

# 保证科学

质量控制及可靠性导论

(美) 西格蒙·哈尔朋 著

谭振学 译 胡 定 校

中国标准出版社

an introduction to quality control and reliability

3114

# 保 证 科 学

质量控制及可靠性导论

(美) 西格蒙·哈尔朋著

谭振学 译

胡 定 校

中国标准出版社

1 9 8 3

## 内 容 简 介

本书是“质量保证科学”的入门教材，研究的对象是质量控制和可靠性理论的各种课题，包括对保证科学各分支的综述、概率论和统计推断、质量控制、可靠性理论、可维护性和综合后勤支援。

本书收编了部分美国标准和规范，以使读者熟悉各种现行文件。书中还附有许多计算实例，以帮助读者理解书中提出的原理及在这基础上解决实际问题。因此，本书既可做为高等院校、科研部门、工矿企业和各种训练班的教材，也可做为自学者使用的教材。

## THE ASSURANCE SCIENCES

### An Introduction To Quality Control And Reliability

Siegmund Halpern

## 保 证 科 学

### 质量控制及可靠性导论

(美) 西格蒙·哈尔明 著

谭振学 译

胡 定 校

\*

中国标准出版社出版  
(北京复外三里河)

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

•

开本 850×1168 1/32 印张 16<sup>1</sup>/<sub>4</sub> 字数 450,000

1984年3月第一版 1984年3月第一次印刷

印数 1—10,000

\*

书号: 15169·3-243 定价 2.35 元

\*

科技新书目

65—181

## 前 言

本书为“保证科学”的入门教材。它所研究的对象是关于质量控制及可靠性理论的各种课题。书中附有许多计算实例，借以说明它对解决现实设备问题的应用原理。另外，书中还专设二章分别介绍可维护性理论和综合后勤支援工程（IRSE）。本书不仅适合作为高等院校的教材，而且对于技术研究部门、工厂企业、各种研究班以及自学者来说也很有参考价值。

根据一贯经验，作者认为工科院校毕业生对保证科学知之甚少。这对运用这些技术组成一个现代化产业公司是一个显然不利的因素。在正规工科院校、研究所以及厂办训练班的课程中进一步加强保证科学的教学是十分必要的。

本书第一章综述了保证科学的各个分支。第二、三章叙述了概率论和统计推断。概率论和统计推断是保证科学的基本工具。从第四章到第七章讲述质量控制；从第八章到第十一章讲述可靠性理论；第十二章专讲可维护性；第十三章论述综合后勤支援工程。

作者尽量收编国家规范和标准的原文或其有关内容，包括一些图表，以便使读者熟悉各种现行文件，说明如何运用这些文件来解决实际问题。在这些问题中，有许多适用于军用和民用的宇航设备。

本书涉及的课题很广，这些课题都被证明与保证科学的应用具有密切的关系。书中一般不作严格的数学推导，在必要的地方列出了适当的参考文献以便进一步了解数学推演过程。作者希望本书有助于读者理解和掌握各种保证科学技术。

作者对美国无线电公司（RCA Corporation）的E·S·谢克特（E·S·Shecter）、G·布拉宁（G·Branin）、L·卡普兰（L·Caplan）和F·A·爱布尔（F·A·Eble）等表示谢意。E·S·谢克特、G·布拉宁和L·卡普尔校阅了本书的手稿，并且提出了建设性的意见；F·A·爱

布尔对本书提出了宝贵的建议。感谢已故的皇家学会会员、文学理事  
罗纳德 A·费谢尔先生和弗兰克·亚茨博士；感谢朗曼集团有限股  
份公司 (Longman Group Ltd) 允许采用他们 1974 年第六版《生物、  
农业和医学研究统计表》一书中的第四个表格。同时，特 别 感 谢 玛  
莉·柴普曼 (Marie Chapman) 女士，她打印了本书的全部手稿。

西格蒙·哈尔朋

# 目 录

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| 导论 .....                    | ( 1 )  |
| 综述                          |        |
| 1 保证科学——综述 .....            | ( 4 )  |
| 1.1 质量控制 .....              | ( 4 )  |
| 1.2 可靠性 .....               | ( 7 )  |
| 1.3 可维护性 .....              | ( 9 )  |
| 1.4 综合后勤支援 (ILS) .....      | ( 11 ) |
| 概率论与数理统计                    |        |
| 2 概率论 .....                 | ( 13 ) |
| 2.1 基本概念 .....              | ( 13 ) |
| 2.2 互斥事件 .....              | ( 15 ) |
| 2.3 非互斥事件 .....             | ( 16 ) |
| 2.4 独立事件 .....              | ( 17 ) |
| 2.5 条件概率 .....              | ( 19 ) |
| 2.6 概率分布 .....              | ( 21 ) |
| 3 统计推断 .....                | ( 56 ) |
| 3.1 基本概念 .....              | ( 56 ) |
| 3.2 总体平均值置信区间的估计——大样本 ..... | ( 59 ) |
| 3.3 总体平均值置信区间的估计——小样本 ..... | ( 61 ) |
| 3.4 $X^2$ 分布 .....          | ( 64 ) |
| 质量控制                        |        |
| 4 产品质量 .....                | ( 74 ) |
| 4.1 质量控制的背景和意义 .....        | ( 74 ) |
| 4.2 质量控制的定义 .....           | ( 74 ) |
| 4.3 质量控制的必要性 .....          | ( 75 ) |
| 4.4 质量控制的历史 .....           | ( 75 ) |

|     |                          |        |
|-----|--------------------------|--------|
| 4.5 | 可靠性与质量控制之间的区别 .....      | ( 77 ) |
| 4.6 | 如何保证产品的质量 .....          | ( 78 ) |
| 5   | 工序控制 .....               | (102)  |
| 5.1 | 材料、机器及操作者的变异性 .....      | (102)  |
| 5.2 | 质量控制图制作技巧 .....          | (103)  |
| 6   | 验收控制原理 .....             | (132)  |
| 6.1 | 验收控制的目的 .....            | (132)  |
| 6.2 | 验收控制的类型 .....            | (132)  |
| 6.3 | 抽样验收原理 .....             | (135)  |
| 6.4 | 抽样方案的类型 .....            | (151)  |
| 7   | 抽样验收的军用标准 .....          | (166)  |
| 7.1 | 概述 .....                 | (166)  |
| 7.2 | MIL-STD-105D .....       | (167)  |
| 7.3 | 例题——MIL-STD-105D .....   | (195)  |
| 7.4 | MIL-STD-414 (A 部分) ..... | (202)  |
| 7.5 | 例题——MIL-STD-414 .....    | (252)  |
| 可靠性 |                          |        |
| 8   | 产品的可靠性 .....             | (265)  |
| 8.1 | 产品可靠性的历史背景及重要性 .....     | (265)  |
| 8.2 | 可靠性的定义 .....             | (265)  |
| 8.3 | 时间相关性 .....              | (266)  |
| 8.4 | 与质量控制的关系 .....           | (266)  |
| 8.5 | 可靠性的实现 .....             | (266)  |
| 9   | 设备残存 .....               | (297)  |
| 9.1 | 残存概率的概念 .....            | (297)  |
| 9.2 | 故障率 .....                | (297)  |
| 9.3 | MIL-HDBK-217B .....      | (299)  |
| 9.4 | 降低额定值法 .....             | (312)  |
| 9.5 | 故障间隔平均时间 (MTBF) .....    | (314)  |
| 9.6 | 故障性维修事件 (维修呼叫) .....     | (316)  |

|      |                               |         |
|------|-------------------------------|---------|
| 9.7  | 设备寿命的三个时期 .....               | ( 318 ) |
| 9.8  | 平均寿命 .....                    | ( 319 ) |
| 10   | 可靠性预测方法 .....                 | ( 326 ) |
| 10.1 | 泊松分布的应用 .....                 | ( 326 ) |
| 10.2 | 串联系统的残存概率 .....               | ( 329 ) |
| 10.3 | 并联冗余系统的残存概率——所有系统都通电 .....    | ( 331 ) |
| 10.4 | 二项式分布在并联冗余情况下的应用 .....        | ( 337 ) |
| 10.5 | 串并联冗余 .....                   | ( 339 ) |
| 10.6 | 冗余分系统的限制 .....                | ( 343 ) |
| 10.7 | 备用并联冗余系统 .....                | ( 345 ) |
| 10.8 | 系统可靠性 .....                   | ( 349 ) |
| 11   | 可靠性试验 .....                   | ( 354 ) |
| 11.1 | 发生故障达到预定次数时结束的可靠性试验 .....     | ( 354 ) |
| 11.2 | 在预定时间结束的可靠性试验 .....           | ( 358 ) |
| 11.3 | 序贯可靠性试验 .....                 | ( 360 ) |
| 11.4 | 可靠性试验标准 MIL-STD-781B .....    | ( 366 ) |
| 11.5 | MIL-STD-781B .....            | ( 370 ) |
| 11.6 | 例题——MIL-STD-781B .....        | ( 396 ) |
| 有关专题 |                               |         |
| 12   | 可维护性 .....                    | ( 403 ) |
| 12.1 | 可维护性工程 .....                  | ( 403 ) |
| 12.2 | 可维护性设计 .....                  | ( 404 ) |
| 12.3 | 可维护性保证 .....                  | ( 405 ) |
| 12.4 | 可维护性的定性与定量要求 .....            | ( 418 ) |
| 12.5 | 设备利用率 .....                   | ( 418 ) |
| 12.6 | 故障间隔平均时间与修复前平均时间之间的协调平衡 ..... | ( 421 ) |
| 12.7 | 修复前平均时间的预测 .....              | ( 423 ) |
| 13   | 综合后勤支援 .....                  | ( 429 ) |
| 13.1 | 综合后勤支援的概念 .....               | ( 429 ) |
| 13.2 | 寿命周期费用 .....                  | ( 430 ) |



|                         |         |
|-------------------------|---------|
| 13.3 维修工程分析 (MEA) ..... | ( 431 ) |
| 13.4 支援要求 .....         | ( 434 ) |
| 附录                      |         |
| 附录 A .....              | ( 447 ) |
| 附录 B.....               | ( 489 ) |
| 参考文献 .....              | ( 506 ) |

## 导 论

保证科学是研究质量、安全性、经济性、可维护性以及产品可靠性的工程技术。这些技术，借助于影响设计、预测及验证最终结果，在现行的复杂设备的研制过程中起着极其重要的作用。

本书介绍了质量控制和可靠性、可维护性以及综合后勤支援 (ILS) 工程<sup>①</sup>。至于保证科学“家族”中的其他成员，诸如安全性、价值工程、人的因素和标准化，则不在本书所述范围。

有关质量控制这门保证技术并没有统一的定义。质量控制部门的职责可能限于传统的在生产过程中对产品的质量检查。但是，这种职责也可加以扩大，进而对产品质量起到更全面的作用（质量保证）。如果这种职责被扩大，那么，基本的质量控制检查活动就增加了质量工程与质量管理计划审查的内容。

某些企业可能使用“产品保证”这一更具有概括性的术语。由于本书把质量控制归成保证科学的一个分支，那么，它的含意与质量保证这一更广泛的术语是一致的。

质量控制并非一门新的学科。人们在一开始进行有组织的工业生产时就想方设法提高和保持产品的质量。但是，他们的方法却具有很大的主观性，他们在工业生产中做不到均匀一致，缺少严密的科学性。而统计质量控制则采用了概率论和数理统计的科学原理，把这种原理作为决定产品验收的基础。

贝尔电话实验室 (Bell Telephone Laboratories) 的华尔特·A·休哈特 (Walter·A·Shewart) 以将统计质量控制方法引入美国而拥有声望。他最初对研究质量控制图<sup>②</sup>很感兴趣。1929年，道奇

① 综合后勤支援 (ILS) 工程又称综合后勤工程 (ILE)，本书采用 ILS，用以代表一切 ILS 活动及其手段。

② “质量控制示意图”，《贝尔系统技术》杂志第 593—603 页，1926 年 10 月。

(H·F·Dodge) 和罗米格 (H·G·Romig) 采用抽样统计方法, 并提出了许多种抽样检查方案<sup>③</sup>。开始, 仅仅依靠质量控制还不能保证产品设计具有长期的现场运行能力。基础设计往往并不适用于在现场作无故障的运行。这主要由于设计人员可能没有考虑到一些微小的操作和环境的要点所致。这里可靠性工程 (也叫“产品可靠性”或简称“可靠性”) 做出了贡献。

正如质量控制一样, 可靠性理论以概率论和数理统计为基础, 它被引用于设计的初期阶段。可靠性理论的目的是保证产品在给定的时期内以预计的成功概率正常工作。这个概念是由电子设备可靠性顾问小组 (AGREE) 宣布的<sup>④</sup>, 该小组于 1957 年在助理国防部长发起下形成了可靠性的基本概念。早在五十年代初就已认识到需要正式的可靠性学科。

在引入统计质量控制和可靠性技术的同时, 人们越来越重视从总的方面有效地诊断更换报废零件和维护设备, 至于军用电子设备则需要保持随时可投入运行的良好状态; 因为早期设计中不易接近和不便修理的缺点会使现场维修费用猛增。

人们需要一种关于设备维护和支援的新办法。早在 1954 年军事部门就引用了可维护性这一概念。当时, 为保证执行可维护性的要求, 除了质量管理和可靠性之外, 还需要一门单独而正规的技术。五年内, 美国空军首先发表了正式可维护性标准<sup>⑤</sup>。可维护性技术为修理某一给定设备部件所花的平均时间加以限制, 该平均时间包括故障诊断、实际修理和重新调试所耗用的时间。

最后, 还需要对投入运行的设备给以支援、备用补给和训练等。与此种支援作用有关的技术称为综合后勤支援工程 (ILS)。该项技

---

③ H·F·道奇和 H·G·罗米格的“抽样检查法”《贝尔系统技术》杂志第 613—631 页, 1929 年 10 月。

④ 《军用电子设备的可靠性》, 助理国防部长办公室, 电子设备可靠性顾问小组报告, 1957 年 6 月 4 日。

⑤ MIL-M-26512A 军用标准《供武器系统或分系统使用的可维护性条件》, 1959 年 6 月 18 日。

术在 1964 年已得到美国国防部的正式承认。

由于各个工业企业的组织结构都有自己的特点，所以，质量控制、可维护性，以及与此有关的可维护性和综合后勤支援工程的职能和目标相互重叠。文献中对这些技术之间的关系持有不同的见解。通常的做法是将质量管理、可靠性和可维护性等职能集于一个名为质量保证或产品保证的部门下。而综合后勤支援活动或者不需要，或者并入有关的活动中去。在较大的企业组织中，产品保证可能居最高地位，其下有质量保证、综合后勤支援、可靠性和可维护性工作。另外，也有将所有保证工作都由综合后勤支援部门指导的情况。从第 138 页至第 139 页上的图 4—1 至图 4—4 提供了几个典型的组织示意图。

# 1 保证科学——综述

本章对保证科学的意义及其所使用的技术作一总的概述。其主要内容将在后面详细地加以叙述。

军事部门是发展和使用保证科学的先驱。因此，在保证科学领域里，绝大多数的规范、标准和准则都起源于军事部门。然而，这些技术在广阔的非军事方面的应用越来越具有重大意义。

任何著名厂商都会发现，制定一项适当的保证计划在经济上是必要的。“货物出门，概不退换”的那一套做法已不再适用。取而代之的是“让卖主当心！”。据记载，已有许多消费者对提供粗制滥造产品的货主起诉成功的例子。公众对优良、安全、耐用和服务良好的产品的需求日益增长，激起了强有力的保护消费者运动。加上当前的用户立法，促使厂商去制定切实可行的保证计划。因而，今后需要的是更全面的保证计划。

## 1.1 质量控制<sup>①</sup>

质量控制是管理部门根据概率论和统计学原理用来保证产品达到所要求质量水平的一个现代化决策工具。质量控制部门的目的是消除所生产产品的变异——这是一项不可能完成的任务，而是把这种变异限制于经济可行的限度以内。基本质量控制方案应该在产品的研制和整个生产周期内自始至终加以控制，并且方案应包括检验和测试要点的流程图。

生产活动有赖于正确的图纸和规范。质量控制部门应该审查这些图纸和规范，这种审查应集中于以下几个方面：

---

① 质量控制导论是根据 E·S Shecter 所著的《质量控制及可靠性管理》一书中的第一章——“质量业务范围”写成的。该书于 1969 年由美国质量控制协会教育与训练研究所出版。

1. 完整与清晰
2. 产品的可检查性
3. 公差的制订
4. 是否符合用户提出的特殊要求
5. 是否符合鉴定标准
6. 测试条件的验明
7. 对所采用工艺过程应具备的知识和经验

编制质量报告的方法是必须考虑的。报告应根据现有基础以简明易懂的方式提供检查和测试结果。用来描绘有关性能方面的显示技术会大大地有助于确定需要采取什么样的正确行动。表格式周期报告远不及图示法有效。图示法更为简单,可使对趋势的识别更迅速。

任何一项保证计划取得成功的主要因素在于选择支持该项计划的销售商,选择最合适的销售人员并不是一件容易的事。必须对每一个主要销售商进行审核,以确定该销售商的能力是否全部符合规定要求。在生产单位应建立销售商监督机构,对准备进行检查的产品应建立鉴定范围。要与销售商开会,向他们交待质量条件和确切的要求以避免经济损失和不必要的延误。

所制定的检查测试方案应当确定准备进行专门控制的生产线上的检查条款和产品鉴定标准。另外,还应正确地制订记录和报告的程序,以使信息流准确及时。当生产进行时,试验鉴定方案的范围有必要重新加以核定。例如,当确无缺陷时仍然继续进行检查则是徒劳的。另一方面,特殊的故障点可能需要设立专门的检查条款或标准。引用新的检查或测试条款的危险是这些条款有永恒性的倾向,即便失效后仍不可改变。因此要求定期观察其检查性能和测试性能,以便及时估计这些条款的有效性。

产品成本的传统估算方法包括原料、人工和管理费用。质量成本估算法是一种由考虑故障费用和预防费用而进一步将成本细分的成本估算方法。故障费用一般包括返工费、重试费和废品消耗。各公司在这方面仍有节约潜力。

预防费用包括操作人员培训费、装备费、以及用于促使操作人员时刻正确无误地做好本职工作的费用。预防费用还包括研究机器能力的费用，以便合理使用机器设备、制定工艺控制路线、为生产周期建立自动测量和校正程序。

质量控制的另一个重要任务是参与工程设计的审查，以便确保充分考虑工艺控制路线、生产项目便于检验和修理、提供充分的规范和标准。并应审查测试设备和测试方法的有效性和适合性。

下面是生产周期内的质量管理任务：

1. 工艺控制路线
2. 检查和测试
3. 数据报告和分析
4. 销售管理
5. 技术培训
6. 产品鉴定
7. 废品及返工管理
8. 现场运行性能
9. 与用户建立联系
10. 审计
11. 校正措施

强制执行国家标准经常会引起销售商抬高物价。然而，经过深入考虑，完善的质量控制系统中的基本因素是相同的，不论是商用、工用或军用。采用控制系统可能需要更多的技术文件，用以证明的确实行了质量控制。

一旦决定采用一种质量控制系统，即使出厂产品的数量有时受到影响，管理部门也必须支持和维护质量控制部门制定的规章制度和决定。要想在不影响产品质量的前提下满足生产计划，那么，公司各部门之间就应当密切合作，努力接受质量控制。通过控制产品的变异、提高产品的稳定性，其废品率和返修费用就会降低，从而，材料成本和劳动力代价就会相应地减少。所节约的资金可以降低产品价格或增加利润。

## 1.2 可靠性

电子设备在受热，受潮，发霉，遇到寒冷、盐雾侵蚀、振动和碰撞的条件下工作而发生失效、工作间断和提前退化的情况是屡见不鲜的。修理或更换不合格设备会使费用增加，而且在急用时还会造成严重后果。

过去，这方面的问题在很大程度上是因为今日所使用的可靠性概念还未被正式承认为设备的一个性能特征。

让我们进一步考察一下“reliability”（可靠性）这一名词。在词典中，“reliable”一般定义为“可靠的”、“可信赖的”、“始终如一的”和“忠实的”。当我们提及某一产品时，我们总是希望使用这些形容词。问题是采用这种方式表达产品的性能太主观。不同的用户对产品的性能或寿命可能有不同的期望。就如何恰如其份地划分“性能降低”与“报废”之间的区别也可能存在着分歧。

在保证科学中，“可靠性”被赋予了更加确定的特性：可靠性可以被确定、计算、检验和证明。因此，“可靠性”可以在购置设备文件中加以规定，并且可以根据合同加以实施。通常，可靠性被定义为某种装置在规定的范围时间和所阐明的条件下执行预期功能的概率。例如，99%的概率就是某种装置平均每100次操作中有99次操作是正常的（如上面定义的那样），或者，在每100个装置中平均有99个将正常操作。另一个众所周知的可靠性测量参数是MTBF（故障间隔平均时间）。

“预期功能”这一用来描述设备性能的术语使我们有可能确定设备工作不正常（即故障）的原因。

设备正常工作的规定期限可以是“一次使用性设备”（例如：爆炸螺栓）的瞬时工作和仅仅持续几小时的工作，也可以是持续数年的空间飞行。

“所阐明条件下的工作性能”是指设备在规定的寿命期间可能遇到的工作状况和环境条件，设备与设备之间的操作状态各不相同，因此，充分地加以区别是非常重要的。例如，在这些工作状况中，可能



包括由供电线路进入设备的异常电压瞬变；环境条件，例如前述的受力和受潮。它们必须不致引起设备发生故障。

当然，以前也有过延长设备寿命的尝试。设计师们从以前的挫折中得到教训，并且做了大量的试验。但是，他们常常采取过分安全的设计以试图解决设备问题和延长设备寿命。其结果是使得设备过分笨重和昂贵。当要求日益复杂的线路和系统体积小且重量轻时，问题就会大大地复杂起来。通常使用的那种直观设计方法以及把一切东西都做成样品进行试验的那种昂贵做法已被新而有效的方法所代替。新的可靠性技术早在五十年代初即进入了设备设计和研制领域。六十年代至七十年代期间，其重要意义及完善程度一直在稳步上升。

**可靠性**，通过一系列构成组织计划的技术与设计相结合。在结合过程中管理部门有义务给予支持。首先，有必要分析用户要求、判断各种恶劣的操作及环境条件。在这种调查研究的基础上，设计研究阶段可以使用可靠性原理。该项工作包括根据初始设计工程数据对可靠性进行初步分析。从这种走马观花的分析可以看出此设计是否有可能符合预期的成功概率。如果不符合，就有必要对设计进行改进，例如简化设计结构，减少线路的复杂程度，或者采用更可靠的零件。也可能会有采用“冗余技术”（一种故障零件自动替换方法）的必要。所有这些可能进行的修改在付诸实施前都需要做成本及协调分析。

基本设计方法一经确定，零件选用这一细致工作即可开始。可靠性技术部门的工程师和标准化专家，以其关于零件类型、军用件标准、出现故障的历史，以及推销方面的渊博知识，向设计师提供有益的帮助。零件选用通常包括采用降低额定值的方针，以便通过限制零件上的电负荷来保证延长使用寿命。如果采用半导体装置，为剔除不良元件，可以规定焊接要求。

随着设计的进展，可靠性工程师协同设计师将对线路进行一次最差情况的分析。这种分析是确定线路在其零件处于公差极限时，以及环境温度从一种可能的极端变到另一极端时是否仍能正常工作的方法。随着这些线路和子系统的资料变得切实可行，可靠性技术部门将