



高等教育“十二五”规划教材  
国家级机械工程实验教学示范中心系列实验教材

# 过程装备与 控制工程专业实验

Guocheng Zhuangbei yu  
Kongzhi Gongcheng Zhuanye Shiyan

◎主 编 朱振华 姜吉光  
◎主 审 杨立峰



 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等教育“十二五”规划教材  
国家级机械工程实验教学示范中心系列实验教材

# 过程装备与控制 工程专业实验

主编 朱振华 姜吉光  
主审 杨立峰  
参编 时黎霞 李晶 孟宪宇  
褚剑锋 曾丽娜

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 图书在版编目 (CIP) 数据

国际汇兑实务 / 潘海红等主编. —北京: 对外经济贸易大学出版社, 2011

“十二五”应用型国际商务类专业规划教材

ISBN 978-7-5663-0082-9

I. ①国… II. ①潘… III. ①汇兑结算: 国际结算 - 高等学校 - 教材 IV. ①F830.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 148758 号

© 2011 年 对外经济贸易大学出版社出版发行

版权所有 翻印必究

## 国际汇兑实务

潘海红 黄光明 主编

责任编辑: 庄蕊 汪洋

---

对外经济贸易大学出版社  
北京市朝阳区惠新东街10号 邮政编码: 100029  
邮购电话: 010-64492338 发行部电话: 010-64492342  
网址: <http://www.uibep.com> E-mail: [uibep@126.com](mailto:uibep@126.com)

---

北京市山华苑印刷有限责任公司印装 新华书店北京发行所发行  
成品尺寸: 185mm × 260mm 14 印张 324 千字  
2011 年 8 月北京第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-5663-0082-9

印数: 0 001 - 5 000 册 定价: 28.60 元

过程装备与控制工程是一门集机械工程、化学工程、控制工程等多学科于一体的交叉性科学，涉及石油、化工、石化、医药、能源、轻工、环保、食品、机械、控制等诸多领域，几乎涉及国民经济中的所有重要领域。该专业主要研究过程工业中使用的装备及其装备的控制。

过程装备与控制工程的专业实验涉及课程门数较多，各个学校开设的实验项目种类繁多，但都包括该专业的一些基本实验，如压力容器应力测定实验、外压容器稳定性实验、离心泵性能实验、压缩机性能实验等。本书不但包括了过程装备与控制工程专业的一些基本实验，还包括了该专业的专业基础课实验和其他一些专业实验。

在编写体例上，每门课程的实验作为一篇，在每一篇中，每个实验作为一章。在编写内容上，对于每个实验，不仅编写了实验指导，还介绍了实验所涉及的一些相关知识。

本书共分十篇，共计 38 个实验项目。具体内容如下：

第一篇，工程材料实验。包括以下四个实验项目：铁碳合金平衡组织分析实验、碳钢热处理后的显微组织观察实验、常用金属材料的显微组织观察实验和硬度测量实验。

第二篇，化工原理实验。包括以下四个实验项目：换热器换热性能实验、换热器管程和壳程压力降测定实验、流体传热系数测定实验和离心泵性能测定实验。

第三篇，工程热力学实验。包括以下三个实验项目：冰箱制冷循环实验、空调制冷循环实验和空调制热循环实验。

第四篇，单片机原理及应用实验。包括以下七个实验项目：存储器实验、程序跳转表实验、数据排序实验、并行输入/输出接口实验、定时器实验、74LS245 输入/输出数据实验和 8255 输入/输出实验。

第五篇，可编程序控制器原理及应用。包括以下四个实验项目：PLC 基本指令的编程练习实验、三相异步电动机的星/三角换接启动控制实验、液体混合装置控制的模拟实验和十字路口交通灯控制的模拟实验。

第六篇，自动控制原理及应用。包括以下四个实验项目：典型环节的电路模拟实验、二阶系统的瞬态响应实验、高阶系统的瞬态响应和稳定性分析实验和线性定常系统的稳态误差实验。

第七篇，过程设备设计实验。包括以下三个实验项目：换热器壳体应力测定实验、外压薄壁容器的稳定性实验和超声波探伤实验。

第八篇，过程流体机械实验。包括以下三个实验项目：压缩机性能测定实验、离心泵恒压力控制实验和离心泵恒流量控制实验。

第九篇，过程检测技术及仪表实验。包括以下三个实验项目：调节器的认识和校验实验、流量计的认识和校验实验和变频器的认识和校验实验。

第十篇，过程控制系统实验。包括以下三个实验项目：串级控制系统实验、单回路控制系统实验和调节阀流量特性测试实验。

本书实验项目所用到的实验设备主要有北京化工大学研制的过程设备与控制多功能实验台、活塞式压缩机性能测试实验装置和外压容器稳定性实验装置、浙江求是科教设备有限公司研制的 PCT-II 型高级过程控制实验装置、上海华育教学设备有限公司研制的制冷制热综合实验台等。在此对实验设备的研制人员表示衷心的感谢。

本书由朱振华、姜吉光任主编，杨立峰任主审。其中第一、第七篇由朱振华编写，第二、第三篇由孟宪宇编写，第四篇由姜吉光编写，第五篇由曾丽娜编写，第六篇由褚剑锋编写，第九篇由时黎霞编写，第八、第十篇由李晶编写。

本教材既可作为高等学校过程装备与控制工程专业的实验教材，也可供从事相关专业的工程技术人员或管理人员参考。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者

第一篇 工程材料实验

<b>第一章 铁碳合金平衡组织分析</b> .....	3
第一节 铁碳合金相图分析.....	3
第二节 铁碳合金的分类.....	5
第三节 碳钢和白口铸铁的平衡组织.....	6
第四节 铁碳合金中各种组成相或组织组成物的特征.....	8
第五节 亚共析钢碳质量分数的估算.....	9
第六节 实验指导 .....	10
<b>第二章 碳钢热处理后的显微组织观察</b> .....	12
第一节 钢在热处理时的组织转变 .....	12
第二节 钢的常规热处理工艺 .....	15
第三节 实验指导 .....	17
<b>第三章 常用金属材料的显微组织观察</b> .....	19
第一节 几种常用合金钢的显微组织 .....	19
第二节 几种常用有色金属的显微组织 .....	20
第三节 铸铁的显微组织 .....	21
第四节 实验指导 .....	21
<b>第四章 硬度测量</b> .....	23
第一节 硬度测量原理 .....	23
第二节 实验指导 .....	25

第二篇 化工原理实验

<b>第一章 换热器换热性能实验</b> .....	31
第一节 换热器工作原理 .....	31
第二节 实验原理 .....	32
第三节 热量 $Q_c$ 和热损失 $\Delta Q$ 的计算示例 .....	33
第四节 实验指导 .....	33
<b>第二章 换热器管程和壳程压力降测定实验</b> .....	36
第一节 实验原理 .....	36

第二节	换热器管程、壳程压力降计算示例 .....	36
第三节	实验指导 .....	38
<b>第三章</b>	<b>流体传热系数测定实验 .....</b>	<b>40</b>
第一节	传热系数简介 .....	40
第二节	传热系数测定的基本原理 .....	40
第三节	总传热系数 $K$ 的计算示例 .....	41
第四节	实验指导 .....	44
<b>第四章</b>	<b>离心泵性能测定实验 .....</b>	<b>46</b>
第一节	离心泵工作原理 .....	46
第二节	实验原理 .....	46
第三节	离心泵扬程、轴功率及效率的计算示例 .....	47
第四节	实验指导 .....	48

### 第三篇 工程热力学实验

<b>第一章</b>	<b>冰箱制冷循环实验 .....</b>	<b>53</b>
第一节	冰箱工作原理 .....	53
第二节	实验指导 .....	54
<b>第二章</b>	<b>空调制冷循环实验 .....</b>	<b>55</b>
第一节	空调制冷原理 .....	55
第二节	实验指导 .....	56
<b>第三章</b>	<b>空调制热循环实验 .....</b>	<b>57</b>
第一节	空调制热工作原理 .....	57
第二节	实验要求 .....	58

### 第四篇 单片机原理及应用实验

<b>第一章</b>	<b>存储器实验 .....</b>	<b>61</b>
第一节	存储器基本结构 .....	61
第二节	存储器块清零实验指导 .....	62
第三节	内存块移动实验指导 .....	63
<b>第二章</b>	<b>程序跳转表实验 .....</b>	<b>65</b>
第一节	分支程序设计原理 .....	65
第二节	程序跳转表实验指导 .....	67
<b>第三章</b>	<b>数据排序实验 .....</b>	<b>68</b>
第一节	循环程序设计原理 .....	68
第二节	数据排序实验指导 .....	69
<b>第四章</b>	<b>并行输入/输出接口实验 .....</b>	<b>71</b>
第一节	并行输入/输出接口简介 .....	71

第二节 实验指导 .....	74
第五章 定时器实验 .....	76
第一节 定时器工作原理 .....	76
第二节 实验指导 .....	79
第六章 74LS245 输入/输出数据实验 .....	81
第一节 74LS245 输入/输出数据原理 .....	81
第二节 实验指导 .....	81
第七章 8255 输入/输出实验 .....	83
第一节 8255 输入/输出工作原理 .....	83
第二节 实验指导 .....	84

## 第五篇 可编程序控制器原理及应用

第一章 PLC 基本指令的编程练习 .....	89
第一节 PLC 的结构及工作原理 .....	89
第二节 基本指令简介 .....	91
第三节 实验指导 .....	93
第二章 三相异步电动机的星/三角换接启动控制 .....	96
第一节 三相异步电动机星/三角换接启动的继电器控制 .....	96
第二节 实验指导 .....	97
第三章 液体混合装置控制的模拟 .....	100
第一节 应用程序的设计方法 .....	100
第二节 实验指导 .....	102
第四章 十字路口交通灯控制的模拟 .....	106
第一节 PLC 控制系统设计的内容和步骤 .....	106
第二节 实验指导 .....	108

## 第六篇 自动控制原理及应用

第一章 典型环节的电路模拟 .....	113
第一节 典型环节的电路模拟的工作原理 .....	113
第二节 实验指导 .....	116
第二章 二阶系统的瞬态响应 .....	120
第一节 二阶系统的瞬态响应的工作原理 .....	120
第二节 实验指导 .....	121
第三章 高阶系统的瞬态响应和稳定性分析 .....	123
第一节 高阶系统的瞬态响应和稳定性分析的工作原理 .....	123
第二节 实验指导 .....	124
第四章 线性定常系统的稳态误差 .....	126
第一节 线性定常系统的稳态误差的工作原理 .....	126
第二节 实验指导 .....	128



## 第七篇 过程设备设计实验

<b>第一章 换热器壳体应力测定实验</b> .....	133
第一节 应力测量的基本原理.....	133
第二节 电阻应变测量法.....	134
第三节 电阻应变仪.....	136
第四节 换热器入口和出口温度的计算.....	140
第五节 换热器壳体应力的实验测定和理论计算实例.....	141
第六节 实验指导.....	147
<b>第二章 外压薄壁容器的稳定性实验</b> .....	151
第一节 失稳现象.....	151
第二节 临界压力.....	151
第三节 实验指导.....	154
<b>第三章 超声波探伤实验</b> .....	157
第一节 超声波检测原理.....	157
第二节 超声波探伤仪的使用方法.....	159
第三节 实验指导.....	161

## 第八篇 过程流体机械实验

<b>第一章 压缩机性能测定与故障诊断实验（研究型）</b> .....	167
第一节 压缩机性能与常见故障.....	167
第二节 实验指导.....	168
<b>第二章 离心泵恒压力控制实验</b> .....	175
第一节 离心泵恒压力控制原理.....	175
第二节 实验指导.....	177
<b>第三章 离心泵恒流量控制实验</b> .....	179
第一节 离心泵恒流量控制原理.....	179
第二节 实验指导.....	181

## 第九篇 过程检测技术及仪表实验

<b>第一章 调节器的认识和校验</b> .....	185
第一节 概述.....	185
第二节 实验指导.....	188
<b>第二章 流量计的认识和校验</b> .....	192
第一节 概述.....	192
第二节 实验指导.....	199
<b>第三章 变频器的认识和校验</b> .....	202
第一节 概述.....	202
第二节 实验指导.....	206

## 第十篇 过程控制系统实验

<b>第一章 调节阀流量特性测试实验</b> .....	211
第一节 调节阀流量特性.....	211
第二节 对象特性测试实验方法.....	214
第三节 调节阀流量特性测试（调节器）实验指导 .....	216
第四节 调节阀流量特性测试（计算机）实验指导 .....	217
<b>第二章 单回路控制系统实验</b> .....	219
第一节 单回路控制系统实验原理.....	219
第二节 单回路液位控制系统实验指导（调节器控制）指导 .....	222
第三节 单回路液位控制系统实验（计算机控制）指导 .....	225
<b>第三章 串级控制系统实验</b> .....	228
第一节 串级控制系统的设计与整定.....	228
第二节 上水箱液位和流量串级实验（调节器控制）指导 .....	230
第三节 上水箱液位和流量串级系统（计算机控制）指导.....	233



**第一篇**

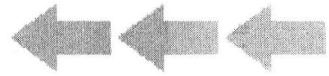
**工程材料实验**





# 第一章

## 铁碳合金平衡 组织分析



铁碳合金是由铁和碳两种组元组成的二元合金。根据含碳量的不同，铁碳合金又可分为碳钢和铸铁两大类。碳钢和铸铁是工业上应用最广的金属材料，它们的性能与组织有密切的联系，因此熟悉并掌握它们的组织，对于合理使用钢铁材料具有十分重要的实际指导意义。

### 第一节 铁碳合金相图分析

#### 一、铁碳合金相图

铁碳合金相图是由铁和碳两种组元形成的二元合金相图。铁和碳形成的化合物主要有 $\text{Fe}_3\text{C}$ 、 $\text{Fe}_2\text{C}$ 和 $\text{FeC}$ 三种。因此，整个 $\text{Fe}-\text{C}$ 相图包括 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ ， $\text{Fe}_3\text{C}-\text{Fe}_2\text{C}$ ， $\text{Fe}_2\text{C}-\text{FeC}$ ， $\text{FeC}-\text{C}$ 等几部分。由于 $\text{Fe}_3\text{C}$ 的含碳量为6.69%，碳含量超过6.69%时，铁碳合金脆性很大，没有实用价值。因此，有实用价值并被深入研究的只是 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 部分。 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 合金相图见图1-1。

$\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图看上去比较复杂，但实际上是由包晶相图、共晶相图和共析相图这三个基本相图组成的。

#### 二、铁碳合金相图分析

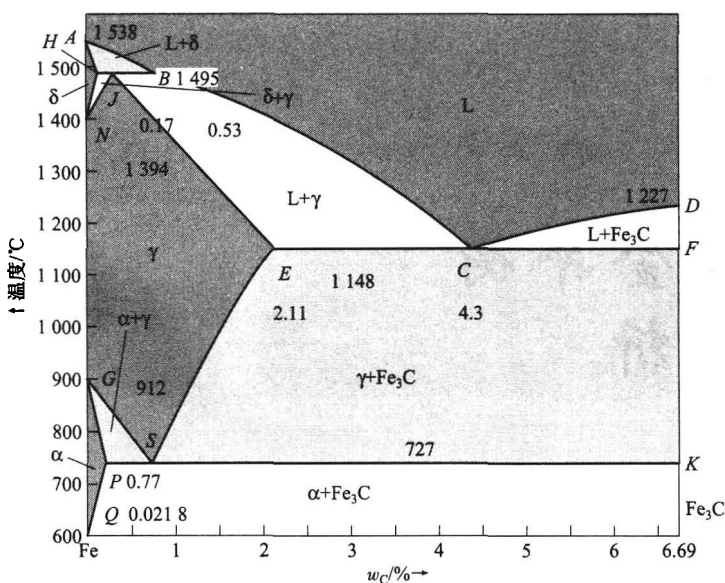
##### (一) 铁碳合金相图中的基本相

##### 1. 铁素体（用F或 $\alpha$ 表示）

它是碳溶于 $\alpha-\text{Fe}$ 中形成的体心立方晶格的间隙固溶体。碳在铁素体中的溶解度很小，在727℃时溶解度最大，为0.0218%。铁素体的强度和硬度低，塑性好。在770℃以下具有磁性。

##### 2. 奥氏体（用A或 $\gamma$ 表示）

它是碳溶于 $\gamma-\text{Fe}$ 中形成的面心立方晶格的间隙固溶体。碳在奥氏体中的溶解度较大，在1148℃时溶解度最大，为2.11%。奥氏体的强度和硬度不高，塑性好，易于压力加工。奥氏体无磁性。

图 1-1 Fe-Fe<sub>3</sub>C 合金相图

### 3. δ 固溶体 (用 δ 表示)

它是碳溶于 δ-Fe 中形成的体心立方晶格的间隙固溶体。δ 固溶体的性质与铁素体相同, 又称为高温铁素体, 但 δ 固溶体只存在于 1 538 °C ~ 1 394 °C 之间。在 1 495 °C, 碳的溶解度最大, 为 0.09%。

### 4. 铁碳合金化合物 (渗碳体)

它是铁和碳形成的具有复杂晶格的间隙化合物, 也就是 Fe<sub>3</sub>C 相, 含 C 为 6.69%。渗碳体的硬度很高, 强度极低, 脆性非常大。

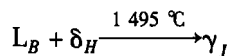
### 5. 液相 (用 L 表示)

它是铁和碳在一定温度下形成的液相溶体。

## (二) 相图中重要的点 (J、C、S)

#### 1. 包晶点 J (0.17%)

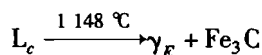
凡是含 C 量在 0.09% ~ 0.53% 之间 (成分在 HB 之间) 的铁碳合金, 冷却到 1 495 °C 时, B 点成分的液相和 H 点成分的 δ 发生包晶反应, 生成 J 点成分的 γ<sub>J</sub> 用式子表示:



包晶反应在恒温下进行, 反应过程中, L、δ、γ 三相共存。

#### 2. 共晶点 C (4.3%)

凡是含碳量在 2.11% ~ 6.69% 之间 (EF 之间) 的铁碳合金, 冷却到 1 148 °C 时, C 点成分的 L 相发生共晶反应, 生成 E 点成分的 γ 相和 Fe<sub>3</sub>C, 共晶反应用式子表示:

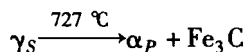


共晶反应的产物是奥氏体与渗碳体的混合物, 称为莱氏体, 用 Le' 表示。

共晶反应在恒温下进行, 反应过程中 L、γ 和 Fe<sub>3</sub>C 三相共存。

### 3. 共析点 $S$ (0.77%)

凡是含 C 量 0.021 8% ~ 6.69% 之间 ( $PK$  之间) 的铁碳合金, 冷却到 727 °C 时,  $S$  点成分的  $\gamma$  相发生共析反应, 生成  $P$  点成分的  $\alpha$  相和  $Fe_3C$ , 共析反应用式子表示:



共析反应的产物是铁素体和渗碳体的共析混合物, 称为珠光体, 用  $P$  表示。

共析反应在恒温下进行, 反应过程中  $\alpha$ 、 $\gamma$  和  $Fe_3C$  三相共存。

珠光体的强度很高, 塑性和韧性在渗碳体和铁素体之间。

#### (三) 相图中重要的线

(1)  $ABCD$  是液相线, 液相线以上全部是液相。

(2)  $AHJECF$  是固相线, 固相线以下全部是固相。

(3) 水平线  $HJB$  为包晶反应线, 成分在  $HB$  之间的铁碳合金, 当冷却到这条线对应的温度 (1 495 °C) 时发生包晶反应。

(4) 水平线  $ECF$  为共晶反应线, 成分在  $EF$  之间的铁碳合金, 当冷却到这条线对应的温度 (1 148 °C) 时发生共晶反应。

(5) 水平线  $PSK$  为共析反应线, 成分在  $PK$  之间的铁碳合金, 当冷却到这条线对应的温度 (727 °C) 时发生共析反应。

(6)  $ES$  线是碳在奥氏体 ( $\gamma$ ) 中的溶解度曲线, 在 1 148 °C 时, 溶解度最大, 为 2.11%。随着温度降低, 溶解度也减少。从奥氏体中析出渗碳体, 称为二次渗碳体即为  $Fe_3C_{II}$ 。

(7)  $PQ$  线是碳在铁素体 ( $\alpha$ ) 中的溶解度曲线, 在 727 °C 时, 溶解度最大, 为 0.021 8%。随着温度降低, 碳的溶解度也减少。从铁素体中析出的渗碳体, 称为三次渗碳体, 即为  $Fe_3C_{III}$ 。 $Fe_3C_{III}$  的数量很少, 往往忽略不计。

从液相中直接析出的渗碳体, 称为一次渗碳体。

## 第二节 铁碳合金的分类

### 一、根据 $Fe \sim Fe_3C$ 相图, 铁碳合金可分为三类

(1) 工业纯铁:  $w_C \leq 0.021\ 8\%$

(2) 钢:  $0.021\ 8\% < w_C \leq 2.11\%$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{亚共析钢 } 0.021\ 8\% < w_C < 0.77\% \\ \text{共析钢 } (w_C = 0.77\%) \\ \text{过共析钢 } (0.77\% < w_C \leq 2.11\%) \end{array} \right.$

(3) 白口铸铁:  $2.11\% < w_C \leq 6.69\%$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{亚共晶白口铸铁: } 2.11\% < w_C < 4.3\% \\ \text{共晶白口铸铁: } w_C = 4.3\% \\ \text{过共晶白口铸铁: } 4.3\% < w_C \leq 6.69\% \end{array} \right.$

### 二、根据钢中的含碳量, 钢可以分为三类

(1) 低碳钢:  $w_C \leq 0.25\%$  ;

(2) 中碳钢:  $0.25\% < w_C \leq 0.6\%$  ;

(3) 高碳钢:  $w_C > 0.6\%$ 。

### 三、根据钢的质量, 钢可以分为三类

- (1) 普通碳素钢:  $w_S \leq 0.055\%$ ,  $w_P \leq 0.045\%$ ;
- (2) 优质碳素钢:  $w_S \leq 0.040\%$ ,  $w_P \leq 0.040\%$ ;
- (3) 高级优质碳素钢:  $w_S \leq 0.030\%$ ,  $w_P \leq 0.035\%$ 。

### 四、根据钢的用途, 钢可以分为两类

- (1) 碳素结构钢: 用于制作金属构件和机器零部件;
- (2) 碳素工具钢: 用于制作各种工具 (量具、刀具、模具等)。

### 五、根据钢的冶炼方法, 钢可以分为两类

- (1) 平炉钢: 采用平炉技术冶炼;
- (2) 转炉钢: 采用转炉技术冶炼。

## 第三节 碳钢和白口铸铁的平衡组织

平衡组织一般是指合金在极为缓慢冷却的条件下 (如退火状态) 所得到的组织。铁碳合金在平衡状态下的显微组织可以根据  $Fe - Fe_3C$  相图来分析。从相图可知, 所有碳钢和白口铸铁在室温时的显微组织均由铁素体 (F) 和渗碳体 ( $Fe_3C$ ) 所组成。但是, 由于碳含量的不同, 结晶条件的差别, 铁素体和渗碳体的相对数量、形态, 分布和混合情况均不一样, 因而呈现各种不同特征的组织组成物。碳钢和白口铸铁在室温下的平衡组织见表 1-1。

表 1-1 各种铁碳合金在室温下的平衡组织

合金类型		碳质量分数 $w_C/\%$	显微组织
工业纯铁		$\leq 0.0218$	铁素体 (F)
碳钢	亚共析钢	0.0218 ~ 0.77	铁素体 (F) + 珠光体 (P)
	共析钢	0.77	珠光体 (P)
	过共析钢	0.77 ~ 2.11	珠光体 (P) + 二次渗碳体 ( $Fe_3C_{II}$ )
白口铸铁	亚共晶白口铸铁	2.11 ~ 4.3	珠光体 (P) + 二次渗碳体 ( $Fe_3C_{II}$ ) + 莱氏体 ( $Le'$ )
	共晶白口铸铁	4.3	莱氏体 ( $Le'$ )
	过共晶白口铸铁	4.3 ~ 6.69	一次渗碳体 ( $Fe_3C_I$ ) + 莱氏体 ( $Le'$ )

(1) 工业纯铁——室温时的平衡组织为铁素体 (F), F 为白色块状 (如图 1-2 所示)。

(2) 亚共析钢——室温时的平衡组织为铁素体 (F) + 珠光体 (P), F 呈白色块状, P 呈层片状, 放大倍数不高时呈黑色块状 (如图 1-3 所示)。碳质量分数大于 0.6% 的亚共析钢, 室温平衡组织中的 F 呈白色网状包围在 P 周围 (如图 1-4 所示)。



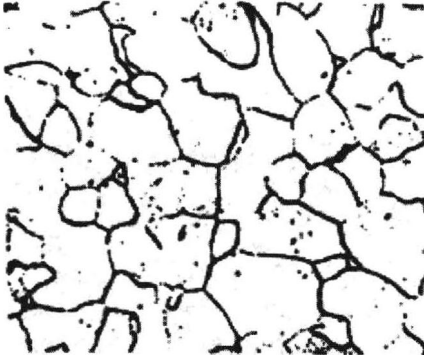


图 1-2 工业纯铁显微组织

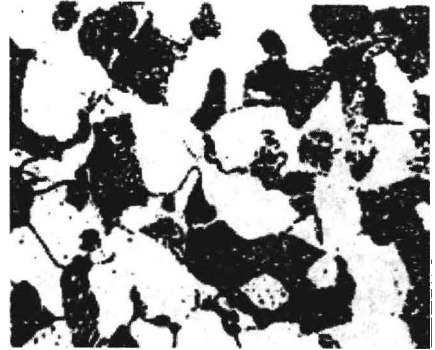


图 1-3 质量分数为 0.45% 碳钢的显微组织

(3) 共析钢——室温时的平衡组织是珠光体 (P)，其组成相是 F 和  $Fe_3C$  (如图 1-5、图 1-6 所示)。

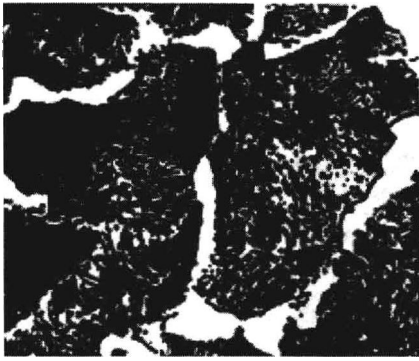


图 1-4 质量分数为 0.6% 碳钢的显微组织

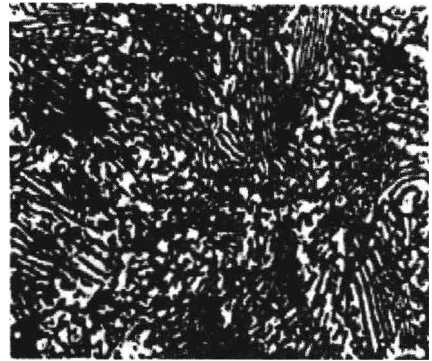


图 1-5 共析钢的显微组织 (中倍)

(4) 过共析钢——室温时的平衡组织为  $Fe_3C_{II} + P$ 。在显微镜下， $Fe_3C_{II}$  呈网状分布在层片状 P 周围 (如图 1-7 所示)。



图 1-6 共析钢的显微组织 (高倍)

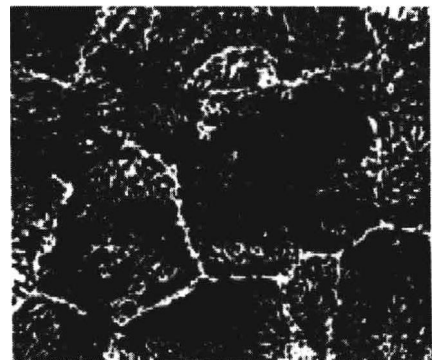


图 1-7 质量分数为 1.2% 碳钢的显微组织

(5) 亚共晶白口铸铁——室温时的平衡组织为  $P + Fe_3C_{II} + Le'$ 。 $Fe_3C_{II}$  网状分布在粗大块状 P 的周围， $Le'$  则由条状或粒状 P 和  $Fe_3C$  基体组成 (如图 1-8 所示)。