



高等学校试用教材

工程机械 维修

许安 崔崇学 主编
易新乾 主审



人民交通出版社

China Communications Press

高等学校试用教材

Gongcheng Jixie Weixiu

工 程 机 械 维 修

许 安 崔崇学 主 编
易新乾 主 审

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书共九章,主要介绍了机械的老化与故障理论、可靠性理论与维修性理论、摩擦与润滑、机械零件的失效分析;机械零件的修复技术和机械再制造工程、典型零件和液压元件的修复;机械修理过程的主要工艺及修理管理、柴油机及工程机械底盘的典型修理装配工艺。

本书注重理论联系实际,可作为高等院校有关专业本科生教材,也适用于工程机械行业的科研与生产单位的工程技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

工程机械维修 / 许安,崔崇学主编. —北京:人民交通出版社,2004.8

ISBN 7 - 114 - 05200 - 6

I . 工... II . ①许...②崔... III . 工程机械 - 机械维修 IV . TU607

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 083944 号

书 名: 高等学校试用教材
工程机械维修

著 作 者: 许 安 崔崇学

责任编辑: 赵 蓬

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285656,85285838,85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 20

字 数: 480 千

版 次: 2004 年 8 月第 1 版

印 次: 2004 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

书 号: ISBN 7 - 114 - 05200 - 6

印 数: 0001 - 3500 册

定 价: 38.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

面向 21 世纪交通版

高等学校教材编写委员会
机械设计及其自动化专业(工程机械方向)

主任委员:冯忠绪(长安大学)

委 员 (以姓氏笔划为序):

马桂秋(辽宁省交通高等专科学校)

卢和铭(长沙交通学院)

刘晓婷(长安大学)

朱茂桃(江苏大学)

闫佐廷(辽宁省交通高等专科学校)

李自光(长沙交通学院)

张春阳(南京交通职业技术学校)

张小龙(西安建筑科技大学)

张海英(内蒙古大学职业技术学院)

张福生(太原重型机械学院)

谷立臣(西安建筑科技大学)

单绍福(山东交通学院)

陈 勇(山东交通学院)

杨晓卫(江苏大学)

杨 平(福建省交通职业技术学院)

郭小宏(重庆交通学院)

徐格宁(太原重型机械学院)

曹源文(重庆交通学院)

崔崇学(内蒙古大学职业技术学院)

焦生杰(长安大学)

秘 书:焦生杰(长安大学)

赵 蓬(人民交通出版社)

前言

步入 21 世纪,工程建设对工程机械的需要和依赖程度愈来愈高,随着科学技术的飞速发展,现代工程机械和设备的结构越来越复杂,功能越来越完善,自动化程度也越来越高。由于许许多多无法避免的因素的影响,有时机械设备会出现各种各样的故障,以致降低或失去其预定的功能,甚至造成严重的以至灾难性的事故,造成机毁人亡,因而带来巨大的经济损失,产生严重的社会影响。因此保证机械设备的安全运行,消除事故,是十分迫切的问题。这就使工程机械维修的重要性更加突现出来。

工程机械维修的现代化程度,既关系到工程机械本身的完好率、使用寿命、使用成本、工程质量、施工进度和经济效益,更重要的是从一个侧面体现一个国家建设生产综合能力的强弱,体现一个工程建设企业管理水平、技术水平和生产能力的高低。工程机械的高精度、自动化、复杂化的发展,使得其维修比较困难,但同时又促进了以检测与诊断技术为基础、可靠性为中心、多种维修方式相结合的维修模式的更快发展。当然这种维修模式的发展必须以测试技术、信号处理技术、计算机技术等现代科学技术为依托,以掌握现代科学技术、素质高、技术精的维修技术人员队伍为保证。

科学技术的不断发展,同样也会给机械维修带来新思维、新观点、新技术。从事机械设计制造、机械应用及管理的技术人员必须具有机械维修方面的基础知识和了解掌握新工艺、新技术的基本素质,才能适应时代发展的需要。

本教材是机械设计及理论专业(工程机械方向)的规划教材之一。共九章,内容包括了机械的老化与故障理论、可靠性理论、维修理论、机械零件的耗损与失效分析、机械零件的修复技术、机械修理过程的主要工艺及修理管理、工程机械发动机与底盘典型修理工艺等。在编写过程中遵循的原则是:以理论知识为基础,强调理论结合实际,特别注重实用性;在注重介绍成熟技术的同时,吸取国内外近年来的最新研究成果;以开拓思想、掌握方法、启发思维能力与创造能力为目的,以教学为主,力求拓宽适用范围,对工程实际有一定的参考与指导价值。

鉴于各校对工程机械维修课程讲授的内容、侧重点、课时数等不同,本教材将相关的内容尽量全面编入,以便满足不同的授课计划对教材的需求,并可扩大学生自学的范围。各校在使用时可根据具体情况选择内容讲授。

本教材可作为机械设计及理论专业(工程机械方向)的专业课教材,还可作为机械维修工程技术人员培训教材和参考资料。

本教材由许安、崔崇学主编,参加编写人员的分工为:第一章由长沙交通学院卢和铭编写,第二、三、四、五、六章由长安大学许安编写,第七、八、九章由内蒙古大学崔崇学编写。全书由许安统稿,易新乾教授对全书进行了审稿。

由于诸多因素,本教材中难免有错误和疏漏之处,欢迎广大读者提出宝贵意见,以利我们进一步完善。在编写过程中参阅了许多书籍和资料,在此我们对这些著作的作者表示衷心的感谢!

作 者

2004 年 1 月

目 录

第一章 机械设备的老化与故障理论.....	1
第一节 机械设备的老化及起因.....	1
第二节 老化规律及补偿.....	4
第三节 机械故障理论概述.....	6
第四节 故障理论及故障规律	12
第二章 可靠性理论与维修性理论	16
第一节 可靠性理论概述	16
第二节 系统的可靠性及可靠性理论在机械维修中的应用	19
第三节 维修性理论	23
第四节 维修思想、方式及发展趋势.....	27
第三章 摩擦与润滑	33
第一节 金属表面特征	33
第二节 摩擦	36
第三节 润滑	40
第四章 机械零件的失效分析	48
第一节 机械零件的磨损	48
第二节 机械零件的变形	62
第三节 机械零件的断裂	68
第四节 机械零件的腐蚀	75
第五章 机械零件的修复技术与再制造	80
第一节 机械加工修复	82
第二节 焊修	88
第三节 金属热喷涂修复.....	107
第四节 电镀.....	115
第五节 零件的粘接修复法.....	131
第六节 零件的其他修复技术.....	137
第七节 机械零件的表面强化技术.....	141
第八节 零件修复技术的选择与工艺规程的制定.....	152
第九节 再制造工程.....	159
第六章 典型零件的修复.....	162
第一节 基础件的修复.....	162
第二节 曲轴的检验与修复.....	171
第三节 缸套镗磨.....	179
第四节 常用件的修复.....	185

第五节 液压元件的修复	190
第七章 机械修理过程的主要工艺及修理管理	206
第一节 技术准备	206
第二节 工程机械修理类别与组织	209
第三节 机械设备的解体	212
第四节 零件的清洗	213
第五节 零件的检验	216
第六节 机械的装配与调试	220
第八章 现代柴油机典型修理装配工艺	225
第一节 滑动轴承的选配与调整	225
第二节 缸套的检验与安装	230
第三节 活塞连杆组的修理与装配	232
第四节 气门及气门座的修理	239
第五节 现代柴油机燃油供给系的安装与检查调整	252
第九章 工程机械底盘修理	269
第一节 底盘典型零部件失效特点	269
第二节 底盘典型零部件的修复与调整	271
第三节 液力变矩器的维修	292
第四节 动力变速器的维修	295
参考文献	300

第一章 机械设备的老化与故障理论

第一节 机械设备的老化及起因

机械设备无论设计和制造得多么完美,都会随着长期的使用、保管或闲置过程产生工作能力下降、精度降低、价值贬低、可靠性降低等现象,这种现象称为老化(或劣化)。研究老化的规律,研究对机械设备造成有害作用的根源及相应对策是机械维修的重要内容及理论基础。

一、老化的分类

机械设备老化可分为有形老化和无形老化两种形式。

(一)有形老化

机械设备及零部件在使用、保管或闲置过程中,因摩擦磨损、变形、冲击振动、疲劳、断裂、腐蚀等使机械实体形态变化、精度降低、性能变坏,这种现象称为有形老化。其中,机械设备在运行中造成的实体损坏为第一种有形老化。它一般表现在:

- (1)零部件的原始尺寸,甚至形状发生改变;
- (2)零部件之间的公差配合性质发生变化,精度降低;
- (3)零件破坏。

对第一种有形老化根据其性质及是否可以预防,再分为正常老化和不正常老化。前者指的是在正常使用条件下发生的不可避免的老化;后者指的是在一般情况下可以避免的一类老化。如机械摩擦磨损是不可避免的老化,在正常使用条件下,磨损是缓慢的,是正常老化,相反,若因其他原因造成快速磨损或灾难性磨损,则是不正常磨损,会造成不正常老化。对于不正常老化应采取各种措施消除其根源和发生的条件;对于正常老化则应设法减缓其产生和发展的过程速率。第一种有形老化与使用时间和强度有关。

由于自然力的作用,在保管和闲置过程中造成变形、金属锈蚀、材料老化变质等为第二种有形老化。第二种有形老化与闲置时间和保管状态有关,时间久了会自然丧失精度和工作能力。

不断改进设计,选用耐用材料,零部件加工精度的提高,结构可靠性的增大,正确使用,及时维护,合理保管,先进的修理技术的采用等都会减慢有形老化的发展进程。

技术进步常与提高速度、压力、载荷和温度相联系,这些会加剧机械的有形老化。

当机械老化到一定程度时,其使用价值降低,使用费用提高。要消除有形老化,可通过修理来恢复,且修理费应小于新机械的价值。当有形老化达到机械丧失工作能力,通过修理也不能恢复其功能时,则需用更新的机械来代替原有的机械。

(二)无形老化

机械设备在使用或闲置过程中,由于非自然力和非使用所引起机械设备价值的损失,在实物形态上看不出来的老化现象称之为无形老化或经济老化。无形老化分两种形式:

(1)由于科技进步使生产率提高,劳动耗费降低,生产工艺改进,增大生产规模等原因,虽机械设备的结构和经济性能并未改变,但再生产该种机械的价格降低,而使其贬值的现象,叫做第一种无形老化。

(2)由于不断出现结构更合理、技术性能更佳、效率更高、经济效益更好的新型机械设备,使原机械显得技术陈旧、功能落后而产生的经济老化(原机械的价值相对降低)称作第二种无形老化。

无形老化是社会生产力发展的结果,老化愈快,说明科技进步愈快。因此对无形老化我们不能防止它,而应认真研究其规律,使机械购入后,尽早尽快投入使用,提高利用率,在经济寿命期间内创造更多的价值,取得较高的经济效益。

二、老化的数量指标

以经济指标计算的有形老化程度 α_P ,用修复所有老化零件需要费用 R 与确定机械设备老化程度时该机再生产或再购入的价值 K_1 之比值表示:

$$\alpha_P = \frac{R}{K_1} \quad (1-1)$$

从经济角度分析,机械设备有形老化程度指标 $\alpha_P < 1$ 。

衡量设备的无形老化常采用价值指标,并从生产效率方面加以修正。

$$\alpha_1 = \frac{K_0 - K_1}{K_0} = 1 - \frac{K_1}{K_0} \quad (1-2)$$

式中: α_1 ——机械设备的价值降低系数,即无形老化程度指标;

K_0 ——机械设备的原价值(购置价);

K_1 ——考虑到第一、二种无形老化时该机再生产或再购入的价值。

计算 α_1 时, K_1 必须反映技术进步的两个方面对现有机械设备贬值的影响:一是相同机械设备再生产价值的降低;二是有较好功能和更高效率的新机械设备的出现。 K_1 可用下式表示:

$$K_1 = K_n \left(\frac{q_0}{q_n} \right)^\mu \left(\frac{c_n}{c_0} \right)^\beta \quad (1-3)$$

式中: K_n ——新设备的价值;

q_0, q_n ——使用相应的旧机械设备、新机械设备时的年生产率;

c_0, c_n ——使用相应的旧机械设备、新机械设备时的单位产品耗费;

μ, β ——劳动生产率提高指数和成本降低指数,指数取值范围: $0 < \mu < 1, 0 < \beta < 1$ 。

将式(1-3)代入式(1-2)中,无形老化程度指标 α_1 可写成:

$$\alpha_1 = 1 - \frac{K_n \left(\frac{q_0}{q_n} \right)^\mu \left(\frac{c_n}{c_0} \right)^\beta}{K_0} \quad (1-4)$$

机械设备有形老化的残余价值(用原始价值的比率表示)为 $1 - \alpha_P$;机械设备无形老化的残余价值(用原始价值的比率表示)为 $1 - \alpha_1$;两种老化同时发生后的机械设备残余价值为 $(1 - \alpha_P)(1 - \alpha_1)$ 。

$$\alpha = 1 - (1 - \alpha_P)(1 - \alpha_1) \quad (1-5)$$

式中: α ——机械设备综合老化程度指标(用原始价值的比率表示)。

设 K 为机械设备的残余值,即在经两种老化作用下的剩余价值,可用下式表示:

$$K = (1 - \alpha)K_0 \quad (1-6)$$

K 值是决定机械设备是否值得维修的重要依据。

将式(1-2)、式(1-5)、式(1-1)代入式(1-6)整理后得:

$$\begin{aligned} K &= (1 - \alpha)K_0 = \{1 - [1 - (1 - \alpha_p)(1 - \alpha_1)]\} K_0 \\ &= \left(1 - \frac{R}{K_1}\right) \left(1 - \frac{K_0 - K_1}{K_0}\right) K_0 = K_1 - R \end{aligned} \quad (1-7)$$

可见机械设备的残值等于再生产的价值减去维修费用。当 $K_1 > R$, 则 $K > 0$, 机械设备还有残值; $K_1 = R$, $K = 0$, 表明机械设备已无价值; 若 $K_1 < R$, 则 $K < 0$, 此时机械设备不再具有维修的意义。

三、老化的起因

由于无形老化的产生的原因主要是因为科技进步引起,在此我们不再进行更多的探究。

引起有形老化的原因较多,由于作用在机械上各种因素的积累会导致机械能力指标变化,这种变化达到一定程度,机械将从无故障状态过渡到有异常的故障状态。因此,研究对机械造成有害作用的根源,查明降低机械工作能力的过程的物理实质,弄清机械本身对这些作用所产生的反应,有助于从设计、制造、使用和维修等方面采用有效可行的措施,降低有形老化速率,延长机械的使用寿命和经济寿命,从而最大限度地发挥机械的效能。

机械设备有形老化的起因,可从不同的角度来研究认识,我们可从能量的角度考察。机械设备在制造后和使用、闲置过程中,会受到各种能量的作用。这些能量可归纳为三类:周围介质能量的作用;机械内部机械能的作用;在制造中聚集在机械零件内部潜伏作用的能量。

(一)周围介质能量的作用

作用于机械上的周围介质能量有:

1. 热能。周围介质温度的变化,来源于大环境温度的变化以及由于机械自身及周围其他机械的发热作用而造成的小环境温度的变化。热能对机械零件产生作用和影响有:热胀冷缩;金属组织和性能的变化;有机材料制造的零件的软化、蠕变及老化;温度升高使润滑油粘度变化,氧化增强,易变质,润滑性能变差,加速机件的磨损等。

2. 化学能。金属零件表面上的水分及其他浸蚀性气体或液体的作用,会使零件表面受腐蚀破坏。如水蒸气冷凝成水珠沾附于钢铁件表面时会引起电化学腐蚀,机械设备在闲置时若无保护措施也会产生这种破坏;柴油含硫量过多会造成气缸、活塞、活塞环等零件的腐蚀磨损;柴油发动机长期在低温工作状态下运行也会造成气缸、活塞环等零件的腐蚀。机械在酸性或碱性环境中作业,不仅腐蚀机械外表,而且使空气中的酸性或碱性物质吸入气缸、造成机件的腐蚀。经常在泥泞环境下工作的机械,其底盘及行走装置在腐蚀、氧化环境中也极易引起技术状况变坏。

3. 其他形式的能量。如有害生物的浸蚀会破坏常用的绝缘材料甚至金属材料。

4. 操作不当。操作和修理机械的人员因误操作或操作不合要求,极易损害机械的工作能力,严重者可造成机械工作能力完全丧失或者酿成事故。如机械长时间的超负荷运行,易造成零件变形及磨损加剧;超速运行时,由于附加载荷过大造成零件的变形甚至断裂;冬季起动时,不加冷却水,发动机未达到正常温度就进入大负荷作业,操作粗野,冬季停机后立即放水等违反操作规程的使用方式,都可造成机械的技术状况迅速恶化;不按维修技术标准对机械进行维

修,其维修质量肯定低劣。

(二)机械设备内部机械能的作用

在机械工作过程中,机械能不仅沿着各个机件传递,还与外部介质(被驱动的机械和工作的对象)发生作用,引起载荷对机械产生作用,且机械能还用以克服运动件的摩擦阻力。载荷和摩擦对机械作用的结果将使机械产生疲劳磨损、变形和内应力再分布等,这些不可逆的过程,会使机械随工作时间的增长而产生有形老化。

(三)在制造中聚集在机械零件材料内部的潜伏能量的作用

这种潜伏能量表现为铸件的内应力,机械加工或热处理时零件的内应力,以及机械装配时的内应力。这些内应力与零件工作载荷共同作用,可加速零件材料的损伤。如当零件材料中残余内应力是拉伸内应力时,而零件工作时受载荷引起的工作应力也是拉伸压力时,则二者共同作用的结果将使零件材料承受的是更大的拉伸应力。此应力若超过材料的强度,零件将会被破坏。

除上述以外,结构设计、加工制造、油料品质、维护修理等方面的因素,也可引起有形老化速率的变化。

第二节 老化规律及补偿

一、老化的共同规律

(一)零件寿命的不平衡性和分散性

零件寿命有两个特点,即异名零件寿命的不平衡性和同名零件寿命的分散性。

在机械设备中,每个零件的设计、结构和工作条件不相同,老化的速度相差很大,形成了异名零件寿命的不平衡性。提高了一部分零件的寿命,而其他零件的寿命又相对缩短了,因此异名零件寿命的不平衡是绝对的,平衡只是暂时和相对的。

对于同名零件,由于材质差异,加工与装配的误差,使用与维修的差别,其寿命长短不同,分布成正态曲线,形成同名零件寿命的分散性。这种分散性可设法减小,但不能消除,因此,它是绝对的。同名零件寿命的分散性又扩大了异名零件寿命的不平衡性。

零件寿命的这两个特性完全适用于部件、总成和机械设备。

(二)机械设备寿命的地区性和递减性

机械设备的寿命受自然条件影响很大,如在恶劣工况下工作的工程机械,其行走部分及减速箱的磨损较大;在寒冷或炎热以及沙漠地区工作的机械设备,其腐蚀和磨料磨损较大。这进一步扩大了机械寿命的分散性。这种影响在相同地区具有相同的趋势,故称之为机械寿命的地区性。

由于材料的物理、力学性能发生变化需要一定的时间,所以零件的许多缺陷只有经过相当时间的发展才逐渐显露出来。受各方面条件的限制和制约,机械经过维修,其技术状况经常达不到预定的要求,寿命将随维修次数的增加而呈递减的趋势,即所谓寿命递减性。

(三)机械设备性能和效率的递减性

在机械设备的有形老化中,有些是可以通过维修予以恢复,有些因技术或经济上的原因,在目前条件下还无法彻底恢复,因此,经过维修的机械设备其性能和效率呈递减的趋势,即所谓性能和效率的递减性。

(四)材料性状的不可逆性

材料性状不可逆性是指当外界因素停止作用后,零件材料的状态发生了变化,不能恢复自身的原始状态。如零件发生的磨损、腐蚀疲劳、内应力再分布以及扭曲畸变等是最有代表性的不可逆变化。这种不可逆性变化的规律称为老化规律,它揭示了机械设备零件材料内部发生不可逆变化过程的物理、化学本质。研究老化规律对于估计机械设备工作能力的耗损有极为重要的意义。

二、老化过程的分类

为了便于研究和解决抗老化过程的工程问题,对老化过程进行分类是必要的。

表 1-1 是根据老化过程涉及到的是零件整体或者仅仅是零件表面层,并按外部特征(损伤类型)进行的分类。

老化过程的分类

表 1-1

项目	老化过程的外部特征 (损伤类型)	老化过程的不同类别
零件整体	破坏	韧性破坏、脆性破坏
	变形	塑性变形、蠕变、弯曲、扭曲
	材料性能变化	材料组织、化学成分、力学性能、塑性、污染程度(燃料油、润滑油)等变化
零件表面	磨损	磨损(擦伤)、表面层疲劳、挤压损伤、材料转移
	腐蚀	锈蚀、浸蚀、气蚀、烧蚀、裂纹腐蚀
	粘着	粘着(粘附、内聚、吸附、扩散)、积垢、粘结
	表面层性能的变化	粗糙度、硬度、应力状态、反射能力等变化

损伤是机械零件发生诸如磨损、变形、腐蚀、断裂、老化等现象的通称。

在上述分类中零件整体可能发生破坏、变形和材料性能变化,其中破坏是最具危险和灾难性的老化过程。而零件的表面层由于直接受到温度、介质和机械等外部作用,最易发生老化。

三、老化后的补偿

机械设备老化后,可以通过维修、更换、更新和改善性修理等方法进行补偿。

机械的有形老化与无形老化造成的经济后果是有差别的。有形老化严重的机械在修理之前常常不能正常工作,而无形老化严重的机械却不影响它的继续使用。

机械老化形式不同,补偿的方式也不同,补偿分为局部补偿和完全补偿。机械的有形老化的局部补偿是修理,无形老化的局部补偿是现代化改装。有形老化与无形老化的完全补偿是机械设备更新。机械设备的各种老化形式及其补偿方式如图 1-1 所示。

如果能使机械的有形老化期与无形老化期相互接近,即当机械需要大修时正好出现效率更高的新设备,这时无需进行旧机械的大修理,可更换新设备;假如机械已遭到严重的有形老化,也发生了部分第二种无形老化,便需要对机械进行大修理或更换一台相似的机械;假如无形老化期早于有形老化(在科学技术飞速发展时期,经常这样),是更新还是继续使用旧机械,应在经济上做全面考虑;假如有形老化后其大修费用已超过原始价值,或因同时发生了第一种无形老化,大修费超过再生产价格时,则予以更换。

老化后的补偿形式是一种对策,归根到底决定于补偿时的经济评价,机械在确定其老化的补偿形式时可以有多种。

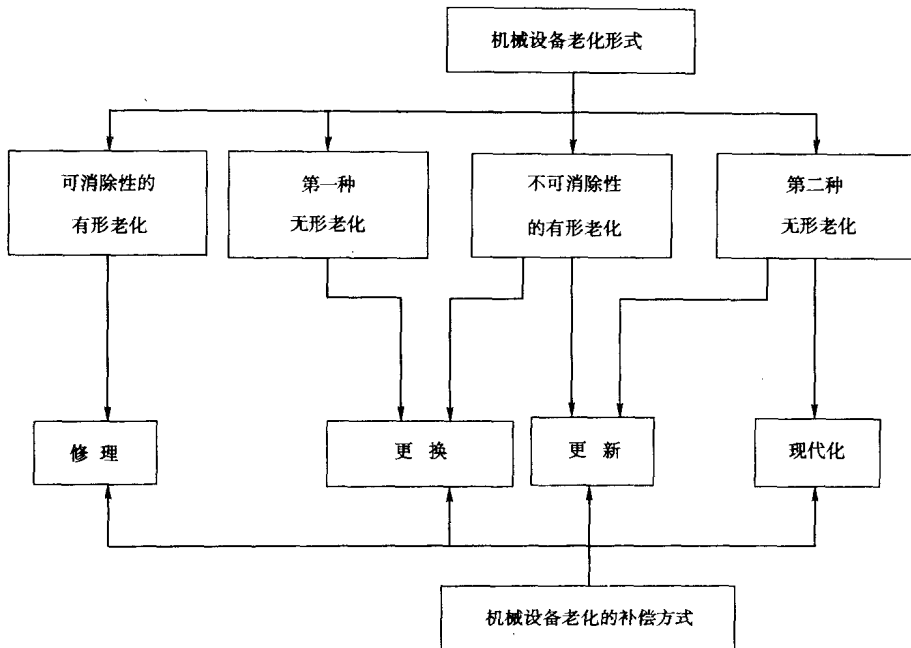


图 1-1 机械设备老化形式与其补偿形式的相互关系

第三节 机械故障理论概述

机械设备及机械零件在有形老化的影响下,往往会出现明显的机械故障。在机械设备维修中,研究故障的目的是要查明故障模式,寻找故障机理,探求减少故障发生的方法,提高机械设备的可靠性程度和有效利用率。

一、机械故障的定义

所谓机械故障,就是指机械系统(零件、组件、部件或整台机械设备乃至一系列的机械设备组合)因偏离其设计状态而丧失部分或全部功能的现象。

一般将故障定义为:机械设备(系统)或零部件丧失了规定功能的状态,通常把机械丧失规定的功能称为功能故障,简称故障。

在生产实践中,为概括所有可能发生的事件,给故障下了一个广泛的定义,即“故障是不合格的状态”。

应该指出的是,故障只具有相对意义,它完全取决于对机械故障判断的具体规定。如明确什么是规定的功能,机械的功能丧失到什么程度才算出了故障。

对于故障,应明确规定的对象、规定的时间、规定的条件、规定的功能和一定的故障程度。如一定的故障程度应从定量的角度来估计功能丧失的严重性。通常见到的发动机发动不起来,汽车制动不灵,机械传动系统运转不平稳,发动机的功率降低,工作机械的工作能力下降,燃料和润滑油的消耗量异常增加等都是机械故障的表现形式,当其超出了规定的指标,即发生了故障。

二、故障的分类

对故障进行分类的目的是为了明确故障的物理概念,估计故障的影响深度,以便分门别类地找出解决机械故障的决策。

机械设备的故障可从不同的角度进行分类,我们按其性质、原因、影响程度、故障发生时间等进行如图 1-2 的分类。

各类故障的定义如表 1-2 所示。

各类故障的定义

表 1-2

故障类别	故 障 定 义
间断性故障	短期内丧失某些功能,稍加修理调试就能恢复,不需要换零件
永久性故障	某些零件已损坏,需要更换或修理才能恢复
早发性故障	产品由于设计、制造、装配、调试缺陷而引起的故障
突发性故障	通过事前测试或监控不能预测到的故障,其特点是具有偶然性和突发性
渐进性故障	通过事前测试或监控,可以预测到的故障
复合型故障	包括早发性、突发性、渐进性故障的特征,故障发生的时间不定
功能故障	产品不能继续完成自己功能的故障,可直接感受或测定
潜在故障	故障逐渐发展,但尚未在功能方面表现出来,却又接近萌芽,能够鉴别
人为故障	由于设计、制造、修理、使用、运输、管理等方面存在问题,使机械丧失功能的故障
错用性故障	不按规定的条件使用机械,而导致的故障
先天性故障	机械本身因设计、制造、选用材料不当等造成某些薄弱环节而引发的故障
自然性故障	机械由于受内外部自然因素影响引起磨损、老化、疲劳等导致的故障
致命故障	可能导致人身伤亡,引起机械报废或造成重大经济损失的故障
严重故障	严重影响机械正常使用,较短的有效时间内无法排除的故障
一般故障	明显影响机械正常使用,较短的有效时间可以排除的故障
轻度故障	轻度影响机械正常使用,能在日常保养中用随机工具轻易排除的故障
完全性故障	导致完全丧失功能故障(广义而言,随使用情况而定)
部分性故障	导致某些功能丧失的故障
随机故障	故障发生的时间是随机的
有规则故障	故障的发生有一定规律

在实际工作中,采用何种故障分类,主要取决于所要解决问题的不同角度。从明确故障的责任出发,应当按故障产生的原因进行分类。从运行管理和维修角度考虑,故障发生时间更为重要,而且这也是正确划清故障责任的基础。通常,可采用几种分类法复合并用来分析故障的复杂性、严重性和起因等。

机械故障的产生是一系列过程的最终结果,从作用在机械上的能量的角度出发,我们可得

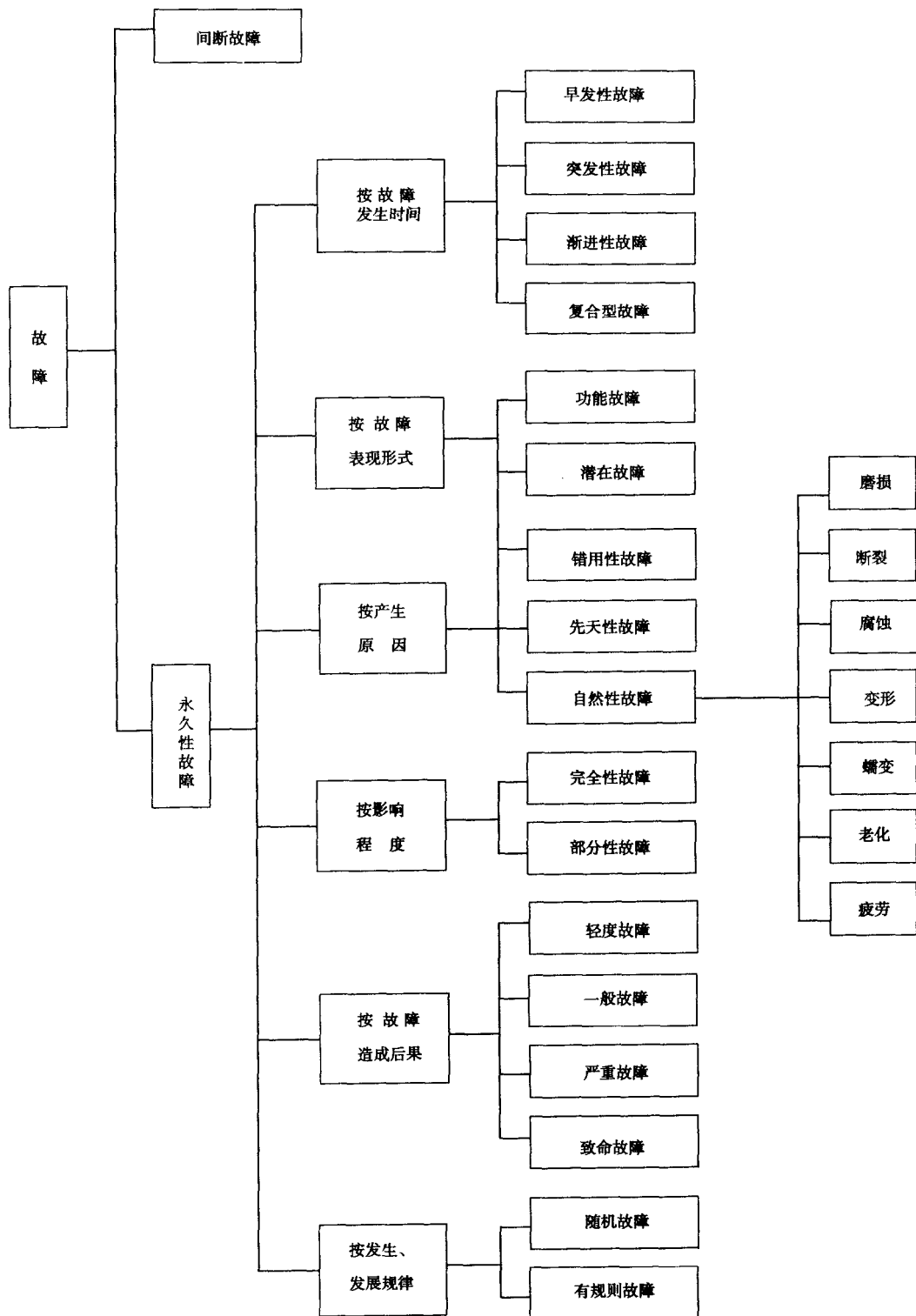


图 1-2 故障的分类

出图 1-3 所示的故障发生的框图,通过它可分析研究故障发生的来龙去脉,以便为预防故障发生,制订预防对策。

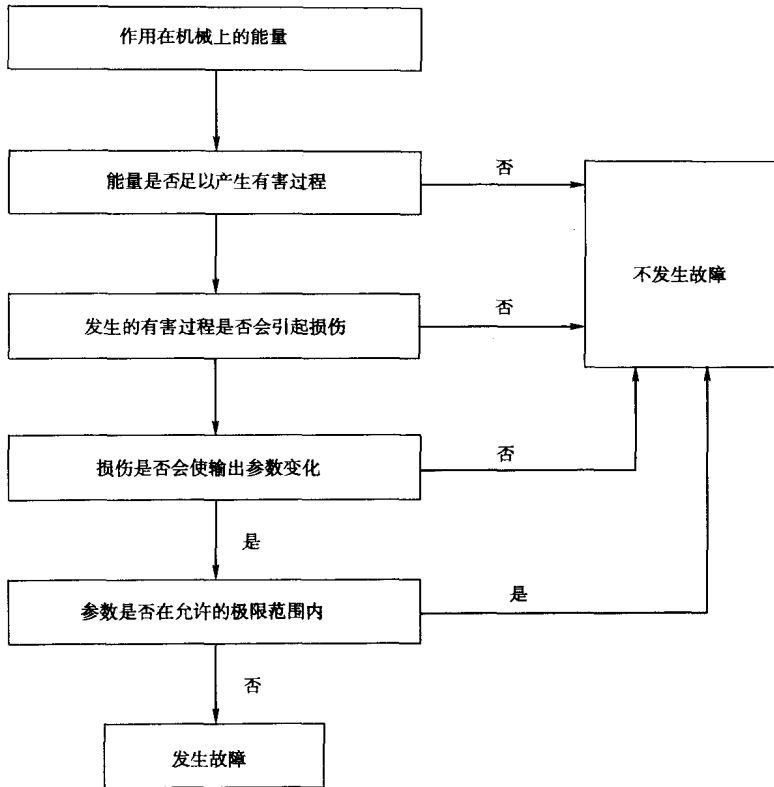


图 1-3 机械故障产生的框图

三、故障的量度

(一) 累积故障率

机械的技术状况随使用时间的延长会逐渐恶化,发生故障的可能性也随时间的延长而增大,它是时间的函数。但是,故障的发生又具有随机性。无论那一种故障都很难预料它确切的发生时间,因此故障可用概率表示。

从概率理论可知,累积故障率的分布是其故障密度 $f(t)$ 的积累函数,即故障发生的时间比率,或在规定的条件下和规定的时间内发生故障的概率。它是单调增函数。累积故障率可用公式表示

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (1-8)$$

式中: $F(t)$ ——累积故障率;

$f(t)$ ——故障密度;

t ——时间。

当 $t = \infty$ 时,即 $F(\infty) = \int_0^{\infty} f(t) dt = 1$

(二) 故障密度

故障密度 $f(t)$ 反映了故障概率随时间变化的快慢。某一时间的故障密度大,则故障概率

增加得快。如果在 Δt 时间间隔内产品发生故障的数量为 $\Delta n(t)$, 则有:

$$f^*(t) = \frac{1}{N} \frac{\Delta n(t)}{\Delta t} \quad (1-9)$$

式中: N ——样品总数。

$f^*(t)$ ——表示 t 时刻给定的一段时间 Δt 内, 同一类产品在单位时间发生故障的数量 $\Delta n(t)/\Delta t$ 与 N 的比值, 该比值又叫做经验故障密度(单位为 h^{-1})。

如果把 1000 只晶体管从开始使用到全部失效的数据都统计出来, 将得到的数据列表, 作直方图。当 N 足够大, 且直方图的 Δt 分得很小时, 我们可得到晶体管的故障密度曲线。此过程见图 1-4。

可见累积故障率 $F(t)$ 对时间的微分 即为故障密度(或故障密度函数)即

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{1}{N} \frac{dn(t)}{dt} \quad (1-10)$$

(三)故障率 $\lambda(t)$

用故障密度度量故障概率存在的不足是: 到了使用或试验后期, 残存的产品数越来越少, 在同一 Δt 内的 $\Delta n(t)$ 也越来越少, 最后故障密度趋于零, 这时用故障密度难以准确反映故障概率。为此, 引入故障率的概念。故障率有两种:

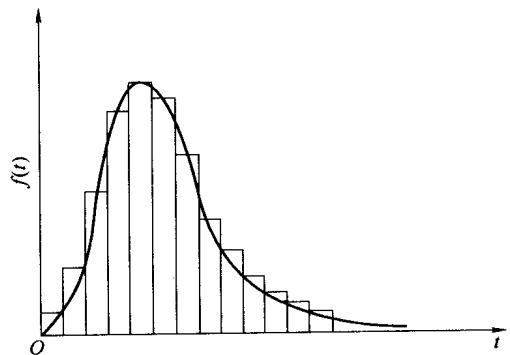


图 1-4 故障密度曲线

1. 瞬时故障率

产品在某一瞬态时 t 的单位时间内发生故障的概率, 叫做瞬时故障率, 有时简称故障率, 用 $\lambda(t)$ 表示。

设有 N 个产品从 $t=0$ 时开始工作, 到 t 时刻的故障数为 $n(t)$, 残存数为 $N_{\text{存}} = N - n(t)$; 若在 t 到 $t + \Delta t$ 区间有 $\Delta n(t)$ 个产品发生故障, 当 Δt 趋于零时, 瞬时故障率为:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{N_{\text{存}}} \frac{\Delta n(t)}{\Delta t} = \frac{1}{N_{\text{存}}} \frac{dn(t)}{dt} \quad (1-11)$$

2. 平均故障率

产生在某一段时刻内单位时间发生故障的概率, 叫做平均故障率, 以 $\bar{\lambda}(t)$ 表示。

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_{\text{存}} \Delta t} \quad (1-12)$$

式中: $\Delta n(t)$ ——在 Δt 这段时间内发生故障的数量;

$N_{\text{存}}$ ——在 Δt 这段时间内产品的平均残存数, 它等于这段时间开始时的残存数加上结尾时的残存数被 2 除。

故障率的常用单位是 $10^{-4} h^{-1}$ 、 $10^{-5} h^{-1}$ 。

故障率是单位时间内故障数与残存数的比值, 故障密度是单位时间内故障数与总数的比值, $\lambda(t)$ 比 $f(t)$ 反映故障情况更灵敏。

根据不同的变化规律, 故障率可分为常数型、负指数型、正指数型和浴盆曲线型等四种类型。这与前述的表示老化过程随时间发展的典型规律相吻合。

常数型的故障率基本保持不变, 是一个常数, 它不随时间变化。此时的机械设备或零部件未达到使用寿命, 不易发生故障。但某种原因也会导致故障产生, 且有随机性。这是一种常见