

汽车维修工程

◎ 主编 孙玉凤 介石磊



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

汽车维修工程

主 编 孙玉凤 介石磊
副主编 姚方方 于秀涛
参 编 和 柯 朱镜瑾 刘广杰
刘清堂 姚鹏飞

内 容 简 介

“汽车维修工程”是汽车类本科专业的一门专业技术课程。作为本专业课程结构体系中的主要专业课，主要研究汽车维修理论的基本知识、对损伤零件的检验和修复方法等。通过本课程的学习，要使学生掌握汽车维修理论的基本知识，对汽车的失效模式和失效机理有一个初步的了解，学会对损伤零件的检验和修复方法；使学生了解并掌握现行维修制度的有关规定、维修工艺的内容和制定原则，培养分析和解决汽车维修生产中出现的技术问题的能力；使学生学会用科学的方法，对汽车进行必要的、合理的技术维修，以便更好地发挥汽车运输生产的经济效益。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

汽车维修工程/孙玉凤，介石磊主编. —北京：北京理工大学出版社，2018.6
ISBN 978-7-5682-5712-1

I. ①汽… II. ①孙… ②介… III. ①汽车-车辆维修-高等学校-教材
IV. ①U472.4

中国版本图书馆CIP数据核字（2018）第120159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 / 13

字 数 / 306千字

版 次 / 2018年6月第1版 2018年6月第1次印刷

定 价 / 49.00元

责任编辑 / 高 芳

文案编辑 / 赵 轩

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

Qianyan

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，对应用型人才技能要求也不断提高。根据十九大会议精神，在建设创新型国家进程中，职业教育承担着培养大国工匠的责任。从职业教育着手培养工匠精神，需要学校和社会两个层面共同努力。学校首先应该转变学生的思想观念，同时加强师德师风建设，通过严肃认真的工作态度和精益求精的治学精神，影响和带动学生认识上的转变。在公共课、专业课和校园文化中应融入工匠精神教育的内容。就社会层面而言，首先要在全社会范围消除对技术和劳动的歧视，同时要提高工匠的社会地位和待遇，从制度层面来保护工匠精神。《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020）》中明确指出了要提高人才的培养质量，重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模。培养理论和实操兼具的人才。

“汽车维修工程”是汽车类本科专业的一门专业技术课程。适用对象为拥有车辆工程、交通运输、汽车服务工程或汽车维修工程教育等专业的二、三本院校。本书详细介绍了汽车零件的损伤形式、维修方法、维修拆装、检测等基本知识。根据新形势下汽车的维修特点，由浅入深，突出操作技能，书中内容不仅参考了国内出版的同类教材和图书，而且参考了国外近几年出版的汽车维修技术书籍，并对许多技术数据和维修方法进行了具体测量和试验验证。

本书本着以岗位需求导向为目标，以提高实训技能为核心，将理论讲授和实践教学有效结合在一起，使得学生一毕业就能胜任工作，全面提高职业能力和素养。教材突出专业特色，深化改革，围绕应用型本科人才培养方案的要求，进行系统编写。优化更新课程内容，注重技能型人才培养，零距离贴近工程人才，以培养高素质综合型人才为目的，革除旧的知识，更换新的内容。

本书以岗位需求为依据，以培养应用型人才为根本任务，以提高汽车专业应用型本科学子综合素质为主线；重视试验实践，配有最新的案例分析，以符合应用型本科人才培养要求。



Qianyan

前言



本书由孙玉凤、介石磊担任主编，姚方方、于秀涛担任副主编，参编的有和柯、朱镜瑾、刘广杰、刘清堂、姚鹏飞。其中模块一由姚方方编写，模块二由介石磊编写，模块三由于秀涛编写，模块四由和柯编写，模块五由朱镜瑾编写，模块六学习任务二、四由刘清堂编写，模块七由刘广杰、姚鹏飞编写。前言和模块六学习任务一、三、五由孙玉凤编写，孙玉凤负责全书的统稿工作。

本书在编写过程中参考了大量的图书和图片资料，在此编者向参考资料被引用的原著及对本书编写提供帮助的同事表示深深地谢意。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

模块一 汽车零部件的失效理论	001
学习任务一 汽车零部件失效概述.....	001
学习任务二 汽车零部件的磨损失效及典型案例分析.....	004
学习任务三 汽车零件的疲劳断裂失效及典型案例分析.....	011
学习任务四 汽车零件的变形失效及典型案例分析.....	015
学习任务五 汽车零件的腐蚀失效及典型案例分析.....	018
学习任务六 汽车零部件失效的综合分析.....	020
复习思考题.....	026
模块二 汽车可靠性理论	027
学习任务一 汽车可靠性概述.....	027
学习任务二 汽车故障的类型及其分布规律.....	034
学习任务三 汽车可靠性设计及案例分析.....	041
复习思考题.....	052
模块三 汽车维护工艺	053
学习任务一 汽车维护概述.....	053
学习任务二 汽车维护工艺组织.....	057
学习任务三 汽车维护实例.....	061
复习思考题.....	068
模块四 汽车修理工艺	069
学习任务一 汽车修理概述.....	069
学习任务二 汽车修理工艺组织.....	085
复习思考题.....	091

目 录

Contents

模块五 汽车零件的修复	092
学习任务一 汽车零件的修复方法及典型案例分析	092
学习任务二 汽车零件的修复方法的选择	103
复习思考题	108
模块六 汽车主要总成机械系统的修理	109
学习任务一 发动机的修理	109
学习任务二 发动机大修案例分析	139
学习任务三 汽车底盘的修理	151
学习任务四 变速器大修案例分析	171
学习任务五 汽车车身的修理及实例	176
复习思考题	189
模块七 汽车维修质量及评价	190
学习任务一 汽车维修质量概述	190
学习任务二 汽车维修质量保证体系	192
学习任务三 汽车维修质量的检测与评价	195
复习思考题	201
参考文献	202



模块一 汽车零部件的失效理论

模块描述

汽车是由近两万个零部件组成，执行多种规定功能的总成、机构、部件，并按一定工艺程序和技术要求装配成的整体。研究零部件的失效理论，即研究汽车故障的机理，以防止和避免事故、危害的发生。

学习任务一 汽车零部件失效概述

学习目标

知识目标

了解汽车技术状况；
了解汽车失效概念与类型；
掌握汽车失效的原因。

技能目标

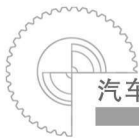
能够辨别汽车零部件的故障属于哪种失效模式；
能够识别汽车零部件失效的原因。

任务导入

新车在运输过程中，在从生产厂地，经火车、汽车或轮船运输，到达用户处时，如果不采取防护措施，会比汽车自行行驶同样距离对轴承损坏要严重得多。为什么出现这种状况？

内容引导

引导问题一：如果一辆汽车的排放超出了技术文件的规定，但该汽车仍可继续行驶，那么它是处于故障状态，还是处于完好状态？



一、汽车技术状况

1. 汽车技术状况概述

汽车技术状况是指能够定量测得、表征某一时刻汽车外观和性能参数值的总和。

(1) 表征汽车技术状况的参数

1) 结构参数：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。

2) 技术状况参数：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、排放，汽车噪声，踏板自由行程等。

(2) 汽车技术状况的表述

1) 汽车完好技术状况：指汽车完全符合技术文件规定要求的状况，即汽车技术状况的各种参数值都符合技术文件的规定。

2) 汽车不良技术状况：指汽车不符合技术文件中规定的任一要求的状况。处于不良技术状况的汽车有以下两种可能：

- 一是主要使用性能指标不符合技术文件的规定；
- 二是主要使用性能指标完全符合技术文件的规定，仅外观、外形及其他次要性能参数值不符合技术文件的规定，且不影响汽车完全发挥自身的功能。

2. 汽车的工作能力与汽车故障

(1) 汽车的工作能力

汽车按技术文件规定的使用性能指标，执行规定功能的能力，称为汽车的工作能力。

(2) 汽车故障

汽车故障是指汽车部分或完全丧失工作能力的现象。只要汽车的工作能力遭到破坏，汽车就处于故障状态。

3. 汽车技术状况变化的外观特征

1) 汽车动力性变差。

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，存在着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。

引导问题二：汽车零部件的磨损、间隙变化和机油消耗量及润滑油中杂质的含量的增多是属于哪种失效类型？



二、汽车零部件失效规律

1. 失效的概念及分类

汽车零部件失去原设计规定的功能称为失效。失效不仅是指完全丧失原定功能，而且还包含功能降低和有严重损伤或隐患，继续使用会失去可靠性和安全性的零部件。失效模式是指失效件的宏观特征。导致零部件失效的物理、化学或机械的变化原因，称之为失效机理。

按失效模式分类，失效分为磨损、疲劳断裂、腐蚀、变形和老化五类。

- 1) 磨损：磨料磨损、粘着磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损、微动磨损。
- 2) 疲劳断裂：高应变低周期疲劳、低应力高周期疲劳、腐蚀疲劳和热疲劳等。
- 3) 腐蚀：化学腐蚀、电化学腐蚀、穴蚀。
- 4) 变形：弹性变形、塑性变形、蠕变变形。
- 5) 老化：龟裂、变硬、衰退。

失效一般用于不可修复产品，故障则用于可修复产品。

2. 汽车技术状况的变化类型

(1) 渐进型

汽车技术状况的参数是随行使里程或时间作单调变化的，可用一定的回归函数式表示其变化律。对于渐进型故障，原则上可通过及时的维修来防止故障的发生；同时，还可以通过其变化规律来预测故障的发生和对汽车进行不解体检测。

(2) 突发型

汽车技术状况的变化过程是随机的，没有确定的形式，无规律可循，即汽车的总成或部件达到极限状态时间是随机的、偶发的。一般受汽车的使用条件、操作水平、零件材料的不均匀性及隐伤和缺陷等随机因素所影响。如车架、曲轴、转向节指轴的疲劳断裂，就会在瞬间使汽车丧失工作能力，而与进入故障的概率和汽车过去的工作状况无关。

引导问题三：一辆 2008 款丰田凯美瑞轿车，行驶到 1 万千米以上时，在正常行驶中出现制动失灵事故。事故后，发现左前轮脱落，中轴有断裂，车子碰撞损坏严重，但该打开的安全气囊却没有打开。该汽车失效的原因是什么？

三、汽车失效的原因

1) 设计制造：设计不合理、制造工艺不当、材料选择不当、加工及配合精度不够等。

2) 使用与维修：超载、超速、润滑效果不良、滤清效果不好、违反操作规程等；零件清洁度不够、装配不良、零件修复工艺不当等。



3) 工作条件:

- ①道路条件的影响:路面的平整度;
- ②运行条件的影响:交通流量;
- ③运输条件的影响:作业性质;
- ④气候条件的影响:环境温度、湿度和风速;
- ⑤维修水平:维修后使用的耐久性。

4) 零件耗损:磨损、变形、疲劳断裂、腐蚀、老化。事故的危害不仅影响用户的使用,造成人车的事故,维修费加大;还会对社会造成不良的影响,如资源的浪费,社会公害加剧;另外,对厂家造成一定的经济损失,以及使企业形象受损。汽车零部件的失效分析是研究汽车零部件丧失规定功能的原因、特征和规律,其目的是提高汽车的可靠性和使用寿命。

学习任务二 汽车零部件的磨损失效及典型案例分析

学习目标

知识目标

熟悉磨损失效的形式和机理;
掌握汽车零件磨损的因素及磨损规律。

技能目标

能够对汽车零部件磨损失效典型案例进行分析;
能够根据汽车零部件磨损失效的机理,在汽车设计和使用中采取相应的保护措施。

任务导入

冬季长时间停车后重新起动的发动机,要预热后再行车,否则会降低汽车的使用寿命,试从摩擦的机理角度进行分析其原因。

内容引导

引导问题一:在零件制造过程中,往往采用许多表面处理方法,如表面淬火、渗碳、碳氮共渗、磷化、镀铬、喷钼,表面强化处理(滚压、挤压、喷丸)等,其目的是什么?

一、汽车零件的摩擦基础知识



1. 概念

两物体之间相互接触、相互挤压、有相对运动或相对运动趋势，则其接触表面会产生摩擦。

2. 分类

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

3. 典型案例

- 1) 汽车上离合器、制动器的摩擦表面之间完全没有润滑介质，属于干摩擦。
- 2) 气缸壁上部与活塞环摩擦表面之间被一层极薄的（通常只有几个分子直径，1个分子直径 = 10^{-10} m）、具有特殊性质的润滑油膜所隔开，以边界摩擦为主。
- 3) 长时间停车后重新起动的发动机，其气缸壁与活塞环摩擦表面之间同时存在干摩擦、流体摩擦和边界摩擦，即属于混合摩擦。
- 4) 汽车正常工作时，其大部分零件处于液体摩擦状态，如曲轴轴承、连杆轴承、机油泵等，相对运动的摩擦副表面不直接接触，而是被一层厚度为 $1.5 \sim 2.0 \mu\text{m}$ 的润滑油膜完全隔开为液体摩擦。处于流体摩擦状态下的摩擦副，其摩擦阻力很小（ $k = 0.001 \sim 0.008$ ），因此零件的磨损也非常轻微。当流体摩擦的润滑油膜形成的条件不断恶化时（如润滑油黏度变低、摩擦副表面相对运动速度持续降低或外载荷不断增大），流体摩擦将逐渐演变为边界摩擦。

引导问题二：发动机活塞和缸筒之间发生的“拉缸”，曲轴轴承与轴瓦之间产生的“抱轴”，分别是由什么原因引起的？

二、汽车零部件的磨损基础知识

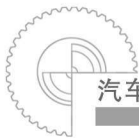
1. 概念

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。

2. 分类

按摩擦原理的不同，磨损可分为磨料磨损、粘着磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损。

- 1) 磨料磨损：摩擦表面间存在的硬质颗粒引起的磨损。
- 2) 粘着磨损：当金属表面的油膜被破坏，摩擦表面间直接接触而发生粘着作用而产生的磨损。
- 3) 疲劳磨损：在交变载荷作用下，零件表层产生疲劳剥落的现象。
- 4) 腐蚀磨损：零件摩擦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。

3. 典型案例

1) 对于汽车变速器齿轮, 磨料进入齿面, 常会发生疲劳和剥落; 对于曲轴轴承、凸轮轴轴承等, 磨料进入轴承之间易发生塑性挤压; 柴油机喷油器的针阀偶件表面的擦痕, 均属于磨料磨损。为减轻磨料磨损, 应创造良好的润滑条件。例如, 汽车发动机采用滤清效果好的空气滤清器; 经常清洗或更换机油滤清器; 选择合适的耐磨材料, 提高零件的表面加工质量与硬度, 增加零件的抗磨性能; 在使用与维修中, 应设法防止外界磨料进入各总成内部, 并进行良好的维护等。

2) 发动机活塞和缸筒之间由于发动机过热、装配间隙过小、缺油或油膜被破坏后, 发生的“拉缸”; 曲轴轴承与轴瓦之间由于装配间隙过小、大负荷、缺油或油膜被破坏, 产生的“抱轴”; 驱动桥主减速器锥齿轮因用油不当或调整不佳而造成的剧烈磨损, 均属于粘着磨损。为减轻粘着磨损, 选用不同的金属或互溶性小的金属及金属与非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; 零件制造时应尽可能提高配合副表面硬度; 汽车在使用过程中应避免长时间超载运行; 设法减少摩擦区域形成的热量, 使摩擦区域的温度低于金属热稳定性的临界温度和润滑油热稳定性的临界温度等。

3) 汽车上的齿轮副、凸轮副、滚动轴承及巴氏合金轴承接触表面在交变接触压应力的作用下, 材料表面因疲劳而产生的疲劳剥落, 磨屑形状多为扇形, 在摩擦表面上留下各种形状的“痘斑”状点坑, 属于疲劳磨损。为减轻疲劳磨损, 应减小材料的非金属夹杂物含量; 提高材料的抗断裂强度; 增加合理的金属强化层; 用黏度较高的润滑油; 降低表面粗糙度等。

4) 发动机气缸内的燃烧产物中含有碳、硫和氯的氧化物、水蒸气和有机酸等腐蚀性物质, 可直接与缸壁起化学反应, 也可溶于水形成酸类腐蚀缸壁, 前者称为化学腐蚀, 后者称为电化学腐蚀; 发动机湿式缸套的外壁与冷却液接触的表面、滑动轴承在最小油膜间隙之后的油膜扩散部分(由于负压的存在), 都可能产生穴蚀, 均属于腐蚀磨损。为减轻腐蚀磨损, 应改善介质条件, 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、磷化处理或镀层等。

引导问题三: 在发动机维护时, 若检查主轴瓦下片无损坏, 为什么一般不需要再检查上瓦? 若检查连杆轴瓦上片无损坏, 为什么可采用上下片对调的方法, 使其磨损均匀而延长寿命?

三、汽车零件的磨损规律

汽车零件的磨损过程, 即从开始工作直至最后失效, 其磨损量与工作时间具有一定的规律, 即零件的磨损特性。



遵循该磨损规律的曲线，称为零件磨损特性曲线。汽车零部件的正常磨损可分为三个阶段，零件磨损率曲线如图 1-1 和图 1-2 所示。

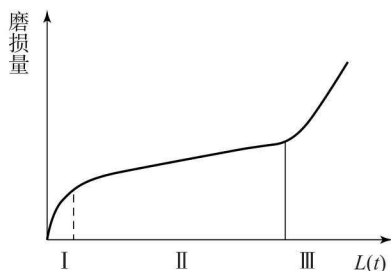


图 1-1 零件磨损特性曲线

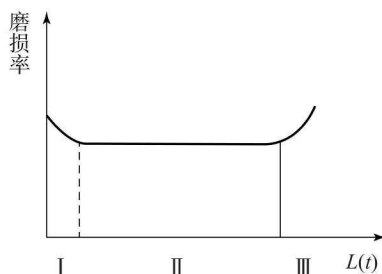


图 1-2 零件磨损率曲线

(1) 第一阶段（磨合期）

新车或大修车运行初期，改善零件摩擦表面几何形状和表面物理机械性能的过程，称之为走合。

随着磨合期的进展，两摩擦表面配合状况迅速改善，实际接触面积迅速增加，使真实接触点上的接触压力降低；配合间隙的增大和表面状况的改善也有利于润滑油膜的形成；此外，零件表面的金属还发生了加工硬化。伴随着以上现象的发生，零件的磨损率锐减，磨损也趋于正常。

(2) 第二阶段（正常工作期）

汽车零部件经过走合期后就进入了正常工作期。

由于零件已经过初期走合阶段，摩擦表面真实接触面积、表面几何形状、摩擦副配合间隙都处于理想状态，真实接触面上的压力变小，油膜强度增大，再加上表面层强化作用明显，因而磨损率最低，一般为—常数。因此，正常工作期内汽车零部件的磨损量随行驶里程的增加而缓慢增加，两者呈线性关系。

在此期间，对发动机的主要摩擦副而言，造成磨损的主要原因是磨料磨损和腐蚀磨损。

(3) 第三阶段（极限磨损期）

使用中的汽车进入极限磨损期后，由于配合间隙已达到或超过极限值，使零件表面间的冲击载荷增大。而且，由于间隙过大，使润滑油流失严重，流体润滑油膜极易遭到破坏，从而使零件的磨损量大幅增加。

汽车进入极限磨损期后，如不进行修理而继续使用，则会使汽车零部件的磨损由正常磨损转换为事故性磨损，造成零件迅速损坏，汽车的技术状况急剧变坏，工作能力迅速下降。

汽车走合期与正常工作期的使用、维修水平都将影响磨损特性曲线的走向，从而影响零件的使用寿命。

引导问题四：在行车时，有经验的驾驶员会尽量避免低速大负荷或猛加油工况出现，而是平稳换挡，平稳行驶会延长汽车的使用寿命，试进行分析原因。

四、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，其磨损强度与零件的材料性质、加工质量及工作条件等因素有关。

1. 材料性质

正确选用摩擦副材料是提高汽车零件耐磨性的一个重要手段。由于不同材料组成的摩擦副发生的磨损形式不同，所以在汽车修理、特别是旧件修复过程中，选择材料应有针对性。

2. 加工质量及表面处理

零件的加工质量主要是指表面粗糙度和几何形状误差。

表面粗糙值过大，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，腐蚀性物质更易沉积于零件表面，加剧腐蚀磨损零件。几何形状误差过大，会造成零件在工作中受力不均匀或产生附加载荷，加剧磨损零件。

为了提高摩擦副表面的耐磨性，在零件制造过程中往往采用许多表面处理方法：表面淬火、渗碳、碳氮共渗、磷化、镀铬、喷钼、表面强化处理（滚压、挤压、喷丸）等。

3. 工作条件

工作条件是指零件工作时的润滑条件、运动速度、单位压力及工作温度等。

(1) 润滑条件

减小摩擦与磨损的有效方法是在摩擦副之间建立并保持流体润滑，使两摩擦表面完全被油膜隔开，保证流体润滑。

(2) 运动速度

零件相对运动速度的提高，有利于润滑油膜的形成，从而减轻磨损零件。

零件相对运动速度过快，使摩擦产生的热量增加且不能及时散去，会导致润滑油黏度下降，油膜变薄，承载能力降低，出现边界摩擦甚至干摩擦，加剧零件磨损。

(3) 单位压力

零件表面上单位压力升高，零件的磨损增加。当载荷超过油膜的承载能力时，摩擦表面的油膜将被破坏，引起粘着磨损。

(4) 工作温度

工作温度过高，使润滑油黏度下降，油膜变薄，加剧零件磨损；温度过低，腐蚀性介质更容易冷凝于零件表面，加剧零件腐蚀磨损。

引导问题五：正常情况下，气缸活塞摩擦副的磨损特点为气缸孔呈上大下小的锥形，并出现圆度误差；气缸异常磨损的特点为气缸呈“腰鼓形”，试分析其原因。



五、汽车零件摩擦副典型案例分

1. 气缸—活塞（活塞环）

(1) 气缸磨损的特点

正常情况下，沿气缸表面高度方向，在活塞环运动区域内形成不均匀磨损，其特点是气缸孔呈上大下小的锥形，并出现圆度误差。

气缸发生最大磨损部位：活塞行程上止点时第一道活塞环所对应的缸壁处。

随着活塞下行，缸壁的磨损逐渐减小；活塞环运动区域以外的气缸上、下部的磨损量极小。

气缸孔沿圆周方向的磨损呈不规则的椭圆形，即出现较大的圆度误差，其各方向的磨损量往往相差3~5倍。对于正常情况下的顶置气门发动机而言，最大磨损一般偏于进气门所在的缸壁一侧。

(2) 气缸磨损规律分析

1) 工作气体压力的影响。在其他条件不变的情况下，摩擦副表面间法向载荷越大，磨损量就越大。

工作气体压力对发动机气缸壁磨损的影响，是通过活塞环对缸壁的回压来实现的。

由于第一道活塞环的回压最大，可达到燃烧气体压力的76%，并逐渐减小，而且在做功行程中，随着活塞的下行气缸容积不断增大，活塞环回压也逐渐减小。因此，在工作气体压力的作用下，气缸壁的磨损量呈上大下小的情况。

2) 气缸壁温度和润滑条件的影响。由于气缸壁上部靠近燃烧室且暴露在高温燃气中的时间较长，因而温度较高；相反，气缸壁下部的温度则较低。

另外，气缸壁一般采用飞溅润滑方式，缸壁上部的润滑油供应要靠活塞环的布油作用来实现，从而使缸壁上部油膜的建立比较困难。

在润滑条件较差的气缸壁上部，由于缸壁的工作温度高，使润滑油的黏度下降，油膜厚度进一步减薄，因此，气缸上部的磨损要大于下部。

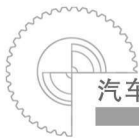
3) 进气磨料颗粒的影响。发动机进气中不可避免地会有一些磨料颗粒，特别是当进气系统的空气滤清器失效时，大量的道路灰尘将进入气缸。

进入气缸的磨料颗粒首先以较高的浓度与上部缸壁接触，然后才因活塞的下行与缸壁下部接触；因而，进气磨料所带来的影响是使气缸的磨料磨损在缸壁的上部大于下部。

4) 腐蚀性产物的影响。燃料燃烧时会产生 SO_2 等腐蚀性产物，这类物质可在缸壁上造成腐蚀磨损；尤其是在某些工况下，气缸中可能出现水蒸气凝结。虽然缸壁上的油膜对中性水有很强的防护能力，但溶解有 SO_2 等腐蚀性产物的水可立刻侵蚀油膜，引起严重的金属腐蚀。

由于气缸壁上部的油膜较薄，容易被酸性水侵蚀，而且上部缸壁与腐蚀性介质的接触时间较长，所以，气缸壁上部的腐蚀性磨损强度高于气缸壁下部。

5) 摩擦副运动速度的影响。当摩擦副相对运动的速度很低时，流体润滑的油膜不易形成，仅能维持边界摩擦。



活塞运动到上、下止点时，在换向时刻与气缸的相对运动速度为零，在上止点处必然发生边界摩擦，因而磨损较大；而在下止点时，因原有的油膜较厚，虽不易出现边界摩擦，但磨损仍比附近区域稍大。

6) 气缸的异常磨损——“腰鼓形”。磨料磨损的磨损率与摩擦副相对运动的速度成正比，而活塞在气缸中部的运动速度最快。

如果油底壳中的润滑油含有过多的磨料颗粒，该颗粒所能达到的高度会出现较大的磨损，即气缸中部磨损较大。

2. 曲轴轴颈—轴瓦、连杆轴颈—轴瓦

曲轴轴颈轴瓦也是汽车发动机中一个主要的摩擦副，它承受往复运动惯性力和旋转运动离心力及连杆传递的活塞顶部气体压力的作用，因此，它的磨损是不均匀的，其大小与发动机的结构、负荷、转速及使用、维修等因素有关系。

曲轴轴颈磨损后易出现较大的圆度误差。连杆轴颈的最大磨损处往往发生在其内侧，即朝向主轴颈的一侧；主轴颈最大磨损处往往发生在朝向连杆轴颈一侧；连杆轴颈的磨损一般来说要大于主轴颈的磨损；多缸发动机曲轴主轴颈由于各自的最大磨损方位不同，从而造成主轴颈的轴线间的同轴度误差加大。

连杆轴颈磨损后较易出现圆柱度误差。例如，润滑油中磨料颗粒的偏积现象；连杆弯曲变形、气缸体变形。

多缸发动机曲轴各轴颈的磨损程度不同，中间主轴颈和连杆轴颈磨损较大；两端主轴颈磨损较大。

3. 齿轮副

(1) 磨损特点及规律

齿轮的磨损主要表现为：齿面的表面疲劳磨损及齿面相互滑动、研磨所造成的磨损。

由于传动中齿面上各处的滑动速度不同，从而导致润滑油膜形成的条件也不一样；在节圆或节锥区域基本是滚动摩擦，油膜形成困难，易发生表面疲劳磨损；在高压、高速滑摩引起局部高温的作用下，有时会在齿根附近发生粘着磨损（齿根处散热条件差）；齿轮传动中自表面脱落的颗粒、装配中带入的杂质、未清除干净的型砂及其他磨料都会引起磨料磨损。

(2) 减轻齿轮磨损的措施

汽车齿轮在规定范围内的正常磨损是不可避免的，但当装配、调整、润滑或使用不当时，就会造成齿面的加速磨损。

引导问题六：气缸缸盖在装配时与凸轮轴轴承在装配时，螺栓的拧紧顺序有何异同，为什么？