

刘松 等 编著

武器系统可靠性 工程手册

国防工业出版社

武器系统可靠性工程手册

刘 松 等 编著

国防工业出版社

(京)新登字106号

内 容 简 介

本手册从实际应用出发,较系统地阐述了武器系统的可靠性管理、设计、试验、评定、增长的工作内容、要求、方法和适用范围,对武器系统的环境分析和设计、软件可靠性、数据处理方法作了较详尽的介绍。在内容上注意实用性和通俗性,尽量减少繁琐的理论推导,做到拿来就能用,尤其推荐符合我国实际情况的经专家鉴定的工程方法。本手册适用于武器系统设计、试验、使用部门的工程技术人员和可靠性专业人员,也可供高等院校师生参考。

武器系统可靠性工程手册

刘 松 等 编著

责任编辑 彭华良

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)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 1/16 印张31 719千字

1992年3月第一版 1992年3月 第一次印刷 印数: 001—900册

ISBN 7-118-00877-X/TJ·64 定价: 25.80元

编辑委员会

主 编 刘 松

(以下按姓氏笔划为序)

副主编 王明生 胡光祖 高明坤 韩廷文

编 委 马绍力 王永杰 王贵仁 付吉民 陈中根

李桂森 金彦斌 徐维新 龚 平

顾问 王锡吉 何国伟 茹诗松 黄锡滋

前 言

军事装备的可靠性已成为人们日益关注的重要课题，一个接触元器件的失效，可使待发射的导弹变成死弹，而贻误战机；一个密封垫圈的失效，可使航天飞机“挑战者”号升空不久爆炸，造成机毁人亡。这些都说明军事装备不仅要有先进的战术技术性能，更应有较高的可靠性。装备要顶用，首先要可靠。

我国的现代武器装备经过 40 多年的建设，已经走完引进、仿制、提高到自行设计的全过程。在实际工作中，我们体会到可靠性工作应当贯彻到武器装备的论证、设计、研制、试验、定型、使用、维护的全过程中，才能保证武器系统达到研制任务书规定的可靠性指标，满足作战使用要求。

我们的可靠性工作是从导弹武器系统入手的，是从 1980 年开始，着手进行可靠性工程应用研究的。

一、1980 年组织力量，军内外合作在已装备多年的几型海防导弹上进行可靠性分析，以求延长其使用寿命，节省资金。在三年时间内，搜集数十万个检测数据，对故障进行了分类判断，在物理上进行剖析，应用可靠性评估方法，对库存海防导弹的寿命、贮存期、环境因子作出了结论，经专家鉴定，已经作为部队实际使用的依据。

二、对某型固体导弹进行了贮存试验，前后用七年多时间，获得了上百万个原始数据。并进行了可靠性分析，为装备的维修、使用和管理提供了科学的依据；与此同时还对该型导弹进行了可靠性评定，评定的结果已供武器系统定型使用。

三、为确保新型导弹可靠性指标的落实和对质量的控制，不仅要加强对生产过程及成品的终端检验、验收，而且要“前伸后延”，从论证、设计开始就参与控制，装备到部队后跟踪服务，收集维修使用信息并反馈到设计、制造中，这样逐步形成它的全寿命、全过程的闭环式管理。

四、注意运用新技术、新工艺提高装备的固有可靠性，从 70 年代末开始，我们一直推广应用彭道儒教授发明的固体薄膜保护剂 BY-2、DGB-823，使仪器设备组件的关键部位可靠性成倍提高。

五、重视应用环境，坚持“三防”（防温湿、防盐雾、防霉菌）标准，强调适应装载对象的总体环境要求。

六、积极推进军内外学术交流。我们的可靠性工作，一直得到军内外专家的关注与指导，我们参加了全国电子系统、航空航天系统、舰船系统的可靠性专业委员会、数据交换网，在年会及平常学术交流中获益匪浅。

我们编写的武器系统可靠性工程手册，在一定意义上讲，是导弹武器系统开展可靠性工作的总结、提高，是为使武器系统在研制、使用过程中的行政指挥系统、总师系统、作战指挥系统、技术管理系统都建立起严格的可靠性保证体系、工作职责与程序提供基本理论依据、工作要求、工作内容和一般方法，规范武器系统的可靠性工程活动。

本手册从研制、使用的实际情况出发,凡属对科研部门、生产部门、使用部门的可靠性工作要求,均根据我国现实的科学技术和工业生产水平以及部队的管理能力,实事求是地提出,明确各自的责任。

为适应设计、生产、行政人员的阅读与应用,尤其是部队广大指战员的实际应用,我们注意了手册的广度与深度,力求突出重点,通俗易懂,遵循科学性、实用性、先进性的原则,文稿尽量做到工程化、标准化、系统化。

本手册纳入了编写委员会和部队的最新可靠性工程分析方法、导弹的小子样批检验等内容;同时纳入了国内新兴的软件可靠性基本理论和方法,指出其在武器系统中的应用范围和发展方向。这些是本手册的特点。

众所周知,产品的可靠性是设计出来的、生产制造出来的。当前,新型武器系统的研制、生产已把可靠性指标作为重要的质量指标纳入技术条件,进行考核,我们期望本手册能为强化武器系统可靠性指标考核和监督工作起到应有的作用。

参加本手册编著的有:韩廷文、高明坤(第一章);胡光祖(第二章);高明坤、王永杰、陈中根(第三章);龚平(第四章);付吉民(第五章);陈中根、王贵仁(第六章);王明生(第七章);高明坤(第八章);王明生(第九章);韩廷文、胡光祖(第十章);马绍力(第十一章);金彦斌(第十二章)。最后由胡光祖、金彦斌、王明生、韩廷文、高明坤审查、修改、定稿。

在本手册编著中,得到顾问何国伟、茆诗松、王锡吉、黄锡滋以及周源泉、侯希久等,专家的大力支持与指导,在此谨向他们表示衷心感谢。

《武器系统可靠性工程手册》经专家鉴定后正式出版了,希望在今后的应用实践中发现不足,去完善提高,并期望能以本手册为起点,逐步形成武器系统可靠性的各种标准。

刘 松

1990年于北京

目 录

第一章 名词术语汇集和缩写 1

1.1 名词术语汇集 1

1.1.1 基本概念 1

1.1.2 失效概念 1

1.1.3 维修 1

1.1.4 时间概念 1

1.1.5 可靠性特征量 2

1.1.6 维修性特征量 2

1.1.7 可用性特征量 2

1.1.8 试验 2

1.1.9 设计 2

1.1.10 失效物理 3

1.1.11 可靠性计划 3

1.1.12 数据 3

1.2 缩写汇集 3

1.3 通用符号 4

参考文献 5

第二章 可靠性管理 6

2.1 引言 6

2.2 武器系统的可靠性定量

要求 6

2.2.1 武器系统的作战使命 7

2.2.2 武器系统的任务剖面 7

2.2.3 环境条件 8

2.2.4 武器系统的可靠性指标 8

2.2.5 维修性指标 12

2.3 可靠性工作计划 13

2.3.1 可靠性工作项目 13

2.3.2 可靠性计划费用 14

2.3.3 计划审批和实施过程监控 15

2.3.4 可靠性工作准则 15

2.4 可靠性工作的组织机构 16

2.4.1 组织机构的形式 16

2.4.2 可靠性组织机构的职能 16

2.5 可靠性设计评审 17

2.5.1 引言 17

2.5.2 可靠性设计评审实施方法 18

2.6 故障报告、分析及纠正措施

系统 21

2.6.1 故障分类 21

2.6.2 故障报告 22

2.6.3 故障分析 22

2.6.4 故障纠正 22

2.7 生产阶段的可靠性管理 23

2.7.1 生产阶段的可靠性分析 23

2.7.2 生产阶段可靠性和维修性管理

工作项目 25

2.8 使用阶段的可靠性和维修性

管理 26

2.8.1 使用中可靠性下降的分析 26

2.8.2 使用中的可靠性管理工作 27

2.9 可靠性和维修性经费 28

2.9.1 可用度在 LCC 权衡中的

意义 28

2.9.2 武器系统的费用结构 29

2.9.3 可靠性和维修性经费 32

2.9.4 可用度和 LCC 权衡 34

2.10 可靠性文件 35

2.10.1 可靠性文件的种类 35

2.10.2 可靠性文件的管理 36

参考文献 37

第三章 环境 38

3.1 环境条件 38

3.1.1 寿命期环境剖面 38

3.1.2 陆上环境 39

3.1.3 海上环境 42

3.1.4 空中环境 45

3.2 武器系统各类环境分析 48

3.2.1 贮存和运输 48

3.2.2 导弹发射 48

3.2.3 导弹飞行 50

3.2.4 导弹制导 50

3.3 环境保护设计	51	5.2.2 等分配法	103
3.3.1 防热设计	51	5.2.3 AGREE 分配法	103
3.3.2 防冲击、振动设计	55	5.2.4 按比例分配法	104
3.3.3 化学防护设计	57	5.2.5 加权分配法	106
3.3.4 电磁兼容设计	58	5.2.6 最优化分配法	109
3.3.5 抗核辐射设计	72	5.3 可靠性预计	114
3.4 环境因子	76	5.3.1 引言	114
3.4.1 环境因子定义	76	5.3.2 可靠性预计的数学模型	115
3.4.2 求环境因子的方法	77	5.3.3 可靠性预计的方法	115
参考文献	79	5.4 可靠性分配和预计的程序	122
第四章 可靠性模型的建立	80	5.4.1 规定产品的有关定义	122
4.1 引言	80	5.4.2 规定工作条件和维修条件	122
4.2 基本可靠性模型的建立	80	5.4.3 绘制可靠性方框图	122
4.3 任务可靠性模型的建立	81	5.4.4 建立数学模型	123
4.3.1 框率计算基本规则	81	5.4.5 编制器件目录	123
4.3.2 串联系统概率法建模	81	5.4.6 进行可靠性分配	123
4.3.3 并联系统概率法建模	83	5.4.7 进行可靠性预计	124
4.3.4 不计维修的串并联复合系统 方框图	84	5.4.8 进行可靠性的再分配	124
4.3.5 储备冗余系统概率法建模	84	5.5 可靠性分配和预计的注意 事项	125
4.3.6 表决系统概率法建模	85	5.5.1 可靠性分配注意事项	125
4.3.7 可修串联系统方框图及状态 转移矩阵	86	5.5.2 可靠性预计注意事项	125
4.3.8 可修并联系统方框图及状态 转移矩阵	86	参考文献	126
4.3.9 混合的串-并联系统概率法 建模	87	第六章 可靠性工程设计	127
4.3.10 串并联复合可修系统	88	6.1 可靠性工程设计的基本内容 和程序	127
4.4 布尔真值表法建模	89	6.1.1 引言	127
4.5 逻辑图法建模	91	6.1.2 可靠性工程设计的基本内容	127
4.6 最小路(割)集法建模	93	6.1.3 可靠性设计程序流程	127
4.7 蒙特卡罗模拟法建模	94	6.2 系统可靠性设计	130
4.8 可用度模型的建立	96	6.2.1 引言	130
4.8.1 单个可修系统可用度模型	96	6.2.2 系统可靠性与维修性指标的 论证	130
4.8.2 可修串联系统可用度模型	98	6.2.3 性能与可靠性指标间的相互 关系	130
4.8.3 可修并联系统可用度模型	99	6.2.4 系统的简化设计	131
参考文献	101	6.2.5 系统的冗余设计	131
第五章 可靠性分配和预计	102	6.3 电路和结构可靠性设计	136
5.1 概述	102	6.3.1 引言	136
5.2 可靠性分配	102	6.3.2 元器件的选择和控制	137
5.2.1 引言	102	6.3.3 降额设计	144
		6.3.4 可靠的电路设计	149

6.3.5 人-机匹配设计	153	7.5.7 现场试验的条件与要求	269
6.3.6 安全性设计	158	7.5.8 合格与否的判决和处理	270
6.3.7 维修性设计	165	7.6 延寿试验	270
6.4 可靠性分析	172	7.6.1 引言	270
6.4.1 引言	172	7.6.2 确定和延长产品寿命的途径和 方法	271
6.4.2 故障模式及影响分析 (FMEA)	174	7.6.3 延寿试验实例	275
6.4.3 失效树分析 (FTA)	178	7.6.4 延寿措施	278
6.4.4 潜在通路分析 (SCA)	185	参考文献	279
参考文献	188	第八章 武器系统的可靠性评定	280
第七章 可靠性试验	189	8.1 分布拟合检验	280
7.1 概述	189	8.1.1 常用的分布类型	280
7.1.1 可靠性试验的目的	189	8.1.2 分布拟合检验的基本思想和 步骤	283
7.1.2 可靠性试验方法的分类	189	8.1.3 χ^2 检验	283
7.1.3 可靠性试验计划	190	8.1.4 K-S 检验 (D 检验)	285
7.2 加速寿命试验	192	8.1.5 W 检验	287
7.2.1 引言	192	8.2 最小割集	288
7.2.2 加速寿命试验运用的条件	193	8.2.1 割集与最小割集的概念	288
7.2.3 加速寿命试验的理论基础—— 失效物理模型	193	8.2.2 求最小割集的方法	289
7.2.4 加速系数	195	8.3 可靠性评定	294
7.2.5 恒定应力加速寿命试验	196	8.3.1 成败型物理意义和适用范围	294
7.2.6 进行加速寿命试验时应考虑的 几个问题	205	8.3.2 成败型定义及分布模型	294
7.2.7 步进应力加速寿命试验	208	8.3.3 成败型点估计	295
7.3 可靠性筛选	211	8.3.4 成败型经典法区间估计	295
7.3.1 引言	211	8.3.5 成败型贝叶斯 (Bayes) 法区间 估计	298
7.3.2 常用筛选方法介绍	214	8.3.6 成败型 $L-M$ 法	301
7.3.3 其它几种筛选方法介绍	221	8.3.7 成败型序贯压缩法 (SR法)	302
7.3.4 PDA 控制	223	8.3.8 成败型 CMSR 法	302
7.3.5 高效环境应力筛选方法	224	8.3.9 成败型蒙特-卡罗 (Monte-Carlo) 模拟法	303
7.4 环境试验	231	8.3.10 指数型物理意义	305
7.4.1 环境试验的顺序	231	8.3.11 指数型分布	305
7.4.2 环境试验的条件	232	8.3.12 指数型点估计	306
7.4.3 对试验设备的要求	244	8.3.13 指数型经典法区间估计	307
7.5 可靠性验证试验	246	8.3.14 指数型贝叶斯法区间估计	309
7.5.1 引言	246	8.3.15 正态型物理意义	311
7.5.2 几种可靠性验证试验方案	247	8.3.16 正态型分布	311
7.5.3 可靠性验证试验方案的选择	263	8.3.17 正态型分布性能可靠性计算	312
7.5.4 试验前应具备的条件	263	8.3.18 正态型串联成并联综合评估	
7.5.5 试验应力设计	265		
7.5.6 举例	268		

公式	313	11.1.2 软件生存期	377
8.3.19 结构可靠性	313	11.1.3 软件错误及其产生的原因	378
8.3.20 火工品可靠性评估	320	11.1.4 软件故障	379
8.3.21 对数正态型	322	11.1.5 软件错误分类	379
8.3.22 综合型	323	11.1.6 软件可靠性定义	381
8.3.23 系统可用性评估	326	11.1.7 软件可靠性与硬件可靠性的 异同	381
8.4 备份数的确定和使用原则	333	11.1.8 武器系统中的软件与软件可 靠性	382
8.4.1 方法一	333	11.2 提高软件可靠性的方法	382
8.4.2 方法二	333	11.2.1 可靠软件的设计原理	382
8.4.3 方法三	334	11.2.2 软件设计和实现	384
参考文献	335	11.2.3 软件测试	385
第九章 可靠性增长管理与试验	336	11.2.4 软件可靠性方法和技术汇总	387
9.1 概述	336	11.3 软件可靠性模型	388
9.2 可靠性增长管理	338	11.3.1 面向时间的可靠性模型	388
9.2.1 可靠性增长管理模型	338	11.3.2 面向错误数与数据的可靠性 模型	393
9.2.2 可靠性增长曲线	339	11.3.3 模型的应用及评定过程	403
9.2.3 可靠性增长的跟踪	344	11.4 软件可靠性数据的收集和 分析	406
9.2.4 趋势分析	346	11.5 软件可靠性管理	408
9.2.5 数据处理	347	11.5.1 软件可靠性在系统中的 考虑	408
9.3 可靠性增长试验	353	11.5.2 管理工作中的主要内容	409
9.3.1 增长模型的选定	353	11.5.3 可靠软件的研制过程	413
9.3.2 可靠性增长试验前应该完成的 工作	354	11.6 软件可靠性研究的现状和 趋势	413
9.3.3 试验参数的选择和设计	355	参考文献	415
9.3.4 增长试验时间的估算	356	第十二章 数据系统	416
9.3.5 试验基本类型与改进方式	356	12.1 引言	416
9.3.6 可靠性增长试验的分析方法	357	12.2 数据收集和数据库的建立	416
9.4 AMSAA 模型	360	12.2.1 数据收集	416
参考文献	362	12.2.2 数据库的建立	422
第十章 贮存试验	363	12.3 数据处理	423
10.1 引言	363	12.3.1 数据的检查、修约及剔除	424
10.1.1 试验范围	363	12.3.2 数据整理	426
10.1.2 试验样品选取	363	12.4 数据管理	443
10.1.3 贮存试验环境管理和检测 要求	364	12.4.1 数据管理的目的和作用	443
10.2 贮存试验设计	364	12.4.2 数据管理的任务	443
10.2.1 贮存试验设计的依据	364	12.4.3 数据管理的方法和手段	444
10.2.2 贮存试验设计步骤	365	参考文献	446
10.3 贮存试验结果评定	368	附录	447
10.3.1 贮存可用度 $A(t)$	368		
10.3.2 计算实例	372		
参考文献	376		
第十一章 软件可靠性	377		
11.1 软件可靠性概念	377		
11.1.1 软件	377		

第一章 名词术语汇集和缩写

1.1 名词术语汇集

1.1.1 基本概念

可靠性 产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力。

维修性 产品在规定条件下和规定时间内按规定的程序和方法维修时, 保持或恢复到规定状态的能力。

可用性 产品在任一随机时刻需要和开始执行任务时, 处于可工作或可使用状态的程度。可以维修的产品在某时间具有或维持规定功能的能力。

1.1.2 失效概念

失效 产品丧失规定的功能。

失效模式 失效的表现形式。

失效机理 引起故障的物理、化学和生物等变化的内在原因。

误用失效 不按规定条件使用产品而引起的失效。

本质失效 产品在规定的条件下使用, 由于产品本身固有的弱点而引起的失效。

早期失效 产品由于设计制造上的缺陷等原因而发生的失效。

偶然失效 产品由于偶然因素发生的失效。

耗损失效 产品由于老化、磨损、损耗、疲劳等原因引起的失效。

致命失效 可能导致人或物重大损失的失效。

严重失效 可能导致产品功能能力降低、不能按规定功能完成任务的失效。

关联失效 在解释试验结果或计算可靠性特征量的数值时必需计入的失效。

独立失效 不是由于另一个产品失效引起的失效。

1.1.3 维修

维修 为使产品保持或恢复到规定状态所进行的全部活动。

维护 为使产品保持规定状态所需采取的措施。如润滑、加燃料、加油和清洁等。

1.1.4 时间概念

能工作时间 产品处于能完成功能状态的时间。它是在编时间的一个组成部分。

待命时间 产品处于规定的工作状态并待命执行任务的时间。它是能工作时间的一个组成部分。

失效诊断时间 从发现失效到找到失效单元所需的时间。

修复时间 从发现失效到产品恢复规定功能所需时间, 即采取修理措施时间之和。

维修时间 停机维修所用的时间, 不包括改进的时间和延误时间。它是不能工作时

间的一个组成部分。

寿命 对不可修复的产品指发生失效前的工作时间；

对可修复的产品指相邻两故障的工作时间，也称无故障工作时间。

贮存寿命 在规定贮存条件下，产品从开始贮存到失效的时间。

使用寿命 对可修复产品，在规定使用条件下产品具有可接受的失效率的时间区间。

1.1.5 可靠性特征量

可靠度 可靠性的概率度量。

失效率 工作到某时刻尚未失效的产品在该时刻后单位时间内发生失效的概率。

平均寿命 (平均无故障工作时间) **寿命** (平均无故障工作时间) 的平均值。

可靠寿命 给定的可靠度所对应的时间。

1.1.6 维修性特征量

维修度 维修性的概率度量。

1.1.7 可用性特征量

可用度 可用性的概率度量。

瞬时可用度 产品在某时刻具有或维持其规定功能的概率。

平均可用度 在某个规定时间区间内可用度的平均值。

固有可用度 产品在规定的条件下，在任意时刻能正常工作的概率。

1.1.8 试验

寿命试验 为评价分析产品的寿命特性而进行的试验。

可靠性验证试验 为确定产品的可靠性特征量是否达到所要求的水平而进行的试验。

筛选试验 为选择具有一定特性的产品或剔除早期失效而进行的试验。

恒定应力试验 应力保持不变的试验。

步进应力试验 随时间分阶段逐步增大应力的试验。

序进应力试验 随时间等速增大应力的试验。

加速试验 为缩短试验时间，在不改变失效机理的条件下用加大应力的方法进行的试验。

1.1.9 设计

冗余 用多于一种途径来完成一个规定功能。

串联系统 组成系统的所有单元中任一单元的失效就会导致整个系统失效的系统。

并联系统 组成系统的所有单元都失效时系统才失效的系统。

表决系统 组成系统的所有单元中，不失效的单元数不少于 K (K 介于 1 和 N 之间的某个数) 系统就不会失效的系统，又称 K/N 系统。 N 为单元总数。

旁联系统 组成系统的 N 个单元中只有一个单元工作，当工作单元失效时通过失效

监测装置及转换装置接到另一个单元进行工作的系统。

工作贮备 与产品的基本成分处于同样工作状态的贮备。

可达性 维修产品时,接近维修部位的难易程度。

故障模式、影响及危害度分析 利用功能框图和完成任务的要求来发现设计中的潜在的薄弱环节,即可能出现的故障模式,每种故障模式可能产生的影响(对寿命剖面 and 任务剖面的各个阶段可能是不同的);对安全性、战备完好性、任务成功性以及维修或后勤保障要求等所造成的影响或危害程度,确定采取纠正措施的优先顺序。

故障树分析 通过对可能造成产品故障的硬件、软件、环境、人为因素进行分析,画出故障树,从而确定产品故障原因的各种可能组合方式和(或)其发生概率的一种分析技术。

1.1.10 失效物理

失效物理 研究失效机理的科学,也称可靠性物理。

应力 对产品功能有影响的各种外界因素。

应力-强度模型 假定失效是由产品内部的某种物理化学反应量积累超过某一值而引起的一种失效物理模型。

1.1.11 可靠性计划

可靠性计划 产品的研制、生产、使用计划的一个重要组成部分,它包括为使产品达到预期的可靠性指标,在研制、生产、使用各阶段的任务内容、进度要求、保障条件及为实施计划的组织、技术措施等。

可靠性增长 随着产品设计、研制、生产各阶段工作的逐渐进行,产品的可靠性特征量逐步提高的过程。

设计评审 为保证设计符合可靠性要求,以订购方和非设计单位的同行专家为主,并有设计、生产、使用各部门代表组成的评审机构对产品的设计方案从可靠性的角度按事先确定的设计和评审表进行的审查。

1.1.12 数据

试验数据 在试验中得到的观测数据。

现场数据 在现场使用中得到的观测数据。

1.2 缩写汇集

MTBF	平均故障间隔时间
MTBM	平均维修间隔时间
MTBR	平均拆卸时间间隔
MTTF	平均无故障运行时间
MTTR	平均修复时间
FMECA	故障模式、影响及危害度分析

FMEA	故障模式、影响分析
CA	危害度分析
FTA	故障树分析
ITP	综合试验方案
MIL HDBK	军用手册
MIL STD	军用标准
MUT	平均工作时间
MDT	平均停机时间
MCT	平均循环周期
MTF	中值寿命
MTBD	软件系统平均不工作间隔时间
MTBHE	平均操作错误间隔时间
THERP	人为差错率预测技术
PDR	初步设计评审
CDR	关键设计评审
PRDR	试生产可靠性设计评审

1.3 通用符号

A	可用度
d_M	鉴别比
d_k	序贯成功率试验方案的鉴别比 $d_k = \frac{1 - R_1}{1 - R_0}$
F	成败型试验中的失败数
m	威布尔、对数威布尔分布的形状参数
n	参加试验样品总数
n_0	序贯试验方案直线的正截距
n_1	序贯试验方案直线的负截距
P	不可靠度
Q	指数分布寿命期望值
$R(t)$	可靠性函数
R	可靠度
R_0	序贯成功率试验能接收值
R_1	序贯成功率试验不能接收值
S	成败型试验中的成功数、序贯试验直线的斜率、试验应力
T	试验的总时间、热力学温度 (K)、温度应力
t_0	任务时间
t_R	可靠度为 R 的可靠寿命
t_k	平均寿命

$\bar{t}_x$	平均寿命的估计值
U	电压、电压应力
α	承制方风险率、显著性水平
β	订购方风险率
γ	置信度
η	等效任务数 ($\eta = T/T_0$)、效率、威布尔分布的特征寿命
θ_0	MTBF 的假设上限假
θ_1	MTBF 的假设下限值
θ_P	MTBF 的预计值
θ_U	MTBF 验证值的置信上限
θ_L	MTBF 验证值的置信下限
$\bar{\theta}$	MTBF 验证值的置信区间
$\hat{\theta}$	MTBF 验证值的点估计
$\lambda(t)$	失效率函数
λ	指数分布产品失效率、产品失效率
λ_0	产品在应力水平 S_0 下失效率的估计值
μ	威布尔、对数威布尔分布的位置参数
$B(.,.)$	贝塔函数
$\Gamma(.,.)$	伽玛函数
χ^2	χ^2 分布

参 考 文 献

- [1] GJB451-90 可靠性维修性术语。
- [2] 全国军事技术装备可靠性标准化技术委员会。装备研制与生产的可靠性通用大纲实施指南。1989.3
- [3] MIL-STD-109B 质量保证术语和定义。1969.4
- [4] MIL-STD-785B 设备和系统研制与生产阶段的可靠性大纲。1980.9.15

第二章 可靠性管理

要想研究出高性能、高可靠性的武器系统，除了国家的科学技术和工业基础等综合性因素之外，充分利用管理科学，有目标、有计划、有控制地实施科学管理是关键的、并且已被国内外大量实践证实是最有效的因素。本章论述武器系统全寿命周期的可靠性管理问题。

2.1 引言

可靠性是产品在使用中显示出的一种特性，对于武器系统来说，它既是一种技术特性，又是一种战术性能，它直接影响武器系统的作战能力及对后勤支援的要求，乃至对部队编制员额及技术能力的要求，所以可靠性是武器系统的重要战术技术指标。

产品的可靠性是通过一系列工程活动，设计和制造到产品中去并在使用中显示出来的。所以可靠性管理必须实施全过程或全寿命管理，其重点是研制阶段的设计、试验及生产阶段的生产活动。

可靠性管理的目的就是保证产品达到研制任务书规定的可靠性指标要求，并且保证产品在使用中不降低或不过多降低其固有可靠性。

可靠性管理是产品整个工程管理的一部分，是产品保证系统的一个分系统，它的基本手段也是计划、组织、监督和控制。对于一个武器系统来说，在方案阶段结束以前制订武器系统研制和生产阶段的可靠性大纲是进行可靠性管理、实现可靠性目标的必要途径和有效方法，国家军用标准 GJB-450《装备研制与生产的可靠性通用大纲》（简称通用大纲）以法制手段强行规定了武器装备在研制和生产阶段所必须进行的可靠性工作，并且规定在研制和生产合同中必须写入可靠性方面的条款。GJB-450 是武器系统达到可靠性指标的保证，为可靠性管理提供了依据和准则。

武器系统可靠性大纲是根据武器系统的作战使命、战术技术指标、研制工作分工、经费情况等总的要求对通用大纲剪裁、调整编制的，它反映了武器系统研制指挥的最高负责人和总设计师对可靠性工作重视的程度和技术水平及管理水平的差异。武器系统不同，对通用大纲剪裁和调整的内容也不同，形成的可靠性大纲也不一样，但是它们包括的可靠性管理的基本范围应当是一致的。

2.2 武器系统的可靠性定量要求

武器系统的可靠性大纲是研制部门制订的，它的前提是订购部门（或军方）必须提出可靠性要求，首先是可靠性指标要求，它以研制任务书或总要求的文件形式提出，并写入合同。

对于武器系统来说，应有哪些可靠性指标，依援什么提出，如何论证，既是订购方

要考虑的问题，也是研制方要考虑的问题。两家都要根据武器系统的作战使命、任务和寿命剖面、环境条件以及经费情况等对可靠性指标进行充分论证、协商，统一意见后作为研制任务书或总要求的一部分内容上报审批，由国家正式下达。

2.2.1 武器系统的作战使命

武器系统的作战使命是国家下达研制任务时规定的，技术方案论证以前在武器系统研制任务书或总要求中予以明确规定。

2.2.2 武器系统的任务剖面

武器系统的任务剖面是根据武器系统的作战使命、技术方案、作战基地配置等确定的。现以海军舰艇上的导弹武器系统为例说明任务剖面。

1. 库房贮存阶段

指导弹从生产厂交付部队后，或经工厂修理返回部队后，或从舰（艇）上退出后在库房贮存的全部时间。这个阶段的工作是贮存、定期检查、维护保养。要求保证规定的的环境条件。

2. 装舰（艇）技术准备阶段

接到作战准备命令后，导弹从贮存状态开始到具备装舰（艇）条件的技术准备过程。准备好可能装舰（艇），也可能以具备装舰（艇）条件放在库房贮存。

3. 装载阶段

接到装载命令后，导弹从具备装舰（艇）条件开始到装舰（艇）后检测完毕止。包括运输过程。

4. 巡航阶段

从装舰（艇）并检测完毕后直到发射准备开始的全过程。这个阶段的工作有定期检测和维护保养。舰（艇）上的检测发控设备的贮存状态也是巡航状态。舰（艇）停泊也属于巡航状态。巡航阶段的环境条件是除发射飞行外的各种环境条件的综合。

5. 发射准备阶段

接到发射命令后，从巡航状态开始到发射的技术准备过程。

6. 发射及飞行阶段

发射和飞行对导弹系统可以分为若干段，如冷发射的导弹，有一段弹射弹道，飞行包括主动段（或称为有控段）、自由段（或称无控段）、寻的段（或称再入段），战斗部起爆等。

7. 返航阶段

发射完导弹或完成了作战任务后返回基地或预备补给地（海区）。

补给及补给后重复上述过程。

任务流程图如图

2.2.1所示。

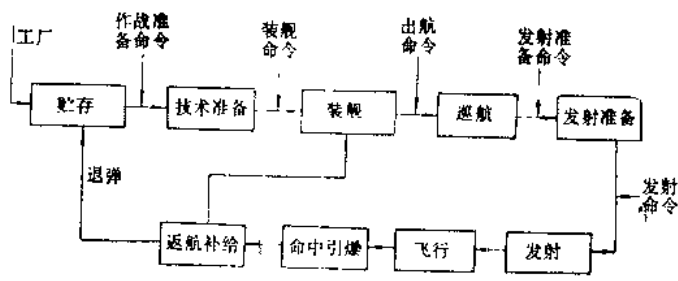


图2.2.1 导弹系统任务流程