



应用技术型高校汽车类专业规划教材

配
课
件

下载地址

www.ccpres.com.cn

汽车维修工程

徐立友◎主 编

李阁强 闫祥海◎副主编



人民交通出版社
China Communications Press

014055265

U472.4
107

应用技术型高校汽车类专业规划教材

Qiche Weixiu Gongcheng 汽车维修工程

徐立友 主 编

李阁强 闫祥海 副主编



人民交通出版社
China Communications Press



北航 C1740843

U472.4

107

内 容 提 要

本书是应用技术型高校汽车类专业规划教材,共分九章,分别阐述了汽车可靠性理论基础、汽车零部件的失效理论、汽车维护与修理工艺、汽车零件的修复、汽车发动机维修、底盘维修、车身维修、电子电器维修以及维修质量和评价。全书在一定理论的基础上,指导实际生产,内容充实,深入浅出。

本书可作为高等教育车辆工程、汽车服务工程和交通运输专业教材,也可作为高职高专层次的相关专业教材,同时还可作为汽车管理人员、维修人员等技术人员的学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车维修工程 / 徐立友主编. —北京:人民交通出版社, 2014. 6

应用技术型高校汽车类专业规划教材

ISBN 978-7-114-11279-9

I. ①汽… II. ①徐… 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(2014)第 050588 号

应用技术型高校汽车类专业规划教材

书 名: 汽车维修工程

著 者: 徐立友

责任编辑: 夏 韡

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 19.25

字 数: 444 千

版 次: 2014 年 7 月 第 1 版

印 次: 2014 年 7 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11279-9

定 价: 43.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

应用技术型高校汽车类专业规划教材编委会

主任

于明进(山东交通学院)

副主任(按姓名拼音顺序)

陈黎卿(安徽农业大学)

关志伟(天津职业技术师范大学)

唐 岚(西华大学)

陈庆樟(常熟理工学院)

何 仁(江苏大学)

于春鹏(黑龙江工程学院)

委员(按姓名拼音顺序)

曹金梅(河南科技大学)

邓宝清(吉林大学珠海学院)

付百学(黑龙江工程学院)

李 斌(人民交通出版社股份有限公司)

李耀平(昆明理工大学)

柳 波(中南大学)

石美玉(黑龙江工程学院)

宋年秀(青岛理工大学)

尤明福(天津职业技术师范大学)

王良模(南京理工大学)

吴 刚(江西科技学院)

谢金法(河南科技大学)

徐立友(河南科技大学)

杨 敏(南京理工大学紫金学院)

赵长利(山东交通学院)

周 靖(北京理工大学珠海学院)

慈勤蓬(山东交通学院)

邓 涛(重庆交通大学)

姜顺明(江苏大学)

李学智(常熟理工学院)

廖抒华(广西科技大学)

石传龙(天津职业技术师范大学)

宋长森(北京理工大学珠海学院)

谭金会(西华大学)

王慧君(山东交通学院)

王林超(山东交通学院)

吴小平(南京理工大学紫金学院)

徐 斌(河南科技大学)

徐胜云(北京化工大学北方学院)

衣 红(中南大学)

赵 伟(河南科技大学)

瞿 琨(宁波工程学院)

秘书

夏 韡(人民交通出版社股份有限公司)

前言

FOREWORD

当前,随着汽车行业的快速发展,汽车人才需求激增,无论是汽车制造企业对于汽车研发、汽车制造人才的大量需求,还是汽车后市场对于汽车服务型人才的大量需求,这些都需要高校不断地输送相关人才。而目前,我国高等教育所培养的大部分人才还是以理论知识学习为主,缺乏实践动手能力,在进入企业一线工作时往往高不成低不就,一方面企业会抱怨招不到合适的人才,另一方面毕业生们又抱怨没有合适的工作可找,主要问题就在于人才培养模式没有跟上社会发展实际需求。

《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》中明确指出了要提高人才培养质量,重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模。培养理论和实操兼具的人才,使之去企业到岗直接上手或稍加培养即可适应岗位。2014年2月26日,李克强总理在谈到教育问题时指出要建立学分积累和转换制度,打通从中职、专科、本科到研究生的上升通道,引导一批普通本科高校向应用技术型高校转型。可见国家对于应用型技术人才的培养力度将持续加大。

教材建设是高校教学和人才培养的重要组成部分,作为知识载体的教材则体现了教学内容和教学要求,不仅是教学的基本工具,更是提高教学质量的重要保证。但目前国内多家高校在应用型人才培养过程中普遍缺乏适用的教材,现有的本科教材远不能满足要求。因此,如何编写应用型本科教材是培养紧缺人才急需解决的问题。正是基于上述原因,人民交通出版社经过充分调研,结合自身汽车类专业教材、图书的出版优势,于2012年12月在北京组织召开了“高等教育汽车类专业应用型本科规划教材编写会”,并成立教材编写委员会。会议审议并通过了教材编写方案。

本系列教材定位如下:

(1)使用对象确定为拥有车辆工程、汽车服务工程或交通运输等专业的二、三本院校;

(2)设计合理的理论与实践内容的比例,主要解决“怎么做”的问题,涉及最基本的、较简单的“为什么”的问题,既满足本科教学设计的需要,又满足应用型教育的需要;

(3)与现行汽车类普通本科规划教材是互为补充的关系,与高职高专教材有明显区别,深度上介于两者之间,满足教学大纲的需求,有比较详细的理论体系,具备系统性和理论性。

《汽车维修工程》教材根据“高等教育汽车类专业应用型本科规划教材编写会”会议精神编写,它是汽车类专业的专业基础课。全书共分为九章。第一章主要介绍汽车可靠性理论基础,包括汽车可靠性设计和汽车可靠性数据的采集与分析;第二章主要介绍汽车零部件的失效理论,包括零部件失效形式和失效分析方法;第三章主要介绍汽车维护与修理工艺,包括汽车维护工艺规范和维修方法;第四章主要介绍汽车零件的修复,包括零件修复方法及修复方法的选择;第五章主要介绍发动机维修,包括发动机机体组、曲柄连杆机构、配气机构、润滑系统、冷却系统及电子控制系统的检修;第六章主要介绍汽车底盘维修,包括离合器、变速器、万向传动装置以及悬架、转向、制动系统的维修;第七章主要介绍汽车车身的维修,包括车身主要零部件和车身表面的维修;第八章主要介绍汽车电子电器维修,包括汽车电子点火系统、启动系统、照明和信号装置以及电子控制装置的故障维修;第九章主要介绍汽车维修质量及评价,包括维修质量的分析方法与评定。

本书由河南科技大学徐立友担任主编,李阁强、闫祥海为副主编。徐立友编写第一、二、三、九章,李阁强编写第四、五、六章,闫祥海编写第七、八章。

本书在编写过程中参考了大量的图书资料和图片资料,在此,编者向参考资料被引用的原著作者以及对本书的编写提供过帮助的同事和研究生表示深深的谢意。由于作者的水平和经验有限,书中难免有纰漏之处,敬请广大读者和同仁批评指正,更欢迎广大读者对我们的工作提出宝贵意见。

应用技术型高校汽车类专业规划教材编委会

2014年3月

目 录

CONTENTS

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 汽车故障类型及其分布规律	5
第三节 汽车系统可靠性	10
第四节 汽车可靠性设计	14
第五节 汽车可靠性数据的采集与分析	16
复习思考题	21
第二章 汽车零部件的失效理论	22
第一节 汽车零部件失效概述	22
第二节 汽车零部件的磨损失效	25
第三节 汽车零件的疲劳断裂失效	29
第四节 汽车零件的变形失效	33
第五节 汽车零件的腐蚀失效	34
第六节 汽车零部件失效方法分析	35
第三章 汽车维护与修理工艺	39
第一节 汽车维护工艺	39
第二节 汽车修理工艺	55
复习思考题	94
第四章 汽车零件的修复	95
第一节 汽车零件的修复方法	95
第二节 零件修复方法的选择	135
复习思考题	138
第五章 汽车发动机维修	139
第一节 发动机维修概述	139
第二节 曲柄连杆机构的检修	143
第三节 配气机构的检修	154
第四节 润滑系统的检修	163
第五节 冷却系统的故障诊断与检修	166
第六节 汽油发动机电子控制系统维修	170

第七节 发动机的装配与调试	184
第六章 汽车底盘维修	189
第一节 离合器的维修	189
第二节 变速器维修	197
第三节 主减速器和差速器的维修	211
第四节 悬架系统的维修	220
第五节 转向系统的维修	227
第六节 制动系统的维修	231
复习思考题	244
第七章 汽车车身的维修	245
第一节 汽车车身常见的损伤形式	245
第二节 车身尺寸的测量	248
第三节 轿车车身的校正	251
第四节 车身钣金的修复	253
第五节 车身表面的漆工修复	257
第八章 汽车电子电器维修	261
第一节 汽车电子点火系统故障诊断	261
第二节 汽车启动系统故障诊断	268
第三节 汽车照明与信号装置的维修	271
第四节 汽车电子控制装置故障检测	274
复习思考题	286
第九章 汽车维修质量及评价	287
第一节 维修质量概述	287
第二节 维修质量保证体系	288
第三节 维修质量检测与评定	289
复习思考题	296
参考文献	297



第一章 汽车可靠性理论基础



教学目标

1. 理解汽车可靠性的含义及可靠性评价指标。
2. 掌握汽车故障概念、类型及分布规律。
3. 理解汽车系统可靠性及汽车系统可靠性分配。
4. 理解汽车可靠性设计原理、设计原则与内容。
5. 理解汽车可靠性数据采集与分析。



教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
汽车可靠性概述	理解	可靠性含义、可靠性评价指标
汽车故障类型及其分布规律	掌握	汽车故障概念及类型、汽车可靠性常用故障分布
汽车系统可靠性相关知识	知道	系统可靠性、汽车系统可靠性分配
汽车可靠性设计	学会	可靠性设计原理、可靠性设计原则与内容
汽车可靠性数据的采集与分析	学会	汽车可靠性数据的采集、汽车可靠性数据的分析

第一节 汽车可靠性概述

随着汽车工业的发展,汽车向着高性能、多功能、高新技术方向发展,人们对汽车可靠性的要求也越来越高。汽车可靠性是汽车生产企业技术实力的一种体现,良好的汽车可靠性可以提高汽车生产企业的信誉,扩大营销市场。汽车生产者为了企业生存的需要必须提高汽车的可靠性,汽车使用者选择汽车时,在价格、性能、可靠性等因素中总是把汽车可靠性作为重要因素考虑。

一、可靠性含义

可靠性是指产品在规定条件下,在规定时间内,完成规定功能的能力。对汽车而言,汽



车可靠性包含四个要素:汽车产品、规定使用条件、规定时间和规定功能,各自的含义如下。

(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)规定使用条件。规定使用条件包括工作条件、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、维护制度等因素。

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。

(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。汽车行驶的保用期、第一期大修里程、报废期等都是重要的特征时间。

(4)规定功能。规定的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。

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主要有可靠度、失效度、故障概率密度、故障率、平均寿命、可靠寿命等。

1. 可靠度

汽车可靠度是指其在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的概率,用 R 表示。

例如有 n 个某种汽车零件,在规定工作条件下和规定时间内,有 r 个失效,其余 $(n-r)$ 仍在继续工作,那么这批零件的可靠度为

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

式中: F ——累积故障概率、失效度或不可靠度, $F = \frac{r}{n}$ 。

设产品的规定时间为 t_0 ,产品从开始到发生故障的连续工作时间为 T ,现有 n 个汽车零件,从开始使用到出现故障时的数目为 $r(t)$,则产品的可靠度就是连续工作时间 T 超过产品的规定时间 t_0 的概率,由下式表示:

$$R(t) = P(T > t_0) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n-r(t)}{n} \quad (1-2)$$

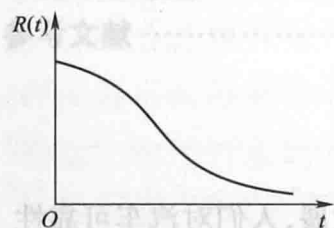


图 1-1 所示为可靠度函数 $R(t)$ 的曲线。由曲线可以看出:在产品使用初期,可靠性最高(为 1),随着时间的推移,产品的可靠度逐渐降低,直至最终完全失效。

2. 失效度(又称累积故障概率)

产品在规定条件下,在规定的时间内丧失规定功能的概率,记为 $F(t)$,即

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

由于出现故障与不出现故障是两个对应的事件,故失效度和可靠度的关系可以表示为

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (1-4)$$

在可靠性研究中,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。图 1-2 所示为失效度函数 $F(t)$ 曲线,可靠度 $R(t)$ 与失效度 $F(t)$ 的关系如图 1-3 所示。

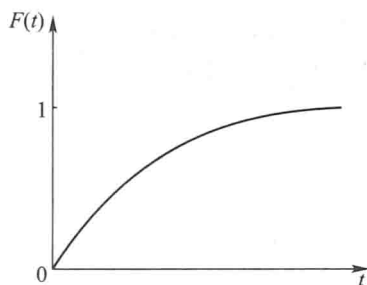


图 1-2 失效度随时间的变化曲线

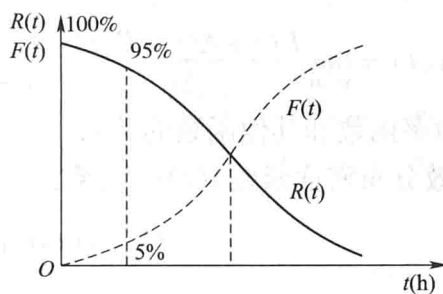


图 1-3 可靠度与失效度的关系曲线

3. 故障概率密度

故障概率密度是指在规定的时间内发生失效的概率。由于产品发生失效是随机的,不同的产品、不同的工作条件,产品的寿命不同,通常用故障概率密度函数来表示失效率的分布情况。故障概率密度函数是指失效率对时间的分布函数 $dF(t)/dt$,记做 $f(t)$ 。

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:

$$f(t) = dF(t)/dt \quad (1-5)$$

即

$$dF(t) = f(t)/dt \quad (1-6)$$

可得出 $F(t)$ 、 $R(t)$ 和 $f(t)$ 之间的关系如下:

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

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

4. 故障率

(1) 定义:故障率是指工作到 t 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,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。在实践中,故障率是评价产品可靠性的重要指标,很多产品的可靠性等级就是用故障率的大小来确定的。

假设在规定条件下产品的寿命为 T ,规定的工作时间为 t ,其累积故障概率为 $F(t)$,故障概率密度函数为 $f(t)$,则用“ $T > t$ ”表示“产品工作到 t 时刻尚未发生故障”事件,用“ $t < T \leq t + \Delta t$ ”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 $(t, t + \Delta t)$ 内发生故障的条件概率为 $P(t < T \leq t + \Delta t / T > t)$,将此条件概率除以 Δt 就可得到 Δt 时间内产品的平均故障率。当 Δt 趋向于 0 时,就可得到 t 时刻的失效率为

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t / T > t)}{\Delta t} \quad (1-9)$$



由条件概率的性质和事件包含关系可得:

$$P(t < T \leq t + \Delta t / T > t) = \frac{P(t < T \leq t + \Delta t, T > t)}{P(T > t)} = \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{P(T > t)}$$

$$= \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} \quad (1-10)$$

于是

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{1 - F(t)} = \frac{dF(t)/dt}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1-11)$$

(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:

$$f(t) = \lambda(t) \exp \left(- \int_0^t \lambda(t) dt \right) \quad (1-12)$$

②与可靠度函数 $R(t)$ 的关系:

$$R(t) = f(t) / \lambda(t) = \exp \left(- \int_0^t \lambda(t) dt \right) \quad (1-13)$$

③与失效概率分布函数 $F(t)$ 的关系:

$$f(t) = 1 - R(t) = 1 - \exp \left(- \int_0^t \lambda(t) dt \right) \quad (1-14)$$

故障率函数曲线也称寿命曲线或浴盆曲线(图 1-4),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,从曲线的变化趋势可将故障率函数曲线划分为三个阶段,即失效的三个时期:早期故障期、偶然故障期和损耗故障期。

①早期故障期(Decreasing Failure Rate, DFR)。开始失效率较高,随着时间推移,失效率逐渐降低,是产品的磨合阶段(图 1-4 中 A 段)。失效原因: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,一般可以通过强化试验或者磨合加以排除。

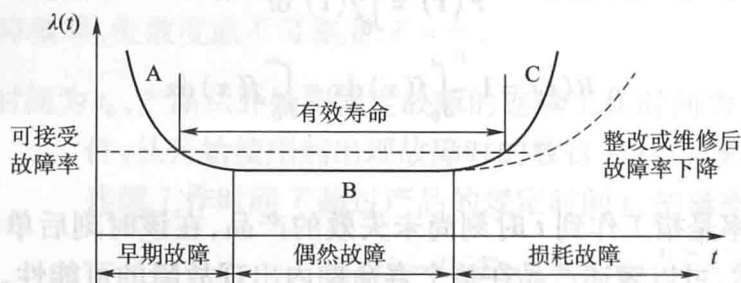


图 1-4 故障率函数曲线

②偶然故障期(Constant Failure Rate, CFR)。失效率与时间无关,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,何时发生无法预测,是产品的正常使用期(图 1-4 中 B 段)。失效原因:由于各种失效因素或承受应力的随机性,所以故障发生具有偶然性,用户可以通过对汽车进行维护(日常维护、一级维护、二级维护)使这一时期延长。

③耗损故障期(Increasing Failure Rate, IFR)。产品失效率随着使用时间的增长急剧加大(图 1-4 中 C 段)。失效原因:产品在长期使用后出现老化、磨损、疲劳等现象引起的。这一阶段汽车产品通常会出现油耗增大、性能下降、维修费用增加、汽车运用成本升高等问题,由于汽车属于可维修性产品,在损耗期开始之前,通过调整发动机工作状态,提前维修和更

换即将损耗的零部件,可以延长汽车的有效寿命,推迟进入耗损故障期的时间,而汽车一旦进入耗损故障期,应以报废为上策。

5. 平均寿命

平均寿命是一个标志产品平均能工作多长时间的量,它是对整批产品而言的一个指标。如果产品寿命 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 MTFE (Mean time to failure)。

6. 可靠寿命

可靠度是工作寿命 t 的函数,用可靠度函数 $R(t)$ 表示,若给定时间 t 就确定了可靠度,反之若确定了可靠度,即可求出相应的寿命,即为可靠寿命,用 t_R 表示。

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

①特征寿命:可靠度 $R = \text{EXP}(-1) = 36.8\%$ 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,记为 $t_{0.5}$ 。

③额定寿命:可靠度 $R(t) = 90\%$ 的可靠寿命称为额定寿命,记为 $t_{0.9}$ 。

对于可靠度有一定要求的产品,工作到了可靠寿命 t_R 时就要更换,否则就不能保证其可靠度。

第二节 汽车故障类型及其分布规律

一、汽车故障概念及类型

1. 汽车故障概念

汽车故障是指汽车在规定的条件下,规定时间内,不能完成规定功能的现象。

2. 汽车故障类型

1) 按故障模式

故障模式是指由失效机理所显示出来的各种失效现象或失效状态,是故障的表现形式。

汽车上常见的故障模式如下。

(1) 损坏形故障模式:如断裂、碎裂、开裂、点蚀、烧蚀、变形、拉伤、龟裂、压痕等。

(2) 退化型故障模式:如老化、变质、剥落、异常磨损。

(3) 松脱性故障模式:如松动、脱落。

(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、卡滞。

(5) 堵塞与渗漏型故障模式:如堵塞、气阻、漏油、漏水、漏气。

(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、过热。

2) 按故障率函数特点

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



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致。

耗损故障型:这种故障一般是产品长期使用后出现老化衰竭引起的,并且故障率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,延长汽车的使用寿命。

3) 按汽车故障定性

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,对周围环境造成重大损害。

(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,不能用易损备件或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,可用易损备件或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的排除。

二、汽车可靠性常用故障分布

汽车故障分布能很好地描述随机变量的性质,揭示失效、维修随时间变化的分布规律,能为产品可靠性评价和改进提供依据。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。

1. 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,由于它计算简便,因而在可靠性工程中获得广泛应用。产品处于偶然故障期时,其故障率 λ 为常数,可得到指数分布的如下表达式。

(1)故障概率密度函数:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1-15)$$

(2)累积故障概率分布函数:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1-16)$$

(3)数学期望:

$$\mu = \frac{1}{\lambda} \quad (1-17)$$

(4)方差:

$$\sigma^2 = \frac{1}{\lambda^2} \quad (1-18)$$

(5)可靠度函数:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1-19)$$

(6)故障率:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda \quad (1-20)$$

(7) 寿命特征有如下几种:

① 方差寿命

$$D(t) = \frac{1}{\lambda^2} \quad (1-21)$$

② 可靠寿命

$$T(R) = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{1}{R} \quad (1-22)$$

③ 中位寿命

$$T(0.5) = 0.693 \frac{1}{\lambda} \quad (1-23)$$

④ 特征寿命

$$T(e^{-1}) = \frac{1}{\lambda} \quad (1-24)$$

2. 正态分布

正态分布又称高斯分布,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,它对强度和应力的分布、磨损件的失效分布、可靠性设计等方面都起着重要作用。

(1) 正态分布的故障密度函数:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1-25)$$

正态分布的故障密度函数曲线如图 1-5 所示,其特征为:

① μ 为均值。

② σ 为标准差, $f(t)$ 曲线在 $X = \mu \pm \sigma$ 处存在拐点。

③ $f(t)$ 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:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{(x-\sigma)^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (1-26)$$

正态分布的不可靠度函数曲线如图 1-6 所示。

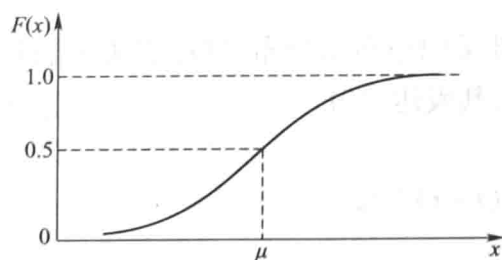


图 1-5 正态分布的故障密度函数

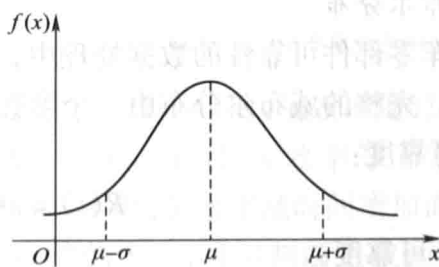


图 1-6 正态分布的不可靠度函数

(3) 正态分布的可靠度函数:



$$R(t) = \int_x^{\infty} f(x) dx = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{\infty} \exp\left[-\frac{(x-\sigma)^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (1-27)$$

(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,则其寿命的特征值如下:

①平均寿命

$$E(x) = \mu \quad (1-28)$$

②方差寿命

$$D(X) = \sigma^2 \quad (1-29)$$

③中位寿命

$$T(0.5) = \mu \quad (1-30)$$

④可靠寿命

$$T_R = U_p \cdot \sigma + \mu \quad (1-31)$$

式中: $U_p = \frac{T_R - \mu}{\sigma}$ 。

3. 对数正态分布

正态分布虽然应用比较普遍,但其分布规律对于均值有对称性这一特性,在一些场合的使用过程中受到一定限制,如汽车零件的疲劳寿命,属于不对称型的分布。另外,理论上在 $t \rightarrow \infty$ 时,正态分布的失效率为零,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用来描述零件寿命的一种较好的分布函数。

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。这里引进另一个相关的随机变量 x ,且: $x = \ln t$, 或 $t = e^x$, 即 $x \sim N(\mu, \sigma^2)$, $T \sim \ln(\mu, \sigma^2)$, 因此 x 服从正态分布,可得

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

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

$$F(t) = \int_0^1 \frac{1}{t\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (1-34)$$

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (1-35)$$

4. 威布尔分布

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

(1) 可靠度:

$$R(t) = \exp\left[-(t-r)^m/t_0\right] \quad (1-36)$$

(2) 不可靠度:

$$F(t) = 1 - \exp\left[-(t-r)^2/t_0\right] \quad (1-37)$$

(3) 故障概率密度函数:

$$f(t) = [m(t-r)^{m-1}/t_0] \exp[-(t-r)^m/t_0] \quad (1-38)$$

(4) 故障率:

$$\lambda(t) = f(t)/R(t) = m(t-r)^{m-1}/t_0 \quad (1-39)$$

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

$$R(t) = \exp(-t^m/t_0) \quad (1-40)$$

$$F(t) = 1 - \exp(-t^m/t_0) \quad (1-41)$$

$$f(t) = (mt^{m-1}/t_0) \exp(-t^m/t_0) \quad (1-42)$$

$$\lambda(t) = mt^{m-1}/t_0 \quad (1-43)$$

式中,形状参数 m 影响分布函数曲线的形状特征。

$$\text{当 } m=1 \text{ 时} \quad R(t) = \exp(-t/t_0) = -\exp(-\lambda t) \quad (\lambda = 1/t_0) \quad (1-44)$$

$$F(t) = 1 - \exp(-t/t_0) = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (1-45)$$

$$f(t) = (1/t_0) \exp(-t/t_0) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad (1-46)$$

$$\lambda(t) = 1/t_0 = \lambda \quad (1-47)$$

即当 $m=1$ 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。在汽车零部件可靠性试验处理中,除非有把握知道属于某种分布,一般都采用威布尔分布。

威布尔分布的三个参数 m, t_0, 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 m 值的大小决定 $f(t)$ 和 $\lambda(t)$ 的曲线形状,如图 1-7 和图 1-8 所示。 $\lambda(t)$ 随时间的变化反映了产品的寿命变化规律,如图 1-9 所示。

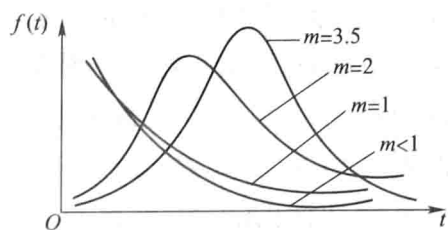


图 1-7 m 值对 $f(t)$ 的影响

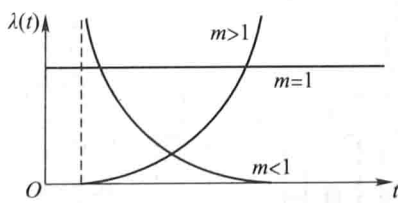


图 1-8 m 值对 $\lambda(t)$ 的影响

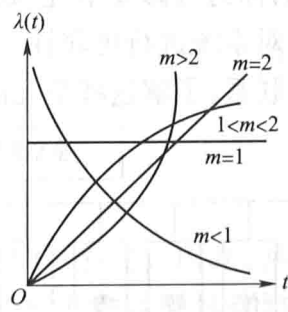


图 1-9 威布尔分布的失效率曲线

m 取不同的值,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 值的大小,可以判断造成该零件失效的原因。

(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