

工程机械系列教材

底盘修理

陈明宏 主编

D I P A N X I U L I



国防工业出版社

National Defense Industry Press

工程机械系列教材

底盘修理

陈明宏 主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书共分11章,介绍了工程机械老化规律、故障理论、维修思想、修理的基础知识以及工程机械底盘主要总成常见故障及原因分析、检修方法、装配与调整。其中,第1章介绍了工程机械老化及起因、故障理论和规律;第2章介绍了工程机械维修思想、机械零件的失效分析、机械修理主要工艺过程和管理及机械零件的修复技术;第3章至第11章分别介绍了离合器、液力变矩器、变速器、万向传动装置、轮式机械驱动桥、履带式机械后桥、行驶系、前桥及转向系和制动系的修理等。

本书可供大专院校工程机械类专业师生使用,也可供工程机械相关专业人士参考。

图书在版编目(CIP)数据

底盘修理 / 陈明宏主编. —北京:国防工业出版社,
2008.6

(工程机械系列教材)

ISBN 978-7-118-05584-9

I. 底... II. 陈... III. 汽车-底盘-车辆修理-高等学校-教材 IV. U472.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第017142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)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 21 字数 488 千字

2008年6月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 42.00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

《工程机构系列教材》 编写委员会成员

主任委员 王耀华 龚烈航

副主任委员 高亚明 苏凡圉 周建钊

委 员 (按姓氏笔划为序)

王占录 王 强 王新晴 李 钧

陈六海 陈明宏 宋胜利 张梅军

赵建民 姬慧勇 鲁冬林 储伟俊

程建辉

前 言

本书在继承以往同类教材基本构架的基础上,以部队工程装备使用较多的典型推、挖、装,如 ZL50C 型装载机、TY180 型推土机、上海 TY160 型推土机、W501 型挖掘机、T220/TY220 型推土机等为例编写而成。本书有以下几个特点:一是内容较为全面,首先介绍工程机械故障理论、维修理论、维修管理及修理的基础知识,其次以工程机械底盘各主要总成作为每章主题介绍其常见故障及原因、检修方法和装配与调整;二是内容通俗易懂、图文并茂,有较强的实用性;三是以突出共性、照顾特殊性为原则,重点介绍我军工程装备底盘修理的同时,对民用机械车辆底盘修理也进行了一定介绍。

参加本书编写的人员有陈明宏(第 1 章至第 3 章),李卫士(第 4 章,第 5 章)、唐建(第 6 章,第 7 章),史长根(第 8 章,第 9 章),张文臣(第 10 章,第 11 章)。全书由陈明宏主编和统稿,由姬慧勇主审。

本书可作为工程装备专业本科生、大专生的学习教材,也可作为工程装备修理专业人员的参考书。

编者在本书编写过程中曾先后到兄弟院校、科研院所和工厂进行调研和资料搜集,参阅了大量的文献,得到很多单位和同行的支持,在此向被引文的作者和提供资料的有关人员谨表谢意。

由于时间仓促,编写人员水平有限,书中存在一些错误和不足之处,敬请使用者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 工程机械的老化及起因	1
1.2 老化规律及补偿	4
1.3 机械故障理论概述	6
1.4 故障理论及故障规律	12
第 2 章 工程机械修理的基础知识	16
2.1 维修理论概述	16
2.2 机械零件的失效分析	22
2.3 机械修理主要工艺过程及管理	56
2.4 机械零件的修复技术	75
第 3 章 离合器的修理	159
3.1 离合器的常见故障及原因	159
3.2 离合器零件的检验与修理	164
3.3 离合器的装配与调整	170
3.4 湿式离合器的检修	175
第 4 章 液力变矩器的修理	186
4.1 变矩器的常见故障分析	186
4.2 液力变矩器的检验与修理	187
第 5 章 变速器的修理	194
5.1 变速器的常见故障分析	194
5.2 变速器主要零件的检验与修理	198
5.3 变速器的装配	211
第 6 章 万向传动装置的修理	213
6.1 万向传动装置常见故障分析	213
6.2 传动轴零件的检验与修理	214
6.3 传动轴总成的装配	217
第 7 章 轮式机械驱动桥的修理	219
7.1 驱动桥常见故障分析	219
7.2 驱动桥主要零件的检验与修理	221
7.3 驱动桥的装配与调整	230
第 8 章 履带式机械后桥的修理	239
8.1 后桥的常见故障及维护	239

8.2	履带式机械驱动桥(后桥)的维修	247
8.3	驱动桥(后桥)的装配	256
第9章	行驶系的修理	260
9.1	轮式机械行驶系的维修	260
9.2	履带式机械行驶系的维修	267
第10章	前桥及转向系的修理	279
10.1	轮式机械前桥和转向系的故障与原因	279
10.2	前桥主要零件的维修	280
10.3	前桥的装配与调整	285
10.4	转向系的维修	293
10.5	转向驱动桥的维修	304
第11章	制动系的修理	306
11.1	制动系的技术维护	306
11.2	制动器的维修	314
11.3	制动驱动机构的维修	321
参考文献	329

第1章 绪论

1.1 工程机械的老化及起因

工程机械无论设计和制造得多么完美,都会随着长期的使用、保管或闲置产生工作能力下降、精度降低、价值贬低、可靠性降低等技术状况变差的现象,这种现象称为老化(或劣化)。研究老化的规律,研究对工程机械造成有害作用的根源及相应对策是工程机械修理的重要内容及理论基础。

1.1.1 老化的分类

工程机械老化可分为有形老化和无形老化两种形式。

1. 有形老化

工程机械及零部件在使用、保管或闲置过程中,因摩擦磨损、变形、冲击振动、疲劳、断裂、腐蚀等使机械零部件形态变化、精度降低、性能变坏,这种现象称为有形老化。其中,工程机械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)零部件的原始尺寸和形状发生改变;(2)零部件之间的公差配合性质发生变化,精度降低;(3)零件损坏。

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,如磨料磨损,造成零件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。

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,采用先进的修理技术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。

2. 无形老化

工程机械在使用或闲置过程中,由于非自然力和非使用所引起工程机械价值的损失,在实物形态上看不出来的老化现象称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,虽然工程机械的技术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工程机械,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,老化越快,说明科技进步越快。因此对无形老化不能防止它,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。

1.1.2 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_R 与确定工程机械老化程度时该机再生产或再购入的价值 K_1 之比值表示

$$\alpha_p = \frac{R_R}{K_1} \quad (1-1)$$

从经济角度分析,工程机械有形老化程度指标 $\alpha_p < 1$ 。

衡量机械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 ——工程机械的价值降低系数,即无形老化程度指标;

K_0 ——工程机械的原价值(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工程机械贬值的影响:①相同工程机械再生产价值的降低;②有较好功能和更高效率的新工程机械的出现。 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 ——使用相应旧工程机械、新工程机械时的年生产率;

c_0, c_n ——使用相应旧工程机械、新工程机械时的单位产品耗费;

μ, β ——劳动生产率提高指数和成本降低指数,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

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

工程机械有形老化的残余价值(用原始价值的比值表示)为 $1 - \alpha_p$;工程机械无形老化的残余价值(用原始价值的比值表示)为 $1 - \alpha_1$;两种老化同时发生后的工程机械残余价值为 $(1 - \alpha_p)(1 - \alpha_1)$ 。

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

式中 α ——工程机械综合老化程度指标(用原始价值的比值表示)。

设 K 为工程机械的残余价值,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 值是决定工程机械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

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

可见工程机械的残余价值等于再生产的价值减去维修费用。当 $K_1 > R$, 则 $K > 0$, 工程机械还有残余价值; $K_1 = R$, $K = 0$, 表明工程机械已无价值; 若 $K_1 < R$, 则 $K < 0$, 此时工程机械不再具有维修的意义。

1.1.3 老化的起因

无形老化产生的主要原因是科技进步,在此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。

工程机械有形老化的起因,可从不同的角度来研究认识,可从能量的角度考察。工程机械在制造后和使用、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、工程机械内部机械能的作用、在制造中聚集在机械零件材料内部潜伏能量的作用。

1. 周围介质能量的作用

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的作用和影响有: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,会使零件表面受腐蚀破坏。如水蒸气冷凝成水珠粘附于钢铁件表面时会引起电化学腐蚀,工程机械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,严重者可能造成机械工作能力完全丧失或者酿成事故。如机械长时间超负荷运行,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;冬季启动时,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。

2. 工程机械内部机械能的作用

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。

3. 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。

1.2 老化规律及补偿

1.2.1 老化的共同规律

1. 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。

在工程机械中,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、总成和工程机械。

2. 工程机械寿命的地区性和递减性

工程机械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工程机械,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长时间的发展才能逐渐显露出来。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。

3. 工程机械性能和效率的递减性

在工程机械的有形老化中,有些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,经过维修的工程机械其性能和效率呈递减的趋势,即所谓性能和效率的递减性。

4. 材料性状的不可逆性

材料性状的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,它揭示了工程机械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工程机械工作能力的耗损有极为重要的意义。

1.2.2 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。

表1-1 老化过程的分类

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。

1.2.3 老化后的补偿

工程机械老化后,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工程机械更新。工程机械的各种老化形式及其补偿方式如图 1-1 所示。

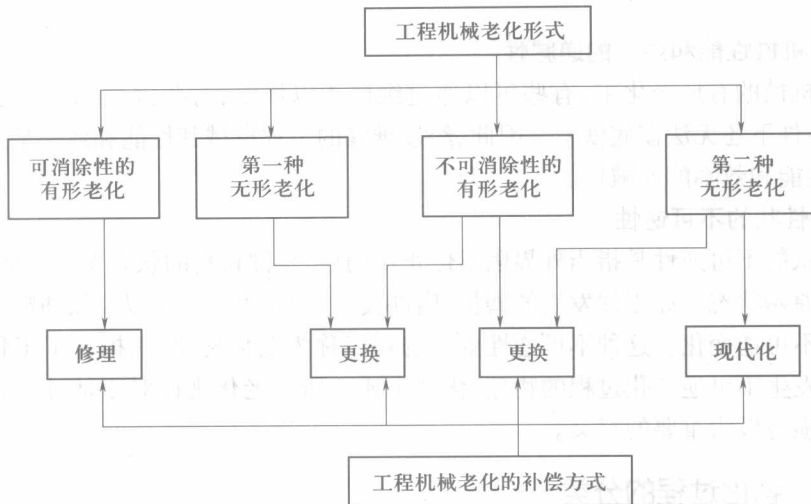


图 1-1 工程机械老化形式及其补偿形式的相互关系

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期(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,大修费用超过再生产价格时,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。

1.3 机械故障理论概述

工程机械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。在工程机械维修中,研究故障的目的是要查明故障模式,寻找故障机制,探求减少故障发生的方法,恢复机械的固有可靠性程度,提高机械的有效利用率。

1.3.1 机械故障的定义

所谓机械故障,就是指机械系统(零件、组件、部件或整台工程机械乃至一系列的工程机械组合)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:工程机械(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。

1.3.2 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,估计故障的影响程度,以便分门别类地找出解决机械故障的决策。

工程机械的故障可从不同的角度进行分类,按其性质、原因、影响程度、故障发生时间等进行如图 1-2 所示的分类。

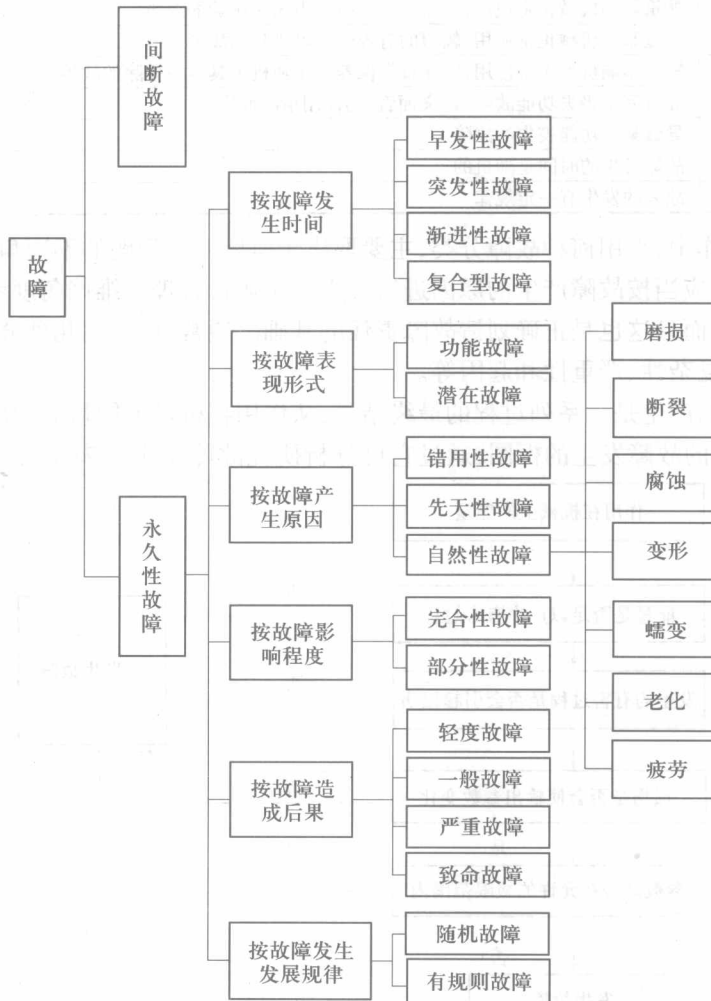


图 1-2 故障的分类

各类故障的定义如表 1-2 所列。

表 1-2 各类故障的定义

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
复合性故障	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,从作用在机械上能量的角度出发,可得出如图 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

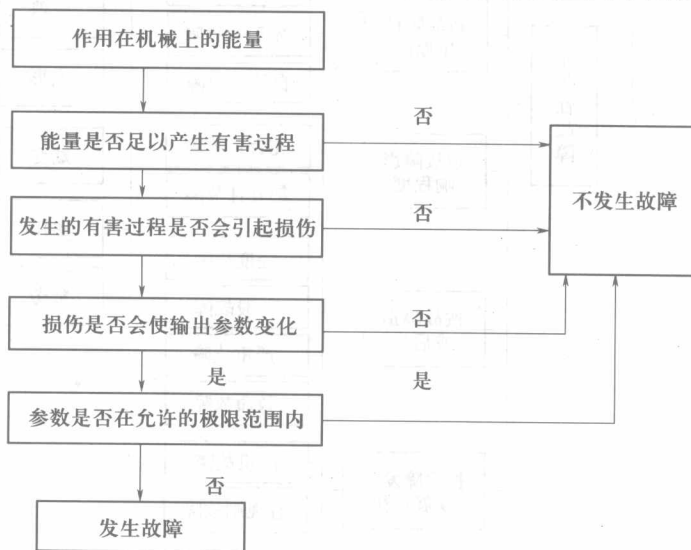


图 1-3 机械故障产生的框图

故障发生,制定预防对策。

1.3.3 故障的量度

1. 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。无论哪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值,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。累积故障率可用下式表示:

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

式中 $F(t)$ ——累积故障率;

$f(t)$ ——故障密度;

t ——时间。

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

2. 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内发生故障的数量 $\Delta n(t)/\Delta t$ 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,可得到晶体管的故障密度曲线。此过程如图1-4所示。

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

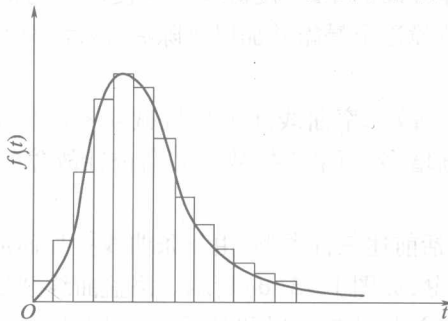


图1-4 故障密度曲线

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

3. 故障率 $\lambda(t)$

用故障密度度量故障率存在的不足是: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。故障率有以下两种。

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,用 $\bar{\lambda}(t)$ 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生的典型规律相吻合。

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。此时的工程机械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。这是一种常见的类型,如图 1-5(a) 所示。

负指数型又称渐减型。由于使用了质量不高的零件或制造中工艺疏忽,装配质量不高及设计、保管、运输、操作方面的原因,使机械投入使用的初期故障率很高,随着时间推移,经过运转磨合、调整,故障逐个暴露并加以排除后,故障率由高逐渐降低,并趋于稳定,如图 1-5(b) 所示。

正指数型又称渐增型。故障率曲线随工程机械或零部件工作时间的增长,磨损、腐蚀、疲劳等自然性故障逐渐增多,而呈正指数型。渐进性故障的故障率属于这种类型,如图 1-5(c) 所示。

浴盆曲线型实际上包括前述三种类型,由三条曲线叠加而成的故障率曲线,该曲线两头高,中间低,形状像个浴盆,如图 1-5(d) 所示。浴盆曲线型是常见的一种故障率类型,曲线可划分成早期故障期(初始故障)、随机故障期(偶发故障)、耗损故障期(衰老故障)三个阶段。早期故障期($0 \leq t \leq t_1$)相当于工程机械从安装试车到磨合调整后进入正常