

# 第 2 章 温度传感器

## 2.1 关于温度的单位

我国法定计量单位是以国际单位制为基础,根据我国的情况,加选了 15 个非国际单位制的单位构成。其中包括国际单位制的基本单位 7 个,这 7 个基本单位中,有一个量为热力学温度,其符号为  $T$  或  $\theta$ ,单位名称为开[尔文],单位符号为 K。热力学温度是根据热力学原理定义的。对热力学温度,过去有过一些其他名称,例如,绝对温度、开氏温度等现已不再继续使用。规定水的三相点(水、水蒸气和冰共存的状态,不包含空气)热力学温度的  $1/273.16$ ,为热力学温度单位开[尔文]。

国家标准 GB 3102.4《热学的量和单位》中还规定了另一个量为摄氏温度,摄氏温度是 SI 中的一个导出量,其单位名称是摄氏度。

摄氏温度  $t$  按下述公式定义

$$t = T - T_0$$

式中: $t$  为摄氏温度; $T$  为热力学温度; $T_0$  为 273.15 K。

摄氏温度的符号为  $t$  或  $\theta$ 。“摄氏度”是表示摄氏温度时用来代替[开尔文]的一个专用名称。根据上面的定义可知,热力学温度的 273.15 K 就是摄氏温度的  $0\text{ }^\circ\text{C}$ 。

有人将  $20\text{ }^\circ\text{C}$  读为“摄氏 20 度”,这种读法把一个单位名称分开,其中插入数值的读法很不恰当,“摄氏度”应作为一个整体使用;在书写符号  $^\circ\text{C}$  时,也不应把小圈放到数字的右上角,必须使小圈在“C”的左上角,这也是因为  $^\circ\text{C}$  是一个整体。

用热力学温度表示人的体温是 310.15 K,用摄氏温度表示时,应为

$$t = 310.15 - 273.15 = 37\text{ K} = 37\text{ }^\circ\text{C}$$

人们习惯了后一种温度表示,保留摄氏温度这个量,就是为了满足日常生活的需要。

## 2.2 温度传感器的分类

温度传感器的种类和工作温度范围见表 2-1,就发动机控制用传感器来说,测试范围非常宽,为  $-40\text{ }^\circ\text{C} \sim 1\,000\text{ }^\circ\text{C}$ ,而且只用简单的回路就能得到电信号输出,所以基本上来说,不采用弹性、颜色及光线式温度传感器。从表 2-1 可以看出,用一种传感器难以覆盖很宽的温度范围,所以需要按使用目的选定传感器。

三种典型的温度传感器的特点见表 2-2。

表 2-1 温度传感器种类和工作温度范围

利用的物理量	温度传感器的种类	温度/°C				
		273	0	500	1 000	1 500
体积 (热膨胀)	气体温度计 玻璃温度计 双金属片 压力温度计					
电阻	铂电阻 热敏电阻 (NTC)  PTC CTR					
热电动势	热电偶					
磁性	软磁材料 铁氧体 Fe-Ni-Cu合金					
电容	BaSrTiO <sub>3</sub> 陶瓷					
晶体管特性	晶体管					
弹性	晶体振子 超声波温度计					
物质的颜色	指示温度的涂料 液晶					
热, 光辐射	辐射温度传感器 肉眼, 光传感器					
热噪声	电阻					

表 2-2 典型温度传感器特点

测量用部件	优 点	缺 点
热电偶	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可测定很小部位的温度;</li> <li>2. 可缩短滞后时间;</li> <li>3. 耐振动与冲击;</li> <li>4. 适于测定温度差;</li> <li>5. 测定范围宽</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 需要标准触点;</li> <li>2. 标准触点与补偿导线有误差;</li> <li>3. 在常温下,不注意修正时,难以得到较高的精度</li> </ol>

测量用部件	优点	缺点
金属 测温 电阻	1. 适于测定较大范围的平均温度; 2. 不需要标准触点等; 3. 与热电偶相比,常温左右的精度较高	1. 难以缩短滞后时间; 2. 在振动严重的场所下可能出现破损; 3. 受导线电阻的影响,需要修正
热敏电阻	1. 可测量很小部位的温度; 2. 可缩短滞后时间; 3. 灵敏度高; 4. 不能忽略导线电阻造成的误差; 5. 最适于测量微小的温度差; 6. 测量机构简单且价格低廉; 7. 因信噪比较高,所以对系统性计量工程来说经济性好	1. 因电阻与温度间的非线性程度较严重,有时需要做线性处理; 2. 有时需要互换用电阻; 3. 振动严重的场合可能会造成破损

一辆汽车上使用十几个温度传感器,下面先来说明温度传感器的工作原理,然后再对传感器的使用加以介绍。

### 2.3 金属热电阻

大多数金属导体的电阻都是随温度而变化的,而且具有正温度系数  $\alpha$ ,即温度越高,电阻越大,由此而称为“热电阻”。

纯金属的电阻除受温度影响之外,还受杂质含量的影响,这两个因素之间的相互作用比较小,电阻的温度系数很小而且也比较稳定,一般精度为  $(3\ 000 \sim 7\ 000) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。但是如表 2-3 所示,因其自身的电阻值很低,要想达到能够实用的电阻值,就需要制成非常细的金属丝或薄膜,若化学性质不稳定的话,还难以利用;此外还希望在晶格结构不变的范围内使用,所以目前,利用金属热电阻作传感器的,主要是 Ni 与 Pt。

表 2-3 金属的电阻率

金属种类	体电阻率/ $\times 10^{-8} \Omega, 20^{\circ}\text{C}$	平均温度系数/ $(\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})\ 0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$
Al	2.75	4 200
Au	2.4	4 000
Ag	1.62	4 100
W	5.5	5 300
Fe	9.8	6 600
Cu	1.72	4 300
Ni - Cr	109	1 000
Ni	7.24	6 700
Pt	10.6	3 900
Pt - Rh	22	1 400
Pd	10.8	3 700

在金属当中, Pt 的熔点较高, 化学性质稳定, 容易制得高纯度的材料, 在很广的温度范围内, 电阻大都是按线性变化, 所以很久以来, 就用铂( Pt )作标准的温度传感器。在精密测试时, 铂丝的电阻值与温度之间的关系, 可用下列近似式表示

$$R_T = R_0(1 + \alpha T - \beta T^2)$$

式中:  $R_T, R_0$  为温度分别为  $T$  和  $0$  °C 时铂的电阻值;  $\alpha$  为系数,  $3.9752 \times 10^{-3}/\text{°C}$ ;  $\beta$  为系数,  $5.880 \times 10^{-7}/\text{°C}$ 。

利用热电阻测量温度的依据是, 将被测温度下的电阻值与参考温度  $0$  °C 时的电阻值相比, 看其变化量有多少, 所以  $0$  °C 的阻值  $R_0$  十分重要, 原材料的纯度和制造工艺对  $R_0$  都有影响; 对测量温度有直接影响的另一个温度系数是电阻温度系数, 为便于比较, 一般常选用  $100$  °C 的电阻值与  $0$  °C 时电阻值的比值来表示

$$W(100) = \frac{R_{100}}{R_0}$$

式中:  $W(100)$  为铂的纯度;  $R_{100}$  为  $100$  °C 时铂的电阻值;  $R_0$  为  $0$  °C 时铂的电阻值。  $W(100)$  值越高, 表示铂丝纯度越高。

$\phi 50 \mu\text{m}$  铂丝的电阻值为  $50 \sim 100 \Omega$ , 在装车使用时, 此部件之外的线束阻值的变动也会影响到温度的测量, 即形成温度误差, 所以在线束较长的情况下, 就利用 3 线桥式接法以补偿引线形成的电阻。在现代的电控发动机上, 采用了热丝式空气流量传感器间接测定空气温度。热丝式空气流量传感器是将  $\phi 70 \mu\text{m}$  的 Pt 丝张挂在进气通道中; 也有采用骨架形的, 即将  $\phi 20 \mu\text{m}$  的 Pt 丝绕在  $\phi 0.5 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$  的陶瓷骨架表面上。更新型的, 还有将这种细丝制成约  $200 \text{ nm}$  的薄膜, 即逐渐演变成热膜形传感器。

镍丝电阻的温度系数约为  $6700 \times 10^{-6}/\text{°C}$ , 此值还是比较高的, 所以镍是制作低温用温度传感器的好材料, 以前就报导过: 将镍丝绕在骨架上, 或将含镍浆料烧成在基片上, 制作进气温度传感器及水温传感器; 也有制作镍膜传感器的。

## 2.4 热敏电阻

热敏电阻用陶瓷半导体材料制成, 一般说来, 这是一种温度系数很高的电阻材料。金属电阻与热力学温度成比例, 而陶瓷半导体的电阻与其呈指数关系。热敏电阻可分为正温度系数( PTC )热敏电阻器、负温度系数( NTC )热敏电阻器和临界温度热敏电阻器( CTR )、线性热敏电阻器。

大多数的热敏电阻具有负温度系数, 简称为 NTC 型热敏电阻, 其阻值与温度的关系, 可用下列公式表述

$$R_T = Ae^{B/T}$$

式中:  $R_T$  为温度  $T$  时的阻值,  $\Omega$ ;  $T$  为温度,  $\text{K}$ ;  $e$  为自然对数的底;  $A, B$  为取决于材质和结构的常数, 其中  $A$  的单位为  $\Omega$ ,  $B$  的单位为  $\text{K}$ 。

用曲线表示上述关系, 如图 2-1 所示, 温度越高, 阻值越低, 而且呈明显的非线性关系。

常数  $B$  可通过试验求出, 先测出温度  $T_1$  和  $T_2$  之下的两个电阻值  $R_{T_1}$  和  $R_{T_2}$

$$R_{T_1} = Ae^{B/T_1}, R_{T_2} = Ae^{B/T_2}$$

将两式相除得

$$R_{T_1}/R_{T_2} = e^{B(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2})}$$

$$\text{即 } \ln R_{T_1} - \ln R_{T_2} = B\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

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

根据上式的关系,有时把 NTC 热敏电阻的阻值变化规律写成下式

$$R_T = R_0 e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_0}\right)}$$

式中: $R_T$  为  $T$  (K) 时热敏电阻的阻值; $R_0$  为  $T_0$  (K) 时热敏电阻的阻值; $T_0$  为温度 273.15 K; $B$  为热敏电阻常数。

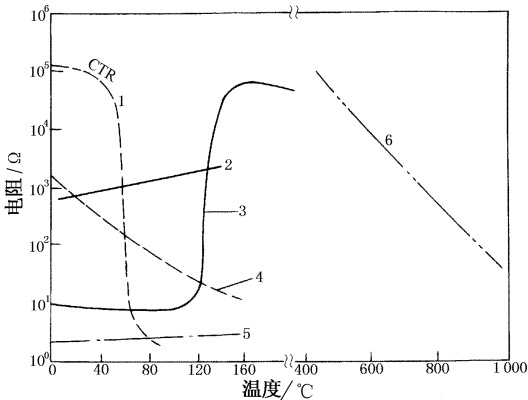


图 2-1 Pt 电阻与热敏电阻的温度特性

- 1—CTR; 2—硅系列 PTC; 3—PTC 热敏电阻;
- 4—低温用 NTC 热敏电阻; 5—金属热电阻 (Pt);
- 6—高温用 NTC 热敏电阻

热敏电阻在其本身温度变化 1 °C 时,电阻值的相对变化量,称为热敏电阻的温度系数,温度系数用  $\alpha_T$  表示,NTC 型热敏电阻的温度系数可按下式计算:

$$\begin{aligned} \alpha_T &= \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = \frac{1}{Ae^{B/T}} \frac{d(Ae^{B/T})}{dT} \\ &= \frac{1}{Ae^{B/T}} Ae^{B/T} \left(-\frac{B}{T^2}\right) = -\frac{B}{T^2} \end{aligned}$$

与金属热电阻相比,热敏电阻的阻值变化量要高 10 多倍,而且其电阻温度系数也不是常数,而是随温度变化的。因此,一般是把  $B$  (单位为 K) 看作是常数,来求出电阻温度系数的。这也说明, $B$  值越大,热敏电阻随温度变化的程度就越大。对一般常用材料来

说, $B$  值范围 2 000 ~ 10 000 K,常用值是 3 000 K 左右。

从前面的公式与说明中可以看出:随着温度的变化,热敏电阻阻值有很大的变化,从实用上来说,容易得到很大的信号变化。此外,与金属热电阻相比,很容易制出数 kΩ 至数百 kΩ 的热敏电阻,所以即便是加长引线,引线的电阻也可以忽略不计,这就是热敏电阻的优点。但另一方面,温度范围很宽时,因为阻值变化过大,用简单的电路难以测量,这是其缺点。热敏电阻的特点是:用很简单的电路可以检测某一特定点的温度,测试精度高;但想测量宽范围的温度时,用金属热电阻或热电偶好些。热敏电阻大致可分为两类,一类是用 MnO - NiO - CoO - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 制得的较低温度测量用热敏电阻,另一类是用 ZrO<sub>2</sub> 或 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系列材料制成的高温测量用热敏电阻。适于中温测量用的材料则很少。

低温测量用热敏电阻的材料主要有 MnO - NiO 系列, MnO - CoO - NiO 系列及 MnO - CoN 等,这些都属于迁移金属氧化物系列的 n 型陶瓷半导体材料。从此系列材料的常数  $B$  与室温下的阻值来看,它在测量与温度补偿领域有广泛的用途。在发动机控制上,它主要用于水温传感器、进气温度传感器等低温测量用传感器上。即用于测量 300 °C 以下的传感器上。SiC、LaCrO<sub>3</sub>、B<sub>4</sub>C 系列材料虽然属于中温测量用材料,但这些材料都难以烧结,所以很难形成批量且价格低廉的产品。表 2-4 中所列的是典型的热敏电阻元件的外形。电控发动机用传感器,往往是把传感器装入金属管壳中。

表 2-4 典型热敏电阻元件

元件形状	元件尺寸/mm	特点及用途
珠形 	$\phi 0.1 \sim \phi 2$ , 铂引线 $\phi 0.02 \sim \phi 0.2$	稳定性最好,用作测量通信设备等上的电路元件。输出功率小
圆盘形 	$\phi 2 \sim \phi 100$ ,厚度是直径的 $1/10 \sim 1/2$	适于批量生产,最适于作温度补偿元件。高温、高湿下性能不稳定,不适于精密测试,输出功率大
垫圈形 	$\phi 5 \sim \phi 50$ ,厚度是直径的 $1/10 \sim 1/2$	便于用螺钉安装,加散热器后可改变散热状态;可制出体积小、输出功率大的产品
杆形 管形 	$\phi 0.5 \sim \phi 20$ ,长度是直径的 $2 \sim 10$ 倍	杆形的可形成高阻;利用内部电极,管形可形成低阻;管内设置加热器则形成旁热式元件
薄膜形 梳齿形 	$1 \sim 5$ 的方形, 厚为 $0.3 \sim 0.6$ 膜厚 $5 \sim 10 \mu\text{m}$	因为是一层细密均匀的薄膜,所以均匀性、稳定性比珠形热敏电阻还好,适于批量生产
厚膜形 夹层形 	$3 \sim 10$ 方形 $t: 0.5 \sim 1$ 膜厚 $20 \sim 50 \mu\text{m}$	用漏印法可批量生产,除用作单个元件外,最适用于混合 IC 的温度补偿,稳定性好
芯片形 	$0.5 \sim 2$ 方形 $\times 0.2 t$	批量生产时成本低,采用玻璃封装稳定性好。与珠形热敏电阻类似,用于家电产品的温度检测
薄片形 	$0.5 \sim 1 \times 2 \sim 10$ $0.001 \sim 0.1 t$	热容量小,热时间常数小,可用于红外线检测装置

随着汽车排放法规的执行与不断地加严,人们迫切地要求能够对催化剂的异常高温随时报警,在这种背景下,厂家陆续地研制出多种高温用热敏电阻。前面讲过的热敏电阻的耐热容许温度仅达  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,高温热敏电阻采用的新开发出的材料,见表 2-5。

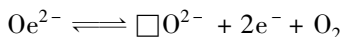
表 2-5 高温用热敏电阻材料

结晶系列	主要成分	特 点
萤石形 $\text{MO}_2$	$\text{ZrO}_2, \text{CaO}, \text{Y}_2\text{O}_3, \text{MgO},$ $\text{Nb}_2\text{O}_3, \text{ThO}_2$	在氧离子为导体、 $\text{ZrO}_2$ 处于稳定状态时没有结晶变态,通过改变固溶的稳定成分及其数量可改变其特性。 例: $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的阻值: $0.8 \sim 8\text{ k}\Omega$ , 常数 $B: 5\text{ }000 \sim 18\text{ }000\text{ K}$
尖晶石形 $\text{MM}_2'\text{O}_4$	$\text{MgO}, \text{NiO}, \text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$	熔点高,无结晶变态,由可固溶的尖晶石组成。 例: $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的阻值: $10 \sim 10^{17}\ \Omega$ 常数 $B: 2\text{ }000 \sim 17\text{ }000\text{ K}$

结晶系列	主要成分	特 点
尖晶石形 MM <sub>2</sub> 'O <sub>4</sub>	CoO, MnO, NiO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaSiO <sub>3</sub>	属以 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 为主要材料的尖晶石系列, 添加第三成分 CaSiO <sub>3</sub> 作烧结助剂, 添加 Co、Mn、Fe 等氧化物以调节电阻。 例: 700 °C 时的阻值: 0.9 ~ 500 kΩ 常数 B: 2 900 ~ 11 000 K
	NiO, CoO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	添加第三种成分 CaO、SiO <sub>2</sub> 、Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、MgO 以使组织稳定, 减小电阻值的变化。 例: 1 050 °C 时的阻值: 10 ~ 10 <sup>5</sup> Ω 常数 B: 15 000 ± 5 000 K
MFeO <sub>3</sub> 类化合物	BaO, SrO, MgO, TiO <sub>2</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	通过添加 TiO <sub>2</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 制成 NTC 热敏电阻, 作为稳定剂还增加碱土金属。 例: 500 °C 时的阻值: 0.1 ~ 9.2 kΩ
金刚石形 M <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MnO	通过添加第三种成分 MnO, 增大特性曲线的斜率, 防止电阻老化。 例: 600 °C 时的电阻为 4.5 kΩ 常数 B: 11 300 K

高温热敏电阻的 B 常数非常高, 其值为 10 000 ~ 15 000 K, 典型的 ZrO<sub>2</sub> - Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系列材料中, ZrO<sub>2</sub> 本身的熔点高达 2 800 °C, 因其耐热性好, 从实际应用角度来看, 这是一种最好的材料。

ZrO<sub>3</sub> 是典型的氧离子导体, 元件的电极上加有电压时产生下述反应, 形成了 O<sup>2-</sup> 离子的传导



在正极上进行的是右方向的化学反应, 在负极上进行的是左方向的化学反应。式中, Oe<sup>2-</sup> 表示晶格位置上的氧离子, □O<sup>2-</sup> 表示氧离子上的空晶格点, e<sup>-</sup> 表示电子。

这就意味着, 在测量热敏电阻的阻值时, 是利用元件向周围泵送氧气的。因此, 只有设法保证热敏电阻元件周围为稳定的 O<sub>2</sub> 时, 才能稳定地测量周围温度, 如果是仅看这一点的话, 还可以说这是非常好的高温热敏电阻。

与 O<sup>2-</sup> 这种离子导体相比, ZrO<sub>2</sub> 是一种电子传导型热敏电阻, 它是由耐热绝缘材料 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> 再添加具有电子传导性能的迁移金属氧化物而成。用这种系列材料生产元件, 整个陶瓷不是均匀的电阻坯料, 而是迁移金属氧化物熔化在绝缘母体材料中, 形成固溶体, 或者在晶粒边界析出, 而产生很复杂的化学反应。在高温烧结热敏电阻时, 随烧结时气氛的不同, 迁移金属可以形成各种原子价, 所得元件的特性会有很大差别。从这种意义上看, 至少从原理上来说, ZrO<sub>2</sub> 适用于制造高温传感器。

## 2.5 热电式温度传感器(热电偶)

将两种材质不同的金属导线连接在一起, 如图 2-2 所示, 当在 A、B 两点间形成温度差 ΔT<sub>AB</sub> 时, 两点间就会出现电位差 ΔV<sub>AB</sub>, 称这种现象为塞贝克效应。温差电动势温度传感器就

是通过测定  $\Delta V_{AB}$  来求出温度的。这种测量方法的特点是：如  $A$ 、 $B$  的材质均匀，其电势大小与沿热电极长度上的温度分布无关，仅取决于  $A$ 、 $B$  两端的温度差。因此，当用很细的金属丝且至测定端的触点又做得很小的话，就可以测定相当狭窄区域处的温度。将  $\Delta V_{AB}/\Delta T_{AB}$  之比称作热电偶的热电势率或塞贝克系数，对两种不同金属的组合来说，它是一项固定的数值，实际应用的热电偶见表 2-6。



图 2-2 热电偶的原理

表 2-6 热式温度传感器(热电偶)

热电偶名称	简称	国际分度	大致化学成分 质量分数		测量范围 /°C	优点	缺点
			正极	负极			
铂铑-铂	PR	R (PR)	Pt 87% + Rh 13%	Pt 100%	0 ~ 1 600 (1 450)	① 精度高，杂散度小不易老化； ② 耐氧化，耐化学药品性能好； ③ 可测 1 000 °C 以上的高温； ④ 电阻低； ⑤ 可作标准使用（特别是 S 型）	① 灵敏度差； ② 不适用于还原性气氛中； ③ 无法测定低于 0 °C 的温度； ④ 温差电动势的直线性不好； ⑤ 价格较贵
		S	Pt 90% Rh 10%	Pt 100%	0 ~ 1 600 (1 480)		
铂铑-铂铑	RH	B	Pt 70% + Rh 30%	Pt 94% + Rh 30%	600 ~ 1 700 (1 700)		
镍铬-镍铝	CA	K	Cr 10% + 微量元素 + Ni 90%	Al 2% + 微量元素 + Ni 98%	0 ~ 1 200 或 (1 260) - 200 ~ 0	① 温差电动势的直线性好； ② 1 000 °C 以下时不易氧化； ③ 在贱金属热电偶中稳定性好	① 不适用于还原性气氛中； ② 与贵金属热电偶相比长时间使用时变化较大； ③ 在贱金属热电偶中价格较高； ④ 阻值较高
镍铬-康铜	CRC	E	Cr 10% + Ni 90%	Ni 45% + Cu 55%	0 ~ 800 (870) - 200 ~ 0	① 现有热电偶中灵敏度最高； ② 与 J 型相比，耐热性好，耐腐蚀性强； ③ 与 K 种相比，价格较低； ④ 两极无磁性	—
铁-康铜	IC	J	Fe	Ni 45% + 康铜	0 ~ 750 (760)	① 可在还原气氛中使用； ② 与 K 型相比，灵敏度提高了 20%； ③ 价格比 K、E 低	① 目前的标准较乱，给使用带来不便； ② Fe 材易生锈； ③ 特性的离散性较大
铜-康铜	CC	T	Cu	Ni 45% + 康铜	0 ~ 350 (370) - 200 ~ 0	① 可测量非常低的温度； ② 价格便宜	① 最高工作温度较低； ② ⊕极与⊖极上的电阻有很大差别； ③ Cu 容易氧化

注：( ) 的数值为按美国标准协会标准测得的最高使用温度(°C)。



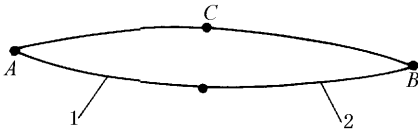


图 2-3 补偿导线  
1—热电偶;2—补偿导线

测量发动机主要用的是高温传感器,即从 PR、CA、CRC、CC 之中选用。实际常用的还是 CA 型,高温环境也用一部分 PR 型,后面解释时也主要是针对这两类而言。

从原理上讲,是按前面图 2-2 所示方式采用温差电动势温度传感器,但当检测 A 点到计量 B 点之间的距

离较远时,测量用线束的成本提高了,会出现因振动与弯曲引起的线束断开、电阻增大、与检测电路阻抗不匹配的问题等,因此,一般不采用图 2-2 所示的接线方法,而是采用图 2-3 所示的接线方法,在 A、B 之间低温部位的 B、C 之间采用耐热能力较低且价格低廉的低电阻导线,而且往往采用与热电偶温差电势特性很相似的补偿导线。典型的补偿导线见表 2-7。

表 2-7 典型的补偿导线

热电偶简称与代号		补偿导线的材质		温度范围/℃	容许差/℃
		+ 极	- 极		
RH	B	铜	铜	0 ~ 100	—
PR	R S	铜	以铜及与镍为主的合金	0 ~ 150	+3 -7
CA	K	以镍及铬为主的合金	以镍为主的合金	-20 ~ 150	±2.5
		铁	以铜及镍为主的合金	-20 ~ 150	±3.0
		铜	以铜及镍为主的合金	-20 ~ 100	±2.5
CRC	E	以镍及铬为主的合金	以铜及镍为主的合金	-20 ~ 150	±2.5
IC	J	铁	以铜及镍为主的合金	-20 ~ 150	±2.5
CC	T	铜	以铜及镍为主的合金	-20 ~ 150	±2.0

应按表 2-7 所列内容,根据各热电偶准备专用的补偿导线,并正确地使用补偿导线。因为利用温差电动势测量的是两点之间的温度差,所以就要保证一个测量点的温度为一定值,或者是一直测量那一部位的温度,并及时修正。前者多半是利用水-冰的混合液来保持 0℃ (即冰点式基准触点),后者有用晶体管与二极管的温差电动势的。但采用温差电动势法测量温度时,需要很复杂的控制电路,它包括有传感器——补偿导线——基准触点补偿——放大——线性放大,造价很高,虽然在测量发动机时常用这种方法,但在控制上用的不多。

(1) 铬镍-铝镍热电偶。这种热电偶的正极用含 Cr 约为 10% 的 Ni-Cr 合金,负极用含 Al 及 Mn 等仅为 2% 的 Ni 合金,这些都是贱金属,所以价格低廉,在工业上用的最多。

如图 2-4 所示,这种热电偶的输出电压比较高,而且在相当高的温度时也具有线性输出,所以不用特殊的变换器,用便携式记录器直接可测定电压。在 4 mV 左右时约为 100℃,可以直接读出,非常方便。但另一方面,正因为方便,也有很多难以操作之处,用简便方法求温度时容易出错。

在高温下长期使用铬镍-铝镍热电偶时,受氧化原因及周围气氛的影响,热电偶的组成改变,温差电动势的特性发生变化,为了尽量减少这种变化,利用在芯线表面形成一层以 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为主要成分的细密的黑色氧化膜起保护作用。这种氧化膜,在 N<sub>2</sub> 气体与 CO<sub>2</sub> 气体

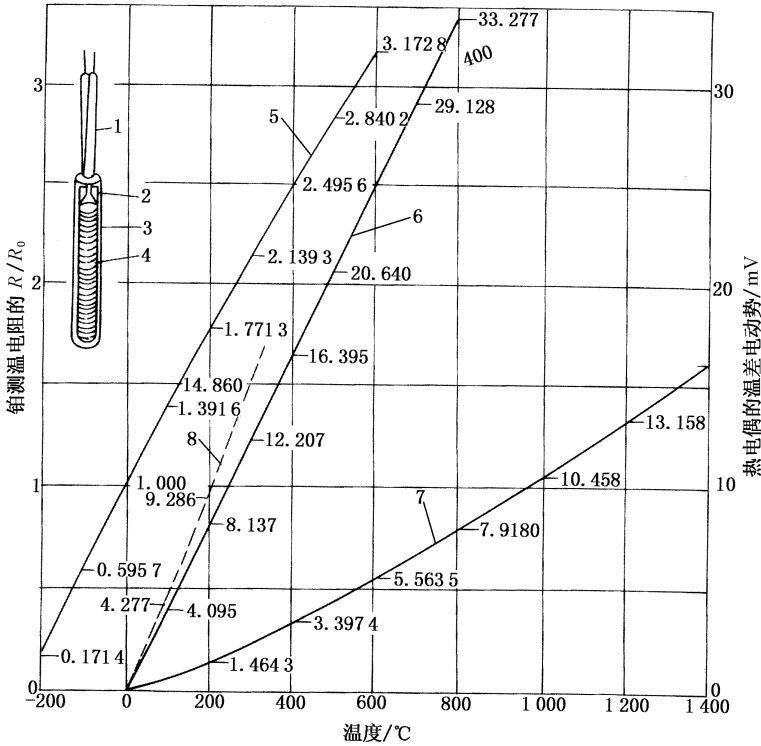


图 2-4 铂测温电阻与各种热电偶的温度特性

1—有保护层的测温元件;2—瓷架;3—玻璃;4—铂丝;5—铂测温电阻;  
6—铬镍-铝镍热电偶(CA);7—铂-铑热电偶(PR);8—康铜-铜铬合金(CC)

中也非常稳定,但在高温下长期使用时,Cr 的内部渐渐氧化,接合部位 Cr 的含量降低,输出电压逐渐升高。但是因为这种反应将决定扩散速度,细密的 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 层越厚,反应进行就越慢,不久就处于饱和状态。另一方面,H<sub>2</sub>、CO、C 的还原条件比较弱,一旦表面的氧化膜脱落 Ni 开始氧化时,Ni 就被腐蚀成多孔物质,再也起不到保护作用,急剧地出现氧化、腐蚀,热电偶上 Ni 的接合处的含量降低,输出电压急剧降低,见图 2-5 所示。此外,在 H<sub>2</sub> 气体的作用下,晶粒脆化,电阻增大,当用输入阻抗较低的表头测量时,容易形成负测量误差。

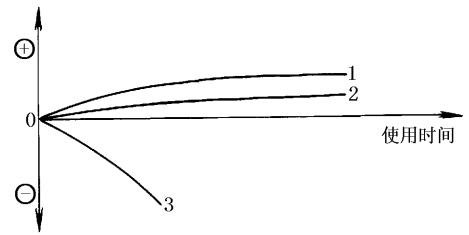


图 2-5 铬镍-铝镍热电偶的老化现象  
1—高温氧化老化;2—一般老化;3—还原异常老化

为了防止铬镍-铝镍热电偶的老化,可采取加粗线径或者加保护套的方法。有的保护套是不锈钢再填充 MgO 粉末而成,将这种热电偶称为铠装热电偶。铠装热电偶与裸线热电偶的线径与工作温度范围如表 2-8、表 2-9 所示,常用的  $\phi 0.65$  铬镍-铝镍热电偶的最高工作温度为 650 °C,但有的经验不足者使其反复工作于最高温度为 1 000 °C 的环境下,这时所测得的数据往往是错误的。当对这种热电偶加上保护套管之后,常用温度限值可以提高到 870 °C,但套管外径将达到  $\phi 3.2$ ,所以,响应性变差。实际上,热电偶的线径、保护套管的设计要视其使用方法,按经验决定。

表 2-8 铠装热电偶工作温度(在空气中)

铠装热电偶	铠装外径 /mm	芯线直径 /mm	铠装厚度	工作温度/°C			
				镍铬-镍铝	铁-康铜	铜-康铜	镍铬-康铜
	φ1.0	φ0.19	0.18mm	760	540	250	650
	φ1.6	φ0.30	0.25mm	870	650	250	760
	φ3.2	φ0.61	0.50mm	870	760	300	760
	φ4.8	φ0.91	0.64mm	870	760	350	870
	φ6.4	φ1.21	0.81mm	980	870	350	930

表 2-9 裸线热电偶工作温度(在空气中)

裸线热电偶	芯线直径	温度类型	工作温度/°C			
			镍铬-镍铝	铁-康铜	铜-康铜	镍铬-康铜
	φ0.32	常用最高温度	—	—	200	—
		过热最高温度	—	—	250	—
	φ0.65	常用最高温度	650	400	200	450
		过热最高温度	850	500	250	500
	φ1.00	常用最高温度	750	450	250	500
		过热最高温度	950	550	300	550
	φ1.60	常用最高温度	850	500	300	550
		过热最高温度	1 050	650	350	650
	φ2.30	常用最高温度	900	550		600
		过热最高温度	1 100	750		750
	φ3.20	常用最高温度	1 000	600		700
		过热最高温度	1 200	800		800

(2) 铂-铑(PR)热电偶。这种热电偶的正极上采用质量分数 10% 或 13% 的铂-铑合金,负极用铂,并将其分别简称为 PR10、PR13。增加了铑(Rh)的成分之后,电动势增大,耐热性能提高,但另一方面,在高温下 Rh 容易蒸发。因为这种热电偶的价格昂贵,所以虽有含 Rh30% 的,但只限于特殊用途。因此,这种热电偶老化的原因就是高温下 Rh 成分的蒸发,电动势逐渐降低。贵金属 Pt、Rh 的熔点分别高达 1 772 °C、1 963 °C,从耐氧化性能看,绝对比镍铬-镍铝热电偶性能好,所以一般用于高于 1 000 °C 时的测量。在测量温度长时间超过 800 °C 以及用作标准温度传感器时,最好采用铂-铑热电偶。

但铂-铑热电偶也不是万能的,在还原气体中容易脆化,特别是在还原时与 S、Pb、C 发生反应,形成低熔点化合物,易于熔断,或因脆化而容易造成断线,因此,在长期工作时,与镍铬-镍铝热电偶一样,最好加上保护套管。

铂-铑传感器的输出-温度特性如图 2-4 中所示,其为二次曲线,所以它难以像铬镍-铝镍那样,从毫伏刻度直接可换算成温度,要利用专用的线性放大器加以计算。

## 2.6 温度熔断器

纯金属的熔点是稳定值,可以作为基准温度值使用。按国际实用温度(IPTS),Sn、Zn、Ag、Au的凝固点分别为 231.9681 °C、419.58 °C、961.93 °C、1064.43 °C,此外 Pd、Pt 的熔点1 554 °C、1 772 °C 也是作基准使用的,但这些都是计量温度时作为标准用的。由于这些物质的熔点不能自由选择,在氧化还原时,熔断体稳定,不是达到某种程度以上时就没有流动性,所以从这两点看还不能作为熔断器使用。Pb - Sn 系列的低温焊锡仅能用于保护家电产品及其电路。为了得到适宜的熔点,就要利用含两种以上金属成分的合金,一般来说,不是制作特定化合物,而将两种金属混合时的典型特性如图 2-6 所示。图 2-6(a)是两种成分连续变化的固溶形,熔点随着混合比连续地变化。图 2-6(b)是将 A、B 两种混合后的熔点降低形,将 C 点叫作共熔点。这两个状态图存在着共同点,那就是,将两种材料混合后,只要不是制作特定的化合物,除共熔点之外没有明确的熔点,并都有液体与固体同时存在的区域,如图中 L + S 部分,在这一区域内,未熔化的成分漂混在已熔化的液体之中,呈半熔化状态,它将对熔断器的熔断状态产生影响。就纯金属、金属化合物及有共熔点的合金来说,其固体会一下子全部熔化成液体,若制作熔断器的话,其熔断状态好。

有代表性的汽车用温度熔断器所用合金的例子如图 2-7、图 2-8 所示。图 2-7 为 Cu - Mn 系列,图 2-8 中, Pd - Ag 与 Pd - Cu 为连续共熔系列,而其中的 Ag - Cu 为共熔系列。

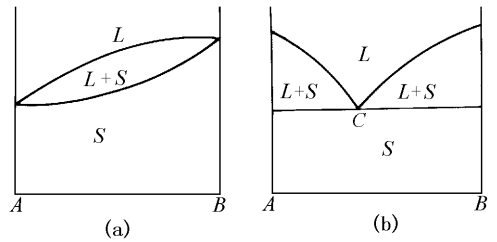


图 2-6 两种成分混合时的状态图  
L—液体;S—固体

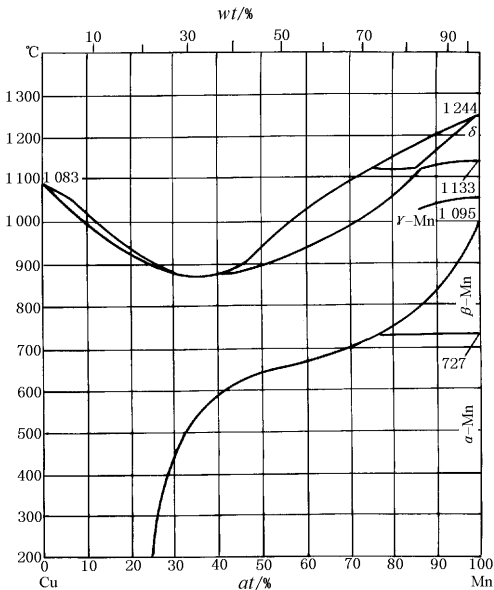


图 2-7 Cu - Mn 二元合金状态图

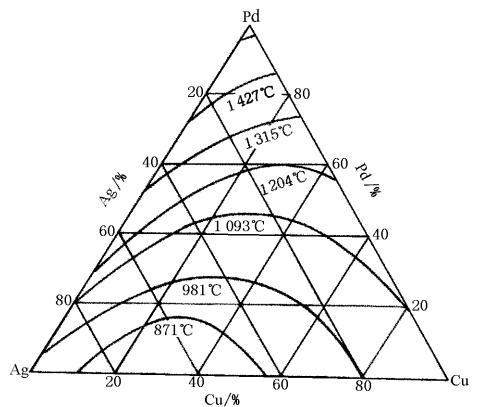


图 2-8 Ag - Cu - Pd 三元合金的液相状态图  
(曲线为等温线)

## 2.7 测量温度时的注意事项

### 2.7.1 表面温度的测定

测量温度时,大部分的误差是因测量时破坏了热传导的平衡而形成的,需测定的表面(规定点)与被测点的温度不同时,就无法实现准确的测量,见图2-9。实际上,当黏结剂的热传导率低于被测体的话,就会产生温度差,因此要尽可能使实际测量点靠近规定点。因为热量会从规定点传入实际测量点,并传至热电偶的芯线中,所以规定点的温度就会低于实际温度。与被测物体的热容量相比,若热电偶、黏结剂的热容量较大,达到不可忽略的程度时,这一影响就更大了。为了正确地测量表面温度,最好采用 $\phi 50\ \mu\text{m}$ 的极细热电偶,并尽量贴近规定点。

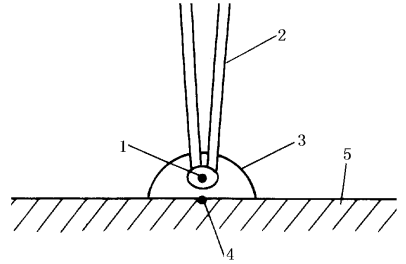


图2-9 表面温度的测量

1—实际测量点;2—热电偶;3—黏结剂;  
4—规定点;5—被测体

### 2.7.2 固体表面的影响

截面积为 $A$ ,周长为 $P$ 的温度传感器离开固体表面至流体中的误差 $\Delta T$ 可用下式表示(参见图2-10)

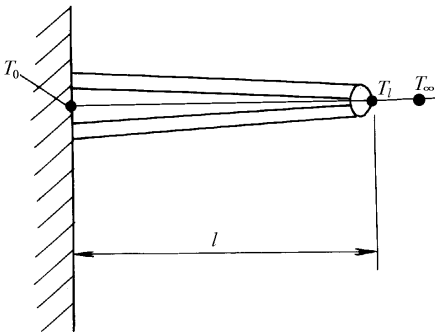


图2-10 采用温度计插管时的温度测量误差

$$\Delta T = T_l - T_\infty = \frac{T_0 - T_\infty}{\cosh ml}$$

$$m = hP/kA$$

式中: $h$ 为从流体至传感器的热传递系数; $k$ 为从传感器至固体表面的热传导系数。

由上两式可知,要想使 $\Delta T$ 小于1%,设计时保证 $ml$ 大于8就可以了。也就是说,加大 $l$ 或 $P/A$ 制成细长形就可以了。一般来说,做到是直径的10~20倍就足够了,但是从实际使用来讲,多半是垂直插到管中的,插入深度也有一定限度。铠装型热电偶的保护套管很薄,内部充填有隔热性能好的氧化镁,所以 $k$ 值很小, $m$ 值可达到很高数值,只要是直径的

5~10倍,就可以测出准确的数值,这就是铠装型热电偶的优点。

在流体为液体时,以及出现高速湍流时,因热传递系数 $h$ 很大,即使 $l$ 很短, $ml$ 值也比较高,所以误差很小。

### 2.7.3 响应性

温度传感器的响应性近似于1次滞后方式,即可用下式来表示

$$\frac{T_t - T_0}{T_\infty - T_0} = \exp(-t/\tau)$$

$$\tau = \frac{Wc}{hA}$$

式中： $\tau$ 为时间常数； $T$ 为温度； $t$ 为时间； $h$ 为热传递系数； $A$ 为传感器的表面积； $W$ 为传感器的质量； $c$ 为传感器的比热。

从图2-11中可以看出，要想用时间常数为 $\tau$ 的传感器正确地测出温度，就需要有时间常数5倍（ $5\tau$ ）以上的测量时间。从上式可以看出，时间常数是传感器的热容量（ $Wc$ ）与接受热量（ $hA$ ）之比，由此可知，用细长形传感器在高速气流下可以得到快速响应，反之，通过测定热容量已知物体的响应性，可以求出气流中的热传递系数。典型热电偶传感器放在炉内时的时间常数如图2-12所示。

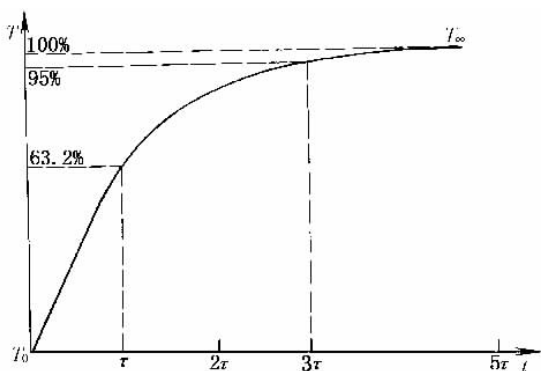


图2-11 温度传感器的响应特性

## 2.7.4 温度传感器的寿命预测

只要温度传感器的元件不是直接置于流体中，对温度传感器的寿命来说，仅考虑热老化就可以了。这时，与化学反应速度的原理相似，老化速度可用下式表示

$$\frac{\Delta R}{R} = A + B \lg t$$

$$\lg L = C + E_a/kT$$

式中： $\Delta R/R$ 为电阻或者是输出的变化率； $t$ 为时间； $L$ 为寿命； $A$ 、 $B$ 、 $C$ 为常数； $E_a$ 为活化能； $k$ 为玻尔兹曼常数。

下面举一个NTC型热敏电阻寿命估算的例子，如图2-13所示，以 $\Delta R/R = 3\%$ 来判断寿命时，若此热敏电阻一直都处于温度低于 $150^\circ\text{C}$ 的环境下时，可估算出其寿命超过 $10^{13}$  h。

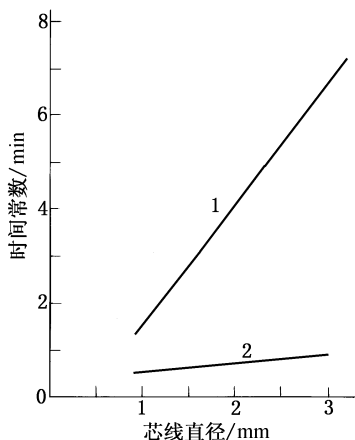


图2-12 热电偶的时间常数  
1—带金属保护套；2—带绝缘套管

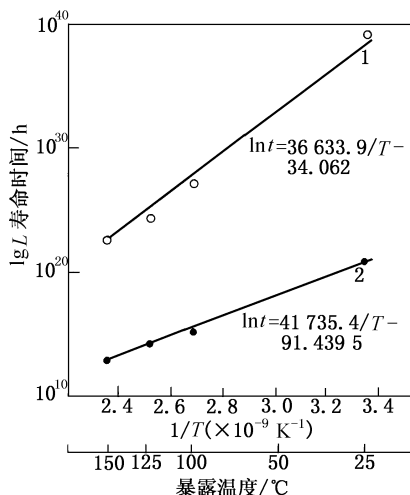


图2-13 暴露温度与寿命的估算  
1—热敏电阻A(100 k $\Omega$ )；2—热敏电阻B(5 k $\Omega$ )

采用这种估算方式时,很重要的前提条件是:故障机理、反应速度的数据库与实际使用的情况相同。以铬镍-铝镍热电偶为例,如图2-5所示,在氧化气体与还原气体下,表面保护膜的腐蚀方式根本不同,在实际应用时,需要充分加以注意。

## 2.8 温度传感器的实际应用

前面已经介绍了温度传感器的基本知识,下面来说明温度传感器在汽车上的实际应用情况。其中高温用传感器(主要是排气用温度传感器)是近几年出现的新型汽车用传感器,单独列出加以说明。丰田车2JZ-GE发动机上,传感器的排布状况如图2-14所示。

### 2.8.1 水(液)温传感器之一

采用热敏电阻作检测元件的水温传感器的结构如图2-15所示,可以说这是一种典型的水温传感器,主要用于电子控制式燃油喷射装置上检测冷却水温,它把温度的变化以电阻值变化的方式检测出来,随温度的不同电阻值发生很大的变化。热敏电阻式水温传感器特性的例子如图2-16所示,当水温较低时,电阻值较大,随着水温的升高,电阻值逐渐降低。

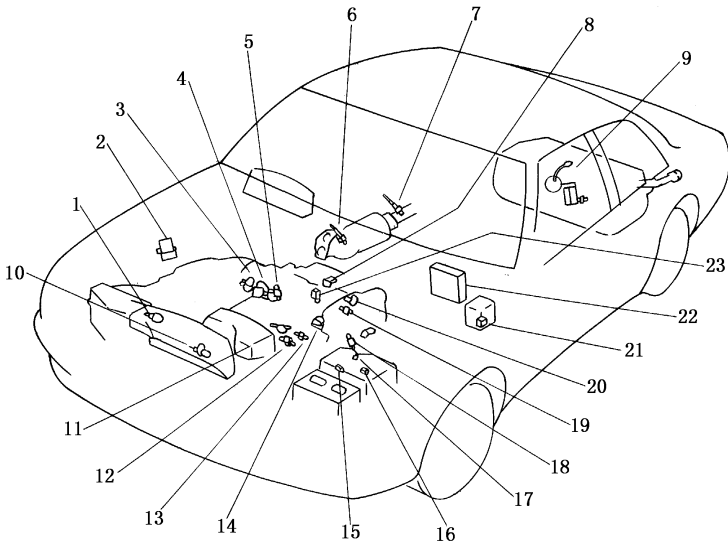


图2-14 丰田用2JZ-GE发动机上传感器的排布状况

- 1—进气温度传感器;2—点火器;3—副节气门位置传感器;4—ISCV(怠速控制阀);5—节气门位置传感器;  
6—O<sub>2</sub>传感器;7—排气温度传感器;8—真空传感器;9—燃油泵;10—曲轴位置传感器;11—机油控制阀;  
12—水温传感器;13、19—爆震传感器;14—自我诊断插座;15—EFI主继电器;16—回路继电器;  
17—EFI熔断器;18—可变进气控制用VSV(真空开关阀);20—凸轮位置传感器;  
21—燃油泵继电器;22—发动机控制用计算机;23—滤罐用VSV

在电子控制汽油喷射装置上,水温传感器的作用是,在冷却水温较低的冷机状态下,加浓空燃比,使发动机稳定地燃烧。在发动机为冷机时,如不能发出冷机状态信号,则空燃比变得稀薄,发动机处在不正常状态。反之,当发动机处于暖机状态时,若发出冷机状态信号,空燃比过浓,发动机仍处在不正常状态。

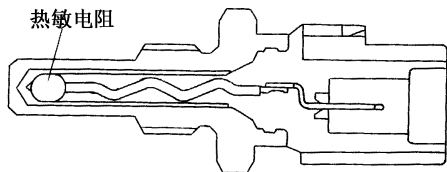


图 2-15 水温传感器的结构

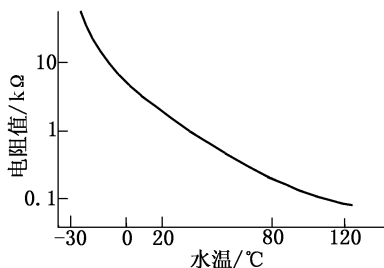


图 2-16 水温传感器特性的例子

## 2.8.2 水(液)温传感器之二

这种传感器所用检测元件也是热敏电阻,其结构如图 2-17 所示,在汽车上一般用于检测冷却水温、润滑油温度等,用于水温表上的例子如图 2-18 所示。热敏电阻用于发送信号部件上,它与接收部件的加热线圈串联,当水温较低时,因为热敏电阻的阻值较高,所以电路中的电流比较小,加热线圈的发热量较小,双金属片只弯曲一点点,指针指示于低温侧。当水温升高时,热敏电阻的阻值减小,回路中的电流增大,加热线圈的加热温度升高,双金属片弯曲度较大,指针指向高温侧。水温表用水温传感器的特性如图 2-19 所示。

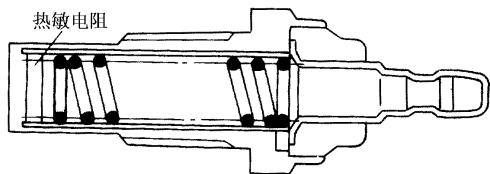


图 2-17 仪表用水温传感器的结构

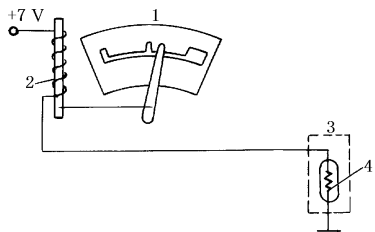


图 2-18 水温表用水温传感器的例子

1—接收部件;2—加热用线圈与双金属片;  
3—发送部件;4—热敏电阻

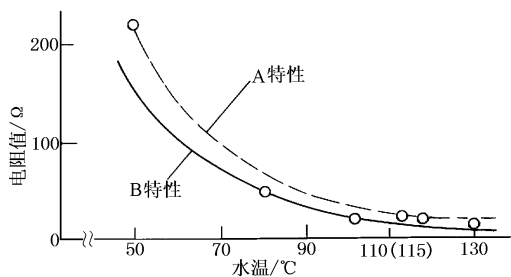


图 2-19 用于水温表上的传感器的特性

## 2.8.3 车外气温传感器

这种传感器用于检测车辆外部的空气温度。它采用的是防水结构,即便在淋水的环境中也可以使用。对这种传感器也充分考虑了它的热响应性,以保证在等待交通信号时不会检测到前方车辆排放气体的热量。

这种传感器的结构如图 2-20 所示,检测元件采用的是热敏电阻。车外气温变化时,传感器的阻值发生变化,温度升高时,电阻值下降;温度下降时,电阻值升高。

在汽车的微机控制空调系统上,利用这种传感器测

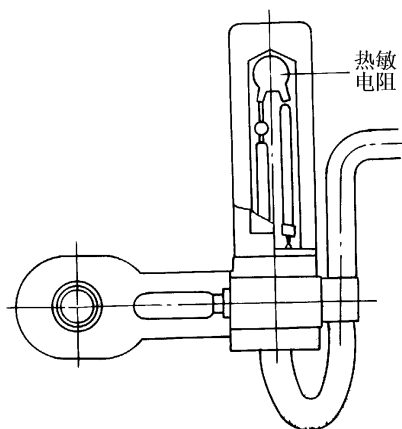


图 2-20 车外气温传感器的结构



量车外空气温度。微机控制空调系统的温度控制系统如图 2-21 所示。

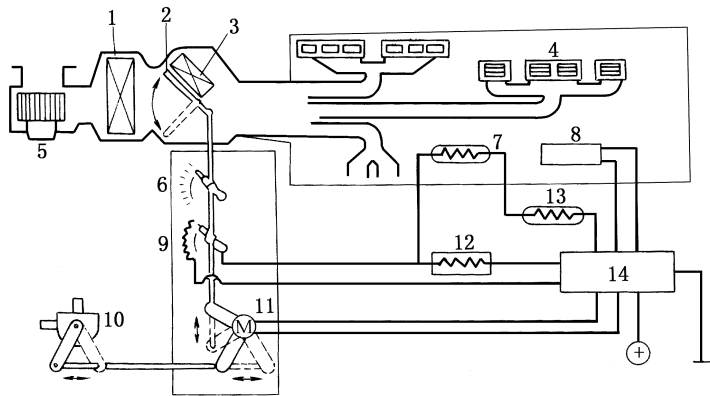


图 2-21 微机控制空调系统上的温度控制系统

- 1—蒸发器;2—空气混合挡板;3—热交换器;4—车厢内部;5—鼓风机;  
6—鼓风机控制开关;7—车内传感器;8—日照传感器;9—电位计;10—水泵;  
11—伺服电动机;12—设定电阻;13—车外气温传感器;14—放大器

将车内气温传感器、电位计及车外气温传感器串联,车外气温传感器的阻值随车外气温变化,这样,即便车外气温改变,也能保持车厢内的温度是一定的。车外气温传感器的特性如图 2-22 所示。

### 2.8.4 进气温度传感器

进气温度传感器的结构如图 2-23 所示,与前面讲过的传感器类似,检测元件采用的是热敏电阻。进气温度传感器的作用是检测发动机吸入空气的温度。在 L 型电子控制燃油喷射装置上,此传感器安装在空气流量传感器内。在 D 型电子控制燃油喷射装置上,它安装在空气滤清器的外壳上或稳压罐内。传感器内的热敏电阻的特性与水温传感器之一的热敏电阻特性相同。为正确地检测进气温度,用塑料制外壳将进气温度传感器保护起来,以防止安装部位的温度影响传感器。

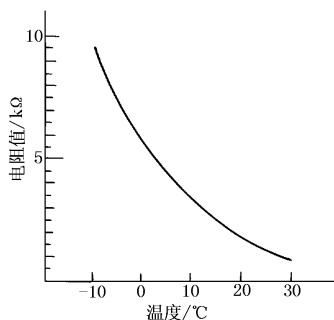


图 2-22 车外气温传感器的特性(举例)

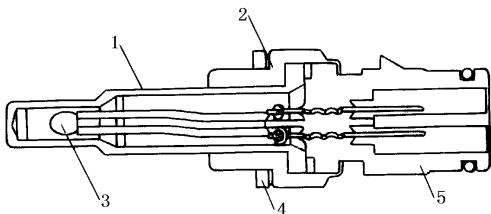


图 2-23 进气温度传感器的结构

- 1—绝缘套;2—外壳;3—热敏电阻;  
4—铜垫圈;5—防水插座

在电子控制汽油喷射装置上,将进气温度传感器的进气温度信号输入到电子控制器(ECU)中,根据温度的变化状况,利用 ECU 控制喷油量。进气温度传感器与汽油喷射系统之间关系的示意图如图 2-24 所示。进气温度传感器的特性如图 2-25 所示。

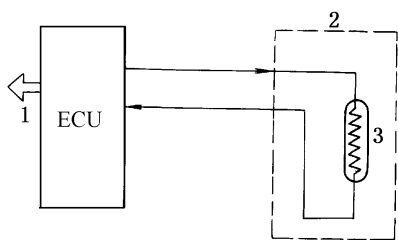


图 2-24 进气温度传感器与汽油喷射系统

1—喷油量控制信号;2—进气温度传感器;3—热敏电阻

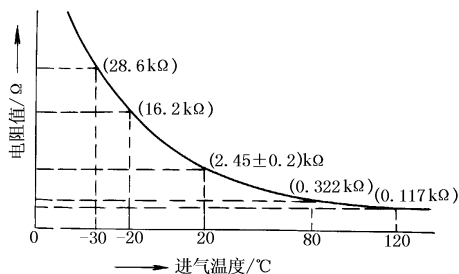


图 2-25 进气温度传感器的特性

## 2.8.5 热敏传感器

这种传感器也是用在电子控制式燃油喷射系统上,用于检测进气温度的。其上的检测元件与前面介绍过的其他温度传感器一样,也是采用热敏电阻。它最大的优点是:利用一个垫圈就可以很方便地安装在空气滤清器的壳体上。很多小客车上的进气温度都采用这种形式的进气温度传感器进行检测,其结构如图 2-26 所示。其安装于车上时的示意图如图 2-27 所示。采用热敏传感器检测进气温度的检测系统原理图如图 2-28 所示。热敏传感器的特性如图 2-29 所示。

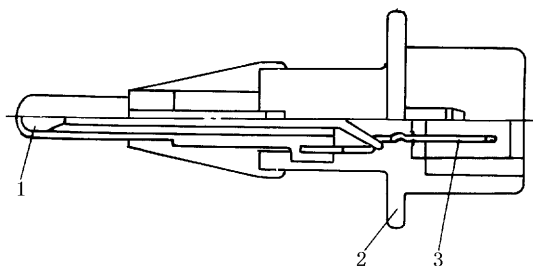


图 2-26 热敏传感器的结构

1—热敏电阻;2—外罩;3—接线端子

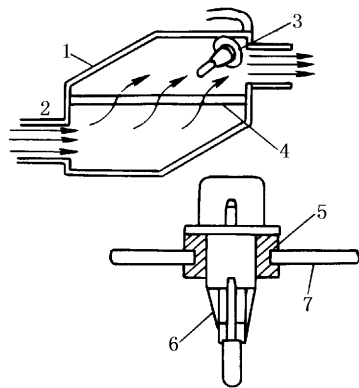


图 2-27 热敏传感器的安装示例

1—滤清器;2—吸入的空气;3,6—热敏传感器;  
4—滤芯;5—橡胶卡圈;7—空气滤清器外罩(盖子)

## 2.8.6 蒸发器出口温度传感器

这种传感器也是用热敏电阻作温度检测元件的,它安装在空调出风口处蒸发器的散热筋上,用以检测散热筋表面的温度变化以便控制压缩机的工作状态,其温度的工作范围为  $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。传感器的结构如图 2-30 所示,其安装状态如图 2-31 所示。图 2-32 是空调系统的方框图,工作时,利用温度测量用热敏电阻与温度设定用调节电位器的信号,并将热敏电阻与调节电位器的输入信号加以比较、放大,以接通或断开电磁离合器。此外,利用此传感器的信号,可防止蒸发器出现冰堵现象。蒸发器出口温度传感器特性的例子如图 2-33 所示。

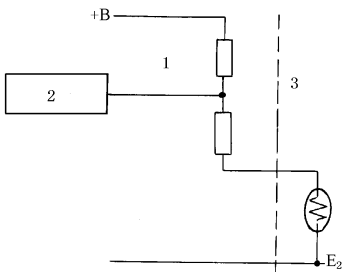


图 2-28 电子控制燃油喷射装置上进气温度检测系统的原理图

1—微机一侧;2—温度检测电路;3—传感器一侧

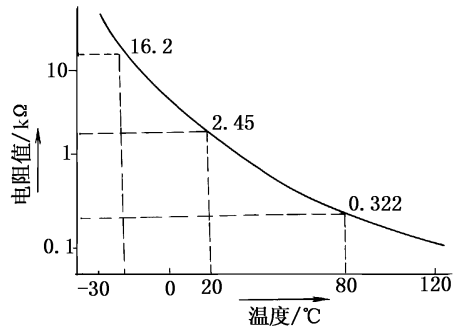


图 2-29 热敏传感器特性

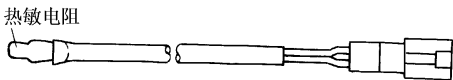


图 2-30 蒸发器出口温度传感器的结构

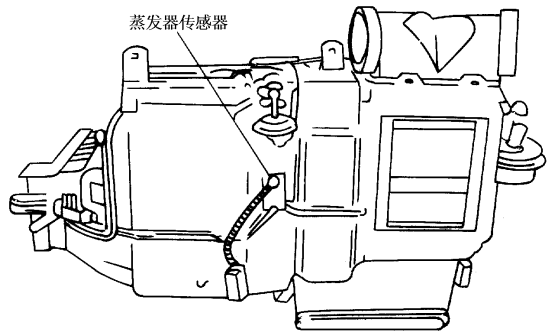


图 2-31 蒸发器出口温度传感器的安装状态

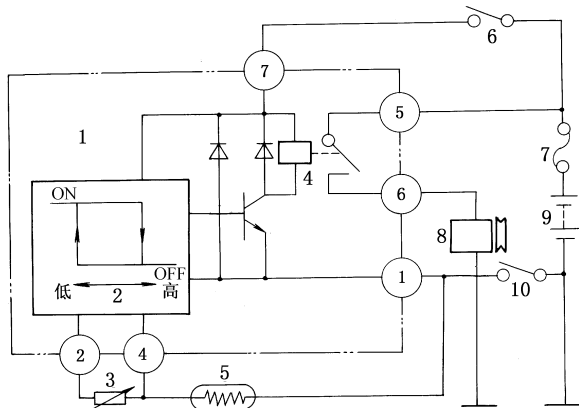


图 2-32 利用蒸发器出口温度传感器的空调压缩机控制系统方框图

1—温度检测电路;2—热敏电阻;3—调节电位器;4—继电器;5—蒸发器出口温度传感器;  
6—点火开关;7—保险丝;8—电磁离合器;9—蓄电池;10—空调开关

## 2.8.7 热敏开关

热敏开关用于空调上检测温度。目的是根据设定状态控制压缩机,以提高压缩机的工作效率。热敏开关的结构如图 2-34 所示,传感器内包括有热敏铁氧体、舌簧开关及永久磁铁。当达到设定温度以上时,热敏铁氧体的导磁率急剧下降,就利用热敏铁氧体的这一性质来接通与断开舌簧开关。此外,通过选择适当的热敏铁氧体,保证在  $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 105\text{ }^{\circ}\text{C}$  之间设定温度。

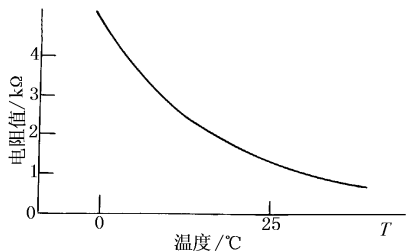


图 2-33 蒸发器温度传感器的特性

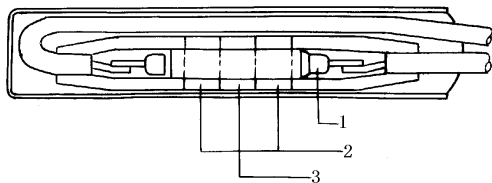


图 2-34 热磁式热敏开关的结构  
1—舌簧开关;2—永久磁铁;3—热敏铁氧体

热敏开关的应用例子如图 2-35 所示,它可以在汽车冷气的变容量式压缩机上作温度检测开关用,也可以在采用按两种温度( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  与  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ )工作的节温开关的空调系统中作加热器水温检测开关。热敏开关特性的一个例子如图 2-36 所示。

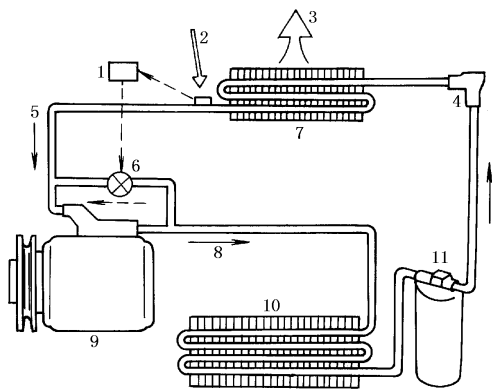


图 2-35 应用热敏开关的汽车冷气系统原理图

- 1—继电器;2—热敏开关;3—冷风;4—膨胀阀;  
5—低压冷媒;6—电磁阀;7—蒸发器;8—高压冷媒;  
9—压缩机;10—冷凝器;11—储液干燥器

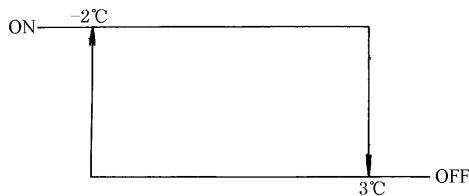


图 2-36 热敏开关特性举例

## 2.8.8 微机控制空调用传感器小结

微机控制空调就是根据车内气温(车内气温传感器)、车外气温(车外气温传感器)及日照量(日照传感器)的信息,通过输出必要的控制量(出风温度、出风量、出风口、车内外气温及压缩机通断),形成舒适的车内环境。为了实现所需要的出风温度,利用冷风侧温度(蒸发器出口温度传感器)及暖风侧温度(加热器水温传感器)来控制空气混合的比例。

(1) 车内温度传感器。车内温度传感器的结构与工作原理是将热敏电阻装于塑料壳内,利用抽风装置将车内空气吸入塑料壳内来测量车内温度的。抽风装置是利用空调组件内的气流来工作的,也有另设专用电动机来吸进空气的。因此,安装时应该注意车内温度传感器不应受到空调出风及安装部位近处热量的影响。

(2) 车外气温传感器。前面对车外气温传感器已经作了说明,与车内气温传感器一样,车外气温传感器也是把热敏电阻装于塑料壳内,这有两个目的,一是为了防水,二是为了推迟前面车辆废气排放等温度急剧变化对它的影响,因此,车外气温传感器应安装在不易受发动机舱内热气影响的位置上。

(3) 日照传感器。这种传感器的检测元件采用的是光敏二极管(管中有与受光量成正比的电流通过)。因此,这种传感器应尽可能安装在容易有光照的位置上。此外,也有可以判断日照方向(高度与方位)的传感器。日照传感器的结构与各种传感器安装位置的例子如图 2-37 所示。

(4) 蒸发器出口温度传感器、加热器水温传感器。前面已述,这两种传感器的测温部件都是热敏电阻,分别安装在蒸发器和暖气芯上,根据这些传感器的输出信号来决定空气混合的比例。

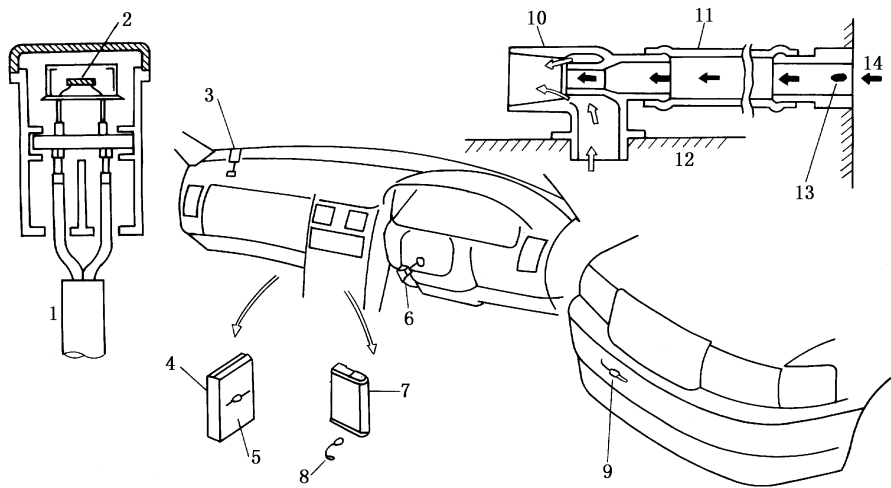


图 2-37 日照传感器的结构与各种传感器安装位置举例

- 1—光敏二极管;2—日照传感器的结构;3—日照传感器;4—蒸发器;5—蒸发器出口温度传感器;  
6—车内气温传感器;7—暖气芯;8—水温传感器;9—车外气温传感器;10—抽风装置;11—管道;  
12—加热器组件;13—车内气温传感器;14—车内空气

## 2.8.9 热敏铁氧体式热敏开关之二

这种传感器的工作原理与 2.8.7 节介绍的热敏开关的工作原理与构成相同,但其结构有所不同。在汽车上,可以利用这种传感器控制散热器的冷却风扇。当检测出冷却水温度较低时,则使舌簧开关闭合,冷却风扇继电器断开,冷却风扇不旋转。此外,也有用这种传感器来控制发动机油压指示灯的。热敏铁氧体式热敏开关的结构如图 2-38 所

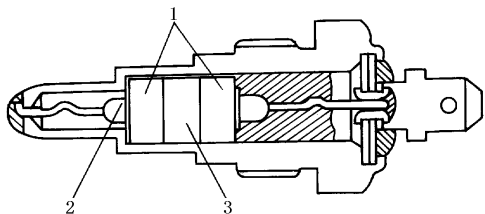


图 2-38 热敏铁氧体式热敏开关的结构  
1—永久磁铁;2—舌簧开关;3—热敏铁氧体

示。其工作原理如图 2-39 与图 2-40 所示。图 2-39 所示为在低于设定温度状态时,热敏铁氧体变为强磁性体,这时,因为磁力线直接通过舌簧开关的触点,所以,产生吸引力,触点闭合,舌簧开关导通。图 2-40 所示为高于设定温度时的状态,因热敏铁氧体没有被磁化,所以,磁力线平行通过舌簧开关的触点,从而产生排斥力,触点打开。图 2-41 所示为散热器的电动风扇式冷却系统的原理图。图 2-42 所示为热敏铁氧体的工作方式。热敏铁氧体有常闭型、常开型及频带型,此外,热敏铁氧体可在  $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 130\text{ }^{\circ}\text{C}$  的宽范围内设定温度。

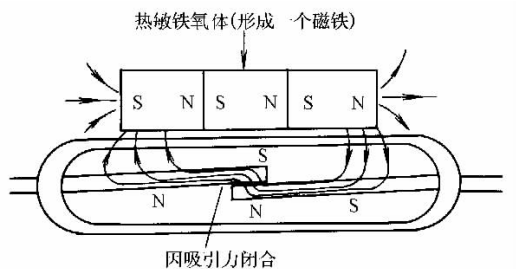


图 2-39 常闭形热敏铁氧体的工作状态(低于设定温度)

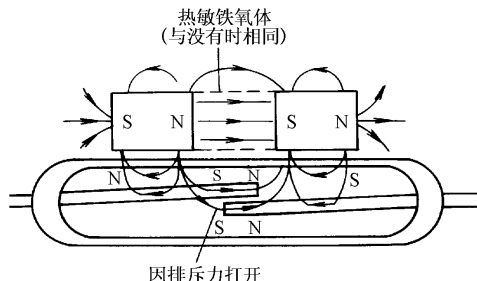


图 2-40 常闭形热敏铁氧体的工作状态(高于设定温度)

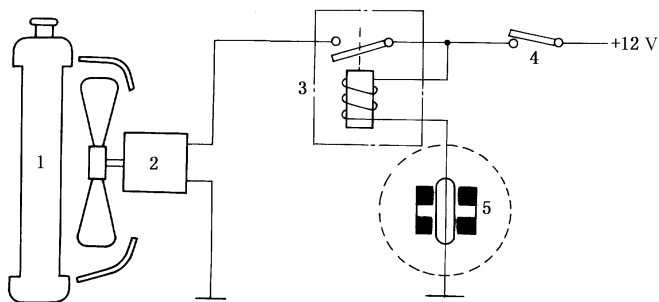


图 2-41 采用热敏铁氧体式热敏开关的散热器冷却系统  
1—散热器;2—电动机;3—继电器;4—点火开关;5—热敏开关(低温时吸合)

### 2.8.10 双金属片型热敏开关

这种传感器也是用于检测发动机冷却水温、通断电信号,由此控制散热器冷却风扇工作状态的。

双金属片是由热膨胀系数不同的两枚金属片粘合而成的部件。温度变化时,两枚金属片的热膨胀程度不同,结果会向热膨胀程度小的一侧弯曲,利用这一原理实现控制作用。双金属片主要采用铁镍合金与青铜制成。本节所说的热敏开关,选用了圆盘形金属片,以便快速断开电信号。双金属片式热敏开关的结构如图 2-43 所示。采用双金属片式热敏开关的散热器冷却系统的工作原理与上节讲过的采用铁氧体式热敏开关的散热器冷却系统相同。如图 2-44 所示。双金属片式热敏开关的工作方式如图 2-45 所示,分常闭型和常开型两种。这种热敏开关也可用于控制油温报警灯。

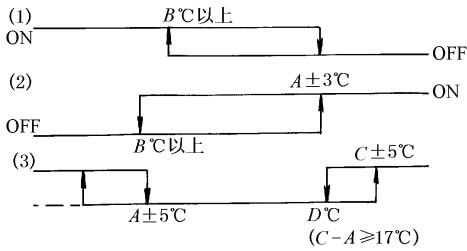


图 2-42 铁氧体型热敏开关的工作方式

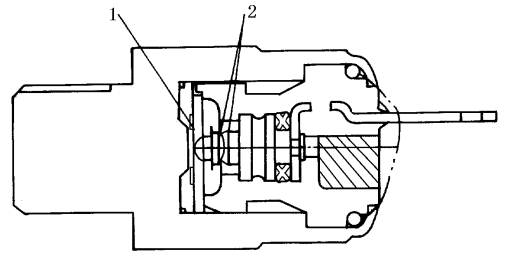


图 2-43 双金属片式热敏开关的结构原理

1—双金属片;2—触点

### 2.8.11 气体温度传感器

还有少部分小客车用发动机采用了化油器供油方式,其进气控制可以采用气体温度传感器。这种传感器的结构如图 2-46 所示。发动机的进气温度调节装置(HAI 系统)采用双金属片式气体温度传感器后,就可测出进气温度的变化,再通过真空膜片调节冷空气和温暖空气的比例。

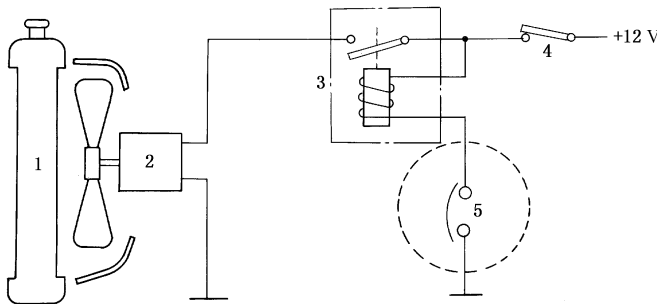


图 2-44 采用铁氧体式热敏开关的散热器冷却系统

1—散热器;2—电动机;3—继电器;4—点火开关;5—双金属片式热敏开关

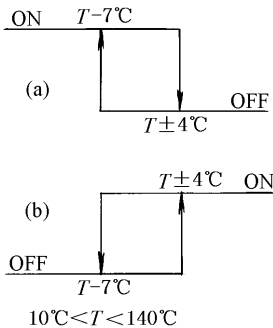


图 2-45 双金属片式热敏开关的工作方式

(a) 常闭型;(b) 常开型

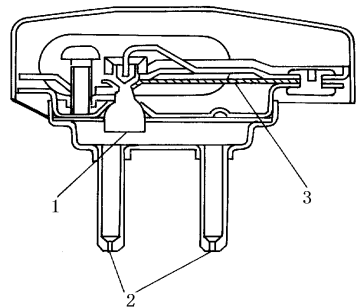


图 2-46 双金属片式气体温度传感器的结构

1—阀门;2—小孔;3—双金属片

双金属片的状态与阀门动作的关系如图 2-47 所示,它是利用双金属片处的温度变化时,其具有整片弯曲的性质完成控制作用的。低温时,双金属片没有变化,阀门关闭;高温时双金属片弯曲,阀门打开。

进气温度调整装置(HAI 系统)的构成如图 2-48 所示。当空气滤清器外壳内所吸入的冷空气的温度低于设定温度时(约 17 °C),双金属片阀门关闭,进气歧管的负压通过真空膜片加

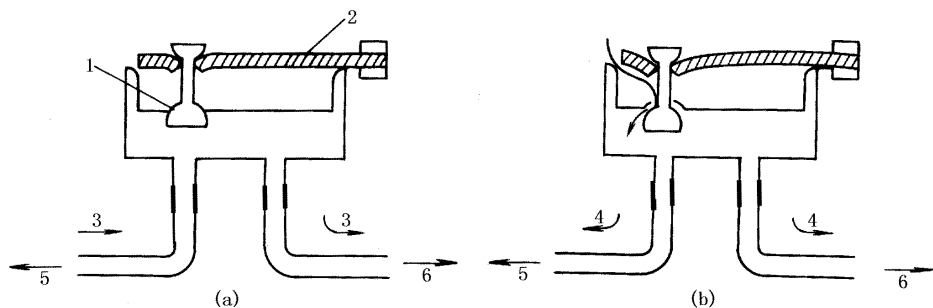


图 2-47 双金属片式气体温度传感器的工作原理

(a) 进气温度较低、阀门关闭;(b) 进气温度较高、阀门打开

1—阀门;2—双金属片;3—负压;4—大气;5—真空膜片;6—至进气歧管

到冷暖空气转换阀上,阀门升高,吸进已被排气歧管加热了的空气。当吸入空气的温度高于设定温度(约  $28^{\circ}\text{C}$ )时,双金属片阀门打开,大气加到真空膜片上,负压降低,冷暖空气转换阀下降,进气变冷。此外,在进气歧管负压较低时,不管吸入空气温度如何,空气温度都是低的。

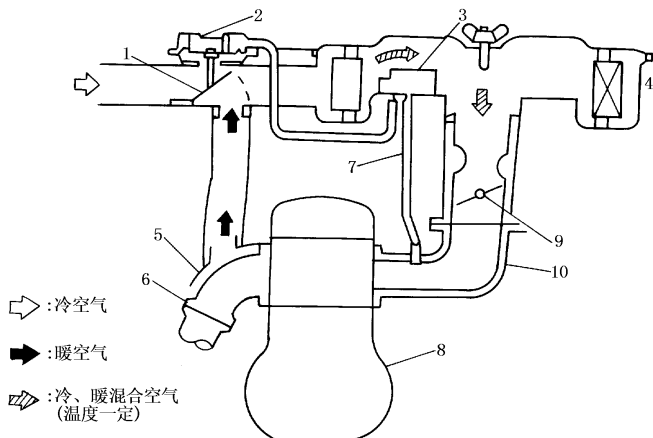


图 2-48 发动机进气温度调节装置(HAI)结构原理

1—冷暖空气转换阀;2—真空膜片;3—传感器;4—空气滤清器;5—护罩;

6—排气歧管;7—真空管;8—发动机;9—节气门;10—进气歧管

## 2.8.12 气体温度传感器( ITC 阀 )

这也是在化油器规格车上使用的传感器,它可以用作低温时发动机进气温度调节装置用传感器( HAI 传感器)及高温时怠速补偿用传感器( HIC 传感器)。

传感器利用石蜡作检测元件,当温度升高时,石蜡膨胀,推动活塞运动,再设定温度打开及关闭阀门,此外,在温度升高时,改变节流孔的截面积。

气体温度传感器( ITC 阀)的结构如图 2-49 所示。这种传感器也有执行器的作用。也就是说,在图 2-50 所示 ITC 系统中,传感器测量空气滤清器内的进气温度,在寒冷季节时,控制进气温度调节装置的真空膜片负压,以保持发动机进气所需要的温度。而在高温怠速状态下时,将大气用化油器旁路,以保证直接供给进气歧管的混合气达到最佳空燃比。此外,工作温度的范围宽达  $-40^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 。



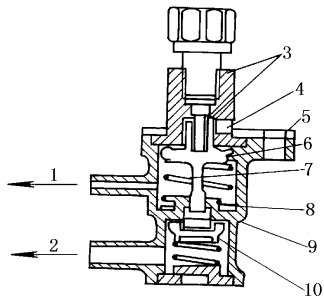


图 2-49 热敏石蜡式气体温度传感器  
1—真空膜片;2—至进气歧管;3,9—壳体;  
4—空气进口;5—垫片;6—阀门;7—推杆;  
8—节流孔;10—单向阀

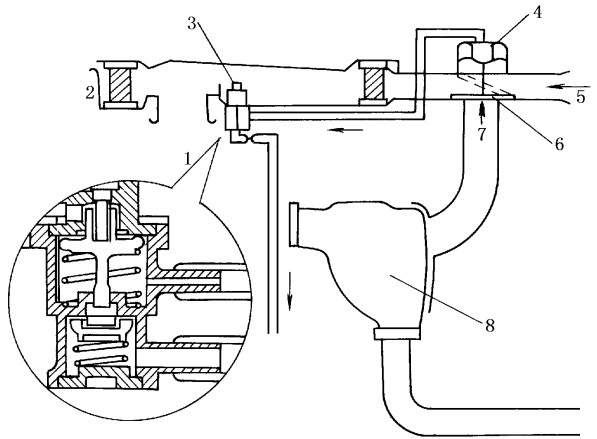


图 2-50 ITC 系统的构成  
1—节流孔;2—大气;3—ITC 阀门;  
4—真空膜片;5—冷空气;6—冷暖气转换阀;  
7—暖空气;8—排气管

低温时的进气温度调整效果如图 2-51 所示。图中的 A 区域:吸入暖空气, HIC 流量为零; B 区域:吸入冷空气, HIC 流量最小; C 区域:吸入冷空气, HIC 流量最大。

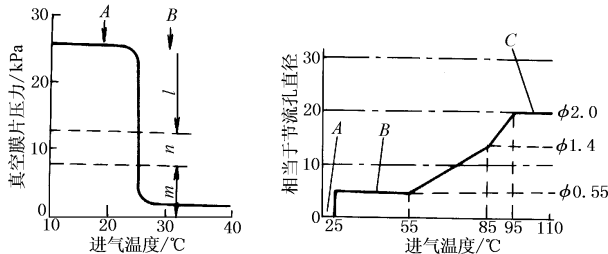


图 2-51 HAI 系统的特性

*m*—冷空气全开; *n*—冷暖气混合; *l*—暖空气全开

## 2.9 温度传感器在发动机排气上的应用

### 2.9.1 催化剂用温度传感器

催化剂用温度传感器又称为排气温度传感器,属于高温型温度传感器,它作为一项较大的科研项目是从 20 世纪 70 年代开始研究、开发的。因为对装用催化剂变换器的车辆规定了必须要配有高温报警系统,因此就需要高温型温度传感器。这种传感器的工作环境非常恶劣,它属于保证安全、防止公害为目的的传感器,对其可靠性的要求非常高。

催化剂用温度传感器安装在催化剂变换器的后面,如图 2-52 所示。催化剂用温度传感器不仅总是处于高温、具有腐蚀性的排放气体中,而且还要反复承受从低温区怠速启动至满负荷高速条件下的温度急剧变化,承受发动机与车身的振动;还要具有防水性;对路面的飞石要有对策等。设计传感器,就是要开发出从结构上满足上述要求,具有足够可靠性,并与之配合

的检测元件,能够恰当组合的产品。

(1) 催化剂温度传感器的种类及使用。这种传感器的作用是:在催化剂变换器异常发热时,能够快速发出报警信号,以便保护催化剂变换器并防止高温引发故障。从可靠性与成本两方面平衡考虑,目前实现大批量生产的有热敏电阻型、热电偶型、熔断器型三种,直至今日还是按使用目的分别选用。

在20世纪90年代初期,使用排气温度传感器不仅是保护催化剂、防止高温引起的故障,而且还盛行研制根据排气温度变化来控制燃烧的系统,为此,又在研究精度更高的薄膜电阻型温度传感器。但这里,仅对已批量生产的三种形式排气温度传感器加以说明。

采用这三种形式排气温度传感器的报警系统特性不同,所以控制电路也各具特色,但它们最终任务都是按规定的范围检测出异常温度,使驾驶室面板上所设的报警灯点亮。

三种报警系统的典型电路如图2-53所示,这三种电路各有其特点。因为热电偶型需要特殊的校正电路,即零点补偿电路,所以热敏电阻型可以说是最标准的用法,但基于多年的使用经验与大量的数据分析,也有很多厂家采用低成本的熔断器型。

图2-54是在温度传感器处测得的排气温度变化的实际例子。应在各种工况反复测定之后才能决定排气温度的报警范围。

图2-54所述的情况在日常行车过程中也可以遇到,即在高速公路上以100 km/h的速度行车时,催化剂的温度可以稳定在700℃左右的温度范围之内。可能出现的故障是,例如工作中伴有断火现象。这时,因为未燃烧的混合气流入催化剂比较仪中,在催化剂内突然燃烧,造成排气温度升高。在开始设定报警系统时,常常因这种试验造成催化剂比较仪因高热而熔化。如用图表示高温报警时的工作状况,则如图2-55所示,当排放气体温度上升,达到报警值 $T_1$ ℃时,报警灯亮,驾驶人员应迅速地降低速度或停机。此时,排气温度下降,当下降到 $T_2$ ℃时在热敏电阻型与热电偶型的报警装置上灯灭;但对熔断器型来说,在高温报警之后,若不加以调整或维护,报警灯就一直亮着。所以,在热敏电阻型与热电偶型报警装置的报警灯亮过一次之后就应加以检查,查明原因,一般规定应在修理厂进行检查。热敏电阻型与热电偶型报警

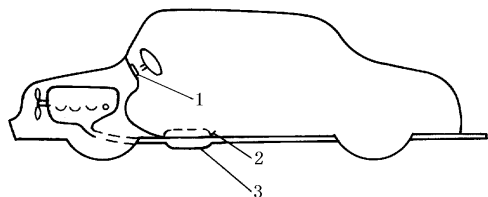


图 2-52 催化剂温度传感器的安装位置示意

1—报警灯;2—温度传感器;3—催化剂变换器

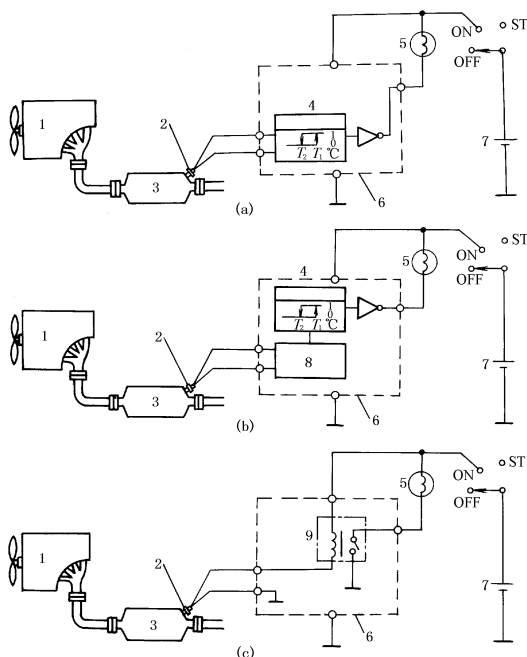


图 2-53 报警系统控制原理

(a) 热敏电阻型温度传感器;(b) 热电偶型温度传感器;  
(c) 熔断器型温度传感器

1—发动机;2—温度传感器;3—催化装置;  
4—比较仪;5—报警灯;6—报警电路;  
7—蓄电池;8—零点补偿电路;9—继电器

装置属反复型报警装置,因其适用范围非常广,所以说系统的设定比较容易。热敏电阻型与热电偶型相比,各有其特点,从成本与可靠性考虑,采用热敏电阻型有增加的趋向。但当比较看重响应性能时,由于热电偶型具有容易设计的优点,所以热电偶型的需求量也很大。

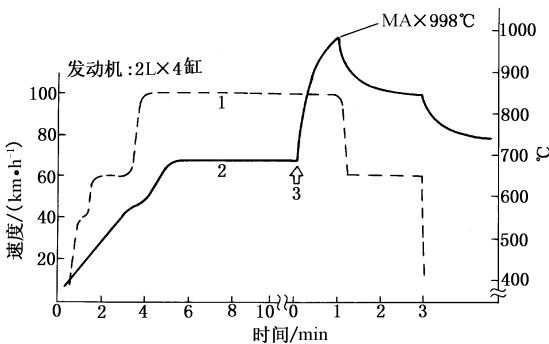


图 2-54 排气温度的变化例子  
1—速度;2—排气温度;3—1缸熄火

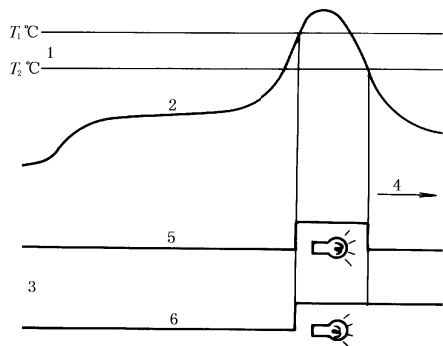


图 2-55 高温报警原理示意

1—检测温度;2—排气温度;3—报警灯;  
4—时间;5—热敏电阻型、热电偶型;6—熔断器型

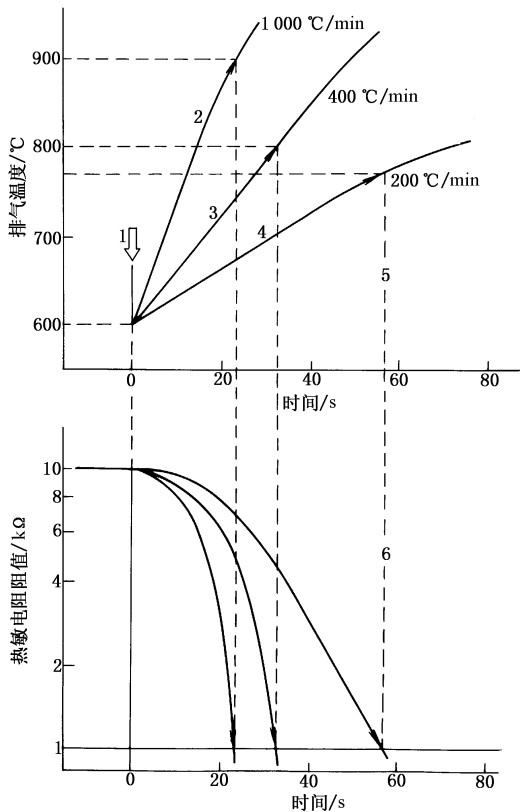


图 2-56 熄火时的异常加热与响应滞后  
1—熄火;2—第2缸熄火;3—第1缸熄火;  
4—从怠速→全开加速时的升温速度;  
5—标准热电偶(φ1.6);  
6—车用热敏电阻传感器(φ5.8)

熔断器型报警装置不需要控制电路,作为一个系统来说在成本上有很大的优势,但它对异常状态的检测只能进行一次,所以,如何决定其设定温度就显得特别重要,前几年生产的熔断器型传感器有3个等级:850°C、900°C、950°C。即已实现了系列化,可根据车辆使用状况,设置条件进行选择。

下面对传感器响应性稍加以说明,从实际装车状况来看,传感器与电炉是不同的,因为温度升高是没有规律的,响应滞后也有各种各样的变化,所以应充分考虑这一因素后再设定温度。在实际的发动机上,因发生熄火催化剂被异常加热时,排气温度与热敏电阻的变化情况如图2-56所示。由图可知,为检测断火所引起的温度的急剧变化,传感器的响应性能非常重要。

响应的滞后时间取决于排气温度传感器测温部位热容量的大小,此外也受结构上的热传导的影响。要想提高传感器的响应性,就要尽可能将测温部分做的又细又小;而作为传感器来说,要改进其耐热性、耐久性,两者的要求正好相反,以致成为设计要点。

(2) 排气温度传感器的结构。已大批量生产的热敏电阻型、热电偶型、熔断器型温度

传感器的结构如图 2-57 所示。不论哪一种传感器,都是把测温元件置于不锈钢套内部的顶端处,其周围用耐高温的无机氧化物粉末保护起来,再用玻璃将传感器的本体加以密封,利用耐高温的引出线输出信号。

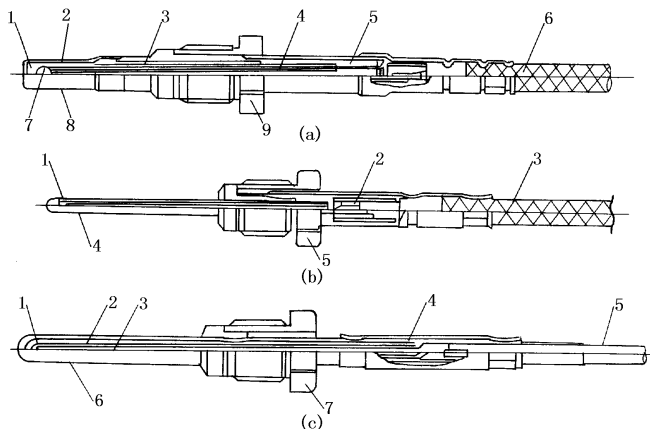


图 2-57 各种排气温度传感器的结构

(a) 热敏电阻型温度传感器

1—耐高温的无机氧化物粉末;2—Pt 丝;3—镍合金丝;4—陶瓷件;5—密封件;

6—耐高温引出线;7—热敏元件;8—不锈钢套;9—安装螺帽

(b) 热电偶型温度传感器

1—铬镍 - 铝镍连接点;2—铬镍 - 铝镍多股线;3—耐高温引出线;4—不锈钢套;5—安装螺帽

(c) 熔断器型温度传感器

1—熔断丝;2—耐高温的无机氧化物粉末;3—镍合金;4—密封件;5—耐高温引出线;6—不锈钢套;7—安装螺帽

在热敏电阻型温度传感器上,耐高温的无机氧化物粉末填充在热敏元件的周围,用耐高温的固化材料加以固定,并用耐高温的不锈钢材料作元件的保护管;为了尽量减少高温时出现的氧化反应,应考虑选用不易氧化的材料,设法尽量做到:高温时,金属管不氧化,填充材料中的挥发成分对热敏元件的周围环境不会造成大的影响。实际上,为了保证元件电阻值在常温下或异常温度下均为稳定值,对元件进行了充分老化,同时,设法使元件周围的环境保持不变以得到稳定的特性。

近些年来通过排气温度传感器设计上的不断更新,其可靠性也在逐渐地提高。图 2-58 是热敏电阻型温度传感器结构的演变过程,早期的简称为 P 型,是 1973 年左右开发出的产品,其热敏电阻装于金属管内,再将金属管分总成与陶瓷件,与火花塞上类似的安装用螺纹件组装起来,就构成热敏电阻型温度传感器。这种热敏电阻属于靠氧离子传导的 NTC 型热敏电阻,为了保证其特性的稳定性,需要向元件周围供给氧气。因此,测热部位的金属管上设有进气孔。

第二阶段即 1980 年左右开始,研制成了 V 型排气温度传感器,为了提高传感器的机械强度和可靠性,在 P 型上外露的陶瓷件到 V 型时,全都换成为金属件;传感器的安装方法改为接好插座后再拧螺钉,拧起来很方便。

20 世纪 90 年代开始批量生产 W 型排气温度传感器,这种传感器上没有进气孔,代之以设有特殊引线,通过引线中间装弹簧的小孔从插座一侧导入空气,这样更改之后,可以防止排放气体进入进气孔造成绝缘电阻下降,并提高产品的可靠性。

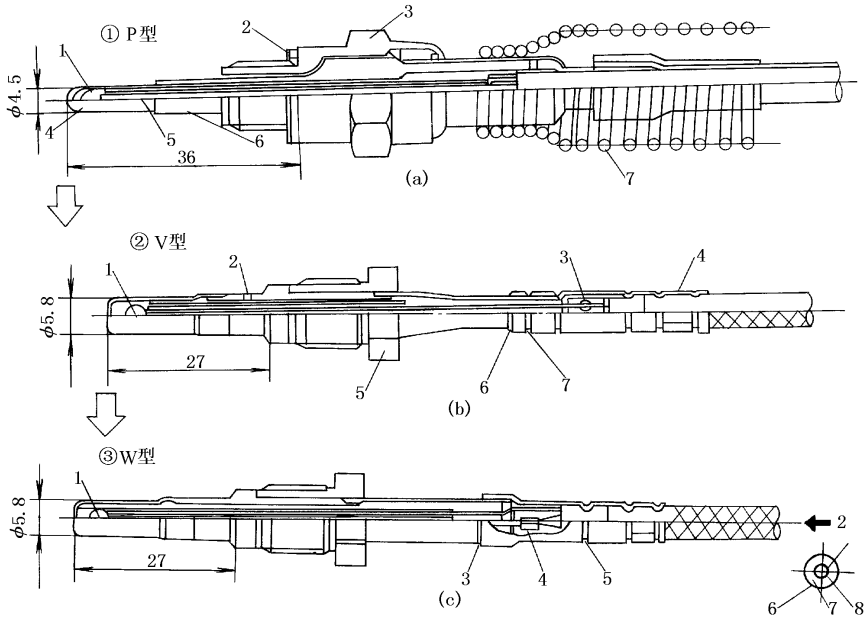


图 2-58 热敏电阻型温度传感器的结构演变

(a) P 型

1—热敏电阻;2—密封垫;3—安装用螺纹件;4—金属管;5—进气孔;6—陶瓷件;7—护罩弹簧

(b) V 型

1—热敏电阻;2—进气孔;3、6—银焊部位;4—六角铆套;5—紧固螺帽;7—滚铆套

(c) W 型

1—热敏电阻;2—进气孔;3—银焊部位;4—铆紧部位;5—滚铆套;6—不锈钢编织网;7—硅橡胶;8—弹簧

热电偶型传感器同样经历了多次的更新换代,最早的是开放式,为了保证其耐热性能及响应性,采用了 $\phi 1.6 \text{ mm}$ 的镍铝-铬铝线,其焊接部位直接外露,如图 2-59(a)所示。因与引线相连部位的温度很高,普通补偿导线的耐热性能无法满足要求,所以,用 42 根 $\phi 0.1 \text{ mm}$ 的镍铬-镍铝线制成引线的芯线,以提高其抗弯性能。

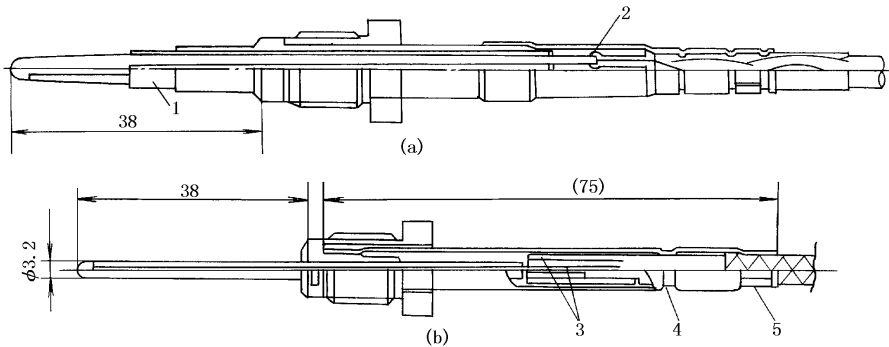


图 2-59 热电偶型排气温度传感器的结构演变

(a) 开放式;(b) 护套式

1—陶瓷件;2—与引出线连接部位的银焊;3—银焊;4—滚铆处;5—六角铆紧部位

开放式热电偶型温度传感器的检测部分直接处于排放废气的环境中,为了提高其可靠性,将检测部位用不锈钢套保护起来,套内再充填绝缘粉末,称其为护套式排气温度传感器。从满足耐热性与响应性两种要求权衡,护套的外径选定为 $\phi 3.2$  mm,如图2-59(b)所示。

就护套式而言,厂家又根据其装车环境状况对传感器的安装结构做了种种改进,并已实现了大批量生产,其中的几个例子如图2-60所示。弯头式的优点是通过改变引线的伸出方向,可以缩小安装空间。盖形螺帽式的安装比较简单。法兰式的安装更加可靠。

(3) 排气温度传感器的规格与可靠性评价试验的例子。上述三种排气温度传感器的普通规格见表2-10。典型的耐久性试验方法如下所述:耐久性试验分为检测部位的耐久性试验——高温存放、温度循环以及异常高温试验和装配结构的耐久性试验——机械强度与环境试验。

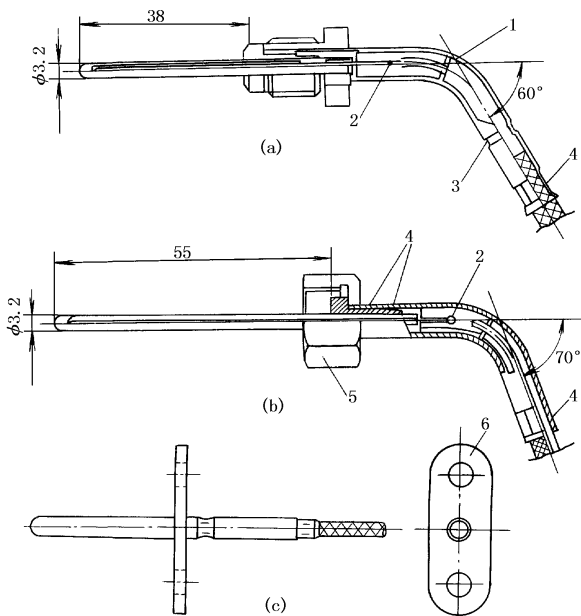


图2-60 传感器安装方式举例

(a) 弯头式;(b) 盖形螺帽式;(c) 法兰式

1—弯接头;2—银焊;3—滚铆;4—六角铆;5—盖形螺帽;6—法兰

表2-10 排气温度传感器的普通规格

(1) 基准值	热敏电阻型		热电偶型		熔断器型	
	① 试验前的值	电阻值 0.35 ~ 0.63 k $\Omega$		输出电压 34.5 ~ 35.8 mV		熔断温度 900 $\pm$ 30 $^{\circ}\text{C}$
② 耐久试验后的值	电阻值 0.29 ~ 0.75 k $\Omega$ (900 $^{\circ}\text{C}$ 时)		输出电压 34.3 ~ 36.0 mV (850 $^{\circ}\text{C}$ )		熔断温度 900 $\pm$ 50 $^{\circ}\text{C}$ (设定 900 $^{\circ}\text{C}$ )	
(2) 引线抗拉强度/N			$\geq 98$			
(3) 绝缘电阻/M $\Omega$			$\geq 0.5$			

① 温度循环试验:用炉温为850  $^{\circ}\text{C}$ 的电炉,按图2-61(a)所示的温度循环,对传感器的顶端试验5 000个循环后,其性能应满足表2-10中②的规定。

② 高温存放试验:将传感器的顶端加热10 h(恒温1 000  $^{\circ}\text{C}$ )后,其性能应满足②的规定。

③ 异常高温试验:用炉温可达1 200  $^{\circ}\text{C}$ 的电炉,对传感器的顶端试验10个温度循环,一个温度循环的示意图如图2-61(b)所示,试验后应满足表2-10中②的规定(不包括熔断器型)。

④ 振动试验:振动条件为——加速度:20 g 振动频率:200 Hz;方向与时间:X、Y、Z方向各10 h试验后,应满足表2-10①试验前值的规定。

⑤ 引线抗弯性能试验:按图2-62所示的条件试验引线,试验3 000个循环后,应满足表2-10中①试验前数值的规定。

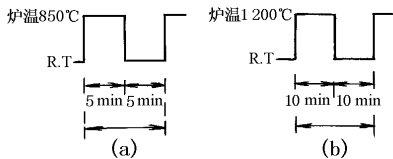


图 2-61 1 个温度循环的示意图

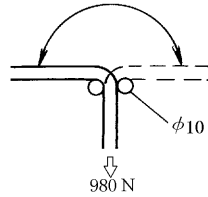


图 2-62 抗弯性能试验方法

\* 180 °C 往复一次为 1 个循环

⑥ 盐雾试验:用浓度为 5% 的食盐水,试验 72 h 之后,应满足表 2-10 中①试验前数值的规定。

⑦ 跌落试验:将处于水平静止状态的传感器从距地面 50 cm 的高度处自然跌落后,其性能应满足表 2-10 中①试验前数值的规定。

上述的⑥、⑦试验中不包括插接器。

### 2.9.2 EGR 监测温度传感器

在汽车控制用温度传感器的开发过程中,与排放法规相关的另一个产品是 EGR 监测温度传感器。这种传感器必须具有非常高的可靠性。此外还有监测 EGR 阀工作位置型的传感器、监测排气流量的传感器。但这里仅对中温热敏电阻式的 EGR 监测温度传感器的概况加以说明。

(1) 背景。由于美国的加利福尼亚州颁布了世界上最严格的排放法规,因而就要强制安装 EGR 监测温度传感器。加利福尼亚州的法规中规定:自 1988 年生产的车辆上的排气装置无法发挥自身功能时,必须就此提醒司乘人员,也就是说,要时刻监测 EGR(排气循环系统)上的阀门是否正常工作。要想减少汽车的  $CO_x$ ,EGR 系统起着很大的作用,它一直都被作为是普通的汽车用环保装置。EGR 系统的结构原理如图 2-63 所示,此系统将排气歧管排放气体中的部分气体再循环到进气歧管中,这一部分就由 EGR 阀控制。

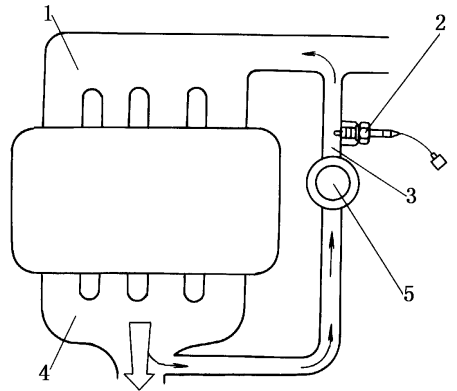


图 2-63 EGR 系统(废气循环系统)

1—进气歧管;2—EGR 温度传感器;  
3—EGR 管路;4—排气歧管;5—EGR 阀

EGR 监测温度传感器,处于 EGR 阀的下游,它的作用就是监测 EGR 阀的工作是否正常。

(2) EGR 监测温度传感器的结构与用法。EGR 监测温度传感器的作用是检测 EGR 阀下游的再循环气体的温度变化情况,由此来监测 EGR 阀的工作状况。在普通的行车条件下,EGR 阀附近的废气温度为  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,在高速、重负荷的条件下,升高到  $300\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

当因某种故障没有废气循环时,EGR 阀附近的废气温度立刻下降,与当时的进气温度及发动机舱内温度有关,但大致是降到  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下。没有废气循环的原因可能有:控制器引起系统停止工作;EGR 管路中的沉淀物堵塞了通路。标准型 EGR 监测温度传感器的结构如图 2-64 所示。传感器的标准规格见表

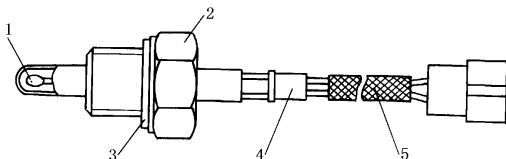


图 2-64 EGR 监测温度传感器的结构

1—热敏电阻;2—紧固用螺帽(M10×1.25);  
3—垫圈;4—辅助环;5—引线

2-11。电阻特性( $R-T$ 特性)见表2-12。传感器的储存温度为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最大允许功耗及电流分别为 $1\text{ mW}$ 与 $0.1\text{ mA}$ 。

表2-11 EGR监测传感器的标准规格

部 件 名 称	最高工作温度/ $^{\circ}\text{C}$	短时最高工作温度/ $^{\circ}\text{C}$	低温极限温度/ $^{\circ}\text{C}$
热敏电阻	380	400	-40
辅助环	180	200	-40
引 线	230	250	-40

表2-12 EGR监测传感器的温度特性

温 度/ $^{\circ}\text{C}$	50	100	200	400
初始电阻值/ $\text{k}\Omega$	$635 \pm 77$	$85.3 \pm 8.8$	$5.1 \pm 0.61$	$0.16 \pm 0.05$

从以上说明可知:这种传感器应该检测的温度范围为 $50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,因此就要求各构成部件对上表所示的工作温度具有足够的可靠性。作为测温元件来说,就应选用稳定性好、可靠性高的热敏电阻。而热电偶就不适于用作EGR监测温度传感器的测温元件,这是因为在此温度范围下,其输出电压仅有 $2 \sim 16\text{ mV}$ ,此点火系统的干扰也会造成其误动作。

已批量生产的EGR监测温度传感器上的热敏电阻特性如表2-12所示,从 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 $635\text{ k}\Omega$ ,可变化到常用温度 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的 $5.1\text{ k}\Omega$ ,高温 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时变为 $0.16\text{ k}\Omega$ ,因电阻值的变化量非常大,因而简化了控制器侧的设计,并且可以提高可靠性。



# 第3章 空气流量传感器

在电子控制燃油喷射装置上,测定发动机所吸进空气量的传感器,即空气流量传感器是决定系统控制精度的重要部件之一。当规定发动机所吸进空气、混合气的空燃比( $A/F$ )的控制精度为 $\pm 1.0$ 时,系统的允许误差为 $\pm(6\% \sim 7\%)$ ,将此允许误差分配至系统的各构成部件上时,空气流量传感器所允许的误差为 $\pm(2\% \sim 3\%)$ 。

汽油发动机所吸进空气量的最大值与最小值之比  $\max/\min$  在自然进气系统中为  $40 \sim 50$ , 在带增压的系统中为  $60 \sim 70$ , 在此范围内,空气流量传感器应能保持  $\pm(2\% \sim 3\%)$  的测量精度。电子控制燃油喷射装置上所用的空气流量传感器在很宽的测定范围上不仅应能保持测量精度,而且测量响应性也要优秀,可测量脉动的空气流,输出信号的处理应简单。

虽然已经研制出了各种测试原理的空气流量传感器,但能满足上述全部要求的品种还很少。电子控制燃油喷射装置的控制系统的就是要根据各种传感器的信息,控制喷油器的动作,以实现在各种进气状态下,总能保证达到最佳空燃比。这里所说的控制就是根据短时间内测得的进气量,利用微机计算出基本喷油量。根据空气流量传感器特征的不同,可以将燃油控制系统按进气量的计量方式分为直接测量进气量的 L 型控制与间接计量进气量的 D 型控制,后者是根据歧管负压与发动机转速间接计量进气量的。

D 型控制方式中的微机 ROM 内,预先储存着以发动机转速和进气管内压力为参数的各种状态下的进气量,微机根据所测得的各运转状态的进气压力与转速,参照 ROM 所记忆的进气量可以算出燃油量。关于压力传感器将在后面章节中加以说明。

L 型控制所用的空气流量传感器与一般工业用的流量传感器基本相同,它能适应汽车的这一苛刻环境,但对踏油门时出现的流量急剧变化的响应要求及在传感器前后进气歧管形状引起的不均匀气流中也能高精度检测的要求还是比较高的。

最初的电子燃油喷射控制系统采用的不是微机,而是用模拟电路,那时采用的是动片式空气流量传感器,但随着微机用于控制燃油喷射,也出现了其他几种空气流量传感器。

## 3.1 动片式空气流量传感器

### 3.1.1 动片式空气流量传感器的结构

动片式空气流量传感器装在汽油发动机上,它安装于空气滤清器与节气门之间,其功能是检测发动机的进气量,并把检测结果转换成电信号,再输入到微机中。该传感器由空气流量计与电位计两部分组成,其结构的剖面图与示意图分别如图 3-1 与图 3-2 所示。

先来看空气流量传感器的工作过程。由空气滤清器吸入的空气冲向动片,动片转动到进气量与回位弹簧平衡的位置处停止,也就是说,动片的开度与进气量成正比。在动片的转动轴

上还装有电位计, 电位计的滑动臂与动片同步转动, 利用滑动电阻的电压降把测量片的开度转换成电信号, 然后输入到控制电路中。

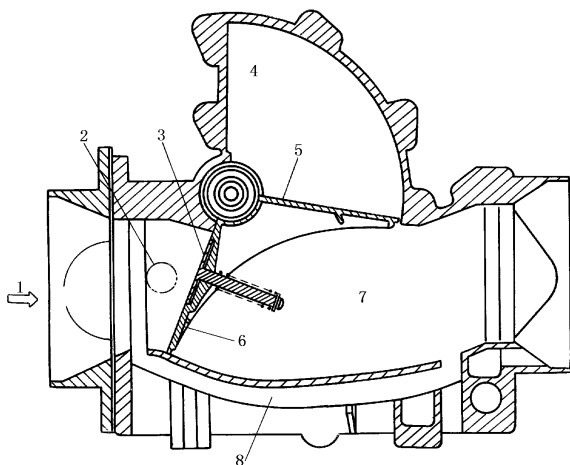


图 3-1 空气流量传感器的结构

1—吸入的空气;2—进气温度传感器;3—阀门;4—阻尼室;5—阻尼片;6—动片;7—主气路;8—旁通气路

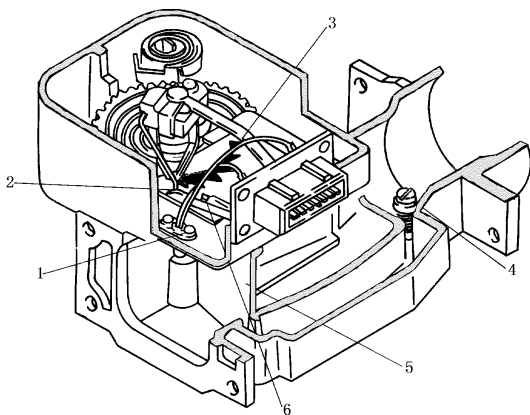


图 3-2 电位计部分的结构

1—进气温度传感器;2—燃油泵触点;3—电位计;4—CO调节螺钉;5—动片;6—燃油泵静触点

电位计上设有燃油泵触点, 当发动机工作时, 动片张开一定角度, 燃油泵触点闭合( ON ), 燃油泵工作; 当发动机停止时, 燃油泵触点断开( OFF ), 燃油泵停止。

电位计的内部电路与输出特性的一个例子如图 3-3 所示。空气流量计与电位计共同将动片的转动状况转换成电压来反映出进气量的多少。进气量与电压之间的关系有两种, 一种是电压比检测, 另一种是电压值检测, 如图 3-4 所示。采用电压比检测方式时, 因电压比与进气量成反比, 所以下式成立

$$\text{进气量} = \frac{\text{电位计滑动引起的电压变化}(V_C - V_S)}{\text{加在电位计上的电压}(V_B - E_2)}$$

如图 3-4(a)所示,  $V_B$  端子上加有蓄电池电压而形成电压  $V_C$ , 检测出的是  $V_B - E_2$  与  $V_C - V_S$  的电压比。

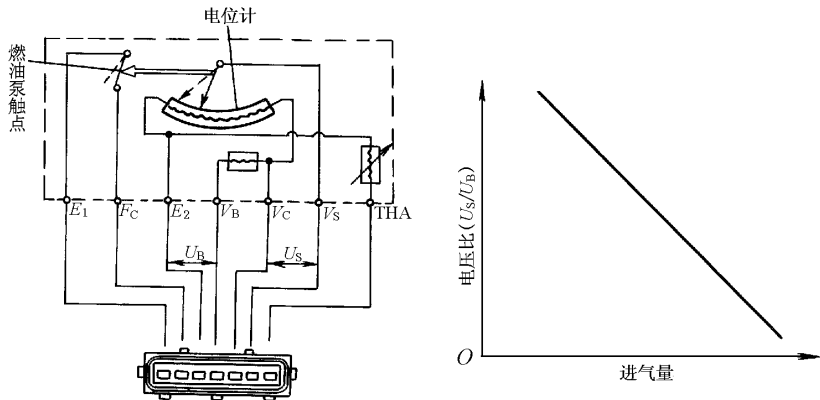


图 3-3 电位计的内部电路与输出特性

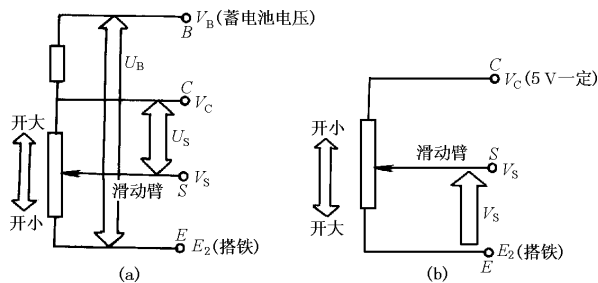


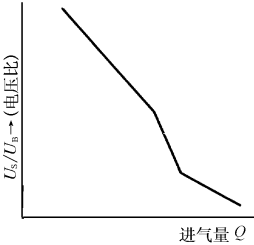
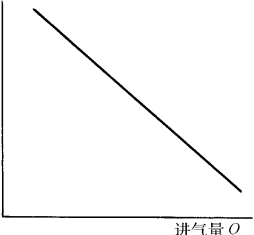
图 3-4 电压比检测与电压值检测

(a) 电压比检测; (b) 电压值检测

采用电压值检测法时,进气量 = 电位计滑动引起的电压变化,这时如图 3-4(b)所示,滑动臂随进气量的多少滑动至不同位置,  $V_S - E_2$  之间的电压直接反映出进气量的多少。电压比检测法与电压值检测法的对比见表 3-1。

表 3-1 电压比检测与电压值检测的对比

原理电路图	<p>1—燃油泵开关;2—电位计; 3—进气;4—滑动臂;5—微机</p>	<p>1—燃油泵开关;2—电位计; 3—进气;4—滑动臂;5—微机</p>
-------	---	---

检测方法	因蓄电池电压(+12 V)加到 $V_B$ 端子上,并设有中间端子 $V_C$ ,以 $V_B - E_2$ 之间、 $V_C - V_S$ 之间的电压比方式检测,所以可减少因电压变化引起的误差	因为是固定电压(+5 V)加到 $V_C$ 端子上,进气量变化引起的 $V_S$ 电压的变化,直接变成进气量测量值, $V_S$ 电压输入至微机中,由 AD 变换器变换成数字信号
结构	利用动片直接测量进气量,此外,还包括有进气温度传感器,燃油泵开关	利用动片直接测量进气量,此外,还包括有进气温度传感器,燃油泵开关
特性	特性为折线 $Q \propto 1 \div (U_S/V_B)$ 	特性为直线 $Q = 1/V_S$ 

### 3.1.2 动片式空气流量传感器的测试原理

动片式空气流量传感器的原理图如图 3-5 所示,设空气流量为  $Q$ ,则  $Q$  可用下式表示

$$Q = \alpha A \sqrt{2g \frac{(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

式中: $\alpha$  为流量系数; $A$  为动片的开口面积; $g$  为重力加速度; $\rho$  为空气密度; $p_1$  为动片上游的压力; $p_2$  为动片下游的压力。

在回位弹簧的弹簧常数很小时,因为可以把  $p_1 - p_2$  看成是一定值,所以可认为  $Q \propto A$ 。此外,动片的开口面积与打开角度相对应,即与电位计的输出电压  $U_S$  相关,所以在设定电位计时就要保证空气流量  $Q$  与输出电压  $U_S$  的关系符合  $Q \propto (1/U_S)$ 。而且为了消除蓄电池电压  $U_B$  变化对测试值的影响,将  $U_S/U_B$  作为空气流量传感器的输出。从上述可知,输出  $U_S/U_B$  与体积流量  $Q$  成函数关系,所以采用进气温度热敏电阻修正空气密度  $\rho$  随温度产生的变化,采用大气压传感器对高原行车引起的变化加以修正。

动片式空气流量传感器持续生产了多年,其可靠性比较高。这种传感器为机械式,结构比较简单,价格比较便宜。

空气流量传感器是根据动片的打开角度即进气量向外输出模拟电压信号的。进气量与电压信号之间关系的例子如图 3-6 所示。为了把信号输入到微机中,还要利用 AD 变换器把信号作数字化处理。将此时最低位所示的空气流量称为量化误差,如图 3-6 所示,进气量越多,量化误差就越大。由此可得出不同进气量时的测量精度,如图 3-7 所示,随着空气流量的增多,测量精度降低。因此,虽然希望动片式空气流量传感器的测量范围要扩大到大流量范围,但因测量精度降低,所以还是受到制约。此外,电位计的触头要一直在电阻器上滑动,为确保

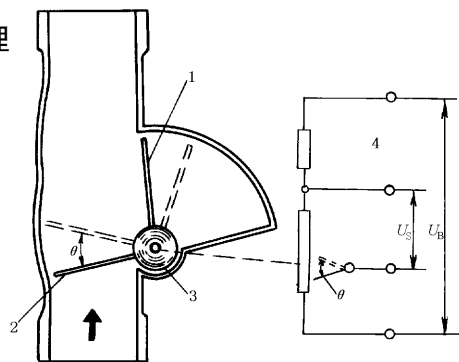


图 3-5 动片式空气流量传感器原理  
1—阻尼片;2—动片;3—回位弹簧;4—电位计

长期使用的可靠性,要从设计与制造的角度考虑触头材料的选用、接触压力的控制等。还有,为了使传感器的响应特性稳定,其上设有阻尼机构,由此造成传感器的体积增大,质量增加,尽管如此,动片式空气流量传感器的响应性还是令人感到偏低的。

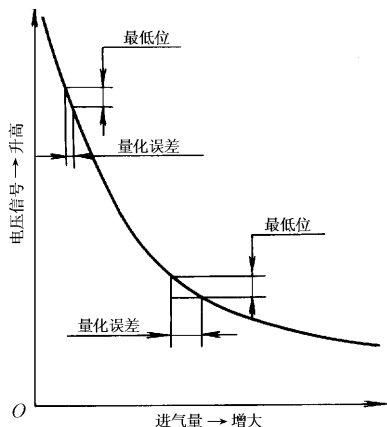


图 3-6 进气量与电压信号的关系

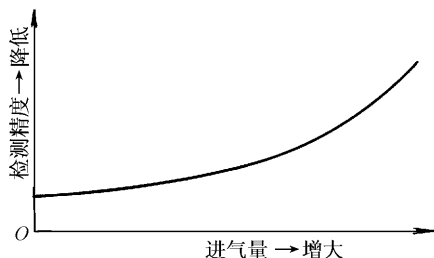


图 3-7 进气量与测量精度

## 3.2 卡曼涡旋式空气流量传感器

为了克服动片式空气流量传感器的缺点,即在保证测量精度的前提下,扩展测量范围,并且取消滑动触点,又开发出小型轻巧的空气流量传感器,即卡曼涡旋式空气流量传感器。

卡曼涡旋是一种物理现象,涡旋的检测方法、电子控制电路与检测精度根本无关,空气的通路面积与涡旋发生柱的尺寸变化决定检测精度。又因为这种传感器输出的是数字信号(频率),所以向系统的控制电路输入信号时,可以省去 AD 变换器。因此,从本质上看,卡曼涡旋式空气流量传感器是适于微机处理用的传感器。这种传感器有以下三个优点:测试精度高,可以输出线性数字信号,信号处理简单;长期使用,性能不会发生变化;因为是检测体积流量,所以不需要对温度及大气压进行修正。

### 3.2.1 检测原理

野外的架空电线被风吹时会嗡嗡发出声响,风速越高声音频率越高,这是因气流流过电线后形成涡旋所致,液体、气体等中均会发生这种现象,利用这一现象可以制成涡旋式流量传感器。在管道里设置柱状物,使流体流过柱状物之后形成两列涡旋,根据涡旋出现的频率就可以测量流量。因为涡旋呈两列平行状,并且左右交替出现,与街道两旁的路灯类似,所以有“涡街”之称。因为这种现象首先为卡曼发现,所以也叫作卡曼涡街。

管路中设置了圆柱状物之后,就会形成如图 3-8 所示的涡旋,若两列平行的涡旋相距为  $h$ ,同一列中先后出现的两个涡旋的间隔距离为  $l$ ,当比值  $h/l$  为 0.281 时,所形成的涡旋是稳定的并且是周期性的,这时,单侧涡旋的产生频率  $f$  与流体速度  $v_1$  之间有如下关系

$$f = St \frac{v_1}{d} \quad (3.2-1)$$

式中: $v_1$  为柱状体两侧处的流速,  $m/s$ ;  $d$  为柱状体迎流面的最大宽度,  $m$ ;  $St$  的量纲为 1, 在柱状

体形状确定后,在一定的雷诺数范围内为常数,称为斯特拉哈尔数。

根据流体的连续性,可知

$$S_1 v_1 = S v \quad (3.2-2)$$

式中: $S_1$  为柱状体两侧流通面积, $\text{m}^2$ ;  $S$  为管道整个流通面积, $\text{m}^2$ ;  $v$  为管道内流体的平均流速, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

设流通面积之比为  $n$ , 则

$$n = \frac{S_1}{S} = \frac{v}{v_1}$$

即

$$v_1 = \frac{v}{n}$$

代入式(3.2-1),得

$$f = St \frac{v}{nd} \quad (3.2-3)$$

即

$$v = f \frac{nd}{St}$$

对于直径为  $D$  的管道,设其容积为  $q_V$  时

$$q_V = \frac{\pi}{4} D^2 v = \frac{\pi}{4} D^2 \frac{ndf}{St} \quad (3.2-4)$$

在管道尺寸及柱状体尺寸都已确定时,上式中  $f$  之前的各量均为常数,即  $q_V$  与  $f$  成正比,因此上式可写为

$$q_V = Kf \quad (3.2-5)$$

由此可见,测出频率  $f$  就可以知道容积流量。

上述推导的前提条件是涡街稳定,实验证明,在  $h/l = 0.281$  的条件下,不论柱状物是圆柱、方柱还是三角柱都能达到稳定状态。

在一定的条件下, $St$  为一常数,圆柱体为 0.21;三角柱为 0.16;方柱为 0.12;矩形状为 0.17 等。

柱状体几何形状的设计,一方面与涡旋频率的检测手段有关,另一方面要使涡旋尽量沿柱状物的长方向同时产生,且同时与柱状物分离,这样才容易得到稳定的涡列,而且信噪比强,容易检测。但是柱状体的长度是有限的,靠近管道轴线处的流速高,靠近管壁处的流速低,而且沿柱状物长方向的各处产生的涡旋也不容易同步,由此,应采用几何形状合理的柱状物。

关于涡旋频率的检测,目前已有多种方法。无非是利用涡旋的局部压力、密度、流速等的变化作用于敏感元件,产生周期性电信号,再经放大整形,得到方形脉冲。本节先来介绍超声波式卡曼涡旋空气流量传感器。

### 3.2.2 超声波式卡曼涡旋空气流量传感器

超声波式卡曼涡旋空气流量传感器的结构如图 3-9 所示,它安装于空气滤清器的内部。

超声波空气流量传感器设有两个进气通道:主通道和旁通道,进气流量的检测部分就设主通道上,设置旁通道的目的是为了能够调整主通道的流量,以便使主通道的检测特性呈理想状态。也就是说,对排气量不同的发动机来说,通过改变空气流量传感器旁通道截面大小的方法,就可以用一种规格的空气流量传感器来覆盖多种发动机。主通道上的三角柱和数个涡旋

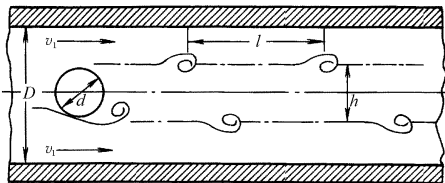
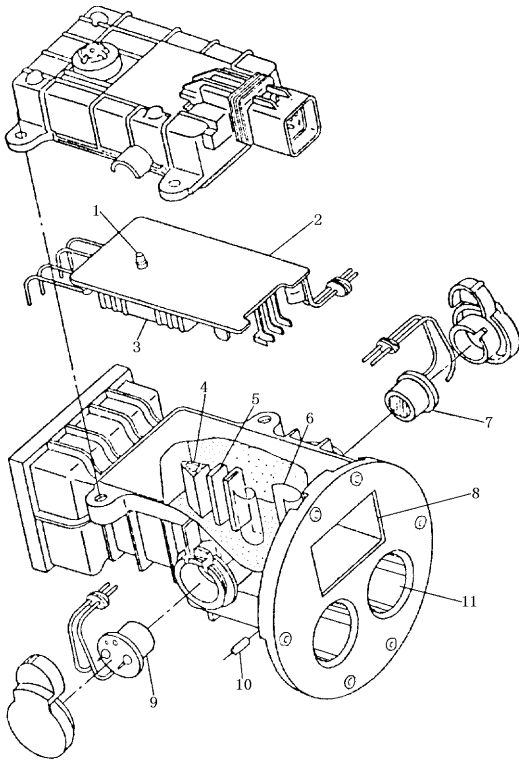


图 3-8 卡曼涡街形成原理



放大板构成卡曼涡旋发生器。

在产生卡曼涡旋处的两侧,相对地设置了属于电子检测装置的超声波发送器和超声波接收器,也可以把这两个部件归入传感器,这两个电子传感器产生的电信号经空气流量传感器的控制电路(混合集中电路)整形、放大后成理想波形,再输入到微机中。为了利用超声波检查涡旋,在涡旋通道的内壁上都粘有吸音材料,目的是防止超声波出现不规则反射。

这种空气流量传感器的流量检测的原理电路如图3-10所示。当有卡曼涡旋产生时,就伴随有速度及压力的变化,流量检测的基本原理就是利用其中速度的变化。

随着空气流动方向的不同,声波会被加速或者被减速。在日常生活中我们常常会遇到下述现象,当逆风方向喊人的时候,对方不容易听到,而顺风方向喊人时,对方很容易听到。因为前者的空气流动方向与声波前进方向相反,声波受阻而减速,后者的声波被加速,在超声波式空气流量传感器中,也存在着同样的现象,如图3-11所示。

图3-9 超声波式卡曼涡旋空气流量传感器的结构  
1—大气压传感器;2—控制电路;3—混合IC电路;4—涡旋发生柱;  
5—涡旋稳定板;6—卡曼涡旋;7—超声波接收器;8—主通道;  
9—超声波发送器;10—进气温度传感器;11—旁通道

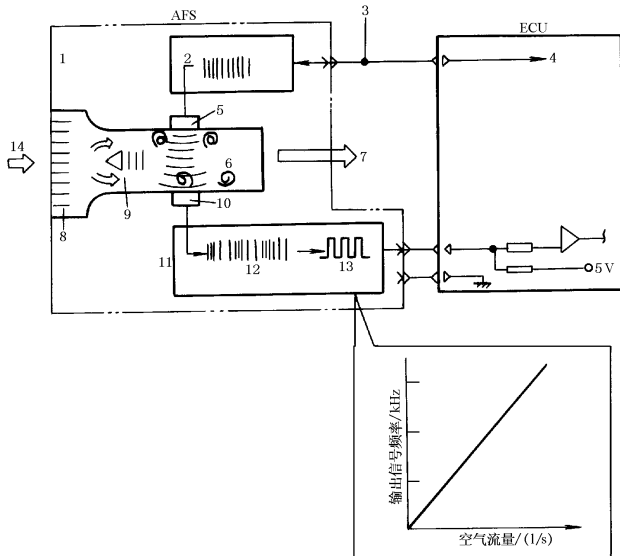


图3-10 流量检测的原理电路

1—放大器;2—超声波;3—来自控制继电器的电源;4—电源;5—发送器;6—卡曼涡旋;7—至节气门本体;  
8—整流栅;9—涡旋发生柱;10—接收器;11—电子组件;12—疏密声波;13—电脉冲;14—进气

超声波发生器可对着接收器发出 40 kHz 的超声波信号,超声波信号穿过空气流量传感器的进气通道,要滞后一定时间才能到达接收器,之所以选定 40 kHz 的超声波,是因为在根本没有涡旋的通道上,所发送的超声波与接收到的超声波信号相位相同。当通道上有卡曼涡旋时,则接收到的超声波信号中,有的滞后,有的提前,利用存在涡旋时发送信号与接收信号的相位差,在空气流量传感器的混合 IC 电路中就可以形成表明涡旋发生频率的数字信号,再输入至 ECU 中,如图 3-10 所示。

空气流量传感器输出至控制组件的信号波形如图 3-12 所示,此信号为方波、数字信号。进气量越多,卡曼涡旋的频率越高,空气流量传感器输出信号的频率就越高,控制组件根据这一信号来计算进气量。

这种卡曼涡旋式空气流量器利用了声波的多普勒效应,将图 3-11 加以简化后如图 3-13 所示,超声波与进气气流成垂直方向传播,受卡曼涡旋的作用,仅与流向垂直的速度成分才被调制,调制所造成的相位提前与滞后和交替产生的涡旋是同步的,因此,通过测量相位的变化就可以测量出涡旋的频率。

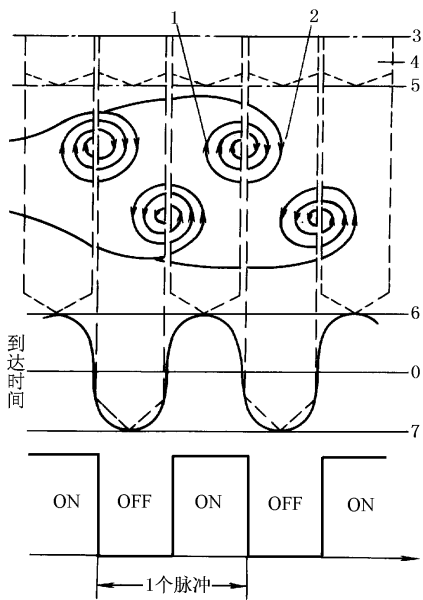


图 3-11 超声波通过卡曼涡旋后的加、减速状况

- 1—减慢方向;2—加速方向;3—产生超声波的起始点;  
4—超声波;5—通过涡旋前的超声波是同步的;  
6—滞后线;7—提前线

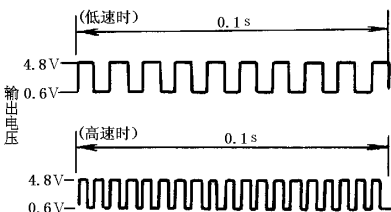


图 3-12 空气流量传感器输出的信号波形

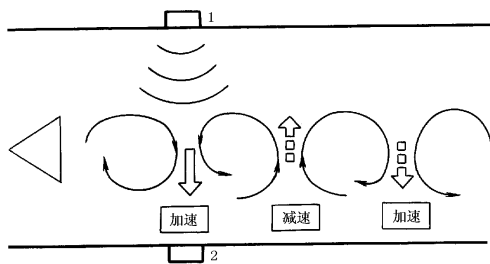


图 3-13 利用卡曼涡旋对超音波调制  
1—超声波发送器;2—超声波接收器

### 3.2.3 压力变化检测型卡曼涡旋式空气流量传感器

本节介绍利用压力的变化来检测涡旋频率的空气流量传感器,有的将其称为光学型卡曼涡旋式空气流量传感器。

图 3-14 是压力变化检测型卡曼涡旋式空气流量传感器的原理图。图 3-15 是这种空气流量传感器的结构图,进入传感器的空气流先经蜂窝状整流器,在考虑低流量下涡旋的稳定



性、压力损耗等因素之后设计出蜂窝状整流器单件尺寸的。在空气通道内设置有涡旋发生器,从其两侧就会产生与流速成正比的涡旋。在设计时就确定了流速与涡旋频率之间为正比例关系,以保证在很宽的流量范围上涡旋发生器都会产生稳定的强烈的涡旋。

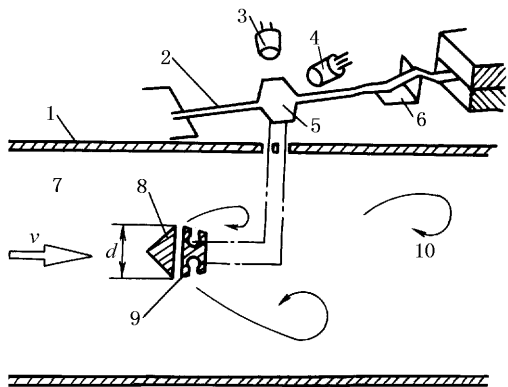


图 3-14 压力变化型卡曼涡旋式空气流量传感器原理图

- 1—管道;2—一张紧带;3—LED;4—光敏三极管;  
5—反光镜;6—板弹簧;7—空气流;8—涡旋发生器;  
9—导压孔;10—卡曼涡旋

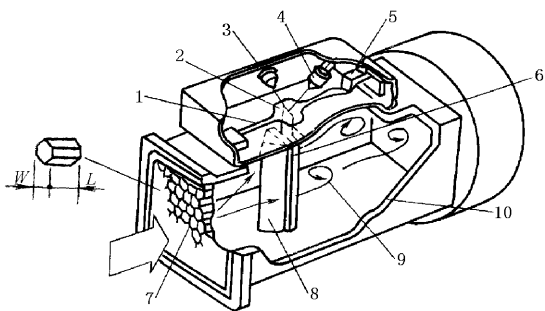


图 3-15 压力变化型卡曼涡旋式空气流量传感器

- 1—一张紧带;2—反光镜;3—LED;4—光敏三极管;  
5—片弹簧;6—导压孔;7—蜂窝状整流器;  
8—涡旋发生器;9—卡曼涡旋;10—空气通道

从涡旋发生器上得出的斯特拉哈尔数  $St$  与流速的关系如图 3-16 所示,由图而知,在很宽范围的流速上(1~75 m/s)  $St$  是一定的,对涡旋频率显示出高水平的比例关系。

下面再对这种空气流量器稍加说明,涡旋是从涡旋发生器两端交替产生的,因此涡旋发生器两端的压力也交替变化,这种压力变化通过涡流发生器下游侧锥形柱上的导压孔引导到反光镜腔中,反光镜腔中的反光镜是用很细的张紧带张紧的,所以,张紧带上出现扭曲与振动。此外,利用板弹簧给张紧带加上适当的张力,由此,除振动与涡旋压力之外的压力变化等难以造成影响,从而可得到稳定的扭转与振动。

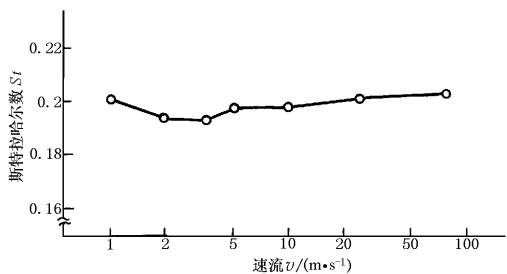


图 3-16 流速与斯特拉哈尔数  $St$  的关系

因涡旋出现而形成的压力经导压孔到反光镜腔中,与反射腔中的压力变化同步、反光镜在张紧带上形成扭转、振动。反光镜非常轻巧,即使在低流量、压力变化非常小的状况下,也会动作。在反光镜的上部,相应配置有发光二极管(LED)与用光敏三极管等构成的光传感器,二极管发出的光经反光镜反射,并射到光敏三极管上时,就会变成电流,经波形电路后输出。

(1) 空气通道的构成。卡曼涡旋式空气流量传感器的空气通道剖面图如图 3-17 所示,它是由整流器后方的锥度通道,从主通道至出口部位的通道构成的。由于主通道部位制成了矩形截面,所以可获得稳定的涡旋。采用矩形截面及出口部位采用圆形截面目的是尽量减少压力损耗。

(2) 涡旋发生器。将涡旋发生器与电路板部分用合成树脂形成一个部件便制成了传感

器,如图3-18所示,这是进气气流方向的剖面图。与进气气流方向垂直的剖面图如图3-19所示。涡旋发生器的形状如图3-20所示,前边的剖面形状为三角形,后面的剖面形状为梯形,采用这种形状的目的是为了得到稳定的卡曼涡旋。

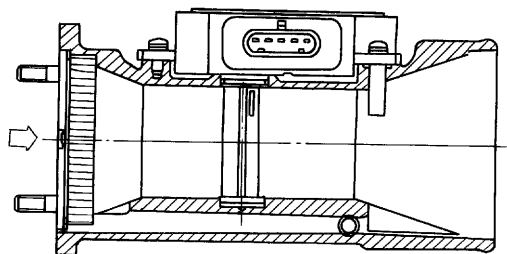


图3-17 卡曼涡旋式空气流量计的剖面图

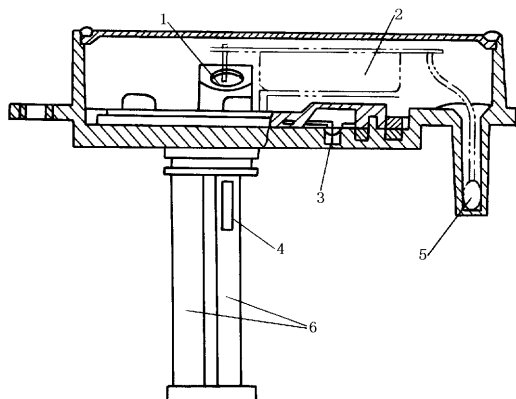


图3-18 传感器的剖面(进气的气流方向)

1—光敏三极管;2—厚膜IC块;3—片弹簧;  
4—导压孔;5—热敏电阻;6—涡旋发生器

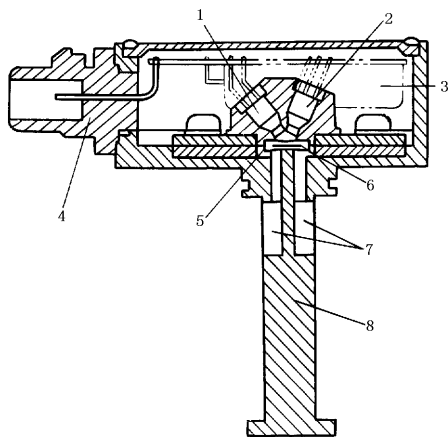


图3-19 传感器剖面(与进气气流垂直方向)

1—LED;2—光敏三极管;3—混合集成电路块;4—插座;  
5—反光腔;6—反光镜;7—导压孔;8—涡旋发生器

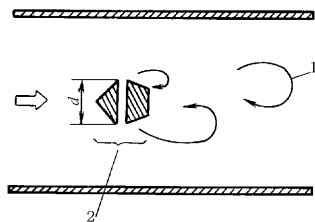


图3-20 涡旋发生器的剖面形状

1—卡曼涡旋;2—涡旋发生器

(3) 反光镜振动系统。对反光镜振动系统有下列三点要求:

- ① 耐疲劳的寿命要长;
- ② 低流速时应具有足够的工作角,高流速时应出现稳定的振动;
- ③ 过渡时期也应有稳定的振动。

反光镜与张紧带的形状如图3-21所示,反光镜和张紧带是用耐腐蚀的整块金属箔制成,反光腔设置有倾斜面,如图3-22所示,其目的是为了防止反光镜倾斜过度而损坏,进一步利用反光镜和倾斜面形成阻尼效果,以减轻与流速平方成比例的涡旋压力对反光镜造成的破坏力。最高流速时反光镜的工作角取决于反光镜扭转方向的惯性矩、空气的阻尼作用及涡旋压

力的大小,而倾斜面的角度  $\theta$  则取决于最大流速时反光镜工作角,由此,即便在高流速状态下,也可以获得反光镜的稳定的振动特性。

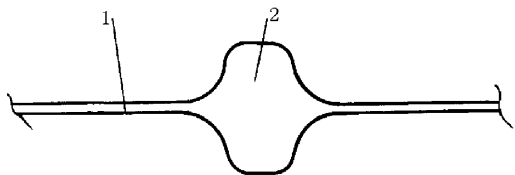


图 3-21 反光镜与张紧带

1—张紧带;2—反光镜

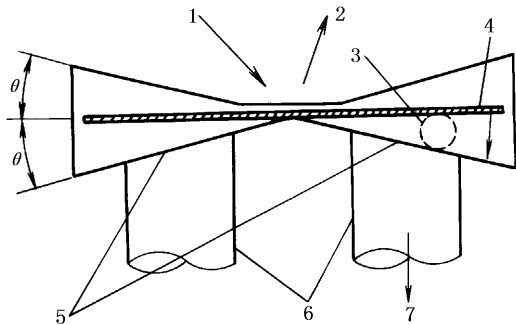


图 3-22 反光腔

1—LED;2—光敏晶体管;3—阻尼件;4—反光镜;  
5—倾斜面;6—导压孔;7—涡旋压力

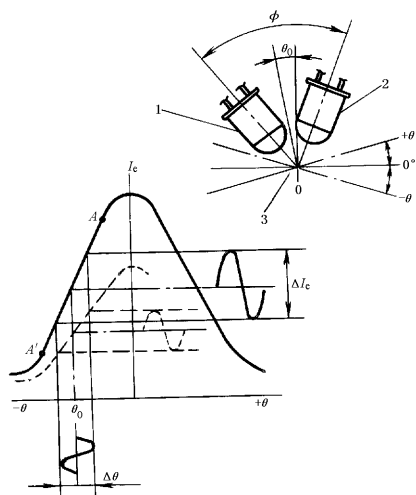


图 3-23 反光镜工作角与发射极输出电流的关系

1—LED;2—光敏三极管;3—反光镜

(4) 光学系统。对光学系统的功能有下列要求:

① 即便反光镜的工作角度为最小值,系统具有高灵敏度;

② 即便反光镜有污浊,也可得到稳定的信号。  
反光镜工作角度  $\theta$  与光敏三极管发射极输出电流  $I_e$  之间的关系如图 3-23 所示,工作角度  $\theta$  设定在  $\theta - I_e$  曲线上大致为直线的部分(图中的 A-A' 部分),对反光镜的反射面来说,光敏器件的位置仅倾斜  $\theta$  角,所以,可输出高灵敏度的信号。

光敏三极管与混合集成电路块相连,即向其输出信号,这一部分电路的方框图如图 3-24 所示。当反光镜被进气中所含杂质、碳粉等污浊后,光敏三极管发射极的输出电流就会减小,如图 3-23 中的虚线所示。为了避免杂质等造成的影响,利用电

流反馈电路控制光电电路部分的电流,使光敏三极管发射极输出电流的平均值为一定值,以保证得到稳定的信号。

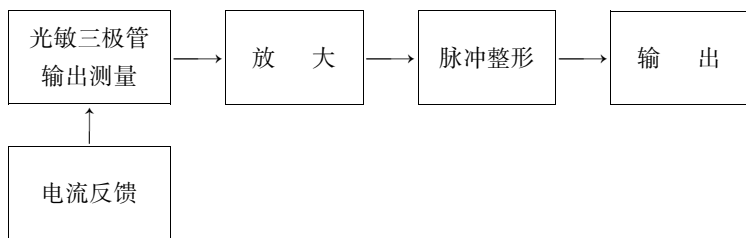


图 3-24 信号处理电路的方框图

(5) 传感器的特性。当在 30 ms 内使节气门从关闭到全打开,即快速打开时,这种传感器的响应特性如图 3-25 所示,图下的曲线为经  $f/v$  变换后的卡曼涡旋空气流量传感器的输出特性,图上的曲线为节气门的开度特性,由图可知,对节气门中流量的变化,空气流量传感器都能准确地反映出来(1~45 ms)。

空气流速与频率之间的关系如图 3-26 所示。空气流速与压力损耗之间的关系如图 3-27 所示。从这两个图中都可以看出,这种流量传感器的测量范围非常宽,而且压力损耗很小。在非常宽的流速范围上,空气流速与涡旋频率之间呈直线关系。

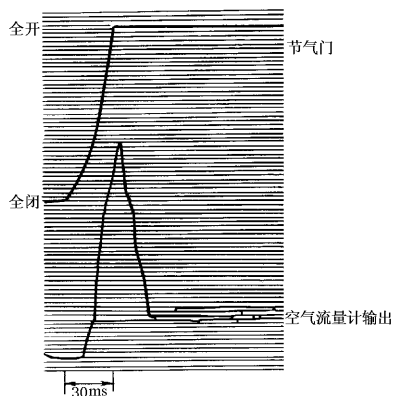


图 3-25 压力变化型卡曼涡旋空气流量传感器的响应特性

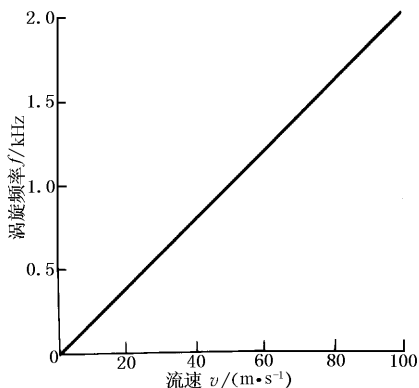


图 3-26 空气流速与涡旋频率之间的关系

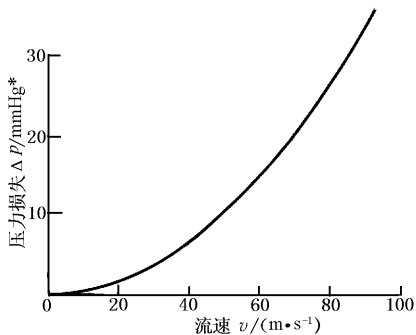


图 3-27 空气流速与压力损耗的关系\*

### 3.2.4 带微差压力传感器的超声波型卡曼涡旋空气流量传感器

卡曼涡旋空气流量传感器的特点是精度高、寿命长、可靠性高。但是,高性能的发动机即进一步降低油耗、提高输出功率的发动机还要求扩展进气量的检测范围,但老式超声波型卡曼涡旋空气流量传感器在高流量的区域将产生过调制的现象,受这一因素的影响,这种传感器有计量范围不足的缺点。为此,又研制出带微差压力传感器的空气流量传感器。

(1) 采用压力损耗小的涡旋发生器。涡旋发生器的功能是在整个流量范围内形成稳定的涡旋。以老式超声波型卡曼涡旋空气流量传感器的发生器尺寸为基础,以三角柱的截面高度  $h$ 、宽度  $w$ 、间隔  $G$ 、稳定板的厚度  $t$  以及稳定板后部的曲率  $R$  为参数可得出最佳形状的发生器,其特性如图 3-28 所示的曲线,从中可以看出,在同一流量(流速)下,压力损耗的增加量可控制在 2% 以下,但涡旋压力可提高 1 倍,涡旋的稳定度也可提高约 1 倍。

(2) 压力损耗较小的管道结构。管道的结构如图 3-29 所示,从减少卡曼涡旋的压力损

\* 1 mmHg = 133.322 Pa。

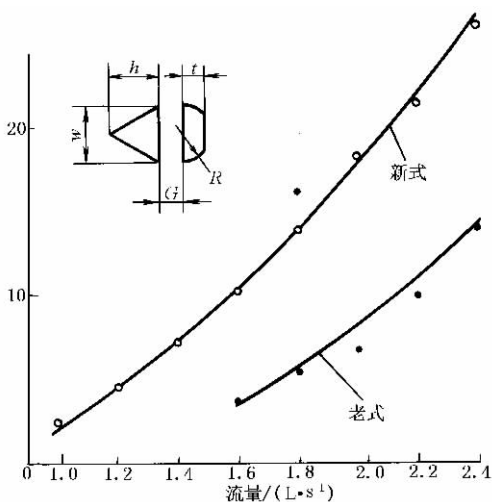


图 3-28 涡旋发生器的形状涡旋的输出压力

耗及微差压力传感器的标准化角度出发,确定了管道是由测量涡旋的主通道与无障碍物(以免产生紊流)的旁通道构成的。各通道的上游设有规格相同长度不同的蜂窝整流器,主通道的整流器具有整流功能,目的是为了生成稳定的卡曼涡旋。旁通道的整流器具有降低低流量区(小雷诺区域)分流比的功能,在小雷诺区域,流体处于层流状态,通路阻力中与边界层的黏性阻力成分增大,因此,在低流量区,与主通道相比,旁通道的通路阻力增大,主通道的流量增大,提高涡旋发生器周围的流速后就可以形成强力的卡曼涡旋。本节介绍的空气流量传感器上,旁通道的蜂窝整流器的长度是主通道的3倍,与采用同样长度的场合下相比,低流量区(2 L/s)的涡旋发生器周围的流速

约提高了18%。

(3) 测量微小的涡旋压力。关于测量微小涡旋压力的微差压力传感器后面还要详细说明,这里对其只作简单介绍。微差压力传感器的结构如图3-30所示,在涡旋发生器的上方设置有半导体膜片,涡旋压力可使膜片形成机械位移,膜片上扩散有P型杂质,由此可以形成桥式压电效应的应力计,通过阻值的变化测出涡旋压力。因汽车发动机是间歇进气的,所以在进气歧管内会产生与发动机转速成比例的脉动压力,对卡曼涡旋压力来说,这一点是不能忽略的,因此就需要保证做到:只是卡曼涡旋压力作用到膜片上,而脉动压力不会产生影响,对此膜片的工作方式采用差压式,即膜片的内、外表面分别设有导压口,在涡旋发生器的侧面、左右对称导入压力。

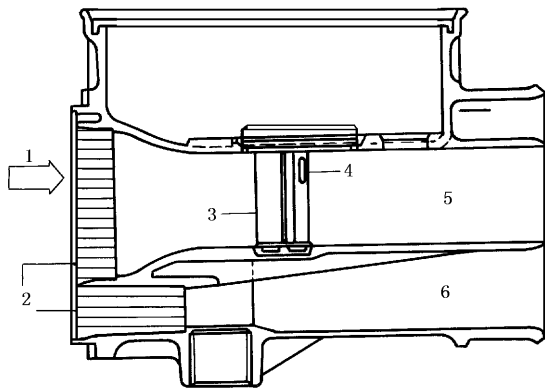


图 3-29 压力检测型空气流量传感器的管道结构

- 1—进气;2—蜂窝状整流器;3—涡旋发生器;  
4—导压口;5—主通道;6—旁通道

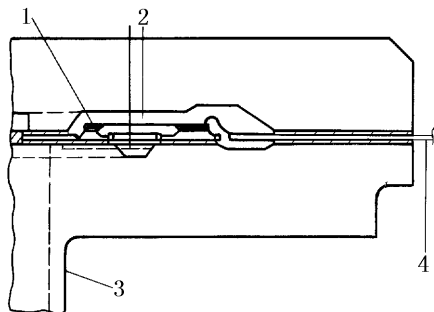


图 3-30 微差压力传感器的结构

- 1—半导体芯片;2—压力腔;3—导压管;4—引线

(4) 带微差压力传感器的空气流量传感器。通过采用最佳形状的涡旋发生器、微差压力传感器,改善通道结构,在发动机进气范围非常宽的状况下,可以保证测量精度达 $\pm 3\%$ ,流量

的动态范围可达到 100 倍。

### 3.3 热丝式空气流量传感器

对发动机的空燃比控制来说,测定进气量的空气流量传感器是很重要的部件,通过空气流量的检测方式及传感器的性能就可以看出燃油喷射系统的差别。空气流量传感器的规格随燃油喷射系统及发动机的不同而不同,但对空气流量传感器的一般要求如表 3-2 所示,即要求它要有较宽的温度范围、动态范围及质量流量检测,在苛刻的工作条件下,性能变化小,对脉动气流也可测试。

表 3-2 对汽车用空气流量传感器的要求

工作温度范围/°C	-30 ~ 110
工作电压范围/V	8 ~ 16
动态范围	1:80 以上
精度/%	±3 之内
压力损失/kPa	1
耐久性	行驶 20 万 km 以上无需维修
耐振性	20 g (20 ~ 200 Hz)

#### 3.3.1 热丝式空气流量传感器的结构

热丝式空气流量传感器(以下简称 H/W)的结构如图 3-31 所示。作为发热体的热丝是用直径为  $\phi 70 \mu\text{m}$  的铂丝制成的,以 U 形状张紧装于管道内部,设计时就使其比进气温度高  $120^\circ\text{C}$ 。在温度传感器中还设有空气温度补偿电阻。它是由氧化铝陶瓷基片印刷的铂膜而形成的,它与精密电阻一起设置在管道内。为防止附着在热丝上的灰尘等造成性能下降,设有灰尘燃烧电路,在点火开关置于断开挡时,在一定的条件下,将热丝加热  $1000^\circ\text{C}$ 、1 s,烧掉灰尘等附着物。因为是用铂丝做发热元件的,所以响应性好。

与此类似的还有热膜式空气流量传感器(以下简称 H/F),与温度传感器类似,H/F 也是采用平面形铂薄膜电阻器作为发热元件,如图 3-32 所示,制造方法是:在氧化铝基片上蒸发出铂的薄膜,通过图形制作形成梳状电阻,再调节到所要求的电阻值,此后,作成保护膜,再接好电极引线。与热丝相比,热膜式发热元件的响应性

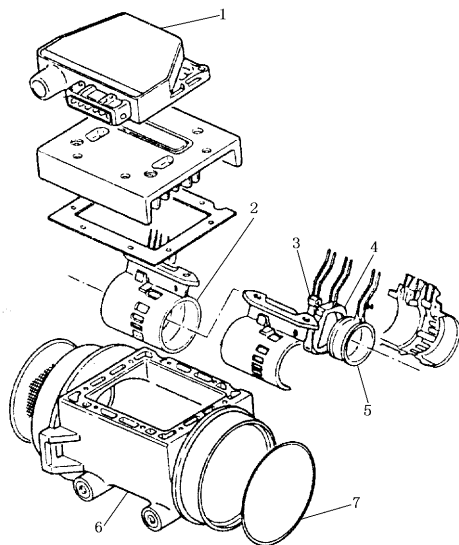


图 3-31 热丝式空气流量传感器的结构  
1—包括放大器在内的混合集成电路;2—测量通道;  
3—温度传感器;4—热丝;5—精密电阻;  
6—管路;7—丝网

稍差,但因为它是通过图形法制成的,所以其电阻值较高,消耗的电流小,可以做到小型、轻巧。此外,因其发热元件是平面形的,从上游侧观察时,可设法使其投影面积做的很小,这样设置在计量通道内时就可以减少附着物,即提高了抗污浊性。

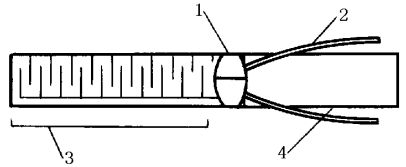


图 3-32 热膜电阻的结构

1—玻璃;2—引线;

3—电阻图形;4—氧化铝基片

### 3.3.2 工作原理

在进气通道上设有用电流加热的铂金属丝(热丝),为了保证热丝的温度为一定值,就必须控制加热电流,由此可以测定出空气流量。

当气流通过已被加热的热丝上时,热丝就要变冷,气流速度越高,从热丝上夺走的热量就越多,即热丝上被夺取的热量是一个变化值。热丝式空气流量传感器就是利用电加热热丝,并把气流速度变换成电信号实现检测的。

为了更容易理解热丝式空气流量传感器的原理,再来看一下日常生活中使用的电吹风。当取下电吹风前端的罩子并把进风处的风量调整关至最小后,闭合电吹风的开关时,就会看到电吹风出口上的电阻丝瞬间就能变为红热状态。如果逐渐增大电吹风中进风风量,就会发现,已红热的电阻丝颜色逐渐改变,即电阻丝上的热量逐渐被夺走,当进风量达到最大时,电吹风的电阻丝则变为黑色。

由上述可知,从发热元件(热丝)的温度变化就可以看出空气流速的变化,但是给车用计算机输入的只能是电信号,因此,还需要把温度变化变换成电量的变化。

如果要想保持电吹风上电阻丝的温度为一定值而与风速无关的话,只要能随时增减电阻丝中的电流就可以了,这就等于将空气流速即空气量的变化变换成为电流的变化。下面对此稍作详细的分析。

利用发热元件制造的空气流量传感器上,发热电阻器有热丝与热膜之分,但以下说明不特别加以区分,统称发热元件。

在强制对流的冷却作用下,发热元件在单位时间里散失的热量  $H$  与发热元件温度  $T_H$ 、空气温度  $T_C$  之差成正比,即可用式(3.3-1)表示。但对热膜式空气流量传感器来说,其表面被辐射率很高的绝缘薄膜覆盖,除强制对流作用之外,还有辐射热传导作用,但为说明简单起见,将此因素忽略时

$$H = hS(T_H - T_C) \quad (3.3-1)$$

式中,  $h$  是发热元件的热导率;  $S$  是发热元件的表面积。

而热导率  $h$  与雷诺数、普朗特数的函数努塞尔数  $Nu$  之间有下列关系

$$h = \lambda Nu(Re^n \cdot Pr^m)/X \quad (3.3-2)$$

$$= \lambda Nu[(\rho UX/\mu)^n \cdot (C_p \mu/\lambda)^m]/X \quad (3.3-3)$$

式中:  $\lambda$  为空气的热导率;  $\mu$  空气的黏性系数;  $\rho$  为空气的密度;  $U$  为流速;  $C_p$  为空气的比热容;  $X$  为发热元件的代表性尺寸。  $m$  与  $n$  的值与流体的性质及雷诺数有关,但对热丝来说,  $m = 0.3, n = 0.38 \sim 0.5$ 。

将式(3.3-3)代入式(3.3-1)中,可得出散热量  $H$  与质量流量  $Q_m$  之间的函数关系

$$H = K\lambda^{1-m}\mu^{m-n}C_p^m(T_H - T_C)Q_m^n \quad (3.3-4)$$

式中:  $Q_m = \rho UA$ ;  $K$  为常数;  $A$  为管路截面积。

另一方面,设发热元件的加热电流为  $I$ ,发热元件的电阻值为  $R_H$ ,在热平衡状态下散热量和发热量相等, $H = R_H I^2$ 。由此,可以得出加热电流  $I$  与质量流量  $Q_m$  的关系

$$I = \left[ \frac{KK_T(T_H - T_C)Q_m^n}{R_H} \right]^{1/2} \quad (3.3-5)$$

式中: $K_T = \lambda^{1-m} \mu^{m-n} C_p^m$ 。 (3.3-6)

对压力来说,系数  $K_T$  是一固定值,由此,通过保证发热元件与空气温度之差和  $R_H$  的比为一定值的办法,就可以根据发热元件的加热电流求出质量流量  $Q_m$ 。但系数  $K_T$  是随温度值而变化的,其温度系数为  $0.15\% \sim 0.18\% / ^\circ\text{C}$ ,对  $K_T$  与温度的关系,用下述的恒温差控制电路进行温度补偿。

恒温差控制电路如图 3-33 所示,它是由发热元件、空气温度补偿电阻(温度传感器)分别作为要素的惠斯顿电桥以及具有电流放大作用的运算放大器构成的。当发热元件的温度高于空气温度时桥式电路才能达到平衡,通过向桥式电路输入加热电流才能保持发热元件的温度为恒定值。由此,精密电阻  $R_3$  的两端才能输出与进气流量相应的电压。输出电压与空气流量之间的关系如图 3-34 所示,这条曲线很近似于 4 次方根,所以低流量时的灵敏度较高,此外,在很宽的空气流量范围上都可以完成高精度检测。

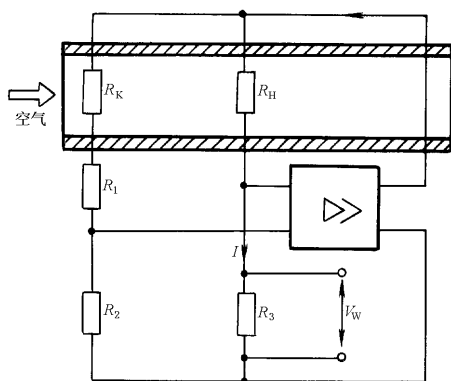


图 3-33 恒温差控制电路

$R_H$ —热丝; $R_K$ —空气温度补偿电阻(温度传感器);

$R_1, R_2, R_3$ —桥接电阻

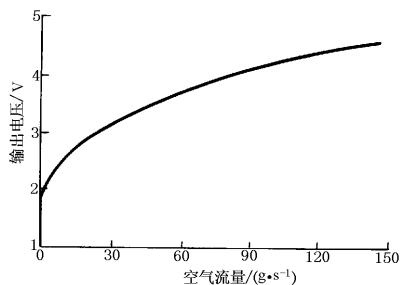


图 3-34 输出电压与空气流量之间的关系

当桥形电路处于平衡状态时,发热元件的电阻值  $R_H$  可由下式给出

$$R_H = R_3(R_1 + R_K)/R_2 \quad (3.3-7)$$

式中, $R_K$  是空气温度补偿电阻(温度传感器); $R_1, R_2, R_3$  为各桥接电阻的阻值,假设  $R_H, R_K$  都具有同样的温度系数,则

$$R_H = R_{H0}(1 + \alpha T_H) \quad (3.3-8)$$

$$R_K = R_{K0}(1 + \alpha T_C) \quad (3.3-9)$$

式中的  $R_{H0}, R_{K0}$  表示的是  $R_H$  与  $R_K$  在温度为  $0^\circ\text{C}$  时的阻值,根据式(3.3-7)、式(3.3-8)、式(3.3-9)可求出发热元件与空气的温度差和  $R_H$  的比值为

$$\frac{(T_H - T_C)}{R_H} = \frac{(1 - k)}{\alpha R_{H0}} + \frac{R_1}{\alpha R_H R_{K0}} \quad (3.3-10)$$



式中,  $k = (R_{H0}R_2/R_{K0}R_3) < 1$  是一个常数。从式(3.3-10)中可以看出,通过设置  $R_1$ ,则温度差与  $R_H$  之比就与温度值有关,随着温度的升高,  $R_H$  增大,  $(T_H - T_C)/R_H$  则减小,由此,利用  $R_1$  调整发热元件与空气温度之差的温度系数,就可以用  $(T_H - T_C)/R_H$  抵消系数  $K_T$  的温度漂移。

### 3.3.3 质量流量检测精度

下面根据测量结果来说明改变空气温度、湿度及压力时的传感器质量流量检测精度。图中示出的虽然都是热丝式的特性,但热膜式的也具有同样的特性。从式(3.3-6)可知,当空气导热率的幂指数为 0.7 时,与其他常数相比,此值为最大,所以空气导热率的变化对流量精度的影响也最大。

(1) 温度特性。以空气温度为 23 °C 时的流量特性为基准,空气温度从 -30 °C ~ 80 °C 时的流量误差如图 3-35 所示。例如,在流量大于 40 g/s 的区域,对热丝式来说,由于进行了温度补偿,所以偏差几乎为 0。从图中还可以看出,在低于 20 g/s 的低流量区,有流量误差产生,这是因为以雷诺数 44 为界限,低于 44 时热丝下游会产生涡旋、热传递的状况发生很大变化造成的。也就是说,雷诺数越小,式(3.3-6)中的幂指数  $n$  就越小,相当于系数  $K_T$  的温度系数随着流量而

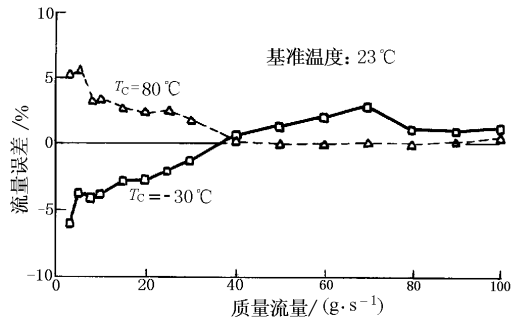


图 3-35 温度特性(温度 0%, 压力 1 atm<sup>①</sup>)

变化。此外,对热膜式来说,流量的检测范围并不包括上面说过的迁移区域,而辐射热传导与温度有关才是造成流量误差的主要原因。因为辐射热传导与绝对温度的 4 次方成正比,所以温度不同时,变化特别大;此外流量越小,对辐射热传递的影响越大,所以低流量时产生流量误差。

(2) 压力特性。前面已经讲过,空气的导热率、黏度系数等几乎不随压力发生变化,所以,如图 3-36 所示,对标高 3 000 m,气压相应变化为  $101 \times 10^3$  kPa →  $73.3 \times 10^3$  kPa (760 → 550 atm\*) 流量的误差非常小,由此可知:热式空气流量传感器起到了质量流量计的作用。

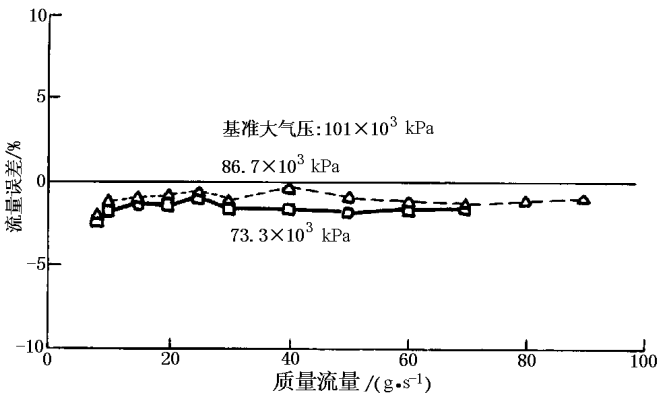


图 3-36 压力特性(温度 23 °C, 湿度 0%)

注: \* 1 atm = 101 325 Pa。

(3) 湿度特性。以干燥空气的流量特性为基准,湿度变化对测量的影响如图 3-37 所示。从图可知,湿度越高,流量的正方向误差就越大。

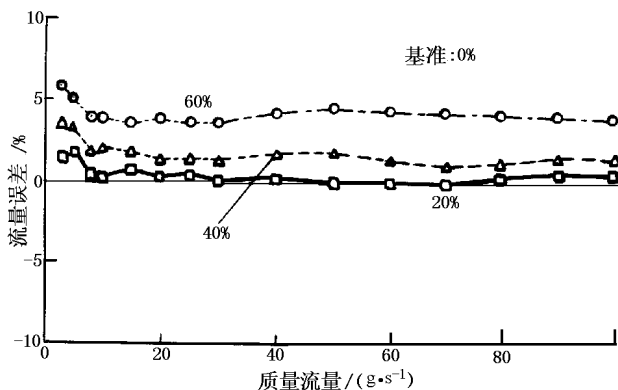


图 3-37 湿度特性(温度 23 °C, 压力 1 atm)

含有水蒸气的潮湿空气的热导率并不完全取决于单纯的克分子数率,当混入的空气不是干燥的而是热导率较低的水蒸气,潮湿空气的热导率呈增大的趋向。也就是说,随着水蒸气量的增加,潮湿空气的热导率增大,与此相反的是黏度系数减少,所以湿度的增加反映在流量误差上是相乘的效果。

### 3.3.4 响应特性

传感器的响应特性不仅与发热元件的热时间常数有关,而且与恒定温差控制电路的回路常数有关。例如,设发热元件的热时间常数为 $\tau$ 、一阶滞后的运算放大器的时间常数为 $M$ ,直流反馈增益为 $K_0$ 时,流速变化时的频率响应特性可近似用下式表示

$$f_w = (K_0/M\tau)^{1/2} \quad (3.3-11)$$

式中, $f_w$ 为谐振频率。

发热元件的热时间常数 $\tau$ 与热容量 $C$ 成正比,与热导率 $h$ 及表面积 $S$ 成反比。

$$\tau = C/hS \quad (3.3-12)$$

从上式可知,流量越大,热时间常数越小。例如:根据热导率 $h$ 与 $X^{1/2}$ 成反比,宽为 $x$ ,厚为 $t$ ,长度为 $L$ 的平面形发热元件的热时间常数用下式表示:

$$\tau = C_0 t X^{1/2} \quad (3.3-13)$$

式中的 $C_0$ 是比例常数。从上式可知,热时间常数与发热元件的长度 $L$ 没有关系,发热元件的厚度才是重要的参数。在流量为一定(50 g/s)的状态下,给闭环回路加上正弦波电压,根据测得的响应频率加以计算,所得不同流量下的频率特性如图 3-38 所示,

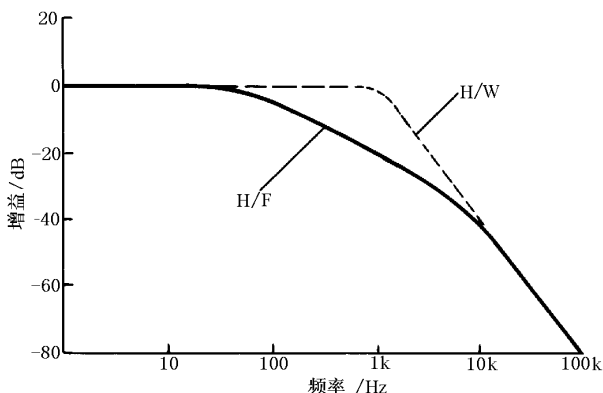


图 3-38 流速变化的频率响应( $Q_m = 50 \text{ g/s}$ )

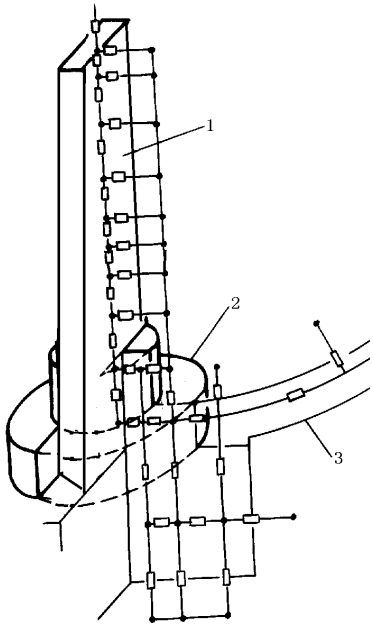


图 3-39 热回路网模型(H/F)  
1—H/F 元件;2—支架;3—测量管道

当频率超过 10 kHz 时增益降低,这是差动放大器的一阶滞后造成的影响。

这里说明的频率响应适用于流量变化比较小的场合,当幅度变化更大的场合下,就需要考虑到非线性特性以及发热元件至支撑部件的热传导的损耗特性等造成的影响。在恒定温差控制电路的作用下,即使流速在变化,热膜元件上加热面(通过布线形成电阻的平面)的平均温度基本上不变,但在热时间常数的传播时间内,因元件支撑部位附近的温度发生变化,所以响应性变差。

为了明确热损耗特性与响应性的关系,可设想图 3-39 所示的热回路网模型,根据热回路方程式和闭合回路的特性作阶跃响应模拟,在热膜元件厚度与测量管道内突起长度  $L_S$  为一定的条件下,改变加热元件长度  $L_H$  时,热损耗特性与阶跃流量变化时的响应特性的关系用图 3-40 表示。图中的  $\Delta Q_m$  是响应曲线斜度急剧变化时的流量误差,而  $T_{98}$  是流量变化达到 98% 时所需要的时间。

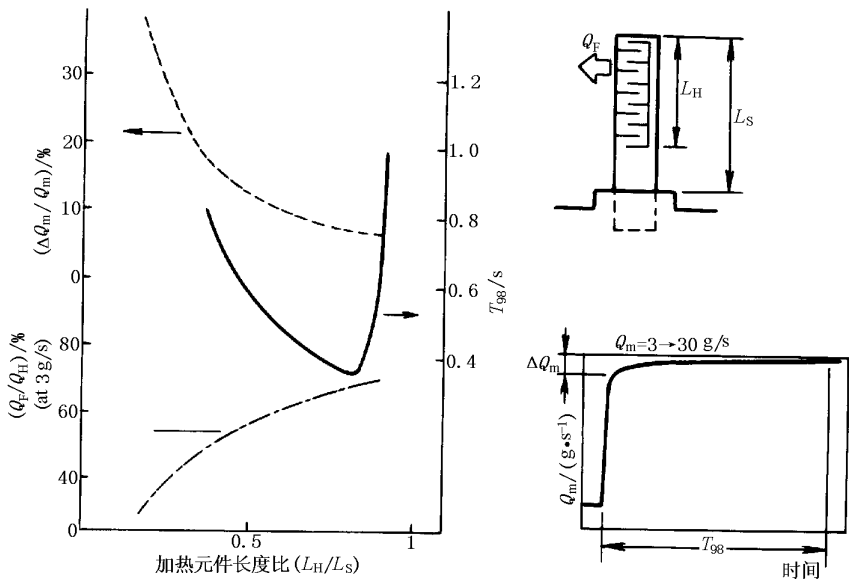


图 3-40 热损耗特性与响应特性的关系(模拟结果)

从图 3-40 中可以看出,加热元件长度  $L_H$  越长,与发热量  $Q_H$  相比,热传导量  $Q_F$  的比例(热损耗率)就越高,同时流量误差  $\Delta Q_m$  与 98% 的响应时间就越短,即响应性提高了。但是加热元件太长时,其效果也将减小,超过一定值时 98% 的响应时间反而增加,由此可以得出结论,在上述条件下,加热元件长度比  $L_H/L_S$  的最佳值是 0.7 ~ 0.8。