

可靠性技术丛书—4

可靠性分析用 概率纸的使用方法

〔日〕 塩見 弘 三觥 武 著
斎藤元雄 益田昭彦

机械工业出版社

可靠性技术丛书—4

可靠性分析用 概率纸的使用方法

[日] 塩見 弘 三觥 武 著
斎藤元雄 益田昭彦
陆振海 译
丁 淳 宋丰平 校



机械工业出版社

本书是日本科技连可靠性技术丛书第4册中译本。书中主要介绍下列各种概率纸的理论基础及其在可靠性分析中的实际应用,包括:正态概率纸、对数正态概率纸、威布尔概率纸、累积失效概率纸以及极值概率纸;检验分布形式用的柯尔莫哥洛夫—斯密尔诺夫(K-S)检验法和 χ^2 检验法。文中还列举了许多用概率纸分析机械电子元件可靠性的应用实例。

本书可供从事可靠性技术和质量管理的数学、研究、应用人员参考。

日科技連信頼性工学シリーズ 第4巻
信頼性における確率紙のつかい方
塩見 弘・三瀬 武・斎藤元雄・益田昭彦 著
日科技連出版社(1983年10月)

* * *

可靠性技术丛书—4
可靠性分析用概率纸的使用方法
[日] 塩見 弘 三瀬 武 斎藤元雄 益田昭彦 著
陆振海 译 丁 淳 宋丰平 校

*

责任编辑: 蒋 虹 封面设计: 方芬

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第117号

北京龙华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 $\frac{1}{32}$ ·印张 7·字数 145 千字
1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷
印数 0,001-3,550·定价: 3.15 元

*

ISBN 7-111-01404-9 TB·61

译 序

可靠性是衡量机电产品质量的一项重要标准。随着工业技术的发展,产品性能参数日益提高,结构日趋复杂,产品的使用场所更加广泛,环境更为严酷,因而,产品的可靠性问题越来越突出。从50年代起,国外就兴起了可靠性技术的研究。可靠性技术的观点和方法,目前已经成为产品质量保证、安全性研究和产品责任预防措施不可缺少的依据和手段。

日本开展可靠性技术的研究和应用已有近30年的历史。其可靠性技术着重应用在民用工业产品上,尤其是和TQC(全面质量管理)结合,形成实用化的特点,使产品的可靠性有显著提高。日本专家认为高可靠的优质产品的实现,是长期积累的可靠性技术和严格的生产管理制度相结合的结晶,必须强调从设计、制造、管理到使用、维修的全过程的管理。

这套丛书总结了日本推广可靠性技术的经验,通俗易懂,实用性强。它是为指导日本的技术人员和管理人员应用可靠性技术而编写的一套工具书。全书共分15册,包括可靠性、维修性总论、数理基础、设计、试验、数据采集和处理、故障诊断、维修和管理等诸方面内容。

为了配合国内普及和推广可靠性技术,我们决定翻译出版这套丛书,供从事产品设计、试验、管理、维修以及产品开发研究的各种专业人员和各级管理干部借鉴和应用。这套

丛书同时也可作为国内高等院校可靠性课程的教材。并且对从事可靠性研究的高等院校教师、科研人员和研究生也有参考价值。丛书由国家机械工业委员会机械科学研究院组织翻译、校审。全套丛书将陆续与读者见面。希望能对各单位开展可靠性活动有所裨益。

由于我们水平有限，难免有不足和谬误之处，欢迎批评指正。

在此，对日本科技连的慷慨赠书表示感谢。

国家机械工业委员会 科技司
机械科学研究院

一九八七年二月

《可靠性技术丛书》出版序言

1958年日本科技连内设立了可靠性研究会，至今已经历了近四分之一世纪的岁月。在这个期间，通过各种研究班和专题讨论会等普及活动，以及由于有关协会、学会及企业的努力，已经发表了大量有关可靠性的应用报告和研究成果。可靠性的观点和方法已经成为质量保证、安全性保证、产品责任预防等不可缺少的依据和手段，因此受到各方面的广泛关注。

日本科技连过去所进行的卓有成效的可靠性教育和普及活动，不仅有研究班和专题讨论会，还有关于可靠性的出版活动等。但遗憾的是，有些活动不完全是有组织地进行的。在最近的可靠性活动的高潮中，使人不免稍有动手已晚之感。为了扩大活动的领域，日本科技连出版社决定出版《日本科技连可靠性技术丛书15卷》。

与所谓的可靠性技术专著相比，这套丛书的特点是具有更广泛的基础知识，尽可能简明易懂，讲述比较详尽，以适应从初学者到技术人员，乃至管理干部等各类人员使用的要求。此外，为了使从事计划、设计、生产、质量管理、维修等各项业务，以及电子、电机、机械、精密仪器等各主要行业的人员喜欢阅读本书，执笔者邀请了各方面经验丰富的专家参与筹划。

这套丛书的另一个特点是，为了便于用作现场常备的参考书，并且携带方便，故采用32开本，读者可以分册阅读。

容易安排时间，并掌握其最基础的知识。

希望这套丛书能成为与可靠性有关的工作人员的案头书，在今后发展可靠性活动中起到引路的作用。

《日本科技连可靠性技术丛书》

主编

市田 嵩

川崎义人

盐见 弘

前 言

日本自从引进可靠性技术以来已有30余年的历史。可靠性工作者最熟悉的可靠性方法，恐怕首先应举威布尔分布和威布尔概率纸。作者本人就是读了美籍华人高（J. H. K. Kao）先生关于“威布尔分布在电子管寿命分析中应用”的论文后，才投身于可靠性工作的。因此，上述论点并非没有一定的主观成分，但从发表论文的数量上看，用威布尔分布进行分析的文献在日本似乎最多。

从概率纸的角度上看，有质量管理上用的二项概率纸和正态概率纸，还有属于威布尔分布同类的极值概率纸。除QC领域用的概率纸外，这样大量使用威布尔概率纸还是罕见的。威布尔概率纸在日本得到如此普及的原因是，威布尔概率纸本身用途多，使用简便且容易买到，此外还因曾出版过许多部对引进此项技术有用的著作。

威布尔概率纸本身也有一些问题值得探讨。诸如：当样本容量 nh 拟合精度如何；用估计法来拟合时与理论参数的估计之间的差别如何；分析结果因人而异的问题；画在威布尔概率纸上的点不呈直线时会怎样；采用转移法（位置参数 γ ）会变成什么样；把本来不符合威布尔分布的分布画在威布尔概率纸上是否有意义；威布尔形状参数 m 与制品劣化、断裂机制之间如何结合的问题等等。象这些疑问，在处理实际问题中或多或少总会遇到一些。

可靠性数据方面也有各种问题。特别是在实际工作中，

因各种不同的失效原因而使制品发生失效，有时有不完整的数据，或中途停止观测的数据。在这种情况下常用约翰逊 (Johnson) 法和奈尔逊 (Nelson) 法求可靠度。为了解决这种不完全数据，现在对奈尔逊的累积失效法的关心日益迫切。

在这种背景下，日本科技连先成立了“可靠性概率纸委员会”（委员长为三觜 武），根据其取得的工作成果，开办了“概率纸使用方法要领”的讲习班。本书是由该委员会主要成员在总结该委员会成果和讲习班经验的基础上编写的。

本书的构成部分如下：

第一章 概论（概率纸的背景和背景的介绍）

第二章 数据和概率纸（关于分布和数据方面的基础知识的汇总）

第三章 正态概率纸（正态概率纸虽然已在QC和计量心理学等领域中使用，但对不熟悉概率纸的读者来说，是一种较好的入门书）

第四章 对数正态概率纸（这种概率纸也是在可靠性、维修性方面经常使用的一种）

第五章 威布尔概率纸

第六章 累积失效纸（可称为本书的主题部分，详细叙述了使用方法）

第七章 极值概率纸（虽然特殊一些，但是值得注意的一种 概率低）

第八章 分布形式的检验（对各种不同的分布，介绍其检验方法）

附表其中包括：威布尔分布的参数； $1/K$ （逆顺序数的倒数）表；百分数秩表；柯尔莫哥洛夫—斯米尔诺夫（K—S）检

验表。

本书的特点是，层次严谨，例题均带解答，初学者易懂，此外，还举出一些使用中的注意事项，希望有一定工作经验者，通过学习能对提高其业务水平有所裨益。

盐见 弘

1983年8月

缩写词表

CFR	失效率不变型
DFR	失效率递减型
IFR	失效率递增型
MTBF	平均无失效（无故障）工作时间
MTTF	平均失效（故障）前工作时间

符 号 表

通用符号

x, t	变量: 表示时间, 行走距离, 次数, 行程等。强调时间时用 t 。
X, T	与 x, t 相对应的随机变量
$F(x), F(t)$	概率分布函数 (分布函数, 表示累积概率)
$f(x), f(t)$	概率密度函数
$R(x), R(t)$	可靠度 $R(x) = 1 - F(x)$ (此处 $F(x)$ 是不可靠度)
$\lambda(x), \lambda(t)$	失效率 $\lambda(x) = f(x) / R(x)$
$H(x), H(t)$	累积失效函数 $H(x) = -\ln R(x)$
$h(x), h(t)$	$h(x) = \frac{dH(x)}{dx} \Delta x = \lambda(x) \Delta x$
$E(X)$	X 的均值 (期望值)
$V(X)$	X 的方差
μ	(总体) 均值
σ^2	(总体) 方差
σ	(总体) 标准差
$\tilde{x}, \tilde{t}$	中位数
x^*, t^*	众数
MTTF	平均失效前工作时间
MTBF	平均无故障工作时间
x_i, t_i	第 i 个数据
$\bar{x}, \bar{t}$	数据的算术平均值
Λ	山行符号 (表示估计值)。例如, $\hat{\mu}$ 是 μ 的估计值。

正态概率纸

$N(\mu, \sigma^2)$ 均值 μ 、方差 σ^2 的正态分布

$\Phi(u)$	$N(0, 1)$ 的概率分布函数, μ 是标准正态变量
$\phi(u)$	$N(0, 1)$ 的概率密度函数, μ 是标准正态变量
Φ^{-1}	Φ 的反函数, $\Phi^{-1}(y)$ 表示使 $y = \Phi(u)$ 的 u

对数正态概率纸

μ	对数正态分布的位置参数 (不是均值)
σ	对数正态分布的尺度参数 (不是标准差)

威布尔概率纸, 累积失效纸

m	威布尔分布的形状参数
η	威布尔分布的尺度参数 特征寿命
γ	威布尔分布的位置参数
n	数据的个数 (样本的大小)
i	数据的顺序
K_i	数据的逆顺序
M	失效模式
M_i	第 i 个的失效模式

极值概率纸

u	极值分布的参数的众数
τ	极值分布的参数, 叫做贡贝尔斜率
γ	欧拉常数
$T(x)$	回归周期

目 录

符号表

第一章 概 论	1
1.1 数据和统计	1
1.2 现用的各种分布	1
1.2.1 正态分布	1
1.2.2 对数正态分布	2
1.2.3 指数分布和威布尔分布	2
1.2.4 极值分布	3
1.2.5 累积失效法	4
1.3 可靠性中的统计分析法	4
第二章 数据和概率纸	6
2.1 引言	6
2.2 利用概率纸的估计法	7
2.2.1 估计值与真值	7
2.2.2 各种估计法	9
2.3 中途截尾不完全数据	10
2.3.1 截尾分布	11
2.3.2 不完全数据	11
2.3.3 截尾样本	11
2.4 可靠度与累积失效函数	13
2.4.1 失效率 and 累积失效函数	13
2.4.2 理论分布和累积失效函数 $H(t)$	18
2.5 可靠度的估计法	19
2.5.1 可靠度 $R(t)$ 或不可靠度 $F(t)$ 的点估计法	19
2.5.2 可靠度 $R(t)$ 或不可靠度 $F(t)$ 的区间估计法	20
2.5.3 用累积失效法求可靠度的点估计法	21

2.5.4 各种点估计法的差别	23
2.6 各种分布函数	26
2.6.1 正态分布	27
2.6.2 对数正态分布	28
2.6.3 指数分布	28
2.6.4 威布尔分布	29
2.6.5 极值分布 (二重指数分布)	30
2.6.6 几种常用分布的汇总	32
第三章 正态概率纸	34
3.1 引言	34
3.2 正态概率纸的构成	35
3.3 正态概率纸的使用方法	36
3.3.1 将数据点直接画在纸上的情况	36
3.3.2 用频数分布表的数据画点	39
3.4 关于模型的补充说明及应用领域	42
3.4.1 斯塔杰司公式	42
3.4.2 威布尔分布与正态分布	45
3.4.3 正态分布模型的应用领域	45
第四章 对数正态概率纸	46
4.1 引言	46
4.2 对数正态概率纸的构成	47
4.3 对数正态概率纸的使用方法	50
4.3.1 将数据直接画点的情况	50
4.3.2 将分级数据画点的情况	56
4.4 关于模型的补充说明和应用领域	61
4.4.1 均值与方差的推导	61
4.4.2 与正态分布 $N(0,1)$ 的百分位点之间的对应	63

4.4.3 对数正态分布的众数 t^*	64
4.4.4 与威布尔概率纸分析的比较	64
第五章 威布尔概率纸	67
5.1 引言	67
5.2 威布尔概率纸的构成	67
5.3 威布尔概率纸的使用方法	68
5.4 应用中的注意事项	74
第六章 累积失效纸	80
6.1 引言	80
6.2 累积失效纸的构成	81
6.2.1 累积失效纸的原理	81
6.2.2 威布尔型累积失效纸的构成	81
6.2.3 累积失效纸的画点法	85
6.3 累积失效纸的使用方法	86
6.3.1 累积失率纸的分析程序	86
6.3.2 应用实例	93
6.4 关于模型的补充说明和应用领域	131
6.4.1 累积失效法的应用领域	131
6.4.2 串联模型和竞争模型	132
第七章 极值概率纸	135
7.1 引言	135
7.2 极值概率纸的构成	137
7.3 极值概率纸的使用方法	138
7.3.1 最大值的使用方法	138
7.3.2 最小值的使用方法	143
7.4 关于模型的补充说明和应用领域	145
7.4.1 与威布尔概率纸的比较	145
7.4.2 极值分布的类型	151
7.4.3 极值分布模型的应用领域	154

第八章 分布类型的检验	155
8.1 引言	155
8.2 柯尔莫哥洛夫—斯米尔诺夫 (K—S) 检验法	156
8.2.1 检验程序与数值举例	156
8.2.2 数学模型和使用中的注意事项	159
8.3 χ^2 检验法	166
8.3.1 数学模型和使用中的注意事项	166
参考文献	172
附 表	175
附表 1 威布尔分布的参数	175
附表 2 $1/K$ (逆顺序数的倒数) 表	193
附表 3 百分数秩表	194
附表 4 柯尔莫哥洛夫—斯米尔诺夫 (K—S) 检验表	200
汉英名词对照	204
索引	205