

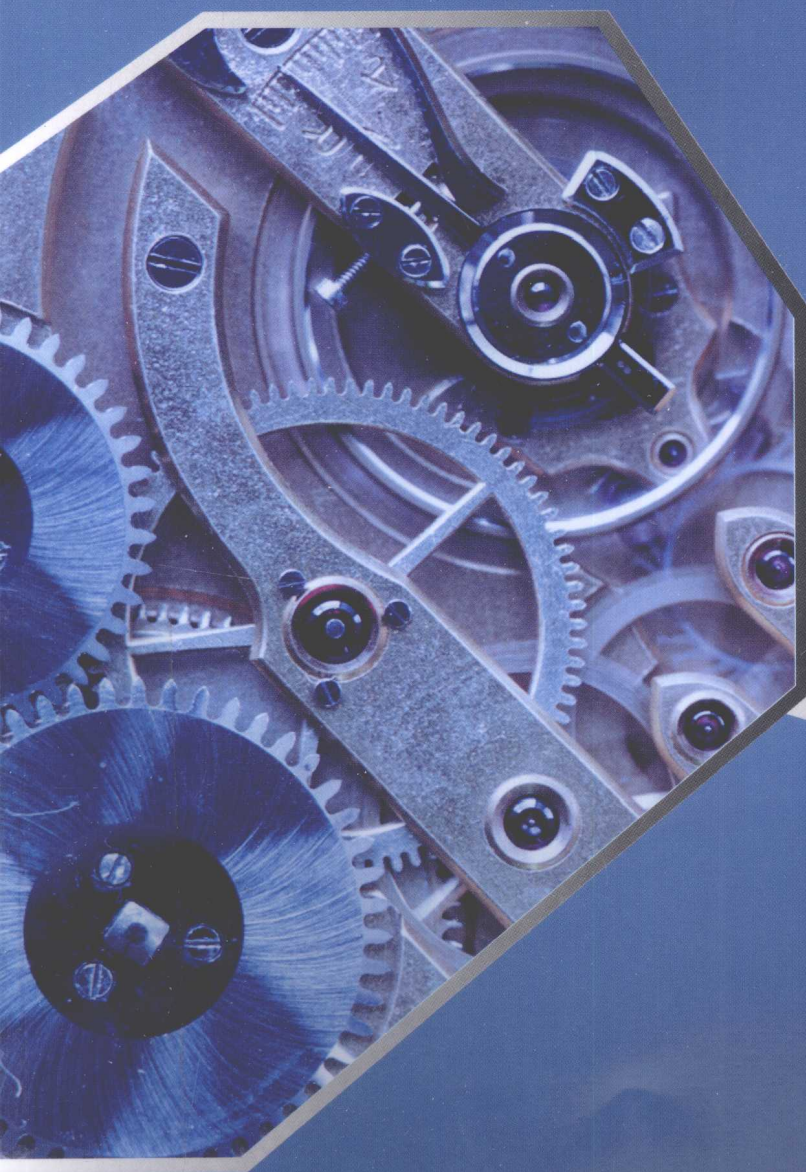


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机 · 械 · 制 · 造 · 系 · 列

机械制造基础

倪森寿 主 编
张 豪 徐小东 副主编



 高等教育出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械制造系列

机械制造基础

Jixie Zhizao Jichu

倪森寿 主 编

张 豪 徐小东 副主编



高等教育出版社·北京

HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书内容包括常用金属材料的性能和选用、钢的热处理的基本知识、极限配合的基本知识、常用量具的选用、金属切削加工基本知识、机械加工工艺规程的制定、典型零件加工工艺及常用工艺装备的选用等。

本书编写的宗旨是探索建立适合高等职业教育的新教材体系，因此以“机械加工工艺规程的制定和实施”作为主线，并融合相关课程内容。以实际应用引出基本概念，以达到理论和实践更好地结合。

本书可作为培养高职高专数控加工技能型紧缺人才的教材，也可作为高等学校机电类其他各专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础 / 倪森寿主编. —北京：高等教育出版社，2010.1

ISBN 978 - 7 - 04 - 028184 - 2

I. 机… II. 倪… III. 机械制造 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 220746 号

策划编辑 罗德春 责任编辑 李京平 封面设计 张雨微
版式校对 马敬茹 责任校对 刘 莉 责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	咨询电话	400 - 810 - 0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010 - 58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landracom.com
印 刷	北京宏伟双华印刷有限公司		http://www.landracom.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787 × 1092 1/16	版 次	2010年1月第1版
印 张	16.25	印 次	2010年1月第1次印刷
字 数	390 000	定 价	21.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 28184 - 00

前 言

《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)提出:“课程建设与改革是提高教学质量的核心,也是教学改革的重点和难点。高等职业院校要积极与行业企业合作开发课程,根据技术领域和职业岗位(群)的任职要求,参照相关的职业资格标准,改革课程体系和教学内容。建立突出职业能力培养的课程标准,规范课程教学的基本要求,提高课程教学质量。”

本书在2004年作为技能型教材使用时即提出“以职业岗位能力培养为目标,确立课程主线,以主线为纲,有机地融合其他课程内容,建立适合高职教学的新课程体系”的观点,并依据此观点确立以“机械加工工艺规程的制定和实施”为课程的主线,选择和重组课程内容,以应用实例引出基本概念和应用方法。此次再版保留了原教材中体现课程主线的原则,主要内容包括常用金属材料的性能和选用及钢的热处理的基本知识、极限配合的基本知识及常用量具的选用、机械加工工艺规程的制定及常用工艺装备的选用。并借此次再版的机会,为贯彻教育部“教高[2006]16号”文件精神,邀请行业企业的专家,他们对课程建设和教材编写提出了许多有益的建议。企业中有丰富实践经验的工程技术人员也参与了本书的编写工作,更好地体现了“应用”为主旨的原则。

这次正式出版增加了与本书内容配套的教学光盘,作为教师教学时的参考资料。

为更好地使用本教材,建议教师改革教学方法和手段,融“教、学、做”为一体,让学生在“做中学、学中做”,强化学生能力的培养。

本书第一章由无锡职业技术学院郑贞平编写,第二章、第五章由无锡职业技术学院张豪编写,第六章由无锡工艺职业技术学院徐小东编写,第八章由无锡职业技术学院李志伟编写,第七章由中国一汽无锡柴油机厂高级工程师邵胜泉编写,第三章、第四章由无锡职业技术学院倪森寿编写。教学光盘由徐小东、倪森寿编辑整理。全书由倪森寿任主编,张豪、徐小东任副主编。全书由哈尔滨理工大学司乃钧、杨树财担任主审。

本书可作为培养高职高专数控技术技能型人才的教材,也可作为高等学校机电类其他各专业的教材。

由于本书是教学改革中的一次探索,更限于编者的水平,书中的缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2009年11月

目 录

第一章 金属材料与钢的热处理	1	五、螺纹的检测	58
第一节 金属材料及其性能	1	习题	59
一、黑色金属材料	1		
二、有色金属	8		
第二节 钢的热处理	10	第三章 金属切削加工基本知识	61
一、退火	11	第一节 切削加工基本定义	61
二、正火	11	一、切削运动和切削用量	61
三、淬火	11	二、刀具角度参考系和刀具角度	63
四、回火	12	三、切削层公称横截面要素和切削方式	70
五、表面淬火	12	第二节 金属切削中的物理现象及	
六、化学热处理	13	影响因素	73
七、金属热处理工艺分类及代号	13	一、切削变形及其主要影响因素	73
习题	14	二、切削力及其主要影响因素	77
		三、切削温度及其主要影响因素	79
		四、刀具磨损、刀具耐用度及其主要影响	
		因素	80
第二章 极限配合与技术测量	16	第三节 金属切削基本规律的应用	82
第一节 概述	16	一、工件材料切削加工性的改善	82
一、极限配合在机械生产中的应用	16	二、刀具材料的合理选择	83
二、互换性概念	21	三、切削液的合理选择	91
第二节 极限与配合标准简介和选用	23	四、合理刀具几何参数的选择	92
一、极限与配合标准的主要内容	23	五、合理切削用量的选择	95
二、极限与配合的选择	28	习题	98
第三节 形位公差简介	33		
一、形状公差	33	第四章 机械加工工艺规程的制定	100
二、位置公差	36	第一节 机械加工工艺规程概述	100
三、包容原则	41	一、生产过程和工艺过程	100
第四节 表面粗糙度	42	二、机械加工工艺过程的组成	100
一、表面粗糙度的界定	43	三、机械加工生产类型及特点	103
二、表面粗糙度的评定	43	四、机械加工工艺规程及工艺文件	105
三、评定参数的选用	46	第二节 零件的工艺性分析及毛坯	
四、参数值的选用	46	的选择	110
第五节 常用量具的选择和使用	48	一、零件结构工艺性分析	110
一、外圆、孔、高度与深度的检测	48	二、技术要求分析	111
二、圆锥表面的检测	53	三、毛坯的选择	112
三、角度的检测	54	第三节 基准与工件定位	113
四、平键测量	57		

一、基准的概念及其分类	113	第六章 轴类零件加工工艺及常用工艺	
二、工件定位及定位要求	115	装备	172
三、工件定位的方法	115	第一节 概述	172
四、六点定位原则及定位基准的选择	120	一、轴类零件的功用与结构特点	172
第四节 常用定位元件	126	二、轴类零件的技术条件、材料和	
一、工件以平面定位时的定位元件	126	毛坯	172
二、工件以圆孔定位时的定位元件	128	第二节 外圆表面的加工方法和	
三、工件以外圆柱面定位时的定位		加工方案	174
元件	130	一、外圆表面的车削加工	174
第五节 定位误差分析	131	二、外圆表面的磨削加工	175
一、定位误差产生的原因	132	三、外圆表面的精密加工	176
二、定位误差的计算	132	四、外圆表面加工方案的选择	178
三、工件以一面两孔组合定位时的定位		第三节 外圆表面加工常用工艺	
误差计算	136	装备	179
第六节 工艺路线的拟订	138	一、常用车刀	179
一、表面加工方法的选择	138	二、砂轮	186
二、加工阶段的划分	141	三、车床夹具	190
三、工序集中和工序分散	142	四、螺旋夹紧机构	193
四、加工顺序安排	143	第四节 典型轴类零件加工工艺	
第七节 工序尺寸及其公差的确	144	分析	195
一、加工余量的概念	144	一、结构及技术条件分析	195
二、工艺尺寸链的概念及计算公式	146	二、加工工艺过程分析	195
三、工序尺寸及公差的确定	147	习题	198
第八节 机械加工生产率和技术经济			
分析	151	第七章 套筒类零件加工工艺及常用工艺	
一、机械加工生产率分析	151	装备	200
二、工艺过程的技术经济分析	152	第一节 概述	200
习题	154	一、套筒类零件的功用与结构特点	200
第五章 机械加工质量分析	160	二、套筒类零件的主要技术要求、材料	
第一节 机械加工误差	160	和毛坯	201
一、机械加工误差概念	160	第二节 内孔表面加工方法和加工	
二、机械加工误差产生的原因	160	方案	202
三、减少加工误差的措施	163	一、钻孔	202
第二节 机械加工表面质量	165	二、扩孔	203
一、加工表面的几何特征	165	三、铰孔	203
二、加工表面层的物理力学性能	166	四、镗孔、车孔	205
第三节 机械加工振动简介	167	五、拉孔	207
一、机械加工中的受迫振动	167	六、磨孔	208
二、机械加工中的自激振动	168	七、孔的精密加工	209
习题	170	八、孔加工方案的选择	212

第三节 孔加工常用工艺装备	212	三、磨削	231
一、孔加工用刀具	212	四、平面的光整加工	232
二、钻夹具	215	五、平面加工方案的选择	233
第四节 典型套筒类零件加工工艺		第三节 铣削加工常用工艺装备	233
分析	220	一、铣削刀具	233
一、套筒类零件的结构特点及工艺分析 ..	220	二、铣床夹具	236
二、套筒类零件加工中的主要工艺问题 ..	220	三、联动夹紧机构	238
习题	222	第四节 箱体孔系加工及常用	
第八章 箱体类零件加工工艺及常用工艺		工艺装备	239
装备	223	一、箱体零件孔系加工	239
第一节 概述	223	二、镗床夹具的设计要点	242
一、箱体类零件的功用及结构特点	223	第五节 典型箱体零件加工工艺	
二、箱体类零件的主要技术要求、材料		分析	244
和毛坯	225	一、箱体类零件加工工艺过程及其分析 ..	244
第二节 平面加工方法和平面加工		二、分离式齿轮箱体加工工艺过程	
方案	226	及分析	248
一、刨削	226	习题	249
二、铣削	226	参考文献	251

第一章

金属材料与钢的热处理

教 学 目 标

熟悉常用金属材料的牌号和性能；了解常用热处理的种类；具有正确选用常用金属材料的能力；具有通过热处理来改善材料切削加工性能的能力。

本 章 导 学

在编制机械加工工艺规程的过程中，要正确地选择毛坯、合理地选择刀具几何参数和切削用量，必须熟悉金属材料的性能。改善金属材料切削加工性的有效途径之一是进行热处理。本章主要内容包括常用金属材料的牌号、性能和选用，钢的常用热处理及作用。

第一节 金属材料及其性能

一、黑色金属材料

1. 铸铁

铸铁是碳的质量分数大于 2.11% 的铁碳合金。工业上常用铸铁碳的质量分数一般为 2.5%~4.0%。

根据碳在铸铁中存在的形态不同，铸铁可分为下列几种：

(1) 白口铸铁 白口铸铁中碳几乎全部以渗碳体(Fe_3C)的形式存在， Fe_3C 具有硬而脆的特性，使得白口铸铁变得非常脆硬，切削加工困难。工业上很少直接用它来制造机器零件，而主要作为炼钢的原料。它的断口呈亮白色，故称为白口铸铁。

(2) 灰铸铁 灰铸铁中的碳大部分或全部以片状石墨的形式存在，断口呈灰色，故称为灰铸铁。灰铸铁具有良好的铸造性、吸振性、切削加工性及一定的力学性能，并且价格低廉、生产设备简单，所以在机器零件材料中占有很大的比重，广泛地用来制作各种机架、底座、箱体、缸套等形状复杂的零件。灰铸铁的牌号是用两个汉语拼音字母和一组力学性能数值来表示的。灰铸铁共分 HT100、HT150、HT200、HT250、HT300 和 HT350 六个牌号，牌号中“HT”是“灰铁”两字汉语拼音的第一个字母，其后的数字表示其最低的抗拉强度。

表 1.1 所示为常用灰铸铁的牌号、力学性能及应用。

表 1.1 常用灰铸铁的牌号、力学性能及应用

类别	牌号	铸铁壁厚 /mm	抗拉强度 σ_b /MPa ≥	硬度 /HBS	用途举例
铁素体 灰铸铁	HT100	2.5 ~ 10	130	110 ~ 166	低载荷和不重要的零件，如盖、外罩、手轮、支 架、底板、手柄等
		10 ~ 20	100	93 ~ 140	
		20 ~ 30	90	87 ~ 131	
		30 ~ 50	80	82 ~ 122	
铁素体+ 珠光体 灰铸铁	HT150	2.5 ~ 10	175	137 ~ 205	承受中等应力的铸件，如普通机床的支柱、底 座、齿轮箱、刀架、床身、轴承座、工作台、带 轮、泵壳、阀体、法兰、管路及一般工作条件的 零件
		10 ~ 20	145	119 ~ 179	
		20 ~ 30	130	110 ~ 166	
		30 ~ 50	120	105 ~ 157	
珠光体 灰铸铁	HT200	2.5 ~ 10	220	157 ~ 236	承受较大应力和要求一定气密性或耐蚀性的较重 要铸件，如气缸、齿轮、机座、机床床身、立柱、 活塞、刹车轮、泵体、阀体、化工容器等
		10 ~ 20	195	148 ~ 222	
		20 ~ 30	170	134 ~ 200	
		30 ~ 50	160	129 ~ 192	
	HT250	4.0 ~ 10	270	175 ~ 262	
		10 ~ 20	240	164 ~ 247	
		20 ~ 30	220	157 ~ 236	
		30 ~ 50	200	150 ~ 225	
孕育 铸铁	HT300	10 ~ 20	209	182 ~ 272	承受高的应力、要求耐磨、高气密性的重要铸 件，如剪床、压力机、自动机床和重型机床床身、 机座、机架、齿轮、凸轮、衬套、大型发动机曲 轴、气缸体、缸套、高压油缸、水缸、泵体、阀 体等
		20 ~ 30	250	168 ~ 251	
		30 ~ 50	230	161 ~ 241	
	HT350	10 ~ 20	340	199 ~ 298	
		20 ~ 30	290	182 ~ 272	
		30 ~ 50	260	171 ~ 257	

(3) 球墨铸铁 球墨铸铁中的碳以自由状态的球状石墨形式存在。它是在熔化的铸铁中加入一定量的球化剂(稀土镁合金)和孕育剂(硅铁或硅钙合金)获得的。

球墨铸铁是一种性能优良的铸铁，其强度、塑性和韧性等力学性能远远超过灰铸铁而接近于普通碳素钢，同时它又具有灰铸铁的一系列优良性能，如良好的铸造性、耐磨性、切削性加工性和低的缺口敏感性等。因此球墨铸铁常用于制造承受冲击载荷的零件，如传递动力的齿轮、曲轴、连杆等。

球墨铸铁的牌号用两个汉语拼音字母和两组力学性能数值来表示。如 QT400 - 17，牌号中“QT”是“球铁”两字汉语拼音的第一个字母，其后两组数字，表示最低抗拉强度为 400 MPa，最低伸长率为 17%。

表 1.2 所示为常用球墨铸铁的牌号、力学性能及应用。

表 1.2 常用球墨铸铁的牌号、力学性能及应用

基体类型	牌号	力学性能				用途举例
		σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%	硬度 /HBS	
		不小于				
铁素体	QT400 - 18	400	250	18	130 ~ 180	农机具犁铧、犁柱，汽车拖拉机轮毂、离合器壳、差速器壳、拨叉，阀体、阀盖、气缸，铁路垫板、电动机壳、飞轮壳等
	QT400 - 15	400	250	15	130 ~ 180	
	QT450 - 10	450	310	10	160 ~ 210	
铁素体 + 珠光体	QT500 - 7	500	320	7	170 ~ 230	内燃机油泵齿轮、铁路机车轴瓦、机器座架、传动轴、飞轮、电动机架等
珠光体 + 铁素体	QT600 - 3	600	370	3	190 ~ 270	柴油机、汽油机曲轴、凸轮轴、气缸套、连杆，部分磨床、铣床、车床主轴，农机具脱粒机齿条、负荷齿轮，起重机滚轮，小型水轮机主轴等
珠光体	QT700 - 2	700	420	2	225 ~ 305	
珠光体或回火组织	QT800 - 2	800	480	2	245 ~ 335	
贝氏体或回火马氏体	QT900 - 2	900	600	2	280 ~ 360	内燃机曲轴、凸轮轴，汽车螺旋锥齿轮、转向轴，拖拉机减速齿轮，农机犁铧等

(4) 可锻铸铁 可锻铸铁中的石墨呈团絮状，它是由白口铸铁经长时间高温石墨化退火而得到的一种铸铁。可锻铸铁实际上并不能锻造，“可锻”仅表示它具有一定的塑性，其强度比灰铸铁高，但铸造性能比灰铸铁差，由于它生产周期长、工艺复杂、成本高，已逐渐被球墨铸铁所取代。

可锻铸铁的牌号用三个汉语拼音字母和两组力学性能数值来表示。如“KTH”表示黑心可锻铸铁，“KTZ”表示珠光体可锻铸铁。如 KTH350 - 10 表示黑心可锻铸铁，最低抗拉强度为 350 MPa，最低伸长率为 10%。

2. 碳素钢

通常把碳的质量分数在 2.11% 以下的铁碳合金称为钢。实际应用的碳素钢含有少量的杂质，如硅(Si)、锰(Mn)、硫(S)、磷(P)等。碳素钢可以轧制成板材和型材，也可以锻造成各种形状的锻件。

碳素钢一般可按碳的质量分数、质量和用途三种情况来分类。

按碳的质量分数，碳素钢分为

低碳钢—— $w_c \leq 0.25\%$ 。

中碳钢—— $0.25\% < w_c \leq 0.6\%$ 。

高碳钢—— $w_c > 0.6\%$ 。

按钢的质量，主要根据钢中有害杂质(硫、磷)的含量可分为

普通碳素钢—— $w_s \leq 0.055\%$ ； $w_p \leq 0.045\%$ 。

优质碳素钢—— $w_s \leq 0.045\%$ ； $w_p \leq 0.040\%$ 。

高级优质碳素钢—— $w_s \leq 0.03\%$ ； $w_p \leq 0.035\%$ 。

按用途分类

碳素结构钢——主要用于制造各种工程构件(桥梁、船舶、建筑)和机器零件(如齿轮、轴、连杆、螺栓、螺钉等)。这类钢一般属于低、中碳钢。

碳素工具钢——主要用于制造各种刀具、量具、模具。这类钢一般属于高碳钢。

下面简要介绍几种常用的碳素钢。

(1) 普通碳素结构钢 这类钢通常为热轧钢板、型钢、棒钢等，可制作焊接、铆接、螺栓连接一般工程构件，大多不需进行热处理，可以直接在供应状态下使用。

钢的牌号由代表屈服点的字母、屈服强度数值、质量等级符号、脱氧方法符号四个部分按顺序组成。如 Q235—A·F，Q 为钢材屈服强度“屈”字汉语拼音首位字母；235 表示屈服强度为 235 MPa；A(B、C、D)分别为质量等级；F 为沸腾钢。

表 1.3 所示为普通碳素结构钢的力学性能和应用举例。

表 1.3 碳素结构钢的力学性能和应用举例

牌号	等级	屈服强度/(N/mm ²), 不小于						抗拉强度/ (N/mm ²)	断后伸长率 A/%, 不小于					应用举例
		厚度(或直径)/mm							厚度(或直径)/mm					
		≤16	>16~ 40	>40~ 60	>60~ 100	>100~ 150	>150~ 200		≤40	>40~ 60	>60~ 100	>100~ 150	>150~ 200	
Q195	—	195	185	—	—	—	—	315 ~ 430	33	—	—	—	—	塑性好, 有一定的强度, 用于制造受力不大的零件。如螺钉、螺母、垫圈等, 冲压件、焊接件、桥梁建筑构件
Q215	A	215	205	195	185	175	165	335 ~ 450	31	30	29	27	26	
Q235	B	235	225	215	215	195	185	370 ~ 500	26	25	24	22	21	
	C													
	D													
Q275	A	275	265	255	245	225	215	410 ~ 540	22	21	20	18	17	强度较高, 用于制造承受中等载荷的零件。如小轴、销子、连杆、农机零件
	B													
	C													
	D													

注：表中数据摘自国家标准 GB/T 700—2006。

(2) 优质碳素结构钢 优质碳素结构钢中只含有少量的有害杂质硫和磷，力学性能较好，可用于制造较重要的机械零件。

钢的牌号用两位数字表示，这两位数字表示钢中平均碳的质量分数的万分数。如 08F、10A、45、65Mn，表示钢中平均碳的质量分数分别为 0.08%、0.1%、0.45%、0.65%。碳的质量分数后面加“A”表示高级优质钢，加“F”表示沸腾钢；锰的质量分数较高时则在碳含

量后面加锰元素符号“Mn”。

优质碳素结构钢根据碳的质量分数又可分为低碳钢、中碳钢和高碳钢。

低碳钢强度低，塑性、韧性好，易于冲压加工，主要用于制造受力不大的机械零件，如螺钉、螺母、冲压件和焊接件等。

中碳钢强度较高，塑性和韧性也较好，广泛用于制造齿轮、丝杠、连杆和各种轴类零件等。

高碳钢热处理后具有高强度和良好的弹性，但切削加工性、锻造性和焊接性差，主要用于制造弹簧和易磨损的零件。

表 1.4 所示为优质碳素结构钢的化学成分、力学性能和用途。

表 1.4 优质碳素结构钢的化学成分、力学性能和用途

钢号	化学成分/%			力学性能					应用举例
	C	Si	Mn	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	ψ /%	A_{KU2} /J	
				不小于					
08F	0.05 ~ 0.11	≤0.03	0.25 ~ 0.50	295	175	35	60	—	受力不大但要求高韧性的冲压件、焊接件、紧固件，如螺栓、螺母、垫圈等。渗碳淬火后可制造强度要求不高的受磨件，如凸轮、滑块、活塞等
10F	0.07 ~ 0.13	≤0.07	0.25 ~ 0.50	315	185	33	55	—	
15F	0.12 ~ 0.18	≤0.07	0.25 ~ 0.50	355	205	29	55	—	
08	0.05 ~ 0.11	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	325	195	33	60	—	
10	0.07 ~ 0.13	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	335	205	31	55	—	
15	0.12 ~ 0.18	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	375	225	27	55	—	
20	0.17 ~ 0.23	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	410	245	25	55	—	
25	0.22 ~ 0.29	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	450	275	23	50	—	载荷较大的零件，如连杆、曲轴、主轴、活塞销、表面淬火齿轮、凸轮等
30	0.27 ~ 0.34	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	490	295	21	50	63	
35	0.32 ~ 0.39	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	530	315	20	45	55	
40	0.37 ~ 0.44	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	570	335	19	45	47	
45	0.42 ~ 0.50	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	600	335	16	40	39	
50	0.47 ~ 0.55	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	630	375	14	40	31	
55	0.52 ~ 0.60	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	654	385	13	35	—	
60	0.57 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	675	400	12	35	—	弹性极限的强度要求较高的零件，如轧辊、弹簧、钢丝绳、偏心轮等
65	0.62 ~ 0.70	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	695	410	10	30	—	
70	0.67 ~ 0.75	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	715	420	9	30	—	
75	0.72 ~ 0.8	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	1 080	880	7	30	—	
80	0.77 ~ 0.85	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	1 080	930	6	30	—	
85	0.82 ~ 0.9	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	1 130	980	6	30	—	

续表

钢号	化学成分/%			力学性能					应用举例
	C	Si	Mn	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	ψ /%	A_{KU2} /J	
				不小于					
15Mn	0.12 ~ 0.18	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	410	245	26	55	—	应用范围与普通 含锰量的优质碳素 结构钢相同
20Mn	0.17 ~ 0.23	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	450	275	24	50	—	
25Mn	0.22 ~ 0.29	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	490	295	22	50	71	
30Mn	0.27 ~ 0.34	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	540	315	20	45	63	
35Mn	0.32 ~ 0.39	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	560	335	19	45	55	
40Mn	0.37 ~ 0.44	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	590	355	17	45	47	
45Mn	0.42 ~ 0.50	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	620	375	15	40	39	
50Mn	0.48 ~ 0.56	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	645	390	13	40	31	
60Mn	0.57 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	694	410	11	35	—	
65Mn	0.62 ~ 0.7	0.17 ~ 0.37	0.90 ~ 1.20	735	430	9	30	—	
70Mn	0.67 ~ 0.75	0.17 ~ 0.37	0.90 ~ 1.20	785	450	8	30	—	

注：表中数据摘自国家标准 GB/T 699—1999。

(3) 碳素工具钢 碳素工具钢碳的质量分数在 0.7% 以上，属于高碳钢，适宜制作各种刀具、量具和模具。

碳素工具钢的牌号用“T”表示，后面的数字表示平均碳的质量分数的千分数。例如 T8 表示碳的质量分数为 0.8% 的碳素工具钢。碳的质量分数后面加注“A”，表示高级优质钢，如 T10A。

(4) 铸钢 一般情况下多用碳素铸钢，当有特殊用途和特殊要求时可采用合金铸钢。

铸钢的牌号用“ZG”加后面两组数字组成，如 ZG200 - 400、ZG310 - 570，第一组数字代表屈服强度值(MPa)，第二组数字代表抗拉强度值(MPa)。铸钢主要用于承受重载、强度和韧性要求较高、形状复杂的铸件，如大型齿轮、水压机机座等。

3. 合金钢

为了提高钢的性能，有意识地在碳素钢中加入一定量的合金元素(如硅、锰、铬、镍、钼、钒、钛等)，即构成合金钢。由于合金元素的加入，细化了钢的晶粒，提高了钢的综合力学性能和热硬性、淬透性。合金钢按用途一般可分为合金结构钢、合金工具钢和特殊性能钢三类。

(1) 合金结构钢

合金结构钢的牌号以“两位数字 + 合金元素符号 + 数字”表示。前面的两位数字表示碳的质量分数的万分数，合金元素符号后的数字表示该元素质量分数的百分数，含量小于 1.5% 时，一般不标明含量；当含量在 1.5% ~ 2.5%，2.5% ~ 3.5%，…时，则相应地用 2、3、…表示。如 60Si2Mn 表示平均碳的质量分数为 0.6%、硅的质量分数为 2%、锰的质量分数低于 1.5% 的硅锰钢。

合金结构钢根据性能和用途的不同,又可分为低合金钢、合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢和滚动轴承钢等。滚动轴承钢是制造滚动轴承的专用钢,常用的牌号有 GCr9、GCr15、GCr9SiMn,牌号中“G”为“滚”字汉语拼音字首,铬元素符号后的数字表示平均铬的质量分数的千分数。如 GCr15 表示 w_{Cr} 为 1.5%。

(2) 合金工具钢

合金工具钢的编号方法与合金结构钢相似,平均碳的质量分数超过 1% 时,一般不标出碳含量数字,碳的质量分数小于 1% 时,可用一位数字表示,以千分数计。如 9SiCr 表示平均碳的质量分数为 0.9%,硅、铬的质量分数均小于 1.5% 的铬钢;Cr12MoV 则表示平均碳的质量分数大于 1%,铬的质量分数为 12%,钼、钒的质量分数小于 1.5% 的铬钼钒钢。

合金工具钢常用来制造各种刀具、量具和模具,因而对应地就有刀具钢、量具钢和模具钢。

① 刀具钢 用于制造各种刀具,通常分低合金刀具钢和高速钢。低合金刀具钢主要是含铬的钢,常用的牌号有 9SiCr、9Cr2 等,主要用做形状较复杂的低速切削工具(如丝锥、板牙、铰刀等)。而高速钢是一种含钨、铬、钒等合金元素较多的钢,它的碳的质量分数在 1% 左右。由于高速钢在空气中冷却也能淬硬,故又称风钢;由于它可以刃磨得很锋利,很白亮,故又称为锋钢和白钢。

高速钢有较高的热硬性,足够的强度、韧性和刃磨性,目前是制造钻头、铰刀、铣刀、螺纹刀具和齿轮刀具等复杂形状刀具的主要材料。常用的牌号有 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 和 W9Mo3Cr4V 等。

② 量具钢 量具钢要求有高的硬度和耐磨性,经热处理后不易变形,而且要有良好的加工工艺性。块规可选用变形小的钢,如 CrWMn、GCr15、SiMn 等。简单的量具除用 T10A、T12A 制造外,还可用 9SiCr 等材料制造。

③ 模具钢 模具钢按使用要求可分为热作模具钢和冷作模具钢。热作模具钢是用来制作热态下使金属变形的模具(如热锻模、压铸模等)。这类钢应具有很好的抗热疲劳损坏的能力,高的强度和较好的韧性,常用的牌号有 5CrNiMo 和 5CrMnMo;冷作模具钢是用来制作冷态下使金属变形的模具(如冷冲模、冷挤压模和冷模等)。它应具有高的硬度、耐磨性和一定的韧性,并要求热处理变形小,常用的牌号有 Cr12、Cr12W、Cr12MoV 等。

(3) 特殊性能合金钢

特殊性能合金钢是指具有特殊的物理、化学性能的一种高合金钢。其牌号表示法与合金工具钢原则相同。前面一位数表示平均含碳质量分数,以千分数计。平均碳的质量分数小于 0.1% 时用“0”表示,平均碳的质量分数大于 0.03% 时用“00”表示。例如:2Cr13、0Cr13 和 00Cr18Ni10,分别表示其平均碳的质量分数应为 0.2%、小于 0.1%、大于 0.03%。它主要包括不锈钢、耐热钢、耐磨钢和磁性钢。

① 不锈钢 不锈钢中的主要合金元素是铬和镍。因为铬与氧化合,在钢表面形成了一层致密的氧化膜,保护钢免受进一步氧化。一般铬的质量分数不低于 12% 才具有良好的耐腐蚀性能,适用于制造化工设备、医疗器械等。常用的牌号有铬不锈钢 1Cr13、2Cr13、3Cr13、4Cr13 等,还有铬镍不锈钢,如 1Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni9Nb 等。

② 耐热钢 耐热钢是在高温下不发生氧化反应并具有较高强度的钢。钢中常含有较多铬和硅,以保证钢具有高的抗氧化性和高温下的力学性能,耐热钢适用于制造在高温条件下工作

的零件,如内燃机气阀、加热炉管道等。常用的牌号有 15CrMo、4Cr9Si2、4Cr10Si2Mo 等。

③ 耐磨钢 主要指高锰钢。如 ZGMn13,这种钢碳的质量分数高于 1%,锰的质量分数为 13% 左右。该钢机械加工困难,大多铸造成形。它具有在强烈冲击下抵抗磨损的性能,主要用做坦克和拖拉机履带、推土机挡板、挖掘机齿轮等。

④ 软磁钢(又名硅钢片) 它是在钢中加入硅并轧制而成的薄片状材料。它杂质含量极少,具有很好的磁性,是制造变压器、电动机、电工仪表等不可缺少的材料。

二、有色金属

工业生产中通常称钢铁为黑色金属,而称铜、铝、镁、铅等及其合金为有色金属。由于有色金属具有某些特殊的性能(如良好的导热性、导电性及耐腐蚀性),已成为现代工业技术中不可缺少的重要材料。

1. 铜及铜合金

(1) 纯铜

纯铜呈紫红色,又称紫铜。它具有良好的导电、导热性能,极好的塑性及较好的耐腐蚀性;但力学性能较差,不宜用来制造结构零件,常用来制造导电材料和耐腐蚀性元件。

(2) 黄铜

黄铜是铜(Cu)与锌(Zn)的合金。它色泽美观,有良好的防腐性能及机械加工性能。黄铜中锌的质量分数在 20%~40%,随着锌的含量增加,强度增加而塑性下降。黄铜可以铸造,也可以锻造。除了铜和锌以外,再加入少量其他元素的铜的合金叫特殊黄铜,如锡黄铜、铅黄铜等。黄铜一般用于制造耐腐蚀和耐磨零件,如阀门、子弹壳、管件等。

黄铜的牌号用“黄”字汉语拼音字首“H”加数字表示。该数字表示平均铜的质量分数的百分数。如 H62 表示铜的质量分数为 62%、锌的质量分数为 38%。特殊黄铜则在牌号中标出合金元素的含量。如 HPb59-1 表示铜的质量分数为 59%、铅的质量分数为 1% 的铅黄铜。

(3) 青铜

凡主加元素不是锌而是锡、铝等其他元素的铜合金通称为青铜,它分为锡青铜和无锡青铜。

① 锡青铜 锡青铜是铜与锡的合金。它有很好的力学性能、铸造性能、耐腐蚀性和减摩性,是一种很重要的减摩材料。主要用于摩擦零件和耐腐蚀零件的制造,如蜗轮、轴瓦、衬套等。

② 无锡青铜 除锡以外的其他合金元素与铜组成的合金,统称为无锡青铜,主要包括铝青铜、硅青铜和铍青铜等。它们通常作为锡青铜的廉价代用材料使用。

加工青铜的牌号以“Q”为代号,后面标出主要元素的符号和含量。如 QSn4-3,表示锡的质量分数为 4%、锌的质量分数为 3%,其余为铜(93%)的压力加工青铜。铸造铜合金的牌号用“ZCu”及合金元素符号和含量组成。如 ZCuSn5Pb5Zn5 表示含锡、铅、锌的质量分数各约为 5%,其余为铜(85%)的铸造锡青铜。

2. 铝及铝合金

(1) 纯铝

纯铝是一种密度小(2.72 g/cm^3),熔点低($660\text{ }^\circ\text{C}$),导电、导热性好,塑性好,强度、硬

度低的金属。由于铝表面能生成一层极致密的氧化铝膜，能阻止铝继续氧化，故铝在空气中具有良好的耐腐蚀能力，主要用做导电材料或制造耐腐蚀零件。

(2) 铝合金

铝中加入适量的铜、镁、硅、锰等元素即构成了铝合金。它具有足够的强度、较好的塑性和良好的耐腐蚀性，且多数可热处理强化，根据铝合金的成分及加工成形特点，可分为变形铝合金和铸造铝合金两大类。

① 变形铝合金 变形铝合金具有较高的强度和良好的塑性，可进行各种压力加工，可以焊接。主要用做各类型材和结构件，如飞机构架、螺旋桨、起落架等。

② 铸造铝合金 铸造铝合金包括铝镁、铝锌、铝硅、铝铜等合金。它们有良好的铸造性能，可以铸成各种形状复杂的零件。但其塑性差，不宜进行压力加工。应用最广的是硅铝合金。各类铸造铝合金的代号均以“ZL”加三位数字组成，第一位数字表示合金类别，第二、三位数字是顺序号，如 ZL102、ZL201 等。

(3) 变形铝和铝合金牌号表示方法

变形铝和铝合金牌号采用国际四位数字体系和四位字符体系表示(GB/T 16474—1996)。凡按照化学成分在国际牌号注册组织注册命名的铝及铝合金，直接采用四位数字体系(即采用四位阿拉伯数字表示)；未在国际牌号注册组织注册的，则按照四位字符体系表示(采用阿拉伯数字和第二位用英文大写字母表示)，以上两种牌号表示方法仅第二位不同。其表示方法如下：

第一位数字表示铝及其合金的组别，用 1、2、3、…9 依次表示纯铝以及以铜、锰、硅、镁、镁和硅、锌、其他合金元素为主要合金元素的铝合金及备用组，如表 1.5 所示；第二位数字或字母表示原始纯铝或铝合金的改型情况。当数字为 0 或字母 A 时，表示原始纯铝和原始合金；如数字为 1~9 或 B~Y 表示改型情况，即该合金在原始合金的基础上允许有一定的偏差；第三、第四位数字表示同一组中的不同铝合金，纯铝则表示铝的最低质量分数中小数点后面的两位数字。例如：牌号 1070 表示纯度为 99.70% 的变形工业纯铝；2A11 表示主要合金元素为铝的 11 号原始变形铝合金。

表 1.5 变形铝和铝合金组别代号

组别	牌号系列
纯铝(铝质量分数不小于 99.00%)	1 × × ×
以铜为主要合金元素的铝合金	2 × × ×
以锰为主要合金元素的铝合金	3 × × ×
以硅为主要合金元素的铝合金	4 × × ×
以镁为主要合金元素的铝合金	5 × × ×
以镁和硅为主要合金元素并以 Mg_2Si 相为强化相的铝合金	6 × × ×
以锌为主要合金元素的铝合金	7 × × ×
以其他合金元素为主要合金元素的铝合金	8 × × ×
备用合金组	9 × × ×

变形铝和铝合金新旧牌号对照、主要性能及应用见表 1.6。旧牌号中以 LF 表示防锈铝；

以 LY 表示硬铝；以 LC 表示超硬铝；以 LD 表示锻铝；以 LT 表示特殊铝。

表 1.6 常用变形铝合金代号、成分、性能及应用 (摘自 GB/T 3190—2008)

新牌号	相当于旧代号	主要化学成分 (质量分数)/%				材料 状态	力学性能			用途举例
		Cu	Mg	Mn	Zn		σ_b /MPa	$\delta\%$	HBS	
5A05	LF5	0.10	4.8 ~ 5.5	0.3 ~ 0.6	0.2	退火 强化	220 250	15 8	65 100	焊接油箱、油管、焊条、 铆钉及中等载荷零件及 制品
3A21	LF21	0.2	0.05	1.0 ~ 1.6	0.10	退火 强化	125 165	21 3	30 55	焊接油箱、油管、焊条、 铆钉及轻载荷零件及制品
2A01	LY1	2.2 ~ 3.0	0.2 ~ 0.5	0.20	0.10	退火 强化	160 300	24 24	38 70	中等强度、工作温度不 超过 100 ℃ 的结构用铆钉
2A11	LY11	3.8 ~ 4.8	0.4 ~ 0.8	0.4 ~ 0.8	0.3	退火 强化	250 400	10 13	— 115	中等强度结构零件，如 螺旋桨叶片、螺栓、铆钉、 滑轮等
7A04	LC4	1.4 ~ 2.0	1.8 ~ 2.8	0.2 ~ 0.6	5.0 ~ 7.0	退火 强化	260 600	— 8	— 150	主要受力构件，如飞机 大梁、桁条、加强框、接 头及起落架等
2A06	LY6	3.8 ~ 4.3	1.7 ~ 2.3	0.5 ~ 1.0	0.1	退火 强化	— 420	— 13	— 105	形状复杂的中等强度的 锻件、冲压件及模锻件、 发动机零件
2A50	LD5	1.8 ~ 2.6	0.4 ~ 0.8	0.4 ~ 0.8	0.30	退火 强化	— 410	— 8	— 95	形状复杂的模锻件、压 气机轮和风扇叶轮
2A70	LD7	1.9 ~ 2.5	1.4 ~ 1.8	0.2	0.30	退火 强化	— 415	— 13	— 105	高温下工作的复杂锻件， 如活塞、叶轮等

3. 轴承合金

轴承合金是用来制造滑动轴承的特定材料。对轴承合金的要求是：摩擦因数小、耐磨性好、抗压强度高、导热性好等。

(1) 锡基轴承合金(锡基巴氏合金) 锡基合金中含有锡和铜等元素。例如 ZSnSb11Cu6，Z 代表铸造，含 Sb 的质量分数为 11%，含 Cu 的质量分数为 6%，其余为 Sn。

(2) 铅基轴承合金(铅基巴氏合金) 铅基合金中含有锡、锡和铜等元素，常用的合金有 ZPbSb16Sn16Cu2，含 Sb 的质量分数为 16%，Sn 的质量分数为 16%，Cu 的质量分数为 2%，其余为铅。

第二节 钢的热处理

钢的热处理是将固态钢，通过不同方式的加热、保温和冷却，来改变钢的内部组织结构，从而改善钢的性能的一种工艺方法。热处理是机器零件及工具制造过程中的一个重要工序，它