

高等院校“十一五”规划教材·汽车类

# 汽车维修工程

王耀斌 宋年秀 主 编

徐红光 王玉娟 副主编

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 提 要

本书共分7章,第1章介绍汽车可靠性理论基础;第2章介绍汽车零部件的失效理论;第3章介绍汽车维护工艺;第4章介绍汽车修理工艺;第5章介绍汽车零件的修复;第6章介绍汽车维修质量及评价;第7章介绍汽车主要总成机械系统的修理,包括发动机、底盘、车身的检修。

本书为汽车服务工程专业规划教材,与汽车维修相关的专业也可选用,还可供从事汽车运输、物流、维修、服务的工程技术人员及管理人员学习和参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车维修工程 / 王耀斌, 宋年秀主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2007. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1228 - 1

I. 汽… II. ①王…②宋… 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 (2007) 第 072616 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 18.25

字 数 / 415 千字

版 次 / 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 4000 册

定 价 / 28.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 吴皓云

---

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

# 前言

---

本书是汽车服务工程专业（方向）规划教材，根据各高校老师及部分专家的意见，本教材以本科教学为主，同时照顾到高职高专的教学需要，即以理论教学为主，又结合维修工艺及技术的实践。全书共分为7章，第1章汽车可靠性理论基础，主要内容为：汽车可靠性概述，汽车故障的类型及其分布规律，汽车可靠性分析。第2章汽车零部件的失效理论，主要内容为：汽车零部件失效概述，汽车零部件的磨损、疲劳断裂、腐蚀、变形等失效分析。第3章汽车维护工艺，主要内容为：汽车维护概述，汽车维护周期的确定，汽车维护工艺的组织，汽车维护工艺过程。第4章汽车修理工艺，主要内容为：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，汽车总装与验收。第5章汽车零件的修复，主要内容为：汽车零件的修复方法，汽车零件修复方法的选择。第6章汽车修理质量及评价，主要内容为：汽车维修质量的分析方法，汽车维修质量的评价。第7章汽车主要总成机械系统的修理，主要内容为：发动机曲柄连杆机构、配气机构的修理，底盘传动系的修理，车身的校正、钣金和漆工修理。有关汽车电器和电子的内容，不在本书中叙述。

本书的第1章、第2章由宋年秀编写；第3章、第4章由徐红光编写；第5章由王玉娟、李春荣编写；第6章由王耀斌、赵路平编写；第7章由王耀斌、冯炎编写。参加编写的还有刘宏飞、王超、王兵、王羽、王巍、卢波、郭烈、谭立东、戴建国、周茹波、祖力等。

本书王耀斌、宋年秀任主编，徐红光、王玉娟任副主编，全书由王耀斌教授统稿。

对本书参考文献的作者和提出宝贵意见的专家，借此机会表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，书中缺点和错误在所难免，希望广大读者批评指正。

编者

# 目 录

---

<b>第 1 章 汽车可靠性理论基础</b> .....	( 1 )
1.1 汽车可靠性概述 .....	( 1 )
1.2 汽车故障的类型及其分布规律 .....	( 8 )
1.3 汽车可靠性分析 .....	( 15 )
思考题 .....	( 21 )
<b>第 2 章 汽车零部件的失效理论</b> .....	( 22 )
2.1 汽车零部件失效概述 .....	( 22 )
2.2 汽车零部件的磨损失效 .....	( 26 )
2.3 汽车零件的疲劳断裂失效 .....	( 30 )
2.4 汽车零件的腐蚀失效 .....	( 33 )
2.5 汽车零件的变形失效 .....	( 35 )
2.6 汽车零部件失效的综合分析 .....	( 36 )
思考题 .....	( 43 )
<b>第 3 章 汽车维护工艺</b> .....	( 44 )
3.1 汽车维护概述 .....	( 44 )
3.2 汽车维护周期的确定 .....	( 54 )
3.3 汽车维护工艺的组织 .....	( 58 )
3.4 汽车维护工艺过程 .....	( 60 )
思考题 .....	( 77 )
<b>第 4 章 汽车修理工艺</b> .....	( 78 )
4.1 汽车修理工艺过程 .....	( 78 )
4.2 汽车的验收与清洗 .....	( 85 )
4.3 汽车零件的检验分类 .....	( 94 )
4.4 汽车总成装配的技术要求 .....	( 113 )
4.5 汽车总装与验收 .....	( 123 )
思考题 .....	( 127 )
<b>第 5 章 汽车零件的修复</b> .....	( 129 )
5.1 机械加工修理法 .....	( 129 )
5.2 焊接修理法 .....	( 135 )

5.3	金属喷涂修理法 .....	( 145 )
5.4	电镀修理法 .....	( 154 )
5.5	压力加工修理法 .....	( 171 )
5.6	胶粘修理法 .....	( 178 )
5.7	零件修复方法的选择 .....	( 184 )
	思考题 .....	( 188 )

<b>第 6 章</b>	<b>汽车维修质量及评价 .....</b>	<b>( 189 )</b>
6.1	质量概述 .....	( 189 )
6.2	质量分析方法 .....	( 192 )
6.3	质量保证体系 .....	( 200 )
6.4	汽车维修质量的评价 .....	( 202 )
	思考题 .....	( 210 )

<b>第 7 章</b>	<b>汽车主要总成机械系统的修理 .....</b>	<b>( 211 )</b>
7.1	发动机的修理 .....	( 211 )
7.2	汽车底盘的修理 .....	( 249 )
7.3	汽车车身的修理 .....	( 262 )
	思考题 .....	( 278 )

<b>参考文献 .....</b>	<b>( 279 )</b>
-------------------	----------------

# 编写委员会

---

编委会主任：王耀斌（吉林大学）

编委会副主任：上官文斌（华南理工大学）

马 钧（同济大学）

刘玉梅（吉林大学）

齐晓杰（黑龙江工程学院）

编委（排名不分先后）：

边明远（清华大学）

徐雯霞（同济大学）

何 瑛（同济大学）

胡 宁（上海工程技术大学）

金海松（上海工程技术大学）

宋年秀（青岛理工大学）

刘瑞昌（青岛理工大学）

陈 勇（辽宁工业大学）

杨守丽（辽宁工业大学）

王海林（华南农业大学）

朱 刚（华南理工大学）

丁问司（华南理工大学）

王 春（广州大学）

赵福堂（北京理工大学）

谭德荣（山东理工大学）

曲金玉（山东理工大学）

韩加蓬（山东理工大学）

齐晓杰（黑龙江工程学院）

于春鹏（黑龙江工程学院）

倪明辉（黑龙江工程学院）

张 蕾（天津工程师范学院）

董恩国（天津工程师范学院）

迟瑞娟（中国农业大学）

庞昌乐（中国农业大学）

李真芳（中国农业大学）

李淑艳（中国农业大学）

陈 理（中国农业大学）

韩同群（湖北汽车工业学院）

陈立辉（河北师范大学）

征小梅（重庆工学院）

范钦满（淮阴工学院）

高爱云（河南科技大学）

# 出版说明

---

近几年，我国的汽车生产量和销售量迅速增大，全国汽车保有量大幅度上升，世界各知名汽车企业纷纷进入国内汽车市场，促进了国内汽车技术的发展。汽车保有量的急剧增加和汽车技术的不断更新，使得汽车运用与维修行业的车源、车种、服务对象以及维修作业形式都已发生了新的变化，以致技能型、运用型人才非常紧缺。

本套教材针对汽车专业学生教学特点的变化和新形势下教材的编写要求，面向高等院校（应用型），以服务市场为基础，以提高能力为本位，注重培养学生的综合能力，同时合理控制理论知识，丰富实例，力求突出应用型学科教材的实用性、操作性特色。

本套教材可供开设有汽车运用工程、汽车服务工程、汽车交通与运输、汽车维修等汽车相关专业的高等院校使用，也可作为成人高等教育、汽车技术培训等相关课程的培训教材。

本套教材经编委会相关老师评审，做了适当的修改，内容更具体、更实用，特推荐出版。但限于水平和经验，本套图书难免存在不足之处，敬请广大同行和读者批评指正。

丛书编委会

# 第1章

## 汽车可靠性理论基础

### ● 本章重点

了解可靠性的发展历史，熟悉汽车可靠性的基本概念和汽车可靠性的评价指标，了解系统可靠性及可靠性分配，掌握汽车故障模式及类型，了解汽车可靠性常用故障分布类型的特性，熟悉汽车可靠性数据的收集方法，掌握可靠性数据的分析方法。

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。

### 1.1 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。

#### 1.1.1 可靠性简介

##### 1. 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。

从汽车可靠性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、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。

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：① 汽车停驶的完全性故障（或称硬故障）；② 汽车不能正常工作的间隙故障；③ 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。

## 2. 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上，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。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。

### 1.1.2 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、平均维修时间。

#### 1. 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  $F = \frac{r}{n}$  称为累积故障概率或不可靠度。

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  $T$ 。现设有  $n$  个汽车零件, 从开始使用到出现故障时的数目为  $r(t)$ , 则产品的可靠度由下式表示。

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

$$0 \leq R \leq 1$$

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, 以至最终完全失效。

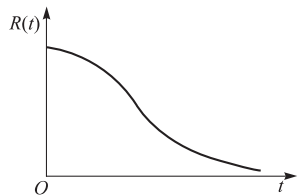


图 1-1 可靠度函数  $R(t)$  随时间  $t$  的变化曲线

#### 2. 不可靠度

不可靠度是指产品在规定条件下和规定时间内不能完成规定功率的概率或发生故障的概率, 记为  $F(t)$ 。

与可靠度相对应

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

不可靠度和可靠度的关系

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

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

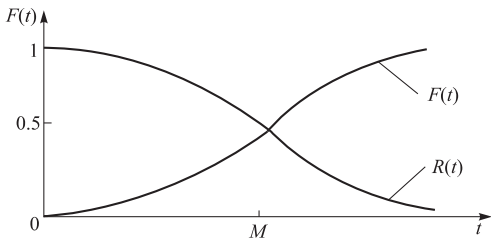


图 1-2 可靠度与不可靠度的关系曲线

导得出

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

则

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

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

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。

#### 4. 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

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

**例 1-1** 在同一批汽车零件中，随机抽样试验，其抽样数为  $n = 70$ ，使其在规定的条件下工作，记录的抽样零件数的失效时间分布如图 1-3 所示，试画出失效直方图。

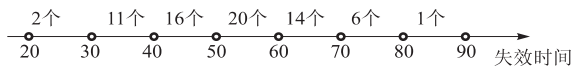


图 1-3 随机抽样试验的失效时间分布

(1) 离散型数据可用图 1-4 失效频数的直方图表示。分布中心 (平均时间): 55 h。

(2) 连续型数据可用图 1-5 失效频率的直方图表示。

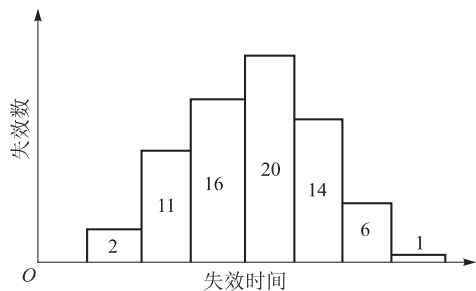


图 1-4 失效频数的直方图

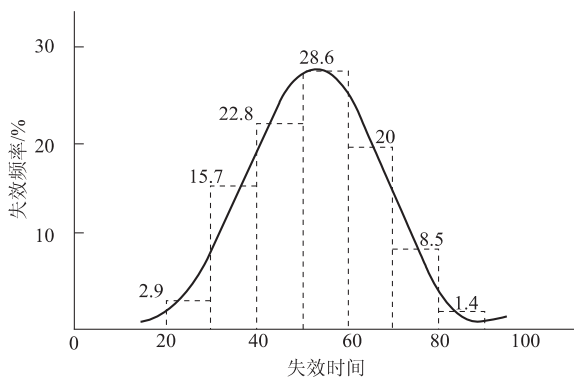


图 1-5 失效频率的直方图

将根据此例计算的可靠度  $R(t)$ ，不可靠度  $F(t)$ ，故障率  $\lambda(t_{i-1}, t_i)$  和故障密度  $f(t)$  列于表 1-1。

表 1-1 计算结果汇总表

序号	观测时间	工作样品数 $r_i = n_{i-1} - n_i$	故障数 $\sum_{\delta=1}^i r_i = n - n_i$	各区间故障密度/ (% · h <sup>-1</sup> ) $f(t_i) = \frac{r_i}{n} \cdot \frac{1}{\Delta t}$	累积失效概率 (不可靠度)/% $F(t_i) = \sum_{\delta=1}^i f(t_i) \Delta t$ $= 1 - \frac{n_i}{n}$	可靠度 /% $R(t_i) = 1 - F(t)$ $= \frac{n_i}{n}$	故障率/% $\lambda(t_{i-1}, t_i)$ $= \frac{r_i}{n_{i-1}} \cdot \frac{1}{\Delta t}$
1	20	70	0	0	0	100	0
2	30	68	2	0.29	2.9	97.1	0.029 (2/70)
3	40	57	13	1.57	18.6	81.4	0.162 (11/68)
4	50	41	29	2.28	41.4	58.6	0.28 (16/57)
5	60	21	49	2.86	70	30	0.488 (20/41)
6	70	7	63	2	90	10	0.666 (14/21)
7	80	1	69	0.85	98.6	1.4	0.858 (6/7)
8	90	0	70	0.14	100	0	1 (1/1)

$R(t)$ ， $F(t)$ ， $f(t)$ ， $\lambda(t)$  可靠度、不可靠度、故障概率密度和故障率的相互关系见表 1-2。

表 1-2  $R(t)$ ， $F(t)$ ， $f(t)$ ， $\lambda(t)$  的相互关系

可靠性函数	$R(t)$	$F(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
$R(t)$		$1 - F(t)$	$\int_t^{\infty} f(t) dt$	$\exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]$
$F(t)$	$1 - R(t)$		$\int_0^t f(t) dt$	$-\exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]$

续表

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

### 5. 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。

$$MTBF = \mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (1-10)$$

式中  $t_i$ ——两次故障的间隔时间。

### 6. 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, 对于现在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受重视的指标, 记为 MTTF。

### 7. 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

$$MTTR = \frac{1}{\mu(t)} \quad (1-11)$$

$\mu(t)$  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。

### 8. 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。

$$R(T_R) = R_0 \quad (1-12)$$

若寿命服从指数分布, 则

$$R(T_R) = e^{-\lambda t} = R_0 \quad (1-13)$$

$$e^{-\lambda T_R} = R_0 \quad (1-14)$$

$$T_R = -\ln R_0 / \lambda = -T \ln R_0 \quad (1-15)$$

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。

## 1.1.3 系统可靠性

### 1. 系统可靠性的定义

系统可靠性是指它在一定的使用条件下, 在要求的工作时间内, 完成规定功能的概率。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,但它可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。

## 2. 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1-6所示。

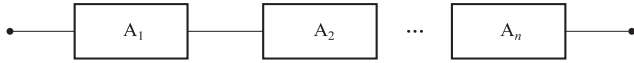


图1-6 串联系统

其系统可靠度为

$$R_s = R_{A_1} R_{A_2} \cdots R_{A_n} \quad (1-16)$$

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,如图1-7所示。

其系统可靠度为

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_{A_i}) \quad (1-17)$$

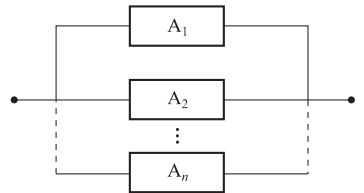


图1-7 并联系统

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。由于并联系统具有如上特征,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,图1-8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1-9所示。

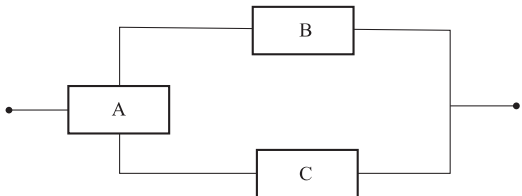


图1-8 串、并联组合系统

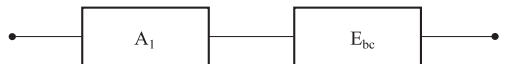


图1-9 等效串联系统

其系统可靠度为

$$R_s = R_A R_B + R_A R_C - R_A R_B R_C \quad (1-18)$$

### 3. 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组元（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、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。

## 1.2 汽车故障的类型及其分布规律

### 1.2.1 汽车故障的模式及类型

#### 1. 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的原因有关，同时也与使用者能否正确地操作汽车有关。由汽车本身的毛病而引发的故障，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) 按照蓝皮书定性分类。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。

汽车常见故障的定性分级举例如表1-3~表1-6所示。

表1-3 致命故障举例

序号	零部件名称	故障模式	故障表现特征
1	气缸体	裂纹	缸体严重裂纹,发动机报废
2	曲轴主轴承盖	断裂	造成发动机失效
3	变速器	失效	由于轴断或齿轮损坏造成变速器损坏
4	传动轴	脱落	万向节或花键轴脱开
5	主减速器	失效	主减速器严重损坏,导致后桥报废
6	前轴	断裂	行驶中突然断开
7	转向节	断裂	行驶中突然断开
8	前轮辋挡圈	脱落	行驶中脱落
9	转向系	失效	行驶中突然方向失控
10	转向盘	脱落	行驶中固定螺母脱落
11	转向摇臂轴	断裂	行驶中断裂
12	制动系	泄漏	行驶中漏气、油,制动失效
13	制动油路	气阻	行驶中气阻,制动失效
14	制动管路	断裂	行驶中断裂,制动失效

表 1-4 严重故障举例

序号	零部件名称	故障模式	故障表现特征
1	整车	动力性下降	25 000 km 可靠性试验后性能复试, 动力性能下降超过 5%
2	发动机	油水混合	由缸盖裂纹引起, 无法修复, 需更换
3	曲轴	断裂	轴颈或曲柄断裂
4	进气阀	断裂	进气阀掉头
5	连杆	断裂	未造成发动机报废
6	离合器摩擦片	龟裂	需更换
7	变速器	掉挡	行驶中自动脱挡
8	传动轴中间支承	断裂	需更换
9	主减速器齿轮	剥落	齿面严重剥落, 需更换
10	桥壳	断裂	未造成后桥报废
11	车架横梁铆钉	松动	一根横梁半数以上铆钉松动
12	钢板弹簧	断裂	第一片断
13	转向系	转向沉重	转向明显沉重, 正常保养不能排除
14	转向垂臂	松动	行驶时方向难控
15	空压机缸筒	拉伤	严重拉伤, 需更换

表 1-5 一般故障举例

序号	零部件名称	故障模式	故障表现特征
1	发动机	过热	由于节温器损坏
2	气缸盖	裂纹	局部微小裂纹, 尚可使用
3	曲轴油封	漏油	由油封变形引起
4	活塞	烧蚀	稍有烧蚀尚可使用
5	离合器	发抖	分离杆调整不当
6	变速器	乱挡	经调整可排除
7	十字轴轴颈	剥落	工作不正常
8	主减速器	漏油	容易排除
9	车架	裂纹	尚可使用
10	钢板弹簧	断裂	断一片(非第一片)
11	减速器	失效	换挡困难, 磨损严重
12	转向直拉杆	干涉	有明显的摩擦痕迹
13	转向器	漏油	油封损坏或壳体砂眼
14	转向摇臂	裂纹	解体时发现裂纹, 尚未断裂
15	制动器	跑偏	经调整可以排除