

2、某一用45钢制造的零件，其加工路线如下：

备料——锻造——正火——机械粗加工——调质——机械精加工——高频感应淬火与低温回火——磨削

请说明各热处理工序的目的及处理后的显微组织。

答：正火：消除锻造中的组织缺陷、改善切削加工性、消除内应力。

正火后的组织：较细的珠光体（或者索氏体）加铁素体组织。

调质：改善综合力学性能，为后面的表面处理做好组织上的准备

调质后的组织：回火索氏体。

高频感应淬火与低温回火：保持心部足够的塑性、韧性同时，

获得表面的高硬度、高耐磨性

组织：表层组织为M回；心部组织为S回(调质)

# 第八章 铸 铁

- 铸铁是碳含量大于2.11%(具有共晶组织eutectic structure)的铁碳合金、并常含有较多的硅、锰、硫、磷等元素的铁碳合金;
- 铸铁出现的历史源远流长;
- 铸铁的生产设备和工艺简单,价格便宜,并具有许多优良的使用性能和工艺性能,所以应用非常广泛,是工程上最常用的金属材料之一。
- 它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。



内  
燃  
机

良好的铸造性；  
减摩性  
减振性  
可加工性  
低的缺口敏感性  
便宜

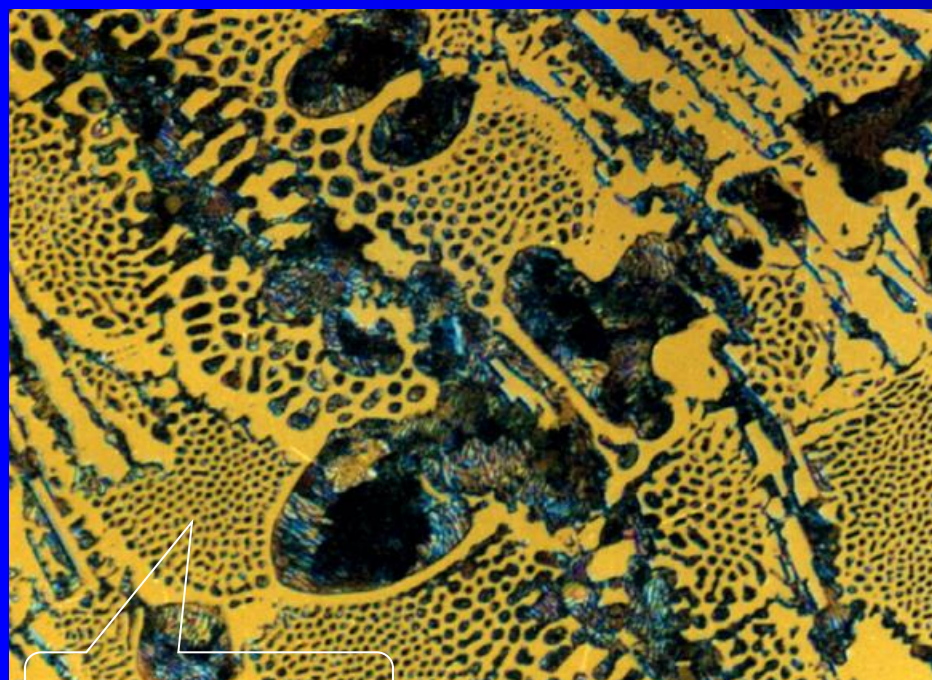




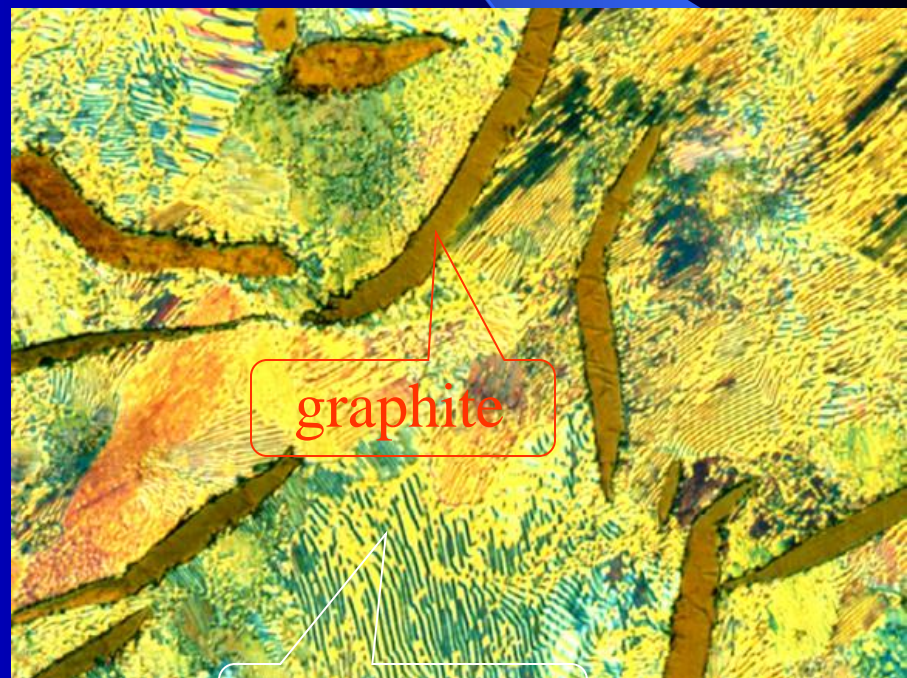
# 铸铁的分类

按照碳的存在形式，铸铁可分为：

- 碳以渗碳体形式存在的，称为白口铸铁；
- 碳以石墨形式存在的，称为灰口铸铁；
- 碳以渗碳体和石墨共同存在的，称为麻口铸铁。



Ledeburite



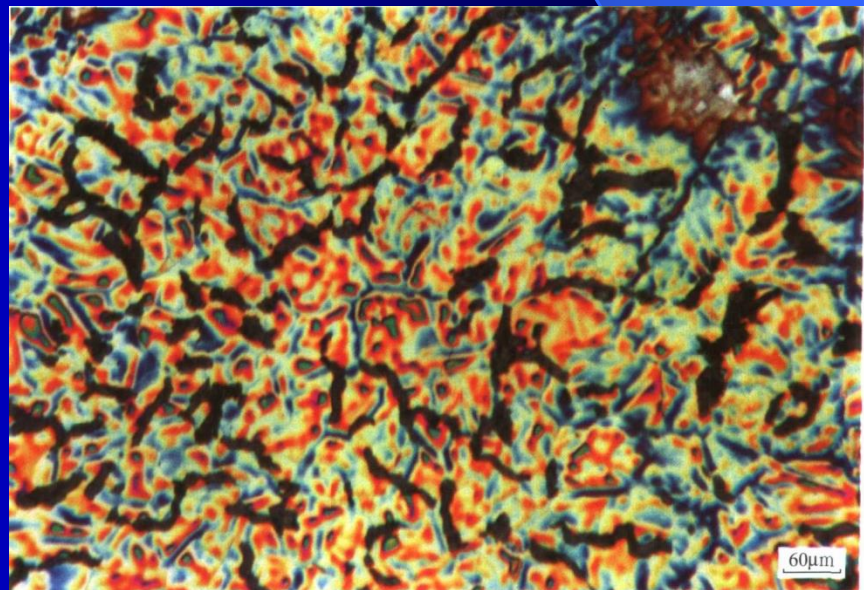
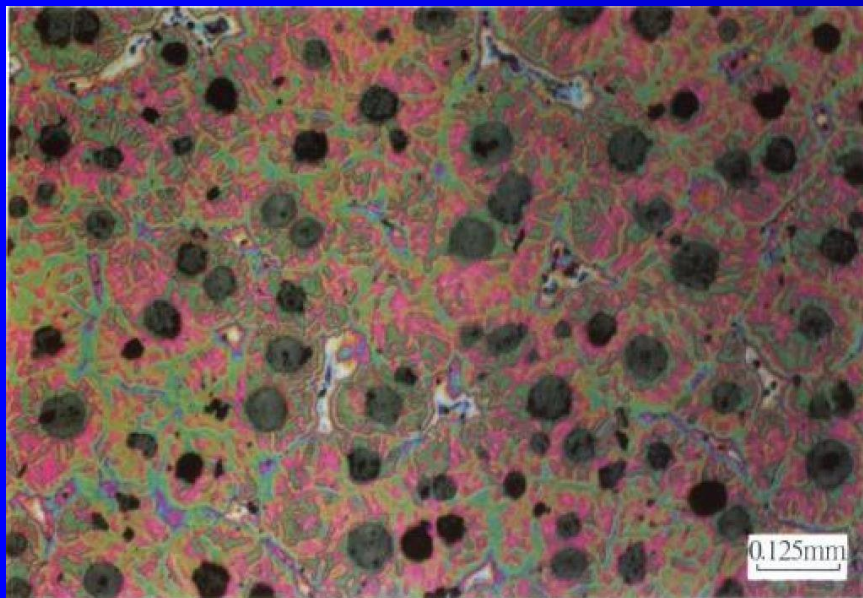
pearlite



# 灰口铸铁的分类

按照石墨的形态, 灰口铸铁可分为:

- 石墨呈片状铸铁, 称**灰铸铁**;
- 石墨呈团絮状的铸铁称**可锻铸铁**;
- 石墨呈球状的铸铁称**球墨铸铁**;
- 石墨形态介于片状和球状之间的铸铁称**蠕墨铸铁**。

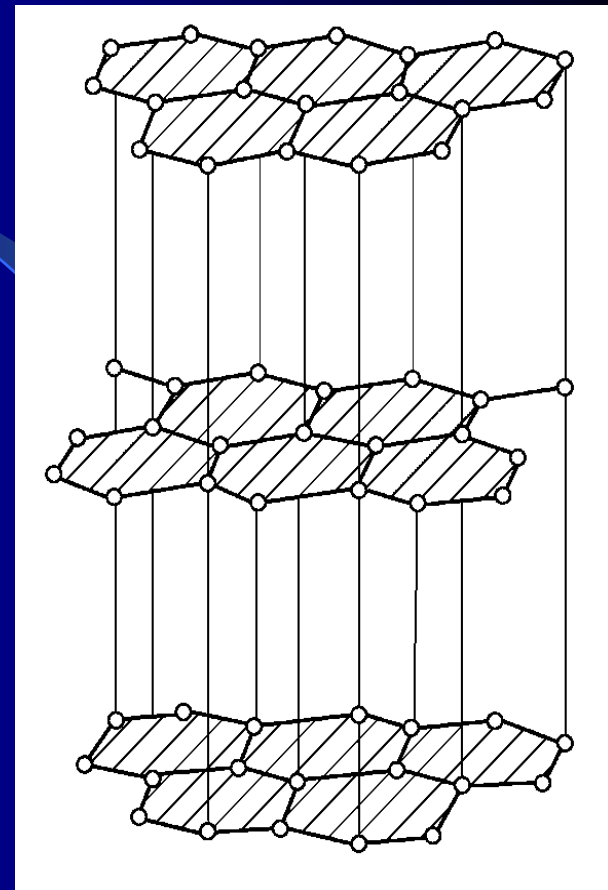


# 一、铸铁的石墨化

铁碳相图中，C的三种存在形式：

- 1、固溶在铁素体、奥氏体中
- 2、化合物态的渗碳体、
- 3、游离态的石墨

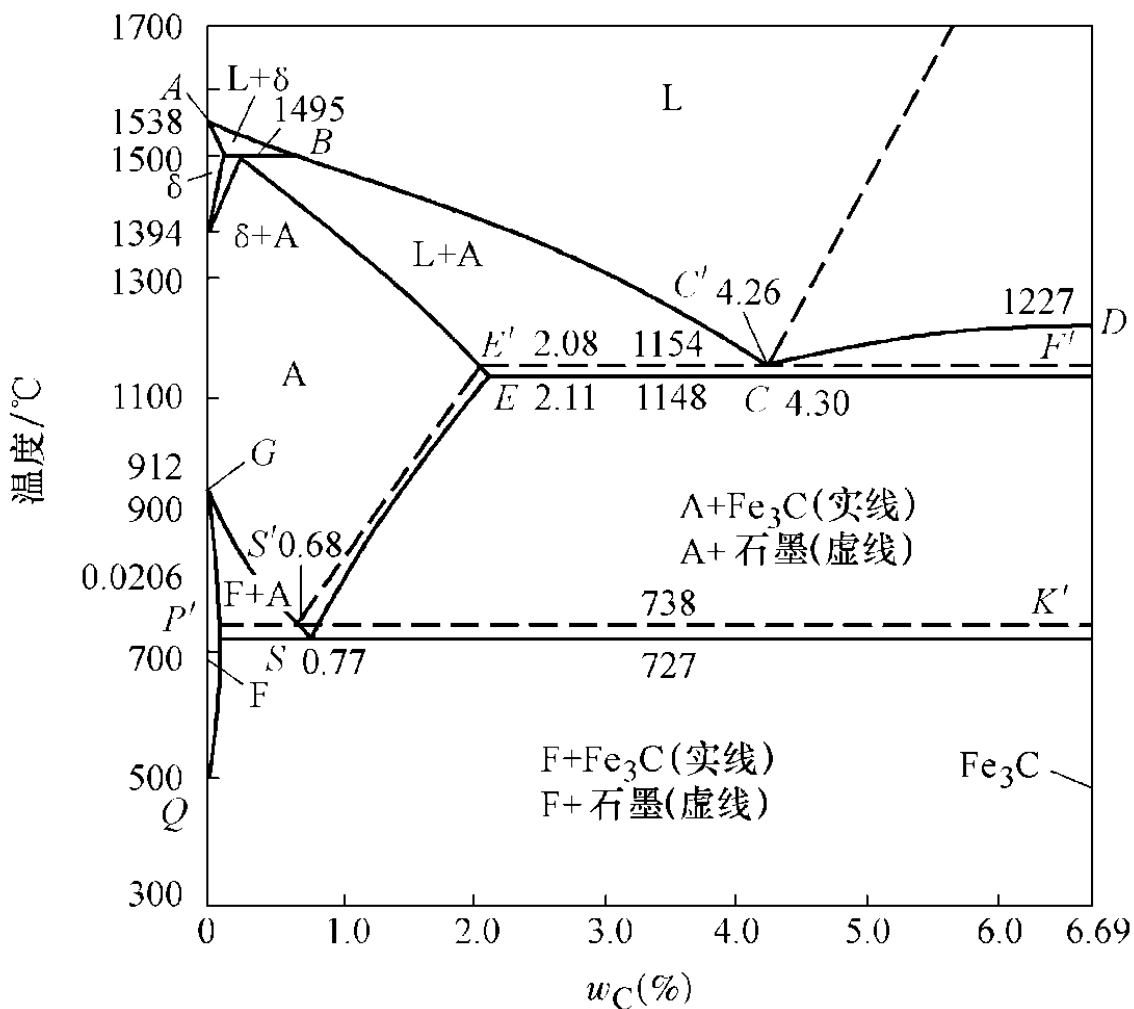
$\text{Fe}_3\text{C}$ 是亚稳相，在一定条件下将发生分解： $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{G}$ （石墨）



石墨为简单六方晶格，原子呈层状排列，同一层原子间距小，结合力很强，层与层之间结合力弱。石墨强度、塑性和韧性较差。

# Fe-Fe<sub>3</sub>C和Fe-G双重相图

- 在不同条件下，铁碳合金可以有亚稳定平衡的Fe-Fe<sub>3</sub>C相图和稳定平衡的Fe-G相图。即铁碳合金相图为复线相图。铁碳合金究竟按哪种相图变化，取决于加热、冷却条件。



## 2、铸铁的石墨化过程

### 石墨化方式

①按照Fe-C(G)相图，  
由液态和固态中直接析  
出石墨。

②按照Fe-Fe<sub>3</sub>C相图结  
晶出渗碳体，随后渗碳  
体在一定条件下分解出  
石墨。（如高温退火）



台车式石墨化退火炉

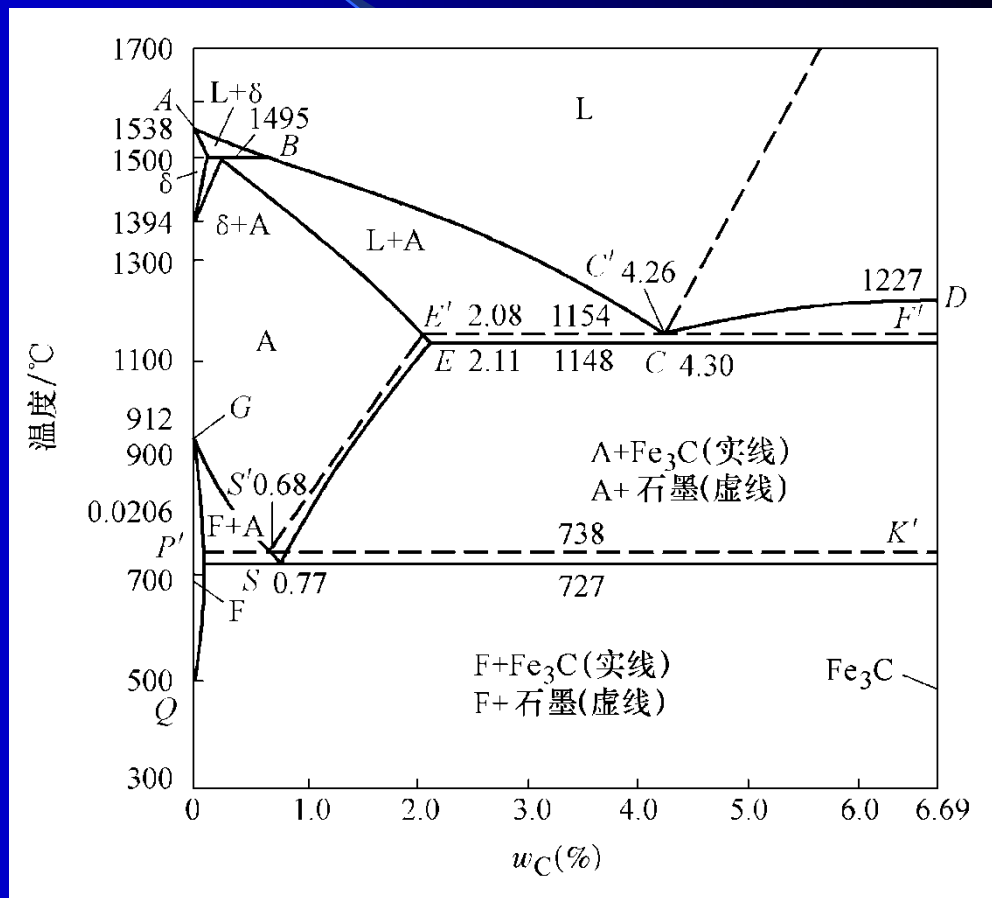


石墨化分三个阶段：

第一阶段：（液态阶段）。

共晶液相沿着液相线

C'D冷却时析出的石墨，  
以及共晶转变时形成的共  
晶石墨G。



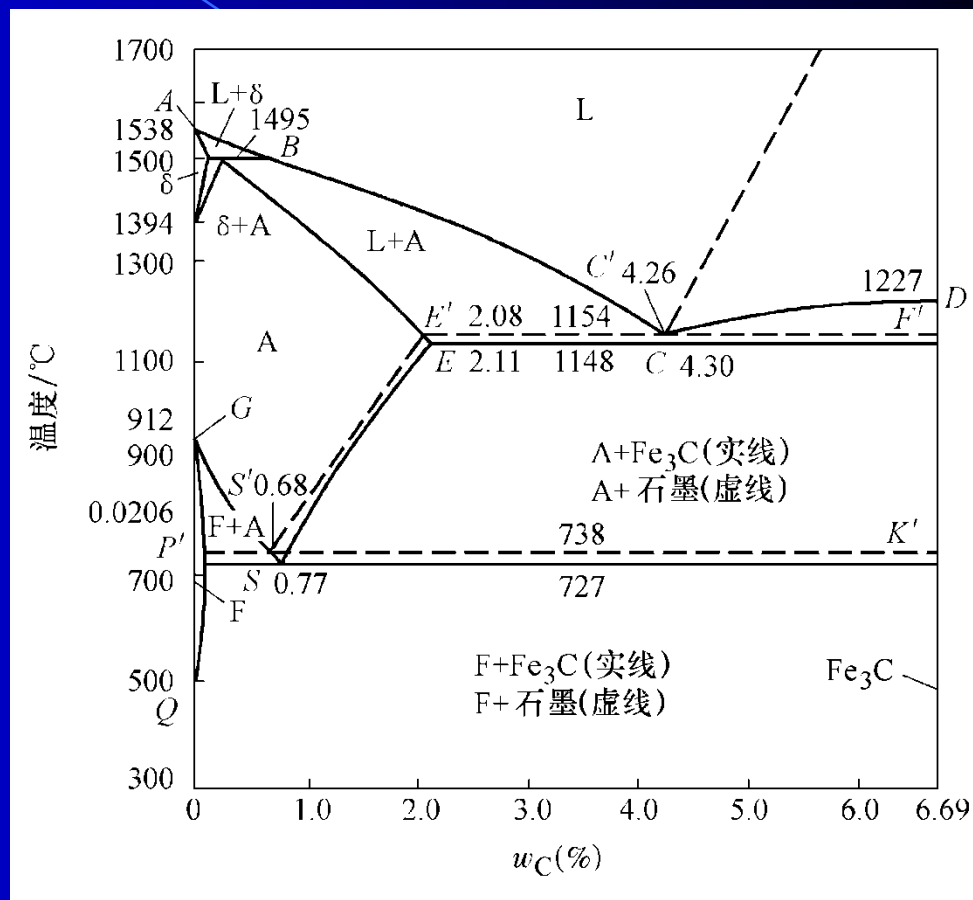
及 一次渗碳体和共晶渗碳体在高温下分解出石墨。

中间阶段：（共晶-共析阶段）。

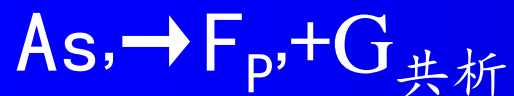
过饱和奥氏体沿着E'S'线冷却时析出的二次石墨过程 $G_{II}$



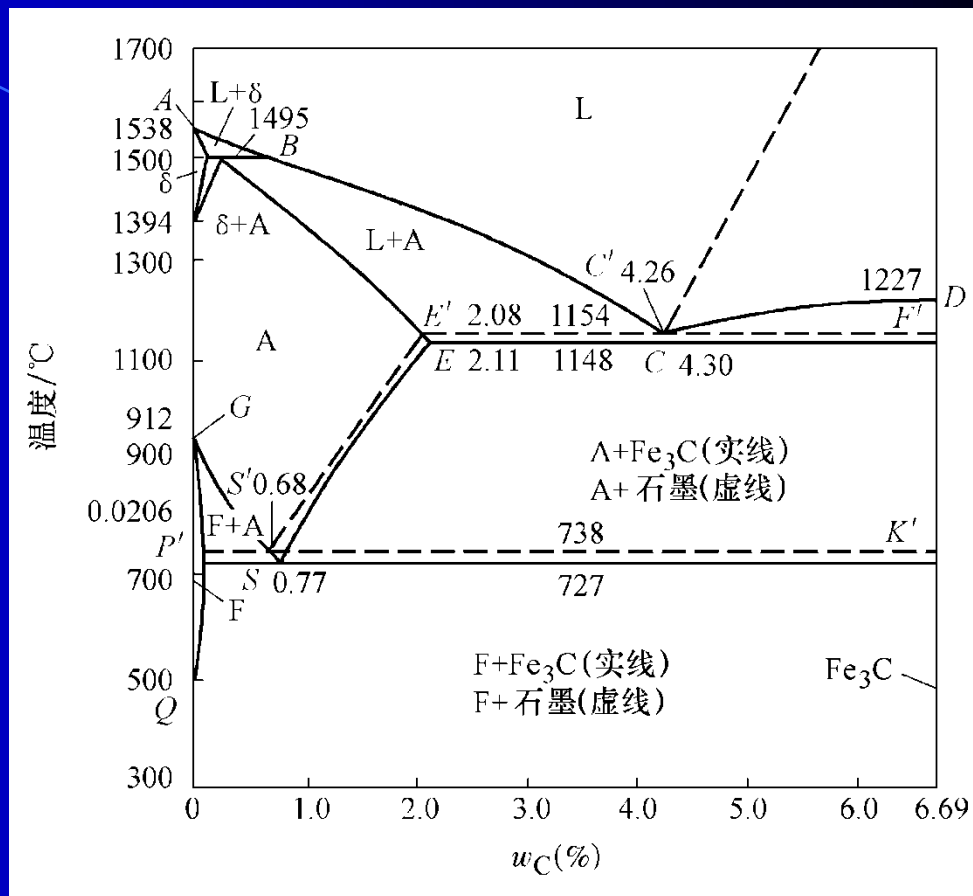
及二次渗碳体分解而析出石墨



第二阶段：（共析阶段）  
奥氏体转化为铁素体和共析石墨 $G_{\text{共析}}$



及共析渗碳体分解而析出石墨。



# 铸铁的石墨化程度与其组织之间的关系

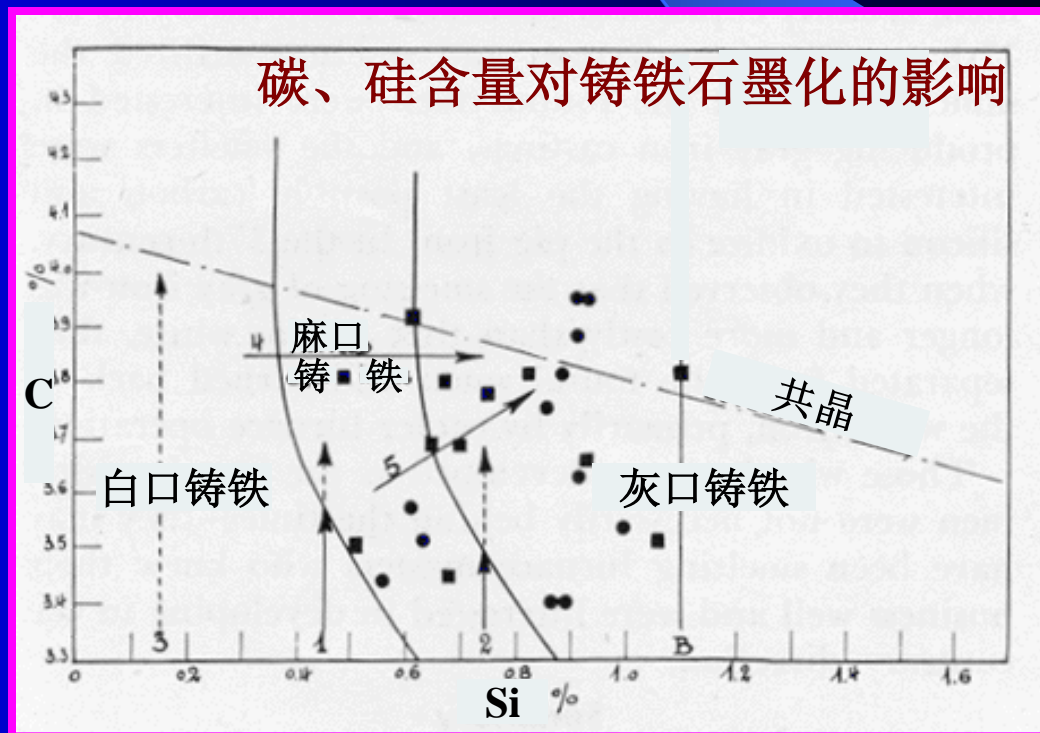
石墨化进行程度		铸铁的显微组织	铸铁类型
第一阶段 石墨化	第二阶段、 中间阶段 石墨化		
完全进行	完全进行	F+G	灰口铸铁
	部分进行	F+P+G	
	未进行	P+G	
部分进行	未进行	Le'+P+G	麻口铸铁
未进行	未进行	Le'	白口铸铁



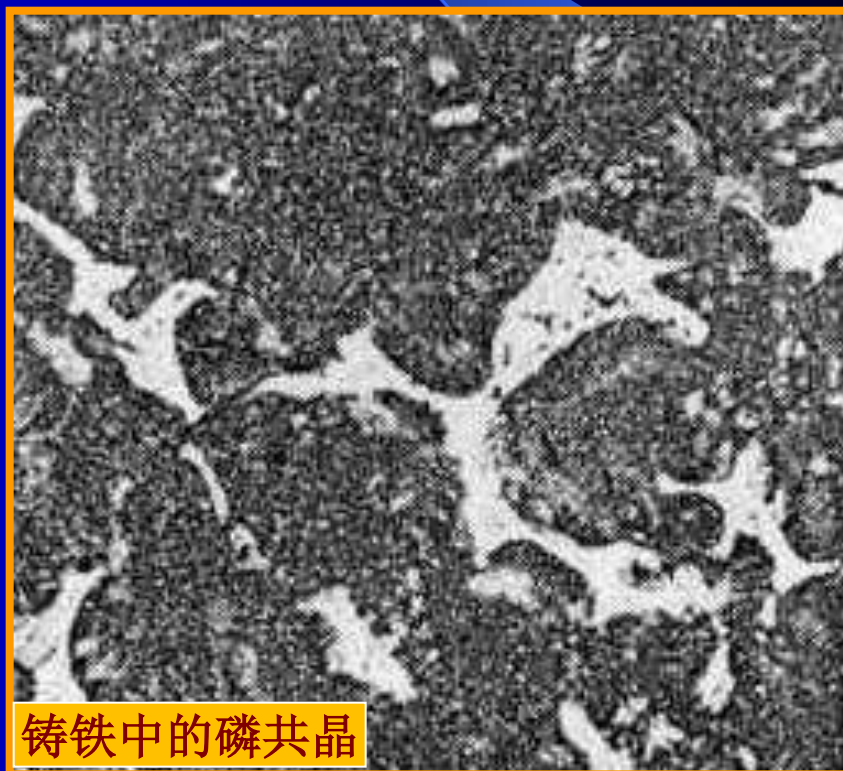
# 影响石墨化的因素

## 1、化学成分的影响

- 碳和硅是强烈促进石墨化的元素。
- 碳、硅含量过低，易出现白口组织，力学性能和铸造性能变差。
- 碳、硅含量过高，会使石墨数量多且粗大，基体内铁素体量增多，降低铸件的性能。



- Al、Cu、Ni、Co等元素对石墨化有促进作用。
- S、Mn、Cr、W、Mo、V等元素阻碍石墨化。
- 磷虽然可微弱促进石墨化，但其含量高时易在晶界上形成硬而脆的磷共晶，降低铸铁的强度，只有耐磨铸铁中磷含量偏高（达0.3%以上）。

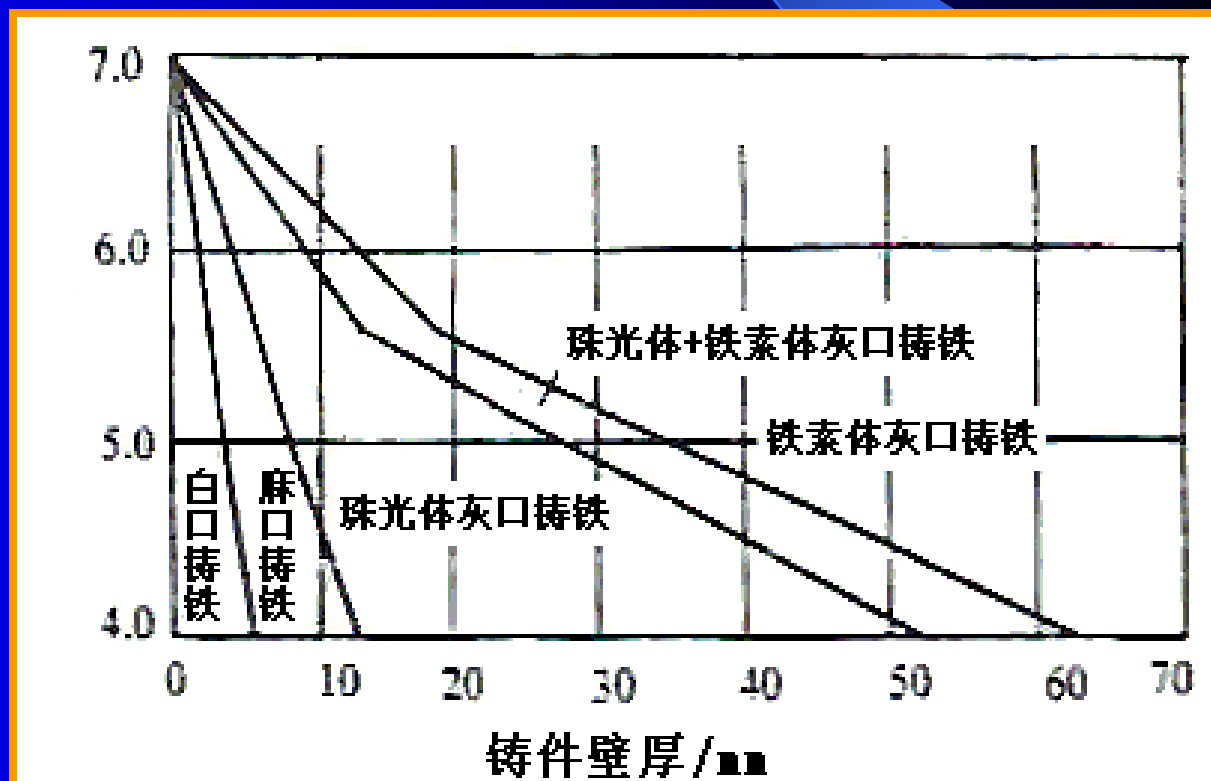


铸铁中的磷共晶

## 2、冷却速度的影响

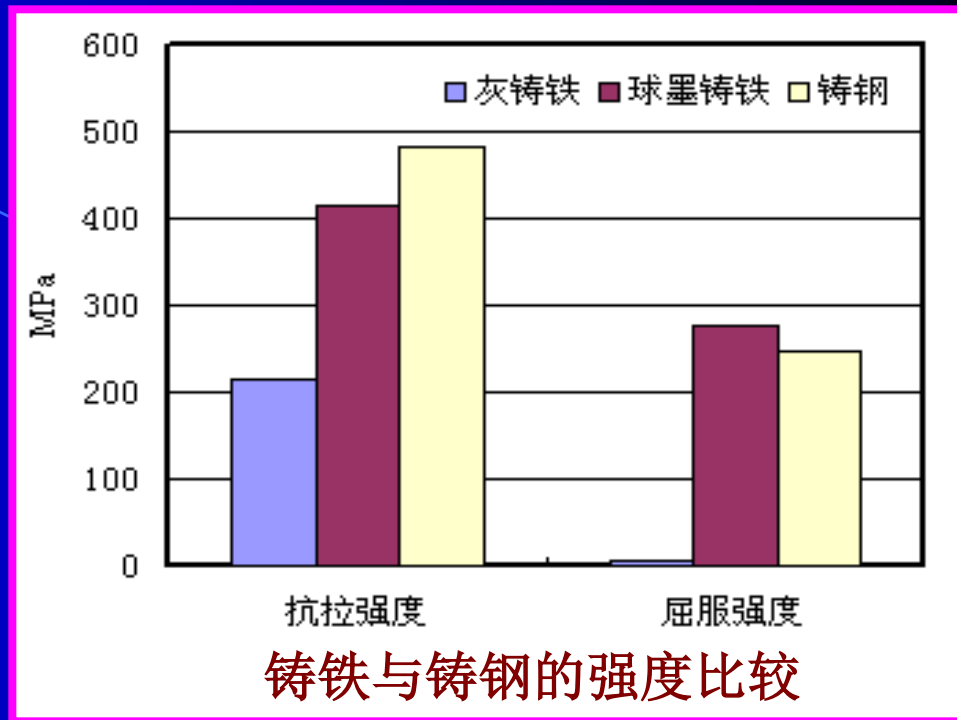
铸件冷却缓慢，有利于碳原子的充分扩散，结晶将按 Fe - G相图进行，因而促进石墨化。

快冷时由于过冷度大，结晶将按 Fe-Fe<sub>3</sub>C相图进行，不利于石墨化。



## ● 2、铸铁的性能特点

- (1) 力学性能低。由于石墨相当于钢基体中的裂纹或空洞，破坏了基体的连续性，且易导致应力集中。但缺口敏感性低。



- (2) 耐磨性能好。由于石墨本身有润滑作用。
- (3) 消振性能好。由于石墨可以吸收振动能量。
- (4) 铸造性能好。由于铸铁硅含量高，成分接近于共晶。
- (5) 切削性能好。由于石墨使车屑容易脆断，不粘刀

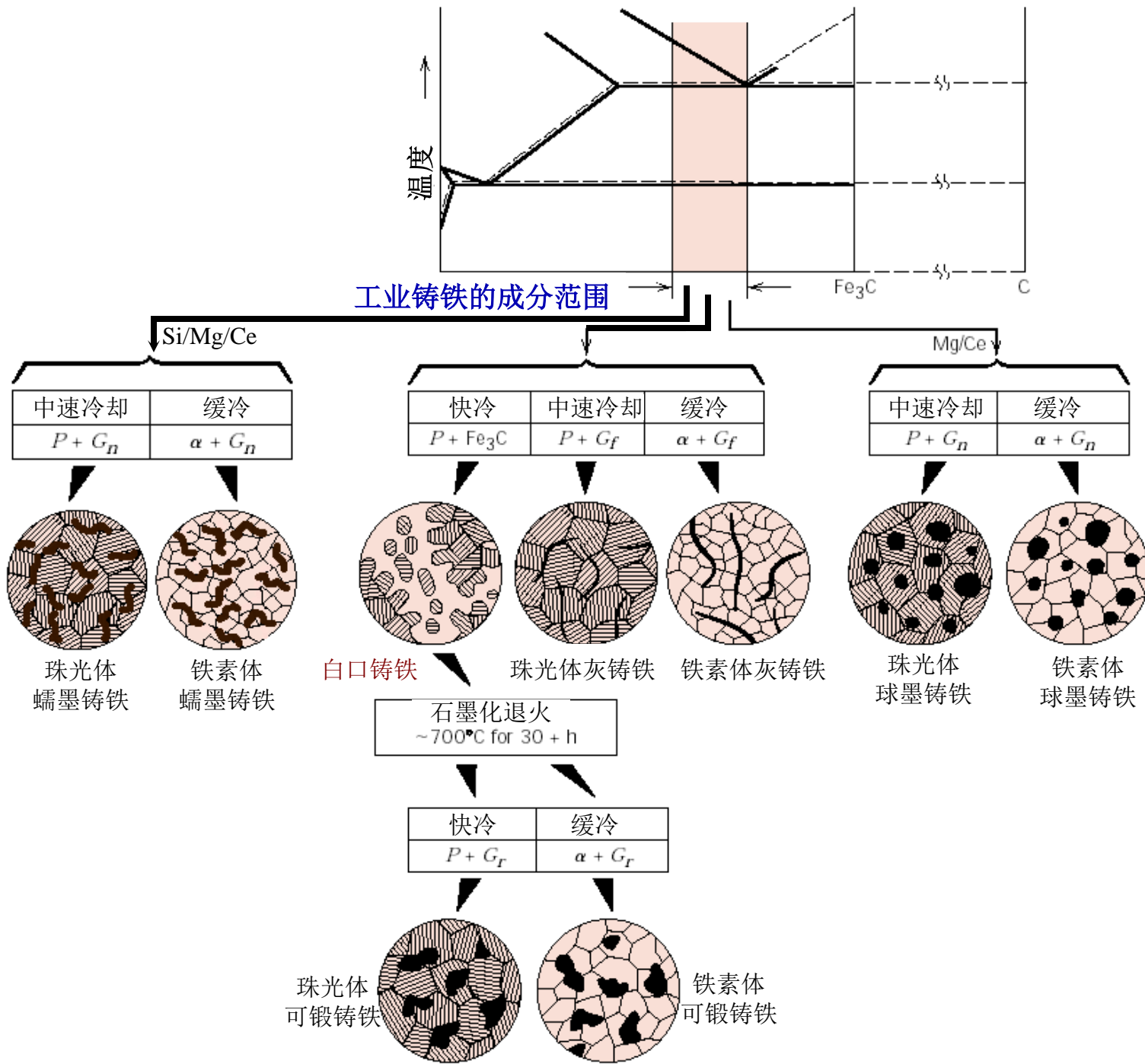


### 3、灰口铸铁的分类与牌号表示方法

铸铁名称	石墨形态	基体组织	编号方法		牌号实例
灰铸铁	片状	F	HT + 一组数字		HT100
		F+P	数字表示最低抗拉强度值，单位MPa。 “HT”表示灰铸铁代号。		HT150
		P			HT200
可锻铸铁	团絮状	F	KTH + 两组数字	KTH、KTB、KTZ 分别为黑心、白心、珠光体可锻铸铁代号； 第一组数字表示最低抗拉强度值，MPa； 第二组数字表示最低伸长率值，%	KTH300-06
		表F 心P	KTB + 两组数字		KTB350-04
		P	KTZ + 两组数字		KTZ450-06

铸铁名称	石墨形态	基体组织	编号方法	牌号实例
球墨铸铁	球状	F	QT + 两组数字 第一组数字表示最低抗拉强度值，MPa； 第二组数字表示最低伸长率值，%。 “QT”表示 球墨铸铁代号	QT400-15
		F+P		QT600-3
		P		QT700-2
蠕墨铸铁	蠕虫状	F	RuT + 一组数字 数字表示最低抗拉强度值，MPa。 “RuT”表示蠕墨铸铁代号	RuT260
		F+P		RuT300
		P		RuT420

# 工业铸铁的成分范围与组织



## 第二节 灰铸铁

- 灰铸铁是指石墨呈片状分布的灰口铸铁。其产量约占铸铁总产量的80%以上。

### 1、化学元素

铸铁中碳、硅、锰是调节组织的元素，磷是控制使用的元素，硫是应限制的元素。

$$\omega_{\text{C}}=2.7\%\sim 3.6\%$$

$$\omega_{\text{Si}}=1.0\%\sim 2.5\%$$

$$\omega_{\text{Mn}}=0.5\%\sim 1.3\%$$

$$\omega_{\text{P}}\leq 0.3\%$$

$$\omega_{\text{S}}\leq 0.15\%$$

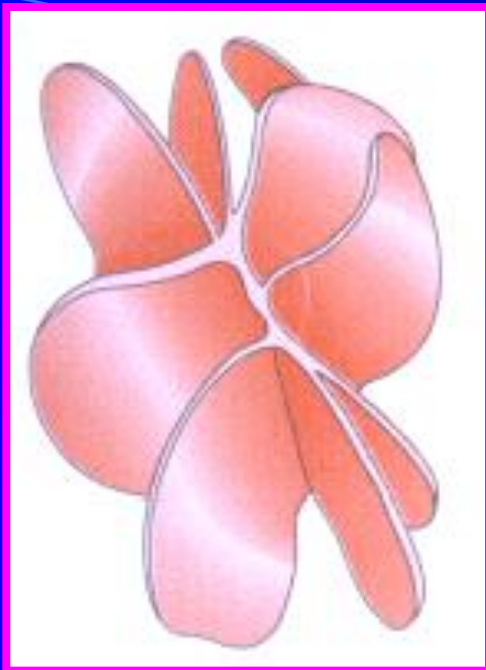


## 2、组织

灰铸铁的组织是由液态铁水缓慢冷却时通过石墨化过程形成的

石墨化进行程度		铸铁的显微组织
第一、中间阶段石墨化	第二阶段石墨化	
完全进行	完全进行	$F+G$
	部分进行	$F+P+G$
	未进行	$P+G$

# 灰铸铁的显微组织



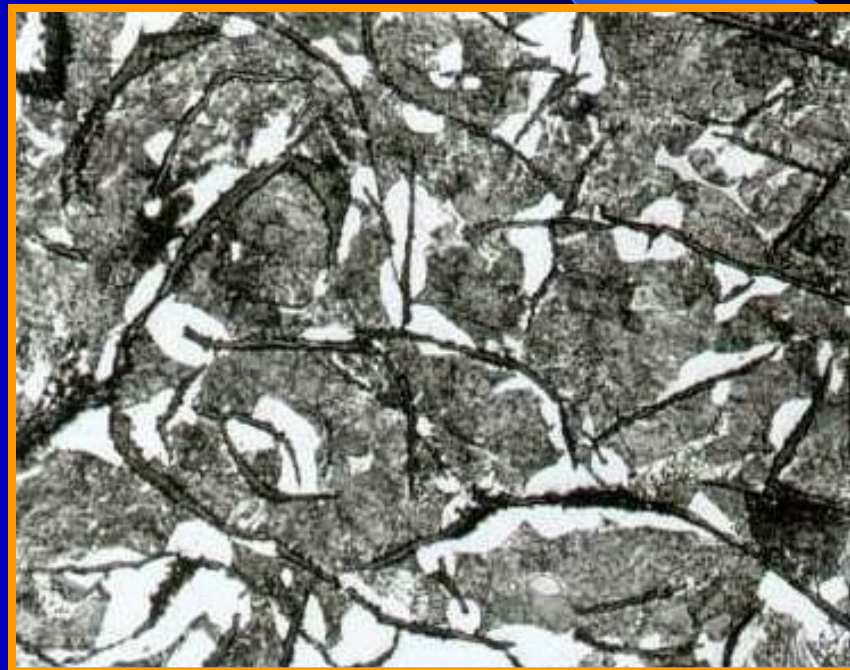
石墨片的三维形貌



铁素体灰铸铁



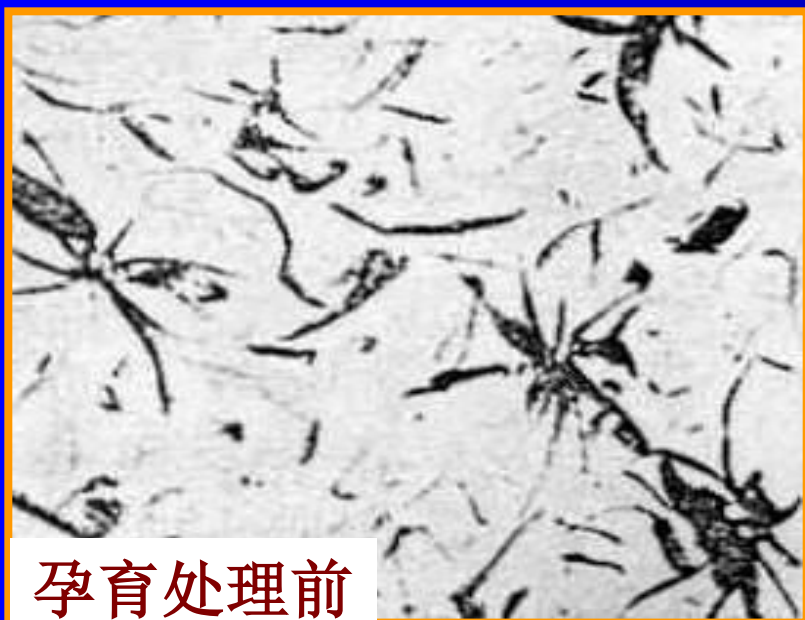
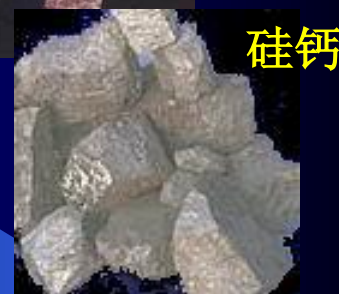
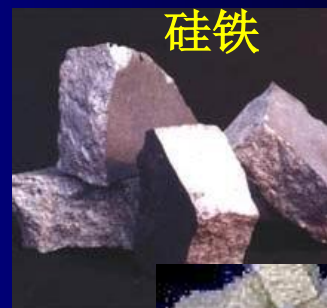
珠光体灰铸铁



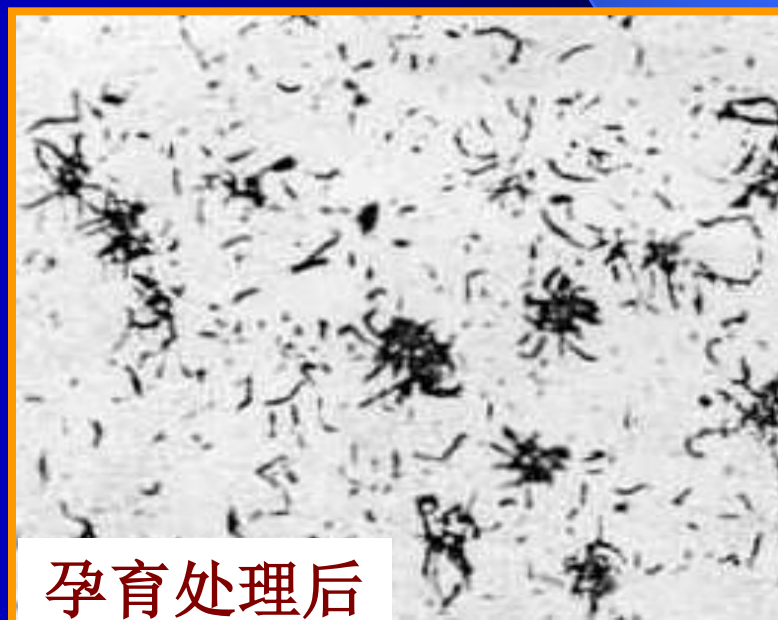
铁素体加珠光体灰铸铁

### ● 3、孕育处理

- 常对灰铸铁进行孕育处理，以细化片状石墨。提高力学性能
- 常用的孕育剂有硅铁和硅钙合金。
- 经孕育处理的灰铸铁称为孕育铸铁。



孕育处理前



孕育处理后

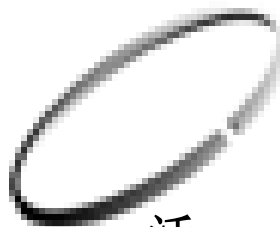


## 4、热处理

- 热处理只改变基体组织，不改变石墨形态。
- 灰铸铁强度只有碳钢的30~50%，热处理强化效果不大。
- 灰铸铁常用的热处理有：
  - ① 消除内应力退火(又称人工时效)
  - ② 消除白口组织退火
  - ③ 表面淬火



汽缸套



灰铸铁件

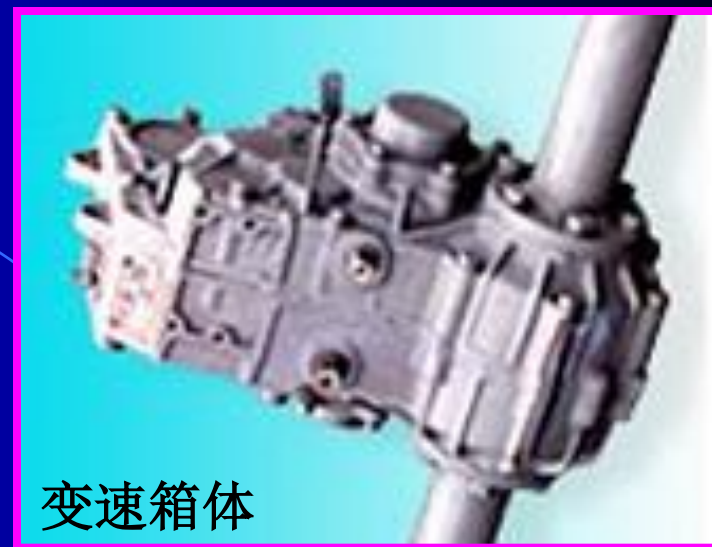


活塞环





- 5、用途
- 制造承受压力和震动的零件，如机床床身、各种箱体、壳体、泵体、缸体。



变速箱体



重型机床床身(HT-250)



大型船用柴油机汽缸体(HT-300)

## 第三节 球墨铸铁

在浇注前，向一定成分的铁液中加入适量使得球墨球化的球化剂和促进石墨化的孕育剂，获得具有球状石墨的铸铁。

### 1、化学成分

与灰铸铁相比，含碳与含硅量高（由于镁和稀土阻止石墨化），含锰量较低，含硫（消耗球化剂）与含磷量低，并含有一定量的稀土与镁。

$$\omega_{\text{C}}=3.6\%\sim 4.0\%$$

$$\omega_{\text{Si}}=2.0\%\sim 3.2\%$$

### 2、组织

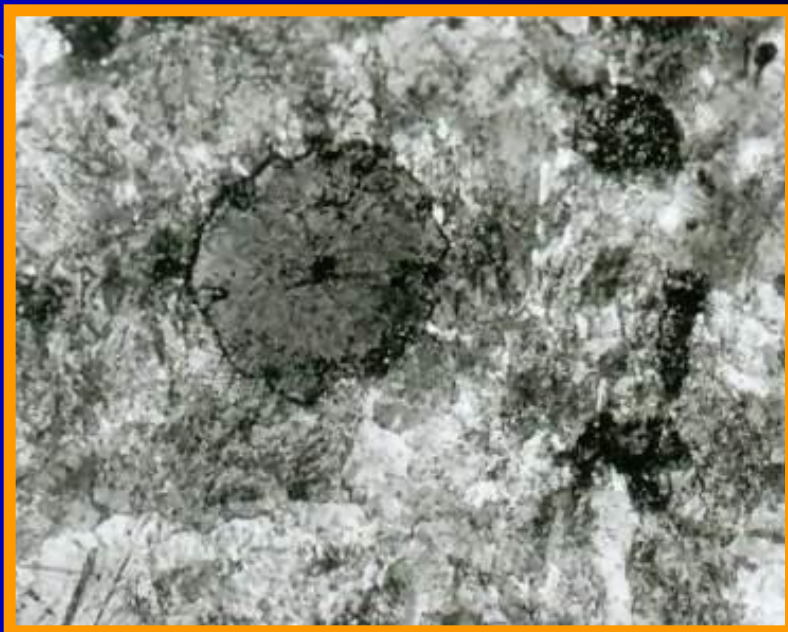
生产中常见的有铁素体球墨铸铁、珠光体+铁素体球墨铸铁、珠光体球墨铸铁和贝氏体球墨铸铁。

# 球墨铸铁的显微组织

铁素体球墨铸铁



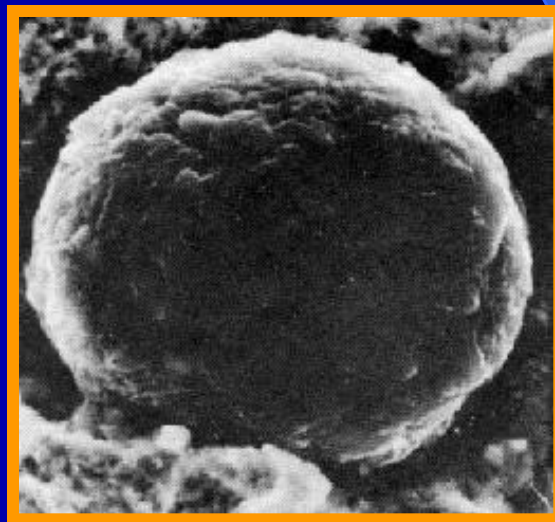
珠光体球墨铸铁



铁素体加珠光体球墨铸铁



球墨铸铁中的石墨球





### ● 3、性能

- 基体强度利用率达70~90%，强度是碳钢的70~90%。  
球墨铸铁的突出特点是**屈强比( $\sigma_{0.2}/\sigma_b$ )高, 约为0.7~0.8, 而钢一般只有0.3~0.5。**
- 球墨铸铁的抗拉强度、塑性、韧性高于其他铸铁；冲击疲劳抗力高于中碳钢；塑性和韧性却低于钢。
- 球墨铸铁有球状石墨存在，具有铸造性能、减磨性、切削加工性等；但易产生白口现象，铸件也容易产生缩松等缺陷。

## ● 4、热处理

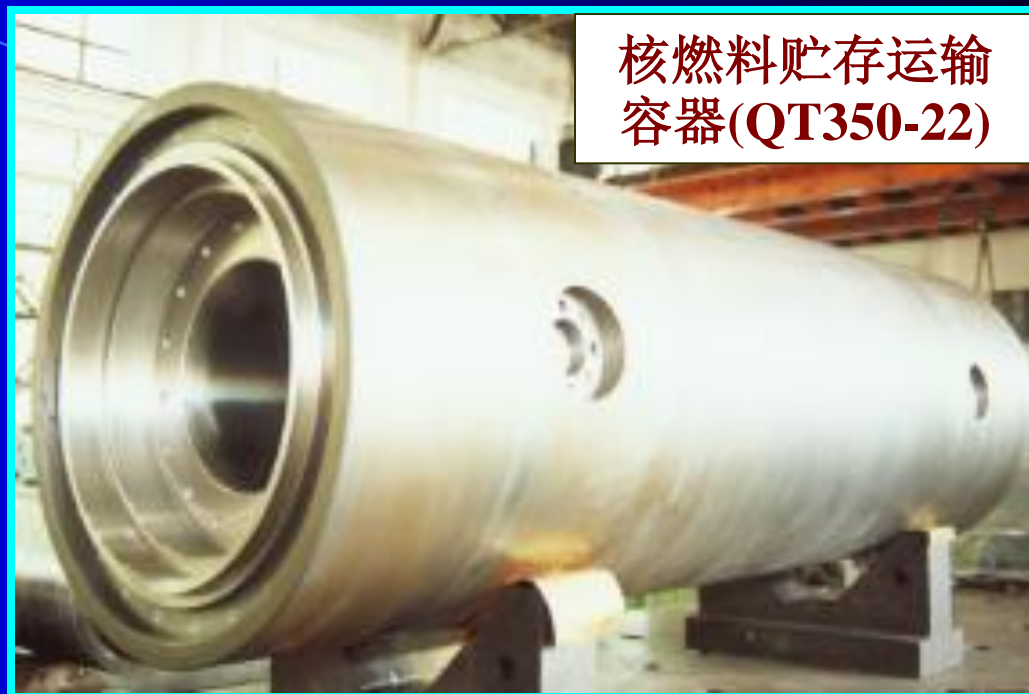
- 热处理工艺与钢类似，可进行各种热处理，如退火、正火、淬火加回火、等温淬火等。

球墨铸铁的热处理特点是：

- ① 奥氏体化温度比碳钢高，由于硅含量高；
- ② 淬透性比碳钢高；
- ③ 奥氏体中碳含量可控。通过控制加热温度和保温时间，可调整奥氏体中的含碳量，以改变球墨铸铁热处理后的组织和性能。



- 5、用途
- 承受震动、载荷大的零件，如曲轴、传动齿轮等。



核燃料贮存运输  
容器(QT350-22)



铸铁曲轴

## 第四节 蠕墨铸铁

- 一定成分的铁液中加入适量使石墨成蠕虫状的蠕化剂（稀土镁钛合金、镁钙合金）和孕育剂（硅铁），获得石墨形态介于片状和球状之间、形似蠕虫状的铸铁。

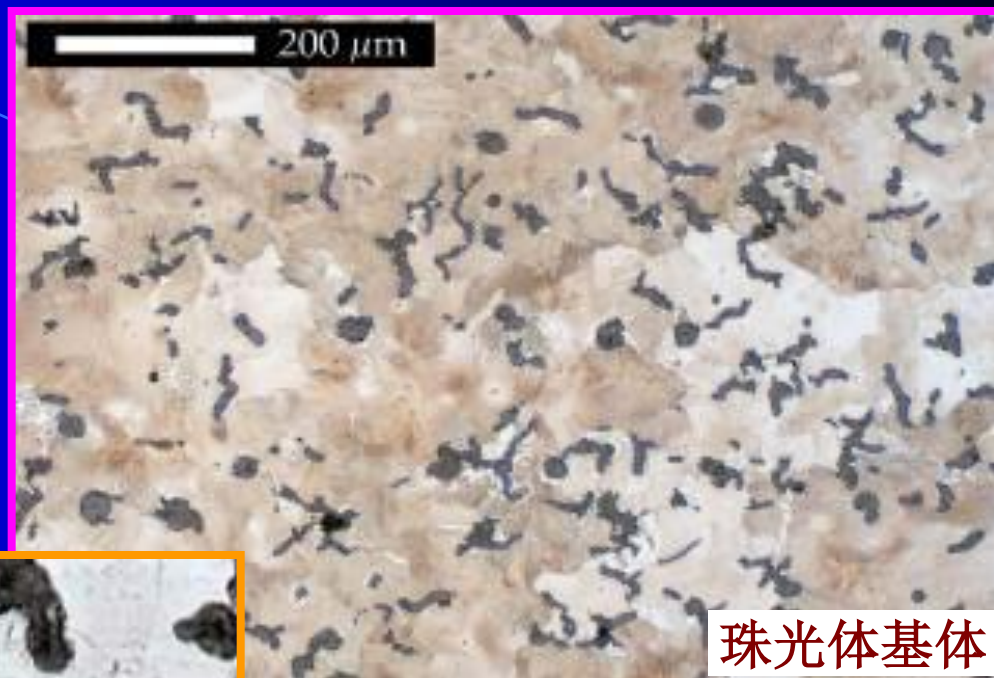
- 1、化学成分

- 与球墨铸铁相似，即要求高碳、高硅、低硫、低磷，并含有一定量的稀土与镁。

- 2、组织：

**基体(F、F+P、P)+蠕虫状G**

# 蠕墨铸铁的 显微组织



珠光体基体



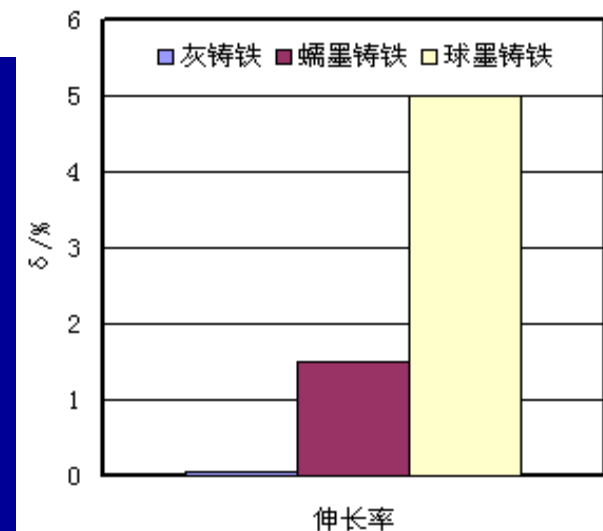
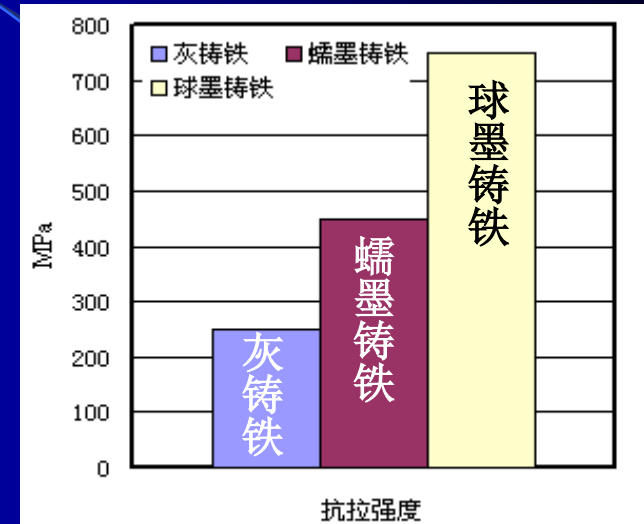
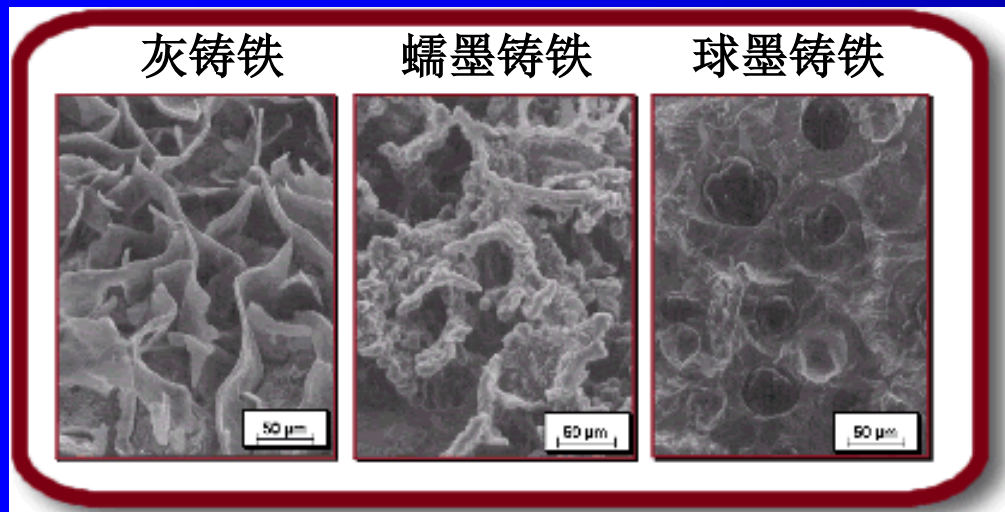
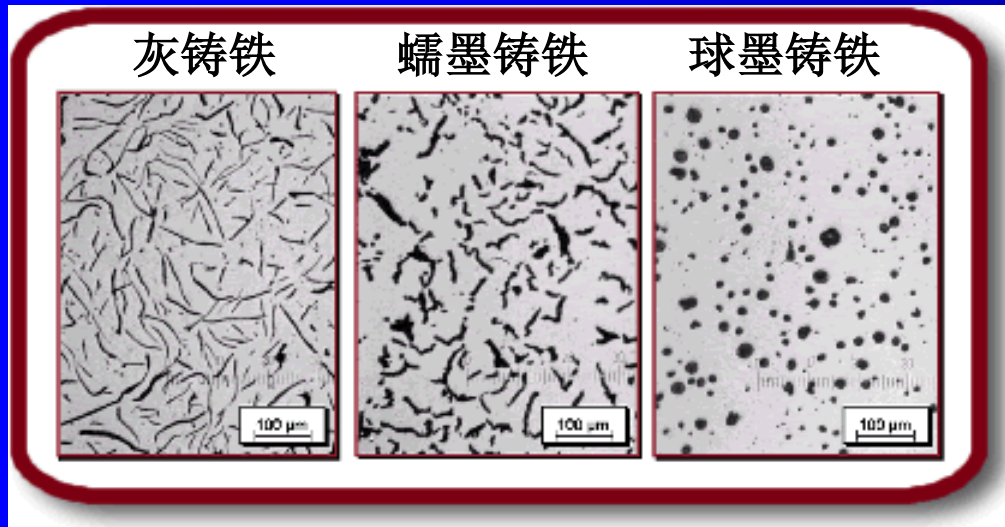
铁素体基体



蠕墨铸铁中的石墨



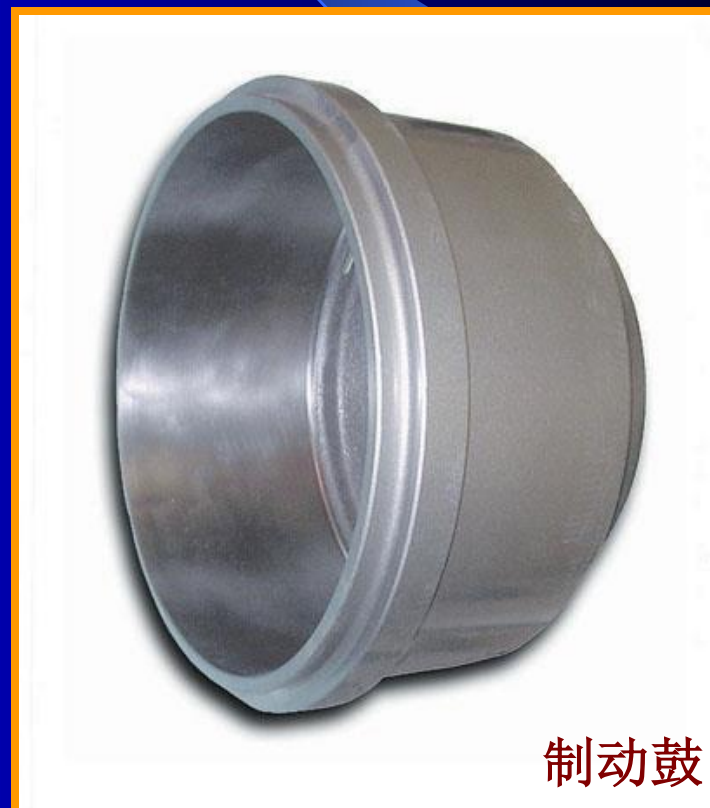
- 蠕墨铸铁的强度、塑性、耐磨性和抗疲劳性能优于灰铸铁，铸造性能、减振性、导热性以及可加工性都优于球墨铸铁。



- 蠕墨铸铁常用于制造承受热循环载荷的零件和结构复杂、强度要求高的铸件。如钢锭模、玻璃模具、柴油机汽缸、汽缸盖、排气阀、液压阀的阀体、耐压泵的泵体等。



玻璃模具



制动鼓



## 第五节 可锻铸铁

- 石墨呈团絮状的灰口铸铁，是由白口铸铁经可锻化退火获得的。

- 1、化学成分

- 生产中，碳量 $\omega_{\text{C}}=2.2\%\sim 2.8\%$ ，含硅量 $\omega_{\text{Si}}=1.0\%\sim 1.8\%$ ，锰含量 $\omega_{\text{Mn}}=0.4\%\sim 1.2\%$ ，含硫与含磷量尽可能降低。

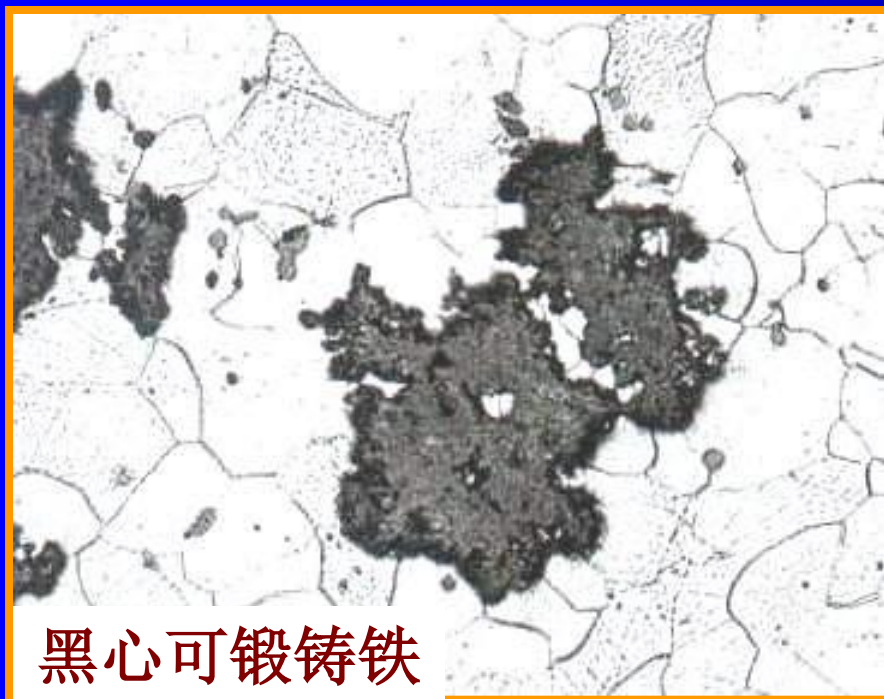
- 2、组织：

基体(F、P) + 团絮状G

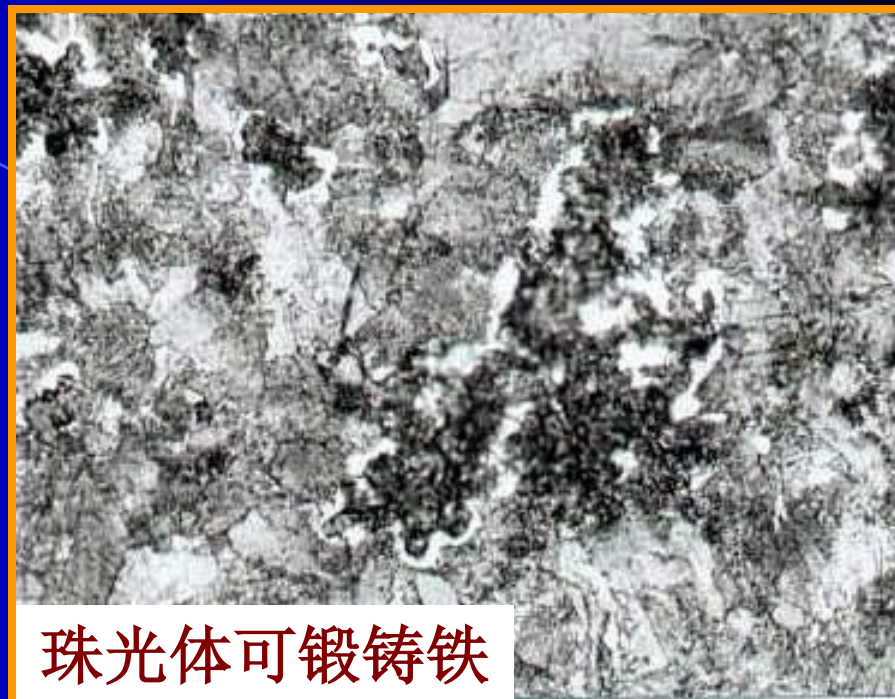
黑心可锻铸铁的组织为铁素体和团絮状石墨

珠光体可锻铸铁的组织为珠光体和团絮状石墨

# 可锻铸铁的显微组织



黑心可锻铸铁



珠光体可锻铸铁



可锻铸铁的石墨化退火

### ● 3、性能

- 优于灰铸铁，并接近于同类基体的球墨铸铁，与球墨铸铁相比，具有铁水处理简易、质量稳定、废品率低等优点。

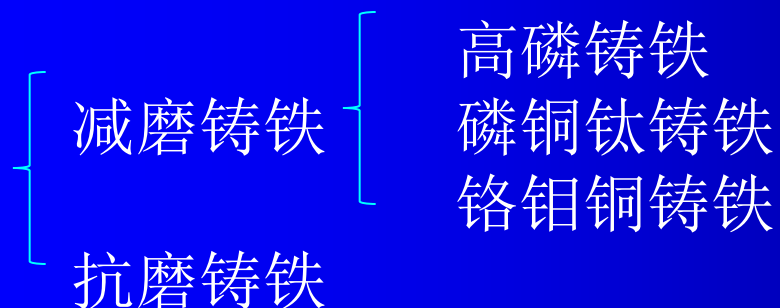
### ● 4、用途

- 用于制造形状复杂且承受振动载荷的薄壁小型件，如汽车、拖拉机的前后轮壳、管接头、低压阀门等。



# 第六节 合金铸铁

## 一、耐磨铸铁



## 二、耐热铸铁

铸铁的耐热性主要指它在高温下抗氧化和抗热生长的能力。热生长现象指铸铁的体积产生不可逆的胀大。

铸铁产生热生长现象的主要原因是：

1. 空气中氧渗入铸铁内部，生成密度小而体积大的氧化物；
2. 渗碳体在高温下发生分解，析出密度小而体积大的石墨；
3. 工作温度超过相变温度，引起铸铁基体组织变化而引起体积的变化。

提高铸铁耐热性的途径

防止铸铁的氧化与热生长的途径有：

1. 在铸铁表面形成一层牢固、致密而又完整的氧化膜；
2. 提高铸铁的固态相变温度；
3. 基体最好是单相组织；
4. 石墨最好呈球状。



### 三、耐蚀铸铁

耐蚀铸铁的化学和电化学腐蚀原理：

1. 铸件表面形成牢固的、致密而又完整的保护膜、阻止腐蚀继续进行；
2. 提高铸铁基体的电极电位；
3. 铸铁组织最好在单相组织的基体上分布着彼此孤立的球状石墨，并控制石墨量。