

 21世纪工业工程专业规划教材

卢明银 徐人平 主编

系统可靠性

System

Reliability



机械工业出版社
China Machine Press



N945.17/6

2008

21 世纪工业工程专业规划教材

系 统 可 靠 性

主 编	卢明银	徐人平
副主编	王金武	钟磊钢
参 编	李乃梁	王 通 郝敬宾
主 审	韩可琦	

机 械 工 业 出 版 社

本书以工业生产系统的可靠性评价为主线,并兼顾其他系统;在内容上既着重于系统可靠性的基本理论和方法,又力图反映出系统可靠性的最新进展。全书共分十章。前九章分别介绍了可靠性与系统可靠性,常用的寿命分布,可靠性数据收集与分析,不可修复系统可靠性,网络系统可靠性,可修复系统可靠性,故障模式、影响与危害性分析,故障树分析,系统可靠性设计优化等。同时,为了把书中所讲述的理论知识与实际工作有机结合起来,在最后一章还介绍了可靠性软件的发展与应用。

本书可作为工业工程及其相关专业的本科生、研究生的教材,也可作为科技工作者及技术管理人员学习的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

系统可靠性/卢明银,徐人平主编. —北京:机械工业出版社,2008.1

21世纪工业工程专业规划教材

ISBN 978-7-111-22036-7

I. 系… II. ①卢…②徐… III. 系统可靠性—高等学校—教材 IV. N945.17

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第116462号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:张敬柱 版式设计:冉晓华

责任校对:陈立辉 责任印制:洪汉军

北京铭成印刷有限公司印刷

2008年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm·7.625印张·1插页·293千字

标准书号:ISBN 978-7-111-22036-7

定价:24.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379539

封面无防伪标均为盗版

21 世纪工业工程专业规划教材

编 审 委 员 会

名誉主任: 汪应洛 西安交通大学
主 任: 齐二石 天津大学
副 主 任: 夏国平 北京航空航天大学
易树平 重庆大学
钱省三 上海理工大学
苏 秦 西安交通大学
郭 伏 东北大学
薛 伟 温州大学
李泰国 首都经济贸易大学
吴爱华 山东大学
许映秋 东南大学
邓海平 机械工业出版社

秘 书 长: 易树平 重庆大学
秘 书: 张敬柱 机械工业出版社

委 员 (按姓氏笔画排序):

方庆琯	安徽工业大学	周跃进	南京大学
王卫平	东莞理工学院	姜俊华	南昌航空工业学院
王德福	东北农业大学	徐人平	昆明理工大学
卢明银	中国矿业大学	徐瑞园	河北科技大学
李兴东	山东科技大学	海 心	南京工程学院
任秉银	哈尔滨工业大学	龚小军	西安电子科技大学
齐德新	辽宁工程技术大学	曹国安	合肥工业大学
刘裕先	北京机械工业学院	曹俊玲	机械工业出版社
李 萍	黑龙江科技学院	傅卫平	西安理工大学
陈友玲	重庆大学	韩向东	南京财经大学
陈 立	东北农业大学	程国全	北京科技大学
张绪柱	山东大学	蒋祖华	上海交通大学
张新敏	沈阳工业大学	鲁建厦	浙江工业大学
周宏明	温州大学	戴庆辉	华北电力大学

序

每一个国家的经济发展都有自己特有的规律，而每一个国家的高等教育也都有自己独特的发展轨迹。

自从工业工程(Industrial Engineering,简称IE)学科于20世纪初在美国诞生以来，在世界各国得到了较快的发展。工业化强国在第一、二次世界大战中都受益于工业工程。特别是战后经济恢复期，日本、德国等均在工业企业中大力推广工业工程的应用和培养工业工程人才，获得了良好的效果。美国著名企业家艾柯卡先生，是美国福特和克莱斯勒汽车公司的总裁，他就是毕业于美国里海大学工业工程专业。日本丰田生产方式从20世纪80年代创建以来，至今仍风靡世界各国，其创始人 大野耐一的接班人——原日本丰田汽车公司生产调查部部长中山清孝说：“所谓丰田生产方式就是美国的工业工程在日本企业的应用。”亚洲“四小龙”——韩国、新加坡、中国台湾和香港特别行政区均于20世纪60年代起步工业工程，当时正值亚太地区经济快速发展时期(中国大陆因“文化大革命”而错过此次发展机会)。台湾的工业工程发展与教育是相当成功的，经过30年的努力，建立了工业工程的科研、应用和教育系统。20世纪90年代初，全台湾地区60所大学有48所开设了工业工程专业，至今人才需求仍兴盛不衰。更重要的是于1992年设立了工业工程学门。目前，在大陆的台资企业都设有工业工程部和工业工程工程师岗位。在亚太地区的学校都广泛设立工业工程专业。工业工程高水平人才的培养，对国内外经济发展和社会进步起到了重要的推动作用。

1990年6月中国机械工程学会工业工程研究会(现已更名为工业工程分会)的正式成立，以及首届全国工业工程学术会议在天津大学的胜利召开，标志着我国工业工程学科步入了一个崭新的发展阶段。人们逐渐认识到工业工程对中国管理现代化和经济现代化的重要性，并在全中国范围内自发地掀起了学习、研究和推广工业工程的活动。更重要的是在1993年7月由原国家教委批准，天津大学、西安交通大学首批试办工业工程专业并招收本科生，由此开创了我国工业工程学科的先河。而后重庆大学等一批高校也先后开设了工业工程专业。时至今日，全国开设工业工程专业的院校至少有140所。发展速度之快，就像我国经济发展一样，令世界各国瞩目。我于2000年9月应邀赴美讲学，2001年应台湾工业工程学会邀请到台湾清华大学讲学，2003年应韩国工业工程学会邀请赴韩讲学，其题目均为“中国工业工程与高等教育发展概况”。他们均对中国大陆的工业工程学科发展给予了高度的评价，并表达了与我们保持长期交流与往来的意愿。

虽然我国工业工程高等教育自1993年就已开始,但教材建设却发展缓慢。最初,大家都使用由北京机械工程师进修学院组织编写的“自学考试”系列教材。至1998年时,全国设立工业工程专业的高校已达三四十所,但仍没有一套适用的专业教材。在这种情况下,工业工程分会与中国科学技术出版社合作出版了一套工业工程专业教材,并请西安交通大学汪应洛教授任编委会主任。这套教材的出版有效地缓解了当时工业工程专业高等教育教材短缺的压力,对我国工业工程专业高等教育的发展起到了重要的推动作用。

然而,近年来我国工业工程学科发展十分迅猛,开设工业工程专业的高校数量直线上升,同时教育部也不断出台新的政策,对工业工程的学科建设、办学思想、办学水平等进行规范和评估。在新的形势下,为了适应教学改革的要求,满足全国普通高等院校工业工程专业教学的需要,机械工业出版社推出的这套“21世纪工业工程专业规划教材”是十分及时和必要的。在教材编写启动会上,编审委员会组织国内工业工程专家、学者对本套教材的学术定位、编写思想、特色进行了深入研讨,力求在确保高学术水平的基础上,适应普通高等院校教学的需求,做到适应面广、针对性强、专业内容丰富。同时,本套教材还将配备CAI课件,相应的实验、实习教程,案例教程以及企业现场录像,实现立体化教学。尽管如此,由于工业工程在我国正处于快速成长期,加上我们的学术水平和知识有限,教材中难免存在各种不足,恳请国内外同仁多加批评指正。

教育部管理科学与工程类学科专业教学指导委员会主任

中国机械工程学会工业工程分会主任

天津大学管理学院院长



于天津

前 言

随着科学技术的发展，现代化的机器、技术装备、交通工具和探索工具越来越复杂。这些机器和设备的可靠性受到了人们的广泛重视，我们把这种可靠性称为系统可靠性。系统越复杂，对可靠性的要求就越高，若可靠性达不到较高的指标要求，则系统出故障的可能性越大、造成的损失也就越大。这些损失可能是经济上的，也可能是信誉上的，甚至可能造成灾难性的后果。例如导航系统的不可靠或工作失误可导致飞机坠毁；飞机在着陆时，其控制系统如不能将飞机的滑翔轮子可靠地弹出，后果将是不可想象的。因此，人们在走向现代化的过程中，必须在各个方面提高和改善系统的可靠性。没有可靠性作基础的系统只能是空中楼阁。

本书是在作者多年的研究工作与教学实践的基础上完成的。全书共分十章，在内容上既着重于系统可靠性的基本理论和方法，又力图反映出系统可靠性的最新进展。本书主要特点有：

- (1) 以工业生产系统的可靠性评价为主线，并兼顾其他系统。
- (2) 从系统可靠性的基础工作到系统可靠性的计算评价；从不可修复系统的可靠性的计算到可修复系统的可靠性的计算，层次清楚，便于自学。
- (3) 在编写过程中充分考虑了学生先修的数学类课程的实际情况，在数学方法应用上限定在本科生可以接受的范围。
- (4) 通过介绍柔性连接系统的可靠性计算方法，为学生进行复杂系统的可靠性计算打下了基础。
- (5) 从实际工作出发，介绍了可靠性软件的发展与应用。

本书编写分工如下：第一、六章由卢明银编写，第二、五章由钟磊钢编写，第三章由徐人平、王通编写，第四、九章由王金武编写，第七、八章由徐人平、郝敬宾编写，第十章由李乃梁编写。全书由卢

明银统稿，中国矿业大学韩可琦教授主审。编写过程中参考了大量有关文献，谨对全体作者表示衷心感谢。

由于作者学识有限，缺点错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

序

前言

第一章 可靠性与系统可靠性	1
第一节 可靠性与系统可靠性的概念.....	1
第二节 可靠性的发展概况.....	5
第三节 可靠性的特点.....	7
第四节 可靠性与质量管理.....	9
第五节 研究系统可靠性的意义	10
习题	16
第二章 常用的寿命分布	17
第一节 可靠性特征量	17
第二节 常用的寿命分布	25
习题	32
第三章 可靠性数据收集与分析	33
第一节 可靠性数据收集与分析的概念	33
第二节 可靠性数据收集的内容与方法	41
第三节 可靠性数据的图形分析	49
习题	55
第四章 不可修复系统可靠性	56
第一节 可靠性框图	56
第二节 串联系统	57
第三节 并联系统	59
第四节 混联系统	61
第五节 $k/n(G)$ 系统	63
第六节 储备系统	64
习题	71
第五章 网络系统可靠性	74
第一节 网络的基本概念	74

第二节 网络的可靠性计算	74
第三节 单调关联系统	78
习题	86
第六章 可修复系统可靠性	88
第一节 维修性及其数量指标	88
第二节 马尔柯夫过程	92
第三节 串联可修复系统	99
第四节 并联可修复系统	102
第五节 $k/n(G)$ 可修复系统	104
第六节 串并联可修复系统	105
第七节 柔性连接系统可靠性	107
第八节 实例研究	111
习题	116
第七章 故障模式、影响与危害性分析	117
第一节 概述	117
第二节 故障模式及影响分析	119
第三节 危害性分析	136
习题	143
第八章 故障树分析	144
第一节 概述	144
第二节 故障树的建造	145
第三节 故障树分析(FTA)	158
习题	174
第九章 系统可靠性设计优化	176
第一节 概述	176
第二节 系统可靠性分配最优化	181
第三节 可靠性预计	188
习题	203
第十章 系统可靠性仿真	204
第一节 概述	205
第二节 BlockSim 软件使用介绍	208
习题	228
参考文献	229

第一节 可靠性与系统可靠性的概念

一、可靠性

当前,随着工业技术的发展,可靠性已成为产品竞争的主要指标之一。

所谓可靠性,是指产品在规定的条件下,在规定的时间内,能够完成规定的功能的能力。其中:

(1) 产品,是指可以单独研究、分别试验的任何部件、组件、设备或系统。它可以由硬件、软件或兼由二者组成。就产品的性质划分产品可分为不可修产品(如电子元件、灯泡等)和可修产品(如计算机、大型设备等)。

(2) 规定的条件,是指产品使用时的应力条件(载荷条件)、环境条件以及储存条件等。规定的条件不同,产品的可靠性也不同。例如,一台起重机承受不同的负荷,那么它的可靠性肯定是不同的;又如某台设备在实验室内使用和野外现场使用其可靠性也是不同的;再如温度、湿度、腐蚀介质等不同的环境条件,对产品的可靠性都有很大的影响。此外,还有操作技术、维护保养条件等都对产品的可靠性产生影响。

(3) 规定的时间,是指产品的工作时间,任何一种产品经过一段时间的稳定性工作之后,随着时间的延长,可靠性就会下降,就会愈来愈频繁地出现故障,最后报废。例如某种家电,规定 90% 设备无故障工作时间为 15000h,那么在 15000h 之内,这一批产品绝大部分不会发生故障;但超过 15000h,则不能保证完好工作的百分比。规定时间的单位可用分、秒、小时、月、年、周期、次数、里程等。

(4) 规定的功能,是指产品应具有的技术指标。这个指标要明确、清晰,只有这样才能判断产品是正常工作还是处于故障状态。产品丧失规定功能称为失效。首先要明确产品的失效模式、失效机理和失效判据。失效判据有些产品很容易确定,有些产品就比较难确定。例如“灯泡”就很容易判断它正常还是失效(不亮就是失效);又如电视机的失效就比较复杂,它可以从几个方面来鉴别,

如光栅检查、图像质量检查、伴音质量、灵敏度、选择性、稳定性、白纯度与会聚检查、白平衡检查、消色能力、接受彩色能力等方面的具体数据,来判断其是否失效。此外,判断其是否失效还要由生产技术和用户的经济条件来决定。

可靠性有很多数量指标,如寿命、失效率、可靠度等。其中常用的特征量为可靠度,可靠度是指产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的概率,一般用 R (Reliability) 表示。

二、可靠性分类

根据不同的标准,通常将可靠性分成以下几类。

1. 狭义可靠性和广义可靠性

这是根据可靠性定义的范畴和含义之广狭来划分的。

狭义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。它表示产品在某一规定时间内发生故障的难易程度。

广义可靠性是指从工程概念出发所论及的具有更广泛意义的可靠性。国家标准将广义可靠性定义为:产品整个寿命周期内完成规定功能的能力。它包括了狭义可靠性和维修性,故可用下式表示:

广义可靠性 = 狭义可靠性 + 维修性

维修性是产品设计和装配的一种特性。它赋予了产品一种便于维修的独有素质,使可维修产品在出了故障后经维修可继续使用,从而提高产品的可靠性。国家标准对维修性定义为:产品在规定的条件下和规定的时间内,按规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复到能完成规定功能的能力。当前,维修性技术发展很快,已逐渐成为一个独立的分支,甚至可与可靠性工程相提并论了。

广义可靠性实质上就是产品的有效性。有效性(也称有用性)定义为:可以维修的产品在某时刻具有或维持规定功能的能力。实际上,有效性是将一个可维修产品的可靠性和维修性有机地结合起来,用一个统一的尺度来评价产品在全部使用过程中能有效工作的程度和比率。它表示产品正常工作的能力。

应当注意:在一般场合,人们所说的可靠性是指广义可靠性,而在专业场合及定量计算时,可靠性又多指狭义可靠性。

2. 固有可靠性和使用可靠性

这是根据可靠性形成的过程来划分的。

固有可靠性是指由设计决定、制造实现和保证的可靠性,记作 R_1 。它所考虑的中心问题是狭义可靠性。显然,固有可靠性是产品的固有属性,奠定了使用可靠性的基础,处于十分重要的地位。固有可靠性不高,相当于“先天不足”。在产品寿命各阶段中,设计阶段对可靠性影响最大。如果设计阶段不认真进行可靠性设计,则以后无论怎样精心制造、严格管理,也难以保证其可靠性。制造只

能尽可能保证实现设计的可靠性；使用则是维持可靠性，尽量减少可靠性降低。

使用可靠性是指产品在使用过程中，因受环境条件、维修方式及人为因素的影响所能达到的可靠性，记作 R_U 。它所考虑的中心问题是广义可靠性。显然，一般 $R_U < R_I$ ，并且随使用时间的增长， R_U 将逐渐降低。当 R_U 下降到规定的极限，则要检修或更换部件，使产品可靠性提高到合格水平，再投入使用。如此往复，直至报废。

据美国海军统计，在舰船故障中，设计不良造成的故障占总故障数的 40%，器件选用不当的故障占总故障数的 30%，制造不良造成的故障占总故障数的 10%，使用维修不当造成的故障占总故障数的 20%。可见，只有 R_I 达到一定水平，才有可能保证一定水平的 R_U 。

有人还将 R_I 和 R_U 综合起来称为工作可靠性，记作 R_O 。

3. 硬件可靠性和软件可靠性

这是为适应软件产品迅速发展而提出的一种分类法。

所谓“硬件”，是指在传统上被看作是从完全相同的器件总体中取出的若干部分的一种组合。前面所述的可靠性定义均指硬件可靠性。

所谓“软件”，是指由书面的或可记录的信息、概念、文件或程序组成的产品。

软件可靠性定义可表述为：在规定的条件下和规定的时间内，软件成功地完成规定功能的能力（概率）或不引起系统故障的能力（概率）。

在硬件—软件系统中，有人提出系统的可靠性可表示为

$$R_{SY} = R_S R_H R_M \quad (1-1)$$

式中 R_{SY} ——系统可靠性；

R_S ——软件可靠性；

R_H ——硬件可靠性；

R_M ——操作者误差。

软件可靠性不同于硬件可靠性。例如，软件不会因为疲劳、老化等发生故障；软件故障率不会随时间增长而单调下降等。随着软件产品的发展，软件可靠性已成为可靠性研究的重要方面。

三、系统可靠性

所谓系统，是指为了完成某一特定功能，由若干个彼此有联系的而且又能相互协调工作的部件所组成的综合体。

系统和部件的含义均是相对而言，具体由研究的对象而定。例如，把一条生产线当成一个系统时，组成生产线的各个部分或单机都是部件；把一台设备作为系统时，组成设备的零件都可以当作部件。因此，部件可以是子系统、机器或零

件等。

系统按可修复与否分为不可修复系统和可修复系统两类。所谓不可修复系统,是指系统或其组成部件一旦发生失效,不再修复,系统处于报废状态,这样的系统称为不可修复系统。通过维修而恢复其功能的系统,称为可修复系统。

不可修复系统常是因为技术上不能修复,或者一次性使用,没必要进行修复。

系统可靠性表示系统在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力。系统在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的概率称为系统可靠度。

虽然绝大多数的机械设备是可修复系统,但不可修复系统的分析方法是研究可修复系统的基础。而且,对系统进行可靠性预测和分配时,常常简化为不可修复系统来处理。

四、可靠性技术的基本内容

可靠性技术是为适应产品的高可靠性要求而发展起来的新兴学科,它研究产品或系统的故障发生原因、消除和预防故障的措施。其主要任务是保证产品的可靠性和可用性,延长使用寿命,降低维修费用,提高产品的使用效益。

可靠性技术研究的基本内容可分为可靠性基础理论和可靠性专业技术两部分。可靠性基础理论包括:可靠性数学、可靠性物理与可靠性管理。可靠性专业技术包括:可靠性设计、可靠性试验与维修性设计等。

1. 可靠性基础理论

(1) 可靠性数学。这是可靠性的数学理论基础。可靠性是以范围广泛的数学为基础的,在数学领域已形成了一个独立的学科分支。

(2) 可靠性物理。可靠性物理是20世纪60年代发展起来的。20世纪60年代前后,半导体器件发展很快,未知的失效原因很多,并且和物理学关系甚为密切,于是就产生了“失效物理学”。由于失效机理分析要涉及到材料学、物理学、化学等专业,并要广泛地应用理化分析仪器,因此,现阶段分析技术专家的知识面已大大扩展,可靠性物理已成为一门新兴的学科。随着可靠性技术已发展到可靠性保证阶段,可靠性物理研究也将失效物理研究成果具体应用到包括系统在内的设计及其可靠性与质量保证体系中去。

(3) 可靠性管理。可靠性管理是对可靠性工作的各个环节以及产品的全寿命周期的各项技术活动进行组织、协调和控制,以实现既定的可靠性指标的一种方法。它在整个可靠性工作中处于领导和保证地位,离开了可靠性管理,各项可靠性技术活动将无法进行。总的来说,它包括宏观管理和微观管理两个方面,其中又以自上而下的可靠性宏观管理起决定性作用。可靠性的宏观管理包括政策、法规、条例、标准、规划、体制等的制定,各个部门的基础研究、计量、检查监

督、质量跟踪,情报部门的数据和情报交换、产品可靠性的认证、生产许可、创优评优、安全认可、技术交流和教育培训等方面的工作;可靠性的微观管理包括如方针目标、规章制度、企业标准、组织机构、计划、指标制定和考核、设计评审、工序控制、质量检查和监督、质量跟踪和反馈、维修和售后服务、费用分析和核算、岗位培训等多方面的工作。

2. 可靠性专业技术

(1) 可靠性设计。这项工作包括:建立可靠性模型,对产品进行可靠性预计和分配,进行故障或失效机理分析,在此基础上进行可靠性设计。可靠性设计是产品可靠性的保证。一个高可靠性的产品必须从可靠性设计做起,它包括的内容很多,涉及面也极广。

(2) 可靠性试验。可靠性试验的目的是了解产品,验证产品的可靠性水平,通过试验—改进—再试验,反复提高产品可靠性水平。根据试验的目的,有各种不同的可靠性试验方法。

(3) 维修性设计。大多数的产品均为可修理产品。维修性设计的目的是为了缩短平均停机时间。维修性设计是从可测性、可达性、可更换性等方面来保障维修的准确、迅速、安全、可靠。

第二节 可靠性的发展概况

人们对可靠性的重视由来已久,但作为可靠性科学或可靠性的定量指标的研究是从第二次世界大战才迅速发展起来的。美国是可靠性技术的发源地,可靠性最初的研究始于20世纪40年代美国对电子真空管的失效分析。它在历经四个发展阶段之后,至今已成为一门内容丰富的工程技术学科。

20世纪40年代是可靠性工程的萌芽阶段。第二次世界大战期间,美国的军用电子设备在储存期就有50%失效,机载电子管寿命连20h还不到。由此,迫使国防部开始探讨可靠性问题,并于1943年成立了“真空管研究委员会”,专门研究电子管的可靠性问题。这标志着可靠性研究的起步。

20世纪50年代是可靠性的创建阶段。朝鲜战争期间,武器系统因雷达常出故障,能工作的时间仅16%,舰船设备只有33%能有效工作,这促使军内外开始系统的可靠性研究。美国于1950年成立“电子设备可靠性专门委员会”,1952年国防部成立“电子设备可靠性顾问委员会”(Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment, AGREE)。1957年AGREE发表的“军用电子设备的可靠性”报告,明确产品的可靠性是可定量的、可分配的、可验证的,从而建立了可靠性的框架,奠定了可靠性的基础。前苏联从20世纪40年代后期,日本、原联邦德国从50年代后期也开始了可靠性研究。

20 世纪 60 年代是可靠性全面发展阶段。美国在该阶段迅速发展了可靠性设计和试验方法,并取得了重要成果。1965 年颁布的 MIL-STD-785 军用标准(1969 年修订为 785A)是其中最显著的成果。在此期间,世界各国也普遍成立了可靠性机构,推广可靠性教育,建立可靠性管理制度,制定可靠性标准。如英国 1961 年成立“可靠性与质量全国委员会”,1966 年开展“全国质量与可靠性年”活动;法国于 1962 年成立“可靠性中心”;日本从美国引进并发展了可靠性技术,在民用电子产品的高可靠性方面,取得世界领先的地位。

20 世纪 70 年代以后是可靠性深入发展阶段。由于军事装备的使用观念发生了战略性转变,从单纯重视性能到重视效能,从单纯要求高可靠性到要求可靠性、维修性等综合指标,并将可靠性、维修性作为减少全寿命周期费用的工具,如美海军提出了“设计以可靠性第一,最大工作效能第二”的原则,因此可靠性分析、综合环境、可靠性增长及可靠性管理均得到发展。最具代表性的成果是 1980 年美国国防部指令 DODD5000.40“可靠性及维修性”和修订的 MIL-STD-785B 标准(其中,MIL-STD-785B“设备和系统研制和生产阶段的可靠性大纲”1998 年 6 月被 IEEE P1332 标准“电子系统和设备的研制和生产可靠性大纲”取代)。

我国的可靠性工作从 1956 年成立“环境试验所”开始,1965 年在钱学森的建议下,原七机部五院成立了“可靠性质量管理研究所”(705 所),进行了开拓性工作。但由于“十年动乱”,705 所被迫解散,可靠性研究处于停顿状态,直到 1973 年才又恢复可靠性研究工作。1978 年提出并开展了“七专”(专人、专机、专料、专批、专检、专技、专卡)活动,1979 年中国电子学会成立“可靠性与质量管理专业学会”,1981 年又成立“中国电子元器件质量认证委员会”,1982 年国家标准局成立“全国电工电子产品可靠性与维修性标准化技术委员会”,使我国的可靠性研究得以蓬勃开展,并制定了一系列的国家标准。

经过不懈的努力,我国的可靠性研究工作已取得了显著效果。例如,目前我国生产的电视机,其可靠性已有了很大提高,达到了国际水平。同时,军事装备可靠性的明显提高,不仅提高了我军的战斗力,并增强了军品出口的国际竞争力,为我国赢得了声誉。

我国发射的神舟号飞船的长征二号 F 火箭,是一种推力足够大,可靠性、安全性极其好的运载火箭。它是在中国大型商业发射火箭长二捆(长征二号 E)的基础上增加了逃逸系统和故障检测处理系统两个新系统组合而成的。火箭的芯级是发射率成功最高的、曾被航天总公司誉为“金牌火箭”的长征二号丙火箭。

长征二号 F 火箭从 1992 年开始研制,1999 年 11 月首飞成功。在历时 8 年的研制过程中始终将可靠性、安全性放在首位。该火箭广泛采用了冗余设计,提高了元器件等级和筛选标准,结构设计提高了剩余强度系数,发动机也进行了提高

可靠性的设计。火箭的可靠性指标从长二捆火箭的 0.91 提高到了 0.97, 其安全性系数更是达到 0.997, 使它成为目前国内可靠性指标最高的运载火箭。

长征二号 F 火箭的控制系统配了备份, 万一主系统出现故障, 可迅速切换到备份系统上保证火箭正常工作。该火箭还增加了自动故障检测处理系统, 这套系统可以在飞船待发射阶段和上升阶段自动进行故障检测, 一旦有问题它会自动报警。该火箭还取消了其他火箭一旦姿态不稳便自动自毁的功能, 配备了逃逸系统, 一旦出现意外, 它可以随时启动。

到目前为止, 长征二号 F 火箭已 6 次成功将“神舟”系列飞船准确可靠地送入预定轨道, 其可靠稳定的飞行性能已经得到了检验, 为中国航天员安全可靠地进入太空提供了有力的保障。

第三节 可靠性的特点

可靠性综合反映了一个产品的耐久性、无故障性、维修性、有效性和使用经济性等特点, 可用各种定量指标表示。可靠性是产品的一项重要质量指标, 具有质量的属性, 但又有其自身特点, 可归纳如下。

一、规定条件下的可比性

从可靠性的定义看出, 一个产品的可靠性受三个“规定”的限制。

第一个“规定”是指因使用条件和环境条件的不同, 可靠性水平有很大差异。例如, 要求恒温或净化环境下使用的设备如果放到不同的环境下工作, 可靠性将会成倍地下降。因此要保证使用可靠性, 必须严格明确使用条件和环境, 对于不按规定条件使用的产品, 不能要求保证达到原定的可靠性水平。

第二个“规定”是指规定时间的长短不同, 其可靠性也不同。一般机电类产品的功能、性能都有随时间衰退的特点, 规定的时间越长, 最终的可靠性越低。同一种产品在不同的使用时间范围, 其可靠性水平是不同的。这里的时间定义是广义的: 可以是统计的日历小时, 也可以是工作循环次数、作业班次或行驶里程等, 将根据产品具体特性而定。

第三个“规定”是指因规定的产品功能判据不同, 将得到不同的可靠性评定结果。完成功能和发生故障是可靠性问题的正反两个方面, 产品完成了规定的功能认为是可靠的, 丧失功能就是发生了故障或失效。同一产品, 规定的功能要求不一样, 其可靠性也不同。所以在讨论和评估产品的可靠性时, 应明确以上三个“规定”, 否则会失去可比性。