

环境应力筛选

4.1 概说

环境应力筛选(Environmental Stress Screening)简称 ESS, 为现代高科技电子产品一种相当盛行的质量与可靠度保证方法。目前在欧美各国, 所有的电子硬品, 上自太空和国防武器系统, 下至一般民生家用电器材, 从零组件、朴组、到最终产品, 不论是在研发阶段或量产阶段, 除传统的质量管理检试外, 环境应力筛选已经是制造过程中必然要求的程序或道次。

事实上筛选(screening)是历史相当老的品管技术, 广义的筛选应包括传统的品管筛选、铸造件(金属、火工)的非破坏检验(non-destructive testing, NDT)(如 X 光、超音波等)、以及高压容器的耐压试验(proof pressure test), 所有这些方法都是对试件施加「应力(stress)」, 使利用普通检验方法无测得之潜存疵病提前暴露出来, 能够轻易的发现而将之剔除, 达到管制质量的目的。

只是在今日广用电子设计的时代, 所使用的应力以「环境应力(environmental stress)」的功效特别突出, 在 1979 年以后在可靠度工作范围渐成一独立的领域。

顾名思义, 环境应力筛选乃利用外加的环境应力, 使潜存于电子硬品中制程中因较弱零组件与不良工艺等因素所造成之非设计瑕疵提早发生而暴露出来, 然后利用各种适切的检验或测试方法' 将这些带有疵病的产品找出来予以剔除, 或采取改正行动加以检修, 以便提高硬品之制造质量, 维持设计时赋予之水平, 因此, 通过筛选的交货产品都是其有优良质量与高可靠度者, 可以放心地正常使用。如此, 对制造者而言可保持出厂产品质量稳定' 对使用者而言则可降低失效率减少维修成本, 两者都有好处。

环境应力筛选技术在国内虽然不算新鲜, 但是一般电子工业厂商在引进及应用环境应力筛选时, 其进展不仅相当缓慢, 甚至还多少遭遇到一些痛苦经验, 这种情形主要的原因在于对环境应力筛选的内涵不了解所造成的。

4.2 ESS 之基本原理

产品的失效率随生命周期时间而变化, 一般的变化趋势呈浴缸形, 称之为浴缸曲线(bathtub curved, 典型的产品浴缸曲线如图 1 所示。

失效率浴缸曲线大致可分为三个阶段:早夭失效期(infant mortality period)、偶发失效期(random failure period)和磨耗失效期(wear-out failure period)。当产品刚制造完成时, 就好像婴儿容易生病一样, 失效率很高, 因而称为早夭失效期, 在这个阶段中产品的失效率随时间增加而逐渐递减, 称为递减失效率

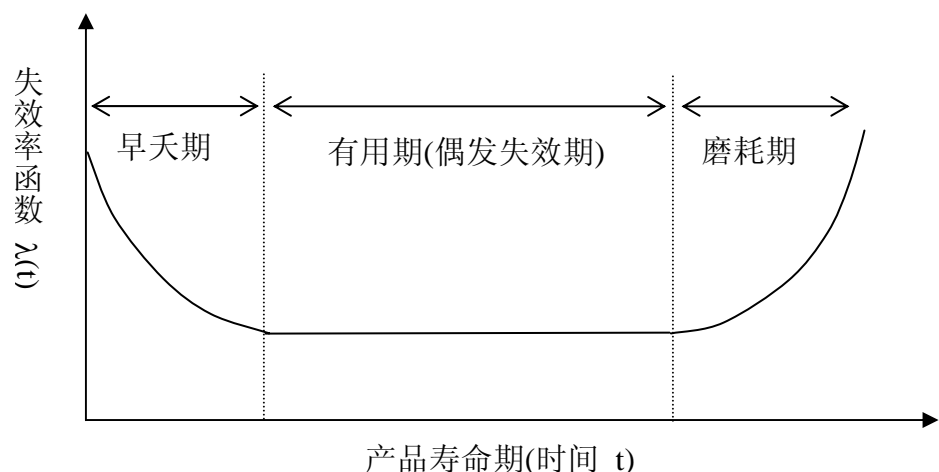


图 1. 产品失效浴缸曲线

(decreasing failure rate, DFR)。当失效率随时间减低至某一程度后即不再有显著变化, 失效现象为偶然随机发生, 因此称为偶发失效期, 其失效率几乎为一常数, 称为常数失效率(constant failure rate, CFR), 这段时间属于产品设计约有用寿命期间, 因此又称为有用期(useful period)或壮年期。过了偶发失效期, 当时间接近产品的寿命时, 由于在这个阶段发生的失效现象都是因为长期操作应力破坏累积所造成的磨损型失效, 因此称为磨损失效期, 在这个阶段产品的失效率急速随时间增加, 称为递增失效率(increasing failure rate, IER)。

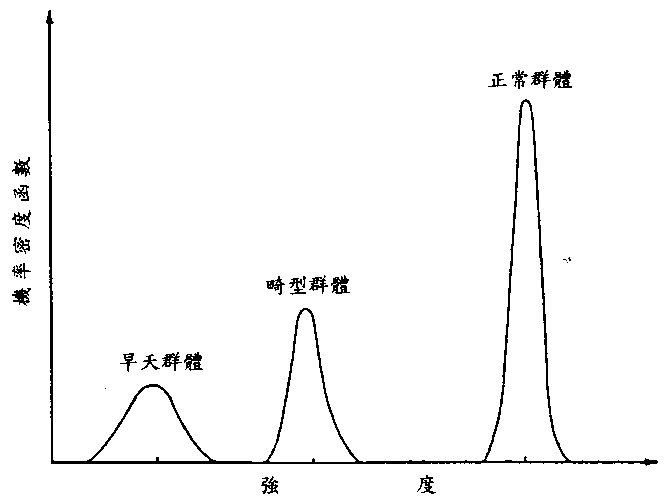


圖 2 典型的裝備強度機率密度函數曲線

一般产品若按设计蓝图选料和制造, 理想中硬品的强度多为由正常群体(main population)所构成的单峰分布, 然而在实际制造时, 由于材料、零组件的质量不稳定, 以及制造过程中技术人员素质不一、人为疏忽、或突发状况等因素造成的工艺水平(workmanship)不良, 而产生一些带有缺陷(flaw)的产品, 在正常群体中混合了一些早夭群体(infant population)或畸形群体(freak population), 使产品的强度力分布呈双峰或多峰分布, 如图 2 所示为典型的装备强度机率密度函数曲线。环境应力筛选之目的即在筛除其中的早夭及畸形群体部份, 而保留正常群体。这些早夭及畸形群体在遭受正常的环境与使用应力即发生失效现象, 无法与正常群体一样正常使用, 因此必须藉筛选应力的处理与各种检测方法的应用, 才能有效的将产品中的疵病发现而将之剔除。

一般制造者关心的是在交货前后产品的可靠度, 将图 1 浴缸曲线的早夭失效期部份加以放大如图 3 所示, 由图可知, 在早夭失效期的产品疵病依据测试能力可分为下列三类:

(1)功能疵病(functional quality defects)

此类疵病是由于制程中材料或工艺不良而产生、能够以一般简单的功能测试发现的产品疵病。

(2)潜在疵病(latent quality defects)

此类疵病也是由于制程中材料或工艺不良而产生, 但必须藉由外加的应力, 才能加速使缺陷提早暴露出来的产品疵病。

(3)可靠度疵病(reliability defects)

此类疵病是设计时所赋予的产品疵病, 在产品的生命周期(life cycle)中随机发生, 除非修改设计, 否则无法以任何适当的程序消除这种疵病。

第一类疵病在一般功能测试时, 很快就可以发现而加以修正。第三类疵病须

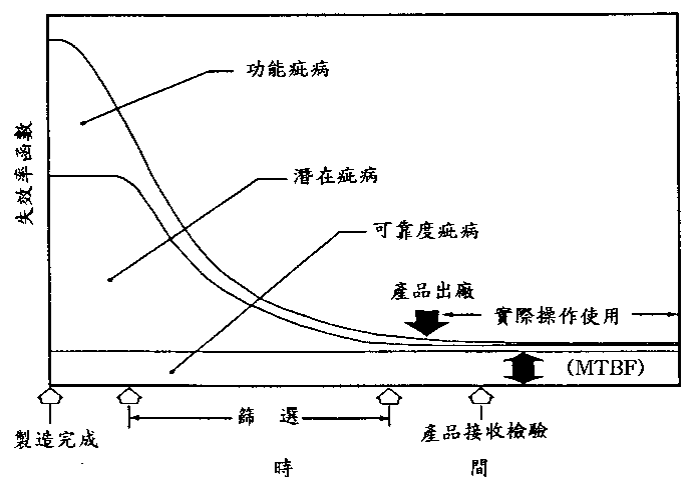


圖 3 早夭失效期之疵病分類

靠设计的改良，提高产品的设计能力，才能降低其发生的机率。第二类的疵病，如果没有经过适当的 ESS 处理，则会在使用初期渐渐地出现，使产品发生失效。由于这些疵病的存在，在生产厂内应采取适当的措施或处理，使这一类的疵病提早暴露出来，配合功能测试发掘这些强度较弱的部份，并予以检修剔除或报废，使出厂产品维持稳定的质量，使用时具有定型设计时所赋予的强度，亦即原始设计入(design-in)的固有可靠度(inherent reliability)，如此既可降低维修成本，又可避免因失效而导致的不必要损失，此即为 ESS 最主要的目的。

综合上述的讨论，可以对 ESS 作一个较明确的定义如下：

「环境应力筛选是一种利用环境应力进行产品质量管理的程序(process)，其主要作用为利用特定且低于产品设计强度的环境应力，使产品潜在的疵病提早暴露出来而加以剔除，使出厂产品具有稳定的设计质量，避免在正常使用时因这类疵病的存在而发生失效，减少维修成本及失效引致不必要的损失。

4.3 执行 ESS 之效益

经过 20 年的应用与演进，已经证实 ESS 的确对于提升产品的质量有很大的效益，其效益可以归纳如下：

- (1)确认具有潜伏性疵病的零组件。
- (2)发掘作业人员不纯熟或疏忽所造成的工艺不良。
- (3)降低较高产品组合层次失效退修或报废的机率，减低时程延误、节省产品制造和维修整体成本。
- (4)提早汰除早夭期失效，亦即降低使用时的失效率，提高 MTBF 或可靠度，增强使用者的信心。
- (5)在研发阶段可协助早期发现设计问题，提高设计之可靠度，并可藉此缩短研发时程。

除了上述一些实值而有形的效益之外，经过 ESS 的产品在顾客手中使用时的失效率较低，可提高顾客对公司产品的信心，这是一种无形但却非常重要的效益。

4.4 常用之 ESS 规格

环境应力筛选主要参考资料为美国环境科学学会(Institution Environmental Sciences, IES)所发行之指引(guidelines)，以及一些美军标准、规范。

根据美国环境科学学会在 1981 年及 1984 年所分别发表的环境应力筛选有效性报告，在各种常用的筛选应力中，按其筛选效率加以比较，依次为温度循环、随机振动、高温、电性应力、热冲击、定频正弦振动、低温、正弦扫描振动、复合环境、机械冲击、湿度、加速度、高度，其中温度循环和随机振动的效率最佳，如图 6-7 所示。就温度循环与随机振动所筛出的疵病加以比较，温度循环约占 77%~79%，随机振动则为 21%~23%。

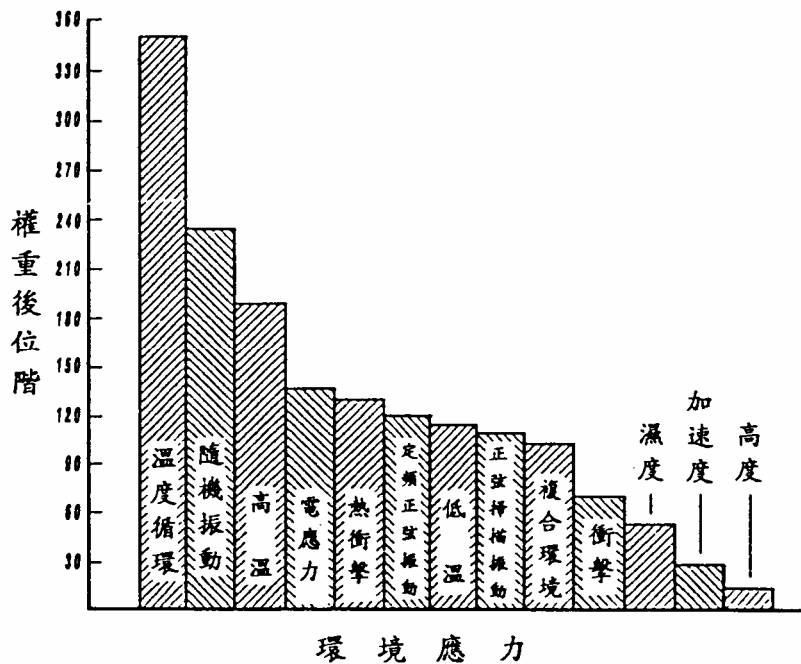


圖 6-7 各種篩選環境應力之相對篩選效率

4.4.1 溫度循環

依照 IES 環境應力篩選指引，溫度循環的建議規格說明如下：

溫度範圍

印刷电路板、单机、系统等各硬品组合层次温度循环筛选的温度范围规格如表 6-1 所示。

(2) 温度变化率

印刷电路板、单机、系统等各硬品组合层次温度循环筛选的温度变化率规格如表 6-2 所示。

(3) 循环数

印刷电路板、单机、系统等各硬品组合层次温度循环筛选的循环数规格如表 6-3 所示。

(4) 硬品操作状态

电路板层次: 不加电

单机与系统层次: 加电

表 6-1 温度循环筛选温度范围建议规格

硬品	最大	一般	最小
电路板	-65~+100℃	-50~+75℃	-40~+65℃
单机	-55~+85℃	-40~+70℃	-40~+60℃
系统	-55~+70℃	-40~+65℃	-40~+50℃

表 6-2 温度循环筛选温度变化率建议规格

硬品	最大	一般	最小
电路板	35℃/min	10℃/min	5℃/min
单机	10℃/min	5℃/min	5℃/min

系统	10°C/min	5°C/min	1°C/min
----	----------	---------	---------

表 6-3 温度循环筛选循环数建议规格

硬品	最大	一般	最小
电路板	40	20	10
单机	20	12	8
系统	20	12	8

4.4.2 随机振动

(1) 振动频谱

常见的随机振动筛选频谱规格如图 6-8 及图 6-9 所示。

(2) 振动值

常见的随机振动筛选振动 G 值如下：

最大~10Grms

一般~6Grms

最小~3Grms

(3) 振动时间

最大:每轴向 15 分钟

一般:每轴向 10 分钟

最小:单轴向 10 分钟

双轴向或三轴向 5 分钟

(4) 硬品操作状态

电路板层次:操作或不操作

单机与系统层次:操作

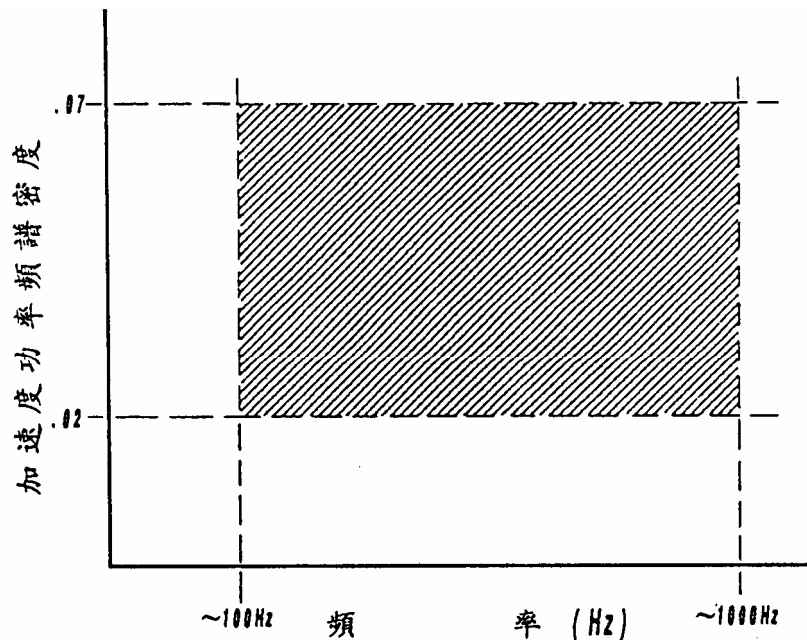


图 6-8 IES 推荐之随机振动筛选频谱规格

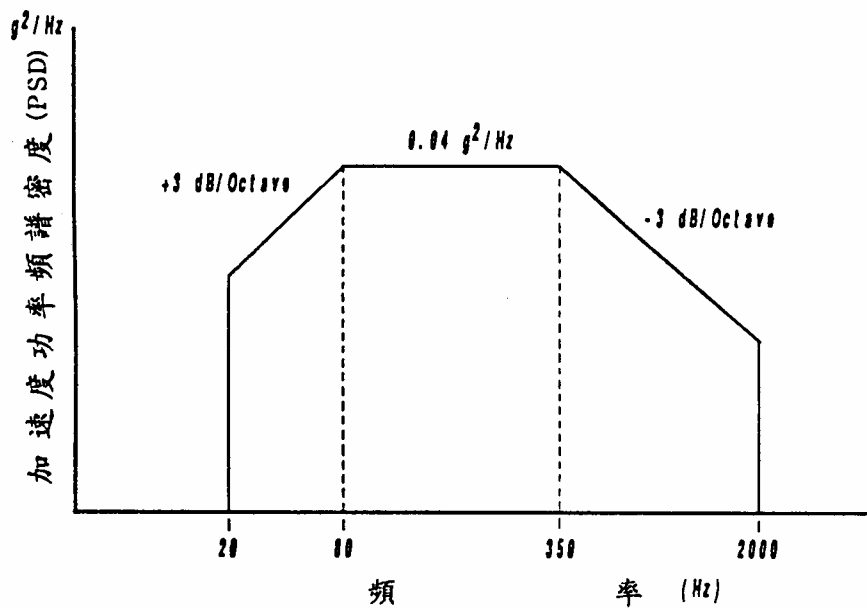


圖6-9 MIL-STD-781C及NAVMAT P-9492規定之隨機振動
篩選頻譜規格

4.4.3 不同硬品组合层次之应用

主要是按试件之组合层次分类，包括零组件、模块及总成，分别说明如下：

(1) 零件可靠度筛选

(a) 电子零件筛选参考规范：

- .一般零件参考 MIL-STD-202
- .半导体参考 MIL-STD-750
- .微电路参考 MIL-STD-883

(b) 常用的电子零组件筛选方法为：

- .稳定烘烤
- .温度循环
- .离心加速度
- .密封测试
- .烧入
- .高、低温测试

(2) 制程环境应力筛选

(a) 常用的 PCB 与布线线带筛选方法为：

- .温度循环

(b) 常用的模组筛选方法为：

- .温度循环
- .随机振动

(3) 成品可靠度保证试验

常用的成品筛选方法为：

- .烧入
- .温度循环
- .随机振动

4.5 建立有效率之 ESS 制度

基于现有电子产品的技术水准, 无法避免零组件疵病与工艺不良等的存在, 目前已公认 ESS 为保证产品之质量与可靠度较为可行的技术, 为发挥 ESS 应有的功能, 必须针对产品的特性, 并配合由零件(part/component)、模块(module)、单机(unit)到系统(system or equipment)的制程与品管检试, 建立一套具有完整作业程序的环境应力筛选制度, 作为执行筛选之依据。

4.5.1 ESS 制度的特质与工作内容

一套完整的环境应力筛选制度应包括下列几项特质:

- (1)有效率的筛选环境应力, 能使产品中潜在的疵病很快的暴露出来。
- (2)符合成本效益。
- (3)适当的检验与功能测试。
- (4)选用的环境应力不超过产品之设计强度, 以致使正常的产品损耗太多的可用寿命或遭受破坏。
- (5)具有健全的失效处理与改正行动体系和完备的质量与可靠度信息系统。

一套完整的 ESS 计划, 其工作内容大致应包括:不同的筛选环境项目及应力水平对产品产生的效应分析, 产品于筛选中可能产生的潜在疵病项目的定义, 筛选后的产品使用情形的分析, 环境应力对硬品不同组合层次的影响分析, 及整个 ESS 成本效益分析模式的建立等。

4.5.2 制定 ESS 程序的重点

设计一套有效率的 ESS 制度与程序须把握下列几项重点:

筛选的环境应力与使用及设计的环境规格无直接关系, 祇要不超过装备之环境设计规格, 且能有效的达到筛选目的的环境项目, 皆可做为筛选的环境应力。

(2)筛选的应力水平不可超过产品设计强度, 以免对正常的产品造成伤害, 所以要及早了解产品的设计强度, 作为拟订筛选应力水平之依据。但是要注意的是设计产品时不可以 ESS 的规格为依据, 必须以生命周期可能遭遇的环境应力为主。

有些设计者为了满足合约上的 ESS 需求, 设计产品时只根据 ESS 规格为设计之依据, 这是一种本末倒置的作法, 绝对要避免。

(3)订定筛选的应力时, 先要对产品的振动特性及热传性作深入的分析后, 才能设计出有效而安全的筛选程序。

(4)根据 IES 在 1981 年 ESSEH 委员会所发生的统计分析数据, 发现温度循环与随机振动为产生最大效应的环境应力, 且两种筛选所找出之失效比率分别 79%及

21%, 目前国内 ESS 也常采用温度循环及随机振动方式执行;另外, 复合环境的效益与单一环境并没有很大的差异, 但却比单一环境所花费的经费高出甚多, 所以

没有必要以复合环境应力来筛选。

(5)筛选产品组合层次的选择,对于成本及筛选效率有很大的影响。一般而言,产品组合层次愈高,执行筛选的总成本较低,而失效时所需的修复成本确较高,而且修复成本随产品组合层次的提高而增加的速率,远大于执行 ESS 的总成本的降低速率;若考虑筛选的效应时,有些瑕疵要在较高的产品组合层次时才能发现。

如果只对低组合层次的产品进行筛选时,就可能会使有些存在于较高组合层次产品的潜在疵病无法剔除,而在使用时发生失效,这种情形下所须的维修成本则更远远高于在尚未出厂时的失效检修。综合上述讨论,得到一个重要的结论为:在愈低组合层次发现疵病愈好,而较适当的做法是从零组件、印刷电路板、模块,甚至到系统层次,都要有不同应力水平的筛选。

(6)决定 ESS 应力的主要条件在于其效率,为了了解各种不同应力水平的筛选效率,必须分析在不同应力水平下的筛选结果,并做比较,找出较有效率的应力。

(7)筛选的结果一定要做详细的分析,并根据分析的结果随时修订 ESS 的程序,以达到较佳的筛选效率。筛选结果分析的好坏,关键在于记录是否完整详实,所以在筛选计划中要订定详细的记录数据需求,并确实记录。另外产品实地使用情形的回馈数据,也是订定好的 ESS 程序的重要依据,所以在产品使用前,也要建立产品使用的数据回读系统。

4.5.3 制定 ESS 程序的流程

当实际有了 ESS 的需求时,为了能顺利而有效率的进行 ESS 计划拟订,其中最主要的工作项目是拟订一个适当的 ESS 程序做为开始,然后依照所订的筛选程序进行产品的筛选,再分析筛选的结果并评估其效益,据以修改筛选的程序,以便得到较佳的 ESS 程序。典型的 ESS 程序制订流程如图 6-10 所示。

但是在拟订最初的筛选程序时,由于尚未有任何的数据可以依据,此时有几个途径可以订出较适当的原始 ESS 程序,做为整个 ESS 计划的开始:

- (1)设计一个 ESS 的实验,选定几个不同的筛选程序进行试验,分析其结果,找出较好的程序。
- (2)参考以往的计划执行 ESS 的经验,并分析其执行成果。
- (3)参考 ESSEH 委员会的所发表的 ESS Guidelins,选择出较适合的程序做为开始。

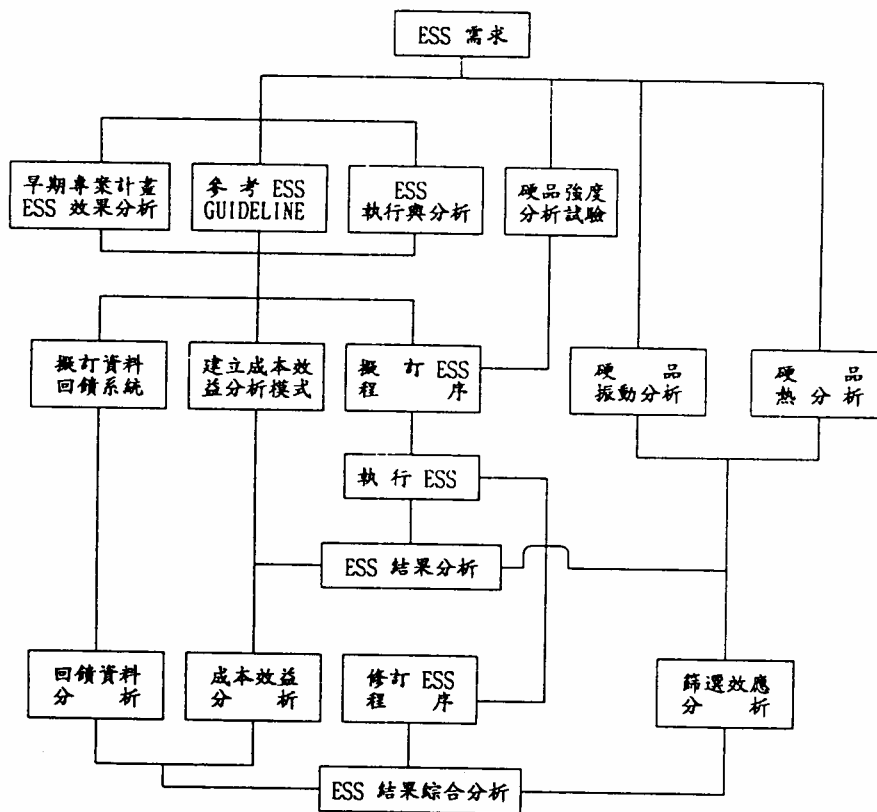


圖6-10 有效率的ESS程序制訂流程

上述三个途径以第三种方式最为经济，而且可行性最高。另外在拟订 ESS 程序的同时，也要拟订好实地使用情形的数据回馱系统，并建立成本效益分析的模式，以便对 ESS 的结果做分析。

还有对于产品的振动及热传特性也要同时做研究，以便在做 ESS 效应分析时，能确实了解使产品失效的真正应力。

4.5.4 执行 ESS 與精进筛选作法

当 ESS 制度与程序的规划工作完成后，接着就可以开始执行 ESS，分析 ESS 的记录，并依据这些记录，配合成本效益分析模式及产品的振动和热传特性，分析成本效益及筛选效应;另一方面于产品出厂后，藉回看系统搜集使用情况并加以分析，最后将这些分析的结果合并起来进行综合分析，据以修订出较佳的 ESS 程序。

5 结语

本章之重点仅在探讨，产品研究发展阶段，环境条件与可靠度之间的关系，实际上可靠度问题所涉及的范围甚为广泛，包括有储存老化、维护性等项目，然可靠度试验为其不可或缺的一环，要掌握产品的可靠度，就必须彻底做好可靠度试验计划，模拟经济有效的环境条件，运用抽样计划，并不断发掘并改进设计上的缺陷及可能失效的症结所在，俾期产品各分系统的可靠度水平符合系统的需求，但可靠度试验并非万能，欲使产品正式生产后之质量能符合规格要求，端赖全方位可靠度工作有系统规划配合及产品制程中品管检验之严格执行，以收科学分工