

熱電偶式與熱敏式電子溫度器

編撰者：戴明鳳、董俊良，最後編撰日期：98.11.25

實驗目的：認識熱電偶式(thermocouple, TC)溫度感測計、熱敏式(thermister)溫度電子感測器，並熟悉每一種感測器的工作原理、檢測功能、使用範圍、檢測技術和優缺點。



感測器系統綜合實驗儀

內含19種感測器，未來可擴充光敏二極體和光敏三極管兩種元件的測量實驗。

1. 電阻應變感測器	11. 光纖式感測器
2. 熱電式(熱電偶)感測器	12. P-N結溫度感測器
3. 電感式(差動變壓器)感測器	13. 熱敏式感測器
4. 電感自感式	14. 氣敏感測器(酒精)靈敏度
5. 電渦流感測器	15. 濕敏感測器
6. 爾式感測器	16. 熱釋電紅外線感測器：遠紅外式
7. 磁電式感測器	17. 光電式：反射型光電開關
8. 壓電加速度感測器	18. 矽光池：S舊光型
9. 電容式感測器	19. 光敏電阻：CdS材料：幾Q—幾KQ
10. 壓力感測器	

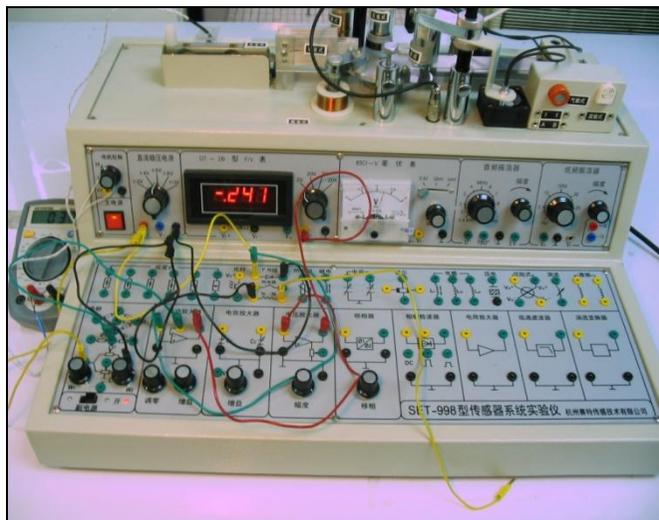


圖 1 SET 998 型感測器系統綜合實驗儀，內含 19 種感測元件及元件所需的各種電源供應模組和信號檢出模組



(a) 感測器系統實驗儀實體照片



(b) 電源控制單位和經轉換為電壓信號後之 F/V 電壓讀取表。



(c) 感測信號檢出、處理、分析和轉換單元

圖 2 (a)感測器系統綜合實驗儀實體照片，實驗儀基台主要分成三個部份：
 A.感測元件單元：位於實驗儀上方的平台上，共有 19 種感測元件；
 B.電源控制及信號讀取單元：提供各種元件所需之交直流電源的控制與輸出信號的讀取表；
 C.各種感測信號檢測處理單元：信號檢測、處理、轉換等等單元。
 (b)數據顯示 F/V 電表和電源控制單元：提供感測元件所需的各式電源控制，和經轉換為各式電壓信號後之 F/V 電壓讀取表。
 (c)感測信號檢出、處理、分析和轉換單元。

A 熱電偶溫度感測器(Thermocouple temperature sensor, TC sensor)

一、實驗目的：

熱電偶式溫度計(器)係利用熱電效應所設計的溫度感測器，其因體積小、可偵測的溫度範圍寬廣、準確度高及價位低廉等優點，故廣泛地使用於日常生活中、實驗及工業上。本實驗主旨在瞭解熱電偶溫度器測量溫度的結構設計、工作原理、工作特性、測量與正確的使用方法。

二、實驗原理：

根據熱電效應所設計的熱電偶可做為溫度感測器或真空度感測計，可將感測器所接觸到的溫度轉化成電位勢(electromotive potential)，再經由電位測量模組檢測得電位後，經溫度-電位對照表的比對，即可獲知熱電偶感測器所偵測到的溫度值。在真空度的量測中，熱電偶元件亦可以類似的工作原理偵測真空腔體內的真空度，但真空度的偵測不在本實驗的範圍。

(1) 熱電偶感溫器的工作原理[1,2]：

熱電偶感溫計主要是根據 1821 年 Seebeck 無意間發現的席貝克效應(Seebeck effect)所設計的感溫元件。此原理描述金屬材料內傳導電子的密度由金屬材料的種類及所接觸的溫度決定。當溫度上升時，金屬內傳導電荷的自由電子之密度會隨之升高，若金屬棒的兩端處在不同溫度時，則自由電子便會由高溫區擴散至低溫區，因而產生熱流及電子流的擴散電流(diffusion current)由高溫區傳流向低溫區的現象。因導電粒子的流動會在金屬的兩端開始積聚電荷，而積聚的電荷，使得導體兩端的電位勢逐漸提升，因而會逐漸阻止擴散電流的流動及電荷的累積情形。最後，當金屬兩端會產生一足夠高的電位差，阻止熱電效應的擴散時，此時擴散電流停止流動，即達平衡狀態。對於半導體而言，材料內的導電粒子除電子外，另有帶正電的電洞(hole)亦可傳導電荷，此熱電效應也可應用於半導體材料中。

熱電偶(常簡稱為熱偶)溫度感測器即是根據席貝克熱電效應所設計的感溫元件，主要是由兩條不同材質的金屬線組成，兩金屬線的兩端以點焊的硬焊

技術(hard welding，焊接時不使用任何焊料的焊接技術)焊接在一起，則兩金屬導線和兩接觸點形成一電路迴路，如圖 3 所示。



圖 3 熱電偶溫度計的示意圖，由兩條不同材質的金屬線，兩端點以硬焊方式，點焊成兩個溫度接點，使之形成電路回路。當兩溫度接點所接觸的溫度不同的話，則會在回路上產生一微小的電位差，此電位差即稱之為熱電位。

(2) 熱電偶的電動勢 ε 推導[1]

若使熱電偶元件的兩接點分別接觸不同的溫度，則因在不同金屬內導電電子的擴散速率不同，故會在兩金屬內產生不同的擴散電流，因此在兩金屬的連結迴路中會形成一微小的淨電流。此淨電流值乘上金屬接點處的接觸電阻(contact resistance)，則便在迴路上產生一微小的開路電壓，稱之為**熱偶電壓**，也就是所謂的熱電偶，也稱為席貝克電動勢(Seebeck electromotive potential) ε 。熱偶電壓的大小是兩端點間溫度差值的函數。

淨電流可視為由一作用力 \vec{f} 推動。此 \vec{f} 包含兩個成分：一為靜電力 $\vec{f}_{static} = q\vec{E}$ ，其中 \vec{E} 為因兩端點之電位累積所建立的靜電場；另一為非靜電力 $\vec{f}_{non-static}$ 。所以，

$$\vec{f} = \vec{f}_{static} + \vec{f}_{non-static}。$$

將推動迴路電流的作用力 \vec{f} 沿整個迴路做線積分，即可得到 $\varepsilon = \oint \vec{f} \cdot d\vec{l}$ ， ε 稱為熱電偶的熱電動勢或 Seebeck 電動勢。

根據金屬導體內的靜電場必須為零的特性，故 $\oint \vec{f}_{static} \cdot d\vec{l} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$ 。因此， ε 主要來自非靜電力 $\vec{f}_{non-static}$ 的貢獻，可寫為

$$\varepsilon = \oint \vec{f}_{non-static} \cdot d\vec{l} = \Delta V = S \Delta T$$

式中的 S 為 seebeck 係數或稱熱電係數。

ε 的大小與兩金屬線的材質及兩接點的溫度 T_1 和 T_2 有關。兩接點溫度差越大，電動勢也越大。如果讓某一接觸點的溫度 T_1 已知，並在整個測量過程中維持固定溫度，稱之為參考溫度點。則由測量所得的淨電動勢和參考溫度，即可推測出另一接觸點 T_2 的溫度值。因此，熱電偶作為溫度感測元件時，通常是將其中一個端點置於特定的參考溫度點，例如水的冰點 $T_1 = 0^\circ\text{C}$ (273 K)，或液態氮的溫度 -269°C (77 K)，有時為了方便則直接置於室溫，以環境溫度做為參考溫度點。另一端點則作為待測物體之溫度測量點，稱為工作溫度點。如此熱電偶的熱電動勢大小可由待測物體溫度決定，如圖 4。

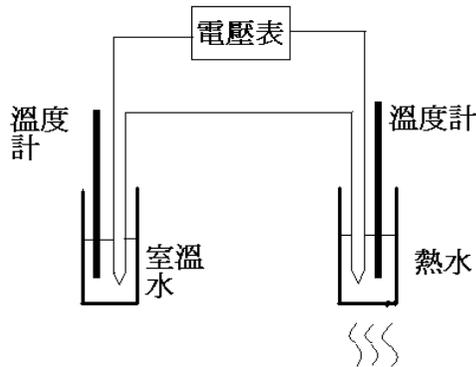


圖 4 熱電偶的熱電動勢大小由待測物體(熱水溫度)決定

熱電動勢與溫度差間的經驗公式為：

$$\varepsilon = a(T_2 - T_1) + b(T_2 - T_1)^2 + c(T_2 - T_1)^3$$

對於每一熱偶溫度計，找出其特有的 a, b, c 係數後，即可獲知熱電動勢與溫度的函數關係。通常 ε 和 $\Delta T = T_2 - T_1$ 之間不是線性函數的關係，而是非線性函數關係。但若溫度差變化的幅度小的話，則電壓與溫度之間的變化函數可大致視為線性關係，即

$$\Delta V = S \Delta T$$

其中 ΔV 是電壓的變化， S 是 Seebeck 係數， ΔT 則是兩接點的溫度差。但嚴格而言， S 也會隨著溫度的改變而改變，導致熱電偶的輸出電壓在其操作範圍內呈非線性。

(3) 市售熱電偶感溫計

市售的熱電偶感溫計根據所使用的金屬不同而有不同的類別或型別，表一列出目前工業界常用的八種不同型別的熱電偶溫度計，和其所使用的材料。每一型別的溫度計係根據美國國家標準局(American National Standards Institute, ANSI)之規範標準所設計製造，並以大寫英文字母命名。如 J 型熱電偶是由一個鐵質導線和一個康銅(一種鎳銅合金)導線焊接而成的感溫器。

表一 各種不同型別之熱電偶溫度計所使用的導線材質和成份

熱電偶溫度計的 類別名稱 (type of thermocouple)	正極導線 (conducting wire of positive electrode)	負極導線 (conducting wire of negative electrode)
B	白金-30% 銠(Pt-30% Rh)	白金-6% 銠(Pt-6% Rh)
E	鎳鉻合金(Ni-Cr alloy)	鎳銅合金(Ni-Cu alloy)
J	鐵(Fe)	鎳銅合金(Ni-Cu alloy)
K	鎳鉻合金(Ni-Cr alloy)	鎳鋁合金(Ni-Al alloy)
N	鎳鉻矽合金(Ni-Cu-Si alloy)	鎳矽鎂合金(Ni-Si-Mg alloy)
R	白金-13% 銠(Pt-13% Rh)	白金(Pt)
S	白金-10% 銠	白金
T	銅	鎳銅合金

(4) 熱電位測量

電位勢 ε 和溫度 T 之間的關係可利用已知的標準化熱電壓與溫度的對照表來表示，對照表通常是根據熱電偶冷端溫度 $T_0 = 0^\circ\text{C}$ 的條件下測量而得的。所以在使用熱電偶時，只有滿足 $T_0 = 0^\circ\text{C}$ 的條件時，才能直接使用此對照表。通常廠商會提供各種型別之感溫計的對照表，可上網查詢。表二為 T 型銅—康銅熱電偶溫度計的標準熱電壓與溫度的對照表。

但許多實際狀況下，冷端溫度並不是 0°C ，而是某一溫度 t_n ，因此在使用

對照表時，必須對所測量得的電動勢進行下式的修正：

$$\varepsilon(T, 0) = \varepsilon(T, T_n) + \varepsilon(T_n, 0) \quad (1)$$

意即 熱偶電動勢 = 電位錶測量值 + 室溫修正值

式中 $\varepsilon(T, 0)$ 是冷端為 0°C 時的熱電偶電動勢， T 為熱電偶的熱端工作溫度， T_n 為熱電偶參考端(冷端)所處的溫度，本實驗所使用的參考冷端為室溫。

表二 自由端溫度為 0°C 之 T 型銅—康銅熱電偶的熱電壓與溫度的對照表

工作端 溫度 $^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	熱 電 動 勢 (mV)									
-10	-0.383	-0.421	-0.459	-0.496	-0.534	-0.571	-0.608	-0.646	-0.683	-0.720
0	-0.000	-0.039	-0.077	-0.116	-0.154	-0.193	-0.231	-0.269	-0.307	-0.345
0	0.000	0.039	0.078	0.147	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.351
10	0.391	0.430	0.470	0.510	0.549	0.589	0.629	0.669	0.709	0.749
20	0.789	0.830	0.870	0.911	0.951	0.992	1.032	1.073	1.114	1.155
工作端 溫度 $^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	熱 電 動 勢 (mV)									
30	1.196	1.237	1.279	1.320	1.361	1.403	1.444	1.486	1.528	1.569
40	1.611	1.653	1.695	1.738	1.780	1.822	1.865	1.907	1.950	1.992
50	2.035	2.078	2.121	2.164	2.207	2.250	2.294	2.337	2.380	2.424
60	2.467	2.511	2.555	2.599	2.643	2.687	2.731	2.775	2.819	2.864
70	2.908	2.953	2.997	3.042	3.087	3.131	3.176	3.221	3.266	3.312
80	3.357	3.402	3.447	3.483	3.538	3.584	3.630	3.676	3.721	3.767
90	3.827	3.873	3.919	3.965	4.012	4.058	4.105	4.151	4.198	4.244
100	4.291	4.338	4.385	4.432	4.479	4.529	4.573	4.621	4.668	4.715

以 ITS-90 標準所製作的 T 型銅-康銅熱電偶為例(表 2 為銅—康熱電偶對照表)，其熱電動勢 ε (mV) 和溫度 T ($^\circ\text{C}$) 的近似關係式如下[4]

$$\varepsilon(T, 0) = 0.03875 T + 3.329 \times 10^{-5} T^2 \quad (2)$$

實務上，無法用三用電表直接測量席貝克效應產生的正確熱電壓，因一般三用電表的接線與熱電偶接線間的接點處又會產生新的熱電偶界面，要測得

正確塞貝克效應之電壓，必須把三用電表兩端接線分別用與熱電偶兩端相同材料接線，才可獲得較為準確要的席貝克效應的熱電壓[5]。

(5)熱電偶溫度計的優點：

與其他種類之溫度計比較，熱電偶溫度計具有下列諸多特性及優點：

1. 溫度感測速度快、電位信號響應(response)迅速，因時間延遲(Time lag)所產生的誤差小。
2. 可使用不同的金屬材料組合，製作可測量不同範圍和具有不同優點的各種不同型別的熱電偶。需因應不同的感溫範圍和精確度需求選用適當型別的熱電偶。熱電偶溫度計的溫度測量範圍寬廣，可測定 -200°C 到 $+1,800^{\circ}\text{C}$ 的溫度範圍。
3. 因實際感溫的熱偶接點很小，所以對特定點或微小面積的溫度可提高較高的準確度和精確度測量。
4. 由於溫度係以熱電動勢(mV)檢出，所以溫度的測定、調節、增幅、控制、變換等信號處理容易，且可透過電性信號進行溫度的自動控制和調變。
5. 相較其他感溫組件而言，熱電偶溫度計因其結構堅固，可偵測的溫度範圍廣泛，容易取得，且易於維修與維護，故即使套件含電位檢測模組，仍屬售價較低的感溫系統，所以常被使用於是工業上和學術研究上。

(6)熱電偶溫度計的構造與使用注意事項

1. 熱電偶有多種型別，應依使用場所之環境、用途與測溫範圍選用適當型別的熱電偶。
2. 參考基準點的補償一般設定為 0°C 。
3. 為了防止熱電偶接引線間發生短路(Short Circuit)，最好於兩金屬接點附近裝置絕緣礙子，防止短路。
4. 為了不使金屬導線直接與被測物及周圍氣體接觸，導致金屬材料起化學變化，通常外加絕緣導熱的保護套管。
5. 選用熱電偶的型別和安裝使用時，除需考慮溫度測量的範圍和準確性外，也必需考慮耐熱、耐蝕、耐震性等因素，以選擇適當的保護套管。其他如系統構造及溫度計的安裝方法和溫度計的最佳感溫位置等等也不可忽視。
6. 為了經濟及配線方便，通常熱電偶與電位量測電錶間會連接補償導線。

故熱電偶、電阻式溫度計在實際的測量時，需與補償導線及計量器等連成測溫

體系的一環，才能測得精確的溫度值。

三、實驗器材：

1. 位於感測統綜合實驗儀上的由銅-康銅製成的 T 型熱電偶感溫元件，實驗儀內所提供的加熱器裝置和差動放大器。
2. Goodwill 公司製的 GWINSTEK GDM-350A 掌上型三位半數位多功能電表一部，電表的附屬 K-型熱電偶溫度計一個。

四、實驗步驟：

1. 先確認儀器 B. 電源控制面板部份最左側之橘色主電源開關(見圖 2b)處在關的狀態(燈不亮的狀態)，並將儀表上所有的旋轉鈕逆時間轉到底。
2. 實驗儀內所附的熱電偶是由銅—康銅合金所組成的 T-型簡易熱電偶，被封裝在儀器上方之 A. 感測元件平台上最左側附有一壓克力小方盒的鐵板內(看不到，但有標籤)。此一鐵盒內另附有一個 PN 結(PN 二極體)和一個熱敏電阻，以及加熱器，如圖 5 所示。



圖 5 A. 感測元件平台上之壓克力小方盒內附有加熱器、熱電偶、PN 結和熱敏電阻等四個元件。

3. 調節差動放大器輸出為零，開啟儀器主電源，並將儀器左下角的副電源開關置於“開”的位置(提供 $\pm 15V$ 的輸出)。
4. **差動放大器的歸零步驟**：如圖 6 內黑色接線所示，將 C. 感測信號檢測處理單元中之差動放大器部份的增益旋轉鈕順時針方向旋到底，使放大器的增益(亦即信號放大率)為 100 倍，差動放大器的“+、-”兩輸入端以連接導線同時對地短路，意即差動放大器的正、負兩輸入端為等電位，故放大器的輸出端電位應為零。差動放大器的輸出端接 F/V 電壓表，調節差動放大器調零旋鈕使差動放大器輸出電壓為零，F/V 電壓表表顯示零，此為放大器

歸零步驟。

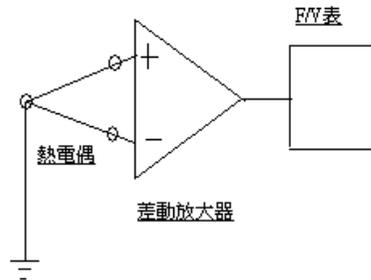


圖 6 差動放大器歸零的接線情形和示意圖

5. **掌上型數位三用電表(如圖 7 所示)的溫度測量使用說明[6]**：本實驗使用固緯公司所製的數位三用電表，如圖 7 所示。該電表隨機附有一條 GDM-350A 溫度感測探線，該溫度感測探線屬 K 型熱電偶感溫元件，此熱電偶測量溫度的上限為 250°C 。



圖 7 固緯(Goodwill)公司的 GWINSTEK GDM-350A 掌上型數位多功能電表。

6. **以掌上型數位三用電表之溫度計檢測功能讀取室溫的溫度值**：將掌上型數位三用電表隨機所附之 K-型熱電偶感溫線非感測端所接之兩條導線上的紅色和黑色香蕉頭，分別插入三用電表上標示“ $\text{V}\Omega\text{mA}^{\circ}\text{C}^{\circ}\text{F}$ ”(紅色插頭，正電位端)與“COM”(黑色插頭，負電位端)的香蕉插孔座內。並將電表的指示功能檔旋鈕調至讀取「 $^{\circ}\text{C}$ 」溫度的檔位，先讓感溫探頭懸浮於空氣中，待環境溫度達平衡，電表的溫度讀值呈顯穩定數值後，讀取室溫溫度值。
7. 然後，將 K-型熱電偶感溫探線的測溫端置入待測腔體中，本實驗將溫度計檔

之探頭插入“壓克力小方盒”裏，探頭不要觸到加熱器。讀取數位三用表之 LCD 顯示器上所測量得的數據。

8. 如圖 8 將熱電偶兩端接入差動放大器的正、負兩輸入端，“加熱”插孔兩端暫時不要接線，差動放大器的輸出端接至 F/V 表 Vi 輸入端，觀察 F/V 表顯示值的變化，記錄 F/V 表顯示的讀數 E，約有 20mV 的漂移，這是正常的。圖 8 只是簡易示意圖，真正熱電偶檢出電路圖是差動放大器左方接有待測熱電偶接面及參考接面[5]，參考接面是室溫至 0°C 的熱電偶電壓，由差動放大器之原理，差動放大器檢出之電壓，是已扣除此參考接面電壓，如圖 9 所示。

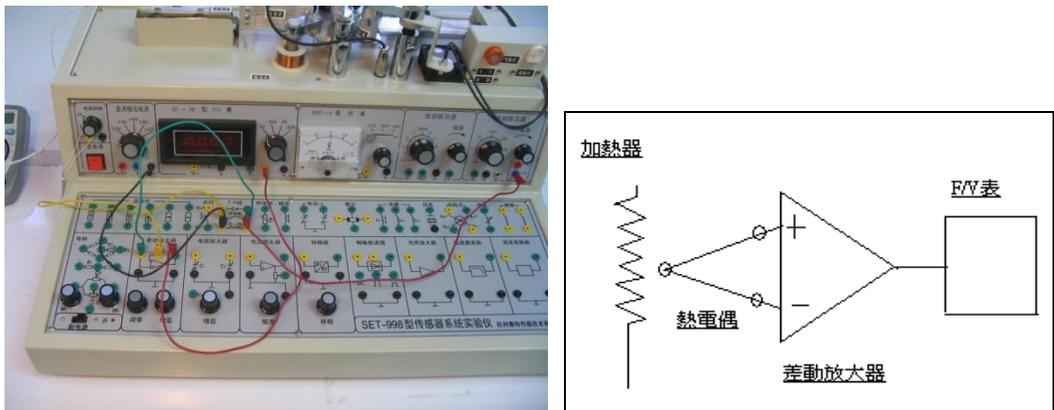


圖 8 加熱器加熱電源和熱電偶信號檢測之接線圖。

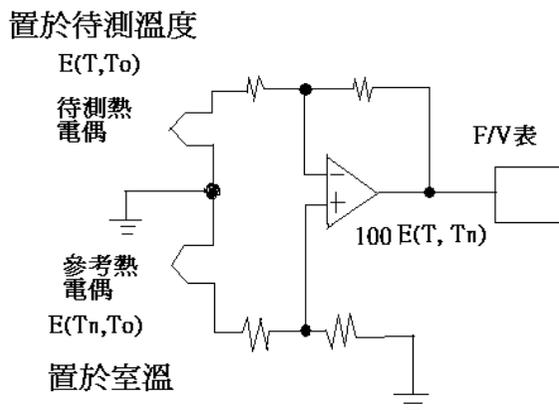


圖 9 實際熱電偶信號的檢測電路圖

9. 同時用數位三用電表的溫度計檔之探頭插入“壓克力小方盒”裏，觀察“壓克力小方盒”熱電偶處的溫度。**注意：溫度計的測溫探頭不要觸到加熱器，只要在加熱器處附近空間即可**，數位三用電表的溫度計檔接法步驟 6 所述。
10. 如圖 8 所示，將-15V 的直流電源(位於上儀表板右下方-15 藍色插孔)接入加熱器(“加熱”插孔)的一端(在 C.信號輸出和檢測單元之面板上)，加熱器(“加熱”插孔)的另一端接地(接入可調式電源的接地端)，開始加熱，每隔 2 秒觀察一次電壓值，不用計錄。
11. 待溫度不再上升時，達到相對的熱穩定狀態時，才記錄電壓表讀值，並由步驟 12,13 求出溫度值。
12. 以上由感測系統綜合實驗儀所測得的熱電偶電壓，計算出溫度值(換算值)，並與掌上型三用電表之溫度計所測得的溫度值(標準值)相比較，分析其求出溫度值與真實溫度之誤差。(注意：本實驗儀所配的熱電偶為簡易熱電偶、並非標準熱電偶，只是瞭解熱電勢現象，誤差很大難免)。受限於元件及溫度計之緩慢反應時間，加熱過程中之不穩定輸出電壓變化及溫度，不適合作為實驗數據，只有達到相對的熱穩定狀態之數據，才可用為熱電偶換算出溫度值 t_{TC} (°C)與真實溫度“ T_{TC} 標準(°C)”之誤差比較之用。
13. 熱端溫度為 T ，冷端溫度為室溫 T_n 時，熱電勢 $\alpha(T, T_n)$ 的值是由達穩定時，F/V 表的電壓顯示值除以 100 而得(因差動放大器的增益為 100)。 $\alpha(T_n, T_0)$ 是熱端溫度為室溫，冷端溫度為 0°C 時之熱電勢，銅-康銅熱電偶的熱電勢可由表二 T-型熱電偶的熱電壓與溫度間的對照表而得。然後計算 $\alpha(T, T_0)$ ，即熱端溫度為 T ，冷端溫度為 0°C 時的熱電勢，根據計算結果 $\alpha(T, T_0)$ 即是 V_{TC} ，再求得換算值 t_{TC} (°C)，再與實際溫度計讀值“ T_{TC} 標準(°C)”作比較，比較實驗值的誤差。
14. 加熱器的-15V 加熱電源關閉，即-15 藍色插孔接頭拔除懸空，使壓克力盒內散熱至室溫，重覆數次作步驟 9- 13。
15. 實驗完畢後，記得必須將加熱器的-15V 加熱電源關閉(位於上儀表板右下方-15 藍色插孔)，即-15 藍色插孔接頭拔除懸空，其他旋鈕重置到原始位置(大部分旋鈕的原始位置是逆時針旋到底)。並關閉主電源和副電源。
16. **範例：實驗數據** 20°C 0mV [室溫] / ... 24°C 67mV.../... 44°C

88mv.../50°C 102mV〔最後穩定值〕，中間過程不穩定狀態數據皆捨去，取 50°C 之 102mV 當測量值，除以放大器 100 倍得 1.02mV，取銅-康銅熱電偶分度表，室溫 20°C 是 0.789mV 然後加上 1.02mV，得銅-康銅熱電勢測量值 V_{TC} (Volt) 是 1.809mV，值查銅-康銅熱電偶分度表值，轉換成溫度換算值 t_{TC} (°C) 是 44.5°C，三用電表之溫度計所測得的溫度值 T_{TC} (標準值) 是 50°C，測量值與真實溫度值 T_{TC} (標準值) 誤差率 11%。

五、注意事項：

1. 本儀器所使用的熱電偶是由兩隻銅-康銅熱電偶串接而成的，熱電偶的冷端為室溫，熱端在壓克力小方盒的鐵板內。放大器的增益為 100 倍，計算熱電勢時應考慮進去，如圖 9 所示。
2. 本實驗可由步驟 13 求得熱電偶輸出電壓 V_{TC} (Volt)、 t_{TC} (°C)，記入資料表表三。B 部份熱敏電阻溫度計實驗結果，也可記入資料表表三。
3. 熱電偶 (V_{TC})、熱敏電阻 (R_{T_0} 、 R_T 、 T_0) 測量資料表：

室溫 $t_0 =$ _____ °C， $T_0 =$ _____ K

表三 參考之實驗紀錄表，可依自行需求設計自己所需要的實驗數據紀錄表

室溫 $t_0 =$ _____ °C， $T_0 =$ _____ K

項目	實驗次序	1	2	3	4	5	6
測量值	V_{TC} (Volt)						
	R_{T_0} 、 R_T 、 T_0						
換算值	t_{TC} (°C)						
	T (K)						
標準值	T_{TC} 標準 (°C)						
	T_R 標準 (K)						
	α_T (K ⁻¹)						

誤 差 率	t_{TC} (°C)						
	T (K)						

六、問題：

1. 熱電偶實驗所測之溫度值，為何與實際溫度差距很大，誤差由來為何？
2. 何謂塞貝克效應(Seebeck effect)?並請列舉此效應的應用。
3. 塞貝克效應所產生的電壓無法用三用電表直接測量得？請說明原因。
4. 請解釋圖 8 熱電偶信號檢測電路圖，其電路原理及功用意義？
5. 美國 ANSI 列出目前工業界常用的八種熱電偶溫度計，它們為何？

參考文獻：

- [1] 熱電偶量溫實驗，逢甲大普物實驗教材，
<http://www.scu.edu.tw/physics/science-scu/M302/12.htm>
- [2] 有關 Seebeck effect 的參考資料
 - (1) Mark W. Zemansky and Richard H. Dittman, “Heat and Thermodynamics”, P. 432. , 6th edition, 1981.
 - (2) Thermoelectric effect, http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect, From Wikipedia, the free encyclopedia.
 - (3) Introduction to thermoelectricity, website:
<http://www.chem.cornell.edu/fjd3/thermo/intro.html>
 - (4) thermoelectric effects, website:
http://www.techfak.uni-kiel.de/matwis/amat/elmat_en/kap_2/advanced/t2_3_2.html
 - (5) The Seebeck effect, website:
<http://www.uni-konstanz.de/FuF/Physik/Jaeckle/papers/thermopower/nodel.html>
- [3] SET-998 型系列傳感器系統實驗儀使用操作說明暨實驗指南，中國杭州賽特傳感技藝有限公司編。
- [4] 北京清華大學物理系感測器原理及應用系列實驗教材。
- [5] 電子實習 3，許深福、許棟材編撰，1989 版，格致圖書有限公司出版。
- [6] GWINSTEK GDM-350A 數位多功能電表使用說明書，固緯電子儀器有限公司出版。

B. 熱敏電阻溫度計

一、實驗目的：

探討熱敏電阻的結構，及其感測溫度的原理和工作特性，並學習使用熱敏電阻測量溫度的方法。

二、實驗原理：

熱敏電阻是利用半導體材料製成的熱敏元件，屬熱電式感測器的一種，因其電阻值會隨溫度快速變化，所以可以用以作為測量溫度的工具。電阻對溫度變化的靈敏度高，可以應用於各領域。一般來說，熱電偶的高溫線性較好，故適合用於高溫範圍的溫度檢測；但熱敏電阻則適合於 200°C 以下的溫度測量，不適合高溫測量。

本實驗中所使用之熱敏電阻的溫度變化係數為負溫度係數。電阻的溫度係數定義為溫度每變化 1°C 時，元件之電阻值的相對變化量，可用下式表示為 [2][3]：

$$\alpha_T = \frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT} = -\frac{B}{T^2} \text{-----}(1)$$

式中 B 為熱敏電阻常數。本實驗所使用之熱敏電阻的 $B = 3200 \text{ K}$ 。故對於負溫度係數的熱敏電阻，其電阻值隨溫度的變化函數為 [2][3]：

$$R_T = R_{T_0} e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

式中 R_T 、 R_{T_0} 分別為溫度 T 和 T_0 時的電阻值。

因此當溫度變化時，熱敏電阻阻值的變化其關係可表示為 [2][3]：

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{B} \ln \frac{R_T}{R_{T_0}} + \frac{1}{T_0} \text{-----}(2)$$

三、實驗器材

熱敏電阻 R_T 、溫度變換器、具 20V 檔的數位電壓表、溫度計

四、實驗步驟

1. 先單獨量測熱敏電阻值室溫的電阻值 R_{T0} ， R_{T0} 電阻值可由圖 2(c)儀表板“熱電阻”雙孔接三用電表測量得到，-15 藍色插孔接頭原本拔除懸空，重新插入-15 藍色插孔，加熱器就會加熱，間隔每一度 C 記錄資料，三用電表測量計錄熱敏電阻值，中間過程非穩定熱狀態的數據只是當參考，其值不準確，穩定熱狀態的熱敏電阻值 R_T 才是我們要的數據，測量熱敏電阻值 R_T 完成後，記得必須將加熱器的-15V 加熱電源關閉(位於上儀表板右下方-15 藍色插孔)，即-15 藍色插孔接頭拔除懸空。

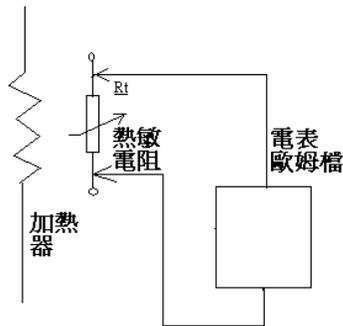


圖 10 熱敏電阻實際接線

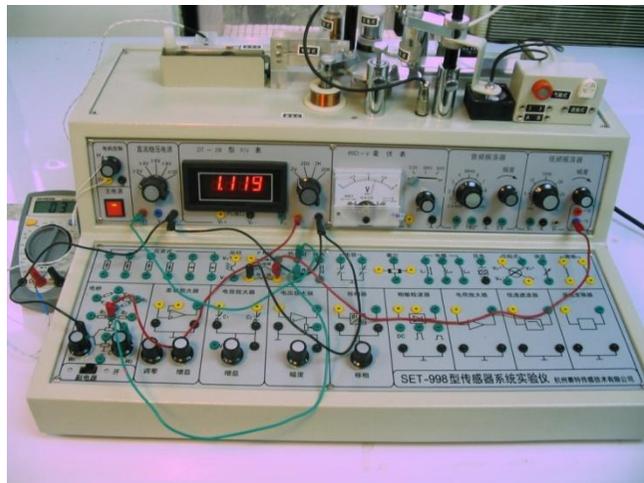


圖 11 熱敏電阻接線

- 用溫度計測出環境溫度，記錄 T_0 值，以用國際凱式溫標為 K 單位。
- 由 R_{T_0} 、 R_T 、 T_0 已知代入原理(2)式計算得 T 換算值，穩定熱狀態的溫度 T 測量換算值是我們要的數據。 T 值與數位三用電表溫度計量測最後的穩定溫度 T_R 為標準值，兩者可互為比較誤差。
- 計算每點的熱敏電阻溫度係數 α_T 值。由原理(1)式計算得 α_T
- 加熱器的-15V 加熱電源關閉，即-15 藍色插孔接頭拔除懸空，壓克力小方盒內讓它散熱至室溫，重新再依步驟一、二、三、四、重作實驗計錄數據。
- 實驗完畢後，記得必須將加熱器的-15V 加熱電源關閉(位於上儀表板右下方-15 藍色插孔)，即-15 藍色插孔接頭拔除懸空，其他旋鈕重置到原始位置(大部分旋鈕的原始位置是逆時針旋到底)。並關閉主電源和副電源。

範例	°C	(2)式算得 T 換算值	熱敏電阻歐姆
	19°C T_0		R_{T_0} 11.92k
	20°C		10.9k
	21°C		9.98k
	22°C		9.6k
	23°C		9.27k
	24°C		8.29k

	47°C		3.35k
	48°C		3.3k
	49°C		3.26k
	50°C T_R	T 換算值	R_T 3.2k (熱穩定狀態)

五、問題

- 熱敏電阻對外界溫度有非線性電阻變化輸出，但溫度顯示卻必須是線性的，如何製作實現一精確電子溫度計以測量 $0\sim 50^\circ\text{C}$ ，顯示線性的溫度輸出？
- 由 R_{T_0} 、 R_T 、 T_0 已知代入原理(2)式計算得 T 換算值的步驟，在電子溫度

計如何製作實現？

3. 你能以圖 9 解釋電路動作原理，及熱敏電阻 R_t 、加熱器溫度、輸出電壓之間的關係？
4. 抬頭觀看實驗室天花板，有一白色圓球火災感測器，此型是靠溫度感測火警，你能判斷此火災感測器是何種材料感測器，並能用方塊圖描述整個火警系統嗎？
5. “自動門”靠著感應人類接近，而能開啟大門，你能研究它是何種感測器嗎？

參考文獻：

- [1] SET-998 型系列傳感器系統實驗儀使用操作說明暨實驗指南，中國杭州賽特傳感技藝有限公司編。
- [2] 北京清華大學物理系感測器原理及應用系列實驗教材。
- [3] 電子實習 3，許深福、許棟材編撰，1989 版，格致圖書有限公司出版。