

可靠性技术丛书—10

# 可靠性试验——概论、部件

---

塩見 弘

〔日〕 久保陽一 著

吉田弘之

---



机械工业出版社

可靠性技术丛书—10

---

# 可靠性试验——概论、部件

塩見 弘

[日] 久保陽一 著

吉田弘之

高金钟 译

孙惠琴 校

机械工业出版社

本书是日本科技连可靠性技术丛书第10册的中译本，可靠性试验是可靠性工作中最重要和最实用的部分，全书共分八章，分别介绍了可靠性试验的计划与管理、部件的环境试验、寿命试验与筛选、试验数据分析、抽样检查和可靠性增长试验，还较详细地介绍了美、日以及国际上的可靠性试验标准，第八章以大量电子和汽车部件实例说明了可靠性试验的实施方法与效果。书末附录中列出了可靠性试验标准目录与试验设备一览表。

本书可作为从事产品质量保证、可靠性分析工作的技术人员，管理干部，部门领导人员和工科院校师生的参考书。

日科技連信頼性工学シリーズ 第10卷

### 信頼性試験——總論・部品

益見 弘，久保陽一，吉田弘之 著

日科技连出版社

1985年

\* \* \*

可靠性技术丛书—10

### 可靠性试验——概论、部件

〔日〕益見 弘，久保陽一，吉田弘之 著

高金钟 译 孙惠琴 校

\*

责任编辑：范兴国 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）

兵器工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本787×10921/32·印张81/4·字数176千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数 0,001—3740 ·定价：4.80元

\*

科技新书目：184—005

ISBN7-111-01395-6—TH·240



## 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的重要组成部分和手段。

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 義人

塩見 弘

## 前 言

第 10 册与第 11 册一起，介绍可靠性试验。在本丛书中，这恐怕是工程技术人员最关心的领域了。

离开新桥火车站向海边走不远，在去浜离宫的路上，可看到一块“绝缘子试验创业之地”碑，这里就是原电气试验所木挽町分室的旧址，是递信省电气试验所的创业地。1876 年（明治 9 年），即距今约 110 年前，在当时的工部省电信寮玻璃试验所内，三名技术人员在英国人莱玛·琼斯的指导下，开始承担试验工作。作为当时的后进国，不管是进口产品，还是本国产品，为了了解其质量的优劣，首先重视有关的试验方法是理所当然的。在欧洲，质量管理的控制（Control）一词，也具有通过检查进行管理的含义。

试验是与质量评价有直接联系的技术，与可靠性的关系就更是如此。试验不是简单的方法与程序，而是经验与技巧的凝聚，由于它不再是关于如何评价物品（不仅是产品），并分析其有何价值的原理，因此不能再沿用原来的概念了。

突然写这些话的理由，是我从大学毕业后开始工作的地方——通产省电气试验所（现名电子技术综合试验所），与试验结缘虽然可以说是偶然，但却极为密切。战后，随着电子学等新技术的发展，电气试验所的行业管理、检定、试验部门已经分离出去，转而以专门从事新领域的研究为重点，故改名为电子技术综合研究所，而且不久迁至筑波研究中心。当然，这是以后的事了。



总而言之，试验既是起点，也是终点。如果真正探究评价工作的内容，其方向不仅应包括了解事物本质的物性基础研究，也应包括对系统的要求是什么，以及如何实现的研究。试验的困难在于，要利用有限的步骤，有限数量的样品和费用，在有限的时间内对应当评价的功能加以确认。这个问题在可靠性试验中现实地表现出来。多数失效原因是作为潜在的缺陷和差错而存在于产品内。在极短的时间内，通过少数样品把它们检查出来，并对将来的趋势做出评价，是不容易的。因此，名符其实的评价方法和试验方法都是研究的课题。

这样看来，也许必须在实际使用中进行观察，才能掌握产品的可靠性，可是这又太迟了。可靠性试验的令人苦恼之处就在于此。在工厂或实验室内创造出与实际使用条件完全相同的条件，往往是不可能的。例如，普通民用产品的使用条件是各种各样的，那么应当在怎样的应力水平下进行试验呢？再有，即使使用条件是限定的，诸如宇宙环境等，由于创造相同的条件很困难，因而有时要花很高的费用。

即使试验对象是相同的部件<sup>①</sup>，由于设计不同，制造方法不同，也要影响到试验方法，并且失效判据也不同等等，故不能一概而论。因此，进行真正的可靠性试验，实际上已注定要担负起艰巨的工作。详细叙述某种产品的可靠性试验，对于该产品的当事者是有切身联系、值得关心的事，而对于其他领域的人们，就不能不说是一堆无聊的废话。因此，本书不介绍某种特定的试验方法，而是通过各种实例来

---

① 本书中部件一词泛指电子元件、器件、部件和机械元件、零件、部件。——译者著

说明试验的原理。

本书将阐述试验原理，基础性的共同事项，同时介绍以部件为具体对象的试验。遗憾的是，所谓部件，其类别之间也有很大差异，涉及范围很广，本书无论如何也是覆盖不了的，由此决定了新实例必须以丰富的电子元件为介绍的重点。有关汽车零部件的实例部分，承蒙丰田汽车公司（株）的 花谷幸和吉村达彦先生的大力帮助，特在此致谢。

塩見 弘

1985年2月7日

## 缩 写 词 表

AQL	合格质量水平
ARL	合格可靠性水平
CL	置信度
DPA	破坏物理分析
DR	设计评审
ED	设备设计
EM	设备制造
ESS	环境应力·筛选试验
FMEA	失效模式和影响分析
FMECA	失效模式、影响和致命度分析
FRB	失效审查委员会
FTA	故障树分析
HHBT	高温高湿偏压试验
IF	间歇失效
IRPS	国际可靠性物理学术会议
LTFR	批容许失效率
LTPD	批容许不合格品率
MTBF	平均无故障工作时间
MTTF	平寿寿命
PCBT	压力釜偏压试验
PCT	压力釜试验
PD	零件设计
PM	零件制造

X

PRAT	生产可靠性接收试验
PRST	概率比序贯抽样试验
PSD	参数漂移筛选
RDGT	可靠性研制、增长试验
RQT	可靠性鉴定试验
SE	软件错误
TAAF	试验、分析及改进
ttf	寿命
tbf	故障间隔
UF	不可确认失效

# 目 录

译 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 可靠性试验概述 .....	3
2.1 可靠性试验的种类 .....	3
2.2 生产阶段的试验种类 .....	13
第三章 可靠性试验的计划与管理 .....	16
3.1 可靠性试验的计划与产品的开发阶段 .....	16
3.2 可靠性大纲与研制、生产试验 .....	19
3.3 可靠性研制试验 (MIL-STD-2068) .....	21
3.4 部件的质量保证与试验、检查 .....	26
3.5 试验的事前评价和分配 .....	29
3.5.1 单靠试验就够了吗? .....	29
3.5.2 对象的复杂性与分配 .....	30
3.5.3 失效机理的时间依存性 .....	31
3.5.4 利用 FMEA 的重点分配 .....	32
3.6 试验方法的确定 .....	34
3.6.1 试验方法的选择基准 .....	34
3.6.2 具体试验程序的确定 .....	35
3.7 试验的有效性和与现场数据的对应 .....	38
3.7.1 关联失效 .....	38
3.7.2 试验结果与实际使用的失效对应吗? .....	44

.....

第四章 环境与环境试验 .....	48
4.1 什么是环境 .....	48
4.2 环境试验方法举例 (MIL-STD-810) .....	49
4.2.1 MIL-STD-810 概述 .....	49
4.2.2 环境概况 .....	51
4.2.3 环境设计基准与试验计划 .....	51
4.2.4 试验条件与加速试验 .....	51
4.3 环境试验循环的设计 .....	54
4.4 环境试验的顺序 .....	57
第五章 寿命试验与筛选 .....	60
5.1 寿命试验 .....	60
5.2 加速寿命试验与反应论模型 .....	60
5.2.1 反应论模型 .....	60
5.2.2 失效发生机理与失效率预测模型 .....	65
5.3 加速试验的一般方法 .....	67
5.3.1 加速方法 .....	67
5.3.2 恒定应力法与级升应力法 .....	67
5.3.3 恒定应力法 .....	69
5.3.4 级升应力法与恒定应力法的结合 .....	71
5.4 筛选 .....	74
5.4.1 筛选的一般方法 .....	74
5.4.2 失效机理和筛选的实例 .....	82
第六章 试验数据的分析 .....	88
6.1 测定试验与验证试验 .....	88
6.2 非参数方法 .....	89
6.2.1 可靠度的点估计 .....	90
6.2.2 区间估计法 .....	92

6.2.3 许用极限	97
6.3 假定理论分布的分析与注意事项	100
6.3.1 利用威布尔分布的分析	100
6.3.2 利用指数分布的分析与问题	101
6.4 定量分析与定性分析	104
6.5 试验数据的归纳方法	105
第七章 抽样检查与增长试验,贝叶斯法	111
7.1 验证试验的特点与统计检验	111
7.2 抽样检查的种类	113
7.3 抽样特性 (OC) 曲线	115
7.4 计量抽样方式	117
7.5 计数一次抽样LTFR方式与JIS C 5003	118
7.5.1 计数一次抽样 LTFR 方式	118
7.5.2 失效率试验法 JIS C 5003	119
7.6 AQL与LTPD	125
7.6.1 调整型计数抽样方式	125
7.6.2 LTPD 方式	127
7.7 序贯抽样检查方式	136
7.8 可靠性增长试验	139
7.9 贝叶斯统计的应用	143
7.9.1 贝叶斯统计	143
7.9.2 贝叶斯定理	145
7.9.3 验前信息的作用	145
7.9.4 随机失效的场合	148
7.9.5 指数型抽样检查	148
第八章 实例	151
8.1 概述	151

8.2 半导体	152
8.2.1 引言	152
8.2.2 根据试验元件评价 LSI 的基本特性	153
8.2.3 评价 MOS LSI 绝缘膜随时间退化的加速 寿命试验	156
8.2.4 Al 布线的电子迁移	158
8.2.5 $\alpha$ 射线引起的半导体存储器的软错误	160
8.2.6 树脂封装 IC 的耐温度循环性评价	164
8.2.7 芯片支座焊接部的热疲劳寿命	169
8.2.8 树脂封装 IC 的耐湿性加速模型与评价方法	171
8.2.9 IC 的静电破坏试验	176
8.2.10 IC、LSI 的筛选	180
8.3 电子元件	186
8.3.1 关于企业可靠性试验的问题	186
8.3.2 实用的可靠性评价方法一例——良品分析	190
8.4 汽车	205
8.4.1 引言	205
8.4.2 排气控制系统零部件的可靠性试验	206
8.4.3 汽车电气设备支架的振动试验	214
8.4.4 橡胶软管类部件的可靠性试验及其评价	221
参考文献	225
附录	232
(1) 有关标准	232
(2) 有关汽车与构成零部件的可靠性试验标准	235
(3) 试验设备一览	236
汉英名词对照	242
索引	246



## 第一章 绪 论

可靠性技术是一种需要经验、理解力与胆识（所谓 KKD）的技术。当然，仅有个人的 KKD 还不行，还需要有组织地积蓄起来的技术做后盾，但若缺乏 KKD，至少会使工作难以取得进展。换一种说法，消除那些不可靠的因素以确保可靠性，并通过多方积累起来的经验和实力确保产品的市场，这就是可靠性工程（技术）。

特别是可靠性试验，例如需要判断某种部件或材料是否应当使用，又如根据某试制品的试验结果决定是否应当采用其方案等，都是需要 KKD 参与的技术。如果一切都用技术计算就足以解决问题，而无任何含糊和偏差，那就不需要任何专门的试验了。

然而，在技术上总是有不确定性存在，即使按设计制造时，也会受到人员因素的影响，或由于工艺的波动，无意地使缺陷混入产品而出现潜在缺陷和次品、软件错误，在这种情况下，必须进行试验和检查。

在可靠性工程中，如可靠度、失效率、统计分布、估计、检验、系统可靠性等题目，是所谓可靠性工程学教科书的固定内容（份饭）。吃份饭不由地会在关键部分感到不满足，如可靠性试验、故障诊断、失析分析就缺少足够的位置。这些最需要 KKD 的实际经验、实际技术的部分，在教科书中做定式化、定型化的记述是特别困难的。

因此，在关心设计、制造、检查、质量保证、维修、服