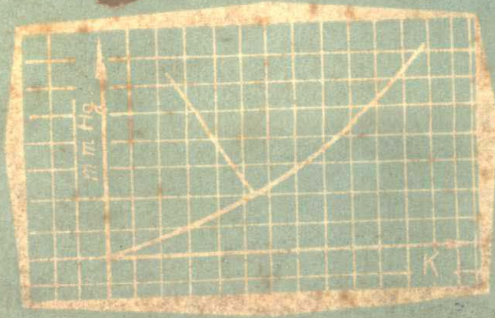


3331
56062

414468

温度测量

译文集



Ⓚ

中国计量科学研究院分院编译

毛主席语录

学习外国的东西，是为了研究发展中国的东西。

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。

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业、干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验，引以为戒，这就是我们的路线。

编 者 按

遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，便于从事温度测量工作人员了解国外温度测量技术，我们将日常工作中译出的有关资料选编成“温度测量译文集”。

本书收集了英、美、苏、日、加、澳、西德、荷、意等九个国家发表的四十七篇文章。内容包括：用氦、氮气体温度计复现热力学温标的九篇；低温发展评论以及低温技术等八篇；光测高温学理论、光学高温计、温度灯、黑体性能计算、光电高温计各国状况等三十篇。

本书中温度单位及固定点值凡1968年前发表的文章，均按1948-国际实用温标规定，1968年后发表的文章，均按1968-国际实用温标规定，未作统一。各篇的参考文献均一一列出，以便查阅。

本书在选编过程中，曾得到中国计量科学研究院情报室等有关单位和一些同志的协助，在此谨表谢意。限于我们的水平，加之编译时间仓促，难免有错误或不妥之处，请同志们批评指正。

中国计量科学研究院分院温度室

一九七三年四月

目 录

一、用气体温度计复现热力学温标

- 低温氮气体测温学 (英) C. R. Barber (1)
- I. M. P. R. 10到90°K范围温标 (苏) A. C. Borovick-Romanov等 (10)
- 金点和银点热力学温度的新测定法 (日) Jiro Oishi等 (31)
- 用直接浸没气体温度计温泡的方法对金点相平衡温度的新测定法
(苏) K. C. Израилов等 (44)
- 定容氮气体温度计 (苏) A. H. Гордов等 (50)
- 固态和液态锌之间以及固态和液态金之间平衡的热力学温度
(苏) H. B. Арефьева等 (59)
- 高温气体测温法 (西德) H. Moser (69)
- 纯金凝固温度的新测定 (苏) A. C. Аржанов等 (78)
- 气体温度计分离室膜片的机械性能确定方法 (苏) K. C. Израилов (84)

二、低 温 测 量

- 低温范围实现热力学温标的新方法 (苏) A. Д. Бродский (102)
- 低温测温学的近代发展评论 (美) L. G. Rubin (106)
- 用于低温下的灵敏膨胀计 (加) J. M. Siro (123)
- 氧三相点及其随高纯气体杂质的变化 (加) J. Ancsin (132)
- 氮正常沸点的复现—I低温槽 (加) J. P. Compton (138)
- 氮正常沸点的复现—II蒸气压的测量 (加) J. P. Compton (146)
- 在12—90°K范围内工业铂电阻温度计分度的简化方法
(苏) A. Д. Бродский (156)

附录:

- VR型氮液化设备 (159)
- PL He-210型氮液化设备 (161)

三、高 温 测 量

- 光测高温学的理论与方法 (美) H. J. Kostkowski等 (163)
- 800°C到4000°C范围内光学高温计准确度 (加) D. R. Lovejoy (202)
- 光学高温计吸收玻璃用于很高温度范围时高温减弱值测量方法

(苏) В. Е. Финкельштейн	(212)
以光电法研究金凝固温度的水平黑体模型 (苏) И. И. Киренков 等	(227)
精密光电高温计 (澳) J. Middlehurst 等	(236)
以光电法建立温标的光谱高温装置 (苏) И. И. Киренков 等	(241)
在宽谱范围内以光电法建立温标 (苏) Г. А. Крахмальникова	(252)
检定用标准光电高温计 (日) 菅野 稔 等	(264)
N. B. S. 光电高温计及其复现1063°C以上国际实用温标的使用情况	
(美) R. D. Lee	(271)
用N.P.L.光电高温计实现金点(1063°C)以上的温标	
(英) T. J. Quinn 等	(292)
用N.S.L.光电高温计复现1064.43°C以上1968国际实用温标	
(澳) T. P. Jones 等	(305)
用直流光电高温计复现1337.58K以上温标 (西德) H. Kunz	(316)
光电式亮度比较装置 (日)	(340)
快速光学高温计 (美) G. M. Foley	(345)
用红外辐射实现国际实用温标的方法和仪器 (苏) Э. А. Ланина	(357)
新型红外光电高温计 (意) G. Ruffino 等	(364)
亮度温度和颜色温度精密测量用光谱高温计的研制成就	
(苏) В. В. Кандыба 等	(371)
宽谱段测量温度用吸收滤光片 (苏) И. И. Киренков 等	(378)
在精密高温计光学装置中散光的影响 (苏) И. И. Киренков	(383)
影响高温计标准化钨带灯亮度复现性之诸因素 (英) C. R. Barber	(387)
钨带温度灯的特性 (日) 服部 晋 等	(395)
用于2700°C内精密高温测量的近似黑体辐射灯 (英) T. J. Quinn 等	(409)
真空钨黑体灯在光电高温计中作为次级标准光源的适应性	
(澳) T. P. Jones 等	(416)
工作基准温度灯的相互比对 (日)	(422)
计算有效波长的新方法 (苏) И. И. Киренков	(424)
按普朗克公式计算颜色温度 (苏) И. И. Киренков 等	(429)
黑体性能的估计 (荷) J. C. De Vos	(432)
在工业用光学高温计分度时交流电源的利用 (苏) Ю. Я. Донде 等	(446)
温度灯整流供电 (苏) Д. М. Щербина 等	(449)
精确测量高温的新铂电阻温度计 (苏) Ф. З. Алиева	(453)

低温氦气体测温学

C. R. Barber

近年来,在国家物理研究所进行了建立10到90°k范围内温标的工作,这些工作包括:用气体温度计复现热力学温标,寻求某些物质的相变点作第二类固定点的数据,验证测温仪器的稳定性及求得液态气体的蒸汽压值。到目前为止,在低温部分与温标有关的大部分数据已通过铂电阻温度计专门的计算,发现气体温度计有很高的复现性。这些方法最早是1939年N. B. S.的Hoge和Brickwedde采用的^[1],后来Moessen^[2]和Borovik-Romanov等人^[3]也沿用过,即用一组铂电阻温度计建立起温标。

选择气体温度计的方案不外乎是定容、定压和定温三种。多数气体温度计是采用定容型的,但最近,在物理技术研究所*, Moser、Otto和Thomas^[4]对高温的研究(向上到金点)是采用了定温的方法。Moser^[5]探讨了三种方法的优点,并指出,定容的方法灵敏度比其他两种方法高得多。不过他还是选择了定温的方法。虽然由于气体在温度计的温泡壁上产生吸附或解吸作用,但与其它两种方法一样,并未带来误差。但在低温下,分子吸附影响不那么严重,加之定容方法技术比较简单,灵敏度又高,所以本文是采用了定容的方案。

这段温度范围的初步工作是Hoge和

Brickwedde^[1]及Moessen^[2]采用一台定容氦气体温度计进行的,其温泡是用紫铜做的,用一根长毛细管接至水银U形压强计。温泡容积的稳定是靠选择某一基准点来调整U形管压强计短臂的水银面来达到的。这样给测量带来了很大的麻烦,即要确定从温泡到连通水银弯月面上面这部分容积,称为有害容积**。Borovick-Romanov等人^[3]打破了传统的设计习惯,采用一个金属膜片作为温泡的一个内壁,借膜片的位移来平衡温泡里外的压强,这就完全消除了有害容积。这个装置里,膜片和常用于确定其位置的探头构成一个电容器,在温泡的整个温度变化过程中膜片均受影响,因此要严格确定膜片的零位可能是困难的。我们这里描述的气体温度计是一台定容氦气体温度计,其中也用一个膜片来确定气体的容积和传递气体的压强,但它是放在低温恒温器的外边,用一根毛细管同温泡连接。这样做的好处是容积真正是固定的,但必须要测定有害容积及其温度。不过,毛细管的容积,针阀和接近膜片那部分空间已减少到很小程度,所以使得确定必须的修正量不再是那么困难了。在以早期报导的方案^[6]为基础再次进行设计

* 指德意志联邦物理技术研究所一译注。

** 按字面直译是“死空间”,但据原理译为“有害容积”较为妥当。一译注。

时，进行了重大的改进着重研究了膜片的效能和减少有害容积对温泡容积的比。

气体温度计温泡和阀门的结构

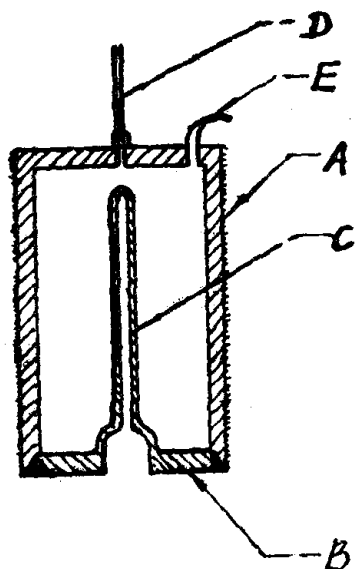


图1 气体温度计温泡

气体温度计的温泡(见图1)由一根高导热的纯铜棒经机械加工而成，中间掏空成厚壁圆柱形A，内表面高度抛光，温泡的底端B连着一个放温度计的套C，用尽量少的热量将B软焊在A上。将一根不锈钢毛细管D预先牢固地焊在温泡顶部。这根毛细管长500毫米，内径0.4毫米，将它再接上第二根毛细管，后者长450毫米，内径0.7毫米。毛细管的温度愈低，则有害容积的修正愈多，所以毛细管的下部其内径比其他地方要细小。这根毛细管不是整根引出来，而是从温泡上端伸出后再接上另一根粗一点的。后者上端一直接到膜片下面的阀门系统(见图2(C))。当需要时，第一个针阀可将膜片与温泡隔开，第二个针阀用在膜片两侧十字通道处以确定膜片的零位。这些针阀是专门设计的，在完全打开时容积很小，能重复。在至温泡

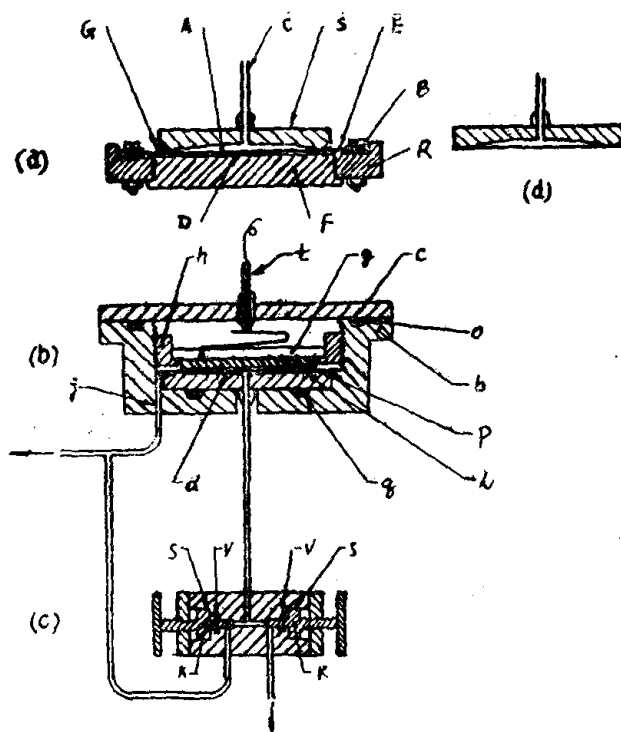


图2 (a) 膜片绷紧方式及附层撑板。(b) 膜片同电容积探板。(c) 断开阀。(d) 膜片和支撑板。

的通路中，特别地需要切断阀门，因为当阀门打开时其内的空间变成有害容积。针阀结构原理示于图2(C)。两个针阀装配在一个主体上，以减少体积。阀杆S是不锈钢的，直径为2.5毫米，前头加工成一个45°圆锥尖角。主体和阀座是黄铜做的。杆上刻有细螺纹，前端套了一个“O”垫圈v，其上轻轻涂一薄层Apiezon油脂。一个环状物K，按于阀杆上与杆端构成一个堵塞，这样当阀门打开时，其容积可完全确定。

膜片的构造

膜片设计成一个平平的绷紧的薄膜，背部紧靠上面一块平板，以保持所围的空间最小。膜片是由厚0.03毫米的磷青铜皮做的，装在特制的模架上，如图2(a)所示。

将用来做膜片的一块直径 8 厘米的板料焊在一厚 3 毫米宽 5 毫米的黄铜垫圈的外侧，再将膜片连同垫圈 B 放在黄铜圆环 R 上(见图 2(a))、在 R 的凹槽外缘有一突棱 E，高 1.5 毫米，在下面凹槽底用几个螺丝栓柱，这样膜片就被一圈凸棱绷紧。膜片下面撑在一个金属块 F 上，另一面是带毛细管 C 的不锈钢圆块 S，C 就是前面讲到的那根一直伸到膜片附近的毛细管。S 的边缘是一斜面凸棱，里面围着一球面凹槽，槽中心深 0.05 毫米。不锈钢块 S 和支撑块 F 可同时夹紧，在膜片 D 和 S 的斜棱之间用 Araldite 胶冷粘之。其操作就是靠膜片上的 Perspex 环协助将胶涂在合适的位置上，经若干天后固定在那儿。以后当把绷紧的圆环取下时，车掉余料、将支撑块 F 放下来。最后膜片成图 2(d) 所示的那样，它固定在背板上时，密封处不能留有一点空隙，否则可能造成气体缓慢的吸附和解吸作用。膜片的有效直径是 5 厘米。

膜片作为电容器的一个极板以显示其位移的情况，如图 2(b) 所示。膜片底板用一“O”环 q 密封之镶在一个盒子 b 里，其上是一绷紧的薄膜。不锈钢探板 p 同膜片构成一电容器，p 被一黄铜环 h 上的玻璃板 q 压住，h 可旋进盒子里，这样，膜片与 p 之间距离是可调的。p 用导线接至其顶部一个绝缘插头。气体是经过孔道 j 通到膜片的上边。

膜片位移的检测

探板和膜片间电容量的变化，用类似 PM₁ 型的电容电桥 Filder 来探测，它系一特殊

的仪器，所以能够精确的控制温度，这比采用放大器稳定性要高。探头的电容大约是 50PF，可能达到的灵敏度大大超过实际的需要。事实上，灵敏度可调至这样，即指示器上每格偏转相当于通过膜片的压差是 0.016 毫巴。当温度计在 90°k 达 1000 毫巴的压力时，这时温差相当于 1.4×10^{-3} 和 10^{-4} °k。所以它能够用来进行测量。

膜片零位是在打开十字通道阀门两边压力达平衡时得以重新校正，即膜片两边氦气压力相等。气体温度计的温度范围从 90 到 10°k 时对应的压强范围是 1000 到 111 毫巴。这样，由于氦气的介质常数的变化导致压强改变，引起零位变化；也可能由于膜片尺寸的改变影响零位。因此就要求在正式实验前应做初步试验，以确定膜片零位对压强的变化。电容电桥记录的一簇示值就是膜片电容器上显示的压差。对正个压力变化而产生的总变化相当于 0.219 毫巴，或是 0.02°k，其变化与压强呈线性关系。

低温恒温器

气体温度计温泡的表面刻有螺旋沟槽，槽中绕有绝缘加热丝，外围用一绕有加热丝的薄紫铜屏围着，屏上和温泡上的两组加热丝末端都接在一铜套里，后者可直接浸在冷却介质里。由于热交换的需要，采用一根薄壁的铜—镍管通入其中，作为充入或排出氦气之用。温泡温度的调正是用加热丝和外边的冷却介质来控制。一个装铂电阻温度计的铂套管，尺寸是 2.5×70 毫米，放在与温泡同轴心的一个管腔内，温度计在插进这个正合大小的管内

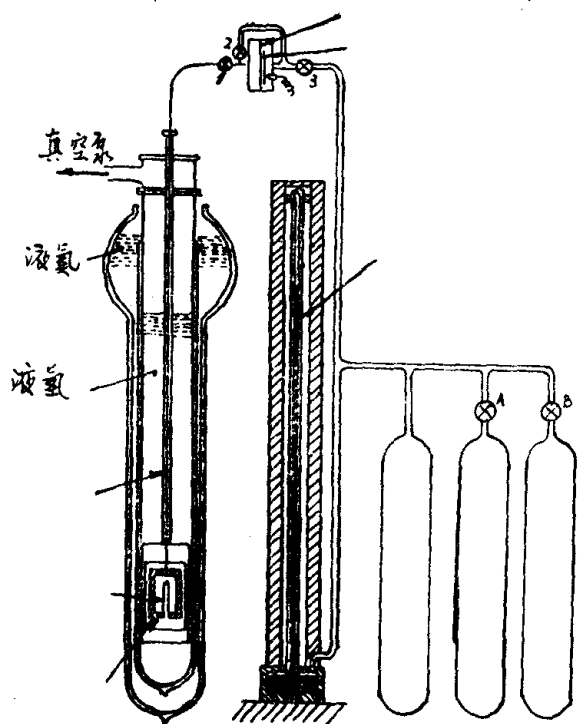


图3 定容气体温度计的布置图

时，应涂上一薄层真空油脂，作为热交换用。有两个玻璃杜瓦瓶装冷却液体，如图3所示。外面一只装液氮，里边一只装液氮或液氢。在室温下，当装入内瓶的液氮的残余压力只剩几个毫米汞柱时，再把外边的杜瓦瓶装上液氮冷却之，最后再把液氢充到内瓶里，这样做使杜瓦瓶的降温效果好些。将内杜瓦瓶的压力减压时，用固态氢能降到 10°K ，固态氮能降至 53°K 。

压强计

实验室所用的压强计是一台标准气压计，略如图3所示，是为用于从50到1150毫巴压强正个测量范围考虑设计的。气压计属“Kew”型，下边的水银面很大（直径15厘米），但不观测。正个水银柱装在一个内径严格准确、均匀的16毫米玻璃管里，上端抽空封死。用眼睛将标尺对准水银弯月面的顶端，由附在标尺上的游标显

微镜读出水银柱的高度。标尺由测量气体温度计的同一个观测者用研究所的长度基准分度过。经四次读数，每次测量的准确度可调整在 ± 0.01 毫巴范围内。标尺的最小刻度值是0.005毫巴。在分度和使用中都要测定水银弯月面的高度并对毛细管作用进行修正。水银柱的温度用分别独立地紧贴玻璃管外表面相当于水银柱的顶部、中间和底座的位置。放的时候先将热电偶焊在薄的铜片上，再将铜片用夹子紧紧夹在玻璃管外面。气压计这样布置，水银柱管被围在一块相当重的铸铁底座上，在对着水银柱的围屏面上安了两条对称的观察窗，面向着观察者这一边，压着一组铝板，用其将水银柱的高度调到适当的位置。

实验程序

用下法将纯氦气充入气体温度计。因为膜片两边的十字通道常用于校正其零位，所以正个系统里的氦气必需是很纯的。从膜片两边对整个装置进行抽空。在温泡上端焊了一个铅管(E，见图1)，作为抽空或排气的通道。整个系统连续抽空几天，再用纯氦气反复冲洗。纯氦是由装在高压瓶中纯度达99%的氦气通过液氮冷却的活性炭得到的，压力稍高于一个大气压。铅管在用低熔点焊料焊接后，伸进一个特制的夹子里，掐断后涂上焊料焊死。最后一次充氦用的是通过冷却到 20°K 活性炭的氦，充入的压力是当温泡处于氧点时调到900至1000毫巴。在室温和氧点之间，从泄漏和气体吸附作用的观点来检验温度计的稳定性，如下所述：先在氧点上定出气

体的压强，经过一夜然后温泡回升到室温，此时压强约达3个大气压，再将温泡重新又冷却到氧点，测其压强。压强数值的重复性达 1×10^{-5} 。

实验方法实质上就是将气体温度计的压强值同放在温泡里的铂电阻温度计的电阻值进行比较。电阻的测量是用一台Dieselhorst电位计将铂电阻温度计同标准电阻进行比较。用一个0.1到5.7欧姆的标准电阻箱可加快测量速度和提高测量准确度。标准电阻的选择在任何温度下同铂电阻温度计的电阻值都是紧密匹配的。铂温度计电阻平时是用Smith电桥测的，该仪器一般是用在温度测量中对电阻进行精密测量之用。在实验中操作程序如下，先将1、2和3三个阀门全关死(见图3)，把温泡冷却到氧点温度，隔一夜，再将系统的压力控制部分的压力调整到温泡的估计压力，把阀门1和3缓慢交替打开，平衡膜片两边的压力，此时可在电容探极的指示器上观察到指针偏转。一般压差不应超过几个厘米汞柱。当达到平衡时再打开十字连通阀门2，将电容电桥可变臂调至零位，此后将阀门2重新关死。当相对于电桥零值指示器上有读数时，就意味发生压差、即先前解释的介质常数对压力的变化。如上所述。由两个观测者分别读出电阻温度计的电阻值和气体温度计的压强值。压强的每次读数都靠操纵阀门A和B来达到，(见图3)将膜片调至零位，A和B的作用是控制系统的压力，直到使标尺对准压强计水

银弯月面的顶部才读数。在四次这样的测量中从开始和末了都要测出水银柱的温度。毛细管、膜片和阀门的温度由一组热电偶测定。毛细管温度的测量是用一根长一点的30#漆包康铜丝先接在毛细管边界上*，然后用38#铜漆包线每隔8厘米接一个点，构成一系列的热接头，最低一个接点是接至浸在恒温器里的温泡壁上，所有接点的校核均直接由气体温度计进行。

这样，从77到95°K的范围就得到了一组气体温度计对电阻温度计的读数，接着再定氧点，按需要，重新打开十字通道的阀门，校正零位。77°K以下到53°K这一段，是将装在长颈内杜瓦瓶里的液氮降低其蒸汽压获得的。很多测量结果是靠尽量降低外部*的温度，而在里边*是在升温而实现的，其它的，则是根据温度的要求，适当调节泵的速度，使蒸气压强保持一定。在每次测量末了温度都重新恢复到氧点，打开十字通道阀门校正零位其后，按照同样的程序进行10到50°K液氢温度范围的测定。

定容温度计压力读数的处理

假定一台定容气体温度计在温度 T_R 时的容积为 V_R ，压强为 P_R ，其有害容积是 U'_d (温度为 T_d)。当温泡的温度变为 T^1 时，由于温泡壁的热膨胀， V_R 变成 V^1 ， P_R 变成 P^1 ，有害容积的温度是 T'_d ，此时对理想气体来说有：

- * 指靠近膜电处——译注。
- * 指温泡真空室外——译注
- * 指温泡——译注

$$P_R \left(\frac{V_R}{T_R} + \frac{U_d}{T_d} \right) = P' \left(\frac{V^1}{T^1} + \frac{U_d'}{T_d'} \right)$$

因此,
$$T^1 P_R \left(V_R + \frac{T_R U_d}{T_d} \right) = T_R P^1 \left(V^1 + \frac{T^1 U_d'}{T_d'} \right)$$

$$T^1 = \frac{P^1}{P_R} \cdot T_R \frac{\frac{V^1}{V_R} + \left(\frac{T^1}{T_R} \right) \cdot \left(\frac{U_d'}{T_d'} \right)}{1 + \left(\frac{T_R}{V_R} \right) \cdot \left(\frac{U_d}{T_d} \right)}$$

如果将有害容积分成若干分, 我们可用 $\Sigma \left(\frac{U_d}{T_d} \right)$ 代替 $\frac{U_d}{T_d}$ 。假如PU对P的等温线的斜率在 T_R 和 T^1 时为 B_R 和 B^1 , 则得气体的非理想修正为 $(B_R - B^1) T^1 P_R$ 。B

是状态方程中的第二维里系数。我们所用数据是根据 Keessom 给出的⁽⁸⁾, 转载于表1。B的因次是体积, 用 Amagat 单位表示。

表 1

T K	10	12	14	16	18	20	22
$B \times 10^3$	-1.01	-0.755	-0.549	-0.395	-0.276	-0.180	-0.101
T K	30	40	50	60	70	80	90
$B \times 10^3$	0.108	0.251	0.338	0.395	0.435	0.462	0.480
							0°
							0.512

应测量的有害容积包括: (1) 内径为 0.4 毫米、长 50 厘米同温泡连接的一根毛细管; (2) 同这根毛细管和阀门 (图 2(c)) 相连的第二根毛细管, 内径 0.7 毫米, 长 45 厘米; (3) 阀门至膜片的空间。为便于计算, 将两根毛细管的长度分成每 5 厘米一段, 取其温度的平均值。

当利用上述 B 值和相对应的零压时, 计算的修正值是图 4 的曲线 5。我们看到, 当用氧沸点做参考温度时, 在 20K 时的修正是 +0.04K。

方程中分子的第一项 V^1/V_R 表示温度由 T_R 到 T^1 容积的收缩, 其值画在图 5 上。从 20 到 90K 整个范围紫铜的热膨胀数据用的是早期 Keessom, VanAgt 和 Jansen 基于低温气体测温确定的数值⁽⁹⁾。最近的测量

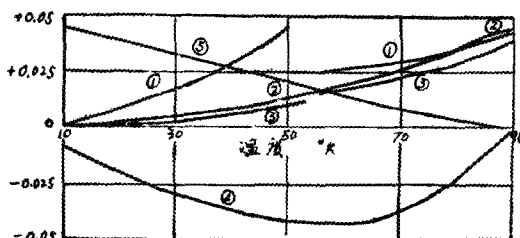


图 4 气体温度计的修正。(1)内径0.4毫米的毛细管。(2)恒温器外的容积(膜片和针筒)。(3)内径0.7毫米的毛细管。(4)铜温泡热膨胀。(5)同理想气体的偏差。

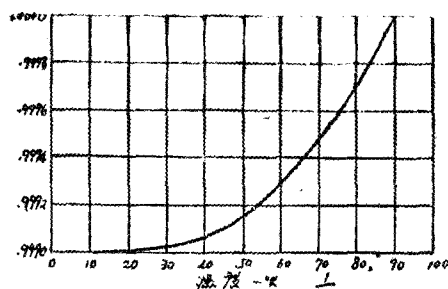


图 5 90到10K铜的热膨胀

还有：Simmons和Balluffi用x-射线衍射法^[10]；Bijl和Pullan用的电容膨胀计法^[11]（与钻石有关）；Rubin, Altman和Johnston用的Fizeau干涉仪法^[12]。Keesom等人所采用的是绝对测量的方法，即当内杜瓦瓶处于各种不同的温度时，将紫铜杜瓦瓶壁的热膨胀用一台测高仪直接测量。各种方法所测的线膨胀系数值示于图6。由于Keesom等人的数值同其他实验者差别较大，其他实验者的数据比较一致，因此我们采用平均值进行修正时，不包括Keesom等人的数据。平均值修正示于图5。

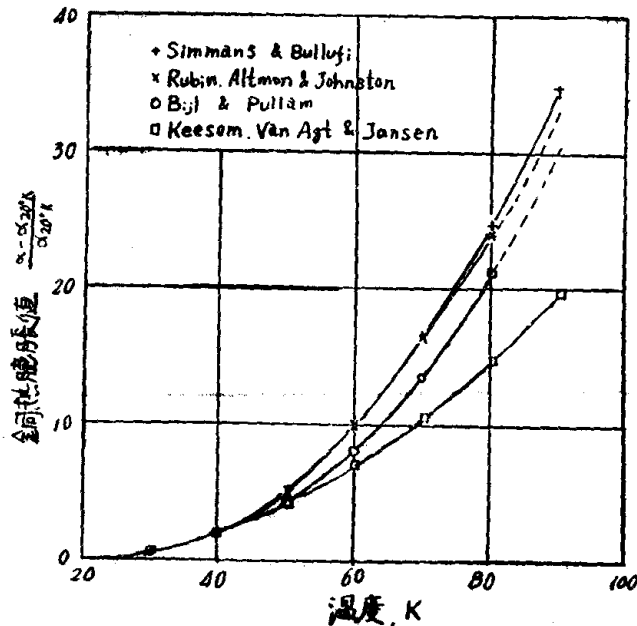


图6 铜的线性热膨胀数据的比较

如上所述，有害容积分为三部分，其中两部分是两根直径不同的毛细管的容积，其容积是用水银充满并称其重量来确定的。第三部分是膜片、阀门附近以及将二者连接起来的一小段毛细管。这部分容积是这样测定的，将一根带刻度的容积为0.2厘米³毛细管同它相接，在管的两端刻着标志，将水银交替地充到两个标志处当

膜片两边的压强 P_A 和 P_B 达到平衡后测量每个水银面的高度。这样容积可用下式给出： $P_B V_C / (P_A - P_B)$ ，式中 V_C 是已测定的容积。有害容积的温度由放在附近的一支水银温度计读出。有害容积和温泡容积的测量都是按同样方法测定的，即连上一个测定过的、容积为10.6厘米³的T形容器。三部分有害容积分别为0.0716，0.1763和0.2269厘米³，总计为0.4748厘米³，温泡容积为144.20厘米³，都是在20°C测的。有害容积对温泡容积的比，大约为0.0033，亦可认为是1/1000。有害容积对温度的修正示于图4，正如我们的

期望，这部分修正随温度降低会变得更小。图中曲线1有一段间断，是因为温泡的温度用不同的方法达到时，使得连接到温泡的细小毛细管的温度平均值，产生很大的差别所致，即当冷却介质用液氢时，温泡的温度可达55K，用固体氮时，也能达到55K。在90K时我们看到，有害容积的各部修正部是0.04K，加起来总共为0.12K。当被测温度接近于参考点温度时，分布在毛细管中的两种温度变得非常接近，并且毛细管中温度的测量误差趋向于抵消了。

测量结果

气体温度计及其操作方法都具有很高的复现性。这种方法的主要特征是，采用了一个膜片来确定气体的容积，并传递压强，测量结果的准确度主要依两点而定，即膜片在每次实验造成偏斜后，保持零位

的程度和用于监视膜片位置的电容电桥的稳定性。如上所述, 检验膜片的零位经常是用膜片两边的十字连通阀门来进行; 这里, 一次测量同时给出了机械零位和电学零位的变化。一般, 零位的重复性相当于0.016毫巴的压差或更小些, 以灵敏度表示; 相当于0.0015K或更小。

此外, 测量的准确度还取决于对参考点温度测量的重复性, 在氧沸点时重复性在0.001和0.004K之间。这样的分度按温度范围大约是每一天到三天进行一次。

表2给出了气体温度计11次的测量结果, 可作为全部测量重复性的例子, 是一个月内在不同时间对放在温泡里的一支铂

表 2

观测值	日期	T(K) R_T 恒定	P_{273} 标准大气压	压力读数范围 (mb)
261	26-7-60	20.3838	2.97	0.02
262	"	20.3836	"	0.00
282	28-7-60	20.3808	"	0.03
320	15-8-60	20.3823	2.24	0.02
321	16-8-60	20.3794	"	0.005
325	"	20.3823	"	0.015
327	"	20.3845	2.91	0.01
331	17-8-60	20.3858	"	0.00
339	18-8-60	20.3844	"	0.03
349	24-8-60	20.3801	"	0.01
352	"	20.3827	"	0.015
平均	—	20.3827		0.014
σ		0.0019		

电阻温度计连续测得的。这些数据是在气体温度计三次不同的充气压强下得到的, 冰点对应的压强分别是2.97, 2.24和2.91标准大气压。温度的标准偏差是0.0019K。各个压强的平均值同最大一项的差别不太显著。表中第五列给出在每次温度确定情况下, 气体温度计压强四次读数间隔, 平均是0.014毫巴, 相当于0.0015K, 这表明压强计的装置和读数是足够准确的。

结 束 语

在结论里可这样认为, 如此设计的气体温度计, 经实验证明它具有高度的复现

性和准确度。在设计中主要的改革是用了—个膜片, 将压强计与温泡分开。这个膜片连同电容探板和电桥能相当灵敏的鉴别出0.001毫巴的压差。具备这样的灵敏度表明, 有能力对均衡100到1000毫巴范围的压力系统进行有效操作, 即以足够的准确度来重复膜片的零位。有害容积对温泡容积之比仅为0.0033, 因此要确定有害容积对温度测量精度的影响程度是一件比较简单的事。据计算, 有害容积修正带来的误差不超过0.001K。压强测量用的是一台“Kew”形压强计, 它由研究所基准压强计比较分度过。其分度准确度, 当转换

成气体温度计观测的压强准确度时,相当于 ± 0.01 毫巴,或者用气体温度计的灵敏度表示为 0.001K 。铜温泡热膨胀的修正 是根据三个不同实验室报导的、从 20 到 90K 范围铜的线性热膨胀数据。温泡体膨胀数值的得来是假定温泡的材料具有各向同性的关系。当参考温度为 90K 时,热膨胀的修正,在 50K 可达最大值,相当于 -0.05K 。这些修正情况也不一样。假如我们只考虑热膨胀这一项时,则为 $\pm 0.003\text{K}$ 。在 20K 时相差 $\pm 0.001\text{K}$ 。为计算气体的非理想修正,而用的氦气维里系数是根据 Keesom 推荐的。^[8]。这项修正的不准确性,在 10 到 90K 间大约为 $\pm 0.005\text{K}$ 。

温标是根据一组高 α 值的铂电阻温度计记录值导出来。据估计,在用氧点作参考温度时,温标的准确度大致是: 90K 时为 $\pm 0.002\text{K}$, 20K 时为 $\pm 0.005\text{K}$ 。由于我们讨论的温标用的 $T_0=273.15\text{K}$,应附加一项不准确程度 $T(\delta/90)$,式中 δ 是氧点在热力学温度中的变动值。

文 献

1. H. J. Hoge, and F. G. Brickwedde, *J. Research N. B. S.* 22, 351 (1939)
2. G. W. Moessen, *Thesis, Pennsylvania State University, Publication No. 14825*(1955).
3. A. S. Borovick-Romanov, M. P. Orlova, and P. G. Strelkov, *Izmer. Tekhn.* 12, 28(1959).
4. H. Moser, J. Otto, and W. Thomas, *Z. Physik*, 147, 59 (1957).
5. H. Moser, *Temperature Its, Meas. and Control in Sci. and Industry*, 1955, Vol. 2, P. 103.
6. C. R. Barber, *Proc. Commission I of 10th International Congress on Refrigeration, Copenhagen*(1959).
7. C. R. Barber, J. A. Hall, and A. Gridley, *J. Sci. Instr.* 32, 213 (1955).
8. W. H. Keesom, *Helium* (Elsevier, Amsterdam 1942), Chap. 2, P. 49.
9. W. H. Keesom, F. P. G. van Agt, and A. L. J. Janses, *Leiden Commun.* 182a(1926).
10. R. O. Simmons, and R. W. Balluffi, *Phys. Rev.*, 108, 278(1957).
11. D. Bijl, and H. Pullan, *Physica* 21, 285(1955)
12. T. Rubin, H. W. Altman, and H. L. Johnston, *J. Am. Chem. Soc.* 76. 5289(1954).

——译自 *Temperature, Its Meas. and Contr. in Sci and Indu.*, Vol. 3, Part I. 1961.

I. M. P. R.* 10 到 90 °K 范围温标

A. C. Borovick-Romanov, P. G. Strelkov,
M. P. Orlova, D. N. Astrov

在1954年曾经发表⁽¹⁾过一个延伸实用温标到低于氧沸点以下的初步结果。

我们之所以用铂电阻温度计建立10到90°K的温标是因为，对于20到90°K的温度范围铂电阻温度计的灵敏度和示值的重复性都是再合适没有了。至于20到10°K之间，虽然它还有相当大的缺点，但到现在对这个温度范围还没有发现更好的温度计。

曾经发表过的研究结果⁽²⁻⁵⁾，证明在所讨论的温度范围有这样的可能性，即用一个带少量常数的简单分析式来表达铂的电阻。这就是为什么在10到90°K范围内建立温标的方法必然不同于国际温标所采用的方法的原因。

不管那一种方法建立温标都要用气体温度计—复现热力学温标的基本装置，来分度铂温度计。

用 UX—6 这种型号铂制成四支铂电阻温度计作为基准组来建立温标。温标就根据这四支温度计电阻比的平均值确定。将气体温度计分度基准组的结果构成一个连续表 $W = W(T)$ ，用根据内插反推算制成 $T = T(W)$ 表。最后从这个表按铂基准组的相对电阻值转过来求得温度值。

基准组每一支温度计示值的修正量都

可以被确定。因此所有的示值都可以导算成整个基准组的值，本文就是这一工作的详细叙述。

铂电阻温度计及其在 定点上的分度

我们的温度计结构如图1(a)和图1(b)⁽⁶⁾⁽⁷⁾所示。敏感元件由直径为0.05毫米的铂丝绕成两个螺旋线圈组成。它们

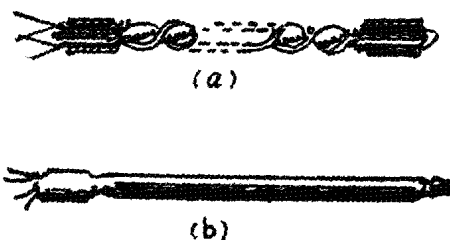


图1. (a) 铂电阻温度计简图
(b) 铂电阻温度计图

被牢固地缚在石英螺旋状的骨架一头，敏感元件之一端，二个螺旋线圈同一根铂丝连接起来。另一端上的每个线圈都有一根电流引线和一根电位引线。制成的元件要在碱液和硝酸溶液中洗涤，处理后再放入一个大气压的氧气中于 650°C 下进行退火。之后敏感元件装在带玻璃封头的铜套里，温度计的引线就封在这个封头里。这

* I. M. P. R. —— (苏联) 物理技术与无线电计量科学研究所

样制成后的温度计，在低压下充入纯净氮气。温度计的电阻在 0°C 时大约为 100 欧姆。这种苏联制的铂是在实验室中提炼出的光谱纯铂，我们称之为 UX-6 型。退过火的温度计 W100 的值在 1.39247 和 1.39252 之间。用四支这样的温度计构成基准组。我们取基准组的 W100 为 1.39251，它是四支温度计的平均值。

选取 Briekwedde 和 Hoge⁽⁹⁾ 后来发表的国际温标氧点作为我们测量的参考点，对每一支温度计进行了特别仔细的测量。氢沸点作为国际温标以下的一个固定点。为此，我们选取“自然态”氢正常沸点的温度值。

每一支温度计的确定其电阻值，在氧点上进行了 14 次测量，在氢点上进行了 5 次测量。

此后，温度计就放在几乎是处于绝热状态（温度波动少于 1×10^{-4} 度/分）下的铜块孔中相互进行比较。这样比较的结果，实际上比定点分度还要准确。使我们能对每支温度计的分度数值用类似于 Hoge 和 Briekwedde⁽¹⁰⁾ 所曾使用过的方法进行修正。我们曾经发表过⁽¹¹⁾ 关于在氧点上分度温度计所用的装置，氧气的产生是将处于 230°C 到 240°C 下的高锰酸钾进行分解得到的。不同充氧量的蒸汽压温度计的示值并没有不同。铜块浸在装满液氧的杜瓦瓶中，它们又被放在第三个充满液氧的杜瓦瓶里。铂温度计和蒸汽压温度计都装在铜块上已钻好的孔中。外面的氧槽减少了流入内杜瓦瓶的热量，这就消除了分度过程

中的过热，因而增加了温度稳定性。

为了确定基准组温度计的氢沸点温度，用两个蒸汽压温度计来确定温度的装置。其中之一借助于催化剂，使氢气在室温下即达平衡态，在另一支里氢气是在沸点下达到平衡态⁽¹²⁾。根据压差我们可以控制正-仲平衡态。温度是借助于 Keesom 公式⁽¹³⁾ 确定的。

整个基准组在国际温标氧点下的电阻比平均值，是 $(243881.4 \pm 11.9) \times 10^{-6}$ （采用可信度 0.9），即相当于温度误差是 $\pm 0.0027^{\circ}\text{C}$ 。在“自然氢”正常沸点的平均值是 $(4564.9 \pm 9) \times 10^{-6}$ （可信度 0.9），即相当于温度误差为 $\pm 0.0012^{\circ}$ 。在后来五年的过程中，基准组的电阻比平均值仍在最初分度的极限误差内。

为了确定不同于 UX-6 型铂的其它品种铂制成的温度计性质，基准组又附加了两支温度计：UX-3-19，其 W100 为 1.39174， W_{O_2} 为 0.245312， W_{H_2} 为 0.006429。另一支是 M-48-2，其 W100 = 1.39054， $W_{O_2} = 0.247090$ ， $W_{H_2} = 0.008285$ 。

气体温度计

我们用的是无害容积气体温度计⁽¹⁴⁾，其原理与近代一些定容气体温度计不同，其主要特点是测量压力的膜片放在温度计的温泡里，这样就可以使我们足够准确地平衡副温泡中气体的压强，这个副温泡是压强计系统的主要部分（图 2）。假如测量压强的膜片达到原先平衡的固定位置，那么压强计的示值就给出对应于封在温度

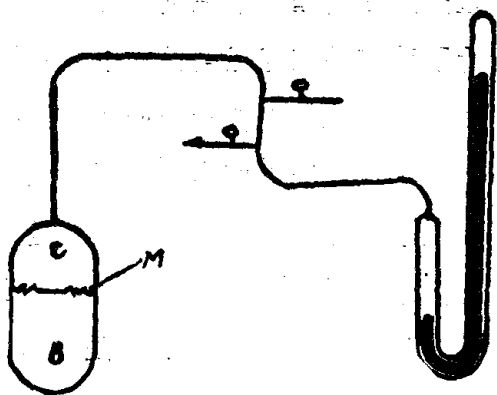


图2 无害容积气体温度计示意图

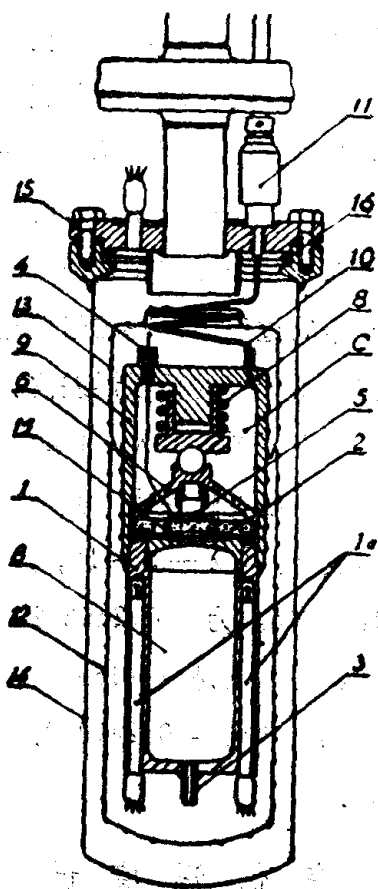


图3 在低温恒温槽中的气体温度计简图
计温泡里的压强值。

无害容积气体温度计的结构如下(图3)。温泡是一个厚壁的铜容器1(对应于图2中的B),有六个孔,供插铂温度计用(图1.a)。温泡用一个带中心孔的铜压盖压紧,其上锡焊上膜片M。通过管3充入氦气,压盖靠膜片的一面是凹向下,当膜片中心弯曲变形达50微米时膜片就被

压盖顶住。在膜片的上面装了一个具有同样凹面(方向向上)的装引线的石英块2,这个半面也限制了膜片的变形。这就可防止在压差过大的情况下膜片变形过度的危险。石英块上钻了一个孔,石英块二面的中心部分和孔壁上都镀了铂,于是由膜片和石英块上的镀铂层构成的电容器极板就非常方便地通过引线和小铜板连接到玻璃封头4里的铂上。铜片是由一个绝缘垫圈5,用一个弹簧和柱杆顶着压在对着铂层的石英外表面上,电容器的电容量反映膜片的位置。石英块用圆锥体6保持着一定的位置。圆锥体的上面经过一个小球用压簧8压着,以保持中心度。铜容器9相当于图2中的副温泡C,它先旋在温泡上,再用软焊料焊住,管10由副温泡接至压强计和一个可使我们改变压力,以令膜片平衡的装置。这个装置并不难做,它用一个微调螺纹调节气量,使压强计系统和波纹管中的气体量增减变化。

温度计吊在一个构造类似于绝热量热计的^[15]低温槽中。针阀11安在恒温器外套的盖子上,它可以关住接至副温泡C的管子10。在用一个T形管将管3和10连接后,温泡B中的压强平衡副温泡C中的压强就有把握了。再将温度计经过相当长时间抽空,直达到并保持高真空状态。整个系统经过烘热和用氦气洗涤五次,氦气通过冷却的活性炭加以纯化。在每次洗涤后系统再抽至高真空状态。这样处理之后就可根据温度来考察膜片零位的变化。其后温度计在氧沸点下充入氦气,并将管10的阀门关闭升温。当达到室温时,温泡