

环状容器内的温度校正和 高压下温度相关性问题的*

赵有祥 徐小平 陈 红 王文魁

(中国科学院物理研究所)

一、引 言

高压下常常需要知道加热器消耗的功率 W 与高压腔中心温度 T 的对应关系。通常的方法是在不同的压力下测量高压腔中心的温度和所消耗的功率,作出 T - W 曲线。当高压腔的形状和加热元件尺寸及组装方式发生变化时,都要重新进行不同压力下的校温实验。这种程序工作量大,也比较困难。Horton^[1]对不同形状尺寸的叶蜡石高压腔(四面体、立方体)在不同压力下的校温工作进行了总结,得出以下经验公式:

$$T = 26 + 623 \frac{W}{W_0} + 106 \left(\frac{W}{W_0} \right)^2, \quad (1)$$

式中 W 是压力下产生温度 $T(^{\circ}\text{C})$ 所需要的加热功率, W_0 是与 W 相应压力下产生 750°C 时所需要的加热功率。这个公式大大减化了校温程序。

经验公式(1)是否也对环状容器适用呢?由于当时缺乏环状容器的校温数据,Horton只是猜想:大概(1)式也适用于环状容器。如能证实这种猜想,对于不同类型高压容器的校温工作,将是很有意义的。

二、环状容器中的温度校正

环状容器压缸内径为 $\phi 12$,增压块(碳化钨)尺寸为 $\phi 8 \times 8$,高压腔有效体积为 $\phi 12 \times 8$ 。传压介质叶蜡石经过热处理。校温时的压力数据,是在室温下用 $\text{Bi}_{\text{I-II}}$, $\text{Ba}_{\text{I-II}}$ 和 $\text{Bi}_{\text{V-VI}}$ 的电阻相变点校正的。

测温的实验装置见图1和图2。我们采用了两种不同几何形状(石墨管和铜片)的加热器,分别在石墨管中心和外壁附近及片状加热器中心测温。

1. 石墨管加热器中心测温

热电偶1的结点放置在石墨管中的叶蜡石中心处,并与其轴线重合(见图1)。热偶线用氧化铝管绝缘,并从石墨管的端部经增压块、锥形活塞和压缸之间的高压封垫中引

* 1978年7月3日收到。

出. 为了避免热电偶引线与增压块之间短路, 与增压块接触的叶蜡石中心孔处, 施加少量的 Al_2O_3 粉, 以填充剩余的空间. 通常将热电偶线从石墨管中部横断面沿径向引出, 这种引线有两个缺点: 其一, 热电偶线正好穿过石墨管的高温区, 温度较高时, 碳容易扩散入

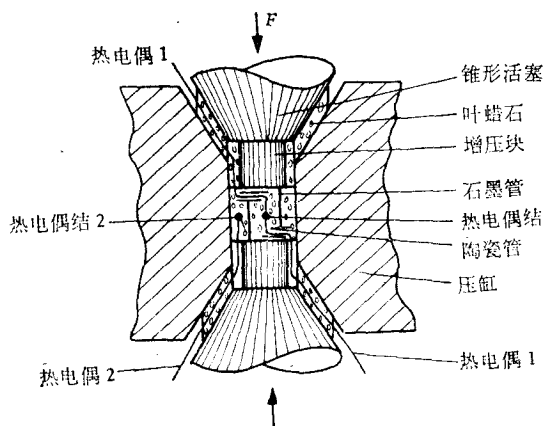


图1 石墨管中心与外壁测温装置

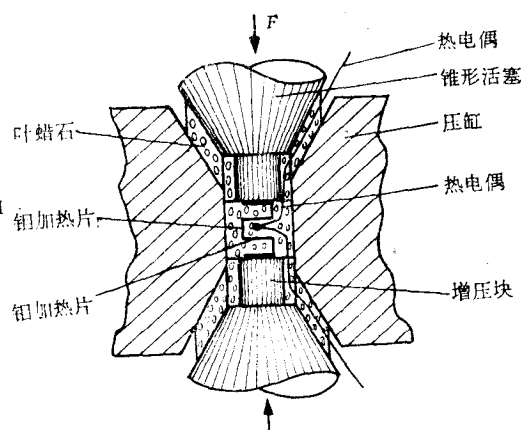


图2 钼片加热器测温装置

陶瓷管, 污染热电偶; 其二, 石墨管高温区被穿两个孔会引起温度场的改变, 在使用 $T-W$ 曲线时石墨管没有孔, 会带来误差. 我们从石墨管中心轴线处引线, 比较符合实际情况. 其 $T-W$ 曲线见图3的1, 2, 3曲线.

2. 石墨管外壁附近测温

把石墨管外壁视为加热器, 加热外壁附近的介质. 在外壁中部附近放置热电偶2. 热电偶线亦从高压封垫引出(见图2). $T-W$ 曲线见图3的6, 7.

3. 片状加热器的温度测量

片状加热器是由一整钼片(宽6毫米、厚0.1毫米)折叠而成. 两片(每片 6×6 毫米)相距3毫米构成的加热器放置在经过热处理的叶蜡石中. 热电偶结放在两平面间的中心处(见图2). 测量曲线 $T-W$ 见图3的4, 5.

在上述实验中, 使用了铂-铂+10% 铑热电偶. Getting^[2]对铂-铂铑热电偶电动势的压力效应曾作过仔细测量. 他们指出, 在50千巴压力和2000℃时, 未校正的实验曲线外推值低28℃, 相对误差还不到2%. 在图3的实验曲线中, 我们未对热电偶的压力影响进行校正. 考虑到较高的温

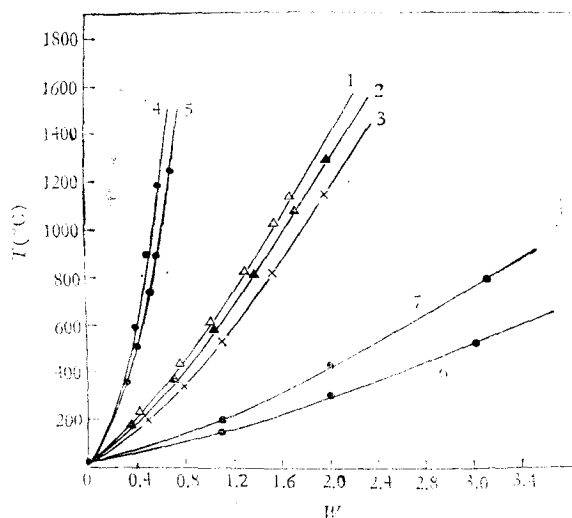


图3 高压下 $T-W$ 曲线

石墨管中心测温: 1—30 千巴, 2—60 千巴, 3—80 千巴; 石墨管外壁测温: 6—25 千巴, 7—55 千巴; 片状加热器测温: 4—30 千巴, 5—55 千巴

度下, 高压介质对热电偶的污染, 实验测量温度在 1350℃ 以内. 实验点以上的曲线是外推值.

对于图 3 中的 $T-W$ 关系, 我们可以用多项式

$$T = T_r + aW + bW^2 + \dots \quad (2)$$

来拟合 $T-W$ 曲线. 式中 T_r 是室温. 若只取到二次项, 用 (2) 式拟合的曲线同实验比较符合. 对于不同的压力和不同的加热方式, 系数 a , b 是不相同的. 在相同压力下不同次的 $T-W$ 曲线, 系数平均相对变化大约 0.04, 这远比压力对热电偶的电动势影响大. 这也是我们未对热电偶作压力校正的一个原因.

三、高压下温度相关性问题

根据图 3 中各压力下的 $T-W$ 曲线的实验值, 作 $T-\frac{W}{W_0}$ 曲线 (见图 4). 其中 W_0 取

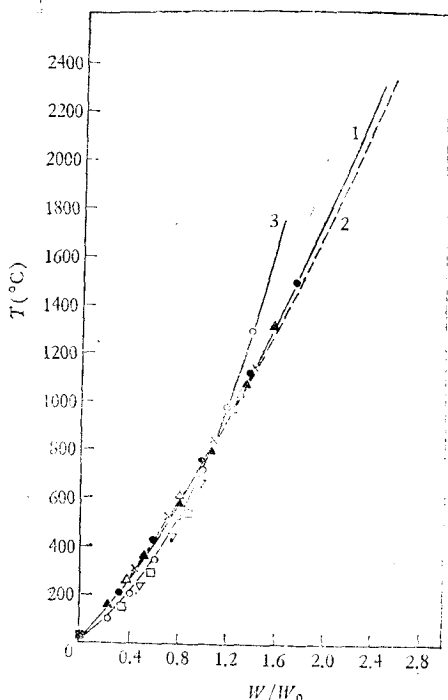


图 4 $W_0(750^\circ\text{C})$ 时, $T-(W/W_0)$ 关系比较图

1——本工作, $T=20+596\frac{W}{W_0}+134\left(\frac{W}{W_0}\right)^2$; 2——Horton 工作, $T=26+623\frac{W}{W_0}+106\left(\frac{W}{W_0}\right)^2$; 3——片状加热器中心测温, $T=20+300\frac{W}{W_0}+430\left(\frac{W}{W_0}\right)^2$. 石墨管外壁测温: $\square$ ——25 千巴; ∇ ——55 千巴. 片状加热器测温: $\circ$ ——30, 55 千巴. 石墨管中心测温: $\bullet$ ——77 千巴 (四面体容器^[3]); $\triangle$ ——30 千巴; $\blacktriangle$ ——60 千巴; $\times$ ——80 千巴 (环状容器)

自该压力下产生 750℃ 时的功率. 对于石墨管中心测温 (包括我们过去在四面体高压腔的测温工作^[3]) 各压力下的 $T-\left(\frac{W}{W_0}\right)$ 曲线, 可以用类似于 (1) 式的经验方程

$$T=20+596\frac{W}{W_0}+134\left(\frac{W}{W_0}\right)^2 \quad (3)$$

来描述.

对于片状加热器中心测温, $T=f\left(\frac{W}{W_0}\right)$ 的经验关系为

$$T=20+300\frac{W}{W_0}+430\left(\frac{W}{W_0}\right)^2 \quad (4)$$

对于石墨管外壁测温的数据, 从图 4 看出接近于 (4) 式描述的曲线.

(3b) 式与 Horton 经验方程 (1) 接近. 而 (4) 式与方程 (1) 相差甚远. 由此看来, Horton 经验方程 (1) 近似地适用于中心测温的石墨管加热器. 而对其他几何形状的加热器并不适用.

图 5 中画出了石墨管中心测温 W_0 相应于 500℃, 750℃ 和 1000℃ 时的 $T-\left(\frac{W}{W_0}\right)$ 曲线 1, 2, 3, 其经验方程为

$$\begin{aligned} \text{曲线 1, } W_0(500^\circ\text{C}): T = 20 + 415 \frac{W}{W_0} \\ + 65 \left(\frac{W}{W_0} \right)^2, \end{aligned} \quad (3a)$$

曲线 2, $W_0(750^\circ\text{C})$: 与 (3b) 式相同.

$$\begin{aligned} \text{曲线 3, } W_0(1000^\circ\text{C}): T = 20 + 760 \frac{W}{W_0} \\ + 220 \left(\frac{W}{W_0} \right)^2. \end{aligned} \quad (3c)$$

由此可见, 取不同参考功率 W_0 , 其 $T = f\left(\frac{W}{W_0}\right)$ 具有类似的形式, 即

$$T = T_r + A \frac{W}{W_0} + B \left(\frac{W}{W_0} \right)^2, \quad (5)$$

其中 T_r 表示室温. 对于不同的参考功率 W_0 (相应的温度 $T_0(^\circ\text{C})$), 系数 A, B 的数值不同. 现在的问题是: 1. 原始校正曲线即方程 (2) 中的

的 a, b 和 (5) 式中 A, B 的关系; 2. 已知某一温度 T_{01} 时的功率 W_{01} , 相应于 (5) 式中的系数为 A_1, B_1 , 求参考功率为 W_{02} (相应温度 T_{02}) 时, (5) 式中系数 A_2, B_2 的表达式.

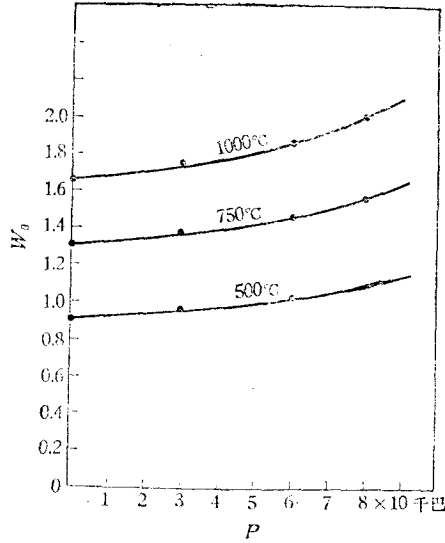


图 6

将 (8) 式与 (7) 式联立, 得

$$\begin{aligned} A_2 = \left(\sqrt{\left(\frac{A_1^2}{B_1} \right)^2 + 4 \frac{A_1^2}{B_1} (T_{02} - T_r)} - \frac{A_1^2}{B_1} \right) / 2, \\ B_2 = T_{02} - T_r - A_2. \end{aligned}$$

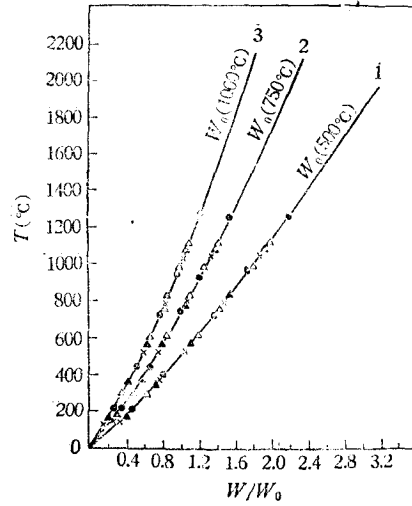


图 5 三个恒定温度下的 $T-W/W_0$ 关系
石墨管中心测温: ●——77 千巴 (四面体容器);
▲——60 千巴; △——30 千巴; ×——80 千巴
(环状容器)

1. a, b 与 A, B 的关系

从 (2) 式, 显然有

$$T_0 = T_r + aW_0 + bW_0^2.$$

由上式和 (2) 式分别从二次方程中解出 W_0 和 W , 并求出 $\left(\frac{W}{W_0}\right)$ 的表达式, 即得 (5) 式. 其中

$$A = \frac{ka}{2b}, \quad B = \frac{k^2}{4b},$$

$$k = \sqrt{a^2 + 4b(T_0 - T_r)} - a.$$

从 A, B 关系式中消去 k 后, 显然有

$$A^2/B = a^2/b. \quad (6)$$

2. 同理, 经过简单推导可得

$$A_1^2/B_1 = A_2^2/B_2. \quad (7)$$

当 $T = T_{02}$ (相应于 W_{02}) 时, 根据 (5) 式有

$$T_{02} - T_r = A_2 + B_2. \quad (8)$$

图 5 中曲线 1, 2, 3 所相应的经验方程 (3a), (3b), (3c) 中的系数近似满足上述关系. 我们在推导过程中, (2) 式的经验方程只取到二次项, 所以上述的那些关系只能是近似的.

因此, 在方程 (5) 中, 只要从实验求出恒定温度 T_0 时在不同压力下所消耗的功率 W (如图 6 所示), 即可估计出该压力下, 产生温度 T 时所需要加热功率 W . 参考功率 W_0 的选取, 必须符合两个条件: 其一, T_0 不能太高, 否则周围介质对热电偶有污染; 其二, T_0 不能太低, 否则影响精确度. T_0 取 500—600°C 时较好.

四、结 语

1. Horton 经验方程 (1) 不适用于不同几何形状尺寸的加热器, 它只能近似地适用于几何形状类似的管状加热器中心温度的校正.

2. 在经验方程 (5) 中, 可以取不同的参考功率 W_0 .

工作中得到了何寿安同志的有益讨论, 在此深表谢意.

参 考 文 献

- [1] M. D. Horton, *High Temperature-High Pressures*, 6 (1974), 537.
- [2] I. C. Getting, G. C. Kennedy, *J. Appl. Phys.*, 41 (1970), 4552.
- [3] 胡欣德、程月英、龚玉峰、赵有祥, 科学通报, 19 (1974), 323.

TEMPERATURE MEASUREMENT IN "BELT" APPARATUS AND PROBLEM OF TEMPERATURE CORRELATION AT HIGH PRESSURES

ZHAO YOU-XIANG XU XIAO-PING
CHEN HONG WANG WEN-KUI

(Institute of Physics, Academia Sinica)