

CNS3765 家電產品溫升量測原理探討

吳福正 | 台南分局技士

許經杭 | 台南分局技士

前言

CNS3765 家電產品安規測試，「溫升試驗」是極重要的一環，透過溫度記錄器的監測，除可儘早發現產品電路結構設計安全與否，內部控制零組件異常所遭致的異常溫升，也能事前模擬，以保障消費者安全，避免產品異常火災事故的發生。本局採用溫度記錄器單價高達 16 萬元，為一具 20 個量測點之熱電偶(Thermal Couple)溫度記錄器，但檢驗員通常只知道將熱電偶線接至記錄器的接收點，另一端連至家電產品內部待測點即可進行試驗，卻顯少瞭解熱電偶特性、適用範圍、國際規範、受干擾因素及校正問題，此人為因素是極可能遭致錯誤的量測與判定，卻渾然不知。例如熱電偶線的型態繁多，錯誤的選擇會使量測產生很大的誤差；再如熱電偶線曝露於高電磁干擾環境中量測會不正確，理由是熱電偶線產生的熱電動勢(Thermal ElectroMotive Force：EMF)通常只有 μV 級，很容易受電磁干擾而影響量測值；另溫度記錄器內部設計有一溫度參考點結構，此參考點正是用來校正環境溫度從早到晚的變化擾動；其它如熱電偶線為何能作遠距溫度傳送？有什麼辦法降低熱電偶線輸送成本？如何維持量測信號的強度？量測受那些因素干擾？熱電偶偵測溫原理及效應？都是從事家電檢驗工程師必需建立的相關知識，否則如何保證量測數據的正確性？又如何取信受託者的要求？本文介紹熱電偶原理及效應、熱電偶型態及特性、熱電偶電動勢與溫升關係、熱電偶量測誤差因素及量測注意事項，希望提升家電檢測工程師的相關技能與知識。

一、熱電偶原理

1823 年，席貝克(Seeback)發現由兩種不同金屬線接合成的迴路上，若兩連接點間有溫度差時，即會產生電位差。這個現象即是熱電偶溫度量測與溫度記錄器的工作原理。12 年後，潘第(Peltier)發現在兩種不同金屬接合的迴路上通電流，一接點會放熱，另一接點就會吸熱，這現象即是熱電致冷器的工作原理。1851 年物理學家湯木生(Thomson)建立了熱電現象的理論基礎，他參考 Seeback 原理與 Peltier 效應預測第三種熱電效應的存在，即後來的 Thomson 效應，此後均勻迴路定律、居間金屬定律、中間溫度定律，分別被推導出來以應用在實際熱電轉換上，茲介紹如下：

1.1 熱電偶原理(Seebeck Effect)

熱電偶線感溫範圍極廣，其線徑微細容易深入電器或機具內部進行溫升監控，相當適用在工業級機具及家電產品檢測上，其原理正是席貝克效應(Seebeck effect)，又稱為熱電效應。其現象是將兩不同性質金屬線端點互連結以形成一封閉迴路(圖 1)，當兩端點間有溫度差時，迴路間將有電流產生，溫度較高的接合點稱為「熱接點(Hot Junction)」，此點通常被置於待測物

上，溫度較低的接合點稱為「冷接點(Cold Junction)」，其輸出訊號為一相當微弱的直流電壓，有正極(+)與負極(-)之分。此熱電效應產生主因於不同種類金屬線擁有自由電子數並不相同，當兩金屬線連接形成迴路，任何接點溫度改變，將造成接觸面自由電子的運動，使金屬線間產生電位差；當兩端溫度相同時，兩端點產生之熱電動勢相同，故迴路不會有電流；若兩接合端點間存在溫度差距時，將因熱電動勢大小不同，在迴路中就會產生一由高電位往低電位流動的電流。

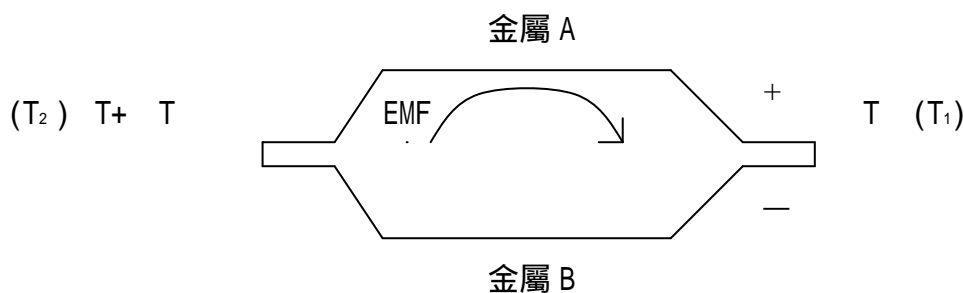


圖 1 熱電偶基本原理(Seebeck effect)

由於熱電偶產生的電壓為直流電壓，因此使用時必須注意其正極及負極的存在，然而熱電勢大小與金屬接觸面積及形狀無關，卻與金屬種類(熱傳導系數 α_A, α_B)與接合點的溫度差(ΔT)有關，式 1 可用來表達此熱電勢。

$$E = \int_{T_1}^{T_2} (\alpha_A - \alpha_B) dT \quad (1)$$

其中 E = 產生的熱電勢(V)

T_1, T_2 = 接點溫度()

α_A, α_B = 兩金屬的熱傳係數

1.2 熱電偶原理衍生的其它效應

1.2.1 潘第效應 (Peltier Effect)

將一電流通過兩種不同的金屬導線之接合點時，接合點處會產生放熱或吸熱現象。至於放熱或吸熱端視電流流動方向而定，此可謂席貝克效應的逆現象。例如 t_1 點溫度升高則產生放熱現象，而 t_2 點則產生吸熱現象。(圖 2)

1.2.2 湯木生效應 (Thomson Effect)

在均勻質之金屬線上若二端之溫度不同($t_1 - t$ 與 $t_1 + t$)，即發生熱電動勢，此電位與金屬線兩端之溫度差成正比。也就是當一電流通過一個有溫度梯度之均勻導線時，於不同兩端會產生溫度升與溫降現象，而當電流方向相反則產生相反的反應，故亦稱為可逆性效應。

(圖 3)

1.2.3 均勻迴路定律(Law of Homogeneous Circuit)

在單一均勻質之金屬線上，若僅改變此金屬線 t_3 與 t_4 處的溫度，並不能改變原迴路電流值，由此可知熱電勢的發生，係由於熱電偶二端 t_1 與 t_2 處溫度不同所致，此與熱電偶上的其他中間溫度差異無關。(圖 4)

1.2.4 居間金屬定律(Law of Intermediate Metals)

在熱電反應中，若將第三種金屬線接於迴路上，而此第三金屬線兩端溫度相同時 ($t_{3a}=t_{3b}$)，迴路產生的熱電勢仍為第一種與第二種金屬線產生的熱電勢 emf ，完全不受第三種金屬線加入影響。(圖 5)

1.2.5 中間溫度定律 (Law of Intermediate Temperature)

長距離的熱電偶線傳送，若該型電偶線為較昂貴者，則可利用較便宜之熱電偶線作為中繼線，其總熱電勢為 T_1 、 T_2 二接點之熱電勢與 T_2 、 T_3 二接點之熱電勢總和。(圖 6)

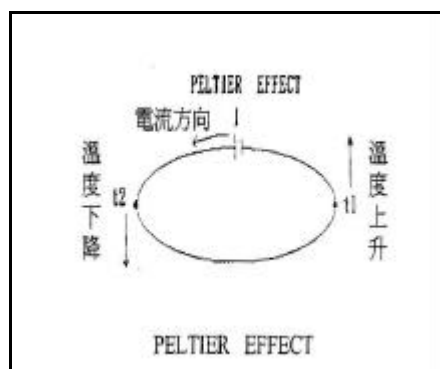


圖 2 潘第效應

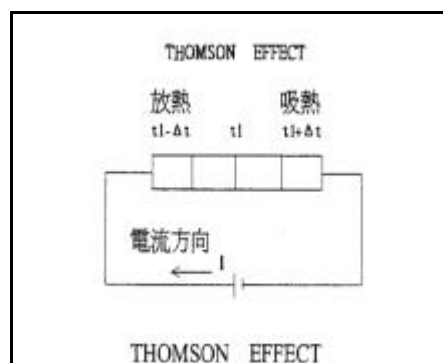


圖 3 湯木生效應

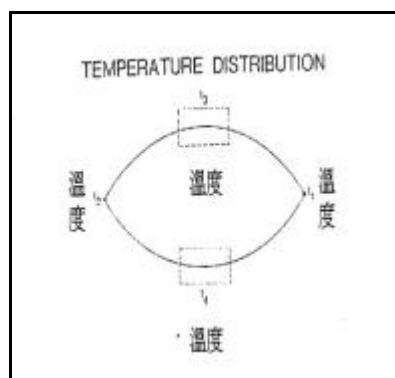


圖 4 均勻迴路定律

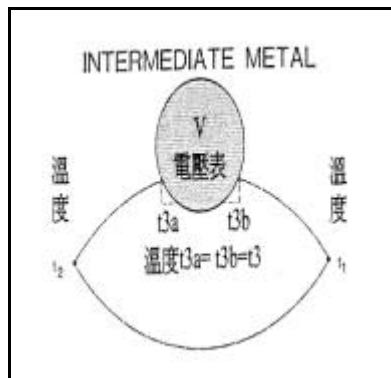


圖 5 居間金屬定理

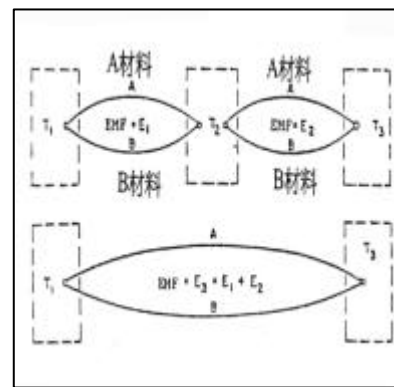


圖 6 中間溫度定律

二、 熱電偶線型態、特性、線徑

熱電偶型態因金屬線種類組合，分為 J、K、T、E、N、R、S、B 等型式，其中 K 及 T TYPE 常應用在家電產品溫升量測上，圖 7~圖 8 顯示其外觀。有關熱電偶線之正負極金屬線材料、適用溫度範圍及產生熱電動勢，依 ANSI 國際規範詳載於表 1。而各熱電偶型態之溫升與熱電勢對應數據，則是由 JIS、ASTM、IEC 等三個國際協會以圖 9 實驗架構進行量測，共同規範在標準 ITS-90 內(參考附錄一)。其特點為參考點選定 0 並強迫冷接點負極為 0，正極溫度值 T 恰等於待測點的溫升值 T。另外，熱電偶線徑粗細攸關溫升量測的限制，線徑越細雖然越準卻承受不住高溫，熱電偶金屬線若超出溫度上限，容易造成金屬氧化，而喪失熱電轉換準確度，關於線徑粗細與溫度限制的關係，詳載於表 2。

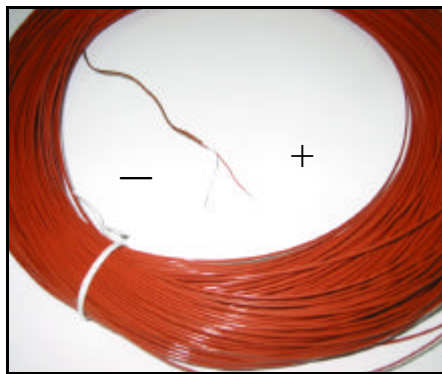


圖 7 T Type 熱電偶線

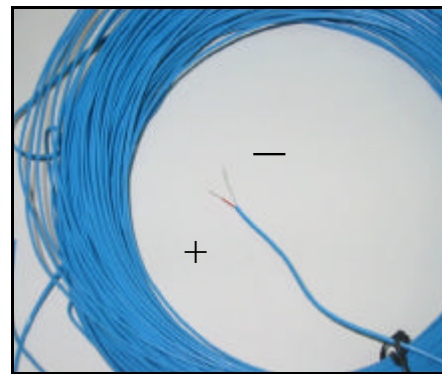


圖 8 K Type 熱電偶線

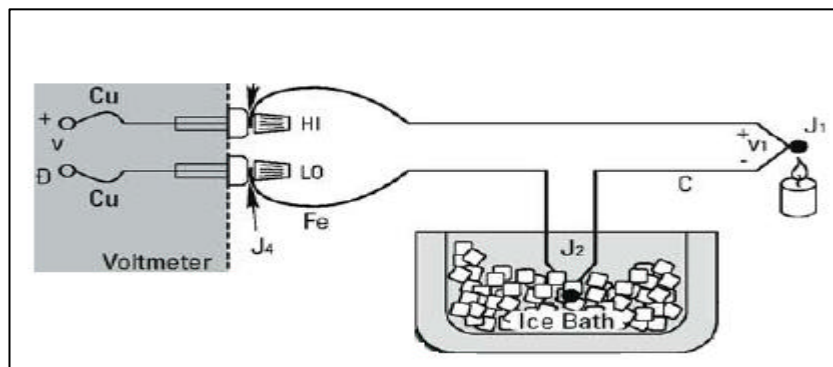


圖 9 ITS-90 量測數據來自參考點為 0

ANSI 熱電偶分類	正極材質	負極材質	熱電偶線適用溫度範圍	產生熱電動勢對應範圍
J TYPE	Fe	Cu-Ni	-210 to 1200	-8.095mv to 69.553mv
K TYPE	Ni-Cr	Ni-Al	-270 to 1372	-6.458mv to 64.886mv
T TYPE	Cu	Cu-Ni	-270 to 400	-6.268mv to 20.872mv

E TYPE	Ni-Cr	Cu-Ni	-270 to 1000	-9.836mv to 76.373mv
N TYPE	Ni-Cr-Si	Ni-Si-Mg	-270 to 1300	-4.345mv to 47.613mv
R TYPE	Pt-13%Rh	Pt	-50 to 1768	-0.226mv to 21.101mv
S TYPE	Pt-10%Rh	Pt	-50 to 1768	-0.236mv to 18.693mv
B TYPE	Pt-30%Rh	Pt-6%Rh	0 to 1820	0mv to 13.820mv

表 1 各型熱電耦線特性表

檢出器材料代號	元件線徑	正常使用限度	超熱使用限度
白金熱電偶 (R、S、B TYPE)	0.5 mm	650	850
	0.65mm	750	950
	1.0 mm	1400	1600
鉻鋁合金熱電偶(K TYPE)	1.6 mm	850	1050
	2.3 mm	900	1100
	3.2 mm	1000	1200
鐵、銅、鎳合金熱 電偶(J、T、E TYPE)	1.6 mm	500	650
	2.3 mm	550	750
	3.2 mm	600	800

表 2 熱電偶線徑與溫度的限制

三、熱電偶線的溫升與熱電動勢

各熱電偶型態熱電勢 與溫升 T 的對應關係，在國際標準 ITS-90 已有規範，那麼溫升值與熱電勢關係曲線，將會是個線性方程式或拋物線方程式呢？答案都不是，而是一個經驗公式如式 2。利用 ITS-90 提供的數據代入式 2，即可求得各熱電偶型態經驗方程式的常數 b 及 c ，圖 10 顯示各型熱電偶線 與 T 的關係，可發現 K-Type 熱電偶較適用於低溫及高溫的量測，R-Type 則為高溫範圍，T Type 則可應用在常溫至中溫的量測，由於 CNS3765 家電安規對溫升限制的最大值落在 400 左右，T-TYPE 自然成為本局試驗採用的熱電偶線首選。

$$e = b(\Delta T) + c(\Delta T)^2 \quad (2)$$

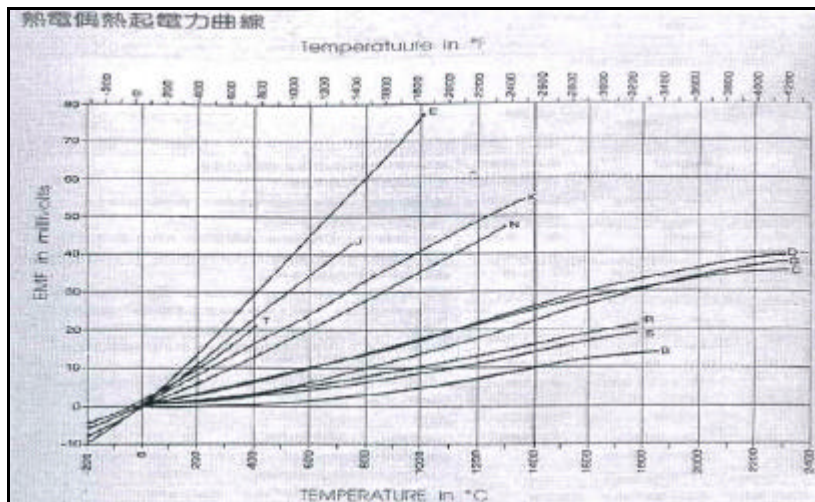


圖 10 各型式熱電偶之溫升與熱電勢關係

為證明 Seebeck 熱電效應的存在，也為證明國際標準 ITS-90 的權威性，我們作個小實驗如圖 11，利用國家實驗室已校正過的溫度校正器(廠牌：FLUKE，型號：714)，量測 T-TYPE 熱電偶溫升所產生的熱電勢。現在將電偶線之「熱接點」置入校正器的輸入端，再利用校正器內部發熱半導體產生一 400 溫度給熱接點，另一端冷接點則插入微電壓偵測計(廠牌：FLUKE，型號：5100B)，結果在微電壓偵測計螢幕上顯示 0.199329V(199mV)的直流電壓，此數據與 ITS-90 規範在 400 溫升值時，T type 電偶線必需有 20.872mV 的輸出大很多。誤差原因可能有下列幾點：其一，熱電耦冷接點並無固定接點，採用插入方式會影響量測的準確性；其二，ITS-90 國際熱電效應標準強迫熱電偶線之負線為 0，但此實驗卻無任何參考點；其三，來自環境的電磁干擾可能在電偶線上產生感應電壓。

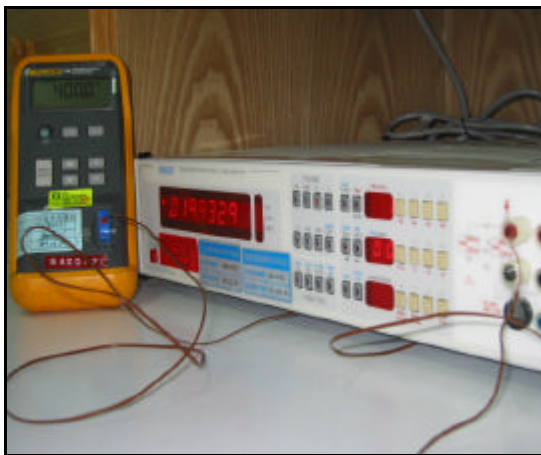


圖 11 熱電偶溫升產生熱電動勢實驗

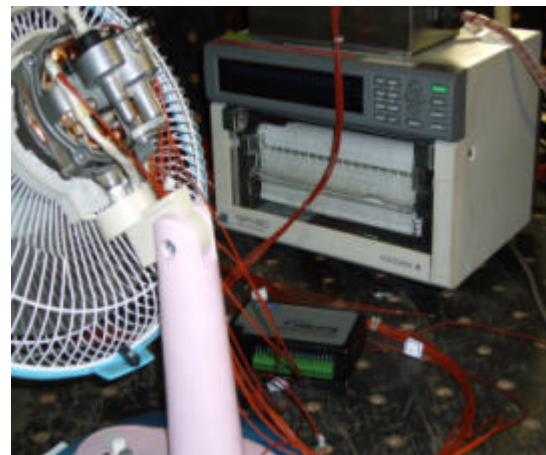


圖 12 溫度記錄器量測家電情形

四、熱電偶量測受干擾因素及避免方法

圖 12 為風扇正利用熱電偶溫度記錄器監測溫升情形。各待測點量測溫升所產生的熱電動勢，透過溫度記錄器內部的熱電晶片，進行電位與溫度的比例換算，即可還原出待測點的偵測溫度，但此程序卻深受下列因素的影響：

(1) 環境溫度變化所帶來熱電勢浮動

溫度記錄所在的偵測環境，從早到晚室溫不可能為定值，熱電偶正負金屬線受環境溫度影響，會產生熱電勢浮動現象，造成量測誤差，此種誤差若不加予扣除，量測結果勢必有所偏差，是以溫度記錄器內部大多置有補償點 CJC(Cold Junction Compensation)，基本上為一顆兩腳感溫半導體元件，專用偵測環境溫度變化產生的熱電勢，以提供熱電晶片扣除，這有點像電力系統 L、N 相與地線 G 的關係。

(2) 電磁干擾產生的感應熱電勢

我們四周一定有電磁干擾的存在，家電產品的使用、燈具的運轉、配線中負載電流的流動、3C 資訊產品運作，都會產生電磁干擾，干擾在熱電偶線正負線間產生感應電壓，雖然非常微弱，但也別忘了，熱電偶線的熱電勢電位也多為 μ 級，同樣的小，自然對量測就有影響。

(3) 熱電偶線老化或熱接點焊接不良

當熱電偶線使用過久，或用於不適當溫度量測範圍，或焊接點不良，均會造成熱電偶金屬線的氧化，導致金屬傳導特性的改變，這些人為因素若無法避免，待測點熱電勢與溫升的比例關係將不復存在，量測誤差也無從避免。

因此，進行熱電偶溫度量測時，應注意下列事項：

- (1) 避免將熱電偶裝於火焰經過之處。
- (2) 將熱電偶置於平均溫度處，於加熱爐之情況，可多裝數對熱電偶並聯相接。
- (3) 將熱電偶之熱接點儘可能置於可窺見之處。
- (4) 熱電偶必須深深插入並貼牢在待測點上，使其熱接點確實在測量溫度範圍內。
- (5) 考慮熱電偶是否因所測溫度太高而有熔融之危險。
- (6) 關閉附近運轉電器及燈具照明。
- (7) 測量各式加熱電器時，發熱處的輻射熱問題，應儘量剪至最低。
- (8) 熱電偶產生的 EMF 很小，故配線時須注意不能與其他電路共同一導管，並至少離開一至二呎以上。
- (9) 熱電偶線使用日久，其溫度與 EMF 特性會改變，故視操作情況需求加以更新，並對溫度記錄器進行校正。

五、結論

本文對熱電偶溫度量測原理、特性及誤差因素加以介紹，期待本局安規同仁不但能量測，也曉得如何避免人為誤差因素的產生，以確保 CNS3765 家電產品安規溫升量測的準確性，僅以此文與本局同仁進行知識交流，並感謝本課林技正昆平在文章撰寫架構的指導，使筆者獲益良多。

附錄一

ITS-90 國際溫度標準(JIS C 1602-1995,ASTM E230-1996,IEC 584-1-1995)

熱電偶溫度與電壓對照表 (溫度單位：℃、電壓單位：mV)

參考溫度點：0℃(冰點)

B

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	0.0000	-0.0011	-0.0019	-0.0024	-0.0026	-0.0025	-0.0021	-0.0014	-0.0005	0.0007	0.0023	0.0041	0.0062	0.0086	0.0113	0.0142	0.0174	0.0210	0.0248	0.0288	0.0332
100	0.0332	0.0378	0.0428	0.0480	0.0534	0.0592	0.0652	0.0715	0.0781	0.0849	0.0921	0.0995	0.1071	0.1151	0.1233	0.1318	0.1405	0.1496	0.1589	0.1684	0.1783
200	0.1783	0.1884	0.1987	0.2094	0.2203	0.2314	0.2429	0.2546	0.2666	0.2788	0.2913	0.3040	0.3171	0.3303	0.3439	0.3577	0.3718	0.3861	0.4007	0.4155	0.4306
300	0.4306	0.4460	0.4616	0.4775	0.4937	0.5101	0.5267	0.5436	0.5608	0.5782	0.5959	0.6138	0.6320	0.6504	0.6691	0.6881	0.7072	0.7267	0.7464	0.7663	0.7865
400	0.7865	0.8069	0.8276	0.8486	0.8697	0.8912	0.9128	0.9348	0.9569	0.9793	1.0020	1.0249	1.0480	1.0714	1.0950	1.1189	1.1430	1.1673	1.1919	1.2167	1.2417
500	1.2417	1.2670	1.2926	1.3183	1.3443	1.3705	1.3970	1.4237	1.4506	1.4778	1.5052	1.5328	1.5606	1.5887	1.6170	1.6455	1.6743	1.7033	1.7325	1.7619	1.7915
600	1.7915	1.8214	1.8515	1.8818	1.9124	1.9431	1.9741	2.0058	2.0372	2.0688	2.1006	2.1327	2.1650	2.1974	2.2301	2.2630	2.2961	2.3294	2.3629	2.3967	2.4306
700	2.4306	2.4648	2.4992	2.5337	2.5685	2.6035	2.6388	2.6742	2.7098	2.7457	2.7817	2.8180	2.8545	2.8911	2.9280	2.9651	3.0024	3.0399	3.0776	3.1155	3.1536
800	3.1536	3.1919	3.2304	3.2691	3.3080	3.3471	3.3864	3.4259	3.4656	3.5055	3.5456	3.5859	3.6264	3.6670	3.7079	3.7489	3.7901	3.8316	3.8732	3.9150	3.9569
900	3.9569	3.9991	4.0415	4.0840	4.1267	4.1696	4.2127	4.2559	4.2994	4.3430	4.3868	4.4308	4.4749	4.5192	4.5637	4.6084	4.6532	4.6983	4.7434	4.7888	4.8343
1000	4.8343	4.8800	4.9259	4.9719	5.0181	5.0645	5.1110	5.1577	5.2046	5.2516	5.2988	5.3462	5.3937	5.4414	5.4892	5.5372	5.5853	5.6337	5.6821	5.7307	5.7795
1100	5.7795	5.8284	5.8775	5.9268	5.9762	6.0257	6.0754	6.1252	6.1752	6.2254	6.2756	6.3261	6.3767	6.4274	6.4783	6.5293	6.5804	6.6317	6.6831	6.7347	6.7864
1200	6.7864	6.8383	6.8903	6.9424	6.9946	7.0470	7.0996	7.1522	7.2050	7.2579	7.3110	7.3641	7.4174	7.4709	7.5244	7.5781	7.6319	7.6858	7.7398	7.7940	7.8482
1300	7.8482	7.9026	7.9571	8.0117	8.0665	8.1213	8.1762	8.2313	8.2865	8.3417	8.3971	8.4526	8.5082	8.5638	8.6196	8.6755	8.7314	8.7875	8.8436	8.8999	8.9562
1400	8.9562	9.0126	9.0691	9.1257	9.1824	9.2392	9.2960	9.3529	9.4099	9.4670	9.5241	9.5813	9.6386	9.6959	9.7533	9.8108	9.8683	9.9259	9.9836	10.0413	10.0991
1500	10.0991	10.1569	10.2148	10.2727	10.3306	10.3887	10.4467	10.5048	10.5629	10.6211	10.6793	10.7376	10.7959	10.8542	10.9125	10.9709	11.0293	11.0877	11.1461	11.2045	11.2630
1600	11.2630	11.3215	11.3800	11.4385	11.4970	11.5555	11.6140	11.6725	11.7311	11.7896	11.8481	11.9066	11.9651	12.0236	12.0821	12.1405	12.1990	12.2574	12.3158	12.3742	12.4325
1700	12.4325	12.4909	12.5492	12.6075	12.6657	12.7239	12.7821	12.8402	12.8983	12.9563	13.0143	13.0723	13.1302	13.1880	13.2458	13.3035	13.3612	13.4188	13.4764	13.5339	13.5913

R

	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-55	-60	-65	-70	-75	-80	-85	-90	-95	-100
0	0.0000	-0.0261	-0.0515	-0.0761	-0.1000	-0.1232	-0.1455	-0.1670	-0.1877	-0.2075	-0.2265										
100	0.6474	0.6850	0.7230	0.7614	0.8003	0.8395	0.8791	0.9190	0.9593	1.0000	1.0410	1.0824	1.1241	1.1661	1.2084	1.2510	1.2940	1.3372	1.3807	1.4245	1.4686
200	1.4686	1.5129	1.5576	1.6024	1.6476	1.6929	1.7386	1.7844	1.8305	1.8769	1.9234	1.9702	2.0172	2.0644	2.1118	2.1595	2.2073	2.2553	2.3035	2.3520	2.4006
300	2.4006	2.4493	2.4983	2.5474	2.5968	2.6463	2.6959	2.7457	2.7957	2.8459	2.8962	2.9467	2.9973	3.0481	3.0990	3.1501	3.2013	3.2527	3.3042	3.3559	3.4077
400	3.4077	3.4596	3.5117	3.5639	3.6163	3.6687	3.7214	3.7741	3.8270	3.8800	3.9331	3.9864	4.0397	4.0933	4.1469	4.2006	4.2545	4.3085	4.3626	4.4169	4.4713
500	4.4713	4.5257	4.5804	4.6351	4.6899	4.7449	4.8000	4.8552	4.9105	4.9659	5.0215	5.0771	5.1329	5.1888	5.2449	5.3010	5.3573	5.4136	5.4701	5.5267	5.5835
600	5.5835	5.6403	5.6973	5.7543	5.8115	5.8688	5.9263	5.9838	6.0415	6.0993	6.1572	6.2152	6.2733	6.3316	6.3900	6.4485	6.5071	6.5658	6.6247	6.6836	6.7427
700	6.7427	6.8019	6.8613	6.9207	6.9803	7.0400	7.0998	7.1597	7.2198	7.2800	7.3403	7.4007	7.4612	7.5219	7.5826	7.6435	7.7046	7.7657	7.8270	7.8883	7.9498
800	7.9498	8.0115	8.0732	8.1351	8.1970	8.2591	8.3214	8.3837	8.4462	8.5087	8.5714	8.6342	8.6972	8.7602	8.8234	8.8867	8.9501	9.0136	9.0772	9.1410	9.2049
900	9.2049	9.2688	9.3329	9.3972	9.4615	9.5259	9.5905	9.6552	9.7199	9.7848	9.8498	9.9150	9.9802	10.0455	10.1110	10.1765	10.2422	10.3080	10.3739	10.4399	10.5060
1000	10.5060	10.5722	10.6385	10.7049	10.7714	10.8381	10.9048	10.9716	11.0386	11.1056	11.1728	11.2400	11.3074	11.3748	11.4424	11.5100	11.5778	11.6456	11.7135	11.7815	11.8496
1100	11.8496	11.9178	11.9861	12.0545	12.1229	12.1915	12.2601	12.3287	12.3975	12.4663	12.5352	12.6042	12.6733	12.7424	12.8116	12.8808	12.9501	13.0195	13.0889	13.1584	13.2280
1200	13.2280	13.2976	13.3672	13.4369	13.5067	13.5765	13.6464	13.7163	13.7862	13.8562	13.9263	13.9964	14.0665	14.1367	14.2068	14.2771	14.3473	14.4176	14.4880	14.5583	14.6287
1300	14.6287	14.6991	14.7696	14.8400	14.9105	14.9810	15.0515	15.1221	15.1926	15.2632	15.3338	15.4044	15.4750	15.5456	15.6162	15.6869	15.7575	15.8282	15.8988	15.9695	16.0401
1400	16.0401	16.1107	16.1814	16.2520	16.3226	16.3933	16.4639	16.5345	16.6051	16.6756	16.7462	16.8167	16.8873	16.9578	17.0282	17.0987	17.1692	17.2396	17.3100	17.3803	17.4507
1500	17.4507	17.5210	17.5912	17.6615	17.7317	17.8018	17.8720	17.9420	18.0121	18.0821	18.1521	18.2220	18.2918	18.3617	18.4314	18.5012	18.5708	18.6404	18.7100	18.7795	18.8489
1600	18.8489	18.9183	18.9876	19.0569	19.1261	19.1952	19.2643	19.3333	19.4022	19.4710	19.5398	19.6085	19.6771	19.7457	19.8141	19.8825	19.9507	20.0188	20.0868	20.1543	20.2217
1700	20.2217	20.2888	20.3557	20.4223	20.4885	20.5543	20.6197	20.6848	20.7493	20.8134	20.8770	20.9401	21.0026	21.0646							

S

	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-55	-60	-65	-70	-75	-80	-85	-90	-95	-100
0	0.0000	-0.0267	-0.0527	-0.0781	-0.1028	-0.1268	-0.1501	-0.1726	-0.1944	-0.2154	-0.2356										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	0.0000	0.0273	0.0553	0.0838	0.1129	0.1426	0.1728	0.2036	0.2349	0.2667	0.2989	0.3317	0.3649	0.3986	0.4327	0.4672	0.5022	0.5375	0.5733	0.6094	0.6459
100	0.6459	0.6828	0.7200	0.7576	0.7955	0.8337	0.8722	0.9111	0.9502	0.9897	1.0294	1.0694	1.1097	1.1502	1.1910	1.2321	1.2733	1.3149	1.3566	1.3986	1.4408
200	1.4408	1.4832	1.5258	1.5686	1.6116	1.6548	1.6982	1.7418	1.7855	1.8295	1.8736	1.9178	1.9623	2.0068	2.0516	2.0965	2.1415	2.1867	2.2320	2.2775	2.3230
300	2.3230	2.3688	2.4146	2.4606	2.5067	2.5529	2.5993	2.6457	2.6923	2.7390	2.7858	2.8327	2.8797	2.9268	2.9740	3.0213	3.0687	3.1163	3.1639	3.2116	3.2594
400	3.2594	3.3072	3.3552	3.4033	3.4514	3.4997	3.5480	3.5964	3.6449	3.6935	3.7422	3.7909	3.8398	3.8887	3.9377	3.9867	4.0359	4.0851	4.1344	4.1838	4.2333
500	4.2333	4.2828	4.3325	4.3822	4.4319	4.4818	4.5317	4.5817	4.6318	4.6819	4.7322	4.7825	4.8329	4.8833	4.9339	4.9845	5.0352	5.0859	5.1368	5.1877	5.2387
600	5.2387	5.2898	5.3409	5.3921	5.4435	5.4948	5.5463	5.5979	5.6495	5.7012	5.7530	5.8048	5.8568	5.9088	5.9609	6.0131	6.0654	6.1177	6.1701	6.2226	6.2752
700	6.2752	6.3279	6.3807	6.4335	6.4865	6.5395	6.5926	6.6458	6.6990	6.7524	6.8058	6.8594	6.9130	6.9667	7.0205	7.0743	7.1283	7.1823	7.2365	7.2907	7.3450
800	7.3450	7.3994	7.4539	7.5084	7.5631	7.6178	7.6726	7.7275	7.7825	7.8376	7.8928	7.9481	8.0034	8.0588	8.1143	8.1700	8.2256	8.2814	8.3373	8.3932	8.4492
900	8.4492	8.5054	8.5616	8.6178	8.6742	8.7306	8.7872	8.8438	8.9005	8.9572	9.0141	9.0710	9.1281	9.1852	9.2423	9.2995	9.3569	9.4144	9.4719	9.5294	9.5871
1000	9.5871	9.6448	9.7026	9.7605	9.8185	9.8766	9.9347	9.9929	10.0512	10.1096	10.1680	10.2265	10.2851	10.3438	10.4026	10.4614	10.5203	10.5793	10.6383	10.6974	10.7565
1100	10.7565	10.8158	10.8750	10.9343	10.9937	11.0532	11.1127	11.1722	11.2318	11.2914	11.3511	11.4109	11.4707	11.5305	11.5904	11.6503	11.7103	11.7703	11.8303	11.8904	11.9505
1200	11.9505	12.0107	12.0709	12.1311	12.1914	12.2517	12.3120	12.3724	12.4327	12.4932	12.5536	12.6140	12.6745	12.7350	12.7956	12.8561	12.9167	12.9772	13.0378	13.0984	13.1591
1300	13.1591	13.2197	13.2804	13.3410	13.4017	13.4624	13.5230	13.5837	13.6444	13.7051	13.7658	13.8265	13.8872	13.9479	14.0086	14.0693	14.1299	14.1906	14.2513	14.3119	14.3726
1400	14.3726	14.4332	14.4939	14.5545	14.6151	14.6757	14.7362	14.7968	14.8573	14.9178	14.9783	15.0387	15.0992	15.1596	15.2200	15.2803	15.3407	15.4010	15.4612	15.5215	15.5817
1500	15.5817	15.6418	15.7020	15.7621	15.8221	15.8821	15.9421	16.0020	16.0619	16.1218	16.1816	16.2413	16.3010	16.3607	16.4203	16.4799	16.5394	16.5988	16.6582	16.7176	16.7768
1600	16.7768	16.8361	16.8952	16.9543	17.0134	17.0724	17.1313	17.1901	17.2489	17.3076	17.3663	17.4249	17.4834	17.5418	17.6002	17.6584	17.7165	17.7745	17.8323	17.8899	17.9473
1700	17.9473	18.0044	18.0613	18.1178	18.1741	18.2300	18.2855	18.3406	18.3953	18.4495	18.5033	18.5565	18.6093	18.6615							

K

	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-55	-60	-65	-70	-75	-80	-85	-90	-95	-100
-200	-5.8914	-5.9654	-6.0346	-6.0990	-6.1584	-6.2127	-6.2618	-6.3056	-6.3438	-6.3765	-6.4036	-6.4251	-6.4411	-6.4518	-6.4577						
-100	-3.5536	-3.7046	-3.8523	-3.9969	-4.1382	-4.2761	-4.4106	-4.5416	-4.6690	-4.7927	-4.9127	-5.0289	-5.1412	-5.2496	-5.3540	-5.4542	-5.5503	-5.6422	-5.7297	-5.8128	-5.8914
0	0.0000	-0.1966	-0.3919	-0.5855	-0.7775	-0.9678	-1.1561	-1.3425	-1.5269	-1.7093	-1.8894	-2.0670	-2.2428	-2.4160	-2.5866	-2.7547	-2.9201	-3.0828	-3.2427	-3.3996	-3.5536
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	0.0000	0.1979	0.3969	0.5970	0.7981	1.0002	1.2033	1.4071	1.6118	1.8171	2.0231	2.2296	2.4365	2.6437	2.8512	3.0589	3.2666	3.4743	3.6819	3.8892	4.0962
100	4.0962	4.3029	4.5091	4.7147	4.9199	5.1244	5.3284	5.5317	5.7345	5.9367	6.1383	6.3395	6.5402	6.7406	6.9406	7.1404	7.3400	7.5396	7.7391	7.9387	8.1385
200	8.1385	8.3384	8.5386	8.7391	8.9399	9.1411	9.3427	9.5447	9.7472	9.9500	10.1534	10.3571	10.5613	10.7659	10.9709	11.1763	11.3821	11.5882	11.7946	12.0015	12.2086
300	12.2086	12.4159	12.6236	12.8315	13.0396	13.2480	13.4566	13.6654	13.8745	14.0837	14.2931	14.5028	14.7126	14.9226	15.1327	15.3431	15.5536	15.7642	15.9750	16.1860	16.3971
400	16.3971	16.6084	16.8198	17.0314	17.2431	17.4549	17.6669	17.8789	18.0911	18.3034	18.5158	18.7283	18.9409	19.1536	19.3663	19.5792	19.7921	20.0051	20.2181	20.4312	20.6443
500	20.6443	20.8574	21.0706	21.2838	21.4971	21.7103	21.9236	22.1368	22.3500	22.5632	22.7764	22.9896	23.2027	23.4158	23.6288	23.8418	24.0547	24.2675	24.4802	24.6929	24.9055
600	24.9055	25.1179	25.3303	25.5426	25.7547	25.9668	26.1786	26.3904	26.6020	26.8135	27.0249	27.2360	27.4471	27.6579	27.8686	28.0791	28.2895	28.4996	28.7096	28.9194	29.1290
700	29.1290	29.3384	29.5476	29.7565	29.9653	30.1739	30.3822	30.5904	30.7983	31.0060	31.2135	31.4207	31.6277	31.8345	32.0410	32.2474	32.4534	32.6593	32.8649	33.0703	33.2754
800	33.2754	33.4803	33.6849	33.8893	34.0934	34.2973	34.5010	34.7044	34.9075	35.1104	35.3131	35.5155	35.7177	35.9196	36.1212	36.3226	36.5238	36.7247	36.9254	37.1258	37.3259
900	37.3259	37.5258	37.7255	37.9249	38.1240	38.3229	38.5215	38.7199	38.9180	39.1159	39.3135	39.5109	39.7080	39.9049	40.1015	40.2978	40.4939	40.6897	40.8853	41.0806	41.2756
1000	41.2756	41.4704	41.6649	41.8591	42.0531	42.2468	42.4403	42.6334	42.8263	43.0189	43.2112	43.4033	43.5951	43.7866	43.9774	44.1687	44.3593	44.5496	44.7396	44.9293	45.1187
1100	45.1187	45.3078	45.4966	45.6851	45.8733	46.0611	46.2487	46.4359	46.6227	46.8093	46.9955	47.1813	47.3668	47.5520	47.7368	47.9213	48.1054	48.2892	48.4726	48.6556	48.8382
1200	48.8382	49.0205	49.2024	49.3840	49.5651	49.7459	49.9263	50.1062	50.2858	50.4651	50.6439	50.8223	51.0003	51.1780	51.3552	51.5320	51.7085	51.8845	52.0602	52.2354	52.4103
1300	52.4103	52.5847	52.7588	52.9325	53.1058	53.2787	53.4512	53.6234	53.7952	53.9666	54.1377	54.3084	54.4788	54.6489	54.8186						

E

	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-55	-60	-65	-70	-75	-80	-85	-90	-95	-100
-200	-8.8246	-8.9470	-9.0629	-9.1719	-9.2738	-9.3683	-9.4550	-9.5337	-9.6039	-9.6656	-9.7184	-9.7622	-9.7966	-9.8212	-9.8350						
-100	-5.2372	-5.4610	-5.6807	-5.8961	-6.1073	-6.3141	-6.5164	-6.7142	-6.9073	-7.0957	-7.2793	-7.4580	-7.6316	-7.8001	-7.9633	-8.1211	-8.2734	-8.4201	-8.5609	-8.6958	-8.8246
0	0.0000	-0.2921	-0.5815	-0.8681	-1.1516	-1.4321	-1.7095	-1.9837	-2.2548	-2.5227	-2.7872	-3.0484	-3.3062	-3.5605	-3.8113	-4.0585	-4.3019	-4.5416	-4.7774	-5.0093	-5.2372
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	0.0000	0.2945	0.5912	0.8902	1.1915	1.4951	1.8010	2.1092	2.4197	2.7325	3.0476	3.3649	3.6845	4.0063	4.3303	4.6565	4.9848	5.3152	5.6477	5.9823	6.3189
100	6.3189	6.6575	6.9981	7.3406	7.6850	8.0312	8.3792	8.7291	9.0806	9.4339	9.7888	10.1454	10.5035	10.8632	11.2244	11.5871	11.9512	12.3167	12.6836	13.0518	13.4213
200	13.4213	13.7921	14.1641	14.5373	14.9116	15.2871	15.6637	16.0414	16.4201	16.7999	17.1806	17.5622	17.9448	18.3284	18.7127	19.0980	19.4841	19.8710	20.2586	20.6471	21.0362
300	21.0362	21.4261	21.8167	22.2080	22.5999	22.9925	23.3857	23.7795	24.1739	24.5689	24.9644	25.3604	25.7570	26.1540	26.5515	26.9495	27.3480	27.7469	28.1462	28.5459	28.9460
400	28.9460	29.3464	29.7472	30.1484	30.5499	30.9517	31.3538	31.7561	32.1588	32.5616	32.9647	33.3681	33.7716	34.1753	34.5792	34.9833	35.3875	35.7918	36.1962	36.6007	37.0054
500	37.0054	3																			

J

	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-55	-60	-65	-70	-75	-80	-85	-90	-95	-100
-200	-7.8905	-7.9964	-8.0954																		
-100	-4.6325	-4.8363	-5.0366	-5.2334	-5.4265	-5.6158	-5.8011	-5.9823	-6.1592	-6.3318	-6.4998	-6.6630	-6.8214	-6.9747	-7.1228	-7.2655	-7.4025	-7.5337	-7.6589	-7.7779	-7.8905
0	0.0000	-0.2511	-0.5007	-0.7486	-0.9947	-1.2391	-1.4816	-1.7221	-1.9606	-2.1971	-2.4313	-2.6632	-2.8928	-3.1199	-3.3445	-3.5664	-3.7855	-4.0018	-4.2152	-4.4255	-4.6325
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	0.0000	0.2527	0.5068	0.7623	1.0191	1.2773	1.5367	1.7972	2.0588	2.3216	2.5853	2.8500	3.1157	3.3822	3.6495	3.9177	4.1866	4.4562	4.7265	4.9974	5.2689
100	5.2689	5.5410	5.8136	6.0867	6.3603	6.6343	6.9087	7.1835	7.4587	7.7341	8.0099	8.2859	8.5622	8.8387	9.1154	9.3923	9.6694	9.9465	10.2238	10.5013	10.7787
200	10.7787	11.0563	11.3339	11.6116	11.8893	12.1670	12.4446	12.7223	13.0000	13.2776	13.5552	13.8327	14.1102	14.3876	14.6649	14.9422	15.2194	15.4965	15.7735	16.0504	16.3272
300	16.3272	16.6039	16.8806	17.1571	17.4335	17.7099	17.9862	18.2624	18.5385	18.8145	19.0905	19.3664	19.6422	19.9180	20.1938	20.4695	20.7452	21.0209	21.2966	21.5723	21.8481
400	21.8481	22.1238	22.3997	22.6756	22.9516	23.2276	23.5038	23.7802	24.0566	24.3333	24.6101	24.8871	25.1643	25.4418	25.7196	25.9976	26.2759	26.5546	26.8335	27.1129	27.3926
500	27.3926	27.6728	27.9534	28.2344	28.5159	28.7979	29.0804	29.3635	29.6471	29.9313	30.2161	30.5016	30.7877	31.0744	31.3619	31.6501	31.9390	32.2287	32.5191	32.8104	33.1024
600	33.1024	33.3953	33.6890	33.9836	34.2790	34.5754	34.8726	35.1707	35.4698	35.7698	36.0707	36.3726	36.6754	36.9792	37.2839	37.5895	37.8961	38.2037	38.5121	38.8215	39.1318
700	39.1318	39.4430	39.7551	40.0680	40.3818	40.6964	41.0118	41.3279	41.6448	41.9623	42.2805	42.5993	42.9186	43.2387	43.5595	43.8810	44.2030	44.5255	44.8483	45.1713	45.4944
800	45.4944	45.8176	46.1407	46.4636	46.7864	47.1089	47.4310	47.7528	48.0740	48.3948	48.7149	49.0345	49.3534	49.6716	49.9891	50.3058	50.6217	50.9369	51.2512	51.5647	51.8773
900	51.8773	52.1990	52.4999	52.8100	53.1191	53.4274	53.7348	54.0413	54.3470	54.6518	54.9558	55.2589	55.5613	55.8629	56.1637	56.4637	56.7630	57.0616	57.3595	57.6568	57.9534
1000	57.9534	58.2494	58.5448	58.8397	59.1340	59.4278	59.7212	60.0141	60.3065	60.5986	60.8903	61.1817	61.4727	61.7634	62.0539	62.3441	62.6341	62.9239	63.2135	63.5029	63.7922
1100	63.7922	64.0814	64.3704	64.6593	64.9481	65.2368	65.5254	65.8140	66.1024	66.3908	66.6790	66.9672	67.2552	67.5431	67.8309	68.1185	68.4059	68.6932	68.9801	69.2668	69.5532

T

	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-55	-60	-65	-70	-75	-80	-85	-90	-95	-100
-200	-5.6030	-5.6799	-5.7532	-5.8228	-5.8885	-5.9499	-6.0067	-6.0585	-6.1050	-6.1457	-6.1804	-6.2091	-6.2318	-6.2482	-6.2575						
-100	-3.3786	-3.5191	-3.6567	-3.7913	-3.9230	-4.0516	-4.1771	-4.2996	-4.4190	-4.5353	-4.6485	-4.7585	-4.8654	-4.9691	-5.0696	-5.1668	-5.2608	-5.3514	-5.4386	-5.5225	-5.6030
0	0.0000	-0.1926	-0.3831	-0.5711	-0.7568	-0.9401	-1.1209	-1.2992	-1.4750	-1.6483	-1.8190	-1.9872	-2.1527	-2.3156	-2.4758	-2.6332	-2.7879	-2.9398	-3.0889	-3.2352	-3.3786
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	0.0000	0.1946	0.3910	0.5893	0.7896	0.9920	1.1964	1.4030	1.6118	1.8227	2.0357	2.2509	2.4682	2.6875	2.9089	3.1323	3.3577	3.5851	3.8143	4.0455	4.2785
100	4.2785	4.5133	4.7500	4.9883	5.2284	5.4703	5.7138	5.9589	6.2057	6.4541	6.7041	6.9557	7.2088	7.4635	7.7197	7.9774	8.2366	8.4973	8.7595	9.0231	9.2881
200	9.2881	9.5546	9.8224	10.0916	10.3622	10.6342	10.9075	11.1820	11.4579	11.7350	12.0134	12.2930	12.5738	12.8559	13.1391	13.4234	13.7089	13.9955	14.2832	14.5720	14.8619
300	14.8619	15.1529	15.4449	15.7380	16.0322	16.3274	16.6236	16.9208	17.2191	17.5184	17.8187	18.1200	18.4222	18.7255	19.0297	19.3347	19.6407	19.9475	20.2550	20.5632	20.8720

N

	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-55	-60	-65	-70	-75	-80	-85	-90	-95	-100
-200	-3.9904	-4.0384	-4.0829	-4.1241	-4.1617	-4.1959	-4.2265	-4.2535	-4.2770	-4.2969	-4.3132	-4.3262	-4.3357	-4.3420	-4.3451						
-100	-2.4068	-2.5104	-2.6118	-2.7109	-2.8077	-2.9022	-2.9941	-3.0836	-3.1705	-3.2548	-3.3363	-3.4151	-3.4911	-3.5642	-3.6344	-3.7015	-3.7656	-3.8266	-3.8845	-3.9391	-3.9904
0	0.0000	-0.1305	-0.2604	-0.3896	-0.5180	-0.6457	-0.7724	-0.8981	-1.0228	-1.1463	-1.2686	-1.3896	-1.5092	-1.6274	-1.7440	-1.8590	-1.9723	-2.0838	-2.1935	-2.3012	-2.4068
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	0.0000	0.1300	0.2609	0.3926	0.5252	0.6586	0.7930	0.9283	1.0645	1.2017	1.3398	1.4789	1.6190	1.7600	1.9020	2.0449	2.1889	2.3337	2.4796	2.6264	2.7741
100	2.7741	2.9228	3.0724	3.2230	3.3744	3.5268	3.6801	3.8342	3.9892	4.1451	4.3018	4.4594	4.6178	4.7770	4.9371	5.0979	5.2595	5.4218	5.5850	5.7488	5.9134
200	5.9134	6.0787	6.2447	6.4115	6.5789	6.7469	6.9157	7.0850	7.2551	7.4257	7.5970	7.7688	7.9413	8.1143	8.2879	8.4621	8.6369	8.8121	8.9880	9.1643	9.3412
300	9.3412	9.5185	9.6964	9.8747	10.0536	10.2329	10.4126	10.5929	10.7735	10.9546	11.1362	11.3181	11.5005	11.6833	11.8665	12.0501	12.2341	12.4184	12.6031	12.7882	12.9737
400	12.9737	13.1595	13.3456	13.5321	13.7189	13.9061	14.0935	14.2813	14.4694	14.6578	14.8464	15.0354	15.2246	15.4141	15.6039	15.7939	15.9842	16.1748	16.3656	16.5566	16.7479
500	16.7479	16.9393	17.1310	17.3230	17.5151	17.7074	17.9000	18.0927	18.2856	18.4787	18.6720	18.8654	19.0590	19.2528	19.4467	19.6407	19.8349	20.0293	20.2238	20.4184	20.6131
600	20.6131	20.8080	21.0029	21.1980	21.3932	21.5885	21.7838	21.9793	22.1748	22.3705	22.5662	22.7620	22.9578	23.1537	23.3497	23.5458	23.7418	23.9380	24.1342	24.3304	24.5267
700	24.5267	24.7229	24.9193	25.1156	25.3120	25.5084	25.7048	25.9012	26.0977	26.2941	26.4905	26.6870	26.8834	27.0799	27.2763	27.4727	27.6691	27.8655	28.0619	28.2582	28.4545
800	28.4545	28.6508	28.8471	29.0433	29.2395	29.4356	29.6317	29.8278	30.0238	30.2197	30.4156	30.6115	30.8073	31.0030	31.1987	31.3943	31.5898	31.7853	31.9807	32.1760	32.3713
900	32.3713	32.5664	32.7615	32.9565	33.1514	33.3462	33.5409	33.7355	33.9300	34.1245	34.3188	34.5130	34.7071	34.9010	35.0949	35.2887	35.4823	35.6758	35.8692	36.0624	36.2555
1000	36.2555	36.4485	36.6414	36.8341	37.0267	37.2191	37.4114	37.6035	37.7955	37.9873	38.1790	38.3705	38.5618	38.7530	38.9440	39.1349	39.3256	39.5161	39.7064	39.8966	40.0866
1100	40.0866	40.2764	40.4660	40.6555	40.8448	41.0338	41.2227	41.4114	41.5999	41.7882	41.9764	42.1643	42.3520	42.5395	42.7268	42.9140	43.1009	43.2876	43.4740	43.6603	43.8464
1200	43.8464	44.0322	44.2178	44.4032	44.5883	44.7732	44.9579	45.1423	45.3264	45.5103	45.6939	45.8772	46.0603	46.2430	46.4255	46.6076	46.7894	46.9708	47.1518	47.3325	47.5128

使用方法：

1. 上述表格陰影部份為溫度值，利用兩邊之溫度值和所對應之表格內值，即為該溫度與產生熱電壓的關係。
2. 0 補償為將基準點放置冰點，利用冰點槽作 0 補償，亦可使用電子補償方式進行(誤差較大)。