



中国计量出版社

# S型标准热电偶 热电势计算手册

国家技术监督局计量司组编



# S 型标准热电偶热 电势计算手册

国家技术监督局计量司 组编

中国计量出版社

新登(京)字 024 号

## 内 容 提 要

本书是国家技术监督局计量司为配合“90 国际温标”宣传贯彻而组织编写的技术手册。主要内容包括 S 型标准热电偶的热电势的“影响函数”计算方法、实例以及所需的数值表。这种计算方法的主要特点是利用查表代替繁杂的计算,使热电偶的热电势计算简单化、实用化。

本手册可供基层热电偶检定人员和广大有关厂矿、企业技术人员和工人查阅使用。

### S 型标准热电偶热电势计算手册

国家技术监督局计量司 组编

责任编辑 陈小林

\*

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

\*

开本 787×1092/32 印张 9.5 字数 214 千字

1993 年 2 月第 1 版 1993 年 2 月第 1 次印刷

印数 1—3500

ISBN 7—5026—0578—9/TH.7

定价 6.50 元

## 前 言

随着“1990年国际温标”的进一步实施，热电偶的计量检定工作发生了很大变化。热电偶的热电势 $E$ 与温度 $t$ 之间的函数关系由新的公式替代，原来基于 IPTS-68 温标基础上的计算方法已不再适用。虽然在国家技术监督局计量司组织编写的《1990年国际温标宣贯手册》中，规定了新的计算方法，但由于新方法计算过程繁琐，数值位数多，手算很容易出错，使用单位须辅之以计算机进行数据处理。然而，对于没有条件配备计算机设备的地（市）、县计量检定机构及企业，这存在着不少的困难。

为此，我们组织编写了《S型标准热电偶热电势计算手册》。该手册为大家提供了一种比较简便的计算方法——影响函数法。使用这种方法处理 S 型热电偶（铂铑<sub>10</sub>-铂热电偶）检定数据，可省去许多繁杂的计算过程，通过相对简单的计算和查表，便可得出检定结果。无疑，这将为广大基层计量检定机构和有关厂矿企业的检定工作带来方便，也将为我国深入实施“1990年国际温标”起到积极的推动作用。

本手册由河北省计量测试研究所高岚、郭增军同志编写；在该计算方法的讨论研究过程中，得到了国家技术监督局、中国计量科学研究院有关专家的大力帮助；编表时又得到河北省计量测试研究所李宽、赵强同志的热忱帮助；中国计量科学研究院凌善康、赵琪、李诩漠、郑芳，北京市计量科学研究所张锦霞及国家技术监督局计量司陆志方，何开茂、郭建明等同志对该手册进行了审核。谨此一并致谢。

国家技术监督局计量司

1992年1月

## 目 录

- 一、导言 . . . . . (1)
- 二、热电势  $E$  的计算方法 . . . . . (1)
- 三、《宣贯手册》上方法与影响函数法的比较 . . . (4)
- 四、例题 . . . . . (6)
- 附录 1 检定点为锌、镉、铜的  $\Delta E_1\varphi_1(t)$ ,  $\Delta E_2\varphi_2(t)$ ,  $\Delta E_3\varphi_3(t)$  的数值表 . . . . . (8)
- 附录 2 检定点为锌、铝、铜的  $\Delta E_1\varphi_1(t)$ ,  $\Delta E_2\varphi_2(t)$ ,  $\Delta E_3\varphi_3(t)$  的数值表 . . . . . (150)
- 附录 3 标准铂铑<sub>10</sub>-铂热电偶 (S 型) 参考函数  $E_r(t)$  表 . . . . . (292)
- 附录 4 S 型热电偶各整百度相应热电势计算表(295)

## 一 导言

在温度测量中，铂铑<sub>10</sub>-铂热电偶具有使用方便、性能稳定、准确可靠、热惯性小、动态响应快、结构简单、维修方便、信号可以远距离传送、便于检测和自动控制等优点，是应用最广泛的重要感温元件。

1990年国际温标(ITS-90)规定，铂铑<sub>10</sub>-铂热电偶不再作为复现温标的基准仪器，而 $t_{90}-t_{68}$ 不仅不是一个常数，而且是 $t_{90}$ 的一个非常不规则的函数，因此热电偶的热电势 $E$ 与温度 $t$ 之间的函数形式和曲线形状均要发生变化。多年采用的计算方法已不再适用：例如按1968年国际实用温标(IPTS-68)定义，在我国，对于一、二等标准热电偶，在 $300^{\circ}\text{C}\sim 1300^{\circ}\text{C}$ 温度范围内的公式 $E(t_{68})=a+bt_{68}+ct_{68}^2$ 就不能再使用了。

在国家技术监督局计量司组织编写的《1990年国际温标宣贯手册》(以下简称《宣贯手册》)中，规定了新的计算方法，但由于新方法计算过程繁琐，数值位数多，因此，有必要对之进行简化。

本手册所提供的“影响函数法”，就是一种比较简便的计算方法。该方法是用查表的办法，来简化S型热电偶的数据处理。使用这种方法，可降低对计算设备和技术人员水平的要求，给基层计量部门及工矿企业的检定工作带来方便。

## 二 热电势 $E$ 的计算方法

### 1、偏差函数 $\Delta E$ 的计算方法

检定S型标准热电偶和工业热电偶均在锌、镉、铜3

个凝固点上分度，然后用计算的方法给出整百度的电势值。  
《宣贯手册》上规定用铝点替代镉点，但暂时还可以检定镉点。设这 3 个点的温度为  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ ，热电势值为  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ ，则可以求出在这 3 个凝固点上的热电势与参考函数  $E_r(t)$  的差值  $\Delta E_1$ 、 $\Delta E_2$ 、 $\Delta E_3$ 。由《宣贯手册》第 70 页，有公式

$$\Delta E(t) = a + bt + ct^2 \quad (1)$$

式中， $\Delta E(t)$  为温度  $t$  时的偏差函数。

对于 3 个凝固点，可得一组三元一次联立方程：

$$\Delta E_1 = a + bt_1 + ct_1^2 \quad (2)$$

$$\Delta E_2 = a + bt_2 + ct_2^2 \quad (3)$$

$$\Delta E_3 = a + bt_3 + ct_3^2 \quad (4)$$

解联立方程，求得：

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} \quad (5)$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} \quad (6)$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} \quad (7)$$

其中：

$$\Delta = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 \\ 1 & t_2 & t_2^2 \\ 1 & t_3 & t_3^2 \end{bmatrix}$$

$$\Delta_1 = \begin{bmatrix} \Delta E_1 & t_1 & t_1^2 \\ \Delta E_2 & t_2 & t_2^2 \\ \Delta E_3 & t_3 & t_3^2 \end{bmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{bmatrix} 1 & \Delta E_1 & t_1^2 \\ 1 & \Delta E_2 & t_2^2 \\ 1 & \Delta E_3 & t_3^2 \end{bmatrix}$$

$$\Delta_3 = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & \Delta E_1 \\ 1 & t_2 & \Delta E_2 \\ 1 & t_3 & \Delta E_3 \end{bmatrix}$$

将结果代入公式(1), 得

$$\Delta E(t) = \Delta E_1 \varphi_1(t) + \Delta E_2 \varphi_2(t) + \Delta E_3 \varphi_3(t) \quad (8)$$

我们把式(8)中  $\varphi_1(t)$ ,  $\varphi_2(t)$ ,  $\varphi_3(t)$  称为影响函数, 其值分别为

$$\varphi_1(t) = \frac{(t-t_2)(t-t_3)}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)} \quad (9)$$

$$\varphi_2(t) = \frac{(t-t_1)(t-t_3)}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)} \quad (10)$$

$$\varphi_3(t) = \frac{(t-t_1)(t-t_2)}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)} \quad (11)$$

从以上分析知道, 求  $\Delta E$ , 可以事先根据 3 个凝固点上的热电势  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$  ( $\Delta E_1$ 、 $\Delta E_2$ 、 $\Delta E_3$ ) 以及公式(9)、(10)、(11) 编制出与  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$  相对应的  $\Delta E_1 \varphi_1(t)$ 、 $\Delta E_2 \varphi_2(t)$ 、 $\Delta E_3 \varphi_3(t)$  的数值表, 通过查表, 方便地求出每支热电偶的偏差函数  $\Delta E$ 。

附录 1、附录 2 内分别列出了 3 个凝固点为锌、镉、铜和锌、铝、铜对应的  $\Delta E_1 \varphi_1(t)$ 、 $\Delta E_2 \varphi_2(t)$ 、 $\Delta E_3 \varphi_3(t)$  的数值表。

## 2、热电势值 E 的计算

宣贯手册上规定:



$$\Delta E(t) = E(t) - E_r(t) \quad (12)$$

$$E(t) = E_r(t) + \Delta E(t) \quad (13)$$

式中,  $E(t)$  为温度  $t$  时被检热电偶的电势值,  $\Delta E(t)$  为温度  $t$  时的偏差函数;  $E_r(t)$  为温度  $t$  时的参考函数。

由上述可知,  $\Delta E(t)$  可以由公式 (8) 给出,  $E_r(t)$  可从铂铈<sub>10</sub>-铂热电偶参考函数表 (附录 3) 中查出, 则由公式 (13) 得出任意温度  $t$  时的电势值  $E(t)$ 。

附录 1 和附录 2 表编制的温度间隔是 10℃, 若要求附录上没有的温度点的电势值, 可以首先用公式 (9)、(10)、(11) 求出  $\varphi_1(t)$ 、 $\varphi_2(t)$ 、 $\varphi_3(t)$ , 然后由公式 (8) 求出  $\Delta E(t)$ , 用同样的方法由公式 (13) 求出任意温度点的  $E(t)$ 。我们将这一计算方法称为影响函数法。

### 三 《宣贯手册》上方法与影响函数法的比较

#### 1、《宣贯手册》上方法的步骤

(1) 按检定规程的要求检定, 得出锌、铈 (铝)、铜 3 个凝固点的热电势值  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 。

(2) 用已知的  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$  与 3 个点上相对应的  $E_r(t_1)$ 、 $E_r(t_2)$ 、 $E_r(t_3)$ , 由公式  $\Delta E = E(t) - E_r(t)$  求出  $\Delta E_1$ 、 $\Delta E_2$ 、 $\Delta E_3$ 。

(3) 求  $a$ 、 $b$ 、 $c$  (见《宣贯手册》第 72 页), 若 3 个分度点选择锌、铈、铜, 可得  $a$ 、 $b$ 、 $c$  的如下计算公式:

$$a = 4.87164\Delta E_1 - 4.74785\Delta E_2 + 0.876205\Delta E_3$$

$$b = -0.0122166\Delta E_1 + 0.0156946\Delta E_2 - 0.00347797\Delta E_3$$

$$c = 7.12235 \times 10^6 \Delta E_1 - 10.43420 \times 10^6 \Delta E_2 + 3.31186 \times 10^6 \Delta E_3$$

如果用铝凝固点代替铈凝固点, 则  $a$ 、 $b$ 、 $c$  的计算公式如下:

$$a = 4.47201\Delta E_1 - 4.45367\Delta E_2 + 0.981667\Delta E_3$$

$$b = -0.0108956\Delta E_1 + 0.0147221\Delta E_2 - 0.00382658\Delta E_3$$

$$c = 6.24408 \times 10^6 \Delta E_1 - 9.78770 \times 10^6 \Delta E_2 + 3.54362 \times 10^6 \Delta E_3$$

(4)求偏差函数  $\Delta E(t)$ ,  $\Delta E = a + bt + ct^2$ 。按规程要求, 求 300~1300°C 每隔 100°C 计算出电势值, 所以  $\Delta E$  也每隔 100°C 算出相应的  $\Delta E$ 。

(5)求被检热电偶的电势值  $E(t)$ 。按规程要求整百度的电势值  $E(t) = E_r(t) + \Delta E(t)$ 。

该计算方法, 若用计算器实现, 就比较困难, 计算量也大。一般要使用计算机, 编好程序后完成这项计算任务。

## 2、影响函数法计算步骤

(1)检定得出锌、镉、铜 3 个凝固点上的电势值  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 。

(2)根据  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ , 从附录 1 或附录 2 (如用铝点代替镉点) 查表得出  $\Delta E_1\varphi_1(t)$ 、 $\Delta E_2\varphi_2(t)$ 、 $\Delta E_3\varphi_3(t)$ , 由公式  $\Delta E = \Delta E_1\varphi_1(t) + \Delta E_2\varphi_2(t) + \Delta E_3\varphi_3(t)$  计算出整百度的偏差函数  $\Delta E$ 。

(3)由公式  $E(t) = E_r(t) + \Delta E$  得出整度的电势值  $E(t)$ 。

若精密测温时要求计算附录 1 和附录 2 上没有给出的电势值, 则可先用公式 (9)、(10)、(11) 求出  $\varphi_1(t)$ 、 $\varphi_2(t)$ 、 $\varphi_3(t)$ , 然后求  $\Delta E$ , 再求  $E(t)$ 。

## 3、两种方法的比较

(1)前者步骤较繁琐, 后者步骤较少。

(2)前者求  $a$ 、 $b$ 、 $c$  及  $\Delta E(t)$  数据位数较多, 计算较繁, 易出错。后者只需查表即可。

为了计算方便, 我们设计了“S 型热电偶各整百度相应热电势计算表”, 见附录 4。

## 四 例 题

有一支二等标准热电偶，编号为 No84-1003，检定得出锌、铈、铜 3 点电势分别为锌点： $E_1 = 3.441\text{mV}$ ；铈点： $E_2 = 5.545\text{mV}$ ；铜点： $E_3 = 10.568\text{mV}$ 。

1、计算出 300~1300℃ 时各整百度的电势值  
计算步骤

(1)从附录 1 查出各整百度对应的  $\Delta E_1\varphi_1(t)$ 、 $\Delta E_2\varphi_2(t)$ 、 $\Delta E_3\varphi_3(t)$ ，记入计算表，然后 3 项相加，得  $\Delta E(t)$ ；

(2)从附录 3 查出整百度对应的参考函数  $[E_r(t)]$ ，数据也记入计算表的对应栏内；

(3)由  $E(t) = E_r(t) + \Delta E(t)$  得出计算结果，结果见表 1。

2、计算出 515℃ 点的电势值  $E(t)$

计算步骤

(1)首先计算出  $\Delta E_1$ 、 $\Delta E_2$ 、 $\Delta E_3$ ：

$$\Delta E_1 = -0.00678\text{mV}$$

$$\Delta E_2 = -0.00650\text{mV}$$

$$\Delta E_3 = -0.00731\text{mV}$$

(2)计算  $\varphi_1(t)$ 、 $\varphi_2(t)$ 、 $\varphi_3(t)$ ：

$$\varphi_1(t) = \frac{(t-t_2)(t-t_3)}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)} = 0.46911$$

$$\varphi_2(t) = \frac{(t-t_1)(t-t_3)}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)} = 0.56745$$

$$\varphi_3(t) = \frac{(t-t_1)(t-t_2)}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)} = -0.03656$$

(3)计算：

$$\Delta E(t) = \Delta E_1\varphi_1(t) + \Delta E_2\varphi_2(t) + \Delta E_3\varphi_3(t) = -0.00660\text{mV}$$

(4)由  $E(t) = E_r(t) + \Delta E(t)$ ，得出： $E(515) = 4.376\text{mV}$

表 1 S 型热电偶各整百度相应热电势计算表 (mV)

编号: 84-1-003

$t(^{\circ}\text{C})$	锌点:			锡点:			铜点		
	$\Delta E_1\varphi_1(t)$	$\Delta E_2\varphi_2(t)$	$\Delta E_3\varphi_3(t)$	$\Delta E(t)$	$\Delta E_r(t)$	$E(t)$	$E_r(t)$	$E(t)$	$E(t)$ 化整值
300	-0.01253	0.00636	-0.00096	-0.00713	2.32357	2.31644	2.32357	2.31644	2.316
400	-0.00763	0.00091	-0.00011	-0.00683	3.26029	3.25346	3.26029	3.25346	3.253
500	-0.00369	-0.00319	0.00025	-0.00663	4.23364	4.22701	4.23364	4.22701	4.227
600	-0.00072	-0.00593	0.00013	-0.00652	5.23781	5.23129	5.23781	5.23129	5.231
700	0.00129	-0.00732	-0.00047	-0.00650	6.27310	6.2666	6.27310	6.2666	6.267
800	0.00233	-0.00734	-0.00156	-0.00657	7.34212	7.33555	7.34212	7.33555	7.336
900	0.00240	-0.00602	-0.00313	-0.00675	8.44682	8.44007	8.44682	8.44007	8.440
1000	0.00151	-0.00333	-0.00519	-0.00701	9.58654	9.57953	9.58654	9.57953	9.580
1100	-0.00035	0.00071	-0.00773	-0.00737	10.75708	10.74971	10.75708	10.74971	10.750
1200	-0.00317	0.00611	-0.01076	-0.00782	11.95106	11.94324	11.95106	11.94324	11.943
1300	-0.00696	0.01286	-0.01427	-0.00837	13.15917	13.15080	13.15917	13.15080	13.151

注:  $E(t) = E_r(t) + \Delta E(t)$



# 附录 1

检定点为锌、镉、铜的

$\Delta E_1\varphi_1(t)$ 、 $\Delta E_2\varphi_2(t)$ 、 $\Delta E_3\varphi_3(t)$

的数值表

$\Delta E_1 \varphi_1(t)$ 数值表

$E_j$ (mV) $t$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	3.433	3.434	3.435	3.436	3.437
300	-0.02731	-0.02546	-0.02361	-0.02177	-0.01992
310	-0.02614	-0.02438	-0.02261	-0.02084	-0.01907
320	-0.02500	-0.02331	-0.02162	-0.01993	-0.01824
330	-0.02388	-0.02227	-0.02065	-0.01903	-0.01742
340	-0.02278	-0.02124	-0.01970	-0.01816	-0.01662
350	-0.02170	-0.02023	-0.01877	-0.01730	-0.01583
360	-0.02064	-0.01925	-0.01785	-0.01645	-0.01506
370	-0.01961	-0.01828	-0.01695	-0.01563	-0.01430
380	-0.01859	-0.01733	-0.01607	-0.01482	-0.01356
390	-0.01759	-0.01640	-0.01521	-0.01402	-0.01283
400	-0.01662	-0.01550	-0.01437	-0.01325	-0.01212
410	-0.01567	-0.01461	-0.01355	-0.01249	-0.01143
420	-0.01474	-0.01374	-0.01274	-0.01175	-0.01075
430	-0.01383	-0.01289	-0.01195	-0.01102	-0.01008
440	-0.01294	-0.01206	-0.01119	-0.01031	-0.00943
450	-0.01207	-0.01125	-0.01043	-0.00962	-0.00880
460	-0.01122	-0.01046	-0.00970	-0.00894	-0.00818
470	-0.01039	-0.00969	-0.00899	-0.00828	-0.00758
480	-0.00959	-0.00894	-0.00829	-0.00764	-0.00699
490	-0.00880	-0.00821	-0.00761	-0.00702	-0.00642

$\Delta E_1 \varphi_1(t)$ 数值表

$E_i$ (mV) \ $t$ (°C)	3.433	3.434	3.435	3.436	3.437
500	-0.00804	-0.00750	-0.00695	-0.00641	-0.00586
510	-0.00730	-0.00680	-0.00631	-0.00582	-0.00532
520	-0.00658	-0.00613	-0.00569	-0.00524	-0.00480
530	-0.00588	-0.00548	-0.00508	-0.00468	-0.00429
540	-0.00520	-0.00484	-0.00449	-0.00414	-0.00379
550	-0.00454	-0.00423	-0.00392	-0.00362	-0.00331
560	-0.00390	-0.00364	-0.00337	-0.00311	-0.00284
570	-0.00328	-0.00306	-0.00284	-0.00262	-0.00240
580	-0.00269	-0.00251	-0.00233	-0.00214	-0.00196
590	-0.00212	-0.00197	-0.00183	-0.00169	-0.00154
600	-0.00156	-0.00146	-0.00135	-0.00125	-0.00114
610	-0.00103	-0.00096	-0.00089	-0.00082	-0.00075
620	-0.00052	-0.00048	-0.00045	-0.00041	-0.00038
630	-0.00003	-0.00003	-0.00003	-0.00002	-0.00002
640	0.00044	0.00041	0.00038	0.00035	0.00032
650	0.00089	0.00083	0.00077	0.00071	0.00065
660	0.00131	0.00122	0.00114	0.00105	0.00096
670	0.00172	0.00160	0.00149	0.00137	0.00125
680	0.00210	0.00196	0.00182	0.00168	0.00153
690	0.00247	0.00230	0.00213	0.00197	0.00180



$\Delta E_1 \varphi_1(t)$ 数值表

$E_i$ (mV) $t$ (°C)	3.433	3.434	3.435	3.436	3.437
700	0.00281	0.00262	0.00243	0.00224	0.00205
710	0.00313	0.00292	0.00271	0.00249	0.00228
720	0.00343	0.00320	0.00297	0.00273	0.00250
730	0.00371	0.00346	0.00321	0.00296	0.00271
740	0.00397	0.00370	0.00343	0.00316	0.00289
750	0.00420	0.00392	0.00364	0.00335	0.00307
760	0.00442	0.00412	0.00382	0.00352	0.00322
770	0.00462	0.00430	0.00399	0.00368	0.00337
780	0.00479	0.00447	0.00414	0.00382	0.00349
790	0.00494	0.00461	0.00427	0.00394	0.00361
800	0.00507	0.00473	0.00439	0.00404	0.00370
810	0.00519	0.00483	0.00448	0.00413	0.00378
820	0.00528	0.00492	0.00456	0.00420	0.00385
830	0.00534	0.00498	0.00462	0.00426	0.00390
840	0.00539	0.00503	0.00466	0.00430	0.00393
850	0.00542	0.00505	0.00468	0.00432	0.00395
860	0.00542	0.00506	0.00469	0.00432	0.00396
870	0.00541	0.00504	0.00468	0.00431	0.00394
880	0.00537	0.00501	0.00464	0.00428	0.00392
890	0.00531	0.00495	0.00459	0.00424	0.00388