

第3章 汽车传感器

作为汽车“感觉器官”的传感器将各种输入参量转换为电信号,这些电信号是调节和控制发动机管理系统、底盘控制系统、车身各电子控制系统、信息通信系统等所必需的。

3.1 汽车传感器的类型与要求

3.1.1 传感器的基本功能

传感器是能感受规定的被测量(物理或化学等量,一般为非电量),并按照一定规律转换成可用输出信号(电量)的器件或装置。或者说:传感器就是将光、时间、电、温度、压力和气体等的物理化学量转换成电信号的变送器。在考虑到干扰输入 D_i 后,传感器将物理或化学参量 X (大多为非电量)转换为电量 Y 。这一转换过程如图 3-1 所示。

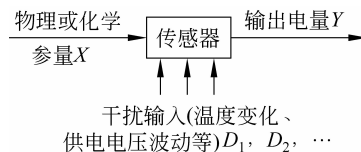


图 3-1 传感器基本功能图

传感器的特性可以用下列方程式表示:

$$X = f(Y, D_1, D_2, \dots)$$

如果已知函数 f , 则该方程式即为传感器的数学模型。利用该方程式, 就可以从输出信号 Y 和干扰输入 D_i 准确地计算出所求的测量参量。

3.1.2 汽车传感器的分类

1. 按能量关系分类

传感器按能量关系分类,可分为主动型和被动型传感器。汽车上使用的传感器大多数属于被动型传感器,这种被动型传感器需要外加输入电源(一般为+5 V),才能输出电子信号。例如温度传感器,它以改变电阻值的方式向外输出电信号,但信号的输出需要测试回路提供电源。电源的输出能量要受测试对象输出信号所控制。采用电阻、电感、电容及应变效应、磁阻效应、热阻效应制成的传感器都属于被动型传感器。

主动型传感器是指传感器本身在吸收了能量(光能和热能)经变换后再输出电能。例如,太阳能电池和热电偶输出的电能分别来源于传感器吸收的光能和热能。因此主动型传感器不需要外加电源,它本身是一个能量变换器。例如,用压电效应、磁致伸缩效应、热电效应、光电效应等制成的传感器都属于主动型传感器。

2. 按信号转换分类

按信号转换关系分类,可分为:由一种非电量转换成另一种非电量的传感器,如弹性敏感传感器;由非电量转换成电量的传感器,如热电偶温度传感器、压电式加速度传感器等。

3. 按输入量分类

按输入量分类即按被测量分类,可分位移、速度、加速度、角位移、角速度、力、力矩、压

力、真空度、温度、电流、气体成分、浓度传感器等。

4. 按传感器的工作原理分类

按传感器的工作原理分类,有电阻式、电容式、应变式、电感式、光电式、光敏式、压电式、热电式传感器等。

5. 按输出信号分类

按传感器输出信号分类,有模拟式和数字式传感器两种。一般来说,电压、电流、阻抗等都是模拟信号。例如,用直流电压信号来传递一个“量”时,只要把“量”的值变化成直流电压就可以了。电压低时传递的“量”比较小,电压高时传递的“量”比较大,即用电信号的变化来传递“量”的变化情况。所谓“数字信号”,就是表示量的符号,汽车电子控制系统中一般用二进制数表示数字信号。与连续的模拟量不同,数字式传感器的输出是离散的数值或符号,与此对应的有通、断(ON/OFF)型传感器。图 3-2 所示为电压型、频率型和脉冲宽度型信号输出形式的示意图。

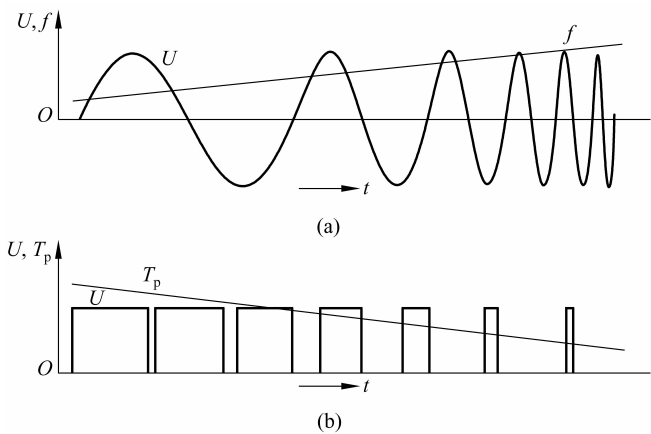


图 3-2 传感器输出形式示例
(a) 电压 U 、频率 f ; (b) 电压 U 、脉宽 T_p

6. 按使用功能分类

汽车各种传感器按其使用功能又可分为两类,一类是使驾驶员了解汽车各部分状态的传感器,另一类是用于控制汽车运行的传感器,汽车传感器的种类如表 3-1 和图 3-3 所示。

表 3-1 汽车传感器的种类

种 类	检测量或检测对象
温度传感器	冷却液温度、排出气体(催化剤)温度、进气温度、机油温度、自动变速器油温、车内外空气温度、燃油温度、蓄电池温度、蒸发器出口温度
压力传感器	进气歧管压力、大气压力、燃烧压力、发动机机油压力、自动变速器油压、制动油压、轮胎气压、制冷剂压力
转速传感器	曲轴转速、车轮轮速、凸轮轴转速、变速器输入轴转速、变速器输出轴转速、压缩机转速
加速度传感器	横向加速度、纵向加速度、爆燃、碰撞
流量传感器	吸入空气量、燃料流量、废气再循环量、二次空气量、制冷剂流量、雨量

续表

种 类	检测量或检测对象
液量传感器	燃油、冷却液、电解液、洗窗液、机油、制动液
位移与方位传感器	节气门开度、废气再循环阀开度、车身高度(悬架、位移)、转向盘转角、加速踏板开度、行驶距离、行驶方位、GPS 全球定位
气体浓度传感器	氧气、二氧化碳、NO _x 、HC、柴油温度
其他传感器	转矩、燃料成分、温度、玻璃结露、鉴别饮酒、睡眠状态、电池电压、蓄电池容量、灯泡断线、荷重、风量、日照、光照等

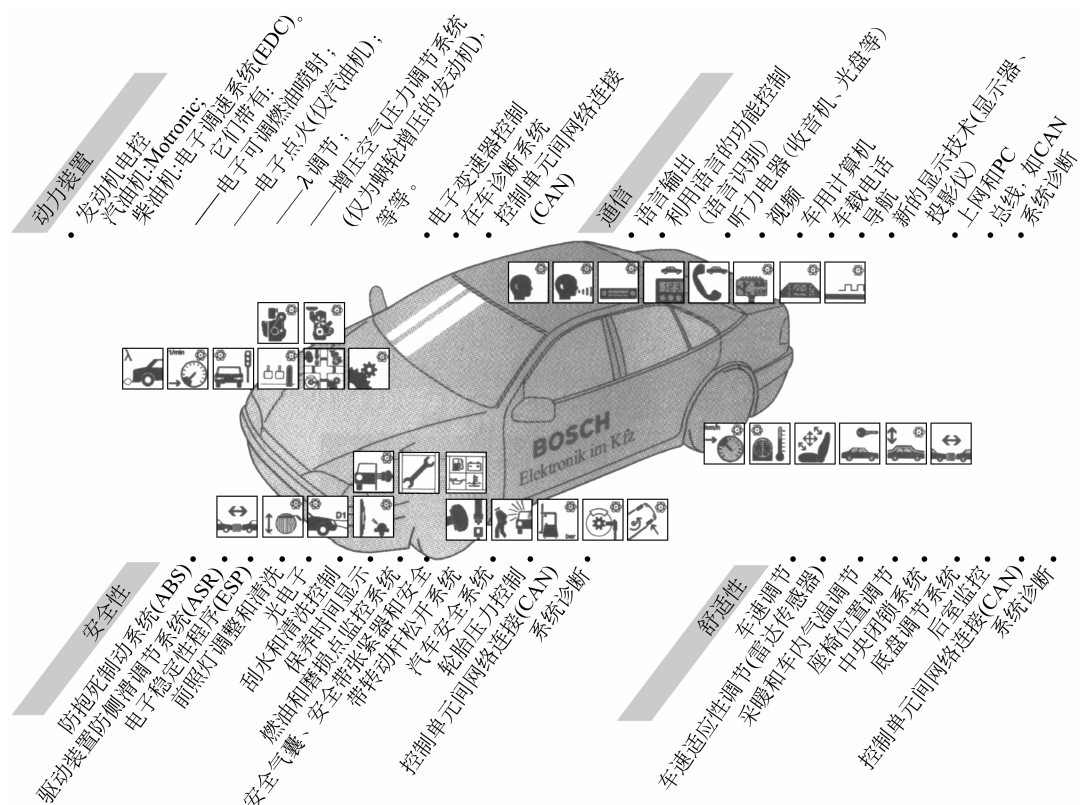


图 3-3 汽车上的各种传感器

3.1.3 汽车传感器的性能要求

汽车传感器的性能指标包括精度指标、响应性、可靠性、耐久性、结构紧凑性、适应性、输出电平 and 制造成本等。汽车传感器性能要求如下:

(1) 有较好的环境适应性。汽车工作温度为 $-40\sim 80^{\circ}\text{C}$,在各种道路条件下运行,特别是发动机承受着巨大的热负荷、热冲击、振动等,因此要求传感器能适应温度、湿度、冲击、振动、腐蚀及油液污染等恶劣工作环境。

(2) 有较高的工作稳定性及可靠性。

(3) 再现性好。即使传感器线性特性不良,通过 ECU 也应可以进行修正。

(4) 具有批量生产和通用性。由于汽车工业的发展,要求传感器应具有批量生产的可能性。一种传感器可用于多种控制,如把速度信号微分,可得到加速度信号等,所以传感器应具有通用性。

(5) 要求小型化,便于安装使用,检测识别方便。

(6) 应符合有关标准要求。

(7) 传感器数量不受限制。

在现代汽车电子控制系统中,传感器可把被测参数转变成电信号,无论参数数量怎样多,只要把传感器信号输入 ECU,就可以进行处理,实现高精度控制。表 3-2 中给出了一些汽车传感器的检测项目和精度要求。

表 3-2 部分汽车传感器的检测项目和精度要求

传感器类型	检测范围	精度要求	分辨能力	相应时间
进气歧管压力	10~100 kPa	$\pm 2\%$	0.1%	2.5 ms
空气流量	6~600 kg/h	$\pm 1\%$	0.1%	2.5 ms
冷却液温度	-50~150℃	$\pm 0.2\%$	1℃	10 s
曲轴转角	10°~360°	$\pm 0.5^\circ$	1°	20 μ s
节气门开度	0~90°	$\pm 1\%$	0.2°	10 ms
排气中氧浓度	0.4~1.4	$\pm 1\%$	1%	10 ms

3.1.4 汽车传感器的选用原则

1. 量程的选择

量程是传感器测量上限和下限的代数差。例如检测车高用的位移传感器,要求测量上限为 40 mm,测量下限为-40 mm,则选择车身位移传感器的量程应为 80 mm。

2. 灵敏度的选择

传感器输出变化值与被测量的变化值之比称为灵敏度。例如,测量发动机冷却液温度的传感器,它的测量变化值为 170℃(-50~120℃),而它的输出电压值要求为 0~5 V,所以选择其灵敏度为 5 V/170℃。

3. 分辨率的选择

分辨率表示传感器可能检测出的被测信号的最小增量。例如,发动机曲轴的位置传感器,要求分辨率为 1°,也就是表示设计或选择数字传感器时,它的脉冲当量选择为 1°。

4. 误差的选择

误差是指测量值与真实值之间的差。有的用绝对值表示,例如冷却液温度传感器的绝对误差为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$,有的用相对于满量程之比来表示。例如,空气流量传感器的相对误差为 $\pm 1\%$ 。传感器误差是系统总体误差所要求的,应当得到满足。

5. 重复性的选择

重复性是指传感器在工作条件下,被测量的同一数值,在一个方向上进行重复测量时,测量结果的一致性。例如,检测发动机在转速上升时期对某一个速度重复测量时,数值的一致性 or 误差值,应满足规定要求。

6. 线性度的选择

汽车传感器的线性度是指它的输入输出关系曲线与其理论拟合直线之间的偏差。这种偏差要选择大小一定、重复性好,而且有一定的规律,这样在 ECU 处理数据时可以用硬件或软件进行补偿。

7. 过载的选择

过载表示传感器允许承受的最大输入量(被测量)。在这个输入量作用下传感器的各项指标应保证不超过其规定的公差范围。一般用允许超过测量上限(或下限)的被测量值与量程的百分比表示。选择时只要实际工况超载量不大于传感器说明书上的规定值即可。

8. 可靠度的选择

可靠度是在规定条件(规定的时期,产品所处的环境条件、维护条件和使用条件等)下,传感器正常工作的可能性。例如进气歧管压力传感器的可靠度为 0.997(2000 h),它是指进气歧管压力传感器符合上述条件时,工作在 2000 h 内,它的可靠性(概率)为 0.997(99.7%)。在选择时,要求传感器的工作时间长短及概率两指标都要符合要求,才能保证整个系统的可靠性指标。

9. 响应时间的选择

传感器的响应时间(或称建立时间)是指阶跃信号激励后,传感器输出值达到稳定值的最小规定百分数(如 5%)时所需的时间。例如压力传感器响应时间要求是 10 ms,也就是要求该传感器在工作条件下,从输入信号加入后,要经 10 ms 后,它的输出值才达到所要求的数值。该参数大小直接影响汽车工况变换的时间,例如汽车起动时间的长短。

3.1.5 汽车传感器的发展趋势

未来的汽车传感器技术的发展趋势是微型化、多功能化、集成化和智能化,它不仅能提供用于模拟和处理的信号,而且还能对信号做放大处理。同时,它还能自动进行时漂、温漂和非线性的自校正,具有较强的抵抗外部电磁干扰的能力,保证传感器信号的质量不受影响,即使在特别恶劣的使用条件下,仍能保持较高的精度。它还具有结构紧凑、安装方便的优点,从而免受机械特性的影响。

20 世纪末期,设计技术、材料技术、特别是微机电系统(MEMS)技术的发展使微型传感器提高到了一个新的水平,利用微电子机械加工技术将微米级的敏感元件、信号处理器和数据处置装置封装在同一个芯片上,它具有体积小、价格便宜、可靠性高等特点。同时,MEMS 微型传感器具备降低汽车电子系统成本及提高其性能方面的优势,正在逐步取代使用传统机电技术的传感器。MEMS 传感器将成为世界汽车电子的重要组成部分。

3.2 汽车温度传感器

3.2.1 温度传感器在汽车上的应用

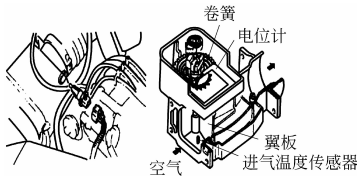
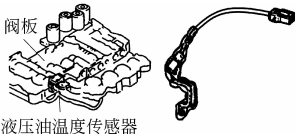
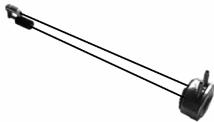
汽车上的热源较多,对这些热源介质的测量,将有效地监测各部件的运转状况,对汽车控制参数进行控制。汽车上各测温介质及其温度变化范围见表 3-3。

表 3-3 汽车上各测温介质及其温度变化范围

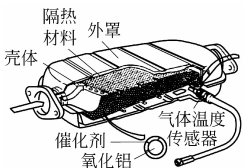
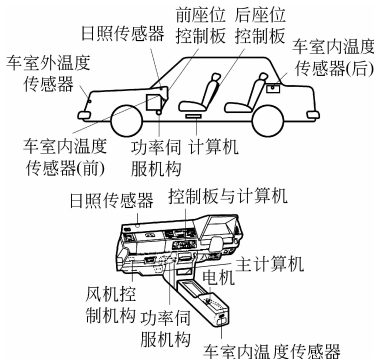
测温介质	温度范围/℃	测温介质	温度范围/℃
进气或增压空气	－40～170	发动机机油	－40～170
外部空气	－40～60	蓄电池电解液	－40～100
车内空气	－20～80	燃油	－40～120
暖气通风空气	－20～60	轮胎内空气	－40～120
空调蒸发器介质	－10～50	废气	100～1000
冷却液	－40～130	制动钳(刹车钳)	－40～2000

对不同测温介质需要安装相应的温度传感器,汽车上主要温度传感器的类型及功能见表 3-4。

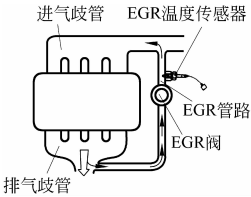
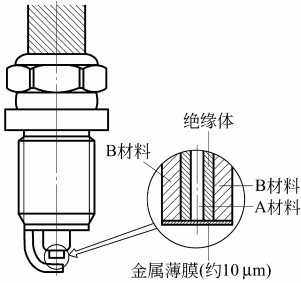
表 3-4 汽车上主要温度传感器的类型及功能

名称	外形或安装位置	测温原理	功能
冷却液温度传感器		热敏电阻	俗称水温传感器,一般安装在缸体水道上、缸盖水道上、上出水管等处,与冷却液接触,用来检测发动机的冷却液温度
进气温度传感器		热敏电阻	检测进入进气管道中的空气温度,向 ECU 输入进气温度信号,作为燃油喷射和点火正时的修正信号。一般安装在空气滤清器之后的进气软管上,或安装在空气流量传感器上,或安装在进气压力传感器内
自动变速器油温传感器		热敏电阻	安装在自动变速器油底壳内的阀板上,用于检测自动变速器液压油的温度,以作为电控单元进行换挡控制、油压控制和锁止离合器控制的依据
发动机机油温度传感器		热敏电阻	检测发动机机油温度,用于机油温度过高报警
燃油温度传感器		热敏电阻	产生的信号用来监测燃油温度。发动机控制单元需要这个信号来计算喷油始点和喷油量。温度不同,燃油密度也不相同。另外,此信号也用来控制燃油冷却泵开关接合。不同的燃油控制系统,其燃油温度传感器的安装位置是不同的,但均安装在进油油路上

续表

名 称	外形或安装位置	测温原理	功 能
排气温度传感器		热敏电阻热电偶	又称催化剂温度传感器,其作用是:在催化转化器异常发热时,能够快速发出报警信号,以便保护催化转化器并防止高温引发故障。排气温度传感器安装在催化剤变换器的后面,它不仅总是处于高温、具有腐蚀性的排放气体中,而且还要反复承受从低温区急速起动至满负荷高温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;防路面的飞石等
车内温度传感器		热敏电阻	用于测量车内温度,把信号传送给自动空调的电子控制单元。车内温度传感器安装于汽车车厢内的风道中,一般有1~2个
车外温度传感器		热敏电阻	用于检测车辆外部的空气温度,向自动空调 ECU 输入车外温度信号。一般安装在前保险杠的后面
蒸发出口温度传感器		热敏电阻	用于检测蒸发器表面的温度变化情况,以控制压缩机的工作状况。一般安装在空调出风口处蒸发器的壳体或蒸发器片上
水温表传感器		热敏电阻	用于检测发动机冷却液温度,以驱动水温表的指针摆动
散热器水温开关		双金属片热敏铁氧体	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

续表

名 称	外形或安装位置	测温原理	功 能
EGR 温 度 传感器		热敏电阻	用于检测 EGR 阀内再循环气体的温度变化情况和 EGR 阀的工作是否正常以提醒驾驶员。一般安装于 EGR 阀的进气道上
燃烧温度传 感器		热电偶	用于检测燃烧室燃烧时的温度,以检测发动机燃烧状态

3.2.2 热敏电阻式温度传感器

1. 热敏电阻的特点

1) 优点

- (1) 灵敏度较高,其电阻温度系数要比金属大 10~100 倍以上,能检测出 10^{-6}°C 的温度变化;
- (2) 工作温度范围宽,常温器件适用于 $-55\sim 315^{\circ}\text{C}$,高温器件适用温度高于 315°C (目前最高可达到 2000°C),低温器件适用于 $-273\sim -55^{\circ}\text{C}$;
- (3) 体积小,能够测量其他温度计无法测量的空隙、腔体及生物体内血管的温度;
- (4) 使用方便,电阻值可在 $0.1\sim 100\text{ k}\Omega$ 间任意选择;
- (5) 易加工成复杂的形状,可大批量生产;
- (6) 稳定性好、过载能力强。

2) 缺点

- (1) 因电阻与温度间的非线性程度较严重,需要作线性处理;
- (2) 热敏电阻一致性差,互换性差;
- (3) 振动严重的场合可能会造成破损。

2. 热敏电阻的结构形式

热敏电阻是用一种半导体材料制成的敏感元件,是由一金属氧化物,如钴、锰、镍等的氧化物,采用不同比例的配方,经高温烧结而成。然后采用不同的封装形式制成珠状、片状、杆状、垫圈状等各种形状,其结构形式如图 3-4 所示。它主要由热敏元件、引线 and 壳体组成。

3. 热敏电阻的特性

热敏电阻按半导体电阻随温度变化的典型特性分为三种类型:负电阻温度系数热敏电阻(NTC)、正电阻温度系数热敏电阻(PTC)和在某一特定温度下电阻值会发生突变的临界温度电阻器(CTR)。三种热敏电阻的特性曲线如图 3-5 所示。

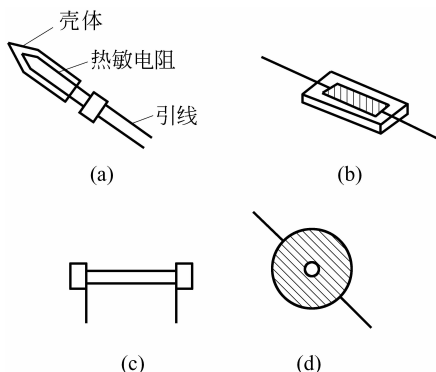


图 3-4 热敏电阻的结构形式

(a) 珠状; (b) 片状; (c) 杆状; (d) 垫圈状

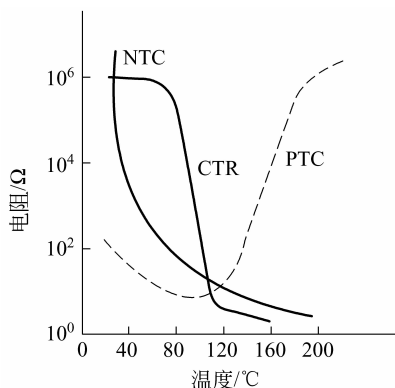


图 3-5 三种热敏电阻的特性

由图 3-5 可见,使用 CTR 型热敏电阻组成控制开关是十分理想的。在温度测量中,则主要采用 NTC 或 PTC 型热敏电阻,但使用最多的是 NTC 型热敏电阻。NTC 型热敏电阻的阻值与温度的关系可表示为

$$R_T = R_0 \exp B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

式中, R_T , R_0 —— T (K)和 T_0 (K)时的阻值;

B ——热敏电阻的材料常数,一般情况下, $B=2000 \sim 6000$ K,在高温下使用时, B 值将增大。

若定义 $\frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT}$ 为热敏电阻的温度系数 α_T ,则可得

$$\alpha_T = \frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT} = \frac{1}{R_T} R_0 \exp B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) B \left(-\frac{1}{T^2} \right) = -\frac{B}{T^2}$$

可见, α_T 随温度降低而迅速增大。 α_T 决定热敏电阻在全部工作范围内的温度灵敏度。热敏电阻的测温灵敏度比金属丝的高很多。例如 B 值为 4000 K,当 $T=293.15$ K(20℃)时,热敏电阻的 $\alpha_T=4.7\%/^{\circ}\text{C}$,约为铂电阻的 12 倍。由于温度变化引起的阻值变化大,因此测量时引线电阻影响小,并且体积小,非常适合测量微弱温度变化;但是,热敏电阻非线性严重。所以,实际使用时要对其进行线性化处理。

4. 热敏电阻的线性化处理

热敏电阻值随温度变化呈指数规律,也就是说,其非线性十分严重,当需要线性变换时,就应考虑其线性化处理。

对热敏电阻进行线性化处理的最简单方法是用温度系数很小的精密电阻与热敏电阻串联或并联构成电阻网络(常称为线性化网络)代替单个热敏电阻,其等效电阻与温度呈一定

的线性关系。图 3-6 表示了两种最简单的线性化方法。

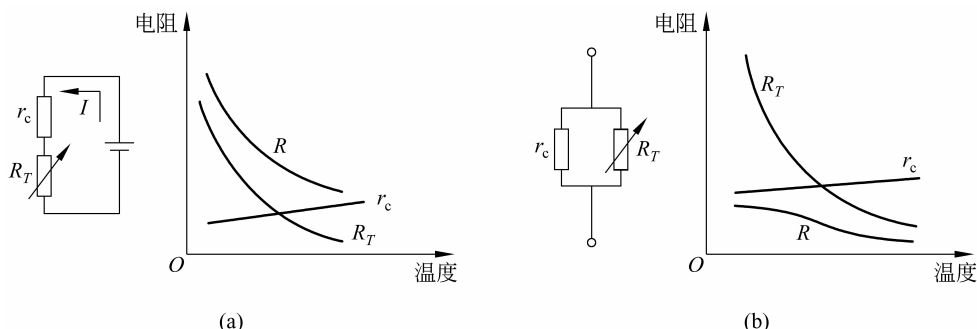


图 3-6 常用补偿电路

(a) 串联; (b) 并联

图 3-6(a)中热敏电阻 R_T 与补偿电阻 r_c 串联,串联后的等效电阻 $R = R_T + r_c$,只要 r_c 的阻值选择适当,可使温度在某一范围内,与电阻的倒数呈线性关系,所以电流 I 与温度 T 成

线性关系。

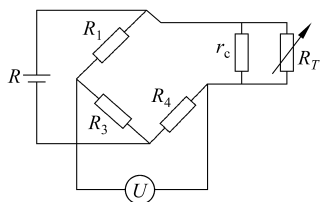


图 3-7 并联补偿测量的桥式电路

图 3-6(b)中热敏电阻 R_T 与补偿电阻 r_c 并联,其等效电阻 $R = \frac{r_c R_T}{r_c + R_T}$ 。 R 与温度的关系曲线便显得比较平坦,因此可以在某一温度范围内得到线性的输出特性。并联补偿的线性电路常用于电桥测温电路,如图 3-7 所示。

当电桥平衡时, $R_1 R_4 = R_3 (r_c // R_T)$, 电压 $U = 0$, 这时对应某一个温度 T_0 。当温度变化时, R_T 将变化,使得电桥失去平衡,电压 $U \neq 0$,输出的电压值就对应了变化的温度值。

5. 热敏电阻温度传感器在汽车上的应用举例

由于热敏式温度传感器的电阻随温度变化而显著变化,能直接将温度的变化转换成电压变化,所以在汽车上得到广泛应用。

1) 冷却液温度传感器

电子控制燃油喷射装置的发动机冷却液温度传感器以热敏电阻为检测元件,如图 3-8 所示。该传感器采用的热敏电阻具有负温度系数,如图 3-9 所示。当水温低时,电阻值大;水温升高,电阻值减小。

发动机冷却液温度传感器将发动机冷却液温度的变化转换为电信号输送到 ECU, ECU 根据输入的信号(发动机冷却液温度的高低)对发动机喷油量进行修正,以调整空燃比,使进入发动机的可燃混合气燃烧稳定,冷机时供给较浓的可燃混合气;热机时供给较稀的混合气。如果传感器损坏,当发动机处于冷机状态时,致使混合气过稀,发动机就不易起动且运转不平稳;暖机时,又致使混合气过浓,发动机也不能正常工作。

图 3-10 所示为常见的电喷发动机冷却液温度传感器与 ECU 的连接电路。