

高等学校试用教材

GAODENGXUEXIAO
SHIYONGJIAOCAI

3

工程机械修理学

戴羽绵 主编 · 中国铁道出版社

高等学校试用教材

工 程 机 械 修 理 学

戴羽绵 主编

陈光中 主审

中 国 铁 道 出 版 社

1985年·北京

内 容 简 介

本书为大学工程机械专业的专业课教材。编写本教材的目的在于使学员通过该课程的学习，能掌握有关机械维修的理论和维修工艺的基本知识。

本书内容包括：机械的故障和维修原理；零件失效；技术状况的诊断；零件的焊接、喷涂和喷焊、电镀、粘接等各种修理工艺；机械修理的工艺过程和修理方法。

本书亦可作为从事工程机械专业工作的工程技术人员的参考书。

高等学校试用教材

工程机械修理学

戴羽绵 主编

中国铁道出版社出版

责任编辑 丁益民 封面设计 刘景山

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 1/32 印张：11.25 字数：270 千

1985年11月 第1版 第1次印刷

印数：0001—7,000册 定价：2.05元

前 言

《工程机械修理学》为铁道工程机械专业的专业课程之一。本课程设置的目的在于使学员通过对该课程的学习获得有关机械维修的理论和维修工艺的基本知识。

二十年来,机械装备维修的科学技术有很大发展,随着国际上《维修工程学》和《设备综合工程学》的出现,以可靠性为中心的维修理论的出现,我国机械维修的理论和技術亦已突破了传统的以维修生产为基本内容的机械修理学的范畴。本教材的编写是从我国现行的维修生产实际水平出发,并适当地考虑到维修科学发展的这一趋势,内容结构上除继承了修理工艺的主要内容外,概要地引入了与可靠性相联系的故障理论和维修理论。对编者来说,由于对这一领域的深入研究还很不够,只是作为一种尝试,以期为学习者提供某些基本概念和为开拓这一领域的研究起抛砖引玉作用。

本书为戴羽绵主编,参加编写的还有西南交大的李富祥和刘淑香,其中第二章为李富祥、刘淑香合写;第六章为刘淑香编写;第七章为李富祥编写。

本书由陈光中担任主审,参加审稿的还有沈传浙、杨景章、赵维中、陈秀祥、陈静、陶定华、费宗慧、焦恩元。

编 者

1984年12月于长沙

目 录

第一章 机械的故障和维修原理	(1)
第一节 机械的故障	(1)
一、故障概念和分类.....	(1)
二、故障概率和故障率.....	(2)
三、故障前平均工作时间和平均故障间隔时间.....	(4)
第二节 工程机械的故障规律	(5)
一、工程机械故障产生的基本规律.....	(5)
二、机械制造和修理因素对故障分布密度的影响.....	(6)
三、机械使用因素对故障率的影响.....	(7)
第三节 机械的维修性和有效度	(9)
一、机械的维修性.....	(9)
二、机械的有效度.....	(10)
三、维修性设计.....	(11)
第四节 机械的预防维修	(13)
一、机械的预防维修制度.....	(13)
二、定期预防维修的最佳维修周期的确定.....	(14)
第二章 机械零件的失效	(16)
第一节 磨 损	(16)
一、摩 擦.....	(16)
二、粘着磨损.....	(17)
三、磨料磨损.....	(19)
四、表面疲劳磨损.....	(21)
五、腐蚀磨损.....	(23)
六、磨损规律及磨损极限的确定.....	(23)
第二节 零件的变形	(25)
一、金属变形的基本概念.....	(25)
二、零件变形及其危害.....	(27)
三、零件变形的原因.....	(28)
第三节 断 裂	(29)
一、断裂与断裂类型.....	(30)
二、疲劳断裂.....	(32)
三、断口分析.....	(34)
第四节 腐 蚀	(36)
一、腐蚀分类.....	(36)

二、工程机械构件的腐蚀破坏	(37)
三、防止腐蚀的措施	(38)
第五节 穴 蚀	(39)
一、穴蚀产生的过程	(40)
二、影响缸筒穴蚀的因素	(40)
第三章 机械技术状况的诊断	(42)
第一节 概 述	(42)
一、诊断技术在机械使用与维修中的应用	(42)
二、机械诊断技术的基本任务	(42)
第二节 工程机械的一般参数的诊断	(43)
一、噪声测量及声响诊断	(43)
二、机械的油液分析	(46)
三、液压系统的诊断	(48)
第三节 内燃机几项主要指标的诊断	(50)
一、内燃机功率的无负荷动态测定	(50)
二、内燃机压缩性能检验	(51)
三、柴油机供油提前角的测定	(53)
四、排气烟度测量	(54)
第四章 零件检验	(57)
第一节 概 述	(57)
一、零件检验工作的目的	(57)
二、保证零件检验质量的措施	(57)
三、零件检验的主要内容	(58)
四、零件检验的方法	(59)
第二节 零件的感觉检验	(59)
一、视觉检验	(59)
二、听觉检验	(59)
三、触觉检验	(60)
第三节 工程机械的几种主要构件的几何状况检验	(60)
一、气缸体主轴承座孔同轴度的检验	(60)
二、气缸体气缸轴线与主轴承座孔轴线的垂直度的检验	(60)
三、箱体轴线平行度的检验	(61)
第四节 磁粉探伤	(62)
一、基本原理	(62)
二、工件的磁化方法	(62)
三、磁粉的使用	(64)
四、退 磁	(64)
第五节 渗透法探伤	(64)
一、探伤过程和原理	(64)
二、探伤用剂的配制	(65)

三、操作步骤和要求	(65)
第六节 超声波探伤	(66)
一、探伤原理	(66)
二、超声波的产生和种类	(67)
三、探伤方法	(67)
四、缺陷的定位和定量	(69)
五、影响超声波探伤效果的因素	(70)
第五章 零件的焊修	(72)
第一节 铸铁零件的焊补	(72)
一、铸铁零件的焊补性能	(72)
二、铸铁热焊	(73)
三、铸铁电弧冷焊	(74)
四、铸铁的加热减应焊	(76)
第二节 钢零件的焊修	(77)
一、钢零件的可焊性	(77)
二、焊接材料的选择	(78)
三、工艺措施	(78)
第三节 耐磨堆焊	(79)
一、手工堆焊	(79)
二、振动堆焊	(80)
三、埋弧堆焊	(84)
第四节 铝合金焊补	(87)
一、铝及铝合金的焊接特点	(87)
二、焊补材料	(88)
三、焊补工艺	(89)
第六章 零件的喷涂与喷焊修复	(92)
第一节 概 述	(92)
第二节 氧-乙炔火焰粉末喷涂	(93)
一、喷涂层的形成及影响涂层质量的因素	(93)
二、喷涂设备	(94)
三、喷涂用合金粉末	(95)
四、涂层设计和喷涂工艺	(97)
五、喷涂层结构和性能	(98)
第三节 氧-乙炔火焰粉末喷焊	(99)
一、喷焊层的形成及影响焊层质量的因素	(99)
二、喷焊设备与合金粉末	(100)
三、喷焊层设计和喷焊工艺	(102)
四、喷焊层的组织和性能	(104)
第四节 等离子喷涂与喷焊	(106)
一、基本概念	(106)

二、等离子喷涂与喷焊的特点和应用	(107)
三、工作气体和粉末材料	(108)
第七章 零件的电镀修复	(110)
第一节 电镀的基本知识	(110)
一、电镀概念	(110)
二、电极电位及电极极化	(110)
三、电镀层的沉积规律	(112)
四、影响电镀层物理机械性能的因素	(113)
第二节 镀 铁	(114)
一、概 述	(114)
二、镀铁电解液	(116)
三、镀铁工艺	(117)
四、镀铁层结构及其机械性能	(119)
第三节 金属刷镀	(120)
一、金属刷镀的特点和应用	(120)
二、金属刷镀设备及镀液	(121)
三、刷镀工艺	(125)
四、影响刷镀层质量的因素	(126)
五、刷镀层组织结构及其性能	(127)
第八章 粘接工艺及其在机械修理中的应用	(130)
第一节 概 述	(130)
一、粘接工艺的特点	(130)
二、粘接原理	(130)
三、粘接剂的分类	(131)
第二节 常用粘接剂的性能及应用	(132)
一、环氧树脂粘接剂	(132)
二、酚醛树脂粘接剂	(136)
三、磷酸-氧化铜无机粘接剂	(137)
第三节 工艺设计和工艺方法	(138)
一、粘接接头设计	(138)
二、粘接剂的选择	(139)
三、粘接的一般工艺步骤	(141)
四、零件的粘补	(142)
第九章 机械修理的工艺过程和修理方法	(145)
第一节 基本工艺过程和修理方法	(145)
一、基本工艺过程	(145)
二、基本修理方法	(145)
第二节 发动机主要零件的修理	(146)
一、气缸体的变形矫正和破损修补	(146)
二、曲轴的弯曲校直与修磨	(147)

三、轴承和气缸的镗削	(149)
第三节 底盘主要构件及工作构件的修理	(152)
一、金属结构件的修理	(152)
二、传动元件的修理	(154)
三、液压系统主要元件的修理	(155)
四、履带式走行系零件的修理	(156)
五、工作构件的修理	(157)
第四节 装配工艺	(158)
一、机械装配的一般要求	(158)
二、内燃机主要机件的装配	(159)
三、底盘主要部件的装配	(162)
第五节 磨合与试验	(165)
一、磨合与试验的目的	(165)
二、内燃发动机的磨合和试验	(165)
三、底盘的磨合	(168)
四、整机试验	(168)

第一章 机械的故障和维修原理

第一节 机械的故障

一、故障概念和分类

1. 机械的故障概念

所谓机械的故障，是指机械的各项技术指标（包括经济指标）偏离了它的正常状况。如某些零件或部件损坏，致使工作能力丧失；发动机的功率降低，传动系失去平稳和噪声增大；工作机构的工作能力下降；燃料和润滑油的消耗增加等，当其超出了规定的指标时，均属于机械的故障。

机械的故障表现在它的结构上主要是它的零件损坏和零件之间相互关系的破坏。如零件的断裂、变形，配合件的间隙增大或过盈丧失，固定和紧固装置松动和失效等。

2. 故障分类

机械的故障可以从不同的角度来进行分类，主要分类方法有

（1）按故障发生的时间性分，可以分为突发性故障和渐进性故障。

1）突发性故障 这是由于各种不利因素和偶然的外界影响共同作用的结果，这种故障发生的特点是具有偶然性。工程机械在工作时由于遇到意外的障碍物等原因而引起的超载和造成零件的损坏，轮式机械的轮胎被地面尖石或铁钉刺破，内燃机油路堵塞、导线松脱和燃油、电气系统的偶然故障以及司机操作失误引起的事故性损坏等，都具有偶然性和突发性，一般与使用时间无关，因而这种故障是难以预测的。但它一般容易排除，因此通常不影响机械的寿命。

2）渐进性故障 这是由于产品参数的劣化过程（磨损、腐蚀、疲劳、老化）逐渐发展而形成的。它的特点是其发生的概率与使用时间有关，它只是在产品的有效寿命的后期才明显地表现出来。渐进性故障一旦发生，就标志着产品寿命的终结。对工程机械而言，则往往是需要进行大修的标志。由于这种故障的逐渐发展的性质，这种故障通常是可以进行预测的。

（2）按故障显现的情况可以分为功能故障和潜在故障

1）功能故障 机械产品丧失了工作能力或工作能力明显降低，也即是丧失了它的应有的功能，由此称为功能故障。这类故障可以通过操作者的直接感受或测定其输出参数而判断出来。关键的零件坏了，机械根本不能工作了，属于功能故障；生产率达不到规定指标，也是功能故障，这种故障是实际存在的，因而也称实际故障。

2）潜在故障 和渐进性故障相联系，当故障是在逐渐发展中，但尚未在功能方面表现出来，而同时又接近萌发的阶段，当这种情况能够鉴别出来时，即认为也是一种故障现象，并称之为潜在故障。例如，零件在疲劳破坏过程中，其裂纹的深度是逐渐扩展的，同时其深度又是可以探测的。当探测到扩展的深度已接近于允许的临界值时，便认为是存在潜在故障，

必须按实际故障一样来处置。探明了机械的潜在故障，就有可能在机械达到功能故障之前进行排除，这有利于保持机械完好状态，避免由于发生功能故障而可能带来的不利后果，这在机械使用维修实际中是有着重要意义的。

(3) 根据故障发生的原因可以分为人为故障和自然故障。

1) 人为故障 机械在制造和大修时由于使用了不合格的零件或违反了装配技术条件；在使用中没有遵守机械的使用条件和操作技术规程；没有执行规定的保养维护制度以及由于运输、保管不当等原因，而使机械过早地丧失了它的应有的功能，这种故障即称为人为故障。

2) 自然故障 机械在其使用和保有期内，由于受外部和内部各种不可抗拒的自然因素的影响而引起的故障都属于自然故障。如正常情况下的磨损、腐蚀、蠕变、老化等损坏形式都属于这一故障范畴。但应该指出，由于人为的过失而加剧了上述的损坏过程时，则应该与此相区别。

二、故障概率和故障率

1. 故障概率

机械的技术状况总是随着它的使用时间的延长而逐渐恶化的，因而机械的使用寿命总是有限的。由此不难理解，机械发生故障的可能性总是随着使用时间的延长而增大的，因而它是时间的函数。但同时，由于机械故障的发生具有随机性，即无论哪一类故障，人们都难以预料它的确切的发生时间。因而上述所指的函数只能是随机函数。也就是机械发生故障的情况只能用概率来表示。

从概率的概念出发，若设产品的随机寿命（无故障工作时间）为 T ，则在使用时间 t 内，它发生故障的概率 $F(t)$ 可表示为：

$$F(t) = P(T \leq t) \quad (1-1)$$

从概率理论可知，故障概率的分布是其密度函数的积累函数，且密度函数为非负函数，故故障概率是一个单调增函数，它表示故障发生的概率，随产品使用时间的延长而越来越大。今用 $f(t)$ 表示故障概率的密度函数，故障概率便又可表示为：

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (1-2)$$

且有

$$F(\infty) = \int_0^{\infty} f(t) dt = 1 \quad (1-3)$$

产品不发生故障的概率称为无故障概率，在可靠性研究中即为可靠度函数，通常用 $R(t)$ 表示。显然，故障概率与无故障概率构成一个完整事件组，因此有：

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (1-4)$$

从而

$$R(t) = P(T > t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (1-5)$$

今设某一产品的故障概率密度函数 $f(t)$ 为一正态分布函数，如图 1-1(a)，则相应的 $R(t)$ 和 $F(t)$ 如图 1-1(b) 所示。

2. 故障率

(1) 故障率概念 在故障概率中引入的故障率密度函数 $f(t)$ 是表示产品在单位时间内可能发生的故障相对于总体的比值。但在有关故障的研究中,常常需要知道产品在某一瞬时可能发生的故障相对于该瞬时的残存率之间的关系,因此引入了故障率这一概念。故障率通常用 $\lambda(t)$ 表示,其数学关系式为:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1-6)$$

这里的 $R(t)$ 是指产品使用到 t 时刻的残存概率,亦即该时刻的可靠度。因此故障率可以定义为:产品在时间 t 内尚未发生故障,而在下一个单位时间内可能发生故障的条件概率。

设有某种产品100个,各使用了三个单位时间,若根据统计所获得的结果是每个单位时间内均有两个产品因发生故障而丧失了工作能力。显而易见,此产品在此三个单位内的故障率密度函数均为 $\frac{2}{100}$,而相应的故障率则分别为 $\frac{2}{100}$ 、 $\frac{2}{98}$ 和 $\frac{2}{96}$ 。

(2) $\lambda(t)$ 与 $F(t)$ 、 $R(t)$ 和 $f(t)$ 之间的关系
由式(1-2)

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}, \text{代入式(1-6)}$$

$$\lambda(t) = \frac{\frac{dF(t)}{dt}}{R(t)} = \frac{dF(t)}{(1-F(t))dt}$$

$$\therefore \lambda(t)dt = \frac{dF(t)}{1-F(t)}$$

两边积分

$$\int_0^t \lambda(t)dt = \left[-\ln(1-F(t)) \right]_0^t$$

$$\therefore F(t) = 1 - \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right] \quad (1-7)$$

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right] \quad (1-8)$$

$$f(t) = \lambda(t) \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right] \quad (1-9)$$

(3) 故障率类型 各种产品因其制造条件、结构特点及工作性质的不同而有不同的故障率。但根据它随时间而变化的规律,却有一定的共同性,并且可以划分为三种类型,即渐减型、恒定型和渐增型。

1) 渐减型 即故障率是随时间而单调减小,如图1-2所示。它通常可以用 $\beta < 1$ 的威布尔分布来描述,即

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} t^{\beta-1}, \beta < 1 \quad (1-10)$$

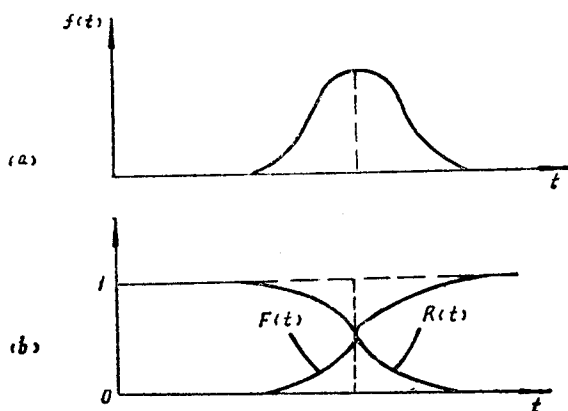


图1-1 $f(t)$ 、 $R(t)$ 、 $F(t)$ 的关系曲线

这种故障率通常反映某些复杂产品在早期发生故障的情况。这是由于产品的设计、制造、检验和装配中存在着缺陷和失误，因而在开始投入运转时有很高的故障率。但随着运转时间的延长和对出现的故障的不断排除，故障率便逐渐降低，这种情况在某些电子设备中反映比较明显。

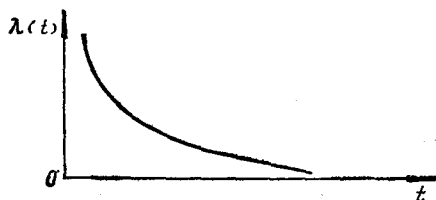


图 1—2 渐减型故障率曲线

2) 恒定型 即故障率 $\lambda(t) = \lambda$ (常数)，它不随时间而发生变化。它对应的可靠度函数为指数分布，即 $R(t) = e^{-\lambda t}$ ，是一种

最常见的概率分布，广泛用于描绘各种物理量的衰变和衰减的过程。在工程机械中，它可用于描绘突发性故障，因为突发性故障在任何时候发生的机会都相等，因此其故障率可以看作是一个常数。而同时由于突发性故障与机械使用时间无关，即与新旧程度无关，它是任何时候都可能发生的，因此又把不变失效率来描述的故障称为随机故障或偶然故障。

3) 渐增型 这是指故障率 $\lambda(t)$ 随产品工作时间的延长而升高的情况。这是由于组成机械的零件在使用过程中逐渐丧失其功能而引起的现象，渐进性故障的故障率就属于这种类型。由于渐增型故障率在产品的使用寿命的后期变得很大，并且其故障难以通过一般方法来消除，因此将这种故障称为耗损故障。渐增型故障率通常用 $\beta > 1$ 的威布尔分布来描述，即

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} t^{\beta-1}, \quad \beta > 1 \quad (1-11)$$

或

$$\lambda(t) = \begin{cases} 0, & t \leq t_0 \\ \frac{\beta}{\alpha} (t - t_0)^{\beta-1}, & \beta > 1, t > t_0 \end{cases} \quad (1-11)$$

式中 t_0 称为威布尔分布的位置参数，这里表示故障的潜伏期，图 1—3 示出了这种故障的曲线。

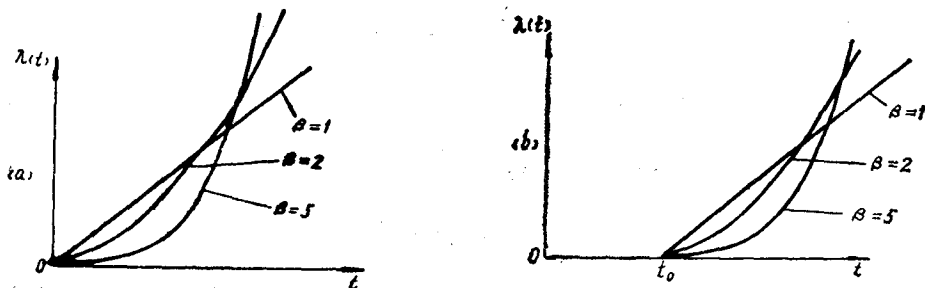


图 1—3 $\beta > 1$ 的威布尔故障率曲线
(a) $t_0 = 0$; (b) $t_0 > 0$ 。

三、故障前平均工作时间和平均故障间隔时间

故障前平均工作时间和平均故障间隔时间都是产品的寿命指标，是相对不可修产品和可

修产品的不同情况而言的。

1. 故障前平均工作时间

将 N 个产品投入使用,直至每一个产品都用至发生故障(失效)为止,将每个产品的有效使用时间进行统计,并求其平均值,即称为故障前(或失效前)平均工作时间,用MTTF (*Mean time to failure*)表之。

$$MTTF = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (1-12)$$

式中 t_i ——第 i 个产品的故障前工作时间;

N ——产品总数。

2. 平均故障间隔时间

对于可修产品,在其发生故障之后,可通过修理措施而恢复其正常功能。其两次相邻故障的平均工作时间称为平均故障间隔时间或平均无故障时间,用MTBF (*Mean time between failures*)表示。设一产品工作的总时间为 t_T ,在此时间内共发生故障 N_F 次,则

$$MTBF = \frac{t_T}{N_F} \quad (1-13)$$

3. MTTF和MTBF的数学期望

由式(1-12)和(1-13)所求得的结果只反映了有限个产品和有限次故障之间的实际有效工作时间的平均值,它不能用来对成批产品的平均工作寿命进行无偏估计。为此,在故障概率密度函数为已知的情况下,可求其数学期望。

MTTF和MTBF均用“ m ”表示,根据数学期望定义:

$$m = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

$$\text{又} \quad f(t) = \frac{dF(t)}{dt}, \quad dF(t) = -dR(t)$$

且 $t=0$ 时, $R(t)=1$, $t=\infty$ 时, $R(t)=0$

$$\therefore m = - \int_1^0 t dR(t)$$

分部积分

$$m = - \left[t \cdot R(t) \right]_{R(t)=1}^{R(t)=0} + \int_0^{\infty} R(t) dt$$

$$\therefore m = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (1-14)$$

由此可知, m 的无偏估计是 $R(t)$ 对时间的积分函数。

当 $\lambda(t) = \lambda = \text{常数}$ 时,对式(1-14)积分,即不难得出:

$$m = \frac{1}{\lambda} \quad (1-15)$$

即故障前平均工作时间和平均故障间隔时间在故障率为常数的条件下是故障率的倒数。

第二节 工程机械的故障规律

一、工程机械故障产生的基本规律

1. 一般产品的故障率曲线

在前面的故障率类型的讨论中,已经指出了不同故障的出现时机,即机械在开始阶段具

有较高的故障率，且此故障率是渐减型；产品到了有效寿命的后期，其故障率便不断增大，是为渐增型；而在其它使用期内，故障率为恒定型，且其值甚小。因此，产品在整个寿命期内的故障率曲线有如图 1—4 的形状，并因之称为“浴盆曲线”。对应各不同故障率曲线的时间范围分别称为早期故障期、随机故障期和耗损故障期。

然而，从机械使用者的角度出发，对于曲线所表示的早期故障率，由于机械在出厂前已经过充分调整，可以认为已基本得到消除，因而可以不必考虑；随机故障通常容易排除，且一般不决定机械的寿命；唯有耗损故障才是影响机械有效寿命的决定因素，因而是主要研究的对象。

2. 工程机械故障的分布规律

对于由大量零件组成的工程机械，由于各个零件结构的特点和工作性质的不同，其参数随时间变化的速率和参数的极限指标也各不相同。如果用一组曲线来表示各个零件的参数变化规律，即可根据各个零件达到极限指标的时刻而得到机械故障的分布规律，如图 1—5 所示。座标 $u(t)$ 表示零件的状态参数， u_c 是它的极限值。图中用直线近似地表示了各个零件的状态参数随时间而变化的情况。但应该指出，实际的零件参数变化规律大多是非线性的，上述的直线表示是为简便起见。其一般的规律应为：

$$u(t) = ct^\gamma + u_0 \quad (1-16)$$

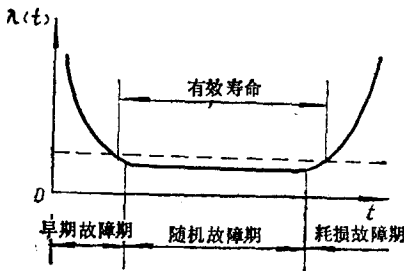


图 1—4 故障率的浴盆曲线

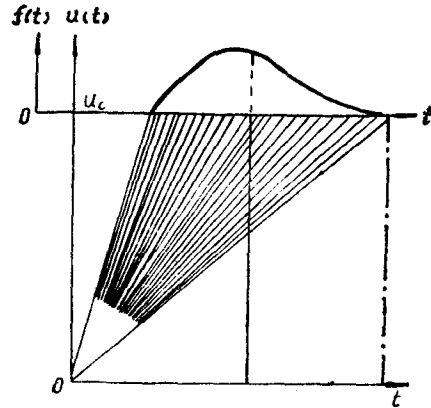


图 1—5 零件状态参数的变化与机械的故障分布密度及相互关系

式中 c, γ ——常数；
 u_0 ——初始参数。

零件的状态参数达到极限值 u_c 后，即引起机械的故障，故图中 $f(t)$ 即为相应的故障概率分布密度函数。

二、机械制造和修理因素对故障分布密度的影响

以配合副为例，从式 (1—16) 可知，它的配合间隙既与它随时间而变化的速率（即一定的 c 和 γ ）有关，也与磨合后的初始间隙 (u_0) 有关。因而，对同一类型的配合副，在不同的条件下将以不同的时间达到它的极限值，从而引起密度函数 $f(t)$ 的变化。在机械制造和修理中，影响零件参数值变化速率的因素主要有材料品质、加工和装配质量等。

1. 零件材料的选择

现代机械设备所用材料视其工作状况分别由结构材料、耐磨材料、摩擦材料、耐热材

料、耐腐蚀材料以及其它特殊材料所制成。在机械设计、制造和修理中，都要根据零件工作的性质和特点，正确选择这些材料。

在工程机械中，许多零件同时要求具有多种性能，如强度性能和不同的表面性能。为了提高零件的综合性能，以达到提高耐久性的目的，在制造和修理中利用表面覆盖层的办法来解决这一问题具有重要意义。因为这样可以利用基本材料来满足结构强度要求；而利用覆盖层可以获得耐磨、耐腐蚀等各种特殊需要的表面性能。在生产实践中，堆焊层、喷涂层、电镀层等是常见的可供选择的对象。

2. 零件的生产加工质量

采用不同的生产加工方法和工艺措施，可以使零件得到不同的工作性能。

为了改变钢制零件的强度和表面硬度，可以根据需要对零件进行诸如调质、淬火、渗碳、氮化、氰化等不同的热处理和化学热处理。

在交变载荷下工作的零件，利用表面塑性变形强化的方法，可以大大提高它的疲劳强度。例如，对轴类零件，包括发动机的曲轴在内，可以用滚压加工强化；对于小的内孔可用特制的挤压工具进行挤压加工强化；对于不规则的表面或粗糙表面，包括连杆、齿轮、弹簧、板簧等可采用喷丸处理强化。零件表面塑性变形的结果，使它产生了残余压应力，这时，当零件受到交变载荷的作用时，只有当载荷引起的拉应力与残余压应力抵消后仍超过疲劳强度时，才引起疲劳破坏。

利用电流的热效应和机械滚压加工的联合作用，可以同时改变金属的组织、硬度、表层残余应力和表面光洁度，可以提高零件的疲劳寿命和耐磨性。

对于复杂的铸铁零件质量，需要严格控制化学成分、防止白口和进行人工时效处理。任何微小的过失都可能带来严重的不良后果。以致降低整个机械寿命。

零件的机械加工质量包括它的精度和表面光洁度。受加工方法、机床精度和生产工人的主观因素的影响，目前某些制造和修理企业中，由于零件加工质量不能满足要求，是机械产品寿命不高的重要原因。

3. 机械的装配质量

机械的装配质量首先是要有正确的配合要求。从式（1—16）中可知，配合间隙的极限值包括了装配后（经过磨合后）的初始间隙。当初始间隙过大时，有效寿命期就会缩短。理想的动配合件的装配间隙应该是公差的下限值。

装配中各零件之间相互的位置精度也很重要，如同轴度、平行度、垂直度等，当达不到精度要求时，可能引起附加应力、偏磨等后果，从而加速零件的失效。

三、机械使用因素对故障率的影响

机械的故障率不仅与制造和修理质量有关，而且也与使用因素有关。在正常使用条件下，一定制造水平的机械，有它自身的故障规律。但当使用条件改变时，机械的故障规律也随之发生改变。

就工程机械而论，它的使用因素是极为复杂的，它既有客观方面的因素，也有主观方面的因素。概括起来：主要有负荷因素、环境因素、技术保养因素和操作技术水平等。

1. 负荷因素

机械发生耗损故障的主要原因是零件的磨损和疲劳破坏。

在规定的使用条件下,零件的磨损一般接近于与摩擦功成直线关系,亦即在其它条件不变的情况下,它在单位时间内的磨损情况是与负荷的大小成直线关系。而零件的疲劳损坏只是在一定的交变载荷下发生,也是随交变应力的增大而加剧的。因此,磨损和疲劳都是负荷的函数。若令产品在额定负荷条件下的故障率(可称作基本故障率)为 λ_0 ,则当负荷改变时,即可乘以一个负荷系数 K_L 。即

$$\lambda = \lambda_0 K_L \quad (1-17)$$

在大多数情况下,工程机械是在低于额定负荷的情况下工作,因此此系数常小于1,并称之为降额因子。

在负荷超过额定(或设计所允许的)负荷时,无论从磨损和疲劳方面都将引起剧烈的破坏,这是不允许的。这种损坏属于事故损坏,其故障率不在修正之列。

2. 环境因素

工程机械的工作环境包括气候条件、腐蚀介质和其它有害介质的影响以及工作对象的情况等。

在温度升高的情况下,一般机械的工作温度相应升高,这时的磨损和腐蚀影响必有所增大,因而加速机件的损坏。对于内燃机来说,如果冷却水没有达到正常温度或风冷式发动机在低温下工作,若没有充分防护措施,会给腐蚀造成条件,从而加速气缸的损坏;过高的湿度和空气中的腐蚀介质的存在,会造成机件的腐蚀或腐蚀磨损;空气中含尘量过多,有可能进入摩擦副而加速磨损;道路条件恶劣,会增大机械的振动程度;土壤和岩石的性状,都会影响机械的损坏速度。

考虑到环境因素的这些影响,同样可以在基本故障率的基础上乘以一个环境修正系数进行修正,此系数可以用 K_F 表示。这样,实际的故障率便为:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot K_L \cdot K_F \quad (1-18)$$

系数 K_F 通常是大于1的,因而也称为增额因子。

环境因素是一个客观因素,但在某些情况下可以人为地采取某些措施来使之得到改善,如采用专门的油、水加热器以及防护罩、多功能的润滑剂,或改进空气滤清器和润滑系滤清器,采用特制的链轨等。

3. 技术保养和操作因素

建立合理的保养维护制度,严格执行技术保养和使用操作规程,是保证机械的工作可靠性和提高使用寿命的重要条件。

机械在使用过程中,由于零件的磨损和变形等因素而可能造成相互之间的某种失调;润滑剂会逐渐脏污、变质;各种滤清器可能出现堵塞;某些螺纹连接可能出现松动等。这种情况的出现和不断发展,将加速机械的损坏,导致故障率的提高。技术保养工作的任务,就是对这些现象的出现进行及时排除。

在机械保养工作中,由于不严格遵守操作技术要求,如操作不当,调整工作没有达到技术要求,使用不合格的润滑剂和液压油,或机械不清洁等,常常是导致机械加速损坏的原因。特别是在机械动力中随着高速增压柴油机的广泛应用,对润滑剂的要求越来越高,必须严格按照规定使用。

司机的操作技术水平也直接影响着机械的使用寿命。例如起动操作方法,加载条件,对各种情况的处理能力以及司机的责任心等,都是有关的因素。

技术保养和使用操作因素是属于主观因素,可以通过建立合理的保养维护制度和制定技