



# 装备维修技术

ZHUANGBEI WEIXIU JISHU



张耀辉 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

总装部队军事训练“十一五”统编教材

---

# 装备维修技术

张耀辉 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

装备维修技术 / 张耀辉主编. —北京: 国防工业出版社,  
2008. 12

总装部队军事训练“十一五”统编教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 05976 - 2

I. 装... II. 张... III. 武器装备 - 维修 - 教材 IV. E92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 149146 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 100048)

四季青印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 880 × 1230 1/32 印张 13 $\frac{3}{4}$  字数 395 千字

2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 39.00 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

# 总装备部军事训练统编教材 编审委员会

(2007)

主任委员	夏长法		
副主任委员	陆晋荣	史续生	聂 峰
委 员	褚庆俊	于俊民	李方洲
	周铁民	郝光宇	赵新国
	单志伟	石春和	孙宝升
	姜国华	肖力田	张 渊
秘 书	石根柱	郝 刚	

# 前 言

装备维修技术是为保持、恢复或改善装备的规定技术状态所采用的方法、手段及相关理论的统称。装备维修技术是军事技术的重要组成部分,是实现装备维修保障及时、有效、经济的保证。简单地讲,维修技术就是在装备维修过程中所用到的各种技术的统称。

本书把维修技术从维修工程、维修工艺、维修管理中分离出来,从技术的角度对装备维修进行了系统的梳理,归纳、总结了装备维修过程中用到的各种通用维修技术,具有较强的系统性。此外,书中吸收了当今维修技术的最新成果和新装备中高新技术系统的维修技术(如软件维修技术、维修信息化技术等),具有一定的前瞻性。

本书适用于大专院校装备维修工程及其相关专业本科生教学使用,也可供部队装备维修人员培训、学习和维修时参考。

全书共分 11 章。第 1 章为绪论,介绍有关装备维修的基本概念,装备的极限技术状态,装备维修与装备维修技术,装备维修技术的形成与发展趋势;第 2 章为装备故障分析,介绍故障分类,失效机理分析,故障统计分析;第 3 章为故障诊断技术,介绍故障诊断基础知识,机械产品常用故障诊断技术,电子电气产品故障诊断技术;第 4 章为清洗技术,介绍清洗及其分类,清洗的基本要素,物理清洗技术,化学清洗技术;第 5 章为零件鉴定与检测技术,介绍典型零件几何量鉴定技术,零件力学性能鉴定技术,零件缺陷检测技术;第 6 章为零件修复技术,介绍胶接修复技术,焊接修复技术,热喷涂修复技术,熔敷修复技术,电镀修复技术,机械加工修复技术;第 7 章为调校技术,介绍调整技术,校正技术;第 8 章为磨合与试验,介绍典型部件修后磨合试验,整装修后试验,典型磨合试验系统;第 9 章为软件维护技术,介绍软件故障与软件维护,软件的可维护性;第 10 章

为装备维修信息技术,介绍以网络为中心的维修技术,维修保障交互式电子技术手册,维修模拟与仿真技术,便携式维修辅助设备技术;第11章为战场抢修技术,介绍装备战场损伤评估技术,装备战场损伤抢修类型,装备典型损伤修复方法。

本书编写分工如下(按章节排序):第1章、第2章、第3章、第5章5.3节由张耀辉编写,第4章、第7章由李林宏编写,第5章5.1节和5.2节、第10章由李爱民编写,第6章由陈杰翔编写,第8章由张仕新编写,第9章、第11章由李勇编写。张耀辉对全书进行了修改和统稿。

本书是在总装部队军事训练统编教材专家组的具体指导下完成的。本书由装甲兵工程学院单志伟教授和装备指挥技术学院赵新国教授主审。

在本书编写过程中,从体系结构到具体内容,参考了许多相关文献,这些文献均在书后一一列出。在此对这些文献的作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2008年10月

# 目 录

第1章 绪论	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 装备	1
1.1.2 产品	2
1.1.3 故障	2
1.1.4 维修	4
1.2 装备的极限技术状态	7
1.2.1 装备极限技术状态的概念	7
1.2.2 装备极限技术状态的衡量方法	8
1.2.3 装备极限技术状态的确定方法	9
1.3 装备维修与装备维修技术	11
1.3.1 装备维修技术及其在装备维修中的地位	11
1.3.2 装备维修技术的分类	13
1.3.3 装备维修技术的主要特征	15
1.3.4 装备维修技术在装备保障中的地位与作用	17
1.4 装备维修技术的形成与发展趋势	18
1.4.1 装备维修技术的形成过程	18
1.4.2 装备维修技术的发展趋势	21
习题	22
第2章 装备故障分析	23
2.1 故障分类	23
2.1.1 临时性故障	23
2.1.2 永久性故障	23

2.2	失效机理分析	26
2.2.1	机械零件失效机理	26
2.2.2	电子元器件失效机理	52
2.3	故障统计分析	59
2.3.1	故障概率分布函数	59
2.3.2	故障概率密度函数	60
2.3.3	平均故障间隔时间	61
2.3.4	故障率函数	62
2.3.5	产品的故障规律	63
	习题	66
<b>第3章</b>	<b>故障诊断技术</b>	<b>69</b>
3.1	故障诊断基础知识	69
3.1.1	状态监测与故障诊断的概念	69
3.1.2	故障诊断的基本内容	71
3.1.3	故障诊断的基本过程	72
3.1.4	故障诊断的基本要求	73
3.1.5	故障诊断技术的分类	74
3.1.6	故障诊断技术的发展	77
3.2	机械产品常用故障诊断技术	79
3.2.1	振动诊断技术	80
3.2.2	油样分析技术	95
3.3	电子电气产品故障诊断技术	105
3.3.1	电子产品的故障诊断技术	105
3.3.2	电气产品的故障诊断技术	112
	习题	120
<b>第4章</b>	<b>清洗技术</b>	<b>121</b>
4.1	清洗及其分类	121
4.1.1	清洗分类	121
4.1.2	选择清洗方法考虑的因素	124
4.1.3	清洗技术发展趋势	125



---

---

4.2	清洗的基本要素 .....	126
4.2.1	污垢 .....	126
4.2.2	清洗对象 .....	131
4.2.3	介质 .....	137
4.2.4	清洗力 .....	141
4.3	物理清洗技术 .....	142
4.3.1	热能清洗 .....	143
4.3.2	流动液体清洗 .....	144
4.3.3	压力清洗 .....	146
4.3.4	摩擦与研磨清洗 .....	148
4.3.5	超声波清洗 .....	149
4.3.6	电解清洗 .....	152
4.3.7	其他物理清洗技术 .....	154
4.4	化学清洗技术 .....	155
4.4.1	溶剂 .....	155
4.4.2	表面活性剂 .....	159
4.4.3	化学清洗剂 .....	163
	习题 .....	176
<b>第5章</b>	<b>零件鉴定与检测技术 .....</b>	<b>177</b>
5.1	典型零件几何量鉴定技术 .....	177
5.1.1	箱体类零件的鉴定 .....	177
5.1.2	轴的鉴定 .....	181
5.1.3	齿轮的鉴定 .....	185
5.1.4	轴承的鉴定 .....	186
5.1.5	弹簧的鉴定 .....	189
5.1.6	摩擦片的鉴定 .....	190
5.2	零件力学性能鉴定技术 .....	191
5.2.1	零件硬度测量 .....	191
5.2.2	动平衡检测 .....	195
5.2.3	弹簧弹性检测 .....	206

5.3 零件缺陷检测技术 .....	207
5.3.1 超声波检测 .....	208
5.3.2 渗透检测 .....	215
5.3.3 磁粉检测 .....	218
5.3.4 涡流检测 .....	220
5.3.5 射线检测 .....	223
习题 .....	225
<b>第6章 零件修复技术 .....</b>	<b>227</b>
6.1 概述 .....	227
6.1.1 零件修复的基本原则 .....	227
6.1.2 零件修复技术分类及选择 .....	227
6.2 胶接修复技术 .....	229
6.2.1 粘接 .....	230
6.2.2 粘涂 .....	233
6.3 焊接修复技术 .....	235
6.3.1 补焊 .....	235
6.3.2 堆焊 .....	241
6.3.3 钎焊 .....	247
6.4 热喷涂修复技术 .....	248
6.4.1 热喷涂的原理 .....	248
6.4.2 常用热喷涂技术 .....	249
6.5 熔敷修复技术 .....	252
6.5.1 氧-乙炔火焰喷熔 .....	253
6.5.2 真空熔结 .....	255
6.6 电镀修复技术 .....	256
6.6.1 槽镀 .....	257
6.6.2 刷镀 .....	260
6.7 机械加工修复技术 .....	262
6.7.1 修理尺寸法 .....	262
6.7.2 附加零件法 .....	265

6.7.3	局部更换法	266
6.7.4	换位法	268
6.7.5	金属扣合法	268
	习题	271
<b>第7章</b>	<b>调校技术</b>	272
7.1	调整技术	272
7.1.1	间隙的调整	273
7.1.2	接触精度的调整	281
7.1.3	行程的调整	287
7.2	校正技术	288
7.2.1	基准选择	289
7.2.2	影响校正精度的因素	289
7.2.3	中心线校正的基本原理	290
7.2.4	典型零部件的校正	292
	习题	298
<b>第8章</b>	<b>磨合与试验</b>	299
8.1	概述	299
8.1.1	磨合与试验的含义	299
8.1.2	影响磨合的因素	301
8.2	典型部件修后磨合试验	303
8.2.1	发动机的磨合试验	303
8.2.2	离合器类部件试验	311
8.2.3	箱体类部件的空载试验	312
8.2.4	液压系统试验	313
8.2.5	电气部件的试验	315
8.3	整装修后试验	316
8.3.1	整装修后试验的主要类型	316
8.3.2	某车辆修后试车	318
8.4	典型磨合试验系统	323
8.4.1	磨合试验系统的基本要求	323

8.4.2	磨合试验系统的一般构成 .....	323
8.4.3	发动机磨合试验系统 .....	324
8.4.4	某车辆传动与操纵装置综合试验系统 .....	330
8.4.5	起动电机试验系统 .....	333
	习题 .....	336
<b>第9章</b>	<b>软件维护技术 .....</b>	<b>337</b>
9.1	软件故障与软件维护 .....	337
9.1.1	软件维护的基本概念 .....	337
9.1.2	软件维护的意义 .....	341
9.1.3	软件维护的类型 .....	343
9.1.4	软件维护与开发的区别 .....	344
9.1.5	影响软件维护活动的因素 .....	345
9.2	软件的可维护性 .....	346
9.2.1	可维护性的定义 .....	346
9.2.2	可维护性的度量 .....	347
9.2.3	提高可维护性的途径 .....	350
	习题 .....	357
<b>第10章</b>	<b>装备维修信息技术 .....</b>	<b>358</b>
10.1	以网络为中心的维修技术 .....	358
10.1.1	以网络为中心的维修的意义 .....	358
10.1.2	实现以网络为中心的维修的要求 .....	361
10.1.3	实现以网络为中心的维修的关键技术 .....	363
10.2	维修保障交互式电子技术手册 .....	365
10.2.1	维修保障交互式电子技术手册的产生与发展 .....	365
10.2.2	维修保障交互式电子技术手册的特点与分类 .....	368
10.2.3	实现 IETM 的技术途径 .....	370
10.2.4	维修保障交互式电子技术手册的应用 .....	372
10.3	维修模拟与仿真技术 .....	374
10.3.1	维修模拟与仿真的意义与作用 .....	374
10.3.2	维修模拟与仿真技术的构成 .....	376

10.3.3	虚拟维修系统 .....	379
10.3.4	维修模拟与仿真技术的应用 .....	382
10.4	便携式维修辅助设备技术 .....	383
10.4.1	便携式维修辅助设备(PMA)的含义 .....	383
10.4.2	便携式维修辅助设备的用途和功能 .....	384
10.4.3	便携式维修辅助设备的应用 .....	386
	习题 .....	388
<b>第 11 章</b>	<b>战场抢修技术</b> .....	<b>390</b>
11.1	装备战场损伤评估技术 .....	390
11.1.1	战场损伤评估的必要性 .....	390
11.1.2	战场损伤评估内容 .....	391
11.1.3	战场损伤分析 .....	392
11.1.4	战场损伤评估方法 .....	399
11.1.5	战场损伤评估程序 .....	401
11.2	装备战场损伤抢修类型 .....	403
11.2.1	切换 .....	403
11.2.2	剪除 .....	403
11.2.3	拆换 .....	404
11.2.4	替代 .....	404
11.2.5	原件修复 .....	404
11.2.6	制配 .....	405
11.2.7	重构 .....	405
11.3	装备典型损伤修复方法 .....	405
11.3.1	机械损伤的抢修方法 .....	406
11.3.2	电气损伤的抢修方法 .....	418
11.3.3	其他损伤的抢修方法 .....	421
	习题 .....	422
	参考文献 .....	423

# 第1章 绪论

现代战争的经验教训告诉我们,装备维修在整个军事斗争中的作用是举足轻重的。没有装备维修保障,再先进的武器装备也只能发挥一次性效能,很快将成为一堆废物。装备维修是武器装备得以再生和军队持续作战能力的保证。没有维修保障就没有战斗力,已成为国内外军事家的共识。因此,装备的维修历来受到军队的重视,并及时、经济、有效地保障了军队作战、训练和战备工作,在国防建设中发挥了重要作用。随着高新技术的发展及其在武器装备中的应用,不仅对维修提出了更新更高的要求,而且也为维修提供了新的手段,使维修技术得以发展。本章将介绍装备维修的基本概念及装备维修技术的发展。

## 1.1 基本概念

维修是一种与故障做斗争的过程与活动。本节介绍与装备维修有关的一些基本概念。

### 1.1.1 装备

装备(Materiel)是武器装备的简称,是用以实施和保障军事行动的武器、武器系统和军事技术器材的统称。

武器是能直接杀伤敌有生力量和破坏敌设施的器械与装置的统称。

武器系统也称武器装备综合系统,一般包括武器本身及其发射或投掷的各种运载工具、观瞄装置和指挥、控制、通信系统等,可分为单件武器构成的单一武器系统和多种武器构成的组合武器系统。

军事技术器材是指用于军事行动但不具有直接杀伤力、保障武器和

武器系统有效使用的各种专业器具、工具、零部件等,如侦察、通信、测绘、气象、运输装备和维修设备、器材等。

按照通用性,装备可以分为通用装备和专用装备。通用装备是两个以上军种或兵种均可使用的装备,包括军械、装甲、工程、防化、通用车辆、陆(空)军船艇、情报、技术侦察、通信、电子对抗、陆军航空、机要、测绘、气象、指挥自动化等装备。专用装备是专供某一军种或兵种使用的装备,如海军专用装备、空军专用装备、第二炮兵专用装备等。

按照用途,装备可以分为战斗装备和保障装备。战斗装备是在军事行动中直接用于杀伤敌有生力量和破坏敌各种设施的装备,如枪械、火炮、坦克、战斗舰艇、作战飞机、导弹、电子/信息战装备、核武器等。保障装备是为有效使用战斗装备和保障军事行动顺利实施所必需的装备,包括作战保障装备和技术保障装备。如通信指挥器材、侦察探测器材、工程装备、运输车辆、维修器材和装备等。

### 1.1.2 产品

产品(Item)是一个非限定性的术语,用来泛指任何元器件、零部件、组件、设备、分系统或系统。

装备是由若干产品组成的。根据在装备中的重要程度不同,产品可分为重要功能产品(Functionally Significant Item, FSI)和非重要功能产品(Non-Functionally Significant Item, NFSI)。重要功能产品是指其故障会有下列后果之一的产品:

- (1) 可能影响装备的使用安全;
- (2) 可能影响任务的完成;
- (3) 可能导致重大的经济损失;
- (4) 隐蔽功能故障与其他故障的综合可能导致上述一项或多项后果;
- (5) 可能有二次性后果导致上述一项或多项后果。

### 1.1.3 故障

故障(Fault)是指产品或其一部分不能或将不能完成预定功能的事

件或状态。对于不可修复产品也称失效(Failure),如电子元器件、橡胶制品、弹药等。

一般地说,装备的故障总有一个产生、发展的过程,尤其是磨损、腐蚀、老化、断裂、失调、漂移等因素引起的故障更为明显。因此,按照故障的发展过程,对应于故障定义中“不能或将不能完成预定功能的事件或状态”,可将故障区分为功能故障与潜在故障,如图1-1所示。

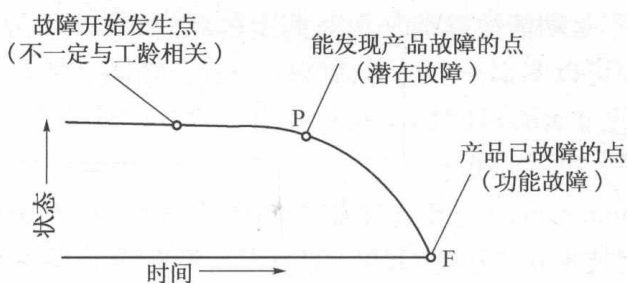


图 1-1 故障的发展过程

### 1. 功能故障

功能故障(Functional Failure)是指产品不能完成预定功能的事件或状态。

装备应有的工作能力或特性明显降低,甚至根本不能工作,即丧失了它应有的功能,称为功能故障。这类故障可通过操作者的直接感受或测定其输出参数而判断。例如关键零件坏了、精度丧失、传动效率降低、速度达不到标准值,使整机不能工作;装备达不到规定的战术技术性能指标等。

要确定具体装备的功能故障,需首先弄清装备的全部功能。例如,飞机刹车系统,其功能是:使飞机停住、调节停机的快慢、提供飞机在地面转弯时所需的差动刹车、提供轮胎防拖的能力等。可见,刹车系统可能会有多个不同的功能故障。

### 2. 潜在故障

潜在故障(Potential Failure)是一种指示功能故障即将发生的可鉴别状态。

故障逐渐发展,但尚未在功能方面表现出来,却又接近萌发的阶段。



当这种情况能够鉴别时,即认为也是一种故障现象,称为潜在故障。例如零件在疲劳破坏过程中,其裂纹的深度接近于允许的临界值时,便认为存在潜在故障。探明了潜在故障,就有可能在达到功能故障之前进行排除,有利于保持完好状态,避免因发生功能故障而带来的不利后果,这在装备使用和维修中有着重要意义。

在此,“潜在”两字有两层含义:①这类故障是指功能故障临近前的产品状态,而不是功能故障前任何时间上的状态;②产品的这种状态是经观察或检测可以鉴别的。反之,则该产品就不存在潜在故障。

### 1.1.4 维修

维修(Maintenance)是装备在储存和使用过程中,为保持、恢复或改善装备的规定技术状态所进行的全部技术与管理活动。其中技术活动如检测、隔离故障、拆卸、安装、更换或修复零部件、校正、调试等;管理活动如使用或储存条件的监测、使用或运转时间及频率的控制等。维修方式是对装备及其部件维修时机的控制形式。按维修目的与时机,维修可以分为以下几类(见图1-2):

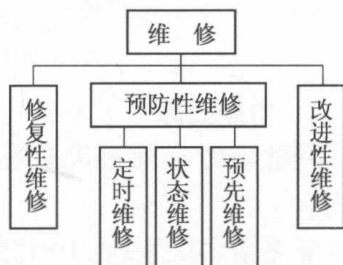


图 1-2 维修方式的分类

#### 1. 修复性维修

修复性维修(Corrective Maintenance, CM)也称修理或排除故障维修。它是装备(或其部分)发生故障或遭到损坏后,使其恢复到规定技术状态所进行的维修活动,属于事后维修(Break - Down Maintenance)。

战场抢修又称战场损伤评估与修复(Battlefield Damage Assessment and Repair, BDAR)。是指当装备在战斗中遭受损伤或发生故障后,采用快速诊断与应急修复技术恢复、部分恢复必要功能或自救能力所进行的战场修理。它虽然也是修复性的,但环境条件、时机、要求和所采取的技术措施与一般修复性维修不同。

#### 2. 预防性维修

预防性维修(Preventive Maintenance, PM)是在发生故障之前,使装备