



军队院校“2110工程”建设项目
2012年度海军重点教材

LEIDA WEIXIU LILUN YU SHIJIAN

雷达维修 理论与实践

于仕财 康健 唐小明 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

军队院校“2110 工程”建设项目

2012 年度海军重点教材

雷达维修理论与实践

于仕财 康 健 唐小明 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书共分3部分14章。第1部分维修理论概述,包括第1章至第3章,主要介绍了现代维修理论的理论体系和基本概念,以及其在军事装备理论体系中的应用,包括战场抢修等内容;第2部分雷达维护与故障排除,包括第4章至第8章,第4章介绍了雷达设备维护的基本常识及制度要求,第5章介绍了雷达产生故障的常见原因及分析、排除方法,第6章介绍了发射机故障排除方法,第7章介绍了接收机故障排除方法,第8章介绍了常见故障及排除方法;第3部分雷达参数测量方法,包括第9章至第14章,第9章为雷达参数测量概述,第10章至第14章分别介绍了雷达整机、天馈分机、发射机、接收机、伺服系统的测量方法。

本书是应转型教育的要求而为雷达专业本科生编写的教材,也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

雷达维修理论与实践 / 于仕财, 康健, 唐小明编著. —北京: 国防工业出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-118-10319-9

I. ①雷... II. ①于... ②康... ③唐... III. ①雷达—维修—研究 IV. ①TN957

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 148456 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 710×1000 1/16 印张 12¼ 字数 212 千字

2015 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 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)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

雷达工程专业培养方向是雷达勤务保障工程师,该岗位要求学员在校期间了解现代维修理论的概念体系,掌握雷达设备的基本维护与故障检测方法和雷达测量仪器的基本原理及使用方法,具备一定的雷达维修能力,达到雷达装备维修保障的要求。

该专业开设的“雷达维修工程”课程原选用的教材《雷达维修理论》,是于2008年编写而成的内部教材。该教材是在参考《雷达设备使用与维护》《部队雷达勤务条例》《现代维修理论》《航空装备维修》等资料的基础上改编而成。自2006年开始筹建雷达维修工程任职教育专业、开设“雷达维修工程”课程以来,课程组以教育转型为牵引、以开展任职教育为契机,突出两个定位:一是以提高学员的总体业务能力为目的,定位于突出体现理论知识在工程实际中的应用;二是以培养学员从理论知识到工程实践的顺利过渡为理念,定位于完全胜任第一任职岗位能力,认真有序地抓紧课程建设。

2012年课程方向重新定位于偏重实践,确定以历年来建设成果及实际需求为依据重新编该教材。新版教材命名为《雷达维修理论与实践》,主要内容有将原有以仪器为中心的雷达参数测量改编成以雷达分机为中心的参数测量、压缩了基础理论部分、新增了雷达维修实例等,改版的教材从结构到内容更针对当前部队需求而能满足教学需要。新版教材2012年立项为海军重点教材。

本教材在编写过程中得到乔治国(高级工程师)、白文平(高级工程师)、刘智勇(高级工程师)、孙晓明(副教授)的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编写时间限制、对许多单位的雷达维修情况调研不足及我们自身的水平有限,教材中难免还存在不足之处,敬请专家和读者批评指正,深表感谢。

课程编写组

2015年1月

目 录

第 1 部分 维修理论概述

第 1 章 维修理论概述	3
1.1 维修的基本概念	3
1.1.1 维修的定义	3
1.1.2 维修的特点	3
1.1.3 维修的分类	5
1.1.4 维修的级别	5
1.1.5 维修的目标	6
1.2 现代维修理论	7
1.2.1 维修理论的内容	7
1.2.2 现代维修理论的含义	7
1.2.3 现代维修理论的产生	8
1.2.4 现代维修理论的发展	9
1.3 维修在军事装备中的作用和地位	10
1.3.1 我军装备更新换代前维修现状	10
1.3.2 对军事装备实施全系统全寿命过程管理	11
1.3.3 从全系统的观点看维修性	12
1.3.4 从全寿命观点看维修性	12
1.3.5 结论	12
第 2 章 雷达设备维修应用	14
2.1 雷达设备维修性	14
2.1.1 维修性概述	14
2.1.2 雷达维修性要求	14
2.1.3 雷达维修性内容	15

2.2 发生故障的一般规律	20
2.2.1 各种由量变到质变的规律	20
2.2.2 故障率的浴盆形曲线规律	21
2.2.3 故障的分布规律	21
2.3 维修间隔期的确定	22
2.4 维修级别分析	23
2.5 预防性维修措施在雷达中的应用	23
2.5.1 炎热条件下的预防措施	23
2.5.2 严寒条件下的预防措施	24
2.5.3 潮湿条件下的预防措施	25
2.5.4 多风沙条件下的预防措施	25
2.5.5 低气压条件下的预防措施	26
第3章 雷达设备战场抢修	27
3.1 战场抢修的概念及其作用	27
3.2 战场抢修及平时维修的主要区别	29
3.3 战场损伤评估与修复	30
3.3.1 战场损伤评估主要内容	30
3.3.2 战场损伤修复的特点	31
第2部分 雷达维护与故障排除	
第4章 雷达设备基本维护	37
4.1 常用维护工具	37
4.1.1 工具的名称与作用	38
4.1.2 清洁用溶剂	47
4.1.3 润滑油料	48
4.2 常用维护材料	50
4.3 维护的基本方法	51
4.4 维护的基本内容	53
4.4.1 机件的拆装	53
4.4.2 机件的擦洗与更换润滑脂	59
4.4.3 电缆的检查、包扎和测量	61

4.4.4	电缆接头方法	65
4.4.5	导线的焊接	65
4.4.6	伺服电机的维护	66
4.4.7	继电器的维护	67
4.4.8	电子管器件的维护	67
4.4.9	晶体管器件的维护	68
4.5	维护工作的基本要求及工作制度	68
4.5.1	基本要求	68
4.5.2	机务工作的基本制度	69
第5章	雷达故障检测方法	70
5.1	危害元器件的几种基本现象	70
5.2	发生故障的一般原因	72
5.2.1	自然损耗	72
5.2.2	设计制造上的缺陷	72
5.2.3	使用维护不当	72
5.2.4	外界条件的影响	72
5.3	检查故障的基本方法	75
5.4	排除故障的一般方法	76
5.4.1	分析故障现象	76
5.4.2	分析故障原因、检验分析结论	77
5.4.3	彻底排除故障	82
5.4.4	雷达检修中的安全措施与注意事项	83
5.5	表格查询法	84
5.6	ATE	84
5.6.1	故障诊断理论	86
5.6.2	ATE 的发展历程	91
5.6.3	自动测试的硬件	94
5.6.4	自动测试的技术指标	98
5.6.5	ATE 举例	100
第6章	发射机故障排除方法	104
6.1	没有回波	104
6.1.1	一般检查	104

6.1.2	触发脉冲检查	104
6.1.3	磁控管电流检查	105
6.1.4	微波输出检查	105
6.2	磁控管等效短路点位置调整	106
6.3	CRT 显示器上有辉亮圆或圆环	107
6.4	辐条现象	108
6.5	双重图像	109
6.6	长时间工作后图像消失	110
第 7 章	接收机故障排除方法	111
7.1	图像质量下降(中频偏移)	111
7.1.1	调整以前做好下列准备工作	111
7.1.2	调整速调管振荡频率	111
7.2	图像质量下降(晶体电流偏移)	112
7.3	没有回波	113
7.4	出现辉亮圆或圆环	114
7.4.1	圆和圆环的特点	114
7.4.2	排除故障的方法	115
7.5	图像重影	115
7.6	图像抖动时隐时现	116
7.7	图像有裂缝	116
第 8 章	常见故障及排除方法	117
8.1	天线不转动	117
8.1.1	天线电动机不转动	117
8.1.2	天线电机传动系统故障	117
8.2	寒冷天气时天线旋转速度变慢甚至不旋转	118
8.3	减速箱运动时杂音太大	118
8.3.1	减速箱内润滑油太少	118
8.3.2	天线电机传动系统故障	118
8.4	荧光屏上仅在中心有一亮点	119
8.4.1	电缆插错位置	119
8.4.2	没有触发脉冲	119
8.4.3	收发机内触发脉冲形成级有故障	119

8.4.4	扫描末级电源保险丝烧断	119
8.4.5	计算机显示器	120
8.5	荧光屏不亮	120
8.6	有些量程上没有扫描线	121
8.7	扫描线长度不够	121
8.8	扫描线起始点不在荧光屏的几何中心	121
8.9	扫描线起始点不稳定	122
8.10	发射机的高压指示灯不亮	122
8.11	荧光屏上没有回波(1)	123
8.12	荧光屏上没有回波(2)	124
8.13	荧光屏上没有回波(3)	124
8.14	磁控管电流太小	124
8.15	磁控管电流不稳定	125
8.16	磁控管电流太大	126
8.17	荧光屏上有不规则零星亮点	126
8.18	荧光屏图像淡薄	128
8.19	荧光屏中心出现辉亮圆	128
8.20	荧光屏上出现辉亮圆	129
8.21	虚假空心扫描	130
8.22	网纹干扰	130
8.23	辐射干扰	130
8.24	荧光屏上图像不规则抖动	131
8.25	目标图像后面有大块暗影	131
8.26	负像	132

第3部分 雷达参数测量方法

第9章	雷达参数测量概述	135
9.1	雷达测量的任务和特点	135
9.1.1	雷达的测量任务	135
9.1.2	雷达测量的特点	135
9.2	测量的基本内容	136
9.3	测量误差及提高精度的方法	138

9.3.1	测量误差的定义	138
9.3.2	误差在测量仪器中的应用	140
9.3.3	测量误差的分类及减小误差的方法	141
9.4	安全测试常识	142
9.5	仪器保管常识与规章制度	143
9.5.1	仪器保管常识	143
9.5.2	仪器管理制度	144
9.5.3	仪器的校准	144
第 10 章	雷达整机参数测量方法	146
10.1	雷达探测范围	146
10.1.1	测量原理	146
10.1.2	测量方法步骤	147
10.1.3	测量结果分析	148
10.2	探测精度	148
10.2.1	测量原理	149
10.2.2	测量方法步骤	149
10.2.3	测量结果分析	150
10.3	分辨力测量	150
10.3.1	测量原理	150
10.3.2	测量方法步骤	151
10.3.3	测量结果分析	151
10.4	雷达标校——光电轴校准	151
10.4.1	测量原理	152
10.4.2	测量方法步骤	152
10.4.3	测量结果分析	153
10.5	雷达标校——方位角校准	153
10.5.1	测量原理	153
10.5.2	测量方法步骤	153
10.5.3	测量结果分析	154
10.6	雷达标校——真北标定	154
10.6.1	测量原理	154
10.6.2	测量方法步骤	154
10.7	雷达标校——零距离校准	155

10.7.1	测量原理	155
10.7.2	测量方法步骤	155
第 11 章	天馈分机参数测量方法	157
11.1	天线方向图	157
11.1.1	波瓣宽度	157
11.1.2	副瓣电平	158
11.1.3	天线增益	159
11.1.4	天线方向图绘制	159
11.2	天线罩衰减	161
11.3	馈线驻波比	161
第 12 章	发射分机参数测量方法	164
12.1	概述	164
12.2	载波频率	166
12.2.1	测量原理	166
12.2.2	测试方法步骤	166
12.3	工作频率范围(工作带宽)	166
12.3.1	测量原理	166
12.3.2	测试方法步骤	166
12.4	射频脉冲频谱	167
12.4.1	测量原理	167
12.4.2	测试方法步骤	167
12.5	脉冲功率(峰值功率)	168
12.5.1	测量原理	168
12.5.2	测试方法步骤	168
12.6	脉冲重复频率	169
12.6.1	测量原理	169
12.6.2	测试方法步骤	169
12.7	射频脉冲包络	170
12.7.1	测量原理	170
12.7.2	测试方法步骤	170

第 13 章 接收分机参数测量方法	171
13.1 接收机灵敏度及其稳定性	171
13.1.1 测量原理	172
13.1.2 测试方法步骤	172
13.2 噪声系数	173
13.2.1 测量原理	173
13.2.2 测试方法步骤	173
13.3 接收机中频频率	174
13.3.1 测量原理	174
13.3.2 测试方法步骤	174
13.4 接收机中频带宽	175
13.4.1 测量原理	175
13.4.2 测试框图	175
13.5 灵敏度时间增益控制(STC)	177
13.5.1 测量原理	177
13.5.2 测试方法步骤	177
13.6 接收机动态范围	178
13.6.1 测量原理	178
13.6.2 测试方法步骤	178
第 14 章 伺服系统测量方法	180
14.1 天线转速及其稳定度	180
14.1.1 测量原理	180
14.1.2 测试方法步骤	180
14.2 天线控制精度	181
14.2.1 测量原理	181
14.2.2 测试方法步骤	181
14.3 同步稳定度	181
14.3.1 测量原理	181
14.3.2 测试方法	181
14.4 天线控制灵敏度	182
14.4.1 测量原理	182
14.4.2 测试方法步骤	182
参考文献	183

第1章 维修理论概述

第1部分 维修理论概述

1.1 维修的定义

维修是指为使设备恢复到规定的使用状态而进行的工作。

维修工作包括：检查、诊断、修理、更换、调整、润滑、防腐、涂装、清洗、拆卸、装配、搬运、存储、报废等。

维修工作分为：预防性维修、故障性维修、事后维修、改善性维修、大修、中修、小修、日常维护等。

维修工作应遵循：安全第一、预防为主、综合治理、持续改进的原则。

1.2 维修的特点

维修工作具有：专业性、复杂性、时效性、经济性、安全性等特点。

维修工作应做到：预防为主、安全第一、综合治理、持续改进。

维修工作应做到：预防为主、安全第一、综合治理、持续改进。

维修工作应做到：预防为主、安全第一、综合治理、持续改进。

1.3 维修管理的基本原则

维修管理应遵循：预防为主、安全第一、综合治理、持续改进的原则。

维修管理应做到：预防为主、安全第一、综合治理、持续改进。

第 1 章 维修理论概述

20 世纪 60 年代以来,随着武器装备或民用设备(以后简称装、设备)现代化程度的提高,维修已成为伴随着装、设备使用过程而发展起来的一支新兴学科。维修概念和维修理论也迅速发生变化。本章从维修的基本概念和现代化维修理论两个方面简要介绍维修理论的发展。

1.1 维修的基本概念

1.1.1 维修的定义

维修是对装、设备进行维护和修理的简称。

维护是指保持装、设备到完好工作状态所做的一切工作,如润滑、加注、清洁、调校,以及补充能源、燃料等消耗品等。

修理是指恢复装、设备到完好工作状态所做的一切工作,包括检查、判断故障、排除故障,以及排除故障后的测试以及全面翻修等。

由此可见,维修是指保持和恢复装、设备到完好工作状态而进行的全部活动。

1.1.2 维修的特点

伴随着维修的产生与发展,不同时期、不同领域的维修具有不同的特点。

1. 维修是事后对故障和损坏的修复活动

这是 18 世纪末期西方工业国家的维修模式,而我国直到 1952 年依然受这种观念的支配。现在在一些中小企业里,这种模式还占主导地位。这种模式造成设备停产维修,危及人员、环境、设备本身的安全,事故损失费用和维修费用难以估计。

2. 维修是事前对故障主动预防的积极措施

1925 年前后,美国出现了“预防为主”的维修观念。对影响设备正常运转的故障,实现采取一些防患于未然的措施。将维修视为事前对故障主动预防的积极措施,通过事先采取周期性的检查和适当的维修措施,避免生产中一些潜在故

障以及由此可能发生的事故,减少停产损失,节约维修费用。

我国从 1953 年的“一五”开始引进苏联的“预防为主”的维修观念,至今在一些大型企业中,这种观念依然占主导地位。为国民经济建设发挥了重要作用。

3. 维修是使用的前提和安全保障

随着装、设备现代化程度的提高,维修难度增大,装、设备对维修的依赖程度也增大。离开正确的维修,装、设备就不能发挥应有的效能,甚至成为使用的障碍以及造成严重后果。所以,维修是使用的前提和安全保障。

4. 维修是生产力和战斗力的重要组成部分

购买新设备是为了提高生产力,但新设备在试运行期间就需要维修。旧的设备经过维修,也能正常运转,其生产力甚至超过新设备。所以,维修是生产力的重要组成部分。

对于武器装备,由于其复杂化,更离不开维修。战争中还要在每次战斗之后都进行维修。重复使用,重复维修,时刻使装备处于完好状态和战斗准备状态,充分发挥其战术技术性能。所以,维修成为战斗力的重要组成部分。

5. 维修是企业竞争的有力手段

激烈的市场竞争迫使企业必须改进产品质量,降低生产成本。维修能保证设备正常运转,维持稳定生产;维修提高了设备的使用强度,从而提高了单位时间的生产能力;维修能延长设备寿命,节约生产成本。总之,维修从根本上保证了所投入的设备资金能够在生产中体现出效益。所以,维修是企业竞争的有力手段。

6. 维修是投资的一种选择方式

投资是指固定资产的购买与投资,投资的目的是形成一定的生产力。维修能使固定资产的生产力得以延续,因此维修成为投资的一种选择方式。

7. 维修是实行全系统、全寿命管理的有机环节

设备的管理,既要重视设计、制造阶段的优生,又要重视使用、维修阶段的优育,需要实行全系统、全寿命的管理。产品通过使用、维修的检验,才能发现问题,不断改进,实行实际阶段的优生。所以,维修是实行全系统、全寿命管理的有机环节。

8. 维修是实施绿色再制造工程的重要技术措施

工业的快速发展使废旧产品堆积如山,许多废品都对环境造成污染。通过修复和改造废旧产品,使其起死回生,这是绿色再制造工程,使资源得以再利用,缓解对环境的污染。所以,维修是实施绿色再制造工程的重要技术措施。

9. 维修已从技艺发展为科学

过去维修是一种行业,一门操作技艺,没有系统的理论。现代维修不只是出

现故障后才排除,而更加重视故障的预防。维修成为现代科学基础上一门学科。使维修从分散的、定性的、经验的阶段进入系统的、定量的、科学的阶段,现代维修理论应运而生。

1.1.3 维修的分类

1. 维修工作的种类

按照维修的目的与时间分类,维修工作可分为以下几种。

(1) 预防性维修。

预防性维修是指通过对装、设备检查、检测,发现故障征兆以防止故障发生,使其保持规定状态所进行的各种维修活动,也叫计划维修。

(2) 修复性维修。

修复性维修是指装、设备发生故障后,使其恢复到规定状态所进行的维修工作。也称排除故障或修理,还可以称为非计划维修。

(3) 改进型维修。

改进型维修是在维修过程中对装备进行局部的技术改进,以提高其性能的工作。

(4) 战场抢修。

战场抢修是指在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实施自救的工作。

2. 维修方式的种类

维修方式是指对装备及其机件维修工作内容及其时机的控制形式。在实际使用中是指控制拆卸、更换和大型修理的时机的形式。维修方式可分为以下几种。

(1) 定时维修。

规定一个时间,只要到了时间,就拆下来维修或更换。

(2) 视情维修。

不问使用时间多少,用到某种程度出现故障征兆时就拆卸和更换。

(3) 状态监控维修。

什么时候出了故障,不能继续使用了,就拆下来维修或更换。

定时维修和视情维修属于预防性维修范畴,而状态监控方式属于修复性维修范畴。

1.1.4 维修的级别

维修级别(Level of Maintenance)是按装备维修的范围和深度及其维修时所