

Bayes Reliability Analysis of Dynamic Distribution Parameter

# 动态分布参数的 贝叶斯可靠性分析

明志茂 陶俊勇 陈循 张忠华 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

国防科技图书出版基金资助出版

# 动态分布参数的贝叶斯 可靠性分析

Bayes Reliability Analysis of  
Dynamic Distribution Parameter

明志茂 陶俊勇 陈循 张忠华 著

国防工业出版社

·北京·

**图书在版编目(CIP)数据**

动态分布参数的贝叶斯可靠性分析/明志茂等著. —北京:国防工业出版社,2011.1

ISBN 978-7-118-06984-6

I. ①动... II. ①明... III. ①动态参数-分布参数系统-贝叶斯决策 IV. ①0231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 165854 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 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

开本 850×1168 1/32 印张 6 $\frac{3}{4}$  字数 186 千字

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 30.00 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

## 致 读 者

**本书由国防科技图书出版基金资助出版。**

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

**国防科技图书出版基金资助的对象是:**

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评

审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金  
评审委员会**

# 国防科技图书出版基金 第六届评审委员会组成人员

主任委员	王 峰			
副主任委员	宋家树	蔡 镛	程洪彬	
秘 书 长	程洪彬			
副 秘 书 长	邢海鹰	贺 明		
委 员	于景元	才鸿年	马伟明	王小谟
(按姓氏笔画排序)	甘茂治	甘晓华	卢秉恒	邬江兴
	刘世参	芮筱亭	李言荣	李德仁
	李德毅	杨 伟	肖志力	吴有生
	吴宏鑫	何新贵	张信威	陈良惠
	陈冀胜	周一宇	赵万生	赵凤起
	崔尔杰	韩祖南	傅惠民	魏炳波

## 作者简介

**明志茂** 男,1977年生,博士后。现在国防科技大学宇航科学与技术科研博士后流动站工作。从事系统工程、小子样武器装备可靠性试验理论和评估研究,先后承担国防技术基础、国家“863计划”、装备维修改革、装备预研基金等课题8项,获得部委级科技进步三等奖1项,出版学术专著1部,获得软件著作权1项。以第一作者身份发表学术论文20余篇,其中3篇被SCI检索,9篇被EI检索,2篇被ISTP检索。

**陶俊勇** 男,1969年生,副教授、硕士生导师。2000年毕业于国防科技大学。主要研究领域包括:可靠性强化试验与设备,系统可靠性分析与评估,微机电系统可靠性,获得博士学位。现任国际科技大学可靠性实验室主任。长期从事可靠性工程领域的教学与科研工作,先后负责多项863项目、国防预研基金项目、装备技术基础以及装备可靠性共性预研项目。2007年在美国马里兰大学詹姆斯克拉克工程学院机械工程系风险性与可靠性研究中心学习与工作,期间主要从事动态系统可靠性与风险性评估研究。目前出版学术专著3部,获发明专利5项,获得新技术发明专利,发表科研论文40余篇,多篇进入SCI、EI、ISTP检索。享受全军优秀专业技术人才岗位津贴。

**陈循** 男,1964年生,教授、博士生导师。现任国防科学技术大学机电工程与自动化学院副院长。长期从事可靠性试验理论、机电系统状态监控、故障诊断与预警、装备可靠性与维修保障

等领域的教学与科研工作。

先后完成国家“863 计划”、国家自然科学基金、武器装备预研、武器装备预研基金、武器装备技术基础等课题近 30 项。获部委级科技成果一等奖 1 项、二等奖 3 项，发表科技论文 80 余篇，获国防专利 1 项。主编《可靠性强化试验理论与应用》、《智能机内测试理论与应用》、《机械系统建模与动态分析》等 6 部学术专著与教材，入选国家教育部研究生推荐教材 1 部。1997 年，“抓重点课程建设促《工程制图》教学全面改革”获部委级优秀教学成果三等奖。2007 年负责的《工程制图基础》被评为国家级精品课程。目前共培养毕业博士近 10 名、硕士 20 余名，指导在读博士生 6 名、硕士生 6 名。2004 年被授予“全军优秀教育工作者”称号。

**张忠华** 1954 年生，男，汉族，现为中国卫星海上测控部专家组组长、高级工程师，中国宇航学会理事，中国宇航学会飞行器测控专业委员会副主任委员、遥测专业委员会委员，北京跟踪与通信技术研究所“通信与信息系统”专业硕士研究生导师。

长期担任多个国家级工程项目系统级副总设计师，主持或参与研究国家级工程项目和重大科研项目近 20 项，参加并圆满完成国家级任务近 70 次。先后获中国航天基金奖、曾宪梓载人航天基金突出贡献奖各 1 次。共获国家和部委科技进步奖 20 余项，其中国家科技进步特等奖 1 项，部委级科技进步一等奖 2 项、二等奖 10 余项。从 1993 年起享受国务院政府特殊津贴。

出版技术专著 1 部，在行业级以上学术技术会议和国家级科技期刊上发表学术论文 80 余篇，其中 8 篇被 EI、ISTP 收录、6 篇在国际学术会议上交流、40 余篇在国家科技核心期刊上发表。指导培养本单位专业技术带头人以上人才近 10 人，先后培养计算机应用、计算机网络、自动控制、测量数据处理与精度分析、装备管理、项目管理、通信等专业硕士生近 20 名。



# 前 言

可靠性试验鉴定与评估是武器装备研制、定型、采办和使用过程中的重要环节。随着现代武器装备的技术含量和复杂程度不断提高,复杂装备的造价和试验费用昂贵,具有现场试验次数少、各阶段试验具有继承性但试验条件不尽相同等特点。因此,对于“小子样、多阶段、异总体”装备可靠性试验与评估问题,采用传统的统计分析方法难以给出科学合理的结论。

本书是作者在近些年对“小子样、多阶段、异总体”装备可靠性试验与评估问题研究成果的总结和拓展。全书共分6章。第1章绪论,介绍了“小子样、多阶段、异总体”装备研制阶段中可靠性理论与工程应用方面的研究现状,并指出当前研究中存在的难点和热点;第2章讨论动态分布参数的贝叶斯(Bayes)可靠性分析的基本理论;第3章研究了动态分布参数的贝叶斯可靠性增长试验规划与分析;第4章重点讨论了动态分布参数的贝叶斯可靠性增长评估与预测,以新的 Dirichlet 分布作为先验分布综合了历史信息 and 专家信息,提出并建立了贝叶斯变动统计的可靠性增长评估与预测模型;第5章研究了动态分布参数的贝叶斯可靠性鉴定试验方案;第6章从工程应用的角度出发,通过实例分析具体论述了基于动态分布参数的贝叶斯可靠性分析方法在型号装备研制中的应用。

本书的出版得到了国家“863”计划、国防科技大学、总装二十三基地等有关领导、专家的关心和支持。在本书的撰写过程中北京航空航天大学王德言教授、中国电子产品与环境试验研究所王树荣研究员等给予了悉心指导和热情支持,提出了很多宝贵的意

见和建议;得到了国防科技大学机电工程研究所李岳教授、陶利民研究员、易晓山副教授、韩小云副教授、张春华副教授、徐永成教授、任志乾讲师等的指导和帮助,张云安博士、李春洋博士、谭源源博士、徐东博士等为本书部分章节的完善修改做了大量的工作;国防科技大学高超声速飞行器技术研究中心夏智勋教授、王中伟教授等给予了无私的关心和帮助。作者还参阅了国内外许多专家学者在贝叶斯领域和可靠性理论与实践研究的文献资料,在此谨向各位专家、学者表示衷心感谢。最后,感谢国防科技图书出版基金对本书的资助。

本书可作为高等院校装备试验、管理类等专业本科生、研究生教材或参考书,也可供从事武器装备试验的科技人员、管理干部进行系统分析、决策和评估时参考。相信本书的出版对目前从事该领域研究的人员及打算在本方向进行研究的人员具有很好的参考作用。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点和不足之处,恳请读者不吝批评指正。

作者

2010年9月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 研究背景及意义 .....	3
1.2 研究现状 .....	5
1.2.1 动态分布参数的贝叶斯分析内涵 .....	5
1.2.2 贝叶斯多源信息融合方法 .....	6
1.2.3 基于贝叶斯理论的试验与鉴定技术 .....	9
1.2.4 贝叶斯可靠性增长模型.....	12
<b>第 2 章 动态分布参数的贝叶斯可靠性分析基本理论</b> .....	19
2.1 动态分布参数的贝叶斯可靠性综合试验流程.....	21
2.1.1 装备研制阶段可靠性试验概述.....	21
2.1.2 装备研制阶段可靠性综合试验设计.....	24
2.1.3 贝叶斯可靠性综合试验分析及其流程.....	28
2.2 贝叶斯方法简析.....	33
2.3 动态分布参数的贝叶斯可靠性分析关键技术.....	34
2.3.1 先验信息的获取与检验.....	35
2.3.2 动态分布参数的贝叶斯可靠性模型分析.....	38
2.3.3 动态分布参数的贝叶斯先验分布的 确定方法.....	43
2.3.4 动态分布参数的贝叶斯可靠性信息 融合方法.....	48
2.4 综合试验与评估方法的选取原则.....	53
<b>第 3 章 动态分布参数的贝叶斯可靠性增长规划分析</b> .....	57
3.1 动态分布参数的贝叶斯可靠性增长规划的	

技术思路·····	59
3.2 动态分布参数的贝叶斯可靠性增长规划的 基本内容·····	62
3.2.1 可靠性增长试验的修正策略·····	62
3.2.2 可靠性增长模型的选择·····	63
3.3 及时修正策略的贝叶斯分系统的可靠性 增长规划·····	65
3.3.1 模型假设·····	65
3.3.2 可靠性数据的统计分析方法·····	66
3.3.3 可靠性增长检验·····	68
3.3.4 继承因子的计算·····	68
3.3.5 可靠性增长试验计划的制定·····	70
3.3.6 实例应用·····	71
3.4 延缓修正策略的贝叶斯系统可靠性增长规划·····	72
3.4.1 异总体可靠性增长的序化模型假设·····	73
3.4.2 异总体可靠性增长的贝叶斯分析·····	75
3.4.3 贝叶斯可靠性增长规划 MTGP 模型·····	79
3.4.4 实例应用·····	81
<b>第 4 章 动态分布参数的贝叶斯可靠性增长评估与预测</b> ·····	87
4.1 动态分布参数的贝叶斯可靠性评估技术思路·····	89
4.2 基于新的 Dirichlet 先验分布的贝叶斯可靠性 增长模型·····	91
4.2.1 贝叶斯模型假设·····	91
4.2.2 新的 Dirichlet 先验分布类及其特性·····	92
4.2.3 新的 Dirichlet 先验分布参数的确定方法·····	94
4.2.4 实例分析·····	96
4.3 动态分布参数的系统贝叶斯可靠性评估与 预测研究·····	99
4.3.1 新 Dirichlet 先验分布类的可靠性评估与	

预测分析 .....	100
4.3.2 可靠性后验推断计算方法 .....	101
4.3.3 实例分析 .....	103
4.4 动态分布参数的指数寿命型产品贝叶斯可靠性 分析 .....	107
4.4.1 模型假设 .....	108
4.4.2 指数型产品的新 Dirichlet 先验分布类 .....	108
4.4.3 贝叶斯后验估计 .....	109
4.4.4 实例分析 .....	110
4.5 动态分布参数的威布尔型产品的贝叶斯可靠性 分析 .....	114
4.5.1 模型假设 .....	115
4.5.2 威布尔型产品的新 Dirichlet 先验分布 .....	115
4.5.3 联合后验分布 .....	117
4.5.4 实例分析 .....	118
<b>第 5 章 动态分布参数的贝叶斯可靠性鉴定试验方案</b> .....	123
5.1 可靠性鉴定试验方案制定的技术思路 .....	125
5.2 贝叶斯可靠性鉴定试验方案 .....	126
5.2.1 贝叶斯鉴定试验方案的制定 .....	127
5.2.2 鉴定试验方案的选择与分析 .....	129
5.3 混合 Beta 分布的贝叶斯可靠性鉴定试验方案 研究 .....	134
5.3.1 混合 Beta 先验分布的确定 .....	134
5.3.2 混合 Beta 分布的贝叶斯鉴定试验方案的 制定 .....	136
5.3.3 实例分析 .....	141
5.4 混合 Gamma 分布的贝叶斯可靠性鉴定试验 方案 .....	142
5.4.1 混合 Gamma 先验分布 .....	142

5.4.2	后验分布与贝叶斯后验风险 .....	143
5.4.3	贝叶斯标准定时鉴定试验方案的制定 .....	145
5.4.4	贝叶斯定时试验 LQ 方案的制定 .....	147
5.4.5	实例分析 .....	148
<b>第 6 章</b>	<b>工程应用</b> .....	<b>153</b>
6.1	某型装备研制特点 .....	155
6.2	某型装备研制可靠性综合试验方案设计 .....	156
6.2.1	可靠性综合试验方案的设计思路 .....	156
6.2.2	可靠性综合试验与评估方法 .....	157
6.3	总系统的可靠性增长评估及可靠性鉴定 .....	158
6.3.1	总系统研制过程及试验结果 .....	158
6.3.2	总系统计算过程及结果对比分析 .....	160
6.4	部分关键设备的可靠性增长评估及可靠性 鉴定 .....	163
6.4.1	关重件研制过程及试验结果 .....	163
6.4.2	关重件计算过程及结果对比分析 .....	164
6.5	鱼雷装载可靠度评估 .....	167
6.5.1	鱼雷的特点 .....	167
6.5.2	鱼雷装载可靠度评估方法的确定 .....	168
6.5.3	鱼雷装载可靠度综合评估方法 .....	169
6.5.4	评估方案 .....	177
6.5.5	故障判定、分析、处理、记录与报告.....	179
<b>参考文献</b>	.....	<b>184</b>

# Contents

<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	1
1.1 Background and purpose of the research .....	3
1.2 Historical development .....	5
1.2.1 Meanings of Bayes analysis of dynamic distribution parameter .....	5
1.2.2 Method of Bayes fuse information .....	6
1.2.3 Reliability qualification test technology based on Bayes theorem .....	9
1.2.4 Bayesian model of reliability growth .....	12
<b>Chapter 2 Basic theory of Bayes reliability analysis with dynamic distribution parameter</b> .....	19
2.1 Procedures of reliability synthetical test with dynamic distribution parameter .....	21
2.1.1 Summary of reliability test in the equipment development .....	21
2.1.2 Design of reliability synthetical test in the equipment development .....	24
2.1.3 Procedures of Bayes analysis of reliability synthetical test .....	28
2.2 Bayes method .....	33
2.3 Key techniques in Bayes reliability analysis with dynamic distribution parameter .....	34
2.3.1 Acquirement and verification of prior	

information .....	35
2. 3. 2 Bayes reliability model analysis with dynamic distribution parameter .....	38
2. 3. 3 Method to confirm Bayes prior distribution with dynamic distribution parameter .....	43
2. 3. 4 Method to fuse Bayes information with dynamic distribution parameter .....	48
2. 4 Principle of reliability synthetical test and assessment method with dynamic distribution parameter .....	53
<b>Chapter 3 Planning for Bayesian reliability grow based         on dynamic distribution parameters .....</b>	<b>57</b>
3. 1 Procedures of planning of Bayesian reliability grow based on dynamic distribution parameters .....	59
3. 2 Basis content of planning for Bayesian reliability grow based on dynamic distribution parameters .....	62
3. 2. 1 The strategy of adjustment for reliability grow test .....	62
3. 2. 2 Selection of reliability grow model .....	63
3. 3 Planning of Bayesian reliability grow for sub-system combined test revised strategy .....	65
3. 3. 1 Model hypothesis .....	65
3. 3. 2 Statistical method of reliability test data .....	66
3. 3. 3 Hypothesis test for reliability grow .....	68
3. 3. 4 Calculation of inheritance factor .....	68
3. 3. 5 Formulated of planning for Bayesian reliability grow .....	70
3. 3. 6 Case study .....	71
3. 4 Planning of Bayesian reliability grow for system	



in retardant revised strategy .....	72
3. 4. 1 Hypothesis of reliability grow monotone model for dynamic population .....	73
3. 4. 2 Bayesian analysis of reliability grow for dynamic population .....	75
3. 4. 3 Planning of Bayesian reliability grow based on MTGP model .....	79
3. 4. 4 Case study .....	81
<b>Chapter 4 Bayesian reliability growth model based on     dynamic distribution parameters .....</b>	<b>87</b>
4. 1 Procedures of Bayesian reliability assessment based on dynamic distribution parameters .....	89
4. 2 Bayesian reliability growth model based on a new Dirichlet prior distribution .....	91
4. 2. 1 Bayesian model hypothesis .....	91
4. 2. 2 Characteristic of a new Dirichlet prior distribution .....	92
4. 2. 3 Formulated of prior parameters of a new Dirichlet prior distribution .....	94
4. 2. 4 Case study .....	96
4. 3 Bayesian reliability assessment and prediction based on dynamic distribution parameters for complex system .....	99
4. 3. 1 Bayesian reliability assessment and prediction based on a new Dirichlet prior distribution ...	100
4. 3. 2 Method of inference for Posteriori distribution .....	101
4. 3. 3 Case study .....	103
4. 4 Bayesian reliability analysis based on dynamic distribution parameters for exponential case .....	107