

普通高等教育“十三五”规划教材

车辆故障诊断与检测

主编 崔俊杰

内 容 简 介

本书以车辆的可靠性为导入,以车辆失效理论为基点,首先介绍了可靠性的概念和应用,引入车辆零件失效理论,介绍车辆失效分析技术,并分析车辆失效原因;说明故障诊断的信息采集和处理方法,介绍了车载故障诊断系统背景和原理。其次,介绍了车辆底盘的传动系统、行驶系统、制动系统和转向系统的常见故障及诊断方法;发动机的两大机构和五大系统的常见故障和故障诊断方法。最后,介绍了车辆整车系统和发动机的性能与故障检测的方法。

本书可作为高等院校装甲车辆工程专业、车辆工程专业、能源与动力工程专业和汽车服务工程专业本科生和相关学科研究生的教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

车辆故障诊断与检测 / 崔俊杰主编. —北京:北京理工大学出版社, 2017. 9

ISBN 978-7-5682-4775-7

I. ①车… II. ①崔… III. ①汽车-故障诊断②汽车-故障检测 IV. ①U472. 9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 213183 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 21

字 数 / 494 千字

版 次 / 2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 48.00 元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言

车辆作为一种武器机动工具和民用运输工具已经有百年的历史，伴随着军事需求和社会需求的演变及科学技术的发展，在向数字化、信息化发展的背景下，对于车辆性能要求的变化和大量高新技术的涌现，促使车辆系统的构成、新型结构的应用、新技术集成的程度都有了突飞猛进的发展，新型车辆的功能和结构特点都有了很大的变化，其系统构成、结构形式、维修保养和故障诊断与检测总是处于不断变化的过程中。

本书根据现代车辆的维修特点和技术发展趋势，将车辆可靠性、零件失效理论、车载诊断系统、常见故障、故障诊断及车辆检测技术结合起来，系统地介绍了车辆故障诊断及检测基础技术。

本书编写是适应教育部新工科建设和发展需求，为装甲车辆工程专业、车辆工程专业、能源与动力工程专业和汽车服务工程专业本科生和相关学科研究生提供学习、掌握专业基础知识的入门教材。

本书以车辆的可靠性为导入，以车辆失效理论为基点，首先介绍了可靠性的概念和应用，引入车辆零部件失效理论，介绍车辆失效分析技术，并分析车辆失效原因；说明故障诊断的信息采集和处理方法，介绍了车载故障诊断系统背景和原理。其次，介绍了车辆底盘的传动系统、行驶系统、制动系统和转向系统的常见故障及诊断方法；发动机的两大机构和五大系统的常见故障和故障诊断方法。最后，介绍了车辆整车系统和发动机的性能与故障检测的方法。

本书由崔俊杰担任主编。其中，第一、第五、第七章由崔俊杰编写，第二、第三、第四、第六和第八章由续彦芳编写，第九章由苏铁熊编写。全书由崔俊杰统稿。

本书由北京理工大学赵振峰教授和中北大学崔志琴教授主审。本书的许多内容是在参考了有关的著作、教材，北京 5305 汽车工作室的相关资料和技术文献的基础上形成的，作者在此向这些著作、教材和文献的作者和审稿人表示深切的谢意。

鉴于编者的水平所限，教材中难免有不妥或错误之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2017 年 7 月于太原

目 录

CONTENTS

第一章 车辆可靠性	001
第一节 可靠性概述	001
第二节 车辆可靠性的重要性	008
第三节 车辆可靠性理论的主要研究内容	010
第四节 车辆产品可靠性的特点及提高可靠性的途径	011
第五节 车辆可靠性设计	014
第六节 车辆可靠性数据的采集与分析	018
第二章 车辆零件失效理论	022
第一节 车辆失效规律	022
第二节 车辆零件失效分析	025
第三节 车辆失效分析技术	030
第三章 故障诊断	040
第一节 概述	040
第二节 现代故障诊断技术	052
第三节 诊断信息的采集和处理	059
第四节 车辆故障状态的识别方法	069
第四章 车载诊断系统	077
第一节 车载诊断系统的研究背景	077
第二节 车载诊断系统的原理	080
第三节 车载诊断系统的局限性	091
第五章 车辆底盘故障诊断	093
第一节 传动系常见故障诊断	093
第二节 传动系故障诊断	099
第三节 行驶系故障诊断	110

第四节 制动系常见故障诊断..... 122
 第五节 转向系常见故障诊断..... 134
 第六章 发动机故障诊断 142
 第一节 发动机不能发动..... 142
 第二节 发动机怠速不良..... 145
 第三节 发动机无力..... 147
 第四节 发动机润滑不良..... 148
 第五节 发动机冷却不良..... 150
 第六节 发动机异响..... 151
 第七章 车辆故障检测 155
 第一节 车辆检测与诊断的目的和方法..... 155
 第二节 车辆检测与诊断的参数及其标准..... 157
 第三节 车辆检测设备的基础知识..... 161
 第八章 发动机检测 164
 第一节 发动机功率检测..... 164
 第二节 汽缸密封性的检测..... 168
 第三节 点火系的检测与诊断..... 173
 第四节 电控汽油喷射系统的检测与诊断..... 180
 第五节 柴油机燃料供给系的检测与诊断..... 192
 第六节 车辆检测与诊断专用仪器的使用..... 199
 第九章 车辆性能检测 217
 第一节 车辆动力性检测..... 217
 第二节 车辆燃油经济性检测..... 221
 第三节 车辆燃油经济性台试检测..... 227
 第四节 发动机综合性能检测..... 231
 第五节 自动变速器的检测、诊断及维护..... 262
 第六节 制动性能检测..... 276
 第七节 前照灯技术状况的检测..... 289
 第八节 尾气检测..... 298
 第九节 噪声检测..... 318
 参考文献 325

第一章

车辆可靠性

第一节 可靠性概述

一、可靠性的定义

产品在规定条件下，在规定时间内，完成规定功能的能力（也即产品、条件、时间、功能四要素）。

对车辆而言，其产品包括整车、部件、零件，它们都是可靠性研究的对象。

规定条件是指车辆产品的工作条件，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。

规定的时间是指车辆行驶的保用期、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、订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。

二、可靠性的衡量指标

车辆可靠性是车辆所具有的寿命、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（此处指车辆，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。

（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功能的概率。

（3）故障概率密度函数，是指失效率对时间的分布函数。

（4）故障率函数（失效率函数），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。

故障率函数曲线如图 1-1 所示，也称为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。

①早期失效期（Decreasing Failure Rate, DFR）。

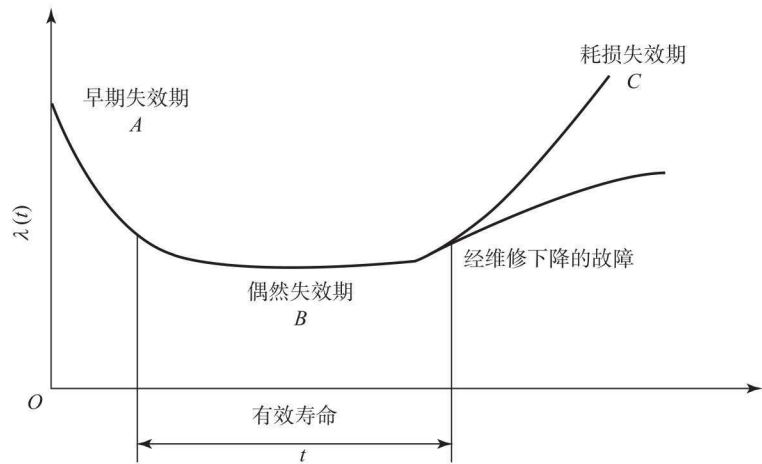


图 1-1 故障率函数曲线

基本特征：开始失效率较高，随着时间的推移，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、因检验差错致使次品混于合格品中等。

②偶然失效期（Constant Failure Rate, CFR）。

基本特征：失效率 $\lambda(t)$ 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。

产生 CFR 型失效的原因：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，但用户通过对车辆维护和修养，可以使这一时期延长。维护包括日常维护、一级维护、二级维护。

③耗损失效期（Increasing Failure Rate, IFR）。

基本特征：随着时间的增长，失效率急剧加大。

(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。

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。

例如， $t_{0.99}$ 表示可靠度 $R(t) = 99\%$ 时产品的寿命，在可靠度寿命中有以下三种特殊情况。

①特征寿命：可靠度 $R = \exp(-1) = 36.8\%$ 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 $t_{0.9}$ 。

三、车辆故障类型及故障分布规律

(一) 车辆故障的概念及类型

1. 概念

车辆故障指车辆在规定的条件下、规定时间内，不能完成规定功能的现象。

2. 模式

模式即故障的表现形式，有以下几种。

(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可把故障分为以下三种类型。

①早期故障型。产品在使用初期发生的可能性很大，但随着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。

②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。

③耗损故障型。它是指产品经过长期使用后，出现老化衰竭而引起，其随着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，则可以减少故障率，延长车辆的使用寿命。

(2) 按照车辆行业中《车辆产品质量检查评定办法》（即所谓“蓝皮书”）把车辆故障分为以下几种。

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，对周围环境造成一定损害。

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。对车辆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排除。

（二）车辆可靠性研究中的威布尔分布及应用

1. 威布尔分布的定义

完整的威布尔分布由以下参数决定，其表达如下。

可靠度，即

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

失效度，即

$$F(t) = 1 - \exp \left[\frac{-(t-r)^m}{t_0} \right] \quad (1-2)$$

故障概率密度函数，即

$$f(t) = \frac{m(t-r)^{m-1}}{t_0} \exp\left[-\frac{(t-r)^m}{t_0}\right] \quad (1-3)$$

故障率，即

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{m(t-r)^{m-1}}{t_0} \quad (1-4)$$

式中 m ——形状参数，无量纲；

t_0 ——尺度参数；

r ——位置参数 (h)。

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，有

$$R(t) = \exp(-t^m/t_0) \quad (1-5)$$

$$F(t) = 1 - \exp(-t^m/t_0) \quad (1-6)$$

$$f(t) = m t^{m-1}/t_0 \times \exp(-t^m/t_0) \quad (1-7)$$

$$\lambda(t) = m t^{m-1}/t_0 \quad (1-8)$$

式中，形状参数 m 影响分布函数曲线的形状特征。

$$\text{当 } m=1 \text{ 时, } R(t) = \exp(-t/t_0) = -\exp(-\lambda t) \quad (\lambda = 1/t_0) \quad (1-9)$$

$$F(t) = 1 - \exp(-t/t_0) = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (1-10)$$

$$f(t) = 1/t_0 \exp(-t/t_0) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad (1-11)$$

$$\lambda(t) = 1/t_0 = \lambda \quad (1-12)$$

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 $m=3.313$ 时，为正态分布。

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，它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，即 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 。尺度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， $R(t) = e^{-1} = 36.8\%$ 。

(3) 中位寿命。可靠度为 50% 时的寿命, 也称为 B50 寿命。

四、可靠性历史

1. 可靠性工程的萌芽和兴起阶段 (20 世纪 30—50 年代)

最早的可靠性概念来源于航空。1939 年, 美国航空委员会出版的《适航性统计学注释》中提出, 飞机由于各种失效造成的事故率不应超过 $0.000\ 01/h$, 相当于飞机在 1 h 飞行中的可靠度为 0.99999。现在所用的“可靠性”定义是在 1952 年美国的一次学术会议上提出来的。

早期的系统可靠性理论见于德国对 V1 火箭的研制中。他们提出了由 N 个部件组成的系统, 其可靠度等于 N 个部件可靠度的乘积。1943 年美国成立了“电子管技术委员会”并成立“电子管研究小组”, 开始了电子管的可靠性研究。这是有组织地研究电子管可靠性的开始。1949 年, 美国无线电工程学会成立了可靠性技术组, 这是第一个可靠性专业学术组织。20 世纪 50 年代初, 可靠性工程在美国兴起。当时, 美国军用电子设备由于失效率很高而面临着严重的局面: 1949 年美国海军电子设备有 70% 失效, 1 个正在使用的电子管要 9 个新的电子管作为随时替换的备件。

为了扭转被动局面, 1952 年 8 月 21 日, 美国国防部下令成立由军方、工业办及学术界组成的“电子设备可靠性顾问组”(AGREE)。在给政府的报告中提出了包括设计程序、试验、元件的可靠性、采购、运输、包装、储存、操作、维修等 9 项建议。这是产生美国有关可靠性军标的思想基础。AGREE 并于 1957 年 6 月 14 日提出了著名的《军用电子设备的可靠性》(即 AGREE 报告)。该报告极为广泛、系统、深入地提出了如何解决产品问题的一系列办法, 成为以后美国此类技术文件的依据。可以认为, AGREE 报告的发表使可靠性工程成为一门独立学科的里程碑。此后美国制定了一系列有关可靠性的军标, 确立了可靠性设计方法、试验方法及程序, 并建立有效数据收集及处理系统。20 世纪 50 年代, 苏联为了保证人造地球卫星发射与飞行的可靠性, 开始了可靠性的研究工作。同时, 为了解决作战对导弹的可靠性要求, 一些国家也先后开展了对可靠性的研究与应用, 日本在 1956 年从美国引进了可靠性技术和经济管理技术后, 于 1956 年成立了质量管理委员会。同年由科技联合会召开了第一次全国可靠性讨论会。

2. 可靠性工程的发展阶段 (20 世纪 50—60 年代)

20 世纪 60 年代是世界经济发展较快的年代。可靠性工程以美国先行, 带动了其他工业国家, 得到了全面、迅速的发展。其主要表现是继续制定、修订了一系列有关可靠性的军标、国标和国际标注, 包括可靠性管理、试验、预计、设计、维修等内容; 成立了可靠性研究中心; 深入地进行了可靠性基础理论、工程方法的研究; 开发了加速寿命试验、快速筛选试验这两种更有效的试验方法; 开发了按系统功能和参数预计可靠型的蒙特卡洛模拟法等新的可靠性预计技术; 开拓了旨在研究失效机理的可靠性物理这门新学科; 发展了故障模式、影响及危害性分析 (FMECA) 和故障树分析 (FTA 两种有效的系统可靠性分析技术); 开展了机械可靠性的研究; 发展了维修性、人的可靠性和安全性的研究; 建立了更有效的数据系统; 开设了可靠性教育课程。

1961 年, 苏联发射第一艘有人驾驶的宇宙飞船时, 宇航员对宇宙飞船安全飞行和安全返回地面的可靠性提出了 0.999 的概率要求, 可靠性研究人员把宇宙飞船系统的可靠性转化为各元器件的可靠性进行研究, 取得了成功, 满足了宇航员对宇宙飞船系统提出的可靠性要

求。也就在这一时期，苏联对可靠性问题展开了全面的研究。20 世纪 60 年代是美国航空航天事业迅速发展的时期。美国国家航空航天管理局（NASA）和美国国防部接受并发展了 20 世纪 50 年代由 AGREE 发展起来的可靠性设计及试验方案。与此同时，计算机硬件也从晶体管到集成电路，并朝着超大规模集成电路（VLSI）方向发展，计算机的进步主要源于硬件的进步，那时软件的重要性还不显著。20 世纪 60 年代中期，日本成立了电子元件可靠性中心。日本将美国在航空、航天及军事工业中的可靠性研究成果应用到民用工业，特别是车辆工业，使其车辆工业产品质量大幅提高，产品在世界各国广为销售，赢得了良好的质量信誉。不到 10 年，它的工业增长年速度就高达 15%。

3. 实现以可靠性为中心的全面管理阶段（20 世纪 70—80 年代）

在 20 世纪 60 年代全面发展的基础上，可靠性工程技术在处于领先地位的美国和工业较发达的各国得以向纵深方向发展，具体表现在以下几个方面。

（1）建立统一的可靠性管理机构。1978 年 2 月美国成立了由直属三军联和后勤司令部领导的可靠性、可用性和维修性联合技术协调组，该组下设系统管理、电子设备设计及试验、机械设备设计及维修等 6 个分组，统一组织和协调国防部内各种可靠性工作，制定可靠性工作的政策和指导性文件。

（2）重视机械可靠性研究。可靠性设计是引入概率论与数理统计的理论而对常规设计方法进行发展和深化而形成的一种新的现代设计方法。①工程系统日益庞大和复杂，使系统的可靠性和安全性问题表现日益突出，导致风险增加。②应用环境更加复杂和恶劣。③系统要求的持续无故障任务时间加长。④系统的专门特性与使用者的生命安全直接相关。⑤市场竞争的影响。所以要重视机械可靠性研究。

（3）成立全国统一的可靠性数据交换网。1970 年正式成立政府-工业部门数据交换网，到 1980 年已有 220 个政府机构和 404 个工业组参加该交换网。

（4）改善可靠性设计与试验方法。例如，计算机可靠性辅助设计、研究设备可靠性预计的软件包以及非电子设备的可靠性设计与试验方法。美国于 1977 年和 1978 年先后成立了机械设备可靠性设计及可靠性试验研究组织，研究机械设备的可靠性，制定相应的新设计程序和试验程序。在可靠性试验中采用综合环境应力试验，加强环境应力筛选，强调可靠性增长试验。

（5）广泛运用以可靠性为中心的维修思想以及自测试设备，提高了维修水平。

（6）开展了软件可靠性研究。美国 1978 年成立了三军软件可靠性技术协调组，负责国防部范围内的软件可靠性研究。在此期间，欧洲各国对可靠性也给予了很大关注。英国标准局成立了电子设备可靠性委员会，并开始出版可靠性系列标准。例如，颁发设备、系统、元件可靠性标准，阐明可靠性管理程序和试验方法，并列举 26 个工程应用实例，召开了多届可靠性学术会议，将可靠性活动基本上和质量管理活动联系起来。法国在国立通信研究所成立了“可靠性中心”，进行数据收集、分析研究工作。

自 20 世纪 80 年代以来，可靠性工程呈现出了以下全新发展趋势，主要表现在以下方面。

（1）从电子产品可靠性发展到机械和非电子产品的可靠性。

（2）从硬件可靠性发展到软件可靠性。

（3）从重视可靠性统计试验发展到强调可靠性工程试验，以通过环境应力筛选及可靠性强化试验来暴露产品故障，仅为提高产品可靠性。

(4) 从可靠性工程技术发展为包括维修工程、测试性工程、综合保障工程技术在内的可信性工程。

(5) 从军用装备的可靠性工程技术到民用产品的可靠性工程技术。

20 世纪 80 年代, 软件可靠性理论研究停滞不前, 没有质的飞跃。但软件可靠性的工程实践经验得到不断积累, 不少软件可靠性技术在软件工程实践中得以应用。某些技术达到实用化程度, 如软件可靠性建模技术、管理技术。可以说, 这一时期软件可靠性从研究阶段逐渐迈向工程化阶段。

4. 可靠性工程的现代化进展 (20 世纪 90 年代至今)

20 世纪 90 年代初, 中国原机械电子工业部提出了“以科技为先导, 以质量为主线”, 沿着管起来—控制好—上水平的发展模式开展可靠性工作, 兴起了我国第二次可靠性工作的高潮, 取得了较大的成绩。进入 20 世纪 90 年代后, 由于软件可靠性问题的重要性更加突出和软件可靠性工程实践范畴的不断扩展, 软件可靠性逐渐成为软件开发者需要考虑的重要因素, 软件可靠性工程在软件工程领域逐渐取得相对独立的地位, 并成为生机勃勃的分支。1991 年海湾战争的“沙漠风暴”行动和科索沃战争表明, 未来战争是高技术的较量。现代化技术装备, 由于采用了大量的高新技术, 极大地提高了系统的复杂性, 为了保证战备的完好性、任务的成功性以及减少维修人员和费用, 可靠性工程范围将大大扩展, 需要更多的可靠性技术做保证, 需要更加严密的可靠性管理系统, 可靠性研究需要上一个台阶。

自 21 世纪以来, 可靠性在向着综合化、自动化、系统化和智能化的方向发展。综合化是指统一的功能综合设计而不是分立单元的组合叠加, 以提高系统的信息综合利用和资源共享能力。自动化是指设计对象具有功能的一定自动执行能力, 可提高产品在使用过程中的可靠性。系统化是指研究对象要能构成有机体系, 发挥单个对象不能发挥的整体效能。智能化将计算技术引入, 采用如人工智能等先进技术, 提高产品系统的可靠性和维修性。

可靠性发展也是从单一领域的研究发展到结合各个学科门类中相应的研究, 形成多学科交叉渗透。结构可靠性理论是涉及多学科并与工程应用有密切关系的学科, 对结构设计是否符合安全可靠、耐久适用、经济合理、技术先进、确保质量的要求起着重要的作用。它运用了概率论、数理统计、随机过程等数学方法处理工程结构中的随机性问题, 以应力-强度分布干涉理论为基础, 涉及结构随机可靠度的基本概念、原理和相关基本算法, 如今可靠性理论与优化理论结合的可靠性优化技术已成功应用在结构和产品设计中, 并产生了明显的经济效益。近来, 可靠性分析方法的研究趋于活跃, 许多学者将人工智能、随机模拟、心理学、认知工程学、神经网络、信息论、突变论、模糊集合论等学科的思想应用到人可靠性分析中, 出现了人可靠性心理模型、人可靠性分析综合认知模型、人模糊可靠性模型、人机系统人失误率评估的动态可靠性技术以及计算机辅助人可靠性分析等。可靠性在电力系统中也得以广泛应用, 目前的研究几乎涉及电力系统发电、输电、配电等各方面, 可靠性分析也正逐步成为电力系统规划、决策的一项重要辅助工具。在电子领域, 现有的绝大多数可靠性数学模型和研究方法是以电子产品为最初对象产生和发展起来的, 所以目前对电子产品的可靠性研究不论从可靠性建模理论、可靠性设计方法、失效机理分析还是可靠性试验技术及数据统计方式等方面均已趋向成熟。

特别是在机械、车辆、电力等领域, 可靠性也发挥着不可替代的作用。可靠性成为一门

独立的学科仅仅 40 多年，已经取得了很大的成就，但其在发展研究上也有亟待解决的问题。首先，目前对电子产品的可靠性研究已较成熟，对机械系统的可靠性研究相对较晚，由于机械零件的失效模式和电子元件相比有很大差别，机械系统的构成也不同于电子系统，机械系统的受载方式更为复杂，其失效的影响因素也更为多样，至今还没有数学模型和分析方法可直接用于机械系统进行可靠性研究。目前应用于机械系统的可靠性分析方法基本沿用以电子元件或设备为对象总结出来的可靠性方法，这就有可能导致对机械系统的可靠性分析与设计走入误区。其次，如何在小样本条件下确定系统的可靠性参数是一个迫切需要解决的问题。

最后，常规的可靠性理论是在二态假设和概率假设基础上建立的，但在可靠性工程实际中很难满足上述两个基本假设，用常规可靠性理论进行系统评价并不能完全反映实际情况。总之，系统可靠性从诞生、发展到应用已经逐步向着各学科渗透，但在现代科技飞速发展的时期，系统可靠性在理论和研究模式上还有欠缺，需要结合其他理论如模糊理论、人工智能等，使可靠性理论、试验和管理能够更成熟、更完善。事实上，可靠性工程的推广和应用给企业与社会带来的巨大经济效益，让人们更加认识到提高产品可靠性的重要性。世界各国纷纷投入大量人力、物力进行研究，并在更广泛的领域里推广应用。

第二节 车辆可靠性的重要性

一、无故障是最重要的性能指标

用户对车辆性能的要求，对产品好坏、是否先进有许多评价指标：车辆的可靠性；燃油经济性，动力性；可维修性；通过性；平顺性及售价等。车辆可靠性是最基本、最重要的指标之一。

车辆可靠性差，将失去信誉，失去市场，失去使用价值。车辆经常调修，小故障不断，常换件，耐久性差，都是可靠性差的表现。

国外近 10 年来，发动机第一次大修里程增加很多，苏联吉尔 130 发动机在 25 万 km 左右。欧、美、日等国的柴油机都在 30 万~40 万 km。而国产汽油发动机第一次大修里程一般在 10 万 km 左右。

二、不正常停修是最大的经济损失

车辆不正常停修对运输企业损失很大，国外有的国家对计划外的停修费用规定为 8.1%，尚要求压缩。

例如，美国圣路易斯市一车队，每天每车（一年平均 365 天计）要完成 14 459 t·km，运距为 826 km，运价为 0.04 美元/(t·km)，如每天少出一辆车，则减少收入 463 美元。该车队共有 322 辆车，670 辆半挂车，如果平均停 1 h，其经济损失就很大。因此，美国对车辆可靠性特别重视。相比之下，我国某大城市一车队每天每辆车只完成 506 t·km，运距为 78 km，空闲时间多，对计划外的停修又很少统计，还体会不到可靠性的重要意义。

三、退货事件的影响

国外一般实行了索赔制度，这是提高车辆可靠性的重要法律保证。

日本出口到美国的车辆遭到退货的危机，其结果影响很坏。这不是说日本的车辆故障增加了，而是说明美国的用户对车辆可靠性要求提高了。

现代车辆作为交通工具在社会上已经普及，因此要求它在任何条件下都能可靠使用，这对车辆产品的声誉影响很大。虽然已经退回车辆的实际故障率并不太多，但对车辆出故障的用户来说，却处于 100% 的困境中。为使用户信得过，就必须向社会提供能够满足用户要求的可靠性高的车辆。

四、零件数增加要求提高可靠性

车辆本身技术的提高和日趋复杂化是影响车辆可靠性的主要因素之一，这一点是不能忽视的。尤其是装有电子自控装置的车辆日益增多，预计近来车辆零件数目将从几万个很快增至十几万个甚至几十万个。零件数目的增加，装置的复杂化，不仅要求长期正常地发挥其功能，而且在任何情况下都能可靠地工作。这样，可靠性就变得更加重要。

假设某车辆总成约有 5 000 个零件，每件可靠度为 0.99，那么车辆总成的可靠度就很小了。所以，随着车辆产品技术的日趋先进、复杂，随着交通流密度不断增大，用户对车辆可靠性的要求也越来越高。为使车辆工业迅速健康地发展，必须竭尽全力，研究创造可靠性高的车辆。

五、战备的需要

我国土地辽阔，边防线长，地形复杂，气候变化多端，车辆可行驶在高原山区、涸泽地带甚至荒漠秃岭之中。所以，车辆可靠性和可维修性对军用越野车辆和战备使用的车辆特别重要，因为它也是决定战争胜败的一个重要因素。

六、提高可靠性能使经济效益显著

有人认为研究可靠性工作在经济上是不合算的，为了提高可靠性就必须采取各种措施，这将会提高产品成本，这种看法是不正确的。实际上，对生产单位来说，可靠性不仅能提高产品信誉、减少废品、减少退赔、节省时间，而且还有现实的经济利益。

1969 年日本车辆行业以退货问题为转机，对可靠性更加关注，并时时关注着车辆可靠性理论的发展趋势。1969 年 6 月发生退货事件之前，日本的车辆可靠性重点研究有以下几个。

①确保强度方面的安全性。

②延长车辆保用期限。

③延长维修期。

1. 强度方面

对强度的研究工作是在第二次世界大战结束后不久，即从 1947 年、1948 年开始的。1949 年制定了车辆强度标准。正式的强度计算是以此为基准的。到 1955 年进行这些研究的车辆技术会设立了车辆强度委员会，继续进行这方面的研究。但正式从可靠性角度来研究强度问题还是近些年的事。

2. 延长保用期

延长保用期是各公司为努力满足用户的呼吁而采取的措施。

3. 延长维修期

国外研究延长维修调整检查期、延长换润滑油间隔时间以及采用不加润滑油的结构等,称为“无维修保养”,从减轻用户使用消费的意义上讲是非常重要的,也是今后的努力方向。

1969年6月发生的退货问题已成了日本的社会问题。以车辆工业会为主,联合零件、车身、销售、维修等所有有关行业设立了“车辆安全对策协议会”,以退货问题为转机,从确保汽车安全性角度出发,车辆工业的可靠性研究逐渐开展起来了。

在丰田系统的各公司内也以可靠性委员会等组织为中心,除继续采取很早就开展起来的质量管理措施外,还进一步以对产品的认识和新方法为基础,开展可靠性研究。

第三节 车辆可靠性理论的主要研究内容

在轿车工业领域,年产30万辆的生产节拍是40 s/辆,而且多品种加工是轿车装备必须解决的重点问题之一;其加工的零部件多为薄壁和薄筋,刚度很差,材料为铝或铝合金,只有在高切削速度和切削力很小的情况下,才能对这些筋、壁进行加工。近来采用大型整体铝合金坯料“掏空”的方法来制造缸体、车身等大型零件来替代多个零件通过众多的铆钉、螺钉和其他连接方式的拼装,使构件的强度、刚度和可靠性得到提高。这些都对加工装备提出了高速、高精度和高柔性的要求。车辆可靠性理论主要研究内容如下。

1. 统计控制

其包括车辆产品质量管理及抽样检查等内容,运用数理统计方法来控制质量,设法将产品质量的事后检查和处理移到整个生产过程的事前控制中去。其目标主要是如何制造出故障少而又不易损坏的产品。

2. 车辆可靠性试验、数据分析与预测

其主要包括车辆、总成和零部件的加速、强化试验及数据整理;车辆可靠性情报技术,车辆可靠性数据的收集,对数据作统计分析和技术分析;车辆可靠性预测。

3. 车辆可靠性设计与优化设计

这部分主要包括车辆可靠性设计和优化设计,更深入、更精确、更符合实际。

4. 车辆可维修性与更新理论

这部分包括车辆状态的转移与有效度、可靠度,车辆更新理论;最佳维修周期的确定。使车辆发生故障后如何尽快修好,从而保证车辆系统的功能。

5. 车辆可靠性物理(或称失效物理)

其主要研究损伤机理和缺陷检测等。通过所建立的物理、化学及数学模型等研究以理论化分析为基础的失效分析方法。它是车辆可靠性理论的一个重要领域,在某种意义上,它是决定产品最终可靠性的一门技术。随着新材料、新零件的不断出现,它将经常地作为一种古老而新颖的技术被提出来,启发人们去研究、去探索。这部分内容主要包括:失效模式、影响与危害性分析;故障树分析;可靠性物理模型。

6. 车辆可靠性管理技术

该部分主要包括:车辆可靠性管理(教育培训、承包单位管理、储备、服务等);车辆

可靠性经济效益，车辆可靠性规范、条款等。

第四节 车辆产品可靠性的特点及提高可靠性的途径

一、车辆可靠性的特点

车辆可靠性是指车辆产品（总成或零部件）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。

可靠性是评价车辆技术水平的综合性使用性能的指标。车辆的可靠性是指在规定的使用条件下和规定的行程内完成规定功能的能力。车辆的使用可靠性取决于车辆本身的固有可靠性以及车辆的使用维修水平，并与车辆的使用条件有关。车辆使用时间增长，其出现故障的可能性随之增大，使用可靠性下降。

1. 不能要求太高的固有可靠度

车辆零件不像飞机、航天设备和电子设备零件那样要求“无故障”的固有可靠度。车辆系统、总成也不像航天系统和电子系统那样要求很高的系统可靠度。但有些车辆总成，如制动系统、转向系统则要求有较高的安全可靠度。

2. 车辆产品是可维修系统

车辆产品与电子产品不同，它是可维修的产品。对于可维修的车辆产品，除了“使车辆产品无故障”这种狭义的可靠性要求之外，还包括“出现故障或工作不正常时即能进行维修”这样一种可维修性的内容，也就是说，可靠度和可维修度两者结合起来，就能使车辆系统、总成处于满意的状态，车辆处于正常的概率就会增加，这就是广义的可靠性内容，也就是有效度。

车辆则要求有较高的有效度，以保持较高的正常状态的概率。为此，一方面要尽量少出故障，使平均无故障工作时间增长；另一方面使平均维修时间尽量缩短。

3. 车辆系统以串联型为主

车辆系统不像电子系统那样，线路复杂交叉，一般称为网络系统。车辆系统多半是串—并联或并—串联组合，且以串联为主。

二、提高车辆可靠性的途径

下面着重从5个方面谈提高车辆可靠性的途径。

1. 制订可靠性工作计划

车辆可靠性是一种综合性技术，有关各部门之间的平衡和协调十分必要。既要与总成、系统的复杂化、高性能相适应，又要以有限的费用和时间来满足对可靠性的要求，这就必须采取相应的措施。从总成和车辆的制造到最后报废的整个寿命周期，它的所有技术和数据资料及其经验均为下一代产品提供借鉴，都应综合地反映到系统、总成的可靠性计划中去，必须明确产品的可靠性要求，并在产品的设计、制造、试验、使用和维修等各个阶段，有组织、有系统地推进可靠性计划的实施。对于在使用和试验等阶段中所得到的数据资料，必须从技术以及统计角度出发进行分析，并进一步加以整理综合，然后尽快、有效地反馈到产品

的研究、设计、制造、维修、试验等方面。这项工作是在折中考虑成本费用和其他质量的基础上实现产品可靠性的唯一方法。

可靠性技术既然是综合性的技术，隶属系统工程的范畴，所以必然要求可靠性机构应能维持经常性的活动。另外，有相当一部分故障是设计错误造成的。所以，为提高可靠性首先要在设计部门推行可靠性教育。再者，制订可靠性教育计划，提供可靠性设计所需的数据资料，设计所指定的零件和材料的购买等，这些问题如没有有关部门的协作，就不能达到预期的目标。可见，可靠性技术中有很多问题是属于经营管理方面的。因此，要以可靠性组织机构为中心，制订可靠性计划，并付诸实施，这也是提高效率的最好方法。

2. 提高零件的可靠性

要提高车辆零件、材料的可靠性，就要设法降低这些零件、材料的故障率，延长它们的使用寿命。

损伤劣化机理、缺陷的检测、寿命的预测等都是设法提高车辆产品的可靠性,并进而对物理学提出新的研究任务。因而,可靠性物理是车辆可靠性理论的一个重要领域,是可靠性理论发展的一个新阶段。它从数理统计方法发展到以理化分析为基础的失效分析方法,是从根本上探讨车辆产品不可靠因素,从而为研制和生产高质量的车辆提供科学依据。

3. 执行可靠性技术基本循环过程

可靠性技术基本循环过程如图 1-2 所示,可靠性技术是一种综合性工程技术,它贯穿于对产品的研制、设计、制造、试验、使用及维修等各个环节,在这些环节循环过程中,使产品的可靠性得到不断的改进和提高。

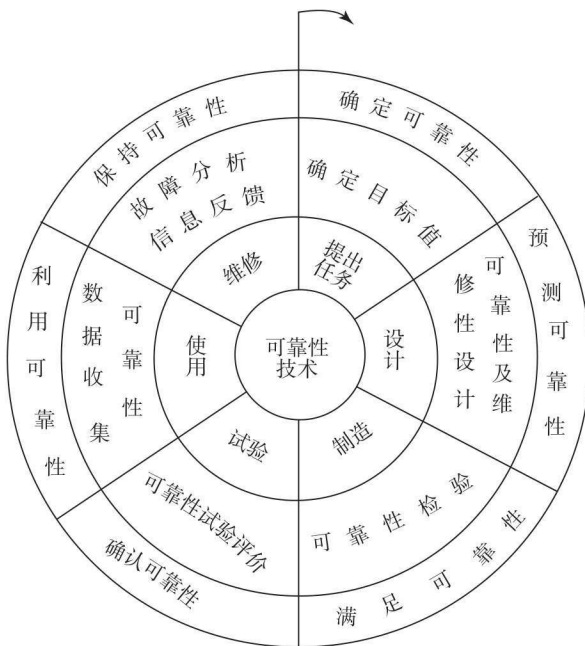


图 1-2 可靠性技术基本循环过程图

4. 提高系统的可靠性

从车辆系统来看，若只是在提高零件的可靠性上下功夫未必一定有效。对故障率很小的