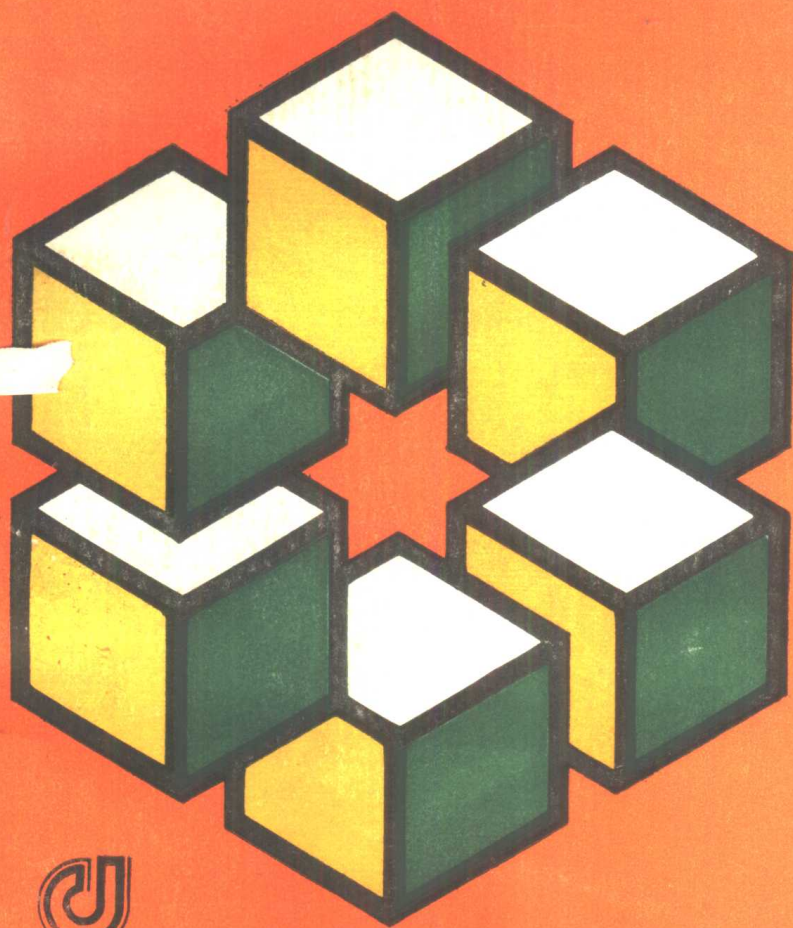


机械可靠性 设计

JIXIEKEKAO

XINGSHEJI

胡师金 刘贵生 编著



HENANKEXUEJISHU
CHUBANSHE

河南科学技术出版社

机械可靠性设计

胡师金 刘贵生编著

河南科学技术出版社

(1987年·郑州)

机械可靠性设计

胡师金 刘贵生 编著

责任编辑 韩家显

河南科学技术出版社出版

伊川县印刷厂印刷

河南省新华书店发行

850×1168毫米 32开本 12.75印张 293千字

1988年1月第1版 1988年1月第1次印刷

印数1—5,500册

ISBN 7—5349—0003—4/T·4

统一书号 15245·88 定价 3.50元

内 容 提 要

本书系统地阐述了机械可靠性设计的基本知识和理论，介绍了机械零件的强度可靠性设计、可靠性预测、可靠性分配、可靠性试验等，分析了机械零件的质量与可靠性的关系，以及机械系统的可靠性设计问题。

本书取材新颖，深度适宜，既可作为高等工科院校机械工程设计专业的教材，又可供从事机械可靠性设计工作的同志参考。

前 言

20世纪50年代初,可靠性工程才作为一门独立的学科进行有组织的研究。60年代开始把可靠性理论应用到机械行业。70年代以后,由于科学技术的飞速发展,多功能的复杂机械产品层出不穷,生产过程的自动化程度日趋提高。不仅单机自动化,而且自动化的生产线、车间和工厂也愈来愈多。可靠性工程与人类生活的联系更加密切,设备故障将会造成巨大的经济损失。因此,可靠性工程在各工业国受到高度重视,专门的研究机构相继成立。主要工业国还制定了本国机械行业的可靠性标准。可以说,机械产品的可靠性设计已成为机械设计的一个重要方面。

机械可靠性设计的理论和方法之所以得到飞速的发展,是因为它以提高产品质量为核心,应用概率和数理统计的数学理论,并综合工程力学、物理学、机械工程学、系统工程学、人一机工程学、运筹学等多方面的知识来研究机械工程设计问题,从而使所设计的机械产品的功能参数更符合客观实际。

目前,我国对机械产品进行可靠性的研究还仅仅是开始,机械系统可靠性设计的专门著作还不多。为了使高等工科院校的学生及早地接触和了解这门新兴的学科,同时也向从事机械设计的同行们介绍有关的基础知识,我们积多年“机械可靠性设计”教学的经验编写了本书。

本书共分七章。第一、二章为机械可靠性的基本概念和基础数

学知识；第三、四、五、六章重点讨论机械产品的可靠性设计的理论和方法；第七章介绍了机械产品的可靠性试验和分析。我们之所以采用此种编写方法，主要是为了便于自学和较为系统地介绍机械可靠性设计的理论和方法。因此，本书不仅可以作为高等工科院校的教材，同时也可以作为从事机械设计的工程技术人员的参考书。

由于机械可靠性设计是一门新兴的学科，加之编者水平所限，书中如有不妥之处，敬请读者批评指正。

最后，值本书出版之际，我们向在本书编写过程中给予我们大力帮助的同志，向本书所引用的参考文献的作者致以衷心的感谢。

编著者

1987年1月

目 录

前言

第一章 可靠性的基本概念.....	(1)
§ 1—1 可靠性概述.....	(1)
一、产品质量与可靠性.....	(1)
二、可靠性学科的发展概况.....	(1)
三、可靠性的研究内容.....	(3)
§ 1—2 可靠性的基本概念.....	(4)
一、可靠性的定义.....	(4)
二、可靠度的定义.....	(5)
§ 1—3 可靠性的统计指标.....	(5)
一、可靠度函数 $R(t)$	(6)
二、失效率(故障率)函数 $\lambda(t)$	(8)
三、失效(故障)密度函数 $f(t)$	(10)
四、平均寿命.....	(13)
五、可靠寿命、中位寿命和特征寿命.....	(15)
六、维修度与有效度.....	(16)
§ 1—4 机械零件的失效规律和类型.....	(19)
§ 1—5 可靠性数据的基本来源.....	(21)
第二章 可靠性基础数学.....	(24)
§ 2—1 概率及其运算法则.....	(24)

一、随机事件、频率与概率	(24)
二、概率的古典定义	(25)
三、概率的运算法则	(27)
§ 2—2 随机变量 及其分布函数	(31)
一、随机变量	(32)
二、失效频率直方图	(32)
三、失效概率密度函数 (简称失效密度函数)	(36)
四、累积失效概率分布函数 (简称失效分布函数)	(38)
§ 2—3 随机变量的数值特征	(39)
一、数学期望	(39)
二、方差	(41)
§ 2—4 分布参数的估计	(43)
一、总体、个体与样本	(43)
二、点估计	(45)
三、区间估计	(48)
§ 2—5 可靠性常用分布	(54)
一、二项分布	(54)
二、普阿松分布	(55)
三、指数分布	(57)
四、正态分布	(60)
五、威布尔分布 (Weibull distribution)	(69)
§ 2—6 分布律的假设检验	(95)
一、基本原理	(95)
二、假设检验的步骤	(96)
三、假设检验的方法	(97)
第三章 机械零件强度可靠性设计	(104)

§ 3—1	强度概率计算法的基本理论·····	(105)
§ 3—2	强度和应力均为正态分布时零件可靠度的 计算·····	(109)
一、	机械零件强度的数学期望和均方根差值的计算	(112)
二、	机械零件工作应力的数学期望和均方根差值的 计算·····	(115)
三、	机械零件强度可靠性计算的条件式和许用可靠 度·····	(116)
§ 3—3	强度和应力均为对数正态分布时可靠度的 计算·····	(118)
§ 3—4	强度服从正态分布应力服从指数分布时可 靠度的计算·····	(124)
§ 3—5	应力为正态分布而强度为威布尔分布时可 靠度的计算·····	(126)
§ 3—6	应力和强度均为威布尔分布时可靠度的计 算·····	(129)
§ 3—7	用图解法确定零件的可靠度·····	(130)
§ 3—8	极值分布下可靠度的计算·····	(134)
§ 3—9	多变量分布函数可靠度的计算·····	(140)
§ 3—10	安全系数的统计分析·····	(146)
§ 3—11	强度可靠性设计中不确定性的分析·····	(155)
一、	巴叶斯 (Bayes) 公式和理论·····	(156)
二、	巴叶斯理论在可靠性设计中的应用·····	(158)
三、	不确定性的来源和工程估计方法·····	(160)
第四章	疲劳强度可靠性分析·····	(165)
§ 4—1	疲劳和损伤累积概论·····	(165)

§ 4—2	$R-S-N$ 曲线·····	(169)
§ 4—3	$R-S-N$ 曲线的绘制原理和方法·····	(171)
	一、按正态分布的疲劳寿命的 $R-N$ 曲线·····	(171)
	二、正态分布的 $R-S-N$ 曲线的绘制·····	(178)
	三、威布尔分布疲劳寿命的 $R-S-N$ 曲线·····	(181)
	四、滚动轴承的疲劳寿命和可靠度的计算·····	(185)
§ 4—4	无限寿命时机械零件的疲劳强度和可靠度	(191)
§ 4—5	有限寿命时机械零件的疲劳寿命、疲劳强度 和可靠度·····	(196)
	一、等幅变应力作用下零件的疲劳寿命及可靠度··	(196)
	二、等幅变应力作用下零件的疲劳强度及可靠度··	(202)
§ 4—6	不稳定变应力作用下零件的疲劳寿命·····	(204)
	一、常规疲劳有限寿命计算·····	(204)
	二、用递推法进行疲劳强度的可靠性设计·····	(211)
	三、疲劳强度设计中的安全系数·····	(213)
第五章	典型机械系统可靠性设计·····	(216)
§ 5—1	可靠性预测·····	(217)
	一、元件可靠性预测·····	(218)
	二、系统可靠性预测·····	(220)
	三、串联系统可靠性预测·····	(221)
	四、并联系统的可靠性预测·····	(224)
	五、串、并联系统的可靠性预测·····	(227)
	六、后备系统的可靠性预测·····	(228)
	七、表决系统的可靠性预测·····	(231)
§ 5—2	用布尔真值表法求复杂系统的可靠度·····	(233)
§ 5—3	用上、下限法计算系统的可靠度·····	(235)

二、可靠性试验的特点.....	(293)
三、可靠性试验的分类.....	(294)
四、可靠性试验的对象.....	(295)
五、可靠性试验中应评价的产品的特性.....	(296)
§ 7—2 寿命试验.....	(298)
一、寿命试验的目的和分类.....	(298)
二、寿命试验的设计.....	(301)
§ 7—3 完全子样的数据处理.....	(306)
一、分布未知时的数据处理.....	(307)
二、分布已知时的数据处理.....	(309)
§ 7—4 截尾寿命试验结果的统计分析.....	(313)
一、按失效时间计算的统计分析.....	(313)
二、按失效数计算的统计分析.....	(318)
§ 7—5 截尾寿命试验结果的统计分析——区间估计.....	(320)
一、按失效时间计算的区间估计.....	(320)
二、按失效数计算的区间估计.....	(331)
§ 7—6 可靠性的加速试验.....	(334)
一、加速试验的迫切性.....	(334)
二、压缩试验时间的加速试验.....	(334)
三、强化加速试验.....	(335)
四、劣化外界环境因素的加速试验.....	(339)
五、提高输出参数的测量精度.....	(339)
§ 7—7 复杂系统的可靠性试验.....	(340)
一、复杂系统可靠性试验的特点.....	(340)
二、复杂系统的故障流分析.....	(341)

三、确定产品输出参数的可靠度储备量	(341)
四、应用预测法和模拟法进行可靠性试验	(342)
五、按照极限水平法进行可靠性试验	(345)
附表 1 普阿松分布数值表	(346)
附表 2 负指数分布数值表	(349)
附表 3 正态分布数值表	(365)
附表 4 t 分布数值表	(369)
附表 5 χ^2 分布数值表	(370)
附表 6 应力为正态分布、强度为威布尔分布时的可靠 度表	(371)
附表 7 应力为最大极值分布、强度为威布尔分布时的 可靠度表	(381)
附表 8 Gamma函数 m 与 $\Gamma(m)$ 值对照表	(389)
主要参考文献	(391)

第一章 可靠性的基本概念

§ 1—1 可靠性概述

一、产品质量与可靠性

合格产品，要求它不仅在使用初期符合质量标准，而且必须在规定的使用时间和条件下，保持质量指标的数值使产品不失效，这就是可靠性问题。因此，可靠性也是产品的一个质量指标。而且只有引进可靠性指标后，才能和其它质量指标一起，对产品的质量作全面的评定。由以上简述可以看出如下几点：

第一，产品的可靠性指标是与时间有关的一个量；

第二，可靠性指标是与失效方式、失效定义有关的一个综合指标；

第三，产品的可靠性可分为“固有可靠性”和“使用可靠性”两种。前者决定于设计和生产，后者与使用条件有关。

产品的功能质量指标有一定的衡量方法。可靠性如何衡量，怎样分析、研究和评价产品的可靠性；产品不可靠的原因何在；怎样提高产品的可靠性，等等。这些问题都是可靠性学科研究的内容，也是提高产品质量的努力方向。

二、可靠性学科的发展概况

20世纪后半叶，在科学领域被人们称做能源、情报（信息）和宇宙探索的时代。所谓能源时代，主要反映以核分裂为中心的

新的动力源的开发。所谓情报时代，不仅仅反映通讯方面的突飞猛进，而且涉及到电子计算机、测量、自动控制和生理学等学科分支的高速发展。但是能源和情报等科学技术，只能在人类的意志控制之下才能有效地加以利用，否则则可能招致设备的破坏，甚至给人类的的生活和生命造成危险。同样，如果情报的交换停顿，或情报的传递发生差错，则可能造成某些方面的机能瘫痪和损失。因此，研究如何利用和控制能源与情报，随时防止上述事故的发生，是势在必行的课题，可靠性技术就是在这种历史背景下，为适应上述要求而产生的一门新的学科。

可靠性技术最早出现在二次世界大战的末期，应用在德国V—I火箭的诱导装置上。德国火箭研究机构的参加人之一R·Lusser首先提出了利用概率乘积法则，把一个系统的可靠度看成该系统的子系统可靠度的乘积，算得V—I型火箭诱导装置的可靠度为0.75。这就开创了使可靠性建立在数学计算上的先例。另外，美国麻省理工学院一研究中心，对当时使用电子产品的主要元件——真空管的高可靠度问题作了深入的调查研究。50年代初，美国在朝鲜战争中，大量地应用了电子设备，而且其复杂程度不断地增长。在使用过程中，许多元器件不能适应环境要求，而使设备失效，于是产品的不可靠问题被提了出来。因此，美国于1950年成立了“国防部电子设备的可靠性专门工作组”（海、陆、空三军）。1952年该组提出了17项研究报告，并改名为“国防部电子设备可靠性顾问团”（AGREE）。1957年发表了“军用电子设备可靠性”的重要报告，被公认为可靠性的奠基文献。随后可靠性的研究从概率统计发展到故障物理的研究，深入地分析了产生故障的机理，1962年召开了第一届电子设备故障物理学术讨论会。

美国是最早有组织地研究可靠性的国家，随后世界各主要工业国也开始进行可靠性问题的研究。

日本1958年成立了可靠性研究委员会，1960年进行了第一次学术讨论活动。

法国1962年成立了“可靠性中心”，进行了情报数据和试验数据的收集与分析，1963年创办可靠性杂志。

苏联、英国等也均在50年代末和60年代初成立了专门的可靠性研究机构，并都取得了可喜的成果。

我国对可靠性的研究也日趋重视，尤其是在电子工业方面，有关研究所和工厂进行了许多工作，并且取得了一定的成果。

三、可靠性的研究内容

可靠性已成为一门新学科，它发展成三个相互有关的分支。

(1) 可靠性工程：零部件的可靠性分析、可靠性设计及系统的可靠性工程等。

(2) 可靠性物理：研究零部件的失效物理原因、物理模型，并提出改进措施。

(3) 可靠性数学：研究可靠性的定量规律。

虽然可靠性起源于电子工业，但是现在已逐渐地向机械工程渗透。尤其是60年代空间技术的开发，宇航设备的研究，使得机械产品的可靠性成为突出的问题。同时，由于机械系统的日益复杂化，工作条件更加严酷，自动化程度要求也越来越高。因此，机械工程的可靠性研究也就越来越深入。到目前为止，可靠性理论已被应用到人造卫星、宇航设备、机械、军舰、土木工程、汽车、齿轮、轴承等各个方面。从结构设计、强度分析到材料选择等都运用了可靠性的理论。

§ 1—2 可靠性的基本概念

一、可靠性的定义

可靠性的定义是：产品在规定的条件下，在规定的时间内，完成规定功能的能力。

从定义上可以看出，产品的可靠性是与“规定的条件”分不开的。这里所讲的规定条件包括使用时的应力条件（载荷条件）、环境条件和贮存时的条件等。规定的条件不同，产品的可靠性是不同的。例如，同一机械使用时载荷不同，显然可靠性就不一样。同一台设备在不同环境条件下工作，如寒带或热带，海上或空中，它的可靠性也是不同的。同一产品在不同的环境下贮存，其可靠性也是不相同的。

另外，产品的可靠性又与“规定的时间”密切相关。一般说来，机械零件经过筛选、整机调试和跑合后，产品的可靠性水平经过一个较长的稳定使用或贮存阶段后，便随着时间的增长而降低。时间越长，故障（失效）就越多。

除上面所述之外，产品的可靠性也与“规定的功能”有密切的联系。一个产品往往具有若干项“功能”，即若干项技术指标。定义中所说“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。

在实际工作中，产品往往由于各种偶然的因素而发生故障，例如元件的突然失效，应力突然改变，维护或使用不当等。由于这些原因都具有偶然性，所以对于一个具体产品来说，在规定的条件下和规定的时间内，能否完成规定的功能是无法事先知道的。也就是说，这是一个随机事件。但是，大量的随机事件中包含着一