

1968年国际实用温标 和温度计算方法

中国计量科学研究院

1973年

1968年国际实用温标和温度计算方法

中国计量科学研究所

1973年

毛主席语录

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行，我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验，我们需要的是这样一种态度。

编 者 按

根据中国科学院《关于采用1968年国际实用温标的通知》，我国从1973年1月1日起采用新的国际实用温标。为了便于推行新温标，我们编写了这本书，供计量工作者和从事温度测量的同志查阅。第一章是1969年4月计量学杂志(Metrologia 论文)《1968年国际实用温标》原文的中译本。《附录3》和《附录4》，即 W_{CCT} 参考函数表系国际权度局所提供。《附录5》是根据上海工业自动化仪表研究所提出的《工业热电偶技术条件中的分度表》排印的。本书第一版试用本共印了九千册。第二版除了改正已发现的个别错误外，还加了一篇绪言，着重对温标的概念以及推行新温标中的有关问题，作一通俗性的扼要说明。由于水平所限，如有错误或不妥之处，欢迎读者批评指正。

目 录

绪 言

第一章 1968年国际实用温标	(7)
(一) 简 介	(7)
(二) 1968年国际实用温标(IPTS-68)的定义	(7)
(三) 补充说明	(10)
附录 I、国际温标发展史; IPTS-68 和 IPTS-48之间的差值	(18)
附录 II、用于温度范围 0.2-5.2K 的实用温标	(20)
第二章 温标的演变及发展	(21)
第三章 对1968年国际实用温标的若干说明	(25)
(一) 在1337.58 K (1064.43°C)以上范围	(25)
(二) 在 630.74—1064.43°C 范围	(27)
(三) 在 0—630.74°C 范围	(28)
(四) 在 13.81—273.15 K 范围	(31)
第四章 标准温度计的计算方法	(34)
第一节 光学高温计	(34)
第二节 标准铂铑—铂热电偶	(35)
附录 按IPTS-68的标准铂铑—铂热电偶 $e_1\varphi_1(t)$, $e_2\varphi_2(t)$, $e_3\varphi_3(t)$ 数值表	(36)
第三节 铂电阻温度计 (0—630.74°C)	(47)
附录 1 铂电阻温度计计算表	(52)
附录 2 在 0 到690°C温度间隔内由铂温度 t_p 改为1968年国际实用 温标温度的换算表	(57)
第四节 铂电阻温度计 (0—182.962°C)	(65)
附录 1 $t^3(t-100)$ 数值表	(70)
附录 2 $t-W_{CCT}$ 对照表	(72)
第五节 标准铂电阻温度计 (13—90 K)	(75)
第六节 关于压力的修正	(77)
第七节 新旧温标的检定数据换算方法	(79)
附 录	(80)
附录 1 在 0-1064.43°C 温度范围内, 1968年国际实用温标和1948年国 际实用温标的差值 $t_{68}-t_{48}$	(81)
附录 2 在-182.962-0°C温度范围内, 1968年国际实用温标和1948年 国际实用温标的差值 $t_{68}-t_{48}$	(86)
附录 3 13.81-273.15 K 范围内, $T-W_{CCT-68}$ 对照表	(87)

附录 4	13.81-273.15 K 范围内, $W_{\text{CCT-68}}$ —T 对照表.....	(99)
附录 5	热电偶分度表.....	(108)
	铂铑-铂热电偶分度表 (LB-3).....	(108)
	镍铬-镍硅 (镍铬—镍铝) 热电偶分度表(EU-2).....	(111)
	镍铬-考铜热电偶分度表(EA-2).....	(114)

绪 言

温度是最基本的物理量之一。无论在日常生活中,或者在工农业生产和科学实践中,许多物理现象和化学特性均与温度有着十分密切的关系。因此,温度测量的准确与否在国民经济各部门中具有重要的实际意义。

在冶金工业的许多生产过程中,都要求准确测量和控制温度,例如出钢温度和出铁温度掌握得是否合适,对于钢锭或铸件的质量有很大的关系。有的工厂由于缺乏合格的测温仪表,工人只好凭经验操作,温度过高了没有及时发现,结果使成吨的优质钢报废。有的由于浇铸前的铁水温度偏低,使球墨铸铁铸件合格率显著降低,有的则因温度不准,钢筋发脆,上千件轨枕断裂报废,造成很大损失。许多事实说明,当他们加强了计量工作之后,产品的合格率就迅速上升,质量得到迅速提高。

许多石油、化工、制药等生产过程中也广泛使用各种测温仪表。这些生产过程中往往都有一个最佳温度点。例如合成氨的反应过程来说吧,它的温度应该控制在 $500^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$,如果温度过高,触媒剂要烧坏,温度过低又会降低生产效率,所以温度控制在生产中是一个很关键的问题。还有这种情况,由于温度控制不好甚至把合格的产品变成不合格,把不合格的产品误认为是合格品,给生产造成混乱。随着农业生产的发展,农业中所用的温度计也越来越多了,对温度计量的要求也不断提高。例如,在谷物侵种、薄膜育秧、种子防病处理等方面都需要准确测温,再如粮食保管方面也往往由于温度计失准使宝贵的粮食发生霉烂,如此等等,说明温度计量工作对保证产品质量,提高生产效率,保障安全,促进生产和科研的发展有着何等重要的作用。

在毛主席无产阶级革命路线的指引下,我国社会主义事业有了飞跃的发展,国际交往日益增多,外贸、外援都有显著的增长,各个部门,各个研究领域对测温的准确度,对温度量限的扩大,以及对量质的国内一致性和国际一致性问题均提出了更高的要求。如何满足这些要求是摆在我们温度计量工作面前的一项十分迫切的任务。

怎样才能保证温度量值的准确和可靠呢?这就要求我们建立起统一的、科学的温标。

在日常生活中大家对“温度”这个概念是比较熟悉的,温度就是表示物体冷热程度的物理量。为了使温度这个概念更科学化,还必须给物体的冷热程度以定“量”的描叙,这并不是一件容易的事,它需要一套科学的方法,这就是建立温标。换句话说,温标就是温度的数值表示方法。

“温度”的定义与“长度”、“质量”等相比要复杂些。长度只要规定了长度的单位“米”以后,任何一个长度,大至几万米、几十万米,小至百万分之几米,只要和长度的单位“米”直接比较,就能确定其长度的大小。但是对于温度,没有这样一种简单的比较方法可确定其数值。为了确定温度的数值,必须借助于另一个随温度变化而变化的物理量,例如某些物体的体积、压强、电阻等。最简便的是利用水银热胀冷缩的原理来指示温度,这就是常见的玻璃水银温度计。为了确定温度的数值,还要先规定温度在一些点上的数值,这些点叫做温标的定义固定点。例如历史上曾规定水沸点(在一个标准大气压下水的沸腾温度)为

一百度，冰点（在一个标准大气压下冰的融化温度）为零度。有了温标的定义固定点，其它的温度才有了比较的标准。把水银温度计中水银面在水沸点的位置定为一百度，冰点的位置定为零度。中间等分为一百格，一格就表示一度。这就是早期的摄氏温标。这里是假定水银

面的高度和温度成正比，用公式表示就是 $t = \frac{h - h_0}{h_{100} - h_0} \times 100$ ，叫做温标的插补公式。从

这个温标的简单例子中，可以看出一个温标必须包含三个要素：定义固定点及其指定的温度值（这里是水沸点和冰点），标准温度计（这里是水银温度计）和插补公式。标准温度计不一定要采用水银温度计，也可采用其它类型的温度计，定义固定点也可规定其它的数值，甚至也可选择其它的温度点作为固定点，这样就会有不同的温标，历史上就出现过华氏温标、列氏温标等，它们的数值彼此不同。这些温标统称为经验温标，它们都和某一种特定的标准温度计相联系。这些温标对于当时的生产和科学的发展起了一定的作用。

经验温标有两个明显的缺点。它的第一个缺点是温标的定义有很大的随意性。经验温标的数值和所选的标准温度计有很大的关系。如果选择电阻温度计作为标准温度计，仍采取水

沸点为一百度，冰点为零度，并假定电阻随温度成正比变化，即 $t = \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} \times 100$ 。实验

表明，这两种温标所决定的温度数值，仅在两个固定点上（一百度和零度）是精确一致的，而在中间温度彼此间有一个微小的差异。例如水银温度计指示为五十度时，用铂制成的电阻温度计只有四十九度多一点。就是都是液体温度计，由于填充的介质不一样（例如不用水银而用酒精），温标的中间温度的数值也会不同。甚至由不同牌号的玻璃制成的水银温度计，彼此的温度数值也不完全一致。究竟选择哪种温度计作为标准温度计呢？没有一个公认的客观标准。于是不同的温度计制造厂，不同的国家生产的温度计的示值彼此就不一致，在使用中就不可避免地出现混乱，这是经验温标的一个严重缺点。

经验温标的第二个缺点是它定义的温标范围有限。经验温标总是和某一种特定的标准温度计相联系，而每一种温度计的可使用的温度范围总是有限的。例如水银温度计的下限受水银凝固温度的限制，只能达零下三十九度左右，使用汞铊合金，也只能到零下六十度左右；它的上限又受水银沸腾和玻璃软化的影响，一般只能达五、六百度。其它各种温度计也都只能在一定的温度范围内使用。

随着近代工业和科学技术的发展，经验温标不能适应建立统一的科学的温标的要求。为了克服经验温标的缺点，人们试图寻找一种更加科学的温标，这种新温标不是和某一种特定的温度计相联系，而是将温标（温度数值）和自然界的某一客观规律相联系。人们在总结温度测量的丰富实践经验的基础上，并经过理论上的概括，终于找到了这种温标，这就是热力学温标，是物理学家开尔文首先提出来的。现在热力学温标已被国际上公认为是最科学和最基本的温标，一切温度测量最终都应以热力学温标为准。热力学温标的出现使得温度计量有了一个科学的基础。热力学温标的理论基础是热力学第二定律。

十八世纪产业革命以后出现了蒸汽机和内燃机，这些动力机统称为热机。热机将燃料的热能转变成有用功，推动其它机器运转。人们很快发现，燃料燃烧所产生的热量，只有一小部分转变成人们所需要的有用功，大部分热量为冷却器所吸收，即热机的效率永远不能达到百分之百。设热机从加热器所吸收的热量为 Q_1 ，热机对外做的有效功为 W ，热机传给冷却

器的热量为 Q_2 ，根据能量不灭定律有： $W = Q_1 - Q_2$ ，热机的效率为 $\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$

$\frac{Q_2}{Q_1}$ 。为了提高热机的效率,长期以来人们作了很大的努力,发现热机的效率与加热器及冷却器的温度有密切的关系。加热器温度越高,冷却器温度越低,热机的效率就越高。如果忽略一些次要的因素,如摩擦等,就获得可逆理想热机这个抽象概念,它的效率则只和加热器及冷却器这两个温度有关。加热器温度越高,冷却器温度越低, Q_2/Q_1 就越小,热机的效率就越高,根据这个规律,可以定义一个温标 $\frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1}$,根据这个公式所定义的温标就叫做热

力学温标亦称开氏温标。但是这个公式只确定为两个温度的比值,为了完全确定温度数值,还必须补充一个条件,即定义固定点的条件。附加条件有两种选择方法,历史上曾采用过的一种方法是规定水沸点和冰点之间的温差为一百度,称为百度热力学温标。为了进一步提高温标的复现精度,现在已废弃了百度热力学温标的概念,而采用单一固定点来定义温标,即规定水三相点的热力学温度为273.16 K。

水三相点就是水的三相(冰、水和水汽)共存的温度。相是指物理性质和化学性质都均匀的一部分物体。例如一定质量的水就是一相,冰也是一相。在一个标准大气压下,水只能在零度以上存在,冰只能在零度以下存在,冰水两相共存只能在严格确定的温度(零度)时才能实现,这个温度就是通常所讲的冰点。冰点受外界气压等因素的影响,复现精度只能达 ± 0.001 K,再提高就有困难了。在一个玻璃容器中灌入非常纯的水,并从瓶中抽去空气后密封,就得到水三相点瓶。再用一定的方法在水三相点瓶中冻一层冰,并将冻制好的水三相点瓶放在盛有冰的杜瓦瓶中,这样就实现了水三相点,它的温度不受外界气压的影响,是目前世界上复现精度最高的一个温度固定点可在长时期内维持在 ± 0.0001 K以内。水三相点的温度约比冰点高百分之一度。

为了定义温标,水三相点的热力学温度本来是可以任意选取的,但是为了和人们过去的习惯相符合,选择水三相点的热力学温度为273.16 K,使得水沸点和冰点之间的温差仍然保持在一百度左右。这样定义的热力学温标,与人们过去习惯使用的摄氏温标之间只相差一个常数,将热力学温度减去273.15 K(冰点的热力学温度),即得到热力学摄氏温度,在数值上它和过去使用的摄氏温标是极其接近的。

通常热力学温标是用气体温度计来实现的。理论上可以证明理想气体温度计所实现的温标和热力学温标是等同的,氢、氦等气体,在压强不太大的条件下,其性质非常接近于理想气体,再加一个小的改正值,就能得到理想气体温标。因此,用气体温度计可以决定热力学温标。由于气体温度计的装置十分复杂,使用不方便,为了更好地统一国际间的温度量值,在1927年召开的第七届国际权度大会上决定采用“国际温标”。国际温标是热力学温标的具体体现是根据热力学温标而制定的它应当尽可能和热力学温标一致。在制定国际温标时,人们总是使国际温标尽可能地接近热力学温标。但是随着科学技术的发展人们对热力学温标认识日益精确,又会发现旧的国际温标与热力学温标之间存在着一些差异,这时就需要修改国际温标,使之更接近于热力学温标。

四十余年来,国际温标修改过几次。本书第二章将简要介绍国际实用温标的演变情况。1967年10月第十三届国际权度大会决定修改国际实用温标,1968年国际权度委员会根据国际权度大会的上述决议,决定采用《1968年国际实用温标》,新温标从1969年起在国际上生效。本书第一章就是这个文件的中文译本。

国际上这次修改温标的主要原因是旧温标不能适应新的情况。旧温标是在1948年制定

的，它反映了当时科学技术的发展水平，近二十年来工业和科学技术发展很快，为了使温标适应现代工农业生产 and 科学技术发展的需要，就要修改温标。具体说有下面三方面的原因：

1. 为了使国际实用温标和热力学温标符合得更好。前面说过，国际实用温标应尽可能和热力学温标一致，这是对国际实用温标的最基本的要求。近二十年来气体温度计技术有了很大的发展，人们对热力学温标的认识更加精确，发现旧的国际实用温标和热力学温标之间存在着明显的差别。例如旧温标规定金凝固点的温度是 1063°C ，而最近许多国家的气体温度计测定的结果是 1064.43°C ，差了 1.43 K ，对于基准来说就相当可观，必须改正。旧温标金点的温度 1063°C 是根据二十世纪初的两个气体温度计的结果平均而得（1901年为 1063.5°C ，1911年为 1062.4°C ，平均为 1063°C ），几十年来，都未修改过。新温标对温标的各定义固定点的温度给定值，也都根据最新的气体温度计测定结果作了改正，例如银的凝固点由 960.8°C 改为 961.93°C ，锌凝固点由 419.505 改为 419.58°C ……某些温度范围的插补公式也作了修改，高温范围普朗克公式中的常数 C_2 也由 $0.01438\text{ m}\cdot\text{K}$ 改为 $0.014388\text{ m}\cdot\text{K}$ ，这些都使新的国际实用温标更接近于热力学温标。

2. 改进测温技术，提高温标的复现精度。

现代工业和科学技术的发展，一方面对温度测量的精度要求越来越高，这就相应要求提高温度基准和复现温标的精度；另一方面，也为温度计量提供了新材料和新技术，为改进温标创造了有利条件，例如近年来金属提纯技术有了很大的进步，五个9和六个9的超纯金属已经可以获得。这就使得可能用高纯金属的凝固点来代替沸点作为温标的固定点，以提高温标的复现精度。硫沸点和锌凝固点的温度都在四百余度，硫沸点由于受外界压力影响较大，精度限于千分之几度，而锌凝固点几乎不受外界压力变化的影响，锌凝固点的复现精度可达 $\pm 0.0001\sim 0.0002\text{ K}$ 。这次新温标就取消了硫沸点而采用了锌凝固点，从而大大提高了温标的复现精度。此外，新温标还规定可用锡凝固点代替水沸点。

3. 延伸低温温标，以适应低温技术迅速发展的需要。

旧温标的下限是氧沸点(90.188 K 或 -182.962°C)，近几十年来低温技术发展极快，应用日益广泛，所使用的温度范围远远超过了旧温标的下限，按照旧温标，这些温度就无法准确测量了。有少数国家有自己国家的低温温标，但世界上没有统一的低温温标，这种情况就迫切要求将国际实用温标延伸到更低的温度范围，这是修改温标的重要原因之一。

为什么我国要采用新温标？建国以来我国在计量单位制方面一直沿用国际单位制。1959年国务院又发布了关于统一计量制度的命令，确定国际公制为我国的基本计量制度，而保留以国际公制为基础所制定的市制。在温度方面，多年来我国也是一直采用着国际实用温标——1948年国际实用温标（1960年修正版）。

新温标总结了二十年来温度计量的新经验和研究成果，比旧温标大大前进了一步，采用新温标对我国社会主义建设事业有利。例如延伸了温标的低温下限，这正是我国低温技术迅速发展的需要。又如采用国际上统一使用的新温标，有利于我国和各国间的技术交流和贸易往来，有利于援外工作。统一计量标准和单位，是现代生产和科学技术发展的客观需要。随着毛主席革命外交路线不断取得新的胜利，我国和世界各国人民之间的交往越来越多，支援世界革命的责任也越来越重，采用新的国际实用温标，就显得更为必要。近些年来我国还出口一些测温仪表，如果这些仪表按旧温标刻度，也要影响我国的声誉。总之，采用新温标是一项很重要的工作，是执行毛主席革命路线的需要。我们应以高度的政治责任感，认真做好采用新温标工作。

新温标比旧温标前进了一步，这是它的主要方面。但是新温标也不是十全十美的，它也有着一些不足之处，例如新温标的低温计算方法过于复杂，使用很不方便；整个温标用了三种基准温度计来定义；温标的下限还有待进一步向下延伸。随着气体温度计技术进一步的改进，温标固定点的数值将来可能还要作修改。肯定地说，随着科学技术的发展，温标将来还会修改的，由于温标的修改牵涉面极广，所以也不可能变得更频繁。采用新温标要引起温度数值的变化，对工农业生产的各个部门，对国防和科学研究的许多部门，都会带来程度不同的影响，必须采取相应的措施，切实做好采用新温标工作。中国科学院《关于采用1968年国际实用温标的通知》，对如何贯彻新温标问题，已经作了明确的说明。

采用新温标引起的温度数值变化，这个变化在不同的范围并不相同。在 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 范围内最大的变化不超过 0.01 K ，在 500°C 以下最大变化不超过 $\pm 0.1\text{ K}$ ，相对变化小于万分之五，高温下变化稍大些， 1000°C 为 1.24 K ， 2000°C 为 3.2 K ，相对变化也不超过千分之二。

采用新温标对计量标准影响最大，这不仅涉及各级计量部门，也涉及到一些研究单位和厂矿的热工计量室。采用新温标后，各种标准温度计的旧检定证书上的数据不能再用了。如果将标准温度计都送到上级计量部门去重新检定，由于标准温度计的数量极大，短期内无法检完，势必造成积压，影响生产，影响工作。因此，中国科学院《关于采用1968年国际实用温标》的附录中第六条规定：“对于不到检定周期的各种温度计，各单位不要提前送检，可采用换算的方法继续使用。”在第四章第七节中我们再简述各种标准温度计的换算方法。从1973年1月1日起，各级计量部门均按新温标检定。为了有利于推行新温标工作的进行，计量部门提前2—3月，在温度计检定结果中就开始给出新温标数据。（一般还同时给出旧温标数据）。采用新温标后，一些标准温度计旧的计算方法和计算用的辅助表，也要修改。

采用新温标，对于生产温度计和测温仪表的工厂，也有一定的影响。今后新出厂的测温仪表一律要按新温标刻度，这就可能要修改某些产品的标尺和记录纸等。这在技术上并没有什么困难，主要问题是生产有一个周期，需要及早准备。这次对于有统一分度表的仪表影响较大，例如热电偶及其配套使用的二次仪表。首先要修改热电偶分度表，在 1300°C 时：铂铑-铂热电偶原分度表的热电势为 13.138 毫伏，按新温标修正后应为 13.116 毫伏，差了 22 微伏，镍铬-镍硅热电偶原分度表为 52.43 毫伏，修正后应为 52.37 毫伏，差了 60 微伏。上海工业自动化仪表研究所在有关单位协助下，已经完成修改分度表的工作。分度号也相应作了修改，铂铑-铂热电偶的分度号由LB-2改为LB-3，镍铬-镍硅（铝）热电偶由EU改为EU-2，镍铬-考铜热电偶由EA改为EA-2。今后统一使用新分度表，旧分度表同时作废。

工业电阻温度计及其配套使用的二次仪表，因为使用的温度低，新旧温标差值较小而可忽略，这次分度表与分度号均不作变动。

制造中个别刻度的测温仪表，例如各种玻璃液体温度计，光学高温计等，只要将生产中定度的标准温度计的数据提前换算成新温标即行，各生产厂可按第四章第七节的方法自行换算。

在工农业生产、国防和科研的许多部门中都使用着大量的测温仪表。对于以前按旧温标生产的大量测温仪表，今后还能不能用呢？事实上这些仪表今后都可继续使用，但有一些须分别情况，采取不同措施，大致可分三种情况；精度较低的温度计，由于其允许误差远比新旧温标差别为大，可忽略新旧温标的差别，继续使用。工业用光学高温计、辐射高温计、光电高温计，各种与热电偶配套使用的毫伏表，与工业电阻温度计配套使用的自动电桥和比率计，各种工业用液体温度计等，均属于这种情况。

与热电偶配套使用的0.5级电子电位差计，在 1000°C 以上新旧温标的差值已接近仪表本身允差的 $1/3$ ，故须按新温标予以重新调整。

精度更高的测温仪表，例如各种标准温度计和精密温度计，其示值一般不直接刻在标尺上，或使用时要引入改正值，因此只要将原检定证书上的数据加以换算，即可继续使用。对于标准水银温度计的允许偏差，应加上新温标的差值。

采用新温标还要影响到产品标准和技术工艺条件。某些工业产品的质量指标和产品标准都涉及温度，这些温度数值原则上都应按新温标修正。技术工艺条件也是这样。例如电子工业中单晶硅扩散炉的温度，有些工厂原规定炉温应控制在 $1320 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，采用新温标后应进行修正，即将原规定的温度加上新旧温标的差值，即 $1320 + 2 = 1322^{\circ}\text{C}$ 。这方面的问题，需要各部门、各厂矿企业和有关单位在本系统作一次全面的检查。对于“标准”和“工艺”中所涉及的温度量，都要根据原规定的允许误差大小，决定是否需要作修改。凡对温度测量精度要求较高的，它的温度允许误差接近或小于新旧温标的差值，必须将原规定的温度数值换算为新温标的相应数值，即将原规定的温度数值加上新旧温标的差值。但是对于温度测量精度要求不高的，它的温度允许误差远比新旧温标差值为大，可忽略新旧温标的差别，这种情况就不须修改。这是一项很细致的工作，它直接关系到产品的质量和生产的正常进行。

采用新温标还涉及教育和科研的许多部门，教科书和各种科学技术资料，凡涉及到温度量的，今后都应以新温标为准，例如许多金属的熔点，都应按照新温标进行修正。总之，采用新温标涉及面十分广，要大力做好宣传工作，切实做好各项准备工作，加强温度计量工作，更好地为社会主义建设事业服务。

1973年1月1日起，即将在全国范围推行《1968年国际实用温标》毛主席教导我们：

“……在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的。永远不会停止在一个水平上，因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。……”我们一定要遵照毛主席的指示，用唯物论的认识论来指导我们新温标的推行工作。

第一章

1968 年 国际 实用 温 标

(一) 简 介

热力学温度是基本温度, 符号是 T , 其单位是开尔文, 符号为 K 。一开尔文等于水三相点热力学温度的 $1/273.16$ ①。

摄氏温度 (符号 t) 定义为:

$$t = T - T_0 \quad (1-1)$$

式中 $T_0 = 273.15 K$ 。用来表示摄氏温度的单位是摄氏度, 符号是 $^{\circ}C$ 。一摄氏度等于一开尔文。用开尔文表示的温差, 也可用摄氏度数表示。

1968年国际实用温标 (IPTS-68) 是用这样的方法来选取的, 即根据它所测定的温度可紧密接近热力学温度; 而其差值是在目前测定准确度的极限之内。

1968年国际实用温标在国际实用开尔文温度及国际实用摄氏温度之间是用符号 T_{68} 和 t_{68} 来加以区别的。 T_{68} 和 t_{68} 的关系是:

$$t_{68} = T_{68} - 273.15 K \quad (1-2)$$

T_{68} 和 t_{68} 的单位如在热力学温度 T 和摄氏温度 t 中一样仍为开尔文 (符号 K) 和 摄氏度 (符号 $^{\circ}C$)。

1968年国际实用温标是国际权度委员会根据第十三届国际权度大会决议 8 给它的权力而在 1968 年开会时所采用的。它代替 1948 年国际实用温标 (1960 修正版)。

(二) 1968 年国际实用温标 (IPTS-68) 的定义②

一、IPTS-68 的原则和固定点的定义

IPTS-68 是以一些可复现的平衡态 (所定义的固定点) 温度的给定值及在这些温度上分度的标准仪器作为基础的。固定点温度间的插补是根据公式, 这公式建立了标准仪器示值和 国际实用温标值间的关系。

所定义的固定点是利用纯物质各相间可复现的平衡状态所建立起来的温度点。表 1 给出 这些平衡态和对它们给定的国际实用温度值。

用于 $13.81 K - 630.74^{\circ}C$ 的标准仪器是铂电阻温度计。温度计电阻器必须是无应变, 退 火后的纯铂丝。电阻比 $W(T_{68})$ 定义为:

$$W(T_{68}) = R(T_{68}) / R(273.15 K) \quad (1-3)$$

式中 R 是电阻。在 $T_{68} = 373.15 K$ 时不应小于 1.39250 。在 $0^{\circ}C$ 以下, 温度计的电阻—温度关系是从一参考函数和特定的偏差函数找出。从 $0^{\circ}C - 630.74^{\circ}C$ 的电阻—温度关系可由二个多项式提供。

①第十三届国际权度大会 (1967) 决议 3 和 4。

②在本文中, 普通在 $0^{\circ}C$ 以下用开尔文温度, 而在 $0^{\circ}C$ 以上用摄氏温度。这样可以避免使用负值而和一般使用一致。

表 1

IPTS-68 定义的固定点 (a)

平 衡 状 态	国 际 实 用 温 度 指 定 值	
	$T_{68}(\text{K})$	$t_{68}(^{\circ}\text{C})$
平衡氢固态、液态、汽态间的平衡 (平衡氢三相点)	13.81	-259.34
平衡氢液态、汽态在 33330.6N/m^2 (25/76 标准大气压) 压力下的平衡	17.042	-256.108
平衡氢液态和汽态间的平衡 (平衡氢沸点)	20.28	-252.87
氮液态和汽态间平衡 (氮沸点)	27.102	-246.048
氧固态、液态和汽态间的平衡 (氧三相点)	54.361	-218.789
氧液态和汽态间的平衡 (氧沸点)	90.188	-182.962
水固态、液态和汽态间的平衡 (水三相点) (c)	273.16	0.01
水液态和汽态间的平衡 (水沸点) (b) (c)	373.15	100
锌固态和液态间的平衡 (锌凝固点)	692.73	419.58
银固态和液态间的平衡 (银凝固点)	1235.08	961.93
金固态和液态间的平衡 (金凝固点)	1337.58	1064.43

注: (a) 除各三相点和一个平衡氢点 (17.042 K) 外, 温度的给定值都是指在 $p_0=1$ 标准大气压 (101325N/m^2) 下的平衡态。在复现固定点时, 由于温度计插入深度的差异或不能精确地得到所需的压力, 将会发生对于给定温度有小的偏差。若对这些小偏差规定了充差, 它们将不会影响温标复现的准确度。这些小偏差的大小在 (三) 节里给出。

(b) 锡固态和液态的平衡温度 (锡凝固点) 被给定为 $t_{68}=231.9681^{\circ}\text{C}$, 它可用来代替沸点。

(c) 所用的水应有海水的同位素成份, 见 (三) 节 4 段。

用于 630.74°C — 1064.43°C 的标准仪器是铂铑 (铑 10%) 一铂热电偶, 它的电动势—温度关系式是由一个二次方程式表示。

在 1337.58 K (1064.43°C) 以上, 1968 年国际实用温标是由普朗克辐射定律下定义, 以 1337.58 K 作为参考温度, 而 C_2 值为 $0.014388\text{m}\cdot\text{K}$ 。

二、1968 年国际实用温标在不同温度范围里的定义

1. 范围从 13.81 K—273.15 K

从 13.81 K—273.15 K, 温度 T_{68} 由下式来确定:

$$W(T_{68}) = W_{\text{CCT-68}}(T_{68}) + \Delta W(T_{68}) \quad (1-4)$$

式中 $W(T_{68})$ 是铂电阻温度计的电阻比, $W_{\text{CCT-68}}(T_{68})$ 由表 2 ① 中的参考函数所给的电阻比。固定点温度的偏差 $\Delta W(T_{68})$ 是由 $W(T_{68})$ 的测定值和 $W_{\text{CCT-68}}(T_{68})$ 的相应值 (见表 4) 得出。为了找出中间温度的 $\Delta W(T_{68})$, 可利用插补公式。在 13.81 K 和 273.15 K 间的范围被分成四部分, 其中每一部分的 $\Delta W(T_{68})$ 是由一 T_{68} 的多项式所规定。多项式中的常数是从固定点的 $\Delta W(T_{68})$ 值和温度范围内的连接点的 $d\Delta W(T_{68})/dT_{68}$ 不应有不连续的条件所确定。

从 13.81 K—20.28 K 的偏差函数是:

$$\Delta W(T_{68}) = A_1 + B_1 T_{68} + C_1 T_{68}^2 + D_1 T_{68}^3 \quad (1-5)$$

式中常数是根据平衡氢三相点, 温度为 17.042 K 和平衡氢沸点的测量偏差, 以及从公式 (1-6) 得出的平衡氢沸点的偏差函数是导数来确定。

从 20.28 K—54.361 K 偏差函数是:

$$\Delta W(T_{68}) = A_2 + B_2 T_{68} + C_2 T_{68}^2 + D_2 T_{68}^3 \quad (1-6)$$

① IPTS-68 和“国家温标” (这些温标部份地导出国际实用温标) 间的关系参看附录 I。

式中的常数是根據平衡氫沸點，氮沸點和氧三相點的測量偏差，以及從公式（1—7）得出的氧三相點偏差函數的導數來確定。

從54.361 K—90.188 K 偏差函數是：

$$\Delta W(T_{68}) = A_3 + B_3 T_{68} + C_3 T_{68}^2 \quad (1-7)$$

式中常數是根據氧三相點和沸點，以及從公式（1—8）得出的氧沸點的偏差函數的導數來確定。

從90.188 K—273.15 K 的偏差函數是：

$$\Delta W(T_{68}) = A_4 t_{68} + C_4 t_{68}^3 (t_{68} - 100^\circ\text{C}) \quad (1-8)$$

式中 $t_{68} = T_{68} - 273.15\text{ K}$ ，而常數是根據氧沸點和水沸點^①的測量偏差來確定。

2. 從0°C (273.15 K) 到630.74°C 範圍

從0°C 到630.74°C， t_{68} 由下式確定：

$$t_{68} = t' + 0.045 \left(\frac{t'}{100^\circ\text{C}} \right) \left(\frac{t'}{100^\circ\text{C}} - 1 \right) \left(\frac{t'}{419.58^\circ\text{C}} - 1 \right) \left(\frac{t'}{630.74^\circ\text{C}} - 1 \right)^\circ\text{C} \quad (1-9)$$

式中 t' 由下式確定：

$$t' = \frac{1}{\alpha} [W(t') - 1] + \delta \left(\frac{t'}{100^\circ\text{C}} \right) \left(\frac{t'}{100^\circ\text{C}} - 1 \right) \quad (1-10a)$$

式中 $W(t') = \frac{R(t')}{R(0^\circ\text{C})}$ 。常數 $R(0^\circ\text{C})$ ， α 和 δ 是根據水三相點，水沸點（或錫凝固點，見

表1注(b)）和鋅凝固點等電阻的測定來確定。

公式（1—10a）與下列公式相當

$$W(t') = 1 + At' + Bt'^2 \quad (1-10b)$$

式中 $A = \alpha(1 + \delta/100^\circ\text{C})$ ， $B = -10^{-4}\alpha\delta^\circ\text{C}^{-2}$ 。

3. 從630.74°C 到1064.43°C 範圍

從630.74°C 到1064.43°C， t_{68} 由下式確定：

$$E(t_{68}) = a + bt_{68} + ct_{68}^2 \quad (1-11)$$

式中 $E(t_{68})$ 是鉑銻合金—鉑標準熱電偶，當它的一端溫度 $t_{68} = 0^\circ\text{C}$ ，而另一端溫度為 t_{68} 時的電動勢。常數 a 、 b 和 c 是根據鉑電阻溫度計在 $630.74^\circ\text{C} \pm 0.2^\circ\text{C}$ ，及在銀和金的凝固點測得的 E 值計算出來的。

標準熱電偶的偶絲應經過退火，鉑絲的純度應達到這樣的程度，即使比值 $W(100^\circ\text{C})$ 不小於1.3920。鉑銻絲名義上應含10%銻和90%鉑（按重量）。熱電偶應能使電動勢 $E(630.74^\circ\text{C})$ ， $E(\text{Ag})$ 和 $E(\text{Au})$ 滿足下列關係式：

$$E(\text{Au}) = 10300\mu\text{V} \pm 50\mu\text{V} \quad (1-12)$$

$$E(\text{Au}) - E(\text{Ag}) = 1183\mu\text{V} + 0.158[E(\text{Au}) - 10300\mu\text{V}] \pm 4\mu\text{V} \quad (1-13)$$

$$E(\text{Au}) - E(630.74^\circ\text{C}) = 4766\mu\text{V} + 0.631[E(\text{Au}) - 10300\mu\text{V}] \pm 8\mu\text{V} \quad (1-14)$$

4. 在1337.58 K (1064.43°C) 以上的範圍

①若錫的凝固點（見表1註(b)）用來代替水沸點，對鉑電阻溫度計的 $W(100^\circ\text{C})$ 應從公式（1—9）和（1—10）算得。

在1337.58 K (1064.43°C)以上, 温度 T_{68} 由下式确定:

$$\frac{L_{\lambda}(T_{68})}{L_{\lambda}(T_{68}(A_u))} = \frac{\exp\left[\frac{C_2}{\lambda T_{68}(A_u)}\right] - 1}{\exp\left[\frac{C_2}{\lambda T_{68}}\right] - 1} \quad (1-15)$$

式中 $L_{\lambda}(T_{68})$ 和 $L_{\lambda}(T_{68}(A_u))$ 是在温度 T_{68} 和金凝固点 $T_{68}(A_u)$ 时, 黑体辐射波长为 λ ①的光谱密度: $C_2 = 0.014388 \text{ m} \cdot \text{K}$ 。

表2 从13.81 K 到 273.15 K 范围铂电阻温度计的参考函数 $W_{\text{CCT}-68}(T_{68})$ 註 (a)

$$T_{68} = \left\{ A_0 + \sum_{i=1}^{20} A_i [\ln W_{\text{CCT}-68}(T_{68})]_i \right\} \text{ K} \quad (1-22)$$

系数 A_i :

i	A_i	i	A_i
0	0.273 15 × 10 ⁸	11	0.767 676 358 170 845 8 × 10
1	0.250 846 209 678 803 3 × 10 ³	12	0.213 689 459 382 850 0 × 10
2	0.135 099 869 964 999 7 × 10 ³	13	0.459 843 348 928 069 3
3	0.527 856 759 008 517 2 × 10 ²	14	0.763 614 629 231 648 0 × 10 ⁻¹
4	0.276 768 548 854 105 2 × 10 ²	15	0.969 328 620 373 121 3 × 10 ⁻²
5	0.391 053 205 376 683 7 × 10 ²	16	0.923 069 154 007 007 5 × 10 ⁻³
6	0.655 613 230 578 069 3 × 10 ²	17	0.638 116 590 952 653 8 × 10 ⁻⁴
7	0.808 035 868 559 866 7 × 10 ²	18	0.302 293 237 874 619 2 × 10 ⁻⁵
8	0.705 242 118 234 052 0 × 10 ²	19	0.877 551 391 303 760 2 × 10 ⁻⁷
9	0.447 847 589 638 965 7 × 10 ²	20	0.117 702 613 125 477 4 × 10 ⁻⁸
10	0.212 525 653 556 057 8 × 10 ²		

参考函数 $W_{\text{CCT}-68}(T_{68})$ 在 $T_{68} = 273.15$ 处是連續的, 在由公式 (9) 和 (10) 給出的函数 $W(t_{68})$ 的一阶和二阶导数中 $\alpha = 3.925\ 9668 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 和 $\delta = 1.496334^\circ\text{C}$ 。

注 (a): 一个插补到准确度为 0.0001 K 的足够詳細的参考函数的表可从法国国际权度局得到。本文的表 3 就是一个概要的表。

(三) 补充说明

在本节中描述的装置、方法和步骤在目前是比较好的经验。

一、标准电阻温度计

标准铂电阻温度计应如此设计和制造, 使得四个接头的电阻元件尽可能没有应变, 且能在使用中继续保持下去。满意的电阻器已经用均匀的 0.05~0.5 毫米直径的铂丝做出来, 连接电阻器的每一引线至少在电阻器附近有一段是由铂丝做成的。常用的 $R(0^\circ\text{C})$ 值约 25 欧, 而对这一温度计的测量电流一般是 1 或 2 毫安。靠近电阻器的所有温度计部件必须清洁, 且和铂不发生任何作用。制造时规定温度计在约 450°C 时抽真空, 然后充满干燥气体再密封。充气时希望有氢存在, 以使铂中的微量杂质将成为氧化物状态。制成后, 为使电阻元件稳定应加热到一个比它最高使用温度更高的温度, 且在任何情况下不低于 450°C。

为避免元件短路, 支持电阻元件和引线的部件的绝缘电阻应足够高。例如, 低温时应避免引线间凝结水汽, 高温时应避免绝缘体本身的固有泄漏。绝缘体常用云母、氧化硅、氧化

①因为 $T_{68}(A_u)$ 接近于金凝固点的热力学温度, C_2 接近于普朗克公式的第二辐射常数, 所以不必对测定中使用的波长值作出規定 [Metrologia 3, 28(1967)]。

表 3

根据表 2 中所给公式的 $W_{CCT-68}(T_{68})$ 值 (T_{68} 以整数值得出)

T_{68} K	$W_{CCT-68}(T_{68})$	T_{68} K	$W_{CCT-68}(T_{68})$	T_{68} K	$W_{CCT-68}(T_{68})$	T_{68} K	$W_{CCT-68}(T_{68})$
13	0.00123061	79	0.19524992	145	0.47769682	211	0.74979841
14	0.00145973	80	0.19958212	146	0.48188459	212	0.75386518
15	0.00174541	81	0.20391714	147	0.48606985	213	0.75793043
16	0.00209474	82	0.20825445	148	0.49025274	214	0.76199430
17	0.00251512	83	0.21259344	149	0.49443319	215	0.76605672
18	0.00301428	84	0.21693388	150	0.49861135	216	0.77011770
19	0.00359962	85	0.22127523	151	0.50278707	217	0.77417730
20	0.00427780	86	0.22561712	152	0.50696058	218	0.77823545
21	0.00505495	87	0.22995916	153	0.51113172	219	0.78229223
22	0.00593668	88	0.23430105	154	0.51530065	220	0.78634756
23	0.00692804	89	0.23864248	155	0.51946737	221	0.79040151
24	0.00803316	90	0.24298315	156	0.52363180	222	0.79445409
25	0.00925504	91	0.24732290	157	0.52779409	223	0.79850523
26	0.01059585	92	0.25166128	158	0.53195417	224	0.80255506
27	0.01205690	93	0.25599836	159	0.53611211	225	0.80660352
28	0.01363901	94	0.26033369	160	0.54026792	226	0.81065054
29	0.01534261	95	0.26466718	161	0.54442167	227	0.81469625
30	0.01716768	96	0.26899870	162	0.54857336	228	0.81874059
31	0.01911363	97	0.27332807	163	0.55272291	229	0.82278364
32	0.02117944	98	0.27765516	164	0.55687048	230	0.82682531
33	0.02336343	99	0.28197988	165	0.56101606	231	0.83086561
34	0.02566335	100	0.28630201	166	0.56515958	232	0.83490461
35	0.02807645	101	0.29062154	167	0.56930112	233	0.83894224
36	0.03059953	102	0.29493841	168	0.57344076	234	0.84297857
37	0.03322916	103	0.29925245	169	0.57757848	235	0.84701353
38	0.03596155	104	0.30356359	170	0.58171423	236	0.85104726
39	0.03879305	105	0.30787183	171	0.58584806	237	0.85507963
40	0.04171968	106	0.31217710	172	0.58997999	238	0.85911069
41	0.04473760	107	0.31647939	173	0.59411008	239	0.86314046
42	0.04784292	108	0.32077856	174	0.59823835	240	0.86716894
43	0.05103178	109	0.32507467	175	0.60236478	241	0.87119611
44	0.05430036	110	0.32936765	176	0.60648931	242	0.87522199
45	0.05764486	111	0.33365751	177	0.61061208	243	0.87924657
46	0.06106161	112	0.33794416	178	0.61473310	244	0.88326994
47	0.06454679	113	0.34222768	179	0.61885229	245	0.88729200
48	0.06809690	114	0.34650800	180	0.62296972	246	0.89131269
49	0.07170835	115	0.35078519	181	0.62708540	247	0.89533224
50	0.07537756	116	0.35505910	182	0.63119939	248	0.89935049
51	0.07910123	117	0.35932989	183	0.63531164	249	0.90336744
52	0.08287595	118	0.36359754	184	0.63942213	250	0.90738309
53	0.08669859	119	0.36786199	185	0.64353094	251	0.91139753
54	0.09056600	120	0.37212331	186	0.64763807	252	0.91541074
55	0.09447515	121	0.37638151	187	0.65174352	253	0.91942274
56	0.09842336	122	0.38063657	188	0.65584730	254	0.92343343
57	0.10240774	123	0.38488851	189	0.65994947	255	0.92744283
58	0.10642583	124	0.38913732	190	0.66404996	256	0.93145101
59	0.11047506	125	0.39338316	191	0.66814886	257	0.93545805
60	0.11455312	126	0.39762594	192	0.67224607	258	0.93946371
61	0.11865789	127	0.40186567	193	0.67634176	259	0.94346822
62	0.12278722	128	0.40610242	194	0.68043577	260	0.94747152
63	0.12693914	129	0.41033628	195	0.68452825	261	0.95147352
64	0.13111189	130	0.41456709	196	0.68861913	262	0.95547430
65	0.13530363	131	0.41879507	197	0.69270841	263	0.95947385
66	0.13951284	132	0.42302015	198	0.69679617	264	0.96347219
67	0.14373800	133	0.42724233	199	0.70088232	265	0.96746931
68	0.14797773	134	0.43146169	200	0.70496694	266	0.97146513
69	0.15223058	135	0.43567831	201	0.70905004	267	0.97545980
70	0.15649541	136	0.43989210	202	0.71313161	268	0.97945325
71	0.16077108	137	0.44410322	203	0.71721174	269	0.98344541
72	0.16505643	138	0.44831159	204	0.72129026	270	0.98743642
73	0.16935049	139	0.45251730	205	0.72536733	271	0.99142614
74	0.17365240	140	0.45672033	206	0.72944288	272	0.99541471
75	0.17796117	141	0.46092077	207	0.73351690	273	0.99940199
76	0.18227605	142	0.46511861	208	0.73758947		
77	0.18659628	143	0.46931387	209	0.74166059		
78	0.19092107	144	0.47350660	210	0.74573026		