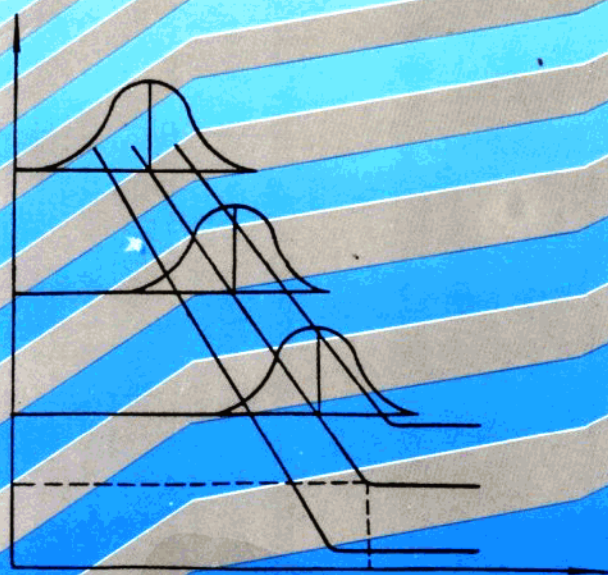


非电产品的

可靠性技术与应用

张祖明 主编



海洋出版社

非电产品的可靠性技术与应用

——RSCM '92 第二届全国可靠性学术会议论文集

张祖明 主编

海洋出版社

1993·北京

(京) 新登字 087 号

内 容 提 要

非电产品可靠性是当前可靠性领域的研究热点, 全书选编 55 篇论文, 共分三部分, 第一部分: 综述非电产品可靠性的研究热点、新进展和学术动向; 第二部分: 论述各种系统(结构系统、工程系统、人因工程系统、液压系统、机构系统、数控机床、输发电系统、NON-MARKOV 系统等)的可靠性分析, 系统可靠性仿真, 系统智能模拟, 专家系统, RCAD 软件及产品加速寿命试验等; 第三部分: 介绍零部件(轴、轴承、带传动、焊接结构、刀具、复合应力零件等)的可靠性分析, 随机载荷谱微机采集, 三种可靠性随机疲劳寿命预测法, M-C 有限元法, 模糊可靠性分析法及 BAYES 可靠性验证法等。

本书论文选编有两个特点: 一是突出“新”字, 反映我国可靠性的最新研究成果与水平, 反映当前国内外对非电产品可靠性研究的学术动向和最新进展, 二是突出“实用”, 能解决各行业进行非电产品可靠性设计的具体理论和方法, 并提供微机 RCAD 等设计手段。

本书可供从事机械、力学、航空航天、核能、建筑、造船、动力、石油、煤炭、化工、印机、计算机、电子等领域的工程技术人员、管理人员和大专院校师生及研究人员参考。

非电产品的可靠性技术与应用 ——RSCM'92 第二届全国可靠性学术会议论文集 张祖明 主编

1993 年 2 月第 1 版 1993 年 2 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张:

印数: 1000 册 字数: 500 千字

ISBN7-5027-3211-X/TB·8 定价: 45.00 元

RSCM'92
第二届全国可靠性学术会议论文集

评 审 人 员

田怀祥 刘惟信

黎保琨 郭余庆

孙惠中 张祖明

中国现代设计法研究会可靠性学会

第二届理事会名单

- 理事长：田怀祥——教授，北京印刷学院副院长
- 副理事长：黄祥瑞——副研究员，清华大学核能研究所人因工程研究室主任
陆传良——高级工程师，电子工业管理干部学院副院长
黎保琨——教授，北京水电管理干部学院研究生部
王金——副教授，东北工学院机械二系研究所所长
张祖明——教授，北京印刷学院可靠性研究室主任
- 理事：郭余庆——教授，中国矿业大学北京研究生部
赵鸿宾——教授，清华大学工程物理系
刘惟信——教授，清华大学汽车工程系
高金钟——教授，北京轻工业学院
陈凯——教授，北方工业大学经管学部
林明芳——教授，吉林工业大学汽车学院
费梅英——高级工程师，北京矿研总院，北京思达高科技研究院院长
雷源忠——高级工程师，国家自然科学基金委员会机械学科负责人
潘伯庆——高级工程师，北京人民机器厂总工程师
邵定山——副教授，重庆大学
孙惠中——副研究员，中科院空间中心
尹乐生——高级工程师，巴陵石化公司社会服务中心科协秘书长
马玉民——副教授，华东工学院机械系
陈福厚——高级工程师，国营798厂
宋力宏——副教授，天津大学机械系，实习工厂厂长
张玉斌——副教授，大庆石油学院，石油部可靠性学会秘书长
周郴知——副教授，北京印刷学院印刷机械系
黄洪钟——讲师，西南交通大学机械一系
周青国——讲师，济南交通高等专科学校系副主任
王彦才——高级工程师，中国兵器工业第二〇一研究所
秦德申——副教授，湖南大学机械系
- 秘书处：北京印刷学院
- 秘书长：张祖明（兼）
- 副秘书长：周郴知

前 言

随着现代科学技术的发展,对产品的可靠性要求愈来愈高。因此,可靠性设计技术已广泛用于电子、航天、航空、机械、造船、建筑、煤炭、轻工等各个部门。

可靠性是产品的主要质量指标,是今后世界市场产品竞争的焦点,也是今后质量管理的主要发展方向。可靠性技术的观点和方法已成为产品质量保证、安全性研究和产品责任预防措施不可缺少的依据和手段。可靠性设计愈来愈引起各国重视,并积极开展广泛的应用研究工作。可靠性设计理论是以维持合格的产品性能和功能为核心,以概率论和数理统计理论为基础,综合运用系统工程学、安全工程学、人机工程学、价值工程学、运筹学、环境工程学、电子工程学、机械工程学、质量管理、计算机技术等综合知识来研究和提高产品的可靠性为目的的设计问题,从而使产品设计的功能参数更符合客观实际。

本书主要论述非电产品的可靠性设计与分析技术,它是当前可靠性研究的热点。本书是中国现代设计法研究会可靠性学会举办的第二届可靠性学术会议论文选编。所以,它是全国广大论文作者的群体成果。

可靠性学会秘书处和海洋出版社的同志们为本书的出版付出了辛勤劳动。在此,一并表示谢忱。

张祖明

1993年2月

目 录

第一篇 综述	(1)
1. 非电产品可靠性设计的特点和发展	(1)
2. 可靠性工程的新进展	(8)
3. 现代结构系统可靠性分析理论及应用	(15)
第二篇 系统的可靠性	(23)
1. 结构系统静强度可靠性分析理论与算法	(23)
2. 结构系统疲劳寿命可靠性分析理论与算法	(31)
3. 结构系统可靠性分析若干问题的探讨	(38)
4. 结构系统可靠性精确估算理论	(44)
5. 工程系统可靠性预测及微机辅助分析的应用	(50)
6. 再现函数的曲柄滑块机构的可靠性综合	(56)
7. 机械系统的 FTA 可靠性仿真	(60)
8. 系统失效树微机辅助分析及应用研究	(67)
9. 游梁式抽油机的概率动力学分析	(75)
10. 发输电系统的可靠度计算和软件	(86)
11. 发电厂变电所接入系统可靠性分析方法及计算机软件	(92)
12. 系统可靠性的智能模拟法	(101)
13. 测试数据评估可修系统稳态可用度置信下限的几种方法 (一)	(106)
14. 测试数据评估可修系统稳态可用度置信下限的几种方法 (二)	(113)
15. 串并式 NON-MARKOV 可修系统的 M-C 模拟	(117)
16. 机电系统可靠性减灾设计中的人因工程——兼论《人为灾害学》的研究提纲	(122)
17. 伴随检查作业的人员可靠性研究	(131)
18. FMECA 通用软件的设计与实现	(136)
19. 航空装备现场使用质量和可靠性信息管理软件系统	(141)
20. 航空装备故障报告闭环系统计算机管理软件 FMCAM 的研制	(146)
21. 民机可靠性监控及其数据管理系统软件的实现	(152)
22. 柴油机整机可靠性与维修性研究	(158)
23. 坦克装甲车辆可靠性维修性参数体系研究	(169)
24. 开展以可靠性为中心的设备现代化维修管理	(177)
25. 生产过程主要参量的可靠性管理	(182)
26. 连续物料固定式运输线的可靠性模型	(189)
27. 飞机液压系统可靠性验证试验和试验参数研究	(197)
28. 机械产品加速试验方法研究	(204)

29. CY 型轴向柱塞泵中心弹簧的松弛可靠性加速试验数据处理方法	(212)
30. 数控机床工艺可靠性分析	(219)
31. 可修冗余系统的状态划分与各种故障判据问题	(224)
32. 柔性制造系统可靠性指标体系初探	(230)
33. 潜水泵机械系统的 FTA	(234)
34. 飞机起落架的 FTA	(245)
35. 可靠性分配模糊数学模型及其应用	(250)
36. 机械可靠性评估专家系统 RENS 研制	(255)
37. 装备可靠性验收	(261)
第三篇 零部件的可靠性	(271)
1. 机械零件的三种可靠性随机疲劳寿命计算法和 RCAD	(271)
2. 滚动轴承高可靠寿命的理论计算方法	(279)
3. 套管头结构的可靠性分析	(286)
4. 结构可靠性分析的 M-C 有限元法	(292)
5. 刀具的三种寿命概率分布模型和选用	(301)
6. 桥式起重机焊接主梁疲劳强度可靠性设计分析	(305)
7. 齿轮疲劳裂纹的定量诊断及齿轮箱运行可靠性	(309)
8. 叉车半轴的可靠性疲劳强度设计及 RCAD	(315)
9. 叉车半轴的可靠性疲劳寿命计算法及 RCAD	(323)
10. 平带传动的可靠性	(331)
11. 高压互感器绝缘的失效分析	(339)
12. 焊接结构的可靠性分析	(344)
13. 概率设计中的应力过程随机仿真方法	(349)
14. 受复合应力零件的可靠度计算法	(357)
15. 叉车变速箱输出轴的模糊可靠性分析	(361)

第一篇 综 述

1. 非电产品可靠性设计的特点和发展

北京印刷学院 张祖明

摘要: 本文首先论述什么是可靠性设计, 以及它与常规设计的主要区别。然后就零件可靠性、非电系统可靠性、软件可靠性及其现代设计手段(可靠性优化、模拟仿真、CAD 与智能化)等几个方面论述了可靠性技术的最新发展动向。

关键词: 可靠性设计 可靠性仿真 可靠性专家系统

一、可靠性设计的难点和特点

当前, 可靠性已成为产品竞争的焦点和质量主要发展方向, 已引起了国际工程界的广泛关注。原苏联把提高产品可靠性和寿命列入了 20 年科技发展规划, 日本把可靠性列为企业的主要奋斗目标, 美国声称今后世界市场竞争的焦点是可靠性。我国机电部明文提出: 将发展可靠性技术和提高机电产品可靠性作为振兴机械工业的主要奋斗目标, 并把可靠性列为四大共性技术(设计、制造、测试、可靠性)。把可靠性作为四项共性技术提出, 这在国内尚属首次。

70 年代以来, 国际上结构可靠性设计法已发展到实用化阶段。80 年代以来, 可靠性技术在我国也得到了迅速发展。当前在我国推行可靠性设计中遇到了以下一些实际问题与困难: ①什么叫可靠性设计? 它与常规设计有何区别? ②电子产品的可靠性设计与非电子产品可靠性设计有何不同? ③目前, 在可靠性数据和手册缺乏的情况下, 能否开展非电产品的可靠性设计? ④可靠性数理深奥, 一般企业是否需要? 是否一切产品都可进行可靠性设计和如何进行可靠性设计? ⑤机械可靠性试验周期长、子样少、花钱多的情况下, 对产品的可靠性指标怎么进行可靠性考核与验证? 另外, 还有诸如管理紊乱、外协件难保证质量等困难。这些问题和困难的提出, 预示着可靠性技术将在我国进一步深入发展是开始走向普及化的重要标志。

应当指出: 把可靠性设计分为电子产品和非电产品具有理论意义, 非电产品的可靠性设计是当前开展可靠性设计的难点。另外非电产品(尤其是机械产品)的小子样可靠性加速试验研究是具有重要实际价值的课题。限于篇幅, 本文只对其余三个问题进行论述。

有人提出: 可靠性是否会像 1958 年超声波、70 年代优选法那样一阵风? 这是对可靠性设计的理解和认识问题, 那么可靠性设计究竟有何特点, 它与常规设计有何区别? 概述如下:

1. 可靠性既是目的(产品质量指标), 又是方法或手段, ——它以可靠性设计的手段

达到产品可靠性质量指标之目的，这是它区别于其它一切设计理论和设计工具的主要特点。如果学科本身仅仅起一种设计工具作用，使用者一旦掌握和熟悉了这一工具，该学科就没有必要再成为热门。而可靠性是产品质量指标这一特点，决定了这门学科具有长兴不衰之活力，而不会一阵风。所以，最近国际上提出了：“可靠性和质量是 90 年代经济繁荣和发展的关键”的豪迈口号。例如日本搞了 30 年可靠性至今还是在搞产品的可靠性问题；原苏联搞了几十年可靠性，至今困扰机械工业的主要问题仍是产品的可靠性与寿命。

2. 可靠性设计具有明确的可靠性指标值——所谓可靠性设计就是以赋予产品可靠性为目的而进行的设计。常用的非电产品可靠性指标值有：产品无故障性、耐久性、维修性、可用性和经济性五个方面。

3. 它考虑了载荷、几何尺寸、材料性能数据等的分散性和随机性——可靠性设计法的实质是如实地把设计变量当作随机变量处理，使设计结果更符合客观实际。常规设计法只按定值变量设计。故由传统的安全系数设计法进入可靠性设计法，无疑是一个重要的突破性进展。

4. 一些常用术语的含义更加广泛和科学——使我们对这些术语的理解更加深刻和客观（见表 1）。

表 1 可靠性设计与常规设计中常用术语含意的区别

比较项目	常规设计	可靠性设计
失效	结构产生破坏 (例如塑性变形、断裂等)	达不到人们规定的预期功能 (功能的含义随对象而异)
应力	单位面积受力	凡是引起产品失效的因素均叫应力 (它包括了温度、湿度、腐蚀等失效因素)
强度	单位面积最大作用力	凡是阻止产品失效的因素均叫强度 (包括了加工精度、粗糙度等抗失因素)
安全性	安全或不安全的极端准则	安全的可靠度（或不安全的概率）是多大
寿命	寿命多长的极端准则	达到预期寿命的可靠度是多大或给定可靠度下 寿命多长
成本	只考虑达到性能指标的制造成本	全寿命周期费用（LCC）和可靠性指标间的 综合平衡
质量	时间 $t=0$ 时的狭义的性能质量指标	$t>0$ 的广义的质量指标
质量管理	狭义的性能质量管理和质量保证	以可靠性为中心的全面质量管理（包括全寿命 周期过程、全方位和全员质量管理）

5. 可靠性是一门多学科交叉的新兴边缘学科——它与系统工程学、机械工程学、电子工程学、计算机技术、质量管理（QC）、生产工程（IE）、运筹学（QR）、价值工程学（VE）、工程心理学、环境工程学、概率论、数理统计、物理学、化学等众多学科交叉，一般分为三个分支：

• 可靠性数学——研究可靠性定量规律。

·可靠性物理——研究零部件失效的物理原因、物理模型，并提出改进措施。

·可靠性工程——可靠性设计、可靠性试验、可靠性评价、维修性、工艺可靠性、材料可靠性等。它的范围宽广，已用于宇航、运输、核能、电力发电、国家安全等各个领域。并已发展成为许多专门分支：例如机械可靠性（疲劳、腐蚀、振动、冲击、精度等可靠性）、人机可靠性、软件可靠性、寿命周期费用、可靠性管理、汽车可靠性、机构可靠性、电力系统可靠性、电子产品可靠性、机器人可靠性及其它非电产品可靠性等。可靠性工程的核心是可靠性设计。

各种现代设计手段与可靠性技术的交叉结合是该学科的又一重要特征，例如 RCAD、随机有限元、随机边界元、模糊可靠性、可靠性优化、M-C 模拟，可靠性仿真、可靠性智能化和专家系统等。认识这些特点将有助于激发可靠性的观念和兴致，有助于培养为可靠性事业而勇于奋斗、善于奋斗和锐意进取的精神，有助于推进非电产品的可靠性设计的实用化。

二、可靠性技术的发展

在当今世界科技中，可靠性技术的发展是仅次于计算机和环境学科的一门非常活跃的学科。

当前，可靠性技术的发展有以下特点：由国防工业可靠性进入民用工业可靠性研究；由电子产品可靠性进入非电产品的可靠性研究；由简单系统可靠性分析进入机电、人机等复杂的物理和非物理系统的可靠性分析；由图表、计算器手算方法进入计算机辅助、模拟仿真、人工智能及 RCAD 软件商品化研究；由调研和试验的物理研究发展到以产品可靠性为核心的全面质量管理和可靠性保证阶段；从“单一追求性能”的设计观念进入了“综合效能费用”权衡的新时代。

以下就非电产品可靠性研究的一些主要领域和技术的发展方向简述如下：

1. 机械零件的可靠性

机械零件分通用零件和专用零件二类，它们的种类繁多。机械零件的失效形式随载荷条件、材质和环境工况不同而异，失效型式多样。一般可归纳为三大类：A.刚度失效（扭曲、拉长、蠕变、弹性元件永久变形等）。B.整体断裂失效（一次加载静强度断裂、疲劳断裂、包括低周疲劳、高周疲劳、高温疲劳、腐蚀疲劳、应力疲劳、氢脆等）C.表面损伤失效（磨损、点蚀、腐蚀、咬蚀、气蚀等）。不同的失效型式有不同的常规设计公式和不同的分布类型。零件常规设计理论和可靠性设计理论相结合的理化分析方法是机械零件的进行可靠性设计和预测的基本方法，明确这一点很重要。

机械零件有强度、应力和寿命三种分布模型。首先强度呈正态分布，已积累了许多数据资料，但从设计和工程应用观点看还远远不够，例如目前缺乏非对称循环疲劳极限、高温、腐蚀等的金属材料数据，缺乏非金属和新材料数据。1984年由 A.M.Smith 主持在瑞士召开了国际工程材料会议，出版了《工程材料可靠性》一书。由于当前机械工业面临着陶瓷和复合材料的挑战，所以，目前只把金属材料的可靠性数据存入数据库已显得不够了。材质的科学管理和高功能材料的开发，对提高可靠性十分重要。

其次是应力分布，它不像强度分布那样简单。应力分布随载荷与环境条件而变，静应

力遵循正态分布, 稳定变应力也服从正态分布, 而随机变应力一般不遵循正态分布, 必须通过实测载荷谱来确定。所以, 随时间变化的累积型故障的零件可靠性理论 (随机疲劳、振动、磨损、随机断裂等) 目前尚不成熟。

再次是零件的寿命分布模型。如何预测在变应力作用下的零件或构件的疲劳寿命是大家关心的问题。目前机械可靠性理论的进展指出, 影响零件疲劳寿命分布的因素有 7 项: 失效主因、运行工况 (持续或间断)、使用系数、运行条件稳定程度 (例如温度变化)、制造水平和稳定性、操作水平和维修质量及载荷等价系数。其中失效主因决定了分布类型, 而其余 6 项影响寿命变异系数的大小。例如疲劳断裂寿命服从对数正态分布; 接触疲劳寿命遵循威布尔分布; 磨损 (正常或剧烈磨损) 寿命服从正态分布; 突然损坏时荐用指数分布; 数据失效的混合或多种失效原因引起的失效荐用混合分布模型或合成分布模型。这些论点表明, 疲劳寿命可靠性定量评估的核心是要解决载荷离散问题的理论基础。其它如振动、精度、蠕变、腐蚀疲劳、随机疲劳等引起的寿命和可靠性预测的研究有待深入和发展。

2. 系统的可靠性

预测系统可靠性的分析方法有数学模型法、上下限法、最坏情况预测法、功能预测法、相似产品法、有源组件法、元件应力分析法、条件概率法、布尔真值表法、FTA 法、M-C 法、网络分析法等。这些分析方法和理论已较成熟, 在电子产品中应用较广泛。非电产品按功能不同有各种系统: 结构系统、工程系统 (各种专业机械)、液压系统、人因工程系统、机构系统、机电系统、激光器系统等。这里主要讲一下工程系统和结构系统:

(1) 工程系统 (各种专业机械产品): 机械产品的系统可靠性分析主要要解决两个问题: 一是产品性能变化的可靠性分析; 二是可靠性寿命计算。如何应用前述系统分析方法来解决机械产品的可靠性的这两个问题, 是当前实践中急待解决的实际课题。因为机械产品是有许多不同分布类型的机械零件的综合, 其寿命分布模型就不能简单地套用电子产品那样简单的阿伦尼斯模型。必须从实际的机械系统和工况出发, 对产品故障的实际现象进行模拟和描述, 然后导出其分布模型。

目前, 以离散逻辑为基础的可靠性理论有两种不同的发展方向: 一是连续逻辑和连续状态理论和随机过程结合, 建立连续系统 (例: 产品性能变化、寿命退化) 的可靠性理论, 使可靠性理论向细致和微观方向发展。二是模糊数学理论和随机过程结合, 建立模糊随机过程可靠性理论, 使可靠性理论向宏观和粗略方向发展。由于用模糊数学方法归纳总结, 能定量表达的“经验估计”数据引入概率设计, 所以, 有希望在很大范围内解决系统可靠性设计中面临数据不足的困难问题 (例如系统的模糊可靠性分配)。而且, 某些情况下, 一些不完全和不肯定的数据对它们进行定量估计未必会比工程师的“经验判断”更好。应当指出: 弄清一种理论的现实界限或理论和实际的对应是至关重要的, 例如对于本来是确定性的现象应采用经典法 (常规理论) 合理; 对于本来随机不确定现象采用随机可靠性理论合理; 对于本质不确定 (模糊不确定) 现象, 采用模糊可靠性理论合理。

状态空间法 (当存在相关故障时的唯一工具) 和网络法是二种便于计算机应用的数学方法。数学建模法和蒙特卡洛 (M-C) 法是大型复杂系统可靠性分析的二种基本方法。

近代大型复杂系统的可靠性分析应包含三部分内容: 即硬件可靠性、软件可靠性和人

员可靠性。

(2) 结构系统: 它是由许多零构件组成的复杂系统, 大多数属于静不定结构, 例如汽车、船舶、飞机、建筑物、海洋平台、桥梁等。因为结构系统具有多重失效模式和失效零件之间、以及失效模式之间的相关性质, 所以应采用系统工程的方法, 从整个系统角度来考虑失效模式和评价其可靠性水平。结构可靠性设计承认结构有失效为前提, 主要碰到的是强度可靠度问题。结构可靠度算法有: 一次二阶矩法、JC 法、截尾分布 JC 法、帕罗黑莫法、验正载荷法、界限法、M-C 法等。

以下问题待进一步深入和发展: ①随机变量(载荷、抗力)的数据采集处理和统计分布; ②动载荷(冲击振动、随机振动)下的结构可靠性分析; ③随机疲劳和随机断裂结构可靠性分析; ④结构抗震可靠性分析; ⑤大型结构系统可靠性评估技术等。

3. 可靠性优化

它是系统可靠性分析的新技术, 系统可靠性优化在整个系统寿命周期内都是十分重要的。系统可靠性优化的目的是: ①在费用约束条件下, 使各种结构的系统的可靠度为最大; ②在满足系统可靠度条件下, 使任何特定的“费用”为最少。从鉴定的观点看, 改进系统的可靠性费用数据和对实际费用数据进行逼真的模拟显得十分必要。最近几年, 已推出多种可靠性优化方法, 见表 2。

表 2 系统可靠性优化的通用方法

I. 数学方法	II. 统计方法	III. 规划方法	IV. 其它
诞消过程	贝叶斯分析	动态规划	对策论
有限差分法	决策理论	几何规划	排队论
变分法	实验设计	可分离规划	更新论
梯度法 (GRG)	信息论	整数规划	搜索论
数值近似法	最速上升法	线性规划	价值论
符号逻辑法	随机过程	非线性规划	参数法
线性积分法			模拟法
极大值极小值法			M-C 法
SUMT 法			
拉格朗日乘子法			

广义既约梯度法 (GRG) 和广义拉朗日乘子法是二种非常有前途的方法。

4. 软件的可靠性

计算机的大力推广和应用, 使软件所占比重越来越大。如果硬件比作“赛车”, 则软件犹如“燃料”。软件的优劣和完善程度将直接影响到计算机的应用。软件可靠性是现代结构的系统可靠性分析的重要内容之一, 是可靠性研究的一个新领域。因为软件故障会降低系统有效性和性能, 又会增加系统维修费用。目前, 系统的可靠性分析趋势逐渐从硬件走向软件。“软件可靠性”成为可靠性的一个分支的同时, “软件维修性”一词也应运而生, 它们均处于早期研究阶段。目前主要有以下一些研究结论: ①软件的可靠性和维修性与硬件不同, 软件可靠性实际上牵涉的是软件设计质量, 软件维修性实际是软件的结构配置; ②软件的失效主要是由设计中的程序引起的 (编程者的技术水平); ③软件的错误函数 (对应于

硬件的失效函数)不呈浴盆曲线,而呈典型减函数;④软件没有成熟的可靠性数学理论;⑤软件无预防性维修,软件事后维修实质是重新设计,软件故障不能像硬件那样使用备件进行修复;⑥硬件的可靠性指标(λ 、MTBF、MTTF等)对软件无意义。

5. 仿真与模拟

仿真和模拟已逐渐成为复杂系统分析中的重要手段和工具。所谓仿真就是用模型代替实际系统在微机上进行实验,它模仿系统实际情况的变化,用定量分析方法分析一个过程,从中取得所需信息。数字仿真的理论基础是M-C法。它在可靠性技术发展中有独特的作用。可靠性数字仿真适合于分析和确定复杂系统的可靠性和维修性问题。系统可靠性估计虽然可用解析法确定,但在某些情况下,解析法已显得无能为力了。例如有相关失效的系统、有转换判定的冗余系统和存在多种失效分布的零部件组成的系统等,用数字仿真解决这类问题具有独特效能,这时一般解析法已不能奏效。数字仿真技术已广泛应用各个领域,其中航天工业和核工业等部门已取得了不少成就。目前可靠性仿真技术的发展特点和趋势归纳如下:①向连续、离散、混合仿真语言发展,并把以“程序”设计为目标转向以“模型”为设计目标;②向多种程序结构发展,以实现网络、离散事件和连续模型之间的组合;③研制和开发软件工具,寻求仿真逻辑的自动建模工具已成为重要的研究方向;④向综合化、一体化方向发展,以适应设计、制造、维修、管理等统一的知识 and 信息处理;⑤扩大应用范围和加强应用软件的开发,建立系列化的可靠性仿真软件,实现软件的通用化、工程化、模块化和商品化要求,提高在工程应用中的实效性;⑥寻求提高随机抽样的效率的有效途径,并进一步研究提高其相应仿真精度的方法。

6. CAD/CAM和人工智能——今天的时代是计算机和智能化的时代。CAD/CAM技术是工程领域中一项发展迅速的新兴技术。可以说,这项技术是本世纪人类最杰出的成就,它正在设计和制造领域中引起一场深刻的技术革命,对企业管理、产品结构、人才知识等产生了重大影响,它为企业带来了新途径。RCAD(可靠性计算机辅助设计)又是解决当前工程技术人员感到概率论数理深奥困难而开展可靠性定量设计的好方法。当前CAD/CAM技术的发展方向为:①实体造型(SOLID MOLDING),使其具有建立“工程实体”的能力;②设计终端用光栅管取代存储管,因为光栅技术提高了终端进行图形消除、彩显、灰度等级识别和动态显示的功能;③使FMS(柔性生产系统)和IMS(集成生产系统)向规模更大、自动化程度更高和适应性更强的CAF(计算机辅助工厂)和CAE(计算机辅助工程)方向发展;④建立用户之间或设备之间的自由通讯网络;⑤常规CAD向智能CAD和专家系统方向发展。

我国2000年科技发展规划规定:“2000年全国各工厂实现微机化目标”。所以,用CAD代替传统的计算尺设计仅仅是个时间问题。“2000年全国CAD化以后怎么办”的严肃问题又摆到了我们面前。

CAD向智能化、CAM向IMS发展是科技进步和发展的必然趋势,人工智能自1956年问世以来,已取得了显著进展,这些进展吸引了各类专家加入了人工智能的研究队伍。人工智能将使计算机解决那些人们至今还不知如何解决的问题,它带来了计算机硬件和软件的革命,促进了各个领域的更新换代。智能模糊识别、无机物智能化、仿生智能化、ICAE(智能微机管理)、ICAD(智能微机设计)、IMS(智能制造系统)、智能机器人等新的研究领域的发展将有助于我们进一步理解人类智能的机制。世界工业强国和各大公司

正在竞相应用智能 CAD 系统改造过去传统的 CAD 系统, 美国出现了大量产业化的智能化 CAD 公司, 英国 ALVEY 计划中提出了大规模从设计到产品的智能系统的示范研究。智能研究是现代设计的核心, 它必将形成各种专家系统。基于可靠性理论和技术的可靠性专家系统与智能技术在非电产品中的应用研究是可靠性领域的前沿学科和最新内容, 这方面的进一步研究与发展必将促进可靠性设计的全过程 CAD 的智能化, 并向决策自动化方向发展。在产品的可靠性设计过程中要求 CAD, CAPP, CAM 集成, 实现统一的知识与信息处理, 才能保证产品的理想性和可靠性。这种需要大规模知识集成而进行可靠性设计的研究是目前智能 CAD 研究的热点。计算机技术向着智能化, CAM 向着 IMS (智能制造系统) 发展这已是历史必然。IMS 是 21 世纪的制造技术, 属于机械工程科学的前沿。1990 年日本 MITI (工业和国际贸易部) 发起一个新的国际合作研究计划——IMS 研究, 建立一个由日、美、西欧共同参加的 IMS 国际研究中心, 投资 10 亿美元。所谓 IMS 就是在整个制造过程中贯穿智能活动, 并与智能机器有机结合, 将整个制造过程——订货、设计、生产、销售——以柔性方式集成起来, 从而提高生产效率。它将带来真正的第二次工业革命。未来工业生产的基本特征是知识密集型, 而制造自动化的根本是决策自动化。智能 CAD 的研究和专家系统的研制必将深刻影响各个领域的现代化进程。

目前, 在我国一些行业的可靠性工作的指导思想方面, 从“单一性能”到全寿命期的“广义效能”的观念转变, 以可靠性为中心的维修 (RCM), 以可靠性为中心的翻修 (RCO) 和以可靠性为中心的全面质量管理 (RTQC) 的提出和展开, 是可靠性和维修性设计和质量管理上新的重要变化, 标志着在设计观念上已进入了效能费用权衡和用可靠性和质量来振兴经济的新时代。

可靠性设计技术除了采用传统的各种数据处理和分析技术以外, 随机有限元、随机边界元、可靠性优化、仿真模拟、随机过程、连续逻辑、模糊数学、模式识别、灰色理论、神经网络、人工智能、专家系统等现代设计方法已愈来愈广泛的应用。

传统方法与现代方法相结合、数值计算与符号推理相结合、神经网络与人工智能相结合、现代科学技术与专家经验相结合、模型解析法与仿真模拟相结合、行业特点的设计技术和跨行业的专家经验交流相结合, 这是可靠性工程学科发展的需要。设计技术、生产过程、维修技能、管理过程走向自动化、集成化、智能化, 这是历史的必然。

以信息为依据、以科技为先导、以提高产品质量和可靠性为宗旨、以提高企业经济效益为目的、以国情为基础、把握可靠性技术的发展动向, 使我国的可靠性工作进一步向着纵深方向和更高水平发展。

2. 可靠性工程的新进展

天津大学 林 青 宋力宏

摘要: 简述当前我国产品质量形势。从可靠性投资、维修性政策、经济效果等几方面介绍美国 80~90 年代可靠性工程的进展; 90 年代初美国面临的严峻局面及其对策。1990~1991 年日本可靠性的现状、倾向与一系列新工艺。最后从全球范围介绍可靠性理论发展的形势: 人的可靠性的研究; 核能可靠性问题; 风险评价技术; 结构工程的可靠性; 软件可靠性等。

关键词: 可靠性 维修性 新进展

一、前 言

自从 1975 年 6 月, 美国“电子设备可靠性顾问组”发表《军用电子设备可靠性》的“AGREE 报告”以来, 可靠性工程的发展已经历了 35 个年头。这 35 年中, 航天、核能、计算机、电子系统以及大型复杂机械系统等方面重大的技术进展, 都与可靠性工程有密切关系。为了提高产品质量, 许多国家在可靠性上的投资日益增加, 其中以日、美最为明显。我国机电部亦比过去更重视可靠性的发展。1991 年 6 月、7 月连续组团赴日、美考察。1987、1990, 两次邀请日本可靠性专家额田启三, 1991 年邀请可靠性、维修性专家小野寺胜重来华讲学, 1991 年, 机电部组织国内可靠性专家编写可靠性教材, 对机电部所属单位工程技术人员进行可靠性再教育。

日本在二次大战后, 工业落后于美国 30 年, 劳动生产率仅为美国的 $1/8$ 。60 年代初, 从美国引进质量管理与可靠性技术, 70 年代日本的产品开始对美国构成威胁, 80 年代即在许多重要产品如汽车、电子计算机部件、家用电器等方面迫使美国处于下风地位。加上经济衰退, 美国的汽车工业已被日本挤得大批关闭工厂, 而日本的汽车工业, 依然蒸蒸日上。日、美在贸易、质量竞争上达到从未有过的激烈程度。

二、80 年代以来美国的可靠性及其进展

进入 80 年代, 美国的可靠性已臻于成熟, 有些特征可以说明: 早在 1987 年就成立国家级的可靠性管理机构。三军联勤司令部成立可靠性协调组, 统一控制国防部所属的可靠性政策、标准与研制, 使得可靠性工作规范化。这点非常重要, 使这一工作纳入系统工程框架, 节省时间、投资。到 80 年代, 已有一套完整的 MIL 标准。始建于 1959 年的“政府与企业数据交换网”(GIDEP), 在全军数据反馈的基础上, 到 80 年代已完成远程网络化。从 1984 年公布的《电子设备手册》(《MIL-HDBK-388》)看来, 可靠性的设计与试验已趋完善。自 1975 年即建立“电子元件认证委员会”(ECCB), 统一管理全国的电子元件认证事业。80 年代中叶曾对 379 项投资项目投资可靠性 4 200 万美元, 5 年即节省

78 900 万美元,为投资的 19 倍。目前,全美电子产品产值逾 1 600 亿美元,其中约 10 亿用于可靠性。美国在一般投资项目中,可靠性投资占总额的 3~15%。可靠性工作者的年薪高于同等级的其它行业 43%,全美约有 50 万人从事可靠性工作。

美国在 80 年代前的设计,一般追求技术先进、多功能,忽视维修性,为此曾付出巨大的代价。1976 年,国防预算中 79% 用于维修。1980 年 7 月,国防部不得不发布“500·40 指令”(《可靠性与维修性》),规定要把维修性设计用到产品中,接着把维修性补订进一批标准。美国的可靠性政策,从 80 年代开始向维修性倾斜。从美国维修性标准的发展来看,1966 年就较正规地制定了维修性标准 MIL-STD-470 (维修性大纲要求)、MIL-STD-471 (维修性验证)及 MIL-STD-472 (维修性预计)。70 年代已达成成熟时期。1983 年为了超高速集成电路的需要,研制成 MIL-STD-740A (系统及设备维修性管理大纲),强调了测试性。1985 年又颁发了 MIL-STD-2165 (电子系统及设备的测试大纲),可以说相当完善了。

从维修策略来看,美国也经历了定时维修,事后维修的阶段。航空工业首先证实,缩短维修周期并不能有效地延长飞机的使用寿命。经过 FAA (联邦航空署)组织专人研究,最后由联合航空公司的诺兰 (F.S.Nowlan) 及希普 (H.F.Hcap) 提出“以可靠性为中心的维修”(RCM)或“逻辑决断法”,并于 1968 年制订出可以操作的大纲《MSG-1 大纲》。此种视情维修策略,可以迅速确定维修项目,可主动、有效地进行维修工作⁽²⁾。此法还有一优点,即不会引入早期失效及人差。1970 年修订为《MSG-2 大纲》,80 年修订为《MSG-3 大纲》。我国自 83 年到 85 年实施《MSG-大纲》,降低了飞机起飞延误率(由 0.68 降至 0.58)及每百次起飞取消率(由 0.11 降至 0.08)。1984 年全年民航得经济效益 968 多万元。1985 年增至 1 690 多万元。1983 年 12 月,美空军机务工作会议总结了维修工作的经验,该会议的文件称:“从经验维修发展到以可靠性为中心的维修,从分散的、以个人技术为主的维修发展到以外场信息为基础,使用计算机进行质量控制,这就是今后空军机务工作的方向。”这一段总结对 90 年代仍然是有效的。

三、90 年代初美国面临的局面及其对策

美日之间的竞争以及欧共体贯彻 ISO9000,迫使美国面临一个严峻的局面。1990 年 12 月,欧共体决定,凡是销往欧洲的产品,必须符合 ISO9000 的要求,且需经权威单位确认方为有效,美国不得不紧跟上。加上市场不景气,跨国集团兼并,促使美国从质量中找寻对策。美国的质量保证体系自 1988 年以来,从企业自发发展到政府推动企业的新阶段。美国当前的质量含义,已由产品质量扩展到企业各项工作的质量。从 1988 年起设立国家质量奖,现任总统乔治·布什为该奖的题辞为:“产品质量的改进,服务质量的改进,作为国家最优先考虑的事实是史无前例的。”美国商业部长也指出:“质量是增加向全世界出口,走向经济繁荣,保证就业增长的关键。”

美国对付当前局面的对策是⁽³⁾:

1. 把可靠性与维修性设计用到产品中去。采用仿真技术,认真进行 FMEA。
2. 对产品严格进行环境试验,包括长期的(10 至 15 年)的自然寿命试验。创立“第二用户试验室”,模拟用户使用环境,将信息反馈给生产部门作为改进产品的参考。