

# 工程实验的统计设计和分析

(上册)

C. 李普逊、N.J. 谢斯著

宁开平译校

成都科学技术大学机械工程系

一九八〇年十二月

## 目 录

前言

符号表

绪论

## 第1章 统计工具

1.1 随机变量的概念

1.2 概率

1.3 密度函数

1.4 累积分布函数

1.5 样本与总体

1.6 总体集中趋势的度量

1.6.1 总体平均值

1.6.2 总体中位数

1.6.3 总体众数

1.7 样本集中趋势的度量

1.7.1 样本平均值

1.7.2 样本中位数

1.7.3 样本众数

1.8 总体变异的度量

1.9 样本变异的度量

1.10 置信水平的概念

1.11 可靠性的概念

1.12 自由度

1.13 秩评定的概念

1.13.1 中位秩

1.13.2 其它秩

1.13.3 悬项

小结

习题

参考书

书目

## 第2章 统计分布

### 2.1 正态分布

2.1.1 标准化正态分布

2.1.2 累积分布函数

### 2.2 对数正态分布

### 2.3 维布尔 (Weibull) 分布

2.3.1 两参数 ( $\theta, b$ ) 维布尔函数

2.3.2 三参数 ( $\theta, b, x_0$ ) 维布尔函数

### 2.4 指数分布

### 2.5 二项分布

### 2.6 超几何分布

### 2.7 泊松 (Poisson) 分布

### 2.8 统计分布的确定与应用

小结

习题

参考书

书目

## 第3章 求值实验

### 3.1 正态分布

3.1.1 产品均匀性的估计

3.1.2 产品质量的估计

3.1.3 产品总体极限的估计

3.2 维布尔分布

3.2.1 产品均匀性的估计

3.2.2 产品质量的估计

3.3 二项分布

3.4 外置点

3.4.1 修正  $3\sigma$  试验

3.4.2 迪克逊 (Dixon) 法

3.4.3 格鲁布 (Grubbs) 法

小结

习题

参考书

书目

第4章 比较实验

4.1 粗略法

4.1.1 正态分布

4.1.2 维布尔分布

4.2 精细法

4.2.1 两产品的绝对比较

4.2.2 两产品的相对比较

小结

习题

书目

第5章 加速实验

5.1 试验时间与环境之间的关系

- 5.2 样本量与环境之间的关系
- 5.3 样本量与试验时间之间的关系
  - 5.3.1 对于系统
  - 5.3.2 对于组成部分
- 5.4 样本量、试验时间置信度与可靠性之间的关系
- 5.5 夭折试验
  - 5.5.1 用修正夭折法的置信极限
  - 5.5.2 用悬项法的置信极限
- 小结
- 习题
- 参考书
- 书目

## 第6章 析因实验

- 6.1 古典实验
- 6.2 析因实验
  - 6.2.1 析因实验中的方差分析
  - 6.2.2 单因素实验
  - 6.2.3 双因素实验
  - 6.2.4 三因素实验
- 6.3 部分析因实验
  - 6.3.1 预定试验组合
  - 6.3.2 随机选择试验组合
- 小结
- 习题
- 参考书
- 书目

## 第7章 序贯实验

### 7.1 序贯实验的概念

### 7.2 维布尔分布

### 7.3 正态分布

7.3.1 确定样本是属于 $\mu > \mu_1$ 或是 $\mu > \mu_2$ 的总体的试验

7.3.2 确定样本是属于 $\sigma > \sigma_1$ 或是 $\sigma < \sigma_2$ 的总体的试验

### 7.4 二项分布

小结

习题

参考书

书目

## 第8章 非参数实验

### 8.1 非参数实验的功效效率

### 8.2 非参数实验的优点和缺点

#### 8.2.1 优点

#### 8.2.2 缺点

### 8.3 符号与轮次检定

#### 8.3.1 符号检定

#### 8.3.2 加权符号检定

#### 8.3.3 两样本之间的轮次检定

#### 8.3.4 随机性的轮次检定

### 8.4 确定变量间相互关系的试验

### 8.5 用成功试验法作失败百分率的预测

#### 8.5.1 C - 秩定理

#### 8.5.2 成功 - 运转定理 (贝叶斯公式)

### 8.6 基于样本域的总体预测

8.6.1 总体标准差的预测

8.6.2 样本均值与总体均值的比较

8.6.3 两总体均值的比较

小结

习题

参考书

书目

## 第 9 章

疲劳实验

### 9.1 等负荷实验

9.1.1 平均寿命的预测

9.1.2 平均强度的预测

9.1.3 概率、应力和寿命 (P-S-N) 关系

9.1.4 寿命分布的确定

9.1.5 强度分布的确定

### 9.2 实验室试件与实际零件

9.2.1 基本关系

9.2.2 持久限  $S_n^1$

9.2.3 负荷类型  $K_1$

9.2.4 零件尺寸  $K_2$

9.2.5 表面光洁度  $K_3$

9.2.6 表面处理  $K_4$

9.2.7 强度减缩系数  $K_5$

9.2.8 可靠性系数  $K_6$

9.2.9 古德曼 (Goodman) 图

### 9.3 随机负荷实验

9.3.1 随机负荷的复现

9.3.2 分级负荷程序模拟

9.3.3 随机负荷模拟

小结

习题

参考书

书目

## 第10章 干涉数据的分析

10.1 干涉的概念

10.2 干涉理论的解析处理

10.3 两正态分布的干涉

10.4 两非正态分布的干涉

10.4.1 积分法

10.4.2 蒙地卡罗 (Monte Carlo) 法

小结

习题

参考书

书目

## 第11章 系统的分析

11.1 概念与定义

11.2 连贯设计

11.3 平行设计

11.4 连贯与平行设计

11.5 互斥事件的平行设计

11.6 多余度

小结

习题

书目

## 第12章 实验室与现场数据的分析

小结

参考书

书目

## 第13章 相关、回归与变差分析

### 13.1.1 相关与回归分析

#### 13.1.1 回归与相关

#### 13.1.2 相关分析

#### 13.1.3 线性回归分析

#### 13.1.4 线性多重回归分析

#### 13.1.5 非线性回归分析

### 13.2 变差分析

#### 13.2.1 用3个试验仪器从试验变差中分离产品变差

#### 13.2.2 用 $n$ 个试验仪器从试验变差中分离产品变差

小结

习题

参考书

书目

## 第14章 更新分析

### 14.1 更新理论

### 14.2 基于维布尔分布的更新分析

小结

习题

参考书

书目

附录

表

术语解释

索引

## 前 言

本书的目的在于介绍一些在工程实验的设计与分析中所涉及的基本概念，特别着重于实际应用。为此在本书中每一概念之后都有解出的工程例题，总共有100个例题。此外，还在各章末尾附有99个习题。例题和习题涉及工程领域的广大范围，比如机械、土木、电气、冶金、和涉及推进、家庭用具、计算机、结构、自动控制系统、化学反应等等方面的应用。所介绍的技术可以推广到其它领域。本书的正文和附录中备有各种图表以减少解题时的计算工作。还附有符号表、术语解释以及各章末尾的参考文献和广泛的书目。

头两章包括实验设计中的基本问题，第1章介绍统计工具，第2章介绍试验数据可能遵循的几种主要统计分布。第3章在到第9章致力于实验的组织，以便使结果数据在统计上有效。除实验技术外还介绍了分析这些数据的方法。第10章到第14章就是专门与数据的分析有关的。

本书以比较简明的型式写成，以便具有中等数学知识的读者都能理解主题内容。无需先期的统计学知识。直到现在还没有一本书讨论过有关实验设计与分析的工程问题中统计研究的广阔领域。本书的主要特点就是对工程实验的设计与分析的各个方面进行的对照讨论和完整陈述。

本书目前用于密西根大学的高年级—研究生水平以及为政府和工业界举行的夏季工程会议。本书还以原稿的形式曾由第一位作者在为20个主要工业公司举办的厂内训练班和研究班中采用。

作者对密西根大学工业工程教授 R. Disney 在准备干涉理论一章中的贡献；罗德岛大学 H. Schenck 教授在审订手稿时的帮助；福特汽车公司主任工程师 S. Busse 在准备疲劳试验一章中审订和建议的帮

助；以及下列学生：A. Krafve, L. Mitchell, J. Kerawalla,  
R. Pittman 和 R. Bharti 在准备原稿时的协助衷心表示感谢。

Charles Lipson

Narendra J Sheth

# 符 号 表

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| $\alpha$                   | 变量将超过某一值的概率                 |
| $b$                        | 样本的维布尔斜率 (形状参数) 又, $x$ 的特定值 |
| $\hat{b}$                  | 总体的维布尔斜率                    |
| $B_q$                      | 样本中有 $q\%$ 的试件将失效时的寿命       |
| $\hat{B}_q$                | 总体中有 $q\%$ 的试件将失效时的寿命       |
| $C$                        | 置信水平                        |
| $\chi^2$                   | $\chi^2$ 分布的随机变量            |
| $\chi^2_{\alpha};$         | 变量 $\chi^2$ 的特定值            |
| $e$                        | 自然对数的底 ( $e = 2.718$ )      |
| $E(x)$                     | $x$ 的期望值                    |
| $E(\bar{x})$               | 均值的期望值                      |
| $F$                        | F 分布的随机变量                   |
| $F_{\alpha; \nu_1; \nu_2}$ | 变量 F 的特定值                   |
| $F(x)$                     | 累积分布函数                      |
| $f(x)$                     | 密度函数                        |
| $g$                        | 不成功事件的数目                    |
| $H_A$                      | 备择假设                        |
| $H_D$                      | 设计假设                        |
| $H_0$                      | 原假设                         |
| $j$                        | 阶数, 序数                      |
| $k$                        | 有缺陷 (失效) 件数                 |
| $K_f$                      | 疲劳强度减低系数                    |
| $K_t$                      | 应力集中系数                      |
| $\lambda$                  | 冒险率                         |

|               |                           |
|---------------|---------------------------|
| $m(t)$        | 时间 $t$ 内失效或置换的平均次数        |
| $\mu$         | 总体均值                      |
| $\mu_l$       | 总体对数均值                    |
| $N$           | 统计(总)样本量 ( $N = n + K$ )  |
| $n$           | 样本量                       |
| $N(t)$        | 多元件系统在时间 $t$ 内失效或置换的次数    |
| $n(t)$        | 时间 $t$ 内失效或置换的次数          |
| $\nu$         | 自由度                       |
| $1 - \alpha$  | 置信水平                      |
| $p$           | 发现一有缺陷件的概率                |
| $p_L$         | 二项分布中 $p$ 的下限             |
| $p_U$         | 二项分布中 $p$ 的上限             |
| $p(x)$        | 变量 $x$ 的出现概率              |
| $p(x_i)$      | 事件 $x_i$ 的出现概率            |
| $P(x \leq a)$ | $x$ 小于或等于 $a$ 的概率         |
| $q$           | 缺口脆性<br>又, 二项分布中发现一完好件的概率 |
| $q_L$         | 二项分布中 $q$ 的下限             |
| $q_U$         | 二项分布中 $q$ 的上限             |
| $R$           | 样本范围<br>又, 样本的可靠性         |
| $\hat{R}$     | 总体的可靠性                    |
| $r$           | 成功事件的数目<br>又, 相关系数        |
| $R_c$         | 置信水平 $C$ 下的可靠性            |
| $S$           | 应力或强度                     |
| $s$ 或 $s_x$   | 样本标准差                     |

|                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| $s_l$                 | 样本对数标准差                  |
| $s_l^2$               | 样本对数方差                   |
| $S_n$                 | 组合零件的疲劳强度                |
| $S_n'$                | 标准实验室试件的疲劳强度             |
| $s_{\bar{x}}^2$       | 均值样本方差                   |
| $\sigma$ 或 $\sigma_x$ | 总体标准差                    |
| $\sigma_l$            | 总体对数标准差                  |
| $\sigma_l^2$          | 总体对数方差                   |
| $\sigma_{\bar{x}}^2$  | 均值总体方差 (均值的标准误差)         |
| $T$                   | 运转 (试验) 时间               |
| $t$                   | 独立时间变量<br>又, $t$ 分布的随机变量 |
| $t_{\alpha;v}$        | 变量 $t$ 的特定值              |
| $T_D$                 | 需要的平均时间                  |
| $T_0$                 | 总试验时间                    |
| $\theta$              | 样本的特征值 (尺度参数)            |
| $\hat{\theta}$        | 总体的特征值                   |
| $\mu$                 | $\mu$ 分布的随机变量            |
| $W_D$                 | 需要的统计平均值 (负荷、电压、温度等)     |
| $W_0$                 | 试验值                      |
| $x$                   | $x$ 的特定值                 |
| $x$                   | 连续随机变量                   |
| $\bar{x}$             | 样本均值                     |
| $x_c$                 | 变量 $x$ 的切断 (临界) 点        |
| $x_i$                 | 离散随机变量                   |
| $x_l$                 | $x$ 的对数                  |

$\bar{x}$

样本对数均值

$x_0$

总体的期望最小值 (位置参数)

$(\bar{x} - C_{\alpha/2})$

置信极限

$(\bar{x} + C_{\alpha/2})$

置信区间

$z$

Z 分布的随机变量 (标准化正态分布变量)

$z_{\alpha}$

Z 的特值  $[z_{\alpha} = (b - \mu) / \sigma]$

## 结 论

工业产品的制造厂家、大学和其他非利润组织经常花费许多时间和精力来进行实验室和现场试验。有时，只要进行了试验人们就有一种安全感而不去弄清楚试验究竟意味着什么。几年以前，联系到一项试验计划我们查阅了几家制造厂的包含着在 20 年期间内积累起来的试验数据的档案。这次寻查的目的是要按照新的解释数据的统计方法来重新审查过去的试验数据。我们发现这些数据中有 75% 在统计上是无意义的。这就是说由这些数据得出的结论以及根据这些结论作出的某些决定可能是完全无效的。

使这些人得救的是如下三种情况之一：或者是他们采用了如此之大的安全系数以致他们的产品一开头就大大地设计得过于保守；或者这些设计的真正准则不是结构完整性而是刚度、磨损、支承面积，或易于制造；或者，我们认为最可能的是上帝照顾了他们。

那末，什么是好的实验呢？好的实验是以最少量的时间和精力而能提供所需资料的那种实验。任何别的都意味着你是在浪费别人的金钱。

为了完成一次好的实验必须很好准备实验计划；即是，实验必须进行设计。具体的说应采取如下步骤：

**第 1 步** 首先决定试验是否必要；因为要试验每一个零件在经济上是不可能的。如果在设计阶段你就怀疑这个零件不强，最好重新设计。

**第 2 步** 确定试验范围

试验应是破坏性的还是非破坏性的？

试验应是定限的还是运转到失效？

试验应复现工作条件，还是应予加速？

样本应选取得来真正能够代表被试验的零件。