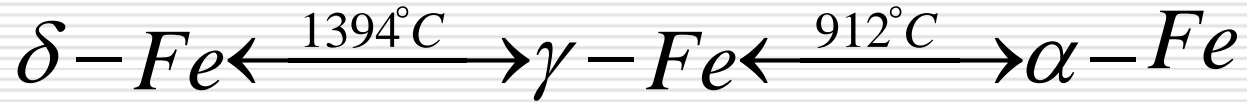


第五章 铁碳合金

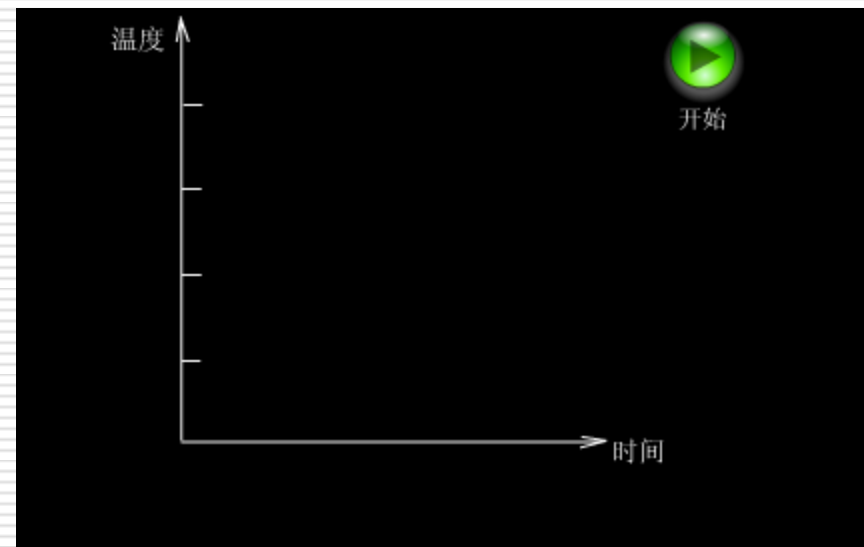
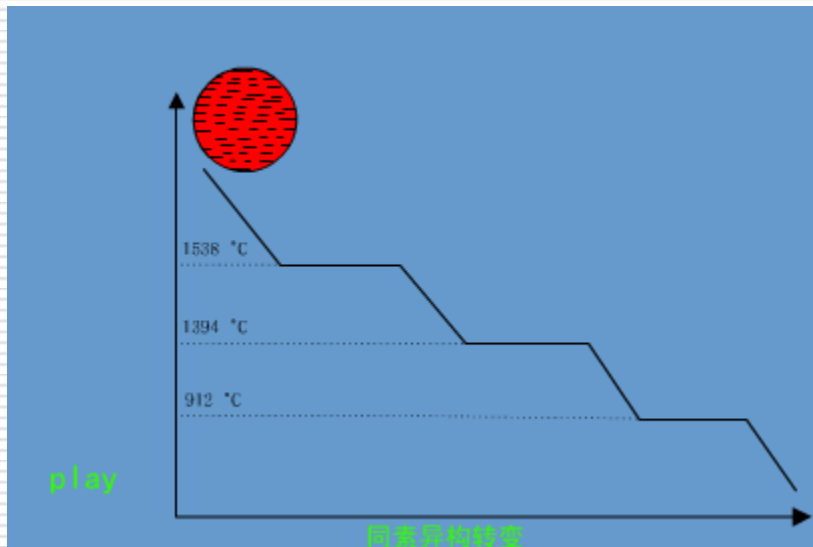
- ✧ 第一节 铁碳合金的组元及基本相
- ✧ 第二节 Fe—Fe₃C相图分析
- ✧ 第三节 铁碳合金的平衡结晶过程及组织
- ✧ 第四节 含碳量对铁碳合金平衡组织和性能的影响
- ✧ 第五节 碳钢

第一节 铁碳合金的基本组元及基本相

一、纯铁的同素异构转变



- 晶格类型 bcc fcc bcc
- 致密度 0.68 0.74 \rightarrow (胀大) 0.68
- 熔点: 1538°C
- 性能: $\sigma_b \downarrow$, $HB \downarrow$, $\psi \uparrow$, $a_k \uparrow$



第一节 铁碳合金的基本组元及基本相

二、基本相及基本组织

- 相是指合金中成分、结构及性能都相同的均匀组成部分，相与相之间由界面分开。

铁素体、奥氏体、渗碳体都是铁碳合金中的基本相。

- 组织是指用肉眼或借助各种不同放大倍数的显微镜所观察到的金属材料内部的情景，包括晶粒的大小、形状、相对数量和相对分布。

珠光体、莱氏体是铁碳合金中的基本组织。

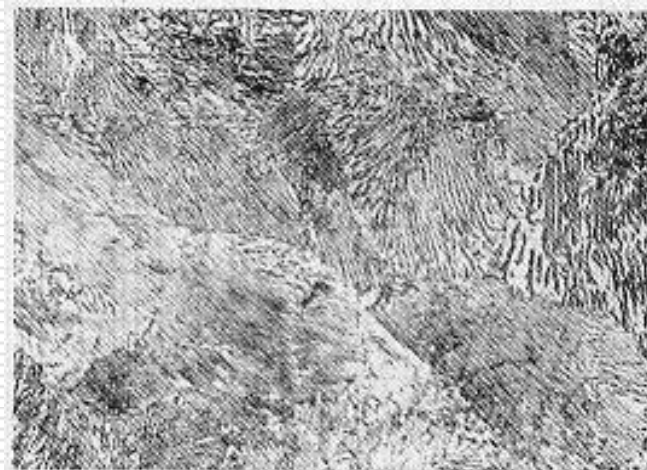
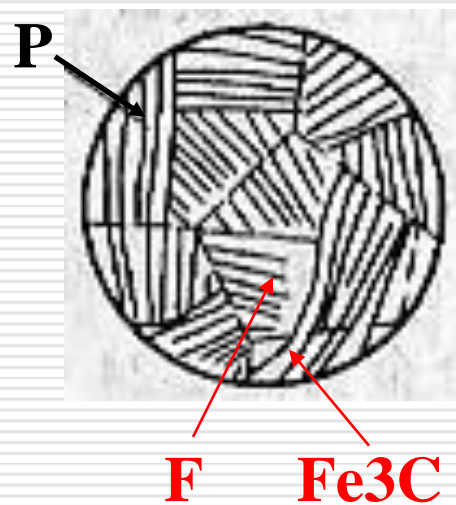


基本相及基本组织

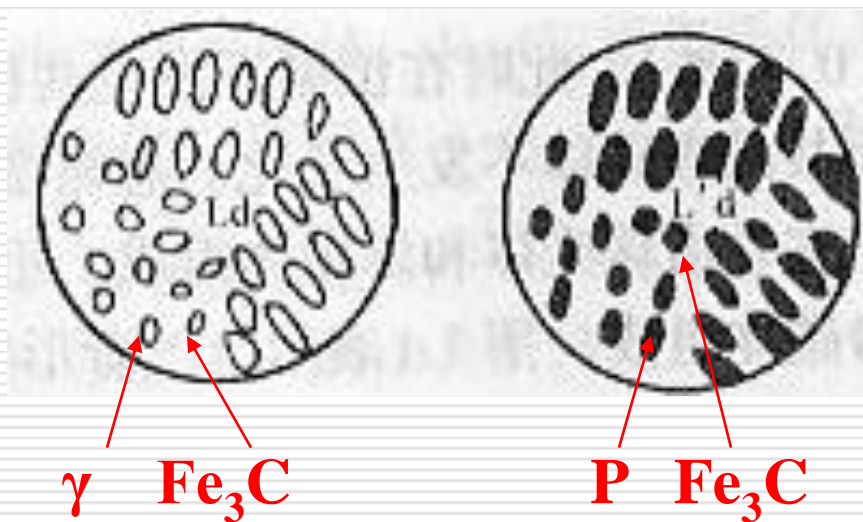
名称	符 号	定义	最大含碳量 %	力学 性 能			
				σ_b	HB	ψ	a_k
铁素体	α 或F	C在 α -Fe中的间隙固溶体	0.0218 (727°C)	↓	↓	↑	↑
奥氏体	γ 或A	C在 γ -Fe中的间隙固溶体	2.11 (1148°C)	↓	↓	↑	↑
渗碳体	Fe_3C 或 C_m	C与Fe的间隙化合物	6.69	↓	↑		
珠光体	P	α 与 Fe_3C 的机械混合物	0.77				
莱氏体	Ld	$\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ 的机械混合物	4.3				
	Ld'	$\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} + \text{Fe}_3\text{C}$ 的机械混合物		↓	↑		



基本相及基本组织



珠光体



莱氏体

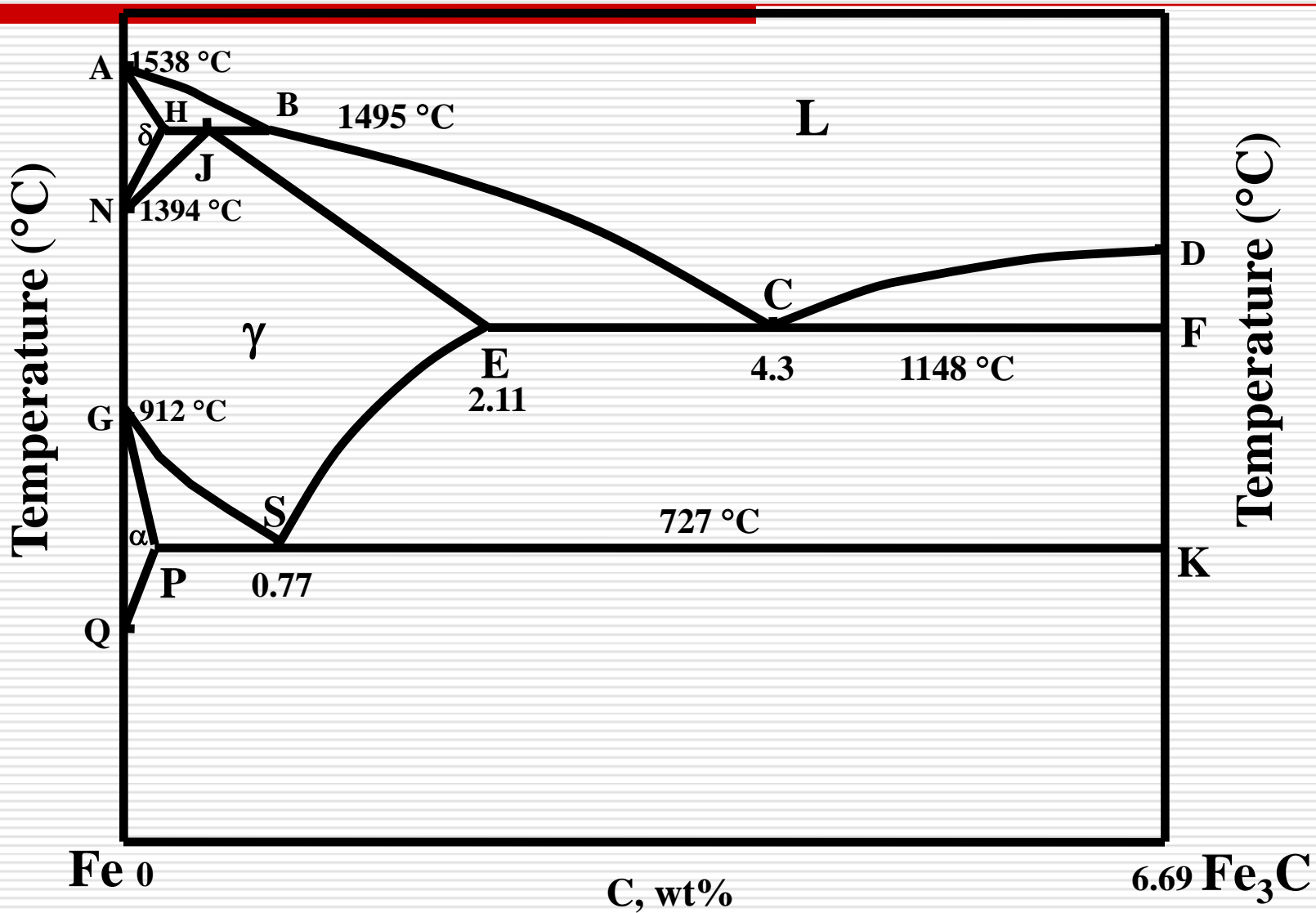


第二节 Fe-Fe₃C相图分析

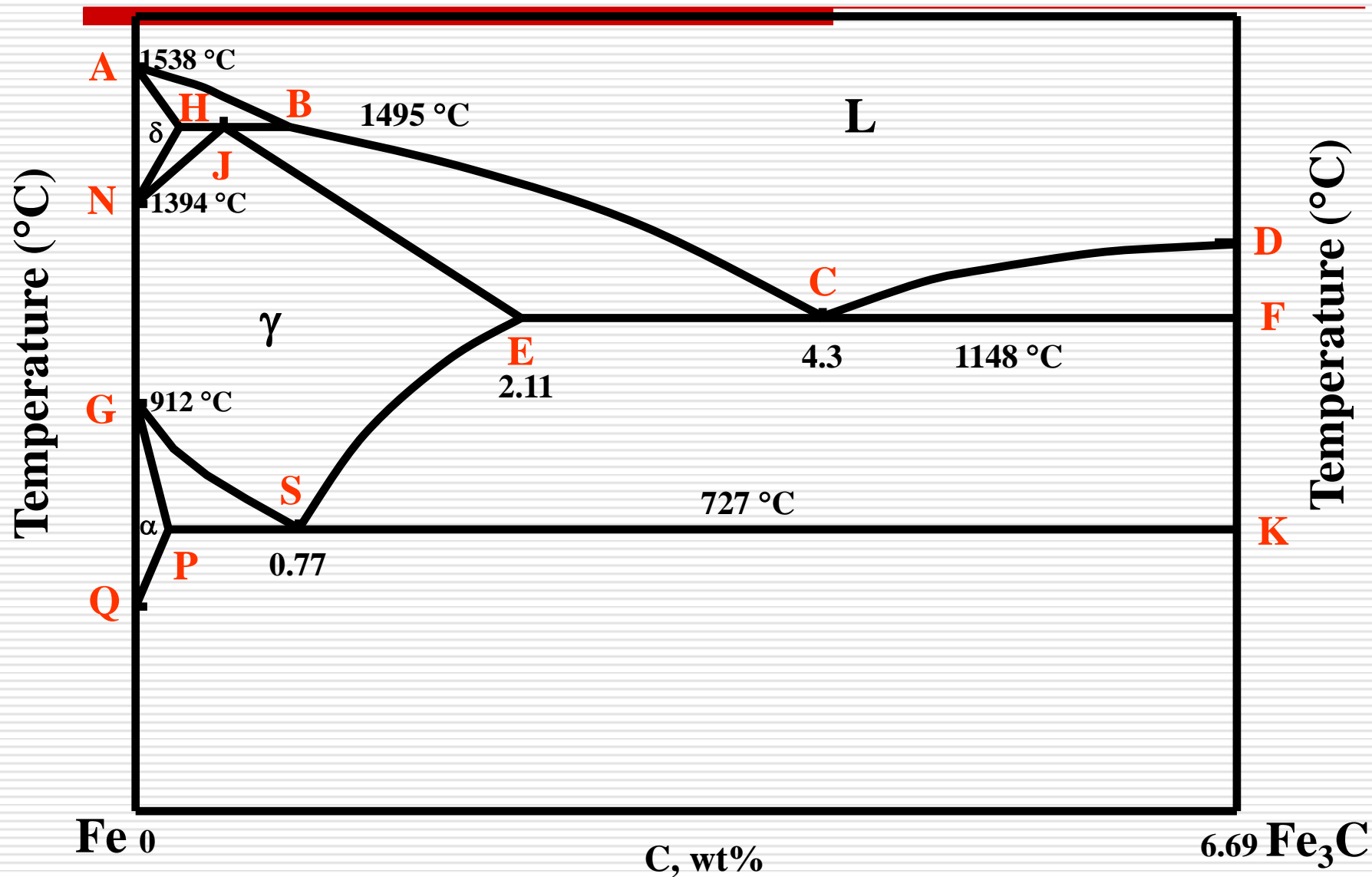
- ∴ 碳在铁中的含量超过溶解度后剩余的碳可以有两种形式存在，即以渗碳体Fe₃C和石墨碳的形式存在。
- ∴ 铁碳合金有两种相图，即Fe-C和Fe-Fe₃C相图。
在通常情况下，铁碳合金是按Fe-Fe₃C系进行转变的。

一、相图分析 点、线、区分析

绘制相图



相图分析：点



相图分析: X

单相区5个:

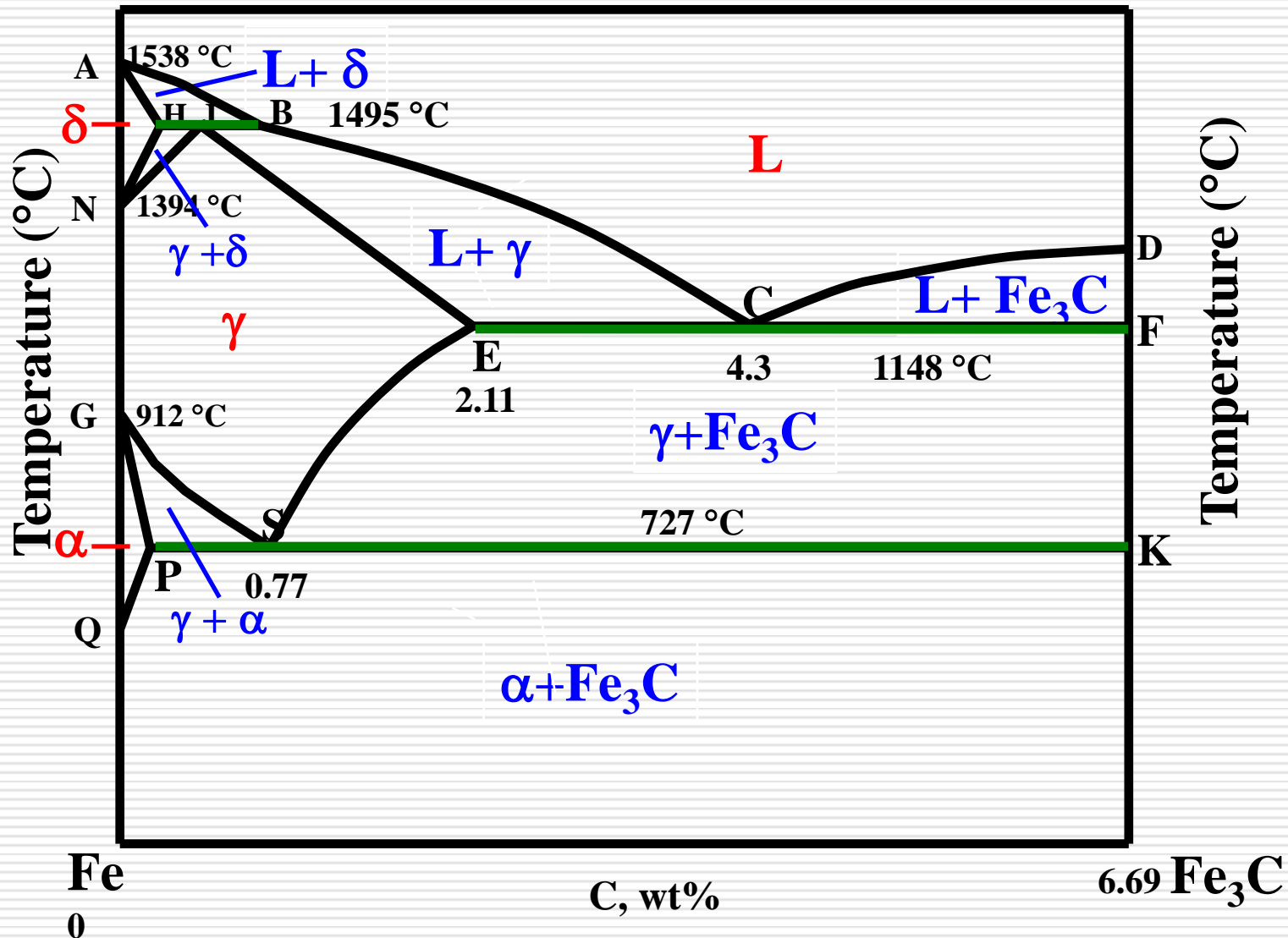
δ 、 γ 、
 α 、 L 、
 Fe_3C

两相区7个:

$L+\delta$ 、
 $L+\gamma$ 、
 $L+\text{Fe}_3\text{C}$ 、
 $\gamma+\delta$ 、
 $\gamma+\alpha$ 、
 $\gamma+\text{Fe}_3\text{C}$ 、
 $\alpha+\text{Fe}_3\text{C}$

三相区3个:

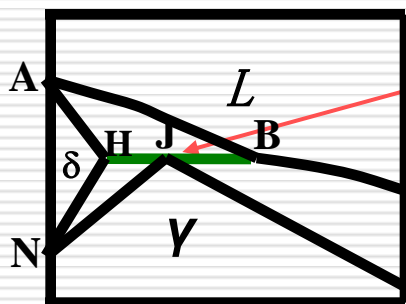
三条水平线



相图分析：线

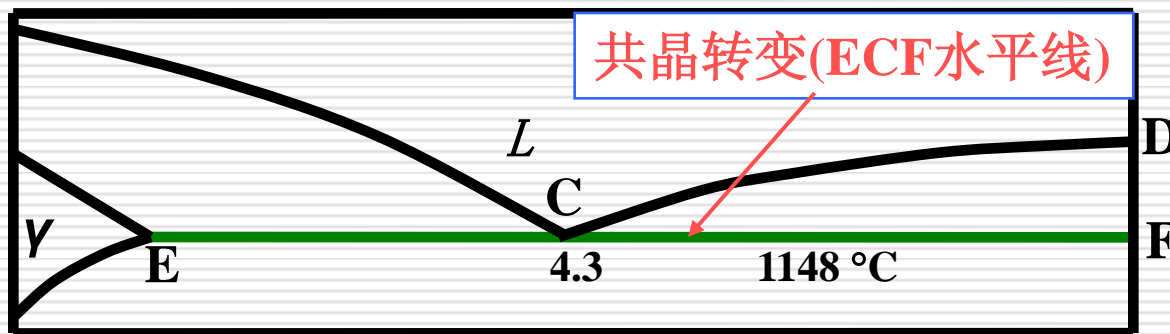
1、水平线（3条）

HJB--包晶转变线: $L_B + \delta_H \xrightarrow{1495^\circ\text{C}} \gamma_J$



包晶转变(HJB水平线)

ECF--共晶转变线: $L_C \xrightarrow{1148^\circ\text{C}} (\gamma_E + Fe_3C)$



共晶转变(ECF水平线)

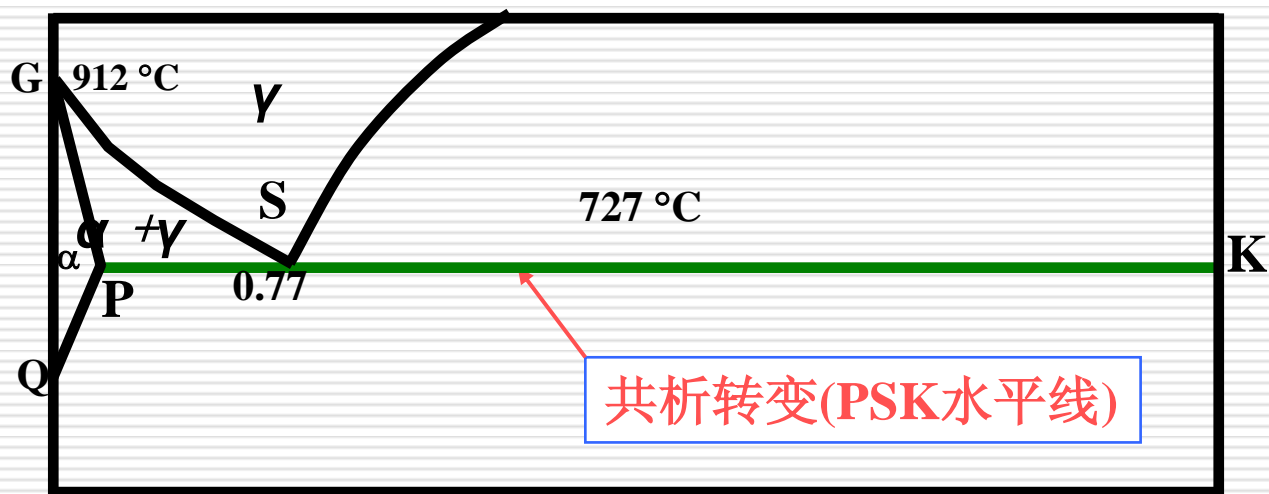
莱氏体



相图分析：线

PSK—共析转变线： $\gamma_S \xleftrightarrow{727^\circ\text{C}} (\alpha_P + Fe_3C)$

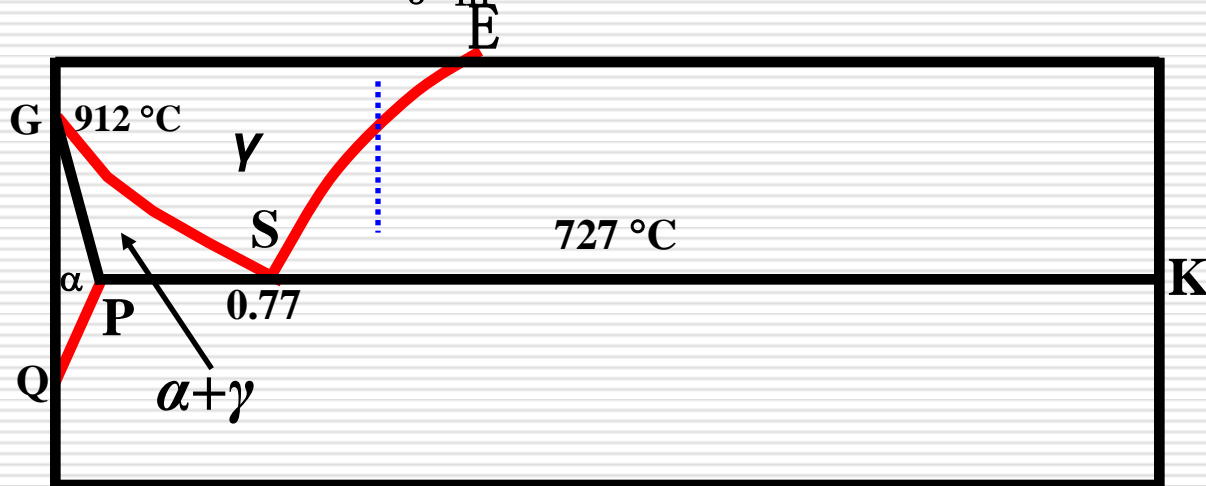
珠光体



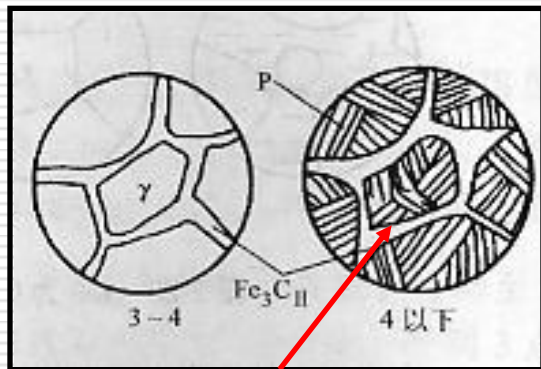
相图分析：线

2、特征曲线（3条斜线）

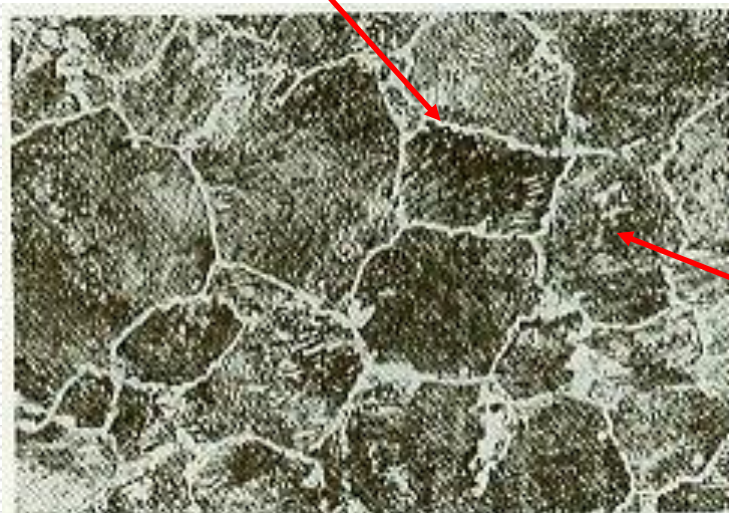
- **GS线（又称A3线）**：冷却时，从 γ 析出 α 的开始线或加热时， α 溶入 γ 中的终了线。
- **ES线（又称Acm线）**：C在 γ 中的溶解度曲线。冷却时，从 γ 析出 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 的开始线或加热时， $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 溶入 γ 中的终了线。
- **PQ线**：C在 α 中的溶解度曲线。冷却时，从 α 析出 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ 的开始线或加热时， $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ 溶入 α 中的终了线。



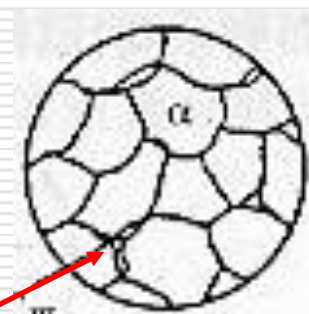
第二节 Fe-Fe₃C相图分析



二次渗碳体

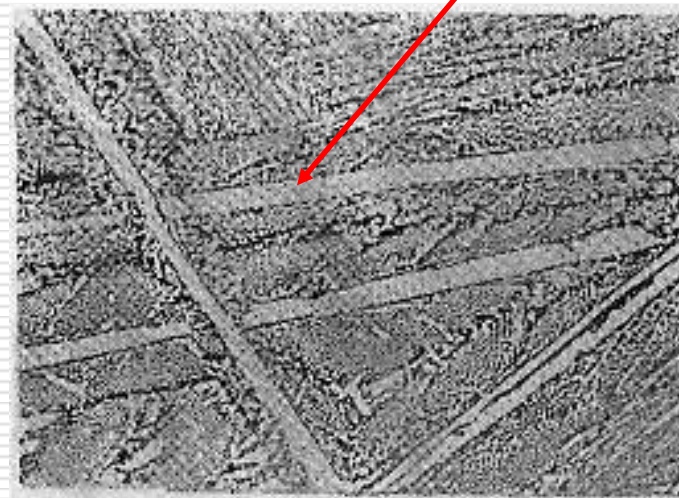


珠光体



三次渗碳体

一次渗碳体



第二节 Fe-Fe₃C相图分析

二、相图组织组成物标注

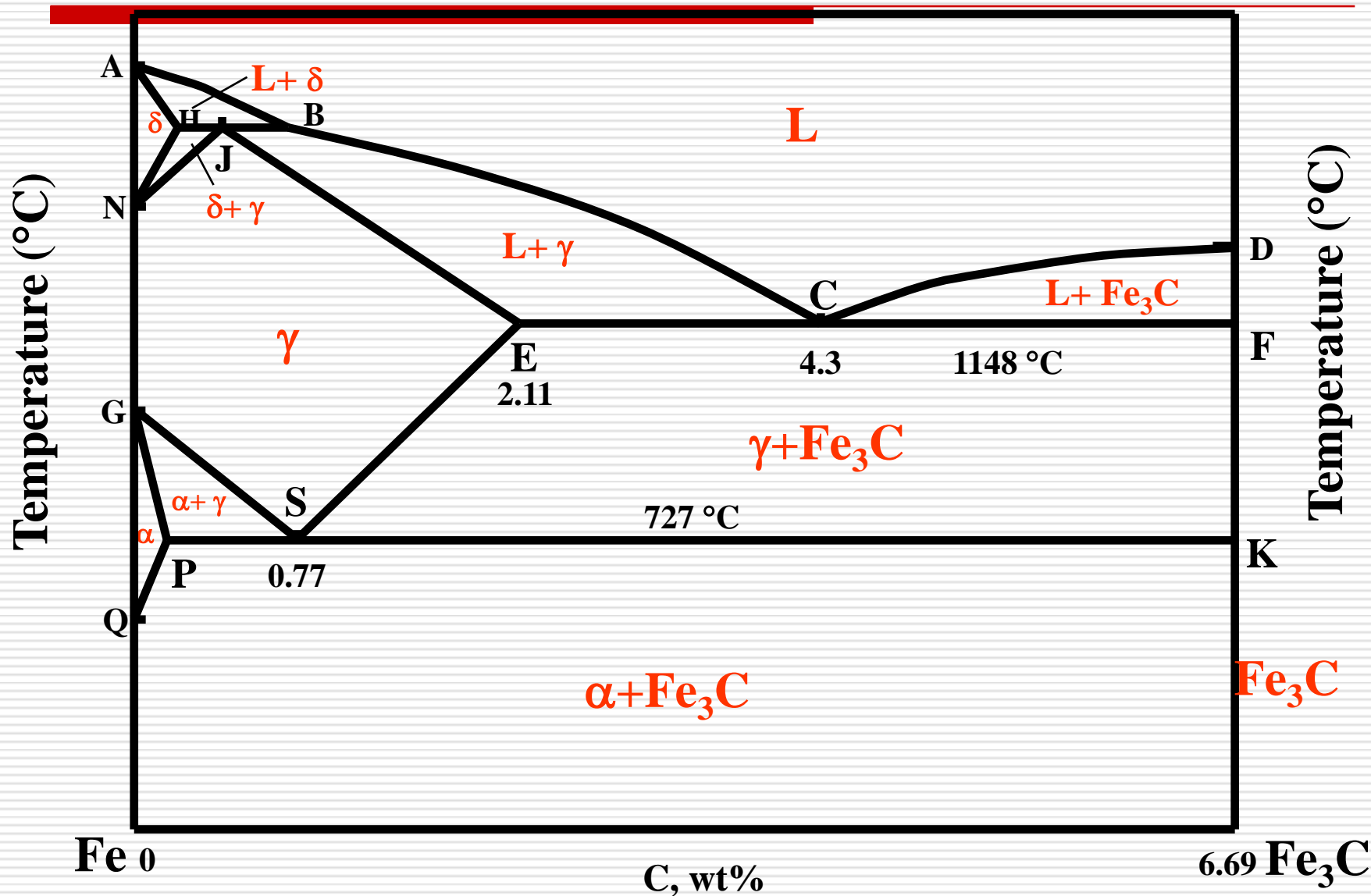
1、用相组成物标注

室温时均由 **F+Fe₃C** 两相组成

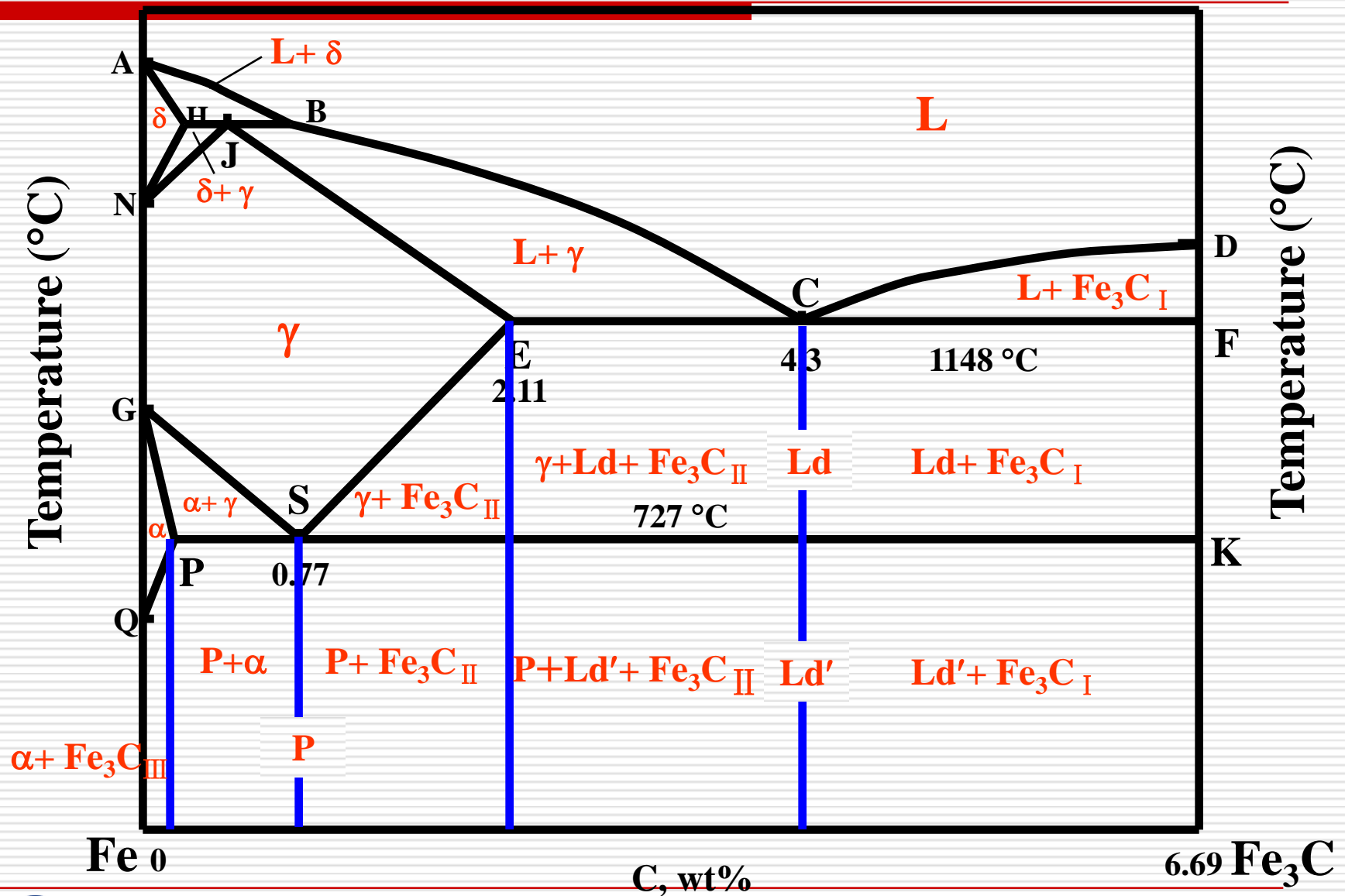
2、用组织组成物标注



用相组成物标注



用组织组成物标注



第三节 铁碳合金的平衡结晶过程及组织

一、铁碳合金的分类

名称		含碳量 (W_C%)
工业纯铁 (P 以左)		< 0.0218
钢 P(0.02C%)~ E(2.11C%)	亚共析钢 (PS 之间)	0.0218~ 0.77
	共析钢 (S)	0.77
	过共析钢 (PS 之间)	0.77~2.11
白口铁 E(2.11C%)~ K(6.69C%)	亚共晶白口铁 (EC 之间)	2.11~4.3
	共晶白口铁 (C)	4.3
	过共晶白口铁 (CK 之间)	4.3 ~ 6.69



第三节 铁碳合金的平衡结晶过程及组织

二、典型合金的平衡结晶过程分析

(1) 工业纯铁

$L \rightarrow L + \delta \rightarrow \delta + \gamma \rightarrow \gamma \rightarrow \gamma + \alpha \rightarrow \alpha$
 $\rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$

(2) 亚共析钢

$L \rightarrow L + \gamma \rightarrow \gamma \rightarrow \gamma + \alpha \rightarrow \alpha + P$
 $(\alpha + \text{Fe}_3\text{C})$

(3) 共析钢

$L \rightarrow L + \gamma \rightarrow \gamma \rightarrow P (\alpha + \text{Fe}_3\text{C})$

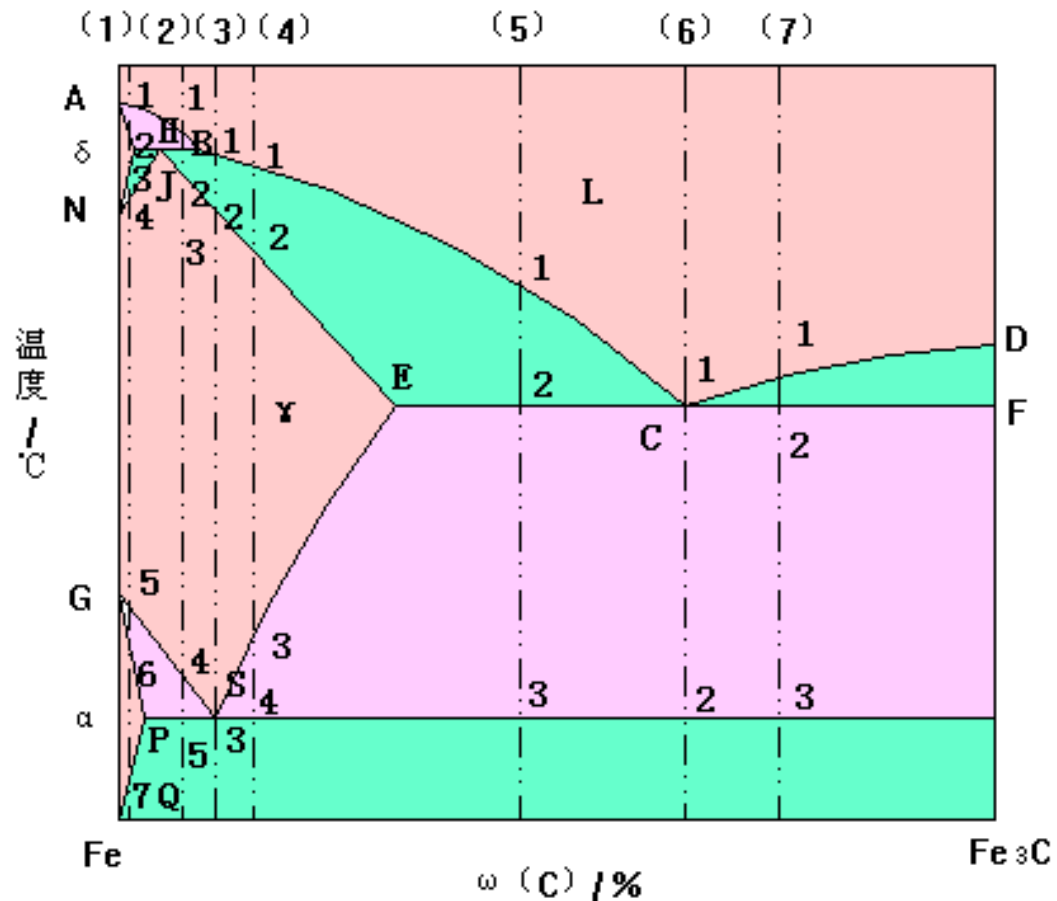
(4) 过共析钢

$L \rightarrow L + \gamma \rightarrow \gamma \rightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \rightarrow P + \text{Fe}_3\text{C} (\alpha + \text{Fe}_3\text{C})$

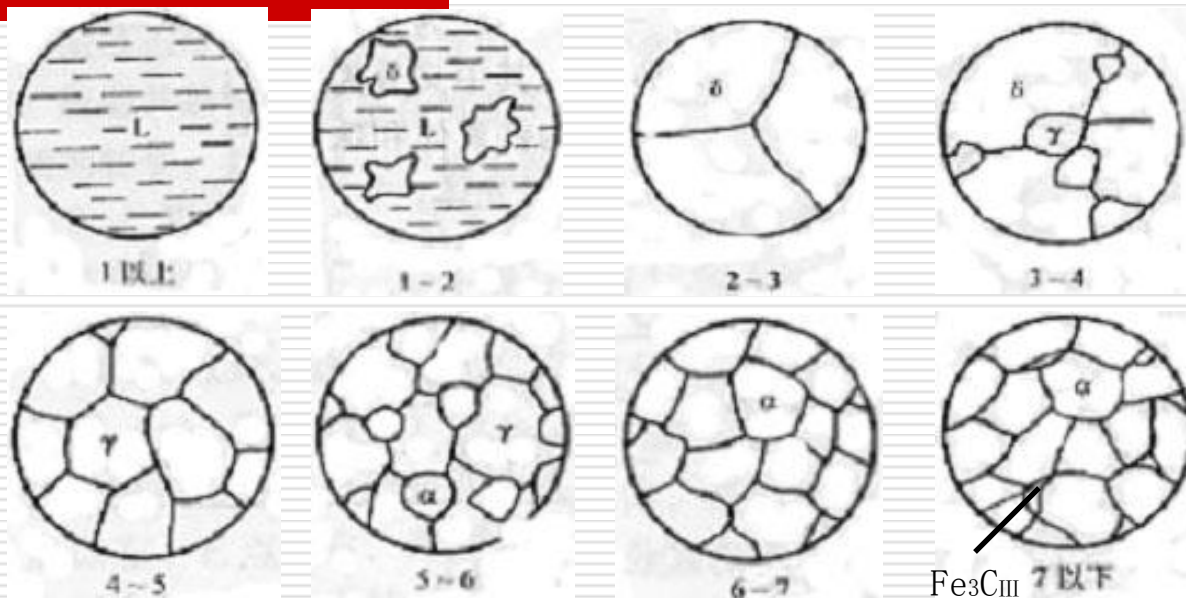
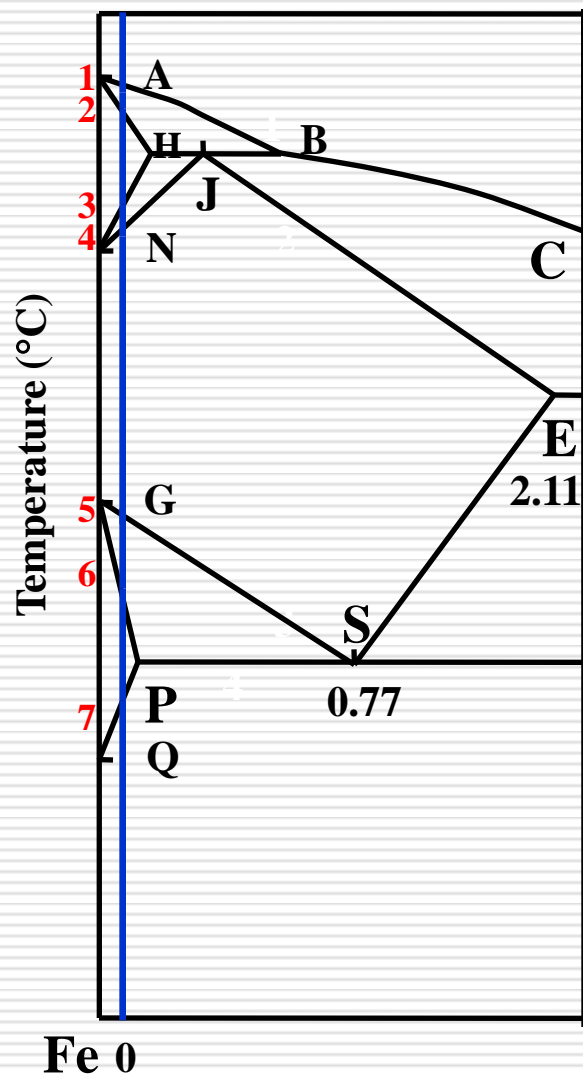
(5) 亚共晶白口铁

(6) 共晶白口铁

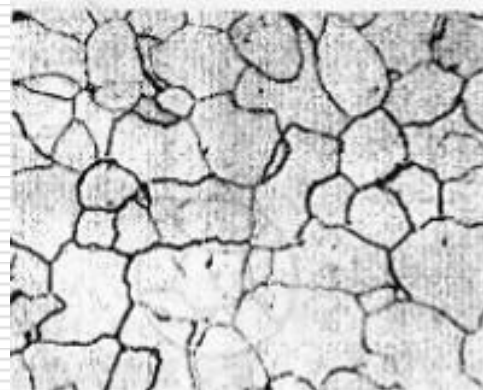
(7) 过共晶白口铁



工业纯铁的结晶过程



W_p 为0.01%的工业纯铁结晶过程示意图

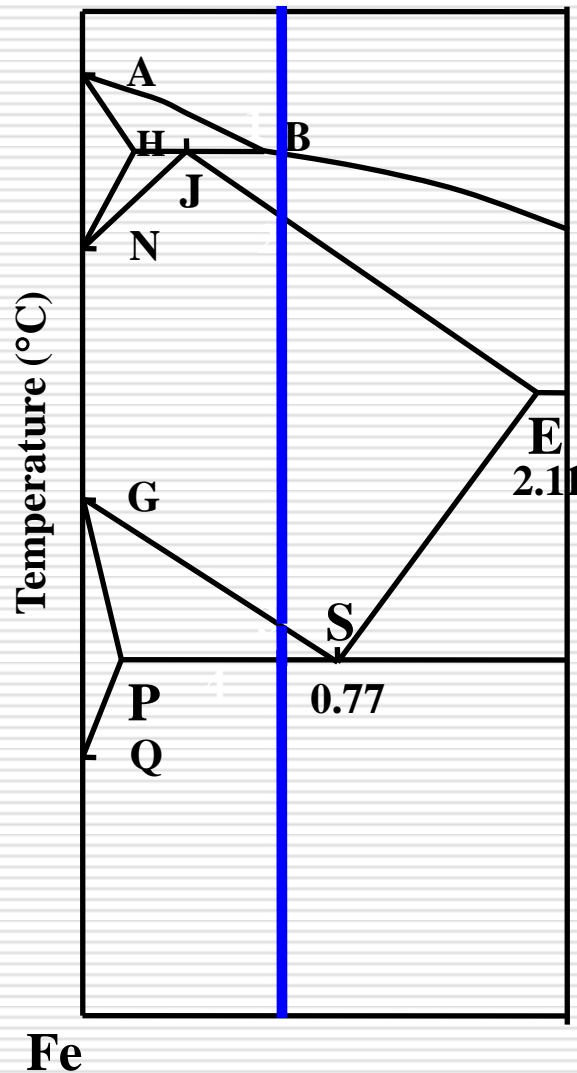


F+少量 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$

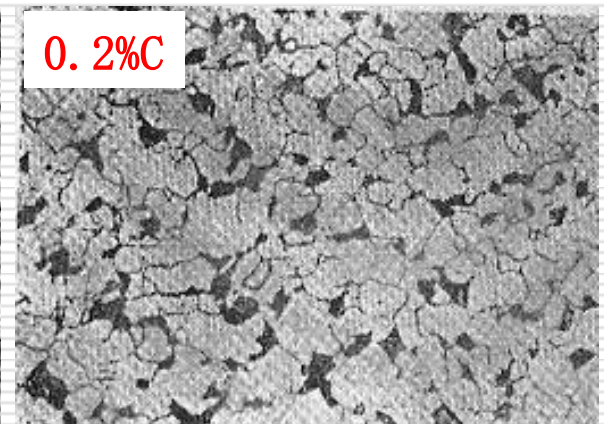
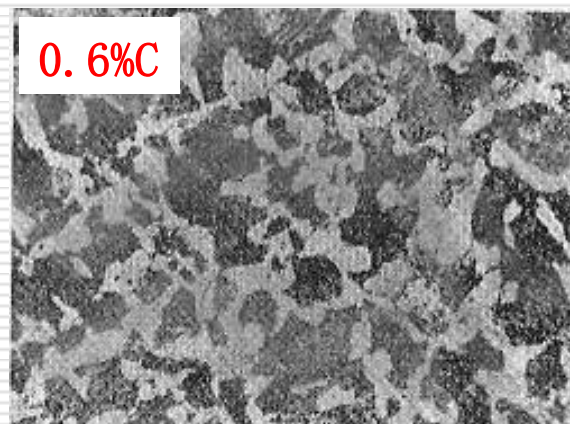
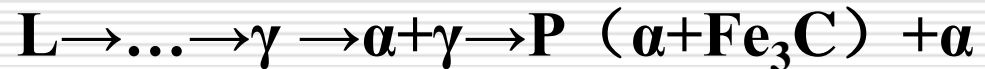
工业纯铁室温平衡状态显微组织 (500×)



亚共析钢的结晶过程



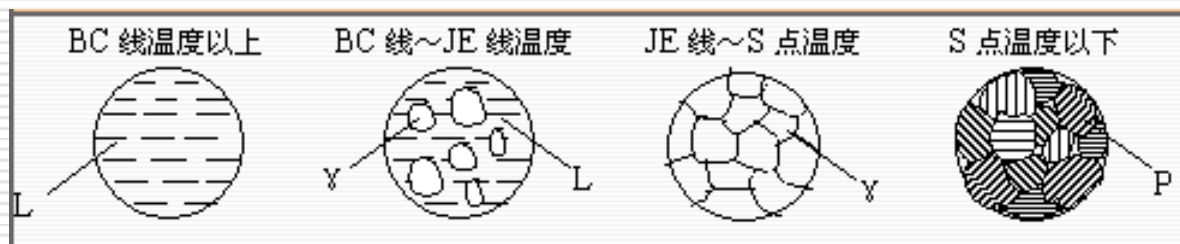
亚共析钢结晶过程示意图



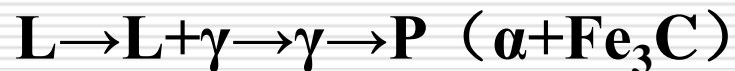
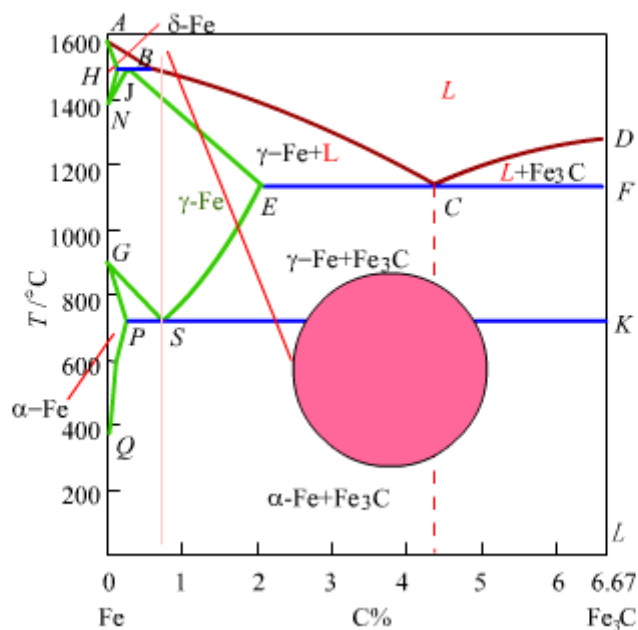
亚共析钢的室温平衡组织 (α + P)



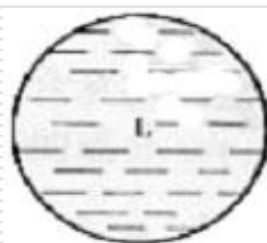
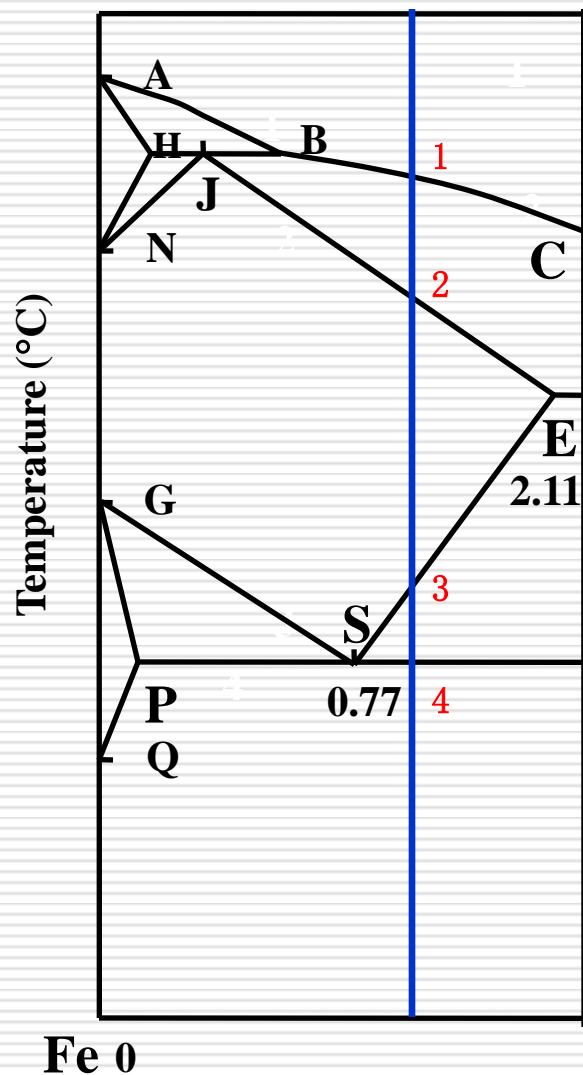
共析钢的结晶过程



共析钢结晶过程示意图



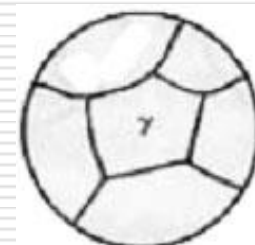
过共析钢的结晶过程



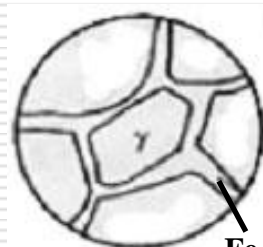
1以上



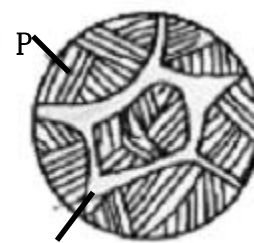
1-2



2-3

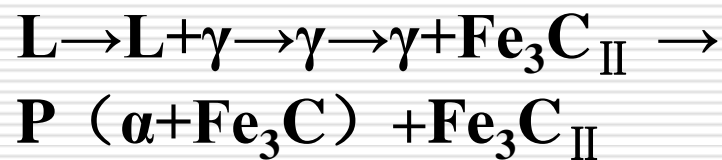


3-4



4以下

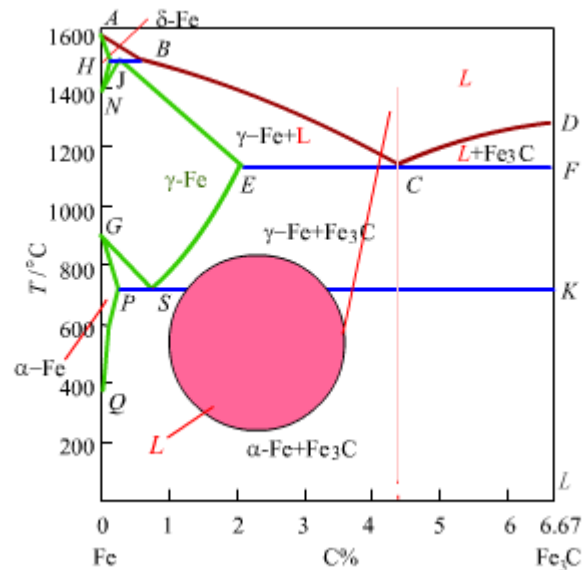
过共析钢结晶过程示意图



共晶白口铁的结晶过程



共晶白口铁结晶过程示意图



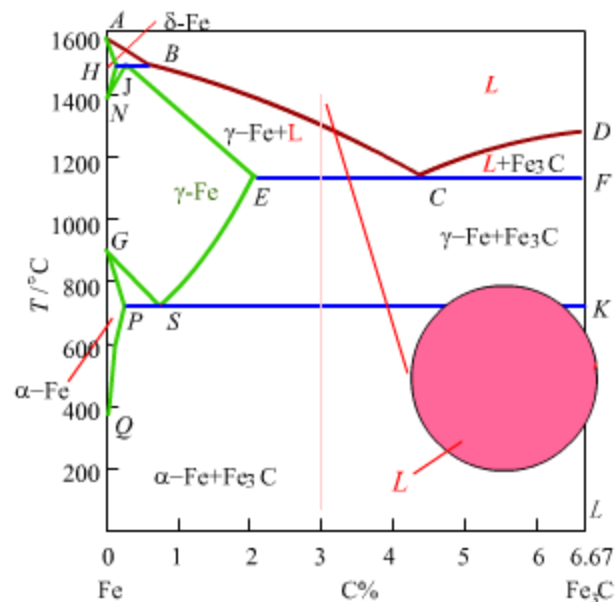
共晶白口铁结晶过程



亚共晶白口铁的结晶过程



亚共晶白口铁结晶过程示意图



亚共晶白口铁结晶过程



杠杆定律的应用

1. 典型合金室温下的组织组成物和相组成物的计算

(1) 0.4%C钢

● 组织组成物($\alpha + P$)

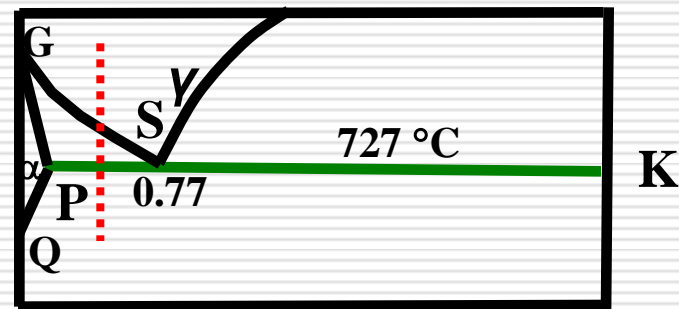
$$W_d = \frac{S - 0.4}{PS} = \frac{0.77 - 0.4}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 49.5\%$$

$$W_p = 1 - 49.5\% = 50.5\%$$

● 相组成物 ($\alpha + Fe_3C$)

$$W_d = \frac{k - 0.4}{Pk} = \frac{6.69 - 0.4}{6.69 - 0.0218} \times 100\% = 94.3\%$$

$$W_{Fe_3C} = 1 - 94.3\% = 5.7\%$$



杠杆定律的应用

(2) 1.0%C钢:

● 组织组成物($P + Fe_3C_{II}$)

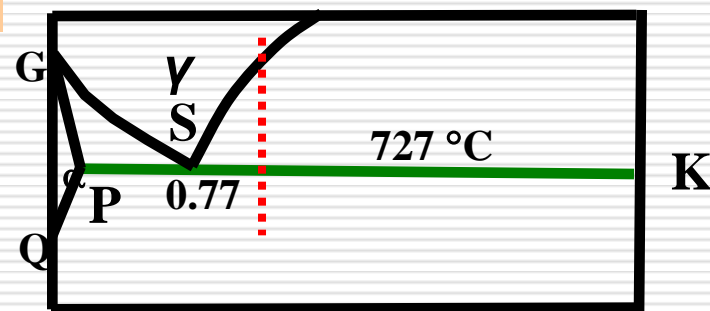
$$W_P = \frac{K - 1}{KS} = \frac{6.69 - 1}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 96.1\%$$

$$W_{Fe_3C_{II}} = 1 - 96.1\% = 3.9\%$$

● 相组成物($\alpha + Fe_3C$)

$$W_\delta = \frac{k - 0.4}{Pk} = \frac{6.69 - 1.0}{6.69 - 0.0218} \times 100\% = 85.3\%$$

$$W_{Fe_3C} = 1 - 85.3\% = 14.7\%$$



杠杆定律的应用

2. 几种 Fe_3C 量的计算

(1)

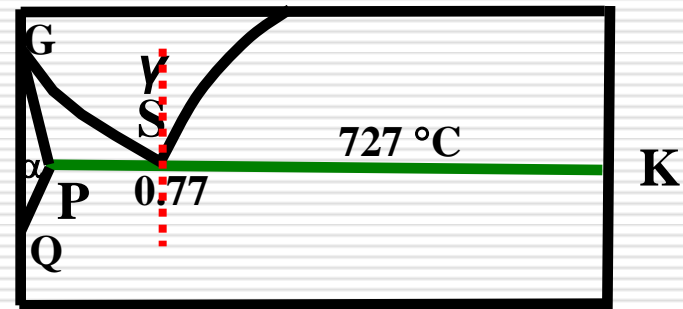
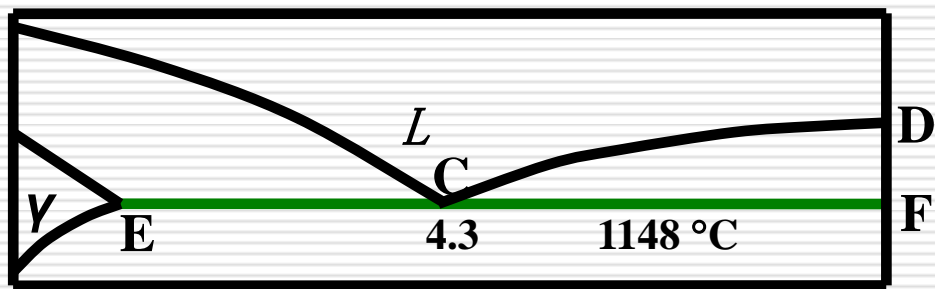
$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{共析}} = \frac{PS}{PK} = \frac{0.77 - 0.0218}{6.69 - 0.0218} \times 100\% = 11.22\%$$

($W_{\alpha} = 1 - 11.22\% = 88.78\%$)

(2)

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}} = \frac{EC}{EF} = \frac{4.3 - 2.11}{6.69 - 2.11} \times 100\% = 47.8\%$$

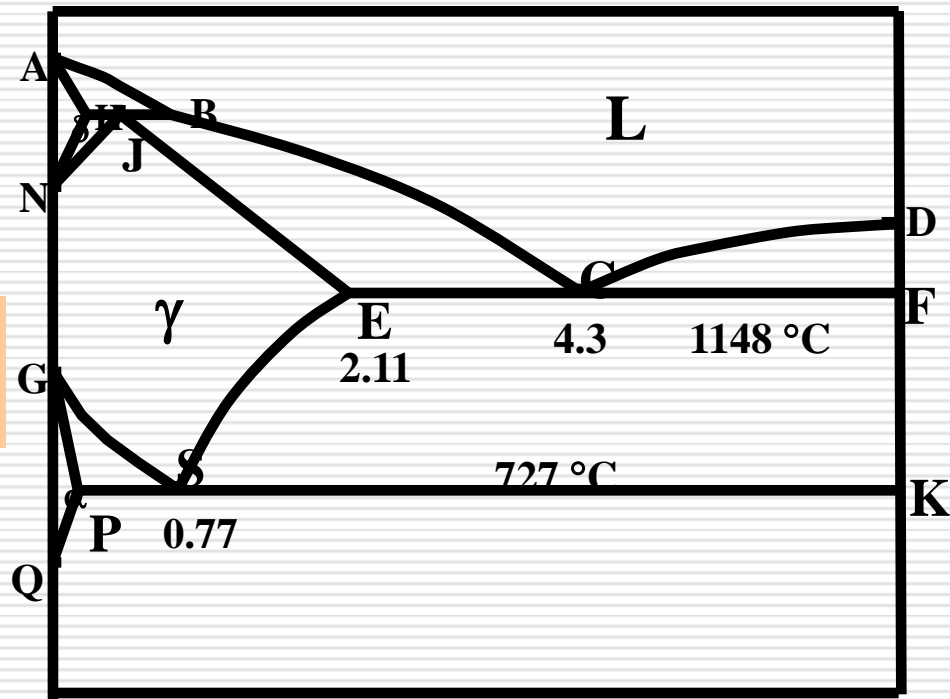
($W_{\gamma_E} = 1 - 47.8\% = 52.2\%$)



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\Pi\text{max}} = \frac{SE}{SK} = \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 22.6\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}\text{max} = \frac{0.0218}{6.69} \times 100\% = 0.33\%$$



第四节 含碳量对铁碳合金组织和性能的影响

一、含碳量对平衡组织的影响

随着含碳量的增加，铁碳合金的组织发生如下变化：



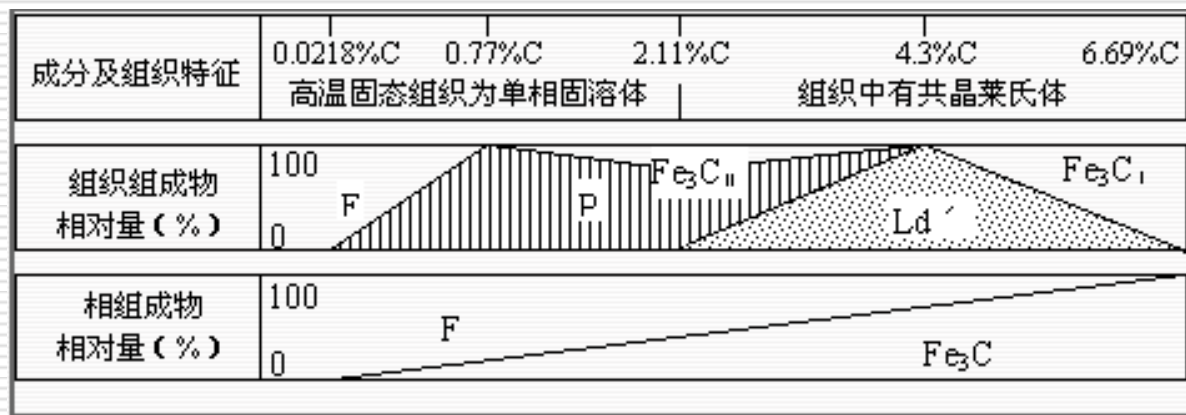
(工业纯铁) (亚共析钢) (共析钢) (过共析钢)



(亚共晶白口铁) (共晶白口铁) (过共晶白口铁)



含碳量对平衡组织的影响



铁碳合金的含碳量与组织的关系

● $C\% \uparrow$, $Fe_3C\% \uparrow$

● Fe_3C 的分布及形态: 随 $C\% \uparrow$

Fe_3C_{III} (α 晶界上) \rightarrow P (α 基体上) $\rightarrow Fe_3C_{II}$ 网状 (原 γ 晶界上) $\rightarrow Ld'$ (基体) $\rightarrow Fe_3C_I$ (长条状)

第四节 含碳量对铁碳合金组织和性能的影响

二、含碳量对力学性能的影响

1. 钢

$C\% \uparrow, Fe_3C\% \uparrow, \sigma_b \uparrow^*,$

$HB \uparrow, \psi \downarrow, a_k \downarrow。$

* σ_b 出现极大值, 原因:

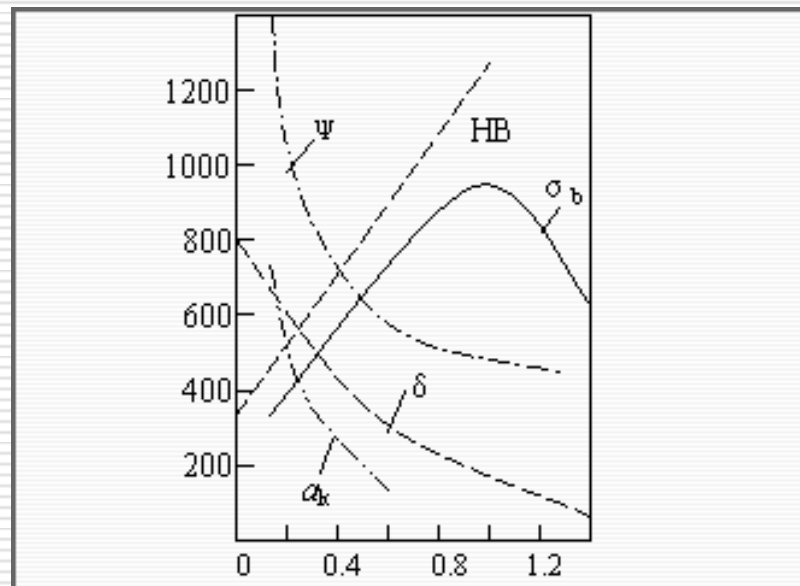
$\because C\% \uparrow, P \uparrow, \sigma_b \uparrow$; 但 Fe_3C_{II} 呈网状, 连成网后, 脆断, $\sigma_b \downarrow。$

\therefore 钢的含碳量一般 $< 1.3\%。$

2. 白口铁

$Fe_3C\% \uparrow$, 作基体, $HB \uparrow,$

$\psi \downarrow, a_k \downarrow$, 脆, 应用不广泛。



含碳量对钢性能的影响



第四节 含碳量对铁碳合金组织和性能的影响

三、含碳量对工艺性能的影响

1. 切削加工性

硬度一般在**HB170~250**时较好。

含碳量：低碳钢： α \uparrow ，易粘刀；

高碳钢： Fe_3C \uparrow ，**HB** \uparrow ；

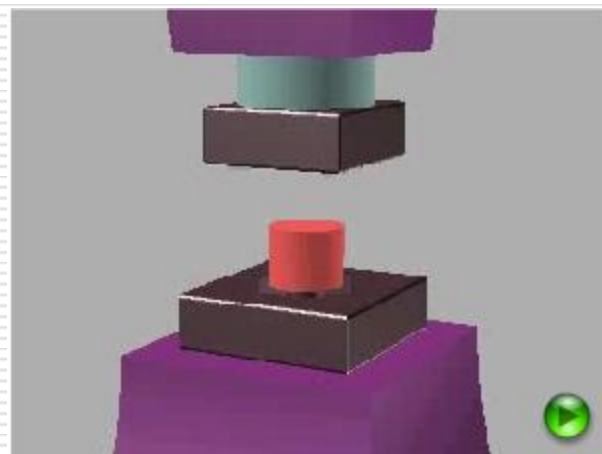
中碳钢： α 与 Fe_3C 比例适当，切削加工性较好；

导热性： γ 导热性 \downarrow （刀具易发热），加工硬化率 \uparrow ，

切削加工性 \downarrow 。

2. 可锻性：**C%** \downarrow ， γ 状态下，可锻性 \uparrow ；白口铁不可锻。

3. 铸造性：视其相图形状。



铁碳相图的应用

- 1. 为选材提供成分依据；**
- 2. 为制订热加工工艺提供依据；**
- 3. 使用时的局限性：**
 - (1) 不说明非平衡组织及变化；**
 - (2) 不反映相变机理及动力学—即不反映相变的阶段和时间；**
 - (3) 只表示极纯的铁碳合金，不反映合金钢的情况。**

第五节 碳钢

一、常存杂质及其影响

Mn、Si、S、P

Mn和**Si**：作为脱氧剂而加入，都溶于铁素体，有固溶强化作用。

Mn还能降低**S**的有害（热脆）作用。

合理含量范围是有益元素。

S： **$S+Fe \rightarrow FeS$** , **FeS-Fe**形成共晶体，熔点：**988°C**, 锻造时晶界熔化—热脆！

有**Mn**时，**Mn**优先与**S**→**MnS**，熔点：**1620°C**。

P：溶于铁素体，固溶强化↑↑，韧性↓↓，尤以低温时为甚—冷脆！



第五节 碳钢

二、碳钢的分类

碳钢的分类方法很多，比较常用的有以下三种：

1.按含碳量分：

- 低碳钢： $C\% < 0.25\%$ ；
- 中碳钢： $C\% = 0.25 \sim 0.60\%$ ；
- 高碳钢： $C\% > 0.60\%$ 。

2.按质量（S、P的含量）分：

- 普通碳素钢： $W_S \leq 0.035\%$, $W_P \leq 0.035\%$ ；
- 优质碳素钢： $W_S \leq 0.030\%$, $W_P \leq 0.030\%$ ；
- 高级优质碳素钢： $W_S \leq 0.020\%$, $W_P \leq 0.030\%$ 。



第五节 碳钢

3.按用途分:

- **碳素结构钢**: 制造工程构件（如桥梁、船舶、建筑构件等）及机器零件（如齿轮、轴、连杆、螺钉等）；
- **碳素工具钢**: 制造各种刀具、量具、模具等，一般为高碳钢，在质量上都是优质钢或高级优质钢。



第五节 碳钢

(1) 普通碳素结构钢

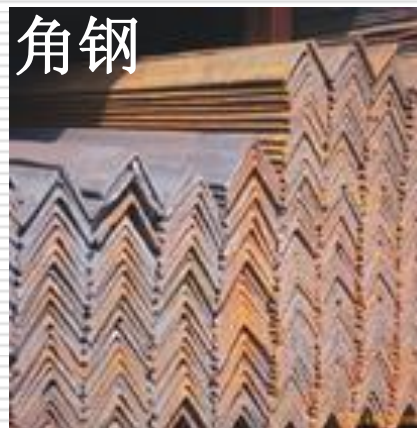
牌号：屈服点“屈”字的汉语拼音字首“**Q**”、屈服点数值、质量等级符号、脱氧方法等组成。

例： **Q235-A·F**

A、B、C、D-质量等级；**F**-沸腾钢；**b**-半镇静钢；**z**-镇静钢；**Tz**-特殊镇静钢。（**z**和**Tz**可省略）

特点及作用：

- 焊接性能好
- 热轧供应状态下使用
- 主要用于桥梁、建筑等工程构件和要求不高的机器零件



第五节 碳钢

(2) 优质碳素结构钢

牌号：用两位数字表示平均含碳量的万分之几。

例：45钢为0.45% C

含Mn量较高（0.7-1.0%）时，须将“Mn”标出

如：**50Mn**。

特点及作用：

- 主要用于制造机器零件
- 需要经过热处理以提高力学性能



第五节 碳钢

(3) 碳素工具钢

牌号：T+数字，其中T为“碳”的汉语拼音字首，数字表示

平均含碳量的千分之几（含Mn量较高（**0.7-1.0%**）时，须将“**Mn**”标出）。

例：**T8、T12、T8Mn**等

T12A — 高级优质碳素工具钢

- 经过热处理（淬火+低温回火）后具有**高硬度**
- 主要用于制造尺寸较小要求耐磨性高的量具、刃具、模具等。

