



Qiche Jixie Jichu



工学结合·基于工作过程导向的项目化创新系列教材  
国家示范性高等职业教育汽车类“十二五”规划教材

# 汽车机械 基础

主编 ▲ 林承全 贾建波 许小明

主审 ▲ 熊其兴



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

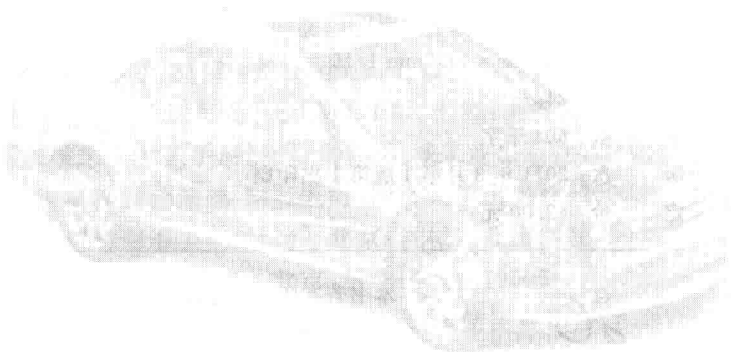


工学结合·基于工作过程导向的项目化创新系列教材  
国家示范性高等职业教育汽车类“十二五”规划教材

# 汽车机械 基础

Qiche Jixie Jichu

▲ 主 编	林承全	贾建波	许小明	
▲ 副主编	李 藏	熊玉桥	张旭宁	
▲ 参 编	孙钟婷	徐红梅	李淑敏	孙利珍
▲ 主 审	熊其兴			



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

## 内 容 简 介

本书属于高职高专汽车类各专业的基础课教材,采用项目教学、任务驱动、基于工作过程和学教做一体化模式与汽车制造、汽车运用、汽车维修各专业课内容紧密结合,为学生学习专业课提供必要的汽车机械基础方面的知识,主要内容包括汽车常用工程材料与热处理、汽车零件焊接与胶接、汽车常用机构与机械传动、汽车轴系零部件、汽车零件配合与技术测量、汽车液压与气压传动、汽车零件切削加工与装配等内容。

本书适合高职高专汽车制造与装配技术、汽车运用与维修、汽车检测与维修、汽车电子技术等相关专业使用,也可以作为成人高等教育、民办高校、高级技校、技师学院、汽车技术社会培训大专班等相关课程的教材和工程技术人员参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车机械基础/林承全 贾建波 许小明 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2011.3

ISBN 978-7-5609-6843-8

I. 汽… II. ①林… ②贾… ③许… III. 汽车-机械学-高等学校:技术学校-教材 IV. U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 250821 号

### 汽车机械基础

林承全 贾建波 许小明 主编

策划编辑:张毅

责任编辑:张毅

封面设计:范翠璇

责任校对:李琴

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:武汉正风文化发展有限公司

印刷:华中科技大学印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:24.75

字数:604千字

版次:2011年3月第1版第1次印刷

定价:42.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究



工学结合·基于工作过程导向的项目化创新系列教材  
国家示范性高等职业教育汽车类“十二五”规划教材



## 编审委员会



### 主任

**李春明** 长春汽车工业高等专科学校副校长  
高职高专汽车类专业教学指导委员会委员

### 副主任 (按姓氏笔画)

**孙志春** 济宁职业技术学院副院长  
高职高专汽车类专业教学指导委员会·汽车技术服务与营销专业分委员会委员

**阳小良** 湖南交通职业技术学院汽车工程系主任  
高职高专汽车类专业教学指导委员会·汽车检测与维修技术专业分委员会委员

**邵先平** 济南交通技师学院院长

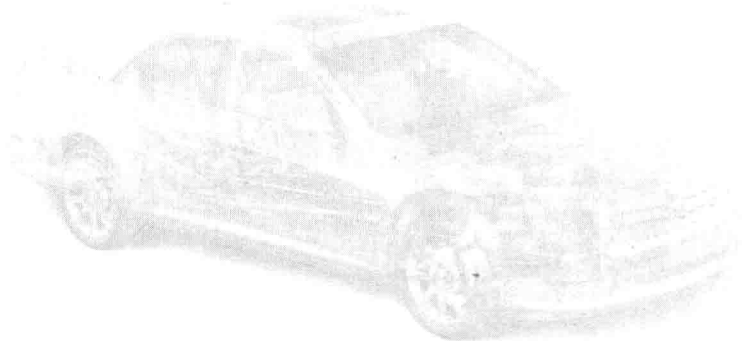
**张红英** 黄冈职业技术学院交通工程系主任  
高职高专汽车类专业教学指导委员会·汽车技术服务与营销专业分委员会委员

**张红伟** 广州科技贸易职业学院机电工程系主任

**曾 鑫** 黄冈职业技术学院交通工程系副主任  
高职高专汽车类专业教学指导委员会·汽车检测与维修技术专业分委员会委员

### 委员 (按姓氏笔画)

上官兵	马卫强	王凤军	王海峰	王贵槐	王永伦	王德良	邓子祥
叶 波	孙泽涛	许小明	刘凤波	刘小斌	李洪涛	李振斌	李保安
江振荣	向达兵	何高山	张四军	张克明	张 英	张利军	林承全
贺 剑	胡福祥	贾宝会	贾建波	高洪一	涂志军	彭德豹	蒋卫东





本教材是国家示范性高等职业教育汽车类“十二五”规划教材,是根据教育部对高职高专汽车类专业各领域技能型紧缺人才培养目标的要求编写的,主要适用于高职高专汽车类各专业的教学。

教材在编写过程中力求突出高职高专教育的特色,满足企业对学生的技能需要,以服务教学、面向岗位、面向就业为导向,主要体现在如下几个方面。

(1) 完全采用项目教学、任务驱动、基于工作过程和学教做一体化模式与汽车制造、汽车运用、汽车维修各专业课程内容密切结合,而不是简单地把几本教材合并、把章改为项目、把节改为任务。本书为汽车专业基础课程采用任务驱动式教学开辟了一条新的途径。

(2) 本书对传统学科型教材进行了整合,在教学内容选取上保证了汽车类专业所需的最基本、最主要的机械基础的经典内容,尽量避免内容之间不必要的交叉和重叠,淡化学科体系,减少教学时数,提高课堂教学效率。

(3) 基本知识点的选取以实用、适用、先进的编写原则和通俗、精练、可操作的编写风格,没有过多的理论推导,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,力求提高学生的实际操作能力,使学生更好地适应社会需求。为体现高职高专汽车教育的特点,本书选择了许多汽车工程中的实例,以培养学生分析问题和解决实际问题的能力。

(4) 本书在叙述上力求通俗易懂,深入浅出,对各种基本概念与基本原理的阐述力求简明扼要。每个项目均采用“任务导入”、“任务分析”、“相关知识”、“任务实施”、“相关拓展”和“复习延伸”等模式展开,有很强的实用性。

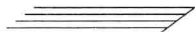
(5) 为便于教师教学和学生自学,每个项目前备有“学习目标”,让学生(学员)知道该项目应该达到的知识目标 and 能力目标。教材所选案例均贴合工作实际,以满足广大企业对汽车类专业应用型人才实际操作能力的需求,增强学生在就业过程中的竞争力。

(6) 贯穿“以学生为主体,以教师为主导”、使学生“学会怎样学习,学会怎样思维,学会怎样创造”的思想;不仅学习知识,更要训练技能和学会思维方法。全书基本术语、材料牌号、设备型号等符合最新的国际标准和国家标准。

本书吸取了编者多年的教学改革和使用教材的经验,编写时力求教师和学生使用方便,既减轻学生负担,又能保证有利于培养学生机械实践动手能力。

本书由林承全、贾建波、许小明担任主编,李宏、熊左桥、张旭宁担任副主编,孙锂婷、徐红梅、李淑敏、孙利珍参与编写,由林承全负责全书的统稿和定稿。武汉职业技术学院熊其兴教授作为主审对本书提出了很多宝贵的修改意见,在此深表谢意。

林承全(荆州职业技术学院)编写项目1、项目2、项目6和附录A、B、C,许小明(三峡职业技术学院)编写项目3,熊左桥(长江工程职业技术学院)编写项目4,张旭宁(江门职业技术学



院)编写项目 5,贾建波(荆州职业技术学院)编写项目 7,李宏(辽宁职业学院)编写项目 8 和附录 D,孙锂婷(长江工程职业技术学院)编写项目 9 任务 1,徐红梅(华中农业大学工学院)编写项目 9 任务 2,李淑敏(保定科技职业学院)编写项目 9 任务 3,孙利珍(晋中职业技术学院)编写项目 9 任务 4。

本书在编写过程中得到了华中科技大学出版社和编审者所在单位领导的大力帮助与支持,也参考了许多国内外先进汽车机械基础技术课程改革和教学改革的先进经验,在书后参考文献中列举出来,在此表示衷心感谢!

限于编审者水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

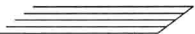
编者联系 E-mail:linchengquan@126.com。

编 者

2010 年 10 月



<b>项目 1 汽车常用工程材料</b>	/1
任务 1 汽车合金钢与非合金钢材料	/2
任务 2 汽车铸铁和非铁合金材料	/17
<b>项目 2 汽车材料热处理</b>	/31
任务 1 汽车材料的热处理	/32
任务 2 汽车材料的强度和塑性	/40
<b>项目 3 汽车零件焊接与胶接</b>	/49
任务 1 汽车零件焊接方法与特点	/50
任务 2 汽车零件焊接结构设计	/63
<b>项目 4 汽车常用机构</b>	/79
任务 1 汽车常用机构的组成	/80
任务 2 汽车平面连杆机构类型判别	/93
任务 3 汽车凸轮机构	/103
<b>项目 5 汽车常用机械传动</b>	/111
任务 1 汽车带传动与链传动	/112
任务 2 汽车齿轮传动与轮系	/126
任务 3 汽车螺纹传动与连接	/152
<b>项目 6 汽车轴系零部件</b>	/163
任务 1 正确使用轴承	/164
任务 2 汽车轴系零件设计	/185
任务 3 汽车联轴器、离合器和弹簧	/197
<b>项目 7 汽车零件配合与技术测量</b>	/209
任务 1 汽车零件配合与互换性	/210
任务 2 汽车零件公差与测量技术	/230
<b>项目 8 汽车液压与气压传动</b>	/243
任务 1 汽车液压千斤顶的使用	/244
任务 2 汽车常用液压泵	/248
任务 3 汽车常用液压缸	/254
任务 4 汽车液压控制阀	/258
任务 5 汽车液压辅助元件	/272
任务 6 汽车液压基本回路	/276



任务 7 汽车液压伺服系统 /283

任务 8 汽车常用气压传动系统 /286

项目 9 汽车零件切削加工与装配 /291

任务 1 汽车零件加工刀具 /292

任务 2 汽车零件加工机床和夹具 /303

任务 3 汽车零件常用切削加工 /320

任务 4 汽车零部件装配技术 /342

附录 A 部分型钢表 /367

附录 B 压痕直径与布氏硬度值对照表 /370

附录 C 洛氏硬度 HRC 与其他硬度及强度换算表 /379

附录 D 常用液压与气压传动元件图形符号 /380

参考文献 /387



# 项目

# 汽车常用工程材料

## 学习目标

### 1. 知识目标

- (1) 分析铸铁、铝、铜及其合金和非金属材料的组成。
- (2) 掌握非合金钢、常用合金钢和特殊性能钢的分类、编号和用途。

### 2. 能力目标

- (1) 能正确选择汽车制造常用工程材料。
- (2) 能正确使用铸铁和非铁合金等。



# 任务1 汽车合金钢与非合金钢材料

## 【任务导入】

受荷花汽车零部件制造有限公司委托,对一批汽车零件(包括汽车钢板、汽车齿轮和汽车传动轴等)选择合适的材料。

## 【任务分析】

目前,全世界汽车的保有量很大,超过9亿多辆,年产量超过8000万辆。制造汽车所用的材料年消耗量十分巨大,钢铁材料的年消耗量占世界钢铁总产量的25%,橡胶的年消耗量占世界橡胶总产量的58%。

就汽车制造材料的消耗而言,金属材料约占整车质量的80%,其中钢铁材料约占70%,非铁金属材料约占10%;非金属材料约占整车质量的20%,其中塑料约占7%,橡胶约占3%~7%。如何正确使用汽车材料是产品质量的关键因素之一。

## 【相关知识】

### 一、非合金钢的分类、编号和用途

#### 1. 非合金钢的分类

非合金钢分类方法很多,比较常用的有三种,即按钢的含碳量、质量和用途分类。

- |            |  |
|------------|--|
| (1) 按含碳量分类 | $\left\{ \begin{array}{l} \text{低碳钢: } w_C \leq 0.25\% \\ \text{中碳钢: } 0.25\% < w_C \leq 0.60\% \\ \text{高碳钢: } w_C > 0.60\% \end{array} \right.$  |
| (2) 按质量分类  | $\left\{ \begin{array}{l} \text{普通碳素钢: } w_S \leq 0.050\%; w_P \leq 0.045\% \\ \text{优质碳素钢: } w_S \leq 0.035\%; w_P \leq 0.035\% \\ \text{高级优质碳素钢: } w_S \leq 0.030\%; w_P \leq 0.030\% \end{array} \right.$ |
| (3) 按用途分类  | $\left\{ \begin{array}{l} \text{碳素结构钢: 主要用于建筑、桥梁等工程和各种机械零件} \\ \text{碳素工具钢: 主要用于各类刀具、量具和模具等} \end{array} \right.$  |

各类钢的编号方法见表1.1。



表 1.1 各类钢的编号方法

分 类	典型牌号	编号说明
碳素结构钢	Q235-A、F 质量为 A 级的沸腾钢,屈服点为 235 MPa	“Q”为“屈”字的汉语拼音字首,后面的数字为屈服点;A、B、C、D 表示质量等级;F、b、Z、TZ 依次表示沸腾钢、半镇静钢、镇静钢、特殊镇静钢
优质碳素结构钢	45 平均 $w_C=0.45\%$ 65Mn 平均 $w_C=0.65\%$ ,较高含锰量	两位数字表示钢的平均 $w_C$ ,以万分之几表示,化学元素符号 Mn 表示钢的含锰量较高
一般工程用铸造碳钢	ZG 200-400 碳素铸钢 抗拉强度为 400 MPa,屈服点为 200 MPa	“ZG”代表铸钢,其后面第一组数字为屈服点(MPa);第二组数字为抗拉强度(MPa)
合金结构钢	60Si2Mn 平均 $w_{Mn}\leq 1.5\%$ , 平均 $w_{Si}=2\%$ ,平均 $w_C=0.6\%$ GCr15SiMn 平均 $w_{Cr}=1.5\%$	数字+化学元素符号+数字,前面的数字表示钢的平均 $w_C$ ,以万分之几表示;后面的数字表示合金元素的含量,以平均该合金元素的质量分数的百分之几表示,质量分数小于 1.5% 时,一般不标明含量
碳素工具钢	T8A 平均 $w_C=0.8\%$ ,高级优质钢	“T”为“碳”字的汉语拼音字首,后面的数字表示钢的平均含碳的质量分数,以千分之几表示;“A”表示高级优质钢
合金工具钢	5CrMnMo 平均 $w_C=0.5\%$ , 平均 $w_{Cr}, w_{Mn}, w_{Mo}<1.5\%$	平均 $w_C<1.0\%$ 时以千分之几表示, $\geq 1.0\%$ 时不标出;高速钢例外,其平均 $w_C<1.0\%$ 时也不标出;合金元素含量的表示方法与合金结构钢的相同
特殊性能钢	2Cr13 平均 $w_C=0.2\%$ , 平均 $w_{Cr}=13\%$	平均 $w_C$ 以千分之几表示,但当平均 $w_C\leq 0.03\%$ 及 $w_C\leq 0.08\%$ 时,编号前分别冠以 00 及 0 表示;合金元素含量的表示方法与合金结构钢的相同

## 2. 碳钢的牌号和用途

### 1) 碳素结构钢

用 Q 加数字表示,“Q”(“屈”字的汉语拼音字首)为屈服点,数字表示屈服点数值。如 Q275,表示屈服点为 275 MPa。若牌号后面标注字母 A、B、C、D,则表示钢材质量等级不同,即 S、P 含量不同,A、B、C、D 质量依次提高,“F”表示沸腾钢,“b”表示半镇静钢,不标“F”和“b”的表示镇静钢。如:Q235-A·F 表示屈服点为 235 MPa 的 A 级沸腾钢,Q235-C 表示屈服点为 235 MPa 的 C 级镇静钢。

碳素结构钢一般情况下都不经过热处理,而是在供应状态下直接使用。通常 Q195、Q215、Q235 含碳量低,有一定强度,常轧制成薄板、钢筋、焊接钢管等,用于桥梁、建筑等钢结构,也可制造普通的铆钉、螺钉、螺母、垫圈、地脚螺栓、轴套、销轴等,Q255 和 Q275 钢强度、韧度较高,塑性较好,可进行焊接。通常轧制成型钢、条钢和钢板作结构件,以及制造连杆、键、销,简单机械上的齿轮、联轴器等。



2) 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢牌号由两位数字或数字与特征符号组成。以两位数字表示平均碳的质量分数(以万分之几表示)。沸腾钢和半镇静钢在牌号尾部分别加符号“F”和“b”,镇静钢一般不标符号。较高含锰量的优质碳素结构钢,在表示平均碳的质量分数的数字后面加锰元素符号。例如, $w_C=0.50\%$ , $w_{Mn}=0.70\% \sim 1.00\%$ 的钢,其牌号表示为“50Mn”。高级优质碳素结构钢,在牌号后加符号“A”,特级优质碳素结构钢在牌号后加符号“E”。

优质碳素结构钢主要用于制造机械零件,一般都要经过热处理以提高力学性能。根据碳的质量分数不同,优质碳素结构钢有不同的用途,08、08F、10、10F钢,塑性好、韧度高,具有优良的冷成形性能和焊接性能,常冷轧成薄板,用于制作仪表外壳、汽车和拖拉机上的冷冲压件,如汽车车身,拖拉机驾驶室等;15、20、25钢用于制作尺寸较小、负荷较轻、表面要求耐磨、心部强度要求不高的渗碳零件,如活塞钢、样板等;30、35、40、45、50钢经热处理(淬火+高温回火)后具有良好的力学性能,即具有较高的强度、韧度和较好的塑性,用于制作轴类零件;55、60、65钢热处理(淬火+高温回火)后具有较高的弹性极限,常用作弹簧。优质碳素结构钢的力学性能和用途见表1.2。

表 1.2 优质碳素结构钢的力学性能和用途

牌号	力学性能					用途
	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /(%)	$\Psi$ /(%)	$A_K$ /J	
08	$\geq 195$	$\geq 325$	$\geq 33$	$\geq 60$	—	这类低碳钢由于强度低、塑性好,一般用于制造受力不大的冲压件,如螺栓、螺母、垫圈等。经过渗碳处理或氧化处理可用作表面要求耐磨、耐腐蚀的机械零件,如凸轮、滑块等
10	$\geq 205$	$\geq 335$	$\geq 31$	$\geq 55$	—	
15	$\geq 225$	$\geq 375$	$\geq 27$	$\geq 55$	—	
20	$\geq 245$	$\geq 410$	$\geq 25$	$\geq 55$	—	
25	$\geq 275$	$\geq 450$	$\geq 23$	$\geq 50$	$\geq 71$	
30	$\geq 295$	$\geq 490$	$\geq 21$	$\geq 50$	$\geq 63$	这类中碳钢的综合力学性能和切削加工性均较好,可用于制造受力较大的零件,如主轴、曲轴、齿轮等
35	$\geq 315$	$\geq 530$	$\geq 20$	$\geq 45$	$\geq 55$	
40	$\geq 335$	$\geq 570$	$\geq 19$	$\geq 45$	$\geq 47$	
45	$\geq 355$	$\geq 600$	$\geq 16$	$\geq 40$	$\geq 39$	
50	$\geq 375$	$\geq 630$	$\geq 14$	$\geq 40$	$\geq 31$	
55	$\geq 380$	$\geq 645$	$\geq 13$	$\geq 35$	—	这类钢有较高的强度、弹性和耐磨性,主要用于制造凸轮、车轮、螺旋弹簧和钢丝绳等
60	$\geq 400$	$\geq 675$	$\geq 12$	$\geq 35$	—	
65	$\geq 410$	$\geq 695$	$\geq 10$	$\geq 30$	—	



### 3) 碳素工具钢

这类钢的牌号是由代表碳的符号“T”与数字组成,其中数字表示钢中平均含碳的质量分数(以千分之几表示)。对于含锰较高或高级优质碳素工具钢,牌号尾部表示同优质碳素结构钢。如 T12 钢,表示  $w_c=1.2\%$  的碳素工具钢。

碳素工具钢生产成本较低,加工性能良好,可用于制造低速、手动刀具及常温下使用的工具、模具、量具等。在使用前要进行热处理(淬火+低温回火)。常用的牌号:T7、T8 用于制造要求较高韧度、承受冲击负荷的工具,如小型冲头、凿子、锤子等;T9、T10、T11 用于制造要求中等韧度的工具,如钻头、丝锥、车刀、冲模、拉丝模、锯条等;T12、T13 钢具有高硬度、高耐磨性,但韧度较低,用于制造不受冲击的工具,如量规、塞规、样板、锉刀、刮刀、精车刀等。碳素工具钢的牌号、成分及用途见表 1.3。

表 1.3 碳素工具钢的牌号、成分及用途

钢号	化学成分/(%)					硬 度		应用举例	
	C	Mn	Si	S	P	供应状态 HBS (不大于)	淬火后 HRC (不小于)		
			不大于						
T7	0.65~ 0.74	≤0.40	≤0.35	≤0.030	≤0.035	187	62	承受冲击、要求韧度较高的工具,如凿子、风动工具、木工用锯和凿子等	
T8	0.75~ 0.84							用于冲击不大、要求硬度较高的工具,如小冲模、木工用铣刀、斧、凿、圆锯片及虎钳钳口等	
T8Mn	0.80~ 0.90	0.40~ 0.60						用于硬度较高,有一定韧度要求、不受剧烈冲击的工具,如冲模、饲料机切刀等	
T9	0.85~ 0.94	≤0.40				192		用于不受剧烈冲击、耐磨性要求较高的工具,如冲模、小钻头、手用丝锥、板牙、锯条和量具等	
T10	0.95~ 1.04					197		用于不受冲击载荷、切削速度不高的工具或耐磨机件,如锉刀、刮刀等	
T11	1.05~ 1.14					207		用于不受冲击、高硬度要求的工具,如剃刀、刮刀、刻字刀等	
T12	1.15~ 1.24								
T13	1.25~ 1.35								



#### 4) 铸造碳钢

许多形状复杂的零件,很难通过锻压等方法加工成形,用铸铁时性能又难以满足需要,此时常用铸钢铸造获取铸钢件。所以,铸造碳钢在机械制造尤其是重型机械制造业中应用非常广泛。

铸钢的牌号有两种表示方法:以强度表示的铸钢牌号,是由铸钢代号“ZG”与表示力学性能的两组数字组成,第一组数字代表最低屈服点,第二组数字代表最低抗拉强度值。例如 ZG 200-400,表示  $\sigma_s(\sigma_{r0.2}) \geq 200 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_b \geq 400 \text{ MPa}$ ;另一种用化学成分表示的牌号在此不作介绍。

铸造碳素钢,一般  $w_C = 0.15\% \sim 0.60\%$ ,过高则塑性差,易产生裂纹。铸钢的铸造性能比铸铁差,主要表现在铸钢流动性差,凝固时收缩比大且易产生偏析等。碳素铸钢的化学成分、力学性能和用途见表 1.4。

表 1.4 碳素铸钢的化学成分、力学性能和用途

铸钢牌号	化学元素最高含量/(%)				室温下试样力学性能最小值 $\geq$					用途
	$w_C$	$w_{Si}$	$w_{Mn}$	$w_{S}、w_P$	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /(%)	$\Psi$ /(%)	$A_K$ /J	
ZG 200-400	0.20	0.50	0.08	0.04	200	400	25	40	30	有良好的塑性、较高韧度和焊接性能,用于受力不大、要求韧度高的各种机械零件,如机座、变速箱壳等
ZG 230-450	0.30		0.09		230	450	22	32	25	有一定强度、韧度和较好的塑性、焊接性能。用于受力不大,要求韧度高的各种机械零件,如外壳、轴承盖、底板等
ZG 270-500	0.40	0.60	270		500	18	25	22	有较高的强度和较好的塑性,铸造性能良好。焊接性能尚好,切削性好,用作轴承座、箱体、曲轴和缸体等	
ZG 310-570	0.50	0.60	310		570	15	21	15	强度和切削性良好,塑性较差、韧度较低,用于载荷较高的零件,如大齿轮、缸体和制动轮等	
ZG 340-640	0.60	0.60	340		640	10	18	10	有高的强度、硬度和耐磨性,切削性、流动性好,焊接性较差。用作起重运输机齿轮、联轴器等重要零件	

## 二、合金元素在钢中的作用

### 1. 非合金钢中的常存杂质元素及其影响

实际使用的非合金钢并不是单纯的铁碳合金,由于冶炼时所用原料及冶炼工艺方法等影响,钢中总不免有少量其他元素存在,如硅、锰、硫、磷、铜、铬、镍等,这些并非有意加入或保留



的元素一般作为杂质看待。它们的存在对钢的性能有较大的影响。

(1) 锰(Mn) 钢中的锰来自炼钢生铁及脱氧剂锰铁。一般认为,锰在钢中是一种有益的元素。在碳钢中  $w_{\text{Mn}} < 0.80\%$ , 在含锰合金钢中,  $w_{\text{Mn}}$  一般控制在  $1.0\% \sim 1.2\%$ 。锰大部分溶于铁素体中, 形成置换固溶体, 并使铁素体强化; 另一部分锰溶于渗碳体中, 形成合金渗碳体, 提高钢的硬度; 锰与硫化合成  $\text{MnS}$ , 能减轻硫的有害作用。当锰的含量不多, 在碳钢中仅作为少量杂质存在时, 它对钢的性能影响并不明显。

(2) 硅(Si) 也是来自炼钢生铁和脱氧剂硅铁。在碳钢中  $w_{\text{Si}} < 0.35\%$ , 硅与锰一样能溶于铁素体中, 使铁素体强化, 从而使钢的强度、硬度、弹性提高, 而塑性、韧度降低。因此, 硅也是碳钢中的有益元素。

(3) 硫(S) 硫是生铁中带来的而在炼钢时又未能除尽的有害元素。硫不溶于铁, 而以  $\text{FeS}$  形式存在,  $\text{FeS}$  会与  $\text{Fe}$  形成低熔点 ( $985\text{ }^\circ\text{C}$ ) 的共晶体 ( $\text{FeS-Fe}$ ), 并分布于奥氏体的晶界上, 当钢材在  $1\ 000 \sim 1\ 200\text{ }^\circ\text{C}$  压力下加工时, 晶界处的  $\text{FeS-Fe}$  共晶体已经熔化, 并使晶粒脱开, 钢材将沿晶界处开裂, 这种现象称为“热脆”。为了避免热脆, 钢中  $w_{\text{S}}$  必须严格控制, 普通钢  $w_{\text{S}} \leq 0.055\%$ , 优质钢  $w_{\text{S}} \leq 0.040\%$ , 高级优质钢  $w_{\text{S}} \leq 0.030\%$ 。

在钢中增加锰, 可消除硫的有害作用, 锰与硫能形成熔点为  $1\ 620\text{ }^\circ\text{C}$  的  $\text{MnS}$ , 而且  $\text{MnS}$  在高温时具有塑性, 这样就可避免热脆现象。

(4) 磷(P) 也是生铁中带来的而在炼钢时又未能除尽的有害元素。磷在钢中全部溶于铁素体中, 虽可使铁素体的强度、硬度有所提高, 但却使室温下的钢的塑性、韧度急剧降低, 在低温时表现尤其突出。这种在低温时由磷导致钢严重变脆的现象称为“冷脆”。磷的存在还会使钢的焊接性能变坏, 因此钢中  $w_{\text{P}}$  应严格控制, 普通钢  $w_{\text{P}} \leq 0.045\%$ , 优质钢  $w_{\text{P}} \leq 0.040\%$ , 高级优质钢  $w_{\text{P}} \leq 0.035\%$ 。

但是, 在适当的情况下, 硫、磷也有一些有益的作用。对于硫, 当钢中  $w_{\text{S}}$  较高 ( $0.08\% \sim 0.3\%$ ) 时, 适当提高钢中  $w_{\text{Mn}}$  ( $0.6\% \sim 1.55\%$ ), 使硫与锰结合成  $\text{MnS}$ , 切削时易于断屑, 能改善钢的切削性能, 故易切钢中含有较多的硫。对于磷, 如与铜配合能增加钢的抗空气腐蚀能力, 改善钢的切削加工性能。

另外, 钢在冶炼时还会吸收和溶解一部分气体, 如氮气、氢气、氧气等, 给钢的性能带来有害影响。尤其是氢气, 它可使钢产生氢脆, 也可使钢中产生微裂纹, 即白点。

为使金属具有某些特性, 在基体金属中有意加入或保留的金属或非金属元素称为合金元素, 钢中常用的有铬、锰、硅、镍、钼、钨、钒、钴、铝、铜等。硫、磷在特定条件下也可以认为是合金元素。

合金元素在钢中的作用, 主要表现为合金元素与铁、碳之间的相互作用, 以及对铁碳相图和热处理相变过程的影响。

## 2. 合金元素对钢基本相的影响

(1) 强化铁素体 大多数合金元素都能溶于铁素体, 引起铁素体的晶格畸变, 产生固溶强化, 使铁素体的强度、硬度增强, 塑性、韧度降低。

(2) 形成碳化物 在钢中能形成碳化物的元素称为碳化物形成元素, 有铁、锰、铬、钼、钨、钒等。这些元素与碳结合力较强, 生成碳化物(包括合金碳化物、合金渗碳体和特殊碳化物)。



合金元素与碳的结合力越强,形成的碳化物越稳定,硬度就越高。碳化物的稳定性越高,就越难溶于奥氏体,也越不易聚集长大。随着碳化物数量的增加,钢的硬度、强度提高,塑性、韧性下降。

### 3. 合金元素对 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图的影响

(1) 镍、锰等合金元素使单相奥氏体区扩大 如图 1.1 所示,若该元素量足够高,可使单相奥氏体扩大至常温,即可在常温下保持稳定的单相奥氏体组织(这种钢称为奥氏体钢)。

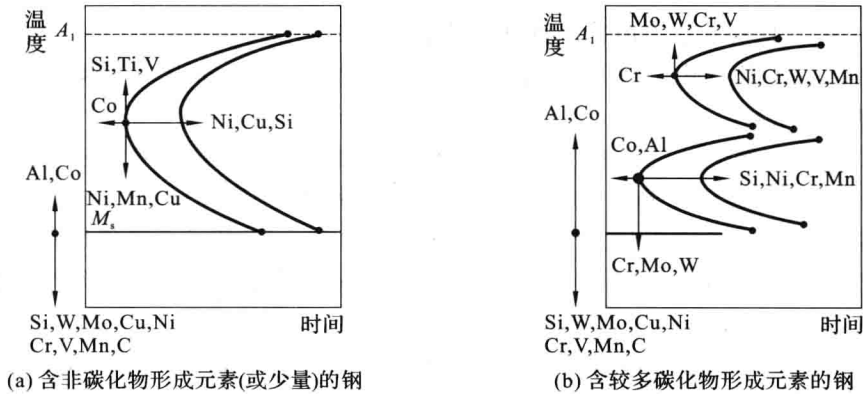


图 1.1 合金元素的影响示意图

(2) 铬、钼、钨、钛、硅、铝等合金元素使单相奥氏体区缩小 当其含量足够高时,可使钢在高温与常温下均保持铁素体组织,这类钢称为铁素体钢。

### 4. 合金元素对钢的热处理的影响

#### 1) 对钢加热时奥氏体形成的影响

(1) 对奥氏体形成速度的影响 合金钢的奥氏体形成过程基本上与碳钢的相同,但由于碳化物形成元素都阻碍碳原子的扩散,因而都减缓奥氏体的形成;同时,合金元素形成的碳化物比渗碳体难溶于奥氏体,溶解后也不易扩散均匀。因此,要获得均匀的奥氏体,合金钢的加热温度应比碳钢高,保温时间应比碳钢长。

(2) 对奥氏体晶粒大小的影响 由于高熔点的碳化物的细小颗粒分散在奥氏体组织中,能机械地阻碍奥氏体晶粒的长大,因此,热处理时合金钢(锰钢除外)不易产生过热组织。

#### 2) 对过冷奥氏体的转变的影响

除钴以外,大多数合金元素都能增加奥氏体的稳定性,使 C 曲线右移,且碳化物形成元素使珠光体和贝氏体的转变曲线分离为两个 C 形。

由于合金元素使 C 曲线右移,因而使淬火的临界冷却速度降低,提高了钢的淬透性,这样就可采用较小的冷却速度,甚至在空气中冷却就能得到马氏体,从而避免了由于冷却速度过大而引起的变形和开裂。

C 曲线向右移会使钢的退火变得困难,因此,合金钢往往采用等温退火使之软化。

此外,除钴、铝外,其他合金元素均使  $M_s$  点降低,残余奥氏体量增多。

#### 3) 对淬火钢回火的影响

合金元素固溶于马氏体中,减慢了碳的扩散,从而减慢了马氏体及残余奥氏体的分解过





程,阻碍碳化物析出和聚集长大,因而在回火过程中合金钢的软化速度比碳钢慢,即合金钢具有较高的回火抗力,在较高的回火温度下仍保持较高的硬度,这一特性称为耐回火性(或回火稳定性)。也就是说,在回火温度相同时,合金钢的硬度及强度比相同含碳量的碳钢要高,或者说两种钢淬火后回火至相同硬度时,合金钢的回火温度高(内应力的消除比较彻底,因此,其塑性比碳钢的好,韧度比碳钢的高)。

此外,若钢中铬、钨、钼、钒等元素超过一定量时,除了提高耐回火性外,在 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上还会形成弥散分布的特殊碳化物,使硬度重新升高,直到 $500\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 硬度达最高值,出现所谓的二次硬化现象为止。 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以后硬度下降是由于这些弥散分布的碳化物聚集长大的结果。

高的耐回火性和二次硬化使合金钢在较高温度( $500\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ )下仍保持高硬度,这种性能称为热硬性(或红硬性)。热硬性对高速切削刀具及热变形模具等非常重要。

合金元素对淬火钢回火后的机械性能的不利方面主要是第二类回火脆性。这种脆性主要在含铬、镍、锰、硅的调质钢中出现,而钼和钨可降低第二类回火脆性。

### 三、常用合金钢

#### 1. 低合金高强度结构钢

低合金钢是一类可焊接的低碳低合金工程结构钢,主要用于房屋、桥梁、船舶、车辆、铁道、高压容器等工程结构件。其中低合金高强度结构钢是结合我国资源条件(主要加入锰)而发展起来的优良低合金钢之一。钢中 $w_{\text{C}}\leq 0.2\%$ (低碳具有较好的塑性和焊接性), $w_{\text{Mn}}=0.8\%\sim 1.7\%$ ,辅以我国富产资源钒、铌等元素,通过强化铁素体、细化晶粒等作用,使其具备了高的强度和韧度、良好的力学性能、良好的耐蚀性等。

低合金高强度结构钢通常是在热轧经退火(或正火)状态下供应的,使用时一般不进行热处理。

低合金高强度结构钢分为镇静钢和特殊镇静钢,在牌号的组成中没有表示脱氢方法的符号,其余表示方法与碳素结构钢的相同。例如Q345A,表示屈服强度为 $345\text{ MPa}$ 的A级低合金高强度结构钢。

#### 2. 机械结构用合金钢

机械结构用合金钢主要用于制造各种机械零件,是用途广、产量大、钢号多的一类钢,大多数需经热处理后才能使用。按其用途及热处理特点可分为合金渗碳钢、合金调质钢、弹簧钢等。

机械结构用合金钢牌号由数字与元素符号组成。用两位数字表示碳的平均质量分数(以万分之几表示),放在牌号头部。合金元素含量表示方法为:平均质量分数小于 $1.5\%$ 时,牌号中仅标注元素,一般不标注含量;平均质量分数为 $1.5\%\sim 2.49\%$ 、 $2.5\sim 3.49\%$ ……时,在合金元素后相应写成 $2,3\cdots$ 。例如,碳、铬、镍的平均质量分数为 $0.2\%$ 、 $0.75\%$ 、 $2.95\%$ 的合金结构钢,其牌号表示为“ $20\text{CrNi}3$ ”。高级优质合金钢和特级优质合金钢的表示方法与优质碳素结构钢的相同。

##### 1) 合金渗碳钢

(1) 成分特点 用于制造渗碳零件的钢称为渗碳钢。渗碳钢中 $w_{\text{C}}=0.12\%\sim 0.25\%$ ,低的含碳量保证了淬火后零件心部有足够好的塑性和高韧度。主要合金元素是铬,还可加入镍、