

可靠性数据计算及应用

KEKAOXING SHUJU

JISUAN

JI YINGYONG

金星 洪延姬 沈怀荣 张峥 编著

國防工業出版社

本书得到总装备部“1153”人才工程专项经费资助

可靠性数据计算及应用

金星 洪延姬 编著
沈怀荣 张 峥

国防工业出版社

·北京·

可靠性数据计算及应用

KEKAOXING SHUJU
JISUAN
JI YINGYONG

金星 洪延姬 沈怀荣 张峰 编著

国防工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

可靠性数据计算及应用/金星等编著. —北京:国防工业出版社, 2003.4

ISBN 7-118-03104-6

I. 可... II. 金... III. 可靠性数据-计算-应用-武器装备 IV. TJ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 008964 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 12½ 323 千字

2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月北京第 1 次印刷

印数:1-3000 册 定价:31.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)



金星：副教授，博士，硕士生导师，机械工程学会可靠性分会委员。研究方向为可靠性与故障诊断。国外有影响期刊、国际会议和国内核心期刊发表论文60余篇，24篇论文收入国际权威检索工具SCI、EI、INSPEC、ISTP。获北京航空航天大学优秀博士学位论文奖，获部委级科技进步一等奖2项、二等奖2项，出版专著2部和编写教材1部，1部专著获首届国防科技工业优秀图书奖。目前承担“九七三”项目和“八六三”项目。

联系方式：jinxing_beijing@sina.com

通信地址：北京 3380 信箱 99 号
邮政编码：101416



洪延姬：教授，博士（博士后），硕士生导师。主要从事可靠性、数值模拟、爆轰物理研究。获得国防科工委科技进步三等奖1项，全国教育软件大奖赛一等奖2项，在国内外发表论文65篇，22篇论文收入国际权威检索工具SCI、EI、INSPEC、ISTP。2000年荣立三等功，2001年评为全军优秀教师、总装备部“1153”工程第一层次人才。目前承担“九七三”项目、“八六三”项目及国防科技重点实验室基金项目。

联系方式：hongyanji@sina.com

通信地址：北京 3380 信箱 86 号

邮政编码：101416

序

可靠性数据计算是可靠性工程学的重要组成部分,是可靠性试验和现场使用试验数据处理分析的有力工具。

可靠性数据计算涉及统计分析和数据处理计算方法,同时还要查阅大量的数表,因此给工程技术人员进行可靠性数据处理分析和在工程技术领域中普及与使用该分析技术造成了一定的障碍,阻碍了该分析技术转化为生产力。本书以介绍、普及、使用可靠性数据处理常用计算方法为目的,在简明扼要地介绍基本理论和计算方法的基础上,提供了相关的计算分析 C 语言程序,并以大量的实例说明了计算程序使用方法,以及在武器装备中的应用,便于工程技术人员掌握和使用,为工程技术人员进行可靠性数据计算提供了方便。

本书内容简明扼要,并以编程进行可靠性数据计算为重点,以工程实用为目的,因而可供相关领域工程技术人员和在校研究生参考使用。

中国工程院院士
国家安全生产综合组组长
北京航空航天大学教授
钟群鹏
2002 年 7 月

前 言

可靠性已经成为产品质量特性的一个重要组成部分,试验、评价和分析产品的可靠性时,需要考虑可靠性数据的产生、收集、分析,确定可靠性指标,为产品的设计、生产和使用提供可靠性数据。

可靠性数据计算需要掌握各种概率统计和数据处理的基本概念、计算方法,同时需要查阅大量表格,使得可靠性数据处理分析方法的掌握、普及、使用受到了限制。本书简明扼要地介绍了可靠性数据计算分析涉及的最基本的概率统计计算与数据处理方法,尤其是编制了相应的、规范的 C 语言程序,为工程技术人员进行可靠性数据处理分析提供了计算工具,也可以使用 C 语言计算程序的部分模块,研制其他数据处理分析程序。

全书共分八章。第一章介绍常用分布计算与统计量分布计算;第二章介绍常用分布参数的点估计与区间估计;第三章介绍常用分布的拟合优度检验;第四章介绍常用分布的异常值检验;第五章介绍可靠性下限的计算;第六章介绍基于《可靠性试验用表》的数据处理计算方法;第七章介绍该技术在武器装备中的应用;第八章介绍相应计算分析软件。本书内容精炼实用,提供的模块化 C 语言计算程序规范、易于移植,可供从事可靠性数据计算工程技术人员和在校研究生参考使用。

本书编著过程中,得到了解放军装备指挥技术学院各级领导的大力支持,在此表示衷心感谢。作者的硕士研究生李俊美、文明、李倩、张明亮,课题组姚宏林、陈景鹏、王鹏、崔村燕等也付出了大量劳动,在此表示感谢。

由于水平有限,错误和不妥之处请读者批评指正。

编著者

2002 年 12 月

目 录

第一章 常用分布计算与统计量分布计算	1
1.1 正态分布的计算	1
1.1.1 标准正态分布	1
1.1.2 标准正态分布概率密度函数的计算	2
1.1.3 标准正态分布函数的计算	2
1.1.4 标准正态分布分位数的计算	3
1.1.5 正态分布的计算	4
1.2 χ^2 分布的计算	5
1.2.1 χ^2 分布	5
1.2.2 χ^2 分布函数和密度函数计算	5
1.2.3 χ^2 分位数的计算	6
1.2.4 不完全 Γ 分布函数与分位数的计算	8
1.3 β 分布的计算	9
1.3.1 β 分布	9
1.3.2 β 分布函数计算	9
1.3.3 β 分布分位数的计算	10
1.4 t 分布的计算	12
1.4.1 t 分布	12
1.4.2 t 分布函数计算	13
1.4.3 t 分布分位数的计算	13
1.5 F 分布的计算	13
1.5.1 F 分布	13
1.5.2 F 分布函数计算	14
1.5.3 F 分布分位数的计算	14

1.6 二项分布和泊松分布计算·····	15
1.6.1 二项分布计算·····	15
1.6.2 泊松分布计算·····	15
1.7 对数正态分布、威布尔分布、指数分布的计算·····	16
1.7.1 对数正态分布计算·····	16
1.7.2 威布尔分布计算·····	16
1.7.3 指数分布计算·····	17
1.8 小结和计算程序·····	17
1.8.1 小结·····	17
1.8.2 计算程序说明·····	18
1.8.3 计算实例·····	18
第二章 常用分布参数的点估计与区间估计 ·····	23
2.1 可靠性数据分析的基本概念·····	23
2.1.1 定数截尾试验、定时截尾试验和随机截尾试验·····	23
2.1.2 有限样本时可靠度计算、故障率计算和密度函数计算·····	24
2.1.3 有限样本时分布函数计算·····	25
2.1.4 计算程序及应用举例·····	27
2.2 指数分布参数的点估计与区间估计·····	30
2.2.1 指数分布·····	30
2.2.2 指数分布参数的点估计·····	30
2.3 指数分布的参数点估计与区间估计应用举例·····	33
2.4 正态分布参数的点估计与区间估计·····	39
2.4.1 正态分布·····	39
2.4.2 最小二乘法估计·····	39
2.4.3 正态分布的最小二乘法估计·····	40
2.4.4 正态分布参数的区间估计(完全样本)·····	41
2.5 对数正态分布参数的点估计·····	41
2.5.1 对数正态分布·····	41

2.5.2	对数正态分布参数的最小二乘法估计	42
2.6	威布尔分布参数的点估计与区间估计	42
2.6.1	威布尔分布	42
2.6.2	威布尔分布参数的最小二乘法点估计	43
2.6.3	威布尔分布的区间估计	43
2.7	正态分布、对数正态分布、威布尔分布最小二乘法	
	和图估计法程序及应用举例	45
2.7.1	参数点估计最小二乘法和图估计法程序	45
2.7.2	应用举例	46
2.8	正态分布完全样本参数和区间矩法估计程序	
	及应用举例	50
2.8.1	正态分布完全样本参数和区间矩法估计程序	50
2.8.2	应用举例	50
2.9	威布尔分布的极大似然方法参数点估计与区间估计	
		52
2.9.1	威布尔分布的极大似然方法参数估计	52
2.9.2	极大似然估计方法计算程序	52
2.9.3	应用举例	53
2.10	二项分布的参数点估计与区间估计	56
2.10.1	二项分布的参数点估计	56
2.10.2	二项分布参数的区间估计	57
第三章	常用分布的拟合优度检验	58
3.1	指数分布的拟合优度检验	58
3.2	威布尔分布的拟合优度检验	59
3.3	最小二乘法和图估计法用于拟合优度检验	60
3.4	指数分布拟合优度检验程序及应用举例	60
3.4.1	指数分布拟合优度检验程序	60
3.4.2	应用举例	61
3.5	威布尔分布拟合优度检验程序及应用举例	66
3.5.1	威布尔分布拟合优度检验程序	66

3.5.2 应用举例	66
第四章 常用分布的异常值检验	69
4.1 指数分布异常数据的检验	69
4.1.1 最小值异常小时检验方法	69
4.1.2 最小值异常大时检验方法	70
4.1.3 检验最大值是否为异常值	70
4.2 威布尔分布异常值检验	71
4.2.1 样本是否来自同一威布尔分布的检验	71
4.2.2 最小值异常小检验	72
4.3 正态分布异常值检验	72
4.3.1 最大值异常情况	73
4.3.2 最小值异常情况	73
4.4 指数分布、威布尔分布和正态分布异常值检验程序及应用举例	73
4.4.1 异常值检验程序	73
4.4.2 应用举例	74
第五章 可靠性下限的计算	81
5.1 二项分布	81
5.1.1 二项分布与 β 分布的关系	81
5.1.2 二项分布与 F 分布的关系	82
5.2 二项分布的可靠度单侧置信下限	82
5.2.1 二项分布的可靠度下限近似计算	82
5.2.2 二项分布可靠度下限近似计算程序及应用举例	84
5.2.3 二项分布可靠度下限准确计算	85
5.3 正态分布的可靠度下限计算	86
5.3.1 容许区间和容许限(容忍区间和容忍限)	86
5.3.2 正态分布的容许上限和容许下限	87
5.3.3 可靠度的置信下限	89
5.3.4 对数正态分布的可靠度下限	90

5.4 非中心 t 分布与正态分布可靠度下限计算	90
5.4.1 非中心 t 分布分布函数计算	90
5.4.2 非中心 t 分布函数	90
5.4.3 正态分布的单侧容许限系数计算	91
5.4.4 正态分布的单侧容许限系数计算方法	92
5.4.5 正态分布可靠度下限计算方法	93
5.4.6 小结	93
5.5 非中心 t 分布与正态分布可靠度下限计算	
程序及应用举例	94
5.5.1 计算程序	94
5.5.2 应用举例	94
第六章 基于《可靠性试验用表》的数据处理	
计算方法	97
6.1 二参数威布尔分布参数的线性估计	98
6.1.1 最好线性无偏估计和最好线性不变估计	99
6.1.2 查表编程计算的方法	99
6.1.3 最好线性无偏估计和最好线性不变估计	
的数表结构	100
6.1.4 简单线性无偏估计	101
6.2 正态分布或对数正态分布的参数估计	102
6.2.1 最好线性无偏估计	102
6.2.2 最好线性不变估计	103
6.2.3 简单线性无偏估计	103
6.2.4 极大似然估计	104
6.3 中位秩和经验分布的置信区间	105
6.4 柯尔莫哥洛夫拟合优度检验的查表方法	106
6.4.1 完全样本的 K-S 检验 ($n \leq 100$)	106
6.4.2 完全样本的 K-S 检验 ($n > 100$)	107
6.4.3 定数截尾样本的 K-S 检验	110
6.4.4 定时截尾样本的 K-S 检验	111

6.4.5 定数和定时截尾样本数目 $n > 30$ 时 K-S 检验	112
6.5 恒定应力加速寿命试验中参数的估计	112
6.5.1 威布尔分布加速寿命试验数据分析	112
6.5.2 正态分布和对数正态分布加速寿命试验数据分析	114
6.6 数据库的建立及查询方法	116
6.6.1 数据库的建立	117
6.6.2 数据库的查询	117
6.7 小 结	118
第七章 可靠性数据计算分析方法在武器装备中的应用	119
7.1 战略导弹射程能力和命中精度评定基础	119
7.1.1 最大标准射程指标的统计评定	119
7.1.2 命中精度评定方法	121
7.1.3 落点系统偏差的检验	121
7.2 战略导弹射程能力计算评定方法	122
7.2.1 射程能力评定查表、插值计算的缺点	122
7.2.2 射程能力评定数值分析优化方法	123
7.2.3 应用举例	124
7.2.4 结论	125
7.3 导弹命中精度评定和评定精度快速分析	125
7.3.1 正态分布的异常值检验	125
7.3.2 正态分布的最小二乘法检验	126
7.3.3 落点纵向偏差和横向偏差的相关性检验	127
7.3.4 圆概率偏差的评定	127
7.3.5 圆概率偏差评定的精度蒙特卡罗分析	129
7.3.6 应用举例	130
7.3.7 小结	131
7.4 系统偏差评定计算程序	131

7.5 导弹飞行试验命中精度验证一次抽样方案快速确定方法	132
7.5.1 导弹对圆形目标的命中概率	133
7.5.2 国家军用标准GJB2899—97中导弹飞行试验命中精度的一次抽样检验方案	134
7.5.3 导弹飞行试验命中精度的一次抽样检验方案快速确定方法	135
7.5.4 应用举例	135
7.5.5 小结	137
7.6 随机加权方法及小子样导弹射程能力评定	137
7.6.1 随机加权方法	137
7.6.2 随机加权方法进行导弹射程能力评估	138
7.6.3 应用举例	140
7.6.4 结论	141
7.7 系统可靠性评定中 β 分布函数的分位数快速计算	141
7.7.1 β 分布函数与贝叶斯第一可靠性近似下限	142
7.7.2 β 分布函数的分位数快速计算	142
7.7.3 2个 β 分布函数和的分位数快速计算	144
7.7.4 应用举例	145
7.7.5 结论	146
7.8 Γ 分布函数分位数与可靠性和平均寿命评定	147
7.8.1 Γ 分布函数与分位数计算	147
7.8.2 Γ 分布函数和的分位数快速计算	148
7.8.3 可靠性与平均寿命评定	149
7.8.4 应用举例	150
7.8.5 结论	151
7.9 正态分布产品定限内可靠度下限的快速计算方法	151
7.9.1 正态分布产品定限内可靠度下限	152

7.9.2 正态分布产品定限内可靠度下限的快速 计算方法	153
7.9.3 应用举例	155
7.9.4 小结	157
第八章 《可靠性数据处理系统》软件介绍	158
8.1 运行环境与安装运行	158
8.2 功能介绍	158
8.3 使用说明	159
8.3.1 软件主界面	159
8.3.2 可靠性试验用表查询子系统	160
8.3.3 基于可靠性试验用表的参数估计 子系统	163
8.3.4 指数寿命型统计试验方案子系统	168
8.3.5 帮助系统	178
8.4 软件特点	179
附录 1 第一章相关计算的源代码程序	180
附录 2 第二章相关计算的源代码程序	200
附录 3 第三章相关计算的源代码程序	277
附录 4 第四章相关计算的源代码程序	285
附录 5 第五章相关计算的源代码程序	300
附录 6 第七章相关计算的源代码程序	321
参考文献	383

第一章 常用分布计算与 统计量分布计算

常用连续型分布有正态分布、对数正态分布、指数分布、威布尔分布；常用的离散型分布有二项分布、泊松分布；常用的统计量分布有 χ^2 分布、 t 分布、 F 分布。其中正态分布及其正态分布导出统计量分布（ χ^2 分布、 t 分布、 F 分布），是可靠性试验数据的统计计算中最常用的分布，国标 GB/T 4086.1—1983 至 GB/T 4086.6—1983 提供了相应的统计分布数值表，以及 Fortran 77 语言计算程序。

采用查表方法，计算常用分布函数和分位数，受到表格的表距、精度、容量的限制，查表过程繁琐，查表插值计算时更是如此。本章在介绍上述分布的计算方法基础上，提供了规范的 C 语言计算程序，计算精度通常可达 10^{-10} ，可以方便地进行正态分布、 β 分布、 χ^2 分布、 t 分布、 F 分布、二项分布、泊松分布计算。

1.1 正态分布的计算

1.1.1 标准正态分布

随机变量服从标准正态分布，其概率密度函数为

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad -\infty < x < \infty \quad (1.1)$$

分布函数为

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \varphi(u) du \quad (1.2)$$