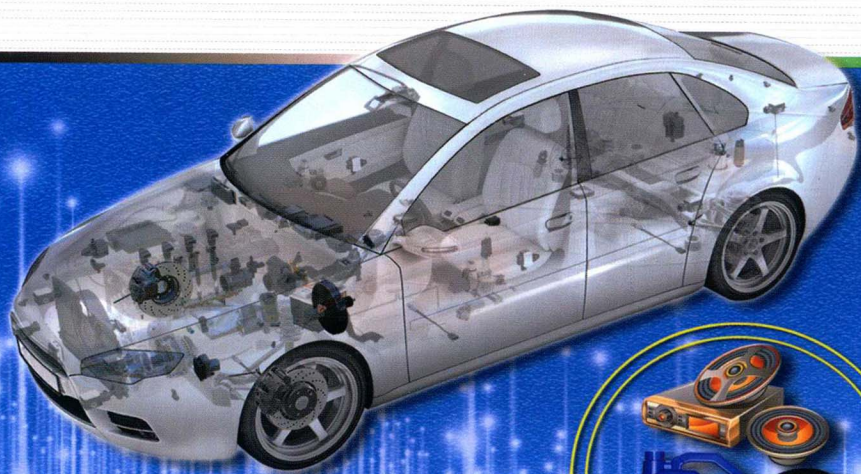




汽车专业“十二五”规划教材

汽车材料

王海峰 罗小敏 主编
王海涛 主审



兵器工业出版社

汽车专业“十二五”规划教材

汽车材料

王海峰 罗小敏 主编

王海涛 主审

兵器工业出版社

内容简介

《汽车材料》是汽车类专业的一门专业技术基础课。其主要任务是通过本课程的学习,使读者对汽车用金属材料、非金属材料、运行材料、美容材料等有一个较全面的了解。同时,本书内容与汽车专业紧密结合,为读者学好后续专业课、专业基础课打下基础,同时也为读者今后的进一步学习深造起到一个理论引导作用。本书主要包括:绪论、金属材料的性能、钢铁材料、有色金属及其合金、汽车上典型金属零件的选材、非金属材料、汽车燃料、车用润滑材料及工作液、汽车轮胎及其他易耗材料和汽车美容材料等。

本书既可作为应用型本科院校、职业院校的教材,也可供从事汽车行业的其他人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车材料 / 王海峰, 罗小敏主编. — 北京: 兵器工业出版社, 2015.7

ISBN 978-7-5181-0125-2

I. ①汽… II. ①王… ②罗… III. ①汽车—工程材料 IV. ①U465

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 159650 号

出版发行: 兵器工业出版社

发行电话: 010-68962596, 68962591

邮 编: 100089

社 址: 北京市海淀区车道沟 10 号

经 销: 各地新华书店

印 刷: 冯兰庄兴源印刷厂

版 次: 2015 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1 - 3000

责任编辑: 朱婧

封面设计: 赵俊红

责任校对: 郭 芳

责任印制: 王京华

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 16

字 数: 400 千字

定 价: 38.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

《汽车材料》是汽车类专业的一门专业技术基础课。其主要任务是通过本课程的学习，使读者对汽车用金属材料、非金属材料、运行材料、美容材料等有一个较全面的了解，同时，教材内容与汽车专业紧密结合，为读者学好后续专业课、专业基础课打下基础，同时也为读者今后的进一步学习深造起到一个理论引导作用。

本书编写特点如下：

(1) 紧扣汽车类专业的特点，根据高技能人才培养目标，以够用为度、适用为主、应用为本，注重理论与实践紧密结合。

(2) 在内容的编排上尽量做到深入浅出，图文并茂，突出重点，通俗易懂。

(3) 所有专业术语、计量单位、国家标准等尽量采用最新标准。

(4) 针对本课程知识点多而零碎、记忆困难的特点，教材中注重对相关知识用列表的方式展示出来，便于读者进行对比学习。

(5) 在编写过程中，广泛听取了其他任课老师及专家的意见和建议，在重点介绍传统汽车材料的同时，对一些过时的、不常用材料的相关内容进行了删减，并新增了一些汽车新材料的相关知识，尽可能体现了汽车材料方面的新知识、新技术和新工艺，使本教材更具有前瞻性和实用性，以期使读者能适应汽车材料技术及市场的变化和自我发展需要。

本书由甘肃畜牧工程职业技术学院王海峰、广东省国防科技技师学院罗小敏担任主编，由甘肃畜牧工程职业技术学院蒋永敏、刘英担任副主编。其中王海峰编写了第 6、8 章，罗小敏编写了绪论和第 7 章，蒋永敏编写了第 1~5 章，刘英编写了第 9 章。本书由王海峰进行统稿。在编写过程中，得到了多位老师的大力指导、支持和帮助，在此表示诚挚的谢意和崇高的敬意！本书相关资料和售后服务可扫封底的二维码或与 QQ（2436472462）联系获得。

本书既可作为应用型本科院校、职业院校的教材，也可以供从事汽车行业的人员学习参考。由于编者水平有限，本书难免有疏漏和不当之处，敬请各位专家及读者不吝赐教。

编 者

2015 年 7 月

目 录

绪 论	1	2.4.1 钢的热处理原理	42
第 1 章 金属材料的性能	4	2.4.2 钢的热处理方法	46
【教学目标】	4	2.5 合金钢	52
【教学重点难点】	4	2.5.1 合金钢简介	53
1.1 金属材料的力学性能 (机械性能) ..	4	2.5.2 合金结构钢	54
1.1.1 强度	4	2.5.3 合金工具钢	57
1.1.2 塑性	7	2.5.4 特殊性能钢	58
1.1.3 硬度	8	2.6 铸铁	59
1.1.4 材料的韧性和疲劳	11	2.6.1 铸铁的分类及石墨化	60
1.2 工艺性能和化学性能	14	2.6.2 铸铁的性能与牌号	62
1.2.1 工艺性能	14	2.7 粉末冶金技术	66
1.2.2 化学性能	14	2.7.1 粉末冶金工艺简介	66
【小结】	16	2.7.2 典型粉末冶金材料	68
【思考与练习】	16	【小结】	70
第 2 章 钢铁材料	19	【思考与练习】	70
【学习目标】	19	第 3 章 有色金属及其合金	77
【教学重点难点】	19	【教学目标】	77
2.1 金属的晶体结构与结晶	20	【教学重点难点】	77
2.1.1 金属的晶体结构	20	3.1 铝及铝合金	77
2.1.2 金属的结晶	24	3.1.1 工业纯铝	77
2.1.3 金属的同素异构转变	25	3.1.2 铝合金	78
2.1.4 合金的晶体结构与结晶	25	3.2 铜及铜合金	85
2.2 铁碳合金	28	3.2.1 纯铜	85
2.2.1 铁碳合金的基本相和组织	28	3.2.2 铜合金	86
2.2.2 Fe-Fe ₃ C 相图	28	3.3 滑动轴承合金	90
2.2.3 Fe-Fe ₃ C 相图的应用	32	3.3.1 轴承合金的性能特点	91
2.3 碳素钢	33	3.3.2 轴承合金的分类	91
2.3.1 碳及常存杂质对碳素钢性能		3.3.3 常用的轴承合金	92
的影响	33	3.3.4 铜基、铝基的硬度值为	
2.3.2 常用碳素钢分类及牌号	35	参考值	94
2.3.3 常用碳素钢性能与牌号	36	3.4 其他有色金属及合金	94
2.4 钢的热处理	41	3.4.1 钛及钛合金	94
		3.4.2 镁及镁合金	96

【小结】	97	5.3 汽车用玻璃.....	120
【思考与练习】	98	5.3.1 汽车用玻璃的性能要求.....	120
第4章 汽车上典型金属零件的选材..	100	5.3.2 汽车用玻璃的种类和特点.....	121
【教学目标】	100	5.3.3 特殊功能的玻璃.....	123
【教学重点难点】	100	5.4 陶瓷.....	124
4.1 汽车零件的失效.....	100	5.4.1 陶瓷的基本性能.....	124
4.1.1 零件失效的形式.....	100	5.4.2 陶瓷的分类.....	124
4.1.2 机械零件失效的原因.....	102	5.4.3 陶瓷在汽车上的应用.....	127
4.1.3 零件失效分析的方法步骤.....	103	5.5 汽车上的摩擦材料.....	128
4.2 零件的选材原则.....	103	5.5.1 对摩擦材料的性能要求.....	128
4.2.1 使用性能原则.....	103	5.5.2 汽车摩擦材料的组成.....	128
4.2.2 工艺性能原则.....	104	5.6 复合材料.....	130
4.2.3 经济性原则.....	105	5.6.1 复合材料的特点.....	131
4.2.4 环境与资源原则.....	106	5.6.2 复合材料的组成和分类.....	131
4.3 汽车典型零件选材及热处理工艺		5.6.3 汽车常用复合材料.....	132
分析.....	106	5.7 汽车涂装材料.....	134
4.3.1 汽车齿轮的选材.....	106	5.7.1 汽车用涂料的分类.....	134
4.3.2 汽车发动机曲轴的选材.....	107	5.7.2 汽车用涂料的组成.....	134
4.3.3 汽车板簧的选材.....	108	5.7.3 汽车用涂料的发展趋势.....	137
4.4 其他零件的选材.....	109	5.8 汽车用其他非金属材料.....	137
4.4.1 发动机汽缸体选材.....	109	5.8.1 纸板制品.....	137
4.4.2 活塞组选材.....	109	5.8.2 石棉制品.....	138
4.4.3 气门选材.....	110	5.8.3 毛毡.....	138
4.4.4 半轴选材.....	110	5.9 汽车新材料.....	138
【小结】	111	5.9.1 高强度钢板.....	138
【思考与练习】	111	5.9.2 防锈钢板.....	139
第5章 非金属材料.....	112	5.9.3 耐热钢.....	139
【教学目标】	112	5.9.4 复合钢铁材料.....	139
【教学重点难点】	112	5.9.5 轻金属材料.....	139
5.1 橡胶.....	112	5.9.6 新型金属材料.....	139
5.1.1 橡胶基本性能.....	112	5.9.7 非晶态合金.....	140
5.1.2 橡胶的组成.....	113	5.9.8 形状记忆合金.....	140
5.1.3 橡胶的分类.....	114	5.9.9 其他新型金属材料.....	140
5.1.4 橡胶在汽车上的应用.....	114	【小结】	140
5.2 塑料.....	117	【思考与练习】	141
5.2.1 塑料的基本性能.....	118	第6章 汽车燃料.....	144
5.2.2 塑料的组成.....	118	【学习目标】	144
5.2.3 塑料在汽车中的应用概况.....	119	【教学重点难点】	144

6.1 车用汽油.....144	7.3.1 润滑脂的特点.....176
6.1.1 汽油的主要性能.....144	7.3.2 润滑脂的组成.....176
6.1.2 汽油的分类和规格.....147	7.3.3 润滑脂的性能指标.....177
6.1.3 汽油的选用.....148	7.3.4 汽车用润滑脂的分类.....179
6.1.4 车用乙醇汽油.....148	7.3.5 汽车常用润滑脂的品种 和规格.....180
6.2 车用柴油.....149	7.3.6 润滑脂选用及使用注意 事项.....183
6.2.1 柴油的主要使用性能及 评定指标.....149	7.4 液力传动油.....188
6.2.2 轻柴油的牌号和规格.....154	7.4.1 液力传动油的使用性能.....188
6.2.3 轻柴油的选用.....155	7.4.2 液力传动油的分类、牌号 和规格.....189
6.3 车用新型燃料.....156	7.4.3 液力传动油的选用与使用 注意事项.....190
6.3.1 电能.....157	7.5 液压油.....190
6.3.2 天然气.....157	7.5.1 液压油的基本知识.....191
6.3.3 液化石油气.....158	7.5.2 液压油的选择和使用.....195
6.3.4 氢气.....158	7.6 汽车减振器油.....196
【小结】.....159	7.6.1 减振器油的性能要求.....196
【思考与练习】.....160	7.6.2 减振器油的选用.....196
第7章 车用润滑材料及工作液.....162	7.7 汽车发动机冷却液.....197
【教学目标】.....162	7.7.1 对冷却液的要求.....197
【教学重点难点】.....162	7.7.2 汽车防冻液的种类、牌号 和规格.....197
7.1 发动机润滑油.....162	7.8 汽车制动液.....200
7.1.1 发动机润滑油的性能指标.....163	7.8.1 汽车制动液的使用性能.....200
7.1.2 发动机润滑油的分类.....165	7.8.2 制动液的种类、牌号和 规格.....202
7.1.3 发动机润滑油的牌号.....167	7.8.3 合成型制动液的选用和使用 注意事项.....203
7.1.4 发动机润滑油的选用原则.....167	7.9 汽车空调制冷剂.....203
7.1.5 发动机润滑油的使用注意 事项.....169	7.9.1 制冷剂的品种.....203
7.1.6 车用润滑油的质量老化及 换油指标.....169	7.9.2 制冷剂的使用.....204
7.2 汽车齿轮油.....171	【小结】.....205
7.2.1 汽车齿轮油的工作条件及 性能要求.....172	【思考与练习】.....206
7.2.2 汽车齿轮油的性能指标.....172	第8章 汽车轮胎及其他易耗材料.....208
7.2.3 汽车齿轮油的分类和牌号.....173	【教学目标】.....208
7.2.4 车辆齿轮油的规格.....174	【教学重点难点】.....208
7.2.5 齿轮油的选用.....174	
7.2.6 齿轮油使用注意事项.....175	
7.3 润滑脂.....176	

8.1 汽车轮胎.....	208
8.1.1 汽车轮胎基础知识.....	208
8.1.2 轮胎的规格及选配.....	212
8.2 轮胎的合理选用与保管.....	217
8.2.1 轮胎的合理选用.....	217
8.2.2 轮胎的保管.....	218
8.3 汽车新型轮胎简介.....	219
8.3.1 绿色轮胎.....	219
8.3.2 智能轮胎.....	220
8.3.3 超高行驶里程轮胎.....	220
8.3.4 跑气保用轮胎.....	220
8.3.5 超轻量轮胎.....	221
8.3.6 防滑轮胎.....	221
8.3.7 低断面轮胎.....	221
8.3.8 安心双层轮胎.....	221
8.4 汽车用胶粘剂.....	222
8.4.1 汽车胶粘剂、密封胶的 应用概况.....	222
8.4.2 粘结剂.....	224
【小结】.....	226

【思考与练习】.....	226
第9章 汽车美容材料.....	228
【教学目标】.....	228
【教学重点难点】.....	228
9.1 汽车的清洗护理材料.....	228
9.1.1 清洁剂.....	228
9.1.2 车身美容的基本程序.....	230
9.1.3 车身漆面处理材料.....	231
9.1.4 车身漆面护理材料.....	235
9.1.5 车身漆面修补涂装材料.....	236
9.1.6 内饰清洗护理材料.....	238
9.2 汽车的装饰保护材料.....	242
9.2.1 太阳膜.....	242
9.2.2 底盘防锈防撞涂料.....	243
9.2.3 座椅真皮材料.....	245
【小结】.....	246
【思考与练习】.....	247
参考文献.....	248

绪论

1. 概述

汽车是由上万个零部件组装而成，而这些零部件又是由几百个品种、上千个规格的材料加工制成的，可以说汽车的发展是以材料及其加工工艺的发展为基础的。

用于生产汽车的材料种类很多：钢铁、有色金属、塑料、橡胶、玻璃、陶瓷等。金属材料仍然占主导地位，但是无机非金属材料和高分子材料的应用比例日益增长，并逐渐部分取代金属材料。因此，各个工业领域所采用的材料结构和比例将会发生很大的变化。如轻金属材料、复合材料、高技术合成材料等越来越多地用于现代汽车。

就汽车工业来讲，材料是汽车工业的基础。汽车工业作为现代工业社会的一个重要标志，带动和促进着石油、化工、电子、材料等工业，以及交通运输业、旅游业等 30 多个行业的发展。由于制造和使用汽车的原材料品种很多、数量很大，汽车工业在国民经济中占有重要的地位。据统计，实际上每年钢材产量的 1/4、橡胶产量的 1/2、石油产品的 1/2，均用于汽车工业及其相关产业。作为从事汽车维修和制造行业的技术工作者，应当了解汽车材料的发展水平和动向，主动去学习和了解有关工程材料的基本知识及其应用领域，初步做到掌握汽车常用材料的性能，做到“正确选择、合理使用”。

2. 汽车材料的使用模式与选用原则

在选择汽车用材料时，通常要遵循以下几方面的原则：

(1) 根据使用性能选材原则

使用性能是指材料在使用过程中能够安全可靠地工作所必须具备的性能，包含材料的力学性能、物理性能和化学性能。

对一般工件，使用性能中最主要的是材料的力学性能；所以选材时首先应考虑其力学性能，再考虑其物理、化学性能。

(2) 根据工艺性能选材原则

金属的工艺性能是指它在不同的制造工艺条件下，所表现出的能力，它是物理性能、化学性能和力学性能的综合。

不同类型的材料，其工艺方法不同，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理加工性能和切削加工性能。在设计零件和选择工艺方法时，都应考虑材料的工艺性能。

(3) 根据经济性选材原则

在满足工件性能的前提下，还应考虑材料的价格、加工费用和国家资源等情况，以降低产品的成本。

汽车材料根据其特点和用途不同，常按如图 0-1 所示进行分类。

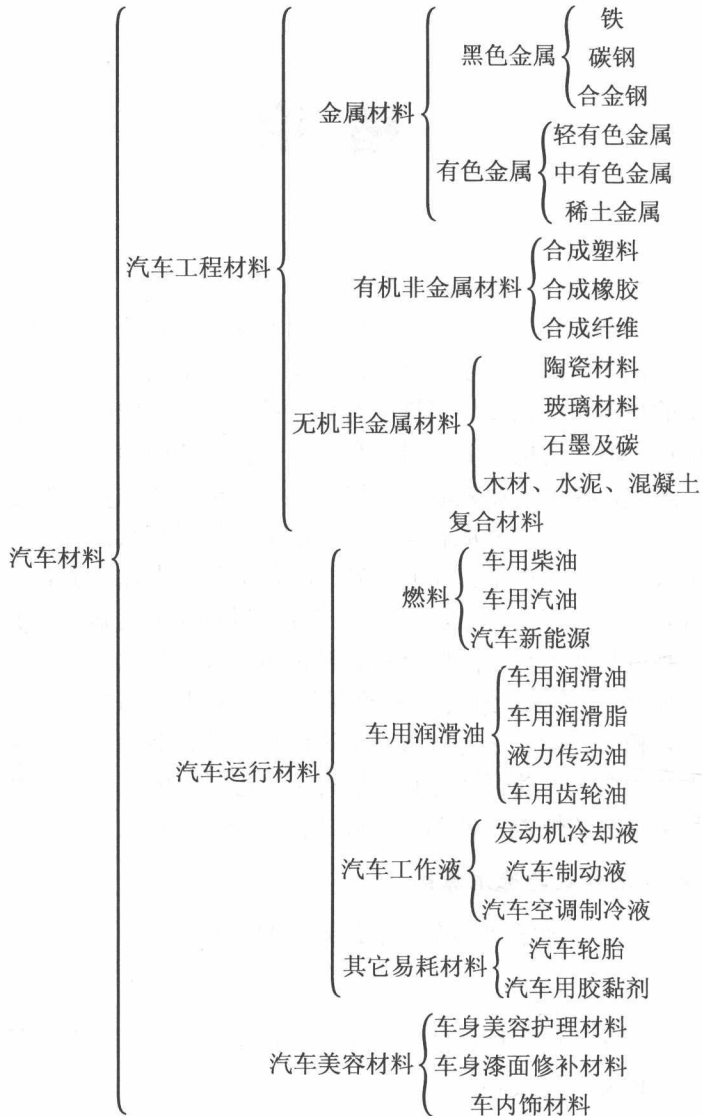


图 0-1 汽车材料的组成

3. 汽车材料的应用

汽车上的每个零件的生产制造都涉及到材料问题。据统计，汽车上的零部件采用了 4000 余种不同的材料加工制造而成。以轿车为例，按重量来换算，钢材占 55%~60%，铸铁占 5%~12%，有色金属占 6%~10%，塑料占 8%~10%，橡胶占 4%，玻璃占 3%，其他材料占 6%~12%。现代汽车正从代步运输功能向安全、舒适、自重轻、污染排放低、能耗小、价格低等方面发展。大量应用高分子材料、复合材料、新型材料（如陶瓷材料）、特殊用途材料（耐蚀、耐高温、隔光、隔热材料等）等。

4. 汽车应用材料的发展趋势

随着时代的进步，材料科学也在快速发展，新型材料的研究水平反映了一个国家的科

学水平, 在 21 世纪, 汽车用新材料的发展趋势如下:

(1) 高性能的金属材料将继续被重视

在传统高性能金属材料上, 通过优化合金成分(增加微量元素), 采用新工艺、新技术来改变其结构, 从而获得更优良的性能, 如超高强度钢。

(2) 结构材料趋于复合化(复合材料)

传统单一的材料往往综合性能较差, 而复合材料可使各种材料之间的优点互补, 性能更加优越, 有着非常广阔的发展前景。

(3) 低维材料将广泛应用

维数比三维小的材料叫低维材料, 具体包括二维、一维和零维材料。由于这些材料晶体结构的特异性, 许多低维度材料表现出非常奇特的物理现象。例如, 它们的导电性会在某一(或二)晶格方向特别好, 而在其他方向导电性明显较差。因而低维材料的研究、开发、生产与应用是材料科学技术在 21 世纪发展的趋势之一。

(4) 非晶态(亚稳态)材料日益受到重视

非晶态材料是一种重要的固态材料, 也是一种新型功能材料, 它具有一般晶态材料所不具有的许多卓越的物理和化学等方面的特性。尤其是非晶态合金, 除了具有优良的强韧性、较高的塑性、耐蚀性等综合性能外, 还具有较高的透磁率和较低的铁损, 可以用来制造电感元件和电机铁芯。

(5) 功能材料迅速发展

功能材料是指那些具有优良的电学、磁学、光学、热学、声学、力学、化学、生物医学功能, 特殊的物理、化学、生物学效应能完成功能相互转化, 主要用来制造各种功能元件, 而被广泛应用于各类高科技领域的高新技术材料。功能材料种类繁多, 用途广泛, 正在形成一个规模宏大的高技术产业群, 有着十分广阔的市场前景和极为重要的战略意义。

第 1 章 金属材料的性能

【教学目标】

- 了解金属材料的力学性能、性能指标及表示方法
- 掌握金属材料的常用性能：强度、硬度、塑性、韧性和疲劳强度等的基本概念、测试方法及应用

【教学重点难点】

- 利用刚度、强度、硬度和塑性等指标综合评价材料
- 金属材料的力学性能对其使用性能的影响

金属材料是汽车在制造和修复中使用最广泛的材料，占汽车总重量的 66%~81%。随着汽车工业的不断发展，非金属在汽车上的比重逐渐增加。为了合理地使用金属材料，充分发挥其作用，必须掌握各种金属材料的使用性能和工艺性能。

1.1 金属材料的力学性能（机械性能）

金属所受到的外力通常又叫载荷。根据载荷性质的不同，可以分为静载荷、冲击载荷及交变载荷等。静载荷是指大小不变或变化过程十分缓慢的载荷，例如，汽车在静止状态下，车架受到的车身对它的压力。冲击载荷是指以较高的速度作用于零部件上的载荷，如汽车在坎坷不平的道路上行驶时，颠簸的车身作用于悬架的载荷。而交变载荷是指大小、方向随时间发生周期性变化的载荷。运转中的发动机曲轴、齿轮等零部件所承受的载荷均为交变载荷。在载荷的作用下，材料或构件会发生形状、尺寸的变化（变形），甚至会受到根本性的破坏（断裂）。这都与材料的力学性能，包括强度、塑性、硬度、韧性和抗疲劳强度等性能指标密切相关的。

1.1.1 强度

强度是材料在外力（载荷）作用下，抵抗变形和断裂的能力。汽车零件在使用时将受到各种外力的作用。例如起重机车用的钢丝绳，其能承受的拉力并非是无量，而是必须低于某一数值。在这一数值范围内钢丝绳应有抵抗外力而不会被破坏的能力。这种金属在载荷、外力作用下，抵抗变形和不受损坏的能力称为强度。按载荷的不同，强度分为抗拉、抗压、抗剪、抗扭、抗弯曲等五种。金属内部原子阻止变形的抗力称为内力，其数值大小

和外力相等，方向相反。

载荷类型不同，强度指标也不同。实际中应用最广泛的是拉伸强度指标。这是因为强度指标与拉伸强度指标有一定的关系，知道拉伸强度，就可以近似地预测其他强度指标，而且测定金属拉伸强度的方法——拉伸试验也最为简单。拉伸试验是在拉伸试验机上进行的。常用的拉伸试验机有机械式和电子式两种，如图 1-1 所示。

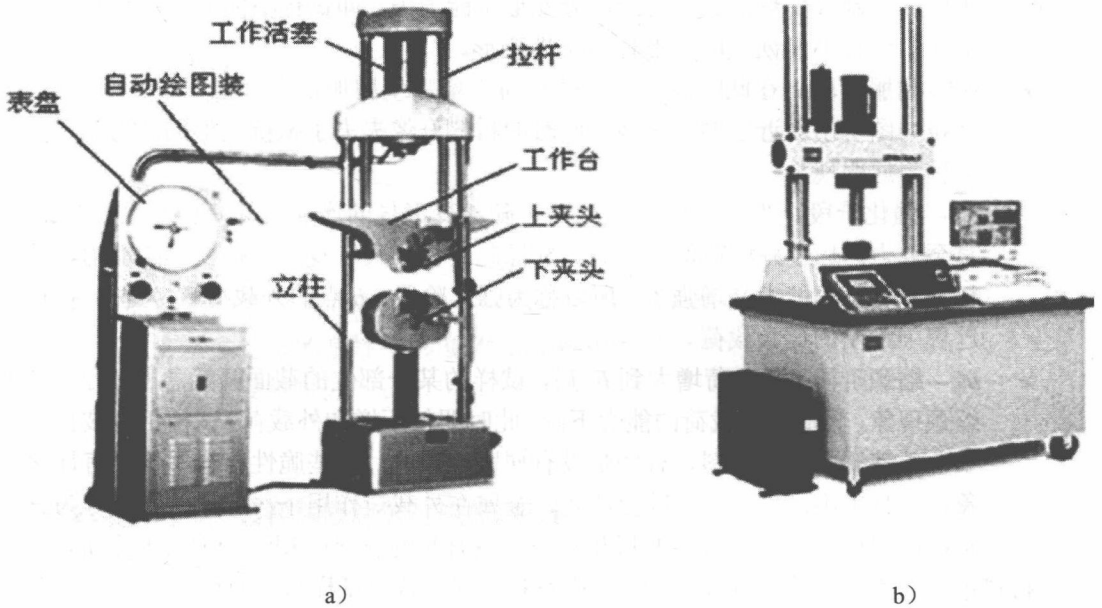


图 1-1 拉伸试验机

a) 拉伸试验机结构; b) 电子拉伸试验机

以普通低碳钢的拉伸试验为例，试验前，按国家标准规定要求，预先将退火状态的普通低碳钢制作成一定尺寸和形状的圆形拉伸试样，如图 1.2 所示。试样拉伸前的直径是 d_0 ，横截面积为 A_0 ，标距为 l_0 ，如图 1-2a；拉伸后的直径是 d_1 ，横截面积为 A_1 ，标距为 l_1 ，如图 1-2b。

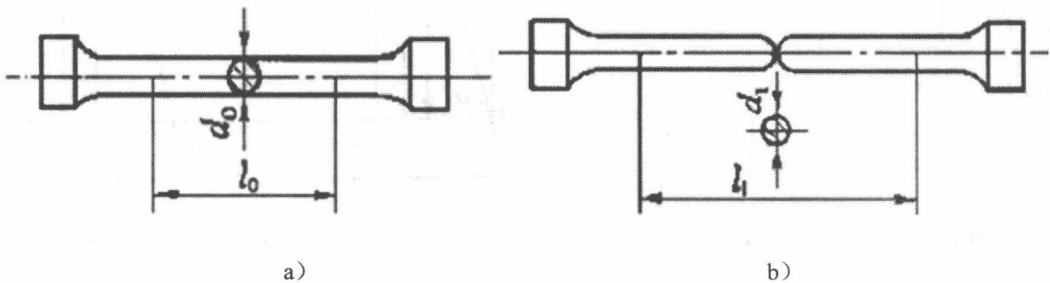


图 1-2 材料拉伸试样

a) 拉伸前; b) 拉伸后

普通低碳钢圆形拉伸试样试验时，将试样放到试验机上匀速缓慢地向试样两端施加轴向静拉力，直至拉断为止。在低碳钢拉伸的整个过程中，把外加载荷与试样的相应变形量画成曲线如图 1.3 所示，这就是金属材料的拉伸图。该曲线实际分为五个阶段：

- **oe—弹性变形阶段。**这一阶段，试样变形量与载荷成正比。这时如果卸除载荷，试样便会恢复到试验前的原有状态，这种变形称为弹性变形。
- **es—微量塑性变形阶段。**当外载荷增大到超过 F_e 后，试样进一步变形，且外载荷去除后一部分变形消失，另一部分变形不能消失，即试样不能完全恢复到原来的形状。这种不能恢复的变形称为塑性变形。
- **ss'—屈服阶段。**在此阶段，尽管外载荷不增加或增加很少，但变形量继续增大，在拉伸图上出现近似的水平线，此时的材料好像失去了抵抗变形的能力，这种现象称为屈服现象。
- **s'b—强化阶段。**当外载荷超过 F_s 后，随着变形量的增加，载荷也在逐渐增加，直至 b 点。尽管外载荷增加不大，好像此时材料又恢复了抵抗变形的能力，即材料抵抗变形的能力又增强了，所以称为强化阶段。 b 点的外载荷 F_b 为材料在拉伸过程中承受的最大载荷。
- **bk—缩颈阶段。**当载荷增大到 F_b 后，试样的某一部位的截面开始急剧减小，产生缩颈现象，其抵抗外载荷的能力下降，此时即使不增加外载荷，试样仍然被拉断。工业上使用的金属材料，有些是没有屈服现象的。有些脆性材料不仅没有屈服现象，而且也不产生颈缩。综上所述，金属在外载荷作用下，变形一般可分为三个阶段：弹性变形、弹塑性变形和断裂。只有塑性材料的塑性变形有五个阶段。

材料单位面积所受载荷称为应力。低碳钢拉伸时，若将试样每一时刻所受的拉力 F 与对应的伸长量 Δl 值同时除以试样的标距 l ，并做出它们相应曲线，即 $\sigma-\epsilon$ 曲线（应力—应变曲线），其形状与低碳钢的拉伸图基本相似，如图 1-4 所示。

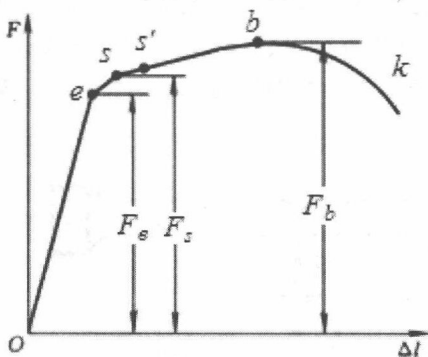


图 1-3 低碳钢的拉伸图

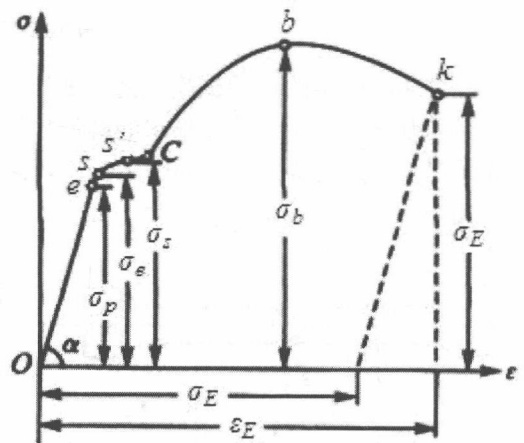


图 1-4 低碳钢的应力—应变曲线图

由上述各阶段的应力—应变关系，可以得出几个力学性能的强度指标：

弹性极限 σ_e 表示金属材料抵抗弹性变形的最大应力。

屈服强度 σ_s 表示金属材料抵抗塑性变形的应力，即：



$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad 1.1$$

式中： F_s ——试样屈服时的拉伸力，即拉伸曲线中 S 点所对应的外力 (N)；
 S_0 ——试样的原始截面积 (mm^2)。

注意：许多脆性材料（如铸铁）在拉伸试验时没有明显的屈服现象，因此也就无法确定其屈服强度。所以工程上规定，用试样标距部分的残余伸长量为试样标距长度的 0.2% 时的应力，作为相应的强度指标，叫材料的条件屈服强度。屈服强度和条件屈服强度都是衡量金属材料塑性变形抗力的指标。机械零件在工作时如果受力过大，就会因为产生过量的塑性变形而失去工作能力——失效；如果零件工作时所受的应力，低于材料的屈服点或屈服强度，则不会产生过量的塑性变形。材料的屈服点或屈服强度（条件屈服强度）越高，允许的工作应力也越高，则零件的截面尺寸及自身质量就可以减小。因此，材料的屈服强度和条件屈服强度也是机械零件设计的主要依据。

强度极限（抗拉强度） σ_b 表示金属材料抵抗塑性变形不致断裂的最大应力，或者说是材料在拉断前承受最大应力值。以上三个强度指标具有重要的实际意义。例如，汽车上许多零件都不允许产生过量的塑性变形，像汽缸盖螺栓就是以屈服极限为设计依据。强度极限也是设计零件时的主要依据之一。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1.2)$$

式中： F_b ——试样屈服时的拉伸力，即拉伸曲线中 S 点所对应的外力 (N)；
 S_0 ——试样的原始截面积 (mm^2)。

1.1.2 塑性

塑性是指材料在载荷作用下，产生塑性变形而不被破坏、断裂的能力。材料的良好塑性有利于金属的冷冲压成型加工。如汽车驾驶室外壳、车箱板、油箱等，在其成型过程中，若金属材料塑性不好，在成型时容易开裂。衡量材料塑性好坏指标是伸长率和断面收缩率。

伸长率是指金属试样进行拉伸试验被拉断后，标距长度的伸长量与原始标距长度之比值的百分数，用 δ 表示。

$$\delta = \frac{l_1 - l}{l} \times 100\% \quad (1.3)$$

当 $\delta < 2\% \sim 5\%$ ，属脆性材料； $\delta \approx 5\% \sim 10\%$ ，属韧性材料； $\delta > 10$ ，属塑性材料。

断面收缩率是指金属试样进行拉伸试验时，拉断处横截面积的缩小量与原始横截面积之比值的百分数，用 ψ 表示

$$\psi = \frac{A - A_1}{A} \times 100\% \quad (1.4)$$

对于金属材料来说，其伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 愈大，则塑性愈好。塑性好的材料，可以发生大的塑性变形而不被破坏，易于通过塑性变形加工成形状复杂的零部件；即使在受力过大时，也首先发生塑性变形而不致突然断裂。良好的塑性是金属材料进行塑性加工的必要条件。

1.1.3 硬度

硬度是指材料表面抵抗局部塑性变形、压痕或划痕的能力，是用金属材料设计和制造各种零部件、工具时必须考虑的性能指标。例如，汽车上的曲轴、凸轮轴、连杆，以及机械加工制造业所用的刀具，有些机械零件如齿轮等，都必须具备足够的硬度，才能保证其使用性能、寿命，才能有足够的耐磨性。因此硬度是金属材料重要的力学性能之一。

表示硬度的方法很多，最常用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度三种。

1. 布氏硬度

布氏硬度是在布氏硬度试验机上进行测试的。使用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球作为压头，以规定的试验力（载荷） F 压入试样表面，保持规定时间后卸除载荷，此时在试样的表面上会有凹形压痕。用材料受到的试验力 F 与材料表面压痕的面积 S 之比，即为材料的布氏硬度，测试方法及原理如图 1-5 所示。

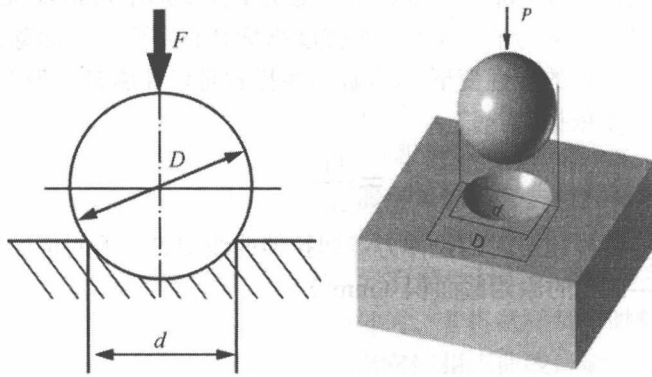


图 1-5 布氏硬度测试方法及原理

实际应用中，是用读数显微镜测量出压痕的直径 d ，进而求出球面形凹痕的面积 S 的。布氏硬度值按下列公式计算：

$$HBW = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1.5)$$

布氏硬度的单位为 kgf/mm^2 ，但习惯上只写明硬度的数值而不标出单位。

从上式可以看出，当试验力（载荷） F 、压头球体直径 D 一定时，布氏硬度值仅与压痕直径 d 的大小有关。 d 越小，说明造成的压痕（面积）越小，布氏硬度值就越大，也就是硬度越高。

在进行布氏硬度试验时，根据被测金属材料的种类、硬度值的范围及厚度选择压头球体的种类、直径 D 、试验力 F 及试验力保持的时间 t 。常用的压头球体直径 D 有 1mm、2mm、2.5mm、5mm 和 10mm 五种，试验力 F 在 9807N~29.42kN。一般说来，硬度值在 450HBW 以下的材料，宜用钢球压头；硬度值在 450HBW 以上的材料，宜用硬质合金球。试验力保持时间，黑色金属一般为 10~15s；有色金属一般为 30s。

用布氏硬度标注材料的硬度时，习惯上把硬度值写在符号 HBS 或 HBW 之前，后面按以下顺序用数字注明试验条件：

- 球体直径。

- 测试时所用的试验力（载荷，常用千克力kg f作单位）。
- 载荷保持时间的长短（时长为10~15 s时不标注）。

例如，某种材料布氏硬度是170HBS10/1000/30，表示用直径10mm的钢球，在1000kgf（9807N）的载荷作用下，保持时间为30s时测得的硬度值为170。布氏硬度为530HBW5/750，表示用直径5mm的硬质合金球，在所用的载荷为750kgf（7355 N）的情况下，保持时间为10~15s时测得的硬度值为530。

布氏硬度试验结果比较准确，但试验操作时间较长，压痕面积较大，容易损伤零件表面，对不同材料需要不同的压头和试验力，试验过程较麻烦，压痕测量较费时；在进行高硬度材料试验时，由于球体本身的变形会使测量结果不准确。因此布氏硬度用钢球压头测量时，材料硬度值必须小于450；用硬质合金球压头时，材料硬度值必须小于650。试验只宜测试原材料、半成品等的硬度，不适于检测成品件，不宜测定太薄、太小件，不宜测试过硬件。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度是在图1-6所示的洛氏硬度试验机上测定的。如图1-7所示，用顶角为120°的金刚石圆锥体或直径为1.588mm的淬火钢球作为压头，先加初始试验力 F_0 （目的是消除因为零件表面不光滑等因素造成的误差），压入金属表面的深度为 h_1 。再加主试验力 F_1 ，在总试验力（ $F=F_0+F_1$ ）作用下，压头压入金属表面的深度为 h_2 。保持一定时间后卸除主试验力 F_1 （但是仍保留初始试验力 F_0 ）。由于压力减小，金属材料会因为弹性变形的恢复而使压头回升至 h_3 ，此时由主试验力所引起的残余压痕深度为 $e=h_3-h_1$ 。显然， e 值的大小可以表示金属材料的硬度。 e 值越小，即压头压入材料的深度越小，表示材料的硬度越高；反之， e 值越大，表示材料硬度越低。

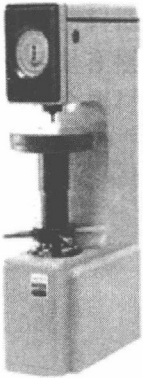


图 1-6 洛氏硬度试验机

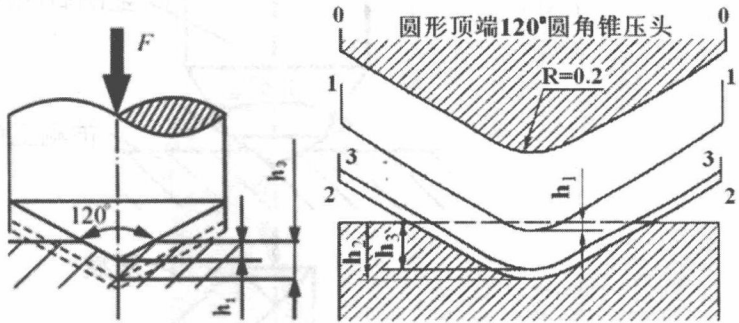


图 1-7 洛氏硬度测试原理

为了符合数值越大、硬度越高的习惯，人们用常数 k 减去 e 值后得到的差（ $k-e$ ）表示硬度的大小，并用每0.002mm的压痕深度作为一个硬度单位。

即洛氏硬度用下式表示：

$$HR = \frac{k-e}{0.002} \quad (1.6)$$

常用的洛氏硬度标尺有A、B、C三种，即HRA、HRB和HRC，如表1-1所示