

中华人民共和国国家标准

GB/T 5080.1—2012/IEC 60300-3-5:2001
代替 GB/T 5080.1—1986

可靠性试验 第1部分:试验条件和统计检验原理

Reliability testing—
Part 1: Test conditions and statistical test principles

(IEC 60300-3-5:2001, Dependability management—
Part 3-5: Application guide—Reliability test conditions
and statistical test principles, IDT)

2012-11-05 发布

2013-02-15 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

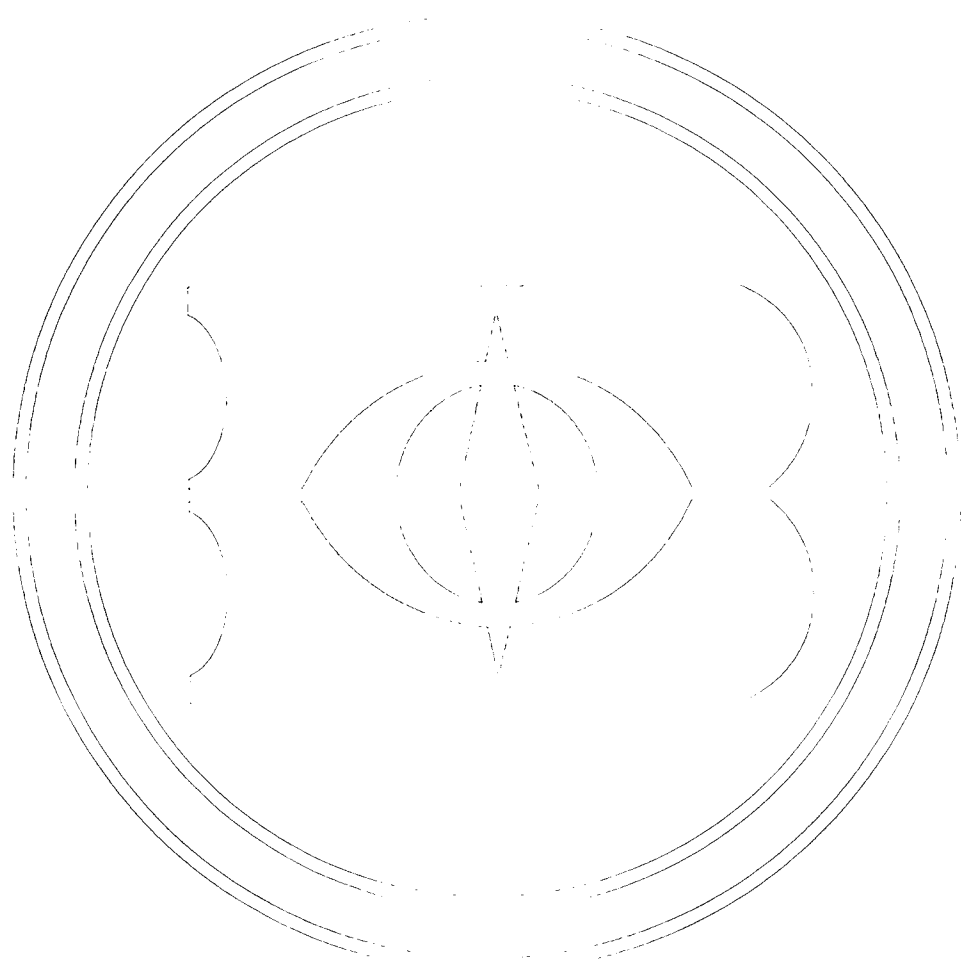
发布

目 次

前言	V
引言	Ⅶ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、符号和缩略语	2
3.1 术语和定义	2
3.2 缩略语	6
3.3 图表符号	7
4 一般要求	7
4.1 绪言	7
4.2 可靠性试验的目的	8
4.3 可靠性试验分类	8
4.4 统计试验方案	9
4.5 试验规范	10
4.6 试验结果的利用	11
5 根据目的区分的试验类型	11
5.1 验证试验	11
5.2 可靠性测定试验	16
5.3 可靠性比较试验	16
6 试验条件	16
6.1 选择试验条件的一般原则	16
6.2 预试验条件和修复性维修	17
6.3 工作和环境试验条件规范	17
6.4 维修条件规范	18
7 数据收集和失效分类	19
7.1 受试产品性能的监测	19
7.2 失效类别	20
7.3 失效分析	21
7.4 相关试验时间	21
8 试验数据分析	22
8.1 不修理产品	22
8.2 修理产品	22
8.3 失效数据的组成(截尾)	22
8.4 失效模型	24
9 统计工具和分析方法	26

9.1 工具描述	26
9.2 各工具之间的关系	27
9.3 分析方法	29
9.4 最终结论和可能采取的措施	31
10 试验报告	32
10.1 试验日志和数据记录	32
10.2 试验条件和观测记录	32
10.3 失效报告	33
10.4 失效的摘要资料	34
10.5 失效的更换产品和备件清单(可选的)	34
10.6 最终报告	35
附录 A (资料性附录) 数据筛选	36
A.1 失效模式分类	36
A.2 故障分类	37
A.3 不同失效模式混合	37
A.4 不同母体混合	37
A.5 故障诊断	38
A.6 试验设施故障	39
附录 B (资料性附录) 一般示例	40
B.1 概述	40
B.2 HPP(齐次泊松过程)的验证试验	40
B.3 威布尔分布的测定试验	40
B.4 幂律模型的测定试验(例 1)	40
B.5 恒定失效强度的比较试验	41
B.6 成功/失败率的验证试验	41
B.7 幂律模型的测定试验(例 2)	41
B.8 失效率和失效强度的区别	41
参考文献	43
图 1 相同风险率下载尾序贯试验与定时/定数截尾试验之间的比较	12
图 2 作出判决的期望累计相关试验时间是产品真实 MTBF 的函数	13
图 3 试验方案 B.5 和 B.8 的 OC 曲线(IEC 61124:1997 的例子)	14
图 4 失效前时间例子	22
图 5 定时/定数截尾例子	23
图 6 多重截尾例子	23
图 7 单个修理产品失效间工作时间例子	24
图 8 单个修理产品失效间隔时间递增趋势例子(失效强度)	25
图 9 具有恒定失效强度的单个修理产品累计失效数与工作时间关系例子	25
图 10 不修理产品适用的分析类型	28
图 11 修理产品适用的分析类型	28
图 12 估计适用的工具	29

图 13 验证试验适用的工具	30
图 14 比较试验适用的工具	31
图 A.1 排列图例子	36
图 A.2 故障分类例子	37
图 A.3 不同失效模式混合例子	37
图 A.4 母体混合例子	38
图 A.5 诊断问题例子	38
图 A.6 数据聚集例子	39
表 1 统计试验方案类型	12
表 2 统计试验方案比较	13
表 3 假设检验中各种情况汇总(以 IEC 61124:1997 中的试验方案 B.5 为例)	14
表 4 失效数据分析适用模型一览表	25
表 5 拟合优度检验方法	26
表 6 可靠性特征量的点估计和区间估计方法	27
表 7 可信性特征量的验证试验方法	27
表 8 比较试验方法	27
表 9 不修理产品适用的工具	29
表 10 修理产品适用的工具	30
表 11 验证试验适用的工具	30
表 12 比较试验适用的工具	31



前 言

GB/T 5080《可靠性试验》分为六个部分：

- 第1部分：试验条件和统计检验原理；
- 第2部分：试验周期设计；
- 第4部分：指数分布情况下的点估计、置信区间、预测区间和容许区间统计方法；
- 第5部分：成功率的验证试验方案；
- 第6部分：恒定失效率假设的有效性检验；
- 第7部分：恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案。

注：上面所列之所以缺少第3部分，是因为对应于IEC的相应部分是国家标准GB/T 7288.1—1987《设备可靠性试验 推荐的试验条件 室内便携设备 粗模拟》和GB/T 7288.2—1987《设备可靠性试验 推荐的试验条件 固定使用在有气候防护场所设备 精模拟》。

本部分为GB/T 5080的第1部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009和GB/T 20000.2—2009给出的规则起草。

本部分代替GB/T 5080.1—1986《设备可靠性试验 总要求》。

本部分与GB/T 5080.1—1986相比主要变化有：

- 本部分的相关内容需要与IEC标准的技术内容一致，但目前尚没有与IEC标准对应的国家标准，因此在规范性引用文件中直接引用IEC标准；
- 标准结构采用IEC 60300-3-5:2001的结构，对GB/T 5080.1—1986中重复内容进行整合；
- 增加了可靠性比较试验的内容(见5.3)；
- 增加了冗余产品的失效的内容(见7.2.2.3)；
- 增加了试验数据分析的内容(见第8章)；
- 增加了统计工具和分析方法的内容(见第9章)；
- 增加了两个资料性附录的内容(见附录A、附录B)；
- 删除了GB/T 5080.1—1986第13章的内容；
- 删除了GB/T 5080.1—1986附录A的内容。

本部分使用翻译法等同采用IEC 60300-3-5:2001《可信性管理 第3-5部分：应用指南 可靠性试验条件和统计检验原理》(英文版)。

与本部分中规范性引用的国际标准有一致性对应关系的我国国家标准如下：

- GB/T 5080.5—200× 可靠性试验 成功率的验证试验方案(IEC 61123:1991,IDT)
- GB/T 5080.7—200× 可靠性试验 恒定失效率和恒定失效强度的验证试验(IEC 61124:1997,IDT)
- GB/T 5081—200× 现场可信性数据收集(IEC 60300-3-2:1993,IDT)
- GB/T 7829—200× 故障树分析(FTA)程序(IEC 61025:1990,IDT)

上述国家标准已经在修订中。

本部分与IEC 60300-3-5:2001相比存在差异如下：

- 在规范性引用文件中增加GB/T 7288(所有部分)的引用。
- 本部分的3.1“术语和定义”的条编号作了编辑性修改，即由于IEC 60300-3-5:2001的3.1.6 determination test和3.1.8 estimation test两个术语，在汉语上是一个术语“测定试验”，且定义是一致的，因此将它们合并成本部分的3.1.6 测定试验 determination test/ estimation

test。本部分的 3.1“术语与定义”的条编号 3.1.8~3.1.41 对应于 IEC 60300-3-5:2001 的 3.1 Terms and definitions 的条编号 3.1.9~3.1.42。

——在参考文献中增加 GB/T 9414(所有部分)、GB/T 15174—1994 和 IEC 61704 的标准文献。

本部分由中华人民共和国工业和信息化部提出。

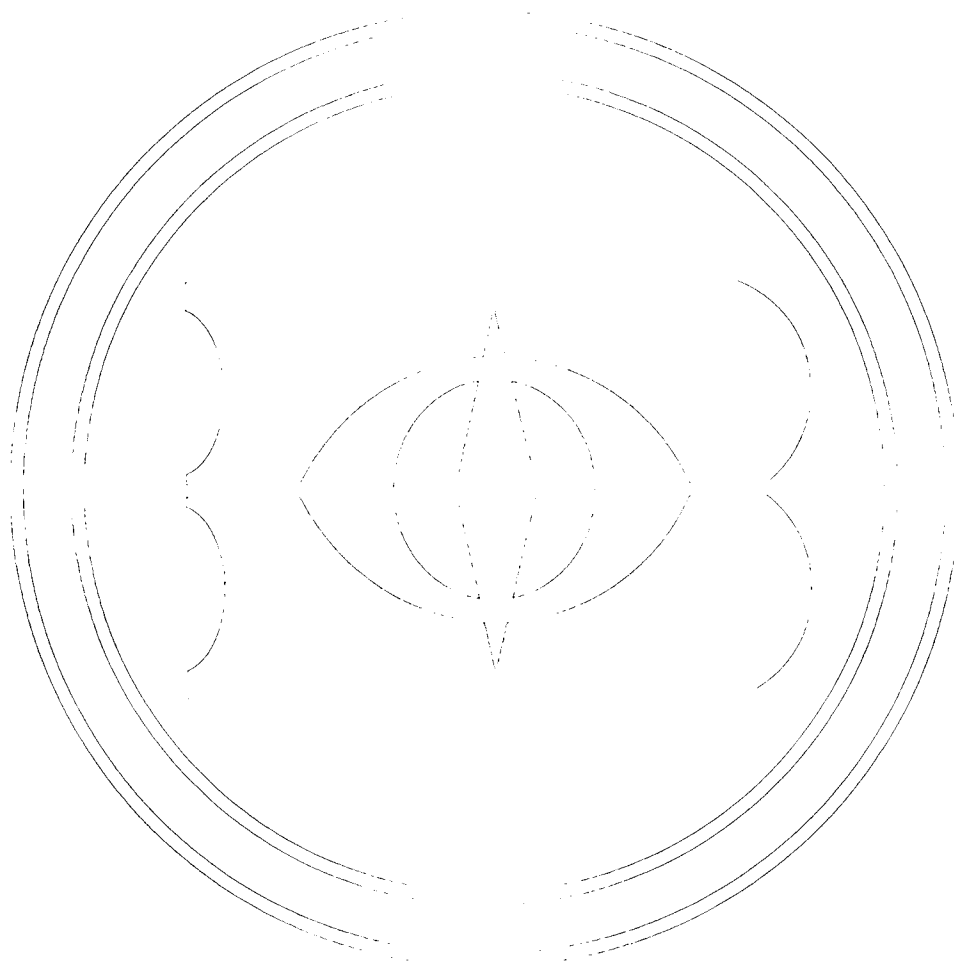
本部分由全国电工电子产品可靠性与维修性标准化技术委员会(SAC/TC 24)归口。

本部分起草单位:工业和信息化部电子第五研究所、北京航空工程技术研究中心。

本部分主要起草人:邝志礼、李新祥、张蕊、梅文华。

本部分所代替标准的历次版本发布情况:

——GB/T 5080.1—1986。



引 言

GB/T 5080 的本部分是有关可靠性试验条件,以及用于修理产品或不修理产品可靠性试验数据分析统计工具系列标准的应用指南。

本部分是恰当选择有关试验条件和统计分析适用标准的指南。本部分也是可靠性试验设计、实施和数据处理的通用指南。利用本部分,使用者能够为一个具体可靠性试验的设计、实施及其数据分析选择适宜和必需的其他各种标准。

因此,本部分涉及到处理恒定、非恒定失效强度和失效率,以及其他如成功率/失败率量度的统计工具。

本部分与一些适用的环境条件、工作条件和统计方法标准一起使用。

可靠性试验

第 1 部分: 试验条件和统计检验原理

1 范围

GB/T 5080 的本部分为可靠性试验设计、实施和利用统计方法分析试验数据提供指南。

本部分阐述的试验涉及修理产品和不修理产品,以及检验产品是否具有恒定失效强度或失效率。

本部分适用于:

- 当根据合同明确或隐含的要求进行可靠性试验时;
- 当设计可靠性试验时;
- 在可靠性试验期间;
- 当对可靠性试验数据进行分析 and 编制可靠性试验报告时。

当合同或试验方案指定使用统计方法的国家标准,而没有指定参考特定的标准时,本部分也适用。

在一个新产品研制、设计验证、设计定型期间,需要进行不同的试验。这些试验的目的是发现产品在设计中存在的缺陷,并且消除这些缺陷,从而提高产品的性能、质量、安全性、健壮性、可靠性、可用性,同时降低费用。虽然有关试验条件、试验设计和试验文件编制等指南均适用于大多数试验,但本部分仅涉及使用统计方法分析试验数据的内容。

尽管本部分对可用性试验、维修性试验和可靠性增长试验有所论述,但因为它们是个十分重要的论题,所以它们在各自的标准中有更为详细的介绍:可用性试验(见 GB/T 15647—1995),维修性试验(见 GB/T 9414(所有部分)),可靠性增长试验(见 GB/T 15174—1994、IEC 61164:1995)。

本部分不包含软件测试(见 IEC 61704),但是本部分适用于包含硬件和软件的产品。因此本部分适用的产品范围十分广泛,它包括民品、工业产品、军品以及航空产品。本部分包含了对验证、测定、比较以及成功率/失败率评估的分析,并在第 9 章中给出了一个进行可靠性试验数据统计处理指南的流程图。

本部分虽然没有对环境试验、加速步进应力试验和过应力试验进行详细描述,但是一些做法和统计工具可用于这些试验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2421~2424(所有部分) 电工电子产品 环境试验(IEC 60068(所有部分))

GB/T 2900.13—2008 电工术语 可信性与服务质量(IEC 60050(191):1990,IDT)

GB/T 5080.2—2012 可靠性试验 第 2 部分:试验周期设计(IEC 605-2:1994,IDT)

GB/T 5080.4—1985 设备可靠性试验 可靠性测定试验的点估计和区间估计方法(指数分布)(idt IEC 60605-4:1978)

GB/T 5080.6—1996 设备可靠性试验 恒定失效率假设的有效性检验(IEC 60605-6:1997,IDT)

GB/T 6992.2—1997 可信性管理 第 2 部分:可信性大纲要素和工作项目(IEC 60300-2:1995,IDT)

GB/T 7826—1987 系统可靠性分析技术 失效模式与效应分析(FMEA)程序(IEC 60812:1985, IDT)

GB/T 7288.1—1987 设备可靠性试验 推荐的试验条件 室内便携设备粗模拟(IEC 60605-3-1:1986, IDT)

GB/T 7288.2—1987 设备可靠性试验 推荐的试验条件 固定使用在有气候防护场所设备精模拟(IEC 60605-3-2:1986, IDT)

GB/T 15647—1995 稳态可用性验证试验方法(IEC 61070:1991, IDT)

IEC 60300-3-2:1993 可信性管理 第3-2部分:现场可信性数据收集(Dependability management—Part 3: Application guide—Section 2: Collection of dependability data from the field)

IEC 60300-3-4:1996 可信性管理 第3-4部分:应用指南 可信性要求规范指南(Dependability management—Part 3: Application guide—Section 4: Guide to the specification of dependability requirements)

IEC 60300-3-7:1999 可信性管理 第3-7部分:应用指南 电子产品可靠性应力筛选(Dependability management—Part 3: Application guide—Section 7: Reliability stress screening of electronic hardware)

IEC 61025:1990 故障树分析(FTA) (Fault tree analysis(FTA))

IEC 61078:1991 可信性分析技术 可靠性方框图法(Analysis techniques for dependability—Reliability block diagram methods)

IEC 61123:1991 可靠性试验 成功率的验证试验方案(Reliability testing—Compliance test plans for success ratio)

IEC 61124:1997 可靠性试验 恒定失效率和恒定失效强度的验证试验(Reliability testing—Compliance tests for constant failure rate and constant failure intensity)

IEC 61164:1995 可靠性增长 统计试验和估计方法(Reliability growth—Statistical test and estimation methods)

IEC 61649:1997 威布尔分布数据的拟合度检验、置信区间和置信下限(Goodness of fit tests, confidence intervals and lower confidence limits for Weibull distributed data)

IEC 61650:1997 可靠性数据分析技术 两个恒定失效率和两个恒定失效强度比较方法(Reliability data analysis techniques—Procedures for comparison of two constant failure rates and two constant failure(event)intensities)

IEC 61710:2000 幂律模型 拟合优度检验和估计方法(Power law model—Goodness of fit and estimation methods)

ISO 11453:1996 数据的统计解释 关于比例的检验和置信区间(Statistical interpretation of data—Test and confidence intervals relating to proportions)

ISO 3534-1:1993 统计 词汇和符号 第1部分:概率与统计术语(Statistics—Vocabulary and symbols—Part 1: Probability and general statistics terms)

3 术语和定义、符号和缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 2900.13—2008、ISO 3534-1:1993界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

验收试验 acceptance test

在产品的一个设计或生产批被用户接受之前,为验证产品可信性量度所进行的试验。

注:用户可能是内部的,或者是公司其他部门,或者是其他外部的用户。

3.1.2

截尾 censoring

出现一定数量的失效或者试验一定的时间后,有些产品仍未失效而试验终止。

3.1.3

比较试验 comparison test

比较两个可信性量度的试验。

3.1.4

验证试验 compliance test

证明产品的特性或性能是否符合其规定可靠性要求的试验。

注:改写 GB/T 2900.13—2008,定义 191-14-02。

3.1.5

可信性试验 dependability test

为估计、验证或比较产品一个或多个设计和/或生产批可信性量度的试验。

注:本部分在可信性试验中包括可靠性试验。

3.1.6

测定试验 determination test/estimation test

确定产品的特性值或性能值的试验。

注:改写 GB/T 2900.13—2008,定义 191-14-03。

3.1.7

鉴别比 discrimination ratio

比率 $D(D>1)$,表征试验方案区分可接受可信性量度和不可接受可信性量度的能力。

注:鉴别比是试验方案的优良指数。

3.1.8

失效 failure

产品终止完成规定功能的能力的事件。

注:改写 GB/T 2900.13—2008,定义 191-04-01。

3.1.9

失效判据 failure criteria

判定所看到的现象是否可以称为失效的准则。

3.1.10

(瞬时)失效率 (instantaneous) failure rate

设产品在时刻 t 处于可用状态,在时间区间 $(t, t+\Delta t)$ 内出现失效的条件概率与区间长度 Δt 之比,当 Δt 趋于 0 时的极限(如果存在)。

注:改写 GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-02。

3.1.11

(瞬时)失效强度 (instantaneous) failure intensity

修理的产品在时间区间 $(t, t+\Delta t)$ 内的平均失效数与区间长度 Δt 之比,当 Δt 趋于 0 时的极限(如果存在)。

注:改写 GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-04。

3.1.12

失败率 failure ratio

产品在规定条件下出现失效或者试验不成功的概率。

注:观测失败率是指在整个试验中产品出现故障次数或者试验不成功次数,与试验总产品数或总试验次数的比率。

3.1.13

精模拟 high degree of simulation

试验条件尽可能接近产品在实际使用中遇到的真实环境类型和工作应力。

3.1.14

假设(零假设或备择假设) hypothesis(null or alternative)

关于一个或多个可靠性量度,或者分布的统计表述,它需借助统计检验的方法进行检验。

3.1.15

产品 item

泛指任何元器件、零部件、组件、设备、分系统或系统。

注:改写 GB/T 2900.13—2008,定义 191-01-01。

一个产品可能是一个系统、设备、功能单元、元器件、零部件、组件,可以是指硬件、软件或两者的结合,在特殊情况下,也包括人。

3.1.16

寿命试验 life test

为了估计,验证或者比较产品各种寿命所进行的试验。

注:当不修理的产品失效达到一定百分数时的时间,或修理的产品的失效强度增加到规定水平时的时间通常被定义为产品使用寿命的到期(终止)。

3.1.17

粗模拟 low degree of simulation

试验条件尽可能接近产品某一特定环境条件和某一特定工作情况。

注:环境条件和装载模式可以选取平均的或最坏的情况。因为目的是确定可再现和简化的工作条件,而不是模拟广泛的现场实际工作条件,因此试验条件是可以简化的。比如,试验条件中仅采用最显著的参数。

3.1.18

误用失效 misuse failure

使用中施加的应力超出产品允许范围引起的失效。

注:GB/T 2900.13—2008,定义 191-04-04。

3.1.19

不确定的故障 no fault found

基于产品的状态,不能对报告的产品故障进行复现或者解释。

注:这可能属于关联故障。

3.1.20

不修理产品 non-repaired item

失效后不修理的产品。

注:GB/T 2900.13—2008,定义 191-01-03。

3.1.21

工作时间 operating time

产品处于工作状态时的时间区间。

注:GB/T 2900.13—2008,定义 191-09-01。

3.1.22

生产试验 production test

为估计,验证或者比较一个或多个生产批的产品可信性量度的试验。

注:生产试验目的通常是研究制造和组装工艺对产品的可信性量度的影响(原材料、元器件和工艺变化的健壮性)。

3. 1. 23

周期失效 recurrent failure

两次或更多次失效发生在相同的部位;相同零部件在不同部位的但是相似的应用;同一类型和制造的零部件;试验循环中的相同点但不同时。

3. 1. 24

关联失效 relevant failure

在解释试验或工作结果或者计算可靠性量值时应计入的失效。

注: 计入的准则应加以规定。

GB/T 2900. 13—2008, 定义 191-04-13。

3. 1. 25

可靠性增长试验 reliability growth test

可靠性增长试验的目的是通过试验、失效鉴别、失效分析、纠正,在试验中落实纠正措施并继续试验而改进产品可靠性的一个过程。

3. 1. 26

可靠性试验 reliability test

对产品可靠性量度或性质进行测量、定量或分类所实施的试验。

注 1: 可靠性试验不同于环境试验,环境试验的目的是证明产品能经受得住在存储、运输和使用中极端环境的试验。

注 2: 可靠性试验可包括环境试验。

3. 1. 27

修理产品 repaired item

失效后实际上加以修理的可修理产品。

注: GB/T 2900. 13—2008, 定义 191-01-02。

3. 1. 28

风险(统计的) risk(statistical)

在统计检验中作出错误决策的概率。错误决策或者是假设为真时而拒收零假设(第 I 类错误,也叫作生产方风险,显著性水平 α),或者是假设为假时而接收零假设(第 II 类错误,也可以叫做使用方风险,显著性水平 β)。

3. 1. 29

从属失效 secondary failure

由另一个产品的失效或故障直接或间接引起的产品的失效。

注: GB/T 2900. 13—2008, 定义 191-04-16。

3. 1. 30

步进应力试验 step-stress test

在相同持续时间里,按次序地给产品施加应力逐段增加的试验。

注: 步进应力试验的目的通常是确定产品在工作和环境最恶劣条件下与产品在试验中应力强度之间的裕度。因此,试验中对产品逐渐提高应力条件直到产品失效,并且此时的应力条件指标替代时间作为试验结果。

3. 1. 31

随机的 stochastic

偶然结果的性质。

3. 1. 32

分层 stratification

把总体分成互不相交并完备的子总体,这种考虑是因为研究的特征在子总体中比整个总体来说更均匀。

3.1.33

成功率 success ratio

产品在规定条件下完成要求功能或者试验是成功的概率。

注:观测成功率是指,试验中没有故障的产品数与参加试验的总产品数的比率,或者是整个试验中成功的试验次数与试验总次数的比率。

3.1.34

试验条件 test conditions

除试验产品自身内部特性外,任何能影响试验产品出现失效的因素或活动。试验条件包括工作条件、环境条件和预防性维修。

3.1.35

试验循环 test cycle

在试验期间,若干个意义明确的和可再现的工作条件、环境条件和维修条件周期性重复。随时间变化的工作条件是模拟实际使用中随时间变化的工作条件和环境条件。

3.1.36

试验方案 test plan

试验人员执行试验的指南。它包括统计试验方案(受试产品数量、决策风险、鉴别比等),并进一步规定试验条件、试验设施和操作程序、观测、试验报告以及试验数据的分析。

3.1.37

试验规范 test specification

试验的要求,例如,估计或验证产品的可靠性,或者比较两种不同设计下的产品可靠性,以及试验时间的说明或限制,试验设施或受试产品数量。试验规范进一步阐述了产品是修理的还是不修理的,以及试验是现场试验还是实验室试验。

3.1.38

失效前时间 time to failure

产品首次进入可用状态直至失效或从恢复至下次失效的总持续工作时间。

注:GB/T 2900.13—2008,定义 191-10-02。

3.1.39

时间压缩 time compression

在试验期间不模拟产品在现场不工作阶段和处于低环境条件应力阶段,而在试验循环中模拟产品工作阶段和处于高环境条件应力阶段的试验方法。因此,给定持续时间试验循环的试验相当于在现场更长的日历时间。

3.1.40

失效间隔时间 time between failure

修理的产品相邻两次失效间的持续时间。

注:GB/T 2900.13—2008,定义 191-10-03。

3.1.41

趋势 trend

在剔除随机误差和周期影响后,观测值按照观测次序进行作图形成的一种向上或向下趋向。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

MTBF: 平均失效间工作时间(Mean Operating Time Between Failures)

MTTFF: 平均首次失效前时间(Mean Time to First Failure)

ANOVA:	方差分析(Analysis of Variance)
HPP:	齐次泊松过程(Homogeneous Poisson Process)
NHPP:	非齐次泊松过程(Non-homogeneous Poisson Process)
PWA:	印制线路板组件(Printed Wiring Assembly)
PWB:	印制线路板(Printed Wiring Board)
PCB:	印制电路板(Printed Circuit Board)
PCA:	印制电路板组件(Printed Circuit Assembly)

3.3 图表符号

下列图表符号适用于本文件:

—————	观测工作时间
.....	假定/估计工作时间
———	工作起始
.....●———	观测周期起始点
———×	由于失效工作终止点
	除了○和●外,□△×描述不同失效模式
———○	没有失效时工作终止点

4 一般要求

4.1 绪言

利用本部分,使用者能够为一个具体可靠性试验的设计、实施及其数据分析选择适宜和必需的其他各种标准。

本部分与一些适用的环境条件、工作条件和统计方法标准一起使用。

这些方法适用于所有类型的设备和系统,例如:电子、电气、机电、机械、气动和液压装置。这些设备在使用和试验过程中可以进行修理或不进行修理。

这些方法适用于产品的一个或几个寿命周期阶段,例如:设计和研制(实验室模型,部件或样机)、试生产、批生产和现场使用。

这些方法适用于实验室试验和现场试验,同样还适用于在运行期间发生疲劳损耗的产品。

本部分中凡是提到“失效”这个事件之处,都可以用“修理”或其他适当的事件来替换。

本部分中凡是用到“时间”这个变量之处,都可以用“距离”、“循环数”或其他适用的量来替换。

本部分中凡是提到失效率/失效强度之处,都是指瞬时失效率/失效强度,除非有其他的解释。

本部分包含了对验证、测定、比较以及成功率/失败率评估的分析,并在第9章中给出进行可靠性试验数据统计处理指南的流程图。

虽然本部分没有对环境试验、加速步进应力试验和过应力试验进行详细描述,但是一些做法和统计工具可用于这些试验。

本部分法律上需要考虑的事项如下:

假如本部分与相关的合同或规范有抵触,那么应按后者执行。

由于使用本部分时有若干问题需要用户、制造商和独立试验单位(如果有)达成一致,因此所有的合同或试验方案应当参考本部分和任何涉及使用具体试验方法的其他标准。

另外:

——涉及具体试验方法选择、试验实施的方式,或者针对项目需求而对标准进行的任何剪裁、当事人所作出的决定以及贯彻决定的范围,都应在合同或试验规范里作出具体的说明;

- 涉及具体试验方法、试验实施的方式,或需要达成共识的其他剪裁等协议都应在合同或试验规范里以附录形式加以阐述;
- 任何需要达成一致但还没有解决的问题都应在合同或试验方案中明确地指出,并应作出相应的规定,包括达成一致的最后期限和争论解决的方法。

在任何情况下,有效的合同或子合同应明确合同当事人实施试验的责任;明确合同当事人无误地实施试验而产生的失效,或系统未能完成规范的要求应负的责任,以及这些责任的范围和程度;明确受损方应得补偿的类型和程度;明确用户在试验程序中要见证或参与的事项。

4.2 可靠性试验的目的

工程设计过程决策应建立在可测量和可再现的信息上,在大多数情况下,它将涉及某些试验类型。

可靠性试验的目的旨在对产品可靠性给出客观和可再现的数据。这就要求在试验方案中描述的试验条件尽可能可以再现,并且受试产品是具有代表性的(见 4.5)。

可靠性试验的具体目的如下:

- 评估产品的可靠性水平;
- 发现产品的薄弱环节,并且采取相应措施直接改进产品;
- 检查在产品设计阶段所做的计算和预计工作(例如验证产品是否有足够的设计余量);
- 暴露引起产品失效的因素,并且采取措施消除这些因素;
- 评价工艺过程对可靠性的影响;
- 优化系统维护的细节;
- 使产品更加健壮、耐失效和更安全;
- 提高产品的性能和质量;
- 减少产品初始费用和寿命周期费用;
- 分析使用条件(工作条件)及其对产品可靠性的影响;
- 为技术文件中的可靠性特征量提供证明;
- 估计产品在寿命周期某些阶段的费用。

可靠性试验规范应包括:

- 真实的寿命条件;
- 试验目标/目的;
- 试验目的明确表述;
- 计划选择的受试产品和试验类型;
- 关于受试产品特性和参数要求的规范(见 IEC 60300-3-4:1996);
- 试验安排;
- 试验数据的收集和处理;
- 试验结果的评价及利用;
- 试验方法的核查。

应当指出的是开展可靠性试验仅仅是可靠性大纲(见 GB/T 6992.2—1997)几个要素中的一项。制订可靠性大纲的目的是为了提高新产品在设计、研制和生产中可靠性相关活动的效果。

4.3 可靠性试验分类

4.3.1 根据目的分类

从统计学角度,可靠性试验可以按试验目的进行分类:

- 评估产品的可靠性水平(有时又称为测定);

- 验证规定的可靠性指标,例如合同或规范所规定的可靠性指标;
- 从可靠性角度,比较两种设计或两种产品。

4.3.2 根据试验地点分类

可靠性试验可以按试验地点进行分类:

- 实验室试验;
- 现场试验。

实验室试验的优点是:测试和评估可以在可控的试验条件下进行,因此试验具有再现性。在制定实验室试验计划中,建议试验人员的操作技能与现场使用人员考虑的操作技能相似。在实验室试验中,受试产品数量通常比现场试验要少得多,因此,受试产品的抽样就十分重要。

在现场试验中,受试产品主要是由用户来使用,其优点是使用条件就是现场(的部分)条件。由于使用条件因不同用户而不同,因此最好是分析每种使用条件下的可靠性。然而,当把不同使用条件下得到的数据汇总时,得到的可靠性观测值是总体的平均值。用只在现场的一个地点采集数据的做法,可以减少这种差异,但是也就意味着得到的结果只适用这一特定地点。比如,试验总体限于一个国家或一批产品。

在许多情况下,实验室试验条件是可以设计的,以在更大程度上确保其不超过试验极限。实验室试验可以及早对试验做出判决和发现问题,以便及时地采取纠正措施。

另一方面,现场试验可以提供更多真实的试验结果,并且需要较少的试验设施。通常现场试验的直接费用比相应的实验室试验的花费低。受试产品可以按正常条件工作。然而,现场试验不能在严格受控的条件下进行,这是它的一个显著缺点。因此,现场试验的再现性远远不如实验室试验。

就可靠性试验的要求和实施而言,实验室试验方法和现场试验方法是非常相似的。

假如有几个地点可供现场可靠性试验,那么应按试验的基本动机选择试验地点:

- 若主要是要求严格保证产品达到的可靠性水平不低于某一个规定值,则应选择具有相应规范中规定的最严酷试验条件的地点;
- 若是为了确定适用于正常使用条件的可靠性水平或是为了优化维修方案,则应选择具有最典型试验条件的地点;
- 若是要求对可靠性数据进行比较,则应选择具有相同或基本一致的试验条件的地点,除非要比较不同试验条件下的可靠性;
- 试验地点人员的知识水平、能力和工作效率。

试验期间最好连续地监测工作和环境试验条件,若可修产品的正常现场使用期间无法进行连续监测,则应按规定的时间间隔进行监测和(或)利用操作人员的观测报告。

4.3.3 根据获得试验结果时间分类

根据获得期望信息所需要的时间和所用的试验条件,可靠性试验可进一步分为:

- 常态试验:在实际应力条件下进行的试验;
- 加速试验:试验采用比实际值更高的应力条件,或者压缩试验时间和循环数,比如,时间压缩试验,步进应力试验。

4.4 统计试验方案

可靠性试验方案应描述受试产品的数量、故障产品处理的方式(修理,替换,撤离),以及试验结束的准则。有两种基本的试验方案,受试产品的试验可以进行有替换或无替换/修理或不修理:

- 截尾序贯试验;
- 定时或定数截尾试验。

要注意的是,本部分中所有统计试验方案应恰当地详细说明下面内容:

- a) 试验开始时的受试产品数量;
- b) 试验期间产品是否被替换;
- c) 试验结束时产品残存的数量;
- d) 试验终止的条件(定时截尾或定数截尾)。

由于可靠性量度具有统计特性,因此试验方案应基于统计学考虑。

4.5 试验规范

试验准备时,所有方法、技术和资金问题,以及那些与试验人员相关的问题都应详细考虑。由于可靠性由性能和时间两方面特性构成,因此在规划试验方案时应对下列有关受试产品的信息加以描述:

- 失效判据;
- 试验总时间;
- 恒定或非恒定失效强度/恒定或非恒定失效率(假定的或经检验的);
- 日历时间寿命,储存条件和试验前调整;
- 试验期间的环境条件;
- 工作条件和工作循环;
- 要求和允许的预防性维修。

对抽取受试产品母体的选择通常是根椐预定时间计划、产品技术条件和费用来考虑。从定性的角度评价受试产品的代表性是唯一可能的。

为了在批量生产中能尽早做出判决,实际上通常用研制和试生产样机进行可靠性验证试验。然而研制和试生产阶段的产品通常不能代表批生产的产品,这将导致错误的判决。

为了得到关于母体的信息或评价,选取受试产品的样本应尽可能代表其母体。这可通过受试产品的随机抽样程序来保证。如果样本不具有母体代表性,那么得到的结果可能会引起误解。

除非在详细的可靠性试验方案中另有规定,受试产品从抽样到试验开始前,不允许对其采取任何措施。试验期间除了允许如 6.4 所述的维修和调整外,受试产品原来的子组件、元器件等均应保持不变。

假如在试验过程中为了执行预防性或修复性维修,或由于管理或其他(无法预见)原因要中断试验,若无其他规定,应以最小的延误和已循环的试验条件、在试验循环相应中断点处恢复试验。

如果适用,详细的可靠性试验方案应规定试验中可以允许中断的次数、每次中断的最大持续时间以及在已循环试验条件下允许恢复试验的时刻。除非在试验方案中另有规定,在实验室试验中断期间,产品应在标准实验室条件下储存。

在许多试验中,采用累计试验时间,如果失效强度/失效率不是恒定的,那么对试验结果会有相当大的影响。假如受试产品数量少且在试验期间工作时间相对较长,那么在试验中观察到经过较长工作时间后出现的失效(耗损失效)。但是,如果同样的累计工作时间是由许多受试产品的工作时间组成,那么出现耗损失效的概率相对较低。但对于早期失效,情况恰好相反。

产品修理活动和被中止试验(产品从试验中撤出)应在试验程序或试验文件中描述和记录,因为这些信息对于统计分析是十分重要的。

如果怀疑试验选取的修理产品可能有较高的早期失效,那么统计分析中应考虑任何非恒定失效强度情形。如果早期失效对试验是非关联的,那么在可靠性试验开始前,应当实施可靠性应力筛选。

对试验选取的不修理产品,应估计可能存在较高的早期失效,因此统计分析中应考虑任何非恒定失效率情形。如果早期失效对试验是非关联的,那么在可靠性试验开始前,应当对产品批实施可靠性应力

筛选(见 IEC 60300-3-7:1999)。

对于失效强度、失效率、平均失效间工作时间(MTBF)或平均首次失效前时间(MTTFF),进行此类试验是作为一种时间试验,在试验期间是观测相关的失效时间。如果这样,应对失效分布作出任一先验假设。

对于非常可靠的产品进行可靠性试验,或者需要大量的受试产品(比如,现场试验),或者采用加速试验条件(比如,实验室试验)。对于有冗余的产品,试验可用其子组件。在有些情况下,可能不得不用试验外的其他方法(见 GB/T 6992.2—1997)。

4.6 试验结果的利用

应当强调的是,试验结果仅基于受试产品。试验报告应说明样本代表母体特征的程度。

如果可靠性验证试验或测定试验的结果被用作外推,应给出进一步理由:

- 其他产品母体(对于样品批);
- 与试验条件不同的应力水平和环境条件;
- 比试验期间更长的工作时间。

为了评估这样外推的有效程度,需要以下的工程知识:

- 不同母体中产品之间的差异;
- 应力水平和环境条件对相关失效模式的影响;
- 失效强度/失效率随时间的预期变化。

由于大多数产品其使用环境的复杂性和可变性,不应期望由实验室得到的产品可靠性特征量,在每种个别情况都和由实际使用得到的相一致。

实验室与使用现场的这些差异,统计置信限没有涵盖。

从可靠性试验中得出的最终结论不应局限于获得正式的试验结果。应详细分析可靠性试验期间观测到的每一失效原因及其后果,并且研究采取有效纠正措施的任何可能性。

5 根据目的区分的试验类型

根据试验目的,可以分为以下试验类型(见 4.3.1):

- 可靠性验证试验(包括成功率/失败率试验);
- 可靠性测定试验;
- 可靠性比较试验。

5.1 验证试验

产品开始可靠性试验之前,应制订一个详细的可靠性试验方案,它包括以下内容:

- 对特殊的受试产品,根据 5.1.2 考虑的内容,提出可靠性验证试验的详细要求;
- 为监测产品、维修设备和对试验程序控制,提出相应要求或使用的试验设备清单(包括环境试验设备);
- 试验运行的操作指南以及当受试产品和试验设施发生故障时应采取的措施;
- 试验报告的编制指南以及根据试验结论应采取的措施。

产品可靠性试验可以是实验室试验或使用现场试验(见 4.3)。

表 1 给出了统计试验方案类型及其应用,以及已出版的验证试验工具的可靠性要求。

表 1 统计试验方案类型

统计试验 方案类型	应用对象	可靠性要求	工具
截尾序贯试验	不修理的、修理的、替换的、不替换的产品	可接受、不可接受恒定失效率/失效强度	IEC 61124:1997
	重复使用、不重复使用的产品	失败率/成功率	IEC 61123:1991
定时/定数截尾试验	不修理的、修理的、替换的、不替换的产品	可接受、不可接受恒定失效率/失效强度	IEC 61124:1997
	重复使用、不重复使用的产品	失败率/成功率	IEC 61123:1991
备择的时间/失效数 截尾试验(定制的)	不修理的、修理的、替换的、不替换的产品	可接受、不可接受恒定失效率/失效强度	IEC 61124:1997
	重复使用、不重复使用的产品	失败率/成功率	IEC 61123:1991
不修理/替换的 固定日历时间截尾试验	不修理的、修理的、替换的、不替换的产品	可接受、不可接受恒定失效率/失效强度	IEC 61124:1997

截尾序贯试验：

——在试验期间，对受试产品进行连续地或短间隔地监测，并将累计的相关试验时间和关联失效数与确定是否接收、拒收或继续试验的判据进行比较。

定时/定数截尾试验：

——在试验期间，对受试产品进行连续地或短间隔地监测，直至累计相关试验时间超过预定的相关试验时间(接收)或发生了预定的关联失效数(拒收)。

下面的图给出了选择统计试验方案类型的指南。图 1 是具有相同风险率的截尾序贯试验与定时/定数截尾试验之间的对比。图 2 表明了对两种基本试验方案来说，作出判决的期望累计相关试验时间是产品真实 MTBF 的函数。这些图说明了两种类型试验方案的优缺点。

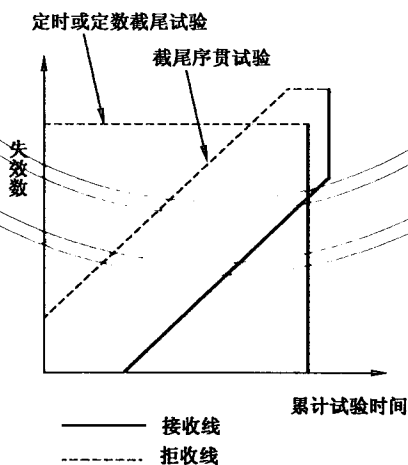


图 1 相同风险率下载尾序贯试验与定时/定数截尾试验之间的比较

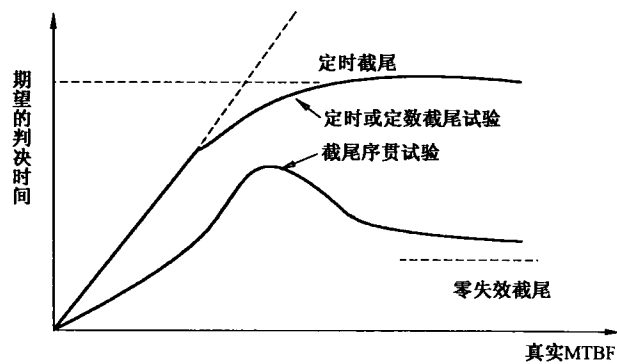


图 2 作出判决的期望累计相关试验时间是产品真实 MTBF 的函数

在图 1 和图 2 的基础上,表 2 汇总了截尾序贯试验和定时/定数截尾试验的优缺点。

表 2 统计试验方案比较

统计试验方案类型	优 点	缺 点
定时/定数截尾试验	最大累计试验时间是固定的,因此试验开始前就可以确定试验设施和人力最大需求量	平均而言,失效数和累计试验时间将会超过相应的截尾序贯试验
	在试验前确定了最大失效数,因此在没有修复或更换的情况下能够确定受试产品的最大数量	无论产品多好或多坏都要等到最大累计试验时间或失效数才能作出判决,而相应的截尾序贯试验作出这种判决就要快一些
	最大累计试验时间比相应的截尾序贯试验时间短	
截尾序贯试验	总体而言,作出判决所要求的平均失效数比相应的定时/定数截尾试验少	失效数和与之有关的受试产品费用的变化幅度比相应的定时/定数截尾试验大
	累计试验时间和失效数有固定的最大值	最大累计试验时间和失效数可能会超过相应的定时/定数截尾试验
	总体而言,作出判决所要求的平均累计试验时间是最少的	

5.1.1 可靠性验证试验所用的术语

当需要通过试验验证设计的可靠性特性是否满足规定参数要求时,就要用可靠性验证试验。因此,试验的结果是“接收”(符合)或“拒收”(不符合)。

验证试验是基于统计假设检验的理论。

统计检验是用判断一个假设(称为零假设)是否应该被拒绝而支持备择假设的一种方法。这些假设是针对设定的概率模型的参数进行的。

对验证试验,所有的试验方案和判决标准是依据下列两个特征之一:

- 对规定试验次数或在规定相关试验时间内,可接受的关联失效数(可接收数可以为零);
- 对规定关联失效数,可接受试验次数/可接受试验时间(规定关联失效数可以为零)。

在验证试验方案中规定了接收或拒收的判决标准,并通过决策风险和鉴别比来确定。

在抽样术语中,风险被分为第 I 类和第 II 类风险,正如在 ISO 3534-1:1993 中所定义。第 I 类风险是当零假设为真时而拒绝它的概率,第 II 类风险是当零假设为假时而接受它的概率。符号 α 和 β 分别

代表第Ⅰ类和第Ⅱ类风险。

在验证试验术语中,生产方风险是当产品具有规定的可接受可靠性值时而被拒收的概率(第Ⅰ类风险),使用方风险是当产品具有规定的不可接受可靠性值时而被接收的概率(第Ⅱ类风险)。

为尽量减少产品的拒收概率,对生产方来说,就应该确保产品的可靠性优于规定的可接受值。

试验方案的鉴别比 D 是可接受值与不可接受值之比。以可靠性特征量为例,该量值可以是成功率/失败率、失效率 and 失效强度。

检验功效 $(1-\beta)$ 定义为不犯第Ⅱ类错误的概率。由此可以绘制一条工作特性(OC)曲线,它代表对于不同的可靠性真值不拒绝零假设概率(通常用 P_a 表示)的函数关系。

每个试验方案都可以绘制出一条 OC 曲线,它表示对于产品不同的可靠性真值不被拒收(即接收产品)的概率。因此, α 和 β 以及 $D(D>1)$ 给定了 OC 曲线上的两个点。图 3 分别给出了定时/定数截尾试验方案 B.5 和 B.8 的 OC 曲线,图中的 y 轴表示接收概率 P_a , m 表示真实的 MTBF, m_0 是规定的可接受 MTBF, x 轴为 m_0/m 的比率。方案 B.5 的风险名义值为 $\alpha=10\%$, $\beta=10\%$, $D=1.5$, 该类试验方案的详细内容见 IEC 61124:1997。

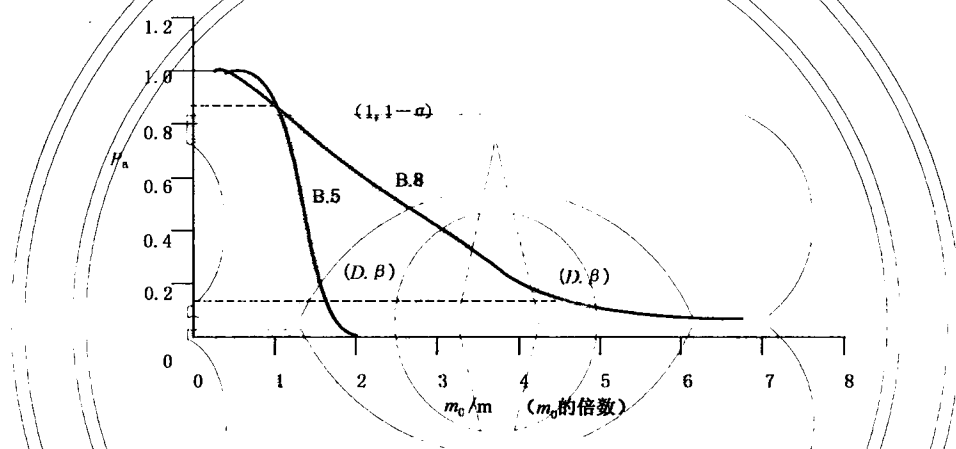


图 3 试验方案 B.5 和 B.8 的 OC 曲线 (IEC 61124:1997 的例子)

试验方案的工作特性曲线很清楚地表明了判决风险。在对这些风险与为了降低风险而扩展试验(延长试验时间和或增加受试产品)所需费用以及其他因素如可用的仪器、设备 and 时间等之间进行权衡之后,生产方和使用方应该一致选定所做试验的判决风险。对于相同的 α 和 β , 扩展试验(延长试验时间、增加受试产品)会提高(降低)鉴别比 D , OC 曲线中比较陡的斜线表明了这一点。

表 3 假设检验中各种情况汇总
(以 IEC 61124:1997 中的试验方案 B.5 为例)

假设试验		产品的真实特性(未知的)	
		零假设是真的 ($T^*/m_0 = P_0 = 32.14$)	备择假设是真的 ($D \times T^*/m_0 = D \times P_0 = 1.5 \times 32.14 = 48.21$)
基于观测结果的判决	接受零假设 ($r \leq c = 39$)	正确的判决 ($P_a = 1 - \alpha' = 1 - 10\% = 90\%$)	错误的判决 ($P_a = \beta' = 10.2\%$) 使用方风险,第Ⅱ类
	接受备择假设 ($r > c = 39$)	错误的判决 ($P_a = \alpha' = 10\%$) 生产方风险,第Ⅰ类,显著性水平	正确的判决 ($P_a = 1 - \beta' = 1 - 10.2\% = 89.8\%$) 检验的功效

5.1.2 可靠性验证试验的要求

对产品可靠性验证试验的任何要求均应包含或规定在产品合同或产品技术规范中。

试验规范应充分全面地规定可靠性验证试验的所有细节。当按本部分拟定产品可靠性验证试验方案时,需要考虑 5.1.2.1~5.1.2.4 有关产品的信息。

5.1.2.1 受试产品及试验类型

应详细说明如下内容:

- a) 受试产品的商标、型号;
- b) 实施试验的类型:实验室试验或现场试验(见 4.3.2);
- c) 抽取试验样品的产品母体,并在适当之处规定抽样的具体方法(见 4.5)。

5.1.2.2 可靠性指标及统计试验方案

还应详细说明如下内容:

- a) 适用的可靠性指标并设定可接受值。
当可靠性指标涉及到一个系统,并且是由其各个部分分别验证的可靠性指标推导出来时,应详细说明所采用的推导方法。例如参考 GB/T 7826—1987、IEC 61025:1990、IEC 61078:1991 的例子。
- b) 采用的验证试验方案(见 5.1)。
应详细说明所选用的试验方案。所用方案最好从表 1 所列的标准或者其他合适的标准中选取。
- c) 检验分布假设的有效性检验(见 9.1 和 9.3)。

5.1.2.3 试验条件和试验循环

应详细说明如下内容:

- a) 工作及环境试验条件包括负荷、供电条件以及试验期间的实际操作(见 6.3);
- b) 试验期间采用的预防性维修(见 6.4);
- c) 上述内容的组合及顺序即为试验循环(见 6.1、6.2、6.3)。

5.1.2.4 受试产品性能与失效

应详细说明如下内容:

- a) 试验过程中产品功能与性能参数的监测;
- b) 研究受试产品失效判据(见 7.1~7.3);
- c) 需要立即作出拒收判决的失效类型(见 7.2.2.1);
- d) 应计入受试产品非关联失效的失效类型(见 7.2.1);
- e) 应计入受试产品相关试验时间的试验时间段(见 7.4);
- f) 每个受试产品相关试验时间或工作次数的限定;
- g) 修理和试验继续的条件;
- h) 当试验期间不能自动监测功能参数时,安排定时监测的时间表。

5.1.3 成功率/失败率的试验

当要求成功率时,该试验意味着仅对试验次数和相应的失败次数,或产品总数和产品出现的故障数进行计算和统计处理。

在成功率试验中,从试验中得到的量值是个二元变量。而与之不同的是在许多其他可靠性试验中得到的量值,则可以是连续变量,比如时间或周期,或者每单位时间的失效数。

5.2 可靠性测定试验

可靠性测定的目的是为了评估产品一个或多个的可靠性特征量,这些量值可用于估计产品的保证费用和预计产品可靠性水平。可靠性测定试验通常是确定受试产品可靠性,用数值表示一个或几个关键量值。试验结果除了说明试验条件和原始试验数据外还应当说明评估的置信限。

在可靠性测定试验中,所关心的可靠性特征量的评估值是从寿命数据分析中得到的,应该说明适用的可靠性特征量。

可靠性测定试验的试验条件、受试产品性能、试验观测及试验程序的规定与可靠性验证试验是相同的(见 5.1)。

可靠性测定试验的统计方法在第 9 章描述。

假如从早期试验或现场观测得到的现成数据足够完整、非常确实和相关的,则这些数据可用于产品的可靠性评估。

注:应当指出测定试验与验证试验的区别。这是由于测定试验仅仅基于观测数据,而验证试验更进一步基于规定的可接受值、不可接受值和相应的风险,这意味着验证试验通常包含更多的信息。

5.3 可靠性比较试验

当需要比较两个功能类似产品的可靠性时,可采用比较试验。同样地,当需要比较一个产品采用两种不同设计单元的可靠性时,也可采用比较试验。

比较试验的目的是确定产品 A 是否比产品 B 具有更高的可靠性,而不必要估计产品 A 和 B 的可靠性量值。

在比较试验中,试验条件同样应与使用条件是相关的,但其优点是对产品 A 和产品 B 施加相同的试验条件。当进行粗模拟试验,采用加速试验或时间压缩试验时,这是特别重要的。即使不知道试验条件和实际使用条件的精确关系,只要失效模型是相关的,就可以利用比较试验的结果。

和验证试验一样,应制定一个详细的实验室或现场试验的可靠性比较试验方案。可靠性比较试验的统计方法在第 9 章中描述。

可靠性比较试验的试验条件、受试产品性能、试验观测及试验程序的规定与可靠性验证试验是相同的(见 5.1)。

失效分析依然是需要的。

6 试验条件

6.1 选择试验条件的一般原则

在选择产品可靠性试验条件时,应考虑下列主要因素:

- a) 要求或进行可靠性试验的基本理由;
- b) 实际使用的环境条件;
- c) 预期受试产品使用条件的变化;
- d) 使用条件中的不同应力因素引起失效的可能性;
- e) 不同试验条件下对应的试验费用;
- f) 可供使用的试验设施;
- g) 可利用的试验时间;
- h) 随试验条件变化的可靠性特征量的预计值。

如果试验目的是为了说明产品可靠性不低于某一个特殊的,可能是临界水平(从安全角度来说),则试验条件不应排除任何重要的极端使用条件。

如果为了证明或确定产品在正常使用条件下的可靠性水平,例如为了优化维修方案,则试验条件应高度逼真并代表典型的使用条件。

如果试验的目的是用有区别的试验结果比较同一产品的不同型式,则通常应可再现地接近于极限使用应力水平的试验条件。除步进应力试验外,在任何情况下,各种应力因素的严酷度不得超过产品规定的所能承受的极限应力值。当由应力水平替代时间实施步进应力试验时,虽然可以应用本部分中提到的统计方法,但需要注意的是本部分不包括步进应力试验。

在试验过程中,如果应考虑多种工作条件、环境条件和维修条件时,则试验条件一般是一个适当试验周期的周期性重复。详细的可靠性试验方案应当包括一个试验周期图,用以说明试验周期中工作、环境和预防性维修条件的存在、持续时间、时间间隔及它们之间的相互关系。

当试验需要精密地再现多种工作条件、环境条件和维修条件时,应特别地为该试验设计一个试验周期。GB/T 5080.2—2012 提供了建立这种精模拟试验周期的程序。当试验需要实现特殊的要求时,例如特殊的功能监控设施或时间高度压缩,GB/T 5080.2—2012 还可以用于剪裁一个特殊的试验周期。

如果可靠性试验是在一组明确的反映产品使用现场可能遇到各种条件之一的工作条件、环境条件和维修条件下进行,那么可用 GB/T 7288(所有部分)中所列出标准化的粗模拟试验周期来模拟典型的使用条件。在其他情况下,可以选择更严酷的环境条件之一。

除当需要进行比较试验或步进应力试验时,一般来说,不应采用比现场使用更高的应力水平来进行加速试验。

对于可靠性特征量主要取决于工作循环次数的产品,为了缩短日历时间可以考虑采用加速工作试验条件的方法。

只要有可能,环境试验条件就应该从 GB/T 2421~2424 系列标准所规定的推荐条件中选取。

6.2 预试验条件和修复性维修

如果合适,应规定以下内容:

- a) 测试、调整、校准和工作时间,例如,在可靠性试验之前,对受试产品实施可靠性应力筛选(见 4.5);
- b) 采用的修复性维修方法,包括任何允许对失效后不可修复或可修复产品的更换(见 6.4.2);
- c) 使受试产品预先暴露在规定的条件中,即模拟存储和/或运输条件。

6.3 工作和环境试验条件规范

6.3.1 工作条件

下列工作条件种类只要适用,应在详细的可靠性试验方案中予以说明。

6.3.1.1 功能模式

复杂的产品可能有若干种明确的但不同的功能模式。产品在现场实际使用中,其工作剖面给定了每种功能模式所占的时间百分比,也给定了从一种模式到另一种模式的转换方式,这种转换可以由操作者直接控制或自动进行。

具有多种工作模式的可修复产品的例子:一台收音机可以作为一台高频接收机工作或作为一台音频放大器工作;一台测量设备可以作为一台数字电压表工作或作为一台计数器工作;一个雷达系统工作可以由人工控制跟踪或者自动跟踪。

6.3.1.2 输入信号

应采用会影响受试产品工作的所有可测信号参数的可接受容差来规定输入信号特性的要求。这个

要求对复杂的测试设备接口尤其重要,有了它才能区别是受试产品失效还是测试设备本身失效。输入信号是环境技术条件中的主要部分,并应当对相关内容作出规定,例如,标称值或极值。

6.3.1.3 负载条件

电负载和机械负载通常是由值得考虑施加在受试产品上的应力部分组成,因此应慎重地加以规定。电负载可以用输入阻抗和某一瞬变特性表示。机械负载可以是静态的或是动态的。受试产品的实际功率输出作为负载条件之一应在试验中加以规定和应用。应对负载条件的相关内容作出规定,例如,标称值或最大值。

6.3.1.4 产品的操作

为了模拟现场使用,操作人员往往需要进行控制操作。反之,额外的和不受控的操作会给受试产品施加额外的应力。详细的可靠性试验方案中应规定这些要求和限制。如果鲁莽的操作是作为试验中的一个要求,则应对其慎重规定。

6.3.1.5 保障资源

应规定所要求的外部供电电源特性,如电压、频率、波形、瞬态变化或谐波等及其容差。当需要时还应规定对其他保障资源如水、油、冷却或压缩空气的要求。

对从外部资源获得人工冷却的产品,其实际温度应力将完全或部分由冷却系统特性来决定。在详细的可靠性试验方案中应规定冷却系统的参数如流速、入口温度、湿度、纯净度等的要求。

6.3.2 环境条件

现场使用的环境条件通常是由不同严酷度的许多环境因素组合和顺序构成。然而,现场试验时要精确地控制使用环境,一般来说在经济上是不可能的,并且从试验的角度来看也不是重要的。因此,现场试验记录试验条件尤其重要。

对实验室试验来说,可以单独地、组合地或顺序地施加环境因素。只要有可能,试验环境暴露均应采用 GB/T 2421~2424 系列标准中推荐的试验严酷度。详细的可靠性试验方案应当说明规定所采用的试验环境条件,最好是按 GB/T 2421~2424 系列标准规定的标准化试验条件的顺序及它们之间的转换并根据 GB/T 2421~2424 标准中所列的合适试验,给出可靠性试验方案中需要的信息。应提供 GB/T 2421~2424 中未包括的或与该国家标准不一致的有关试验的全部资料。

GB/T 5080.2—2012 给出了选择工作条件和试验环境条件的详细指南。

在大多数应用场合中,使用的工作、环境和维修条件是以各种各样因素的组合、顺序和严酷度来应用的。然而,某应用组合是类似和频繁的,对实验室验证和测定试验来说,有足够理由采用标准化试验周期。这些标准化(推荐的)试验条件在 GB/T 7288(所有部分)系列标准中有详细的规定,并且只要相关均应采用此标准。对现场试验,记录试验条件尤其重要。

6.4 维修条件规范

6.4.1 预防性维修

当产品规范要求在实际使用期间要对产品进行正常的例行维修时,这类产品实施可靠性试验时应考虑预防性维修策略。无论任何情况,试验期间所进行的预防性维修原则上应与实际使用现场所进行的维修相一致,而且试验期间预防性维修的总量既不应超过也不低于实际使用中规定的预防性维修量。

典型的预防性维修种类是部件更换、调整、校准、润滑、清洗、复位等。

如果适用,试验大纲应至少确定如下内容:

- a) 拟采取的预防性维修措施及其限度；
- b) 预防性维修间隔或次数或决定需要预防性维修的其他准则。

大纲中的维修可以包括功能检查及与现场使用规定程序相同的必需贮备单元的更换。

应在详细的可靠性试验方案中规定预防性维修的间隔、次数或其他准则，并在试验开始之前加以明确。维修间隔、次数可以按工作时间、日历时间或有关试验时间(例如循环数)为单位加以规定。这些规定应当与可靠性试验的其他循环项目或操作有恰当的关系。试验日志应记录实际执行的维修。

6.4.2 修复性维修

详细的可靠性试验方案应对可修复产品规定更换原则，即在试验期间允许修复或更换的等级(单元、部件、零件等)。

当发现受试产品失效时应采取下列措施：

- a) 恰当地记录受试产品的失效并尽可能地予以确认。如果无法确认失效的原因，则下列步骤也许只有部分是适用的。
- b) 确定失效部位，并进行必要的失效分析和诊断性试验，以便找出失效原因。
- c) 初步估计失效类别。在没有得到产品有效的失效分析报告之前，不对失效所属类别作出最终确定。
- d) 对可能产生的从属失效作出估计，以便跟踪。
- e) 需要时根据 a)～d) 的结果确定产品需要修理的范围。
- f) 如果需要，应修复失效的受试产品。对失效的不可修复产品，如果可能，应按原样妥善保管，以便其后进一步进行细致的失效分析。
- g) 如果试验类型允许，修复的受试产品应立即恢复试验。

在修复性维修之后和重新开始试验之前，允许用试验设备测试受试产品的性能。对任何相关的可修复受试产品的所有可更换单元或零件，详细的可靠性试验方案应规定确认其修复有效性所需要的工作时间(或循环数)。在此期间的失效和时间应当予以记录和报告，但均不算作相关试验时间，除非在详细的可靠性试验方案中另有规定。

如果对故障作了错误的诊断，以及一个单元或零件(元件)的更换不能消除该失效时，如有可能，应将原来的单元或零件(元件)重新装回，并继续寻找故障。

7 数据收集和失效分类

根据所进行的可靠性试验类型，在整个试验期间都应该观测相应的受试产品失效的相关试验时间或在试验结束时观测相关失效数。因此，受试产品性能的监测及失效与相关试验时间的定义应该在详细的可靠性试验方案中加以明确规定。IEC 60300-3-2:1993 和下面各条给出了这方面的规则和指导。

收集的数据应包括可能会影响产品修复后可靠性的那些安装细节。数据报告还应详细说明产品试验期间的工作条件 and 环境条件。

7.1 受试产品性能的监测

为了监测受试产品的性能，下列内容和方法应在详细的可靠性试验方案中明确地规定。

7.1.1 功能参数

应规定试验过程中需要监测的受试产品的功能参数。这些参数的极限范围通常是判定失效的标准(见 7.2)。

可以要求需要额外监测受试产品全部或仅部分特定参数。因为在某些情况下，监测这些附加参数

的变化趋势对发现潜在失效是有用的。

当受试产品有冗余单元时,还应当考虑对冗余单元的功能参数进行监测。

7.1.2 测量方法

对每个监测的参数应规定其测量方法和测量精度的要求。如果是相关联的话,还应给出适用的估计总测量误差的方法。

7.1.3 监测间隔

若可能,应连续监测关键功能参数以便记录间歇性失效。否则,应该规定监测之间的时间间隔以及在试验周期中应进行监测的测量点。

监测点之间的时间间隔应该短到不致影响试验结果,最好不要长于试验周期时间。

7.2 失效类别

对于每个要监测的参数均应规定可接受的极限范围。当在规定的环境下,被测的任何一个参数永久地或间断地超出这些规定的极限范围时,就应认为已经发生了一个失效。应按下列条款对所有的失效进行分析。

由于测量错误或外部测试设备失效而产生的失效现象不应认为是受试产品的失效。

如果有若干个参数偏离了产品规定的极限范围,而且不能证明它们是由同一个原因(从属失效)引起的,则每个参数的偏离都应认为是受试产品的一个失效。若是由同一个原因引起的,则认为受试产品只是发生了一个失效。

如果出现两个或更多的独立失效原因,则每个失效原因都认为是受试产品的一个失效。

受试产品的每一个失效都应按关联失效或非关联失效分类。所有不能按 7.2.1 或详细的可靠性试验方案的任何附加规定清楚地划分为非关联失效的失效,都认为是受试产品的关联失效。除非在试验方案中另有规定,否则不确定的故障是关联失效。

在进行统计分析和试验结果裁决时,应把试验期间或试验结束时观测到的受试产品的所有关联失效都计算在内。

7.2.1 非关联失效类别

只有当发生失效的情况有明显的依据可以列入 7.2.1.1~7.2.1.3 规定的类别之一时,受试产品的失效才能认为是非关联失效。这些依据应编制成文件并包括在试验报告中。

详细的可靠性试验方案中可规定适用于特殊情况的非关联失效的其他类别。

7.2.1.1 从属失效

从属失效应认为是非关联失效。相应的原发失效应根据试验规范来确定是关联还是非关联失效。应注意从属失效可能在原发失效发生后延迟一段时间才出现。延迟时间的大小应该经过用户和试验单位共同认可。

7.2.1.2 误用失效

在试验期间误用失效可能是由于非故意的试验条件造成的,如试验的严酷度超过了对受试产品所规定的应力,试验或修理人员的粗心操作等。误用失效是非关联失效,除非试验各方另有协议。

注:如果要求产品相对于运行和操作失误是稳健的,那么试验各方应当予以考虑。

7.2.1.3 修改设计可以消除的失效

试验中早期发现的并将导致在试验后对母体中的全部产品采取更改设计或其他纠正措施的一类失

效。如果纠正措施经证明是有效的,则根据协议,对于已做过的试验而言,这类失效可重新划分为非关联失效。

注:应当规定将失效划分为非关联的标准。

7.2.2 失效的特殊类别

详细的可靠性试验方案可按 GB/T 2900.13—2008 中的各种失效概念,对受试产品的失效规定其他的特殊失效类别,例如根据失效对受试产品性能的影响、失效是否位于产品冗余单元或非必要单元、修理费用及时间等。

7.2.2.1 需要立即作出拒收判决的失效

对于一些特殊情况下的可靠性验证试验,可适当地规定这样一种受试产品的失效:当这种失效一旦发生,无论其失效数多少都不再考虑正常的接收或拒收判断而立即作出拒收的判决。如是这种情况,这类失效的定义应在详细的可靠性试验方案中加以规定。

例如受试产品的失效很可能对产品的使用人员、维修人员或有关人员造成危险或不安全条件,或很可能造成巨大物资损失的失效均属于这类失效。

7.2.2.2 反复失效

反复失效的出现意味着产品设计上的缺陷或表明产品上使用了质量低劣的零部件。反复失效是表明产品可能发生耗损或其他退化而使失效率上升的重要迹象。

在出现反复失效的情况下就要进行专门的分析,以便找出反复失效的原因,并应重新检验关于失效时间分布的假设(见 8.4)。

7.2.2.3 冗余产品的失效

在冗余产品中引起系统失效的故障,根据用户和制造商的协议,将其从那些仅引起降低冗余级别的失效独立分类。在试验方案中应当考虑产品的这种失效类型及其产生的后果。试验规范应当明确将产品失效和单元失效(降低冗余级别)被定为关联失效的范围。

注:同一类型失效可能引起系统失效或降低冗余主要取决于产品的条件。

7.3 失效分析

应对每个失效进行分析,至少达到能将其清晰地划分为关联或非关联失效的程度。

失效分析应尽可能确定原发失效的原因及其他可能造成失效的因素。

更深入的失效分析目的是为采取纠正措施打下基础,例如更改设计和生产工艺。

为便于失效分析,对每一个失效的所有相关信息应在试验结果或文件中记录,为进行物理检验应保留所有替换出来的零部件或模块。

失效分析应当进一步证实在试验中观测到的失效模式是关联的,即受试产品预期会在现场使用中出现的失效模式。这一点在比较试验和加速试验中是特别重要的,例如步进应力试验。

根据协议,如果受试产品预期不会在现场使用中出现的失效模式,则试验中观测到的此类故障模式划分为非关联。如果在失效分析中无法查明原因的故障,则应当计为关联失效,除非试验各方另有协议。在由软件/硬件组成的产品中发生的软件失效需要特殊的失效分析技术。

7.4 相关试验时间

相关试验时间是指与受试产品关联失效数有关的用来验证可靠性要求或计算可靠性特征值的时间。

试验期间记录的相关试验时间可以是按详细的可靠性试验方案规定的每个受试产品各自的相关时间,或是全部受试产品累计相关时间之和。该时间不包括受试产品可靠性筛选时间、维修时间和不可用

时间。在间断地对受试产品进行监测时,对任何一个失效都被认为是在被监测时间区间的中间发生。

详细的可靠性试验方案可以对每一个受试产品规定最小和(或)最大相关试验时间。

当受试产品是由两个或更多的独立单元组成时,则记录受试产品的相关试验时间应是产品各单元中最小的相关试验时间。

在详细的可靠性试验方案中应定义相关试验时间。如果试验是以受试产品工作时间为基础,则建议在每个可修理的受试产品中安装一台计时器或循环计数器,每当发现失效或进行修理时均应记录它们的读数。如上述办法不切合实际,也可以采用另一种时间基准,例如运载平台的使用时间(如航空设备的飞行时间),此时可以加一个适当的修正系数,也可以不加。

8 试验数据分析

试验数据的统计处理取决于试验所采用的截尾类型,因此,在试验方案中应予明确,并在试验程序中对相关方法进行文字说明(见 4.4)。

8.1 不修理产品

如果试验方案允许,当不修理产品失效时,可以将其从试验中撤出或者更换。每个失效产品的试验时间都应记录在试验备忘录或试验文件中。然而,产品单元中任何部分的更换都应看作是对相应产品进行了修理。

8.2 修理产品

当修理产品失效时,对其进行修理并让其继续参加试验。如果允许修理的数量是预先确定好的,那么应在试验方案中予以说明。每个失效修理产品的试验时间都应记录在试验决议或试验文件中,同时要记录实施修理的信息和被更换的零部件或模块的信息。要保存好失效的零部件或模块以便进行失效分析。

8.3 失效数据的组成(截尾)

不管产品试验是依次开始(见图 4a)),还是在同一时刻开始(见图 4b)),或者是这两情况的混合,对失效前试验时间的定义都是相同的。当试验中所有产品失效前试验时间都被观测到时,则认为数据是完全的。如果仅仅知道日历时间(如产品在现场),那么可以给定一个占空因数以得出工作时间。

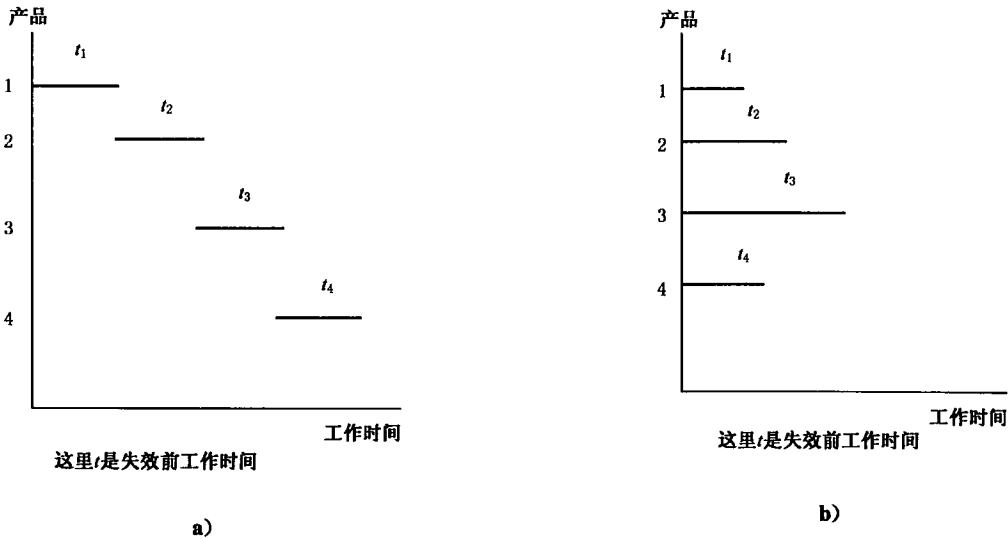


图 4 失效前时间例子

如果试验结束后仍有产品保持正常,则称观测到的数据是截尾的。如果试验是在一个给定时间 T

时终止,此时仍有产品没有发生失效,那么观测的数据如图 5a)所示,是定时截尾。如果试验是在一个给定的失效数发生时终止,那么观测的数据如图 5b)所示,是定数截尾。

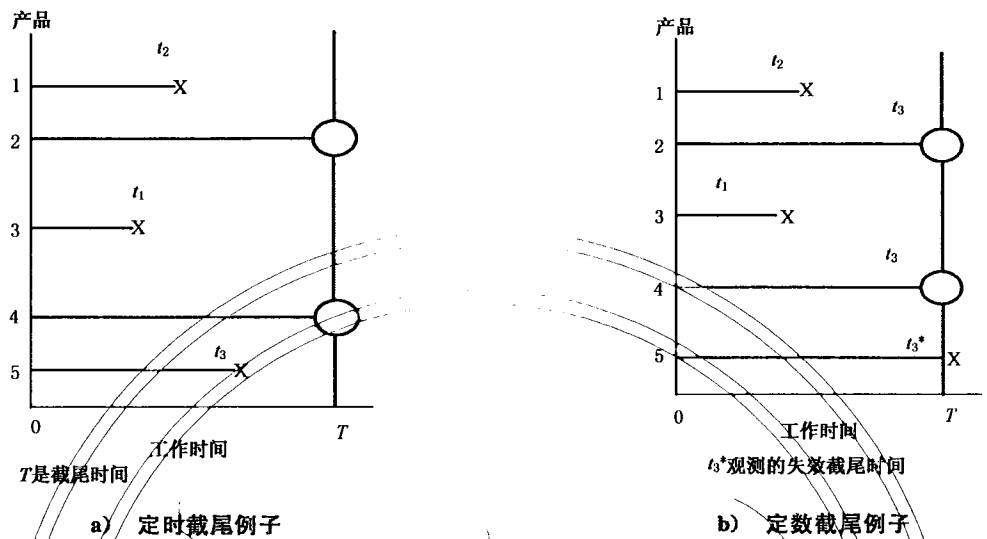


图 5 定时/定数截尾例子

定时截尾和定数截尾数据都被称为是单一截尾。当产品在不同场合投入使用或从试验中撤出时,将产生多重截尾数据。当某些产品没有失效并且继续运行时,数据的走向是不确定的并且要经常地进行数据分析。例如进入现场使用的产品(见图 6)。

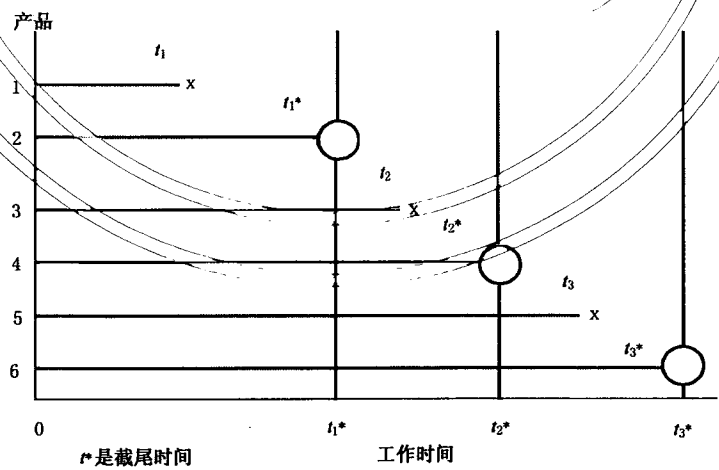


图 6 多重截尾例子

由失效以外的其他原因而从试验中撤出的产品称为中止试验产品。

对于失效产品,除了整个更换外,能通过任何方式将其恢复到可以完成所有规定功能的产品称为修理产品。由于修理产品的失效可超过一次,因此关心的是产品失效间隔时间,图 7 给出了一个修理产品失效间隔时间和修理时间的例子。

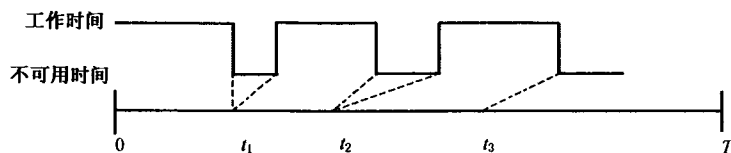


图7 单个修理产品失效间工作时间例子

当产品在试验结束时被分为失败或成功两类时,则可用产品的成功率来表征,即成功率可用记录保持正常的受试产品数与总的受试产品数之比得出。

在选择分析方法之前应确定数据的类型。这就意味着工程师应确定受试产品的类型,即修理产品或不修理产品,确定产品进行试验的类型,是定时截尾还是定数截尾。

8.4 失效模型

8.4.1 统计特性

大多数与可信性评估有关的观测值都是随机变量。这意味着每个失效不能被预知,但在给定的时间区间里可估计其发生的概率。这个概率的真值是不可能知道的,但在观测的基础上可对其进行估计。

典型的随机变量是:失效前时间,失效间隔时间,在一个时间区间里的失效数,在若干次试验/产品中的失效数。

为有效地利用观测到的数据,这些数据通常用一个理想化的能代表实际的模型来描述。在下面的各条中会提到一些简单的模型。

8.4.2 失效率

原则上,失效率与任何类型的产品都有关,每单位时间确定处于风险的修理或不修理产品数量。然而实际上,失效率主要用于不修理产品,比如元器件和部件。失效率与失效前时间分布是有关联的。

失效率可以用每单位有风险的产品数在单位时间内的失效数来估计。

不能对单个产品进行失效率估计,而只能对整个母体进行估计。

注:在 GB/T 5080.1—1986、GB/T 5080.4—1985 和 GB/T 5080.6—1986 的版本中,“失效率”包含了“失效强度”的概念。但是,区分这两个概念是重要的,特别当失效率/失效强度不是恒定的时候(见第 B.8 章中的例子)。

如果失效前时间是服从指数分布的,那么失效率是恒定的。如果假定失效率的趋势是上升或下降的或经检验失效前时间服从威布尔分布,那么可采用 IEC 61649:1997 中的方法。

8.4.3 失效强度

失效强度只适用于修理产品,如一个系统。这意味着可以用连续的失效间隔时间来估计一个修理产品的失效强度。它用单位时间内(例如一年)产品失效次数来进行估计(见附录 B 中的例子)。

在这种情况下,产品的失效是依次发生,并认为是一个随机点过程,因此记录依次失效间隔时间是重要的。

如果失效间隔时间服从指数分布,那么失效强度是恒定的。因此,失效间隔时间可以采用指数分布模型。在这种情况下,单位时间内的失效数可以采用齐次泊松过程(HPP)模型来描述。

许多失效强度存在变化趋势的情况,可以采用幂律模型,并由此可估计出它的趋势。

注:假如这个趋势存在(递增或递减的失效强度),可以采用非齐次泊松过程(NHPP)。

图 8 给出了一个修理产品的累计失效数与工作时间的关系图。依次的失效间隔时间随着工作时间是递增的,即失效强度是随工作时间而递减的。从原点到曲线上任何一点的斜率来估计平均失效强度,而曲线上某个点的切线斜率可以估计瞬时失效强度。

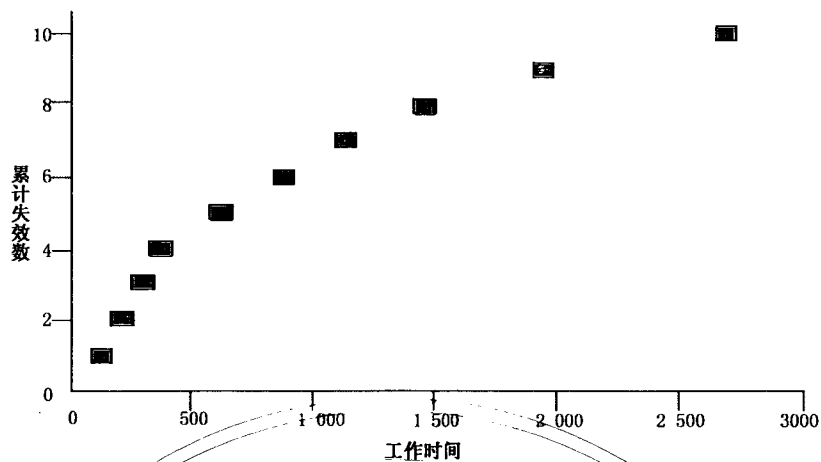


图 8 单个修理产品失效间隔时间递增趋势例子(失效强度)

同样地,图 9 也给出了一个修理产品的累计失效数与工作时间的关系图。然而,在此情况下,依次失效间隔时间没有任何变化趋势,也就是说失效强度是恒定的,因此没有表现出变化趋势。

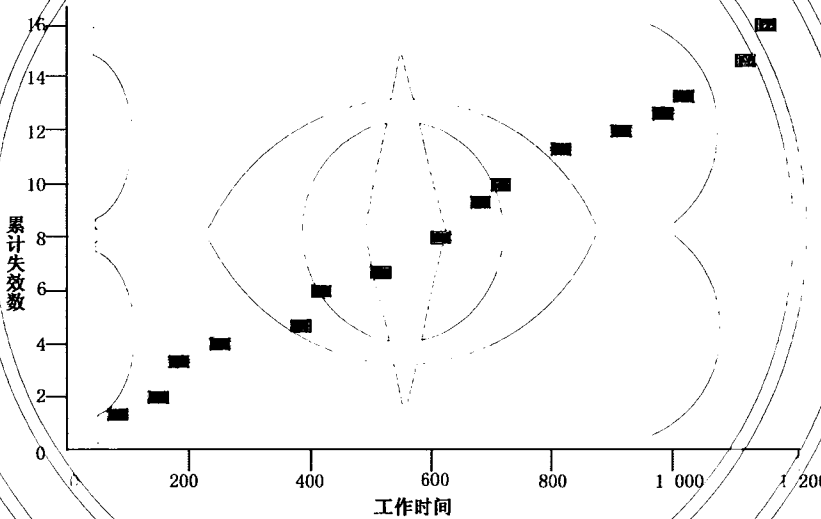


图 9 具有恒定失效强度的单个修理产品累计失效数与工作时间关系例子

8.4.4 结束语

不修理产品失效前时间数据是用一个失效分布作模型的。修理产品的首次失效前时间数据也是用一个失效分布作模型。然而,修理产品依次失效间隔时间数据是采用一个点过程作模型的。表 4 是上述各条内容的汇总。

表 4 失效数据分析适用模型一览表

产品	参数	失效率/ 失效强度	数 据	模 型	说 明
不修理	失效率	恒定	失效前(工作)时间; 失效数	失效前时间服从指数 分布	
		非恒定	失效前(工作)时间; 失效数	失效前时间可能服从威 布尔分布	

表 4 (续)

产品	参数	失效率/ 失效强度	数 据	模 型	说 明
修理	失效强度	恒定	失效间隔(工作)时间; 失效数	点过程;失效间隔时间可 能服从指数分布	失效数可能服从齐次 泊松过程
		非恒定	依次失效间隔(工作)时 间;失效数	点过程;失效间隔时间可 能服从幂律过程	失效数可能服从非齐 次泊松过程

9 统计工具和分析方法

9.1 工具描述

本部分涉及的统计工具主要分成以下四种类型:

- a) 拟合优度检验方法;
- b) 可靠性特征量的点估计和区间估计方法;
- c) 可靠性特征量的验证试验方法;
- d) 比较试验方法。

表 5~表 8 概述了这些作为标准提供适用的统计工具。

表 5 拟合优度检验方法

模 型	工 具	数据要求	结 果
恒定失效率	GB/T 5080.6—1996	数值方法需要至少 10 个失效前时间的观测值	接收或拒收
	GB/T 5080.4—1985 GB/T 5080.6—1996	图解方法需要至少 4 个失效前时间的观测值,数据应是完全或单一截尾的	
恒定失效强度	GB/T 5080.6—1996	一个修理产品在一段时间内需要至少 6 个失效间隔时间的观测值	接收或拒收
威布尔分布	IEC 61649:1997	已知不修理产品的失效前时间,需要至少 10 个失效前时间观测值;数据应是完全或单一截尾的。	接收或拒收
	GB/T 5080.4—1985	图解方法需要至少 4 个失效前时间的观测值	
幂律模型	IEC 61164:1995 IEC 61710	对于修理产品,需要从定时或定数截尾试验中获得数据观测值既可以是累计试验时间,也可以是试验时间中各区间内的失效数	接收或拒收

表 6 可靠性特征量的点估计和区间估计方法

模 型	工 具	数据要求	结 果
指数分布	GB/T 5080.4—1985	需要关联失效数和累计相关试验时间	失效率,平均失效前时间(MTTF),失效强度,平均故障间隔时间(MTBF)的点估计、置信区间估计
威布尔分布	IEC 61649:1997 GB/T 5080.4—1985	数值方法需要不修理产品的失效前时间观测值 图解方法需要失效前时间的观测值	形状参数和尺度参数的点估计、置信区间估计,可靠度函数置信下限 形状参数、尺度参数、特征寿命
幂律模型	IEC 61164:1995 IEC 61710	一组关联失效所对应的时间或每个关联失效所对应的时间	失效强度、尺度参数、形状参数、平均故障间隔时间(MTBF)的点估计、形状参数和当前MTBF的区间估计
二项分布	GB/T 5080.4—1985 ISO 11453:1996	需要失败/成功次数和试验数	成功率、置信区间

表 7 可信性特征量的验证试验方法

模 型	工 具	数据要求	结 果
成功率或失败率	IEC 61123:1991	成功率或失败率和可接受失效数	接收或拒收
恒定失效率或失效强度	IEC 61124:1997	观测的关联失效数和累计相关试验时间或相关日历试验时间	接收或拒收
稳态可用度	GB/T 15647—1995	单个修理产品的可用时间和不可用时间。所有的可用时间应当服从同一指数分布。 不可用时间不包括预防性维修时间	接收或拒收

表 8 比较试验方法

模 型	工 具	数据要求	结 果
恒定失效率	IEC 61650:1997	关联失效数和失效前时间总和	接收或拒收
恒定失效强度	IEC 61650:1997	关联失效数和计为工作时间的累计相关试验时间	接收或拒收

9.2 各工具之间的关系

图 10 给出了针对不修理产品或具有恒定失效强度的修理产品分析方法的流程图。它表明了四种主要统计工具,即拟合优度检验、测定(估计)、验证和比较,与相关分布类型之间的主要关系。

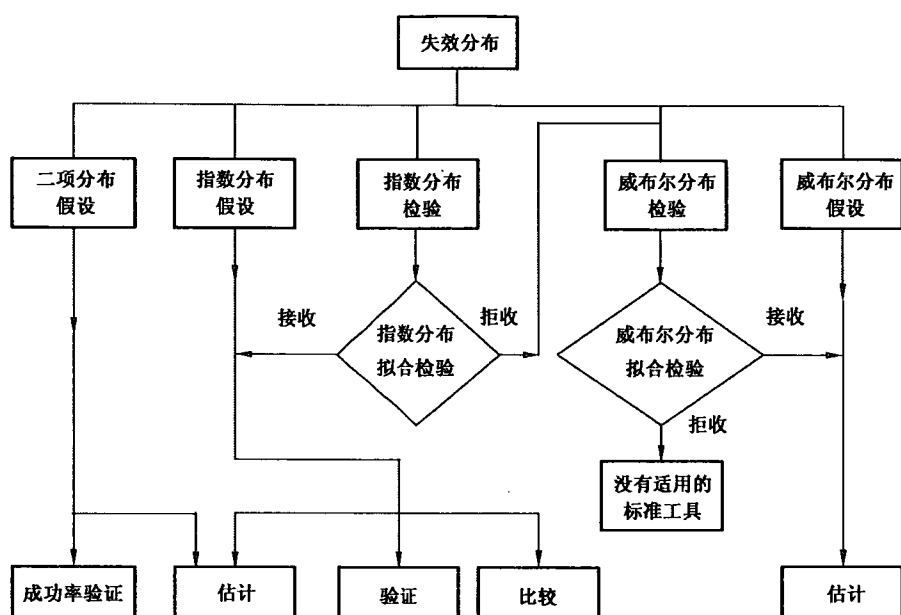


图 10 不修理产品适用的分析类型

当确定了数据所服从的分布模型,该流程图可以给出哪种工具是适用于估计、验证、比较和拟合优度检验。

图 11 给出了修理产品分析方法的流程图和参考的失效强度模型。如果假设是恒定失效强度,那么使用者应参考图 10 中的流程图和工具。同样,如果进行统计检验后,没有拒绝恒定失效强度假设,那么使用者应参考图 10 中的流程图和工具。

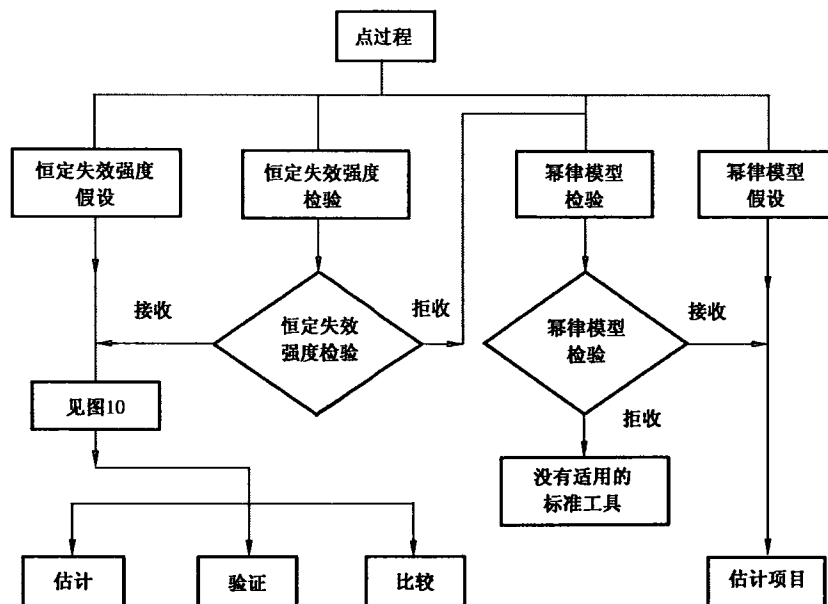


图 11 修理产品适用的分析类型

这两个图显示了所有四种工具仅适用于具有恒定失效率和恒定失效强度。对于威布尔分布的比较试验或验证试验目前没有适用的工具。

9.3 分析方法

以下各图为估计、验证和比较等可靠性试验选择适合工具提供了指南。
从图 12 可知,为确定不修理产品的可靠性,需要的工具见表 9。

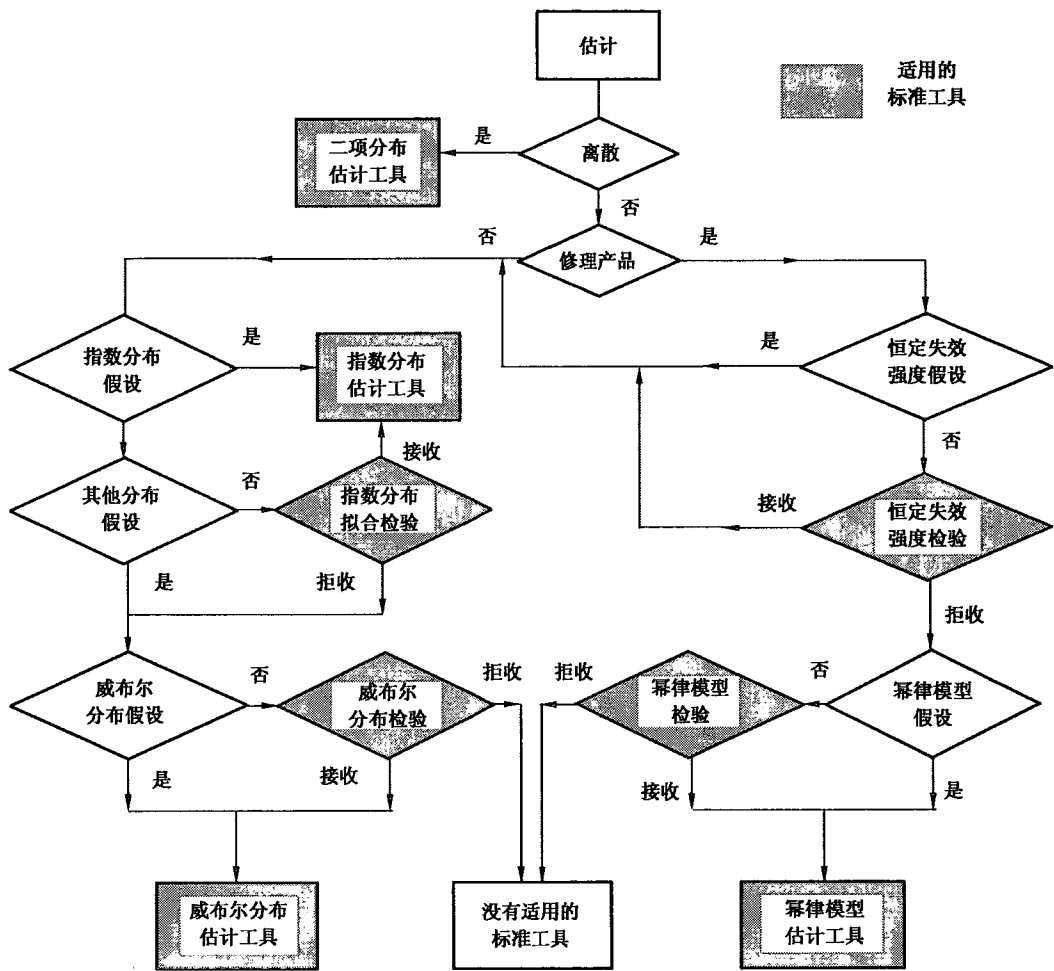


图 12 估计适用的工具

表 9 不修理产品适用的工具

工 具	标准编号
恒定失效率和失效强度假设的有效性检验	GB/T 5080.6—1996
指数分布的点估计和置信区间估计	GB/T 5080.4—1985
威布尔分布的拟合优度检验	IEC 61649:1997
威布尔分布的点估计和置信区间估计	IEC 61649:1997
二项分布的点估计和置信区间估计	ISO 11453:1996

同样地,为确定修理产品的可靠性,除表 9 的工具外,还需要表 10 的工具。

表 10 修理产品适用的工具

工 具	标准编号
恒定失效强度的检验	GB/T 5080.6—1996
幂律模型的参数估计	IEC 61164:1995

当得到的数据是由从总试验数中得出的失败次数或成功次数组成时,那么二项分布是最适合的。ISO 11453 详细地介绍了如何估计二项分布的可靠性特征量。

图 13 给出了验证试验选择一个合适工具的指南。

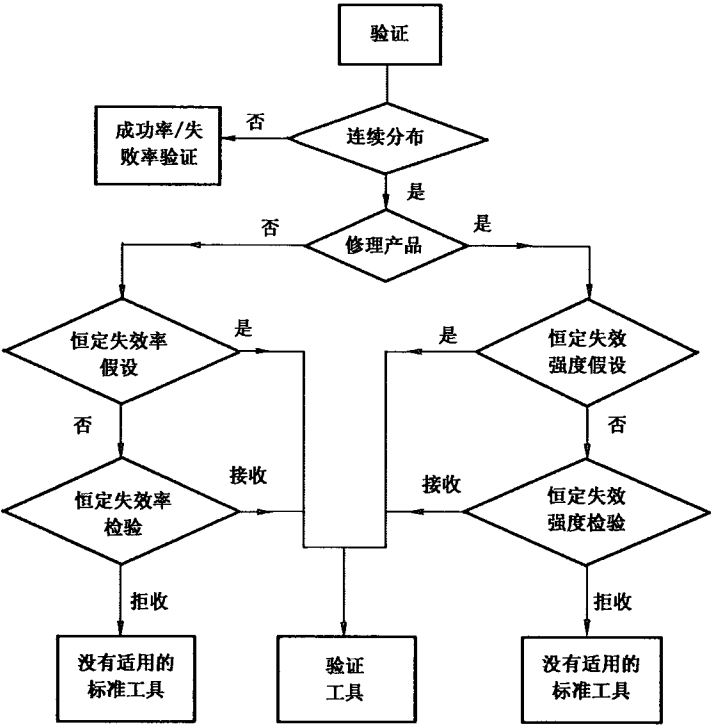


图 13 验证试验适用的工具

验证试验适用的工具见表 11。

表 11 验证试验适用的工具

工 具	标准编号
恒定失效率和失效强度假设的有效性检验	GB/T 5080.6—1996
恒定失效率和失效强度的验证试验方案	IEC 61124:1997
制定和采用成功率或失败率验证试验方案的方法	IEC 61123:1991

图 14 给出了失效率/失效强度比较试验的流程图。

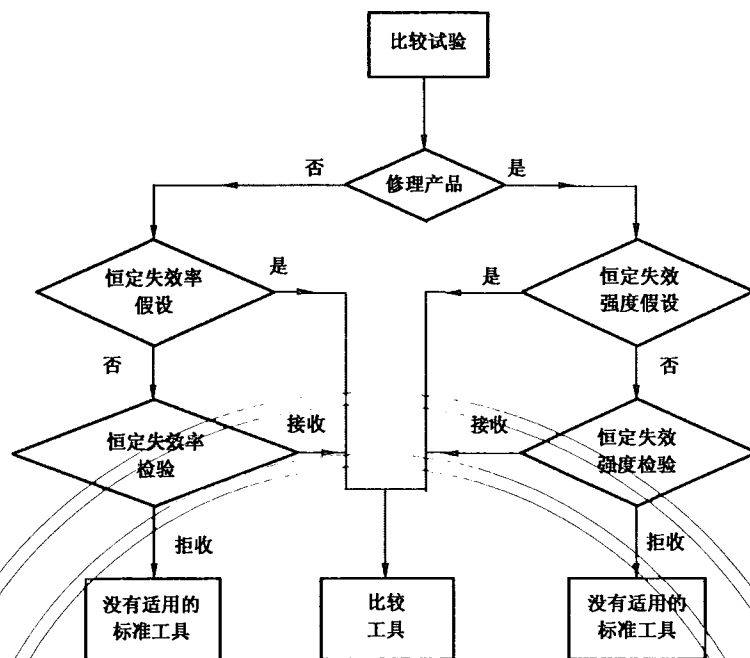


图 14 比较试验适用的工具

适用于两个可靠性特征量比较的工具见表 12。

表 12 比较试验适用的工具

工具	标准编号
恒定失效率和恒定失效强度假设的有效性检验	GB/T 5080.6—1996
两个恒定失效率和两个恒定失效强度的比较	IEC 61650:1997

有些情况没有适用的国家标准或国际标准,例如没有适合用于幂律模型或威布尔分布的两个可靠性特征量比较的标准。

9.4 最终结论和可能采取的措施

9.4.1 接收

如果没有出现立即作出拒收判决的失效或反复失效(见 7.2.2.1 和 7.2.2.2),并且统计处理结果得出是接收判决,那么受试产品不需采取任何进一步措施就应该被接收。

9.4.2 有条件接收

受试产品有条件接收可以由制造商和用户之间协商。

9.4.3 拒收

受试产品如果既不能按 9.4.1 接收,也不能按 9.4.2 实现有条件的接收就应该被拒收。

10 试验报告

试验报告应该完整到足以为最后判决或测定提供可靠的依据。试验报告应包括下面各条所列的内容,其每一项内容都涉及受试产品和详细的可靠性试验方案。

试验报告应涉及每个受试产品的履历,及某些应力的特殊标注,这些应力也许以前已存在并且已对某一可能的失效机理产生过影响。

10.1 试验日志和数据记录

应给每一个受试产品建立一份试验记录文件,每次失效之后按时间顺序进行数据记录(见 10.2)。如果由于实际原因一批产品记录在同一文件中,那么应能追溯到单个产品的记录。

为了向可靠性工程师们提供全面的信息,不论是成功的信息还是失败的信息都应该收集。

如下所列,详细的内容应包括所有相关的和可能的条款:

- a) 产品识别:
 - 产品名称;
 - 制造商名称;
 - 产品型号;
 - 受试产品序列号或其他标识。
- b) 按时间顺序记录每次观测和操作:
 - 日期和时间;
 - 工作条件;
 - 环境条件;
 - 性能参数值;
 - 产品规范以外的试验条件说明;
 - 计时器读数;
 - 观测和操作人员姓名。
- c) 一般说明。

10.2 试验条件和观测记录

试验记录及最终失效分析报告应包含全面数据分析需要的全部原始信息,以便依据它们由试验结果作出决策。试验记录应贯穿整个试验过程,并且最好连续地记录试验条件和受试产品的性能。

操作人员应记录任何与试验相关的事件。在详细的可靠性试验方案中应明确要记录的试验数据和记录的范围。试验记录最好设计成表格形式,以便允许操作人员自己可以直接填写全部信息。

对每一个受试产品,记录应包括以下内容:

- a) 观察到受试产品任何失效或任何其他相关事件或者采取某一措施的日期、时间以及经历的相关试验时间;
- b) 任何失效分析的细节、观察到的失效进行分类所需的所有重要信息,包括参考的失效报告;
- c) 任何事件和措施的描述,包括已列在详细的可靠性试验方案中规定的预防性维修任务;
- d) 更换或重新组装子组件、元器件等的标识;
- e) 工作条件和环境试验条件数据;
- f) 确认任何修复性维修有效性的时间;
- g) 参试人员和受试产品操作人员的姓名。

10.3 失效报告

每个失效都应有一个失效报告或文件,其内容应包括对失效的描述、失效分析结果及对产品所采取的措施。在试验期间负责试验的工程师应监控失效报告,尤其是对不确定的故障。

如下所列,详细的内容应包括所有相关的和可能的条款:

10.3.1 试验操作人员填写的内容

- a) 失效识别:
 - 失效日期和日历时间;
 - 受试产品序列号或版本;
 - 涉及的组件、子组件及零部件(元器件);
 - 失效时刻的工作条件;
 - 失效时刻的环境条件;
 - 经历的工作时间;
 - 试验操作人员姓名。
- b) 失效现象:
 - 任何局部或全部失效的原始症状;
 - 超出规定范围的参数值;
 - 用于指示失效的仪器;
 - 为确定失效存在和范围可能做过的工作。
- c) 参考的失效报告。
- d) 对失效分类的意见。
- e) 推荐的纠正措施。
- f) 是否有必要将产品撤出试验,或使其处于不工作模式。
- g) 一般说明。

10.3.2 维修人员填写的内容

- a) 失效的确认:
 - 确认失效(失效现象)采用的方法和仪器;
 - 观测和说明。
- b) 修理情况描述:
 - 采取的措施;
 - 产品在修理期间适宜工作场所的工作时间;
 - 修理的日期、时刻和持续时间;
 - 修理人员的单位和姓名;
 - 在故障无法确定的情况下,进行失效寻找的详细情况说明。
- c) 更换识别:

对更换的每一个产品或部件:

 - 安装位置或电路位置;
 - 产品或部件的名称;
 - 型号、批号及特性;
 - 制造商名称;
 - 可发现更换产品或部件所在的位置;

- 对失效没有明显影响的产品或部件被更换的说明；
 - 在修理中或修理后进行的失效原因分析,如果可能提出失效的原因；
 - 对更换的产品或部件建议进行的失效分析。
- d) 对失效原因和失效分类的意见。一个系统失效可能有多种原因,例如由软件和硬件故障及人员操作失误共同导致的失效。
- e) 为排除失效推荐的纠正措施或认可的修改。
- f) 一般说明。

10.3.3 失效分析人员填写的内容

- a) 对更换产品或零部件(元器件)的分析:
- 目检和初始测量；
 - 分析说明(物理的、化学的等)；
 - 结论；
 - 分析日期；
 - 分析人员单位和姓名。
- b) 导致失效的条件分析。
- c) 失效原因和分类。
- d) 推荐的纠正措施。
- e) 一般说明。

10.4 失效的摘要资料

这个单独的文件应包括所有失效的摘要信息。失效数据与相关试验时间应可追溯到原始试验日志和失效报告。

如下所列,详细的内容应包括所有相关的和可能的条款:

- a) 一般信息:
- 产品标识；
 - 参考的详细可靠性试验方案。
- b) 按时间顺序的所有关联失效的摘要:
- 失效日期和时间；
 - 失效分类；
 - 参考的失效报告；
 - 受试产品序列号；
 - 累计的关联失效数；
 - 累计的相关试验时间。
- c) 所有非关联失效的摘要:
- 失效分类；
 - 参考的失效报告。
- d) 不可用时间和修理时间的信息。

10.5 失效的更换产品和备件清单(可选的)

本清单应提供有关更换产品和备件的失效率和更换频率的信息,其目的是用于维修计划制订和后勤保障工作。

应包括以下内容:

- a) 一般信息：
 - 产品标识；
 - 参考的详细可靠性试验方案。
- b) 清单：
 - 对于每个更换产品和备件：
 - 标识；
 - 试验期间使用的条件；
 - 在受试产品中的总数；
 - 失效的总数；
 - 总的累计相关试验时间。

10.6 最终报告

可靠性验证试验或测定试验的最终报告应包括：

- 失效摘要资料(见 10.4)；
- 表达统计处理结果的数值和图形；
- 最终结论和建议采取的措施(如果可能)。

附 录 A
(资料性附录)
数 据 筛 选

有许多通用要求适用于本部分提到的所有统计工具。这些要求主要与试验的设计和管理有关。任何试验开始前,试验工程师应研究这几个方面的内容,例如:

- 试验的目的;
- 可用的试验设备;
- 试验设计;
- 试验的组织机构;
- 试验的控制管理;
- 试验数据的收集。

一个经仔细计划的试验增加了数据能用参考的统计标准进行分析的机会。

然而,在采用任何统计工具前,应对数据进行筛选。

特别需要注意的是数据的异常模式。异常模式可能意味着存在不同母体的混合。例如,可以进行简单的探索性数据分析。这些分析可以采用简单的时间与失效数对照图形,如条形图、饼图、表格,以及诸如方差分析(ANOVA)的统计技术。ANOVA 可给出更加正式表示母体存在的显著差异。数据的异常模式可能是由于试验设施问题或数据收集问题或存在几种不同的失效模式。

对于失效产品,如果可能,在应用统计技术前,工程师应当调查失效模式或失效机理。由不同失效模式产生的混合数据可能给出错误的结果。最好,可以仅估计对于实际混合失效模式的平均数据,注意混合可能随着试验条件而改变(如 Arrhenius 方程)。

A.1 失效模式分类

图 A.1 显示了某种产品按失效模式分组,其失效数的一个条形图。通过将数据按失效模式进行分类,工程师对一些具体问题有更好的认识,因此数据统计模型的建立应当按数据种类各自进行。其实,排列图就是一个例子,即大部分故障是由少数几个原因引起的。

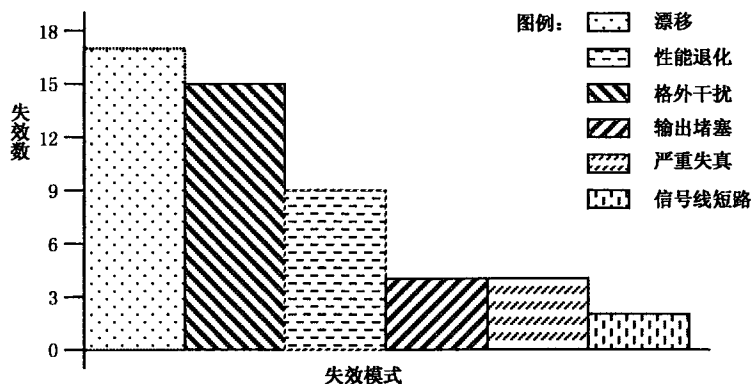


图 A.1 排列图例子

A.2 故障分类

图 A.2 显示了一个修理产品的故障分类饼图。对每个故障进行分类,以便通过设计、制造工艺和元器件供应等方面的更改来避免这些故障的再次发生。经过一段时间后,当设计趋于更稳定,而且制造工艺已固化和被验证,则由设计、元器件和外部原因造成的故障数量应当减少,这在产品研发阶段是特别有用的。这种数据筛选在可靠性增长计划监控时是经常使用的。

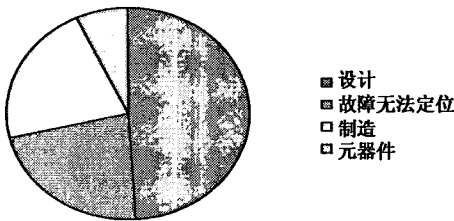


图 A.2 故障分类例子

A.3 不同失效模式混合

图 A.3 显示了某种不修理产品,其工作时间与失效数之间关系的示意图。注意图中出现了三组分离的数据。例如,对于电子产品,第一组数据可能是由于早期寿命失效构成,比如设计问题、选用了不正确的元器件等级、工艺问题、不良连接或机械损伤等。中间组数据可能是由于随机失效或许是包装泄漏。第三组数据可能是与耗损机理有关,比如焊接接头疲劳。通过将这些数据画图,工程师能够观察这些不同阶段,并且因此更进一步研究这些失效的原因。为了验证、比较或测定产品的可靠性水平,在尝试对数据建模之前应开展这种分析。

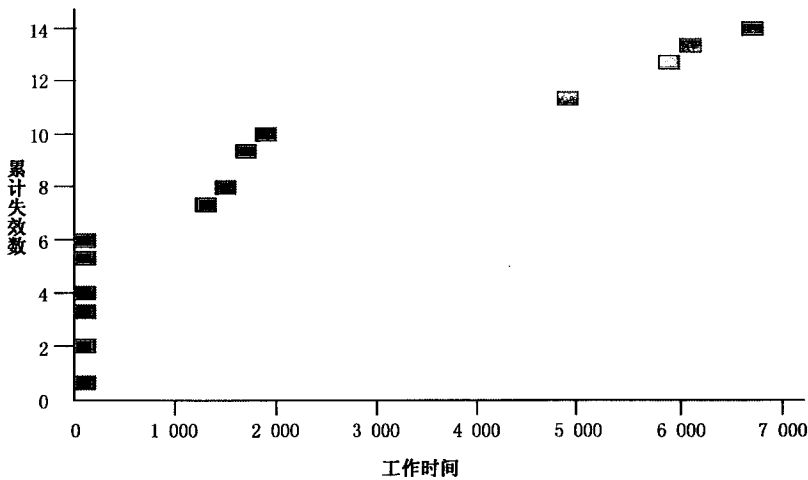


图 A.3 不同失效模式混合例子

A.4 不同母体混合

如果怀疑某些产品在运行系统内存在加工缺陷,可以开展哪些工作来研究产品在预期寿命中的问

题程度呢？采用许多同类产品进行试验来研究其预期寿命。该试验引起的失效机理应该能够与在外场工作观察到的一样。假设有 60 个属于三个不同批次产品进行试验。对于不同母体的混合，首先要对综合的试验结果数据进行筛选。要想检查产品不同批次之间是否存在明显差异，应该使用一些探索性技术和其他的统计技术，例如 ANOVA。

图 A.4 显示了划分成不同批次的不修理产品的失效时间图。

图中显示了 C 批产品与其他批产品表现不同，或许有两个单独的母体，正式的统计技术和失效分析可以证实这个假设。如果将 A 批和 B 批数据与 C 批数据分开，那么使用本部分介绍中的工具对数据进行进一步分析是有意义的。

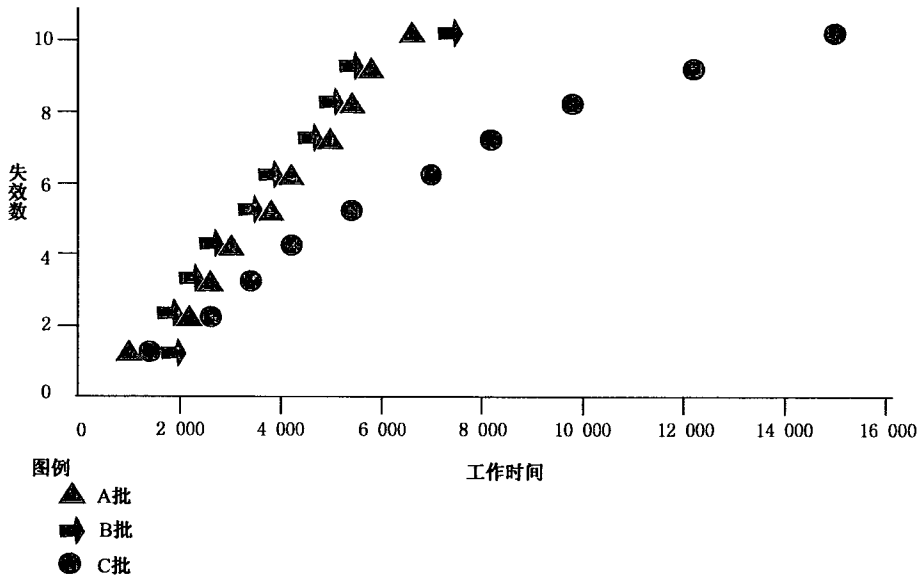


图 A.4 母体混合例子

A.5 故障诊断

一个具体的不修理产品的数据分析表明该产品存在比预期多得多的故障事件，这就导致较高的失效率估计。图 A.5 显示了失效前时间数据的较严密检查。

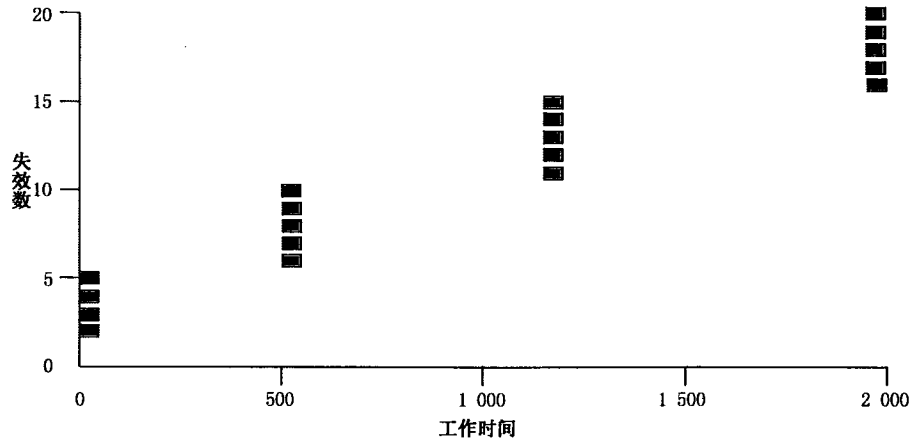


图 A.5 诊断问题例子

对母体更进一步研究表明在每一个印制电路板上有一个这类型的元器件。在询问故障后,诊断工程师发现仅有一个已发生失效,但工程师认为最好将这 5 个元器件全部更换。因此如果不作更进一步研究而接受估计出的失效率,这意味着产品只有较短的期望寿命,这样就需要订购很多的修理备件。

A.6 试验设施故障

图 A.6 显示了一个单独的修理产品失效前工作时间,随着失效间隔时间的逐渐增加,该数据表现出大量的早期失效。

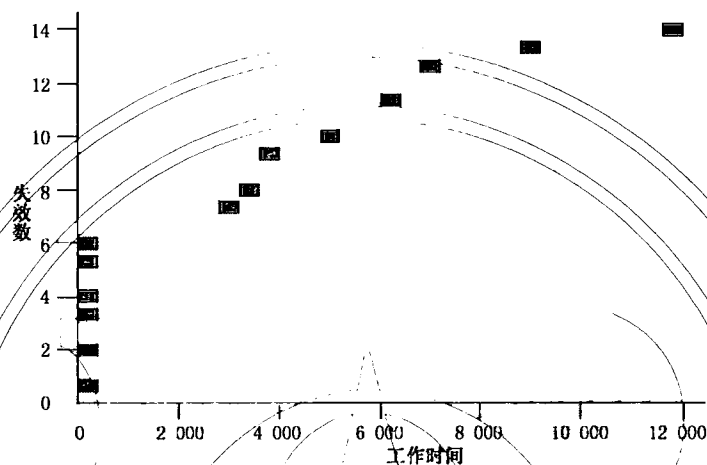


图 A.6 数据聚集例子

在进行模型拟合前应研究这种数据聚集的原因。当试验需要使用复杂的模拟设施时,设备的最初构建是十分关键的。图 A.6 中显示的早期失效可能是由于模拟参数设置错误引起的。

选择一个失效分布或随机过程来建立数据模型时,首先应利用对受试产品的工程判断和认识。简单的探究数据分析技术和更为正规的统计技术应当与失效分析结合,共同对工程判断进行确认或修正。

附 录 B
(资料性附录)
一 般 示 例

B.1 概述

本部分的目的是指导使用者恰当地使用产品可靠性验证、测定和比较试验所需要的统计工具。前面的内容给出了一些关键概念的解释和数据的一般要求,以及对可使用工具的一个概述。下面的内容介绍一些使用者经历的例子,并给出这些问题的细节,以及解决这些问题最适用的工具清单。

B.2 HPP(齐次泊松过程)的验证试验

确定要在使用现场验证 MTBF,应按照第 9 章中所列的内容考虑。

给每一个受试的可修产品安装计时器。在整个试验过程中,供应方代表应在场,并由使用方操作产品和对产品进行预防性维修,但故障寻找、修理和失效分析由供应方进行操作、使用方代表要在场。

对上述问题,图 13 中给出了需要的统计工具。如果不能假定是恒定失效强度,那么应该进行拟合优度检验(见 GB/T 5080.6—1996)。如果假定是恒定失效强度,那么恒定失效强度的验证工具(见 IEC 61124:1997)能对给定 MTBF 值进行验证(见 B.7)。

注: HPP 是非常重要的概念,迄今除了在本部分的 8.4.3 中使用外还没有在任何 IEC 和国家标准中使用。

B.3 威布尔分布的测定试验

制造商在自己的场所进行实验室试验。

应按照第 9 章中所列的内容考虑。

实验室选择的试验应力水平与该不修理产品在使用现场工作时的一样,但是由于不修理产品不是连续使用的,因此可利用时间压缩的方法。在 24 h 试验期间,受试产品运行 48 个工作循环是可能的,这意味着受试产品试验 24 h 等于其在使用现场工作 48 d。

由制造商进行试验的不修理产品没有规定预防性维护。当一个不修理产品失效后,它将从试验中撤出并送去进行失效物理分析。失效分析鉴别两种独立的失效模式,一种是与疲劳有关,另一种与污染粒子累积有关。对每种失效模式单独进行威布尔分析。

对上述问题,图 12 中给出了需要的统计工具。由于失效率是随时间而增加的,应使用威布尔分布对数据建模,因此为计算适当的可靠性特征量所需的工具是 IEC 61649:1997。

B.4 幂律模型的测定试验(例 1)

这种情况的基础是现场数据。信息是从由供应商的服务人员填写的修理报告中收集的。每一个修理产品都装有一个内置计数器,记录完成的循环数(重复次数)。

分析结果显示失效强度是下降的。失效分析表明失效强度下降是由于对一批批的电灯泡进行连续改进引起的。

要制定预防性维修程序,计算寿命周期费用,并且给用户维修合同。对于大的政府合同,计算寿命周期费通常用于投标中。

图 12 给出的流程图包括了这类问题。由于知道失效强度不是恒定的,因此与幂律模型相关的统计工具是最适合于分析这类数据,即 IEC 61164:1995。

B.5 恒定失效强度的比较试验

这是制造商为了比较两种设计而进行加速实验室试验。加大修理产品的设计负载、工作温度和温度循环,使其达到比现场使用更高的应力水平。

试验由制造商监测,4.3.2 描述的内容适用于这种实验室试验。

失效分析表明试验中的失效模式与在使用现场观察到的是一样。

新设计优于旧设计,应将改进部分体现到新设计中,并在下一次维修访问时,将改进部分应用到所有现场使用的可修复产品上。

图 14 流程图给出了分析这种问题数据的途径。由于失效强度是恒定的,因此两个恒定失效强度的比较可以采用相应的统计工具,即 IEC 61650:1997。

B.6 成功/失败率的验证试验

确定要在使用现场进行验证试验,应按照第 9 章中所列的内容考虑。

给每个受试的可修产品安装一个记录试验次数的计数器。在整个试验过程中,供应商代表应在场,并由用户操作可修产品和对产品进行预防性维修,但故障寻找、修理和失效分析由供应商进行操作、用户代表要在场。

合同已规定最小成功率为 95%,验证应采用 90%置信度进行检验。

通过提供的信息,利用 ISO 11453:1996 可以计算失败率。如果制造商应该遵守规定的失败率,则应制定失败率的验证试验方案。选择鉴别比 $D=2$, $\alpha=\beta=20\%$ 的试验方案。IEC 61123:1991 工具给出这样的方法。

B.7 幂律模型的测定试验(例 2)

一个可修理的包含软件和硬件的复杂电子产品,在研制早期都要经过一系列的设计评估试验。作为暴露大量故障的研制程序,需要调查和辨别的是:产品的构造、元器件、硬件设计、软件设计、设计规范(硬件或软件)、试验设备和不确定的故障等。每诊断出一个故障,都要对产品进行修理。纠正措施作为故障调查的结果,它包括:修改硬件设计、修改生产工艺、修改软件代码、修改元器件和产品规范,而这些修改有可能导致产品可靠性的提高。对这些数据进行失效间隔时间的分析很容易看出可靠性的增长。因此,可使用图 11 中描述的方法来分析这些数据,即假定非恒定失效强度,那么幂律模型将是处理这些数据的一个合适方法(见 IEC 61164:1995)。

B.8 失效率和失效强度的区别

通常,首先要区别的是修理产品还是不修理产品。对于不修理产品,相对应的是失效率,而对于修理产品相对应的是失效强度。然而在有些情况下,修理产品也可以相对应失效率。

下面的实际例子说明了这两个概念的一些重要方面。

印制电路板组件(PWA,即装有元器件的 PCB)可以看作是部件,也可看作是不修理产品。

更换件通常取自既有新的 PWB,又有旧的、已修理的 PWB 的备件库存。这说明对于修理产品失效率是一个相对应概念,例如 PWB。此外,这个例子说明对于 PWB 失效强度也是一个相对应的和有

用的概念。

例如,如果一个 PWB 包括容易磨损的机电装置,但是最时常发生的早期失效与有缺陷的集成电路(IC)有关,那么 PWB 可能进行多次修理(通过更换 IC),因此失效强度成为相对应的。一个失效强度的观测值出现上升时可能意味着它不再适合继续修理,应当废弃 PWB,例如,由于机电装置磨损。

失效强度的估计需要记录所有工作时间周期,并且将时间按顺序标注在时间坐标轴上(所有修理和存储时间除外)。

而且,这个例子说明了考虑存在多种时间解释是多么重要,例如,日历时间(经过的时间);失效前时间(从起点开始);失效间隔时间(从最近一次失效);工作时间(排除修理时间、不可用时间、存储时间等);按照量级(对于失效率)排序的时间;按照顺序(对于失效强度)排列的时间。

注:在电子工业中,为了避免印制电路板与多氯化联(二)苯(均略作 PCB)的混淆,现广泛使用 PWB 和 PWA,以替代 PCB 和 PCA。

参 考 文 献

- [1] GB/T 9414(所有部分) 设备维修性导则 (IEC 60706(所有部分))
 - [2] GB/T 15174—1994 可靠性增长大纲(idt IEC 61014:1989)
 - [3] Ascher H. E. , Feingold H. (1984). *Repairable System Reliability; Modeling, Inference, Misconceptions and Their Cause*. Marcel Dekker; New York
 - [4] Bain L. J. , Engelhardt M. (1991). *Statistical Analysis of Reliability and Life-Testing models, Theory and Methods*. Second Edition, Revised and Expanded. Marcel Dekker; New York
 - [5] Barlow R. E. , Proschan F. (1975). *Statistical Theory of Reliability and Life Testing. Probabilistic Models*. Holt, Rinehart and Winston; New York
 - [6] Thompson W. A. (1988). *Point Process Model with Applications to Safety and Reliability*. Chapman and Hall; New York
 - [7] Lawless J. F. (1983). *Statistical Models and Methods for Lifetime Data*. Wiley; New York
 - [8] Sinha S. K. etc. (1980). *Life Testing and Reliability Estimation*. Wiley-Eastern; New York
 - [9] IEC 60605-1 Equipment reliability testing—Part 1: General requirements
 - [10] IEC 60605-3-1:1986 Equipment reliability testing—Part 3: Preferred test conditions. Indoor portable equipment—Low degree of simulation
 - [11] IEC 60605-3-2:1986 Equipment reliability testing—Part 3: Preferred test conditions. Equipment for stationary use in weather protected locations—High degree of simulation
 - [12] IEC 60605-3-3:1992 Equipment reliability testing—Part 3: Preferred test conditions—Section 3: Test cycle 3: Equipment for stationary use in partially weather protected locations—Low degree of simulation
 - [13] IEC 60605-3-4:1992 Equipment reliability testing—Part 3: Preferred test conditions—Section 4: Test cycle 4: Equipment for portable and non-stationary use—Low degree of simulation
 - [14] IEC 60605-3-5:1996 Equipment reliability testing—Part 3: Preferred test conditions—Section 5: Test cycle 5: Ground mobile equipment—Low degree of simulation
 - [15] IEC 60605-3-6:1996 Equipment reliability testing—Part 3: Preferred test conditions—Section 6: Test cycle 6: Outdoor transportable equipment—Low degree of simulation
 - [16] IEC 61703 Mathematical expressions for reliability, availability, maintainability and maintenance support terms
 - [17] IEC 61704 Guide to test methods for dependability assessment of software
 - [18] ISO/TR 13425:1995 Guide for the selection of statistical test methods in standardization and specification
-

112

113

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

可靠性试验

第 1 部分:试验条件和统计检验原理

GB/T 5080.1—2012/IEC 60300-3-5:2001

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

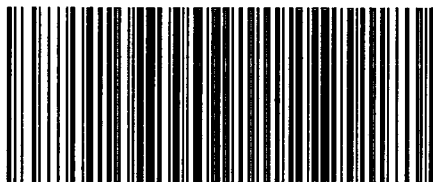
*

开本 880×1230 1/16 印张 3.5 字数 95 千字
2013 年 4 月第一版 2013 年 4 月第一次印刷

*

书号: 155066 · 1-46414 定价 48.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 5080.1-2012