

Modern Statistical and
Mathematical Methods in Reliability

现代数理统计学方法 在可靠性中的应用

[美] Alyson Wilson

[法] Nikolaos Limnios

著

[美] Sallie Keller-McNulty

[美] Yvonne Armijo

穆希辉 牛跃听 孙梅慈 译



国防工业出版社
National Defense Industry Press

《质量、可靠性和工程统计》系列第 10 卷

现代数理统计学方法在 可靠性中的应用

**Modern Statistical and Mathematical
Methods in Reliability**

[美] Alyson Wilson

[法] Nikolaos Limnios

[美] Sallie Keller - McNulty

著

[美] Yvonne Armijo

穆希辉 牛跃昕 孙梅慈 译

国防工业出版社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字:军-2015-095 号

图书在版编目(CIP)数据

现代数理统计学方法在可靠性中的应用 / (美) 威尔逊 (Wilson, A.) 等著; 穆希辉, 牛跃听, 孙梅慈译. — 北京: 国防工业出版社, 2016. 5

书名原文: Modern Statistical and Mathematical Methods In Reliability

ISBN 978-7-118-10500-1

I. ①现… II. ①威… ②穆… ③牛… ④孙… III. ①数理统计-应用-可靠性理论-研究 IV. ①O213.2 ②O21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 017895 号

MODERN STATISTICAL AND MATHEMATICAL METHODS IN RELIABILITY

Copyright © 2005 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

All rights reserved. This book, or parts thereof, may not be reproduced in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or any information storage and retrieval system now known or to be invented, without written permission from the Publisher.

Simplified Chinese translation arranged with World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., Singapore.

※

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)

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 20½ 字数 393 千字

2016 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1500 册 定价 98.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

作者简介

艾莉森威尔逊博士是美国北卡罗来纳州立大学科学分析实验室统计系教授和首席研究员。在可靠性统计、贝叶斯方法以及统计方法在国防和国家安全问题中的应用等领域,她是学术界公认的专家。她注重统计学、数学和计算机科学之间的跨学科合作。

威尔逊博士是国际统计学会的委员,是美国洛斯阿拉莫斯国家实验室(LANL)杰出表现奖(2008)、LANL之星奖(2008)、能源部国防计划卓越奖(2007)以及洛斯阿拉莫斯国际实验室成果奖(2000,2005)的获得者。她是美国统计协会前主席,在协会中是国防和国家安全统计方面的创始人。

威尔逊博士还合著出版了《贝叶斯可靠性》一书,并与其他作者共同编辑了另外两本书:《反恐中的统计方法:博弈论、建模、综合监测和生物认证》和《现代数理统计学方法在可靠性中的应用》。

序

数理统计学实际应用在我国较薄弱,尽管可靠性工程好于其他领域,但和世界先进国家相比还有很大差距。军械技术研究所,从 20 世纪 50 年代末就着力开展弹药储存可靠性试验研究,80 年代中期系统进行了通用弹药可靠性和储存可靠寿命研究,取得了可喜成果,并将其应用于弹药管理,使我军弹药管理进入以弹药储存寿命为基点的体制,提高了管理水平。在装备技术迅猛发展的今天,信息化弹药和导弹在通用弹药中所占比例越来越高,如何估计单发价值高、技术复杂的这些弹药可靠寿命是面临的新问题。穆希辉研究员在美国普渡大学做高级访问学者期间,见到 Alyson Wilson 等人编著的《现代数理统计方法在可靠性工程中的应用》(Modern Statistical and Mathematical Methods in Reliability),敏锐地意识到该书内容有益于处理信息化弹药和导弹可靠寿命评估的技术问题。

该书有以下特点:

(1) 全面介绍了可靠性理论涉及的统计方法,包括系统可靠性、贝叶斯方法、生存分析、可靠性退化模型和维修模型,可作为弹药工程学者和科研人员的手头文献,随时查阅。

(2) 理论和实际紧密结合。结合实际中经常遇到的问题展开可靠性理论的叙述,如寿命终结分析、动态建模、预防性维修和多阶段任务动态系统可靠性分析等,提出具有相依竞争风险模式的 ALT 模型。这些在我国现已出版的相关书籍中很难见到。

(3) 该书以论述统计方法为主,同时也阐述了在可靠性工程中有用的非统计方法,如博弈论方法、最优化方法和人工智能等,都在相关问题中加以了论述。根据实际问题选择方法是解决实际问题的原则,避免用熟悉的方法去解决新的实际问题。该书提供了一些范例。

总之,这是一本有益于解决高价值信息化弹药和导弹可靠寿命评估实际问题的重要参考书,也是研究武器装备可靠性的教学参考书。该书的翻译出版,会对我国武器装备可靠性工程产生有益影响。本人和军械技术研究所 20 余年的协作关系,有幸在本书出版前阅读了译稿,深感这是一部值得向可靠性工程实际工作者推荐的译著,故乐之为序。

杨振海

2015 年 2 月 12 日,于北京

前 言

本书在第四届可靠性数学方法国际会议(MMR 2004)召开之际出版。这个两年一次的会议由洛斯阿拉莫斯国家实验室(LANL)和美国国家统计局科学研究院(NISS)于2004年6月21—25日在新墨西哥州的圣达菲举办。MMR会议讨论可靠性数学方法理论和应用中的基本问题,聚集了以可靠性为研究重点的数学家、概率学家、统计学家和计算机科学家。本书包含了从MMR 2004会议中精心挑选的已经同行评议的论文。

本书全面介绍了可靠性理论及其应用的研究现状,包含可靠性建模、网络和系统可靠性、贝叶斯方法、生存分析、退化和维修建模以及软件的可靠性。这些论文的作者都是该领域的权威专家,包括做大会报告的Tim Bedford, Thierry Duchesne, Henry Wynn, Vicki Bier, Edsel Pena, Michael Hamada和Todd Graves。

本书遵循可靠性统计和概率模型:可靠性数学方法国际会议论文集,罗马尼亚首都布加勒斯(D. C. Ionescu and N. Limnios, eds), Birkhause出版社的《质量、可靠性和工程统计》系列(1999);第二届可靠性数学方法国际会议的可靠性理论、方法、实践和推理最新进展论文集,法国波尔多(N. Limnios and M. Nikulin, eds.), Birkhause出版社的《质量、可靠性和工程统计》系列(2000);第三届可靠性数学方法国际会议的可靠性数理统计方法论文集,挪威特隆赫姆(B. LIndqvist and K. A. Doksum, eds.),世界科学出版社的《质量、可靠性和工程统计》系列第七卷(2003)。

感谢Hazel Kutac为本书提供的格式和编辑。

A. Wilson

美国新墨西哥州洛斯阿拉莫斯国家实验室

N. Limnios

法国贡比涅技术大学

S. Keller – McNulty

美国新墨西哥州洛斯阿拉莫斯国家实验室

Y. Armijo

美国新墨西哥州洛斯阿拉莫斯国家实验室

目 录

第 1 章 可靠性中的竞争风险建模	1
1.1 引言	1
1.2 独立和相依的竞争风险	2
1.3 可能的边界特性	4
1.4 柯尔莫哥洛夫检验	5
1.5 保守的独立性	6
1.6 独立性假设的偏差	6
1.7 作为删失机制的维修	7
1.7.1 相依连接函数模型	8
1.7.2 随机裁剪	8
1.7.3 随机符号	9
1.7.4 LBL 模型	9
1.7.5 混合指数模型	9
1.7.6 延迟时间模型	9
1.8 放宽更新的假设	9
1.9 结论	10
致谢	10
参考文献	11
第 2 章 反恐和安全中的博弈论和可靠性方法	13
2.1 引言	13
2.2 安全可靠性分析的应用	14
2.3 博弈论的安全应用	14
2.3.1 安全是攻击者和防御者之间的游戏	16
2.4 可靠性分析和博弈论相结合	17
2.5 未来工作的方向	17
2.6 结论	18

致谢.....	18
参考文献.....	19
第3章 使用累积历史已知的可靠性回归模型	22
3.1 引言	22
3.1.1 定义和符号	23
3.1.2 常见的寿命回归模型	23
3.2 建立回归模型的其他方法	24
3.2.1 基于转换泛函的模型	25
3.2.2 基于内部磨损的模型	25
3.3 可折叠的模型	27
3.3.1 二维预测问题	27
3.4 讨论	28
致谢.....	29
参考文献.....	29
第4章 系统可靠性评估的贝叶斯方法:模型和计算.....	31
4.1 现代可靠性分析的挑战	31
4.2 三个重要的例子	32
4.2.1 基于偏差抽样的组件可靠性	32
4.2.2 基于部分信息测试的系统可靠性	33
4.2.3 基于不同数据集成系统的可靠性	34
4.3 YADAS:统计建模环境	34
4.3.1 任意模型表示	35
4.3.2 特殊算法	35
4.3.3 接口,现在和未来	36
4.4 示例回顾	36
4.4.1 示例1	36
4.4.2 示例2	37
4.4.3 示例3	38
4.5 讨论	40
致谢.....	40
参考文献.....	40

第 5 章 可靠性和生存分析中的动态建模	42
5.1 引言	42
5.2 动态模型	44
5.2.1 动态可靠性模型	45
5.2.2 复发事件的动态模型	46
5.3 一些概率性质	47
5.4 推断方法	48
5.4.1 负载分担动态模型	48
5.4.2 复发事件的动态模型	49
5.5 应用	51
致谢.....	52
参考文献.....	53
第 6 章 寿命终结分析	55
6.1 报废电子电气设备(WEEE)的紧迫性	55
6.1.1 对可靠性的影响	55
6.1.2 对设计的影响	56
6.2 信号分析和层次建模	56
6.2.1 功能的重要性	56
6.2.2 小波和特征提取	56
6.3 案例研究	57
6.3.1 功能:预备 FMEA 和寿命测试	57
6.3.2 装订马达:时域分析	58
6.3.3 提升马达:频域分析	59
6.4 协议的建立和反演	61
致谢.....	65
参考文献.....	65
第 7 章 多阶段任务动态系统的可靠性分析:两种方法的比较.....	66
7.1 引言	66
7.2 测试情形	68
7.3 测试例子的求解	69
7.3.1 应用 Petrinet 求解	69

7.3.2	利用 BDMP 求解	71
7.3.3	比较结果	72
7.4	结论	76
	参考文献	77
第 8 章	竞争风险模式下加速寿命测试的灵敏度分析	79
8.1	引言	79
8.2	ALT 和竞争风险	80
8.2.1	ALT 和独立竞争风险	80
8.2.2	ALT 和相依竞争风险	82
8.3	绝缘寿命试验数据的图表分析	83
8.4	连接函数相依 ALT 竞争风险模型	84
8.4.1	竞争风险和连接函数	84
8.4.2	关联的度量	85
8.4.3	阿基米德连接函数	86
8.4.4	关于电机绝缘数据的应用	86
8.5	结论	89
	参考文献	90
第 9 章	从汽车保修截尾数据中估计平均累积函数	91
9.1	引言	91
9.2	Hu 和 Lawless 模型	92
9.3	模型的推广	93
9.3.1	“时间”为年龄的情形	93
9.3.2	“时间”为总里程的情形	96
9.4	例子	97
9.4.1	“P-维修申请”数据集	97
9.4.2	“时间”为车龄情形举例	98
9.4.3	“时间”为总里程情形举例	100
9.5	讨论	100
	参考文献	101
第 10 章	相依竞争风险的统计假设检验—回顾	103
10.1	引言	103

10.2	局部最大功效秩检验	104
10.3	二元对称性检验	106
10.4	删失数据	109
10.5	仿真结果	110
10.6	T 和 δ 的独立性检验	112
10.6.1	检验 H_0 与 H'_1	113
10.6.2	检验 H_0 与 H'_2	113
10.6.3	检验 H_0 与 H'_3	114
	致谢	115
	参考文献	115
第 11 章	ARI_1 不完全维修模型的维修效率估计	117
11.1	引言	117
11.2	记忆 1 下强度系数减少的模型	118
11.2.1	计数过程理论	118
11.2.2	不完全维修模型	118
11.3	失效过程状态	119
11.3.1	最小和最大磨损强度	119
11.3.2	渐近强度	120
11.3.3	渐近展开的二次项	122
11.4	维修效率估计	123
11.4.1	最大似然估计量	123
11.4.2	显式估计量	125
11.5	经验结果	126
11.5.1	观察到失效的次数有限	126
11.5.2	应用于真实维修数据及前景	127
11.6	经典收敛定理	128
	参考文献	129
第 12 章	关于连续输出的可修组件	131
12.1	引言	131
12.2	可修组件的渐近性能	132
12.3	简单系统	134
12.4	不完全维修	134

12.5 结束语	136
参考文献	136
第 13 章 组件中的不确定性对相依性已知的复杂系统生存的影响	138
13.1 引言	138
13.2 相依组件的系统可靠性	139
13.3 边缘分布的界	141
13.3.1 一致度量	142
13.3.2 分位点	142
13.3.3 期望	143
13.4 贝叶斯方法	145
13.5 比较	147
致谢	147
参考文献	147
第 14 章 渐近式采办系统的动态管理	148
14.1 背景	148
14.1.1 前言:广泛的问题	148
14.1.2 测试	149
14.2 渐近步骤建模	150
14.2.1 Block $b+1$ 的开发模型	150
14.2.2 开发和测试期间的设计缺陷的引入	151
14.2.3 具有随机 K_0 的任务成功概率举例	152
14.2.4 Block $b+1$ 的采办	153
14.2.5 Block b 和 Block $b+1$ 的陈旧	153
14.3 决策问题	153
14.4 例子	154
14.5 结论及下步计划	157
参考文献	157
第 15 章 不可靠监控和切换的更新冗余系统的可靠性分析	159
15.1 引言	159
15.2 问题陈述	159
15.3 渐近近似法:通用系统模型	160

15.4	精练系统模型和 FS 标准	161
15.5	可靠性和可维修性指标估计	162
15.6	例子	163
15.7	启发式近似法,更新复制模型的近似分析法	167
	参考文献	169
第 16 章	在不确定操作剖面下基于构件软件产品的规划模型	170
16.1	引言	170
16.2	最优规划问题的数学表述	171
16.3	随机最优可靠性配置	172
16.3.1	推导 G_0 的分布	173
16.3.2	解法实现	175
16.4	例子	175
16.5	总结与讨论	178
	致谢	178
	参考文献	179
第 17 章	具有破坏性的贮存可靠性评估:使用验证样本法的变量误差半参数估计	180
17.1	引言	180
17.2	预备知识	181
17.3	估计	182
17.4	证明	183
17.4.1	正则条件	183
17.4.2	定理 17.2 的证明	184
	致谢	187
	参考文献	187
第 18 章	复杂多态系统可靠性的流图模型	189
18.1	引言	189
18.2	流图模型的背景	190
18.3	流图数据分析	194
18.4	数值举例	195
18.5	结论	198

参考文献	198
第 19 章 设备状态监控工具的检测数据解读:方法和软件	200
19.1 引言	200
19.2 比例风险模型	201
19.3 管理风险:CBM 优化工具	205
19.4 案例研究资料	206
19.4.1 食品加工:使用振动监控	206
19.4.2 煤矿开采:使用润滑油分析	207
19.4.3 核电站	207
19.4.4 变速箱轮齿的失效	208
19.5 下一步研究设想	209
参考文献	209
第 20 章 删失数据的非比例半参数回归模型	212
20.1 引言	212
20.2 模型与估计	213
20.2.1 加速失效时间模型	213
20.2.2 线性变换模型	217
20.3 结束语	220
致谢	220
参考文献	220
第 21 章 多态系统的二进制表示	223
21.1 引言	223
21.2 基本定义	224
21.3 多态系统的二进制表示及其性质	225
21.4 应用实例	229
21.5 结论	232
致谢	233
参考文献	233
第 22 章 无分布连续贝叶斯置信网	235
22.1 引言	235

22.2	连接函数	236
22.3	连续 bbns	239
22.4	例子:机组人员警觉性模型	241
22.5	结论	243
	参考文献	243
第 23 章	预防性维修和独立删失下组件失效时间的随机建模与推断	245
23.1	引言	245
23.2	符号,定义,基本事实	246
23.3	维修预警模型	247
23.4	维修预警模型中的统计推断问题	249
23.4.1	独立删失	249
23.4.2	数据集与初步图形模型检验	249
23.4.3	非参数估计	251
23.4.4	参数估计	252
23.5	结束语	255
	致谢	256
	参考文献	256
第 24 章	最优控制函数近似计算的动态系统重要性抽样	258
24.1	引言	258
24.2	问题阐述:可靠性和失效概率	259
24.3	数值举例	261
24.3.1	白噪声激励的线性振荡器	261
24.3.2	有色噪声驱动的线性振荡器	265
24.4	结束语	268
	致谢	268
	参考文献	268
第 25 章	预见性维修的远程诊断数据的应用	270
25.1	引言	270
25.2	磨损累积的计算	271
25.3	应用于涡轮叶片库存管理	272
25.4	求解最优解	273

25.5	应用	275
25.6	建立广义的寿命回归模型	275
25.7	结束语	276
	致谢	276
	参考文献	276
第 26 章	从人工智能到可靠性:关于贝叶斯网络的建模分析	278
26.1	引言	278
26.2	贝叶斯网络	279
26.3	把故障树映射到贝叶斯网络	279
26.4	案例研究:Digicon 燃气涡轮控制器	280
26.5	建模问题	283
26.5.1	概率门:直接原因失效	283
26.5.2	概率门:覆盖	284
26.5.3	多状态变量	285
26.5.4	顺序相依失效	285
26.6	分析问题	286
26.6.1	案例分析	287
26.6.2	BN 模型中参数不确定性建模	288
26.7	结论与最新研究	290
	参考文献	290
第 27 章	基于使用测试的可靠性计算	292
27.1	动机	292
27.2	使用特征的建模	293
27.3	可靠性计算	294
27.3.1	模型	294
27.3.2	弧可靠性	295
27.3.3	轨道失效率	296
27.4	与期望使用的相似性	297
27.5	结论	298
	参考文献	298
第 28 章	使用迭代试验总时间变换的 k -mart 随机模型	300
28.1	引言	300

28.2 广义凸性, 迭代 TTT, k -mart 301

28.3 混合模型 303

28.4 二项案例 306

28.5 “最一致”分布的构造 310

致谢 311

参考文献 311