

机械装备油液 监控技术与应用

TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS OF
EQUIPMENT OIL MONITORING

毛美娟 朱子新 王峰 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

机械装备油液监控 技术与应用

TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS OF
EQUIPMENT OIL MONITORING

毛美娟 朱子新 王峰 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

机械装备油液监控技术与应用 / 毛美娟, 朱子新, 王峰编著. —北京: 国防工业出版社, 2006. 9
ISBN 7-118-04686-8

I. 机... II. ①毛... ②朱... ③王... III. ①机械
设备-燃料-监测 ②机械设备-润滑油-监测 ③机械设
备-液压油-监测 IV. TH17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 088175 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 14 1/2 字数 370 千字

2006 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 50.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764



毛美娟

1963年毕业于北京理工大学液体火箭燃料专业，高级工程师，长期从事航空油料与装备油液监控技术的应用及研究工作。40多年来，参加和主持多项航空油料的试用、使用、油液监控应用等科研项目，率先将国外油液监控先进技术应用于我国飞机发动机的状态监控，获军队科技进步二、三等奖多项，发表论文40余篇。



朱子新

高级工程师，工学博士，空军高层次科技人才，2003年3月—2005年5月在装备再制造技术国防科技重点实验室进行博士后研究工作。长期从事装备状态监控、表面工程等领域的研究，参加多项国家自然科学基金和军队科研项目的研究工作，发表论文70余篇，参编学术著作和研究生教材6部。



王 峰

高级工程师，空军高层次科技人才。1989年作为军事专家援外工作1年半，主持完成多项军队科研项目，获得军队科技进步二等奖1项、三等奖4项，发表论文20余篇。曾任《飞机故障信息与分析》、《质量反馈信息与分析》杂志责任编辑，2002年被聘为总装备部装备维修工程技术专业专家组成员。

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金 第五届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 张又栋

秘 书 长 张又栋

副 秘 书 长 彭华良 蔡 镭

委 员 于景元 王小谟 甘茂治 刘世参

(按姓名笔画排序) 杨星豪 李德毅 吴有生 何新贵

佟玉民 宋家树 张立同 张鸿元

陈冀胜 周一宇 赵凤起 侯正明

常显奇 崔尔杰 韩祖南 傅惠民

舒长胜

序

机械装备 80% 的故障与磨损有关,因此基于摩擦学理论的油液监控技术所得到的信息更能直接反映装备动力及传动系统的技术状态,有利于尽早发现和消除故障隐患。油液监控技术是国家重大装备减少事故、保证安全、改善环境的重大举措,符合国家可持续发展战略。国内外大量应用实践证明,油液监控技术能够提前预报装备磨损故障,提高装备使用可靠性和安全性;指导和预测最佳维修时机,降低维修成本,延长装备使用寿命;正确评估在用油液品质,降低油耗。它是实施状态监控维修的有效技术,是维修决策的重要依据。

我国空军于 20 世纪 80 年代率先引进油液监控技术,20 多年来已建立了完善的各级油液监控实验室,取得了良好的军事效益和经济效益。《机械装备油液监控技术与应用》的作者均是在航空维修领域长期从事油液监控、故障诊断研究的专家,他们在装备摩擦、磨损与润滑理论的基础上,总结了近年来油液分析、监控及管理工作的经验,汇集了他们近年来的研究成果和国内外同行的论著、资料。该书系统论述了装备油液监控的现状、内涵、重要意义及理论基础;详细阐述了油液监控的关键技术及管理措施;全面介绍了国内外油液监控的状况及发展动态,并提出了我国油液监控发展的方向。该书学术思想新颖,内容具体实用,具有很强的应用价值,不仅有助于提高油液分析人员的诊断技术和分

析判断能力,也为从事装备研制及使用、维修人员提供指导和帮助。

愿该书的出版对提高油液监控技术水平、促进装备针对性维修开展和发挥装备最佳使用效能起到积极的推动作用。

中国工程院院士
中国设备管理协会副会长
装备再制造技术国防科技重点实验室主任
装甲兵工程学院教授

A handwritten signature in black ink, appearing to read '徐海士' (Xu Haisi), written in a cursive style.

前 言

机械装备油液监控技术是实施状态监控维修的有效技术,是维修决策的重要依据,科学技术的发展,各学科的相互渗透、相互促进,使得机械装备油液监控这一新兴技术得到了跨越式的发展,在世界范围内得到了高度的重视与普遍的应用。

美国三军自 20 世纪 60 年代开始采用油液分析技术监控装备的动力系统,到目前为止已经成立了 300 个油液分析实验室,成立了三军联合油液分析机构(JOAP——joint oil analysis program),制定了各种装备的磨损控制指标,开发了多种油液监控仪器。在两次海湾战争中,装备油液监控为保障美军装备的高完好率和高机动性发挥了重要的作用。我国于 1984 年引进油液监控技术,经过 20 多年的努力,机械装备油液监控工作已从实验室的研究发展到实际应用,建立了各级油液监控实验室,取得了明显的军事效益和经济效益,仅航空装备即获得经济效益 20 多亿元。

本书在论述油液监控与装备维修及摩擦学故障理论的基础上,结合我国 20 多年机械装备油液监控的研究成果及经验,系统论述了装备油液的监控技术及其应用,并展望了油液监控技术的发展方向,旨在为我国油液监控水平整体提高提供理论基础和技术指导。

本书共分 7 章。第 1 章系统论述装备油液监控的内涵及重要意义,阐述油液监控与机械装备维修的关系;第 2 章介绍油液监控的摩擦学基础;第 3 章介绍油液检测技术;第 4 章介绍油液光谱分析故障诊断技术;第 5 章介绍油液监控的管理体系;第 6 章介绍油液监控技术在飞机、舰船、重载车辆、工程机械等领域的应用;第 7 章介绍油液监控技术的发展动态,并展望我国油液监控发展的

方向。

本书的作者除空军航空仪器设备计量总站油液监控中心的科技人员外,还特邀北京理工大学万耀青教授、中国通用技术集团马璐高级工程师、海军装备部鲍承昌高级工程师及装甲兵技术研究所宋文杰高级工程师等共同执笔。各章节的作者是:第1章 毛美娟、张建华、王峰;第2章 朱子新;第3章 毛美娟、陈栋、张晶;第4章 4.1 毛美娟,4.2 马璐、毛美娟,4.3 万耀青,4.4 黎琼炜;第5章 张建华、王峰;第6章 6.1 毛美娟、陈栋,6.2 朱子新、鲍承昌,6.3 朱子新、宋文杰,6.4 朱子新;第7章 黎琼炜。全书由王峰审核,朱子新统稿。

本书供从事机械装备设计、制造、使用、维修及油料应用的工程技术人员和管理干部使用;也可供高等院校相关专业研究生和高年级本科生教学选用。限于作者水平,且书中内容又是发展很快的新技术,错误之处谨祈读者斧正。本书在编写过程中参考了国内外大量文献资料,谨向文献作者表示感谢。

中国工程院院士、装甲兵工程学院教授徐滨士将军在百忙之中为本书作序,并提出了许多宝贵的意见,在此谨表示诚挚的谢意。

特别感谢国防科技图书出版基金评审委员会和国防工业出版社对本书提出的宝贵意见和支持。

感谢空军装备部外场部及空军航空仪器设备计量总站等单位给予的大力支持。

感谢美国热电技术分析公司北京办事处、美国超谱公司北京办事处、加拿大 GasTOPS 北京办事处和美国 OSA 公司北京办事处为本书提供了部分资料。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 装备油液监控概述	1
1.1.1 装备油液监控的功能	2
1.1.2 装备在用油液性能、磨粒、污染的 监测	4
1.1.3 装备在用油液性能、磨粒、污染的 控制	10
1.2 维修演变的主要历程	10
1.2.1 以事后方式为单一措施的事后维修 阶段	11
1.2.2 以定时方式占主导地位的定时维修 阶段	13
1.2.3 以状态监控方式为核心的状态监控 维修阶段	15
1.3 油液监控在机械装备维修中的重要地位	18
1.4 油液监控技术在机械装备维修中的广泛 应用	26
1.4.1 国外油液监控技术的发展历史及应用 现状	26
1.4.2 国内油液监控技术在军事和民用领域的 应用	28
第 2 章 油液监控的摩擦学基础	33
2.1 机械装备的磨损	33

2.1.1	磨粒磨损	35
2.1.2	粘着磨损	37
2.1.3	疲劳磨损	39
2.1.4	腐蚀磨损	42
2.1.5	冲蚀磨损	43
2.1.6	微动磨损	45
2.2	机械装备的润滑	47
2.2.1	润滑基础	48
2.2.2	润滑油的组成及种类	53
2.3	润滑油性能的衰变	60
2.3.1	润滑油氧化	60
2.3.2	抗氧化添加剂的作用	64
2.3.3	润滑油中的氧化产物及其危害	65
2.3.4	添加剂损耗	67
2.4	油液的污染	68
2.4.1	固体颗粒污染	68
2.4.2	水分污染	71
2.4.3	空气污染	72
2.4.4	其他污染	73
2.5	典型零部件的磨损故障	74
2.5.1	滚动轴承	75
2.5.2	齿轮	88
2.5.3	活塞/缸套	96
2.5.4	滑动轴承	103
2.5.5	离合器	105
第3章	油液检测技术	108
3.1	油液检测的取样	108
3.1.1	正常取样和特殊取样	108
3.1.2	取样操作	110

3.2	油液的磨粒检测技术	115
3.2.1	光谱分析法	115
3.2.2	铁谱分析法	125
3.2.3	在线磨粒检测技术	138
3.2.4	油液磨粒检测新技术	139
3.2.5	几种油液磨粒分析方法的比较	146
3.3	油液的性能检测	148
3.3.1	油液的理化性能检测	148
3.3.2	油液的使用性能检测	153
3.3.3	润滑油性能衰变的检测——傅里叶变换 红外光谱	157
3.4	油液的污染检测及控制	165
3.4.1	油液的污染度检测方法	166
3.4.2	油液污染控制	174
3.5	油液信息参数综合检测	191
3.5.1	维修方式的油液信息参数的选择	192
3.5.2	装备类型油液信息参数的选择	193
3.5.3	油液状态的油液信息参数选择	194
3.5.4	检测仪器的选择	195
3.5.5	新型油液综合参数分析系统	198
第4章	油液故障诊断技术	202
4.1	油液信息参数与装备故障的关系	202
4.2	油液监控的界限值	209
4.2.1	油液分析中的界限值	209
4.2.2	油液分析的界限值制定原理和方法	215
4.3	油液分析故障诊断的专家系统	234
4.3.1	概述	234
4.3.2	专家系统的开发和应用	246
4.4	油液光谱分析故障诊断方法	260

4.4.1	界限值法	260
4.4.2	浓度和浓度梯度的模糊综合评判	263
4.4.3	判别分析法	268
4.4.4	磨损元素的模糊聚类分析	271
4.4.5	光谱分析浓度数据的预测	274
4.4.6	各种方法的综合应用	280
4.5	油液监控信息管理和远程诊断网络系统	284
4.5.1	需求分析	285
4.5.2	技术方案	288
第5章	油液监控管理	294
5.1	组织管理	294
5.1.1	美军建立联合油液监控机构概况	295
5.1.2	新建油液监控实验室的组织管理程序 和要求	300
5.1.3	油液监控实验室组织管理的主要要素	301
5.2	质量管理	302
5.2.1	全寿命管理要求	302
5.2.2	实验室文件的管理	304
5.2.3	对委托方合同的评审及服务	306
5.2.4	采购	308
5.2.5	实验室记录的控制	309
5.2.6	实验室的内部审核	310
5.2.7	实验室管理的评审	310
5.3	技术管理	311
5.3.1	油液监控实验室人员	311
5.3.2	油液监控实验室的设施与环境	313
5.3.3	油液监控实验室的测试方法	314
5.3.4	油液监控实验室的仪器设备	316
5.3.5	结果的报告	317

5.4	经费管理	319
5.4.1	经费管理原则	319
5.4.2	经费的使用范围	320
5.4.3	经费的监督	320
第6章	油液监控技术的应用	322
6.1	飞机的油液监控	322
6.1.1	飞机油液监控的主要内容	322
6.1.2	发动机滑油系统中金属含量超标 故障	323
6.1.3	润滑油性能衰变	332
6.1.4	油液污染监测的应用	333
6.2	舰船的油液监控	333
6.2.1	舰船油液监控的内容	334
6.2.2	舰船主柴油机的油液监控	336
6.2.3	螺旋桨轴的油液监控	347
6.2.4	污染度分析在船舶机械状态监控中的 应用	351
6.3	重载车辆的油液监控	360
6.3.1	重载车辆的油液监控内容	360
6.3.2	履带车辆的油液监控	362
6.3.3	百吨级矿用汽车的油液监控	369
6.4	工程机械的油液监控	378
6.4.1	工程机械油液监控内容	378
6.4.2	施工机械的油液监控	384
6.4.3	隧道全断面岩石挖掘机的油液监控	389
6.4.4	其他工程机械的油液监控实例	395
第7章	油液监控的发展动态	399
7.1	装备油液监控新技术	399
7.1.1	嵌入式传感器和在线监控系统	399