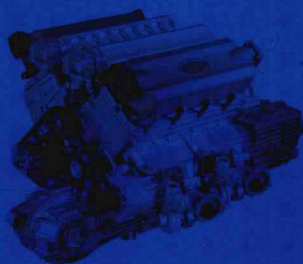


高等职业教育模块式教学改革规划教材

汽车机械基础

QICHE JIXIE JICHU

徐晓昂 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

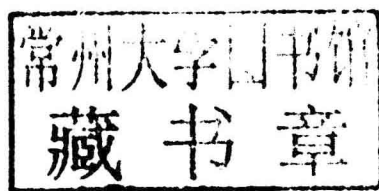


赠 电子 课件

高等职业教育模块式教学改革规划教材

汽车机械基础

主 编 徐晓昂
副主编 卜燕萍 欧仕荣 张雪文
参 编 谭补辉 彭应征 蔡应春
 龙 洁 周轶新 曾庆军



机械工业出版社

本书按照教育部对高职高专人才培养工作的指导思想,结合教育部“高职高专教育机械基础课程教学内容体系改革、建设的研究与实践”关于情景的研究成果编写而成。

全书共分5篇17个项目,基础篇包括常用材料和热处理、静力学、材料力学;机构篇包括平面机构运动的基本知识、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构;零件篇包括带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、齿轮系、螺纹联接与螺旋传动、轴系零部件、轴承;液压篇包括液压传动;机械系统篇包括认识机械系统。

全书涉及材料、力学、机械设计、液压传动及机械系统等多方面内容,具有综合性强,采用的标准新,紧密联系实际等特点。为了便于学生学习和理解知识要点,书中配置了适量的例题、思考与练习。

本书既可以作为高职、高专、成人高校、本科院校及各类培训的教材和参考书,还可以供有关的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

汽车机械基础/徐晓昂主编. —北京:机械工业出版社,
2012.12

高等职业教育模块式教学改革规划教材
ISBN 978-7-111-41627-2

I. ①汽… II. ①徐… III. ①汽车-机械学-高等职业
教育-教材 IV. ①U463

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第036880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:葛晓慧 责任编辑:葛晓慧

版式设计:霍永明 责任校对:胡艳萍

封面设计:陈沛 责任印制:张楠

北京京丰印刷厂印刷

2013年5月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·19印张·470千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-41627-2

定价:36.00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

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

高等职业教育模块式教学改革规划教材
编写委员会

顾 问 刘 晓

主 任 王 键

副主任 张大伟 周芳友 朱日红 杨里平

编 委 杨栋梁 刘建湘 王章华 邓志革 谢 赤

刘国华 楚琼湘 杨文明 方建超 陈焕文

胡让良 张新民 张红专 杜祥培 成立平

冯立兵 周 勇

出版说明

由湖南中华职业教育社组织湖南交通职业技术学院、长沙民政职业技术学院等 10 余所全国示范性高职院校的一线骨干教师精心组织编写的高等职业教育模块式教学改革规划教材终于正式出版。这套教材是我国高等职业教育教材改革领域一次新的尝试，也是我国高等职业教育课程改革的一次重大突破。

这套全新的教材完全是根据行业对人才的要求，本着以职业岗位能力为导向的理念开发出来的。可以说，对传统课程进行了一次颠覆性的全面解构，再按照“必需、够用”的原则，从中选取最有价值的知识点、技能点和学生应具有的职业态度的要求重组课程内容；最终把这些知识点划分为一个个模块建构课程结构，每个模块又被分为若干项目，使课程模块成为实践知识、理论知识与实际运用情景有机结合的一个个项目化的独立学习单元和任务组合。这样的编排，既明确了学习目标，又明确了教学目标。

相比于传统教材，该套教材具有五个明显的特点：①所有知识内容是根据职业岗位能力要求选取的，更贴近工作岗位，学生更易接受，有利于提高学习效果。②每个知识点都穿插有相应形象生动的案例，实现了学生在学习过程中从记忆知识到运用知识的转变，也利于培养学生完成工作任务的职业能力。③充分体现了“教、学、做”合一的总体原则，真正实现了职业教育“做中学、做中教”的特点，在这样的教学过程中，师生间、同学间都可以通过课堂教学以及教学空间互动，学生由被动接受者变为了主动参与者，显然，学习兴趣会随之增强。④以工作任务为中心，要求教学活动必须在真实或者仿真的工作场景及先进的生产技术设备环境中进行，学生可以现学现用，更易于培养把基本知识点应用于实践的应用能力和操作技能。⑤每种教材都配有教学资源，其多媒体课件使教学变得直观形象，同时也使资源共享成为了现实。实践证明，运用模块化教材进行教学，是高等职业院校教学改革的重要特色和一大亮点。

“对接产业、工学结合，深入推进职业教育集团化办学，深化人才培养模式改革”的职业教育发展思路已越来越成为我国职教工作者的共识。在此，衷心地希望学生在这套新教材的帮助下，掌握基本知识点，熟练操作技能，养成良好的职业素养，努力使自己真正成为紧跟经济社会发展步伐，符合市场需求的生产、建设、管理和服务一线的高素质技术应用型人才。

前 言

汽车机械基础是机械类专业开设的一门综合性基础课程，它是一门包含内容十分广泛的技术基础课。学生必须学会必要的技术基础知识，同时，还必须进行一定的基础技能训练，为后续顺利地学习专业课程，从事技术工作、管理工作打下坚实的基础。该课程的开设，将全面奠定学生的机械基础知识，为其今后走向工作岗位，从事专业技术工作，服务社会提供广泛的基础保障。

本书遵循“拓展基础、强化能力、立足应用、激发创新”的原则进行编写，力图体现机械基础的教学特色和机械技术人员的职业成长规律，做到培养目标明确。考虑到读者特点，学习要求，以及本课程的特色、学校教学规划与进度等多种因素，教材编写中，力求做到以下几点：

1. 教学内容的编排遵循职业成长规律和知识的内在规律。
2. 教材注重从认知、识记到运用，从简到难，由浅入深，循序渐进，同时力求满足各类学习人员的需要。
3. 内容的选取，注重理论与实际高度结合，学以致用。
4. 各类读者可以根据自己的特点，灵活选用项目。

本书由益阳职业技术学院徐晓昂主编，卜燕萍、欧仕荣、张雪文担任副主编。基础篇由谭补辉、彭应征编写；机构篇由蔡应春编写；零件篇之项目八、项目九由卜燕萍编写，项目十、项目十一、机械系统篇、附录由徐晓昂编写，项目十二由欧仕荣编写，项目十三、项目十五由龙洁编写，项目十四由周轶新编写；液压篇由曾庆军编写。

由于编者水平有限，书中不足之处，恳请读者批评指正！

编 者

目 录

出版说明

前言

基础篇 1

项目一 常用材料和热处理 2

情景一 金属材料的性能 2

情景二 常用金属材料 5

情景三 常用非金属材料 12

情景四 金属与合金结构及铁碳合
金相图 17

情景五 钢的热处理 21

思考与练习 25

项目二 静力学 26

情景一 静力学基本概念 26

情景二 构件的受力分析与受力图 29

情景三 平面力系 31

情景四 空间力系 40

思考与练习 43

项目三 材料力学 45

情景一 轴向拉伸与压缩 45

情景二 剪切与挤压 50

情景三 圆轴扭转 53

情景四 梁弯曲变形 57

情景五 组合变形 65

思考与练习 68

机构篇 71

项目四 平面机构运动的基本知识 72

情景一 平面机构 72

情景二 计算平面机构的自由度 74

思考与练习 77

项目五 平面连杆机构 78

情景一 认识平面四杆机构 78

情景二 平面连杆机构的基本特性 85

思考与练习 87

项目六 凸轮机构 88

情景一 认识凸轮机构 88

情景二 设计凸轮轮廓曲线 91

思考与练习 93

项目七 间歇运动机构 94

情景一 棘轮机构 94

情景二 槽轮机构 96

思考与练习 99

零件篇 101

项目八 带传动 102

情景一 认识带传动 102

情景二 V带传动的选用 109

思考与练习 120

项目九 链传动 121

情景一 认识链传动 121

情景二 链传动的基本知识 124

思考与练习 127

项目十 齿轮传动 128

情景一 认识齿轮传动 128

情景二 渐开线标准直齿圆柱齿轮的
传动设计 142

情景三 斜齿圆柱齿轮传动 147

情景四 锥齿轮传动 150

思考与练习 154

项目十一 蜗杆传动 155

情景一 认识蜗杆传动 155

情景二 蜗杆传动的受力与强度计算 163

思考与练习 166

项目十二 齿轮系 168

情景一 认识齿轮系 168

情景二 定轴轮系 170

情景三 行星轮系 172

思考与练习 174

项目十三 螺纹联接与螺旋传动 175

情景一 认识螺纹联接 175

情景二 单个螺栓联接的强度计算 180

情景三 螺旋传动 183

思考与练习 185

项目十四 轴系零部件 187

情景一 轴	187	思考与练习	244
情景二 键联接和销联接	197	机械系统篇	245
情景三 联轴器和离合器	202	项目十七 认识机械系统	246
思考与练习	207	情景一 机械的基本认识	246
项目十五 轴承	209	情景二 机械设计的基本内容 & 要求	249
情景一 滑动轴承	209	情景三 零件的失效与设计准则	254
情景二 滚动轴承	213	思考与练习	259
思考与练习	219	附录	260
液压篇	221	附录 A 机械制图 机构运动简图 符号	260
项目十六 液压传动	222	附录 B 其他机构及其组件	276
情景一 认识液压传动	222	附录 C 流体传动系统及元件图形符号和 回路图	280
情景二 液压元件	225	参考文献	296
情景三 液压基本回路及系统实例	236		
情景四 液压系统的故障分析与排除 方法	242		

基 础 篇

项目一 常用材料和热处理

情景一 金属材料的性能

学习目标

1. 了解金属材料的性能、分类方法。
2. 掌握金属材料力学性能指标的概念，符号和物理意义。
3. 理解拉伸试验的试验原理。

金属材料的性能是指用来表征材料在给定外界条件下的行为参量。当外界条件发生变化时，同一种材料的某些性能也随之变化。

金属材料的性能直接关系到汽车的制造、维修使用寿命和加工成本，是汽车零部件合理、正确地使用和拟订加工工艺方案的重要依据。金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。

使用性能指金属材料在使用过程中所表现出来的性能，包括力学性能、物理性能（电性能、热性能等）和化学性能（耐蚀性、抗氧化性等）。

工艺性能指金属材料在各种加工过程中所表现出来的性能，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等。

一、金属的力学性能

所谓力学性能，是指金属在外加载荷的作用下，材料所表现出来的性能。力学性能包括强度、塑性、硬度、冲击韧度及疲劳强度等，它反映了金属材料在各种外力作用下抵抗变形或破坏的某些能力，是选用金属材料的重要依据，而且对各种加工工艺也有重要影响。

1. 强度与塑性

强度是指金属材料抵抗永久变形和破坏的能力。塑性是指金属在断裂前发生不可逆永久变形的能力。永久变形是指物体在力的作用下产生的形状、尺寸的改变，外力去除后，变形不能恢复到原来的形状和尺寸。这种不能恢复到原始形状和尺寸的变形称为永久变形或塑性变形。金属材料的强度和塑性指标可以通过拉伸试验测得。

(1) 拉伸试验 拉伸试验是指用静拉伸力对试样进行轴向拉伸，测量拉伸力和相应的伸长。拉伸时一般将拉伸试样拉至断裂。

拉伸试样的形状一般有圆形和矩形两类。在国家标准 GB/T 228.1—2010 中，对试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定。图 1-1 所示为圆形拉伸试样。

拉伸试验过程中随着载荷的均匀增加，试样不断地由弹性伸长过渡到塑性伸长，直至断裂。一般试验机都具有自动记录装置，可以把作用在试样上的应力和应变描绘成拉伸图，也

叫做应力—应变曲线。图 1-2 所示为低碳钢的应力—应变曲线，图中纵坐标表示力，单位为 N；横坐标表示伸长量，单位为 mm。

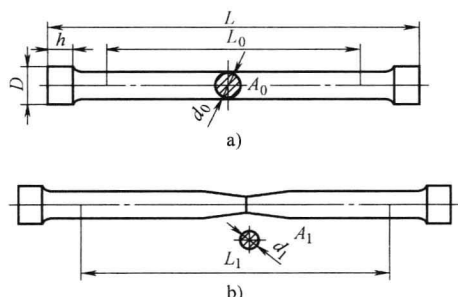


图 1-1 圆形拉伸试样

a) 原试样图 b) 断裂试样图

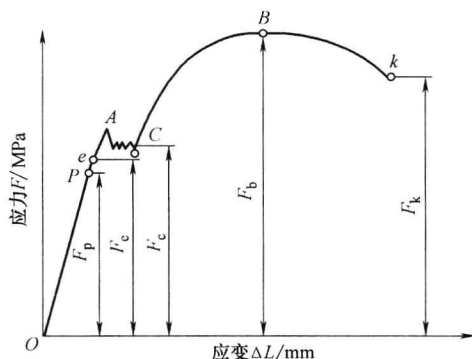


图 1-2 低碳钢的应力—应变曲线

图中明显地表现出如下几个变形阶段：

Oe——弹性变形阶段：当给材料施加载荷后，试样产生伸长变形。如果载荷撤除，试样可恢复原状。其中，*OP* 为线弹性变形阶段，*Pe* 为非线性弹性变形阶段。

AC——屈服阶段：当载荷超过一定数值再卸载时，试样的伸长只能部分消失，而保留一部分残余变形（即塑性变形）。这种在载荷不增加的情况下试样还继续伸长的现象称为屈服现象。

CB——强化阶段：随着塑性变形的增大，试样变形抗力也逐渐增加，这种现象称为形变强化（或称加工硬化）。

Bk——缩颈阶段（局部塑性变形阶段）：当载荷达到最大值后，试样截面发生局部收缩，称为“缩颈”。这时伸长主要集中于缩颈部位，当拉至 *k* 点时，试样被拉断。

(2) 强度指标

1) 屈服强度。在拉伸试验过程中，载荷不增加（或保持恒定），试样仍能继续伸长时的应力称为屈服强度，用符号 σ_s (MPa) 表示，其计算公式为

$$\sigma_s = F_s / A_0$$

式中 F_s ——材料发生屈服现象时的最大载荷 (N)；

A_0 ——材料的原始横截面面积 (mm^2)。

对于无明显屈服现象的金属材料，按照国家标准 GB/T 228.1—2010 规定，可用条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 表示。 $\sigma_{0.2}$ (MPa) 表示卸除载荷后试样的规定残余伸长率达到 0.2% 时的应力，其计算公式为：

$$\sigma_{0.2} = F_{0.2} / A_0$$

2) 抗拉强度。试样在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度，用符号 R_m (MPa) 表示，其计算公式为

$$R_m = F_b / A_0$$

式中 F_b ——试样拉断前承受的最大载荷；

A_0 ——材料的原始横截面面积 (mm^2)。

(3) 塑性指标

1) 伸长率。试样拉断后, 标距的伸长与原始标距的百分比称为伸长率, 用符号 A 表示, 其计算为

$$A = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\%$$

式中 L_1 ——拉断后的长度 (mm);

L_0 ——原来的试样长度 (mm)。

2) 断面收缩率。试样拉断后, 缩颈处横截面积的缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率, 用符号 Z 表示, 其计算公式为

$$Z = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100\%$$

式中 A_0 ——原始横截面面积 (mm^2);

A_1 ——断口处截面面积 (mm^2)。

金属材料的伸长率和断面收缩率数值越大, 表示材料的塑性越好。

2. 硬度

硬度是指材料抵抗局部变形 (特别是塑性变形、压痕或划痕) 的能力。它不是一个单纯的物理或力学量, 而是代表弹性、塑性、强度和韧性等一系列不同物理量的综合性能指标。

硬度是各种零件和工具必须具备的性能指标。机械制造业所用的刀具、量具和模具等, 都应具备足够的硬度, 才能保证使用性能和寿命。

测定硬度的方法有很多, 主要有压入法、刻画法和回跳法等。在机械制造中主要采用压入法。常用的硬度测试方法有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等, 均属压入法, 即用一定的压力将压头压入材料表层, 然后根据压力的大小、压痕面积或深度确定其硬度值的大小。

(1) 布氏硬度 一定直径的硬质合金球体在一定载荷作用下压入试样表面, 保持一定时间后卸除载荷, 测量其压痕直径, 计算硬度值。用符号 HBW 来表示。

实际测量时, 可根据相应的压痕直径与布氏硬度对照表查得硬度值。如布氏硬度记为 200HBW 10/1000/30, 表示用直径为 10mm 的硬质合金球, 在 1000kgf (1kgf = 9.8N) 的载荷下保持 30s 时, 测得布氏硬度值为 200。布氏硬度主要用于各种退火状态下的钢材、铸铁和有色金属等, 也用于调质处理的机械零件。

(2) 洛氏硬度 用金刚石压头 (或钢球压头) 在先后两个载荷的作用下压入金属表面。卸去载荷后, 通过测量其残余压入深度来计算洛氏硬度值。根据压头的种类和总载荷的大小, 洛氏硬度常用的表示方式有 HRA、HRB、HRC 三种。

洛氏硬度试验压痕小, 直接读数, 操作方便, 可测低硬度、高硬度材料, 应用最广泛。用于试验各种钢铁原材料、有色金属、淬火工件、表面热处理工件及硬质合金等。

3. 冲击韧度

冲击韧度指金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力。目前, 常用一次摆锤冲断试验来测定金属材料的冲击韧度。

4. 疲劳强度

金属的疲劳强度指金属在循环应力作用下能经受无限多次循环而不断裂的最大应力值。

二、金属的工艺性能

金属的工艺性能直接影响到零件制造工艺和质量,是选材和制订零件工艺路线时必须考虑的因素之一。

1. 铸造性能

金属及合金在铸造工艺中获得优良铸件的能力称为铸造性能。衡量铸造性能的主要指标有流动性、收缩性和偏析倾向等。金属材料中,灰铸铁和青铜的铸造性能较好。

2. 锻造性能

用锻压成形方法获得优良锻件的难易程度称为锻造性能。锻造性能的好坏主要同金属的塑性和变形抗力有关,也与材料的成分和加工条件有很大关系。塑性越好,变形抗力越小,金属的锻造性能越好。例如,黄铜和铝合金在室温状态下有良好的锻造性能;碳钢在加热状态下锻造性能较好;铸铁、铸铝及青铜则几乎不能锻压。

3. 焊接性能

焊接性能是指金属材料对焊接加工的适应性,也就是在一定的焊接工艺条件下,获得优质焊接接头的难易程度。对碳钢和低合金钢,焊接性主要同金属材料的化学成分有关。如低碳钢具有良好的焊接性,高碳钢、不锈钢、铸铁的焊接性较差。

4. 切削加工性能

金属材料的切削加工性能是指金属材料在切削加工时的难易程度。切削加工性能一般通过工件切削后的表面粗糙度及刀具寿命等来衡量。影响切削加工性能的因素主要有工件的化学成分、组织状态、硬度、塑性、导热性和形变强化等。一般认为金属材料具有适当硬度和足够的脆性时较易切削,就材料的种类而言,铸铁、铜合金、铝合金及一般非合金钢都具有较好的切削加工性能。所以铸铁比钢切削加工性能好,一般非合金钢比高合金钢切削加工性能好。改变钢的化学成分和进行适当的热处理,是改善钢切削加工性能的重要途径。

情景二 常用金属材料

学习目标

1. 了解常用黑色金属材料和有色金属材料的类型。
2. 掌握典型金属材料的性能、牌号及用途。

金属材料是目前汽车上应用最广泛的工程材料。工业上,通常把金属材料分为两大类:黑色金属和有色金属。有色金属是指除钢铁材料以外的其他所有金属材料,如铝、铜、镁及其合金。

一、黑色金属材料

黑色金属材料在我国汽车工业中仍然占主流地位。一辆中型载货汽车上黑色金属材料约占汽车总质量的 $\frac{3}{4}$,轿车约占 $\frac{2}{3}$ 。黑色金属材料最大的特点是价格低廉,比强度(强度/密度)高,便于加工,因而得到广泛的运用。汽车用黑色金属材料有钢板、结构钢、特殊

用途钢、钢管及铸铁等，主要用于制造车架、车身、车轴、发动机缸体、曲轴、罩板和外壳等零件。

1. 碳素钢

碳素钢又称为碳钢，是碳的质量分数小于 2.11% 的铁碳合金，并含有冶炼中难以除尽的少量杂质，如硅、锰、硫和磷等。碳钢不仅具有较好的力学性能，而且价格低廉，品种多样，能够满足各种场合的使用要求，所以约占钢总产量的 90% 以上。

(1) 钢中的杂质元素 钢中的杂质元素主要有锰、硅、硫、磷等。

1) 锰的影响。炼钢时加入锰，能使 FeO 还原成铁。脱氧后残留在钢中的锰可溶于铁素体和渗碳体中，使钢的强度和硬度提高。锰还可以和硫形成 MnS，减轻硫对钢的有害作用。钢中锰的质量分数一般为 0.25% ~ 0.8%，锰属于有益元素。

2) 硅的影响。硅的脱氧作用比锰还强。硅大部分溶于铁素体中，能提高钢的强度和硬度，所以硅也是钢中的有益元素。硅作为杂质而存在于钢中，其质量分数一般不应超过 0.4%。

3) 硫的影响。硫是钢中的有害杂质元素。它常以 FeS 的形式存在于钢中，FeS 与铁形成易熔共晶体。当钢在 1000 ~ 1200℃ 进行轧制或锻造时，由于共晶体熔化而导致钢材开裂，这种现象称为热脆。为避免热脆，必须严格控制钢的含硫量，其质量分数应小于 0.05%。

4) 磷的影响。磷也是钢中的有害元素。磷在钢中能溶于铁素体，使铁素体的强度、硬度显著提高，同时使塑性、韧性急剧下降，在低温时，这种情况更加严重，这种现象称为冷脆，加上磷的偏析倾向极大，更易使冷脆现象发生。因此，应严格控制钢中的含磷量，一般情况下磷的质量分数应小于 0.045%。

(2) 碳素钢的分类、牌号和用途 碳素钢的分类方法有很多，最常见的有以下三种：

1) 按钢中的含碳量不同可分为低碳钢 ($w_c < 0.25\%$)、中碳钢 ($w_c = 0.25\% \sim 0.6\%$) 和高碳钢 ($w_c > 0.6\%$)。

2) 按钢的质量不同可分为普通碳素钢、优质碳素钢和高级优质碳素钢。普通碳素钢 ($w_s \leq 0.05\%$, $w_p \leq 0.045\%$) 主要用于各类工程上。优质碳素钢 ($w_s \leq 0.035\%$, $w_p \leq 0.035\%$) 主要用来制造各种机器零件，通常是在热处理后使用。高级优质碳素钢 ($w_s \leq 0.025\%$, $w_p \leq 0.025\%$) 主要用来制造工具和要求特别高的零件。

3) 按钢的用途不同可分为碳素结构钢和碳素工具钢。碳素结构钢主要用来制造各种工程构件（如机架、桥梁等），一般为中、低碳钢。碳素工具钢主要用来制造各种刀具、模具和量具等，一般为高碳钢。

(3) 常用的碳素钢 常用的碳素钢包括碳素结构钢、优质碳素结构钢和碳素工具钢等。

1) 碳素结构钢。碳素结构钢的牌号由代表屈服点“屈”字的拼音字首 Q、屈服点数值、质量等级符号（分 A、B、C、D，A 级质量最差，D 级质量最好）和脱氧方法符号（F、B、Z、TZ）四个部分按顺序组成。例如，Q235—A 表示 $Q_s \geq 235\text{MPa}$ ，质量等级为 A 级的碳素结构钢。

Q195、Q215 钢有一定的强度，塑性好，主要用于制作薄板（镀锌薄钢板）、钢筋、冲压件、地脚螺栓和烟筒等；Q235 强度较高，用于制作钢筋、钢板、农业机械用型钢和重要的机械零件，如拉杆、连杆和转轴等；Q235—C、Q235—D 钢质量较好，可制作重要的焊接结构件；Q255 钢、Q275 钢强度高，质量好，用于制造建筑、桥梁等工程质量要求较高的焊

接结构件，以及摩擦离合器、主轴、制动钢带和吊钩等。

2) 优质碳素结构钢。优质碳素结构钢的牌号用碳的平均质量分数的万分之几（两位数字）表示。如钢号 45，表示碳的平均质量分数为 0.45% 的优质碳素结构钢。优质碳素结构钢具有较好的塑性、韧性，可通过热处理来提高力学性能，主要用来制造各种机器零件。08F 塑性好，可制造冲压零件；10、20 号钢冲压性与焊接性良好，可做冲压件及焊接件，经过适当热处理（如渗碳）后可制轴、销等零件；30、40、45、50 号钢经热处理后，可获得良好的综合力学性能，用来制造齿轮、轴类及套筒等零件；60、65 号钢主要用来制造弹簧。优质碳素结构钢使用前一般都要进行热处理。

3) 碳素工具钢。碳素工具钢用于制造刀具、模具和量具。由于大多数工具都要求有高硬度和高耐磨性，故工具钢中碳的质量分数都在 0.7% 以上，都是优质钢和高级优质钢。

碳素工具钢的牌号用 T 加数字表示。T 为“碳”字的汉语拼音字首，数字表示平均碳的质量分数的千分数，牌号末尾的字母 A 表示高级优质。例如，T9 表示平均碳的质量分数为 0.9% 的碳素工具钢。

碳素工具钢的热硬性差，一般刃部温度达到 250℃ 以上时，硬度和耐磨性即迅速降低。各种牌号的碳素工具钢经淬火后的硬度相差不大，但随着含碳量的增加，钢的硬度、耐磨性增加，而韧性降低。因此，不同牌号的工具钢用于制造不同情况下使用的工具。

2. 合金钢

为改善碳钢的组织 and 性能，在碳钢基础上有目的地加入一种或几种合金元素所形成的铁基合金，称为低合金高强度结构钢。通常加入的合金元素有硅（Si）、锰（Mn）、铬（Cr）、镍（Ni）、钼（Mo）、钨（W）、钒（V）及钛（Ti）等。

合金钢按合金元素的质量分数不同可分为低合金钢（合金元素总含量小于 5%）、中合金钢（合金元素总含量为 5% ~ 10%）和高合金钢（合金元素总含量大于 10%）；按用途不同可分为合金结构钢、合金工具钢和特殊性能钢等。

(1) 低合金高强度结构钢 低合金结构钢是在低碳钢的基础上加入少量合金元素（合金元素总量小于 3%）而得到的钢。这类钢比低碳钢的强度要高 10% ~ 30%，冶炼比较简单，生产成本与碳钢相近。由于合金元素的强化作用，这类钢比相同含碳量的碳素结构钢的强度（特别是屈服强度）要高得多，并且有良好的塑性、韧性、耐蚀性和焊接性。低合金结构钢主要用于船舶、桥梁、锅炉、高压容器、油管、大型钢结构及汽车等方面。此类钢一般在热轧或正火处理后使用，一般不再进行热处理。

低合金高强度结构钢牌号表示方法与普通碳素结构钢相同。例如，Q345 表示屈服强度不低于 345MPa 的低合金结构钢。Q345 是我国产量最大、使用最多的低合金结构钢，它的综合力学性能、焊接性、可加工性能良好。国产载货汽车的大梁几乎都采用 Q345 钢。

(2) 合金结构钢 合金结构钢的牌号采用两位数字（含碳量）+ 元素符号 + 数字来表示。前面两位数字表示钢中平均碳的质量分数的万分之几，元素符号表明钢中含有的主要合金元素，其后的数字则表明该元素的含量。凡合金元素的质量分数小于 1.5% 时不标数，如平均质量分数为 1.5% ~ 2.5%、2.5% ~ 3.5%……时，则相应地标 2、3……例如，60Si2Mn 为合金结构钢，平均碳的质量分数为 0.6%，锰的质量分数小于 1.5%，硅的质量分数为 1.5% ~ 2.5%。

1) 合金渗碳钢。适用于渗碳 + 淬火 + 低温回火的热处理方式的合金结构钢为合金渗碳

钢。碳的质量分数在 0.1% ~ 0.25%，主要合金元素有 Cr、Ni、B，另外还有少量辅助合金元素 V、W、Mo、Ti 等。经热处理后，表面具有高强度、高耐磨性和高的耐疲劳性能，而心部具有适当的强度和良好的韧性。

合金渗碳钢适用于工作在有强烈冲击、接触疲劳、严重摩擦磨损的条件下，表面要求具有坚硬的耐磨性，而心部具有柔韧的抗冲击性的零件。20CrMnTi 是应用最广泛的合金渗碳钢，用于制造汽车的变速齿轮、轴、发动机凸轮和活塞销等零件。

2) 合金调质钢。合金调质钢是在中碳钢的基础上加入一些合金元素，经调质处理后使用的钢。碳的质量分数为 0.3% ~ 0.6% 的中碳钢主要合金元素有 Cr、Ni、Mn 和 Si 等。合金调质钢具有高韧性、高塑性及相当高的强度，用于制造在重载荷下、受力复杂、要求综合力学性能良好的零件。

40Cr、40MnB 是常用的合金调质钢，与碳素调质钢 40、45 钢相比具有较高的淬透性和综合力学性能，常用于制造较重要的调质件和表面淬火件，如汽车连杆、连杆螺栓、摇臂轴、进气阀、凸轮及汽车半轴等；又如，40CrNi、37CrNi3 钢具有很高的淬透性和高的强度、韧性、塑性，适用于大截面、承受大载荷的重要结构件，常用于制造曲轴、汽轮机转子轴等。

3) 合金弹簧钢。适合于做弹簧的合金结构钢称为合金弹簧钢。弹簧是汽车中应用比较多的零件，在受振动、受冲击载荷及交变载荷状态下工作，因此，要求弹簧钢应具有高的弹性极限和疲劳强度，以及足够的韧性。为获得所需要的性能，合金弹簧钢中碳的质量分数在 0.45% ~ 0.7% 之间。合金弹簧钢中加入的合金元素有 Si、Mn、Cr 和 V 等，此类钢的热处理一般为淬火 + 中温回火。合金弹簧钢具有持久的高弹性极限、高的疲劳强度、足够的塑性和冲击韧性及高的屈强比 ($\sigma_s/R_m \geq 0.8$)。

常用的合金弹簧钢中，65Mn、60Si2Mn 用于制造截面大于 25mm 的各种螺旋弹簧和钢板弹簧；55CrMnA、60CrMnA 用于制造截面小于 50mm 的各种螺旋弹簧和钢板弹簧。

(3) 合金工具钢 合金工具钢是在碳素工具钢的基础上加入合金元素 (Si、Mn、Cr、V 和 Mo 等) 制成的。合金元素的加入改善了热处理性能，因而提高了材料的热硬性和耐磨性。合金工具钢常用来制造各种量具、模具和切削刀具，也可对应地分为量具钢、模具钢和刀具钢，其化学成分、性能和组织结构也不同。

合金工具钢的牌号和合金结构钢的区别仅在于含碳量的表示方法不同，它用一位数字表示平均碳的质量分数的千分数，当碳的质量分数不小于 1% 时，则不予以标出。例如，5CrMnMo 为合金工具钢，平均碳的质量分数为 0.5% (5‰)，铬、锰、钼的质量分数均小于 1.5%；Cr12MoV 为合金工具钢，平均碳的质量分数大于 1.0%，铬的质量分数为 11.5% ~ 12.5%，钼、钒的质量分数均小于 1.5%。

工具钢又分低合金工具钢和高速工具钢。低合金工具钢主要是含铬的钢，而高速工具钢是一种含钨、铬、钼、钒等合金元素较多的钢。高速工具钢有很高的热硬性，当切削温度高达 600℃ 左右时，其硬度仍无明显下降。此外，它还具有足够的强度、韧性和耐磨性，所以是重要的切削刀具材料。常用的高速工具钢有 W18Cr4V 和 W6Mo5Cr4V2

(4) 滚动轴承钢 滚动轴承钢是用来制造各种滚动轴承的专用钢，是一种碳的质量分数为 0.95% ~ 1.10%，铬的质量分数为 0.40% ~ 1.65% 的高碳低铬钢。尺寸较大的轴承还可以采用加锰、硅的高淬透性轴承钢。滚动轴承钢一般具有足够高的抗压强度、很高的疲劳

强度、高的硬度和耐磨性、一定的韧性、耐蚀性和尺寸稳定性。

3. 铸造碳钢

铸造碳钢可以通过铸造工艺制作形状复杂、难以进行锻造或切削加工成形，且要求具有较高强度和韧性的零件，如机油管法兰、操纵杆接头等。铸钢中碳的质量分数为 0.15% ~ 0.6%，碳的质量分数过高则塑性差，易产生裂纹等缺陷。

铸造碳钢牌号首位冠以 ZG（表示“铸钢”），在 ZG 后面有两组数字，第一组数字表示该牌号钢屈服强度最低值，第二组数字表示其抗拉强度的最低值。如 ZG340—640，表示屈服强度不低于 340MPa，抗拉强度不低于 640MPa 的工程用铸钢。

4. 铸铁

(1) 铸铁的分类 铸铁是碳的质量分数大于 2.11%，并且含有硅、锰、硫和磷等杂质元素的铁碳合金。在铸铁中，碳可以以渗碳体的形式存在，也可以以石墨（用符号 G 表示）的形式存在。

根据碳的存在形式和铸铁中石墨的形态不同，铸铁可以分为下列几种：

1) 白口铸铁。碳主要以渗碳体形式存在。其断口呈银白色，所以称为白口铸铁。这类铸铁的性能既硬又脆，很难进行切削加工，所以很少直接用来制造机械零件，而主要用做炼钢原料，或通过热处理形成可锻铸铁。

2) 麻口铸铁。碳大部分以渗碳体形式存在，少部分以石墨形式存在。其断口呈灰白色相间，故称为麻口铸铁，应用价值不大。

3) 灰铸铁。碳主要以片状石墨形式存在。其断口呈灰色，故称灰铸铁。它是应有最广泛的一类铸铁。

4) 可锻铸铁。碳主要以团絮状石墨形式存在，从而使可锻铸铁具有较高的韧性和塑性。

5) 球墨铸铁。碳主要以球状石墨形式存在，因而球墨铸铁具有更高的力学性能，并且可采用热处理强化，使其力学性能进一步提高。

(2) 常用铸铁的牌号、性能及用途

1) 灰铸铁。灰铸铁的组织由金属基体和片状石墨组成，可以认为，铸铁是在钢的基体上分布着一些片状石墨。由于石墨的强度和塑性几乎为零，因此，可以把片状石墨视为“微裂纹”。因裂纹割裂了金属基体的连续性，且易引起应力集中，所以灰铸铁的强度、塑性和韧性远不如钢。但石墨的存在，也使灰铸铁具有优良的铸造性、优良的耐磨性、消振性，良好的切削加工性和较低的缺口敏感性，因而灰铸铁是生产中使用最多的铸铁。

灰铸铁常用于受力不大、冲击载荷小、需要减振或耐磨的各种零件，如机床床身、机座、箱体和阀体等。

灰铸铁的牌号由“灰铁”两个字的汉语拼音字母字头 HT 及后面一组数字组成，数字表示其最低的抗拉强度。如 HT250 表示最小抗拉强度为 250MPa 的灰铸铁。

HT200 适用于承受大载荷的重要零件，如汽车的气缸体、气缸盖和制动盘等，HT350 适用于承受高载荷、耐磨和高气密性的重要零件，如大型发动机的气缸体、气缸盖、液压缸和阀体等。

2) 可锻铸铁。可锻铸铁又称为马铁，其塑性和韧性远高于灰铸铁，其实并非可以锻造。可锻铸铁是由白口铸铁经石墨化退火得到的一种具有团絮状石墨的铸铁，由金属基体和