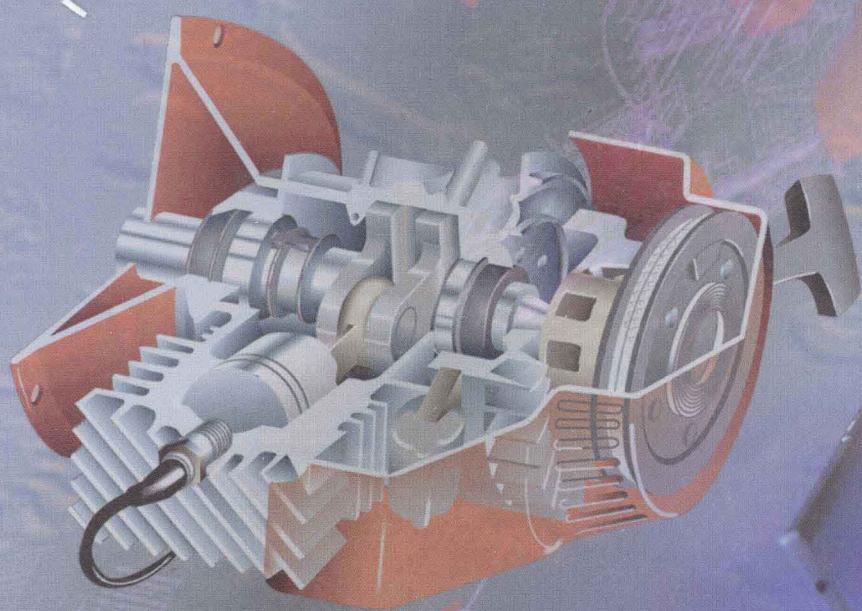


职业技术学院教学用书

# 机械维修与安装

武维承 王叶青 主编



中国矿业大学出版社

职业技术学院教学用书

# 机械维修与安装

主 编 武维承 王叶青  
副主编 汪 浩 张吉平



中国矿业大学出版社

**内容提要** 本书是以工程、矿山常用机械的维修与安装为主要内容,吸收了现代维修理论——即可靠性维修及其技术的综合性教材。编写时注重理论联系实际,同时也反映了国内外维修理论与维修技术方面的一些新成果、新应用。

全书分机械维修基本知识、零件失效及机械技术诊断、机械零件的修理方法、通用零件的修理、液压系统的故障及处理、机械设备的修理与装配和机械设备的安装等七章。

本书供高等职业院校机械、机电类及相关专业开设机械维修与安装课程的专业使用,也可作为中专相关专业的教材或教学参考书,亦可供从事机械、机电设备维修与安装的工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械维修与安装/武维承编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2000.1

ISBN 7-81070-109-6

I. 机… II. 武… III. ①机械维修②机械-安装  
IV. TH17

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第54764号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码221008)

出版人 解京选

北京市兆成印刷厂印刷 新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 15.75 字数 382千字

2000年1月第1版 2000年1月第1次印刷

印数 1~4000册 定价 21.50元

(如有印装质量问题,本社负责调换)

## 前 言

随着现代机械装备技术的高速发展,以可靠性为中心的维修理论得到不断地应用。在机电设备技术日趋密集化的今天,需要大量合格的技术人员和设备管理人员对设备进行安装、维护和修理,以确保设备高效、正常地运转,并能够经济地设计机械设备的维修方案。

《机械维修与安装》是在承接了《煤矿机械修理与安装》的主要内容的基础上,吸收了现代维修学的技术和应用成果,依据机电设备使用现场的实际情况,按照专科和高职机械、机电类专业的教学要求编写而成的。编写过程中,力求理论联系实际,深入浅出,注重实用性和实际操作能力的培养。

本书由武维承、王叶青任主编,汪浩、张吉平任副主编。其中:第一章、第二章 第三、四、五、六节由武维承编写;第二章第一、二节由张权恒编写;第三章由王成和编写;第四章第一、三、四、五节由王叶青编写;第四章第二、六节由张吉平编写;第五章由杨存智编写;第六章第一、三节由汪浩编写;第六章第二、四节由李俊文编写;第七章由解同信编写。

梁兴义、张德善对本书初稿进行了细致的审阅,并提出许多宝贵意见,在此深表谢意。同时,我们也向文献资料的编著者和支持本书编写工作的人员、单位表示衷心的感谢。

本书是高等职业技术学院机械、机电类专业的教学用书,亦可作为中专相应专业的教材或教学参考书,同时也可供从事机械、机电设备维修与安装的工程技术人员参考。

由于编者水平有限,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者  
1999年9月

## 目 录

<b>第一章 机械维修基本知识</b> .....	(1)
第一节 机械故障概论.....	(1)
第二节 机械的维修.....	(4)
第三节 可靠性维修基本原理 .....	(10)
思考题与习题 .....	(13)
<b>第二章 零件失效及机械技术诊断</b> .....	(14)
第一节 零件的磨损 .....	(14)
第二节 润滑 .....	(23)
第三节 零件的变形 .....	(42)
第四节 断裂 .....	(44)
第五节 机械技术状况的诊断 .....	(47)
第六节 机器及零件的检验技术 .....	(57)
思考题与习题 .....	(67)
<b>第三章 机械零件的修理方法</b> .....	(69)
第一节 零件的焊修 .....	(69)
第二节 零件的电镀修复 .....	(75)
第三节 零件的喷涂修复 .....	(79)
第四节 零件的粘接修补 .....	(82)
思考题与习题 .....	(89)
<b>第四章 通用零件的修理</b> .....	(91)
第一节 检修工艺过程 .....	(91)
第二节 轴的修理和装配 .....	(97)
第三节 过盈配合连接的装配.....	(104)
第四节 滑动轴承的修理与装配.....	(109)
第五节 滚动轴承.....	(125)
第六节 齿轮传动装置的修理与装配.....	(135)
思考题与习题.....	(147)
<b>第五章 液压系统的故障及处理</b> .....	(149)
第一节 液压系统的故障诊断.....	(149)
第二节 齿轮泵和齿轮马达的修理.....	(152)
第三节 柱塞泵及柱塞马达的修理.....	(156)
第四节 液压缸的修理.....	(159)
第五节 液压控制阀的修理.....	(162)
思考题与习题.....	(166)

---

<b>第六章 机械设备的修理与装配</b> ·····	(167)
第一节 往复式空气压缩机的修理与装配·····	(167)
第二节 离心式水泵的修理与装配·····	(178)
第三节 通风机的修理与装配·····	(185)
第四节 提升设备的修理与装配·····	(189)
思考题与习题·····	(200)
<b>第七章 机械设备的安装</b> ·····	(202)
第一节 设备安装的准备工作·····	(202)
第二节 起重设备简介·····	(204)
第三节 机器和基础的连接·····	(214)
第四节 机械设备的安装·····	(224)
第五节 联轴器的安装与检查·····	(228)
第六节 典型设备安装工艺·····	(237)
第七节 设备的试运转·····	(241)
思考题与习题·····	(243)
<b>主要参考文献</b> ·····	(245)

## 第一章 机械维修基本知识

### 第一节 机械故障概论

#### 一、故障及其分类

机械设备在运行过程中，丧失或降低其规定的功能以及不能继续可靠运行的现象称为故障。机械故障发生后，其各项技术经济指标明显达不到要求。例如，机器瘫痪，原动机功率降低，传动系统失去平稳工作状态，振动和噪声增大，工作机构能力下降，工作温度升高，润滑油消耗增加等，均属故障现象。

机械故障表现在结构上主要是零件的损坏和零件之间相互关系被破坏，如零件变形、断裂，配合性质变化，紧固装置松动和失效等。从不同的角度分析，机械故障可分为以下几种类型：

##### （一）按发生故障的时间分，有突发性故障和渐进性故障

突发性故障是由于各种不利因素和偶然的外部影响共同作用的结果，其特点是具有偶然性。如工作机构遇到意外的障碍物等引起机器超载和零件损坏，轮胎式行走机构被尖硬物刺破，导线松脱、挂断，电气系统操作失误引起的故障等，这些都与使用时间无关，是难以预测的。但突发性故障一般容易排除，通常不影响机械的寿命。

渐进性故障是由于零件磨损、腐蚀、疲劳和老化等现象逐渐发展而形成的，其特点是发生的概率与使用时间有关，只是在机械的有效寿命后期才明显地表现出来。渐进性故障一旦发生，就表明机械设备应该进行修复。由于这类故障是逐渐发展形成的，所以一般可以进行预测，甚至在没有完全形成故障之前，就可采取一定的修复方案加以消除。

##### （二）按发生故障的状况分，有实际故障和潜在故障

实际故障使机械设备的工作能力明显下降或完全丧失。实际故障一般可以通过操作者的直接感受或测定其输出参数判断出来。如关键零件的损坏，导致机械不能运转；设备生产率达不到规定指标等都是实际存在的故障。由于这种故障使设备丧失了它应有的功能，也常称作功能故障。

潜在故障和渐进性故障密切相关。当故障在逐渐发展过程中，设备功能没有丧失，这种情况如果能够被诊断出来，一般也认为是一种故障现象，称为潜在故障。潜在故障的继续就是实际故障的发生，因此，在探明了机械的潜在故障之后，就应当在其达到实际故障之前进行排除，从而保持机械处于完好状态，避免由于发生实际故障而可能产生的其他后果。这种处理故障的观点是现代机械维修理论的重要内容。

##### （三）按发生故障的原因分，有事故性故障和自然故障

事故性故障是由于使用中维护和调整不当，违反操作规程，或在制造和修复时使用了不合格的零件和材料而引起的。事故性故障是人为故障，应当加以避免。

自然故障是机器在使用过程中，由于受各种内部和外部因素的影响而引起的故障。如

磨损、腐蚀、蠕变、断裂和老化等损坏形式都是自然故障。自然故障虽然不可避免，但只要认识了各种损坏形式的原因和规律，采取相应措施，提高维护管理水平，就可以延长机器的使用寿命，避免重大事故的发生。

## 二、机械故障产生的基本规律

机械的技术状况是随其使用时间的延长而逐渐由好变坏的，最后达到其使用寿命。因此，机械的故障率（即机械在某段时间内的故障数与此段时间内的总工作时间之比）总是随着使用时间的延长而逐渐增大。尽管不同的产品因其制造条件、结构特点及工作性质的不同而有不同的故障率，但由于它随时间而变化的规律，却有一定的共同性，大致可分为初始故障区、随机故障区和耗损故障区。

### （一）初始故障区

机械使用初期，由于产品设计、制造、检验和装配中存在的缺陷和失误，常常会有较高的故障率。随着工作时间的延长和对出现故障的不断排除，故障率便逐渐降低，这一阶段称作初始故障区。初始故障区故障率因随时间而逐渐降低，也称为渐减型故障区。

### （二）随机故障区

初始故障区之后，机械运行处于相对的稳定状态，其故障率很小，一般多是突发性故障。突发性故障由于在任何时候都可能发生，与使用时间、新旧程度无关，因而也常称作随机故障或偶然故障，故又称此阶段为随机故障区。由于突发性故障在任何时候发生的机会都相等，故障率可以看作是一个常数，因此随机故障区也可称之为恒定性故障区。

### （三）耗损故障区

机械到了有效寿命后期，机器零件受到长期磨损、疲劳、腐蚀和老化等因素的影响，故障逐渐增加，如渐进性故障就属于此种类型。这种形式的故障是不可避免的，而且也难以通过一般方法消除，故称这一阶段为耗损故障区。

机械运行的整个寿命期内的故障规律可用图 1-1 表示，可行性维修学上称作浴盆曲线。

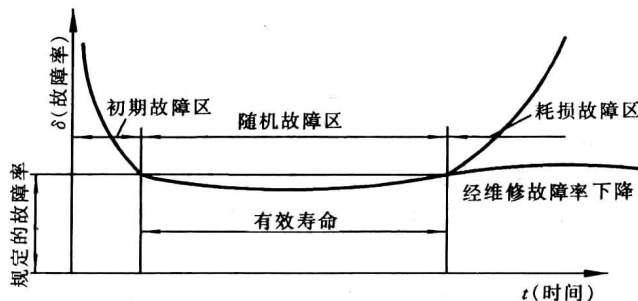


图 1-1 机械的故障率曲线

线。对于初期故障率，由于机械在出厂前已进行过各种试验，并经过充分调整，一般认为已基本消除，用户可以不必考虑；随机故障通常容易排除，一般不决定机械寿命；只有耗损故障区才是影响机械使用寿命的决定性因素，也是研究的主要对象。

## 三、机械制造和修理因素对故障的影响

材料的品质、零件的加工精度及机器的装配质量等如果不符合要求，将会影响到零件技术参数的变化，造成机械故障。因此，制造和修理时必须考虑如下因素对故障的影响。

### （一）零件材料的选择



随着材料技术的高度发展,机械设备可选材料的品种越来越多,视其工作特点可分为结构材料、耐磨材料、耐热材料、耐腐蚀材料和其他特殊材料等。在机械设计、制造和修理中要依据零件工作的性质和特点,合理选择这些材料。

工矿机械中,许多零件必须同时具有必要的结构强度性能和不同的表面性能。为此,在制造和修理中除合理选择零件基本材料之外,有时还要采用表面覆盖层的办法,如在表面进行堆(补)焊、喷涂、电镀等,使零件的表面性能发生变化,从而在确保结构强度的同时,获得耐磨、耐腐蚀等各种特殊需要的表面性能。因此,选择零件材料时,考虑的因素很多,必须以提高零件的综合性能,达到提高零件耐久性为最终目的。

### (二) 零件的加工质量

零件的加工质量包括它的各种精度、表面粗糙度和其他机械特性。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。因此,制造和修理零件时,要根据实际情况,选用最佳方案,以确保零件的加工质量。

为了使钢制零件获得较高的强度和表面硬度,常可采用调质、渗碳、氮化和氰化等热处理和化学热处理工艺。

工作中,当零件受到交变载荷作用时,只有当载荷引起的拉应力与残余压应力抵消之后仍超过疲劳强度时,才会引起疲劳破坏。对于受交变载荷的零件,可以采用表面塑性变形强化的方法。例如,一些轴类零件(包括曲轴)可以用滚压加工强化;对于小的内孔可以用特殊的挤压加工强化;对于连杆、齿轮、弹簧等零件的不规则表面或粗糙表面,可以采用喷丸处理强化。经过强化处理后的零件,均可产生一定的残余压应力,从而显著地提高了零件的抗疲劳性能。

采用电流的热效应和机械滚压共同加工,可以同时改变金属的组织、硬度、表层残余应力和表面粗糙度,从而提高零件的抗疲劳性能和耐磨性。

对于铸铁零件,要严格控制化学成分、防止白口,并进行人工时效处理。任何很小的失误都可能造成严重的故障隐患,以致降低整台机器的使用寿命。

### (三) 机械的装配质量

影响装配质量的因素主要有配合间隙和各零件相互的位置精度。配合间隙的极限值包括了装配后(经过跑合后)的初始间隙。当初始间隙过大时,有效寿命期就会缩短。因此间隙配合件的装配间隙,在满足正常运转的条件下,要尽可能取小值。装配中还必须严格检查零件间的同轴度、平行度、垂直度等精度是否符合要求,否则可能引起附加应力和偏磨现象,导致零件加速失效。

## 四、机械使用因素对故障的影响

在正常使用条件下,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。使用条件是很复杂的,有客观方面的,也有主观方面的,主要有工作负荷、工作环境、设备保养和操作水平等。

### (一) 工作负荷

机器正常工作时,零件的磨损程度与摩擦成线性关系,由于摩擦与工作负荷成正比关系,因此零件的磨损程度与工作负荷的大小也成线性关系。零件的疲劳损坏是在一定的交变载荷下发生的,随工作负荷的增大而加剧。所以,磨损与疲劳都是工作负荷的函数。若令机械在额定负荷条件下的故障率(也称基本故障率)为 $\beta_0$ ,则当负荷改变时,即可乘

以一个负荷系数  $K_f$  来表示在负荷改变条件下的故障率，即

$$\beta_1 = \beta_0 \cdot K_f \quad (1-1)$$

式中  $\beta_1$ ——考虑负荷变化因素时的故障率。

一般情况下，机械设备是在低于额定负荷的情况下工作的，即  $K_f < 1$ ；在负荷超过额定载荷时， $K_f > 1$ ，机械零件的磨损和疲劳都将加剧，故障率增加。

### (二) 工作环境

机械设备的工作环境包括工作场所、气候条件、腐蚀介质和其他有害介质的影响以及工作对象的状况等。

一般情况下，机械的工作温度随周围环境温度的升高而升高，同时零件的磨损和腐蚀也随之增长。对于空压机、发动机等动力设备，如果冷却水温度过高，会给腐蚀造成条件，从而加速气缸的损坏；当空气温度太高并含有腐蚀介质时，会使零件腐蚀或腐蚀磨损；空气中的风沙或矿尘等进入摩擦副后，将加速其磨损；行走条件恶劣，工作对象的不均匀性（如铲土机工作中遇有坚硬岩石时等情况），会使机械振动加剧。工作环境对机械故障的影响，可用环境系数  $K_h$  ( $K_h > 1$ ) 进行修正，故实际故障率可表示为

$$\beta_2 = \beta_1 \cdot K_f = \beta_0 K_h \cdot K_f \quad (1-2)$$

式中  $\beta_2$ ——考虑工作环境和负荷因素时的实际故障率。

工作环境对机械故障的影响是不可避免的，但可以通过采取一些必要的技术措施加以改善，如电动机或其他机械等采取风冷或水冷装置，设置防护装置，设备外壳涂防锈漆，采用多功能的润滑剂，改进空气滤清器和润滑系统滤油器，采用特别的防振装置等。

### (三) 设备保养和操作技术

为了确保设备安全、可靠地运行，控制故障率，提高设备使用寿命，必须建立合理的保养维修制度，严格执行技术保养和使用操作规程。设备运行中，由于磨损、变形、疲劳和材料老化等因素，将造成零件相互之间失调，螺纹连接松动，润滑剂脏污、变质，油气管路、过滤器（或滤清器）被堵塞等等。如果上述情况发生，必须及时加以排除，否则将加速机械损坏。

在机械保养维修中，如果不严格执行操作技术规程，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等，常会导致机械损坏。特别是液压传动系统的广泛应用对润滑和清洁的要求越来越高，必须严格按照规程操作。

操作人员的技术水平和操作能力，如起动操作程序、加载条件和方法、处理各种突发情况的能力和司机的职业道德等，都直接或间接地影响着机械的使用寿命。

对于机械的保养和使用因素的影响，可以用一个大于 1 的系数  $K_b$  加以修正。综合所有因素的影响后，机械的总实际故障率为

$$\beta = \beta_2 \cdot K_b = \beta_0 \cdot K_f \cdot K_h \cdot K_b \quad (1-3)$$

## 第二节 机械的维修

### 一、机械的维修性

对于可修机械，在有潜在故障存在时和发生故障之后，可以通过维护和修复方法，使产品保持或恢复到它的设计能力。就机械而言，它的维修时间与其本身的结构有关，是由

设计、制造等因素所决定的，是一种固有的属性。此外，维修时间还与维修条件有关，如维修人员的技术水平、组织管理、检验和修理设备的能力、备件和材料供应等。以上因素，实际上反映了通过维修手段，来预防故障、查找原因和消除后果的性质，称之为维修性。维修可以这样定义：在规定条件下、规定时间内使用的机械，按规定的程序维修时，保持和恢复到能完成规定功能的能力。

评价维修性的主要参数是维修的速度，即与由发生故障到恢复正常状态所花费的时间有关。由于故障的原因、发生的部位以及设备所处的具体环境不同，维修所需的时间是一个随机变量，可以用一个描述维修时间的概率分布尺度来表示维修性，即维修度。

维修度是指在规定条件下使用的机械，在规定的时间内，按照规定的程序和方法进行维修时，保持或恢复到能完成规定功能的概率。维修度随规定的维修时间  $t$  的增加而增大，当  $t=0$  时，维修度为 0，即发生故障，等待修理；当  $t \rightarrow \infty$  时，即维修时间接近无限大，维修度为 1，修理完毕。在一定的时间内，维修度大，说明维修的速度快，反之维修速度慢。

“规定的条件”和“规定的时间”对影响维修工作各方面的因素作出明确的规定，便于对设备的固有维修性进行比较。但对同种设备，即维修性水平一定时，维修度也常用来评定维修企业的管理和技术水平。

## 二、评定维修性的几个常用指标

为了生产管理中使用的方便，常用维修时间、维修工时、维修频率和维修费用等几类指标评定设备（系统）的维修性。

### （一）维修时间指标

维修包括诊断、预防或排除故障等。维修时间分为事后维修时间和预防维修时间。

#### 1. 平均事后维修时间 ( $M_{ct}$ )

设备发生故障时，要采取相应措施，使之恢复到完好状态，这个过程所需要的时间即事后维修时间。平均事后维修时间  $M_{ct}$ （或平均修理时间  $M_{tr}$ ）则是多次事后维修时间的平均值

$$M_{ct} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i \quad (1-4)$$

式中  $M_i$  ——第  $i$  次故障的维修时间；

$n$  ——发生故障的总次数。

$M_{ct}$  的倒数，称为修复率，用  $\mu$  表示。即

$$\mu = \frac{1}{M_{ct}} \quad (1-5)$$

表示正在维修的机械在单位时间内修复的概率。

#### 2. 平均预防维修时间 ( $M_{pt}$ )

平均预防维修时间  $M_{pt}$  是指完成预防维修项目所用的平均延续时间，其表达式为

$$M_{pt} = \frac{\text{预防维修总时间}}{\text{预防维修次数}} \quad (1-6)$$

#### 3. 平均维修时间 ( $M$ )

平均维修时间  $M$  包括事后维修和预防维修所需的平均延续时间，其表达式为

$$M = \frac{\text{维修总时间}}{\text{维修次数}} = \frac{nM_{ct} + mM_{pt}}{n + m} \quad (1-7)$$

式中  $n$  ——在规定时间内，事后维修的次数；

$m$  ——在同一规定时间内，预防维修的次数。

应该指出，维修时间一般总是小于故障间隔时间，在此条件下，可以认为维修度是服从指数分布形式的，其表达式为

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (1-8)$$

由式(1-8)可以看出维修度的大小，决定于修复率  $\mu$  和要求完成维修的时间  $t$ 。某些设备对维修时间要求不严格时，可用延长维修时间来提高维修度。但重要的设备或不允许长时间停机的设备，必须设法提高修复率来提高维修度。修复率  $\mu$  的提高意味着维修速度的提高，这就要求有合适的工具、设备、熟练的技术工人和较高的维修组织管理能力。

#### 4. 后勤保障拖延时间 $L_{dt}$

后勤保障拖延时间包括等待备件、材料及其运输等所延误的时间。实际中，在总的维修停机时间中，后勤保障拖延时间是比较长的。

#### 5. 行政管理拖延时间 $A_{dt}$

行政管理拖延时间是由于行政管理性质的原因，使维修工作不能进行而延误的时间。

#### 6. 维修停机时间 $M_{dt}$

维修停机时间包括维修时间  $M$ 、后勤保证延误时间  $L_{dt}$  和管理延误时间  $A_{dt}$  的总和。

$$M_{dt} = M + L_{dt} + A_{dt} \quad (1-9)$$

### (二) 维修工时指标

维修任务紧张时，可以通过增加人力资源来缩短维修所延续的时间。维修工时是评价维修性的又一指标，它是维修复杂性和维修频度的函数。主要有以下四个方面：

#### 1. 维修性指数 (工时/小时)

维修性指数是指设备或系统每运行一小时的维修工时，用下式计算

$$M_i = \frac{\text{平均维修工时}}{\text{平均故障工作时间}} \quad (1-10)$$

#### 2. 月维修工时 (工时/月)

设备或系统每运行一个月的维修工时。

#### 3. 周期维修工时 (工时/周期)

设备或系统每运行一个周期的维修工时。

#### 4. 维修项目工时 (工时/项)

设备或系统每项维修措施的维修工时。

### (三) 维修频率指标

维修频率指标关系到能否使设备(系统)对维修的要求减小到最低限度。它包括平均维修间隔时间 ( $M_{tbn}$ ) 和平均更换间隔时间 ( $M_{tbr}$ )。

#### 1. 平均维修间隔时间 ( $M_{tbn}$ )

平均维修间隔时间  $M_{tbn}$  是各类维修活动(事后维修和预防维修)之间的平均工作时间。它是确定设备或系统有效度的主要参数，可用下式表示：

$$M_{\text{tbm}} = \frac{1}{\frac{1}{M_{\text{tbmu}}} + \frac{1}{M_{\text{tbms}}}} \quad (1-11)$$

式中  $M_{\text{tbmu}}$ ——事后维修的平均间隔时间；

$M_{\text{tbms}}$ ——预防维修的平均间隔时间。

$M_{\text{tbmu}}$ 和  $M_{\text{tbms}}$ 的倒数表示维修率，即设备（系统）每运行一小时的维修次数。

## 2. 平均更换间隔时间 ( $M_{\text{tbr}}$ )

平均更换间隔时间  $M_{\text{tbr}}$ 表示某零件、元件、部件或总成更换之间的平均时间。在一些情况下，进行事后维修和预防维修作业并不需要更换零部件。但在另一些情况下，则需要更换零部件。因此， $M_{\text{tbr}}$ 是确定备件需要量的一个重要参数。

### (四) 维修费用指标

一般来说，维修费用在寿命周期费用中占的比重很大。机器维修性设计的最终目的是以最低的费用来完成维修工作。维修费用指标主要有如下五个，可根据具体情况选用。

- (1) 每项维修措施的费用。
- (2) 设备或系统每运行一小时的维修费用。
- (3) 每月的维修费用。
- (4) 每项任务或任务中每个部分的维修费用。
- (5) 维修费用占寿命周期费用的比率。

## 三、机械设备的有效度

如前所述，由于机械设备（系统）的维修占用了一定时间，而使设备（系统）在保有期内不能得到充分利用。为此可以引入有效度的概念，来衡量设备（系统）所能够得到充分利用的程度，可用下式表示：

$$A = \frac{\text{可能工作时间}}{\text{可能工作时间} + \text{不可能工作时间}} \quad (1-12)$$

由于任何产品的可能工作时间和不可能工作时间都是随机的，因此有效度也是一个随机函数，它定义为可修产品在某一特定的瞬间维持其正常功能的概率。在研究机械的有效度时，通常只是考虑维修时间对它的影响，并以求平均值的方式求出，即

$$A = \frac{M_{\text{tbf}}}{M_{\text{tbf}} + M_{\text{ct}}} \quad (1-13)$$

式中  $M_{\text{tbf}}$ ——设备在给定的时间内平均无故障工作时间；

$M_{\text{ct}}$ ——在同一时间内平均事后维修时间。

平均无故障工作时间的倒数，反映了故障发生的程度，称为故障率，用  $\lambda$  表示

$$\lambda = \frac{1}{M_{\text{tbf}}} \quad (1-14)$$

平均事后维修时间的倒数是修复率， $\mu = \frac{1}{M_{\text{ct}}}$ 。代入式 (1-13)，则有

$$A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (1-15)$$

由式 (1-15) 可知，提高设备（系统）的有效度有两种方法：降低故障率或提高修复率。由于在具体组织机械修理工作中，可以通过改善维修条件，而使修复率提高，从而

使机械在维修期限内，能够通过维修措施而保持较高的有效度。

#### 四、维修性设计

为了使机械有较高的维修性，从而达到提高有效度和降低成本的目的，有必要进行维修性设计。维修性设计要从设备结构、维修周期和技术管理等方面考虑。

##### (一) 维修性结构设计

维修性结构设计是在设计机器时就要考虑的，并在将来修理某些失效零部件或总成时能在结构上提供便利的条件，概括起来有以下几个方面。

##### 1. 检查、维护的便利性

设备总体布局和结构设计，应使其各部分易于检查，便于修理和维护。

##### 2. 良好的可达性

可达性是指在维修时，能够接近维修部位的难易程度。可达性可分为安装场所的可达性、设备外部的可达性和机器内部的可达性。在考虑可达性时要从两方面入手：一是要设置便于检查、测试、互换等维修操作的通道；二是要有合适的维修操作空间。

##### 3. 拆装的便利性

机械修理中，为拆装操作提供便利条件，可以提高维修工作的效率。

(1) 易损件等要采取可拆连接，如螺纹、插销连接等；

(2) 采用便于装配的标准化、互换性、通用化的零部件和整体式安装单元，如轴承、发动机、液压元件等；

(3) 设置定位装置和识别标志，如定位销、盲孔、盲键、刻线和其他记号等，以保证装配的相互位置的正确性和易操作性。

##### 4. 修理作业的简单化

(1) 产品结构要尽可能简单化，减少需要维修的项目，提高易损件寿命，以降低维修频率；

(2) 提高零部件的可更换性，特别是易损零部件不仅在结构上要求便于更换，而且要尽可能采用标准化、通用化的零部件；

(3) 采用可调整结构，如轴向间隙、运动轨迹的调整装置等。

##### 5. 检查、监测和诊断工作的先进性

由于现代机械结构的日益复杂化，机械运行状况的检查、监测工作在维修中起着重要的作用，因此必须设置合适的检测点。随着现代诊断技术的日益成熟，传感器集中监测已使用在机械上。同时，机械上的监测装置也越来越完善，除了各种指示仪表外，某些机械还设置了自动报警装置，如显示红灯或鸣笛器；一些机械的计算机自动检测装置也已投入使用，这对维修性结构设计提出了更高、更先进的要求。

##### 6. 无维修设计

无维修设计，即设计一次性零部件，不需维修。常有：

(1) 不需润滑的零部件，如固定关节、预封轴承、自润滑合金轴承、塑料轴承等。

(2) 不需调整的零部件，如利用弹簧的张力或液压等自调刹车闸等。

(3) 一次性使用寿命的元器件，如电子元件、电路板等。

##### (二) 维修周期设计

在机械零部件中，有相当一部分零件的寿命相同或相近，因此可以考虑在一次维修中

将有关寿命相近的零部件同时进行修理，以减少维修次数和重复的拆装工作，从而提高效率。这种依据部分零部件相近寿命期而制定的维修方案，称作维修周期设计。

### 1. 零件寿命分类

综合制造和使用等因素，在一定的技术条件下，机械中的每个零部件都有一个相对合理的使用寿命，这可以通过统计或计算求出，然后将寿命相同或相近的归为一类，作为维修周期设计的依据。但分类不宜过多。

### 2. 确定维修间隔周期

根据零件寿命分类的结果，以寿命最短的一类零件的寿命为第一类修理间隔周期，用  $t_{m1}$  表示；对寿命较长的其他各类零件分别定为第  $i$  类修理间隔周期，并依次用  $t_{mi}$  表示。这样就有可能建立起所有零部件之间寿命的一定的相互关系。在机械设备的维修管理中，一般把维修内容划分为小修、中修和大修等类别，设其相应维修间隔周期为  $T_{m1}$ 、 $T_{m2}$  和  $T_{m3}$ ，则应该建立起的相互关系需满足

$$T_{m3} = K_2 T_{m2} = K_1 T_{m1} \quad (1-16)$$

式中， $K_1$ 、 $K_2$  为正整数。

显然  $T_{m1}$  由  $t_{m1}$  所决定，但  $t_{m2}$ 、 $t_{m3}$  需要有一个平衡过程才能与  $T_{m2}$ 、 $T_{m3}$  相适应。

### 3. 平衡零件的寿命

一般情况下，零件的寿命分布离散性较大，为了保证产品的高可靠度，要特别重视寿命设计。因此，当  $t_{m2}$  和  $t_{m3}$  不能满足式 (1-16) 的关系时，应当修改设计。常用的方法是改变材质和各种加工工艺，从而调整零件的寿命，使其基本符合  $K_1$ 、 $K_2$  为整数的关系。例如，配对的大小齿轮，如果采取同材质、同加工工艺时，小齿轮会先于大齿轮达到它的极限状态，这就存在着零件寿命的不平衡现象。

## (三) 维修类别及内容设计

在机械设备的维修管理中，一般把维修内容划分为小修、中修和大修等三种类别。

### 1. 小修

小修是一次局部的修理，其内容主要是对某部分的各机构、系统进行拆卸、检查和调整，修复或更换磨损的零部件；对其他部分只进行检查与调整，必要时才局部拆卸、更换或修复已磨损的零部件。小修后的机械设备应恢复正常的技术状态。

### 2. 中修

中修是一次对设备中重要的和寿命较长的零件进行全面检查的修理。其内容主要是较全面地拆卸设备，仔细检查重要零件的状况，更换或修复使用寿命较长的零件，解决各部件间的不协调状况。中修可消除在小修中不可能消除的问题。

### 3. 大修

大修是一次全面彻底的修理。其内容是要对整机机器拆卸检查，修复或更换已磨损的零部件，修理基础零件。大修后必须对机器进行磨合、试验、调整和试运转。大修后的机械设备各项性能指标都应达到规定标准。

除以上内容外，一些大型或特殊设备，还须建立日检、旬检（或周检）、月检等定检制度。

## (四) 维修技术保障设计

机械维修技术保障设计，是指制定各种维修技术文件，以保障设备按规定进行维修的

法定程序。

#### 1. 编写使用说明书

使用说明书是机械设备使用、维护的指导性文件。内容包括使用条件、使用方法、调试、润滑及维护保养等方面。各技术管理和操作人员必须精读并遵守说明书中的各种规定，才有可能使设备充分发挥其效能而不致发生事故损坏。

#### 2. 编制维修技术指南和维修技术标准

维修是有条件的，只有按照机械本身特点，采取最合理的修理工艺和方法才能取得最好效果，维修技术指南应该提供这方面的指导。维修技术标准是为保证维修质量提供的依据，如配合间隙和位置精度标准及试验规范等。

#### 3. 制定维修备件储备指标

维修备件储备指标需要根据零件的寿命间隔来制定。易损零件应随机器配备；大修中需要更换的零件，维修仓库应有一定的储备。只有根据消耗的概率制定出恰当的指标，才能保证机械修理时，备件能及时得到供应，又不致造成不必要的物资积压。

### 第三节 可靠性维修基本原理

当机器损坏后再维修是被动式维修。由于非计划停机和机器损坏的不断发生，造成被动维修的费用很大，并且呈逐年上升趋势。因此，控制维修费用，提高维修效能，显得非常重要。

随着计算机的应用，美国的许多公司采用了周期性的预防维修策略，这种维修方法使用维修计划软件进行跟踪和制订日历维修计划，并自动触发所需要的维修事宜。20世纪80年代后期，由于科学技术的进步，通过测量机器状态，能够识别出有故障的机器，预测维修需要，这种技术被称作预测维修。20世纪90年代初，又出现了一种维修方法，它通过系统地消除故障的根源，集中力量来减少所需的总维修量，最大限度地延长机器寿命，这种方法叫做主动维修。

将预防维修、预测维修和主动维修有机地结合起来，形成一个系统的维修策略，即称为可靠性维修。可靠性维修能使设备发挥最好的作用，获得最大可靠性。

#### 一、可靠性维修的目标

- (1) 始终掌握机器状况：机器状况信息可提供全部设备生产能力的现状；
- (2) 提高机器的使用寿命：通过提高产品质量，减少损耗，降低机器故障率，保证昂贵设备获得更长的使用寿命；
- (3) 计划性更突出：维修的必需品须预先考虑并作计划，维修工时须预先确定；
- (4) 协作性更突出：维修部门和生产部门密切合作，充分安排计划和保持生产能力的稳定。
- (5) 显著增加经济效益：大幅度减少企业维修费用，降低生产成本，提高利润指标；
- (6) 增强安全和环境意识：提高生产的安全性，保护工作环境，减少城市污染。

#### 二、定期维修

定期的预防维修，是在掌握机器磨损和损坏规律的基础上，根据各种零件的磨损速度和使用极限，贯彻防重于治的原则，对设备进行保养和修理，以避免零件的过早磨损，防



止或减少故障，延长使用寿命，从而能较好地发挥机器的使用效能。预防维修的具体实施可概括为“定期检查、按时保养、计划修理”。

### 1. 定期检查和按时保养

定期检查和按时保养主要包括：清洁、润滑、紧固、调整、故障排除、易损零件及部位的检查、修理和更换等。它一方面是保证机器正常运转所必需的技术措施，同时可通过检查和保养，消除机器隐患，查明机器的技术状态，使维修工作比较主动。

### 2. 计划修理

计划修理是指有计划地进行机器的修理。机器修理分定期修理和检查后修理。定期修理是以维修间隔周期确定修理日期，具体修理内容根据机器分解检查后的实际技术状况来确定。检查后修理是按机器工作量编制修理计划，根据定期检查摸清机器的实际技术状态，参考维修间隔周期，确定出具体修理日期、修理类别和修理内容，并编制出维修周期表。

### 3. 维修周期表

维修周期表是指大修周期内进行的维修种类、次数及其排列顺序。一般情况下，工程机械的维修周期结构为：

大修 — 保养检查 — 小修 — 保养检查 — 小修 — 保养检查 — 大修。

金属切削机床的维修周期结构常为：

大修 — 定检 — 小修 — 定检 — 小修 — 定检 — 中修 — 定检 — 小修 — 定检 — 小修 — 定检 — 中修 — 定检 — 小修 — 定检 — 小修 — 定检 — 大修。

不同的设备，甚至同样的设备使用条件不同，其维修周期也不相同。例如，空压机的大修周期为2年~3年，而大型提升机的大修周期为8年~10年。因此，维修周期表的编制是既考虑理论上的计划预防维修制与磨损规律的关系，又包容实践中不断摸索、积累的经验，故它具有指导性，没有确定性。

预防维修能超过被动维修，达到一流的维修控制水平。美国的计算机维修管理系统(CMMS)可以为维修部门确定业务计划、预算和进行日常工作安排。比如系统中的派工单能提供一般维修的日常事务运作，并跟踪维修的相应费用。但由于预防维修是以技术角度为出发点，往往会出现许多零件还没有达到寿命的情况下进行了维修的现象，即造成“过剩维修”，从而增加了大量不必要的维修工作，造成较大浪费。

## 三、预测维修技术

预测维修是通过测量机器的状态，识别现有的或即将出现的问题，并预计故障修理的时机，以减少机器的损坏。预测维修的指导思想在于，大多数有故障的部件都将会给出它已处于失效的边缘或正在恶化的警告。预测维修可以带来如下益处：

(1) 根据预测维修大纲能够知道机器的状态，可以制订修理计划并使之执行，而不停止生产。通过预测维修的实施，有效的生产时间可以提高2%~10%。

(2) 可以预知维修的必需品并进行计划安排。预测维修实施后，设备的紧急抢修可以降到总维修量的5%以下，加班抢修可以降低到总维修工时的3%或更少。从劳动力、零件和工具的观点而言，维修工作变得更有计划、更有效了。

(3) 提高产品质量。产品质量通常受设备的不利因素影响。因为产品质量检查是在加工完后进行的一道工序，在查出设备故障之前可能已经造成大量的劣质品。预测技术可以