

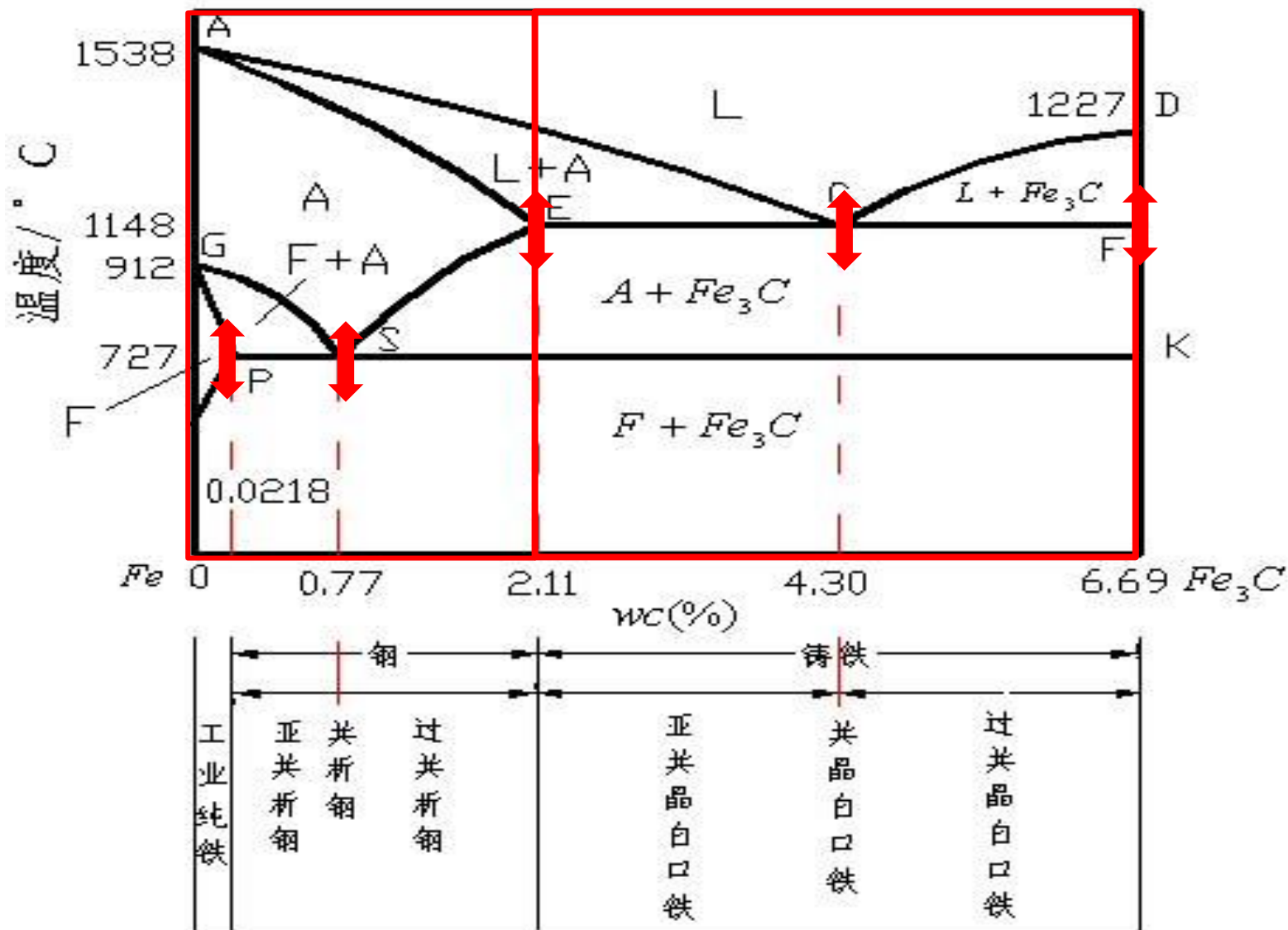
第五章 铁碳相图和铁碳合金



3. 典型铁碳合金的平衡凝固

钢部分铁碳相图

白口铸铁部分铁碳相图



① 工业纯铁

含碳量低于0.0218%; (F)

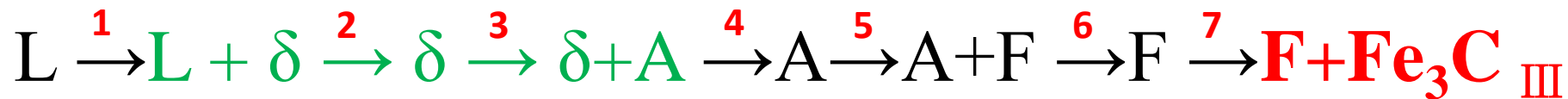
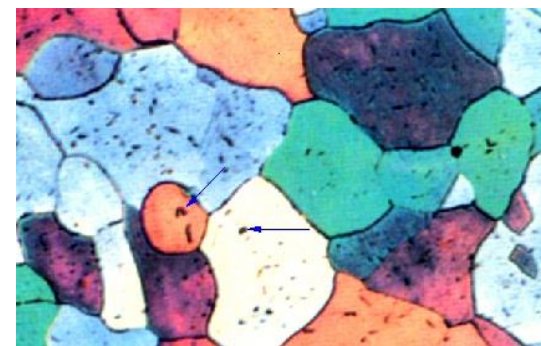
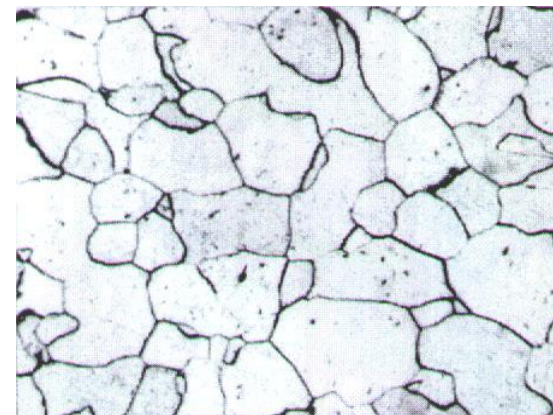
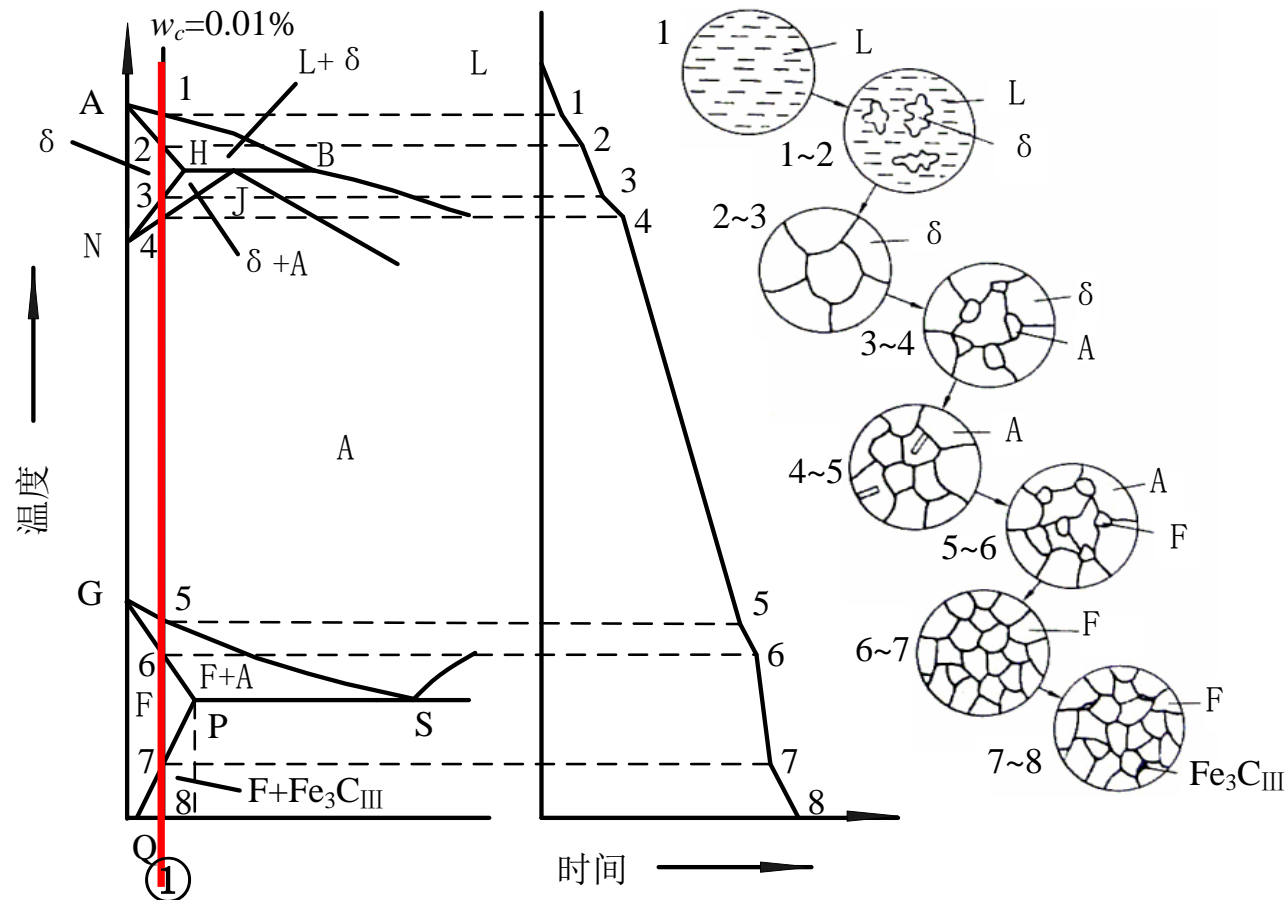
② 钢 (0.02%-2.11%) , 高温组织为奥氏体, 室温组织分为三大类

- ② 共析钢: 含碳量为 0.77%; (P)
- ③ 亚共析钢: 含碳量为 0.0218%~0.77%; (F+P)
- ④ 过共析钢: 含碳量为 0.77%~2.11%; (P+Fe₃C_{II})

③ 铁 (>2.11%) , 高温时Cem较多, 室温组织分为三大类

- ⑤ 共晶白口铸铁: 含碳量为 4.30%; (L'd)
- ⑥ 亚共晶白口铸铁: 含碳量为 2.11%~4.30%; (L'd+ P+Fe₃C_{II})
- ⑦ 过共晶白口铸铁: 含碳量为 4.30%~6.69%。 (L'd+Fe₃C_I)

(1) 合金①的平衡凝固图

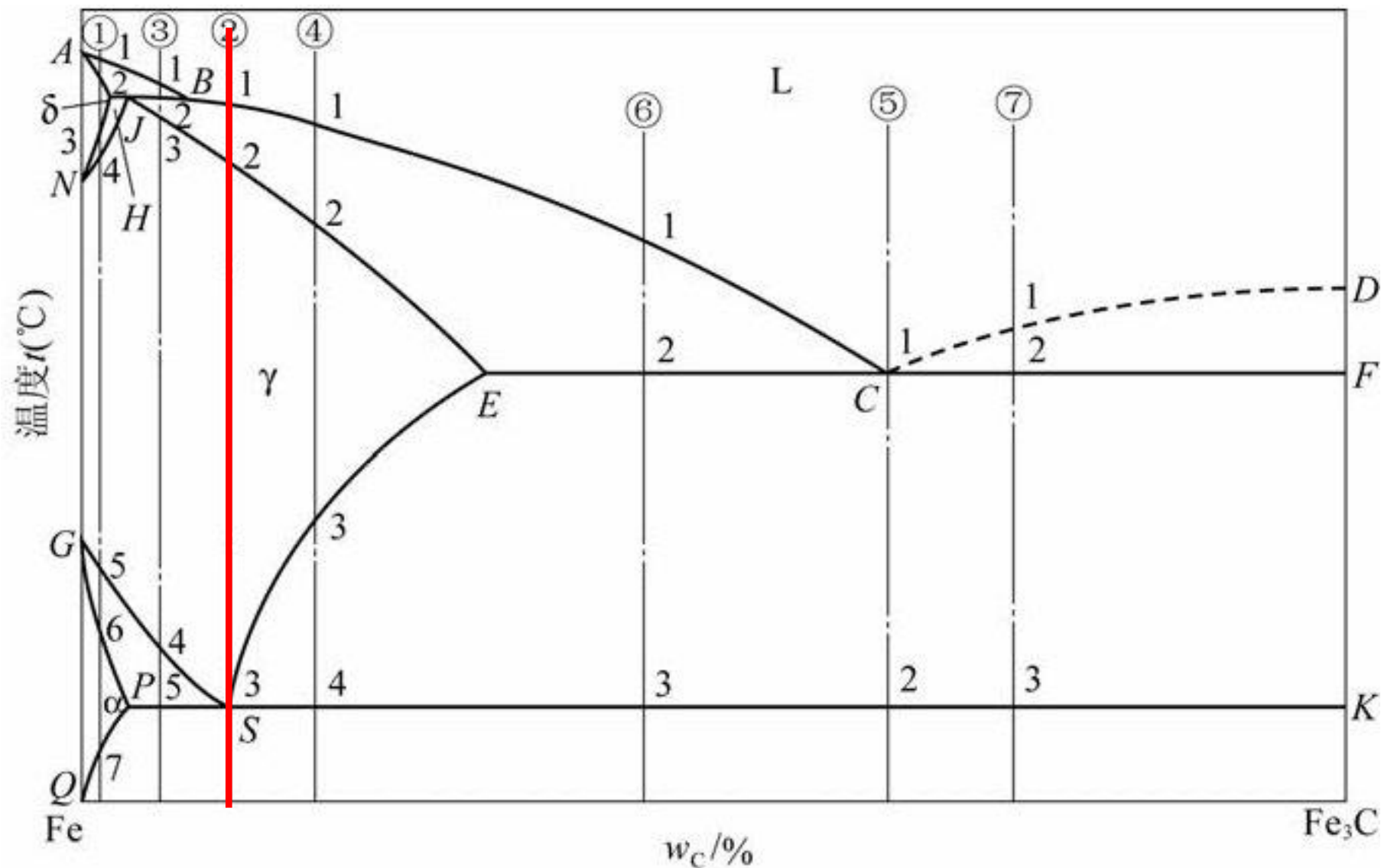


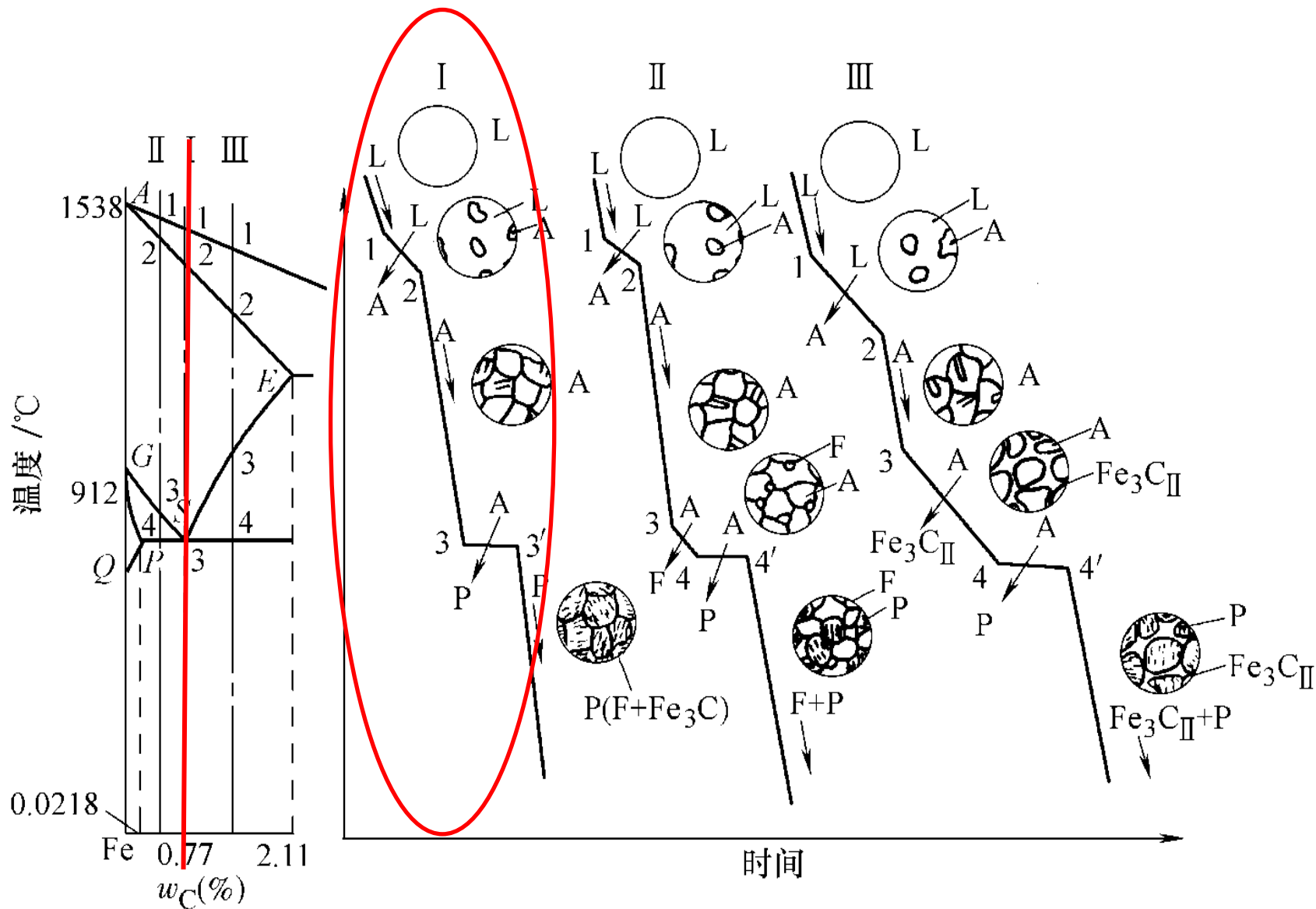
Fe_3C_{III} 数量少, 不易分辨, 可忽略不计

因此, 室温组织为铁素体

(2) 合金②的平衡凝固图

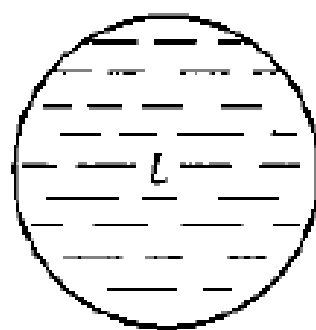
共析钢的平衡凝固 (0.77%C)





(3-3') 共析反应: $A \rightarrow F + Fe_3C_{共}$

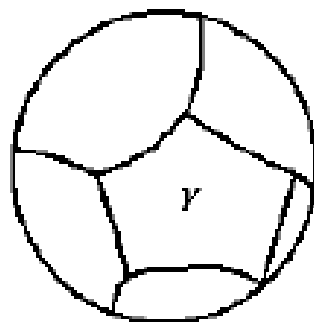
室温组织为珠光体组织



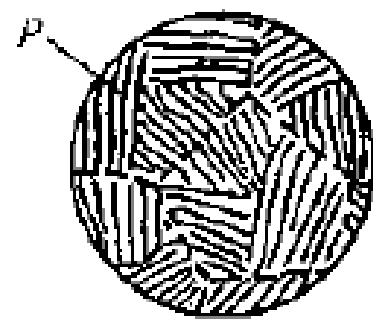
1以上



1~2



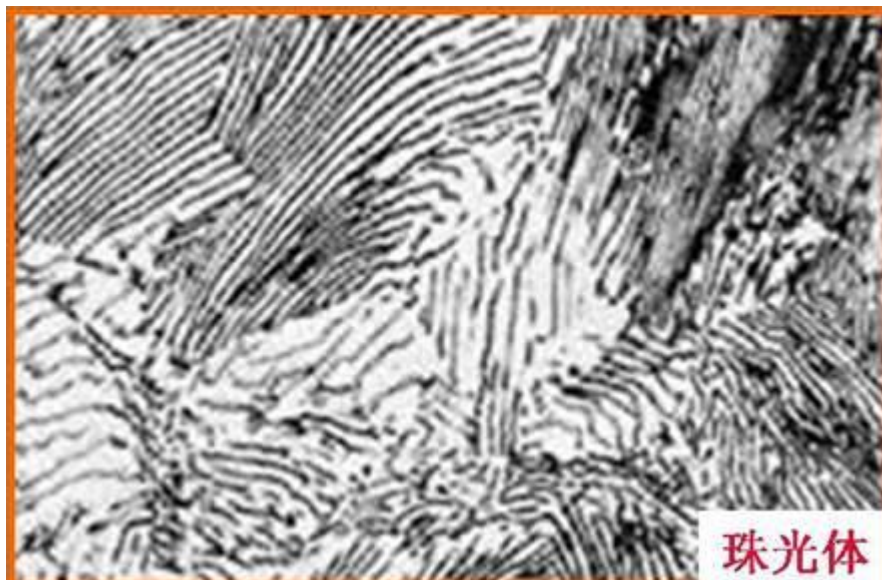
2~3



3以下

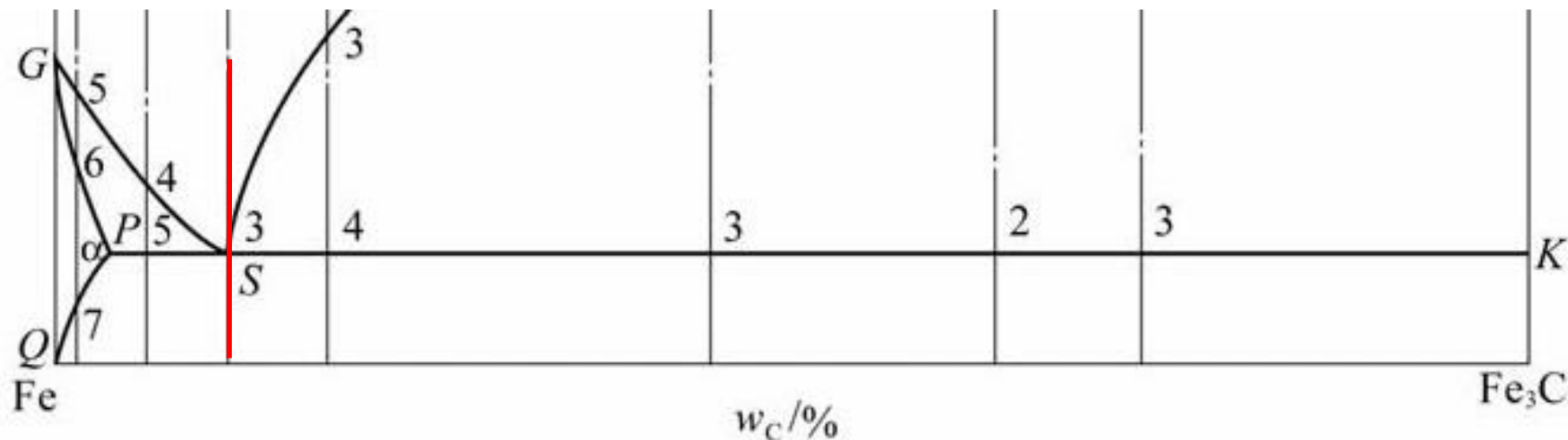
(虚线为原奥氏体晶界)

图 4-44 共析钢的结晶过程示意图



珠光体

杠杆定律的应用

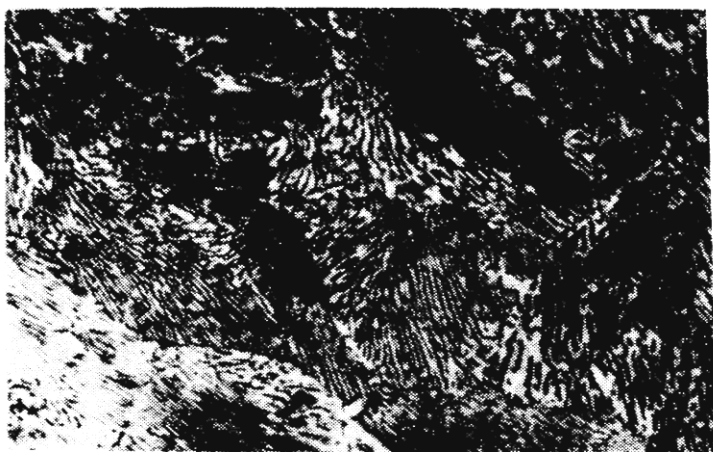


共析钢在室温下的组织组成物是：珠光体（P），含量为100%

共析钢室温下的相组成物是：铁素体加渗碳体

$$F\% = \frac{SK}{QK} = \frac{6.69 - 0.77}{6.99 - 0.0008\%} \times 100\% = 88\%$$

$$Fe_3C_{\text{共}} = 1 - 88\% = 12\%$$



a)



b)

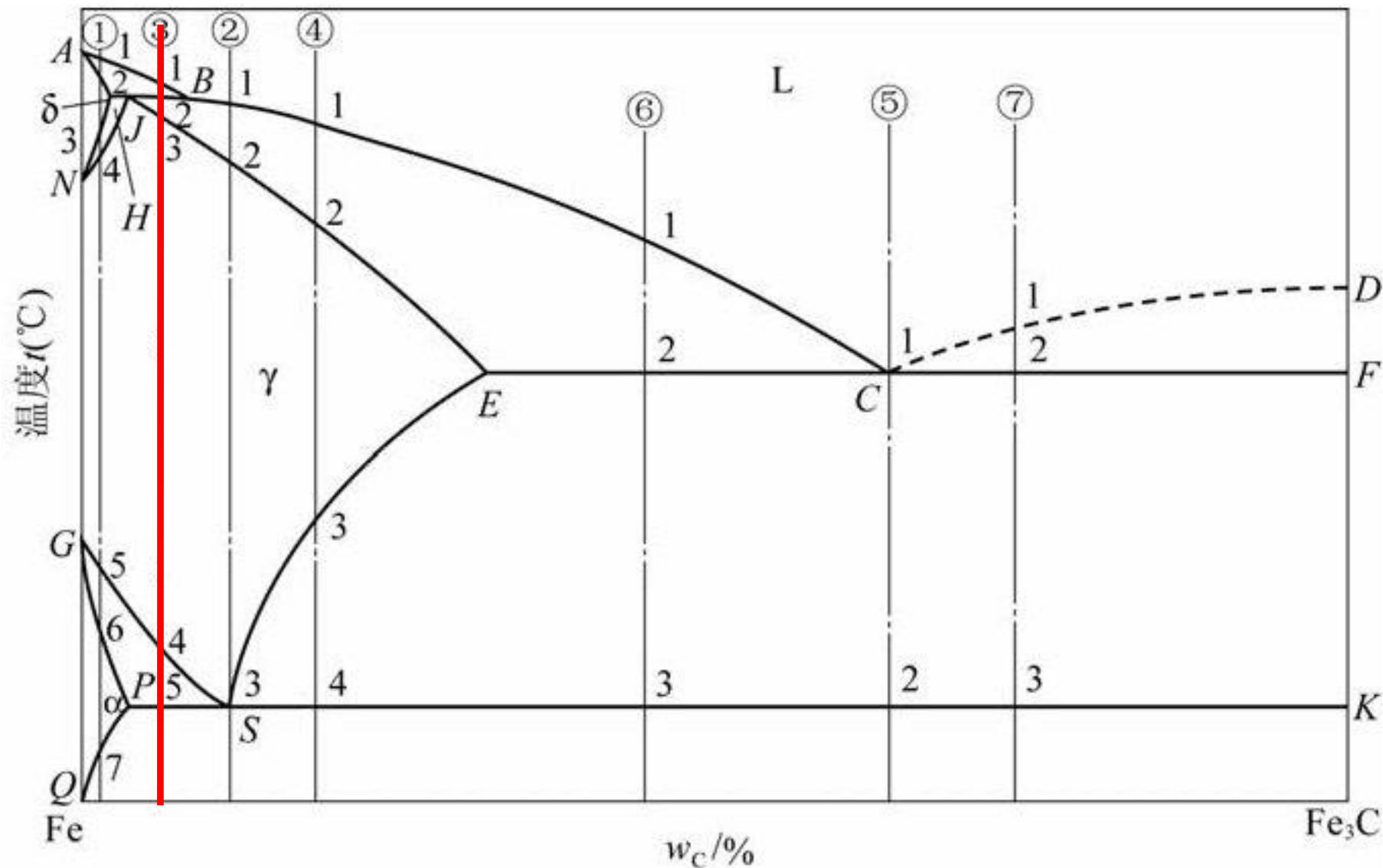
共析钢的显微组织

a) (500x) b) (800x)

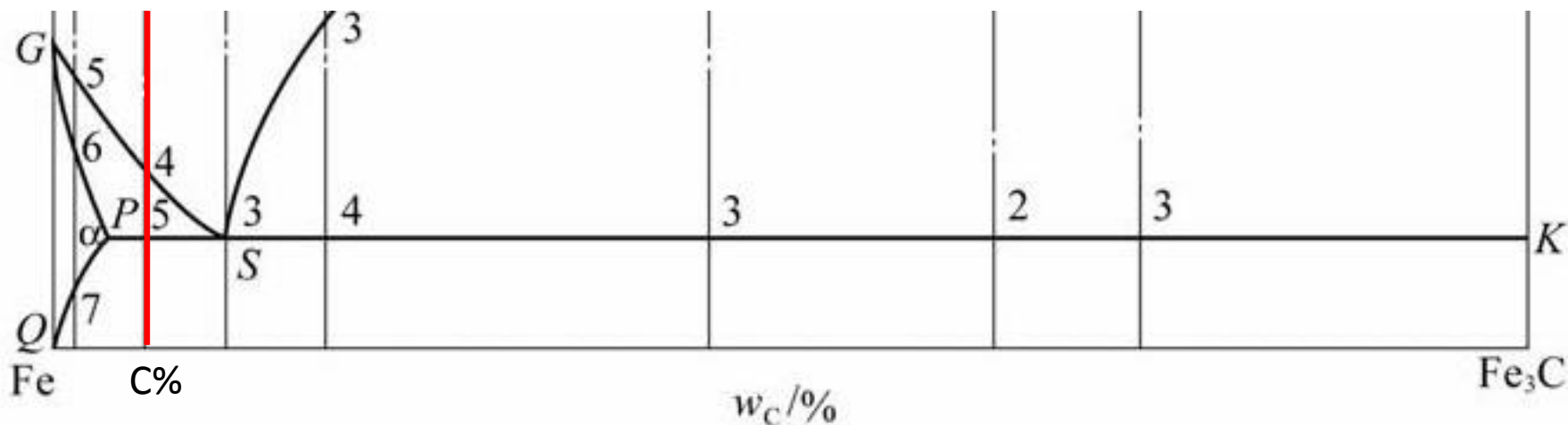
P: 铁素体和渗碳体的机械混合物

(3) 合金③的平衡凝固图

亚共析钢 (0.0218%–0.77%) 的平衡凝固







亚共析钢在室温下的组织组成物是：先共析铁素体（F）+ 珠光体（P）

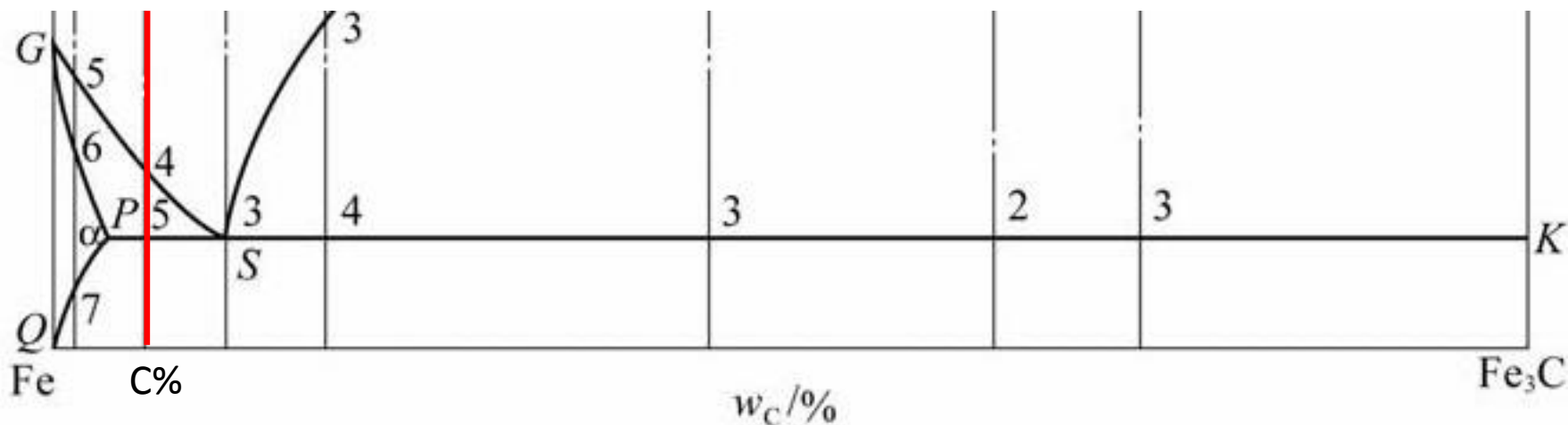
$$P\% = \frac{C - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\%$$

$$F\% = \frac{0.77 - C}{0.77 - 0.0218} \times 100\%$$

亚共析钢在室温下的相组成物是：铁素体（F）+ 渗碳体（Cem），

$$F\% = \frac{6.69 - C}{6.69 - 0.0008} \times 100\%$$

$$Fe_3C\% = \frac{C - 0.0008}{6.69 - 0.0008} \times 100\%$$



亚共析钢在共析温度下的组织组成物是：先共析铁素体（F）+ 珠光体（P）

亚共析钢在共析温度下的相组成物是：铁素体（F）+ 渗碳体（Cem），

$$P\% = \frac{C - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\%$$

$$F\% = \frac{0.77 - C}{0.77 - 0.0218} \times 100\%$$

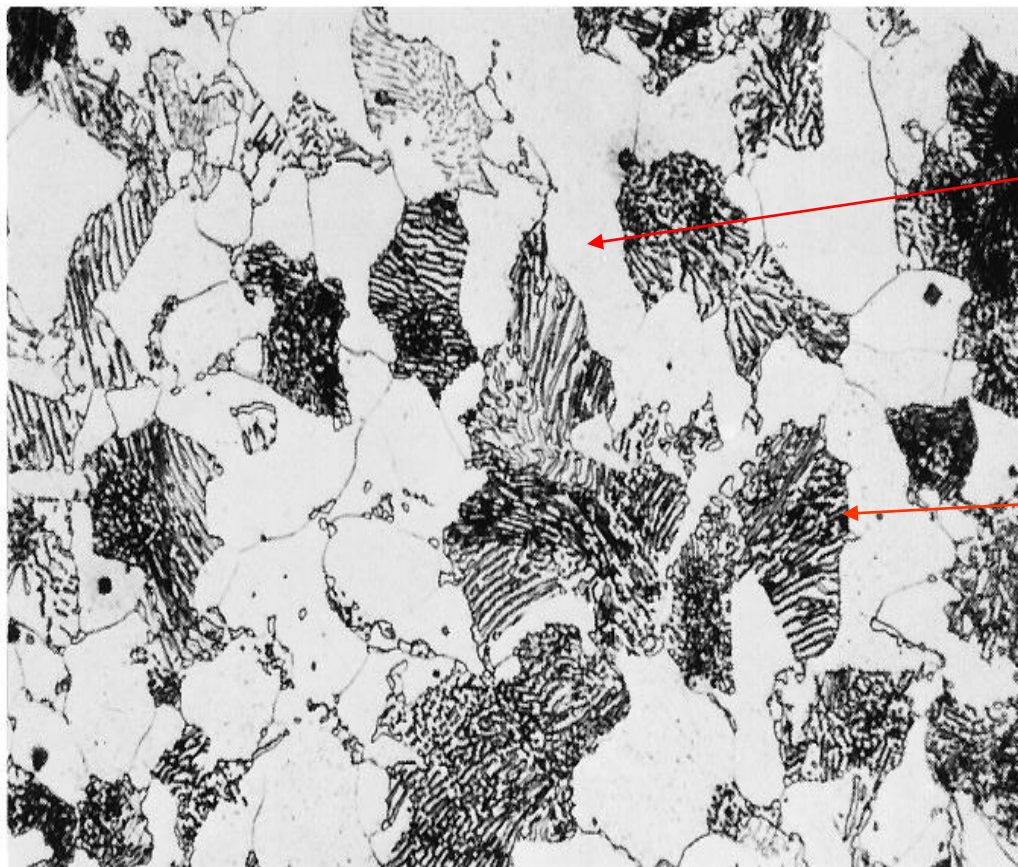
$$F\% = \frac{6.69 - C}{6.69 - 0.0218} \times 100\%$$

$$Fe_3C\% = \frac{C - 0.0218}{6.69 - 0.0218} \times 100\%$$

备注：

1. 如果没有明确说明是什么温度下的组织组成物或相组成物，一般默认为室温下。
2. 如果求组织组成物，一定要弄清该温度前经历了哪些固态相变过程，最终金相能看见的组织是什么，如何转变得到的。
3. 如果求相组成物，先辨明属于哪些相，然后直接以该温度线两段的相含量来求即可。

和Pb-Sn合金对比，组织组成物在室温下的差别？结合金相组织。



先共析铁素体

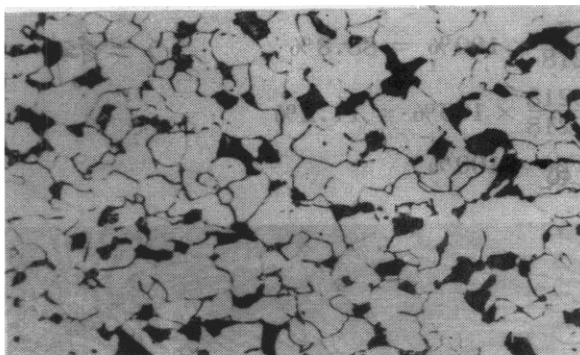
珠光体

亚共析钢 0.38 wt% C

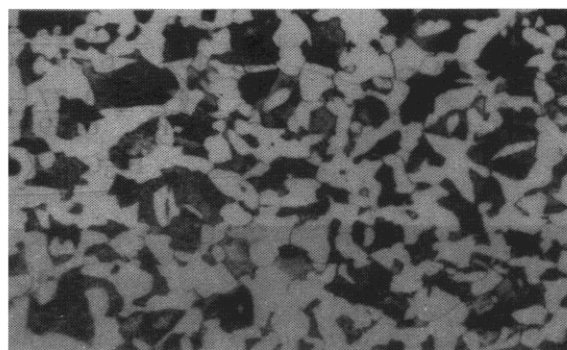
在显微分析中，可以根据珠光体和铁素体所占面积的相对量，来估算出亚共析钢中的碳的质量分数 ω_c ，即

$$\omega_c = p \times 0.77\%$$

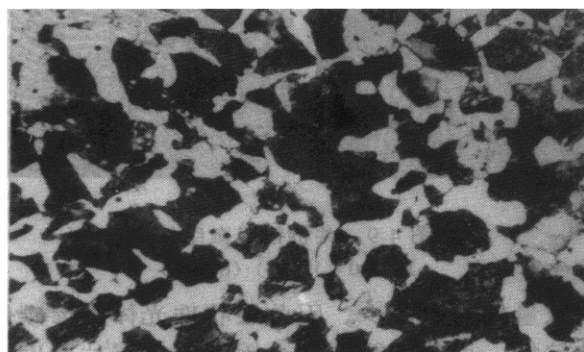
➡ 推导？



a)

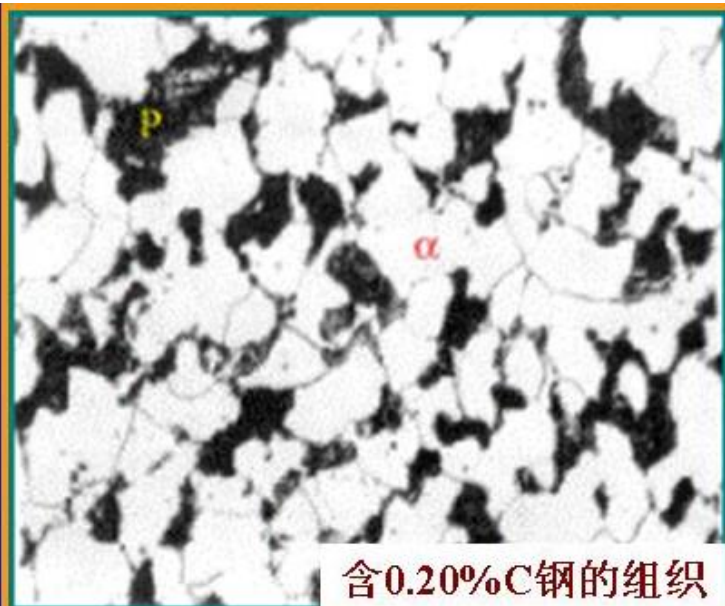


b)



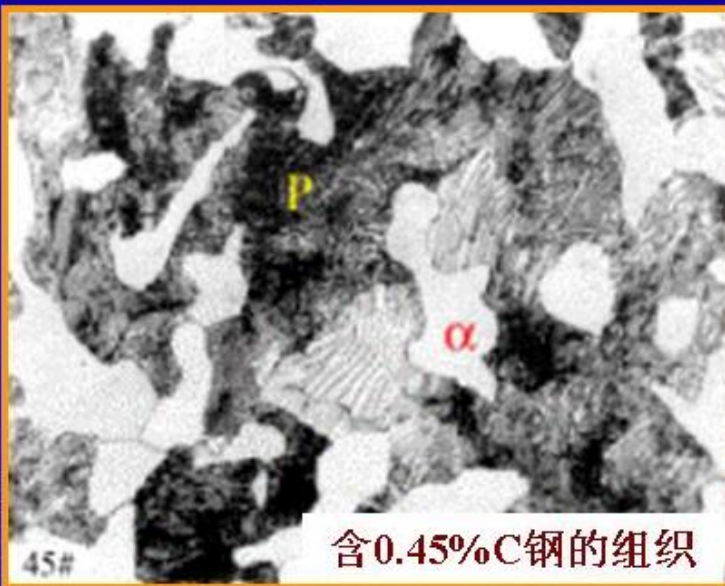
c)

a) $\omega_c = 0.20\%$ (200x) b) $\omega_c = 0.40\%$ (250x) c) $\omega_c = 0.60\%$ (250x)

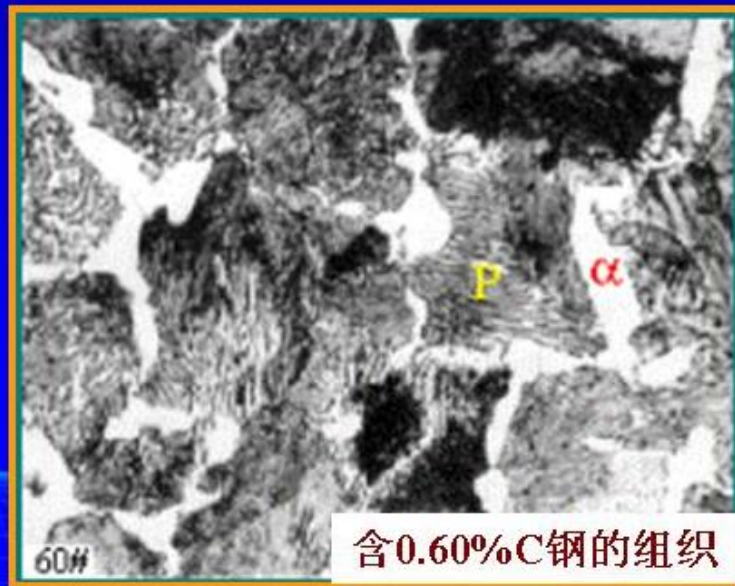


含0.20%C钢的组织

- 亚共析钢室温下的组织为**F+P**。
- F呈白色块状；P呈层片状，放大倍数不高时呈黑色块状。
- 在**0.0218~0.77%C** 范围内珠光体的量随含碳量增加而增加。



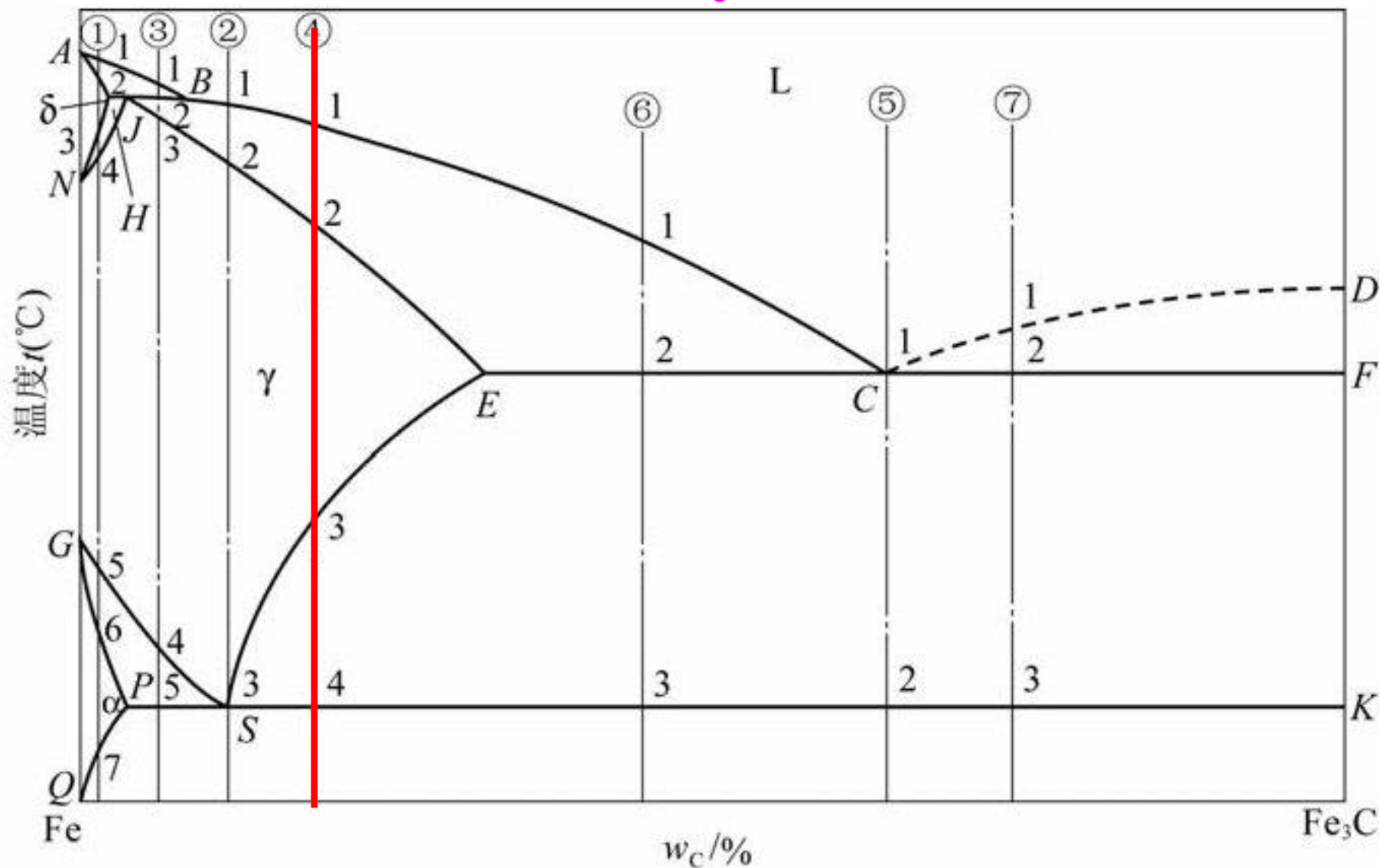
含0.45%C钢的组织

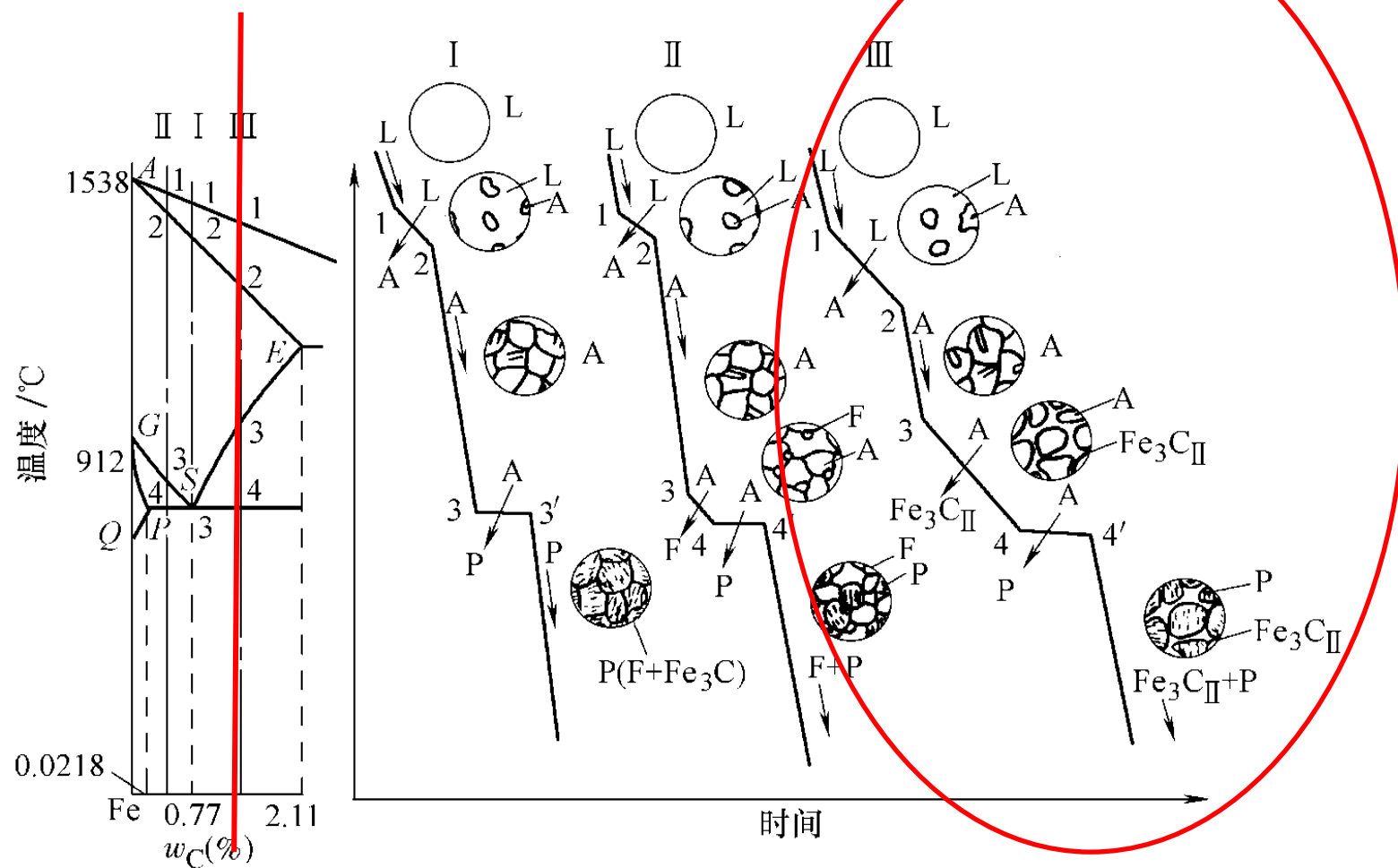


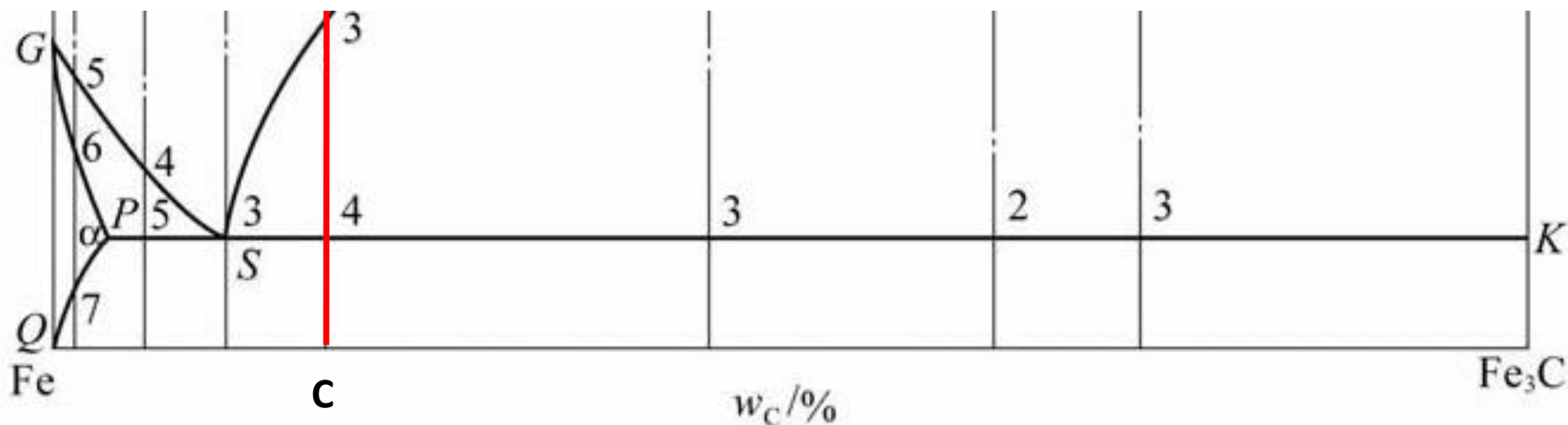
含0.60%C钢的组织

(4) 合金④的平衡凝固图

过共析钢 ($0.077\% < w_c < 2.11\%$) 的平衡凝固







过共析钢在室温下的组织组成物是：二次渗碳体（**Cem**）+ 珠光体（**P**）

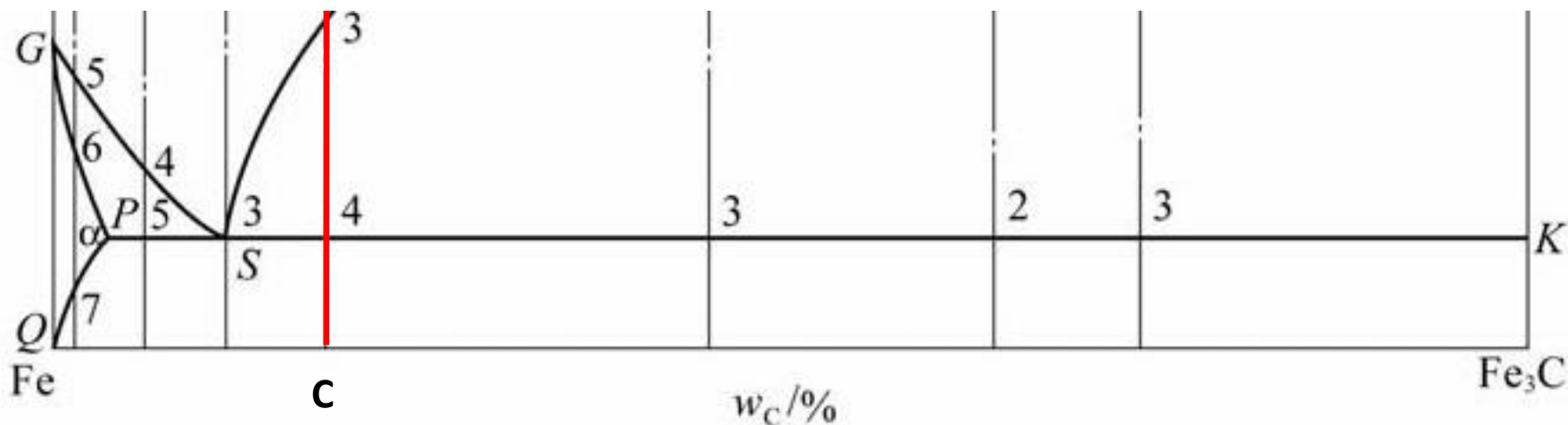
过共析钢在室温下的相组成物是：铁素体（**F**）+ 渗碳体（**Cem**）

$$P\% = \frac{6.69 - C}{6.69 - 0.77} \times 100\%$$

$$Fe_3C_{II}\% = \frac{C - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\%$$

$$F\% = \frac{6.69 - C}{6.69 - 0.0008} \times 100\%$$

$$Fe_3C\% = \frac{C - 0.0008}{6.69 - 0.0008} \times 100\%$$



过共析钢在共晶温度下的组织组成物是：二次渗碳体（Cem）+ 珠光体（P）

过共析钢在共晶温度下的相组成物是：铁素体（F）+ 渗碳体（Cem）

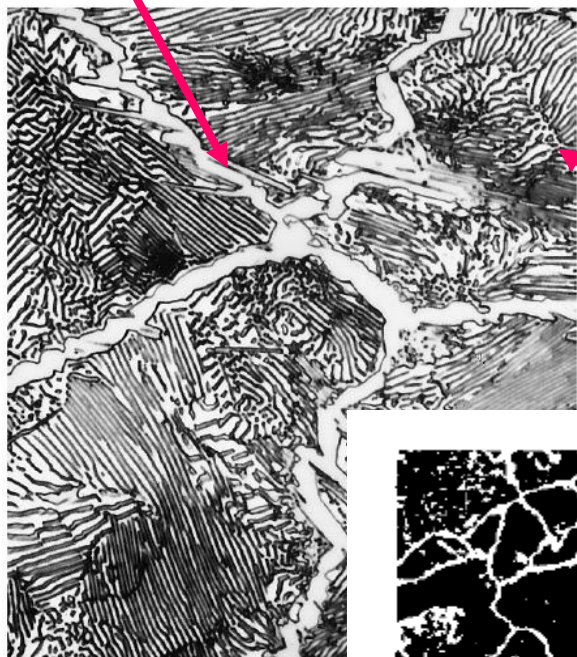
$$P\% = \frac{6.69 - C}{6.69 - 0.77} \times 100\%$$

$$Fe_3C_{II}\% = \frac{C - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\%$$

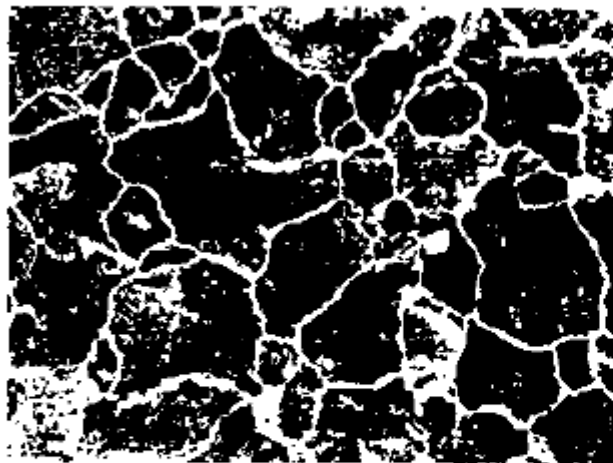
$$F\% = \frac{6.69 - C}{6.69 - 0.0218} \times 100\%$$

$$Fe_3C\% = \frac{C - 0.0218}{6.69 - 0.0218} \times 100\%$$

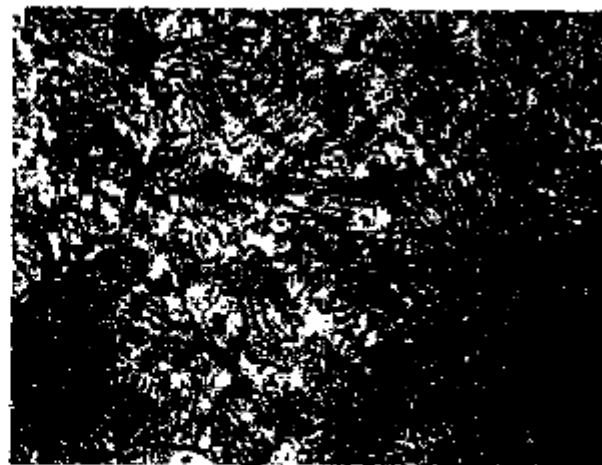
在原奥氏体晶界上析出的先共析渗碳体



珠光体



(a)



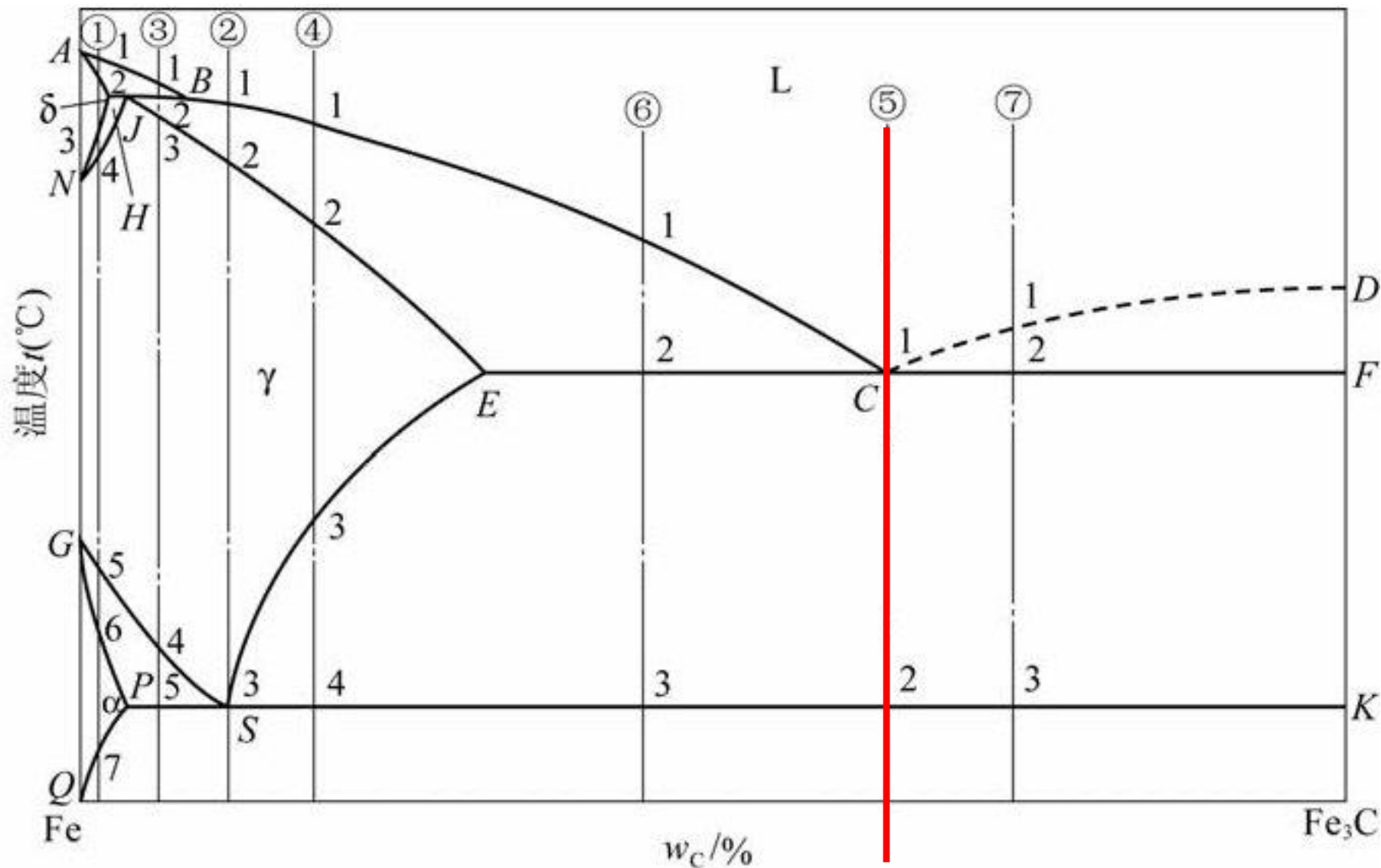
(b)

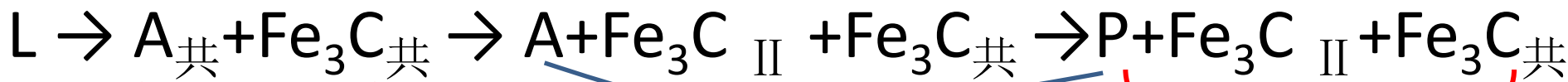
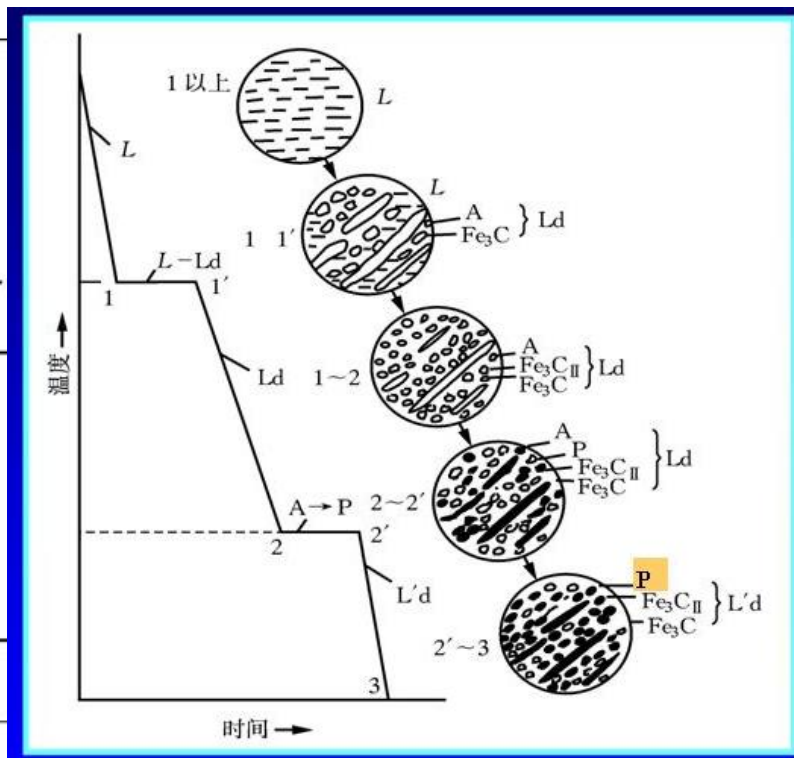
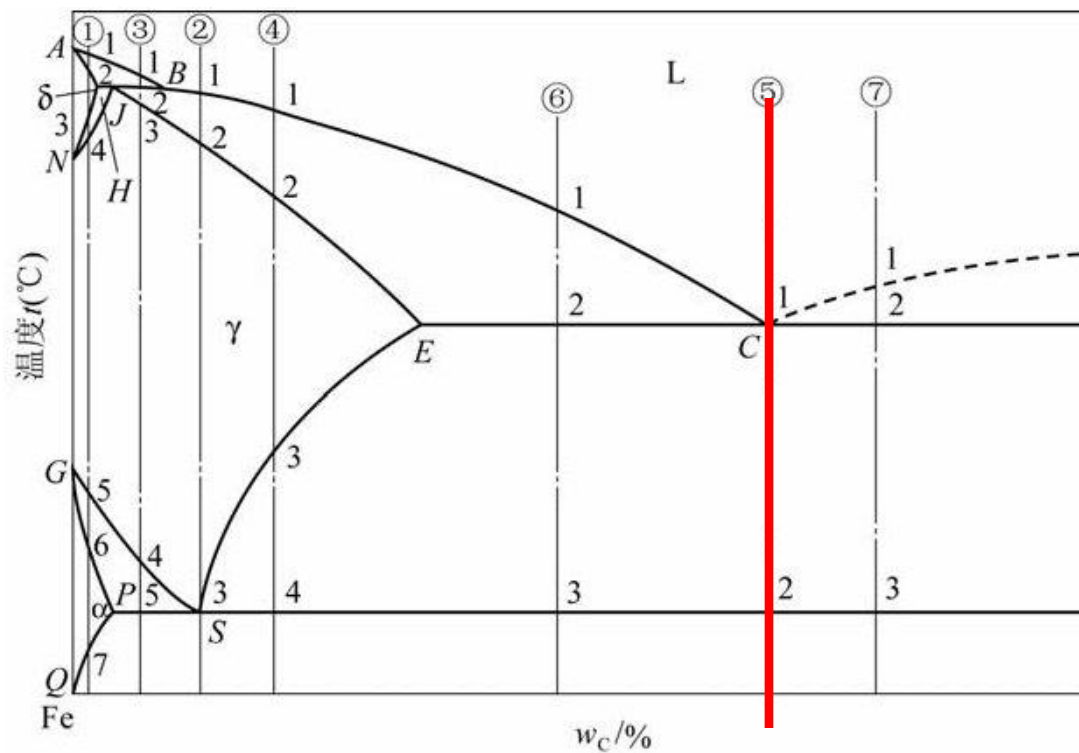
图 4-49 1.2% ω_{C} 的过共析钢缓冷后的组织

(a) 硝酸酒精溶液浸蚀;白色网状为 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$; (b) 苦味酸钠溶液浸蚀,黑色网状为 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$

(5) 合金⑤的平衡凝固图

共晶白口铸铁 (4.3%C) 的平衡凝固



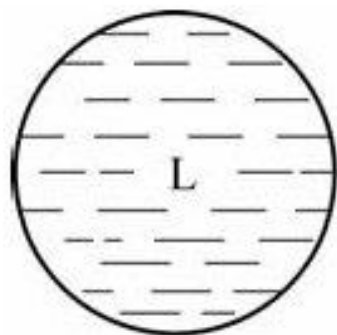


莱氏体 Ld

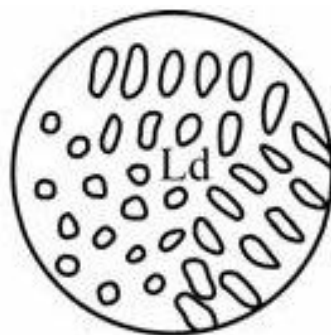
变态莱氏体 Ld'

(5) 合金⑤的平衡凝固图

共晶温度下，从共晶奥氏体中不断析出二次渗碳体，但由于它依附在共晶渗碳体上析出并长大，所以难以分辨。当温度降至2点(727℃)时，共晶奥氏体的含碳量降至0.77%，在恒温下发生共析转变，即共晶奥氏体转变为珠光体。最后室温组织是珠光体分布在渗碳体的基体上，即室温莱氏体。室温莱氏体保持了高温下共晶转变后所形成的莱氏体的形态特征，但组织组成物和相组成物均发生了改变。因此，常将室温莱氏体称为低温莱氏体或变态莱氏体，用符号 L_d' 表示。



1以上



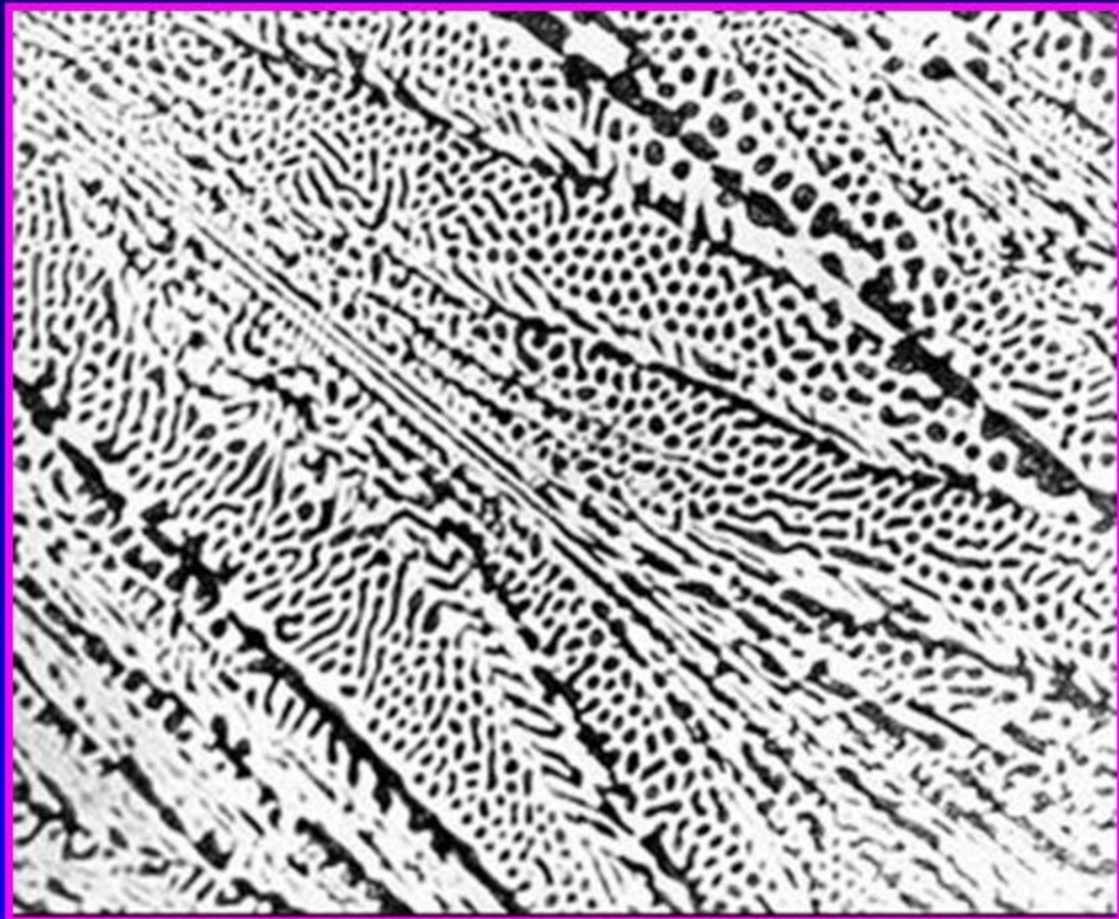
1~2



2以下

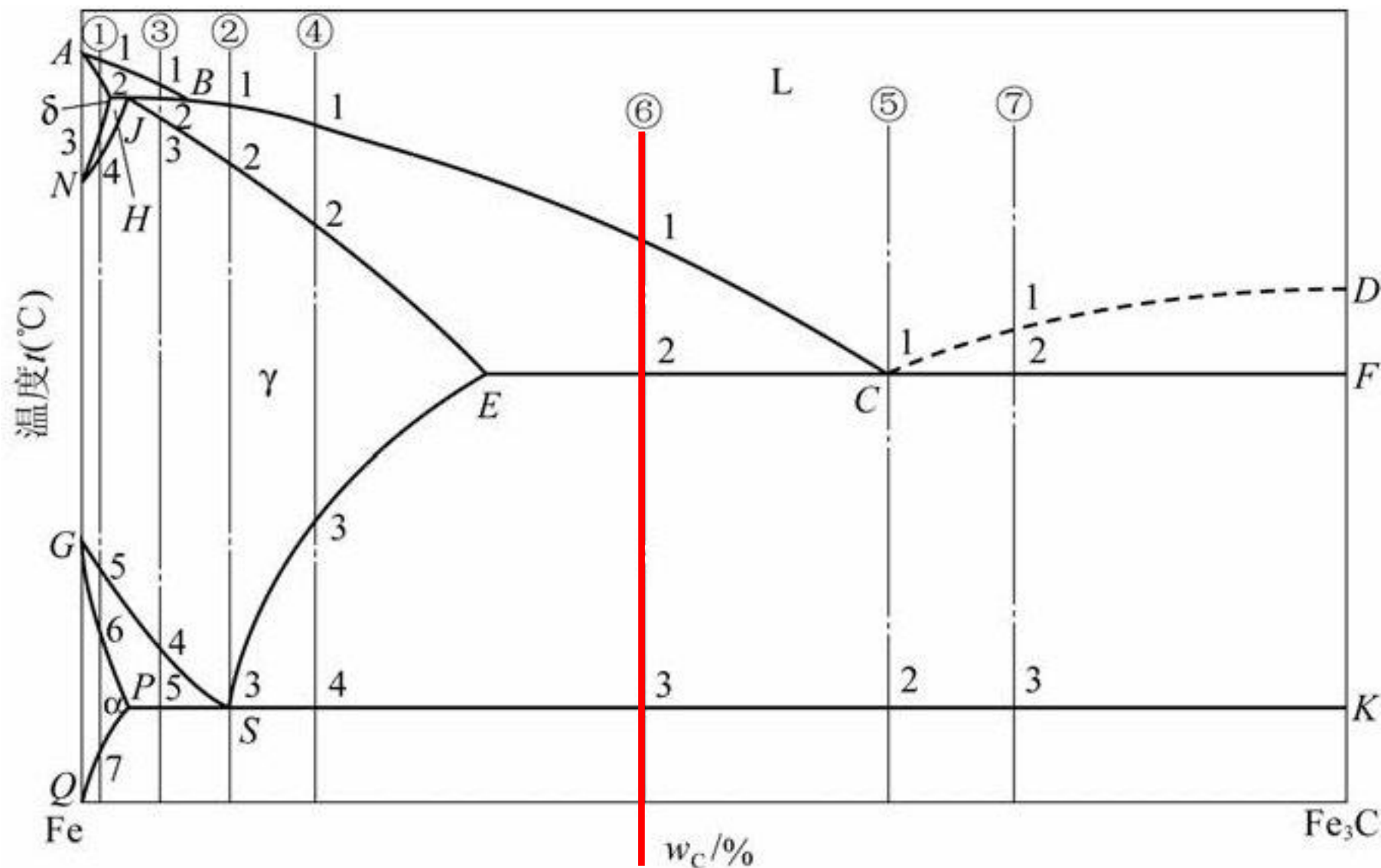
共晶白口铸铁
室温组织为 L_d'
($P + Fe_3C$)

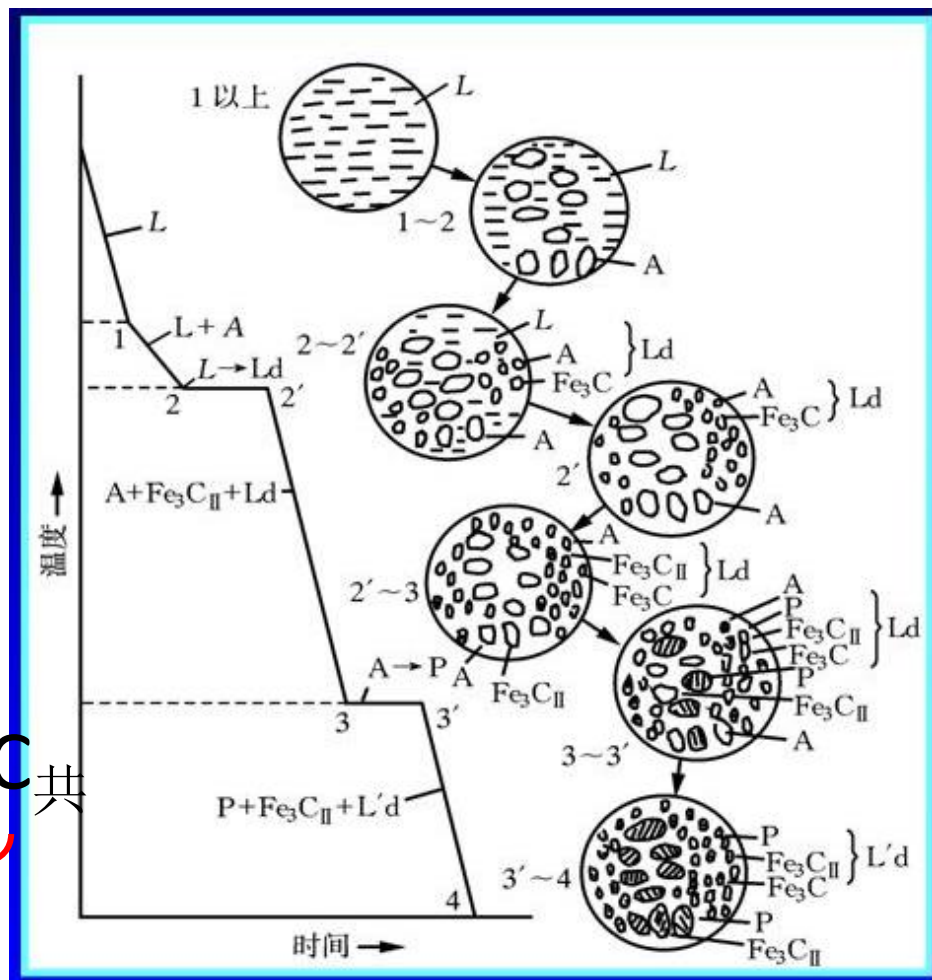
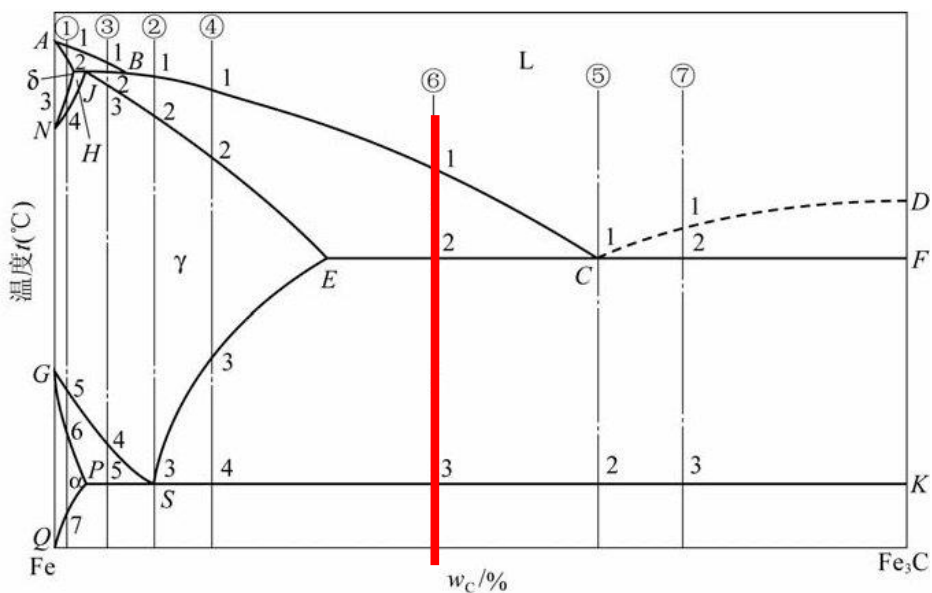
由黑色条状
或粒状P和白
色 Fe_3C 基体
组成



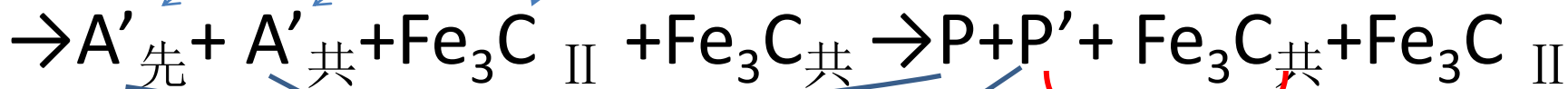
(6) 合金⑥的平衡凝固图

亚共晶白口铸铁 (2.11-4.3%C) 的平衡凝固





Ld



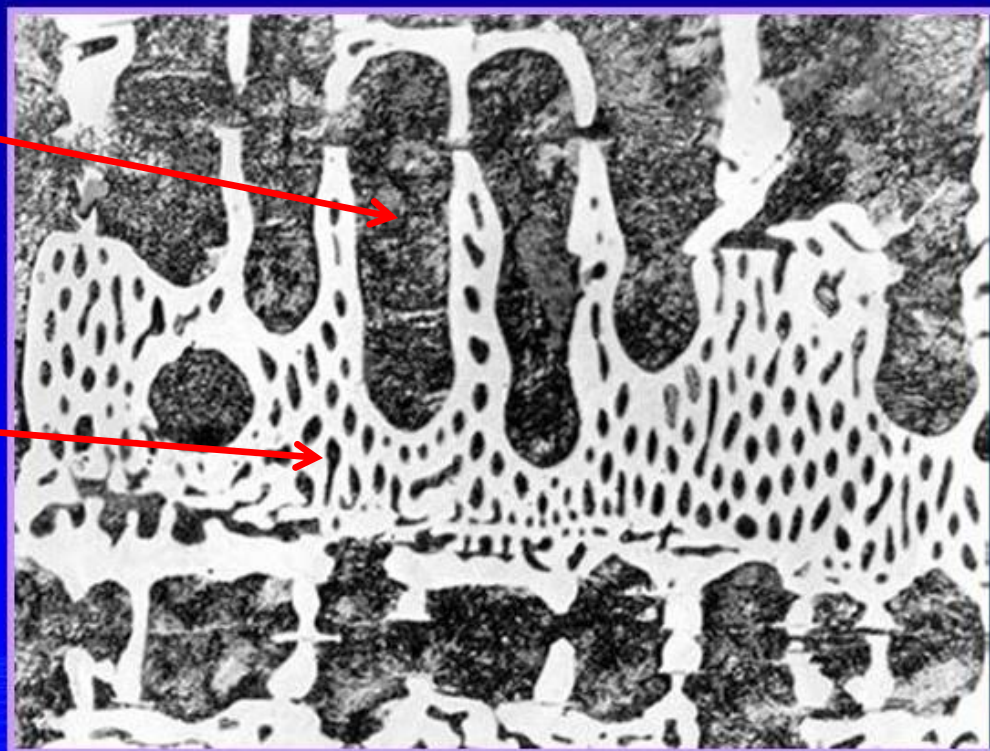
Ld'

亚共晶白口铸铁室温组织为 $P+Fe_3C_{II}+L_d'$ 。

网状 Fe_3C_{II} 分布在粗大块状 P 的周围， L_d' 则由条状或粒状 P 和 Fe_3C 基体组成。

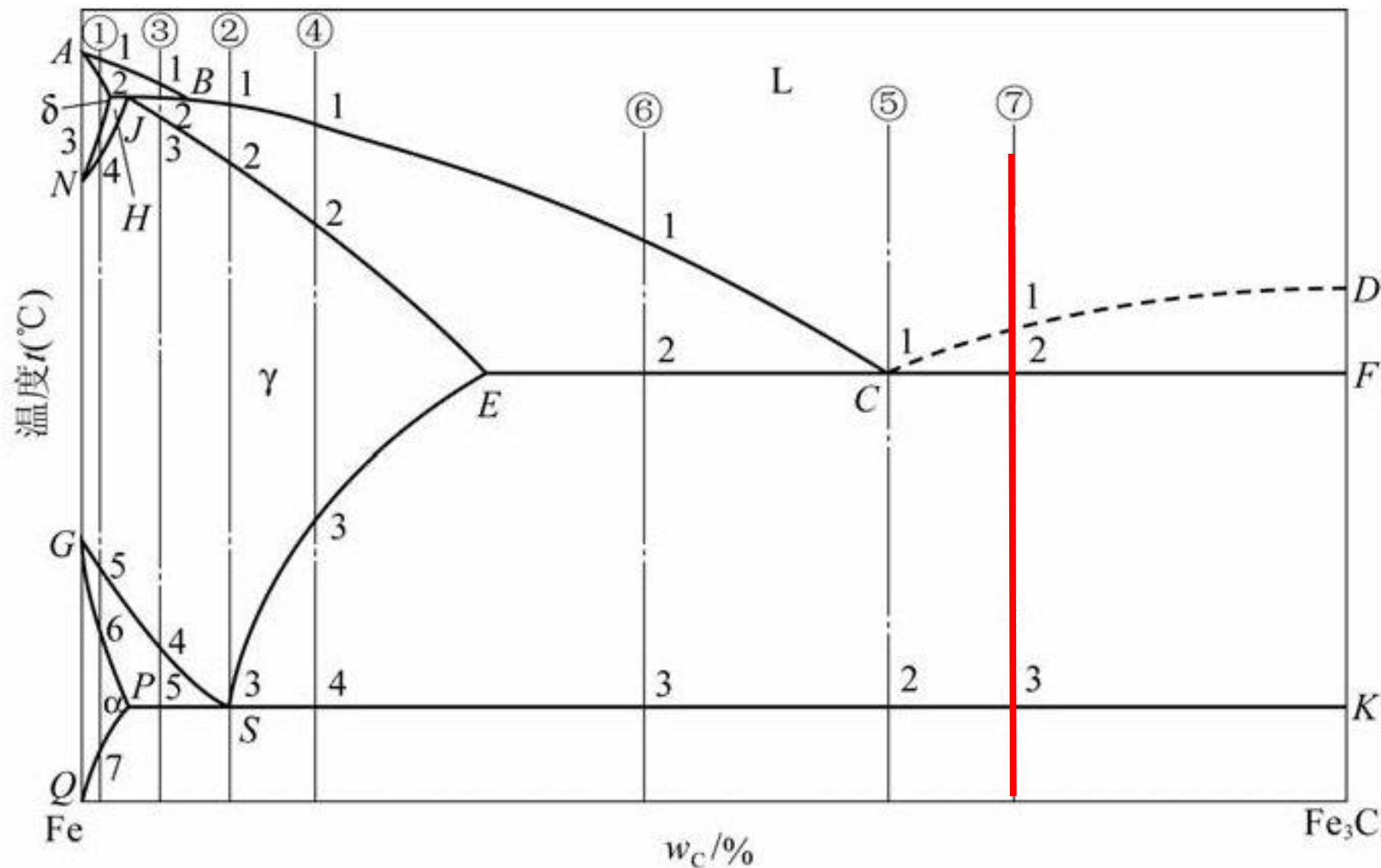
初晶奥氏体转变而来

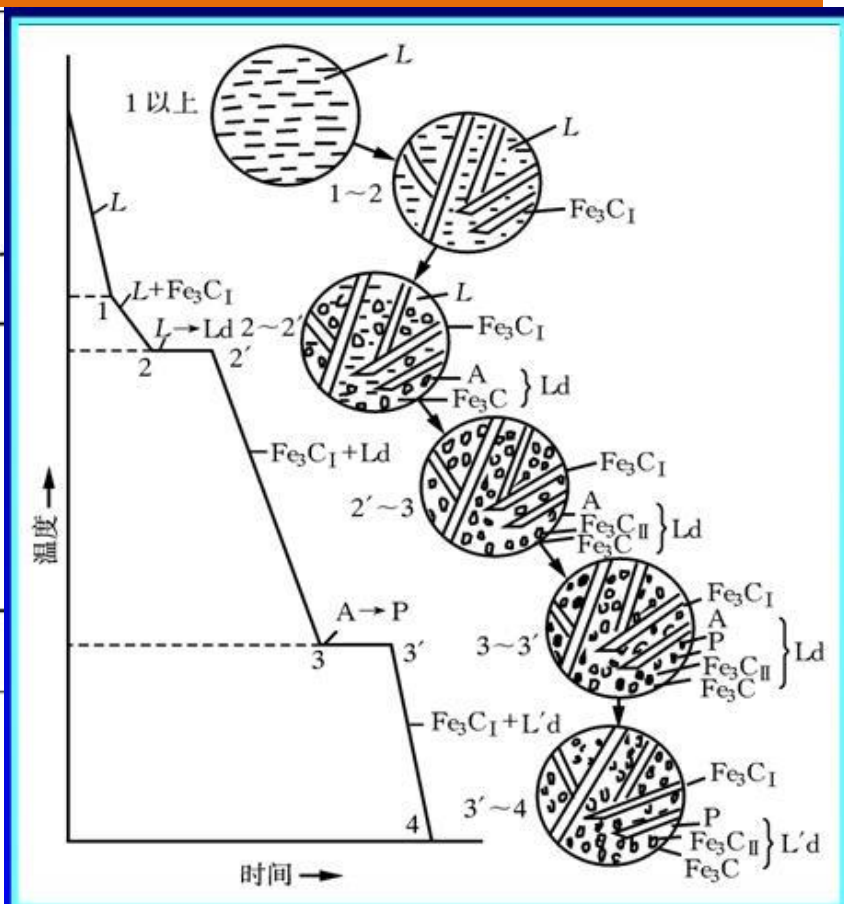
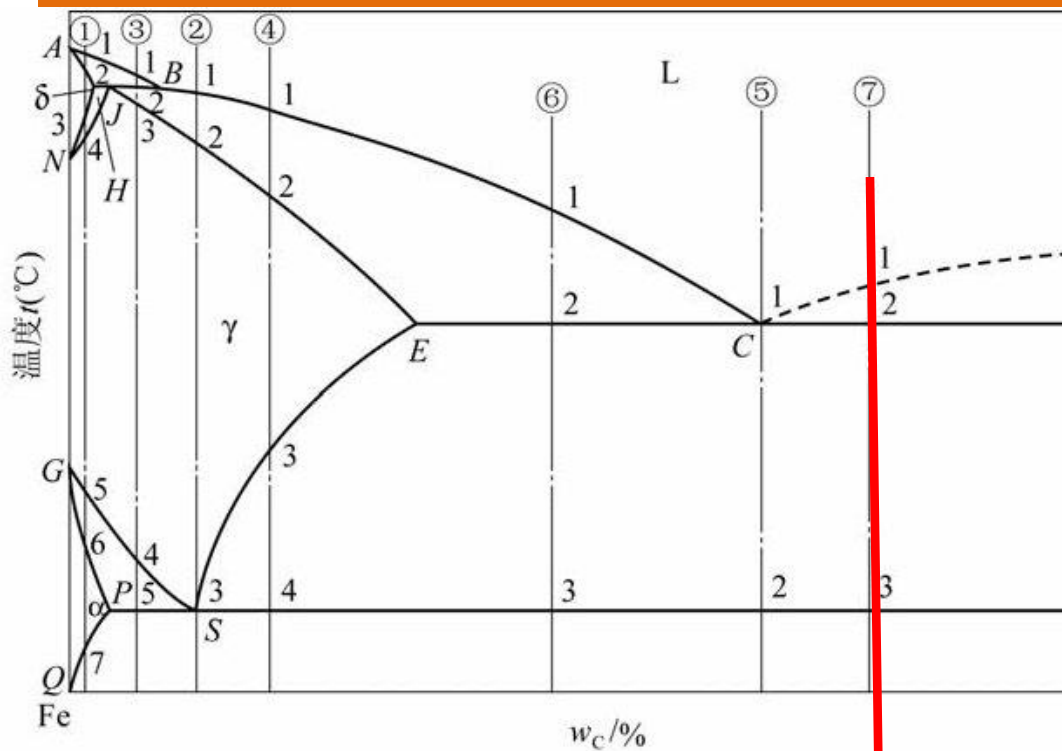
莱氏体中的奥氏体转变而来



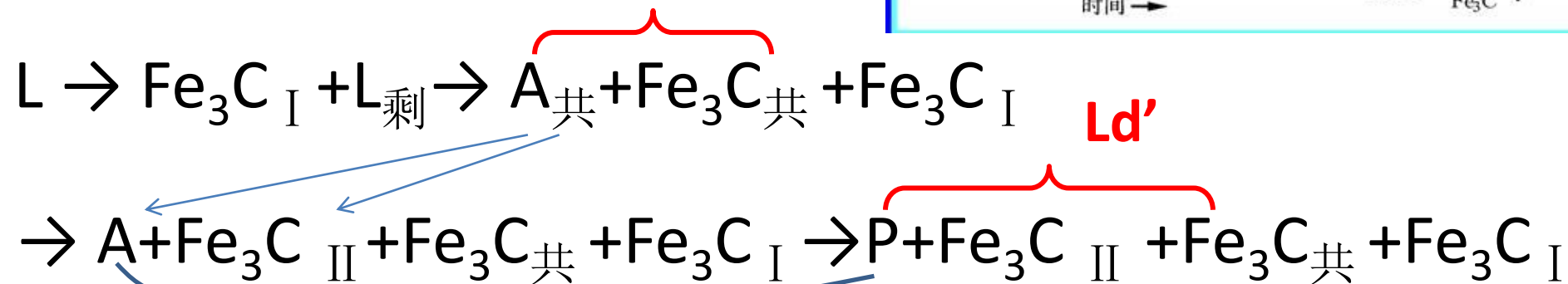
(7) 合金⑦的平衡凝固图

过共晶白口铸铁 (4.3-6.69%C) 的平衡凝固





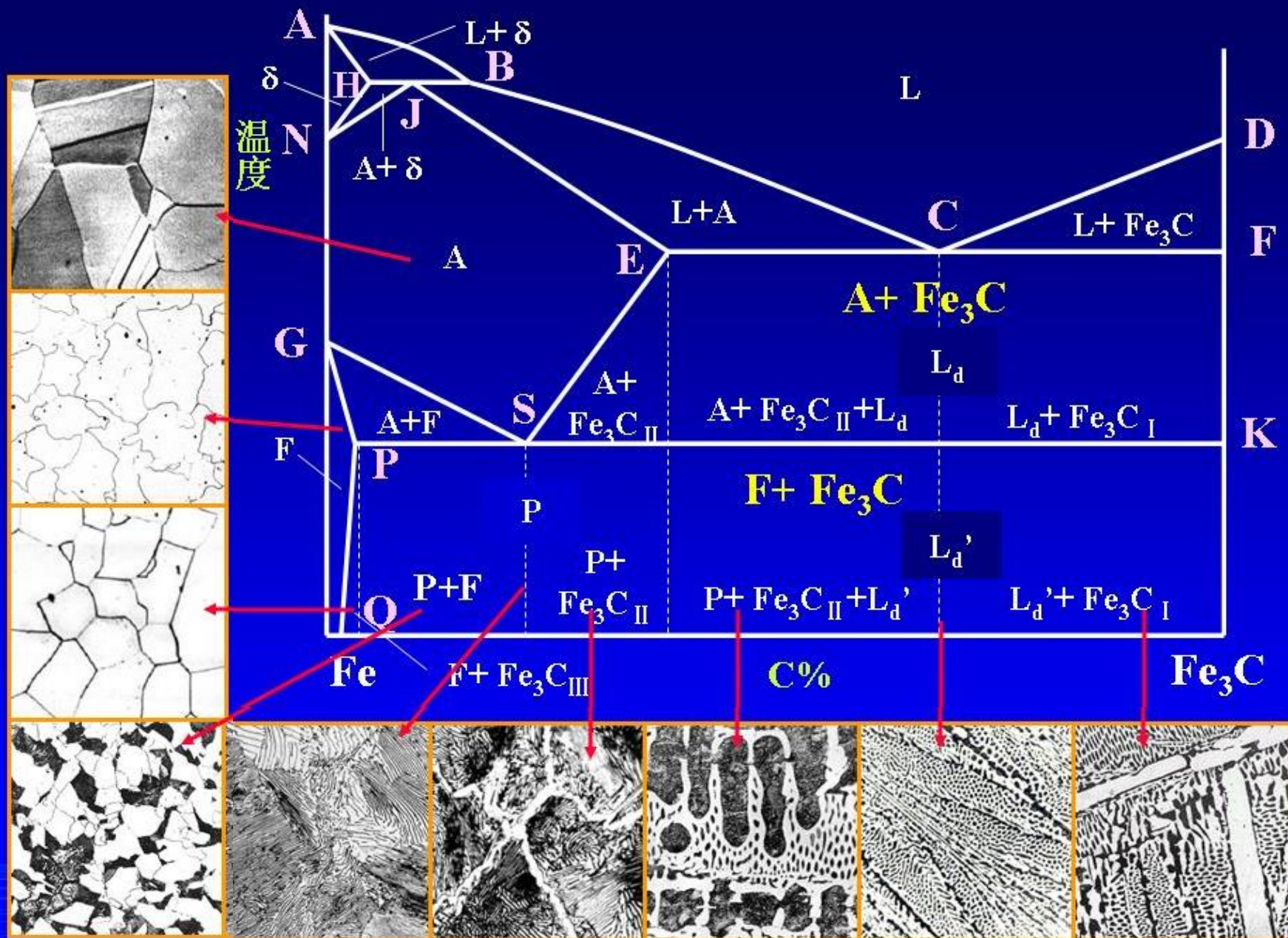
Ld



过共晶白口铸铁室温组织为 $\text{Fe}_3\text{C}_I + \text{L}_d'$ 。

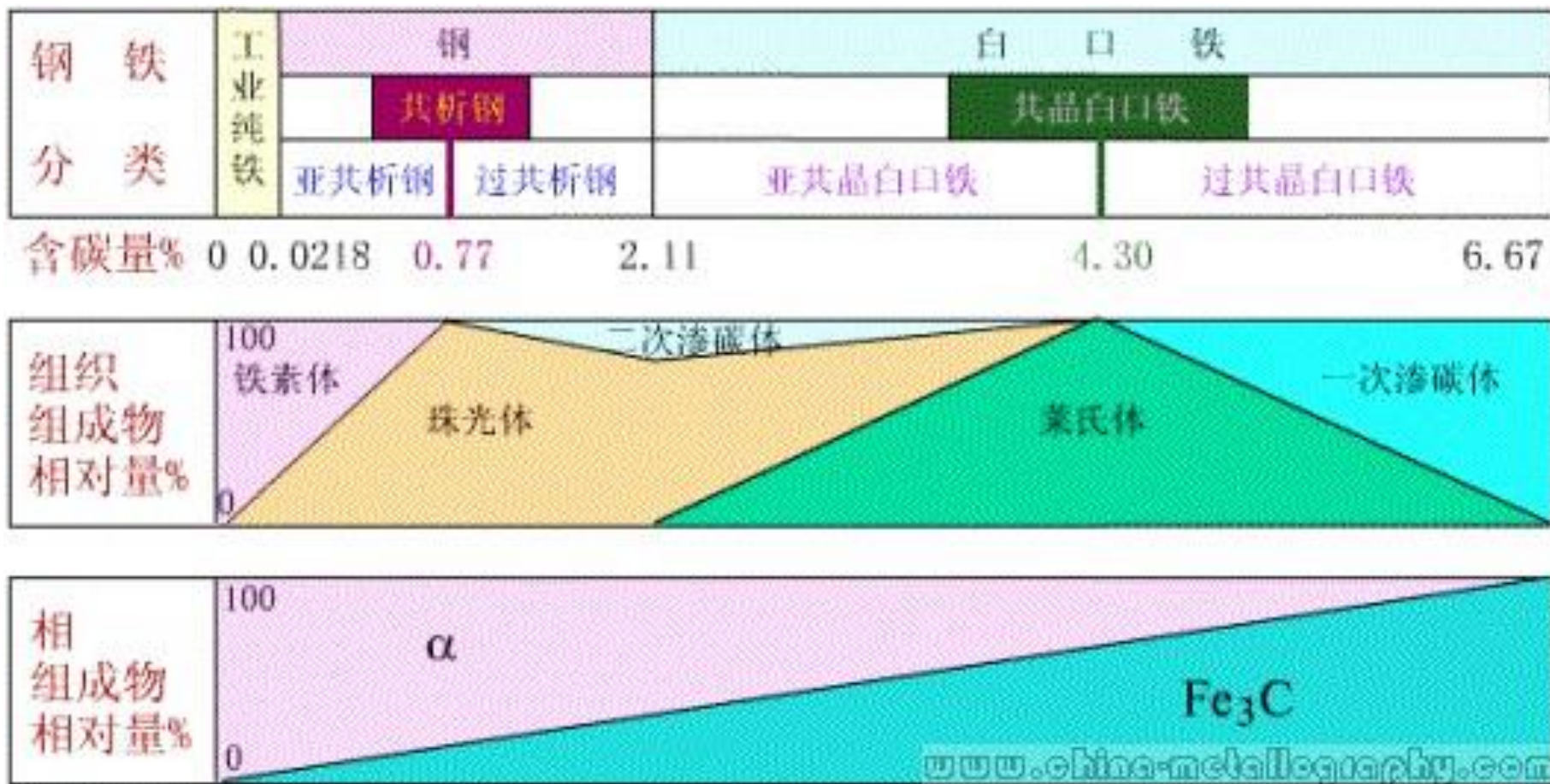
Fe_3C_I 呈长条状, L_d' 由黑色条状或粒状P和白色 Fe_3C 基体组成。





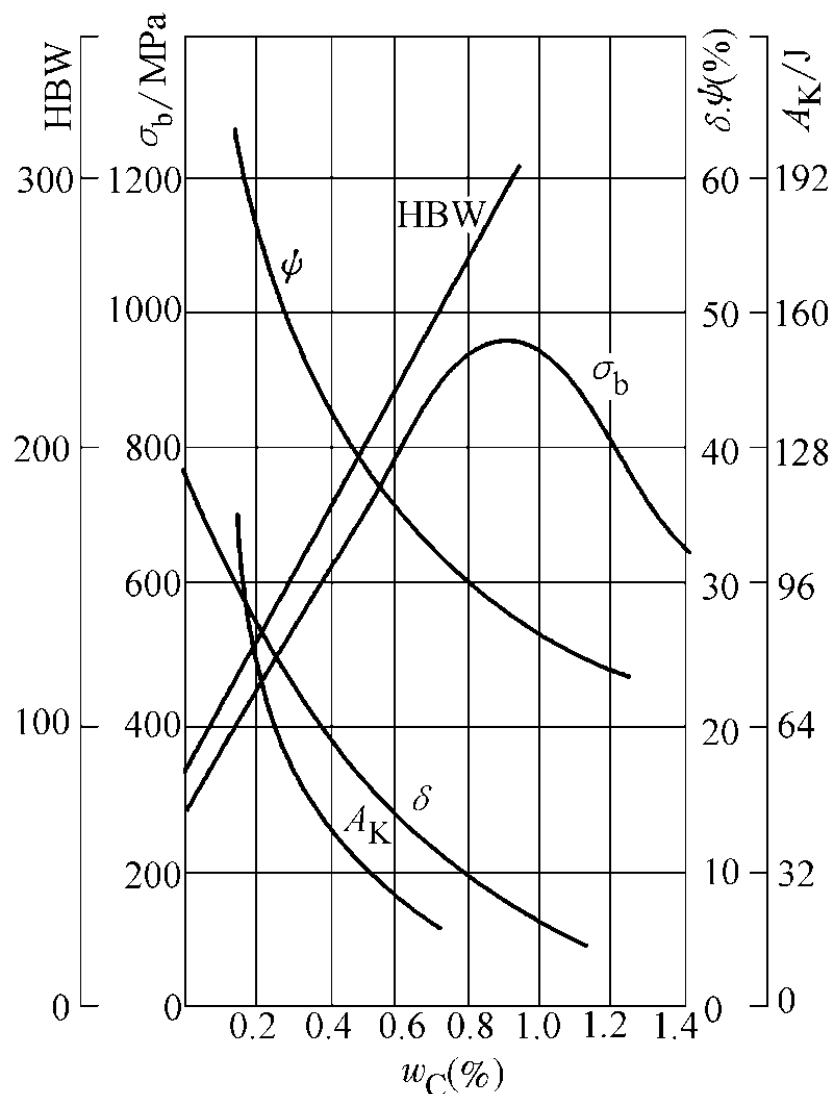
四 含碳量对铁碳合金平衡组织和性能的影响

一、含碳量与平衡组织间的关系



碳含量影响渗碳体数量及形貌 → 铁碳合金组织 → 性能

二、含碳量与力学性能间的关系



- ◆ 当钢中 $w_C < 0.9\%$ 时，随着钢中含碳量的增加，钢的强度、硬度呈直线上升，而塑性、韧性不断降低；
- ◆ 当钢中 $w_C > 0.9\%$ 时，因渗碳体网的存在，不仅使钢的塑性、韧性进一步降低，而且强度也明显下降。
- ◆ 当 $w_C > 2.11\%$ 的白口铸铁，由于组织中存在大量的渗碳体，使得性能脆，不易加工。

三、含碳量与工艺性能间的关系

（一）铸造性能

已知合金的铸造性能取决于相图中液相线与固相线的水平距离和垂直距离。距离越大，合金的铸造性能越差。（P49）

共晶成分铸铁铸造性能最好，远离则性能变差。

（二）可锻造性和焊接性

金属的可锻造性是指金属压力加工时，能改变形状而不产生裂纹的性能。钢加热到高温，可获得塑性良好的单相奥氏体组织，因此其锻造性良好。

金属的焊接性是以焊接接头的可靠性和出现焊缝裂纹倾向性为其技术判断指标。钢中含碳量越高，其焊接性越差，故焊接用钢主要是低碳钢和低碳合金钢。

（三）可加工性

金属的可加工性是指其经切削加工成工件的难易程度。一般认为钢的硬度在160~230HBW时，可加工性最好。

本章主要掌握内容

1、名词

铁素体、珠光体、渗碳体、奥氏体、莱氏体

2、铁碳相图的绘制、典型的温度点和成分点

3、7中典型铁碳合金：室温下或共晶、共析温度下的组织组成物、相组成物（杠杆定理计算）及连续冷却转变和结晶过程。（重点在钢部分）