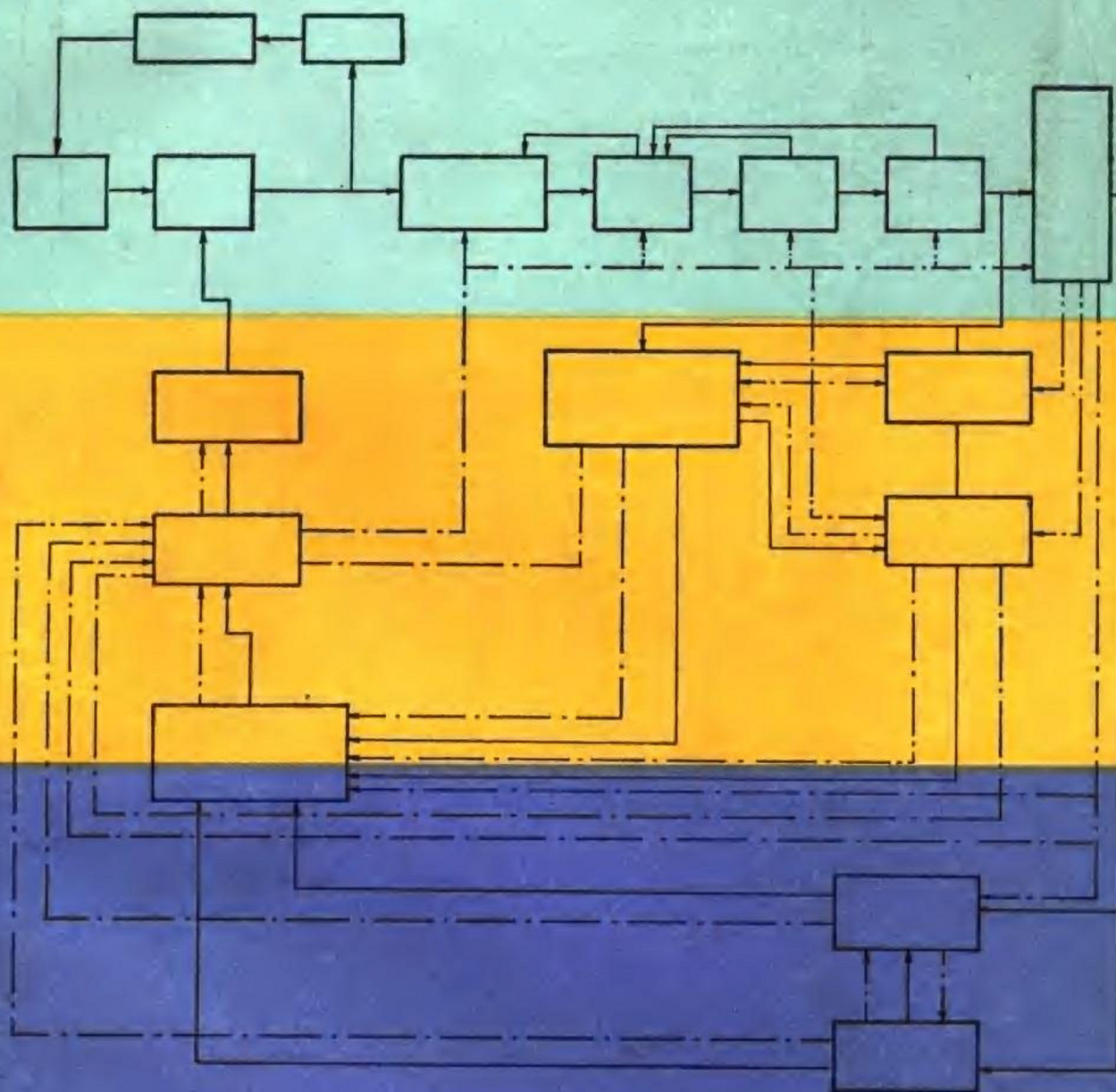




# 系统质量与可靠性工程

● 吕顺祥

● 解放军出版社

## 内 容 简 介

本书从系统工程角度出发,介绍了系统可靠性工程的理论(可靠性数学基础),系统(设备)可靠性的设计、预测、分配、检验方案、试验方法和结果评定、质量控制的理论和方法。除了对理论、方法进行必要的严格推导外,还举了大量工程应用的例子。

本书可供研究、设计、生产、试验、使用单位的工程技术人员,管理人员,专职质量、可靠性工作人员,以及理工院校师生参考。

## 系统质量与可靠性工程

吕 顺 祥

---

解放军出版社出版

(北京平安里三号)

新华书店北京发行所发行

一二〇一工厂印刷

---

787×1092毫米 16开本 23.5印张 587千字

1988年5月第1版 1988年5月(北京)第1次印刷

印数1—9,000

ISBN 7-5065-0065-5/O·1

统一书号: 13185·3 定价: 5.50元

# 前 言

随着现代科学技术的飞跃发展,作为系统工程重要分支的可靠性工程已发展成为一门独立学科。对于航空、航天、电子、核能、化学、机电、家电等系统,尤其是武器系统,系统可靠性已处于十分突出的重要地位。系统日益复杂,可靠性指标要求越来越高,而且不断提出新的要求。例如:价值昂贵的系统,着重要求试验子样小;系统不同研制阶段异母体的变动统计学,要求试验数量少,时间短的可靠性试验法等。

在系统预先研究、设计、生产、试验、使用过程中,从理论到工程实施活动,应该采取怎样行之有效的方法,才能确保系统的高可靠性呢?这就是可靠性工程要探讨的任务。本书简要地叙述了可靠性数学基本理论,介绍了在系统研制的主要环节中,系统可靠性指标分配、预测和设计,生产质量控制和检验方案,可靠性试验法和评定,维修系统的维修性和有效性,系统可靠性综合理论和工程方法。本书侧重介绍小子样方法,异母体变动统计学方法,系统综合理论及其应用,也介绍了部分国际标准。

目前,航空、电子、航天、机电、家电等系统的研制、生产、试验、使用部门,都在为提高系统可靠性而努力,希望了解可靠性工程的知识,掌握和推广科学方法,以提高系统可靠性,进而研制出价值低廉,可靠性高的系统。武器系统的研制、试验、使用、教学单位,对可靠性工程更为需要。本书就是为适应上述需要而编写的。

本书虽然侧重于系统可靠性工程的论述,但对设备、元件的可靠性也作了介绍。由于设备、元件也可以作为“系统”处理,因此系统方法就具有了一定的通用性。为了使用方便,避免工程使用中查寻有关表格的困难和表格不统一引起的混乱和错误,书后还附有常用的可靠性用表和有关工程用图。

由于作者水平有限,对系统可靠性工程这一门新学科的研究,还很不够,书中难免有不妥,错误之处,希望读者指正。

# 目 录

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 绪 论                      | 1   |
| 一、系统工程与可靠性工程             | 2   |
| 二、可靠性的组织与主要标准            | 4   |
| 三、产品质量的定义                | 5   |
| 四、系统质量和可靠性的研究方法          | 6   |
| 五、关于质量管理和可靠性工作           | 7   |
| 第一章 质量管理和可靠性工程的发展历史      | 8   |
| 一、质量检验阶段                 | 8   |
| 二、统计质量管理阶段               | 8   |
| 三、全面质量管理阶段               | 9   |
| 第二章 可靠性定义, 可靠性工程的内容      | 11  |
| 一、可靠性定义                  | 11  |
| 二、系统可靠性工程的内容             | 11  |
| 三、目标管理                   | 14  |
| 四、质量管理诊断                 | 16  |
| 五、质量成本                   | 18  |
| 第三章 可靠性数学基础知识            | 21  |
| 一、随机事件和直方图               | 21  |
| 二、概率的定义, 事件的基本运算         | 24  |
| 三、随机变量                   | 34  |
| 第四章 质量和可靠性参数估计           | 72  |
| 一、概 述                    | 72  |
| 二、参数点估计方法                | 73  |
| 三、参数置信区间估计方法             | 109 |
| 第五章 统计质量管理——抽样检验方案和质量管理图 | 135 |
| 一、试验数据处理和直方图的制作          | 135 |
| 二、主次图、因果图和失效树方法简介        | 141 |
| 三、抽样检验方案                 | 146 |
| 四、质量管理图                  | 200 |
| 五、相关性检验                  | 206 |
| 第六章 质量和可靠性统计假设检验         | 209 |
| 一、产品不合格率 $P$ 的显著性检验      | 209 |
| 二、双母体不合格品率 $P$ 的检验       | 210 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 三、双正态母体均值的显著性检验·····          | 212        |
| 四、双正态母体方差的显著性检验·····          | 215        |
| 五、随机变量分布的检验·····              | 217        |
| <b>第七章 系统可靠性、维修性和有效性·····</b> | <b>227</b> |
| 一、可靠性模型·····                  | 227        |
| 二、可靠性系统的结构·····               | 234        |
| 三、系统维修性、有效性、可靠性·····          | 239        |
| <b>第八章 设备可靠性的试验评定·····</b>    | <b>249</b> |
| 一、MTBF 的简单估算方法·····           | 249        |
| 二、设备寿命的评定方法·····              | 250        |
| 三、电子元器件寿命的评定方法·····           | 252        |
| 四、电子设备可靠性验证试验方法·····          | 259        |
| <b>第九章 系统可靠性设计·····</b>       | <b>270</b> |
| 一、系统可靠性指标的确定·····             | 270        |
| 二、系统可靠性指标的分配·····             | 278        |
| 三、环境因子·····                   | 291        |
| 四、系统可靠性预计·····                | 293        |
| 五、最大限度提高系统固有可靠性的设计技术·····     | 300        |
| 六、减少生产和使用过程中可靠性退化的设计·····     | 317        |
| 七、设计评审·····                   | 324        |
| <b>第十章 系统可靠性评定方法·····</b>     | <b>327</b> |
| 一、成败型系统可靠性评定方法·····           | 327        |
| 二、正态型系统可靠性评定方法·····           | 329        |
| 三、贝叶斯 (Bayes) 方法·····         | 331        |
| <b>附录 系统可靠性工程用表·····</b>      | <b>342</b> |

# 绪 论

数量和质量是产品的两大指标。一个国家的工业技术力量是否强大,经济基础是否牢固,不仅要看产量,而且更要看质量。产品的质量是衡量一个国家工业技术水平的主要标志。例如,衡量一个国家钢铁工业水平的高低不仅要看产量的多少,更重要的是看特种钢,优质钢和钢材的质量、品种和规格等的多少。低质量的产品是很难产生经济效益的,只有确保了产品的质量,才能获得经济效益。在我国四个现代化迅速发展的形势下,生产的持续发展,产品市场的开拓(尤其是国际市场的开拓),首先靠产品质量。质量低劣的产品,是难以占领市场,服务于社会的。所以,必须坚持“质量第一”的方针。

民用工业或基础工业的产品,其质量和可靠性直接关系到国家计划和整个社会的效益。例如,作为国家基础工业产品的机械和机电产品的质量,直接影响到国民经济各部门的发展。若它们的可靠性能提高10%,则每台设备工作效率就可提高10%以上,而维修时间和费用就可大幅度下降。因而,其经济效益将是十分惊人的。

再如,家用电器产品电冰箱、电视机、洗衣机等,给人民的生活带来很大的方便。随着家用电器工业的发展,也带来了市场的竞争,而产品的质量与可靠性是赢得市场、获得声誉的关键因素。这类高档产品质量不好,对用户造成的损失和对生产厂造成的经济与声誉损失都是极大的。

以电视机为例,如果某电视机  $MTBF^{①}=2000$  小时,以每天收看3小时计算,年产10万台,则一年后的返修量达5万台。若产品维修性不好,又缺乏良好的售后服务网,用户的维修就成为严重的矛盾。这样可靠性与维修性的产品,生产三年,年返修量就大于生产量,不仅使工厂的生产难以维持,维修也成为难以解决的问题,用户十分不满,后果难以设想。若该电视机 $MTBF$ 提高到5000小时,一年后的返修量为2万;若 $MTBF=10000$ 小时,则一年后的返修量为1万台,矛盾将会大大缓和。维修性设计是提高产品维修性的关键,它与良好的售后服务相结合,才能确保产品的维修性。

民用产品,尤其是家用电器的环境设计常常是很容易被人们忽视的问题。家用电器的运输环境,如振动、冲击等,也是应该考虑的问题。如某电冰箱,用集装箱公路运输近2000公里后,出厂检验合格的产品,商店开箱合格率仅达80%。

家用电器的市场竞争能促进产品质量的提高。要全面、稳定地提高产品质量就必须建立完整的质量保证体系。

对于国防工业产品,即武器系统的生产,坚持“军工产品,质量第一”的方针,就更有其特殊意义。武器系统质量的中心是可靠性。质量差,可靠性低的武器不仅造成人员和经济上的重大损失,而更会影响到战斗效果,甚至能起到敌人所起不到的破坏作用。例如,第二次世界大战末期,美国空军运到远东的电子系统有60%发生故障,海军舰艇的电子设备有70%处于故障状态。1959年,美国国防武器开支的1/4用于维修性支出,有的电子设备的维修费甚

①  $MTBF$ 为平均无故障时间。

至高达设备原价的5倍。美军武器，一般装备使用-维修费用为成本的3~20倍。由于可靠性差，飞机机毁人亡，导弹飞行试验失败的例子屡见不鲜。美国大力神I型洲际导弹，经过61次飞行试验才定型。美国核潜艇发射的潜-地导弹“海神”，原计划1976年前装备31艘核潜艇，但截至1973年，“海神”导弹共计飞行试验52次，失败19次，只好停止试验，撤回已装备的导弹。后来用了三年的时间排除故障，才提高了可靠性(原可靠性指标80%)，因而推迟了“海神”导弹的装备计划。

在新产品(包括新型武器系统)研制中，可靠性居于突出地位。可靠性差的产品，必然导致：失败多，研制周期长；耗费研制费高，致使产品成本高，减少了产品的竞争能力。由于研制周期长，设计时产品性能的优越性，也相对失色。

现以导弹武器系统公式为例：

$$P = P_C \cdot P_R \cdot P_A \cdot P_B,$$

式中  $P$  ——导弹摧毁目标概率；

$P_C$  ——导弹制导命中目标概率；

$P_B$  ——导弹战斗部杀伤目标概率；

$P_R$  ——导弹可靠性(或飞行可靠性)；

$P_A$  ——在敌方反击条件下，导弹突防、生存的概率。

从公式中可见，导弹的飞行可靠性是导弹性能的重要组成部分。可靠性低，就意味着导弹飞行失败率高，直接影响武装部队的作战能力。国外60~70年代战术导弹平均研制期为7.3年左右，而美国海军反舰“捕鲸叉”导弹，从设计、管理、试验到生产各个环节可靠性保障工作做得较好，导弹可靠性大于90%，致使这种性能先进、多用途(舰-舰，空-舰，潜-舰)的导弹只用5~6年的时间就装备了部队，提高了舰队反舰能力。

显而易见，产品、系统(尤其是武器系统)的可靠性已成为评价系统最基本的指标之一。它已不是一个单纯的质量指标，而是一个与系统的性能、成本、研制时间、使用时间等主要指标有着紧密联系的因素。对武器系统，其可靠性已成为武器系统有无实用价值的前提条件。

## 一、系统工程与可靠性工程

可靠性工程是系统工程的分支，系统工程的思想和方法也就是可靠性工程的基本思想和方法。

### (一) 系统的定义

系统是由工作设备、辅助设备、人员、工具器材和软件构成的。它是作为整体使用的、能够完成“作战和支援任务”(或规定任务)的、具有任何一级复杂程度的综合体。

系统主要包括：完成任务的装备；操纵和维修设备；试验鉴定设备和数据处理；人员训练；使用软件。

### (二) 系统工程和可靠性工程的定义

特定目的之各项工作的总体称为工程。如果工程的特定目的是系统的组织建立或经营管理，则这个工程即称为系统工程。系统工程广义的定义是：应用科学和工程知识，解决人-机

系统和系统各组成部分的计划、设计、评定及建造工作的总体。

可靠性工程，是为保证产品成功地完成规定任务所做的各项工作的总体。

系统工程的基本工作程序及其框图(以武器系统为例)如下：

1. 根据军事威胁预测报告，军方的作战要求，通过定义、分析、综合，从系统工程观点提出对武器系统的要求，并进而变成系统功能的要求。它是系统的基本功能及其相对次序和相互关系的框图。

2. 通过分析、综合、设计、生产、试验和鉴定这个反复过程，把系统要求、基本功能变成系统性能参数和系统构型。在系统功能分析的基础上，把诸技术参数组合成一个整体，将综合平衡可靠性、维修性、安全性(包括电子对抗与硬杀伤反击)、人的因素等组成总的系统工程模型，实现系统最优化。

3. 通过综合平衡，把系统要求变成设计要求和维护使用要求。经过设计、生产、试验、评定变成合同产品，产品技术规程和使用、训练方法。

4. 为了实现性能、可靠性、成本和研制时间之间的综合平衡，要在系统研制、设计、试验评定和管理中大量使用现代科学工具(如控制论，概率论与数理统计、博弈论，排队论等)。

系统工程的基本工作程序可用图1来表示：

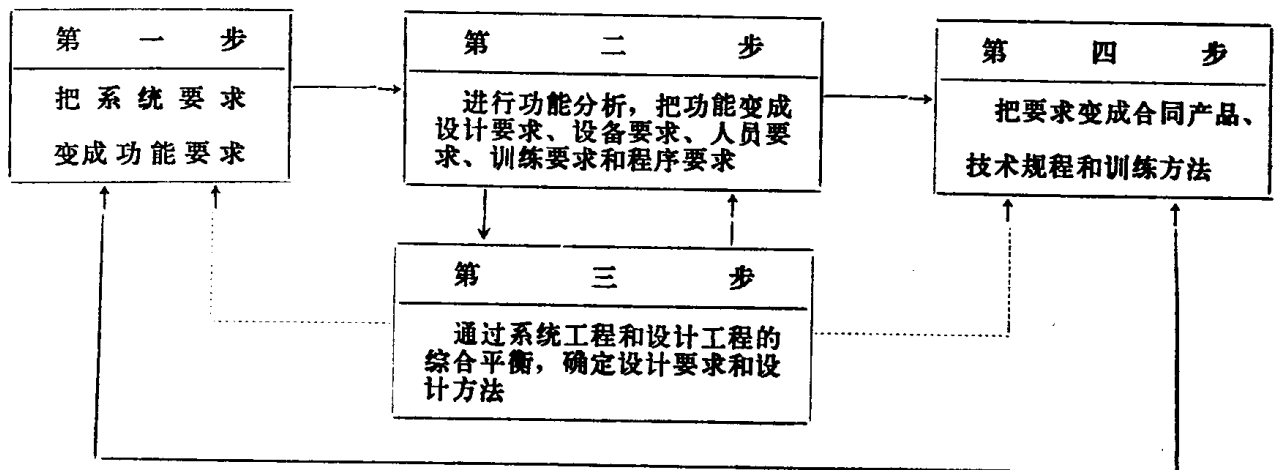


图1 系统工程的基本工作程序框图

### (三) 系统效能函数与最优系统

系统效能函数(简称系统效能)是描述复杂系统的指标。其定义如下：

系统效能，这是预期产品能满足一组特定任务要求的程度量度，而这个量度能表示为有效性、可信性和性能的函数。按美国标准MIL-STD-721给出了有效性、可信性和性能的定义。

有效性是一个产品不论在何时，处在能完成任务的状态中的程度量度。

若已知一个产品开始工作时的状态。可信性是指它在工作过程的一点或数点上的工作状态的量度(包括可靠性、维修性和使用性)。这个量度可以表示为：一个产品在特定工作中按照要求的任何一种工作方式开始工作或继续工作的概率，或者，一个产品以要求的各种工作方式完成规定任务的概率。

性能是在已知工作条件下，产品达到任务规定目标能力的量度。

可靠性的广义范畴包括对维修性和有效性的研究。

所谓系统最优化就是指在成本、研制时间和系统效能(性能,可靠性)之间进行综合平衡。综合平衡所获得的系统最优化为下列两种形式:

1. 以最少的费用达到或超过规定效能指标。
2. 以确定的费用得到系统的最大效能。

系统最优化综合平衡是确定系统可靠性指标的基本思想。可靠性指标的确定是涉及人力、物力、财力安排的工程问题。

武器系统可靠性(包括有效性和维修性)的基本目标是保证武器装备符合下述要求:

1. 作好随时使用的准备。
2. 能够成功地完成规定任务。
3. 在整个使用过程中能达到全部要求的维修目标。

## 二、可靠性的组织与主要标准

可靠性的评定采用统计方法,这就要求获得尽可能多的产品信息(元件—分机—整机—系统的工作和失效数据资料)。失效数据的收集是可靠性工程的基础。

### (一) 可靠性组织

美国海军首先建立了“海军失效数据资料中心”(FARADA)。1959年美国陆军、海军和空军的弹道导弹局建立了“军种间失效数据资料交换中心”(IDEP)。后来将FARADA并入IDEP。不久,又扩大为“政府—工业界失效数据资料交换中心”(GIDEP),其目的是在国防部各承包单位与政府、军队各部门间传阅、交换有关试验资料,以避免零部件的重复试验。1966年美国国家航空和航天局、加拿大的军事电子设备标准局(CAMESA),也参加了这个资料交换中心。它负责交换可靠性资料。在组织上交换中心的活动归海军部领导。它强制性地规定:军队、承包单位必须参加该组织。参加者不用交任何费用和税金,可免费从中心得到所需的资料。各单位仅备一台胶卷阅读复印机即可。承包单位参加该中心被认为是正常的可靠性计划和质量保障计划的一个组成部分。交换中心设有下列四个独立的数据库:

工程数据库:存有各研究所和工厂关于零件、部件和材料的数据。

故障经验数据库:存有故障统计资料,来自野外使用单位,研究所和生产部门的失效分析报告等。还有发现、排除或控制有毛病的零部件。对新设计的产品中有疑问的零部件,按照要求把它们替换下来,以便提高在研究和使用系统中的可靠性。

故障率数据库:存有关于零部件野外使用的性能和失效资料,用以预测可靠性,研究备件供应和后勤保障等。也有比较实验室和野外使用条件试验的经验、折算关系。

计量数据库:贮备有各种设备的试验设备校准程序和一般设备资料。

有关可靠性的国际性组织是“国际可靠性资料交换中心”,它的总部设在瑞典。此交换中心的任务是交换可靠性试验资料,GIDEP也向它提供技术报告。

### (二) 可靠性标准

可靠性标准(规范)是一项基本建设,它使研制各个阶段,各项工作有据可依,有标准可查。它是提高产品质量和可靠性的关键一环。

1956年美国海军首先制定了“可靠性通用规范”。1957年美国国防部电子设备可靠性委员会(顾问团)在它的AGREE报告书中,制定了大量的可靠性标准和规范。

60年代是大力开展系统研究的时代,美国各兵种制定了多种电子元件、设备和系统的可靠性规范。最初,它们各自制定,缺乏总体协调一致。随后经过统一、修改,于1971年完成了美军可靠性规范(参见下列各表)。

#### 1. 电子元器件可靠性规范

|   |   |              |
|---|---|--------------|
| 试 | 验 | MIL-STD-690B |
| 保 | 证 | MIL-STD-790A |
| 选 | 择 | MIL-STD-839  |

#### 2. 一般规范

|           | 可<br>靠<br>性                   | 维<br>修<br>性  | 安<br>全<br>性 |
|-----------|-------------------------------|--------------|-------------|
| 术 语 和 定 义 | MIL-STD-721B                  |              |             |
| 计 划       | MIL-STD-785A                  | MIL-STD-470  | MIL-STD-882 |
| 预 测       | MIL-STD-756A<br>MIL-HDBK-217A | MIL-HDBK-472 |             |
| 试 验       | MIL-STD-781B                  |              |             |
| 验 证       | MIL-STD-757                   | MIL-STD-471  |             |
| 报 告       | MIL-STD-839                   |              |             |

#### 3. 机械系统可靠性规范

|                 |               |
|-----------------|---------------|
| 航 空 机 械         | MIL-A-8866    |
| 结 构 材 料         | MIL-HDBK-5A   |
| 航 空 机 械 操 纵 装 置 | MIL-F-9490L   |
| 统 计 寿 命         | T.O-00-25-217 |

### 三、产品质量的定义

质量指的是适用性。

产品质量是指产品能满足使用要求所具备的属性。产品质量包括:产品性能、产品可靠性、产品经济性和产品外观质量。

产品性能(或功能),指产品所具有的技术指标,如功能指标、精度指标、使用环境指标等。

产品可靠性是指产品在规定的时间内、规定的条件下,完成规定功能的概率,有时又称为可靠度。

产品经济性是产品在确定性能和可靠性下的价值(成本)。成本包括购买成本与使用成本。

通常产品使用性能,即有效性与使用成本(或维修费用),也包括在经济性范围之内。

产品外观质量是指产品在外形和表面质量方面的质量要求。日用生活产品的包装质量也属于外观质量范围。

不同产品对质量四个指标的要求也不同。如导弹、飞机等系统强调可靠性,而电子通讯系统则侧重于可靠性和有效性。

产品的质量特性,有的是可以直接测量或衡量的,有的则不能或不便于直接测量。如发动机推力,可以通过试车测出,自动驾驶仪的导航精度可以通过飞行试验测出。有时如果不便于直接测量时,则可用一组间接的技术参数来表示产品的质量特性,即质量标准(或称“代用质量”),如发动机的流量、燃烧室温度等,自动驾驶仪的陀螺漂移速度、传动比及其公差带、线性区和死区、饱和区等。

在产品生产过程中,对产品质量起作用的因素很多,其中的主要因素是:人(Man),材料(Material),设备(Machine),方法(Method),称为质量四要素。由于这四个词的英文字头都是M,故又称为“四M”要素。提高产品质量,首先是人,因为产品的设计、生产、管理、器件供应等,都离不开人。其次才是其他因素。

## 四、系统质量和可靠性的研究方法

产品的质量和可靠性是由“4 M”要素来确定的。各个要素在生产过程中是随机变化的,产品质量和可靠性应作为随机变量处理,其理论基础是“概率论与数理统计”。“可靠性数学”是“概率论与数理统计”的一个分支。它是由依波斯頓(Epston)首先提出的。系统质量和可靠性是一门应用科学。理论上用概率论理论,对作为随机变量的产品质量和可靠性参数,确定其分布特性和分布参数(如各阶矩),为从理论上准确地确定质量和可靠性参数奠定基础。在工程实用中(如可靠性分配、估计、评定等),用数理统计方法,提供实用的近似解(方法)。数理统计方法主要讨论两类问题:参数估计和假设检验。我们把质量和可靠性指标作为若干个参数来“估计”或作为“假设”来检验。故讨论的方法对其它随机变量如精度、误差、振动特性等,也有一定参考价值。为此,本书先用一定篇幅,从质量和可靠性工程应用角度简要地介绍可靠性数学的有关内容。

与概率论研究方法一样,可靠性工程应用的两种基本方法为:贝叶斯(Bayes)方法和尼叶曼(J·Neyman)的置信度方法(Confidence方法)。在质量和可靠性工程的方法讨论中,尽量以国际标准和国家标准形式介绍,以期提高使用的通用性。

随着现代科学技术的迅速发展,给可靠性工程提出了新的课题,主要有下列一些:

小子样统计学。随着导弹,宇航产品,精密电子测量系统,大型计算机系统等生产数量少,而且价值昂贵产品的问世,就要求在小子样条件下用统计方法给出质量和可靠性参数。

变动统计学。这是异母体统计问题。此处突出的是小子样变动统计学问题,如导弹、卫星等产品,不仅试验数量少,而且各次试验的技术状态,质量情况又各不相同,充分利用宝贵的试验信息,评定产品的质量和可靠性指标就是统计理论的课题。

应用环境的综合问题。产品的使用环境是各种各样的。如控制计算机,既可以用于实验室、条件差的试验场,也可用于火车、船舶、飞机、导弹等上。将质量和可靠性指标从生产条件,转化为实际使用条件下的指标,是由环境因子所确定或者特殊实验条件所确定的。

高可靠性、低价值系统的综合设计。指通过综合设计，使系统“物美价廉”，如用廉价的低质量元件制造高可靠性系统。大批量流水线生产的可靠性控制，也是急待解决的问题。

## 五、关于质量管理和可靠性工作

提高产品的质量和可靠性是一项很艰巨的任务，对于复杂的系统就更加困难。首要的是使企事业人员都懂得提高产品质量和可靠性的重要性，才能保证产品质量的提高。

从广义角度讲，可靠性工程属于系统工程范畴。国外从事系统工程的人员占技术人员的10%~15%。为了搞好可靠性工作，需要配备少量的专职可靠性工作人员，他们的任务是：从事可靠性理论和方法的研究；系统可靠性指标的分配、设计；可靠性分析和评定等。美国洛克希德加州公司设置可靠性工程师的做法已在世界范围推广。

# 第一章 质量管理和可靠性工程的发展历史

随着工业生产的发展,产品日益复杂,市场竞争日益剧烈,管理科学、产品质量和可靠性工程得到了迅速发展。从科学管理上看,它的发展分为下列三个阶段。

## 一、质量检验阶段

科学管理的首倡者是美国人泰勒(F. W. Taylor, 1856~1915年)。他是一个钢铁企业家(兼总工程师),他主张制定计划与实施生产分开,产品的生产与检验分开,成立专门的计划、生产、检验部门。工厂内设立了检验科,产品须经过专职的质量检验人员检验才能出厂。他还建立了生产定额制度和奖金制度。通过他的一整套科学管理方法,使劳动生产率提高了2~3倍。1911年,他发表了《科学管理原理》一书,为科学管理奠定了基础。泰勒制归纳为三个“S”的管理方法,即标准化(Standardization)、专门化(Specialization)和系列化(Systematization)。专职检验机构的建立,是近代大工业对手工业生产方式的重大改革,这就是质量管理的第一阶段——“质量检验”阶段。管理重点是:产品质量是否合格;检验工作的依靠对象是专职检验人员;工作特点是事后检验(又称“事后检验阶段”)。

事后检验有一定的缺点,主要是:由于不能及时检验,可能出现大量废品,给生产上造成较大的损失。

为了适应质量检验的需要,建立了公差制度,发展了各种检验工具和手段。

为了克服“事后”检验不合格品多造成的损失,希望能在生产过程中对生产过程的稳定性进行控制。利用过程信息,及早发现隐患,减少不合格品数。1924年,美国统计学家休哈特(W. A. Shewhart)把数理统计理论应用于质量管理,首先提出了过程质量控制的“产品质量管理图”方法。这个方法简单,省时间,花费小。1931年,休哈特的著作《产品质量的经济管理》出版,标志着产品统计质量管理阶段的到来。时值30年代,爆发了美国 and 资本主义世界的经济危机,资本主义世界经济大萧条,休哈特的“统计质量管理”方法未得到广泛应用。

## 二、统计质量管理阶段

30年代末第二次世界大战爆发,美国成了同盟国的主要“兵工厂”。美国的军火工业每年要向美军和盟军提供上万架各种飞机,上万辆坦克,上千艘舰艇,还要研制大量新式武器、雷达、电子通讯系统等。同时,大批技术人员和熟练技术工人应征入伍,大批不熟练的新工人进入工厂。在产品产量、种类大幅度增长的同时,产品质量迅速下降。当时运到远东的通讯设备60%不合格。这引起了美国国防部对质量管理的重视。他们组织专家组研究对策,决

定迅速推广休哈特的“质量管理图”方法，并据此制定了美国的战时规范：Z1.1(1941年)，Z1.2(1941年)，Z1.3(1942年)等，迅速推广实行。在提高兵工产品质量方面取得显著成果，显示了过程控制的优越性。同时，贝尔电话实验室发表了“计数型抽样检查方案”的论文，也得到迅速推广。

“质量管理图”和“抽样检查方案”是统计质量检验的两种基本方法。计数型抽样方案，是经过哥伦比亚大学弗里曼(Freeman)为首的统计学家工作组改进，于1949年制定出“MIL-STD-105A”方案公布的。后来，由美国、英国、加拿大三国的统计专家共同修定为“ABC-STD-105D”计数调整型抽样检查方案。1974年“国际标准化组织(International Standardization Organization简称ISO)”，将它列为国际标准，代号为“ISO-2859”。计数型抽样方案，只考虑抽检数 $n$ 和不合格品数标准(上限) $c$ ，而没有考虑产品的质量参数，如均值，子样方差等。60年代为了适应宇航产品的特点，美国提出“计量型抽样检验方案”，其中以“MIL-STD-414方案”为最好。与计数型抽样检验方案相比，在同一置信水平下，计量型方案可以减少抽检数(省时，省钱)，可靠性也高。原因是计量型抽样方案能较充分地利用生产中的质量信息和验收产品质量信息。

统计质量管理在第二次大战中崭露头角，战后又得到迅速发展和普及。管理重点是先进的统计方法；工作特点是由专门检验人员，采用抽样检查方法，开始应用过程信息。

### 三、全面质量管理阶段

TQC是1961年首先由美国通用电气公司的费根鲍姆(A. Y. Feigenbaum)博士提出来的。按照TQC方法，工作的重点是全面工作质量，已不是单纯的产品质量。依靠的对象也不仅是少数统计专家，而是企事业的全体人员，即“全员”管理。工作方法已不是一、二种统计数学方法，而是多部门、多种方法的全过程管理。强调人在质量管理中的作用，主张搞好管理、技术人员和工人的关系，吸收工人参加企业管理，充分发挥工作人员的积极性，以提高劳动生产率。美国哈佛大学梅约(Mayo)教授首先提出了“行为科学(Behavioral Sciences)”，即研究“人为因素”对可靠性的影响，通常讨论人-机系统可靠性的 $R_{M-M}$ 。

人为因素指有关人类特性科学现实的总称。其公式如下：

$$R_{M-M} = K_M R_M$$

式中  $R_M$ ——设备可靠性；

$K_M$ ——人使用设备的能力系数。

$K_M$ 可以大于1或小于1。人使用设备的能力系数可通过下述两点表现出来：

(1) 机器特性对人有影响，而人的创造性、学习能力、适应性、思维能力又对机器的可靠性以及系统中对人和机器之间功能的合理分配有影响；

(2) 人的工作方式、环境、条件、习惯、情绪，对与机器信息交换和驾驭机器能力有影响。

随着复杂的航天、电子系统和耐用元件的出现，常规的现场失效数据统计方法已不能完成评定任务。如组件的平均无故障时间，有的已达 $MTBF = 10^9$ 小时，这样长的试验时间是难以用常规方法实现的。为此而发展起来的“故障物理学”或“可靠性物理学”，采用了强应力方

法，从微观结构方面探测元件内在本质缺陷的影响，研究故障发生的内在规律，并据此对产品可靠性进行分析、评定和改进。按要求的环境因子K对产品进行强应力试验，确定产品可靠性的学科——“可靠性试验学”，是一门“环境工程”和“可靠性工程”的边界学科。

## 第二章 可靠性定义,可靠性工程的内容

### 一、可靠性定义

产品可靠性——产品在规定的时期,规定的时间内,规定条件下,完成规定功能的概率。

不同产品,其可靠性的定义不尽相同。例如:一个元件或设备的可靠性是,在要求的时期内和特定环境下,它成功地执行设计功能的概率;飞机的出勤可靠性是,一旦飞机被排定航班,离港实现航班飞行的概率;导弹武器系统的可靠性是,导弹武器系统在规定的贮存、使用期内,在规定的贮存、使用条件下,在规定的发射时间内,将导弹发射出去,安全飞行,“命中”目标,完成规定战斗任务的概率。

定性地讲,可靠性是一种能力;定量地讲,可靠性是概率,又称可靠度。它指系统的工作概率。而系统安全性是指,在系统正常工作和故障期间,能保证安全的概率(程度)。

可靠性表示的形式较多,通常多以“概率”、“平均无故障时间”(MTBF)、“失效(故障)率( $\lambda$ )”、“不合格品率”表示。例如:以概率表示的,“霍特”(HOT)导弹的命中概率是90%;以MTBF(小时)表示的,采煤机平均无故障时间MTBF=3200(小时);以“失效(故障)率( $\lambda$ )”表示的,大面积集成电路, $\lambda=10^{-7}$ (1/小时);以“不合格品率P”表示的,电视机开箱不合格品率P=0.10%。

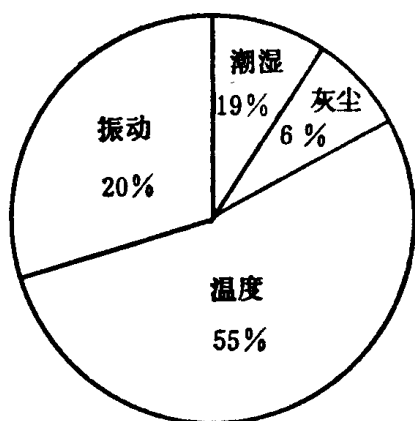


图1-1 由环境引起的故障相对费用

除上述四种表示形式外,还有其他形式,如:不合格品数、缺陷数、均值(数学期望)、方差等,以后详述。

规定时间指保修期,使用期和贮存期。

规定条件即使用条件,它要充分考虑到产品出厂后所遇到的一切主、客观条件。对武器系统或电子、机电设备,客观条件即环境条件。规定条件主要包括:环境条件,包装条件,贮存条件,维修条件,使用和使用人员条件等。图1-1是航空产品由环境引起的故障相对费用图。

### 二、系统可靠性工程的内容

#### (一)可靠性工作程序

系统可靠性工作贯穿于系统的研究、设计、生产、试验、使用和管理的全过程中。

##### 1. 可靠性指标的确定和分配。

根据产品的使用功能分析和用户(市场)要求,拟定产品的可靠性指标,然后,实施可靠性指标的逐级分配,分配出分系统—整机—分机—部组件—元器件的可靠性指标。分配过程中要综合考虑必要性和实现可能性。

## 2. 可靠性预测(预计)。

在研制、设计阶段,先根据系统方案或原有系统的继承性方案(增加考虑方案中已有的或可能采用的新分系统,新技术,新设备,新材料等)初步估算系统的可靠性,与可靠性指标比较,逐次近似地调整方案,落实可靠性指标。

## 3. 可靠性设计。

系统,分系统,整机,分机的设计中,同时依据分配的可靠性指标,进行可靠性设计。若可靠性设计中出现了指标不能实现的情况,要反馈回指标分配,进行适当地调整。

## 4. 生产过程的质量控制。

按质量指标实施生产过程的质量控制:建立数据(资料)、故障统计网;健全资料收集、整理;建立故障分析、登记制度;进行系统—分系统—整机—分机—部组件—元件的故障统计,分析;各级可靠性的初步综合;找出薄弱环节,改进设计、生产。

## 5. 可靠性试验。

通过产品可靠性试验,整理分析系统—分系统故障资料,为可靠性评定(验收)打下基础。

## 6. 可靠性评定(验收)。

逐级进行可靠性评定,确定可靠性数值,若符合可靠性分配指标,则验收(合格)。

对分系统的评定由总体设计部门负责,根据分系统设计、生产、试验的数据和验收试验结果,综合评定。不合格者,不得装入系统。

对系统的评定由上级机关、使用(订货)部门和总体部门联合进行,方法同分系统。

## 7. 可靠性管理。

可靠性管理是企(事)业管理的一个组成部分,是一门很复杂的科学,决不是一般的行政管理。它制定可靠性管理的方针,条例,标准;协调产品研制各阶段的可靠性工作;综合平衡“性能,可靠性,价值,研制时间”——产品的四大指标;监督各阶段可靠性工作的进行;保管产品可靠性工作的有关文件,资料。它应起到企(事)业领导人在产品可靠性方面的参谋作用。

## 8. 使用(包括贮存)可靠性。

产品交付使用后,使用方应按“使用要求”严格使用。要建立工作、故障的登记、统计、分析制度,要把“产品改进意见”和上述资料反馈回研究、设计、生产、试验单位,以利于产品的改进和质量的提高。这是使用方的任务。

这里强调,研制各阶段“可靠性信息”的统一管理(即数据反馈制度)对提高产品的质量和可靠性非常重要,它是可靠性管理的主要任务之一,也是各有关部门和人员的任务。

# (二) 可靠性工程活动图

图1-2是可靠性工程活动图,它显示了产品研制中各类可靠性工作之间的关系和工程活动顺序。信息流程线可以由专用的信息传递和反馈系统自动进行,也可以用人工劳动传递,关键是信息的准确程度和信息渠道的畅通。