

# 汽车检测与 诊断技术

普通高等教育交通类推荐教材



武汉科技大学 赵英勋 刘 明 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育交通类推荐教材

# 汽车检测与诊断技术

主编 赵英勋 刘 明

主审 杨万福



机械工业出版社

本书系统地介绍了汽车检测与诊断技术的基础知识、检测方法、诊断原理和现代汽车检测设备的原理及应用。内容包括汽车检测诊断技术概论、发动机和底盘的检测与诊断、车身及附件的检测与诊断、汽车仪表与照明系统的检测、汽车排放污染物与噪声的检测。

本书可作为高等院校交通运输类专业本科生教材,也可供汽车运用、交通管理、车辆工程、汽车检测方面的工程技术人员和管理人员在实际中使用和参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

汽车检测与诊断技术/赵英勋,刘明主编. —北京:机械工业出版社, 2003.1

普通高等教育交通类推荐教材

ISBN 7-111-11355-1

I. 汽... II. ①赵...②刘... III. ①汽车—故障检测—高等学校—教材②汽车—故障诊断—高等学校—教材 IV. U472.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 099233 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:杨民强 刘焯 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003年3月第1版第1次印刷

1000mm×1400mm B5·10印张·387千字

0 001—4 000册

定价:38.00元(含1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是根据全国高等院校汽车运用工程专业教学指导委员会第二届六次会议通过的交通运输（载运工具运用工程）专业“十五”教材编写规划和《汽车检测与诊断技术》教材编写大纲编写的。它可作为交通运输专业“汽车检测与诊断技术”课程的教材，也可供有关的工程技术人员和管理人员参考。

随着汽车技术的飞速发展，高新技术的广泛运用以及电子化程度的不断提高，汽车检测与诊断技术所包含的知识、侧重的内容、涉及的范围、利用的设备以及采取的方法已发生了很大变化。从目前应用的情况看，汽车检测与诊断技术已贯穿于汽车运用、汽车维护、汽车修理以及交通安全和环境保护等各个领域。基于这些，编者参阅了大量技术资料，并结合汽车检测和教学科研实践，在本书中充分论述了汽车检测诊断技术的地位、基础知识、发展概况及其应用情况；详细阐述了汽车发动机、底盘、车身及附件常见故障的检测诊断方法；着重介绍了现代汽车的发动机电子控制系统、电子控制自动变速器、电子控制动力转向系统、电子控制防滑系统、电子控制悬架系统和电子控制安全气囊系统故障的检测诊断方法；简要介绍了汽车仪表与照明系统、汽车排放污染物与噪声的检测原理和检测方法。本书取材较新，努力反映当代最新汽车科技的研究成果，以适应汽车检测与诊断技术发展的需要。

本书由武汉科技大学赵英勋、刘明主编。其中第一、三章由赵英勋编写，第四章由刘明、赵英勋编写，第六章由武汉科技大学丁卫东、赵英勋编写，第二章由湖北汽车工业学院韩同群编写，第五章由湖北汽车工业学院牟向东编写。

本书在编写过程中，得到了郭锋老师的大力帮助；本书初稿完成后，武汉理工大学杨万福教授对本书进行了详细的审阅，并提出了许多宝贵的建议，编者在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，加上水平有限，书中定有不少错误，恳请使用本书的师生及广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>第一章 概论</b> .....	1
第一节 概述 .....	1
第二节 汽车检测与诊断技术基础知识 .....	6
第三节 汽车检测站 .....	21
复习思考题 .....	28
<b>第二章 汽车发动机的检测与诊断</b> .....	29
第一节 发动机功率的检测 .....	29
第二节 气缸密封性的检测 .....	33
第三节 起动系的检测与诊断 .....	41
第四节 点火系的检测与诊断 .....	50
第五节 汽油机供给系的检测与诊断 .....	62
第六节 柴油机供给系的检测与诊断 .....	71
第七节 润滑系的检测与诊断 .....	85
第八节 冷却系的检测与诊断 .....	94
第九节 发动机异响的检测与诊断 .....	98
第十节 发动机电子控制系统的检测与诊断 .....	107
复习思考题 .....	119
<b>第三章 汽车底盘的检测与诊断</b> .....	121
第一节 驱动轮输出功率的检测 .....	121
第二节 传动系的检测与诊断 .....	130
第三节 电子控制自动变速器的检测与诊断 .....	146
第四节 转向系的检测与诊断 .....	165
第五节 制动系的检测与诊断 .....	180
第六节 电子控制防滑系统的检测与诊断 .....	199
第七节 汽车行驶系的检测与诊断 .....	213
第八节 电子控制悬架系统的检测与诊断 .....	235
复习思考题 .....	241
<b>第四章 车身及附件的检测与诊断</b> .....	243
第一节 轿车车身的检测与诊断 .....	243
第二节 电子控制安全气囊系统的检测与诊断 .....	249
第三节 汽车空调系统的检测与诊断 .....	256

复习思考题 .....	267
<b>第五章 汽车仪表与照明系统的检测</b> .....	<b>268</b>
第一节 车速表的检测 .....	268
第二节 汽车前照灯的检测 .....	272
第三节 汽车电子仪表的检测 .....	281
复习思考题 .....	286
<b>第六章 汽车排放污染物与噪声的检测</b> .....	<b>287</b>
第一节 汽车排放污染物的检测 .....	287
第二节 汽车噪声的检测 .....	304
复习思考题 .....	312
<b>参考文献</b> .....	<b>313</b>

# 第一章 概 论

## 第一节 概 述

### 一、汽车检测与诊断技术

汽车检测与诊断技术是汽车检测技术和汽车故障诊断技术的统称，有时简称为汽车检测诊断技术或汽车诊断技术。它是研究汽车检测方法、检测原理、诊断理论以及在汽车不解体条件下的检测手段，以确定汽车技术状况及其故障的一门学科。它包括检测设备的研制、诊断参数的确定、汽车故障的诊断和汽车技术状况的预测等多方面的内容。汽车检测与诊断技术是一门涉及机械、电子控制、数学、可靠性理论、测试和汽车使用技术等方面的综合应用学科，它以检测技术为基础，以诊断为目的，通过对汽车性能参数或工作能力的检测，依靠人工智能科学地确定汽车的技术状态，识别、判断故障，甚至预测故障，为汽车继续运行或进厂维修提供可靠的依据。

现代汽车的检测与诊断，是一种全新的、现代化的检验工作，它与传统的人工检查有原则上的不同。它是借助科学技术的新成就，利用必要的仪器、设备，在满足整车不解体条件下进行检测，从而确定汽车技术状况、工作能力或故障部位的。它具有科学、高效、省力、准确的特点。随着汽车技术的飞速发展，高新技术的广泛运用以及汽车电子化程度的不断提高，汽车检测与诊断技术本身所包含的知识，侧重的内容，涉及的范围，利用的设备以及采取的方法均发生了很大变化。从目前应用的情况看，汽车检测与诊断技术已贯穿于汽车运用、汽车维护、汽车修理以及交通安全和环境保护等各个领域，并起着重要的作用。

### 二、汽车检测与诊断技术的地位

#### 1. 汽车检测诊断技术是实施汽车维修制度的重要保证

我国现行的汽车维修制度属于计划预防维修制度，车辆的维修必须贯彻预防为主、定期检测、强制维护、视情修理的原则。这种维修制度是根据车辆检测诊断和鉴定的结果，对车辆进行视情处理，施以不同的作业范围，这样可以减少不必要的拆卸，避免盲目维修或失修现象发生，能最大限度地发挥零件的使用潜力，大大提高汽车的可靠性和使用经济效益。然而，这一维修制度的实施，是以先进的汽车检测诊断技术为前提的。可以想象，如果没有汽车检测诊断技术，要实现视情维修则是一句空话。因此，我国交通部《汽车运输业车辆技术管理规定》中明确指出：汽车检测诊断技术，是检查、鉴定车辆技术状况和维修质量的重要手

段，是促进维修技术发展，实现视情修理的重要保证。

## 2. 发展汽车检测诊断技术是提高维修效率、监督维修质量的迫切需要

随着汽车工业的发展，汽车保有量迅猛增长，汽车维修任务相应加大；同时由于汽车的结构日益复杂，电子化程度越来越高，汽车维修难度相应加大，由此产生的后果是熟练汽车维修工严重短缺，单凭经验进行汽车维修已不能适应现代汽车的技术要求。

在车辆技术保障中，资料统计表明，查找故障的时间约为70%，而排除和维修的时间约占30%。为提高汽车维修效率，应采用先进的汽车检测诊断技术。随着汽车结构的日益复杂，汽车检测诊断技术的地位越来越高，人们更加依赖于汽车检测诊断技术。没有检测诊断技术，车辆的故障就不能迅速排除，车辆的技术状况就不能迅速恢复；没有检测诊断技术，车辆的维修质量也不能得到有效的监督。因此，汽车检测诊断技术在汽车技术保障中处于十分关键的地位，它是提高维修效率、保证维修质量的重要措施。

## 3. 加强汽车安全技术检测是确保行车安全的重要手段

随着汽车保有量的增加，汽车交通事故造成人身伤亡的现象十分严重，现已构成不可忽视的社会问题。面对日益严峻的交通安全形势，对机动车辆要加强安全技术检测。采用先进的检测仪器，对汽车的技术状况做出准确的判断，找出隐患及时排除，发现问题及时维修，确保汽车的行车安全。

### 三、汽车检测与诊断的目的

汽车检测与诊断的目的，是为了确定在用车辆的技术状况是否正常或有无故障。只有技术状况正常的汽车，才能安全地行驶和经济可靠地工作；汽车技术状况异常或有故障，则应根据诊断的结果维护或修理汽车，使其恢复正常。在实际工作中，汽车检测与诊断的目的因检测项目的不同而有差异。

#### 1. 汽车安全、环保性能检测

对汽车实行定期和不定期的安全和环保性能检测，目的是建立安全和环保的监控体系，强化汽车的安全管理，确保汽车具有符合要求的外观、良好的安全性能和规定范围内的环境污染程度，使汽车能在安全、高效和低污染的状况下运行。

#### 2. 汽车综合性能检测

对汽车实行定期和不定期的综合性能检测，目的是在汽车不解体情况下，确定运输车辆的技术状况和工作能力，对维修车辆实行质量监控，确保运输车辆具有良好的动力性、经济性、安全性、可靠性等使用性能和减少对环境的污染程度，以创造更大的经济效益和社会效益。

#### 3. 汽车故障的检测诊断

对故障汽车的检测诊断，目的是在不解体（或仅卸下个别小件）情况下，查出故障的确切部位和产生的原因，从而确定故障的排除方法，提高排除故障的效



率，使汽车尽快恢复正常。

#### 4. 汽车维修时的检测

汽车维修前的检测，目的是找出汽车技术状况与标准值相差的程度，从而确定汽车是否需要大修或应采取何种技术措施修复，以实现视情修理；汽车维修过程中的检测，目的是确诊故障的部位和原因，提高维修质量及维修效率；汽车维修后的检测，目的是检验汽车的使用性能是否得到恢复，以确保维修质量。

在汽车使用过程中，为了解在用车的技术状况，应经常对汽车进行检测，每次检测的时机，可以与汽车的正常维护和修理周期相互配合，适当安排在各次汽车维修作业之前或竣工之后。

### 四、汽车检测诊断的基本方法

汽车在工作过程中，各种零件和总成都处于装配状态，无法对零件进行直接测试，例如气缸的磨损量、曲轴轴承的间隙等，在发动机不解体时是无法直接测量的。因此，对汽车进行诊断都采用间接测量，如通过振动、噪声、温度等物理量的测量，间接诊断汽车的技术状况。为提高测量精度，作出科学、准确的诊断，应采用合适的检测诊断方法。

汽车技术状况的诊断是由检查、分析、判断等一系列活动完成的。从完成这些活动的方式来看，汽车诊断的基本方法有如下几种。

#### 1. 人工经验诊断法

人工经验诊断法是凭借诊断人员丰富的实践经验和一定的理论知识，利用简单工具，在不解体汽车或局部解体情况下，根据汽车在工作中表现出来的外部异常状况，通过眼看、手摸、耳听等手段，边检查、边试验、边分析，进而对汽车技术状况进行定性分析或对故障部位和原因进行判断的一种方法。这种方法不需专用仪器设备，可随时随地应用。但是这种方法对诊断人员的经验依赖性强，要求诊断人员有较高的技术水平，并存在诊断速度慢、准确性差及不能进行定量分析等缺点。

#### 2. 现代仪器设备诊断法

现代仪器设备诊断法是在汽车不解体情况下，利用各种专用仪器和设备，对汽车、总成或机构进行测试，并通过对诊断参数测试值、变化特性曲线、波形等的分析判断，定量确定汽车技术状况或确诊故障部位和原因的一种方法。采用微机控制的仪器设备能自动分析、判断、存储并打印诊断结果。现代仪器诊断法的优点是诊断速度快、准确性高、能定量分析；缺点是投资大，需占用厂房。

#### 3. 自诊断法

自诊断法是利用汽车电控单元的自诊断功能进行故障诊断的一种方法。自诊断功能就是利用监测电路检测传感器、执行器以及微处理器的各种实际参数，并将其与存储器中的标准数据进行比较，从而判定系统是否存在故障。当判定系统

存在故障时，电控单元将故障信息以故障码的形式存入存储器，并控制警示灯向驾驶员发出警示信号。自诊断法就是通过一定的操作方式，把汽车电控系统中电控单元的故障码提取出来，然后通过查阅相应的“故障码表”来确定故障的部位和原因。

在实际检测诊断工作中，上述三种方法并不相互独立，而是相辅相成的。人工经验诊断法是检测诊断的基础，它在汽车诊断的任何时期均具有十分重要的实用价值，即使汽车专家诊断系统，它也是把人脑的分析、判断通过计算机语言转化成电脑的分析判断。现代仪器设备诊断法是在人工经验诊断法基础上发展起来的诊断方法，它在汽车检测诊断中所占的比例日益增大，使用现代仪器设备诊断法是汽车检测诊断技术发展的必然趋势。自诊断法，对于电子控制的汽车各大系统十分有效，而且快捷准确，这是其他方法无可比拟的，随着计算机控制技术的发展和在汽车上的广泛应用，自诊断法将会显示出更大的优势，发挥更大的作用。

## 五、汽车检测诊断技术的发展概况

汽车检测诊断技术是现代化生产发展的产物，它是随着汽车技术的不断多功能化和自动化而发展起来的。随着汽车技术的发展，汽车的结构越来越复杂，电子化程度越来越高，因而对汽车故障的诊断、排除的难度就越来越大，人们对检测不断提出新的要求，刺激着汽车诊断技术的向前发展，同时发展了的汽车诊断技术，不仅减少维修汽车所需的劳动量，提高维修汽车的经济效益，而且能对汽车产品质量或维修质量作出客观评价，为汽车技术或维修技术的合理改进提供基础数据，促进汽车工业和维修业的发展。而汽车检测诊断技术则跟随汽车技术的发展而不断提出新的要求，以适应汽车维修市场的需要。汽车检测诊断技术的发展远景是自动化寻找故障和实现诊断，提高检测的准确程度和以最小的劳动消耗实现高的可靠性。

### 1. 国外汽车检测诊断技术的发展概况

汽车检测诊断技术在工业发达的国家早已受到重视，早在 20 世纪中叶，就形成了以故障诊断和性能调试为主的单项检测技术；进入 20 世纪 60 年代后，检测诊断技术获得了较大发展，出现了简易的汽车检测站；随着汽车工业的发展，电子系统的广泛应用，传统的手摸、耳听，拆拆装装地进行故障诊断的方法已难以适应。为此，汽车发达国家的汽车公司及机械维修设备制造厂借鉴 20 世纪 60 年代在航天、军工方面首先发展起来的机器故障诊断技术，积极开发汽车诊断系统，20 世纪 70 年代开发出了车外诊断专用设备，能对特定车辆进行多项目的检测，其汽车诊断技术已发展成为检测控制自动化、数据采集自动化、数据处理自动化、检测结果打印自动化的综合检测技术；20 世纪 80 年代，发达国家的随车诊断已成为故障诊断的主流，不少轿车具有故障自诊断功能，而此时的车外诊断专用设备更具有诊断复杂故障的能力，具有汽车专家诊断系统，这种专家诊断系统就是模拟

熟练的汽车诊断专家思维的计算机程序，它将汽车专家的知识移植于诊断方法之中，一些发达国家的汽车检测新技术已达到了广泛应用的阶段，给交通安全、环境保护、节约能源、降低运输成本等方面，带来了明显的社会效益和经济效益；20世纪90年代后，国外汽车诊断设备发展的重要特征是直接采用各种自动化的综合诊断技术，增加难度较大的诊断项目，扩大诊断范围，提高对非常复杂故障的诊断能力，不断开发新的汽车诊断专家系统，使汽车诊断技术向新的高度发展。

总体上讲，工业化发达国家的汽车检测诊断技术，在管理上实现了“制度化”；在检测基础技术方面实现了“标准化”；在检测方式上向“智能化、自动化”方向发展。

## 2. 我国汽车检测诊断技术的发展概况

我国汽车检测诊断技术起步较晚，着手开发汽车故障诊断技术始于20世纪60年代中后期，由交通科学研究所和天津市公共汽车三场合作，研制汽车综合试验台，为我国汽车检测和诊断技术的发展迈出了第一步。1977年国家为了改变汽车运输维修落后的局面，下达了“汽车不解体检验技术”的研究课题，这是建国以来，国家对汽车维修科研方面下达的第一个国家课题，标志着我国汽车诊断技术开始了新的起点。但汽车诊断技术真正受到重视是20世纪80年代初开始的。当时，我国汽车保有量急剧增加，为保证车辆安全运行，减少交通事故，政府有关部门采取了一些积极措施，在全国中等以上城市，建成了许多安全性能检测站，促进了汽车检测诊断技术的发展。进入20世纪90年代后，随着计算机技术在我国迅猛发展，使汽车检测诊断技术在我国产生了革命性的变化，在汽车维修检测市场，不仅出现了大量的诊断硬件设施，同时应用计算机的汽车故障诊断专家系统软件也有了长足的发展。我国自行研制生产的诊断设备已由单机发展为配套，由单功能发展为多功能，由手工操纵发展为自动控制，并逐步开发出实用的汽车诊断专家系统。目前已研制出的并投入使用的汽车诊断设备中，用于发动机诊断的主要有：发动机无负荷测功仪、发动机综合测试仪、电子示波器、点火正时仪、废气分析仪、发动机异响诊断仪、机油快速分析仪、铁谱分析仪、油耗计、气缸漏气量检测仪等；用于底盘诊断的主要有：制动试验台、侧滑试验台、转向轮定位仪、车速表试验台、灯光检验仪、底盘测功机、车轮动平衡机等。目前在我国体现汽车诊断技术发展较快的是建成了相当数量的汽车检测站，可以说我国已基本形成了全国性的汽车检测网，汽车检测诊断技术已初具规模。

## 3. 我国汽车检测诊断技术的展望

虽然我国汽车检测诊断技术发展很快，但与世界先进水平相比，还有一定距离。为使我国的汽车检测诊断技术赶超世界先进水平和适应汽车技术高速发展的需要，应从汽车检测技术基础、检测设备智能化和检测诊断网络化等方面进行研究和发展。

### (1) 实现汽车检测技术基础的规范化

我国汽车检测诊断技术在发展过程中,普遍重视硬件技术,而忽视或是轻视了难度大、投入多、社会效益明显的检测方法和限值标准等基础性技术的研究。随着汽车诊断技术的发展,应加强基础研究,完善与硬件配套的软件建设,制定量化的检测标准,统一规范全国各地的检测要求及操作技术。

### (2) 提高汽车检测诊断设备的性能和智能化水平

随着汽车诊断技术的发展,汽车诊断设备将向多功能综合式和自动化方向发展,同时,测试仪器也将趋向小型化、轻量化、测量放大一体化、非接触化、智能化。而且还会不断地提高检测诊断设备的性能,进一步提高诊断系统的智能化水平,增加诊断项目,扩大检测范围,提高产品的可靠性。目前的诊断设备还只能诊断汽车的部分性能和故障,对某些总成如离合器、变速器、差速器、主传动器等的故障诊断,还缺乏方便、实用的仪器设备,仍然以人工经验法为主。但随着新技术的出现和新产品的开发,不久的将来,利用汽车诊断设备诊断汽车故障将会成为汽车维修领域的主流。

### (3) 实现汽车检测诊断网络化

随着计算机网络技术的普及,汽车检测诊断将实现网络化。网络化可为汽车检测诊断提供源源不断的信息,人们从网上可很方便地与世界上很多汽车公司、厂家联络,获得汽车故障诊断信息,而且随时可以得到具有高水平的“故障诊断专家系统”的指导,随着可视网络技术的投入使用,远在千里之外的专家能像在现场一样,逐步地指导检修人员诊断和排除故障。另外,利用信息高速公路,可将全国的汽车检测站联成一个广域网,使交通管理部门随时掌握车辆的状况。

## 第二节 汽车检测与诊断技术基础知识

### 一、基本概念及术语

参照国标 GB/T 5624—1985《汽车维修术语》的规定,对汽车检测与诊断技术的常用术语解释如下。

- 1) 汽车检测:确定汽车技术状况或工作能力的检查。
- 2) 汽车诊断:在不解体(或仅卸下个别小件)的条件下,为确定汽车技术状况或查明故障部位、原因所进行的检查、分析和判断工作。
- 3) 汽车技术状况:定量测得的表征某一时刻汽车外观和性能参数值的总和。
- 4) 汽车故障:汽车部分或完全丧失工作能力的现象。
- 5) 故障率:使用到某行程的汽车,在该行程后单位行程内发生故障的概率。
- 6) 故障树:表示故障因果关系的分析图。

- 7) 诊断参数：供诊断用的，表征汽车、总成及机构技术状况的参数。
- 8) 诊断标准：对汽车诊断的方法、技术要求和限值的统一规定。
- 9) 诊断参数标准：对汽车诊断参数限值的统一规定。
- 10) 诊断周期：汽车诊断的间隔期。
- 11) 汽车检测站：从事汽车检测的事业性或企业性机构。
- 12) 汽车维修：汽车维护和修理的泛称。

## 二、汽车故障及汽车技术状况

汽车故障及汽车技术状况是汽车检测诊断的对象。了解故障的类型，掌握汽车故障产生的原因和汽车技术状况的变化规律，对汽车诊断参数及其标准的确定和检测方法的选择是极其重要的。

### (一) 汽车的故障

#### 1. 故障的主要类型

汽车在使用过程中，由于技术状况的变坏，将会出现种种故障。汽车故障按其划分方法的不同，具有多种类型。

##### (1) 按故障形成的速度可分为突发性故障和渐发性故障

突发性故障是指发生前无任何征兆的故障，它不能靠早期的诊断来预测，其故障的发生具有偶然性。如汽车行驶时，铁钉刺破轮胎，钢板弹簧突然折断等。突发性故障尽管难以预测，但它一般容易排除。而渐发性故障，是指汽车技术状况连续变化，最终导致恶化而引起的故障，这种故障常有一个逐渐发展的过程，其故障的发生具有必然性，因此，能够通过早期诊断来预测，如发动机气缸磨损或曲轴轴颈磨损而出现的声响，就属于渐发性故障。渐发性故障一经发生，就标志着产品寿命的终结，对于汽车而言，则往往是需要大修的标志。

##### (2) 按故障的存在时间可分为间歇性故障和永久性故障

间歇性故障有时发生，有时消失；而永久性故障则只有在更换或修复某些零部件后，才能使得故障排除，功能恢复。如汽油机供油系气阻故障是一种典型的间歇性故障；而曲轴轴瓦烧损、发动机拉缸则是永久性故障。

##### (3) 按故障显现的情况可分为功能故障和潜在故障

导致汽车功能丧失或性能下降的故障称为功能故障，这类故障可通过直接感受或测定其输出参数而判定，如发动机不能起动或发动机输出功率下降均属功能故障；潜在故障是指正在逐渐发展但尚未对功能产生影响的故障。如曲轴、连杆的裂纹，当尚未扩展到极限程度使其断裂时，为潜在故障。

故障的分类方法很多，上述故障的分类是相互交叉的。随着故障的发展，一种类型的故障可以转化为另一种类型故障。

#### 2. 故障产生的原因

汽车产生的故障是由某些零件失效引起的。引发汽车零件失效的因素很多，主

要是工作条件恶劣、设计制造存在缺陷以及使用维修不当等三个方面。

#### (1) 工作条件恶劣

汽车零件工作条件包括零件的受力状况和工作环境。若零件的载荷超过其允许承受的能力,则导致零件失效。在实际工作过程中,汽车零件往往不是承受一种载荷的作用,而是同时承受几种类型载荷的复合作用,绝大多数汽车零件是在动态应力下工作,由于汽车起步、停车以及速度经常变化,使汽车零件承受着冲击、交变应力,从而加速零件的磨损或变形而引发故障。

汽车零件在不同的介质和不同的温度下工作,容易引起零件的腐蚀磨损、磨料磨损以及热应力引起的热变形、热疲劳等失效。某些工作介质还可以使汽车零件材料脆化、高分子材料老化而引发故障。

#### (2) 设计制造缺陷

设计制造缺陷主要是指零件因设计不合理、选材不当、制造工艺不良而存在的先天不足。设计不合理是汽车零件失效的主要原因之一,例如轴的台阶处过渡圆角过小,会造成应力集中,这些应力可能会成为汽车零件破坏的起源。花键、键槽、油孔、销钉孔等设计时如果没有充分考虑到这些形状对截面削弱而造成的应力集中,也将会引起零件早期疲劳损坏。材料选择不当及制造工艺过程中因操作不当而使零件产生的裂纹、较大的残余内应力以及较差的表面质量都将可能成为零件失效的原因。某些过盈配合零件的装配精度不够,能导致相配合零件之间的滑移和变形,将会产生微动磨损,加速零件的失效。

#### (3) 使用维修不当

汽车在使用过程中的超载、润滑不良、滤清效果不好、违反操作规程、汽车维护和修理不当等,都会引起汽车零件的早期损坏。

### 3. 故障树分析方法

汽车是由多个不同功能的子系统构成的复杂机电系统,其故障产生的原因往往较为复杂,采用故障树分析法进行汽车故障原因的诊断,效果较好。

#### (1) 故障树基本概念

故障树分析法(Fault Tree Analysis)简称FTA法,是一种将系统故障形成的原因由总体至部分按树枝状逐渐细化的分析方法。因而,它是对复杂系统进行可靠性分析的有效工具,其目的在于判明基本故障,确定故障原因和故障发生的概率。

故障树分析法就是把所研究系统的最不希望发生的故障状态作为故障分析的目标,然后寻找直接导致这一故障发生的全部因素,再找出造成下一级事件发生的全部直接因素,一直追查到那些原始的、勿需再深究的因素为止。通常把最不希望发生的事件即故障事件称为顶事件,勿需深究的形成系统故障的基本事件称为底事件或初始事件,介于顶事件与底事件之间的一切事件称为中间事件。用相

应的符号代表这些事件，再用适当的逻辑门符号把顶事件、中间事件和底事件连接成树形图。这样的树形图就称为故障树，它可以清楚地表示系统的特定事件与其各个子系统或各个部件故障事件之间的逻辑关系。以故障树为工具，分析系统发生故障的各个可靠性特征量，可以对汽车故障进行预测和诊断，并对系统的安全性或可靠性进行评价。

### (2) 故障树分析过程

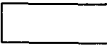

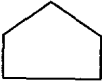

应用故障树分析故障时，其过程如下：



- 1) 给系统明确的定义，选定可能发生的不希望事件作为顶事件。
- 2) 对系统的故障进行定义，分析故障形成的各种原因。
- 3) 作出故障树逻辑图。
- 4) 对故障树结构作定性分析。
- 5) 对故障树结构作定量分析。

### (3) 故障树的建立

在故障树图中，为表明事件与原因之间的因果、逻辑关系，常使用一些符号表示。故障树分析法中常用的符号可分作两类，即：代表故障事件的符号，以及联系事件之间的逻辑门符号。故障树分析法的常用符号及其含义见表 1-1。

表 1-1 故障树分析法的常用符号

符 号	名 称	含 义
 矩形符号	故障事件	表示底事件之外的所有中间事件和顶事件
 圆形符号	基本事件	表示初始事件，是不能再分解的事件，即故障发生的基本原因
 屋形符号	非故障性事件	表示偶然发生的非故障性事件
 菱形符号	省略事件	表示暂时不分析或发生概率极小的事件

符 号	名 称	含 义
 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 与门符号 (AND)	“与” 逻辑关系	事件 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 同时发生, 事件 A 才发生
 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 或门符号 (OR)	“或” 逻辑关系	事件 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 有一个发生, 事件 A 就会发生

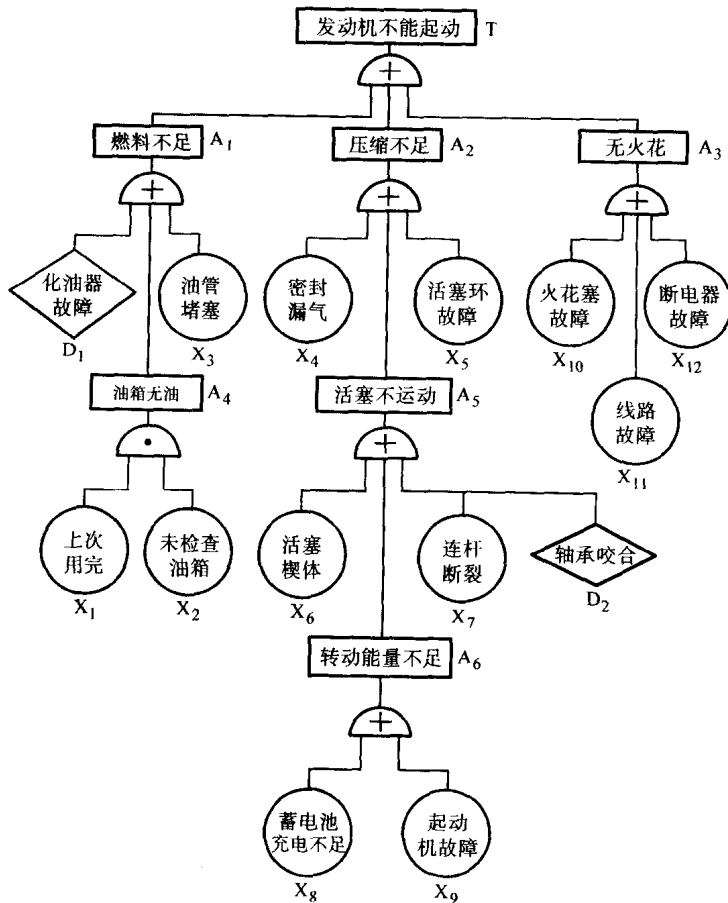


图 1-1 发动机不能起动的故障树



建立故障树时，首先把要分析的顶事件即故障事件扼要地写在矩形框内，置于故障树的最上端，并用“T”表示作为故障树的第一级；在顶事件下面，通过分析写出引起顶事件直接原因的事件，作为故障树的第二级，用“A”表示；以下继续分析还可列出第三级、第四级……，直到列出最基本原因的初始事件为止，并用“X”表示，上、下级事件之间有着“或”、“与”关系，用逻辑门符号联系，于是就形成了故障树。在故障树图中，每一级事件都是上一级事件的直接原因，同时又是下一级事件的直接结果。图 1-1 为发动机不能起动的故障树。

#### (4) 故障树的定性分析

定性分析的目的是弄清系统出现某种故障（顶事件）有多少种可能性，这可通过分析故障树，确定系统的最小割集来解决。

若故障树的某几个底事件的集合发生时，将引起顶事件发生，则这个集合就称为割集。在故障树的割集中，若去掉其中任一底事件后就不再是割集的那些割集，称为最小割集。由于最小割集发生时，其顶事件必然发生，因此一故障树的全部最小割集的完整集合则代表了顶事件发生的所有可能性。

在故障诊断中，最小割集的意义就在于它为我们描绘出了消除顶事件，维修最少应做的那些工作。同时，研究最小割集可以发现系统的最薄弱环节，找出系统维修工作的重点。

#### (5) 故障树的定量分析

定量分析的目的是估计故障事件（顶事件）出现的概率，以评价系统的可靠性。

汽车故障的发生具有随机性，属偶然事件，其发生的可能性大小可用发生概率的大小度量。因此，可以根据系统中各基本事件发生的概率，按故障树的逻辑结构应用逻辑与、或的概率计算公式逐级向上运算，直至求出故障事件（顶事件）发生的概率。

若输入事件  $x_1, x_2, \dots, x_n$  间相互独立，并已知发生的概率为  $P(x_i)$ ，则输出事件  $X$  发生的概率可按下列方法计算。

当逻辑关系为“与”联接时，事件  $X = x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$  的发生概率为

$$P(X) = \prod_{i=1}^n P(x_i)$$

当逻辑关系为“或”联接时，事件  $X = x_1 + x_2 + \dots + x_n$  的发生概率为

$$P(X) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P(x_i)]$$

### (二) 汽车技术状况的变化规律

汽车在使用过程中，随着行驶里程的增加，技术状况会逐渐变坏，将导致动力性下降、经济性变差、可靠性降低。然而，汽车技术状况变化的速度是根据汽