

雷达综合技术保障工程

主 编 杨秉喜
副主编 后小明 陈怀春
申春林 胡 进



中国标准出版社

雷达综合技术保障工程

主 编 杨秉喜

副主编 后小明 陈怀春

申春林 胡 进

中国标准出版社

图书在版编目(CIP)数据

雷达综合技术保障工程/杨秉喜主编. —北京:中国
标准出版社, 2001. 12

ISBN 7-5066-2583-0

I. 雷… II. 杨… III. 雷达—工程技术
IV. TN95

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 073148 号

中国标准出版社出版

北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码: 100045

电话: 68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 52 字数 1 230 千字

2002 年 4 月第一版 2002 年 4 月第一次印刷

*

印数 1—2 000 定价 102.00 元

网址 www.bzCBS.com

*

科目 601—281

版权专有 侵权必究

举报电话: (010)68533533

ISBN 7-5066-2583-0



9 787506 625838 >

审委会、编委会名单

主 审 张 剑

副主审 张保洁 于克义

审 委 (以姓氏笔画为序)

于克义	朱和平	刘 欣	华海根
沈 齐	陈志杰	张 剑	张保洁
张家声	周万幸	夏士海	徐国良
曹炳伦			

策 划 雷治宇

主 编 杨秉喜

副主编 后小明 陈杯春 申春林 胡 进

编 委 (以姓氏笔画为序)

王 旭	王世华	王良英	尹聚文
申春林	刘益新	后小明	朱培兰
李 莉	李金国	李学良	陈杯春
吴鸣亚	杜舒明	沈 震	时国红
杨天梁	杨秉喜	罗长军	张义芳
张建江	单春清	胡 进	姜正康
雷治宇	顾海洲	熊 勇	蔺海波
戴其龙			

序言

雷达可靠性、维修性、保障性的大型工具书《雷达综合技术保障工程》，在空装军械部的组织、指导下，经过空军第二研究所、空军驻南京地区第二军代表室和信息产业部电子14所等单位30多位专家的共同努力，历时5年多终于脱稿。在我看到这部书稿时，装备可靠性、维修性、保障性(R.M.S)的研究工作已在研制和使用部队的共同努力下取得了丰硕成果，将其列为了装备的重要战术技术指标。

装备可靠性、维修性、保障性为什么如此引人重视？对此，美空军可靠性、维修性工作组曾就什么是装备可靠性、维修性向美国各界人士进行广泛咨询。工程专家的回答是“可靠性是一种装备设计特性”，统计专家则说“可靠性是衡量装备寿命不确定性的随机特性”，而美空军高级机关的指挥官的回答更干脆“可靠性是战斗力”。对装备可靠性和装备基本性能孰重孰轻问题，外军曾提出并回答一个类似我国“鱼与熊掌”的问题：“有两种装备，一种装备性能优良，但是可靠性很差，难以用起来，另一种装备性能尚好，可靠性优良，应当选择哪种呢？我们的选择是宁可要后者”。

在我国，中央军委和空军领导也很重视装备可靠性，强调对新雷达的根本要求就是尽快形成战斗力。对雷达战斗力的问题，我们不妨就下述问题进行提问：

从作战准备角度问：雷达故障多吗？命令开机开不起来的次数多吗？我们的待命开机雷达有多久没用了？紧急启用能行吗？

从维修人力角度问：雷达平均维修间隔时间有多长？需要

配几个人？对他们的技术水平有何要求？现行编制能适应吗？

从保障供应的角度问：需要的备件在用时能得到吗？补充供应渠道畅通吗？各种预算和实耗相符吗？

从任务成功角度问：雷达在开机过程中经常发生临战故障吗？发生故障后我们在规定时间内把它修复的把握大吗？故障能推迟到任务后的维修时间修复吗？

这些问题都与雷达的 R. M. S 密切相关。国外在总结海湾战争的经验教训时曾提出，现代高技术条件下的战争，实际上也是一场高可靠性战争，“是在可用、可信、可维修基础上武器装备性能的较量”。因此，大力普及和研究雷达 R. M. S 必将有力地推动雷达装备质量建设和技术保障现代化。

《雷达综合技术保障工程》系统、全面又紧密结合实际地介绍了雷达 R. M. S 的基本概念、理论和方法，结构科学合理，内容翔实新颖，阐述深入浅出，既可作为雷达装备论证、设计和维修人员的基本教材，也可作为装备管理、监造和使用人员的参考书。相信该书的出版必将为我军雷达装备的可靠性、维修性、保障性工程研究起到积极的促进作用，也必将推进我军雷达装备作战使用性能进一步提高。同时，该书的出版也为雷达行业编写大型工具书提供了有益的经验。当然，雷达综合技术保障毕竟是一门发展中的新科学，希望广大读者在学习和研究的过程中不断总结创新，并对该书提出宝贵意见。



2001年6月28日

前 言

为了进一步提高雷达装备管理、论证、设计和使用维修人员对雷达可靠性、维修性、保障性(R. M. S)重要性的认识和能力,更好地开展雷达全系统全寿命管理,在空装军械部的组织、指导下,由空军第二研究所,空军驻南京地区第二军代表室和信息产业部电子14所的雷达R. M. S工作者共同组成《雷达综合技术保障工程》编写组。全书分三部分:第一部分雷达可靠性、维修性、保障性导论,重点介绍雷达R. M. S基本概念,R. M. S指标体系和R. M. S试验、评价方法。期望通过普及这部分内容,提高雷达装备工作者的R. M. S意识,并在雷达论证和合同管理中清楚说明R. M. S要求和试验方法。第二部分R. M. S设计与分析,着重说明R. M. S设计方法,使工程技术人员不仅能理解雷达R. M. S要求,而且可以把R. M. S要求转换成工程设计语言,在设计制造中落实。第三部分侧重雷达综合诊断和基本维修技术,藉以提高部队广大维修人员的维修知识和维修技能,从而不仅能保持雷达性能,而且进一步通过改进维修提高雷达性能,充分发挥雷达使用效能。把这三部分内容集成到一本书里,汇成一部大型工具书,在雷达行业还没有先例,写起来有一定难度,经过近6年的共同努力,终于较圆满地实现了编写目的。虽然发表新研成果不是本书的主要目的,但是书中还是有不少创新内容。例如:第一部分中关于从综合产品研制角度探讨“三性(R. M. S)”关系和可用度模型,关于按战备完好性要求规划、研制和配置备件资源,关于雷达使用效能评估及雷达R. M. S论证、试验与评估方法研究等内容。第二部分中关于电路容差

设计分析,关于定期检修情况下的可靠性数学模型,关于寿命件的可靠性、维修性等内容。第三部分关于自动测试设备设计与分析,关于新型测试仪表在雷达性能测试中的应用及关于雷达整机调整、调试和调谐等内容都体现了各位编者在该领域的独特贡献。

本书第一部分由杨秉喜主编并执笔,先后参与编写工作的有申春林、杨天梁、高殿启、李金国、尹聚文、刘益新、张义芳、沈杨、沈震、时国红、李学良、李宗强、李莉等。第二部分由陈怀春主编,其中第1、2、3、5、8章由陈怀春执笔,第4章由戴其龙执笔,第6章由张建江执笔,第7、9章由顾海洲执笔,第10章由单春清执笔,参与该部分编写的还有王良英、常继根,朱炳元、朱海波等。第三部分由后小明主编,其中第1章由后小明执笔,第2章由杜舒明执笔,第3章由胡进执笔,第4、5、6章由朱培兰、朱宏、胡思康、王良英执笔,第7章由吴鸣亚执笔,参与该部分编写的还有徐如海、姜正康、刘伟胜、黄全宝等。雷治宇、刘欣、王旭、王世华、罗长军、蔺海波、熊勇等对全书的整体规划和具体指导保证了本书的高质量完成。

由于本书是集体编写,各人风格、思路不尽相同,虽经数次统稿,可能仍有不统一处。对书中的错误和不足之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2001年6月16日

目 录

第一部分 雷达可靠性、维修性、保障性导论

第 1 章 概论	1
1.1 质量和可靠性、维修性、保障性工程发展动向	1
1.2 并行工程中的质量和可靠性、维修性、保障性	5
1.3 质量功能展开	9
参考文献	14
第 2 章 可靠性、维修性、保障性基本概念和参数体系	15
2.1 可靠性、维修性、保障性基本概念.....	15
2.2 可靠性、维修性、保障性参数选择与指标规定.....	26
2.3 可靠性、维修性、保障性指标的特性.....	29
2.4 雷达可靠性、维修性参数选择和指标规定方法示例	31
2.5 可靠性、维修性最少有效技术工作项目	32
2.6 最低装备综合保障(ILS)成果要求	34
参考文献	35
第 3 章 可靠性、维修性数学基础	36
3.1 直方图、寿命分布图和可靠性函数数学表达式	36
3.2 可靠性、维修性中的常用统计分布及其特征量计算	39
3.3 维修性函数数学表达式.....	49
3.4 可靠性模型.....	53
参考文献	59
第 4 章 雷达装备可靠性、维修性定量要求选择与确定程序	60
4.1 引言.....	60
4.2 国内外可靠性与维修性参数体系研究概况.....	61
4.3 可靠性合同参数的导出和应用示例.....	62
4.4 常用维修性(含测试性)合同参数.....	70
4.5 可靠性与维修性使用参数.....	71
4.6 R·M 使用参数与合同参数的区别和联系	73
4.7 参数转换模型.....	74

4.8 可靠性与维修性合同指标的确定	75
参考文献	80
第5章 可靠性标准及其应用	81
5.1 概述	81
5.2 GJB 450—88 装备研制与生产的可靠性通用大纲	83
5.3 GJB/Z 23—91 可靠性和维修性工程报告编写一般要求	86
5.4 “三F”标准—GJB 841、GJB 1391 和 GJB/Z 768A	87
参考文献	103
附录 5A 表 5A1 和表 5A2	104
第6章 维修性标准及其应用	111
6.1 概述	111
6.2 GJB 368A—94 装备维修性通用大纲	114
6.3 GJB 2072—94 维修性试验与评定	121
6.4 GJB/Z 57—94 维修性分配与预计手册	126
6.5 GB/T 9414.1~9414.6—1988 设备维修性导则	131
6.6 GJB/Z 91—97 维修性设计技术手册	137
参考文献	141
第7章 可靠性试验与评定	142
7.1 引言	142
7.2 可靠性鉴定与验收试验	142
7.3 可靠性增长和可靠性增长试验	164
参考文献	176
附录 7A 有关规定值、最低可接受值、 θ_0 、 θ_1 的讨论	177
附录 7B MTBF 验证区间的置信限系数	200
附录 7C 可靠性试验统计评估方法(指数模型)简要说明	212
附录 7D GJB 899(MIL—HDBK—781A)序贯试验方案判决标准图、OC 曲线和 ETT 曲线	227
附录 7E 可靠性验证试验计划案例	230
第8章 维修性试验与评定	236
8.1 引言	236
8.2 维修性试验方法	237
8.3 测试性试验方法	253
参考文献	258
第9章 保障性分析和保障性分析记录	259
9.1 概述	259
9.2 保障性分析	262
9.3 保障性分析记录	275

参考文献	280
附录 9A MIL—STD—1388—2B 供应技术文件资料项目说明与 LSAR 关系表	282
第 10 章 按战备完好性要求规划、研制和配置保障资源	286
10.1 引言	286
10.2 确定保障资源要求	286
10.3 保障资源的规划和研制	291
参考文献	315
第 11 章 寿命周期费用	316
11.1 概述	316
11.2 寿命周期费用的基本概念	317
11.3 寿命周期费用估算方法	319
11.4 寿命周期费用应用实例	322
参考文献	329
第 12 章 雷达使用效能评估	330
12.1 效能概念研究	330
12.2 效能评估模型研究	331
12.3 A·D·C 模型在雷达效能评估中的应用	334
12.4 效能评估运作程序	346
12.5 雷达效能评估公式集	348
参考文献	351
第 13 章 可靠性、维修性、保障性数据的收集、分析和评估方法	352
13.1 目的	352
13.2 对数据收集工作的要求	352
13.3 数据分析和评估	353
13.4 R·M·S 评估用统计方案	369
13.5 建立 R·M 数据库时应考虑的因素	378
参考文献	383
附录 A 可靠性、维修性、保障性常用符号	384
附录 B 可靠性、维修性、保障性常用缩写词	385
附录 C 可靠性、维修性、保障性国家军用标准目录摘编	386
附录 D 常用数理统计表	390
D1 正态分布密度函数表	391
D2 正态分布函数表	392
D3 正态分布分位数表	393
D4 对数正态分布百分位数 $M(\phi)$ 表	394
D5 χ^2 分布分位数表	400
D6 t 分布分位数表	401

D7	F 分布分位数表	402
D8	泊松分布函数表暨备件数量需求表	405
D9	相关系数检验表	408
D10	柯尔莫哥洛夫-斯米尔诺夫(K-S)检验的临界值($D_{n,\alpha}$)表	409
D11	Γ 函数表	410
D12	比值的置信限表	411

第二部分 雷达可靠性、维修性、保障性设计与分析

第 1 章	概述	427
1.1	现代雷达特点	427
1.2	现代雷达的主要质量指标	427
1.3	设计工作的主要内容	428
1.4	可靠性工作与质量管理的关系与区别	428
第 2 章	可靠性设计与分析	429
2.1	常用的可靠性数学模型	429
2.2	系统可靠性方案论证与设计	434
2.3	简化设计	439
2.4	硬件冗余设计	440
2.5	容错设计	444
2.6	降额设计	447
2.7	裕度设计	453
2.8	可靠性预计和分配	454
2.9	电气互连设计	461
2.10	耐振防冲设计	467
2.11	故障模式、影响及危害度分析	469
2.12	故障树分析	474
	参考文献	479
第 3 章	元器件和零部件的控制	480
3.1	元器件和零部件控制大纲	480
3.2	元器件选择准则	481
3.3	零部件选择准则	481
3.4	电真空器件选择准则	482
3.5	元器件控制	482
3.6	元器件筛选	484
3.7	元器件管理	489
	参考文献	490

第 4 章 环境应力筛选	491
4.1 概述	491
4.2 筛选用典型环境应力	493
4.3 筛选组装等级选择	496
4.4 筛选应力选择和安排	498
4.5 通、断电和性能检测	502
4.6 筛选组装等级的确定	501
4.7 结果与处理	509
参考文献	510
第 5 章 维修性设计	511
5.1 维修性设计要求	511
5.2 维修性设计准则	512
5.3 维修性分配	517
5.4 维修性预计	525
5.5 故障诊断	529
5.6 寿命件的维修性	531
参考文献	544
第 6 章 测试性设计与分析	545
6.1 概述	545
6.2 测试性与机内测试要求	546
6.3 测试性指标分配	548
6.4 测试性分析	549
6.5 测试性预计	551
6.6 测试性方案的确定	552
6.7 测试点设置	553
6.8 测试容差的确定	553
6.9 测试流程	554
6.10 测试性验证	554
参考文献	557
附录 6A 固有测试性评估	558
第 7 章 容差设计与分析	562
7.1 基础知识	562
7.2 网络图论的基本概念和方法	563
7.3 线性网络分析技术	564
7.4 线性电路分析技术	566
7.5 容差分析程序	569
7.6 增量网络法	570

7.7 伴随网络法	573
7.8 蒙特卡罗法	577
7.9 最坏情况设计	580
7.10 优化设计	582
参考文献	586
第8章 热设计	587
8.1 热设计要求及应考虑的问题	587
8.2 热设计的主要内容	588
8.3 热设计方法	588
8.4 热设计步骤	589
8.5 冷却方法的选择	590
8.6 自然冷却设计	591
8.7 强迫风冷设计	598
8.8 液冷设计	604
8.9 冷板设计	607
参考文献	609
第9章 软件可靠性	610
9.1 概述	610
9.2 软件与硬件的差异	610
9.3 软件可靠性	611
9.4 软件可靠性设计	614
9.5 软件验收	617
9.6 软件维护	618
参考文献	619
第10章 安全性	620
10.1 防机械损伤	620
10.2 电气安全	620
10.3 防爆防火防污	620
10.4 防雷击	621
10.5 防腐蚀设计	621
10.6 防静电	623
10.7 识别与标识	624
参考文献	625

第三部分 雷达综合诊断和基本维修技术

第 1 章 综合诊断概述	629
1.1 综合诊断的提出	629
1.2 综合诊断有关术语定义	629
1.3 综合诊断的基本思路 and 方案	631
1.4 综合诊断过程的实施	632
参考文献.....	632
第 2 章 自动测试设备	633
2.1 概述	633
2.2 ATE 的基本原理	635
2.3 测试总线及应用	637
2.4 测试语言	642
2.5 适配器	644
2.6 电路的故障诊断	645
2.7 实际自动测试设备简介	648
2.8 静电危害及防护	651
参考文献.....	653
第 3 章 主要测试设备(仪表)及雷达主要参数测试、校准方法	655
3.1 雷达常用测试仪表简介	655
3.2 对空情报雷达主要参数测试方法	672
参考文献.....	689
第 4 章 主要焊接技术及其操作	690
4.1 概述	690
4.2 手工电弧焊	691
4.3 手工钨极氩弧焊	705
4.4 气焊	714
4.5 常用金属材料的焊接	722
4.6 钎焊	725
4.7 电子产品的装联焊接技术	731
4.8 安全生产	746
参考文献.....	751
附录 4A 结构钢焊条的牌号、型号对照及用途表	752
第 5 章 有机涂层材料与工艺技术	755
5.1 前言	755

5.2 涂料组成、分类及其性能·····	756
5.3 涂装工艺(喷涂)·····	768
5.4 野外电子设备涂装工艺·····	772
5.5 涂装工艺质量控制·····	775
参考文献·····	777
第6章 主要润滑剂及其应用·····	778
6.1 润滑油·····	778
6.2 润滑脂·····	780
参考文献·····	782
第7章 雷达重要件的维护、保养以及系统的调整·····	783
7.1 天线座总成的维护与保养·····	783
7.2 驱动电动机(交直流电动机)的维护与保养·····	785
7.3 馈线系统的检查、维护与保养·····	788
7.4 空调器的维护与保养·····	791
7.5 印制板的维护与保养·····	792
7.6 发射机的常见故障、维护与调整·····	793
7.7 全机定时调整·····	801
7.8 发射激励信号的调整·····	802
7.9 雷达接收机的主要技术指标和测试要求·····	803
7.10 雷达接收机主要指标的测试与调整·····	806
7.11 信号处理技术状态的调整·····	808
7.12 系统 SCV(杂波中可见度)的测试·····	814
7.13 正北标定·····	816
参考文献·····	816

第一部分

雷达可靠性、维修性、 保障性导论