

## 可靠性测试内容

可靠性测试应该在可靠性设计之后，但我国的可靠性工作主要还是在测试阶段，这里将测试放在前面（目前大部分公司都会忽略最初的可靠性设计，比如我们公司，设计的时候，从来都没有考虑过可靠性，开发部的兄弟们不要拿砖头仍我……这是实话，只有在测试出现失效后才开始考虑设计）。

为了测得产品的可靠度（也就是为了测出产品的 MTBF），我们需要拿出一定的样品，做较长时间的运行测试，找出每个样品的失效时间，根据第一节的公式计算出 MTBF，当然样品数量越多，测试结果就越准确。但是，这样的理想测试实际上是不可能的，因为对这种测试而言，要等到最后一个样品出现故障——需要的测试时间长得无法想象，要所有样品都出现故障——需要的成本高得无法想象。

为了测试可靠性，这里介绍：加速测试（也就增加应力\*），使缺陷迅速显现；经过大量专家、长时间的统计，找到了一些增加应力的方法，转化成一些测试的项目。如果产品经过这些项目的测试，依然没有明显的缺陷，就说明产品的可靠性至少可以达到某一水平，经过换算可以计算出 MTBF（因产品能通过这些测试，并无明显缺陷出现，说明未达到产品的极限能力，所以此时对应的 MTBF 是产品的最小值）。其它计算方法见下文。（\*应力：就是指外界各种环境对产品的破坏力，如产品在 85℃ 下工作受到的应力比在 25℃ 下工作受到的应力大；在高应力下工作，产品失效的可能性就大大增加了）；

### 一、环境测试

产品在使用过程中，有不同的使用环境（有些安装在室外、有些随身携带、有些装在船上等等），会受到不同环境的应力（有些受到风吹雨湿、有些受到振动与跌落、有些受到盐雾蚀侵等等）；为了确认产品能在这些环境下正常工作，国标、行标都要求产品在环境方法模拟一些测试项目，这些测试项目包括：

- 1). 高温测试（高温运行、高温贮存）；
- 2). 低温测试（低温运行、低温贮存）；
- 3). 高低温交变测试（温度循环测试、热冲击测试）；
- 4). 高温高湿测试（湿热贮存、湿热循环）；
- 5). 机械振动测试（随机振动测试、扫频振动测试）；
- 6). 汽车运输测试（模拟运输测试、碰撞测试）；
- 7). 机械冲击测试；
- 8). 开关电测试；
- 9). 电源拉偏测试；
- 10). 冷启动测试；
- 11). 盐雾测试；
- 12). 淋雨测试；

13).尘砂测试;

上述环境试验的相关国家标准如下(部分试验可能没有相关国标,或者是我还没有找到):

### 1、低温试验

按 GB/T 2423.1—89《电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 低温试验》;

GB/T 2423.22—87《电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 温度变化试验方法》

进行低温试验及温度变化试验。

温度范围: -70℃~10℃。

### 2、高温试验

按 GB/T 2423.2—89《电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 高温试验》;

GB/T 2423.22—87《电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 温度变化试验方法》

进行高温试验及温度变化试验。

温度范围: 10℃~210℃

### 3、湿热试验

按 GB/T 2423.3—93《电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 恒定湿热试验》;

GB/T2423.4—93《电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 交变湿热试验》

进行恒定湿热试验及交变湿热试验。

湿度范围: 30%RH~100%RH

### 4、霉菌试验

按 GB/T 2423.16—90《电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 长霉试验》进行霉菌试验。

### 5、盐雾试验

按 GB/T 2423.17—93《电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 盐雾试验》进行盐雾试验。

### 6、低气压试验

按 GB/T 2423.21—92《电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 低气压试验》;

GB/T2423.25—92《电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 低温/低气压试验》;

GB/T2423.26—92《电工电子产品 环境试验第二部分:试验方法 高温/低气压试验》;

进行低气压试验,高、低温/低气压试验。试验范围: -70℃~100℃ 0~

760mmHg 20%~95%RH。

### 7、振动试验

按 GB/T 2423.10—95《电工电子产品环境试验 第二部分：试验方法 振动试验》进行振动试验。

频率范围(机械振动台):5~60Hz(定频振动 5~80Hz),最大位移振幅 3.5mm (满载)。频率范围(电磁振动台):5~3000Hz,最大位移 25mmP-P。

### 8、冲击试验

按 GB/T 2423.5—95《电工电子产品环境试验 第二部分：试验方法 冲击试验》进行冲击试验。冲击加速度范围:(50~1500) m/s<sup>2</sup>。

### 9、碰撞试验

按 GB/T 2423.6—95《电工电子产品环境试验 第二部分：试验方法 碰撞试验》进行碰撞试验。

### 10、跌落试验

按 GB/T 2423.7—95《电工电子产品环境试验 第二部分：试验方法 倾跌与翻到试验》;

GB/T2423.8—95《电工电子产品环境试验 第二部分：试验方法 自由跌落试验》进行跌落试验。

说明:上面 13 项比较全面地概括了产品在实现使用过程中碰到的外界环境;实际测试时,因为各产品本身属性的相差较远、使用环境相差也很大,各公司可以根据产品的特点,适当选取、增加一些项目来测试(此产品对应的国/行标中要求的必测试项目,当然是必须测试的);也可以根据产品特定的使用环境与使用方法,自行设计一些新测试项目,以验证产品是否能长期工作。

测试条件:不同的产品测试条件不一样;就拿高温测试来说,有些产品要求做高温贮存测试,有些要求做高温运行测试,有些产品的高温用 85℃做测试,有些产品的高温是用 65℃做测试。但是,宗旨只有一个,那就是至少满足国/行标。要测试一种产品的可靠性,找到这种产品的国/行标是必需的,按照国/行标的要求和指引找出必须的测试项目与各项测试方法,从而进行环境测试;

同一种产品,在不同的阶段,测试条件也不一样;一般而言,产品会经过研发、小批量试产、批量生产三个不同的阶段。在研发阶段,测试条件最严(应力最大)、测试延续的时候最短;小批量试产阶段,测试应力适中、测试时间适中;批量生产阶段,测试应力最小、测试时间较短;三个阶段的主要差别见下表:

## 加速环境试验技术

传统的环境试验是基于真实环境模拟的试验方法,称为环境模拟试验。这种试验方法的特点是:模拟真实环境,加上设计裕度,确保试验过关。其缺陷在于试验的效率不高,并且试验的资源耗费巨大。

加速环境试验 AET(Accelerated Environmental Testing)是一项新兴的可靠性

试验技术。该技术突破了传统可靠性试验的技术思路，将激发的试验机制引入到可靠性试验，可以大大缩短试验时间，提高试验效率，降低试验耗损。加速环境试验技术领域的研究与应用推广对可靠性工程的发展具有重要的现实意义。

## 加速环境试验

激发试验(Stimulation)通过施加激发应力、环境快速检测来清除产品的潜在缺陷。试验所施加的应力并不模拟真实环境，而以提高激发效率为目标。??

加速环境试验是一种激发试验，它通过强化的应力环境来进行可靠性试验。加速环境试验的加速水平通常用加速因子来表示。加速因子定义为设备在自然服役环境下的寿命与在加速环境下的寿命之比。

施加的应力可以是温度、振动、压力和湿度(即所谓“四综合”)及其他应力，应力的组合亦是有些场合更为有效的激发方式。高温变率的温度循环和宽带随机振动是公认最有效的激发应力形式。加速环境试验有 2 种基本类型：加速寿命试验(Accelerated Life Testing)、可靠性强化试验(Reliability Enhancement Testing)。

可靠性强化试验(RET)用以暴露与产品设计有关的早期失效故障，但同时，也用于确定产品在有效寿命期内抗随机故障的强度。加速寿命试验的目的是找出产品是如何发生、何时发生、为何发生磨损失效的。下面分别对 2 种基本类型进行简单阐述。

### 1、加速寿命试验(ALT)

加速寿命试验只对元器件、材料和工艺方法进行，用于确定元器件、材料及生产工艺的寿命。其目的不是暴露缺陷，而是识别及量化在使用寿命末期导致产品损耗的失效及其失效机理。有时产品的寿命很长，为了给出产品的寿命期，加速寿命试验必须进行足够长的时间。??

加速寿命试验是基于如下假设：即受试品在短时间、高应力作用下表现出的特性与产品在长时间、低应力作用下表现出来的特性是一致的。为了缩短试验时间，采用加速应力，即所谓高加速寿命试验(HALT)。??

加速寿命试验提供了产品预期磨损机理的有价值数据，这在当今的市场上是很关键的，因为越来越多的消费者对其购买的产品提出了使用寿命要求。估计使用寿命仅仅是加速寿命试验的用处之一。它能使设计者和生产者对产品有更全面的了解，识别出关键的元器件、材料和工艺，并根据需要进行改进及控制。另外试验得出的数据使生产厂商和消费者对产品有足够的信心。

加速寿命试验的对象是抽样产品。

### 2、可靠性强化试验(RET)

可靠性强化试验有许多名称和形式，如步进应力试验、应力寿命试验(STRIEF)、高加速寿命试验(HALT)等。RET 的目的是通过系统地施加逐渐增大的环境应力和工作应力，来激发故障和暴露设计中的薄弱环节，从而评价产品设

计的可靠性。因此，RET 应该在产品设计和发展周期中最初的阶段实施，以便于修改设计。

国外可靠性的有关研究人员在 80 年代初就注意到由于设计潜在缺陷的残留量较大，给可靠性的提高提供了可观的空间，另外价格和研制周期问题也是当今市场竞争的焦点。研究证明，RET 不失为解决这个问题的最好方法之一。它获得的可靠性比传统的方法高得多，更为重要的是，它在短时间内就可获得早期可靠性，无须像传统方法那样需要长时间的可靠性增长(TAAF)，从而降低了成本。??

RET 的目的是要引起失效，因此它是破坏性试验，试样数量尽可能少。进行 RET 的理想时间是在设计周期的末期，此时设计、材料、元器件和工艺等都准备就绪，而生产尚未开始。通常 RET 的做法是施加预定的环境应力和工作应力(单独加、顺序加或同时加)，从小量级开始，然后逐步增加直到出现以下 3 种情况：

全部试样失效；

应力值大大超出服役期望值；

出现非相关失效。(非相关失效是指服役中不可能出现的失效模式)

可靠性强化试验也是针对少量抽样产品进行的。

### 3、其它类型加速环境试验

可靠性试验还包括可靠性统计试验，即可靠性鉴定试验和可靠性验收试验。基于加速环境的可靠性统计试验(即加速可靠性鉴定试验和加速可靠性验收试验)是加速环境试验亟待解决的一个问题。该问题的核心是通过高量级的加速环境试验数据去评估试样在低量级的服役环境中的可靠性水平。在产品的全寿命周期管理中，它们的功能在一定条件下可以由前述 2 种加速环境试验来实现。

### 4、加速环境试验在产品全寿命周期管理中的应用

在产品的设计、研制、生产和使用直至寿命末期整个寿命周期内，其可靠性的设计、改进、评估都离不开环境试验手段，而加速环境试验在产品的设计、研制和生产中是实现产品的可靠性增长和确定、评估产品可靠性水平的重要手段。

根据市场需求和用户的要求确定产品之后，就可初步设计好产品雏形。此时一般需要对元器件和原材料进行选择，选择代表试样进行加速寿命试验，从而确定所选择的元器件和原材料。产品设计完成并制造试样后就可以进行可靠性强化试验(RET)，以实现可靠性增长。这将是一个逐步清除设计上的薄弱环节的过程，同时，可以对材料和工艺方法进行加速寿命试验，为产品的正式生产奠定基础。这是一个反复的过程，即是一个试验——分析改进——试验的循环过程。为了确定产品的有效寿命，需要对产品的抽样进行加速寿命试验(ALT 或 HALT)，同时加速寿命试验还将为 ESS 提供必要的有关产品的数据。在清除了设计上的缺陷及薄弱环节之后，产品可以正式批量生产。环境应力筛选方案可以根据 ALT(或 HALT)确定的极限来确定。以最为有效的温度循环和宽带随机振动为例，两端的温度应该比工作极限约低 20%，用在生产中的 ESS 振动量级应该约为振动破坏

极限的 50%。在确定了试验剖面后，便应该对几个(一般至少 3 个)试样进行筛选方案的验证(POS)，以证实筛选既不造成缺陷，又不消耗掉很多有效寿命。

通过筛选的产品可以出厂，没有通过筛选的产品在经过纠正后同样可以出厂，因为筛选并没有过多地降低产品的有效寿命，只是检测到了在制造过程中引入的缺陷。

应该指出的是，何时进行何种试验并没有严格的界线，如环境应力筛选可能会在可靠性强化试验中进行，不过此时所进行的环境应力筛选目的是对试样进行筛选、老炼、排除产品试样的早期故障，使其故障率趋于稳定，而不让早期故障在可靠性强化试验中暴露，造成不必要的浪费。另外，并不是所有的加速环境试验都是必需的，如可靠性强化试验所提供的信息，在承制方及订购方的共同认可下，是可以完成加速可靠性鉴定试验的功能的，而环境应力筛选(或高加速应力筛选)亦能实现加速可靠性验收试验的要求。

产品在使用过程中所获得的数据对于产品的可靠性增长也是相当有用的。同样的产品在不同的环境条件下使用，可能会表现为不同的可靠性量值，故产品的可靠性必须在真实的使用环境中或者在模拟的真实环境条件下验证，才能获得准确的可靠性数据。因此，应该重视在使用中反馈的信息，与以前的试验进行分析比较，对于改进试验方法、进一步提高产品的可靠性都有重要的意义。

总之，可靠性管理是贯穿于产品全寿命周期的一项工程，也是增强产品的市场竞争力的保证。

加速环境试验已应用于通讯、电子、电脑、能源、汽车等工业部门，并且在航空、航天、军工方面的应用也得到了迅速的发展。据报道，惠普、福特、波音等国际知名企业已相继采用可靠性强化试验技术进行新产品研制的可靠性增长试验，并由此获得高可靠性，缩短产品研制周期，取得了明显的经济效益。我国有关研究机构也对此进行了研究，加速环境试验将成为可靠性试验的补充和发展。

环境测试一般偏重于产品对外部条件适应能力的测试，如温度，湿度，电磁环境等。而其本身的工作状况不会变化，如电流、电压、机械负载等。

狭义的可靠性测试一般偏重于产品本身的性能，如在大电流或机械过载的条件下的性能稳定性，而其工作环境则保持在正常使用条件下。

广义的可靠性测试也可包括环境测试。

## 二、EMC 测试

随着电子产品越来越多地采用低功耗、高速度、高集成度的 LSI 电路，使得这些系统比以往任何时候更容易受到电磁干扰的威胁。而与此同时，大功率设备及移动通讯和无线寻呼的广泛应用等，又大大增加了电磁骚扰的发生源，因此我们应提高产品本身抗干扰能力，即要求产品必须具备在一定的电磁环境下能正常工作的能力。某些产品在 EMC 方面的测试是国家强制要求进行的。通常状况下，

EMC 需要测试如下项目：

- 传导发射；
- 辐射发射；
- 静电抗扰性测试；
- 电快速脉冲串抗扰性测试；
- 浪涌抗扰性测试；
- 射频辐射抗扰性；
- 传导抗扰性；
- 电源跌落抗扰性；
- 工频磁场抗扰性；
- 电力线接触；
- 电力线感应；

### 三、其它测试

环境测试和 EMC 测试基本上包括了通常状况下所有的测试；这里再列举一些测试项目，可以根据情况适当选用：

#### 1、外观测试；

- 附着力测试；
- 耐磨性测试；
- 耐醇性测试；
- 硬度测试；
- 耐手汗测试；
- 耐化妆品测试；

#### 2、寿命测试；

- 某一器件中活动部件的活动次数；
- 某一配件（如电视的摇控器）的使用寿命；
- 两个器件拨插联结的拨插次数；

#### 3、软件测试；

- 基本性能测试；
- 兼容性；
- 边界测试；
- 竞争测试；
- 压迫测试；
- 异常条件测试；

上述测试中，对于可以找到国/行标的产品，按国/行标的要求执行，对于找不到国/行标的产品，就只能做对比测试\*了；\*对比测试就是用至少两种产品在同一状况下做测试，然后测量各产品的性能，找出一系列数据，判定被测产品的那一种更好；

## 四、测试条件

说明：对某一具体产品做测试时，所有的测试条件必须以对应的国标、行标为准。没有国/行标时，应该根据实现的使用情况选定测试条件，下面的测试条件是由中兴公司的大虾提供（非常感谢这位不知道姓名的老兄），主要是用于测试 CDMA 手机，在此仅作参考产品的参考使用。

### 1. 高温贮存

高温测试的温度 TH 必须高于 Tmax (Tmax 指产品技术条件规定的高温工作温度)。研制测试时温度最高(一般取 Tmax+20℃)、小批量试产测试时温度次之(一般取 Tmax+15℃)、例行测试最低(一般取 Tmax+10℃)。

### 2. 低温贮存

低温测试的温度 TL 必须低于产品技术条件规定的低温工作温度。研制测试最低，转产测试次之，例行测试最高；通常状况下三个阶段的 TL 都取 -40℃。

### 3. 温度循环应力

高温保持温度同高温测试温度；低温保持温度同低温测试温度。

温变率大于 1℃/min, 但应小于 5℃/min。

循环次数大于 2 次（研制测试）或 8 次（转产测试）。

温度保持时间大于 0.5 小时（对无外壳单板）或 2 小时（对整机）。

### 4. 高温高湿应力

测试温度为产品的高温工作温度加 5℃。湿度为 90%±3%；测试时间为 24 小时。

### 5. 随机振动应力

最高频率大于 500Hz. 最大功率谱密度为 0.02(对单机)~0.04(对单板)g<sup>2</sup>/Hz.

测试方向为 X, Y, Z, 每方向 30min. 但如果抗振动性能较差的方向能通过振动测试, 则其它方向可以免作。移动产品带电振动。

### 6. 扫频振动的应力

频率范围 10-55Hz; 恒定振幅 0.35mm.

扫频速率每分钟 1 个倍频程。

测试方向 X、Y、Z, 每方向 25 分钟。但如果抗振动性能较差的方向能通过振动测试, 则其它方向可以免作。移动产品带电振动。

### 7. 冲击振动的应力

冲击波型半正弦, 脉冲宽度 11ms.

冲击强度 30g; 冲击方向 X、Y、Z, 每方向正负 3 次。

如果抗冲击能力较差的方向能够通过冲击测试, 则其它方向的冲击测试可以免做。

### 8. 开关电应力

在高温, 低温和湿热条件下各开关电 3 次以上, 在整个测试过程中开关电 10 次以上。

### 9. 电源拉偏应力

在常规条件下做电源拉偏测试。

一次电源（如交流 220V 和直流-48V）要求拉偏 20%，至少 10%。

二次电源（如直流 5V）拉偏 10%，至少 5%。

将市电转换成产品使用的高压直流电的 AC/DC 设备为一次电源，将一次电源转换成单板使用的低压直流电的 DC/DC 设备为二次电源。

### 10. 冷启动应力

将产品关电，在产品低温测试温度下“冷浸”0.5（对单板）~2 小时（对机柜式产品），然后开电，产品应能正常工作。

将以上过程重复 100 次以上。

### 11. 盐雾应力

盐溶液为浓度 5% 的 NaCl 溶液。连续盐雾测试的时间为 24 小时。

交变盐雾测试的时间为：盐雾 2 小时，40℃90%湿热 22 小时，重复 3 个周期。

盐雾测试温度为 35±2℃。

### 12. 模拟汽车运输的应力

按实际发货的要求包装和装载。用载重汽车在三级公路上以 20-40 公里时速跑 200 公里，或在 J300 模拟汽车运输台上振动 90min。

### 13. 淋雨测试的应力

将产品按实际使用的状态放置，上电工作，功能正常。

用花洒喷头对产品喷水，流量约为 10L/min。喷头距产品表面约半米，对产品表面各处均匀喷水（底面除外）。

喷头中心的出水方向与水平方向的夹角大于 30 度。

喷水时间根据产品体积大小，分别选取 5 分钟、10 分钟、20 分钟。

喷水后产品功能正常。

### 14. 附着力测试

用锋利刀片（刀锋角度为 15°~30°）在测试样本表面划 10×10 个 1mm×1mm 小网格，每一条划线应深及油漆的底层；用毛刷将测试区域的碎片刷干净；用粘附力 350~400g/cm<sup>2</sup> 的胶带（3M600 号胶纸或等同）牢牢粘住被测试小网格，并用橡皮擦用力擦拭胶带，以加大胶带与被测区域的接触面积及力度；用手抓住胶带一端，在垂直方向（90°）迅速扯下胶纸，同一位置进行 2 次相同测试；

结果判定： 要求附着力≥4B 时为合格。

5B—划线边缘光滑，在划线的边缘及交叉点处均无油漆脱落；

4B—在划线的交叉点处有小片的油漆脱落，且脱落总面积小于 5%；

3B—在划线的边缘及交叉点处有小片的油漆脱落，且脱落总面积在 5%~15%之间；

2B—在划线的边缘及交叉点处有成片的油漆脱落，且脱落总面积在 15%~35%之间；

1B— 在划线的边缘及交叉点处有成片的油漆脱落，且脱落总面积在 35%～65%之间；

0B— 在划线的边缘及交叉点处有成片的油漆脱落，且脱落总面积大于 65%。

### 15.耐磨性测试

用专用的日本砂质橡皮(橡皮型号：LER902K)，施加 500g 的载荷，以 40～60 次/分钟的速度，以 20mm 左右的行程，在样本表面来回磨擦 300 个循环。

结果判定：测试完成后以油漆不透底时为合格。

注：如果采用的是 UV 漆，用方法一测试要求达 300 个循环，用方法二测试要求达 500 个循环。

### 16.耐醇性测试

用纯棉布蘸满无水酒精（浓度≥99.5%），包在专用的 500g 砝码头上（包上棉布后测试头的面积约为 1cm<sup>2</sup>），以 40～60 次/分钟的速度，20 mm 左右的行程，在样本表面来回擦拭 200 个循环。

结果判定：测试完成后以油漆不透底时为合格。

### 17.硬度测试

用 2H 铅笔（三菱牌），将笔芯削成圆柱形并在 400 目砂纸上磨平后，装在专用的铅笔硬度测试仪上(施加在笔尖上的载荷为 1Kg，铅笔与水平面的夹角为 45°)，推动铅笔向前滑动约 5mm 长，共划 5 条，再用橡皮擦将铅笔痕擦拭干净。

结果判定：检查产品表面有无划痕，当有 1 条以下时为合格。

注：如果采用的是 UV 漆，硬度要求达 3H 以上。

### 18.耐化妆品测试

先用棉布将产品表面擦拭干净，将凡士林护手霜（或 SPF8 的防晒霜）涂在产品表面上后，将产品放在恒温箱内（温度设定在 60℃±2℃，湿度设定在 90%±2%），保持 48h 后将产品取出，用棉布将化妆品擦拭干净。检查产品外观，并测试油漆的附着力、耐磨性。

结果判定：产品表面无异常，附着力和耐磨性测试合格。

### 19.耐手汗测试

将汗液浸泡后的无纺布贴在产品表面上并用塑料袋密封好，在常温环境下放置 48h 后，将产品表面的汗液擦拭干净，检查油漆的外观，并测试油漆的附着力、耐磨性。

结果判定：产品表面无异常，附着力和耐磨性测试合格。

注：汗液的成份为氨水 1.07%，氯化钠 0.48%，水 98.45%。

### 20.温度冲击测试

将样品放入温度冲击测试箱中；先在-40℃±2℃的低温环境下保持 1h，在 1min 内将温度切换到+85℃±2℃的高温环境下并保持 1h，共做 24 个循环(48 h)。测试完成后，检查产品的外观，并测试油漆的附着力、耐磨性。

结果判定：产品表面无异常，附着力和耐磨性测试合格。

## 补：三类测试的差别

可靠性试验则是提高产品可靠性的重要工作项目和手段，典型的可靠性试验有三类：A.可靠性增长试验； B.可靠性鉴定试验； C.例行试验。 三类主要差别如下：

### （一）：可靠性鉴定试验

① 试验方案的种类有两种：

a 定时截尾试验方案

根据已知的  $0$ （可接受质量水平）， $1$ （最低可接受值），（生产方风险），（使用方风险）（或鉴别比  $d$ ），查表可得具体的试验方案，包括：需要的试验时间（以  $1$  为单位）、接收判决数和拒收判决数。试验时间=受试产品累计试验时间之和 $\times$ 加速系数  $\tau$ 。采用这种试验方案时，试验到需要的试验时间，按规定的试验方案做出接收或拒收判决。或者若试验虽未达到规定的试验时间，但失效数已大于或等于标准中规定的拒收判决数时，亦可停止试验。

b 截尾序贯试验方案

根据已知的  $0$ ， $1$ ，鉴别比  $d$ ，查表可得具体的试验方案，再根据已进行的累计试验时间和累计失效数确定是接收、拒收还是继续试验。

② 试验方案的选择

a 当需要预先知道准确的总试验时间和试验费用时，选用定时截尾试验方案。

b 对于质量较好或质量较差的产品时，选用截尾序贯试验方案。

c 如果需要短时间内做出判断，并且可承担较高的风险时，选用高风险试验方案（ $\approx 30\%$ ）。

③ 用试验观察数据估计平均故障间隔时间 MTBF

a 区间估计的置信度：选取  $1-2\beta$  作为双边置信区间的置信度，选取  $1-\beta$  作为单边置信区间的置信度。

b 采用定时截尾方案接收时对 MTBF 的估计：MTBF 的观测值  $\theta$  = 试验时间/失效数

根据总失效数及规定的置信度，查表读出下限因子和上限因子，用下限因子和上限因子分别乘观测值  $\theta$ ，得 MTBF 的下限值  $\theta_L$  和上限值  $\theta_U$ 。非定时截尾接收方案，MTBF 的观测值同上式，上、下限因子查有关国/军标。

### （二）：可靠性增长试验

① 在产品标准中应该对每个被测参数规定可接收的性能范围。若任一参数超出这种范围时，应称作一次失效。如果不只是一个参数偏离了规定范围，而且能证明不是同一原因使这些参数超出规定范围时，每一种参数的偏离都应算作产

品的一次失效。如果参数偏离规定范围是同一原因造成的，只记作产品的一次失效。

② 出现两种或多种独立失效的情况下，每一种失效情况都应认作受试产品的一次失效。

③ 由于元器件时好时坏，或因虚焊、漏焊、短路、开路、接触不良等造成的产品故障，均记入失效数内。

④ 产品在一个有限时间内停止工作，接着又在没有任何外界激励的情况下恢复工作，这叫间歇失效，应记作受试产品的一次失效。

⑤ 已经证实是未按规定的使用所引起的故障、仅属某项将不采用的设计所引起的故障、以及外加应力超过规定值所引起的故障叫“非关联故障”，否则叫“关联故障”，“非关联故障”不记入受试产品失效数内。但应记录并采取措施以防止再度发生。

⑥ 由于另一个组成部分失效而引起的失效，称作从属失效，不记入产品失效数内。

经过各种测试，若发现产品失效，就应该采取相应的措施，有些时候只需要更换一个器件即可，有些时候只需要调整一个器件的输出即可，但有些时候却要更改设计才能避免一个缺陷。当增加一个器件受到成本和产品大小的限制时，也会考虑到更改设计（如当某一器件发热导致产品时，可以增加一个风扇，当产品内部空间不允许这样做时，就要考虑更改设计了）；