

The Certified Reliability Engineer Handbook

(Second Edition)

注册可靠性工程师手册

(第2版)




[美] Donald W. Benbow
Hugh W. Broome

著

上海市质量协会
上海质量管理科学研究院

译

 中国质检出版社
中国标准出版社

The Certified Reliability Engineer Handbook(Second Edition)

注册可靠性工程师手册(第2版)

[美] Donald W. Benbow 著
Hugh W. Broome

上海市质量协会 译
上海质量管理科学研究院

中国质检出版社

中国标准出版社

北京

北京市版权局著作权合同登记号:图字:01-2014-0798
American Society for Quality, Quality Press, Milwaukee 53203
© 2013 by ASQ

All rights reserved. Published 2013

Printed in the United States of America

19 18 17 16 15 14 13 5 4 3 2 1

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

Benbow, Donald W., 1936—

The certified reliability engineer handbook / Donald W. Benbow and Hugh W. Broome—Second edition.
p. cm.

Includes bibliographical references and index.

ISBN 978-0-87389-837-9(hard cover; alk. paper)

本书中文简体字翻译版由美国质量学会授权中国质检出版社在中国大陆出版发行。
未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

图书在版编目(CIP)数据

注册可靠性工程师手册/上海市质量协会 上海质量管理科学研究院译.—北京:中国标准出版社, 2015.7

ISBN 978-7-5066-7538-3

I. ①注… II. ①上… III. ①可靠性工程—手册 IV. ①TB114.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 088609 号

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010) 68533533 发行中心: (010) 51780238

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 20.5 字数 459 千字

2015 年 7 月第一版 2015 年 7 月第一次印刷

*

定价 78.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

《注册可靠性工程师手册（第2版）》是在我国已经进入一个质量发展时代的背景下翻译出版的。中国经济要向中高端水平迈进，必须推动各方把促进发展的立足点转到提高经济质量效益上来，把注意力放在提高产品和服务质量上来，牢固确立质量即是生命、质量决定发展效益和价值的理念，把经济社会发展推向质量时代。“中国制造业2025”提出了工业制造是国民经济的重要支柱，是实现发展升级的国之重器。必须坚持走新型工业化和信息化融合之路，顺应互联网等新技术和产业变革新趋势，打造中国制造创新发展、智能制造、质量为先、绿色制造等新优势战略目标。为我国经济保持中高速增长、迈向中高端水平提供强大支撑。要打造质量成本新优势，增强工业基础能力，攻克一批先进基础工艺，提高核心基础零部件的质量性能和关键基础材料的制备水平，提升产业配套能力和劳动生产率。强化人才支撑，培育更多大国工匠。

“把推动发展的立足点转移到提高质量和效益上来”是中国政府、社会和企业的共识和共同努力的目标。我国《质量发展纲要（2011—2020年）》提出了实施质量提升工程，包括了质量素质提升工程、可靠性提升工程、服务质量顾客满意度提升工程、质量对比提升工程和清洁生产促进工程。而可靠性提升工程，则提出在汽车、机床、航空航天、船舶、轨道交通、发电设备、工程机械、特种设备、家用电器、元器件和基础件等重点行业实施可靠性提升工程。加强产品可靠性设计、试验及生产过程质量控制，依靠技术进步、管理创新和标准完善，提升可靠性水平，促进我国产品质量由符合性向适用性、高可靠性转型。

提升可靠性工程是实施质量提升工程和有效把推动发展的立足点转移到提高质量和效益上来的前提和基础，是实施中国制造2025战略目标的关键。上海市质量协会作为美国质量协会全球合作伙伴，已经成功地在质量未来发展研究、质量学术交流和质量人才培养等方面进行广泛的合作，上海质量管理科学研究院也翻译出版了美国质量协会组织编著的《注册组织卓越质量经理》等美国质量注册专著，并获得了好评和欢迎，这为加快我国质量专业人员培育与国际水平比较提升发挥了积极的作用。

本书由我国著名可靠性统计专家、华东师范大学终身教授、上海质量管理科学研究院学术委员茆诗松教授翻译。这次，我们组织力量专门翻译出版《注册可

可靠性工程师手册（第2版）》，就希望借此帮助企业专业人员学习和掌握先进的可靠性专业知识和技能，在实施可靠性提升工程中发挥作用，迎接质量时代的挑战，为促进我国产品质量由符合性向适用性、高可靠性转型而努力。

谨此为序。

上海市质量协会
上海质量管理科学研究院
2015年3月

译者的话

手册共分7个部分和1个附录（第8部分）。前7部分是本手册的主体，它分为17章，每章又列出若干知识点，全书共有78个知识点。这些知识点按认知的复杂程度由浅入深地被分成如下6个等级：记忆、理解、应用、分析、评估、创造。根据这些知识点和具体内容，作者为每一部分又准备了若干复习题和最后的模拟考试样题，以备读者自我检查学习和掌握情况，这些题目及答案都集中放在附录的后面。

本手册体现了美国质量领域和工程领域对“可靠性工程师”这一称号的基本要求，很有特色，具体可概括为如下几点：

1. 从可靠性、维修性和安全性角度对产品设计、生产、管理等方面作了较为详尽的叙述，其中包含各种可行的工程方案和统计方法。

2. 对可靠性工程知识面要求较广。对各种常用工具不仅要知要懂，更要会用。

3. 手册众多例子中涉及的各种计算大多限于常数失效率场合，这是对可靠性工程师的基本要求，希望能独立完成计算，较为复杂的计算可求助于软件和查表完成。

4. 要有公德。要讲真话，倾听别人意见，即使自己的建议未被采纳时，也要告之委托人将会出现与他们期望相反的结果。不得透露与商业事态或技术过程相关的任何信息。对做出贡献的人要适当给予奖励。

上海市质量协会会长、上海质量管理科学研究院院长唐晓芬教授级工程师对本书的翻译出版给予高度重视和关注。王金德副院长为此进行了策划和校译，过程中得到了周秀慧、郭宏涛等老师的帮助和支持。

本手册涉及面广，译者知识有限，不当之处在所难免，望读者批评指正，以便改进。

译者

茆诗松

2015年1月

前 言

我们按注册可靠性工程师考试所指定知识点 (Bok) 的次序来编排本书的章与节。但是, 这样做在某些地方使用时是不方便的, 而在另一些地方又显得累赘。因此, 我们想用读者容易接受的途径来平衡这些缺陷。

感谢

我们十分感谢 Paul O' Mara、Randall、Matt Meinholz 和 ASQ 质量出版社全体职员帮助与耐心。我们也要感谢 Anton Cherepache、James McLinn 和 Daniel Zrymiak 对本书进行编辑、排版、复制和复审等细致的工作。

目 录

第 I 部分 可靠性管理

第 1 章 A. 策略管理	3	1. 术语	14
1. 可靠性工程的好处	3	2. 可靠性方案的要素	16
2. 质量与可靠性的关系	4	3. 风险的类型	18
3. 可靠性部门在组织机构中 的作用	5	4. 产品寿命工程	19
4. 产品和过程开发中的可靠性	6	5. 设计评估	23
5. 失效后果和责任管理	8	6. 系统工程和综合	25
6. 保修单管理	8	第 3 章 C. 伦理学、安全和责任	27
7. 顾客需求评估	10	1. 伦理学的问题	27
8. 供应商的可靠性	13	2. 角色和职责	28
第 2 章 B. 可靠性方案管理	14	3. 系统安全性	29

第 II 部分 可靠性中的概率统计

第 4 章 A. 基本概念	33	7. 统计过程控制 (SPC)	58
1. 统计术语	33	第 5 章 B. 统计推断	67
2. 基本概率概念	35	1. 参数的点估计	67
3. 离散和连续的概率分布	41	2. 统计区间估计	70
4. 泊松过程模型	51	3. 假设检验 (参数的与非 参数的)	80
5. 非参数统计方法	51		
6. 样本量的确定	56		

第 III 部分 设计和开发中的可靠性

第 6 章 A. 可靠性设计技术	97	9. 可靠性最优化	125
1. 环境和使用因子	97	10. 人为因子	125
2. 应力-强度分析	97	11. 对 X 的设计 (DFX)	126
3. FMEA 和 FMECA	99	12. 可靠性分配 (分派) 技术	127
4. 共有模式失效分析	103	第 7 章 B. 零件和材料的管理	130
5. 故障树分析与成功树分析	104	1. 挑选、标准化和再利用	130
6. 容差和最不利情况分析	107	2. 降额法和原则	132
7. 试验设计	108	3. 零件过期的管理	133
8. 故障可容许性	124	4. 建立规范	133

第 IV 部分 可靠性模型化与预测

第 8 章 A. 可靠性模型化	139	5. 动态可靠性	154
1. 可靠性数据的来源与使用	139	第 9 章 B. 可靠性预测	155
2. 可靠性框图和模型	140	1. 零件累计预测和零件	
3. 失效物理模型	149	应力分析	155
4. 模拟技术	150	2. 可靠性预测的评述	157

第 V 部分 可靠性试验

第 10 章 A. 可靠性试验计划	161	2. 探索性试验 (如 HALF、边际试	
1. 可靠性试验策略	161	验、样本量为 1 的试验)	169
2. 试验环境	165	3. 可靠性增长试验 [如: 试验、分析和	
第 11 章 B. 开发期内的试验	167	固化 (TAAF) Duane 试验]	171
1. 加速寿命试验 (如单应力、复合应		4. 软件试验 (如白箱、黑箱、	
力、序贯应力、步进应力)	167	操作侧面、故障注入)	173

第 12 章 C. 产品检验	175	比检验 (SPRT)]	180
1. 合格/验证检验 (如序贯检验, 固定长度检验)	175	4. 应力筛选 (如 ESS、HASS、 考机试验)	181
2. 产品可靠性接收检验 (PRAT)	179	5. 属性试验 (如二项分布、超几何 分布)	182
3. 序贯可靠性检验 [如序贯概率		6. 退化 (弱失效) 试验	185

第 VI 部分 维修性与可用性

第 13 章 A. 管理策略	189	1. 预防性维修 (PM) 分析	194
1. 计划	189	2. 修复维修分析	195
2. 维修策略	190	3. 非破坏性的评估	196
3. 可用性权衡	192	4. 可测试性	197
第 14 章 B. 维修性和检测分析	194	5. 备件分析	198

第 VII 部分 数据的收集与使用

第 15 章 A. 数据的收集	205	2. 预防和修复行动	215
1. 数据的类型	205	3. 有效性的测量	220
2. 收集方法	206	第 17 章 C. 失效分析和相关	223
3. 数据管理	207	1. 失效分析方法	223
第 16 章 B. 数据的使用	209	2. 失效报告、分析和修复行动 系统 (FRACAS)	224
1. 数据综述和报告	209		

第 VIII 部分 附录

附录 A ASQ 注册可靠性工程师 知识点	229	附录 B ASQ 的道德规范	235
		附录 C 控制限的公式	236

附录 D 控制图中的常数	237	附录 L Mann - Whitney 检验的 临界值	254
附录 E 标准正态曲线下的区域 ..	238	附录 M Wilcoxon 符号秩检验的 临界值	255
附录 F F 分布的 $F_{0.1}$	240	附录 N 泊松分布	256
附录 G F 分布的 $F_{0.05}$	243	附录 O 二项分布	258
附录 H F 分布的 $F_{0.01}$	246	附录 P 指数分布	260
附录 I 卡方分布的临界值 χ^2_{α} ..	249	附录 Q 中位秩	262
附录 J t 分布的临界值 t_{α}	251		
附录 K 统计容许因子	253		
术语汇编	264		
参考文献	281		
注册可靠性工程师复习题	282		
注册可靠性工程师复习题答案	293		
考试样本	297		
考试样本答案	307		

图 表 目 录

第 I 部分

图 1.1 动物捕捉器的质量功能展开 (QFD) 矩阵图实例	11
图 1.2 图 1.1 描述的 QFD 矩阵 分块图	12
图 1.3 产品、部件、过程的序贯 QFD 矩阵图	12
图 2.1 风险评估矩阵的例子	19
图 2.2 寿命期内各阶段方框图	20
图 2.3 可靠性浴盆曲线	21
图 2.4 典型软件产品的可靠性曲线 ..	22

第 II 部分

图 4.1 概率直方图的例子	42
图 4.2 二项概率分布及其 $p = 0.25$ 和 $n = 6$ 的直方图	44
图 4.3 例 4.11 的概率密度函数	46
图 4.4 威布尔分布的各种成员的图 ..	47
表 4.1 确定样本量的公式	56

图 4.5 p 控制图的例子	60
图 4.6 np 控制图的例子	61
图 4.7 u 控制图的例子	62
图 4.8 \bar{X} 与 R 控制图的例子	63
图 4.9 中位数控制图的例子	64
图 4.10 单值和移动极差 (ImR) 控制图 的例子	65
图 5.1 带有置信区间的曲线图 (95%)	73

第 III 部分

图 6.1 应力分布、强度分布及其交叉区 域示意图	98
图 6.2 一张 FMEA 表的头部的 例子	100
图 6.3 10 种失效模式的严重度等级与 发生概率等级	101
表 6.1 利用 10 点尺度评定失效等级 ..	102
图 6.4 与门和或门的符号	104
图 6.5 表决或门的符号	104

图 6.6 搅拌器失效的故障树分析框图.....	105	图 6.13 事先收集的矩阵	125
图 6.7 例 6.4 中搅拌器的成功树分析框图.....	106	图 6.14 为分配的串联可靠性模型	128
图 6.8 电力中断的故障数分析框图	106	图 7.1 应力-寿命分布	132
图 6.9 三个误差间隔经组装后的漂移.....	107	第 IV 部分	
表 6.2 2^3 全因子试验数据收集表	109	表 8.1 可靠性数据的来源.....	140
表 6.3 2^3 全因子试验数据收集表及数据.....	109	图 8.1 串联系统.....	141
表 6.4 2^3 全因子试验数据收集表及处理均值.....	111	图 8.2 并联系统.....	142
图 6.10 水平均值的图	112	图 8.3 串并联系统.....	143
表 6.5 2^3 全因子设计表, 用 + 和一表示.....	113	图 8.4 用贝叶斯分析的系统模型.....	145
表 6.6 2^3 全因子设计表, 含交互作用列.....	113	图 8.5 一个串并联系统.....	146
图 6.11 交互效应图	114	图 8.6 串联系统.....	147
表 6.7 2^3 设计的 1/2 实施 (也称 2^{3-1} 设计)	114	图 8.7 储备冗余系统.....	148
表 6.8 2^3 设计的 1/2 实施及其交互作用列.....	114	表 8.2 电路板的失效模式与模型.....	149
表 6.9 2^4 全因子设计	115	表 8.3 蒙特卡罗模拟中计算机生成的值.....	151
表 6.10 2^{4-1} 部分因子设计及其交互作用	116	图 8.8 具有 2 个状态的转移框图.....	152
表 6.11 拉丁方设计	118	图 8.9 两个时间区间的马尔可夫分析的树状框图.....	153
图 6.12 数据的打点图, 重心线把每个温度均值连接起来	118	第 V 部分	
表 6.12 2^2 全因子完全随机化试验和试验结果	120	图 11.1 Duane 增长图	172
表 6.13 2^2 全因子完全随机化试验和试验结果及其均值	120	图 12.1 抽样方案的操作特性曲线	176
表 6.14 将数据输入 Execl, 准备施行双向 ANOVA	120	表 12.1 定时检验方案表 (取自 IEC 61124)	177
表 6.15 Excel 输出的 ANOVA 表, 通过 Tools>数据分析菜单.....	121	图 12.2 定时检验方案的 OC 曲线 (取自 IEC 61124)	178
表 6.16 利用信噪比的稳健性的例子	122	图 12.3 序贯检验方案	179
表 6.17 内外表设计的例子	123	图 12.4 SPRT 的图	181
		第 VI 部分	
		图 14.1 对焊接处喷雾的液体渗透是为了检验其裂缝和空隙	196
		图 14.2 磁性部分检查	197
		图 14.3 振动系列分析及其警告水平 (点直线显示) 的例子.....	197
		第 VII 部分	
		表 15.1 软件包可能的用户群清单	208

图 16.1 威布尔概率图	214	直方图	220
图 16.2 传统的 6M 因果图	216	图 16.6 不能做结论的直方图	221
图 16.3 因果矩阵	217	图 16.7 显示特性 x 波动在减少的	
图 16.4 在注模机操作中各变量的		直方图	221
散点图	219	图 17.1 FRACAS 流程图	225
图 16.5 显示平均寿命增长的			

第 I 部 分

可靠性管理

● 第1章 A.策略管理

● 第2章 B.可靠性方案管理

● 第3章 C.伦理学、安全和责任

第 1 章

A. 策略管理

本书的结构是基于 AQS(美国质量协会)为注册可靠性工程师考试所指定的知识点设计的。在正式叙述知识点之前先对可靠性定义作如下介绍。

可靠性的定义为产品在规定的条件和规定的时间内成功完成规定功能的概率。

这个可靠性表述中包含四个要点:

- **概率**。例如,在规定时间内可靠性的目标值为 0.9995。这意味着在规定时间的末端至少有 99.95% 仍在运转。

- **规定的功能**。这需要对每个元件、部件和产品分别给出定义。规定功能的表述要有明确的状态或含有失效的定义。例如,水泵的规定功能是每分钟至少要抽出 20 加仑的水。这含有失效的定义,每分钟抽出的水少于 20 加仑就认为是失效。

- **规定的条件**。这包含环境条件、维修条件、使用条件、贮藏和移动条件以及其他需要的条件。

- **规定的时间**。例如,水泵设计要求 10000h,有时可用比时间更适宜的其他方式来度量,如轮胎的可靠性可用里程数,洗衣机的可靠性可用旋转周期数等。

1. 可靠性工程的好处

描述可靠性工程技术和方法怎样去改进程序、流程、产品、系统和服务。

(理解)

知识点 I. A. 1

增加可靠性工程研究的重要性通过以下几点反映。

- **顾客期望**产品不仅在交货时满足规定的参数,而且功能可保持到人们认可的合理寿命。

- **产品越复杂**,其中个别元件的可靠性要求就越高。例如,假设一个系统有 1000 个独立元件,这些元件必须同时工作才能使系统工作。进一步,假设每个元件的可靠性为 99.9%,则系统的可靠性为 $0.999^{1000} = 0.37$ 。显然这是不可接受的值。

- 一个不可靠产品常会带来安全与健康的隐患。

- 可靠性各种数值可用作市场和保单的材料。

- 市场竞争压力要求把重点放在可靠性的提高上。