

温 度 —

温标及其复现方法

WEN DU —

WENBIAO JIQI FUXIAN FANGFA

凌善康 赵 琪 编译  
李汧谟 李混然

计 量 出 版 社

# 温度——温标及其复现方法

凌善康 赵 琪 李诤漠 李混然 编译

计 量 出 版 社

1984·北 京

## 内 容 简 介

本书的主要内容是介绍1968年国际实用温标(1975年修订版)和1976年0.5—30 K临时温标的基本定义与复现方法,全书分为五章。第一章着重讨论温度的基本概念,热力学温度和国际实用温标的关系,以及国际实用温标的现状及展望。第二章汇编了国际上公布的第二类参考点。第三章和第四章是国际计量委员会公布的这两个国际温标的正式文件的中文版。第五章是本书的重点,着重介绍国际实用温标的补充知识,它是由温度计量各领域中国际上公认水平最高的专家集体编写而成的。它反映了近年来的最新科研成果,详细介绍了各种标准温度计的结构、原理、分度方法和使用方法,以及国际实用温标各定义固定点的复现方法及有关的装置。

本书可供从事计量、热物理、低温物理、热工、仪表以及与温度测量有关的其它专业的广大科技人员和高等院校的师生参考。

## 温度——温标及其复现方法

凌善康 赵 琪 李诤谟 李湛然 编译

责任编辑 窦绪昕

\*

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

三河县中赵甫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

开本 850×1168 1/32 印张 4 7/8

字数 124 千字 印数 1—10 000

1984年3月第一版 1984年3月第一次印刷

统一书号 15210·309

定价 0.91 元

# 前 言

众所周知，温度是国际单位制（SI）七个基本物理量之一，在物理学单位中占有重要的地位。由于许多物质的特征参数与温度有密切的关系，因而温度测量在工业和科学研究中得到广泛地应用。

温度测量的基础是温标，它用来保证温度量值的准确、一致和正确传递。我国现行的温标与国际上普遍采用的温标相同，以《1968年国际实用温标（1975年修订版）》和《1976年0.5—30 K临时温标》为我国温度量值统一的标准。

本书的第一章为“国际实用温标（IPTS）的现状与发展”，这里简要地介绍了温标的演变过程和目前的现状与发展，使读者对“国际实用温标”的历史以及各国温度专家和国际咨询委员会（CCT）对未来温标的设想有一个梗概的了解。第二章作者引入了近年来某些第二类参考点的新数据，这些参考点对广大工程技术人员以及要求测量准确度不十分高的工作者来说，用处比较大。第三、第四章全文翻译上述的现行温标，这是两篇国际法定性的文件，是所有测温工作的依据所在。一切从事精密测温的科技工作者（包括计量人员）必将十分关心这方面的内容。第五章，也就是本书的重点所在。这章中全面地介绍了IPTS的标准复现方法。这是我们参加第十四届CCT会议（1982年4月于巴黎）所得到的最新讨论稿。这一篇的作者是两位著名的温度计量学家Preston-Thomas博士和T.J. Quinn博士。

按惯例，温标的复现方法是在温标的文本中以“补充资料”的标题下加以阐述的，但是CCT越来越感到温标本身需要相对稳定，譬如说，基本上每20年修订一次（如1927年温标、1948年温标和1968年温标），然而“补充资料”部分应该随科学技术的不

断发展而及时更新。为此，CCT决定，今后将此部分从温标中独立出来，而不定期公布标准复现方法，以更好适合现代化的要求。

由于我们的能力和时间所限，书中难免有不妥和错误之处，希望读者不吝指正。本书承计量出版社总编辑汤永厚同志和本书责任编辑窦绪昕同志的热心相助，深表感谢。

凌善康 赵 琪

李诤谟 李湜然

于中国计量科学研究院热工处

1983 年 1 月

# 目 录

## 前 言

|                                              |        |
|----------------------------------------------|--------|
| <b>第一章 国际实用温标 (IPST) 的现状与发展</b> .....        | ( 1 )  |
| § 1-1 引言 .....                               | ( 1 )  |
| § 1-2 热力学温度和国际温 标 .....                      | ( 2 )  |
| § 1-3 历次IPST的差别 .....                        | ( 3 )  |
| § 1-4 现行温标的缺陷 .....                          | ( 6 )  |
| § 1-5 标准测温技术的最新进展 .....                      | ( 7 )  |
| § 1-6 国际温标的发展 .....                          | ( 14 ) |
| <b>第二章 第二类参考点</b> .....                      | ( 18 ) |
| § 2-1 概况 .....                               | ( 18 ) |
| § 2-2 作为次级参考点的原则 .....                       | ( 19 ) |
| § 2-3 次级参考点的扩充表 .....                        | ( 20 ) |
| <b>第三章 1968年国际实用温标 (1975年 修订 版)</b> .....    | ( 30 ) |
| § 3-1 引言 .....                               | ( 30 ) |
| § 3-2 1968年国际实用温标 (IPST-68) 的定义 .....        | ( 31 ) |
| § 3-3 补充资料 .....                             | ( 38 ) |
| <b>第四章 1976年0.5—30K 临时温 标 (EPT-76)</b> ..... | ( 52 ) |
| <b>第五章 IPTS-68和 EPT-76的标准复现方法</b> .....      | ( 58 ) |
| § 5-1 引言 .....                               | ( 58 ) |
| § 5-2 固定点 .....                              | ( 72 ) |
| § 5-3 EPT-76 (0.5—30K) 的实 现 .....            | (110)  |
| § 5-4 铂电阻温度 计 .....                          | (124)  |
| § 5-5 铂铱10—铂热电偶 .....                        | (135)  |
| § 5-6 光学高温 计 .....                           | (139)  |
| § 5-7 分度和比 较 .....                           | (146)  |

# 第一章 国际实用温标 (IPTS)

## 的现状与发展

### § 1—1 引 言

温度是一个非常重要、而又相当特殊的物理量。它的重要性很明显，因为它是七个基本物理量之一，许多物理现象均与之密切相关，因而，在科学研究、工农业生产和人们日常生活中都离不开温度的准确测量。温度是一个内涵量，不是一个广延量。它与其它物理量相比要复杂些。两个温度不能相加，若说一温度为其它两个温度之和是毫无意义的。两个温度之间只有相等或不相等的关系，而其它的一般测量可有单位，测量结果即为该单位的倍数或分数。可是，长期来对温度而言，我们所做的却不是测量，而只是做标志，也就是说，只是确定温标上的位置而已。这种状况在1967年使用温度单位——开尔文以后有了变化，由此，温度单位的定义的现代化总算完成了。

1967年第十三届国际计量大会 (CGPM) 确定，把热力学温度的单位——开尔文定义为：水三相点热力学温度的 $1/273.16$ 。这样，就完全适合1960年制定的国际单位制 (SI) 的表达形式。由此，热力学温度的大小就同国际单位制中其它物理量一样，可用 (数值)  $\times$  (单位) 的形式表示。用单位“开”来定义温标，也就无须使用“热力学温标”这一术语了。测定热力学温度，从今天来理解已不再是确定温标上的位置，而是单位开的多少倍了。这一点在计温学历史上有划时代的意义。

## § 1—2 热力学温度和国际温标

什么是热力学温度？我们说，唯有能够统一而又明确地描述热力学性质和现象的温度是“热力学温度”。1848年开尔文(Kelvin)首先提出将温度数值与可逆理想热机的效率相联系，根据热力学第二定律来定义温度的数值，这样，就与任何特定物质的性质无关。现在人们通常把用这种方法定义的温度称为“热力学温度”。

热力学温度是国际上公认的最基本的温度，一切温度测量（包括国际实用温标）最终都以它为准。

计温学的基本问题之一，是我们不能把实际系统的可测性质与热力学温度联系起来而写出一个完善的表达式。我们所能够做到的只是用实际系统来逼近理想行为。凡能符合这个要求的温度计，均称为基准温度计(Primary thermometer)。如常用的定容气体温度计就是一例，它的表达式为：

$$pV = nN_0 kT \quad (1-1)$$

式中：  $p$ ——气体的压强；

$V$ ——气体的克分子体积；

$n$ ——气体的克分子数；

$N_0$ ——阿伏加德罗常数；

$k$ ——玻耳兹曼常数；

$T$ ——热力学温度，其中  $N_0 k = R$ （气体普适常数）。此式描述了低密度极限时的实际气体行为。

又如，用辐射高温计测量热力学温度，按普朗克定律，它的表达式为：

$$L_\lambda = \frac{2hC^2}{n^2\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp[hC/kn\lambda T] - 1} \quad (1-2)$$

式中：  $L_\lambda$ ——波长为  $\lambda$  的绝对黑体的能量密度；

$h$ ——普朗克常数；

$C$ ——光速；

$k$ ——玻耳兹曼常数；

$n$ ——折射率指数，空气的 $n$ 定为1.00028。

上式同样也是近似理想行为的表达式，理论上应该是绝对黑体（封闭空腔）的能量密度与绝对温度的关系。因此，用一台绝对测量仪器来测量热力学温度从理论到实践都有较大的复杂性，而测量复现性也是十分有限的。另一种温度计，我们称之为次级温度计或实用温度计的，这就不一样，它的表达式往往不是基于严格的理论公式，而是依靠较为简单的经验公式，便于实验数据的拟合。如电阻温度计、热电偶均属此类仪器。

随着工业和科学技术的发展，国际交往日趋频繁，在本世纪初要求统一温度量值的呼声日益高涨，因而，依赖实用温度计的实用温标观念逐步为国际所接受。第一个国际“标准温标”（Echelle Normale）是Chappuis于1887年在国际计量局（BIPM）设计的，以定容氢气体温度计为标准，它的值通过水银温度计传递到各国，此温标的明显缺陷是范围太窄（0—100℃）。温度值随温度计的工作物质而变化。由于它只靠与主温度计相比较而传递（这称作线温标）所以不能算作第一个国际温标而载入史册。第一个国际温标是1927年第七届国际计量大会通过的“1927年国际温标（ITS-27）”。这是一种易于复现的，并在当时知识和技术水平允许下尽可能与热力学温度相一致的经验温标。建立国际温标应包括三项主要内容：（1）确定一系列定义固定点（相平衡态），并赋予最佳的热力学温度值；（2）指定内插仪器；（3）确定不同范围内不同的内插公式。所以，国际温标原则上应该是以定义简单、易于复现，按此得到的值十分接近于热力学温度值，并且在测量范围和精度上以满足需要为前提的。

### § 1—3 历次 IPTS 的差别

1927年国际温标（ITS-27）借助于六个定义固定点、三种标准内插仪器和四个内插公式来定义。它比上述标准温标（Echelle Normale）复杂得多，在当时条件下，ITS-27与热力学温度十分

接近。继ITS-27之后，于1948年公布了1948年国际温标（ITS-48），对ITS-27在若干处作了重大的修改。1954年国际计量大会作出了一项重要的决议，取消了0—100℃基本间隔的1/100作为温度单位“度开” $^{\circ}\text{K}$ 的定义，而仅用一个基本固定点——水三相点（273.16 K）来定义热力学温度，以绝对零度与水三相点之间的1/273.16来定义开尔文。

1960年对ITS-48作了修改，最重要的一点是以水三相点作为一个定义固定点代替冰点。这次修订未改变温标的温度值。此外，在温标前冠以“实用”两字，所以，1960年国际计量大会通过的温标为“1948年国际实用温标（IPTS-48）”。

随后，于1968年以IPTS-68代替IPTS-48。这次改变了温标的温度值，扩大了温度范围，也使整个温标更接近于热力学温度，同时复现温标的程序更臻复杂化。1975年对1968年温标的文本进行了修订，但是温度值保持不变，文本中的补充资料部分以及第二类参考点都有变化， $^3\text{He}$ 、 $^4\text{He}$ 蒸气压温标已被取消。

为了满足低温测量的需要，以及部分弥补IPTS-68的缺陷，国际计量大会于1978年已通过了“1976年0.5—30 K临时温标（EPT-76）”。此温标与IPTS-68（75'）均属现行温标。

历次温标的差别在表1-1中列出。

从表1-1中可以看出：在铂电阻温度计方面， $\alpha$ 系数是铂的纯度的度量，它由1927年温标的 $3.90 \times 10^{-3}$ ，上升到1968年温标的 $3.925 \times 10^{-3}$ 。Berry估计理想的纯铂 $\alpha$ 值约为 $3.928 \times 10^{-3}$ 。至于内插公式，到了1968年，温标的下限已延伸到13.81 K，卡仑达-范杜森公式也就不合适了，因为约在40 K以下铂的电阻率变成温度的复杂函数。为了接近热力学温度值就必须引入参考函数和5个附加固定点。与此相类似，0℃以上，由于Moser等气体温度计测量结果表明，IPTS-48偏离了热力学温度，所以在IPTS-68中，在卡仑达方程上再加一个简单的改正项 $t_M$ ，称为Moser变动项。

在铂铑10-铂热电偶方面，铂极的 $\alpha$ 值由 $3.90 \times 10^{-3}$ 上升到现

表 1-1 历次国际温标之间的差别

| 温 标           | 定义固定点数                         | 内插公式数                  | 标 准                                                                                                                                                      |                                                                               |   | 光 学 高 温 计                                                |
|---------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---|----------------------------------------------------------|
|               |                                |                        | 铂 电 阻 温 度 计                                                                                                                                              | 热 电 偶                                                                         | 仪 |                                                          |
| ITS-27        | 三个沸点和三个凝固点                     | 4                      | -182.97℃到660℃, 0℃以下用卡仑达-范杜森方程, $\alpha > 3.90 \times 10^{-3}$ .                                                                                          | 660℃到1063℃, 用平方公式, $\alpha > 3.90 \times 10^{-3}$ , 对E(A <sub>2</sub> )作一项限制。 |   | 1063℃以上, 用维恩公式, $C_2 = 1.432$ , 对波长 $\lambda$ 未作规定。      |
| IPTS-48       | 三个沸点和三个凝固点                     | 4                      | -182.97℃到630.5℃, 0℃以上用卡仑达方程, 0℃以下用卡仑达-范杜森方程, $\alpha > 3.91 \times 10^{-3}$ .                                                                            | 630.5℃到1063℃, 用平方公式, $\alpha > 3.91 \times 10^{-3}$ , 对E作三项限制。                |   | 1063℃以上, 用普朗克公式, $C_2 = 1.438$ , 对波长 $\lambda$ 限于可见范围。   |
| IPTS-48(1960) | 三个沸点, 三个凝固点, 共七个固定点, 其中三个替用点   | 4                      | -182.97℃到630.5℃, 0℃以上用卡仑达方程, 0℃以下用卡仑达-范杜森方程, $\alpha > 3.92 \times 10^{-3}$ , 以水三相点代替0.100℃温度间隔来确定单位。                                                    | 630.5℃到1063℃, 用平方公式, $\alpha > 3.92 \times 10^{-3}$ , 对E作三项限制, 然已修改。          |   | 1064.43℃以上, 用普朗克公式, $C_2 = 1.4388$ , 对波长 $\lambda$ 未作规定。 |
| IPTS-68       | 五个沸点, 四个凝固点和三个三相点共十二个, 其中一个替用点 | 七个公式加一个参数函数加一个Moser变动项 | 13.81K到630.74℃, 273K以下, 用一个W <sub>cc1</sub> 参考函数和四个多项式偏差函数, 0℃到630.74℃用以 $t$ 表示的平方公式, $t_{6.8} = t + \text{Moser}$ 变动, $\alpha > 3.925 \times 10^{-3}$ . | 630.74℃到1064.43℃, 用平方公式, $\alpha > 3.920 \times 10^{-3}$ , 对E的三项限制未变。         |   | 1064.43℃以上, 用普朗克公式, $C_2 = 1.4388$ , 对波长 $\lambda$ 未作规定。 |
| IPTS-68(1975) | 五个沸点, 四个凝固点, 共十二个固定点, 其中三个替用点  | 无改变                    | 改变W <sub>cc1</sub> 的公式形式。                                                                                                                                | 只对三项限制作了修改。                                                                   |   | 只对波长 $\lambda$ 规定在真空中。                                   |

行温标的 $3.92 \times 10^{-3}$ 。由表中可见, 历次温标均对热电偶的热电势加以限制, 以控制合金中铑的含量和纯度。因为铑的含量在一定范围内的变化影响不大, 所以这些限制看来已无必要。

金凝固点以上温度, ITS-27采用维恩公式, 在以后的温标中均改为普朗克定律。第二辐射常数 $C_2$ 由 $1.432\text{cm}\cdot\text{K}$ 改为 $1.438\text{cm}\cdot\text{K}$ , 最后ITS-68中规定为 $1.4388\text{cm}\cdot\text{K}$ 。对波长的规定有这样的过程: ITS-27中不作任何限制。ITS-48把波长规定在可见光谱范围内。1960年版本中又将此规定取消, ITS-68对波长未加任何限制。历次的温标均忽略了普朗克定律(或维恩公式)中的折射指数项, 这使得实用温标的温度值与热力学温度之间有微小的偏差, 1975年修订版中规定的 $\lambda$ 是指真空中的波长, 这样就纠正了上述的缺陷。

## § 1—4 现行温标的缺陷

ITS-68公布后, 逐渐发现一系列的缺陷。(1) 相对于热力学温度不够光滑, 特别是在 $13.81\text{—}83\text{K}$ 温区与磁温标相比较就明显可以看出其非光滑行为<sup>[2]</sup>。在 $630.74^\circ\text{C}$ 处斜率的不连续性达 $0.1\%$ , 在金点略小一些。以氩三相点代替氧沸点, 在温区交接处的斜率不连续性不超过 $\pm 0.02\%$ 。

(2) 以标准热电偶作为内插仪器, 许多实验证明, 其复现性不会优于 $0.2^\circ\text{C}$ , 在热电偶温区,  $800^\circ\text{C}$ 附近, 温标偏离热力学温度高达 $0.5^\circ\text{C}$ 。

(3) 根据气体温度计的测量表明, 在 $0\text{—}480^\circ\text{C}$ 温区内, ITS-68偏离热力学温度 $0.1^\circ\text{C}$ , 用气体温度计、声学温度计和磁温度计也证明了赋予低温固定点的温度值偏离热力学温度。

(4) 由 $13.81\text{K}$ 开始, 在固定点之间的温标非唯一性(non-uniqueness)可以达到 $2\text{mK}$ 。这说明主要是由于内插方程不恰当引起的。由澳大利亚NML的W.R.G.Kemp等建议的一个包含整个温区( $273.15$ 到 $13.81\text{K}$ )的参考函数和偏差方程可减小非唯一性误差到 $0.4\text{mK}$ 之内。

(5) 现行温标的下限为13.81K。这个下限不能满足现代科学技术发展的需要。

## § 1—5 标准测温技术的最新进展

### (1) 热力学温度值的最新测定

最近十年来,人们已经用气体温度计、噪声温度计和辐射温度计来测定热力学温度。用各种不同的物理学定律来测定此基本物理量,这都有助于分析系统误差的来源,并估计此类误差的大小。

#### (A) 2K到100K温区

表1-2中列出了英国国家物理实验室(NPL)的定容气体温度计和西德Münster大学的相关噪声温度计的测量结果。NPL的气体温度计测量覆盖范围为2.6K到27K。噪声温度计的范围由2.15K到4.25K。由表中所列的数据可见两种不同原理的绝对测量仪器,所测结果十分相符。

表 1-2 91K以下热力学温度的最新测定

| 平 衡 温 度                          | 测定的温度              | 测 量 方 法        | 参考文献 |
|----------------------------------|--------------------|----------------|------|
| 12680Pa下 <sup>4</sup> He的液-汽相平衡  | 2.6137K<br>2.6133K | 噪 声 法<br>气 体 法 |      |
| 101325Pa下 <sup>4</sup> He的液-汽相平衡 | 4.2221K            | 噪 声 法<br>气 体 法 |      |
| 平衡氢三相点                           | 13.8039K           | 气 体 法          |      |
| 平衡氢在33330.6Pa下的液-汽相平衡            | 17.0357K           | 气 体 法          |      |
| 平衡氢在101325Pa下的液-汽相平衡             | 20.2714K           | 气 体 法          |      |
| 氮在101325Pa下的液-汽相平衡               | 27.0979K           | 气 体 法          |      |
| 氧在101325Pa下的液-汽相平衡               | 90.188 K           | 气 体 法          |      |

#### (B) 0℃到460℃温区

在此温区中,只有NBS的气体温度计有测量结果,在CCT的授权下最近已正式确认并公布。数据列于表1-3中。按NBS作者的估计,此测定的不确定度(置信度取99%)在水沸点为 $\pm 3\text{mK}$ ,锌点为 $\pm 6\text{mK}$ 。由表1-3可见,热力学摄氏温度的水沸点值

为99.975℃。该值比加拿大国家研究院(NRC)测定的低25mK,这主要原因是NRC的气体温度计没有对气体的吸附效应有足够的认识。

表 1-3 NBS气体温度计测定 IPTS-68 与热力学温度的整值

| $t/^\circ\text{C}$ | $(T-T_{90})/\text{mK}$ | $t/^\circ\text{C}$ | $(T-T_{90})/\text{mK}$ |
|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| 0                  | 0                      | 240                | -44.2                  |
| 20                 | -1.4                   | 260                | -44.9                  |
| 40                 | -6.3                   | 280                | -45.7                  |
| 60                 | -12.6                  | 300                | -46.7                  |
| 80                 | -19.2                  | 320                | -48.1                  |
| 100                | -25.2                  | 340                | -50.0                  |
| 120                | -30.4                  | 360                | -52.6                  |
| 140                | -34.7                  | 380                | -56.0                  |
| 160                | -37.9                  | 400                | -60.4                  |
| 180                | -40.4                  | 420                | -65.9                  |
| 200                | -42.1                  | 440                | -72.6                  |
| 220                | -43.3                  | 460                | -80.6                  |

### (C) 460℃到630℃温区

最近NPL的Coates等用一台光子计数高温计测量了440℃到630℃之间的热力学温度,取NBS气体温度计在457℃附近测得的温度值作为参考点。Coates等的测量结果与图1-1中的虚线非常符合,与意大利IMGC噪声温度计在接近630℃的温度值符合也很好。

### (D) 630℃到1065℃温区

自IPTS-68公布以来,只有意大利计量研究所(IMGC)的Crovini用噪声温度计对此范围进行了绝对测定。图1-1表示用噪声温度计测量的数据和推算的金点值。此值是银点加上单色辐射温标的金银凝固点温度间隔值得到的。通过黑点的曲线是对NBS数据的拟合,延伸到IMGC测定的铟点。虚线是460℃到630℃之间热力学温度与IPTS-68的差值,这一段在当时未直接测量。两条曲线在630.74℃处的连接点,其斜率不连续性接近于0.1%。

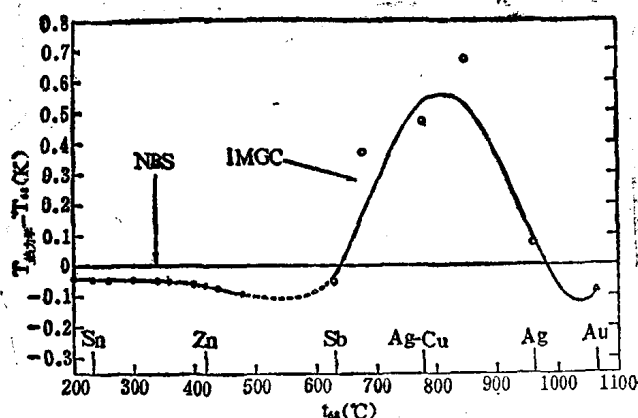


图 1-1 最新测定的热力学温度与 $T_{90}$ 的差值

### (E) 1064°C 以上温区

因为对这一温区, IPTS-68 的现有定义已经提供了热力学光滑温标, 所以在此温区中还从未进行过热力学温度的绝对测定。但是, 有四个国家实验室已经对铂凝固点进行了测定, 并得到下列数值:

- 英国 (NPL, Quinn, Chandler)  $(1767.9 \pm 0.3) ^\circ\text{C}$ ;
- 澳大利亚 (NML, Jones, Tapping)  $(1769.5 \pm 0.6) ^\circ\text{C}$ ;
- 西德 (PTB, Kunz, Lohrengel)  $(1768.9 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$ ;
- 意大利 (IMGC, Ricolfi, Lanza)  $(1769.0 \pm 0.4) ^\circ\text{C}$ 。

从以上各值比较可知, NPL和NML的测量值相差较大。考虑到钨带灯的相互比对结果, 可以得出NPL温标系统地低于NML温标达 $0.4^\circ\text{C}$ , 这样, 有效的差值还剩 $1.2^\circ\text{C}$ 。结果, CCT 赋予铂点的温度值为  $(2042 \pm 1) \text{ K}$ 。

### (2) 高温铂电阻温度计

在 $630.74-1064.43^\circ\text{C}$ 范围内, 国际实用温标一直采用铂铑10-铂热电偶作为内插仪器。但是, 近年来发现这种热电偶的不确定度可达到 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 。此外, 用热电偶定义温度, 在固定点之间的温度值与热力学温度不相符合, 在 $800^\circ\text{C}$ 附近两者之差竟达

0.5℃。而标准铂电阻温度计在630.74℃时的不确定度小于0.005℃，将标准铂电阻温度计往上延伸以取代标准热电偶，就能

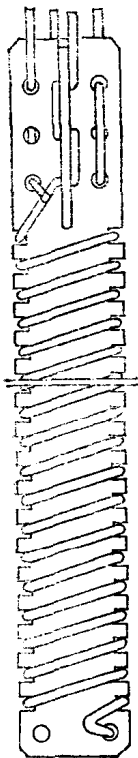


图 1-2 片状骨架温度计结构图

大大提高国际实用温标的复现性和准确度，并可实现从氢三相点(13.81 K)到全凝固点(1064.43℃)的整个温度范围内只用一种内插仪器，这就改善了温标内部的一致性，避免了在两种内插仪器的连接处一次导数的不连续性。因此从六十年代初期起，高温铂电阻温度计的研制工作就受到各国计量学工作者的重视，国际温度咨询委员会将它列为今后修改国际实用温标的重点之一。

近10年来，高温铂电阻温度计的研究工作取得了一些进展，但也遇到了不少困难，主要是高温稳定性还不够理想，尤其经高温淬火后稳定性不好，这样势必拖延了IPTS修订的进程。

中国计量科学研究所和云南仪表厂共同试制一种新型片状骨架结构的高温铂电阻温度计(见图1-2示)，这种类型是属于全新型的，它的特点是使感温元件——铂丝的曲率半径几乎保持不变，因而温度计达到极好的稳定性。 $R_0$ 的名义值为0.25Ω。在1070—1100℃下退火，每百小时 $R_0$ 的平均变化为1.3mK。高温淬火前后 $R_0$ 的变化一般不超过±1mK。退火时间短，在1070—1100℃退火，使温度计达到稳定只需要150小时。1064℃的绝缘电阻大于27MΩ。石英材料的析晶问题已基本上得到解决。

1982年4月在第十四次CCT会议上，中国计量院应CCT的请求将20支中国制造的温度计分发给加拿大(NRC)，澳大利亚(NML)，西德(PTB)，意大利(IMGIC)，英国(NPL)，美国(NBS)和国际计量局(BIPM)等作质量评定，经NPL初步

试验结果表明,我国制造的温度计质量是很好的。

### (3) 新的固定点

最近几年,我们已看到一些替用点在 IPTS 中出现,如以锡凝固点 ( $231.9681^{\circ}\text{C}$ ) 代替水沸点,氦三相点 ( $83.798\text{K}$ ) 代替氧凝固点 ( $90.188\text{K}$ ),在 IPTS 中使用三相点将必然增加。氮的三相点 ( $24.5591\text{K}$ ) 很可能在未来温标中把现有的平衡氢  $17.042\text{K}$  点和沸点 ( $20.28\text{K}$ ) 替代掉。下面将介绍的超导固定点是非常有希望的定义固定点。

#### (A) 密封三相点容器

近年来密封三相点装置的研究取得了很大的进展,它是通过把选定的高纯气体在高压下(约  $40-90$  大气压)密封进入特制的铜或不锈钢的容器中而制成的。将容器放进低温绝热恒温槽中,用量热法实现该气体的三相点温度。实践证明,密封气体的纯度在长时间内不会发生变化,又不需要测定压强,复现性一般可达  $0.1\text{mK}$ 。同时,密封三相点容器使用方便,便于携带,因此有利于国际比对,这些优点促使它将在未来的温标中占有利地位。

目前国际上正在研究的三相点有氦、氧、氮、氖、甲烷、氢、氘、镓、汞等。我国计量院研制的氦、氧密封式三相点与加拿大、意大利和法国的相比约差为  $0.1\text{mK}$ ,已达到较高的水平。

#### (B) 超导固定点

美国标准局 (NBS) 设计研制的超导固定点器件 (SRM-767),它包括镉、锌、铝、铟、铅五种超导样品,它们的转变温度覆盖范围为  $7.2-0.5\text{K}$ 。各样品的复现性约为十分之几毫开之内。SRM-768 的特性参数见表 1-4 所示。

### (4) $20\text{K}$ 以下的内插仪器

为适应低温物性研究的需要,科技界广泛要求将温标延伸到  $13.81\text{K}$  以下,至少到  $1\text{K}$  或  $0.5\text{K}$ 。超导固定点研制成功使得温标延伸比较容易实现了。最近研究表明,下列几种温度计可能选择作为未来温标的内插仪器。