

可靠性预计技术

1. 前言
2. 可靠度预估原理
 - 2.1 可靠度预估之目的
 - 2.2 可靠度预估方法之种类
 - 2.3 可靠度预估技术之应用
 - 2.3.1 可行性预估
 - 2.3.2 初步设计预估
 - 2.3.3 细部设计预估
3. 可靠度预估数学模型
 - 3.1 组件可靠度模型
 - 3.2 系统可靠度模型
4. 可靠度预估方法
 - 4.1 类似装备法
 - 4.2 类似复杂性法
 - 4.3 类似功能法
 - 4.4 零件计数法
 - 4.5 应力分析法
 - 4.5.1 零件失效率模型
 - 4.5.2 基本失效率
 - 4.5.3 温度因
 - 4.5.4 应力因
 - 4.5.5 品质因子
 - 4.5.6 使用环境因子
5. 可靠度预估技术自动化
 - 5.1 失效率资料来源
 - 5.2 可靠度数据库
 - 5.3 可靠度预估软件
6. 结语
1. 前言

近年来，系统与装备的性能不断提高，构造也渐趋复杂，可靠度不仅是产品所应具有的重要特性之一，而且在研发初期与设计阶段就必须能够预估出来的产品绩效项目。可靠度预估(reliability prediction)是一种在系统与装备研制过程中，针对正在研发或已经存在的产品设计，根据已知或假设的信息，提供产品设计有关固有可靠度期望值的指引，定量评估与验证其可靠度现况是否符合规定需求的技术。本报告首先说明从目的、用途、技术种类与

应用说明可靠度预估之原理，其次说明预估所需之可靠度数学模型，叙述各种预估方法之步骤，最后讨论可靠度数据与预估技术自动化问题。

2. 可靠度预估原理

2.1 可靠度预估之目的

可靠度预估本身对于系统可靠度或许没有实值的意义，但是在选择影响产品可靠度的行动方案过程中，根据可靠度预估结果可以估计式证明物品现阶段的可靠度能否达到使用者需求所确定约合约可靠度，提供相关单位作为决策方面的参考准则。在研究与发展阶段，预估价值可作为设计品可靠度定量的指引，判断各种可行设计方案之间的差异。计划管理者与设计者在实施设计审查时，可以利用可靠度预估值作为实施零件的选用、潜在设计问题的确定、后勤支持规划与成本分析研究、数据数量需求足够与否的判定、择优决策的选定、资源与需求分配等作业的依据，同时也可以提供作为规划与执行设计精进成长计划及验证与评估计划的准则。这是一种在产品研发过程中对设计品可靠度初期评估的方法，也是一种反复性的工作。可靠度预估作业在系统硬品完成制造与测试之前的设计及采购初期最有效用与具经济意义。此项作业一般进行至设计硬品制造完成，可以用试验约方法验证其可靠度为止。

进行可靠度预估作业时，所选用代表产品可靠度的定量指针，如成功机率、平均失效时间或失效率，主要是依据转换得到此种指针所需的数据、以及这些数据的应用方法与可获得情形而定。一般实施可靠度预估时，系根据研制产品的设计数据，诸如所使用的零件种类与数量、操作使用环境、采购政策、功能方块图等，以及可靠度与失效率数据库中类似物品的数据等，配合适当的可靠度模型，评定该产品的可靠度水平。

可靠度预估主要的目的与用途包括：

- (1). 在规划计划文件、初期设计规范及承约计划书等之需求时，建立明确的可靠度需求与规格，以及决定拟议可靠度需求的可行性。
- (2). 在采购作业时，对于准备承约计划书、承约者评估与最终承约者的评选，提供一致的相互比较基础。
- (3). 在研发初期，预估结果可作为评估及比较各种不同设计方案间的差异、提供管理阶层作为各种方案之间择优决策、以及规划、分配预算与时程的参考。
- (4). 确认当代设计与制造技艺水平的适用性与可行性，评估零件选用情况，掌握零件及应力效应，了解设计弱点，确定设计之关键零组件，从可靠度观点提供设计保证作业的改进建议。
- (5). 评估设计品在各阶段的可靠度现况的可靠度水平是否满足可靠度需求适时反应现阶段研制产品。
- (6). 作为规划执行可靠度成长试验与可靠度鉴定试验之指标。
- (7). 提供产品未来维修保养与成本分析之参考。

由于可靠度预估是一种理论模型与参考数据的运用，所选用的数据多为数据库数据的统计平均值，而且在预估的过程中有许多因素为假设条件，因此在可靠度预估之计算过程应该尽量进行产品生命周期分析，用以了解产品预期的操作模式及可能遭遇的环境状况，增加预估结果的有效性。当然太过于乐观的估计，会造成超出目标值太多的结果，往往会使后期可靠度验证的决策界限放宽，因而增加通过试验的机率，同时设计者在开发过程中也将付出设计水平太高、成本太高之困难代价。所以设计开发产品时，必须限定预估值与需求目标值之

公差范围(tolerance), 为保守起见, 通常产品的可靠度预估值必须大于配当值, 此即为安全因子的应用, 一般实用上此一安全系数为 1.25 倍, 假若预估值未达到此一标准, 则可用下列方法达到:

- (1). 提高零组件质量
- (2). 采用减额定设计
- (3). 采用复联设计
- (4). 采用简化设计
- (5). 检讨性能规格
- (6). 改变操作模式
- (7). 重新配当可靠度值

2.2 可靠度预估方法之种类 中国可靠性网 <http://www.kekaoxing.com>

一般而言, 工程人员在选用适当的可靠度预估技术时受到下列两个因素的影响:

- (1). 设计知识的深度;
- (2). 装备与零组件过去的可靠度数据可以应用的情形。

当系统设计由概念、经由全型发展、到生产阶段逐步进展时, 用以描述系统设计的数据范围非常广, 包括对于系统功能的定性叙述, 到适合生产硬品的细部规范与蓝图。因此, 可靠度预估技术的发展历史, 自然是累积了不同的可靠度研究与分析需求的结果, 以及在系统设计进展过程中各种详细数据可以应用的情形。

这些可靠度预估方法, 依照数据的类型与可用的信息, 可以概略分为下列五种:

- (1). 类似装备法(Similar Equipment Technique): 比较研发中的装备与已知可靠度的类似装备, 根据可用的信息推定系统设计达成可靠度的可能水平。
- (2). 类似复杂性法(Similar Complexity Technique): 根据设计物品与类似典型物品间相对复杂性的函数关系, 推定新设计的可靠度。
- (3). 类似功能法(Similar Function Technique): 考虑以往已经验证过的操作功能与可靠度之间的关系, 获得新设计的可靠度预估值。
- (4). 零件计数法(Part Count Method): 装备可靠度为一般性零件数目、质量水平及应用环境的函数, 装备中的零件并按一定的原则分为数个等级。
- (5). 应力分析法(Stress Analysis Method): 根据所有个别零件的失效率按一定的函数关系推定装备的失效率, 执行预估时考虑的因素包括零件的类别、操作应力水平、以及每一个零件的减额特性。

2.3 可靠度预估技术之应用

依照美军标准 MIL-STD-756 之说明, 可靠度预估技术按其在产品研制过程的应用目的, 可分为下列三类:

- (1) 第一类(Type I): 可行性预估
- (2) 第二类(Type II): 初步设计预估
- (3) 第三类(Type III): 细部设计预估

通常在产品开发初期可行性研究阶段所采用的方法为类似装备法和类似复杂性法; 在概念定义阶段, 常用的预估方法为类似装备法、类似复杂性法和类似功能法; 当研发进入初步设

计时, 则可采用零件计数法和概略的应力分析法; 在产品研发进入细部设计阶段时, 由于数据应已相当完整, 采用应力分析法可获得较精确的预估值, 图 1 以雷达系统的部份组成架构数据说明各种预估技术在不同系统组合层次及发展生命周期阶段之应用情形, 以下分别详细说明其应用情形。

2.3.1 可行性预估

可行性预估主要应用在装备研发过程的初期研究与概念定义阶段, 在此一阶段, 细部设计数据的水平局限在装备的全盘性描述, 详细的形态数据一般都很有有限, 通常只能参考既有的或已经发展完成的类似装备的资料, 然后根据这些类似装备的功能和操作需求推导而得。可行性预估可用的预估方法有类似装备法、类似复杂性及类似功能法等。

2.3.2 初步设计预估

初步设计预估主要应用在产品研发过程进入细部设计之前的初步设计阶段, 此时设计形态数据大都是叙述在工程设计说明书及初步蓝图等文件, 所能获得的细部数据有限, 往往由于最终产品的零件清单内容尚未确定, 无法获得详细且正确的应力分析资料。初步设计预估可用的预估方法为零件计数法与概略的应力分析法。

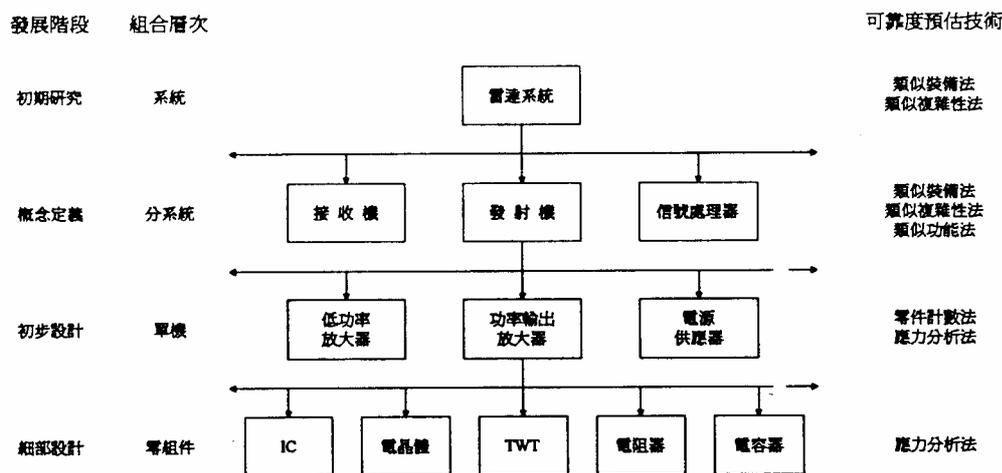


圖 1：可靠度預估法在系統研發過程之應用

2.3.3 细部设计预估

细部设计预估主要应用于产品研发过程中的细部设计及后续发展阶段, 所有生产该产品所需的零件、材料、及加工程序等数据, 均已描述在定型设计蓝图中, 产品中每一个零件在预估时所需要的数据, 都可依照规定的设计分析程序与量测技术, 进行操作应力及温度分析而获得。细部设计预估可用的预估方法为应力分析法。

3. 可靠度预估数学模型

可靠度预估作业为系统设计发展过程中的关键项目之一, 使可靠度需求能够融入设计中成为整体研发程序的一部份。为有效的达到此一目的, 所使用的可靠度预估技术必须配合适当的可靠度数学模型, 说明组件可靠度变量与工程变量之间的关系, 必及系统可靠度与构成组件可靠度; 前者为组件可靠度模型, 而后者为系统可靠度模型。

3.1 组件可靠度模型

组件可靠度模型主要是用来说明组件的可靠度变量与工程变量之间的数学关系。所谓可靠度变量系指可靠度工程人员的术语,诸如:成功机率、失效时间、寿命、失效率、可靠度指数、安全裕度等,其中以失效时间最为普遍;而工程变量则是指设计工程人员的术语,诸如:功率、电压、电流、电阻、距离、尺寸、重量、抗拉强度、韧性、硬度、扩散率、腐蚀率等设计参数或特性参数。

在实务应用上,大都假设组件的失效时间为指数分布,但是此一假设并不一定完全正确,例如半导体、集成电路等之失效时间多为对数常态分布。不过由于指数分布在数学上的简单性,以及许多研究学者所发展出来有关指数分布的应用理论,使得指数失效密度仍然在可靠度工作领域中扮演着极为重要的角色。当然,假如观测的失效数据显示无法支持指数分布的假设,或者磨损作用为造成失效的显著因子时,则指数分布假设有可能会导出错误的结论。在这种情况下,应该选用其它较为适切的可靠度或失效机率分布,如常态分布、对数常态分布、伽玛分布、贝他分布及韦伯分布等连续计量型分布,或二项分布及波桑分布等分立计数型分布,以便获得更真确的预估结果。

3.2 系统可靠度模型

系统可靠度模型乃是说明系统可靠度与系统构成组件可靠度之间关系的数学模型。由于从工程角度,可以顺利获得组件可靠度数据,因此,若能建立组件与系统之间从可靠度观点的数学模型,则可以利用组件可靠度数据直接计算系统可靠度数据,而不必对系统进行可靠度量测工作。

以一个由 N 个独立组件串联在一起组成的最简单装备/系统为例,其可靠度数学模型为:

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i$$

式中:

R_s = 装备/系统之可靠度;

R_i = 第 i 个组件之可靠度。

上式简单的表示成功机率,通常应用于失效率随时间而变化的装备或单次功能物品。在此例中,系统系指由 N 个组件组成的装置,其中任何一个组件失效即造成系统失效。

当时间为重要因素时,可靠度可以表示为:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

式中: $R_s(t)$ = 系统在时间为 t 之前不失效的机率;

$R_i(t)$ = 系统中第 i 个组件在时间为 t 之前不失效的机率。

最后,若每一个组件的可靠度 $R_i(t)$ 服从失效率为常数的指数分布,则系统可靠度变成:
亦即:

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

λ_s = 系统失效率;

λ_i = 系统中每一独立组件之失效率;

N = 系统中的组件数目。

表 1 现代电子装备已具备之可靠性水平

装备名称	MTBF(hr)	装备名称	MTBF(hr)
雷达系统		计算机设备	
地用旋持式搜索雷达	75-175	地用计算机	1000-5000
大型固定式相列雷达	3-6	地用单色显示器	15000-75000
地用战术机动雷达	25-75	地用彩色显示器	2500-7500
空用战斗机火控雷达	50-200	地用硬式磁盘驱动器	5000-20000
空用搜索雷达	300-500	地用磁带记忆装置	2500-5000
空用识别雷达	200-2000	地用列表机	2000-8000
空用导航雷达	300-4500	地用调制解调器	20000-50000
通信装备		杂项装备	
地用收音机	5000-20000	空用反制系统	50-300
地用手提式收音机	1000-30000	空用电源供应器	10000-50000
空用收音机	500-10000	地用电源供应器	10000-50000
地用电子干扰器	500-2000		

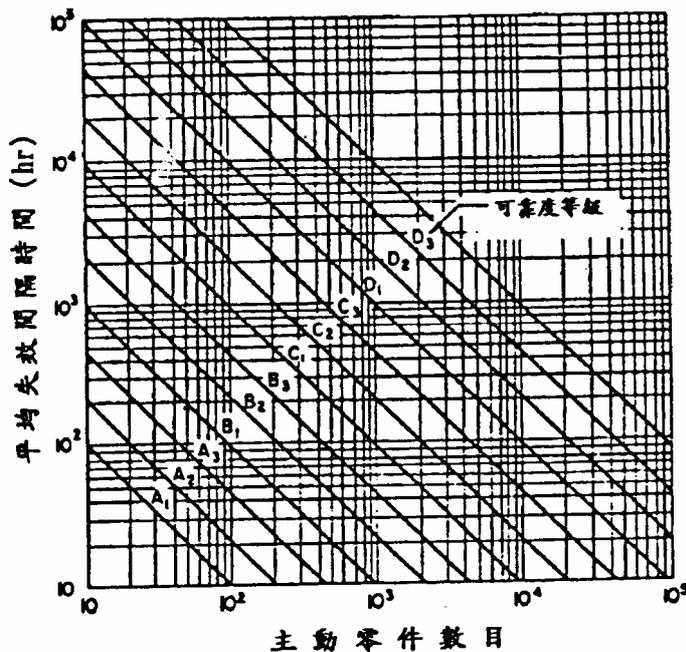
4.2 类似复杂性法

一般而言，产品的可靠度与其复杂性有关，越复杂的产品越不容易达到高可靠度的需求，特别是电子产品，其所用的主动零件越多，发生失效的机率越高，因此可靠度就越低。由于此一预估方法以非复联的主动零件为主要考虑项目，因此又称为主动零件归类法(active element group, AEG)。符合主动零件定义的零件包括真空管、电子管、晶体管、半导体、集成电路，继电器及整流二极管等。基于此一道理，一些历史悠久的公司或企业，根据他们过去的经验，发展出一套可靠度与产品复杂性(功能复杂性、零件数量多寡)的图表数据，所考虑的条件还包括使用环境(空用、地用固定、地用运动、船用、飞弹、及太空)，以及低级、一般、高级三种质量等级。因此，只要找出新研发产品中预定使用的主动零件数量、使用环境、及质量等级，即可查图表粗略估计该产品可能的可靠度水平，图 2 与表 2 为取自 MIL-HDBK-338-1 的典型资料。

装备总类	可靠性等级		
	低级	一般	高级
真空管，空用	A ₁	A ₂	A ₃
晶体管化	B ₁	B ₂	B ₃
真空管，地用固定式	B ₁	B ₂	B ₃
晶体管化，地用固定式	C ₂	C ₃	D ₁
真空管，地用运动式	A ₂	A ₃	B ₁
晶体管化，地用运动式	B ₂	B ₃	C ₁
真空管，飞弹用	A ₁	A ₂	A ₃

晶体管化, 飞弹用	B ₁	B ₂	B ₃
真空管, 船用	B ₁	B ₂	B ₃
晶体管化, 船用	C ₁	C ₂	C ₃
真空管, 太空用	B ₁	B ₂	B ₃
晶体管化, 太空用	C ₁	C ₂	C ₃

图 2:不同可靠度等级主动组件数与平均失效时间关系



根据所查得之平均失效时间(MTBF=θ)即可依照下式计算可靠度函数：

$$R = \exp(-t/\theta)$$

式中t为计算可靠度之系统操作时间，θ为系统之平均失效时间。

例如有一空用系统，采用高级晶体管化的零组件，总共使用 500 个主动组件，预估其可靠度。由表 2 可知，此一例子的可靠度等级为B3，由图 2 横坐标查得 500 个主动组件的垂直线与B3 斜线的交叉值，读得装备平均失效时间(MTBF)的推定值为 90 小时。

很可惜的是，此种预估技术的图表数据并未增添近年来应用极为广泛的微电路数据，或许是因为这些公司认为那是公司本身的技术机密，不宜公开发布。不过，此种方法对于复杂设计的相对比较多少还是相当有用的，特别是新概念或新技术所开发出来的产品。'

4.3 类似功能法

类似功能法的原理与类似复杂性法相同，这种技术系根据产品显著的功能特性与操作可靠度间的统计相关性分析，建立从可靠度观点看，最显著功能项目与预期装备可靠度两者之间的回归方程式，作为估算研发产品可靠度的依据。

此种方法的原始公式早在 1960 年代即发展完成，可能已经不太适用。最近完成的结果为 1974 年，RADC-TR-74-235，这些回归公式或多或少还有一些真确性。目前已建立有类似数据并经发表回归公式的装备计有雷达、计算器、显示器、及通信装备等四种。除预期功能需求外，有些预估模型的输入数据尚包括零件分布及使用环境。

例如，雷达的回归公式为：

$$\ln P = -0.8277 + 0.307 \times 10^{-2}(\text{DY}) + 0.0586 \times 10^{-1}(\text{MTR}) + 3.87 \times 10^{-2}(\text{DR}) + 6.959 \times 10^{-2}(\text{PW}) + 7.603 \times 10^{-1}(\text{HP}) - 4.71 \times 10^{-3}(\text{MTR})(\text{DR}) - 22 \times 10^{-4}(\text{DR})(\text{RDR})$$

ln=自然对数；

P=平均零组件数量；

DY=设计年份，例如 1970；

MTR=多目标分辨率，仟呎；

DR=侦测范围，海涅；

DR=侦测范围，海涅；

PW=脉波宽度，微秒；

HP=半功率波束宽度，度；

RDR=接收机动态范围，dB。

计算得P之后，可由下式计算得预期之MTBF：

$$\text{MTBF} = 1/(\text{FR})(\text{P})$$

式中：P=平均零组件数量；

FR=每一零件之平均失效率。

为熟悉此一预估方法的计算过程起见，以一个空用雷达为例演练一次，假设雷达的设计特性如表 3 所示。

表3雷达系统之设计特性

设计参数	单位	数值
设计年份(DY)	—	1970
侦测范围(DR)	海涅	150.0
接收机动态范围(RDR)	Bd	60.0
多目标分辨率(MTR)	仟呎	0.1
脉波宽度(PW)	微秒	4.0
半功率波束宽度(HP)	度	1.0

将设计数值代入第(7)式中，可得此一雷达系统预估的零件数为

$$\ln P = -0.8277 + (0.00307)(1970) + (0.0586)(0.1) + (0.0387)(150) + (0.06959)(4) + (0.7603)(1) - (0.00471)(0.1)(150) - (0.00022)(150)(60) = 10.0491$$

$$P = e^{10.0491} = 23,134$$

亦即，粗略估计，此一空用雷达系统同能使用的零件数目估计为 23,134 个。

为了计算装备失效率，我们需要每一装备中的零件分布数据、每一种零件的一般失效率和空用环境的环境K因子，这些数据如表 4 及表 5 所示。

因此，

$$\lambda = P[(0.1855)(0.0496)(8.646) + (0.0313)(5.81)(3.111) + (0.02169)(1.0)(4322) + \dots + (0.0089)(12)(7)] = P(13.4347) \text{ fr}/10^6 \text{ hrs}$$

将先前计算得的零件数目 $P=23134$ 代入，即可得

$$\lambda_e = (23143)(13.3828) \text{fr}/10^6 \text{hr} \\ = 310798 \text{fr}/10^6 \text{hrs}$$

而平均失效间隔时间(MTBF)为：

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda_e} = 3.2 \text{hrs}$$

另外，计算器的回归公式为：

$$\ln \lambda = 371.4246 - 1.8263 \times 10^{-1}(\text{DY}) - 7.981 \times 10^{-1}(\text{AST}) + 1.1 \times 10^{-3}(\text{PD}) - 1.564 \times 10^{-2}(\text{INST}) + 5.99 \times 10^{-3}(\text{AST})(\text{INST}) - 4.3 \times 10^{-4}(\text{MS})(\text{PD})$$

式中：ln=自然对数；

λ =装备失效率；

DY=设计年份，例如 1970；

AST=加/减时间，微秒；

PD=消耗功率，瓦特；

INST=指令数目；

MS=内存速度，微秒。

同理，装备之平均失效时间为：

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda}$$

因此，按照前述计算空用雷达例子，利用式(9 及(10)即可预估计算器的可靠度值。

如前所述，RADC-TR-74-235 对于此项可靠度预估技术及其它装备的应用情形有详细的说明，当然表 4 及表 5 必须做适当的更新，以反应现代的技术水平。不过，在新产品的研发概念阶段，对于装备中可能使用的零件种类及数量一般并不是很清楚时，特别是不同研发方案之间的评选，以及决定选定设计方案的可行性时，此一预估技术仍然是相当有用的方法。

表4零件分布

零件型式	雷达	计算器	显示器	通信装备
电容器	0.1855	0.1508	0.1399	0.3912
电阻器	0.3130	0.2709	0.2272	0.3416
二极管	0.2169	0.1372	0.2553	0.0382
晶体管	0.1127	0.0532	0.1420	0.0717
集成电路	0.1158	0.3610	0.1706	0.0130
电感器	0.0393	0.0132	0.0527	0.1076
电子管	0.0079	0.0000	0.0122	0.0000
混合集成电路	0.0089	0.0137	0.0001	0.0067

表5美军手册MIL-HDBK-217之失效率数据

零件型式	失效率($\times 10^6$)	零件K因子
------	----------------------	-------

		空用K _A	地用K _G	船用K _S
电容器	0.0496	8.646	1.0766	5.907
电阻器	5.8100	3.111	0.2145	0.101
二极管	1.0000	4.322	0.8740	1.290
晶体管	1.1900	8.004	1.5008	0.363
集成电路	6.0000	7.000	1.0000	3.000
电感器	0.3400	1.000	1.0000	1.000
电子管	1.3130	6.002	1.0000	1.000
混合集成电路	12.0000	7.000	1.0000	3.000

4.4 零件计数法

一般厂商在竞标准备承制建议书(proposal)及初期设计阶段产品研发进入硬品初步设计时, 由于设计尚未完全定型, 可用的可靠度预估数据并不完全, 但是对于所使用零件的型式(type)和样式(style)应该已经有大致的概念, 因此可以实际计算或估算得所需的零件数量。但是对于最终设计中每一个零件所可能遭受的应力水平则没有足够的数据库。预估时先计算每一种类或等级的零件数量, 将此一数值乘上每一零件型式或样式的通用失效率(generic failure rate), 然后计算所有乘积的总和即可得到装备的失效率, 此一程序中所谓的零件型式(type)是指具有特定功能的所有零件, 例如:电阻器、电容器、变压器等;而零件样式(style)则是在同一种类零件中再做细分类, 例如:固定组合电阻器、固定绕线电阻器。

零件计数法与应力分析法为 MIL-HDBK-217 所提供的可靠度预估方法, 基于失效率数据库数据搜集的特性, 这两种预估方法所获得约为固有可靠度的推定值, 亦即成熟设计的可靠度值。

零件计数法预估产品可靠度所需的数据包括:

- (1).一般性零件型别(微电路包括复杂性)与数量;
- (2).零件质量水平;
- (3).装备的使用环境。

MIL-HDBK-217 所提供的各种零件通用失效率数据已按各种标准使用环境条件列表提供数据, 因此, 只要根据零件类型及使用环境, 由表查得各种零件的通用失效率, 乘上质量因子即为该零件的失效率, 然后将所有零件的失效率累加在一起, 即可得到装备失效率。对一特定的装备环境而言, 装备失效率的计算公式如下:

$$\lambda_{eq} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_g \pi_Q)_i$$

式中: λ_{eq} :装备之总失效率;

λ_g :第i项一般零件之通用失效率(fr/10⁶frs);

π_Q :第i项一般零件之质量因子;

I=第i项一般零件;

n=装备中所用一般零件之种类数;

N_i=第i项一般零件之数量。

上式系应用于假设整个装备系在同一种环境下使用的情形，若装备的单机系在数个不同的环境条件下操作使用，例如某一型空用电子装备的单机同时在空用有人(AI)及无人(AU)环境，则利用上式计算应用于每一种环境状况时的装备失效率，然后将这些环境一装备失效率累加在一起即可决定装备的总失效率。来源：中国可靠性网。

零件计数法所需之通用(平均)失效率(λ_g)及质量因子(π_Q)可参考最新版本的美军手册 MIL-HDBK-217, 217 目前的版本为F版，零件计数法为附录A，每一种零件的质量因子 π_Q 与通用失效率 λ_g 一起提供。手册中表列提供一般失效率的零件包括微电路、分立式半导体、电子管、雷射组件、电阻器、电容器、电感器、回转组件、继电器、开关、连接器、接口连接装配组合(PCB)、单一接点、仪表板、石英晶体、灯泡、电子滤波器、保险丝等。一般而言，零件计数法与应力分析法并不一定要采用一样的 π_Q 。表 6 及表 7 为节录自 217F 有关固定电阻器的通用失效率， λ_g ，其品质因子， π_Q 。

表7固定电阻器零件计数预估法之质量因子

质量水平	品质因子, π_Q
已建可靠性(ER)	
S	0.03
R	0.10
P	0.30
M	1.00
L	1.50
军规(MIL-SPEC)	3.00
较低等级	10.00

除了质量因子(π_Q)之外，微电路组件的失效率预估模型中需要考虑另外一项修正因子， π_L ，一般称之为学习因子，此一因子计算制造程序的成熟度，当组件的生产时间超过两年以上，则不需要此一修正因子，生产时间在两年以下的微电路组件，则必须乘上适切的学习因子 π_L 。

由于每一种混合微电路几乎都是唯一的组件，到目前为止，这种组件尚未标准化，相同或类似名称的混合微电路可能具有相当广泛的复杂性，根本无法根据它们的命名或功能加以归类判定其复杂性，因此在最新版本的 217F 附录A并没有提供有关混合微电路的基本失效率数据。若设计中有可能使用及混合微电路，则应彻底的研究其应用与构造，然后利用应力分析法预估其失效率。

由于可以使用的数据更精细，例如实际或估定的零组件数目，此种预估法之结果自然比类似功能法更准确，因此零件计数法是在确实掌握每一种零组件的实际应力之前的装备/系统初期设计阶段最有用的预估方法。

表 8 为利用零件计数法预估一陆面搜寻雷达MTBF及可靠度的例子，虽然在这个例子中所用的零组件在技术上或许已经过时，但是其基本方法则是一样的。

由表可知，总失效率为 $3,926.57 \times 10^{-6} \text{fr/hr}$ ，因此装备平均失效时间为：

$$MTBF(\theta) = \frac{10^6}{3926.27} = 255 \text{ hrs}$$

亦即，此一陆面搜索雷达操作使用 100 小时不失效的成功机率，或可靠度，为：

$$R(100) = \exp\left(-\frac{100}{255}\right) = e^{-0.392} = 0.676$$

零件计数法预估可靠度简单案例

零件型式	使用数量	零件失效率(fr/10 ⁶ hrs)	总失效率(fr/10 ⁶ hrs)
接收电子管	96	6.00	576.00
发射电子管	12	40.00	480.00
磁控电子管	1	200.00	200.00
阴极射线电子管	1	15.00	15.00
高K值固定式陶瓷电容器	59	0.18	10.62
钽箔固定电容器	2	0.45	0.90
纸质固定电容器	108	0.01	1.08
碳质组合固定电阻器	467	0.0207	9.67
功率薄膜固定电阻器	2	1.60	3.20
绕线固定电阻器	22	0.39	8.58
组合可变电阻器	38	7.00	266.00
绕线可变电缸器	12	3.50	42.00
同轴连接器	17	13.31	22.47
电感器	42	0.938	39.40
电气仪表	1	1.36	1.36
吹风机马达	3	630.00	1890.00
同步器马达	13	0.80	10.40
晶体罐装继电器	4	21.28	85.12
接触式继电器	14	1.01	14.14
捺跳开关	24	0.57	13.66
旋转开关	5	1.75	8.75
功率及滤波器变压器	31	0.0625	1.94
合计			3926.57

4.5 应力分析法

当系统与装备研发工作进入细部设计阶段之后，大部份的设计均已完成，而且可以获得包括零件应力的详细零件清单，则可以使用应力分析法预估装备的可靠度。此一预估方法同时也可以在设计后期的细部设计阶段，作为可靠度择优时考虑零件选用及零件应力等因素的资料来源。由于在这时候有关零件、零件使用的应力及环境已经有详细的数据可询，所预估出来的数据一般较为精确。

应力分析法为 MIL-HDBK-217 最新版本 F 版约主要预估方法,以零件失效率数据为预估工作的基本项目,将电子装备中常用的所有标准零件按其功能予以分类,例如:电阻器、电容器、变压器等;而零件样式则是在同一型式零件中再做细分类,例如:固定组合电阻器、固定绕线电阻器。在此一手册约正文中提供了应用于电子装备各种零件的失效率数学模型与相关数据,包括微电路、分立式半导体、电子管、雷射组件、电阻器、电容器、电感组件、回转组件、继电器、开关、连接器、接口连接装配组合(如印刷电路板与分立式布线)、接点、石英晶体、灯泡、电子滤波器、保险丝及杂项零件(如振动器、霓虹灯泡、光纤线缆、单纤光学连接器、同轴与导波微波组件、微波铁质装置及哑负载等)。

217F 中所别的失效率为装备在正常操作使用条件下的结果,亦即装备是处于开电源的状态,并且在规定的条件下执行其规定的功能。操作使用条件超过表列值的任何情况,例如高温或零下温度、电应力值大于 1.0,利用外插的方式决定失效率模型或模型修正系数,然后计算零件失效率都是不正确的,只能以适用的公式,电应力在 0 与 1 之间内插求得基本失效率。

决定电路板层次(或系统层次)失效率的一般程序为将每一个零件计算得的失效率累加在一起,其和再相加上 217F 第 16 节的接口连接装配组合失效率,即可得到线路板(包括将零件焊接在其上的效应)的失效率。

对于焊接在一起的零件或线带(例如两个零件之间的跳线),则应该使用 217F 第 17 节的接点失效率资料。最后,将电路板连接在一起的效应则再加上每一个连接器的失效率(参考 217F 第 15 节连接器)。

连接器之间的失效率一般假设为零。对于不同服勤使用轮廓的应用场合、工作循环及复联设计,则应该使用 MIL-STD-756,可靠度模型化与预估,所说明的程序,以便决定有效的系统层次失效率。

零件应力分析所需的数据一般包括:

- (1).基本失效率, λ_b ;
- (2).零件质量因子, π_Q ;
- (3).零件使用之环境因子, π_E ;
- (4).温度、电性应力及其它应力因子, π_T 、 π_S ;
- (5).零件失效率模型, λ_p , 因零件种类、材质而异。

4.5.1 零件失效率模型

电子零件之失效率模型大多以基本失效率为基础,再乘上各种修正因子。除了微电路的零件失效率模型与其它电子零件的模型有很显著的差异,详细参考 217F 第 5.0 节,其余大部份零件的失效率模型则大同小异,以分立式半导体中的低频双极晶体管(217F 第 6.3 节)为例说明如下:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E$$

式中: λ_p : 零件失效率;

λ_b : 基本失效率,通常为考虑零件电气与温度应力影响关系的数学模型,在 217F 中则仍然大多以表列方式说明;

- π_Q : 品质因子;
- π_E =环境因子;
- π_T =温度因子;
- π_A =应用因子;
- π_R =功率额定因子;
- π_S =电压应力因子。

几乎所有的零件失效率模型都有 π_Q 和 π_E 两项修正因子，至于其它的修正因子则依各种零件的可靠度特性而有差别，一般只存在于某些特定的模型。

4.5.2 基本失效率

一般而言，电子零件之基本失效率与电气应力和温度应力有关，217F所提供的基本失效率(λb)包括数学模型与表列数据两种方式，以便利计算器程序计算或人工查表计算。

表列的 π_b 数据则根据温度与应力的额定值而加以截略，因此，当在超过截略值的情形下使用零件将造成零件负荷过度的现象。以MIL-S-19500 第I组传统半导体为例，其表列式基本失效率如表 9 所示。

数学模型法主要是在现代计算机信息设备发达，可以将 λb 写成计算器程序直接计算。当使用数学模型，则必须考虑零件的额定限制，当负荷应力超过零件额定值时， λb 数学式在数学上仍然是连续的，但是所计算得的失效率则已经不正确了，因为使用应力已经属于负荷过度的范围。以硅质晶体管为例，其基本失效率的数学模型公式为：

$$\lambda b = A e^{\left[\frac{N_T}{273+T+(\Delta T)S} \right] + \left[\frac{273+T+(\Delta T)S}{T_M} \right]^P}$$

其中:A=失效率形状因子;

e=自然对数底, 2.718;

N_T 、 T_M 、 P =形状参数;

T =操作温度, °C, 为周围温度或外壳温度, 依使用情形而定;

ΔT =无接面电流或功率(全额)典型最大允许温度与全额接面电流或功率典型最大允许温度之差值;

S =操作电应力与额定电应力之应力比。

上述参数均可由MIL-HDBK-217F所提供表格查得，以硅质NPN晶体管为例， $A=0.0189$ 、 $N_T=-1052$ 、 $T_M=448$ 、 $P=10.5$ 、 $\Delta T=150$ ；而硅质PNP晶体管则为， $A=0.0648$ 、 $N_T=-1324$ 、 $T_M=448$ 、 $P=14.2$ 、 $\Delta T=150$

表9 MIL-S-19500第I组NPN硅质传统半导能之基本失效率 λb (fr/10⁶hr)

(MIL-HDBK-217E)

温度 °C	功率应力									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.00049	0.00060	0.00071	0.00084	0.00099	0.00120	0.00140	0.00170	0.00210	0.00270
10	0.00056	0.00067	0.00079	0.00093	0.00110	0.00130	0.00160	0.00190	0.00250	0.00340
20	0.00063	0.00075	0.00089	0.00100	0.00120	0.00150	0.00180	0.00230	0.00300	0.00430

30	0.00071	0.00084	0.00099	0.00120	0.00140	0.00170	0.00210	0.00270	0.00380	
40	0.00079	0.00093	0.00110	0.00130	0.00160	0.00190	0.00250	0.00340	0.00490	
50	0.00089	0.00100	0.00120	0.00150	0.00180	0.00230	0.00300	0.00430		
60	0.00099	0.00120	0.00140	0.00170	0.00210	0.00270	0.00380			
70	0.00110	0.00130	0.00160	0.00190	0.00250	0.00340	0.00490			
80	0.00120	0.00150	0.00180	0.00230	0.00300	0.00430				
90	0.00140	0.00170	0.00210	0.00270	0.00380					
100	0.00160	0.00190	0.00250	0.00340	0.00490					
110	0.00180	0.00230	0.00300	0.00430						
120	0.00210	0.00270	0.00380							
130	0.00250	0.00340	0.00490							
140	0.00300	0.00430								
150	0.00380									
160	0.00490									

4.5.3 温度因子

温度因子，以Monolithic微电路组件为例，其通用公式为：

其中A为参数，随零件型式不同而异，例如永久密封包装之ASTTL、CML、TTL、HTTL、FTTL、DTL、ECL、ALSTTL等零件，A=4635；而非密封包装之零件，A=5214。e为自然对数底或称欧拉数(Euler number)，e=2.718。T_J为组件最劣状况下之接面温度，℃。接面温度应该经过实际量测得到，或利用下式估算得到：

$$T_J = T_C + \theta_{JC} P$$

其中T_C为外壳温度，若无法决定外壳温度时，可依照各种使用环境条件分类参考MIL-HDBK-217 建议之温度值。θ_{JC}为零件焊接在印刷电路板之后由组件接面至外壳之热阻(℃/watt)，与零件的包装方式有密切的关系。若在计算时无法获得真正的θ_{JC}时，则可使用最接近的类似组件规范所提供的数值或参考MIL-HDBK-217 提供之数值。P为零件应用于系统时在最恶劣状况下实测得之消耗功率；若无法获得P值，则使用该零件规范或最类似零件规范所规定之最大消耗功率值 可靠性论坛：<http://www.kekaoxing.com/club/>。

4.5.4 应力因子

除了温度应力，还有许多其它工作应力会影响装备之可靠性，在应用时通常采用适切的减额定(derating)政策，以维持高可靠性；以电子装备而言，常用的工作应力包括电压、功率、电流等。在零件失效率模型中，考虑应力效应的因子，例如微电路之电压应力减额因子π_V、半导体中的额定因子π_R、电压应力因子π_{S2}；电阻器的电压因子π_V。

对CMOS微电路零件而言，V_{DD}小于12volts之π_V=1.0；V_{DD}介于12volts与20volts之π_V则按下列公式计算：

其中e为自然对数底，e=2.718。V_S为实际应用时之操作供应电压。

T_J为零件在最恶劣状况下之接面温度(℃)。

4.5.5 品质因子

零件的质量对零件失效率有直接的影响，在失效率模型中以一个系数来修正，一般称之为质量因子，以 π_Q 表示之。许多符合军规的零件规定有数个质量水平，因此，每一种零件的失效率模型中的 π_Q 配合每一质量等级自然也有其相对的数值。各种军规电子零件的质量等级代号如表10所示，除了微电路以外，这些质量等级的详细需求都规定在适用的零件规范中，微电路质量等级则是按照该零件所接受的MIL-STD-883筛选(或等量)编号而订定。

表10各种电子零件之质量等级代号

零件名称	质量等级代号
微电路	S, B, B-1, 其它, 按筛选水平判定质量等级
分立式半导体	JANTXV, JANTX, JAN, 较低等级, 塑料封装
已建可靠度(ER)电容器	D, C, S, R, B, P, M, L
已建可靠度(ER)电阻器	S, R, P, M
已建可靠度(ER)模制无线电线圈	S, R, P, M
已建可靠度(ER)继电器	R, P, M, L

有一些由较老旧规范所规定的零件，称之为非已建可靠度零件(Non-ER)，并没有多质量水平的情形，这些零件的失效率模型一般有两个质量水平，分别以「军规等级(MIL-SPEC)」与「较低等级(Lower)」两种代号表示之，假如所采购的零件完全依照适用规范的规定，预估失效率模型中的 π_Q 则使用军规等级的数值，假如任何一项需求有被搁置，或者所采购的零件为商用等级，则 π_Q 应该使用低级等级的数值。分立式半导体典型的 π_Q 值如表11a及表11b所示。

表11a MIL-HDBK-217E分立式半导体之质量因子， π_Q (应力分析法)

分立式半导体		品质因子， π_Q				
零件名称	217E章节	JANTXV	JANTX	JAN	较低等级	塑料封装
I 传统晶体管	5.1.3.1	0.12	0.24	1.2	6.0	12.0
II FET,硅质	5.1.3.2	0.12	0.24	1.2	6.0	12.0
III单一接面	5.1.3.3	0.5	1.0	5.0	25.0	50.0
IV 一般用二极管	5.1.3.4	0.15	0.3	1.5	7.5	15.0
V Zner & Avalanche	5.1.3.5	0.3	0.6	3.0	15.0	30.0
VI Thyristor, 硅控整流器	5.1.3.6	0.5	1.0	5.0	25.0	50.0
VII 微波二极管	5.1.3.7	1.0	2.0	3.5	5.0	-
VIII Varactor, Step Recovery, Tunnel	5.1.3.8	0.5	1.0	5.0	25.0	-
IX 微波晶体管	5.1.3.9	1.0	2.0	4.0	10.0	-
X 光电半导体	5.1.3.10	0.01	0.02	0.1	0.5	1.0

前面所讨论的是采购时的零件质量，不良的装备设计、生产与测试设备均有可能降低零件的质量水平，使用高质量水平的零件必须要有完整的装备设计与质量管理程序来与高质量水平零件搭配，假如装备生产程序会损伤零件或导入一些潜在的疵病，则一味的采购高质

量水平零件就完全没有意义了。混合使用不同的零件质量会影响整个装备计划有关可靠度管理与质量管理作业的运作，一个采用先进技术与要求高可靠度需求的系统研发计划自然需要高质量的零件，当然研发计划也必须注意整体的规划考虑，因为零件质量并非唯一要素。

4.5.6 使用环境因子

使用环境条件会影响装备的可靠性，所有电子零件可靠度模型都是透过环境因子 πE 的运用来涵盖除了离子辐射以外的环境应力效应，这些环境项目以装备约主要应用范围加以分类，目前在应用上大多参考MIL-HDBK-217之定义。大致上是以军用装备的用途，分为陆用、海用、空用、太空用、飞弹用及加农炮用等类别，每一类再根据其特性加以细分。

1986年板之217E将环境因子区分为27类，分别为陆用温和(G_B)、陆用飞弹地窖(G_{MS})、陆用固定(G_F)、陆用运动(G_M)、人员背负(M_P)、海用有遮(N_S)、海同无遮(N_U)、海用海下无遮(N_{UU})、海用潜艇(N_{SB})、海用水翼船(N_H)、空用货机有人区(A_{IC})、空用训练机有人区(A_{IT})、空用轰炸机有人区(A_{IB})、空用攻击机有人区(A_{IA})、空用战斗机有人区(A_{IF})、空用货机无人区(A_{UC})、空用训练机无人区(A_{UT})、空用轰炸机无人区(A_{UB})、空用攻击机无人区(A_{UA})、空用战斗机无人区(A_{UF})、空用回旋翼(A_{RW})、太空飞行(S_F)、飞弹发射(M_L)、加农炮发射(C_L)、海下发射(U_{SL})、飞弹自由飞行(M_P)及吸气式飞弹飞行(M_{FA})，如表12所示。

1992年的217F版则将之简化分为14类，分别为陆面温和(G_B)、陆面固定(G_F)、陆面运动(G_M)、海用有遮(N_S)、海同无遮(N_U)、空用货机有人区(A_{IC})、空用战斗机有人区(A_{IF})、空用货机无人区(A_{UC})、空用战斗机无人区(A_{UF})、空用回旋翼(A_{RW})、太空飞行(S_F)、飞弹飞行(M_F)、飞弹发射(M_L)及加农炮发射(C_L)。

E版及F版之美军手册217规定之环境因子分别如表13及14所示。

表12 環境因子符號與說明 (MIL-HDBK-217E)

環境	π_F 符號	說明
陸用, 溫和	G_B	不運動, 隨時備便可接近進行維護工作的實驗室環境; 包括實驗室用儀器與測試裝備、醫療用電子裝備、商用與科學用電腦設備等。
陸用, 飛彈地窖	G_{MS}	在地窖中之飛彈與支援裝備。
陸用, 固定	G_F	安裝於比永久式固定架、有足夠冷卻空氣等理想狀況稍差之條件中, 以及可能安裝於無加熱系統之建築物內; 包括永久式安裝之航空管制、雷達及通信設備。
陸用, 運動	G_M	安裝於輪型或履帶車輛上; 包括戰術飛彈支援裝備、機動式通信裝備、戰術發射指揮系統。
太空, 飛行	S_F	地球軌道飛行, 接近溫和陸用環境。不是在動力飛行或重返大氣層等階段之飛行載具; 包括人造衛星及太空梭。
人員背負	M_P	在操作時有人員搬運之攜帶式電子裝備; 包括攜帶式野外通信設備、雷射定位器及測距器。
海用, 有遮	N_S	有氣候保護之有遮或甲板下條件; 包括海面船用通信、電腦及聲納裝備。
海用, 無遮	N_U	無保護直接暴露於氣候條件之海面船用裝備, 包括安裝於桅桿上之裝備及飛彈、砲彈發射控制裝備。
海用, 海下無遮	N_{UU}	浸泡於海水中之裝備; 包括聲納感測器及特殊反潛戰裝備。
海用, 潛艇	N_{SB}	安裝於潛艇中之裝備; 包括航行及發射控制系統。
海用, 水翼船	N_H	安裝於水翼船艙內之裝備。
空用, 貨機有人區	A_{IC}	有機員活動, 無氣壓、溫度、衝擊及振動環境極值之貨機機艙典型條件, 安裝於長途任務運輸機上。
空用, 訓練機有人區	A_{IT}	同 A_{IC} , 但是安裝於高性能訓練機上。
空用, 轟炸機有人區	A_{IB}	有機員活動, 無氣壓、溫度、衝擊及振動環境極值之轟炸機機艙典型條件, 安裝於長途任務轟炸機上。
空用, 攻擊機有人區	A_{IA}	同 A_{IC} , 但是安裝於高性能地面支援飛機上。
空用, 戰鬥機有人區	A_{IF}	同 A_{IC} , 但是安裝於高性能戰鬥機及攔截機上。
空用, 貨機無人區	A_{UC}	炸彈艙、裝備艙、尾艙, 或是會遭遇氣壓、振動與溫度循環, 並且受到機油、液壓油及引擎排氣等污染而變劇之機艙; 安裝於長途任務運輸機上。
空用, 訓練機無人區	A_{UT}	同 A_{IC} , 但是安裝於高性能訓練機上。
空用, 轟炸機無人區	A_{UB}	炸彈艙、裝備艙、尾艙, 或是會遭遇氣壓、振動與溫度循環, 並且受到機油、液壓油及引擎排氣等污染而變劇之機艙; 安裝於長途任務轟炸機上。
空用, 攻擊機無人區	A_{UA}	同 A_{IC} , 但是安裝於高性能地面支援飛機上。
空用, 戰鬥機無人區	A_{UF}	同 A_{IC} , 但是安裝於高性能戰鬥機及攔截機上。
空用, 螺旋翼	A_{RW}	安裝於直昇機上裝備; 包括雷射定位器和發射控制系統。
飛彈, 發射	M_L	與飛彈發射(空中及陸面)有關之嚴厲條件, 太空載具發射加力 A_{UC} 至軌道位置上、載具重返大氣層及降落傘降落著陸。此條件亦可應用於火箭推進動力飛行。
加農砲, 發射	C_L	與155mm加農砲及5吋導彈砲發射有關之嚴厲條件, 此條件適用於從發射到碰撞目標。
海下, 發射	U_{SL}	與海下魚雷任務及發彈發射有關之嚴厲條件。
飛彈, 自由飛行	M_{FF}	無動力自由飛行之飛彈。
吸氣式飛彈, 飛行	M_{FA}	與吸氣式飛彈動力飛行有關之條件; 包括巡弋飛彈。

5. 可靠度預估技術自動化

5.1 失效率資料來源

由以上的討論可知, 可靠度預估工作的成效, 其關鍵在於失效率資料來源。在失效率數據方面, 目前有關提供各種零組件失效率數據的來源包括:

- (1). MIL-HDBK-217F, Reliability Prediction Electronic Equipment(1992)
- (2). BellCore, Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment
- (3). British Telecom Reliability Handbook

- (4). NPRD-3, Nonelectronic Parts Reliability Data, RAC, IITRI(1985)
- (5). DTRC-90/010, Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment (1990)
- (6). RADC-TR-85-194, RADC Nonelectronic Reliability Notebook(1985)
- (7). RADC-TR-80-136, Nonoperating Failure Rates for Avionic Study (1980)

一般可靠度数据来源如 MIL-HDBK-217 及 NPRD-3 等数据所提供的失效数据, 大部份只是可靠度预估的共同基础, 根据在资料发行时所能获得的最佳数据所做的分析而建立的。当然提供这些数据的机构或单位自然是期望尽可能使之成为最好的可靠度预估工具, 然而, 就如同任何一种工具一样, 使用可靠度预估技术必须考虑及各种应用与限制条件, 而不是一味的应用公式与代入数据。

5.2 可靠度数据库.

根据上述可靠度数据所建立之可靠度数据库, 在应用上难免有些限制条件。第一个限制乃是这些数据库所提供的失效率模型都是根据所能获得数据所做的统计点推定值, 因此, 只有在与分析数据相同的条件下以及所含盖的相同组件, 根据它们所做的预估结果才是完全正确无误的。当然在模型发展过程中是使用了一些外推的技巧, 但是模型固有的经验本色造成应用时相当大的限制。例如, 这些数据通常都不足以用来预估核辐射存活性及离子辐射的效应。

其次, 即使在类似的操作使用环境条件下, 不同系统应用之间的可靠度表现也可能有相当显著的差异。一般而言, 陆用电子装备的可靠度预估结果比空用电子系统的可靠度预估结果更接近实有可靠度, 这是因为在陆面应用方面, 不同的系统之间的环境变异比较小, 现场操作条件比较接近建立预估模型所搜集数据的环境条件。不过可靠度预估结果远是比较接近鉴证得的产品固有可靠度, 因为在现场操作使用环境条件下, 装备的可靠度会受到操作时序、操作人员的个性与人性因子、操作人员训练、技术手册内涵、不同装备使用站的操作与维护政策与实务、测试装备与测试技、和失效定义之间的差异等因素的效应, 而影响到失效率的计算结果。因此, 可靠度预估结果决不可以视为等于可以由使用者测量得到的预期现场可靠度(亦即平均维护间时间、平均拆除间时间等), 当然这样的说法并不是就完全否定可靠度预估是一种重要工程工具的价值, 只是要注意到当讨论及可靠度预估的应用情形时, 最好不要将预估结果与现场量测值做比较, 以免因为应用不当而造成管理决策上的困扰。

另外值得注意的是电子技术本身就具有动态的特色, 新型的组件与新的制造程序持续不断均在引进、更多数据的产生和技术的进展与成熟, 再再增加可靠度预估的多变性与困难度。改良型的改变或许远可利用现有的模型运用外推技巧来处理, 但是革命型的改变, 则有可能要否定所有的分析结果。因此, 在应用失效率资料时, 要特别注意引用的数据库是否定期做更新的处理。当然并不是所有的零件失效率都会随时间而改变, 例如 MIL-HDBK-217 有关分立式半导体的失效率资料, 由 1978 年到 1990 年之间几乎都是保持不变的。可靠度预估技术的另外一项限制为预估过程本身, 例如应力分析预估法虽然预估结果相当准确, 但是需要相当有意义的细部设计数据, 这自然会造成时间与成本方面的牺牲, 最明显的就是在设计的初期阶段, 许多设计细节根本无法获得, 基于此一理由, 在竞标规划及设计初期阶段仅能采用较为简单的零件计数法来进行可靠度预估工作。

5.3 可靠度预估软件

由于信息系统设备的发达:目前市面上已有一些现成的可靠度预估软件,例如美国 PSI、RELEX 及英国 ITEM 等公司所发行者。这些预估大都是以美国军用手册 MIL-HDBK-217 所提供的失效率数据和预估方法为主,除了可靠度预估之外,尚可与失效模式效应与关键性分析、维护度预估等作业结合一起使用。这些软件的硬件需求,有的是在 DOS 作业下运作,有的则可以在 Windows 架构下进行。不过由于数据更新与软件更新总是会一些时间差,因此在采购之前应该做详细的评估,以免白白花费经费,无法达到预期的效果。

对于应用零件种类并不是很多,以及并没有很严谨的预估需求约合约案,则可以考虑采自行建立预估软件的方式来解决可靠度预估自动化问题。特别是以前的失效率数据多是用表格的方式来表达,而现代一些标准化零件的失效率数据,多是以模型的方式来表示,因此配合一些具备窗体(sheet)功能的计算机应用软件,如 Excel、1-2-3,即可建立适合公司自己应用的可靠度预估软件。当然,最理想的作法是在行业或区域内,建立可靠度数据交换的制度,共同开发专用的可靠度预估软件。中国可靠性网 <http://www.kekaoxing.com>。

6. 结 语

可靠度预估是产品研制过程中非常重要的产品保证作业,除了可以用以估算系统可靠度能力指针之外,有关维护作业以及备份件需求的规刮,都需要系统构成组件的失效率数据。可靠度预估除了可以在产品开发初期做为系统设计择优作业的重要输入数据之外,当开始有实体产品时,方可用之做为评估与验证产品可靠度。由于可靠度预估强调的是组件失效率数据及可靠度数学模型的建立,因此,在现今信息发达的时代,如何将可靠度预估自动化,也是相当重要的课题,本报告有系统地汇整可靠度预估工作的相关信息,希望能够为欲导入可靠度预估及规划可靠度预估自动化者提供一些有益的参考数据。

参考文献

MIL-HDBK-338, Electronic Reliability Design Handbook, Feb. 1984, DOD, USA.

MIL-HDBK-217F, Reliability Prediction of Electronic Equipment, Notice 1, Jul. 1986, DOD, USA

MIL-HDBK-217E, Reliability Prediction of Electronic Equipment, Oct. 1986, DOD, USA.

Anderson, R.T. ed. Reliability Design Handbook, Mar. 1976, IITRI

NAVWEPS 00-65-502, Handbook Reliability Engineering, Jun. 1964.