

统计方法应用标准化丛书

# 可信性工程

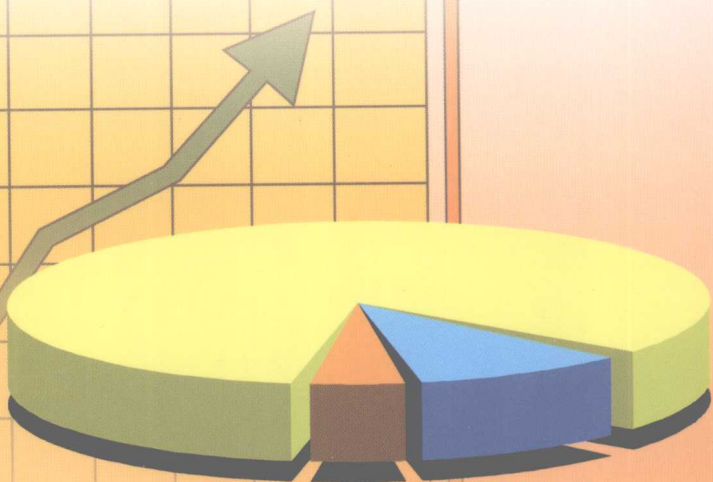
(可靠性、维修性、维修保障性)

(第二版)

何国伟 编著



 中国标准出版社



统计方法应用标准化丛书

# 可 信 性 工 程

(可靠性、维修性、维修保障性)

(第二版)

何国伟 编著

中国标准出版社

北 京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

可信性工程：可靠性、维修性、维修保障性/何国伟  
编著. —2 版. —北京：中国标准出版社，2008

(统计方法应用标准化丛书)

ISBN 978-7-5066-4690-1

I. 可… II. 何… III. 质量管理体系-国际标准 IV.  
F273.2-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 171879 号

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码：100045

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

电话：68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/32 印张 21.25 字数 585 千字

2008 年 1 月第二版 2008 年 1 月第一次印刷

\*

定价 49.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话：(010)68533533

# 丛书编委会

主任 郑卫华

副主任 于欣丽 陈玉忠

委员(按姓氏笔画)

丁文兴 于振凡 于丹

马毅林 冯士雍 孙静

何国伟 张尧庭

## 丛书序

当今世界,我们面临着数字化、信息化的技术革命。高科技迅速发展及其成果的大规模商业化,使经济结构、产业结构和产品结构产生巨大变革,研究模式、管理模式也随之改变,这就需要现代统计技术应对这种变化。由于地区化、集团化经济的发展、贸易竞争日益激烈,产品质量的竞争已成为贸易竞争的最重要的因素。在这种形势下,各企业、公司、集团都深刻地感到不提高产品质量就没有出路,不能生存,产生了强烈的提高产品质量的紧迫感。提高产品质量,一要依靠技术进步,二要加强科学管理,产品质量是三分技术七分管理。质量工作、标准化工作都需要统计技术,统计技术是科学质量管理的重要手段,因为不论来自哪个学科的数据都需要用统计方法去处理并加以解释。目前世界上一些发达国家在科学技术和质量管理方面对统计技术的应用都极为重视,并且取得了显著的成绩。在这方面,我国相对比较薄弱。为了改善这种状况,更好地宣传、推广统计

技术,全国统计方法应用标准化技术委员会编写了这套《统计方法应用标准化丛书》。这套丛书第一版曾于1997年出版,取得了很好的效果,此次根据近几年国家标准的制修订情况、管理模式的发展及数理统计技术在管理中新的应用,又重新编写了第二版,包括下列四个分册:

《数据的统计处理和解释》

《生产过程质量控制》

《产品质量抽样检验》

《可信性工程(可靠性、维修性、维修保障性)》

这套丛书深入浅出地阐明了在科学技术研究与质量管理工作中,如何使用统计方法,并介绍了通过使用统计方法管理,提高产品质量、降低产品成本的有效途径。它的出版,对于推动统计方法的应用,建立科学的管理体系有着十分重要的指导意义。

这套丛书避免了高深的数学推导,以实用性为主,内容十分丰富,理论上既严谨又通俗易懂,具有可读性、可操作性,是广大科技人员、管理人员掌握数理统计技术的一套好书。衷心希望有更多的科技工作者、质量工作者通过阅读此书,成为通晓数理统计技术的高级专门人才,为我国现代化建设做出新贡献。

全国统计方法应用标准化技术委员会

2006年7月

# 序 言

谨以此书献给英年早逝的知音——

中国可靠性工程的奠基人 杨为民 教授  
真正的中国共产党党员

拙著《可信性工程》于1997年出版以来已有十年。中国标准出版社拟再版,但十年来技术发展很快,原书很多内容已落后,如再以原面目供读者使用就要误人了,因此改写了相当一部分。

可信性工程本来包括可信性管理与可信性技术两大部分。原书第2章可信性管理内容太少,今改为:“第2章管理、质量管理、可信性管理”。从管理引入它的一个分支质量管理,从质量管理引入它的一个分支可信性管理。而原书的第2章的一部分则成为本版的2.7。

传统可靠性技术中的可靠性预计基于一个假设:“电子产品的故障率是组成产品的诸电子元器件的固有故障率的总和”。近年大量现场数据证明,由于电子元器件的

固有不可靠性导致产品的故障仅占产品大量现场故障的一小部分,这假设已不成立。且由于技术发展快,原书的固有故障率数据已大大落后,故原书第6章作了大量删节。同样,由于抽样检验要求的AQL已很低,一般多已用抽样方案(K,0)验收,故对原书第11章可信性抽样检验作了大量删节,并删去了附录1 MIL-STD-105E及附录2 MIL-STD-414(ANSI/ASQC21.9)。

本版增加了若干新内容,如DPA(破坏性物理分析)、EMC、高可靠产品可靠性的综合评估,软件可靠性评定、需求管理、易用性、人机设计等等。

本版主要改写的第2章由刘慧林博士及角淑媛硕士协助编写。书中的走势图、预控制(Pre-control)及短周期SPC由汪芸硕士编写,EMC由角淑媛硕士编写,HALT及HASS由赵婉硕士编写,小样本的高可靠性检验由朱炜硕士编写。书中还引用了师伟及范大祥高工的若干成果。此外,于丹研究员对本书第一版内容做了校订工作,在此表示感谢。

自1965年,作者受钱学森之命从计算及控制技术改行,筹建航天可靠性与质量控制研究所的四十多年来,经历了几番风雨,也积累了一些体会。今不嫌浅陋,提作引玉之砖。例如:

——管理质量有三要素,效能(俗名效果)、效率及长期保持优秀效能及效率的能力(可信性)。

——传统的元器件计数法及应力分析法得到的电子产品可靠性预计,只反映了现场故障的一小部分。软件可靠性、硬件中的设计可靠性、元器件的正确使用、供应商的产品工艺可靠性、……已成为影响产品现场可靠性



的重要因素。

——传统的可靠性抽样验证试验方案对愈来愈高的可靠性要求已愈来愈不适应,小样本的高可靠性验证探索日益重要。

——就事论事为主的微观 FRACAS 固然重要,但还要进一步从大量现场故障、缺陷数据中作数据挖掘(Data Mining),发现问题,进行宏观的 FRACAS。

可信性系统设计要贯彻原国防科工委丁衡高主任提出的:“需求牵引、系统工程、预防为主、一次成功”的指导思想,一次成功与不良质量成本(COPQ)是密切结合的,降 COPQ 大有可为,是改进的重点之一。

作者很多思路是从中兴通信候为贵董事长及殷一民 CEO 那里得到的启发,谨此致谢。

点滴体会,不免有误。他山之石,希望能有助于同行诸君,欢迎批评指正。

变幻风云六十春,儒生还是旧傲情。

艰辛写作他山石,赴蹈为尽龙子心。

薄有书文传内外,片无函札谒公卿。

同舟风雨孟光贤,雪泥鸿爪迹印真。

前航天部质量司总工程师 何国伟

2007年7月1日

# 目 录

<b>第 1 章 可信性的基本概念</b> .....	1
1.1 有关产品的基本概念 .....	1
1.2 质量及可信性 .....	5
1.3 可靠性、故障与失效 .....	7
1.4 维修性 .....	16
1.5 测试性 .....	21
1.6 维修保障性 .....	24
1.7 可用性及时间分类 .....	25
1.8 寿命周期费用(LCC) .....	30
1.9 效能及效一费比 .....	33
<b>第 2 章 管理、质量管理、可信性管理</b> .....	35
2.1 产品质量(小 Q)管理 .....	38
2.2 经营质量(大 Q)管理 .....	44
2.3 领导 .....	65
2.4 组织 .....	108
2.5 计划(Planning) .....	196
2.6 控制 .....	226
2.7 可信性管理 .....	277

<b>第 3 章 产品的可信性指标体系</b> .....	293
3.1 可信性需求 .....	293
3.2 质量功能展开(QFD) .....	296
3.3 使用可信性指标转化为合同可信性 指标的经验回归方法 .....	300
3.4 可信性参数的选择 .....	303
3.5 论证阶段的可信性参数选择与指标确 定工作 .....	304
3.6 方案阶段的可信性参数选择及指标确 定工作 .....	305
3.7 通常选用的可信性合同参数 .....	306
3.8 分阶段达到可信性合同指标 .....	308
3.9 可信性工作项目的工时预计 .....	309
<b>第 4 章 可信性设计准则及设计评审</b> .....	311
4.1 设计评审 .....	311
4.2 各阶段可信性设计评审要点 .....	319
4.3 可信性设计准则及评审检查单概述 .....	322
4.4 可信性设计评审的通用项目 .....	323
4.5 可靠性设计准则 .....	325
4.6 维修性设计准则 .....	338
4.7 测试性设计准则 .....	342
<b>第 5 章 可信性关、重件及 FME(C)A</b> .....	350
5.1 可信性关、重件 .....	350
5.2 FME(C)A 概述 .....	351
5.3 FMEA 的工作程序 .....	357
5.4 FMECA .....	367

<b>第 6 章</b>	<b>可靠性、维修性模型、分配及 预计</b>	372
6.1	可靠性模型	372
6.2	可靠性分配	376
6.3	可靠性预计	379
6.4	维修性分配及预计	384
<b>第 7 章</b>	<b>元器件大纲</b>	389
7.1	元器件的可靠性管理	389
7.2	元器件的降额设计	394
7.3	元器件的破坏性物理分析	408
<b>第 8 章</b>	<b>可信性设计专项</b>	417
8.1	需求牵引	417
8.2	容差分析	426
8.3	电磁兼容(EMC)设计	435
8.4	产品可靠性的综合评估	451
8.5	软件可靠性评定	457
8.6	易用性	468
8.7	人-机设计	482
<b>第 9 章</b>	<b>可信性测定试验</b>	503
9.1	可靠性试验	503
9.2	可靠性测定试验的成功率估计方法	508
9.3	指数寿命的参数估计	515
9.4	Weibull 寿命的参数估计	521
9.5	对数正态寿命的参数估计	532

<b>第 10 章</b>	<b>环境应力筛选</b> .....	536
10.1	筛选的目的及方法 .....	536
10.2	筛选度及缺陷密度目标值 .....	542
10.3	温度应力筛选 .....	544
10.4	振动筛选 .....	547
10.5	环境应力筛选 .....	552
10.6	高加速寿命试验(HALT)及高加速 应力筛选(HASS) .....	558
<b>第 11 章</b>	<b>可信性抽样检验</b> .....	562
11.1	抽样检验及验证试验 .....	562
11.2	成功率的抽样检验方案 .....	568
11.3	指数寿命的抽样检验方案 .....	574
11.4	正态及对数正态寿命的可靠性抽样检 验方案 .....	588
11.5	小样本的高可靠性检验 .....	592
<b>第 12 章</b>	<b>耐久性试验</b> .....	596
12.1	概述 .....	596
12.2	极小样本无失效情况寿命分析的工程 经验法 .....	597
12.3	参数蜕化情况下的使用寿命分析 .....	601
12.4	寿命为正态分布(完全样本)的使用寿 命分析 .....	603
12.5	寿命为正态分布的定时及定数截尾试 验的使用寿命分析 .....	606
12.6	加速寿命试验及加速系数 .....	615
12.7	裂纹扩展寿命 .....	618

12.8	疲劳寿命分析 .....	621
<b>第 13 章</b>	<b>故障树分析 .....</b>	<b>624</b>
13.1	故障树名词术语 .....	624
13.2	建立故障树 .....	627
13.3	故障树的定性分析 .....	630
<b>第 14 章</b>	<b>安全性 .....</b>	<b>638</b>
14.1	安全性大纲 .....	638
14.2	系统安全性管理 .....	642
14.3	系统安全性分析及验证 .....	643
14.4	安全性设计技术及准则 .....	646
附录	装备可靠性、维修性、保障性国家军用标准 目录 .....	660

# 第 1 章

## 可信性的基本概念

### 1.1 有关产品的基本概念

#### 1.1.1 “活动”与“过程”的若干术语

为了某项目的而进行的单项具体工作叫“活动”(activity)。一项活动是定义好的工作模块。把一种材料用机械加工成一个零件是一个活动;将一批电子元器件进行高低温测试是一个活动;进行电源的结构设计是一个活动;采购一批某种规格型号钢材也是一个活动;等等。

活动需要“资源”(resources)。资源包括人员、设施(facilities)、设备(equipment)、技术、方法和资金。为进行某项活动或过程(见下)所规定的途径叫“程序”(procedure)。这里的途径(way)包括由什么样水平的人员,按什么样的先后次序,用什么样的设施或设备,按照什么技术规定操作来进行及完成某项活动。在许多情况下,程序要形成文件,成文件的程序叫“书面程序”或“文件化程序”。“活动”的书面程序通常包括:活动的目的和范围,做什么,由谁来做,何时、何地 and 如何做,要用什么材料、设备,按照哪些文件做,如何予以控制及记录。

一组将输入转化为输出的有关联或相互作用的资源和活动叫“过程”(process)。这里的输入输出是广义的。将原材料加工成零部件组成一个机械产品是一个过程,这里的输入是原材料,输出是一个机械产品。将质量信息收集、汇总、分析得出一份质量趋势动向的报告也是一个过程,这里的输入是质量信息,输出是报告。



活动或过程的结果叫“产品”(product)。一个过程的输入通常是其他过程的输出。

“组织”(organization)是职责、权限和相互关系得到安排的一组人员及设施。这里的安排通常是有序的。

具备自身职能和独立经营管理的公司、社团、商行、企事业或公共机构,或其一部分,不论是否是股份制,也不论是公营的或私营的,都是组织。公司是一个组织,工厂也是一个组织。某组织为行使其职能按某种格局而安排的职责、权限及其相互关系叫“组织结构”(organization structure),“组织结构是否适当”与这个组织发挥的能力密切相关。例如:科学管理之父美国人泰勒(Taylor)在工厂中建立了由专职检验人员为主组成的检验机构,实行对产品的检验,就是一个重大的组织结构改革,真正的工厂体制改革。

向顾客提供产品的组织或个人叫“供方”(supplier)。在合同环境下,供方可叫“承包方”(contractor)。供方可以是诸如生产厂、销售商、进口商、装配厂或服务组织。“供方”可以是组织外部的,也可能是内部的。向某工厂订购一批某种产品,该工厂为供方;在该工厂内部,上一道工序是下一道工序的供方;有时,供方也叫做一笔买卖的“第一方”。

供方提供的产品的接受者叫“顾客”(customer)。在合同环境下,顾客可以叫“需方”(purchaser)。顾客可以是诸如:最终消费者、使用者(用户)(user)、相关方或需方等。顾客可能是组织内部的,也可能是外部的。如在工厂内部,下一道工序就是上一道工序的顾客。

“相关方”(interested party)是与组织的业绩成就有利益关系的个人或团体。例如组织的顾客、所有者、员工、供方、合作伙伴或社会等。

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(见下),某个组织、体系(见下)或人,或它们的任何组合。“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。



后面要讲到的质量特性是一种重要特性。

### 1.1.2 产品(product)

产品是过程的结果,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。如飞机、电视机、桌子、电灯泡等等。

硬件产品分为如下等级:

a. “零件”(part)。这是由一件、两件或更多件结合在一起构成的东西。其特点是:除非出于特殊使用要求需要拆开外,一般是不拆散使用的。例如:电子管、螺钉、齿轮、云母电容器、铣刀等等。

b. “部件”(subassembly)。这是由两个或两个以上的零件组成的,它构成一个组件或一个单元的一部分。其特点是可以整体更换,也可以分别更换其中的一个或几个零件。例如:电话拨号盘、中频放大器、挖土机的铲斗臂等等。

c. “组件”(assembly)。它是由若干零件或部件结合在一起构成的一个整体,它能完成一种特定的功能,并能予以拆装。例如:风扇、音频放大器等等。

d. 单元(unit)。它是由组件或零件、部件及组件结合装配在一起构成的。其特点是:一般在不同的环境里能够独立工作。例如:液压千斤顶、马达、内燃机、发电机、无线电接收机、电源等等(在某些外文资料中,unit与component有时是同义的)。一个东西叫不叫单元,有时要视具体情况而定。例如一个钟的马达,一般是不会被拆开的,所以应算为一个零件,而不算单元。

e. “机组”(group)。它是一些单元、组件或部件的结合体。它可以是一个装置的一部分,也可以附加到装置上或与装置联合使用,用来扩大装置的功能范围,但它不能实现一个完整的功能。例如:一个天线组。

f. “装置”(set)。它是由一个或几个单元,有时还加上为了实现某项工作功能需要把它们联接在一起的或联合使用的组件、部件