

工程系统可靠性评估 ——原理和方法

(加拿大) R 别林登 R. N. 阿伦 著
周家启 黄雯莹 吴继伟 甘立功 译
由克伟 秦翼鸿 校

科学技术文献出版社重庆分社

工程系统可靠性评估

—原理和方法

[加拿大]R. 别林登 R.N. 阿伦 著

周家启 黄雯莹 译
吴继伟 甘立功

由克伟 秦翼鸿 校

科学技术文献出版社重庆分社

工程系统可靠性评估

——原理和方法

*

[加拿大] R. 别林登 等著

周家启 黄雯莹 等译

由克伟 秦翼鸿 校 责任编辑 林云梯

科学技术文献出版社重庆分社 出版

重庆市市中区胜利路132号

新华书店重庆发行所 发行

中国科学技术情报研究所重庆分所印刷厂 印刷

开本: 787×1092毫米1/32 印张: 13.125 字数: 28万

1988年3月第1版

1988年3月第1次印刷

科技新书目: 166—317 印数: 3500

ISBN 7-5023-0173-9/TB·13

统一书号: 15176·768 定价: 3.10元

内容简介

本书译自R.别林登教授所著的《Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques》一书。

第一章概括工程系统可靠性的意义和基本内容；第二、三章介绍概率论基础和工程应用方法；第四、五章叙述简单和复杂系统的网络模型技术；第六、七章论述各种重要的概率分布及其在系统可靠性评估中的应用；第八、九章阐述马尔可夫过程的基本理论；第十~十二章介绍了工程系统常用的可靠性评估方法。附录中给出了布尔代数、矩阵、微分方程和拉普拉斯变换、置信限和正态分布函数等基础知识。最后，给出了习题答案。本书条理清楚，叙述深入浅出，内容丰富，可作为各类工程技术人员自学读物，也可作为工科院校各专业的参考教材或试用教材。

DA 678/12

序

本书是出自我们对可靠性评估技术及其应用的浓厚兴趣和从事这方面研究的结果而写成的。它的内容并不限于任何一种工程学科，因为可靠性评估的概念和基本方法决没有学科界限，而可应用到即使不是全部，也是大部分工程领域中。

我们确信，可靠性评估是从最小到最大、从最简单到最复杂的所有工程系统规划、设计和运行方面的一个不可缺少的重要组成部分。我们还认为，与这些系统有关的所有工程技术人员不仅应当了解可靠性评估可能产生的效益，而且应该懂得怎样进行评估。

我们的主要目标是要为没有或只有很少概率统计理论知识的现场工程技术人员和工科学生编写一本叙述工程系统可靠性评估的概念和基本方法的读物。希望这里叙述的材料将促进他们建立信心去吸收、理解和评价更加专门的应用以及在他们各自学科领域的杂志和出版物上发表的其它资料。

本书的编写体例打算一次只引入一个新的概念、方法及其应用，并尽量用数字算例来巩固这些概念和方法。我们相信这种体例将使读者建立起掌握和应用可靠性评估技术的信念，并使本书既可作为一本自学读物，也可供大学生和研究生作为可靠性评估这门课程的正式教材。

如果没有以下机构和个人的关心及密切联系，本书是不可能完成的，他们是：参加我们各自的研究生研究课题的学生，美国电气与电子工程师学会，加拿大电气学会和英国电气工程师学会以及我们各自学校中的同事们，还有与我们有

联系的各工业部门的工程技术人员等等。

本书稿件准备过程中得到了好些打印人员的帮助，在此谨向他们致谢。最后，并非无足轻重地要向我们各自的妻子乔易丝和黛恩长期以来坚持不懈的鼓励并帮助校阅原稿表示感谢。

R. 别林登

R.N. 阿伦

1982年8月

译者前言

可靠性定量评估可以为工程决策提供最重要的依据。自40年代初期这门技术在国外军事和电子工业领域中开展应用研究以来,即因其在提高管理水平和经济效益方面所显示的作用,近20年发展十分迅速。从简单小件产品到复杂的大规模系统,以至日常民用商品等广阔的范围内获得了非常普遍的应用,并逐渐形成了“工程系统可靠性”这门新兴学科。可靠性定量评估技术已经成为当代所有工程技术人员必备的基本知识之一。

本书作者之一的R.别林登教授是现任美国电气与电子工程师学会(IEEE)电力系统可靠性分委员会主席,加拿大萨斯卡契旺(Saskatchewan)大学工学院院长,50年代初开始从事可靠性的研究工作,已出版这方面的专著五本,发表论文近300篇。本书即是作者为了普及这方面的知识,总结数十年教学和工程实践的经验撰写的、系统论述“工程系统可靠性技术”的一本论著。它也是作者另一本专著《电力系统可靠性评估》(该书已由科学技术文献出版社重庆分社出版)的前卷,为该书提供了预备知识。本书条理清楚,文字通俗,编写体例遵循由浅入深的认识规律。既有必要的基本理论,也通过许多实例指明了这门学科研究的内容和方法。书中列出的大量参考文献为可靠性在各工程学科中进一步的应用研究提供了有用的信息,不失为工程技术人员一本很好的自学读物,也可作为工科院校各专业的教学参考书或试用教材。

R.别林登教授来重庆大学讲学期间,与我们讨论了本书

内容，并赠送本书原版，在此深表感谢。

本书由周家启翻译序言，第一、二、六、十一~十三章及习题答案；黄雯莹翻译第八~十章及全部附录；吴继伟翻译第三和七章；甘立功翻译第四、五章。秦翼鸿初校序言、第一~七章及第十一~十三章，周家启初校第八~十章及附录；由克伟统校全书。由于译者水平及时间所限，错误之处敬请读者批评指正。

译者1986.4

目 录

第一章 绪 论	(1)
第二章 基本概率理论	(6)
2.1 概率的概念	(6)
2.2 排列和组合	(8)
2.2.1 概 述	(8)
2.2.2 排 列	(8)
2.2.3 组 合	(11)
2.2.4 排列与组合的比较	(13)
2.2.5 在概率计算中的应用	(14)
2.3 实际工程概念	(17)
2.4 凡 恩 图	(19)
2.5 组合概率的规则	(20)
2.5.1 规则1——独立事件	(20)
2.5.2 规则2——互斥事件	(20)
2.5.3 规则3——对立事件	(21)
2.5.4 规则4——条件事件	(21)
2.5.5 规则5——同时发生的事件	(22)
2.5.6 规则6——两个事件中至少一件发生	(24)
2.5.7 规则7——条件概率的应用	(27)
2.6 概率分布	(30)
2.6.1 随机变量	(30)
2.6.2 密度和分布函数	(31)
2.6.3 数学期望	(36)
2.6.4 方差和标准离差	(38)

2.7 结 论	(40)
习 题	(40)
第三章 二项分布的应用	(43)
3.1 二项分布的概念	(43)
3.2 二项分布的性质	(45)
3.2.1 一般特性	(45)
3.2.2 二项式系数	(50)
3.2.3 期望值和标准离差	(50)
3.3 工程应用	(53)
3.3.1 限定性评估	(53)
3.3.2 经济性含义	(54)
3.3.3 冗余的影响	(55)
3.3.4 部分输出(降额)状态的影响	(61)
3.3.5 无效度的影响	(66)
3.3.6 单机备用的影响	(67)
3.3.7 不相同容量时	(68)
3.3.8 不同无效度时	(71)
3.4 结 论	(72)
习 题	(73)
第四章 简单系统的网络模型和评估	(75)
4.1 网络模型的概念	(75)
4.2 串联系统	(77)
4.3 并联系统	(80)
4.4 串-并联系统	(83)
4.5 部分冗余系统	(86)
4.6 备用冗余系统	(88)
4.6.1 冗余的概念	(88)

4.6.2	理想切换	(89)
4.6.3	非理想切换	(90)
4.6.4	备用冗余的计算	(91)
4.7	结 论	(92)
	习 题	(93)
第五章	复杂系统的网络模型和评估	(95)
5.1	建模和评估原理	(95)
5.2	条件概率法	(96)
5.3	割 集 法	(97)
5.3.1	割集的概念	(97)
5.3.2	割集的应用	(99)
5.3.3	近似算法	(101)
5.3.4	求最小割集	(103)
5.4	前述方法的运用和比较	(106)
5.5	连 集 法	(108)
5.6	联络矩阵法	(111)
5.7	事 件 树	(115)
5.7.1	概 述	(115)
5.7.2	连续运行系统	(116)
5.7.3	割集和连集的推导	(120)
5.7.4	备用和顺序逻辑系统	(122)
5.8	故 障 树	(128)
5.9	多重失效模式	(130)
5.10	结 论	(135)
	习 题	(136)
第六章	可靠性评估中的概率分布	(138)
6.1	分布的概念	(138)

6.2	分布的术语	(139)
6.3	一般可靠性函数	(142)
6.4	可靠性函数的计算	(145)
6.5	可靠性函数的图形	(148)
6.6	泊松分布	(150)
6.6.1	概 述	(150)
6.6.2	泊松分布的推导	(150)
6.6.3	与二项分布的关系	(155)
6.7	正态分布	(157)
6.7.1	概 述	(157)
6.7.2	概率密度函数	(158)
6.7.3	概率计算	(161)
6.8	指数分布	(165)
6.8.1	概 述	(165)
6.8.2	可靠性函数	(166)
6.8.3	后验故障概率	(167)
6.8.4	均值和标准离差	(169)
6.9	威布尔分布	(172)
6.10	γ 分 布	(175)
6.11	瑞利分布	(177)
6.12	对数正态分布	(179)
6.13	矩形(或均匀)分布	(181)
6.14	可靠性函数的小结	(182)
6.15	结 论	(184)
习 题		(185)
第七章 用概率分布进行系统可靠性计算		(189)
7.1	引 言	(189)

7.2	串联系统.....	(190)
7.3	并联系统.....	(193)
7.4	部分冗余系统.....	(196)
7.5	平均无故障工作时间.....	(199)
7.6	备用系统.....	(202)
7.6.1	概 述.....	(202)
7.6.2	理想切换.....	(203)
7.6.3	非理想切换.....	(206)
7.6.4	备用元件的影响.....	(209)
7.6.5	不相同元件.....	(212)
7.6.6	备用模式中的失效.....	(214)
7.7	衰耗与元件可靠度.....	(220)
7.8	维修与元件可靠度.....	(225)
7.9	结 论.....	(229)
	习 题	(230)
第八章	离散马尔可夫链	(234)
8.1	引 言.....	(234)
8.2	一般建模概念.....	(236)
8.3	随机转移概率矩阵.....	(240)
8.4	时间相关概率的计算.....	(241)
8.5	极限状态概率的评估.....	(244)
8.6	吸收状态.....	(246)
8.7	离散马尔可夫方法的应用.....	(249)
8.8	结 论.....	(254)
	习 题	(255)
第九章	连续马尔可夫过程	(258)
9.1	引 言.....	(258)

9.2 一般建模概念.....	(258)
9.2.1 转移率概念.....	(258)
9.2.2 时间相关概率.....	(260)
9.2.3 极限状态概率.....	(263)
9.3 状态空间图.....	(265)
9.3.1 概 述.....	(265)
9.3.2 单个可维修元件.....	(266)
9.3.3 两个可维修元件.....	(266)
9.3.4 三元件系统.....	(268)
9.3.5 多元件系统.....	(269)
9.3.6 备用冗余系统.....	(269)
9.3.7 面向任务的系统.....	(270)
9.4 随机转移概率矩阵.....	(271)
9.5 极限状态概率的评估.....	(272)
9.5.1 单个可维修元件.....	(272)
9.5.2 两个相同的可维修元件.....	(273)
9.6 时间相关状态概率的评估.....	(275)
9.6.1 微分方程法.....	(275)
9.6.2 矩阵相乘法.....	(277)
9.7 可维修系统的可靠性评估.....	(278)
9.8 平均无故障工作时间.....	(279)
9.8.1 评估概念.....	(279)
9.8.2 随机转移概率矩阵法.....	(280)
9.9 各种方法在复杂系统中的应用.....	(283)
9.10 结 论.....	(286)
习 题.....	(287)
第十章 频率和持续时间法	(289)

10.1	引 言	(298)
10.2	频率和持续时间的概念	(289)
10.3	对多状态问题的应用	(293)
10.3.1	两元件可维修系统	(293)
10.3.2	状态概率	(294)
10.3.3	遭遇单独状态的频率	(295)
10.3.4	单独状态的平均持续时间	(297)
10.3.5	单独状态之间的循环时间	(298)
10.3.6	遭遇累积状态的频率	(299)
10.3.7	累积频率的递推计算	(302)
10.3.8	累积状态的平均持续时间	(305)
10.4	频率平衡法	(306)
10.5	两阶段维修和安装过程	(308)
10.5.1	概 述	(308)
10.5.2	单个元件系统——无可备用件	(309)
10.5.3	单个元件系统——一个可用备件	(311)
10.5.4	单个元件系统——两个可用备件	(314)
10.5.5	两元件系统——一个可用备件	(315)
10.5.6	极限备件数	(317)
10.5.7	方法的应用	(317)
10.6	结 论	(320)
	习 题	(321)
第十一章	系统可靠性近似计算	(323)
11.1	引 言	(323)
11.2	串联系统	(323)
11.3	并联系统	(327)
11.3.1	两元件系统	(327)

11.3.2 多元件系统	(329)
11.4 网络简化方法	(330)
11.5 最小割集和故障模式分析	(332)
11.6 计划检修的计入	(334)
11.7 共同模式故障	(339)
11.7.1 概 述	(339)
11.7.2 建模和计算方法	(341)
11.8 结 论	(346)
习 题	(347)
第十二章 非指数分布的系统	(348)
12.1 引 言	(348)
12.2 分段法	(349)
12.3 串联分段	(351)
12.4 并联分段	(353)
12.5 与两分段并联相串的串联分段	(354)
12.6 时间相关和极限状态概率	(355)
12.7 结 论	(360)
习 题	(361)
第十三章 结束语	(362)
附录一 布尔代数法则	(364)
附录二 正态分布函数	(365)
附录三 矩阵代数基础	(367)
A3.1 矩阵的概念	(367)
A3.2 方 阵	(367)
A3.3 列矩阵 (或矢量)	(367)
A3.4 行矩阵 (或矢量)	(368)
A3.5 转置矩阵	(368)

A3.6	对角线矩阵	(368)
A3.7	单位 (或幺) 矩阵	(368)
A3.8	对称矩阵	(369)
A3.9	矩阵的行列式	(369)
A3.10	余子式	(369)
A3.11	行列式的计算	(370)
A3.12	矩阵加法	(371)
A3.13	矩阵减法	(371)
A3.14	矩阵乘法	(372)
A3.15	常数乘以矩阵	(373)
A3.16	逆矩阵	(373)
A3.17	联立方程组的解法	(374)
A3.18	解联立方程组的克莱姆法则	(375)
附录四	微分方程和拉普拉斯变换	(378)
A4.1	微分方程	(378)
A4.2	拉普拉斯变换	(378)
A4.3	利用拉普拉斯变换解微分方程	(381)
附录五	置信水平和置信限	(384)
A5.1	引言	(384)
A5.2	在所选择置信水平下的无效度	(385)
A5.3	在所选择置信水平下的故障率	(388)
A5.4	结论	(392)
习 题		(392)
参考文献		(392)
习题答案		(398)