



中等职业教育汽车系列精品教材

中等职业教育汽车系列精品教材



汽车材料

QICHE CAILIAO

汽车材料

主编◎侯岳峰 唐作凯



汽车材料

QICHE CAILIAO

主编◎侯岳峰 唐作凯

策划编辑：张云鹏
责任编辑：刘璇 栾少锋
封面设计：刘文东



定价：36.00元

中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

中等职业教育汽车系列精品教材



汽车材料

QICHE CAILIAO

主 编◎侯岳峰 唐作凯

副主编◎刘 毅 张 义

 中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

图书在版编目(CIP)数据

汽车材料 / 侯岳峰, 唐作凯主编. -- 青岛 : 中国
石油大学出版社, 2023. 3
ISBN 978-7-5636-7782-5

I. ①汽… II. ①侯… ②唐… III. ①汽车—工程材
料—教材 IV. ①U465

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 028743 号

如有印装质量问题, 请与中国石油大学出版社发行部联系。
服务电话: 400-615-1233

书 名: 汽车材料

QICHE CAILIAO

主 编: 侯岳峰 唐作凯

策划编辑: 张云鹏

责任编辑: 刘 璇 栾少锋

责任校对: 高 宇

封面设计: 刘文东

出 版 者: 中国石油大学出版社

(地址: 山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号 邮编: 266580)

网 址: <http://cbs.upc.edu.cn>

电子邮箱: uppbook@upc.edu.cn

排 版 者: 华腾教育排版中心

印 刷 者: 大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 010-88433760)

开 本: 850 mm×1 168 mm 1/16

印 张: 11.5

字 数: 237 千字

版 印 次: 2023 年 3 月第 1 版 2023 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5636-7782-5

印 数: 1—3 000 册

定 价: 36.00 元

前言

PREFACE

材料是人类生产和生活所必需的物质，人类社会的发展伴随着各种材料的不断开发和利用。在现代社会里，材料科学的发展具有举足轻重的作用。

随着现代汽车结构的改进、汽车技术的不断发展，汽车材料不断朝着轻质化、高强度、耐腐蚀、可回收等方向发展。汽车材料的每一次技术进步和革新都极大地推动了汽车工业和技术的发展。对于现代汽车工业而言，汽车材料对汽车整体性能的提高有着越来越重要的影响。“汽车材料”是汽车维修和制造相关专业的一门专业基础课程，是学生将来从事汽车检测、维修类工作必须学习的一门重要课程。

为了满足汽车领域人才培养的多学科交叉性、行业化和工程化需求，让学生掌握汽车行业现有先进材料技术，紧跟国际前沿，把握创新特点，吸纳汽车领域新材料的技术成果，我们特编写了本书。

本书依据最新国家标准，对金属材料、非金属材料、典型汽车零件的选材、汽车运行材料等知识按模块和学习单元的结构进行编写。全书共分七个模块，主要内容和参考学时如下。

序 号	内 容	学 时
模块一	初识汽车材料	6
模块二	汽车金属材料	12
模块三	汽车非金属材料	10
模块四	汽车燃料	10

续表

序 号	内 容	学 时
模块五	汽车润滑材料	10
模块六	汽车工作液	8
模块七	汽车美容涂装材料	8
合计		64

在教学过程中，任课教师可根据专业特点、实际教学场所与教学方法的不同对讲授内容进行适当调整。

本书以加强实践、培养学生的技术应用能力为出发点，紧跟社会进步和技术发展的步伐，力求保持职业教育的鲜明特色，以汽车材料的性能和运用为主题优化课程内容，并及时反映汽车新材料、新技术和新成果，以适应社会对汽车类专业人才的需求，达到实用性与综合性兼顾的目标。

本书既可供各类职业技术学院、技工院校等汽车类专业、机械类专业学生使用，也可作为汽车行业技术人员的培训教材和参考书。

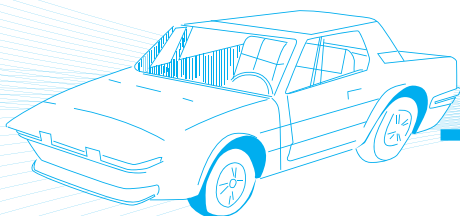
本书由醴陵市陶瓷烟花职业技术学校侯岳峰、湘西民族职业技术学院唐作凯任主编，江西应用工程职业学院刘毅、贵州余庆县中等职业学校张义任副主编。

限于编者经验和水平，书中难免有不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目录

CONTENTS



模块一

初识汽车材料 1

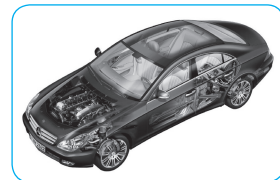
- 学习单元一 汽车材料概述 1
- 学习单元二 材料的使用性能 8
- 学习单元三 材料的工艺性能 20
- 学习单元四 汽车零件选材的原则和步骤 22



模块二

汽车金属材料 26

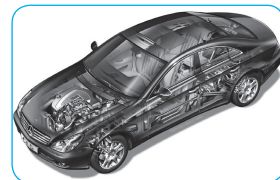
- 学习单元一 常用金属材料 26
- 学习单元二 有色金属材料 61



模块三

汽车非金属材料 74

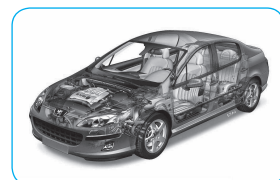
- 学习单元一 橡胶 74
- 学习单元二 塑料 82
- 学习单元三 玻璃 86
- 学习单元四 陶瓷 90
- 学习单元五 其他非金属材料 94



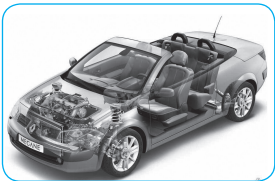
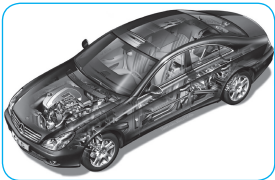
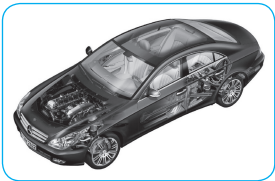
模块四

汽车燃料 102

- 学习单元一 汽油 102
- 学习单元二 柴油 109
- 学习单元三 汽车新能源 113



模块五	汽车润滑材料	120
学习单元一	发动机润滑油	120
学习单元二	车辆齿轮油	128
学习单元三	液力传动油	131
学习单元四	汽车润滑脂	136
模块六	汽车工作液	142
学习单元一	汽车制动液	142
学习单元二	发动机冷却液	145
学习单元三	其他汽车工作液	148
模块七	汽车美容涂装材料	155
学习单元一	汽车美容概述	155
学习单元二	汽车涂装材料	164
学习单元三	汽车涂装辅助材料	170
参考文献		177



模块一

初识汽车材料



学习目标

- ◎ 了解材料在汽车工业中的重要作用。
- ◎ 了解汽车应用材料的组成和分类。
- ◎ 了解金属材料的各项力学性能指标。
- ◎ 能够识读各项力学性能指标符号并掌握其含义。
- ◎ 掌握汽车零件的一般选材原则、步骤及方法。

学习单元一 汽车材料概述

汽车工业作为现代工业社会的一个重要标志，带动着石油、化工、电子、材料等工业，以及交通运输业、旅游业等 30 余个其他行业的发展，在国民经济中占有重要的地位。据统计，世界上每年钢材产量的 1/4、橡胶产量的 1/2、石油产量的 1/2，均用于汽车工业及相关工业。

一、汽车的主要构成

大多数汽车的总体构造及其主要机构的构造和作用原理基本一致。常用汽车基本上由以下四个部分组成：发动机、底盘、车身和电气设备。图 1-1 所示为汽车总成拆分平面图。

1. 发动机

发动机是汽车的动力装置，是汽车的“心脏”。其作用是使供入其中的燃料燃烧而发出动力，通过底盘传动系统驱动汽车行驶。现代汽车上广泛采用内燃机，它一般由机体、曲柄连杆机构、凸轮配气机构、燃料供给系统、润滑系统、冷却系统、点火系统和

起动系统组成。

2. 底盘

底盘接受发动机发出的动力，使汽车得以正常行驶。底盘将汽车各总成、部件连接成为一个整体，并具有传动、转向、制动等功能。底盘主要包括传动系统（离合器、变速器、传动轴等）、行驶系统（车架、车轮等）、转向系统（转向盘、转向传动装置等）和制动系统（前、后轮制动器，控制、传动装置等）四大系统。

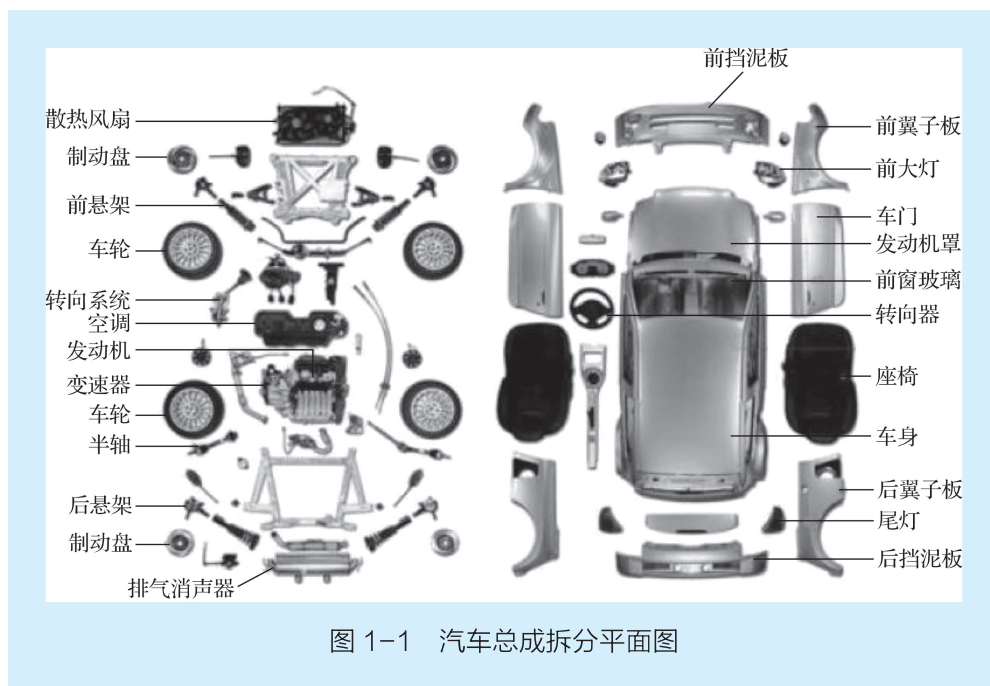


图 1-1 汽车总成拆分平面图

3. 车身

车身用以安置驾驶人、乘客和货物。通常，货车车身由驾驶室、车厢等组成，客车、轿车车身则由车身结构件、车身覆盖件、车身外装件、车身内装件和车身附件等总成零件组成。

4. 电气设备

汽车电气设备主要包括电源、发动机的起动系统和点火系统、照明设备、信号设备、电子控制设备等。在现代汽车中，电子技术配备有了飞跃性的发展。在汽车上，尤其是在轿车上较普遍地使用了电子打火、发动机动力输出控制（EPC）、发动机电控喷射系统、防抱死制动系统（ABS）、速度感应式转向系统（SSS）、卫星导航系统（GPS）、安全气囊系统（SRS）、自动诊断装置等电子设备，大大提高了轿车的可靠性和安全性能。随着电子技术的不断发展，汽车将更加电子化和智能化。

二、汽车材料的应用

通常，一辆汽车由约 3 万个零部件组装而成。汽车上每个汽车零件的生产制造都涉

及材料问题。据统计,汽车的零部件采用了4 000余种不同的材料加工制造。从汽车的设计、选材、加工制造,到汽车的使用、维修和养护无一不涉及材料。

近年来,汽车制造用材仍以金属材料为主,塑料、橡胶、陶瓷等非金属材料占有一定的比例。以现代轿车用材为例,按照重量来计算,钢材占汽车自重的55%~60%,铸铁占汽车自重的5%~12%,有色金属占汽车自重的6%~10%,塑料占汽车自重的8%~12%,橡胶占汽车自重的4%,玻璃占汽车自重的3%,其他材料(油漆、各种液体等)占汽车自重的6%~12%。

汽车工业的发展与汽车材料及材料加工工艺的发展是同步的。现代社会中,人们对汽车的要求从代步、运输逐渐转向多功能,因此,现代汽车要满足安全、舒适、自重轻、排放污染低、能耗小、价格低等要求,首先就要从材料方面进行考虑。大量新型材料(如高分子材料、复合材料等)的迅速发展为现代汽车的发展提供了必要的条件。复合材料、陶瓷材料、特殊用途材料(耐腐蚀、耐高温、隔光材料、隔热材料等)的用量也呈增长趋势。此外,随着全球能源危机的加剧,汽车代用燃料的开发、以电动机替代内燃发动机,也将使传统的以汽油、柴油作为汽车燃料的状况发生根本性的变革。

三、汽车应用材料的组成

按照用途的不同,汽车应用材料可分为汽车工程材料和汽车运行材料。

1. 汽车工程材料

工程材料主要是指用于机械、车辆、船舶、建筑、工程等领域中的材料。它既包括用于制造工程构件和机械零件的材料,也包括用于制造工具的材料和具有特殊性能的材料。汽车工程材料是指用于制造汽车零部件的材料。参照工程材料的分类,常用汽车工程材料分类如图1-2所示。

1) 金属材料

金属材料是近年来汽车上应用最广泛的工程材料。工业上,一般把金属材料分为两大部分:黑色金属和有色金属。黑色金属是指钢铁材料;有色金属指钢铁材料以外的所有金属材料,如铝、铜、镁及其合金。按照特性不同,有色金属可分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属和放射性金属等多个种类。

钢铁材料在我国汽车工业中仍占主流地位。一辆中型载货汽车上钢铁材料约占汽车自重的3/4,轿车上钢铁材料则超过自重的2/3。钢铁材料最大的特点是价格低廉,比强

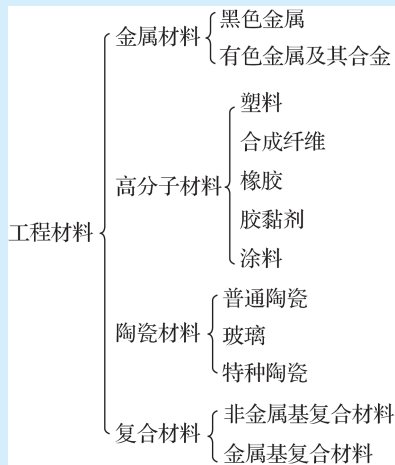


图 1-2 常用汽车工程材料分类

度（强度/密度）高，便于加工，因而得到广泛的使用。汽车用的钢铁材料有钢板、结构钢、特殊用途钢、钢管、烧结合金、铸铁及部分复合材料等，主要用于制造车架、车轴、车身、齿轮、发动机曲轴、气缸体、罩板、外壳等零件。

有色金属因其具有质轻、导电性好等钢铁材料所不及的特性，在现代汽车上的用量逐渐增加。例如，铝合金材料具有密度低、强度高和耐蚀性好的特性，在轿车的轻量化趋势中占据举足轻重的地位。此外，采用新型镁合金制造的凸轮轴盖、制动器等零部件可以减轻重量和降低噪声。在轿车制造行业，采用铝、镁、钛等轻金属替代钢铁材料来减轻汽车自重，已成为轿车轻量化的一个重要手段。

2) 高分子材料

高分子材料属于有机合成材料，又称聚合物。高分子材料可分为天然高分子材料（如蚕丝、羊毛、油脂、纤维素等）和人工合成高分子材料。后者因具有较高的强度、良好的塑性、较强的耐腐蚀性、很好的绝缘性和较小的质量等特点，成为工程上发展最快、应用最广的一类新型材料。在工程上，根据高分子材料的力学性能和使用状态不同，一般将其划分为塑料、合成纤维、橡胶、胶黏剂和涂料等种类。

塑料主要指强度、韧性和耐磨性较好的，可用于制造某些零部件的工程塑料。塑料具有价廉、耐腐蚀、降噪、美观、质轻等特点。塑料正式应用于汽车始于 20 世纪 60 年代石油化工工业的兴盛期。现代汽车上许多构件（如汽车保险杠、汽车内饰件、高档车用安全玻璃、仪表板等零部件）均采用工程塑料制造，与钢铁材料相比，更具有安全性，并可降低造价，较大地改善了汽车的安全性、舒适性、经济性。

其他高分子材料在汽车上也有着广泛的应用。合成纤维是指由单体聚合而成的具有很高强度的高分子材料，如常见的尼龙、聚酯等，汽车的座垫、安全带、内饰件等多数是由合成纤维制造的；橡胶通常用来制造汽车的轮胎、内胎、防振橡胶、软管、密封带、传动带等零部件；各种胶黏剂起到黏接、密封等作用，并可简化制造工艺；各种车用涂料对车身的防锈、美化及商品价值有着不可忽视的作用。

3) 陶瓷材料

陶瓷材料属于无机非金属材料，主要为金属氧化物和非金属氧化物。陶瓷材料是人类最早利用自然界提供的原料进行加工制造而成的材料，具有耐高温、硬度高、脆性大等特点。传统的陶瓷多采用黏土等天然矿物质原料烧制，而现代陶瓷则多采用人工合成的化学原料烧制。典型的工业用陶瓷材料有普通陶瓷（传统陶瓷）、玻璃和特种陶瓷（新型陶瓷）。

普通陶瓷主要为硅、铝氧化物的硅酸盐材料；特种陶瓷主要为高熔点的氧化物、碳化物、氮化物、硅化物等的烧结材料。此外，还发展了金属陶瓷，其主要是指用陶瓷生产方法制取的金属与碳化物或其他化合物的粉末制品。陶瓷在汽车上的最早应用是制造

火花塞。在现代汽车中，陶瓷的用途得到了大大的拓展：一部分陶瓷作为功能材料被用于制作各种传感器，如爆燃传感器、氧传感器、温度传感器等；另一部分陶瓷则作为结构材料用于替代金属材料制作发动机和换热器零件。一些特种陶瓷也用于制造发动机部件或整机、气体涡轮等部件，可以达到提高热效率、降低能耗、减轻自重的目的。

玻璃的主要成分是 SiO_2 。汽车上使用的玻璃制品主要为窗玻璃，要求其具有良好的透明性、耐候性（对气温变化不敏感）、足够的强度和很高的安全性。因此，车用玻璃必须是安全玻璃，主要有钢化玻璃、区域钢化玻璃、普通复合玻璃和高抗穿透性（**high penetration resistance, HPR**）夹层玻璃等几种。采用 **HPR** 夹层玻璃，当汽车受到冲撞时，乘客若撞到车窗玻璃上，玻璃不会被击穿，从而避免了乘客因玻璃碎裂而受伤。在许多国家，已规定前风窗玻璃只允许使用 **HPR** 夹层玻璃。

4) 复合材料

复合材料是指由两种或两种以上不同材料组合而成的材料。由于它是由不同性质或不同组织结构的材料以微观或宏观的形式组合形成的，不仅保留了组成材料各自的优点，而且具有单一材料所没有的优异性能，因此在强度、刚度、耐蚀性等方面都比单纯的金属材料、陶瓷材料和高分子材料优越。

原则上来说，复合材料可以由金属材料、高分子材料和陶瓷材料中任意两种或多种制备而成。按基体材料的种类不同，复合材料可分为非金属基复合材料和金属基复合材料两大类。非金属基复合材料是指以聚合物、陶瓷、石墨、混凝土为基体的复合材料，其中以纤维增强聚合物基和陶瓷基复合材料最常用；金属基复合材料是指以金属及其合金为基体，与一种或几种金属或非金属增强的复合材料。

复合材料是一种新型的具有很大发展前途的工程材料，起初主要应用于宇航工业，近年来在汽车工业中逐步得到应用。汽车车顶导流板、风窗窗框等车身外装板件，采用纤维增强复合材料（**FRP**）制造具有质轻、耐冲击、便于加工异形曲面、美观等优点；汽车柴油发动机的活塞顶、连杆、缸体等零件采用纤维增强金属（**FRM**）制造可显著提高零件的耐磨性、热传导性、耐热性，并减小热膨胀。

2. 汽车运行材料

汽车运行材料是指汽车在运行过程中所消耗的材料，包括燃料、润滑油、工作液和轮胎等，如图 1-3 所示。这些材料大多属于石油产品。据统计，汽车及相关工业消耗了全球石油产品产量的 46%。

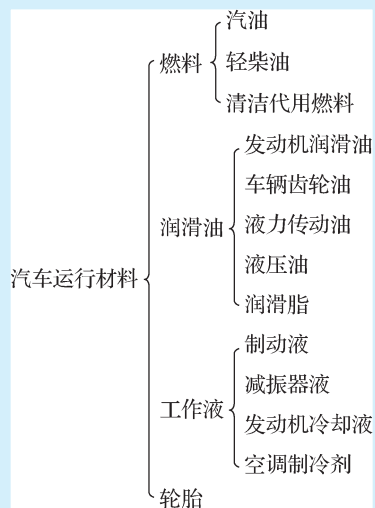


图 1-3 汽车运行材料的分类

1) 燃料

燃料是指能够将自身储存的化学能通过化学反应（燃烧）转变为热能的物质。汽车燃料主要指汽油和轻柴油。

汽油作为点燃式发动机（汽油机）的主要燃料，其使用性能对发动机工作的可靠性、经济性及使用寿命有极大的影响。汽油是从石油提炼出来的密度小、易于挥发的液体燃料。对于汽油的使用性能，主要从蒸发性、抗爆性、化学稳定性、耐蚀性、清洁性等方面进行考虑，从而保证发动机在各种工况下都能够可靠起动、正常燃烧和平稳运转。

轻柴油（可简称柴油）是车用高速柴油机的燃料。与汽油相比，轻柴油的密度较大，易自燃。由于柴油机与汽油机的工作方式不同，对于柴油，主要从低温流动性、燃烧性、蒸发性、黏度、耐蚀性和清洁性等方面控制其使用性能。

进入 21 世纪以来，针对环境和能源形势的日趋恶化，世界范围内的环保呼声越来越高，开发使用被称为“绿色能源”的清洁代用燃料成为汽车燃料发展的趋势。

近年来，较普遍使用的汽车清洁代用燃料有天然气、液化石油气、电能、氢、太阳能、醇类、醚类和合成燃料等。天然气、液化石油气、醇类、醚类和合成燃料的相对分子质量比汽油、柴油小得多，有利于与空气的混合、燃烧，且其尾气排放的 CO、HC、CO₂ 等的污染比汽油、柴油也低得多。除此之外，人们还尝试利用无污染的太阳能、电能驱动汽车。

2) 润滑油

汽车用润滑油主要包括发动机润滑油、车辆齿轮油和汽车润滑脂等。由于汽车可运行的地域辽阔，各地区的气候条件相差很大，因而对汽车用润滑油的要求比一般润滑油更高。

汽车发动机润滑油的主要作用是对汽车摩擦零件（曲轴、连杆、活塞、气缸壁、凸轮轴和气门）进行润滑。除此以外，性能优良的发动机润滑油还应具有冷却、洗涤、密封、防锈和消除冲击载荷的作用。

车辆齿轮油是用于变速器、后桥齿轮传动机构及传动器等传动装置机件摩擦处的润滑油。它可以降低齿轮及其他部件的磨损、摩擦，分散热量，防止腐蚀和生锈，对保证齿轮装置正常运转和延长齿轮寿命十分重要。

润滑脂是指稠化了的润滑油。与润滑油相比，润滑脂蒸发损失小，在高温、高速下润滑性好、附着能力强，还可起到密封作用。

3) 工作液

汽车用制动液、发动机冷却液、减振器液及空调制冷剂统称为汽车用工作液。

（1）汽车用制动液。汽车用制动液是汽车液压制动系统中传递压力的工作介质，俗

称刹车油，是液压油中的一个特殊品种。

(2) 发动机冷却液。发动机冷却液是发动机冷却系统的冷却介质。其中，防冻冷却液不仅具有防止散热器冻裂的功能，而且具有防腐蚀、防锈、防垢和高沸点（防开锅）的特性，可以有效保护散热器，改善散热效果，提高发动机效率，保障汽车安全行驶。

(3) 减振器液。减振器液是汽车减振器的工作介质，它利用液体流动通过节流阀时产生的阻力起减振作用。

(4) 空调制冷剂。空调制冷剂是汽车空调器的工作介质，它在空调系统中循环达到制冷的目的。

4) 轮胎

轮胎的主要作用是支承全车质量，与汽车悬架共同衰减汽车行驶中产生的振荡和冲击，支持汽车的侧向稳定性，保证车轮与路面有良好的附着性能。

汽车轮胎以橡胶为原料制成。世界上生产的橡胶约 80% 用于制造轮胎。轮胎的使用性能直接影响着车辆的安全性、行驶稳定性和经济性。随着车辆行驶速度的不断提高，对轮胎的技术和安全要求也越来越高。掌握轮胎特征，正确地使用、养护轮胎，可以延长轮胎的使用寿命，降低汽车的运行成本。

不同类型的轮胎有不同的结构特点和使用性能。轮胎按组成的结构不同，可分为有内胎轮胎和无内胎轮胎；按胎面花纹不同，可分为普通花纹轮胎、越野花纹轮胎和混合花纹轮胎；按胎体帘布层的结构不同，可分为斜交轮胎和子午线轮胎。

四、汽车应用材料的展望

21 世纪是高新技术的世纪，信息技术、生物工程和新材料代表了高新技术发展的方向。对于汽车材料来说，其总的发展趋势是结构材料中钢铁材料所占比例将逐步下降，有色金属、陶瓷材料、复合材料、高分子材料等新型材料的用量将有所上升。在性能可靠的前提条件下，将尽可能多地采用铝合金、复合材料等轻型、新型材料取代钢铁材料，使汽车向轻量化、高效、节能、低噪声、高舒适度、高安全性等方向发展。

为了满足汽车轻量化的要求，汽车上采用了纤维增强聚合物基复合材料、铝合金或纤维增强金属基复合材料取代原有的钢铁材料；采用新型高强度陶瓷材料制造汽车发动机部件乃至整机；运用碳纤维增强树脂基复合材料（CFRP）制造驱动轴等。此外，汽车运行材料趋向采用绿色环保材料或清洁代用燃料。

随着科技水平的不断提高，相信会有更多的汽车新材料问世，不断应用于汽车相关行业之中。

学习单元二 材料的使用性能

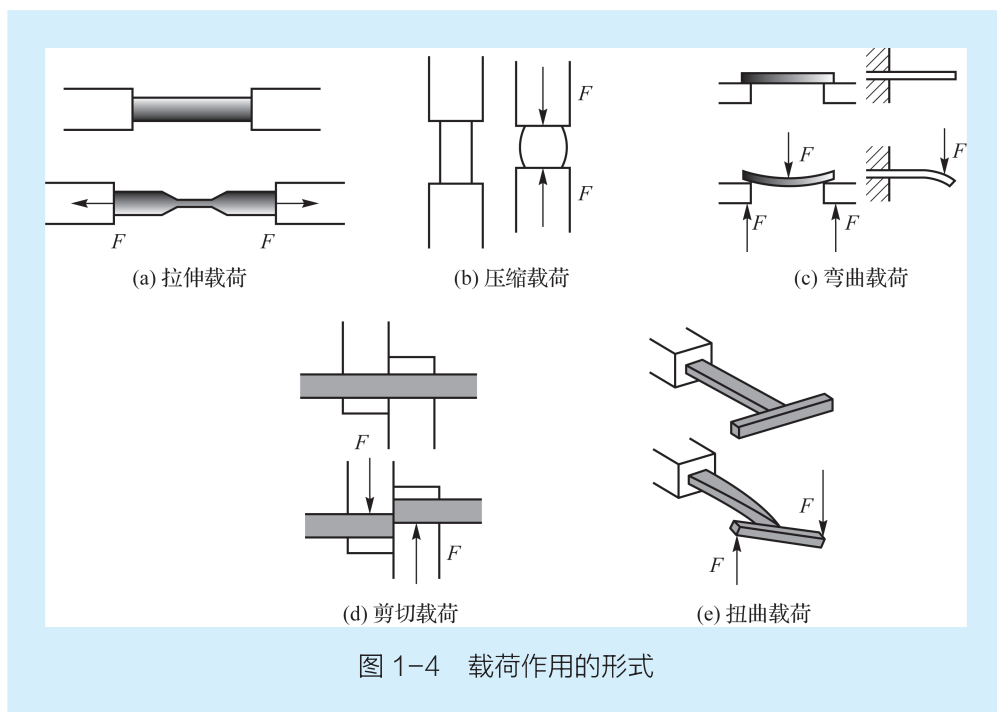
材料的使用性能是指零部件在正常使用条件下材料所表现出来的性能，主要包括力学性能、物理性能和化学性能。材料的使用性能决定了材料的使用范围、安全可靠性和使用寿命。

汽车应用材料主要以金属材料和非金属材料为主。由于非金属材料的性能指标及测试方法与金属材料相同或相似，因此本书主要以金属材料为例，阐述工程材料的一般性能及主要指标。

一、金属材料的力学性能

金属材料在受到外载荷作用下所表现出来的性能称为金属材料的力学性能。金属材料在加工和使用过程中所受的外力称为载荷。

按载荷作用的形式，载荷可以分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭曲载荷等，如图 1-4 所示。



当载荷达到或超过某一极限值后，材料就会发生变形甚至破坏。不同的载荷作用性质及作用形式引起的变形不同，材料所表现出的性能也不同。金属材料的力学性能主要包括强度、塑性、硬度、冲击韧度和疲劳强度等。

1. 强度

强度是指材料在外力作用下抵抗变形和损坏的能力。按所加载荷的形式不同，强

度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度。抗压强度、抗弯强度和抗剪强度可以通过抗拉强度进行测算,因而工程上测量金属材料强度指标通常采用最简单的拉伸试验。拉伸试验在拉伸试验机上进行,如图 1-5 所示。

在拉伸试验中,先将被测金属材料制成标准试样,如图 1-6 所示。当 $L_0=10d_0$ 时,该试样称为长试样;当 $L_0=5d_0$ 时,该试样称为短试样。将试样装夹在拉伸试验机上缓慢加载拉伸,使试样产生轴向弹性变形,再过渡到塑性变形直至试样断裂。



图 1-5 万能拉伸试验机

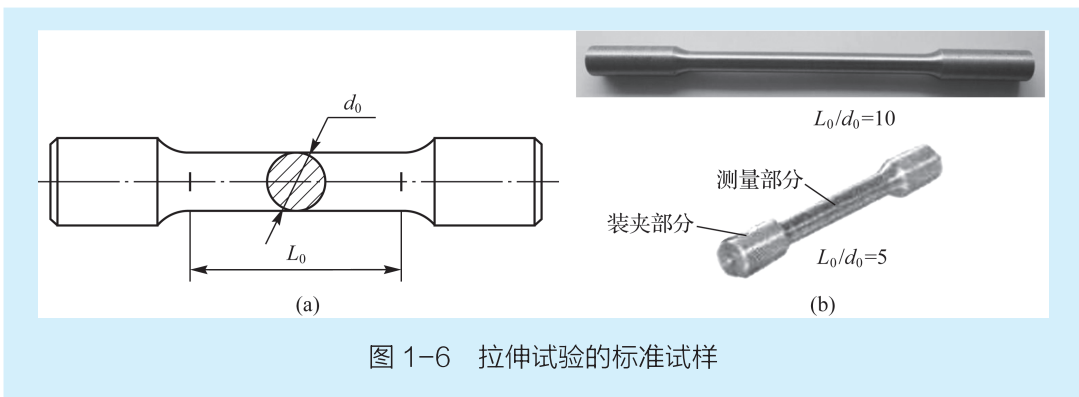


图 1-6 拉伸试验的标准试样



视频
拉伸试验

图 1-7 (a) 所示为低碳钢拉伸时载荷大小与变形量的关系。通常用拉伸试验曲线来表示受力程度和变形程度之间的关系。图 1-7 (b) 为拉伸应力和应变图,纵坐标表示单位面积上所受的拉力(称为拉应力,符号为 σ ,表示受力程度),横坐标表示单位长度上的变形量(称为应变,符号为 ϵ ,表示变形程度)。

由图 1-7 可知,低碳钢的拉伸过程有 4 个明显的变形阶段:弹性变形阶段、屈服阶段、强化阶段和颈缩及断裂阶段。

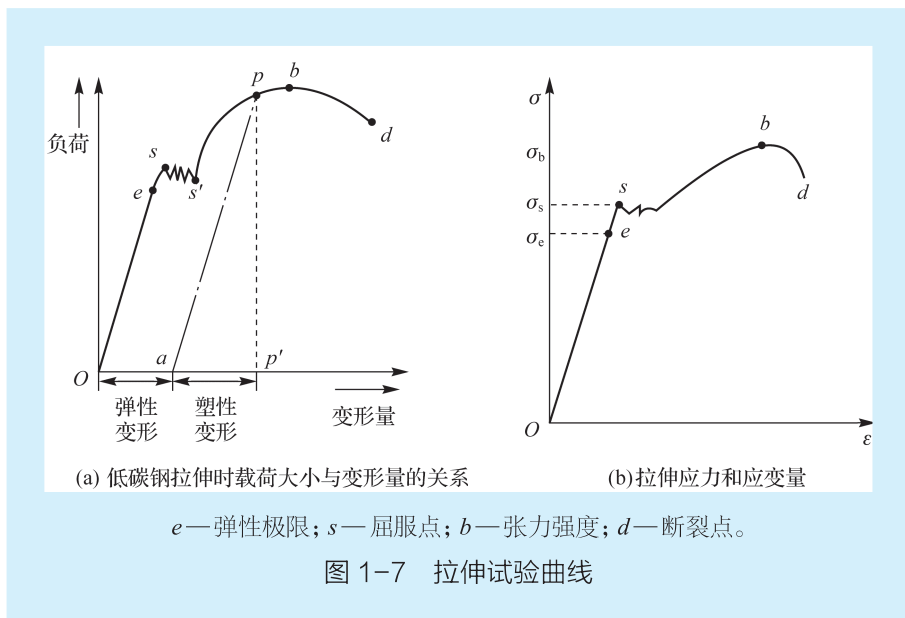
1) 弹性变形阶段 (Oe 阶段)

在负荷很小时增加载荷,变形与负荷成正比,此时若卸去载荷,试样将恢复至原来的尺寸,这一阶段称为弹性变形阶段,如图 1-7 (a) 所示的 Oe 阶段,对应的最大应力称为弹性极限 (σ_e)。弹性材料在使用过程中,其工作应力不允许大于其弹性极限,否则将导致零件的失效和损坏。如图 1-8 所示的弹簧秤,如果受力超过弹簧的弹性极限,则弹簧秤被拉长后不能恢复原长,即失效。

2) 屈服阶段 (ss' 阶段)

当负荷超过极限 e 点时,载荷不再增加,但是试样仍会发生明显的塑性变形,这种现象称为屈服,此时试样不仅有弹性变形,而且有塑性变形。图 1-7 (a) 所示的 ss' 称

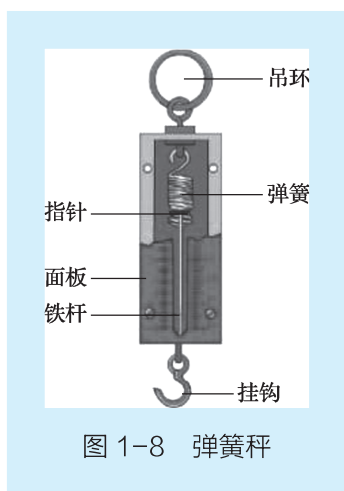
为屈服阶段，屈服极限 σ_s 对应的点称为屈服点。螺栓被拧过了屈服点即被破坏失效，如图 1-9 所示。



视频
应力状态 (I)



视频
应力状态 (II)



3) 强化阶段 ($s'b$ 阶段)

过了 s' 点后要使试件继续变形，就必须增加载荷，材料进入强化阶段，直到载荷达到最大值（图 1-7 中的 b 点），所对应的应力值 σ_b 称为强度极限，强度极限为试件在拉伸条件下所能承受的最大应力值。

4) 颈缩及断裂阶段 (bd 阶段)

当载荷达到最大值后，试件的变形开始集中在最弱横截面附近的局部区域，使该区域的横截面积急剧缩小，出现颈缩现象（图 1-10），试件直径变小，横截面积缩小，其抵抗外载荷的能力下降，此时不再增加外载荷，试样却被拉断。

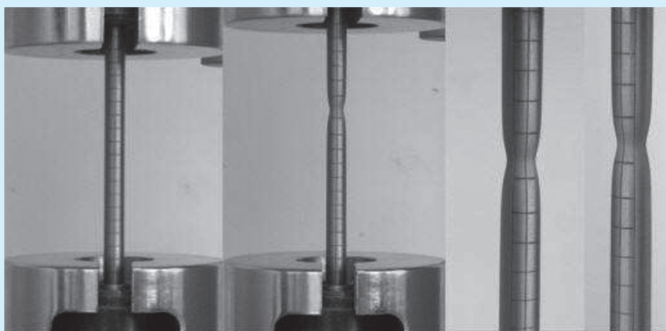


图 1-10 低碳钢的颈缩及断裂过程

材料不能在承受超过其强度极限的外载荷条件下工作，否则会导致零件损坏。当然，材料也不能在承受超过其屈服强度的外载荷条件下工作，因为这会引起金属结构和零件的变形。

2. 塑性

以弯曲一块钢板为例，用手稍微弯曲钢板，然后放开，钢板会回弹恢复到原来的形状，这种在除去载荷后能自动消失的变形称为弹性变形，如图 1-11 (a) 所示。而钢板恢复原状的特性称为弹性。

若在钢板上施加较大力使钢板弯曲，然后放开，则钢板会稍微回弹，但受到弯曲的部位会出现无法恢复原状的永久变形，这种在除去载荷后不能消失的变形称为塑性变形，如图 1-11 (b) 所示。钢板产生塑性变形而不被破坏的能力称为塑性。具有良好塑性的材料有利于进行加工，如汽车驾驶室外壳、油箱等零部件的加工成形，因变形量很大，必须选用塑性较好的金属材料经冷冲压加工成形。当零件偶然过载，塑性好的材料能发生一定的塑性变形，因而可以避免零件突然破坏失效。

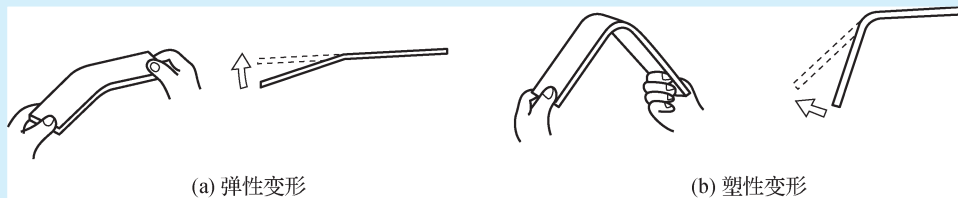


图 1-11 钢板的弹性变形和塑性变形

金属材料在受到拉伸时，长度和横截面积都会发生变化，因此，金属的塑性可以用拉伸时的延伸率和断面收缩率两个指标来衡量，与强度指标一样在拉伸试验中测定。

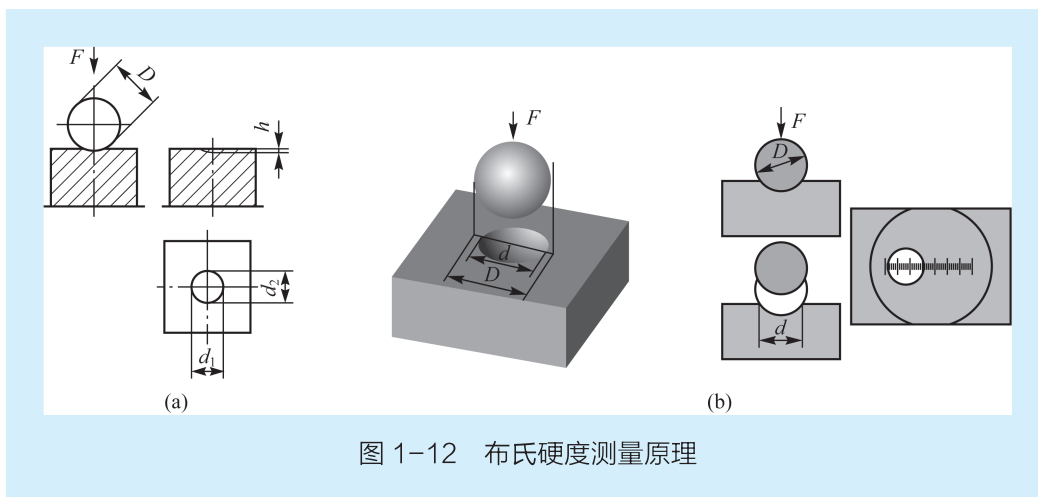
3. 硬度

硬度是指金属材料抵抗比它更硬的物体压入其表面的能力，是衡量材料软硬程度的指标。材料的硬度越高，其耐磨性能越好。硬度试验方法有很多，应用最广泛的是布氏

硬度试验方法、洛氏硬度试验方法。

1) 布氏硬度

图 1-12 所示为布氏硬度测量原理。用布氏硬度测量仪（图 1-13）将直径为 D 的淬硬圆钢球以规定的载荷 F 压入被测材料表面，保持一定时间后卸去载荷，布氏硬度测量仪压头如图 1-14 所示。测量被测材料的表面压痕直径 d （不平方向测量取平均值）和压痕的球面积 A ，试样的单位表面积所承受的载荷 F/A 即表示该试样的布氏硬度。



视频
布氏硬度测量
步骤



视频
布氏硬度测量
原理



在实际应用中，根据压痕直径的大小可直接查布氏硬度表得出硬度值，而无须计算。布氏硬度一般不写单位。布氏硬度标注如下：

“200HBS10/1000/30”表示钢球直径为 10 mm，施加的载荷为 1 000 kgf (9 800 N)，

保持时间为 30 s，测得的布氏硬度为 200。

进行布氏硬度试验操作时应注意把被测材料打磨光滑，根据被测材料的材质、厚度等选择压头直径、施加载荷的大小和施加载荷的时间，施加载荷时操作需平稳垂直，测试薄型材料若出现变形则应重测。

布氏硬度所使用的压头是淬火钢球，因此只适用于硬度较低、尺寸较大的金属材料。当被测材料的硬度较高时，压头本身会变形而使测量数据失去可靠性。而且布氏硬度试验压痕面积较大，容易损伤零件表面，因此只宜用于测试原材料及半成品，不适用于检测成品件。

2) 洛氏硬度

(1) 洛氏硬度测量过程。洛氏硬度由洛氏硬度测量仪(图 1-15)测定。洛氏硬度试验和布氏硬度试验相同，也是采用压入法测定硬度。两者的区别是压头形状不同。洛氏硬度测量过程如图 1-16 所示。



图 1-15 洛氏硬度测量仪

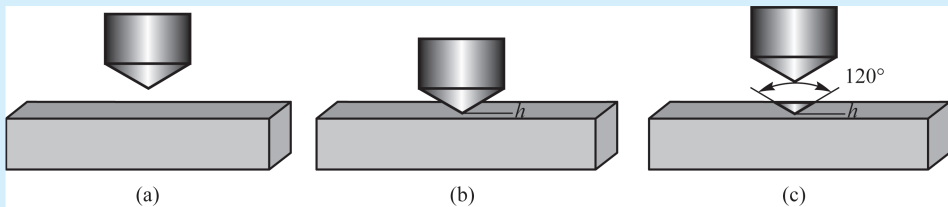


图 1-16 洛氏硬度测量过程



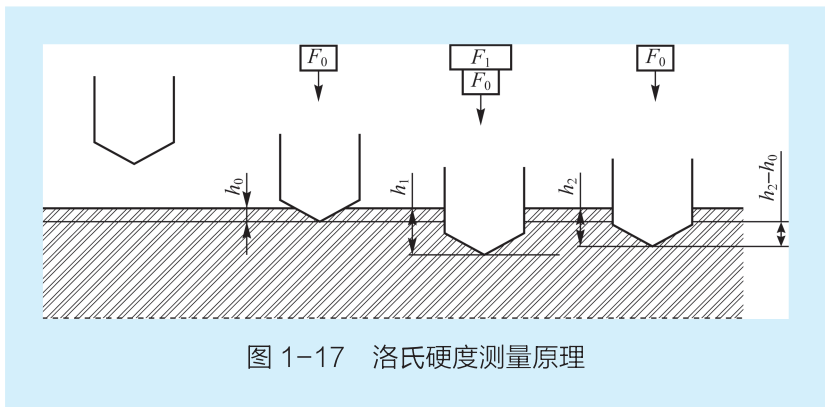
视频
洛氏硬度测量
原理

(2) 洛氏硬度测量原理。用锥角为 120° 的圆锥体金刚石或直径为 1.588 mm 的淬火钢球做压头，先加初始试验力 F_0 ，压入金属表面，深度为 h_0 。再加主试验力 F_1 ，在总试验力 (F_0+F_1) 的作用下，压入深度为 h_1 。保持一定时间后卸掉主试验力，保留初始试验力，此时由于金属的弹性变形消失而使压头略有回升，回升后的残余压痕深度为 (h_2-h_0) ，如图 1-17 所示。

残余压痕深度 $h = h_2 - h_0$ 的值越大，洛氏硬度值越小，表示材料硬度越低。洛氏硬度测量仪自动测量压痕深度并以硬度值读数在表盘上显示，测量方便简捷。

洛氏硬度测量压痕很小，采用不同的压头并施加相应的载荷会使洛氏硬度的测定范围扩大，可以测较软到较硬的材料，也可测量厚薄不等的各类材料，但测得的数据不太稳定，需在材料不同部位测量并取其平均值，以提高测量的准确性。

根据压头的种类和总载荷的大小不同，洛氏硬度的表示方式也不同，通常有 HRA、HRB、HRC 三种，见表 1-1。



视频
洛氏硬度测量
步骤

表 1-1 常用三种洛氏硬度测量条件及应用举例

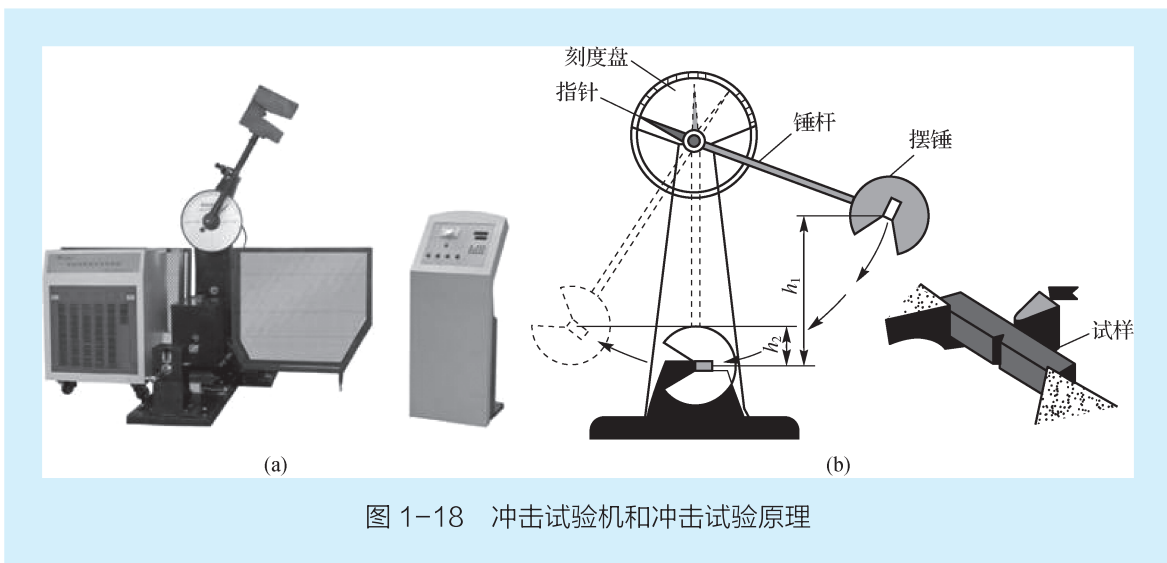
硬度符号	压头类型	初始试验力	主试验力	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120° 圆锥体 金刚石	98.07	490.3	20 ~ 88	硬质合金、表面淬火钢、渗碳层等
HRB	φ1.588 mm 钢球	98.07	882.6	20 ~ 100	有色金属，退火、正火钢件等
HRC	120° 圆锥体 金刚石	98.07	1 373	20 ~ 70	淬火钢、调质钢件等

4. 冲击韧度

通过拉伸试验测得的强度、塑性以及通过硬度试验测得的硬度等金属材料的性能指标都是金属材料在静载荷作用下表现出的抵抗力。但在实际生产中，许多机械零件在工作时承受的外载荷并非静载荷，而是突然施加的冲击载荷。如汽车发动机中的活塞、活塞销、连杆、曲轴等零件，在气缸中是受气体燃烧膨胀时产生的力的作用，这种气体燃烧膨胀所产生的外载荷就是突然的冲击载荷。又如汽车起步、停车、加速、紧急制动时，汽车变速器中的齿轮、传动轴、后桥中的半轴、差速器齿轮等零件受到的外载荷均属于冲击载荷。这些零件的性能不能仅以强度和硬度等静载荷作用下的指标来衡量，因为即使采用强度较高的材料，在冲击载荷作用下也会发生断裂。所以这类零件材料的选择，还必须考虑其抵抗冲击载荷的能力，即冲击韧度。

冲击韧度表示金属材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力，常用摆锤一次冲击试验来测定。图 1-18 所示为冲击试验机和冲击试验原理。试验时，将试样放在支座上，试样的缺口背向摆锤的冲击方向，让摆锤从高处自由下落将试样打断，在试验机上直接读数，得到冲击功，试样缺口处单位面积上的冲击功即为冲击韧度。

影响材料冲击韧度的因素有很多，如试样的形状、表面状态、内部组织、试验温度等，因此，冲击韧度一般只作为选用材料的参考，不直接用于强度设计计算。



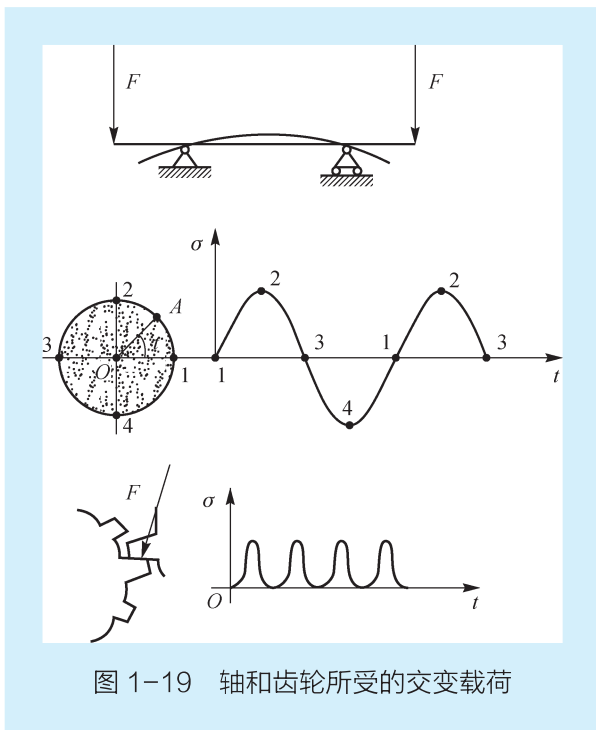
许多零件在实际工作时往往是承受小能量多次冲击后导致材料内部产生微裂纹，经扩展后才断裂的，此时零件的冲击韧度实际上是材料强度和塑性的综合反映。材料的强度越高，塑性越好，其冲击韧度也越好。

5. 疲劳强度

许多汽车零件（如曲轴、齿轮等）工作时承受的载荷无论大小、方向、速度都呈周期性变化，即受交变载荷作用（图 1-19）。在交变载荷作用下的零件发生破坏时的应力远低于该材料的屈服强度极限。这种因零件受交变载荷长时间反复循环作用后突然发生的脆性断裂称为金属材料的疲劳断裂。

疲劳断裂与在静载荷作用下的断裂不同，不管是脆性材料还是塑性材料，疲劳断裂都是突然发生的，事先均无明显的塑性变形征兆，很难事先察觉，属于低应力脆性断裂，因此具有很大的危险性。例如，汽车钢板弹簧或前轴发生疲劳而突然断裂。

产生疲劳断裂的原因一般是在零件应力集中部位或材料本身强度较低的部位，如原有微裂纹、软点、脱碳、夹杂或刀痕等缺陷处形成裂纹核心，在交变应力的反复作用下产生疲劳裂纹，并随着应力循环次数的增加，疲劳裂纹不断扩展，使零件有效承载面积逐渐减小，当减小到不能承受外加载荷时，零件即发生突然断裂。零件的疲劳失效过程



可分为疲劳裂纹产生、疲劳裂纹扩展和瞬时断裂三个阶段。图 1-20 所示为疲劳裂纹示意。

当外力作用于含有裂纹的材料时,根据应力作用方向与裂纹扩展面的方向,可将裂纹分为三种基本类型:张开型裂纹(Ⅰ型)、滑开型裂纹(Ⅱ型)和撕开型裂纹(Ⅲ型),如图 1-21 所示。

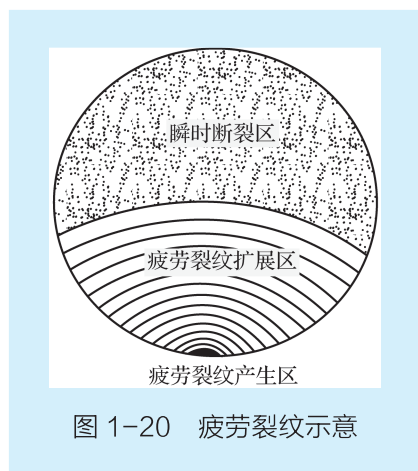


图 1-20 疲劳裂纹示意

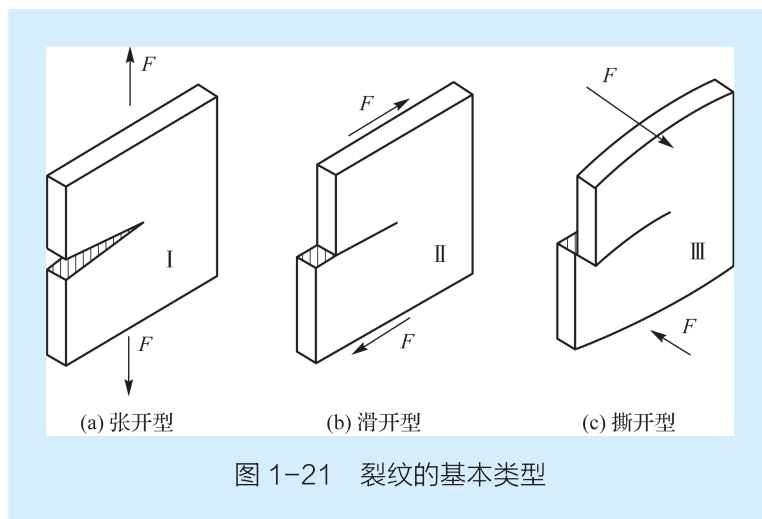


图 1-21 裂纹的基本类型

在实践中,张开型裂纹最容易引起脆性断裂,因此最危险。

疲劳强度可由疲劳试验机(图 1-22)测得。循环应力值越低,断裂前的循环次数越多。当循环应力低于某一数值时,循环次数可以达到很大,甚至无限大,而试样仍不发生疲劳断裂。试样不发生断裂的最大循环应力称为该材料的疲劳强度。图 1-23 所示的疲劳曲线中的横坐标表示循环次数,纵坐标表示疲劳强度。



图 1-22 疲劳试验机

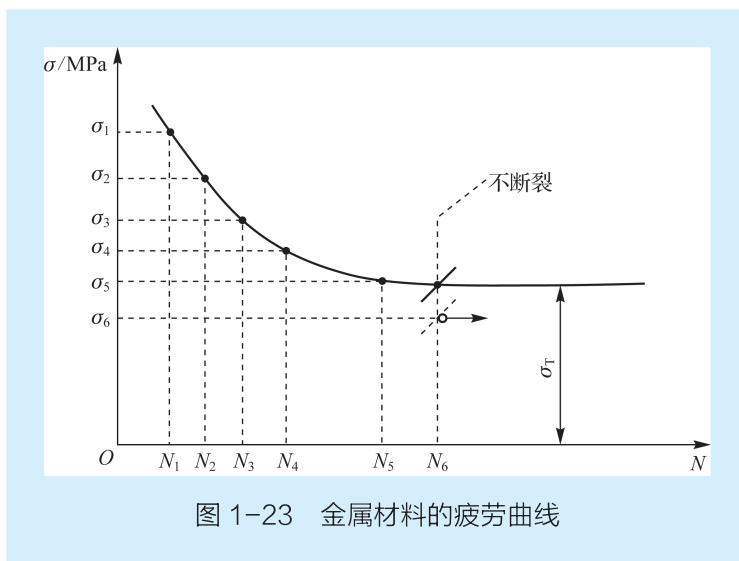


图 1-23 金属材料的疲劳曲线

在机械零件的失效形式中,约有80%是由疲劳断裂所造成的,因此,减少疲劳失效,对于延长零件使用寿命有着重要意义。提高零件疲劳强度的措施如下:

(1) 改善零件的结构和形状,尽量避免尖角、缺口和截面突变,避免零件的应力集中。

(2) 改善零件表面加工质量,尽量减小能成为疲劳裂纹源的表面缺陷和表面损伤(擦伤、刀痕、生锈等)。

(3) 采用各种表面强化处理,如化学热处理、表面淬火、喷丸、滚压等表面强化方法,提高零件表层的疲劳极限。

二、金属材料的理化性能

1. 金属材料的物理性能

材料的物理性能是指材料的固有属性,如密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性、磁性和色泽等。常用金属材料的物理性能见表1-2。

表 1-2 常用金属材料的物理性能

金属	元素符号	密度 / $[(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) \times 10^3]$	熔点 / $^{\circ}\text{C}$	热导率 / $[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$	线膨胀系数 / $(\text{K} \times 10^{-6})$	电阻率 / $[(\Omega \cdot \text{cm}) \times 10^{-6}]$	磁导率 / $(\text{H} \cdot \text{m}^{-1})$
银	Ag	10.49	960.8	418.6	19.7	1.5	抗磁
铝	Al	2.69	660.1	221.9	23.6	2.655	21
铜	Cu	8.96	1 083	393.5	17.0	1.67~1.68	抗磁
铬	Cr	7.19	1 903	67	6.2	12.9	顺磁
铁	Fe	7.84	1 538	75.4	11.76	9.7	铁磁
镁	Mg	1.74	650	153.4	24.3	4.47	12
锰	Mn	7.43	1 244	4.98 (-192 $^{\circ}\text{C}$)	37	185	顺磁
镍	Ni	8.90	1 453	92.1	13.4	6.48	铁磁
钛	Ti	4.51	1 677	15.1	8.2	42.1~47.8	182
锡	Sn	7.30	231.91	62.8	2.3	11.5	2
钨	W	19.30	3 380	166.2	4.6 (20 $^{\circ}\text{C}$)	5.1	
铅	Pb	11.34	327		29	7	抗磁

1) 密度

密度是指单位体积物质的质量,用符号 ρ 表示,单位为 kg/m^3 。实际生产中,汽车零部件的选材必须首先考虑材料的密度,如汽车发动机中要求采用质量轻、运动时惯性小的活塞,其多采用低密度的铝合金制成。在航空领域中,密度更是选用材料的关键性

能指标之一。

金属材料按照密度可分为轻金属和重金属。一般情况下，密度小于 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属称为轻金属，如铝、镁、钛及其合金；密度大于 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属称为重金属，如铁、铅、钨等，可参见表 1-2。对于非金属材料，其密度相对更小，陶瓷的密度为 $2.2 \times 10^3 \sim 2.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，塑料的密度则为 $1.0 \times 10^3 \sim 1.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

2) 熔点

熔点是指材料由固态向液态转变的温度。熔点是制定冶炼、铸造、锻造和焊接等热加工工艺规范的一个重要的参数。

纯金属及其合金都具有固定的熔点。金属可分为易熔金属（熔点低于 700°C ）和难熔金属。难熔金属钨、钼、铬、钒等常用来制造耐高温的零件，如汽车发动机排气阀等；铅、锡、锌等易熔金属常用来制造熔丝、易熔安全阀等零件。对于非金属材料，陶瓷材料的熔点一般都显著高于金属及合金的熔点。而高分子材料、复合材料一般没有固定的熔点。

3) 导热性

材料的导热性是指材料传导热量的能力，常用热导率（导热系数） λ 表示，单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。材料的热导率越大，导热性就越好。导热性是金属材料的重要性能之一。

纯金属的导热性以银为最好，铜、铝次之。一般情况下，金属越纯，其导热性就越好；合金的导热性比纯金属的差，但金属与合金的导热性远优于非金属，塑料的热导率只有金属的 1% 左右。

在热加工和热处理时，必须考虑金属材料的导热性。通常，导热性好的材料其散热性能也好。例如，制造散热器、换热器与活塞等零件，应选用导热性好的材料；氮化硅、氧化硅等导热性差的陶瓷材料可用于制造汽车排气歧管的衬管和柴油机分隔燃烧室镶块等零部件。

4) 导电性

材料传导电流的能力称为导电性，常用电阻率 ρ 和电导率 δ 表示。电阻率 ρ 的单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ ，电导率 δ 的单位为 S/m 。 δ 与 ρ 互为倒数。显然，电导率大的金属，其电阻率小。

纯金属中，银的导电性最好，铜、铝次之，合金的导电性较纯金属差。生产中最常用的导电材料是纯铜、纯铝，在高频电路中则采用具有优良导电性的镀银铜线。非金属材料中，高分子材料都是绝缘体，陶瓷材料一般情况下是良好的绝缘体，但某些特殊陶瓷（如压电陶瓷）是具有一定导电性的半导体材料。

5) 热膨胀性

材料的热膨胀性是指材料随着温度的变化产生膨胀、收缩的特性。常用线膨胀系数

α_L 和体膨胀系数 α_V 来表示。

一般情况下，陶瓷的线膨胀系数最低，金属次之，高分子材料最高。用膨胀系数大的材料制造的零件，在温度变化时尺寸和形状变化较大。生产中，在热加工和热处理时要考虑材料的热膨胀性的影响，以减少工件的变形和开裂。

6) 磁性

材料能被磁场吸引或被磁化的性能称为磁性或导磁性，常用磁导率 μ 来表示，单位是亨利每米 (H/m)。具备显著磁性的材料称为磁性材料，目前生产中应用较多的磁性材料有金属和陶瓷两类。

金属磁性材料分为铁磁材料、顺磁材料和抗磁材料。铁、钴、镍等金属及合金为铁磁材料，它们在外磁场中能被强烈地磁化，主要用于制造变压器、继电器的铁芯、电动机转子和定子等零部件；锰、铬等材料在外磁场中呈现十分微弱的磁性，称为顺磁材料；铜、锌等材料能抗拒或削弱外磁场的磁化作用，称为抗磁材料。抗磁材料多应用于仪表壳等要求不易被磁化或能避免电磁干扰的零件。

陶瓷磁性材料统称为铁氧体，常用于制作电视机、电话机、录音机及动圈式仪表的永磁体。

磁性只存在于一定的温度范围内，在高于一定温度时，磁性就会消失。例如，铁在 770 °C 以上时就会失去磁性，所以 770 °C 被称为居里点。

2. 金属材料的化学性能

材料的化学性能是指材料抵抗周围介质侵蚀的能力。

对于金属材料来说，化学性能一般指耐蚀性和抗氧化性；对于非金属材料来说，还存在化学稳定性、抗老化能力和耐热性等问题。

1) 耐蚀性

材料在常温下抵抗周围介质（如大气、燃气、水、酸、碱、盐等）腐蚀的能力称为耐蚀性。

金属材料在介质中一般会因发生化学反应而产生化学腐蚀或因发生原电池反应而产生电化学腐蚀，因此，对金属制品的腐蚀防护十分重要。对于汽车上易腐蚀的零部件，一方面，要采用耐蚀性好的不锈钢、铝合金等材料制造；另一方面，也要采用适当的涂料进行涂覆，起到防腐蚀、填平锈斑的作用。

非金属材料（如陶瓷、塑料等）一般具有优良的耐蚀性。被誉为塑料王的聚四氟乙烯，不仅耐强酸、强碱等强腐蚀剂，而且在沸腾的王水中也能保持非常稳定的性能。

2) 抗氧化性

材料在高温下抵抗氧化的能力称为抗氧化性,又称为热稳定性。在钢中加入 Cr、Si 等元素,可大大提高钢的抗氧化性。在高温下工作的发动机气门、内燃机排气阀等零部件,就是采用抗氧化性好的 4Cr9Si2 等材料制造的。

学习单元三 材料的工艺性能

材料的工艺性能是指材料在被制成各种零部件的过程中适应加工的性能。对于金属材料来讲,工艺性能主要包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理工艺性能。材料的工艺性能直接影响着零部件的质量,是零部件选材和制定加工工艺路线时必须考虑的因素之一。

汽车上使用的大多数零件是采用金属材料制造的。金属材料的工艺性能是指金属材料在加工过程中所具有的和表现出来的性能。它与金属的物理性能、化学性能和力学性能有关,也与温度、受力状态和成形条件等工艺条件有关。

金属材料的工艺性能包括铸造性能、可锻性、焊接性能、切削加工性能和热处理工艺性能。

一、铸造性能

铸造俗称翻砂,金属材料可以通过铸造工艺被制成各种形状的零件。轿车上的曲轴、凸轮轴、转向器壳体、气缸套等均是铸造而成的。

铸造性能是指金属在铸造成形过程中所表现出来的性能,包括液态金属的流动性、凝固过程的收缩率、吸气性和成分偏析倾向等。设计铸件时,必须考虑材料的铸造性能。材料的铸造性能好,则可以铸造出形状准确、结构复杂、强度较高的铸件,并可简化工艺过程,提高成品率。

二、可锻性

锻造即压力加工,是对坯料施加外力,使其产生塑性变形,改变其尺寸、形状及改善其性能,使金属材料在冷、热状态下压力加工成形的工艺。按质量比例计,汽车上 70% 的零件是由锻压加工方法制造的,如轿车的车体外板就是冷轧钢板经过压力加工成形的。

金属的可锻性是指材料对采用压力加工方法成形的适应能力,是衡量材料通过塑性加工获得优质零件难易程度的工艺性能。金属的可锻性好,表明该金属适合塑性加工成

形；金属的可锻性差，说明该金属不宜采用塑性加工方法加工成形。

可锻性的优劣常用金属的塑性和变形抗力来综合衡量。塑性越高，变形抗力越小，则可以认为该金属的可锻性好，反之则差。不同成分的金属，其可锻性不同。例如，纯金属的可锻性比合金的可锻性好，纯铁的可锻性比碳钢的可锻性好，铸铁的可锻性则很差，不能采用锻造工艺加工，而铜合金、铝合金在室温状态下就有良好的可锻性。

三、焊接性能

焊接工艺是指通过加热或加压，或两者并用，且可用或不用填充材料，使接触面处于熔融状态并将两个接触面连接起来的工艺。

焊接性能是指金属材料在一定的焊接工艺条件下，获得优质焊接接头的难易程度。

焊接性能包括工艺焊接性和使用焊接性两个方面。工艺焊接性主要是指焊接接头产生工艺缺陷的倾向，尤其是出现各种裂纹的可能性；使用焊接性主要是指焊接接头在使用中的可靠性，包括焊接接头的力学性能及其他特殊性能（如耐热、耐蚀性能等）。

金属材料的焊接性能不是一成不变的。对同一种金属材料，采用不同的焊接方法、焊接材料和焊接工艺（包括预热和热处理等），其焊接性能可能有很大差别。例如，钛及其合金的焊接在通常情况下是比较困难的，但自从氩弧焊技术应用较成熟以后，钛及其合金的焊接结构件已在航空领域广泛地应用。由于新能源的发展，等离子弧焊接、真空电子束焊接、激光焊接等焊接方法相继出现，使钨、钼、钽、锆等高熔点金属及其合金的焊接都已成为可能。

四、切削加工性能

切削加工是指通过机械切削加工设备加工工件的工艺。切削加工主要有车削、刨削、铣削、磨削等。

切削加工性能是指对材料进行切削加工的难易程度和切削加工后的表面质量的优劣程度。切削加工性能通常由四个方面来衡量：切削时消耗的动力、刀具的磨损、表面粗糙度和切屑的形态。切削加工性能的高低常用切削加工性能指数来表示，该指数越高表示切削性能越好。表 1-3 中列出了部分材料的切削加工性能指数。

表 1-3 部分材料的切削加工性能指数

材 料	切削加工性能指数	材 料	切削加工性能指数
Y12	100	18-8 不锈钢	25
Y12Pb	152	18-8 易切削不锈钢	45
Y45	95	灰铸铁	50~80
45（退火）	60	可锻铸铁	70~120
30CrMo	65	铝	1 000

续表

材 料	切削加工性能指数	材 料	切削加工性能指数
40CrNiMoA	45	硬铝 Al-Cu	1 000
50CrV	45	铜	60
GCr15	30	黄铜	80
W18Cr4V (退火)	25	磷青铜	40

五、热处理工艺性能

热处理工艺是指对材料进行加热、保温、冷却，改变其内部结构和性能的工艺。热处理工艺性能包括淬透性、变形开裂倾向、过热敏感性、回火脆性倾向、氧化脱碳倾向等。

零件设计时，设计者应根据零件的使用要求，提出热处理的技术条件并标注在图样上。技术条件包括热处理工艺名称、硬度要求、表面热处理要求等。对于某些性能要求较高的零件，还需标注要求的金相组织或其他力学性能指标。

学习单元四 汽车零件选材的原则和步骤

一、汽车零件选材的一般性原则

汽车零件材料的选择首先必须遵循一般的工程材料选择原则。选择适合的材料是设计和制造产品的必要条件。由于材料的种类繁多，性能、作用和应用场合也各不相同，因此，工程材料的选择一般遵循以下三个原则：

- (1) 使用性能原则。采用所选材料制造的零件在使用过程中具有良好的工作性能。
- (2) 工艺性能原则。所选材料能够确保零件便于加工。
- (3) 经济性原则。所选材料能使产品具有较低的总成本。

1. 使用性能原则

零件的使用性能主要是指零件在使用状态下应具有力学性能、物理性能和化学性能。满足使用性能是保证零件完成规定功能的必要条件。在大多数情况下，它是选材时首先要考虑的问题。

在零件的使用性能要求中，零件在使用状态下的力学性能要求是对零件的最重要的要求，是保证零件经久耐用的决定性条件。它一般是在分析零件工作条件和失效形式的基础上提出的，因此，通过对零件工作条件和失效形式的全面分析，可确定零件对使用性能的具体要求。

由于工况不同,零件的工作条件是复杂的:从载荷性质来分,有静载荷、动载荷;从受力状态来分,有拉、压、弯、扭应力,以及交变应力;从工作温度来分,有低温、室温、高温、交变温度等;从环境介质来分,有加润滑剂的,还有接触酸、碱、盐、海水、粉尘等物质的。此外,有时还要考虑零件物理性能方面的要求,如导电性、导磁性、导热性、热膨胀性、辐射等。因此,进行选材前,应通过对零件工作条件和失效形式的全面分析,确定对零件使用性能的具体要求。表 1-4 列举出了几种常用零件的工作条件、常见的失效形式和要求的主要力学性能指标。

表 1-4 几种常用零件的工作条件、常见的失效形式所要求的主要力学性能指标

零 件	工作条件			常见的失效形式	要求的主要力学性能
	应力类型	载荷性质	受载状态		
紧固螺栓	拉、剪	静载		过量变形断裂	强度、塑性
传动轴	弯、扭	循环、冲击	轴颈摩擦、振动	疲劳断裂、过量变形、轴颈磨损	综合力学性能
传动齿轮	压、弯	循环、冲击	摩擦、振动	齿折断、磨损、疲劳断裂、表面疲劳磨损	表面高强度及疲劳强度、心部强度、韧度
滚动轴承	压	循环	摩擦	过度磨损、点蚀、表面疲劳磨损	抗压强度、疲劳极限
弹簧	扭、弯	交变、冲击	振动	弹性失稳、疲劳破坏	弹性极限、屈强比、疲劳强度
冷作模具	复杂应力	交变、冲击	强烈摩擦	磨损、脆断	硬度、足够的强度、韧性

材料各项力学性能指标可满足零件不同的使用要求。例如,材料的刚性和屈服强度是保证零件在使用时不产生过量变形的前提;材料的硬度是满足耐磨性的重要指标,耐磨零件应选择具有较高硬度的材料;为防止零件的疲劳破坏,材料应具有较高的疲劳强度和韧性。对于一些零部件,还会以一些特殊的物理、化学性能作为零件的使用要求。在确定了零件的具体力学性能指标和数值以后,即可利用各种机械手册选材。

当以强度为主要依据选材时,还应考虑构件所承受的载荷与其质量之比。此时选材的参数为比强度 δ_s/ρ 。当 δ_s/ρ 比值最大时,构件质量最小。因此,在给定外载条件,且材料的密度接近时,应选用屈服强度高的材料。近年来,生产中作为高强度结构零件的较理想的材料是钢铁材料。此外,强度对材料的组织很敏感,因此,在选材时既要按强度要求选用合适的材料,又必须确定材料的热处理工艺。

2. 工艺性能原则

材料的工艺性能表示材料加工的难易程度。与使用性能相比,材料的工艺性能一般

处于次要地位，但在某些特殊情况下，工艺性能也可成为选材考虑的主要依据。例如，在大批量切削加工生产中，为保证材料的切削加工性，往往选用易切削钢。

选材时必须考虑材料的工艺性能，使所选材料的工艺性能能够满足生产工艺的要求。有时，尽管某一可选材料的性能很理想，但极难加工或加工成本很高，在这种情况下，选用该种材料是不现实的。选材时，应当尽量使材料所要求的工艺性能与零件生产的加工工艺路线和方法相适应。

3. 经济性原则

材料的经济性是选材的根本原则。采用便宜的材料，把总成本控制至最低，取得最大的经济效益，使产品在市场上具有竞争力，始终是零件设计的重要任务之一。

材料的经济性一般从材料的成本、零件的总成本和资源等方面考虑。

材料的成本为直接成本，在产品的总成本中占有相当大的分量。在以强度为主要指标进行选材时，常常根据强度和成本来比较材料。例如，在对轿车零件选材时，要求材料质量轻、强度高，可根据材料的比强度来比较候选材料。在满足使用要求的前提下，尽量选用成本较低的材料，并把必须使用的贵重金属材料减少到最低限度。许多性能优异的高分子材料在一些场合可以替代金属材料，既降低了成本，又减轻了质量。例如，利用高密度聚乙烯替代钢板制造油箱；采用片状模塑料（sheet molding compound, SMC）增强塑料替代钢板制造车身外板件。

零件的总成本与其使用寿命、质量、加工费用、研究费用、维修费用和材料的价格有关。如果能准确地知道零件总成本与上述因素之间的关系，就可以将上述因素对零件总成本的影响做出比较精确的判断。但在大多数情况下，要做出完整详尽的分析是比较困难的，只能尽可能利用一切能够得到的资料进行组合分析，以保证尽可能降低零件的总成本。

此外，选材时还要立足于国家的资源，考虑材料的来源是否丰富，生产材料所用的能耗的高低以及对环境的影响等诸多因素。

二、汽车零件选材的步骤

汽车零件的一般选材步骤如图 1-24 所示。

主要分为以下几步：

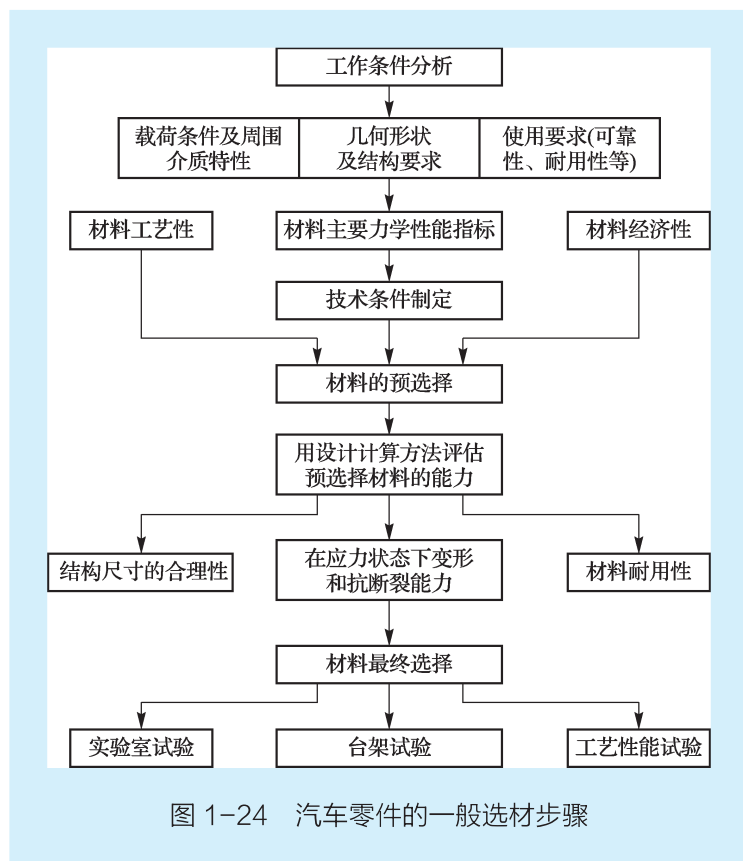
（1）周密分析零件的工作特性和使用条件。通过分析，找出主要损坏形式，从而恰当地提出主要抗力指标，见表 1-4。

（2）根据零件的工作条件，提出必要的设计制造技术条件。

（3）根据所提出的技术条件、要求，综合考虑工艺性、经济性，对材料进行预选；材料的预选择通常是凭借积累的经验，可以通过与相类似机器零件的比较和已有的

实践经验的判断,或者通过各种材料选用手册来进行选择。

(4) 对预选方案材料进行计算,以确定能否满足上述工作条件要求。



(5) 进行二次(或最终)选择。可以选择若干种方案。

(6) 通过实验室试验、台架试验和工艺性能试验,最终确定合理的选材方案。

(7) 在各种试验的基础上,接受生产考验,以检验选材合理与否。

思考与练习

1. 简述汽车材料的组成。
2. 什么是材料的性能? 金属材料的使用性能包括哪些?
3. 金属材料的力学性能包括哪些?
4. 金属材料的理化性能包括哪些?
5. 金属材料的工艺性能包括哪些?
6. 汽车零件选材主要考虑的性能有哪些? 一般选材步骤是什么?