

## 第八章 铸铁

- ✦ 第一节 概述
- ✦ 第二节 普通灰铸铁
- ✦ 第三节 可锻铸铁
- ✦ 第四节 球墨铸铁
- ✦ 第五节 蠕墨铸铁
- ✦ 第六节 特殊性能铸铁

# 第八章 铸 铁

## 第一节 概述

**铸铁：**  $W_C > 2.11\%$  的 Fe-C 合金，并含有硅、锰、硫、磷等杂质。

**优点：**

- 1、生产设备和熔炼工艺；
- 2、铸造性能好；
- 3、良好的切削加工性能；
- 4、减摩性和抗震性；
- 5、价格低廉。



机床

**缺点：** 力学性能较低、脆性大

**目的：** 了解铸铁的性能特点，学会如何合理利用铸铁材料

# 第一节 概述

**应用：**可用于制造各种机器零件，如机床的床身、床头箱；发动机的汽缸体、缸套、活塞环、曲轴、凸轮轴；轧机的轧辊及机器的底座等。



箱体



启动阀



# 第一节 概述

## 一、铸铁的分类

### 1、按碳的存在形式分

- (1) 白口铸铁：碳全部或大部分以渗碳体形式存在
- (2) 灰 铸 铁：碳大部分或全部以游离的石墨形式存在
- (3) 麻口铸铁：碳以渗碳体形式存在，又以游离形式存在

### 2、按石墨的形态分类

- (1) 普通灰铸铁：石墨呈片状
- (2) 可锻铸铁：石墨呈团絮状
- (3) 球墨铸铁：石墨呈球状
- (4) 蠕墨铸铁：石墨呈蠕虫状

### 3、按化学成分分类

- (1) 普通铸铁：即仅含有常规元素的铸铁
- (2) 合金铸铁：在普通铸铁中加入一定量合金元素的铸铁



# 第一节 概述

## 二、铸铁的石墨化

石墨化过程：铸铁中石墨的结晶过程

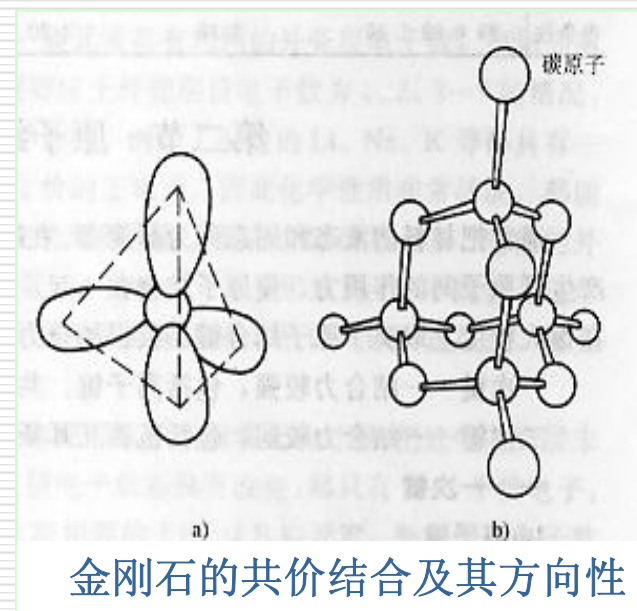
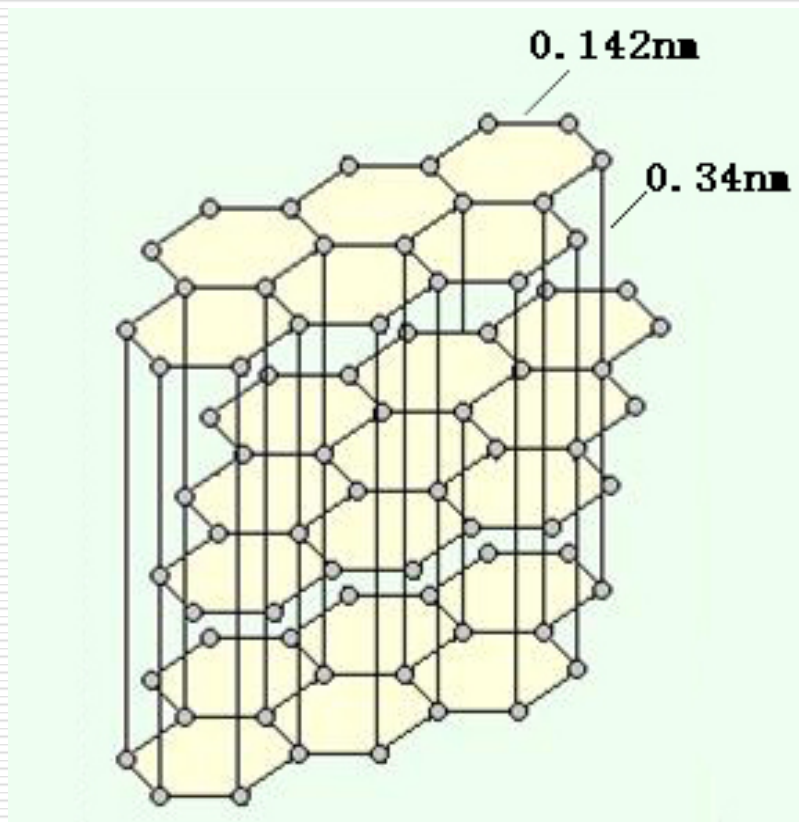


图8-1 石墨晶体结构

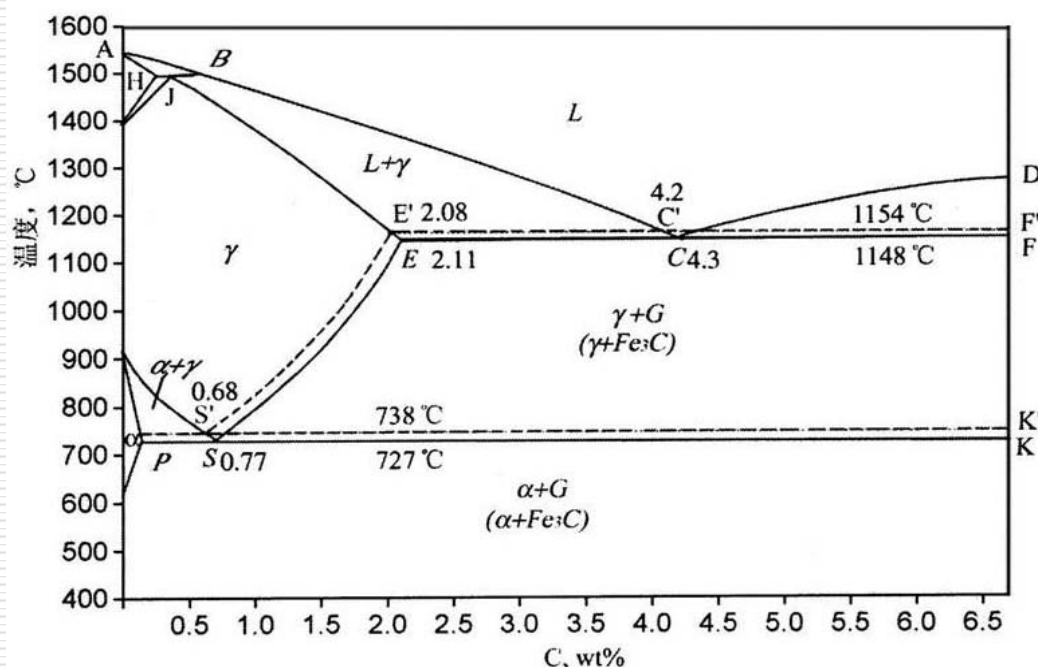


# 第一节 概述

## 1、铁-碳双重相图

结构条件：析出 $\text{Fe}_3\text{C}$ 比析出石墨较为容易——动力学条件

热力学条件：形成石墨更为有利



L—液态金属,  $\gamma$ —奥氏体, G—石墨,  $\delta$ ,  $\alpha$ —铁素体, P—珠光体

图 8-2 铁-碳双重相图

稳定相石墨的析出规律与 $\text{Fe}_3\text{C}$ 析出规律一致。 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图和 $\text{Fe}-\text{C}(\text{G})$ 相图合画在一起, 称铁-碳双重相图。



# 第一节 概述

## 2、石墨化过程

第一阶段：液态阶段石墨化（一次石墨，共晶石墨）

第二阶段：固态阶段石墨化（二次石墨，共析石墨，三次石墨）

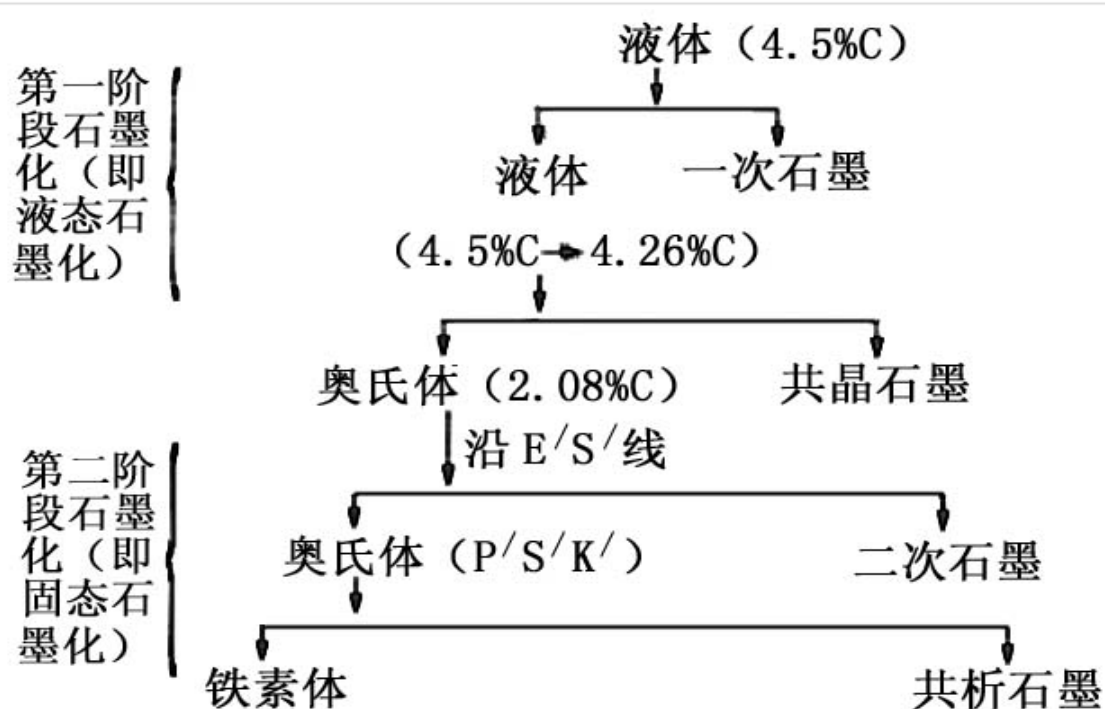


图 8-3 过共晶合金结晶石墨化过程示意图



# 第一节 概述

## 3、铸铁石墨化的影响因素

### (1) 化学成分

① **C和Si**：强烈促进石墨化

**碳当量( $C_E$ )**：把含Si量折算成相当的含碳量，并与实际含碳量相加。

$$C_E \% = C \% + (1/3)[Si] \%$$

② **Mn**：阻止石墨化的元素。形成MnS，适量Mn。

③ **S**：强烈阻碍石墨化。 $S \% < 0.15 \%$ 。

④ **P**：微弱促进石墨化。 $P \% \uparrow$ ，脆性 $\uparrow$ ，控制使用。

### (2) 冷却速度的影响

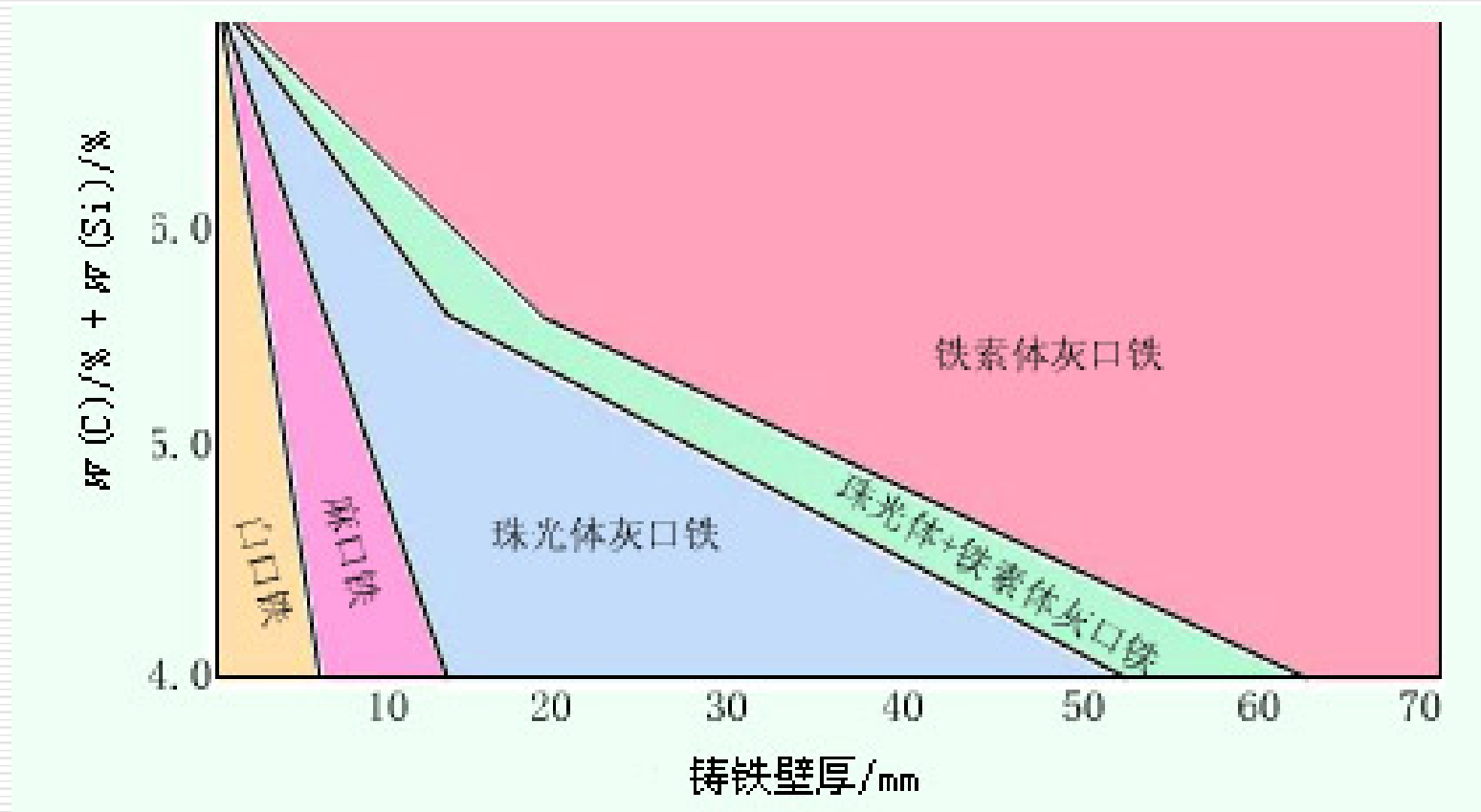
冷却速度 $\downarrow$ ，石墨化 $\uparrow$ ，灰铸铁 $\uparrow$





# 第一节 概述

## 铸铁石墨化的影响因素



不同C+Si含量，不同壁厚（冷却速度）铸件的组织



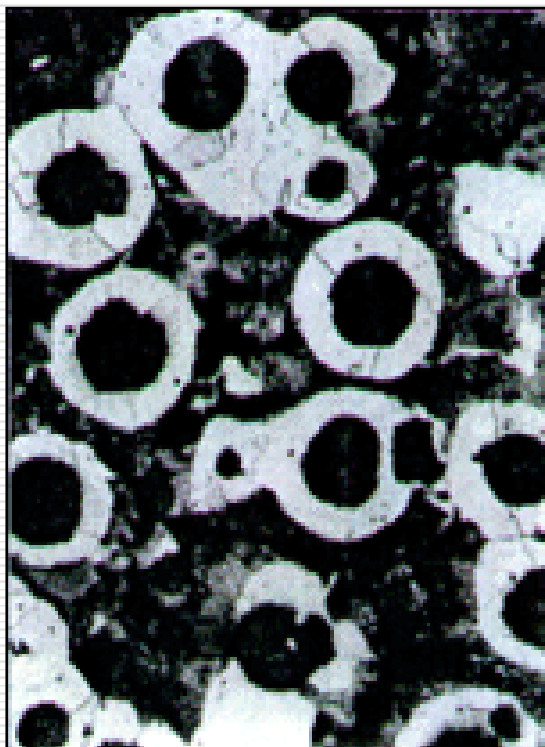
# 第一节 概述

## 三、铸铁的显微组织

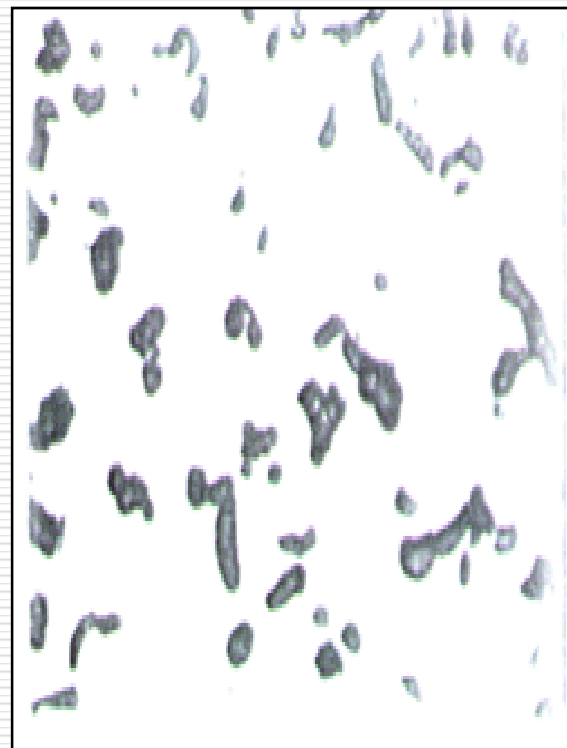
第一阶段→ 石墨的形态：片状、球状、团絮状、蠕虫状



片状



球状

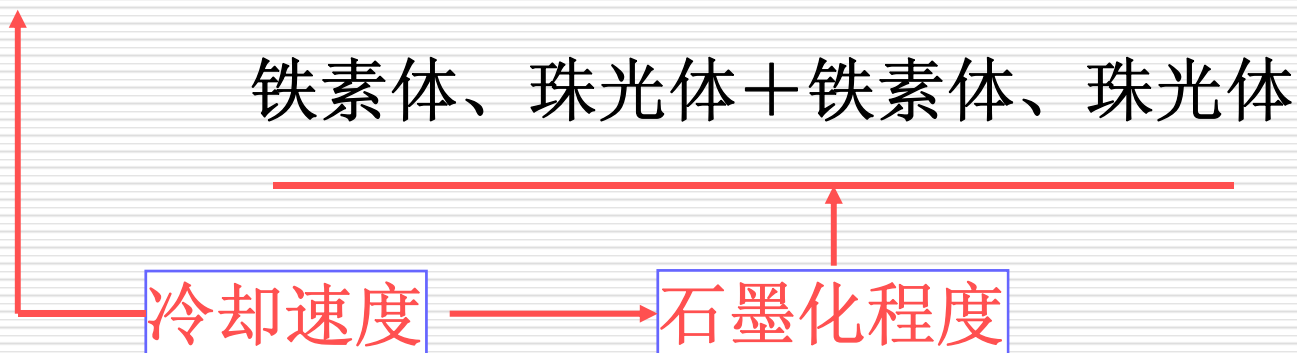


蠕虫状



# 第一节 概述

## 第二阶段→ 基体组织



**F + G** — 第一、二阶段石墨化均充分进行；

**F+P+G** — 第一阶段石墨化完全进行，  
第二阶段石墨化部分进行；

**P + G** — 第一阶段石墨化完全进行，  
第二阶段石墨化完全不进行。



## 四、铸铁的性能

**特点：**抗拉强度、塑性和韧性都很低

### 1. 石墨的影响

数量、大小、形状和分布→铸铁性能

形状影响↑↑，球状→强度↑↑

**改善石墨形状**是提高铸铁性能的一条重要途径

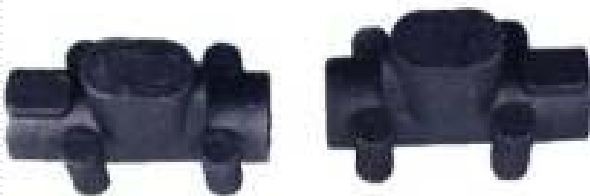
### 2、基体组织的影响

普通灰铸铁：基体组织影响不显著

球墨铸铁：热处理→铁素体、珠光体、下贝氏体、回火马氏体、回火索氏体等。强度、塑性和断裂韧性↑↑

## 第二节 普通灰铸铁

实际应用:



液压件



阀门



叶轮



发动机飞轮





## 第二节 普通灰铸铁

### 一、组织

片状石墨+金属基体（铁素体、珠光体和铁素体+珠光体）



(a) 铁素体基体



(b) 铁素体 + 珠光体基体



(c) 珠光体基体

图 8-4 灰铸铁的显微组织



## 第二节 普通灰铸铁

### 二、性能特点

- ∴ G的强度与塑性几乎为零，且片状G易导致应力集中。
- ∴ 灰铸铁的抗拉强度与塑性都很低，且G的量愈大，G片的尺寸越大、越尖，分布愈不均匀，灰铸铁的抗拉强度与塑性则越低。

- 优良性能：

- 1、良好的减摩性
- 2、极好的减震性能
- 3、良好的切削加工性能
- 4、低的缺口敏感性



由于灰铸铁上述优良性能，而且价格低廉，易于获得，故成为工业生产应用最广泛的金属材料之一。



## 第二节 普通灰铸铁

### 三、牌号及用途

“HT”+3位数字

↪ 表示最低抗拉强度

HT100 → HT350 ,

强度↑, 珠光体含量↑。

HT100 (F+G<sub>片</sub>)

HT200 (P+G<sub>片</sub>) —— 机床床身

HT350 (P+G<sub>细片</sub>) —— 孕育（变质）处理：  
孕育（变质）铸铁。





## 第二节 普通灰铸铁

### 四、热处理

#### 1、时效退火（去应力退火）——自然时效、人工时效

目的：消除铸件内应力

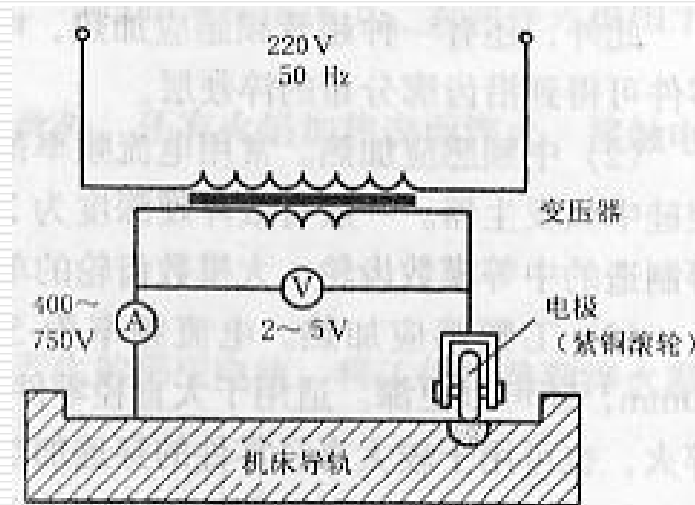
#### 2、石墨化退火—— $850\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，保温 $2\sim 5\text{h}$ ，随炉慢冷到 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 后空冷

目的：渗碳体分解，消除白口，

改善铸件加工性能

#### 3、表面热处理

目的：表面获得极细马氏体(或隐晶马氏体)+片状石墨



机床导轨：电接触表面加热自冷淬火法

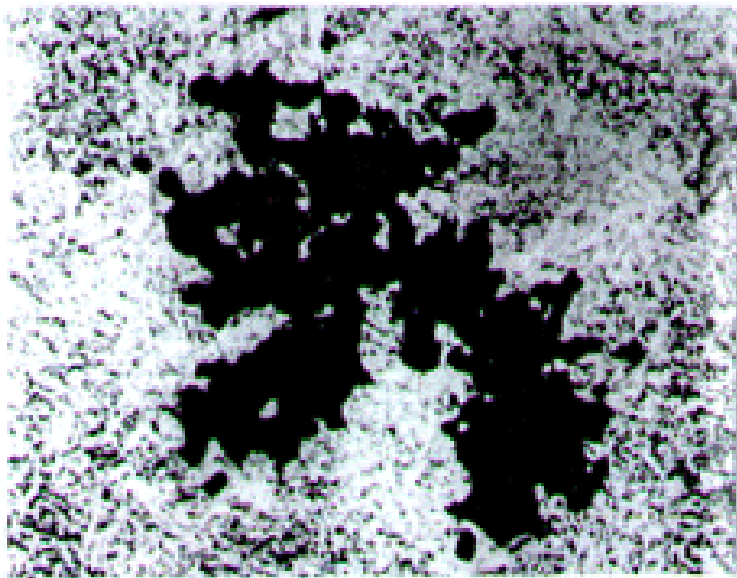


# 第三节 可锻铸铁

可锻铸铁的石墨呈团絮状分布

——对基体的割裂程度↓，但不能锻造。

**组织：**按基体组织不同：分为铁素体可锻铸铁和珠光体可锻铸铁。



(a) 珠光体可锻铸铁



(b) 铁素体可锻铸铁

图8-5 可锻铸铁的显微组织



# 第三节 可锻铸铁

## 一、牌号及用途

**牌号：**“KT”+“H”或“Z”+两组数字(抗拉强度、延伸率)  
“KT”表示“可铁”，“H”表示“黑心”(即铁素体基体)，  
“Z”表示基体为珠光体。

如：**KTH350-10** (F+G<sub>团</sub>)

——汽车后桥壳、低压阀、管接头等。

**KTZ650-02** (P+G<sub>团</sub>) ——柴油机曲轴、连杆、活塞等。



后桥壳



低压阀



曲轴



# 第三节 可锻铸铁

## 二、生产过程

1、先浇注成白口铸铁

2、进行石墨化退火

——团絮状

缺点：

周期↑ 生产率↓ 成本↑

提高效率途径：

(1) 低温时效

(2) 孕育处理

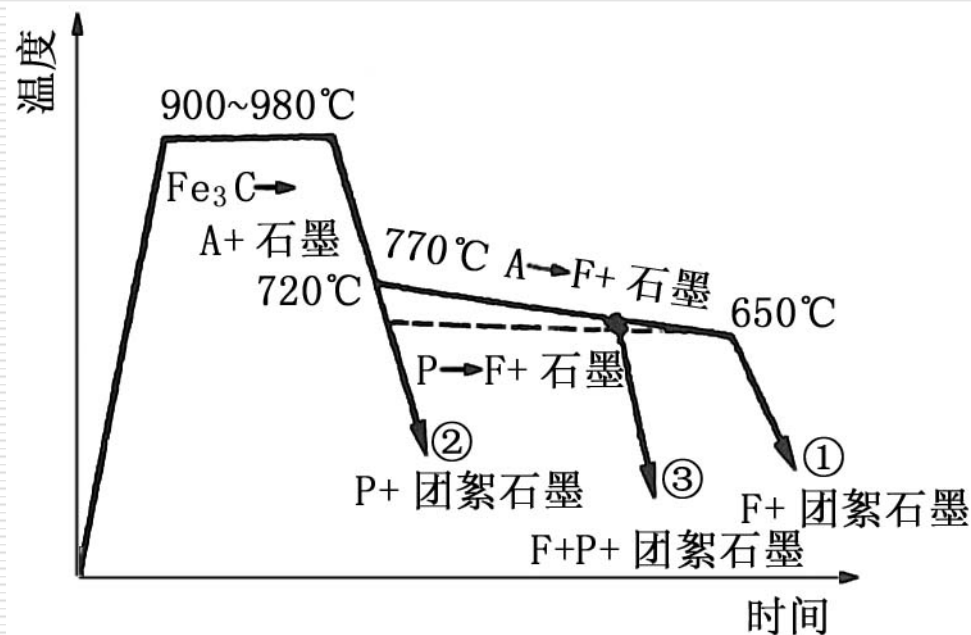
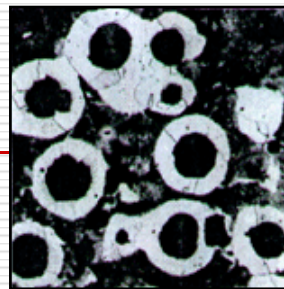


图8-6 可锻铸铁的石墨化退火工艺



## 第四节 球墨铸铁



**特点：**G呈球状，对基体的割裂程度↓↓，

∴ 强度、塑性、韧性↑↑，同时具有灰铸铁的优点：  
良好的铸造性、耐磨性、消震性、可切削加工性及  
低的缺口敏感性。

### 一、组织

- 金属基体+球状石墨组成。  
基体组织：**P、P+F、F**  
合金化和热处理：**M、T、S**等



球墨铸铁管道接口

等温淬火——**B<sub>下</sub>**球墨铸铁，具有优良的综合力学性能。

**F**球墨铸铁——塑性最好。

**P**球墨铸铁——应用最广泛的高强度铸铁。

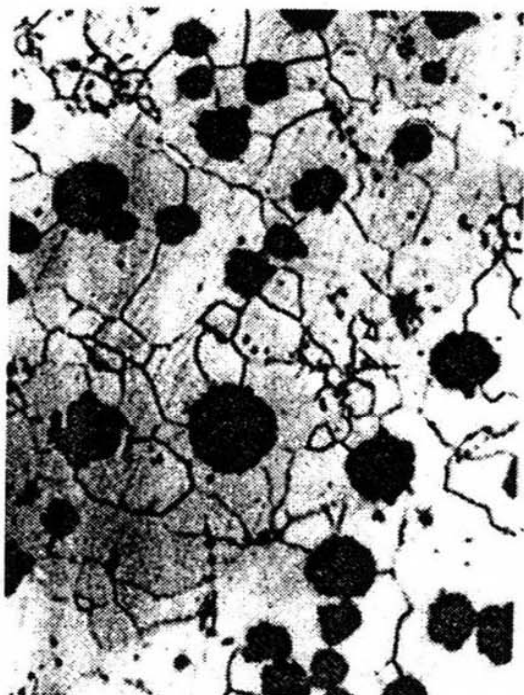




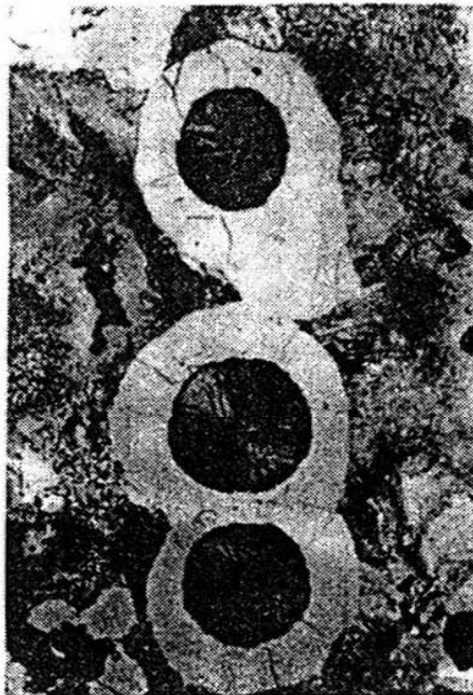
## 第四节 球墨铸铁

**组织：**金属基体+球状石墨

常用基体组织：**珠光体、珠光体+铁素体、铁素体**



(a) 铁素体基体



(b) 铁素体 + 珠光体基体



(c) 珠光体基体

图 8-7 球墨铸铁的显微组织



# 第四节 球墨铸铁

## 二、牌号、用途

牌号：“QT”(球铁) + 数字(最低 $\sigma_b$ ) - 数字(最低伸长率)。

如：QT450-10 (F+G<sub>球</sub>) —退火，汽车后桥壳、轮毂等

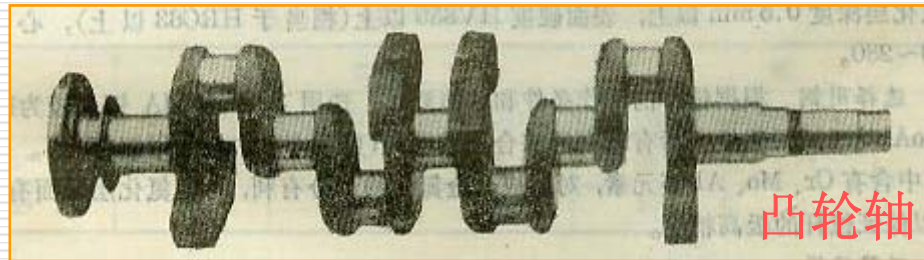
QT600-2 (P+G<sub>球</sub>) —正火，柴油机曲轴、连杆、凸轮轴

QT1200-1 ( B<sub>下</sub>、T<sub>回</sub>或M<sub>回</sub>+ G<sub>球</sub> )

—加入Cu、Mo，高强度球墨铸铁

—等温淬火或淬火+中温回火或淬火+低温回火

—汽车拖拉机传动齿轮、柴油机凸轮轴、曲轴等



# 第四节 球墨铸铁

## 三、生产过程

灰铸铁熔化→球化处理→孕育处理→浇注

### 1、成分的选择

C、Si含量高，Mn、P、S含量低，含有稀土和镁。

### 2、球化处理

球化剂：能使石墨结晶成球状的物质：纯镁、稀土镁合金

球化处理：将球化剂加入铁液的过程

### 3、孕育处理

球化处理后的铁液必须进行孕育处理

∴ 镁及稀土元素都强烈地阻止石墨化

孕育剂：硅铁（75%Si-Fe）





# 第四节 球墨铸铁

## 四、热处理

1、高温退火和低温退火——获得F基体

含有 $\text{Fe}_3\text{C}$ 时——高温退火

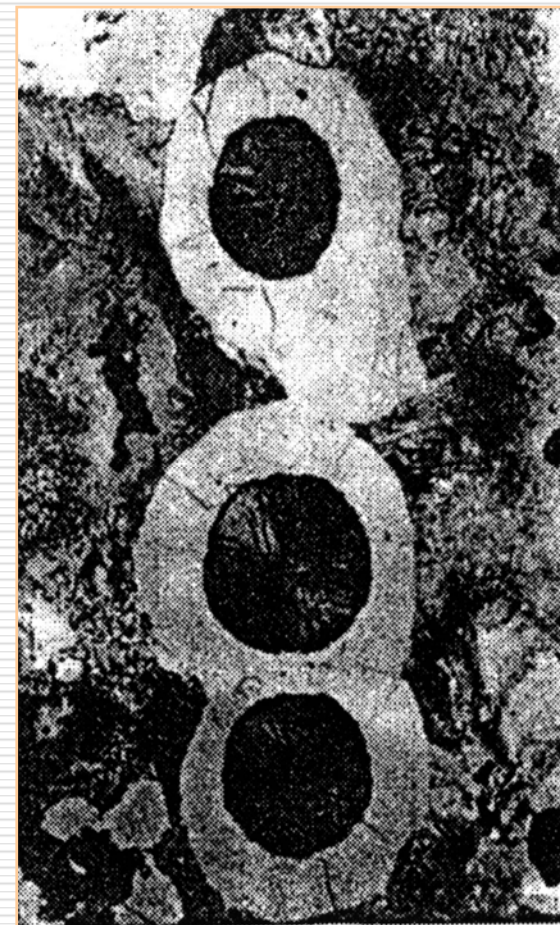
仅含P——低温退火

2、正火——获得P基体，抗拉强度↑

3、等温淬火

——获得 $\text{B}_{\text{下}}$ ， $\text{HB}\uparrow$ ， $a_k\uparrow$ ，变形少

4、调质处理——获得 $\text{S}_{\text{回}}$ 基体



# 第五节 蠕墨铸铁(自学)

## 一、牌号、组织及应用

牌号: **RuT(蠕铁)+数字(最低抗拉强度)**: **RuT420**

**表 8-5 蠕墨铸铁的牌号、性能特点及用途**

牌 号	机械性能(不小于)			HBS	蠕化率 (%)	基体 组织	用 途 举 例
	$\sigma_b$ (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\delta$ (%)				
RuT420	420	335	0.75	200~280	$\geq 50$	P	活塞环、制动盘、钢球研磨盘、泵体等
RuT380	380	300	0.75	193~274	$\geq 50$	P	
RuT340	340	270	1.0	170~249	$\geq 50$	P+F	机床工作台、大型齿轮箱体、飞轮等
RuT300	300	240	1.5	140~217	$\geq 50$	F+P	变速器箱体、汽缸盖、排气管等
RuT260	260	195	3.0	121~197	$\geq 50$	F	汽车底盘零件、增压器零件等



## 第五节 蠕墨铸铁

组织：过渡型石墨——介于片状和球状

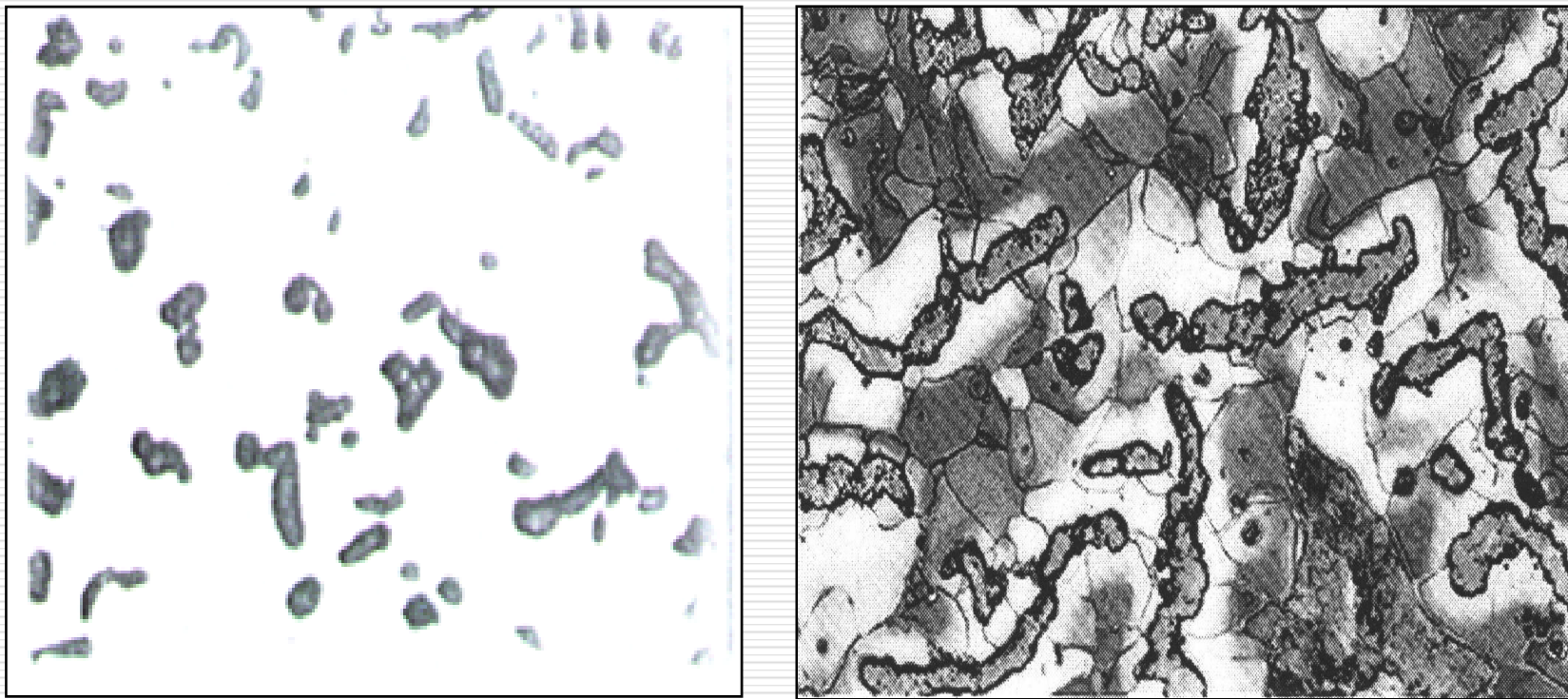


图8-8 蠕墨铸铁的显微组织

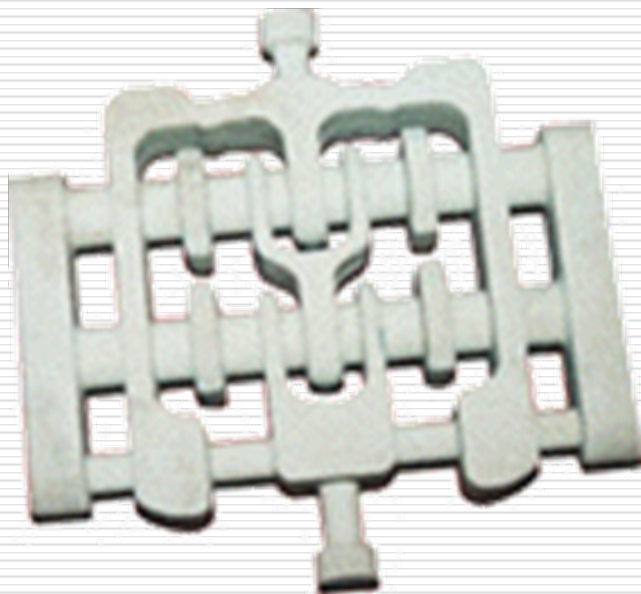




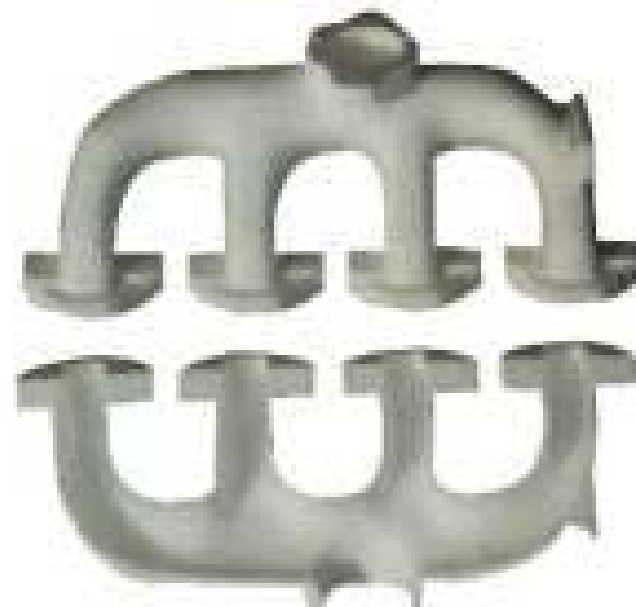
## 第五节 蠕墨铸铁

**性能：** 介于灰铸铁和球墨铸铁之间

**应用：** 制造电动机外壳、缸盖等



排气管



进气管



## 第五节 蠕墨铸铁

### 二、生产

成分：与球墨铸铁近似

生产：蠕化剂炉前处理，然后进行孕育处理

蠕化剂：稀土镁钛合金、稀土镁、硅铁等

### 三、热处理

正火：获得  $P \uparrow$

退火：获得  $F \uparrow$ ，或消除游离  $Fe_3C$ 。



## 第六节 特殊性能铸铁

---

在普通铸铁的基础上加入某些合金元素，可使铸铁合金化具有某些特殊性能，从而获得的一类具有特殊性能的合金铸铁。

种类：耐磨铸铁

耐热铸铁

耐蚀铸铁

# 第六节 特殊性能铸铁(自学)

## 一、耐磨铸铁

1、减磨铸铁：组织：软基体(细片状P)+强化相(耐磨硬质)

合金化：普通灰铸铁+适量Cu、Mo、Mn等合金元素

2、抗磨铸铁：组织：基体高硬度——白口铸铁

具体途径：1、合金化：Cr、Mo、Co、V、B等元素

2、激冷铸铁：表层获得一定深度的白口层

3、含高Mn铸铁：适于冲击载荷磨损条件



弯管



衬板



# 第六节 特殊性能铸铁

## 二、耐热铸铁

**耐热性：**高温下抗“氧化”和“生长”的能力

**氧化**——高温下与周围气氛接触使表层发生化学腐蚀

**生长**——反复加热和冷却时产生的不可逆体积长大

**合金化：**普通铸铁——Cr、Al、Si等元素。

形成 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 稳定性高、完整致密氧化膜

**分 类：**硅系、铝系、铝硅系及铬系等。



扇形扩散器



托架





## 第六节 特殊性能铸铁

### 三、耐蚀铸铁

合金化：

普通铸铁——**Cr、Al、Si、Mo、Ni、Cu**等元素。

目的：

形成保护膜、提高电极电位、获得单相组织

**Cr、Al、Si**——形成 **$\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$** 保护膜

**Cr、Si、Mo、Cu、Ni**——提高基体的电极电位

**Cr、Si、Ni**——得到单相**F**或**A**基体

分类：高硅、高铝、高铬、高硅钼等。