



航空电子装备 维修概论

HANGKONG DIANZI ZHUANGBEI
WEIXIU GAILUN

段学刚 © 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

航空电子装备维修概论

段学刚 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

航空电子装备维修概论 / 段学刚编著. —北京:
国防工业出版社, 2010. 12
ISBN 978 - 7 - 118 - 07303 - 4

I. ①航... II. ①段... III. ①航空电气设备 -
维修 - 概论 IV. ①V242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 041785 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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 18½ 字数 326 千字
2010 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

前 言

以信息技术为核心的高技术群的快速发展及其广泛应用,引发了航空装备领域的深刻变化,航空装备信息化含量显著提高,航空电子装备在航空装备中的地位和作用越来越重要。航空电子装备维修,作为航空装备建设的重要组成部分,必须适应信息化条件下使用的新需求,深入研究新时期航空电子装备维修的新特点、新规律,向科学维修要质量、要效率、要效益,推进航空电子装备维修深入发展,持续提高航空电子装备的维修保障能力,不断推进航空电子装备维修科学的发展。

本书以信息化条件下航空电子装备使用需求为牵引,以现代维修理论为指导,在对航空维修理论知识和技术方法概要阐述的基础上,密切结合航空电子装备使用和维修实际,系统而深入地阐述了航空电子装备维修理论和技术方法。全书共 11 章,主要包括科学维修基础知识、维修思想、以可靠性为中心的维修理论、故障分析、故障诊断、战场抢修、维修安全分析、维护知识、维修管理等内容。本书在编著过程中,注重理论与实践相结合,继承与创新相结合,内容兼顾航空电子装备维修理论方法的科学性、系统性和维修理论方法的实用性、创新性,力求达到深入浅出,通俗易懂,科学实用。本书在故障规律、故障分析与预测、维修安全分析与控制、战场抢修、故障隔离方法等方面进行了较为深入的研究,对航空电子装备维修实践有实际应用价值。

本书主要面向一线维修保障人员,以期为其提供理论支持和应用实践指导,同时也可供维修电子专业大专院校师生使用参考。

李卫国、于安黎、郑东良、朱亚非、鞠明、王鹏刚参与了本书部分编著工作,清华大学赵明生、谭耀麟两位老师对本书进行了认真审校,谨表感谢。

限于编著者水平,不足之处难免,恳请读者批评指正。

编著者

2010 年 11 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 维修的基本概念	1
1.1.2 航空维修的基本概念	5
1.1.3 航空电子装备维修的基本概念	9
1.2 航空装备科学维修	10
1.2.1 航空装备科学维修的基本内涵	11
1.2.2 航空装备科学维修的探索实践	11
1.3 航空维修思想	12
1.3.1 “预防为主”的维修思想	13
1.3.2 以可靠性为中心的维修思想	13
1.3.3 全系统全寿命的维修思想	15
1.3.4 维修思想的新发展	16
1.4 航空维修工作的基本原则	18
1.5 航空维修的地位作用	20
第2章 可靠性、维修性和保障性	23
2.1 可靠性基础知识	23
2.1.1 可靠性的涵义	23
2.1.2 可靠性工程	24
2.1.3 可靠性的量度	24
2.1.4 可靠性参数及寿命特征	27
2.1.5 软件可靠性	29
2.1.6 寿命周期各阶段航空电子装备可靠性工作	32
2.2 维修性基础知识	35
2.2.1 维修性的基本概念	35
2.2.2 维修性工程	37
2.2.3 维修性的量度	37

2.2.4	维修性参数	38
2.2.5	寿命周期各阶段航空电子装备维修性工作	39
2.3	保障性基础知识	41
2.3.1	保障性的基本概念	41
2.3.2	保障性的量度	41
2.3.3	综合保障工程	43
2.3.4	综合保障要素	43
2.3.5	寿命周期各阶段航空电子装备保障性工作	44
第3章	以可靠性为中心的维修理论	47
3.1	RCM 维修理论的形成与发展	47
3.1.1	RCM 维修理论的形成	47
3.1.2	RCM 维修理论的发展	49
3.2	RCM 维修理论的基本观点	50
3.2.1	辩证地对待定时维修	50
3.2.2	提出潜在故障概念,开展视情维修	51
3.2.3	提出隐蔽功能故障与多重故障概念,控制故障风险概率	52
3.2.4	区分不同的故障后果,采取不同的对策	53
3.2.5	科学评价预防性维修的作用	54
3.2.6	预防性维修工作的确定	55
3.2.7	预防性维修大纲的制定与完善	56
3.3	航空电子装备 RCM 的维修分析	57
3.3.1	航空电子装备 RCM 的维修分析的基本内容	57
3.3.2	系统和设备 RCM 的维修分析	58
3.4	维修间隔期的确定	62
3.4.1	使用检查间隔期的确定	63
3.4.2	功能检测间隔期	64
3.4.3	参数漂移情况的检测间隔期	64
3.4.4	定时拆修(报废)间隔期的确定	66
3.5	航空电子装备维修级别分析	70
3.5.1	维修级别分析的基本概念	70
3.5.2	航空装备维修级别分析的程序与方法	71
3.6	预防性维修大纲的制定与管理	76
3.6.1	预防性维修大纲的作用	76

3.6.2	预防性维修大纲的内容	76
3.6.3	制定预防性维修大纲的方法	76
3.6.4	预防性维修大纲的完善	77
第4章	安全性与维修安全控制	78
4.1	维修安全的概念	78
4.1.1	维修安全的涵义	78
4.1.2	维修安全系统工程	79
4.1.3	维修安全系统工程	80
4.2	维修安全理论	80
4.2.1	危险性分析	81
4.2.2	故障模式、影响与危害性分析	81
4.2.3	故障树分析	82
4.2.4	事故致因理论	82
4.2.5	海因里希法则	83
4.2.6	事故综合原因理论	84
4.3	维修差错分析	86
4.3.1	维修差错的概念内涵	86
4.3.2	维修差错的模式	88
4.3.3	维修差错机理分析	90
4.4	维修安全预防与控制	95
4.4.1	维修差错的防范	95
4.4.2	维修工作的优化	98
4.4.3	维修安全管理的创新	99
第5章	航空电子装备故障分析	101
5.1	故障的概念	101
5.1.1	故障的定义	101
5.1.2	故障的分类	102
5.1.3	故障物理的概念	103
5.2	常见故障分布及其应用	103
5.2.1	指数分布	103
5.2.2	正态分布与对数正态分布	104
5.2.3	威布尔分布	104
5.3	航空电子装备故障宏观规律	105

5.3.1	典型故障率曲线(浴盆曲线)	105
5.3.2	复杂装备无耗损区规律	106
5.3.3	全寿命故障率递减规律	108
5.3.4	故障率曲线与航空维修	108
5.4	航空电子装备故障机理分析	109
5.4.1	外部环境因素对故障模式的影响	109
5.4.2	故障机理分析	110
5.5	航空电子装备故障数据统计分析	114
5.5.1	故障数据的收集与整理	114
5.5.2	故障分布参数的估计	115
5.5.3	故障分布假设检验	115
5.6	航空电子装备故障预测技术	117
5.6.1	航空电子装备故障率宏观预测	117
5.6.2	航空电子装备故障预测	120
第6章	航空电子装备故障诊断	126
6.1	航空电子装备故障诊断的概念内涵	126
6.1.1	航空电子装备故障诊断的涵义	126
6.1.2	航空电子装备故障诊断的基本程序	126
6.2	航空电子装备故障诊断方法	128
6.2.1	故障诊断的基本方法	128
6.2.2	航空电子装备故障诊断的基本方法	131
6.2.3	航空电子设备智能故障诊断方法	133
6.2.4	航空电子装备故障诊断方法的发展	137
6.2.5	综合诊断	139
6.2.6	航空电子装备故障诊断实例	143
6.3	航空电子装备查找故障的典型方法	146
6.3.1	感知法	146
6.3.2	测量法	146
6.3.3	替换法	148
6.3.4	比较法	149
6.3.5	改变现状法	149
6.3.6	振动法和感应法	149
6.3.7	断路法	149

6.3.8	信号注入法	150
6.3.9	温度法	150
6.3.10	清洗法	151
6.3.11	逻辑检测分析法	151
6.4	航空电子装备故障诊断用基本测试设备	151
6.4.1	通用测试设备	152
6.4.2	专用测试设备	162
6.4.3	测试台	165
第7章	航空电子装备机内自检与自动测试	167
7.1	机内自检	167
7.1.1	BIT 的概念内涵	167
7.1.2	BIT 的设计	168
7.1.3	BIT 技术在航空电子装备上的应用和发展	170
7.2	自动测试设备及自动测试系统	171
7.2.1	自动测试设备及自动测试系统	171
7.2.2	ATE/S 的组成	172
7.2.3	GPIB 总线	174
7.2.4	VXI 仪器总线	176
7.2.5	ATE/S 的发展趋势	183
7.3	下一代自动测试系统(NxTest)	184
7.3.1	下一代自动测试系统的研制背景	184
7.3.2	下一代自动测试系统体系结构	185
7.3.3	下一代自动测试系统涉及的主要关键技术	185
第8章	航空电子装备维护基本知识	188
8.1	航空电子装备维护的概念内涵	188
8.1.1	维护的概念界定	188
8.1.2	维护的主要内容	188
8.1.3	不同维护级别的工作划分	188
8.2	航空电子装备维护基本知识	189
8.2.1	航空电子装备维护的一般要求	189
8.2.2	清洗	190
8.2.3	电缆的包扎、整理	191
8.2.4	控制机件的维护	193

8.2.5	性能检查测试	194
8.2.6	装备上的标记	196
8.3	航空电子装备维护安全知识	197
8.4	特殊环境下的航空电子装备维护	199
8.4.1	炎热季节的维护	199
8.4.2	严寒季节的维护	201
8.4.3	多雨季节的维护	202
8.4.4	风沙地区的维护	202
8.4.5	高原地区的维护	203
8.4.6	沿海地区的维护	204
8.4.7	电子对抗条件下的维护	204
8.4.8	核条件下的维护	206
第9章	航空电子装备修理技术	210
9.1	航空电子装备修理技术的概念内涵	210
9.1.1	修理技术的特点	210
9.1.2	修理的技术工作	211
9.1.3	修理技术工作的基本构成	212
9.2	航空电子装备修理程序	212
9.2.1	装备的接收	212
9.2.2	修理前准备	213
9.2.3	修理的实施	213
9.2.4	装备的交付	215
9.3	航空电子装备修理的基本技术	215
9.3.1	元器件的修理	215
9.3.2	电磁干扰及其排除	219
9.3.3	焊接	219
9.3.4	装配	220
9.3.5	修理后的检测	222
第10章	航空电子装备战场抢修	223
10.1	航空电子装备战场抢修的概念内涵	223
10.1.1	航空电子装备战场抢修的涵义	223
10.1.2	航空电子装备战场损伤类型	224
10.1.3	航空电子装备战场抢修的特点	225

10.2	抢修性	226
10.2.1	抢修性的定义	226
10.2.2	抢修性的量度	226
10.2.3	抢修性设计	230
10.3	航空电子装备战场抢修的方法程序	230
10.3.1	航空电子装备战场抢修步骤	230
10.3.2	航空电子装备抢修的原则	232
10.3.3	航空电子装备抢修技术	232
10.4	航空电子装备战场抢修力量建设	233
10.4.1	战场抢修力量建设的基本原则	233
10.4.2	抢修队伍建设	234
10.4.3	抢修资源储备	235
第 11 章	航空电子装备维修管理	237
11.1	维修管理的概念内涵	237
11.1.1	管理的基本内涵	237
11.1.2	维修管理的涵义	238
11.1.3	维修管理的特点	238
11.1.4	维修管理的原则	240
11.2	航空电子装备维修管理的任务与职能	241
11.2.1	航空电子装备维修管理的基本任务	241
11.2.2	航空电子装备维修管理的主要职能	242
11.3	航空电子装备维修计划管理	244
11.3.1	航空电子装备维修计划管理的任务	244
11.3.2	航空电子装备维修计划的形式	245
11.3.3	航空电子装备维修计划编制的程序	245
11.3.4	航空电子装备维修计划编制的方法	246
11.3.5	航空电子装备维修计划的实施与控制	247
11.4	航空电子装备维修技术管理	249
11.4.1	航空电子装备维修技术管理的基本原则	249
11.4.2	航空电子装备维修技术管理的任务	250
11.5	航空电子装备维修质量管理	252
11.5.1	维修质量管理的概念内涵	252
11.5.2	维修质量的波动性	252

11.5.3	全面维修质量管理	253
11.5.4	全面维修质量管理体系	254
11.5.5	维修质量控制方法及其应用	258
11.6	航空电子装备维修信息管理	265
11.6.1	维修信息概念内涵	265
11.6.2	维修信息管理	267
11.6.3	维修管理信息化建设	269
11.7	航空电子装备维修保障资源管理	272
11.7.1	维修保障资源的概念内涵	272
11.7.2	维修保障资源配置的基本依据	273
11.7.3	航空电子装备维修保障资源配置的原则	273
11.7.4	航空电子装备维修保障资源配置的过程	274
11.7.5	航空电子装备维修器材需求确定的方法	275
11.8	维修技术革新和科学研究	278
参考文献		280

第1章 绪 论

在现代飞机上,电子技术已渗透到飞机各系统之中,航空电子装备(avionics)是指机载的应用无线电电子技术的通信、导航、雷达、识别、侦察、干扰、显示/记录及计算机等装备。航空事业发展至今,航空电子装备已成为决定飞机战斗技术性能和作战效能的重要因素,是衡量飞机先进性的主要标志之一。实施高效的航空电子装备维修,保证航空电子装备可靠安全地工作,是保持、恢复乃至提高航空装备战斗力的重要因素。

由于航空电子装备是航空装备的重要组成部分,航空维修的一般规律、特点通常都包含了航空电子装备,因此,为叙述方便,本书有时从航空维修的角度来讨论航空电子装备维修问题。另外,在本书中,并不严格区别使用航空电子装备与航空装备。

1.1 概 述

开展航空电子装备维修,首先必须深刻理解维修、航空维修等基本概念,了解其特点、规律。

1.1.1 维修的基本概念

1. 维修概念的界定

维修这个术语,在我国原来是没有的,只是在近些年的辞书中才开始列入这个词条,但释义很简单,就是维护和修理的简称。维护是保持某一事物或状态不消失、不衰竭,相对稳定;修理是使损坏了的东西恢复到能重新使用,即恢复其原有的功能。目前,维修这个术语已在多个标准中给出了定义。GJBZ 20365—1996《军事装备维修基本术语》认为维修是:为使装备保持、恢复或改善规定技术状态所进行的全部活动。GJB 451A—2005《可靠性维修性保障性术语》认为维修是:为使产品保持或恢复规定状态所进行的全部活动。美军用标准 MIL-STD-721C《可靠性和维修性术语的定义》认为维修是:使产品保持或恢复到规定状态所采取的全部措施。

2. 维修种类

从不同的角度出发,维修可有不同的分类方法,最常用的是按照维修的目的与时机,将其分为预防性维修、修复性维修、改进性维修和战场抢修四种基本种类。

1) 预防性维修

预防性维修(Preventive Maintenance, PM),是指装备或其机件在发生故障之前,通过检查、测试、调整,使装备保持在规定状态所进行的各种维修活动。这些活动的目的是发现并消除潜在故障,防患于未然。预防性维修适用于故障后果危及安全和任务完成,或导致较大经济损失的情况。传统上,一般将预防性维修分为定期维修、视情维修、状态监控三种维修方式。

预防性维修工作划分为保养、操作人员监控、使用检查、功能检测、定时拆修、定时报废和综合工作七种维修工作类型:

(1) 保养(Servicing),指为保持装备固有设计性能而进行的表面清洗、擦拭、通风或添加润滑剂等工作。它是对技术、资源的要求最低的维修工作类型。

(2) 操作人员监控(Operator Monitoring),是操作人员在正常使用装备时对其状态进行监控的工作,其目的是发现潜在故障。这类监控包括对装备所做的使用前检查,对装备仪表的监控,通过气味、噪声、振动、温度、视觉、操作力的改变等感觉辨认潜在故障,但它对隐蔽功能的故障不适用。

(3) 使用检查(Operational Check),是按计划进行的定性检查工作,如采用观察、演示、操作手感等方法检查,以确定装备或机件能否执行其规定的功能。例如对火灾告警装置、应急设备、备用设备的定期检查等,其目的是发现隐蔽功能故障,减少发生多重故障的可能性。

(4) 功能检测(Functional Inspection),是按计划进行的定量检查工作,以确定装备或机件的功能参数是否在规定的限度内,其目的是发现潜在故障,通常需要使用仪表、测量设备等。

(5) 定时拆修(Repair at Some Interval),是指装备使用到规定的时间予以拆修,使其恢复到规定状态的工作。

(6) 定时报废(Discard at Some Interval),是指装备使用到规定的时间予以报废的工作。

(7) 综合工作(Combination of Tasks),是指实施上述两种或两种以上类型的预防性维修工作。

2) 修复性维修

修复性维修(Corrective Maintenance, CM),是指装备或其机件发生故障后,

使其恢复到规定状态所进行的维修工作。修复性维修包括故障的定位、隔离、分解、更换、再装、调校、检验、记录以及修复损坏件等。修复性维修因其主要用于难以事先预防的随机故障,因而也叫非计划维修。

3) 改进性维修

改进性维修(Improvement Maintenance, IM),是在装备维修过程中,对装备进行经过批准的技术改进,以提高装备的性能、可靠性或维修性,或使之适合某一特殊的用途。改进性维修是维修工作的扩展,实质是修改装备的设计,一般属于基地级(制造厂或修理厂)的职责范围。

4) 战场抢修

战场抢修(Battlefield Repair, BR),又称战场损伤评估与修复(Battlefield Damage Assessment and Repair, BDAR),是指战斗中装备遭受损伤或发生故障后,在评估损伤的基础上,采用快速诊断与应急修复技术,对装备进行战场修理,使之全部或部分恢复必要功能或自救能力。这种抢修直接关系到装备的使用完好和持续作战能力,虽然也属于修复性的范畴,但维修的环境、条件、时机、深度、要求和所采取的技术措施皆有别于一般修复性维修,是一种独立的维修类型。

3. 维修方式

维修方式是对装备及其机件维修工作内容及其时机的控制形式,是装备维修的基本形式和方法。

1) 定时维修方式

定时维修方式(Hard Time maintenance Process, HT)是以装备或其机件工作时间确定维修周期,按事先安排的规定的时间内不问技术状况如何而有计划进行的维修。“规定的时间”可以是规定的间隔期、累计工作时间、日历时间、里程和次数等。对于不同的装备和维修深度,定时维修的工作范围涵盖从装备简单检查、分解直到装备全面翻修,工作的技术难度、资源要求和工作量的差别都较大。定期维修适用于已知寿命分布规律且确有耗损期的装备。这种装备的故障与使用时间有明确的关系,大部分项目能工作到预期的时间以保证定期维修的有效性。其优点是便于安排维修工作,组织维修人力和准备物资,但针对性差,修理工作量大,经济性差。

2) 视情维修方式

视情维修方式(On Condition maintenance Process, OC)的视情维修是基于这样一种事实进行的,即大量的故障不是瞬时发生的,从出现异常到故障发生,总有一段出现异常现象的时间,且有征兆可寻。因此,如果通过检测、监控掌握装备可靠性变化情况,只对其可能发生功能性故障的部分,作必要的预防性维修,

可达到预防故障发生或避免故障后果之目标,所以也称这种维修方式为预知维修或预兆维修方式。视情方式能够有效预防故障,较充分利用机件的工作寿命,减少维修工作量,提高装备使用效益。

在视情维修方式的基础上,20 世纪 90 年代以来,出现了主动维修、预知维修、自愈维修等新的维修方式。

3) 状态监控维修方式

状态监控维修方式(Condition Monitoring Process, CM)是在装备或其机件发生故障或出现功能失常现象以后进行拆卸维修的方式,亦称为事后维修方式。通过对航空装备技术状态进行连续监控,统计分析确定有明显不能再继续工作可能的装备,进而进行维修。适用于有完整、有效状态监控手段和成熟分析方法的设备。状态监控方式不规定装备的使用时间,因此能最充分地利用装备寿命,使维修工作量达到最低,是一种最经济的维修方式。

4. 维修级别

维修级别(Level of Maintenance)是按装备维修的范围和深度、广度及其维修时所处场所(或机构)划分的维修等级,一般分为基层级维修(O)、中继级维修(I)和基地级维修(D)三级。

基层级维修(O, Organizational Maintenance)是指由直接使用航空装备的基层单位进行的维修,主要进行日常内、外场维修保养,按规定的性能检查(含定期检查),排除故障等工作。

中继级维修(I, Intermediate Maintenance)是指由直接支持基层级的维修单位进行的航空装备的修理、战场抢修以及少量、简单的改装工作等。

基地级维修(D, Depot Maintenance)是指由大修厂或装备制造厂对装备所进行的维修,主要完成装备翻修、修理、大规模改装、零备件制作等。

维修级别及工作内容见表 1.1。

目前,有的国家出于装备发展和作战的考虑,推行二级维修体制,即取消中继级维修这一维修级别。

5. 修理方法

1) 原位维修

原位维修是指装备直接在飞机上进行的维修。适用于较简单故障和具有外场可更换单元装备的维修。航空电子装备发生故障,首先要进行分析、判断,确定是否能通过原位维修恢复装备的正常工作状态,如可能应优先采用。

2) 离位维修

离位维修是指装备需要拆离飞机进行的维修。离位维修的优点是具有良好的

表 1.1 维修级别及工作内容

维修级别	基层级	中继级	基地级
地点	装备直接使用单位(含内、外场)	直接支持使用单位的维修单位	修理厂、生产厂
对象	系统、LRU 及少量 SRU	SRU	元器件级、软件
主要 工作内容	维护; 现场功能测试; 重要参数测试及简单调试; 换件维修故障件(整机、LRU); 故障件送中继级	设备性能系统测试、调整; 故障隔离至 SRU; 修复 LRU 及部分 SRU; 计量基层级测试设备; 提供基层级所缺备件; 快速支援基层级维修; 简单改装	设备及部件性能系统测试; 修复至元器件级; 大修; 部分性能改进(含软件); 计量、校准、维修各级测量设备; 支持基层级及中继级维修
测试 设备	BITE; 通用、专用测试设备; 维修车; 基层级用 ATE	通用、专用测试设备; 中继级用 ATE; 计量设备; 支援基层级设备	通用、专用测试设备; 基地级 ATE; 软件开发系统; 模拟、仿真系统; 计量、校准设备; 支援基层级、中继级设备

的维修环境和条件、有充分的维修手段等,缺点是耗费人力、物力和时间较多,有时甚至造成人为故障,但离位维修仍是当前外场维修工作中高效排除故障的主要方式之一。

1.1.2 航空维修的基本概念

1. 航空维修的内涵界定

由维修的基本内涵可知,航空维修是指保持、恢复和提高航空装备良好、战斗准备状态而在航空装备寿命周期过程中所进行的一切工程技术和管理活动。

航空装备必须符合规定的技术条件才能发挥其作用,完成各项任务并安全可靠地使用。在航空装备使用过程中,由于技术发展的客观限制、各种环境因素的影响和作用、使用日历时间的延续,其技术状态会不断产生多种多样的、有规律或随机的变化,使装备偏离正常的使用技术条件,而航空维修的基本任务就是解决这一矛盾,保持航空装备的技术状态,使发生的变化限定在允许的范围之内,或一旦超出能及时地恢复到允许状态。因此,航空维修的目的是:经常保持