

电子学基础知识丛书

电子产品的质量管理 和可靠性

何国伟 编著

科学出版社

1983

内 容 简 介

本书简要地介绍了电子产品的可靠性与质量管理的基本概念,包括可靠性及质量管理的发展史,产品参数及不合格品书的质量管理,元器件的工艺可靠性、筛选及可靠性试验,整机的可靠性设计、可维修性、有效性,产品的保险期、可靠性及质量管理体系。本书可供具有高中以上文化程度的技术人员、管理干部、工人阅读;也可供大学、短训班作为教材或参考书,供生产电子产品工、企业单位的干部、技术人员、工人作为自学的教材。本书的举例都引用国内近几年的实例,较符合我国的国情。

电子学基础知识丛书

电子产品的质量管理 and 可靠性

何国伟 编著

责任编辑 隋启水

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年12月第 一 版 开本:787×1092 1/32

1983年12月第一次印刷 印张:8 7/8

印数:0001—7,800 字数:168,000

统一书号:15031·543

本社书号 3361·15—7

定 价: 1.15 元

前 言

电子科学技术是一门发展迅速、应用广泛的近代科学技术。电子技术水准是现代化的重要标志。为了尽快地普及电子科学技术知识,中国电子学会和出版部门聘请有关专家、学者组成编委会,组织编写三套有不同特点的、较系统的电子学普及丛书。本丛书是《电子学基础知识丛书》,由科学出版社出版;其余两套是《无线电爱好者丛书》,由人民邮电出版社出版;《电子应用技术丛书》,由科学普及出版社出版。

《电子学基础知识丛书》侧重于系统地介绍电子学各专业学科的基础知识。以定性说透物理意义为主,少用数字推导。在文字上尽量做到严格准确、深入浅出。读者通过阅读本丛书,可以为更深入地学习、掌握和应用电子科学技术知识打下一定的基础。本丛书适于具有高中和大学低年级文化程度的广大读者阅读。

我们希望广大读者和电子科学技术工作者,对这套丛书的编辑出版提出宝贵意见,热情给以帮助,使之不断充实和完善。

中国电子学会科普编委会

绪 言

电子工业是四个现代化的技术装备部之一，是赶上世界技术水平的重要力量，必须以极大的努力，采取有效的措施来缩小和消灭同先进水平的差距。

当前电子产品的主要问题是质量问题，而电子产品的可靠性又是质量的主要内容。

产品的质量及可靠性是通过设计、通过管理、通过生产得到的。产品的质量和可靠性不是只靠检验就能得到的，因为检验（即使全数检验）只能剔除不合格品，而不能提高产品的固有可靠性及固有质量。产品的质量和可靠性也不是只靠试验就能提高的，因为试验只能发现产品的部分薄弱环节，还需要据此深入研究，改进设计、工艺或组织管理，这样才能提高产品的质量和可靠性。产品的质量和可靠性更不是靠数学计算得到的。数学是定量地反映产品质量和可靠性的不可少的工具，但也只是工具，而不是可靠性工作的主要内容。一般说来，在可靠性工作中，数学工作量不到10%。有的技术人员看了一些可靠性及质量管理书籍、看到很多概率统计公式，望而生畏，以为是数学工作人员的事情。这与一些技术人员把T. Q. C.（全面质量管理）看成是主次图、因果图、管理图等七个方法一样，都是一种误解。质量管理及可靠性工作是

从领导到群众,从设计部门到使用部门、从技术人员到管理人员、后勤保障人员共同负责的工作。对于数学工具,一般人员只要了解其物理意义,会正确使用就可以了。

国内电子产品的现实水平比之先进国家有一个相当大的差距。但是只要加强管理,采取一定的技术措施,产品的质量及可靠性提高几倍到一个数量级是可能的。本书引用的上海电视机公司的数据及经验可以说明这一点。只要做到这一点,产品的使用价值就可以大大增加(当然,更进一步的提高要从工艺、材料、设计等方面作根本性的改进才行)。

本人从60年代起转向可靠性及质量管理的研究及实际工作。本书总结了本人及原四机部的同行们这些年来部分的工作经验及体会,相信对电子产品的企业领导、管理干部、技术人员、工人会有一定的参考价值。

本书的数据及实例除个别情况外,都是引用1975—1980年间国内的实际试验结果,因为这些数据比较符合我国国内的实际水平。本书引用了1978—1980年间中国电子学会可靠性及质量管理学会多次学术交流会上公开发表的工作报告及研究报告的部分成果。引用较多的是傅光民、王淑君、丁以华、徐福楨、戴树森、马怀祖、周广涛、王华、苏德清、吴本炎等同志的工作总结。

本书的对象是高中以上文化程度的管理及技术干部、工人。涉及到的微积分等概念均列为附注。

何国伟

1981年4月3日

目 录

本书所用符号表	viii
第一章 电子产品的质量及可靠性	1
§ 1 电子产品质量及可靠性的重要性	1
§ 2 质量管理及可靠性的历史	6
§ 3 质量管理及可靠性工作	13
第二章 质量数据的整理方法	21
§ 1 质量数据的直方图	21
§ 2 主次图	34
§ 3 因果图	37
第三章 可靠性、分配与冗余技术	40
§ 1 可靠性及概率的几个基本法则	40
§ 2 冗余技术	45
§ 3 可靠性的分配	53
第四章 参数的质量管理	56
§ 1 正态分布	56
§ 2 正态分布的参数估计	63
§ 3 工程能力指数 C_p	74
§ 4 $\bar{x}$ - R 管理图	78
第五章 不合格品率的质量管理	90
§ 1 二项分布及波阿松分布	90

§ 2	不合格品率的估计方法	94
§ 3	p 管理图及 c 管理图	99
§ 4	计数型一次抽样方案	108
第六章	电子产品的可靠性	121
§ 1	指数分布,故障率及平均寿命	121
§ 2	可靠性分配及可靠性预测	123
§ 3	电子元器件的故障率	132
§ 4	平均寿命的估计及评定	137
§ 5	电子元器件失效率试验方法	145
§ 6	电子设备可靠性验证试验方法	150
§ 7	威布尔分布	159
§ 8	加速试验分析	171
第七章	电子元器件的可靠性	175
§ 1	电子元器件的可靠性概述	175
§ 2	元器件的工艺可靠性——脏、断、漏问题	180
§ 3	筛选	188
§ 4	可靠性试验	198
第八章	整机的可靠性设计	207
§ 1	FMECA 及 FTA	208
§ 2	整机线路的边缘设计	214
§ 3	整机的环境设计	220
§ 4	工程心理学及人机工程	223
第九章	可维修性及有效性	229
第十章	保险期	241
第十一章	可靠性及质量管理体系	248

§ 1 可靠性及质量管理体系的组织机构及方针任务	248
§ 2 设计过程的可靠性及质量管理	253
§ 3 生产过程的可靠性及质量管理	259
§ 4 可靠性及质量基础部门	263
§ 5 使用过程的可靠性及质量管理	266
§ 6 可靠性和质量管理教育	267
§ 7 Q. C. 小组.....	269

第一章 电子产品的质量及可靠性

§ 1 电子产品质量及可靠性的重要性

随着电子技术(包括电子计算机技术)的发展和普及,现代化及自动化这两个名词的意义已经与十几年前有很大的不同。在家庭生活中,过去的家用电器往往只限于收音机、电熨斗,而现在则相当多的家庭都有了电视机、录音机、电唱机、洗衣机、电扇、电冰箱等设备。以北京市为例,根据到1980年6月为止的统计,三年多内全市就销售了39万多台电视机,市区居民平均每三户就有一台电视机。在工业企业中,电子化与计算机化几乎成了现代化的代名词。在较大型的现代化企业中,可以说处处离不开电子技术,大量使用着电子计算机。正因为如此,电子产品的质量问題也就愈来愈突出。

当前,我国电子产品的主要问题是质量问题,而电子产品的可靠性又是质量问题的主要内容。

产品的可靠性亦称可靠度,是指“一个产品在规定的时期内、在规定的条件下完成规定任务的可能性。”这个规定的时期通常称为产品的保险期。例如,“一台电视机在五年内,于家庭环境下,使用5000小时不出故障的可能性达37%。”这就反映了这台电视机的可靠性。显然,这也是电视机的使用

方(即用户)最关心的质量指标之一。当然,可靠性不等于质量。产品的质量还包括一些其他内容。例如民用产品象电视机一类还有作为一种室内装饰品的要求,需要色彩调和、美观大方等等。但是这些毕竟是比较次要的指标,而且这些次要指标从工艺、设计、生产技术来说,只要领导重视,还是比较容易提高的。

在可靠性定义中,提到“完成规定任务的可能性”。为什么以“可能性”这样不确定的方式下定义呢?

产品丧失规定的功能,从而不能完成规定任务叫做出“故障”。象电视机一类产品在出故障后一般是可以修复的;至于一般的电子元器件,通常是出故障后就换一个新的,不予修复。所以电子元器件一类产品出故障亦叫失效。故障表现的形式叫做故障模式。引起故障的内在因素叫做故障机理,即材料、操作、工艺、设计上成为故障根源的原因。

电子产品的故障初看起来似乎是杂乱无章的。这个产品这一个元件在这个时候出故障,那个产品那一个器件在那个时候出故障。因此,产品故障的出现似乎是偶然的。但是,所谓偶然的東西,是一种有必然性隐藏在里面的形式。在表面上是偶然性在起作用的地方,这种偶然性始终是受内部的隐蔽着的规律支配的,而问题只是在于发现这些规律。通过实践及研究,人们可以逐步认识这些隐蔽着的客观规律。在人们掌握了这些客观规律后,就可以运用这些规律来改造客观事物,采取技术上或组织上的措施,减少故障、提高质量。

支配偶然性的规律与支配必然性的规律有所不同。在研

究、设计、生产、使用或社会实践中出现的一定现象、状态、试验结果叫做事件。在一定条件下一定出现的事件叫做必然事件。例如“每天早晨，太阳从东方升起”，这是必然事件。在一定条件下，可能出现亦可能不出现的事件叫做随机事件。随机事件的特点是：在这事件出现以前，人们不能确切地指出它将出现还是不出现。例如你买一台电视机。在这台电视机出故障以前，人们不能确切地指出它将在什么时候在哪个元件或器件上出故障。所以电视机出故障是一个随机事件。

在研究、设计、生产、使用中，如果某一个量在一定条件下取某一个值或取某一范围内的值是一个随机事件，则这样的量叫做随机变量。通常用英文大写字母表示，如 X 、 Y 等。例如设 X 表示 n 个产品中的不合格品数，则 n 可以取 0 、 1 、 2 、……、 n 中的某一个值，所以不合格品数 X 是一个随机变量。

对于象电子元器件一类不予修复的产品而言，从开始工作到产品发生故障(即失效)之间的工作时间叫做产品的寿命。对于象电视机一类可以修复的产品而言，从开始工作或修复后开始工作起到产品发生故障为止的工作时间叫做产品的寿命。由于生产过程中各个环节的微小波动或差异是不可避免的，所以产品的寿命 T 不可能完全一样，即产品寿命 T 是一个随机变量。它通常也是产品使用方(即用户)最关心的一个随机变量。

既然 T 是一个随机变量，是不是它就没有规律性呢？对于指定的一台电视机来说，在未出故障之前，要确切说出它的

寿命是不可能的。但是对于这一批电视机来说，有一个可以得到的平均寿命 θ 。以后的理论分析会推导出如下的结果：电视机一类“电子产品到平均寿命 θ 时刻还在工作的可能性为 37%。”因此平均寿命 θ 就是支配寿命 T 的偶然性规律的一个重要参数，也就是电子产品质量及可靠性的主要指标。买了一台电视机，如果这批电视机的平均寿命是 5000 小时，则可以指望有 37% 的可能工作寿命超过 5000 小时。

上海产的电视机，于 1978 年时平均寿命还不到 500 小时。其它地方的国产电视机有的还比不上上海。电视机愈来愈多，这是件好事情，但应该注意由此带来的一个很大问题。人民群众辛辛苦苦积蓄起来的钱，如果买一台质量不好的电视机，经常要修理，自然就会埋怨。可见，这不仅是一个经济问题，技术问题，也是一个很大的政治问题。电视机是这样，其他家用电器也都有这个问题。所以电子企业要千方百计地提高质量。

工业企业中的电子设备质量就更为重要。现代化的企业生产过程复杂，生产过程控制要求十分严格，即使是不大的故障也会导致很大的损失。例如带钢热轧，传统技术的轧速不过每分钟二十多米。而采用先进的激光技术并用电子计算机来控制的轧速可以达到每分钟一千五百米以上，生产率比传统技术提高近百倍。但是如果控制计算机失灵，在几分钟内就可以报废成万米钢材。可见，在工业企业中，运用电子技术可以大大提高生产率，但是如果电子设备不可靠，其后果也是严重的。至于在军事上及宇航等方面，产品可靠性的重要意

义就更突出了。

提高产品可靠性不单有利于使用方，而且从全局来看还具有重大的经济意义。以电视机为例，以 1980 年年产 200 万台为基数，平均年增长率以 15% 计算，每台电视机以 400 元产值计算。电视机的每年使用时间算 1000 小时，使用保险期为 10 年。修理一次的平均费用以 10 元计算。根据可靠性及质量管理学会吕宗瑜主任的计算：如果电视机的平均寿命分别为 500 小时、1000 小时、10000 小时，则到 1990 年为止每年的产值及维修费用将如表 1.1 所示。由此可见：从 1980 年

表 1.1

年份	产量(单位: 万台)	产值(单位: 亿元)	维修费用(单位: 亿元)		
			平均寿命 500 小时	平均寿命 1000 小时	平均寿命 10000 小时
1980	200.0	8.00	0.173	0.126	0.020
1981	230.0	9.20	0.372	0.271	0.043
1982	264.5	10.58	0.601	0.438	0.069
1983	304.2	12.17	0.864	0.629	0.100
1984	345.8	13.99	1.166	0.849	0.135
1985	402.3	16.09	1.514	1.103	0.175
1986	462.6	18.50	1.915	1.394	0.221
1987	532.0	21.28	2.375	1.729	0.275
1988	611.8	24.47	2.904	2.115	0.336
1989	703.6	28.14	3.513	2.558	0.406
1990	809.1	32.36	4.212	3.068	0.487
合计	4869.9	194.78	19.609	14.28	2.267

到 1990 年，电视机的产值从 8 亿增长到 32.36 亿，增长四倍，

而维修费用则大体上增长 24 倍。如果电视机的平均寿命能从 1000 小时提高到 10000 小时,则总维修费用可以从 14.28 亿元减少到 2.267 亿元,即节省 12 亿元左右。

这个例子有力地说明一个重要概念:如果电子产品的平均寿命不长,即可靠性不高,则不太久以后的电子产品维修工作量将增长到不能忍受的地步。

第二次世界大战中,远东美军的电子设备在贮存时出故障的就达 50%,轰炸机电设备的平均寿命只有 20 小时。因此,在 40 年代末期,美军电子产品的年维修费用是美国物力财力方面的一个很大的负担,这也是一个促使美国狠抓可靠性的原因。

§ 2 质量管理及可靠性的历史

产品质量很早就被人们重视。《周礼·考工记》中,就曾明确记载命百工审查五库器材的质量。但是对产品质量进行科学管理则是近百年来事情。

工业产品一般是由若干零组部件装配而成的。为了能够进行成批生产,要求这些零组部件应该具有互换性,这就要把这些零组部件的某些关键几何尺寸及理化性能控制在一定的容许范围之内。这个容许的范围就叫“公差界限”。上限叫“上公差”,下限叫“下公差”。

通常认为科学管理的首创人是美国的泰勒 (F. W. Taylor 1856—1915)。1911 年,他发表的《科学管理原理》,为科学管

理奠定了基础。他主张计划与执行分开,执行中要有检查与监督,使产品的检验从制造过程中分离出来,成为一道独立的工序。这是对过去手工业方式生产的一个重大改革。这个主张在工业实践中证明是有效的。因此在企业中出现了由一批专职检验人员组成的技术检验科,对产品进行技术检验。这是质量管理的第一阶段,亦叫“事后检验阶段”。

事后检验有一个缺点。如果生产过程中某一个环节出了问题没有被及时发现,就可能导致大批产品不合格。特别是在流水线生产中,这个缺点是突出的。美国的休哈特(W. A. Shewhart)把概率统计学用到产品的质量管理上去。在1924年,提出了产品质量的管理图。1931年,他的《产品质量的经济管理》出版,标志着质量管理开始进入第二阶段——“统计质量管理阶段”。

由于美国及资本主义世界在30年代的经济危机,管理图没有得到广泛的应用。直到第二次世界大战爆发,美国作为同盟国的兵工厂,军火及军需品的要求成十倍地增长。同时,美国的熟练工人大量参军,大量不熟练的工人及妇女参加工作。产量迅速增加而质量则迅速下降,这才引起美国军方重视,把管理图作为控制产品质量的重要措施之一,在美国迅速全面推广管理图。据此制订了美国战时规范 Z1.1 (1941)、Z1.2 (1941)、Z1.3 (1943) 等,取得了明显提高产品质量的效果。管理图的主要优点是:通过对零组部件及产品的抽样数据分析,可以对工序质量进行控制,以便及时发现产品的不稳定生产过程,采取相应的措施。

在推广管理图的同时也积极推广及研究了科学的抽样检查方法。1941年,贝尔电话试验室的D-L计数型复式抽样检查方案、哥伦比亚大学统计专家组研究制订的调整型计数抽样方案(后由美、英、加三国专家组共同修订,于1963年公布的MIL-STD-105D)、斯坦福大学统计专家组研究制订的调整型计量抽样方案(1957年以MIL-STD-414名称公布)都是西方国家通用的抽样标准。管理图及抽样检查是统计质量管理的两大支柱。

50年代起,质量中的可靠性所占的地位愈来愈突出。美国在朝鲜战争中深切体会到电子设备不可靠问题的严重性。当时,美军十六万台电子通信设备,就更更换了上百万电子元件;雷达出故障的不能工作时间达84%,潜艇的声纳则为48%;陆军电子设备在规定时间内有65—75%出故障而不能使用;空军在五年内的电子设备维修费用超过购置设备费用的十倍。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国防部电子设备可靠性专门工作组(Ad Hoc Group),总结当前电子产品的可靠性问题及制订可靠性规划。1952年8月,改组为国防部电子设备可靠性顾问团,简称AGREE (Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment),是国防部助理部长办公室的一个组成部分。其任务是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,AGREE的九个工作组共同起草并发表了有名的AGREE报告,建议建立电子设备及元器件的可靠性指标,提出了在研制及生产过程中对产品的可靠性

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作的指导性文件，直到今日仍有重大的参考价值。

电子元器件的可靠性是电子设备可靠性的基础。1954年，美国参谋长联席会议批准成立国防部电子元件顾问组（AGEP）。为了“制订各种导弹可靠性计划的行之有效的整套监督规划与管理程序”，美国于1957年成立了由导弹局局长领导的国防部导弹可靠性专门委员会。1958年发表了研究报告。根据这一报告，军事部门建立了一套可靠性管理程序，使得AGREE、AGET、AGEP等单位的建议得以贯彻，保证了军用电子系统的可靠性。

1958年6月，美国成立了以贝尔电话试验室的领导人达内尔（Darnell）为首的元器件可靠性管理研究委员会。以后，又制定并公布了各种电子元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。这样，按军用标准生产的电子元器件就可以保证达到一定的可靠性水平。

同时，为了核实及比较电子元器件的现场可靠性数据，美军规定三军的电子产品的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（IDEP），后来IDEP扩大为政府与工业界数据交换网（GIDEP）。数据交换中心负责统计并公布电子元器件的现场可靠性。

从50年代到60年代初，所开展的可靠性工作主要是故