

# 电子装备维修技术及应用

杨江平 主编



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# 电子装备维修技术及应用

杨江平 主编  
杨江平 盛文 李红 编著  
邓斌 肖文杰 李桂祥

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书介绍了电路与设备维修过程中涉及的各种测试技术、检修技术、计量技术和测试性设计理论,其中重点突出了整机机内自检测技术、电路单元自动测试技术以及各种维修技术在电子装备维修中的应用方法。本书既反映了目前国内外的先进维修技术和这些新技术在电子装备维修中的应用,同时也给出了传统维修方法在新型电子装备下的运用。

本书内容丰富、新颖,以电子装备维修需要为出发点,理论联系实际,注重实际应用和电子装备特色。本书既可供从事电子设备维修,特别是大型电子系统维修或设计的科技人员学习和参考,也可作为大专院校电子工程类专业学生的教材和参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子装备维修技术及应用/杨江平主编. —北京:国防工业出版社,2006.3  
ISBN 7-118-04375-3

I. 电... II. 杨... III. 电子设备—维修  
IV. TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 014661 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)  
天利华印刷装订有限公司印刷  
新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 21 $\frac{3}{4}$  字数 500 千字  
2006 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 32.00 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

## 前 言

随着微电子技术和各种装备新技术的迅猛发展,新型电子装备与传统的电子装备相比,无论在电路的复杂性、集成度,还是电路的数字化、程控化、智能化等方面,都发生了质的变化。在这种情况下,那种依靠简单仪表和人的感官实施检查,凭经验排除故障的方法,已完全不能适应新型电子装备的保障的要求。新装备的维修要求使用新的测试技术、检修技术、测试设备和维修工具。本书就是针对电子装备的特点,结合一般电子设备的维修要求,首先介绍了电路与设备维修过程中涉及的各种测试技术、检修技术、计量技术和测试性设计理论,然后对电路单元自动测试技术和整机机内自检测技术进行了重点讲述,另外本书还介绍了各种维修技术在电子装备维修中的应用。

本书分八章。第一章介绍有关维修、测试与故障诊断的基本概念以及现代电子装备的特点和国内外电子装备维修的现状与发展;第二章电路测试技术基础,既介绍了传统的电压、频率、相位、功率、噪声等测试技术,也对数据域测试技术给予了重点介绍;第三章测量误差处理与电子计量,介绍测量误差的概念、来源,误差数据处理以及减小误差的方法,其中对利用计量技术减小仪器误差的方法进行了重点叙述;第四章电路与设备检修技术基础,介绍电路与设备的各种检修方法、检修步骤和常见电子元器件的故障和检查方法;第五章装备的测试性与装备的测试检修,介绍超大规模集成电路、表面贴装器件和多层板技术的电路的测试检修解决方案;第六章自动测试系统,介绍自动测试系统的一般原理、指标和标准总线等,并以电路单元自动测试设备为例,介绍了自动测试系统的硬件和软件;第七章机内自检设备,介绍机内自检设备的概念、作用和性能评价方法,以及电子装备中常用的机内自检技术和机内自检设备结构形式;第八章维修技术在电路单元检修中的应用,介绍了各种常见测试检修技术在实际电路单元检修中的应用。

本书与其他相关书籍相比具有部队自身的特点,主要是在内容的选取上遵循了三个原则:一是紧密联系电子设备的通用维修方法的介绍,这是电子设备维修工程师的必备基础知识;二是紧密联系电子装备的测试技术的介绍,这是大型电子装备维修需要了解的知识;三是在写法上力求通俗易懂,便于自学,既考虑到了初级维修技术员的培养需要,又考虑到了中级维修工程师的培

养需要。

本书第一、二、五、六、七章由杨江平教授编著，第三章由邓斌讲师编著，第四章由李红博士编著，第八章由盛文教授、肖文杰副教授和李桂祥讲师合作编著。全书由杨江平教授统稿，阎世强教授主审。

在本书的编著过程中，作者引用了书末参考文献中所列书籍的部分内容，刘飞硕士和王高云硕士参与了全书的文字校对工作，在此一并致谢！

由于作者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编著者

2005年11月28日

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>第一章 概述</b> .....       | 1  |
| 1.1 基本概念 .....            | 1  |
| 1.1.1 维修 .....            | 1  |
| 1.1.2 测试 .....            | 2  |
| 1.1.3 故障诊断 .....          | 2  |
| 1.1.4 检修 .....            | 3  |
| 1.2 现代电子装备特点及其维修 .....    | 3  |
| 1.2.1 现代电子装备的特点 .....     | 3  |
| 1.2.2 现代电子装备的维修 .....     | 4  |
| 1.3 电子装备维修设备的现状及发展 .....  | 11 |
| 思考题 .....                 | 16 |
| <b>第二章 电路测试技术基础</b> ..... | 17 |
| 2.1 电压测试技术 .....          | 17 |
| 2.1.1 电压表测试法 .....        | 17 |
| 2.1.2 示波器测试法 .....        | 18 |
| 2.2 频率测试技术 .....          | 20 |
| 2.2.1 示波器测试法 .....        | 20 |
| 2.2.2 电子计数器测试法 .....      | 22 |
| 2.3 相位测试技术 .....          | 23 |
| 2.3.1 双线(双踪)示波法 .....     | 23 |
| 2.3.2 单线示波法 .....         | 24 |
| 2.4 功率测试技术 .....          | 26 |
| 2.4.1 传送功率测量法 .....       | 27 |
| 2.4.2 接收功率测量法 .....       | 29 |
| 2.5 噪声测试技术 .....          | 29 |
| 2.5.1 噪声的测量方法 .....       | 30 |
| 2.5.2 噪声测量技术的应用 .....     | 31 |
| 2.6 分贝测试技术 .....          | 31 |
| 2.6.1 分贝的概念与定义 .....      | 32 |
| 2.6.2 分贝的测量方法 .....       | 33 |
| 2.7 频率特性测试技术 .....        | 36 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 2.7.1 幅频特性测试 .....           | 36  |
| 2.7.2 相频特性测试 .....           | 37  |
| 2.8 数据域测试技术 .....            | 38  |
| 2.8.1 数字特征分析测试技术 .....       | 38  |
| 2.8.2 数据域的逻辑分析仪测试方法 .....    | 41  |
| 2.8.3 数据域的仿真测试方法 .....       | 48  |
| 思考题 .....                    | 59  |
| <b>第三章 测量误差处理与电子计量</b> ..... | 60  |
| 3.1 测量误差和计量的基本术语 .....       | 60  |
| 3.2 测量误差与测量结果处理 .....        | 61  |
| 3.2.1 测量误差及其表示 .....         | 61  |
| 3.2.2 测量误差的估计和处理 .....       | 67  |
| 3.2.3 测量误差的合成和分配 .....       | 72  |
| 3.2.4 测量结果的数据处理 .....        | 77  |
| 3.3 电子计量 .....               | 80  |
| 3.3.1 计量概述 .....             | 80  |
| 3.3.2 电子计量概述 .....           | 84  |
| 3.4 典型电子测量仪器的计量与检定 .....     | 85  |
| 3.4.1 电压表计量 .....            | 85  |
| 3.4.2 示波器检定 .....            | 98  |
| 思考题 .....                    | 108 |
| <b>第四章 电路与设备检修技术基础</b> ..... | 110 |
| 4.1 电路与设备检修方法 .....          | 110 |
| 4.1.1 直觉检查法 .....            | 110 |
| 4.1.2 信号寻迹法 .....            | 111 |
| 4.1.3 信号注入法 .....            | 113 |
| 4.1.4 同类比对法 .....            | 115 |
| 4.1.5 波形观察法 .....            | 115 |
| 4.1.6 在线(在路)测试法 .....        | 116 |
| 4.1.7 交流短路法 .....            | 120 |
| 4.1.8 分隔测试法 .....            | 120 |
| 4.1.9 更新替换法 .....            | 121 |
| 4.1.10 内部调整法 .....           | 122 |
| 4.2 电路与设备检修步骤 .....          | 122 |
| 4.2.1 了解情况,发现故障线索 .....      | 123 |
| 4.2.2 初步检查,确定故障症状 .....      | 124 |
| 4.2.3 熟悉系统,分析故障原因 .....      | 125 |

|            |                             |            |
|------------|-----------------------------|------------|
| 4.2.4      | 缩小区域,找出故障 .....             | 126        |
| 4.2.5      | 排除故障,检验修复设备 .....           | 131        |
| 4.3        | 常见元器件的故障及检查 .....           | 132        |
| 4.3.1      | 电阻器类 .....                  | 132        |
| 4.3.2      | 电容器类 .....                  | 134        |
| 4.3.3      | 电感和变压器类 .....               | 135        |
| 4.3.4      | 晶体管类 .....                  | 136        |
| 4.3.5      | 集成电路类 .....                 | 138        |
| 4.3.6      | 印制电路板 .....                 | 139        |
| 4.3.7      | 电子管类 .....                  | 140        |
| 4.3.8      | 接触元件、保险丝等 .....             | 141        |
|            | 思考题 .....                   | 142        |
| <b>第五章</b> | <b>装备的测试性与装备的测试检修 .....</b> | <b>144</b> |
| 5.1        | 概述 .....                    | 144        |
| 5.1.1      | 测试、测试性与测试性的测度 .....         | 144        |
| 5.1.2      | 测试性要求 .....                 | 145        |
| 5.2        | 雷达系统的测试性设计 .....            | 147        |
| 5.2.1      | 测试方案确定 .....                | 147        |
| 5.2.2      | 测试性分配与预计 .....              | 148        |
| 5.2.3      | 固有测试性设计 .....               | 148        |
| 5.2.4      | 测试点的选择 .....                | 150        |
| 5.3        | 数字电路测试性设计 .....             | 151        |
| 5.3.1      | 标准单元的测试性分析 .....            | 151        |
| 5.3.2      | 测试性的改善设计 .....              | 156        |
| 5.3.3      | 测试性设计 .....                 | 158        |
| 5.3.4      | 内测试技术 .....                 | 162        |
| 5.3.5      | 边界扫描技术 .....                | 167        |
|            | 思考题 .....                   | 173        |
| <b>第六章</b> | <b>自动测试系统 .....</b>         | <b>174</b> |
| 6.1        | 自动测试概述 .....                | 174        |
| 6.1.1      | 自动测试系统的基本概念 .....           | 174        |
| 6.1.2      | 自动测试系统的组成与工作原理 .....        | 179        |
| 6.1.3      | 自动测试系统的主要指标 .....           | 189        |
| 6.2        | 常用标准接口总线 .....              | 192        |
| 6.2.1      | IEEE-488 接口总线 .....         | 194        |
| 6.2.2      | VXI 接口总线 .....              | 199        |
| 6.2.3      | PXI 接口总线 .....              | 207        |



|            |                              |            |
|------------|------------------------------|------------|
| 6.2.4      | 自动测试系统中使用的其他总线 .....         | 209        |
| 6.3        | 电路单元自动测试设备中的程控仪器 .....       | 209        |
| 6.3.1      | 程控测量仪器 .....                 | 210        |
| 6.3.2      | 程控信号源 .....                  | 216        |
| 6.3.3      | 开关矩阵 .....                   | 222        |
| 6.3.4      | 程控电源与电子负载 .....              | 227        |
| 6.3.5      | 虚拟仪器 .....                   | 231        |
| 6.4        | 自动测试系统的软件 .....              | 239        |
| 6.4.1      | 软件结构与软件系统设计 .....            | 239        |
| 6.4.2      | 系统控制程序和软件设计规范 .....          | 241        |
| 6.4.3      | 开发平台软件 .....                 | 250        |
|            | 思考题 .....                    | 255        |
| <b>第七章</b> | <b>机内自检设备 .....</b>          | <b>256</b> |
| 7.1        | 机内自检的概念与技术指标 .....           | 256        |
| 7.1.1      | 机内自检技术的提出 .....              | 256        |
| 7.1.2      | 定义与作用 .....                  | 257        |
| 7.1.3      | BITE 的主要技术指标 .....           | 257        |
| 7.2        | 常见的机内自检技术 .....              | 264        |
| 7.2.1      | 余度 BIT 技术 .....              | 264        |
| 7.2.2      | 环绕 BIT 技术 .....              | 268        |
| 7.2.3      | 特征分析 BIT .....               | 268        |
| 7.2.4      | 机内逻辑块观察技术 .....              | 270        |
| 7.2.5      | 参数测试 BIT .....               | 271        |
| 7.2.6      | 编码检错技术 .....                 | 275        |
| 7.2.7      | 智能 BIT 技术 .....              | 278        |
| 7.3        | 常见的机内自检结构形式 .....            | 282        |
| 7.3.1      | 集中监控式 .....                  | 282        |
| 7.3.2      | 分布与集中相结合方式 .....             | 284        |
| 7.3.3      | 嵌入式(分布式) .....               | 285        |
| 7.3.4      | 模块化组合式 .....                 | 286        |
|            | 思考题 .....                    | 288        |
| <b>第八章</b> | <b>维修技术在电路单元检修中的应用 .....</b> | <b>290</b> |
| 8.1        | 直流分压电路测试与检修 .....            | 290        |
| 8.1.1      | 直流串联电路测试检修 .....             | 290        |
| 8.1.2      | 直流并联电路测试检修 .....             | 291        |
| 8.1.3      | 直流串并联电路测试检修 .....            | 292        |
| 8.2        | 低频放大电路测试与检修 .....            | 293        |

|                   |                         |     |
|-------------------|-------------------------|-----|
| 8.2.1             | 晶体管低频放大电路 .....         | 293 |
| 8.2.2             | 低频集成放大电路 .....          | 300 |
| 8.3               | 直流电源电路测试与检修 .....       | 305 |
| 8.3.1             | 电源电路测试技术 .....          | 305 |
| 8.3.2             | 电源电路检修技术 .....          | 311 |
| 8.4               | 脉冲电路测试与检修 .....         | 314 |
| 8.4.1             | 多谐振荡器电路 .....           | 315 |
| 8.4.2             | 锯齿波产生电路 .....           | 316 |
| 8.4.3             | 单结晶体管脉冲产生电路 .....       | 319 |
| 8.4.4             | 断续正弦波形成电路 .....         | 319 |
| 8.5               | 基本数字电路单元的测试检修 .....     | 321 |
| 8.5.1             | 基本数字电路的故障模型 .....       | 321 |
| 8.5.2             | 基本数字电路的检测仪器 .....       | 323 |
| 8.5.3             | 典型基本数字电路的检修实例 .....     | 325 |
| 8.6               | 带微处理器电路单元的测试与检修 .....   | 332 |
| 8.6.1             | 微处理器系统的测试检修思路 .....     | 332 |
| 8.6.2             | 微处理器电路单元常见故障现象及检修 ..... | 333 |
| <b>参考文献</b> ..... |                         | 338 |

# 第一章 概 述

近 20 年来,计算机技术和微电子技术的迅猛发展,使电子装备也发生了根本性的变化。装备的变化又导致了装备测试技术、装备检修技术以及测试仪器的变化。本章首先介绍有关维修、测试、故障诊断和检修的基本概念,然后介绍现代电子装备的特点,最后叙述电子装备维修设备的现状和发展。

## 1.1 基本 概念

### 1.1.1 维修

设备的维护和修理统称为维修。维修是使装备保持和恢复规定状态所采取的全部措施和活动。在实际工作中,修理和维护往往不能截然分开,在设备维护时,有可能要进行某些必要的修理,而在对设备修理时,又往往要进行一定的维护。

图 1-1 说明了电子装备维修所包括的主要内容以及维修过程中涉及的主要技术。其中,电子装备的日常维护与装备具体型号密切相关,其基本措施大致可归纳为:防尘与除尘,防潮与驱潮,防热与排热,防振与防松,防腐蚀与防漏电等方面。其具体内容可参阅相关装备。

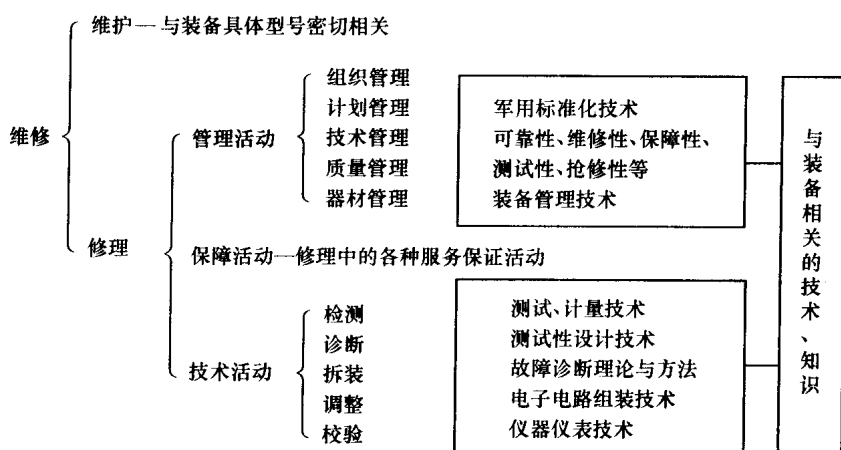


图 1-1 电子装备维修的主要内容与涉及的主要技术

电子装备的修理是使装备由故障、损坏或失调状态恢复到规定状态所采取的全部措施和活动。修理工作是装备维修工作者所要承担的主要任务。

据修理的定义可知,修理工作的目的是使装备恢复到规定状态,即恢复装备的战术技术性能和可靠性,充分发挥装备的效率和作用,满足作战、训练的需要。

装备修理工作的主要任务是:判明装备的故障现象,隔离装备故障,确定故障点,即故障定位;修复或更换失效或不合格的零部件、元器件;检测装备的有关性能,并进行相应的调整,恢复装备固有的性能指标与可靠性;检验装备的功能等。

修理工作的活动主要包括管理、技术、保障三大活动。其中管理活动包括质量管理、组织管理、技术管理、质量管理和器材管理等,涉及的主要技术包括军用标准化技术,可靠性、维修性、保障性及测试性设计技术,装备管理技术等;保障活动是指装备修理工作中的各项服务保障活动;技术活动包括装备的检测、故障诊断、拆装、调整和检验等,该活动是维修工程师需要日常进行的主要工作,该活动涉及的主要技术有测试技术、计量技术、测试性设计技术、拆装技术、仪器仪表技术和故障诊断理论等。技术活动中涉及的主要技术是本书介绍的重点。

### 1.1.2 测试

测试通常包含了测量、检验、估算、故障检测和诊断等多层意思,测量是测试中的一个内容,它是以确定被测对象属性(通常是物理量)量值为目的的一组操作,显然测试比测量的内容更为丰富。下列工作都属于测试的范畴。

(1)将被测量与标准量进行比较,以获得被测对象的数值结果。

(2)将被测量与设定值进行比较,以获得被测对象的性能、参数、质量、功能等方面的评价。这种评价常采用通过/不通过、合格/不合格、正常/越限、好/坏等定性指标来表示,或采用分成若干等级的分类值来表示。

(3)对测试数据进行各种处理,根据测试要求不同,处理结果可形成各种信息,也可执行各种操作。例如,按一定算法可获得被测对象的状态变量或内部参数的有关信息等,产生控制信息并由它控制执行机构,实现对被测对象的开环或闭环控制。

因此,现代测试技术已使测量技术紧密地与数据处理、故障检测和诊断、系统辨识和参数估计、控制技术结合在一起,测试、数据采集、控制之间的界限日趋模糊,测试、维护、诊断、修理、数据处理/管理朝一体化方向发展,这就是现代的广义测试的概念。

要进行测试,必须具备测试对象、测试手段、测试步骤和测试执行者。按照被测对象可分为时域量测试、频域量测试、数据域量测试和非电量测试等;按照测试手段分可分为人工测试、半自动测试和全自动测试。

### 1.1.3 故障诊断

故障诊断就是从故障现象出发,通过反复测试,作出分析判断,逐步找出故障的过程。对于一个复杂的系统来说,要在大量的元器件和线路中迅速、准确地找出故障是不容易的。首先,要通过对原理图的分析,把系统分成不同功能的电路模块;其次,通过逐一测量找出故障模块;然后再对故障模块内部加以测量,找出故障。这就是从一个系统或模块的预期功能出发,通过实际测量,确定其功能是否正常来诊断它是否存在故障,然后逐层深入,进而找出故障原因并加以排除。电子电路故障诊断主要包含以下几个方面。

#### 1. 故障检测

故障检测是指,为判断系统或设备是否有故障而进行的必要测试。电路功能的变化必然伴随着电路参数(电流、电压等)和元件参数的变化,所以电路参数的测试,是判断电

路故障的基本工作。检测的顺序可以从输入到输出也可以从输出到输入。找到故障模块后,要对其产生故障的原因作进一步检查。故障检测包括连续检测和随机检测。连续检测又称为状态监测,是发现故障的首要一步,它可以连续地对被测对象的主要性能参数进行监测和记录,一旦发生故障就发出故障信号;随机检测通常在故障定位过程中进行。

## **2. 故障定位**

故障定位是指确定故障的具体部位,故障定位又称为故障隔离。通常做法是,把合适的信号或某个模块输出的信号引到其他模块上,然后,依次对每个模块进行测量,直至查到故障模块为止。

## **3. 故障识别**

对于某些检测对象,不仅要确定故障部位,还要求对故障作进一步的描述,这就是故障辨识,它包括故障参数识别和故障影响分析。例如,对电路故障的诊断,不仅要知道哪个元件出了故障,还要求知道元件参数的变化量。即使元件参数没有超出正常范围,知道了元件的实际数值,就可通过前后几次测量结果的比较,找出其变化规律以预测故障,做到视情维修,减少盲目性。

### **1.1.4 检修**

检修主要指在修理过程中开展的技术活动,这里的“检”既包含了依靠仪器的测试,也包括了依靠人工的查看与调整等,“修”更多的是指故障定位后的修复。在电子设备中,仪器是测试、检修过程中必不可少的设备,它在现代测试系统中用测试设备代替更合适,因为测试设备含意范围更大。测试、检修、仪器这三者都与它使用的对象密切相关。

## **1.2 现代电子装备特点及其维修**

### **1.2.1 现代电子装备的特点**

现代电子装备与传统的电子装备相比,在各方面都发生了很大变化,从测试与电路故障诊断的角度来看,主要体现在电路与信号两大方面的变化,具有体现在以下几方面。

(1)运用技术愈来愈多,装备越来越复杂。一种大型电子装备电路单元的数量少则几百,多则几千,如此复杂的设备,如果仍然依靠人工修理,不仅需要大量技术人员来保障,而且技术人员查阅技术资料会耗去大量时间,即便是这样,也难实现装备的实时保障。如在相控阵雷达中,几百、几千乃至几万个发射/接受单元的多种参数的调整和测量,若依靠人工测试,其工作量是无法想象的。

(2)采用了新器件和新工艺。现代电子装备大量采用了超大规模集成电路(VLSIC)、超高速集成电路(VHSIC)、可编程逻辑器件(PLD)、专用集成电路(ASIC)等。其中 VLSIC 的使用使得电路复杂程度增加,VHSIC 的使用使得电路可测试性变差,PLD 和 ASIC 的使用使得电路变得不透明,难以进行测试。尤其值得注意的是表面贴装技术(SMT)和多层板技术的应用,电路元件密集度迅速增加,元件尺寸小到难以接近的地步,测试的可达性和可控性越来越差,以致不得不对电路的测试性设计提出要求。

(3)带微处理器的电路增多,软件已成为硬件电路的一部分。对于带微处理器或程序

控制芯片的电路,由于软硬件融合到一块,电路工作完全处于一种交叉、闭环工作状态,纯粹用人工方法进行检查和测试已完全不可能,需要使用专用的设备对电路进行检查。此外,带微处理器或程序控制芯片的电路中往往存在总线,而在总线电路上,一般挂接有大量的元器件,对这样的电路进行测试也是测试领域的一个难点。

(4)数字电路比例增大。从硬件结构来看,数字电路的特点是闭环电路多,电路联系往往呈网状,而不是树状或级联结构。这种结构造成电路的故障隔离远比树状结构的模拟电路麻烦得多。数字电路的另一个特征是信号的数字化,即多路、长信号流、非周期、信号变化速率高。在军用电子装备中,数字电路同时需要测试上百路不是罕见的事,这就要求测量测试设备具有同时检测上百路甚至几百路信号的能力。也正因为数字信号的这些特点,使得现代电子设备的维修非常重视数据域测试技术。

(5)装备的智能化程度提高,程控电路增多。电路的智能化、程控化是建立在电路数字化的基础上,然而智能化、程控化的电路与数字化的电路还是有本质区别的。观察一个普通数字电路的状态只需关心该电路各个时刻的工作状态即可,然而智能化、程控化的电路,其正常与否是由多路信号、多个时刻的电路状态构成的一个数字信号群的特征来体现的,这就要求测试仪器不仅具备多路检测的能力,还应具有判断、处理多点信号多个状态相关程度的能力。

(6)高速率、宽频带、自动化、计算机网络化等。目前电子装备的工作速度已扩展到300GHz以上,这给测试技术提出了严峻的挑战。另一方面,装备的自动化、计算机网络化既给测试带来了挑战,同时也为实现测试技术网络化及遥控检测与诊断提供了可能。

总之现代电子装备由于其电路、信号发生了根本变化,其检测设备必须随之变化,若仍沿用传统的检测设备、人工维修的方法与体制,已完全不能满足装备维修的需要。

## 1.2.2 现代电子装备的维修

### 1. 传统的维修思想及其特点

传统的电子装备维修,由于设备简单、元器件密度低等因素,需要的维修设备少,对技术人员的技术水平要求低,因此在装备的使用现场就能完成修理的各种活动。根据修理的内容、范围和规模,可将电子装备的修理分为大修、中修、小修3种。其中**大修**是对装备进行分解检查,修理或更换不符合技术标准的零部件或元器件,将装备调整到规定的指标,大修通常在工厂或维修基地进行。**中修**只是对装备进行全面检查、排除故障、调试性能,使主要战术、技术性能达到规定指标,但对装备的某些分系统、分机、重要整件的检查与调整按大修要求进行。中修一般在装备的某些技术状态恶化时进行,通常在现场由部队维修部门(如修理所)组织。**小修**是利用随机配置的仪表、工具和备件等对装备进行维修,其工作内容主要是装备进行故障定位,更换失效的零部件(元器件),要求迅速及时。

采用大修、中修、小修的维修体制,由于在任一修理层次上都需要完成修理的所有活动,即修理是从整机将故障定位到元件,并直至排除故障、修复设备,这种体制的优点是便于实现装备的靠前维修,各修理层次相互关联少,修理时效性好。其缺点是随着维修对象日益复杂,要求在每一层次上配置的测试设备越来越多,人员的技术水平越来越高,很难实现元件级水平上的各场合的器材供应,因此现代复杂电子装备的维修体制基本上不采用大修、中修、小修的维修体制。

## 2. 现代电子装备维修的特征

如 1.2.1 节所述,现代电子装备与传统的电子装备相比,电路、信号发生了根本变化,这种变化首先使维修的复杂度增加,仅仅依靠维修部门不能解决所有的维修问题,为此在研究现代电子装备的维修时,往往将维修与装备的研制、生产联系到一起,当做一个系统工程来研究,即强调维修全程化的概念;其次,实现维修的高效、低成本、优质一直是维修工作追求的目标,为达到这一目标,现代装备维修中提出了精确化的概念。这在电子装备的维修中的重要体现是贯彻维修级别分析的思想,即实现分级换件维修,如将雷达装备的维修分为基层级、中继级和基地级三级,基层级(雷达站)负责将故障定位到现场可更换电路单元,中继级(雷达旅团)负责简单电路单元维修,基地级(大修厂)负责复杂电路单元维修。再者,现代电子装备复杂度的增加,必然导致维修手段的变化。当今,维修手段高技术化和信息化是电子装备维修的重要特征,在维修信息化方面,综合诊断保障系统(IDSS)是一个值得关注的发展趋势。

另外,软件的大量使用,使得软件密集系统维修理论与技术的发展与应用成为现代电子装备维修的特征之一。高技术战争的需要,使快速应急维修理论与技术得到了进一步重视,也使其成为研究重点。

现代电子装备维修特征的具体含义如下。

### 1) 维修概念全程化

维修在现代电子装备中越来越重要,它与装备的研制、生产密切相关,故维修问题必须从全系统全寿命全费用(“三全”)考虑,贯穿于寿命周期全过程,面向整个寿命周期进行维修设计,包括产品和过程的设计。维修概念全程化将体现在:

- (1)重视产品的可靠性、维修性等与维修密切相关的设计特性,在研制中进行设计、分析和试验,达到规定的指标,在产品使用中通过改进、完善,使这些特性得到增长;
- (2)开展包含维修在内的产品与过程并行设计,及早进行维修规划和资源准备;
- (3)产品维(护)、修(理)、改(进)、再利用与制造的有机结合,重视改进性维修;
- (4)用户强化资产前期管理,包括选型择厂、参与设计制造、重视安装调试等;
- (5)建立健全全过程的使用维修信息系统。

维修概念全程化要以新的设计、管理、使用理念和技术为基础。

### 2) 维修工作精确化

精确或准确维修,是实现维修高效、低耗、优质,提高资产可用度或利用率的主要途径。其主要体现在以下几方面。

- (1)准确的时间。及时维修,不停机或少停机;适时维修,以利于利用各种资源(如所谓“机会维修”)。
- (2)准确的位置。在正确的维修场所或机构、适当的地点(优选现场、不离位)维修。
- (3)准确的部位。正确确定维修部位、项目,适当的(通常是最小的)维修深度。
- (4)正确的方法和手段。

精确维修的主要基础是信息技术、测试诊断技术、故障(失效)分析与预测和各种维修分析与决策技术的研究和发展。要实现维修工作“精确化”,要着重研究以下问题。

(1)以可靠性为中心的维修(RCM)理论和方法。RCM 既是一种科学的维修理论,又是一种维修分析和决策的方法,需要结合我国实际研究和推广,其中的建模研究是完善

RCM 方法的重点。

(2)修理(级别)分析(LORA)。LORA 是通过分析确定产品经济、合理的修理和更换方案的科学方法,需要结合我国实际研究与完善有关的模型和方法,以利于应用。

(3)全程维修规划。全面规划资产在寿命期的各种维修(包括维护、预防性维修、修复性维修、应急修理等),并对改进性维修和处理予以预先安排,以谋求最好的维修。

### 3)维修手段高技术化和信息化

随着装备的发展,各种高新技术和手段也广泛应用在维修工作中。在电子装备中最值得关注的是信息化技术在维修中的应用,目前用于电子装备维修保障的信息化技术主要有:

- (1)装备维修保障资源可视化技术;
- (2)装备维修保障网络化技术;
- (3)维修保障交互式电子技术手册关键技术;
- (4)装备远程诊断与维修技术;
- (5)维修信息综合处理技术。

除了与信息化维修相关的维修技术以外,在电子装备中应用的维修高技术还有许多,如:

- (1)以失效分析、状态监控、信息技术等支撑的故障预测技术;
- (2)智能化的故障诊断技术;
- (3)复杂集成电路系统测试诊断技术;
- (4)电路单元自动测试技术;
- (5)机内自检和芯片内自测试技术;
- (6)维修性仿真技术、虚拟维修研究。

### 4)软件密集系统维修理论与技术的发展与应用

以往的维修对象一般是硬件设备,对于它有比较成熟的理论和技术。面对越来越多的使用计算机的产品,特别是一些“软件密集系统”,除硬件维修外,软件维修将是必不可少的。美国陆军极为重视软件维修的研究与应用,并将其纳入开发、使用全过程,但在理论上、技术上还存在许多问题。目前电子装备中存在许多软件维修问题,今后软件密集系统维修问题会更严重。为指导这种系统特别是软件维修与保障,相应的理论和技术研究必须先行。研究的内容包括:

- (1)软件广义失效理论(包括失效模式、失效机理、失效判据和失效规律);
- (2)软件密集系统维修决策原理,特别是软件维修的概念、内容、原理、策略等;
- (3)系统中分离软件与硬件故障的原理和技术,软件失效的检测、诊断的原理和技术;
- (4)软件维护性的理论与技术(概念、定性定量要求、设计与分析、试验与评估);
- (5)软件保障系统的结构、建立和运行规律。

软件密集系统维修包括软件维护的研究,是一个全新的课题,也是维修学科和计算机科学与技术交叉的课题,需要多方努力。

### 5)快速应急维修理论与技术的发展与应用

在大型系统、通信网络、管道、运输工具等和各种军事装备中,由于各种故障和损伤,需要进行快速应急修理。在信息时代,这种需求将更加迫切,其中对武器装备的战场抢修



最典型。应急维修技术主要包括定点应急维修技术、战场原位应急维修技术、伴随应急维修技术和应急维修信息化技术等。发达国家在 20 世纪 80 年代以来进行了比较深入的研究,并将其应用于高技术条件下的局部战争中。目前已有许多成熟的技术,如对于装备机械部分应急维修可以采用无电焊接技术、结构贴片修复技术、耐磨修补技术、管路堵漏技术、贴体封存技术等;对于电气部分的维修有电子装备快速清洗技术、电缆断路快速寻迹技术、电缆束线头自动标识等。

### 3. 综合诊断保障系统

#### 1) 综合诊断保障系统的概念

综合诊断(Integrated Diagnostics, ID)是一种获得最大诊断有效度的规范化过程,这种过程要求在一定花费的条件下,为满足武器系统任务的要求,通过综合测试、自动测试、人工测试、训练、维修辅助、技术信息等各种手段,以达到不模糊地隔离武器系统或设备中已知的或预计要发生的所有故障。这个过程的产品是硬件、软件、文件和人员训练。用来实现综合诊断的系统就是综合诊断保障系统(Integrated Diagnostics Support System, IDSS)。综合诊断保障系统建立的目的是降低武器全寿命周期费用(LCC),提高其可用度。

综合诊断保障系统最初是由美军在 20 世纪 80 年代初提出来的,当时由于武器系统愈来愈复杂,美军在维修体制上开始转向分级维修,但级别维修还未产生预期的结果,部队就接二连三地报告了维修、保障及武器系统设计方面的许多问题。其中最主要的问题是装备研制、维修、使用等部门在维修、保障以及系统设计等方面存在分歧。维修和保障问题跨越了不同的部门和管理路线,不同的部门形成一个个“技术岛屿”,并且总是按自己的需要提出要求,按自认为是最优的方法来解决问题。

针对以上这些问题,美军制定了新的维修目标和保障目标。以这些目标和要求为基础,从上到下提出了一个新的维修和保障办法,即综合诊断方法。最后使用计算机网络通信技术,利用人工智能、微电子新技术和自动测试新技术,建立了综合诊断保障系统。

#### 2) 综合诊断保障系统的结构及运行原理

综合诊断保障系统可以完成武器系统的故障诊断、监控、管理、人员训练和维修辅助。这五大功能概括了装备故障诊断中涉及的主要问题。图 1-2 所示为一个雷达综合诊断网络系统的功能框图,从图中可以看出五大功能的具体内容,事实上每种功能可以扩展、构造,也可以收缩。图 1-3 所示为美国海军 IDSS 主要功能之间的联系。其中便携式维修辅助装置(PMA)、网络系统和综合保障终端(IST)为硬件功能块,其余均属软件功能块。

图 1-3 所示各部分的内容和功能如下。

(1)数据采集控制系统(DAC)及数据采集控制接口。其中前者属于软件,后者属于硬件,是武器系统的一部分,包括 BIT/BITE、监视器、控制板、灵敏测试点以及为操纵员报告异常情况设置的接口。DAC 有被动和主动两种工作方式。工作在被动方式时,DAC 的功能是获取故障数据和状态数据,引导程序进入 IDSS 数据库、故障码翻译程序和专家诊断系统,参考历史数据进行失效趋势分析,制定或预报失效系统和部件,辅助故障定位,提出预防维修和更改设计的建议。工作在主动方式时,DAC 可以通过控制 BIT/BITE 和 PMA,并进行模式相关,对间歇故障进行定位,还可以通过 IDSS 的网络系统加载一个扩大的 BIT 诊断程序到 BITE 或 PMA 中,以提高故障定位能力。

(2)便携式维修辅助装置(PMA)。包括自适应维修测试器(AMT'S)和交互式维修