

可信性标准应用导引

杨启善 主编



中国标准出版社

可信性标准应用导引

主 编 杨启善
副主编 杨秉喜

中国标准出版社

图书在版编目(CIP)数据

可信性标准应用导引/杨启善主编.-北京:中国标准出版社,2000.4

ISBN 7-5066-2133-9

I. 可... II. 杨... III. 可信性标准-应用

IV. TB114.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 57718 号

中国标准出版社出版

北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

电 话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

版权专有 不得翻印

*

开本 787×1092 1/16 印张 20½ 字数 487 千字

2000 年 8 月第一版 2000 年 8 月第一次印刷

*

印数 1—2 000 定价 52.00 元

前 言

目前,我国已颁布很多可信性国家标准和行业标准以及可靠性、维修性和综合保障(RMS)国家军用标准和行业军用标准,对提高我国国民经济各门类产品的质量和可靠性已经和正在发挥着指导和推动作用。但是,在贯彻执行此类标准过程中,也存在不少问题和困难,广大管理人员和工程技术人员迫切需要一本简明阐述此类标准内容 and 应用方法的工具书。为适应客观需求,本书编写的指导思想就确定为:以技术标准为主线,以工程应用为目标。详细介绍本专业主要技术标准的产生、演变过程、主要内容和原理及应用实例。使读者看得懂,易掌握,会应用。

我们在动手编写此书之前,仔细研究分析了美国出版的《可靠性入门》一书,该书具有与本书类似的功能,它将可信性标准分为可靠性标准族、维修性标准族、综合保障标准族。这一思路对我们有一定启示和参考作用。但书中对各族标准的介绍过于简单化,基本上是提纲挈领式或目录式的。而我国的大多数读者对可信性标准还比较陌生,需要较系统地深入浅出地详细介绍。基于这一认识,我们力求使本书兼有科学普及、教科书和手册指南的功能。

高质量特别是高可信性历来是各类产品的生命力之所在,是各企业追求的崇高目标,是产品能够吸引客户,畅销市场的根本因素。特别是对于军事装备,RMS 更是一个突出问题。我们必须正视与工业发达国家之间的差距,如果不能在产品 RMS 方面达到国际先进水平,就难以在未来的区域性或突发性战争中赢得胜利。本书力求突出重点,兼顾全面;突出国家军用标准,兼顾其他标准;突出电子产品,兼顾其他产品;突出硬件产品,兼顾软件产品;突出最新有效资料,兼顾历史发展实况。

中国人民解放军总装备部电子信息基础部、信息产业部科技质量司、中国电子技术标准化研究所和中国军用标准化中心对本书的编写审查、出版发行工作十分关心和支持。特别是总装备部殷鹤龄将军为本书写了序言,熊和生局长写了出版后记。在此向他们表示敬意和感谢。

本书包括四篇十章和四个附录。第一篇为总论,包括三章,第一章为可信性概论,介绍可信性概念、发展阶段、技术要点、标准主

要内容等,高度概括地论述了可信性技术各方面的情况。只要读读这一章,就可对可信性标准有个大概了解。第二章介绍可信性标准体系,系统介绍有关标准的分类及其内容,为全书的编排结构奠定了基础。第三章介绍可信性信息标准内容,这是可信性三要素的共性问题,故纳入第一篇。第二篇为可靠性,这是影响可信性的第一要素,包括两章,分别介绍设备和元器件的可靠性标准。第三篇为维修性和综合保障,这是影响可信性的另两个要素,包括三章,依次介绍维修性、测试性和综合保障标准。第四篇为软件可信性和安全性,由于软件具有不同于其他产品的显著特点,故专篇论述。附录部分为读者提供了一些有用的资料,可随时查考。本书各篇各章既有相互关联相互补充的系统性,又有相对的独立性,读者可根据需要全读或选读。

本书的编审人员都是长期在国防科技战线工作的专家、学者或管理者。本书第一章和第四章第三节由何国伟编写;第二章、第三章、第四章第一节和第二节和四个附录由杨启善编写;第五章由高祥珠、高京燕、张德胜和余振醒编写;第六章由杨秉喜编写;第七章由朱美娴编写;第八章由宋太亮编写;第九章和第十章由王伟编写。

由于本书是集体编写,各人的风格、思路 and 水平有差异,各章之间尚有不统一的地方。书中的缺陷和问题敬请读者批评指正。

编 者

1999年10月1日



第一篇 总 论



第一章

概 论

第一节 基本名词术语

一、产品质量

为了某个目的而进行的单项具体工作叫“活动”(activity)。例如,把一种材料用机械加工成一个零件;对一批元器件进行性能参数测试;对某种导弹的弹道进行设计;采购一批某种规格型号的铝材等等。活动需要“资源”(resources)。资源包括,人员;设施(facilities),如导弹试车台;设备(equipment),如 IC 测试仪;技术;资金;时间。

将输入转化为输出的一组关联的资源 and 活动叫“过程”(process)。这里的输出输入是广义的。例如,将若干电子元器件装联成一个电子设备;将与质量有关的信息收集、汇总、分析得出一份质量趋势动向的报告,如将某一时间区间内某工序的不合格品率绘成一张 SPC (统计过程控制)的 P 管理图等等。

活动或过程的结果叫“产品”(product)。

产品包括下述四种或其组合:

(1) 硬件(hardware):是有形的、不连续的、具有特定形状的产品,通常由制造的、建造的或装配的零件、部件或(和)组件组成。例如,飞机、电视机、灯泡、齿轮箱等等。

(2) 流程型材料(processed materials):是由固体、气体、液体或由它们的组合所组成,经转换形成的产品(最终产品或中间产品),通常由管道、桶、袋、罐等容器或以卷的形式交付。例如,罐装润滑油;导弹偏二甲肼燃料。

(3) 软件(software):是通过支持媒体表达的信息所构成的一种智力创作。例如概念、信息、程序、规则、记录、计算机程序等。

(4) 服务(service):为满足顾客的需要,供方和顾客之间接触的活动以及供方内部活动所产生的结果。

可以单独描述和考虑的事物叫“实体”(entity)。实体可以是某项活动和过程,某个产品,某个组织、体系或人或他们的任何组合。例如,一架飞机;一项软件的开发过程;一起事故的调查;某厂的质量体系;某工程项目的总师等等。

“特性”(characteristic)是帮助识别和区分各类实体的一种属性。这种属性包括:物理、化学、外观功能或其他可识别的性质。描述产品特性的量叫“特性参数”。

反映实体满足规定和潜在需要能力的特性之总和叫“质量”(quality)。潜在需要是用户

未在合同或定单中明确提出但实质上有的需要。例如,电视机显象管爆炸时,碎片应向内而不能向外飞溅。

质量是实体的一项最为重要的特性。需要包括下述特性:

- 性能(performance);
- 适用性(usability),即便于顾客使用的能力,例如傻瓜式相机;
- 可信性(dependability),描述可用性和它的影响因素:可靠性、维修性、维修保障性的集合性术语。它一般用于非定量描述的场合。可信性是质量中与时间有关的一个方面。
- 安全性(safety);将伤害(对人)或损坏的风险限制在可接受水平的状态。
- 环境(environment);
- 经济性(economics);
- 美学(aesthetics)。

二、故障

产品终止最终完成规定功能的能力这样的事件叫“失效”(failure)。产品不能执行规定功能的状态叫“故障”(fault)。从故障的定义来说,性能超差也算故障,所以故障不限于人们通常理解的结构故障的含义。丧失功能的准则叫故障判据。不同产品在不同应用上的故障判据可能不尽相同。例如,在导弹上的计算机由于要求较严,已被判为不合格的元件,但用来装民用收音机完全可能是合格的。

相对于给定的规定功能,有故障的产品的一种状态叫“故障模式”(fault mode)。一个产品可能有多种故障模式。例如,一支电阻器可能有开路、短路等多种故障模式;又如双极型晶体管,据统计国产的晶体管有三种故障模式:开路、短路和性能退化,它们的故障频率占双极型晶体管的总故障率之比为 0.44,0.36,0.20。不同来源的产品的故障模式及频率比不尽相同。以美国产的双极型晶体管为例,有两种故障模式:开路和短路,占总故障率之比为 0.27,0.73。

形成故障的物理、化学(也可能还有生物)变化等内在原因称为“故障机理”(failure mechanism)。产品在规定的条件下使用,由于产品本身固有的弱点而引起的失效称为“本质故障”(inherent weakness failure)。不按规定条件使用产品而引起的失效称为“误用故障”(misuse failure)。

从人机工程的观点看,某些误用是可能发生的,如果设计得当,误用的概率可以大为减少,所以可靠性设计还应包括尽可能减少误用故障的设计在内。例如,控制飞机俯仰的水平尾翼产生俯仰动作的信号与控制飞机航向的垂直尾翼产生偏航动作的信号是通过一个插头座发出的。这两个信号的插头设计成不同的粗细,这样反插就插不进去,从而保证尽可能减少产生人为失误。当然由于野蛮操作插反造成事故不算。

产品由于制造上的缺陷等原因而发生的故障称为“早期故障”(early failure)。产品由于偶然因素发生的故障称为“偶然故障”(random failure)。一般说来,偶然故障是通过事前的测试或监控不能预测到的故障,即属于所谓“突然故障”(sudden failure)。有的偶然故障出现后,不经修复而在限定时间内能自行恢复功能,这叫“间歇故障”(intermittent failure),虚焊就是一例。产品由于老化、磨损、损耗或疲劳等原因引起的故障称为“耗损故障”(wear-out failure)。产品到了它的使用寿命就出现耗损故障。通过事前的测试或监控可以预测到的故

障称为“渐变故障”(gradual failure)。使产品不能完成规定任务或可能导致人或物重大损失的故障或故障组合叫“致命性故障”(critical failure)。

三、可靠性

产品在规定条件下和在规定的时间内完成规定功能的能力叫产品的“可靠性”(reliability)。通俗地说,产品故障出得少,就是可靠性高。可靠性的概率度量也叫可靠度。

产品的“寿命”(life)指产品使用的持续期。其度量叫“寿命单位”(life unit),如工作小时、年、公里和次数等。

在规定的条件下和在规定的时间内,产品的故障总数与寿命单位总数之比叫“故障率”(failure rate),通常以 λ 表示。

[例 1-1]一个团的某种型号飞机 25 架,执行正常勤务,一个月内出了 6 次故障,则每架飞机的故障率

$$\lambda = 24\% / \text{月}$$

描述产品可靠性的量叫“可靠性参数”(reliability parameter)。故障率 λ 是可靠性的一种基本参数。故障率的倒数叫平均故障间隔时间 MTBF (Mean Time Between Failures)。MTBF 是常用的一种可靠性参数。

[注]当产品的寿命是指数分布时,这倒数关系成立。但当寿命为非指数分布,倒数关系不一定成立。

[例 1-2]某计算机的 MTBF 为 5 000 h,于是其故障率为

$$\lambda = 1/\text{MTBF} = 1/5\,000\text{ h} = 2 \times 10^{-4}/\text{h}$$

一般说来,产品到一定工作寿命之后,故障率会愈来愈高,从而不值得再予以修复。产品从交付使用到出现不能接受的故障率(或出现不值得修复的故障)时的寿命单位数叫“使用寿命”(useful life)。

[例 1-3]某洗衣机定时器的使用寿命为 5 000 次。

[例 1-4]美军的 XM-1 坦克平均故障间隔里程为 118 英里;使用寿命为 6 000 英里。

[例 1-5]前苏联的萨姆导弹的成功率不太高,大体上为 80%左右。因此为了保证比较高的命中率,需一次发射 3 发导弹。如果成功率提高到 90%,则一次只要发射 2 发。

一般说来,提高产品的可靠性会增加研制费用,甚至也会增加一些生产费用,但由于故障率低,在使用期间的维修费用会大大降低,从而从全局来看,仅从费用来看就是很值得的。

美国宇宙神导弹两个设计方案的费用比较,见表 1-1。

表 1-1 宇宙神导弹两种设计方案的费用比较

费用名称	研制	生产	维修	总费用
高可靠性方案	59.3	10.2	30.5	100.0
一般可靠性方案	50.0	9.4	99	158.4

四、维修性

为保持或恢复产品处于能执行规定功能的状态所进行的所有技术和管理,包括监督的活动叫“维修”(maintenance)。

在规定的条件下,按规定的程序和手段实施维修时,产品在规定的使用条件下保持或恢

复能执行规定功能状态的能力叫“维修性”(maintainability)。维修性的概率度量亦称“维修度”。

描述产品维修性的量叫产品“维修性参数”。

根据维修工作的需要,产品被划分成的级叫“维修约定级”(indenture level for maintenance)。例如,某种元器件级;某种电路板级;某种组件级等等。

一个具体的维修约定级上维修活动的安排叫“维修等级”(level of maintenance)。例如,更换元器件的维修等级;更换电路板的维修等级等等。

按指定的维修等级对产品实施维修的场所叫“维修作业线”(line of maintenance)或“维修梯级”(maintenance echelon)。在国军标中,按产品维修时所处场所划分的等级叫维修级别(maintenance level),军队中通常采用三级维修制,即基层级、中继级和基地级。这样,国标与国军标的维修等级(或级别)理解上不一致,使用此名词时注意引用的是国标还是国军标。

“平均修复时间”[MTTR(mean time to repair)]是产品维修性的一种基本参数。其估计值的度量方法为:在规定的条件下和规定的时间内,产品在某一规定的维修等级上,总修复性维修时间与在该级别上被修复产品的故障总数之比。

[例 1-6]某产品现场修复性维修时间 T 有 24 个数据:(单位:min)55,28,125,47,58,53,36,88,51,110,40,75,64,115,48,52,60,72,87,105,55,82,66,65。求 MTTR 的估值。

[解]总修复性维修时间为 $55+28+125+\cdots+66+65=1\ 637$ (min)

故 MTTR 的估值:

$$\widehat{\text{MTTR}} = \frac{1\ 637}{24} = 68.21(\text{min})$$

美军在贯彻新质量观后,装备的维修性有明显的增长。例如,M60A(老式坦克)的平均修复时间为 2.0 h,而新的 ZM-1 坦克的平均修复时间为 1.4 h。

战伤抢修是维修的一项重要内容,要对装备战斗损伤的部位及概率作分析、估计,针对性地作提高维修性的设计,提高战场抢修的能力。例如在 1973 年第四次中东战争中,以色列的坦克在开战 18 h 内,75%坦克战损,本来处于劣势,但以军坦克的战场抢修能力强,不到 24 h 内有 86%的战损坦克在战场修复后又投入战斗,使坦克转为优势。

马岛战争中,英军军舰战损有 91%在海战现场修复。

我国武器装备研制中过去对维修性重视不够,因此不少武器装备的维修性相对落后。表现在

- MTTR 时间长;
- 要求庞大的维修保障,由于标准化、互换性、通用性程度低,维修保障设备及备件品种数量太多,影响了部队的机动性。
- 对维修人员技能要求太高。

五、可用性

产品在任一随机时刻需要和开始执行任务时,处于可工作或可使用状态的程度叫产品的“可用性”(availability)A。其概率度量叫“可用度”。

可用性描述了在要求的外部资源得到保证的前提下,产品在规定的条件下及随机规定

的时刻处于可执行规定任务的能力。(这里的外部资源不包括维修资源。例如飞机要处于可起飞状态,则驾驶员、燃油、机场指挥等即外部资源。)

设产品在较长时间内,累计工作时间为 UT , 累计不能工作时间为 NT , 则总时间为 $UT + NT$, 其中能工作时间的比率即“使用可用性” A 。

$$A_o = UT / (UT + NT) \quad (1-1)$$

NT 包括累计直接维修时间 MT 和累计维修保障延误时间 LDT , 于是

$$A_o = UT / (UT + MT + LDT) \quad (1-2)$$

分子分母都除此段时间内的出故障及维修次数 N , 即得

$$A_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MLDT} \quad (1-3)$$

A_o 与管理水平、保障设计所决定的 $MLDT$ 有很大关系。在理想情况下, $MLDT = 0$, 此时,

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1-4)$$

A_i 叫做“固有可用性”(inherent availability)。

显然, 可用性取决于可靠性参数 $MTBF$, 维修性参数 $MTTR$ 及维修保障性参数 $MLDT$ 。

美军从越南战争以后, 系统地、全面地转变了质量观的指导思想, 使美军装备的可用性大为提高, 例如, 越南战争中, 美空军作战飞机平均每天每架出动 1 架次, 海湾战争中, 平均每天每架出动 3 架次, 多的一架 1 天出动 7~8 架次。

越南战争中, 美空军战斗机平均每天每架飞行 1.83 h; 而海湾战争中, 参战的 120 架 F-16C/D 平均每天每架飞行 4.2 h, 提高 2.3 倍。

可用性对民用产品亦有巨大意义, 例如, 某火电 600 MW 机组 1993 年的等效可用性只有 63%。如果能提高到较先进的 90%, 等于多建一个几百兆瓦的火电站, 经济效益是极为可观的。

六、保障性

系统设计特性和计划的保障资源能满足平时战备完好性及战时使用要求的能力叫“保障性”(supportability)。

“综合保障”(ILS, Integrated Logistic Support)是实施下列管理和技术活动所必需的一种工程方法。

在系统和设备设计中综合考虑保障问题; 制订与战备完好性目标、设计及相互间有最佳关系的保障要求; 获得系统和设备所需的保障; 在使用阶段, 以最低费用与人力提供所需的保障。

综合保障 ILS 的面很宽, 本资料着重维修有关的保障性。

维修机构在规定的条件下, 按照规定的维修方针提供维修产品所需资源的能力叫“维修保障性”(maintenance support performance)。

使用方对维修保障性的一种综合参数是产品的使用可用度 A_o 。

承制方对维修保障性的设计参数主要有:

(1) “维修性指数”(maintenance index) MI , 即产品每工作小时需要的平均维修工时, 亦

称“维修工时率”(maintenance ratio)

$$MI = MMH/OH \quad (1-5)$$

这里的 MMH 是产品在规定的使用期内的维修工时总数;OH 是产品在规定的使用期间内的工作小时数。

(2) “每次维修活动的平均维修工时”(maintenance man hours per maintenance action)即在规定的条件下及规定的时间内,产品的维修工时总数与该产品的预防性维修和修复性维修活动总数之比,记为 MMH/MA,这两者是与维修人力有关的维修保障参数。

“保障资源”(support resources)是为使系统满足战备完好性与持续作战能力的要求所需的全部物资与人员,它包括的内容很宽,其中与维修保障有关的保障资源参数主要有:

- 人员数量与技术等级(personal numbers and skill levels)。即平时和战时使用与保障系统和设备所需的人员数量及技术等级;
- 备件种类与数量;
- 维修保障设备等等。

美军在贯彻新质量观之后,装备的维修保障性有明显的提高。例如,

60 年代服役的 F-4E 战斗机,每飞行小时的维修工时为 33 h,即 $MI=33$,而 90 年代的 F-22 的 MI 只有 10 h 多一些。因此一个 F-4E 中队要 588 名维修人员,而一个 F-22 中队只要 277 名维修人员。

在这一方面,我们存在着巨大的差距。

七、寿命周期费用(LCC)

武器系统的“寿命周期费用”(LCC,Life Cycle Cost)是国家采办并在整个寿命周期内为拥有该武器系统的总费用。它包括论证、研制、试验与评定、生产、部署(列编)、使用与维修、保障以及退役处理的费用。

(1) 研制费。是从论证开始经过研制直到投产前所需费用。包括论证费、方案研究费、设计与试制费、试验与鉴定费、分摊的保障条件费及此阶段的管理费。

(2) 采购费。是将研制成果转化为可部署的武器系统或设备所需的费用。包括主要武器装备采购费、辅助装备采购费、安装费、初始人员培训费及初始部署保障费等。

(3) 使用与维修保障费。是在使用阶段与武器系统或设备的使用与保障有关的费用。包括使用费、维修费、保障费、技术改造费及其他有关费用。

(4) 退役处置费。

在武器装备的研制中,如果不充分考虑 RMS 因素,把 RMS 设计到产品中,则产品的使用与维修保障费用会很高,在全寿命周期费用中占很大的比重,使总的费效比降低。

如某种坦克使用 20 年的维修保障费用可购买 4.4 辆新坦克。

如果说过去有一个时期,军工产品的生产可以不计成本。则现在情况已大大变化了。

(1) 新武器的研制及采购费用迅速增长,见表 1-2。

表 1-2

时期	飞机型号	研制费	单机采购费
70 年代	F-15	20 多亿美元	3 000 万美元
90 年代	F-22	200 多亿美元	1 亿美元

(2) 在前苏联解体后,国际形势变化,普遍削减军费,例如美国 1990~1997 年的防务预算削减了 1/3,1985~1996 年的防务采购费用从 1 000 亿美元降到 430 亿美元,因此必须加强可靠性、维修性、保障性设计,降低 LCC,提高效费比。

[例 1-7]M-1 坦克在论证时就明确战备完好性和保障性目标,研制中,坦克研制与保障系统研制同时进行。部署时坦克及保障系统同时交付部队,在 2~3 年内就形成初始战斗力。

武器装备各阶段对全寿命周期费用的影响程度不同。在进入全面工程研制阶段时,在此之前的费用只占全寿命费用的 3%,但决定了武器装备全寿命费用的 85%,亦即在方案探索及项目定义及风险降低阶段,要抓并行工程,一开始就抓可靠性、维修性、保障性,使服役后的使用及维修保障费用大大减少。

[例 1-8]美军抓并行工程一开始就抓 RMS,使研制费用比率上升,使用维修保障费用下降,从而降低 LCC,提高效费比,保证了高科技武器装备的研制。

第二节 可信性工程及标准发展概述

可信性是一个集合名词,可信性工程也是一个集合名词,是可靠性工程、维修性工程、维修保障工程、测试性工程的总称。

一、发展简史

可靠性工程的发展同军事需要密切相关。

第一阶段:调查研究阶段(1943~1957)

二次大战中,由于高可靠电子管的需要,美国开展了高可靠电子管的研究,并逐步向材料等方面扩展。美军组织扶植了:

VTDC(Vacuum Tube Development Committee) 1943

PET(Panel on Electron Tube) 1946

ARINC(Aeronautical Radio Inc.) 1946

AMC(Air Material Command) 1947

ARD(Air Research and Development Command) 1950 等研究机构及组织。

在朝鲜战争时期,美军的军用设备可靠性问题极为严重,电子设备的 50%在贮存时就出了故障;轰炸机电子设备的平均寿命只有 20 h;雷达由于出故障维修的不能工作时间达总时间的 84%;潜艇的声纳则为 48%。美军从 1950 年起,由三军、参谋长联席会议、军需局、学会团体等选拔专家组成电子设备可靠性专门工作组(Ad Hoc Group),总结当前三军装备的可靠性问题及对可靠性规划的建议。1952 年,改组为国防部电子设备可靠性顾问团(AGREE, Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment),任务为制订从技术上和组织上能够提高电子设备和元件可靠性的方法和途径。1957 年 7 月,发表了 AGREE 报告,建议建立电子设备及元件的可靠性指标;提出了在研制及生产过程中对电子产品的可靠性指标进行试验、评定和鉴定的方法;提出了电子产品在生产、包装、贮存、运输等方面要注意的问题及要求等等。AGREE 报告是电子产品可靠性工程发展的里程碑。

在这一阶段中,主要是开展了以电子管为重点的电子元件现场数据收集与分析的可靠性研究;在可靠性分析与评定中,引入了概率统计方法;研究以振动、冲击为重点的环境试验

及寿命试验方法;成立了专门的可靠性组织。AGREE 报告是第一阶段的总结。

第二阶段,标准化及统计试验阶段(1957~1962)

为了贯彻 AGREE 报告,需要组织落实。军方建立了一套可靠性管理程序,以保证军用设备的可靠性。

电子元件的可靠性是电子设备可靠性的基础。1958 年 6 月美国成立了元件可靠性管理标准委员会(Ad Hoc Group on Electronic Parts Specification Management for Reliability),制定并公布了各种电子元件(以后又加上器件)的可靠性军用标准,严格控制生产过程的每一个关键环节,使得按军标生产的元(器)件可以保证达到一定的可靠性水平。

电子元件的实际失效率是电子设备可靠性设计的重要依据。单纯依靠对电子元件作可靠性测定试验得到的失效率还必须通过现场失效数据的分析来核对。美军规定三军的电子产品故障数据必须通过数据情报反馈网提供给数据中心。为此,建立了“失效数据中心”(FARADA)及三军数据交换网(IDER, Interagency Data Exchange Program)。后来 IDER 扩大为政府与工业界数据交换网(GIDEP, Government Industry Data Exchange Program),负责统计并公布电子元(器)件的现场失效率。我国于 1980 年 12 月 19 日成立了电子产品可靠性数据交换网。

围绕可靠性的学术活动亦积极开展。1954 年在纽约召开了第一届国际质量控制及可靠性学术年会。后来单独每年组织一次可靠性国际年会,轮流在美国东海岸进行。我国由于文化大革命的影响,比先进技术国家开展得晚一些,全国第一次可靠性学术会议是 1978 年在钱学森的指导下召开的。

这一阶段的主要工作是:制订了可靠性管理标准,特别是电子元件可靠性军标;研制环境与可靠性试验设备(例如 AGREE 试验箱等),研究了产品寿命的抽样试验方法,研究可靠性设计技术,建立了可靠性数据收集与交换网。

在这阶段末尾,可靠性研究已逐渐扩展到维修性领域,维修性工程已有从可靠性工程中分离出来的趋势。1962 年在美国召开了第一届国际可靠性及维修性学术会议。

第三阶段,全面质量及可靠性管理阶段(1961 年以后)

60 年代起,对产品的可靠性要求愈来愈高。如果让产品在现场使用中出现问题再来改进是往往来不及的。因此要求产品在设计一开始就要考虑产品的可靠性问题。

我国第一次可靠性学术会议总结出:“产品的可靠性是设计出来的。生产出来的。管理出来的。”

产品的可靠性是设计出来的,这就是说要把可靠性“设计到”(design-into)产品中去,要把产品可靠性作为产品的一项重要设计指标,分配给产品的各组成成分。根据所分配的可靠性指标进行分析、预计、设计、试验、评定和验证。

但单靠设计还不能保证产品的可靠性。1961 年,美国通用电气公司的 A. V. Feigenbaum 提出了“全面质量管理”(TQC, Total Quality Control)的概念。可靠性是质量的一个重要组成部分,要把 TQC 的思想贯穿到可靠性工程中去。生产部门为了要保证设计的可靠性指标得以实现,要在元器件、原材料、外购件、工艺、环境、人员培训、检验、生产质量控制等各个方面采用相应的可靠性措施加以保证。在产品投放市场后,还要有一整套的使用培训、维护、修理、备件供应等工作相配合,才能保证产品在使用中的可靠性。因此从产品的立项、开发、生产到使用服务的全过程各个阶段,都要贯彻以可靠性为中心的质量管理,这是第一

个“全面”。

由于现代武器装备的复杂性,任何一个部门的一项小环节都有可能导致重大的不可靠事故。例如美国航天飞机挑战者号由于后侧助推火箭密封圈的不可靠导致失事。因此产品的高质量、高可靠性要求企业的各部门、研究室、试验室、车间以至物资供应及后勤部门、政治部门及协作单位的共同努力做到,这是第二个“全面”。

只有从企业的最高领导到最基层的工作人员都真正认识到产品质量特别是产品可靠性的重要性,上下一心,才能真正有效地提高产品质量及可靠性,这是第三个“全面”。

科学技术的发展使得企业必须建立一个质量及可靠性管理体系,实施全面的质量及可靠性管理(TQRC, Total Quality and Reliability Control)。在国家及国际范围内成立了有关质量可靠性保证组织,1965年国际电工委员会(IEC, International Electromechanical Commission)成立了TC 56(可靠性委员会),制订了一系列国际标准。从70年代末起,电子部四所组织专家参照IEC可靠性标准制订国标,引入了先进电子产品的一系列可靠性标准,对促进我国可靠性工作起了积极作用。

1971年IEC建立了各国相互承认的电子元器件认证机构及制度。1982年起进行IEC电子元器件质量认证(IECQ),中国电子元器件质量认证委员会在IECQ中代表中国。

ISO(国际标准化组织)发布的一系列质量管理标准,ISO 9000系列,有一套认证制度。1993年发布的ISO 9000-4/IEC 300-1《质量管理和质量保证标准 第4部分 可信性大纲管理指南》,及ISO 9000-3《质量管理和质量保证标准 第3部分 ISO 9001在软件开发、供应和维护中的使用指南》,已经明确把可靠性及软件质量管理列为ISO 9000系列的不可分割的组成部分。从而ISO 9000的认证理所当然地应包括可靠性及软件质量管理。但我国的ISO 9000认证机构还跟不上这个形势,很多审核员还不懂可靠性及软件质量管理,因此认证审核中基本上不审核可靠性及软件质量管理工作,这是有待改进的。

这一阶段的可靠性工程在组织管理上取得了巨大的进步。另一方面,在技术上由于不能只依靠现场数据来分析或评比产品的高可靠性,因此需要探索元器件等的内在本质缺陷,研究故障产生的物理或化学机理及其规律。在某些情况下,需要深入到分子或原子的水平,在此基础上进行分析和改进,这就是“故障物理”或“可靠性物理学”。可靠性物理在这一阶段的发展(包括如表面分析仪、扫描电镜、核磁共振仪等的研制使用)为电子元器件从而为电子设备和系统的可靠性提高提供了有力的支持。

美军的可靠性标准体系到70年代后期已基本完整建立。我国可靠性国军标委员会从80年代中期起,将美国军标转化为国军标,并积极组织宣贯,对促进我军装备的可靠性提高起了积极作用。

二、从规范化管理到美军标改革

在美国国防部文件《从研制到生产的转移》的序言中,一开始就总结一条重要经验:规范化管理是美军武器装备取得迅速进展的重要原因。

美军及时总结先进的开发方法制定成美军标,让所有军工产品统一照此办理。怎样进行武器装备的开发、生产、使用、管理,有军标规定;怎样运用先进的设计技术进行军工产品的开发设计,有军标规定;怎样进行军工产品的高质量生产,正确的维修使用,有军标规定。军标又是根据技术发展及成功失败总结的经验教训,几年修订一次。因此军标反映了先进的管

理、设计、生产和使用的技术。任何一个单位依靠本身力量不可能总结得这么完整,何况一些单位领导还未体会其必要性,用“军标”规定非执行不可的办法,强迫军工产品开发生产使用按最先进的水平进行,使得军工产品开发水平普遍迅速提高。在冷战时期的军备竞赛中,军工技术走在前面,因此军标亦成为带动民品提高质量的法规。我国近十几年来正处于这个阶段。

美军标在近几十年代表着军品所要求的高质量产品的管理、设计、试验程序与方法。但近年来,由于激烈的民品市场竞争,使美国民品企业积极引入军品研制生产中对民品可借鉴的管理和设计试验技术,开发出高质量的民品,因此军品的很多管理、设计、试验规范已经成为民品规范的一部分,甚至民品规范比军品规范还有所发展。如:

(1) 美军标 MIL-STD-2164 中规定电子产品要进行环境应力筛选(ESS)(国军标相应的为 GJB 1032—1990)。而美国民用通信业巨头 AT&T, BELL 等已把 ESS 发展到 EST(环境应力试验)。

(2) 美国民用 IC 近几年普遍采用的“边界扫描测试”是有效保证 IC 可靠性的手段,在美军标中并未引入。

(3) IEC 近几年来发布了一系列电磁兼容测试考核标准 IEC6000-1-1~6000-1-12(还在继续发布)是民用品出口必须考核通过的规范,但在美军标中还未列入。

(4) 电路的最坏情况分析 & MONTE-CARLO 分析是容差分析中的两种基本分析方法。美国民品 EDA 设计软件 SPICE 中已列入,在输入电路后分析真可说是一举手之劳,但美军标还未列入。这类例子举不胜举。

因此,对美国当前情况来说,很多民品设计生产的水平已不低于军品,某些方面还发展得更快。标准如改为采用民用标准并不降低,但成本可以降低,周期可以缩短。另一方面,由于美军采办费用的下降(1985~1996 年采办费用从 1 000 亿美元降到 430 亿美元),需要各方面在保证质量条件下节约费用。为此,国防部长佩里于 1994 年 6 月 29 日的政策备忘录中提出“军用标准改革”要实现三个主要目标:节省经费;除去将最佳技术引入武器系统中的障碍;有些过去专门或主要生产军品的公司实现军民两用。

过去招标及合同中只引用军标有时是不适当的,有时将更先进的民用已成熟的技术拒之门外。因此要建立一个基于(广义)性能的招标过程,不再指定用什么军标来设计,允许承包商采用费效比最好的先进技术方案来满足(广义)性能规范,把管理与方法型军标改为指导性手册甚至取消。例如,

(1) C-17 运输机的质量大纲要求 MIL-Q-9858 已被国际标准 ISO 9000 代替。

(2) 维修性的 MIL-STD-470B、MIL-STD-471A 及 MIL-HDBK-472 就合并为 MIL-HDBK-470A(1997)。

(3) 1996 年的 470A 初稿中附录 C 的设计准则,多数是麦道公司的设计准则等等。

美军正在取消不必要的和过时的军标,采用(广义)性能标准,采用可保证质量的民用标准(非政府标准 NGS),减少纸面工作。对原多达几万项的美军标大大精减。保持以(广义)性能为基础的标准,保留接口标准,保留试验方法标准(验证性能是否符合要求),转变为手册,相当多不起作用的则撤消。美军这个改革之后的武器系统主要使用(广义)性能标准,以所要的结果来描述需求。性能标准不再要求用什么方法来得到结果。手册将是指导性的,不作为合同要求。