



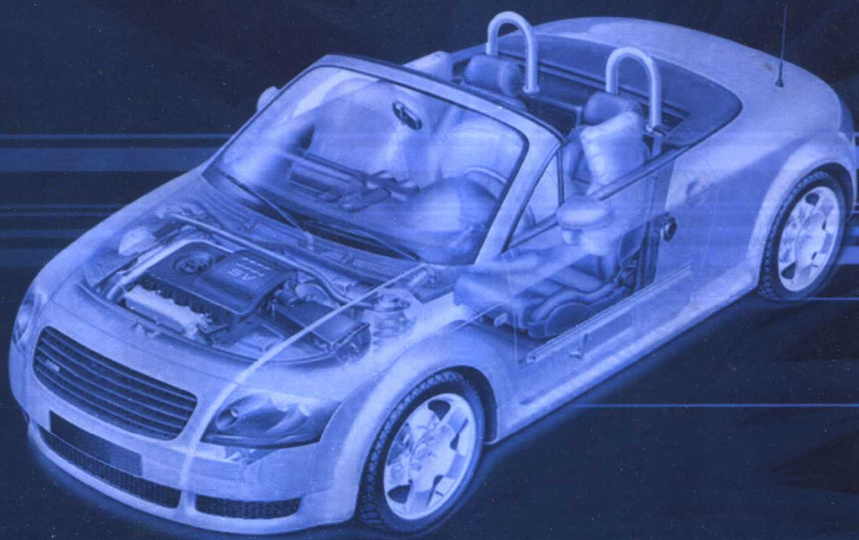
21世纪高等学校教材

普通高等教育“十一·五”汽车类专业(方向)规划教材

汽车维修工程

主 编 张金柱

副主编 司传胜



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

QI CHE WEI XIU GONG CHENG

21 世纪高等学校教材

普通高等教育“十一五”汽车类专业(方向)规划教材

汽车 维修 工程

主 编 张金柱
副主编 司传胜
参 编 龙行现 刘文霞
张 毅 纪峻岭
主 审 王耀斌



机械工业出版社

本书主要介绍汽车可靠性理论基础, 汽车零件失效理论, 汽车维护, 汽车修理工艺, 汽车零件修复方法, 汽车修理质量管理, 汽车发动机维修, 汽车底盘维修以及汽车车身的修理; 适用于 60 学时。

本书为交通运输、车辆工程等汽车类专业本科教材, 高职高专层次亦可选用, 还可供从事汽车维修的工程技术及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车维修工程/张金柱主编. —北京: 机械工业出版社, 2005. 7

21 世纪高等学校教材. 普通高等教育“十一五”汽车类专业(方向)规划教材

ISBN 7-111-16432-6

I. 汽... II. 张... III. 汽车—车辆维修—高等学校—教材 IV. U472.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 030495 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: 赵爱宁 版式设计: 霍永明 责任校对: 王欣

封面设计: 王伟光 责任印制: 陶湛

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16 · 18.75 印张 · 457 千字

定价: 26.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

序

汽车被称为“改变世界的机器”。由于汽车工业具有很强的产业关联度，因而被视为一个国家经济发展水平的重要标志。近10年来，我国汽车工业快速而稳步发展，汽车产量年均增长15%，是同期世界汽车产量增长量的10倍。汽车工业正在成为拉动我国经济增长的发动机。汽车工业的繁荣，使汽车及其相关产业的人才需求量大幅度增长。与此相应地，作为人才培养主要基地的汽车工业高等教育也得到了长足发展。据不完全统计，迄今全国开办汽车类专业的高等院校已达百余所。

从未来发展趋势看，打造我国自主品牌、开发核心技术是我国汽车工业的必然选择，但当前我国汽车工业还处在以技术引进、加工制造为主的阶段，这就要求在人才培养时既要具有前瞻性，又要与我国实际情况相结合。要在注重培养具有自主开发能力的研究型人才的同时，大力培养知识、能力、素质结构具有鲜明的“理论基础扎实，专业知识面广，实践能力强，综合素质高，有较强的科技运用、推广、转换能力”特点的应用型人才。这也意味着对我国高等教育的办学体制、机制、模式和人才培养理念等提出了全新的要求。

为了满足新形势下对汽车类高等工程技术人才培养的需求，在中国机械工业教育协会机械工程及自动化学科教学委员会车辆工程学科组的领导下，成立了教材编审委员会，组织制定了多个系列的普通高等教育规划教材。其中，为了解决高等教育应用型人才培养中教材短缺、滞后等问题，组织编写了“普通高等教育‘十一五’汽车类专业(方向)规划教材”。

本系列教材在学科体系上适应普通高等院校培养应用型人才的需求；在内容上注重介绍新技术和新工艺，强调实用性和工程概念，减少理论推导；在教学上强调加强实践环节。此外，本系列教材将力求做到：

1) 全面性。目前本系列教材包括汽车设计与制造、汽车运用与维修、汽车服务工程、物流工程等专业方向，今后还将扩展专业领域，更全面地涵盖汽车类专业方向。

2) 完整性。对于每一个专业方向，今后还将继续根据行业变化对教学提出的要求填平补齐，使之更加完善。

3) 优质性。在教材编审委员会的领导下，继续优化每一本教材的规划、编

审、出版和修订过程，让教材的生产过程逐步实现优质和高效。

4) 服务性。根据需要，为教材配备 CAI 课件和教学辅助教材，召开新教材讲习班，在相应网站开设研讨专栏等。

相信本系列教材的出版将对我国汽车类专业的高等教育产生积极的影响，为我国汽车行业应用型人才培养模式作出有益的探索。由于我国汽车工业还处于快速发展阶段，对人才不断提出新的要求，这也就决定了高等教育的人才培养模式和教材建设也处于不断变革之中。我们衷心希望更多的高等院校加入本系列教材建设的队伍中来，使教材体系更加完善，以更好地为高等教育培养汽车专业人才服务。

中国汽车工程学会 常务理事
中国机械工业教育
协会车辆工程学科 副主任
林 逸

前 言

本书是根据全国普通高等教育汽车类专业(方向)教材编审委员会确定的教材规划编写的,适用学时为 60。

本书共分九章,分别介绍了汽车可靠性理论基础,汽车零件失效规律和失效分析方法,汽车零件修复方法,汽车维护制度及其维护工艺的组织,汽车修理工艺流程分析,汽车修理质量及其评价,汽车发动机维修,汽车底盘维修以及汽车车身的修理。

本书由黑龙江工程学院张金柱任主编,由淮阴工学院司传胜任副主编。淮阴工学院司传胜编写第一章、第二章、第八章第一节,第三节~第六节,黑龙江工程学院刘文霞编写第三章、第四章,黑龙江工程学院张毅编写第五章、第六章,黑龙江工程学院纪峻岭编写第七章,西华大学龙行现编写第八章第二节、第九章第三节、第四节,黑龙江工程学院张金柱编写第九章第一节、第二节。

本书由吉林大学王耀斌教授主审,他提出了大量宝贵的意见。对此,编者表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中难免有不足和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

序	
前言	
第一章 汽车可靠性理论基础	1
第一节 汽车可靠性概述	1
第二节 汽车故障类型及故障分布规律	4
第三节 汽车可靠性数据的采集与分析	7
第二章 汽车零件失效理论	13
第一节 汽车失效规律	13
第二节 汽车零部件失效分析	16
第三章 汽车零件修复方法	27
第一节 汽车零件修复方法简介	27
第二节 汽车零件修复质量评价与 方法选择	40
第四章 汽车维护基础	45
第一节 汽车维护的基本概念	45
第二节 汽车维修制度	52
第三节 汽车维护工艺的组织	57
第五章 汽车修理工艺	60
第一节 汽车修理的经济效益分析	60
第二节 汽车修理工艺过程	62
第三节 汽车的接收、解体与清洗	69
第四节 汽车零件的检验分类	76
第五节 汽车总成装配的技术要求与 磨合试验	88
第六章 汽车修理质量管理	95
第一节 汽车修理质量	95
第二节 汽车修理质量的评价	98
第七章 汽车发动机维修	104
第一节 发动机总成修理工艺	104
第二节 气缸体、气缸盖和曲柄连杆 机构的修理	119
第三节 配气机构的修理	129
第四节 发动机电子控制系统维修	138
第五节 发动机总装配及其调试	179
第八章 汽车底盘维修	183
第一节 离合器的维修	183
第二节 自动变速器的维修	190
第三节 主减速器和差速器的维修	222
第四节 悬架系统的维修	236
第五节 转向系统的维修	244
第六节 制动系统的维修	248
第九章 汽车车身的修理	263
第一节 汽车车身常见的损伤形式	263
第二节 轿车车身的校正	271
第三节 覆盖件及构件的修复	277
第四节 车身表面涂层的修复	282
参考文献	287

第一章 汽车可靠性理论基础

第一节 汽车可靠性概述

一、可靠性历史

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,即使有毛病也要易修的道理,这就是可靠性最初的概念;但是可靠性发展成一门学科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,它的发展基本上可分为四个时期。

1. 摇篮期

可靠性的研究始于第二次世界大战,美军因飞行故障事故而损失的飞机是被击落的 1.5 倍,飞机上的电子设备有 60% 不能使用。这些惊人的数据引起了人们对可靠性的高度重视,可靠性研究首先在电子领域开展起来,并取得初步效果。

2. 奠基期

20 世纪 50 年代起,可靠性问题愈加突出,美国军用雷达因故障不能工作的时间占 84%,陆军电子设备在规定时间内有 65% ~ 75% 因故障不能使用。1952 年美国国防部设立了“电子设备可靠性咨询小组”,1957 年发表了著名的“军用电子设备的可靠性报告”,提出了在研制、生产过程中对产品可靠性指标进行试验、验证和鉴定的方法,以及包装、储存、运输过程中的可靠性问题及要求。这个报告被认为是电子产品可靠性工作的奠基性文件,可靠性理论的研究从此开始起步。

3. 普及期

1960 年以后,可靠性工程从电子工业向其他工业部门迅速推广,从最复杂的 720 万个元件的阿波罗登月飞船,到洗衣机、汽车、电视机等,都应用了可靠性设计和可靠性管理技术,并且有了明确的可靠性指标。

4. 成熟期

进入 20 世纪 70 年代,人们在消费主义思想的支持下,提出了大量产品责任的问题,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的责任预防问题,而可靠性技术就是解决这些问题的重要手段。

二、可靠性定义

目前,世界上公认的可靠性定义为:

产品在规定条件下,在规定时间内,完成规定功能的能力(四要素:产品、条件、时间、功能)。

对汽车而言,其产品包括:整车、部件、零件,它们都是可靠性研究的对象。

规定条件:汽车产品的工作条件,包括气候、道路等的环境条件;载荷性质、种类、行

驶速度等的运行条件；维修方式、水平、制度等的维修条件。

规定时间：汽车行驶的保用期、第一次大修里程、报废期等。它们可以用时间单位表示，也可用行驶里程数表示。

规定功能：设计任务书、使用说明书、订货合同以及国家标准规定的各种功能和要求。不能完成规定功能的就是不可靠，称之为发生了故障或失效。

三、可靠性的衡量指标

汽车可靠性是汽车所具有的寿命质量方面的一种能力。它可以从不同角度、用不同的评价指标来描述，常用的可靠性评价指标如下所述。

1. 可靠度

产品(此处指汽车,以下同)在规定条件下和规定时间内完成规定功能的概率,称为产品的可靠度,用 $R(t)$ 表示。

若事件 A, 其概率为 $P(A)$, 则

$$R(t) = P(A) \quad 0 \leq P(A) \leq 1 \quad (1-1)$$

可靠度可用曲线表示, 如图 1-1 所示。

2. 失效度

失效度又称累积故障概率, 也称不可靠度, 是指产品在规定条件下, 在规定时间内丧失规定功能的概率, 记为 $F(t)$ 。

由于出现故障与不出现故障是两个对应的事件, 故

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (1-2)$$

失效度曲线如图 1-2 所示。

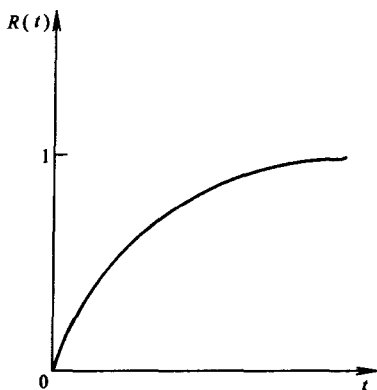


图 1-1 可靠度曲线

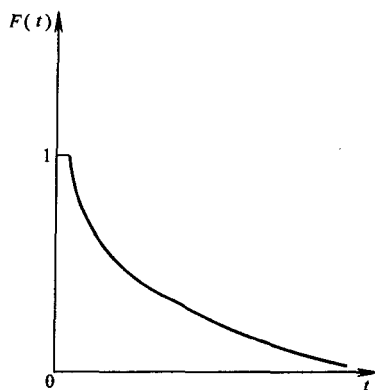


图 1-2 失效度曲线

3. 故障概率密度函数

失效率对时间的分布函数, 即 $dF(t)/dt$, 称为故障概率密度函数, 记做 $f(t)$ 。

这是由于产品发生失效是随机的, 对于不同产品和不同的工作条件, 寿命 T 不同, 须用故障概率密度函数来表示失效率的分布情况, 即

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d[1 - R(t)]}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (1-3)$$

则

$$F(t) = \int_0^t f(x) dx$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(x) dx = \int_0^{\infty} f(x) dx \quad (1-4)$$

4. 故障率函数

(1) 概念 故障率函数也称失效率函数,是指产品到 t 时刻为止未发生故障,在该时刻后发生故障的概率,用 $\lambda(t)$ 表示,可以表述产品在整个寿命期内出现故障的可能性。

已知 T 为寿命,用 $T > t$ 表示“产品工作到 t 尚未发生故障”事件;用 $t < T < t + \Delta t$ 表示产品在 $(t, t + \Delta t)$ 内失效事件,则产品工作到 t 时刻后,在 $(t, t + \Delta t)$ 内发生故障的概率为

$$P(T \leq t + \Delta t / T > t) \quad (1-5)$$

再除以 Δt , 则得 Δt 时间内的平均故障率。

当 Δt 趋于 0 时, 就可得到 t 时刻的失效率, 即

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t / T > t)}{\Delta t} \quad (1-6)$$

(2) 故障率函数和其他函数的关系

1) 与失效分布密度函数 $f(t)$ 的关系

$$f(t) = \lambda(t) \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right) \quad (1-7)$$

2) 与可靠度函数 $R(t)$ 的关系

$$R(t) = f(t) / \lambda(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right) \quad (1-8)$$

3) 与失效概率分布函数 $F(t)$ 的关系

$$f(t) = 1 - R(t) = 1 - \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right) \quad (1-9)$$

(3) 故障率函数曲线 故障率函数曲线也称寿命曲线或浴盆曲线(图 1-3), 描述了失效率随时间而变化的规律。由于该曲线如同浴盆, 故称为浴盆曲线。从曲线的变化趋势来看, 可将失效曲线划分为三个阶段, 即失效的三个时期。

1) 早期失效期 (DFR: Decreasing Failure Rate)。基本特征: 开始失效率较高, 随时间推移, 失效率逐渐降低。产生 DFR 型失效的原因: 产品本身存在着某种缺陷, 如各摩擦副间的配合间隙不得当、加工精度不符合要求、材料存在内部缺陷、设计不够完善、加工工艺不当、检验差错致使次品混于合格品中等。

2) 偶然失效期 (CFR: Constant Failure Rate)。基本特征: 失效率 $\lambda(t)$ 近似等于常数, 失效率低且性能稳定。在这期间失效是偶然发生的,

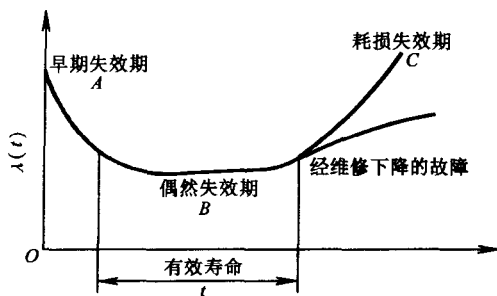


图 1-3 故障率函数曲线

何时发生无法预测。原因：由于各种失效因素或承受应力的随机性，致使故障的发生完全是偶然的，但用户通过对汽车的维护和修理，可以使这一时期延长。

3) 耗损失效期(IFR:Increasing Failure Rate)。基本特征：随着时间的增长，失效率急剧加大。原因：由于汽车产品的老化、磨损和疲劳，引起其油耗增大，性能下降，维修费用增加，汽车运用成本升高；但汽车属于可维修性产品，在损耗期即将来临之前，通过对发动机工作状态的调整，对整车零部件的维修、保养和更换，使其延长汽车的有效寿命，推迟耗损期的出现。然而，一旦达到耗损失效期的汽车，应以报废为上策。

5. 平均寿命与可靠寿命

(1) 平均寿命 这是一个标志产品平均能工作多长时间的量，是对整批产品而言的一个指标。如产品寿命 T 的故障概率密度函数为 $f(t)$ ，则其数学期望 $E(T) = \int_0^{\infty} tf(t) dt$ 称为产品的平均寿命。

对于可维修产品，是指产品的平均无故障工作时间，记为 MTBF (Mean time between failure)；对于不可维修产品，是指产品的平均寿终时间，记为 MTTF (Mean time to failure)。

(2) 可靠寿命 由可靠度函数 $R(t)$ 知，若给定时间 t 就确定了可靠度；若确定了可靠度，即可求出相应的寿命，即为可靠寿命，用 t_R 表示。

如 $t_{0.99}$ 表示可靠度 $R(t) = 99\%$ 时产品的寿命。在可靠度寿命中有如下三种特殊情况：

- 1) 特征寿命：可靠度 $R = \exp(-1) = 36.8\%$ 的可靠寿命，称为特征寿命。
- 2) 中位寿命：可靠度 $R = 50\%$ 的可靠寿命，称为中位寿命，记做 $t_{0.5}$ 。
- 3) 额定寿命：可靠度 $R(t) = 90\%$ 的可靠寿命，称为额定寿命，记做 $t_{0.9}$ 。

第二节 汽车故障类型及故障分布规律

一、汽车故障概念及类型

1. 概念

汽车故障是指汽车在规定条件下和规定时间内，不能完成规定功能的现象。

2. 模式

故障模式是指故障的表现形式，有如下几种：

- 1) 损坏型故障模式，如断裂、碎裂、开裂、点蚀、烧蚀、变形、拉伤、龟裂以及压痕等。
- 2) 退化型故障模式，如老化、变质、剥落以及异常磨损等。
- 3) 松脱型故障模式，如松动、脱落等。
- 4) 失调型故障模式，如压力过高或过低、行程失调、间隙过大或过小、干涉以及卡滞等。
- 5) 堵塞与渗漏型故障模式，如堵塞、气阻、漏油、漏水以及漏气等。
- 6) 性能衰退型或功能失效型故障模式，如功能失效、性能衰退、公害超标、异响以及过热等。

3. 故障分类

(1) 按照故障率函数特点, 可把故障分为三种类型:

1) 早期故障型: 产品在使用初期发生的可能性很大, 但随时间的延长而逐渐下降。此类故障多数由于设计、制造、管理、检验的差错及装配不佳而致。

2) 偶然故障型: 故障发生的可能性较小, 一般处于正常使用期。此类故障多数由于操作疏忽、润滑不良、维护欠佳、材料隐患、工艺及结构缺陷等所致。

3) 耗损故障型: 是指产品经长期使用后, 出现老化衰竭而引起, 其随时间的延长而逐渐增加。因此, 一般在故障率开始上升前更换或维修将要耗损的零部件, 可以减少故障率, 延长汽车的使用寿命。

(2) 按照汽车行业中《汽车产品质量检查评定办法》(即所谓蓝皮书), 把汽车故障分为如下几种:

1) 致命故障: 危及人身安全, 引起主要总成件报废, 造成重大经济损失, 对周围环境造成严重损害。

2) 严重故障: 引起主要零部件、总成严重损坏或影响行车安全, 不能用易损备件和随车工具在较短时间内排除。

3) 一般故障: 不影响行车安全的非主要零部件故障, 可用易损备件和随车工具在较短时间内排除。

4) 轻微故障: 对汽车正常运行基本没有影响, 不需要更换零部件, 可用随车工具比较容易地排除。

二、汽车可靠性研究中的威布尔分布及应用

在研究分析汽车及其零部件可靠性时, 必须掌握失效随时间变化的分布规律。在可靠性设计中, 既要掌握失效随时间变化的分布规律, 又要掌握维修随时间变化的分布规律。失效随时间分布规律的获得是根据实际试验数据, 应用统计分析的方法, 考查这些数据的分布特点, 将其与理论概率分布对照, 然后确定其符合(服从)何种理论分布模式。这一过程就是可靠性数据分析方法, 也叫统计分析方法。

汽车可靠性研究中所用的理论概率分布类型很多, 较常用的分布有: 二项分布、泊松分布、正态分布、指数分布、威布尔分布等。威布尔分布函数是应用最广泛的可靠度函数, 具有很好的兼容性, 可将常见的正态分布、指数分布等都容纳在内。

1. 威布尔分布的定义

完整的威布尔分布由三个参数决定, 其表达为

$$\text{可靠度: } R(t) = \exp[-(t-r)^m/t_0] \quad (1-10)$$

$$\text{失效度: } F(t) = 1 - \exp[-(t-r)^m/t_0] \quad (1-11)$$

$$\text{故障概率密度函数: } f(t) = [m(t-r)^{m-1}/t_0] \exp[-(t-r)^m/t_0] \quad (1-12)$$

$$\text{故障率: } \lambda(t) = f(t)/R(t) = m(t-r)^{m-1}/t_0 \quad (1-13)$$

式中 m ——形状参数;

t_0 ——尺度参数;

r ——位置参数。

在实际工程问题中, 位置参数 r 常为 0, 故上述三参数的分布简化为两参数的分布, 即

$$R(t) = \exp(-t^m/t_0) \quad (1-14)$$

$$F(t) = 1 - \exp(-t^m/t_0) \quad (1-15)$$

$$f(t) = (mt^{m-1}/t_0)\exp(-t^m/t_0) \quad (1-16)$$

$$\lambda(t) = mt^{m-1}/t_0 \quad (1-17)$$

式中, 形状参数 m 影响分布函数曲线的形状特征。

当 $m = 1$ 时, 则

$$R(t) = \exp(-t/t_0) = \exp(-\lambda t) \quad (\lambda = 1/t_0) \quad (1-18)$$

$$F(t) = 1 - \exp(-t/t_0) = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (1-19)$$

$$f(t) = (1/t_0)\exp(-t/t_0) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad (1-20)$$

$$\lambda(t) = 1/t_0 = \lambda \quad (1-21)$$

即 $m = 1$ 时, 为指数分布; 当 $m = 2$ 时, 为瑞利分布; 当 $m = 2.7 \sim 3.7$ 时, 为近似正态分布; 当 $m = 3.313$ 时, 为正态分布。

因此, 在汽车零部件可靠性试验处理中, 除非很有把握知道属于某种分布, 一般都采用威布尔分布, 这在美国、欧洲和日本已经普遍使用。

2. 威布尔分布参数的意义

m 、 t_0 、 r 是威布尔分布的三个参数, 它们在数学上有其明显的几何意义; 在物理意义上, 它们代表了产品不同的性能(不同的失效模式)。下面分别加以说明。

(1) 形状参数 m 取不同的 m 值, 其威布尔分布曲线的形状也随之变化。

当 $m < 1$ 时, 失效率随时间增加而递减, 反映了产品早期失效过程的特征, 称 DFR 型。

当 $m = 1$ 时, 失效率等于常数($\lambda = 1/t_0$), 反映了随机失效过程的特征, 即 CFR 型。

当 $m > 1$ 时, 失效率随时间增加而递增, 反映了耗损失效过程的特征, 即 IFR 型。

(2) 尺度参数 t_0 尺寸参数不影响曲线变化的形状和位置, 只是改变曲线纵横坐标的标尺。

(3) 位置参数 r 参数 r 不同时, 威布尔分布的概率密度曲线形状不变, 只是曲线起点的位置发生变化。参数 r 增大, 曲线沿着横轴正方向平行移动。

3. 威布尔分布的应用

在使用威布尔分布研究产品可靠性时, 通常用以下几个寿命来评价产品可靠性:

1) B10 寿命: 累积失效概率 $F(t) = 10\%$ 时的寿命。

2) 特征寿命: 可靠度为 36.8% 时的寿命, $R = e^{-1} = 36.8\%$

3) 中位寿命: 可靠度为 50% 时的寿命, 也称 B50 寿命。

例 1-1 已知某汽车零件疲劳寿命服从威布尔分布, 其形状参数 $m = 2$, 尺寸参数 $\eta = 400\text{h}$, 位置参数 $r = 60\text{h}$ 。求该零部件工作到 100h 的可靠度。

解 有 $F(t) = 1 - \exp[-(t-r)^m/t_0]$

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp[-(t-r)^m/t_0]$$

式中, $t_0 = \eta^m$, 即

$$\begin{aligned} R(t) &= \exp[-(t-r/\eta)^m] \\ &= \exp[-(100-6/400)^2] = 0.946 \end{aligned}$$

例 1-2 已知某元器件的寿命服从两参数威布尔分布, $m = 2.8$, $\eta = 1000\text{h}$, 求 $t = 100\text{h}$

时的可靠度、失效率与中位寿命值。

解 1) $t = 100\text{h}$ 时的可靠度为 $R(100)$, 则

$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - F(t) = \exp(-t/\eta)^m \\ &= \exp(-100/1000)^{2.8} = 0.998 \end{aligned}$$

2) 失效率 $\lambda(t) = f(t)/R(t) = m/\eta X(t/\eta)^{m-1}$

$$\lambda(100) = 2.8/1000 \times (100/1000)^{2.8-1} \text{h}^{-1} = 4.4 \times 10^{-5} \text{h}^{-1}$$

3) 中位寿命, 即 $R(t) = 0.5$ 时所对应的寿命时间记做 $t_{0.5}$ 。根据题意列方程为

$$\begin{aligned} R(t) &= \exp(-t/\eta)^m \\ \ln R(t) &= \ln \exp(-t/\eta)^m \quad \text{即} \quad \ln R(t) = -(t/\eta)^m \end{aligned}$$

则

$$t = \eta [\ln 1/R(t)]^{1/m}$$

所以

$$t_{0.5} = 1000 \times (\ln 1/0.5)^{1/2.8} \text{h} = 877.3 \text{h}$$

第三节 汽车可靠性数据的采集与分析

一、汽车可靠性数据的采集

1. 可靠性试验

(1) 可靠性试验的目的 可靠性试验是为了提高或确认产品的可靠性而进行的试验的总称。其目的大体分为:

- 1) 为研制新产品、发现其弱点以改进设计;
- 2) 为确认零件的设计任务书;
- 3) 为接受产品和保证产品质量;
- 4) 为审查制造工艺的好坏等。

评价产品的可靠性, 可以通过规定的试验方法进行可靠性试验, 并对试验结果进行处理, 以得出该零件的可靠性指标。同时, 通过试验可以对失效样品进行分析, 找出薄弱环节, 采取相应的对策, 就可以达到提高产品可靠性的目的。因此, 可靠性试验是产品可靠性评价的一个重要手段, 是研究产品可靠性的基本环节之一。

可靠性试验与产品的常规试验不同, 常规试验的目的只是在产品出厂验收时, 判断其性能指标是否符合产品出厂标准, 而没有测定产品在规定时间内失效率, 因而不能对产品的可靠性提供任何保证; 而可靠性试验是产品可靠性预测和验证的基础。

(2) 可靠性试验分类 按试验性质分为寿命试验、临界试验、环境试验和使用试验等。

寿命试验是为确定产品寿命分布及特征值而进行的试验。它一般采用台架试验和试验场试验。为了缩短试验周期, 一般都采用加速寿命试验。在试验室里进行的台架加速寿命试验, 由于试验条件稳定, 容易获得良好的试验结果。试验场试验是使汽车在高速环行路和其他多种路面, 如各种石块路、比利时路、各种卵石路、搓板路等坏路上进行强化的加速寿命试验, 以确认强度构件在行驶中的安全性。此外, 为确认综合的耐久可靠性, 对汽车行驶的各种路面, 如砂石、泥水、盐水、转弯、爬坡、高速环行路等, 适当组合进行程序试验。台架寿命试验中又有破坏性和非破坏性之分。破坏性试验是在规定条件下投入一定数量的样品进行寿命试验, 记录有关样品发生失效的时间。这些失效时间就是统计分析寿命的基础。非

破坏性试验一般是对小样本、价格高的重要零部件进行的可靠性试验。

按试验性质，寿命试验分为：

- 1) 贮存寿命试验；
- 2) 工作寿命试验；
- 3) 加速寿命试验。

产品在规定的的环境条件(如室温、高温或潮湿等)下进行非工作状态的存在试验，称为贮存试验。其目的是了解产品在特定的环境条件下贮存的可靠度，如战备物资等。由于贮存试验产品处于非工作状态，失效率较低，通常要选取较多的样品作较长时间的试验，才能对产品的可靠性作出比较确切的预测与评价。

产品在规定的条件下作加负载的工作试验称为工作寿命试验。它分为静态和动态两种试验。静态试验是加额定载荷的寿命试验，通过静态试验可以了解产品在额定应力下工作的可靠性，不过它难以反映产品在实际工作状态下的可靠性。动态试验是模拟产品在实际工作状态下的试验，与产品的实际工作状态非常接近，故其准确度比静态试验的高，但动态试验的设备比较复杂，费用较高。

加速寿命试验是在既不改变产品的失效机理又不增加新的失效因素的前提下，提高试验应力，加速产品失效因素的作用，加速产品的失效过程，促使产品在短期内大量失效。加速寿命试验可以缩短试验周期，节省费用，快速对产品的可靠性作出评价。根据试验结果，可以预测正常应力下的产品寿命。按试验时应力施加的方式可分为：恒定应力加速寿命试验、步进应力加速寿命试验、序进应力加速寿命试验等。

寿命试验按失效情况可分为完全寿命试验和截尾试验(或称为不完全寿命试验)。

完全寿命试验是指试验进行到投试样品完全失效为止。截尾试验中，当试验达到规定的试验时间 t 就停止试验，称为定时截尾试验；当试验达到规定的失效数 r 就停止试验，称为定数截尾试验。在截尾寿命试验过程中，若发生样品失效，则更换样品继续试验，使样品数量保持不变，称之为有替换试验；若在试验过程中，样品失效后不再补充，而将残存的样品继续试验到规定时间才结束，这种试验称为无替换试验。

因此，截尾试验分为四种类型：

- 1) 无替换定时截尾试验，记做 $(n, \text{无}, t_0)$ ；
- 2) 无替换定数截尾试验，记做 $(n, \text{无}, r)$ ；
- 3) 有替换定时截尾试验，记做 $(n, \text{有}, t_0)$ ；
- 4) 有替换定数截尾试验，记做 $(n, \text{有}, r)$ 。

临界试验是为了进一步找出作为安全零件的弱点，进行强制性破坏试验，施以破坏性应力，以证实实际使用中若发生最大应力时，零件是否具有充分的强度。例如，急转弯、紧急制动、快速起步等，在通常使用状态下似乎是非常苛刻的，而一般认为是实际使用中可能发生的，因而用它来确认可靠性试验。

环境试验是产品在特定使用环境条件下进行的使用试验。例如，确认汽车在高低温度状态时的性能，需把汽车置在高温及低温试验室内进行有关可靠性试验；尘埃和泥水的侵袭易成为轴承部分和液力机械发生故障的原因；降雨、降雪的影响，高分子材料的光老化、臭氧老化等使性能下降等。观察环境应力的故障效果的试验，称为环境试验。

使用试验是在汽车研制出来后抽样送到使用现场进行实际运行考验，只有当它基本满足

使用要求之后,才能正式定型成批生产。现场试验是可靠性试验数据收集的主要渠道。

2. 使用可靠性数据的采集方法与内容

由于可靠性数据的全面性、大量性和不确切性,要求人们对数据进行系统的采集、认真的研究和科学的管理。数据是可靠性工程的基础,只有掌握完整的可靠性数据,才能进行可靠性评定。对老产品的可靠性评定的结果,同时也是对新产品的可靠性预测的依据,特别是关于故障的数据,是告诉人们产品的薄弱环节以及如何改进的重要前提。由于使用阶段的车辆使用条件真实,数量较多,是可靠性评定的主要数据来源,所以使用和维修阶段可靠性数据的采集和分析,对产品的设计、制造的评价最有权权威性。

(1) 使用可靠性数据的采集方法 使用可靠性数据的采集方法要根据对象的种类和目的来定。一般有两种方法:一种是对现场人员分发报表,定期返回,其特点是费用低廉不需专门人员,但易出现数据不完整和不准确的情况;另一种是组织专门测定可靠性的人员进行可靠性试验,其特点是费用高,但由于采集者对数据分析过程有充分的理解,选择的数据适当,能掌握重点,易发现数据的谬误,因而可保证数据的完整和准确。

(2) 数据采集时应注意的事项

1) 采集范围:在每一份数据的收集报告中,产品对象范围要明确统一。

2) 制定异常工作的标准(即故障的含义):异常工作的含义一般以原订产品性能指标为准,但在实际执行中往往存在困难,因为生产者与使用者以及操作人员之间的看法往往不一致。因此,在调查开始前,要尽可能制订出明确的故障判别标准。

3) 时间的记录:可靠性中所说的时间是广义的,是一个重要因素,其含义需要明确。一般来说,时间主要指工作时间。有的还要考虑运输、储存、停机时间等。

4) 使用条件:主要包括使用场合、气候、使用工况(载荷、车速)及运转形式等。

5) 维修条件:使用条件相同而维修条件不同,产品的故障率可相差两倍之多,应考虑维修人员的水平、维修制度、设备条件以及修理水平等。

6) 取样方法:可靠性数据应在母体中随机取样进行调查,既不要仅调查发生事故的产品,也不要毛毛病特大特多的除外。

二、汽车可靠性数据的分析——图分析法(图估计法)

要判断某一产品的失效类型以及当知道其分布类型后估计其分布参数等,是可靠性研究中的基本问题。在实践中,最简单可行的方法便是图分析法。下面以威布尔分布为例进行分析。

1. 概率纸原理

对于威布尔分布,其分布函数为

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t^m}{t_0}\right) \quad t_0 > 0 \quad r = 0$$

移项后两边取双重对数,可得

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} = m \ln t - \ln t_0$$

若令

$$\begin{cases} Y = \ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} \\ X = \ln t \\ C = \ln t_0 \end{cases}$$

则有

$$Y = mX - C$$

这是在 X - Y 等距离坐标纸上的一条直线方程, 它的斜率 m 就是形状参数, 它的截距 C 是尺度参数 t_0 的函数 $C = \ln t_0$ 。由此可知, 在 t - $F(t)$ 坐标系下的一条威布尔分布函数曲线对应 X - Y 坐标系下的一条斜率大于零的直线, 反之亦然。

因此, 取坐标纸上边为 X 轴, 右边为 Y 轴, 二者均为等刻度坐标。取坐标纸下边为 t 轴, 其与 X 轴对应的关系是 $t = e^x$, 其分度按 \ln 刻度; 取坐标纸左边为 $F(t)$ 轴, 其刻度值与 Y 轴对应并按 $\ln \ln$ 刻度。至此可得到一张四边分别代表两组坐标系统的坐标纸: X - Y 和 t - $F(t)$, 其值互相对应的概率坐标纸, 此即威布尔分布概率纸。

对不同类型分布函数可以建立不同的概率纸, 如正态分布及对数正态分布概率纸等。

2. 图分析法

概率纸法即图分析法(或图估计法)。由于威布尔概率纸上坐标 $X \leftrightarrow t$, $Y \leftrightarrow F(t)$ 的对应关系, 假如能够根据样本(或是截尾样本)确定或基本上确定 X - Y 坐标下的一条直线, 那就可以断定这个样本(或截尾样本)是来自某个威布尔母体, 并且可以从这条直线上确定其分布参数。倘若在 X - Y 坐标下明显地不是一条直线, 那就可以断定该样本不是来自某个威布尔母体。此即用图分析法进行分布假设检验的基本思想。

实际上, 对于服从威布尔分布的观察值 t_i - $F(t_i)$, 相应的点 (X_i, Y_i) 描在概率纸上为一条直线, 而点 (X_i, Y_i) 的计算要经过求对数, 显得太复杂, 因此可以用未经变换的 t_i - $F(t_i)$ 点直接描在概率纸上。由此可知, 关键在于如何求得样本的 t_i - $F(t_i)$ 点, 且 $i = 1, 2, \dots, r$ 。由于威布尔分布时 $F(t_i) = 1 - \exp\left(-\frac{t_i^m}{t_0^m}\right)$, 式中 m, t_0 为待定参数, 显然直接用 $F(t_i)$ 值可按样本容量 n 的大小, 采用以下估计法:

当 n 较大($n > 20$)时, 可以用故障频率来估计, 即

$$F_n(t_i) = \frac{i}{n} \quad t_{(1)} \leq t_i \leq t_{(n)}$$

当 n 较小($n \leq 20$)时, 可以用中位秩故障概率来估计。它可以根据 n, i 查表得到, 也可按下面的近似公式求得, 即

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

$$F(t_i) = \frac{i}{n + 1}$$

式中, i 是次序统计量的序号, $i = 1, 2, \dots, n$; 并且当 n 较大时, 有 $\frac{i}{n} \approx \frac{i}{n+1} \approx \frac{i-0.3}{n+0.4}$ 。

一般用概率纸进行图分析有以下步骤:

(1) 整理数据 设有 n 个产品进行试验, 到 r 个产品失效时中止试验(定时截尾试验也有相应中止试验时的失效数), 且记录下相应的失效时间 t_1, \dots, t_k , k 为所测数据点数。用估计求出累计失效概率 $F(t_i)$, $i = 1, 2, \dots, k$ 。将数据列表(表 1-1)如下: