

机械可靠性设计

刘惟信 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书系统地阐述了机械可靠性设计的基本理论和方法。内容包括:可靠性的基本概念和有关术语及定义,可靠性基础数学,机械可靠性设计原理与可靠度计算,机械静强度可靠性设计,机械疲劳强度可靠性设计,机械摩擦零件的可靠性设计,系统可靠性设计,可靠性试验,机械零部件的可靠性设计,机械可靠性优化设计,可修复系统的可靠性设计等。书中附有计算例题及计算用表。

本书可作为高等工科院校机械类专业高年级学生和研究生的教材和教学参考书,亦可供从事机械设计及汽车设计、研究、制造、试验和维修的工程技术人员使用、参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械可靠性设计/刘惟信编著. —北京:清华大学出版社, 1996
ISBN 7-302-02142-2

.机... .刘... .结构可靠性-设计 .TB114.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 05903 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

印刷者: 印刷厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开 本: 787× 1092 1/16 印张: 31.25 字数: 739 千字

版 次: 1996 年 6 月第 1 版 1996 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-02142-2/TH·70

印 数: 00001—00000

定 价: 0.00 元

前 言

在长期从事汽车设计及设计理论方面的教学和科学研究工作中,深深感到,要想使我国的机械产品、尤其是属于大批量生产的典型机械产品——汽车赶超世界先进水平,设计理论与方法的科学化与现代化首当其冲,因为传统的机械设计、汽车设计方法已经不能满足国家现代化及市场竞争对产品质量的要求。

“可靠性”作为产品质量和技术措施的一个最重要的指标早已受到世界各工业国家的高度重视,因为任何产品和技术,尤其是高科技产品、大型设备及超大型设备的制造,尖端技术的发展,都要以可靠性技术为基础,科学技术的发展又要求高可靠性。在现代生产中可靠性技术已贯穿到产品的开发研制、设计、制造、试验、使用、运输、保管及维修保养等各个环节,统称为可靠性工程。可靠性设计是可靠性工程的一个重要分支,因为产品的可靠性在很大程度上取决于设计的正确性。机械可靠性设计是近期发展起来并得到推广应用的一门现代设计理论和方法。它是以提高产品可靠性为目的、以概率论与数理统计理论为基础,综合运用数学、物理、工程力学、机械工程学、人-机工程学、系统工程学、运筹学等多方面的知识来研究机械工程的最佳设计问题。

可靠性设计、优化设计、有限元分析及计算机辅助设计等现代设计理论及方法,构成了设计科学化、现代化的主要内容,应在我国设计部门推广应用。我国机电工业领导部门已下达了《关于加强机电产品可靠性工作的通知》,制定了机电产品可靠性工作规划,这标志着我国机电产品可靠性工作已进入了有组织、有领导、有计划的发展阶段,必将大大地推动可靠性工程技术发展及产品可靠性水平的提高。因此,机械可靠性设计方法的应用与推广,也适应了这一形势发展的需要。

本书是在作者为清华大学汽车工程系讲授“机械可靠性设计”而编写的教材的基础上作了修改、补充而完成的,可作为高等院校机械类专业高年级本科生和研究生的教材和教学参考书;亦可供从事机械设计与汽车设计、制造、试验、研究等领域工作的工程技术人员使用和参考。

由于水平、经验及时间所限,书中难免有错漏之处,热忱欢迎读者批评、指正。

作者于清华园

1995年2月

目 录

常用符号表	
第 1 章 可靠性概论.....	1
1.1 可靠性的基本概念	1
1.2 可靠性的定义	5
1.3 维修性与广义可靠性及失效	6
1.4 可靠性的尺度	8
1.4.1 可靠度与不可靠度	8
1.4.2 失效率.....	10
1.4.3 平均寿命.....	13
1.4.4 寿命方差和寿命均方差(标准差).....	15
1.4.5 可靠寿命、中位寿命和特征寿命	16
1.4.6 有效寿命、更换寿命和筛选寿命	16
1.4.7 维修度等有关尺度.....	17
1.4.8 有效度.....	18
1.4.9 系统有效性.....	20
1.4.10 重要度	20
1.4.11 经济尺度	20
1.4.12 与人为差错有关的可靠性尺度	21
习题	21
第 2 章 概率和统计的概念	22
2.1 随机事件与统计规律性.....	22
2.2 母体与样本, 样本空间及样本点	22
2.3 事件之间的关系与事件的运算.....	23
2.3.1 包含与相等.....	23
2.3.2 事件的和.....	23
2.3.3 事件的积.....	24
2.3.4 事件的差.....	24
2.3.5 事件的互不相容.....	25
2.3.6 事件的互逆.....	25
2.4 概率.....	25
2.5 概率的基本运算法则.....	27
2.5.1 互补定理.....	27
2.5.2 加法定理.....	27

2.5.3	乘法定理	28
2.5.4	条件概率	29
2.5.5	全概率公式	30
2.5.6	贝叶斯(Bayes)公式	31
2.5.7	排列与组合	32
2.6	随机变量及其分布函数	34
2.7	随机变量的数字特征, 统计的基本概念	37
2.7.1	中心倾向与代表值	37
2.7.2	分散度的性质与尺度	39
2.7.3	随机变量的矩	42
2.7.4	推断与置信度	43
2.7.5	自由度	44
2.7.6	关于秩评定	44
2.7.7	回归与相关	44
	习题	48
第3章	可靠性理论中常用的几种概率分布	50
3.1	离散型随机变量的几种常见的分布	50
3.1.1	(0-1)分布	50
3.1.2	贝努里试验与二项分布	51
3.1.3	泊松(Poisson)分布	54
3.1.4	几何分布与负二项分布	57
3.1.5	超几何分布	59
3.2	连续型随机变量的几种常见的分布	60
3.2.1	正态分布	60
3.2.2	截尾正态分布	65
3.2.3	对数正态分布	67
3.2.4	伽玛分布(分布)	70
3.2.5	指数分布	72
3.2.6	威布尔分布	74
3.2.7	型极值(Extreme Value Type)分布	80
3.3	抽样分布	83
3.3.1	χ^2 分布	83
3.3.2	t分布	86
3.3.3	F分布	89
	习题	91
第4章	统计推断用图分析法——概率分布的概率纸检验	93
4.1	正态概率分布的图分析法	93
4.1.1	正态概率纸的构成原理	93

4.1.2	正态概率分布的图分析法	94
4.2	对数正态概率分布的图分析法	100
4.2.1	对数正态概率纸的构成原理	100
4.2.2	对数正态概率分布的图分析法	100
4.3	威布尔概率分布的图分析法	101
4.3.1	威布尔概率纸的构成原理	101
4.3.2	威布尔概率分布的图分析法	103
4.4	极值概率分布的图分析法	110
4.5	累积失效率图的应用	110
	习题	111
第5章	分布参数的估计与分布函数的假设检验	112
5.1	分布参数的估计	112
5.1.1	分布参数的点估计	112
5.1.2	分布参数的区间估计	119
5.2	分布函数的假设检验	128
5.2.1	一个正态分布的母体参数的假设检验	128
5.2.2	两个正态分布的母体参数的假设检验	134
5.2.3	母体分布函数的假设检验	138
	习题	143
第6章	机械可靠性设计概论	144
6.1	机械可靠性设计与可靠性计划	144
6.2	机械可靠性设计的基本特点	145
6.3	机械可靠性设计的主要内容	146
6.4	机械可靠性设计的方法与步骤	147
6.5	可靠性设计的统计基础	149
6.6	可靠性水平等级及可靠性经济指标	150
第7章	机械可靠性设计原理与可靠度计算	151
7.1	应力-强度分布干涉理论与可靠度的一般表达式	151
7.2	应力分布的确定	154
7.2.1	确定应力分布的步骤	155
7.2.2	用代数法综合应力分布	155
7.2.3	用矩法综合应力分布	156
7.2.4	用蒙特卡罗模拟法确定应力分布	159
7.3	强度分布的确定	161
7.3.1	确定强度分布的步骤	161
7.3.2	用代数法综合强度分布	162
7.3.3	用矩法综合强度分布	163
7.3.4	用蒙特卡罗模拟法确定强度分布	164

7.4	已知应力与强度的分布时的可靠度计算	164
7.4.1	应力与强度均呈正态分布时的可靠度计算	164
7.4.2	应力与强度均呈对数正态分布时的可靠度计算	167
7.4.3	应力与强度均呈指数分布时的可靠度计算	168
7.4.4	应力呈指数(正态)而强度呈正态(指数)分布时的可靠度计算	169
7.4.5	应力与强度均呈 分布时的可靠度计算	171
7.4.6	应力呈伽玛(指数)而强度呈指数(伽玛)分布时的可靠度计算	172
7.4.7	应力呈正态分布而强度呈威布尔分布时的可靠度计算	172
7.4.8	应力与强度均呈威布尔分布时的可靠度计算	174
7.4.9	极值分布下的可靠度计算	175
7.5	用数值积分法求可靠度	178
7.6	用图解法求可靠度	179
7.7	用蒙特卡罗模拟法求可靠度	183
7.8	随机变量函数的变差系数	184
	习题	187
第8章	机械静强度可靠性设计	188
8.1	安全系数与可靠度	188
8.2	设计参数数据的统计处理与计算	197
8.3	机械静强度可靠性设计	208
8.3.1	受拉零件的静强度可靠性设计	208
8.3.2	梁的静强度可靠性设计	212
8.3.3	承受转矩的轴的静强度可靠性设计	215
8.3.4	受弯扭联合作用的轴的静强度可靠性设计	217
	习题	220
第9章	机械疲劳强度可靠性设计	221
9.1	疲劳强度设计参数数据的统计处理与计算	221
9.1.1	疲劳载荷的统计分析方法	221
9.1.2	载荷谱	223
9.1.3	应力与疲劳强度分布参数的近似计算	225
9.1.4	材料疲劳强度的统计分析	226
9.1.5	疲劳强度修正系数的统计特性	234
9.2	S-N 及 P-S-N 疲劳曲线	241
9.2.1	S-N 曲线	241
9.2.2	疲劳极限线图	243
9.2.3	P-S-N 曲线	250
9.2.4	P-S-N 曲线的绘制原理和方法	251
9.3	机械零件的疲劳极限分布	256
9.4	机械零件的无限寿命可靠性设计	260

9.4.1	按零件的 P-S-N 曲线设计	260
9.4.2	按零件的等寿命疲劳极限线图设计	260
9.5	机械零件的有限寿命可靠性设计与寿命预测	262
9.5.1	等幅变应力作用下零件的疲劳寿命与可靠度	263
9.5.2	滚动轴承的疲劳寿命与可靠度	266
9.5.3	非稳定变应力作用下零件的疲劳寿命	268
9.5.4	疲劳强度可靠性设计的递推法	272
9.5.5	用程序载荷谱估计疲劳寿命	274
9.5.6	疲劳强度设计中的安全系数	278
习题	.....	278
第 10 章	机械摩擦零件的可靠性设计	281
10.1	磨损的基本规律和磨损寿命线图.....	281
10.2	给定寿命时零件耐磨性的可靠度计算.....	284
10.3	给定可靠度时零件耐磨寿命的计算.....	285
习题	.....	287
第 11 章	系统可靠性设计	288
11.1	系统与系统可靠性的基本概念.....	288
11.1.1	系统的组成与类型.....	288
11.1.2	系统可靠性的基本概念.....	288
11.2	可靠性预测.....	289
11.2.1	单元可靠性预测.....	289
11.2.2	系统可靠性预测.....	290
11.3	可靠性分配.....	302
11.3.1	等分配法.....	303
11.3.2	再分配法.....	304
11.3.3	相对失效率法与相对失效概率法.....	305
11.3.4	AGREE 分配法.....	309
11.4	系统可靠性最优化.....	311
11.4.1	花费最小的最优化分配方法.....	311
11.4.2	拉格朗日(Lagrangian) 乘子法	313
11.4.3	动态规划法.....	315
11.5	故障树分析.....	319
11.5.1	概述.....	319
11.5.2	故障树的建立.....	320
11.5.3	故障树的定性分析.....	323
11.5.4	故障树的定量分析.....	326
习题	.....	328
第 12 章	可靠性试验	330

12.1	概述	330
12.1.1	寿命试验	330
12.1.2	环境试验	331
12.1.3	现场使用试验	331
12.2	寿命试验设计	331
12.2.1	寿命试验的目的	331
12.2.2	寿命试验的分类	331
12.2.3	寿命试验的设计	332
12.3	寿命试验结果的统计分析及参数估计	334
12.3.1	一般分布完全寿命试验的数据处理	334
12.3.2	指数分布截尾寿命试验及参数的点估计	335
12.3.3	指数分布截尾寿命试验结果的参数区间估计	338
12.3.4	正态分布和威布尔分布完全寿命试验的参数估计	343
12.4	加速寿命试验	344
12.4.1	加速寿命试验的原理与类型	344
12.4.2	恒定应力加速寿命试验设计	346
12.4.3	加速寿命曲线与方程	347
	习题	347
第 13 章	机械零部件的可靠性设计	349
13.1	概述	349
13.2	螺栓连接的可靠性设计	352
13.2.1	静载荷受拉松螺栓连接的可靠性设计	352
13.2.2	静载荷受拉紧螺栓连接的可靠性设计	354
13.2.3	承受轴向变载荷紧螺栓连接的可靠性设计	361
13.2.4	静载荷受剪螺栓连接的可靠性设计	366
13.2.5	变载荷受剪螺栓连接的可靠性设计	368
13.3	圆柱螺旋弹簧的可靠性设计	370
13.3.1	圆柱压缩(拉伸)螺旋弹簧静强度的可靠性设计	370
13.3.2	圆柱压缩(拉伸)螺旋弹簧疲劳强度的可靠性设计	376
13.4	轴的可靠性设计	381
13.4.1	传动轴的可靠性设计	381
13.4.2	转轴的可靠性设计	385
13.4.3	轴的刚度的可靠性设计	389
13.5	圆柱齿轮轮齿强度的可靠性设计	390
13.5.1	齿面接触疲劳强度的可靠性设计	390
13.5.2	齿根弯曲疲劳强度的可靠性设计	394
13.6	滚动轴承与滑动轴承的可靠性设计	396
13.6.1	滚动轴承的可靠性设计	396

13.6.2	滑动轴承的可靠性设计	396
13.7	蜗杆-蜗轮传动承载能力的可靠性设计	397
	习题	399
第 14 章	机械可靠性优化设计	401
14.1	以可靠度最大为目标的机械强度可靠性优化设计	401
14.2	可靠度为约束条件的机械强度可靠性优化设计	402
第 15 章	可修复系统的可靠性设计	404
15.1	机械维修性设计	404
15.2	系统预防维修间隔期的确定	409
15.2.1	按有效度最大原则确定最佳维修间隔期	409
15.2.2	按总费用最小原则确定最佳维修间隔期	411
15.3	马尔柯夫过程(Markov Process)	412
15.4	可修复系统的可靠度计算	418
15.4.1	单一系统的可靠度计算	418
15.4.2	两个相同单元并联系统的可利用度	419
15.4.3	两个相同单元旁联系统的可利用度	421
15.4.4	两个不同单元可修复系统的可利用度	421
15.4.5	预防维修系统的可利用度	422
附录	.....	424
附表 1	二项分布表	424
附表 2	泊松(Poisson)分布表	425
附表 3	负指数分布表	427
附表 4	标准正态分布表	435
附表 5	标准正态分布下侧分位数 z_p	437
附表 6	正态曲线下离均值 $\pm z$ 个标准差之间的面积	438
附表 7	分布表	439
附表 8	χ^2 分布下侧分位数 $\chi_p^2(n)$	441
附表 9	t 分布下侧分位数 $P\{t(n) \leq t_p(n)\}$	443
附表 10	t 分布值	446
附表 11	F 分布表	447
附表 12	存活率(可靠度)估计量	454
附表 13	中位秩表	455
附表 14-1	10% 和 90% 秩置信限	456
附表 14-2	5% 和 95% 秩置信限	458
附表 14-3	2.5% 和 97.5% 秩置信限	460
附表 14-4	0.5% 和 99.5% 秩置信限	462
附表 15	柯氏检验的临界值(D_n, λ)表	464
附表 16	柯氏检验统计量 D_n 的极限分布表	466

附表 17	系统可靠度同并行工作分枝数、每个分枝的可靠度和容许失效数的关系	467
附表 18	应力呈正态分布和强度呈威布尔分布时的失效概率表	468
附表 19	应力呈 型极大值分布、强度呈威布尔分布时的可靠度表	474
附表 20	应力呈 型极大值分布、强度呈威布尔分布时的可靠度表	477
参考文献	.....	481

常用符号表

A —— 有效度, 稳态有效度	$f(x)$ —— 随机变量 X 的概率密度函数
$A(t)$ —— 有效度, 有效函数, 瞬时有效度	$f(S)$ —— 应力分布的概率密度函数
$A(t)$ —— 平均有效度	G —— 剪切弹性模量
$A(\quad)$ —— 稳态有效度	$G(\quad)$ —— 未维修度
$A \subset B$ —— 事件 A 含于事件 B	$g(\quad)$ —— 强度分布的概率密度函数
$A \cup B$ —— 事件 A 与事件 B 的和	$g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ —— 样本函数
$A \cap B$ —— 事件 A 与事件 B 的积	H_0 —— 假设
$B \supset A$ —— 事件 B 包含事件 A	IFR —— 递增型失效率
$B(n, p)$ 或 $B(n, k, p)$ —— 二项分布	K_F —— 失效率修正系数
C —— 变差系数	K —— 应力集中系数, 有效应力集中系数
C_s —— 应力的变差系数	k —— 磨损系数
C —— 强度的变差系数	$L(\quad)$ —— 参数 λ 的似然函数
C_0 —— 摩擦副的初始配合间隙	$L_{F(t_p)}$ —— 置信下限
C_{max} —— 摩擦副的最大允许间隙	$\ln X \sim N(\mu, \sigma^2)$ —— 对数正态变量 $X = e^Y$ 服从对数正态分布
C_c —— 事后维修费用	MTTF —— 失效前平均时间
C_p —— 预防维修费用	MTBF —— 平均无故障工作时间, 平均故障间隔
C_n^m 或 ${}_nC_m$ —— 从 n 个不同元素中取 m 个的组合数	MTTR —— 平均修理时间
CFR —— 恒定型失效率	MTTM —— 平均维修时间
DFR —— 递减型失效率	MTBM —— 两次维修间平均时间
$D(t) = [V(t)]^2$ —— 寿命方差(当 N 或相当大的数)	MTBO —— 两次维修间的平均时间
$D(X) = [V(X)]^2 = E\{[X - E(X)]^2\}$ —— X 的方差	MTBHE —— 平均人为差错间隔
$E(X)$ —— 随机变量 X 的均值或数学期望	MTTFHE —— 首次人为差错前平均时间
$E(X^r)$ —— X 的 r 阶原点距	MDT —— 平均不能工作时间, 平均休止时间
$E\{[X - E(X)]^r\}$ —— X 的 r 阶中心距	MTTFF —— 首次故障前平均时间
$e(\quad)$ —— X 服从参数为 λ 的指数分布	MTTHIF —— 人为初始故障前平均时间
F —— 不可靠度, 失效概率	MUT —— 平均可能工作时间
$F(t)$ —— 不可靠度函数	MDT —— 平均不能工作时间
$F(x)$ —— 随机变量 X 的分布函数	$M(\quad)$ —— 维修度, 维修度函数
$F_0(x)$ —— 理论分布	m —— 威布尔分布的形状参数
$F_n(x)$ —— 经验分布	m —— $S-N$ 疲劳曲线在对数坐标下的斜率
F_s —— 系统的失效概率	$m(\quad)$ —— 修复时间的概率密度函数
$F(n_1, n_2)$ —— F 分布	N —— 母体容量
$f(t)$ —— 失效密度函数	N —— 循环次数或疲劳寿命, 寿命随机变量

N_a ——特征寿命	r ——应力循环不对称系数
N_L ——估计疲劳寿命	r ——样本的失效数
N_R ——可靠寿命	S ——工作应力
N_0 ——疲劳循环基数, 最小寿命, 最小保证寿命	S ——应力均值
N_{50} ——中位寿命	s ——寿命均方差, 标准差(当 N 为不大的数), 子样的标准差
$N(\mu, \sigma^2)$ ——参数为 μ 与 σ^2 的正态分布	s^2 ——寿命方差
$N(0, 1)$ ——标准正态分布	T_a ——加速试验所需的时间
n ——子样容量, 投试样本数	T_g ——正常试验所需的时间
n ——安全系数	$T_{e^{-1}}$ ——特征寿命(当 $R = e^{-1}$ 时)
n_c ——中值安全系数	t_R ——可靠寿命, 可靠度寿命
n_R ——可靠度意义下的安全系数	$t_{0.5}$ ——中位寿命(当 $R = 50\%$ 时)
$[n, \text{无}, t_0]$ ——无替换定时截尾试验	t ——更换寿命, 筛选寿命
$[n, \text{无}, r]$ ——无替换定数截尾试验	$t_p(n)$ —— t 分布的下侧分位数
$[n, \text{有}, t_0]$ ——有替换定时截尾试验	$t(n)$ —— t 分布的上侧分位数
$[n, \text{有}, r]$ ——有替换定数截尾试验	$t(R_0)$ ——可靠寿命
P ——存活率	t_0 —— 分布的尺度参数
P ——马尔柯夫一次转移矩阵	——为“事件的和”的运算符号“并”
$P(0)$ ——系统的初始状态	——为“事件的积”的运算符号“交”
$P(n)$ ——系统运行 n 段时间后的状态	$U_{F(t_p)}$ ——置信上限
P^n —— n 次转移矩阵	u ——磨损速度
$P(A)$ ——事件 A 的概率	v ——摩擦表面的相对滑动速度
$P(E)$ ——事件 E 的概率	w ——线性磨损量
$P(A \cup B)$ ——“发生事件 A 或发生事件 B ”这一事件的概率	$W(m, \lambda; X)$ ——威布尔分布
$P(A \cap B)$ ——事件 A 与事件 B 同时发生的概率	X ——随机变量
$P(B|A)$ ——事件 B 的条件概率	X_p ——下侧分位数
P_n^m 或 ${}_n P_m$ ——从 n 个不同元素中取出 m 个的排列数	X ——上侧分位数
p ——摩擦表面的单位压力	Z_R ——可靠性系数
p ——概率	——显著水平, 风险度, 风险率
q ——概率, $q = 1 - p$	$(1 - \alpha)$ ——置信度
R ——可靠度	—— 分布的形状参数
$R(t)$ ——可靠度, 可靠度函数	——几何形状的理论应力集中系数
$R_s, R_s(t)$ ——系统的可靠度	——表面质量系数, 表面加工系数
R_L ——可靠度下限值	——结构强化系数
	(λ, k) —— 分布
	——工艺强化系数
	——威布尔分布的位置参数

——强度
 ——强度均值
 ——尺寸系数
 ——威布尔分布的尺度参数
 ——平均寿命, 单元的平均寿命
 s ——系统的平均寿命
 u ——参数 的置信上限
 L ——参数 的置信下限
 $\chi^2(n)$ 或 χ^2_n —— χ^2 分布的随机变量
 $\chi^2_p(n)$ —— χ^2 分布的下侧分位数
 $\chi^2(n)$ —— χ^2 分布的上侧分位数
 —— 分布的尺度参数
 ——失效率(故障率), 应用失效率, 单元的失效率
 (t) ——失效率函数, 瞬时失效率
 (t) ——平均失效率
 G ——基本失效率
 $s(t)$ ——系统的失效率
 μ 或 $\mu(\)$ ——修复率
 μ ——均值
 μ_s ——应力的均值
 μ ——强度的均值
 ——相关系数
 ——离散型随机变量的标准差(当 n 或为相当大的数), 母体标准差

s ——应力的标准差
 s ——屈服极限
 ——强度的标准差
 a ——应力幅
 m ——平均应力
 b ——强度极限, 抗拉强度
 σ_{-1} ——弯曲疲劳极限
 σ_{-1L} ——光滑试件的拉伸疲劳极限
 a_L ——极限应力幅
 r ——无应力集中的光滑试件的疲劳极限
 (t) ——寿命均方差, 标准差
 ——剪应力或扭应力
 a ——剪应力幅, 扭应力幅
 m ——平均剪应力, 平均扭应力
 s ——剪切或扭转屈服极限
 σ_{-1} ——剪切或扭转疲劳极限
 ——平均修理时间
 p ——平均预防维修时间
 c ——平均事后维修时间
 max ——最大修复时间
 $(z) = \frac{x - \mu}{\sigma}$ ——标准正态分布的分布函数
 (x) ——标准正态分布的概率密度函数

第1章 可靠性概论

1.1 可靠性的基本概念

“可靠性”——作为衡量产品质量的一个重要指标,早已不是一个新的概念。长期以来,一切讲究产品信誉的厂家,为了争取顾客都在追求其产品具有好的可靠性。因为只有那些可靠性好的产品,才能长期发挥其使用性能而受到用户的欢迎。不仅如此,有些产品如汽车、轮船和飞机,如果其关键零部件不可靠,不仅会给用户带来不便,耽误时间、推迟日程,造成经济损失,甚至还可能直接危及使用者的生命安全。像美国“挑战者”号航天飞机、苏联切尔诺贝利核电站等发生的大的可靠性事故所引起的严重后果,都足以说明产品的可靠性差会引起一系列严重问题,甚至会危及国家的荣誉和安全。而1957年苏联第一颗人造卫星升天,1969年美国阿波罗11号宇宙飞船载人登月等可靠性技术成功的典范,不仅为其国家带来荣耀,而且说明了高科技的发展要以可靠性技术为基础,科学技术的发展又要求高的可靠性。

早期,人们对“可靠性”这一概念的理解仅仅从定性方面,而没有数值量度。但为了更好地表达可靠性的准确含义,不能只从定性方面来评价它,而应有定量的尺度来衡量它。在第二次世界大战后期,德国火箭专家 R. Lusser 首先提出用概率乘积法则,将系统的可靠度看成是其各子系统的可靠度乘积,从而算得 - 型火箭诱导装置的可靠度为 75%,首次定量地表达了产品的可靠性。但只是从 50 年代初期开始,在可靠性的测定中更多地引进了统计方法和概率概念以后,定量的可靠性才得到广泛应用,可靠性问题才作为一门新的学科被系统地加以研究。

可靠性理论是以产品的寿命特征作为主要研究对象的一门综合性和边缘性科学,它涉及到基础科学、技术科学和管理科学的许多领域。

美国对可靠性的研究始于第二次世界大战。当时雷达系统已发展很快而电子元件却屡出故障。因此,早期的可靠性研究,重点放在故障占大半的电子管方面。不仅重视其电气性能,而且重视其耐震、耐冲击等可靠性方面。1942 年美国麻省理工学院(MIT)对真空管的可靠性作了深入的调查研究。1952 年 11 月美国成立了“电子设备可靠性顾问团”(Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment——AGREE)。该团对电子产品的设计、试制、生产、试验、储存、运输、使用等各个方面的可靠性问题,作了全面的调查研究,并于 1957 年 6 月发表了著名的“军用电子设备的可靠性”报告^[1]。该文除论述了产品在上述各个环节中的可靠性问题外,还比较完整地论述了可靠性的理论基础及研究方法。1954 年美国召开了第一届可靠性与质量管理学术会议。1962 年又召开了第一届可靠性与可维修性学术会议及第一届电子设备故障物理学术会议。将对可靠性的研究扩展到对可维修性的研究,进而深入到研究产品故障的机理方面。

美国对于机械可靠性的研究,开始于 60 年代初期,其发展与航天计划有关。当时在航

天方面由于机械故障引起的事故多、损失大。于是美国宇航局(NASA)从1965年起开始进行机械可靠性研究,例如:用超载负荷进行机械产品的可靠性试验验证;在随机动载荷下研究机械结构和零件的可靠性;将预先给定的可靠度目标值直接落实到应力分布和强度分布都随时间变化的机械零件的设计中去,等等。

日本是在1956年由美国引进可靠性技术的。1958年日本科学技术联盟设立了可靠性研究委员会。1960年在日本成立了可靠性及质量控制专门小组。1971年日本召开了第一届可靠性学术讨论会。日本将可靠性技术推广应用到民用工业部门取得很大成功,大大地提高了其产品的可靠度,使其高可靠性产品,例如汽车、彩电、照相机、收录机、电冰箱等,畅销到全世界,带来巨大的经济效益。日本人曾预见到今后产品竞争的焦点在于可靠性。

英国于1962年出版了《可靠性与微电子学》(Reliability And Microelectronics)杂志。法国国立通讯研究所也在这一年成立了“可靠性中心”,进行数据的收集与分析,并于1963年出版了《可靠性》杂志。

前苏联在50年代就开始了可靠性理论及应用的研究,1964年,当时的苏联及东欧各国在匈牙利召开了第一届可靠性学术会议,至1977年已先后召开了四次这样的会议。

国际电子技术委员会(IEC)于1965年设立了可靠性技术委员会,1977年又改名为可靠性与可维修性技术委员会。它对可靠性方面的定义、用语、书写方法、可靠性管理、数据收集等方面,进行了国际间的协调工作。

60年代以来,空间科学和宇航技术的发展提高了可靠性的研究水平,扩展了其研究范围。对可靠性的研究,已经由电子、航空、宇航、核能等尖端工业部门扩展到电机与电力系统、机械、动力、土木等一般产业部门,扩展到工业产品的各个领域。对机械产品,尤其是对大批量生产的汽车这种产品的可靠性研究,也已成为重要课题,并且取得了可喜成果,例如,1959年在国际市场上小轿车的保用期为90天或4000英里,而到70年代初,则提高到5年或50000英里。当今,提高产品的可靠性,已经成为提高产品质量的关键。今后只有那些高可靠性的产品及其企业,才能在竞争日益激烈的世界上幸存下来。不仅如此,国外还把对产品可靠性的研究工作提高到节约资源和能源的高度来认识。这不仅是因为高可靠性产品的使用期长,而且通过可靠性设计,可以有效地利用材料,减少加工工时,获得体积小、重量轻的产品。

在现代生产中,可靠性技术已贯穿于产品的开发研制、设计、制造、试验、使用、运输、保管及维修保养等各个环节。

从纯经济的观点来讲,为了减少维修费用,提高产品的利用率,高可靠性是非常必要的。但也不是可靠性最好时总的消耗费用一定最低,因为还有产品的制造成本问题,需要综合考虑、优化选择,以找出使总费用最低的最佳可靠度。

利用概率论的方法可把产品发生故障的规律作为随机现象来研究。所以,通常所说的可靠度,一般不是指某一特定具体产品的可靠程度,而是对该种型号产品总体的可靠程度而言。当然,就一些单个的产品而言,如果能在其长期运行的条件下,观测其故障规律,则不仅能够估计出一些产品的可靠性,也能估计出该种产品总体的可靠性。