

[加] B.S. 迪隆 著 牟致忠 谢秀玲 吴福邦 译

人的可靠性

上海科学技术出版社·培格曼出版公司



人的可靠性

[加] B.S.迪 隆 著

牟致忠 谢秀玲 吴福邦 译

Human Reliability
(With Human Factors)

Balbir S. Dhillon

Pergamon Books Inc. 1986

(This edition is published by
arrangement with Pergamon
Books Ltd., Oxford, England)

人的可靠性

(加) B. S. 迪隆 著

牟致忠 谢秀玲 吴福邦 译

上海科学技术出版社 合作出版
培格曼出版公司

本书由上海发行所发行 上海群众印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 7.5 字数 192,000

1990年12月第1版 1990年12月第1次印刷

ISBN 7-5323-2078-2/TH·43

印数 1-1,500 定价: 6.30 元

GF52/14

译 序

加拿大渥太华大学机械工程系B. S. 迪隆(Balbir S. Dhillon)博士是国际知名的可靠性工程专家。他以学识渊博、论述丰富和兴趣广泛而著称,并在可靠性工程方面已发表论文150余篇。近年来,他以饱满的精力在加、美、英等国从事学术活动。迪隆博士是国际上著名的英国《微电子学和可靠性》杂志的编委,并常为美国素享盛名的可靠性刊物《IEEE 可靠性汇刊》撰写论文。他的著作的特点是不局限于一般的可靠性设计,而是从系统的观点出发,深入到各个新的专题领域。他的《系统设计和应用的可靠性工程》(1983年)一书曾出版过中译本,本书是其著作的第二本中译本。我相信,本书中译本的出版必将有助于我国的可靠性工作,并引起工程界和学术界的浓厚兴趣。

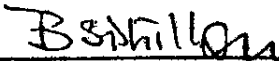
本书的第2、6、12章由谢秀玲译出,第7、8、9、10章由吴福邦译出,其余由牟致忠译出并校阅全书。主修可靠性工程的研究生李泉生和俞雄伟二位同志帮助做了一些工作,在此表示感谢。原著中一些明显的印刷差错和遗漏已作了订正。由于书中涉及的领域比较广泛,译文恐有不妥之处,敬请读者指正。

牟致忠

1989年8月于上海工业大学机械工程系

中文版序言

为了使中国大学生和专业人员能同样迅速地读到本书，上海科学技术出版社决定将本书译成中译本。在此，我对上海工业大学机械工程系主任牟致忠教授在这方面的工作和关心表示诚挚的谢意。同时，我要感谢原著出版者培格曼出版公司 (Pergamon Press) 的帮助和协作，感谢上海科学技术出版社选择本书译成中文出版。



前言与鸣谢

现代技术已经引起了一种倾向,这就是生产投资成本更大,精密性、复杂性和承载能力更高的设备和系统。设备和系统性能不可靠造成的后果已经越来越变得严峻,并由此产生了对较好的可靠性的期望。目前,复杂系统的可靠性分析不再仅仅局限于硬件方面,而且考虑其它方面,例如人为因素的可靠性和软件的可靠性。虽然早在第二次世界大战期间人为因素开始在某种程度上被当作是一门特殊的学科,但是直到 50 年代末之前并没有清楚地阐明实际系统的可靠性分析必须包括人的方面。

自从 60 年代初以来,已经出版的关于人的可靠性方面的文献,有了大量的增长。众所周知的三渥岛核电站事故是硬件失效和人为差错造成的,这一发现使人们进一步恢复了对这一课题的兴趣。

如今有一种倾向,即在系统设计时对人的可靠性给予更大的重视。但是,技术人员在寻求关于人的可靠性及有关领域的信息时很不方便,因为这些信息包含在技术评论或者仅仅简短地包含在某些教科书中,而不是(据作者所知)专门阐述于某专集里。本书是弥补这一非常需要的一种尝试。书中着重于概念的论述并避免在数学的严密性及细节上陷入困境。尽管如此,对于带有工程背景的人员,它有很大的实用性。在每一章的最后列出了大多数材料的来源。对于一旦需要想进一步研究的读者,这些资料将是十分有用的。为了帮助读者理解内容,书中提出了一些例题及其相应的解答。虽然本书的主要目的是概括人的可靠性,然而也讨

论了某些相关的领域。在人的可靠性工作中，理解这些领域也是非常有用的。本书对于这样一些读者例如人为因素工程师和专家、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学生，将是有益的。

本书由13章组成。第一章简短地讨论人为因素和人的可靠性的历史，以及精选的名词术语和定义。第二章是基本的可靠性数学和概念综述，这些对于理解以后各章的内容是有帮助的。第三章介绍人的可靠性，包括应力、人为差错发生的数学模型、在连续的时间范围内人的动作可靠性模型和失效树法。

第四章专门讨论人为差错及其不同方面，包括人为差错分类、原因和预防方法。第五章提出了6种人的可靠性分析方法。

第六章涉及在人为差错的情况下系统的可靠性评估。它包括几种马尔柯夫模型。第七章的主题是维修和维修性中的人为因素，讨论了这两个题目的重要方面。第八章讨论的是人的安全性的重要专题。本章包含的某些主题是事故的损失、原因、减少事故和差错的措施、安全装置和人的失效模式。

第九章讨论人的可靠性数据的各种不同的重要领域。第十章的主题是质量管理中的人为因素。本章包含的内容涉及管理和操作人员可以控制的差错、检验人员的差错以及与检验有关的数学模型，等等。

第十一至十三章提出与人为因素有关的三个重要领域，即设计中的人为因素、数学模型和公式以及人为因素工程的应用。在这三章内讨论的内容被认为是十分关键的，这方面的知识在人的可靠性工作中是基本的。

作者希望借此机会感谢许多朋友、同事和先行的专家，他们通过讨论将其想法发展到本书所陈述的几个领域。我特别感激IBM公司的K.B.Klaasen博士和培格曼出版公司的T.Anthony先生对于本书第一稿所作的有益评论。我深切感谢S.N.Rayapati博士，他准备了本书全部的插图。我希望对于我的双亲、兄弟、亲戚和朋友在需要时表现出的兴趣和鼓励，表示我的感谢。最后，感

谢我的妻子露茜，她打出了全部手稿并进行校对；在准备手稿时，她的耐心和宽容给了我很大的帮助。

B. S. 迪隆

于加拿大安太略州渥太华

目 录

译序

中文版序言

前言与鸣谢

第一章 绪论..... 1

1.1 人为因素的历史..... 1

1.2 人的可靠性发展简史..... 2

1.3 名词术语和定义..... 3

1.4 本书的范围..... 4

1.5 小结..... 4

习题..... 4

第二章 数学和可靠性的基本概念..... 6

2.1 概述..... 6

2.2 概率..... 7

2.3 概率分布..... 10

2.4 拉普拉斯变换..... 13

2.5 二次方程..... 14

2.6 可靠性网络..... 15

2.7 终值定理和平均失效时间..... 20

2.8 小结..... 22

习题..... 22

第三章 人的可靠性概论..... 24

3.1 概述..... 24

3.2 压力..... 24

3.3 人为差错发生的卢克 (Rook) 模型..... 27

3.4 人的动作可靠性模型	28
3.5 失效树方法	32
3.6 小结	37
习题	38
第四章 人为差错	39
4.1 概述	39
4.2 人为差错的原因及其后果	39
4.3 人为差错的发生	40
4.4 人为差错的分类	40
4.5 人为差错的概率估计	44
4.6 空中交通控制系统运行和核电站中的人为差错	44
4.7 人为差错的预防方法	48
4.8 小结	54
习题	54
第五章 人的可靠性分析方法	57
5.1 概述	57
5.2 人为差错率预测方法 (THERP)	57
5.3 概率树法	59
5.4 预测人的可靠性的Pantecorvo法	62
5.5 通过量比率法	64
5.6 人的可靠性指数	65
5.7 框图法	66
5.8 小结	70
习题	71
第六章 有人为差错时系统的可靠性评估	73
6.1 概述	73
6.2 有人为差错时冗余系统的可靠性估计	73
6.3 有致命的人为差错时冗余系统的可靠性预测	96
6.4 有人为差错时地面公共交通系统的可靠性分析	107
6.5 在压力下操作人员的可靠性估计	119
6.6 有人为差错时系统的有效性分析	126
6.7 小结	128

习题	129
第七章 维修和维修性中的人为因素	131
7.1 概述	131
7.2 维修中的人为因素	132
7.3 维修性中的人为因素	134
7.4 维修和维修性专业人员的实用指南	135
7.5 维修程序和工作辅助手段	138
7.6 人力要求模型	138
7.7 维修缩减曲线	141
7.8 小结	142
习题	142
第八章 人的安全性	145
8.1 概述	145
8.2 事故的损失	146
8.3 事故的原因	146
8.4 减少事故和差错措施	148
8.5 事故的调查	150
8.6 人一机关系	152
8.7 安全工程师的活动和设计工程师的安全报警问题	152
8.8 安全装置和人的故障模式	153
8.9 潜在的人为差错因素和差错研究与事故研究相比的优点	154
8.10 精选的与安全性有关的公式	155
8.11 小结	157
习题	157
第九章 人的可靠性数据	159
9.1 概述	159
9.2 一般的可靠性数据	159
9.3 人为因素数据	161
9.4 人的动作可靠性数据系统开发指南	162
9.5 人的动作数据收集方法	162
9.6 人的可靠性研究数据库	164
9.7 加工厂内与人有关的数据来源	168

9.8 精选任务的人为差错数据和人的可靠性数据来源	169
9.9 小结	172
习题	172
第十章 质量管理中的人为因素	175
10.1 概述	175
10.2 质量保证中对人为因素的考虑	176
10.3 在质量管理中管理和操作人员可以控制的差错	176
10.4 质量管理人员的职责	177
10.5 检验	179
10.6 与检验有关的数学模型	183
10.7 小结	186
习题	187
第十一章 设计中的人为因素	189
11.1 概述	189
11.2 在工程设计中考虑人为因素的效益	189
11.3 在系统的各个阶段考虑人为因素	190
11.4 对设计师有用的关于选择的人为因素的指南	191
11.5 人对极端环境的感受能力和反应	193
11.6 照明	195
11.7 过程与过程评估	196
11.8 在设计过程中对产品安全性的考虑	197
11.9 精选的对设计师有益的问题	198
11.10 在系统设计中考虑人为因素的优点	199
11.11 小结	200
习题	200
第十二章 数学模型	202
12.1 概述	202
12.2 有用的公式	202
12.3 数学模型	209
12.4 小结	211
习题	212
第十三章 人为因素工程的应用	214

13.1 概述	214
13.2 交通运输系统中的人为因素	214
13.3 军用系统中的人为因素	216
13.4 核电站中的人为因素	218
13.5 过程控制中的人为因素	220
13.6 商业信息系统(BIS)中的人为因素	221
13.7 小结	223
习题	224

第一章 绪 论

近年来对于人的可靠性给予了越来越多的注意。这可以从不断增加的有关这一主题的出版物的数量看出。这种增加有着各种原因。一个原因可能是，工程系统已经变得高度精密和复杂，而且，这种系统的失效可能产生影响深远和不可预测的后果。复杂系统失效的首要例子是三哩岛核电站事故，这一事故是人为差错和硬件故障相结合的结果。另一个越来越重视人的可靠性的因素可能是，各种研究已经表明，系统失效中很大一部分是由于人为差错而产生的。根据参考文献[1]，电子设备失效的 50~70% 是由人引起的，而在飞机和火箭系统中，由人引起的失效约占 60~70%，在失效总数中约占 20~53%。在文献[2]中进一步指出，失效总数的 10~15% 是直接由于人引起的。

如今，人们努力的目标是用机器代替人的作用和用计算机来监视人。这一努力的主要目的是减少人为差错的发生。即使高度自动的系统也不能全部排除人的介入。因此，这样说是没有错误的：在系统设计阶段如不对人的可靠性给予适当的考虑，则可靠性分析将是不充分的。

1.1 人为因素的历史

人为因素工程的历史可以追溯到人类的最早期阶段，例如，灭绝的南非巨人使用卵石工具，他们还采用股骨作为武器[3, 4]。然而在近代，F. W. Taylor 也许可以称为第一位人为因素工程师。1898 年，他进行研究以寻求铁锹的最合适的设计[5]。1911

年, F.B. Gilbreth 进行过砌砖的研究, 这导致了脚手架的发明。这种脚手架使得砌砖工人在所有的情况下能够在最合适的高度处工作, 因为它能够迅速地上升或下降。由于 Gilbreth 研究的结果, 砌砖工人能够以每工时 120 至 350 块砖的速率砌砖。这说明砌砖工人的效率有了大幅度的提高。

在第一次世界大战期间, 美国 and 英国政府对于军事人员的挑选和培训给予格外的重视。这一努力的主要目标是“使人员适合其工作”。1918 年美国在 Wright-Patterson 空军基地和 Brooks 空军基地建立实验室来进行与人为因素有关的研究 [6]。这些实验室在这样一些领域内开展了研究工作, 例如复杂的反应时间、感觉和发动机工况。

在两次世界大战之间的岁月里, 在工程心理学和工业工程学科方面, 可以看到人为因素研究的较大发展。在第二次世界大战期间, 工程系统变得如此复杂和精密以至于考虑人为因素成为必需遵循的手段。

到 1945 年, 人为因素工程作为一门专门的学科得到确认。在 50 和 60 年代, 军用和民用航天计划进一步增加了人为因素的重要性。目前, 已经出现了好几本这方面的教科书和一些专门研究这一领域的杂志。

1.2 人的可靠性发展简史

从第二次世界大战起, 可靠性工程得到了很大的重视。单是英文就有 5 种研究杂志完全或部分地专门涉及这一学科。自 50 年代末以来, 已经出版了 100 种以上关于可靠性的书籍。

1958 年, H.L. Williams 是第一批人员之一, 他确认人为因素可靠性必须包括在系统可靠性预计中, 否则预计的系统可靠性不能代表真实的写照 [7]。两年后, 即 1960 年, A. Shapero 等 [8] 指出, 在所有的设备失效中, 人为差错是占大部分比例的原因 (即从 20% 至 50%)。同年, W.I. LeVan [9] 的报告指出, 23~45% 的失效来自人为差错。在 60 年代, 很多与人的可靠性有关的论

文出现在杂志、会议论文集和技术报告里。这些论文的许多种列在文献[10]内。六十年代的两种重要文件是《人在工作中动作的可靠性会议论文集》[11] 和《人的动作定量化会议论文集》[12]。1973年可以看作是人的可靠性历史上一个重要的里程碑。该年8月,著名的《可靠性汇刊, IEEE》[13] 出版了一本专门讨论人的可靠性的专辑。在这本专辑中刊登了很多优秀的论文。从此以后,研究人员在人的可靠性领域内取得了进一步的进展。精选的关于人的可靠性的文献在参考文献[14]内列出,这一文献概括的时期是从1958年至1978年。

1.3 名词术语和定义

本节提出了精选过的在人的可靠性或一般可靠性中使用的名词术语和定义[2, 15, 16]。

人的可靠性 在规定的最小时间限度内(如果规定有时间要求),在系统运行中的任一要求阶段,由人成功地完成工作或任务的概率。

人为差错 这是未能实现规定任务(或者实现了禁止的动作),可能导致中断计划运行或引起财产和设备的损坏。

人为因素 与人类特性有关的科学事实的主体。这一名词术语包含了所有的生物医学与社会心理学考虑。它包括(但不局限于)人员挑选、培训原则及其在人为因素工程领域中的应用、人的动作评估、工作辅助手段和生命支持。

人为因素工程 这是在产品设计中利用科学论据产生有效的人机一体化,并有效地加以利用的考虑人为因素的领域。

可靠度 产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的概率。

有效度 产品在要求使用时可以使用的概率。

连续任务 这是一种与某种跟踪活动有关的任务,一个例子是监测变化的工况。

人的动作可靠性 一个人在规定条件下能完成全部规定的人

的功能的概率。

稳态(静止)条件 指的是这样的条件,在一特定状态下的概率不取决于时间。

冗余 为完成规定的功能而存在的两个或两个以上的手段。

人一功能 指的是分配到系统的人为因素中的功能。

人的动作 在规定条件下人一功能和操作的量度。

1.4 本书的范围

近年来,在工程系统的设计、制造和使用阶段,已经给予人的可靠性更多的注意。人的可靠性这一专题在不同的论文、报告和专著中进行了讨论,据作者所知,目前还没有概括在一本书的范围内。需要有关人的可靠性及其相关领域的详细资料的工程师们和其它人员面临着很大的不便。本书是为满足这一迫切需要的一种尝试,因为有关人的可靠性的知识已经有了巨大的发展。本书是以这样的方式编写的,为消化其内容,以前的知识并非必需。例如,第二章是基础数学和可靠性理论。这就免除了对基础数学和可靠性理论事前准备的需要。此外,许多提供解答的例题使本书更加便于自学。

本书可用于许多学科,因为人为差错是个共同的问题。它将有益于可靠性与维修性工程师和专家;人为因素工程师和专家;设计和系统工程师;质量管理工程师;工业工程师;电气、机械、土木和化学工程师;以及高年级的大学生和研究生。

1.5 小 结

本章简要地讨论了人为因素工程和人的可靠性历史,概括地描述了人的可靠性的重要性,列出了与人的可靠性和一般可靠性有关的名词术语和定义,并且简要地介绍了本书的范围。

习 题

1. 叙述人的可靠性领域目前的发展趋势。