

设备状态识别与维修决策

谢小鹏 著

中国石化出版社

设备状态识别与维修决策

谢小鹏 著

中国石化出版社

内容提要

本书就摩擦学在设备维修管理中的应用进行了积极探索,提出了基于摩擦学的设备维修管理思想。作者在多年实践研究与理论分析的基础上,构筑了基于摩擦学的设备状态识别与维修管理决策系统。本书可供企业设备管理人员阅读,亦可作为大学相关专业学生和研究生教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

设备状态识别与维修决策/谢小鹏著—北京:中国石化出版社,2000
ISBN 7-80164-013-6

I. 设… II. 谢… III. 机械-设备-摩擦-研究 IV. TH117.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第70778号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安外大街58号

邮编:100011 电话:(010)84271859

<http://press.sinopec.com.cn>

中国石化出版社照排中心排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092毫米 16开本 9印张 140千字 印1001—2000

2000年9月第1版 2001年4月第2次印刷

定价:18.00元

前 言

作者多年来一直从事设备状态监测和摩擦学等领域的研究与教学工作,近年来则致力于基于摩擦学的设备状态识别与维修管理的研究工作,力图将摩擦学的丰富知识应用于设备的状态识别与维修管理工作中。本书是在作者博士论文基础上,进一步充实改写而成的。

本书的工作是在谢友柏院士的精心指导下完成的。导师渊博的科学知识、严谨的治学态度和活跃的学术思想,使学生受益匪浅。值本书出版之际,作者向导师表示衷心的感谢!

在本书的写作期间,作者得到了家人的极大鼓励和支持,在此表示衷心的感谢!

在完成本书之际,作者十分感谢朱均教授、丘大谋教授、虞烈教授、张优云教授的关心与指导!

作者在整个课题研究过程中多次得到杨兆建教授、严新平教授的帮助,在此表示诚挚的谢意!

在油液分析实验过程中,得到了刘岩副教授、赵礼西师傅的指导和帮助,在此表示感谢!

在系统软件开发过程中,赵方、曲庆文、王成军、陈志澜等同志给予了指导,在此一并表示感谢!

在机车柴油机状态监测过程中,茂名石油化工公司铁路运输公司的领导和技术人员给予了大力支持,作者在此表示感谢!

作者学识浅薄,书中论述不周甚至错误之处在所难免,请求学者、专家和读者批评指正。

谢小鹏

2000年6月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 摩擦学的发展及其系统研究方法	1
1.2 摩擦学系统的状态识别技术	3
1.3 设备维修管理的发展与现状	3
1.4 以可靠性为中心的维修思想及其与摩擦学的关系	5
1.5 基于摩擦学知识的设备维修管理思想	6
1.5.1 摩擦学与设备维修管理的系统关系	6
1.5.2 基于摩擦学知识的设备维修管理思想的理论依据	6
1.6 选题的意义及本书的主要工作	8
1.6.1 选题的意义	8
1.6.2 本书的研究内容	8
第二章 摩擦学系统的状态识别技术与状态描述方法研究	11
2.1 概述	11
2.2 摩擦学系统的系统理论与系统状态识别技术	11
2.2.1 摩擦学系统的系统理论	11
2.2.2 摩擦学系统的状态监测技术	13
2.3 机车柴油机状态描述方法及状态识别系统开发	17
2.3.1 机车柴油机状态描述	17
2.3.2 设备摩擦学系统状态识别系统的设计	19
2.4 本章小结	22
第三章 机车柴油机摩擦学系统的状态监测与识别	23
3.1 本章概述及机车基本概况	23
3.2 机车柴油机摩擦学系统的失效模式	26
3.2.1 机车柴油机摩擦学系统失效模式	26
3.2.2 基于油液分析的机车柴油机摩擦学系统故障规则	27
3.3 机车柴油机润滑系统的失效分析	28
3.3.1 润滑油的状态控制与补偿	29
3.3.2 机车柴油机润滑油换油间隔的实验研究	36
3.4 机车柴油机摩擦学系统的状态监测与识别	40
3.5 由微动磨损引起机车柴油机异常高温与振动	49
3.6 本章小结	50
第四章 设备摩擦学系统的维修管理决策	51
4.1 概述	51

4.2	有关设备维修管理理论的一些基本概念	52
4.2.1	可用度与维修度	52
4.2.2	失效率与维修率	53
4.2.3	随机故障和耗损故障寿命期	54
4.2.4	摩擦学系统失效的统计分布	54
4.2.5	设备维修的级别和维修方式	55
4.3	可用度的马尔可夫过程模型及求解方法	57
4.3.1	关于马尔可夫过程	57
4.3.2	设备摩擦学系统可用度的马尔可夫过程模型	59
4.3.3	机车柴油机任一时刻可用度计算举例	61
4.4	用摩擦学系统状态参数修正的 Monte-Carlo 仿真模型求解设备大修周期	62
4.4.1	Monte-Carlo 仿真的基本思想	62
4.4.2	应用 Monte-Carlo 仿真理论于设备维修管理	65
4.4.3	以最大可用度为目标的机车最佳大修周期仿真模型	66
4.4.4	考虑机车柴油机摩擦学系统状态时的 M—C 仿真求解模型	71
4.5	以效益度为目标的 M—C 仿真求解设备大修周期	76
4.5.1	效益度的概念	77
4.5.2	最大效益度的度量方法	77
4.5.3	用摩擦学系统状态参数修正的仿真模型	78
4.5.4	利用仿真研究 V100 机车柴油机大修周期	78
4.6	基于摩擦学的设备维修管理系统	80
4.7	机车柴油机报废时机的研究与讨论	83
4.7.1	设备大修并非“完全修复”	83
4.7.2	大修周期 T 是寿命(时间)的递减函数	84
4.7.3	机车柴油机使用寿命的仿真求解方法	84
4.7.4	机车柴油机寿命仿真求解实例	86
4.7.5	讨论	86
4.8	本章小结	88
	第五章 滑动轴承状态识别与识别系统开发	89
5.1	滑动轴承的状态识别	89
5.1.1	滑动轴承的失效形式	89
5.1.2	滑动轴承的状态识别	90
5.2	滑动轴承的状态识别系统	92
5.2.1	滑动轴承故障规则	92

5.2.2 铁谱和光谱数据分析	93
5.2.3 铁谱图片的计算机辅助定量分析	93
5.2.4 状态识别系统的组成	95
5.3 滑动轴承状态识别系统应用实例	97
5.3.1 设备基本状态参数	97
5.3.2 状态诊断结果	98
5.4 本章小结	98
第六章 设备摩擦学系统远程在线状态识别	99
6.1 概述	99
6.2 在线铁谱仪总体结构与工作原理	100
6.3 在线铁谱仪的主要功能及基本操作参数	102
6.4 在线远程设备状态识别的实现	103
6.5 光纤数据传输系统	103
第七章 柴油机磨合规范的铁谱研究	106
7.1 概述	106
7.2 有关磨合理论综述	106
7.3 6105Q 柴油机磨合规范研究的必要性	108
7.4 用铁谱技术研究磨合的可行性	109
7.5 磨合规范研究的铁谱诊断原理	109
7.6 6105Q 柴油机磨合试验结果分析与结论	111
7.6.1 直读铁谱数据及其分析	111
7.6.2 磨粒的观察——分析铁谱	112
第八章 结论与讨论	114
8.1 结论	114
8.2 讨论	115
附录	116
参考文献	129

第一章 绪 论

1.1 摩擦学的发展及其系统研究方法

摩擦学是最近 30 年发展起来的一门边缘综合性学科。自 1966 年 Jost 报告^[1]发表以来,摩擦学已经得到了很大发展。有关摩擦学方面的研究论文的发表逐年增长。仅从 1966 年到 1977 年的 11 年时间里发表论文 5500 多篇^[2],以后每年约以 4000 多篇的速度在发展^[3]。摩擦学作为一个科学概念的出现引起了涉及摩擦学的多学科活动的指数增长,它已将许多学科揉进了一个公认的以控制摩擦和减少磨损为目的的多学科主题中。应用摩擦学研究成果带来了巨大的经济效益,节约了数以亿计的能源、材料和人力^[4-7]。

在我国古代,劳动人民早就用到有关摩擦学的知识。例如钻木取火,辊木搬运,辘轳战车等。机器出现以后,人们逐步开展摩擦、磨损与润滑的研究,形成了近代摩擦学的雏形,直到 1966 年摩擦学才被作为一门学科正式提出。它突破了只包含摩擦、磨损与润滑的限制。Jost 提出的摩擦学定义为:“摩擦学(Tribology)是研究相对运动、相互作用表面的有关理论与实践的一门科学与技术”^[1]。这一学科的提出立即受到世界各国的普遍重视,引起众多不同学科领域的专家学者的关注和积极参与,从而推动了摩擦学的迅速发展。目前摩擦学的研究不仅存在于机械系统中,而且存在于其它许多领域,例如计算机工业中的磁性储存器,铁路交通中的轮轨问题,医疗中的人工关节等。摩擦学涉及到的学科也在增加,例如材料科学、表面工程、流体力学、流变学、数学、物理、化学、机械工程等^[8-10]。

摩擦学是一门综合性的边缘学科,是一个系统工程问题。因此适合用系统方法进行研究。早在 1978 年 Czichos^[2]就在这方面作了探索,他用系统的方法对摩擦学的各部分作了分析,是成功的尝试。然而随着摩擦学研究的不断深入,研究范围的进一步扩大,它的应用研究已从单纯的摩擦、磨损与润滑等方面,发展到机器设备的状态监测,并正在向设备维修管理渗透。这就使得 Czichos 的摩擦学系统理论有了更广泛的应用。1993 年,文献[11]为适应摩擦学发展的需要,提出了摩擦学大系统理论。这一理论的诞生标志着摩擦学的发展进入了一个新的历史时期。它使摩擦学的研究领域进一步扩大,使摩擦学研究更加面向生产、面向工程实际问题。摩擦学大系统理论把状态监测列为了一个必须的子系

统。这样就把状态监测这一活跃领域与摩擦学组成了一个整体，从而用摩擦学的丰富知识来指导状态监测工作，分析设备故障原因。图 1.1 为摩擦学大系统的基本组成。

据统计^[12]，缩短机器寿命的主要因素是磨损，在报废的机械零件中，因磨损而失效的占 80%。本书作者多年来对机车柴油机的状态监测与失效调查也得出类似结论。磨损还会引发其它的失效形式。因此，用摩擦学知识指导状态监测是十分必要的，是有效的。摩擦学大系统理论还建议，把系统的补偿及控制作为摩擦学大系统的一个子系统。系统的控制与补偿具体到机器设备中的一个内容就是设备的维护与维修。它是从外

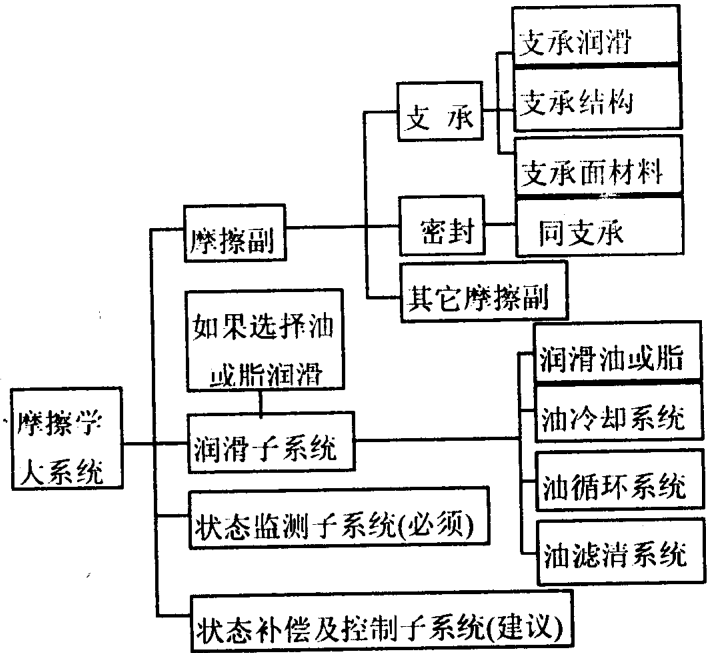


图 1.1 摩擦学大系统的组成

界对系统状态退化进行控制与补偿的步骤，目的是使其部分或全部恢复原状。所以设备的维修系统是摩擦学大系统中状态补偿及控制子系统的一个组成部分。

随着摩擦学的发展，摩擦学的研究突破了原来有关摩擦学的定义范围。文献[11]用系统的观点给出了现代摩擦学的定义。新的摩擦学定义为：“摩擦学是关于自然界系统中相互作用、相对运动表面及参与作用的介质在系统中的行为和结果的科学及有关技术”。这一定义清楚地表明了摩擦学是一个系统工程问题。文献[11]还同时指出了摩擦学的三大重要特征，即系统依赖性、时间依赖性、多学科跨学科性。最初的摩擦学是以研究机器设备的摩擦、磨损与润滑这三个相互关连的领域为目标，后来逐步发展到监测机器设备的摩擦学时变特性且依此诊断机器设备的故障，实施状态控制与补偿，为机器设备的维护、保养、维修管理提供决策依据。

1.2 摩擦学系统的状态识别技术

摩擦学系统的状态就是指它的结构状态, 由于摩擦学行为, 这种状态是运动的, 而所谓摩擦磨损则是关于这种状态某个侧面的一种描述。例如系统的润滑状态或称摩擦状态, 实际上就是润滑剂在摩擦副中存在状态的描述, 磨损状态则是关于摩擦副两表面几何和特性变化的描述, 振动在很多情况下是由摩擦磨损和润滑引起的。摩擦磨损状态可以由系统的输出或输入/输出关系来进行估计的, 或称状态识别。这些参数主要有温度、油膜、振动、噪声、磨粒参数等等。通过对所取得的油液(磨粒)、振动、噪声、温度等信号进行分析, 在一系列相关的模型的基础上, 就可以对系统的当前状态做出估计或对状态变化趋势做出预测。这种当前状态的评估与状态变化趋势预测是一切设备维修的依据。油液分析中的铁谱、光谱、颗粒计数等技术都可以直观地反应摩擦学系统中摩擦副的磨损状态、磨损机理及润滑状态。温度参数变化则可反应润滑状态。磨损使配合间隙增大而振动。振动反过来又加速了磨损进程。设备的状态识别和故障诊断已经累积了丰富的经验、资料、数据^[13-19]。状态监测所取得的成就正在逐步渗透到设备的维修管理中去, 本文的工作之一正是尝试建立设备状态监测与设备维修管理之间的桥梁。

1.3 设备维修管理的发展与现状

摩擦学系统的状态可以由状态监测技术进行估计。而作为摩擦学子系统的状态补偿(设备维修)的现状如何呢? 这里不讨论自动状态控制和补偿, 只考虑传统的人为状态补偿问题。

设备的维修管理制度的发展可分为三个阶段^[20-21]。第一阶段是第二次世界大战前的一段时期, 在这一段时期基本上采用事后维修策略。第二阶段是第二次世界大战到 20 世纪 60 年代, 在这一阶段设备的预防维修制度迅速得到完善和广泛推广, 这也就是我们所说的定期维修策略。第三阶段是指从 60 年代到现在的这几十年时间。在近 30 年中, 各个领域的科学技术都得到了迅猛的发展。随着各种机器设备的现代化程度的提高, 其结构也变得越来越复杂。在复杂的设备中, 许多零部件的失效是随机的, 零部件越多, 这种随机性越高。为了适应新时期的需要, 在这一阶段发展了一种视情维修。它是随着状态监测技术和监测仪器的发展, 根据设备所处的状态来决定维修时期的维修方法。同时, 在这一阶段各国相继提出并形成了现代的综合维修方式, 这一维修策略强调以可靠性为中心的维修思想。它是以设备固有可靠性为着眼点, 针对不同机

件的故障规律和性质，通过特定的逻辑决断分析方法；确定出复杂设备预定的维修项目、维修方式及最佳安排，同时达到维修费用最省^[22-23]。

国内外对设备维修管理工作都比较重视。在欧洲，20世纪70年代英国首先提出了“设备综合工程学”^[24]。它把设备的寿命周期费用最经济作为研究的目的。其内容包括设备的规划和设计的可靠性及维修性，以及其安装、调试、投产、维修、改造及更新，和有关设计、性能与费用等信息方面的反馈。设备综合工程学有五个要点：(1)追求寿命周期费用最经济，(2)从工程技术、财务经验、组织管理三个方面对设备综合管理，(3)重点研究可靠性、维修性设计，(4)它以系统的观点研究设备一生的管理科学，(5)关于设计、使用、费用信息反馈的管理学。

在美国，20世纪60年代兴起了一门新兴学科叫后勤工程学。它起源于军事工程，是研究武器和器材供应、储存、输送、修理及补给的一门科学。在此基础上，还吸取了寿命周期费用和可靠性、维修性工程等现代理论。美国在20世纪50年代还提出了生产维修。它是为生产服务的维修方式，由四种维修方式组成：(1)MP(Maintenance Prevention)——维修预防，它主要是在设计阶段就注重设计质量，提高设备的素质，防止故障发生从而减少维修工作量。(2)BM(Breakdown Maintenance)——事后维修。(3)CM(Corrective Maintenance)——改善维修，它是指利用先进工艺方法和技术改善设备的先天不足，减少设备使用过程中的维修工作量，提高设备利用率。(4)PM(Preventive Maintenance)——预防维修，美国的预防维修包括定期维修和预知维修(也叫视情维修)^[25]。20世纪80年代中期，美国海军作战部颁布了“舰船维修器材管理系统”(Maintenance Material Management System——简称3-M)的指令性文件。该系统非常详细地介绍了美国海军舰船维修的具体实施办法^[26]。

在日本，设备维修管理经历了四个阶段。这四个阶段分别为：事后维修、预防维修、生产维修和全员参加的生产维修。全员参加的生产维修简称TPM(Total productive maintenance)，它是在生产维修的基础上，吸收了英国、美国以及中国的管理经验，于20世纪70年代形成的维修制度。TPM的内涵为：(1)以达到设备的综合效率最高为目标，(2)确立以设备一生为对象的全系统的预防维修，(3)涉及设备的计划、使用、维修等所有部门，(4)从领导到第一线职工全体参加，(5)动机管理，即通过开展小组自主活动推进生产维修。值得一提的是日本维修管理体系中的点检制度。所谓点检就是按照一定的标准，对设备的规定部位进行检测，使设备的异常状态和劣化早期发现、早期预防和早期维修^[27]。

瑞典的维修与管理，早在20世纪70年代初瑞典便进入了以状态监

测为基础的预防维修时期。此后瑞典许多企业建立了维修保养管理信息系统。

此外, 20 世纪在前苏联、东欧国家也都有自己的设备维修管理系统。

在我国, 70 年代以前主要是学习和沿用前苏联维修制度。自 1979 年以来由于改革开放引进了许多现代化设备管理的理论与方法, 从而促进了维修制度的发展。1983 年元旦, 国家经委公布了《国营工业交通设备管理试行条例》。这个条例经实践、修改和完善于 1987 年颁布为《全民所有制工业交通企业设备管理条例》。1984 年筹建了设备管理协会。在设备维修管理方面, 结合中国国情并大胆吸收国外先进的维修管理体系, 在探索以状态监测为基础的视情维修方面取得了可喜的成绩^[28-31, 36]。

综合国内外的维修方式, 可以看到设备维修管理思想的发展进程为: 从“事后维修为主”的维修思想→“以预防为主”的维修思想→“以预知维修为主”的维修思想。

目前, 设备使用部门仍然以预防维修为主, 辅以依赖状态监测手段的预知维修。设备的维修管理是否能够或必须从“预防维修”转向“预知维修”, 理论界与使用部门还要进一步讨论和探索。文献[32]就提出了预防维修比预知维修更有效的观点。这一观点认为, “预知维修或以状态为基础的维修在使用时常常把预防维修排除在外, 这就是一个严重的且要付出巨大代价的错误。……如果仅仅依赖预知维修技术, 就无异于宣布他们不防止故障发展, 而是在等待故障。”文献[33]也认为, 目前的状态监测和状态识别技术不能保证诊断到所有可能发生的故障。因此, 仅仅从状态诊断决定维修存在潜在的危险性。

1.4 以可靠性为中心的维修思想及其与摩擦学的关系

美国在 20 世纪 60 年代末提出了以可靠性为中心的维修 (Reliability Centered Maintenance——RCM) 的概念。以可靠性为中心的维修, 出自为使系统的固有可靠性得以实现而提出的一种预防性维修大纲。以可靠性为中心的维修大纲强调以系统的可靠性为依据, 对故障的后果进行具有逻辑性的分析, 在所得分析结果的基础上选定具体的维修工作。以可靠性为中心的维修思想, 是建立在可靠性理论上, 按照对机器设备技术状态预测和检查的结果, 按视情维修的原则, 根据维修对象的实际情况区别对待, 依照各部件本身的功能、故障原因, 有针对性地实施维修。其实质就是依据设备本身固有可靠性和使用可靠性, 结合设备的故障和规律, 采用科学分析的方法, 进行技术论证, 针对问题的实际情况, 仅作必要的维修工作。

实施以可靠性为中心的维修思想的一个重要工作环节是“对机器设备技术状态预测和检查并作出判断。”这就是现在广泛实施的设备状态监测与诊断技术，在很大程度上这也就是设备摩擦学系统的状态识别技术。

1.5 基于摩擦学知识的设备维修管理思想

摩擦学是一门综合性学科，是一个大系统。它的应用已从单纯的研究摩擦、磨损与润滑等方面发展到机械设备的状态监测，并且正在向设备维修管理渗透。由于摩擦学与设备维修管理有着内在的联系，所以用摩擦学知识来研究设备维修具有十分重大的现实意义。

1.5.1 摩擦学与设备维修管理的系统关系

把图 1.1 中的摩擦副子系统、润滑子系统合成一个系统，叫做基本摩擦学系统。并把对基本摩擦学系统的维修——一种状态补偿视为图中的补偿及控制子系统对应的子系统。这样，我们就得到了一个包含设备维修管理的摩擦学大系统，如图 1.2 所示^[34]。建立图 1.2 中三个子系统之间的系统关系，即把监测诊断系统、基本摩擦学系统与设备维修系统联系起来，就形成了一种科学的设备维修管理方法。正如大家所知道的那样，所有机械系统都含有摩擦学元件，其性能极大地影响机械系统运动控制能力，影响着它的可靠性、效率和寿命。摩擦学元件大多为易损件。利用摩擦学知识对易损件的状态及时补偿与恢复来保证其能实现确定的相对运动的功能是十分有意义的。把设备维修这种状态补偿的过程纳入摩擦学大系统中也是十分必要的。

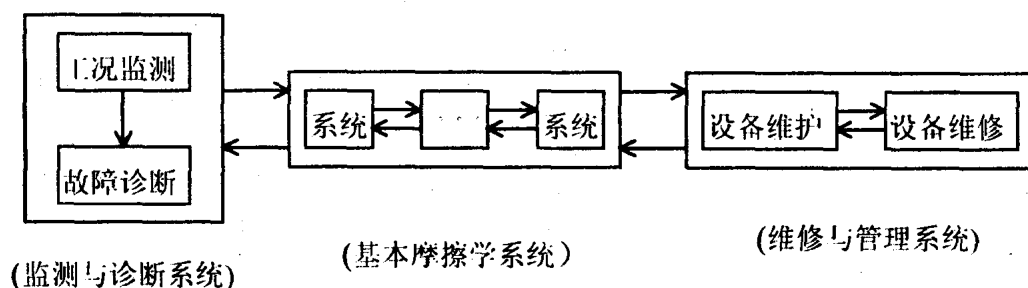


图 1.2 含设备维修管理的摩擦学大系统

1.5.2 基于摩擦学知识的设备维修管理思想的理论依据

- 维修的需要大部分是由摩擦学行为引起的

研究表明，大部分机械失效是由于摩擦学行为引起的。在机车柴油机上，缸套拉伤、汽缸串气、轴承烧瓦、润滑油变质等等都是摩擦学失效。大部分摩擦表面的裂纹也可能是由摩擦学行为引起的。磨损故障在渐发性故障中占有相当大的比例。还有些看似突发性故障也是与摩擦学行为有关。例如，汽轮机叶片断裂就有可能是叶片受冲蚀磨损变薄后产生的强度断裂。

摩擦学行为也是使机械设备产生振动的一个重要原因。磨损致使配合间隙增大可造成振动增加；磨损破坏了原有曲面产生振动。例如，渐开线齿面磨损后不能平稳啮合；摩擦系数变化会激发非线性振动；润滑油膜会引起自激振动；不均匀摩擦产生力不平衡而振动。振动与摩擦学行为是相互激励的。摩擦磨损造成振动。振动、冲击又加速磨损进程。然而，由于摩擦学行为而引起的振动，常常被一些摩擦学工作者所忽视。不正常振动是机器运动保证功能丧失的结果，可称之为一种“非法运动”。不仅磨损，就是干摩擦、边界润滑和完全流体润滑条件下的摩擦，都会激发引起这种非法运动^[35]。

摩擦学行为与机器噪声、温度变化关系也是十分密切的。噪声是由振动产生的，振动可以由摩擦磨损引起。当然它也会引起噪声的变化。润滑不良时机器的摩擦加剧、发热增加。因此，过大的机器噪声和过高的机体温度都可能是摩擦学行为引起的失效形式。

设备性能的劣化与摩擦学密切相关，这是我们从摩擦学角度来研究设备维修的基础。图 1.3 是机械设备输出参数的变化与内、外部作用的关系^[37]。从该图可看到，造成机械设备输出参数以不同速率逐渐变化的三种速率变化过程无一不是与摩擦学有关的。

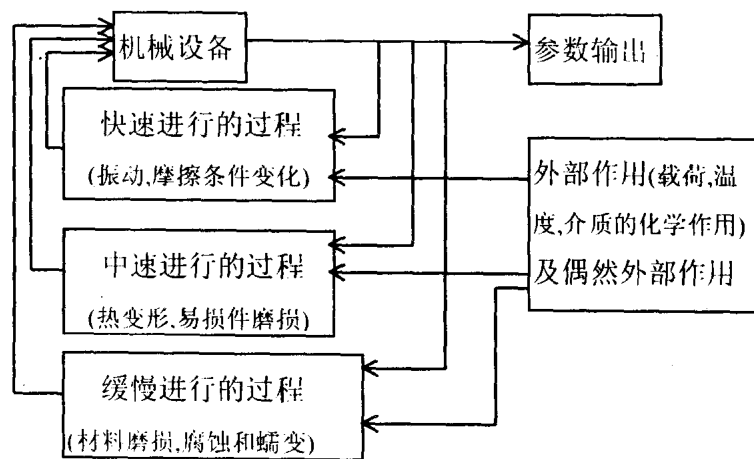


图 1.3 设备输出参数的变化与内外部作用的关系

- 维修时机是根据摩擦学状态识别技术和摩擦学知识分析做出判断的

为了对设备是否需要维修进行决策和制定维修计划,就需了解摩擦副所处的摩擦磨损状态。目前,摩擦学系统状态监测和诊断技术之一的油液分析法是了解摩擦副状态的一种有效办法。这是一种通过光谱分析、铁谱分析和颗粒计数等技术来分析润滑油中磨粒特性的方法。由于油液中的磨粒携带着机器运行状态的大量信息,对磨粒的监测和研究不但能反映机器的磨损程度,还能知道机器的磨损机理,为机械设备维修管理提供宝贵的信息。通过油液分析,找出设备的磨损机理和磨损规律,对机器设备进行寿命预测,根据设备状态的发展趋势及劣化速度来决定修理时间、修理级别。这样就可以提高机器设备维修决策的科学性。以实现机器计划维修与状态维修(预知维修)的有机结合,从而确保设备的良好技术状态,从管理上促进维修体制的改革。

- 维修技术本身在一定程度上是利用摩擦学技术

摩擦学领域一些研究成果正应用于设备维修中。磨损自补偿添加剂在一定条件下可以修复被磨损表面;某些清洗剂可以不解体清洗机器管路(润滑和冷却系统)的污垢、积炭等;研磨技术是保证两直接接触表面间密封性能的常用技术;表面刷镀和表面涂层既可以补偿表面磨损,有时还起到表面防腐作用;微动磨损理论应用于某些因微动磨损引起的表面失效修复。

1.6 选题的意义及本书的主要工作

1.6.1 选题的意义

摩擦学大系统理论的提出,扩展了摩擦学的研究领域,推动着摩擦学的进一步发展。近十年来,作为摩擦学子系统之一的状态监测技术有了长足的发展,但与另一个子系统——状态控制与补偿子系统(维修管理子系统)之间的关系如何?如何应用已有摩擦学知识来指导设备的维修管理呢?本文正是从摩擦学的大系统理论出发,建立起摩擦学与设备维修管理的指导关系系统,从而进一步充实和发展摩擦学大系统理论。

1.6.2 本书的研究内容

本课题的研究思路如图 1.4 所示。由于大部分机械系统失效属摩擦学失效,因此有必要把摩擦学引入到设备维修管理中。本文的主要工作

是进行四台机车柴油机摩擦学系统状态监测与识别和开发基于摩擦学的设备维修管理系统。具体工作是：

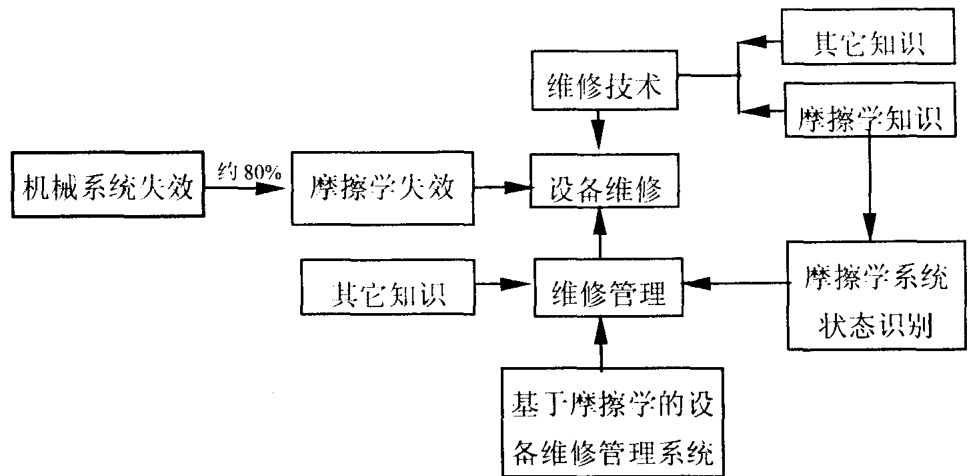


图 1.4 本书的研究思路

1. 通过对 V100 型内燃机车柴油机的状态监测，充分了解不同使用寿命时期机车柴油机摩擦学系统的状态(即状态识别)。本书开发的状态识别系统可以计算机车柴油机在任一时刻的状态级别。
2. 分析研究 V100 型内燃机车柴油机摩擦学系统的失效模式。通过两年的 状态监测并给合机车应用记录的调查，本书比较系统地总结了机车柴油机摩擦学系统的失效模式。
3. 研究了基于摩擦学的设备维修管理系统。该系统包括设备摩擦学系统状态识别和设备维修管理两大部分。
4. 探讨用摩擦学系统状态参数修正的 Monte—carlo 模拟仿真方法，并由此
计算设备大修周期。在仿真模型中引入了自补偿系数 K_k 和反映设备摩擦学系统状态的修正系数 C 。
5. 定义机车效益度概念，研究并设计了以最大效益度为目标的大修周期仿真系统。由这个系统仿真得到的大修周期能够使设备在使用过程中带来更大的经济效益。
6. 用系统仿真方法研究了机车柴油机报废寿命问题。本书把设备的报废寿命周期看成一个更大的大修周期，利用设备摩擦学系统状态参数修正仿真模型并仿真求解不同使用状态下的设备极限寿命。
7. 用马尔可夫随机过程分析计算设备可用度。 在随机故障期，设备在任一时刻的可用度可以用马尔可夫数学方法进行预测，本书利用马尔可夫过程计算了机车柴油机不同寿命期的可用度。

8. 用微动磨损理论指导并解决了一例机车柴油机振动、发热异常问题。

9. 完成了滑动轴承的状态监测与故障诊断系统的设计工作。该系统已投入实际应用。

10. 书中研究了基于摩擦学的设备远程状态识别技术并把柴油机磨合规范作为一个特例进行了研究。