

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

Bayes Reliability Analysis of Dynamic Deteriorating Processes

动态分布参数的 贝叶斯可靠性分析

周玉成 张利军 张 博 张 健 著



清华大学出版社
TSINGHUA UNIVERSITY PRESS

国防科技图书出版基金资助出版

80

0231
M810

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·

0231/
M810

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. ①O231

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

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

| | |
|--|----|
| 第 1 章 绪论 | 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 |
| 第 2 章 动态分布参数的贝叶斯可靠性分析基本理论 | 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 |
| 第 3 章 动态分布参数的贝叶斯可靠性增长规划分析 | 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 |
| 第4章 动态分布参数的贝叶斯可靠性增长评估与预测 ····· | 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 |
| 第 5 章 动态分布参数的贝叶斯可靠性鉴定试验方案 | 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 |
| 第 6 章 | 工程应用 | 153 |
| 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 |
| 参考文献 | | 184 |

Contents


| | |
|---|----|
| Chapter 1 Introduction | 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 |
| Chapter 2 Basic theory of Bayes reliability analysis with dynamic distribution parameter | 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 |
| Chapter 3 | Planning for Bayesian reliability grow based on dynamic distribution parameters | 57 |
| 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 |
| Chapter 4 Bayesian reliability growth model based on dynamic distribution parameters | 87 |
| 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 |

| | | |
|--|---|-----|
| 4.4.1 | Model hypothesis | 108 |
| 4.4.2 | A new Dirichlet prior distribution for exponential case | 108 |
| 4.4.3 | Inference of Posteriori distribution | 109 |
| 4.4.4 | Case study | 110 |
| 4.5 | Bayesian reliability analysis based on dynamic distribution parameters for Weibull case | 114 |
| 4.5.1 | Model hypothesis | 114 |
| 4.5.2 | A new Dirichlet prior distribution for Weibull case | 115 |
| 4.5.3 | Associated posteriori distribution | 116 |
| 4.5.4 | Case study | 117 |
| Chapter 5 Bayes plan of reliability qualification test based on dynamic distribution parameters | | |
| | | 123 |
| 5.1 | Procedures of Bayes plan of reliability qualification test based on dynamic distribution parameters | 125 |
| 5.2 | Formulated of Bayes plan of reliability qualification test | 126 |
| 5.2.1 | Analysis of Bayes plan of reliability qualification test | 127 |
| 5.2.2 | Selection and analysis of reliability qualification test | 129 |
| 5.3 | Bayes plan of reliability qualification test for binominal case based on mixed Beta distribution | 134 |
| 5.3.1 | Definition of mixed Beta distribution | 134 |
| 5.3.2 | Frmulated of Bayes plan of reliability qualification test based on mixed Beta distribution | 136 |
| 5.3.3 | Case study | 141 |
| 5.4 | Bayes plan of reliability qualification test for exponential case based on mixed Gamma distribution | 142 |
| 5.4.1 | Definition of mixed Gamma distribution | 142 |

| | | |
|-------------------|--|------------|
| 5. 4. 2 | Posteriori distribution and Posteriori risk | 143 |
| 5. 4. 3 | Formulated of standard Bayes fixed time plane of reliability qualification test | 145 |
| 5. 4. 4 | Formulated of Bayes fixed time LQ plan of reliability qualification test | 147 |
| 5. 4. 5 | Case study | 148 |
| Chapter 6 | Applications | 153 |
| 6. 1 | Characteristic of xx system | 155 |
| 6. 2 | Design of reliability test scheme | 156 |
| 6. 2. 1 | Design notion of reliability test scheme | 156 |
| 6. 2. 2 | Method of reliability test and assessment | 157 |
| 6. 3 | Reliability growth assessment and reliability qualification of chief system | 158 |
| 6. 3. 1 | Developing process and test result of chief system | 158 |
| 6. 3. 2 | Counting process and result of chief system | 160 |
| 6. 4 | Reliability growth assessment and reliability qualification of part key equipment | 163 |
| 6. 4. 1 | Developing process and test result of key part | 163 |
| 6. 4. 2 | Counting process and result of key part | 164 |
| 6. 5 | Torpedo equipping reliability assessment | 167 |
| 6. 5. 1 | Characteristic of Torpedo | 167 |
| 6. 5. 2 | The determination of Torpedo equipping reliability method | 168 |
| 6. 5. 3 | Torpedo equipping reliability assessment | 169 |
| 6. 5. 4 | Torpedo equipping reliability assessment plan | 177 |
| 6. 5. 5 | Fault judgment, analysis, treatment, recoding and report | 179 |
| References | | 184 |



第 1 章

绪 论

1.1 研究背景及意义

1.2 研究现状

