

人的可靠性

[加] B.S. 迪隆 著
周 广 涛 译
过 僑 亚 校

宇航出版社

人的可靠性

[加] B.S.迪隆 著

周广涛 译

过儒亚 校

宇航出版社

内 容 简 介

本书是国际上第一本系统地介绍人的可靠性的专著。知识新颖,理论全面,实例充分,内容丰富。全书共分13章,介绍了人的可靠性简史,可靠性基础数学与概念,人的可靠性分析方法,人为差错分类、原因及预防措施,具有人为差错系统的可靠性评估,研究了各种情况下的人为因素,给出了人的可靠性数学模型和公式,最后列举了人因工程在五个领域中的应用实例。

本书可供人因工程师、可靠性和维修性专家、系统和产品设计工程师、质量管理人员和研究生、大学生阅读,还可作为可靠性培训班的教材。

B. S. Dhillon

Human Reliability With Human Factors
Pergamon Books Inc. 1986

人 的 可 靠 性

[加] B.S. 迪隆 著

周广涛 译

过腾亚 校

责任编辑:陈学兰

*

宇航出版社出版

北京和平里滨河路1号邮政编码100013

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

中国科学院印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 8.75 字数: 202千字

1991年2月第1版第1次印刷 印数: 1-500册

ISBN7-80034-297-2/TB·053 定价: 8.50元

代 译 序

航天产品及其他产品的长期研究实践证明，产品的可靠性和质量是设计出来的，生产出来的，管理出来的；也就是说，高可靠的产品主要是由于人的作用制造出来的。大量的实例证明，在可靠性工程中，人的因素有时会影响很大，无论在可靠性设计、产品质量控制、系统的操作使用还是维护修理、安全性工程等方面都存在大量的人的可靠性问题。人员操作失误能使经济上造成重大损失，人员上造成重大伤亡。世界各地在这方面都有许多严重的教训，美国三英里岛核电站和苏联切尔诺贝利核电站的事故中除硬件故障外主要是人的可靠性问题。作为研究人的行为、作用和影响的一门学科，人的可靠性工程近年来愈来愈受到可靠性工程师和系统工程师以及各方面人员的重视。所以人们非常希望有这方面的书籍。目前在硬件系统可靠性工程方面编著和翻译出版的书籍已经很多，但在人的可靠性工程学科方面虽有一些文献资料报导，但在国内尚无这方面的专著。迪隆博士所著的“人的可靠性”是国际上第一本在这一学科上系统而全面，既有理论又有实践的专著。书中系统地研究了人为差错的各方面内容，定量地给出具有人为故障系统的可靠性评估方法，提供进行人为因素研究的各种数学模型，其中提出了不少新的理论和概念，所以这是一本很有价值的可靠性工程书籍。

该书经周广涛同志翻译并介绍到国内，这对开阔可靠性

领域的研究，加深这方面的认识，推动可靠性工程向更深的方向发展是很有益的。同时该书在人的可靠性方面是一本很好的教材，所以该书的翻译出版，不仅在我国国内填补了这方面的空白，而且对推动人的可靠性工程的研究将起到很好的作用。

航空航天部总工程师

梁思礼

1988.4.1.

致 谢

“人的可靠性”专著在中国翻译出版，是和大家的支持和帮助分不开的。首先要感谢中国科学院学部委员，一级教授，国际宇航科学院院士蔡老（蔡金涛教授）和航天部梁思礼总工程师的支持和推荐，梁总并为本书写了代译序。同时还要感谢北京理工大学周培德副教授和清华大学黄祥瑞副教授为本书所作的仔细审阅和提出很多宝贵的意见。

由于译者水平所限，译文不当之处在所难免，尤其新的名词术语国家还没有统一标准，可能有不妥之处，敬请读者赐教。

译 者

1988年3月于北京

作者简介

本书作者B. S 迪隆博士是加拿大安大略渥太华大学机械工程系的教授，他曾就读于威尔士（Wales）大学，获得电气和电子工程理学士学位及工业和系统工程理科硕士学位；后又获得温莎（Windsor）大学工业工程哲学博士学位。他是一位多产的作者，已发表有150多篇论述可靠性工程及有关领域的文章。迪隆博士是国际性杂志《微电子学和可靠性》编辑顾问委员会成员，也是国际性杂志《人的可靠性》的主编，以上两种杂志均由培格曼（Pergaman）出版公司出版。他曾任由美国仪器协会出版的第10~13次建模和仿真年会会议录的副主编。还兼任多种国家级以及国际性杂志（包括IEEE可靠性学报）的审校。他在系统可靠性、维修性以及质量控制方面有许多专著。他的第一本论述可靠性的书，于1983年由苏联莫斯科世界（Мир）出版社翻译出版。他的另一本《系统设计和应用的可靠性工程》专著于1987年经周广涛高级工程师翻译由宇航出版社出版。

迪隆在1986年担任科学技术用于发展国际协会（IASTED）举行的国际性质量管理和可靠性会议总主席。他是可靠性工程师协会荣誉奖和美国质量管理者协会A.J. 博尼斯（Austin, J. Bonis）可靠性奖的获得者，他在安大略是一位积有多年工程经验的经正式评定的专业工程师，他的名字已列入以下人名录：美国科学家名人录（American Men

and Women of Science), 国际传略字典(Dictionary of International Biography), 有卓越成就的人 (Men of Achievement) 和国际知识分子人名录 (Who's Who in International Intellectuals)。

前 言

现代技术已形成一种趋势，即生产的设备和系统日益昂贵、精密、复杂和多功能化。设备和系统性能不可靠所带来的后果变得愈来愈严重，因此产生了对可靠性的更高要求。今天，复杂系统的可靠性分析已不只局限于硬件方面，要考虑的范畴已扩大到了其他方面，例如人的可靠性和软件可靠性。虽然在第二次世界大战期间就已经开始把人的因素作为一门特殊的学科来对待，但直到50年代后期人们才明确地确定：实际系统的可靠性分析必须把人的因素考虑在内。

自从60年代初以来，有关人的可靠性这一论题的出版文献已有了显著的增长。影响很广的三英里岛核电站事故，起因于硬件故障和人的差错，这进一步激起了人们对人的可靠性这个学科的关注。

现在已形成一种趋势：在进行系统设计时越来越强调人的可靠性。然而，工程技术专业人员普遍感到缺乏关于人的可靠性问题及其有关领域的信息，因为这些信息分散在各种技术评论之中或仅仅在一些教科书中简单的叙述。据作者所知，目前尚无关于这一主题的专著。本书试图满足这种需求。书中强调概念而避免陷入数学上的严密证明和细节之中。尽管如此，本书对于具有工程基础的人们仍然具有重大的实用价值。在每章的最后列出了大部分引用文献的来源，以便读者在需要时能作进一步的研究。为了帮助读者理解本

书内容，书中列举了一些实例及其解法。虽然本书的主要目的是讨论人的可靠性，但对其他一些相关的领域也进行了讨论。了解这些相关的领域对研究人的可靠性是十分有用的。本书的读者范围包括：人因工程师和专家、可靠性和维修性专家、系统和设计工程师、工业工程师、质量管理工程师和大专学生等。

本书共分13章。第1章简单介绍人的因素和人的可靠性的历史以及几个常用的术语和定义。第2章对可靠性基础数学和概念作一些回顾，以便有助于更好地理解以后各章。第3章介绍人的可靠性问题。其中包括应力、描述人的差错的数学模型、在连续的时间范围内人的工效可靠性模型和故障树方法。

第4章完全是研究人的差错。讨论人为差错的各方面内容。这些内容有：人为差错分类、人为差错的原因和人为差错的预防方法。在第5章中介绍人的可靠性的六种分析方法。

第6章是关于具有人为差错的系统可靠性评估。它包括几种马尔可夫（Markov）模型。第7章的主题是维修和可维修性中的人为因素。讨论了这两个主题的重要方面。第8章是研究人的安全性这一重要问题。该章包含的内容有：事故的损失、事故的原因、减少事故和差错的措施、安全装置和人的失误模型等。

第9章讨论了有关人的可靠性数据的重要问题。该章提出了人的可靠性数据的几个主要方面。第10章介绍质量管理中的人为因素。该章内容涉及管理和操作者能控制的差错、检查者的差错，以及与检查有关的数学模型等等。

第11到13章讨论了与人为因素有关的三个重要领域：

设计过程中的人为因素、数学模型和公式以及人因工程的应用。这三章所讨论的内容是很重要的,这些知识在人的可靠性研究中是必不可少的。

我要感谢我的朋友、同事和主要的专业人员,他们为本书提出了宝贵意见,从而帮助我在本书的几个方面形成了自己的观点。我特别感谢IBM公司的克拉森(K.B.Klaassen)博士和培格曼出版公司的安东尼(Thomas Anthony)先生,他们对本书的初稿提出过宝贵的意见。我深深地感谢雷约帕塔(S.N.Rayapati)博士为本书准备了所有的图表。我要向我的双亲、兄弟、亲友致谢,他们在我需要帮助的时候曾给予我关心和鼓励。最后,我还要感谢我的妻子罗西(Rosy)为我打印了全部手稿并进行了校对。在手稿准备时,她的耐心和忍劳忍怨对我的帮助很大。

B.S.迪隆

加拿大·安大略·渥太华

目 录

第1章 概论····· (1)

1.1 人为因素的历史 ····· (1)

1.2 人的可靠性简史 ····· (2)

1.3 术语和定义 ····· (3)

1.4 本书的范围 ····· (4)

1.5 小结····· (5)

1.6 练习····· (5)

1.7 参考文献····· (6)

第2章 数学和基本可靠性概念····· (7)

2.1 概述····· (7)

2.2 概率····· (8)

2.3 概率分布····· (13)

2.4 拉普拉斯变换 ····· (16)

2.5 二次方程式····· (18)

2.6 可靠性网络····· (19)

2.7 终值定理和故障 前平均时间····· (25)

2.8 小结····· (28)

2.9 练习····· (28)

2.10 参考文献····· (29)

第3章 人的可靠性

介绍····· (30)

3.1 概述····· (30)

3.2 应力····· (30)

3.3 出现人为差错的 鲁克 (Rook) 模型····· (34)

3.4 人的工效可靠 性模型····· (35)

3.5 故障树方法····· (40)

3.6 小结····· (45)

3.7 练习····· (46)

3.8 参考文献····· (47)

第4章 人为差错····· (48)

4.1 概述····· (48)

4.2 人为差错的原 因及其后果····· (48)

4.3 人为差错的出现 ····· (49)

4.4 人为差错的分 类····· (49)

4.5 人为差错概率估 计····· (53)

4.6 空中交通管制 系统和核电站 中的人为差错 ····· (54)

4.7 人为差错的预

防方法..... (58)	的可靠性确定 (114)
4.8 小结..... (64)	
4.9 练习..... (65)	6.4 具有人为差错的 地面运输系统的 可靠性分析... (126)
4.10 参考文献..... (66)	
第5章 人的可靠性的分	
析方法..... (68)	6.5 受应力情况下操作 者的可靠性估计 (139)
5.1 概述..... (68)	
5.2 人为差错率预 测方法 (THERP) (68)	6.6 具有人为差错系 统的有效性分析 (147)
5.3 概率树法..... (70)	
5.4 预测人的可靠性的庞特 科沃 (Pontecorvo) 方法..... (73)	6.7 小结..... (150)
5.5 吞吐率方法... (76)	6.8 练习..... (151)
5.6 人员可靠性 指数..... (78)	6.9 参考文献..... (152)
5.7 框图法..... (79)	第7章 维修和可维修性
5.8 小结..... (83)	中的人为因素 (153)
5.9 练习..... (84)	7.1 概述..... (153)
5.10 参考文献..... (85)	7.2 维修中的人为因 素..... (154)
第6章 具有人为差错	7.3 可维修性中的人 为因素..... (157)
系统的可靠性	7.4 从事维修和可维 修性专业人员的 效益准则..... (158)
估计 (86)	7.5 维修规范和工作 辅助手段..... (161)
6.1 概述..... (86)	7.6 人力要求模型 (162)
6.2 具有人为差错的 冗余系统的可靠 性估计..... (86)	7.7 维修简化曲
6.3 具有关键性人为 差错的冗余系统	

线.....	(165)
7.8 小结.....	(166)
7.9 练习.....	(167)
7.10 参考文献.....	(168)
第8章 人的安全性	
.....	(170)
8.1 概述.....	(170)
8.2 事故损失.....	(171)
8.3 事故原因.....	(171)
8.4 减少事故和差错 的措施.....	(173)
8.5 事故的调查.....	(176)
8.6 人机对比.....	(178)
8.7 安全性工程师的活 动范围和设计工程 师与安全预报有关 的问题.....	(178)
8.8 安全装置和人的 失效模式.....	(179)
8.9 潜在的人为差错 因素以及差错研 究相对于事故研 究的优点.....	(181)
8.10 有关安全性的公 式.....	(182)
8.11 小结.....	(184)
8.12 练习.....	(184)
8.13 参考文献.....	(185)

第9章 人的可靠性数

据.....	(186)
--------	---------

9.1 概述.....	(186)
9.2 一般的可靠性数 据.....	(186)
9.3 人为因素数据	(188)
9.4 人的工效可靠性 数据系统的研制 准则.....	(189)
9.5 人的工效数据收 集方法.....	(190)
9.6 人的可靠性研究 数据库.....	(192)
9.7 加工厂中与人有 关的数据源.....	(197)
9.8 示例性任务和 人的可靠性数据源 中的人为差错数 据.....	(197)
9.9 小结.....	(204)
9.10 练习.....	(204)
9.11 参考文献.....	(205)

第10章 质量管理中的

人为因素.....

10.1 概述.....	(207)
10.2 在质量保证工作 中人为因素的考 虑.....	(208)
10.3 质量管理中可由管 理人员和操作员控 制的差错.....	(209)

10.4 质量管理人员的 职能…………… (209)	11.10 在系统设计中 考虑人为因素 的若干优点 …………… (234)
10.5 检查…………… (211)	11.11 小结…………… (235)
10.6 与检查有关的数 学模型…………… (217)	11.12 练习…………… (235)
10.7 小结…………… (221)	11.13 参考文献…………… (236)
10.8 练习…………… (221)	第12章 数学模型… (237)
10.9 参考文献…………… (222)	12.1 概述…………… (237)
第11章 设计中的人为 因素…………… (223)	12.2 常用的公式… (237)
11.1 概述…………… (223)	12.3 数学模型…………… (245)
11.2 在工程设计中考 虑人为因素的效 果…………… (223)	12.4 小结…………… (248)
11.3 在系统各研制阶 段中对人为因素 的考虑…………… (224)	12.5 练习…………… (249)
11.4 设计师考虑人为 因素时的有用准 则…………… (226)	12.6 参考文献…………… (250)
11.5 人的感觉能力和 对极端环境的反 应能力…………… (228)	第13章 人因工程的应 用…………… (251)
11.6 照明…………… (230)	13.1 概述…………… (251)
11.7 规程和对规程的 评价…………… (231)	13.2 运输系统中的人 为因素…………… (251)
11.8 在设计过程中对产 品安全性的考虑… (233)	13.3 军事系统中的人 为因素…………… (252)
11.9 设计师应该考虑 的问题…………… (233)	13.4 核电站中的人为 因素…………… (255)
	13.5 过程控制中的人 为因素…………… (257)
	13.6 商业信息系统中 的人为因素… (258)
	13.7 小结…………… (261)
	13.8 练习…………… (262)
	13.9 参考文献…………… (263)

第1章 概 论

近年来人的可靠性日益受到重视。表现在有关这一主题的出版物逐年增多。这有多方面原因。首先是工程系统已经变得极其精密和复杂。而且，这些系统一旦发生故障，可能带来深远的和不可估量的影响。三英里岛核电站事故就是这种复杂系统发生故障的典型事例，此事故是由人的差错和硬件失效共同引起的。人的可靠性受到广泛重视的另一原因是多方面的研究证明了人的差错在系统故障中占有很大的比例。根据文献[1]介绍，电子设备的故障大约有50~70%是由人引发的；而飞机和导弹系统中由人引发的故障分别占总故障的60~70%和20~53%。此外，据文献[2]的介绍，总故障的10~15%是直接由人引起的。

今天的发展趋势是用机器代替人的功能，和用计算机监视人的操作。人们的这种努力，主要是为了减少人为差错。但是即使高度自动化的系统也不能完全避免人的介入。因此，可以断言，如果在系统设计阶段对人的可靠性不给予适当的考虑，则可靠性分析将是不完全的。

1.1 人为因素的历史

人因工程的历史可以追溯到最早的人类。例如，远古时候的南方古猿使用石器工具同时又使用腿骨作为武器^[3,4]。

然而，一直到近代，也许泰勒（Frederick W. Taylor）才称得上是第一个人因工程师。他于1898年为寻找最合适的铁锹设计进行了许多研究^[5]。1911年，吉尔布赖思（Frank B. Gilbreth）对砌砖进行了研究，其结果是发明了脚手架。由于脚手架能够很快地上升和下降，所以砌砖工人在整个施工过程中都可以处在最合适的高度上工作。由于吉尔布赖思研究的成果，砌砖工人能以120~350块每人时的速率砌砖。它表示砌砖工人显著地提高了工作效率。

在第一次世界大战时期，美国和英国政府对军事人员的选择和培训给予了高度的重视。他们这样做的目的是“使人员能胜任工作。”1918年，美国在赖特-帕特森（Wright-Patterson）空军基地和布鲁克斯（Brooks）空军基地分别建立了专门的实验室，进行了与人的因素有关的研究^[6]。这些试验室已经完成了诸如复杂的反应时间、知觉和动作特性等科目的研究。

在两次世界大战之间的年代里，象工业心理学和工业工程这样的学科发展很快。到第二次世界大战期间，工程系统已变得高度复杂、高度精密，以致考虑人的因素变成了必须遵循的原则。

到1945年人的因素工程已成为一门专门的学科。本世纪50年代和60年代。军事计划和载人的空间计划更进一步增加了人的因素的重要性。现在，关于这一主题的书籍已多有问世，而且许多研究性杂志也着眼于刊登这方面的文章。

1.2 人的可靠性简史

第二次世界大战以来，可靠性工程受到了高度的重视。