

普通高等教育“十五”国家级规划教材

高等职业教育技能型人才培养试用

汽车故障诊断与维修技术

闵永军 万茂松 周 良 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)。根据现代汽车结构与维修的特点,本书将汽车故障诊断、维护和修理的知识融为一体,结构新颖。全书分汽车故障诊断与维修基础知识、发动机故障诊断与维修、底盘和车身故障诊断与维修、汽车电控系统故障诊断与维修四篇,共二十章。本书注重理论与实践的结合,突出讲解了汽车故障诊断与维修的新知识、新技术,内容新颖;汽车故障诊断与维修章节开头配有案例分析,每章结尾附有小结、复习与思考题,图、文、表并茂,通俗易懂。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人院校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校汽车运用与维修、汽车运用工程和汽车检测与维修等专业的教材,亦可作为相关行业的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

汽车故障诊断与维修技术/闵永军,万茂松,周良主编.—北京:高等教育出版社,2004.6

ISBN 7-04-014685-1

.汽... .闵... 万... 周... .汽车-故障诊断-高等学校:技术学校-教材 汽车-车辆修理-高等学校:技术学校-教材 .U472.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第042614号

策划编辑 赵亮 责任编辑 胡纯 封面设计 于涛 责任绘图 朱静
版式设计 张岚 责任校对 胡晓琪 责任印制

出版发行 高等教育出版社

购书热线 010-64054588

社址 北京市西城区德外大街4号

免费咨询 800-810-0598

邮政编码 100011

网址 <http://www.hep.edu.cn>

总机 010-82028899

<http://www.hep.com.cn>

经销 新华书店北京发行所

印刷

开本 787×1092 1/16

版次 年月第1版

印张 23.75

印次 年月第 次印刷

字数 570 000

定价 29.60元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

为加强高职高专教育的教材建设工作，2000年教育部高等教育司颁发了《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》(教高司[2000]19号)，提出了“力争经过5年的努力，编写、出版500本左右高职高专教育规划教材”的目标，并将高职高专教育规划教材的建设工作分为两步实施：先用2至3年时间，在继承原有教材建设成果的基础上，充分汲取近年来高职高专院校在探索培养高等技术应用性专门人才和教材建设方面取得的成功经验，解决好高职高专教育教材的有无问题；然后，再用2至3年的时间，在实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上，推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材。根据这一精神，有关院校和出版社从2000年秋季开始，积极组织编写和出版了一批“教育部高职高专规划教材”。这些高职高专规划教材是依据1999年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(草案)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(草案)编写的，随着这些教材的陆续出版，基本上解决了高职高专教材的有无问题，完成了教育部高职高专规划教材建设工作的第一步。

2002年教育部确定了普通高等教育“十五”国家级教材规划选题，将高职高专教育规划教材纳入其中。“十五”国家级规划教材的建设将以“实施精品战略，抓好重点规划”为指导方针，重点抓好公共基础课、专业基础课和专业主干课教材的建设，特别要注意选择一部分原来基础较好的优秀教材进行修订使其逐步形成精品教材；同时还要扩大教材品种，实现教材系列配套，并处理好教材的统一性与多样化、基本教材与辅助教材、文字教材与软件教材的关系，在此基础上形成特色鲜明、一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2002年11月30日

前 言

本书根据国家“十五”规划汽车运用与维修专业系列教材的编写要求，按照汽车运用与维修专业系列教材编写审订会议确定的编写大纲编写而成。

随着汽车技术的快速发展，汽车维修作业的方式和重点发生了革命性的变化，传统的按大修工艺和零件修复为主的作业内容已经淘汰，汽车维修技术已驶入机电一体化、检测诊断和维修一条龙的快速轨道。本书根据现代汽车的维修的特点和发展趋势，将汽车故障诊断、汽车维护和汽车修理知识融为一体，以汽车的故障诊断与维修内容为主体，重点、综合地介绍了当代汽车各系统的故障现象、故障机理、故障检测诊断、排除方法及维修方法。本书的主要特点是：汽车故障诊断以典型车型常见故障现象为出发点，综合运用仪器诊断和人工诊断方法，以阐述故障诊断思路为重点；汽车维修以汽车维护作业中各关键部位的检查、调整操作技术、主要零部件及总成检修方法、各总成件的装配为重点；根据汽车电子控制技术的发展情况，书中介绍了电喷发动机、电控自动变速器、电控制动防抱死等电子控制系统的故障诊断和维修内容；根据现代汽车维修以换件为主的情况，精简了汽车故障诊断与维修的基础理论和汽车零件修复的内容，突出了汽车故障诊断与维修操作技术的内容。

本书注重理论与实践的结合，具有较强的实用性和针对性；重点讲解了汽车故障诊断与维修的新知识、新技术，内容具有先进性；汽车故障诊断与维修章节开头配有案例分析，图、文、表并茂，具有较强的可读性。本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人院校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校汽车运用与维修、汽车运用工程和汽车检测与维修等专业的教材，亦可作为相关行业的培训教材。

本书由南京林业大学闵永军、万茂松、周良和朱柳建共同编写，其中第一篇“汽车故障诊断与维修基础知识”中的第三章，第二篇“发动机故障诊断与维修”中第八章和第九章由朱柳建编写，第一篇和第二篇的其余章节由闵永军编写；第三篇“底盘和车身故障诊断与维修”由周良编写；第四篇“汽车电控系统故障诊断与维修”由万茂松编写。

审阅人山东交通学院吴际璋教授认真、仔细地审阅了全稿，提出了许多宝贵的意见和建议，并给予了全体编写人员极大的鞭策和鼓励，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了大量的著作和文献资料，在此一并向有关作者、编者表示真诚的感谢。

由于作者水平有限，书中不妥或错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2003年12月

目 录

第一篇 汽车故障诊断与维修基础知识

第一章 汽车故障诊断基础知识	3	第三节 汽车零件常用修理方法	43
第一节 汽车故障与产生原因	3	本章小结	50
第二节 汽车故障诊断	15	复习与思考题	51
本章小结	19	第三章 汽车故障诊断与维修设备	52
复习与思考题	20	第一节 汽车故障诊断设备	52
第二章 汽车维修基础知识	21	第二节 汽车维护修理设备	58
第一节 汽车维修制度及工艺	21	本章小结	62
第二节 汽车零件的检验	36	复习与思考题	62

第二篇 发动机故障诊断与维修

第四章 曲柄连杆机构和配气机构的 故障诊断与维修	65	第三节 点火系统故障的仪器诊断 ——波形分析法	127
第一节 概述	65	第四节 点火系统的维修	130
第二节 常见故障诊断	67	本章小结	136
第三节 曲柄连杆机构和配气机构 的维护	73	复习与思考题	137
第四节 曲柄连杆机构和配气机构 主要零件的检修	76	第七章 润滑系统故障诊断与维修	138
本章小结	92	第一节 概述	138
复习与思考题	94	第二节 润滑系统常见故障诊断 ...	139
第五章 燃油供给系统的故障诊断 与维修	95	第三节 润滑系统的维修	143
第一节 化油器式燃油供给系统的 故障诊断与维修	95	本章小结	146
第二节 柴油机燃料供给系统的故 障诊断与维修	105	复习与思考题	146
本章小结	121	第八章 冷却系统故障诊断与维修	147
复习与思考题	122	第一节 概述	147
第六章 点火系统故障诊断与维修	123	第二节 冷却系统常见故障诊断 ...	148
第一节 概述	123	第三节 冷却系统的维修	150
第二节 常见故障人工经验诊断 ...	124	本章小结	152
		复习与思考题	152
		第九章 起动系统故障诊断与维修	153
		第一节 概述	153
		第二节 起动系统故障的人工 经验诊断	154

第三节 起动系统故障的仪器 诊断	156	第一节 发动机的装配	161
第四节 起动系统的维修	158	第二节 发动机的磨合与验收	165
本章小结	160	第三节 发动机综合故障的诊断 ...	168
复习与思考题	160	本章小结	174
第十章 发动机的装配、磨合与综合 故障诊断	161	复习与思考题	175

第三篇 底盘和车身故障诊断与维修

第十一章 传动系故障诊断与维修	179	本章小结	252
第一节 概述	179	复习与思考题	254
第二节 离合器故障诊断与维修 ...	180	第十四章 行驶系故障诊断与维修	256
第三节 变速器故障诊断与维修 ...	189	第一节 概述	256
第四节 万向传动装置故障诊断 与维修	199	第二节 行驶系故障诊断	257
第五节 驱动桥故障诊断与维修 ...	202	第三节 行驶系维修	266
第六节 传动系仪器检测诊断	208	本章小结	271
本章小结	211	复习与思考题	272
复习与思考题	213	第十五章 底盘常见故障诊断	274
第十二章 制动系故障诊断与维修	215	第一节 汽车行驶无力故障诊断 ...	274
第一节 概述	215	第二节 汽车制动跑偏故障诊断 ...	276
第二节 液压制动系故障诊断与 维修	217	第三节 汽车行驶跑偏故障诊断 ...	277
第三节 气压制动系故障诊断与 维修	225	本章小结	279
第四节 驻车制动系故障诊断与 维修	233	复习与思考题	279
本章小结	235	第十六章 汽车车身检测与修复	280
复习与思考题	236	第一节 概述	280
第十三章 转向系故障诊断与维修	238	第二节 汽车车身变形的检测	281
第一节 概述	238	第三节 汽车车身整形	286
第二节 转向系故障诊断	239	第四节 汽车车身主要零件的 修理	290
第三节 转向系维修	245	第五节 汽车车身表面涂层的 修复	292
		本章小结	299
		复习与思考题	302

第四篇 汽车电控系统故障诊断与维修

第十七章 汽车电控系统故障诊断基本 方法	305	及检修注意事项	305
第一节 汽车电控系统的基本组成		第二节 汽车电控系统的基本诊断 方法	306

本章小结	311	第一节 电控自动变速器故障诊断 ...	333
复习与思考题	311	第二节 电控自动变速器主要	
第十八章 发动机电控系统故障诊断与		元件的检修与维护	351
维修	312	本章小结	357
第一节 发动机电控系统故障		复习与思考题	358
诊断	312	第二十章 ABS 系统故障诊断与	
第二节 发动机电控系统主要元件		维修	359
的检修与维护	324	第一节 ABS 系统故障诊断	359
本章小结	331	第二节 ABS 系统主要元件的检修	
复习与思考题	332	与维护	364
第十九章 电控自动变速器故障诊断与		本章小结	366
维修	333	复习与思考题	366
参考书目			367

第一篇

汽车故障诊断与维修基础知识

第一章 汽车故障诊断基础知识

学习目标

了解汽车故障定义；理解汽车故障的分类方法及各类汽车故障的特点；掌握汽车金属零件磨损、断裂、变形、腐蚀和穴蚀失效的机理、特性及在汽车维修中应采取的防止措施；理解电子元器件的失效形式和机理；掌握汽车零件润滑状态类型及其影响因素；理解汽车故障的规律和维修对汽车故障率的影响；掌握汽车故障诊断的定义；理解诊断参数和诊断标准的概念；了解汽车故障诊断和分析方法。

第一节 汽车故障与产生原因

一、汽车故障及其分类

（一）汽车故障

产品分为可修复和不可修复两大类。不可修复产品是指产品发生故障以后不进行维修而直接报废的产品，其中有的产品是技术上不便进行维修，一旦发生故障只能报废；有的产品技术上可维修，但维修不经济；还有一些产品本身属一次性使用产品，不存在维修问题。可修复产品是指产品发生故障后可通过维修恢复其规定功能的产品。

通常不可修复产品不能完成规定功能时称为失效。可修复产品不能执行规定功能的状态称为故障。

现代汽车是由众多零件、部件和总成构成的机、电、液一体的复杂产品。汽车总体、大部分总成和系统属可修复产品，随着汽车零件、部件制造技术的发展，制造成本的降低，不可修复类汽车零件、部件种类和数量日益增多，零件、部件更换成为汽车维修的主流方式。

汽车故障是指汽车部分或完全丧失工作能力的现象，它包括汽车不能行驶，功能不正常和个别性能指标超出规定的技术要求。

（二）汽车故障的分类

根据分类目的不同，汽车故障的分类方法多种多样，常见的故障分类方法如下：

（1）按故障发生的性质分为自然故障和人为故障。

自然故障是汽车在使用期内，由于受外部、内部不可抗拒的自然因素的影响而产生的故障。

人为故障是汽车在制造和维修中，由于使用了不合格的零件或违反了装配的技术要求，或

汽车在使用中没有遵守使用条件和操作规程以及运输、保管不当等人为因素所造成的故障。

(2) 按故障发生的速度分为突发性故障和渐进性故障，它是根据故障发生的快慢程度来划分的。

突发性故障是指零件在损坏前没有可以觉察到的征兆，零件损坏是瞬时出现的。这是由于各种不利因素以及偶然的外界影响共同作用的结果。这种作用已经超出了产品所能承受的限度。如汽车运行时由于遇到意外障碍物等原因而引起的超载造成零部件的损坏；轮胎被地面尖石或铁钉刺破；发动机油路堵塞；导线松脱以及司机操作失误引起的事故性损坏等。故障发生的特点是具有偶然性和突发性，一般不受运转时间影响，无法监控，因而这种故障是难以预测的。但这种故障容易排除，因此通常不影响汽车的使用寿命。

渐进性故障是由于汽车某些零件的初始参数逐渐恶化，其参数值超出允许范围而引起的故障。如发动机的气缸—活塞，由于磨损使配合间隙超过了允许范围，导致润滑油消耗量增加、曲轴箱窜气量增加。这种故障的特点是故障发生的概率与使用时间有关，它只是在汽车有效寿命的后期才明显地表现出来。渐进性故障的发生标志着产品寿命的终结，对汽车而言则往往是需要进行大修的标志。由于这种故障是逐渐发展的，所以是可以进行预测的。通过诊断和监测仪器进行测试或监控，能预测故障的发生时间。

突发性故障和渐进性故障之间一般是有联系的。应该说所有的故障都是渐进的，因为事物的变化都是由量变到质变的过程。如零件的磨损发展到一定程度，就可能导致突然的损坏，旧轮胎发生故障的概率要比新轮胎大得多。因此，汽车使用的时间愈长，发生故障的概率愈高，损坏的程度愈大。

(3) 按故障表现的稳定程度可分为持续性故障和间歇性故障。

持续性故障一旦发生，其出现规律明显，症状表现稳定，直至故障被排除。引起这类故障的故障部位技术状态稳定，一般较易诊断和排除。

间歇性故障具有突发性，时有时无，且无明显规律的特点，其原因是引起这类故障的故障部位的技术状况发生不规则变化，故障原因不稳定。这类故障较多地发生在电路，特别是汽车电控系统中，其主要原因是汽车组成件因磨损、过热、振动导致故障部位技术状态处于故障临界状态。

(4) 按故障是否显现可分为可见故障和潜在故障。

已经导致功能丧失或性能降低的故障为可见故障。

正在逐渐发展但尚未对功能产生影响的故障为潜在故障。如：汽车前轴和传动轴裂纹，当未扩展到极限程度时，为潜在故障。值得重视的是，潜在故障一旦对功能产生影响，常常具有突发性，因此对汽车的安全行驶极其不利。

(5) 按故障危害程度分。在汽车可靠性评定中，根据故障发生后对总成、系统或整机及人身安全性的影响可分为致命故障、严重故障、一般故障和轻微故障。并规定用多类故障系数对可靠性试验中实际发生的故障数进行修正，求得当量故障次数，进行汽车可靠性评定。其分类方法见表 1.1。

表 1.1 汽车故障分类

故障类别	分类原则
致命故障	涉及人身安全, 可能导致人身伤亡; 引起主要总成报废, 造成重大经济损失; 不符合制动、排放、噪声等法规要求
严重故障	导致整车性能显著下降; 造成主要零部件损坏, 且不能用随车工具和易损备件在短时间(约 30 min)内修复
一般故障	造成停驶, 但不会导致主要零部件损坏, 并可用随车工具和易损件或价值很低的零件在短时间(约 30 min)内修复; 虽未造成停驶, 但已影响正常使用, 需调整和修复
轻微故障	不会导致停驶, 尚不影响正常使用, 亦不需更换零件, 可用随车工具在短时间(约 5 min)内轻易排除

二、汽车故障产生原因

导致汽车产生故障的主要原因是汽车零件的失效, 汽车零件失效的主要形式有磨损、断裂、变形、腐蚀和老化等。

(一) 金属零件的失效

汽车金属零件失效的主要表现为磨损、断裂、变形、腐蚀和穴蚀。

1. 磨损

磨损是指汽车零件摩擦表面的金属在相对运动过程中不断损失的现象。磨损的发生将造成汽车零件尺寸、形状精度降低, 表面配合性质发生变化, 使零件的工作性能逐渐降低, 是产生各种故障的主要原因之一。磨损包括物理的、化学的、机械的、冶金的综合作用, 它与零件材料性质、表面加工方法、载荷、工作温度、润滑状态以及相对运动速度等因素密切相关。按磨损机理的不同, 磨损可分为磨料磨损、粘着磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损和微动磨损等。同一零件同一表面的磨损可能由单独的磨损机理造成, 也可能由综合的磨损机理造成。

(1) 磨料磨损

磨料磨损是指摩擦表面与硬质颗粒或硬质凸出物相互摩擦引起的磨损。这种硬质颗粒或硬质凸出物就是磨料。汽车各摩擦副之间的磨料大多来自于空气中的尘埃、燃油和润滑油中的杂质和零件摩擦表面剥落下来的颗粒。

磨料磨损的机理可归于磨料的机械作用, 磨料对摩擦表面的破坏可分为碰撞冲击、研磨和擦伤三种形式, 一般磨料磨损表面存在着许多直线槽, 它们可以是很轻的擦痕, 也可以是很深的沟槽。其主要特点是:

磨损率与摩擦速度和摩擦副的载荷成正比;

一般情况下, 磨料硬度越高, 磨损越大, 材料硬度越高越耐磨;

磨损率与磨料的尺寸有关, 磨料尺寸与摩擦副间隙相近时, 磨损率最高。

磨料磨损是汽车零件最常见的磨损形式。在汽车维修中应做好零件清洁存放, 加强零件装配前的清洁工作和密封工作, 防止外界磨料进入总成内部。

(2) 粘着磨损

粘着磨损是指摩擦表面间接触点发生粘着现象使一个零件表面的金属转移到另一个零件表面所引起的磨损。所谓粘着就是两个摩擦表面接触点金属熔化、原子互相扩散、化合以及再结晶的过程。摩擦副运动进程中，局部接触点油膜或氧化膜被破坏，在摩擦高温下发生粘着，在随后的运动中又撕裂，如此粘着—撕裂一再粘着—再撕裂反复进行就形成粘着磨损。

粘着磨损的磨损量与粘着点撕裂时的剪切位置有关。

如果粘着点的结合强度比摩擦副任何一方的材料强度都低，则剪断将发生在粘着接点的界面处。此时材料的转移极轻微，滑磨面也较平滑，只有轻微的擦伤，此种情况称为外部粘着。汽车发动机中的气缸与活塞环，气门挺杆与凸轮轴凸轮处的润滑油膜遭到破坏时，即可发生这种外部粘着情况。

如果粘着点的结合强度比摩擦副中任何一方的材料强度高，则剪断将发生在材料强度较低的零件内部，此时就必然伴随着金属从一个摩擦表面转移到另一个摩擦表面，且金属的转移量较大，此种情况称为内部粘着。例如，由于发动机过热或配合间隙太小，所产生的“拉缸”、“烧瓦抱轴”以及主减速器锥齿轮由于用油不当，调整欠妥而引起的剧烈磨损都是典型的内部粘着磨损。

汽车工作中，轻微的外部粘着磨损允许存在，而内部粘着磨损一般都会引起恶性故障，必须尽力避免。

粘着磨损的发生与材料特性、零件表面粗糙度、润滑油、零件运动速度和单位面积上的压力等因素有关。为了减少粘着磨损，在汽车维修中应注意：

保证配合副合理的装配间隙(如气缸与活塞间隙等)；

不轻易使用不同材质的汽车配件；

旧件修理后应达到规定的表面粗糙度；

发生过粘着磨损的旧件修理后不能留有粘着残余；

认真做好发动机润滑系与冷却系的维护工作，按规定的润滑油品种进行适时的润滑，并在使用中注意添加或更新。

(3) 疲劳磨损

疲劳磨损是指具有纯滚动或滚动与滑动并存的摩擦副，在工作过程中由于交变接触应力的周期性作用，使零件表层产生微粒脱落而引起物质损失的现象。疲劳磨损的特点具体表现为摩擦面出现大小、深浅不同的麻点或痘斑状凹坑。

疲劳磨损是由于循环接触应力的作用，首先在表层或浅表面产生疲劳起始裂纹，然后裂纹沿着与表面成锐角的方向发展，达到某一深度后，又越出表面，最后剥落，使零件表面形成了麻点或凹坑。

疲劳磨损是汽车齿轮齿面、滚动轴承滚动体及内外圈滚道表面、凸轮和挺柱接触面等零件的主要失效形式之一。

(4) 腐蚀磨损

腐蚀磨损是指在摩擦过程中，由腐蚀和摩擦共同作用导致的零件表面物质损失的现象。单纯的腐蚀现象不属腐蚀磨损，腐蚀磨损是一种机械化学磨损，它是腐蚀现象与机械磨损过程相结合形成的。

腐蚀磨损可分为化学腐蚀磨损、氧化磨损和电化学腐蚀磨损。

化学腐蚀磨损

化学腐蚀磨损是指在零件配合副中，存在着酸、碱、盐等腐蚀介质，它们之间产生化学作用而生成各种化合物，在摩擦过程中不断被除去而引起零件表面物质损失的现象。其特点是磨损速度快，摩擦表面遍布点状或丝状磨蚀痕迹，磨损速度随介质的腐蚀性强弱或温度的不同而不同，介质的腐蚀性越强，温度越高，则磨损速率越大。

汽车发动机气缸的低温腐蚀；含有铜、铅等元素的滑动轴承，其中的铅容易被润滑油中酸性物质腐蚀，使轴瓦表面出现麻点状脱落；这些都是化学腐蚀的典型例子。

氧化磨损

氧化磨损是指在摩擦过程中，金属材料表面的金属与空气中的氧或润滑油中的氧起作用，生成单分子层的氧化膜，并被磨掉的过程称为氧化磨损。氧化磨损是化学腐蚀磨损的一种，其特点是在金属零件的摩擦表面上沿滑动方向呈匀细的磨痕。

钢铁零件表面经氧化后，生成的红褐色 Fe_2O_3 和黑色的 Fe_3O_4 ，氧化膜性脆，极易破裂，且与基本金属之间的结合强度低，故容易磨损。相反，铝质零件表面生成的氧化铝膜有韧性，且与基体金属结合牢固，磨损率低，对零件起保护作用。

一般而言，氧化磨损普遍存在，其磨损率在所有类型的磨损中是最小的，且氧化膜的生成还有利于防止粘着磨损。

电化学腐蚀磨损

电化学腐蚀磨损是指在零件配合副中，存在着酸、碱、盐等腐蚀介质，它们之间发生电化学反应而生成各种化合物，在摩擦过程中不断被除去而引起零件表面物质损失的现象。其特点是磨损速度快。

可燃混合气在气缸内燃烧的过程中，常生成 CO 、 CO_2 、 SO_2 、 NO_2 和气态水，一旦发动机温度较低，气态水遇到低温缸壁变为液态时， CO 、 CO_2 、 SO_2 和 NO_2 可溶于水形成电解质，在缸壁上起电化学反应而使缸壁表面腐蚀，这种腐蚀的快慢与缸壁温度有关。冷却水温度低于 50℃ 时，缸壁的磨损速度急剧上升。

(5) 微动磨损

微动磨损是指两个接触物体作相对微幅振动而产生的零件表面物质损失的现象。微动磨损是粘着、腐蚀、磨料、疲劳磨损综合作用的结果。在零件的嵌合部位及过盈配合处，零件之间虽然没有宏观的相对位移，但在外部变动负荷和振动的影响下，产生微小的滑动，引起表面微小氧化物脱落，产生的大量细微粉末成为磨料，从而造成配合件的磨损。在微动磨损的产生处往往形成蚀坑，微动磨损的绝对磨损量较小，但危害还是很大的，它不仅使配合精度下降，紧配合的机件变松，还可能引起应力集中，使零件断裂。

微动磨损经常发生在相对静止的配合副中，如驱动桥壳支承孔与半轴套管配合表面、发动机轴瓦与轴瓦轴承孔配合表面、螺栓连接件、键连接处等。

2. 断裂

断裂包括裂纹和折断，它是一种最危险的零件失效形式。汽车上约有 90% 以上的断裂可归结为由零件疲劳失效造成，如汽车车架的裂纹、曲轴的裂纹与断裂、钢板弹簧的裂纹与折断等。汽车零件的疲劳是在较长时间内，在交变载荷多次重复作用下导致材料疲劳而引起的。疲

劳断裂的零件所承受的应力通常低于材料的抗拉强度甚至低于材料的屈服强度，且为突然发生的脆性断裂。

一般说来，疲劳失效的断口宏观上可分为三个区域：疲劳裂纹源区、疲劳裂纹扩展区和最后断裂区，如图 1.1 所示。

(1) 疲劳裂纹源区

疲劳裂纹最初产生是从断裂核开始的。断裂核周围有一相当光滑的微小区域叫做断裂源或疲劳源。疲劳源是疲劳裂纹的起点，它一般发生在零件应力最集中的部位或零件的薄弱部位，如零件的台阶尖角或有划痕、裂纹、非金属夹杂等表面缺陷处，零件内部存在空洞、疏松、脆性夹杂物处，表面强化层与基材结合处等。一个断口上，疲劳源可能不止一个，而有两个或多个，但通常仅有一个会扩展开来。

(2) 疲劳裂纹扩展区

该区最典型的特征是有的一系列同心环纹称为疲劳线(疲劳贝纹线)。它是裂纹扩展过程中载荷的性质和大小的变化痕迹。疲劳线与疲劳线之间的间隔距离的大小表示裂纹扩展的速度。疲劳线较密，表示裂纹的扩展速度慢；裂纹线较疏，表示裂纹扩展得快。

第二个特性是比较光亮，这是由于零件承受的疲劳载荷为压应力时，反复挤压、碾磨的结果。

第三个特征是自疲劳源放射状展开的二次台阶的形成，且二次台阶与疲劳线呈直角相交，见图 1.1。

在显微镜下还能观察到疲劳辉纹，疲劳辉纹反映的是在应力每一次波动时裂纹扩展的痕迹。

(3) 最后断裂区

当疲劳裂纹扩展到一定程度时，达到临界尺寸后，零件的有效截面不能承受工作负荷，则发生快速断裂。

断裂区的面积大小反映了承受载荷的大小。断裂区的面积大，表示断裂时的载荷大，材料的强度低；断裂区的面积小，则表示断裂时的载荷小，材料的强度高。

为避免汽车零件发生疲劳断裂，在汽车维修工作中应注意：

汽车零件机械加工修复时，应保证过渡圆角半径和表面粗糙度达到技术要求；

在零件拆装和存放过程中，避免零件表面发生擦伤和划痕；

在维修检验和检查中，对承受交变载荷的零件应进行无损探伤和监测。

3. 变形

汽车零件在长期工作中，由于受到外载荷、工作温度和残余应力的不断作用与影响，使零件的尺寸或形状发生改变的现象，称为零件的变形。变形分弹性变形和塑性变形两种。

(1) 弹性变形

弹性变形是指外力去除后能完全恢复的变形。汽车零部件中，通常经过冷校直的零件(如连杆)经一段时间使用后又发生弯曲，这种现象是由弹性后效所引起的，所以校直后的零件都

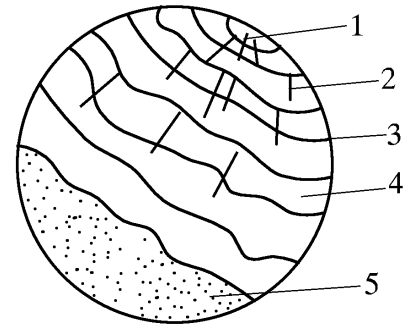


图 1.1 疲劳断口的宏观特征

- 1—断裂核和断裂源；
2—二次台阶；3—疲劳线；
4—裂纹扩展区；5—最后断裂区

应进行退火处理。

(2) 塑性变形

塑性变形是指外力去除后不能恢复的变形。金属材料塑性变形后在金属中产生内应力，材料的组织结构和性能将会发生变化，造成金属耐腐蚀性下降，对零件的性能和使用寿命有很大影响。

零件变形失效的原因除了设计、制造方面的原因外，还有使用过程中的残余应力、外载荷、温度以及使用维修不当等。汽车在使用中因温度引起变形的原因主要是热应力。所谓热应力是指气缸体、缸盖和变速器壳体等零件，在从高温冷却下来的过程中，由于结构厚薄不均，冷却速度不同，收缩有先后，因而在零件内部产生彼此相互制约的内应力。另外金属材料的弹性极限随温度的升高而降低，所以零件的工作温度越高，越容易引起变形。

汽车零件的变形，特别是各总成基础件如气缸体、气缸盖、曲轴、变速器壳、前后桥等的变形，将导致各零件正常的配合性质被破坏，润滑条件变差，并产生一定的附加载荷，使零件的磨损加剧，使用寿命降低。

为减小变形及其对汽车性能的影响，在汽车维修中应注意：

一些易变形零件避免在高温下拆卸，如不能在发动机水温较高时拆卸气缸盖及自动变速器温度较高时拆卸液压阀体总成。

在维修中应严格检验零件的变形情况，特别是气缸体、变速器壳和前后桥等基础件的变形情况。

4. 腐蚀和穴蚀

(1) 腐蚀

金属零件的腐蚀是指表面与周围介质起化学或电化学反应而发生的表面破坏现象。腐蚀损伤总是从金属表面开始，然后或快或慢地往里深入，并使表面的外形发生变化，出现不规则形状的凹坑、斑点等破坏区域。

根据腐蚀机理的不同，腐蚀可分为化学腐蚀、电化学反应和氧化腐蚀等。

化学腐蚀

金属与外部介质直接起化学反应而引起零件表面不断腐蚀、脱落而受到破坏的过程称化学腐蚀。外部介质多数为非电解质溶液，如干燥空气、有机液体、汽油、润滑剂等。

电化学反应

金属外表面与周围电介质发生电化学反应而有电流产生的腐蚀称为电化学反应。属于这类腐蚀的有：金属在酸、碱、盐溶液及潮湿空气中的腐蚀。金属与电介质溶液相接触，形成原电池，零件内电极电位较低的部分遭受腐蚀。除上述微观的电化学反应外，还有宏观电化学反应，如：汽车电器设备中的铜制接头或螺栓与车身车架的紧固处，与水接触就构成原电池，使车架本身遭受腐蚀；铜制节温器与其铝外壳之间的电化学反应等。

氧化腐蚀

金属与空气中的氧或氧化剂起作用，将在金属表面形成氧化膜。这种氧化作用是在没有腐蚀介质存在的条件下进行的。一般条件下，这种氧化膜可以对金属基体起保护作用，防止金属继续氧化。

为避免或减轻腐蚀危害，在汽车维修中一方面应做好汽车的清洁（含干燥）工作，另一方

面应对汽车防腐覆盖层的破损部分及时修补。

(2) 穴蚀

穴蚀又称气蚀，多发生在零件与液体接触并有相对运动的条件下。液体与零件接触处的局部压力比其蒸发压力低的情况下将产生气泡，同时溶解在液体中的气体亦可能析出。当气泡流到高压区，压力超过气泡压力时使其溃灭，瞬间产生极大的冲击力和高温。气泡的形成和溃灭的反复作用，使零件表面的材料产生疲劳而逐渐脱落，呈麻点状，随后扩展呈泡沫海绵状。严重穴蚀时，其扩展深度很快。穴蚀是一种比较复杂的物理化学破坏现象，它往往不单纯是机械力所造成的破坏，液体的化学及电化学反应，液体中含有磨料等均可加剧这一破坏过程。

汽车发动机的湿式缸套外壁、曲轴轴瓦内表面、水泵叶轮表面和外壳内表面及液压转向助力系统中可能产生穴蚀。柴油机湿式缸套外壁与冷却水接触的表面产生穴蚀时，往往产生图 1.2 所示的局部聚集的孔穴群。

为避免或减轻穴蚀危害，在汽车维修中应注意：

- 选用合格气缸套，保证缸套的刚度符合技术要求；
- 保证缸套在缸体内正确的安装位置，控制缸套在缸体内倾斜偏差；
- 在技术要求许可范围内，尽可能采用小的活塞—缸套的装配间隙；
- 加强冷却系维护，保证冷却液管道通畅，使用合格的冷却液；
- 在液压转向助力器换油时，应排净空气。

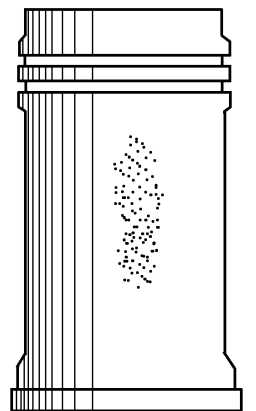


图 1.2 柴油机缸套的穴蚀

(二) 电子元器件的失效

汽车电子元器件的工作环境可概括地归纳为以下几点：即温度和湿度的变化范围宽，电源电压波动大，脉冲电压强，电磁相互干扰多，振动与冲击剧烈，尘埃与有害气体侵蚀等。

电子元器件失效的主要形式有元件击穿、元件老化和连接故障。

1. 元件击穿

元件击穿有许多原因，主要是过压击穿、过流击穿和过热击穿。击穿的现象有时表现为短路形式，有时表现为断路形式。由电路故障引起的过压、过流击穿常常是不可以恢复的。

据资料统计，汽车上的电器由于介质击穿造成的损坏大约为 85%，而其中约有 70% 的击穿故障发生在新车上。同时，电容器的击穿又常常会烧坏与其串联的电阻元件。

晶体管的击穿也是一种主要的故障现象。有的晶体管由于元件自身热稳定性差而导致类似于击穿的故障，成为“热短路”或“热击穿”现象。

2. 元件老化

元件老化就是指性能退化。它包括许多现象，如晶体管的漏电增加，电阻值变化，可变电阻不能连续变化，继电器触点烧蚀等。对于继电器这类元件，往往还存在绝缘老化，线圈烧坏，匝间短路，触点抖动，甚至无法调整初始动作电流等故障。

3. 连接故障

这类故障主要是指电子器件内部接线松脱，接触不良，潮湿、腐蚀等引起的短路和断路现象。这类故障一般与元件无关。

(三) 汽车零件磨损特性

磨损是指汽车零件摩擦表面的金属在相对运动过程中不断损失的现象。磨损是由摩擦引起

的，一般摩擦越大，磨损越快。为延长汽车零件使用寿命，在相互运动的零件之间通过润滑减小摩擦，力求使零件的磨损减小到最低限度。

1. 汽车零件的摩擦与润滑

所谓摩擦即是相互接触的两个零件在发生相对运动或具有相对运动趋势时，在接触面上产生的阻止相对运动的作用。

根据润滑状况不同，摩擦副表面的摩擦可分为干摩擦、流体摩擦、边界摩擦和混合摩擦四类。

(1) 干摩擦

所谓干摩擦即是指摩擦副表面之间无任何润滑油或其他润滑介质的摩擦。在干摩擦状态下，两摩擦表面直接接触，摩擦系数很大，摩擦面表面的磨损剧烈。

在汽车上除有意利用摩擦力来工作的零部件，如离合器摩擦片与压盘和飞轮表面、制动蹄片与制动鼓表面等以外，一般情况下的配合副之间应尽量避免在干摩擦条件下工作。

(2) 流体摩擦

流体摩擦又称流体润滑。所谓流体摩擦即是两零件表面被一层润滑油完全隔开的摩擦。在流体摩擦时，由于两工作表面不直接接触，摩擦只发生在润滑油流体分子之间，摩擦系数很小，一般约为 0.001 ~ 0.01，零件表面磨损速度很小，是一种最理想的摩擦状态。

汽车摩擦副间的流体润滑一般是动液润滑，为建立与维持流体润滑，除供给润滑油外，还必须注意使摩擦面的大小、形状、间隙和相对运动速度等能适应负荷和润滑油性能等条件。

建立流体摩擦的关键是汽车零件摩擦副处形成逐渐收敛的楔形间隙以便建立起流体动压力，滑动轴承的流体动力润滑原理如图 1.3 所示。当轴转动时，摩擦副间隙内润滑油动压力分布如 p 。当轴的转速增加到一定值时，流体动压力将增大到克服轴上的载荷将轴抬起，使轴和轴承之间产生高压油膜。当轴与轴承之间稳定运转时，轴与轴承之间产生的摩擦就是流体摩擦。流体摩擦必须使润滑油形成足够的油膜厚度，并使产生的动压力 p 的铅垂合力大于轴承所受载荷 F_p 。

流体摩擦油膜厚度及建立的动压力与摩擦副的配合间隙形状、相对运动速度、润滑油的粘度和外载荷的大小有关。显然在合适的配合间隙形状下，相对运动速度和润滑油的粘度越大，外载荷越小，越容易形成并能保持完好的流体润滑油膜。

汽车发动机正常稳定运转时，曲轴与轴承表面之间的摩擦就属于流体摩擦。

(3) 边界摩擦

边界摩擦即是指相对运动的两摩擦表面被一层极薄的边界膜(几个或十几个分子厚度)隔开的摩擦，边界摩擦也称为边界润滑。

根据结构形式的不同，边界膜可分为吸附膜和反应膜两种。吸附膜是由润滑油的极性分子吸附在摩擦表面上所形成的油膜。而反应膜是由润滑油中的化学元素(如润滑油添加剂中的硫、磷、氯等元素)与摩擦表面产生化学反应而生成的化学反应膜。边界膜具有很高的强度，能承受很大的压力，能有效地防止摩擦表面的直接接触；

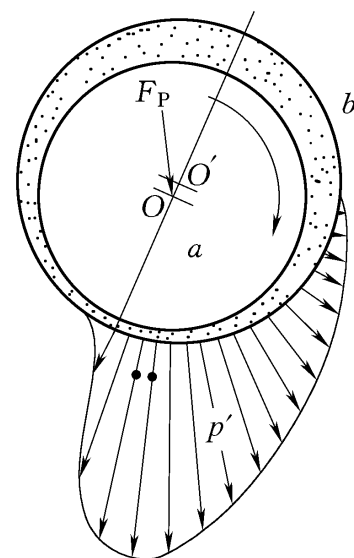


图 1.3 滑动轴承的流体动力润滑原理

a —轴； b —轴承；
 O —轴承中心； O' —轴中心；
 F_p —轴承上外载荷；
 p —油膜的动压力