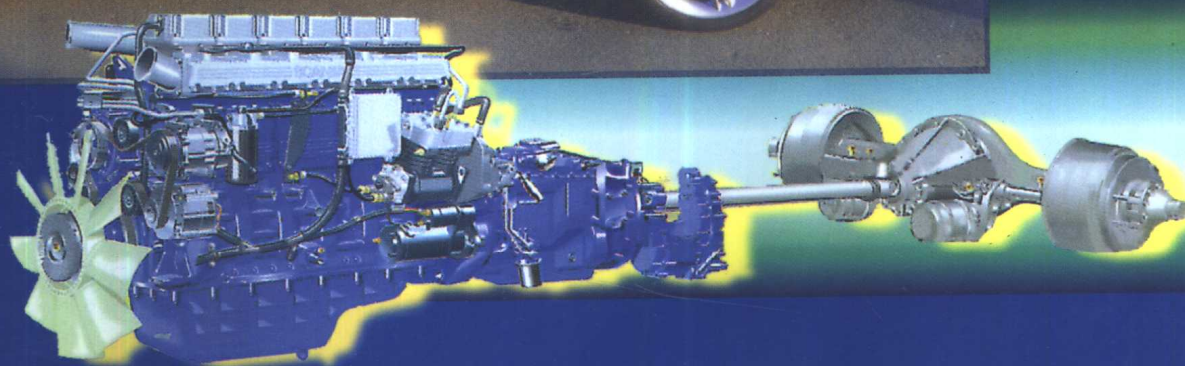


张义民

编著

◆ QI CHE LING BU JIAN KE KAO XING SHE JI



汽车零部件 可靠性设计



北京理工大学出版社

汽车零部件可靠性设计

张义民 编著

北京理工大学出版社

内 容 简 介

本书从可靠性基本概念出发,系统地叙述了汽车可靠性设计的基本原理,通过有代表性的实例详细说明了各种可靠性方法在汽车工程中的应用。全书共七章,涉及汽车零部件可靠性设计的基本概念与特征量、可靠性的数学基础、可靠性设计的理论与方法、可靠性分析的随机有限元方法、汽车零部件可靠性设计实践及可靠性优化设计等重要内容。为了使内容更容易掌握和理解,本书尽量避免冗繁的数学论证和推演,理论叙述深入浅出,重在实用,书中还列举了许多国内外的应用实例和作者及课题组多年来从事汽车可靠性设计研究的结果和资料。

本书取材新颖、深度适宜,既可供从事汽车设计、研究、试验、工艺、制造、质量管理、维修使用、销售服务等方面的技术人员与管理人员学习掌握可靠性设计方法之用,同时也可作为高等工科院校汽车拖拉机专业本科生和研究生的教学用书,还可供有关教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车零部件可靠性设计/张义民编. —北京:北京理工大学出版社,2000.9

ISBN 7-81045-676-8

I. 汽… II. 张… III. 汽车-零部件-可靠性-设计 IV. U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 04641 号

责任印制·刘京凤 责任校对·郑兴玉

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路7号)

邮政编码 100081 电话(010)68912824

各地新华书店经售

北京地质印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 13.5印张 313千字

2000年9月第1版 2000年9月第1次印刷

印数:1-3000册 定价:21.00元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

出版说明

为贯彻汽车工业产业政策,推动和加强汽车工程图书的出版工作,中国汽车工程学会成立了“汽车工程图书出版专家委员会”。委员会由有关领导机关、企事业单位、大中专院校的专家和学者组成,其中心任务是策划、推荐、评审各类汽车图书选题。图书选题的范围包括:学术水平高、内容有创见、在工程技术理论方面有突破的应用科学专著和教材;学术思想新颖、内容具体、实用,对汽车工程技术有较大推动作用,密切结合汽车工业技术现代化,有高新技术内容的工程技术类图书;有重要发展前景,有重大使用价值,密切结合汽车工程技术现代化需要的新工艺、新材料图书;反映国外汽车工程先进技术的译著;使用维修、普及类汽车图书。

出版专家委员会是在深化改革中,实行专业学会、企业、学校、研究所等相互结合,专家学者直接参与并推动专业图书向高水平、高质量、有序发展的新尝试。它必将对活跃、繁荣专业著作的出版事业起到很好的推动作用。希望各位同仁、专家积极参与、关心、监督我们的工作。限于水平和经验,委员会推荐出版的图书难免存在不足之处,敬请广大同行和读者批评指正。

本书由张义民编著,闻邦椿院士主审,经专家委员会评审通过、推荐出版。

汽车工程图书出版专家委员会

前 言

可靠性是产品使用过程中质量指标的重要反映,其显著特点是与产品的设计、制造和使用各个阶段密切相关,所以每个阶段都应该为创造最经济又具有所要求的可靠性水平的产品而努力。可靠性工程研究的主要内容是产品的可靠性设计、试验和验证。可靠性试验数据是可靠性设计的基础,但是试验不能提高产品的可靠性,只有设计才能决定产品的固有可靠性,因此为了提高机械产品的可靠性,必须在设计上满足可靠性要求。汽车的可靠性是用户最为关心的质量问题之一,随着世界科学技术的发展和应用,当今世界的许多汽车产品可靠性已经达到相当完美的程度,其用户可以不用担心汽车因故障造成事故和停驶,这是汽车产品得以大量普及的重要原因之一。因为汽车是由零部件组成的,所以,为了提高汽车的可靠性,首先必须提高零部件的可靠性。往往由于一个关键性零部件的可靠性不好,以致使整车在短时间的运行中失效,从而造成故障与事故,这样的事例自从汽车产生起就一直在不断发生,所以汽车可靠性必须首先从零部件的可靠性做起。

与先进国家相比,我国汽车产品的可靠性水平较低,汽车的故障给用户带来了损失。在我国可靠性工程技术的应用和推广虽然起步较晚,但近些年来发展势头很猛。提高与改善我国汽车产品的可靠性已是当务之急。为此,要求汽车设计人员在掌握常规机械设计方法的基础上,进一步了解和熟悉机械可靠性设计的基本思想和方法。这样,不仅可以拓宽和补充常规的设计理论,加深对常规设计的全面认识,而且对推广可靠性设计,提高设计质量,无疑是十分必要的。因此,必须普及可靠性知识,推广和应用可靠性技术方法,培养从事可靠性工作的人才,开展可靠性的科学研究工作。目前国内已出版多种机械可靠性教材和专著,但多偏重一般理论和一般方法的阐述。为了进一步推广可靠性设计,作者编著了本书。在撰写过程中,特别注重本书的简明性、通俗性、实用性和在汽车工程中的应用。凡通晓常规机械设计理论和方法,掌握了必要的数学力学基础知识的读者,都可以顺利阅读本著作。

我国汽车可靠性设计的应用和推广目前仍比较困难,原因是多方面的:(1)传统的汽车设计方法使用了相当大的安全系数,掩盖了可靠性与经济性的矛盾;(2)可靠性设计需要足够的呈分布状态的设计数据,而获得这些数据并非一日之功,不仅需要进行可靠性试验,更需要首先建立起一整套自上而下的可靠性管理制度和机构,建立起必要的设计评审制度、可靠性标准、可靠性数据中心等;(3)可靠性试验是一种既费时又费钱的试验,由少数人和单位完成这样试验有相当的难度,而汽车和零部件的可靠性试验比电子、电气元件和设备的可靠性试验要难得多。尽管如此,对汽车与零部件进行可靠性设计和维修性设计研究是势在必行。越来越多的汽车产品被要求必须具备可靠性指标,因为可靠性是考虑了时间因素的质量。可以断言:只有可靠性高的产品,才能在国际市场的激烈竞争中取胜。因此,在汽车工业领域大力推广和贯彻可靠性技术,实在是一项紧迫而又重要的任务。

本书从汽车工业推广可靠性技术工作的需要出发,根据作者从事汽车可靠性研究和推广应用工作中取得的成果,阐述了汽车可靠性的基本原理和具体应用方法。力求概念清晰,举例实际,便于应用。本书在内容上包括了可靠性的基本概念、可靠性设计的理论与方法、汽车零

部件可靠性设计实践及可靠性优化设计等重要内容。

在本书编著中,作者参考了一些国内外资料,限于篇幅,在参考文献目录中只列出其中的一部分,并只附上部分可靠性数学用表。在此,谨向原作者、编者表示衷心感谢。

在本书撰写过程中,得到了中国科学院院士、东北大学教授闻邦椿导师和吉林工业大学汽车学院院长林逸教授的热情鼓励 and 大力支持,谨在此深表谢意。

限于水平,时间又很仓促,而且统计资料和设计数据并不充分,因此缺漏和不当之处在所难免,敬请读者不吝批评指正。

张义民
1999年12月于吉林工业大学

目 录

第一章 绪 论

1.1 可靠性研究的重要性	(1)
1.2 可靠性技术的发展史	(3)
1.3 我国汽车可靠性工作的状况与展望	(5)

第二章 可靠性的基本概念

2.1 可靠性定义	(8)
2.2 失效的概念	(9)
2.3 可靠性尺度	(12)
2.4 可靠性的分类	(17)
2.5 可靠性的计算方法	(18)
2.6 可靠性的基本假设	(19)
2.7 可靠性设计	(20)

第三章 可靠性的数学基础

3.1 基本概念	(22)
3.2 可靠性设计常用的概率分布	(29)
3.3 分布参数的估计	(41)
3.4 随机变量函数的概率分布和数字特征	(47)
3.5 系统的可靠度及其分配	(58)

第四章 可靠性设计的理论与方法

4.1 应力-强度干涉模型法	(64)
4.2 常用分布的可靠度计算	(67)
4.3 计算可靠度的等效正态分布法	(77)
4.4 可靠性设计的摄动法和二阶矩法	(86)
4.5 相关变量的变换	(93)

第五章 可靠性分析的随机有限元方法

5.1 有限元分析概述	(97)
5.2 随机场的离散	(104)
5.3 随机有限元方法	(106)

第六章 汽车零部件可靠性设计实践

6.1 拉杆的可靠性设计	(116)
6.2 螺栓的可靠性设计	(118)
6.3 连杆的可靠性设计	(119)

6.4 扭杆的可靠性设计	(121)
6.5 半轴的可靠性设计	(122)
6.6 汽车前轴的可靠性设计	(125)
6.7 车辆后桥的可靠性设计	(127)
6.8 螺旋弹簧的可靠性设计	(130)
6.9 汽车钢板弹簧的可靠性设计	(133)
6.10 齿轮的可靠性设计	(138)

第七章 可靠性优化设计

7.1 优化设计的基本概念	(143)
7.2 可靠性优化设计的内容	(151)
7.3 建立概率优化设计模型的方法	(152)
7.4 可靠性优化设计实践	(156)

附 录

附表1 正态分布表	(181)
附表2 Γ 函数表	(185)
附表3 t 分布表	(186)
附表4 χ^2 分布表	(187)
附表5 正态分布容许限 k 表	(189)
附表6 材料的机械性能均值和标准差表	(194)
参考文献	(202)

第一章 绪 论

1.1 可靠性研究的重要性

自从美国人 Robet Lusser 于 1952 年在美国提出了可靠性的科学定义以来,可靠性工程作为一门边缘性的工程科学受到重视已经 40 多年了。在此期间,可靠性工程广泛地应用于航空、航天、冶金、石油化工、造船、铁路、医疗、交通运输、食品加工等各个工业部门之中,其发展之迅速、应用之广泛,远非一般应用科学所可以比拟。1981 年,美国的 E·Henley 和日本的 H·Kumamoto 指出,在过去的 10 年内,除环境科学和计算机技术以外,没有其它应用科学像安全、风险和可靠性分析那样得到惊人的发展和推广。1984 年, A·Coppola 甚至认为,可靠性已经更强烈地反映出历史发展的趋势。

可靠性问题最早是由美国军用航空部门提出的,他们首先认识到不可靠性的代价实在太大了。例如,在第二次世界大战期间,美国空军由于飞行故障而损失的飞机达 21 000 架,比被击落的多 1.5 倍。随着现代工业技术的飞速发展,机械产品日趋复杂化、大型化、高参数化,对各种产品的要求越来越高,使产品发生故障的机会增多,其中灾难性的事故亦时有发生。如 1985 年 8 月,日航 123 航班波音 747 客机坠毁,使 520 人丧生;1986 年 1 月,美国“挑战者”号航天飞机,因为火箭助推器内的橡胶密封圈因温度低而失效,结果引起航天飞机爆炸,造成了 7 名宇航员的全部遇难和重大的经济损失。各种故障和失效不仅威胁着航空工业,也给造船、桥梁、交通运输、动力机械、化工机械、工程机械等造成威胁。现代工业中的许多关键性动力设备,如蒸汽机的涡轮转子和壳体,核压力容器,燃汽机的转子、叶片和盘,核燃烧元件等都严重地遭到过破坏。就电站设备来说,西德从 1971 年—1974 年蒸汽轮机设备共发生过 1 393 起事故,法国核电站的压力容器和英国核电站的大型锅炉都发生过爆炸事故。至于高压储罐、氧气顶吹转炉主轴、输石油的各种管道、阀门,机械中的曲轴、连杆、齿轮、轴承及焊铆接件等的损坏事故就更无法统计了。

近 40 年来,可靠性技术在机械设计中的应用已深入到结构设计、机械零部件的强度设计、选材和失效分析以及机械产品设计。这些问题的研究不仅为可靠性设计提供了基础,而且标志着机械可靠性设计已进入了实用阶段。据称美国 1969 年 7 月登月成功的阿波罗 (Apollo) 飞船,有 720 万个零(元、器)件,共有 120 所大学、15 000 个单位的 42 万人参加研制,这样的零(元、器)件具有高可靠性(上面标有可靠度为 0.999 999 999)。有时,一个零件的失效,可导致整个系统的故障,造成灾难性的后果。在登月成功之后, NASA(宇航局)将可靠性工程技术列为三大技术成就之一,并认为可靠性技术是主要的,所以 Apollo 计划被称为可靠性的充分体现。随着世界科学技术的迅速发展,机械可靠性设计工作也出现了崭新的局面。在机械可靠性设计领域里,新原理、新方法与新技术不断涌现,从而大大提高了设计水平与速度。特别是对于结构复杂,使用条件要求高的产品,改变了设计难度大而不能设计或设计的质量低、周期长的状况。

众所周知,可靠性作为产品质量的主要指标和最重要的技术指标之一,愈来愈受到工程界

的特别重视。现代生产的经验表明,在设计、制造和使用的三个阶段中,设计决定了产品的可靠性水平,即产品的固有可靠性,而制造和使用的任务是保证产品可靠性指标的实现。也就是说,可靠性与其他性能一样,都必须在产品研制设计过程中充分考虑,而由制造和管理来保证。可靠性试验数据是可靠性设计的基础,但是试验不能提高产品的可靠性,只有设计才能决定产品的固有可靠性,因此,产品可靠性设计的重要性就不言而喻了。由于可靠性技术贯穿于产品的设计、研制、制造、装配、调试、试验、使用、运输、保管、维修及保养等各个环节,因此应该大力推广建立在概率统计理论基础上的可靠性设计方法,这样不仅能解决过去用传统设计所不能处理的一些问题,而且能有效地提高产品质量和降低产品成本,使机械零部件的预测工作性能与实际工作性能更加符合,得到既有足够的安全可靠性,又有适当经济性的优化产品,从而摆脱了用固定的、静止的观点进行设计的陈旧框框,使设计工作更加深入、精确,更符合实际、更适应于机械结构系统日益提高的要求。从而有效地增强产品质量、降低产品成本、减轻整机质量、提高可靠性和作业效率。随着工业技术的发展,机械产品性能参数日益提高,结构日趋复杂,使用场所更加广泛,产品的性能和可靠性问题也就越来越突出,这种向高效率、复杂化和经济性方向发展的产品又总是对其可靠性提出更高的要求。因此,现代设计方法在机械产品设计中的广泛应用是有着十分重要的意义。

汽车和汽车工业在国民经济、现代社会及人民生活中具有十分重要的作用。在当前中国的经济建设事业中,汽车处于十分突出和优先的地位。近年来汽车工业在中国机械工业各行业中,其增长速度相对比其它很多行业都要高得多。但是中国汽车工业的发展仍然远远赶不上需求,每年都要进口大量的各种汽车。由于种种原因,中国汽车工业距国际水平还有相当的差距,特别在产品设计和试验研究方面距离更大一些,这方面应该为中国的许多部门和企业所认识。目前,我国的汽车设计,基本上尚处在类比设计和经验设计阶段,这样的设计往往会偏于保守而限制了汽车性能的提高和产品成本的降低。因此,我国汽车产品设计与国外汽车产品的主要差距之一是所设计的汽车过于笨重。在现代汽车结构设计中,要使结构做到尽可能的轻量化不但可以节省材料消耗和降低汽车成本,而且可以减少汽车的油耗和提高汽车的使用性能。例如中国目前批量生产的中型卡车的自重比世界先进的同档卡车要重 30% 以上,其油耗也要增加几乎同样的比例。但是作为一种交通工具的汽车,要求应该具有高度的可靠性和安全性,但这与结构轻量化常常是矛盾的,所以结构的轻量化设计要保证同时具有足够的可靠性和绝对的安全性。另外,由于结构构件的多样化,给可靠性和安全性分析与设计造成很大的困难。当然可以说,汽车也和其它机械一样,不是耐永久使用的东西,所以从性能、经济观点出发,应该考虑其平均寿命。

汽车是高速运动并承载的机械,它的结构设计一定要考虑动态性能,不能按照静态设计的方法。汽车行驶在凹凸不平的路面,随着行驶路面、行驶速度、装载的条件、操作条件等的不同均有很大的变化,使汽车承受着随时间变化的动态随机载荷的作用,在这种载荷作用下,汽车的许多构件上都产生动态应力,引起疲劳损伤破坏。所以,应采用概率统计理论进行汽车的可靠性分析、评价和设计汽车的零部件。根据对实际路面的调查,掌握车辆长期使用状态下的实际载荷,且根据设计人员的实际经验,给出汽车的设计载荷,由给定的设计载荷来计算汽车零部件的可靠度和进行汽车零部件的可靠性设计,把概率统计意义上的分析与设计方法应用于实际构件的分析与设计,把失效的发生控制在一种可以接受的水平,是当今我国汽车行业应该引起高度重视和迅速发展的研究方向。同样,汽车结构的轻量化设计实质上是一种结构可

可靠性设计。汽车可靠性设计的研究定会产生产结构轻、性能好、质量高的汽车。显然,在设计车辆时是把保证行驶安全作为最大目标来设计寿命体系的。在正常的使用条件下,相信可靠性和安全性是会得到保证的。但是随着工业技术的发展,汽车产品性能参数日益提高,结构日趋复杂,使用场所更加广泛,汽车产品的性能和可靠性问题也就越来越突出,这种向高效率、复杂化和经济性方向发展的产品又总是对其可靠性提出更高的要求。因此,现代设计方法在汽车产品设计中的广泛应用是有着十分重要的意义。另外,汽车的使用条件的选择有赖于使用者的判断,当然将其作为设计条件来掌握是极其困难的,并具有极强的随机性,因而由其运输部门给出的使用条件是很重要的因素。所以,各厂家基于过去已取得的资料对汽车寿命的考虑,可以说由此构成了各自单独的寿命评价体系。由于中国的道路情况和驾驶习惯具有中国的特色,因此中国的汽车设计(涉及到实验、研究和设计等多方面)一定要按照中国的道路载荷谱来进行。

在工程机械、矿山机械和农业机械等领域内的作业机械中,都需要可靠性设计的研究发展和普及传播。目前,可靠性设计技术很少在工程机械、矿山机械和农业机械等领域内的设计部门推广应用,使产品的设计基本上停留在放大设计、类比设计等经验设计阶段,计算机辅助设计、模块设计、可靠性设计等现代设计方法还在探索时期,这与工程机械、矿山机械和农业机械的研究方向正向高作业效率、高机动性能、高生产能力和优良的可靠性的目标发展是极其不相称的。可见应该大力推广建立在概率统计理论基础上的现代可靠性设计方法,以便有效地增强产品质量、降低产品成本、减轻整机质量、提高可靠性和作业效率。

可靠性技术现在越来越受到各行各业的重视,现在人们都强烈地关心所购买的设备和产品的可靠性,企业如果推行了可靠性技术,就可以制造出满足用户要求的产品,而畅销全球,从而获得巨大的经济效益。而只有高可靠性的产品,企业才可以在市场竞争中取胜。1971年,日本的坪内和夫写到:在美国,可靠性技术涉及范围极广,甚至连基层中小企业的产品也具有高可靠性,所以每个小零件均可以放心使用;可是日本中小企业的水平却很低,所以现在必须彻底解决可靠性设计问题。从那时以后,日本在民用产品上推广和应用可靠性工程技术取得了巨大的成功,日本的机电产品得以畅销全球,主要是因为其质量好、可靠性高,因此日本人断言:今后产品竞争的焦点是可靠性。

1.2 可靠性技术的发展史

人类从制造最简单的工具开始,就知道工具应该耐用、少出毛病,如遇故障,容易修好再用的道理,这就是可靠性最初的概念。但是,可靠性发展成为一门科学并应用到工业生产上还是近代的事,其历史大约可以追溯到40多年前。为便于叙述,把可靠性的发展过程分为四个时期。

1. 摇篮期

20世纪40—50年代,电子设备已渗透到军事及生产等各个领域,其中大部分平时都是处于非工作状态,储藏时间一长往往就会失效。据报导二次大战期间,美国运到远东的航空设备有60%不能使用。1949年时有70%的航海无线电设备平时处于非工作状态,其中50%在仓库中就失效了。1950—1952年间美国通讯设备中有14%处于非工作状态,水声设备有48%处于非工作状态,雷达有84%处于非工作状态。如何保持它们的质量指标而不失效这个问题就提

到日程上来了,可靠性研究工作首先在电子领域开展起来,并取得初步成果。从此开始对电子设备不失效的质量指标——可靠性进行系统的研究。

德国在第二次世界大战中,由于研制 V-1 火箭的需要,开始进行了可靠性工程的研究。

2. 奠基期

可以看出,可靠性问题是直接影响经济、生命、军事和政治等的大问题。鉴于这个原因各国都先后成立了相应的机构(研究机构、学会和协会),采取了对策,对可靠性理论作了广泛的研究。现今,比较重要的机构有:

(1) 国际电工委员会(IEC),1904 年成立,有 76 个技术委员会。其中有专门从事可靠性研究的委员会,于 1965 年在东京开会,统一了名词术语,制定了标准。

(2) 美国是可靠性研究的策源地和中心。1905 年成立了海、陆、空三军的“国防部电子设备的可靠性专门工作组”,1952 年该工作组发表了报告(17 项建议)。同年又改名为“国防部电子设备可靠性顾问团(AGREE)”。1957 年,AGREE 发表了“军用电子设备可靠性”的重要报告,提出了在生产、试制过程中对产品可靠性指标进行试验、验证和鉴定的方法,标准规范的编制,研究规范极广,其基本设想今天仍在使用,这个报告被公认为是可靠性的奠基文献。与此同时,其他国家相应成立了可靠性机构并开展了许多工作。从此可靠性理论的研究开始进入了实用阶段。美国成立了可靠性管理机构,制定了可靠性工程大纲和可靠性标准,出版了可靠性手册,建立了可靠性数据中心,举行了各种可靠性学术会议。可靠性工程开始形成一门独立的工程学科。在此期间,完成对可靠性的基础研究后,又遵循着两条不同的道路继续研究,并取得了进展。其一是从使用角度考虑的可靠性以及从经济上考虑的维修性和成本效果等的研究。其二是对零件的故障进行物理性能的研究,并形成了一门新的学科——可靠性物理(或称失效物理)。过去对故障发生的原因总是靠经验和宏观的观察来推测,可靠性物理的出现,令人放弃了那种认为故障是不可避免的想法,而是采取了科学的态度,认真研究发生故障的原因,设法从根本上预防故障。

3. 普及期

1960 年以后,可靠性工程从电子工业向其它工业部门迅速推广。从最复杂的有 720 万个元件的阿波罗登月飞船,到洗衣机、汽车、电视机、心脏起搏器等,都应用了可靠性设计、可靠性管理技术,且有了明确的可靠性指标。从 1959 年开始实行汽车保用里程制度。在质量管理(QC)活动中,提出了质量保证(QA)的概念,既要管 $t=0$ 的质量(出厂质量),又要保证 $t>0$ 的质量(可靠性)。威布尔概率纸的应用盛行起来。

1969 年 7 月,阿波罗 11 号飞船登月成功时,美国防部长说:“归根结底,可靠性是工程最实际的形式。”美国宇航局(NASA)在总结此项工程经验时认为,可靠性工程技术是其三大技术成就之一(另两个成就是日程管理和形态管理)。

日本从 1951 年接受可靠性思想,1956 年引进可靠性技术。1958 年日本科学技术协会设立了可靠性研究委员会,并开始普及有关可靠性方面的工作。1960 年成立可靠性及质量控制专门小组。1969 年日本汽车行业以退货问题为转机,对可靠性更加关注,并时时注视着汽车可靠性理论的发展趋势。1970 年在日本国家标准中规定了可靠性术语。全国铁路新干线、电报电话网、日本航空公司的运行、安全管理、以及在飞机、电子仪器、汽车、推土机等公司的各领域内大力开展了可靠性研究。

4. 成熟期

进入 70 年代,先进的工业国家已将可靠性技术应用于很多民用的机械产品,从制造厂到整个社会,产品的可靠性受到了极大重视。例如,用户对产品提出三点要求:即质量好,价低廉,交货快。以载重汽车为例,从前只要求装上货物能够完成运输的功能就行,而现在要求它不仅能够运输,而且要求能无故障运行 20 万公里,即它必须具有无故障运行的可靠性,才能算是质量好的产品。关于价低廉,从前是指用户买产品时一次付出的买价少,而现在还要包括使用时所付出的维修费少。因此,只有可靠性好的产品才能是廉价的产品,而廉价的产品必须是可靠性好的产品。可见,可靠性在产品的设计、制造和使用中,具有十分重要的意义。同样,人们在消费主义思想的支持下,提出了大量产品责任(PL)的问题。它是指因产品缺陷而使消费者受到损失,从而引起在法庭上进行赔偿损失的争议问题。因此,使企业高度重视产品责任预防(PLP)的工作,而可靠性技术是解决产品责任预防工作的重要手段。

1975 年,美国质量管理学会(ASQC)的月刊“质量进展”中预测,美国当年度因产品责任问题而请求赔偿的金额达 500 亿美元。为此,企业采取了以下措施:①依靠设计评审(DR)工作来防止重大故障;②建立质量保证体系,尽快取得故障信息;③经营者加强质量意识。这一时期,可靠性工作已成为质量保证的一个重要环节。

在此时期,日本产品的可靠性工作取得了很大的成就。可靠性研究工作在世界范围内已达到了成熟期。我国关于可靠性理论的研究是从 60 年代末 70 年代初开始的,现在,已建立了相应的可靠性组织,对这项工作给予了足够的重视。80 年代在汽车行业也开始了可靠性研究工作。现在,世界上一些国家正致力于推行可靠性设计法以取代传统的设计方法。我国对许多产品也提出了运用可靠性设计的要求,有的对产品提出了明确的可靠性指标,可靠性设计方法在全国逐步得到推广和普及。

1.3 我国汽车可靠性工作的状况与展望

1. 我国汽车可靠性工作的状况

从 1983 年开始到 1984 年,汽车行业组织了空前规模的汽车可靠性试验,试验车辆数为 53 台,总试验里程为 36 万公里。结合可靠性试验开展了以“汽车可靠性考核与试验方法研究”为中心的科学研究活动,取得了如下成果:

(1) 初步搞清了国产汽车可靠性状况,指出了国产汽车的平均故障间隔里程仅为 500 ~ 1 000 km,问题相当严重。同时也指出了早期故障率高是一个突出的问题,在 2 500 km 之前,故障甚多,90% 的问题属于生产管理中的原因。已投产多年的车型与新开发的车型在进入稳定期后,暴露出许多设计中的问题。其中,固有可靠性问题是影响产品可靠性的最根本问题,协作件的故障也十分突出。

(2) 试验研究结果引起汽车企业领导的高度重视,第一汽车厂、第二汽车厂等骨干汽车企业在全厂发动了大规模的质量攻关活动。汽车早期可靠性有了明显的改善,平均故障间隔里程成倍增长。

(3) 在汽车行业开始普及可靠性知识。在质量系统举办了可靠性学习班。把可靠性评价方法列入“汽车产品质量评定办法”(即所谓“蓝皮书”)中,在全行业贯彻实施。原来很陌生的可靠性术语和概念,如平均故障间隔里程、可靠度等为各企业的领导和工程技术人员所接受。

1985 年以后,汽车可靠性活动继续在汽车行业各企事业单位深入开展。中国汽车工业公

司通过质量监督检验,继续对骨干企业的汽车产品可靠性进行考核。1988年在海南汽车试验场组织了四个轻型汽车骨干厂的25 000 km可靠性试验。同时,根据原国家机械委“关于公布机械工业第二批限期达到可靠性指标的产品的通告”要求,中国汽车工业联合会对包括上述四个轻型车产品在内的12种汽车产品进行了可靠性考核。

经过几年的努力,汽车产品的可靠性水平逐年提高。表1-1列出了1983—1988年国产汽车主要产品可靠性水平的增长情况。

表1-1 1983—1988年国产汽车平均故障间隔里程值

单位:km

年份	重型 货车	中型 货车	轻型 货车	微型 货车	轿车	客车	旅行车	越野车	总体
1983									560
1984		1 410							
1985			733						
1986	742	739	970	1 111		1 146	1 078	883	932
1987	1 490	2 118	1 676	1 425	5 000	2 232	2 167	2 679	1 984
1988	2 589	2 206	2 228	1 621	1 250	1 668	2 465	2 005	2 058
1988*	1 875	2 083	3 276	2 000					2 576

* 为原机械委考核可靠性达标的数据

2. 我国汽车可靠性工作的展望

从表1-1中可以看出,国产汽车的可靠性水平逐年有所提高,尤其是四个轻型车骨干企业的产品平均故障间隔里程已达到3 276 km。但总的来说,国产汽车可靠性水平仍然是很低的,与国外先进水平(平均故障间隔里程可达1万公里以上)相距甚远。此外,还可以看出自1987年以来,可靠性水平提高速度较慢。

总的来说,同世界汽车的可靠性先进水平比较,我国汽车可靠性仍处于初期阶段。可靠性管理体系尚未在汽车行业和大中型企业中建立起来,可靠性设计技术基本上没有在设计部门推广,还没有形成全行业重视可靠性工作的局面。汽车工业的可靠性工作已经走出了重要的第一步。而第二步将更为重要,那就是从根本上采取措施,使我国汽车可靠性工作有大幅度的进展。为此,应重点抓好以下几项工作:

(1) 提高对可靠性重要性的认识,而首先是各级领导要把可靠性作为治理整顿汽车工业的重要内容。近年来,汽车工业有了很大发展,轿车工业引起了重视并正在发展。但是,汽车产品的质量,尤其是固有质量提高幅度不大,实际上已经成为进一步提高企业的经济效益、引进产品国产化、出口创汇等诸项任务完成的严重障碍。有的企业因为产品可靠性差,每年损失数千万元乃至数亿元的利润。有的引进产品,随着国产化程度的增长,产品质量及信誉也随之下降。出口产品可靠性差的问题反映严重,有些很不容易才打开的出口渠道,由此而又被堵上。可靠性已经成为中国汽车工业发展与技术进步道路上的重要议题。

(2) 大力普及可靠性知识。可靠性工程基本内容与方法在汽车行业中普及程度很差。尤其在各级领导层与设计部门,这是今后普及可靠性知识的重点。

(3) 组织制定汽车行业或汽车企业的可靠性工作大纲及系列标准,使可靠性管理规范化、

标准化,通过行政渠道贯彻实施。可靠性管理体系应与质量保证体系统一起来,把质量工作中的先进经验应用到可靠性工作中去,推动可靠性工作的开展。

(4) 在设计(产品设计与工艺设计)工作中,推行可靠性方法。如设计评审制度、故障模式及危害度分析、故障树分析、可靠性分配、可靠性设计等。

(5) 建立用户信息反馈网络,加强可靠性试验与检测工作。由于可靠性研究的是 $t > 0$ 时的质量,因此用户信息及可靠性试验结果是对产品可靠性的最终评定,是沟通整个可靠性工程的纽带,是搞好可靠性活动的动力。

(6) 抓好、抓紧汽车零部件的可靠性工作,是提高整车可靠性的基础。要制订外购、外协件的可靠性管理办法,制订或修订零部件的可靠性标准。还要通过相关工业部门,共同解决材料、原器件等的质量保证。

第二章 可靠性的基本概念

2.1 可靠性定义

评价一种机械产品的质量好坏,可以从技术性能、经济指标和可靠性三方面来考虑。机械产品的技术性能,是指产品的功能、制造和运行状况的一切性能。例如,载重汽车的载重量和耗油量等是载重汽车的主要的技术性能;金属切削机床的加工范围、加工质量的稳定性和生产率等是金属切削机床的主要的技术性能等。经济指标是指机械产品在科研、设计、制造及运行中的费用,如研制投资费用、使用维修费用等。可靠性(Reliability)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。这里所指的产品,可以是一个零件,也可以是由许多零件装配而成的机器,或由许多机器(包括主机和辅机)组成的机组和成套设备,同样可以是工程构造的某种结构。所以讨论可靠性时,包括了产品、系统、机器和零部件在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力。所以说,产品的可靠性,就是研究产品在各种因素作用下的安全问题,是衡量产品质量的一个重要的指标。它的内容包括:产品的安全性、适用性、耐久性、可维修性、可贮存性及其组合。在实际应用中,为了定量地进行分析计算,给出可靠性的数量指标,引入了可靠度(Reliability)的概念:产品在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的概率。有时,为了计算方便,把可靠度定义为在某个寿命跨度上,产品实际上将留存的概率。

根据这一定义,可靠性包含四个基本要素:

(1) 规定的条件:是指产品所处的外部环境条件,诸如运输条件、储存条件和使用时的环境条件,如载荷、温度、压力、湿度、盐雾、辐射、振动、冲击、噪声、磨损、腐蚀、周围介质等等。此外,使用方法、维修方法、操作人员的技术水平等对设备或系统的可靠性也有很大影响。同一种机械产品,在不同的外部环境条件下,其可靠性可能全然不同。例如,导弹弹体,在地面库存条件下,可靠性会很高,但在运输条件下,由于路面及运输工具的影响,以及气象因素和自然因素的作用,所以要比库存条件下的可靠性低,而在发射条件下,由于发动机的推力和啸叫声、大的过载和气动阻力等这些恶劣条件,会使导弹弹体产品系统的可靠性变得更低。某些机械产品,在恶劣的外部环境条件下,也许根本不能胜任工作,或者说具有很低的可靠性。可见,任何产品在使用说明书中必须对使用条件加以规定,这是判断发生故障(失效)的责任在于用户还是在于生产厂家的关键。

(2) 规定的时间:机械产品可靠性明显地与时间有关,可靠度是时间性的质量指标。因为时间随所研究的对象而有所不同,有的在几分钟或几秒钟之内,如导弹弹体产品系统;有的是几年、几十年或者更长的时间,如一些工业及民用建筑产品。这种时间称为产品的有效时间或使用时间,一般在设计时就予以确定,超出了这个时间,产品的可靠性会降低到规定的标准以下,不宜继续使用,或者再谈论产品的可靠性问题就没有意义了。也就是说,产品只能在一定的时间范围内达到目标可靠度,不可能永远保持目标可靠度而不降低。例如,若导弹助推器的工作时间是3 s,那么就没有必要去关心3 s以后导弹助推器的可靠性问题。因此,对时间的规定一定要明确。这里的时间是广义的,根据产品的不同,定义中的时间概念,也可以用周期、应

力循环次数、转数、或里程数等相当于时间的量,或其它相应于时间的单位来代替。这个概念可以包括被研究产品的任何观察期间,或是实际工作期间和贮存期等。

(3) 规定的功能:在设计或制造任何一种产品时,都赋予它一定的功能。例如,桥梁的功能是保证车辆、行人安全通行;机床的功能是进行机械加工;导弹弹体的功能是将导弹各部分有机地联系在一起,承受运输、发射和飞行中的各种载荷。有些产品,可能会有多种功能。产品可靠性所研究的,正是这些规定功能的实现情况。在可靠度的计算中,用概率将这种功能的实现情况定量地表示出来。这就隐含着所规定的产品功能可能会实现,但在另一方面,也存在不会实现的可能性,也就是说,允许有失效或者故障发生。可靠和失效是一个统一体内存在着的事物的两个方面,在估算产品的可靠性时,必须对产品失效有充分的了解,根据 GB3187—82 的规定,失效(故障)的概念是“产品丧失规定的功能。对可修复产品通常也称为故障。”因为规定的功能与失效密切相关,为了正确判断产品是否失效,合理地确定失效判据是非常重要的。功能有主次之分,故障也有主次之分。次要的故障不影响主要功能,因而也不影响可靠性。例如在一个复杂的设备中,如有一个对全局无大影响的零件损坏了,设备勉强可以运行,这样就设备而言,就可以不算是故障。但有时动作不稳或性能下降也构成故障,例如大型设备的保护装置,如果响应缓慢就会引起主体设备的损坏,所以是不能允许的。

(4) 概率:概率是故障和失效可能性的定量度量,其值在 0~1 之间,如可靠度为 99.9% 或 99.99% 等。作为可靠性量度的概率(即可靠度)是条件概率,而且是在一定的置信度下的条件概率。所谓置信度,是指所求得的可信度在多大程度上是可信的。进行产品可靠性分析的目的,就是将产品可靠性或失效可能性的大小,用概率定量地表示出来,以保证产品具有足够的安全水平。

由于把抽象的可靠性用概率形式表示后,在技术上有了衡量可靠性程度的统一明确的尺度,使产品的可靠程度的测量、比较、选择、保证和管理等有了基础。现在,对产品预测故障,预测运行时间等工作已进入实用阶段,这是由于采用了概率这一概念的结果。

2.2 失效的概念

机械产品的主要质量标志是功能、寿命、重量/容量比、经济、安全和外观,其中功能是首要的,产品丧失规定的功能称为失效。对可修复产品而言,这种失效通常称为故障。失效这一术语,应用极为广泛,但有时要给出它的明确定义是比较困难的,如你的办公桌失去了一角,很难说清楚它是否为失效。诚然,人们容易识别突然和完全失效,比如,直升机旋翼的折断、导弹发动机的失火或爆炸等。然而,产品会随时间的推移逐渐变坏,至于坏到什么程度便为失效状态,并不是很容易就能说清楚的。但是我们仍试图给出失效的定义,一般说来,发生下列情况之一时,机械产品被定义为失效:①完全失去原定的功能;②仍然可使用,但是不再能够良好地执行其原定的功能;③严重的损伤,使其在继续使用中失去可靠性及安全性,因而需要立即从服役中拆除进行修理或调换。可以看出,失效需要做出具体规定和制定标准,在这方面已有了一些标准,并有些标准正在继续制定。一旦标准确定之后,失效就有了判别依据。

失效的分类方法有多种多样,为了研究问题方便,特将失效作如下分类:

(1) 总的来说,机械零部件的失效可以划分为变形失效、断裂失效和表面损伤失效三大类型(见表 2-1)。