



中华人民共和国国家标准

GB/T 15174—2017/IEC 61014:2003
代替 GB/T 15174—1994

可靠性增长大纲

Programmes for reliability growth

(IEC 61014:2003, 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 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本概念	7
4.1 概述	7
4.2 薄弱环节和失效的根源	7
4.3 产品研制过程的可靠性增长基本概念;综合可靠性工程概念	8
4.4 试验阶段产品可靠性增长基本概念	8
4.5 设计阶段可靠性增长计划和达到的可靠性的估计	9
5 管理	12
5.1 概述	12
5.2 设计阶段的程序和过程	13
5.3 沟通协调机制	13
5.4 设计阶段的人力及费用	14
5.5 费用效益	15
6 可靠性增长大纲的计划和执行	15
6.1 综合可靠性增长概念和综述	15
6.2 设计阶段的可靠性增长活动	16
6.3 确认试验阶段的可靠性增长活动	18
6.4 可靠性增长试验的考虑	18
7 现场可靠性增长	28
参考文献	29

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 15174—1994《可靠性增长大纲》。与 GB/T 15174—1994 相比,主要技术变化如下:

- 增加了部分术语和定义(见第 3 章);
- 增加了产品研制阶段、试验阶段、设计阶段可靠性增长基本概念部分的内容(见第 4 章);
- 增加了设计阶段的程序和过程、人力及费用部分的内容(见第 5 章);
- 增加了综合可靠性增长概念和综述、设计阶段的可靠性增长活动、确认试验阶段的可靠性增长活动章的内容,并将 1994 年版的第 7、8、9、10 章的内容放到第 6 章,作了更加详细的说明(见第 6 章);
- 将 1994 年版第 7 章部分内容放到第 6 章,增加了现场可靠性增长部分的内容(见第 6 章);
- 删除了附录 A(见 1994 年版的附录 A)。

本标准使用翻译法等同采用 IEC 61014:2003《可靠性增长大纲》。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下:

- GB/T 5080.2—2012 可靠性试验 第 2 部分:试验周期设计(IEC 60605-2:1994,IDT);
- GB/T 6992.1—1995 可信性管理 第 1 部分:可信性大纲管理(IEC 60300-1:1993,IDT);
- GB/T 7288(所有部分) 设备可靠性试验 推荐的试验条件[IEC 60605-3(所有部分)];
- GB/T 7826—2012 系统可靠性分析技术 失效模式和效应分析(FMEA)程序(IEC 60812:2006,IDT);
- GB/T 7828—1987 设计评审(IEC 61160:2005,NEQ);
- GB/T 7829—1987 故障树分析程序(IEC 61025:2006,NEQ)。

本标准与 IEC 61014:2003 相比,做了下列编辑性修改:

- 6.4.3 最后一段引用的威布尔分析标准 IEC 60605-4,存在引用错误,在本标准中修改为威布尔分析标准 IEC 61649,同时,在本标准规范性引用文件中增加威布尔分析标准 IEC 61649;
- 在图 8 中,在所有条件判断框后面增加了“是”与“否”的判断回答;
- 在图 10 中,参照 GB/T 15174—1994,在图标题前增加了图注。

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、北京航空工程技术研究中心、芜湖赛宝信息产业技术研究院有限公司、北京大学。

本标准主要起草人:高军、梅文华、侯卫国、黄永华、李东风、程德斌、时钟。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 15174—1994。

可靠性增长大纲

1 范围

本标准规定了暴露和排除硬件和软件产品中的薄弱环节的要求和导则,以达到可靠性增长的目的。

本标准适用于当产品规范要求设备(电子、机电、机械硬件及软件)有可靠性增长大纲或已知设计若不改进则不可能满足要求时。

本标准主要内容包括基本概念,管理、计划、试验(实验室和现场试验)、失效分析和改进技术。为了估计增长后达到的可靠性水平,还简略概述了数学模型。

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。

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

IEC 60300-1 可信性管理 第1部分:可信性大纲管理(Dependability management—Part 1: Dependability management systems)

IEC 60300-2 可信性管理 第2部分:可信性大纲管理导则(Dependability management—Part 2: Guidance for dependability programme management)

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

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

IEC 60605-3(所有部分) 设备可靠性试验 推荐的试验条件(Equipment reliability testing—Part 3: Preferred test conditions)

IEC 60812 系统可靠性分析技术 失效模式和效应分析(FMEA)程序(Analysis techniques for system reliability—Procedure for failure mode and effects analysis(FMEA))

IEC 61025 故障树分析程序[Fault tree analysis(FTA)]

IEC 61160 设计评审(Formal design review)

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

IEC 61649 威布尔分析(Weibull analysis)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

注1:有些术语来自GB/T 2900.13—2008,而且引自该标准的术语在定义后用方括号标明。GB/T 19000—2000作为质量词汇的引文。

注2:在可靠性增长试验数据分析中,区分GB/T 2900.13—2008定义的“失效强度”(对可修复产品)和“失效率”或“瞬时失效率”(对不可修复或一次性使用的产品)这些术语是非常重要的。

GB/T 15174—2017/IEC 61014:2003

3.1

产品 item; entity

能够被单独考虑的任何零部件、元器件、装置、分系统、功能单元、设备或系统。

注：产品可由硬件、软件组成或两者兼而有之，特殊场合也可包括人。

[GB/T 2900.13—2008, 定义 191-01-01]

3.2

可靠性改进 reliability improvement

通过排除系统性失效的原因和(或)降低其他失效发生的概率,使产品的可靠性得到提高的过程。

[GB/T 2900.13—2008, 定义 191-17-05]

注 1: 本标准所描述的方法是进行纠正性更改,以达到减少系统性薄弱环节的目的。

注 2: 对任何产品而言,由于可行性、经济性等原因,能获得的增长都是有限度的。

3.3

可靠性增长 reliability growth

以产品的可靠量度随时间逐步提高为特征的一种过程。

[GB/T 2900.13—2008, 定义 191-17-04]

注：设计阶段可靠性改进的建模(预测)和分析是基于给定时间段内期望的产品可靠性的标准估计。

3.4

综合可靠性工程 integrated reliability engineering

一种工程工具,包括大量结合到产品所有工程阶段和活动中的可靠性/可信性方法,贯穿于概念阶段到现场使用所有利益相关方的贡献。

3.5

产品可靠性目标 product reliability goal

产品可靠性目标基于特定的企业目标、市场需求,或期望的任务成功率,按照以往历史和技术发展是合理可行的。

注：对于某些项目,可靠性目标是由顾客设定的。产品的具体目标是可靠性增长过程的目标值。

3.6

系统性薄弱环节 systematic weakness

只有通过更改设计、制造过程、操作方法、文档或其他有关因素,或者用已证明的可靠性更高的元器件替换低于标准的元器件,才能排除的或减少其影响的薄弱环节。

注 1: 系统的薄弱环节通常会导致与设计、制造过程或工艺文件中的薄弱环节相关的失效。

注 2: 没有改进措施,只作修理或更换(在软件情形作重复运行)很可能导致同类失效复现。

注 3: 软件薄弱环节都是系统性的。

3.7

残余性薄弱环节 residual weakness

非系统性薄弱环节。

注 1: 在这种情况下,在预期的试验时间内,同类失效复现的风险可忽略不计。

注 2: 软件的薄弱环节不可能是残余性的。

3.8

失效 failure

产品完成要求功能的能力的中断。

注 1: 失效后,产品处于故障状态。

注 2: “失效”和“故障”的区别在于,失效是一次事件,故障是一种状态。

[GB/T 2900.13—2008, 定义 191-04-01]

注 3: “失效”意味着产品本来具有执行要求的功能的能力但是后来丧失了。一旦系统设计具有满足规定性能要求的能力,可靠性失效则指该能力的中断。

3.9

失效模式 failure mode

任何系统或元器件停止执行其预期的工作的模式。

注 1: 失效模式可用其发生的频率或概率来表征,并纳入系统或元器件的可靠性中。

注 2: 为了了解系统的可靠性,需要从根本上掌握系统在预期的使用环境下对应的失效模式、失效原因以及失效的频率或概率。

3.10

关联失效 relevant failure

在解释试验或运行结果或计算可靠性量值时宜计入的失效。

注 1: 应说明计入的准则。

[GB/T 2900.13—2008,定义 191-04-13]

注 2: 关联失效的准则见 6.4.6。

3.11

非关联失效 non-relevant failure

在解释试验或运行结果或计算可靠性量值时宜予以排除的失效。

[GB/T 2900.13—2008,定义 191-04-14]

注: 非关联失效的准则见 6.4.5。

3.12

系统性失效 systematic failure

由物理的、条件的或设计的原因而引起的失效,是一种可能反复出现的失效状态或形式。

注 1: 没有更改的修复性维修通常不能排除失效原因。

注 2: 采用模拟失效原因的方法能诱发系统性失效。

注 3: 在本标准中,系统性失效被认为是由系统性薄弱环节引起的失效。

3.13

残余性失效 residual failure

由残余性薄弱环节引起的失效。

3.14

A 类失效 failure category A

由于费用、时间、技术上的限制或其他原因,由管理者决定不作纠正性更改的那类系统性失效。

3.15

B 类失效 failure category B

由管理者决定需作纠正性更改的那类系统性失效。

注: 失效分类并不适用于产品设计阶段的可靠性增长,因为该阶段的失效是完全不同的。这里,所有元器件都可能以一种或另一种模式失效,但是其失效的可能性和后果是不同的。发生概率较大的失效模式及其原因将被首先发现,如果资源和时间允许,其他发生概率较小的失效模式也将被发现。对于含有大量元器件的产品,每个元器件可能出现多种失效模式,而且每种失效的原因也可能多种多样,所以对产品的各种失效模式或原因进行分类和再分类很烦琐,而且费用很高。由于失效分类并不会增加额外的价值,所以在产品设计阶段的可靠性增长中并不适用。

3.16

故障 fault

产品不能完成要求的功能的状态。预防性维修或其他计划的活动或因缺乏外部资源的情况除外。

注: 故障通常是产品自身失效引起的,但即使失效未发生,故障也可能存在。

[GB/T 2900.13—2008,定义 191-05-01]

GB/T 15174—2017/IEC 61014:2003

3.17

故障模式 **fault mode**

对给定的要求的功能,故障产品的可能状态之一。

[GB/T 2900.13—2008,定义 191-05-22]

注:这里所说的“故障模式”可识别产品或元器件的可能失效。

3.18

瞬时可靠性度量 **instantaneous reliability measure**

在可靠性增长大纲中的某一给定时刻(过去或现在)对产品进行的可靠性度量。

注 1: 设计分析中用的可靠性度量是预定时间内的预期产品可靠性,或者在所关心的时间段内根据预估的产品可靠性计算得到的等效失效强度。

注 2: 有时,在所关心的时间段内,可用根据预估的产品可靠性计算得到的 MTBF 或 MTTF 来表示可靠性度量。

注 3: 本标准中所使用的时间一词均可用其他词汇如周期、运行距离(英里,千米),或重复次数来代替。

注 4: 本标准中,失效强度适用于可维修系统的可靠性度量,但是可用失效率、瞬时失效率、MTBF、MTTF 等进行替换。此外,除特别规定外,均认为系统是可维修的。

注 5: 系统试验中常用的可靠性度量为(瞬时)失效强度(GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-04)或平均故障间隔时间(MTBF)(GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-09)以及瞬时失效率(GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-02)或平均故障前时间(MTTF)(GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-07)。

注 6: 可靠性度量值可由可靠性增长模型估计得到,可靠性增长模型取决于设计和试验阶段的产品改进。

3.19

外推可靠性度量 **extrapolated reliability measure**

在可靠性增长的全过程中,能及时进行纠正性更改的产品,在未来某一给定时刻估计获得的可靠性度量。

注 1: 修饰词“外推的”(GB/T 2900.13—2008,定义 191-18-03)的定义适用于此,但仅限于时间外推。

注 2: 假设前面的试验条件和纠正性更改程序维持不变。

注 3: 假设今后有同样的趋势,可利用以往的数据用可靠性增长模型来估计可靠性度量。

注 4: 常用可靠性度量为(瞬时)失效强度(GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-04)或平均故障间隔时间(MTBF)(GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-09)以及(瞬时)失效率(GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-02)或平均故障前时间(MTTF)(GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-07)。

注 5: 外推可靠性度量并不适用于设计阶段的可靠性增长大纲。

3.20

预测的可靠性度量 **projected reliability measure**

同时引入多个纠正措施后所预测到的产品可靠性度量。

注 1: 更改往往是在增长大纲的两个连续阶段之间进行。

注 2: 常用的可靠性度量为(瞬时)失效强度(GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-04)或平均故障间隔时间(MTBF)(GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-09)以及(瞬时)失效率(GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-02)或平均故障前时间(MTTF)(GB/T 2900.13—2008,定义 191-12-07)。

注 3: 设计阶段可靠性增长的度量是所关注的时间段如保修期或任务期限内的产品可靠性。

注 4: 用可靠性增长模型估计得到这些度量值。

3.21

使用剖面 **usage profile**

新产品预期会遇到的环境和工作条件,以及这些条件的等级、量值、持续时间和作用顺序等详细信息。

3.22

现场性能报告 **field performance report**

与待设计产品有关的现场数据的总结和分析。

3.23

产品可靠性规范 product specification for reliability

产品在预期的使用剖面下规定的时间周期内预期的性能描述。

3.24

可靠性和寿命试验 reliability and life test

为了验证或估计失效发生率或其原因而进行的试验(环境或其他应力),这些估计仅仅通过分析的方法是很难做到的。

注:通过使用试验(寿命试验)来证明产品的可靠性。

3.25

可靠性增长计划 reliability growth planning

诸如分析、元器件/材料选择及试验等确保产品可靠性增长的活动的计划。

注:该术语也指为了达到产品的可靠性目标必需进行的设计改进的程度和数量的计划。该计划包括在设计中可靠性增长的分析性表述,并给出了为达到可靠性目标所必需的设计更改(改进)的数量和程度的估计。

3.26

初始可靠性估计 preliminary reliability estimates

为基于继承性设计的新产品进行的估计。

3.27

初始可靠性分配 preliminary reliability allocation

由于缺少信息不能进行初始的可靠性估计时,将可靠性分配给设计的各个部分。

3.28

设计指南 design guidelines

为提高产品可靠性明确已知设计准则的有关设计规定的文件。

3.29

连续设计可靠性评估 continuous design reliability assessment

更新新产品的可靠性评估,与元器件和分系统的设计改进和试验同步。

3.30

故障模式与影响分析和失效模式减少 FMEA and failure mode mitigation

考虑产品使用剖面和产品寿命,识别致命的和/或与安全相关的失效模式及其原因和效应,并估计失效模式发生的概率。

注:减少具有高严酷度和高发生概率的失效模式的原因和影响。设计的失效模式分析的一种有用的工具是故障树分析,它是硬件及其硬件相关失效的逻辑表述。

3.31

关键件 key components

对预期的产品性能至关重要,并基于有效的和符合要求的可靠性和环境信息评价和选择出的零部件/元器件。

3.32

最终可靠性报告 final reliability report

有关方法、分析、试验、结果、经验教训、失效模式减少效果、重要元器件及其可靠性发现、获得的产品可靠性和完整性的最终可信性评估的汇编。

注:该报告可作为信息、参考、报告的信息源,以及下一版本或类似报告的起始点。

3.33

产品更改的可靠性评价 reliability assessment of product changes

元器件、设计或制造过程更改的可靠性评价。

注:更改可能是由于纠正性措施、产品成本减少或生产工艺更改造成的。

3.34

连续批可靠性试验 continuing reliability testing

为了验证产品的可靠性未被制造过程或劣质元器件损害而进行的可靠性试验。

3.35

故障报告、分析和纠正措施系统 FRACAS

故障报告、分析和纠正措施系统,是一个跟踪和解决设计问题的闭环系统。

注:作为一个数据库,FRACAS是一个与产品新设计有关的试验和现场使用失效模式的信息源。这样分析就可确定被分析的设计中那些失效模式存在的可能。

3.36

系统 system

相互关联或相互作用的一组要素。

[GB/T 19000—2000,定义 3.2.1]

注 1:根据可信性内容,系统应:

- a) 根据要求的功能定义一个目的;
- b) 规定运行/使用的条件(见 GB/T 2900.13—2008,定义 191-01-12)。

注 2:系统的结构是分层的。

3.37

元器件 component

特指分析中考虑的最低层次的产品。

3.38

分配 allocation

在产品阶段,根据给定标准为产品及其组成单元分配性能度量要求的方法。

3.39

综合可靠性增长 integrated reliability growth

为识别和减少产品潜在失效模式,通过分析、试验、设计工程以及其他信息和活动的综合工作,所获得的可靠性增长。

3.40

间歇失效 intermittent failure

产品试验时不是每次都重复发生的和偶发的失效。

3.41

重复失效 recurrent failure

重复出现的失效。

3.42

改进措施清单 action list

为实现可靠性增长所必需采取的总的解决措施的清单。

3.43

失效条件或模式 condition or pattern of failure

失效发生的方式。

3.44

条件分析 circumstantial analysis

失效发生时的条件分析。

3.45

等效失效率 equivalent failure rate

元器件或产品的失效率,该失效率是对应时间段内假设恒定失效率的条件下根据达到的可靠性计

算得出的。

注：得到的等效失效率仅在特定的时间段内有效。

4 基本概念

4.1 概述

产品可靠性增长的基本概念都是类似的,不管产品的薄弱环节是在设计、分析或试验过程中发现的。

在可靠性增长设计分析大纲中,通过对产品设计的分析来决定在预期的工作和环境应力及其极限条件下,各元器件及其相互作用是否存在着可能的薄弱环节。将分析的结果与产品的可靠性目标或要求进行比较,并给出必要的改进建议。这里,考虑失效模式的设计应力和元器件薄弱环节分析,有助于确定潜在的失效和改进以及可靠性增长。

设计分析不应局限于电子器件,因为机械零部件和软件同样也会出现失效。因此,合理的可靠性度量应是生存概率或失效概率,而不是失效率或失效强度,因为机械零部件通常与失效率尤其是恒定失效率无关,而是与失效概率(耗损)有关。

所有的可靠性分析方法都是适用的,包括专门设计用于检测潜在失效模式的试验,特别是在分析过于复杂或可能产生不确定性结果的情况下。对于那些具有高发生概率的失效模式或其失效原因可通过改进设计的方法来解决,并对新设计的可靠性重新进行评估。以这种方式,监测可靠性增长并记录其增长过程。设计可靠性分析也包括嵌入式软件及软硬件的相互作用。

在可靠性增长试验大纲中,通常采取实验室试验或现场试验来激发并暴露产品的薄弱环节以便改进系统、设备、元器件或类似产品的可靠性。如果出现了失效,就要进行诊断、修理或更换,然后继续进行试验。试验的同时,对于已经出现的失效,应进行分析并找出其失效的根本原因,当找到了确实的原因之后,就要对其设计、其他有关程序进行适当的更改,从而促使产品的可靠性逐步增长。这种程序既适用于纯硬件,也适用于嵌入式软件。

对于不可修的或一次性使用的产品或元器件的可靠性增长大纲,应提供不断改进的样品,而每次改进设计后的样品都应比以往的样品更为可靠。

4.2 薄弱环节和失效的根源

4.2.1 概述

产品使用中,在出现失效以前,薄弱环节通常是未知的。但是,在一些影响产品的操作中无意识的人因差错造成的薄弱环节,如过度工作或环境应力,或导致元器件不能承受预期应力或综合应力的不当降额操作等,薄弱环节可能在一个可观察到的失效发生以前已经存在了。另一方面,产品的薄弱环节可能是由于过程不完全受控而在材料或元器件中固有的。

4.2.2 系统性薄弱环节

系统性薄弱环节一般与产品设计、元器件选择、生产工艺或类似的程序有关。

各种类型的薄弱环节往往受下列因素的影响:

- 规定或估算环境和运行应力的准确性,以及产品使用剖面的准确性;
- 设计、制造过程或使用的新颖性、复杂性或关键性;
- 约束条件,如研制或生产时间过紧、经费不足、尺寸重量或性能要求过严;
- 人员培训水平和技术熟练程度;
- 可能导致元器件过热或生产缺陷的实际布局。

系统性薄弱环节会同时存在于硬件和软件中,也会产生广泛的影响,同一原因可能会使产品带来相似的薄弱环节。用来消除系统性薄弱环节的改进措施本身也有可能会引进新的系统性薄弱环节。

即使通过小样本试验也可较为容易地识别系统性薄弱环节,因为系统性薄弱环节出现在所有或大部分的系统中。当然,前提条件是试验条件能够激发失效。

4.2.3 残余性薄弱环节

残余性薄弱环节通常与产品或元器件的不受控制的随机变化有关。4.2.2 所述的因素对产生残余性薄弱环节也有影响,但这些影响可通过对人员培训、不断熟悉的过程以及质量控制来减少。

残余性薄弱环节只存在于硬件中。与系统性薄弱环节不同,残余性薄弱环节可局限于单件产品上。产品中的大部分残余性薄弱环节可通过可靠性筛选来加以排除。而剩余的薄弱环节将会保留下来,在产品的寿命期内可能随机地引起失效。任何大范围的修理、更换或改进都隐含着引入新的残余性薄弱环节的风险。

残余性薄弱环节很难通过试验来检测,因为只在少数系统中才会出现。因此,需要大样本量。避免残余性薄弱环节的最好方法是错误检查、质量控制(如统计过程控制)或足够的设计裕量。然而,需要强调的是,应避免使用随机失效这个术语。观察到失效的时间可能是随机的,但是失效的原因是确定的,即便我们不知道物理失效机理。

4.3 产品研制过程的可靠性增长基本概念;综合可靠性工程概念

在产品设计阶段的可靠性增长大纲中,通过对产品设计的分析来决定在承受预期的工作和环境应力及其可能的极限条件下,产品的各元器件及其相互影响是否存在着潜在的薄弱环节。将分析的结果与产品的可靠性目标或要求进行比较,并给出必要的改进建议。这里,考虑失效模式的设计应力和元器件薄弱环节分析,有助于潜在失效的确定、改进和可靠性增长。

在产品设计阶段,所有的可靠性分析方法都适用于可靠性增长,包括专门设计的用于检测潜在失效模式的试验,特别是在分析过于复杂或可能产生不确定性结果的情况下。对于具有高发生概率的失效模式或其失效原因可通过设计改进的方法来减少,并对新设计的可靠性重新进行评估。以这种方式,监测可靠性增长并记录其增长过程。

设计可靠性分析同样也包括嵌入式软件及软硬件的交互作用。设计过程中也应遵守定量的可靠性度量。改进措施清单中应包含已识别但未完全查明的风险和认定的尚未评估的失效模式,以及已知的失效模式。清单中产品失效数量的减少及其严酷度的降低可作为可靠性增长度量。

4.4 试验阶段产品可靠性增长基本概念

在可靠性增长大纲中,通常采取实验室或现场试验来激发并暴露产品的薄弱环节以便改进系统、设备、元器件或类似产品的可靠性。如果出现了失效,就要进行诊断、修理或更换,然后继续进行试验。试验的同时,对于已经出现的失效,应进行分析并找出其失效的根本原因,当找到了确实的原因之后,就要对其设计、其他有关程序进行适当的更改,从而促使产品的可靠性逐步增长,这种程序既适用于纯硬件,也适用于嵌入式软件。

试验中可靠性增长通常只与降低系统性薄弱环节的影响有关。系统性薄弱环节与残余性薄弱环节从开始到被排除的过程如图 1 所示。

确定失效是 A 类失效还是 B 类失效的常用方法如下:

- 与安全相关的系统性失效通常为 B 类失效;
- 可在适当的技术、经费和时间约束内减轻的系统性失效也属于 B 类失效;

——与安全无关,而且需要高成本投入和工程进度延迟来进行复杂的产品重新设计的系统性失效应归为 A 类失效;

——残余性失效属于 A 类失效。

决策小组通常由设计、可靠性和大纲管理人员组成。

在改进措施的分类中需要格外注意。在可靠性增长试验大纲中,说明一个成功的改进或显著置信度的改进往往是一种趋势。在试验中验证改进极为重要,不仅要在失效发生的相同的试验条件下进行,而且还要考虑以前的试验环境所起的作用。另一个必需仔细检验的因素是由改进引入的不同失效模式的可能性,这种失效在剩余的试验中不一定出现。对改进可能引起的失效模式进行额外试验是一个合理的做法。同时还需要牢记的是,不管改进措施显得多有成果,也存在着一定的失效率,影响产品的失效强度。

对于不可修的或一次性使用的产品(消耗品,如导弹)或元器件的可靠性增长大纲,应提供不断改进的样品,每个改进的样品都应比以往的样品具有更加可靠的设计标准。

软件的可靠性增长试验不受实际环境(例如温度和湿度)的制约,不受可靠性筛选的影响,但可能会受其他环境(例如使用和维护)的影响。不过,软件可靠性性能的估计,只能通过观测硬件(可能是试验件,可能是实物)中的软件进程、软件编码测试,失效的监控和记录来获得。因此,软件可靠性增长可能受到在大纲中为暴露薄弱环节而进行的性能试验的能力影响。可靠性增长试验应尽可能采用在实际使用中可能出现的综合环境条件,以包含各种特殊的和未知的条件或各种条件的组合。

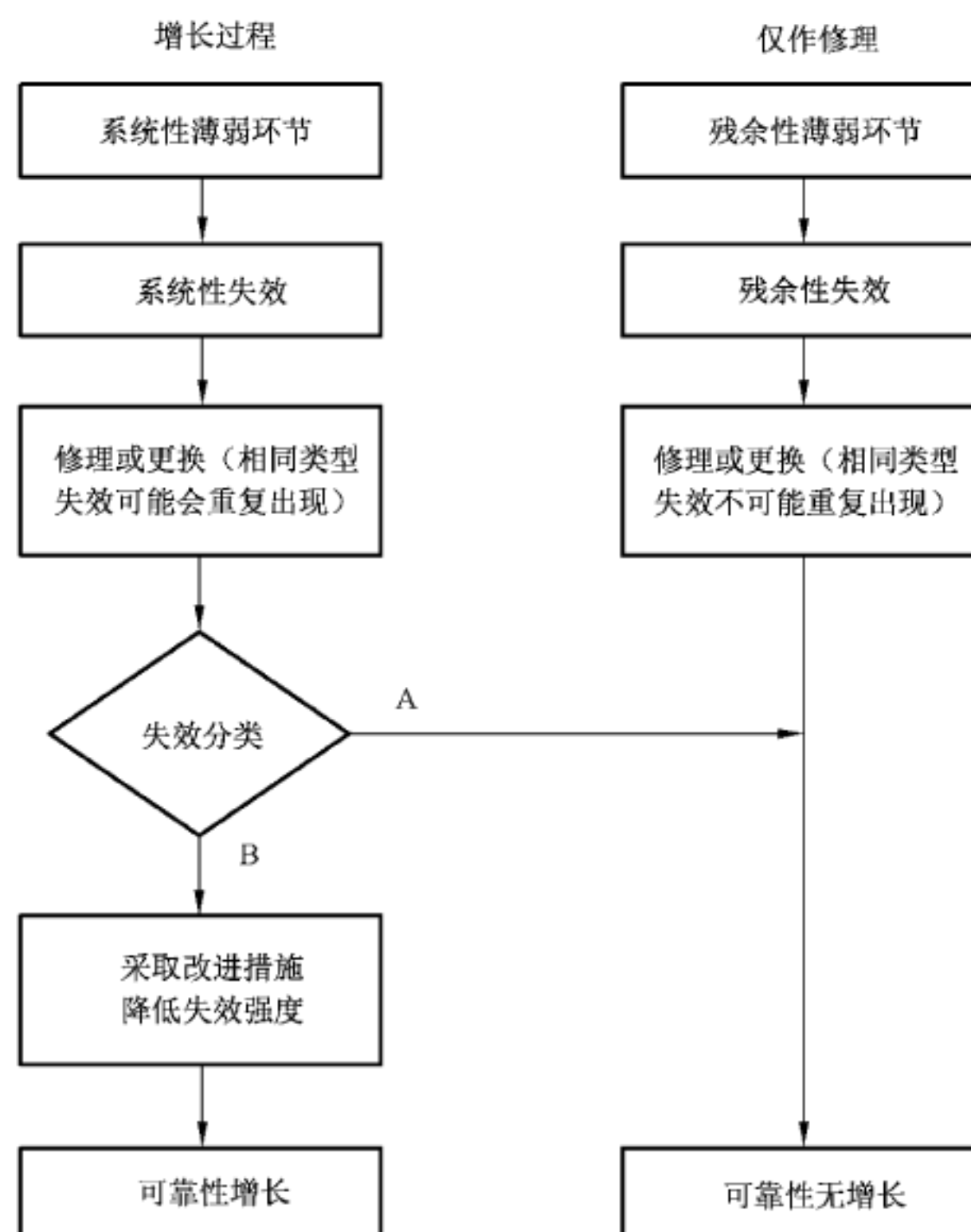


图 1 在可靠性增长试验中增长和修理过程的比较

4.5 设计阶段可靠性增长计划和达到的可靠性的估计

4.5.1 概述

在可靠性增长过程中,由于产品的失效强度随着每次成功的改进而降低,所以瞬时故障率、等效失

效率、失效强度、失效概率或假设失效率恒定的 MTBF 的评估方法是无效的。然而,在改进的各个节点,可用恒定等效失效强度(失效率)。

本标准叙述了用来估计已有的增长和作计划的可靠性数学模型的原理。在可靠性改进计划中,为了达到规定的可靠性目标,可采用有关的技术来统计和估计问题的数量及其严重性,以及设计过程的设计改进或为了达到特定可靠性目标所需要的试验时间。

4.5.2 产品研制/设计阶段的可靠性增长

在产品研制/设计阶段,可靠性增长的估计相对简单,因为设计改进及其对产品可靠性的影响很容易估计得到。然而,设计阶段与试验阶段的可靠性增长计划十分相似。为了获得必要的可靠性增长,在设计阶段,需要跟踪记录改进措施清单中的活动的数量,并执行要求的设计改进。其相似性源于设计阶段通过分析和设计改进获得的可靠性增长与计划可靠性增长试验遵循同样的模式。这是因为风险最高的潜在失效模式或原因最先被识别。根据类似的试验经验,最有可能发生的失效就是最先发生的失效。因此,可根据失效发生的时间先后顺序及其严酷程度来识别失效,由此产生了类似的数学模型。

这里的可靠性增长建模基于从分析产生的设计改进。因此,模型考虑了在设计阶段设计改进的数量和程度。结果是一条阶梯曲线,代表综合等效失效率的可靠性。该曲线可用一条等效失效率的幂曲线来近似表示,类似于可靠性增长试验大纲中的做法。

图 2 为产品设计阶段的可靠性增长计划理想图。

图 2 中的 x 轴表示设计改进的持续时间。总时间为设计阶段的持续时间。

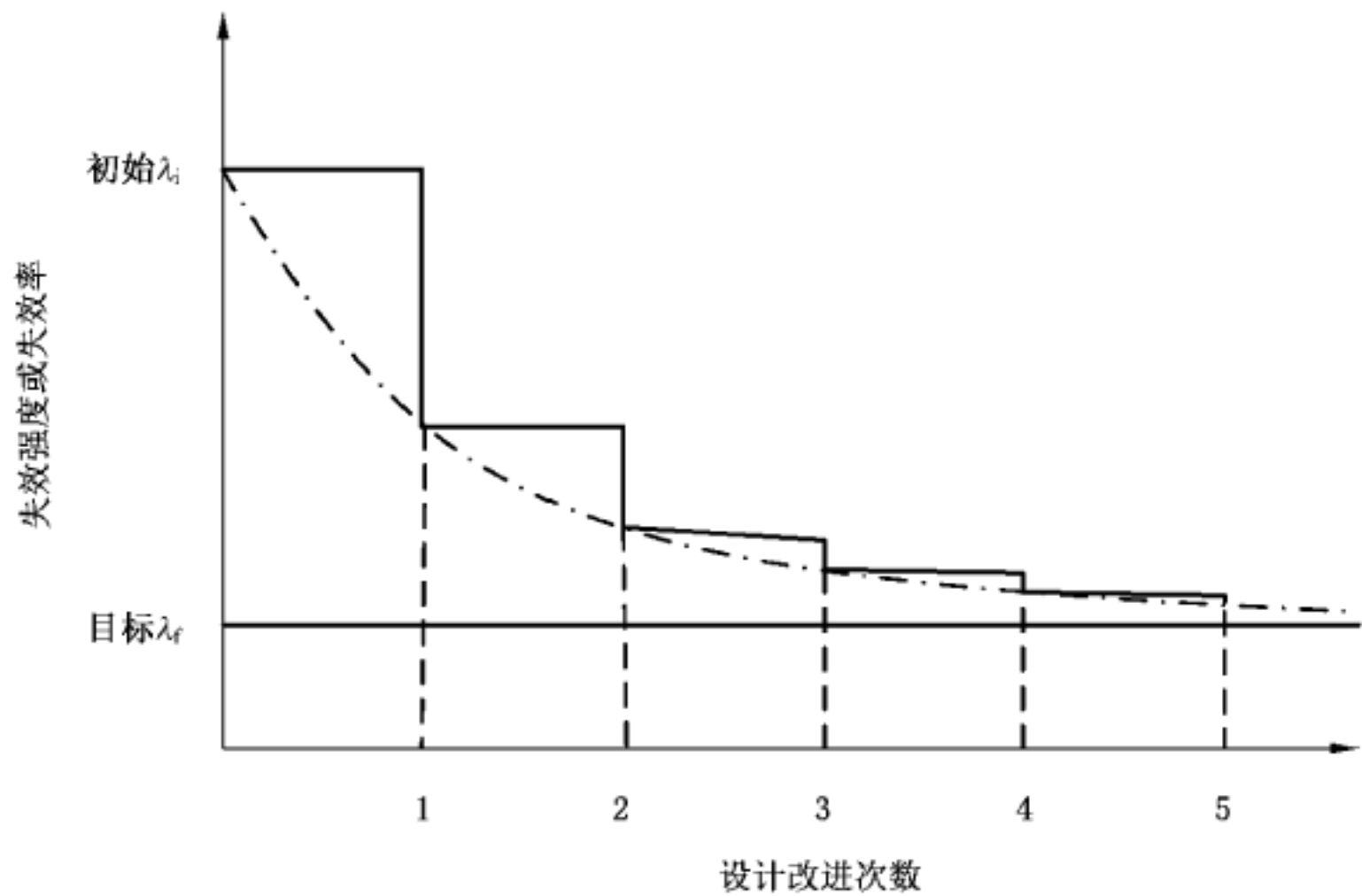


图 2 计划改进(减少)的等效失效率

通常的,采用在特定的时间段内(如保修期或有效期内)生存概率的提高来表示可靠性和可靠性改进/增长。这一点对于消费行业来说是十分有意义的,在保修期内产品的失效百分比意味着产品需要返修的百分比。对于含有混合机械设备或结构和电子器件的产品,其可靠性度量的改进也是很方便的。计划的可靠性增长可用类似于图 2 的方法来表示,除此之外,还可以用生存概率来度量,如图 3(Krasich 方法-IEC 61164)所示。

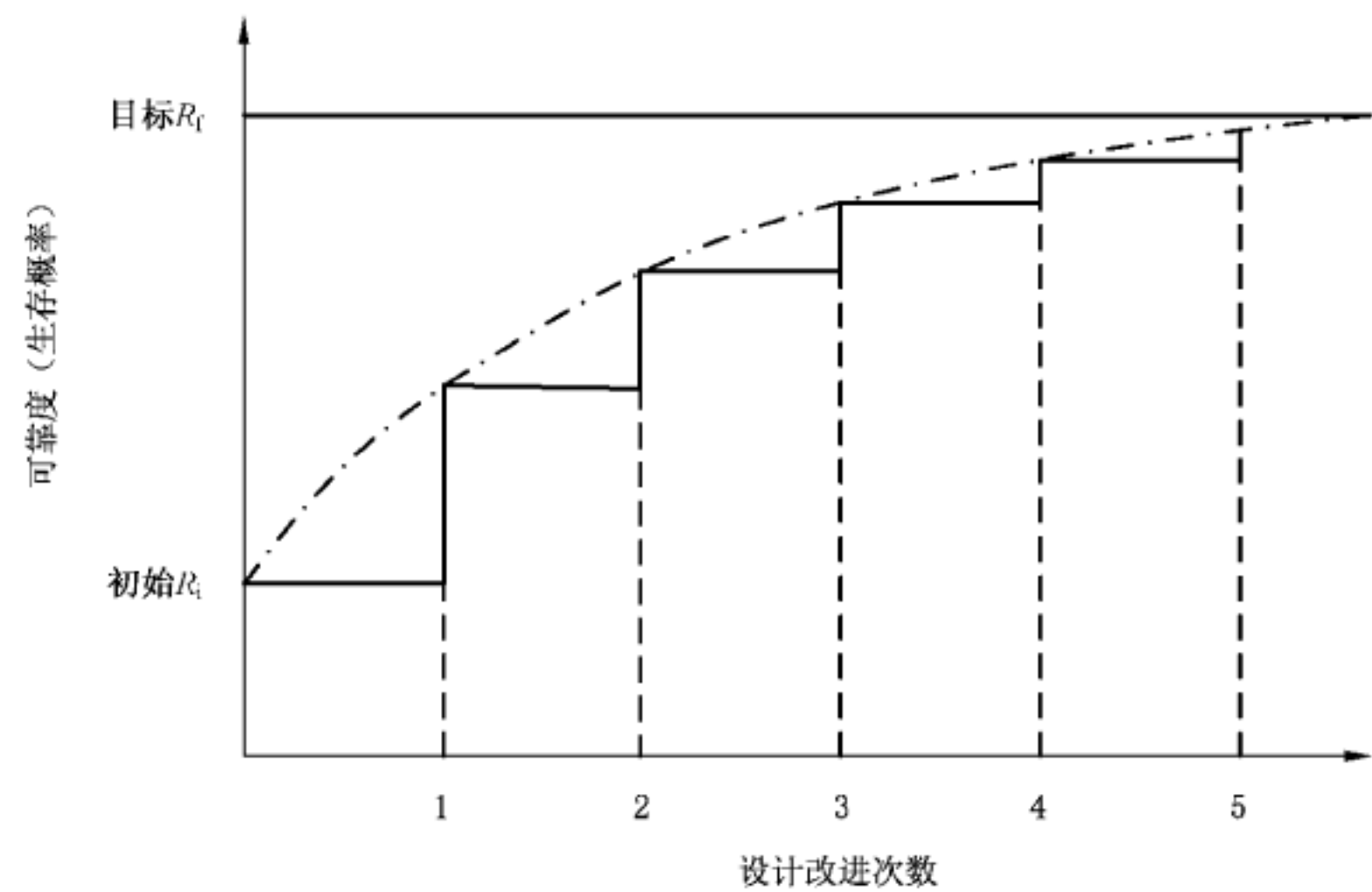


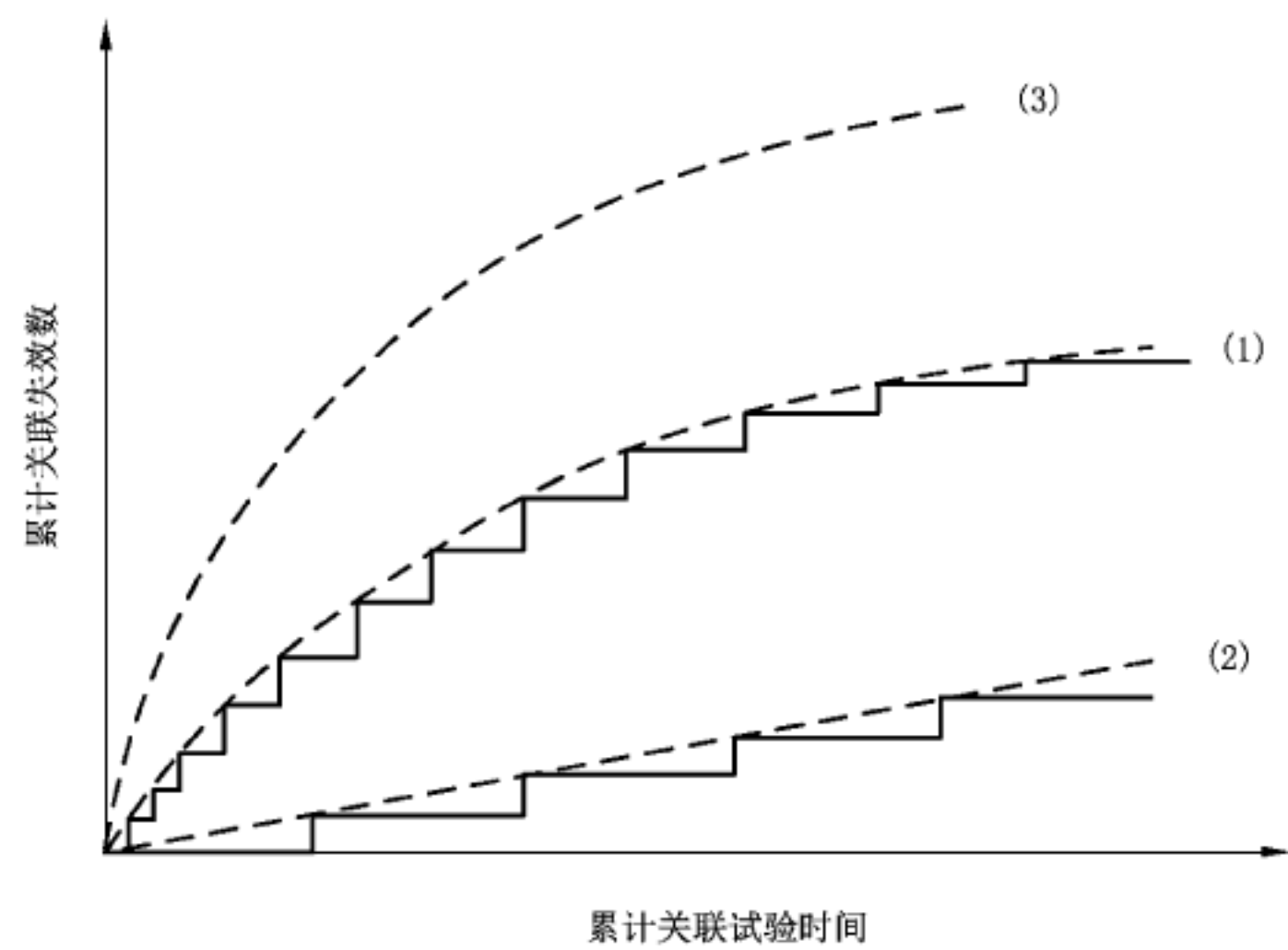
图 3 以生存概率表示的预测的可靠性改进

4.5.3 有试验大纲的可靠性增长

各种可靠性评估方法的准确性都取决于如何有效地控制试验环境、监控程序、失效报告和试验时间记录,因此,从实验室获得的数据往往比从现场试验或“非正式”试验大纲所获得的数据更加可信。

实验室试验的最大影响因素是假设的试验顺序、环境和工作应力水平以及它们与使用环境之间的关系。这里,失效主要取决于所施加应力的类型和量级。因此,失效率的计算和最终的可靠性估计与试验设计有关。为此,需要准确地描述真实应力(见 GB/T 5080.1—2012 的 6.3.2)。如果对控制程度有怀疑,就不要使用数学建模,然而,即便控制不够充分和不得不放弃数学建模,本标准所描述的改进过程,仍总会使可靠性得到增长,认识到这一点很重要,因此,即使对增长结果不能进行定量估计,仍然要执行可靠性增长大纲。

在图 4 中,曲线(1)是一条理想化的阶梯曲线,它表示了各种系统性薄弱环节所产生的首次失效的累积数目相对于试验时间的曲线,这条曲线呈指数型,反映了一定数量的固有系统性薄弱环节所形成的曲线趋势。曲线(2)是残余性薄弱环节相对于观测时间的特性曲线,在早期失效期结束后,它是呈直线型的。曲线(3)是曲线(1)和曲线(2)之和,它表示了产品关联失效的总数,曲线(3)最终趋向于直线化。如果改进措施不力或推迟,相同类型系统性失效可能会重复出现。



曲线(1)——各类系统性薄弱环节的首次失效
曲线(2)——残余性失效
曲线(3)——曲线(1)和曲线(2)之和

图 4 试验或现场失效与时间的关系图

图 4 的曲线基于下列假设条件：

- 已经排除了早期失效，否则曲线(2)在开始时将会呈现非线性；
- 不包括在增长期因修理或更改等原因产生新的薄弱环节。例如在修理或更改中可能引入这种新的薄弱环节；
- 不包括由正常或容许的耗损而产生的失效；
- 在整个增长过程中，环境、工作方式、试验的纵深程度都保持不变；任何试验周期应是短期的，而前后保持一致；
- 准确监控试验时间。

5 管理

5.1 概述

为计划和执行可靠性增长大纲，应建立管理程序，并且在试验活动与相应的纠正性更改活动之间建立重要的沟通协调机制。管理指南包含于 IEC 60300-1 和 IEC 60300-2 中。

随着产品的可靠性要求越来越高，产品研制周期和市场寿命越来越短，先完成产品设计后再进行可靠性试验已不可行。因此，产品设计、元器件和制造过程的可信程度须在项目中逐步建立起来。在分析和试验过程中，可识别、验证、分析和解决(通过设计更改排除)潜在的问题和失效模式。本标准描述了这个过程。如本标准所述，一旦产品进入市场或投入使用，传统的可靠性增长概念即包含在可靠性增长的过程中，但现在的重点是生产开始前的增长活动。

可靠性增长过程的报告应告知管理者并在合同有要求的地方告知顾客，在每个项目的重要节点和在每个新设计发布时产品的可靠性状态，以及每个试生产样机制造的状态。报告应包括一个未来的可靠性计划，该计划基于分析、试验和计划的改进活动，并基于前期项目中此类活动的效果。该计划可在早期检测出产品计划的可靠性与目标可靠性之间可能的差距。如果差距很大，通常应及时补充资源。然而，需要强调的是，计划可靠性是基于计划的改进活动及其之前显示的效果。如果计划活动减少，例如由于时间或资源短缺所致，计划的可靠性增长无法达到。

此外,应注意的是,对早期的计划产生影响的活动不一定对新的计划产生相同的影响。例如,技术、项目团队或项目管理者都有可能发生改变。此外,公司(如期望的那样)从早期的计划中吸取了经验。这意味着初始的可靠性是相对较低的,但是由于早期失效相对于后期失效更容易排除,因此,在新项目中相同的活动不会产生同样的效果。

5.2 设计阶段的程序和过程

管理程序的框图如图 5 所示。

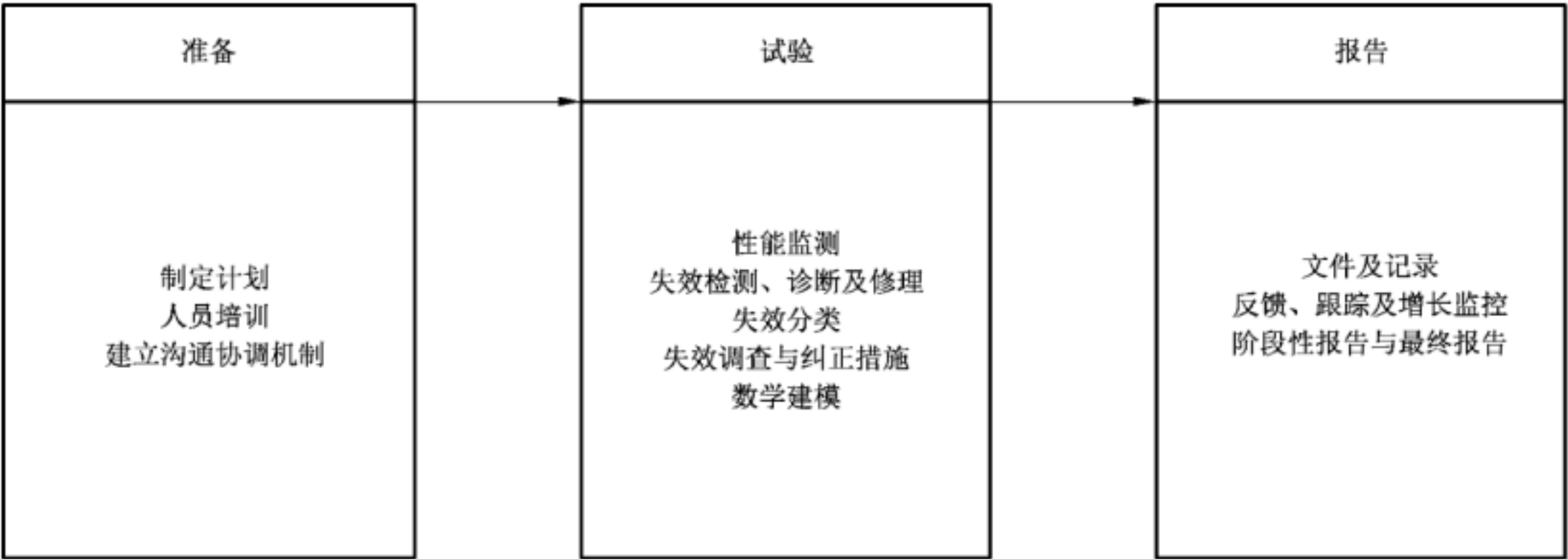


图 5 可靠性增长大纲的总体结构

为了安排计划应有一个准备阶段(见第 6 章),需要让所有工作人员熟悉受试设备,并要求在试验机构与设计机构之间建立正式的或非正式的沟通协调机制(见 5.3)。在 6.4 中详述了试验的要求,在 6.4.4 中详述了失效分类,在 6.4.8 中详述了纠正措施,图 5 归纳了这三部分内容。

一旦获得了产品的初始可靠性以及设定了计划规定的可靠性目标后,就可推荐产品研制/设计阶段的可靠性增长计划的数学建模。

只有发生了具有统计意义的失效数后,才可应用数学建模(见 6.4.9)。由于改进过程比增长估计更加重要,因此,若不具备建模条件,就不要建模,以免冒得出错误结论的风险。

构成报告的基础应由详细日常记录、对设计的反馈和用户报告所组成。关于这部分的详细内容可见 6.4.12。

5.3 沟通协调机制

单靠文件本身往往不会有效地促成采取必要的措施,因此旨在消除系统性薄弱环节的纠正性更改,通常都需要可靠性工程师亲自去督促和实施。可靠性工程师应与信息有关人员及负责排除系统性薄弱环节的工作人员保持密切的联系。

失效数据的主要来源有:

- 供应方信息;
- 分析和模拟;
- 加速试验和步进应力试验,高加速寿命试验(HALT);
- 可靠性改进试验;
- 可靠性筛选;
- 可靠性验证;
- 环境鉴定试验;
- 验收试验;
- 现场试验;

- 操作使用；
- 类似设备数据。

可靠性改进试验可认为是最有意义的信息来源,由于它的目的在于改进,它要求对环境及数据收集进行严格控制。但就失效分类方面,其他方面的信息也能提供有益的背景材料。具有检索分类功能的计算机数据库,能够对各种不同来源的相同失效类型进行归类。

需要跟踪的范围包括:

- 设计研制;
- 元器件供应方及转承包单位;
- 设计室;
- 技术规范;
- 生产计划;
- 制造;
- 可靠性筛选;
- 验收试验;
- 技术手册;
- 操作维护说明书;
- 培训;
- 运输装卸;
- 用户。

图 6 说明了沟通协调机制的基本联络关系。不同供应方有不同的组织,人员也有不同或多重职责。

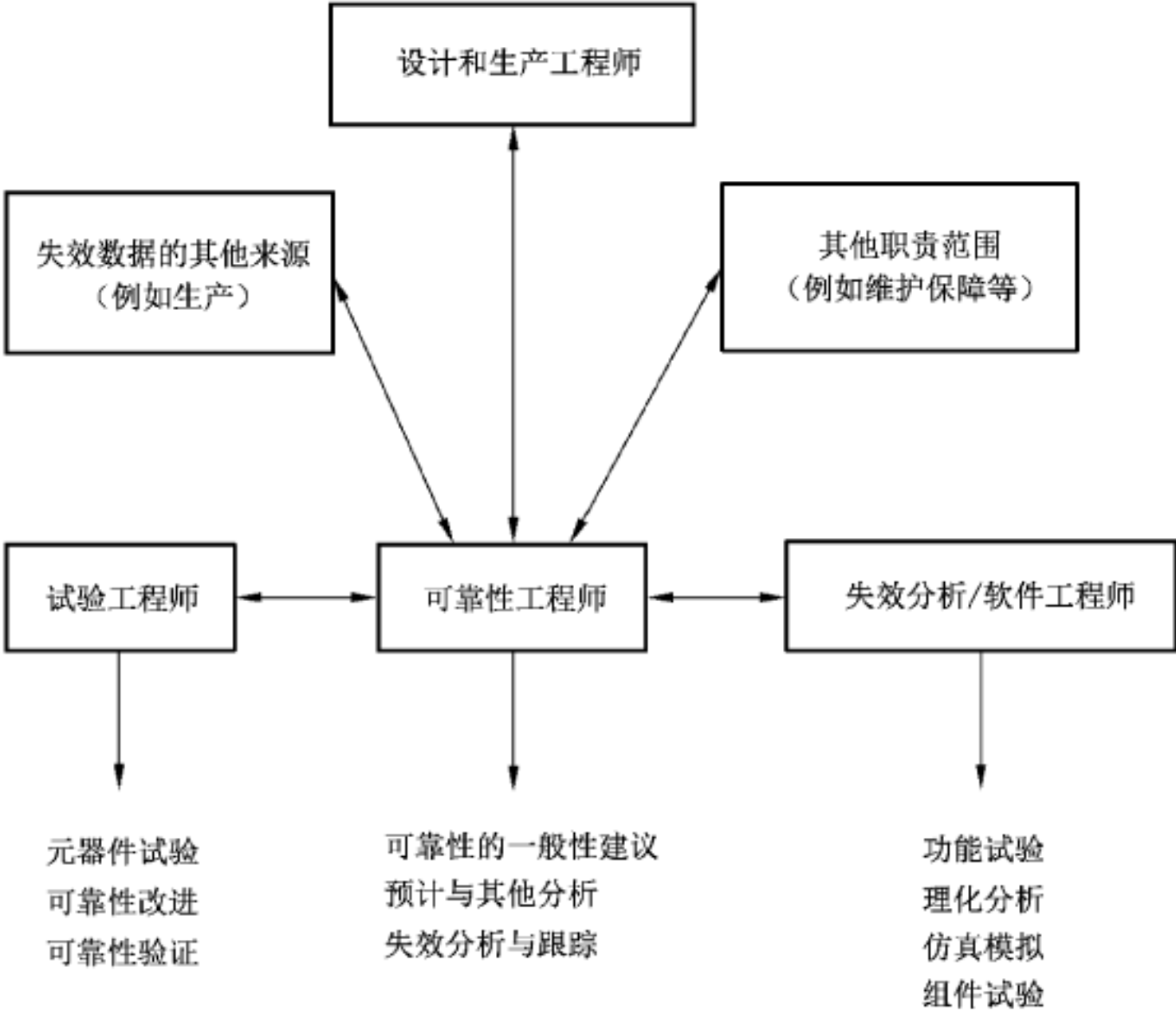


图 6 沟通协调机制与功能示意图

5.4 设计阶段的人力及费用

由于产品以及工程的种类和规模相当广泛,所以这里只能给出一般的规则。就小工程而言,可靠性工程师只需要利用部分时间就可完成 5.3 叙述的任务,而在其他场合,还需要有其他有关人员来协助它的工作。

对人力的安排,应考虑可靠性工程师和查找薄弱环节所需设计能力这两方面的力量,如果没有可靠性增长大纲,有些薄弱环节是难以发现的,在失效分析及改进设计方面应能够吸收设计和其他方面有意义的成果。

受试产品及试验设备是可回收的,如果这些产品可交货或修整后可充作其他用途,则它们对总的试验费用并没有什么影响。没有使用过的备件同样也是可回收的,但需要返工、更新当前修改或报废。

5.5 费用效益

对可靠性增长计划进行投资,可大大节省产品在整个寿命周期内的维护费用。这些节省取决于许多因素,其中包括产品总数(或单个产品的失效单元数),寿命周期长度、平均修理费用以及现场维护设施的投资等。通常,费用效益分析决定了可靠性增长大纲的费用效率。

另一个重要的费用节省来源是设计阶段的设计改进中没有涉及加工工具的更改、电路板布局的更改或制造过程的更改,因为在这些活动之前更改已经完成。

6 可靠性增长大纲的计划和执行

6.1 综合可靠性增长概念和综述

一个产品不管设计用途和性质如何,通常经历几个主要阶段。产品研制阶段取决于各个供应商的计划和产品管理结构。产品研制的一般流程的例子如下所示:

a) 概念需求阶段

从概念上对产品进行定义,根据性能要求和预期寿命确定初始要求。

b) 产品定义

对产品进行更加详细的定义,制定产品设计、生产和营销计划。在此阶段,随同产品功能和使用特点(系统设计)一起确定初始技术架构和初始工程设计。

c) 设计

详细定义产品,包括产品的功能、结构和全部性能特征。基于工程分析和评估完成设计,并确定设计组成部分。在该阶段结束时,完成产品生产准备。

d) 评价与确认试验阶段

在为常规生产做一些必要准备的同时,通过试验评估产品的性能和可靠性。在首次生产运行中,会进行产品的鉴定和可靠性试验。

e) 产品现场使用阶段

产品的最后一个阶段是它的使用,在本阶段进行性能数据的采集,而且适当的数据分析可为下一代产品的长远考虑和可能的改进,或设计中可被其他产品继承的部分提供信息。

在设计的每一个阶段过程中,都会进行可靠性活动、分析或试验,它们都有助于产品的可靠性增长,使之成为一个综合的可靠性增长过程或综合的可靠性工程过程。

产品研制阶段会因供应商不同而变化,并且可能会有不同的名称。上文解释的例子和图 7 中的描述给出了一个各种可靠性活动发生的通用时间表。

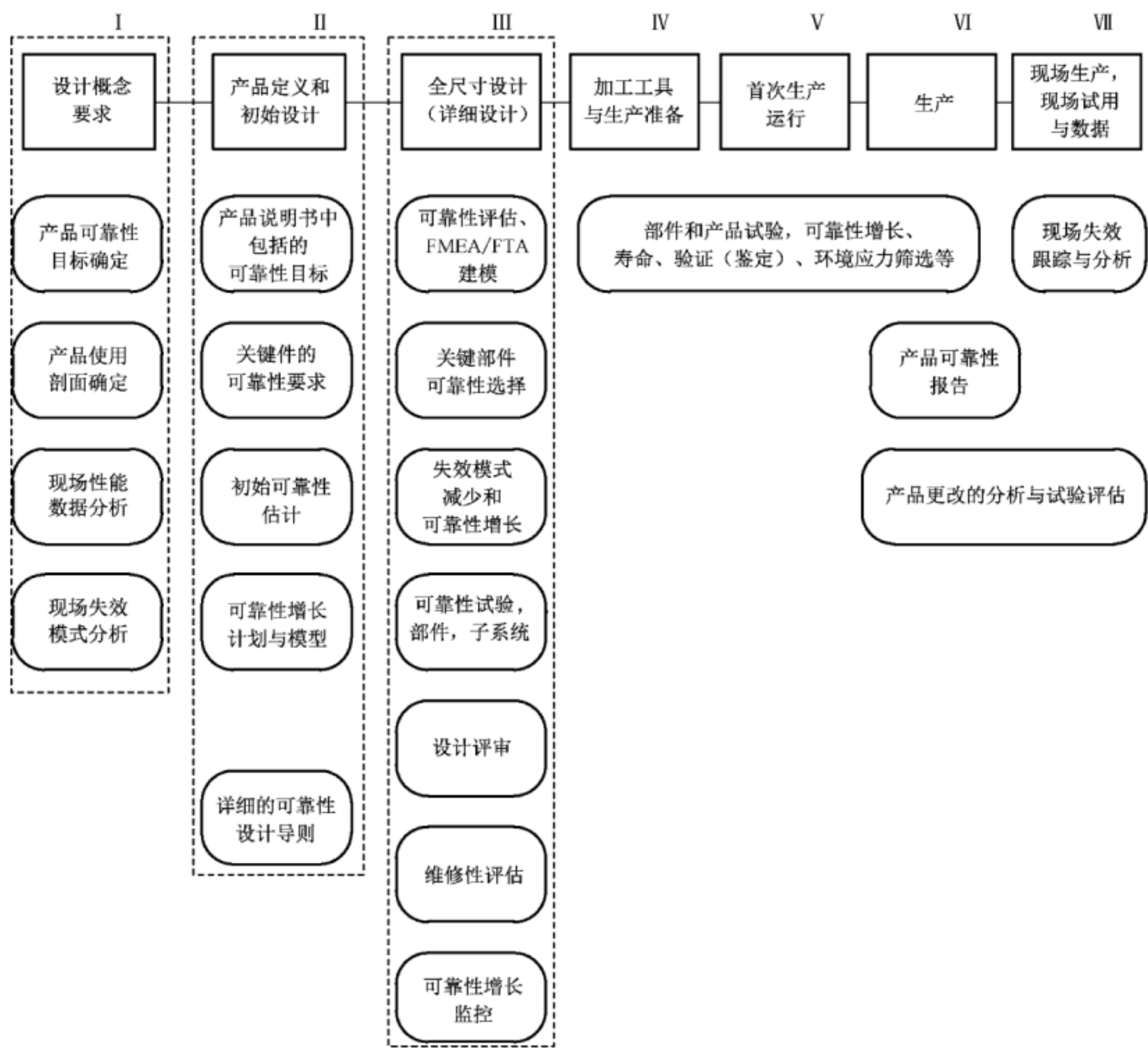


图 7 综合可靠性工程过程

6.2 设计阶段的可靠性增长活动

6.2.1 概念和产品要求阶段的活动

产品具体的可靠性目标应在大纲的初始阶段设定，根据在设计阶段通过产品可靠性增长大纲可达到的合理的可靠性指标。目标的设定应考虑到以下因素：

- 对于民用类产品，合理地假设，在产品保证期内允许有一定的百分比返回维修；
- 对于军工(国防)类产品，产品设计及其指定用途决定任务场景和预期性能。

活动并不仅仅局限在定量、定性的可靠性目标或要求。必需确定产品的功能是什么，同时确定所有可接受的工作条件和级别。评价和确定什么构成了系统的致命失效、性能退化或运行反常。可预料到失效或降级使用的定义对于不同的子系统或其组件都有所差异。

产品使用剖面或任务剖面应包括产品使用中所需的工作条件与环境条件的详细顺序与量级，因为是以研究为基础的而且符合顾客或用户的预期和需要。

相似现场产品的现场性能数据分析应被用来评估初始可靠性和设置可达到的可靠性目标。

相似产品的现场失效模式报告可作为新设计产品的潜在失效模式信息。

6.2.2 产品定义和初始设计

产品说明书中的可靠性目标值确保大纲中每一步操作都是为了实现这一可靠性目标值。

关键部件的可靠性要求确保那些被认为对产品的工作起关键作用的部件达到可靠性期望值,以使产品满足所分配的可靠性指标。可靠性要求通常应详细指明在预期工作环境下允许的最大部件失效率,并包含在部件的规格说明中。当可靠性信息设置为一般环境(通常为室内温度 25℃)时,必需采取阿伦尼斯(Arrhenius)热调整方法或其他合适的方法将其校正至预期的工作环境。

初始可靠性估计是在这一阶段根据相似产品的现场经验和初始设计的可靠性估计完成的。

可靠性增长计划与模型是在这一阶段准备的,以确定在规定的设计周期内为达到可靠性目标,需要进行的各项活动项目以及设计改进数和改进量级。

可靠性增长计划模型是以理想的可靠性增长曲线为基础,该曲线遵循幂律规则。设计上的可靠性增长在数学上符合幂律规则,这个假设通常基于以下事实,最高失效率的失效模式最先被识别,发生概率消除或降低的顺序遵循失效模式(原因)的等效失效率大小。这意味着最高等效失效率的失效模式最先被识别(见 IEC 61164)。

准备一个具体的可靠性设计指南以确保产品的设计过程对提高产品可靠性是有效的。

6.2.3 工程设计阶段

可靠性评估、建模、FMEA/FTA 用于评价产品设计过程中各阶段的可靠性,用于识别与消除失效模式和失效影响,这可能会对产品的工作能力带来潜在的问题。消除这些失效模式及其原因,或弱化失效影响,有助于实现产品可靠性增长。

每个产品都要做设计失效模式与影响分析(FMEA)(见 IEC 60812),而且要在确定各个失效发生概率的同时,提供所有失效模式及其各种原因的估计。

为了评估整个系统的失效概率或可靠性,各失效模式和原因都要与硬件相结合并建立起反映实际系统结构的模型。这既可通过传统的可靠性模型,人工地使用商用的可获得可靠性预计软件来实现;也可通过建造代表硬件的故障树(见 IEC 61025 和 IEC 60300-3-1),人工地进行故障树分析,或使用商用的可获得的软件,如故障树分析软件。

故障树分析(FTA)是一种自上而下的工程分析方法,它通过代表软件或硬件部件的失效模式的低级别的事件,找出所有对单个部件失效有贡献的可能的故障路径。各个失效模式的潜在原因通常可用基本事件与其关联的发生概率来描述。由下级事件到顶事件的概率值的积累提供了产品失效概率(可靠性)的信息。使用故障树分析方法的优点是失效模式分析和可靠性建模可同时进行,不再需要另外的可靠性模型,设计更改也更容易适应和说明。

评估各个失效模式和原因的大小和严酷程度,以确定消除或减小该失效模式发生概率的优先级。绝对优先消除的是可能导致安全威胁且很有可能发生的失效模式。那些对产品工作有致命影响的和发生概率很高的失效模式也应置于高的消除优先级。当某种可靠性质量水平的部件的更改对部件或整机可靠性有重影响时,可将其作为一种可接受的设计解决方案。

可靠性关键部件的选择确保产品功能所必需的部件达到所需的可靠性。其可靠性一般基于部件制造商提供的寿命试验信息计算得到,并标准化到产品的使用剖面。

失效模式消除是设计与可靠性工程紧密结合以寻求产品可靠性改进设计方案的结果。它可能包含了设计和部件更改、元器件降额设计、布局更改、热管理,以及其他可用的设计方案。失效模式的消除有利于产品的可靠性增长。

部件的可靠性试验可用于代替它们的可靠性分析结论。这里的部件可能是产品的电子元器件、组件或子系统,这种试验可在某个预先确定的周期内或寿命周期的某一特定阶段或某项任务中进行。在设计尚未完全公开的情况下(如购买的器件),这是很有用的。试验设计的方式应确保根据产品使用剖

面将可靠性分配到部件。

正式或非正式的设计评审,当考虑可靠性一起开展时,有助于设计和可靠性工程的紧密结合,以获得最可靠的设计(见 IEC 61160)。

维修性评估确保产品能够得到简便和经济的维护。它对可靠性增长没有直接的贡献,但是潜在失效的消除需要进行大量维修,这直接带来了可靠性增长。

可靠性增长的监控包括绘制在设计阶段和设计改进(更改)时评估获得的产品可靠性图形,以及将这个增长与产品计划的可靠性增长模型进行比较。为实现计划的生长所需的任何措施都要及时采取。

6.2.4 加工,首次生产运行(试生产),生产阶段

除了计划的可靠性增长试验,为产品工程评估、设计改进确认、部件替换确认而进行的部件和产品试验,是生产前的最后一些工作。

环境应力筛选可在试生产单元上完成,以评估制造过程的完整性,也可在生产单元上完成,作为制造过程改进的一种方式。

确认试验在试生产或生产单元完成,以确认产品在规定的极端工作与环境条件下的工作能力。

可靠性增长试验是一个计划的过程,用于确定在早期的分析中尚未识别的产品失效模式。作为一种可靠性增长方法,在 6.3 中将单独阐述。

寿命试验是当需要时在产品上完成的,用于确定产品的寿命或可靠性。更多时候,它是在那些还没被生产商实验过的和在设计(产品)改进过程中作为可能的替代品的部件上完成的。

可靠性报告是用来留存和记录所有有关产品可靠性分析、实施改进、试验及其结果、获得的可靠性增长、在下个产品设计中可能作为有用信息源的所有经验教训等。

6.2.5 产品现场阶段

现场失效跟踪和分析需要详细记录以留存现场失效的信息,并能用于未来任何产品在最初的概念阶段,也能用于采取设计修正或替换方法实现的现场产品改进。现场产品的可靠性增长在第 7 章中叙述。

6.3 确认试验阶段的可靠性增长活动

在确认阶段,从用户的角度对产品进行评价。该阶段的试验结果很难用来做定量的可靠性增长估计,除非试验条件从一开始就被设计来模拟产品实际使用的情况。在消费类产品的确认阶段,产品往往由制造商的员工或者一些特别挑选的顾客来试用。即使这些试验的结果不能被用来做定量的可靠性增长估计,已识别的失效模式和问题也会间接地通过改进措施清单进入定性可靠性增长过程和可靠性增长报告中。

6.4 可靠性增长试验的考虑

6.4.1 概述

应承认,在一定的有效时间内经过努力,并不能消除所有的薄弱环节。某些系统性的和残余性的薄弱环节仍然存在并将影响着工程实际的失效强度或失效率。产品设计和试验阶段的可靠性增长目标是消除系统性薄弱环节,或者将其发生概率减小到一个可接受的值。执行特定的可靠性增长试验大纲有两个目的:

- a) 继续产品的可靠性增长,通过将产品置于加速的使用环境中以试图发现设计分析时未注意到的缺陷。
- b) 在顾客需要时验证产品的可靠性。这里,经典可靠性验证方法被特定的可靠性增长试验所取

代,这种试验允许产品改进且同时确保所需的可靠性。这可能需要一个磨合过程或者按合同规定的一定时间的验收试验。

如果为暴露子系统或部件的可能故障模式而进行的分析或试验方法未能获得可靠性改进,那么可靠性增长的典型累积试验时间为故障强度(MTBF)的倒数除以加速因子(见 IEC 60300-2 和 GB/T 5080.1—2012)。

一个有助于可靠性增长试验的有组织的工作是故障报告和纠正措施系统(FRACAS),也称为故障报告、分析和纠正措施系统。它是个闭环系统,对每一个被报告的故障进行分析,当确认与设计有关时,将采取纠正措施以改进设计和消除故障。该系统允许强有力的可靠性增长,通过采取强制关闭设计问题的方法,这只发生在故障减少确认阶段。

6.4.2 试验计划

6.4.2.1 概述

为了及时地交付所需完成的产品和设备,应在可靠性增长大纲的早期阶段就着手制订试验计划。在制订试验计划时应确定以下内容:

- 每类受试产品的数量和它们的设计标准;
- 试验设备(标准和规范);
- 备用产品(组合件和元器件);
- 试验条件和环境试验设备;
- 预期的大纲持续时间,包括工作时间和日历时间;
- 投入调试、试验、联络、修理、分析、调查和更改的人力。

6.4.2.2 受试产品的数量

增加同时受试产品的数量,使其对总体更具有代表性。通常对那些简单的和不太复杂的产品具有较低的费用和较高的可靠性。因而在适当的时间内,为产生足够的失效数需投入更多的受试样品进行试验。因为每个产品费用较低而且尺寸较小,所以可接受这一方案。然而,非常重要的一点是,必需保证多台产品试验确实能够起到试验加速的作用。一些失效的出现是与时间相关的(如耗损,电迁移),如果使用多台产品同时受试来缩短试验时间,就可能使得这些失效现象不再发生。因此,限制受试产品的数量,允许有足够的时间,采取加速或其他手段,使这些失效现象得以发生,是明智的。一个稳妥得多的方法是加强试验级别,由失效次数来决定试验结果的置信度。

6.4.2.3 应力试验

通常由于只有出现失效才能暴露薄弱环节,可靠性改进大纲的工作既包括激发失效又包括排除暴露出的系统性薄弱环节或降低其出现的概率。然而,一般情况下,通常采用在试验室有计划的激发失效的方法,而不是采用在现场激发失效的方法。

用于激发失效合适的环境应力的选择宜以 IEC 60605-2 和 IEC 60605-3 标准中的内容作为指导。但是为了尽可能快地激发失效,应采用加速试验技术,切记不可超出设计极限值。如果设计规范中包含的环境极限等于或超过一些元器件或材料的环境应力额定值,那么这些极限就不能被用于专门的可靠性增长试验,即使这些元器件或材料在有限时间内的鉴定试验中能够承受。例如,某产品中额定温度为 85 ℃ 的电解电容器,它可通过暴露于 85 ℃ 环境下的高温鉴定试验,但同样的电容器在可靠性增长试验过程中,延长暴露在该温度下的时间就会失效。工作应力也可提高,但不应超过受试产品元器件的最高额定值。

环境应力和工作模式应与产品的实际使用条件相关,还应采用能加速激发潜在薄弱环节的使用条

件。应注意不得引入在正常使用中不典型的失效机理,以免使数学模型不能反映实际情况。如果开展在极限环境条件中单独的工程评估和鉴定试验,可提供附加的失效数据。采用的激发类型和严酷程度,随产品的不同结构层次而异。

为保证检测出所有失效,在试验期间,应执行根据试验规范列出的综合性的和周期性的性能测试计划。当产品包括嵌入式软件,此试验计划应包括所有的工作模式和可能的组合模式。

6.4.2.4 大纲持续时间

借助于可靠性增长模型,根据过去的经验(公开或秘密的),可预测出为达到一个给定可靠性目标所要求的持续时间。数学模型为预测关联失效数提供了方法,它是根据以前经验假设的模型参数的基础上作出的,然后采用附加失效数(如,非关联失效,以及仍然存在的由薄弱环节引起的系统性失效的重复)来加以修正。估计用于修理和更改的平均日历时间,同时也估计设备偶然发生的损坏所需的平均日历时间。

整个大纲的日历时间总数构成如下:

- 要求的总工作时间,根据每周(或每月)最大的工作小时数转变成日历时间;
- 修理所有预期故障的总停工时间;
- 对所有预期系统性薄弱环节进行更改所需的总的停工时间。

6.4.2.5 计划的增长和增长监控

受试设备可靠性度量的目标值通常由用户规定。

在大纲执行过程中,为了评估可靠性增长水平的进展情况,应拟定一计划的增长曲线。这条曲线可用日历时间或试验时间指出大纲中某些时刻预期的可靠性水平。如果在不同的时间阶段执行大纲,那么增长曲线的这些点应与每个相应的阶段的末尾重合。

绘制计划的整个增长模式或绘制“理想的增长曲线”,通常可用一个可接受的数学模型来构成(见 IEC 61164),模型中的参数要结合过去经验反映出实际的增长率。若有不同的阶段,须确定每一阶段的各个目标。在大纲中的规定时刻宜根据模型估计出实际可靠性增长并与计划的增长(增长监控)进行比较。

6.4.3 对不可修的或一次性使用产品以及对元器件的特殊考虑

一般而言,用于可修理产品的可靠性增长大纲的原则,通常也适用于不可修的或一次使用产品或元器件的可靠性增长大纲。然而这些产品的可靠性增长大纲与设备的可靠性增长大纲有一些不同。在此情况下,常用的可靠性度量是失效率和MTTF。

用于试验的同一型号产品的每个样品,经受试验的项目宜尽可能多。不提供样品去更换失效样品时,大体上样品数不会有明显减少。为了进一步暴露出未发现的固有薄弱环节,在试验的同时宜进行系统性失效分析。通常在出现系统性失效后接着要对产品采取改进措施。对所有受试样品都要立即更改为改进型式,并重新开始试验以验证更改的有效性并进一步暴露新的未知的薄弱环节。在某些情况下,为了发现那些在长时间工作后才发生的失效(例如耗损),即使改进型式的试验已经开始,还要再继续进行试验。

当产品耗损严重时,改进在于延长产品的寿命(威布尔位置参数)和减少寿命的变差(威布尔形状参数)。这些活动需要其他的方法,如威布尔分析(见 IEC 61649)。

6.4.4 失效分类

本条所述的失效分类,不像第4章所述的按设计或结构等基本因素分,并与改进措施、增长模型和评价无关。进行分类的第一步是鉴别和排除非关联失效,第二步是将关联失效再分成系统性失效和残

余性失效。

分类过程要求根据调查获得的许多信息进行工程判断。失效分类要力图追溯 4.2 中所述的失效概念的顺序,即根据失效到薄弱环节进一步追寻失效的原因。

6.4.5 非关联失效的划分

一般情况下的非关联失效已在 GB/T 5080.1—2012 的 7.2.1 中描述。根据大纲的特殊要求(在相应的规范或计划中定义),列在下面的部分或所有失效型式都可划分在不要求纠正性更改类中。在可靠性增长评估中(见 6.4.9),也可作为非关联失效。

下面任一种扩大了不可靠性因素,例如:界面、设备接口或试验装置等,即使在大纲中对主要产品是非关联的,对纠正性更改,它们可是关联的。

a) 从属失效

注:见 GB/T 5080.1—2012 的 7.2.1.1。

如果认为从属失效是系统性的,那么这些失效是关联的。

b) 误用失效

注:见 GB/T 5080.1—2012 的 7.2.1.2。

如果认为误用失效是系统性的,那么这些失效是关联的。

c) 纠正过程中的失效,或者通过设计更改已经排除的失效

注:见 GB/T 5080.1—2012 的 7.2.1.3。

当数学模型用于可靠性增长评估时,应单独说明这些失效是否排除。

d) 间歇失效

任一种类型失效第一次出现之后,这些失效可认为是非关联的。

潜在薄弱环节如是系统性的,则是关联的。

e) 需要操作人员调整或维护的失效(仅仅一般操作人员使用过程中发生的失效)

通过调整和维护等手段可纠正的失效可认为是非关联的。

如果认为是系统性的,那么这些失效是关联的。

f) 不满足试验规范要求但满足特定使用功能要求的元器件失效

如果在整个运行中不影响设备的性能、在调查中可检测出的失效,可认为是非关联的。

g) 可接收寿命之后的失效

在规定最小寿命期之后,产品耗损失效,可认为是非关联的。

h) 在可靠性筛选过程中的失效

对可靠性增长评估而言,在可靠性筛选过程中出现的失效,是非关联的。但是,在可靠性筛选中暴露出来的新的系统性薄弱环节的失效,总是需要进行调查并尽可能采取纠正性更改。

6.4.6 关联失效的划分

把关联失效分为系统性的或残余性的,有两个目的:

——为了决定是否需要采取纠正性更改;

——由于一些可靠性增长模型需要分别输入不同的失效类型。

下述基本原则对失效分类是有用的:

a) 系统性失效

根据实际情况或设计分析之后,显示出有可能重复出现的失效,这可在长时间试验后由真实再现的失效结果加以证实。例如,元器件在足够长时期内处于适度的过应力下可显示出由于设计错误引起的重复失效。

b) 残余性失效

残余性失效不会再现,假设它再现是不可能的。例如,偶尔漏检的元器件或偶然的工艺失误造成的失效。

应经常按最新发生的失效事件对失效分类进行审查,这样可为重新分类提供新的证据,特别是对 B 类系统性失效更应如此(见图 8)。

6.4.7 试验中出现的关联失效类型

系统性失效应按以下说明分为 A 类或 B 类:

- a) 那些不必进行纠正性更改的失效,因为预期的结果与费用、时间或技术难度相比不值。
- b) 那些必需进行纠正性更改的失效,目的在于防止失效再现。

6.4.8 可靠性改进过程

图 8 表明了失效诊断、修理或更换、分类,以及在适当时候的进一步调查及纠正性更改的顺序。当信息来源于一个非正式的大纲或一个与初始目标不同的活动时,上述流程是适用的。

为了减少试验中断,试验进行到只要发生一个失效,足以诊断、修理或更换的时刻即可暂停。在进行试验的同时,宜尽可能地对系统性失效做调查分析并加以改进。当然,如果若薄弱环节依然存在,就会冒相同类型失效重复出现的风险。

对 B 类系统性失效应采取纠正性更改。当更改措施提出后,宜尽早选择恰当时机(例如在发生另一个失效后或出现其他原因中断时)对样品进行更改。然而,如果大纲分为不同时间阶段,而且某些(特别是工作量大时)更改推迟到每个阶段结束时进行,则可能收到更好的效果。图 8 给出了这样的示例。

失效发生后,用备件去复原失效样品的性能,可更换模块或其他可更换单元。允许对独立的备件单元进行更改,这样可大大缩短试验停止时间。因此有一套这样的备用零件是有益的,备用零件宜是预先作好更改的,否则这些备件只能是临时性使用。

只有在试验时间几倍于这类特定的薄弱环节所造成的第一次失效时间后,才能了解更改的效果。这不仅表明是否已经成功地减少或消除了特定的薄弱环节的影响,而且也表明是否引进了另一种系统性薄弱环节。为了暴露由于生产过程的差错和使用新的零部件所引入的新的残余性薄弱环节,也要求运行一段时间(它类似于可靠性筛选的时期)。这里使用比较试验作为统计工具(见 GB/T 5080.1—2012)。

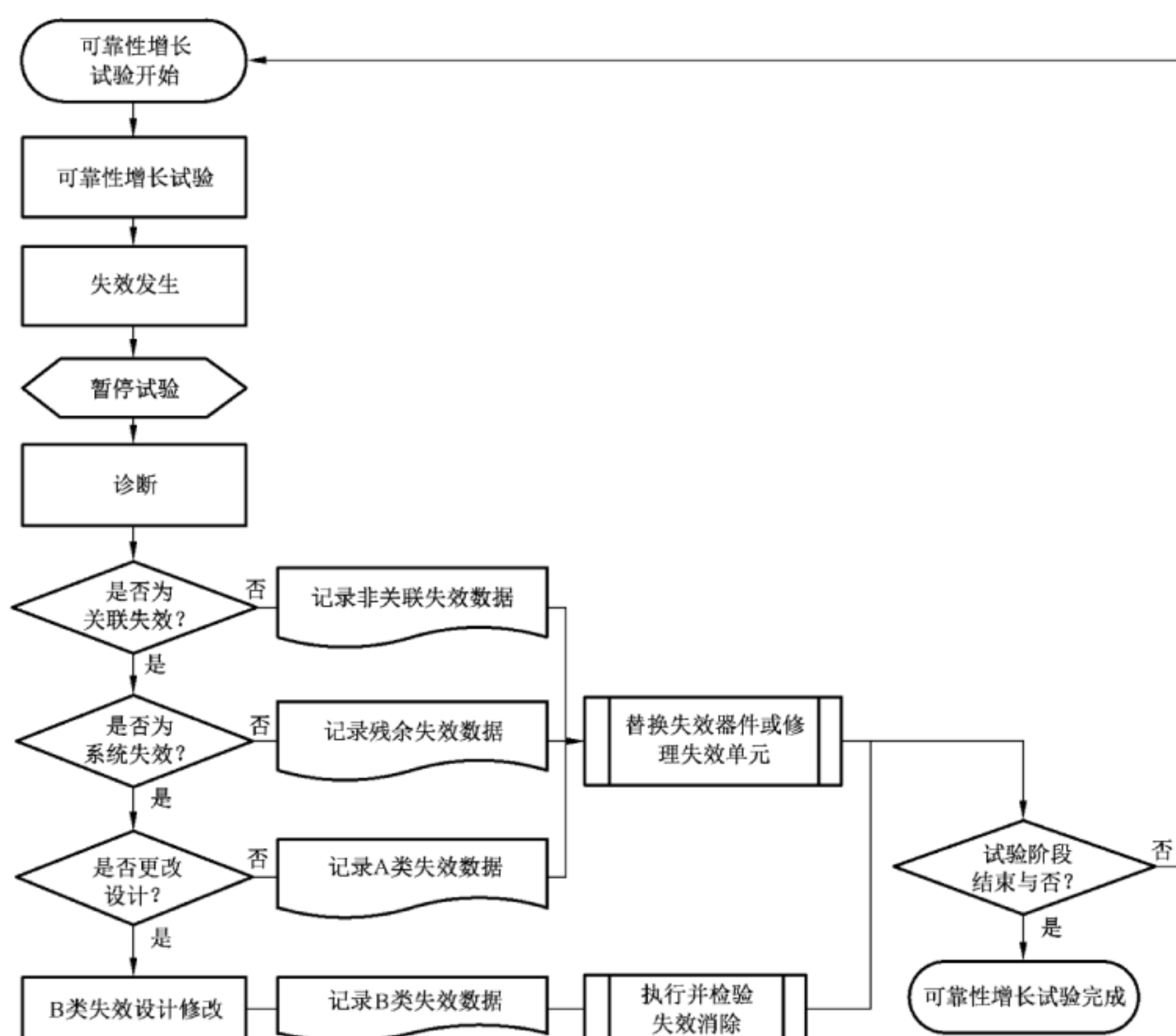


图 8 可靠性增长试验流程图

6.4.9 可靠性增长试验的数学建模

本条叙述了以失效强度或 MTBF 为可靠性度量的数学建模。对于其他可靠性度量,如失效率、MTTF 或成功率则可采用其他数学模型。可靠性增长模型能以定量的方式估计增长计划结束时或过程中间点上已经达到或将要达到的可靠性度量。这些可靠性度量可用以下形式:

- 大纲中给定点上的瞬时失效强度或 MTBF;
- 大纲中若干个未来点上的外推失效强度或 MTBF;
- 延缓更改或停止改进之后的预测失效强度或 MTBF。

在大纲进行过程中,瞬时或外推失效强度是最有用的,在每一个阶段或大纲结束时,计划度量值作为最终估计量是最有价值的。

此外,可估计下列比值:

- 上面所列的度量值与大纲开始时的度量值的比值;
- 所暴露的系统性薄弱环节数与用模型估计的固有总数的比值;
- 更改的系统性薄弱环节数与固有的总数的比值。

早期失效期的长度可由失效数据通过观察失效数及时间的特性或通过其他手段来直接估计。在进行可靠性增长计算时,该时期内的失效和时间应不包括在内。

根据使用者的习惯以及可靠性增长大纲的类型和持续时间,目前主要有几种数学模型,其中有 Duane 模型、AMSAA/Crow 模型和固定缺陷数的 IBM/Rosner 模型。

6.4.10 模型的性质与目标

可靠性增长模型使用的数学函数,当它的变量或参数对一组数据取最优值时,这个函数可准确地重现这组数据的特性,如图 9 所示。累计关联失效和对应于每一个失效的累计试验时间组成一个原始数据组,这个数据组可最好地表达这样的函数与特性。模型的函数可分为连续型与离散型。离散型模型更真实地描述了各阶段的失效,在评估时,离散型模型通常需要比连续型模型更多的试验阶段。

选择模型时要在简单性、可评估性与真实性之间权衡。大多数模型不超过两个参数,因为参数多会使评估工作复杂化。为了获得参数的极大似然估计或最小二乘法估计,往往必须解方程,把参数估计值(方程的解)代入模型中,从而可获得 6.4.9 所述的可靠性度量。

增长模型的两个重要要求:

- 有充足的数据;
- 试验条件保持不变。

不能认为数学模型是绝对可靠的,应用模型时应慎重,但数学模型可作为统计工具来帮助工程上作出判断。

6.4.11 模型中所使用的可靠性度量的概念

6.4.11.1 瞬时失效强度

如图 4 的曲线(3)中已经表明的那样,总的关联失效相对于试验时间的特性一般可用图 9 中的实曲线表示。

在任何一点瞬时失效强度是曲线在该点的切线斜率,图 9 给出了起始点和中间点(t_1, n_1)处的切线,这切线的斜率代表了这个产品(或一批产品)的瞬时失效强度。用数学模型进行拟合后,可把斜率估计出来。

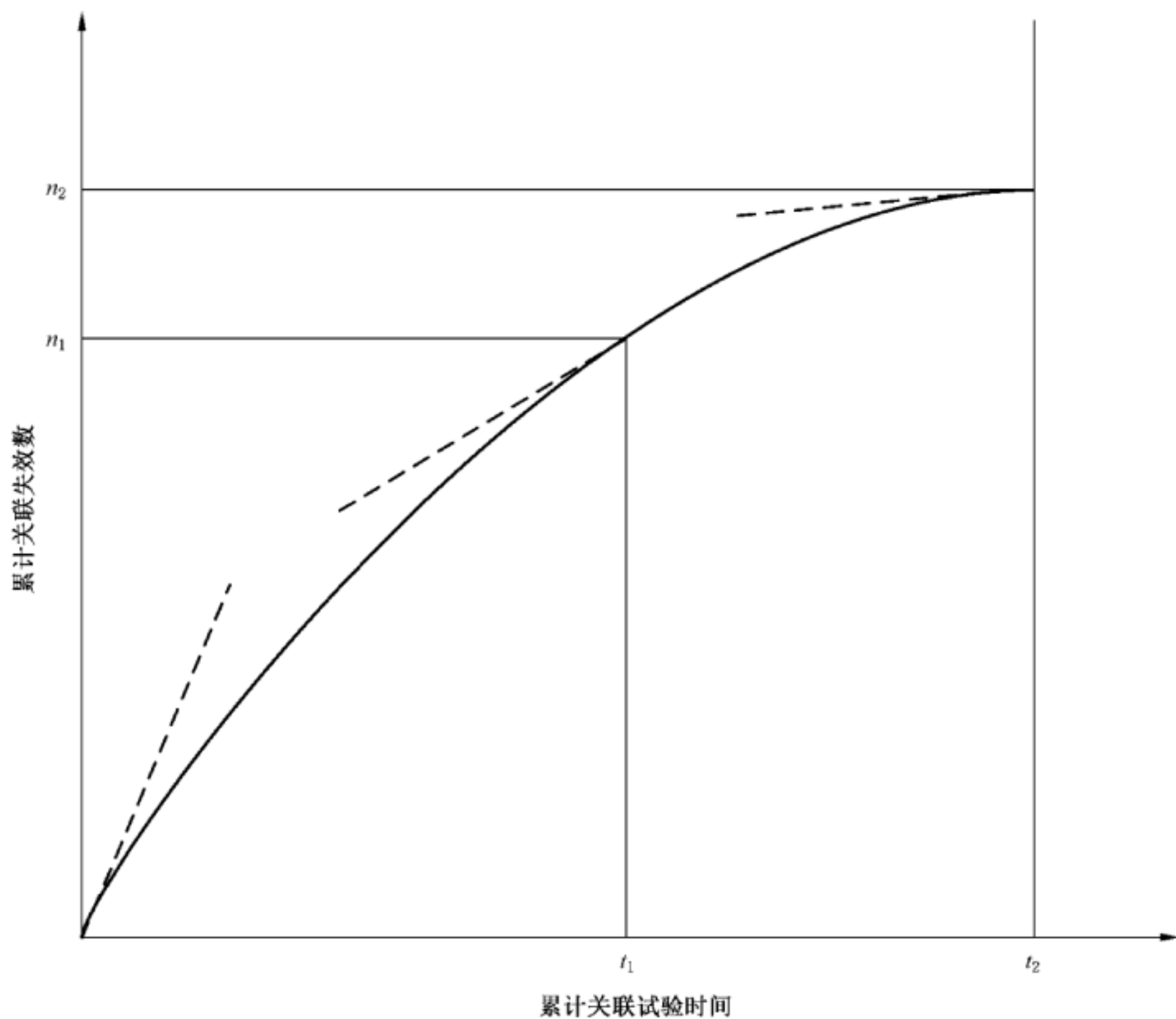
然而,如果在整个试验时间的后期进行更改,可能得不到足够长的时间用模型来反映增长的结果。因此,真正的瞬时失效强度是低于估计值的。如果多数或全部更改被推迟到试验结束时(或特定的试验阶段)进行,则产生一个特别的问题,即不能使用这种方法评估可靠性,只有按 6.4.11.3 所叙的方法来估计预测失效强度。

6.4.11.2 外推失效强度

图 9 中点(t_2, n_2)处曲线的切线斜率表示(t_2, n_2)这点的的外推失效强度,这和从点(t_1, n_1)外推计算得到的失效强度一样。这是基于以下假定:适用于累积到点(t_1, n_1)的失效数据的相同的模型和参数同样将继续适用于点(t_2, n_2),而且试验条件和及时更改的做法在整个增长大纲中不改变。

这种外推的失效强度是在将来某一阶段或在增长大纲结束时预期可靠性水平的估计值或预测值。然而,必须注意若改变了试验条件或更改程序,这种外推则无效。

图 9 所示的曲线仅是一个例子,并不代表真实试验中将会发生,因为很有可能失效发生会更频繁,而不是更少。针对个别试验,可做出代表真实试验数据的类似曲线。



原点与 (t_1, n_1) 处的切线斜率=瞬时失效强度
 (t_2, n_2) 处的切线斜率=外推失效强度

图 9 反映瞬时失效强度和外推失效强度的特性曲线

6.4.11.3 预测失效强度

预测失效强度是指采用一个增长大纲之后所预期达到的失效强度。包括若干个同时更改的大纲将会导致如图 11 所示的跳跃式的可靠性增长,而不是连续增长。在可靠性增长大纲结束时来估计预测失效强度,假定环境相同,则预测失效强度与现场操作有关。预测是较间接的,与估计瞬时失效强度或外推失效强度相比,它要求有更多的工程判断。

在进行估计时,不能根据试验来证明所有的改进都提高了产品的可靠性,使其达到预期目的而没有引进新的薄弱环节。完全有效的更改是少数的,更改有效性系数用来描述减少预期失效强度的百分比,这个“更改有效性系数”可通过工程判断,或按总体平均值来确定(典型值为 0.7)。

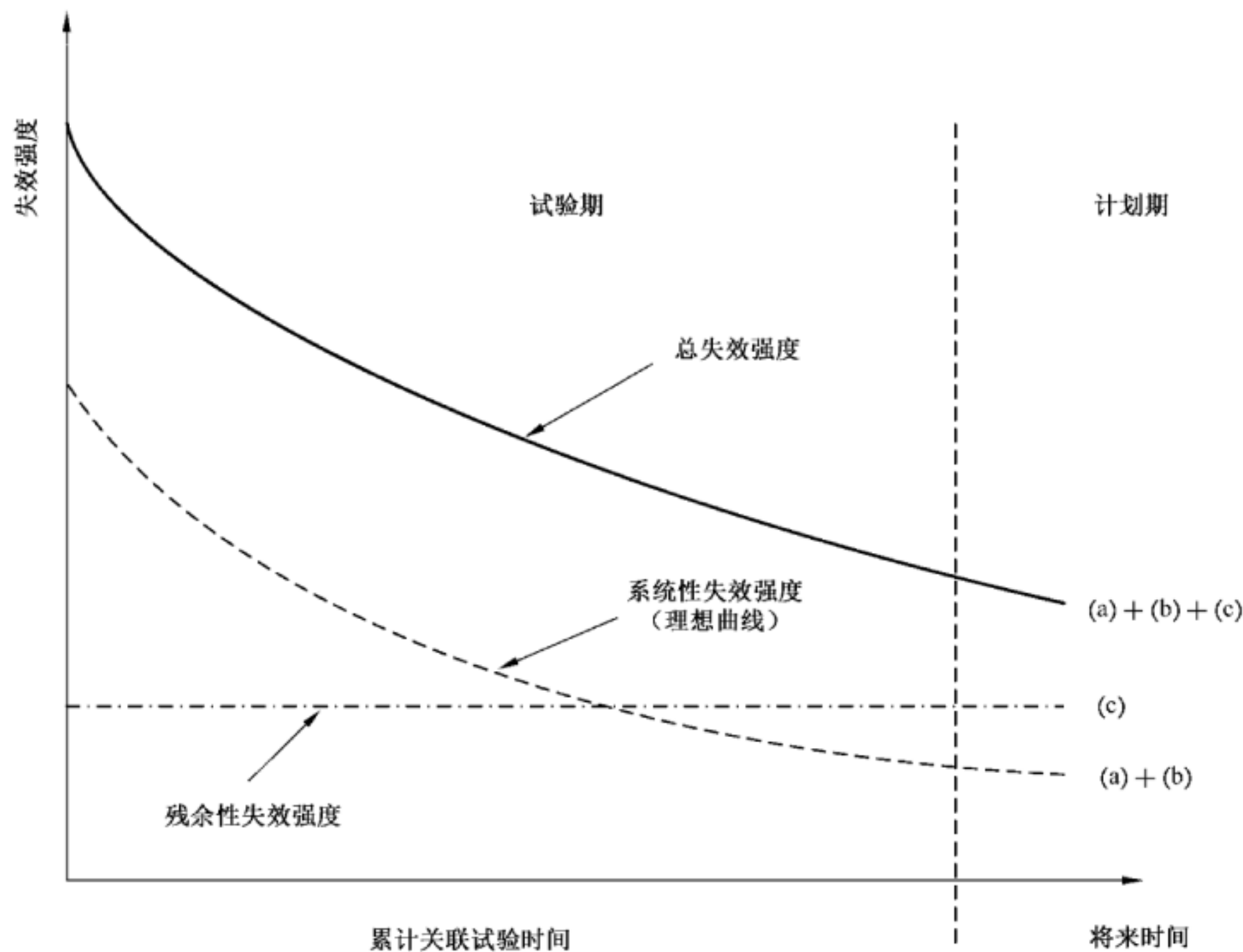
预测技术假定在早期失效期后每个相同类型的系统性薄弱环节具有恒定的失效强度。如果这个类型重复失效足够多的话,就可证明这一点,当然,由于及时和成功的更改,估计这个失效强度只使用每个失效类型的第一次失效时间。

所进行的步骤如下:

- a) 使用所有系统性失效的首次失效时间,用模型估计每种已知系统性失效类型的失效强度;
- b) 使用更改有效性系数;
- c) 用模型来估计由于尚未发现的系统性薄弱环节导致的总失效强度;
- d) 由于假设残余性失效强度为一个常数,它可用总的残余性的失效数除以累积关联试验时间直接得到;

- e) 总预测失效强度是用以下各种薄弱环节失效强度之和来估计的：
- 准备改进或不准备改进的已知系统性薄弱环节；
 - 尚未发现但用模型可预测的未知系统性薄弱环节；
 - 残余性薄弱环节。

图 10 描述了上述概念。
这些原理适用于硬件,也适用于软件。但对软件来说残余性失效强度总是为零。



说明：

- (a)——A 类失效强度；
- (b)——B 类失效强度；
- (c)——残余性失效强度。

图 10 用模型估计的预测失效强度

6.4.11.4 其他估计

在增长大纲中的某一个阶段或在整个增长过程中,作为增长特征量的失效强度比率,可用预测失效强度的估计值除以大纲开始时的瞬时失效强度值得到。对于估计固有系统性薄弱环节的总数的模型来说(包括那些未检测到的系统性薄弱环节),已经检测到并加以改进的那部分薄弱环节数,可从试验信息中导出来。进一步说,已经更改的那部分薄弱环节可通过已知的 B 类失效数得到。所有更改的有效性和选择改进有效性系数的准确性只能通过进一步的试验或现场试验来确定。

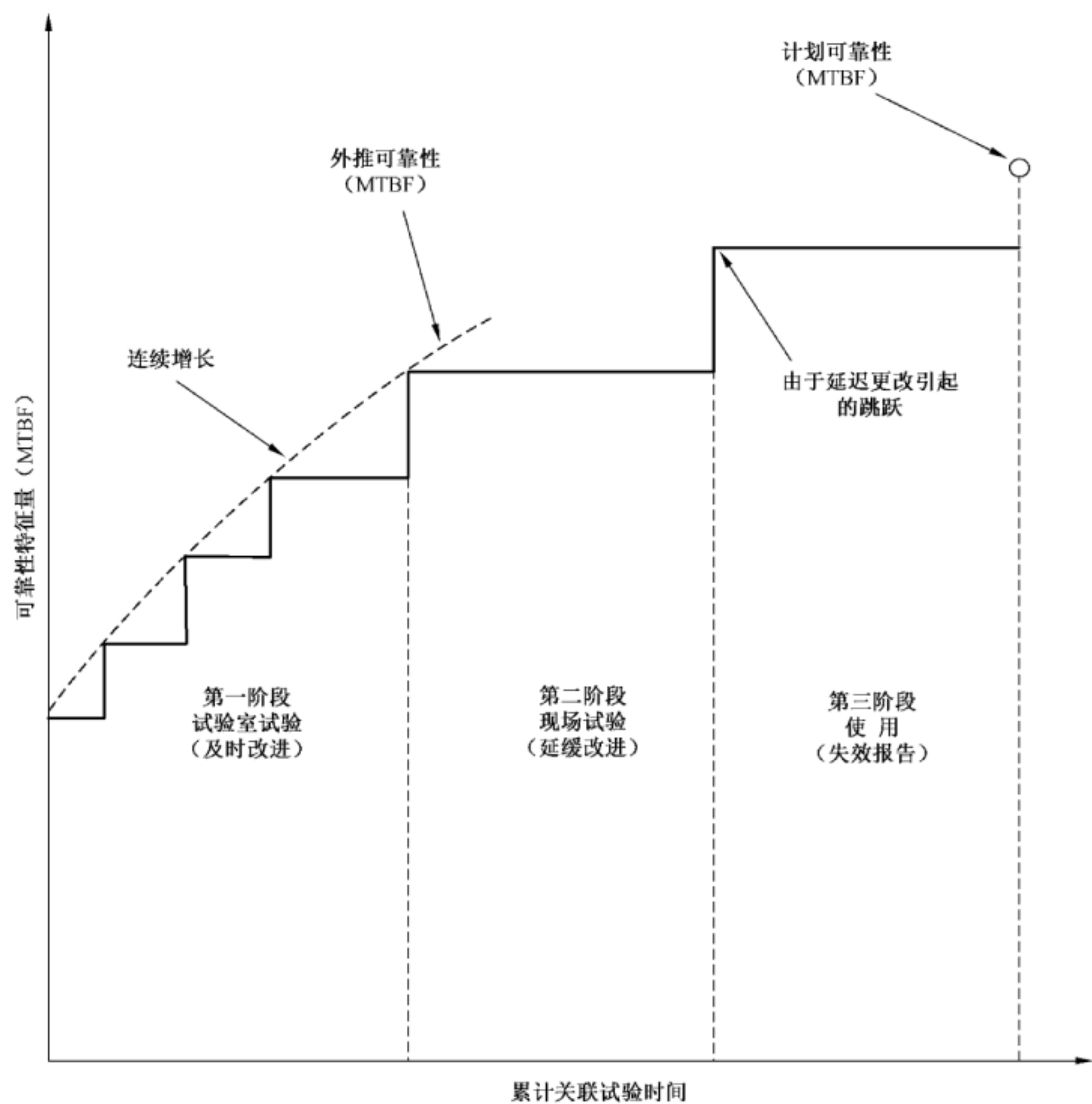


图 11 增长曲线和“跳跃”的示例

6.4.12 报告和文档

为了监控可靠性增长过程,可靠性增长报告和文档应是连续的,必要时补充相应的资料。因此,文档需实时更新,例如在各项目会议上(作为一个文档指南,见 GB/T 5080.1—2012)。在项目的每个里程碑、每个设计版本发布后和每个样机建立后,都应出具正式的报告。

报告应描述可靠性增长过程,并列出瞬时失效强度、外推失效强度以及预测失效强度。此外,应提供各严酷度等级以及问题的不同状态的操作时间表。报告最终应给出产品的可靠性和危险性的评估结果及其定性的置信度,并指出产品的可靠性目标值与计划的失效强度之间是否有差距。报告还应进一步计算使用统计可靠性模型所获得的可靠性增长系数。结合实际的分析、试验和改进,可靠性增长系数可用于预计新项目的可靠性度量。

编制可靠性增长大纲的文档应采用以下格式:

- a) 试验计划。通常由生产方制订由使用方认可,试验计划要详细说明构成可靠性增长大纲的全部工作项目、环境和试验设备,这些工作项目包括试验准备、安装、试验进程,监控、文档资料及失效后所采用的措施。同时要求绘制计划的增长曲线。
- b) 试验规范。应详细规定对产品性能的监测。
- c) 试验日志。该日志用来记录试验结果、失效和其他有意义的事件。
- d) 失效报告。用来记录和说明每种关联失效或非关联失效。由于生产方使用标准的数据文档格

式,以便很容易把失效数据存入数据库。

- e) 失效分析报告。给出对失效调查和分析结果,适用时,提出因失效而采取的措施。
- f) 若有要求,在规定阶段提出阶段报告,绘制实际的增长与计划增长的比较(见图 8)。
- g) 最终报告,它叙述整个大纲中所有的基本结果、措施和结论,包括应用数学模型做出的可靠性估计。

上述 d)和 e)中两个文档应有统一的编号方法,以便与其他有关的项目或产品的每一个失效进行相关的分析。适合新情况的近期报告应参考以前所有的报告。

一般性可靠性试验报告的详细要求见 GB/T 5080.1—2012。

7 现场可靠性增长

现场产品可能继续进行可靠性增长。在一个组织良好的现场故障跟踪系统中包含的现场数据的评审,可发现在分析和试验中没有发现的一些与设计相关的问题。失效的复现以及彻底的分析可能引起一项设计缺陷成为再设计和改进的主题。这种设计改进可在后续生产中实施。考虑那些特定失效及其不可再现性而进行的对现场数据的详细监控,可总结出产品可靠性改进的有效措施。

对现场可靠性增长的监控,即使有可能,也会像除了产品设计改进之外的其他更改一样困难。产品本身的生产差异与元器件可靠性的差异,分别取决于每个生产者的生产差异与同一型元器件的多个卖家的差异,有时是不可能控制的。

为了得到更好的现场数据,有必要组织数据收集,使用统一形式(标准)的失效描述,尽可能多地记录失效的细节情况。

虽然无法进行定量监控,也可通过系统性失效不再重现和维护需求的减少来记录现场的可靠性增长情况。

参 考 文 献

- [1] GB/T 19000 质量管理体系 基础和术语
 - [2] GB/T 19001 质量管理体系 要求
 - [3] GB/T 2900.13—2008 电工术语 可信性与服务质量
 - [4] IEC 60319 Presentation and specification of reliability data for electronic components
 - [5] IEC 61703 Mathematical expressions for reliability, availability, maintainability and maintenance support terms
 - [6] IEC 61710 Power law model—Goodness of fit tests and estimation methods
 - [7] IEC 61882 Hazard and operability studies(HAZOP studies)—Application guide
-

中 华 人 民 共 和 国

国 家 标 准

可靠性增长大纲

GB/T 15174—2017/IEC 61014:2003

*

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:155066·1-57870

版权专有 侵权必究



GB/T 15174-2017