



· 普通高等教育汽车类专业“十二五”规划教材

# UTO MOBILE

# 汽车维修工程

QICHE WEIXIU GONGCHENG

主 编 司传胜 沈 辉  
主 审 范钦满



教学资源库  
<http://js.ndip.cn>



国防工业出版社

National Defense Industry Press

## 内 容 简 介

本教材主要阐述汽车可靠性理论基础、汽车零件失效理论、汽车维护与修理工艺、汽车发动机维修、汽车底盘维修、汽车维修质量及评价。全书既有一定的理论深度,又贴合生产实际;图文并茂,内容翔实,深入浅出,直观易懂。

本书可作为应用型本科汽车类专业教材,也可作为大、中专院校汽车运用工程、汽车维修等相关专业教材,同时可供从事汽车维修的工程技术人员及管理人员在实际工作中参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车维修工程/司传胜,沈辉主编. —北京:国防工业出版社, 2012. 4

普通高等教育汽车类专业“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-118-07852-7

I. ①汽… II. ①司… ②沈… 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(2012)第050906号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787 × 1092 1/16 印张 21½ 字数 496 千字

2012年4月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 40.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010) 88540777

发行邮购:(010) 88540776

发行传真:(010) 88540755

发行业务:(010) 88540717

## 普通高等教育汽车类专业“十二五”规划教材

# 编审委员会

### 主任委员

陈南（东南大学）

葛如海（江苏大学）

### 委员（按姓氏拼音排序）

贝绍轶（江苏技术师范学院）

蔡伟义（南京林业大学）

常绿（淮阴工学院）

陈靖芯（扬州大学）

陈庆樟（常熟理工学院）

戴建国（常州工学院）

鞠全勇（金陵科技学院）

李舜酩（南京航空航天大学）

鲁植雄（南京农业大学）

王琪（江苏科技大学）

王良模（南京理工大学）

吴建华（淮阴工学院）

殷晨波（南京工业大学）

于学华（盐城工学院）

张雨（南京工程学院）

赵敦生（三江学院）

朱龙英（盐城工学院）

朱忠奎（苏州大学）

# 编写委员会

### 主任委员

李舜酩 鲁植雄

### 副主任委员（按姓氏拼音排序）

吕红明 潘公宇 沈辉 司传胜 吴钟鸣 羊玢

### 委员（按姓氏拼音排序）

蔡隆玉 范炳良 葛慧敏 黄银娣 李国庆 李国忠 李守成 李书伟

李志臣 廖连莹 凌秀军 刘永臣 盘朝奉 秦洪艳 屈敏 孙丽

王军 王若平 王文山 夏基胜 谢君平 徐礼超 许兆棠 杨敏

姚明 姚嘉凌 余伟 智淑亚 朱为国 邹政耀



---

# 前 言

---

随着我国汽车工业的迅速发展,汽车产量的剧增以及汽车档次的提高,对汽车相关专业人员的需求,特别是汽车维修等专业人员的需求与日剧增,各高校培养的汽车服务工程方向的人才更是供不应求。努力提高人才培养质量,已成为应用型本科汽车服务工程专业人才培养的重要任务。

在多年的教学中,我们深切的感到,教材质量在人才培养中占据了非常重要的地位。在学生能力的培养中,应用型本科应注重理论与实际相结合,这就迫切需要一本既有一定的理论知识,又能指导生产实践的汽车维修工程教材。

《汽车维修工程》教材是根据国防工业出版社汽车类专业教材编审委员会确定的教材规划,在广泛征求各相关院校意见后编写的。本教材阐述了汽车可靠性理论基础、汽车零件失效理论、汽车维护与修理工艺、汽车发动机维修、汽车底盘维修、汽车维修质量及评价等有关内容。本书力求引用最新资料、数据,着力反映本学科最新研究成果;力求理论联系实际,注重学生实践能力培养,以充分体现教材的科学性、先进性和实用性。

全书综合考虑了各个应用型本科汽车服务工程专业人才培养方案中《汽车维修工程》课时安排,按64标准学时进行内容编排。全书共分六章:第一章、第二章由淮阴工学院司传胜编写;第三章由淮阴工学院徐红光和蒋素芹编写;第四章由扬州大学沈辉编写;第五章由淮阴工学院司传胜(第一、三、四、五、六节)和江苏大学李东(第二节)编写;第六章由江苏大学李东编写。盐城工学院吕红明老师和金陵科技学院凌秀军老师也参与了本书的部分编写工作。

衷心感谢淮阴工学院范钦满教授主审本书,在本书编写过程中给予了指导性的宝贵意见;感谢国防工业出版社的编辑在本书出版过程中给予的帮助;同时也对淮阴工学院交通工程学院的领导和老师在本书编写过程中给予的大力支持和协助表示感谢。

由于编者水平有限,书中一定会出现缺点、错误,望读者给予指正。

编者

2011年11月

# 目 录

<b>第一章 汽车可靠性理论基础</b> 1	
第一节 汽车可靠性概述 ..... 1	
一、可靠性历史 ..... 1	
二、可靠性定义 ..... 2	
三、可靠性的衡量指标 ..... 2	
第二节 汽车故障类型及故障分布规律 ..... 5	
一、汽车故障概念及类型 ..... 5	
二、汽车可靠性研究中的威布尔分布及应用 ..... 6	
第三节 汽车系统可靠性 ..... 8	
一、系统 ..... 8	
二、汽车系统可靠性功能逻辑框图 ..... 8	
第四节 汽车可靠性与维修性设计概述 ..... 10	
一、可靠性设计的内容与原则 ..... 10	
二、维修性设计的内容与要求 ..... 12	
第五节 汽车可靠性数据的采集与分析 ..... 13	
一、汽车可靠性数据的采集 ..... 13	
二、汽车可靠性数据的分析——图分析法（图估计法） ..... 15	
<b>第二章 汽车零件失效理论</b> 20	
第一节 汽车零件失效概述 ..... 20	
一、汽车零件失效类型 ..... 21	
二、汽车零件失效原因 ..... 22	
第二节 汽车零件的磨损失效 ..... 24	
一、汽车零件的摩擦 ..... 24	
二、汽车零件的磨损 ..... 25	
三、影响汽车零件磨损的因素及磨损规律 ..... 26	
第三节 汽车零件的变形失效 ..... 27	
一、零件变形失效的类型及变形机理 ..... 27	
二、零件变形失效的影响因素 ..... 28	
第四节 汽车零件的腐蚀失效 ..... 28	
一、腐蚀失效的类型及特点 ..... 29	
二、腐蚀失效机理 ..... 29	
三、防止金属腐蚀的措施 ..... 30	
第五节 汽车零件的疲劳断裂失效 ..... 30	
一、疲劳断裂失效的分类 ..... 31	
二、疲劳断裂失效机理 ..... 31	
三、疲劳断口宏观形貌特征 ..... 32	
四、提高汽车零件抗疲劳断裂的方法 ..... 33	
第六节 汽车零部件失效的综合分析 ..... 34	
一、失效模式分析法 ..... 34	
二、系统工程分析方法 ..... 34	

**第三章 汽车维护与修理工艺 38**

- 第一节 汽车维护与修理基本  
概念..... 38
- 一、基本概念 ..... 38
- 二、汽车维修思想 ..... 39
- 第二节 汽车维护工艺..... 41
- 一、汽车维护概述 ..... 41
- 二、汽车维护周期的确定 ..... 48
- 三、汽车维护工艺组织 ..... 53
- 四、汽车维护内容 ..... 55
- 第三节 汽车修理工艺..... 68
- 一、汽车修理工艺过程 ..... 68
- 二、汽车的验收与清洗 ..... 75
- 三、汽车零件的检验分类 ..... 84
- 四、汽车总成装配的技术要求 ..... 102
- 五、汽车总装与验收 ..... 112
- 第四节 汽车零件修复 ..... 117
- 一、机械加工修理法 ..... 117
- 二、焊接修理法..... 121
- 三、金属喷涂修理法 ..... 130
- 四、电镀修理法..... 140
- 五、压力加工修理法 ..... 158
- 六、胶黏修理法..... 161
- 七、激光熔覆修复..... 167
- 八、零件修复方法的选择 ..... 170

**第四章 汽车发动机维修 174**

- 第一节 发动机维修概述 ..... 174
- 一、发动机总成大修条件 ..... 174
- 二、发动机总成大修检测方法 ..... 175
- 三、发动机大修工艺过程 ..... 178
- 第二节 曲柄连杆机构的检修 ... 179
- 一、曲柄连杆机构的组成与维修概述 ..... 179
- 二、汽缸体和汽缸盖的检修 ..... 180
- 三、曲轴飞轮组的检修 ..... 185

- 四、活塞连杆组的检修 ..... 192
- 第三节 配气机构的检修 ..... 198
- 一、配气机构的组成及故障概述 ..... 198
- 二、气门组件的检修 ..... 198
- 三、气门传动组的检修 ..... 205
- 四、配气机构的装配与调整 ..... 209
- 第四节 润滑系统的检修 ..... 212
- 一、润滑系统维修概述 ..... 212
- 二、润滑油质量及压力检查 ..... 213
- 三、发动机烧机油故障的诊断 ..... 214
- 四、机油泵的检修 ..... 215
- 五、润滑系统各阀门的检查 ..... 215
- 第五节 冷却系统的故障诊断与检修 ..... 215
- 一、冷却系统的维修概述 ..... 215
- 二、冷却系统的检修 ..... 216
- 第六节 汽油发动机电子控制系统维修 ..... 221
- 一、汽油发动机控制系统组成及工作原理 ..... 221
- 二、电控汽油喷射发动机控制系统的故障诊断 ..... 226
- 三、电控汽油喷射发动机控制系统的维修 ..... 231
- 第七节 发动机的装配与调试 ... 249
- 一、发动机的装配 ..... 249
- 二、发动机的磨合与调试 ..... 251
- 三、发动机总成修理竣工技术要求 ..... 253

**第五章 汽车底盘维修 254**

- 第一节 离合器的维修 ..... 254
- 一、离合器常见故障分析 ..... 254
- 二、离合器的拆装、检查和安装 ..... 255

第二节 变速器维修 .....	262	一、失效形式及故障分析 .....	305
一、普通齿轮式变速器的 维修 .....	262	二、转向系统的检查 .....	306
二、自动变速器的维修 .....	268	三、转向系统的维修 .....	308
第三节 主减速器和差速器的 维修 .....	280	第六节 制动系统的维修 .....	309
一、失效形式及故障分析 .....	280	一、失效形式及故障分析 .....	309
二、主减速器和差速器的拆 装与检修 .....	281	二、制动系统的检查 .....	316
三、典型驱动桥的装配与 调整 .....	289	三、制动系统维修 .....	318
第四节 悬架系统的维修 .....	295	<b>第六章 汽车维修质量及评价 325</b>	
一、失效形式及故障分析 .....	295	第一节 维修质量概述 .....	325
二、悬架系统的拆装 .....	296	第二节 维修质量保证体系 .....	326
三、悬架系统的维修 .....	304	第三节 维修质量检测与评定 .....	327
第五节 转向系统的维修 .....	304	一、汽车维护检验 .....	327
		二、汽车修理检验 .....	330
		<b>参考文献 335</b>	



# 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% 不能正常使用，这些惊人的数据引起了军方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:

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。

规定条件是指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。

规定的时间是指汽车行驶的保用期、第一期大修里程、报废期等,可以用时间单位来表示,也可用行驶里程数表示。

规定的功能是指设计任务书、使用说明书、定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:

### 1. 可靠度

是指产品(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 
$$R(t) = P(A) \quad 0 \leq P(A) \leq 1$$

可靠度可用曲线表示为图 1-1-1。

### 2. 失效度(又称累积故障概率)

产品在规定条件下,在规定时间内丧失规定的功能的概率,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

$$R(t) + F(t) = 1$$

其曲线可表示为图 1-1-2。

### 3. 故障概率密度函数

是指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  $f(t)$ 。

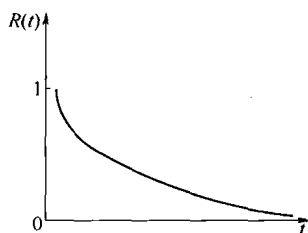


图 1-1-1 可靠度曲线

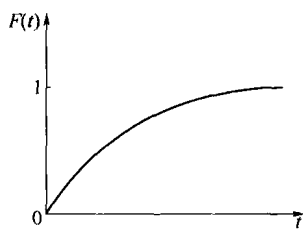


图 1-1-2 失效率曲线

这是由于产品发生失效是随机的, 对不同的产品、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。

$$f(t) = dF(t)/dt = d[1 - R(t)]/dt = -dR(t)/dt$$

又 
$$dF(t) = f(t) dt$$

则 
$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

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

#### 4. 故障率函数 (失效率函数)

(1) 概念: 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  $t$  时刻尚未发生故障”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

$$P(t < T \leq t + \Delta t / T > t)$$

再除以  $\Delta t$ , 则得  $\Delta t$  时间内的平均故障率。

当  $\Delta t$  趋向于 0 时, 就可得到  $t$  时刻的失效率

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

(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。

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

② 与可靠度函数  $R(t)$  的关系。

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

③ 与失效概率分布函数  $F(t)$  的关系。

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

(3) 故障率函数曲线 (见图 1-1-3)。

故障率函数曲线也称寿命曲线或浴盆曲线, 寿命曲线描述了失效率随时间而变化的规律, 由于其曲线如同浴盆故称为浴盆曲线, 从该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。

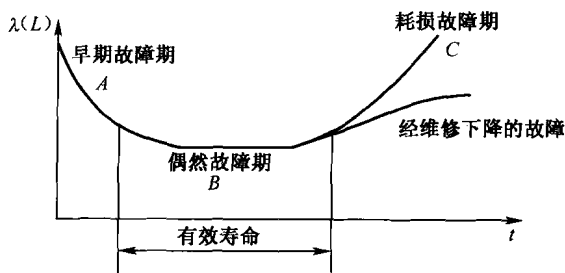


图 1-1-3 故障率函数曲线

### ①早期故障期(Decreasing Failure Rate, DFR)。

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是否得当;加工精度是否符合要求;材料是否存在内部缺陷;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偶然故障期( Constant Failure Rate, CFR)。

基本特征:失效率  $\lambda(t)$  近似等于常数,失效率高且性能稳定,在这期间失效是偶然发生的,何时发生无法预测。

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,但用户通过对汽车维护和修养,可以使这一时期延长(日常维护,一级维护,二级维护)。

### ③耗损故障期( Increasing Failure Rate, IFR)。

基本特征:随着时间的增长,失效率急剧加大。

原因:由汽车产品的老化、磨损、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、整车零部件的维修、保养和更换,延长汽车的有效寿命,推迟耗损故障期的出现,而一旦达到耗损故障期的汽车,应以报废为上策。

## 5. 平均寿命与可靠寿命

(1) 平均寿命。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  $t_{0.9}$ 。

## 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

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. 模式

即故障的表现形式，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、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。

#### 3. 故障分类

##### 1) 按照故障率函数特点分类

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所致。

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：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

具比较容易的排除。

## 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，而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，考察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。因威布尔分布函数是应用最广泛的可靠度函数，它具有很好的兼容性，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，其表达如下：

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

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

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

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

式中  $m$ ——形状参数（无单位）；

$t_0$ ——尺度参数；

$r$ ——位置参数（与  $t$  单位同，h，小时）。

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，如下式：

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

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

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

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

式中，形状参数  $m$  影响分布函数曲线的形状特征。

当  $m=1$  时， $R(t) = \exp(- t / t_0) = \exp - \lambda t$  ( $\lambda = 1/t_0$ )

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

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

$$\lambda(t) = 1/t_0 = \lambda$$

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、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,这三个参数在数学上有其明显的几何意义,在物理上,他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  $m$ :  $m$  取不同的数值,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 ZFR 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,只是改变曲线的纵横坐标的标尺。

(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** 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,  $t_0 = \eta^m$

得  $R(t) = \exp[-(t-r/\eta)^m]$   
 $= \exp[-(100-6/400)^2] = 0.946$

**例 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:  $R(100)$

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

(2) 失效率  $\lambda(t) = f(t)/R(t) = m/\eta * (t/\eta)^{m-1}$   
 $\lambda(100) = 2.8/1000 * (100/1000)^{2.8-1} = 4.4 * 10^{-5}\text{h}^{-1}$

(3) 中位寿命: 即  $R(t) = 0.5$  时所对应的寿命时间

记作  $t_{0.5}$ , 根据题意列方程如下:

$$R(t) = \exp(-t/\eta)^m$$

$$\ln R(t) = \ln \exp(-t/\eta)^m \text{ 即 } \ln R(t) = -(t/\eta)^m$$

则  $t = \eta(\ln 1/R(t))^{1/m}$

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



## 第三节 汽车系统可靠性

### 一、系统

#### 1. 概念

能完成某一特定功能，由若干个彼此有联系的且又能相互协调工作的单元组成的综合体，称为系统。所有组成系统的单位称为单元。

#### 2. 汽车系统的组成

汽车是由成千上万个零件组成的交通运输工具，这些零件各自具有一定的功能，相互间具有一定的配合关系，将所有的零件有机的组合起来，就成了完整的汽车。

从整体来说，汽车是由发动机、传动装置、车轮、车身、车架、悬架、转向、制动、供油、润滑等单元组成。如果研究的对象是发动机，则其单元又由机体、曲轴连杆、配气机构、润滑系统、燃油系统等组成。所以研究汽车时，可把系统做分层处理，把汽车分为一级子系统、二级子系统、三级子系统等。

#### 3. 系统的分类

系统可分为两大类：可修复系统和不可修复系统。系统一旦发生故障，不再修复，处于报废状态，这样的系统称为不可修复系统。不可修复的原因很多，如结构上不允许，技术上不过关，经济上不值得或者认为不必要等。

对于汽车产品，总体来说属于可修复系统，由于不可修复系统的分析方法是研究可修复系统的基础。尤其对汽车进行可靠性预测和分配时，可以简化为不可修复系统来处理，所以本章将就不可修复中的串联系统、并联系统及混联系统进行分析。

### 二、汽车系统可靠性功能逻辑框图

对汽车进行系统可靠性分析时，必须了解各总成、零部件的功能，了解各单元在可靠性功能上的联系，了解这些单元的功能、失效模式对汽车整车功能的影响，换言之，就其功能来研究系统的可靠性，为了表达系统功能与单元功能间的逻辑关系，就必须建立功能逻辑框图，这种图用方框表示单元功能，用短线连接来表示单元与系统功能的关系，这种系统功能逻辑框图简称系统逻辑框图或系统功能图。见图 1-3-1，即整车系统框图。

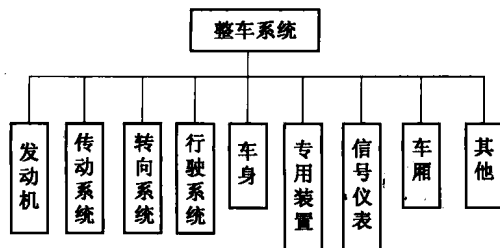


图 1-3-1 整车系统框图

在计算系统可靠度时，首先要明确单元、系统功能、失效模式，并相应的绘制系统逻辑框图，然后进行计算。

### 1. 串联

在一个系统中，各子系统（或零件）的失效是相互独立的，若其中任何一个子系统发生故障，都会导致整个系统失效，这种系统称为串联系统，如图 1-3-2 所示。

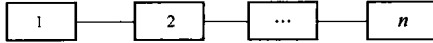


图 1-3-2 串联系统框图

汽车中，发动机、离合器、变速器、传动轴、主减速器、半轴等零部件之间的可靠性关系就属于串联系统。

若串联系统中的各个子系统，在可靠性框图中更换其顺序，其可靠性关系不变。

在串联关系中，任意一个系统失效，将会导致整个系统失效，其系统可靠度  $R_s$  等于各个子系统可靠度  $R_i$  的乘积。

其关系式为

$$R_s = \prod R_i \quad (i = 1 \sim n)$$

式中  $R_s$ ——系统可靠度；

$R$ ——子系统可靠度。

对于可靠性系统，当故障间隔时间服从指数分布时，串联系统的故障率  $\lambda_s$  为各子系统故障率  $\lambda_i$  之和，其关系式为

$$\lambda_s = \sum \lambda_i \quad (i = 1 \sim n)$$

从以上两个分析可知：串联系统的可靠度总是不高于各个子系统中最小的可靠度，系统的失效率不低于各子系统中最高的失效率。其关系式为

$$R_s \leq \{R_i\} \min$$

$$\lambda_s \geq \{\lambda_i\} \max$$

### 2. 并联

在并联系统中，只要有一个子系统工作，系统就能完成规定功能，并联系统的逻辑框图如图 1-3-3 所示。

如汽车的双管路制动系统，一个管路失效，另一管路照样工作，仍能保证汽车的有效制动。其可靠度关系式为

$$R_s = 1 - \prod F_i$$

或者  $R_s = 1 - \prod (1 - R_i)$

式中  $R_s$ ——系统的可靠度；

$R_i$ ——子系统的可靠度；

$F_i$ ——子系统的累积失效概率。

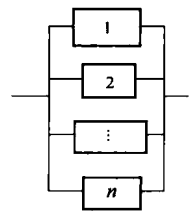


图 1-3-3 并联系统框图

### 3. 混联

既有串联系统，又有并联系统组成的可靠性逻辑框图，其计算方法如下例所示。

例：假如各单元的可靠度  $R_a = 0.85$ 、 $R_b = 0.9$ 、 $R_c = 0.95$ ，试分析图 1-3-4 中三个

系统的可靠度  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 。

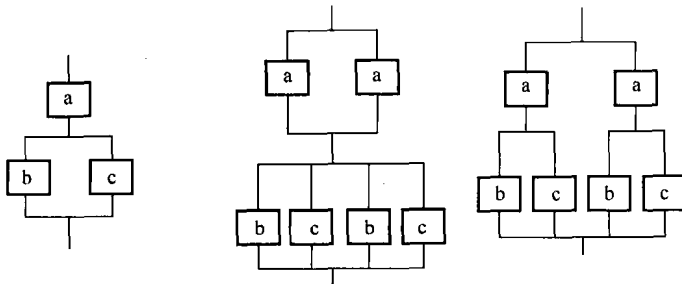


图 1-3-4 混联系统框图

解：

可靠度  $R_1$  为

$$\begin{aligned} R_1 &= R_a [1 - (1 - R_b) * (1 - R_c)] \\ &= 0.85 * [1 - (1 - 0.90) * (1 - 0.95)] = 0.846 \end{aligned}$$

可靠度  $R_2$  为

$$\begin{aligned} R_2 &= [1 - (1 - R_a)^2] * [1 - (1 - R_b)^2(1 - R_c)^2] \\ &= [1 - (1 - 0.85)^2] * [1 - (1 - 0.90)^2 * (1 - 0.95)^2] = 0.977 \end{aligned}$$

可靠度  $R_3$  为

$$R_3 = 1 - (1 - R_1)^2 = 1 - (1 - 0.846)^2 = 0.976$$

## 第四节 汽车可靠性与维修性设计概述

### 一、可靠性设计的内容与原则

#### 1. 可靠性设计在可靠性工程中的地位

可靠性设计就是以赋予产品可靠性为目的的设计技术。

汽车产品设计中，要综合满足用户对各种使用性能（动力性、燃油经济性、舒适性、安全性等）的要求，满足国家制订的各项标准、法规（安全、排放、噪声等）的要求，满足用户对可靠性、维修性、耐久性的要求，还要考虑到工艺性、制造成本、投产时间等。设计工作是以上各个方面的综合平衡，哪一个方面都不能忽视。

在诸多方面设计要求中，对产品的声誉与竞争力最有影响也就是用户对汽车产品最为关切的性能，莫过于可靠性，这点对于我国工业目前状况来看更显得突出。

大量试验资料与用户调查资料表明，国产汽车故障的 60% 以上与设计有关，一般来说，制造原因（材料加工、装配等）产生的可靠性问题表现为局部性的、短期性的，它影响一部分产品或一个时期的产品质量，而设计原因（指产品设计与工艺设计）所造成的产品可靠性问题表现为全局性的、长期性的，它是不可能通过加强生产过程的质量管理来解决的。设计上造成的可靠性问题是“先天性”的毛病，投产后难以治愈，汽车的固有可靠性主要取决于设计。

所以说，可靠性工程必须从设计抓起，设计工作是汽车可靠性工程的重点与基础。