

REMINDIANZUJIQINTANWUJIANLU

热敏电阻及其 应用电路

周志敏 纪爱华 等编著



- 热敏电阻基础知识
- NTC热敏电阻
- PTC热敏电阻
- 热敏电阻工程应用电路



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

热敏电阻及其应用电路

周志敏 纪爱华 等编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书结合国内外热敏电阻技术发展动向及最新应用技术,以热敏电阻应用电路为本书的核心内容,全面、系统地阐述了热敏电阻基础知识和热敏电阻最新应用技术。全书共分4章,系统地讲述了热敏电阻基础知识、NTC热敏电阻、PTC热敏电阻、热敏电阻工程应用电路几部分内容。

本书题材新颖实用、内容丰富、深入浅出、文字通俗,具有很高的实用价值,是从事热敏电阻研发、生产、器件集成及热敏电阻应用电路设计的工程技术人员必备读物,也可供相关专业高等院校、职业技术学院的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

热敏电阻及其应用电路/周志敏等编著. —北京:中国电力出版社, 2012.7

ISBN 978-7-5123-3353-6

I. ①热… II. ①周… III. ①热敏电阻器—电路 IV. ①TN37

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第172443号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013年1月第一版 2013年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 10.5印张 284千字

印数0001—3000册 定价 25.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



热敏电阻是应用于信息系统与控制系统的敏感元器件，主要用于对温度的测量、控制、保护及用作加热器。热敏电阻在国防、工控、通信、汽车、航天等领域及人们生活所使用的家用电器中得到了广泛的应用。热敏电阻按照温度系数的不同分为正温度系数热敏电阻（PTC）和负温度系数热敏电阻（NTC）。热敏电阻的典型特点是对温度敏感，不同的温度下表现出不同的电阻值。正温度系数热敏电阻（PTC）在温度越高时电阻值越大，负温度系数热敏电阻（NTC）在温度越高时电阻值越低，它们同属于半导体器件。

热敏电阻在现代电子信息系统、控制系统、家电领域中占有十分重要的地位，是目前应用领域最广、用量最大的一类电子元器件。近年来随着电子信息产业、自动化控制技术及现代化家电产品的高速发展，在信息、自动化和家电产品中，为保证各类电子设备能够稳定地正常工作，都需要用热敏电阻的保护。因此，随着手持电子设备、笔记本电脑、通信与消费电子产品的需求普及和自动化技术的广泛应用，热敏电阻的开发研制与生产已成为发展前景十分诱人的朝阳产业。

本书结合国内外热敏电阻的应用及发展动向，在讲述了热敏电阻基础知识的基础上，重点介绍了热敏电阻的最新应用技术及工程应用电路，在写作上尽量做到针对性和实用性，力求做到理论和应用相结合，使得从事热敏电阻技术开发、设计、应用的技术人员从中获益，读者可以以此为“桥梁”，系统、全面了解和掌握热敏电阻的最新工程应用技术。

参加本书编写工作的有周志敏、纪爱华、周纪海、纪达奇、刘建秀、顾发娥、刘淑芬、纪达安、纪和平等，本书在写作过程中无论从资料的收集和技术信息交流上，都得到了国内外专业学者和热敏电阻制造商的大力支持。在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，水平有限，书中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第 1 章 热敏电阻基础知识	1
1.1 热敏电阻参数及特性	1
1.2 热敏电阻结构及工作原理	11
1.3 热敏电阻命名及温度测量非线性修正	13
1.4 热敏电阻检测及应用	16
第 2 章 NTC 热敏电阻	26
2.1 NTC 热敏电阻特性及结构	26
2.2 NTC 热敏电阻工程应用	37
2.3 片式 NTC 热敏电阻	49
第 3 章 PTC 热敏电阻	56
3.1 PTC 热敏电阻特性及参数	56
3.2 过流过热保护用 PTC 热敏电阻特性及选用	73
3.3 PTC 热敏电阻应用领域及产品	78
第 4 章 热敏电阻工程应用电路	99
4.1 热敏电阻应用于温度检测与控制保护电路	99
4.2 热敏电阻应用于电子镇流器	116
4.3 热敏电阻应用于蓄电池充电器电路	125
4.4 热敏电阻应用于 LED 驱动电路	143
参考文献	164

热敏电阻基础知识

1.1 热敏电阻参数及特性

1.1.1 热敏电阻参数

一、热敏电阻概述

热敏电阻是电阻值随温度变化的电阻器 (Thermal Sensitive Resistor), 一般而言, 热敏电阻分为两大类。一类是电阻值随着温度升高而升高的 PTC (Positive Temperature Coefficient) 热敏电阻。另一类是电阻值随着温度升高而降低的 NTC (Negative Temperature Coefficient) 热敏电阻。两种热敏电阻器在特性上有以下三个方面的主要差别。

(1) PTC 电阻器与 NTC 电阻器的阻值随温度变化朝相反量方向改变。

(2) PTC 电阻器比 NTC 电阻器的温度系数大几个数量级。

(3) NTC 电阻器只是其阻值随温度变大而变小, 而 PTC 电阻器则是受温度控制近似起到一个导电开关的作用。

热敏电阻与普通电阻器有很大的区别, 那就是热敏电阻的温度系数比普通电阻器的温度系数大得多, 即热敏电阻对温度的变化特别敏感。在温度变化时, 热敏电阻的阻值会马上发生较大的改变。

在温度变化时, 热敏电阻的电阻值会按照预期的规律来变化。一般来说, 它的电阻会随着温度的上升而减小或增大。在某些热敏电阻作为电路保护元件的应用中, 会使用正温度系数的热敏电阻, 但在温度控制、温度补偿等应用中, 则是广泛地使用负温度系数热敏电阻。热敏电阻的常用符号如图 1-1 所示。

正温度系数 (PTC) 热敏电阻不仅因周围温度升高而电阻值增大, 而且当有大电流通过时还会自加热, 使得电阻值受热而增大。由于具有这种性质, 正温度系数热敏电阻常被用于过电流保护电路、过热检测电路及温度检测电路等。如果 PTC 温度降低, 电阻值会再度减小, 是一种能够作为可恢复熔丝使用的器件。

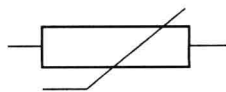


图 1-1 热敏电阻的常用符号

同样, 负温度系数 (NTC) 热敏电阻也常被用于温度检测电路、温度补偿电路以及防涌流电路等。两类热敏电阻的应用领域都很广, 其中包括家电产品、AV 设备、笔记本电脑及手机等。随着电子化的发展, 汽车领域对热敏电阻的需求也越来越大。

在通常情况下, 电阻器的温度系数越大, 稳定性就越差。如果电子电路中应用了温度系数过大的电阻器, 则当温度变化时, 其阻值就会随着发生变化, 将改变电路原设计完善的参数与性能, 影响电路正常工作。这是电阻器温度系数大有害的一面。

事物都是一分为二的, 电阻器温度系数大也有有益的一面。例如, 在收音机、电视机等电器的某些特定放大电路中, 希望电阻器的阻值随温度的升高而朝某一方向变化 (变大或变小)。因为

电子放大电路中都应用了晶体三极管，三极管在工作中导通的电流会随温度升高而增大，将影响电路正常工作。这时就希望三极管下偏置电阻的阻值随温度升高而变小，以抑制三极管的电流增大，使电路的工作稳定。因此，人们便研制生产了具有特殊特性的热敏电阻，以满足上述应用要求。

二、热敏电阻的主要参数

热敏电阻的主要参数如下：

(1) 电阻—温度特性。热敏电阻的电阻—温度特性是指实际阻值与电阻体温度之间的依赖关系，这是它的基本特性之一。热敏电阻的实际阻值 R_T 与其自身温度 T 的关系有正温度系数与负温度系数两种，分别表示为

正温度系数的热敏电阻

$$R_T = R_0 \exp A(T - T_0) \quad (1-1)$$

负温度系数的热敏电阻

$$R_T = R_0 \exp B(1/T - 1/T_0) \quad (1-2)$$

式中： R_T 为在温度为 $T(K)$ 时的热敏电阻阻值； R_0 为在额定温度 $T_0(K)$ 时的热敏电阻阻值； T 为规定温度， K ； A 为正温度系数的热敏电阻在某一范围内近似为常数； B 为负温度系数的热敏电阻的材料常数，又叫热敏指数； $\exp$ 为以自然数 e 为底的指数 ($e=2.718\ 28\cdots$)。

该关系式是经验公式，只在额定温度 T_N 或额定电阻阻值 R_N 的有限范围内才具有一定的精确度，因为材料常数 B 本身也是温度 T 的函数。正、负温度系数的热敏电阻的温度系数 α_T 表示温度变化 $1^\circ C$ 时，热敏电阻实际阻值的相对变化

$$\alpha_T = \frac{1}{R} \frac{dR_T}{dT} (1/^\circ C) \quad (1-3)$$

式中： α_T 和 R_T 为对应于温度 $T(K)$ 时的热电阻的温度系数和阻值。对于正温度系数的热敏电阻温度系数为

$$\alpha_T = A \quad (1-4)$$

对于负温度系数的热敏电阻温度系数为

$$\alpha_T = \frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT} = -\frac{B}{T^2} \quad (1-5)$$

式中： α_T 为温度 $T(K)$ 时的零功率电阻温度系数； R_T 为温度 $T(K)$ 时的零功率电阻值； T 为温度， T ； B 为材料常数。

可见，负温度系数热敏电阻的温度系数为负值，温度减小，电阻温度系数 α 增大。在低温时，负温度系数热敏电阻的温度系数比金属热电阻丝高得多，故常用于低温测量 ($-100 \sim 300^\circ C$)。在工作温度范围内，正温度系数热敏电阻的 α_T 在数值上等于常数 A ，负温度系数热敏电阻的 α_T 随温度 T 的变化很大，并与材料常数 B 成正比。因此，通常在给出热敏电阻温度系数的同时，必须指出测量时的温度。

材料常数 B 是用来描述热敏电阻材料物理特性的一个参数，又称为热灵敏指标。在工作温度范围内， B 值并不是一个严格的常数，而是随温度的升高而略有增大，一般说来， B 值大，电阻率也高，对于负温度系数的热敏电阻， B 值可按下式计算

$$B = 2.303 \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \lg \frac{R_1}{R_2} \quad (1-6)$$

(2) 热敏电阻阻值变化量。已知热敏电阻温度系数 α_T 后，当热敏电阻接收入射辐射后温度变化 ΔT ，则阻值变化量为

$$\Delta R_T = R_T \alpha_T \Delta T \quad (1-7)$$

式中: R_T 为温度 T 时的电阻值。

上式只有在 ΔT 不大的条件下才能成立。

(3) 热敏电阻的输出特性。热敏电阻电路如图 1-2 所示, 在图 1-2 所示的热敏电阻电路中, $R_T = R'_T$, $R_{L1} = R_{L2}$ 。在热敏电阻上加上偏压 U_{bb} 之后, 由于辐射的照射使热敏电阻值改变, 因而负载电阻电压发生增量。

(4) 冷阻与热阻。 R_T 为热敏电阻在某个温度下的电阻值, 常称为冷阻, 如果功率为 ϕ 的辐射入射到热敏电阻上, 设其吸收系数为 a , 则热敏电阻的热阻定义为吸收单位辐射功率所引起的升温, 即

$$R_\varphi = \frac{\Delta T}{a\phi} \quad (1-8)$$

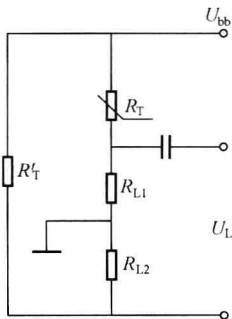


图 1-2 热敏电阻电路

(5) 灵敏度(响应率)。在单位入射辐射功率下, 热敏电阻变换电路的输出信号电压称为灵敏度或响应率, 它常分为直流灵敏度 S_0 和交流灵敏度 S_s 。直流灵敏度 S_0 为

$$S_0 = \frac{U_{bb}}{4} a_T a R_\varphi \quad (1-9)$$

交流灵敏度 S_s 为

$$S_s = \frac{U_{bb}}{4} \frac{a_T a R_\varphi}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau_\varphi^2}} \quad (1-10)$$

式中: $\tau_\varphi = R_\varphi C_\varphi$ 为热敏电阻的热时间常数; R_φ 、 C_φ 分别为热敏电阻和热容。

随辐射频率的增加, 热敏电阻传递给负载的电压变化率减少。热敏电阻的时间常数约为 $1 \sim 10s$, 因此, 使用频率上限约为 $20 \sim 200kHz$ 左右。可见, 要增加热敏电阻的灵敏度, 需采取以下措施。

- 1) 增加偏压 U_{bb} 。但受热敏电阻的噪声以及不损坏元件的限制。
- 2) 把热敏电阻的接收面涂黑增加吸收率 a 。
- 3) 增加热阻, 其办法是减少元件的接收面积及元件与外界对流所造成的热量损失, 常将元件装入真空壳内, 但随着热阻的增大, 响应时间也增大。为了减小响应时间, 通常把热敏电阻贴在具有高热导的衬底上。

4) 选取 B 值大的材料。当然还可使元件冷却工作, 以提高值。

(6) 最小可检测功率。热敏电阻的最小可检测功率受噪声的影响, 热敏电阻的噪声主要有: ①热噪声, 热敏电阻的热噪声与光敏电阻阻值的关系相似。②温度噪声, 因环境温度的起伏而造成元件温度起伏变化产生的噪声称为温度噪声。将元件装入真空壳内可降低这种噪声。③电流噪声, 与光敏电阻的电流噪声类似, 当工作频率 $f < 10kHz$ 时, 应该考虑此噪声。若 $f > 10kHz$ 时, 此噪声完全可以忽略不计。

热敏电阻除以上主要参数外, 还有如下基本参数。

- 1) 上限温度 (UCT): 热敏电阻可继续工作时的最大环境温度。
- 2) 下限温度 (LCT): 热敏电阻可继续工作时的最小环境温度。
- 3) 环境温度: 在热敏电阻或者一个接有热敏电阻元件的电路周围静止空气的温度。
- 4) 最大工作环境温度: 预期元件可以安全工作的最高环境温度。
- 5) 绝缘热敏电阻: 达到规定的绝缘阻值及电压验证测试的热敏电阻。
- 6) 非绝缘热敏电阻: 不要求绝缘电压和绝缘阻值测试的热敏电阻。
- 7) 绝缘电阻: 指在规定的条件下, 热敏电阻的电阻体与绝缘外壳之间的电阻值。
- 8) 稳压范围: 指稳压用热敏电阻在规定的环境温度范围内稳定电压的范围值。

三、NTC/PTC 热敏电阻的主要参数

(1) NTC 热敏电阻主要参数。在应用热敏电阻的过程中, 有时对一些主要参数的细节产生

歧义,原因之一是某些参数的定义和内容缺乏统一的标准和规范。随着 GB/T 6663.1—2007/IEC 60539—1:2002《直热式负温度系数热敏电阻(第一部分:总规范)》(以下简称“国标”)的实施(2007年9月1日),情况开始有所改变。国内热敏电阻生产家都应当按照“国标”标注热敏电阻的参数,使用者也可以根据“国标”向厂家索取热敏电阻的参数。

1) 零功率电阻值(R_T):根据国标规定,额定零功率电阻值是 NTC 热敏电阻在基准温度 25℃时测得的电阻值 R_{25} ,这个电阻值就是 NTC 热敏电阻的标称电阻值。通常所说 NTC 热敏电阻多少阻值,亦指该值。

零功率电阻是热电阻器最基本的参数,厂家给出的热敏电阻的阻值都属于零功率,但“零功率”一词容易使人费解(因为物理含义上的零功率检测是不存在的),所以,理解它的工程含义是定义中后一句的内容“……自热导致的电阻值变化相对于总的测量误差可以忽略不计”。通常,对 NTC 热敏电阻的零功率测量是在恒温槽中进行的,影响总的测量误差有两个主要因素:一是通过 NTC 热敏电阻的电流;二是恒温槽精度。一般说来,减少通过 NTC 热敏电阻电流的方法比较多,一旦电流下降到一定程度,影响总误差的往往是恒温槽的精度。即在规定温度下,采用引起电阻变化相对于总的测量误差来说可以忽略不计的测量功率测得的电阻值,称为 NTC 热敏电阻的零功率电阻。NTC 热敏电阻的电阻值和温度变化的关系式为

$$R_T = R_N \exp B(1/T - 1/T_N) \quad (1-11)$$

式中: R_T 为在温度 $T(K)$ 时的 NTC 热敏电阻阻值; R_N 为在额定温度 $T_N(K)$ 时的 NTC 热敏电阻阻值; T 为规定温度, K; B 为 NTC 热敏电阻的材料常数,又叫热敏指数; $\exp$ 为以自然数 e 为底的指数($e=2.718\ 28\dots$)。

该关系式是经验公式,只在额定温度 T_N 或额定电阻阻值 R_N 的有限范围内才具有一定的精确度,因为材料常数 B 本身是温度 T 的函数。

厂家通常将热敏电阻 25℃时的零功率电阻值作为 R_0 ,称为额定电阻值或标称阻值,记作 R_{25} ,85℃时的电阻值 R_{85} 作为 R_T 。标称阻值常在热敏电阻上标出。 R_{85} 也由厂家给出。

2) 材料常数(热敏指数) B 值(K):材料常数是反应热敏电阻热灵敏度的指标,通常,该值越大,热敏电阻的灵敏度和电阻率越高。 B 值是 NTC 热敏电阻的热敏指数,它被定义为两个温度下零功率电阻值的自然对数之差与两个温度倒数之差的比值

$$B = \ln \frac{R_{T_1}}{R_{T_2}} / \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_{T_1}}{R_{T_2}} \quad (1-12)$$

式中: R_{T_1} 为温度 $T_1(K)$ 时的零功率电阻值; R_{T_2} 为温度 $T_2(K)$ 时的零功率电阻值; T_1 、 T_2 为两个被指定的温度, K。

B 值是 NTC 热敏电阻的电阻—温度特性用公式计算的基础数值,用在数字表达中,表示与绝对温度相对应的电阻。对于常用的 NTC 热敏电阻, B 值范围一般在 2000~6000K 之间。 B 值是由 25℃(298.15K) 和 50℃(323.15K) 的零功率电阻值计算而得到的, B 值在工作温度范围内并不是一个严格的常数。

将热敏电阻 25℃时的零功率电阻值 R_0 和 85℃时的零功率电阻值 R_T ,以及 25℃和 85℃的绝对温度 $T_0=298K$ 和 $T_T=358K$ 代入负温度系数热敏电阻温度方程,可得

$$B = 1778 \ln \frac{R_{25}}{R_{85}} \quad (1-13)$$

3) 耗散系数(δ):是指在热平衡状态下,热敏电阻元件通过自身发热使其温度上升 1℃时所需的功率。在规定环境温度下,NTC 热敏电阻耗散系数为热敏电阻中耗散的功率变化与热敏电阻体相应的温度变化之比

$$\delta = \frac{\Delta P}{\Delta T} \quad (1-14)$$

式中： δ 为NTC热敏电阻耗散系数，mW/K； ΔP 为NTC热敏电阻消耗的功率，mW； ΔT 为NTC热敏电阻消耗功率 ΔP 时，电阻体相应的温度变化，K。

“国标”4.10.2给出 δ 的计算方法如下

$$\delta = U_{TH} \times I_{TH} / (T_b - T_a) (W/^{\circ}C) \quad (1-15)$$

式中： U_{TH} 为NTC热敏电阻的端电压； I_{TH} 为流过NTC热敏电阻的电流； T_b 为自热稳定温度； T_a 为室内温度。

可见，NTC热敏电阻温度上升指的是自热温度。从另外一个角度看，自热造成的温升可以利用 δ 计算出来。

例如：已知 δ 为0.1W/ $^{\circ}C$ ，测量 $U_{TH} \times I_{TH}$ 为0.5W，则

$$(T_b - T_a) = U_{TH} \times I_{TH} / \delta = 0.5 / 0.1^{\circ}C = 5^{\circ}C$$

自热使NTC热敏电阻高于环境温度 $5^{\circ}C$ 。

NTC热敏电阻的耗散系数随环境温度、组装条件而变化，产品目录给出的耗散系数 δ 值为下列测定条件下的典型值： $25^{\circ}C$ 静止空气中；NTC热敏电阻为轴向引脚、径向引脚型，在出厂状态下测定。在工作温度范围内， δ 随环境温度变化而有所变化。

4) 热时间常数 (τ)：热时间常数是一个描述热敏电阻热惯性的参数，在静止的空气中，无功耗的状态下，当环境温度由一个特定温度向另一个特定温度突然改变时，热敏电阻从自身温度变化到与环境温度之差的63.2%时所需的时间。即在零功率条件下，当温度突变时，热敏电阻的温度变化了始末两个温度差的63.2%时所需的时间， τ 越小，表明热敏电阻的热惯性越小。热时间常数与NTC热敏电阻的热容量成正比，与其耗散系数成反比

$$\tau = \frac{C}{\delta} \quad (1-16)$$

式中： τ 为热时间常数，s； C 为NTC热敏电阻的热容量； δ 为NTC热敏电阻的耗散系数。

热敏电阻的环境温度从 T_1 变为 T_2 时，经过时间 t 与热敏电阻的温度 T 之间存在以下关系

$$\begin{aligned} T &= (T_1 - T_2) \exp(-t/\tau) + T_2 \\ &= (T_2 - T_1) [1 - \exp(-t/\tau)] + T_1 \end{aligned} \quad (1-17)$$

式中： τ 为响应时间常数。

上式中，若令 $t = \tau$ 时，则

$$(T - T_1) / (T_2 - T_1) = 0.632 \quad (1-18)$$

经过 t 时间与热敏电阻温度变化率的关系见表1-1，其温度时间关系曲线如图1-3所示。

表 1-1 热响应时间常数

t	$(T - T_1) / (T_2 - T_1)$	t	$(T - T_1) / (T_2 - T_1)$
τ	63.2%	4τ	98.2%
2τ	86.5%	5τ	99.4%
3τ	95.0%		

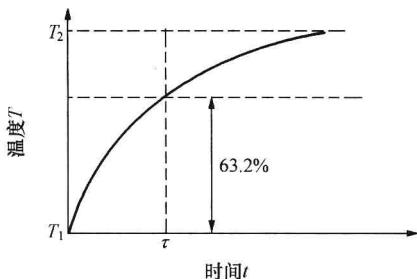


图 1-3 温度—时间关系曲线

NTC热敏电阻产品目录给出的热时间常数 τ 值为下列测定条件下的典型值：静止空气中，环境温度从 $50 \sim 25^{\circ}C$ 变化时，热敏电阻的温度变化至 $34.2^{\circ}C$ 所需时间，NTC热敏电阻为轴向引

脚、径向引脚型，在出厂状态下测定。

5) 额定功率 (P_m , 也称最大允许功率): 是指 NTC 热敏电阻在环境温度为 25°C , 相对湿度为 $45\%\sim 80\%$, 大气压为 $0.87\sim 1.07\text{bar}$ 的技术条件下, 热敏电阻长期连续工作所允许消耗的功率。在此功率下, 电阻体自身温度不超过其最高工作温度 T_m , 所允许的最大功率

$$P_m = \delta(T_m - T_0) \quad (1-19)$$

式中: δ 为耗散系数; T_m 为最高工作温度; T_0 为环境温度。

6) 最大运行功率 (P_y): 是使用热敏电阻进行温度检测或温度补偿时, 自身发热产生的温度上升容许值所对应功率 (JIS 中未定义)。容许温度上升 $t^{\circ}\text{C}$ 时, 最大运行功率 P_y 可由下式计算

$$P_y = t \times \delta \quad (1-20)$$

7) 测量功率 (P_m): 热敏电阻在规定的环境温度下, 电阻体受测量电流加热引起的阻值变化相对于总的测量误差来说可以忽略不计时所消耗的功率。一般要求阻值变化大于 0.1% , 则这时的测量功率 P_m 为

$$P_m = \frac{8}{1000\alpha} \quad (1-21)$$

8) 最高工作温度 ($T_{\max}$): 在规定的技术条件下, 热敏电阻能长期连续工作所允许的最高温度。即

$$T_{\max} = T_0 + \frac{P_n}{8} \quad (1-22)$$

式中: T_0 为环境温度。

9) 最大稳态电流: 在环境温度 25°C 时允许施加在热敏电阻上的最大连续电流。

10) 静态伏安特性: 静态伏安特性是指 NTC 热敏电阻在建立了热平衡后电压与电流的关系, 由于热敏电阻的端电压与电流关系的变化幅度很大, 其伏安特性曲线常用双对数坐标来表示, 如图 1-4 所示。

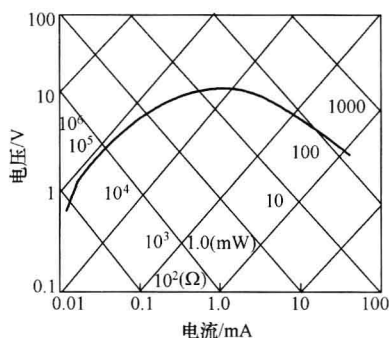


图 1-4 NTC 热敏电阻静态伏安特性

(2) PTC 热敏电阻主要参数。

1) 额定零功率电阻值 (R_{25} 或 R_n): 指的是在 25°C 条件下的零功率电阻, 除非特别说明另一温度。

2) 最小电阻 ($R_{\min}$): 是指从常温 25°C 开始, 温度曲线所对应的最小电阻值。

3) 最小阻值时的温度 ($T_{R_{\min}}$): 最小阻值 $R_{\min}$ 出现时所对应的温度。

4) 开关温度 (T_c): 当阻值开始呈现阶跃性增加时的温度称为开关温度, 即当阻值升至 2 倍最小电阻值 ($R_{\min}$) 时所对应的温度, 也称居里温度。

$$R_{T_c} = 2 \times R_{\min} \quad (1-23)$$

5) 最大工作电压 ($U_{\max}$): 在最高允许环境温度下, PTC 热敏电阻能持续承受的最大电压。

6) 最大电流 ($I_{\max}$): 指在最大工作电压下, 允许通过 PTC 热敏电阻的最大电流。

7) 不动作电流 (I_{nt}): 不动作电流即额定电流或保持电流, 指在规定的时间和温度条件下, 不导致 PTC 热敏电阻呈现高阻态的最大电流。

8) 动作电流 (I_t): 指在规定的时间和温度条件下, 使 PTC 热敏电阻阻值呈阶跃型增加时的最小电流。

9) 最大电压下的温度范围: PTC 在最大电压下仍能连续工作的环境温度范围, 一般为 $-10\sim +60^{\circ}\text{C}$ 。

10) 耗散系数 (δ): PTC 热敏电阻的功率耗散变化量与元件相应温度变化量之比称为耗散系数 ($\text{mW}/^\circ\text{C}$)。

$$\delta = P/(T - T_r) \quad (1-24)$$

11) 耐压值: 在规定的时间和温度条件下, PTC 热敏电阻能承受的最大电压, 超过这个电压, PTC 热敏电阻将击穿。

12) 热时间常数 (τ): 在静止的空气中, PTC 热敏电阻从自身温度变化到与环境温度之差的 63.2% 时所需的时间。

13) 残余电流 (I_r): 指在最大工作电压下, PTC 热敏电阻阻值跃变后, 热平衡状态下的电流。

14) 温度系数 (α): PTC 热敏电阻的温度系数定义为温度变化导致电阻的相对变化, 即

$$\alpha = (\lg R_2 - \lg R_1) / \lg(T_2 - T_1) \quad (1-25)$$

式中: R_1 、 R_2 所对应的温度即是 T_1 、 T_2 , 分别比居里温度高 10°C 和 25°C 。

温度系数越大, PTC 热敏电阻对温度变化的反应越灵敏, 阻值变化率越大。例: 常温 (25°C) 1000Ω 的热敏电阻, 温度每变化 1°C , 阻值变化 0.3%, 当温度由 25°C 升至 105°C 时, 阻值由 1000Ω 变为 $1000 \times [1 + 0.3\% \times (105 - 25)] = 1240\Omega$ 。

15) 表面温度 (T_{surf}): 指当 PTC 热敏电阻在规定的电压下并且与周围环境间处于热平衡状态已达较长时间时, PTC 热敏电阻表面的温度。

16) 额定电压 (U_N): 额定电压是在最大工作电压 U_{max} 以下的供电电压, 通常 $U_{\text{max}} = U_N + 15\%$ 。

(3) RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻参数。

1) 零功率电阻: 指在某一温度下测量 PTC 热敏电阻值时, 加在 PTC 热敏电阻上的功耗极低, 低到因其功耗引起的 PTC 热敏电阻的阻值变化可以忽略不计。PTC 热敏电阻应按零功率电阻分挡包装, 并在外包装标明阻值范围。耐压、耐流能力测试后, 每组样品中自身前后的电阻变化率极差

$$\delta = |(R_{\text{后}} - R_{\text{前}})/R_{\text{前}} - (R_{\text{后}} - R_{\text{前}})/R_{\text{前}}| \leq 100\% \quad (1-26)$$

2) 最小电阻 (R_{min})/最大电阻 (R_{max}): 在指定环境温度下, 例如 25°C , 安装到电路之前特定型号的 RF/WH 系列高分子热敏电阻的阻值会在规定的一个范围内, 即在最小值 (R_{min}) 和最大值 (R_{max}) 之间。

3) 最大电阻 (R_{max}): 在室温条件下, RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻动作或回流焊接安装到电路板中 1h 后测得的最大电阻值。

4) 初始电阻 (R_{min}): 在被安装到电路之前, 在环境温度为 25°C 的条件下测试, RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻的阻值。

5) 维持电流 (I_{hold}): 维持电流是 RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻保持不动作情况下可以通过的最大电流, 在限定环境条件下, 装置可保持无限长的时间, 而不会从低阻状态转变至高阻状态。

6) 动作电流 (I_{trip}): 在限定环境条件下, 使 RF/WH 系列高分子热敏电阻在限定的时间内动作的最小稳态电流。

7) 动作时间: 在环境 25°C 条件下, 给 PTC 热敏电阻加一个起始电流 (保证是动作电流), 通过 PTC 热敏电阻的电流降低到起始电流的 50% 时经历的时间就是动作时间。即过电流发生开始至热敏电阻动作完成所需的时间。对任何特定的 RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻而言, 流经电路的电流越大, 或工作的环境温度越高, 其动作时间越短。

8) 最大工作电流/正常工作电流: 在正常的工作条件下, 流过电路的最大电流。在电路的最大环境工作温度下, 用来保护电路的 RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻的维持电流一般来说比工作电流大。

9) 动作过程: RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻在过电流发生或环境温度增加时由低阻值向高阻值转变的过程。

10) 最大电流 ($I_{\max}$, 耐流值): 在限定状态下, RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻安全动作的最大动作电流, 即热敏电阻的耐流值。超过此值, 热敏电阻有可能损坏, 不能恢复。

11) 泄漏电流 (I_{res}): RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻锁定在其高阻状态时, 通过热敏电阻的电流。

12) 最大电压 ($U_{\max}$, 耐压值): 在限定条件下, RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻动作时, 能安全承受的最高电压, 即热敏电阻的耐压值。超过此值, 热敏电阻有可能被击穿, 不能恢复。

13) 最大工作电压: 在正常动作状态下, 施加于 RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻两端的最大电压。在许多电路中, 相当于电路中电源的电压。

14) 功率耗损: 是指 RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻动作后所消耗的功率, 通过计算流过热敏电阻的泄漏电流和热敏电阻端电压的乘积得到。

15) 高温、高湿老化: 在室温下, 测量 RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻在较长时间 (如 150h) 处于较高温度 (如 85℃) 及高湿度 (如 85% 湿度) 状态前后的阻值变化。

16) 被动老化测试: 室温下, 测量 RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻长时间 (如 1000h) 处于较高温度 (如 70℃ 或 85℃) 状态前后的阻值变化。

17) 冷热打击测试: 在室温下, RF/WH 系列高分子 PTC 热敏电阻的阻值在温度循环前后变化的测试结果。(例如, 在 -55~+125℃ 之间循环 10 次)。

18) PTC 强度 (β): PTC 热敏电阻应具有足够的 PTC 强度且不能出现 NTC 现象, 按下式计算 β

$$\beta = \lg R_{140} / R_{\text{室温}} \geq 5 \quad (1-27)$$

式中: R_{140} 、 $R_{\text{室温}}$ 为 140℃ 与室温时的额定零功率电阻值。

19) 失效模式试验: 在进行失效模式试验时, PTC 热敏电阻可能随试验处于失效状态, 允许的失效模式是开路或高阻状态, 但整个试验过程中不得出现低阻态或起明火。

20) 恢复时间: PTC 热敏电阻动作后的恢复时间应不大于 60s。

21) 动作特性: PTC 热敏电阻在耐压、耐流试验前、后都应进行不动作特性测试, 并且, 其中 R 为进行不动作特性试验时热敏电阻两端的电压 U 除以流过热敏电阻的电流 I , R_n 为额定零功率电阻初测值或复测值。

22) 工作温度范围: PTC 热敏电阻可以安全工作的环境温度范围。

23) 动作循环次数: 指某一特定型号的高分子 PTC 热敏电阻在正常动作以及经由特定方法定义的非正常动作条件下所能承受的最大的动作循环次数。

24) 动作循环: 在特定条件下, 高分子 PTC 热敏电阻动作至恢复的一个周期称为一个动作循环。

25) 断开后电阻 ($R_{L\max}$): 高分子 PTC 热敏电阻在一定的电流和电压下断开 1h 后, 恢复到初始状态时的阻值。

26) 触发功率 (P_b): 在 25℃ 环境下, PTC 在断开状态的耗散功率。

27) 击穿电压 (U_b): 击穿电压是指 PTC 热敏电阻最高的电压承受能力, PTC 热敏电阻在击穿电压以上时将会击穿失效。

28) 耐压值: 指在规定的的时间和温度条件下, PTC 热敏电阻能承受的最大电压, 超过这个电压, PTC 热敏电阻将击穿。

1.1.2 热敏电阻特性

热敏电阻 (Thermistor or Thermal Resistor) 是一种高温度系数的电阻体, 半导体热敏电阻简称热敏电阻, 热敏电阻是敏感元件的一类, 是一种新型的半导体测温元件。热敏电阻是利用某些

金属氧化物或单晶锗、硅等材料，按特定工艺制成的感温元件。热敏电阻可分为以下三种类型。

(1) 正温度系数 (Positive Temperature Coefficient, PTC) 热敏电阻。

(2) 负温度系数 (Negative Temperature Coefficient, NTC) 热敏电阻。

(3) 在某一特定温度下电阻值会发生突变的临界温度电阻 (CTR)。CTR 一般为负温度系数，但与 NTC 不同的是，在某一温度范围内，电阻值会发生急剧变化。

热敏电阻是利用半导体材料的电阻率随温度变化较显著的特点制成的一种热敏元件，它的测温范围在 $-50\sim 350^{\circ}\text{C}$ (一般热敏电阻仅适合 $0\sim 150^{\circ}\text{C}$)。半导体材料的电阻率温度系数有从 $-(1\sim 6)\%/^{\circ}\text{C}\sim 60\%/^{\circ}\text{C}$ 范围内的各种数值，它为金属材料的温度系数的 $10\sim 100$ 倍。热敏电阻就是利用半导体材料的电阻值随温度变化显著这一特性制成的测温传感器。它具有灵敏度高；热惯性小，反应速度快；体积小，使用方便；制作简单，价格低廉，易于大批量生产等优点。但它存在互换性差，热电特性为非线性的缺点。

热敏电阻的典型特点是对温度敏感，不同的温度下表现出不同的电阻值。正温度系数热敏电阻 (PTC) 在温度越高时电阻值越大，负温度系数热敏电阻 (NTC) 在温度越高时电阻值越低，它们同属于半导体器件。

热敏电阻是开发早、种类多、发展较成熟的敏感元器件，热敏电阻由半导体陶瓷材料组成。若半导体陶瓷材料中电子和空穴的浓度分别为 n 、 p ，迁移率分别为 μ_n 、 μ_p ，则半导体的电导为

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p) \quad (1-28)$$

因为 n 、 p 、 μ_n 、 μ_p 都是依赖温度 T 的函数，所以电导是温度的函数，因此可由测量电导而推算出温度的高低，并能做出电阻—温度特性曲线，这就是半导体热敏电阻的工作原理。

由于半导体热敏电阻有独特的性能，所以在应用方面它不仅可以作为测量元件 (如测量温度、流量、液位等)，还可以作为控制元件 (如热敏开关、限流器) 和电路补偿元件。热敏电阻广泛用于家用电器、电力工业、通信、军事科学、宇航等各个领域，发展前景极其广阔。

NTC 热敏电阻的阻值可以随温度的上升而下降，由于其温度系数非常大，所以可以检测微小的温度变化，因此被广泛应用在温度测量、电路软启动、控制与补偿，常规的热敏电阻温度传感器都是由 NTC 热敏电阻制成的。

PTC 热敏电阻的阻值可以随温度的上升而增大，由于其温度系数非常大，主要用在消磁电路、加热器、电路保护、电机启动、暖风机、风速测量、温度控制与补偿。

一、电阻—温度特性

热敏电阻的温度系数值远大于金属热电阻，所以灵敏度很高。同温度情况下，热敏电阻阻值远大于金属热电阻。所以连接导线电阻对其阻值的影响极小，适用于远距离测量。热敏电阻 R_t-t 曲线的非线性十分严重，所以其测量温度范围远小于金属热电阻。各种热敏电阻的 R_t-t 特性曲线如图 1-5 所示。

在图 1-5 所示的不同种类热敏电阻的 R_t-t 特性曲线中，曲线 1 和曲线 2 为负温度系数 (NTC 型) 热敏电阻曲线，曲线 3 和曲线 4 为正温度系数 (PTC 型) 热敏电阻曲线。由图 1-5 所示曲线可以看出，2、3 特性曲线变化比较均匀，所以符合 2、3 特性曲线的热敏电阻更适用于温度的测量，而符合 1、4 特性曲线的热敏电阻因特性变化陡峭则更适用于组成温控开关电路。

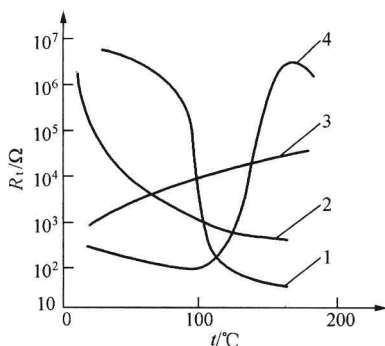


图 1-5 各种热敏电阻的特性曲线

1—突变型 NTC；2—负指数型 NTC；
3—线性型 PTC；4—突变型 PTC

二、电流—电压特性

(1) NTC 热敏电阻电流—电压特性。当通入 NTC 热敏电阻的电流小,几乎不使元件本身发热时,电阻值是一定值。当电流增加时,NTC 热敏电阻产生的焦耳热使 NTC 热敏电阻本身的温度上升 (self-heating),并与环境进行热交换。此电流—电压特性的典型应用为液位感测器,其基本原理是利用 NTC 热敏电阻在液体和空气中的热散失差异;如前所述,NTC 热敏电阻通以电流后产生焦耳热而升温,其热量传导至周围介质,平衡温度将随介质种类而不同。

(2) PTC 热敏电阻电流—电压特性。PTC 热敏电阻电流—电压特性一般是指在 25℃ 的静止空气中,加在热敏电阻两端的电压与达到热平衡的稳态条件下电流之间的关系,即 PTC 热敏电阻在实际工作状态下的电压—电流特性。

电流—电压特性对于 PTC 热敏电阻的应用十分重要,首先从电流—电压特性上可获得元件在非破坏情况下的最大电压 (击穿电压),因此可以合理地确定元件的工作电压,这一点对任何用途的 PTC 热敏电阻来讲都是适用的,其次元件的动作与不动作电流也能从电流—电压特性上反映出来,这对于正确设计和使用过流保护元件是相当重要的。

三、电流—时间特性

(1) NTC 热敏电阻电流—时间特性。NTC 热敏电阻的另一个重要参数是时间,亦即使 NTC 热敏电阻从某一电阻值改变到另一电阻值所需的时间。当开始加电压于 NTC 热敏电阻时是定电阻、定电流的状态,而在自热 (self-heating) 区域则电阻下降、电流增加。而其改变速率则和加于 NTC 热敏电阻上的功率和热敏电阻本身的材料、形状、结构及环境状况等因素有关。电流—时间特性既可用于抑制突波电流,又不至于对电路的总电流造成太大的影响,因此被广泛应用于电源供应器中,以抑制电源开启时引发的突波电流,如此可以防止熔丝的熔断与保护电子线路及其他电子元件,以提高电源供应器的可靠度。

(2) PTC 热敏电阻电流—时间特性。PTC 热敏电阻的电流—时间特性是指当 PTC 热敏电阻两端加上额定工作电压时,流过元件的电流 I 与时间 t 之间的关系。开始加电压瞬间的电流称为启动电流,通电过 1~3s 的电流称为阻尼电流,平衡时的电流 I_p 称为残杂电流,电流—时间特性是作为消磁电阻器、电动机启动器和过流保护器件等应用的重要特性。

四、热敏电阻的非线性特性

热敏电阻由于物理结构的原因,导致其非线性较大,因此在使用时要进行线性化处理。线性化处理虽然能够改善热敏电阻的特性曲线,但是比较复杂。为此,在要求不高的一般应用中,常做出在一定的温度范围内温度与阻值成线性关系的假定,以简化计算。在使用热敏电阻检测温度时,给热敏电阻通以恒定的电流,电阻两端就可测到一个电压,然后通过下式求得温度

$$T = T_0 - KU_T \quad (1-29)$$

式中: T 为被测温度; T_0 为与热敏电阻特性有关的温度参数; K 为与热敏电阻特性有关的系数; U_T 为热敏电阻两端的电压。

根据这一公式,如果能测得热敏电阻两端的电压,再知道参数 T_0 和 K ,则可以计算出热敏电阻的环境温度,也就是被测的温度,这样就把电阻随温度的变化关系转化为电压随温度变化的关系。

五、CTR 热敏电阻特性

临界温度热敏电阻 CTR (Critical Temperature Resistor) 具有负电阻突变特性,在某一温度下,电阻值随温度的增加急剧减小,具有很大的负温度系数,构成 CTR 的材料是钒、钽、锶、磷等元素氧化物的混合烧结体,是半玻璃状的半导体,也称 CTR 为玻璃态热敏电阻。CTR 的骤变温度随添加锗、钨、钼等的氧化物而变,这是由于不同杂质的掺入使氧化钒的晶格间隔不同造

成的。若在适当的还原气氛中五氧化二钒变成二氧化钒，则电阻急剧变大；若进一步还原为三氧化二钒，则急变消失。产生电阻急变的温度对应于半玻璃半导体物性急变的位置，因此产生半导体—金属相移。

通常 CTR 热敏电阻用树脂包封成珠状或厚膜形使用，其阻值在 $1\text{k}\Omega\sim 10\text{M}\Omega$ 之间。CTR 热敏电阻随温度变化的特性属剧变型，具有开关特性，当温度高于居里点时，其阻值会减小到临界状态，突变的数量级为 $2\sim 4$ 。因此又称这类热敏电阻为临界热敏电阻。为满足不同条件下的使用要求，通过对材料成分的调整便可得到不同温度特性的 CTR 热敏电阻。图 1-6 给出了由一些不同材料制成的 CTR 热敏电阻的温度特性曲线。由于 CTR 热敏电阻温度特性存在剧变性，因而不能像 NTC 热敏电阻那样用于宽范围的温度控制，只能在特定的温区内使用。

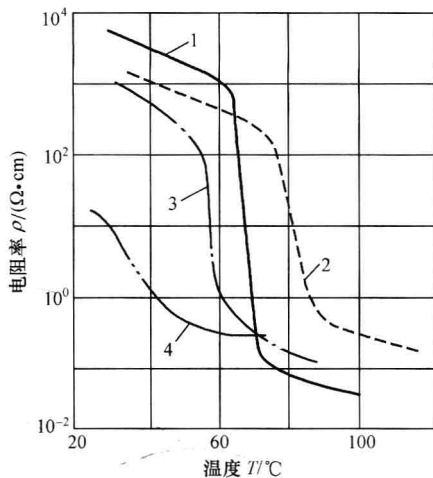


图 1-6 CTR 热敏电阻器的 $\rho-T$ 特性曲线

1— $\text{V}_{76}\text{Sr}_{16}\text{P}_{11}$ ；2— $\text{V}_{75}\text{Ge}_{10}\text{P}_5\text{Sr}_{10}$ ；
3— $\text{V}_{90}\text{Fe}_{20}\text{P}_{20}$ ；4— $\text{V}_{89}\text{W}_{11}\text{P}_{10}$

1.2 热敏电阻结构及工作原理

1.2.1 热敏电阻结构与分类

一、热敏电阻结构

热敏电阻主要由热敏探头、引线、壳体构成，热敏电阻一般做成二端器件，但也有构成三端或四端的。二端和三端器件为直热式，即直接由电路中获得功率。四端器件则是旁热式的。根据不同的要求，可以把热电阻做成不同的形状结构，热敏电阻的外形结构如图 1-7 所示。

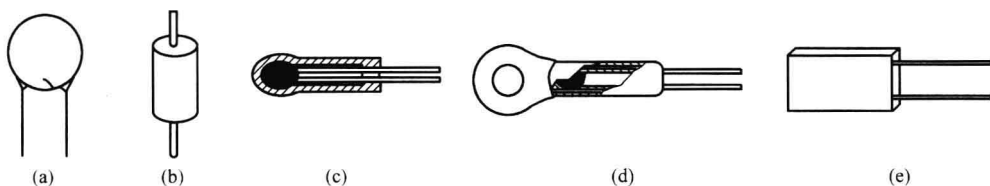


图 1-7 热敏电阻的外形结构

(a) 圆片型；(b) 柱型；(c) 珠型；(d) 箔装型；(e) 厚膜型

正温度系数热敏电阻是用钛酸钡 (BaTiO_3)、锶 (Sr)、锆 (Zr) 等材料制成的，属直热式热敏电阻。其电阻值与温度变化成正比关系，即当温度升高时电阻值随之增大。在常温下，其电阻值较小，仅有几欧姆~几十欧姆；当流经它的电流超过额定值时，其电阻值能在几秒钟内迅速增大至数百欧姆~数千欧姆以上，广泛应用于彩色电视机消磁电路、电冰箱压缩机启动电路及过热或过电流保护等电路中，还可用于电驱蚊器和卷发器、电热垫、取暖器等小家电中。

负温度系数热敏电阻是用锰 (Mn)、钴 (Co)、镍 (Ni)、铜 (Cu)、铝 (Al) 等金属氧化物 (具有半导体性质) 或碳化硅 (SiC) 等材料采用陶瓷工艺制成的。其电阻值与温度变化成反比关系，即当温度升高时，电阻值随之减小，广泛应用于电冰箱、空调、微波炉、电烤箱、复印机、打印机等家电及办公产品中，作温度检测、温度补偿、温度控制、微波功率测量及稳压控制用。

二、热敏电阻分类

按结构及形状分为圆片形（片状）、圆柱形（柱形）、圆圈形（垫圈形）等多种热敏电阻。

按温度变化的灵敏度分为高灵敏度型（突变型）、低灵敏度型（缓变型）热敏电阻。

按受热方式分为直热式热敏电阻、旁热式热敏电阻。

按温变（温度变化）特性分为正温度系数（PTC）、负温度系数（NTC）热敏电阻。

1.2.2 热敏电阻工作原理及特点

热敏电阻的基本电气特性是其电阻值随温度变化而改变，热敏电阻自身温度会随周围温度或电流通过热敏电阻而导致的自热而改变。如在温度测量、控制和补偿的应用中，要求热敏电阻自耗功率维持在最小，免得引起自热。当周围温度保持不变时，热敏电阻的阻值是热敏电阻自耗功率的函数，此时热敏电阻温度升高到高于环境温度。

在有些工作条件下，温度可升高 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，电阻可降到低电流条件下电阻值的千分之一。在有些应用领域可利用热敏电阻自身加热特性。在自热状态下，热敏电阻对改变热敏电阻的热传导率的任何条件都是热敏感的，如果散热速率可理想地固定不变，则热敏电阻对功率输入是敏感的，因而，热敏电阻适合于电压电平或功率电平控制场合。

一、正温度系数热敏电阻的工作原理

正温度系数热敏电阻以钛酸钡（ BaTiO_3 ）为基本材料，再掺入适量的稀土元素，利用陶瓷工艺高温烧结而成。纯钛酸钡是一种绝缘材料，但掺入适量的稀土元素如镧（La）和铌（Nb）等以后，变成了半导体材料，被称半导体化钛酸钡。它是一种多晶体材料，晶粒之间存在着晶粒界面，对于导电电子而言，晶粒间界面相当于一个位垒。

当温度低时，由于半导体化钛酸钡内电场的作用，导电电子可以很容易越过位垒，所以电阻值较小；当温度升高到居里点温度（即临界温度，此元件的“温度控制点”一般为钛酸钡的居里点，为 120°C ）时，内电场受到破坏，不能帮助导电电子越过位垒，所以表现为电阻值的急剧增加。因为这种元件具有未达居里点前电阻随温度变化非常缓慢，具有恒温、调温和自动控温的功能，只发热，不发红，无明火，不易燃烧，可应用于交、直流电压（ $3\sim 440\text{V}$ ）场合，使用寿命长，非常适用于电动机等电器装置的过热检测。

一种材料具有 PTC 效应仅指此材料的电阻会随温度的升高而增加，如大多数金属材料都具有 PTC 效应。在这些材料中，PTC 效应表现为电阻随温度增加而线性增加，这就是通常所说的线性 PTC 效应。经过相变的材料会呈现出电阻沿狭窄温度范围内急剧增加几个至十几个数量级的现象，即非线性 PTC 效应。多种类型的导电聚合体会呈现出这种效应，如高分子 PTC 热敏电阻。这些导电聚合体对于制造过电流保护装置来说非常有用。

PTC 热敏电阻在 $-40\sim 250^{\circ}\text{C}$ 区域内保持阻—温的线性变化，从而简化电路。目前，普遍的 PTC 正温度热敏电阻的阻温特性是突变性的，线性区域很窄，通常用于电路的过流保护，不能用于温度检测、温度补偿电路。

二、负温度系数热敏电阻的工作原理

NTC 泛指负温度系数很大的半导体材料或元器件，所谓 NTC 热敏电阻就是负温度系数热敏电阻。负温度系数热敏电阻是以氧化锰、氧化钴、氧化镍、氧化铜和氧化铝等金属氧化物为主要原料，采用陶瓷工艺制造而成的。这些金属氧化物材料都具有半导体性质，完全类似于锗、硅晶体材料，体内的载流子（电子和空穴）数目少，电阻较高；温度升高，体内载流子数目增加，自然电阻值降低。NTC 热敏电阻在室温下的变化范围在 $100\sim 1\,000\,000\Omega$ ，温度系数为 $-2\%\sim -6.5\%$ 。负温度系数热敏电阻类型很多，按温度范围分为低温（ $-60\sim 300^{\circ}\text{C}$ ）、中温（ $300\sim 600^{\circ}\text{C}$ ）、高温（ $>600^{\circ}\text{C}$ ）三种，有灵敏度高、稳定性好、响应快、寿命长、价格低等优点，广