

# 可靠性基础知识讲座

## 第一讲 可靠性基本概念

邵 德 生

在第二次世界大战中提出了可靠性问题,在五十年代奠定了可靠性工程学基础。特别是1957年美国AGREE报告,给可靠性下了定义,并确定了可靠性工程研究的方向。

六十年代,可靠性飞跃发展。美国在六十年代颁发了一系列可靠性军用标准,保证了美国阿波罗登月计划的实现。

七十年代,发展了可靠性技术。如FMEA、FTA等新技术,另一方面可靠性管理在各个领域也得到普遍的引用。

从七十年代到目前,可靠性已发展为重视成本费用与维修技术相结合,以求最佳的费用效益。美军标MIL-STD-785B(1980年)是当前可靠性发展的结晶。

### 一、研究可靠性的重要性

1. 产品越来越复杂化,导致不可靠因素增加。

研制产品目的是为了使用,产品的复杂化导致故障机会增加。对于武器装备,故障的产品能贻误战机。对于民用产品,故障能造成机毁人亡。因此提高产品可靠性是头等重要事。

2. 减少寿命周期费用。

可靠性直接影响到寿命周期费用,特别是使用产品的维修、保障费用。而且矛盾随产品的复杂越来越尖锐。出路是提高可靠性和维修性或可用性。

3. 受时间和费用的约束,要求低风险高技术研制产品。

当前的世界,要求以最低的成本,最短的时间研制功能好、可靠性高的产品。为此必须采用新技术,以战胜竞争对手,否则难以生存。然而在时间、费用受约束条件下,采用新技术必然有大的风险。在这种条件下,如何在短时预测、评价风险,是赋予可靠性、维修性技术重大的使命和课题。

4. 产品没有可靠性,就没有信誉。

5. 可靠性在国际竞争中是取胜的条件。

只有具有更高的可靠性、维修和价格特性也高的产品,才能在国际市场中取胜。

### 二、什么是可靠性

假如有一辆汽车,当说它不可靠时,究竟是什么意思?是汽车在车库里启动不了?是汽车在行驶时抛锚了?是为保持一辆好车要经常修理?还是这辆车随时要进修理厂呢?汽车不可靠说明汽车有毛病或发生故障,处于不正常状态。因此要修理,可能还要更换零部件,使汽车恢复到正常工作状态。要修理,就要费用。

所以讲汽车的可靠性有两个意思,

1. 在使用汽车时,汽车能按预定的要求正常地到达目的地。

2. 反映汽车日常维修工作多少,因而反映日常维修、保养费用的多少。

为适应上述情况,在可靠性技术术语方面,相应出现两个概念:一表示完成任务能力或成功概率的可靠性,称为任务可靠性;

二表示与维修有关的可靠性,称为基本可靠性。

任务可靠性定义为,产品按规定的任务剖面完成规定功能的能力。传统的可靠性定义为:产品在规定的条件和规定的时间内完成规定功能的能力或概率,它相当于任务可靠性的定义。用“任务剖面”代替“规定的条件和规定的时间”,便于工程上使用。任务剖面是对产品在完成某特定任务这段时间内所经历的事件和环境的描述,其中包括任务成功或致命故障的判断准则。

基本可靠性定义为:在规定条件下,无故障持续时间或概率。它反映产品对维修的要求。度量基本可靠性应考虑其寿命期内的所有故障,不仅仅限于执行任务期间和危及任务成功的故障。

基本可靠性概念首次出现在MIL-STD-785B(1980年)《系统、设备研制和可靠性大纲》的术语中。由于产品,特别是武器系统日益复杂,要求的提高,因此它的维修保障费用占整个武器寿命周期费用主要部份,如达到60%(图1)。因此可靠性工作

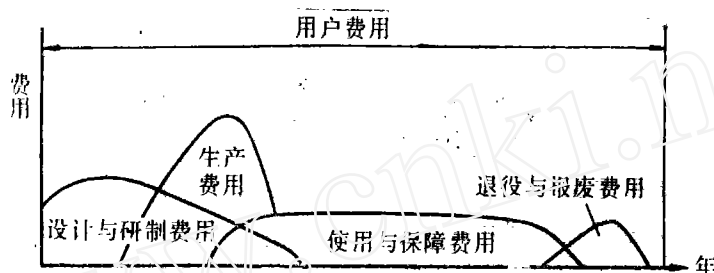


图1 寿命周期费用

目标一方面是提高武器系统的使用寿命,保证武器系统作战效能,另一方面是降低维修、后勤保障要求及费用。为适应这种需要,在传统的可靠性概念基础上,把可靠性区分为基本可靠性、任务可靠性,作为武器装备的可靠性技术术语。

### 三、故障

产品可靠性,就是使其不发生故障。因此研究可靠性本质是研究产品的故障。

例如汽车发生了故障,可能有几种情况:

汽车在行驶过程中发现其油管接头漏油,漏油一般不影响汽车继续行驶,达到目的地。不过要修理一下,如用扳手拧紧接头。漏油故障引起了一次维修工作。因此用是否要维修作为这类故障的判别准则。

在修理过程中,也有可能发现是油管接头的密封垫坏了,因此需要更换密封垫。这时的漏油故障,不仅要引起一次维修工作,

而且要更换零部件。因此用是否要更换零部件作为这类故障的判别准则。

如果驾驶员发现油管漏油并不马上修理,而是继续开车。则故障可能扩大,漏油越来越大,最后汽车抛锚,不能按时到达目的地。修理时发现例如油管接头断裂,需去修理厂修理。那么这时的漏油故障,不仅要修理,也有可能要换一个备件,更重要的是汽车不能完成预期任务,是一种致命故障。因此用能否完成任务作为这类故障的判别准则。

致命故障也可能在汽车启动之前就已发生(可能是上一次汽车行驶后移留下来,也可能是汽车长期存放产生的),因此启动不了。不管如何,这样的故障最后反映在汽车不能按期完成任务。

汽车长期不用,存放在车库里,同样可以发生类似的故障。为了能保持汽车随时启动、工作,应对汽车进行经常性的检查维护、换件。

由此,有四类不同后果的故障。图2表示了上述四类故障之间关系。汽车只要发生故障,不管哪类,首先要维修。其余各类故障,仅占一部份。而致命故障必须是发生在一定时间内的影响完成任务的故障。

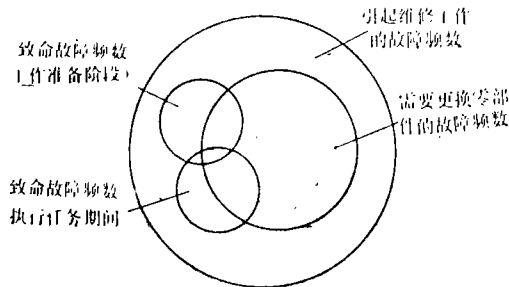


图2 四类故障的相互关系

#### 四、基本可靠性与任务可靠性

##### 1. 基本可靠性。

按基本可靠性定义,它要反映产品对维修的需要。因此,基本可靠性考虑的是产品寿命期内所有引起维修工作的故障。这些故障未必都能影响产品完成任务,而是其中一部份故障可能要引起更换零、部件,有一部份才构成致命故障,影响产品在任务期间完成任务。

维修、更换零部件需要费用。因此,用户除去购置产品的费用外,还要一部份用于维修、买备件的费用。这一部分费用就是使用、保障费用。可靠性低劣产品,由于它经常出故障,使用、保障费用增加。

因此,基本可靠性是用户使用产品费用的度量。

##### 2. 任务可靠性。

按任务可靠性定义,任务可靠性是产品在任务剖面所说明的条件和时间范围内产品完成任务功能的能力或概率。因此任务可靠性考虑的是产品在其执行任务期间能影响完成任务的那些故障,即致命故障。

在进行任务可靠性分析时,首先要明确什么是任务的基本功能,什么是危及任务的致命故障,而且它一定是发生在任务期间。

例如,汽车任务的基本功能应是按规定的要求,安全地行驶到目的地。如果汽车在执行任务期间,发生油管漏油故障,汽车不能再行驶,只能停在路上。此漏油故障是致命故障。

又如,汽车车前照明灯发生故障,如果汽车在白天行驶,不需要车灯。因此,即使车灯发生损坏,不能算作致命故障,但需要修理,即属基本可靠性范围内。但是在晚上,车灯的损坏,不仅是一个修理问题,而且是一个汽车能否继续行驶执行任务的问题。此时,车灯故障是致命故障,是属任务可靠性考虑的范围。

任务可靠性反映产品能完成预定任务的程度或反映产品的效能。另一方面,任务可靠性仅考虑产品在执行任务期间的致命故障,如图2所示,它仅占有所有故障的一小部份。因此不能用任务可靠性来计划产品的维修要求和分析产品的寿命周期费用。

#### 五、可靠性函数及度量

可靠性是概率,而且是随时间而变化(图3),概率是变化于0和1之间的无量纲的数量。由图3可知,可靠性 $R(t)$ 是随无故障时间 $t$ 的变化由1向0减少。另一方面不可靠性或故障概率 $F(t)$ 由0向1增加(图3的虚线)。

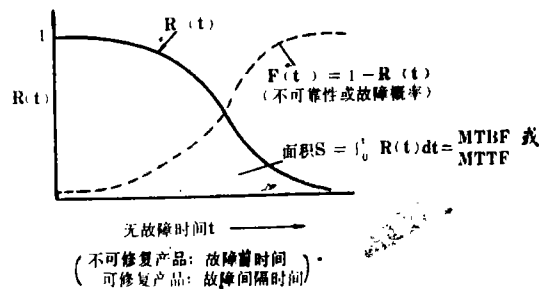


图3 可靠性曲线

$R(t)$ 与 $F(t)$ 的关系式如下:

$$R(t) + F(t) = 1$$

$$R(t) = 1 - F(t)$$

假如产品在 $t$ 时发生故障,对于不可修复的产品,它就不能再使用了,则其无故障时间 $t$ 也就意味着该产品的“寿命”。对于可修复产品,经过无故障时间 $t$ 后发生故障,意味着该产品要经过修复后才能再使用。

假如产品故障密度函数为指数分布,则一批产品的算术平均寿命 $\theta$ 等于该产品的平均故障间隔时间 MTBF 或故障前平均时间 MTTF,即

$$\theta = \text{MTBF 或 MTTF} \\ \text{MTBF 或 MTTF (估计值)}$$

$$= \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n}$$

式中 $t_1$ 为无故障时间。当产品的故障率是常数,则产品在其平均寿命时刻的可靠性为0.37。或故障概率是0.63。这里需要注意到:

1. 基本可靠性与任务可靠性的判别故障准则不一样,因此“寿命”准则不一样,MTBF 不一样。在数值上,基本可靠性的MTBF小于任务可靠性的MTBF。

2. 对于任务可靠性,是在规定时间内的成功概率,对于指数分布,

$$R = e^{-\frac{t_0}{\text{MTBF}}}$$

式中 $t_0$ 是规定的时间,MTBF 是根据致命故障来确定的。

基本可靠性感兴趣的是什么时候要维修。基本可靠性的MTBF表示产品在这一值范围内发生故障,需要维修。MTBF是根据基本可靠性的故障判别准则来确定。

(待 续)



## 辛勤耕耘结硕果

四院7414厂广泛开展群众性的质量管理活动,取得了可喜成绩。去年12月18日该厂举行了首届QC小组成果发表会,15个质量管理小组的15项成果,分别获得一、二、三等奖。这些成果都有很大的实用性,解决了关键问题,创造经济效益30多万元。

87年该厂的型号产品多,民品任务重,新品种、新项目比86年有较大增加,这样就给质量管理提出了许多新的课题。为此该厂发动群众,广泛建立QC小组。QC小组由85年的1个增至87年的20个,初步形成了群众性的质量管理网络。

该厂把增强职工质量意识,提高QC小组人员素质作为“第一道工序”来抓,制定了全面质量管理知识培训计划,进行全员培训。去年,该厂举办全面质量管理知识培训班4期,普及面,干部达到95%,工人达到90%,为QC小组的迅速成长创造了条件。

该厂组织QC小组围绕工厂的方针目标和生产过程中存在的问题经常开展活动,由厂全质办制定小组活动计划,有针对性地选择活动课题,并及时给予指导和帮助。全年解决技术关键项目8个,节约能源项目2个,节约原材料项目1个,加强党组织建设项目1个,重大技术改型项目1个,现场质量控制项目2个。这些成果为工厂提高产品质量,增加经济效益做出了贡献。如:某发动机壳体,前6台台,台超差。该厂二车间以工人为主体的QC小组以此为课题,解决了这个问题,后6台,台台优良品。

上述QC小组成果,大大激发了该厂群众性质量管理活动。为此,该厂领导对QC小组活动更加支持,决定在今后的科研生产中,进一步对其深化,为提高产品质量作出更大贡献。

(刘继全 魏正学)