

熱電偶基本應用法*

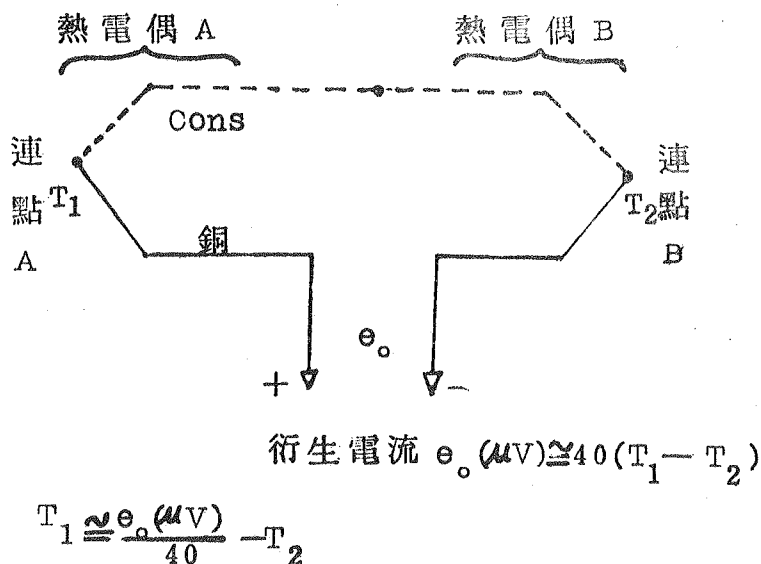
譯者：梁 昇**

目 錄

1. 熱電偶基本原理。
2. 熱電偶的準確性。
3. 熱電偶的讀出方法。
4. 自製熱電偶。
5. 連點的絕緣。
6. 熱電偶的聯頭與開關。
7. 直通熱電偶（無聯頭）。
8. 聚熱電偶開關。
9. 以熱電偶取得平均溫度。
10. 熱電偶堆。
11. 葉溫測定法。
12. 到那裡購買熱電偶及其材料？

一、熱電偶基本原理

所謂熱電偶對 (Thermo couple pair) 係由二種金屬綫連接如圖一而成。本文針對溫度 (低溫) 測定常用的銅與 Constantan (以下略為 Cons) 綫所組配成熱電偶。一旦連點 (Junction) A 與 B 分別置於



圖一：熱電偶 (Cons—銅)

*本文譯自 Basic Thermocouple Thermometry 一書，Howard Schimmelpfennig 編，W 15 Application Note, Wescor, Inc., 459 S. Main St. Longon, Utah, 84321, USA.

** 水土保持學系第二屆畢業生。

二種不同溫度環境中，此系統即產生微電流（ e° ）。如 A 比 B 溫度高，左方銅線則得正電，右方銅絲則得負電。此種銅—Cons 組配成的 AB 二點每差攝氏一度約產生 $40\mu v$ 的電流。表一為二連點中任一點置於 OC（稱為參考連點）而另一點隨溫度變化所產生的電流值。此電流值與二連點間的溫差成正比例。

表一 銅—Cons 熱電偶產生電流（ μv ）

（OC 到 40C 可引用下式 $XC=0.02 \times 26.04mv-0.63mv^2$ 取得之。）

$^{\circ}C$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$^{\circ}C$
-270	-6.258											-270
-260	-6.232	-6.236	-6.239	-6.242	-6.245	-6.248	-6.251	-6.253	-6.255	-6.256	-6.258	-260
-250	-6.181	-6.187	-6.193	-6.198	-6.204	-6.209	-6.214	-6.219	-6.224	-6.228	-6.232	-250
-240	-6.105	-6.114	-6.122	-6.130	-6.138	-6.146	-6.153	-6.160	-6.167	-6.174	-6.181	-240
-230	-6.007	-6.018	-6.028	-6.039	-6.049	-6.059	-6.068	-6.078	-6.087	-6.096	-6.105	-230
-220	-5.889	-5.901	-5.914	-5.926	-5.938	-5.950	-5.962	-5.973	-5.985	-5.996	-6.007	-220
-210	-5.753	-5.767	-5.782	-5.795	-5.809	-5.823	-5.836	-5.850	-5.863	-5.876	-5.889	-210
-200	-5.603	-5.619	-5.634	-5.650	-5.665	-5.680	-5.695	-5.710	-5.724	-5.739	-5.753	-200
-190	-5.439	-5.456	-5.473	-5.489	-5.506	-5.522	-5.539	-5.555	-5.571	-5.587	-5.603	-190
-180	-5.261	-5.279	-5.297	-5.315	-5.333	-5.351	-5.369	-5.387	-5.404	-5.421	-5.439	-180
-170	-5.069	-5.089	-5.109	-5.128	-5.147	-5.167	-5.186	-5.205	-5.223	-5.242	-5.261	-170
-160	-4.865	-4.886	-4.907	-4.928	-4.948	-4.969	-4.989	-5.010	-5.030	-5.050	-5.069	-160
-150	-4.648	-4.670	-4.693	-4.715	-4.737	-4.758	-4.780	-4.801	-4.823	-4.844	-4.865	-150
-140	-4.419	-4.442	-4.466	-4.489	-4.512	-4.535	-4.558	-4.581	-4.603	-4.626	-4.648	-140
-130	-4.177	-4.202	-4.226	-4.251	-4.275	-4.299	-4.323	-4.347	-4.371	-4.393	-4.419	-130
-120	-3.923	-3.949	-3.974	-4.000	-4.026	-4.051	-4.077	-4.102	-4.127	-4.152	-4.177	-120
-110	-3.656	-3.684	-3.711	-3.737	-3.764	-3.791	-3.818	-3.844	-3.870	-3.897	-3.923	-110
-100	-3.378	-3.407	-3.435	-3.463	-3.491	-3.519	-3.547	-3.574	-3.602	-3.629	-3.656	-100
-90	-3.089	-3.118	-3.147	-3.177	-3.206	-3.235	-3.264	-3.293	-3.321	-3.350	-3.378	-90
-80	-2.788	-2.818	-2.849	-2.879	-2.909	-2.939	-2.970	-2.999	-3.029	-3.059	-3.089	-80
-70	-2.475	-2.507	-2.539	-2.570	-2.602	-2.633	-2.664	-2.695	-2.726	-2.757	-2.788	-70
-60	-2.152	-2.185	-2.218	-2.250	-2.283	-2.315	-2.348	-2.380	-2.412	-2.444	-2.475	-60
-50	-1.819	-1.853	-1.886	-1.920	-1.953	-1.987	-2.020	-2.053	-2.087	-2.120	-2.152	-50
-40	-1.475	-1.510	-1.544	-1.579	-1.614	-1.648	-1.682	-1.717	-1.751	-1.785	-1.819	-40
-30	-1.121	-1.157	-1.192	-1.228	-1.263	-1.299	-1.334	-1.370	-1.405	-1.440	-1.475	-30
-20	-0.757	-0.794	-0.830	-0.867	-0.903	-0.940	-0.976	-1.013	-1.049	-1.085	-1.121	-20
-10	-0.383	-0.421	-0.458	-0.496	-0.534	-0.571	-0.608	-0.646	-0.683	-0.720	-0.757	-10
0	0.000	-0.039	-0.077	-0.116	-0.154	-0.193	-0.231	-0.269	-0.307	-0.345	-0.383	0

表一 (續)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.351	0.391	0
10	0.391	0.430	0.470	0.510	0.549	0.589	0.629	0.669	0.709	0.749	0.789	10
20	0.789	0.830	0.870	0.911	0.951	0.992	1.032	1.073	1.114	1.155	1.196	20
30	1.196	1.237	1.279	1.320	1.361	1.403	1.444	1.486	1.528	1.569	1.611	30
40	1.611	1.653	1.695	1.738	1.780	1.822	1.865	1.907	1.950	1.992	2.035	40
50	2.035	2.078	2.121	2.164	2.207	2.250	2.294	2.337	2.380	2.424	2.467	50
60	2.467	2.511	2.555	2.599	2.643	2.687	2.731	2.775	2.819	2.864	2.908	60
70	2.908	2.953	2.997	3.042	3.087	3.131	3.176	3.221	3.266	3.312	3.357	70
80	3.357	3.402	3.447	3.493	3.538	3.584	3.630	3.676	3.721	3.767	3.813	80
90	3.813	3.859	3.906	3.952	3.998	4.044	4.091	4.137	4.184	4.221	4.277	90
100	4.277	4.324	4.371	4.418	4.465	4.512	4.559	4.607	4.654	4.701	4.749	100
110	4.749	4.796	4.844	4.891	4.939	4.987	5.035	5.083	5.131	5.179	5.227	110
120	5.227	5.275	5.324	5.372	5.420	5.469	5.517	5.566	5.615	5.663	5.712	120
130	5.712	5.761	5.810	5.859	5.908	5.957	6.007	6.056	6.105	6.155	6.204	130
140	6.204	6.254	6.303	6.353	6.403	6.452	6.502	6.552	6.602	6.652	6.702	140
150	6.702	6.753	6.803	6.853	6.903	6.954	7.004	7.055	7.106	7.156	7.207	150
160	7.207	7.258	7.309	7.360	7.411	7.462	7.513	7.564	7.615	7.666	7.718	160
170	7.718	7.769	7.821	7.872	7.924	7.975	8.027	8.079	8.131	8.183	8.235	170
180	8.235	8.287	8.339	8.391	8.443	8.495	8.548	8.600	8.652	8.705	8.757	180
190	8.757	8.810	8.863	8.915	8.968	9.021	9.074	9.127	9.180	9.233	9.286	190
200	9.286	9.339	9.392	9.446	9.499	9.553	9.606	9.659	9.713	9.767	9.820	200
210	9.820	9.874	9.928	9.982	10.036	10.090	10.144	10.198	10.252	10.306	10.360	210
220	10.360	10.414	10.469	10.523	10.578	10.632	10.687	10.741	10.796	10.851	10.905	220
230	10.905	10.960	11.015	11.070	11.125	11.180	11.235	11.290	11.345	11.401	11.456	230
240	11.456	11.511	11.566	11.622	11.677	11.733	11.788	11.844	11.900	11.956	12.011	240
250	12.011	12.067	12.123	12.179	12.235	12.291	12.347	12.403	12.459	12.515	12.572	250
260	12.572	12.628	12.684	12.741	12.797	12.854	12.910	12.967	13.024	13.080	13.137	260
270	13.137	13.194	13.251	13.307	13.364	13.421	13.478	13.535	13.592	13.650	13.707	270
280	13.707	13.764	13.821	13.879	13.936	13.993	14.051	14.108	14.166	14.222	14.281	280
290	14.281	14.339	14.396	14.454	14.512	14.570	14.628	14.686	14.744	14.803	14.860	290
300	14.860	14.918	14.976	15.034	15.092	15.151	15.209	15.267	15.326	15.384	15.443	300
310	15.443	15.501	15.560	15.619	15.677	15.736	15.795	15.853	15.912	15.971	16.030	310
320	16.030	16.089	16.148	16.207	16.266	16.325	16.384	16.444	16.503	16.562	16.621	320
330	16.621	16.681	16.740	16.800	16.859	16.919	16.978	17.038	17.097	17.157	17.217	330
340	17.217	17.277	17.336	17.396	17.456	17.516	17.576	17.636	17.696	17.756	17.816	340
350	17.816	17.877	17.937	17.997	18.057	18.118	18.178	18.238	18.299	18.359	18.420	350
360	18.420	18.480	18.541	18.602	18.662	18.723	18.784	18.845	18.905	18.966	19.027	360
370	19.027	19.088	19.149	19.210	19.271	19.332	19.393	19.455	19.516	19.577	19.638	370
380	19.638	19.699	19.761	19.822	19.883	19.943	20.006	20.068	20.129	20.191	20.252	380
390	20.252	20.314	20.376	20.437	20.499	20.560	20.622	20.684	20.746	20.807	20.869	390
400	20.869											400

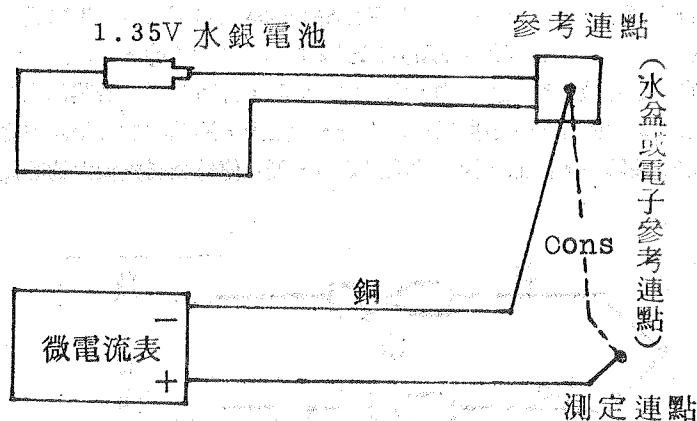
若欲得其中之一連點的絕對溫度，必須先知道另一連點的溫度。一般常用冰盆 (Ice bath) 維持 OC 連點。此 OC 連點稱為參考連點 (Reference junction)。任何儀器用以量測絕對溫度必須內附一參考連點。如Wescor MJ 55與Omega 出品的 Ice point cold Conjunction 均係冰盆 (OC) 的一種電子替代品。內部電流接通時，儀器內部熱電偶恒維持 OC。

二、熱電偶的準確性 (Accuracy)

無覆皮的標準熱電偶準確性可達 1%。尤當參考熱電偶溫度與測定熱電偶之測定溫度接近時，可得最高準確性。出廠時同一捲圈的熱電偶線製成的熱電偶有幾乎相同的對應曲線（指溫度電流關係曲線）。若測定熱電偶分別得 25C 與 20C，其對參考熱電偶的誤差分別為 0.25C 與 0.2C；而此二測定電偶測溫的相對誤差僅為 0.05 C。如用以直接測溫，因其一為零度參考熱電偶，測定熱電偶測得 5 C，此即為 0 C-5 C 熱電偶對；二者產生電流為 9 mv。而 20C-30C 電偶對產生電流約多出 0.23C 的電流，顯比前者大。

三、熱電偶之讀出設計

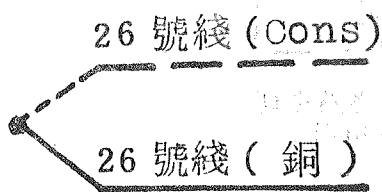
熱電偶僅產生低電流（以 mv 計之）信號，偵測儀器必須能偵受此微量且具低偏差的電流。由於積體電路的發展，此種困難已可迎刃而解。為了測定絕對溫度，偵測儀器必須包括熱電偶參考連點，若無此連點，則須外加添裝如圖 2。



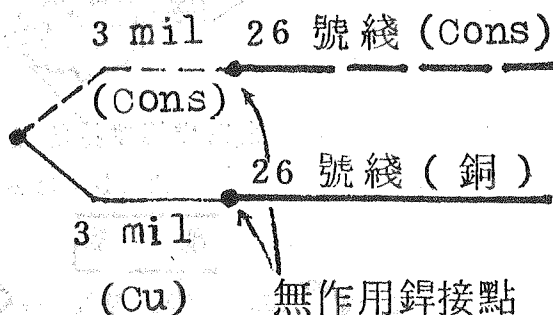
圖二 以微電流表及外加參考連點 (External Reference Junction) 測定溫度

四、自製熱電偶

一熱電偶包括測定連點與適長的導線。圖 3 a 表一截 26 號線所製成的熱電偶，將導線的一端絕緣皮卸除，纏繞一起銲接而成連點。圖 3 b 表由更細的線（3 mil）銲在 26 號導線上而形成的連點。此導線可接至任意長甚至數百呎。



圖三 A：26 號綫熱電偶



圖三 B：3mil 綫熱電偶

使用一般收音機或電視機用銲鎗，以小於 3 mil 的金屬線銲成連點較為困難。且大部分細線均塗以薄層 Enamel 以施絕緣，可先以刀片刮除。惟刮除動作中常弄斷細線，故最好使用 800F 鐵頭銲鎗熨燒絕緣塗劑並同時銲接細線。

五、連點的絕緣

若熱電偶導線很長，則連點施以電性絕緣處理，可降低讀出系統交流地感誤差 (Ac ground loop error)。若以多頭連點 (Multiple junctions) 以測定平均溫度，連點更應施以電性絕緣以降低連點間的電流漏失。

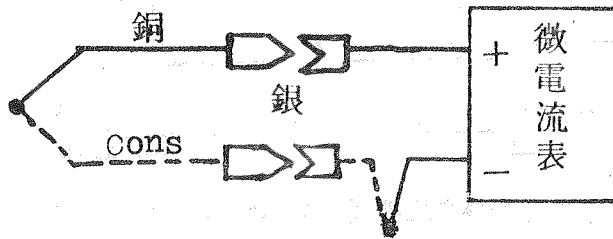
六、熱電偶接頭與開關

由二種不同金屬線熔連而成，其對任何連點間的溫度梯度都會產生一些錯誤電流。購買銅——Cons 接頭與開關或者使用標準零件並謹慎使用，均可避免之。

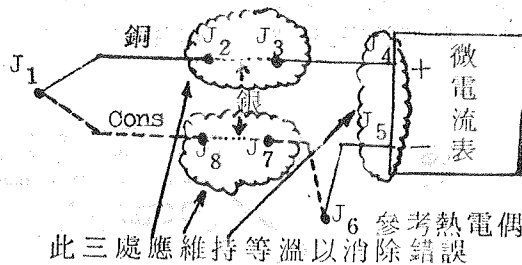
圖 4 a 乃一插座—插頭組 (Plug-socket Assembly) 以供熱電偶插接儀器。圖 4 b 則示意銅——Cons 導線作用有如熱電偶。如 J_2 與 J_3 溫度不同，則有誤差電流產生。 J_7 與 J_8 亦同。此種系統把微電流表視為非銅的額外電路，此二額外端點形成二個連點 J_4 與 J_5 ，顯是錯誤。

只要維持 J_2 與 J_3 ，以及 J_4 與 J_5 溫度一致，則諸連點間的溫度差可為零，則無錯誤電流產生。如此，圖 4b 的電路當為僅具有測定連點 J_1 與參考連點 J_6 二個接頭而已 (圖 4 c)。

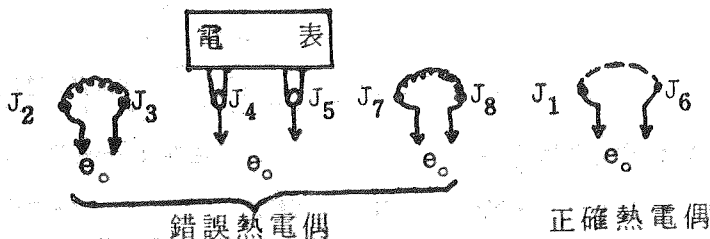
顯然地欲得等溫條件最好是使用熱絕緣物，它有助於偵測，即可避免儀器其他條件的影響而引起的不準確。在野外，此即指應避免陽光的直射與嚴寒之影響。實用上，連點間的實際誤差比疑慮值要小。良好的接聯器因有較大的電子接觸面，因而有較大的熱接觸面，優良傳導金屬與較大的熱接觸面有益維持等溫條件。



圖四A：熱電偶感應頭，插頭與插座



圖四B：錯誤熱電偶



圖四C：正誤熱電偶對照

同理，可應用於開關。開關亦須有絕緣以消除熱電偶間的溫度梯度且可使電路上似無開關。黃金片開關是最佳的，因為(1)黃金與銅的熱電性能最為接近，故黃金——銅連點產生的電流最小，(2)黃金接觸點不會腐蝕。

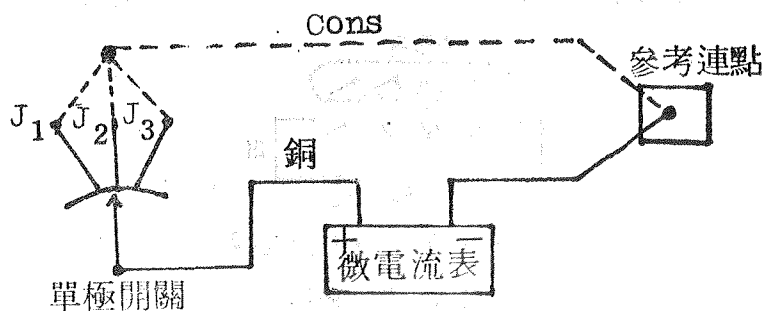
開關型式因 Toggle 開關的揮動作用 (Wiping action) 較弱。因白銀接觸點在低電流信號時必須有一個很强的揮動作用才能確保妥切接通，故以旋轉式開關為佳。

七、直通熱電偶

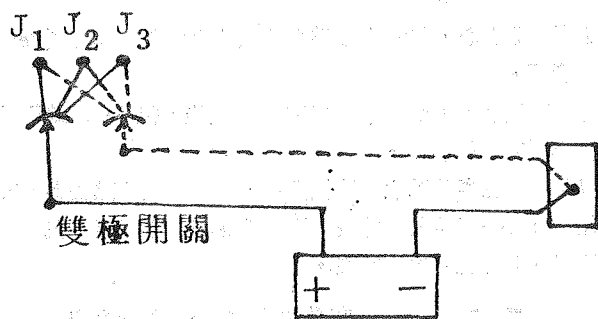
鉚接金屬線在一起時，只要鉚接點間無溫度梯度則可無誤差。欲使一小鉚接點保持恒溫甚為困難，改用片板則可得減低誤差至最小。

八、聚熱電偶開關

有二種簡單的方法，只須採用一個參考接點即可連接許多熱電偶。圖 5 a 乃使用單極旋轉式開關，將所有 Cons 線鉚接在一起後，引接一 Cons 線到參考接點。旋轉式開關可逐點與自動資料記錄系統相通。圖 5 b 表第二種方法，此為使用一雙極開關以旋接 Cons 與銅線，此種設計尤其適用於須長短離導線與高電性干擾的地區。



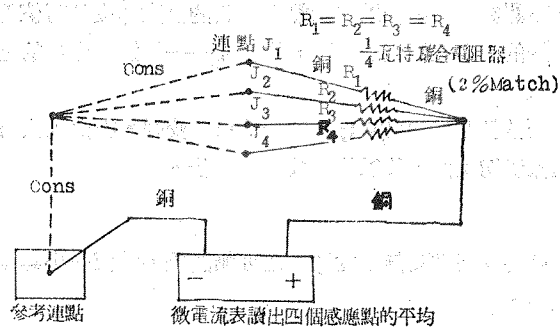
圖五 A：聚熱電偶單極開關



圖五 B：雙極開關

九、以熱電偶取得平均溫度

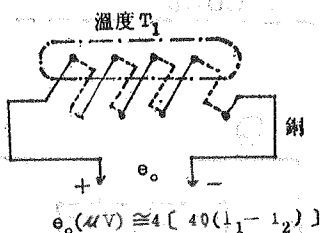
圖 6 為取得平均溫度之佈置圖，諸等值電阻器，連接熱電偶附以各種長度的導線。諸電阻器必須大於最長熱電偶所產生電阻的 20 倍。1/4 瓦特的碳電阻若配用 2 % Match 即可發揮良好作用。此種裝置必須確定連點均有電性絕緣，自一連點藉土壤洩電至另一連點易使該次讀數無效。此銅-Cons 導線放出的電流即為四個感應點的平均溫度。此法可應用於任何數目的熱電偶。



圖六：聚熱電偶以測定平均溫度

十、熱電偶堆

熱電偶堆可一系列相聯以得平均溫度如圖七。此種設計所讀取數值乃為諸熱電偶對連點間溫度之總和。唯此連點數必須為偶數，圖中 4 對（8 個連點）熱電偶可產生一對熱電偶四倍的電流量。



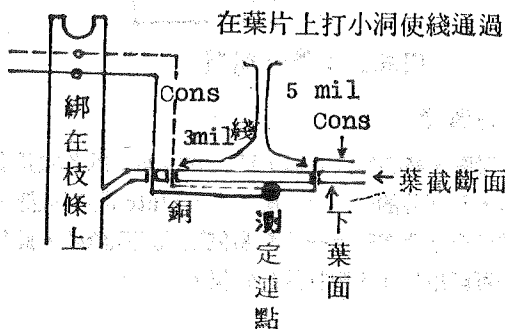
圖七：熱電偶堆

十一、葉溫測定法

欲正確地量測葉溫，必須十分小心。熱電偶連點必須與葉片完全熱接觸 (Perfect thermal contact) 且導線與輻射均不可影響感應頭。

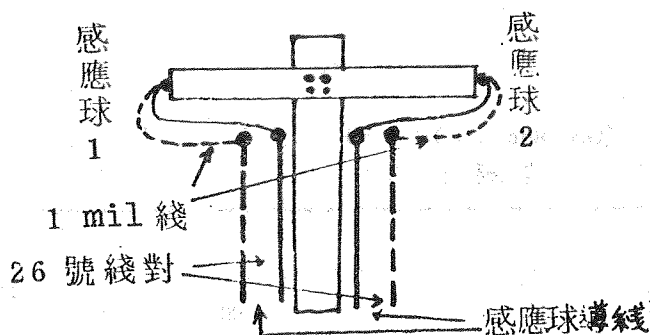
細線可使輻射與熱傳導降至最小，1 mil ($1 \times 10^{-6}m$) 最佳，但 3 mil 線則易於製作。線上包覆的塗漆或銀有助於減少輻射或傳導所產生的誤差。

圖八表示一固定熱電偶葉溫計感應頭以取得連續資料，儘量的使連點變小，5 mil Cons 線是用來捲成彈簧以拉緊連點。在連點任一方接一相當長的線段，緊緊地靠在葉片底面，在葉柄處套一鬆緊環 (Strain relief loop) 以防止熱電偶因風吹動而將葉片撕裂。



圖八：固定葉溫感應球法

圖9爲一手携式感應頭；它可同時測定葉溫與氣溫。一個 Q—Tip stick 包括一白色橫桿，在此橫桿的端點黏上一滴泡沫沫膠 (Foam rubber) 可得一具黏性的黏貼面，藉之黏妥 1 mil 熱電偶。鉚上一條導線與此 1 mil 線相連。而將測定感應頭輕輕地接觸葉片背面，則可進行葉溫及氣溫之觀測。



圖九：Q—Tip stick

十二、到那裡購買熱電偶及其材料

以下四家各有其特色，使用者擇其需要可予洽購。

(1) Omega. Engineering Inc.

Box 4047 Stamford, CT 06907 USA

熱電偶線，熱電偶感應球，熱電偶開關，熱電偶連接器等。並出版熱電偶原理等相關書籍手冊多種。

(2) Thermo Electric

Saddle Brook, NJ 07662 USA

熱電偶線。尤以 P/N P—26—T26號 PVC 繩最爲有用。

(3) High Temperature Instruments Corp.

Union Hill Building

West Conshohocken, PA 19428 USA

以超小形感應球爲主

(4) Wescor, Inc.

459 South Main

Logan, UT 84321 USA

熱電偶溫度計及熱電偶溫度儀。