

电子产品可靠性管理

卢昆祥 编著

责任编辑：张炳祥

电子产品可靠性管理

卢昆祥 编著

天津科学技术出版社出版、发行
天津市赤峰道130号
河北省秦皇岛印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16 印张17.25 字数414 000

1987年11月第1版

1987年11月第1次印刷

印数：1—10 000

书号：15212·235 定价：3.90元

ISBN 7-5508-1194-5/1N·5

前 言

在国民经济和科学技术迅速发展的今天，随着电子产品被广泛地应用于各个领域，对电子产品的可靠性要求相应的提高了。目前，可靠性已被更多的人所了解，其重要性也被愈来愈多的人所认识，可靠性工作已经迅速而深入地开展起来，产品的可靠性水平也不断地得到提高。但是，由于经济、管理、技术和人才等方面的原因，我国电子产品的可靠性水平还远远落后于国际先进水平。

产品的可靠性与设计、制造、试验、使用、元器件和原材料等都有关，并且与可靠性数学、失效物理学、可靠性教育、可靠性标准化等也有密切的关系。所以，要提高产品的可靠性，除了要研究和实施各种可靠性技术外，加强可靠性管理是十分重要的。这是当前我国电子产品质量与可靠性工作中迫切需要解决的问题。

我国有关全面质量管理(TQC)方面的书籍不少，这些已对推动我国各类产品质量管理工作的开展做出了积极的贡献。但是，可靠性管理方面的书籍很少，密切结合可靠性工程谈可靠性管理的专著至今还未见到。这对我国政府机关和企业的管理干部，各级工程技术管理干部，以及各级质量与可靠性管理人员了解可靠性管理的特点，可靠性管理与质量管理的关系，可靠性管理的具体内容、原则、程序、方法和要求等，都是十分不利的。同时还使得一些人形成了一种错觉，认为抓了TQC就等于抓了可靠性管理，以为质量管理活动可以代替可靠性管理活动。这些都严重地影响了我国建立各级可靠性管理机构的速度，严重地妨碍了我国可靠性管理水平的迅速提高。因此，为了推动我国可靠性管理工作的开展，笔者在阅读了国内外有关可靠性管

理资料的基础上, 结合自己从事可靠性工作的实践, 编著了本书。

为使各级管理干部较多的知道国内外可靠性工程的发展情况及现状, 并从中吸取经验, 找到方法和增加动力, 在力所能及的情况下, 本书比较详细地介绍了国内外可靠性工程的发展历史与现状。同时, 各级管理干部要把可靠性管理活动开展起来, 也必须具备一定的可靠性专业知识, 所以书中第二章介绍了可靠性的一些基本概念和一部分基础知识; 第八章中简要介绍了可靠性试验的基本知识。但是, 因为本书主要是讲管理的, 有关可靠性设计的理论和技术, 试验的理论与技术, 数据处理技术, 质量分析与失效物理分析技术等内容都未能介绍。这些知识对于管理人员是应该有所了解的, 所以, 读者如需要, 可以阅读与本书同时出版的《整机系统可靠性设计理论与实用技术》和《电子产品可靠性试验》二书。

在本书的编著过程中, 得到了中国电子学会电子产品可靠性与质量管理学会委员、机械工业部仪表局可靠性顾问组组长、天津市电子学会可靠性专业委员会副主任、天津大学管理系林青副教授的大力帮助和指导, 并为本书做了技术审查, 在此表示衷心的感谢。同时向为本书编著提供过各类宝贵参考资料的同志们表示感谢。还要向为本书编著、出版和发行提供过支持、帮助及操劳的天津通讯广播公司、天津市电子学会可靠性专业委员会、天津科学技术出版社的有关同志致以深切的谢意。

编 者

1987年5月于天津

目 录

第一章 可靠性工程的发展及可靠性工程的重要性和经济性	(1)
§1.1 可靠性问题的提出	(1)
§1.2 国外可靠性工程的发展与现状	(2)
1.2.1 英国可靠性工程的发展与现状	(2)
1.2.2 欧洲可靠性工程发展概况	(11)
1.2.3 亚洲可靠性工程发展概况	(14)
§1.3 我国可靠性工程的发展与现状	(16)
§1.4 可靠性工程的重要性和经济性	(21)
复习题	(25)
第二章 可靠性基本知识	(25)
§2.1 什么是产品的可靠性	(26)
§2.2 固有可靠性和使用可靠性	(28)
§2.3 可靠性增长	(29)
§2.4 可靠性工程与可靠性数学	(30)
§2.5 产品可靠性的真值	(30)
§2.6 可靠性的数学特征量	(31)
2.6.1 规定产品可靠性数量特征的意义	(31)
2.6.2 可靠性的主要数量特征	(32)
§2.7 影响产品可靠性的因素	(47)
§2.8 可靠性与维修性、有效度的关系	(49)
§2.9 可靠性与安全性的关系	(51)
§2.10 可靠性工程包括的内容	(52)
复习题	(54)
第三章 可靠性管理概述	(56)
§3.1 为什么要加强可靠性管理	(56)
§3.2 可靠性管理与质量管理的关系	(57)
§3.3 可靠性管理的目的和原则	(61)
§3.4 可靠性管理的主要内容	(63)
3.4.1 可靠性管理活动方针的制定	(63)
3.4.2 可靠性管理机构的建立、所需人员及经费的分配	(63)
3.4.3 可靠性管理计划、管理章程等的拟订与实施	(64)
3.4.4 可靠性标准化	(64)

3. 4. 5 对产品可靠性管理活动的支持和监督	(64)
3. 4. 6 可靠性管理教育的实施	(64)
复习题	(65)
第四章 可靠性管理机构与职责	(66)
§ 4. 1 建立可靠性管理机构的重要性	(66)
§ 4. 2 企业可靠性管理机构编制的原则与注意事项	(67)
4. 2. 1 机构编制的一般原则	(67)
4. 2. 2 建立可靠性管理机构的注意事项	(68)
§ 4. 3 国外企业可靠性机构的组织形式及各部门的职责	(70)
4. 3. 1 可靠性业务的分工	(70)
4. 3. 2 可靠性组织的形式	(72)
§ 4. 4 国内企业建立可靠性机构与各部门职责的建议	(78)
§ 4. 5 关于高级的可靠性管理机构	(81)
§ 4. 6 可靠性工作人员	(85)
4. 6. 1 国外可靠性工作人员的配备情况	(85)
4. 6. 2 可靠性工作人员素质	(87)
4. 6. 3 主持可靠性师及其职责	(88)
复习题	(89)
第五章 可靠性管理规划的建立	(90)
§ 5. 1 拟定可靠性规划的目的和要求	(90)
§ 5. 2 拟定可靠性规划的原则	(91)
§ 5. 3 可靠性管理规划的主要内容	(91)
§ 5. 4 可靠性管理规划的审查与监督	(92)
§ 5. 5 保证可靠性规划的实施	(93)
复习题	(94)
第六章 设计阶段的可靠性管理	(95)
§ 6. 1 可靠性设计的基础	(95)
§ 6. 2 可靠性设计的主要任务	(97)
§ 6. 3 可靠性设计的基本准则	(98)
§ 6. 4 可靠性设计程序	(99)
§ 6. 5 可靠性设计任务书的主要内容和要求	(100)
§ 6. 6 可靠性设计评审	(102)
6. 6. 1 设计评审的作用和目的	(103)
6. 6. 2 设计评审的准备及评审的内容和范围	(104)
6. 6. 3 设计评审的组织及成员职责	(108)
6. 6. 4 设计评审的程序与结论	(109)

复习题	(112)
第七章 制造过程中的可靠性与质量管理	(113)
§7.1 制造过程中可靠性保证的意义和内容	(113)
§7.2 制造人员的选用和教育	(115)
§7.3 制造环境的控制	(115)
§7.4 制造设备的增设和维护保养	(116)
§7.5 加强对元器件原材料的管理	(116)
7.5.1 实施元器件工程管理的必要性	(116)
7.5.2 整机系统中元器件工程的主要内容	(117)
7.5.3 元器件的质量与可靠性认定	(120)
7.5.4 元器件的可靠性筛选	(128)
§7.6 电子设备的可靠性筛选	(135)
§7.7 加强制造中的质量与可靠性控制	(135)
7.7.1 加强工艺管理, 严格工艺纪律 建立质量责任制	(135)
7.7.2 关键工序建立质量管理点	(137)
7.7.3 质量检验	(157)
7.7.4 质量分析	(159)
7.7.5 建立产品制造过程中的数据控制和信息反馈系统	(164)
§7.8 充分发挥QC小组在制造过程中质量与可靠性保证的作用	(168)
复习题	(170)
第八章 可靠性试验的管理	(171)
§8.1 可靠性试验管理的重要性	(171)
§8.2 可靠性试验管理规划	(171)
8.2.1 可靠性增长试验规划	(171)
8.2.2 可靠性鉴定试验规划	(172)
8.2.3 可靠性验收试验规划	(173)
§8.3 可靠性试验的基本知识	(173)
8.3.1 设备可靠性试验的基本知识	(173)
8.3.2 元器件可靠性试验的基本知识	(191)
§8.4 可靠性试验管理的内容	(196)
§8.5 可靠性试验与产品的可靠性评定	(198)
复习题	(199)
第九章 销售与使用阶段的可靠性管理	(200)
§9.1 销售的可靠性	(200)
9.1.1 广告、宣传的可靠性	(201)
9.1.2 销售训练与可靠性	(201)

9. 1. 3 使用说明书.....	(202)
§9. 2 包装、保管、运输与可靠性.....	(203)
9. 2. 1 包装与可靠性.....	(203)
9. 2. 2 保管与可靠性.....	(204)
9. 2. 3 运输与可靠性.....	(204)
§9. 3 使用的可靠性.....	(205)
9. 3. 1 使用的可靠性与售出后的技术服务.....	(205)
9. 3. 2 维护保养的可靠性.....	(206)
9. 3. 3 维修零件的可靠性.....	(206)
9. 3. 4 用户的不满与可靠性.....	(207)
9. 3. 5 市场情报与可靠性.....	(208)
复习题.....	(208)
第十章 数据的收集与质量信息的反馈.....	(209)
§10. 1 可靠性数据的收集与利用.....	(209)
10. 1. 1 可靠性数据的重要性.....	(209)
10. 1. 2 可靠性数据的特点及收集方法.....	(210)
10. 1. 3 数据工作中的注意事项.....	(213)
§10. 2 质量信息的反馈.....	(214)
10. 2. 1 质量信息反馈的意义.....	(214)
10. 2. 2 质量与可靠性信息反馈的内容.....	(215)
10. 2. 3 加强质量信息反馈的管理.....	(217)
复习题.....	(217)
第十一章 人的因素与可靠性管理.....	(218)
§11. 1 概述.....	(218)
§11. 2 人的因素理论与人的工程.....	(219)
§11. 3 人的因素对产品可靠性的影响.....	(221)
§11. 4 质量与可靠性管理的核心是人的工作质量的管理.....	(223)
复习题.....	(225)
第十二章 可靠性标准化.....	(227)
§12. 1 可靠性标准化的重要性.....	(227)
§12. 2 国外可靠性标准化情况简介.....	(227)
12. 2. 1 美国可靠性标准化简介.....	(227)
12. 2. 2 国际电工委员会 (IEC) 可靠性标准化简介.....	(229)
§12. 3 我国电子产品可靠性标准化工作处在迅速发展阶段.....	(231)
§12. 4 对当前可靠性标准化工作的几点建议.....	(233)
复习题.....	(234)
第十三章 质量与可靠性保证体系.....	(235)

§13. 1	什么叫质量与可靠性保证体系	(235)
§13. 2	质量与可靠性保证体系的主要内容	(236)
§13. 3	介绍几种质量与可靠性保证体系	(237)
13. 3. 1	企业级的质量与可靠性保证体系	(237)
13. 3. 2	以整机系统为中心的可靠性保证体系	(237)
13. 3. 3	关于系统工程的质量与可靠性保证体系	(238)
13. 3. 4	七专质量控制与反馈	(238)
13. 3. 5	电子元器件质量与可靠性认证制度	(239)
13. 3. 6	生产许可证制度	(243)
复习题		(245)
第十四章 加强质量与可靠性工作的若干建议		(246)
§14. 1	提高领导阶层的质量意识和质量责任感	(246)
§14. 2	建立可靠性管理机构 and 设置专门的可靠性管理人员	(246)
§14. 3	全厂动员, 人人关心产品的质量与可靠性	(247)
§14. 4	坚持不懈的实行质量目标管理	(247)
§14. 5	制定各项制度, 重视质量与可靠性标准化	(247)
§14. 6	重视质量与可靠性方面的投资	(248)
§14. 7	大胆进行检验体制的改革	(248)
§14. 8	加强可靠性管理要与企业管理上的改革密切结合	(248)
§14. 9	大力开展可靠性设计, 狠抓产品的优生	(249)
§14. 10	广泛开展QC活动, 加强制造过程中的可靠性保证	(249)
§14. 11	大力开展元器件的认定和筛选, 保证上机元器件的质量	(249)
§14. 12	做好产品使用阶段的维修与质量信息反馈工作	(250)
§14. 13	重视数据的积累和分析工作, 提高数据的利用率	(250)
§14. 14	创造条件, 做好可靠性试验工作	(251)
§14. 15	壮大可靠性工程的队伍, 发挥可靠性专家的作用	(251)
§14. 16	采取适当的经济手段, 奖优惩劣, 奖勤罚懒	(251)
§14. 17	充分发挥电子计算机在可靠性工程中的作用	(252)
§14. 18	领导机关要在质量与可靠性方面加强对企业的管理	(252)
§14. 19	用户对产品可靠性的认识和强烈需求, 是促进产品质量与可靠性水平提高的强大动力	(253)
§14. 20	对产品质量与可靠性实行“二全四五”管理	(253)
§14. 21	加强质量与可靠性方面的宣传与报导	(255)
复习题		(255)
附录		(256)
附录A ₁ 可靠性工程实施程序及考核要求 (适用于中小型设备)		(256)
附录A ₂ 可靠性工程和质量控制 (适用于大中型或小子样系统)		(259)
参考文献		(264)

第一章 可靠性工程的发展及可靠性工程的重要性和经济性

§ 1.1 可靠性问题的提出

可靠性问题孕育于第一次和第二次世界大战中，孕育于产品不可靠给人们带来的血的教训中。所以，可靠性问题是人们在社会实践的基础上，随着客观形势的需要而产生并发展起来的。应该指出，可靠性问题的提出和对产品提出可靠性的要求，首先是由于社会的原因，而不是单纯从工程方面的需要而作出的。

一、政治方面的原因

无论是哪个国家，产品的先进性和可靠性，对提高这个国家的国际地位、国际声誉及促进国际贸易发展，都起很大的作用，因而它也都为各国领导集团所重视。前国际电工委员会主席里昂·波多斯基博士曾以日本国在第二次世界大战后设立国际贸易和工业部的例子说明了这个问题。在第二次世界大战前，日本厂商是善于仿制别国产品的，但是仿制的都是质量低劣的产品。因此，当对日本的产品无论在美国，还是在其它国家，始终负有低质仿制品的恶劣名声。第二次世界大战后，日本政府为了能够出口优质产品，设立了国际贸易与工业部，并发出命令，要求日本各工厂设立质量保证部，同对要求生产出口商品的每一家工厂建立可靠性规划。由于执行了这一措施，使战后的日本得以生产出高可靠产品，特别是电气和电子产品的质量与可靠性水平提高得很快。众所周知，现在日本产品的质量与可靠性水平已经跨入世界先进行列，在国际贸易市场上享有很高的声誉。

二、军事方面的原因

在军事上，由于设备的失效，将会导致军事行动的失调、战斗任务的失败及兵员的伤亡，而战斗任务的失败又将直接关系到国家的安全。因此，各国军事当局深知军事装备可靠性的重要性，从而对其提出了高可靠性的要求。

三、工业方面的原因

工业部门所属工厂和研究机构深知，每台设备的故障都会影响生产和造成经济损失。特别是大型的自动化程度较高的企业，有时因一部关键设备的故障就会导致工厂停产。同对，因事故不能按期向用户提交产品，还要承担合同责任和赔偿费用等。所以，工业方面也是强烈要求设备的高可靠性的。

四、经济和市场的原因

产品的高质量和高可靠性水平，是工厂争得市场、获得信誉的决定性因素，是工厂取得经济利益的重要保证。工厂的管理干部和销售人员都懂得，产品不可靠不仅会招致用户不满意及失去市场，同时还要承担经济损失。因此，从市场竞争及企业的经济利益考虑，也是十

分需要产品的高质量和高可靠性的。

由此可见,可靠性工程孕育和产生于社会实践中。然而,可靠性工程得到迅速发展,又是跟社会的客观需要,与科学技术的发展,特别是与电子工业的迅速发展分不开的。科学技术的发展和现代化战争的需要,使电子设备越来越复杂,使用条件也越来越多样和严酷,应用的范围也越来越广泛了。这样,人们对电子设备的可靠性也提出了更高、更强烈的要求。

第一,电子设备复杂程度越来越高。早期的电子设备十分简单,应用范围也小,在当时可靠性问题并不突出。但是,随着科学技术的发展和现代化战争的需要,人们首先对电子设备性能的先进性提出了越来越高的要求,因而,使得电子设备越来越复杂。例如,一个简易收音机只有几十个元器件,一部黑白电视机或民用电台也只有几百个元器件,一部彩色电视机或一部航空电台要有几千个元器件,雷达和一般的电子计算机就要有几千个到几百万个元器件,而卫星地面站、反导弹系统、大型电子计算机或宇宙飞船竟要用一百万个到几千万个元器件。使用的元器件越多,不仅要保证产品的可靠性越困难,而且对电子元器件的可靠性要求也就相应地越来越高了。

第二、电子设备的使用条件越来越多样化和恶劣。随着电子设备在各个领域内的广泛应用,其使用环境也日趋复杂和严酷。温度、湿度、振动、辐射和电磁干扰等各种环境条件对产品的可靠性都有严重的影响,这就需要研究环境条件对可靠性的影响和如何提高产品在不同条件下的可靠性问题。条件愈恶劣,保证产品可靠性就愈不容易。例如,热带地区使用的设备,要能防高温耐潮湿;海上使用的电子设备要有防潮、防盐雾及抗冲击、防振动的能力;宇航电子产品要考虑到高速摩擦热、宇宙粒子、光电核辐射、振动加速度等对它的影响;飞机用的设备除了要求能够耐冲击、防振动外,还要能承受 $-55\sim+70^{\circ}\text{C}$ (甚至更高)的温度应力;卫星在六万英尺高空要承受零下 90°C 的低温,而安装在导弹上的电子设备除了要承受 125°C 的高温外,还要承受导弹发射和改变方向时产生的强热振动、加速度和离心力,等等。总之,复杂而又恶劣的环境条件,对电子设备提出了越来越高的可靠性要求。

第三、电子设备的应用范围越来越广泛。从每个家庭开始,到工业、农业、国防及尖端科学等各个领域,都离不开电子产品。其应用范围的广阔,产品数量的浩大,以及某一故障对政治、军事、经济、科研,直至对人民群众的日常生活等各方面的严重影响(或是对造成损失的估计),都迫使人们不得不将可靠性问题摆到重要的地位,并进行专门的研究。

§ 1. 2 国外可靠性工程的发展与现状

随着科学技术与军事工业的迅速发展,不仅使电子产品在国防、科研、工农业生产等各个领域得到了广泛的应用,而且也促使可靠性工程(即可靠性技术与可靠性管理)得到了迅速发展。但是,不同的国家由于科学技术水平、工业生产水平和发展迅速的不同,它们在可靠性工程方面的成长与发展的时间、水平和速度也不尽相同。通常认为,美国是可靠性工程的发源地与摇篮,所以本节将重点介绍美国可靠性工程的发展情况,同时也简要介绍一些欧洲地区主要的工业发达国家和日本的可靠性工程情况。

1. 2. 1 美国可靠性工程的发展与现状

一、概述

与其它学科一样,管理科学的发展也是从无到有,由低级向高级逐步成长和发展起来

的。通常认为,科学管理的首倡人是美国的泰罗(1856~1915年)。他在他所领导的企业内推行了一套科学的管理方法(包括定额和资金等制度),这方法大大提高了劳动生产率。泰罗的科学管理方法虽然有要更多地剥削工人的一面,但从发展生产、提高效率方面看,确实也有合理的科学的一面。所以列宁说:“应当在俄国研究与宣传泰罗,有系统地试行这种制度,并且使之适应下来”。1911年,泰罗发表了《科学管理原理》,为科学管理奠定了基础。

泰罗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。这是对传统的手工业生产方式的一个重大改革。泰罗的主张,在工业实践中被证明是有效的。因此,在企业中普遍建立了技术检验部门,出现了一批专职检验人员。通过这样的管理体制,对生产出来的产品进行技术检验,不合格品不能出厂。这就是质量管理的第一阶段,也叫“事后检验阶段”。

事后检验有一个缺点,即如果生产过程中某一个环节出了问题而没有及时发现,就可能导致大批产品不合格。在流水线生产中,这个缺点尤为突出。因此,美国的休哈特把概率统计学用到产品的质量上去,于1924年提出了产品质量的管理图。1931年,休哈特的《产品质量的经济管理》一书出版,这标志着质量管理开始进入第二阶段,即“统计质量管理阶段”。

20世纪30年代,由于美国及世界发生了经济危机,休哈特的管理图没有得到广泛应用。第二次世界大战爆发后,美国对军火及军需品的要求成十倍地增加。与此同时,美国的熟练工人大批参军,大量不熟练的工人及妇女进入兵工厂。兵工厂产量迅速增加而质量迅速下降,引起了美国军方的重视,导致在美国迅速全面地推广休哈特的管理图,并且以此为依据制定了美国战时规范 Z1.1、Z1.2、Z1.3等。这些对提高产品质量取得了明显的效果。管理图的优点,是通过零、组、部件及产品的抽样检验数据,对工序质量加以控制,以及时发现生产过程中产品质量的不稳定性,从而及早采取措施。在推广管理图的同时,广泛普及推广抽样检验。贝尔电话实验室的陶琪、罗敏于1941年发表了计数型抽样检查方案。美国国防部在哥伦比亚大学组织了以弗里曼为首的统计专家组,制定了计数调整型抽样方案,1948年,以 MIL-STD-105 A 方案公布。1960~1962年,由美、英、加拿大三国专家将此方案共同修订成 MIL-STD-105 D,于1963年公布,现已被世界许多国家普遍采用或借鉴。美国斯坦福大学的利皮尔曼等创建了计量型抽样检查方案,在此基础上,美国于1957年公布了 MIL-STD-414 方案,也为世界许多国家采用或借鉴。1981年公布了 ISO-3951,这个国际标准是在414方案的基础上改进而成的。管理图及抽样检验是统计质量管理的两大支柱,在保证产品质量方面起到了极其重大的作用。

二、发展与现状

可靠性工程管理,有它的萌芽和发展阶段,它与质量管理并没有十分明显的界限。追溯到美国可靠性的早期基础工作,可以从1913年美国电气工程师协会(AIEE)第一号标准《电机和电工仪器规范中温度界限所依据的一般原理》开始,它首先提出了对电工材料的化学成分鉴别问题,从而给至今仍反复强调的《高可靠电子元件用材料中基本失效机理的分析》打下了基础。

1916年西方电气公司和贝尔电话实验室联合计划生产了性能良好和抗干扰的公用电话设备,它包括下列可靠性计划:

第一,为得到成熟的设计研制方案,通过设计评审和工程模型试验而得到证实。

第二,采用施加应力试验到失效的方法来考核产品的性能和容差,从而改进设计。

第三,设计的标准化和简单化。

第四,在现场使用条件下,对初样和试生产模型进行评估。

第五,进行制造中的质量控制,以保证获得设计中的固有可靠性。

第六,从现场给设计者反馈情报。

美国于1918年成立了标准化协会(A S A)。随着元件的大量生产和真空管工业的建立和成长,几乎所有产品都需要标准化,首先要求标准的类型,然后要求标准的规范,最后要求标准的测量和试验方法。所以,美国把20世纪30年代称为标准化的十年。而且,1939年美国军械部队建立了监察贮存弹药的统计方法,并且取得了成功,从而推动了40年代的质量控制。

正如前面已经谈过的一样,美国40年代是质量控制(管理)发展的十年。1940年12月,美国标准学会(U S A)应作故部的请求,拟订了对材料和工业产品的质量控制系统统计方法的应用计划,因此,在休哈特管理图的基础上,1941~1942年,美国公布了三个U S A紧急标准(也称美国战时标准),即:

A S A Z. 1. 1—1941质量控制指南。

A S A Z. 1. 2—1941数据分析的控制图方法。

A S A Z. 1. 3—1941生产中质量控制的控制图方法。

由于战争的需要,美国研制了新的真空管、新的电路、新的元件应用方法和新功能的元件,以便得到能够满足更高环境要求的设备。当时最大的问题是真空管的可靠性太差。1942年11月4日,美国的麻省理工学院放射实验室向海军与船舶局提出一份报告,其中提及:“……由于真空管寿命短,需要一个专门小组对它的可靠性进行研究,并协调各个研究所的工作。”正是这个建议得到海军的批准,使得国防部联合总参谋部于1943年6月7日成立了“真空管研究委员会”(V T D C),并领导一个政府与哥伦比亚大学合作的“真空管研究室小组”,开始了真空管可靠性的研究。这个小组在第二次世界大战中起了重要的作用。战后的1946年7月6日,美国成立了“联合研究发展委员会”(J R D B),1946年10月24日V T D C移交J R D B,作为它的特别小组而成立了“电子管专门小组”。并且,国防部命令J R D B开始收集国内外电子管失效数据并加以研究。

1943年,Abraham Wald提出序贯分析基本理论。1945年他又提出逐次抽样检验方法,在大大降低平均检验量和迅速而又准确地判断产品质量方面取得了显著的效果。

1946年,美国质量控制(管理)协会和美国航空无线电联合会(Airinc)成立。当时为了收集和分析商用航线上失效的真空管,要求用户将管子退回制造部门。美国发动侵朝战争以后,Airinc专门收集军用失效管子以及有关的失效原因、工作寿命和工作条件等可靠性数据,经Airinc研究,1950年发现当时舰船上的设备只有33%能圆满进行工作。

第二次世界大战停止工作的I E C第12技术委员会(无线电通信)于1948年恢复了工作,并着手起草《元件基本气候和机械强度试验方法》草案,几经修改于1954年通过。

由此可见,美国在20世纪30年代和40年代,主要是质量管理阶段。1950年,美国材料试验协会(A S T M)发表了《材料质量控制手册》一书,1951年,先后发表了“M I L-Q-5923 A. B”、《质量管理手册》、《质量原理》等标准和书籍,这些都是质量管理方面的经验总结。但是,通过第二次世界大战,由于大量的电子设备失效给美国政府带来了严重

的损失，事实和血的教训使他们认识到单纯靠质量管理还不能完全解决设备的可靠性问题，致使美国在50年代和60年代大力开展了可靠性研究工作，从而使可靠性工程迅速发展起来。

1950年，美国国防部通过研究发展委员会（RDB）了解到电子设备不可靠的原因，除了电子管以外，其它许多元件也有问题。因此，RDB通过它的委员会就电子设备的可靠性问题成立了特设可靠性小组。同年12月17日，国防部给RDB的命令中提出六条任务，涉及了可靠性工程中的许多重要问题，如维修、设计、失效分析、可靠性评价等。1951年8月14日，研究开发部主席给国防部长一封信，指出大量的电子设备不满足要求，希望采取有力措施。1951年12月12日，国防部长乔治马歇尔签发了150.21-1号命令，标题为“电子设备可靠性”，第一次为军队系统的采购工作提出了明确要求。命令明确指出：“可靠性应当成为所有的采购工作及使用设备的主要指标。”

1950~1952年，特设可靠性小组除了在研究设备失效以外，还分别通过Vibro协会、航空无线电协会和贝尔电话实验室，对元件、电子管及零件的失效等问题进行了深入的研究。1952年2月18日，电子设备特设可靠性小组向国防部提出一份报告，提出可靠性工作的17条建议^[24]。

- (1) 在现场使用基础上编辑失效资料报告，汇集、计算这些资料并转交给设计人。
- (2) 电子管、元件和系统的可靠性计划，由适当小组继续进行研究。
- (3) 将可靠性要求列入由联合电子通信委员会制定的军用特性规范里。
- (4) 进行最小维护量的研究。
- (5) 对不可靠设备的影响的研究。
- (6) 将可靠性概念包括进对电子设备的采购、生产和质量控制中去。
- (7) RDB（研究发展委员会）的可靠性活动从军用特性开始，通过应用逐渐扩大，因此，建议成立一个永久性的RDB可靠性小组。
- (8) 展开教育运动；建立一个可靠性情报中心以提供可靠性资料。
- (9) 研究模拟现场应用的试验设备。
- (10) 分析和批准具有易维护和可靠性能的新设计。
- (11) 规范中列入可靠性章节。
- (12) 改进对检验人员的训练方法和要求。
- (13) 改进由材料代理商和他们的承包商对设备安装的工程监督。
- (14) 调查维护方面存在的问题，以保证得到更好的预防性维护、训练和较简单的试验设备。
- (15) 军事部门设立可靠性组织。
- (16) 在军用特性中，采用和汇集特殊产品中所必须的可靠性分类、分级要求。

这个报告发表六个月以后，1952年8月21日，国防部成立了“电子设备可靠性顾问组”，即AGREE，并置于研究发展委员会（RDB）之下。

1951年7月，美国国防部（DOD）与康尔大学合作成立信号公司，对真空管失效问题进行研究，确定拒收条件，因而开始了数据收集和整理工作。5月10日发表了MIL-E-16400，该规范强调应用优选和标准部件、美国海军可靠电子管和高质量材料，同时强调设计要简单和便于安装维护，还要求应用消除误差的定位校准点、设计时的人机工程分析和其它许多有助于提高可靠性的规范。

1953年8月14日,兰德公司发表一项《电子设备可靠性当前形势的调查》的备忘录。这是对几年来可靠性工作情况做的很好的调查分析,它提供了情报并推动了美国无线电公司(RCA)在工业公司中建立了较大的可靠性-控制计划。不久以后,该计划领导人C. M. Ryerson发表了第一个用于设备设计的可靠性计算方法,提供目前已很好建立的可靠性预测技术。7月15日,贝尔电话实验室提出海军舰船局元件失效分析计划报告,此报告包括1951年7年1日到1953年6月30日的期限,从AIRINC、VITRO和其它收集计划收回的成千上万的失效元件中进行分析,注意到失效模式和失效机理。这些情报对生产者是很有用处的,经过分析揭露出一些重要事实,如“62%的失效功率电阻器不符合JAN规范”及“电位器失效的原因是由于其它元件,首先是真空管失效而造成电位器过负荷的原因所致”。

1953年,电子顾问团数据中心(AGET)开始出版经过收集整理的真空管失效数据。

1954年,波音飞机公司的R. H. Lindsay发表了《可靠性的实际期望和界限》。

当1953年研究发展委员会(RDB)撤销时,AGREE便转到国防部助理部长办公室(研究与工程),并于1954年改组为国防部助理部长办公室(应用办公室)的一个组成部分。1954年3月31日,国防部助理部长办公室给AGREE的最后指示中说,顾问组的目的是保证“……把科学、工程、生产及使用等各方面现有的优秀人才集中到为谋求军用电子学可靠性方面来。顾问组应在其工作范围内对电子设备设计、研制、订购、生产、维护、安装、使用及训练等方面的可靠性问题加以监督,促使人们关心及提出咨询。”1954年3月和6月,美国又相继成立了“电子管顾问组(AGET)”和“电子元件顾问组(AGEP)”。电子元件顾问组的主要任务是“……协助制定一个有效的、协调的、完整的电子元件研制计划”。其活动规定为“……研究发展电子元件(包括电容器、线圈、电感器、变压器)、材料的电磁特性、电机装置、频率控制装置、电阻器、传输线和采用小型电子元件及印刷电路的密封小封装配件的技术”。为了达到这个目标,顾问组应“……不断地观察国防部内外电子管元件方面的各种研究发展活动……”。

在AGREE、AGET、AGEP成立后,军用设备的不可靠性问题成了法律上争执的问题。由于朝鲜战争中设备失效的问题异常严重,美国众院委员会在一个报告中承认:“在战争压力下,在遇到较复杂问题时,美国还不能制成能够适应不同要求,而且价格低廉、易于维修的电子设备”。1954年7月,众议院政府工作委员会研究了一份由军事工作小组委员会呈交的关于研制及订购AN/ARC-21型机载无线电收发信机的报告。小组委员会指出朝鲜战争是需要AN/ARC-21型设备的,但认为在空军订购生产设备之前,应先解决该设备的不可靠问题。报告中提出“小组委员会相信只设计能满足杂性能要求的无线电设备是不够的,要有实际价值,则必须使设备的生产成本低、使用经济、维护方便,并能廉价提供满足操作要求随时变动所需要的适应性”。1955年3月,这个小组委员会审查了TAGAN及VORDME型空中导航设备的工作情况,再一次讨论了这些设备的可靠性,并再次指出在生产某一设备之前,应首先确定该设备的可靠性。

1954年美国国家标准局发表了由海军航空局倡议的《优选线路手册》,建议了17种线路,这些线路是研究了包括军用和民用的许多设备中工作稳定性的代表性设计,而且是用了十年的几乎没有什么大改进的线路后提出的。这有助于海军航空设备线路的简化。

1954年12月12日~13日,美国首届国家可靠性会议在纽约召开。该会议由无线电工程师

协会 (IRE) 和美国质量控制 (管理) 协会 (ASQC) 联合发起, 参加发起的还有美国航空航天工业协会 (AIA)、美国电气工程师协会 (AIE) 和美国电子工业协会 (EIA)。最初几次年会电子学方面的内容比较多, 后来包括的范围愈来愈广, 而且应用到任何工业领域里, 所以从第八届年会开始取消了“电子学”字样。这一年里有两个重要出版物, 就是NEL (海军电子实验室) 的《可靠性设计手册》和《可靠性文献目录》。

1955年, AGREE在给政府的报告中认为, 已有充分的知识和浓厚的兴趣, 可以采取明确的措施来确定可靠性的定量要求, 并发展各种证明这种要求得到满足的适当试验。因此, 制定了一个包括有可靠性要求、设计程序、试验、元件可靠性、采购、包装和运输、储存、操作、维修等九个课题的规划。1956年初, 把每一课题分配给来自军事部门、工业系统的工作组成员, 并且相应的组织了九个研究小组进行调查研究和实验。九个研究小组的研究结果, AGREE于1957年6月14日发表了一份题为“军事电子设备可靠性”的极为重要的报告, 这就是美国第一批陆军可靠性标准。这份报告的研究成果成为当时乃至现在研究军用设备可靠性途径的技术基础。

1955年4月和1956年10月, 空军先后发表了《地面电子设备的可靠性因素》和《空用电子设备设计因素》两篇论文。1955年8月16日~17日, 由空军和RCA (美国无线电公司) 联合召开了“军用电子设备可靠性”年会。空军在1956年以前, 经若干年的研究, 已经使承包商在各个可能的方面建立了可靠性计划。1956年, 美国航空航天空间制造商协会 (AMC) 采购和生产首长Baker将军致函空军供应部首长, 要求提出详细的可靠性控制计划。为了作出适当回答, 建立了AMC、ARDC (美国陆军导弹研制中心) 特设委员会, 指定了人员并授权为此作准备。该委员会的第一项工作就是建立评定的标准, 即建立对提交的计划进行评定的标准。规定了十个标准项目: 概念和研究、组织、计划、质量控制、可靠性要求研究、鉴定试验、接收判据、失效和疵病报告、分析和纠正、与承包商的关系及可靠性的训练教育等。通过对8架有人驾驶的飞机、8枚导弹和10个副系统的承包商进行评定, 指出大部分计划有缺点, 最薄弱的是计划和训练, 其次是可靠性要求研究、组织及概念和研究。1957年1月, 空军发表《军用设备中电子元件的应用技术》一文, 这是一个十分完整的元件应用手册, 它对可靠性设计十分有利。

从1955年到1958年, 陆军红石兵工局 (Redstone Arsenal) 积极地开展了工作, 出版了许多很有价值的书籍, 例如, 1956年9月发表了众所周知的《复杂设备的不可靠性》, 1958年10月发表了《安全边界的可靠性》, 1958年4月修订发表的《导弹可靠性方案的最佳资金分配》。

1957年4月, 美国航空电子公司开始研究客机上真空管的失效数据。7月1日, 国际地球物理年 (IGY) 正式开始, 做了大量研究工作, 其中可靠性工作有重要意义的是空军科学家戴维德进行了十万英尺的气球飞行, 探明了高空的高辐射现象及许多其它的研究, 有助于人造卫星的实现。后来空军将“空中”和“空间”二词经合并修正为“航空空间”, 并认识到现代航空空间的飞行工具是一个运行在地球大气和外层空间真空中的运载工具。空军动力滑翔机就是一例。一个真正的宇宙飞船只运行在空间真空中, 这些新的工作环境的可靠性问题也开始表现出来。10月, 电子元件顾问小组发表了题为《电子元件的环境要求指南》此指南以后发展为MIL-STD-446标准。

1957年3月, 在助理国防部长 (研究与工程) 领导之下, 成立了特设导弹可靠性委员会

(ACGMR)，它设计了一个“……为有效地适用于各式导弹设计统一的监察方案和管理程序”。1958年4月，该委员会又提出了一个报告，提出：所建议的管理和监察方案在批准合同时开始执行，并且在设计、研制、生产和重要的产品改进中不断执行。为了保证遵从可靠性规范和协助承包商了解是否已达到这些目标，对每一个产品确立了8个试验点或检测站，要求承包商提出一个关于预测或证实了的完整的可靠性报告。这八个可靠性监察点是在委员会若干结论基础上确定的。首先，委员会认为：“……可靠性是一个在设计、研制、生产和作重要改进导弹系统时，可以预测、估算、测量和控制的参数”。其次认为“……在生产过程中，规定和监察导弹武器系统的可靠性在技术上是可行的和有效的”。

AGREE于1957年6月4日报告中提出的建议之一是：在国防部等级上建立一个永久性小组，包括工业部门和三个服务部门的代表，承担发展军用元件规范，为研究设计能力而对元件进行试验，此小组作为国家可靠性中心。一年以后，对此项建议做了一些工作，1958年7月14日，在生产政策局、OASD（供应和后勤）、电子局、OASD（研究和工程）之间取得协议并成立了Ad Hoc元件可靠性规范管理研究小组。新研究小组的课题是：“……分析AGREE第5工作组推荐书，向助理国防部长（研究和工程、供应和后勤）提出关于有效的执行方法和程序的意见”。1960年8月，Ad Hoc研究小组发表了二卷报告《PSMR-1 元件可靠性规范管理》。此外，还建立了三个可靠元件的规范样本，建立了完善元件技术文件的新程序，并向助理国防部长（供应和后勤）直接报告，建议成立一个新的顾问小组，建议此小组的名称为AGMEPS（电子元件规范管理顾问小组）。

1957年，美国在发展可靠性方面的重大事件还有：国防部聘请以贝尔实验室副总工程师为首的专家组成专家组，起草陆军标准MIL-STD-785（管理标准）、宇航标准NAC-250-1及空军标准MIL-STD-26484（USAF）（电子技术开发规范）。建立了罗姆海姆基地失效数据处理中心，实行全军反馈制。苏联人造地球卫星首次上天，美国大受刺激，立即组成特别研制组，也成功地发射了地球卫星，同时还成立了特种规划署，首次运用运筹学与系统工程，使北极星式导弹潜艇规划提前二年完成。这一年中，MIL-R-25717《电子设备的可靠性保证程序》等标准先后问世。

1958年发生了许多重要的可靠性事件。在第4届国家可靠性年会上，讨论可靠性定义的小组，除了极少数条款经过激烈争论后得到临时的定义外，其它几乎一无所成。这就严重地妨碍了可靠性工作，说明在定义上需要做大量工作。同年12月，由国防部（DOD）等部门联合发起国家定义计划，并编制了《产品保证和有关现场名词定义暂用字典》。AGED发表第一个《AGED电子元件和材料计划安排提要》。同年4月国防部下达一个特别命令。指示ACGMR（导弹可靠性特别委员会）把可靠性监督程序用于设计、研究与生产导弹。同年6月2日，由通讯与导航实验室草拟出《电子系统的研制可靠性要求》，即MIL-R-26484。美国空军（USAF）要求机载电子系统的MTBF不少于300小时，单独作业不少于500小时，要抽查50%的产品等。6月28日，国防部给三军一个紧急指示，提出实施规范MIL-STD-441，即《军用电子设备可靠性》。10月31日，空军研制中心提出一份报告《地面电子设备的研制与测试》即RADC-2629，此文件被称为是一块可靠性的里程碑。11月25日，这个研究中心又提出《地面电子设备的生产准备及生产》，即RADC-2693。

1959年1月，第5届国家可靠性年会之前，RCA发表了《产品保证手册》，该手册指出：“产品保证就是从管理上和使用寿命上保证产品的所有属性，如可靠性、质量、可维修性、