



普通高等教育汽车类专业规划教材

Qiche Weixiu Jishu 汽车维修技术

王红梅◎主 编

邓红星 李明宝◎副主编



电子课件下载

www.ccpres.com.cn



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

普通高等教育汽车类专业规划教材

Qiche Weixiu Jishu 汽车维修技术

王红梅 主 编
邓红星 李明宝 副主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本教材围绕汽车维修行业现状,在夯实理论基础的同时,注重维修实践的应用。全书共七章,分别介绍了汽车零部件的失效理论、汽车零件修复、汽车修理工艺、汽车维护基础、汽车发动机机械系统的维修、汽车底盘机械系统的维修、汽车车身维修等内容。

本教材可供高等院校汽车服务工程、车辆工程专业本科生教学使用,也可作为汽车行业及相关行业工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车维修技术/王红梅主编. —北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.1

ISBN 978-7-114-13445-6

I. ①汽… II. ①王… III. ①汽车—车辆修理—教材
IV. ①U472.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 268977 号

书 名:汽车维修技术

著 作 者:王红梅

责任编辑:夏 犇

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:11.25

字 数:262千

版 次:2017年1月 第1版

印 次:2017年1月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13445-6

定 价:27.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前言

PREFACE



随着我国汽车工业的迅猛发展,新技术、新工艺在维修技术领域中得到广泛应用,汽车技术的发展也使汽车维修技术得到迅猛发展。本书详细介绍了汽车零件的失效形式、维修方法、修理工艺、维护基础以及汽车发动机、底盘、车身三大系统机械部分的维修和调整。

本书由东北林业大学王红梅副教授担任主编,由东北林业大学的邓红星教授、李明宝教授担任副主编。参加本教材编写工作的有:东北林业大学王红梅副教授编写第一章、第二章、第三章、第五章的第一节、第二节、第三节;东北林业大学的李明宝教授编写第四章、第五章的第四节、第五节;东北林业大学的邓红星教授讲师第六章;东北林业大学的张丽莉讲师编写第七章。

全书由东北林业大学王红梅副教授统稿,书中内容由浅入深,以理论教学为基础,重点突出维修技能和实践,内容新颖、图文并茂。作者在编写过程中参阅了许多专家的教材、著作、国家及行业标准等,得到了同行和人民交通出版社股份有限公司的支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2016年9月

目录

CONTENTS



第一章 汽车零部件的失效理论	1
第一节 汽车零部件失效概述	1
第二节 汽车零部件失效分析	4
思考题	15
第二章 汽车零件修复	17
第一节 汽车零件的修复方法	17
第二节 汽车零件修复方法的质量评价	39
第三节 零件修复方法的选择	41
思考题	43
第三章 汽车修理工艺	44
第一节 汽车修理的经济效益分析	44
第二节 汽车修理工艺过程	46
第三节 汽车的验收、清洗及解体	50
第四节 汽车零件的检验分类	58
第五节 汽车总成装配的技术要求与磨合试验	73
思考题	84
第四章 汽车维护基础	86
第一节 汽车维护的概述	86
第二节 汽车维修制度简介	90
第三节 汽车维护作业分类和维护工艺组织	91
思考题	93
第五章 汽车发动机机械系统的维修	94
第一节 发动机总成修理工艺	94
第二节 汽缸体与汽缸盖的修理	98
第三节 活塞连杆组的修理	105
第四节 曲轴飞轮组的修理	112
第五节 配气机构的修理	121
思考题	130
第六章 汽车底盘机械系统的维修	131
第一节 离合器的维修	131

第二节 变速器的维修	136
第三节 传动轴的维修	140
第四节 驱动桥的维修	142
思考题	146
第七章 汽车车身维修	147
第一节 车身常见的损伤形式	147
第二节 车身(车架)尺寸的测量	148
第三节 乘用车车身的校正	151
第四节 汽车覆盖件及车身构件的修理	156
第五节 车身表面涂层的修复	161
思考题	170
参考文献	171

第一章 汽车零部件的失效理论

本章主要介绍汽车零部件失效的概念及分类;汽车零部件失效形式及失效机理。

学习本章内容,要求学生了解汽车零部件失效的概念及分类,掌握汽车零部件失效形式及失效机理,重点掌握磨损、疲劳断裂失效模式与失效机理。

第一节 汽车零部件失效概述

汽车是由成千上万的零件组成的结构复杂的行驶机器。具有不同功能的零件,组成执行多种规定功能的总成、机构、部件,按照一定的工艺程序和技术要求装配成的整体,各总成、机构和部件的综合状况,形成了汽车技术状况。在汽车运行过程中,由于多种因素的综合作用,零部件会逐渐丧失原有的或技术文件所要求的性能,从而引起汽车技术状况变差,直至不能履行规定的功能,汽车就会发生失效。零部件在使用过程中,技术状况的变化是不可避免的。因此,对汽车零件、部件、机构进行失效分析,研究其失效的原因及其规律,进而采取相应的措施,防止零件的早期损坏,是控制汽车的技术状况,使汽车的技术状况处于规定水平的重要的理论基础。

一、汽车技术状况

1. 概念

所谓汽车技术状况,是指能够定量测得的,表征某一时刻汽车外观和性能的参数的总和。表征汽车技术状况的参数分为两大类,一类是结构参数,另一类是性能参数。结构参数是表征汽车结构的各种特性的物理量,如几何尺寸、声学、电学和热学参数等;性能参数是评价汽车使用性能的物理量和化学量,如发动机的输出功率、转矩、油耗、噪声、排放限值和踏板自由行程等。

2. 汽车技术状况变化的外观症状

汽车技术状况变差的主要外观症状有:

- (1) 汽车动力性变差。如接近大修里程的汽车,其加速时间将增加,发动机有效功率和有效转矩将低于原设计规定等。
- (2) 汽车燃料消耗量和润滑油消耗量显著增加。
- (3) 汽车制动性能变差。
- (4) 汽车操纵稳定性能变差。
- (5) 汽车排放和噪声超限。
- (6) 汽车在行驶中出现异响和异常振动,存在引起交通事故或机械事故的隐患。



(7) 汽车的可靠性变差,使汽车因故障停驶的时间增加。

3. 汽车技术状况恶化的主要原因

(1) 组成汽车的零件间相互作用的结果。零件间的相互作用,使零件产生磨损、塑性变形、疲劳破坏、热损坏以及材料性能引起的变化等。

(2) 汽车使用与保管的环境条件的影响。

(3) 以零件隐伤和过载等为主的偶然因素的作用。

对汽车零部件失效分析进行研究,掌握汽车零部件丧失规定功能的原因、特征和规律,是控制汽车技术状况、不断完善汽车的结构设计、提高汽车的可靠性和使用寿命的重要手段。

二、汽车零件失效

1. 汽车零件失效的概念

产品失效,指在规定条件下、规定时间内,不能完成规定效能的现象,也称为故障。从一定意义上说,失效与故障具有同等概念,但“失效”更多地用于不可修复产品(即丧失规定功能,等待报废),而“故障”则用于可修复产品(即丧失规定功能,等待修复)。

汽车零件失效(故障),指在汽车运行过程中,零部件逐渐丧失原有的或技术文件所要求的性能,从而引起汽车技术状况变差,直至不能履行规定的功能的现象。汽车零件失效是造成汽车故障的主要原因,同时也会造成很多方面的损失。

2. 汽车零件失效的类型

1) 汽车零件失效的分类

汽车零件失效大致有以下几种形式:一是过量变形,以致在机构中失去功能,如高温工作条件下的螺栓发生松弛,汽车板簧发生滞后塑变失去弹性等;二是磨损或腐蚀造成表面损伤,影响到机构的精度或灵敏度等;三是断裂事故,这往往造成灾难性后果。

2) 汽车零件常见的失效模式

所谓失效模式就是失效所表现的形式。在实际工程中,汽车及其零部件的失效模式并不是固定不变的,即同一种产品出现故障可以有不同的形式。例如继电器的触头可能有下列失效模式:粘住、断开缓慢、不能闭合、闭合缓慢、发生振动或间断闭合、对搭铁短路、对电源短路、触点之间短路、打火花等。分清失效模式是进行失效分析的基础,也是可靠性分析研究的基础。

产品失效原因有很多,诸如设计不当、材料及工艺缺陷、工作条件及运行维护不当等。因此,零部件失效模式与它的结构、材料、设计、制造、储存使用、维护、工作环境等因素密切相关,即失效模式具有可变性。

在可靠性研究中,不仅要研究失效零部件本身,而且要研究与其有关的系统,因为一个零部件只有在系统的有效配合下才能发挥应有的功能。汽车整机的失效通常是由于某个零件或部件首先失效损坏而引发的,所以在描述系统的失效模式时,应尽量用零部件的失效模式来表征。只有在无法确定零部件故障或难于描述失效模式时,才可以用总成或系统的失效模式来描述。例如,转向沉重、动力性下降、油耗过大、噪声过大、操纵稳定性下降等。

汽车零件的主要失效模式分为磨损、疲劳断裂、腐蚀、变形和老化等。

(1) 磨损。包括黏着磨损、磨料磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损及微动磨损,如汽缸工作表面“拉缸”,曲轴“抱轴”,齿轮表面和滚动轴承表面的麻点、凹坑等。

(2) 疲劳断裂。包括高应力低周期疲劳、低应力高周期疲劳、腐蚀疲劳及热疲劳等,如曲轴断裂、齿轮轮齿折断等。

(3) 腐蚀。包括化学腐蚀、电化学腐蚀、穴蚀,如湿式汽缸套外壁麻点、孔穴等。

(4) 变形。包括弹性变形、塑性变形,如曲轴弯曲、扭曲,基础件(汽缸体、变速器壳体、驱动桥壳)变形等。

(5) 老化。包括龟裂、变硬,如橡胶轮胎、塑料器件的老化。

3. 汽车零件失效的原因

1) 汽车零件的耗损

在汽车技术状况的变化过程中,影响因素是十分复杂的,但汽车零件失效的主要原因仍然是汽车各机构的组成元件(包括零件)之间在工作过程中相互作用,使机构、总成、汽车的技术状况发生变化的结果。

2) 使用条件的影响

汽车行驶的道路条件、运行条件、运输条件、气候条件和维修水平等汽车外部条件,都会直接地或由驾驶员通过操纵控制系统传送给汽车零件,使汽车零件产生“响应”而改变了状况;然后由汽车运行速度、燃料消耗、发动机排放、异响与振动、故障率以及配件消耗等可变参数输出,表现出汽车零件失效的状况。

(1) 运行条件的影响。主要指交通流量对汽车零件运行工况的影响,如载货汽车在城市街道上的速度较郊区要降低 50% 以上,发动机曲轴转速反而升高 35% 左右,换挡次数增加 2~2.5 倍。显然,这种工况必然加速汽车零件技术状况的变化进程。

(2) 运输条件的影响。城市公共汽车经常处于频繁起步、加速、减速、制动和停车为主的典型的非稳定工况下工作,若曲轴转速和润滑系油压不能与载荷协调一致地变化,恶化了配合副的润滑条件,则零件的磨损较稳定工况大大加剧。

(3) 道路条件的影响。道路状况和断面形状等决定了汽车及总成的工况(载荷和速度、传递的转矩、曲轴转速、换挡次数以及道路不平所引起的动载荷),从而决定汽车零部件和机构的磨损情况,影响汽车的工作能力。

(4) 气候条件的影响。环境湿度、温度和风速对汽车零件也会产生很大影响。环境的湿度大,极易恶化汽车零件的运行条件,加速零件的腐蚀。湿度低、气候干燥、道路灰尘多,也会恶化汽车零件的工作环境,使磨损增加。汽车静止不动,风速为 10~12m/s 时,汽车主要总成的润滑油、冷却液的冷却速度较无风时加快 1.5~2 倍。图 1-1 是汽车故障率随环境温度变化的关系,曲线的形状表明,有一个故障率最低的环境气象温度。图 1-2 是发动机汽缸的磨损程度随冷却液温度的变化关系,也表明了汽缸磨损最小的冷却液温度。

(5) 维修水平的影响。我国的大修发动机耐久性普遍较差,其主要影响因素中,维修水平低、维修设备落后和维修质量差约占 40%。因此,提高维修人员素质和水平是当务之急。

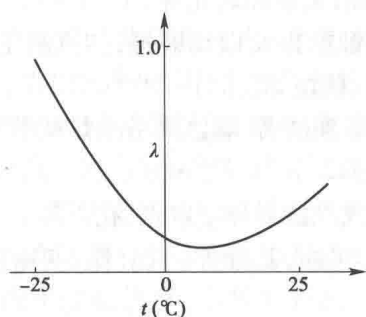
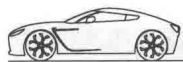


图 1-1 汽车故障率和环境温度
 λ -故障率; t -环境温度

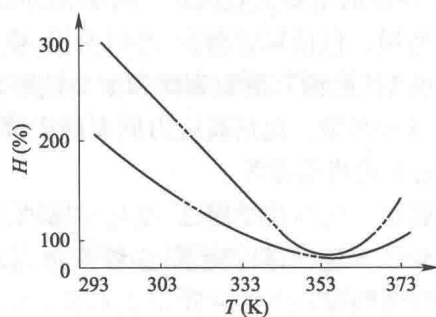


图 1-2 汽缸磨损与冷却液温度
 H -汽缸的磨损率; T -冷却液温度

第二节 汽车零部件失效分析

一、汽车零件磨损

1. 摩擦

1) 摩擦的概念

两物体相对运动使其接触表面间产生运动阻力的现象称为摩擦,该阻力称为摩擦力。

摩擦的存在,不但使动力消耗增加,而且还会引起零件接触表面的磨损。因此,汽车各零件的相对运动表面之间,通常都采用润滑油来进行润滑以减轻磨损。

2) 摩擦的分类

按零件表面润滑状态的不同,摩擦可分为干摩擦、液体摩擦、边界摩擦和混合摩擦四类。

(1) 干摩擦。摩擦表面间无任何润滑介质隔开时的摩擦,称为干摩擦。

零件处于干摩擦状态时,摩擦表面间受到接触面分子间的相互吸引力;由于存在微观凹凸不平而产生的相互嵌合力;由于相对运动引起的摩擦热而造成熔合点的黏结力。这些力的共同作用使两零件相对运动的阻力增大。要使两个零件相互运动,必须克服这些摩擦阻力,致使零件表面急剧磨损,所以汽车各零件相互运动的表面应尽量避免干摩擦发生。

例如,汽缸壁上部与活塞环以干摩擦和边界摩擦为主,轴颈与轴承在工作过程中受冲击载荷作用时会出现干摩擦状态。

(2) 液体摩擦。两摩擦表面被润滑介质完全隔开时的摩擦,称为液体摩擦。

液体摩擦时两摩擦表面被一层厚度为 $1.5 \sim 2.0 \mu\text{m}$ 的润滑介质完全隔开,避免了两零件间工作表面的直接接触,摩擦只发生在润滑流体分子之间,故其摩擦阻力很小,零件的磨损也非常轻微。汽车上大部分相对运动的部位都是在液体摩擦状态下进行的,如曲轴和轴承。

(3) 边界摩擦。两摩擦表面被一层极薄的边界膜隔开时的摩擦,称为边界摩擦。

油膜厚度通常只在 $0.1 \mu\text{m}$ 以下。它是靠分子内相互的吸引力使油膜分子紧密排列,使

其具有一定的承载能力,防止了零件表面的直接接触,使摩擦仅发生在边界膜的外层分子之间,减轻了零件的摩擦与磨损。但由于其厚度很小,工作中受冲击和高温等作用易被破坏,所以不如液体摩擦可靠。例如,汽缸壁与活塞环之间的摩擦。若工作中曲轴与轴颈之间润滑油供给不足,易产生边界摩擦。

(4)混合摩擦。两摩擦表面间干摩擦、液体摩擦和边界摩擦混合存在时的摩擦,称为混合摩擦。

实际工作状态中,零件通常都是在混合摩擦状态下工作的,其摩擦状态随工作条件的变化而变化。例如,曲轴轴颈与轴承之间,当曲轴静止时,重力的作用使轴颈与轴承在最下方接触,两侧形成楔形间隙。当曲轴开始旋转时,自身黏度及其对轴颈表面的吸附作用,使润滑油被轴颈带着转动。由于润滑油是沿着截面积逐渐减小的楔形间隙流动,而润滑油的可压缩性又很小,所以油楔部位产生一个使曲轴抬起的流体动压力,推动曲轴上移。曲轴的转速越高,所产生的流体动压力越大。当转速达到一定值时,流体动压力克服了曲轴的载荷,将曲轴轴颈抬高离轴承,进入液体摩擦状态。

此外,工作过程中润滑油供给不足,或受冲击载荷作用时,轴颈与轴承之间也会出现边界摩擦和干摩擦状态。

2. 磨损

汽车在使用过程中的失效有很大一部分不是因为汽车零件整体失去工作能力,而是由于零件表面的磨损而促使零件加速失效。统计资料表明,有一半以上的汽车零件都是由于磨损而报废,因此磨损是引起零件失效的主要原因。

1) 概念

零件摩擦表面的金属在相对运动过程中不断损失的现象,称为零件的磨损。磨损的发生将造成零件形状尺寸及表面性质的变化,使零件的工作性能逐渐降低,但磨损有时候也是有益的,如磨合。

2) 分类

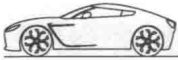
依表面破坏机理和特征的不同,磨损可分为黏着磨损、磨料磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损和微动磨损。

(1)黏着磨损。黏着磨损的定义、机理、影响因素和减小措施见表 1-1。

黏着磨损的定义、机理、影响因素和减小措施 表 1-1

定义	摩擦副相对运动时,当金属表面的油膜被破坏,摩擦表面间直接接触而发生黏着作用,使一个零件表面的金属转移到另一个零件表面引起的磨损
产生原因	主要是由于金属表面负荷大、温度高而引起的
作用机理	零件部的微观不平,实际接触面积小,接触处承受很大的静压力,即凸起点的切向冲击力,接触点的油膜、氧化膜被破坏,纯金属直接接触,产生一定的弹性变形和塑性变形,零件间吸引力增强
减小磨损措施	选用不同的金属或互溶性小的金属材料组成摩擦副;合适的表面粗糙度;用润滑剂隔离接触表面或表面有化合物的保护膜
磨损表面特征	擦伤、维形坑、鱼鳞片状、麻点、沟槽

(2)磨料磨损。磨料磨损的定义、形式、影响因素及减轻措施见表 1-2。



磨料磨损的定义、形式、影响因素及减轻措施

表 1-2

定义	摩擦表面间存在的硬质颗粒引起的磨损,称为磨料磨损。这种硬质颗粒称为磨料,它主要来自空气中的灰尘、润滑油中的杂质及运动过程中从零件表面脱落下来的金属颗粒
形式	①疲劳剥落或塑性挤压:磨料夹在两摩擦表面之间,将对金属表面产生集中的高应力,使零件表面产生疲劳和剥落(如磨料进入齿面间,常会发生疲劳和剥落)。对于塑性材料,将使表面产生塑性挤压现象(如磨料进入轴承间易生塑性挤压)。 ②擦痕:混合在气体和液体中的磨料,随流体以一定的速度冲刷零件的工作表面,并产生擦痕(如柴油机喷油器的针阀偶件)
影响因素	磨料在摩擦表面间经过的距离和速度;磨料与金属表面间的相互作用力;零件硬度;磨料颗粒的大小
减轻磨损措施	汽车发动机采用滤清效果好的空气滤清器;经常清洗机油滤清器;增加零件的抗磨性能;提高零件表面的硬度
表面特征	刮伤、沟槽擦伤

(3)疲劳磨损的定义、分类及产生机理和减小措施见表 1-3。

疲劳磨损的定义、分类及产生机理和减小措施

表 1-3

定义	在交变载荷作用下,零件表层产生疲劳剥落的现象
发生条件	主要发生在纯滚动及滚动与滑动并存的摩擦状态下,如齿轮齿面
分类	非扩展性疲劳磨损:周期性的接触压应力作用,摩擦表现上出现小麻点,随着接触面积的扩大,单位接触面积降低,小麻点停止扩大 扩展性疲劳磨损:材料塑性较差时,在接触表面有较大的压应力,使表面产生小裂纹,并扩展而使金属脱落,形成小麻点和扩展成凹坑,使零件不能继续工作
产生机理	由于交变载荷的反复作用,使零件表层变形而疲劳,导致表层的薄弱部位先产生微裂纹;同时当润滑油浸入裂纹内部时,当滚动体封闭裂纹口时,堵在裂纹里的润滑油在滚动挤压力的作用下劈开裂纹,使裂纹扩展速度加快,裂纹扩展到一定程度后,金属便从零件表层剥落下来,形成点状或片状凹坑,成为疲劳磨损
减小磨损措施	减小材料的非金属夹杂物含量;提高材料的抗断裂强度;合理的金属强化层;用黏度较高的润滑油;形状正确,降低表面粗糙度
表面特征	裂纹、麻点、剥落

(4)腐蚀磨损。腐蚀磨损的定义、分类及减小措施见表 1-4。

腐蚀磨损的定义、分类及减小措施

表 1-4

定义	零件摩擦表面由于外部介质的作用,产生化学或电化学反应而引起的磨损
分类	化学腐蚀磨损、电化学腐蚀磨损、微动磨损和穴蚀
各类定义	金属直接与外部介质发生化学反应而引起的磨损,称为化学腐蚀磨损。由于金属在外部介质中发生电化学反应而引起的磨损,称为电化学腐蚀磨损。零件的过盈配合表面部位在交变载荷或振动的作用下所产生的磨损,称为微动磨损。与液体相对运动的固体表面,因气泡破裂产生的局部高温及冲击高压所引起的疲劳剥落现象,称为穴蚀(例如柴油机湿式缸套的外壁与冷却液接触的表面)
减小磨损措施	改善介质条件,用合金化法增加材料的耐腐蚀性;去除残留拉应力;减小振动次数和振幅;提高硬度和选择合适的配合副;适当的润滑;表面硫化、磷化处理或镀层
表面特征	有反应物生成(形成膜、颗粒)

(5)微动磨损。微动磨损的定义、分类及减小措施见表 1-5。

微动磨损的定义、分类及减小措施

表 1-5

定义	零件过盈配合表面相对低振幅的振动引起表面复合磨损出现材料损失的现象
产生机理	虽然零件的过盈配合表面没有宏观的相对位移,但在工作过程中,在交变载荷或振动的作用下,会使其产生微小的相对滑动,此时零件表面接触点的氧化膜因受剪切而脱落,造成零件的氧化腐蚀磨损;从零件表面剥落的氧化物粉末在配合表面间存在,将引起零件的磨料磨损;同时氧化膜的脱落还会造成纯金属的直接接触,引起黏着磨损,使零件的配合逐渐变松。可见零件过盈配合表面的微动磨损是由氧化磨蚀磨损、黏着磨损及磨料磨损的共同作用而造成的
减小磨损措施	适当的润滑可有效地改善抗微动磨损的能力,因为润滑膜保护表面防止氧化。采用极压添加剂或涂抹二硫化钼都可以减少微动磨损
表面特征	有反应物生成(形成膜、颗粒)

3. 影响汽车零件磨损的因素及磨损规律

1) 影响汽车零件磨损的因素

磨损通常是由多种磨损形式共同作用造成的,其磨损强度与下列因素有关。

(1) 材料性质的影响。不同材料由于其成分、组织、结构不同,抵抗磨损的能力也不同,如碳钢件的耐磨性随硬度的提高而提高,铸铁件的耐磨性则取决于碳含量。若在钢铁中加入一定的合金元素及进行适当的热处理,均可提高零件的耐磨性。

(2) 加工质量的影响。零件的加工质量主要指其表面粗糙度及几何形状误差。几何形状误差过大,将造成零件工作中受力不均,或产生附加载荷,使磨损加剧。表面粗糙度值过大会破坏油膜的连续性,造成零件表面凸起点的相互咬合,同时腐蚀物质更易沉积于零件表面,使腐蚀磨损加剧。

(3) 工作条件的影响。工作条件是指零件工作时的润滑条件、滑动速度、单位压力及工作温度等。

充足的润滑油可以在零件表面形成良好的油膜,避免摩擦表面之间的直接接触,同时对表面具有良好的清洗作用,减轻零件的磨损。

零件相对运动速度的提高,有利于润滑油膜的形成,使磨损减轻;但运动速度过快,摩擦产生的热量来不及散去,会导致机油黏度下降、油膜变薄、承载能力降低,出现边界摩擦及干摩擦,加剧零件磨损。

零件表面上的单位压力升高,零件的磨料磨损随之增加。当零件表面载荷超过油膜的承载能力时,摩擦表面间的油膜将被破坏,引起严重的黏着磨损。

零件的工作温度应适当,温度过高会造成油膜变薄甚至被破坏,使磨损增加;但温度过低,腐蚀性介质更容易冷凝于工作零件表面,也使腐蚀磨损增加。

2) 汽车零件磨损规律

零件的磨损是不可避免的,工作条件不同引起磨损的原因也就不同。但各种零件的磨损却都具有一定的规律,这种规律称为零件磨损特性。遵循该磨损规律的曲线,称为磨损特性曲线。从图 1-3 中可看出,零件磨损可分为三个阶段:

第一阶段:磨合期(0a 段)。由于新零件及修复件表面较为粗糙,工作时零件表面的凸起点会划破油膜,在零件表面上产生强烈的刻划、黏着等作用,同时从零件表面上脱落下来的金属及氧化物颗粒会引起严重的磨料磨损,所以该阶段的磨损速度较快。随着磨合时间的增长,零件表面质量不断提高,磨损速度应降低。



第二阶段:正常工作期(ab 段)。经过磨合期的磨合,零件的表面粗糙度值降低,适油性及强度增强,所以零件在正常工作期的磨损变得非常缓慢。

第三阶段:极限磨损期(b 点以后曲线)。由于磨损的不断积累,造成极限磨损期零件的配合间隙过大,油压降低,正常的润滑条件被破坏,零件之间的相互冲击也随之增加,零件的磨损急剧上升。此时如不及时进行调整或修理,将会造成事故性损坏。

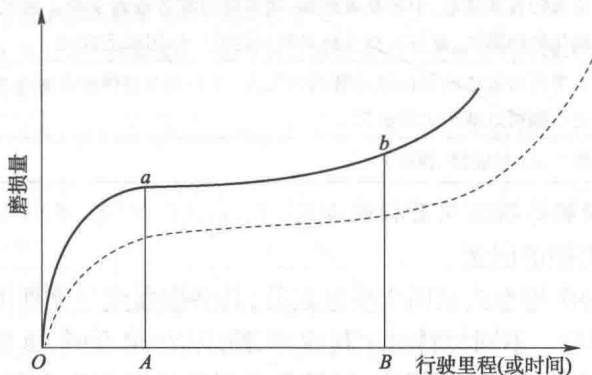


图 1-3 汽车零件磨损特性曲线

由上述可知,降低磨合期的磨损量,减缓正常工作期的磨损,推迟极限磨损期的来临,可延长零件的使用寿命(如图 1-3 中虚线所示)。

二、汽车零部件疲劳断裂失效

零件在交变应力作用下,经过较长时间工作而发生的断裂现象,称为疲劳断裂。疲劳断裂是汽车零件中常见的失效形式之一,也是危害性最大的一种失效形式。

1. 疲劳断裂失效的特点

- (1) 疲劳条件下的破断应力低于材料的抗拉强度,而且低于屈服强度。
- (2) 无论塑性材料或是脆性材料做成的零件,在交变应力的作用下,一般都在疲劳裂纹扩展到一定程度后发生突然破坏,而且疲劳断裂过程在宏观形貌上没有留下明显的塑性变形。

(3) 疲劳破坏的宏观断口有其独特的形貌,典型的宏观疲劳断口分为三个区域:疲劳源(或称为疲劳核心)、疲劳裂纹扩展区和瞬时断裂区。

2. 疲劳断裂失效的分类

疲劳断裂失效的分类如表 1-6 所示。

疲劳断裂失效的分类列表

表 1-6

按断裂性质	塑性、脆性、塑-脆性,塑性又分为纤维状断口与剪切断口
按断裂路径	沿晶、穿晶、混晶
按断裂机理	解理、韧窝、准解理、滑移分离、疲劳、环境、蠕变、沿晶
按应力状态	静载、动载,静载分为拉伸、剪切和扭转断裂;动载分为冲击和疲劳断裂
按断裂环境	低温、室温、高温、腐蚀、氢脆

而根据零件的特点及破坏时总的应力循环次数,疲劳失效可按图 1-4 所示分类。对于

不同类型的疲劳失效,其分析方法是不同的。

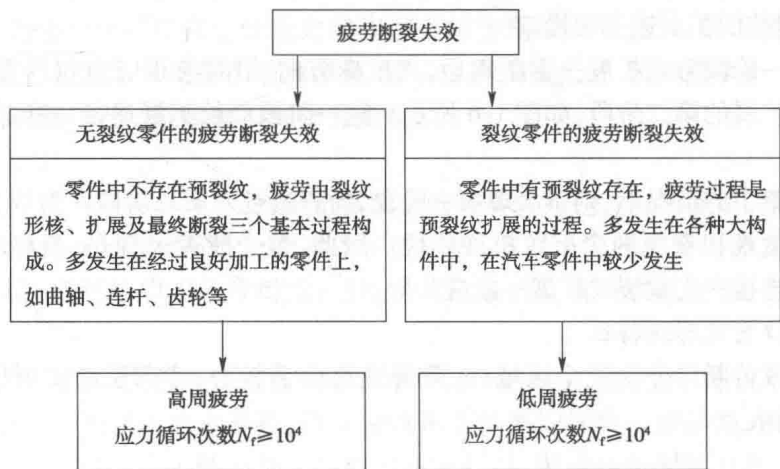


图 1-4 疲劳断裂失效的分类

高周疲劳发生时,应力在屈服强度以下,零件的寿命主要由裂纹的形核寿命控制。低周疲劳发生时的应力可高于屈服强度,其寿命受裂纹扩展寿命的影响较大。

汽车零件一般多为低应力高周疲劳断裂。

3. 疲劳断裂失效机理

金属零件疲劳断裂实质上是一个累积损伤的过程,大体上可划分为滑移、裂纹成核、微裂纹扩展、宏观裂纹扩展及最终断裂几个过程。

1) 疲劳裂纹的萌生

在交变载荷下,金属零件表面产生的不均匀滑移、金属内的非金属夹杂物和应力集中等均可能是产生疲劳裂纹核心的策源地。

在一定应力循环后,在应力硬化区内由于应力的增加出现局部损伤累积以及空穴集聚,这样在各晶粒内局部地区出现一个或几个分布不均匀的相对滑移线,且随着疲劳的加剧,原有滑移线的滑移量加大,新出现的滑移线也往往挨着原有的滑移线而共同组成滑移带。滑移带随着疲劳的加剧而逐步加宽加深,在表面出现挤出带和挤入槽,如图 1-5 所示。这种挤入槽就是疲劳裂纹策源地。另外,金属的晶界和非金属夹杂物等处以及零件应力集中的部位(台阶、尖角、键槽等)均会产生不均匀滑移,最后也形成疲劳裂纹核心。

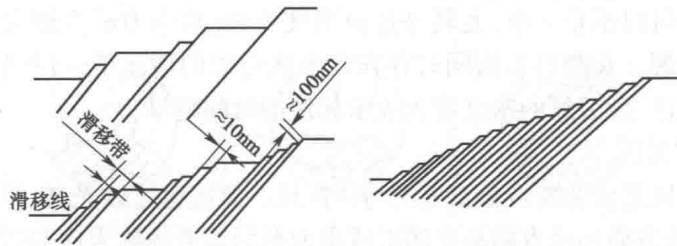
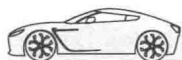


图 1-5 延性金属中由外载荷作用造成的滑移

2) 疲劳裂纹的扩展

在没有应力集中的情况下,疲劳裂纹的扩展可分为沿晶和穿晶两个阶段。在交变应力的作用下,裂纹从金属材料表面上的滑移带、挤入槽或非金属夹杂物等处开始,沿着最大切



应力方向(一般和主应力方向成 40° 角的方向)的晶面向内扩展,这是裂纹扩展的第一阶段。在这一阶段,裂纹的扩展速率很慢。

裂纹按第一阶段方式扩展一定距离后,将改变方向,沿着与正应力相垂直的方向扩展,这是疲劳裂纹扩展的第二阶段,如图1-6所示。这一阶段裂纹扩展途径是穿晶的,扩展速率较快。

在有应力集中的情况下,则不出现第一阶段,而直接进入第二阶段。裂纹成核后的扩展过程主要包括微观和宏观两个裂纹扩展阶段。因此,整个疲劳过程是:滑移—微观裂纹产生—微观裂纹连接—宏观裂纹扩展—断裂失效。

4. 疲劳断口宏观形貌特征

典型宏观疲劳断口分为三个区域:疲劳源或称疲劳核心、疲劳裂纹扩展区和瞬时断裂区,如图1-7所示。

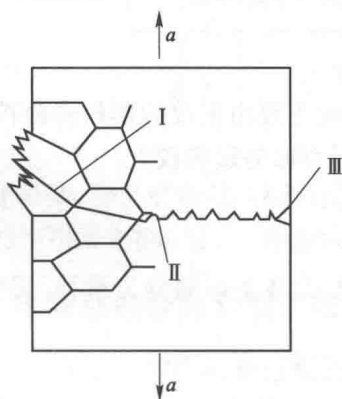


图1-6 疲劳裂纹扩展的两个阶段
I-第一阶段扩展;II-第二阶段扩展;
III-最终断裂

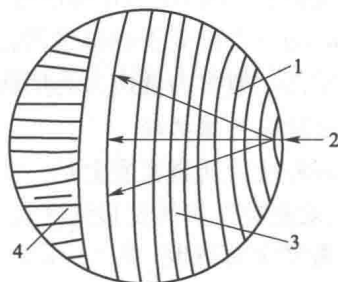


图1-7 疲劳裂纹的宏观断口示意图
1-前沿线;2-裂纹策源地;3-裂纹扩展区;
4-最后断裂区

1) 疲劳源区

疲劳源是疲劳破坏的起始点。一般位于零件表面,但如果内部存在严重缺陷时,也可能发生在零件内部。疲劳源区的断面由于疲劳裂纹扩展缓慢及裂纹反复张开与闭合效应而磨损严重,且具有光亮和细“晶粒”的表面结构。

疲劳源的数目可以不止一个,尤其是过负荷疲劳时,其应力幅度较大,断口上常会出现几个同位置的疲劳源。在断口表面同时存在几个疲劳源的情况下,可按疲劳线的密度来确定疲劳源产生的次序,疲劳线的密度越大表示起源的时间越早。

2) 疲劳裂纹扩展区

疲劳裂纹扩展区是疲劳断口最重要的特征区域。此区也比较光亮、平滑,存在一些以疲劳源为中心,与裂纹方向相垂直的呈半圆形或扇面形的弧形线称为疲劳弧线,这是金属疲劳断口宏观形貌的基本特征。疲劳弧线是由于外加载荷的改变或者是由于在邻近的裂纹、材料中的缺陷、残余应力的影响下发生的应力再分配,引起疲劳裂纹前沿区域局部地区出现应力大小及应力状态的变化,从而使疲劳裂纹扩展的速度及方向均发生变化,在断面上留下塑性变形的痕迹,即疲劳弧线。裂纹扩展区对衡量材料的性能很重要,这个区域大,表示材料

的临界裂纹尺寸大(在其他条件基本相似的情况下),能较好地抵抗裂纹的扩展,即具有足够的断裂韧性。有些金属零件在交变应力的作用下发生断裂失效,宏观断口观察不到疲劳弧线,这是由于断口表面多次反复压缩而摩擦,使该区变得很光滑,呈细晶状。

在低周疲劳断口上一般观察不到疲劳弧线。

3) 瞬时断裂区

当疲劳裂纹扩展到临界尺寸时,剩余截面上的真实应力超过材料强度,零件发生瞬时断裂的区域。它的特征与静载荷下的快速破坏区相似,出现放射区和剪切唇。脆性材料的断口呈粗糙的“晶粒”状结构或呈放射线;塑性材料的断口是有纤维状结构,在零件表面有剪切唇。

疲劳扩展区与瞬时断裂区所占面积的大小与材料的性质及所受的应力水平有关。通常高强度材料塑性差,承受应力水平高,疲劳裂纹稍有扩展即导致过载静断,所以它的疲劳扩展区小,而瞬时断裂区大。塑性材料承受应力水平低时,即使疲劳裂纹有较大扩展,其剩余截面上的应力仍不高,不会立即断裂,瞬时断裂区所占比例就小。因此可根据疲劳断口上两个区域所占比例,估计所受应力及应力集中程度的大小。

疲劳断裂因载荷类型不同,其断口形态也不一样,如在双向交变扭转应力作用下,断口呈锯齿状,这是因为轴在双向交变扭转应力作用下,轴颈尖角处将产生很多疲劳源。这些裂纹将同时向与轴线呈 40°交角的方向扩展,因为这个方向是最大拉应力方向,最后这些裂纹相交时,便形成锯齿状。

载荷的类型、应力集中和名义应力的大小对疲劳断口宏观形态的影响见表 1-7。

各种类型疲劳断口宏观特征 表 1-7

应力类型 应力集中 载荷类型	低名义应力		高名义应力	
	小应力集中	大应力集中	小应力集中	大应力集中
拉伸或单向弯曲				
双向弯曲				
旋转弯曲				