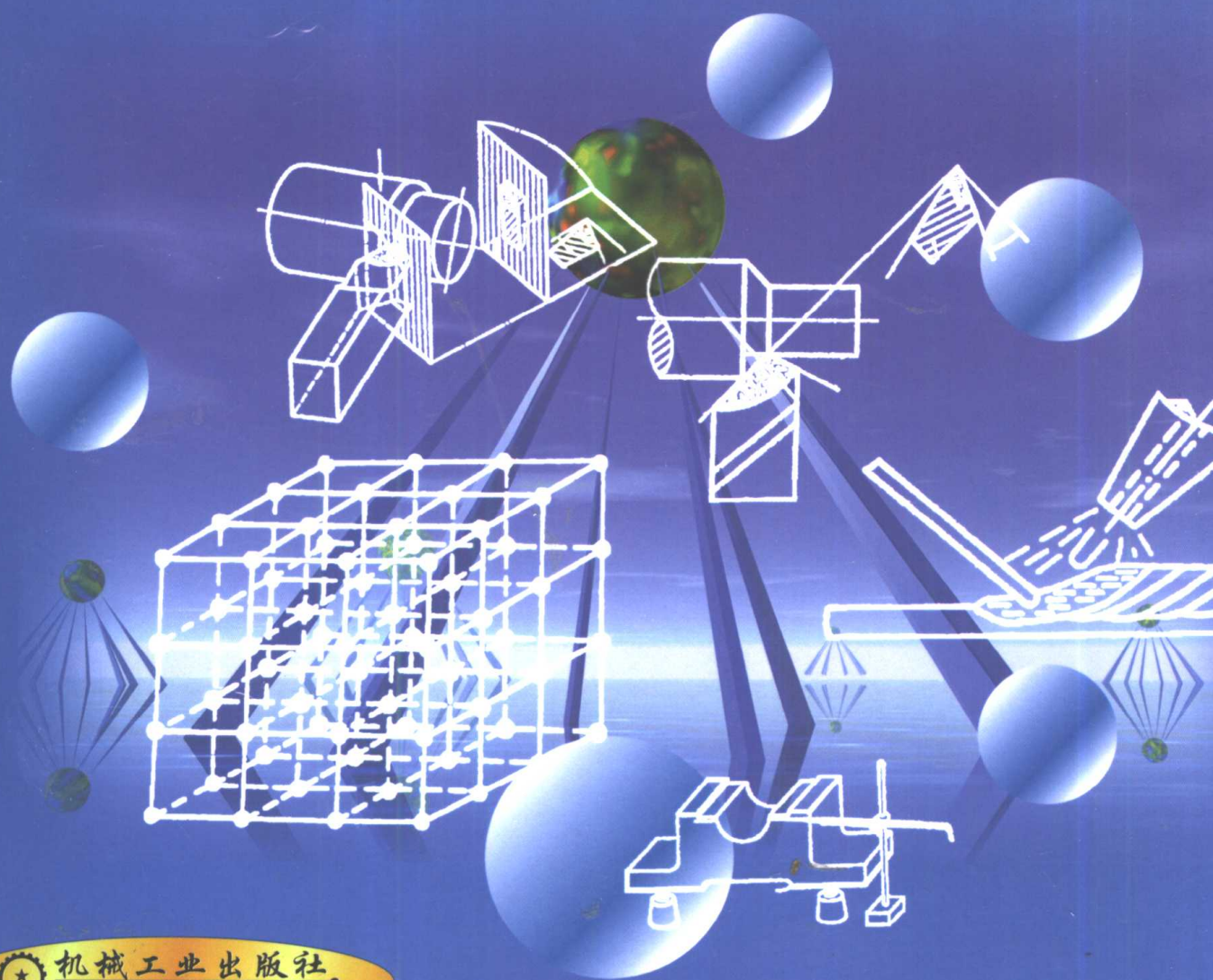


高等学校教材

# 金工实习

(机械类及近机械类用)

合肥工业大学 王瑞芳 主编



机械工业出版社  
China Machine Press

高等学校教材

# 金 工 实 习

(机械类及近机械类用)

主编 王瑞芳  
参编 潘昌实 郑红梅 杨沁  
金绵芳 陈刚 王涛  
胡立明 徐社连



机械工业出版社

本书根据国家教育部新颁布的“金工实习教学基本要求”，并认真总结作者长期工作经验，结合实际，力求通过教材的编写和使用，推动高校金工实习的深化改革，提高金工实习质量，培养高素质合格人才。

本书内容包括机械工程材料、铸造、锻压、焊接与胶接、粉末冶金与非金属材料成形、钳工、机械加工、数控与特种加工、零件表面处理技术、综合分析与训练、其它现代制造技术与自动化系统简介等章节。

本书作为高等工科院校本科机类及近机类专业金工实习教材，也可供不同层次教学人员和有关工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

金工实习/王瑞芳主编. —北京: 机械工业出版社, 2000, 12  
高等学校教材, 机械类及近机械类用  
ISBN 7-111-08561-2

I. 金… II. 王… III. 金属加工-实习-高等学校-教材  
IV. TG-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 78970 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 余茂祚 版式设计: 霍永明

封面设计: 方芬 责任印制: 郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm<sup>1/16</sup>·16.75 印张·412 千字

0 001—7 000 册

定价: 25.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

# 前 言

金工实习是机械类各专业学生必修的实践性很强的技术基础课。学生在金工实习过程中通过独立的实践操作,将有关机械制造的基本工艺知识、基本工艺方法和基本工艺实践等有机结合起来,进行工程实践综合能力的训练及进行思想品德和素质的培养与锻炼。

为适应教学改革和专业改造,例如“机械设计制造及其自动化”专业金工实习后直接上“材料成形技术基础”和“机械制造技术基础”课程,这实际上对金工实习的要求更高了。金工实习应在教学内容、教学方法和教学手段上进行改革。为此,精选传统工艺内容(占60%),增加新知识内容,如新材料、新技术、新工艺(占40%),以体现教材的系统性和先进性;将砂型铸造、自由锻造、焊条电弧焊的工艺设计、车床传动分析等放在实习中完成,可对照实物和实地操作,边干边学,以取得良好的教学效果,其它如镗削、拉削、齿形加工、光整加工等方法分散到有关工种实习中简略介绍。本书有关内容只作简单介绍,注意和后续课程内容的衔接及防止重复。实习中提倡启发式、讨论式等教学方法,“授人以鱼,不如授人以渔”,本教材打\*部分可供学生进行自学,以提高学生自学能力和扩大知识面。提倡在原有教学基础上,配合应用电化教学、多媒体教学和(局域)网络教学等先进教学手段进行讲授。尽管各地区各学校金工实习条件不尽相同,但无论如何各校都应逐步创造条件,在硬件、软件方面适应科学技术发展对教学的要求。

金工实习中可配合教学进行金工实验,因受篇幅的限制,本教材仅在各工种后列出可选做实验的名称,实验内容另见“金工实验指导书”。

本教材符合国家教育部新颁“金工实习教学基本要求”,力求取材新颖、联系实际、结构紧凑、文字简炼、基本概念清晰、重点突出,全书采用新的国家标准。

本书由合肥工业大学王瑞芳任主编,编写了前言、第二、十三、十四、十五章,并担任全书统稿工作;合肥工业大学潘昌实编写第三章;郑红梅编写第六、八章;杨沁编写第九、十、十一章;金绵芳编写第十二章;解放军炮兵学院陈刚、胡立明、王涛编写第一、七章;淮南工业学院徐社连编写第四、五章。

本书编写前期得到清华大学傅水根教授,编写过程始终得到机械工业出版社余茂祚教授的指导,在此向他们及所有关心、支持和帮助本书编写出版的老师们表示衷心的感谢!由于编者水平有限,时间仓促,难免有不妥和错误之处,恳请使用本书的广大师生、读者提出宝贵意见,以求改进!

编者

# 目 录

前言	
第一章 工程材料与钢的热处理	1
第一节 机械工程材料综述	1
第二节 常用热处理方法	7
工程材料与钢的热处理实验	12
复习思考题	12
第二章 铸造	14
第一节 铸造概述	14
第二节 砂型铸造工艺过程	14
第三节 砂型铸造工艺设计简介及模样	31
第四节 特种铸造*	38
第五节 铸造技术发展概况*	43
铸造实习安全技术	45
铸造实验	45
复习思考题	45
第三章 锻压	48
第一节 锻压概述	48
第二节 金属的加热和锻件的冷却	48
第三节 自由锻	51
第四节 自由锻工艺设计简介	56
第五节 模锻与胎模锻简介*	61
第六节 板料冲压*	64
第七节 锻压技术发展概况*	67
锻压实习安全技术	69
锻压实验	69
复习思考题	69
第四章 焊接与胶接	71
第一节 焊接概述	71
第二节 焊条电弧焊	72
第三节 焊条电弧焊工艺设计简介	76
第四节 气焊	80
第五节 切割	82
第六节 其它常用焊接方法简介*	85
第七节 常见的焊接缺陷及检验	89
第八节 胶接*	92
第九节 焊接技术发展概况*	94
焊接实习安全技术	95
焊接实验	95
复习思考题	96
第五章 粉末冶金与非金属材料成形*	97
第一节 粉末冶金简介	97
第二节 非金属材料成形简介	99
粉末冶金与非金属材料成形实验	105
复习思考题	105
第六章 切削加工基础知识*	106
第一节 切削加工概述	106
第二节 机械加工零件的技术要求	108
第三节 刀具材料简介	110
第四节 常用量具	112
复习思考题	115
第七章 钳工	116
第一节 钳工概述	116
第二节 划线	116
第三节 锯削	121
第四节 锉削	124
第五节 钻削	127
第六节 扩孔、铰孔、绞孔、攻螺纹和套螺纹简介	131
第七节 刮削	135
第八节 机器的装配与拆卸	136
第九节 装配新工艺*	142
钳工实习安全技术	143
钳工实验	144
复习思考题	144
第八章 车削与镗削加工	146
第一节 车削加工概述	146
第二节 卧式车床的组成及传动分析	146
第三节 车刀及安装	151
第四节 工件的安装及所用附件	155
第五节 车削加工	159
第六节 其它车床*	168
第七节 镗削加工简介*	170
车削实验	171

复习思考题 .....	171	第二节 数控加工简介 .....	212
<b>第九章 刨削与拉削加工</b> .....	173	第三节 特种加工简介* .....	220
第一节 刨削加工概述 .....	173	数控与特种加工实习安全技术 .....	228
第二节 刨床 .....	174	数控与特种加工实验 .....	228
第三节 刨刀及安装 .....	178	复习思考题 .....	229
第四节 工件的装夹 .....	179	<b>第十三章 零件表面处理技术*</b> .....	230
第五节 刨削加工 .....	180	第一节 表面处理概述 .....	230
第六节 拉削加工简介* .....	182	第二节 表面形变强化 .....	230
复习思考题 .....	183	第三节 表面覆层强化 .....	232
<b>第十章 铣削与齿形加工</b> .....	184	第四节 表面综合加工技术 .....	237
第一节 铣削加工概述 .....	184	复习思考题 .....	239
第二节 铣床及附件 .....	185	<b>第十四章 综合分析与训练*</b> .....	240
第三节 铣刀及安装 .....	189	第一节 金属材料及零件毛坯的选择 .....	240
第四节 工件的安装 .....	191	第二节 常见表面加工方法的选择 .....	241
第五节 铣削加工 .....	191	第三节 典型零件加工方法举例 .....	242
第六节 齿形加工方法简介* .....	196	第四节 分析与思考 .....	247
复习思考题 .....	198	复习思考题 .....	248
<b>第十一章 磨削与光整加工</b> .....	199	<b>第十五章 其它现代制造技术与</b>	
第一节 磨削加工概述 .....	199	<b>自动化系统简介*</b> .....	249
第二节 磨床 .....	199	第一节 其它现代制造技术 .....	249
第三节 砂轮 .....	202	第二节 新世纪制造自动化系统及发	
第四节 磨削加工 .....	204	展简介 .....	252
第五节 磨削技术发展概况* .....	207	第三节 机械制造过程中相关内容	
第六节 光整加工简介* .....	208	简介 .....	255
复习思考题 .....	211	第四节 环境保护 .....	257
机械加工实习安全技术 .....	211	复习思考题 .....	258
<b>第十二章 数控加工与特种加工</b> .....	212	<b>参考文献</b> .....	260
第一节 数控与特种加工概述 .....	212		

# 第一章 工程材料与钢的热处理

## 第一节 机械工程材料综述

材料是人类一切生产和生活活动的物质基础。机械工程材料是指制造工程构件、机器零件和工具使用的材料。按材料的化学成分、结合键的特点，机械工程材料可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

### 一、金属材料的性能

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指机械零件在使用条件下，金属材料表现出来的性质。它包括力学性能，物理、化学性能等。金属材料使用性能的好坏，决定了机械零件的使用范围和寿命。工艺性能是指金属材料在加工过程中表现出的加工难易程度，它的好坏决定了它在加工过程中成形的适应能力。

#### 1. 力学性能

金属材料受到外力作用时所表现出来的特性称为力学性能。金属的力学性能主要有强度、塑性、硬度和冲击韧度等。材料的力学性能是选材、零件设计的重要依据。

(1) 强度和塑性 强度是指金属抵抗永久变形和断裂的能力。常用的强度指标是屈服点和抗拉强度，屈服点和抗拉强度可用拉伸试验测定。如图 1-1 所示是低碳钢的拉伸曲线。

屈服点是指材料在拉伸过程中，载荷不增大而试样伸长量却在继续增加时的应力，用  $\sigma_s$  表示。机械设计中，有时机械零件不允许发生塑性变形，或只允许少量的塑性变形，否则会失效，因此屈服点是机械零件设计的主要依据。

抗拉强度是指试样在拉断前所能承受的最大应力，用  $\sigma_b$  表示。它是机械零件设计和选材的重要依据。

塑性是指在外力作用下产生永久变形而不被破坏的能力。常用的塑性指标有伸长率  $\delta$  (%) 和断面收缩率  $\psi$  (%)。在拉伸实验中可同时测得。 $\delta$  和  $\psi$  愈大，材料的塑性愈好。

(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。是衡量金属软硬的判据。在产品图样的技术条件中，硬度是一项重要的技术指标。硬度实验在实际生产中是机械零件力学性能的最常用的重要实验方法。生产中应用较多的有洛氏硬度和布氏硬度。

1) 洛氏硬度的测定是用顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的淬硬钢球作压头，以相应的载荷压入试样表面，由压痕深度确定其硬度值，如图 1-2 所示。洛氏硬度可以从硬度计读数装置上直接读出。洛氏硬度有三种常用标度，分别以 HRC、HRB、HRA 表示。硬度值数字写在字母前面，如 60HRC、85HRB 等。三种洛氏硬度的符号、试验条件和

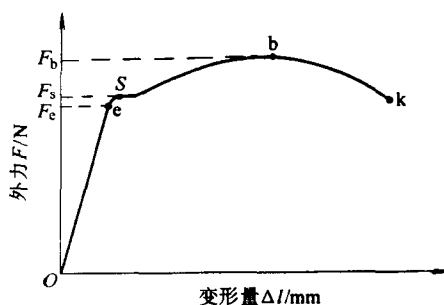


图 1-1 低碳钢的拉伸曲线

应用范围见表 1-1 所示。

2) 布氏硬度的测定是用一定直径的淬硬钢球或硬质合金球, 在规定的载荷  $F$  的作用下压入试样表面, 保持一定时间后, 卸除载荷, 取下试样, 用读数显微镜测出表面压痕直径  $d$ , 根据压痕直径、压头直径及所受载荷查表, 可求出布氏硬度值, 如图 1-3 所示。用钢球压头时, 用 HBS 表示, 适用于硬度小于 450HBS 的退火钢、灰铸铁、非铁材料 (有色金属) 等。用硬质合金压头时, 用 HBW 表示, 适用于硬度小于 650HBW 的淬硬钢等。

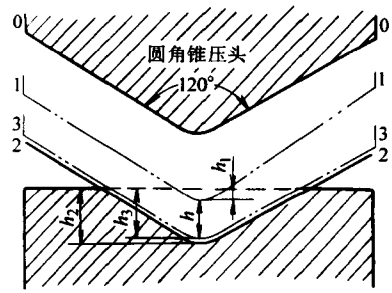


图 1-2 洛氏硬度试验原理  
0、1、2、3—压头位置  
 $h$ 、 $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ —压入深度

(3) 冲击韧度 冲击韧度是指材料在冲击载荷作用下抵抗断裂的能力。常有两种度量方法: 材料受到冲击破坏时的吸收功, 用  $A_K$  表示和单位横断面上的冲击吸收功即冲击韧度, 用  $a_K$  ( $J/cm^2$ ) 表示。冲击韧度的测定在冲击试验机上进行。

表 1-1 三种洛氏硬度的符号、试验条件及应用范围

符号	压头	载荷 $N(kgf)$	硬度值有效范围	应用举例
HRC	顶角 $120^\circ$ 金刚石圆锥	1470 (150)	20~67HRC, 相当于 225HBS 以上	淬火钢、调质钢
HRB	直径 1.588mm 淬硬钢球	980 (100)	25~100HRB, 相当于 60~230HBS 以上	退火钢、灰铸铁、非铁金属
HRA	顶角 $120^\circ$ 金刚石圆锥	588 (60)	70HRA, 相当于 350HBS 以上	硬质合金、表面淬火钢

## 2. 物理、化学性能

金属材料的物理、化学性能主要有密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性、耐热性、耐蚀性等。根据机械零件用途的不同, 对材料的物理、化学性能要求亦有不同。例如飞机上的一些零件要选用密度小的材料, 如铝合金等。

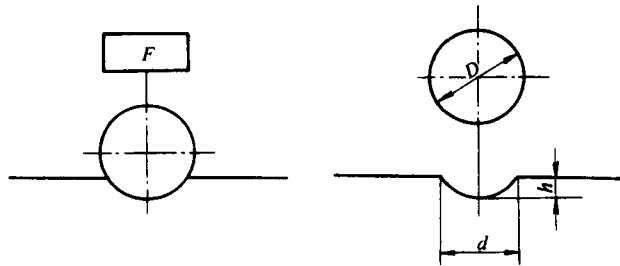


图 1-3 布氏硬度试验原理  
 $F$ —试验力  $D$ —压头直径  $h$ —压痕深度  $d$ —压痕直径

金属材料的物理、化学性能对制造工艺也有影响。例如导热性差的材料, 进行切削加工时刀具的温升就快, 刀具

寿命短; 膨胀系数的大小会影响金属热加工后工件的变形和开裂, 故膨胀系数大的材料进行锻压或热处理时, 加热速度应慢些, 以免产生裂纹。

## 3. 工艺性能

从材料到零件或产品的整个生产过程比较复杂, 涉及多种加工方法。为了使工艺简便, 成本低廉, 且能保证质量, 要求材料具有相应的工艺性能。其主要包含以下几个内容:

(1) 铸造性能 铸造性能主要包含流动性和收缩性。前者是指熔融金属的流动能力; 后者是指浇注后熔融金属冷至室温时伴随的体积和尺寸的减小。

(2) 锻造性能 锻造性能主要指金属进行锻造时, 其塑性的好坏和变形抗力的大小。塑性高、变形抗力小, 锻造性好。

(3) 焊接性能 焊接性能主要指在一定焊接工艺条件下, 获得优质焊接接头的难易程



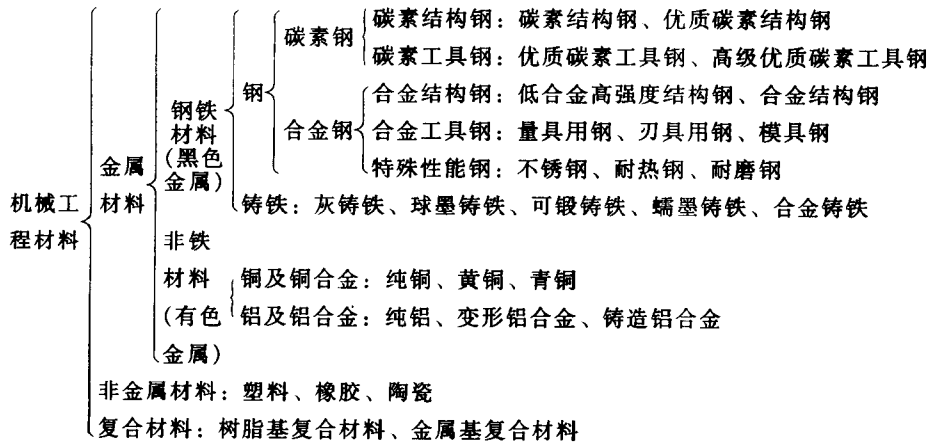
度。它受到材料本身的特性和工艺条件的影响。

(4) 加工性 工件材料接受切削加工的难易程度称为材料的加工性。材料加工性的好坏与材料的力学、物理、化学性能有关。

## 二、常用机械工程材料简介

### 1. 常用机械工程材料分类

常用机械工程材料主要分为以下类型



### 2. 常用金属材料简介

(1) 常用钢铁材料 钢铁材料是指钢和铸铁。工业用钢按化学成分可分为碳素钢和合金钢两大类。碳素钢是碳的质量分数小于 2.11% 的铁碳合金。合金钢是为了改善和提高碳素钢的性能或使之获得某些特殊性能，在碳素钢的基础上，特意加入某些合金元素而得到的多元以铁为基础的合金。合金钢的性能比碳素钢更加优良，因此合金钢的用量逐年增大。

常用钢材有：

1) 碳素钢是以铁和碳为主要元素而组成，常含有硅、锰、硫、磷等杂质成分。由于这类钢容易冶炼、价格低廉、工艺性好，在机械制造业中得到了广泛的应用。表 1-2 列出了碳素钢的牌号、种类和用途。

2) 合金钢是在碳素钢的基础上加入一些合金元素而成的钢。常用的合金元素有锰、硅、铬、镍、钼、钨、钒、钛、硼等。工业上常按用途把合金钢分成合金结构钢、合金工具钢、特殊性能钢。表 1-3 列出了合金钢的牌号、种类和用途。

常用铸铁是以铁和碳为主的合金，其碳的质量分数大于 2.11%，此外还含有硅、锰、硫、磷等元素。由于铸铁生产方法简便、成本低廉、性能优良，所以成为人类最早使用和广泛使用的金属材料之一。根据碳在铸铁中存在的形式及石墨的形态不同，将铸铁分为灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁、合金铸铁等。常用铸铁的牌号、种类和用途见表 1-4。

(2) 常用非铁材料（有色金属） 工业上把钢铁以外的金属称为非铁材料（有色金属），非铁材料（有色金属）及其合金具有钢铁材料所没有的许多特殊的力学、物理和化学性能，为现代工业中不可缺少的金属材料。非铁材料（有色金属）常用的有铝及铝合金、铜及铜合金等。

表 1-2 碳素钢的牌号、种类和用途

种类	碳素结构钢	优质碳素结构钢	一般工程用铸造碳钢	碳素工具钢
牌号举例	Q195、Q215、Q235、Q255	08F、08、15、20、35、45、60、45Mn	ZG200 - 390、ZG270 - 500、ZG339 - 639	T7、T8、T10、T10A、T12、T13
牌号意义	如 Q235 - AF，字母“Q”表示屈服点的汉语拼音第一个字母；235 表示屈服强度值；“A”表示质量等级，分 A、B、C、D 四级，“F”表示沸腾钢	两位数字表示钢中的平均碳的质量分数的万分之几。锰的质量分数在 0.7% ~ 1.2% 时加 Mn 表示	“ZG”表示铸钢，前三位数字表示最小屈服强度值，后三位数字表示最小抗拉强度值。碳的质量分数越高，强度越高	“T”表示碳，其后的数字表示碳的质量分数的千分之几，“A”表示高级优质
用途举例	建筑构件、螺栓、小轴、销子、键、连杆、法兰盘、锻件坯料等	冲压件、焊接件、轴、齿轮、活塞销、套筒、蜗杆、弹簧等	机座、箱体、连杆、齿轮、棘轮等	冲头、凿子、板牙、圆锯片、丝锥、钻头、锉刀、刮刀、量规、冷切边模等

表 1-3 常用合金钢的牌号、种类和用途

类别	牌号举例	牌号意义	应用举例
低合金高强度结构钢	Q345C Q390C	第一个字母“Q”表示屈服点的汉语拼音第一个字母，“345”表示屈服点的数值(MPa)，最后一个字母“C”表示质量等级	用于制造工程构件，如压力容器、桥梁、船舶等
合金结构钢	20Cr 50Mn2 GCr15	前面两位数字表示钢中平均碳的质量分数的万分数，元素符号表示所含合金元素，元素符号后面的数字表示该元素平均质量分数的百分数，质量分数小于 1.5% 时一般不标出。若为高级优质钢，则在钢号后面加“A”。如 40Cr 表示 $w(C)$ 为 0.40%， $w(Cr) < 1.5%$ 的合金结构钢。滚动轴承钢前面加字母 G，Cr 后面的数字表示该元素平均质量分数的千分数	用于制作各种轴类、连杆、齿轮、重要螺栓、弹簧及弹性零件、滚动轴承、丝杆等
合金工具钢及高速工具钢	9SiCr W18Cr4V	前面一位数字表示钢中平均碳的质量分数(%), 当 $w(C) \geq 1.0%$ 时不标出, $w(C) < 1.0%$ 时以千分之几表示。高速钢例外, 其 $w(C) < 1.0%$ 时也不标出。合金元素平均质量分数的表示法同合金结构钢	用于制作各种刀具(如丝锥、板牙、车刀、钻头等)、模具(如冲裁模、拉丝模、热锻模等)、量具(如千分尺、塞规等)
特殊性 能钢	1Cr18Ni9 15CrMo	前面一位数字表示钢中平均碳的质量分数, 以千分之几表示。当 $w(C) \leq 0.03%$ 时, 钢号前以“00”表示, 当 $w(C) \leq 0.08%$ 时, 钢号前以“0”表示。合金元素平均质量分数的表示法同合金结构钢	用于制作各种耐腐蚀及耐热零件, 如汽轮机叶片、手术刀、锅炉等

表 1-4 常用铸铁的牌号、种类和用途

名称	类别				
	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	蠕墨铸铁	合金铸铁
常用种类	HT150 HT200 HT350	QT400-18 QT600-3 QT900-2	KTH330-08 KTH370-12 KTZ650-02	RuT300 RuT340 RuT380	RTCr16 RTSi5
牌号意义	“HT”表示灰铸铁，数字表示最小抗拉强度值	“QT”表示球墨铸铁，前面数字表示最小抗拉强度值，后面数字表示断后伸长率	“KTH”表示黑心可锻铸铁，“KTZ”表示珠光体可锻铸铁，数字意义同球墨铸铁	“RuT”表示蠕墨铸铁，数字表示最小抗拉强度值	“RT”表示耐热铸铁，化学符号表示合金元素，数字表示合金元素质量分数的百分数
用途举例	底座、床身、泵体、气缸体、阀体、凸轮等	扳手、犁刀、曲轴、连杆、机床主轴等	扳手、犁刀、船用电机壳、传动链条阀门、管接头等	齿轮箱体、气缸盖、活塞环、排气管等	化工机械零件、炉底、坩埚换热器等

### 1) 铝及铝合金

①纯铝的密度小 ( $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ )，导电、导热性仅次于银和铜，在大气中有良好的耐腐蚀性，强度低、塑性好。工业纯铝（如 1060、1035 等）主要用于制造电缆和日用器皿等。铝与硅、铜、镁、锰等元素组成的铝合金，强度较高。铝合金分变形铝合金和铸造铝合金。

②变形铝合金的塑性好，常制成板材、管材等型材，用于制造蒙皮、油箱、铆钉和飞机构件等。按主要性能特点和用途，变形铝合金又可分为防锈铝（如 5A05）、硬铝（如 2A11）、超硬铝（如 7A04）和锻铝（如 2A70）。

③铸造铝合金（如 ZAlSi12）的铸造性好，一般用于制造形状复杂及有一定力学性能要求的零件，如仪表壳体、内燃机气缸、活塞、泵体等。

### 2) 铜及铜合金

①纯铜具有优良的导电性、导热性和耐腐蚀性。纯铜的强度低、塑性好，工业上加工纯铜（如 T2、T3 等）主要用于制造电缆、油管等，很少用来制造机械零件。

②黄铜是以锌为主要合金元素的铜合金。加入适量的锌，能提高铜的强度、塑性和耐腐蚀性。只加锌的铜合金称为普通黄铜（如 H62、H70）；若在其中再加适量的铅、锰、锡、硅、铝元素可形成特殊黄铜（如 HPb59-1、HMn58-2 等），能进一步提高其力学性能、耐腐蚀性和切削加工性；还有用于铸造的铸造黄铜（如 ZCuZn38）。黄铜主要用于制造弹簧、衬套及耐蚀零件等。

③青铜原指铜锡合金，现把以铝、硅、铅等为主要合金元素的铜合金也称为青铜。青铜按主加元素的不同分锡青铜（如 QSn4-3）、铝青铜（如 QAl5）、铍青铜（如 QBe2）及用于铸造的铸造锡青铜（如 ZCuSn10Pb1）等。青铜的耐磨及减摩性好、耐腐蚀性好，主要用于制造轴瓦、蜗轮及要求减摩、耐蚀的零件等。

### 3. 非金属材料

长期以来，金属一直是机械工程上使用的主要材料。这是由于金属材料具有良好的力学性能和工艺性能的缘故。但随着科学技术的发展，对材料的要求愈来愈高，不但要求高强度，而且要求重量轻、耐蚀、耐高温、耐低温和良好的电气性能等。因此，近年来已有许多非金属材料如塑料、橡胶、陶瓷等用于各类机械工程结构。

(1) 塑料 塑料是以合成树脂为基础，加入各种添加剂（如增塑剂、润滑剂、稳定剂、填充剂等）制成的高分子材料。塑料具有密度低、耐蚀性好、绝缘、绝热、隔音性好、减摩耐磨性好、价格低、成形方便等优点。因此被广泛地用于包装、日用消费品、农业、交通、运输、航空、电子、化工、通信、机械、建筑材料等领域。塑料的缺点是强度及硬度低、耐热性差。塑料有多种分类方法。

1) 按热性能分常有以下两种：

①热塑性塑料：典型的品种有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、尼龙、ABS 塑料、聚甲醛、聚砜、有机玻璃等。这类塑料特点是易于加工成形，可反复使用多次，强度较高，但耐热性和刚度较低。

②热固性塑料：典型的品种有环氧、酚醛、氨基、不饱和聚酯树脂等。这类塑料具有较高的耐热性和刚度，但脆性大，不能反复成形与再生使用。

2) 按用途分常有以下三种：

①通用塑料：通用塑料产量大、用途广、价格低。主要有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、酚醛塑料和氨基塑料六大品种。

②工程塑料：工程塑料具有较好的力学性能，用作工程结构材料的塑料。常用的有 ABS 塑料、聚酰胺、聚甲醛、聚四氟乙烯等。

③特种塑料：特种塑料是指耐热或具有特殊性能和特殊用途的塑料。品种有氟塑料、有机硅树脂、环氧树脂、离子交换树脂等。

(2) 橡胶 橡胶是在室温下处于高弹态的高分子材料。工业上使用的橡胶是在生橡胶（天然或合成的）中加入各种配合剂经硫化后制成的。橡胶最大特点是弹性好，具有良好的吸振性、电绝缘性、耐磨性和化学稳定性。

橡胶分天然橡胶和合成橡胶。天然橡胶有很好的综合性能，广泛用于制造轮胎、胶带、胶管等。合成橡胶种类很多，常用的有丁苯橡胶、顺丁橡胶、氯丁橡胶等。用于制造机械中的密封圈、减振器、电线包皮、轮胎、胶带等。特种橡胶有乙丙橡胶、硅橡胶、氟橡胶、聚氨酯橡胶等。

(3) 陶瓷 陶瓷包括整个硅酸盐材料和氧化物材料，是无机非金属材料的总称。陶瓷具有高硬度、高耐磨性、高熔点、高化学稳定性、高抗压强度。但很脆，抗拉强度低，成形和加工都较困难。

陶瓷分普通陶瓷和特种陶瓷。普通陶瓷是由粘土、长石、石英等天然原料，经粉碎、成形和烧结制成制品，主要用于建筑工程、一般电气工业、生活用品及艺术品等。特种陶瓷是为满足工程上的特殊需要人工提炼的、纯度较高的化合物制成的陶瓷，如高温陶瓷、电容器陶瓷、磁性陶瓷、压电陶瓷等。

#### 4. 复合材料

复合材料是由两种或两种以上性质不同的物质组成的人工合成材料。复合材料既保留了组成材料各自的优点，又得到了单一材料无法具备的优良综合性能，突出的特点是重量轻、

综合力学性能好，是人们按照性能要求而设计的一种新型材料。

组成复合材料的物质可分两类：一类为基体材料，起粘结剂作用；另一类是增强材料，起提高强度和韧度的作用。

按增强材料形态的不同，复合材料分为纤维复合、层叠复合、颗粒复合三种类型。

按基体材料的不同，复合材料可分为聚合物基复合、金属基复合、无机非金属基复合三大类型。

目前应用较多的是树脂基纤维复合材料，如玻璃纤维树脂复合材料、碳纤维树脂复合材料。玻璃纤维树脂复合材料俗称玻璃钢，是应用最多的复合材料。

复合材料广泛用于航空、宇航、船舶、军工、汽车、化工和机械工业。

### 三、新材料的研究及其发展

新材料是指那些新出现或正在发展中的、具有优异性能和特殊功能的材料。发展和研制新材料体现了国家利益，是一项国家战略。

国内新材料研究已在一些方面取得重大进展，例如在高性能陶瓷材料方面的研究水平和材料性能达到或接近国际先进水平；在高温超导材料、钕铁硼永磁材料、高温合金和金属间化合物结构材料等方面，都取得了在国际上有重要影响的研究成果。

国家支柱产业、高新技术产业和现代国防的发展极大地刺激和带动了高性能结构材料等的发展。例如我国轿车年产量到 2010 年将达到 400 万辆，因此对高性能、低成本、高可靠性的材料，特别是对先进的热塑性树脂基复合材料及高强、高韧、成形性高的钢板和轻合金的需求非常迫切，迫使材料技术的发展。新材料的研究要有系统性和超前性，并形成产业化。

新材料的研究要注重学科交叉、综合，利用现代科学技术的最新成就，例如近年兴起的纳米材料、智能材料、先进复合材料和生态环境材料等都是学科交叉的结果。新材料的发展也带动和促进基础材料和传统材料的改造与更新，例如对我国产量接近世界第一的钢铁，正在进行“超级钢”的研究发展计划。

总之，21 世纪新材料向高性能化、多功能化、复合化、智能化和低成本化方向发展。

## 第二节 常用热处理方法

### 一、概述

钢的热处理是将钢在固态下通过加热、保温、冷却的方法，使钢的组织结构发生变化，从而获得所需性能的工艺方法。热处理工艺过程，包括下列三个步骤：

(1) 加热 以一定的加热速度把零件加热到规定的温度范围。这个温度范围可根据不同的金属材料、不同的热处理要求确定。

(2) 保温 工件在规定温度下，恒温保持一定时间，使零件内外温度均匀。

(3) 冷却 保温后的零件以一定的冷却速度冷却下来。

把零件的加热、保温、冷却过程绘制在温度—时间坐标上，就可以得到如图 1-4 所示的热处理工艺曲线。

在机械制造中，热处理具有很重要的地位。例如，钻头、锯条、冲模，必须有高的硬度和耐磨性方能保持锋利，达到加工金属的目的。因此，除了选用合适的材料外，还必须进行

热处理，才能达到上述要求。此外，热处理还可改善材料的工艺性能，如加工性，使切削省力，刀具磨损小，且工件表面质量高。

热处理工艺方法很多，一般可分为普通热处理、表面热处理和化学热处理等。

## 二、普通热处理

钢的普通热处理工艺有退火、正火、淬火、回火四种。

### 1. 退火

退火是将金属或合金加热到适当温度，保温一段时间，然后缓慢冷却的热处理工艺。

退火的主要目的是：降低硬度、消除内应力、改善组织和性能、为后续的机械加工和热处理做好准备。

生产上常用的退火方法有消除中碳钢铸件等缺陷的完全退火、改善高碳钢（如刀具、量具、模具等）加工性的球化退火和去除大型铸、锻件应力的去应力退火等。

### 2. 正火

正火是将钢加热到适当温度，保温适当的时间后，在空气中冷却的热处理工艺。

正火的目的是细化晶粒，消除内应力，这与退火的目的基本相同。但由于正火冷却速度比退火冷却速度快，故同类钢正火后的硬度和强度要略高于退火。而且由于正火不是随炉冷却，所以生产率高、成本低。因此在满足性能要求的前提下，应尽量采用正火。普通的机械零件常用正火作最终热处理。

### 3. 淬火

淬火是将钢件加热到适当温度，保持一定时间，然后以较快速度冷却的热处理工艺。

淬火的目的是提高钢的硬度和耐磨性。淬火是钢件强化最经济有效的热处理工艺，几乎所有的工模具和重要零部件都需要进行淬火处理，因此淬火也是热处理中应用最广的工艺之一。

(1) 淬火介质 由于不同成分的钢所要求的冷却速度不同，故应通过使用不同的淬火介质来调整钢件淬火冷却速度。最常用的淬火介质有水、油、盐溶液和碱溶液及其它合成淬火介质。淬火冷却的基本要求是：既要使工件淬硬，又要避免产生变形和开裂。因此，选用合适的淬火介质对钢的淬火效果十分重要。

(2) 工件浸入淬火介质的操作方法 工件淬火时浸入淬火介质的操作是否正确，对减小工件变形和避免工件开裂有着重要的影响。为保证工件淬火时得到均匀的冷却，减小工件的内应力，并且考虑到工件的重心稳定，正确的工件浸入淬火介质的方法是：厚薄不均的零件，应使厚的部分先浸入淬火介质；细长的零件（如钻头、轴等），应垂直浸入淬火介质中；薄而平的工件（如圆盘、铣刀等），必须立着放入淬火介质中；薄壁环状零件，浸入淬火介质时，它的轴线必须垂直于液面；有不通孔的工件，应将孔朝上浸入淬火介质中；十字型或H型工件，应斜着浸入淬火介质中。各种形状的零件浸入淬火介质的方法，如图 1-5 所示。

### 4. 回火

回火是指钢件淬硬后，再加热到适当温度，保温一定时间，然后冷却到室温的热处理工艺。

淬火钢回火的目的是消除和降低内应力、防止开裂、调整硬度、提高韧性，从而获得强

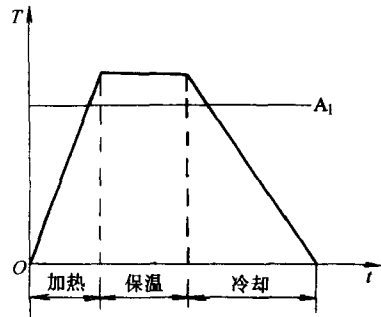


图 1-4 热处理工艺曲线示意图

度、硬度、塑性和韧性配合适当的力学性能、稳定钢件的组织和尺寸。一般淬火后的钢件必须立即回火，避免造成淬火钢件的进一步变形和开裂。

根据回火加热温度不同，回火可分为以下三种：

(1) 低温回火 淬火钢件在 200~250℃ 的回火称为低温回火。低温回火使钢的内应力和脆性降低，保持了淬火钢的高硬度和高耐磨性，硬度达 60HRC 以上。各种工、模具淬火后，应进行低温回火。

(2) 中温回火 淬火钢件在 350~500℃ 的回火称为中温回火。中温回火能使钢中的内应力大部分清除，具有一定的韧性和高弹性，硬度达 35~45HRC。各种弹簧常进行中温回火。

(3) 高温回火 淬火钢件在 500~650℃ 的回火称高温回火。习惯上常将淬火及高温回火的复合热处理工艺称为调质。钢经调质后具有强度、硬度、塑性、韧性都较好的综合力学性能。回火后硬度一般为 200~300HBS。各种重要零件如连杆、螺栓、齿轮及轴类等常进行调质处理。

### 三、表面热处理

表面热处理是指仅对工件表面进行热处理以改变其组织和性能的工艺。表面热处理只对一定深度的表层进行强化，而心部基本上保持处理前的组织和性能，因而工作表面可获得高强度、高耐磨性，而心部获得高韧性三者比较满意的结合。同时由于表面热处理是局部加热，所以能显著减少淬火变形，降低能耗。

#### 1. 感应加热表面热处理（高频感应加热淬火）

感应加热表面淬火是指利用感应电流通过工件所产生的热效应，使工件表面加热并进行快速冷却的淬火工艺。如图 1-6 所示是感应加热表面淬火原理图。

感应加热表面淬火主要用于中碳钢和中碳合金钢件，如齿轮、凸轮、传动轴等。

这种热处理工艺由于加热速度快，表面氧化、脱碳和变形小，容易控制和操作，因此，生产率高，易于实现机械化、自动化，适用成批生产。缺点是设备较贵，形状复杂零件的感应器不易制造。

#### 2. 火焰加热表面热处理

应用氧—乙炔或其它燃气火焰对零件表面进行加热，随之淬火冷却的工艺称为火焰加热淬火。这种方法设备简单、成本低，但生产率低，质量较难控制，因此只适用于单件、小批量生产或大型零件如大型齿轮、轴等的表面淬火。如图 1-7 所示是火焰加热表面淬火示意图。

#### 3. 激光加热表面淬火

激光加热表面淬火是一种新型的高能量密度的强化方法。它

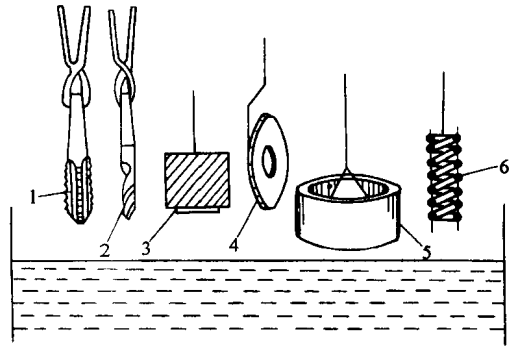


图 1-5 各种形状的零件浸入淬火介质的方法

1—丝锥 2—钻头 3—铰刀 4—圆片  
5—钢圈 6—弹簧

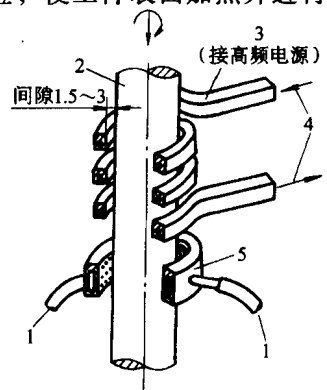


图 1-6 感应加热表面淬火原理图

1—淬火介质 2—工件  
3—加热感应圈 4—感应圈冷却水 5—淬火喷水套

利用激光束扫描工件表面，使工件表面迅速加热到钢的临界点以上，当激光束离开工作表面时，由于基体金属的大量吸热而表面迅速冷却，因此无须冷却介质。

激光加热表面淬火可对拐角、沟槽、不通孔底部、深沟内壁等一般热处理工艺难以解决的强化问题得到解决。

#### 四、表面化学热处理

表面化学热处理是将工件置于特定的介质中加热和保温，使一种或几种元素的原子渗入工件表面，以改变表层的化学成分和组织，从而获得所需性能的热处理工艺。

化学热处理的目的是提高钢件的表面硬度、耐磨性和抗蚀性，而钢件的心部仍保持原有性能。常用的化学热处理有渗碳、渗氮、渗硼、渗铝、渗铬及几种元素共渗（如碳氮共渗等）。

##### 1. 渗碳

为了增加钢件表面的含碳量和获得一定的碳浓度梯度，将钢件在渗碳介质中加热并保温使碳原子深入表层的化学热处理工艺。渗碳用于低碳钢和低碳合金结构钢，如 20 钢、20Cr、20CrMnTi 等。渗碳后获得 0.5~20mm 的高碳表层，再经淬火、低温回火，使表面具有高硬度、高耐磨性，而心部具有良好塑性和韧度，使零件既耐磨，又抗冲击。渗碳用于在摩擦冲击条件下工作的零件，如汽车齿轮、活塞销等。

##### 2. 渗氮

渗氮是将工件放在渗氮介质中加热、保温，使氮原子渗入工件表层。零件渗氮后表面形成 0.5~0.6mm 的氮化层，不需淬火就具有高的硬度、耐磨性、抗疲劳性和一定的耐蚀性，而且变形很小。但渗氮处理的时间长、成本高，目前主要用于 38CrMoAl 钢制造精密丝杠、高精度机床主轴等精密零件。

##### 3. 渗铝

它是向工件表面渗入铝原子的过程。渗铝件具有良好的高温抗氧化能力，主要适用于石油、化工、冶金等方面的管道和容器。

##### 4. 渗铬

渗铬是向工件表面渗入铬原子的过程。渗铬零件具有耐蚀、抗氧化、耐磨和较好的抗疲劳性能，并兼有渗碳、渗氮和渗铝的优点。

##### 5. 渗硼

渗硼是向工件表面渗入硼原子的过程。渗硼零件具有高硬度、高耐磨性和好的热硬性（可达 800℃），并在盐酸、硫酸和碱的介质中具有抗蚀性。

渗硼应用在泥浆泵衬套、挤压螺杆、冷冲模及排污阀等方面，能显著提高使用寿命。

#### 五、常用的热处理设备

##### 1. 加热设备

加热炉是热处理加热的专用设备，根据热处理的方法不同，所用加热炉也不同，常用的加热炉有箱式电阻炉、井式电阻炉和盐浴炉等。

(1) 箱式电阻炉 箱式电阻炉根据使用温度不同，可分为高温、中温、低温箱式电阻炉。它是利用电流通过布置在炉膛内的电热元件发热，借辐射或对流作用，将热量传递给工

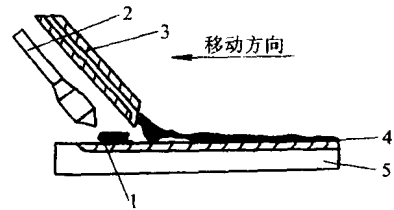


图 1-7 火焰加热表面淬火示意图

1—加热层 2—烧嘴 3—喷水管  
4—淬硬层 5—工件



件，使工件加热。

如图 1-8 所示是常用的中温箱式电阻炉结构示意图。这种炉子的外壳用钢板和型钢焊接而成，内砌轻质耐火砖，电热元件布置在炉膛两侧和炉底，热电偶从炉顶或后壁插入炉膛，通过检温仪表显示和控制温度。中温箱式电阻炉通称 RX3 型，R——电阻炉，X——箱式，3——设计序号。如 RX3-45-9 表示炉子的功率为 45kW，最高工作温度为 950℃。

箱式电阻炉适用于钢铁材料和非铁材料（有色金属）的退火、正火、淬火、回火热处理工艺的加热。

(2) 井式电阻炉 井式电阻炉的工作原理与箱式电阻炉相同。根据使用温度不同，分为高温、中温、低温井式电阻炉，常用的是中温井式电阻炉。

如图 1-9 所示是中温井式电阻炉结构示意图。这种炉子一般用于长形工件的加热。因炉体较高，一般均置于地坑中，仅露出地面 600~700mm。井式电阻炉比箱式电阻炉具有更优越的性能，炉顶装有风扇，加热温度均匀，细长工件可以垂直吊挂，并可利用各种起重设备进料或出料。井式电阻炉型号 RJ 型，R——电阻炉，J——井式。如 RJ-40-9 型的炉子表示功率为 40kW，最高工作温度为 950℃。井式电阻炉主要用于轴类零件或质量要求较高的细长工件的退火、正火、淬火工艺的加热。

井式电阻炉和箱式电阻炉使用都比较简单，在使用过程中应经常清除炉内的氧化铁屑，进出料时必须切断电源，不得碰撞炉衬或十分靠近电热元件，以保证安全生产和电阻炉的使用寿命。

(3) 盐浴炉 盐浴炉是用熔盐作为加热介质的炉型。根据工作温度不同分为高温、中温、低温盐浴炉。高、中温盐浴炉采用电极的内加热式，是把低电压、大电流的交流电通入置于盐槽内两个电极上，利用两电极间熔盐电阻发热效应，使熔盐达到预定温度，将零件吊挂在熔盐中，通过对流、传导作用，使工件加热。低温盐浴炉采用电阻丝的外加热式。盐浴炉可以完成多种热处理工艺的加热，其特点是加热速度快、均匀，氧化和脱碳少，是中小型工、模具的主要加热方式。

如图 1-10 所示是盐浴炉结构示意图，中温炉最高工作温度为 950℃，高温炉最高工作温度为 1300℃。

(4) 控温仪表 加热炉控温装置由热电偶和温度控制仪组成。热电偶是将温度转换成电势的一种感温元件。由于一般加热炉内的温度分布不均匀，热电偶测得的又只是热端周围一

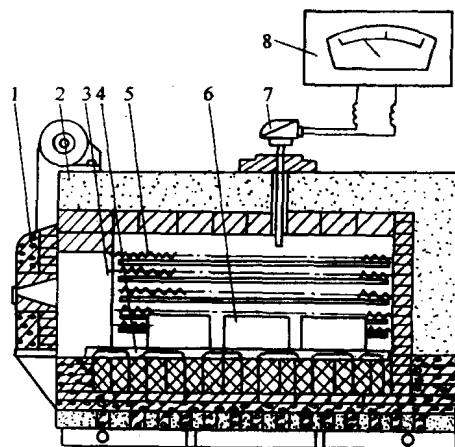


图 1-8 箱式电阻炉

- 1—炉门 2—炉体 3—炉膛 4—耐热钢炉底板  
5—电热元件 6—工件 7—热电偶  
8—控温仪表

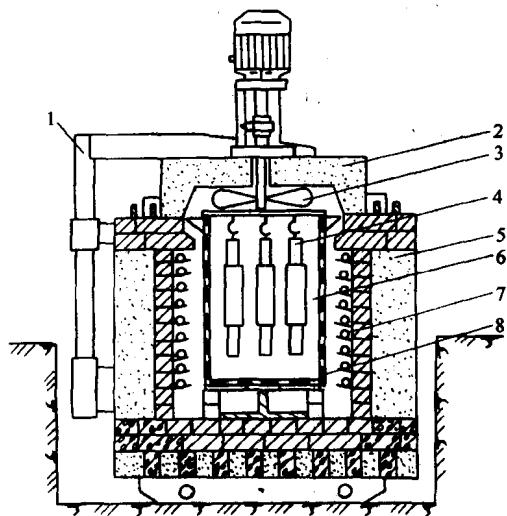


图 1-9 中温井式电阻炉结构示意图

- 1—炉盖升降机构 2—炉盖 3—风扇 4—工件  
5—炉体 6—炉膛 7—电热元件 8—装料筐