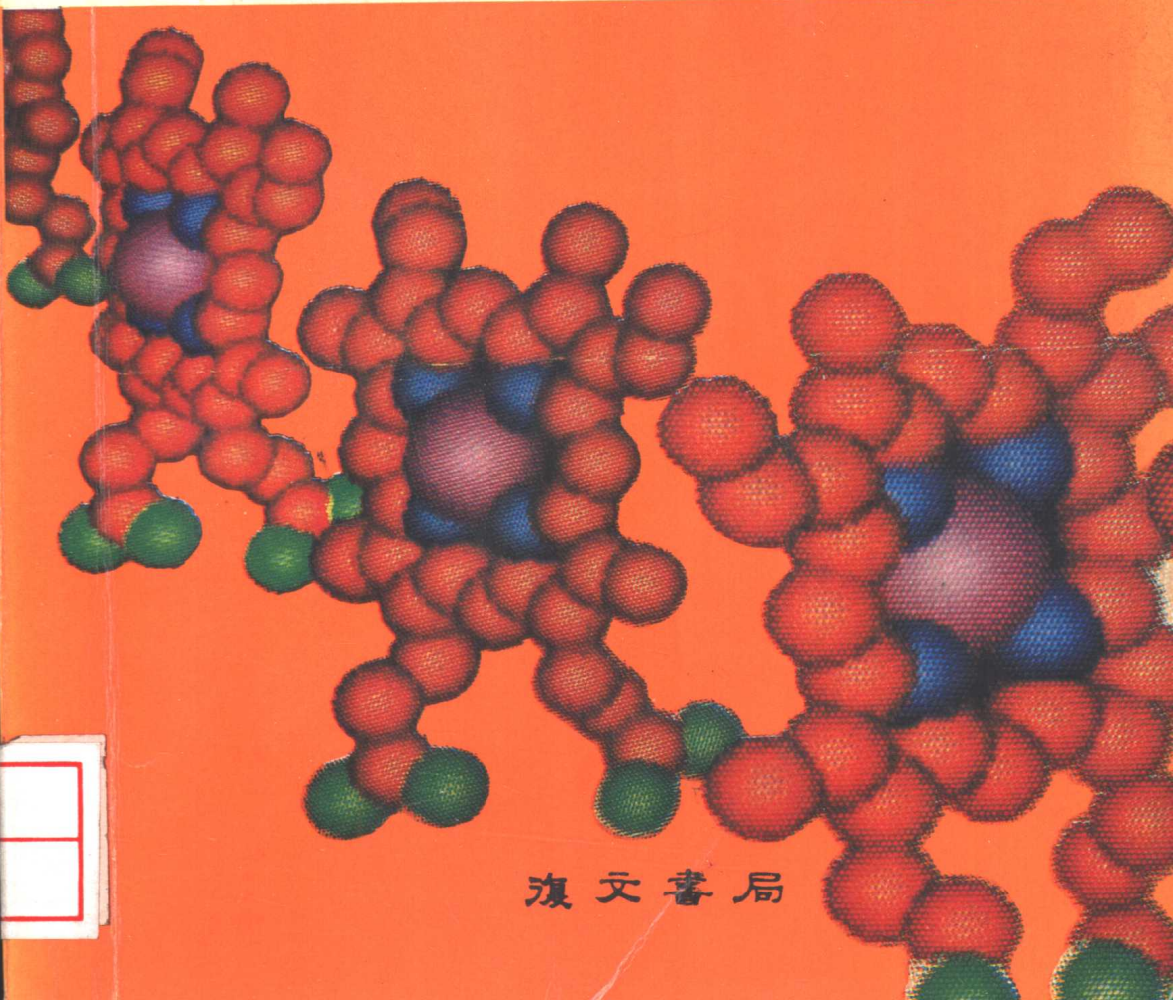


改訂

金屬材料與試驗法

葉山房夫 原著

徐景福 編譯



復文書局

金屬材料及試驗法

著作權執照台內著字第 號

版權所有



翻印必究

(1985) 民國七十四年十月再版發行

特價 90 元

編譯者：徐 景 福

原作者：葉 房 山 夫

發行者：吳 主 和

發行所：復 文 書 局

地址：臺南市東門路421巷28號

門市：台南市林森路二段63號

電話：(06)2370003·2386937

郵政劃撥帳戶 0032104 - 6 號

No.28. LANE421 DONG-MEN

ROAD TAINAN TAIWAN REPUBLIC

OF CHINA
TEL: (06)2370003·2386937

本書局經行政院新聞局核准登記發給
出版事業登記證局版台業字第0370號

譯 序

本書內容主要係根據葉山房夫博士所著之「金屬材料及試驗法」，以及中野信隆所著之「金屬材料學（上），（下）」等資料編譯而成。全書有關材料性質之檢查及試驗法佔半頁數。材料規格以 JIS 為依據，除可供教學及有關科系學生參考之外，並可作為機械設計人員之材料手冊。

承蒙楊瑞勳先生代為校正，在此誌謝。

譯者才疏學淺，如內容有所錯誤，希讀者給予指正。

六十四年 六月

徐景福

目 次

第 1 章 金屬及合金總論

1.1	金屬之概念	1
1.1.1	金屬之元素	1
1.1.2	合 金	1
1.2	金屬材料之組織	5
1.2.1	金屬之組織	5
1.2.2	合金之組織	5
1.3	合金之平衡狀態圖	6
1.3.1	二元系平衡狀態圖之成分濃度之表示法	7
1.3.2	二元系平衡狀態圖之基本型	7
問 題	11

第 2 章 鐵及鋼

2.1	純 鐵	12
2.2	碳素鋼	14
2.2.1	概 要	14
2.2.2	平衡狀態圖	14
2.2.3	成 分	17
2.2.4	鋼塊之種類	18
2.2.5	熱 處 理	19
2.2.6	各 論	24
2.3	特殊鋼	32
2.3.1	特殊鋼之區分	32
2.3.2	構造用特殊鋼	32

2.3.3	特殊用途鋼	33
2.4	工具鋼及工具材料	50
2.4.1	工具材料所應具備之條件	50
2.4.2	碳素工具鋼	51
2.4.3	合金工具鋼	54
2.4.4	高速度鋼	55
2.4.5	鑄造合金工具材料	59
2.4.6	超硬合金	60
2.4.7	時效硬化合金	62
2.4.8	其他之工具材料	63
2.4.9	高張力鋼	64
2.5	鑄鐵	65
2.5.1	概 要	65
2.5.2	組織與平衡狀態圖	67
2.5.3	鑄鐵之性質	70
2.5.4	高級鑄鐵	73
2.5.5	接 種	74
2.5.6	特殊鑄鐵	74
2.5.7	冷硬鑄鐵	78
2.5.8	球狀石墨鑄鐵	79
2.5.9	可鍛鑄鐵	81
問 題		84

第 3 章 非金屬及合金

3.1	銅及銅合金	86
3.1.1	純 銅	86
3.1.2	C _n —Z _n 系合金	88
3.1.3	特殊黃銅	93

3.1.4	其他特殊黃銅	98
3.1.5	Cu—Sn 系合金	100
3.1.6	Cu—Al 系合金	103
3.1.7	Cu—Ni 系合金	104
3.1.8	Cu—Be 系合金	107
3.1.9	軸承用銅合金	108
3.2	鎳及鎳合金	110
3.2.1	鎳	110
3.2.2	Ni—Cu 系合金	111
3.2.3	Ni—Fe 系合金	113
3.2.4	耐蝕鎳合金	114
3.3	鋁及鋁合金	116
3.3.1	鋁	116
3.3.2	鋁合金概要	118
3.3.3	鋁合金各論	124
3.4	鎂及鎂合金	128
3.4.1	鎂	128
3.4.2	鑄造用鎂合金	128
3.4.3	伸展用鎂合金	130
3.5	鋅及鋅合金	130
3.5.1	鋅	130
3.5.2	壓鑄用鋅合金	131
3.6	鉛、錫及其合金	132
3.6.1	鉛	132
3.6.2	錫	133
3.6.3	軸承合金	133
3.6.4	活字合金	135
3.6.5	軟焊合金	136
3.6.6	壓鑄用合金	137

3.6.7	易融合金	138
3.7	鈦及其合金	139
3.7.1	鈦	139
3.7.2	鈦合金	140
3.8	貴重金 高融點金屬及其合金	141
3.8.1	銀及銀合金	141
3.8.2	金、白金、其他	143
3.8.3	鎢及鉬	143
問 題		144

第 4 章 試驗法

4.1	機械性試驗法	146
4.1.1	總 論	146
4.1.2	抗拉試驗	147
4.1.3	壓縮試驗	158
4.1.4	彎曲試驗	159
4.1.5	扭轉試驗	162
4.1.6	硬度試驗	164
4.1.7	衝擊試驗	177
4.1.8	潛變試驗	180
4.1.9	疲勞試驗	182
4.1.0	摩耗試驗	185
4.2	組織試驗	189
4.2.1	顯微鏡組織試驗	190
4.2.2	Macro 組織試驗	196
4.2.3	破面試驗	198
4.3	無破壞探傷試驗	199
4.3.1	放射透過試驗	199
4.3.2	超音波探傷試驗	201
4.3.3	磁氣探傷試驗	203
4.3.4	浸透探傷試驗	204
問 題		205

第 1 章 金屬及合金總論

1.1 金屬之概念

1.1.1 金屬元素

金屬元素普通具備下列之特性：

- (1)於固態時為非晶質，而有結晶組織。
- (2)具有很大之塑性變形能。
- (3)有金屬光澤。
- (4)為熱及電之良導體。

鐵、銅、鋁等，係完全具備上記 4 項性質之元素，稱為金屬元素，矽、硼等則不完全具備上記之性質，稱之為半金屬元素（即兩性元素）。表 1.1 所示，為純金屬之物理性質。

1.1.2 合金

所謂合金（alloy），是指一種金屬裡面，加入其他種類之金屬或非金屬，所形成之金屬物質中，具有某項有用之性質。目前，大多數之金屬，均可獲得接近 100% 之純度，但並非絕對 100% 純粹；即所謂純金屬，多多少少含有其他元素。這類之其他元素，係屬不用元素，稱為不純物（impurity），與合金之成分元素有所區別。合金當然含有不純物。

今日所使用之金屬材料多為合金；由於所添加元素之種類及數量之別，製成具備各種不同性質，一方面適應機械、器具、裝置等設計之要求，另方面不斷地研究而有新合金之製出。

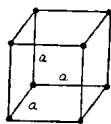
表 1.1 所示，為金屬之物理性質。

表 1.1 金屬之物理性質

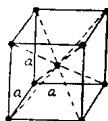
元素符號	金屬名	原子序號	原子量	比重 (20°C)	熔點 (°C)	沸點 (°C)	比熱 (cal/g-°C)	熱傳導率 (20°C) cal/m-s-°C	結晶構造
Ag	銀	47	107.880	10.49	960.80	2210	0.056 (0°C)	1.0 (0°C)	面心立方
Al	鋁	13	26.97	2.699	660.2	2060	0.223	0.53	"
As	砷	33	74.91	5.73	814	610 (昇華)	0.082	—	稜面體
Au	金	79	197.2	19.32	1063.0	2970	0.031	0.71	面心立方
B	硼	5	10.82	2.3	2500 ± 300	2550 (昇華)	0.309	—	—
Ba	鉍	56	137.36	3.74	704 ± 20	1640	0.068	—	體心立方
Be	鈹	4	9.02	1.848	1277	2770	0.52	0.038	六方密格子
Bi	鉍	83	209.00	9.80	271.30	1420	0.034	0.020	稜面體
C	碳	6	12.010	2.22	3700 ± 100	4830	0.165	0.057	六方密格子
Ca	鈣	20	40.8	1.55	850 ± 20	1440	0.149	0.30	面心立方
Cd	鎘	48	112.41	8.65	320.9	765	0.055	0.22	六方密格子
Ce	鈰	58	140.13	6.9	600 ± 50	1400	0.042	—	面心立方
Co	鈷	27	58.94	8.85	1495 ± 1	2900	0.099	0.165	六方密格子
Cr	鉻	24	52.01	7.19	1875	2500	0.11	0.16	體心立方
Cs	銫	55	132.91	1.9	28 ± 2	690	0.052	—	"
Cu	銅	29	63.54	8.96	1083.0	2600	0.092	0.94	面心立方
Fe	鐵	26	55.85	7.896	1536.0	2740	0.11	0.18	體心立方
Ga	鎵	31	69.72	5.91	29.78	2070	0.079	—	正立方
Ge	矽	32	72.60	5.36	958 ± 10	2700	0.073	—	金剛石立方
Hg	汞	80	200.61	13.546	-38.36	357	0.033	0.0201	稜面體
In	銦	49	114.76	7.31	156.4	1450	0.057	0.057	體心立方
Ir	銱	77	193.1	22.5	2454 ± 3	5300	0.031	0.14	面心立方
K	鉀	19	39.096	0.86	63.7	770	0.177	0.24	體心立方
La	釷	57	138.92	6.15	826 ± 5	1300	0.045	—	六方密格子
Li	鋰	3	6.940	0.535	186 ± 5	1370	0.79	0.17	體心立方
Mg	鎂	12	24.32	1.74	650 ± 2	1110	0.25	0.38	六方密格子
Mn	錳	25	54.93	7.43	1245	2150	0.115	—	複雜立方

Mo	鉬	42	95.95	10.22	2610	3700	0.061	0.35	體心立方
Na	鈉	11	22.997	0.971	97.82	892	0.295	0.32	"
Ni(Cb)	鈮	41	92.91	8.57	2468 ± 10	> 3300	0.065 (0 °C)	—	"
Ni	鎳	28	58.69	8.902	1453	2730	0.112	0.198	面心立方
Os	銱	76	190.2	22.5	2700 ± 200	5500	0.031	—	六方密格子
P	磷	15	30.98	1.82	441	280	0.177	—	立方
Pb	鉛	82	207.21	11.36	327.4258	1740	0.031	0.083	面心立方
Pd	鈀	46	106.7	12.03	1544	4000	0.058 (0 °C)	0.17	"
Pt	鉑	78	195.23	21.45	1769	4410	0.032	0.17	"
Rb	鉀	37	85.48	1.53	39 ± 1	680	0.080	—	體心立方
Rn	氡	45	102.91	12.44	1966 ± 3	4500	0.059	0.21	面心立方
Ru	鈷	44	101.7	12.2	2500 ± 100	4900	0.057 (0 °C)	—	六方密格子
S	硫	16	32.066	2.07	119.0	444.6	0.175	—	面心立方
Sb	銻	51	121.76	6.62	630.5	1440	0.049	0.045	六 方
Se	硒	34	78.96	4.81	220 ± 5	680	0.084	—	六 方
Si	矽	14	28.06	2.33	1430 ± 20	2300	0.162 (0 °C)	0.20	金剛石立方
Sn	錫	50	118.70	7.298	231.9	2270	0.054	0.16	體心立方
Sr	錫	38	87.63	2.6	770 ± 10	1380	0.176	—	面心立方
Ta	鉭	73	180.88	16.654	2996 ± 50	> 4100	0.036 (0 °C)	0.13	體心立方
Te	碲	52	127.61	6.235	450 ± 10	1390	0.047	0.014	立方
Th	釷	90	232.12	11.66	1750	> 3000	0.034	—	面心立方
Ti	鈦	22	47.90	4.507	1668 ± 10	3000	0.126	—	六方密格子
Tl	鉍	81	204.39	11.85	300 ± 3	1460	0.031	0.093	"
U	鈾	92	238.07	19.07	1132.3 ± 0.5	—	0.028	0.064	正斜方
V	釩	23	50.95	6.1	1900 ± 25	3460	0.120	—	體心立方
W	鎢	74	183.92	19.3	3410	5930	0.032	0.48	"
Zn	鋅	30	65.38	7.133	419.505	906	0.0915	0.27	"
Zr	鈷	40	91.22	6.489	6.489	> 2900	0.066	—	六方密格子

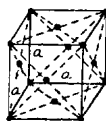
4 金屬材料及試驗法



單一方格子



體心立方格子



面心立方格子



六方格子



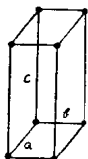
斜方六面體格子



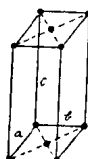
正方格子



體心正方格子



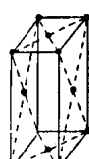
斜方格子



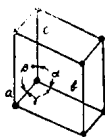
一方面心斜方格子



體心斜方格子



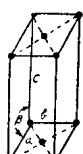
全面心斜方格子



三斜格子



單斜格子



一方面心單斜格子

圖 1.1 結晶格子之 14 型

1.2 金屬材料之組織

1.2.1 金屬之組織

金屬各具有其特有之結晶構造，為細小結晶粒子之集合體。結晶格子 (space lattice) 之型，有如圖 1.1 所示之各種；但金屬大部份屬於面心立方格子 (face-centered cubic lattice)，體心立方格子 (body-centered cubic lattice)，或六方密格子 (hexagonal closed packed lattice)，一種之金屬結晶，係由這些結晶格子積疊而成，稱為單結晶。

單結晶之性質，當然以結晶格子之形狀為根據，而出現方向性，具有這種方向性之物質，謂之異方質 (anisotropic substance)。但是普通之金屬，為細小無數之結晶之集合體，雖然各結晶皆方向皆不一致，但却不能認為係異方性；此時全體為等方質 (isotropic substance)。但若施以適當之加工，則結晶之方向可排列到某一致之程度，這種場合出現異方性。

在多結晶體，相互鄰接結晶粒之方向各異，所以結晶粒界並不屬於任何一方之結晶；受兩方面之影響，成為錯亂原子排列部份。此錯亂排列之原子層為非晶質層 (amorphous layer)，或為貝氏層 (Beilby layer)，但不是真的非晶質層。

金屬受抗拉或彎曲作用時，個個之結晶在容易滑動面滑動而變形，此時以結晶粒界為境界之兩相鄰結晶，沿不同方向滑動，粒界比較多之結晶粒則滑動困難。又粒界其本身強度，一切較一般結晶多少要大些；因此，通常金屬之變形抵抗，以粒界較多即結晶粒組織微細者為大。不純物很容易聚集於粒界，由於此一不純物之性質，而使金屬變成硬而脆之情形很多。

1.2.2 合金之組織

6 金屬材料及試驗法

一般在合金裡所出現之相 (phase)，有純金屬，固溶體，金屬間化合物三種。所謂相，係原子或分子集合後之姿態，是無法用機械方法將不同物質分開的均一物質群。冰和水之共存時之狀態時，水和冰各成爲一個相。食鹽水爲食鹽溶解後之狀態，形成所謂液溶體之單相。金屬間在固態時亦有這種狀態之形成；即他種元素溶入 1 金屬裡，形成單相之溶體，稱爲固溶體 (solid solution)。但成分金屬與具有相同結晶構造之固溶體則稱之一次固溶體，不相同構造者稱之二次固溶體。

此外，又有溶質原子與溶媒原子置換的所謂置換型固溶體，以及溶質原子進入溶媒原子之空間所謂侵入型固溶體。大部分之固溶體係屬於置換型者。進入溶媒內之溶質原子數目，其所佔溶媒內之格子之位置，一般爲不規則。

溶媒原子與溶質原子之大小，當然不同，無論侵入型固溶體或置換型固溶體，其結晶格子均爲歪斜，是故，固溶體其固溶量多時，則滑動之抵抗變大，變形抵抗較之純金屬爲大。

在某種之置換型固溶體，原子有在規則之位置置換之情形；當然在此種場合與金屬間化合物相似，濃度近於簡單原子比出現。這種之結晶構造稱爲規則格子 (super lattice)。規則格子若加熱至高溫度，則很多變爲不規則格子。

1.3 合金之平衡狀態圖

合金由於添加成分之濃度之差異，其狀態變化，又由於溫度之不同，其相互所形成之固溶體濃度限界即溶解度 (solubility) 各異，所以狀態變化。也就是說合金之狀態，係由指定之組成濃度及溫度而決定。以濃度及溫度爲變數，而圖示合金之狀態者，稱爲狀態圖。不過一般之狀態圖，係以溫度 (壓力亦有爲一種條件者，普通爲一大氣壓) 一定，達到平衡狀態表示之，稱爲平衡狀態圖 (equilibrium diagram)，或簡稱狀態圖。

1.3.1 二元素平衡狀態圖之成分濃度之表示法

成分濃度在理論之研究場合，是以原子%表示之，但一般場合則應用重量%，二元合金場合之重量%與原子%間之關係，則如下式表之。

a, b : A 成分及 B 成分之重量%

W_A, W_B : A 成分及 B 成分之原子量

α, β : A 成分及 B 成分之原子%

則

$$\alpha = \frac{\frac{a}{W_A}}{\frac{a}{W_A} + \frac{b}{W_B}} \times 100 \qquad \beta = \frac{\frac{b}{W_B}}{\frac{a}{W_A} + \frac{b}{W_B}} \times 100$$

或
$$a = \frac{\alpha W_A}{\alpha W_A + \beta W_B} \times 100 \qquad b = \frac{\beta W_B}{\alpha W_A + \beta W_B} \times 100$$

1.3.2 二元素平衡狀態圖之基本型

爲理解二元合金之平衡狀態圖，茲以簡單例子示之：平衡狀態圖之橫軸爲濃度，縱軸爲溫度。

a. 2 成分之相互溶解度 2 成分互相以任何之比率溶解而成爲一相時，那麼這 2 種成分稱爲完全可溶。

一般而言，以到某種比率爲止相互可溶之場合爲多，此比率亦即溶解度，係因溫度而有所差異。例如圖 1.2 中，某溫度 (t_1 °C) 以上爲完全可溶，在低溫度時，則相互以某種比率爲限溶解。

曲線 $s_i g s_i$ 稱爲溶解度線。現在且以液態作爲說明例子；溫度在 t_1 °C 以上，無論其成分濃度如何，均成一相。P 所表示之成分之液體，意義爲 A 之成分中，到 f 爲止含有 B ($\frac{AC}{AB}$) × 100%，即溫度到 t_2 °C 爲止，成爲單相之液體。若在此溫度以下，則分成 2 相。溫度 t_3 °C e 所示之液體；爲 A 成分中有 B 成分 ($\frac{Ac'}{AB}$) × 100

8 金屬材料及試驗法

%液溶體，及 h 所示之液體；爲 B 成分中含 A 成分 $(\frac{Bh'}{AB}) \times 100\%$ 液溶體及其混合體。兩者之重量比爲 $\overline{dh} : \overline{de}$ ，這種關係在金屬固溶體亦完全相同，溶解度一般言之，隨溫度之降低而略爲減小。

b. 2 成分在液態或固態爲完全可溶之場合 圖 1.3 所示者爲合金之平衡狀態圖，於常溫之際，A 與 B 間無境界，亦即無溶解度線，全部成爲固溶體合金。

P 點成分之合金之意義，在一端之成分元素 A 而有 $\frac{AC}{AB} \times 100\%$ (此時爲 40%) 之 B 成分之合金。溫度 $t_1^\circ\text{C}$ 以上則爲溶液，冷卻至 $t_1^\circ\text{C}$ 時則開始凝固，在 $t_2^\circ\text{C}$ 凝固儘了。各成分之合金之凝固開始溫度所連成之線 egf 爲液相線 (liquidus line)，凝固終了溫度所連之線 ehf 爲固相線 (solidus line) 液相線與固相線間之狀態，爲結晶與溶液之共存狀態。

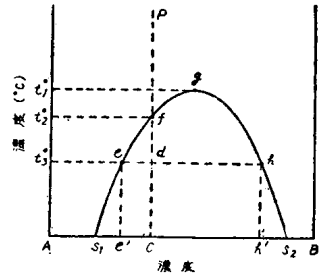


圖 1.2 2 成分之溶解度線

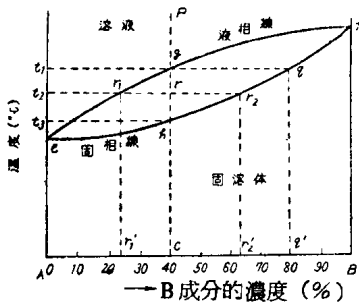


圖 1.3 成爲完全固溶體狀態圖

在極緩慢冷卻之場合，點 q 所表示之濃度即含 $\frac{Aq}{AB} \times 100\%$ (此時約 80%) 之 B，固溶體結晶開始晶出。

溫度下降至 $t_2^\circ\text{C}$ 時 (r 點)，在此種狀態晶出之固溶體濃度，以 r_2 點表示之，即含有 $\frac{Ar_2}{AB} \times 100\%$ (約 24%) 之 B 成分。這種變化進行十分緩慢，及至得平衡狀態之場合，無論最初所得濃度 q 之結晶，或其後在各溫度所得以 B 成分爲多之結晶，全部在此溫度成 y_2 之濃度，其結晶即 r_2 所示濃度之結晶之重量與 r_1 所示溶液重量比爲 $\frac{r_1}{r_2}$ ，恰如以 r 爲支點，兩邊爲平衡時力臂長之比。

溫度下降，溶液之量也隨之減少，在 $t_3^\circ\text{C}$ 全體變成固溶體。像這種兩元素完全作成固溶體之合金有 Ag - Au, Ni - Cu 等

溫度下降，溶液之量也隨之減少，在 $t_3^\circ\text{C}$ 全體變成固溶體。

像這種兩元素完全作成固溶體之合金有 Ag - Au, Ni - Cu 等

於Q合金；在S之所示溫度，S'之所示濃度之 β 固溶體開始晶出，這與P合金情形相同。溫度若下降，固態之量增加，於t之所示溫度之直上方，結晶與溶液之此為 t_E / t_d 。達到t點之溫度時，殘留溶液在此溫度下，全部以共晶晶出，因此 β 之初晶與共晶之量比為 t_E / t_d 。其後由於溫度之低下，合金全體之 α 及 β （共晶中亦為 α 及 β ）之星此為兩側之溶解度線cf, dg所左右而變化，常溫時 $\alpha : \beta = qg : q'f$ 。

若由求P, Q, R三種合金之冷却曲線，即冷却時之溫度與時間之關係

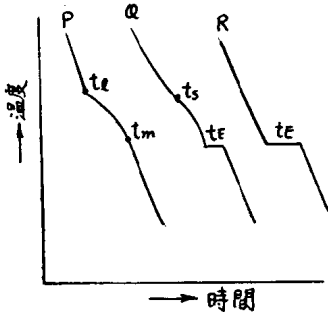


圖 1.5 P, Q, R 合金之冷却曲線

看來，則成為圖 1.5 所示之情形。P 合金在 l 點溫度 t_E °C 時起折點，冷却速度變化，即於結晶晶出當中，為放出熱之故，冷却變為遲後。Q 合金於 s 點之溫度 t_s °C 起折點，下降至共晶溫度以下時，殘留溶液全部共晶，並得持共晶溫度一段時間。共晶組成之 R 合金，全部在 t_E °C 變成共晶，圖中只示停點

在這些凝固及變態中，有所謂過冷現象之情形。徐冷及急冷時之折點溫度各異，急冷之際，過冷之折點以低溫表示之。共晶溫度等因停止時間較長，一過冷之後再上昇；變化之情形如圖 1.6 所示。

又，經過加熱後之合金，亦有出現這種折點之場合，但加熱之場合與冷却之場合，其變態溫度各異；加熱之際，變態溫度稍為高些。

表示共晶反應之合金相當的多。又，成為固態後，亦有出現同種反應之情形，稱之為共析反應。鐵鋼之共析反應乃有名之例子。

d. 表示包晶反應之情形 圖 1.7 所示者為包晶反應之平衡狀態圖。

茲以關於 P 合金之凝固變態點為敘述對象。在 l 點時，濃度 l' 之 β 固溶體由溶液晶出。隨冷却之進行，溶液濃度由 l 到 C 而變化，固溶體則由 l' 至 d 而變化。在 m 點之溫度 t_e 以上之溫度，c 濃度之溶液