

可靠性技术

——设计、制造和使用

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是《可靠性工程讲座》的第三卷，内容为从产品的设计、生产到使用各个阶段中有关可靠性工程的技术问题。

第一章对整个可靠性技术作了一个概要的说明。第二章介绍如何从可靠性及维修性的观点去评价设计的好坏。第三、四章分别介绍在设计时为保证产品的可靠性与维修性应该注意的问题。第五章介绍与人的因素有关的可靠性问题。第六、七两章分别介绍与可靠性有关的生产过程问题及维修保养问题。第八章是从系统工程的高度介绍一些可靠性计划及管理问题。书后的三个附录收集了设计审查一览表，有关的标准规范及可靠性设计用数据等资料，主要是美国的有关军用标准、手册等。

本书适合从事可靠性工作的工程技术人员阅读，也可供有关管理干部和大专院校师生参考。

信頼性技術——設計・製造・使用

高木 昇 監修 市田 嵩 著

東京電機大学出版局 1972年2月

*

可靠性技术——设计、制造和使用

〔日〕高木 昇 主编 市田 嵩 著

五 所 译

何国伟 校

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张12¹/₁₆ 256千字

1980年6月第一版 1980年6月第一次印刷 印数：00,001—10,000册

·统一书号：15034·1959 定价：1.25元

出版说明

为了配合国内开展可靠性工作的需要，我们本着“洋为中用”的原则，选译了日本高木昇主编的《可靠性工程讲座》的第二、三、四卷。第二卷《可靠性基础数学》，介绍可靠性技术中应用较多的概率统计方法；第三卷《可靠性技术——设计、制造和使用》，介绍设计、生产和维护使用中的质量控制及可靠性保证问题；第四卷《可靠性技术——试验与分析》，介绍可靠性的试验及其分析方法。这套《讲座》收集的资料较为丰富实用，可供从事可靠性工作的技术人员和有关人员参考。

在翻译过程中，对原书的印误、计算错误和个别的概念错误，译者尽量作了改正，并加了注解。但仍难免有不当之处，请读者批评指正。

序 言

在本《可靠性工程讲座》中，第三卷和下面的第四卷力求对可靠性技术的全貌作详细的介绍。其中，第四卷主要是阐述可靠性试验和分析，本卷则是介绍除试验和分析以外的其它所有的可靠性技术问题（包括产品的设计、制造和使用的产品寿命周期全过程）。将可靠性技术分这样两卷来叙述，前后难免有重复和互不衔接之处，但因有各方面的配合，以及有《可靠性初级讲义》（日科技协会编）和《可靠性设计》（丸善出版）等参考书可借鉴，我相信还是可以取得一致的。而对于共同的边缘问题，也不妨从不同的观点来加以考察，这反倒会有助于读者加深理解。不过，本卷虽名为《可靠性技术》，其实缺少“试验和分析”方面的详细内容，故还需和下面的第四卷连起来阅读。

有人认为，可靠性技术不过是对所经历过的感性知识加以综合整理罢了。但是，事实上它不单只是生活智慧的累积；根据作者的经验，各种知识累积提高后就能超出常识的范畴。

可以认为，研究可靠性技术有两条主要途径：一是从硬件的设计、制造和使用等方面来进行考察；二是将可靠性纳入系统工程来考虑。本卷打算在讲解时，使这两者不断取得平衡。

关于硬件的可靠性、维修性，笔者是打算根据自己在工厂里担任十多年质量控制工作的经验来叙述。在五十年代的

中期，笔者之所以对可靠性开始感兴趣，是因为自己对那时的质量控制（与现在所说的质量控制相比，那时的范围要窄得多）感到不满意；当时正在探索：为了制造更优质的产品，是否还有别的途径可循。可是，时至今日，在硬件的制造方面，还很难区分可靠性和质量控制这两个问题。因此，第六章讲到的“制造和可靠性”大多是根据笔者在质量控制方面的经验而写成的。

对于系统研制中的可靠性，今后应从更多方面给予重视。由于我本人现在担任这项工作，故特别想把以往的想法整理归纳进去，其中尤想从系统可靠性的角度探讨一下人的因素和维护性等问题。这方面尚有待从今后的工作效果来再加评议；但我想，这些工作若能成为七十年代新技术发展的一个起点，则实属庆幸之至了。

市田 嵩 1972年7月1日

目 录

第一章 可靠性技术概述和基本概念

前言	1
1.1 可靠性技术概述	2
1.2 系统的寿命周期与可靠性	12
1.3 可靠性技术的基本概念	14

第二章 可靠性、维修性的设计评价技术

前言	21
2.1 可靠度预测	22
2.2 参数漂移的分析	48
2.3 FMECA	58
2.4 维修性的测定和预测	69

第三章 硬件的可靠性设计

前言	88
3.1 安全系数与降额使用	88
3.2 贮备设计	102
3.3 耐环境设计	117
3.4 热设计	127
3.5 耐振设计	129

第四章 硬件的维修性设计

前言	134
4.1 可达性	135
4.2 装配方法	147
4.3 部件的组件化与小型化	149
4.4 测试点	155

第五章 人为因素和可靠性

前言	161
5.1 操作可靠性	162
5.2 指示装置	173
5.3 控制装置	181
第六章 制造和可靠性	
前言	188
6.1 制造工艺和可靠性	189
6.2 制造环境和仪表的控制与可靠性	196
6.3 生产操作和可靠性	206
6.4 外购件的管理	208
第七章 系统的使用和维修	
前言	214
7.1 维修方针	215
7.2 维修准则、维修指南和维修人员	228
7.3 测试设备及其自动化	231
7.4 后勤保障	238
第八章 系统的研制和可靠性	
前言	256
8.1 系统的寿命周期和可靠性、维修性计划	256
8.2 可靠性指标的确定和分配	275
8.3 元件规划和试验计划的制订	286
8.4 人在系统中的作用	290
8.5 设计审查	293
8.6 可靠性数据的管理	303
附录 1 设计审查检查表	315
附录 2 与可靠性有关的标准、规范	342
附录 3 可靠性设计用数据	350
练习题	366
习题解答	373

第一章 可靠性技术概述和基本概念

前 言

为使系统、设备、元器件等主要由工业部门生产的产品，能经常无故障地工作，以满意地完成它们各自的功能和任务，人们曾作了各种各样的努力，将这方面的工作加以积累和整理，形成了可靠性技术。

关于可靠性的历史，在本讲座的第一卷已有阐述，故不再赘叙。前面所讲的努力，如果单纯地只是生活智慧的积累，就根本不能预防和处理现今的复杂系统和大量使用的要求经久耐用的产品故障问题，更应付不了今后所面临的设备日益高级化、复杂化的时代。于是，研究一种高于所谓常识范围的可靠性技术便尤有必要了。然而，要使系统和产品具有实际上的高可靠性，单单由少数人来从事可靠性方面的工作是不够的，还必须让所有参与生产的人们都认识到可靠性工作的重要性并具有可靠性方面的知识，这种认识所需的深度取决于各人的工作需要。因此，向大家提供能够理解、能够使用的可靠性知识便很有必要了。

这样，可靠性技术一方面要大力普及，另一方面又必须进行深入的 research 和技术探讨。为此，就有必要制订出让大多数人可以互相准确交流看法的可靠性术语。人的意见各有所异是自然的，有争议才有进步。但是，如果各人使用的语言

不同，就不能交换各自的意见和观点，也就不能得到技术的发展。对于可靠性这门历史较短的技术来说，这一点是特别重要的。在日本工业标准^[1]中已制定有可靠性术语定义，本书尽量采用这些定义进行解说●。

这一章里，将对可靠性技术作一概述，说明以下各章所述的内容，同时，为方便读者阅读，列举了一些与本书内容密切有关、但又是最低限度的可靠性基本概念。这些基本概念在本讲座的其他四卷中多有详细阐述，望读者参照阅读。

1.1 可靠性技术概述

就狭义上讲，“可靠性”的反义词就是“容易发生故障”。制造尽可能不发生故障的产品，这是可靠性管理的目的，而与此有关的工程方法就是可靠性技术。不过，在一般的生产活动中，是有很多限制条件的，不言而喻，可靠性当然也受到这些条件的制约。例如，要达到经济目的，就要在规定的时间内完成任务，如此等等，都属于这些条件。因此，在某种情况下，有时即使是高可靠的产品，但由于其价钱昂贵，也仍然是不实际的。对这种情况，可在产品使用了一段时间以后，更换一个新品或进行检查修理。另外许多产品准备在发生故障后立即进行调换或修理。这种预防性的组织措施和对于故障的修理就叫做维修。一般情况下，维修时系统和设备是要停止工作的，因此，我们希望，产品的维修时间要短（即维修容易）。所谓维修性，就是“表示可修复的系统、设备或元器件是否易于维修的一种性质”（引自“JIS 可靠性术

● 在我国有四机部部标，“可靠性名词术语”，本书译文中尽量按照我国的用语译出。——译者注

语”)^[1]。从广义来说,可靠性中也包含着维修性。但从狭义上来说,可靠性和维修性这两个术语却又是同时并行使用的。两者必须根据产品的用途而取得平衡。下面,先把可靠性和维修性两者区别开来,分别介绍一下它们的有关技术,然后,再讨论一下这两者综合起来即所谓有效度的问题。另外,也想谈谈与此有关的管理技术。

〔1〕 可靠性

为制造尽可能少发生故障(失效)●的产品所采用的一切方法,都可以叫做可靠性技术。对于已经供实际使用的系统、设备,对可靠性的要求会因其维修方法的不同而各有不同,所以,也有与维修有关的可靠性技术(要注意,这个概念同以后讲的“维修性”不是一码事)。也就是说,在产品的研究、设计、制造、运输、安装、使用和维修等各个环节,均既有造成故障的可能,也有发现故障的原因和给予改善的可能,所以,每个环节都需要有可靠性技术。

(1) 可靠性设计技术

由上可见,可靠性技术所涉及的范畴是很广的,但根据以往的经验,产品的可靠性本质上取决于研制和设计阶段(包括生产中的质量控制设计及使用维护规程的设计),至于以后的各阶段,则存在有使可靠性下降的因素,而提高可靠性的因素则不多。因此,在过去的二十年中所研究和实际运用的可靠性技术,大多与研制和设计有关。把可靠性研究的重点放在研究和设计阶段,还有另外的原因,这就是:随着科学技术的不断革新,产品被淘汰的速度也就加快,因而,各个

● 本书中“故障”一词,在我国则往往有所区分,对于整机、部件等用“故障”,而对于元器件则用“失效”,但总称时仍用“故障”一词。——译校者注

企业部门研究新产品的速度就必须加快。这样一来，想通过对试样做长时间的使用试验之后再行修改设计，就难于达到这个要求了，因而就要求在尽可能早的时间内，即在开始设计时，便把可靠性考虑进去。

(2) 可靠性试验和故障分析

另一个较大的可靠性技术领域，就是可靠性试验和故障分析。它在研究、制造和维修的各个阶段都要进行，而且各阶段的方法也多少有些不同。这方面的技术将在本讲座的第四卷“可靠性技术——试验和分析”中作详细叙述，本卷的第八章也只是从系统研制的综合观点出发作一些讨论，并不涉及细节。可以说，设计和试验是可靠性技术的两大难关，因此请读者在阅读本卷时也参看第四卷所述的内容。

(3) 制造和可靠性

制造阶段的可靠性问题，也就是质量控制的问题，方法上几乎没有增加新的东西。制造阶段的可靠性无疑可看作是实现产品可靠性的一个必要的前提条件。在有高可靠要求时，应该特别重视如下几个方面，即特殊工艺控制、故障跟踪、筛选、剔除次品和净化控制等等（参阅第六章）。也就是说，对于那些曾在过去的质量控制中被视为多余的东西，有时也不得不坚持贯彻。但是，这决不是根本推翻质量控制的一套观念，而是从现实问题出发，如何去努力弥合目前的技术水平和奋斗目标之间的差距问题。

(4) 维修和可靠性

产品经实际使用后所体现出来的可靠性（即使用可靠性），是受到维修方法的制约的。特别是象运输机、规模很大的生产设备等，其维修工作量是非常大的，因而受维修方法

的影响也就更大。关于维修的方法，在可靠性技术系统化以前就已经做了种种探讨，而现在又进一步采用了可靠性工程的研究成果。美国联邦航空局（FAA）所编制的飞机维修手册等就是其中的典型例子（参阅第七章）。

这个问题也和维修性工程有关，但其目的不在于缩短维修时间，而在于维持可靠性，所以，它是狭义上的可靠性技术，而不是维修性技术——这点是务需注意的。

（5）可靠性工作

为确保产品的可靠性所要做的工作示于表 1.1。这些内容对技术人员来说，并不是单纯的一种可靠性知识，而是必须具体实行的工作。因此，必须努力做好计划、组织、调度来安排管理性工作。表 1.1 所收集的是一些普遍性的工作，因而必须根据计划来决定取舍，并要实行得适时，表中的各项工作在本卷以下各章都有叙述，只是如前所述，关于试验方面的技术内容请参阅第四卷。

〔2〕 维修性

维修性技术的出现比可靠性技术大约晚十年左右，到了六十年代初期，才开始研究具体的维修性评价和具体的设计方法。即使是那时的美国，虽有人把维修技术称作“最有意义的项目”，并且也曾在说明书上写上“对维修性应予充分的考虑”，但在实际上，到底应做些什么和怎样去考虑，这在用户和厂家方面都缺乏具体措施。

可以说，对维修性的研究起促进作用的是美国国防部 1959 年的副部长通告。据当时统计，国防预算的百分之二十五是用于维修的开支，而两年中花在设备和机械维护上的费用，却与用于采购的款额几乎相等。因此，与其着眼于采购

表1.1 可靠性工作

(1) 计划工作	(i) 可靠性计划的制订 (ii) 可靠性的分配 (iii) 技术规范的制订 (iv) 使用方法及环境分析 (v) 工作程序的确立 (vi) 确定数据的收集和配置的方法
(2) 评价工作	(i) 可靠度预测 (ii) 设计审查 (iii) 验证试验和评价试验 (iv) 可靠度试验
(3) 关于硬件应做的工作	(i) 元件的选择和管理 (ii) 对元件厂家的监督 (iii) 筛选 (iv) 应力分析 (v) 偏差故障分析 (vi) 故障模式、影响与致命分析 (vii) 贮备设计 (viii) 故障的报告、分析和改进措施 (ix) 热设计 (x) 耐环境设计
(4) 辅助工作	(i) 系统工程 (ii) 工业管理工程 (iii) 质量控制 (iv) 安全管理

的费用，莫如着眼于以后的设备保养维修费用（设备寿命维持费）。从这一分析结果，便得出结论：这样的维修性与经济性有关。而后就产生了“寿命周期总费用”的术语——关于这个问题，将在下面第 1.2 节中叙述。

在许多有关可靠性的讲义中，都有描述可靠性与费用的关系的图表，如图 1.1 所示。图中横轴的可靠性是广义的可

靠性，实际上是包含维修性的。

(1) 硬件的维修性设计技术

维修性、可以说是与设计 and 安装有关的一种特性，而主要地是由设计决定的。维修性设计大致分成设计评价技术与将实际中的维修性考虑到设计之中的有关技术。前者是维修性预测，后者有可达性、安装方法、测试的难易等项。维修性预测方法将在第二章中与可靠性预测方法同时加以叙述，此外，作为理解维修性预测的一种必要手段，也把维修性测量技术（这与设计方法多少有些不同）放在同一章里讲解。维修性的设计方法则留在第四章叙述。

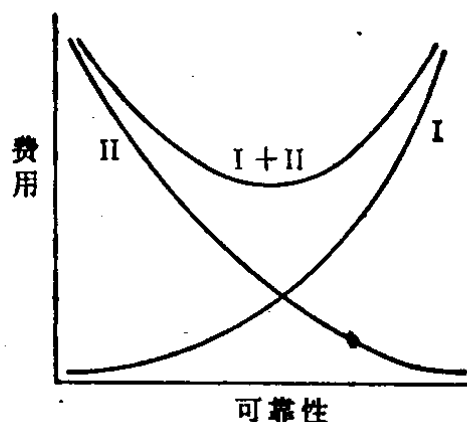


图1.1 可靠性、维修性和总费用

I + II — 总费用； I — 采购费用； II — 使用、维修费用及因偶然故障而停工的损失。

第二章中与可靠性预测方法同时加以叙述，此外，作为理解维修性预测的一种必要手段，也把维修性测量技术（这与设计方法多少有些不同）放在同一章里讲解。维修性的设计方法则留在第四章叙述。

(2) 维修性测量技术

如前所述，维修性测量技术将在第二章里与维修性预测技术一起叙述。预测就是在纸上进行书面设计，而维修性测量则是对产品进行评价。对于实际使用中的系统、设备来说，维修性的测量有两种方法：一是收集维修数据来推算维修性，二是在工厂、实验室里进行模拟维修，即所谓维修性论证试验。

(3) 系统的维修性设计

如果是指广义的维修性设计，则如图1.2所示，决定维修性的所有因素都包含在设计阶段的工作里面去了。除上面第(1)项的内容外，其余都将在第七章的“系统的使用与

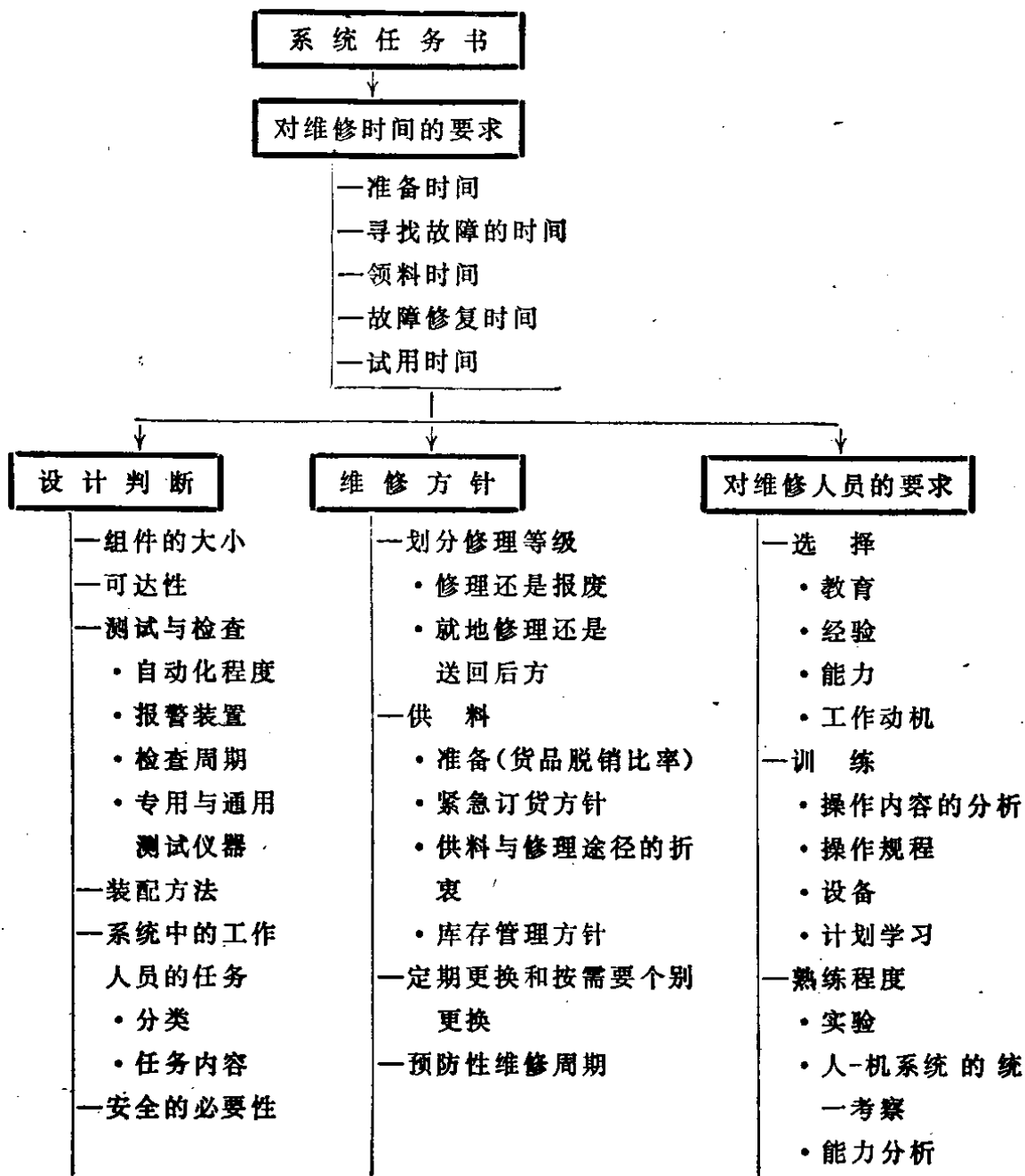


图 1.2

维修”中叙述。当然，这些问题都应纳入系统设计的内容，如果等到系统已经制造出来以后才去筹划，那就迟了。

〔3〕 有效度

图 1.3 示出系统的时间因素，图中服役时间分为“可能工作时间”和“不能工作时间”（参看第 1.3 节）。可靠性工

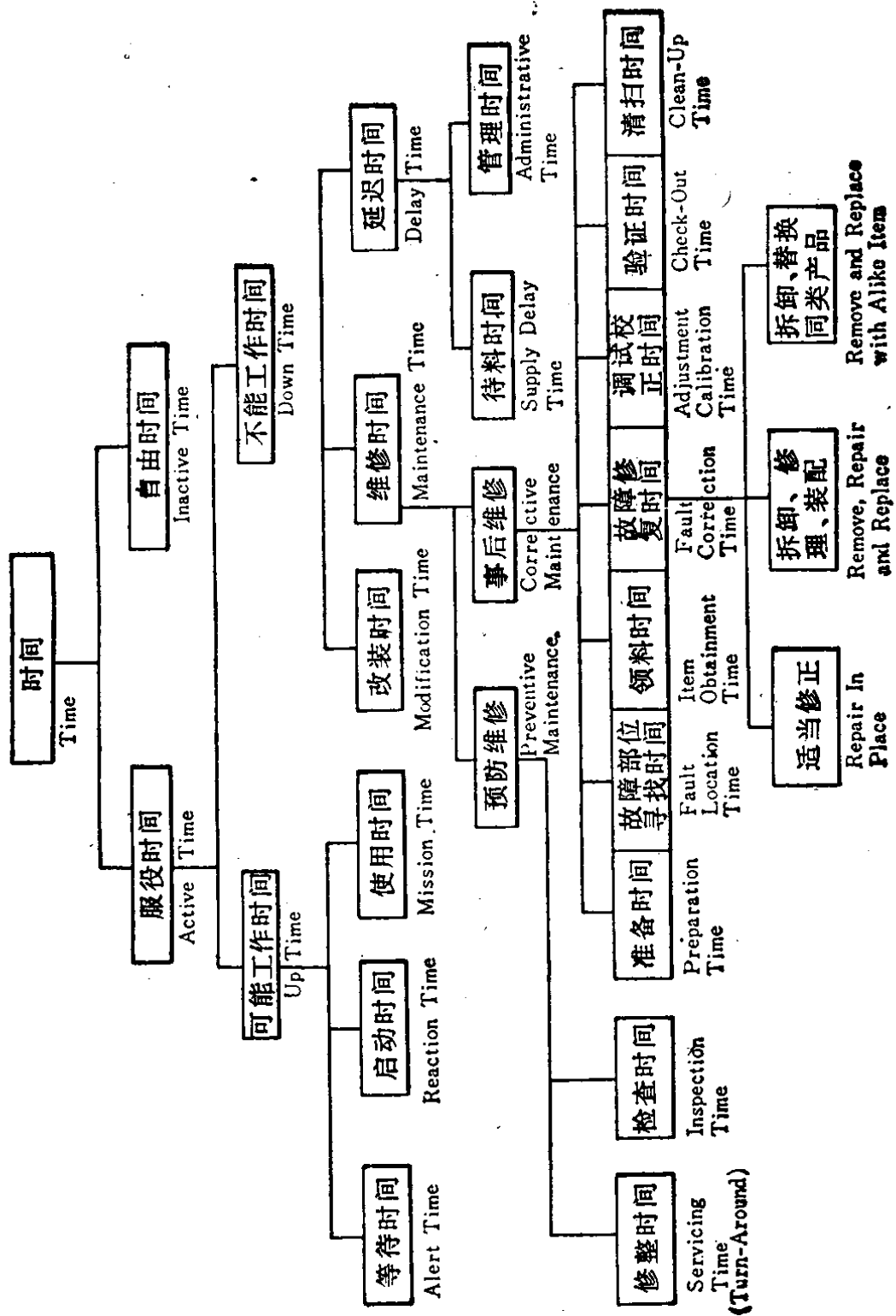


图 1.3

作的目的就是延长可能工作时间，维修性工作则要努力缩短不能工作的时间。这两种努力的总概念，就称为有效度。有效度的定义为“可以维修的产品，在某特定的瞬间维持其功能的概率”。这个概率用可靠性和维修性函数来表示。

这个问题，在数学上是用排队论来处理的，而维修性或可靠性，至今仍作为一项专题来研究。在本讲座第二卷，已就数学处理的方法进行过讨论，故在本卷就不再重复，只是在第 3.2 节叙述到“贮备设计”时，引用一下有关的结论。

至于为达到预期的有效度，应该如何确定可靠度和维修度等这类综合性的问题，将在第八章叙述。

〔4〕 为达到可靠性所用的有关管理技术

在开始系统地研究可靠性时，一般是给出一个浴盆曲线（参看第 1.3 节图 1.6）。这一浴盆曲线显然是从保险统计学借用来的，是把死亡率同故障率相比拟。此外，可靠度验证试验（见第四卷）也是瓦尔特序贯检验法的扩展，而可靠度和维修度的检验则是质量控制中的抽样检验方法的扩展。再说，在物理失效初期常说的“失效的基本元素”是从工业管理学里来的，就连维修性的测量（见第 2.4 节），也不能否认是继承了古典的工业管理方法。在安全管理方面，频数比与强度比、故障率与维修率互为对应的关系就更容易理解了。还有，信息理论中的术语“冗余”，亦被引用到可靠性工程中（参见第 3.2 节“贮备性”）[●]。

因此，保险统计学、统计估计及检验、工业管理、信息论等等举不胜举的概念，都被纳入可靠性工程的体系之中。

● 在我国，信息论中用“冗余”，可靠性中用作“贮备”。——译者注