

KE KAO XING
〔日〕菅野文友 著

可靠性工程

烃加工出版社



GONG CHENG

可 靠 性 工 程

〔日〕 菅野文友 著

蔡建新 陈广异 译

烃 加 工 出 版 社

内 容 简 介

本书内容包括可靠性工程的基础知识,可靠性设计、预测及管理。本书从可靠性的角度研究质量管理、设备维修管理及故障诊断等现代管理的理论、方法和手段。作为本书的特点之一,就是全书各章配有大量的例题和习题(附有解题过程及答案)。

本书可作为高等学校有关专业的参考教材,也可作为工程技术人员及管理干部的自学用书。

— 信赖性工学

執筆:菅野文友

発行所 株式会社ロコナ社

1984年7月10日 初版第4次印刷

★

可靠性工程

[日] 菅野文友 著

蔡建新 陈广昇 译

★

经加工出版社出版

北京京辉印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

★

787×1092毫米 32开本 8⁵/₈印张 1插页 186千字 印1—2,700

1988年11月北京第1版 1988年11月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-023-5/TH·001 定价,3.20元

可靠性工程的学习方法(代序)

可靠性工程是一门涉及面很广、具有相当深度的学科，它与各边缘学科有着密切的联系。为了有效地学习和正确地应用可靠性工程，并将其研究对象推广到各有关学科领域，应掌握下列基本要点。

(a) 掌握概率论基本知识

概率论是可靠性工程的基础理论之一。在此基础上逐步掌握实际数据统计的各特性。因为就质量管理、运筹学等所用的各种概率统计方法而言，必须积累大量实践经验，并能随时灵活应用。将基本观点的理论探讨和具体数据的实际分析这两方面有机地结合，是学习可靠性工程的关键。

尤为重要的是实际数据的积累与分析。我们常常可以看到，在所得到的数据资料中，一定存在着有价值的数。无论怎样简单的问题，注意数据的积累是可靠性工程的重要基础。此外，需要培养分析、处理数据的能力。总之，采集数据、分析处理数据是十分重要的事。为了掌握这些方法的适用范围，最有效的做法是应首先明确其理论依据。

(b) 注意与固有技术的联系

一般而言，可靠性工程是通用技术。通用技术与固有技术相结合，就能发挥其应有的效果。因此，为恰当地应用可靠性工程，应在掌握某一门固有技术之后，学习可靠性工程则大为有效。作为学习可靠性工程的重要秘诀，不仅需要学习的热情，而且还应具有达到更高要求的坚定信心。

(c) 与其它通用技术相结合

学习可靠性工程，除了密切联系各种固有技术以外，与系统工程、预测统计学、运筹学、计划工程、人类工程（工效学）、技术经济、生产组织学、经营管理学等通用技术学科相结合，是至关重要的。无论是固有技术还是通用技术，不应忘记，凡是新兴学科的发展往往体现在不同技术学科的交叉区域，即所谓边缘科学。

此外，就可靠性工程的今后发展动向而言，其重点是维修性和人机工程方面，而同其它通用技术学科的结合，将成为越来越重要的课题。

(d) 重视基本思考方法

可靠性技术被称为“两面刃的剑”，其适用范围很广。掌握并灵活应用其一般规律极为重要。然而，如不研究其适用范围，就会引起判断错误。因此，应正确地掌握思考问题的基本方法。

所谓思考问题的方法，并不是专门知识，而是指考虑问题的思路。读者往往有自己的习惯，首先以自己的习惯思路作为思考问题的尝试，那是最可取的。一般说来，所考虑的问题未必一定是难题。所以最好是选一个乍看上去并不难的问题着手，但也有初看上去似乎是个难题，如观点略加改变，就会意外地发现问题可按常规方法处理而易于解决。这种尝试性的方法，关键是需要灵活应用可靠性技术的一般规律，但可靠性技术所利用的一般规律涉及面颇广，今后在基础理论和应用技术两个方面还将扩大。

(e) 致力于日常信息资料的收集

可靠性工程，有人称它是“万能工程”。的确，它与其它边缘技术学科有着密切的联系。特别是与电讯工程、信息

工程等固有技术学科的关系十分密切，彼此相辅相成，今后也不会改变。因此，读者应该经常接触各类学会刊物和论文集，必须经常性地致力于基础理论与应用技术两方面信息资料的积累工作。

(f) 重视人为过错

当今的社会，是人和机器密切联系的系统，亦即人机系统迅速地发展并渗透到我们日常生活各个领域的社会。在这种情况下，系统中人为所致的错误，即人为过错，可以说是一个老生常谈的问题。而且随着系统的大型化、复杂化，人为过错也逐渐地变得复杂多样。因此，人为过错所致的事故、灾难的影响，严重地威胁着我们的社会。

这种情况在电讯技术部门中也同样存在。就电讯系统的可靠性而言，人为过错所占的重要性日益增大。作为这种人为过错的对策，必须在逻辑与伦理两个方面加以研究。特别要注意的是小错误往往会导致严重的后果。无论对于什么样的系统，在研究可靠性问题时，必须考虑人为过错，关键要牢记：左右系统可靠性的因素是人的可靠性。

有关术语的说明：

可靠性工程的术语应该统一。但在各个学科领域中，由于历史的原因，尚有差别。在日本以IEC (International Electrotechnical Commission：国际电工技术委员会) 制定的TC-56(可靠性与维修性技术会议technical committee) 为依据，确定 JIS Z8115-1970 为可靠性工程技术用语。本书主要使用 JIS Z8115[可靠性用语改正原案] (日本规格协会) 所规定的用语，是现阶段最新的JIS (日本工业标准)。

目 录

可靠性工程的学习方法 (代序)

第一章 绪论	1
1.1 可靠性工程简史	1
1.2 可靠性的概念	2
1.3 可靠性的量度	7
例题	10
第二章 基础理论	14
2.1 可靠性的测定和评价	14
2.1.1 浴盆曲线	14
2.1.2 平均工作时间、平均失效间隔及平均 修复时间	17
2.1.3 有效度	18
2.2 基本关系式	19
2.2.1 基本式	20
2.2.2 再生过程	22
2.2.3 指数分布的基本函数及其参量	24
2.3 概率分布	27
2.3.1 各种概率分布	27
2.3.2 串联与并联	33
例题	36
第三章 设计	47
3.1 高可靠度设计法	47

3.1.1	设计的基本事项	47
3.1.2	降额使用	49
3.1.3	可靠度的预测与分配	50
3.1.4	统计设计法	53
3.2	文件编制与设计审查	57
3.2.1	文件编制	57
3.2.2	设计审查	59
3.3	系统的可靠性	61
3.3.1	各类冗余系统	63
3.3.2	冗余系统的可靠度	64
3.3.3	错误校正和容许故障	65
3.4	信息处理系统中的RAS问题	66
3.4.1	联机系统中的失效诊断方法	68
3.4.2	诊断程序的基本思路	70
3.4.3	联机系统中异常现象的处理	73
	例题	74
第四章	制造、检验与质量保证	81
4.1	质量管理和质量保证	81
4.1.1	质量管理	81
4.1.2	质量管理的历史	82
4.1.3	质量管理的方法	83
4.1.4	为保证质量而编制代码	85
4.2	可靠性试验	86
4.2.1	各种可靠性试验	87
4.2.2	试验数据的陈旧化问题	89
4.3	检查方式	90
4.3.1	工作特性曲线	91

4.3.2	各种抽样检验方法	91
4.3.3	计数一次抽样检验	91
4.3.4	计数序贯抽样检验	92
4.3.5	计量调整型抽样检验	93
	例题	94
第五章	维修	96
5.1	维修方式	96
5.1.1	预防维修与事后维修	96
5.1.2	维修方针	99
5.1.3	预防维修中最佳检修周期的制定	99
5.1.4	最佳检修顺序的制定	103
5.1.5	备品备件数的拟定	107
5.1.6	各种有效度	111
5.2	失效的检测与诊断	113
5.2.1	失效的分类	114
5.2.2	检测与诊断技术	116
5.2.3	失效物理	117
5.3	数据的收集与分析	118
5.3.1	一般注意事项	119
5.3.2	数据的收集	121
5.3.3	数据分析	122
5.3.4	数据的记录	123
5.3.5	应用方差分析方法进行数据分析时的 注意事项	124
5.3.6	结果报告	126
	例题	127
第六章	失效分析法	134

6.1 失效模式和效应分析与失效模式效应和后果分析	137
6.2 失效树分析	140
6.3 各种概率纸的应用及参数估计方法	144
6.3.1 正态概率纸	145
6.3.2 对数正态概率纸	145
6.3.3 威布尔 (Weibull) 概率纸	146
6.3.4 估算法技巧	149
例题	150
第七章 可靠性管理	158
7.1 固有技术和通用技术	159
7.2 可靠性管理	161
7.3 可靠性信息管理	163
7.3.1 掌握市场信息	163
7.3.2 开展 PDCA 管理	164
7.3.3 可靠性数据交换制度	165
例题	167
习题集 (含题解)	172
附录	216
1. 概率纸	216
2. 计算图表	225
3. 数值表	241

第一章 绪 论

1.1 可靠性工程简史

可靠性工程 (Reliability Engineering) 的历史始于第二次世界大战。在这之前,人们关心的是不易破坏、易于修复的产品的制造方法。

但是从可靠性的观点,有组织地研究评价方法,探讨设计、维护等问题,却开始于美国的武器在第二次大战中损耗率大增的时期。

例如,根据已发表的统计资料,在美军运往远东的武器中,60%的飞机不能使用;武器的电子设备50%在库存中就发生了故障*;轰炸机的电子设备寿命只有20个小时;海军的电子设备70%出现故障。这些故障大部分是发生在军用器械心脏部位的电子器件中,而多数是在设计阶段必须应予以考虑的问题。鉴于这一严重情况,可靠性问题就正式地提到议事日程上来。

因而,当初可靠性问题的主要对象是电子管,并且是以军方研究为主。1952年8月设立了美国三军可靠性咨询机构,即电子设备可靠性咨询小组AGREE (Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment)。1957年7月提出报告并通过,具体地确定了可靠性问题的研究方向。其

*译者注,本书中所用到的“失效”或“故障”两个术语,一般来说,都是指产品丧失规定的功能,“失效”用于不可修复的产品,如灯泡、电子元件等,而“故障”则用于可修复的产品,如机械、设备等,有时两者通用。

后，陆续制定出许多可靠性军用规范，如 MIL-R 等。

在一般产品方面，可靠性技术于50年代迅速地渗透到统计质量管理 (Statistical quality control; SQC) 领域，但当时并不太注意质量保证 (quality assurance; QA)。1954年在美国纽约市召开了第一届国际可靠性和质量管理专题讨论会 (National Symposium on Reliability and Quality Control)。此后，可靠性技术的研究更迅速地开展起来。

可靠性工程的发展简史如表 1.1 所示。

日本可靠性问题的研究范围如表 1.2 所示。

1.2 可靠性的概念

可靠性 (reliability) 是以发生故障的难易程度作为考

表 1.1 可靠性工程发展简史

序号	年代	内 容		备 注
		国 外	日 本	
1	1940~	(电子设备的开发及其失效)		
2	1950~	(可靠性研究进入正规化)		
	1952	设立电子设备可靠性咨询小组 (AGREE)		
	1954	National Symposium on Reliability and Quality Control		由美国各学会共同举办 (第一届)
	1957	AGREE提出报告		
	1958		日本科学技术联盟 可靠性研究会	
	1959	开展可靠数据的收集、分发活动		IDEP (GIDEP)

续表

序号	年代	内 容		备 注
		国 外	日 本	
3	1960~	(可靠性管理活动的进一步开展)	(可靠性活动的启蒙及普及)	
	1960	CENELEC (European Commission for Electro-technical Standardization)		
	1960		日本科技联盟可靠性学术讨论会, 电子通信学会可靠性研究会	第一届 当初为可靠性和质量管理研究 专门委员会
	1962	IEEE Transaction Reliability		
	1962	贝尔研究所开发 FTA	《可靠性的理论与实践》	才一社
	1963		《日本科技联盟可靠性文献译文集》	No.1
	1964	IEC TC-56 (可靠性技术委员会)		
	1964		《电子通信学会志》可靠性特集	Vol.47, No.11
	1966		《可靠性管理手册》	日刊工业新闻社
			IEC东京	TC-56的参加者 者为多数
4	1969	MIL-STD-785A	JIS C5003 (电子元件的故障试验法)	
	1970~	(确定可靠性为衡量产品的基本因素)	(可靠性活动的确立)	
	1970		JIS可靠性术语	Z8115
	1971	允许失效计算国际讨论会	日本科技联盟可靠性讨论会(R&MS)	第一届

续表

序号	年代	内 容		备 注
		国 外	日 本	
4	1973	高可靠性软件国际讨论会	日本电子元件可靠性中心	第一届
	1975		日本科技联盟可靠性数据研究会	
	1975		《可靠性管理手册》	日科技连出版社
	1976		《电子通信学会志》可靠性技术特集	Vol.59, No.4
	1977		《计算机系统的高可靠性》	オーム社
	1978		日本可靠性技术协会(REAJ)	

表 1.2 可靠性的研究领域

制 作 者	(1) 企业管理	提出研究方案, 收集资料, 进行市场调查, 了解用户要求, 研究实现的可能性(周期、成本), 确定方针, 签订合同, 组织, 管理, 培训, 资金	
	(2) 研究开发	理工学原理, 研究成果, 设想, 要求及指标(可靠性、维修性、检验)的决定, 系统工程的分配及决定	
	技术(研究开发及设计)	设计	a) 可靠要求, 可靠性分配, 样品规格, 样品设计, 样品试验, 试制及批量生产的差别, 生产设计, 审查图纸 b) 推荐的零部件, 列出易损零部件清单, 综合过去的经验和技能, 降额使用(留有余地的使用), 标准化、简易化、互换性、安全性, 零件来源容易, 可修复性, 环境适应性, 经济性, 冗余方式, 事故预防(fool-proof), 保险(fail-safe), 安全(safe-life), 软件的可靠性, 人机系统适应性, 各因素的平衡(trade off) c) 可靠性和维修性的预测, 可靠性试验及检查(加速寿命试验、极限试验、筛选、定级、验收试验), 审查设计, 检验项目, 确定可靠性显示点及监视点 d) 收集和分析失效及应力数据, 失效模式及机理, 失效物理, 信息的反馈及纠正措施

续表

	(3)	制造	质量管理,生产方式(标准化、自动化),技术水平的管理,训练,生产环境,设备的维修,材料、零部件的供应及保管,确定零部件材料的使用、调整,各种(工程管理,验收)试验及筛选
	(4)	销售服务	a)包装、运输、标志、设备、使用说明书 b)维修措施(PM—预防维修,CM—事后维修),赔偿,收集失效及使用数据,回收失效产品供事故分析用,派遣技术人员,设立服务站,维修站,质量咨询部
用	(1)	订购	a)质量要求,资料收集,以往的经验,现有水平,产品比较,规定环境使用条件,可靠性,记有维修性的采购指示,系统设计,包括成本在内的综合平衡 b)调查生产者的能力,等级,到货期,合同
		管理	现场审查,工程复核,对资料的要求,进厂及定期检查,各种试验,修正措施,图纸、文件的保管,对特邀修理人员的要求、训练、监视、动机目的
户	(2)	使用	包装,运输,保管方法,调试,使用环境,操作技术,使用说明书,手册,维修方式(PM,CM)错误动作的修正,故障检测及维修技术,备品备件贮备,试验及其他辅助设备的管理,各种时间的记录,收集分析各种维修及失效数据,反馈控制,对生产厂提出赔偿要求,返修,保险,报废

虑问题的出发点,定量地用可靠度来衡量。

维修性(maintainability)是表示发生故障后修复的难易程度,其定量的度量是维修度。

一般说来,零件、设备、装置、系统等可靠性问题是在开始使用时就同时出现的。就产品而言,最基本的要求应是不易损坏,即不易失效。然而,在某些情况下,失效是不可避免的现象,往往难以预测。可靠性技术就是预防可预测故障的发生,减少不可预测故障的发生率,从而尽可能地减少故障所造成的损失。

从时间来看,失效的发生具有概率性质。作为研究对象

的产品，从投入使用到发生失效的时间，即使同一种产品，也因工作环境、使用条件的不同而异。但是在相同的工作环境或使用条件下，同一种类的多数产品经过长时间的工作后，其失效则往往具有统计的规律性。从这一点来看，可以给可靠度下这样的定义：产品在规定的各种条件下，在规定的时间内，完成规定功能的概率。与此相对应，维修度的定义是：发生故障的产品，在规定的各种条件下和在规定的时间内，恢复规定功能的概率。此外，可靠度的定义，也具有剩余概率的意义。

对于作为研究对象的产品来说，这样定义的可靠度就是定量的参数，在设计阶段可以通过试验预测，在制造阶段可以通过管理控制，在使用时应保持正常工作。在定义可靠度时，必须预先明确：

规定的条件：主要的环境条件或使用条件。

规定的时间：完成规定功能所需要的时间（有时也包括使用次数、运行距离、工作转数等）。

规定的功能：失效类型及概率的相关性。

也就是说，可靠度（reliability）是指产品在规定的条件下和在规定的时间内完成规定的功能的概率。而维修度（maintainability）是指可修复系统、设备、元器件等在规定的条件下和在规定的时间内完成维修的概率。

可靠性的研究对象有系统、子系统、装置、设备、组合件、零部件、元器件等，本文总称为产品*，即包括上位产品（系统）直到下位产品（元器件）。因而可靠性就是表示产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能

*译者注：关于“产品”概念，请见国家标准 GB3187-82，可靠性基本名词术语及定义。

力，其概率是可靠度。所以可靠性工程就是以产品达到可靠性为目的的应用科学与技术。当产品失去规定的功能时称为失效 (failure)。

与可靠性相类似的概念还有安全性 (safety)，它是指有可能造成人员的伤亡、资材的损失、破坏的情况。也就是说，可靠性是以影响完成产品功能的失效作为研究对象，而安全性是以造成人员、资材损失或破坏的危险状态为对象。

另外，在产品中包含构成系统要素之一的人，即包括人机系统 (man-machine system)。

可靠性所研究的是从一般产品研制到报废的整个阶段，即寿命周期 (life cycle) 问题。

一般来说，可靠度函数是时间的函数。但是，汽车轮胎等可靠度并不是时间的函数，而是运行距离的函数。另外，继电器、开关等的可靠度则是开闭次数的函数。同样，有的是工作转数、往复次数等的函数。因此，可靠度到底是什么变量的函数，应由各专门技术来测定。当作为时间函数来考虑时，是实际工作时间，还是通电时间或是日历时间 (calendar time)，应预先加以充分地考虑。

1.3 可靠性的量度

评价可靠性好坏程度的尺度，除了在 1.2 节中以概念形式直接表达外，还可使用各种各样的方式。一般的可靠性评价指标，如表 1.3 所示。

再就是必须考虑对问题作多方面的可靠性分析，对产品可以用工作及运行状态下的可靠度 (operational reliability) 来表示。如表 1.4 所示，工作可靠性可以认为是由产品的固有可靠性和使用可靠性所组成，设工作运行状态下的可靠性为 R_o 。