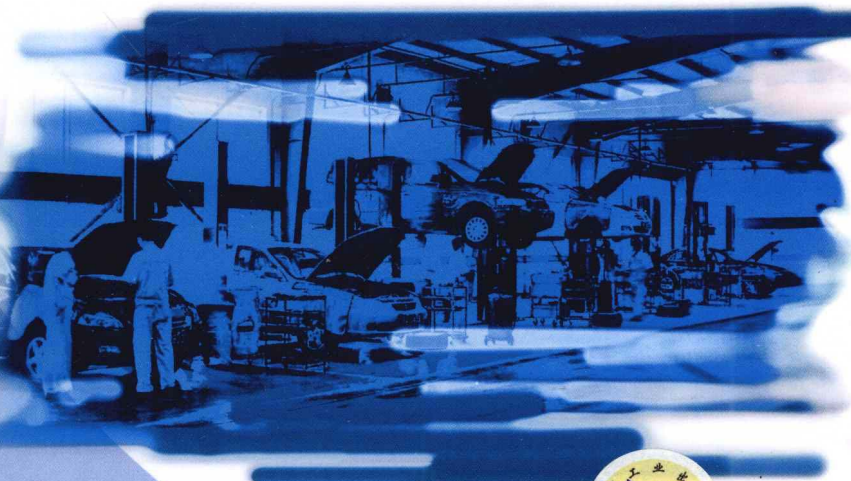


汽车维修工程

普通高等教育交通类专业规划教材



吴明 主编



普通高等教育交通类专业规划教材

汽车维修工程

主 编 吴 明

副主编 任勇刚 李春荣



机械工业出版社

本教材反映了汽车维修行业的现状, 既以理论教学为主, 又结合维修工艺及技术的实践。全书共分为9章, 分别讲述了汽车可靠性理论基础、汽车零部件的失效理论、汽车维护工艺、汽车修理工艺、汽车零件修复方法、汽车修理质量管理、汽车发动机机械系统的维修、汽车底盘机械系统的维修和汽车车身维修。

本书为普通高等教育交通运输类专业(方向)规划教材, 本教材以本科教学为主, 同时照顾到高职高专的教学需要。

图书在版编目(CIP)数据

汽车维修工程/吴明主编. —北京: 机械工业出版社,
2009. 1

普通高等教育交通类专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 26117 - 9

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 013007 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: 夏 韡 责任编辑: 杜凡如

版式设计: 霍永明 责任校对: 樊钟英

封面设计: 姚 毅 责任印制: 杨 曦

北京市朝阳展望印刷厂印刷

2009 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 23 印张 · 445 千字

0001 - 4000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 26117 - 9

定价: 39.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379353

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是普通高等教育汽车类专业（方向）规划教材，以本科教学为主，同时照顾到高职高专的教学需要。本教材努力反映汽车维修行业的现状，既以理论教学为主，又结合维修工艺及技术的实践。全书共分为9章，第一章，主要内容为汽车可靠性概述，汽车故障的类型及故障分布规律，汽车可靠性的综合评定；第二章主要内容为汽车零部件失效概念，汽车零部件的磨损、疲劳断裂、腐蚀、变形等失效分析；第三章主要内容为汽车维护基本概念，汽车维护制度，汽车维护工艺的组织；第四章主要内容为汽车修理工艺概述，汽车修理工艺过程，汽车的验收与清洗，汽车零件的检验分类，汽车总成装配的技术要求；第五章主要内容为机械加工修理法，焊修、金属喷涂、电镀等修复方法；第六章主要内容为汽车维修质量，汽车维修质量的评价；第七章主要内容为；气缸体和气缸盖的检修，活塞连杆组的检修，曲轴飞轮组的检修，配气机构的维修；第八章主要内容为离合器、变速器、传动轴及驱动桥的维修；第九章主要内容为车身常见的损伤形式，车身尺寸的测量，车身的校正与构件修理等。有关汽车电器和电控的内容，不在本书中叙述。

本书的编写人员有吴明、任勇刚、李春荣、孟宪章、王雪莲、徐杰、罗丛波、关伟、施继红、初立东、刘庆福、杨亚洲、滕艳玲、许宁、潘玉民和姜延等。

本书由吴明任主编，任勇刚、李春荣任副主编。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。对本书参考文献的作者和提出宝贵意见的专家在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中出现错误和不足之处在所难免，不妥之处敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

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 汽车故障的类型及其分布规律	10
第三节 汽车可靠性分析	16
第四节 汽车可靠性综合评定	23
思考题	25
第二章 汽车零部件的失效理论	26
第一节 汽车零部件失效的概念	26
第二节 汽车零部件的磨损失效	30
第三节 汽车零部件疲劳断裂失效	35
第四节 汽车零部件腐蚀失效	39
第五节 汽车零部件变形失效	41
第六节 汽车零部件失效分析方法	43
思考题	51
第三章 汽车维护工艺	53
第一节 汽车维护的基本概念	53
第二节 汽车维护制度	63
第三节 汽车维护作业分类和工艺组织	69
第四节 汽车维护工艺过程	71
思考题	89
第四章 汽车修理工艺	90
第一节 汽车修理概述	90
第二节 汽车修理工艺过程	95
第三节 汽车的验收、清洗及解体	103
第四节 汽车零件的检验分类	113
第五节 汽车总成装配的技术要求	134
思考题	150
第五章 汽车零件修复方法	151
第一节 机械加工修理法	151
第二节 汽车零件的焊修	158
第三节 金属喷涂修理法	170

第四节	电镀修理法	182
第五节	压力加工修理法	202
第六节	胶粘修理法	205
第七节	零件修复方法的选择	212
思考题	.....	216
第六章	汽车修理质量管理	217
第一节	汽车修理质量	217
第二节	汽车修理质量的评价	233
思考题	.....	243
第七章	汽车发动机机械系统的维修	244
第一节	气缸体与气缸盖的修理	244
第二节	活塞连杆组的修理	254
第三节	曲轴飞轮组的修理	264
第四节	配气机构的修理	280
思考题	.....	292
第八章	汽车底盘机械系统的维修	293
第一节	离合器的维修	293
第二节	变速器的维修	298
第三节	传动轴的维修	304
第四节	驱动桥的维修	306
思考题	.....	311
第九章	汽车车身维修	312
第一节	车身常见的损伤形式	312
第二节	车身(车架)尺寸的测量	315
第三节	乘用车车身的校正	321
第四节	汽车覆盖件及车身构件的修理	338
第五节	车身表面涂层的修复	347
思考题	.....	359
参考文献	.....	360

第一章 汽车可靠性理论基础

汽车可靠性理论是近二三十年发展起来的一门新兴学科。汽车可靠性理论就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手段，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，正确地使用、维修和进行科学管理，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，失去汽车原有的使用价值。提高汽车的可靠性就制造者本身角度考虑，是为了企业生存的需要。面对眼花缭乱的各款汽车，汽车使用者总是在价格、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 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，称之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）汽车可靠性的发展历史

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中，还是近代的事，其历史大约可以追溯到 40 多年前，回顾可靠性的发展历史，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，美军因飞行故障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。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，既要管 $t=0$ 的质量（出厂质量），又要保证 $t>0$ 的质量（可靠性）。1969 年 7 月，阿波罗 11 号飞船登月成功时，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,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。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。可靠性研究工作在世界范围内已到达成熟阶段。

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 $r(t)$,则产品的可靠度由式 (1-3) 表示。

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

$$0 \leq R \leq 1$$

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(累计故障概率),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

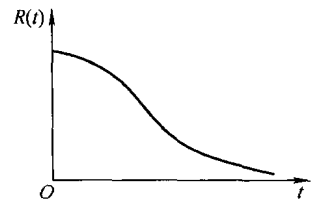


图 1-1 可靠度函数 $R(t)$ 随时间 t 的变化曲线

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。

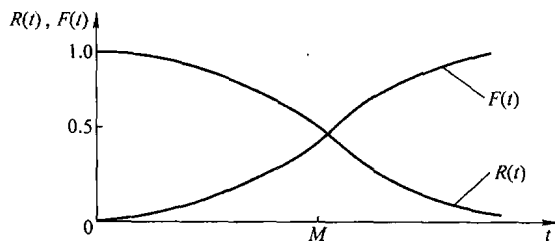


图 1-2 可靠度与不可靠度的关系曲线

(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

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

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

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

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。

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

$$\lambda = \frac{\Delta r(t)}{[n - r(t)] \cdot \Delta t} = \frac{\Delta r(t)}{n \left[1 - \frac{r(t)}{n} \right] \cdot \Delta t}$$

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

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, 对于人们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 $MTTF$ 。

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

(七) 平均维修时间

平均维修时间是指修复时间的平均值。记为 $MTTR$ (Mean Time To Repair), 当修复时间服从指数分布时

$$MTTR = \frac{1}{\mu(t)} \quad (1-13)$$

通式如下:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (1-14)$$

$\mu(t)$ 为修复率, 指某时间还在维修的产品, 在该时刻后的单位时间内修复的条件概率。

(八) 可靠寿命

可靠寿命是指汽车产品可靠度达到规定值 R_0 时所用的时间, 用 T_R 表示。在可靠性工程中, 与寿命有关的参数有平均寿命、可靠寿命、中位寿命和特征寿命等。平均寿命是寿命的平均值; 中位寿命是可靠度为 0.5 时产品的寿命, 当产品工作时间达到 $T_{0.5}$ 时, 其可靠概率和不可靠概率各占一半。

$$R(T_R) = R_0 \quad (1-15)$$

若寿命服从指数分布, 则

$$R(T_R) = e^{-\lambda t} = R_0 \quad (1-16)$$

(九) 维修度 $M(t)$

维修度 $M(t)$ 是指系统 (或产品) 在规定的条件下进行维修时, 在规定的时间内, 保持或恢复到规定状态的概率。

维修时间 t 是影响维修性的一个重要因素, 它受到许多因素的影响, 主要取决于维修的对象、维修人员的水平以及现有的维修设备及工作条件等。

维修度 $M(t)$ 是维修时间的非减函数, $t=0$ 时, $M(t)=0$; $t \rightarrow \infty$ 时, $M(t) \rightarrow 1$ 。

用 N 表示产品发生故障的次数, $N(t)$ 表示 t 时间内产品被修复的次数, 则

$$M(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N(t)}{N} \quad (1-17)$$

$$M(t) + G(t) = 1 \quad (1-18)$$

式中, $G(t)$ 为不可维修度, 当 $M(t) \rightarrow 0$ 时, $G(t) \rightarrow 1$; 当 $M(t) \rightarrow 1$ 时, $G(t) \rightarrow 0$ 。

(十) 有效度 $A(t)$

有效度 $A(t)$ 是把系统可靠性和维修性特性转换为效能的一个指标的参数。通过可用性分析, 可以在系统的可靠性和维修性参数间作出合理的权衡。

$$A(t) = \frac{U}{D+U} \quad (1-19)$$

式中 U ——能工作时间;

D ——不能工作时间。

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。

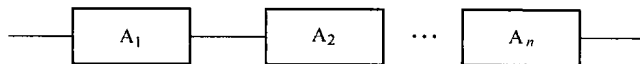


图 1-3 串联系统

其系统可靠度为

$$R_s = R_{A_1} R_{A_2} \cdots R_{A_n} = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (1-20)$$

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

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} = e^{-\lambda_s t} \quad (1-21)$$

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最短的一个零件的寿命, 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

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (1-22)$$

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。汽车及其所组成的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，称为并联系统，如表 1-4 所示。

设各单元的可靠性相互独立，则系统失效概率为：

$$F_s(t) = F_1(t)F_2(t)\cdots F_n(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (1-23)$$

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

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] \quad (1-24)$$

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

$$R_s(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^n \quad (1-25)$$

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

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

$$MTBF = \int_0^{\infty} R_s(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - (1 - e^{-\lambda t})^n] dt = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2\lambda} + \cdots + \frac{1}{n\lambda} \quad (1-26)$$

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

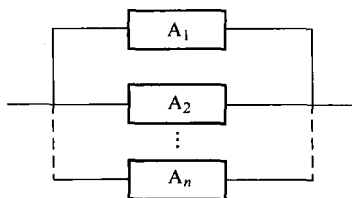


图 1-4 并联系统

而成，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。

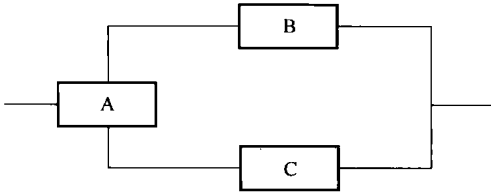


图 1-5 串、并联组合系统

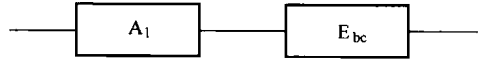


图 1-6 等效串联系统

其系统可靠度为

$$R_s = R_A R_B + R_A R_C - R_A R_B R_C \quad (1-27)$$

(三) 汽车可靠性分配

1. 汽车可靠性分配的定义 根据系统设计所确定的汽车可靠性指标值，合理地将指标分配于系统各单元（总成、零部件）的设计过程，称为汽车可靠性分配。

在开发、研制汽车新产品之前，对汽车期望达到的可靠性水平应有明确的指标。汽车系统的可靠性指标与其各子系统（总成、零部件）的可靠性指标有着密切的关系。为了提高汽车系统的可靠性水平，必须以严谨的态度，根据汽车子系统（零部件）的重要程度、本身的失效率、使用环境、工作模式和实际要求，进行可靠性分配。由此可见，可靠性分配是汽车系统可靠性设计的一个重要环节。

2. 汽车可靠性分配的目的和作用

(1) 通过可靠性分配，确定汽车系统的可靠性指标。汽车产品的可靠性水平，除制造、材料原因以外，很大程度上依赖于汽车的设计水平，它是构成汽车固有可靠性的基础，兼顾生产成本和经济效益。

(2) 通过可靠性分配，确定各子系统（总成、零部件）的可靠性指标。汽车是一个十分复杂的机械电子产品。实现整体的可靠性指标，必须依靠各子系统、零部件的可靠性加以保证。没有子系统、零部件的可靠性指标，系统的可靠性目标再高也是徒劳。

(3) 通过可靠性分配，有利于加强设计部门间的联络和配合。帮助设计者了解汽车总成及零部件的可靠性与汽车系统可靠性之间的关系，使之心中有数，减少盲目性，明确设计的基本问题；通过可靠性分配，容易暴露汽车系统的薄弱环节，为改进设计提供途径和依据。

(4) 通过可靠性分配，有利于增强设计者的全局观念。全面衡量汽车系统的质量、费用及性能等因素，以获得汽车系统设计的全局效果。

第二节 汽车故障的类型及其分布规律

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同使用环境和汽车本身有关,同时也与使用者能否正确地操作汽车有关。由汽车本身的原因而引发的故障,称为本质故障;由操作者失误而引起的故障,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,可分为一次故障或二次故障。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) 曲线反映产品整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。

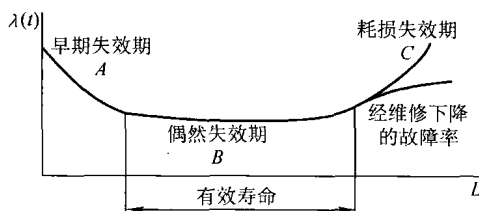


图 1-7 典型的寿命曲线

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、走合、起动不当等人为因素所造成的失效、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故障率减少型, 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, 即没有一种特点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。若修复所需费用很大而寿命延长不多时, 则应报废、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:
$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1-28)$$