



装备科技译著出版基金

可靠性维修性保障性
学术专著译丛

丛书主编 康锐

系统工程与分析

(第5版)

Systems Engineering and Analysis

(Fifth Edition)

【美】 Benjamin S. Blanchard

Wolter J. Fabrycky

著

李瑞莹 潘星

主译

康锐

主审

PEARSON



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

可靠性维修性保障性学术、技术、工程丛书

系统工程与分析

(第5版)

Systems Engineering and Analysis

(Fifth Edition)

[美] Benjamin S Blanchard, Wolter J Fabrycky 著

李瑞莹 潘 星 主译

康 锐 主审

国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字:军-2013-113 号

图书在版编目(CIP)数据

系统工程与分析:第5版/(美)布兰谢尔德(Blanchard,B.S.), (美)法布莱基(Fabrycky, W.J.)著;李瑞莹,潘星主译.—北京:国防工业出版社,2014.12

(可靠性维修性保障性学术专著译丛)

书名原文:Systems engineering and analysis, fifth edition

ISBN 978-7-118-09675-0

I. ①系... II. ①布... ②法... ③李... ④潘... III. ①系统工程 IV. ①N945

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第008191号

Authorized translation from the English language edition, entitled **System Engineering and Analysis(5th ed)**, by **Benjamin S. Blanchard, Wolter J. Fabrycky**.

published by Pearson Education, Inc., Copyright © 2011, 2006, 1998, 1990, 1981 Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and NATIONAL DEFENSE INDUSTRY PRESS Copyright © 2014.

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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 43¼ 字数 822 千字

2014年12月第1版第1次印刷 印数 1—2500册 定价 110.00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

《可靠性维修性保障性学术专著译丛》

编 审 委 员 会

主任委员

康 锐 教授 北京航空航天大学

副主任委员

屠庆慈 教授 北京航空航天大学

王文彬 教授 北京科技大学

委员(按姓氏笔画排序)

于永利(军械工程学院)

王文彬(北京科技大学)

左明健(电子科技大学)

田玉斌(北京理工大学)

李大庆(北京航空航天大学)

邹 云(南京理工大学)

张卫方(北京航空航天大学)

陈 循(国防科技大学)

陈云霞(北京航空航天大学)

金家善(海军工程大学)

赵 宇(北京航空航天大学)

康 锐(北京航空航天大学)

曾声奎(北京航空航天大学)

王少萍(北京航空航天大学)

王自力(北京航空航天大学)

左洪福(南京航空航天大学)

孙 权(国防科技大学)

何宇廷(空军工程大学)

宋笔锋(西北工业大学)

陆民燕(北京航空航天大学)

陈卫东(哈尔滨工程大学)

苗 强(四川大学)

单志伟(装甲兵工程学院)

郭霖瀚(北京航空航天大学)

屠庆慈(北京航空航天大学)

翟国富(哈尔滨工业大学)

《可靠性维修性保障性学术专著译丛》

总 序

可靠性理论自 20 世纪 50 年代发源以来,得到了世界各地研究者的广泛关注,并在众多行业内得到了成功的应用。然而,随着工程系统复杂程度的不断增加,可靠性理论与方法也受到了日益严峻的挑战。近年来,许多国际知名学者对相关问题进行了深入研究,取得了一系列显著的成果,极大地丰富和充实了可靠性理论与方法。2012 年,国际知名出版社 Springer 出版了一套“可靠性工程丛书”,共计 61 种,总结了近年来可靠性维修性保障性相关领域内取得的绝大部分研究成果,具有很强的系统性、很高的理论与实用价值。

经过国内最近 30 年的普及和发展,可靠性的重要性已经得到业界的普遍认可,即使在民用领域,可靠性的研究与应用也发展迅猛。他山之石,可以攻玉,系统地了解国际上可靠性相关领域近年来的最新研究成果,对于国内的可靠性研究者与实践者们都会大有裨益。为此,国防工业出版社邀请北京航空航天大学可靠性与系统工程学院以 Springer 出版的可靠性工程丛书中的 10 种,外加 Wiley、World Scientific、Cambridge、CRC、Prentice Hall 出版机构各一种,共 15 种专著,策划组织了《可靠性维修性保障性学术专著译丛》的翻译出版工作。我具体承担了这套丛书的翻译组织工作。我们挑选这 15 种专著的基本原则是原著内容是当前国内学术界缺乏的或工业界急需的,主题涵盖了相关领域的科研前沿、热点问题以及最新研究成果,丛书中各专著原作者均为相关领域国际知名的专家、学者。

组织如此规模的学术专著翻译出版工作,我们是没有现成经验的。为了保证翻译质量和进度,在组织翻译这套丛书的过程中,我们做了以下几方面的工作:一是认真遴选主译者。我们邀请了国内高校可靠性工

程专业方向的在校博士生作为主译者,这些既有专业知识又有工作激情的青年学者对翻译工作的投入是保证质量与进度的第一道屏障。二是真诚邀请主审专家。我们邀请的主审专家要么是这些博士生的导师,要么是这些博士生的科研合作者,他们均是国内可靠性领域的知名专家,他们对可靠性专业知识把握的深度和广度是保证质量与进度的第二道屏障。三是建立编审委员会加强过程指导。我们邀请了国内知名专家与主审专家一起共同组成了丛书编审委员会,从丛书选择、翻译指导、主审主译等多个方面开展了细致的工作,同时为了及时沟通信息、交流经验,我们还定期编辑丛书翻译工作简报,在主译者、主审者和编审委员中印发。可以说经过以上工作,我们坚信这批专著的翻译质量是有保证的。

本套丛书适合于从事可靠性维修性保障性相关研究的学者和在校博士、硕士研究生借鉴与学习,也可供工程技术人员在具体的工程实践中参考。我们相信,本套丛书的出版能够对国内可靠性系统工程的发展起到推动作用。

北京航空航天大学可靠性与系统工程学院

康 锐

2013 年 11 月 8 日

PREFACE

Today's modern systems have become increasingly complex to design and build, while the demand for reliability and cost effective development continues. Thus, reliability has become one of the most important attributes in these systems. Growing international competition has increased the need for all designers, managers, practitioners, scientists and engineers to ensure a level of reliability of their product before release at the lowest cost. This is the reason why interests in reliability have been continually growing in recent years and I believe this trend will continue during the next decade and beyond.

It is these growing interests from both industries and academia that motivate Springer to publish the Springer Series in Reliability Engineering, for which I serve as the series editor. This series consists of books, monographs and edited volumes in important subjects of current theoretical research development in reliability and in areas that attempt to bridge the gap between theory and application in fields of interest to practitioners in industry, laboratories, business and government.

I am very delighted to learn that the National Defense Industry Press from China is planning to translate selected books from the Springer Series as well as some other distinguished monographs from other presses into Chinese. The books in the collections to be translated cover most of the timely and important topics in reliability research areas and are of great values for both theoretical researchers and engineering practitioners.

The translations are organized and managed by Professor Rui Kang from Beihang University, who is a world-wide leading expert in reliability related areas. With his expertise and dedication, the quality of the translations is guaranteed. I'm sure that the translations of these outstanding books will be a great impetus to the research and application of reliability engineering in China.

Personally, I will treat the translation collection as an attempt to exchange ideas of reliability researchers in the international community with their Chinese counterparts. I really hope that these kinds of idea interchanges will be more common and frequently in the future. Specifically, I am really looking forward to hearing more from our Chinese colleagues. Wish the research and application of reliability in China a bright future!

Hoang Pham

Dr. Hoang Pham, IEEE Fellow
Distinguished Professor
Rutgers University
Series Editor, Springer Series in Reliability Engineering

序

不断发展的科技和日趋激烈的市场竞争对产品提出了日趋强烈的可靠性需求,希望能够以尽可能低的成本高效保证产品可靠性。可靠性业已成为现代工程系统最重要的属性之一。面向这种需求, Springer 出版社组织出版了《Springer 可靠性工程丛书》。这套丛书由 61 种专著组成(截止到 2013 年 11 月),涵盖了近年来可靠性相关领域内取得的最新理论成果,介绍了可靠性工程在实际工程上的应用,具有很强的理论和实践价值。

作为《Springer 可靠性工程丛书》的主编,我很高兴中国的国防工业出版社计划将这套丛书中的部分专著以及其他一些近年出版的可靠性优秀英文专著翻译出版,推出《可靠性维修性保障性学术专著译丛》。《可靠性维修性保障性学术专著译丛》中的专著选题覆盖了可靠性领域近期的大部分研究热点和重要成果,具有重要的理论价值和实践指导意义。

这套丛书的翻译工作由北京航空航天大学的康锐教授负责组织。康锐教授是国际知名的可靠性专家,我相信,康锐教授的专业知识和奉献精神,能够有效保证译著的质量。我确信,这些优秀专著的翻译出版将极大地推动中国的可靠性研究和应用工作。

就我个人而言,我更愿意将《可靠性维修性保障性学术专著译丛》看作是可靠性领域内的国际学者与中国同行们进行的一次思想交流。我期待这样的交流在未来更加频繁。特别地,希望中国优秀学者们能够更多地以英文出版学术专著,介绍他们的学术成果,从而向可靠性领域的国际同行们发出来自中国的声音。衷心祝愿中国的可靠性事业更上一个台阶!

Hoang Pham

博士, IEEE 会士

罗格斯大学特聘教授

Springer 可靠性工程丛书主编

译者序

系统工程是一个跨多学科领域的新专业,系统工程过程、系统分析和控制、工程专业综合是实施系统工程的三个重要组成部分。Blanchard 教授和 Fabrycky 教授合著的这本《系统工程与分析》全面涵盖了上述内容,因而成为国外大学系统工程专业经典著作,得到了国外学术界、工业界的广泛认可,是迄今为止系统工程领域最全面、最深入、最系统的教学参考书。本书全面阐述了系统工程的概念、模型、工具和方法,汇聚了国际其他研究机构取得的系统工程方法的最新成果,凝聚了作者多年从事系统设计和可靠性、维修性、保障性、全寿命周期费用分析等领域研究所获得的宝贵经验,结合美国波音、通用等公司的产品设计实践,给出了系统工程方法应用的经典案例。

30 多年来,系统工程专业教学、研究和应用在中国得到了较快发展,形成了中国特色的学科体系与应用范例。成立于 1985 年的北京航空航天大学可靠性与系统工程学院一直专注于可靠性与系统工程科研、教学和工程应用,以康锐教授为首的译者团队先后为本科生、研究生开设了多门次系统工程有关课程,如本科生专业必修课“飞行器研制系统工程”、本科生公共选修课“可靠性系统工程导论”、研究生专业课“系统工程管理”、研究生学科基础课“工程系统工程基础”“运筹学基础”,等等。从 2003 年起,本团队即开始使用本书第 3 版原版教材作为上述课程的教学参考书,期间陆续开展了本书部分章节的翻译工作。当本书第 5 版出版后,我们决定开始对这本经典的系统工程著作进行翻译出版,以满足广大系统工程专业学习者、使用者的需求。相信本书的翻译出版对于国内正在蓬勃发展的系统工程教学、研究和工程实践能起到重要的指导作用。

本书由李瑞莹、潘星主译,康锐主审。其中,李瑞莹负责 1~6 章、12~19 章和附录的主译,潘星负责 7~11 章的主译,参加翻译工作的有刘小西、李枚楠、王景夫、张俊、文天健、何聪姣、辛子龄、吴凡、黄元星、武文嘉、李锐、周鑫。虽然我们在翻译过程中尽了最大的努力,但是由于水平所限,不当和疏漏之处在所难免,敬请读者不吝指正。

译者

前 言

本书围绕“系统”这一主角,介绍人造系统工程和系统分析。前者主要强调系统形成过程,从问题或需求识别开始,到系统要求确定、功能分析与分配、设计综合与评价、设计验证、使用和保证、系统维持和系统处置;后者则是关注于已有系统的提高与改进。这些系统分析模型与方法实际是包含在“系统工程过程”这一主题之中的。

系统可以分为“自然系统”和“人造系统”。自然系统是在自然发展过程中产生的,而人造系统,也叫做技术系统,则是人类将各种精妙的技术应用到系统组成、属性和关系中,改变了自然秩序而产生的。技术系统有很多类,涉及通信、国防、教育、医疗、制造、交通等众多围绕人类活动的领域。通过反复的分析、评价、修改和反馈,现有的大量系统都能够对其使用效能、产品质量、经济性、可持续性以及满意度实施改进。

最近几十年的经验表明,如果想要研发一个协调的功能技术系统,且要求不期望的效应最小化,就必须应用一整套面向寿命周期的“系统”方法。本书的主要目标就是为设计工程师、系统分析师和技术经理提供一种系统化的思维、概念、方法、模型和工具,以便在多数人造系统的“系统工程”应用过程中可以理解、剪裁和运用。

本书分为六大部分,包含 19 个章节和 8 个附录。第一部分从系统科学和工程实践中系统形成的角度阐述系统和系统工程相关概念内涵和方法论;第二部分介绍从方案设计到初步设计、详细设计,再到试验与评价的整个系统设计过程;第三部分讲述系统分析的数学模型和方法,强调系统工程过程中对这些模型和分析方法的整合应用;第四部分介绍影响系统使用 and 用户满意度的几个设计特性,包括可靠性、维修性、易用性(人因)、保障性、可生产性、可处置性、可持续性和经济可承受性(寿命周期费用);第五部分阐述系统工程管理,其中一章介绍规划与组织,另一章介绍项目管理与控制;第六部分是附录,包括专题、检查清单、概率表、参考文献和相关网站。

本书主要适用于高年级本科生或研究生教学,同时也可作为商业、工业以及政府部门等系统工程相关专业领域从业人员的参考资料。本书包含 300 多个例子、450 道习题、超过 200 条参考文献和网站。其中绝大多数来源于作者数十年来在工业界以及研究过程中的经历。

作者在其他 Prentice Hall 出版社的图书为本书提供了一些背景和原始材料。这些书籍覆盖了应用运筹学和管理学、经济决策分析、工程经济学、工程组织与管理、生命周期费用和库存系统分析。

在此对所有鼓励作者出版本书的人表示感谢,同时也对出版社的辛勤工作表示致谢!

Benjamin S Blanchard

Wolter J Fabrycky

指导材料

习题解答和书中 300 多幅图的 PowerPoint 可从 Pearson 教育资源中心下载,网址是:<http://www.pearsonhighered.com>。注意:上述素材仅供教学使用。

此版本中新增的内容

(最新 30 周年纪念版)

结合了战略系统思维——将重点放在设计、交付以及维持功能、性能或者解决方案。与仅仅关注提供系统、系统要素、产品相比,这种战略思维正逐渐为有远见的私营企业与国营企业所采用。

开发了通用的系统寿命周期过程——这种通用的寿命周期包含四条系统基本的寿命周期线,相比于“实体是什么”更加强调“实体需要做什么”,从而“从起始阶段就考虑了寿命末期的情况”。

将分析与综合一致化——通过在教学中的应用以及在商业与政府组织为系统设计、使用保障以及管理人员提供指导,书中内容得到合理的进步。

采用了设计依赖参数的方法——本书面向大多数人造系统的设计和持续改进,涉及通信、国防、教育、医疗、制造、交通等多个领域。

包含了案例分析的应用——给出了以“真实世界”为背景的假设的和/或抽象的例子。本书涉及不同类型和范畴的系统,包含来源于实际的分析方法、检查清单及相关材料的多种应用,其中一些在练习题中体现。

提供了最新的内容——包括现今的研究主题,例如系统系(SOS)、绿色工程、供应链管理、保障性与可持续性设计。提供了广泛的参考文献和用于进一步研究的网站。每章末都提供了进一步学习的指导。

包括了大量的章末练习——提供了一些不同类型的问题和激发思考的练习,可用于求解和进一步的讨论。在 Pearson 教育资源中心可以获得包括习题解答和其他相关材料的教师指导书,网址为 <http://www.pearsonhighered.com>。

目 录

第一部分 系统概述

第 1 章 系统科学与工程	2
1.1 系统定义和组成要素	2
1.2 系统分类	5
1.3 科学和系统科学	7
1.4 技术与技术系统	10
1.5 向系统时代过渡	12
1.6 系统工程	16
1.7 小结	18
习题	19
第 2 章 系统实现	21
2.1 工程系统	22
2.2 系统寿命周期工程	26
2.3 系统工程过程	30
2.4 系统设计考虑因素	32
2.5 系统综合、分析与评价	38
2.6 系统工程实施	42
2.7 小结	46
习题	47

第二部分 系统设计过程

第 3 章 系统方案设计	50
3.1 问题定义与需求识别	50

3.2	总体系统规划与架构	52
3.3	系统设计与可行性分析	53
3.4	系统使用要求	54
3.5	系统维修与保障	67
3.6	技术性能参数	71
3.7	功能分析与分配	75
3.8	系统权衡分析	81
3.9	系统规范	82
3.10	方案设计评审	84
3.11	小结	85
	习题	86
第4章	初步系统设计	88
4.1	初步设计要求	89
4.2	研制、产品、工艺与材料规范	89
4.3	(子系统)功能分析与分配	91
4.4	初步设计准则	98
4.5	工程设计活动	102
4.6	工程设计工具与技术	103
4.7	权衡研究与设计定义	106
4.8	设计评审、评价与反馈	109
4.9	小结	110
	习题	111
第5章	详细设计与研制	113
5.1	详细设计要求	113
5.2	详细设计演进	115
5.3	系统要素与活动综合	117
5.4	设计工具与设计辅助	119
5.5	设计数据、信息与综合	120
5.6	工程模型研制	123
5.7	系统原型研制	124
5.8	设计评审、评价与反馈	124
5.9	合并设计变更	128
5.10	小结	129
	习题	130

第 6 章 系统试验、评价与验证	132
6.1 系统试验、评价与验证过程	132
6.2 系统试验与评价类别	134
6.3 系统试验与评价计划	138
6.4 系统试验与评价准备	140
6.5 系统试验、数据收集、报告和反馈	142
6.6 小结	146
习题	146

第三部分 系统分析与设计评价

第 7 章 决策中的备选方案与模型	149
7.1 决策备选方案	149
7.2 决策模型	151
7.3 决策评价理论	154
7.4 多准则决策	159
7.5 决策评价图示	164
7.6 风险与不确定型决策	166
7.7 小结	173
习题	174
第 8 章 经济评价模型	179
8.1 利息与利息公式	179
8.2 经济等值	184
8.3 单方案评价	187
8.4 多方案评价	193
8.5 多准则评价	195
8.6 多状态多方案评价	197
8.7 盈亏平衡经济评价	199
8.8 基于风险的盈亏平衡评价	204
8.9 小结	205
习题	206

第 9 章 设计与使用优化	210
9.1 经典优化理论	211
9.2 无约束经典优化	216
9.3 约束经典优化	235
9.4 多准则优化	239
9.5 有约束规划之线性规划	241
9.6 小结	248
习题	249
第 10 章 排队论理论和分析方法	254
10.1 排队系统	254
10.2 队列的蒙特卡罗分析	257
10.3 单服务台排队模型	260
10.4 多服务台排队模型	268
10.5 非指数服务排队系统	269
10.6 有限源排队模型	272
10.7 小结	279
习题	280
第 11 章 控制概念与方法	282
11.1 控制的基本概念	282
11.2 统计过程控制	285
11.3 统计控制图	287
11.4 最优策略控制	296
11.5 基于 CPM 和 PERT 的项目控制	299
11.6 全面质量控制	309
11.7 小结	313
习题	314

第四部分 使用特性

第 12 章 可靠性	320
12.1 可靠性定义和内涵	320
12.2 可靠性参数	321

12.3	系统生命周期中的可靠性	330
12.4	可靠性分析方法	339
12.5	可靠性试验与评价	349
12.6	小结	354
	习题	355
第 13 章	维修性	360
13.1	维修性定义和内涵	361
13.2	维修性参数	361
13.3	可用性和效能参数	374
13.4	系统生命周期中的维修性	376
13.5	维修性分析方法	382
13.6	维修性验证	401
13.7	小结	407
	习题	408
第 14 章	易用性(人为因素)	412
14.1	人为因素定义和内涵	413
14.2	人为因素参数	424
14.3	系统生命周期中的人为因素	425
14.4	人为因素分析方法	428
14.5	人员培训需求	433
14.6	人员测试与评价	434
14.7	小结	435
	习题	436
第 15 章	后勤和保障性	438
15.1	后勤和保障性定义和内涵	439
15.2	系统系(SOS)环境下的后勤	443
15.3	后勤和系统保障要素	444
15.4	后勤和保障性参数	446
15.5	系统生命周期中的后勤和维修保障	461
15.6	保障性分析(SA)	468
15.7	保障性试验和评价	469
15.8	小结	471
	习题	472