

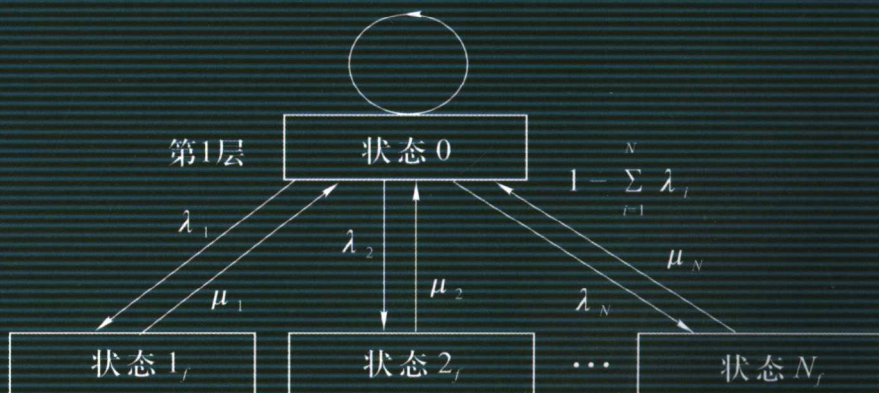
控制科学与工程



国防科工委「十五」规划教材

# 控制系统可靠性设计

●陈明 张京妹 编



西北工业大学出版社

北京航空航天大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

北京理工大学出版社

哈尔滨工程大学出版社



国防科工委“十五”规划教材·控制科学与工程

# 控制系统可靠性设计

陈 明 张京妹 编

西北工业大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社  
哈尔滨工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

## 内容简介

本书在阐述可靠性基本理论的基础上,侧重于介绍控制系统可靠性设计的内容,并概要介绍了系统可靠性仿真、模糊可靠性概论和系统可靠性评估的知识,以适应近年来发展起来的可靠性的新理论和新方法。在章节安排上,力求循序渐进,由浅入深,保证知识的连贯性。在编写上,注重内容的新颖性及工程应用性;注重文字的简练性,对概念的叙述、公式和方法的给出,尽量做到简明扼要、通俗易懂。

本书由绪论、可靠性的理论基础、控制系统的可靠性分析、控制系统的可靠性设计、故障分析技术、软件可靠性、可靠性试验和可靠性技术的新发展等内容组成,适合于在航空和航天领域自动化专业学习的本科生、研究生作为教材使用,并希望对相关的技术人员提供有益的帮助和参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

控制系统可靠性设计/陈明,张京妹编. —西安:西北工业大学出版社,2006. 8

ISBN 7-5612-2032-4

I. 控… II. ①陈… ②张… III. 控制系统—系统可靠性—系统设计—教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 020041 号

## 控制系统可靠性设计

陈明 张京妹 主编

责任编辑 刘 晖

责任校对 季苏平

西北工业大学出版社出版发行

西安市友谊西路 127 号

发行部电话:029-88493844

<http://www.nwpup.com>

陕西向阳印务有限公司印制 各地书店经销

开本:787 mm×960 mm 1/16

印张:18.25 字数:381 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印数:1~3 000 册

ISBN 7-5612-2032-4 定价:26.00 元

# 国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主任：张华祝

副主任：王泽山 陈懋章 屠森林

编委：王 祁 王文生 王泽山 田 蔚 史仪凯

乔少杰 仲顺安 张华祝 张近乐 张耀春

杨志宏 肖锦清 苏秀华 辛玖林 陈光禩

陈国平 陈懋章 庞思勤 武博祎 金鸿章

贺安之 夏人伟 徐德民 聂 宏 贾宝山

郭黎利 屠森林 崔锐捷 黄文良 葛小春



# 总 序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其他技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。党的十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济做出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,产生和传播国防科技

新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版200种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的100多位专家、学者,对经各单位精选的近550种教材和专著进行了严格的评审,评选出近200种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入21世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴



国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝



# 前 言

控制系统可靠性设计是以可靠性基本理论为基础,以系统可靠性寿命特征为主要研究对象的一门新兴的边缘学科。它涉及基础科学、技术科学与管理科学的许多领域,其推广和应用将会给相关企业和社会带来巨大的经济效益,将会对经济建设及国防建设的发展产生巨大的推动力。

在我国的现代化建设中,特别是国防现代化建设中,对控制系统、装备、产品等的可靠性问题日益重视,从而极大地推动了可靠性这一新兴学科的快速发展。

控制系统及设备是现代化技术装备和国民经济各部门的重要产品。它在成套设备中所占的比重越来越大,重要性越来越突出,许多重大装备的水平主要取决于控制系统和设备的控制技术和自动化水平。然而,目前我国控制系统和设备的技术水平、生产水平与国外同类产品相比,还有很大差距。因此,要使我国生产的控制系统和设备,能在激烈的国际市场竞争中挡住进口,增加出口,就必须要提高其可靠性。

可靠性工程技术(包括可靠性设计、制造、试验、维护等)在我国的发展和与应用与发达国家相比之所以落后,主要原因是可靠性工程技术人员和管理人员的数量和素质与工作要求很不适应,系统的可靠性知识和可靠性设计技术还没有被多数设计人员、管理人员掌握和应用。广大青年学生因为缺乏系统的可靠性专门知识,所以在走上工作岗位后,不能完全适应从事可靠性工作需要。为此,我们编写了这本《控制系统可靠性设计》教材,目的是为了自动化专业的学生及从事控制系统可靠性设计、制造、试验的工程技术人员能系统地掌握可靠性设计的基本理论、方法,了解其工程应用及发展趋势,提高他们的专业水平和业务素质。

本教材注重内容的新颖性及工程应用性,注重文字阐述的准确和简练。





本教材是在参阅了许多国内外有关控制系统及设备的可靠性设计、可靠性工程、可靠性试验等最新研究成果的基础上,加以系统地整理而编写出来的。书中部分内容,曾在西北工业大学相关专业高年级本科生、研究生中讲授过,这为提高本教材的编写质量起到了重要的作用。

全书由张京妹编写,陈明负责统稿并最终定稿。

本教材在编写过程中,得到了清华大学胡东成教授、王伯雄教授,空军工程大学张宗麟教授,西安电子科技大学石顺祥教授等的热情帮助、支持,并对书稿提出了许多宝贵意见,在此,表示衷心的感谢。

编者同样感谢国防科工委领导和西北工业大学出版社的同志,正是由于他们的大力支持、鼓励及辛勤的劳动,才保证了本教材按期高质量出版。

由于控制系统可靠性设计是一门形成时间较短的新学科,目前发展很快,有些内容尚来不及收入本教材,加之编者水平有限,教材中的不足和错误之处在所难免,真诚欢迎广大读者批评指正。

编者

2005年8月

# 目 录

## 第一章 绪论

1.1 可靠性的发展概况 .....	1
1.2 可靠性研究的重要意义 .....	2
1.3 可靠性与可靠性工程的基本概念 .....	6
1.4 控制系统可靠性 .....	9
习 题 .....	11

## 第二章 可靠性的理论基础

2.1 可靠性特征量 .....	12
2.2 维修性特征量 .....	20
2.3 有效性特征量 .....	22
2.4 控制系统可靠性的指标体系 .....	24
2.5 可靠性工程中常用的概率运算公式 .....	26
2.6 可靠性工程中常用的概率分布 .....	27
习 题 .....	37

## 第三章 控制系统的可靠性分析

3.1 不可修复系统的可靠性模型 .....	38
3.2 可修复系统的可靠性分析 .....	54
习 题 .....	68

## 第四章 控制系统的可靠性设计

4.1 概述 .....	69
4.2 控制系统的可靠性模型 .....	74
4.3 控制系统的可靠性指标分配 .....	80
4.4 控制系统的可靠性预计 .....	94
4.5 可靠性设计方法 .....	109
4.6 控制系统可靠性设计应用实例分析 .....	125
习 题 .....	130



<b>第五章 故障分析技术</b>	
5.1 故障模式、影响及危害性分析(FMECA)	131
5.2 故障树分析(FTA)	138
5.3 动态故障树分析	158
5.4 GO法	163
习 题	171
<b>第六章 软件可靠性</b>	
6.1 概述	172
6.2 软件可靠性的基本概念	173
6.3 软件可靠性的基本特征量	173
6.4 软件可靠性设计	175
6.5 提高控制系统软件可靠性的措施	199
习 题	201
<b>第七章 可靠性试验</b>	
7.1 概述	202
7.2 可靠性工程试验	204
7.3 可靠性验证试验	215
习 题	236
<b>第八章 可靠性技术的新发展</b>	
8.1 系统可靠性仿真	237
8.2 模糊可靠性概论	248
8.3 系统可靠性评估	262
习 题	278
<b>参考文献</b>	279

# 第一章 绪论

## 1.1 可靠性的发展概况

正如经济基础决定上层建筑,上层建筑反过来推动经济基础发展的辩证关系,可靠性的发展是与产品在各个时期的特征密切相关的。产品的可靠性已经成为度量产品质量的重要指标之一。当今,在发达国家可靠性技术正朝着广度和深度方向发展。出现的可靠性评定技术以及将可靠性技术与全面质量管理紧密地结合起来等,都成为提高产品设计水平、保证产品可靠性的有力手段。

可靠性工程诞生于第二次世界大战。德国科技人员在火箭的研制中,提出了火箭系统的可靠性等于所有元器件可靠度乘积的理论,即把小样本问题转化为大样本问题进行研究,使飞机、火箭及电子设备的研究结果满足了战争的迫切要求。20世纪50年代,前苏联为保证人造地球卫星发射与飞行的可靠性,开展了可靠性研究。同期,为了解决作战对导弹可靠性的要求,一些国家也先后开展了对可靠性的研究与应用。日本企业家认识到,要在国际市场的竞争中取胜,必须进行可靠性的研究,于1958年成立了可靠性研究委员会,尤其是后来将可靠性成功地应用于家用电器产品的开发中,引起了可靠性研究者的极大兴趣。

1961年,前苏联发射第一艘载人宇宙飞船时,研究人员对宇宙飞船安全飞行和安全返回地面的可靠性提出高达0.999的概率要求。可靠性研究人员把宇宙飞船系统的可靠性转化为各元器件的可靠性进行研究,成功地满足了宇宙飞船系统的可靠性要求,由此推动了其对可靠性问题展开全面的研究。可靠性的发展反映出由军事发展的需要到带动民用工业进步这一技术发展的规律性。

美国为可靠性发展奠定了基础。20世纪50年代初,为了解决军事发展面临的可靠性问题,美国军方、制造公司及学术界都投入了大量的人力、物力对可靠性问题进行了研究。美国成立了电子设备可靠性顾问委员会(AGREE—Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment),作为研究可靠性问题的专门机构。1957年7月发表的AGREE报告标志着可靠性学科的诞生。随后,可靠性技术在其应用和发展历程中,给美国的国防工业带来了很大的技术进步和社会财富及荣耀。AGREE报告成为后来世界各国制定标准、开展可靠性工作的蓝本和依据。

20世纪60年代是美国航空航天事业迅速发展的时期。美国国家航空航天管理局(NASA)和国防部接受并发展了50年代由AGREE发展起来的可靠性设计及实验方案。与



此同时,电子技术、计算机技术等其他工业技术的飞速发展都推动了可靠性技术的深入研究。20世纪70年代,随着多种电子设备和系统广泛应用于各技术领域、工业部门及日常生活中,电子设备的可靠性直接影响着生产的效率、系统、设备以及人的生命安全,带来了更多的可靠性问题。人们还开始了对非电子设备(如机械设备、大型结构等)的可靠性研究,以解决非电子设备可靠性设计及试验技术等问题。1991年海湾战争中的“沙漠风暴”行动表明,未来战争是高技术的较量。高科技的发展要以可靠性技术为基础,要有高的可靠性。但是对于现代化技术装备,由于采用大量的高技术,增加了系统的复杂性,为了保证战备的完好性、任务的成功性以及减少维修人员和费用,可靠性的工程范围将进一步扩展,需要更多的可靠性技术作保证,需要更加严密的可靠性管理系统及可靠性评估技术;另外,机器人系统、大型结构与动力系统以及商用卫星等复杂系统的出现,都要求对可靠性的研究上一个层次,越来越体现出可靠性问题研究的重要性及其价值。在为哥伦比亚号航天飞机事故举行的听证会上,美国某大学教授称,美国宇航局用来评估航天飞机飞行风险的系统效率低下,存在缺陷,无法让决策者得知航天飞机具体部件的故障概率。宇航局员工中似乎有这么一种观念,即“如果实施过20次飞行,那么风险将比仅仅飞行1次要小。”该教授认为,这是一种错误观念。因为“如果一个事件发生的危险性是百分之一,那么不论是(100次中的)第一次还是最后一次,它都可能发生”。也即,如果不积极化解风险,“即使航天飞机执行过50次或者60次飞行,同样的风险问题仍将存在”。

综上所述,可靠性工程的诞生、发展是社会的需要,与科学技术的发展是分不开的。虽然可靠性工程起源于军事领域,但从其推广应用和给企业和社会带来的巨大经济效益的事实中,人们更加认识到提高产品可靠性的重要性。对此,各国纷纷投入大量的人力、物力开展研究,并将其应用推广到更广泛的领域里。我国可靠性工程虽然发展快,但与发达国家相比,还存在很大差距。为尽快提高我国可靠性工作的研究水平,各级主管部门和工作人员应尽快从认识上转变观念,树立“变事后处理为事先控制”的观念;树立当代质量观,“以质量求生存、求发展”,把产品性能和可靠性等同看待,这是推动可靠性发展的关键。实施过程中,应将可靠性理论的研究成果和可靠性工程技术应用于可靠性工程实践中,把对产品的可靠性要求纳入产品的指标体系中,建立相应的考核要求和实施体系,有效地推动可靠性工程的持续发展。

## 1.2 可靠性研究的重要意义

现代科学技术的迅速发展使得工程产品和工程活动日益复杂、规模庞大,构成产品的元器件数目日益增多,这些产品面临着多变和变化急剧的应用环境。例如,武器装备系统是由武器和地面设备等若干个分系统组成的,每个分系统又由数台整机组成,每台整机又由几百或几千个元器件组成,如果一个元器件失效、一根导线断开、一个接头触点接触不良,都可能引发事故,造成直接危害人身安全、影响经济效益的严重后果。因此,产品的可靠性问题非常突出,对



产品可靠性的研究有着重要意义。

(1)现代工程系统大多数是多功能的自动化系统,它们由大量互相联系、互相依存、进行着不同过程(热的、机械的、电的等)的组件构成。由于功能的复杂化,产品所使用的元器件数量急剧增多。例如,美国的民兵导弹机动指挥网络电缆设备与数字式处理设备使用了1 017 936个元器件。尽管随着大规模集成技术的发展,元器件数目大大减少,但是工程系统功能的复杂程度却提高了。因此,如果不加强对系统可靠性的监控,系统的可靠性就会逐渐降低,直至引起系统无法工作。

(2)大规模工程系统的开发给人类带来巨大经济效益的同时也会带来负面效应。例如,美国尼亚加拉瀑布附近的达斯培克水力发电站(135万千瓦)向加拿大的多伦多地区供电,由于线路保护装置调整的不恰当,在正常负荷电流情况下,保护装置发生错误动作,突然跳闸造成流向加拿大的约176万千瓦的电力倒送回达斯培克发电厂,造成大片电力系统瓦解,停电13小时22分钟,事故涉及20万平方公里,3 000万人口,对生活和生产带来诸多不便,造成重大损失。

(3)研制各种既聪明又能干的机器人是人类长期以来的科学幻想,目前这些科学幻想已变为现实。成千上万的工业机器人已经在机械加工、石油化工、金属冶炼、采矿、纺织等工业部门得到应用,实现了各种作业的自动化。在有危险、高温、粉尘多、噪声大、有毒、有辐射等许多不适宜人类工作的恶劣环境中,机器人做出了卓越的贡献。但是由于其可靠性问题,也时有伤人事故的发生。

(4)21世纪是以知识经济和高科技为主的世纪,竞争将日趋激烈。高附加值产品的竞争实质上是可靠性技术的竞争。只有设计和制造出高可靠性的产品,才具有真正的竞争实力。21世纪又是空间时代,有人和无人的空间工程,如通信卫星、载人空间轨道实验室、宇宙飞船等投资昂贵的高科技产品,对可靠性的要求日趋提高。

从表1.1可以看出,随着系统复杂性的增加,其可靠性将会迅速下降。

表 1.1 复杂性对系统可靠性的影响

组成系 统的元 件个数	单个元件的可靠性			
	99.999%	99.99%	99.9%	99.0%
	系统可靠性			
10	99.99%	99.90%	99.00%	90.44%
100	99.90%	99.01%	90.48%	36.60%
250	99.75%	97.53%	77.87%	8.11%
500	99.50%	95.12%	60.64%	0.66%
1000	99.01%	90.48%	36.77%	<0.1%
10000	90.48%	36.79%	<0.1%	<0.1%
100000	36.79%	<0.1%	<0.1%	<0.1%
1000000	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%



随着科学技术的迅速发展,一个功能比较齐全、技术性能指标先进的产品应该是一个复杂的系统的总和,它包括几大方面:

- 1) 技术性能;
- 2) 可靠性;
- 3) 维修性;
- 4) 安全性;
- 5) 保障性。

其中,产品的可靠性处于重要的地位。产品的可靠性是评价系统最基本的价值目标之一,它不仅是一个系统的重要质量指标,而且关系到整个系统研制的成败。系统的可靠性与其性能、成本、进度等基本价值目标有着密切的关系。如果在确定价值目标的序值时,忽视可靠性或者在设计和生产中不能保证系统所要求的可靠性,其技术性能就不能很好地发挥出来。从而导致系统失去实用价值,为之所做的其他工作也就会失去意义,甚至还可能造成不可估量的潜在损失,包括生命安全和政治上的损失。钱学森曾经明确指出“在研究一个大而复杂的系统(不论是技术领域或经济领域)时就不能不考虑它的可靠性。不仅是其各个组成部分的可靠性,更要研究它们组成的整个系统的可靠性”。有这样一种观点,即任何武器系统必须能自始至终可靠地工作,即使性能降低了,仍能可靠地工作。不需要那些可靠性不高,在性能指标上能满足严格要求的武器系统。有时为了某种目的,也可以不顾成本而要求达到高的可靠性。但在一般情况下,不适当地制定可靠性目标,导致在技术上不能实现,或者虽然可以实现但要耗费大量资金和很长的研制时间,都会损害到其他基本价值目标,从而降低整个产品的总价值,这自然也是不可取的。可靠性研究在产品中所占的地位必须引起足够的重视。因此,提高产品的可靠性,必须研究可靠性和费用的关系。

将购入费与使用中因故障造成的损失和维修费一起考虑,或者说在考虑产品的全寿命周期的费用时,可靠性成为重要的因素之一。

当购买产品或进行设备投资时,期望将寿命周期费用作为基准来讨论成本。对于使用方,寿命周期成本可用下式表达:

$$\text{寿命周期成本} = \text{购入费} + \text{维持费} \quad (1.1)$$

其中

$$\text{维持费} = \text{使用费} + \text{维修费}$$

由此得

$$\text{效费比} = \frac{\text{系统效能}}{\text{寿命周期费用}} \quad (1.2)$$

为使效费比高,就要提高系统效能或降低寿命周期费用。若将寿命周期费用作为基准,如图 1.1 所示,将使用方成本定量化即可求得最佳成本。图 1.1 表示当提高产品可靠性时(这里用平均寿命 MTBF 表示),产品的制造费增高,而使用与维修费用急速下降。使用方负担的全部费用下降。但当 MTBF 超过某一水平时,设计制造费的增加量比使用与维修费的减少量要大,使用方负担的全部费用上升。

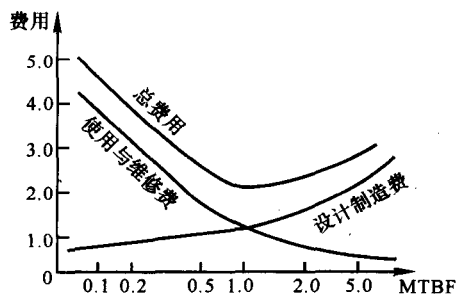


图 1.1 可靠性与费用的关系

在开发新产品的过程中,将设计适当的 MTBF,降低使用费用(燃料费、电力费等),保障部件的供应等问题综合考虑,特别是在产品开发的初期,要一并讨论产品的性能、可靠性、寿命周期费用,对这些指标进行综合权衡,得到最佳的设计。

提高产品的可靠性,必须研究可靠性和质量管理的关系。

当代质量观认为,产品质量是产品满足使用要求的特性总和,即适用性。一般包括性能、可靠性、可用性、外观等内容。可靠性是产品质量的一个重要指标,大致地说,可靠性就是产品性能的稳定性,这种稳定性保证产品的正常工作。以工厂生产线为传统的传统质量管理已经不适应现代复杂工业系统的高质量要求,取而代之的应是以可靠性为中心的全面质量管理,最终促进可靠性工程的迅速发展。产品的可靠性是设计出来的、生产出来的、管理出来的。设计决定了产品的固有可靠性,如果设计水平不高,例如选用了不恰当的设计方案和工艺、不合适的原材料等,则无论怎样控制生产过程的质量,产品的可靠性仍然上不去,所以一定要把可靠性设计到产品中去;生产部门要努力实现设计的意图,并在生产过程中不引进不可靠因素,使产品尽可能达到设计的可靠性。我国工业现状是产品的故障有很大比例是由管理不当造成的,如果进行严格的科学管理,产品质量可以大幅度提高。另外,如果产品在用户使用中经常出故障,无法发挥技术性能的作用,或者它还没有到用户手中,在储存或运输过程中就损坏了,当然该产品不是高质量的产品。因此,产品的技术性能固然是产品质量的一种表现(或指标),但这性能在使用中能够保持多久,是一小时、一个月、还是更长的时间,同样也是产品质量的一种体现。实际上,人们在日常中所碰到的质量问题,主要还是指产品性能保持的时间短、容易出故障、不可靠,所以站在使用的角度,产品的可靠性指标是第一位的。可靠性就是产品的基本质量目标之一,是产品质量的重要组成部分。而产品的一切质量工作的主要任务就是提高产品的可靠性,以保证产品稳定可靠。同时,质量工作还要保证产品的性能指标、经济指标和服务指标。





### 1.3 可靠性与可靠性工程的基本概念

(1) 可靠性。可靠性是指产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的能力。这里的产品是指作为单独研究和分别试验对象的任何元器件、组件、设备和系统。规定的条件是指产品在其寿命周期内所处的预先规定的全部外部条件。外部作用条件包括环境、使用、维修等条件。

环境条件包括自然环境、诱发环境两类。自然环境条件包括气候、地形等地球表面存在的各种因素。气候因素包含有温度、湿度、尘雾、风、雨、太阳辐射等;地形因素包含地形轮廓、土壤、植物、动物、昆虫、微生物等。诱发环境条件包括人为制造环境与人为改变环境两种。前者涉及放射现象、核爆炸冲击波引起的空气污染以及电磁干扰等;人为改变环境是人的活动对自然环境条件作用而产生的环境条件,例如城市的存在引起地面和空气温度的增高,植物的变迁引起水土的流失和地面温度的降低等等。诱发环境条件还包括振动、冲击、加速度等。

使用条件包括功能模式、工作时间及使用频度,输入信号的要求及误差,工作能源的特性及误差,如电源电压、波形、瞬变等,负载条件,设备操作的程序,使用人员技术水平等。

维修条件包括维修方式,维修人员状况,维修设备和工具等。

外部条件各因素的强度是在某个范围内随机地变化的,各种因素的不同状态互相交织在一起作用于产品,形成对可靠性附加的第一种约束条件。产品能承受的外部条件是预先规定的,由任务书所明确的,而不是任意的。为了便于管理有些环境条件已标准化,各种标准中对环境条件有明确的划分。

规定的时间是指产品完成规定功能的时间,可用时间单位表示,也可用相当于时间单位的公里数、周期数等表示。这是对可靠性附加的第二种约束条件,也是最重要的约束条件。由于产品交付使用后,会受到各种因素的影响,可靠性随着时间的延长而逐步下降。不同的时间,对产品失效的影响也不相同。产品在规定的储存期内,一般都应该是可靠的,但超出储存期使用,问题就比较多。如陀螺仪表,在每次使用前都要进行检测与校准,使其处于良好的工作状态,但是随着使用时间和地点的变化,下次启用时还必须重新校准,不能直接使用。因此,离开规定的时间谈可靠性没有实际意义。

规定的功能是指产品设计文件上对产品规定的技术性能指标,是指产品若干功能的全体,而不是其中的一部分。这是对可靠性附加的第三种约束条件。产品完成了规定的功能要求,就算是可靠的,否则,就说是不可靠的。“完成功能的能力”通常表示可靠性的定性要求,“完成功能的概率”通常表示可靠性的定量要求,是可靠性大小的度量。对功能的描述有些场合能用定量的,有些场合只能用模糊的方式。对原特征明确的一些产品,比如直流稳压电源的指标有输出电压及其调节范围,额定输出电流、电压调整率等指标,可用一组数值表示。有些产品的性能,如音质优美,操作方便等指标,照理也应用某种尺度表示,但是在测定音质时却会由于听