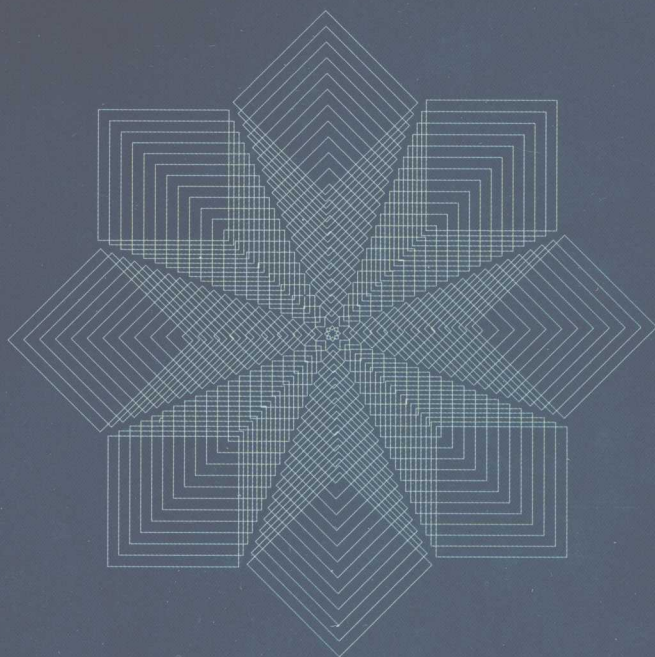


共因失效系统的 可靠性分析方法

eliability Analysis Method of Common Cause Failure System

金星 洪延姬 杜红梅 编著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

共因失效系统的 可靠性分析方法

Reliability Analysis Method of
Common Cause Failure System

金星 洪延姬 杜红梅 编著

國防工業出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

共因失效系统的可靠性分析方法/金星,洪延姬,杜红梅编著. —北京:国防工业出版社,2008. 11

ISBN 978-7-118-05777-5

I. 共... II. ①金...②洪...③杜... III. 失效分析-系统可靠性-研究 IV. TB114. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 078744 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)

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 6¼ 字数 151 千字

2008 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 25.00 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 第五届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 程洪彬

秘 书 长 程洪彬

副 秘 书 长 彭华良 蔡 镭

委 员 于景元 王小谟 甘茂治 刘世参

(按姓氏笔画排序)

李德毅 杨星豪 吴有生 何新贵

佟玉民 宋家树 张立同 张鸿元

陈冀胜 周一宇 赵凤起 侯正明

常显奇 崔尔杰 韩祖南 傅惠民

舒长胜

本书主审委员 甘茂治

序

由于外界共同影响因素的冲击,系统中若干个(或全部)单元内部故障因素同时被激发,造成若干个(或全部)单元同时发生故障,称为共因失效。例如,闪电作用和温度热冲击等共同原因,引起电路中浪涌电流和尖峰电压,造成半导体器件的击穿。

通过增加元器件数目,大量采用各种冗余方法,提高系统可靠性,是工程设计的重要方法。但是存在共因失效时,通过增加元器件数目,提高系统可靠性,效果并不明显。因此,在存在共因失效条件下,研究系统可靠性和可用性分析方法,具有工程实际意义。

本书详细讨论了指数分布模型、相似模型、常数故障率模型和二项分布故障率模型,为共因失效概念的建立和可靠性数据处理,提供了良好的基础。通过提出单元和系统正常和故障状态的描述方法,建立了显式分析方法和隐式分析方法的基本原理。为了工程应用方便,重点讨论了存在共因失效时,基于可靠性框图方法和基于故障树方法,为共因失效条件下,系统可靠性和可用性分析,提供了工程实用的理论和方法。

本书重点突出、概念清晰、注重工程实用。在内容的选取上,紧密围绕工程实际应用,并结合作者多年的教学和科研工作,合理安排各章节内容,重点介绍复杂系统可靠性和可用性分析方法。

中国工程院院士
国家安全生产综合组组长 钟群鹏
北京航空航天大学教授

2008年4月

前 言

随着现代武器装备的大型化和复杂化产生,武器装备中大量采用各种冗余方法来提高系统可靠性,产生共因失效是降低系统可靠性的重要影响因素之一。因此,国防科技工作者迫切需要了解 and 掌握共因失效条件下,系统可靠性和可用性的分析方法,使其转化为指导工程实际的应用技术。

在存在共因失效时,由于组成系统的各个单元之间的正常或故障状态彼此统计相关,因此,系统可靠性和可用性的分析方法,与传统的可靠性和可用性分析方法,存在较大的区别。同时,由于目前缺乏相关的系统论述该技术的资料和著作,对应用和普及共因失效的系统可靠性分析技术造成了障碍。在工程实践中急需深入浅出、注重实际应用、具有理论深度和重点突出的相关专著。我们在研究和吸收国内外新理论和新方法基础上,总结多年来从事研究生教学工作的经验和国防科研工作的成果,编著了本书,并详细介绍了工程实用的共因失效系统可靠性的理论和方法。

全书共7章。第1章介绍共因失效及其可靠性数据处理方法;第2章介绍系统可靠性的显式分析方法;第3章介绍系统可靠性的隐式分析方法;第4章介绍基于可靠性框图的系统可靠性分析方法;第5章介绍基于故障树的系统可靠性分析方法;第6章介绍存在共因失效时可修复一般系统的可用度近似分析方法;第7章介绍存在共因失效时基于马尔可夫模型的可用度分析方法。

在本书编著过程中,得到了中国人民解放军装备指挥技术学

院各级领导的大力支持,在此表示衷心感谢;研究生文明、李俊美、张明亮、李倩、叶继飞、曹正蕊、翟英敏、黄龙呈等也做了大量的工作,特别是叶继飞对书中的部分例题进行了认真地核对,在此表示感谢。

由于时间仓促、水平有限,书中一定存在许多缺点和不足,希望读者批评指正。

编著者

2008年3月

目 录

第1章 共因失效及其可靠性数据处理方法	1
1.1 共因失效的概念及系统可靠性分析的常用方法	1
1.1.1 共因失效的概念	1
1.1.2 存在共因失效时系统可靠性分析常用方法	2
1.2 泊松过程和二项分布	3
1.2.1 泊松过程	3
1.2.2 二项分布	4
1.3 Marshall-Olkin 指数分布模型	5
1.4 相似模型	7
1.5 常数故障率模型	11
1.6 二项分布故障率模型	13
1.7 应用举例	16
第2章 系统可靠性的显式分析方法	27
2.1 单元的故障或正常状态描述方法	27
2.2 系统的故障或正常状态描述方法	30
2.3 存在共因失效时系统可靠性分析的基本假设	32
2.4 存在共因失效时系统可靠性分析的显式分析方法	34
2.4.1 串联系统可靠性分析方法	34
2.4.2 并联系统可靠性分析方法	35
2.5 应用举例	38
第3章 系统可靠性的隐式分析方法	46

3.1	指定的 m 个单元同时正常的概率	46
3.1.1	指定的 1 个单元正常的概率	46
3.1.2	指定的 m 个单元同时正常的概率	47
3.2	系统可靠性分析的隐式替代方法—— 全部单元承受共因失效冲击	48
3.3	系统可靠性分析的隐式替代方法—— 部分单元承受共因失效冲击	50
3.4	典型系统的可靠性分析	51
3.4.1	串联系统可靠性分析	51
3.4.2	并联系统可靠性分析	53
3.4.3	k/n 系统可靠性分析	54
3.5	应用举例	56
第4章	基于可靠性框图的系统可靠性分析方法	64
4.1	系统正常状态或故障状态的表示方法	64
4.1.1	最小路集和最小割集	64
4.1.2	系统状态与最小路集和最小割集之间的 关系	65
4.1.3	常用集合的运算法则	66
4.1.4	求系统最小路集和最小割集的方法	66
4.2	系统可靠度计算的直接不交化方法	67
4.2.1	采用相容事件概率公式计算系统可靠度	67
4.2.2	采用最小路集不交化计算系统可靠度	67
4.2.3	不交型积之和的简化定理	68
4.2.4	采用最小割集不交化计算系统可靠度	70
4.3	一般系统可靠性分析的隐式替代方法	73
4.3.1	基本思路 and 具体过程	73
4.3.2	解决问题的难点	74
4.4	计算机编程计算的相关算法	78

001	4.4.1	正事件和逆事件表示方法	79
001	4.4.2	不交化最小路集表示方法	80
001	4.4.3	逆事件转换为正事件算法	80
011	4.4.4	运算数组行数和列数算法	81
011	4.5	计算机编程计算方法	82
011	4.5.1	系统可靠度表达式计算	83
111	4.5.2	全部单元共因失效时系统可靠度表达式 计算	85
121	4.5.3	部分单元共因失效、部分单元独立失效时 系统可靠度表达式计算	86
131	4.6	应用举例	88
	第5章	基于故障树的系统可靠性分析方法	98
151	5.1	故障树的定性分析	98
151	5.1.1	割集和最小割集	98
151	5.1.2	路集和最小路集	99
151	5.1.3	最小割集计算方法	99
251	5.1.4	最小路集计算方法	100
151	5.1.5	故障树的最小割集、最小路集与系统状态	101
	5.2	故障树的定量分析	102
151	5.2.1	采用最小割集求顶事件发生的概率 (不可靠度)	102
151	5.2.2	采用最小路集求顶事件不发生的概率 (可靠度)	103
021	5.3	指定的 m 个底事件同时发生的概率	103
151	5.3.1	指定的 1 个底事件发生的概率	104
151	5.3.2	指定的 m 个底事件同时发生的概率	104
151	5.4	基于故障树方法的隐式替代方法	106
141	5.5	基于可靠性框图方法与基于故障树方法的比较	108

97	5.5.1	最小路集和最小割集	109
98	5.5.2	最小路集和最小割集的不变化	109
98	5.5.3	系统可靠度或不可靠度表达式	109
18	5.5.4	隐含替代方法	110
28	5.5.5	优化的隐含替代方法	110
28	5.5.6	计算机编程方法	110
	5.6	应用举例	111
	第6章	存在共因失效时可修复一般系统的可用度近似	
		分析方法	121
98	6.1	存在共因失效时维修策略	121
28	6.1.1	普通维修策略	121
89	6.1.2	特殊维修策略	122
89	6.1.3	维修工数目	123
89	6.2	系统寿命和修复时间分布	123
99	6.2.1	系统的寿命分布	123
99	6.2.2	系统的修复时间分布	124
99	6.2.3	指定 k 个单元的平均修复时间	125
101	6.2.4	关于修复率的简化处理	127
101	6.3	存在共因失效时一般系统可用度近似分析	
		模型	127
101	6.3.1	维修策略选择	127
	6.3.2	系统可用度近似分析模型	128
101	6.3.3	系统可用度计算的拉普拉斯变换方法	129
101	6.3.4	系统可用度计算的积分方程方法	130
101	6.4	串联系统的可用度近似分析	132
101	6.4.1	常用计算公式	132
101	6.4.2	串联系统的故障概率密度函数	133
101	6.4.3	串联系统的修复概率密度函数	134

6.4.4	串联系统的瞬态可用度	134
6.4.5	串联系统的稳态可用度	136
6.5	并联系统的可用度近似分析	137
6.5.1	并联系统的故障概率密度函数	137
6.5.2	并联系统的修复概率密度函数	138
6.5.3	并联系统的瞬态可用度	139
6.6	k/n 系统的可用度近似分析	140
6.6.1	k/n 系统的故障概率密度函数	140
6.6.2	k/n 系统的修复概率密度函数	140
6.6.3	k/n 系统的瞬态可用度	141
6.7	应用举例	142
第7章	存在共因失效时基于马尔可夫模型的可用度 分析方法	149
7.1	一般可修复系统可用度分析的马尔可夫模型	149
7.1.1	修复率模型	149
7.1.2	系统状态转移微分方程组	150
7.1.3	系统可用度与不可用度	153
7.1.4	系统的稳态指标	153
7.2	串联系统的可用度分析	154
7.2.1	2个相同单元串联系统	154
7.2.2	3个相同单元串联系统	157
7.2.3	n 个相同单元串联系统	160
7.3	并联系统的可用度分析	162
7.3.1	2个相同单元并联	162
7.3.2	3个相同单元并联	165
7.4	2/3 系统的可用度分析	170
参考文献		174

Contents

Chapter 1 Common Cause Failure and Processing

Methods of Reliability Data 1

1.1 Conception of Common Cause Failure and Common

Analysis Methods of System Reliability 1

1.1.1 Conception of Common Cause Failure 1

1.1.2 Common Analysis Methods of System Reliability on Common Cause Failure 2

1.2 Poisson Process and Binomial Distribution 3

1.2.1 Poisson Process 3

1.2.2 Binomial Distribution 4

1.3 Exponential Distribution Model of Marshall-Olkin 5

1.4 Homogeneous Model 7

1.5 Constant Failure Rate Model 11

1.6 Binomial Failure Rate Model 13

1.7 Application Example 16

Chapter 2 Explicit Method of System Reliability 27

2.1 Description Method of Unit States 27

2.2 Description Method of System States 30

2.3 Fundamental Assumption of System Reliability

Analysis on Common Cause Failure 32

2.4 Explicit Method of System Reliability on Common

Cause Failure	34
2. 4. 1 Analysis Method of Series System	
Reliability	34
2. 4. 2 Analysis Method of Parallel System	
Reliability	35
2. 5 Application Example	38
Chapter 3 Implicit Method of System Reliability	46
3. 1 Probability of Simultaneous Normal of Designated	
m Units	46
3. 1. 1 Probability of Normal of Designated 1 Units	46
3. 1. 2 Probability of Simultaneous Normal of	
Designated m Units	47
3. 2 Implicit Method of System Reliability —	
All Units on Common Cause Failure	48
3. 3 Implicit Method of System Reliability—	
Partial Units on Common Cause Failure	50
3. 4 Reliability Analysis of Typical System	51
3. 4. 1 Reliability Analysis of Series System	51
3. 4. 2 Reliability Analysis of Parallel System	53
3. 4. 3 Reliability Analysis of k - out - of - n	
System	54
3. 5 Application Example	56
Chapter 4 System Reliability Analysis Method Based on	
Reliability Block Diagram	64
4. 1 Representation of System States	64
4. 1. 1 Minimal Path Sets and Minimal Cut Sets	64
4. 1. 2 Relation between System States and Minimal	

Path Sets or Minimal Cut Sets	65
4. 1. 3 Common Operational Rule of Assemble	66
4. 1. 4 Calculation Method of Minimal Path Sets and Minimal Cut Sets	66
4. 2 Direct Disjoint Form Calculation Method of System Reliability	67
4. 2. 1 Calculation Method of System Reliability Based on Probability Equation for Consistent Events	67
4. 2. 2 Calculation Method of System Reliability Based on Disjoint Form of Minimal Path Sets	67
4. 2. 3 Simplify Rule for Sum of Disjoint Form Product	68
4. 2. 4 Calculation Method of System Reliability Based on Disjoint Form of Minimal Cut Sets ...	70
4. 3 Implicit Method of Common System Reliability	73
4. 3. 1 Basic Step and Detailed Process	73
4. 3. 2 Difficulty for Solving Problem	74
4. 4 Some Algorithms for Programming	78
4. 4. 1 Representation for Positive Events and Inverse Events	79
4. 4. 2 Representation for Disjoint Form of Minimal Path Sets	80
4. 4. 3 Conversion Algorithm from Inverse Events to Positive Events	80
4. 4. 4 Algorithm for Calculation Line Number and	