

中华人民共和国国家标准

GB/T 34986—2017/IEC 62506:2013

产品加速试验方法

Methods for product accelerated testing

(IEC 62506:2013, IDT)

2017-11-01 发布

2018-05-01 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	Ⅲ
引言	Ⅳ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义、符号和缩略语	2
3.1 术语和定义	2
3.2 符号及缩略语	3
4 加速试验方法概述	4
4.1 累计损伤模型	4
4.2 加速试验的分类、方法及类型	6
5 加速试验模型	8
5.1 A类:定性加速试验	8
5.2 B类及C类:定量加速试验方法	13
5.3 失效机理及试验设计	16
5.4 试验应力水平、剖面及综合应力的确定和试验-应力建模	17
5.5 多应力加速方法论——B类试验	17
5.6 单应力和多应力的B类加速试验	19
5.7 定量可靠性试验的加速	27
5.8 加速可靠性验证试验或评估试验	33
5.9 加速可靠性增长试验	34
5.10 加速试验指南	34
6 产品研发阶段的加速试验策略	35
6.1 加速试验抽样方案	35
6.2 试验应力和试验时间	36
6.3 多应力条件下的元器件试验	36
6.4 组件的加速试验	36
6.5 系统的加速试验	36
6.6 试验结果分析	37
7 加速试验方法的局限性	37
附录A(资料性附录) 高加速极限试验(HALT)	38
附录B(资料性附录) 加速可靠性符合性试验、增长试验设计	42
附录C(资料性附录) 高加速极限试验和传统加速试验比较	55
附录D(资料性附录) 估算激活能 E_a	56

附录 E (资料性附录) 加速寿命试验标准程序	57
附录 F (资料性附录) 经验因子评估示例	59
附录 G (资料性附录) 通过试验直至产品失效确定加速因子	63
参考文献	66

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用 IEC 62506:2013《产品加速试验方法》。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致对应关系的我国文件如下：

——GB/T 5080.1—2012 可靠性试验 第 1 部分：试验条件和统计检验原则(IEC 60300-3-5:2001, IDT)

本标准与 IEC 62506:2013 相比,做了下列编辑性修改：

——原文 5.2.3.1.3 中“a minimum 30 000 h per year”有误,应为“每年不低于 3 000 h”；

——原文 5.2.3.2.1 中“as the time compression may influence the stress acceleration”有误,应为“因为事件压缩可能会影响应力加速”；

——原文 5.5 中“式(3)是一种描述产品在多应力作用下的整体失效率的相对准确的方程”有误,应为“方程(4)是一种描述产品在多应力作用下的整体失效率的相对准确的方程”；

——原文 5.6.3.2 中“ n_1/N_1 ”“ l_1/L_1 ”和“ α_i 在第 i 个应力水平下的停留时间”有误,应为“ n_i/N_i ”“ l_i/L_i ”和“ α_i 在第 i 个应力水平的停留时间与应用载荷下寿命的比值”；

——原文附件 B 中式(B.22)中 S 应该为 N_s ；

——原文附件 F 中“One in this group failed after 700 cycles and 10 after 1 000 cycles.”和“In this second test group B, 4 failed after 300 cycles, 10 after 400 cycles, and additional 5 after 500 cycles”有误,应为“试验进行到 700 循环后有一个样品失效,1 000 循环后有 3 个样品失效”和“试验进行到 300 循环后有 5 个样品失效,400 循环后有 10 个样品失效,500 循环后另外 5 个样品发生失效。”；

——原文附件 G 图 G.1 中的“265 V”有误,应为“25 V”；图 G.2 曲线拟合方程、式(G.1)和式(G.2)有误,作了更正。

本标准由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本标准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。

本标准起草单位：工业和信息化部电子第五研究所、芜湖赛宝信息产业技术研究院有限公司、中国工程物理研究院电子工程研究所、总参第六十研究所、中国电子科技集团公司第二十九研究所、中兴通讯公司、深圳 TCL 新技术有限公司、海信集团有限公司、重庆电力科学试验研究院、中国电子科技集团公司第二十八研究所、上海工业自动化仪表研究院、中航工业 301 所。

本标准主要起草人：王学孔、胡湘洪、李锴、程德斌、高军、李劲、谢丽梅、刘雅智、朱亮、姜年朝、李焱、尤荣贤、樊伟齐、刘风雷、纪静、张英、李佳嘉、武月琴。

引 言

现在已有多种可靠性或产品失效分析的试验方法,目前大多数试验方法都在实际生产中得到了应用。以下试验方法用于确定产品的可靠性或确定产品潜在的失效模式,且已证明是有效的可靠性试验方法:

- 定时截尾试验;
- 序贯试验;
- 可靠性增长试验;
- 失效试验等。

这些可靠性试验方法虽然非常有用,但试验时间通常较长,特别是对可靠性水平高的产品。为了缩短产品上市周期、降低产品成本,满足人们对经济高效加速试验方法的需求,加速试验方法是有效的解决方法。该方法通过提高产品试验的应力水平或者增大交变应力施加的频度而缩短试验时间,并发现和减少产品的失效模式,以便快速评估产品的可靠性水平并使其得到增长。

有两种明显不同的途径来开展可靠性工作:

- 第一种途径是通过分析和试验来证实产品在预期的工作环境条件下和寿命期内没有潜在失效模式被激活;
- 第二种途径是评估产品在预期的工作环境条件下,某一时刻后有多少个故障发生。

加速试验适用于上述两种情况,但通常差别较大。第一种途径与定性加速试验有关,其目的是发现可能导致产品现场失效的潜在故障;第二种途径与定量加速试验有关,即根据加速模拟试验结果来评估产品可靠性,加速模拟试验条件则以产品使用环境和使用剖面为基础进行确定。

加速试验可应用于产品(硬件或软件)的多个方面。不同类型的可靠性试验,如定时截尾试验、序贯试验、成功率试验、可靠性验证试验或可靠性增长/改进试验,都可以运用加速试验方法。本标准在选择常用的加速试验类型提供指导。该标准应与统计试验方案标准(如 IEC 61123、IEC 61124、IEC 61649 和 IEC 61710)一起使用。

在选择某一具体的试验方法或几个试验方法的组合前,应组织产品设计团队(包括可靠性工程师)对用于评价指定系统(产品)的各种试验方法的优缺点及它们单独的或组合的适用范围进行评审。对于每一个试验方法,还应考虑试验时间、试验结果、试验结果的可信度、对有用数据的分析、寿命周期费用影响、分析的复杂性以及其他确定的因素。

产品加速试验方法

1 范围

本标准对各种加速试验技术的应用提供指导,用于评估或提高产品的可靠性,发现并减少产品在使用过程中可能出现的潜在故障模式,是确保产品可靠性的有效方式。

加速试验方法的目的是在短时间内找出产品潜在的设计薄弱环节,提供产品的可靠性信息,实现产品必要的可靠性/可用性增长。本标准论述可修复与不可修复系统的加速试验。该方法可应用于概率比序贯试验、定时截尾试验以及可靠性增长/改进试验,这些试验测定的可靠性度量值可能与产品失效发生的标准概率值不同。

本标准也进一步介绍加速试验或产品筛选方法,该方法用于识别由制造工艺导致的可危害产品可靠性的产品缺陷、产品因制造错误而引入的可能危害其可靠性的缺陷。

2 规范性引用文件

下列文件对于文本的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

IEC 60068(所有部分) 环境试验(Environmental testing)

IEC 60300-3-1:2003 可信性管理 第3-1部分:应用指南 可靠性分析技术 方法指导(Dependability management—Part3-1: Application guide—Analysis techniques for dependability—Guide on methodology)

IEC 60300-3-5 可信性管理 第3-5部分:应用指南 可靠性试验条件和统计试验原则(Dependability management—Part 3-5: Application guide—Reliability test conditions and statistical test principles)

IEC 60605-2 设备可靠性试验 第2部分:试验周期设计(Equipment reliability testing—Part 2: Design of test cycles)

IEC 60721(所有部分) 环境条件分类(Classification of environmental conditions)

IEC 61014:2003 可靠性增长大纲(Programmes for reliability growth)

IEC 61164:2004 可靠性增长 统计试验和评估方法(Reliability growth—Statistical test and estimation methods)

IEC 61124:2012 可靠性试验 恒定失效率 and 恒定失效密度的可靠性验证试验(Compliance tests for constant failure rate and constant failure intensity)

IEC 61163-2 可靠性应力筛选 第2部分:电子组件(Reliability stress screening—Part2: Electronic components)

IEC 61649:2008 威布尔分析(Weibull analysis)

IEC 61709 电子元器件 可靠性 转换用故障率和应力模型的参考条件(Electronic components—Reliability—Reference conditions for failure rates and stress models for conversion)

IEC 61710 幂函数型 拟合优度检验和估计方法(Power law model—Goodness-of-fit tests and estimation methods)

IEC 62303 辐射防护仪器 空气中氚的监测用设备(Radiation protection instrumentation—

Equipment for monitoring airborne tritium)

IEC/TR 62380 可靠性数据手册 电子组件、PCBs 和设备可靠性预计通用模型(Reliability data handbook—Universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment)

IEC 62429 可靠性增长 在特定综合系统中的早期失效压力测试(Reliability growth—Stress testing for early failures in unique complex systems)

3 术语、定义、符号和缩略语

3.1 术语和定义

IEC 60050-191 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

产品 item

能够被单独考虑的任何零件、元件、器件、功能单元、设备、分系统或系统。

注：产品可以由硬件、软件组成或两者兼而有之，特殊场合也可以包括人。

3.1.2

步进应力 step stress

步进应力试验 step stress test

按照规定的应力步长逐步地对产品增加试验应力值，直到其发生故障或达到预先确定的应力水平的试验。

注1：“步长”指应力施加量值、持续时间或试验序列数。

注2：该项试验不应该改变基本的失效模式、失效机理或它们的相对比率。

3.1.3

加速因子 acceleration factor

产品在预期使用应力条件下与高应力条件下的失效分布特征(或可靠性水平)的比值。

注1：对于有加速效果的试验，其加速因子大于1。

注2：当假定产品符合恒定失效率的泊松分布时，加速因子指产品在使用应力下的时间与在高应力下的时间的比值。

3.1.4

高加速极限试验 highly accelerated limit test

HALT

在规定的环境应力下，用于找出产品最有可能出现的失效模式的试验或试验序列。

注：HALT 有时作为高加速寿命试验的缩写。作为非指标考核性的加速试验，它不能得到产品的寿命信息，但可以得到产品设计应力极限值的信息。

3.1.5

高加速应力试验 highly accelerated stress test

HAST

为了缩短产品的试验时间而显著地增大施加在产品上的应力量值的试验。

3.1.6

高加速应力筛选 highly accelerated stress screening

HASS

为了激发出产品因制造工艺和控制差错而引入的潜在缺陷的试验。

3.1.7

高加速应力抽查 **highly accelerated stress audit**

HASA

在一个生产批次中随机抽取一个样品开展试验以便发现产品因制造而引入的缺陷的生产过程监测方式。

3.1.8

激活能 **activation energy**

E_a

用于因评估由绝对温度改变而产生加速能力的经验系数。

注：激活能以 eV/K 为单位。

3.1.9

事件压缩 **event compression**

模拟现场的应力,提高应力施加的频度。

3.1.10

时间压缩 **time compression**

通过剔除低应力量值或无应力损伤的试验时间,达到加速的目的。

3.1.11

故障析出筛选 **precipitation screen**

将潜在缺陷变成永久故障的筛选试验方法。

3.1.12

故障检测筛选 **detection screen**

检测间歇故障的低应力量值试验。

3.2 符号及缩略语

下列符号及缩略语适用于本文件。

符号/缩略语	描 述
$R(t)$	以时间为变量的产品可靠性指标; t 时刻产品正常工作的概率 注 1: IEC 60050-191:1990,定义 191-12-01 使用通用的 $R(t_1, t_2)$ 定义,时间也可以用循环数、间隔值等。
$\lambda(t)$	以时间为变量的产品失效率 注 2: 在可靠性增长试验中,通常用于表示瞬时失效率的符号 $\lambda(t)$ 也可用于表示可变的失效强度。
HALT	高加速极限试验
HASS	高加速应力筛选试验
HAST	高加速应力试验
HASA	高加速应力抽查
$\lambda(s)$	以应力为变量的产品失效率
UUT	受试产品
A	加速度,加速因子
A_{test}	整体加速
ADT	加速退化试验
DSL	产品设计极限
RTL	可靠性试验水平

SL	技术规范规定极限
DL	破坏应力极限
LDL	破坏应力极限下限
UDL	破坏应力极限上限
OL	工作应力极限
LOL	工作应力极限下限
UOL	工作应力极限上限
SPRT	序贯概率比试验
RG	可靠性增长
URTL	可靠性试验极限上限
LRTL	可靠性试验极限下限
THB	温湿度偏差试验
TTF	失效时间
MTBF	平均故障间隔时间
MTTF	平均故障前时间
AF	加速因子
FIT	单位时间失效数
CALT	定量加速寿命试验
t_0	确定产品剩余寿命的试验开始时刻
t_L	预先确定的持续时间,比如寿命

4 加速试验方法概述

4.1 累计损伤模型

任何类型的加速试验都基于加速损伤理论。产品在其寿命周期内所经历的应力可对其造成渐进的累积损伤。这种损伤有时可能造成产品现场失效,有时则不会。

任何类型的加速试验方法都是通过增加试验应力的方式,使其对产品造成损伤,该损伤应与产品寿命期内预期应力造成的累积损伤等效。产品破坏应力极限的确定(非可靠性评估)为评估破坏应力极限与产品规范规定的应力极限之间是否有足够的裕度提供信息,因此,该试验方法为产品在其寿命期内不发生与相关应力类型有关的失效提供保证。该方法不一定能确定产品寿命概率分布,但可以对产品强度进行必要的调整,以避免此类故障在产品使用过程中的发生。这种确定产品足够的应力裕度与其寿命概率分布无关的试验是一种定性试验。而定量试验是指为确定产品生存概率的试验,试验中的应力量值与产品在超过其预期寿命内应力量值的生存概率有关。

图1描述了定性与定量加速试验的累积损伤原理。为了方便起见,所有的应力(工作应力极限、破坏应力极限等)都用绝对值表示。产品技术规范规定的应力值通常给出上下两个极限值,因此,有技术规范规定的上限及下限(USL和LSL),同样有设计上限和下限(UDL和LDL)、工作应力上限和下限(UOL和LOL)、可靠性试验上限和下限(URTL和LRTL)。从基本原理上讲,负应力也可能以不同的故障机理对产品产生累积损伤,因此对于在负应力作用下产品规定限值与预期限值之间关系的描述方式可参考产品在正应力作用下的描述方式。例如,低温极限可能对产品产生与高温极限相同的失效模式。为了避免混乱,在图1中不区分正温度应力和负温度应力或者其他正负应力,因此,应力量值无论正负,都用上限或者下限的绝对值表示。

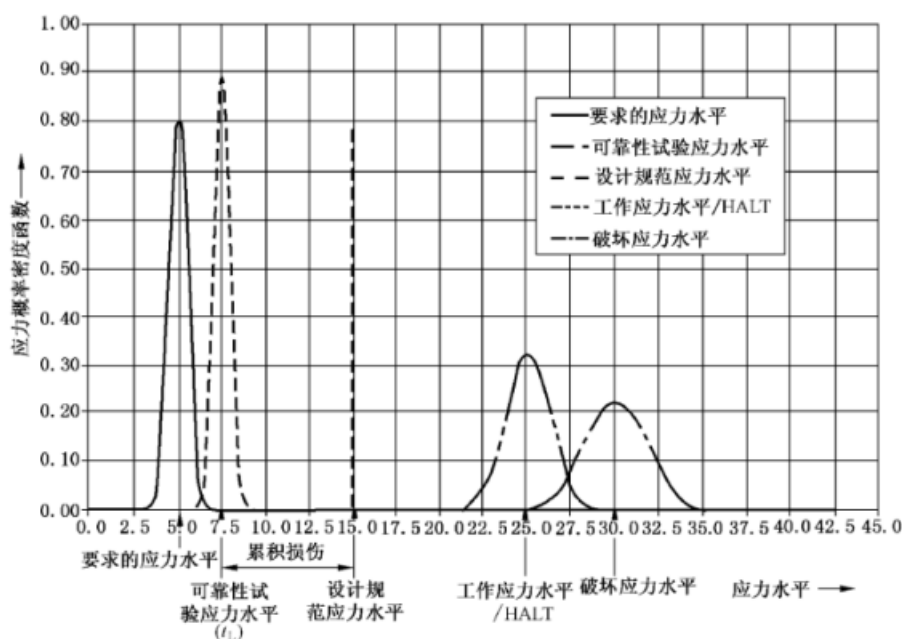


图1 累积损伤、退化的概率密度函数及试验类型

图1中的曲线表示了在产品全寿命周期内(从寿命开始时刻 t_0 到寿命终结 t_L)对应于某一应力的要求强度。试验中的产品强度和应力假设服从高斯分布。图1可做为一个概念模型,展现了不同的加速试验类型。

功能性试验是在产品需求说明书规定范围内的某一应力水平下开展的。在这个应力条件下,要求产品在整个试验过程不能发生故障。产品的设计需要验证以确保其在技术规范规定的上下应力极限内可正常工作。B类和C类加速试验(参见4.2.3、4.2.4),比如加速退化试验或累计损伤试验,可获取产品设计规范规定的应力水平与可靠性验证试验应力水平之间的间隔裕度。当产品的性能指标退化到低于其需求产品技术规定的值且这种状态定义为失效时,则产品判定为不合格。当在 t_0 时刻对产品进行测试时,若对产品施加的应力值小于等于设计规范规定的应力水平,则不应发生任何失效。

产品设计规范应考虑其寿命周期内所经受的应力累积损伤而引起的某些性能退化。为了提供必要的应力裕度,产品设计规范规定的应力极限应大于产品使用过程中要求的应力极限。当预期应力累积损伤导致产品性能退化后,可靠性试验提供了试验应力水平(剩余强度)与要求的应力水平之间的应力裕度信息。这个裕度值就是在规定的时间 t_L 内的可靠性水平值。

产品设计极限强度比设计规范规定的强度高得多,该极限强度由定性加速试验来确定。在产品寿命期内,随着产品性能退化,产品可能会暴露出一些设计缺陷,危及可靠性。定性加速试验的目的是找出产品的设计缺陷,因此,验证产品强度的定性加速试验的展开应在产品工作应力极限(OL)下。

产品的破坏应力极限(DL)大于产品的工作应力极限。在破坏应力极限作用下产品将发生永久性失效。如果产品的工作应力极限(或破坏应力极限)与其设计规范规定的应力极限接近,产品的工作应力极限或破坏应力极限分布的标准偏差大时,则定性加速试验就可以暴露产品设计的潜在薄弱环节,如图1所示。

产品的可靠性是时间的函数,一般情况下定义为寿命时间 t_L 的函数。

产品工作要求的强度与可靠性试验应力水平之间裕度(应力均值之差除以它们的标准差)的累积正态分布体现了产品的可靠性。试验应力水平及其持续时间的选择应考虑试验产生的累积损伤与产品寿命周期内因累积损伤而引起的性能退化效果相一致。确定产品要求的可靠性水平的计算值即是定量评

价值。

表 1 列出了上述试验的概述以及它们在产品寿命期内应用的分布图谱。

表 1 产品研发周期内各种试验类型分布

类型	设计	集成	确认	接收	制造	服务
A 定性	FMECA	HALT			HASS/HASA	
	成熟度建立		成熟度确认			
B&C 定量			可靠性增长 试验	可靠性鉴定 试验	可靠性验收试验	
	成熟度评估					
产品分解 结构时机	B类/C: 组件					
	A类: 元件	A类: 装配体 或子系统				
		B类/C类: 装配体	B类/C类: 系统			

表 1 为本标准的使用者提供产品整个开发周期内所开展的试验项目,目的是为了更好理解不同试验方法在产品整个寿命周期内的运用。

4.2 加速试验的分类、方法及类型

4.2.1 概述

基于累积损伤模型、试验中获取的相关信息以及产品的使用状态假设,加速试验方法将被分成三种类型:

A类(定性加速试验):用于发现故障模式和(或)故障现象;

B类(定量加速试验):用于预计产品正常使用时的失效分布;

C类(定量时间和事件压缩试验):用于预计产品正常使用时的失效分布。

注:其中B类和C类加速试验方法可以使试验时间缩短。B类加速试验需基于某一特定的失效机理,通常情况下,可应用于产品的寿命加速。针对C类加速试验方法需要在试验前对其使用方式进行研究并对其具体的使用条件进行假设,可应用于失效率加速。

4.2.2 A类:定性加速试验

A类加速试验用于发现产品潜在的设计缺陷及制造工艺导致的产品缺陷。因此,可以通过对产品施加比其工作应力极限(如图 1 所示)高得多的应力水平来找到这些缺陷。该类试验的目的不是确定产品可靠性定量指标值,而是在试验过程中激发产品全部的功能性能问题。产品在现场使用过程中,在其使用寿命期内,这些问题很可能会出现并会导致产品失效。产品设计或制造工艺的改进可以消除这些失效,制造出高质量、强耐力的产品,甚至可经受设计规范中描述的极端应力或重复应力的产品。

在产品研制过程中,使用这种试验方法在不验证可靠性指标及获取可靠性增长量的情况下,通过减少失效模式的数量和增强产品健壮性来提高其可靠性。该类试验一般在高应力水平下实施,理想情况

下,应比在设计规范规定的应力水平下更能易于发现产品的失效。该类试验的目的是确定产品的失效模式,产品设计的薄弱环节以及工作应力极限与设计应力极限(如图1所示)之间的裕度。产品规范规定的应力极限与工作应力极限之间的裕度应确保产品的缺陷可以在高加速极限试验中暴露出来,从而使产品在产品寿命周期内(t_L)不会发生失效。

4.2.3 B类:定量加速试验

B类试验是使用应力累积损伤方法确定产品预期寿命期的可靠性水平。产品预期损伤值与其使用时要求值之间的必要裕度决定了产品的可靠性水平。该类定量加速试验在比产品预期寿命短得多的时间内实现预期的累积损伤。B类加速试验使用基于具体失效机理(失效模式)确定的定量加速因子,该加速因子确定了产品在特定试验应力与其使用环境应力下所能经受的时间之间的关系。产品的失效或失效模式分布是通过收集各项加速试验的信息确定的。该试验信息为建立产品的使用寿命模型提供依据,可用于量化各种可靠性指标的加速性。在这种方式下,可通过在任何预期的应力水平下评估单个失效模式发生的概率或可靠度来评估整个产品的可靠性。如果需要使用其他试验类型(比如可靠性增长试验、可靠性验证试验)来分析数据时,已确定的加速因子可以用于重新计算加速试验中的失效次数以便表征产品在使用环境条件下的失效次数,并用于计算其可靠性。

从该类定量加速试验中获取信息的另一种方式是在特定的环境条件和失效模式下开展试验直至受试样品发生失效。这种方式可以确定合理的产品失效分布及合适的加速因子,可用于计算特定失效模式发生的概率。这些信息可用于随后的试验,包括威布尔试验(单参数威布尔,IEC 61649)。B类试验的应力水平比产品使用时要求的应力水平高,但低于加速极限试验所施加的应力水平,如图1所示。这个试验应力水平可以处于设计规范规定的应力极限与破坏应力极限之间。该类试验持续时间应足够长,以期引起的累积损伤比产品在寿命期内经受的预期应力而引起的累积损伤大并确保有一定的裕度。这个裕度可以用来确定产品在时间(t_L)内的可靠度 $R(t_L)$ 。

可以通过提高比特定使用应力(工作应力、环境应力)高的试验应力来缩短试验时间。试验应力水平产生了与产品预期寿命期内等等的累积损伤效应,但是可以很显著地缩短试验周期。

加速退化试验(ADT)是一种测试产品性能退化特性的方法,该退化特性是时间或应力循环数的函数。连续记录这种退化趋势,直至外推到产品性能参数达到不可接受的程度,即产品发生失效为止。这种方法对那些性能参数慢慢变差的失效是非常有用。在试验中施加的应力量值可以是在现场使用中遇到的正常的或者最坏情况下的工作应力极限值,或者按照本标准推荐的方法提高试验应力水平开展加速试验。

4.2.4 C类:定量时间或事件压缩试验

4.2.4.1 C类试验的应用

C类试验主要用于评估以耗损型为主要故障模式的部组件的寿命时间,比如开关、键盘、继电器、连接器或轴承等。从该类试验中获取的数据一般用威布尔分布分析,并通常以所谓“猝死测试”的形式出现(IEC 60605-2)。

C类时间压缩试验通常也用于确定:

- 系统集成问题(如软件与硬件集成或交互作用);
- 特定工作状态下的失效模式,如,任何机械或电气周期性动作历程的工作循环;
- 应力范围宽的特定环境条件下的失效模式,但需要确定一个阈值,目的是为了使产品经受低于阈值的应力以免对其造成显著的损伤。

对于时间压缩或事件压缩试验而言,应力水平的增加是通过延长应力施加的持续时间或频次而不是增加其应力量值来实现的。

上述每一个加速试验方法将在第 5 章进一步描述。

4.2.4.2 时间压缩试验

时间压缩试验是一种只能考虑(增加)试验持续时间的加速试验,此时试验产品应处于实际工作状态或者可出现标志性的损伤但能恢复的工作状态。这种加速试验适用于那些产品工作应力及其累积损伤明显高于其他工作模式(非工作状态或者备用状态)下的场合。为了应用上述原理,要求产品在较低的应力作用下产生的累积损伤与较高的应力作用下产生的累积损伤相差不大,这很难客观判断(详见 IEC 60605-2)。

4.2.4.3 事件压缩试验

当一种应力可是不断循环的,比如开/关循环,则这时可以通过增加应力重复频次来实现加速(即事件压缩)。这种加速试验对于无法通过增加应力量值来实现加速的情况特别有效用。在这种方式下,产品动作的次数应该与其实际使用时产生的累积损伤效果保持一致。必须注意,过高的应力重复频次不应产生在实际使用过程不会出现的故障模式。例如塑料零组件内部自加热,再次施加载荷之前振动没有减弱以及下一个信号到来之前软件序列还没有执行完成等情况。

5 加速试验模型

5.1 A类:定性加速试验

5.1.1 高加速极限试验

5.1.1.1 概述

本标准介绍各类常用加速试验方法的优缺点和必要的应用注意事项。

A类试验不仅仅指经典的高加速极限试验(HALT),还包括其他类型的高加速试验,例如高压试验、热冲击试验以及其它类型的定量加速试验。

图 1 中的模型描述了产品规范、设计极限以及高加速极限试验策略之间的关系。

注: 缩略语 HALT 以往被无意中译成了“高加速寿命试验”,由于 HALT 本质上是一种定性加速试验,不表征产品的寿命长短,虽然“寿命(life)”这个词意味着试验确保了 HALT 中发生的失效在受试产品的寿命中不会发生。试验其实是有效地测试了产品/单元的强度极限,因此,“极限 limit”用于缩略语 HALT 中更为合适。

当可靠性鉴定试验或可靠性增长试验被加速时,需要证明试验应力所产生的累计损伤与产品寿命期内或产品可靠性验证的预定时期内所产生的累积损伤之间的裕度。利用应力裕度的好处就是可通过应力-强度准则得到产品在预定时间内的可靠性水平。产品的强度可通过试验结果得知,而可靠性水平就是以应力-强度曲线交集以外的区域的大小来表示(两条曲线的重叠区域则代表发生失效的区域),如图 2 所示。

在图 1 中,产品的需求说明转化成了设计规范。该图进一步阐明产品设计裕度如何通过高加速极限试验得到验证的。

为了估计设计规范与受试产品之间的应力裕度,可使用 A类试验方法通过增大试验应力直到产品发生失效的方式。这种高加速极限试验确定的裕度可以以工作应力极限(OL)和破坏应力极限(DL)的方式给出。这也表明材料特性变量 n 与生产过程中的制造工艺的裕度。

5.1.1.2 高加速极限试验的主要原理

高加速极限试验方法是通过促使产品快速失效的方式以发现并减少产品的设计薄弱环节,其目的是提升产品在现场使用过程中的健壮性。该类加速试验不是为了评估产品的可靠性,而是在现场应力

(载荷)-强度之间裕度最小的情况下消除其失效模式来提高产品的可靠性(图2和图3)。该类加速试验仅仅发现产品潜在的失效模式以指导产品设计改进过程。从以往的高加速极限试验经验可知,大多数产品在其承受的应力下非常健壮的,但其内部一些组件或设计细节比其他部分明显的弱,而高加速极限试验的理念就是找出这些组件或设计细节,使其与产品其他部分一样健壮。

图2说明了产品强度-应力分布的交集,该图假设从不同使用条件、气候条件获得的实际应力可用应力分布模型来表示,图中的分布是正态分布。产品的强度则随着原材料和生产过程的变化而变化,可用强度模型来表示,如图2所示也是一个正态分布。

应力分布和强度分布的重叠区域表征了产品的失效概率。图2中的曲线表示了经典的设计裕度,即应力-强度准则,但在本章没有说明累计损伤模型;因此,不适用于测定产品设计最终强度的初期短时试验。同样,如果批量产品的质量控制能够保持在一个非常窄的强度分布内(这是一种费时费成本的方式),那么这两条分布曲线就不会重叠,这就意味着产品在现场不太可能出现某种特定失效模式的失效。

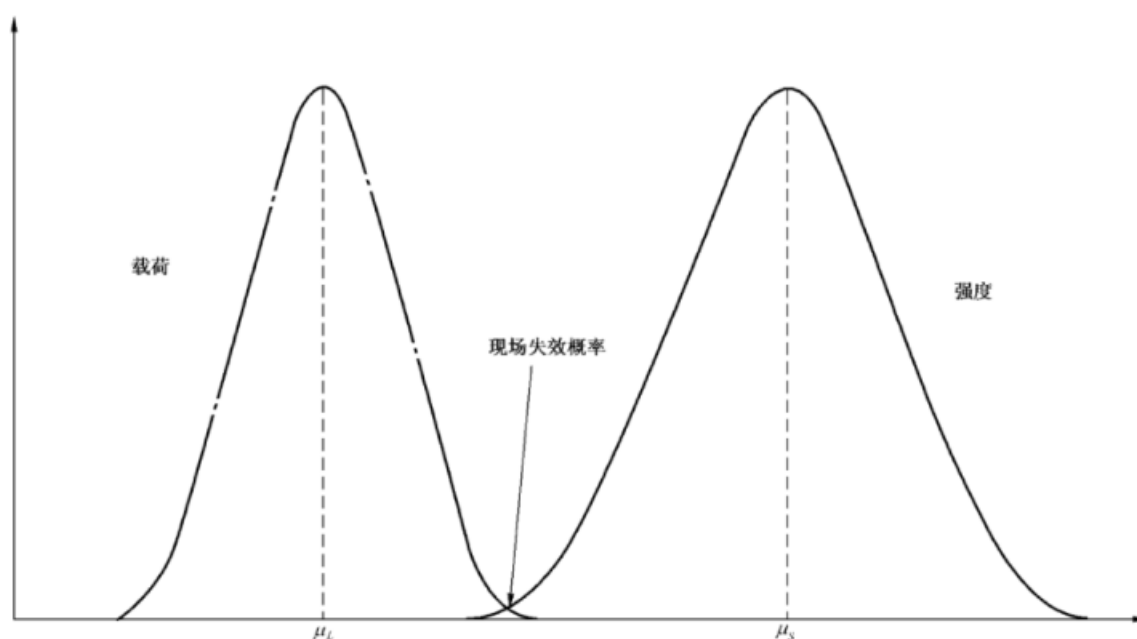


图2 使用载荷和产品强度概率分布密度函数之间的关系

产品的生产过程,特别是受试组件初样产品的生产过程中,总是保持着严格的生产控制,但在后续产品的生产过程中,这样的方式难以保持。图3说明了受试样品通常都可以达到产品的平均强度甚至更高,因为它们通常是在一个投入了最大管理精力的特定原型生产线上所生产。一旦产品进入批生产,常规生产出的产品总是比初样产品的强度较弱,该原理如图3所示。如果精心生产的初样产品的概率分布是应力的函数,那分布曲线的左侧(即H1的位置)则成为批生产产品所形成的新分布的均值位置。

初样产品强度分布的分散性较窄,使其远离预期的载荷分布。在这种生产方式下的所有产品将均能通过试验而不会发生失效。但在随后的大规模生产阶段,产品的强度均值会显著降低,所以产品强度分布曲线和应力分布曲线的重叠区域就会出现,这将导致生产管理状况较弱的产品在现场载荷的作用下会发生失效,这也意味着该试验不能充分发现批生产产品的潜在薄弱环节。如果试验的应力水平更高(均值接近图3中H3应力水平),且产品强度分布中包括常规生产的产品,则该试验可以提供充足的裕度以确保产品薄弱单元的潜在失效能够被激发并减少。而在没有充足裕度的情况下,将会导致随后生产的产品在现场发生失效。

这就是应用步进应力和高加速极限试验的原理,以确保有合适的超过产品寿命期内预期应力的裕度。通过这种方式,这些试验所需的试验样品比传统试验所需试验样品少得多。

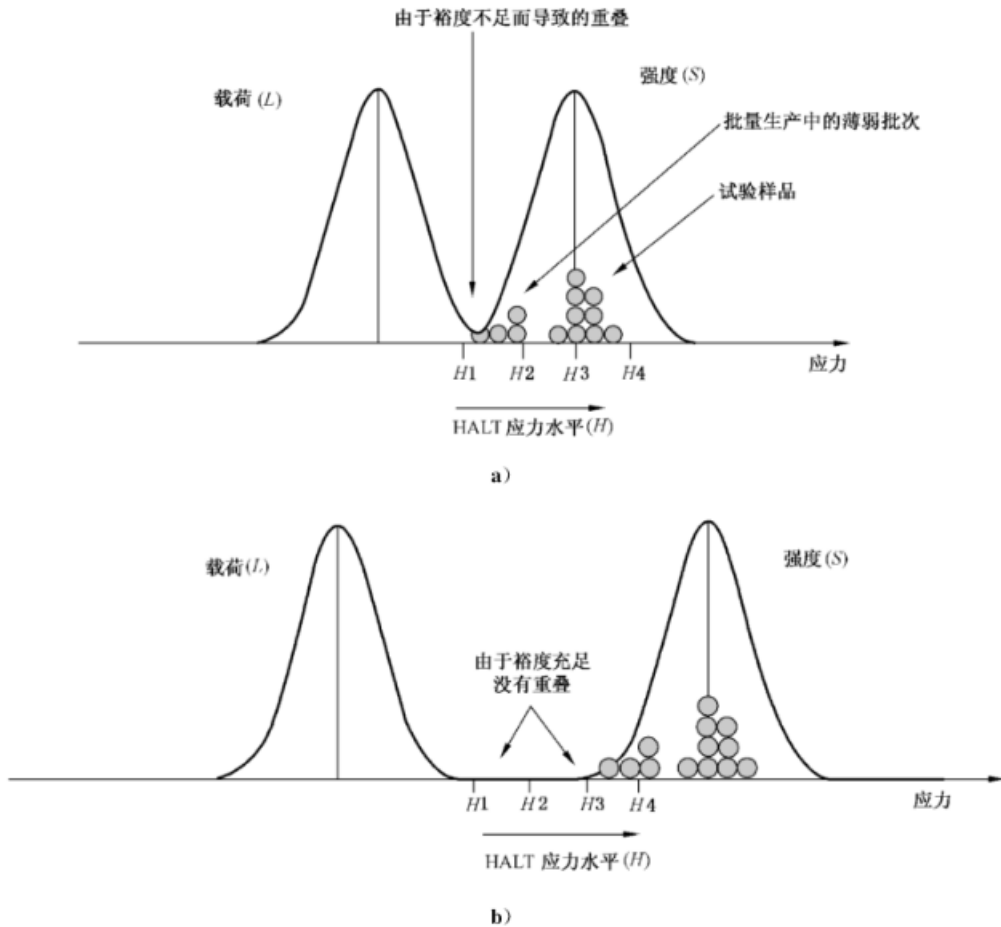


图 3 增加应力以检测批量生产中的薄弱批次并增加裕度

高加速极限试验是一种探索性质的、定性的设计改进试验,应该被接受。它可在相关的应力类型下识别产品设计中最薄弱环节的失效模式。如果这种失效模式与产品使用环境中的应力相关,则该应力水平需要根据应力与产品强度曲线之间的裕度以及因生产工艺、预期使用环境的变化而增加的额外裕度依靠工程经验来判断。高加速极限试验与传统的加速试验之间的比较见表 C.1。

随着高加速极限试验的开展,首先是最薄弱环节失效,接着是第二、第三及其他相对薄弱环节失效,直到不再发生相关的失效模式或达到了受试产品技术极限为止。

高加速极限试验所施加的应力被设计成远远超出产品的使用环境应力和设计规范规定的应力。这种应力持续时间短,其目的就是促使产品的薄弱环节转化为失效,并在技术和经济方面都切实可行的情况下健壮产品。高加速极限试验是激发产品的失效模式,而不是确定产品的时间依赖性。

在试验过程中,必须监测受试产品的功能特性以便发现其是否存在功能缺失。如果无法对其进行连续监测,那么应在应力水平保持恒定的时刻对产品功能进行测试。典型的高加速极限试验步骤参见附录 A。

应力值并不是高加速极限试验最关心的问题,一个有效的高加速极限试验规划真正关注的焦点在于产品改进工作和对产品失效的组织响应上。对产品持续地改进直至达到费效比平衡点为止,即产品设计的各个部分没有明显比其余部分薄弱,其目标是持续改进产品直至商业角度和费效分析技术所确定的合理水平为止。

产品的工作应力极限和破坏应力极限可在应力轴上绘制成分布曲线,如图 4 所示,有上限和下限这两种应力极限(工作极限下限 LOL、工作极限上限 UOL、破坏极限下限 LDL 及破坏极限上限 UDL)。

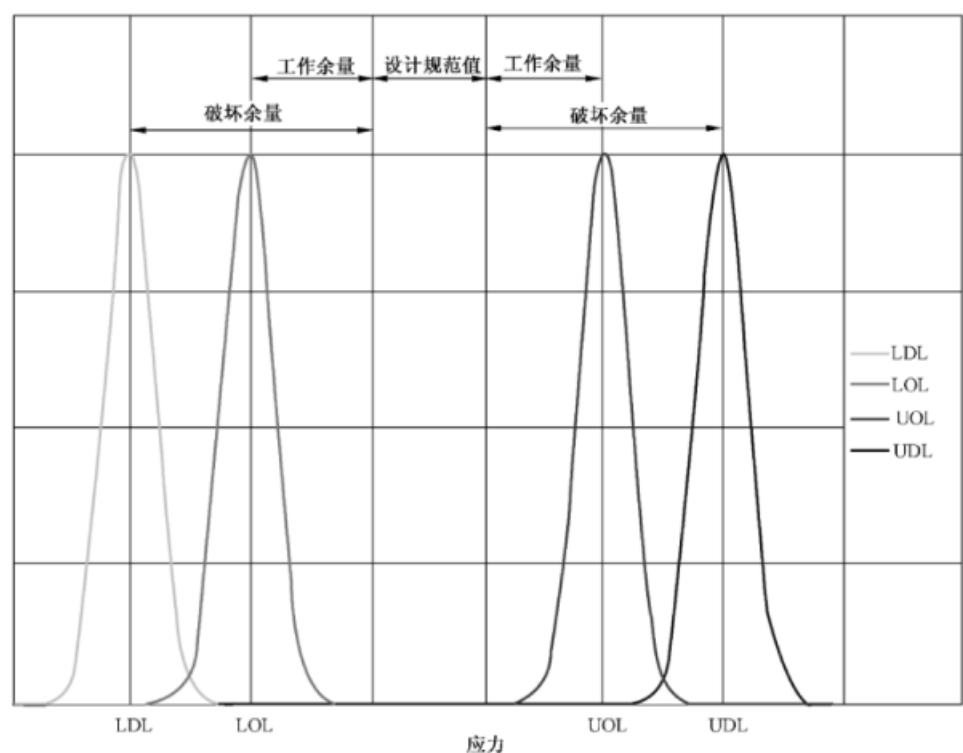


图 4 以应力概率密度函数表示的工作应力及破坏应力极限

图 4 是一个应力上下限都影响产品实例。例如温度应力,高温和低温都影响产品的性能。由于高温及低温极限与设计标称温度的距离不同,因此这些影响可能没有对称性。即使在可提供产品设计相关失效模式信息的初样品上进行试验也是如此。所有这些极限是如图 4 所示变化的分布曲线。这些分布可能具有不同标准偏差,确定开展高加速极限试验也就预示着产品有一定的应力裕度,这个裕度使最终产品适应现场各种应力的变化而不会发生失效。

除了温度应力,其他应力也可成功应用在高加速极限试验中。在其他应力类型的情况下,应力极限的下限可能不存在,如机械应力。但其他应力有可能存在,如电应力和湿度等。

5.1.1.3 应力类型及应用

在高加速极限试验中,主要的或典型的应力有:

- a) 温度;
- b) 热循环;
- c) 振动/冲击;
- d) 电压;
- e) 振动/冲击及热循环的综合应力。

在高加速极限试验中,也可应用其他特殊应力,如微处理器的时间脉冲频率、电压或电源波动、污染物或溶剂等,或上述这些特殊应力的综合应力。

通过高加速极限试验验证产品的应力裕度和对产品进行的改进有益于提高产品现场使用时的健壮性和可靠性。

附录 A 是一个典型应力水平的示例。理想状态下,可按照 5.1.1.2 所述的方式施加高加速极限试验应力直至达到预先确定的最大应力为止。最大应力可按以下几方面进行确定:

- a) 所用材料和组件的材料极限和技术极限;

b) 现有的方法和设备所能达到的最大应力。

需要注意的是,所施加的应力水平不得超过使材料的物理或化学特性可能发生变化的强度极限。

常见的是通常情况下,在受试产品中存在一些较脆弱的元器件,而这些元器件本身就不是为无法承受高加速极限试验中所施加的应力水平所设计的。因此,在可能的情况下,应在高加速极限试验过程中对这些较脆弱的元器件进行保护或在试验数据评估时将其予以剔除。例如,可对较脆弱的元器件施加冷却空气,或与冷空气隔离,或使元器件悬浮于受试产品的外部以便使其避免承受振动和冲击,甚至可将元器件移到高加速极限试验箱外并用延长的信号线将其与受试产品的其他部分相连接。

在高加速极限试验中发现的每一个失效应该进行调查并从根源上分析原因。若所发现的失效模式可能会在现场实际应用时出现(其应力水平低于高加速极限试验的水平),那么应从工程技术及产品管理的角度来决定采取相应的纠正措施。

5.1.2 高加速应力试验(HAST)

该类试验被界定为定性试验(A类)与定量试验(B类)之间过渡性质的试验。该类试验在电子元器件行业被广泛应用,因为该类试验相对于长时间的温湿度偏置试验而言是一个更有效的替代选择,如1 000 h的高压蒸煮试验。高加速应力试验所施加的应力通常包含温度和湿度,在这种环境下,芯片封装(金属导体)和薄膜电阻器中的微孔将会发生腐蚀。在试验中,组件通常需要对组件电压进行拉偏。即使这些试验无法得出可靠性评估值,它们也可作为再次质量鉴定试验中的有效手段,以确保组件的可靠性不会因组件的变化而受到影响,详见 JESD22-A110^[23]。在电子组件行业中开展高加速应力试验时间通常约为100 h,而温度和湿度的应力水平通常分别为130℃和85%RH。

5.1.3 高加速应力筛选/抽查(HASS/HASA)

5.1.3.1 HASS/HASA 原理及范围

HASS/HASA 并没有被分类为试验。因为它们都是使用加速应力来找出/筛选出产品的缺陷,所以被纳入在本标准中。高加速应力筛选是用显著高于预期使用或运输时的应力来对产品进行筛选,但应力水平比能显著降低产品现场寿命的应力水平要低,可基于高加速极限试验的结果确定。筛选试验可在所有的产品(100%)上或一个样品上进行。筛选的目的是为了发现产品在正常使用过程中可能出现的潜在缺陷。发现潜在缺陷后,应进行失效分析,并采取必要的纠正措施(通过专门设计的检测特定失效模式的试验进行验证),以降低故障的数量。这样,现场可靠性的提高是由于减少了现场组件制造工艺上的缺陷数量,而非产品固有可靠性的改变。

HASS/HASA 中的应力水平用于缺陷析出筛选,该缺陷析出所采用的组合应力水平不应超过产品工作应力极限。该类筛选的目的,是为了激发可能导致间歇性或永久性失效的制造缺陷。为发现失效情况,建议在筛选期间监控受试产品的功能,因为受试产品的某些工作异常情况可能在后期的试验检测中无法发现,而且事先也不能确定在筛选期间间歇性功能失效何时发生。析出筛选可能结合了几种应力类型和应力水平。而在高加速极限试验中,间歇性失效可通过探测筛选法(见 A.1 中的第4步)进行验证。持续监测应尽可能覆盖产品所有功能,监测的覆盖率及有效性应在筛选开始前进行优化。监测过程有助于产品失效的根本原因的分析。

典型的析出筛选本身所要求的应力施加时间相对较短,约3 min至1 h,不包含试验设备和监测设备的设置时间。

高加速应力筛选试验(HASS)适用于试生产或扩大生产阶段,即适用于生产速率较低可顺利完成100%筛选的阶段。在正常的生产期间,对小批量生产的关键产品,仍可采用高加速应力筛选试验。

高加速应力抽查(HASA)是一种过程监测方法。进行这种试验时,可从生产批次中抽取样品,将之暴露于析出筛选应力下以探测可能存在的缺陷。通常情况下,高加速应力抽查(HASA)在生产批次交

付之前进行。在产品生产工艺成熟时,可用高加速应力抽查(HASA)代替高加速应力筛选试验。当生产控制达到稳定,HASA可以进一步减少甚至取消。

5.1.3.2 应力及其幅值的选择

开展试验前,应对试验应力进行选择,以保证产品的功能、材料特性、无缺陷的硬件的寿命不会受损,初始应力水平由高加速极限试验中获取的信息来确定。

因需在析出筛选过程中监测受试产品的功能,所以析出筛选的应力水平应略低于工作极限。典型的应力量值为工作应力极限减 5°C ,振动工作极限应力减 19.62 m/s^2 。在HASS/HASA中采取析出筛选之前,应验证析出筛选不会明显地降低产品的现场寿命,这个可以通过试验验证,比如将一个样品暴露在析出筛选应力中10次。

5.1.4 高加速极限试验及高加速应力筛选试验的工程应用

5.1.4.1 高加速极限试验及高加速应力筛选试验的优点

高加速极限试验及高加速应力筛选试验的优点如下:

- a) 为改进可靠性而选择性地增加并验证设计裕度;
- b) 确定特定失效模式的样品量少;
- c) 可迅速确定特定应激源及组合应力的主要失效模式(该试验持续时间一般为3d);
- d) 可高效地权衡数据分析和确定必要的纠正措施;
- e) 快速验证纠正措施;
- f) 高效的短期生产筛选;
- g) 从总体中消除薄弱或有缺陷的组件(HASA)(质量及可靠性改进)。

5.1.4.2 高加速极限试验及高加速应力筛选试验的缺点

高加速极限试验及高加速应力筛选试验的缺点包括:

- a) 激发的失效模式一般不能在产品使用过程中观测到;
- b) 有对设计裕度过度改进的潜在可能(过设计);
- c) 不能得知试验后的可靠性;
- d) 试验结果的统计置信度有限(过高或过低估计设计裕度);
- e) 测试结果未涉及多种失效模式的耦合作用;
- f) 对于较大、较小以及具有多种脆弱性的产品不适用;
- g) 应力种类(主要是温度、振动及温度循环)数量有限;
- h) 不能评估受其他应力类型(除HALT试验应力类型之外)协同作用下的产品设计极限。

5.2 B类及C类:定量加速试验方法

5.2.1 定量加速试验的目的

定量加速试验的目的是为了估计一项或多项可靠性量值,例如,失效率、失效概率、可靠度、失效时间等。通常定量加速试验,是为了确定具有有限寿命(磨损)组件的使用寿命或是为了确定(量化)并提高系统及组件的可靠性,威布尔分析方法常用于该类试验(见IEC 61649)。

5.2.2 B类定量加速试验方法的物理基础

5.2.2.1 概述

开展加速试验的目的是为了在较短的时间内评估产品的可靠性并验证产品可接受的可靠性水平。

因此,加速试验的目的是针对相关可重复应力和磨损失效机理加速其累积损伤速率(相关失效机理是指在寿命周期条件下会预期出现的失效机理)。

为了开展加速试验,有必要充分理解产品潜在的失效机理,以及产品或系统的工作应力及环境应力,也可通过对产品在预期的使用剖面下的失效模式分析来实现,例如 FMEA。随后采取的有效措施不仅可防止产品在预期寿命或使用应力下过早出现失效,还可使之在加速试验过程中得到有效地激发,进而对产品实施改进。加速的磨损或可靠性试验被公认为是对具有高可靠性水平的电子、机电及机械系统进行可靠性评估的有效手段。通常增加试验应力的目的有:

- a) 通过系统的步进应力试验,促使设计更加健壮,并改进生产工艺,通过采取纠正措施增加应力裕度(可靠性增长试验);
- b) 在试验室中进行加速寿命试验,以测量并证实使用过程中的可靠性。

加速程度,通常定义为加速因子(AF 或 A),指产品使用条件下的寿命与加速试验条件下的寿命之间的比率。这种具有一定置信度的加速因子,是定量推测产品从加速环境到使用环境的可靠性量值(例如,失效时间及失效率)所必需的。加速因子取决于受试产品的硬件参数(例如,材料特性、产品组成)、使用应力条件、加速试验应力条件以及相关失效机理。因此,受试产品中的每种相关失效模式(假设都是由一个失效机理引起的)均具有各自的加速因子,而试验条件(例如工作循环、应力水平、各应力施加时间、试验持续时间)则应根据这些加速因子进行剪裁。

失效物理意味着应对各种失效模式进行单独描述,对寿命裕度和可靠性裕度应分别进行验证。在某些情况下,还应对结果进行定性分析。通过这样的分析方式,各种失效模式就均有相应的失效分布和失效率。而在其他情况下,则是将分析结果整合在一起评估整个产品的可靠性。

规划一个试验前,应先列出产品的潜在失效模式,然后计划试验的应力水平和持续时间,以便及时观察到产品的失效模式。为了该项试验计划,从历史产品、供应商、各种文献等途径得到的经验系数都可用于估算试验的加速因子。试验结束后,就可知道产品实际的失效模式,就可单独分析试验出现的每个失效模式。建议使用可以评估出产品经验加速因子的试验方法。详见附件 F 和附录 G。

通过增加诸如温度载荷(温度、温度循环、温度变化速度)、化学性质载荷(湿度、腐蚀性化学物质(酸、盐))、电气载荷(恒定或瞬间电压、电流、电源)、机械载荷(准静态循环机械变形、振动、冲击、脉冲、撞击)等各种不同载荷的应力水平的方式来进行 B 类试验,加速环境包括上述所有载荷的组合。对组合应力试验结果的解释以及对寿命循环条件下的试验结果的外推,需要从不同应力的耦合作用以及各个应力对产品整个损伤的贡献大小这两个方面进行定量考虑。

5.2.2.2 B 类试验的优点

加速应力试验可对受试产品的可靠性提供定量信息:

- a) 该类试验可以用于:
 - 1) 在合理置信度下,评估特定的失效模式(来自于 FMEA)对产品整体可靠性的影响;
 - 2) 利用组合应力模拟各应力的耦合作用,并评估产品的实际可靠性。
- b) 有效地开展加速试验,可反映产品使用中的累积损伤。

5.2.2.3 B 类试验的缺点

B 类试验的缺点包括:

- a) 存在这样一种风险,即:应力加速可能超过所用材料的物理特性,并引起不可预见的破坏;
- b) 存在这样一种风险,即:组合应力的加速可能对产品造成额外的、不可预见的、在现场不可能出现的损伤;
- c) 当量化试验结果时需要考虑到:加速试验的基线不是单一应力而是依据使用者和使用环境而改变的多种应力的组合。

5.2.3 C类试验:时间(C1)和事件(C2)压缩

5.2.3.1 C1类试验

5.2.3.1.1 概述

通过增加“开机时间”和减少“停止时间”(例如,非工作时间)来压缩工作循环的方式实现时间压缩。此外,若将产品暴露于较宽的应力范围下,那么最大的应力(主应力)将会引起最大的损坏,与主应力相比,产品的某些使用应力对产品产生的损坏可忽略不计,则可假定产品暴露在低于指定损伤应力阈值的应力下所产生的损伤可忽略不计,就可从试验计划中剔除。机械疲劳更是如此,常用这样的方式进行结构疲劳的加速试验(见 IEC 60605-2)。

举例说明工作循环的压缩,当产品的试验持续时间为 24 h/d,然而其在实际使用环境中,产品每天仅工作 8 h,那么此时的时间压缩因子则为 3,所以每天的试验时间相当于 3 d 的实际使用时间。

5.2.3.1.2 时间压缩试验的优点

与日历时间相比,具有较小的或短的工作时间的产品,可在一个相对于使用期限较为合理的试验时间内完成试验(例如办公设备,汽车,收割机械等)。例如,吹雪机仅在一年中的冬季使用,且还要有一定的积雪量,即使使用,开机的平均时间只有 2 h~3 h,工作时有振动、电机应力、叶片磨损等几种主要的损伤应力。而在一年中的其他时间,该吹雪机则被闲置起来,且对其进行保护使其不受重大环境的影响。因此,要求寿命为 10 年的吹雪机,每年 3 个月中每个月使用 4 次,每次使用时间持续 2 h,那么其要求的使用时间则为 240 h。所以,进行一次约 300 h 的试验即可保证适当裕度,证明吹雪机的可靠性。

对于施加标称应力且试验时间相对较短的试验,无须增加应力。因此,无需确定试验的加速因子,否则会有对受试产品施加过应力的风险。

5.2.3.1.3 时间压缩试验的缺点

专注于产品的工作时间,意味着只考虑与工作环境相关的失效模式,而在“非工作”环境中出现的失效模式可能会被忽略不计。这些失效模式对产品的应力可能比产品在使用过程中所受的应力小很多,但施加的时间相当长,使其产生的累积损伤与产品使用应力所引起的相当或者更大,所以对产品造成的损害可能更加严重。

同样以吹雪机为例,在十年的时间的 87 600 h 内,其中约 20 000 h,吹雪机暴露于极低温度下,存在会导致材料脆变的故障模式;而暴露于极高温度的时间约为 6 000 h,会导致塑料组件、油漆、胶水等的老化;温度循环约 7 200 次时,会引起多个结构损坏;若每年的受潮期不低于 3 000 h,则会引起腐蚀。若仅在工作环境条件下进行试验,则忽略了这些非工作环境的影响。

对于工作时间小于停机时间的产品,有必要将工作期间与停机期间的加速试验结合起来进行,例如,腐蚀试验、湿度试验等。在某些情况下,在时间压缩试验之前,可施加停机期间的应力对产品进行预处理,例如,湿度、冷贮藏、太阳辐射、机械载荷(振动等),以模拟那些非工作环境条件。进行预处理的目的是模拟使用过程中的失效模式与贮藏状态下的预期失效模式(反过来对使用中的失效模式产生影响)之间的相互关系。例如,吹雪机的腐蚀可能会对产品结构的振动产生极大影响。

5.2.3.2 C2类试验

5.2.3.2.1 概述

事件压缩试验是指以高于产品实际使用时的频次对事件进行重复应用。例如,对上述单元(吹雪

附录 B

(资料性附录)

加速可靠性符合性试验、增长试验设计

B.1 使用环境确定

在加速可靠性试验方案制定之前,应充分分析产品的使用环境、环境剖面、工作剖面及产品的功能,以准确制定加速可靠性加速可靠性试验方案。相关的应力加速方法已在其他文献中作了详细阐述(详见参考文献[3,4,6,8,9,10,12,13])。所有方法都是基于一个假设:加速试验能反映产品的环境应力和工作应力,以及受试样品是否确实发生了相关的失效(成功/寿命试验)。通过加速试验,可以改进产品设计,促使产品具备承受相关应力的能力——这就是可靠性增长试验。该方法将在 B.2 做简要的介绍,相关数据分析方法将在 B.8 详细说明。

B.2 技术参数确定

假设产品在自然环境应力和工作应力下都是可靠的,产品全寿命周期的可靠度就可以表达为各个应力水平下的可靠度的乘积。对于某一寿命时刻 t_0 ,产品的可靠性可以用以下表达式表示:

$$R_{Item}(t_0) = \prod_{i=1}^S R_{Stress,i}(t_i) \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

上式中, $R_{Stress,i}$ 表示各应力对应的可靠度(工作应力或环境应力)。环境应力包括气候条件(如热暴露、热循环、湿度、温变率等)、机械应力(如振动,包括随机振动和正弦振动或两者兼有;冲击,如车辆的颠簸,运输过程中遇到的冲击,关门时产生的冲击等)。这些应力的选用及量值取决于产品实际使用中的环境条件,取平均值或极限值。另一种应力与产品实际工作有关,以工作应力的形式体现,取决于产品的任务剖面。例如,启动/断开循环过程中产生的应力、电应力、电压的变化等。

产品的可靠度是通过分配落实到每个单元中。根据产品预期的任务剖面及其对特定环境应力的敏感性,各个应力下可靠度的分配值略有不同。在可靠度分配的过程中也要考虑各种因素的交互作用。试验中各个应力作用的时间是通过累积损伤模型和应力/强度标准计算获得。因此,试验中的等效损伤发生在各个应力量值逐渐增大的过程中,但是所有的应力都在产品的设计极限范围之内。

在加速可靠性试验中,为了模拟产品的实际使用环境,所有的测试单元在整个试验过程中都要经受每个应力的作用。

在可靠性验证试验中,通常用应力平均持续时间 $\mu_{S,i}$ 来描述各个应力所需的持续时间,该参数也是最终衡量产品强度的因素之一。这里的负载和应力量级与产品实际使用过程中的量级一样,但是持续时间是产生等量累积损伤来衡量的,并不是实际使用中的作用时间。

在假设条件一试验中的应力水平与实际使用中的应力水平一样一成立的条件下,损伤累积量取决于各个应力的作用时间。对于某个应力 S_i 而言,可靠度可以用下式表示:

$$R_i = \Phi \left[\frac{S_i \times \mu_{S,i} - S_i \times \mu_{L,i}}{\sqrt{(S_i \times \mu_{S,i})^2 + (S_i \times \mu_{L,i})^2}} \right] \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

简化可得:

$$R_i = \Phi \left[\frac{\mu_{S,i} - \mu_{L,i}}{\sqrt{(\mu_{S,i})^2 + (\mu_{L,i})^2}} \right] \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

为了更便捷的得到施加的应力,其持续时间通常被认为是实际预期载荷作用时间的倍数,用变量 k

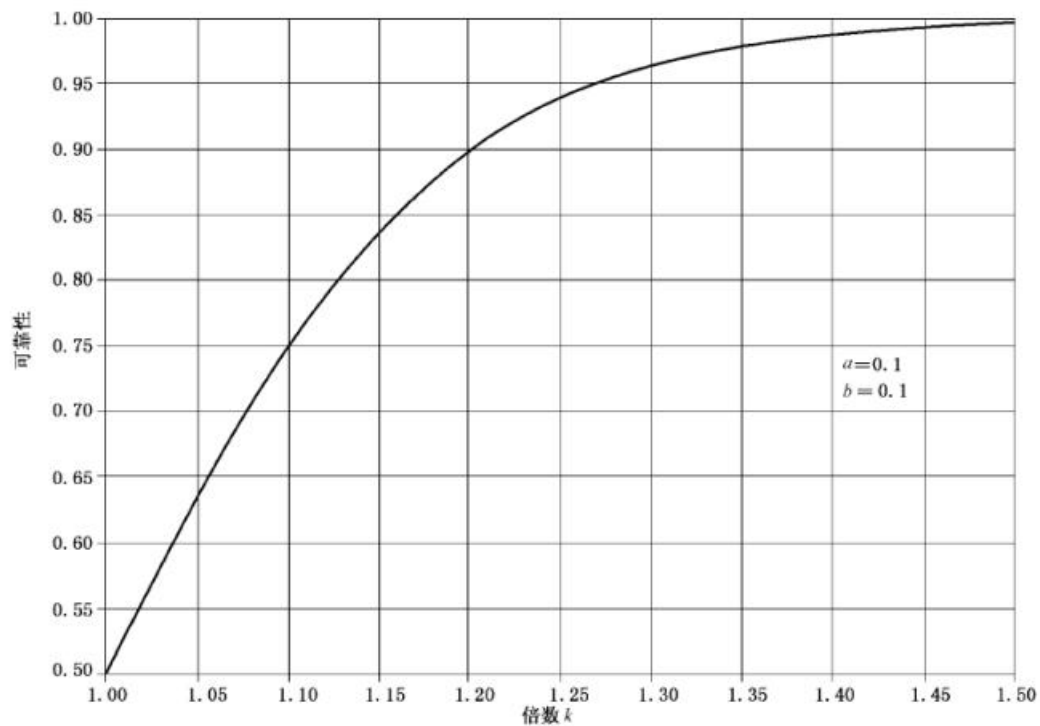


图 B.2 放大倍数 k 的确定

可靠性试验在产品实际使用剖面的基础上进行的。表 B.1 列出了试验中常用的一些参数,但仅是一些基本应力参数的一个案例。在这个案例中,所有的参数都是以常数出现,因此,此表并没有给出实际剖面中所有参数的使用情况。

表 B.1 某汽车电子设备的环境应力条件

参数	符号	参数值
寿命	t_0	10 y=87 600 h
可靠度	$R_0(t_0)$	0.8
工作时间	t_{ON}	2 h/d=7 300 h
工作时温度	T_{ON}	65 ℃
非工作时间	t_{OFF}	22 h/d=80 300 h
非工作时温度	T_{OFF}	35 ℃
温度循环	ΔT_{Use}	45 ℃,每天两个循环
总循环次数	N_{Use}	7 300
温变率	ϵ	1.5 ℃/min
随机振动	W_{Use}	16.68 m/s ² r.m.s
相对湿度	RH_{Use}	50%
激活能	E_a	1.2 eV

施加多重应力。因此试验中经常会出现热循环与热暴露、工作循环以及电应力相结合。这些情况下,应力分布在整个试验过程中。这样的试验就不可能与其他试验如湿度、振动等同时进行。通常会假设试验中的应力是均匀分布的,这样就能保证应力单元的累积损伤与实际使用中的一致性。

在表 B.1 中的例子中,10 年的可靠度是 0.8,相应的 MTBF 值为:

$$\theta_0 = -\frac{t_0}{\ln(R_0(t_0))} = 392\,000\text{ h} \quad \dots\dots\dots (\text{B.12})$$

试验时间的长短取决于试验中允许出现多少个故障。例如 IEC 61124 标准中 SPRT 方法第 8 章 (SPRT Method A8):假设试验时间(θ_1 的倍数)等于 5,那么试验总时间 $T=2\,000\,000\text{ h}$ 。如果有 50 个试验样件,则需要连续试验 50 000 h(这对试验花费和时间上都是难以承受的)。

根据表 B.1 所给的应力条件,考虑每个应力作用下的产品的可靠度为:

$$R_i(t_0) = [R_0(t_0)]^{1/4} = 0.946 \quad \dots\dots\dots (\text{B.13})$$

假设常数 a、b 的值分别为 0.05 和 0.2,则根据图 B.2 的曲线可以得到放大倍数 $k=1.5$ 。

B.4.2 热循环

$$\begin{aligned} \Delta T_{Use} &= 45\text{ }^{\circ}\text{C} \\ T_{Test} &= 105\text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{Test} &= 105 - (-20) = 125\text{ }^{\circ}\text{C} \\ \xi_{Use} &= 1.5\text{ }^{\circ}\text{C/min} \\ \xi_{Test} &= 10\text{ }^{\circ}\text{C/min} \\ m &= 2.5 \\ N_{Test} &= N_{Use} \times k \times \left(\frac{\Delta T_{Use}}{\Delta T_{Test}}\right)^m \times \left(\frac{\xi_{Use}}{\xi_{Test}}\right)^{1/3} \\ N_{Test} &= 452 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (\text{B.14})$$

B.4.3 热暴露,热浸

将关机温度的持续时间折算至开机条件:

$$\begin{aligned} t_{ON-N} &= t_{ON} + t_{OFF} \times \exp\left[-\frac{E_a}{k_B} \times \left(\frac{1}{T_{OFF} + 273} - \frac{1}{T_{ON} + 273}\right)\right] \\ t_{ON-N} &= 8\,754\text{ h} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (\text{B.15})$$

计算所需的加速试验时间:

$$\begin{aligned} t_{T-Test} &= t_{ON-N} \times k \times \exp\left[-\frac{E_a}{k_B} \times \left(\frac{1}{T_{ON} + 273} - \frac{1}{T_{Test} + 273}\right)\right] \\ t_{T-Test} &= 168.1\text{ h} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (\text{B.16})$$

考虑应力间的交互作用,将热暴露试验与热循环试验相结合,并将热暴露施加到热循环中的高温阶段,确定高温持续时间:

$$t_{TD} = \frac{t_{T-Test}}{N_{Test}} = 0.37\text{ h} = 22.2\text{ min} \quad \dots\dots\dots (\text{B.17})$$

由于设备的温变率是 $10\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ 、高温、低温阶段稳定时间为 5 min ,因此可以得到热循环持续时间为:

当应力水平不能再提高时,操作循环加速通过压缩时间来加速(time compression)。因此,若某一故障发生在第 o 个操作循环中,则实际失效时间为:

$$t_{OC_o} = \frac{24}{c} \times o(h) \quad \dots\dots\dots (B.41)$$

B.6 试验数据分析

B.6.1 概述

可靠性增长试验的数据分析中必不可少的信息是失效时间。试验中设计每个应力的持续时间等同于寿命周期中各个应力作用下的时间,试验单元在各个应力下的试验时间(以循环次数或时间表示)都要转换为相应的寿命时间。这可以通过试验的“减速”以及将试验次数转化为实际持续时间来实现。基本的应力试验操作如下。

在使用可靠性增长寿命试验中出现的失效来计算实际使用中相应的失效时间时,一般按照升序排列并根据可靠性增长模型进行分析。通常首选 AMSAA/Crow 模型,在只有少量试验失效时,推荐选用杜安模型。

在以下的案例中,为了简化分析,选用的计算模型是杜安图解模型。

B.6.2 试验数据分析案例

如果在加速方程中嵌入了数据表格,则数据分析相对而言就会容易的多。

表 B.3 是给定使用概况下汽车电子设备的试验案例。

当失效时间是以加速试验时间的形式给出时,可以编制工作表来计算产品实际使用中的失效时间以及寿命,见表 B.4。该例中假设除了开/关循环外,故障可能发生在每个试验应力下。

表 B.3 产品的使用剖面

参数/要求/使用	参数值
设计寿命	10 y
工作时间(开启)	2 h/d
总的行驶距离	240 000 km
平均热偏差/每天	45 °C
电子设备安装部位的随机振动	9.81 m/s ²
温变率	1.5 °C/min
每天的热循环次数(汽车冷启动次数)	2
汽车行驶时产品内部温度	55 °C
汽车非工作时产品内部温度	25 °C
使用中的平均相对湿度	50%

表 B.4 确定实际使用失效时间的工作表

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	t_0	t_a	T_{ON}	T_{OFF}	E_a	k_a	n	k	m	c_r	h	
2	hours	H/day	°C	°C	eV	eV/K						
3	87 600	2	55.00	25	0.8	8.62E-0.5	24	1.5		2	3.5	
4	Thermal cycling											
5	ΔT_{Use}	ΔT_{Test}	m	c_T	N_{TC_Use}	A_{TC}	N_{TC_test}	$24/c_T$				
6					$=B3 * (\$A$ $\$3/24)$	$= (B7/$ $A7) * D7$	$= E7 * (\$$ $H \$3)/F7$	$= 24/D7$				
7	45	120	2.50	2	7 300	7.11	818.16	12				
8	ζ_{Use}	ζ_{Test}	g	A_{Ramp_rate}								
9				$= (B10/$ $A10) * C10$								
10	1.5	10	0.33	1.88								
11	Example: failure within $x=36$ test cycles											
12	x		t_{TC_x} h									
13			$= A14 * F7 * D10 * H7$									
14	36		57 81.73									
15	Thermal dwell		$T_{high_chamber}$	ΔT	T_{high}	$T_{low_chamber}$	T_{room}					
16			85.00	20	105	-40	25					
17	t_{TD_Use}					t_0/t_{TD_Use}	A_{TD}					
18	$= (B3/24) * A3 + ((24-B3)/24) * A3 * \text{EXP}(-(E3/F3) * ((1/(D3+273)) - (1/(C3+273))))$					$= A3/A19$	$= \text{EXP}((E3/F3) * ((1/(C3+273)) - (1/(E16+273))))$					
19	11 951.94					7.33	42.21					
20	t_{TD_test}											
21	$= A19 * \$H \$3 * \text{EXP}(-(E3/F3) * ((1/(C3+273)) - (1/(E16+273))))$											
22	424.705 712											
23	Example: failure occurs 60 h in the thermal dwell h of dwell added											
24	y		t_{TD_y} h									
25			$= A26 * G19 * F19$									
26	60		18 563.44									
27	When time to failure recorded as time in thermal cycling:											
28	Temperature cycle duration(h)			t_{St}	T_{Test_low}							
29			1 test cycle(h)	0.25	0.25							
30			$= 2 * (C16 - F16) / (B10 * 60) + ((A22/G7) + E29) + (F29)$									

然后将失效时间值按照升序排列。需要注意的是由于在另一份报告中使用了热循环中的另一个值作为案例分析,因此这里只用了热浸试验中的一个值来进行可靠性计算(热浸时间)。

利用表 B.5 的数据就可以进行杜安图解法分析。

表 B.5 可靠性增长数据分析

故障序号	失效时间 h	累积失效时间 $n = 24$	$\theta(t)$	$\text{Log}(t)$	$\text{Log}[\theta(t)]$
1	3 821.33	91 711.92	91 711.92	4.96	4.96
2	5 781.33	138 751.92	69 375.96	5.14	4.84
3	14 016	336 384	112 128	5.53	5.05
4	18 563.44	445 522.56	111 380.64	5.65	5.05
$t_0 + k$	131 400	3 153 600	788 400	6.50	5.90

通过对表 B.5 最后两列数据进行分析可以得到增长率 a 的值,见图 B.3。

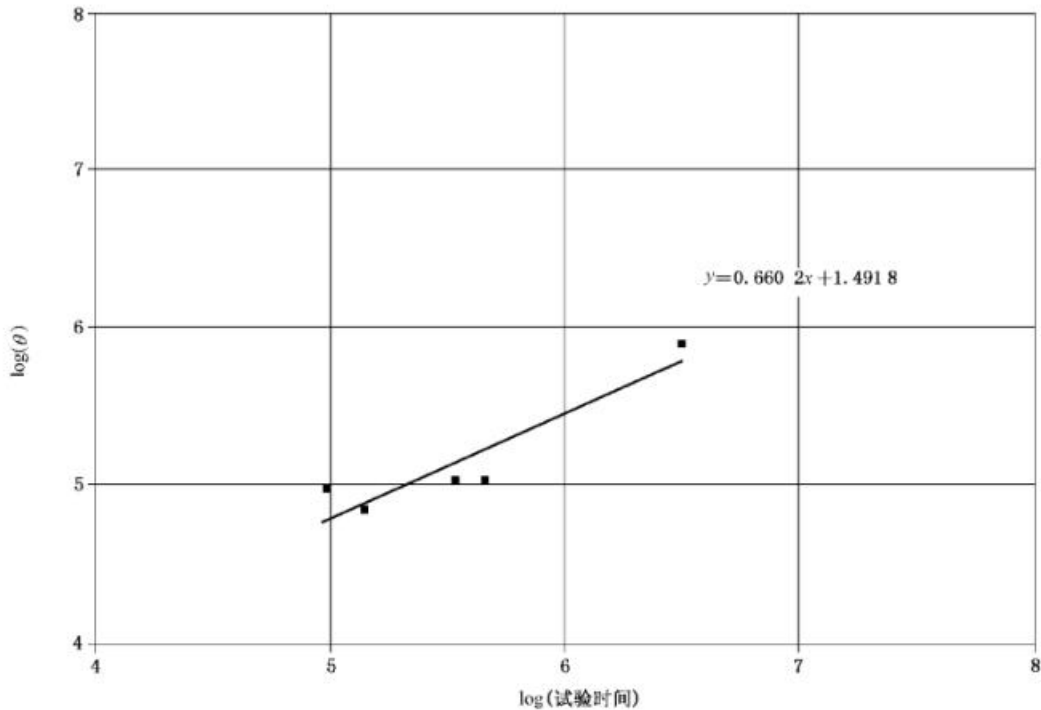


图 B.3 可靠性增长率的确定

从表 B.5 及图 B.3 可以得到如下结论:

增长率: $a = 0.66$;

最终 MTBF 试验值: $\theta_{Final} = 1\,431\,964\text{ h}$;

$t_0 = 87\,600\text{ h}$ 时刻的可靠度: $R(t_0) = 0.999\,97$ 。

附录 C

(资料性附录)

高加速极限试验和传统加速试验比较

表 C.1 高加速极限试验和传统加速试验比较

试验类型	样品数量	试验时间	失效数	分析
传统试验	大(一般 30~60)	非常长(月级)	0 或少数失效 (一般小于 5)	设计的试验中,所有观察到的失效应与现场相关
高加速极限试验	小(一般 10)	非常短(天级)	一些失效 (一般 10 或者更多)	应分析每一种失效,以评价是否与现场相关

附录 D
(资料性附录)
估算激活能 E_a

以下实例说明了如何依据试验来估算元器件的激活能。

为了评估典型元器件,比如功率放大器(尺寸为 5 mm×5 mm×2 mm),其在工作环境条件下典型失效率为 90(FIT)的激活能,供应商需要开展试验获取支撑数据。例如:

在 100 ℃ 的条件下对 500 个元器件开展 1 年的试验并发现 1 个失效,则失效率为 228 FIT。

在 125 ℃ 的条件下对另外 300 个元器件开展 1 年的试验并发现 3 个失效,则失效率为 1 146 FIT。

在 140 ℃ 的条件下对另外 300 个元器件开展 1 年的试验并发现 9 个失效,则失效率为 3 425 FIT。

如果所有的失效都由相同的失效模式引起,则这三个失效率可以绘制在线性-对数坐标中。如果这三个点通过工程近似可绘制一条阿伦尼斯等式适用的直线,则激活能 E_a 就是图 D.1 所示直线的斜率。

$$E_a = k_B \times \frac{\ln [\lambda(T)] - \ln [\lambda(T_0)]}{\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}} \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

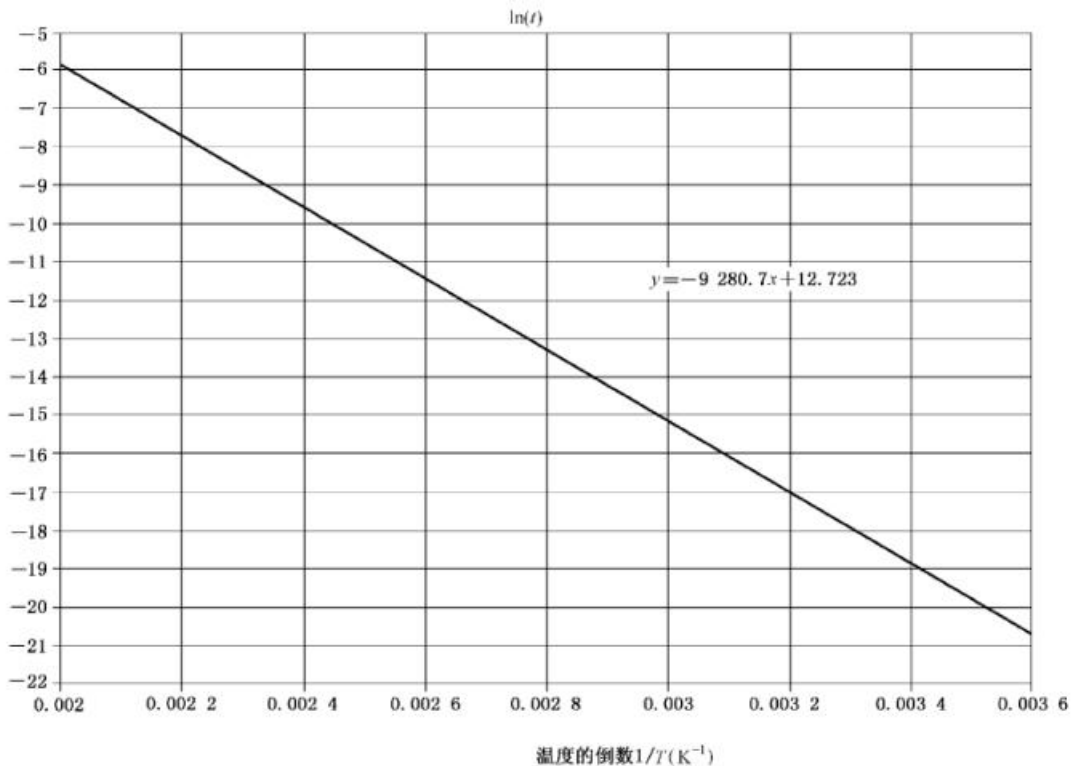


图 D.1 估算激活能 E_a 的失效率与温度的关系图

从这个例子,我们很清楚地看到估算激活能非常耗费时间和资源。而且元器件每一种重要的失效模式都应估算其激活能。因此通常只对新的元器件技术评估其不同失效模式的激活能。这种评估试验通常是针对测试结构而不是功能性元器件。估算出来的激活能被用于所有使用该项元器件技术制造的元器件;因此元器件的使用者应该从其制造商获取元器件主要失效模式的激活能信息。

附 录 E
(资料性附录)
加速寿命试验标准程序

E.1 试验目的

标准化的加速寿命试验验证的目的是评估基于三种加速试验得到的产品可靠性或寿命时间。该试验步骤来自于 GMW8758。目前存在支持该方法的商业软件。

E.2 试验的实施

- 第 1 步 通过工程评估确定试验中施加的最大应力量值,该应力量值不应导致产品立刻失效,或者很短时间就失效,或者产生现场不会出现的失效模式。该试验应力量值将比正常应力量值高且超过产品规范规定的应力量值。
- 第 2 步 选定一个试验应力量值,例如,选定第 1 步中确定应力量值的 90%。这是一个高的应力量值。
- 第 3 步 选取至少两个产品施加第 2 步中确定的应力量值开展试验并记录每一个产品失效前试验循环数或者试验时间。
- 第 4 步 对第 3 步出现的失效进行失效分析。如果所有的产品以同一种失效模式失效,则转到第 5 步继续试验。如果出现多于一种失效模式,则转到第 5 步继续试验以期确定主要失效模式,而非主要失效模式作为暂缓分析项(详见 IEC 61649)。
- 第 5 步 减小第 2 步选定的试验应力量值,例如,减小 10%。这是一个中等的应力量值。
- 第 6 步 选取至少两个产品施加第 5 步中确定的应力量值开展试验并记录每一个产品失效前试验循环数或者试验时间。
- 第 7 步 确定主要失效模式,并判断其是否与现场预期失效有关。
- 第 8 步 在威布尔坐标中绘制第 3 步和第 6 步试验中发现到的失效分布曲线并确定两个试验样品的特征寿命(详见 IEC 61649)。只绘制主要失效模式,把非主要失效模式作为暂缓分析项。如果在试验过程中发现主要失效模式不止一种时,应分别对每种失效模式进行分析。
- 第 9 步 将两个特征寿命绘制在以应力量值为横坐标的坐标图中,如果预期的曲线特性符合阿伦尼斯模型时,则坐标图为对数-线性坐标,如果预期的曲线特性符合逆幂模型,则坐标图为对数-对数坐标。
- 第 10 步 在上述坐标图中外延通过上述两点的直线,直到预期的现场应力量值。
- 第 11 步 需要权衡以下两种因素来选择尽量接近现场预期应力的应力量值:一方面,为了降低外推风险,这个应力量值尽量接近现场预期最坏的工作环境条件。另一方面,这个应力量值应尽可能地高以便缩短试验时间。选择的应力量值就称作低应力量值。
- 第 12 步 选取至少两个产品施加第 11 步中确定的应力量值开展试验并记录每一个产品失效前试验循环数或者试验时间。如果可以获得更多的样品,建议在该应力水平下对其全部进行试验。
- 第 13 步 确保三种应力量值的试验出现的主要失效模式是相同的。其他的失效模式作为暂缓分析项。如果不止一种主要失效模式,则应该分别进行分析。
- 第 14 步 在威布尔坐标中绘制第 12 步发现到的失效分布曲线并确定试验样品的特征寿命(详见

IEC 61649)。只绘制主要失效模式,把非主要失效模式作为暂缓分析项。如果在试验过程中发现主要失效模式不止一种时,分别对每个失效模式进行分析。

- 第 15 步 将三个特征寿命都绘制在第 9 步制作的坐标图中并添加通过这三个点的最优线性回归直线。外延该直线至现场预期的应力量值。
- 第 16 步 读取在现场预期应力量值下的预期特征寿命。
- 第 17 步 基于第 14 步确定的回归直线来估算加速模型的经验因子。
- 第 18 步 使用相关的加速模型方程,将第 8 步和 14 步获得的数据点的循环数/失效时间转变成预期现场应力作用下的循环数/失效时间。则对于每一个数据点将有不同的经验因子。
- 第 19 步 在接下来的分析中,将第 18 步中确定的数据点绘制在威布尔坐标图中,好像所有的产品都是在现场预期应力量值下开展试验的。即产品失效时间/失效循环次数就是第 18 步确定的失效时间/失效循环次数并且样本数量是包括暂缓分析产品在内的总的试验产品数量。
- 第 20 步 将置信限添加到第 19 步绘制的威布尔曲线中并读取受试产品在预期现场应力量值下的相应可靠性/失效时间。

附录 F
(资料性附录)
经验因子评估示例

某一元器件类型开展了温度冲击试验。A 组 22 个样品开展了 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度冲击试验。试验进行到 700 循环后有一个样品失效,1 000 循环后有 3 个样品失效。第二组(B 组)21 个样品开展了 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度冲击试验。试验进行到 300 循环后有 5 个样品失效,400 循环后有 10 个样品失效,500 循环后另外 5 个样品发生失效。所有的示例中的失效模式为同一类型。相同的失效模式表明威布尔分布可应用于数据分析。

试验数据的分析使用图解分析方法,其目标是试验数据能拟合成直线,直线的斜率确定形状参数值,直线的截距确定尺度参数值。图解分析方法的推导来源于失效概率密度

$$F(c) = 1 - e^{-\left(\frac{c}{\eta}\right)^{\beta}} \quad \dots\dots\dots (\text{F.1})$$

其中:

c ——温度循环数(变量);

β ——形状参数;

η ——尺度参数。

根据 IEC 61649 的规定,将产品失效前的循环次数绘制在威布尔坐标图中(如图 F.1 所示)。两个威布尔曲线相互平行且形状参数值近似为 4。这也表明在两个试验中具有相同的失效模式。

失效概率分布通过推导最终变成一条直线的方程式如下:

$$\begin{aligned} 1 - F(c) &= e^{-\left(\frac{c}{\eta}\right)^{\beta}} \\ \frac{1}{1 - F(c)} &= e^{\left(\frac{c}{\eta}\right)^{\beta}} \\ \ln\left[\frac{1}{1 - F(c)}\right] &= \left(\frac{c}{\eta}\right)^{\beta} \quad \dots\dots\dots (\text{F.2}) \\ \ln\left\{\ln\left[\frac{1}{1 - F(c)}\right]\right\} &= \beta \times \ln(c) - \beta \times \ln(\eta) \end{aligned}$$

$F(c)$ 由失效个数的中位秩确定:

$$F(c) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

式中:

i ——在所观察的试验循环中的累积失效数;

n ——受试产品总数量。

两组试验数据详见表 F.1 所示。

表 F.1 试验 A 与试验 B 的失效概率分布

C	$F_A(c)$	$F_B(c)$
300	—	0.200 935
400	—	0.668 224
500	—	0.808 411
700	0.031 25	—
1 000	0.120 536	—

绘图用数据详见表 F.2。

表 F.2 威布尔曲线绘制用数据

$\ln(c)$	$\ln\{\ln[1/(1-F_A(c))]\}$	$\ln\{\ln[1/(1-F_B(c))]\}$
5.703 782	—	-1.494 712 949
5.991 465	—	0.098 301 371
6.214 608	—	0.502 230 487
6.551 08	-3.449 903 552	—
6.907 755	-2.052 272 793	—

威布尔曲线图如图 F.1 所示。

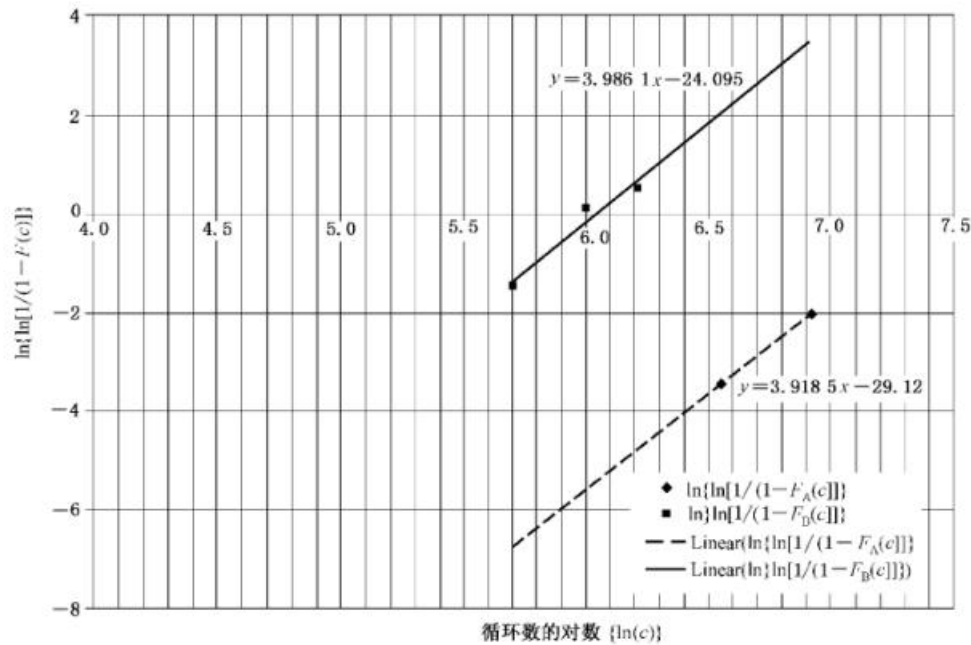


图 F.1 威布尔图解数据分析

数据线性拟合方程式的斜率代表了形状参数，截距是尺度参数的对数值与形状参数乘积的负数。
两个试验数据拟合而成的两条直线的斜率值非常相近，表明两个试验的失效模式确实是一致的。
形状参数的值一般假设为：

$\beta=0.95$

此时，可得出尺度参数值：

$$\beta \times \ln(\eta) = - \text{截距} \dots\dots\dots (F.3)$$
$$\eta = e^{-\frac{\text{截距}}{\beta}}$$

从等式(F.3)可推出两个试验的尺度参数分别为：

$\eta_A=1\,690$ 循环周期
 $\eta_B=422$ 循环周期

温度循环加速因子， $\Delta T_B=190\,^{\circ}\text{C}$ 与 $\Delta T_A=125\,^{\circ}\text{C}$ 之间的加速因子 $A_{190-125}$ 为：

$$A_{\Delta T_B-\Delta T_A} = \left(\frac{\Delta T_B}{\Delta T_A}\right)^m = \frac{\eta_A}{\eta_B} \dots\dots\dots (F.4)$$

求解受试产品特征值,指数 m 得:

$$m = \frac{\ln\left(\frac{\eta_A}{\eta_B}\right)}{\ln\left(\frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}\right)} \dots\dots\dots (F.5)$$

在这个示例中,参数 m 的值为:

$$m = 3.31$$

确定任何温度循环的温度范围 ΔT 的尺度参数值:

$$\eta(\Delta T) = \eta_B \times \left(\frac{\Delta T_B}{\Delta T_A}\right)^m \dots\dots\dots (F.6)$$

以温度循环的温度变化范围为变量的尺度参数函数曲线如图 F.2 所示。以 $\Delta T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为变量计算与温度循环有关的尺度参数:

$$\eta(50) = 422 \times \left(\frac{190}{50}\right)^{3.31} = 35\,026.45 \dots\dots\dots (F.7)$$

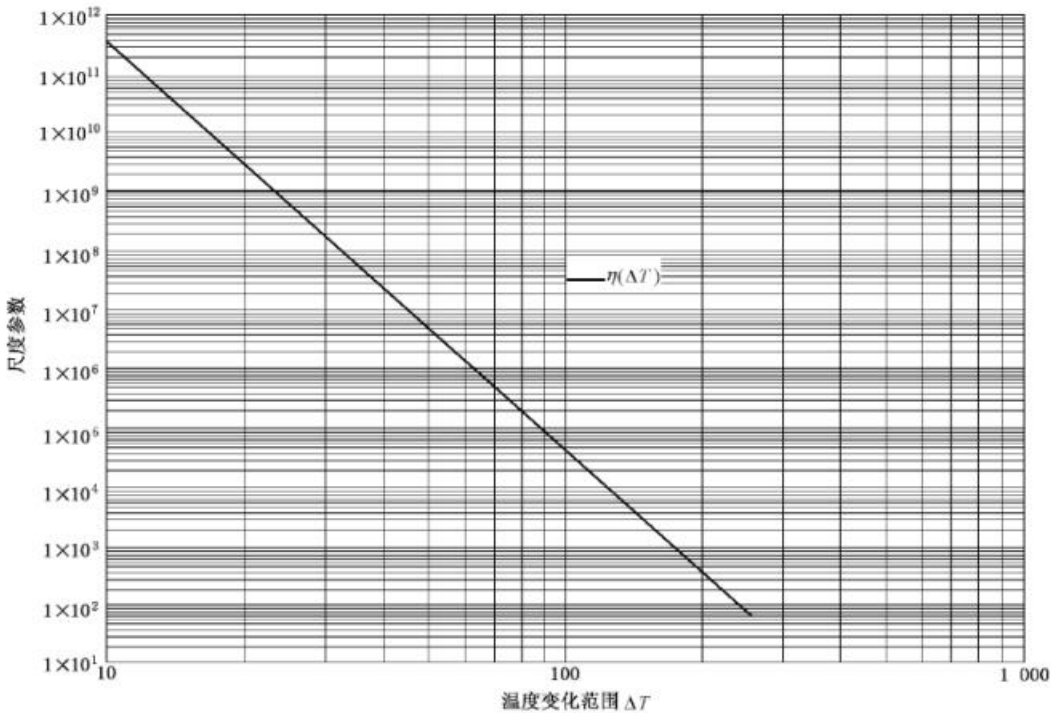


图 F.2 以温度变化范围为变量的尺度参数函数曲线图

当温度循环范围为 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,则以温度循环数为变量的产品失效概率函数曲线如图 F.3 所示。

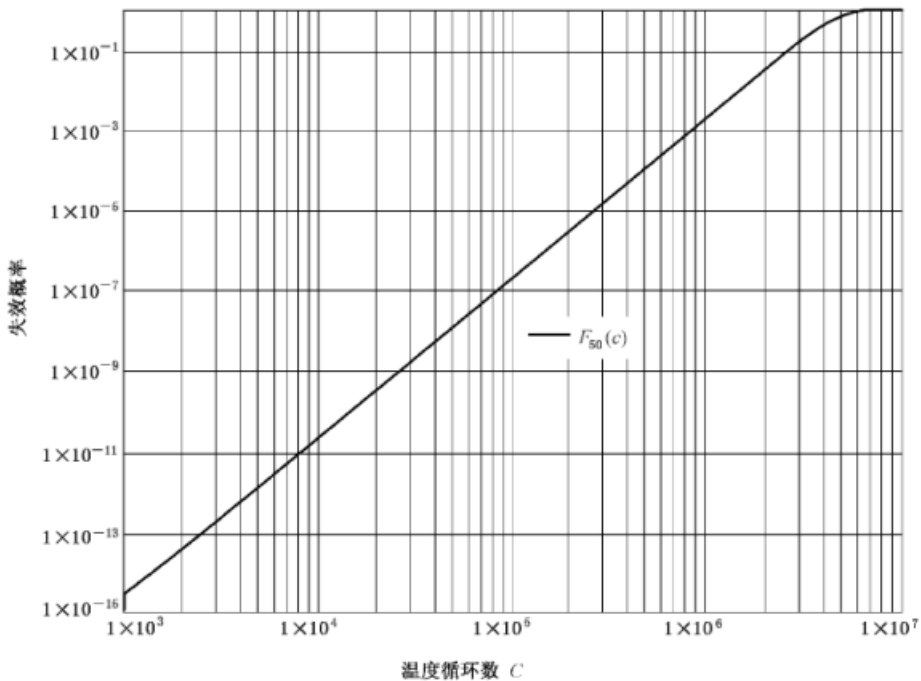


图 F.3 以温度循环数为变量的产品失效概率分布函数曲线图($\Delta T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$)

如果产品处在温度变化范围为 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,则其在经历 100 万次循环后的失效概率约为 1×10^{-3} ,也就是说产品经历 100 万次循环后,1 000 个产品中可能有一个会失效。

附录 G

(资料性附录)

通过试验直至产品失效确定加速因子

G.1 失效模式和加速因子

当描述一个失效模式的加速过程时,单一的加速因子是非常有意义的。从一个应力组合到另一个应力组合的整体加速因子可按照 5.5 描述的方式确定。

单一应力类型一般在几组元器件上分别施加几种应力量值(至少三种)。试验持续时间由元器件失效情况确定,例如,试验进行至所有的元器件或大多数元器件失效为止。记录所用应力量值下每一个元器件的失效时间并构建合适的失效分布。作图得到每个应力量值下的尺度参数,再将这些尺度参数拟合成一个函数,这个函数是以应力量值为变量的函数值的最佳拟合。尺度参数的比率与应力量值的比率确定了加速因子。

G.2 确定加速因子的示例

在三种电压之下的试验,确定半导体器件(功率晶体管)电压加速因子,见表 G.1。

表 G.1 威布尔分布的电压试验失效数据

失效产品数	失效时间	$F(t)$	$\ln(t)$	$\ln(\ln(1/(1-F(t))))$
1	100	0.07	4.61	-2.66
2	180	0.16	5.19	-1.72
3	240	0.26	5.48	-1.20
4	290	0.36	5.67	-0.82
5	335	0.45	5.81	-0.51
6	377	0.55	5.93	-0.23
7	420	0.64	6.04	0.03
8	450	0.74	6.11	0.30
9	470	0.84	6.15	0.59
10	485	0.93	6.18	0.99
1	600	0.07	6.40	-2.66
2	1 100	0.16	7.00	-1.72
3	1 580	0.26	7.37	-1.20
4	2 030	0.36	7.62	-0.82
5	2 430	0.45	7.80	-0.51
6	2 810	0.55	7.94	-0.23
7	3 160	0.64	8.06	0.03
8	3 460	0.74	8.15	0.30

表 G.1 (续)

失效产品数	失效时间	$F(t)$	$\ln(t)$	$\ln(\ln(1/(1-F(t))))$
9	3 710	0.84	8.22	0.59
10	3 910	0.93	8.27	0.99
1	1 800	0.07	7.50	-2.66
2	3 500	0.16	8.16	-1.72
3	5 000	0.26	8.52	-1.20
4	6 300	0.36	8.75	-0.82
5	7 450	0.45	8.92	-0.51
6	8 450	0.55	9.04	-0.23
7	9 300	0.64	9.14	0.03
8	10 080	0.74	9.22	0.30
9	10 730	0.84	9.28	0.59
10	11 330	0.93	9.34	0.99

这些数据绘制成威布尔分布曲线并绘制各组数据的趋势线,如图 G.1 所示。直线拟合度好表明产品失效时间是威布尔分布并且失效过程是相同的(形状参数非常相似),意思就是失效机理相同

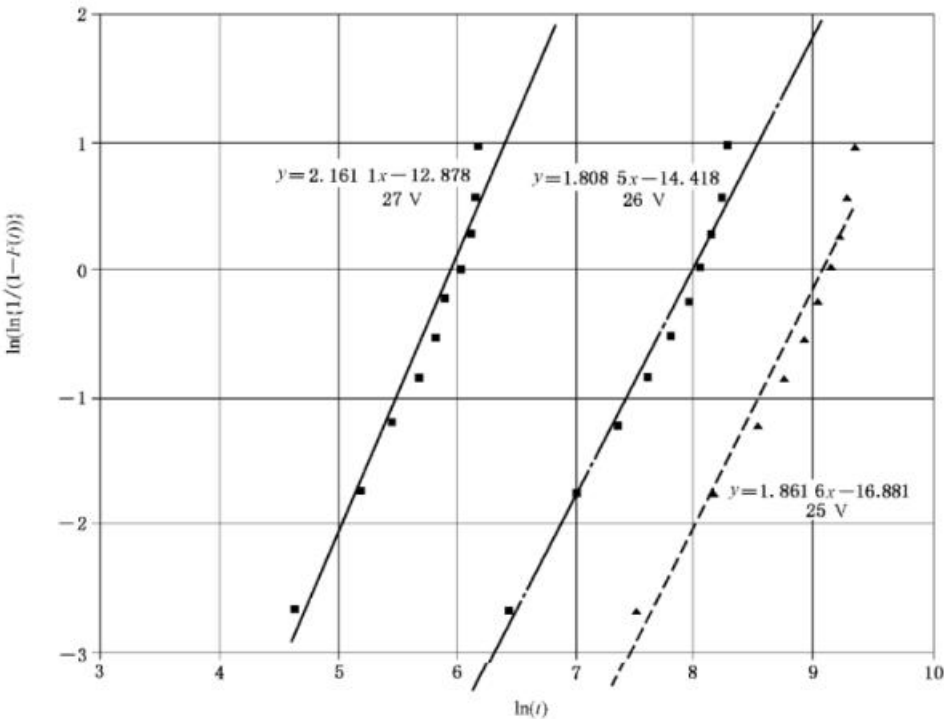


图 G.1 三组数据威布尔曲线图

三个尺度参数的值可由图 G.1 中的公式确定,并绘制成曲线如图 G.2 所示。

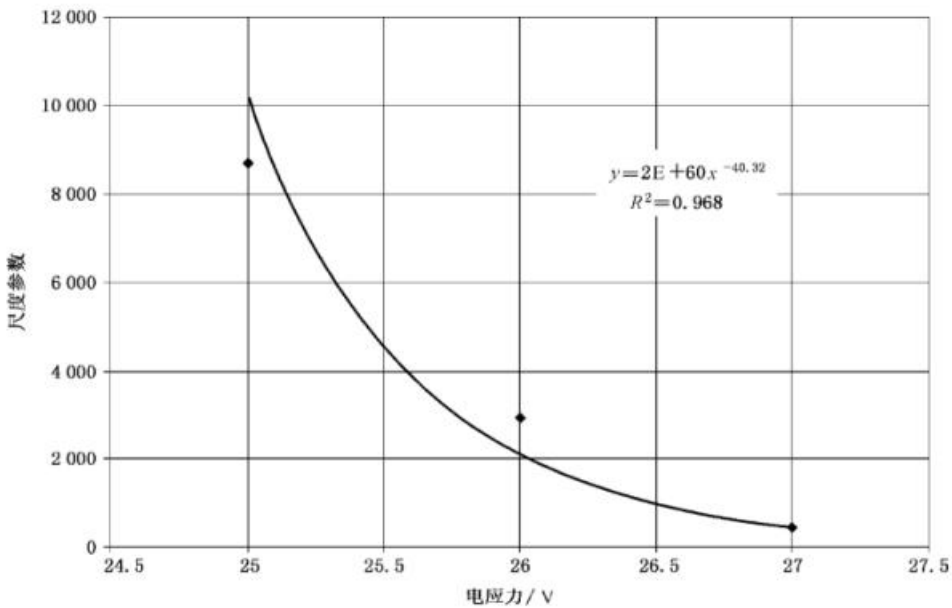


图 G.2 尺度参数值拟合的指数曲线

此时，指数曲线方程提供了以电压为变量的尺度参数函数值，即：

$$\eta(V) = A \times 10^B \times V^{-m} \dots\dots\dots (G.1)$$

此时的加速因子为：

$$A(V) = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^m \dots\dots\dots (G.2)$$

参 考 文 献

- [1] IEC 60050-191:1990 International electrotechnical vocabulary—Chapter 191: Dependability and quality of service.
- [2] IEC 60812, Analysis techniques for system reliability—Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).
- [3] HU, J.M., BARKER, D., DASGUPTA, A., ARORA, A., The Role of Failure Mechanism Identification in Accelerated Testing, Journal of the Institute of Environmental Science, pp.39-45, July 1993.
- [4] NELSON, Wayne, Accelerated testing: statistical methods for reliability data, John Wiley and Sons, Inc. New York, 1990, 2004.
- [5] GHOSH, B.K. and SEN, P.K., Handbook of Sequential Analysis, Marcel Dekker, Inc., New York.
- [6] Accelerated Life Testing Analysis, ALTA, Reference, ReliaSoft Publishing, Tucson, Arizona, 2007.
- [7] PUNCH, J. and LOLL, V. Graphical Analysis and Guidelines for Step-Stress Testing, RAMS 2003.
- [8] KRASICH, M. Accelerated Testing for Demonstration of Product Lifetime Reliability, Reliability and Maintainability Symposium 2002.
- [9] KRASICH, M., Accelerated Reliability Growth Testing and Data Analysis, Reliability and Maintainability Symposium 2008, Las Vegas, Nevada.
- [10] KRASICH, M., How to design Reliability Demonstration and Assurance Tests and Analyze Test Data Using Physics of Failure Principles, Reliability and Maintainability Symposium 2010.
- [11] IEC 60605-7:1978, Equipment reliability testing—Part 7: Compliance test plans for failure rate and mean time between failures assuming constant failure rate (withdrawn 1999).
- [12] KRASICH, M. 2009, Realistic Reliability Requirements for Stresses in Use, Journal of the IEST, 52 (2): 00-00.
- [13] KRASICH, M. 2007, Accelerated Reliability Growth Testing and Data, Journal of the IEST, 50 (2): 98-117.
- [14] SALMELA, Olli; ANDERSSON, Klas; PERTTULA, Altti; SÄRKKÄ, Jussi, and TAMMENMAA, Markku, Re-calibration of Engelmaiers Model for leadless, Leadfree Solder Attachments, QRE 2007 Vol. 23:415-429.
- [15] OTTO, Susanne; HALT & HASS—when and how is it relevant?, -SPM-169-June 2004 www.delta.dk/spm.
- [16] GMW8758, Calibrated Accelerated Life testing (CALT)—General Motors Corporation October 2004.
- [17] CARUSO, H. and DASGUPTA, A., A Fundamental Overview of Accelerated Testing Analytic Models, RAMS 1998.
- [18] KRASICH, M. 2004, Accelerated Testing for Demonstration of Product Lifetime Reliability, Journal of the IEST, 47 (2): 48-58.
- [19] SILVERMAN, M, 2010, How Reliable is Your Product? 50 Ways to Improve your

Product Reliability. Superstar Press, 2010.

- [20] MIL-HDBK-189, Reliability growth testing.
 - [21] MIL-HDBK-781, Reliability test methods.
 - [22] IEC 61125:1992, Unused hydrocarbon-based insulating liquids—Test methods for evaluating the oxidation stability.
 - [23] JESD22-A110, Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test (HAST).
 - [24] JEDEC JESD-A113, Preconditioning of Nonhermetic Surface Mount Devices Prior to Reliability Testing.
 - [25] JESD47B, Stress-Test-Driven Qualification of Integrated Circuits.
 - [26] JESD74, Early Life Failure Rate Calculation Procedure for Electronic Components.
 - [27] JESD85, Methods for Calculating Failure Rates in Units of FITs.
 - [28] JEDEC JESD A104-B, Temperature cycling.
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

产品加速试验方法

GB/T 34986—2017/IEC 62506:2013

*

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(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2017年11月第一版

*

书号: 155066 · 1-57878



GB/T 34986-2017

版权专有 侵权必究