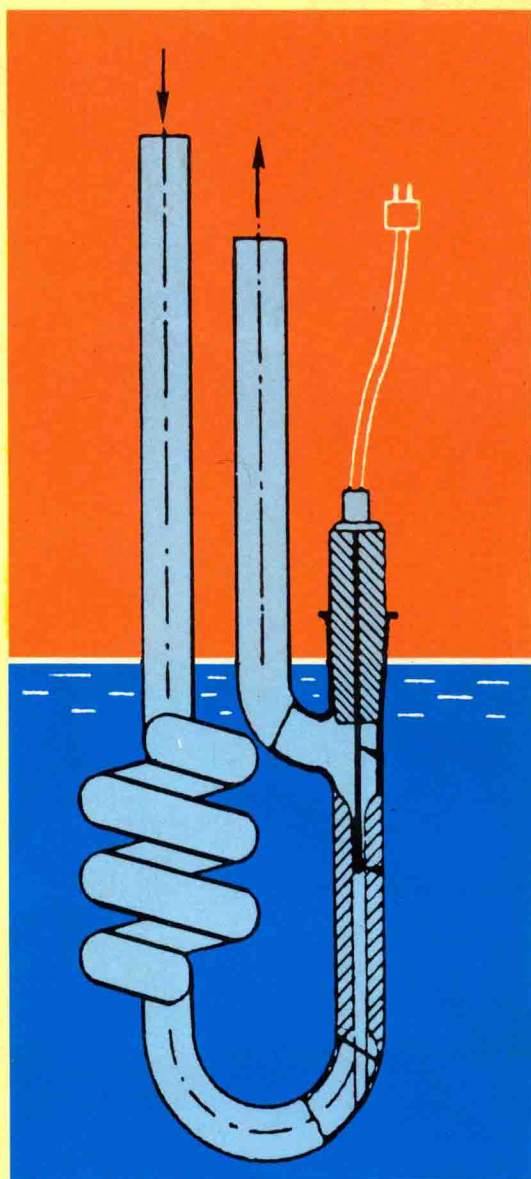


溫度感測器

——理論與應用

吳 朗 編著

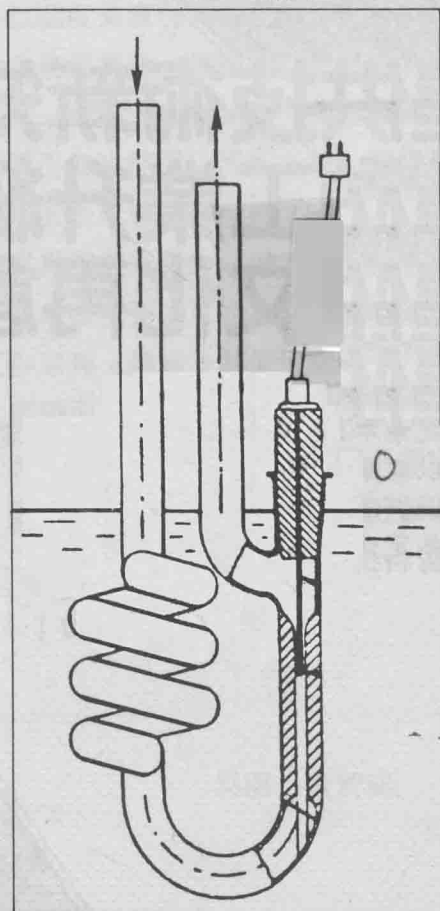


全華科技圖書股份有限公司 印行

溫度感測器

——理論與應用

吳 朗 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行



全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

溫度感測器
——理論與應用
吳 朗 編著

出版者 全華科技圖書股份有限公司
地址 / 台北市麗江路76巷20-2號2樓
電話 / 5 0 7 1 3 0 0 (總機)
郵政帳號 / 0 1 0 0 8 3 6 - 1 號
發行人 陳 本 源
印刷者 宏懋打字印刷股份有限公司
電話 : 5 0 8 4 2 5 0 • 5 0 8 4 3 7 7

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)
地址 / 台北市重慶南路一段49號7樓
電話 / 3 6 1 2 5 3 2 • 3 6 1 2 5 3 4

定 價 新臺幣 220 元
初版 / 79年 2 月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

ISBN 957-21-0035-1 版權所有 翻印必究

圖書編號 0211916

我們的宗旨：

**提供技術新知
帶動工業升級
為科技中文化再創新猷**

資訊蓬勃發展的今日，
全華本著「全是精華」的出版理念
以專業化精神
提供優良科技圖書
滿足您求知的權利
更期以精益求精的完美品質
為科技領域更奉獻一份心力！

序 言

熱乃人的一生中最常接觸到的一種物理量，熱量通常都以溫度來表現其存在的多少，因此感測溫度已成為生活中最必須的一個動作。如何感測溫度是人生活裡的一大學問，雖然人本身就是一個感溫體，但人此一感溫體只能感溫而無法控溫，因此之故，要得到需要的溫度，則必須借助某些可感溫又可控溫的元件，故此而使感溫元件的開發成為工程人員的一個重要工作指標。

本書主要的目的在于介紹各種日常用到的感溫元件之工作原理、構造及其使用範圍等。本書之內容乃本人在成大電研所教授感測元件講義中之一部份，有感於控溫元件之重要性，乃編撰成書以介紹各種感溫及控溫元件之應用。因本人才疏學薄，有所餘缺之處，尚請各先進多多指教。

吳朗 書於成大電研所電子陶瓷研究室

編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

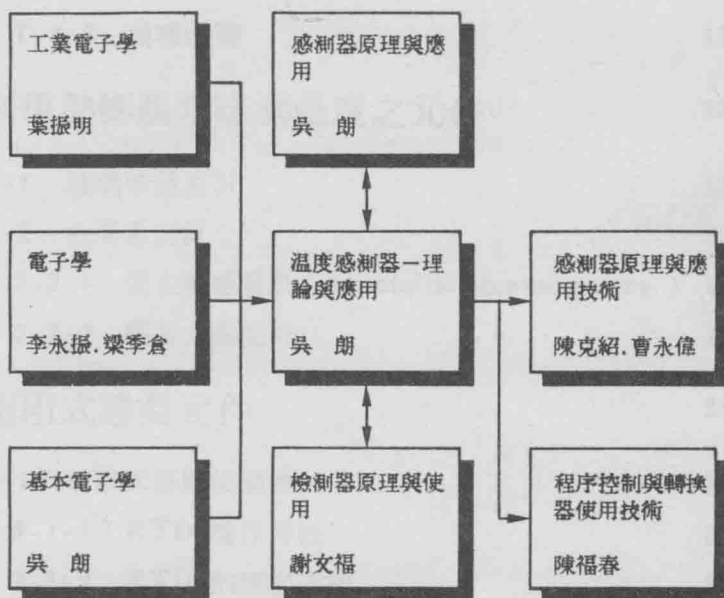
本書作者目前任教於成大電研所。吳博士以其豐富的學識及多年教學經驗，為您介紹各種不同的溫度感測器，並說明其工作原理、結構、使用環境及條件。內容涵蓋工業測量上所用各溫度感測器，並取相匹配的電路及相同工作原理之感測器合於一章節，以便利讀者閱讀。文字淺顯易懂、觀念清晰、兼顧理論與實用性，不論是專業工作人員或大專學生，均非常適用。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。

流

程

圖

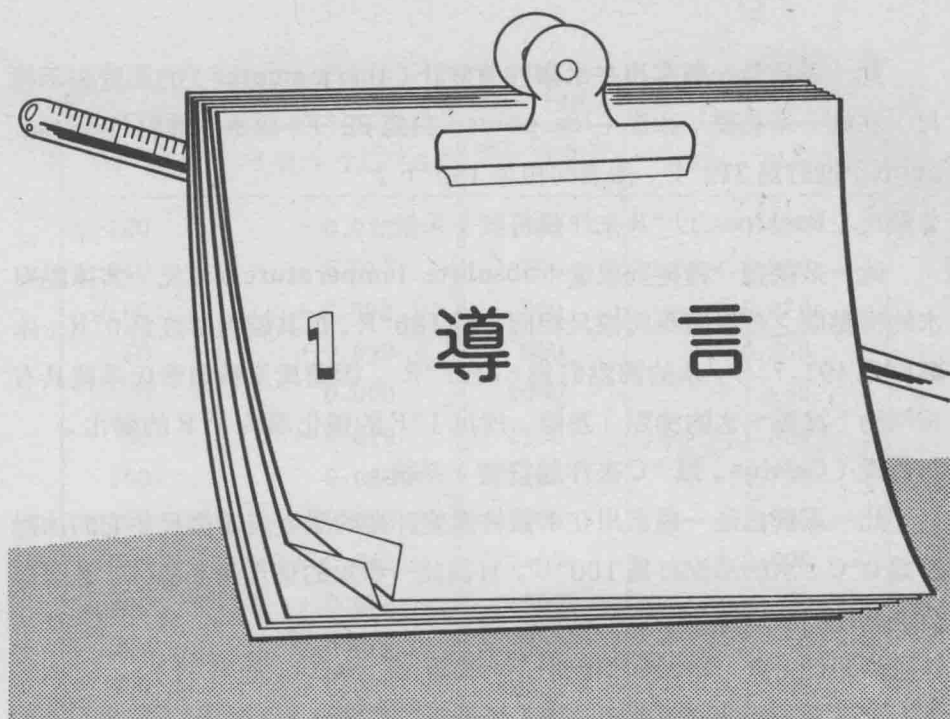


目 錄

1	導 言	1
1-1	溫度系統	1
1-2	相關詞彙與定律	5
1-3	熱電對比關係	8
1-4	溫度感測器的種類	8
1-4-1	溫度範圍	10
1-4-2	精確度	11
1-4-3	環境影響	11
2	利用熱膨脹來感測溫度之元件	13
2-1	玻璃管溫度計	13
2-2	金屬溫度計	15
2-2-1	雙金屬溫度計 (bimetallic thermometers)	15
2-2-2	壓力式溫度計	18
3	電阻式感溫元件	25
3-1	電阻式溫度偵測器	26
3-1-1	RTD 操作特性	34
3-1-2	RTD 的連接方法	37
3-2	NTC 熱阻體	46
3-2-1	NTC 熱阻體特性	47

3-2-2	NTC 熱阻體的構造	59
3-2-3	NTC 熱阻體的校正方法	64
3-3	NTC 熱阻體之應用	66
3-3-1	NTC 熱阻體電阻~溫度特性之改良	68
3-3-2	溫度測量	75
3-3-3	溫度控制	81
3-3-4	溫度補償	86
3-3-5	自熱式 NTC 熱阻體的應用	89
3-3-5.1	消耗常數變化之應用	90
3-3-5.2	電路參數變化所形成之應用	98
3-3-5.3	外界溫度變化所形成之應用	103
3-3-5.4	以電流~時間特性所形成之應用	103
3-4	間熱式 (Indirectly-heated) NTC 熱阻體特性及應用	105
3-5	PTC 熱阻體	109
3-6	PTC 熱阻體的應用	117
3-6-1	基於電阻~溫度特性之應用	117
3-6-1.1	過熱保護	117
3-6-1.2	溫度控制	120
3-6-1.3	溫度補償	122
3-6-2	基於電流~電壓關係之應用	125
3-6-2.1	溫度控制	129
3-6-2.2	液位感測	130
3-7	CTR 溫度感測器	135
4	熱電偶	139
4-1	工作原理	139
4-2	熱電偶類型	146
4-3	保護管	156

4-4	被覆型熱電偶 (sheathed thermocouple)	160
4-5	補償線	162
4-6	基本熱電電路	167
4-7	熱電偶的選擇	172
5	半導體測溫元件	187
5-1	以電阻型態來構成的半導體感溫元件	188
5-2	接面型溫度感測元件	193
5-3	感溫 IC	197
6	輻射型高溫計	201
6-1	光學系統	203
6-2	偵測系統	206
6-3	電子部份	229
6-4	光學高溫計	230
7	其他感溫元件	237
7-1	利用彈性參數 (elastic constant) 之感溫元件	237
7-2	利用電容量變化之感溫元件	240
7-3	利用磁特性之感溫元件	241
7-4	變色指示劑	245
7-5	可熔式溫度指示劑	247



熱 (heat) 爲一種與人類生活有相當密切關係，且可傳輸的一種能量。欲使熱能在兩系統之間傳輸，則兩系統之間必須存在有溫差 (temperature difference)。兩系統之間熱能之傳輸可以由：

1. 傳導 (conduction)。
2. 對流 (convection)。
3. 輻射 (radiation)。

等三種方式來達成。某一系統的溫度 (temperature) 是該系統能夠與其他系統交換熱能的一種能力表現，它也是物體受熱後內部分子動能的一種測量標尺。

1-1 溫度系統

溫度的表示方法有多種，最常用者有下列四大系統：

1. 華氏 (Fahrenheit，以 $^{\circ}\text{F}$ 來作爲符號) 系統：

此一系統是一種常用在水銀柱溫度計 (thermometer) 的溫度表示標尺。在此一系統裡，冰點 (ice point) 訂為 32°F ，而水的沸點 (boiling point) 則訂為 212°F ，兩者間相差 180°F 。

2. 蘭氏 (Rankine , 以 $^{\circ}\text{R}$ 來作為符號) 系統：

此一系統為一種絕對溫度 (absolute temperature) 標尺，其冰點與水的沸點間之差值與華氏標尺相同，為 180°R ，但其絕對零度為 0°R ，冰點訂為 491.7°R ，水的沸點訂為 671.7°R 。因蘭氏系統與華氏系統具有相同的〔冰點～水的沸點〕差值，所以 1°F 的變化等於 1°R 的變化。

3. 攝氏 (Celsius , 以 $^{\circ}\text{C}$ 來作為符號) 系統：

此一系統也是一種常用在水銀柱溫度計裡的溫度表示標尺。它的冰點訂為 0°C ，水的沸點訂為 100°C 。目前此一標尺的使用率為最大，且它是公制系統的溫度單位。

4. 國際單位系統 (International System of Units , 簡稱 SI)：

此一系統的溫度單位為凱氏 (Kelvin , 符號為 K) 溫度，通常上述各溫度標尺所用的“度”並不適合於凱氏標尺。凱氏標尺是一種熱力學的溫度單位，每一凱氏單位等於水的三重點 (triple point) 的熱力學溫度之 $1/273.16$ ，水的三重點比冰點高 0.01K ，因此在凱氏標尺系統裡，冰點訂為 273.15K ，而沸點訂為 373.15K ，此兩溫度之差為 100.00K ，因此 1K 的變化等於 1°C 的變化，而絕對零度定為 0K 。

上述各溫度標尺間之關係為：

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times \frac{5}{9} \quad (1-1)$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} \times ^{\circ}\text{C} + 32 \quad (1-2)$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15 \quad (1-3)$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67 \quad (1-4)$$

目前所使用的溫度標準是以國際實用溫度標尺 (International Practical Temperature Scale , 簡稱 IPTS) 來作為基準。IPTS 最早是在

表 1-1 IPTS -68 與 IPTS -48 之差值

$T_{68} \text{ } ^\circ\text{C}$	$(T_{68} - T_{48}) \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_{68} \text{ } ^\circ\text{C}$	$(T_{68} - T_{48}) \text{ } ^\circ\text{C}$
-180	+ 0.012	600	+ 0.150
-140	- 0.013	700	+ 0.390
-100	+ 0.022	800	+ 0.670
- 50	+ 0.029	900	+ 0.950
0	0.000	1000	+ 1.240
50	- 0.010	1100	+ 1.500
100	0.000	1200	+ 1.700
150	+ 0.020	1300	+ 1.800
200	+ 0.043	1400	+ 2.000
300	+ 0.073	1500	+ 2.200
400	+ 0.076	1600	+ 2.400
500	+ 0.079	1700	+ 2.600

表 1-2 IPTS -68 之一次基準溫度點

溫度點之定義	溫 度 值		誤 差 值 (K)
	K	$^\circ\text{C}$	
氫氣三重點	13.810	- 259.340	0.010
標準大氣壓下氫氣之 氣~液平衡溫度	17.042	- 256.108	0.010
氫氣之沸點	20.280	- 252.870	0.010
氦氣之沸點	27.102	- 246.087	0.010
氧氣之三重點	54.361	- 218.789	0.010
氫氣之三重點	83.798	- 189.352	0.010
氧氣之沸點	90.188	- 182.962	0.010
水之三重點	273.160	0.010	0.010
水之沸點	273.150	100	0.005
錫之凝固點	505.118	231.968	0.015
鋅之凝固點	692.730	419.580	0.030
銀之凝固點	1235.08	961.930	0.200
金之凝固點	1337.58	1064.430	0.200

1948年訂定(此一標準簡稱為 IPTS-48)，此一標準是以氧點(Oxygen point, 亦即氧的沸點, -183°C)及銻點(Antimony point, 亦即銻的凝固點, $+630^{\circ}\text{C}$)之間標準白金電阻溫度計(Platinum resistance thermometer)的電阻值來決定, 它是以 0°C 來作為基準點。而某一點的電阻值可由所謂 Callendar - Van Dusen 關係來求得:

$$R_T = R_0 + R_0 \alpha \{ T - \delta(0.01T - 1)(0.01T) - \beta(0.01T - 1)(0.01T)^3 \} \quad (1-5)$$

其中 R_1 為在 $T^{\circ}\text{C}$ 時之電阻

R_0 為在 0°C 時(冰點)之電阻

α , δ , β 為測定常數, 對質純, 無應變, 軋化(annealing)鉑繞組而言, 它們的大小為:

$\alpha = 0.003925$ (即在 0°C 附近之電阻溫度係數)

$\delta = 1.49$

$\beta = 0.11$ (T 為負值)

$\beta = 0$ (T 為正值)

在 630°C 與金點(Gold point, 亦即金的凝固點, 1064°C)之間, IPTS-48 是以標準 90%Pt ~ 10% Rh 熱偶體(thermocouple)的電動勢與溫度之間的關係來決定。在金點以上則是以光學高溫計(Optical pyrometer)來測定。

1968年國際度量衡委員會(International Committee on Weights and Measures, 簡稱 CIPM)重訂此一標準, 而稱為 IPTS-68。此一標準將最低溫度降至 10 K (IPTS-48 的最低溫度為氧點, 90 K), 同時將氧點與金點之間的溫度作更精確的修正。表 1-1 所示為兩者間之溫度差別。

IPTS-68 是在 13.81 K 與 1337.58 K 之間定出 13 個溫度點(表 1-2)以作為一切溫度測量的基準, 同時在 1975 年則以這 13 個基準溫度來定出一些二次基準點如表 1-3 所示。在 IPTS-68 裡, 低溫區有 10^{-2} K 左右的誤差, 而在高溫區則有 0.03 ~ 0.20 K 之誤差。

表 1-3 IPTS -68 之定義點及二次基準

物 質	條 件	溫度 K	物 質	條 件	溫度 K
H ₂ (平衡)	三重點	13.81	Sn	凝固點	505.1181
H ₂ (標準)	三重點	13.956	Bi	凝固點	544.592
H ₂ (平衡)	標準大氣壓氣 液平衡點	17.042	Cd	凝固點	594.258
H ₂ (平衡)	沸點	20.28	Pd	凝固點	600.652
H ₂ (標準)	沸點	20.397	Hg	沸點	629.81
Ne	三重點	24.561	Zn	凝固點	692.73
Ne	沸點	27.102	S	沸點	717.824
O ₂	三重點	54.361	Cu-Al	共晶點	821.41
N ₂	三重點	63.146	Sb	凝固點	903.905
N ₂	沸點	77.344	Al	凝固點	933.61
Ar	三重點	83.798	Ag	凝固點	1235.08
Ar	沸點	87.294	Au	凝固點	1337.58
O ₂	露點	90.188	Cu	凝固點	1358.03
CO ₂	昇華點	194.674	Ni	凝固點	1728
Hg	凝固點	234.314	Co	凝固點	1768
H ₂ O	冰點	273.15	Pa	凝固點	1827
H ₂ O	三重點	273.16	Pt	凝固點	2042
phenoxy- benzene	三重點	300.02	Rh	凝固點	2236
H ₂ O	沸點	373.15	Al ₂ O ₃	熔點	2327
安息香酸	三重點	395.52	Ir	凝固點	2720
In	凝固點	429.784	Nb	熔點	2750
			Mo	熔點	2896
			W	熔點	3695

1-2 相關詞彙與定律

在使用任何溫度感測器之前，必須先對與溫度或熱有關的一些基本定律及相關詞彙有所了解，如此才能正確的使用這些感測器。

熱容量 (heat capacity)：使系統或物體的溫度上升 1 度所需要的熱量。

比熱 (Specific heat) : 物體熱容量與其質量 (或體積) 之比。

導熱係數 (thermal conductivity) : 單位面積裡熱流的時變率, 與在熱流方向單位厚度的溫度負梯度之比。

熱擴散係數 (thermal diffusivity) : 導電係數與比熱, 密度乘積之比。

熱阻 (thermal resistance) : 物體抵抗熱量流通的能力, 它等於物體兩相對面溫差與熱流速度之比。

沸點 (boiling point) : 物質液相與氣相達到平衡時的溫度。除了有特別表示以外, 通常此一溫度是指在 1 大氣壓條件下之平衡溫度。

凝固點 (freezing point) : 物質固相與液相達到平衡時的溫度。

三重點 (triple point) : 物質固相、液相與氣相共同達到平衡時的溫度。

冰點 (ice point) : 在 1 大氣壓力之下, 冰與空氣飽和水互相平衡之溫度 (即 273.15K, 0°C, 32°F)。

蒸發點 (Sublimation point) : 物體直接由固相轉變成為氣相而不需要經過液相變化的溫度。

熱流 (heat flux) : 在單位時間內通過單位面積的熱量。

Boyle 定律 : 在一已知量的氣體裡, 若溫度保持固定, 則壓力與體積的乘積必然為一定值。

Charles 定律 : 在一已知量的氣體裡, 若壓力保持為一定, 則絕對溫度與體積之比為一定值。若體積為一定, 則絕對溫度與壓力之比為一定值。

理想氣體定律 (ideal gas law) :

$$\frac{PV}{T} = R = \frac{P}{\rho T}$$

其中 P = 壓力

V = 體積

T = 絕對溫度

ρ = 密度

R = 氣體常數

Fourier 定律：

$$\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx}$$

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{l}{Ak}}$$

其中 Q = 流過物體的熱量

t = 時間

k = 物體的導熱係數

A = 物體的截面積

l = 物體的長度

q = 熱流密度

$dT, \Delta T$ = 溫差

Stefan - Boltzmann 定律：

$$Q_T = \delta AT^4$$

其中 Q_T = 理想黑體 (Black body) 輻射的總熱量

δ = Stefan - Boltzmann 常數，此一常數之數值依所用的單位系統之不同而異，如表 1-4 所示。

A = 輻射表面的面積

T = 輻射表面的絕對溫度

Wien's 位移定律：

$$T \lambda_{max} = 2.8978 \times 10^{-3} \text{ (Wien 常數)}$$

其中 T = 絕對溫度，K