



《中国工程物理研究院科技丛书》第 019 号

可靠性维修性可用性 评估手册

潘吉安 编著

国防工业出版社

62
1113
《中国工程物理研究院科技丛书》第 019 号

可靠性维修性可用性 评估手册

潘吉安 编著

国防工业出版社

• 北京 •

图书在版编目(CIP)数据

可靠性维修性可用性评估手册/潘吉安编著. -北京:
国防工业出版社, 1995. 12

(中国工程物理研究院科技丛书)

ISBN 7-118-01523-7

I. 可… II. 潘… III. 产品-可靠性; 可维修性; 可用性
IV. TB114. 3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 14223 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)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 16¼ 427 千字

1995 年 12 月第 1 版 1995 年 12 月北京第 1 次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 19.80 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

《中国工程物理研究院科技丛书》出版说明

中国工程物理研究院建院 30 年来,坚持理论研究、科学实验和工程设计密切结合的科研方向,完成了国家下达的各项国防科研任务。通过完成任务,在许多专业学科领域里,不论在基础理论方面,还是在实验测试技术和工程应用技术方面,都有重要发展和创新,积累了丰富的知识和经验,造就了一大批优秀科技人材。

为了扩大科技交流与合作,促进我院事业的继承与发展,系统地总结我院 30 年来在各个专业领域里集体积累起来的经验,吸收国内外最新科技成果,形成一套系列科技丛书,无疑是一件十分有意义的事情。

这套丛书将部分地反映中国工程物理研究院科研工作的成果,内容涉及本院过去开设过的 20 多个主要学科,现在和今后开设的新学科,也将编著出书,续入本丛书中。

这套丛书将在今后几年里陆续编辑出版。我院早些年零散编著出版的专业书籍,经编委会审定后,也纳入本丛书系列。

谨以这套丛书献给 30 年来为我国国防现代化而献身的人们!

《中国工程物理研究院科技丛书》编审委员会

1989 年 1 月 25 日

《中国工程物理研究院科技丛书》
第二届编审委员会

主 任 杜祥琬

副主任 章冠人 华欣生

委 员 (以姓氏笔画为序)

王之康	王铁铮	水鸿寿	方乃相	刘庆兆
汤绍源	杨成龙	吴宏志	汪源浚	张仕发
张永昌	张寿齐	陈银亮	周正朝	赵维晋
胡在军	俞大光	姜学贤	姚景华	徐玉彬
徐锡申	高天祐	高国桐	董海山	赖祖武

丛书编辑部

负 责 人 吴衍斌

本册编辑 郭玉团 吴衍斌

《中国工程物理研究院科技丛书》
已出版书目

- | | | | |
|-----|--------------------------------|---------|----------|
| 001 | 高能炸药及相关物性能
董海山、周芬芬主编 | 科学出版社 | 1989年10月 |
| 002 | 光学高速摄影测试技术
谭显祥编著 | 科学出版社 | 1990年2月 |
| 003 | 凝聚炸药起爆动力学
章冠人等编著 | 国防工业出版社 | 1991年11月 |
| 004 | 线性代数方程组的迭代解法
胡家骥编著 | 科学出版社 | 1991年12月 |
| 005 | 映象与混沌
陈式刚编著 | 国防工业出版社 | 1992年6月 |
| 006 | 再入遥测技术(上册)
谢铭勋编著 | 国防工业出版社 | 1992年6月 |
| 007 | 再入遥测技术(下册)
谢铭勋编著 | 国防工业出版社 | 1992年12月 |
| 008 | 高温辐射物理与量子辐射理论
李世昌编著 | 国防工业出版社 | 1992年10月 |
| 009 | 粘性消去法和差分格式粘性
郭柏灵著 | 科学出版社 | 1993年3月 |
| 010 | 无损检测技术及其应用
张俊哲等著 | 科学出版社 | 1993年5月 |
| 011 | 半导体材料辐射效应
曹建中著 | 科学出版社 | 1993年5月 |

- 012 **炸药热分析**
 楚士晋编著 科学出版社 1994 年 12 月
- 013 **脉冲辐射场诊断技术**
 刘庆兆主编 科学出版社 1994 年 12 月
- 014 **放射性核素活度的测量方法和技术**
 古当长编著 科学出版社 1994 年 12 月
- 015 **二维非定常流与激波**
 王继海编著 科学出版社 1994 年 12 月
- 016 **抛物型方程差分方法**
 李德元 陈光南著 科学出版社 1995 年 6 月
- 017 **特种结构分析**
 刘新民 韦日演主编 国防工业出版社 1995 年 10 月
- 018 **理论爆轰物理**
 孙锦山 朱建士著 国防工业出版社 1995 年 10 月
- 019 **可靠性维修性可用性评估手册**
 潘吉安编著 国防工业出版社 1995 年 12 月

前 言

当今产品研制已提出可靠性(R)、维修性(M)和可用性(A)的定量指标要求,如何收集产品的试验和现场数据,作出 R、M 和 A 参量的取值估计就成为必须解决的问题。这涉及到应用统计和可靠性理论,也涉及到工程应用的条件和特定要求。R、M 的数据统计方法应归于应用统计和可靠性数学的范畴;产品的 R、M 和 A 参量评估应归于可靠性工程和维修性工程部分内容的细化和发展。

本手册的编写力图使其能满足 R、M 和 A 参量评估的需要,并使其具有如下一些特点:

一、方法的标准化和规范化

作为工程指标的定量评估,首先要求数学处理方法的标准化和规范化,才不致因采用不同的方法而造成评估结果的不一致。现有的可靠性评估包括系统可靠性综合,有经典、贝叶斯和信赖三种方法。本手册在规范评估方法时,尽量采用统计标准和 R、M 标准规定的方法。现行标准多采用经典方法,本书以经典方法为主,在一定条件下也同时给出贝叶斯结果作为参考。书中涉及到几十个与 R 和 M 有关的标准,并希望解决标准应用和执行中的问题,使本书成为相应标准的支持手册。例如,本书对区间估计方法、置信度的指定及其与样本量的关系等都有更为具体的说明。

二、小样本为主兼顾大样本的方法

产品研制中的数据小样本特点带有一定的普遍性,因此小样本方法的解决和推广应用可获得巨大的经济效益。然而小样本统计是经典理论的难题,本书采用工程和数学相结合的方法,以系统关键件、重要件的试验为基础,采用系统可靠性综合和环境数据综合方法的成熟成果加以解决。

三、适用产品的广泛性

本书的产品泛指任何的元器件、零部件、组件、装置和系统。以五种分布类型来包容各类产品数据的多样性,既考虑了寿命样本的处理,也考虑了性能可靠性的分析和评估。给出了三种分布类型的系统可靠性综合和环境数据综合方法,以及软件可靠性和可靠性增长数据方法。

对可修复产品还进行了维修性和可用性评估。维修性的研究相对落后于可靠性,本书是以维修性和可靠性对比的办法来解决维修性评估的。书中不但给出三种分布类型的维修性分析与评估方法,还给出了三种数学模型的可用性评估和串联系统可用度近似综合法。

四、方便于工程应用

手册不但论述了 R、M 和 A 参量分析与评估的概念和理论,还解决了工程应用和便于应用的问题。作者在编制便于工程应用的数表方面也投入了很多精力。

书稿的初稿曾作为中国军用电子产品可靠性信息网举办的数据统计处理专题讲座资料,经广泛征求意见后进行了反复修改而成书。由于编写全面的 R、M 和 A 评估手册并非易事,加之个人水平所限,难免有欠妥和错误之处,敬请专家和读者批评指正。

本手册的编制得到中国军用电子产品可靠性信息网、中国工程物理研究院电子工程研究所等单位的专家、领导和很多同志的支持和资助,并对书稿的修改提出了很多宝贵意见,在此深表谢意。特别感激高天祐专家在成书过程中的工作,向承担本书审稿专家马怀祖、俞大光、彭定之表示衷心的感谢。

作者 1994. 9. 20

内 容 简 介

本手册全面地论述了各类产品的可靠性、维修性和可用性评估的概念、理论与工程应用方法。本书不但给出了标准化、规范化的参量评估与系统综合计算公式,还给出了公式的依据、导出思路和应用举例,并附有完备的工程计算数表。

本手册可作为工程技术人员从事产品可靠性、维修性和可用性指标定量评估和系统综合的工具书,也可作为高等院校的教师和研究生从事该领域教学和研究的参考书。

目 录

第一章 数据收集与参量定义方法	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 数据收集的必要性与方法	(5)
1.3 可靠性参量定义及其相互关系	(7)
1.4 维修性参量及其与可靠性参量的关系	(11)
1.5 可用性参量定义	(14)
参考文献	(17)
第二章 可靠性维修性数据分布与参量分析	(18)
2.1 随机变量的概率分布	(18)
2.2 指数分布与泊松过程	(20)
2.3 正态分布及其导出分布	(22)
2.4 对数正态分布	(30)
2.5 威布尔分布	(33)
2.6 伽玛分布的应用	(36)
2.7 二项分布及其应用	(37)
2.8 泊松分布及其应用	(40)
参考文献	(43)
第三章 数据统计处理基本概念和方法	(44)
3.1 数据处理的基本统计模型	(44)
3.2 点估计方法与评价标准	(46)
3.3 区间估计方法及其有关规定	(59)
3.4 统计检验方法	(67)
3.5 试验样本类型及其分布	(73)
参考文献	(76)
第四章 成败型数据方法	(77)
4.1 成败型数据与成功率的点估计	(77)

4.2 成功率的单侧置信下限求解	(78)
4.3 成败型数据的可靠性评估	(82)
4.4 不合格品率的样本和点估计	(84)
4.5 不合格品率的区间估计	(87)
4.6 样本大小问题的讨论	(89)
参考文献	(91)
第五章 指数型数据方法	(93)
5.1 指数分布模型	(93)
5.2 指数型数据图估法	(94)
5.3 指数分布有效性检验方法	(97)
5.4 指数分布参数的估计方法	(101)
5.5 指数型寿命数据的可靠性评估法	(110)
5.6 指数型数据维修性评估法	(116)
参考文献	(122)
第六章 正态和对数正态型数据方法	(123)
6.1 可靠性和维修性中的正态模型	(123)
6.2 正态型数据的图估法	(124)
6.3 正态性检验方法	(127)
6.4 正态分布参数估计方法	(129)
6.5 正态型寿命可靠性评估法	(137)
6.6 性能可靠性评估法	(143)
6.7 正态型数据的维修性评估	(155)
6.8 对数正态模型及图估法	(159)
6.9 对数正态数据的可靠性评估	(163)
6.10 对数正态数据的维修性评估	(166)
附表 6.1~6.7	(170~185)
参考文献	(187)
第七章 威布尔分布数据方法	(188)
7.1 可靠性中的威布尔分布模型	(188)
7.2 威布尔分布数据图估法	(192)
7.3 分布参数点估计方法	(195)
7.4 可靠性参数点估计方法	(201)

7.5 参数和可靠性区间估计	(203)
附表 7.1~7.8	(207~242)
参考文献	(246)
第八章 可用性分析与评估方法	(247)
8.1 可用性参量的分析和评估	(247)
8.2 全指数模型的可用性分析	(249)
8.3 全指数型数据的可用性评估	(253)
8.4 非马尔可夫过程的可用性分析	(259)
8.5 指数-对数正态型数据的可用性评估	(262)
8.6 指数-正态型数据的可用性评估	(267)
8.7 系统可用度综合与串联系统近似法	(270)
附表 8.1	(273)
参考文献	(275)
第九章 系统可靠性综合方法	(277)
9.1 系统可靠性综合与方法概论	(277)
9.2 系统可靠性点估计公式	(282)
9.3 成败型串联系统的近似置信限	(283)
9.4 成败型并联系统等效数据折算法	(290)
9.5 指数型数据的系统综合	(291)
9.6 复杂系统的可靠性综合	(296)
9.7 正态型数据的综合方法	(297)
参考文献	(305)
第十章 环境因子与环境数据综合方法	(306)
10.1 指数寿命型的环境综合法	(306)
10.2 成败型数据的环境综合法	(312)
10.3 正态型数据的环境综合法	(315)
参考文献	(320)
第十一章 软件可靠性模型与数据处理方法	(321)
11.1 软件可靠性概念和技术现状	(321)
11.2 软件可靠性模型和数据	(327)
11.3 可靠性可用性评估与综合	(338)
参考文献	(341)

第十二章 可靠性增长数据方法	(343)
12.1 可靠性增长技术的应用	(343)
12.2 Duane 模型及其应用	(344)
12.3 AMSAA 模型及其应用	(351)
12.4 定数截尾试验的估计方法	(354)
12.5 定时截尾试验的估计方法	(355)
12.6 增长趋势和拟合优度检验	(357)
附表 12.1~12.2	(362~363)
参考文献	(365)
附录	(366)
附录 A 统计分布数值表	(366)
附录 A1 标准正态分布密度函数 $\varphi(u)$ 表	(366)
附录 A2 标准正态分布函数 $\Phi(u)$ 表	(369)
附录 A3 标准正态分布分位数 u_p 表	(371)
附录 A4 t 分布分位数表	(374)
附录 A5 χ^2 分布分位数表	(378)
附录 B 成败数据可靠度单侧置信下限 R_L 数表	(387)
附录 C 正态数据可靠度置信下限数表	(427)
附录 D 正态分布单侧容限系数 $K(1-\alpha, n, R)$ 表	(467)
附录 E 正态分布双侧容许限系数 $K(1-\alpha, n, p)$ 表	(477)
符号表	(501)
缩写词	(506)

第一章 数据收集与参量定义方法

本章给出可靠性、维修性和可用性评估的基本概念、有关的数据收集与参量定义方法。

1.1 引言

可靠性 R(reliability)维修性 M(maintainability)和可用性 A(availability)是产品的重要技术指标,是构成产品综合效能的相关因素。本书的主要内容是论述产品可靠性评估和系统可靠性综合方法,同时解决维修性和可用性评估方法。可靠性和维修性评估以及系统可靠性综合在现有的可靠性和维修性术语标准 GB3187—82 和 GJB451—90 中没有明确定义,如在 GJB451—90 标准的 2.1.25 条中把“预计和评估产品的可靠性和维修性量值”统称为“可靠性和维修性计算(R&M accounting)”。本书把描述产品可靠性和维修性及可用性的量统称为参量(parametric quantity)以便于和描述可靠性和维修性数据分布的参数(parameter)相区别。并对各参量评估的含义、目的、应用对象和基本数学方法作一说明,以便于对本书的应用。

1.1.1 可靠性评估

按产品研制的可靠性和维修性管理要求,如 IEC300^[1]、GJB450—88 和 GJB368—87,在产品研制的不同阶段中应进行相应的可靠性定性和定量活动,如方案和设计阶段的可靠性分配 RA(reliability apportionment)和可靠性预计 RP(reliability prediction)等,RA 和 RP 是尚未形成产品时的可靠性定量活动,RP 使用的数据是同类产品 and 元器件的数据。当产品研制出来之后,由产品自身的试验数据,运用统计学数值估计理论和产品可靠性评估方法求得可靠性参量的取值估计称为可靠性评估 RE(reliabili-

ty estimation)。

作为工程上的产品可靠性评定应该是对产品研制满足可靠性定性和定量要求的定性评价和定量评估。RE 不但作为产品满足可靠性定量要求的论证结论,同时也是确定维护和使用产品方案的依据。

RE 使用的数据和方法与 RP 有所区别,其方法与可靠性验证 RQ(reliability qualification)也不相同。产品可靠性验证是按一定生产方和使用方风险下的统计试验方案来设置试验,对试验结果的统计推断只能得到“接收”或“拒收”或“继续试验”的结论,不能对产品可靠性参量取值作出回答。况且,可靠性验证试验并不是对所有的产品都便于实施的,例如,对批量小、组成复杂、成本昂贵的大系统则不便于实施。无论是选用可靠性验证标准中的哪一种统计方案,方案所规定的试验时间是不能少的,否则做不出判别结论。因而,可靠性验证试验的普遍推广必然会造成产品研制时间和成本的大量增加。

从论证产品是否满足可靠性定量要求的角度看,RQ 和 RE 似乎具有相同的作用,相比之下,RE 对试验信息与实施周期的要求上更为灵活,只要是相同条件下的产品试验数据,或现场使用数据,都可收集起来综合利用而作出可靠性参量的点估计和区间估计结果。

本书提供的可靠性评估方法可适合于各种产品(item),产品包括元器件、组件、装置和系统,也包括软件,既适合于可修复产品(repairable item),也适合于不可修复产品(not repairable item),只不过是不同类产品、不同分布类型的评估方法不相同而已。

1.1.2 系统和系统可靠性综合

本书使用系统(system)一词有两种含义:作为产品时,它指组成级别最高一级的产品;在研究可靠性或可用性模型时,系统具有相对的含义,系统对于子系统,子系统对于下属的装置,装置对于组件等都可以称为系统。在使用系统相对含义时,统称系统的下一级组成为单元(unit)。

由系统的可靠性数据可估算系统可靠性评估结果,若大系统的试验样本量很小或无样本,采用系统自身数据进行系统可靠性评估则有困难,当已知系统的可靠性模型时,能否利用系统各组成单元的试验数据求得系统可靠性评估结果呢?于是提出了系统可靠性综合问题。根据系统可靠性模型,由系统和系统组成单元的试验或现场使用数据求得系统可靠性评估结果的过程称为系统可靠性综合 SRS(system reliability synthesis)。

系统可靠性综合方法的关键是把系统组成单元的试验数据折算成系统的等效数据,系统自身的少量数据与系统的等效数据构成系统的综合数据,从而扩大了系统的样本量,使求得小样本系统可靠性评估结果成为可能。

1.1.3 不同环境下的数据综合

产品可靠性评估和系统可靠性综合使用的产品数据都是相同环境条件下的数据,为了进一步提高试验数据的综合利用率、扩大样本量,可以使用环境数据综合法利用不同环境条件下的试验数据。能否利用产品在不同环境条件下的试验数据呢?第十章环境数据综合法就是为此而设置的内容。

同一种产品在环境 1 条件下的可靠性试验数据,根据数据分布类型折算成环境 2 条件下的等效数据,环境 2 条件下的试验数据与由环境 1 折算的等效数据构成环境 2 条件下的综合数据,称这种不同环境下的可靠性数据综合成同一环境下的可靠性数据为环境数据综合 EDS(environment data synthesis)。不同分布类型的试验数据折算等效数据所采用的数学方法是不同的。

1.1.4 维修性评估

与可靠性评估相类似,由可修复产品的维修时间数据,按数值估计理论和产品维修性评估方法求得维修性参量的取值估计称为维修性评估 ME(maintainability estimation)。

当对产品固有维修性参量评估时,维修时间中不考虑预防性维修时间和保障与管理的延误时间,只考虑产品的修复性维修时间(corrective maintainance time),简称为修复时间,它包括故障