

可靠性技术丛书—5

可靠性数据的收集 与分析方法

〔日〕野中保雄 著

机械工业出版社

可靠性技术丛书 — 5

可靠性数据的收集与分析方法

〔日〕 野中保雄 著

高金钟 译

许凤璋 校

机械工业出版社

本书是日本科技连可靠性技术丛书第5册的中译本。书中介绍可靠性数据的收集方法及注意事项；可靠性数据分析的基础知识，威布尔参数的估计方法及各种方法的比较；各种类型数据的分析方法，以及数据与物理模型的联系等问题。内容联系实际，叙述通俗易懂，并有实例供读者参考。

本书是从事产品质量与可靠性分析工作的技术人员的一本实用参考书，也可供工科大专学生及研究生学习可靠性技术时参考。

日科技連信頼性工学シリーズ 第5卷

信頼性データのとり方、まとめ方

野中保雄 著

日科技連出版社

1983年

* * *

可靠性技术丛书—5

可靠性数据的收集与分析方法

〔日〕野中保雄 著

高金钟 译

许凤璋 校

责任编辑：蒋有彩

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）

北京通县电子外文印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张5 ·字数103千字

1988年4月北京第一版·1988年4月北京第一次印刷

印数 0,001—6,000·定价：1.90元

ISBN 7-111-00417-5/F·33

译者序

可靠性是衡量机电产品质量的一项重要指标。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

40195

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全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，以适应从初学者到干部技术人员，乃至科、处长等各类人员使用的要求。此外，为了使从事规划、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

市川 嵩

川崎义人

盐见 弘

前 言

数据的收集和分析工作是非常重要的，此项工作的结果是一切判断的基础。因此，必须广泛、正确地收集数据，正确地分析数据，从而获得正确的信息。

与可靠性有关的数据，多是用时间表示的量，所以在收集、分析阶段，多带有各种各样的复杂条件。充分认识这类可靠性数据的特点之后，再拟定收集计划和选择分析方法是很重要的。

可靠性数据，也可以说是高价的数据。既然是高价的数据，就要求我们积极利用这些数据，并且也需要钻研各种各样的分析方法。

分析方法的选择特别重要，因为方法要与数据的性质一致。在利用某种方法时，要满足该方法的适用条件，当数据不满足该条件时，方法就不适用。如果在不满足条件的情况下，不合理地使用某种方法，则由分析结果所获得的信息，也多半是错误的。提供错误信息还不如没有的好。此外，如果数据的性质有差异，其分析结果的意义当然也不同，若不充分考虑这种差异，就会误解分析结果所表示的意义。

在本书中，阐述对上述问题的处理，讲述数据分析的基本方法。还试图根据作者的体会，对学生、技术人员等时常弄错的问题，作特别详细的说明。与同类书籍相比，本书把重点放在抽样的均衡性问题、数据分析中竞争型数据的处理等方面。

在数据的收集和分析方面，尚留有种种必须解决的问题。就是在看来已经解决的问题中，也还有许多问题没有在学者中间取得一致的意见。虽然这些问题的处理很不容易，但本书打算以作者的观点贯彻始终。在第五章的后半部分和第六章，特别反应了这一点。由于采取以物理模型来理解数据，有不同的见解是自然的。第七章是后加的，也存在一些不同的看法。

虽然本书是基于上述观点写出的，但还是力图对基本的数据分析方法做充分说明。还有一些方法未纳入本书，请读者参阅本丛书的其它卷或参考文献，以做补充。

为了使读者能充分理解有关章节的内容，书中编入了适当的例题，各题都有解答（请看书末的说明）。

最后，在本书出版之际，对各位主编和日科技连出版社有关人士的帮助，谨表谢意。

野中保雄

1983年11月

缩写词表表

BLIE	最佳线性不变估计
BLUE	最佳线性无偏估计
CV	变差系数
MLE	极大似然估计
MMF	矩法
MNF	梅农法
MON	平均顺序
MSE	均方误差
MTBF	平均故障间隔
PLOT	图估法
PSN	概率-应力-循环次数(曲线)
SN	应力-循环次数(曲线)

目 录

译者序

《可靠性技术丛书》出版序言

前言

缩写词表

第一章 绪论	1
第二章 数据收集方法	3
2.1 引言	3
2.2 可靠性数据的特点	3
2.3 实验室数据与现场数据	5
2.3.1 实验室数据	5
2.3.2 完全数据与不完全数据	7
2.3.3 现场数据	8
2.4 抽样的问题	9
2.5 现场数据的收集	11
2.5.1 故障记录方法	11
2.5.2 应补充的数据	14
2.6 有关现场数据收集的标准	16
第三章 数据分析基础	20
3.1 引言	20
3.2 直方图、累积频数图	20
3.2.1 直方图与概率密度函数	20
3.2.2 累积频数与累积分布函数	23
3.3 相关与回归	27
3.3.1 散点图	27
3.3.2 相关	28
3.3.3 回归	29

3.4	分布的符合性	35
3.4.1	分布及与其符合的数据	35
3.4.2	χ^2 检验	36
3.4.3	柯尔莫哥洛夫-斯米尔诺夫方法	38
第四章	威布尔参数估计	40
4.1	引言	40
4.2	图估法	40
4.2.1	利用威布尔概率纸的方法	40
4.2.2	利用累积危险纸的方法	42
4.3	极大似然估计法	48
4.4	矩法	52
4.5	线性估计法	54
4.5.1	最佳线性无偏估计 (BLUE)	54
4.5.2	最佳线性不变估计 (BLIE)	56
4.6	利用非线性回归分析的方法	56
4.7	各方法的比较	58
第五章	数据分析方法	62
5.1	引言	62
5.2	数据的质与量	63
5.3	实际时间与日历时间	65
5.4	随机截尾数据的处理方法	67
5.4.1	随机截尾数据的产生	67
5.4.2	竞争型故障的概率密度函数	68
5.4.3	竞争型故障数据的处理	69
5.5	其它不完全数据的处理方法	77
5.5.1	数据与分析方法	77
5.5.2	区间观测数据的处理	78
5.5.3	包含使用时间不明数据的情况	80
5.5.4	故障模式不明数据的处理	83

第六章 物理模型与数据处理	90
6.1 引言	90
6.2 位置参数 μ	91
6.2.1 μ 的导入	91
6.2.2 μ 的估计方法	92
6.2.3 μ 的物理解释	92
6.2.4 寿命试验前的使用时间 (关于 $t = 0$ 的考虑)	97
6.3 混合分布与复合分布	100
6.3.1 混合分布	100
6.3.2 复合分布	103
6.4 对不服从威布尔分布数据的考虑	106
6.4.1 分析目的与数据处理	106
6.4.2 威布尔图成为曲线的原因	108
6.4.3 SN曲线与应力的影响	109
6.5 物理现象与模型	112
第七章 关于数据处理的几个问题	114
7.1 引言	114
7.2 故障发生率分析	114
7.3 累积值的意义	116
7.4 概率纸图与一般坐标图的区别	118
7.5 系统的故障	122
7.6 分析结果及其解释	
参考文献	125
例题解答	128
汉英名词对照	145
索引	146

第一章 绪 论

在研究产品的可靠性水平，或改进设计对可靠性的影响程度时，必须采用某种方法去收集数据，并对这些数据进行分析。不进行数据的收集与分析，就不可能定量地表示可靠性。

在故障频发（可靠性低）的状态下，在实验室做试验时，就可以很容易地获得数据。但产品的可靠性提高之后，故障并不轻易发生，通过实验室试验取得数据就很困难。为了解决这一问题，可以采用加速试验等方法，缩短试验时间。但又发生了试验数据如何与现实数据相对应等问题。在这种情况下，现场数据得到了重视，应当收集产品在市场使用状态下，发生故障与缺陷的有关信息，并对其进行分析。

虽然现场数据是体现产品可靠性的数据，但因实际使用环境不同，并且通常连使用条件，使用状况也不相同，故可以说比实验室数据难以处理。由于实验室加速试验数据，存在如何与真实数据相对应等问题，现场数据的收集与分析就越来越重要了。

现场数据收集的问题，在于收集工作本身。如果所收集的数据是不完全的，当然就无法进行分析，因此，必须在充分计划的基础上进行收集。如果数据收集不充分，分析也就不合理，其结果当然不会正确，并且会随着场合的不同，给出不同的错误信息。这种事例时有发生，其原因几乎都是由数据抽样的不均衡性引起的，忽略观测中断数据等也是重要原因。

可靠性数据的收集与分析，是为了改进产品和对产品进

行可靠性预测，其分析结果同样可用于可靠性保证、维修等方面。因此，数据分析是一切可靠性工作的基础，进行正确的数据收集与分析是非常重要的工作。

第二章 数据收集方法

2.1 引言

在通常的课题（非可靠性问题）中，数据收集并不成问题。只要很好地注意测量技术的优劣，抽样是否有代表性等几个问题就可以了。如果忽视了这些问题，也多半会自然地觉察出来，因此，这种失误的例子并不多见。可是对于可靠性数据，收集不当的例子却屡见不鲜。可以说，其根本原因在于可靠性数据是用时间表示的量。虽然数据就是时间这一点，在测量技术上并不成为特别的问题，但与抽样的关系却很复杂。例如，对使用中的产品在某一时刻进行的抽样，多是片面的抽样。还有，在观测结束时，有的产品尚未出现故障，由于这种数据（观测中断数据）是不可避免的，因此也要事先考虑好收集方法。总之，可靠性数据是用时间来表示的这一特征，是产生种种问题的原因，因而要在数据收集阶段，就充分考虑到这一点。

2.2 可靠性数据的特点

可靠性数据是可靠性分析的基础，并且多是用时间表示的量。在最简单的情况下，所收集的基本数据中，最重要的值是故障时间。对此项数据进行分析，就可以得出各种可靠性指标。

马拉松记录和100m赛跑记录这类数据，都是用时间单位

表示的数据,其处理并无特别不同,而100m赛跑和跳远记录,即使是用不同的单位表示,其数据处理方法也还是一样的。

可靠性的基本数据是时间,对此时间要观测到何时结束,是不知道的,而要等到数据收集齐全,再做分析常常是太迟了。此外,不仅要在实验室有计划地取得数据,也还要在实际使用状态下收集数据。由于数据是时间这一特点,就产生了数据收集的各种复杂问题。

问题之一是抽样的代表性问题;再一个是观测中断数据的问题。这两个问题不单是数据分析中的问题,在收集阶段也必须予以注意。如果忽视这些问题,对所收集的数据无论怎样分析,也难以得到正确的结果。虽然采取某些办法,有时也可以得到正确结果,但不是使用通常的方法,而是需要相当复杂的手续,并且还必须注意,其估计精度很差。一般地说,多数在这种情况下,是采取什么办法也得不出正确结果,致使所收集的数据也失去作用。

从另一个方面看,可靠性数据的特点,可以说它是高价的数据。由于是以故障时间作数据,就要使作为对象的产品发生故障,以致于废弃。即使能够修理好,也不再作为商品出售,还有那些在发生故障之前就中断试验的产品,也是这样。总之,凡是做过寿命试验的产品,就不再作为商品处理。

实验室寿命试验数据,与其它普通试验(性能试验等)数据相比,其费用之昂贵是明显的,这是因为要把对象产品一直试验到不能使用为止。另外,可靠性试验所耗费的时间,也比其它试验长,寿命试验更是如此。

高可靠性产品不易发生故障,为了得到故障数据,就需要试验很长时间。而要克服这个障碍,就必然要增大样本量,这更要增加试验费用。