

温度检测器的原理是基于金属随温度的变化而导致电阻的变化，也是工业部门最常用的温度传感器。

最常见的温度电阻是铂和镍。历史上第一个传感器是由 100Ω 电阻的铂制成的，也被称为 PT100。

马杜公司在温度测量方面使用的是铂 PT500。

## 工作原理

所有的金属都随着温度的变化电阻也随之变化。随着温度的升高，金属的原子振动的振幅也随之升高，同时也阻止自由电子的流动，从而电阻增强。

在很小的温度范围内，电阻的改变可以被看成是线性的，可用下面的公式表示：

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

**R<sub>0</sub>**      0°C 时的阻值  
**t**            温度 [°C]  
**α**            电阻的温度系数

电阻温度系数 α 是由构成电阻的每一个物质（金属）的本省特性决定的。一部分所选的金属的温度系数如下表所示。

物质	电阻系数 [ohm · m]	线性温度系数 α [%/K] @ 273K
镍(Ni)	6.842 · 10 <sup>-8</sup>	0.5866%
铁(Fe)	9.579 · 10 <sup>-8</sup>	0.5671%
钼(Mo)	5.225 · 10 <sup>-8</sup>	0.4579%
钨(W)	5.491 · 10 <sup>-8</sup>	0.4403%
铝(Al)	2.826 · 10 <sup>-8</sup>	0.4308%
铜(Cu)	1.664 · 10 <sup>-8</sup>	0.4041%
银(Ag)	1.591 · 10 <sup>-8</sup>	0.3819%
铂(Pt)	10.59 · 10 <sup>-8</sup>	0.3729%
金(Au)	2.349 · 10 <sup>-8</sup>	0.3715%

所选金属的温度系数

因为电阻值很容易测量，而电阻值随温度的变化这个现象，使得生产高重复性测量的温度传感器更为简单。最适合的称为温度传感器的材料是那些抗腐蚀的，它们有着高电阻系数并且有着很高的 α 系数。正因如此，镍和铂称为现在最常见的传感器材料。

实际中，温度和电阻严格来说并不是线性的关系。这代表 α 系数并不是常数，而是随着温度的变化而变化。

## 铂的电阻值与温度的非线性变化的公式

我们可以判断铂电阻的电阻变化公式。

为了更精准，使用到两个公式（根据温度的范围）。

在温度范围为 0 – 850 °C，为一个二次函数。在零下温度范围为 -200 °C – 0 °C，传感器的非线性有所增加，使用到一个更为复杂的四次方程。这两个公式如下所示：

温度在 0 – 850°C

$$R_t = R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2)$$

温度在 -200°C – 0°C

$$R_t = R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot (t - 100 \text{ °C}) \cdot t^3)$$

**R<sub>0</sub>**      0°C 时的阻值  
**t**            温度 [°C]  
**A**            3.9083 °C<sup>-1</sup>  
**B**            - 5.775 · 10<sup>-7</sup> °C<sup>-2</sup>  
**C**            - 4.183 · 10<sup>-12</sup> °C<sup>-4</sup>

## 如已知电阻 R，求温度的反函数

通过下方程，可以通过已知电阻求 Pt100 的温度。此公式因电阻 范围的不同有两种情况：小于 R<sub>0</sub>（小于 0°C）和大于 R<sub>0</sub>（大于 0°C）。

电阻大于  $R_0$  的公式

$$t = \frac{-R_0 \cdot A + \sqrt{R_0^2 \cdot A^2 - 4 \cdot R_0 \cdot B \cdot (R_0 - R)}}{2 \cdot R_0 \cdot B}$$

当电阻大于  $R_0$  的公式 - Pt100 传感器的公式

$$t = p \cdot R_{100}^3 + q \cdot R_{100}^2 + r \cdot R_{100} + s$$

除 Pt100 传感器之外，其他传感器必须替换为：

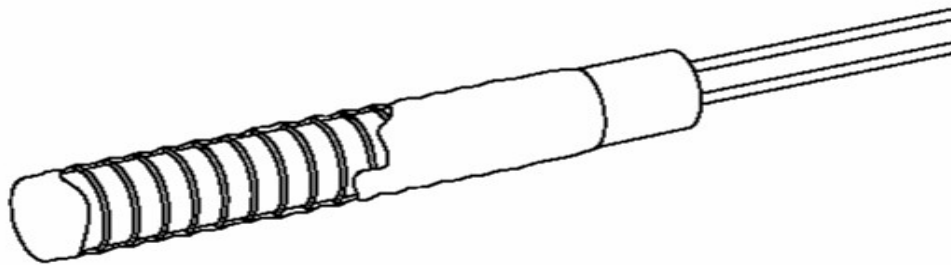
$$R_{100} = \frac{R}{R_0} \cdot 100$$

$R$  传感器阻值[Ω]  
 $R_0$  在 0°C 时的阻值

$R$  传感器阻值[Ω]  
 $R_{100}$  Pt100 的阻值[Ω]  
 $R_0$  0°C 时的阻值  
 $p$   $-5.67 \cdot 10^{-6} \text{ °C} \cdot \Omega^3$   
 $q$   $2.4984 \cdot 10^{-2} \text{ °C} \cdot \Omega^2$   
 $r$   $2.22764 \text{ °C} \cdot \Omega^{-1}$   
 $s$   $-242.078 \text{ °C}$

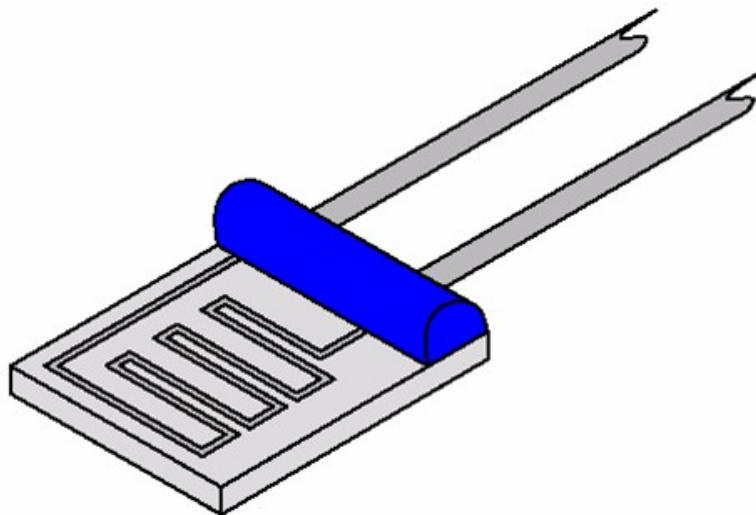
## PTxx 传感器的结构

铂制的电阻式温度检测器原本是由铂线缠起来。由于铂的高价格和低电阻系数使得低电阻系数的传感器大量生产-从而使 PT100 流行起来。典型的线制电阻的结构如下图所示。



线制电阻的结构

近来使用溅射法生产电阻变得越来越流行，它可以生产阻值为 500,1000 和 2000 欧的 PT 传感器。他们被称为 PT500，PT1000 和 PT2000。并且，这种类型的传感器需求的铂的含量也更少了。典型的溅射铂传感器的结构如下图所示。



使用溅射法制作传感器的结构图

## PT 传感器的类型

PT 传感器有着很多不同的版本，不同于其他的在以下方面：

1. 电阻的制造方法
2. 传感器外壳的类型
3. 精准等级
4. 电子连接的类型
5.  $R_0$

## 1. 电阻的制造方法

基于上述的制造方法，可以分为线型传感器和溅射型传感器。

## 2. 传感器外壳的类型

基于传感器包装，可以分以下类型的传感器：

- 没外壳



- 有电子仪器类型的外壳



- 用线密封在金属外壳内



- 带连接头的常规出厂外壳



## 3. 精准等级

基于精准性，我们可以分以下等级：

- AA – 最精准
- A
- B
- C – 相对最不精准

## 4. 电子连接的类型

基于电子连接，可以分为：

- 两根线的连接
- 三根线的连接
- 四根线的连接

## 5. $R_0$ 阻值

基于  $R_0$  阻值（在  $0^\circ\text{C}$ ），可以分为：

- PT100
- PT500
- PT1000
- PT2000

### PTxx 电阻式传感器的优点

- 结构简单。
- 高重复性的特质。
- 大范围的温度测量。
- 可靠性和持久性。

### PTxx 电阻式传感器的缺点

- 相对而言低敏感性（电阻会随温度变化而发生些许变化）。
- 由于低电阻可能无法避免使用 3 根线或 4 根线的传感器（阻值的计算包含线的阻值）。
- 需要通过电流来进行测量-导致自热现象。
- 非线性的特质。