

可靠性数据的 收集与处理

陈昭宪 编著

中国电子产品可靠性信息交换网数据中心
一九八八年七月

封面设计：卢诗敏

订价：2.50元

25.00

前 言

《可靠性数据的收集与处理》是中国电子产品可靠性数据交换网数据中心为举办数据员学习班而编写的讲义，该讲义在多次数据员学习班的教学实践中，受到了广大数据工作者的帮助和支持。为了满足可靠性数据员进一步学习的需要，根据教学实践的结果，我们对原讲义的内容进行了修订和补充，编辑出版了这本《可靠性数据的收集与处理》（第二版）。该版在原书内容的基础上，增加了“可靠性增长试验”、“电子设备可靠性预计手册的利用”、“可靠性数据库的构成及使用”、“累积概率纸的应用”以及“树叶图法”等内容，供可靠性数据工作者进一步掌握了解可靠性数据处理技术时参考。

鉴于可靠性数据处理技术的不断深化以及编著者水平所限，书中不妥之处，仍会在所难免，望广大读者批评指正。

本书在编写过程中，获得数据中心高祥珠主任的指导，得到了秘书组全体同志的协助，在此表示感谢。

编者 1988.7.1

目 录

第一章 引言	(1)
1.1 概述.....	(1)
1.2 有关数据的注意事项.....	(3)
1.3 可靠性数据的收集.....	(5)
1.4 可靠性数据的统计分析.....	(8)
1.5 可靠性数据的交换利用.....	(9)
第二章 数据信息的初步加工	(10)
2.1 观察数据的统计特征量.....	(10)
2.2 样本的频率分布.....	(15)
2.3 周期测量数据的统计处理.....	(19)
2.4 数据散布图及其相关与回归.....	(21)
2.5 方差分析.....	(27)
2.6 习题.....	(30)
第三章 产品的可靠性与寿命分布	(33)
3.1 产品的可靠性指标.....	(33)
3.2 可靠性指标间的相互关系.....	(36)
3.3 产品的寿命分布.....	(37)
3.4 浴盆曲线与失效率等级.....	(44)
3.5 维修度与有效度.....	(47)
3.6 可靠性指标的近似表达式.....	(49)

3.7 习题	(49)
第四章 数据处理的图估计法	(52)
4.1 单对数纸	(52)
4.2 威布尔概率纸及其改进	(53)
4.3 正态概率纸	(57)
4.4 对数正态概率纸及其改进	(58)
4.5 累积失效概率纸	(60)
4.6 STTTT图	(64)
4.7 树叶图法	(67)
4.8 混合复合数据及奇异分布	(74)
4.9 习题	(80)
第五章 分布类型的检验	(87)
5.1 概述	(87)
5.2 χ^2 检验	(89)
5.3 K-S检验	(92)
5.4 规定模型的分布检验	(97)
5.5 不同分布类型的鉴别	(106)
5.6 习题	(111)
第六章 分布参数的估计	(114)
6.1 分布参数的点估计	(114)
6.2 分布参数的区间估计	(144)
6.3 分布参数的检验	(153)
6.4 习题	(162)

第七章 加速寿命试验的数据处理	(165)
7.1 加速寿命试验概述	(165)
7.2 加速寿命试验的数据处理	(168)
7.3 加速寿命试验数据处理数值分析法	(175)
7.4 步进应力加速寿命试验的数据处理	(184)
7.5 广义艾林模型及双应力加速寿命试验	(189)
7.6 习题	(191)
第八章 可靠性数据库技术	(194)
8.1 国外可靠性数据库的概况	(194)
8.2 数据报表的格式	(196)
8.3 数据的分类编码	(197)
8.4 国内可靠性数据库的实例	(208)
第九章 可靠性数据手册及其利用	(226)
9.1 国际上的几种可靠性数据手册	(226)
9.2 我国的《电子设备可靠性预计手册》	(244)
9.3 可靠性数据手册的使用	(258)
第十章 可靠性增长试验	(270)
10.1 Compertz模型及其应用	(270)
10.2 Duane模型及其应用	(273)
10.3 AMSAA模型及其应用	(282)
10.4 EDRIC模型及其应用	(284)
10.5 习题	(288)

第一章 引言

1.1 概述

人类社会离不开信息。只有不断地收集、累积和有效地分析可靠性信息，才能不断地提高电子产品的可靠性。可靠性的增长过程实质上是一个信息反馈过程。可靠性信息可分为定性的和定量的两种。可靠性数据是一种定量的可靠性信息。可靠性的数据信息具有其特殊性，必须对它的收集、加工和贮存管理方法进行专门的研究。

可靠性的数据信息，是进一步开展可靠性工作的基础。有效地分析和利用可靠性数据，有助于改进元器件本身的可靠性及其评价方法，尤其有利于整机系统的可靠性预计和可靠性设计评审。世界上工业发达的国家都先后建立了数据交换中心，把来自工厂、用户、试验认证机构的各种数据迅速地进行归类、统计分析，尽可能作成二次情报，以刊物、卡片、手册、缩微胶卷及计算机远程终端联机检索等各种形式实施交换或随时提供咨询服务。最早建立可靠性数据交换中心的是美国，后来欧洲一些国家及日本等都先后建立了可靠性数据交换中心。目前，国际上比较大的可靠性数据交换中心有：美国政府与工业界数据交换网(GIDEP)、美国失效率数据交换网(FARADADA)、美国罗姆分析中心(RADC-RAC)、欧洲电子元器件认证数据中心(EXACT)、法国国家电讯科学研究中心(CENT)、英国系统可靠性服务处(SRS)、日本电子元件中心(RCJ)等。

近几年来，由于我国电子工业的迅速发展，电子产品的质

量管理与可靠性工作有了较大的进展。如建立了省市试验站，开展可靠性试验工作，开展TQC活动，定期进行质量评比，建立高可靠“七专”闭环体系，加强电视机的可靠性管理和跟踪服务，建立质量认证制度，开展13个电子设备可靠性专业组活动，军内实行现场数据收集统计制度等等，都为可靠性数据提供了广泛的来源。充分利用这些数据资源，进行可靠性数据的收集、处理、分析、积累及交换工作，是提高电子产品质量与可靠性的重要环节之一。我国已于1980年12月成立了“电子产品可靠性数据交换网”，于1986年11月成立了“军用电子装备可靠性信息交换网”。

实行数据交换可以消除重复的试验，有利于节省人力、物力和数据查找时间。充分发挥数据信息流的作用，借此做到迅速广泛地传递可靠性信息，让用户及时掌握质量动态，迅速作出战略决策，以便采取有效措施，提高产品质量。分析国外数据交换的经验可以发现，数据信息流是由若干环节构成的，它们之间的关系如图1.1所示。

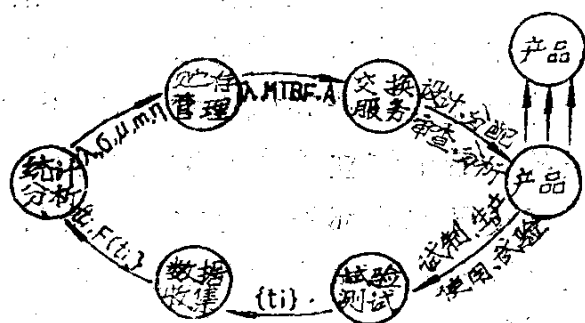


图1.1 数据信息流

由数据信息流的环节可知，为了作好数据交换服务工作，必须建立数据收集系统、数据处理系统和数据贮存管理系统。

1.2 有关数据的注意事项

科研工作包含着大量的试验。一般说来，试验的观察结果总是受当时当地条件的限制，得到的结果总具有一定的随机性，同样的事件，其试验结果可能因时间地点的不同而不尽一致。因此，如何对试验结果进行去伪存真的分析处理，以便更好地指导今后的设计和试验，是科研工作的重要内容。我们所需要的数据，应该是能够反映客观事实的、准确可靠的数据。那些不反映实际情况的虚伪数据，将会导致错误的结论和行动。因此收集可靠性数据时需要层层把关，才能保证数据的准确性。影响可靠性数据准确性的因素很多，归纳起来，有以下三点，即：原始数据的真实性，数据来源的信息量以及分析处理方法等。

1.2.1 原始数据的真实性

要保证可靠性数据的准确性，首先要保证原始数据的真实性。可靠性的原始数据一般是从观察现场或通过可靠性试验而获得的，试验观测的取样方式、试验方案、试验设计能否反映客观实际的真实面貌，对原始数据的真实性有着直接的影响。因此从试验设计一开始，就要牢牢地把好数据真实性这一关。可靠性试验设计包括了产品的环境设计和统计设计。产品的环境设计要尽可能客观地反映产品真实的工作条件，特别要注意试验应力的选取。产品的统计设计又包含有投试样品数的选取以及试验测试周期和试验截止时间的确定等问题。因此在产品的试验设计阶段就必须利用抽样理论以及产品的寿命分布等可靠性知识对产品的试验技术进行认真地考虑。

数据的真实性与试验设备及其测试仪表的精度也有极为密切的关系。试验测试中的随机误差是正常的，但系统性误差应该尽量避免，过失误差更是不能允许的。如果由于操作不当或粗枝大叶造成了过失误差，必须重新认真操作加以消除。如果由于仪器结构不良或周围环境改变造成了系统性误差，必须校正仪器重新进行测量。如果观察的系统性误差小，则称观测的准确度高，此时可使用更精确的仪器来提高观测的准确度。如果观测的随机误差小，则称观测的精密度高，此时可增加观测次数取其平均值来提高观测的精密度。

1.2.2 原始数据的信息量

可靠性指标是一些统计指标。只有在进行大量调查研究并取得了丰富数据资料的基础上，才能对产品的可靠性水平作出正确的评价。随机事件出现的概率，是随机事件在极多次独立重复性观测试验中出现的可能性大小的一种估量，但在有限次的试验中，某一事件的出现次数可能与它的概率值相差甚远。在掷骰子的随机事件中，某一点向上的可能性是 $1/6$ ，但这并不是说，在六次掷骰子事件中，某一点一定要出现一次，很可能在最初的若干次事件中，某一点一次也不出现。因此要正确地评价产品的可靠性水平，必须对产品进行大量的统计试验或长期观测，只有在原始数据达到一定的信息量以后，才能得到准确可靠的产品寿命结论。

1.2.3 统计分析方法的合理性

要想获得准确可靠的数据，必须要有合理的统计分析方法。一般来说，从现场所取得的试验观测值，只是产品整体中的个别样本值。要想从有限个体的观测值去推断整个总体的统

计特征值，就必须要有合理的数据处理方法及统计分析手段，因此数据处理的合理性及其统计分析的置信度是关系到数据准确性的重要问题。同一产品选取不同的样品进行试验，将会得到不同的数据；同一试验数据，采取不同的分析处理方法，亦会得到不同的结果；而且同一数据、同一方法，不同的人去处理也有可能得出不同精度的结论。如何分析研究和解决这些差异之间所造成的矛盾呢？这正是统计分析所要研究的问题。总之，可靠性数据处理及其统计分析是一门专门的技术，它要求从事这项工作的人员要有清晰的可靠性基本概念，以及较好的概率统计知识。

综上所述，不难看出数据的真实性与试验的方案设计、技术措施及其设备条件有关，数据的准确性与数据的处理方法及其统计分析技术有关，因此只有试验设计、试验测试以及数据处理人员层层把关，各个部门加强责任感，才能保证数据的准确度。

1.3 可靠性数据的收集

现场数据收集的方法一般有两种：一是对现场工作人员分发报表，令其逐项填写，然后定期回收；二是培训一批专业人员、编制调查纲目，有计划、有目的地深入现场进行调查，收集重要的可靠性数据，然后整理成统一的格式。

数据报表的编制要注意合理性、全面性和方便性。所谓合理性就是要求报表的记载内容尽量反映客观现实，能准确记载产品的工作条件、工作时间及故障情况；所谓全面性就是要尽量利用现场的各种信息，记载的项目尽可能详细；所谓方便性就是要求报表格式便于记载，便于分类查找，便于统计分析，

便于制作缩微胶片，便于进入计算机，便于适应数据库管理系统。目前世界上各数据交换机构都制定有一些报表格式。例如国际电工委员会（IEC）319号出版物推荐的“电子元器件可靠性试验数据卡”、欧洲EXACT的数据报告表、日本的“电子元件试验数据报表”与“电子元件现场使用的可靠性报表”等等。

按照国际电工委员会（IEC）362号出版物的推荐，数据报表应该包括如下内容：

- （1）报告号和日期；
- （2）使用者姓名和地址、产品位置；
- （3）报告性质（如“使用”报告、“失效”报告、“维修”报告等）；
- （4）产品鉴定；
- （5）调查的产品数；
- （6）产品履历，包括：①制造或调机日期；②调整情况；③首次使用日期；④累计工作时间；⑤调整日期；⑥最近使用日期；⑦贮存运输条件；⑧最近维修的性质和日期；⑨良好状态下非工作累计时间；⑩非良好状态下非工作累计时间；⑪贮存累计时间。
- （7）一般工作条件，包括：①安装形式：（a）机动性水平（固定、移动、携带）；（b）架设性质（地面、人背、车载、船载、机载、其它）。②特殊环境：（a）室内、露天、棚下、其它；（b）温度范围（平均和极限值）；（c）湿度；（d）气压范围；（e）大气性质（空调、温度调节、净化、尘、沙、盐、腐蚀、其它）；（f）振动、冲击、碰撞。③工作方式：（a）连续；（b）间歇；（c）贮备；（d）一次使用；（e）贮存。
- （8）产品失效说明：①症状和预兆；②在工作中和周期性

检查中检出的故障；③产品失效模式；④失效原因：(a) 内在原因；(b) 误用；(c) 维护工作引起的；(d) 外部原因；(e) 二次失效；(f) 未知；(g) 不肯定。

(9) 产品失效分析；

(10) 处理措施；

(11) 现场或维修工程师的估计；

(12) 报告、起草人姓名、签字。

我国电子产品可靠性数据交换网成立以来，已经依据上述原则制定并公布了一些数据报表，这些数据报表是：

(1) 电子元器件质量认证试验数据表；

(2) 电子元器件质量评比结果数据表；

(3) 电子元器件失效率试验数据表；

(4) 电子元器件寿命试验数据表；

(5) 电子元器件加速寿命试验数据表；

(6) 电子元器件可靠性筛选试验数据表；

(7) 电子设备可靠性试验数据表；

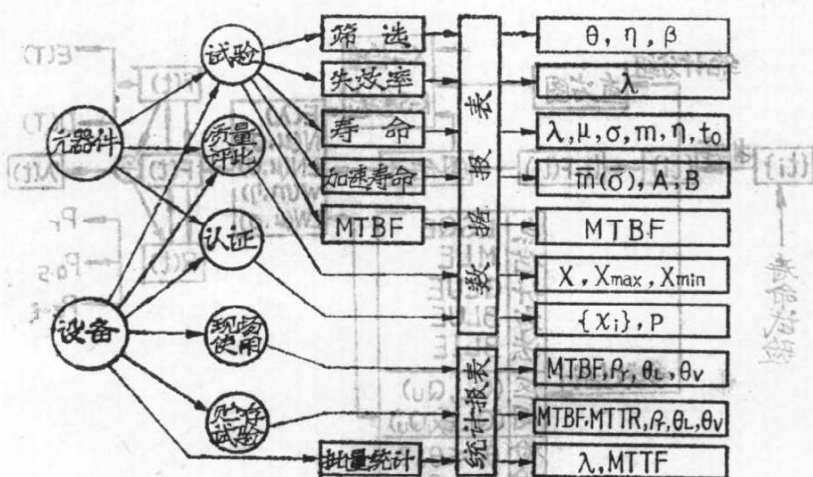


图1.2 可靠性数据收集系统

- (8) 电子设备现场使用可靠性统计数据表；
- (9) 电子元器件现场使用失效率数据表。
- 由上述报表组成的数据收集系统如图1.2所示，

1.4 可靠性数据的统计分析

试验或现场使用调查中可以得到大量的观察数据。一般的试验观测值，只是产品整体中的个别样本值，而且由于受各种条件的影响，其结果往往具有一定的随机性。为了从有限的个体观测值中去推断整个总体的统计特征值，就需要有合理的数据处理方法及统计分析手段。如果已经知道产品的失效分布类型及其参数，就可利用可靠性指标间的关系图来计算产品的可靠性指标。因此试验数据统计分析的主要问题，就在于如何根据试验的子样观测值来确定产品的寿命分布类型及其分布参数。可靠性数据的统计分析方法应视具体情况而定，内容也比较多。以寿命试验的数据处理过程为例，其概要内容如图1.3所示。

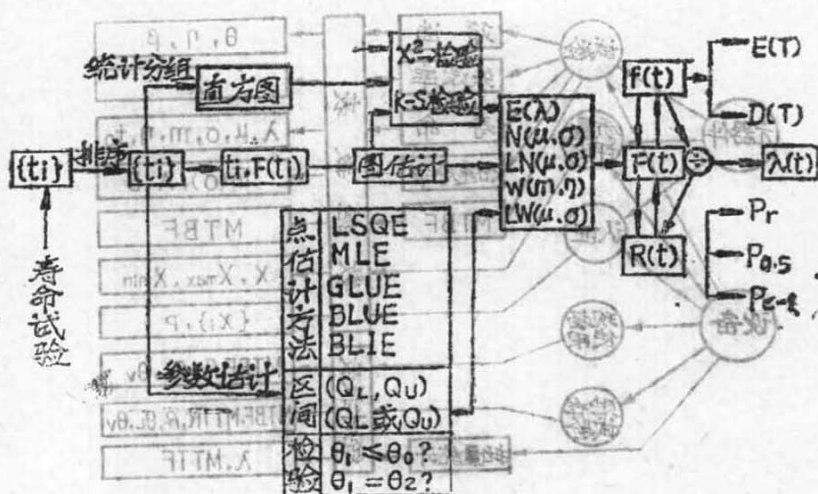


图1.3 寿命试验数据处理

1.5 可靠性数据的交换利用

分散在各地的可靠性数据，其利用价值是有限的。一个国家必须要有组织地将所有种类元器件的生产厂数据、用户数据、认证试验数据集中起来，建立数据基地，共享数据资源。国外数据交换中心的特点，是拥有大量的数据资料，配置有缩微复制设备和大、中型电子计算机系统。据报导，美国政府与工业交换网GIDEP共有五个数据库：工程技术数据库(EDB)、失效率数据库(FRDB)、计量数据库(MDB)、失效率经验数据库(FEDB)和航空基地维护工程技术数据库(ADMIT)等。

建立可靠性数据库，可以对定性的和定量的可靠性信息进行贮存和管理，可以随时进行查询或联机检索，可以对原始数据进行统计分析和归并整理，可以编制出版可靠性数据手册或活页数据，可以自动地预计电子设备的可靠性，能够实现信息贮存、信息加工和信息交换的自动化。建立可靠性数据库，可以加速数据信息流的传递速度，迅速广泛地传递可靠性信息，促进电子产品可靠性水平的不断提高。

第二章 数据信息的初步加工

2.1 观察数据的统计特征量

同一批产品的多次重复性试验或同一批产品的多次观测数据，一般都具有集中性和分散性这两个特点。

2.1.1 数据的集中性

多次重复性试验数据，虽然参差不齐，但一般情况下都会密集在某些数点的范围内。数据的这种集中倾向，称为数据的集中性，通常采用算术平均值、几何平均值、中位数以及众数等统计尺度来表征。

(1) 算术平均值 一组数据的和去除以这组数据的个数，得到的商就是这组数据的算术平均值，通常简称为均值。假若有 n 个观测值，分别以 $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ 来表示时，则其均值 $\bar{X}$ 为：

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_i + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

(2) 几何平均值 若试验观测数据有 n 个，取其连乘积的 n 次根，就是几何平均值。几何平均值一般可以写作：

$$\bar{X}_g = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_i \cdot \dots \cdot x_n} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i}$$

$$\text{或 } \lg \bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg x_i$$

(3) 中位数 在一组数据中,按其大小排列起来,恰好在中央的数就称为中位数。较中位数大的数据的个数和较中位数小的数据的个数是相等的。若数据的个数为奇数时,中位数就是在中央的数据;若数据的个数为偶数时,在中央的数据便不是一个而是两个了,这时取这两个数的算术平均值为中位数。

(4) 众数 众数是一组数据中个数最多的数据,也就是说众数是在数组中出现频率最高的数。

〔例2.1〕设有A、B、C、D四组数据,它们分别为:

A组: { 6、6、6、6、6、7、7、7、7、8、8、8、9、9、10 }

B组: { 6、7、7、8、8、8、9、9、10 }

C组: { 6、7、7、7、8、8、9、10 }

D组: { 6、7、8、8、9、9、9、10 }

不难得到其算术均值、几何均值、中位数以及众数(见表2.1)

表2.1

	算术均值	几何均值	中位数	众数
A 组	7.333	7.23	7	6
B 组	8.00	7.92	8	8
C 组	7.75	7.66	7.5	7
D 组	8.25	8.16	8.5	9

(5) 加权平均值 在具体计算的实践中可以看出,算术平均值的计算有时可以写成,