

汽车专业技能型教育“十二五”创新规划教材

汽车机械基础

东莞市凌凯教学设备有限公司 组编
谭本忠 主编

CHE JIXIE JICHU



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书以图解的形式系统地介绍了汽车材料、机械制图与识图、轴与轴承、常见机构、机构传动、液压传动以及极限、配合与技术测量等内容,理论适度,讲清概念,突出重点。

本书是汽车专业技能型教育“十二五”创新规划教材,内容全面、概念清楚、图文并茂、可操作性强,在编写时注意了全书理论的系统性和各部分相对的独立性。理论阐述由浅入深,适合于大、中专院校汽车修理行业相关专业及培训班的师生使用,也适合于汽车维修技术人员、驾驶员以及汽车爱好者参考阅读。

为方便教学,本套教材专门配备了 PowerPoint(PPT)形式的配套教学课件,可供广大教师选用。在 <http://www.cmpedu.com> 网站上即可下载教材课件;或与机械工业出版社联系,编辑热线:010-88379368、010-88379735。

图书在版编目(CIP)数据

汽车机械基础/谭本忠主编. —北京:机械工业出版社, 2012. 6

汽车专业技能型教育“十二五”创新规划教材
ISBN 978-7-111-38003-0

I. ①汽… II. ①谭… III. 汽车—机械学—教材
IV. ①U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 066083 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:徐 巍 责任编辑:徐 巍 版式设计:石 冉
责任校对:纪 敬 封面设计:马精明 责任印制:乔 宇
北京铭成印刷有限公司印刷

2012 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 12 印张 · 290 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-38003-0

定价:29.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

丛书序

当今正值国家大力推广职业教育之际，各地教育机构紧抓机遇，大胆革新，积极推行新的职业教育方法与思路。

本套创新规划教材根据职业需求和岗位要求而设置教学项目，同时将知识系统和技能系统化整为零，合而为一，使学员能做到学一样精一样，同时在细化深入的前提下掌握解决问题的途径和思路。

本套教材强化职业实践的实用性教学，对理论教学的要求是将抽象深奥的知识简单化、形象化和感性化，使学员能够轻松掌握，并联系实际，融入实践，同时在实践教学中结合理论认识，能将实践认知与经验总结为理论。这样，在学中做，在做中学，巩固知识，强化技能。

综合上述特点和要求，创新规划教材应该具有系统分块，知识点与技能点结合，理论描述简明，实践叙述符合职业规范，能直接感知并参照操作的特点。

很多汽车相关职业院校与职训中心在进行教学改革的同时也在进行教材更新，但大多数是在传统教学教材的基础上改编而来的，无法摆脱原有的形式和限制，编写出来的教材往往难以普及并发挥其实效。

我们综合汽车运用与维修、汽车检测与维护技术等专业课程设置的要求，同时考虑到职业需求和岗位的设置，将本套创新教材分为汽车机修技术、汽车电子技术、汽车故障诊断技术、汽车车身修复技术、汽车美容与装饰技术和汽车保养与维护技术六大块。为保证专业课程有理论和技术基础，同时设置了汽车机械基础、汽车电学基础、汽车维修专业英语和汽车文化四门基础课。各个专业分类下是核心与主干课程，如机修之下包括汽车发动机与汽车底盘，电子之下包括汽车电器、汽车空调、汽车发动机电控系统、汽车自动变速器、汽车安全舒适系统等。

这套教材作为学生课本，主要突出实图、实例及原理、检测、维修与案例四结合。配套开发的还有教学课件，我们力图通过这种方式使此套创新规划教材成为一种立体化的、学员易学、教师易教、效果独到的专门化教材。

编者

目 录 Contents

丛书序

第一章 汽车材料	1
第一节 金属材料	1
第二节 钢的热处理	27
第三节 其他常见的汽车材料	31
第二章 机械制图	40
第一节 视图的基本原理	40
第二节 机件的表达方法	54
第三节 常用件的表达方法	65
第三章 机械识图	72
第一节 零件图的识读	72
第二节 装配图的识读	77
第四章 极限、配合与技术测量	85
第一节 互换性与标准化概念	85
第二节 公差	86
第三节 测量技术基础	97
第四节 公差与测量	101
第五章 轴与轴承	110
第一节 轴	110
第二节 轴承	118
第六章 常见机构	129
第一节 平面连杆机构	129
第二节 凸轮机构	136
第三节 间歇运动机构	138
第四节 螺旋机构	140
第七章 机构传动	145
第一节 带传动和链传动	145



第二节 齿轮传动·····	153
第八章 液压传动·····	165
第一节 液压传动概述·····	165
第二节 液压元件·····	170
参考文献·····	183

第一章

汽车材料

本章导向:

生产中用来制作汽车工程结构、零件和工具的固体材料分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。其中金属材料是最重要的工程材料,应用最广,最多,占整个用材的80%左右,本章着重讲述了汽车金属材料的性能、钢的热处理和其他最常见的汽车材料。

第一节 金属材料

本节导向:

- ① 了解金属力学性能,建立强度、硬度和韧性及疲劳度的概念。
- ② 了解金属材料的分类。
- ③ 掌握金属材料的牌号及用途。
- ④ 掌握各种牌号的金属材料在汽车上的应用。

一、金属力学性能

汽车是用不同的材料制成各种零部件后组装而成的。这些零部件在使用过程中,往往不可避免地受到各种外力的作用,这些外力的作用对金属有一定的破坏性,这就要求材料具有既能抵抗外力作用又不被破坏的能力,这就是材料的力学性能。金属的力学性能主要有强度、塑性、硬度和韧性。

1. 强度与塑性

强度是抵抗永久变形和断裂的能力。按载荷的作用形式分为抗拉、抗压、抗弯、抗剪及抗扭等几种。载荷的作用形式不同,金属的强度判据也不同。抗拉强度的判据应用最普遍,测试方法最简单,通常采用拉伸试验法,在拉伸试验机上进行。

(1) 常用强度判据 主要有屈服点和抗拉强度。

1) 屈服点和规定残余伸长应力。在拉伸过程中力不增加(保持恒定),试样仍能继续伸长时的应力称为屈服点,以 σ_s 表示,单位为MPa。

$$\sigma_s = F_s / A_0$$

式中 F_s ——材料屈服时的拉伸力(N);

A_0 ——试样拉伸前 d_0 处横截面积(mm^2)。

屈服点是具有屈服现象的材料特有的强度指标。除退火或热轧的低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服点外,大多数合金都没有屈服现象,因此提出“规定残余伸长应力”作为相应



的强度指标。国家标准规定：当试样卸除拉伸力后，其标距部分的残余伸长达达到规定的原始标距百分比时的应力，作为规定残余伸长应力 σ_r 。表示此应力的符号应附以角标说明，例如 $\sigma_{0.2}$ 表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

$$\sigma_r = \frac{F_r}{A_0}$$

式中 F_r ——产生规定伸长时的拉力。

2) 抗拉强度。拉伸过程中最大力 F_b 所对应的应力称为抗拉强度，以 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

抗拉强度的物理意义是表征材料对最大均匀变形的抗力，表征材料在拉伸条件下所能承受的最大力的应力值。它是设计和选材的主要依据之一，是工程技术上的主要强度指标。

(2) 塑性判据 断裂前材料发生不可逆永久变形的能力叫塑性。常用的塑性判据是材料断裂时最大相对塑性变形，如拉伸时的断后伸长率和断后收缩率。

1) 断后伸长率。试样拉断后，标距的伸长与原始标距的百分比称为断后伸长率，以 δ 表示。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_1 ——试样拉断后的标距(mm)；

L_0 ——试样原始标距(mm)。

2) 断面收缩率。试样拉断后，缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率，以 ψ 表示。

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 A_0 ——试样原始截面积(mm^2)；

A_1 ——试样断裂后缩颈处的最小横截面积(mm^2)。

δ 和 ψ 越大，表示材料的塑性越好；反之，表示材料的塑性越差，脆性越大。

小提示：

强度与塑性是矛盾的两个力学指标；一般强度高的材料，塑性较差。

2. 硬度

硬度是指材料抵抗局部变形，尤其是塑性变形、压痕或划痕的能力。硬度是衡量金属软硬程度的判据。

材料的硬度是通过硬度试验测得的。硬度试验所用设备简单，操作简便、迅速。不仅可直接在半成品或成品上进行试验而不损坏被试件，而且还可根据硬度值估计出材料近似的强度和耐磨性。因此，硬度在一定程度上反映了材料的综合力学性能，应用很广。常将硬度作为技术条件标注在零件图样或写在工艺文件中。

硬度试验方法较多，生产中常用的是布氏硬度、洛氏硬度试验法。

(1) 布氏硬度 布氏硬度的测定是在布氏硬度试验机上进行的，其试验原理如图 1-1 所示。用直径为 D 的硬质合金球做压头，以相应的试验力 F (单位为 N) 将压头压入试件表面。经规定的保持时间后，去除试验力，在试件表面得到一直径为 d 的压痕。用试验力 F 除以



压痕表面积 $A_{\text{压}}$ ，所得值即为布氏硬度值，用符号 HBW 表示。

$$\text{HBW} = \frac{F}{A_{\text{压}}} = \frac{F}{\pi D h} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 $A_{\text{压}}$ ——压痕表面积(mm^2)；

d 、 D 、 h ——分别为压痕平均直径、压头球直径、压痕深度(mm)。

上式中只有 d 是变量，只要测出 d 值，即可通过计算或查表得到相应的硬度值。 d 值越大，硬度值越小； d 值越小，硬度值越大。

布氏硬度试验法压痕面积较大，能反映出较大范围内材料的平均硬度，测得结果较准确，但操作不够简便。又因压痕大，故不宜测试薄件或成品件。布氏硬度上限为 650HBW。

目前，大多用淬火钢球做压头，测量材料硬度，主要用来测定灰铸铁、有色金属及退火、正火和调质的钢材等。

可根据下列布氏硬度与抗拉强度经验公式，近似计算金属材料的强度。

低碳钢 $\sigma_b \approx 3.35\text{HBW}$

调质合金钢 $\sigma_b \approx 3.19\text{HBW}$

灰铸铁 $\sigma_b \approx 0.98\text{HBW}$

(2) 洛氏硬度 洛氏硬度的测定是在洛氏硬度试验机上进行的，试验原理见图 1-2。

它是以顶角为 120° 金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 淬火钢球做压头，在初试验力和总试验力（初试验力 + 主试验力）先后作用下，压入试件表面，经规定保持时间后，去除主试验力，用测量的残余压痕深度增量（增量是指去除主试验力并保持初试验力的条件下，在测量的深度方向上产生的塑性变形量）来计算硬度的一种压痕硬度试验法。

图中 00 为压头与试件表面未接触的位置；11 为加初试验力 98.07N 后，压头经试件表面 a 压入到 b 处的位置，b 处是测量压入深度的起点（可防止因试件表面不平引起的误差）；22 为初试验力和主试验力共同作用下，压头压入到 c 处的位置；33 为卸除主试验力，但保持初试验力的条件下，因试件弹性变形的恢复使压头回升到 d 处的位置。因此，压头在主试验力作用下，实际压入试件产生塑性变形的压痕深度为 bd（bd 为残余压痕深度增量）。用 bd 大小来判断材料的硬度，bd 越大硬度越低；反之，硬度越高。为适应习惯上数值越大，硬度越高的概念，故用常数 k 减 bd(h) 作为硬度值（每 0.002mm 的压痕深度为一个硬度单位），直接由硬度计表盘上读出。洛氏硬度用符号 HR 表示。

$$\text{HR} = k - \frac{\text{bd}}{0.002}$$

式中，金刚石做压头， $k=100$ ；淬火钢球做压头， $k=130$ 。

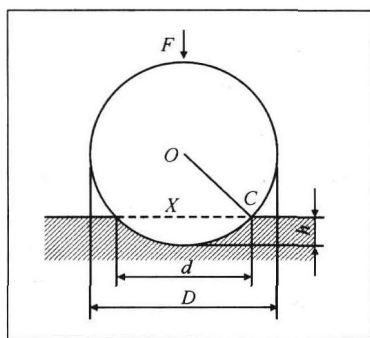


图 1-1 布氏硬度试验原理示意图

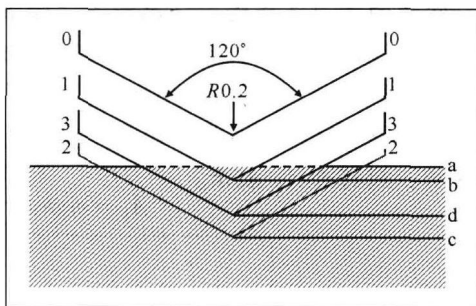


图 1-2 洛氏硬度试验原理示意图



为使同一硬度计能测试不同硬度范围的材料,可采用不同的压头和试验力。按压头和试验力不同,GB/T 230.1—2004 规定洛氏硬度的标尺有九种,但常用的是 HRA、HRB 及 HRC 三种,其中 HRC 应用最广泛。洛氏硬度的试验条件和应用范围见表 1-1。

洛氏硬度试验操作简便、迅速,测量硬度范围大,压痕小,无损于试件表面,可直接测量成品或较薄工件。但因压痕小,对内部组织和硬度不均匀的材料,所测结果不够准确。因此,需在试件不同部位测定三点取其平均值。

表 1-1 常用洛氏硬度的试验条件和应用范围

硬度符号	压头类型	总试验力 $F_{\text{总}}/\text{N}$	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥	588.4	70 ~ 88	硬质合金, 表面淬火、渗碳钢等
HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 钢球	980.7	20 ~ 100	有色金属, 退火、正火钢
HRC	120°金刚石圆锥	1471.1	20 ~ 70	淬火钢, 调质钢等

注: 总试验力 = 初试验力 + 主试验力。

小提示:

洛氏硬度与布氏硬度试验原理不同,两者不能相互比较。

3. 韧性及疲劳

(1) 韧性 以上讨论的是静载荷下的力学性能指标,但生产中许多零件是在冲击力作用下工作的,如汽车变速器的齿轮、轴及传动轴等。这类零件,不仅要满足在静力作用下的力学性能指标,还应有足够的韧性。韧性是指金属在断裂前吸收变形能量的能力,它表示了金属材料抗冲击的能力。韧性的判据是通过冲击试验确定的。

常用的方法是摆锤式一次冲击试验法,它是在专门的摆锤试验机上进行的。试验时首先将材料按规定将被测材料制作成标准冲击试样,后将试样缺口背向摆锤冲击方向放在试验机支座上(图 1-3a),摆锤举至 h_1 高度,然后使摆锤自由落下;摆锤冲断试样后,摆锤升至 h_2 。摆锤冲断试样所消耗的能量,即试样在冲击力一次作用下折断时所吸收的功,称为冲击吸收功,用符号 A_K 表示。

$$A_K = mgh_1 - mgh_2 = mg(h_1 - h_2)$$

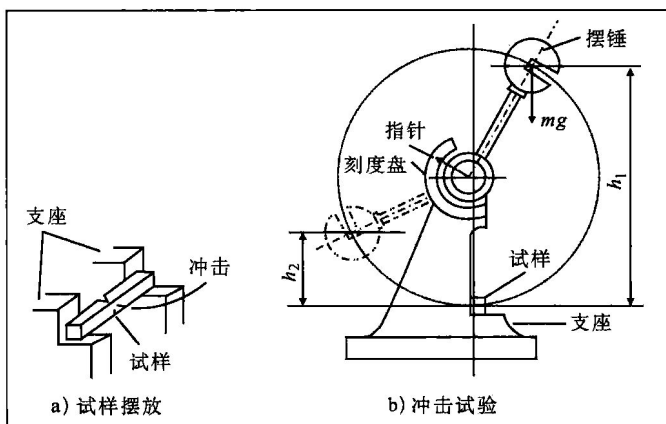


图 1-3 摆锤式冲击试验原理示意图



A_K 值不需计算,可由试验机刻度盘上直接读出。冲击试样缺口底部单位横截面积上的冲击吸收功,称为冲击韧度,用符号 a_K 表示,单位为 J/cm^2 ,即

$$a_K = \frac{A_K}{A}$$

式中 A ——试样缺口底部横截面积(cm^2)。

冲击吸收功越大,材料韧性越好,在受到冲击时越不容易断裂。但应当指出,冲击试验时,冲击吸收功中只有一部分消耗在断开试样缺口上,冲击吸收功的其余部分则消耗在冲断试样前,缺口附近体积内的塑性变形上。因此,冲击韧度不能真正代表材料的韧性,而用冲击吸收功 A_K 作为材料韧性的判据更为适宜。

小提示:

冲击韧度的大小受试样形状、表面粗糙度、内部组织等影响,因此只作为选材的参考。

(2) 疲劳强度 许多零件如轴、齿轮及弹簧等是在交变应力作用下工作的。在循环应力作用下,零件在一处或几处产生局部永久性累积损伤,经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程,称为疲劳或疲劳断裂。零件疲劳断裂前无明显塑性变形,危险性大,常造成严重事故。

试验证明,金属材料能承受的交变应力,与断裂前应力循环基数 N 有关,见图 1-4。由图可知,当 σ 低于某一值时,曲线与横坐标平行,表示材料可经无数次循环应力作用而不断裂,这一应力称为疲劳强度,并用 σ_{-1} 表示光滑试样对称弯曲疲劳强度。

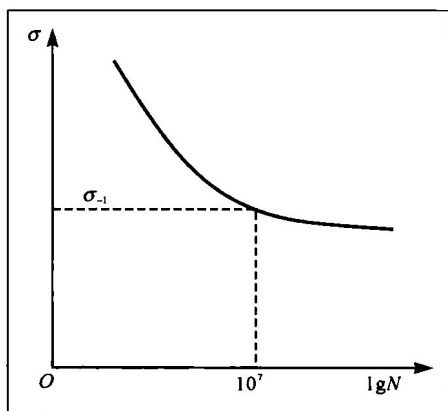


图 1-4 疲劳曲线示意图

一般交变应力越小,断裂前所能承受的循环次数越多;交变应力越大,可循环次数越少。工程上用的疲劳强度,是指在一定的循环基数下不发生断裂的最大应力。通常规定钢铁材料的循环基数取 10^7 ,有色金属取 10^8 。

小提示:

疲劳强度与抗拉强度有一定联系,抗拉强度高,疲劳强度也高。

二、铁基金属材料

工业上常用的金属材料分为铁基(黑色金属)和非铁基(有色金属)金属材料两大类。铁基金属指钢和铸铁,非铁基金属则包括钢铁以外的金属及其合金。在汽车行业中应用最广的是铁基金属材料,即钢和铸铁。

1. 碳素结构钢

碳素结构钢的平均 w_C 在 0.06% ~ 0.38% 范围内,钢中含有害元素和非金属夹杂物较多,但性能上能满足一般工程结构及普通零件的要求,因而应用较广。它通常轧制成钢板或各种型材(圆钢、方钢、工字钢、钢筋等)供应。表 1-2、表 1-3 为碳素结构钢牌号、成分与力学性能。

碳素结构钢牌号表示方法是由代表屈服强度的字母(Q)、屈服强度数值、质量等级符号



(A、B、C、D)及脱氧方法符号(F、Z、TZ)等四个部分按顺序组成,如 Q235-A·F。质量等级符号反映了碳素结构钢中有害元素(磷、硫)含量的多少,从 A 级到 D 级,钢中磷、硫含量依次减少。C、D 级的碳素结构钢由于磷、硫含量低,质量好,可作重要焊接结构件。脱氧方法符号“F”、“Z”、“TZ”分别表示沸腾钢、镇静钢及特殊镇静钢。镇静钢和特殊镇静钢的牌号中脱氧方法符号可省略。

表 1-2 碳素结构钢牌号及化学成分(摘自 GB/T 700—2006)

牌号	等级	化学成分(%)，不大于					脱 氧 方 法
		w_C	w_{Mn}	w_{Si}	w_S	w_P	
Q195	—	0. 12	0. 50	0. 30	0. 040	0. 035	F、Z
Q215	A	0. 15	1. 20	0. 35	0. 050	0. 045	F、Z
	B				0. 045		
Q235	A	0. 22	1. 40	0. 35	0. 050	0. 045	F、Z
	B	0. 20			0. 045		
	C	0. 17			0. 040	0. 040	Z
	D				0. 035	0. 035	TZ
Q275	A	0. 24	1. 50	0. 35	0. 050	0. 045	F、Z
	B	0. 22			0. 045		Z
	C	0. 20			0. 040	0. 040	Z
	D				0. 035	0. 035	TZ

表 1-3 碳素结构钢力学性能(摘自 GB/T 700—2006)

牌号	等级	拉 伸 试 验												冲击试验	
		屈服强度 σ_s /MPa						抗拉强度 σ_b /MPa	断后伸长率 δ_5 (%)					温度 /℃	V 形冲击吸 收功(纵向) A_K /J
		钢材厚度(直径)/mm							钢材厚度(直径)/mm						
		≤ 16	>16 ~40	>40 ~60	>60 ~100	>100 ~150	>150 ~200		≤ 40	>40 ~60	>60 ~100	>100 ~150	>150 ~200		
		不小于							不小于						
Q195	—	195	185	—	—	—	—	315 ~ 430	33	—	—	—	—	—	—
Q215	A	215	205	195	185	175	165	335 ~ 450	31	30	29	27	26	—	—
	B													20	27
Q235	A	235	225	215	215	195	185	370 ~ 500	26	25	24	22	21	—	—
	B													20	27
	C													0	
	D													-20	
Q275	A	275	265	255	245	225	215	410 ~ 540	22	21	20	18	17	—	—
	B													+20	27
	C													0	
	D													-20	



碳素结构钢一般以热轧空冷状态供应。其中牌号 Q195 的碳素结构钢是不分质量等级的, Q215、Q235、Q275 牌号的碳素结构钢, 当质量等级为“A”级时, 在保证力学性能要求下, 化学成分可根据需方要求作适当调整。

Q195 钢含碳量很低, 强度不高, 但具有良好的焊接性能和塑性、韧性, 常用作铁钉、铁丝及各种薄板, 如黑铁皮、白铁皮(镀锌薄钢板)和马口铁(镀锡薄钢板)。也可用来代替优质碳素结构钢 08 或 10 钢, 制造冲压、焊接结构件。

Q275 钢含碳量较高, 强度较高, 可代替 30 钢、40 钢用于制造稍重要的某些零件(如齿轮、链轮、摩擦离合器、制动钢带等), 以降低原材料成本。

其余两个牌号中的 A 级钢, 一般用于不经锻压、热处理的工程结构件或普通零件(如制作机器中受力不大的铆钉、螺钉、螺母等); 有时也可制造不重要的渗碳件。B 级钢常用以制造稍为重要的机器零件和作船用钢板, 并可代替相应含碳量的优质碳素结构钢。

2. 低合金高强度结构钢

为了满足工程上各种结构承载大、自重轻的要求, 我国自力更生地发展了具有本国特色的低合金高强度结构钢。它是在碳素结构钢的基础上加入少量($w_{Me} < 3\%$)合金元素而制成的。产品同时保证力学性能和化学成分。

低合金高强度结构钢的牌号由代表屈服强度的汉语拼音字母(Q)、屈服强度数值、质量等级符号(A、B、C、D、E)三个部分按顺序排列, 例如 Q390A。

列入国家标准的低合金高强度结构钢有 5 个级别。其牌号、成分及性能见表 1-4、表 1-5。

表 1-4 低合金高强度结构钢牌号及化学成分(摘自 GB/T 1591—1994)

牌号	质量等级	化学成分(%)										
		$w_C \leq$	w_{Mn}	$w_{Si} \leq$	$w_P \leq$	$w_S \leq$	w_V	w_{Nb}	w_{Ti}	$w_{Al} \geq$	$w_{Cr} \leq$	$w_{Ni} \leq$
Q295	A	0.16	0.80 ~ 1.50	0.55	0.045	0.045	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	—		
	B	0.16	0.80 ~ 1.50	0.55	0.040	0.040	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	—		
Q345	A	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.045	0.045	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	—		
	B	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.040	0.040	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	—		
	C	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.035	0.035	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	0.015		
	D	0.18	1.00 ~ 1.60	0.55	0.030	0.030	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	0.015		
	E	0.18	1.00 ~ 1.60	0.55	0.025	0.025	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	0.015		
Q390	A	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.045	0.045	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	—	0.30	0.70
	B	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.040	0.040	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	—	0.30	0.70
	C	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.035	0.035	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	0.015	0.30	0.70
	D	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.030	0.030	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	0.015	0.30	0.70
	E	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.025	0.025	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	0.015	0.30	0.70
Q420	A	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.045	0.045	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	—	0.40	0.70
	B	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.040	0.040	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	—	0.40	0.70
	C	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.035	0.035	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	0.015	0.40	0.70
	D	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.030	0.030	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	0.015	0.40	0.70
	E	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.025	0.025	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	0.015	0.40	0.70
Q460	C	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.035	0.035	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	0.015	0.70	0.70
	D	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.030	0.030	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	0.015	0.70	0.70
	E	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.025	0.025	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	0.015	0.70	0.70



表 1-5 低合金高强度结构钢力学性能(摘自 GB/T 1591—1994)

牌号	质量等级	屈服强度 σ_s /MPa				抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ_5 (%)	冲击吸收功 A_{KV} (纵向)/J				180°弯曲试验 d = 弯心直径; a = 试样厚度(直径)	
		厚度(直径、边长)/mm						+ 20℃	0℃	- 20℃	- 40℃	钢材厚度(直径)/mm	
		≤16	> 16 ~ 35	> 35 ~ 50	> 50 ~ 100								
不小于										≤16	> 16 ~ 100		
Q295	A	295	275	255	235	390 ~ 570	23					$d = 2a$	$d = 3a$
	B	295	275	255	235	390 ~ 570	23	34				$d = 2a$	$d = 3a$
Q345	A	345	325	295	275	470 ~ 630	21					$d = 2a$	$d = 3a$
	B	345	325	295	275	470 ~ 630	21	34				$d = 2a$	$d = 3a$
	C	345	325	295	275	470 ~ 630	22		34			$d = 2a$	$d = 3a$
	D	345	325	295	275	470 ~ 630	22			34		$d = 2a$	$d = 3a$
	E	345	325	295	275	470 ~ 630	22				27	$d = 2a$	$d = 3a$
Q390	A	390	370	350	330	490 ~ 650	19					$d = 2a$	$d = 3a$
	B	390	370	350	330	490 ~ 650	19	34				$d = 2a$	$d = 3a$
	C	390	370	350	330	490 ~ 650	20		34			$d = 2a$	$d = 3a$
	D	390	370	350	330	490 ~ 650	20			34		$d = 2a$	$d = 3a$
	E	390	370	350	330	490 ~ 650	20				27	$d = 2a$	$d = 3a$
Q420	A	420	400	380	360	520 ~ 680	18					$d = 2a$	$d = 3a$
	B	420	400	380	360	520 ~ 680	18	34				$d = 2a$	$d = 3a$
	C	420	400	380	360	520 ~ 680	18		34			$d = 2a$	$d = 3a$
	D	420	400	380	360	520 ~ 680	18			34		$d = 2a$	$d = 3a$
	E	420	400	380	360	520 ~ 680	18				27	$d = 2a$	$d = 3a$
Q460	C	460	440	420	400	550 ~ 720	17		34			$d = 2a$	$d = 3a$
	D	460	440	420	400	550 ~ 720	17			34		$d = 2a$	$d = 3a$
	E	460	440	420	400	550 ~ 720	17				27	$d = 2a$	$d = 3a$

目前我国低合金高强度结构钢成本与碳素结构钢相近,故推广使用低合金高强度结构钢在经济上具有重大意义。特别在桥梁、船舶、高压容器、车辆、石油化工设备、农业机械中应用更为广泛。

3. 优质碳素结构钢及合金结构钢

优质碳素结构钢牌号用两位数字表示。两位数字表示钢中平均碳质量分数的万倍。如 45 钢,表示平均 $w_c=0.45\%$; 08 钢表示钢中平均 $w_c=0.08\%$ 。

优质碳素结构钢按含锰量不同,分为普通含锰量($w_{Mn}=0.25\% \sim 0.8\%$)及较高含锰量($w_{Mn}=0.7\% \sim 1.2\%$)两组。含锰量较高的一组,在其牌号数字后加“Mn”字。若是沸腾钢,则在牌号末尾加“F”字。优质碳素结构钢的牌号、成分、性能见表 1-6。

合金结构钢通常是在优质碳素结构钢的基础上加入一些合金元素而形成的钢种。合金元素加入量不大(大多数 $w_{Me}<5\%$),所以合金结构钢属低、中合金钢。

合金结构钢的牌号表示方法由三部分组成,即“数字+元素符号+数字”。前面两位数



表示平均碳质量分数的万倍；合金元素以化学符号表示；合金元素符号后面的数字表示合金元素质量分数的百倍，当其平均质量分数 <1.5 时，牌号中一般只标出元素符号，而不标明数字，当其平均质量分数 $\geq 1.5\%$ 、 $\geq 2.5\%$ 、 $\geq 3.5\%$ … 时，则在元素符号后相应标出 2、3、4 …。

在我国合金结构钢中，主加元素一般为锰、硅、铬、硼等，它们对提高淬透性和力学性能起主导作用。辅加元素主要有钨、钼、钒、钛、铌等。

合金结构钢都是优质钢、高级优质钢（牌号后加“A”字）或特级优质钢（牌号后加“E”字）。按其用途及工艺特点可分为渗碳用钢、调质用钢。

（1）渗碳钢 常用的渗碳钢的牌号、成分、热处理、性能及用途见表 1-7。

渗碳钢按化学成分分为碳素渗碳钢和合金渗碳钢两大类（渗碳钢最终热处理通常都是渗碳后进行淬火及低温回火，表面硬度 $58 \sim 64\text{HRC}$ ，心部组织根据钢的淬透性及尺寸而定）。

1）碳素渗碳钢。一般用优质碳素结构钢中 15、20 钢。这类钢价格便宜，但淬透性低，故渗碳淬火后心部强度低，表层强度及耐磨性也不够高，淬火时变形开裂倾向大。一般用于制造承受载荷较低、形状简单、不太重要的、但要求耐磨的小型零件。

2）合金渗碳钢。常按淬透性大小分为三类。

① 低淬透性渗碳钢。这类钢水淬临界淬透直径为 $20 \sim 35\text{mm}$ 。用于制作受力不太大，不需要很高强度的耐磨零件。属于这类钢的有 20Mn2、20Cr、20MnV 等。这类钢渗碳时心部晶粒易长大（特别是锰钢）。

② 中淬透性渗碳钢。这类钢油淬临界淬透直径约为 $25 \sim 60\text{mm}$ 左右。用于制作承受中等载荷的耐磨零件。属于这类钢的有 20CrMnTi、12CrNi3、20MnVB 等。

③ 高淬透性渗碳钢。这类钢油淬临界淬透直径约为 100mm 以上，甚至空冷也能淬成马氏体，属于马氏体钢。用于制造承受重载与强烈磨损的重要大型零件。属于这类钢的有 12Cr2Ni4、20Cr2Ni4 及 18Cr2Ni4WA 等。

（2）调质钢 常用调质钢的牌号、成分、热处理、性能与用途见表 1-8。

调质钢也分为碳素调质钢与合金调质钢两大类。

1）碳素调质钢。一般是中碳优质碳素结构钢，如 35 ~ 45 钢或 40Mn、50Mn 等，其中以 45 钢应用最广。碳钢的淬透性较差，调质后性能随零件尺寸增大而降低，所以只有小尺寸的零件调质后才能获得均匀的较高的综合力学性能（一般 $\sigma_b = 570 \sim 650\text{MPa}$ ， $\sigma_s = 320 \sim 400\text{MPa}$ ， $A_K = 32 \sim 56\text{J}$ ）。这类钢一般用水淬，故变形与开裂倾向较大，只适宜制造载荷较低、形状简单、尺寸较小的调质工件。

2）合金调质钢。由于合金元素能强化铁素体，特别是能提高淬透性，所以综合力学性能高于碳素调质钢。

4. 弹簧钢

弹簧钢是指用来制造各种弹簧的钢。

常用的弹簧钢的牌号、成分、热处理、性能及用途见表 1-9。

5. 滚动轴承钢

滚动轴承钢是指制造各种滚动轴承内外套圈及滚动体（滚珠、滚柱、滚针）的专用钢种。

常用的滚动轴承钢的牌号、成分等见表 1-10。



表 1-6 优质碳素结构钢牌号、

牌号	化学成分(%)							
	w_C	w_{Si}	w_{Mn}	w_P	w_S	w_{Ni}	w_{Cr}	w_{Cu}
				不 大 于				
08F	0.05 ~ 0.11	≤ 0.03	0.25 ~ 0.50	0.035	0.035	0.25	0.10	0.25
10F	0.07 ~ 0.14	≤ 0.07	0.25 ~ 0.50	0.035	0.035	0.25	0.15	0.25
15F	0.12 ~ 0.19	≤ 0.07	0.25 ~ 0.50	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
08	0.05 ~ 0.12	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	0.035	0.035	0.25	0.10	0.25
10	0.07 ~ 0.14	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	0.035	0.035	0.25	0.15	0.25
15	0.12 ~ 0.19	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
20	0.17 ~ 0.24	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
25	0.22 ~ 0.30	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
30	0.27 ~ 0.35	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
35	0.32 ~ 0.40	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
40	0.37 ~ 0.45	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
45	0.42 ~ 0.50	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
50	0.47 ~ 0.55	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
55	0.52 ~ 0.60	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
60	0.57 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
65	0.62 ~ 0.70	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
70	0.67 ~ 0.75	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
75	0.72 ~ 0.80	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
80	0.77 ~ 0.85	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
85	0.82 ~ 0.90	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
15Mn	0.12 ~ 0.19	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
20Mn	0.17 ~ 0.24	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
25Mn	0.22 ~ 0.30	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
30Mn	0.27 ~ 0.35	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
35Mn	0.32 ~ 0.40	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
40Mn	0.37 ~ 0.45	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
45Mn	0.42 ~ 0.50	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
50Mn	0.48 ~ 0.56	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
60Mn	0.57 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
65Mn	0.62 ~ 0.70	0.17 ~ 0.37	0.90 ~ 1.20	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
70Mn	0.67 ~ 0.75	0.17 ~ 0.37	0.90 ~ 1.20	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25

注：1. 对于直径或厚度小于 25mm 的钢材，热处理是在与成品截面尺寸相同的试样毛坯上进行。

2. 表中所列正火推荐保温时间不小于 30min，空冷；淬火推荐保温时间不小于 30min，75、80 和 85 钢油淬，其



成分及性能(GB/T 699—1999)

试样毛坯 尺寸/mm	推荐热处理温度/℃			力学性能					钢材交货状态硬度 HBW	
	正火	淬火	回火	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 (%)	ψ (%)	A_{KU} /J	不大于	
				不 小 于					未热处理	退火钢
25	930			295	175	35	60		131	
25	930			315	185	33	55		137	
25	920			355	205	29	55		143	
25	930			325	195	33	60		131	
25	930			335	205	31	55		137	
25	920			375	225	27	55		143	
25	910			410	245	25	55		156	
25	900	870	600	450	275	23	50	71	170	
25	880	860	600	490	295	21	50	63	179	
25	870	850	600	530	315	20	45	55	197	
25	860	840	600	570	335	19	45	47	217	187
25	850	840	600	600	355	16	40	39	229	197
25	830	830	600	630	375	14	40	31	241	207
25	820	820	600	645	380	13	35		255	217
25	810			675	400	12	35		255	229
25	810			695	410	10	30		255	229
25	790			715	420	9	30		269	229
试样		820	480	1080	880	7	30		285	241
试样		820	480	1080	930	6	30		285	241
试样		820	480	1130	980	6	30		302	255
25	920			410	245	26	55		163	
25	910			450	275	24	50		197	
25	900	870	600	490	295	22	50	71	207	
25	880	860	600	540	315	20	45	63	217	187
25	870	850	600	560	335	19	45	55	229	197
25	860	840	600	590	355	17	45	47	229	207
25	850	840	600	620	375	15	40	39	241	217
25	830	830	600	645	390	13	40	31	255	217
25	810			695	410	11	35		269	229
25	810			735	430	9	30		285	229
25	790			785	450	8	30		285	229

余钢水淬；回火推荐保温时间不少于1h。



表 1-7 常用渗碳用钢的牌号、成分、热处理、力学

种类	钢 号	化学成分(%)									试样毛坯 尺寸/mm
		w_C	w_{Mn}	w_{Si}	w_{Cr}	w_{Ni}	w_{Mo}	w_V	w_{Ti}	$w_{其他}$	
碳钢	15	0.12 ~ 0.19	0.35 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	—	—	—	—	—	P、S ≤0.035	25
	20	0.17 ~ 0.24	0.35 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	—	—	—	—	—	P、S ≤0.035	25
低淬透性合金渗碳钢	20Mn2	0.17 ~ 0.24	1.40 ~ 1.80	0.17 ~ 0.37	—	—	—	—	—	—	15
	15Cr	0.12 ~ 0.18	0.40 ~ 0.70	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	—	—	—	—	—	15
	20Cr	0.18 ~ 0.24	0.50 ~ 0.80	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	—	—	—	—	—	15
	20MnV	0.17 ~ 0.24	1.30 ~ 1.60	0.17 ~ 0.37	—	—	—	0.07 ~ 0.12	—	—	15
中淬透性合金渗碳钢	20CrMnTi	0.17 ~ 0.23	0.80 ~ 1.10	0.17 ~ 0.37	1.00 ~ 1.30	—	—	—	0.04 ~ 0.10	—	15
	20Mn2B	0.17 ~ 0.24	1.50 ~ 1.80	0.17 ~ 0.37	—	—	—	—	—	B 0.0005 ~0.0035	15
	12CrNi3	0.10 ~ 0.17	0.30 ~ 0.60	0.17 ~ 0.37	0.60 ~ 0.90	2.75 ~ 3.15	—	—	—	—	15
	20CrMnMo	0.17 ~ 0.23	0.90 ~ 1.20	0.17 ~ 0.37	1.10 ~ 1.40	—	0.20 ~ 0.30	—	—	—	15
	20MnVB	0.17 ~ 0.23	1.20 ~ 1.60	0.17 ~ 0.37	—	—	—	0.07 ~ 0.12	—	B 0.0005 ~ 0.0035	15
高淬透性合金渗碳钢	12Cr2Ni4	0.10 ~ 0.16	0.30 ~ 0.60	0.17 ~ 0.37	1.25 ~ 1.75	3.25 ~ 3.65	—	—	—	—	15
	20Cr2Ni4	0.17 ~ 0.23	0.30 ~ 0.60	0.17 ~ 0.37	1.25 ~ 1.75	3.25 ~ 3.65	—	—	—	—	15
	18Cr2Ni4WA	0.13 ~ 0.19	0.30 ~ 0.60	0.17 ~ 0.37	1.35 ~ 1.65	4.00 ~ 4.50	—	—	—	W 0.80 ~ 1.20	15

① 力学性能试验用试样尺寸：碳钢直径 25mm，合金钢直径 15mm。