

铁碳合金二元相图

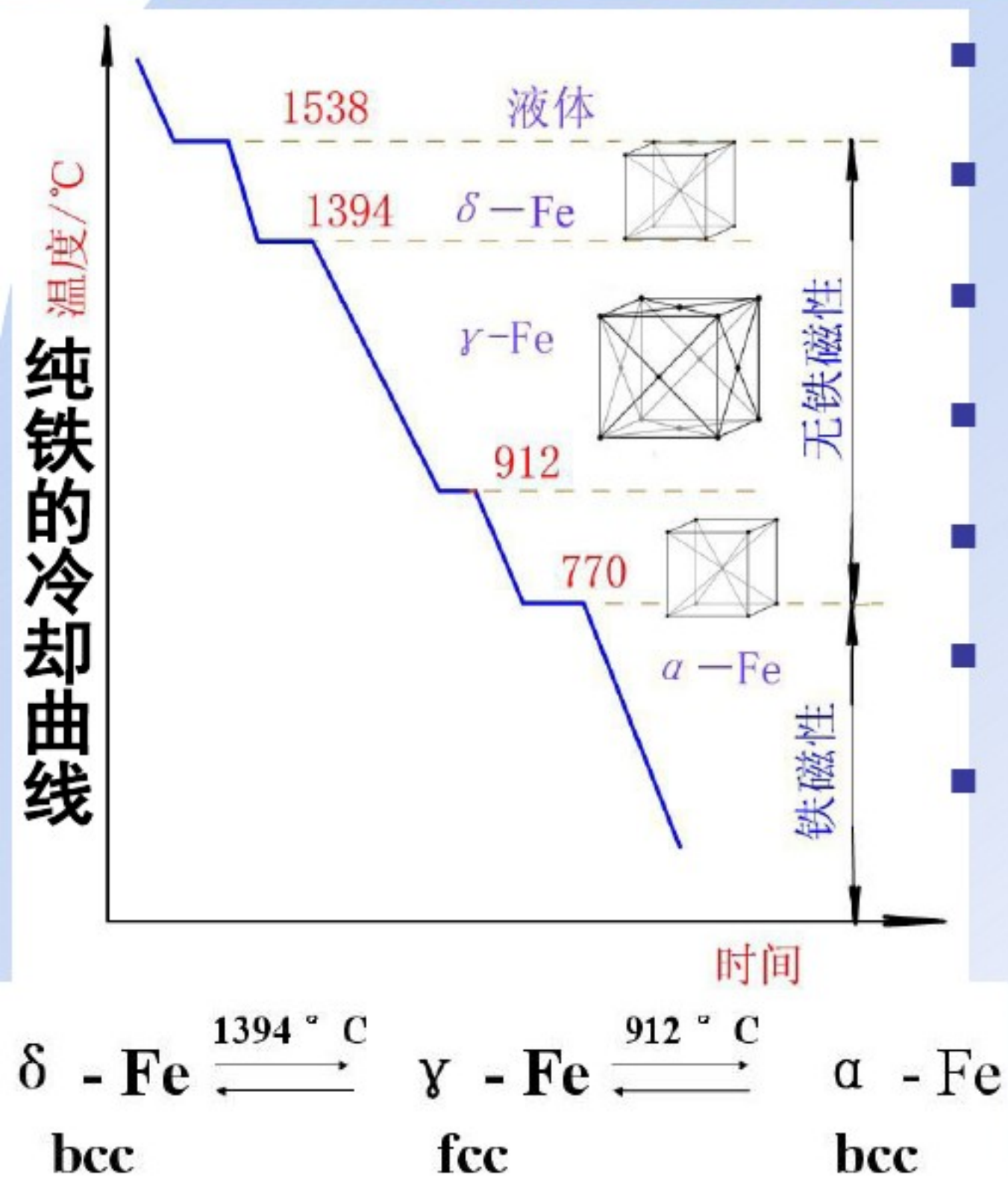


上海海事大学
海洋材料科学与工程研究院



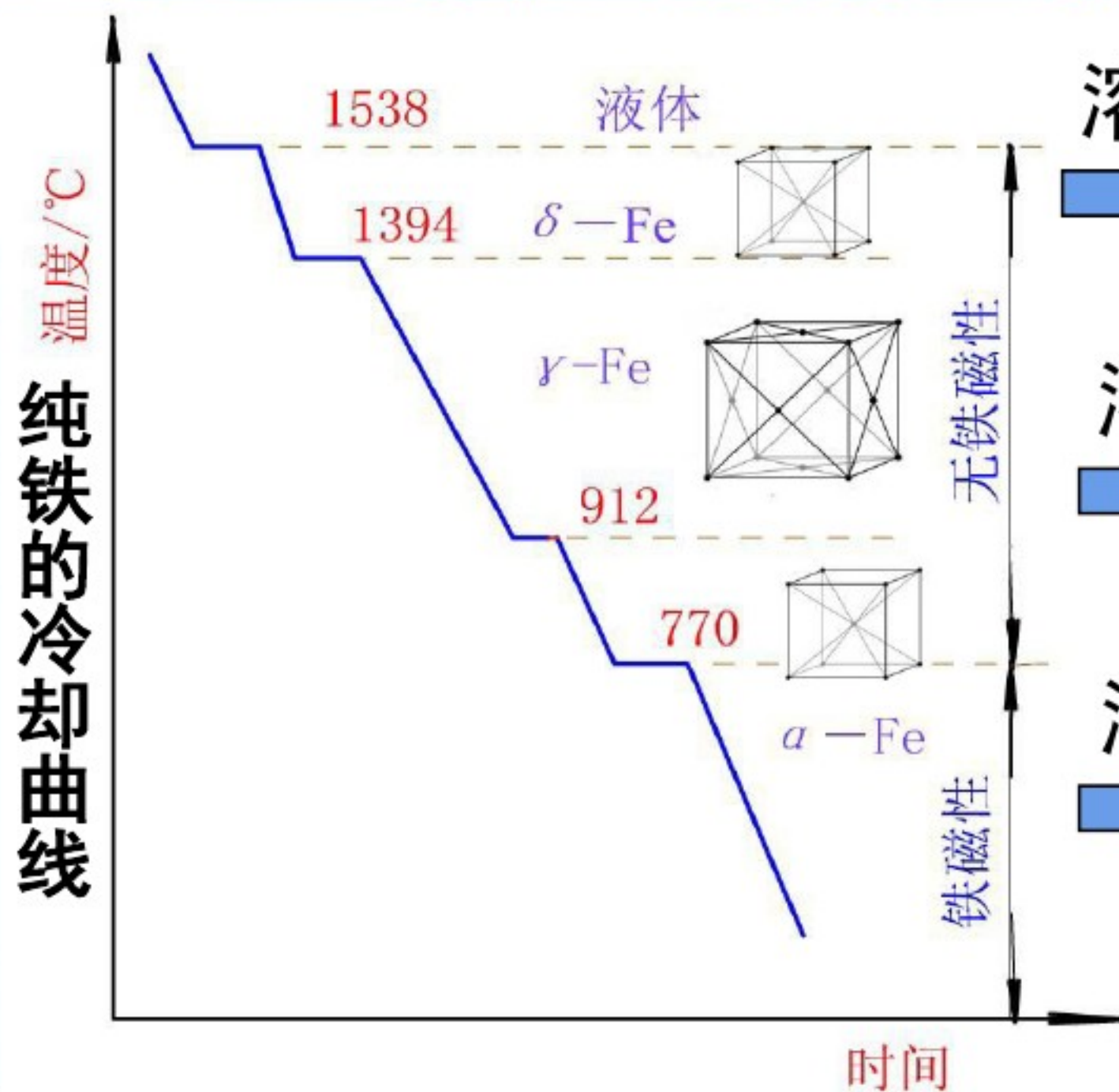
刘伯洋

纯铁



- 屈服强度($\sigma_{0.2}$): 100~170MPa
- 抗拉强度(σ_b): 180~270MPa
- 伸长率(δ): 30%~50%
- 断面收缩率(ψ): 70%~80%
- 冲击韧度(α_K): 160~200J/cm²
- 硬度HBS: 50~80
- 纯铁的塑性韧性好, 但强度硬度低, 很少用作结构材料。由于纯铁具有高的磁导率, 软磁材料

铁碳合金的相结构



溶解碳

高温铁素体
(δ)

溶解碳

奥氏体 (γ 或A)

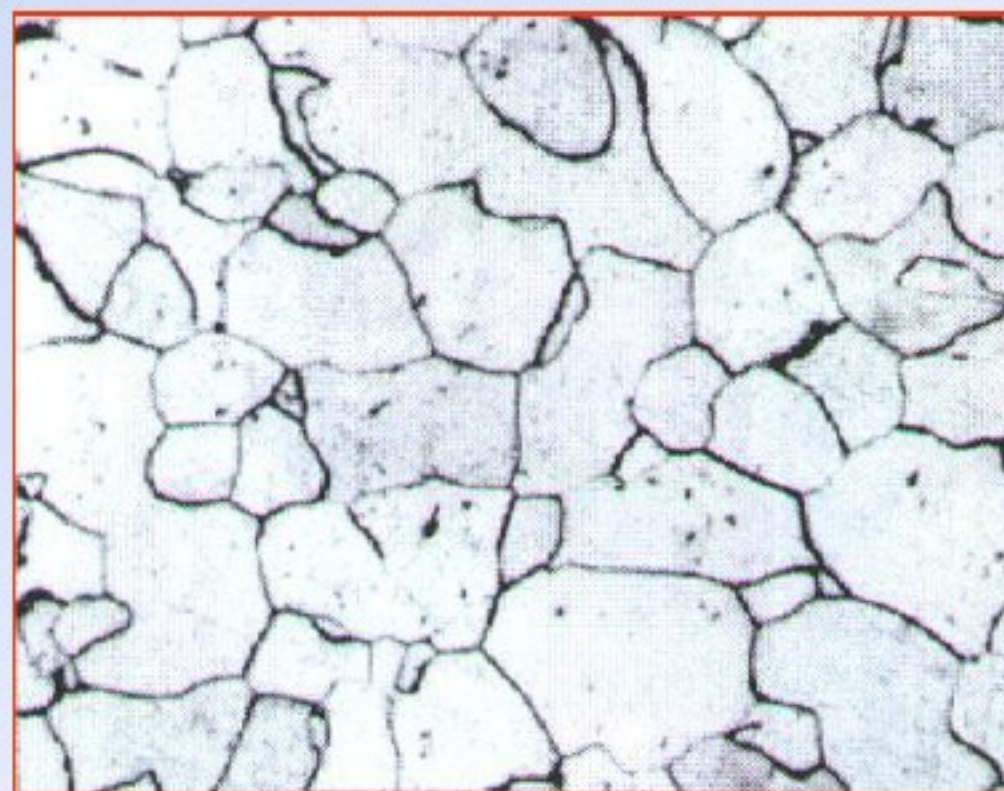
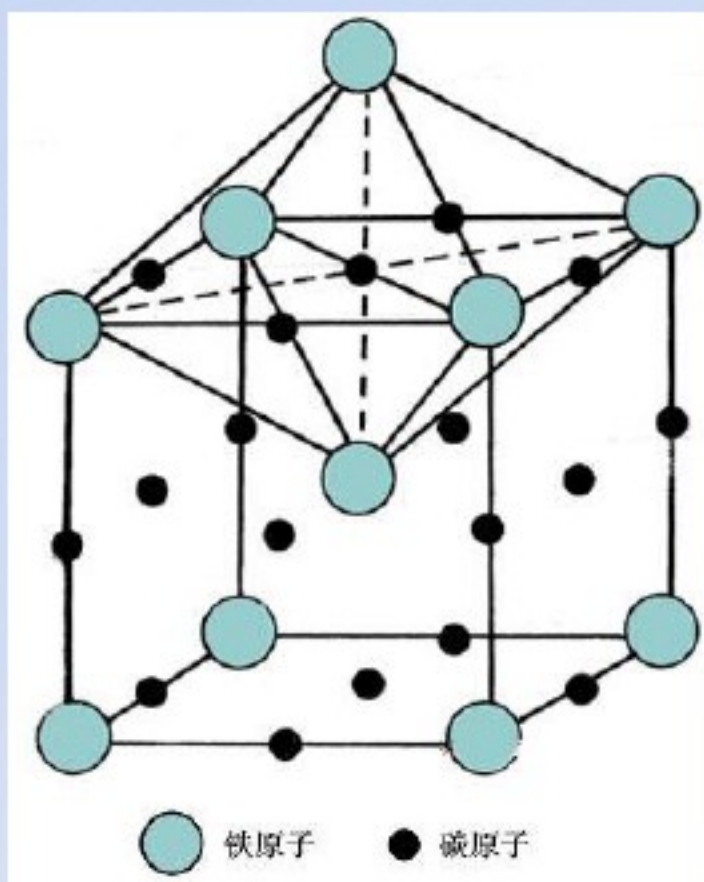
溶解碳

低温铁素体
(α 或F)



铁素体

- **铁素体**：是碳溶于 α -Fe中的间隙固溶体，用符号“ α ”（或F）表示，呈体心立方晶格，碳在 α -Fe中溶解度极小，在 727°C 时达到最大溶解度0.0218%。铁素体的显微组织为多边形晶粒。

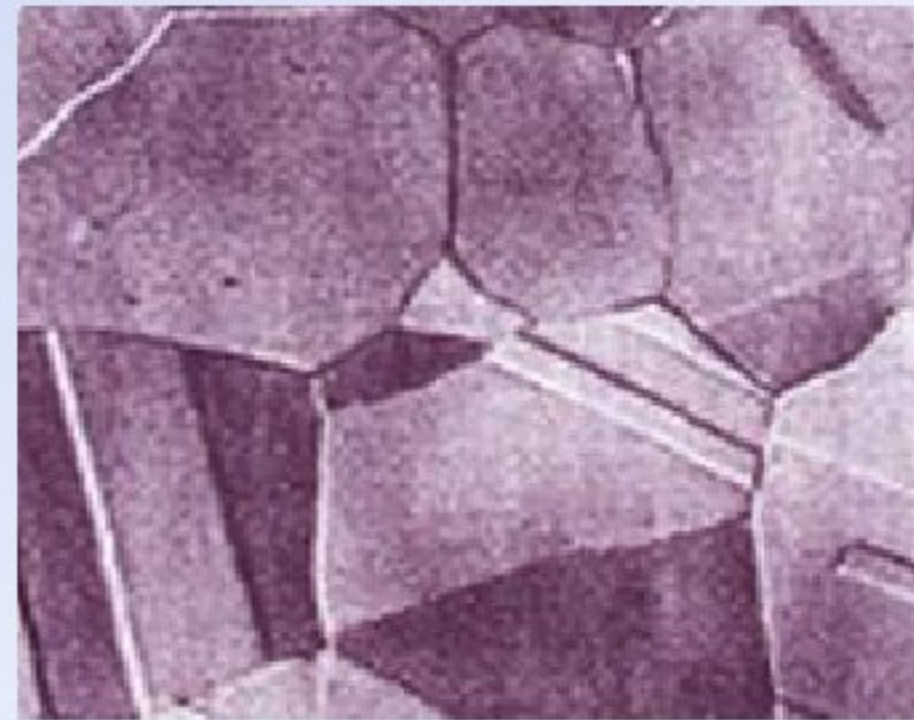
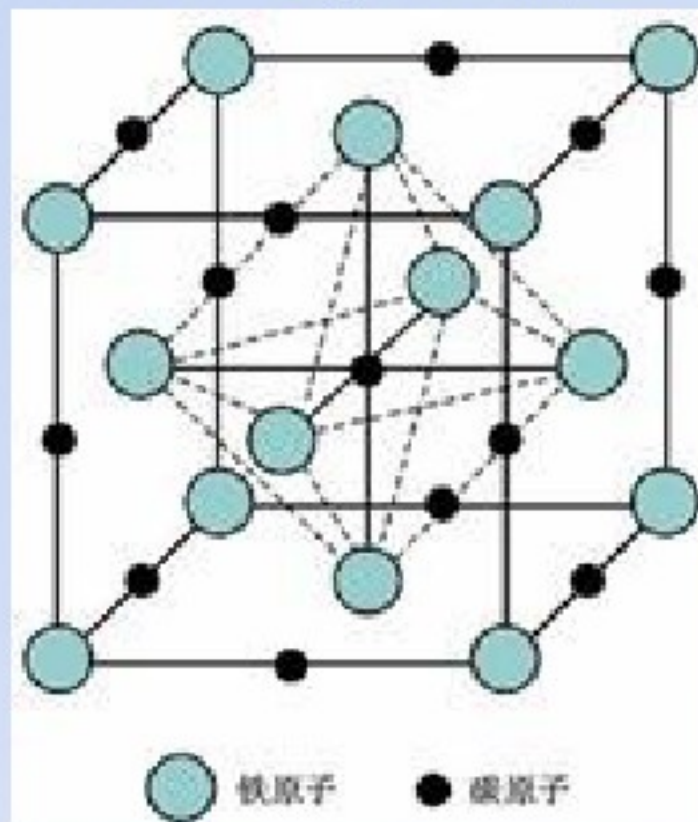


- **铁素体性能**：铁素体的力学性能特点是塑性、韧性好，而强度、硬度低。（ $\delta = 30\% \sim 50\%$ ， $A_{KU} = 128 \sim 160\text{J}$ ）， $\sigma_b = 180 \sim 280\text{MPa}$ ， $50 \sim 80\text{HBS}$ ）



奥氏体

- **奥氏体**：是碳溶于 γ -Fe 中的间隙固溶体，用符号“ γ ”（或 A）表示，呈面心立方晶格。碳在 γ -Fe 中的溶解度要比在 α -Fe 中大，在 727°C 时为 0.77%，在 1148°C 时溶解度最大，可达 2.11%。奥氏体是一种高温组织，稳定存在的温度范围为 $727\sim 1394^{\circ}\text{C}$ ，显微组织为多边形晶粒。



- **奥氏体性能**：相对于铁素体具有一定的强度和硬度，塑性和韧性也好。（ $\sigma_b=400\text{ MPa}$ ， $170\sim 220\text{HBS}$ ），塑性和韧性也好（ $\delta=40\%\sim 50\%$ ）。具有顺磁性，可作为无磁钢。

- 无磁钢：没有铁磁性从而不能被磁化的**稳定奥氏体钢**。Fe-Mn-Al-C系列奥氏体，其电磁性能(磁导率)，组织稳定，力学性能优良，磁导率低而电阻率高，在磁场中的涡流损耗极小。
- 无磁钢的用途：
 - **(1) 石油钻井无线随钻侧斜系统(MWD)**：是在油田钻井过程中的专业定向仪器。一般用于定向井，而定向井需要测斜度及方位的，测斜时仪器在无磁钻具内部可以免受外界磁场的影响从而保证结果的准确性。
 - **(2) 高压电器和大中型变压器油箱内壁、铁芯拉板、线圈夹件、螺栓、套管、法兰盘等漏磁场中的结构件；**
 - **(3) 起重电磁铁吸盘、磁选设备筒体、选箱以及除铁器、选矿设备等；**



NMS-140

Nominal Chemistry NMS-140 Alloy

C	Mn	P	S	Si	N	Cr	Mo	N
0.02	19.50	0.035	0.005	0.35	1.75	18.75	1.00	0.62

Typical Physical Properties

Magnetic Permeability	1.004			
Modulus of Elasticity	29.2×10^6			
PREN = $\%Cr - 3.3 \times (\%Mo) - 16 \times (\%N)$	32			
Density (Lbs/cubic in)	0.28			
	70° F	200° F	300° F	400° F
Thermal Conductivity (W/mK)	13.7	15.2	16.1	17.1
Thermal Expansion (in/in/deg F $\times 10^{-6}$)	7.5	8.4	8.8	9.2
Electrical Resistivity ($\mu\Omega$ -cm)	75.4	80.6	84.9	88.7
Specific Heat (J/gK)	0.49	0.50	0.51	0.53
Galling Resistance	41,000 psi Threshold, 64,000 psi Severe			

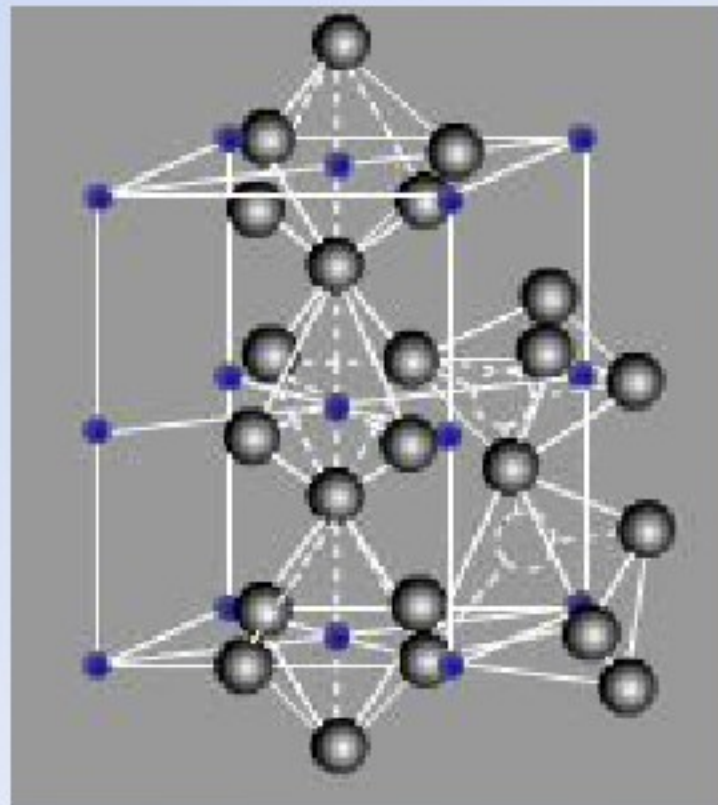
Typical Mechanical Properties

Strength Level	Size	Fatigue Strength	Yield Strength KSI	Tensile Strength KSI	% Elong	% ROA	Charpy V-Notch ft-Lbs	BHN Surface to Center
'120'	up to 12'		127	148	30	68	120	311
'140'	up to 10'	65KSI @ 1×10^6 80KSI @ 1×10^8	148	162	22	60	100	341

- 双相不锈钢 (DSS, Duplex Stainless Steel): 是指不锈钢中既有奥氏体又有铁素体组织结构的钢种, 习惯称 $\alpha+\gamma$ 双相不锈钢或双相不锈钢。Cr 含量在 18%~28%, Ni 含量在 3%~10%。
- 该类钢兼有奥氏体和铁素体不锈钢的特点。其中双相不锈钢的耐孔蚀性能、耐腐蚀性能优于超低碳合金钢 (316L)
- 与铁素体相比, 塑性、韧性更高, 无室温脆性, 耐晶间腐蚀性能和焊接性能均显著提高, 导热系数高, 具有超塑性等特点。
- 与奥氏体不锈钢相比, 强度高且耐晶间腐蚀和耐氯化物应力腐蚀有明显提高。具有优良的耐孔蚀性能。
- 主要用于海水淡化。

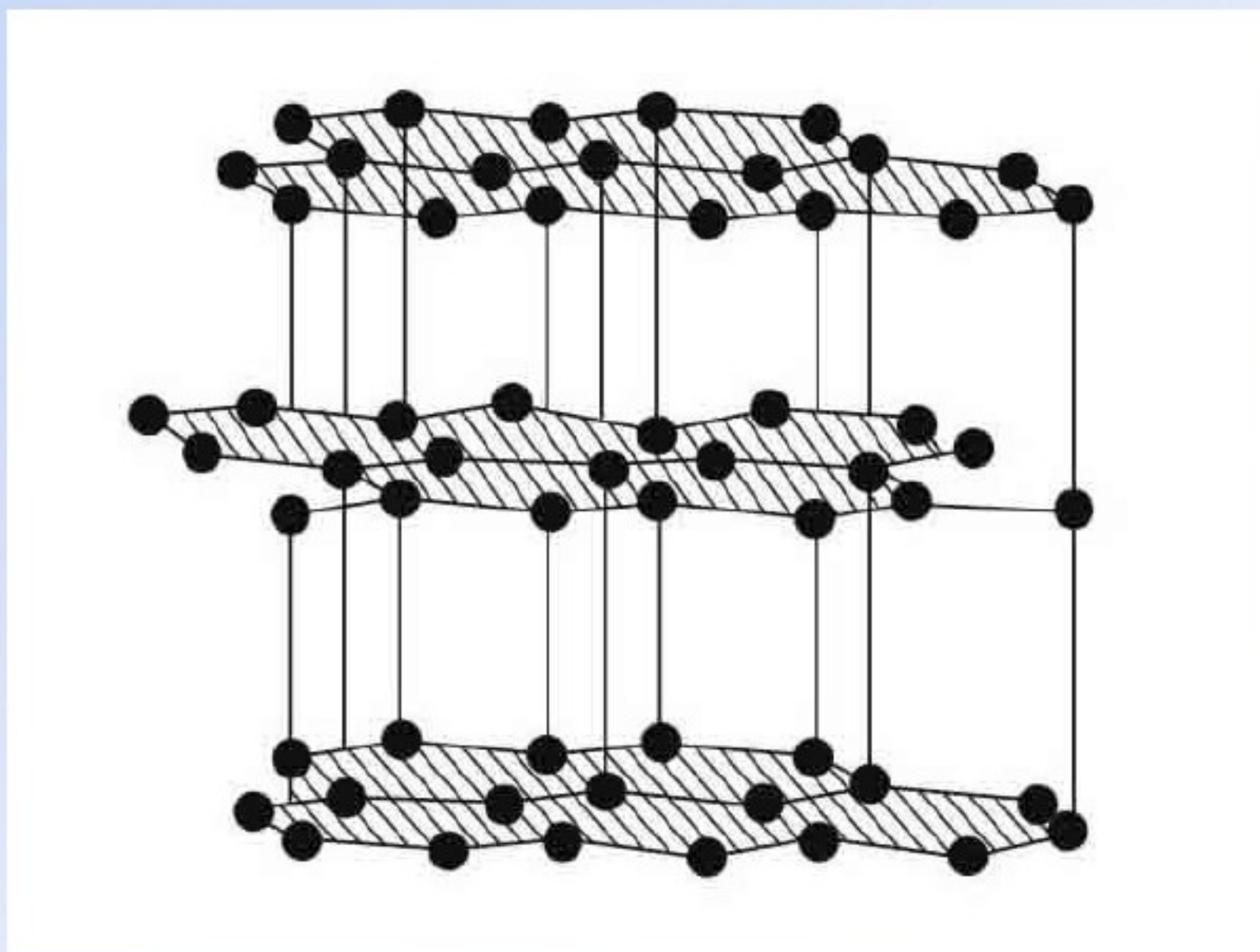
渗碳体

- 渗碳体（中间相-尺寸因素化合物-间隙化合物）：当铁碳合金中碳含量超过它在铁中的溶解度限度时，多余的碳主要和铁形成的一种具有复杂晶格的金属化合物 Fe_3C 。是它的碳质量分数 $W_c=6.69\%$ 。

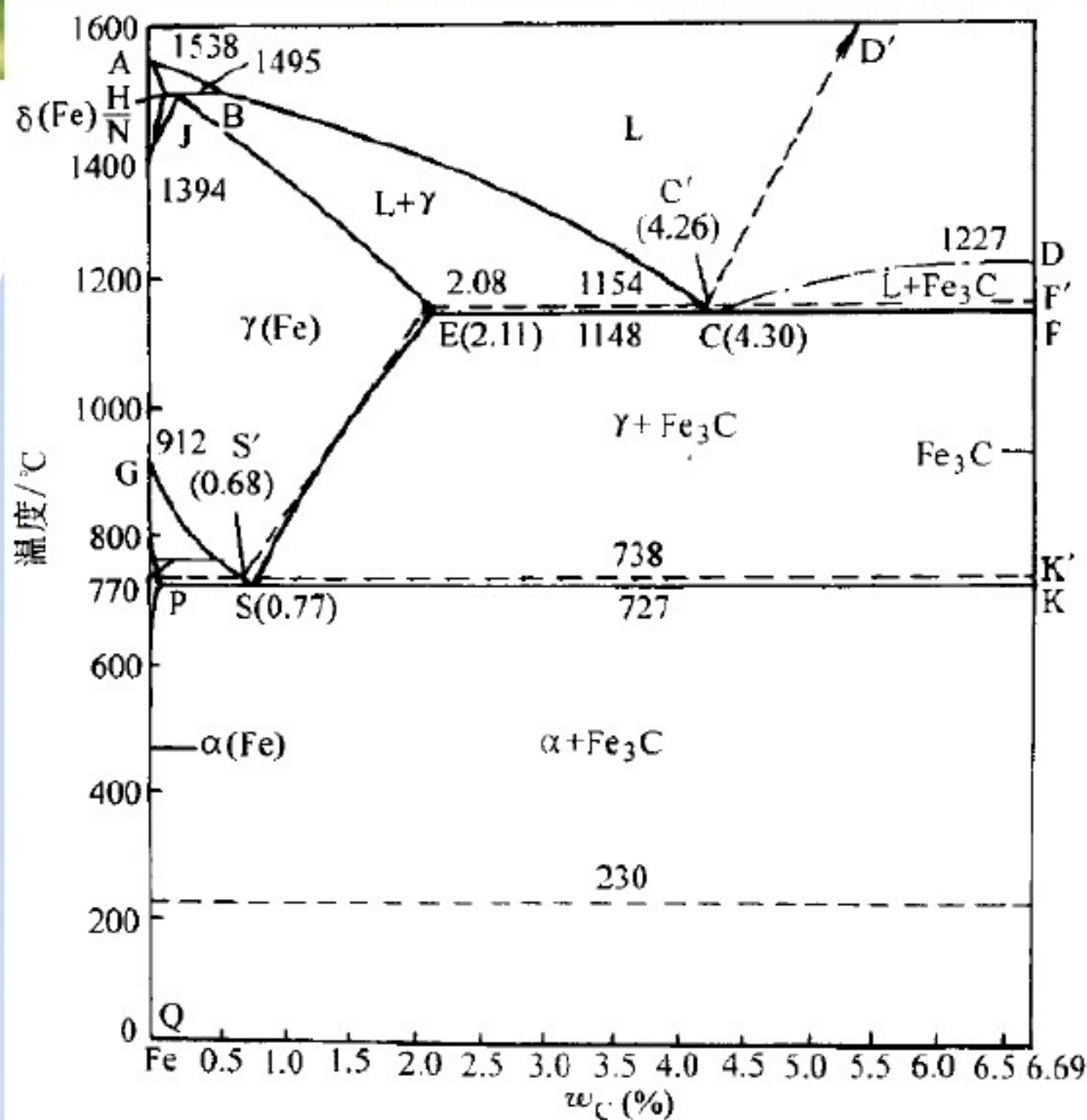


- **渗碳体性能：**其力学性能特点是硬度高（约800HBW），脆性大，塑性几乎为零。

- 弱铁磁性（ $< 230^{\circ}\text{C}$ ），理论熔点 1227°C 。
- 介稳定化合物，分解： $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{C}$ （石墨碳）。
- 石墨：六方晶系；化学键： σ 键+ π 键
- C从Fe中析出时，通常以 Fe_3C 的形式存在，而非石墨，因为形成前者碳原子扩散距离短。



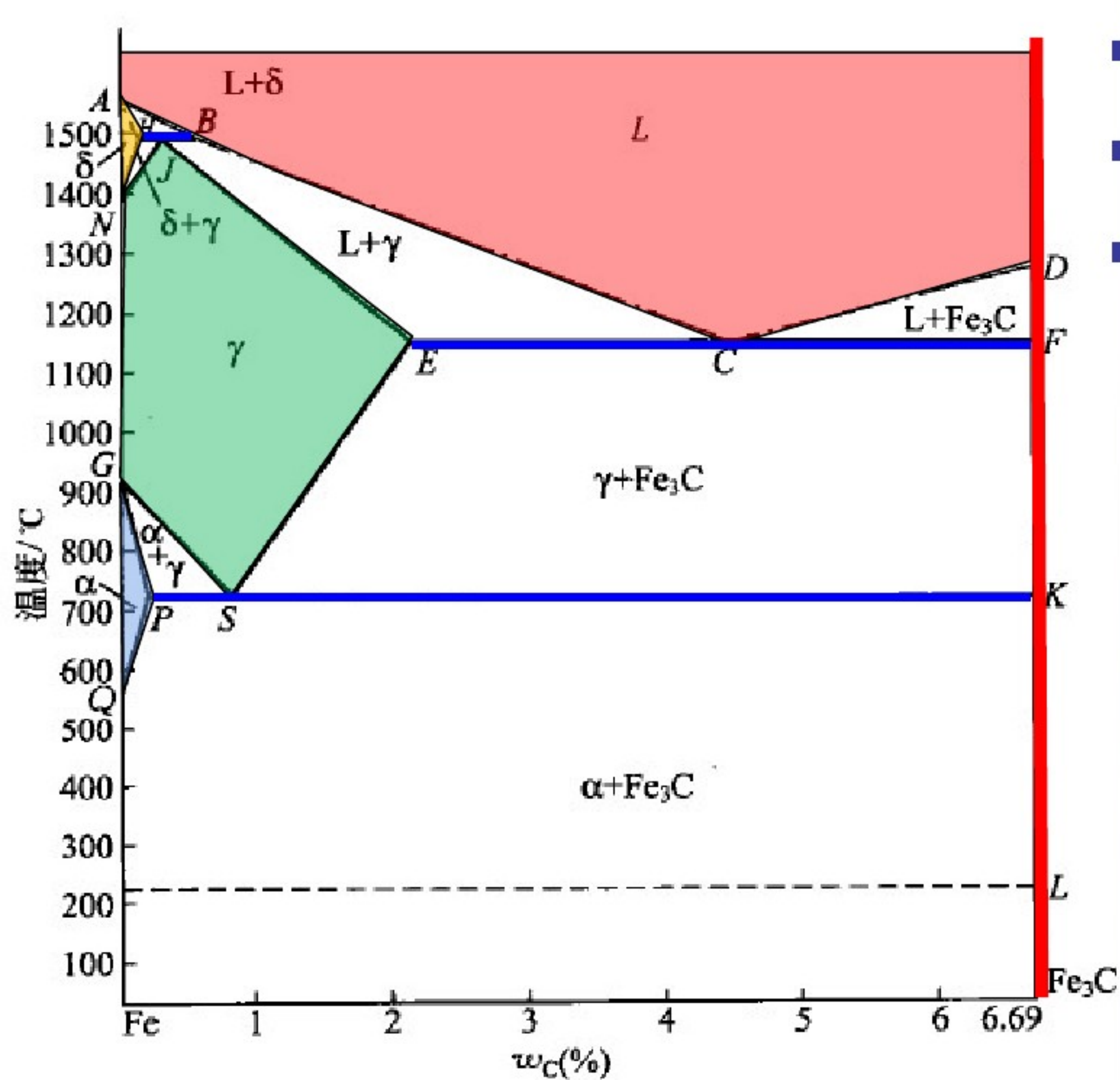
铁碳合金相图



- 实线: $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$
- 介稳定系相图
- 虚线: Fe-C (石墨)
- 稳定系相图
- 图中各特性点的符号是国际通用的, 不能随意更换。

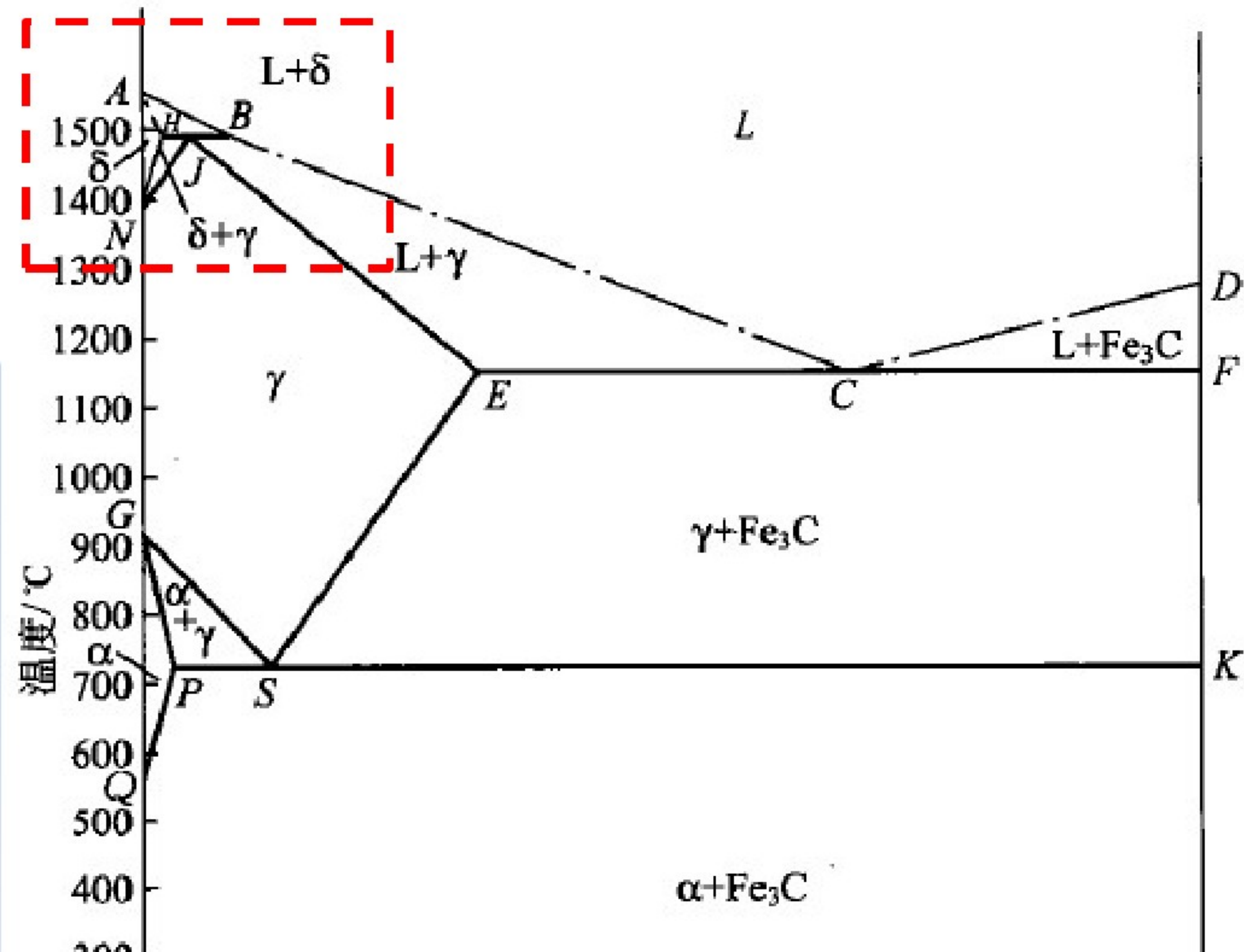
— $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 相图
 - - - Fe_3C 液相线(计算)
 - - - Fe-石墨 相图
 铁素体的居里温度
 - - - $\chi(\text{Fe}_{2.2}\text{C})$ 转变(计算)

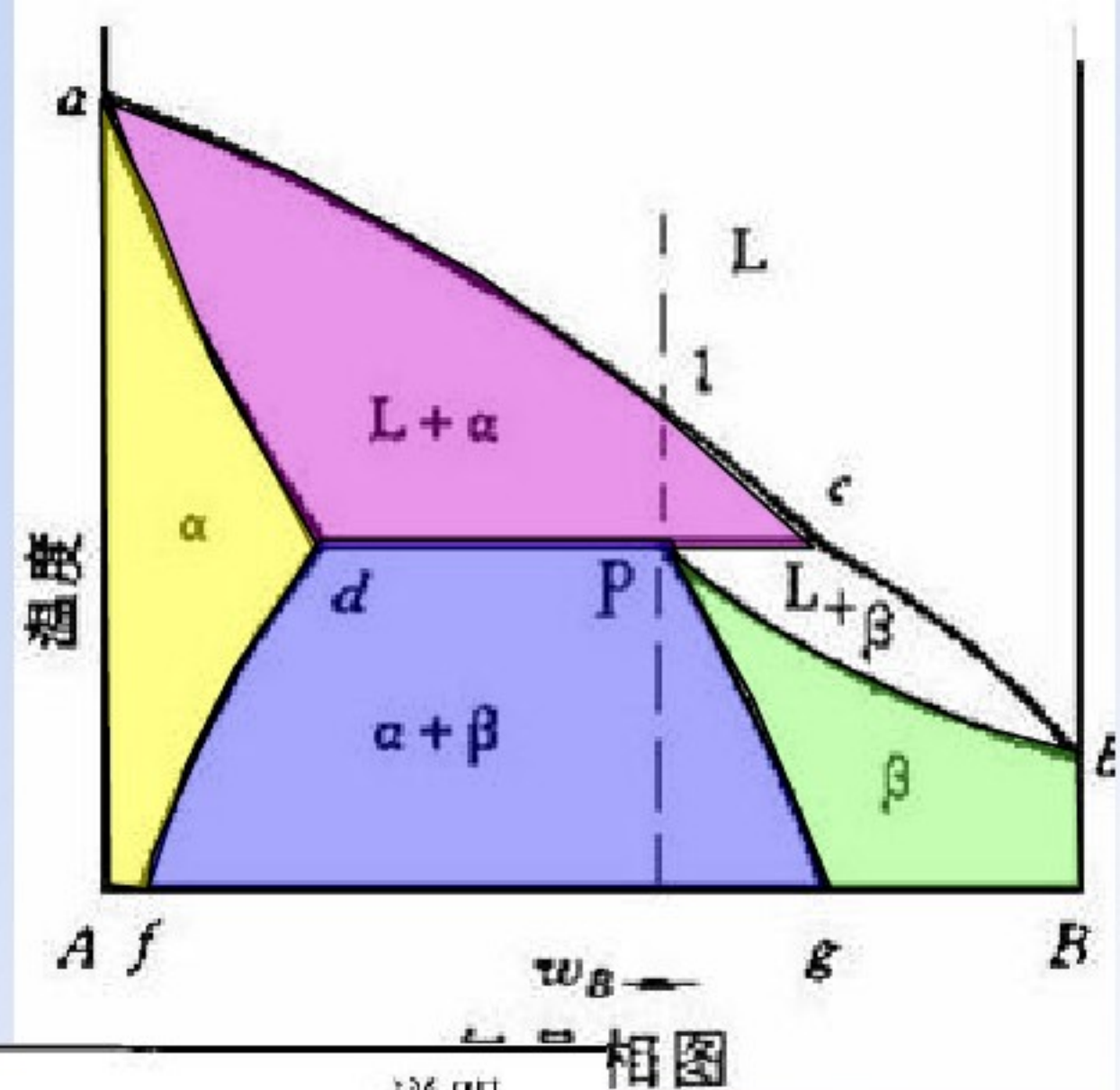
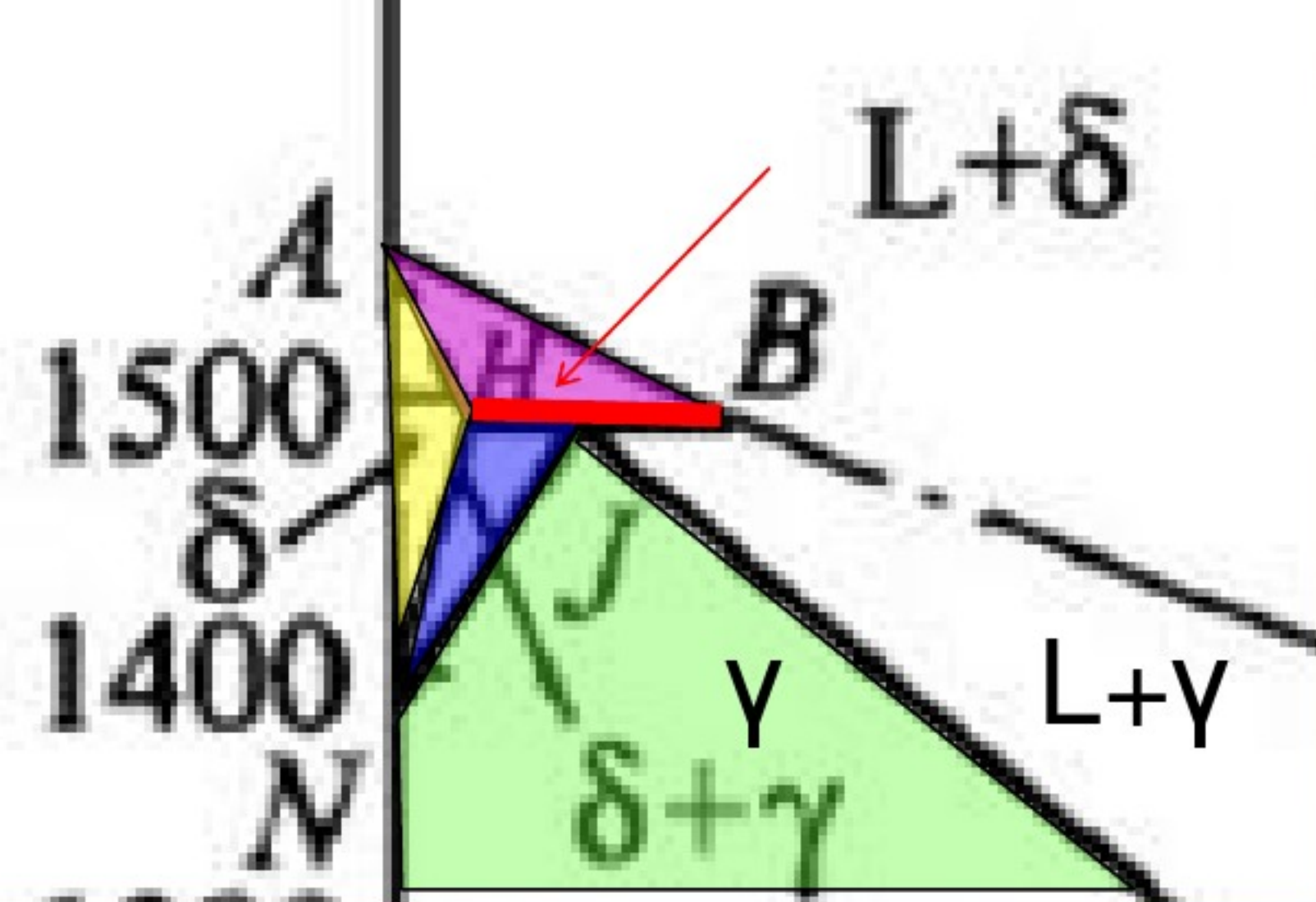
图 5-47 铁-碳相图



- 单相区5个
- 双相区7个
- 三相区3个

图 4.6 以相组成物标示的 Fe - Fe₃C 相图



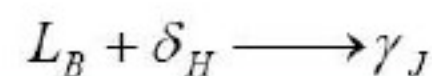


符号	温度/℃	$w_c(\%)$	说明
A	1538	0	纯铁的熔点
B	1495	0.53	包晶转变时液态合金的成分
H	1495	0.09	碳在 δ -Fe 中的最大溶解度
J	1495	0.17	包晶点
N	1394	0	γ -Fe \rightleftharpoons δ -Fe 转变温度(A_4)

相图

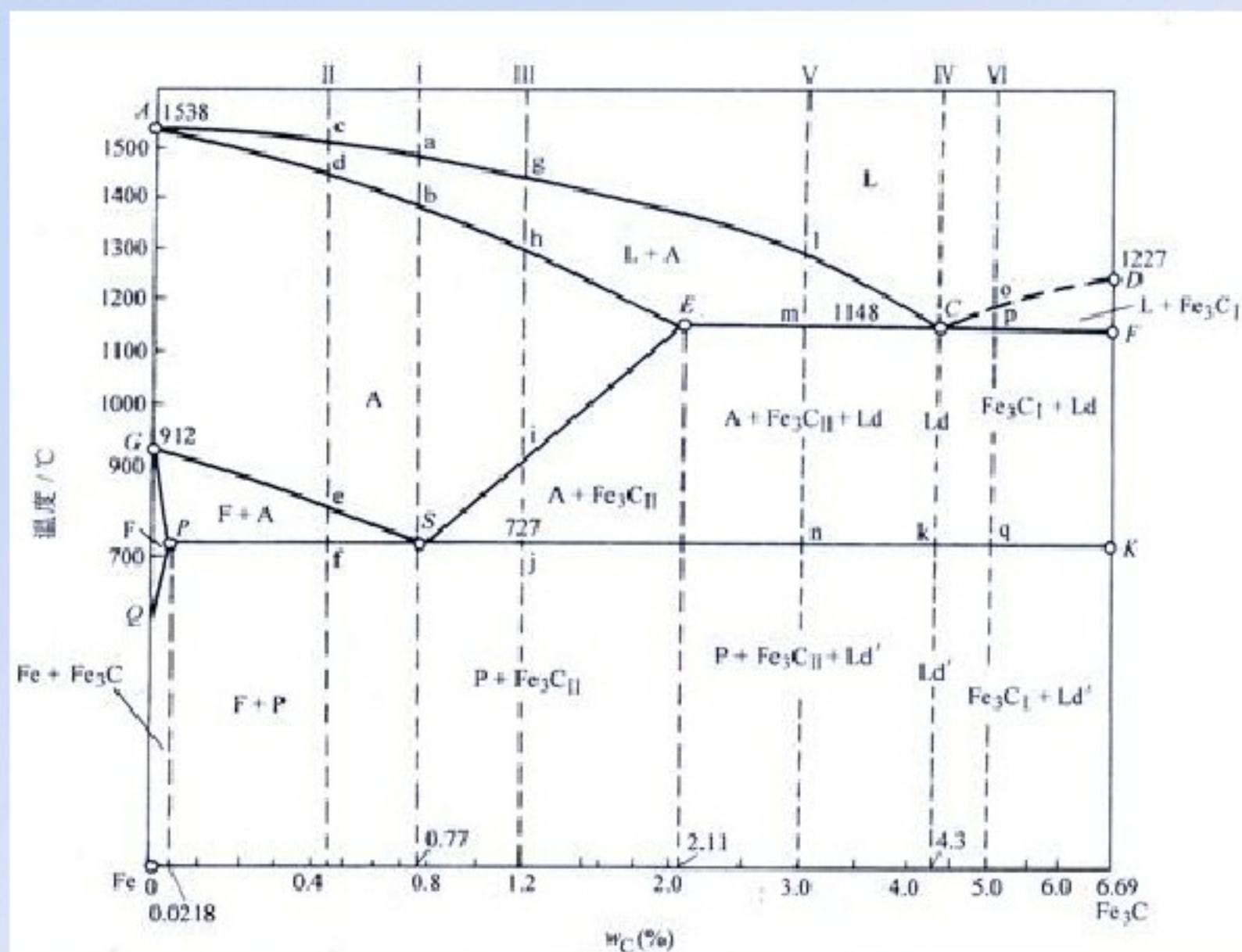
包晶转变线 (HJB)：含碳0.53%的液相与含碳0.09%的 δ 铁素体发生反应，生成含碳0.17%的奥氏体。

在 HJB 水平线 (1495℃) 发生包晶转变：

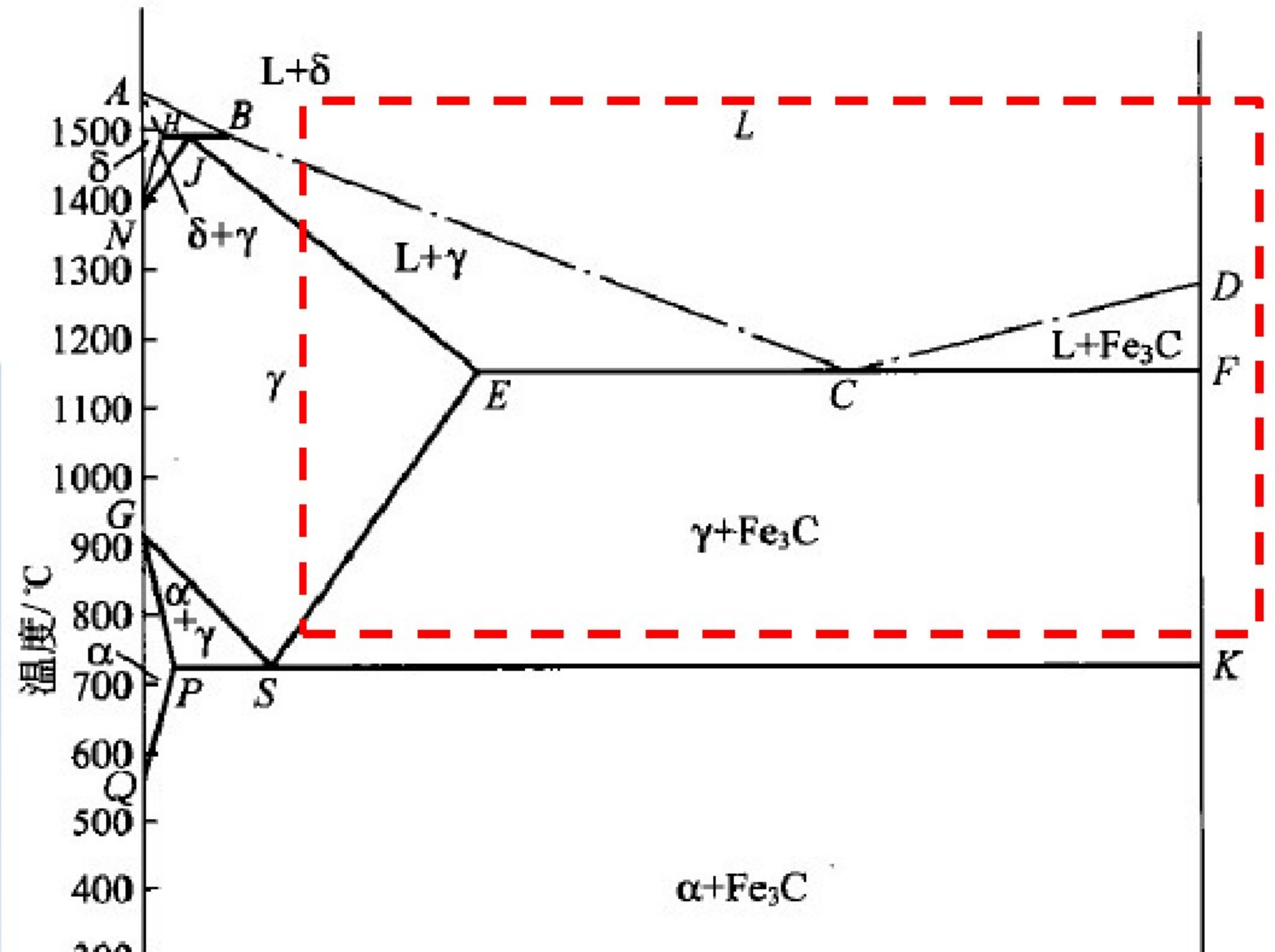


- 碳含量小于2.11%的合金在冷却的历程中，都可在一个温度区间得到单相的奥氏体。

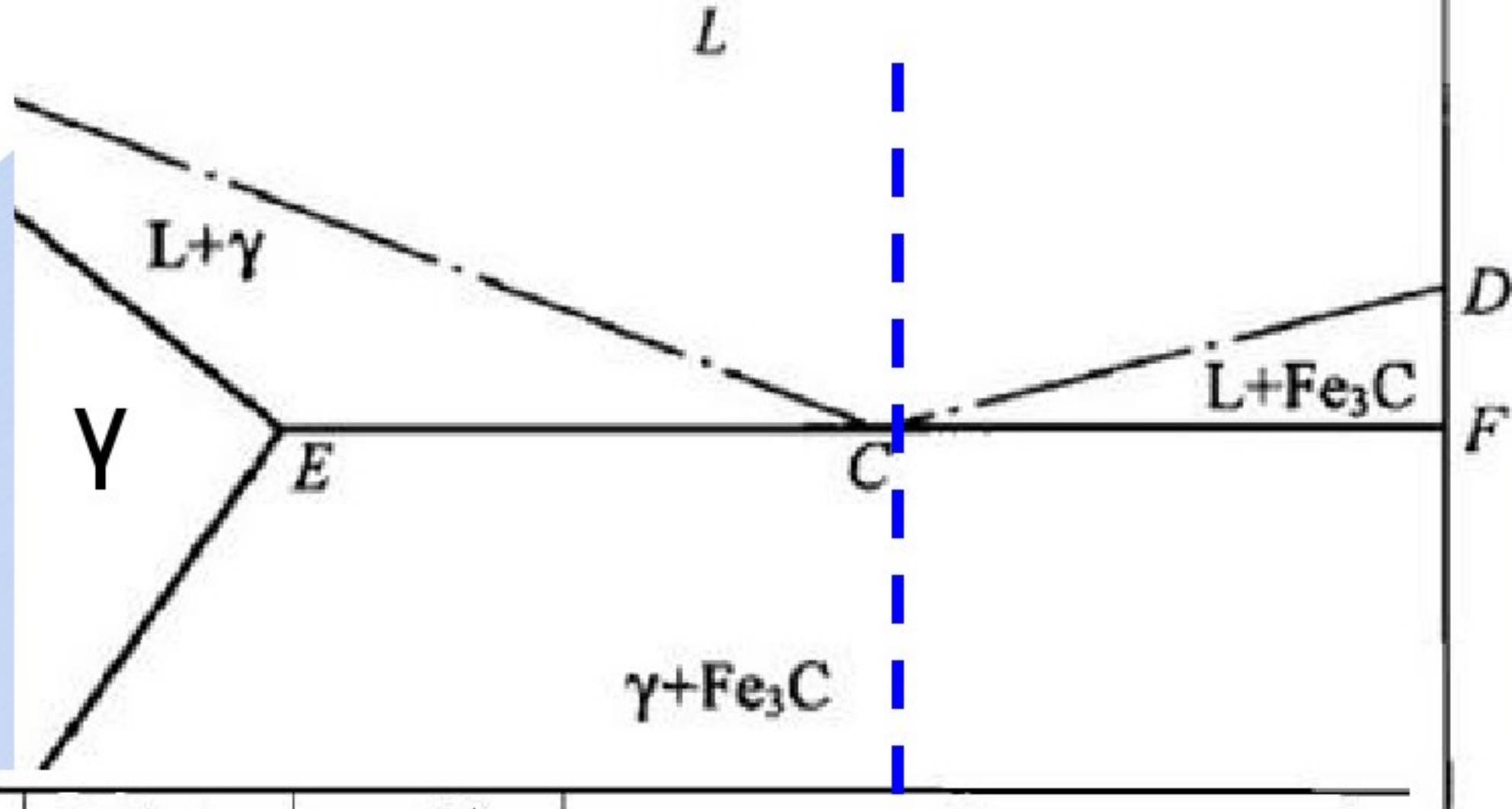
■ 简化的铁碳相图



- 对于铁碳合金来说，由于包晶反应温度高，碳原子的扩散较快，所以包晶偏析并不严重。但对于高合金钢来说，合金元素的扩散较慢，就可能造成严重的包晶偏析。
- 包晶偏析造成钢凝固剩余有 δ 相，其与 γ 相致密度不同会造成巨大的组织应力，使铸坯出现热裂纹，尤其对连铸坯，这种包晶钢的热裂纹仍是一个需要克服的难题。

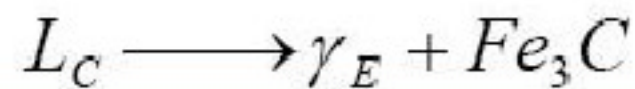


共晶相图



符号	温度/℃	w _C (%)	说明
C	1148	4.30	共晶点
D	1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在 γ-Fe 中的最大溶解度
F	1148	6.69	渗碳体的成分

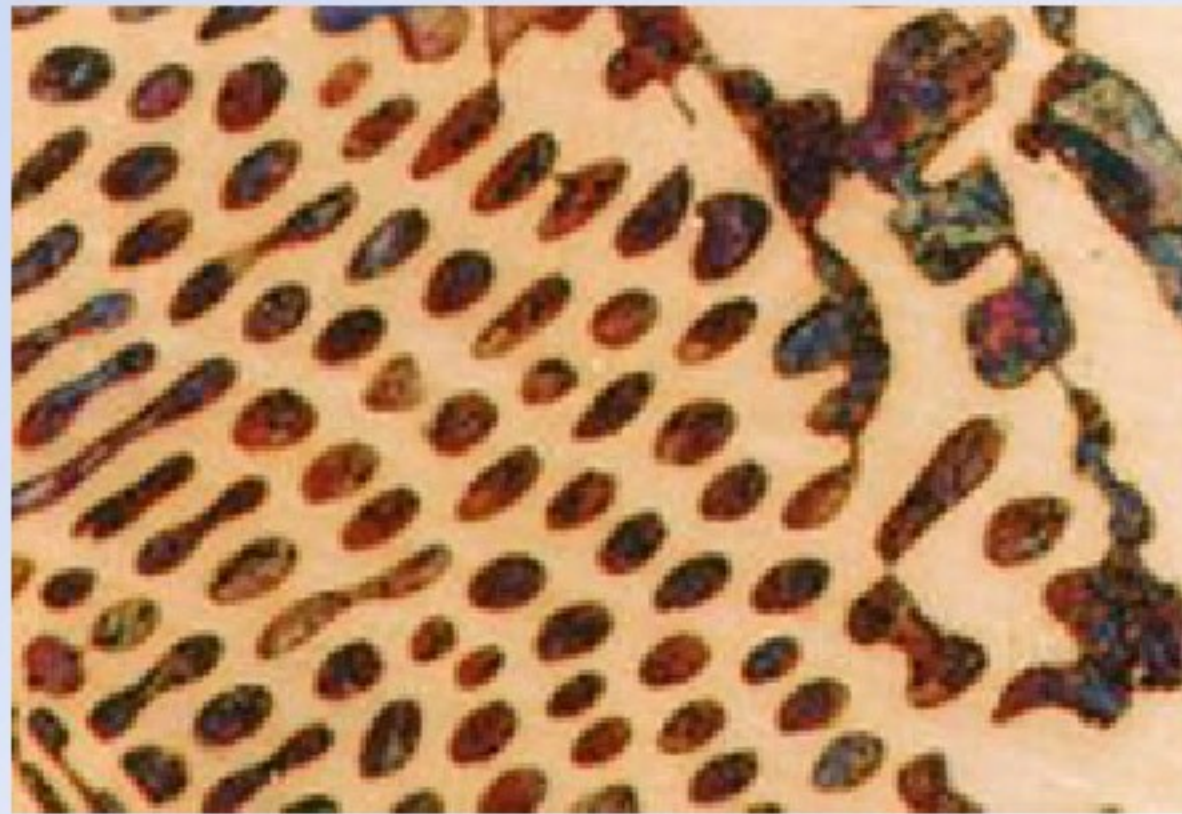
在 ECF 水平线（1148℃）发生共晶转变：



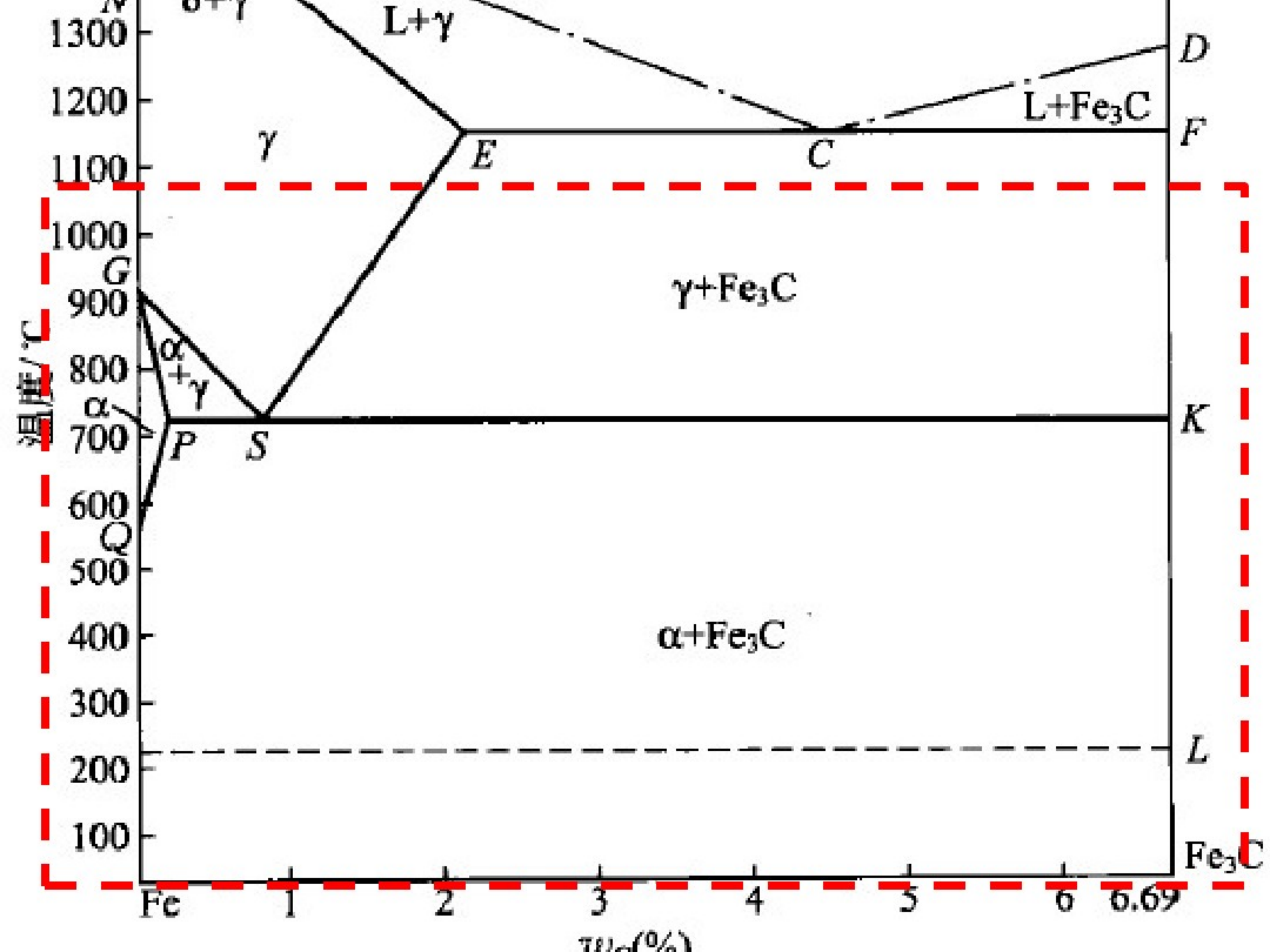
- 转变产物是γ相和Fe₃C的机械混合物，称为**莱氏体**（Ld）。其中Fe₃C称为共晶渗碳体。

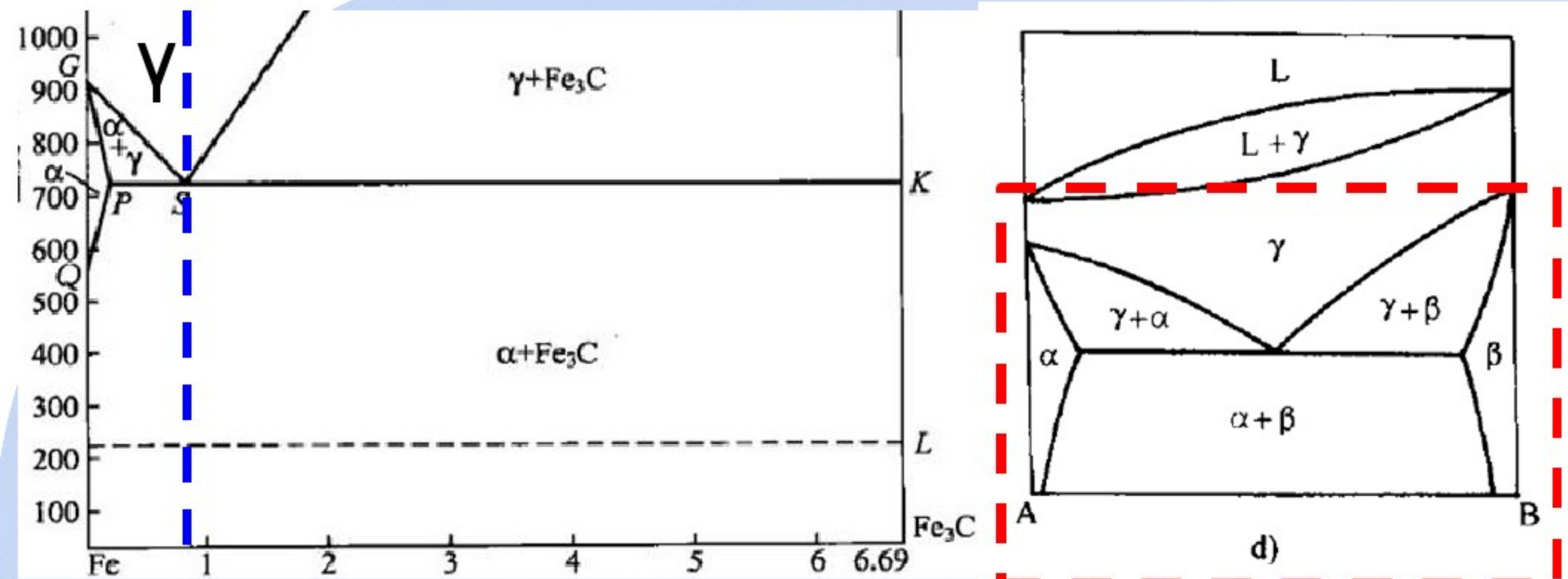
莱氏体（组织）

- **莱氏体**：是铁碳合金冷却到 1148°C 时共晶转变的产物，是介稳相。由奥氏体和渗碳体组成的机械混合物。存在于 $1148^{\circ}\text{C} \sim 727^{\circ}\text{C}$ 之间的莱氏体称为高温莱氏体，用符号“ L_d ”表示；存在于 727°C 以下的莱氏体称为变态莱氏体或称低温莱氏体，用符号“ L_d' ”表示，组织由渗碳体和珠光体组成。



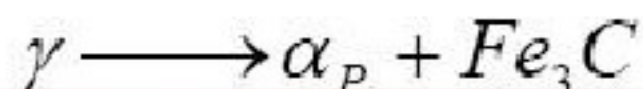
- **莱氏体性能**：莱氏体的力学性能与渗碳体相似，硬度很高，塑性极差，几乎为零。





符号	温度/°C	wt(%)	说明
G	912	0	$\alpha\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$ 转变温度(A_3)
K	727	6.69	渗碳体的成分
P	727	0.0218	碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点(A_1)
Q	600	0.0057	600°C时碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度

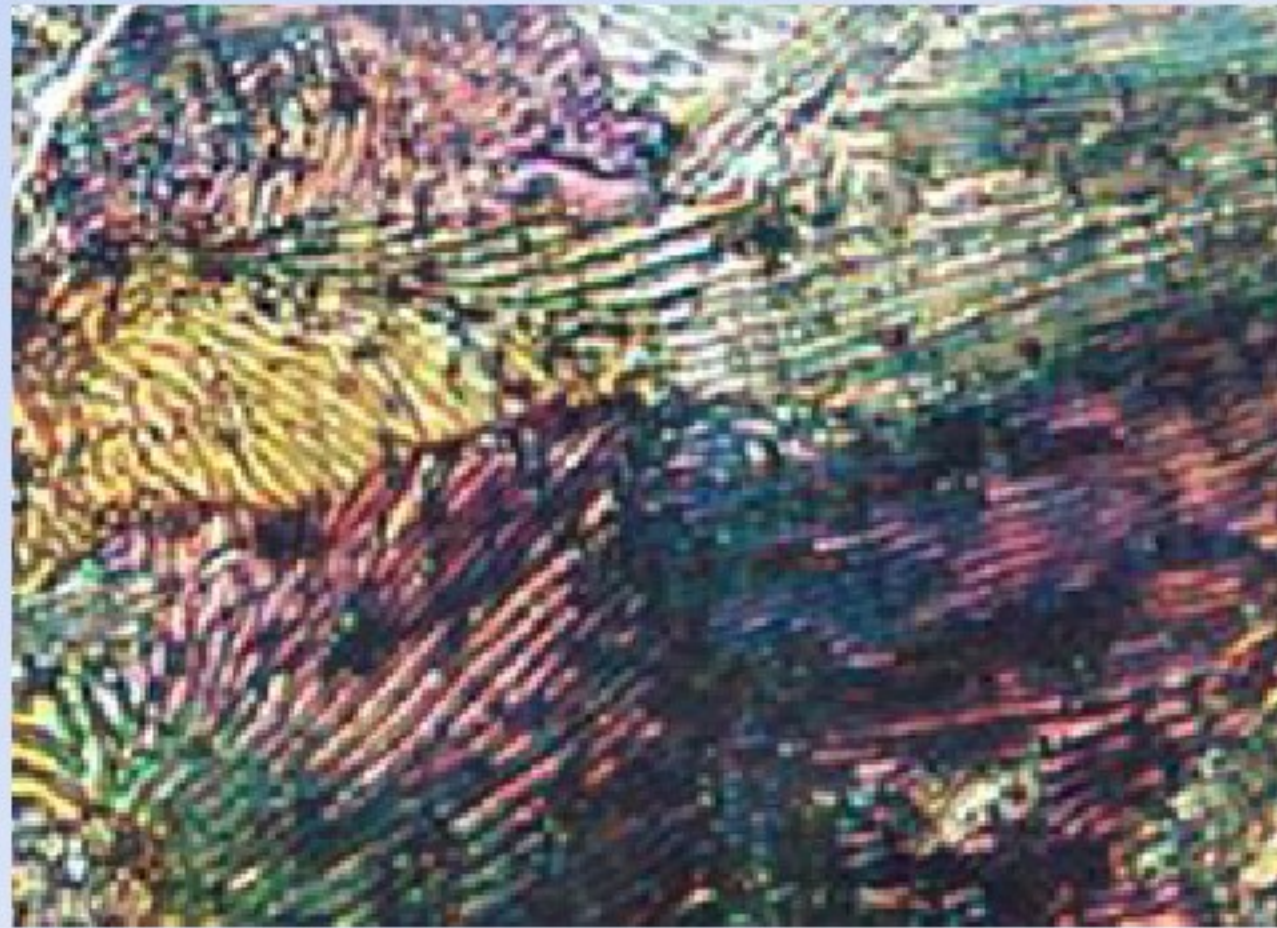
在 PSK 水平线 (727°C) 发生共析转变:



- 转变产物为珠光体，用符号 P 表示。组织中的 Fe_3C 称为共析渗碳体。

珠光体

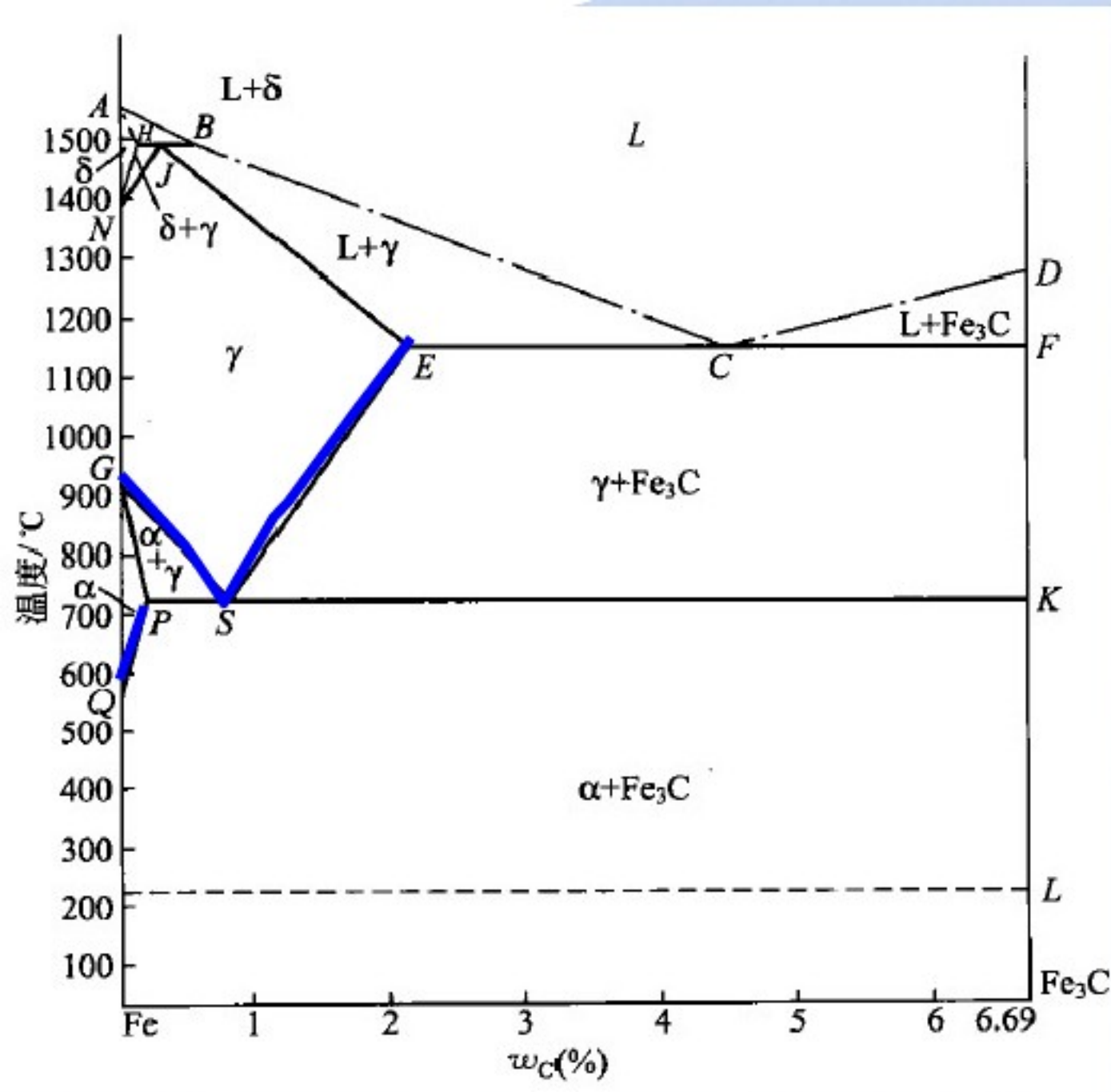
- **珠光体：**珠光体是奥氏体冷却时，在 727°C 发生共析转变的产物，由铁素体和渗碳体组成的机械混合物，用符号“P”表示。显微组织为由铁素体片与渗碳体片交替排列的片状组织。



- **珠光体性能：**力学性能介于铁素体与渗碳体之间，强度较高，硬度适中，塑性和韧性较好。

表 4-1 铁碳合金相图中的特性点

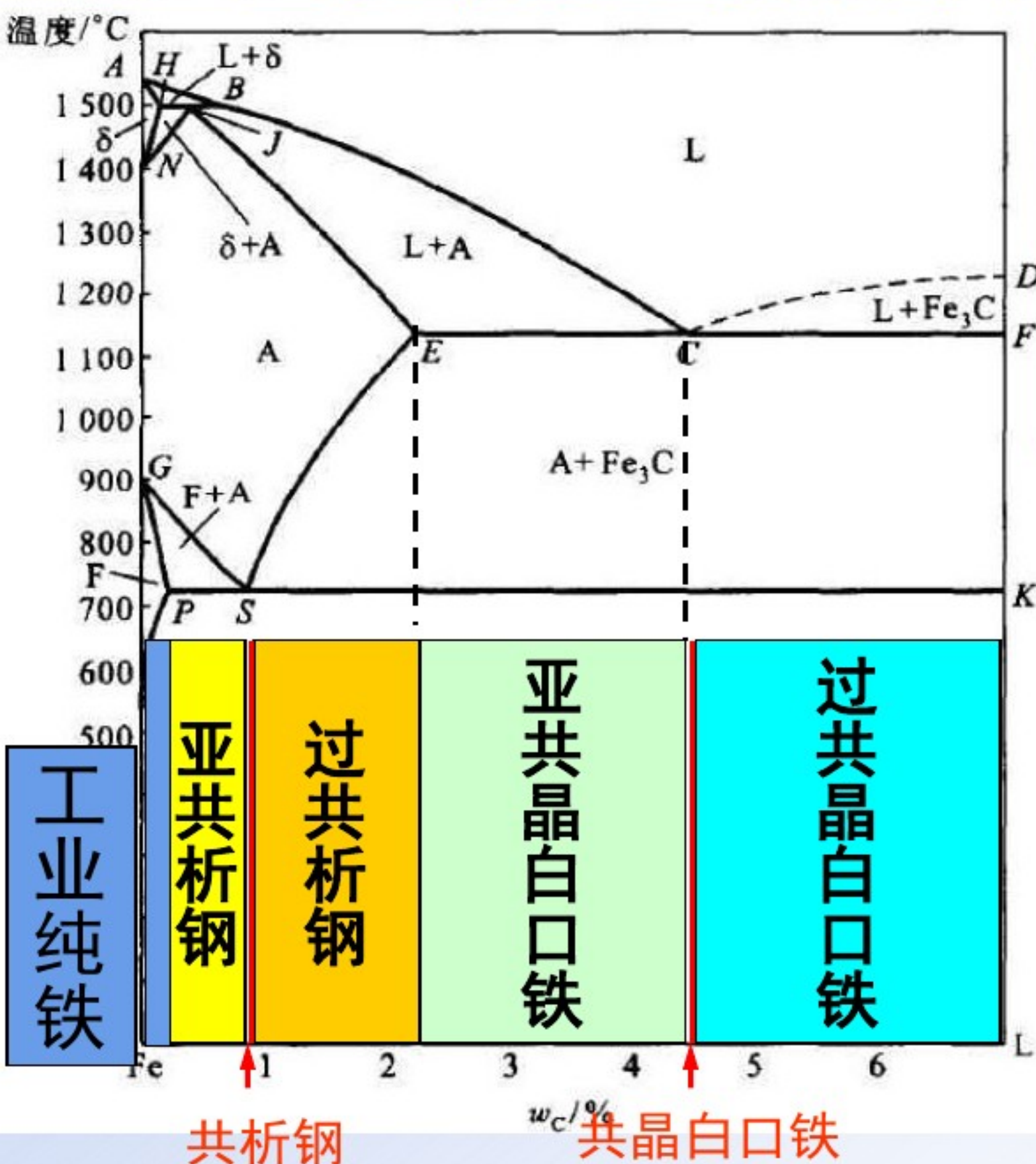
符号	温度/℃	$w_c(\%)$	说明
A	1538	0	纯铁的熔点
B	1495	0.53	包晶转变时液态合金的成分
C	1148	4.30	共晶点
D	1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在 γ -Fe 中的最大溶解度
F	1148	6.69	渗碳体的成分
G	912	0	α -Fe \rightleftharpoons γ -Fe 转变温度(A_3)
H	1495	0.09	碳在 δ -Fe 中的最大溶解度
J	1495	0.17	包晶点
K	727	6.69	渗碳体的成分
N	1394	0	γ -Fe \rightleftharpoons δ -Fe 转变温度(A_4)
P	727	0.0218	碳在 α -Fe 中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点(A_1)
Q	600	0.0057	600℃时碳在 α -Fe 中的溶解度



- 重要固态转变线
- **GS线**: **GS**线又称**A3**线，冷却时， γ 析出 α 的开始线，或加热时 α 全部溶入 γ 的终了线。
- **ES线**: 碳在 γ 中的固溶度曲线。常称**A_{cm}**线。当温度低于此线， γ 将析出Fe₃C、即二次渗碳体**Fe₃C_{II}**，从液相中经CD线析出一次渗碳体**Fe₃C_I**。

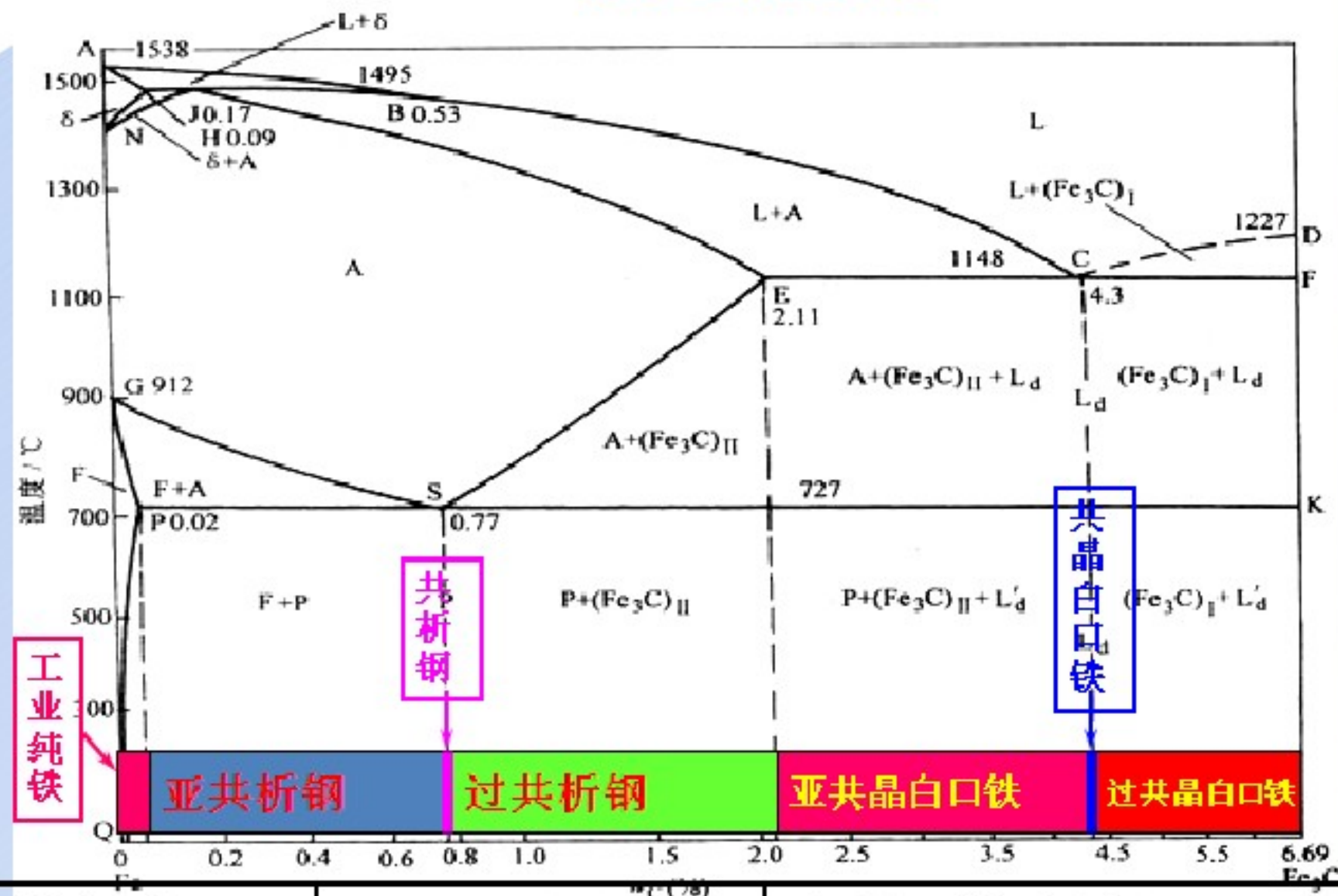
- **PQ线**: 碳在 α 中的固溶度曲线。碳在 α 中的最大固溶度:
- 727°C时 w_C 为0.0218%，600°C时降为0.008%，300°C时约为0.001%，
- α 从727°C冷却下来时，将析出渗碳体，称为三次渗碳体**Fe₃C_{III}**
- **770°C线**为 α 的磁性转变温度. **230°C水平线**为渗碳体的磁性转变温度。

铁碳合金分类



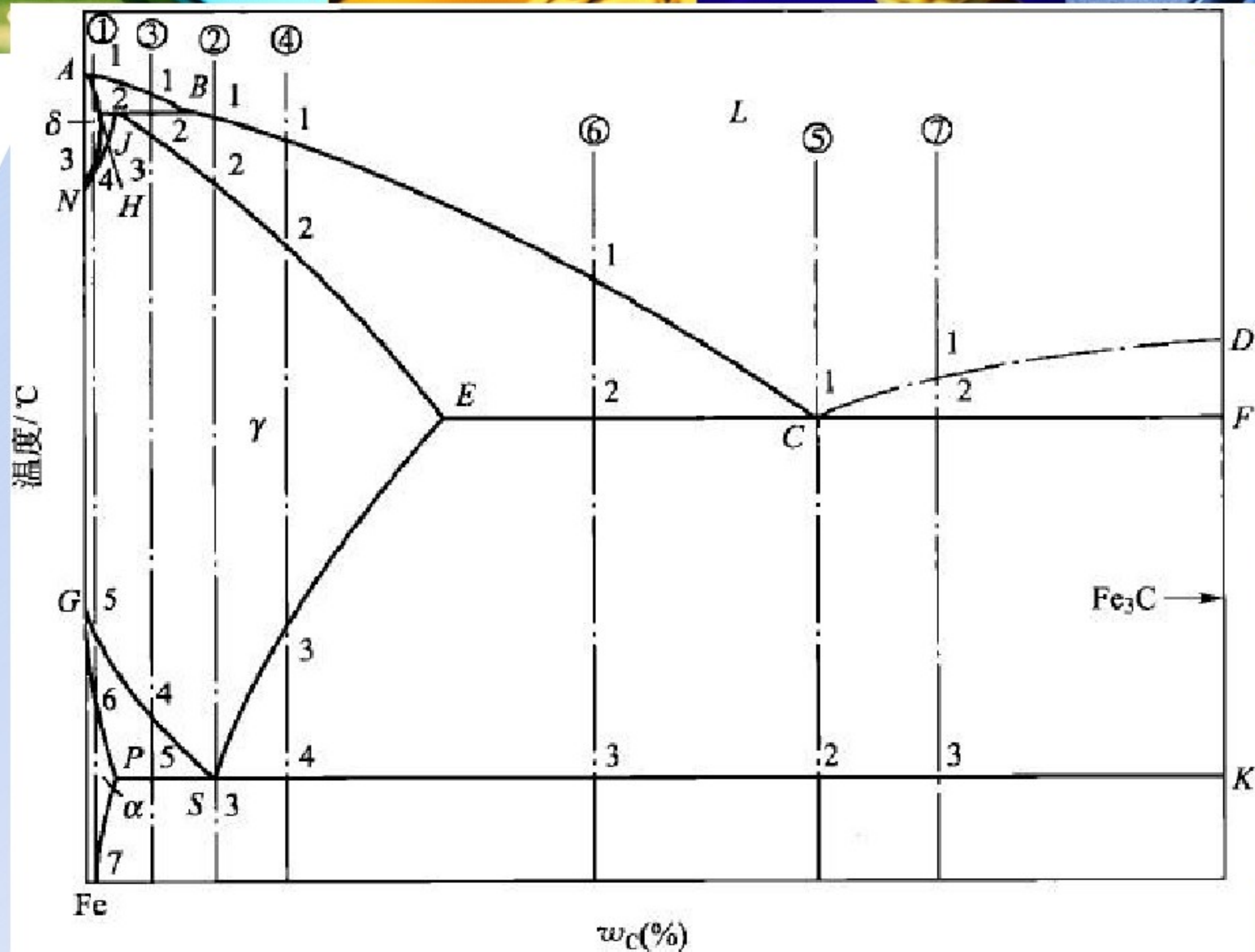
- | | |
|-------------|---------------------|
| (1) 工业纯铁 | $<0.0218\%C$ |
| (2) 共析钢 | $0.77\%C$ |
| (3) 亚共析钢 | $0.0218\sim0.77\%C$ |
| (4) 过共析钢 | $0.77\sim2.11\%C$ |
| (5) 共晶白口铸铁 | $4.30\%C$ |
| (6) 亚共晶白口铸铁 | $2.11\sim4.30\%C$ |
| (7) 过共晶白口铸铁 | $4.30\sim6.69\%C$ |

$\omega_c < 0.0218\%$ 为工业纯铁；
 $\omega_c > 2.11\%$ 为铸铁；
 $0.0218\% < \omega_c < 2.11\%$ 的为碳钢。
 按 Fe- Fe_3C 系结晶的铸铁，断口呈白亮色，称为白口铸铁。
 按 Fe-C 系结晶的铸铁，断口呈灰色，称灰口铸铁。
 钢的共同点：在高温下都可以进入奥氏体单相区，
 铸铁的共同点：都含有共晶体。



种类	分类名称	$\omega_c(\%)$	室温平衡组织
铁	工业纯铁	<0.0218	铁素体；或铁素体+三次渗碳体
钢	亚共析钢	$0.0218 \sim 0.77$	先共析铁素体+珠光体
	共析钢	0.77	珠光体
	过共析钢	$0.77 \sim 2.11$	先共析二次渗碳体+珠光体
铸铁	亚共晶白口铸铁	$2.11 \sim 4.3$	珠光体+二次渗碳体+莱氏体
	共晶白口铸铁	4.3	莱氏体
	过共晶白口铸铁	$4.3 \sim 6.69$	一次渗碳体+莱氏体

铁碳合金结晶过程



1
2
3
4
5
6
7



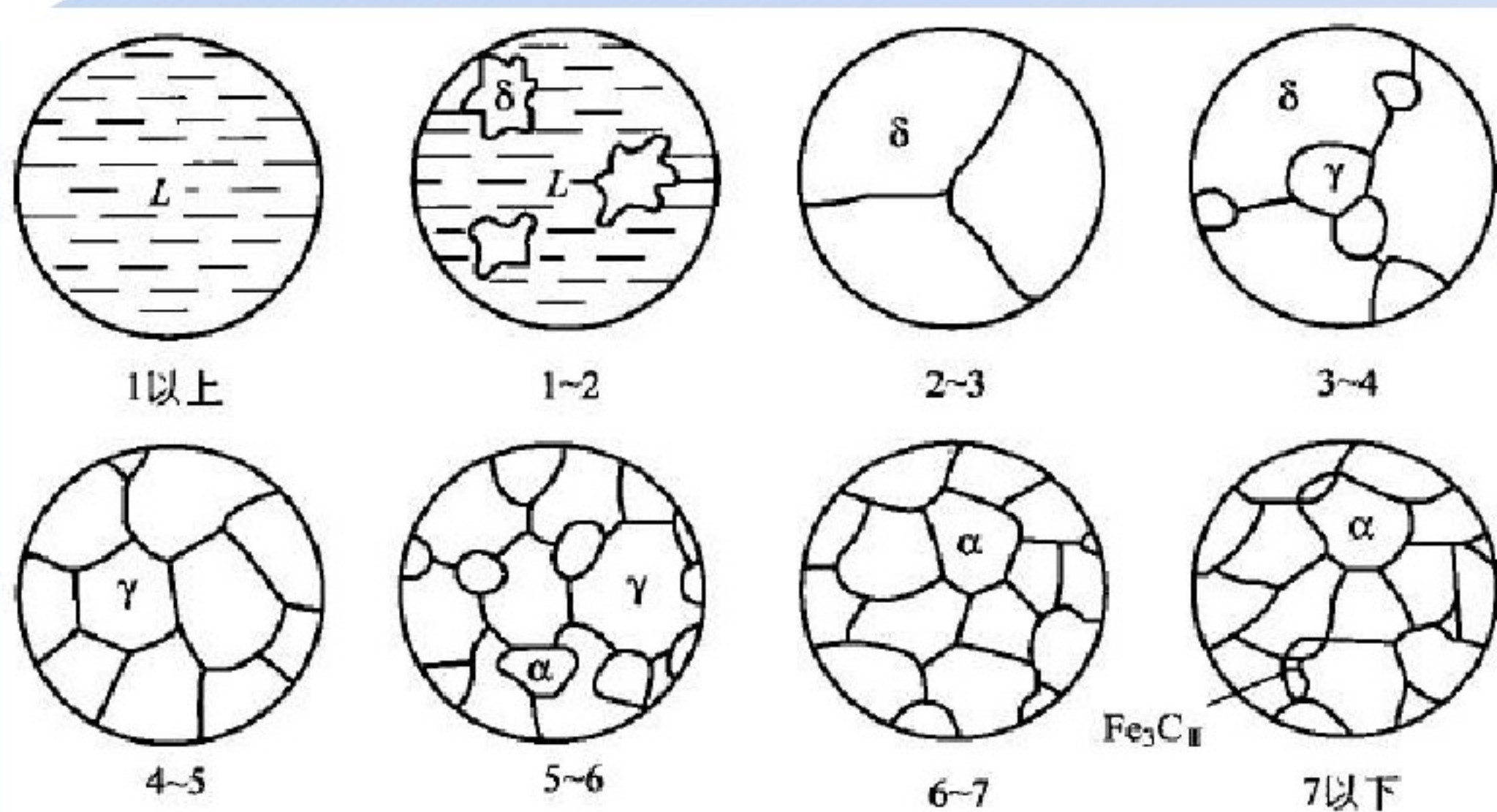
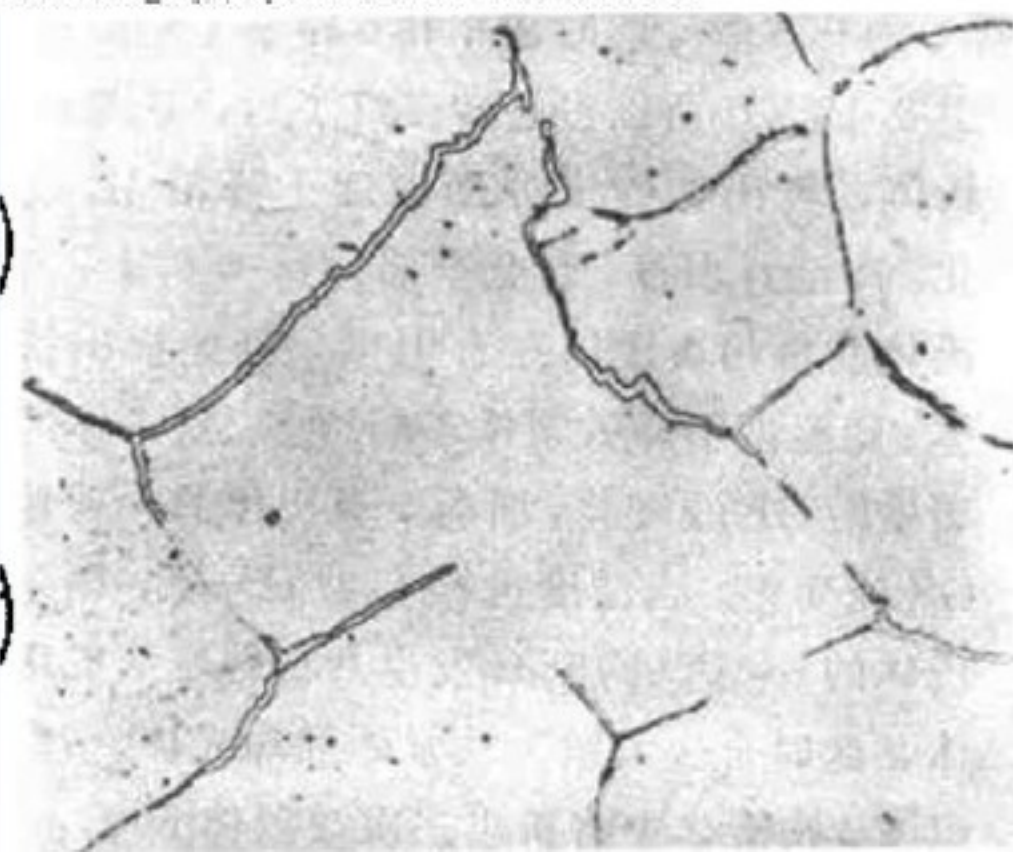
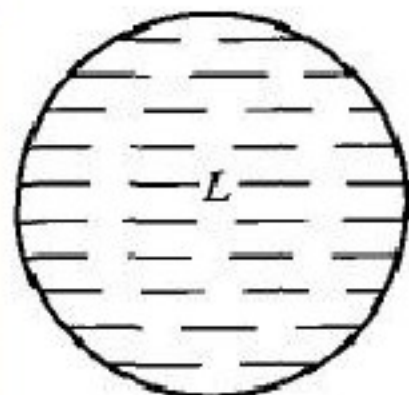


图 4.9 $w_{\text{C}}=0.01\%$ 的工业纯铁结晶过程示意图

- 片状、网状沿晶界析出的渗碳体。
- 或粗大铁素体中出现点状渗碳体。

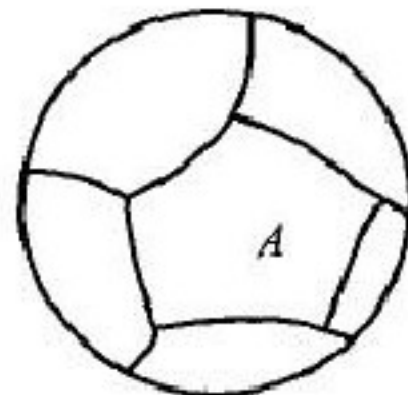




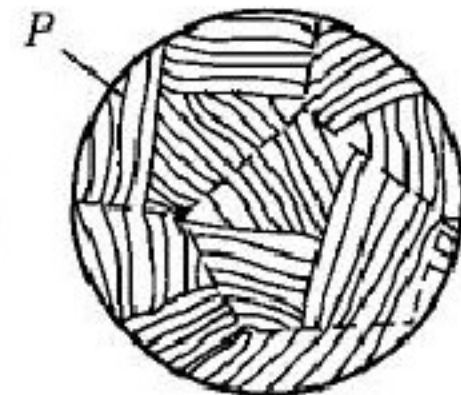
1以上



1~2



2~3



3以下
(虚线为原奥氏体晶界)

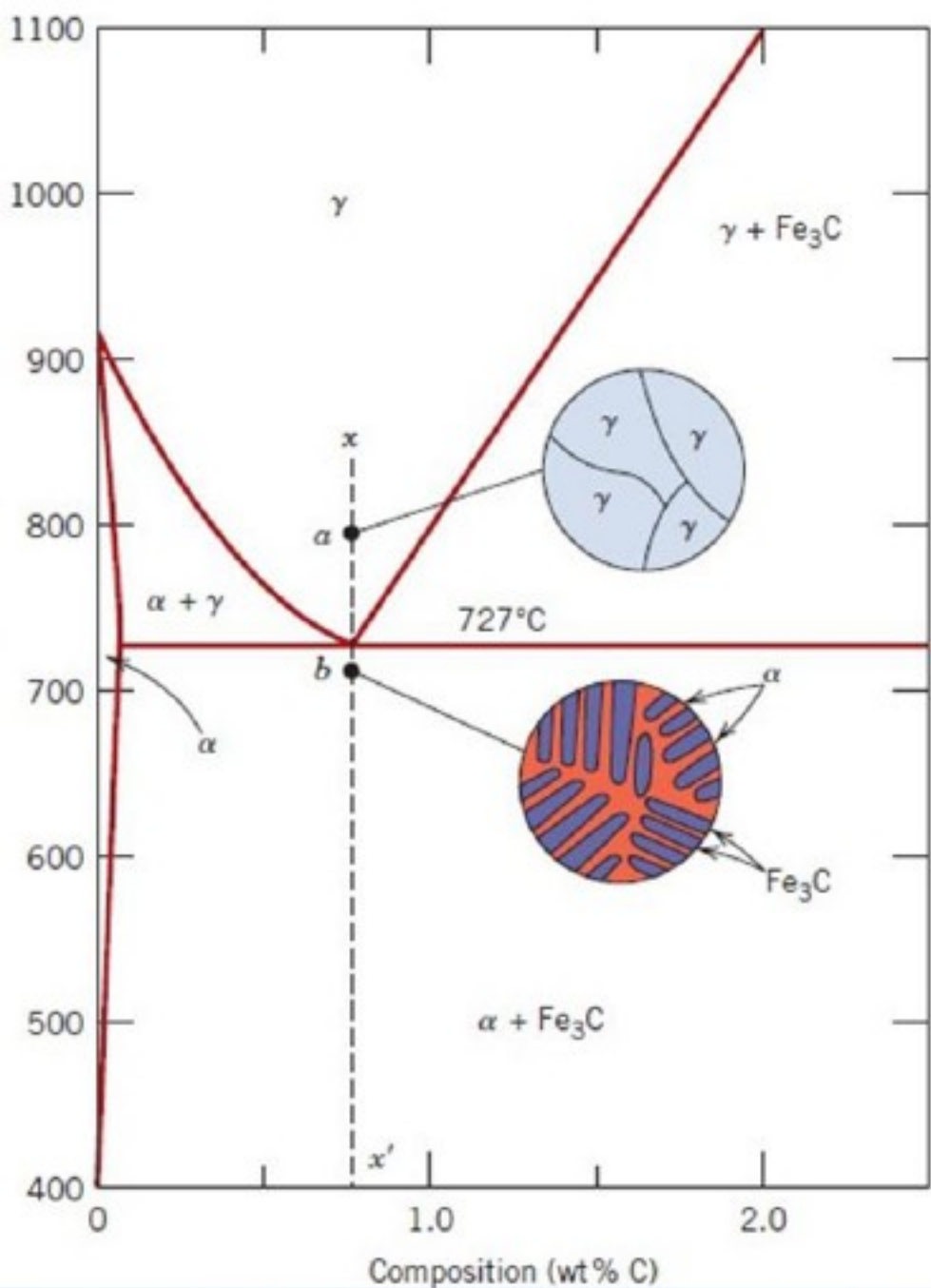
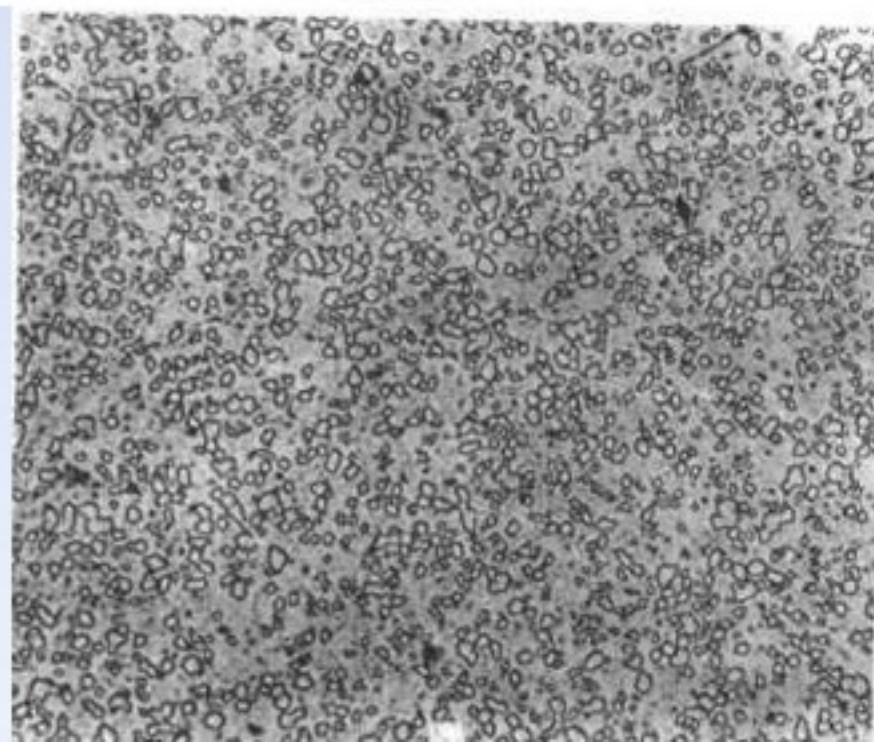
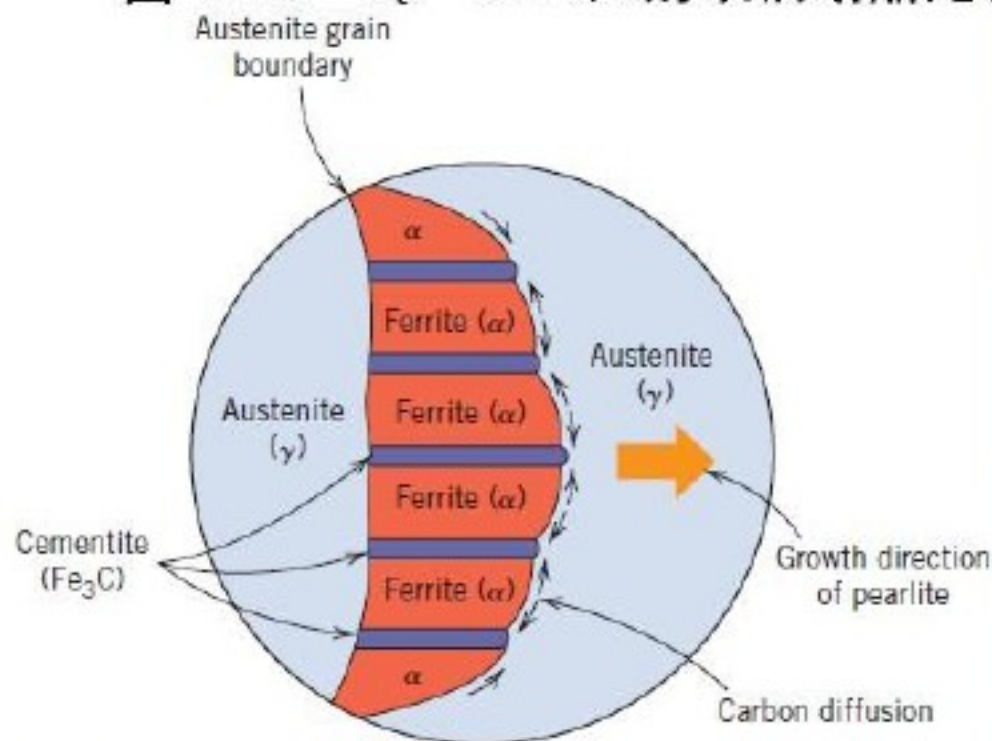
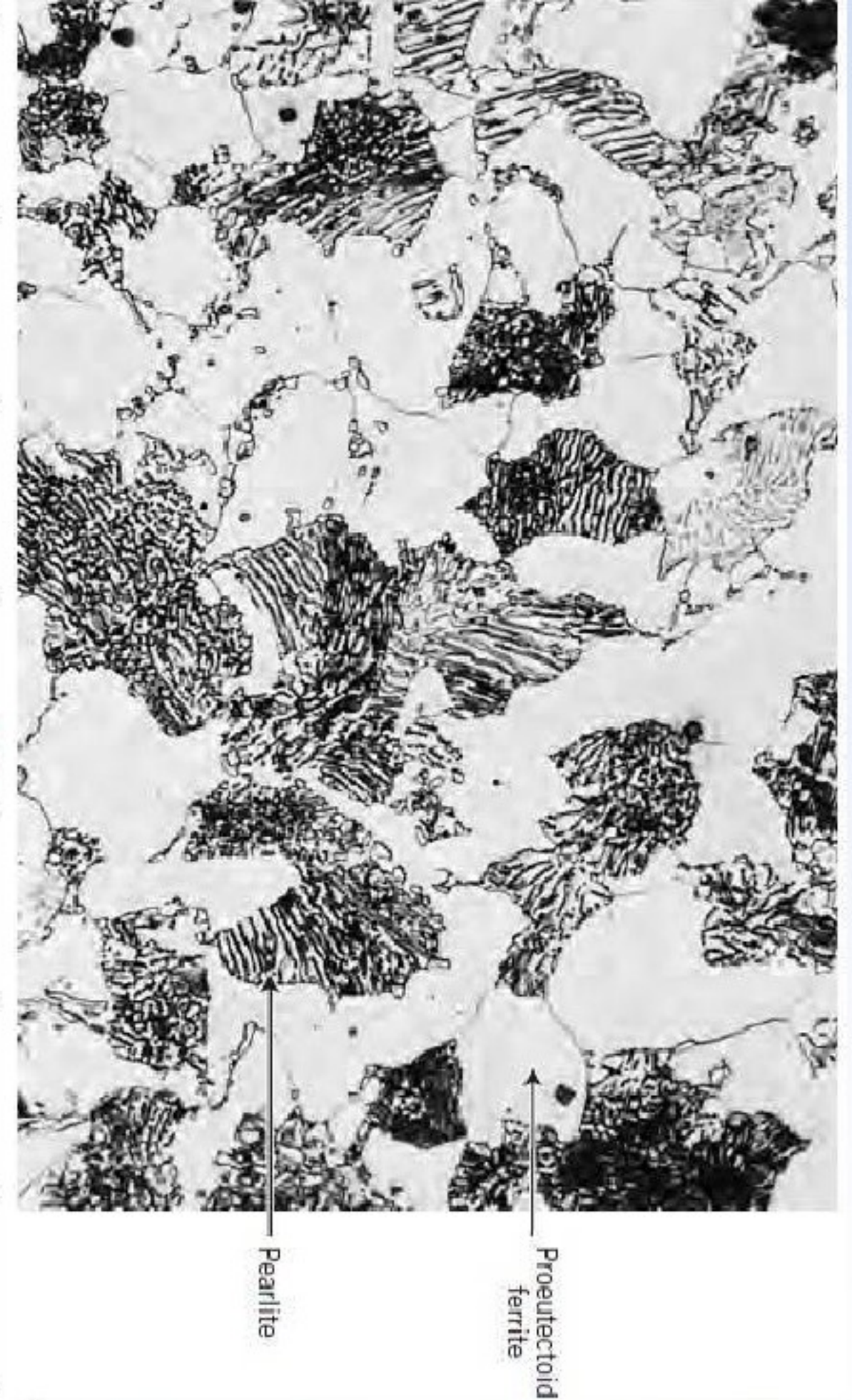
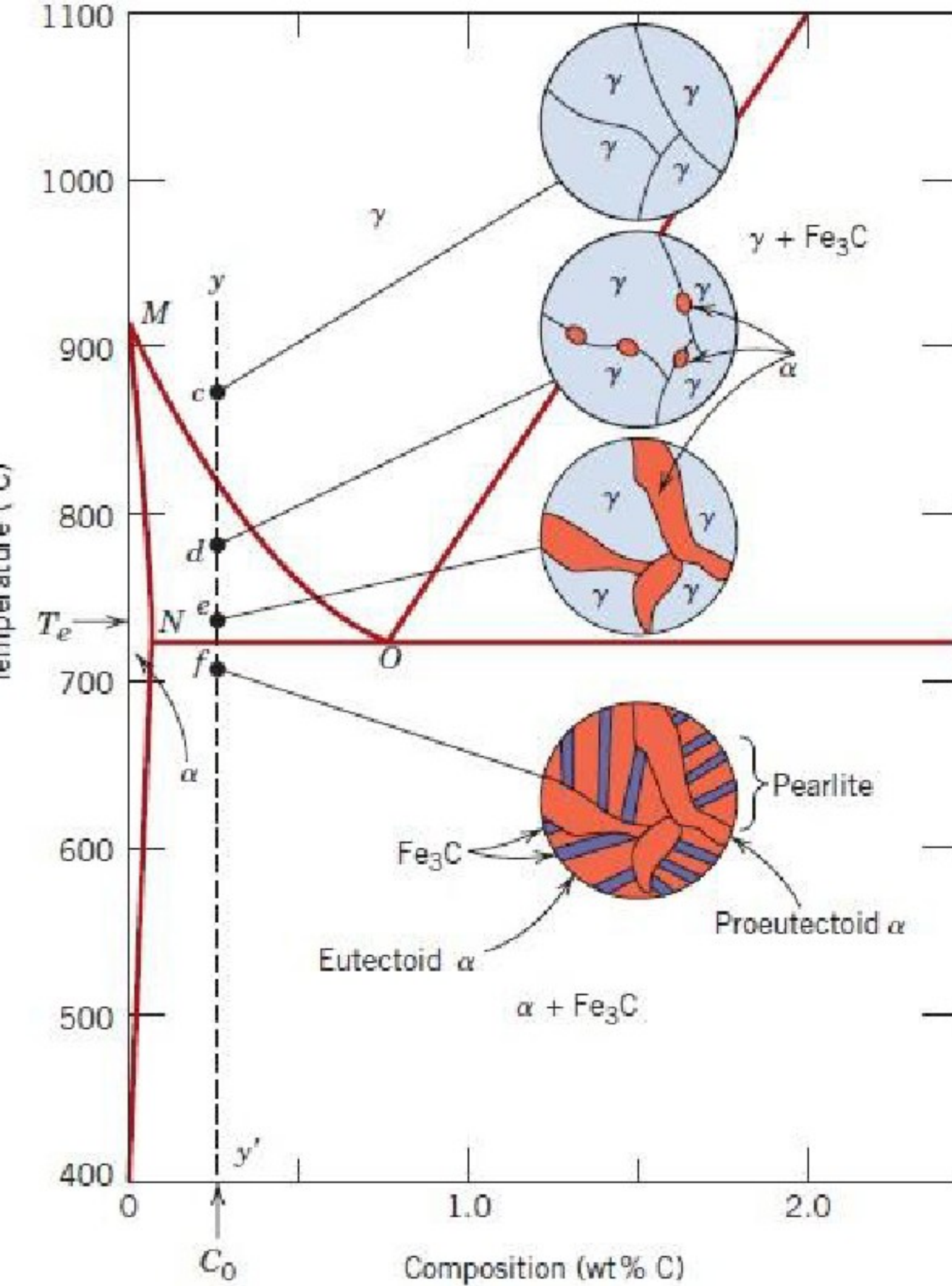
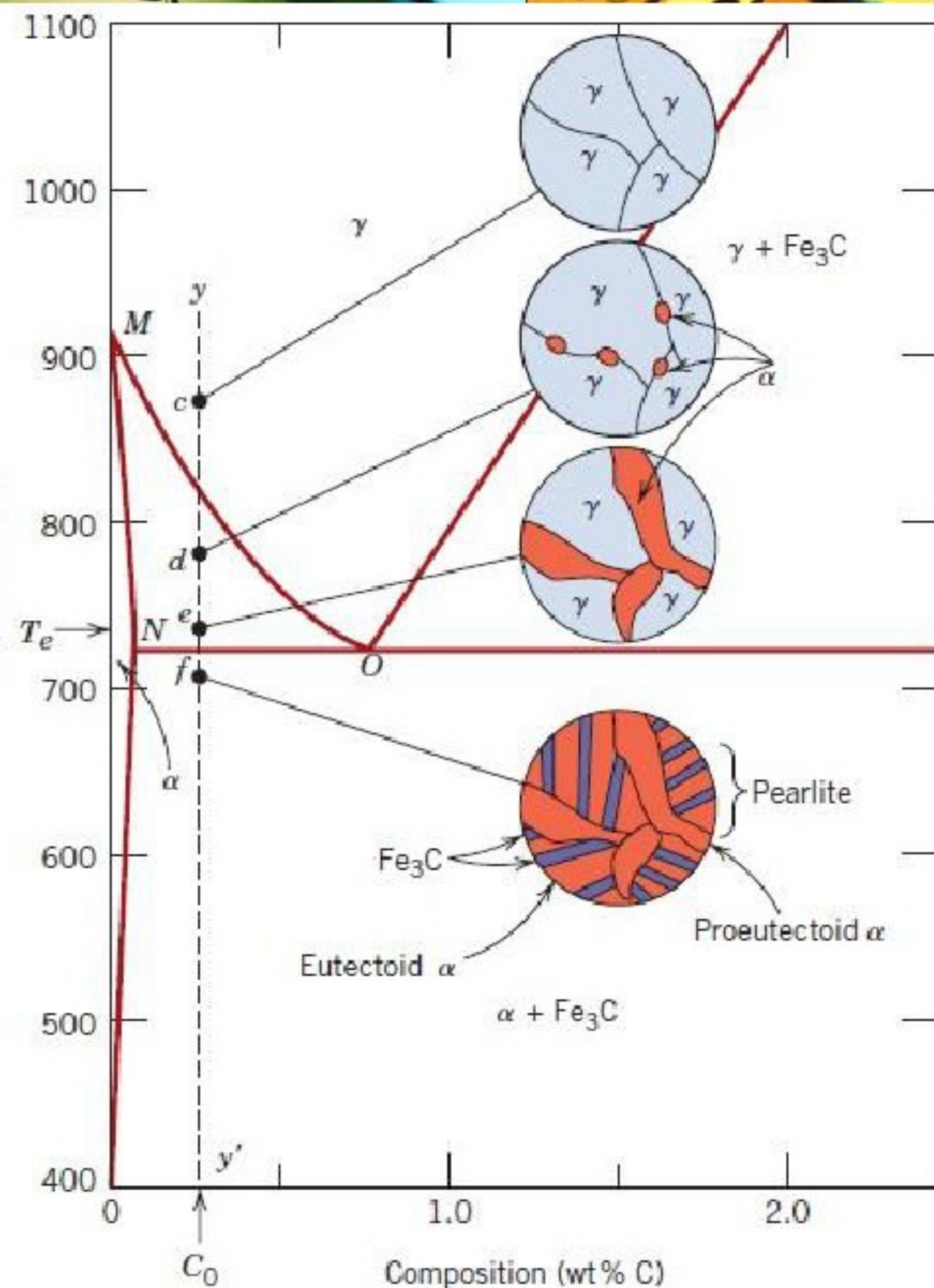


图 4.11 $w_C = 0.77\%$ 的碳钢结晶过程示意图





组织组成计算



$$\omega_{\alpha_{\text{先}}} = \frac{0.77 - c}{0.77 - 0.0218} \times 100\%$$

$$\omega_P = \frac{c - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\%$$

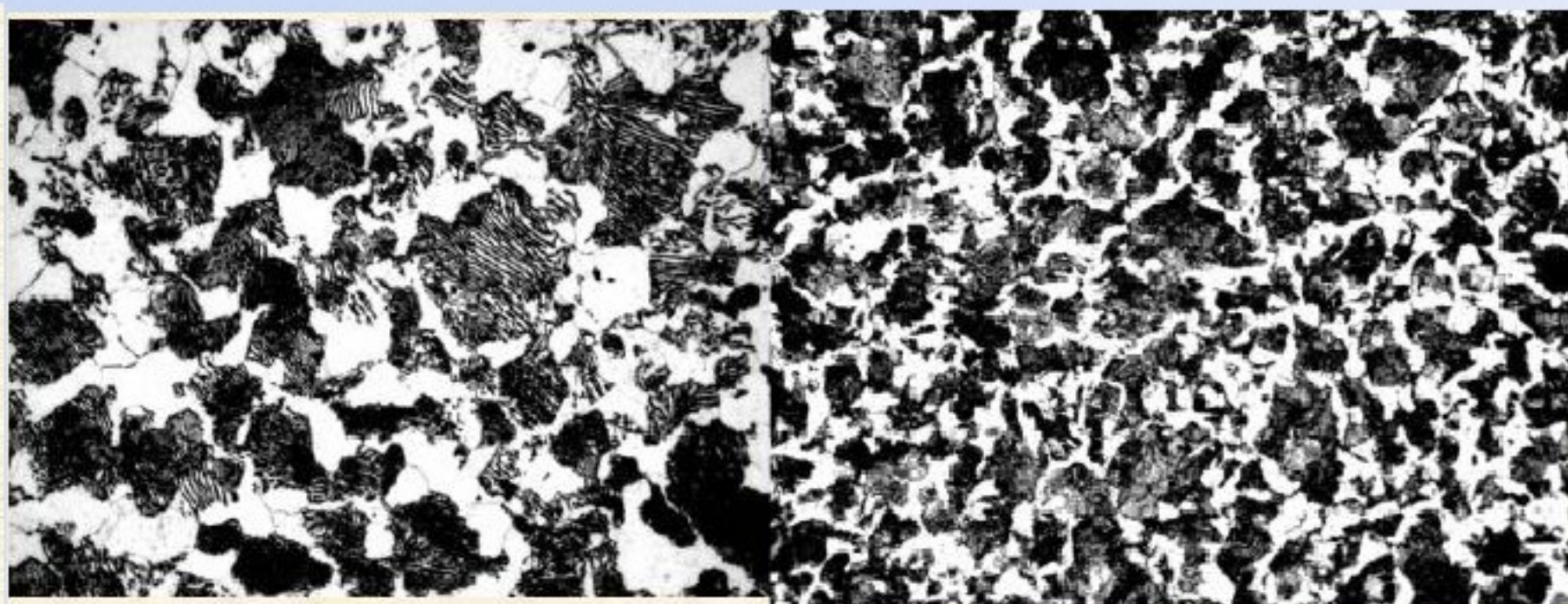
$$\omega_{\alpha} = \frac{6.69 - c}{6.69 - 0.0218} \times 100\%$$

$$\omega_{\text{Fe}_3\text{C}} = \frac{c - 0.0218}{6.69 - 0.0218} \times 100\%$$

亚共析钢的组织



25钢



45钢

65钢

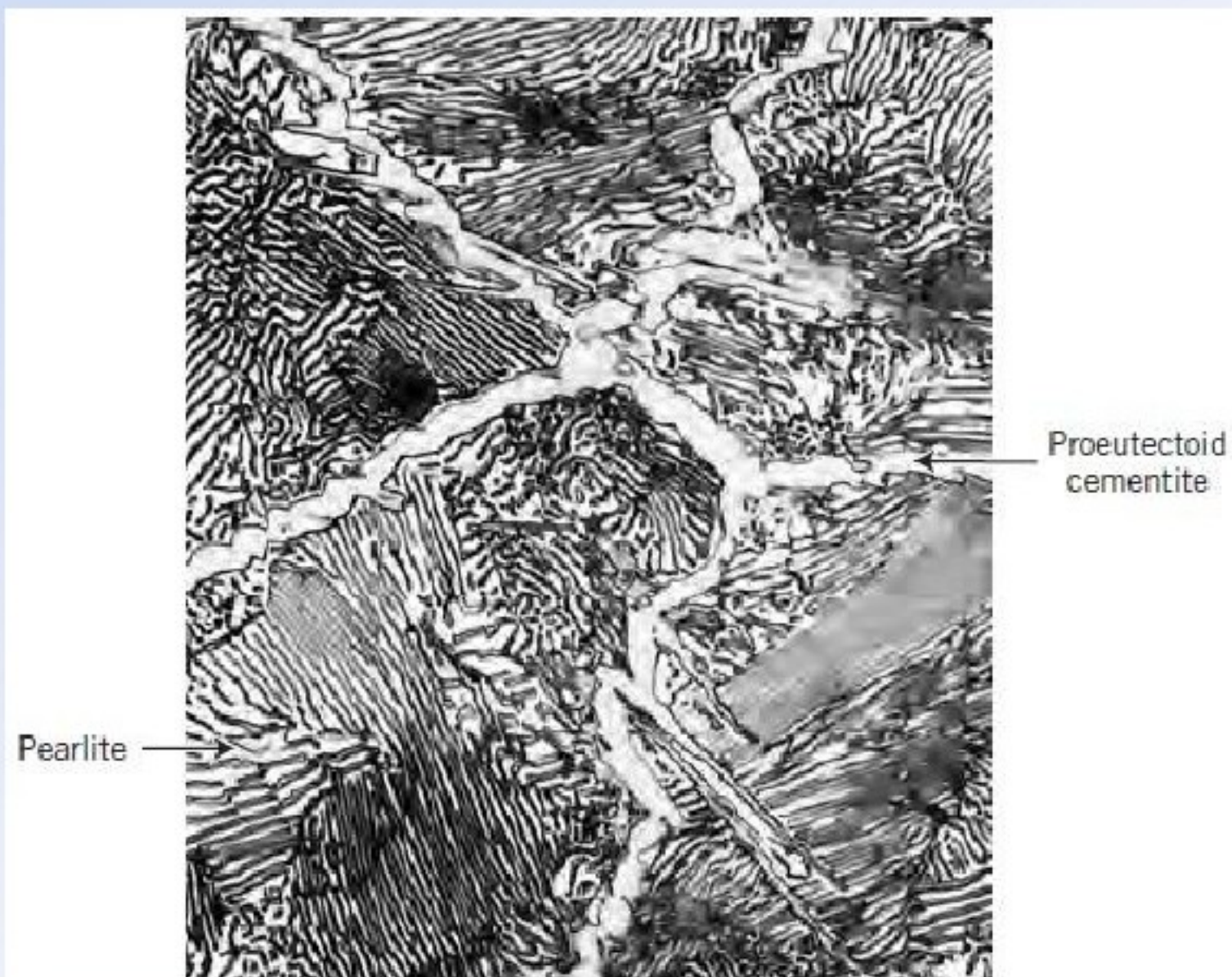
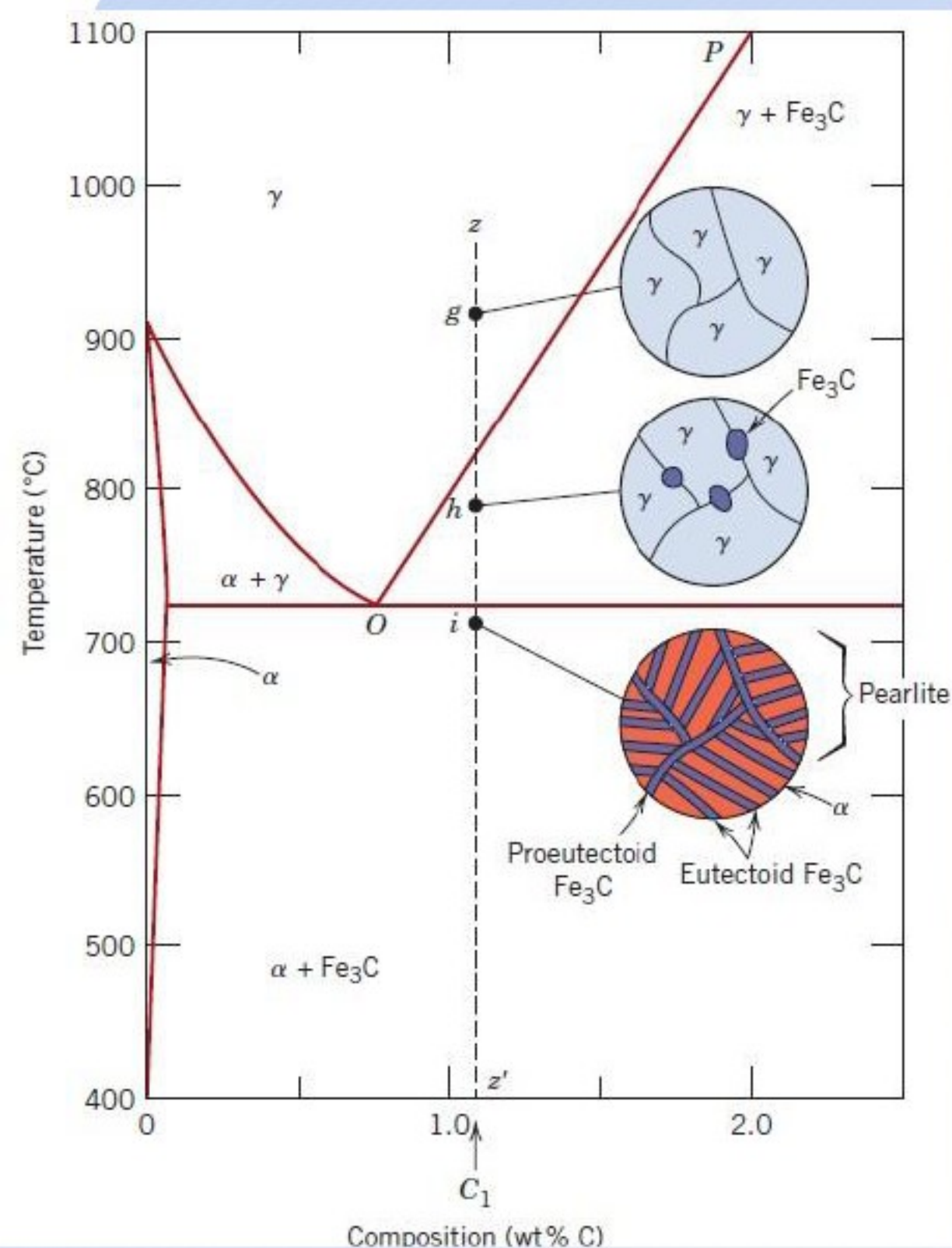
- 所有的亚共析钢室温组织都是由铁素体和珠光体组成，其差别仅是铁素体与珠光体的相对量不同， W_c 越高，珠光体越多，铁素体越少。



过共析钢：先共析 Fe_3C + 珠光体

Fe_3C 沿 γ 晶界呈网状分布，先共析二次渗碳体量：

$$\omega_{\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}} = \frac{c - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\%$$



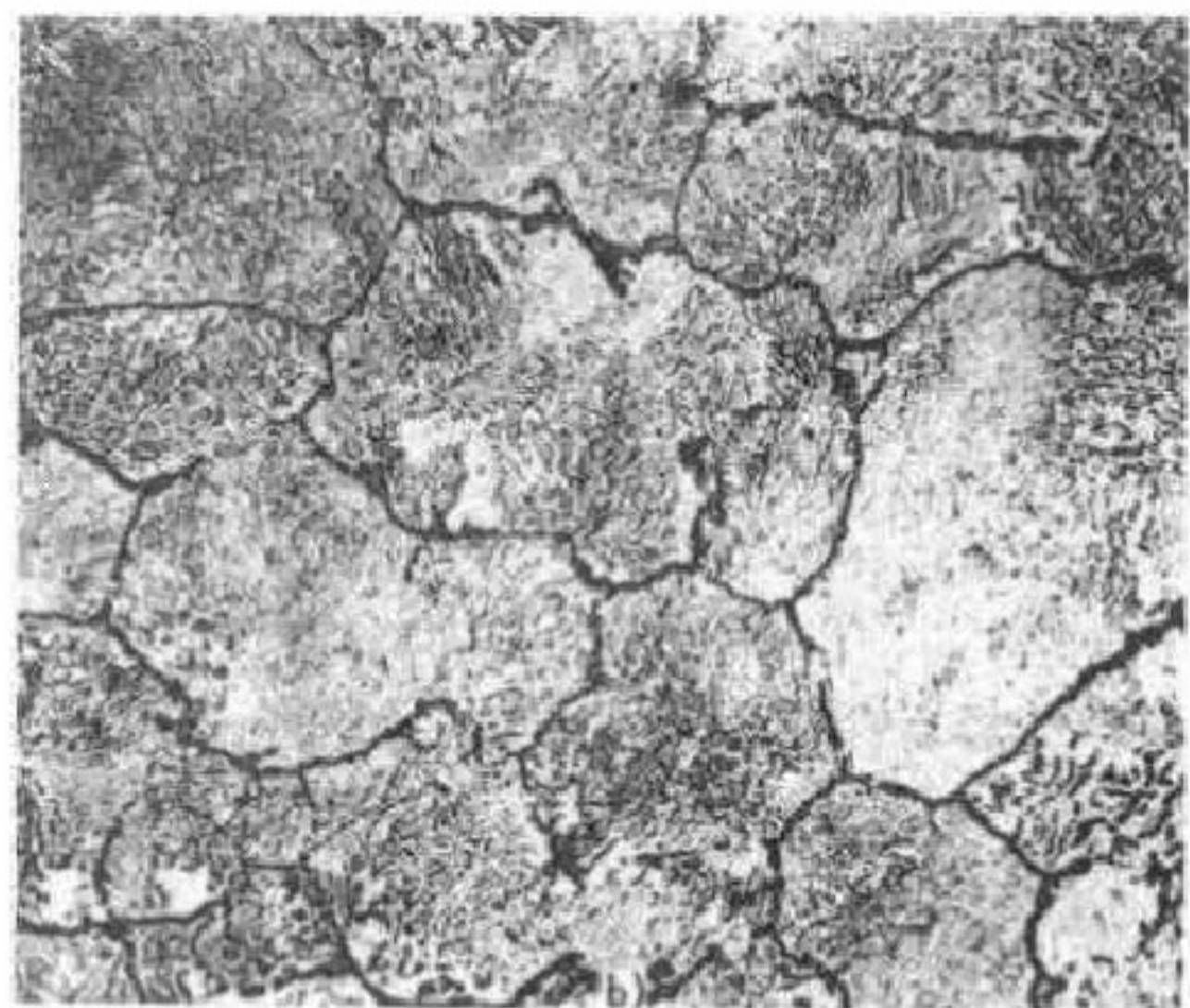
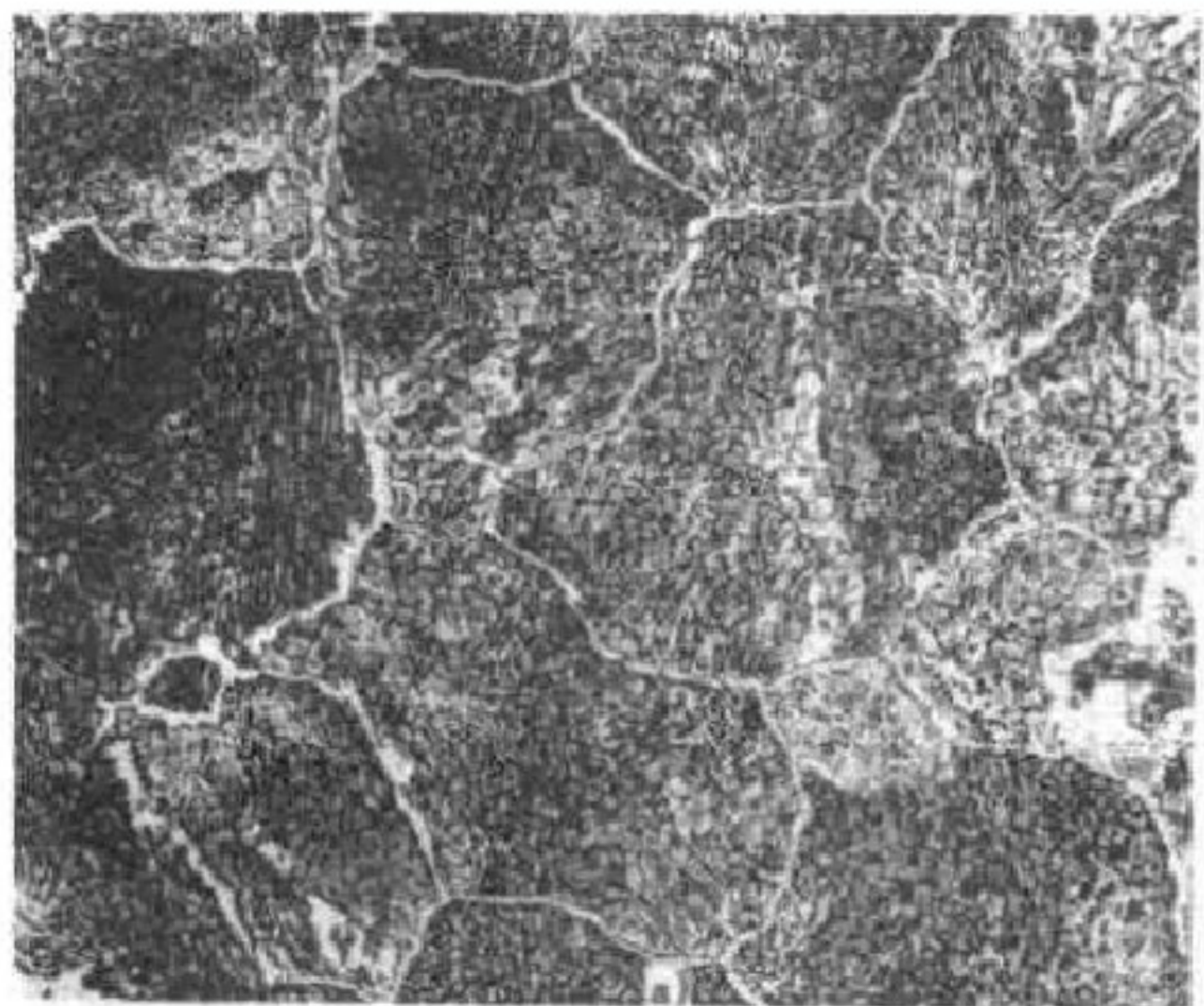


图 5-37 $w_c = 1.2\%$ 的过共析钢缓冷后的组织 500 \times

a) 硝酸酒精浸蚀，白色网状相为二次渗碳体，暗黑色为珠光体

b) 苦味酸钠浸蚀，黑色为二次渗碳体，浅白色为珠光体



莱氏体 $Ld: (\gamma_{2.11} + Fe_3C_I)_{\text{共晶}}$



室温莱氏体 $Ld': (P + Fe_3C_{II} + Fe_3C_I)$

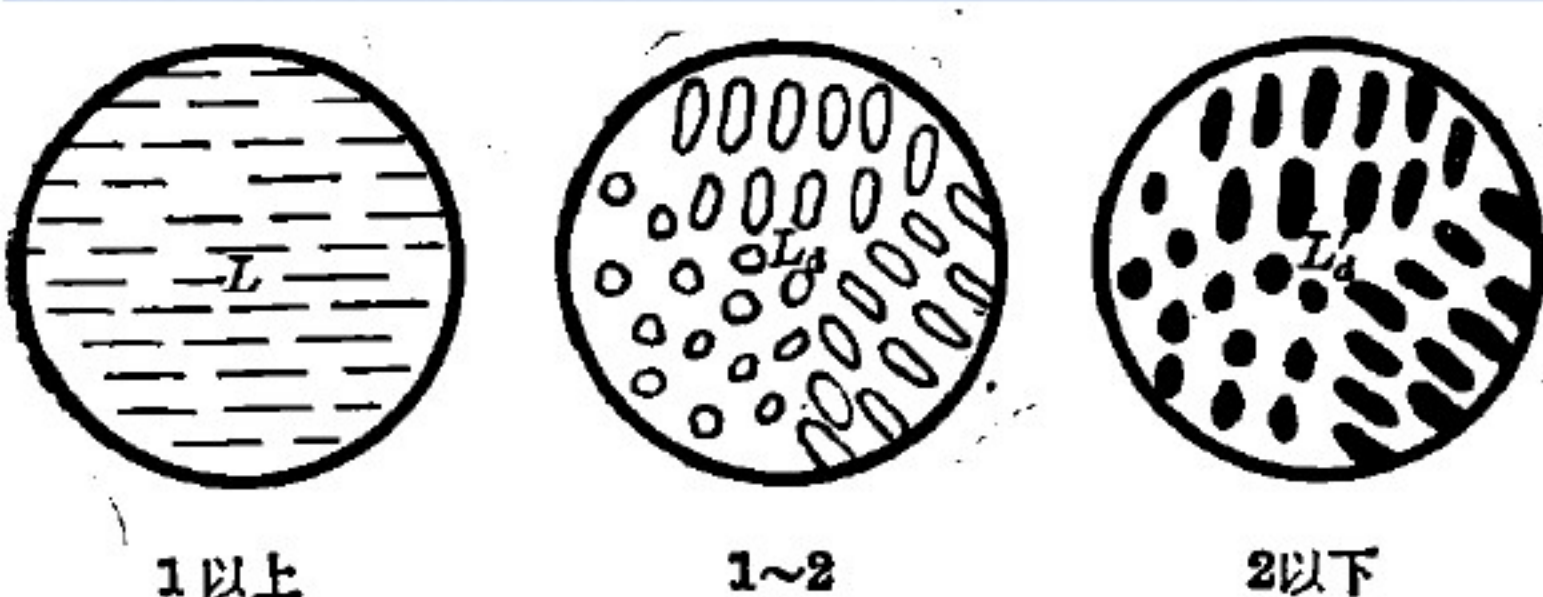


图 4-10 含碳 4.30% 的白口生铁结晶过程示意图

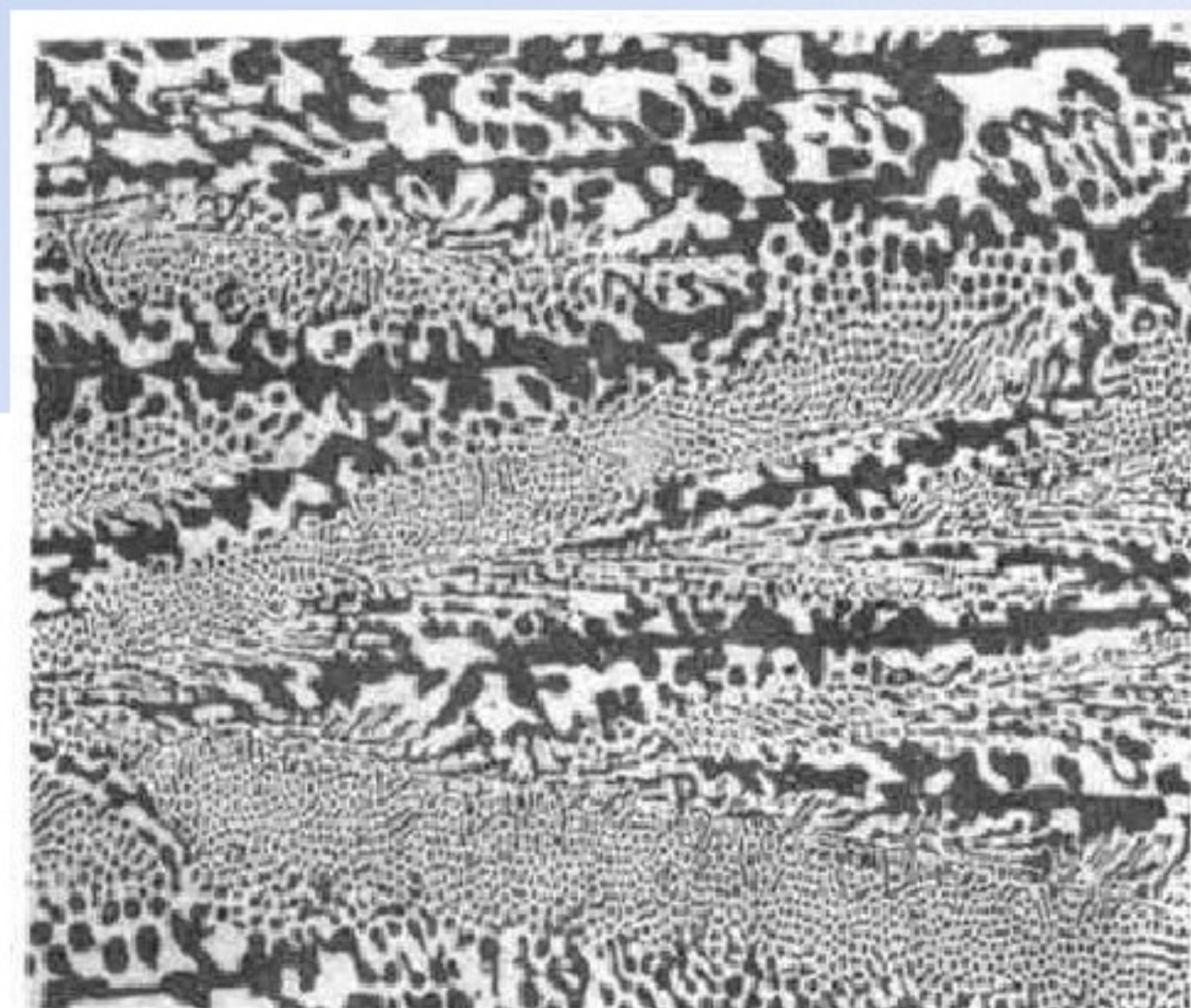


图 5-58 共晶白口铸铁的室温组织（白色基体是共晶渗碳体，黑色颗粒是由共晶奥氏体转变而来的珠光体） 200×



亚共晶白口铸铁($W_c=3\%$)

$$\omega_{Ld'} = \frac{3.0 - 2.11}{4.3 - 2.11} \times 100\% = 40.6\%$$

$$\omega_P = \frac{4.3 - 3.0}{4.3 - 2.11} \times \frac{6.69 - 2.11}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 46\%$$

$$\omega_{Fe_3C_{II}} = \frac{4.3 - 3.0}{4.3 - 2.11} \times \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 13.4\%$$

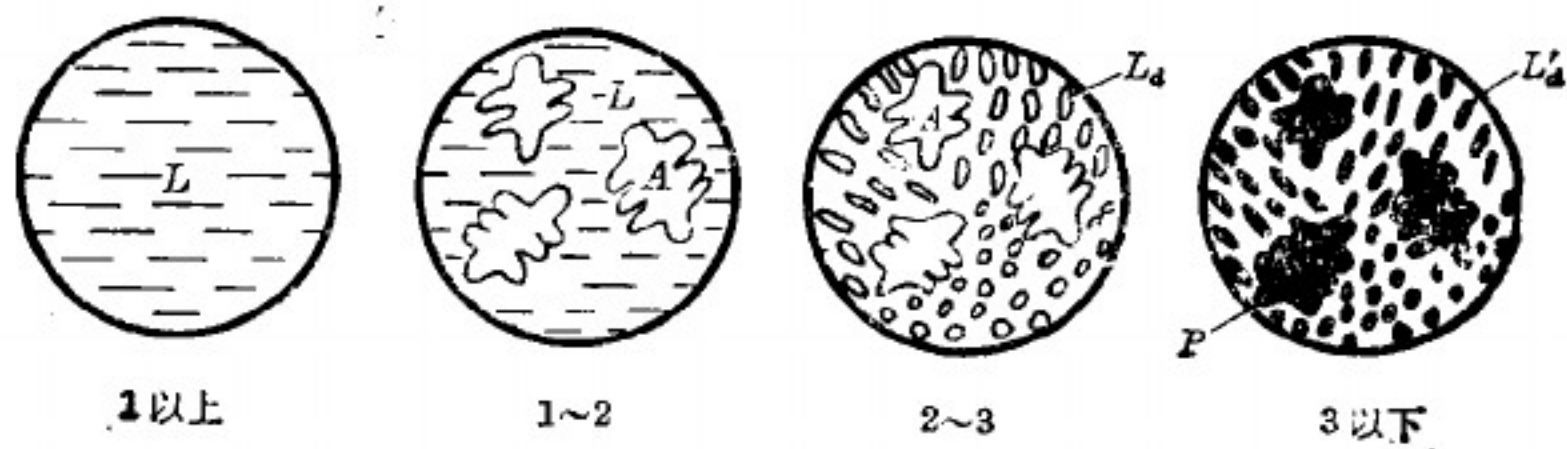


图 4-12 含碳 3.0% 的白口生铁结晶过程示意图

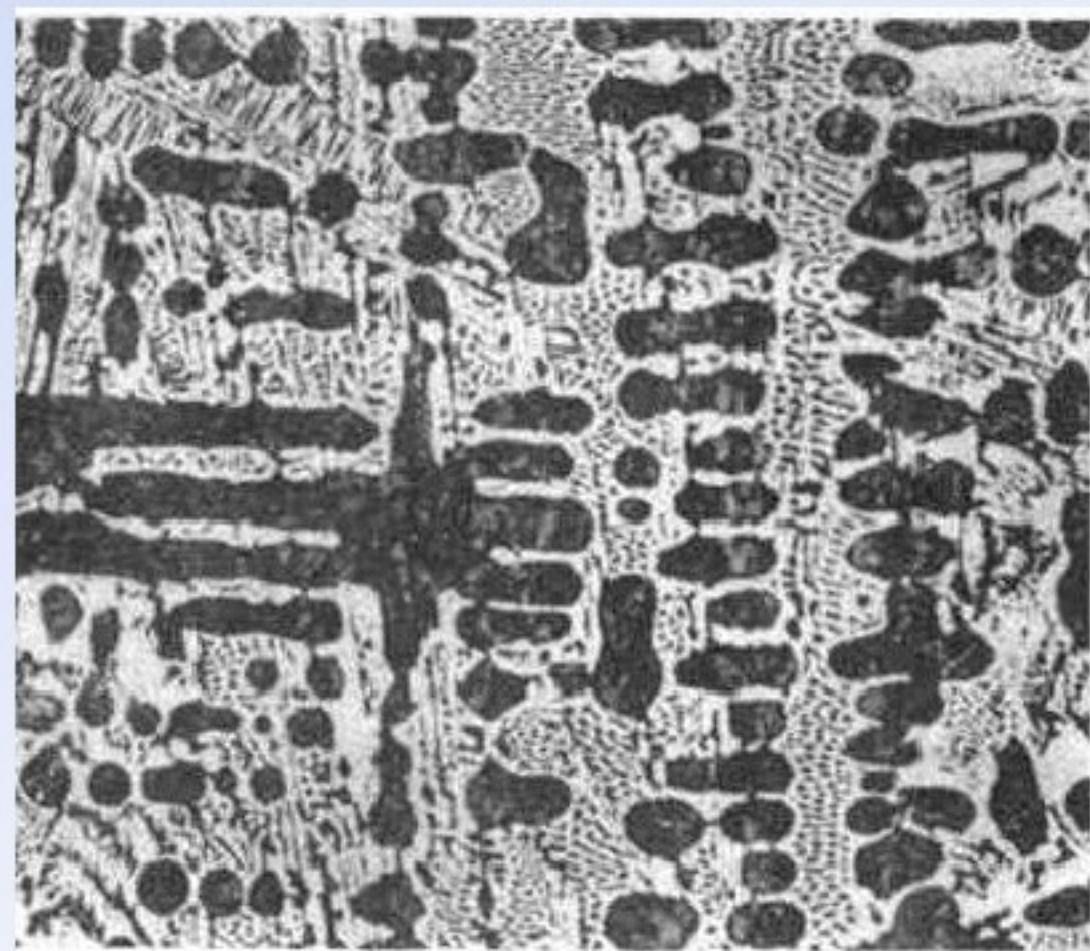


图 5-60 亚共晶白口铸铁在室温下的组织（黑色的树枝状组成体是珠光体，其余为莱氏体）200×



过共晶白口铸铁($W_c=5\%$)

$$\omega_{Ld'} = \frac{6.69 - 5.0}{6.69 - 4.3} \times 100\% \approx 71\%$$

$$\omega_{Fe_3C_1} = \frac{5.0 - 4.3}{6.69 - 4.3} \times 100\% \approx 29\%$$

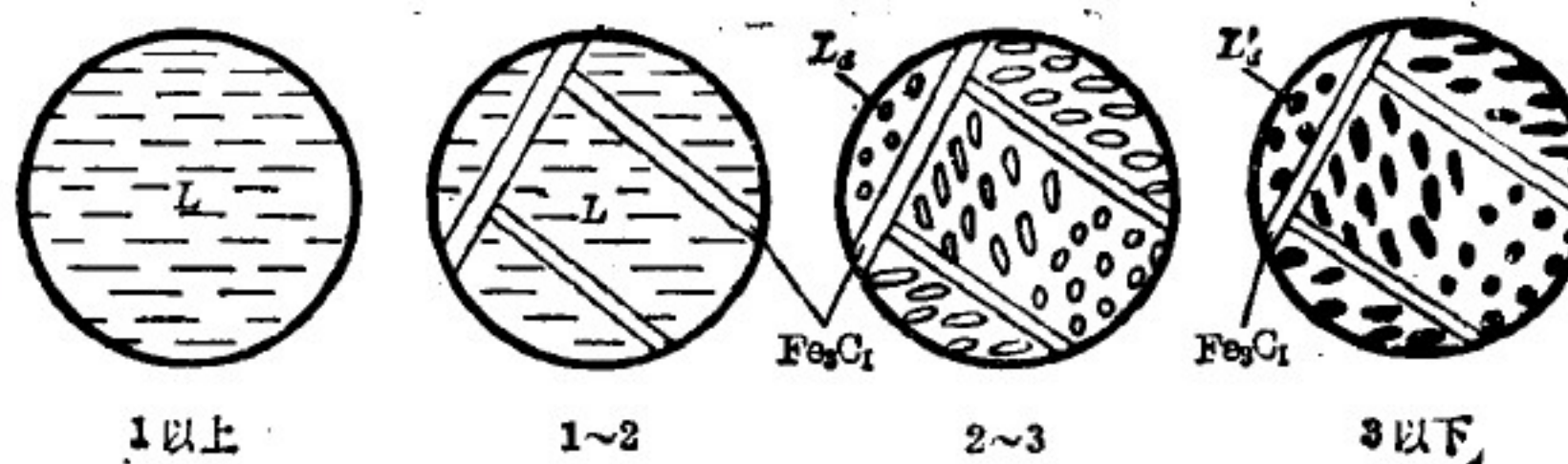


图 4-14 含碳 5.0% 的白口生铁结晶过程示意图

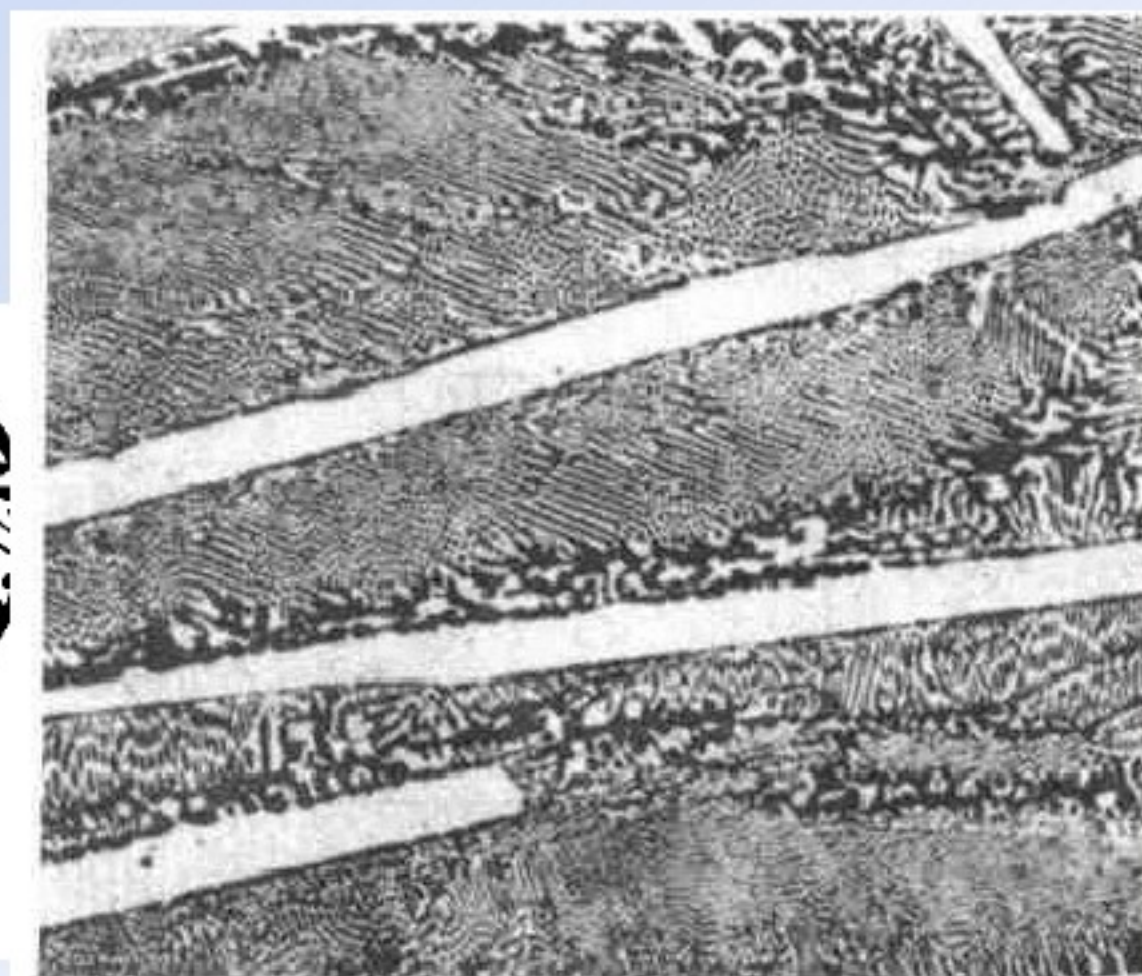
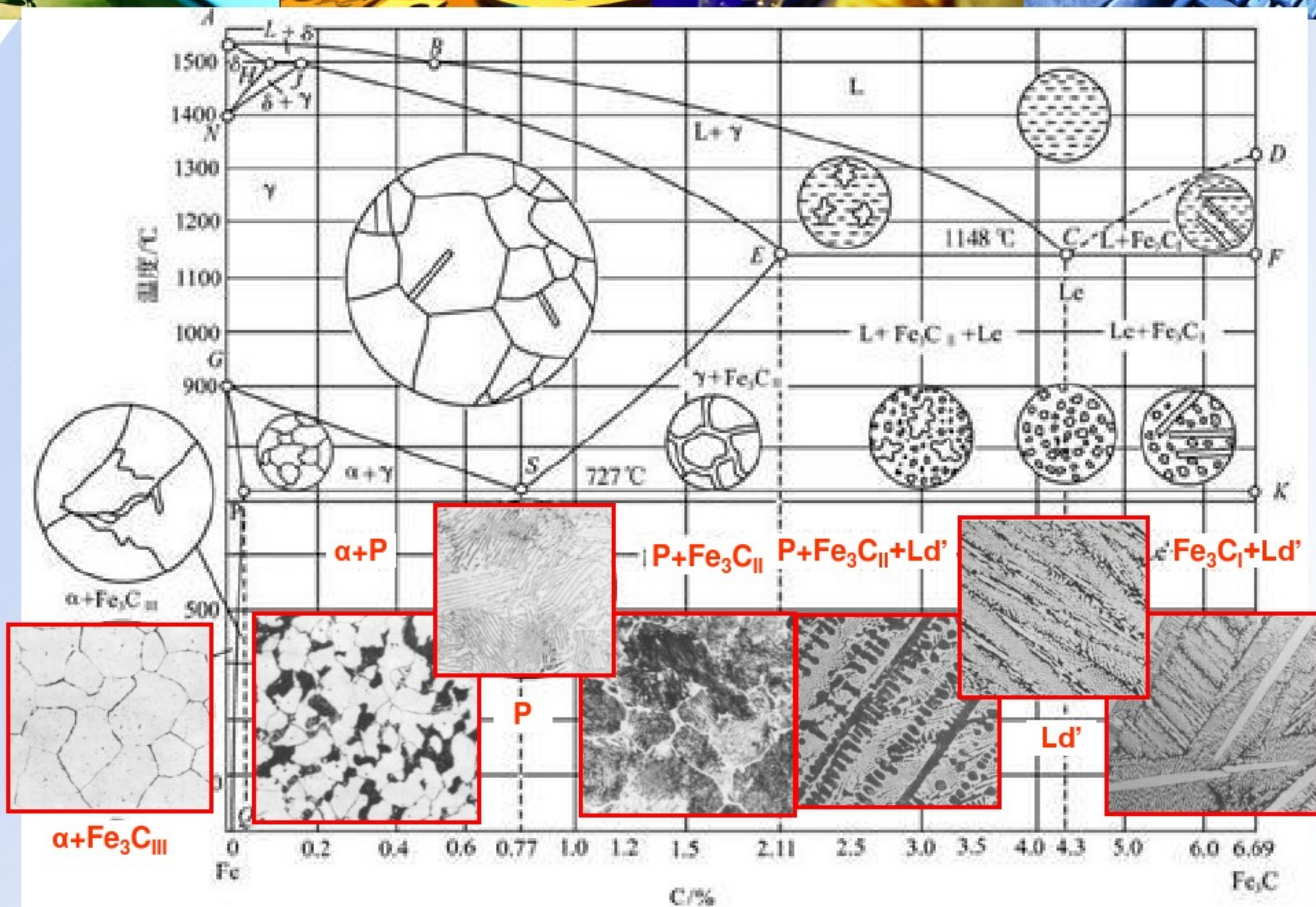


图 5-61 过共晶白口铸铁冷却到室温后的组织(白色条片是一次渗碳体,其余为莱氏体)100×

铁碳合金的组织



钢铁分类 组织与相	工业纯铁	钢		白口铁		
		亚共析钢	过共析钢	亚共晶白口铁	过共晶白口铁	
成分及组织特征		0.0218%C	0.77%C	2.11%C	4.3%C	6.69%C
		高温固态组织为单相固溶体			组织中有共晶莱氏体	
组织组成物相对量 (%)						
相组成物相对量 (%)						

随着含碳量增加时，渗碳体不仅数量增加，形态和分布也发生了很大变化。（渗碳体分布在P内——网状分布在 γ 晶界上——形成莱氏体时，渗碳体则成了基体。）

含碳量对（普碳钢）力学性能的影响

■ 硬度

W_C 增加，硬度增加；

■ 强度

$W_C < 1\%$ 时， W_C 增加，强度提高，
在晶界上析出的二次渗碳体
一般还未形成连续网状。

$W_C > 1\%$ 时， W_C 增加，强度降低；

■ 塑性、韧性

W_C 增加，塑性、韧性下降；

为了保证工业用钢具有足够的强度和塑性、韧性，碳素钢的含碳量一般不超过1.4%。

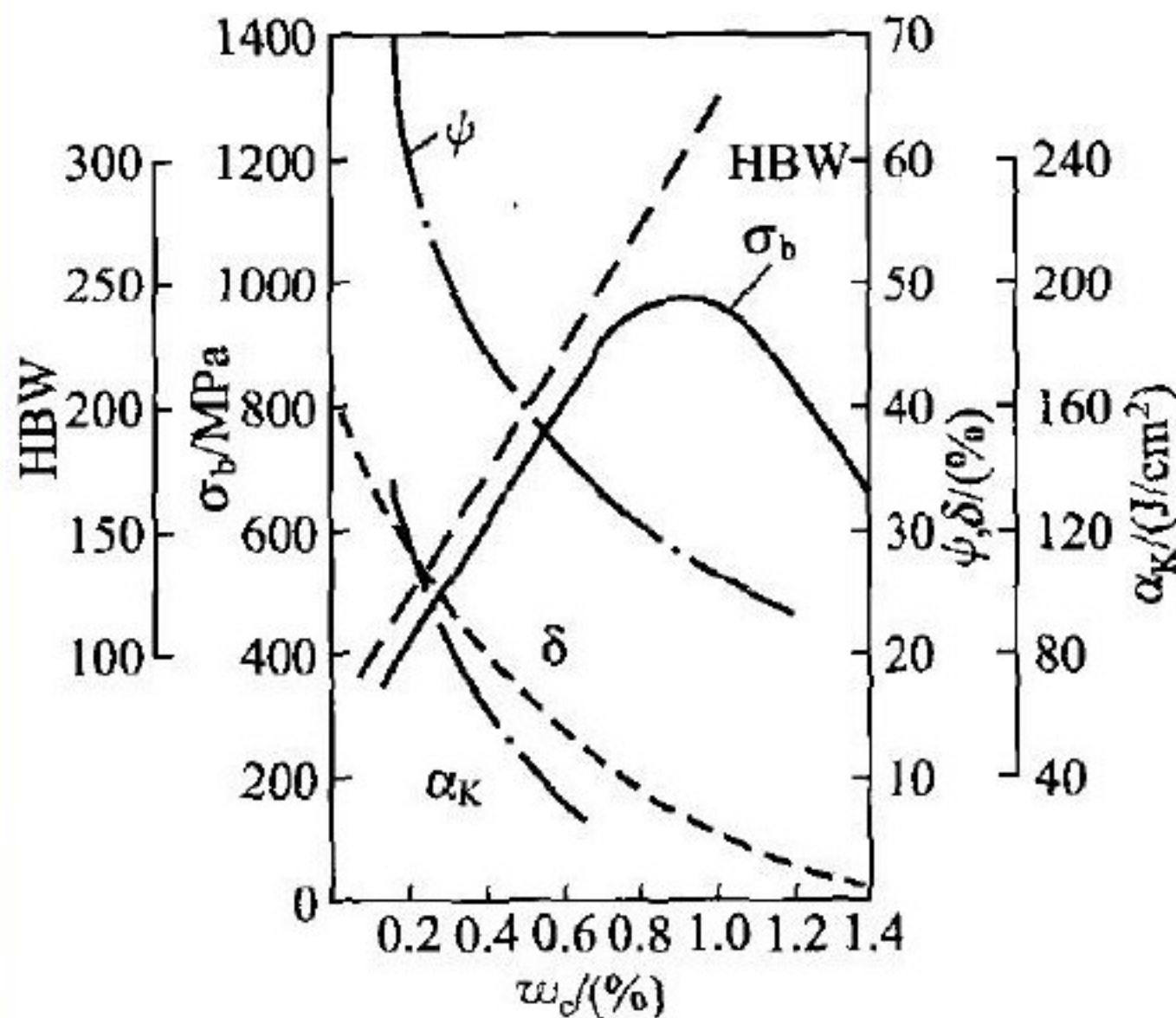
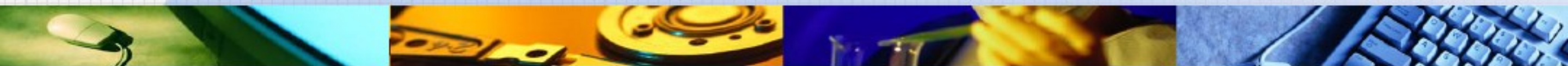


图 4.24 含碳量对钢力学性能的影响

思考题



45、T8、T12钢的硬度、强度和塑性有何不同？

- 随着钢中碳含量的增加，钢中的渗碳体增多，**硬度**也随之升高，基本上呈直线上升。
- 在 $W_c=0.8\%$ 以前，**强度**也是呈直线上升的。但在 $W_c>0.8\%$ 以后，随碳量的继续增加，组织中将会出现网状渗碳体，致使强度很快下降。在 $W_c=0.8\%$ 时，组织全为珠光体，所以T8强度最高。
- 含碳量少，铁素体多，塑性好，所以**塑性**直线下降。
- 综上所述，T12钢的硬度最高，45钢的硬度最低；T12的塑性最差，45钢塑性最好；T8钢均居中，而T8钢的强度最高。

绑轧物件一般用铁丝（镀锌低碳钢丝），而起重机吊重物却用钢丝绳（用 60、65、70、75 等钢制成）

- 绑轧物件的性能要求有很好的韧性，因此选用低碳钢有很好的塑韧性，镀锌低碳钢丝；
- 而起重机吊重物用钢丝绳除要求有一定的强度，还要有很高的弹性极限，而60、65、70、75钢有高的强度。这样在吊重物时不会断裂。

锻造

铸造组织经过锻造方法热加工变形后使原来的粗大枝晶和柱状晶粒变为晶粒较细、大小均匀的等轴再结晶组织，使钢锭内原有的偏析、疏松、气孔等压实和焊合，其组织变得更加紧密，提高了金属的塑性和力学性能。

钢的可锻性首先与含碳量有关，低碳钢的可锻性较好，随着含碳量的增加。可锻性逐渐变差。（ $C\% < 2.11\%$ ）

一般要把钢材加热到始锻温度（固相线以下 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，约 $1150\sim 1250^{\circ}\text{C}$ ）下，在奥氏体区进行锻造。

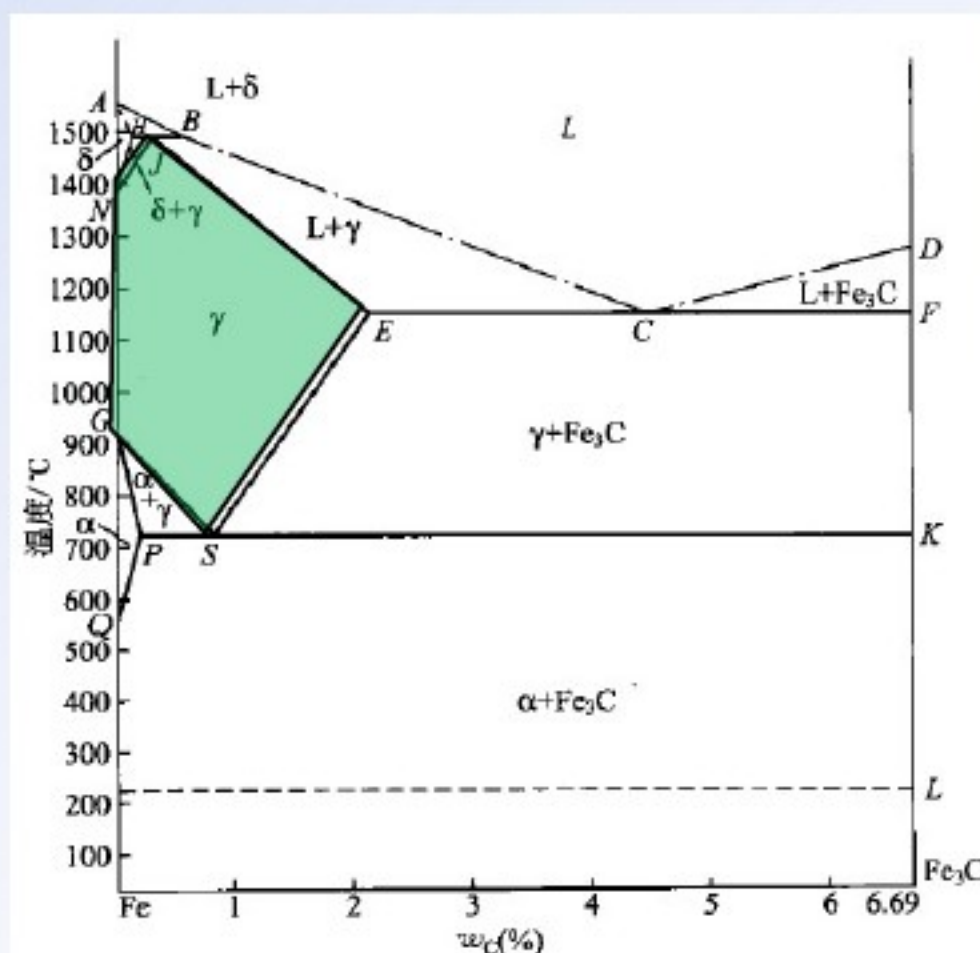


图 4.6 以相组成物标示的 Fe - Fe₃C 相图

- 钢液的流动性随含碳量的提高而提高。
- 铸铁流动性总是比钢好。
- 共晶成分的铸铁因其结晶温度最低，同时又是在恒温下凝固，结晶的温度间隔为零，所以流动性最好。
- 适合铸造：2.11%~4.3%，流动性好。
- 适合热处理：0.0218-2.11%，有固态相变。

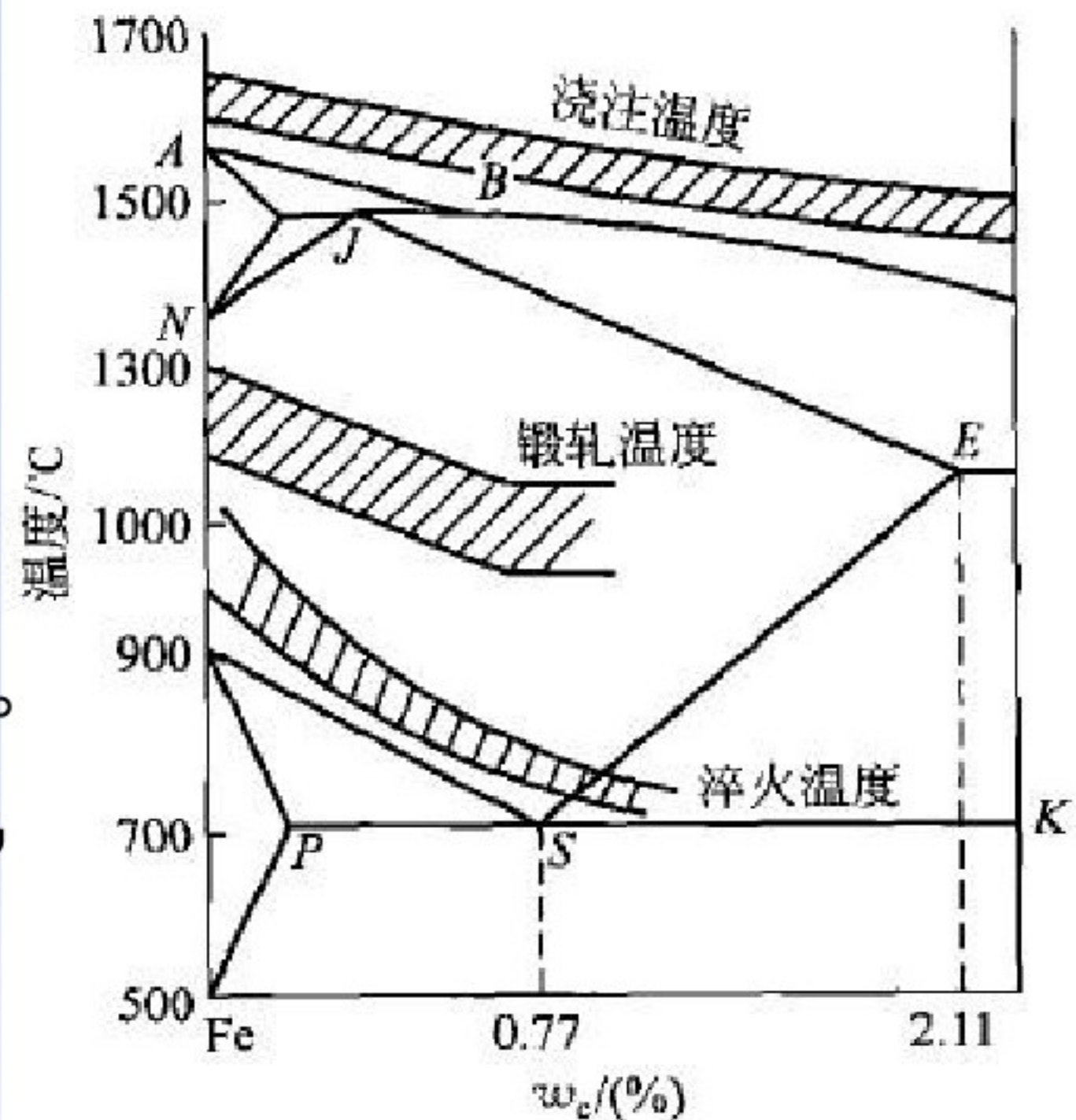
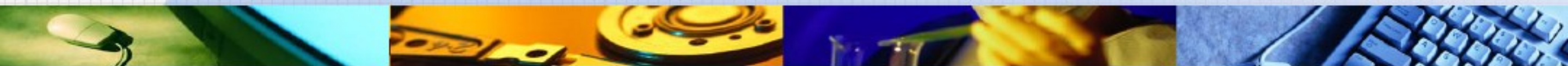


图 4.25 Fe-Fe₃C 相图在制定热加工工艺方面的应用

铁碳相图的应用

- 塑性、韧性高的材料，选用铁素体低碳钢 ($W_c < 0.25\%$)
- 强度、塑性和韧性等均好的材料，应选用组织为铁素体和珠光体的中碳钢 ($0.25\% < W_c < 0.6\%$)
- 硬度、耐磨性好的材料，应选用组织为珠光体或珠光体和二次渗碳体的高碳钢 ($1.3\% > W_c > 0.6\%$)
- 形状复杂的及其底座和箱体等零件，可选用熔点低、流动性好的铸铁材料，成分为共晶或接近于共晶。

杂质元素的影响



- 碳钢：是指碳的质量分数 $W_c < 2.11\%$ ，并含有少量硅、锰、磷、硫等杂质元素的铁碳合金。
- Mn的影响：由炼铁原料铁矿石及炼钢时加脱氧剂（锰铁）中带入的
- Mn能溶于铁素体中，形成含锰铁素体，也能溶于渗碳体，形成合金渗碳体，产生固溶强化作用，使强度、硬度提高。
- 锰能增加珠光体的相对含量，并细化珠光体，提高钢的强度。
- 锰能降低S对钢的危害。
- 一般碳素钢中把锰控制在小于0.8%。

■ Si 的影响

- Si 主要来自原料生铁和硅铁脱氧剂。
- Si 比锰脱氧能力强，硅溶于F，具有固溶强化作用，提高钢的强度和硬度，但会使塑性和韧性降低。
- 硅在碳素钢中一般小于0.5%。
- 硅与氧的亲合力很强，形成氧化硅在钢中以夹杂物形式存在，影响钢的质量。

- **S的影响：**
- 由矿石和燃料带入钢中。
- S在钢中与Fe化合成 FeS ，而 FeS 又与Fe形成低熔点（ 985°C ）的共晶体，分布于奥氏体晶界上。当钢材在 $1150\sim 1250^{\circ}\text{C}$ 进行轧制或锻压时，由于共晶体熔化而使晶粒分离，导致钢材开裂，这种现象称为热脆。
- Mn与S形成熔点为 1620°C 的高温有一定塑性的 MnS ，消除热脆。
- 硫对钢的焊接性能有不良影响，容易导致焊缝热裂，在焊接过程中，S易于氧化生成 SO_2 ，造成焊缝中产生气孔和疏松。
- 硫能提高钢材的切削加工性，这是S的有益作用，所以在制造要求表面粗糙度较细而强度要求不十分严格的零件时，可采用含S高的易切削钢。

■ P的影响：

- 一般说来，P是有害杂质元素，它来自于矿石和生铁等炼钢原料，炼钢时难以除尽。
- P在钢中能全部溶于铁素体，使钢的强度、硬度增加、而塑性、韧性显著降低，特别在低温下更严重，这种现象称为冷脆。其含量一般要求不大于0.045%。
- P能提高切削性能和抗蚀性，故在易切削钢中可适当增加P含量。
- 磷也使钢材的可焊性显著降低。但磷可提高钢材的耐磨性和耐蚀性，故在低合金钢中可配合其他元素作为合金元素使用。

■ 氧的影响：

- 氧是钢中的有害元素。氧在钢中的溶解度很小，在钢中，氧几乎全部以氧化物的形式存在。钢中各种氧化物的总量随着钢中含氧量增加而增加，含氧量对钢力学性能的影响夹杂对力学性能的影响实质上也就是氧化物夹杂对力学性能的影响。
- 总的来说，随钢中含氧量增加，钢材的强度有所提高，但钢的塑性、韧性降低，氧化物夹杂使钢的耐腐蚀性、耐磨性降低，可焊性变差，使冷冲压性、锻造加工性及切削加工性变坏。氧的存在会造成钢材的热脆性。

- 氮的影响：
- N引起碳钢的淬火时效和形变时效，从而对碳钢的性能产生影响。由于N的时效作用，钢的硬度、强度升高，塑性和韧性降低，可焊性变差，冷脆性加剧对于普通低合金钢来说，时效现象是有害的，因而N是有害元素。
- 氮在铝、铌、钒等元素的配合下可以减少其不利影响，改善钢材性能，可作为低合金钢的合金元素使用。向钢中加入足够数量的Al，使之除与O结合外，还有有相当数量的Al溶解在固溶体中，通过热轧后的缓冷或700-800℃保温，能与N结合形成AlN，减弱或完全消除在较低温度发生的时效现象。

■ 氢的影响:

- 氢是在冶炼过程中，由生锈的炉料(含水)及潮湿的大气带进钢中的。它在钢中的含量一般很少，但对钢的危害却很大。
- 由于氢在钢中的溶解度随温度的下降而显著降低，先析出的原子氢存在于钢的缺陷处，随后原子氢又形成分子氢，并使氢的扩散更加困难。由于温度降低造成氢气分子不断增多，并产生较大的压力从而导致钢的开裂。这种现象——称为**氢脆**。
- 现代炼钢采取真空冶炼，炉外精炼等方法。