

# 自动限温加热带电—热性能的研究

苏洪钊 蒋淮渭

(中国科学技术大学)

方铎荣 胡文友\* 陆显洁

(中国科学院力学研究所)

## 摘 要

研究了自动限温加热带的电—热性能,得到的结果表明:主动电阻与温度为双曲线关系,功率与温度成线性关系,二者是相互关联的。这是由于加热带通电工作时具有自动限温能力,而自动限温的能力来自加热带的被动电阻具有很高的正温度系数的(PTC)特性所致。讨论了影响加热带输出功率的因素。

**关键词:** 自动限温加热带, 电—热性能, PTC 效应。

**中图法分类号:** TM924.2, TM243

## 1 引言

自动限温加热带(简称加热带)是由具有电阻率高正温度系数(简称PTC)的高聚物复合材料制成的带状电加热器<sup>[1]</sup>。

对于PTC材料的性能前人已作了较多的研究<sup>[2-6]</sup>,相比之下,对加热带性能的报道则甚少<sup>[7]</sup>。加热带的电热性能不仅与使用时的热工设计有关,而且也涉及对加热带质量的评价。本文对加热带的电热性能,如电阻率及功率与温度的关系、自限温度与电压的关系等作了实验研究。并用红外热象仪测定了加热带通电时的温度分布。

## 2 实验

加热带样品由芜湖市电线厂制造,其基本结构如图1。样品净长为1m,端头用快干胶

1989年元月21日收到。

\* 航天工业部二院207所。

• 274 •

密封绝缘。

恒温水循环流过夹套，夹套的温度为环境温度。加热带放在夹套中心，夹套二端用隔热材料封闭。测定恒电压时的稳定电流，由此计算在该环境温度下的电阻及功率。实验装置见图2。另一方法是将加热带全部浸入恒温水中测试功率。

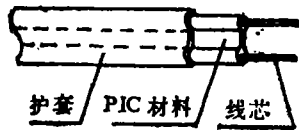


图1 加热带的基本结构

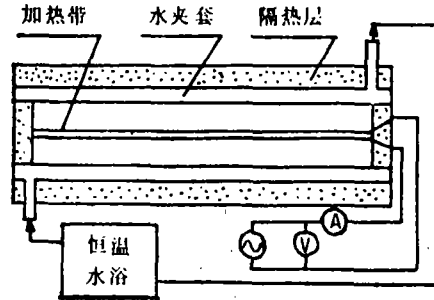


图2 实验装置

将加热带平直地固定在平板上，白纸衬底，使背景表面发射率均匀，用高灵敏度热象仪（瑞典AGA780），选波长为 $2-5.6\mu\text{m}$ 的红外线，测量稳定态时加热带的热象图。在背景为 $30^\circ\text{C}$ 时测温灵敏度为 $0.1^\circ\text{C}$ 。

### 3 结果和讨论

#### 3.1 主动电阻与被动电阻

由于PTC材料的电阻率对温度十分敏感，测量电阻时样品的功率耗散（简称功耗）对测得的电阻值有很大影响。J.Oakes等<sup>[1]</sup>定义功耗较小时测得的电阻为被动电阻，恒电压下，在电流稳定后，用电压和电流计算的电阻为主动电阻。对PTC材料的伏—安特性的研究表明，在低电压时（小于 $1.0\text{V}$ ）、电阻与电压无关，为常数；但当电压升至一定程度（大于 $3\text{V}$ ），电阻随电压升高而下降。测得的电阻—电压特性见图3<sup>[6]</sup>。

为了方便，称图3中电阻的水平段为欧姆区，倾斜段为为非欧姆区。规定被动电阻为欧姆区的电阻，因此时样品的功耗很小，样品的温度等于环境温度。由于样品处于平衡态，被动电阻反映的是材料本身的性质。另一方面，主动电阻是在高电压即加热带的工作电压下测定的，因电压、电流较大，功耗增加，样品的温度较环境温度为高，如通电时间足够长，二者的温差达到恒定，即稳定态。主动电阻为稳定态电阻，它反映了加热带实际应用的情况，其数据可直接用于热电设计。

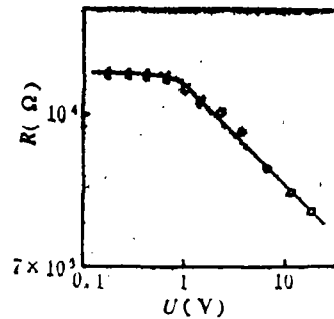


图3 电阻电压特性

#### 3.2 电阻与温度的关系

PTC材料的主要特点是其电阻率在某一温度区间内急剧上升，加热带保留了这一特点。用同一加热带样品在同一装置中（见图2）测试不同环境温度时的被动电阻和主动电阻，得

到的结果绘于图 4。

由图 4 可见，两种电阻均在一定温区急剧上升，但上升的规律不同，被动电阻与温度呈指数关系<sup>[9]</sup>，而主动电阻与温度为双曲线，后者可从稳定态的概念加以证明（见后）。

图 4 的温度指环境温度即水夹套的温度。测主动电阻时，带温高于夹套温度，达到稳定态后，加热带与夹套之间形成稳定的温度场。将热电偶紧贴在加热带的中部，测得其表面温度与电压的关系如图 5。

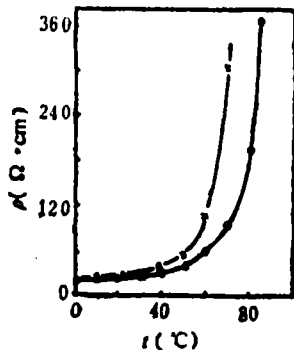


图 4 电阻率与温度的关系  
×被动电阻率，·主动电阻率

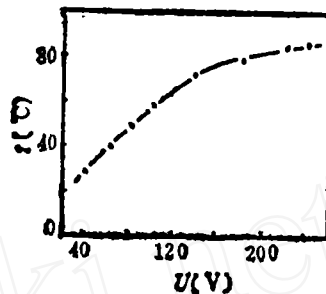


图 5 表面温度与电压的关系

图 5 表明，加热带与环境的温差随电压升高而增加，但渐趋恒定，如图中电压 220V 和 240V 的差别已经很小，这一现象在功率—温度图中亦有反映。

### 3.3 功率与温度的关系

加热带的功率是稳定态参数，它与温度、测试方法、测试条件、传热因素有关，在充分搅拌的与静止的水中及在图 2 的装置中，在不同电压下，测得的功率—温度特性见图 6。

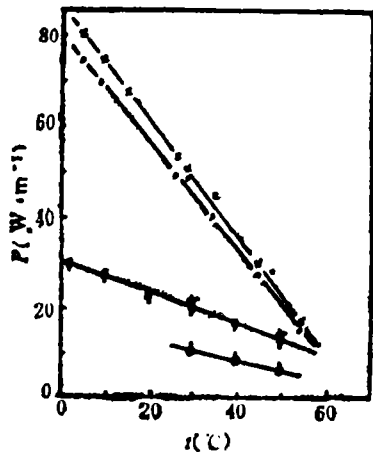


图 6 功率与测试条件的关系  
×水中搅拌，·水中静止，(220V)，○—○在图 2 装置中进行(分别为 240V、220V、160V)

设加热带在一定环境下，通电时间足够长（5 分钟以上），电流值即不再改变，说明已达到稳定状态，加热带的电功率等于单位时间内加热带向环境传递的热量，后者符合 Fourier 公式，即

$$P = Q/t = -K(T_A - T_H) \quad (1)$$

其中  $P$ 、 $Q$  和  $t$  分别为功率、热量和时间； $K$  为传热系数； $T_A$  和  $T_H$  分别为环境温度和加热带的工作温度。

式 (1) 表明： $P$  与  $T_A$  成线性关系，这与图 6 的测量结果相符（注意图 6 的横轴即为  $T_A$ ）；其次，当  $P=0$  时， $T_A = T_H$ 。为求  $T_H$ ，可将测得的  $P-T_A$  曲线外

延至  $P=0$ ；第三，当  $T_A = 0^\circ\text{C}$  时， $P_0 = KT_H$ ，由此求得  $K$  值。另外由图 6 可见， $P$ —

$T_A$  线的斜率为  $-K$ ，其物理意义为环境温度每增加 1 度时加热带功率的减少量，反映了功率随温度调节的能力。另一方面  $K$  的值取决于传热的因素，在充分搅拌的水中测试时， $T_A$  可看作加热带的表面温度， $K$  的值仅取决于加热带本身的参数，如护套材料的导热系数、面积及与芯带接触的程度等。图 6 的结果表明，在水中测得的  $K$  值比在空气中测得的  $K$  值大，反映了前者的热阻较后者的小。虽然电压不同时  $T_H$  也不相同，但同一样品在同一装置中的  $K$  值是相同的，这是图 6 中用同一装置不同电压下测得的功率—温度线大致平行的原因。

### 3.4 主动电阻与功率

主动电阻与温度以及功率与温度的关系可通过式 (1) 联系起来。设电压为  $U$  且恒定，主动电阻为  $R_a$ ，代入式 (1) 得

$$R_a = \frac{-U^2}{K(T_A - T_H)} \quad (2)$$

由式 (2) 可见， $R_a$  与  $(T_A - T_H)$  成反比，在  $R_a - T_A$  图上 (见图 4) 为双曲线，其渐近线为横轴及直线  $T_A = T_H$ 。

由式 (1) 和式 (2) 可见，加热带的功率随温度调节的性能与其主动电阻在工作温度时趋于极大的性能相关，这是与传统的恒功率加热器的主要差别。

### 3.5 加热带表面温度的分布——热象图

加热带的温度分布与加热带的质量有关，为此，用热象仪测量了其温度分布。测量的热象图表明，加热带工作时的温度在沿长度方向及垂直方向都比较均匀，温差不大于  $\pm 2^\circ\text{C}$ 。利用热象仪还可以测定通电开始阶段即暂态的温度分布，这是值得进一步研究的课题。

## 4 结论

主动电阻与被动电阻的概念对讨论自动限温加热带的电热性能是有益的。被动电阻之值不能用来计算加热带在使用时的电流和功率。

主动电阻与加热带的工作温度和环境温度之差成反比，比例系数与电压和传热的因素有关。

加热的功率与温度成线性关系，功率—温度直线的斜率取决于传热的因素并反映了功率随温度自动调节的能力。

加热带的工作温度主要取决于制造加热带的 PTC 材料，其值可由加热带的功率—温度曲线外延到功率为零求得。

热象仪是研究加热带温度分布的理想手段。

参 考 文 献

- [1] Bedard R L, USP 3, 914, 363 (1975).
- [2] Nakis M, Ram A and Stein Z, *J. Appl. Polym. Sci.*, **25** (1980), 1515.
- [3] Nakis M, Ram A and Stein Z, *Polym. Eng. Sci.*, **21** (1981), 1049.
- [4] Nekis M and Vaxman A, *J. Appl. Polym. Sci.*, **29** (1984), 1639.
- [5] Meyer J, *Polym. Eng. Sci.*, **13** (1973), 462.
- [6] Meyer J, *Polym. Eng. Sci.*, **14** (1974), 706.
- [7] Oakes J A and Sandberg C L, *IEEE Transactions*, **9** (1973), 462.
- [8] 苏洪钊、祝晓虹、蒋淮渭、黄义博, *化学物理学报*, **2** (1989), 151.
- [9] 苏洪钊等, *应用化学*, 待发表.

## On the Electrothermic Behaviour of Self - Temperature-Limiting Heating Strip

Su Hongyu      Jiang Huaiwei

*(University of Science and Technology of China)*

Fang Duorong      Hu Wenyong      Lu Xianjie

*(Institute of Mechanics, Academia Sinica)*

### Abstract

The electrothermic behaviour of self-temperature-limiting heating strip was investigated. The results obtained showed that the hyperbolic relation of active resistance and temperature was correlated with the linear relation of power output and temperature. The correlation mentioned above was due to the self-temperature-limiting character of the heating strip at work and such character resulted from the high positive temperature coefficient (PTC) of the passive resistance. The factors that influenced the power output of the heating strip were discussed.

**Key words,** self-temperature-limiting heating strip, electrothermic behaviour, PTC effect.