

碳电阻温度计经验公式的选用比较

宋伟荣 白红宇 毕延芳

(中国科学院等离子体物理研究所, 合肥, 230031)

摘要:碳电阻温度计是低温温度测量的常用温度计之一。在碳电阻温度计标定过程中, 经验公式的选用对碳电阻温度计标定曲线的正确性有着重大的影响。文中针对这一问题, 同时结合对现有几十个碳电阻温度计的标定实验, 得到了碳电阻温度计经验公式的选用受碳电阻温度计本身的材料和其所处的温区等因素制约的结论。

关键词:碳电阻温度计 经验公式 温度测量

1 引言

碳电阻温度计具有负的电阻系数^[1], 可以用来测量低温。碳电阻温度计灵敏度高、尺寸小, 对环境参数(磁场、辐照和压力等)不很敏感, 而且价格便宜。特别是它们的电阻温度关系曲线光滑, 可以用比较简单的经验公式给出。

碳电阻温度计的经验公式有许多。然而, 对于不同材料和处于不同的温区的碳电阻温度计而言, 不同经验公式的选用对碳电阻温度计的标定曲线有十分重要的影响。对于同一个碳电阻温度计, 如果选用的经验公式不正确, 就会得不到理想的标定曲线。在这里我们使用了几个不同的经验公式来标定碳电阻温度计, 并且通过一系列的实验, 来说明碳电阻温度计经验公式的选用因碳电阻温度计的不同材料和处于不同的温区而异。

2 碳电阻温度计经验公式的选用

我们从俄罗斯 IPRC (Information and Physics Research Center) 进口了一批碳电阻温度计, 并且已知每个碳电阻温度计在三个温度 300K、77.34K、4.22K 下的电阻值。现在我们要使用碳电阻温度计的经验公式, 希望能得到这些碳电阻温度计的 $R = f(T)$ 关系曲线、公式和图表, 以便在实际测量时能够直接使用。

为此, 我们选用了几个经验公式^[2,3], 它们是:

$$\frac{1}{T} = \frac{a}{\log R} + b + c \log R \quad (1)$$

$$\ln R = a(\ln T)^2 + b(\ln T) + c \quad (2)$$

$$\log R = a + bT^{-c} \quad (3)$$

$$\frac{1}{T} = a + bR + cR^{1/2} \quad (4)$$

$$T = \frac{a}{(\log R - b)^c} \quad (5)$$

* 国家九五大科学工程(合肥 HT-7U 托卡马克装置)支持。

本文于 2001 年 3 月 28 日收到。

对于同一个碳电阻温度计(以 No. 63 碳电阻温度计为例,已知数据点见表 1),我们运用公式(1)~(5),得到如图 1~5 所示的关系曲线,其曲线的公式为:

表 1 No. 63 和 No. 75 碳电阻温度计已知数据值

碳电阻温度计	已知数据			
	T(K)	300	77.34	4.22
No. 63	R(Ω)	857.222	1149.797	3134.248
No. 75	R(Ω)	888.361	1199.714	3215.949

$$\frac{1}{T} = \frac{24.4803}{\log R} - 16.5621 + 2.8022 \log R \quad (6)$$

$$\ln R = 0.030(\ln T)^2 - 0.5188(\ln T) + 8.7348 \quad (7)$$

$$\log R = 2.5454 + 1.2879T^{-0.1105} \quad (8)$$

$$\frac{1}{T} = 0.2429 + 0.0003R - 0.0170R^{1/2} \quad (9)$$

$$T = \frac{2.4765 \times 10^{51}}{(\log R + 6)^{61.9522}} \quad (10)$$

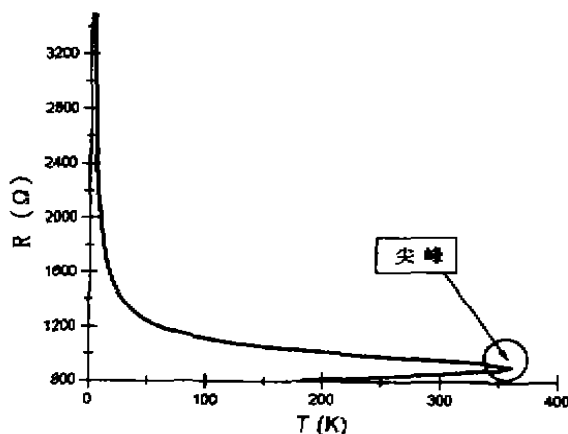


图 1 由式(1)得到的关系曲线

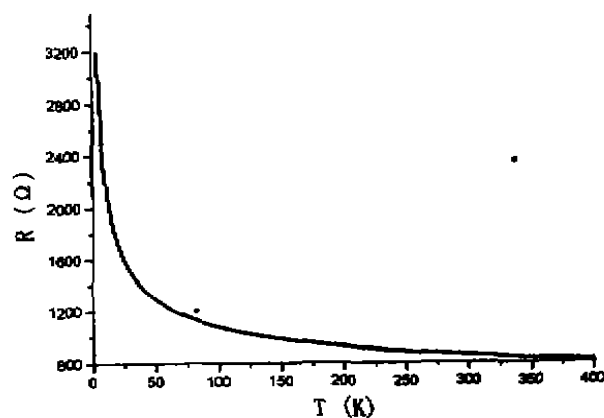


图 2 由式(2)得到的关系曲线

使用经验公式(1)、(4)得到的关系曲线(6)、(9)在 300K 左右将会出现一个尖峰(见图 1、图 4),这与碳电阻温度计的理论、实际经验曲线^[4]不符。然而,使用经验公式得到的关系曲线(7)、(8)、(10)就不会出现这种现象。通过比较经验公式(1)~(5)得到的关系曲线(见图 6)我们发现,式(7)、(8)、(10)能较好地与碳电阻温度计的理论、经验曲线^[4]相符合,因此,该经验公式(2)、(3)、(5)比较适合于这些从俄罗斯 IPRC 进口的碳电阻温度计。为了更深一层来说明这一点,我们特设计了如下的实验来验证公式(7)、(8)、(10)的正确性。

3 碳电阻温度计的低温实验

3.1 实验原理及过程

为了验证关系式(7)、(8)、(10)的正确性,我们需要得到更多的碳电阻温度计测温的数

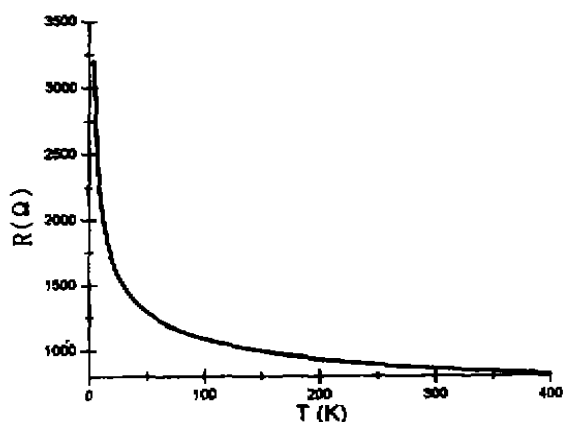


图3 由式(3)得到的关系曲线

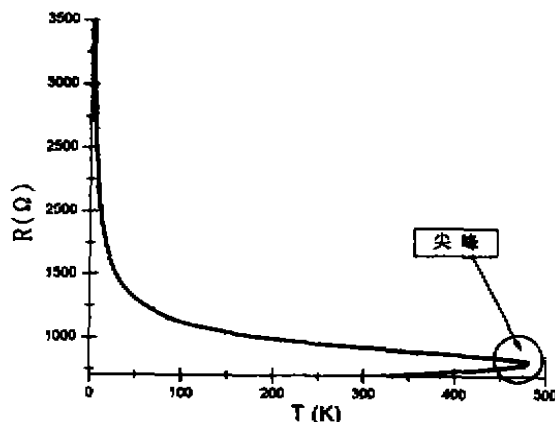


图4 由式(4)得到的关系曲线

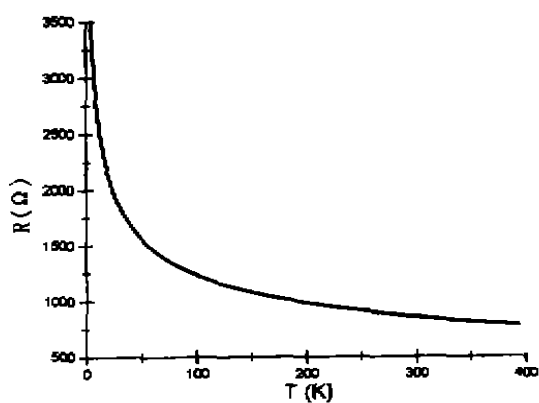


图5 由式(5)得到的关系曲线

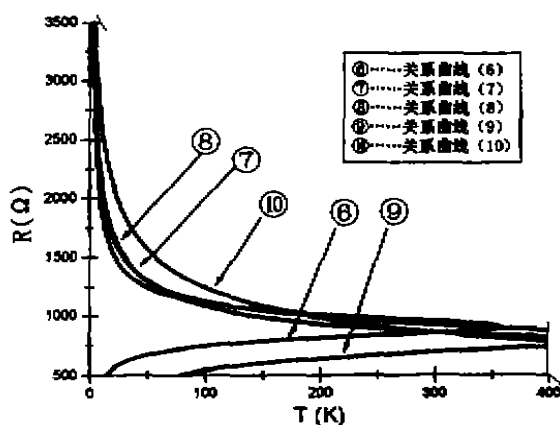


图6 关系曲线的比较

据点。根据我们现有的实验条件,同时也针对在使用经验公式(1)、(4)拟合过程中出现的“尖峰”(见图1),我们设计了一个低温实验,用来测量碳电阻温度计在液氮温区以上、室温以下的的数据点。

实验的原理(原理图见图7)简述如下:

我们利用在液氮温区至室温下测温性能稳定的Pt100(铂电阻)为基准来测定碳电阻温度计的温度,同时使用万用表来测定碳电阻温度计的电阻。这样我们就可近似的得到对应于每一个温度下的碳电阻温度计的电阻值,再把这些数据标在图6上,就可知道经验公式(2)、(3)、(5)是否符合实际情况。为了得到77K~300K之间的温度,我们将实验铜棒插入液氮槽中,通过调节铜棒在液氮槽的深度来得到我们想要的温度。通过这个实验我们可以测到十个左右的实验数据点。

我们将一截黄铜棒和一截紫铜棒组合而成的实验铜棒上打一个小洞(见图8),把碳电阻温度计和Pt100温度计放入其中。在碳电阻温度计和Pt100温度计的上方开一小槽作为热沉。碳电阻温度计和Pt100温度计的导线分别为四线和三线,来尽可能的减少导线电阻给碳电阻温度计测温带来的附加电阻。再在铜棒上缠绕必要的保温材料,以此来减少外界对碳电阻温度计测温稳定性带来的负面影响。然后垂直的把铜棒插入液氮槽中,我们通过调节铜

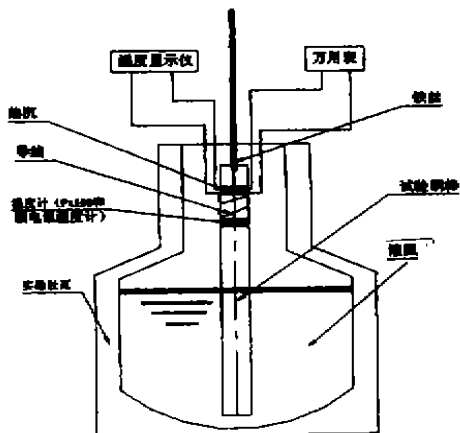


图 7 实验原理图

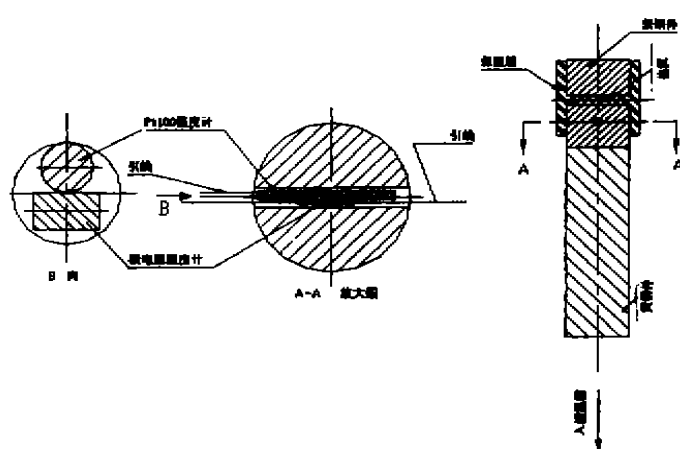


图 8 实验整装图

①

棒在液氮槽的深度来达到新的热平衡点,从而调节测量点的温度,就可以测到碳电阻温度计的实验数据点。

3.2 实验结果及数据曲线比较

我们随机的挑选这批碳电阻温度计其中的几个(No. 63 和 No. 75)来做实验。No. 63 碳

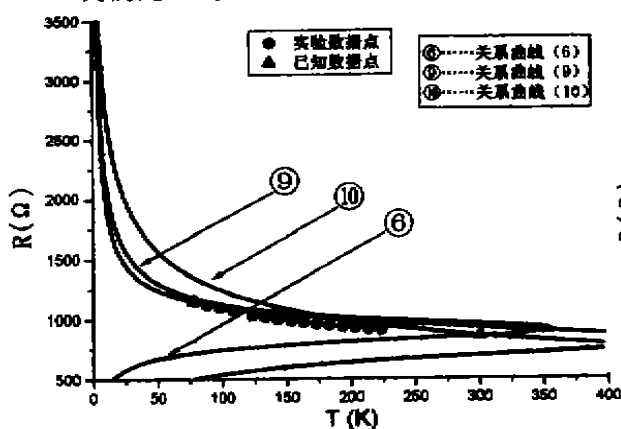


图 9

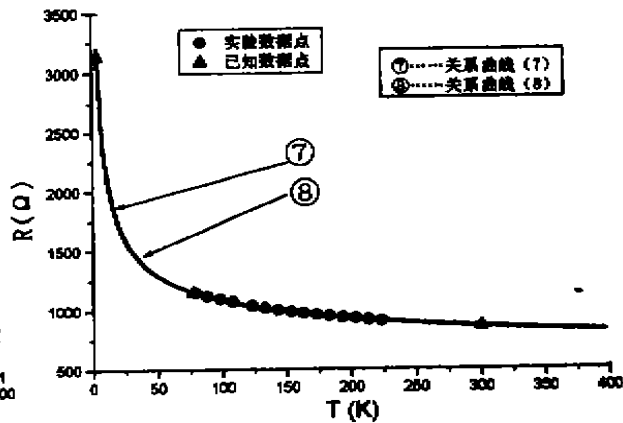


图 10

电阻温度计的实验结果和数据曲线比较如图 9、图 10 所示。

运用经验公式(2)、(3),No. 75 碳电阻温度计的关系曲线公式分别为:

$$\ln R = 0.0275(\ln T)^2 - 0.4984(\ln T) + 8.7364 \quad (11)$$

$$\log R = 2.5141 + 1.3243T^{-0.1905} \quad (12)$$

其实验数据曲线比较如图 11、12 所示。

3.3 实验误差分析

影响实验误差的几个因素:碳电阻温度计和 Pt100 温度计本身绝缘材料的热阻;作为测温基准温度计的 Pt100 温度计自身的精度影响;碳电阻温度计和 Pt100 温度计在测温过程和实验铜棒的接触面积(见图 8)所引起的误差;实验铜棒的保温材料包裹不够好而存在的

对流换热;测量导线带来的热阻以及导线本身的电阻;实验测量仪器本身的精度带来的测量误差。

实验误差的减少:为了尽可能的消除导线本身的电阻对测量结果的影响,我们对碳电阻温度计和 Pt100 温度计分别采用四线制和三线制接线。采用在实验铜棒上开的一个小槽作为热沉来消除导线带来的热阻。在安装碳电阻温度计和 Pt100 温度计时尽量把它们靠近实验铜棒壁。

从图 9 可以看出,虽然关系式(10)能较好地与碳电阻温度计的理论、经验曲线相符合,但是它与由此实验测量出来的处于室温和液氮温区之间数据点的偏差很大,因而经验公式(5)不适合用来标定这些碳电阻温度计。从图 10、11、12 可以看出,由此实验测量出来的处于室温和液氮温区之间数据点基本上和由经验公式(2)、(3)而得到的关系式(7)、(8)、(11)、(12)十分吻合。经验公式(2)、(3)在用于 No. 63 碳电阻温度计时,从图 10 可以看到,得到的

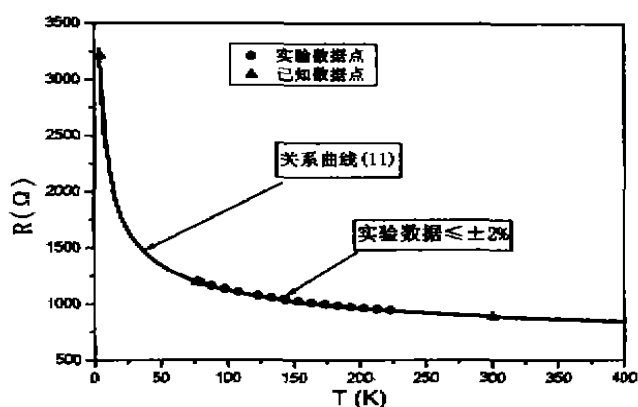


图 11

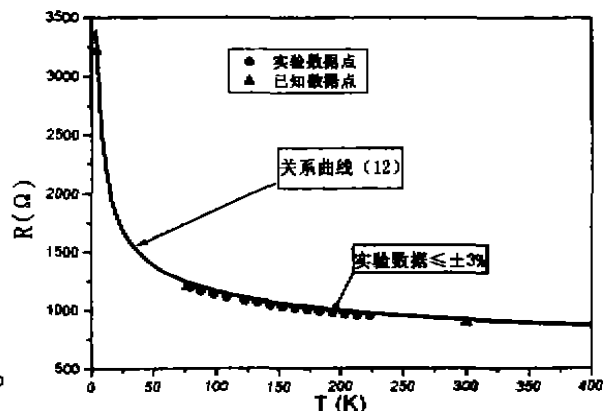


图 12

关系曲线精度基本一致;经验公式(2)、(3)在用于 No. 75 碳电阻温度计时,从图 11、12 可以看出,得到的关系曲线(11)精度高于式(12),因为关系曲线(11)位于实验数据 $\leq \pm 2\%$ 内,而关系曲线(12)位于实验数据 $\leq \pm 3\%$ 内。这说明由经验公式(2)得到的关系式(7)、(11)的可信度最高。

4 结论

在碳电阻温度计的理论分析计算、拟合和实验检验过程中,我们可以发现:在碳电阻温度计的标定过程中,经验公式的选用对于碳电阻温度计的标定公式和拟合曲线有很大的影响。本文中的经验公式(1)源自于 Allen-Bradley 的碳电阻温度计的三常数公式^[2]。对于 Allen-Bradley 的碳电阻温度计,在 2—20K 的范围内该经验公式的精度可达到 0.5%。然而,对于我们这批从俄罗斯 IPRC 进口的碳电阻温度计,该经验公式并不适应,而且,我们进行的低温实验也同样证明了这一点。反观,我们使用经验公式(2)拟合得到的公式(7)、(11)在工程应用领域具有很高的准确度。所以,我们得出结论:碳电阻温度计经验公式的选用受碳电阻温度计本身的材料和所处的温区等因素的制约。

参 考 文 献

- [1] White G K. *Experimental Techniques in Low-Temperature Physics*, 3rd Ed., Clarendon Press, Oxford, 1979
- [2] Clement J R, Quinnell E H. *Rev. Sci. Instr.*, 1952, 23:213. 1953, 24:545
- [3] 阎守胜, 陆果. 低温物理实验的原理与方法。北京, 科学出版社, 1985
- [4] Anderson A C. *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*, 1972, 4:773

The Comparison Of Selection For The Experimental Formula Of Carbon Thermometer

Song Weirong, Bai Hongyu, Bi Yanfang

(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei, 230031)

ABSTRACT: The carbon thermometer is one of the commonly used thermometers that measure temperature in cryogenic engineering. In the course of calibration of carbon thermometer, the selection of the experimental formula of carbon thermometer will affect the validity of the calibrating curve greatly. In order to answer this question, we take dozens of experiments of calibration of the carbon thermometers. The test results show the selection of the experimental formulae of carbon thermometer depends on not only the material of the carbon thermometers, but also the temperature range in which the carbon thermometer is used.

KEYWORDS: Carbon thermometer, Experimental formula, Temperature measurement



作者简介: 宋伟荣, 男, 1977 年生。硕士生。现就读于中国科学院等离子体物理研究所, 主要从事低温技术参数测量方面的研究。