

汽车可靠性设计概论

周玉明 编

重庆大学出版社

由于编者水平有限，书中难免有不当和错漏之处，恳请读者批评指教，

本书的编写得到重庆大学何渝生教授的大力支持，并承王丽竹副教授审阅了原稿，还参阅了许多学者的专著和论文在此表示衷心感谢。

编者

1988.2.

内 容 简 介

本书共分八章,包括四部分内容:第一部分是汽车可靠性理论的基础知识(第一、第二、第三章);第二部分是汽车可靠性预测(第四章);第三部分是汽车可靠性设计(第五、第六、第七章);第四部分为汽车可靠性试验及数据分析处理(第八章)。

这是一本汽车可靠性的基础读物,在提高汽车产品质量方面为人们提供了科学的、有效的理论和方法。

本书可作为大专院校汽车专业教学用书,也可供汽车工程技术人员及管理人员参考。

汽车可靠性设计概论

周王明 编

责任编辑 梁涛

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

中国科学院情报研究所重庆分所印刷厂印刷

开本: 787×1092^{1/32} 印张 6.75 字数: 152千

1988年8月第1版

1988年8月第1次印刷

印数: 1-4,000

标准书号: ISBN 7-5624-0144-6 定 价: 1.37元
U·1(课)

序

近三十年来，可靠性工程理论已发展成为一门新的学科。随着现代科学技术的迅速发展，可靠性工程理论与应用在各技术领域均日益受到广泛的重视，这是由于可靠性理论在分析和提高工业产品质量方面为人们提供了科学的、有效的理论方法。

目前，国外先进的汽车生产企业愈来愈重视汽车产品的可靠性问题，建立了从设计到使用服务的一整套可靠性管理体系，千方百计地提高汽车产品的可靠性。可靠性技术的应用为企业带来了巨大的经济效益。

众所周知，与国外先进工业国相比，目前我国汽车可靠性水平比较低，提高国产汽车的可靠性是改善我国汽车质量的关键。近年来，国产汽车可靠性问题已引起有关部门的高度重视，成立了中国汽车工程学会汽车可靠性专业委员会，争取尽快使国产汽车可靠性水平有较大的提高。为推动我国汽车可靠性技术的发展，迫切需要开展可靠性理论知识的普及和教育工作，愈来愈多的汽车技术人员也迫切地希望掌握可靠性技术的基本理论和方法。为适应这一情况，高等学校的汽车专业已将《汽车可靠性设计》列入专业选修课程。

本书是编者在重庆大学为汽车专业讲授《汽车可靠性设计概论》所用讲义的基础上修改编写而成的。

本书作为汽车可靠性技术基础的入门书，编写中采用通俗易懂的文体，力求少而精、概念清楚，便于教学和技术人员自学。

目 录

第一章 绪 论	(1)
§1-1 汽车的质量与汽车可靠性	(1)
§1-2 可靠性工程学	(2)
§1-3 可靠性研究的重要性	(4)
§1-4 产品设计与可靠性 可靠性设计	(6)
§1-5 可靠性科学发展简史	(9)
第二章 汽车可靠性尺度及其定义	(12)
§2-1 汽车的可靠度	(12)
§2-2 失效率	(20)
§2-3 汽车的可维修度	(28)
§2-4 汽车的有效度	(32)
§2-5 汽车的平均寿命	(35)
§2-6 重要度和经济性尺度	(38)
第三章 汽车可靠性设计中常用的理论概率分布	(40)
§3-1 正态分布	(40)
§3-2 对数正态分布	(50)
§3-3 指数分布	(53)
§3-4 威布尔分布	(57)
第四章 汽车可靠性预测	(73)
§4-1 可靠性预测的目的	(73)
§4-2 汽车零件的可靠性预测	(74)
§4-3 串联系统的可靠性预测	(77)
§4-4 并联系统的可靠性预测	(83)
§4-5 串-并联系统的可靠性预测	(92)
§4-6 布尔真值表法预测系统可靠度	(93)

§4-7 环境系数.....	(96)
第五章 汽车可靠性的分配.....	(99)
§5-1 等同分配法.....	(101)
§5-2 相对失效率法.....	(102)
§5-3 AGREE分配法.....	(105)
§5-4 复杂系统的可靠性分配.....	(108)
§5-5 花费最少的分配方法.....	(114)
§5-6 可靠性最优化分配的动态规划方法.....	(118)
§5-7 贮备件的应用.....	(128)
第六章 汽车可靠性分析.....	(134)
§6-1 随机变量的函数的数字特征.....	(135)
§6-2 应力-强度干涉理论.....	(140)
§6-3 安全系数与可靠度.....	(152)
§6-4 汽车零件可靠性设计举例.....	(162)
第七章 汽车可靠性设计.....	(183)
§7-1 汽车可靠性设计的基本要求.....	(184)
§7-2 汽车可靠性设计的基本内容和方法.....	(185)
§7-3 汽车可靠性设计的步骤.....	(188)
第八章 汽车可靠性试验.....	(191)
§8-1 概述.....	(191)
§8-2 汽车寿命试验.....	(193)
§8-3 指数分布下的寿命试验和统计分析.....	(197)
§8-4 汽车现场使用数据的收集和分析.....	(204)
主要参考资料.....	(207)

第一章 绪 论

§1-1 汽车的质量与汽车可靠性

评价汽车质量的好坏，一般地是从汽车的基本技术性能（例如，动力性、燃料经济性、平顺性、操纵稳定性等）和可靠性两个方面去考虑。这里所说的可靠性，人们习惯是用性能稳定，经久耐用、不出故障来衡量的。也就是说，具有良好的技术性能，又经久耐用、不出故障的汽车才是质量好的汽车。

汽车的技术性能与可靠性之间有着密切的联系。若汽车可靠性差，经常出故障，汽车的技术性能再好也无从发挥，从这一层意义上来说，汽车可靠性是汽车技术性能的保证，是汽车质量的核心。当然，没有基本技术性能，汽车的可靠性也就无从谈起。所谓发生故障，许多情况下都是针对某些基本技术性能而言的。所以，汽车的基本技术性能与可靠性是不可分割的。

但是，汽车可靠性指标与技术性能指标之间也有着重要的区别。首先，可靠性指标是与许多因素有联系的综合质量指标，不但与设计制造（所谓固有可靠性）有关，还与使用环境条件、维修管理技术（所谓使用可靠性）有关，而且汽车可靠性也还与时间有关，是时间的函数，或者说，一切与时间有关的质量指标都属可靠性问题，随着时间的推移，汽车的可靠性就会越来越低。其次，汽车的基本技术性能指标一般可以通过仪器进行测量，而汽车可靠性是不能直接用仪

器来测量的，要衡量汽车的可靠性，必须进行大量的试验，实际现场使用，才能对汽车的可靠性、使用寿命作出统计估计。

综上所述，可靠性也和技术性能指标一样，也是汽车产品的一项重要质量指标，而且只有在引进了可靠性指标后，才能和其它质量指标一起，对汽车质量作全面的评价。汽车可靠性指标与技术性能指标之间，既有密切的联系，又有着许多不同之处，因而可靠性工作具有它的特殊性。为了提高汽车产品的质量，就必须对汽车产品的可靠性问题作专门的研究。

§1-2 可靠性工程学

所谓汽车的可靠性是指汽车产品（总成或零部件）在规定的条件下和规定的时间内完成规定的功能的能力。由此定义可以看到，可靠性是建立在寿命论基础上的。寿命论就是研究产品最经济合理、最有效的使用寿命的理论。只有在最经济合理地对使用寿命作出决策的基础上，再进一步考虑在此期限内充分地保证产品正常有效的工作，这才是可靠性的全部含义。因此，可靠性是衡量产品质量的指标之一，但不能认为产品愈可靠愈好或使用寿命愈长愈好。

如同§1-1中所指出的，产品的可靠性不仅取决于设计质量，而且使用情况、维修保养条件、管理水平等都要影响产品的可靠性。所以实际上，产品的可靠性问题应包括可靠性设计、可靠性使用、可靠性管理等诸方面的内容。把可靠性贯穿于产品的整个开发过程（包括设计、制造、试验、使用、维修和管理等环节），就形成了可靠性工程学这门新兴

的学科。可靠性工程学涉及机械元件失效数据的统计处理，产品（系统）可靠性的定量评定、设计、使用、维修、可靠性与经济性的协调等方面，是一门边缘科学，它具有实用性、科学性和时间性三大特点。实用性是指可靠性工程学从它的诞生和发展，一直和工程实际紧密相连，显示了强大的生命力；科学性是指可靠性工程学有其完整的独特的科学理论和方法；时间性是指可靠性贯穿于产品的整个开发过程中，在设计，制造和使用各阶段，可靠性都在起作用。

可靠性工程学的一般原理和方法与汽车工程问题相结合，便形成汽车可靠性工程学这门学科，这是70年代初期发展起来的一门应用学科。

可靠性理论是近三十年来发展起来的一门边缘科学，它的理论基础是概率论和数理统计，它的任务是研究产品的质量、产品的可靠性，研究零件（元件）的寿命试验、对产品（系统）进行可靠性评价、讨论可维修产品的可维修性，研究产品可靠性检验和质量控制等等。它的目的是提高产品质量，提高经济效益。

从历史上看，可靠性科学包含相互有关的三个分支：

（1）可靠性工程：内容包括可靠性设计，可靠性评估，可靠性试验，可靠性维修，失效分析等等。

（2）可靠性物理：研究元器件及零件失效原因，物理模型，提出改进措施。

（3）可靠性数学：研究可靠性的理论及数量规律，研究计算可靠性各种指标的方法。

§1-3 可靠性研究的重要性

近几年来,可靠性科学日益引起人们的广泛重视,成为重要的研究课题,归纳起来,有以下几个方面的原因:

(1) 产品越来越复杂,导致不可靠的因素不断增长。产品越来越复杂的重要标志是所用零件数量愈来愈多,以汽车为例,汽车本身技术性能的提高和日益复杂化是影响汽车可靠性的主要因素之一,尤其是最近装有电子燃料喷射装置、电子防抱装置以及电子自控装置的汽车日益普及,预计不久的将来汽车的零件数将从 10^4 个很快达到 10^5 个。产品的可靠性与零件数目有密切关系,对串联系统,假定单个零件的可靠性(度)为99.5%,如果用40个零件串联起来,则系统的可靠性降至82%。假定要求产品(系统)有95%的可靠性,它是由 10^4 个零件组成的串联系统,则要求每个零件的可靠性高达99.99905%。所以一般地说,系统(产品)复杂程度增加,它的可靠性往往会随之降低。

随着产品复杂程度的增加,设计、制造和使用维修所涉及的技术领域和人员也会越来越多,因而在它们之间的联系配合和管理更易出现差错,也必然会增加不可靠的因素。

随着产品的复杂程度增加,人-机关系也就更加复杂,不可避免地增加了操作上的过失和错误,从而也降低了产品的可靠程度。

总之,产品的复杂化,增加了不可靠因素,促进了可靠性的研究。

(2) 可靠性对经济效益的影响日益显著。众所周知,质量是企业的生命,提高产品的可靠性对生产厂家不仅能提

高产品信誉，扩大销路，减少退货索赔，而且还可以获得直接的经济效益。例如美国西屋公司为了提高产品的可靠性作了一次彻底的设计检查，所得收益（成本下降）是为提高可靠性所花费用的100倍。对用户来说，产品可靠性的提高，无疑将会节约大量的维修费用。例如，1961年美国国防预算中至少有25%用于维修方面。

科学技术的进步，使产品不仅结构复杂，而且与以往相比，具有更高级的性能，价格也更加昂贵。一旦这些产品出现故障，往往就会造成巨大的经济损失，甚至会引起严重的伤亡事故。1957年美国先锋号卫星由于一个2美元的零件失效，而造成220万美元的损失；再以汽车不正常的停修对运输企业的损失为例，美国某市一车队，每天每车要完成14459 t·km，运行里程为826km，运价为0.04美元/t·km。如果每天少出一辆车，则减少收入463美元，该车队有322辆汽车，670台挂车，如果每天每车停驶1h，其经济损失就相当可观。所以，可靠性对经济效益的影响是显而易见的。

（3）用户及社会对产品的可靠性要求日益苛刻。正是由于产品可靠性对经济效益的影响巨大，事故的后果严重，所以用户将无故障视为产品最重要的质量指标。汽车用户对汽车性能的要求，有许多评价指标：汽车燃料经济性、动力性、可维修性、售价等等。但都把汽车的可靠性作为最基本、最重要的质量指标。1969年日本出口到美国的汽车遭到退货索赔，是近代日本汽车工业史上的一件大事。其原因并不是汽车故障增多了，而是用户-社会对汽车的要求发生了变化。现代汽车作为交通工具，已在全社会普及，尤其是高速公路的发展，车速日趋高速化，车辆密度越来越高，汽车的行车安全问题就极为重要。因此，要求它在任何情况下都

能可靠地行驶，使用户放心。

(4) 时间和费用的制约，要求风险预测技术高度化。为了实现要求的功能和可靠性，不管时间多长，花费多少和投入多大人力也在所不惜的做法，这在实际的经济活动中是办不到的。

实际情况是，要在以最低的成本、最短的时间，研制出功能尽可能高，而且量轻、小型、寿命长、可靠性高的产品的这样矛盾的情况下进行各项工作。

如果在以前的年代里，就可以在已有技术的基础上，引用过去的经验，慢慢地加以改进就行了。而在今天，必须采用最新的技术，战胜别的竞争对手，否则企业就难以生存下去。

在这种条件下，如何在短时间内去预测可能发生的风险，如何用最低限度的事前评价或试验去制造出可靠性高的产品等等，这些都是赋予可靠性技术的重大使命和课题。

§1-4 产品设计与可靠性

可靠性设计

图1-1所示是NHSB（美国国家高速公路安全管理局）发表的调查美国汽车实际索赔和日本汽车工业会调查的日本汽车索赔情况。图中是按不同系统，不同原因发生退货件数比率表示的。

这一调查表明，由于设计上的原因所造成的退货索赔约占一半。可见，设计阶段的工作对产品的可靠性是至关重要的，或者说，产品的可靠性在很大程度上取决于设计的正确性。

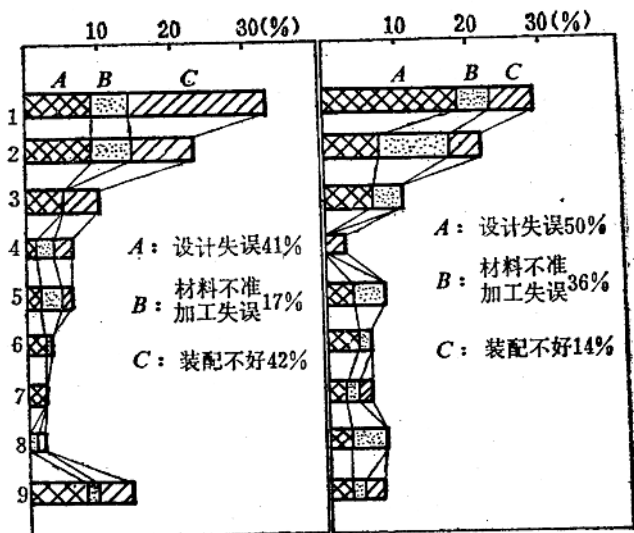


图1-1 美、日因不同原因发生退货件数的比率

美国总件数138件

(1968.1—12)

1—制动系统

3—发动机

5—悬挂系统

7—燃料系统

9—其他 (附件仪表等)

日本, 总件数58件

(1969.11)

2—转向系统

4—车轮

6—车身

8—变速驱动系统

正如 § 1-3 所述, 产品 (系统) 正向大型化复杂化方向发展, 而且功能也在日益提高。在这种情况下, 如果用同样零件, 经过同样的设计和制造过程, 那么产品发生故障的几率将会随着其零件的增多而成比例地增加。既要满足功能提高的要求, 又要具有高的可靠性, 若采用传统的设计方法就难

于满足这一要求。因此，势必只有发展新的设计技术才能解决这一问题。

随着科学技术的迅速发展，产品被淘汰的速度加快，要求研制新产品的速度加快，在规定的时间内实现新产品的具体化。这亦要求现在的设计不同于过去的设计那样，对试制样品做长时间的使用、试验，发现问题之后再修改设计，这样就太晚了。

据上所述，在研制新产品的设计阶段，在赋予产品所应有的各种功能的同时，可靠性也应作为一个不可忽视的质量指标加以实现。这种把可靠性指标和技术性能指标同样作为设计参数，并在设计中予以实现的设计方法，就是所谓可靠性设计方法。

可靠性设计是可靠性工程的主要内容。可靠性设计的重要内容之一是可靠性预测。所谓可靠性预测，就是根据积累的失效数据预报一零部件、产品（或系统）实际可能达到的可靠性水平，预报它们在规定的条件下和在规定的时间内能完成规定的功能的能力。在产品设计阶段，及时完成预报工作，可以了解产品（系统）中各零部件（分系统）之间可靠性的相互关系，找出提高产品可靠性的有效途径。

可靠性设计的另一个重要内容是可靠性分配，它是将产品规定的可靠性合理地分配给组成该产品的零部件。当前，采用最优化方法来作可靠性分配是可靠性研究的方向之一。

这里要指出的是，一个产品的可靠性不只是取决于正确的设计，而且还与其他许多因素有关，这些因素有使用、维修、管理等等。但设计所赋予产品的可靠性是产品可靠性的“基石”。所以，可靠性工程上，把设计、制造所确定的产品可靠性叫产品的固有可靠性。固有可靠性是由零部件、材料

的选择、设计方法以及制造方法而定的。以后讨论的汽车可靠性实际上就是汽车的固有可靠性。

产品经过包装、运输、保管转到用户手里，在使用过程中受到环境条件、操作水平、维修水平等因素的影响，所反映出来的产品可靠性，叫使用可靠性。

§1-5 可靠性科学发展简史

可靠性这一名词以明确的含义提出来是在第二次世界大战期间。当时作战飞机上及雷达上所用的电子设备屡出故障，据统计，太平洋战争期间，美国向远东运送的装备中，实际上有70%的航空用电子装置和60%的海军用电子装置发生了故障。根据这一情况，美国于1943年左右开始正式进行可靠性研究工作。当初，把主要精力用于解决真空管的质量问题，因为真空管是发生故障的关键，最后终于生产出了可靠性很高的真空管。尽管元件质量提高了，但装置的故障并没有消除。因此，随着产品和系统的复杂化，仅有高可靠性的元件还不够，必须研究整个产品或系统的可靠性。

从50年代初期开始，可靠性问题作为一门新兴的科学，被系统地加以研究了。美国是系统地研究可靠性科学最早的国家，1952年美国成立了“电子设备可靠性咨询集团”(AGREE)。该机构对电子产品的设计、生产、试验、储运、使用等各方面的可靠性问题，作了全面的调查研究，于1957年写出了《电子设备可靠性报告》。该报告比较完整地阐明了可靠性的理论基础与研究方法，为美国的可靠性工程奠定了基础。随后，可靠性研究在世界范围内展开。1958年日本科学技术协会设立了可靠性研究委员会，开始普及有关可靠性方

面的知识，1962年英国出版了《可靠性与微电子学》杂志，法国国立通讯研究所也在这一年成立了“可靠性中心”，进行可靠性数据的收集和分析。1963年法国出版了《可靠性》杂志。1958年苏联召开了第一次全苏无线电电子设备可靠性讨论会，并于1964年苏联和东欧国家在匈牙利召开了第一届可靠性学术会议。1965年国际电子技术委员会（IEC）设立了可靠性技术委员会，协调各国间的可靠性用语和定义、可靠性管理、数据收集及书写方法等。

总的来说，可靠性研究的发展过程，是由军用发展到民用，从小的真空管元件发展到大型设备。尤其是1969年7月阿波罗登月火箭发射成功，被认为其成功的关键之一是采用了可靠性技术，显示了可靠性工程的卓越成就，标志着可靠性理论的成熟，可靠性成果得到了广泛的宣传。

在完成了可靠性理论基础的研究后，又从设计和使用的角度来考虑实现预期的可靠性，以及从经济上考虑维修和成本效益等。到1970年，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的重视。1969年日本汽车行业以退货索赔为转机，对可靠性更加关注，把可靠性理论应用于汽车工程，开展了汽车可靠性活动。

我国关于可靠性问题的研究，从第一个五年计划以来，第四机械工业部和有关工厂做了不少工作，并出版了《可靠性与环境试验》和《国外电子产品可靠性与环境试验》两种刊物，还进行了一些可靠性技术的普及工作。近十年来，可靠性技术已在电子、电力系统，机械行业等许多部门广泛应用。

近几年来，在汽车行业也开始了关于汽车可靠性的研究

工作。1983年6月第一汽车制造厂首次举办了“~~汽车可靠性~~理论”学习班，接着在1983年11月中汽公司又举办了“汽车可靠性基础知识”学习班。1983年8月在天津召开了“汽车可靠性工作会议”，会上决定开展汽车可靠性理论的课题研究。1986年10月召开了汽车可靠性专业委员会第二届年会，调整了专业委员会的机构。汽车可靠性专业委员会下设：可靠性设计，可靠性试验研究和可靠性管理三个学组。会议指出：“国产汽车可靠性水平太低，……必须引起各级领导的高度重视，立即组织人力、物力，主攻汽车可靠性，争取尽快地使汽车可靠性水平有较大的提高”，并拟出了今后两年的工作项目：汽车可靠性数据库的建立；海南汽车可靠性快速试验系统；汽车故障树；汽车可靠性标准体系；汽车可靠性设计；可靠性增长设计等。

目前，国外的先进汽车企业愈来愈突出可靠性问题，它们建立了从设计到使用服务的一整套可靠性管理体系，千方百计地提高汽车的可靠性，可靠性已经成为产品在市场竞争中取胜的最主要因素。

在我国，研究汽车可靠性理论方面的工作还刚刚开始，还有许多工作要做。要使我国汽车可靠性达到世界先进水平，汽车可靠性理论必将成为今后我国汽车设计、制造、试验、使用维修、质量管理的主要课题。