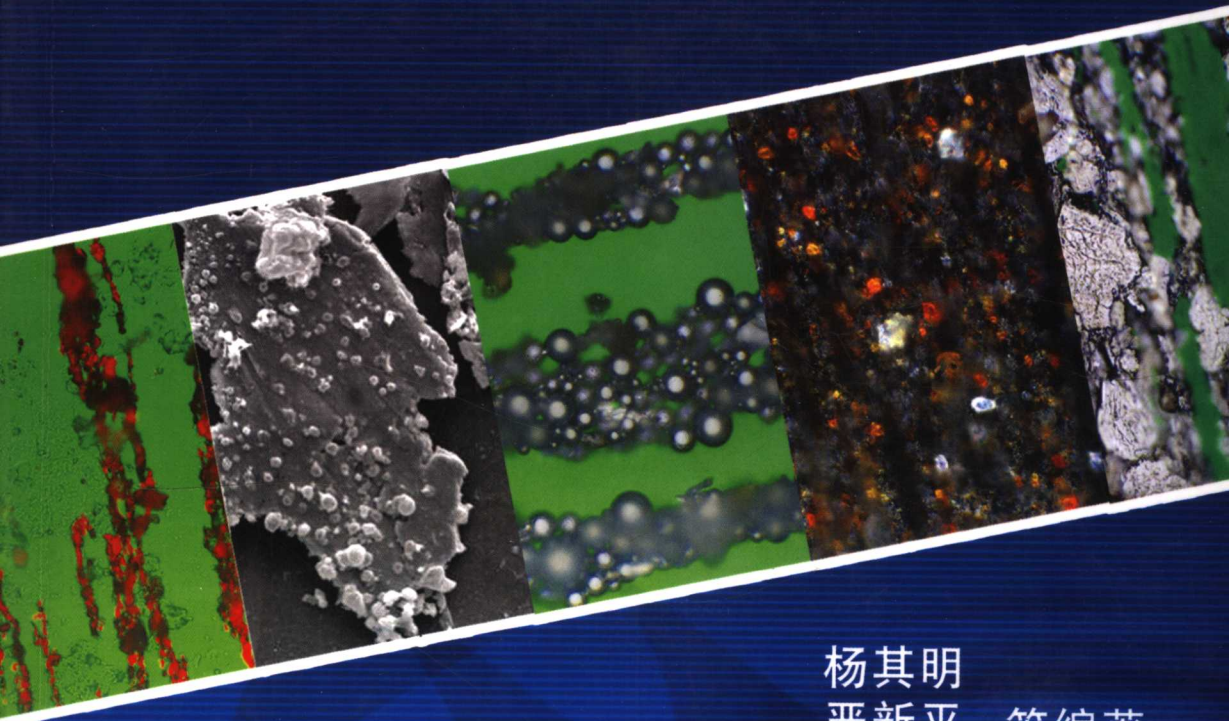




设备诊断现场实用技术丛书

油液监测分析

现场实用技术



杨其明
严新平 等编著
贺石中

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



设备诊断现场实用技术丛书

油液监测分析现场 实用技术

杨其明 严新平 贺石中 李柱国 赵剑锋 编著



机械工业出版社

油液监测是近年来得到迅速发展的新的技术领域。它所涵盖的各种技术和方法以及所涉及的科学理论,不但集中了近代科学技术所取得的成果,而且由于其日臻广泛的应用,已为国民经济的发展创造了极大的效益。本书阐述了各种油液监测技术的基本原理,尤为突出地以作者多年亲自开展的大量监测实例说明了应用方法及取得的效果。全书兼顾了油液监测在技术内容上的理论阐述和在生产应用上的实践操作,是一本实用性较强的专著。

本书对掌握和应用油液监测技术有指导作用,对开展以油液监测为手段的机器状态监测和故障诊断工作有一定的参考价值。

本书可供厂矿企业从事机械设备维修和管理工作的科研或工程技术人员使用,也可作为高等院校有关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

油液监测分析现场实用技术/杨其明等编著. —北京:机械工业出版社, 2006.8

(设备诊断现场实用技术丛书)

ISBN 7-111-19718-6

I. 油... II. 杨... III. 机械设备-润滑-监测-分析 IV. TH117.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 090307 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:李万宇 责任编辑:李建秀 版式设计:张世琴

责任校对:李秋荣 封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷

2006 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·7.125 印张·274 千字

0 001—4 000 册

定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326294

编辑热线(010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

“设备诊断现场实用技术丛书”编辑委员会

主 编	黄昭毅		
编 委	袁宏义	邢开明	杨其明
	叶晓明	莽克伦	吴柏青

丛 书 序

随着现代化生产的高速发展,设备不仅是作为重要的物质基础,而且还在其中起着越来越重要的作用,诸如生产的提高、质量的改善、成本的降低、资源的节约、环境的保护以及效益的增长等,都无一不和它有着密切的关系。然而当这些现代化设备一旦发生了故障,所带来的严重后果也非过去可比,有的还会成为人类历史的悲剧。过去的一个世纪里,曾在世界范围内发生的重大设备事故,是很值得我们予以充分重视的。

在 20 世纪 80 年代初,世界上一些发达国家在总结经验教训的基础上,开发和创立了一种叫作“设备诊断技术”的高新技术,它能在设备运行中或基本不拆卸全部设备的情况下,掌握设备运行状态,判定产生故障的部位和原因,并预测预报未来的技术状态;从而可在早期有效地发现,以及在后期及时地抑制故障,保障生产的可持续发展。1983 年 1 月国家经委采纳了各方建议,及时地在国营工业交通企业设备管理试行条例中作了明确规定,强调采用这项技术,发展以状态监测为基础的预防维修体制。

近 18 年来,在国家倡导、企业重视以及各级有关管理部门、大专院校、科研单位和群众团体的大力支持、共同努力下,设备诊断技术已经兴旺发达,得到了广泛共识,取得了众多效益,不仅在理论研究、科研试验、产品开发及工程应用上达到了较高水平,而且在保证设备安全,防止突发事件,保障设备精度,提高产品质量,节约维修费用以及防止环境污染上,也都体现出重要的地位与作用。

为了把这项先进技术成果充分肯定,努力推向未来并与世界接轨,国内的设备工程界人士,特别是在现场从事设备诊断的广大技术人员,长期以来盼望能有一套诊断丛书是由我们自己的现场人员,在消化吸收国外经验,并经过充分生产考核认定的基础上写作出来,它们应当有别于当前一些教科书、专著,具备为现场维修服务的明确观点,能够采用通俗易懂的语言和图表,总结介绍丰富的现场经验与工作案例,以求达到更好地适合企业技术人员学习和使用的目的。

在机械工业出版社的大力支持下,经过了充分蕴酿和多方论证,进行了必要性与可行性研究,终于在 1999 年秋于北京筹组了一个七人的小型编委会,以负责确定丛书的题目,提出编写内容及特点要求,以落实各分册作者

的任务，与此同时还多方面地收集了丛书的编写意见，从而为这一工作的良好进展提供了条件。

编委会成立后，首先明确了书的名称为“设备诊断现场实用技术丛书”，按照诊断技术及对象设备的综合分类，初步定为10个分册，每册30万字左右，分期发行；其次明确了读者对象为在现场从事设备诊断技术应用的初、中级技术人员（包括技术员、技师和工程师），大中专院校有关专业的教师和学生以及有关管理人员；再次明确了编写人员的要求，主要邀请有十年以上现场经验、并具有一定理论基础、善于总结和有写作能力的工程师们参加，但也要吸收那些理论联系实际较好，并有一定现场体会的教授们，以及仪器公司和生产厂家中从事技术开发及咨询服务的工程师们。

为了统一编写，编委会还制订了“通用写作导则”以及“分类编写参考意见”，其中对写作特点强调了要以现场性、实用性和系列性为主，既不同于学报，也有别于教科书。现在丛书的编写进展顺利，作者们都把此书作为自己一生经验的总结，广泛收集资料，认真比较分析，以此作为对伟大的社会主义建设的积极贡献，读者们不难从书中内容有所理解。

这套丛书共分为10个分册，分别为《简易振动诊断现场实用技术》；《精密振动诊断现场实用技术》；《油液监测分析现场实用技术》；《红外诊断现场实用技术》；《无损检测诊断现场实用技术》；《电气设备诊断现场实用技术》；《往复机械诊断现场实用技术》；《大型回转机械诊断现场实用技术》；《滚动轴承诊断现场实用技术》；《齿轮和齿轮箱诊断现场实用技术》。

这套丛书的创式有别过去，尚少经验可供借鉴，更限于作者的时间和水平，不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

“设备诊断现场实用技术丛书”编委会

序

几年来，曾经为《铁谱技术及其在机械监测诊断中的应用》、《磨粒分析—磨粒图谱与铁谱技术》等几本专著的出版而高兴，现在又看到了《油液监测分析现场实用技术》的问世，加上近年来我们这个领域的其他出版物，这一切都说明了油液监测技术在我国已经得到相当的重视和广泛应用，有了一支庞大的专业队伍。它和摩擦学一样，无论是研究水平或者是工作成果，与其他任何国家相比都可以说并不逊色。如果认识一致和组织得当，这支队伍还可以在装备产品的自主设计中发挥重要作用。

装备制造业的激烈竞争，使得维修服务已经成为品牌竞争力的重要因素。装备制造商不得不将过去由用户承担的维修任务转移到自己肩上，以显示自己产品的质量可靠和对用户负责。维修责任的转移，构成了产品成本的重要组成部分。制造商在产品设计时就不得不真正面对装备产品全生命周期设计，以期能够控制产品在全生命周期中的性能稳定，尽可能减少维修服务和避免由于产品出现设计时未能预见的疵病而不得不大规模召回而带来的损失。所以油液监测技术，与振动监测技术和参数监测技术一起，作为装备产品性能变化监测的三项主要技术，已经面临一项全新的使命。传统上监测技术是为用户服务的，它使用户能够知道自己所拥有的正在运行的装备状态是否正常，提前向操作者发出警报以避免意外事故损失。后来又发展到可以支持预期维修，改革定期维修体制中的种种弊端，为用户节约维修费用。新的使命是状态监测技术可以从装备产品状态变化的信息中获取产品性能衰退和维修效果的知识，使能在设计阶段利用这些知识更完美地进行下一代产品的全生命周期设计，保证产品在全生命周期中性能稳定以及达到少维修、免维修和自维修。实现零停机（维修）时间是许多装备制造商竞争的口号和追求的目标。要获得这些知识，就不能不依赖对正在运行产品的状态变化进行全生命周期连续的监测。众所周知，大多数装备产品性能衰退是与摩擦学过程导致结构变化有密切关系。而油液监测技术，不论是润滑剂分析还是磨损颗粒分析，都是更直接地反映摩擦学系统结构的变化，因为包括接触的固体表面和润滑介质，都是摩擦学系统的结构元素。在这三项监测技术中，振动分析技术与其他相比是最成熟的。但是引起振动的原因比较复杂，可能来自多个不同方面和源于不同学科领域的问题，包括内在结构变化和外部环境

变化。因此,当发现振动异常时,往往难以对现象做出确切的解释。参数监测固然反映性能的变化,但是不能直接给出发生变化的结构原因,即不能指示哪一部分结构究竟发生何种变化。当然,仅仅靠油液监测也是不够的,三项监测技术的联合使用应当是发展的方向。

仅仅有监测的数据是不够的,还要建立联系性能、状态和结构的数学模型。这不一定是油液监测工作者必须承担的任务,但这是我们可以做和能够比别人做得更好的。长期在装备产品现场监测的人,能够通过直接观察感觉到什么样的模型更真实反映性能、结构和监测数据之间的关系,而当模型发生问题时,也更能够找出需要向什么方向去修改模型。出于成本和其他考虑,一般只能在装备产品上安装非常有限的监测技术手段,从可观性的角度,它们是不完备的。在这种情况下要获得可以用于预测的模型,只能通过反复使用正问题求解和反问题求解并相互校正的办法。当运算一个数学模型,预测结构上的某种变化将引发某种现象时,这是正问题求解;而当已经看到某种现象,反推导致这种现象的结构变化原因,则是反问题求解。如果二者的结果一致,说明模型可用,反之则需要修正模型或检查反推的根据是否正确,使它们最终相互吻合。反推往往是以结构解体后直接观察的经验为基础,所以离不开现场工作的人。这就是我们可以做得更好的原因。当然,这项工作要求我们不仅关心传统上的反问题求解,还要关心正问题求解和相互校正的技术。

希望本书的出版,在教育油液监测技术人才、让更多人更正确地掌握油液监测技术的同时,能够进一步推动全生命周期设计中装备产品性能、状态和结构变化关系知识的获取,推动全生命周期设计的发展,使我国能够在装备产品的设计竞争中不断提高自己的竞争力,更快地从制造大国变成制造强国。

上海交通大学、西安交通大学教授

中国工程院院士

谢友柏

2006年7月5日

前 言

油液监测 (Oil Monitoring) 是一门新型的综合性工程技术。随着工业化社会的高度发展, 各行业对大型机械设备的安全、效率、降耗、环保等问题给予了更多的关注和研究。因为这些问题是在工程技术领域中直接关系到循环经济、可持续发展、绿色工程、节约型社会等社会发展战略目标是否能够迅速实现的诸多重要课题之一。经过近 60 年各相关单项技术的研究、开发以及生产应用过程, 油液监测技术已成为大型机械设备状态监测和故障诊断的有效手段。从美国海军航空兵在 20 世纪 40 年代将原用于物质化学成分分析的光谱分析技术引用到战斗机群润滑油分析以保证其高可靠性飞行的需求以来, 油液监测至今已陆续组成以光谱技术、铁谱技术、颗粒计数技术、红外光谱技术、理化分析技术为基本硬件构架, 和以数据库、诊断库、知识库为基本软件平台的油液监测系统。在一种边研究、边开发、边应用、边完善的动态过程中, 油液监测技术不但为科学理论研究提供了一个新的手段, 更为国民经济生产乃至国防军事建设创造了不可估量的经济和社会效益。它的科学性、技术性、工程性和实用性得到了国内外学术界和工程界的检验和肯定。国际机械故障预防组织早在 20 世纪 70 年代就将其归属于机械设备三大监测技术领域 (参数监测、振动监测、油液监测) 之一。国际标准化组织也将油液监测作为工程技术的一个门类 (ISO/TC108/SC5), 予以承认。

油液监测是一项需要多学科理论的综合、交叉和外延的技术领域, 也是充分体现实践性、适用性和经济性的工业生产手段。因此它无论在理论研究的深度上和实际应用的广度上都已展现了极大的发展前景。深度上, 它涉及了相关学科至今尚未解决的理论和技术前沿问题; 广度上, 它在各行业中的应用尚处在发展阶段。可以说, 油液监测是一门极具生命力的实用科学和工程技术。

本书作者都是多年直接从事油液监测理论研究、科学试验、工程应用的学者或工程师。为了与同行共同推进油液监测技术在科技开发和生产应用上更快地发展, 使其在各行业的科技进步中发挥更大的作用, 作者以多年的研究成果和应用经验为主要素材编写成此书。本书综合介绍了油液监测几项技术的主要内容、相关理论、应用方法、实践案例和发展趋势。为满足广大生产第一线工程技术人员的需求, 更好地体现本书的实用性、指导性和可操作

性的特点，作者侧重从工程技术的角度，以应用实践为主线，尽量全面和完整地将这门新技术加以介绍。其间涉及到的基础理论内容，也力争做到点面兼顾、简繁结合，留有充分的学术研讨空间。

本书由杨其明、严新平、贺石中、李柱国、赵剑锋共同编著。前言、2.4节、4.1节、4.4节由杨其明编著，第1章、2.1节、2.2节、4.3节、4.5节、6.3节、第7章、8.2节由严新平编著，2.3节、第3章、8.4节、附录由贺石中编著，第5章、6.2节由李柱国编著，4.2节、6.1节、8.1节、8.3节、8.5节由赵剑锋编著。杨其明负责全书的统编和审校。

本书的素材，特别是案例部分，是作者多年从事油液监测技术研发和应用的经历和经验的总结，也是广大铁谱工作者和科研集体的劳动结晶，在此向所有合作者表示感谢。在成书过程中多蒙中国工程院院士谢友柏教授等前辈的指教，谨致以谢意和敬意。限于编著人员的水平，书中难免有谬误之处，敬请读者指正。

编著者

目 录

丛书序

序

前言

第1章 概论	1
1.1 油液监测技术及其内涵	1
1.1.1 油液监测技术	1
1.1.2 油液监测技术内涵	2
1.1.3 油液监测技术的具体内容	2
1.2 油液监测技术的发展历史	3
1.3 油液监测技术的应用特点	4
1.3.1 常规理化分析	4
1.3.2 原子光谱分析	5
1.3.3 红外光谱分析	6
1.3.4 铁谱分析	6
1.3.5 颗粒计数	6
1.3.6 各种油液监测技术特点比较	7
1.4 油液监测技术在设备诊断工程领域中的地位	8
1.4.1 油液监测技术在设备维修管理中的作用	9
1.4.2 油液监测技术与摩擦学故障的联系	9
1.4.3 油液监测技术与设备润滑管理	10
1.5 油液监测技术的发展趋势	11
第2章 摩擦学原理	15
2.1 摩擦、磨损与润滑	15
2.1.1 摩擦	15
2.1.2 磨损	17
2.1.3 润滑	19
2.2 磨损的分类及机理	21
2.2.1 粘着磨损	21
2.2.2 磨料磨损	23
2.2.3 表面疲劳磨损	24
2.2.4 腐蚀磨损	25
2.2.5 微动磨损	27

2.2.6 磨损形式的转化	29
2.3 磨损产物及特征	30
2.3.1 磨粒的形貌特征	31
2.3.2 磨粒的材质特征	33
2.3.3 污染杂质颗粒的特征	34
2.4 摩擦学系统构成和监测	36
2.4.1 摩擦学系统构成	37
2.4.2 摩擦学系统监测	38
第3章 油液理化性能分析技术	41
3.1 概述	41
3.2 油液物理性能指标的检测	42
3.2.1 粘度	42
3.2.2 粘度指数的概念和测试方法	44
3.2.3 水分	45
3.2.4 闪点	46
3.2.5 凝点和倾点	48
3.2.6 机械杂质	49
3.2.7 不溶物	49
3.2.8 斑点测试	50
3.2.9 抗乳化性	51
3.2.10 泡沫特性	53
3.2.11 抗磨性和极压性	54
3.3 油液化学性能指标的检测	56
3.3.1 总酸值	56
3.3.2 总碱值	57
3.3.3 防锈性	58
3.3.4 防腐性	59
3.3.5 氧化安定性	59
3.3.6 添加剂元素含量	60
3.4 基于油液理化性能分析的诊断方法	62
3.4.1 内燃机油的诊断方法	62
3.4.2 齿轮油的诊断方法	64
3.4.3 液压油的诊断方法	66
第4章 铁谱分析技术	69
4.1 概述	69
4.2 铁谱分析仪器及工作原理	71
4.2.1 铁谱仪中的磁场	71
4.2.2 分析式铁谱仪系统	75

4.2.3 直读式铁谱仪	79
4.2.4 其他种类的铁谱仪	81
4.3 铁谱技术中的定量与定性分析	84
4.3.1 油样的预处理与制备	84
4.3.2 定量分析	85
4.3.3 定性分析	91
4.4 基于铁谱技术的诊断方法	94
4.4.1 铁谱诊断方法的特点	94
4.4.2 磨粒分析诊断方法	95
4.5 磨粒图谱编制的原则与方法	98
4.5.1 磨粒图谱的基本内容	99
4.5.2 磨粒图谱的编制方法	99
第5章 光谱分析技术	103
5.1 概述	103
5.2 原子发射光谱技术	105
5.2.1 直读原子发射光谱仪及工作原理	106
5.2.2 等离子原子发射光谱仪	108
5.3 原子吸收光谱技术	110
5.3.1 原子吸收光谱仪及工作原理	110
5.3.2 原子吸收与原子发射光谱仪之比较	111
5.4 X射线荧光光谱技术	113
5.4.1 X射线荧光光谱仪及工作原理	113
5.4.2 各种原子光谱分析技术的特点	114
5.5 红外光谱技术	115
5.5.1 红外光谱仪及工作原理	116
5.5.2 红外吸收光谱图	117
5.5.3 油液红外光谱监测的表征参量	119
5.5.4 红外光谱油液分析的特点	125
5.6 光谱技术在设备诊断工程中的应用	126
5.6.1 监测设备磨损趋势	126
5.6.2 确定最佳磨合规范	128
5.6.3 确定合理换油期	129
5.6.4 摩擦学设计的应用	129
第6章 颗粒计数技术及其他方法	132
6.1 油液颗粒计数技术	132
6.1.1 自动颗粒计数器的结构与原理	132
6.1.2 颗粒计数技术标准	134
6.1.3 油液污染控制及净化方法	136

6.1.4 油液颗粒计数技术的发展趋势	139
6.2 磁塞检测法	141
6.2.1 磁塞的原理	142
6.2.2 磁塞的结构	142
6.2.3 磁塞的应用	142
6.3 在线油液监测方法	143
6.3.1 油液在线监测的必要性	143
6.3.2 油液在线监测技术的发展现状	144
6.3.3 油液在线监测技术的基本原理	145
6.3.4 各种油液在线监测方法的比较	151
第7章 油液监测中的信息技术	153
7.1 概述	153
7.2 油液监测数据库	155
7.2.1 油液监测的数据构成	156
7.2.2 油液监测数据库建立的原则	158
7.2.3 油液监测数据库的建立	159
7.2.4 油液监测知识数据库	162
7.3 油液监测计算机辅助系统	164
7.3.1 C/S 方式	164
7.3.2 B/S 方式	166
7.3.3 嵌入式方式	166
7.4 油液监测智能系统	167
7.4.1 油液监测的知识结构	168
7.4.2 油液监测智能系统设计	170
7.5 油液监测信息融合	175
7.5.1 系统的融合过程	176
7.5.2 油液监测分布组件对象	176
第8章 油液监测技术在设备诊断工程中的实际应用	178
8.1 轴承副、齿轮箱监测实例	178
8.2 柴油机监测实例	185
8.3 液压系统监测实例	195
8.4 油液性能监测实例	200
8.5 风机、压缩机等大型机械监测实例	206
附录 油液监测技术的有关标准	211
参考文献	213

第 1 章 概 论

1.1 油液监测技术及其内涵

1.1.1 油液监测技术

油液监测技术 (Oil Monitoring), 或简称为油液监测, 是现代化工业不断发展的产物。众所周知, 在机械设备中, 摩擦副的相对运动会产生摩擦磨损。因此, 零部件的磨损是最常见、最主要的失效形式。有 80% 的机械设备其失效是由磨损引起; 而因摩擦消耗的能源占总能源消耗的 $1/3 \sim 1/2$ 。为了减少机械设备中因摩擦副相对运动引起的摩擦能量消耗和磨损材料消耗, 通常是向运动表面之间加入润滑剂。润滑油是机械设备的“血液”, 它在机械设备中起着密封、润滑、冷却、清洗和防腐等作用, 但它本身也“藏污纳垢”, 携带着各种机械加工产物和外来污染物。其中有零部件的磨损颗粒、腐蚀产物、润滑油和添加剂经一系列物理、化学变化而形成的胶质、沥青、油泥及热工机械燃料燃烧产物等。这些物质在一定程度上无一不与机械设备及润滑油的工作状态相关联。由于设备润滑状态与设备磨损状态的关系最为密切, 因此, 对使用中润滑油所蕴含的摩擦学系统的信息, 即摩擦副表面材料的摩擦磨损特性及作为润滑介质的润滑油本身性能进行分析和监测, 显得尤为重要, 所以油液监测技术应运而生。油液监测技术将采集到的设备润滑油或工作介质样品, 利用光、电、磁学等手段, 分析其理化指标、检测所携带的磨损和污染物颗粒, 从而获得机器的润滑和磨粒状态的信息, 定性和定量地描述设备的磨损状态, 找出诱发因素, 评价机器的工况和预测其故障, 并确定故障部位、原因和类型。这就是油液监测技术的技术内容和宗旨。

目前, 油液监测技术所采用的较为广泛和有效的技术手段主要涉及润滑剂分析 (Oil Analysis) 和磨损微粒分析 (Wear Particle Analysis) 两大技术领域。前者通过监测由于添加剂损耗和基础油衰变引起油品物理和化学性能指标的变化程度来检测机械设备的润滑状态和识别机器因润滑不良引起的故障; 后者通过对油中携带的磨损微粒的尺寸、形貌、颜色和浓度等性态的观测来实现对机器摩擦状态的有效监测和诊断。实际上, 在发展上述两类表面似乎截然不同的技术的同时, 人们已注意到, 所监测的对象在油品变质和摩擦产物方面有着密切的相关性。也就是说作为载体的润滑油, 其性能的劣化, 一方面可能是机器磨

损的原因, 另一方面可能是机器磨损的结果。同时, 磨损微粒的产生, 一方面可能是机器本身某种不正常状态导致磨损的原因, 另一方面可能仅是由于润滑油劣化所导致。二者具有互为因果的内在联系, 因此缺一不可。

1.1.2 油液监测技术内涵

油液监测技术是一种有效的机械工况监测和故障诊断的方法。对油液监测不能仅认为是润滑油分析和磨粒分析的简单组合, 而应视为是利用润滑剂(或工作介质)这一机械磨损信息载体, 对机器的摩擦学系统所产生的故障实施诊断的方法与技术。润滑油分析亦称油污染分析, 侧重于分析油品的理化指标或受污染的程度。这一方法主要对摩擦学系统中的润滑剂的状况作出描述。磨粒分析主要对润滑系统中的磨粒、污染物颗粒和腐蚀产物进行分析与识别; 侧重于揭示摩擦学系统中摩擦副的磨损状态。但摩擦学研究表明, 润滑剂衰败与摩擦副磨损不是彼此孤立的现象, 而是相互影响而又互为因果的两个方面。通常, 润滑状态的恶化必然导致磨损加剧; 反之, 摩擦副的失效也会污染和促使润滑剂性能发生变化。因此, 润滑剂变化与摩擦副的磨损是相互联系的, 不应只重视某一方面而相互孤立地分析和考察润滑剂性能衰败与摩擦副磨损的问题。这就是产生“油液监测技术”这一提法的理由。“油液”两字体现了从在用润滑剂这一信息载体着手, “监测”两字既包含对润滑剂的性能进行监视与分析, 又包含对润滑剂携带的磨粒(或污染物颗粒、腐蚀产物等)进行检测与识别。应用油液监测技术必须从系统工程的理念出发, 以在用润滑剂为信息载体, 开展机械摩擦学故障的综合监测与诊断。

1.1.3 油液监测技术的具体内容

油液监测技术包括对油液本身的物理化学性能分析和对油液中磨粒分析技术两大部分。

润滑油物理化学性能分析有如下内容:

- 1) 油品的衰化。系指由于温度作用或滤清效应, 使其粘度、密度、酸值等发生改变, 造成油品的衰化。
- 2) 油液添加剂的损耗。润滑油中常加有各种用途的添加剂, 用于抗磨、抗氧化等。这些添加剂中常含有 Ba、Ca、P、Zn 等元素, 在使用过程中, 润滑油中添加剂的消耗会产生含有相应元素的化合物。
- 3) 油液污染。润滑油在使用过程中, 不可避免地会受到外界污染和生成有害物质。这些物质可能会影响油液性能。如果油品中发现某些相关元素含量突然增加, 则标志着油品可能被污染。

油液中磨粒分析包括如下内容:

- 1) 化学成分。用以判断设备异常情况发生的部位和磨损的类型。
- 2) 浓度含量。用以判定磨损的总量程度, 预测可能的失效和磨损率。
- 3) 尺寸大小。用以判断磨损的严重程度和磨损类型。
- 4) 几何形貌。用以判断设备摩擦副的磨损机理。

原则上讲, 油液监测技术适用于任何具有封闭或半封闭润滑系统的机械设备。工业应用表明, 油液监测技术较其他监测技术更适用于以磨损为主要失效形式的低速、重载、环境恶劣(如噪声大, 振动源多, 外界干扰明显)、往复运动和采用液体或半液体润滑机械的监测与诊断。基于油液分析的机器状态监测已成为多数现代工业维修活动中不可缺少的手段之一, 并在设备状态监测及故障诊断、摩擦磨损机理研究、制订正确的磨合规范、判定润滑系统污染状况、确定润滑油添加剂的损耗、制订正确的换油周期、新品油的性能评定等几个方面获得广泛应用。

1.2 油液监测技术的发展历史

油液监测技术的出现, 起始于磨粒分析技术的需求和应用, 而不是比磨粒分析技术古老得多的润滑油理化分析技术。磨粒分析作为设备故障监测的历史应上溯至 20 世纪 40 年代。1940 年, 美国在液压系统和航空飞机润滑油回油管路安装了磁塞或过滤器, 发现了润滑油中的金属颗粒, 第一次以磨损产物的形式为机械零部件磨损提供了视觉证据。美国铁路部门于 1941 年采用 Baird 公司生产的原子发射光谱仪对机车柴油机润滑油进行分析, 通过油中的磨损金属颗粒浓度变化, 判断机车内燃机的工作状态, 预估发动机零件的寿命。1956 年, 美国海军航空兵采用同样方法监测战机, 随后迅速被其他军队和工厂使用, 并传播到欧洲各国。从此以后, 美国及其他西方国家绝大多数公司都相继采用了油液监测技术, 并逐渐从军工企业发展到汽车和其他运输业。现在已广泛应用在有润滑的动力设备和传动装置, 诸如航空涡轮发动机和活塞式发动机、柴油机和汽油机、液压泵和液压马达、压缩机和液力系统、轴承和齿轮等。

20 世纪 50 年代, 色散型红外光谱仪开始用于油液分析, 标志着红外光谱分析技术进入油液监测领域。

颗粒计数器产生于 20 世纪 60 年代中期, 用来测量油液中颗粒的数量和粒度分布。主要有磁电型和光电型, 但计数在当时不够精确。

20 世纪 70 年代初, 美国麻省理工学院 W.W.Seifert 和 Foxboro 公司的 V.C.Westcott 研究了机器润滑油中的微粒, 提出了铁谱技术 (Ferrography) 的原理并研制了第一台分析式铁谱装置。铁谱技术的出现, 为机械磨损监测诊断和磨损机理研究开辟了一个以磨粒为信息载体的研究、应用新领域。铁谱技术丰富了油