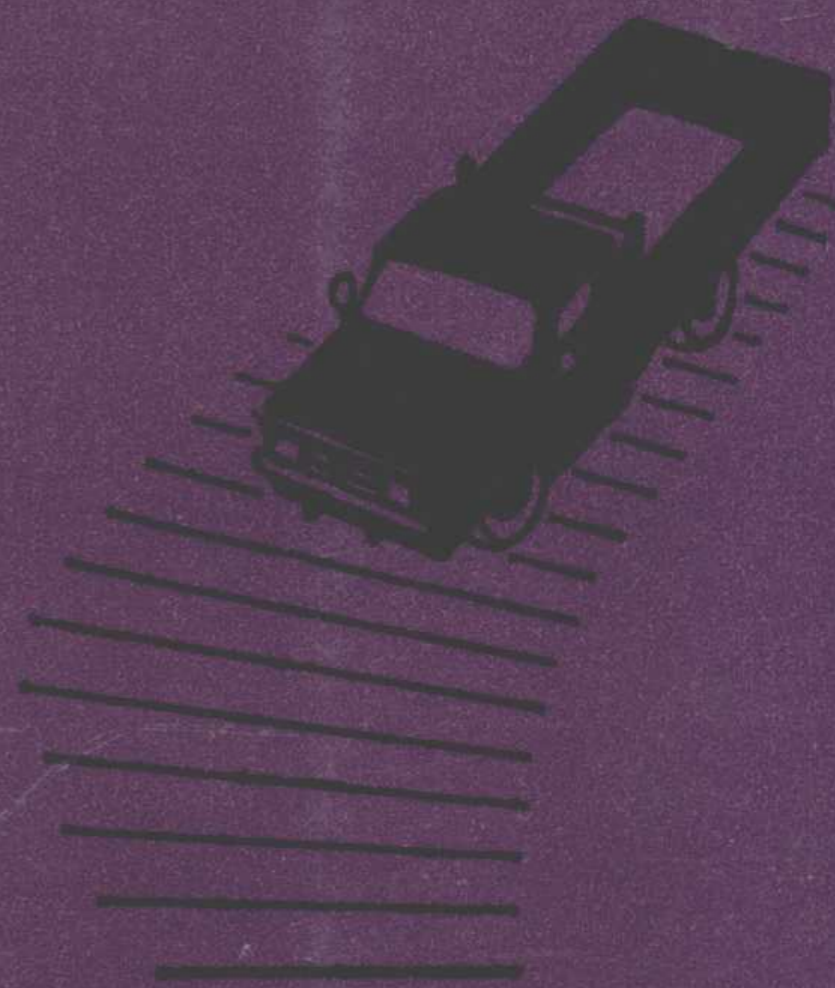
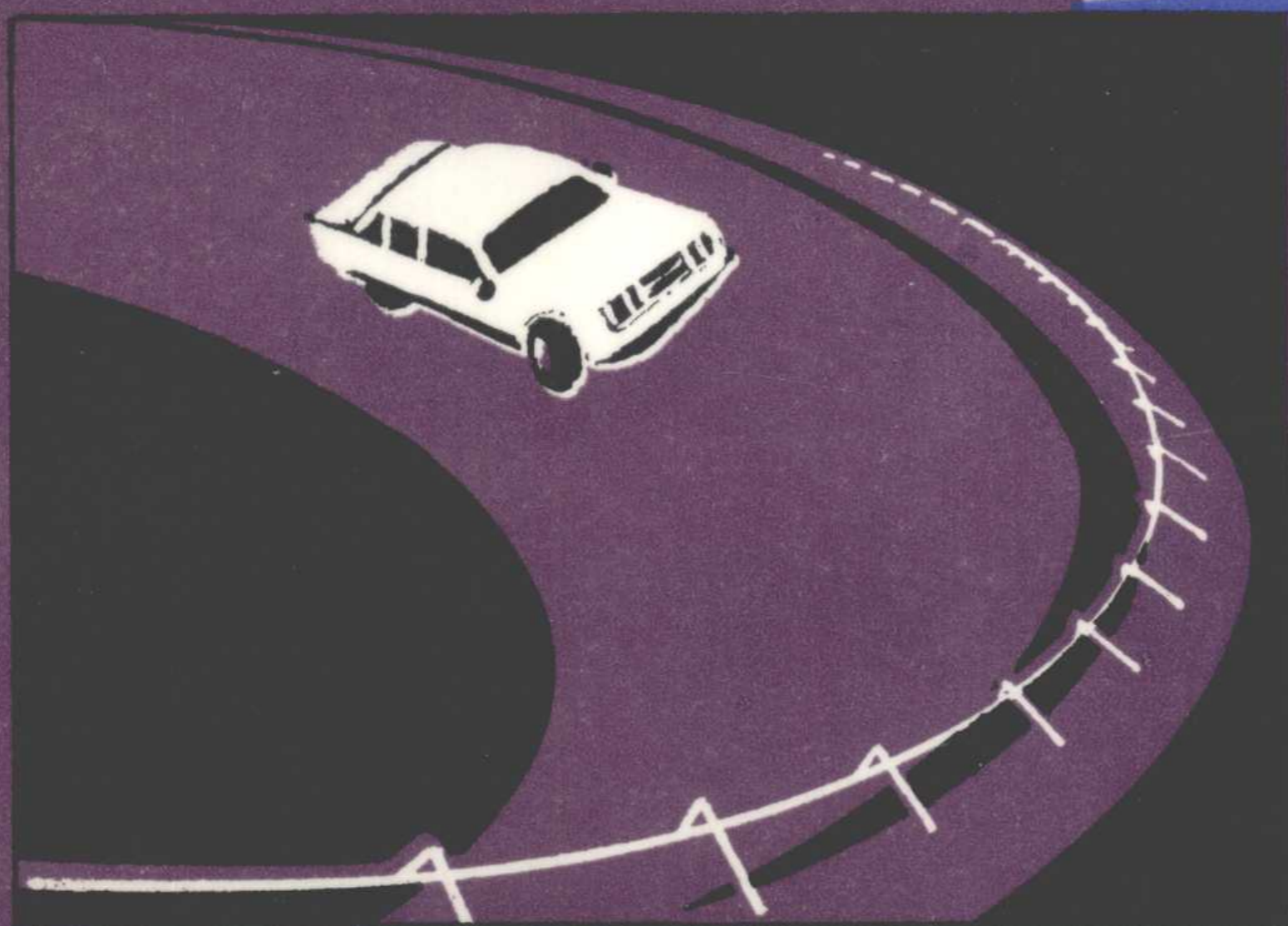


汽车可靠性工程

崔高勤 编著



吉林科学技术出版社

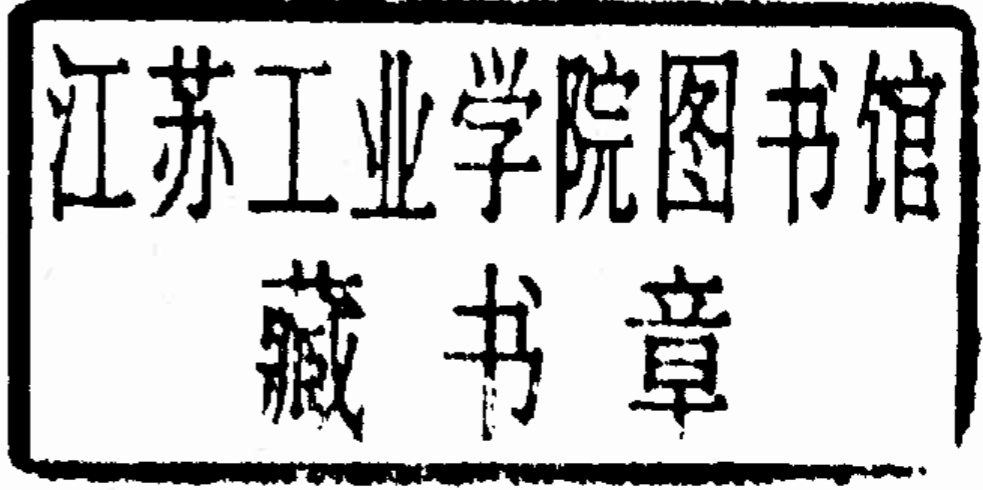
QKKG

要 目 容 内

汽车可靠性工程

崔高勤 编著

本书系统地介绍了汽车可靠性工程的基本概念、原理、方法和应用。全书共分八章，第一章介绍可靠性工程的基本概念和术语；第二章介绍可靠性工程的理论基础；第三章介绍可靠性工程的试验方法；第四章介绍可靠性工程的预测方法；第五章介绍可靠性工程的维修方法；第六章介绍可靠性工程的故障诊断方法；第七章介绍可靠性工程的可靠性管理；第八章介绍可靠性工程的可靠性设计。本书可作为高等院校汽车专业及相关专业的教材，也可供从事汽车工作的工程技术人员参考。



吉林科学技术出版社

$$V(1 + \frac{1}{S}) = 0.3089$$

由 $T(1 + \frac{1}{S}) = 0.10$ 得 $T = 0.10 \cdot \frac{S}{S+1}$ ，代入上式得 $0.10 \cdot \frac{S}{S+1} (1 + \frac{1}{S}) = 0.3089$

2. 附录 2

附录 2 给出了由 Johnson 提出的用于描述非正态分布的统计量。这些统计量在工程应用中非常广泛。附录 2 给出了这些统计量的定义和计算方法。附录 2 还给出了这些统计量的分布函数和密度函数。附录 2 还给出了这些统计量的分位数表。附录 2 还给出了这些统计量的应用实例。

附录 2 还给出了这些统计量的分布函数和密度函数。附录 2 还给出了这些统计量的分位数表。附录 2 还给出了这些统计量的应用实例。

参考文献

1. 崔高勤, 梁代魁, 汽车可靠性工程, 吉林科学技术出版社, 1990.
2. 李玫, 梁代魁, 汽车可靠性工程, 吉林科学技术出版社, 1990.
3. 梁代魁, 李玫, 汽车可靠性工程, 吉林科学技术出版社, 1990.
4. 梁代魁, 李玫, 汽车可靠性工程, 吉林科学技术出版社, 1990.
5. 梁代魁, 李玫, 汽车可靠性工程, 吉林科学技术出版社, 1990.
6. 梁代魁, 李玫, 汽车可靠性工程, 吉林科学技术出版社, 1990.
7. 梁代魁, 李玫, 汽车可靠性工程, 吉林科学技术出版社, 1990.
8. 梁代魁, 李玫, 汽车可靠性工程, 吉林科学技术出版社, 1990.
9. 梁代魁, 李玫, 汽车可靠性工程, 吉林科学技术出版社, 1990.

汽车可靠性工程

崔高勤 编著

责任编辑: 李玫 梁代魁

封面设计: 马滕骧

出版 吉林科学技术出版社 787 × 1092 毫米 16 开本 17 印张
 发行 (长春市斯大林大街 102 号) 插页 5 379 000 字

1990 年 12 月第 1 版 1990 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1 - 3000 册 定价: 9.10 元

印刷 长春市文教印刷厂

ISBN 7-5384-0750-2/U·54

内 容 提 要

本书共分七章，前两章概要地阐述了汽车可靠性理论基础，即可靠性基本概念、概率论与数理统计的基本概念和方法。后五章系统地介绍了汽车可靠性工程技术，内容包括常见失效分布的数据分析、可靠性数据的搜集与预处理、可靠性试验、实际使用寿命与台架寿命间的当量关系估计及可靠性管理等，每项内容都以实例做进一步说明。书末附有可靠性名词术语等定义，以及《中位秩表》等五种计算用表。

本书对从事汽车可靠性设计、分析、管理、试验、检验及汽车维修人员等皆有实际参考价值，也可作为有关大、中专师生的参考书。

前 言

可靠性是汽车最重要的基本性能之一。汽车具有高度的可靠性，不仅能充分发挥其各种性能、提高运输效率，而且能大大减少使用费用和维修费用。另一方面，汽车可靠性水平高，既节省能源和材料、促进技术进步，又能提高生产厂家的信誉。因此，不论是汽车使用者，还是汽车制造厂，都十分重视可靠性，极力追求高度的可靠性。

国外的可靠性研究工作已有30余年的历史，1957年美国首先提出了AGREF报告，次年，日本科技联盟设立了以东京帝国大学高木先生为首的可靠性研究委员会。此后，很多国家相继成立了研究可靠性的相应机构，对可靠性理论进行了广泛深入的研究，并实际开展了可靠性工作。随着人们对可靠性问题的进一步认识，可靠性理论应用于生产实践越来越多，同时，还出版了一些有关可靠性的专著。从60年代开始，可靠性技术逐渐向机械工程渗透，除人造卫星、飞机及核电站外，压力容器、电机、船舰、汽车、齿轮及轴承等也都应用了可靠性分析方法。近10年来，汽车工业广泛地开展了可靠性研究，可靠性工程技术得以飞速发展，各种汽车均具有相当高的可靠性。

我国对可靠性工程的研究是从60年代末、70年代初开始的，汽车工业从80年代初开展了可靠性工作。虽然我国汽车工业可靠性工作起步较晚，但由于吸取了国内外的可靠性研究成果和经验，进展较快，并取得了不少研究成果。目前，我国汽车产品的可靠性问题仍然较多，而且有的还很严重，因此，研究可靠性和提高汽车产品的可靠性已成为汽车工业的一项十分重要的任务。

本书以本人研究可靠性的实践为基础，结合国内外可靠性主要研究成果，参阅国内外有关资料，并使之系统化而编写成的。书中以解决汽车可靠性工程问题为主要内容，可靠性工程人员可直接按照书中介绍的方法进行可靠性工作，因此，本书可作为可靠性工程人员的工具书。另一方面，考虑我国汽车工业开展可靠性工作较晚，普及程度低，用前两章篇幅概要地阐述了可靠性理论基础。期望本书对可靠性工程人员有所裨益，为振兴汽车工业做出一点微薄的贡献。

为了节省工程技术人员的宝贵时间，将本人从事可靠性研究中计算的大量数据编制成《中位秩表》，并附于书末，以供读者使用。

最后，借此机会对在本书编写过程中给予热情帮助的诸同志表示衷心的感谢！并向本书引用的参考文献的著者致以谢意！

本书在编写过程中，得到了常文宣、王喜祥、宋秀发、梁代魁、吕光源、臧 姝、焦海斌、李寿先、任鸿泉、邵培君、金长吉、杨鸿祥、王淑媛、梁士香、杨淑兰等同志多方面的协助，在此一并表示谢意。

由于作者水平所限，错误之处难免，殷切希望读者给予批评指正。

作 者

1989年12月

目 次

(08 )	.....	.....	.....
(88 )	.....	.....	.....
(88 )	.....	.....	.....
(48 )	.....	.....	.....
(88 )	.....	.....	.....
第一章 可靠性概论 (1)			
(88 )	.....	.....	.....
(88)	§1 可靠性概述.....	.....	( 1)
(04)	§1-1 可靠性研究的历史与发展.....	.....	( 1)
(84)	§1-2 可靠性研究的重要意义.....	.....	( 2)
(84)	§1-3 可靠性工作范围.....	.....	( 5)
(84)	§1-4 提高产品可靠性的基本途径.....	.....	( 5)
(84)	§1-5 概率论和数理统计在可靠性工作中的应用.....	.....	( 6)
(84 )	.....	.....	.....
(74)	§2 可靠性基本概念.....	.....	( 6)
(84)	§2-1 可靠性定义.....	.....	( 6)
(84)	§2-2 衡量可靠性的统计指标.....	.....	( 7)
(84)	§2-3 可靠性指标间关系.....	.....	( 14)
(84)	§2-4 失效规律及类型.....	.....	( 16)
(84)	§2-5 有效度基本概念.....	.....	( 17)
第二章 可靠性的数学基础 (18)			
(87)	§1 概率论基本概念.....	.....	( 18)
(87)	§1-1 随机试验.....	.....	( 18)
(87)	§1-2 随机事件、样本空间.....	.....	( 18)
(87)	§1-3 频率与概率.....	.....	( 20)
(88)	§2 几种主要分布.....	.....	( 24)
(88)	§2-1 随机变量.....	.....	( 24)
(18)	§2-2 随机变量的分布函数.....	.....	( 24)
(88)	§2-3 连续型随机变量的概率密度.....	.....	( 25)
(88)	§2-4 几种重要分布.....	.....	( 25)
(88 )	.....	.....	.....
(88)	§3 随机变量的数字特征.....	.....	( 30)
(08)	§3-1 数学期望.....	.....	( 30)
(88)	§3-2 方差.....	.....	( 30)

§ 3-3	几种重要随机变量的数学期望和方差	(30)
§ 4	数理统计	(33)
§ 4-1	基本概念	(33)
§ 4-2	母体 (总体) 均值 (数学期望) 估计	(34)
§ 4-3	母体 (总体) 方差估计	(36)
§ 5	假设检验	(38)
§ 5-1	χ^2 检验法	(38)
§ 5-2	柯尔莫格洛夫-斯米尔诺夫检验法	(40)
§ 6	线性回归拟合	(42)
§ 7	系统可靠度计算	(46)
§ 7-1	串联系统	(46)
§ 7-2	并联系统	(46)
§ 7-3	简单结构的串联和并联系统的可靠度计算	(47)
§ 8	应用实例	(49)
§ 8-1	概率论基本概念	(49)
§ 8-2	随机变量及其分布	(54)
§ 8-3	线性回归分析	(66)
第三章	常见失效分布的数据分析	(76)
§ 1	截尾寿命试验简介	(76)
§ 2	指数分布	(76)
§ 2-1	截尾寿命试验结果统计分析——点估计	(76)
§ 2-2	截尾寿命试验结果统计分析——区间估计	(79)
§ 3	正态分布	(83)
§ 3-1	概率密度函数、分布函数、失效率函数	(83)
§ 3-2	正态概率纸的构造及用法	(84)
§ 4	威布尔分布	(88)
§ 4-1	分布函数、概率密度函数、失效率函数	(88)
§ 4-2	威布尔分布参数的意义	(89)
§ 4-3	威布尔概率纸的构造及用法	(90)
§ 4-4	参数 m 与 t_0 估计	(92)

§ 4-5	参数 γ 估计	(96)
§ 4-6	寿命特征估计	(97)
§ 4-7	混合型威布尔分布	(99)
§ 4-8	复合型威布尔分布	(104)
§ 5	利用对“对数威布尔分布”参数的估计转换为对威布尔分布的参数估计及寿命特征估计	(106)
§ 5-1	对数威布尔分布参数的最好线性无偏估计和最好线性不变估计	(108)
§ 5-2	对数威布尔分布参数的简单线性无偏估计 (CLUE)	(111)
§ 6	非参量可靠度的区间估计	(113)
§ 7	寿命统计分析应用实例	(120)
第四章	可靠性数据的搜集与预处理	(151)
§ 1	可靠性数据搜集与分析的重要性	(151)
§ 2	充分认识和全面搜集可靠性数据	(151)
§ 3	数据预处理	(154)
§ 4	不完全子样分析方法	(155)
§ 5	不完全子样分析方法应用实例	(161)
§ 6	汽车零部件寿命统计分析程序	(167)
第五章	可靠性试验	(172)
§ 1	概述	(172)
§ 2	寿命试验	(173)
§ 3	可靠性试验大纲的编制	(174)
第六章	实际使用寿命与台架寿命间的当量关系估计	(178)
§ 1	数据搜集及失效分析	(178)
§ 2	实际使用寿命与台架寿命间的当量关系估计	(178)
第七章	可靠性管理	(186)
§ 1	可靠性管理基本原则	(186)
§ 2	汽车可靠性基本工作	(187)
§ 3	可靠性/质量管理体系	(191)
附录及附表		(201)

第一章 可靠性概论

§1 可靠性概述

§1-1 可靠性研究的历史与发展

当可靠性的问题尚未明确提出来之前，人们虽然没有使用“可靠性”一词，但是，已经在工程中使用耐久性、寿命、稳定性、安全性、维修性等概念来表示产品的质量了。将可靠性工程作为单独的一门科学，广泛地、有组织地从事这方面的研究工作，是在第二次世界大战以后的事情。据报导，第二次世界大战期间，美国运到远东的航空设备有60%不能使用。1949年时有70%的航海无线电设备平时处于非工作状态，其中50%在仓库中就失效了。1950~1952年间美通讯设备中有14%处于非工作状态，水声设备有48%处于非工作状态，雷达有84%处于非工作状态。这样，如何保持它们的质量指标而不失效这个问题就提到日程上来了。为此，美国开始研究并终于解决了元件可靠性问题。尽管元件质量提高了，但装置的故障并没有消除。随着装置的复杂化，仅元件无故障还不够，还必须考虑整个系统的可靠性。1952年美国国防部设立了电子装置可靠性咨询组，其研究结果为美国可靠性活动奠定了基础。此后，可靠性工程的研究方向才大体被确定下来。

之后，可靠性活动在一般产业中也大力开展起来，尤其在1969年7月阿波罗11号登月成功以后，可靠性成果得到广泛宣传。

1957年美国先锋号卫星由于一个2美元的元件失效，而造成220万美元的损失。由此可见，可靠性问题是直接影响人的生命、经济、军事、政治等的大问题。鉴于这个原因，各国都先后成立了相应的机构（研究机构、学会和协会），采取了对策，对可靠性理论作了广泛的研究。现今，比较重要的机构有：

(1) 国际电工委员会(IEC)。1904年成立，有76个技术委员会。其中有专门从事可靠性研究的委员会，该会于1965年在东京开会，统一了名词术语，制订了标准。

(2) 美国的一些可靠性研究机构。它们是可靠性的策源地和中心。

其它国家也相应成立了可靠性机构并开展了许多工作。

从日本的情况看，日本从1951年接受可靠性想法以来，也开展了实际活动。1958年日本科学技术协会设立了可靠性研究委员会，开始进行有关可靠性方面的工作，1970年日本国家标准中也规定了可靠性用语(JISZ115)。在国铁新干线，电报、电话、株式会社的电话网，日本航空公司的运行、安全管理，以及在飞机、电子仪器、汽车、推土机等各领域内大力开展了可靠性活动。

1969年6月日本正处在出口到美国的车辆遭到退货的危机之中，大多汽车厂家不得不发退货清单。结果使日本各汽车厂家都以生产性能可靠的汽车和实现销售服务为目

标，制订了在美国已经实施的退货制。

这样，以退货问题为转机，从确保汽车可靠性出发，汽车工业的可靠性活动很快开展起来了。

我国关于可靠性工程的研究是从60年代末、70年代初开始的，电子工业的一些部门和单位，可靠性活动开展的是比较早、比较好的，并取得了一些可喜的成果。70年代末，原一机部系统也开展了这方面的活动。1983年8月在天津召开了汽车可靠性工作会议，会上确定了开展可靠性研究的课题。

§ 1-2 可靠性研究的重要意义

对于产品，不仅要求其有良好的技术性能，而且更重要的是要求它能在规定的条件下、规定的时间内，完成规定的功能。因此，提高产品的可靠性是一个重要技术问题。产品的可靠性同产品的质量、费用、企业的信誉和技术进步之间有着极为密切的关系，因此，研究可靠性具有十分重要的意义。

一、产品质量（性能）与可靠性的关系

产品的可靠性，实际上是产品质量的一个重要组成部分。由于在一定条件下，可靠性问题比较突出，所以就引起了人们的普遍注意，而被特别提出来加以研究。产品的质量与可靠性的关系可用图1-1表示。

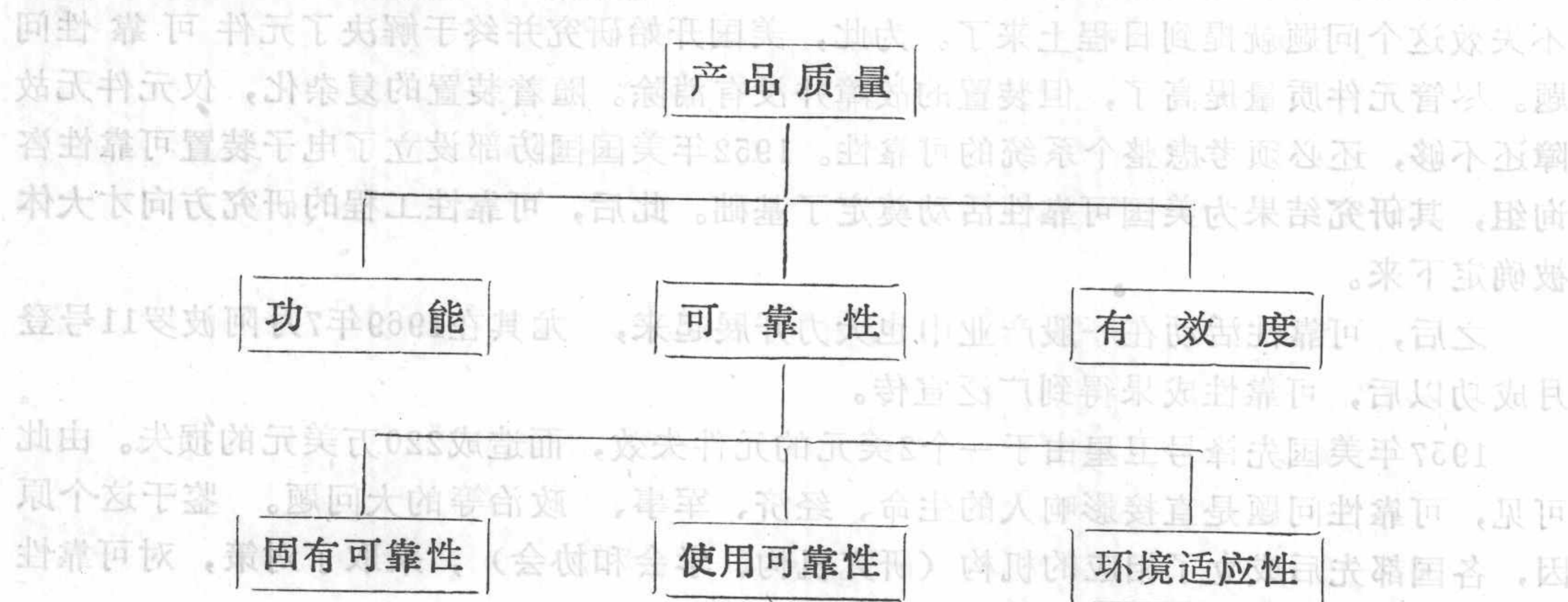


图1-1 产品质量与可靠性的关系

产品的功能反映在产品的指标上，如汽车的技术指标有装载质量、整备质量、车箱容积、发动机功率、扭矩、最高车速、燃料消耗量、制动距离、最小转弯半径、最大转向力、最大爬坡度等。如果没有或者达不到这些指标，可靠性指标也就无从谈起。但是只有这些指标，没有可靠性指标，产品性能也是不完全的。如一辆汽车或一部电子设备，尽管各项基本指标都是很先进的，如果不可靠，那也没有实际使用价值。又如，一辆拖炮的越野车，如果可靠性不高，经常出故障，在战斗中就会贻误战机，甚至吃败仗。由此可见，产品的功能能否发挥，很大程度上取决于产品的可靠程度。只有产品的可靠性水平高，才能使产品的功能得到充分发挥，否则就不能保证完成产品的规定功能。

所谓有效度，是指可以维修的产品在某时刻维持其功能的概率。对于不可修复的产

品，它能发挥作用的大小，还取决于发现故障所在部位及排除故障的能力。一个好的产品，不但要求在单位时间内出现故障的次数要少，即平均无故障工作时间要长，而且要求在出现故障后，能迅速发现故障出现在哪一部位并加以修复，即平均修复时间要短。我们把产品可能工作时间与总时间（可能工作时间加上不能工作时间）之比作为衡量产品质量的又一个重要指标，叫做“固有有效度”，其定义为

$$\text{固有有效度} = \frac{\text{可能工作时间}}{\text{可能工作时间} + \text{不能工作时间}}$$

所谓固有可靠性，是指产品在设计、制造时内在的可靠性。影响产品固有可靠性的因素很多，主要有：

方案的选择和参数的选择；

机械结构；

材料选择和制造工艺等。

所谓使用可靠性，是指使用、维护修理人员对产品可靠性的影响。它包括：

使用与维修的操作规程；

使用条件；

人为因素等。

所谓环境适应性，是指产品所处的周围条件（如环境温度、相对湿度、大气压力、振动、冲击、幅射、盐雾、贮存、运输等条件）对产品可靠性的影响。

以上各种因素都是可靠性研究的对象，也就是说，可靠性涉及到产品从设计、制造到使用直至寿命终止的全过程。汽车产品的可靠性还涉及到汽车行业以及与汽车行业有关的其它工业产品和原材料的质量问题。

二、可靠性和费用有效性

为了提高产品的可靠性，需要在材料、工艺、设备、管理等各方面采取相应措施。对于生产厂来讲，这必然要使开支增加，产品成本提高。但是从使用者来看，由于产品可靠性的提高，大大减少了使用费用和维修费用，因此从总体来看，提高产品的可靠性对社会经济效益会带来极大好处。这种可靠性和费用有效性之间的关系，可由图1-2大致表示。

在狭义的质量管理中，不可无视产品的时间因素（寿命），即在生产开始、生产过程中及出厂时间等阶段上，应注意产品是否达到满意状态，是否达到设计指标，是否维持在管理状态。在可靠性方面，应保证产品的寿命、有效度，重视产品性能的稳定性。产品的生产要综合考虑和权衡产品的性能、可靠性和费用开支（包括社会的经济效益）。这就是研究可靠性问题的必要性。要求可靠性做到科学、合理，但又不能盲目地追求可靠性，否则汽车将会设计得非常笨重而难于开动。

关于可靠性及保证寿命。若使系统、产品在整个使用过程中满足经济指标要求，确保其可靠性，就应当在产品设计之前注意不断地搜集、分析数据，进行可靠性预测。不但要在生产的初期，并且要在设计时就考虑产品的寿命周期费用，不这样就不能生产既经济又适用的产品。目前，由于没有很好地开展可靠性、安全性方面的工作，因而在实际工作中故障频发，造成很大损失，并且维修费用和持续工作的花费也很昂贵。为了提高产品的可靠性，满足各方面的要求，就要权衡开展可靠性工作的费用和由于产品不可

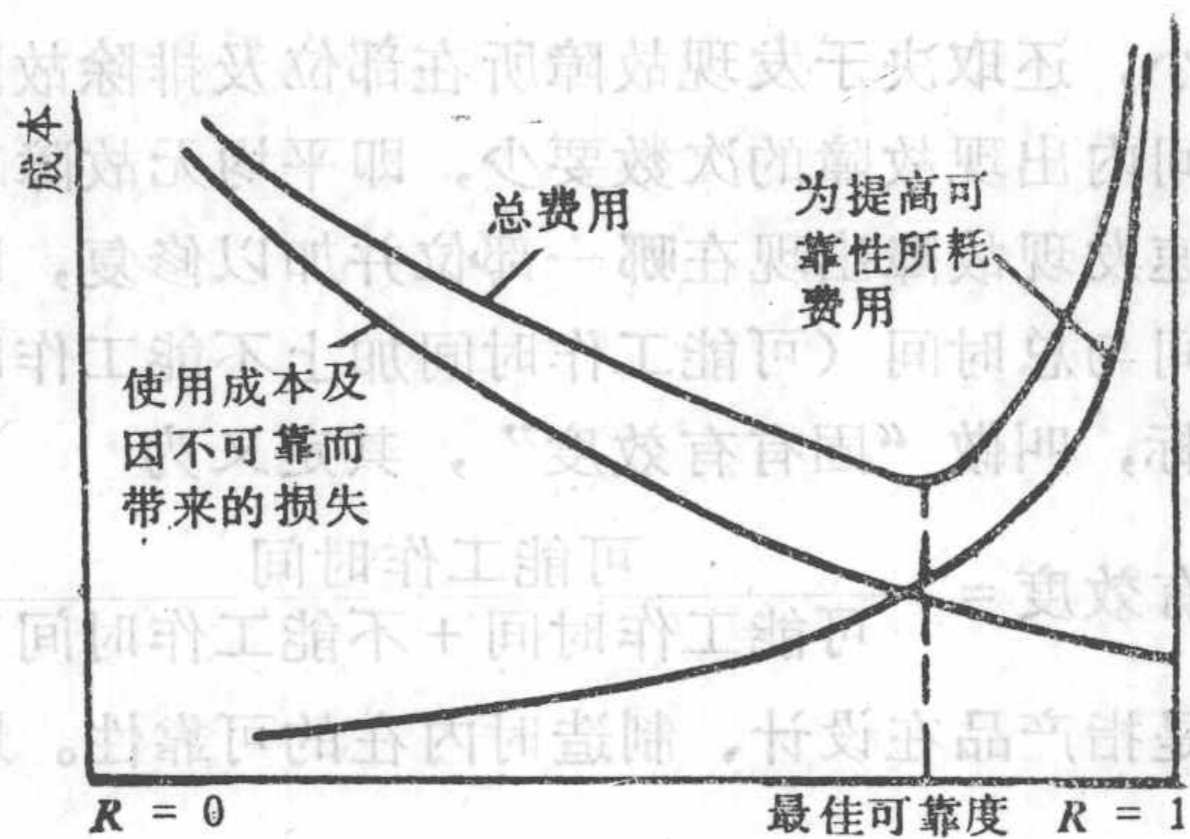


图1-2 可靠性和成本

靠造成的损失费用，找出最佳可靠性。因此，要想使单位费用的系统可靠性最高，即从费用有效性（可靠性/费用）方面考虑，就应采取最为有效的措施。从长远利益着想，可靠性是一项切实、长期、一贯的技术工作，再辅以管理活动就能收到应有的效果。

三、产品的可靠性与企业的信用

企业发展的关键是信用。因此，即使说企业的最终目的是获得信用，也并不过分。工业部门的企业活动变成产品生产及销售的具体活动以后，就与企业的未来和前途直接联系起来。企业是靠工厂和用户双方而存在的，因此，企业要发展、兴旺，只有站在用户的立场上生产出可靠性高的产品才有可能。

依靠信用这一心理因素把厂方和用户联系起来，这就是经营活动的全部内容。但是，联系的关键纽带就是产品。用户需要性能好、可靠性高（经济耐用）而适用的产品。当这一期望得到满足并能长期持续满足时，用户才愿意使用这种产品，对企业也开始产生信赖。因此，为了使用户对产品有足够的信赖，企业就要作出决非寻常的努力。

市场竞争越激烈，厂方将越有必要抢先预测出用户的要求，以建立坚固的阵地，这是因为潜在的用户意见是企业的可怕力量，用户对产品有“选择自由”的最大特权。因此，针对这一目的，必须跳出通常所熟悉的经营观念，进一步提出更好、更积极的对策。这就是提出“可靠性”概念的必要性，而根据这一概念所形成的技术就是“可靠性技术”。

我们在购买商品时，都非常重视商品的“牌子”，哪个厂家产的。所谓名牌货，正是那个工厂付出了极大的努力，获得了信用的结果。

四、可靠性与技术进步的关系

现在，技术进步日新月异，随着原子能工业、电子工业、宇航工业等的迅速发展，技术革新终于涉及到社会和人们的生活中去。在生活方面，人们无止境地追求过上“更高水平、更美好、更快乐”的生活；在工业方面，如果固执于旧的经营思想和落后的技术，那么所生产的落后产品就势必被淘汰，被送进历史博物馆。

另一方面，可靠性的研究又促进了技术进步。由于可靠性工程研究活动的开展，使产品设计和试验方法得到革新，数据统计分析更加科学化；预测技术与管理技术也有飞跃的发展；新技术、新材料、新工艺不断地得到应用。因此，技术进步必将促进可靠性工程的发展，可靠性工程的研究也势必推动技术进步。

§ 1-3 可靠性工作范围

可靠性工作范围大体包括：可靠性组织管理，可靠性标准，可靠性数据搜集、整理与反馈，失效分析，可靠性设计，可靠性试验，可靠性预测，可靠性理论等。从历史的发展来看，可靠性已成长为一门新学科，它包含了三个相互有关的分支：

1. 可靠性工程：零部件的可靠性的分析，可靠性设计及系统的可靠性工程等；
2. 可靠性物理：研究零部件失效的物理原因、物理模型，提出改进措施等；
3. 可靠性数学：研究可靠性的定量规律。

系统、产品的可靠性不是孤立存在的，可靠性的概念及技术与以往在其它工程技术领域里发展起来的概念及技术有密切联系。换句话说，离开了系统工程学、安全工程学、质量管理、生产组织技术、运筹学、价值工程学、工程心理学、环境工程学、电子计算机技术及其它一般的管理技术，离开了概率论、统计学、物理学、化学、机械学等科学技术来讨论可靠性问题是根本不可能的，而可靠性工程学则是包括上述科学技术的综合性工程技术。

§ 1-4 提高产品可靠性的基本途径

1. 开展产品可靠性设计

产品的可靠性及质量是设计出来的、生产出来的、管理出来的，而首先是设计出来的，设计决定了产品的固有可靠性及固有质量。为此，必须首先重视可靠性设计。

所谓可靠性设计就是事前考虑可靠性的一种设计方法。例如，福特汽车公司的可靠性工作程序的五个主要内容是：

- (1) 明确各种车的系统、子系统的可靠性要求的要点（系统设计）；
- (2) 进行满足上述要求的设计（详细设计）；
- (3) 验证设计方案是否合适（分析、设计）；
- (4) 对比本公司和外公司生产主要部件的详细规格（生产的可靠性）；
- (5) 掌握实际数据（根据威布尔分布的分析和报告），并把分析的结果反映到设计、生产中去。

其中(1)~(3)项和(5)项都与设计有关，必须引起注意。

2. 发展新材料、采用新工艺、引进新技术、做好可靠性试验

产品的可靠性及质量与采用的材料、工艺等有直接关系。为改进产品的性能所开展的试验，尤其是可靠性方面的试验，要采用科学的试验方法和试验数据的统计分析，使试验结果反馈到设计中去，指导设计。

3. 加强可靠性工作的组织管理

在全面质量管理中要把产品的可靠性管理作为一个重要内容。所谓全面质量管理，包括线外和线内质量管理两个部分。山口玄一博士把实验设计法用于产品设计的理论，称为线外质量管理理论，把生产现场的质量管理对策，综合为线内质量管理理论。对生产线进行严格的质量控制是提高产品可靠性的有力措施。

§1-5 概率论和数理统计在可靠性工作中的应用

提高可靠性是一项复杂的工作，必须有工程技术人员、物理、化学等方面的专业人员参加，共同合作。对其中许多的定量问题，还要作深入的数学分析和计算，概率论和数理统计是不可缺少的数学工具，也是唯一的数学工具。决非像有些人想的那样，一谈到可靠性工作，就认为这是一大堆统计理论和公式，有点望而生畏。事实上要解决可靠性问题，根本上还是要依靠在生产第一线上的工人和技术人员。例如，生产中出现的许多问题，离开了实际工作是根本解决不了的。即使找到了问题的原因后，采取什么对策也要依靠实际工作的人员。

又如，在试验中零部件发生了故障，失效了。那么失效机理是什么？必须是有实践经验的人员，或目视或借仪器测定分析方能确定。

这些问题，都不是数理统计所能提供的。那么概率统计究竟起什么作用呢？

所谓统计学，就是用统计的方法分析实际数据，摸出这些数据的规律，把大家理解的概念公式化、数字化，从而更加精确地、定量地用数值表达出来。例如，一批产品抽出一些样品进行试验，从试验数据来看，大家觉得可靠性是高的，统计者就可以进行统计计算，提出可靠性的具体数值，或者作出是否符合原设计的可靠性要求的结论。而后就可以对同类产品的性能，如寿命进行定量的对比分析。

另外，为了做一种试验，如果试验的样品数目太少，很难进行统计分析；如果试验样品的数目太多，虽然有利于统计分析，但又会造成不必要的浪费。这时就需要用统计学来算出一个比较经济的试验样品数目及试验时间，为试验提供合理的数据依据。

为了保证产品的可靠性，需要对生产线进行严格的质量控制。在生产线的每个环节，都有若干质量指标。例如，在正常情况下虚焊及偏焊有一定的比率，电容器的容量值在一定范围内也有一定的比率。如果这些比率只有微小的变化，可以看成是生产中的正常波动。但是，如果这些比率变化较大，就有理由认为这是不正常的波动，而怀疑在哪里可能出现了问题：不是设备出现了故障，就是原材料有问题，或者操作人员的问题等等。这就需要查出原因，显然，判别正常波动或非正常波动的标准是极为重要的。范围定大了，不正常的波动不能发现，产品质量就会降低；范围定小了，可能把正常波动当作不正常波动来处理，查一阵，什么问题也没发现，造成不必要的损失。对于这类问题，可根据过去生产的经验，用统计学定出正常波动与不正常波动的标准，进行生产线的质量控制。

统计学作为一种工具，在可靠性研究工作中应用面是很宽的。但是，也只能占可靠性工作的10%，或再多一点。

§2 可靠性基本概念

§2-1 可靠性定义

所谓可靠性，就是“产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力”。

1. 产品的规定条件：产品的可靠性是与“规定的条件”分不开的。这里所说的“规定的条件”包括使用条件、环境条件、贮存时的贮存条件等，如温度、气压、振动、冲击、介质、载荷、路面等等。

2. 产品的规定时间：产品的可靠性是与“规定的时间”密切相关的。对产品的质量和性能要有一定的时间要求，不同零件的时间要求不一。时间短的如机油滤芯，为六个月，长的有与整车寿命相同的前轴。这里还必须指出，作为时间，既有泛指的时间，也有因对象不同而出现的诸如次数、周期、距离等相当于时间的量。另外，还有连续使用、间歇使用、放置、长时间、短时间、瞬间等各种时间概念。

3. 产品的规定功能：产品的可靠性是与“规定的功能”有密切关系的。一个产品往往具有若干项“功能”，也即有若干项技术指标。这里所说的“完成规定功能的能力”是指产品若干功能的全体，而不是指其中的一部分。

4. 在规定的条件、规定的时间和规定的功能下，产品可能完成任务，也可能完不成任务，也就是说它可能有这个能力，也可能没有这个能力。由于这是随机事件，所以度量这种能力的尺度就是概率。因此，产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的概率就叫产品的可靠度，即可靠性的概率度量。它是可靠性的一个十分重要的指标，用 $R(t)$ 表示。

§ 2-2 衡量可靠性的统计指标

除了可靠度外，还有其他可靠性指标。为了说明这些指标，先举一个例子。

例〔1-1〕 某零件(轴承)50个，在恒定载荷条件下运行，记录的数据列于表1-1。

表1-1

某零件(轴承)50个运行记录

时 间 (h)	10	25	50	100	150	250	350	400	500	600	700	1000	1200	1500	2000	3000
失效数 (只)	4	2	3	7	5	3	2	2	0	0	0	0	1	1	0	1
累积失效数 N_f (只)	4	6	9	16	21	24	26	28	28	28	28	28	29	30	30	31
仍正常工作数 N_s (只)	46	44	41	34	29	26	24	22	22	22	22	22	21	20	20	19
存活频率 $\bar{R}(t)$ (%)	92	88	82	68	58	52	48	44	44	44	44	44	42	40	40	38
累积失效频率 $\bar{F}(t)$ (%)	8	12	18	32	42	48	52	56	56	56	56	56	58	60	60	62

〔解〕 设零件总数为 N_0 ，累积失效数为 N_f ，仍正常工作数为 N_s ，则定义

$$\bar{R}(t) = \frac{N_s(t)}{N_0} \quad (1-1)$$

为存活频率。当 $N_0 \rightarrow \infty$ 时， $\lim_{N_0 \rightarrow \infty} \bar{R}(t) = R(t)$ ，则频率 \rightarrow 概率， $R(t)$ 即产品到时刻 t 的可靠

度。例如，根据表1-1，当 $t=100h$ 时，则

$$\bar{R}(100) = \frac{N_s(100)}{N_0} = \frac{34}{50} = 0.68$$

当 $t = 400\text{h}$ 时, 则

$$\bar{R}(400) = \frac{N_r(400)}{N_0} = \frac{22}{50} = 0.44$$

由此看出, $\bar{R}(t)$ 也即 $R(t)$ 是时间 t 的函数。变换 (1-1) 式得

$$\bar{R} = \frac{N_r}{N_0} = \frac{N_0 - N_f}{N_0} = 1 - \frac{N_f}{N_0} = 1 - \bar{F}(t) \quad (1-2)$$

其中 $\bar{F}(t) = N_f/N_0$, 是产品试验至 t 时刻的累积失效频率(或累积故障频率)。例如, 当 $t = 100, 400\text{h}$ 时, 则

$$\bar{F}(100) = N_f/N_0 = 16/50 = 0.32$$

$$\bar{F}(400) = N_f/N_0 = 28/50 = 0.56$$

这些都是频率下的量, 当 $N_0 \rightarrow \infty$ 时, 就可以用频率来度量概率, 即 $\bar{F}(t) \rightarrow F(t)$, $F(t)$ 称为产品至时间 t 的累积失效概率。式 (1-2) 告诉我们, 研究产品可靠度 $R(t)$, 可以从研究它的对立面——产品的累积失效概率 $F(t)$ 入手。

下面对累积失效频率的计算做一介绍。

计算 $F(t_i)$ 的公式较多, 要结合数据情况恰当选择使用。

当 $N \leq 20$ 时 (N : 试样数), 可用如下公式计算。

$$F(t_i) = \frac{i}{N+1} \quad (1-3)$$

式中 i ——产品的失效个数。

或
$$F(t_i) = \frac{i-0.5}{N} \quad (1-4)$$

当 N 较大时, 可直接用如下公式。

$$F(t) = \frac{i}{N} \quad (1-5)$$

一般的情况, 可用下式计算。

$$F(t_i) = \frac{\gamma-0.3}{N+0.4} \quad (1-6)$$

式中 γ ——顺序数(对于完全子样, 用简单的故障顺序数就可以, 也可直接查根据一定原则编制的中位秩表(表1-2))。

如 N 特大, 可采用分组法, 则累积频率 $F(t)$ 可用下式计算。

$$F(t_i) = \sum_{j=1}^i f_j^* = \sum_{j=1}^i \Delta N_j / N \quad (1-7)$$

式中 f_j^* ——第 j 组的失效频率;

ΔN_j ——第 j 组的失效数。

下面介绍其它有关可靠性的统计指标。

1. 失效(故障)密度

设 N_0 是受试样品总数, ΔN 是时刻 t 到 $t + \Delta t$ 时间间隔内产生的失效产品数, 比值

表1-2

中位秩表 (%)

N	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	12.9	10.9	9.4	8.3	7.4	6.7	6.1	5.6	5.2	4.8	4.5	4.4	4.0	3.8	3.6	3.4
2	31.4	26.4	22.8	20.1	18.0	16.2	14.8	13.6	12.6	11.7	10.9	10.3	9.7	9.2	8.7	8.3
3	50.0	42.1	36.4	32.1	28.6	25.9	23.6	21.7	20.0	18.6	17.4	16.4	15.4	14.6	13.8	13.1
4	68.6	57.9	50.0	44.0	39.3	35.5	32.4	29.8	27.5	25.6	23.9	22.5	21.2	20.0	19.0	18.1
5	87.1	73.6	63.6	56.0	50.0	45.2	41.2	37.9	25.0	32.6	30.5	28.6	26.9	25.5	24.2	23.0
6		89.1	77.2	67.9	60.7	54.8	50.0	46.0	42.5	39.5	37.0	34.7	32.7	30.9	20.3	27.9
7			90.6	79.9	71.4	64.5	58.8	54.0	50.0	46.5	43.5	40.8	38.5	36.4	34.5	32.8
8				91.7	82.0	74.1	67.6	62.1	57.5	53.5	50.0	46.9	44.2	41.8	39.7	37.7
9					92.6	83.8	76.4	70.2	65.0	60.5	56.5	53.1	50.0	47.3	44.8	42.6
10						93.3	85.2	78.3	72.5	67.4	63.0	59.2	55.8	52.7	50.0	47.5
11							93.3	86.4	80.0	74.4	69.5	65.3	61.5	58.2	55.2	52.5
12								94.4	87.4	81.4	76.0	71.4	67.3	63.6	60.3	57.4
13									94.8	88.3	82.6	77.5	73.1	69.1	65.5	62.3
14										93.2	89.1	83.6	78.8	74.5	70.7	67.2
15											95.5	89.7	84.6	80.0	75.8	72.1
16												95.8	90.3	85.4	81.0	77.0
17													96.0	90.8	86.2	81.9
18														96.2	91.3	86.9
19															96.4	91.7
20																96.6

$$\bar{f}(t) = \frac{\Delta N(t)}{N_0 \cdot \Delta t} \quad (1-8)$$

称为 $t \sim t + \Delta t$ 时间间隔内的平均失效 (故障) 密度, 它表示这段时间间隔内平均单位的故障频率。由表1-1的数据, 若规定单位时间为小时(h), 则相应于 $0 \sim 10$ (h) 中平均单位时间的失效密度为

$$\bar{f}(0) = \frac{\Delta N(0)}{N_0 \cdot \Delta t_0} = \frac{4}{50 \times (10 - 0)} = 0.008$$

相应于 $10 \sim 25$ h 内为

$$\bar{f}(10) = \frac{\Delta N(10)}{N_0 \cdot \Delta t_1} = \frac{2}{50 \times (25 - 10)} = 0.0027$$

依此类推, 有了 $\bar{f}(t)$, 我们可以借此来估计任意时刻 t 的累积失效频率。例如,

$$\begin{aligned} F(170) &= \bar{f}(0)(10 - 0) + \bar{f}(10)(25 - 10) + \bar{f}(25)(50 - 25) + \bar{f}(50)(100 - 50) \\ &\quad + \bar{f}(100)(150 - 100) + \bar{f}(150) \times (170 - 150) \\ &= 0.432 \end{aligned}$$

一般地, 若记 $t_0 = 0, \Delta t_i = t_{i+1} - t_i, i = 0, 1, 2, \dots$, 且 Δt 时间间隔内的平均失效密度为 $\bar{f}(t)$, 则

$$F(t_n) = \bar{f}(t_0) \cdot \Delta t_0 + \bar{f}(t_1) \cdot \Delta t_1 + \dots + \bar{f}(t_{n-1}) \cdot \Delta t_{n-1} \quad (1-9)$$