

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高职高专电子信息类专业规划教材

电子设备维修技术

第2版

主 编 陈梓城
副主编 林训超 孙丽霞
参 编 李伟民
主 审 唐程山



机械工业出版社

前 言

本教材自 2000 年出版以来, 多次重印。2006 年被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材, 修订后予以出版。

在再版修订过程中, 将本教材使用的经验及其体会融入其中, 以培养学生的电子技术应用能力和电子设备维修能力为主线, 力图体现职业教育的特色。

1. 综合性

本教材将电子维修基础知识、维修示例, 电子电路故障分析、诊断和电子电路抗干扰技术等知识加以综合。电子电路抗干扰能力是电子技术应用能力的重要组成部分。随着电子电路频率的升高, 抗干扰显得越来越重要, 而单独开课在时间上不允许, 但在电子设备的试制、维修过程中, 会遇到抗干扰调试的问题, 故将其编入本教材。

2. 先进性

为适应电子技术及电子设备维修技术快速发展的新形势, 对原教材内容进行了修订, 编入电子设备最新故障诊断方法: 故障自诊断技术、专家系统故障诊断方法、故障树分析法、神经网络法、电子设备故障诊断的信息融合技术、机电设备故障诊断的 Agent 技术和新型真有效值数字电压表等内容。

3. 实用性

本教材中的内容是前人工程实践经验的总结, 学了有用、实用。将抗干扰技术专著变薄, 以最简洁的方式在十几课时内把实用的知识介绍给读者。增加了许多实用性强的知识, 如第 1 章增加电子设备故障机理分析、提高电子设备可靠性的方法等, 第 3 章增加故障分析及常用电路故障诊断示例; 增加了实用性强、有益于培养能力的习题等。

4. 职业技术岗位针对性与适应性

电子信息类专业高职毕业生的第一岗位半数以上为调试员、维修员, 本教材介绍的知识、能力要素是职业岗位所必需的, 能使毕业生尽快满足职业岗位要求, 又为其日后发展打好基础。

5. 浅显性

本教材融入了作者的工程实践经验和教学经验, 力求通俗易懂, 降低难度; 不作公式推导, 直接给出应用公式、经验公式; 分析复杂电路时列出信号流程等。

6. 系统性

在教学内容的安排上, 依照先介绍故障诊断方法, 后通过故障诊断、检修



示例介绍方法应用的思路进行编写。在本次修订过程中,对维修示例进行了删减;对一些教学内容的编写顺序作了调整,使之更具系统性,便于教师组织教学和学生掌握。

7. 方便性

新编入的现代故障诊断方法涉及到模糊集合的知识,为便于知识的衔接和读者自学,把模糊集合的基础知识以简洁、易懂的编写方式,列在附录中。

8. 配套性

为方便教学,本书为教师配有免费电子教案、习题解答、试卷、授课进程和教学大纲等,凡选用本书作为授课教材的学校,均可来电索取,咨询电话:010-88379375。

本书具有一定的工程实用价值,除用作教材外,对电子工程技术人员、维修人员、高校电子信息类专业教师和高年级学生来说是一本具有实用价值的参考书。

本书第1版由陈梓城教授任主编,林训超副教授任副主编,孙丽霞教授、魏中老师和李伟民高级工程师参编。

本书第2版由陈梓城教授任主编,林训超副教授任、孙丽霞教授任副主编,李伟民高级工程师参编。其中林训超编写了1.7节、1.8节和第5章;孙丽霞编写了第4章;李伟民编写了第7章;其余各章节由陈梓城编写。

本书第1版、第2版均由唐程山副教授任主审。他认真审阅了书稿,并提出了许多宝贵意见。在本书修订过程中,参阅了大量参考文献。编者的学生袁绍德、李强做了大量的文字录入工作和制图工作。在本书再版之际,一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中存在的错误与不妥之处,恭请同行专家及读者批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论 1

第1章 电子仪器设备维修基础 4

1.1 维修概述 4

1.1.1 维修的基本概念 4

1.1.2 现代电子装备维修的特征 5

1.2 电子仪器设备的运行环境 6

1.2.1 气候环境效应及其影响 6

1.2.2 机械环境的影响 8

1.2.3 电磁环境的影响 10

1.2.4 精密电子仪器设备的运行条件 11

1.2.5 智能电子仪器设备的运行条件 12

1.3 电子仪器设备的日常维护 13

1.3.1 防尘与去尘 13

1.3.2 防潮与驱潮 14

1.3.3 防热与排热 14

1.3.4 防振与防松 14

1.3.5 防腐蚀 15

1.3.6 防漏电 15

1.4 电子仪器设备的运行使用

注意事项 16

1.4.1 仪器设备开机前的注意事项 17

1.4.2 仪器设备开机时的注意事项 17

1.4.3 仪器设备操作运行时的注意 事项 18

1.4.4 仪器设备使用完毕后的注意 事项 18

1.5 电子设备可靠性、故障的宏观 规律及其故障机理分析 18

1.5.1 电子设备可靠性及其故障的 宏观规律 18

1.5.2 电子设备的故障机理分析 20

1.5.3 提高电子设备可靠性的方法 22

1.6 维修电子仪器设备的一般程序 24

1.6.1 研究、熟悉工作原理 25

1.6.2 熟悉操作运行规程 26

1.6.3 了解故障情况,发现故障线索 26

1.6.4 初步表面检查,确定故障症状 26

1.6.5 维修前的定性测试 27

1.6.6 拟订故障检测方案 27

1.6.7 故障分析、诊断 27

1.6.8 故障处理 27

1.6.9 校验 28

1.6.10 填写检修记录及交付使用 29

1.7 电子测量仪器的计量检定 30

1.7.1 计量的定义、特点和分类 30

1.7.2 电子计量中的量值传递与检定 32

1.7.3 电子测量仪器计量中的注意 事项 37

1.8 电子设备维修与装备条件 37

1.8.1 人员配置 37

1.8.2 设备配置 37

1.8.3 规章制度 37

思考题与练习题 39

第2章 电子设备故障诊断方法 40

2.1 常用浅知识故障诊断方法 40

2.1.1 观察法 40

2.1.2 测量电压法 42

2.1.3 测量电阻法 43

2.1.4 替代法 44



2.1.5 波形观察法	45	3.3.1 集成运算放大电路设计、调试 中需注意的问题	78
2.1.6 短路法	46	3.3.2 集成运算放大电路的静态调试 ..	81
2.1.7 改变现状法	47	3.3.3 集成运算放大电路的动态调试 ..	83
2.1.8 分割测试法	48	3.3.4 电压比较器电路的调试	86
2.1.9 同类比对法	49	3.4 波形产生、转换电路的调试 及故障诊断	86
2.1.10 测试元器件法	49	3.4.1 振荡电路不起振故障的诊断 与调试	87
2.1.11 信号注入法	50	3.4.2 振荡波形不良故障的诊断 与调试	87
2.1.12 字典法与信号流程图法	50	3.4.3 其他非正常振荡故障的诊断 与调试	88
2.2 逻辑分析法	52	3.4.4 石英振荡器的调整	89
2.3 故障自诊断技术与专家系统 故障诊断	53	3.4.5 RC 正弦波振荡器的调整	90
2.3.1 机内自检设备简介和机内自 检技术分类	53	3.4.6 方波—三角波发生器的调整	91
2.3.2 微处理器系统的故障自诊断 技术	54	3.5 功放电路的调试	92
2.3.3 专家系统故障诊断简介	57	3.5.1 功放电路调试概述	92
2.4 其他现代故障诊断方法简介	58	3.5.2 分立元器件 OTL 电路的调试	94
2.4.1 故障树分析法	58	3.5.3 分立元器件 OCL 电路的调试	95
2.4.2 神经网络法	61	3.5.4 集成功放电路的调试	97
2.4.3 电子设备故障诊断的信息 融合技术	64	3.6 电源电路的调试与故障诊断	99
2.4.4 机电设备故障诊断的 Agent 技术 ..	66	3.6.1 电源电路主要性能参数的测试 ..	99
2.5 故障诊断方法的运用	67	3.6.2 整流滤波电路的调试及常见 故障分析	101
思考题与练习题	68	3.6.3 并联稳压电路的调试	102
第3章 电子电路的调试与故障诊断 ..	70	3.6.4 三端线性集成稳压电源的调试 ..	102
3.1 电子电路调试技术概述	70	3.6.5 开关电源的调试及故障诊断 ..	103
3.1.1 调试方案的制订	70	3.7 数字电路的调试及故障诊断 示例	111
3.1.2 调试前的准备工作	71	3.7.1 集成门电路的测试	111
3.1.3 调试步骤	72	3.7.2 组合逻辑电路的测试	113
3.1.4 调试注意事项	74	3.7.3 时序逻辑电路的测试	114
3.2 分立元器件低频放大电路的 调试与故障的分析、诊断	74	3.7.4 数字集成电路的区分和质量 性能粗测	116
3.2.1 低频放大电路的静态调试	74	3.7.5 故障诊断示例——脉冲展宽延迟 电路的故障分析与诊断	117
3.2.2 低频放大电路的动态调试	76	3.7.6 故障诊断示例——可编程时序产 生电路的故障分析与诊断	118
3.2.3 典型低频放大电路故障的 分析、诊断	77	3.8 单片机电路的调试与故障诊断 ..	120
3.3 集成运算放大器组成的应用 电路的调试	78		



3.8.1 单片机电路调试仪器简介	120	4.5.2 接收机电路的几种干扰及其抑制措施	164
3.8.2 单片机系统的调试	122	4.5.3 高频电路的抗干扰装配工艺	166
3.8.3 常见故障的诊断及排除	124	4.5.4 选用高频电路元器件的注意事项	172
思考题与练习题	125	4.6 数字电路的抗干扰措施及其调试	173
第4章 电子电路抗干扰技术及调试	127	4.6.1 数字电路的外部干扰及其抑制方法	173
4.1 抗干扰技术概述	127	4.6.2 数字电路的内部干扰及其抑制方法	174
4.1.1 噪声与抗干扰技术的定义	127	4.6.3 A/D 转换器噪声的抑制	175
4.1.2 噪声的种类及其特点	128	4.7 微型计算机与微处理器电路的抗干扰措施及其调试	178
4.1.3 抗干扰三要素	132	4.7.1 增加总线的抗干扰能力	178
4.1.4 电磁干扰的测量和常用于扰测量仪器简介	132	4.7.2 系统的装接设计	180
4.1.5 干扰量测量简介	134	4.7.3 系统的防辐射措施	184
4.2 噪声传播途径及抑制噪声的措施	134	4.7.4 抑制存储器部分产生的噪声	185
4.2.1 导线传导耦合噪声及其抑制方法	134	4.7.5 微机系统的软件抗干扰措施	186
4.2.2 公共阻抗耦合噪声及其抑制方法	135	思考题与练习题	189
4.2.3 电容性耦合噪声及其抑制方法	138	第5章 示波器原理与维修	192
4.2.4 电感性耦合噪声及其抑制方法	139	5.1 示波器的工作原理	192
4.2.5 电磁场耦合噪声及其抑制方法	140	5.1.1 示波器的组成	192
4.2.6 接地及其在抗干扰中的作用	140	5.1.2 示波管的波形显示原理	198
4.3 电源电路抗干扰措施及其调试	144	5.1.3 XJ4328 型双踪示波器的主要性能指标和工作原理	199
4.3.1 电源变压器的抗干扰措施	144	5.2 示波器的检修程序	203
4.3.2 电源滤波器	148	5.3 示波器电路的故障分析	205
4.3.3 串联调整式稳压电源的抗干扰措施	149	5.3.1 低压电源电路的故障分析	206
4.3.4 开关稳压电源的抗干扰措施	151	5.3.2 高压电源及显示电路的故障分析	206
4.4 集成运放电路抗干扰措施及其调试	153	5.3.3 Y通道的故障分析	207
4.4.1 集成运放电路的噪声及其抗共模噪声特性	153	5.3.4 X通道的故障分析	208
4.4.2 微小电压放大电路的抗干扰措施	157	5.4 示波器典型故障的诊断与检修	210
4.4.3 集成运放电路的抗干扰装配工艺	161	5.4.1 电源指示灯不亮	210
4.5 高频电路抗干扰措施及其调试	163	5.4.2 开机无光迹	210
4.5.1 高频电路外界噪声及其抑制措施	163	5.4.3 有光点而无扫描线	212
		5.4.4 无信号显示	212



5.4.5 波形不稳定	214	6.6 新型真有效值 $3\frac{1}{2}$ 位 DVM	
5.4.6 出现回扫线	214	及其故障诊断	244
5.4.7 亮度不正常	214	6.6.1 LTC1966 的性能特点	244
5.4.8 聚焦不良	215	6.6.2 LTC1966 的引脚功能、工作	
5.4.9 波形前后疏密不一致	215	原理及其典型应用电路	245
5.4.10 扫描线过短	216	6.6.3 ICL7106/ICL7126/ICL7136	
5.4.11 同步过强	216	型 A/D 转换器的性能特点	
5.4.12 机壳带电	217	及引脚功能	248
5.4.13 典型故障的诊断与检修实例 ..	217	6.6.4 由 ICL7136 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位	
思考题与练习题	220	LCD 直流 DVM	249
第 6 章 数字电压表的原理与维修	221	6.6.5 LTC1966 构成的 DVM	250
6.1 数字电压表的基本工作原理 ..	221	6.6.6 LTC1966 构成 DVM 的故障诊断 ..	250
6.1.1 积分编码式 DVM 的基本工作		思考题与练习题	251
原理	221	第 7 章 微机彩色显示器的原理与维修 ..	253
6.1.2 反馈比较式 DVM 的基本工作		7.1 彩色显示器的基本工作原理 ..	253
原理	223	7.1.1 彩色 CRT	253
6.2 数字电压表的检修程序	224	7.1.2 扫描电路	253
6.3 调零不正常故障的诊断与检修 ..	226	7.1.3 视频驱动电路	255
6.3.1 DZ—26 型直流数字电压表的		7.1.4 电源电路	255
前置放大器原理	226	7.2 典型彩色显示器电路分析	255
6.3.2 故障的诊断与检测	228	7.2.1 开关电源电路	258
6.4 测电压不正常故障的诊断		7.2.2 三色视频放大电路	260
与检修	229	7.2.3 行、场扫描电路	261
6.4.1 极性电压不能校准、不能测量		7.2.4 行输出电路	263
电压故障的诊断与检修	229	7.3 显示器维修的基本知识	264
6.4.2 数字停零不能测电压故障的		7.3.1 维修准备工作及维修注意事项 ..	264
诊断与检修	232	7.3.2 故障检修的一般顺序与基本	
6.5 单片 A/D 转换器构成的 $4\frac{1}{2}$		规则	265
位 DVM 及其故障检修	233	7.3.3 主要电路发生故障时的征兆 ..	265
6.5.1 ICL7135 的性能参数、引脚		7.4 微机彩色显示器故障诊断与	
功能及其基本工作原理	234	检修实例	266
6.5.2 双积分 A/D 转换单元电路		7.4.1 无光栅、无图像故障的诊断	
及其元器件的选择	238	与检修	266
6.5.3 SX1842 量程转换和前置放大		7.4.2 水平一条亮线故障的诊断与	
单元电路的工作原理	241	检修	266
6.5.4 DC—DC 隔离电源的工作原理 ..	242	7.4.3 水平不同步故障的诊断与检修 ..	267
6.5.5 故障诊断检修示例	242	7.4.4 字符显示有轻微的横向抽动及	



机内传出“吱吱”声故障的诊 断与检修	268	附录	270
7.4.5 字符显示颜色偏紫色故障的 诊断与检修	269	附录 A XJ4328 型示波器电路图	270
思考题与练习题	269	附录 B 模糊集合基础知识	278
		参考文献	280

绪 论

随着经济的不断发展和科技的不断进步,电子仪器设备应用越来越广泛。各行各业乃至社会家庭,电子仪器设备无处不在。随着电子技术的飞速发展,电子仪器设备的集成化、数字化和自动化程度越来越高,智能化、模块化和软件化的仪器设备日益增多,对加快四个现代化建设步伐和提高人民生活质量起到了重要作用。目前世界上拥有和推出的电子仪器设备有万余种,社会上电子设备的拥有量日益增大,因而维护保养和维修量也日益增大。有的设备一天产值上万元甚至几十万元,有时会因一台关键设备产生故障,致使整条生产线、整个企业生产或重大科研项目陷于瘫痪。所以电子仪器设备的维修及其维修质量,直接影响社会效益和经济效益,具有重要的地位和作用。

“电子设备维修技术”课程是高等职业教育电子测量仪器、电子设备运行与维修、应用电子技术、电子信息技术等专业的专业课程。它为同学们参加电子设备维修实习和毕业后从事电子电路、电子仪器设备调试工作和电子仪器设备维修工作提供理论知识和指导方法。通过教学要达到以下要求:

- 1) 了解使用环境对电子仪器设备的影响;熟悉仪器设备运行环境条件;掌握日常维护的内容和方法。
- 2) 熟悉维修的内涵。了解电子设备故障的产生规律,熟悉故障形成机理,了解提高电子设备可靠性的方法。
- 3) 掌握电子仪器设备的使用注意事项。
- 4) 掌握维修的一般程序和浅知识故障诊断的方法,了解近年来发展起来的用于高精尖电子设备的故障诊断新方法。
- 5) 熟悉常用电子电路调试和故障诊断的基本方法,并通过实训,巩固和掌握调试技能。
- 6) 熟悉电子电路实用抗干扰技术,为设备维修和技术改造打好必要的基础。
- 7) 通过电子电路故障分析、诊断示例和典型仪器设备的故障分析、诊断、检修示例,熟悉巩固所学故障分析、故障诊断和故障排除方法,并通过实习掌握维修技能。

“电子设备维修技术”是一门工程实践性很强的综合性课程。在电子仪器设备维修过程中,既要熟悉单元电路原理,又要掌握电路调试技术,有时还要采取抗干扰措施;既要熟悉整机原理及其性能参数,又要掌握整机联调与检定、检验方法和技能;既要掌握故障诊断、检测方法,又要掌握电子技术工艺及维修技能。显而易见,维修工作是理论与实践相结合、专业基础知识与工艺技能并用的技术工作。

本课程的学习对学生日后从事电子设备运行与维修工作,具有重要指导作用。为提高学习效果,为日后从事维修工作打好基础,应注意以下几点:

1. 坚持理论与实践相结合的原则

这是本课程的特点与维修工作的性质所决定的。本教材所述内容,是维修技术实践经验的总结,它对我们从事维修工作起到指导作用。学习维修规程、维修方法和实用技术的目的



在于应用，在于用来指导维修工作实践。

陆游诗云：纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行。这是说要把书本上的知识变成自己的东西，要通过实践，方能真正领会其真谛并牢固掌握。俗话说，熟能生巧。只有反复实践，才能熟练掌握维修技能。

2. 重视分析问题、解决问题和创新能力的培养

电子仪器设备维修的关键程序之一是故障的分析判断。用故障检查方法查找到故障部位后，也存在故障元器件分析判断问题；在查到故障元器件后，还应进行产生故障原因的分析判断，并将故障排除、修复，才能使电子仪器设备安全可靠地运行。分析问题、解决问题能力的强弱，直接影响到维修质量和速度。

分析问题、解决问题能力的培养，一是要靠扎实的专业基础知识；二是要靠掌握维修基本方法并灵活运用；三是要靠在实践中反复实践并总结、积累经验。学习本课程的主要目的，就是培养学生的故障诊断能力和解决问题、排除故障的能力。

电子仪器设备种类繁多，各类不同的电子仪器设备有其特殊性即个性。但各类电子仪器设备均是由基本单元电路组成的，其基本原理有相通的地方，有其共性即规律性的东西。它们离不开电子技术、微机技术、传感技术和自动控制技术等基础知识。电子电路调试技术和故障诊断方法等维修技术也是通用的。掌握了一种电子仪器设备原理和维修技术后，对别的电子仪器设备有触类旁通的作用。关键是找出其个性和共性的地方，在学习本课程和维修实践中，要注意创新（举一反三）能力的培养。即把所学知识和其他参考文献介绍的方法、经验，用来解决未曾见过的故障和用于新型电子仪器设备的维修，并能总结出自己的经验。

3. 重视知识更新，跟上时代发展步伐

电子技术日新月异。新技术、新工艺和新型元器件不断涌现，新型电子仪器设备层出不穷。只有使自己跟上时代发展步伐，才能适应自己岗位的工作要求。这就要求我们不断进行知识更新，学习新技术、新工艺、新型元器件和新产品知识。掌握其原理及使用注意事项，通过试验掌握其特性，并做好维修资料搜集、性能参数测试等维修基础工作，为应用和维修新型电子仪器设备打好基础。

4. 培养严、细、实的工作作风，培养良好的职业道德

电子仪器设备维修是一项细致严密的技术工作。在电子仪器设备的运行、维修过程中，不按规程和工艺要求操作，就会留下隐患甚至酿成大祸。如维修过程中掉进一块焊锡，就可能使设备内电路造成短路，造成设备故障，造成停产事故，造成经济损失。在一些关乎国家声誉及国家技术进步的重大科学试验中，更是容不得半点疏忽，否则将酿成重大事故。其中不乏其例。

具有严、细、实的工作作风是维修人员必备的素质，也是维修人员是否具有良好职业道德的重要标志。在国家劳动部颁布的无线电装配工、调试工和家电维修工职业技能鉴定考核大纲中，均把安全生产、文明生产作为考核评分项目之一；把仪器仪表、工具摆放是否整齐，工位是否整洁作为考核评分内容。这说明国家职能部门对工作作风及行为规范的重视，因为它对技术水平的正常发挥起到基本保证作用。

维修工作和操作运行是密不可分的。维修人员应把督促操作运行人员照章操作运行和做好运行记录作为自己的职责之一。维修后，应将故障原因及注意事项向操作运行人员和用户进行技术说明。



维修可分为三级：第一级维修是更换整个模块；第二级维修是更换电路板等组件；第三级维修是更换元器件。第一级修理速度最快，停机时间最短，但维修费用最大；第二级修理比第一级维修稍慢，但更换电路板等组件的费用比更换整个模块的费用低得多；第三级修理最经济，但要检测出故障元器件，并予以更换、调试，往往要较长时间。一般来说，生产线上的调试员和维修员，进行的是第三级维修。随着电子仪器设备微型化、模块化程度的提高，电子仪器设备维修较多的是第二级，即板级的维修。对照上述三级维修，第二、第三级维修更符合我国国情。坚持用户第一、物有所值、勤俭节约的原则是维修工作者职业道德的表现。应该从为用户节省每一分钱出发，坚持第二、第三级维修，总的原则应从经济效益角度考虑。如需要在极短的时间内修好设备，则只能用第一、第二级维修。等修好后，再把更换下来的模块、电路板进行维修，以便备用。

维修工作是一项重要且繁杂、细致的技术工作。“没有维修不了的仪器设备，关键在于物有所值。”这是维修界的一句行话。但要做到维修快速、高质，甚至开发出新的性能，这是高境界。要达到这一境界，需要有扎实的理论实践功底，并在实践中勇于探索、善于总结、不断提高。

第1章 电子仪器设备维修基础

1.1 维修概述

1.1.1 维修的基本概念

1. 维修

(1) 维修的定义 维修是使设备保持和恢复规定状态所采取的全部措施和活动。维修是维护和修理的统称。

电子仪器设备的日常维护与设备的具体型号有关，一般会在说明书中进行介绍，其具体措施详见本章1.3节。

(2) 维修的主要任务 电子设备修理工作的主要任务是：①根据设备的故障现象，隔离设备故障，确定故障点(故障部位)。②修复或更换失效或不合格的零部件、元器件。③检测设备的有关性能及参数，并进行调试，使设备恢复固有的性能指标和可靠性。④检验设备是否达到原有功能及性能指标等。

(3) 电子设备维修的分级 电子设备的维修分为三级：第一级维修是更换整个模块；第二级维修是更换电路板等组件；第三级维修是更换元器件。第一级维修速度最快，停机时间最短，但维修费用最大；第二级维修比第一级维修稍慢，但更换电路板等组件的费用比更换整个模块的费用低得多；第三级维修最经济，但要检测出故障元器件，并予以更换、调试，往往需要较长时间。一般来说，生产线上的调试员和维修员，进行的是第三级维修。随着电子仪器设备微型化、模块化程度的提高，仪器设备维修较多的是第二级，即板级的维修。

(4) 电子装备及其维修的分级 我们把一个由较多电子设备或分机、分系统组成的系统称为电子装备。电子装备的传统维修分为：大修、中修和小修三级。

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。

中修只对装备进行全面检查、排除故障、调试性能，使主要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试按大修标准进行。中修一般在装备的某些技术状态恶化时进行，通常在现场由维修部门(如部队的修理所)组织实施。

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，其主要工作是：对装备进行故障定位、更换失效的零部件或元器件。小修适用于要求及时迅速的维修。

2. 故障诊断

故障诊断就是从故障现象出发，通过反复测试，做出分析判断，逐步找出故障的过程。其中包括：故障检测、故障定位和故障识别等步骤。具体详见本书第2章。



3. 检修

检修主要指在修理过程中开展的技术活动。其中的“检”包含两重含义：①使用仪器进行测试。②人工查看与调整等。其中的“修”更多的是指故障定位后的修复。

1.1.2 现代电子装备维修的特征

1. 维修概念全程化

维修概念全程化就是维修工作与电子装备的研制、生产相结合，维修问题从全系统、全寿命、全费用“三全”考虑，贯穿于寿命周期的全过程，面向整个寿命周期进行维修设计，包括产品和过程的设计。维修概念全程化体现在以下几方面：

- 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，在产品使用过程中加以改进、完善，使这些特性得以增长。
- 2) 开展包括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) 产品的维护、修理、改进、再利用与制造有机结合，重视改进性维修。
- 4) 用户强化资产的前期管理，包括选择型号与生产厂家、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。

2. 维修工作精确化

维修工作精确化即进行精确或准确的维修，实现维修高效、低耗和优质，提高资产的可用度或利用率。其主要体现在：

- 1) 准确的时间。就是及时维修，争取维修时不停机或少停机；维修时间适时，充分利用各种资源，如所谓的“机会维修”。
- 2) 准确的位置。所选维修场所、机构和地点适当、正确。
- 3) 准确的部位。维修部位、项目正确，维修深度适当。
- 4) 正确的方法和手段。

3. 维修手段高技术化和信息化

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。

在电子装备维修中应用了许多高技术，如：①以失效分析、状态监控和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电路单元自动测试技术。④机内自检和芯片内自测试技术。⑤维修性仿真技术、虚拟维修研究等。

本书第2章将对相关的故障诊断新技术进行介绍。

4. 软件密集系统维修理论与技术的发展、应用

随着计算机技术和单片机、数字信号处理芯片等在电子装备中的广泛应用，电子装备的维修对象从硬件电路向软硬件相结合的方向发展。尤其是一些“软件密集系统”，软件维修更是必不可少的。美国军方极为重视软件维修的研究与应用，并将其纳入开发、使用的全过



程。但在理论上、技术上还存在许多问题。研究的内容参阅参考文献[31]。

5. 快速应急维修理论与技术的发展、应用

在大型系统、通信网络、管道、运输工具和军事装备中,各种故障和损伤需进行快速应急维修。在信息时代,这种需求将显得更迫切,最典型的是对武器装备的战场抢修。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以及伴随应急维修技术产生的应急维修信息化技术等。发达国家自20世纪80年代以来进行了深入研究,并将其应用于高技术条件下的局部战争中。

1.2 电子仪器设备的运行环境

任何电子仪器设备无一不是在一定的环境中储存、运输和工作的。环境中的各种因素都会对设备产生一定的影响,加速或造成设备损坏。通常接触到三种环境:气候环境、机械环境与电磁环境,有的使用场合还存在着腐蚀性气体、粉尘或金属尘埃等特殊环境条件。在设备安装、改造与设计时要考虑环境影响,这对提高设备的稳定性、可靠性具有重要意义。

1.2.1 气候环境效应及其影响

气候环境与地理环境密切相关。气候环境主要包括:温度、湿度、气压、盐雾、风沙、太阳辐射等要素;地理环境主要包括:海拔、土壤条件、昆虫和微生物等要素。

气候环境可以粗分为热带、亚热带、温带和寒带。根据湿度情况,热带又可以细分为湿热区、干热区和交替区;亚热带可分为亚湿热区和亚干热区;温带可分为温和区和干燥区。表1-1列出了这些区域的典型温度、湿度参数和其他因素存在的情况。

1. 温度

温度是环境因素中影响最广泛的一个,它往往与其他环境因素结合在一起,成为主要的破坏因素。

高温环境的主要影响为:

- 1) 氧化等化学反应加速,造成绝缘结构、表面防护层等加速老化,加速被损坏。
- 2) 增强水汽的穿透能力和水汽的破坏能力。
- 3) 使有些物质软化、融化,使结构在机械应力下损坏。
- 4) 使润滑剂粘度减小和蒸发,丧失润滑能力。
- 5) 使物体产生膨胀变形,从而导致机械应力增大,运行零件磨损增大或结构损坏。

对于发热量大的仪器设备来说,高温环境会使机内温度上升到危险程度,使电子元器件损坏或加速老化,使用寿命大大缩短。

低温环境则会使空气的相对湿度增大,有时可能达到饱和而使机内元器件及印制电路板上产生“凝露”现象,使装置故障率大大增加。电子仪器设备运行时,总会将一部分电能转换成热能而使机内温度高于环境温度。“凝露”现象在电子仪器设备连续运行时几乎不发生,而经常发生在长期闲置或周期性停机后,特别是在低温高湿的条件下(例如冷天下雨的清晨)刚刚开机的一段时间里。低温环境也会使润滑剂粘度增大或凝固而丧失润滑性能,甚至把转动部分胶住,零下的低温可以使装置内的水分结冰,使某些材料变脆或严重收缩,造成结构损坏,发生开裂、折断和密封衬垫失效等现象。



表 1-1 各气候区主要环境参数及其他因素

环境条件	热带			亚热带		温带		寒带
	亚热带	干热区	交替区	亚湿润区	亚干热区	温和区	干燥区	
最高温度 极限/℃	47	58	58	47	58	46	48	35
最低温度 极限/℃	0	-5	-5	-15	-30	低于-40	低于-40	-50
最热月平均 最高温度/℃	36	45	45	36	40	32	35	25
最冷月平均 最低温度/℃	8	5	5	-5	-20	-26	-26	-35
日气温最大 变化/℃	10	40	40	20	40	20	25	20
最热月最高 相对湿度	气温35℃ 时95%	气温高于20℃时80%， 在沿海能持续12h	在湿季时与湿 热区相同，在 旱季时与干热 区相同	气温30℃ 时90%	气温高于20℃时80%， 在沿海能持续12h			
最热月平均 相对湿度	月平均气温高 于25℃时90%	月平均气温高于 35℃时15%		月平均气温高 于25℃时86%	月平均气温高 于35℃时15%	月平均气温高 于20℃时80%	月平均气温高 于25℃时15%	月平均气温高 于25℃时80%
最热月最低 相对湿度	气温高于35℃ 时50%	气温58℃ 时5%		气温35℃ 时50%	气温58℃时5%		气温高于 30℃时5%	
湿热月数	2~12	0	1~3	1~4	0	0	0	0
干热月数	0	2~12	1~3	0	1~4	0	1	0
雾	有	沿海	湿季	有	沿海	有	有	有
露	有	沿海	湿季	有	沿海	有	有	有
沙尘		有	旱季		有		有	
腐蚀 因素	沿海	沿海		沿海	沿海	沿海		
生物 因素	有		湿季	有				
	有		湿季	有				

气候因素



2. 湿度

湿度也是环境中起重大作用的一个因素，特别是它和温度因素结合在一起时，往往会产生更大的破坏作用。湿度的主要影响是由于绝缘度降低而引起误动作，以及产生腐蚀、生锈和润滑油劣化等。无论在运转状态还是运输保管状态都会引起这些问题。

湿热是促使霉菌迅速繁殖的良好条件，也会助长盐雾的腐蚀作用。因此将湿热、霉菌和盐雾的防护合称三防，是湿热气候区产品设计和技术改造需考虑的重要一环。

3. 气压

所谓气压的影响，主要是指气压对电子仪器设备的影响。气压降低，空气稀薄所造成的影响主要有：散热条件差、空气绝缘强度下降、灭弧困难。

气压主要随海拔的增加而按指数规律降低，对于在高海拔地区使用的电子仪器设备来说，散热条件恶化所带来的温升增加，可由高海拔环境温度的降低来补偿，且两者大致能相互抵消。空气绝缘强度与海拔的关系大体上是：海拔每升高 100m，绝缘强度约下降 1%。气压降低，灭弧困难，主要是影响电气接点的切断能力和使用寿命。

4. 盐雾

盐雾是一种氯溶胶，主要发生在海上和海边，在陆上则可因盐碱被风刮起或盐水蒸发而引起。盐雾的影响主要在离海岸约 400m，高度约 150m 的范围内。再远，其影响就迅速减弱。在室内，盐雾的沉降量仅为室外的一半。因此，在室内、密封舱内，盐雾影响就变小。

盐雾对电子仪器设备的作用主要表现为其沉降物溶于水（吸附在机上和机内的水分），在一定温度条件下对元器件、材料和线路的腐蚀或改变其电性能。结果使装置的可靠性下降，故障率上升。

5. 霉菌

霉菌是指生长在营养基质上而形成绒毛状、蜘蛛网状或絮状菌丝体的真菌。霉菌种类繁多。霉菌的繁殖是指它的孢子在适宜的温湿度、pH 值及其他条件下发芽和生长。最宜繁殖的温度为 20~30℃。霉菌的生长还需营养成分和空气。元器件上的灰尘、人手留下的汗迹、油脂等都能为它提供营养。

霉菌的生长直接破坏了作为它的培养基的材料，如纤维素、油脂、橡胶、皮革、脂肪酸脂、某些涂料和部分塑料等，使材料性能劣化，造成表面绝缘电阻下降，漏电增加。霉菌的代谢物也会对材料产生间接的腐蚀，包括对金属的腐蚀。

6. 沙尘

沙尘是一种典型的气胶体质。空气是它的传播媒介。尘粒有棱角，表面粗糙，能吸湿。它对电子仪器设备的危害主要表现为擦伤零件表面和涂料，加速腐蚀，损害运动零部件，同时能加速霉菌的生长。

1.2.2 机械环境的影响

机械环境主要是指产品在储存、运输和运行过程中所承受的机械振动、冲击和其他形式的机械力。在运输过程中仪器设备必然会受到机械振动的影响。当然，在运输和储存的情况下生产厂家会设计合理的包装来减轻振动对它的影响。在安装过程和搬动时，要防止摔打、滚动等情况发生，以免使紧固件松脱、机械构件或元器件损坏。在运行中则要靠产品本身和安装时采用的防振措施来抵消机械振动的影响。对于任何设备，最具破坏性的现象是整机或



其组成部件与外界的机械振动发生共振,严重的共振可使元器件、组件部件或机箱结构断裂或损坏。

一般情况下,电子设备都要求安装在专门的电气控制室或其他基本没有机械振动的地方。所谓基本没有振动,通常是指当振动频率在 $0.1 \sim 14\text{Hz}$ 范围内时,振动幅度不超过 0.25mm 。

有些仪器设备,要安装在有较强振动的主机上,例如柴油机、码头装卸机械或车辆、船舶等运输工具上,则应按照应用现场的振动条件,考虑采取必要的防振措施。

气候环境和机械环境产生的主要影响和典型故障如表 1-2 所示。

表 1-2 气候环境和机械环境产生的主要影响和典型故障

环境因素	主要影响	典型故障
高温	材料软化、老化 金属氧化 设备过热 粘度下降、蒸发	结构强度减弱,电性能变化,甚至损坏 接触电阻增大,金属表面电阻增大 元器件损坏,着火,低熔点焊锡缝开裂、焊点脱开 丧失润滑特性
低温	增大粘度和浓度 结冰现象 脆化 物理收缩 元器件性能改变	丧失润滑特性 电气力学性能变化 结构强度减弱,电缆损坏,蜡变硬,橡胶变脆 结构失效,增大活动件的磨损,衬垫密封垫弹性消失,引起泄漏 铝电解电容器损坏,石英晶体往往不振荡,蓄电池容量降低
高湿度	吸收湿气 电化反应 锈蚀、电解	物理性能下降,电强度降低,绝缘电阻降低,介电常数增大,机械强度下降 影响功能,电气性能下降,增大绝缘部位的导电性
干燥	干裂 脆化 粒化	机械强度下降 结构失效 电气性能变化
低气压	膨胀 漏气 空气绝缘强度下降 散热不良	容器破裂、爆裂、膨胀 电气性能变化,机械强度下降 绝缘击穿、跳弧,出现电弧、电晕放电现象并产生臭氧,电气设备工作不稳定甚至发生故障 设备温度升高
太阳辐射	老化和物理反应 脆化、软化粘合	表面特性下降、膨胀、龟裂、褶皱、破裂,橡胶和塑料变质,电气性能变化 绝缘失效,密封失效,材料失色,产生臭氧
沙尘	磨损 堵塞 静电荷增大 吸附水分	增大磨损,机械卡死,轴承损坏 过滤器阻塞,影响功能,电气性能变化 产生电噪声 降低材料的绝缘性能
盐雾	化学反应、锈蚀和腐蚀 电解	增大磨损,机械强度下降,电气性能变化,绝缘材料腐蚀 产生电化学腐蚀,结构强度减弱