

第2版

汽车维修工程

普通高等教育交通类专业规划教材



吴明 主 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育交通类专业规划教材

汽车维修工程

第2版

吴明 主编

机械工业出版社

本书共分十章,内容包括汽车可靠性理论基础、汽车零部件的失效理论、汽车维护工艺、汽车修理工艺、汽车零件修复方法、汽车发动机维修、汽车底盘机械系统维修、汽车电气设备维修、汽车车身维修和汽车修理质量管理。

本书内容系统、全面,贴近实际,既可作为普通高等院校汽车类本科专业教材,也可供职业技术学院相关专业选用,还可供从事汽车服务、汽车维修的技术人员及管理人员学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车维修工程/吴明主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2016.8
普通高等教育交通类专业规划教材
ISBN 978-7-111-54483-8

I. ①汽… II. ①吴… III. ①汽车-车辆修理-高等学校-教材
IV. ①U472.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第181247号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:赵海青 责任编辑:赵海青 丁 锋 责任校对:肖 琳

封面设计:马精明 责任印制:李 洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2016年10月第2版第1次印刷

184mm×260mm·22.25印张·549千字

0001—2500册

标准书号:ISBN 978-7-111-54483-8

定价:55.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

前 言

《汽车维修工程》(第1版)是根据普通高等教育交通类专业教材编写规划和《汽车维修工程》教材编写大纲编写的。自2009年1月出版以来,在全国多所高等院校的汽车类专业和其他相关专业的教学中得以广泛应用。

近年来,电子技术的进步和发展给汽车维修业带来了思维方式、思维观念的根本变化,传统的以经验判断为主的机械修理方法逐渐被以仪器检测诊断为代表的以电控技术为主的现代维修方法所替代。汽车产品的种类增多、技术性能提高,使用对象的变化必然引起与之相关的汽车维修技术的变革,许多相关汽车维护、修理和汽车检测的标准、规范或规定得到颁布或更新。正是在这种背景下,汽车维修教材有必要进行修订,有必要体现具有高科技含量的现代维修思想。

随着教学改革研究的深入,我们对汽车维修工程课程的教学经验也在不断积累。因此,在《汽车维修工程》(第2版)编写中,我们删除了原教材中技术上或管理上已经陈旧的部分内容,增添了汽车电气设备维修、电控汽油发动机维修等新内容。

本书由吴明任主编,任勇刚、李春荣任副主编,参加编写的人员还有孟宪章、关伟、初立东、王雪莲、施继红、陈霞、郭修平、刘春玲、马薇、于文东、汤超、张兴东等。

本书由吉林大学交通学院王耀斌教授担任主审,他提出了大量宝贵的意见,对此,编者表示衷心的感谢。同时,借此机会对本书参考文献的作者和提出宝贵意见的专家表示衷心的感谢。

恳请读者对本书的内容和章节安排等提出宝贵意见,并对书中存在的不当之处提出批评和修改建议。

编 者

目 录

前言

第一章 汽车可靠性理论	1
第一节 汽车可靠性概述	1
第二节 汽车故障的类型及故障分布规律	6
第三节 汽车可靠性综合评定	12
思考题	14
第二章 汽车零部件的失效理论	15
第一节 汽车零部件失效概述	15
第二节 汽车零部件的失效模式	18
第三节 汽车零部件失效分析方法	28
思考题	35
第三章 汽车维护工艺	36
第一节 汽车维护的基本概念	36
第二节 汽车维护制度	44
第三节 汽车维护作业分类和工艺组织	49
第四节 汽车维护工艺过程	50
思考题	66
第四章 汽车修理工艺	67
第一节 汽车修理概述	67
第二节 汽车修理工艺过程	71
第三节 汽车的验收、清洗及解体	78
第四节 汽车零件的检验分类	86
第五节 汽车总成装配的技术要求	103
思考题	117
第五章 汽车零件修复方法	118
第一节 汽车零件修复方法概述	118
第二节 汽车零件常用修复方法	118
第三节 零件修复方法的选择	167
第四节 汽车零部件再生技术	171
思考题	184
第六章 汽车发动机维修	185

第一节 气缸体与气缸盖的修理	185
第二节 活塞连杆组的修理	193
第三节 曲轴飞轮组的修理	201
第四节 配气机构的修理	214
思考题	224
第七章 汽车底盘机械系统维修	225
第一节 传动系统的维修	225
第二节 行驶系统的维修	239
第三节 转向系统的维修	251
第四节 制动系统的维修	262
思考题	266
第八章 汽车电气设备维修	267
第一节 蓄电池与发电机的维护	267
第二节 照明与信号装置的维护	274
第三节 组合仪表的维护	276
第四节 空调系统的维护	280
第五节 辅助电器设备的维护	284
思考题	287
第九章 汽车车身维修	288
第一节 车身常见的损伤形式	288
第二节 车身(车架)尺寸的测量	290
第三节 乘用车车身的校正	296
第四节 汽车覆盖件及车身构件的修理	310
第五节 车身表面涂层的修复	317
思考题	327
第十章 汽车修理质量管理	329
第一节 汽车修理质量概述	329
第二节 汤车修理质量的评价	342
思考题	351
参考文献	352

第一章 汽车可靠性理论

汽车可靠性理论是近二三十年发展起来的一门新兴学科。汽车可靠性理论是以概率论和数理统计等为理论基础,以试验和调查数据为资料,以电子计算机为辅助工具,按照系统工程的分析方法,权衡经济得失,进行精确设计,合理制造,正确使用、维修和科学管理,以期将汽车的可靠性提高到令人满意的程度的一门新兴学科。

第一节 汽车可靠性概述

随着汽车工业的发展,汽车可靠性越来越受到人们的重视。汽车可靠性差,汽车生产企业将失去企业信誉,失去营销市场,汽车将失去原有的使用价值。提高汽车的可靠性,从制造者本身角度考虑是为了企业生存的需要。面对市场上眼花缭乱的各款汽车,购买者总是在价格、性能、可靠性之间抉择,绝大多数的用户会把汽车可靠性作为首要因素考虑。

一、可靠性简介

(一) 汽车可靠性的定义

汽车的可靠性是指汽车产品在规定的使用条件下,在规定的时间内,完成规定功能的能力。从定义可以看出汽车可靠性包含四个要素,即汽车产品、规定条件、规定时间和规定功能。

1. 汽车产品 汽车产品包括整车、总成和零部件,它们都是汽车可靠性研究的对象。

2. 规定条件 规定条件包含工作条件、运用条件、维修条件和管理条件。

(1) 汽车产品的工作条件,包括气候情况、道路状况、地理位置等环境条件。

(2) 汽车产品的运用条件,包括载荷性质、载运种类、行驶速度等因素。

(3) 汽车产品的维修条件,包括维修方式、维修水平、维修制度等因素。

(4) 汽车产品的管理条件,包括存放环境、管理水平、驾驶员技术水平等。

这些条件都对汽车的可靠性产生影响。

3. 规定时间 规定时间是指汽车使用量的尺度,可以是时间单位(小时、天数、月数、年数),也可以是行驶里程数、工作循环次数等。在汽车运用工程中,保用期、第一次大修里程、报废周期等都是重要的特征时间。

4. 规定功能 规定功能是指汽车设计任务书、使用说明书、订货合同以及国家标准规定的各种功能、性能和要求。不能完成规定功能就是不可靠,称为发生了故障或失效。故障包括:汽车停驶的完全性故障(或称硬故障);汽车不能正常工作的间隙故障;汽车性能逐渐下降到最低规定限度而不能正常使用的衰退性故障(或称软故障)。例如,汽车制动性能逐渐衰退,超出交通法规限制范围,影响汽车的安全行驶,并为交通管理部门所不容许;又如,发动机动力性下降,输出转矩减小,爬坡能力不足等,都属于重要的衰退性故障,应当引起使用者或维修人员的重视。

（二）汽车可靠性研究的历史

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中，还是近代的事，可靠性研究的历史，大致可分为四个阶段。

1. 摇篮期 可靠性的研究始于第二次世界大战，美军飞机因飞行故障损失的数量是被击落数量的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基础性文件，可靠性理论的研究从此开始正式起步。之后，美国成立了可靠性管理机构，制订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。可靠性工程开始成为一门独立的工程学科。

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，从最复杂的包含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。从1959年开始，汽车产品实行保用里程制度。在质量管理（QC）活动中，提出了质量保证（QA）的概念，既要保证 $t=0$ 时的质量（出厂质量），又要保证 $t>0$ 时的质量（可靠性）。1969年7月，阿波罗11号飞船的登月成功，显示了可靠性工程的卓越成就。美国国防部长施莱辛格说：“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。

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，这使得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。在此时期，日本产品的可靠性工作取得了很大的成就。1978年在日本召开的第四届国际质量管理会议（ICQC）上，成立了可靠性分委员会，会上对日本的可靠性研究工作给予了很高的评价。可靠性研究在世界范围内已趋于成熟。

二、可靠性的评价指标

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有可靠度、累积故障概率、故障率、平均无故障工作时间、平均首次故障时间、可靠寿命及平均维修时间等。

（一）可靠度

汽车可靠度是指汽车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，用 R 表示。所谓概率是反映随机事件在 n 次试验中发生 r 次故障的可能性。通常，概率是通过频率来表达的，所谓频率是指在 n 次试验中，产生 r 次某种结果，那么出现这种结果的频率就是 r/n ，显然 $0 \leq r/n \leq 1$ 。

例如，有 n 个某种汽车零件，在规定的工作条件下和规定的时间内，有 r 个失效，其余

$(n-r)$ 还在继续工作, 那么这批零件的可靠度为

$$R = \frac{n-r}{n} = 1 - \frac{r}{n} = 1 - F \quad (1-1)$$

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

式中 $F = r/n$ ——累积故障概率或不可靠度。

设产品的规定时间为 t , 产品从开始到发生故障的连续工作时间为 T 。现设有 n 个汽车零件, 从开始使用到出现故障时的失效零件数目为 $r(t)$, 则产品的可靠度为

$$R(t) = P(T > t_0) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n - r(t)}{n} \quad (1-3)$$

$$0 \leq R \leq 1$$

图 1-1 所示为可靠度函数 $R(t)$ 的曲线。曲线反映: 随着时间的推移, 产品的可靠度越来越低, 最终完全失效。

(二) 不可靠度

不可靠度也称失效度 (累积故障概率), 是指产品在规定条件下和规定时间内不能完成规定功能的概率或发生故障的概率, 记为 $F(t)$ 。与可靠度相对应, 不可靠度和可靠度的关系为

$$F(t) = P(t \leq t_0) = 1 - R(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{r(t)}{n} \quad (1-4)$$

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (1-5)$$

在可靠性的研究中, 通常以 $F(t)$ 为主要研究对象。因为 $F(t)$ 的大小直接反映故障的概率, 反映了在 t 时刻以前累积故障的情况, 也反映了故障与时间 t 的函数关系, 故又称 $F(t)$ 为累积故障概率, 也称为故障分布函数。可靠度与不可靠度的关系如图 1-2 所示。

(三) 故障概率密度

由概率论知: 若故障分布函数 $F(t)$ 连续可导, 则故障密度函数 $f(t)$ 可由 $F(t)$ 求导得出

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (1-6)$$

$$F(t) = \int_0^t f(x) dx \quad (1-7)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(x) dx = \int_t^{\infty} f(x) dx \quad (1-8)$$

上式表示产品出现故障的概率随时间变化的规律, 即反映了单位时间的失效概率。

(四) 故障率

在对产品进行可靠性分析时, 人们希望知道单位时间内有多少产品发生故障, 或者说在某时刻 t 以后单位时间内有多少产品失效。而这些失效产品在时刻 t 以前应是处于无故障工作状态, 由此引入了故障率的概念。

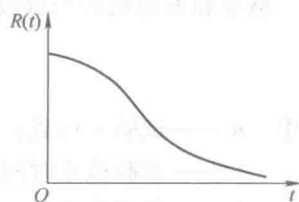


图 1-1 可靠度函数 $R(t)$ 随时间 t 的变化曲线

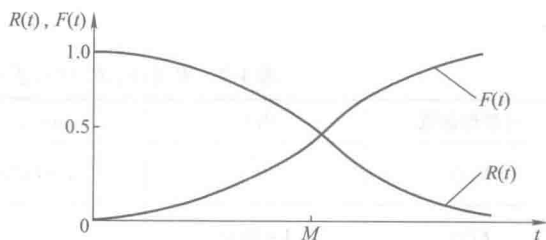


图 1-2 可靠度与不可靠度的关系曲线

故障率是指工作到某时刻尚未失效的产品,在该时刻后单位时间内发生故障的概率,称为该产品在 t 时刻的故障率,记为 $\lambda(t)$ 。

设 n 为零件数, $r(t)$ 为到时刻 t 的故障数,则 $n - r(t)$ 为无故障的残存数,又设 $\Delta r(t)$ 为 t 时刻以后 t 内出现的故障数,则 $\Delta r(t) / \Delta t$ 为单位时间的故障数。

故障率为

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\Delta r(t)}{[n - r(t)] \Delta t} = \frac{\Delta r(t)}{n \left[1 - \frac{r(t)}{n} \right] \Delta t} \\ &= \frac{\Delta r(t)}{\Delta t \cdot n \left[1 - \frac{r(t)}{n} \right]} = f(t) \frac{1}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}\end{aligned}\quad (1-9)$$

整车和发动机的当量故障率 D 为

$$D = \frac{1000}{nt} \sum_{j=1}^4 \varepsilon_j r_j \quad (1-10)$$

式中 n —— 试验子样数;

t —— 试验截止时间;

j —— 各类故障数;

r_j —— 试验子样发生第 j 类故障数;

ε_j —— 第 j 类故障的当量故障数,其值如下:

一类故障:致命故障, $\varepsilon_1 = 100$; 二类故障:严重故障, $\varepsilon_2 = 10$; 三类故障:一般故障, $\varepsilon_3 = 1$; 四类故障:轻微故障, $\varepsilon_4 = 0.2$ 。

可靠度 $R(t)$ 、不可靠度 $F(t)$ 、故障概率密度 $f(t)$ 和故障率 $\lambda(t)$ 的相互关系见表 1-1。

表 1-1 $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ 的相互关系

可靠性函数	$R(t)$	$F(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
$R(t)$		$1 - F(t)$	$\int_t^{\infty} f(t) dt$	$\exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]$
$F(t)$	$1 - R(t)$		$\int_0^t f(t) dt$	$-\exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]$
$f(t)$	$-dR(t)/dt$	$dF(t)/dt$		$\lambda(t) \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]$
$\lambda(t)$	$-d\ln R(t)/dt$	$F'(t)/[1 - F(t)]$	$f(t) / \int_0^t f(t) dt$	

(五) 平均无故障工作时间

对可维修产品,平均无故障工作时间是指汽车故障的平均间隔时间,记为 MTBF (Mean Time Between Failure),它是汽车产品最常用的可靠性指标,通常也称为平均寿命。

$$MTBF = \mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (1-11)$$

式中 t_i —— 两次故障的间隔时间。

(六) 平均首次故障时间

平均首次故障时间是指汽车产品首次故障时间的平均值。它体现了产品第一次可能发生

故障的早晚, 对于越来越重视产品可靠性的今天, 平均首次故障时间是一个很重要的指标, 记为 $MTTF$ 。

$$MTTF = \frac{1}{n'} [\sum t_i + (n - n')t] \quad (1-12)$$

三、系统可靠性

(一) 系统可靠性的定义

系统可靠性是指工作系统在一定的使用条件下, 在要求的工作时间内, 完成规定功能的能力。由此可见, 系统可靠性是建立在系统中各个零件及部件间的作用关系和这些零部件所具有的可靠性基础之上的。换言之, 系统可靠性为其组成总成(子系统)及零件可靠性的函数。

在分析系统可靠性时, 通常首先画出一个以一定方式相连接的代表各零部件可靠度的方框所组成的框图, 这种框图不一定和系统的功能图等同, 但它可以简明地表示出零件与系统可靠性的联系, 它不仅可用于系统可靠性的解析计算, 而且可用于逻辑运算和模拟。

(二) 简单系统的可靠性

1. 串联系统 若组成系统的各零件, 只要有一个零件发生故障, 系统便发生故障, 则该系统称为串联系统, 如图 1-3 所示。



图 1-3 串联系统

其系统可靠度为

$$R_s = R_{A_1} R_{A_2} \cdots R_{A_n} = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (1-13)$$

若各单元的寿命分布均为指数分布, 即 $R(t_i) = e^{-\lambda_i t}$, 则

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} = e^{-\lambda_s t} \quad (1-14)$$

式中, $\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ 为系统的故障率; λ_s 为第 i 个单元的故障率。

串联系统的工作寿命总是等于系统中寿命最短的那个零件的寿命, 即

$$t_s = \min_{1 \leq i \leq n} t_i$$

并且, 系统的平均故障间隔时间为

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (1-15)$$

由此可见, 串联系统的系统可靠度总是小于系统中任何一个零件的可靠度。因此, 在串联系统中要尽可能避免有特别薄弱的环节。在串联系统中, 零件数目愈多, 系统可靠度就愈小。例如, 由 20 个等可靠度 $R = 0.95$ 的零件所组成的系统, 其可靠度仅有 $R_s = 0.95^{20} = 0.358$ 。所以, 从可靠性观点来说, 对于一个串联系统, 应尽量用较少的总成或零件来组成。同样, 若系统可靠度已确定, 其组成的零件愈多, 则对每个零件的可靠度要求也愈高。汽车及其各总成绝大多数可视为串联系统。

2. 并联系统 若组成系统的各个总成或零件中, 只要其中还有一个总成或零件在起作用, 就能维持整个系统继续工作, 则该系统称为并联系统, 如图 1-4 所示。

设各单元的可靠性相互独立, 则系统失效概率为

$$F_s(t) = F_1(t)F_2(t)\cdots F_n(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (1-16)$$

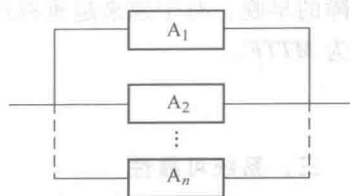


图 1-4 并联系统

式中, $F_s(t)$ 为系统失效度; $F_i(t)$ 为第 i 个单元的失效度, $i=1, 2, \dots, n$ 。

其系统可靠度为

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] \quad (1-17)$$

若各单元的寿命分布均为指数分布, 且具有相同的 λ , 即 $R(t_i) = e^{-\lambda t}$, 则

$$R_s(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^n \quad (1-18)$$

并联系统的工作寿命总是等于系统中最长的一个零件的寿命, 即

$$t_s = \max_{1 \leq i \leq n} t_i$$

$$MTBF = \int_0^{\infty} R_s(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - (1 - e^{-\lambda t})^n] dt = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2\lambda} + \cdots + \frac{1}{n\lambda} \quad (1-19)$$

可见, 并联系统的系统可靠度总是大于系统中任何一个零件的可靠度。因此, 它与串联系统恰恰相反, 并联的零件愈多, 系统可靠度就愈大, 或每个零件所要求的可靠度则愈低。由于并联系统具有上述特征, 故可利用它为完成系统的功能附加一些并联的零件, 以此做到即使其中之一发生故障, 而整个系统仍可正常工作, 这种系统常称为有储备的系统。

3. 串、并联组合系统 串、并联组合系统是由串联子系统和并联子系统组合而成的, 图 1-5 所示为一种常见的形式。为提高系统可靠度, 将 B 和 C 两零件相连, 构成并联子系统, 然后再与零件 A 串联组成等效串联系统, 如图 1-6 所示。

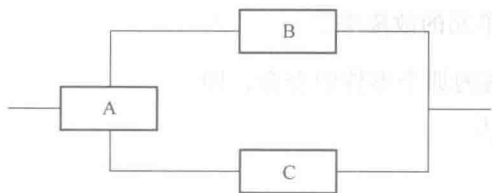


图 1-5 串、并联组合系统



图 1-6 等效串联系统

其系统可靠度为

$$R_s = R_A R_B + R_A R_C - R_A R_B R_C \quad (1-20)$$

第二节 汽车故障的类型及故障分布规律

一、汽车故障的模式及类型

(一) 故障

1. 故障的定义 产品在规定的条件下, 在规定的时间内, 不能完成规定功能的现象, 称为故障。故障的表现形式称为故障的模式。

汽车故障的发生不但与使用环境和汽车本身有关, 也与使用者能否正确地操作有关。由汽车本身的原因而引发的故障, 称为本质故障; 由操作失误而引起的故障, 称为误用故障。在汽车质量考核评定中, 仅考核本质故障。从汽车故障发生的原因或后果来描述, 可分为一次故障和二次故障。最初发生的故障称为一次故障, 由此导致发生的相关部分或上一级系统的故障称为二次故障。描述故障模式时, 原则上说的是一次故障, 而将二次故障作为该一次故障的后果。但当二次故障或更高次故障不可避免时, 可以用二次故障或更高次的故障模式来描述, 而将一次故障视为故障的原因。

2. 故障的分类

(1) 按故障模式分类。故障模式是指故障的表现形式, 按故障模式分类有如下 6 种。

1) 损坏型故障, 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, 如老化、变质、剥落以及异常磨损等。

3) 松脱型故障, 如松动、脱落等。

4) 失调型故障, 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, 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, 如功能失效、性能衰退、公害超标、异响以及过热等。

(2) 按照故障性质分类。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), 把汽车故障分为致命故障、严重故障、一般故障和轻微故障四种。

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) 典型的寿命曲线

汽车可能由于各种原因而失效, 失效率 (或故障率) 曲线反映产品总体在整个寿命期失效率的情况。图 1-7 所示为失效率曲线的典型情况, 有时形象地称其为浴盆曲线。失效率随时间变化可分为三个时期。

1. 早期失效期 早期失效期的失效率曲线为递减型, 其故障率 $\lambda(t)$ 随时间而下降。早期故障通常是由于设计、制造、储存、运输等造成的缺陷, 以及调试、磨合、起动不当等人为因素所造成的失效或者设计、制造或检验的差错, 以及装配欠佳引起的, 一般可通过强化试验或磨合加以排除。该时期的失效率曲线称为

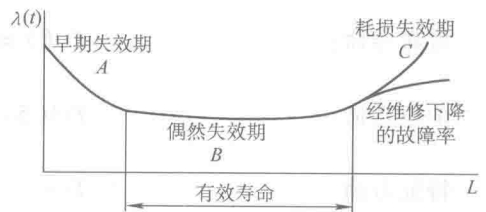


图 1-7 典型的寿命曲线

故障率减小型, 相当于磨合期, 如图 1-7 中的 A 段。

2. 偶然失效期 偶然失效期的失效率曲线为恒定型, 即其故障率 $\lambda(t)$ 变化甚微。失效主要是由于操作疏忽、润滑不良、维护欠佳、材料隐患、工艺及结构缺陷等原因所引起的, 即没有一种特定的失效机理在起主导作用。由于失效原因多属偶然, 故称为偶然失效期, 如图 1-7 中的 B 段。偶然失效期也是产品有效工作的时期, 这段时间称为有效寿命。为降低偶然失效期的失效率且增长有效寿命, 应注意提高产品的质量, 精心使用维护。

3. 耗损失效期 耗损失效期的失效率曲线是递增型, 这是由于汽车经长期使用后, 产品老化、疲劳、磨损、蠕变、腐蚀等耗损的原因所引起的失效, 故称为耗损失效期。针对耗损失效的原因, 应该注意检查、监控、预测耗损开始的时间, 提前维修, 使失效率不上升, 以延长有效寿命, 如图 1-7 中 C 段所示。如果在上升期间稍前一点更换或修复即将耗损的零件, 可减少故障率, 延长汽车使用寿命。若修复所需费用很高而寿命延长不多时, 则报废或更新更为经济合理。

二、汽车可靠性常用故障分布

汽车可靠性研究中所用的理论分布类型很多, 常用的有指数分布、正态分布、对数正态分布和威布尔分布。

(一) 指数分布

指数分布是连续型随机变量分布形式中最基本的一种, 经常用来描述产品的寿命。由于它计算简便, 因而在可靠性工程中获得广泛应用。

指数分布的密度函数: $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ (1-21)

可靠度函数: $R(t) = e^{-\lambda t}$ (1-22)

指数分布的累积分布函数: $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ (1-23)

指数分布的数学期望: $\mu = \frac{1}{\lambda}$ (1-24)

指数分布的方差: $\sigma^2 = \frac{1}{\lambda^2}$ (1-25)

故障率: $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda$ (1-26)

寿命特征有

方差寿命: $D(t) = \frac{1}{\lambda^2}$ (1-27)

可靠寿命: $T(R) = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{1}{R}$ (1-28)

中位寿命: $T(0.5) = 0.693 \frac{1}{\lambda}$ (1-29)

特征寿命: $T(e^{-1}) = \frac{1}{\lambda}$ (1-30)

(二) 正态分布

正态分布是一种最常用的连续型分布, 它可以用来描述许多自然现象和各种物理性能, 也是机械制造、科学实验及测量技术进行误差分析的重要工具。在可靠性工程中, 它在强度和应力的分布、磨损件的失效分布、可靠性设计等方面都起着重要作用。

1. 正态分布特征 正态分布的故障密度函数为

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (1-31)$$

如图 1-8 所示, 其特征为 μ 为均值; σ 为标准差, $f(x)$ 曲线在 $x = \mu \pm \sigma$ 处存在拐点; $f(x)$ 曲线在 $x = \mu \pm \sigma$ 区间的面积为 68.26%; 在 $x = \mu \pm 2\sigma$ 区间面积为 95.46%; 在 $x = \mu \pm 3\sigma$ 区间的面积为 99.73%。

2. 正态分布的不可靠度函数 图 1-9 所示为正态分布的不可靠度函数。

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dx \quad (1-32)$$

3. 正态分布的可靠度函数

$$R(x) = \int_x^{\infty} f(x) dx = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (1-33)$$

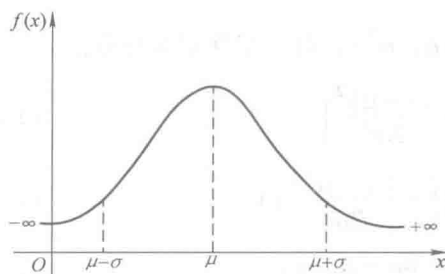


图 1-8 正态分布的故障密度函数

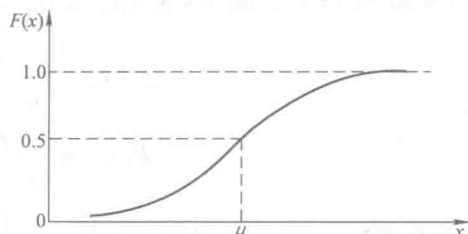


图 1-9 正态分布的不可靠度函数

4. 正态分布的寿命特征值 若产品的工作寿命是正态分布的随机变量, 则其寿命的特征值为

$$\text{平均寿命: } E(X) = \mu \quad (1-34)$$

$$\text{方差寿命: } d(X) = \sigma^2 \quad (1-35)$$

$$\text{可靠寿命: } T_R = U_p \sigma + \mu \quad (1-36)$$

$$U_p = \frac{T_R - \mu}{\sigma} \quad (1-37)$$

$$\text{中位寿命: } T(0.5) = \mu \quad (1-38)$$

5. 标准正态分布 $\mu=0$, $\sigma=1$ 时的正态分布为标准正态分布, 其表达式为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (1-39)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \quad (1-40)$$

工程上为了计算方便, 给出了标准正态分布表, 从表中可直接查出 $F(x)$ 的值。

对于非标准正态分布, 需将其转化为标准正态分布, 为此, 令 $Z = \frac{x-\mu}{\sigma}$, 则 $dx = \sigma dZ$,

代入式 (1-39) 和 (1-40) 中, 可得

$$\varphi(Z) = \sigma f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right)$$

$$\phi(Z) = \int_{-\infty}^Z \varphi(Z) dZ = \int_{-\infty}^Z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dZ = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dZ$$

$$R(Z) = 1 - \phi(Z)$$

可见, 作 $Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$ 变换可使非标准正态分布转化为标准正态分布, 根据所得 Z 值可查表得到不可靠度函数 $F(t)$ 。

(三) 对数正态分布

正态分布虽然应用比较普遍, 但其分布规律由于均值有对称性, 导致其在一些场合的使用受到限制, 如汽车零件的疲劳寿命, 属于不对称的分布。另外, 理论上在 $t \rightarrow \infty$ 时, 正态分布的失效率为 0, 或者说当 $t = 0$ 时, 表明有的试样未经使用就失效了, 显然与实际不符。对数正态分布是一种不对称分布, 是一种较好的用来描述零件寿命的分布。

若随机变量 T 的对数值 $\ln t$ 服从正态分布, 则该随机变量 T 就服从对数正态分布。这里引入另一个相关的随机变量 X , 且

$x = \ln t$ 或 $t = e^x$, 即 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, 则 $T \sim \ln(\mu, \sigma^2)$, 因 X 服从正态分布,

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1-41)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (1-42)$$

分布函数:
$$F(t) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{t\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (1-43)$$

密度函数:
$$f(t) = \frac{1}{t\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1-44)$$

其中, $\mu = 0, \sigma = 1$ 的对数正态分布曲线如图 1-10 所示。对数正态分布概率密度函数曲线是单峰的偏态分布。

(四) 威布尔分布

汽车零部件可靠性的数据处理中, 一般都采用威布尔分布, 在美国、日本普遍应用。完整的威布尔分布由三个参数决定, 其表达式为

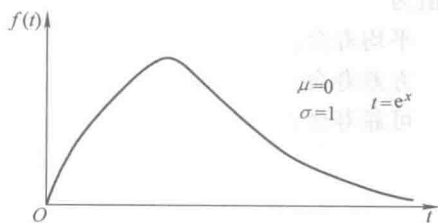


图 1-10 $\mu = 0, \sigma = 1$ 的对数正态分布曲线

故障概率密度函数:
$$f(t) = \frac{m(t-r)^{m-1}}{t_0} \exp\left[-\frac{(t-r)^m}{t_0}\right] \quad (1-45)$$

可靠度:
$$R(t) = \exp\left[-\frac{(t-r)^m}{t_0}\right] \quad (1-46)$$

不可靠度:
$$F(t) = 1 - \exp\left[-\frac{(t-r)^m}{t_0}\right] \quad (1-47)$$

故障率:
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{m(t-r)^{m-1}}{t_0} \quad (1-48)$$

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，故上述三个参数的分布简化为两个参数的分布，即

$$f(t) = \frac{m(t)^{m-1}}{t_0} \exp\left(-\frac{t^m}{t_0}\right) \quad (1-49)$$

$$R(t) = \exp\left(-\frac{t^m}{t_0}\right) \quad (1-50)$$

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t^m}{t_0}\right) \quad (1-51)$$

$$\lambda(t) = \frac{mt^{m-1}}{t_0} \quad (1-52)$$

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

$$f(t) = \frac{1}{t_0} \exp\left(-\frac{t}{t_0}\right) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad (1-53)$$

$$R(t) = \exp\left(-\frac{t}{t_0}\right) = \exp(-\lambda t) \quad (1-54)$$

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{t_0}\right) = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (1-55)$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{t_0} = \lambda \quad (1-56)$$

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 $m=3.13$ 时，为正态分布。

因此，在汽车零部件可靠性试验处理中，除非确切知道属于某种分布，一般都采用威布尔分布。

威布尔分布的三个参数 m 、 t_0 和 r 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）。

1. 形状参数 m 形状参数值的大小决定 $f(t)$ 、 $\lambda(t)$ 的曲线形状，如图 1-11 和图 1-12 所示。

$\lambda(t)$ 随时间的变化反映了产品的寿命变化规律，如图 1-13 所示。

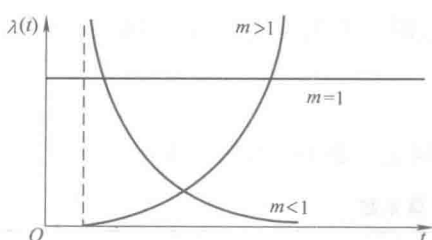


图 1-11 m 对 $\lambda(t)$ 的影响

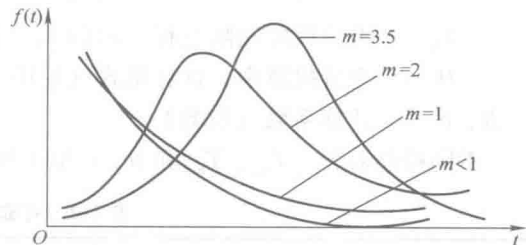


图 1-12 m 对 $f(t)$ 的影响

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 IER 型。

根据求得的 m 值大小, 可以判断造成该零件失效的原因。

2. 尺度参数 t_0 尺度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, 如图 1-14 所示。

3. 位置参数 r 位置参数 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, 如图 1-15 所示。

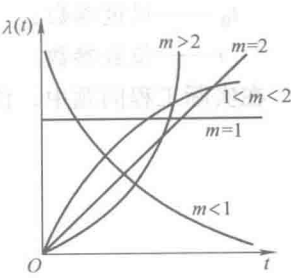


图 1-13 威布尔分布的失效率曲线

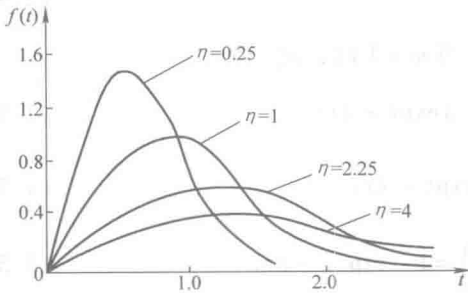


图 1-14 尺度参数对 $f(t)$ 的影响

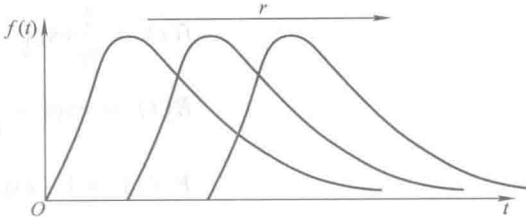


图 1-15 位置参数对 $f(t)$ 的影响

第三节 汽车可靠性综合评定

一、打分法

按 QCn 29008.4—1991 标准, 用单项指标加权评分的方法评定汽车、发动机可靠性水平, 计算公式为

$$Q = B(\hat{T}_f + \hat{T}_b) + 80e^{-CD} \tag{1-57}$$

式中 Q ——汽车 (发动机) 可靠性评定分数;

$\hat{T}_f$ ——平均首次故障里程 (时间), 当 $\hat{T}_f > T_{fm}$ 时, 令 $\hat{T}_f = T_{fm}$, km (h);

$\hat{T}_b$ ——平均故障间隔里程 (时间), 当 $\hat{T}_b > T_{bm}$ 时, 令 $\hat{T}_b = T_{bm}$, km (h);

D ——当量故障率, 计算见式 (1-10);

B 、 C ——计算系数 (权数)。

不同检验对象, T_{fm} 、 T_{bm} 和 B 、 C 值不同, 具体规定见表 1-2 与表 1-3。

表 1-2 可靠性评定计算系数

检验对象	T_{fm}	T_{bm}	B	C
汽车	1500	2500	0.005	0.174
汽油机	48.6	65	0.176	0.09
柴油机	70	90	0.125	0.115