

# NTC 热敏电阻温度传感器

胡润峰

文章编号：1006-883X (2001) 07-0026-04

## 一、前言

在工农业生产、国防、科研以及办公设备自动化领域中，温度是一种十分重要的数据，温度传感器是对温度敏感具有可重复性和规律性的一种传感器，在所有温敏元件中，热敏电阻占有极为重要的位置，占整个温敏元件总量的几乎 40%，根据阻值随温度变化的特性，热敏电阻可分为两种，一种电阻随温度升高而减小，叫负温度系数热敏电阻 (NTCR)，另一种电阻随温度升高而增大，叫正温度系数热敏电阻 (PTCR)，本文主要讲述 NTC 热敏电阻温度传感器的制作机理和应用。

## 二、NTC 热敏电阻

### 1、NTC 热敏电阻材料的研制

通用型 NTC 热敏电阻由 Mn-Co-Ni-Fe-Cu 等过渡金属氧化物的 2~4 种组分，采用陶瓷工艺烧结而成。材料的特性与配方

**摘要：**本文介绍 NTC 热敏电阻温度传感器的制作机理和应用，并介绍了 NTC 热敏电阻的性能及其材料的研制。

**关键词：**NTC 热敏电阻、温度传感器

中各氧化物的组成比例、烧成条件、退火条件等密切相关。NTC 材料的一个很重要的特性是电阻率和  $B$  值在相当宽的范围内能基本保持一致，有利于保证产品的一致性，但这类 NTC 材料在选材时受到材料的稳定性、烧成性、一致性以及材料与辅助材料间的热膨胀系数的匹配和成本等的限制。通过在一些过渡金属氧化物中加入铬、锆、铝等金属氧化物或 SiC 等非金属化合物，来控制电阻率和  $B$  值，以增加 NTC 的稳定性和提高工作温度。材料的薄膜化使 NTC 热敏电阻向膜热敏电阻方向发展。

### 2、热敏电阻的性能

随着对检测温度精度要求越来越高，以及测量环境要求越来越苛刻，高精度高可靠 NTC 热敏电阻就应运而生。目前 NTC 热敏电阻以日本最为领先，其精

密 NTC 热敏电阻的特点是：尺寸小 (0.6×0.6mm)，阻值宽 (1kΩ~1MΩ)，阻值精度±1%， $B$  值精度比较高(±1%~±2%)；响应时间为 2~15s。我国 NTC 热敏电阻目前的阻值精度一般为±5%， $B$  值精度为±3%，时间常数十几秒。

90 年代日本石冢电子株式会社推出三种高精度 NTC，其主要指标如表 1 所示。

| 型号 | 阻值范围<br>kΩ | 电阻误差 | 热时间常数<br>s | 工作温度<br>°C |
|----|------------|------|------------|------------|
| AT | 1~50       | ±1%  | 15         | -50~110    |
| ET | 2~200      | ±3%  | 3          | -40~110    |
| GT | 1~100      | ±3%  | 7          | -50~300    |

高精度型 AT 系列热敏电阻，是在超净室中用稳定、均质的片式热敏电阻和特制的引线框架，采用自动生产线组装，其阻值和  $B$  值的精度均可达到

±1%。在电子体温计中采用的是高响应、高灵敏度的 ET 系列热敏电阻，在空气中，热时间常数可达到 3.2s 的高响应速率。GT 型热敏电阻，用厚膜成形法制作电极，玻封，外形尺寸为 0.66mm 的矩形片，用 0.15×0.18 镀镍引线架固定后，元件和引线部分，在高温下用合金熔接，然后用熔融玻璃密封，一般的珠式热敏电阻允许误差为 +5%，B 精度为 ±3%。而 GT 热敏电阻值误差为 ±3%，时间常数 7s，与高灵敏度珠式相同，但其它参数的偏差小于珠式热敏电阻，热耗散常数约为 0.6W/°C。日本芝浦电子公司在 90 年代初推出的 PSB-H 系列，阻值精度和 B 值精度都可达到 ±1%，玻璃外壳封装，尺寸为 φ2.5mm，长 4.7mm。

### 3、NTC 热敏电阻的发展方向

作为中高温下应用的热敏电阻，必须具备以下条件：

热敏电阻材料自身稳定，电极材料稳定，密度高与引出线结合力强；

热敏电阻、电极引出线以及封装材料间热膨胀系数匹配；

引线、封装材料耐热且稳定；

封装材料在高温下有良好的绝缘性；

较高的耐热性、耐冲击性和可靠性。

高精度、高可靠 NTC 主要用于静电复印机、自动化设备、

热打印头、锅炉、热水器等作温度控制检测。这种精密 NTC 热敏电阻近年来在汽车上也得到新的应用；除用于测定水温、汽车空调外，还用在测定排出气体的温度、提高燃料的利用率，用于汽车发动机电子喷油系统中。所以，NTC 热敏电阻，除了满足控制系统的高精度要求外，还要高可靠、耐恶劣环境。根据 94 年 JEE 报导，Shibaura 公司在 PSB-H 型号的基础上又开发一种高精度、高可靠 NTC 热敏电阻 NS11 型，它也是玻璃封壳封装，为了提高可靠性，在两个电极之间增加了陶瓷绝缘装置。NS11 的性能在高温废气等恶劣环境下，仍保持 PSB-H 那样，工作寿命可长达十年。

目前市场迫切需要可靠、高精度、高耐热性的 NTC 热敏电阻，如汽车上检测排气温度用的热敏电阻，工作温度为 400°C~500°C，检测石油液化气用的温度传感器的工作温度也相当高。对高温热敏电阻的迫切性日益增加。Mn-Co-Ni 系的热敏电阻最高工作温度大概是 300°C，为了提高工作温度，正在试验添加 ZrO<sub>2</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等氧化物和 SiC 等非氧化物的高温 NTC 材料。

日本 TDK 已经开发出 500°C 左右使用的 NTC 热敏电阻，有添加 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 氧化物和非氧化物两类，其 B 值 200K~2500K 和 8000K，元件的结构是玻璃封

装的径向型，所用的玻璃也是新研制的。这种高温 NTC 热敏电阻可用于办公自动化设备、高速打印机热头，主要检测 100°C 以上温度。对汽车、热风机、空调机等温度检测用的 NTC，应用有高响应性和高精度（阻值误差为 ±1%）。家用热水器，电饭煲等用价廉的玻璃密封型高温 NTC。由于电子产品应用的例行安全测量，很多实例证明，在电子器件中使用热敏电阻后，将使产品的性能明显提高。

矩形片式 NTC 热敏电阻最早用于摄像机（Video cameras）中，作温度补偿之用。目前主要用在汽车电话和移动电话中、作晶振补偿和二次电池充电的过流保护器。在过去几年中，片式元件热敏电阻以每年超过 20% 的速度增长。今后消费品中对片式 NTC 热敏电阻的要求是精度更高、响应速度更快和互换性更好的热敏电阻。日本在以往单片式 NTC 热敏电阻的基础上采用先进工艺，开发出多层（独石式）的热敏电阻，这种独石结构的热敏电阻的灵敏度和可靠性都很好，一种小型的用于测量排气（exhaust）NTC 热敏电阻的工作温度为 300~650°C，有抗 1000°C 温度冲击的能力，响应速度 <10s。

### 三、NTC 热电阻温度传感器的制作机理

NTC 热敏电阻温度传感器

芯片的主要成份为过渡金属氧化物，热敏粉料在高温（1000°C~1300°C）中长时间烧结，形成多晶结构的半导体陶瓷，中温（100°C~250°C）老化以稳定其性能，经由精密设备分割成微小的基片，再根据生产需要进行各种形式的包封。NTC 热敏电阻温度传感器芯片的多晶结构是一种稳态结构，NTC 热敏半导体陶瓷材料呈现电阻特性，且阻值随温度的变化符合指数规律，其最大的缺点也在于它的非线性。一般需要经过线性化处理，使输出电压与温度关系基本上成线性关系。热敏电阻线性化电路较多，图 1 是一种简单的线性化电路及 R-T 特性曲线。

在测量温度范围不大时，可获得较满意的结果。

设  $T_L$  为温度的下限， $T_H$  为测温的上限， $T_M$  为测温范围的中点，其相应的电阻值为  $R_L$ 、 $R_H$  及  $R_M$ 。 $R_L$ 、 $R_H$  及  $R$  可由特性曲线中获得或实测获得。串联在热敏电阻中的  $R$  的最佳值为：

$$R = R_M(R_L + R_H) - 2R_L R_H / R_L + R_H - 2R_M \quad (1)$$

这里值得一提的就是材料常数（通称  $B$  值）的大小直观地反映了 NTC 热敏电阻的阻值随温度变化的快慢程度——变化率  $\Delta R/\Delta T$  如图所示， $B$  值的大小与温度变化率  $\Delta R/\Delta T$  成正比。

$$B \propto \Delta R / \Delta T$$

$$R = Ae^{B/T} \quad (T \text{ 以 K 表示}) \quad (2)$$

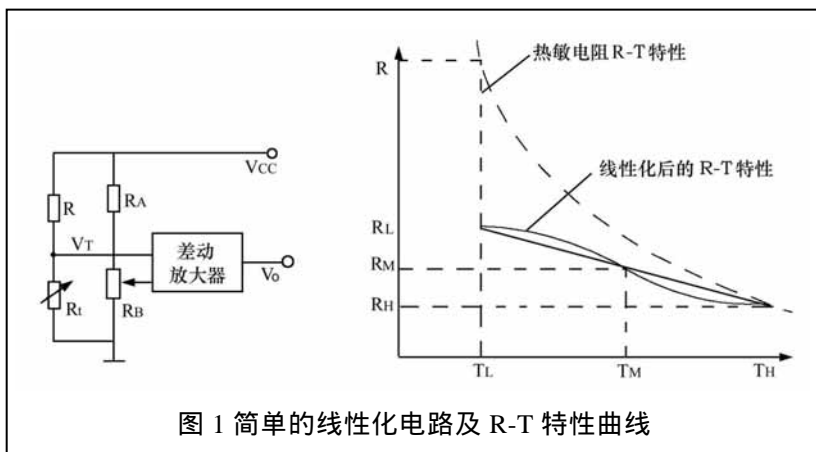


图 1 简单的线性化电路及 R-T 特性曲线

$$\text{式中, } \begin{cases} \Delta T = T_1 - T_2, \\ \Delta R = R_1 - R_2 \end{cases} \quad (3)$$

$B$  值的大小，通常采用两个温度点及其阻值来表示，数学表达式为：

$$\frac{Bt_1}{t_2} = \frac{\ln R_1 - \ln R_2}{1/T_1 - 1/T_2} \quad (4)$$

在式(4)中， $T_1$ 、 $T_2$  分别为两个温度点的温度（单位：开尔文）。 $R_1$ 、 $R_2$  分别为两个温度点  $T_1$  和  $T_2$  所对应的电阻值。国内外习惯用 B25/50 & B25/85 来表示 NTC 热敏电阻的  $B$  值。那么式(4)可简化为：

$$\frac{B25}{50} = \frac{3853.887}{\ln(R25/R50)} \quad (K) \quad (5)$$

$$\frac{B25}{85} = \frac{1779.707}{\ln(R25/R85)} \quad (K) \quad (6)$$

对整条材料而言，显然用 B25/85 和 B25/50 有所不同，因为  $B$  值对一种材料常常不是恒定的常数，存在一定的偏差（即精度），一般意义的高精度除阻值的高精度外，还必须有  $B$  值的高精度（ $\leq \pm 2\%$ ），才称得上是高

精度的 NTC 热敏电阻。电源电压的变动会影响输出，所以必须采用稳压电源。一般的热敏电阻参数中仅提供 25°C 的标称电阻（有 5%~10% 误差）。因此，在确定  $T_L$ 、 $T_H$  后， $R_L$ 、 $R_M$ 、 $R_H$  要实测较为准确。如果使用单片机开发的产品，来用高精度 NTC 温度传感器，其测控温度范围较高，测控精度也较高，线性补偿用查表法，能较好的跟踪固有的  $R/T$  特点曲线。但并不是有了好的线性度，就能达到测控温的高精度，还与温度传感器本身的阻值精度及  $B$  值精度有关。以目前高精度的玻封二极管式热敏电阻温度传感器为例，一般规律如表 2 所示。

| 阻值精度  | 测控精度   |
|-------|--------|
| ±0.5% | ±0.2°C |
| ±1%   | ±0.3°C |
| ±2%   | ±0.5°C |
| ±3%   | ±1°C   |
| ±5%   | ±1.3°C |

#### 四、应用

采用陶瓷工艺与半导体工

艺相结合,制成的陶瓷半导体高精度 NTC 热敏电阻温度传感器,具有一致性好,可互换性强的特点,这种特点的具体体现就在于 B 值及精度,如果 B 值精度超过  $\pm 2\%$ ,则测控温精度就会明显的降低。若选用  $R_{25} \pm 3\%$ ,  $B_{25/85} = 3950K \pm 2\%$  或  $\pm 3\%$ 。在  $70^\circ\text{C}$  时,有:

$$|\Delta T_1| = \left| \frac{\pm 3\%}{(3950 \pm 2\%)/(273.15 + 70)^2} \right|$$

$$\Delta T_1 = \pm 0.877 \sim \pm 0.913^\circ\text{C}$$

$$|\Delta T_2| = \left| \frac{\pm 3\%}{(3950 \pm 3\%)/(273.15 + 70)^2} \right|$$

$$\Delta T_2 = \pm 0.868 \sim \pm 0.922^\circ\text{C}$$

在  $150^\circ\text{C}$  时,按公式(2)计算得:

$$\Delta T_1 = \pm 0.89 \sim \pm 0.93^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = \pm 1.32 \sim \pm 1.40^\circ\text{C}$$

由上述计算结果可知,相同阻值精度,不同 B 值精度,在同一温度点所带来的测控温精度明显不同。一般来讲, B 值精度相差不大,在低温较窄的温区,测控温精度相差不显著,若测控温范围在  $150 \sim 250^\circ\text{C}$  或  $-50 \sim 0^\circ\text{C}$ ,因 B 值精度低而造成的测控温偏差是无法忽略的,且不谈电路本身的系统误差。

温度传感器若用于温度的快速响应测量,这就需对其外包装进行甄别和选择,根据传感器所处环境的不同,通常有芯片的玻璃封装和芯片的树脂封装两种基本形式,同时有可能再外封金属壳或塑料壳等,以便安装。金属封装中以紫铜壳导热最快,铝壳次之,塑壳最差,当然

如果对感温速度的要求不太高,以上几种外壳都不失为极佳导热、散热的外壳材料。

NTC 热敏电阻温度传感器最令线路工程师们担心的还是一致性和互换性,而对于高精度的 NTC 热敏电阻温度传感器一致性的主要表现为:同批与不同批的产品具有相同的 B 值及精度、相同的阻值及精度,只要保证了这一点,不仅同一厂家产品具有良好的一致性和互换性,不同厂家的产品也可互换。

高精度的 NTC 热敏电阻温度传感器的参数选择是根据本身的电路设计而决定的,由于长期以来受国外产品的影响,似乎某种产品只能用一种参数的热敏电阻(除已掩膜好的 IC 外),其实不然,无论热敏电阻随温度如何变化,其本身在不发热的额定工况下,符合所有普通电阻适应的电气规律,它所输出的仅为电阻信号,这就为设计人员提供了线路上自由选择的机会,不必拘泥于所谓的“经典参数”,国外的 NTC 产品除阻值系列外, B 值也因生产厂家的不同而不同。

### 五、结论

随着电子工业的迅速发展和国民生活水平的不断提高,人们对电子产品的需求越来越大,尤其与电子控制测温有关的产品,对电子产品精、薄、巧、轻的要求,机械式控温已日益显现出局限性,高精度 NTC 热敏电阻传

感作为测控温的关键部件,以其体积小、测控温精度高、连续工作温度范围宽(一般在  $-50 \sim 300^\circ\text{C}$ ),正在成为热门货。

### Negative Temperature Coefficient Resistant (NTCR) Temperature Sensors

**Abstract:** This paper introduces the properties, mechanism and application of Negative Temperature Coefficient Resistant (NTCR) temperature sensors, as well as the research and development of NTCR material.

**Keywords:** Negative Temperature Coefficient Resistant, Temperature sensor.

### 作者简介

胡润峰:中国自动化控制系统总公司第五工程部,北京朝阳区团结湖北路 2 号(100026)

读者服务卡编号 008