

# 温度测量实用准则

温度可通过各式各样的传感器来测量。所有传感器都是通过感知物理特性的某些变化来判断温度。工程师有可能碰到的6种传感器类型如下：热电偶、电阻温度探测器（RTD与热敏电阻）、红外辐射器、双金属器件、液体膨胀式器件以及相变器件。首先，我们对每种传感器进行简短回顾。

热电偶主要由两种不同金属制成的金属条或金属线组成，它们的一端连接在一起。如后面所讨论的，该连接点处的温度变化会引起另外两端之间电动势(emf)的变化。随着温度升高，热电偶的这一输出电动势emf也会增大，但不一定呈线性关系。

电阻温度探测器利用了材料电阻随材料温度而变化这一事实。两种主要类型为金属测温器件（通常称为RTD）和热敏电阻。顾名思义，RTD依靠金属电阻的变化，电阻的增加或多或少都与温度呈线性关系。热敏电阻依据的是陶瓷半导体中的电阻变化；电阻下降与温度升高之间存在着非线性关系。

红外传感器是非接触式测温设备。如后面所讨论的，它们通过测量材料放射出的热辐射来判断温度。

双金属器件利用了不同金属之间热膨胀率的差异。两条金属片联结在一起，受热时，一侧金属片膨胀程度大于另一侧金属片，由此造成的弯曲通过与指针相连的金属杆系转变成温度读数。这些器件便于携带并且不需要任何电源，然而它们通常不如热电偶或RTD精确，并且不太适合温度记录。

以家用温度计为代表的液体膨胀式器件通常分为两类：水银类和有机液体类。还有利用气体而非液体的类型。水银被认为是一种对环境有害的物质，因而有一些法规限制含水银器件的发运。液体膨胀式传感器无需电源，不存在爆炸隐患，并且即使多次重复使用也依然可靠。另一方面，它们产生的数据通常不易记录或传输，并且它们不能进行单点测量或点测。

相变温度传感器由在达到一定温度时外观会变化的标签、颗粒、颜料、油漆或液晶构成。例如，它们可与汽阱配合使用，当汽阱超过一定温度时，附到汽阱上的传感晶片上的白色圆点将变成黑色。

响应时间一般为几分钟，因而这类器件通常不对温度瞬变做出响应，并且其精度低于使用其它类型传感器进行的测量。而且，相变是不可逆的，液晶显示器的情况例外。然而即便如此，如果在产品运输过程中，例如由于技术或法律方面的原因，需要确认某件设备或材料的温度尚未超过一定数值，相变传感器还是比较方便。

## 主力设备

在化工行业，最常用的温度传感器是热电偶、电阻温度探测器和红外器件。对于这些器件如何工作以及应该如何使用它们，存在着一种普遍的误解。

**热电偶：**首先看一下热电偶——也许是三者中最常用但最缺乏了解的器件。本质上，热电偶由两条一头连接在一起，另一头打开的合金组成。输出端（开口端；图1a中的 $V_1$ ）的电动势emf是闭合端温度 $T_1$ 的函数。在该温度增加时，电动势emf也随之升高。

通常，热电偶带有金属或陶瓷护套，它将热电偶与各种环境因素隔开。金属护套热电偶还带有多种类型的涂层（例如，聚四氟乙烯），以便在腐蚀性溶液中无故障地使用。

开口端电动势不但是闭合端温度（即测量点处的温度）的函数，它也是开口端温度（图1a中的 $T_2$ ）的函数。只有使 $T_2$ 一直处于标准温度，测量的电动势emf才可视为 $T_1$ 变化的正函数。对于 $T_2$ ，行业认可的标准是 $0^\circ\text{C}$ ；因此，大多数表和图表都假定 $T_2$ 为这一数值。在工业仪表中， $T_2$ 实际温度与 $0^\circ\text{C}$ 之间的差异通常在仪表内部以电子方式校正。这种电动势emf调整称为冷端或CJ校正。

输入端与输出端之间导线的温度变化不影响输出电压，前提是导线为热电偶合金或热电等效材料（图1a）。例如，如果热电偶正在测量炉中温度，而且显示读数的仪表在一段距离以外，两者之间的导线可以从另一炉子附近经过并且不受炉子温度的影响，除非炉子变得足够热而使导线熔化或者会永久地改变导线的电热行为。

只要温度 $T_1$ 在整个连接点处保持不变并且连接点材料导电，连接点自身的成份就不会对热电偶行为产生任何影响（图1b）。同样，在任一条或者两条导线中添加非热电偶合金也不会影响读数，条件是这种“掺假”金属两端的温度相同（图1c）。

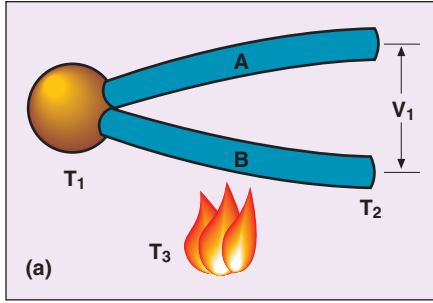


图1a

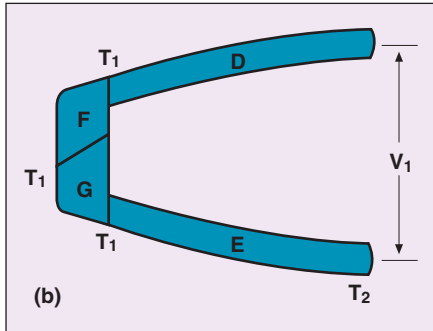


图1b

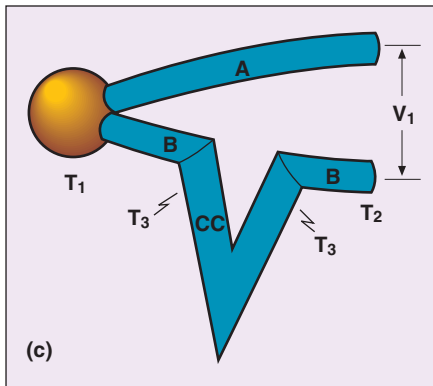


图1c

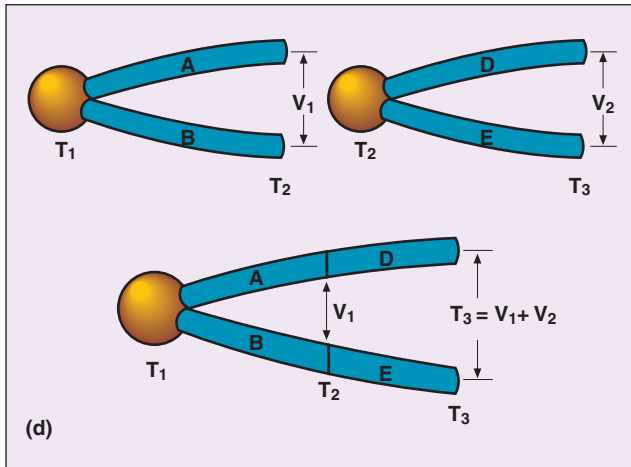


图1d

热电偶能够与传输路径中的“掺假”金属一起使用，这种能力让我们能够使用很多专用设备，如热电偶开关。尽管传输导线本身通常为热电偶合金的热电等效材料，但若使热电偶开关正常工作，它就必须由镀金或镀银铜合金制成并且带有适当的钢弹簧来确保良好接触。只要开关输入和输出连接点处的温度相同，其成份变化就不会造成任何影响。

了解连续热电偶定律很重要。在图1d的上部分显示的两个元件中，一个热电偶的热端温度为 $T_1$ ，开口端温度为 $T_2$ 。第二个热电偶的热端温度为 $T_2$ ，开口端温度为 $T_3$ 。测量 $T_1$ 的热电偶的电动势emf大小为 $V_1$ ；另一个热电偶的电动势大小为 $V_2$ 。两个电动势emf之和，即 $V_1+V_2$ 等于电动势 $V_3$ ， $V_3$ 是热电偶在温度 $T_1$ 与 $T_3$ 之间工作总共产生的电动势。根据此定律，为一个开口端参考温度指定的热电偶可用于不同的开口端温度。

**RTD**：典型的RTD由纤细的铂线缠绕在芯棒上组成，还覆盖有保护性涂层。通常，芯棒和涂层采用玻璃或陶瓷。

RTD的电阻与温度图的平均斜率通常称为 $\alpha$ 值（图2）， $\alpha$ 代表温度系数。给定传感器的斜率在某种程度上取决于其中铂的纯度。

最常用的标准斜率与特定纯度和成份的铂有关，其值为0.00385（假定电阻测量单位是欧姆并且温度单位是摄氏度）。

利用该斜率绘制的电阻与温度曲线即为所谓的欧洲曲线，其原因是这种成份的RTD首先在欧洲大陆广泛使用。使图复杂化的是还有另一种标准斜率，它与另一种差别不大的铂成份有关。这种斜率的 $\alpha$ 值略高，为0.00392，它遵循所谓美国曲线。

如果没有规定一个给定RTD的 $\alpha$ 值，该值通常为0.00385。然而，谨慎的做法是确定这一点，在要测量的温度比较高时尤其如此。这一点在图2中表现出来，图2中显示的是使用最为广泛（即 $0^\circ\text{C}$ 时电阻为100欧姆）的RTD的欧洲曲线和美国曲线。

**热敏电阻**：热敏电阻的电阻与温度呈反比关系，并且这种关系为高度非线性。这给必须自行设计电路的工程师带来了一个严重问题。但是，将热敏电阻成对使用能使其非线性相互抵消，可以缓解这种困难。另外，厂商提供的盘装仪表和控制器可以在内部对热敏电阻缺乏线性进行补偿。

通常，热敏电阻根据其其在 $25^\circ\text{C}$ 的电阻值命名。最常用的额定电阻为2252欧姆，其它的还有5,000欧姆和10,000欧姆。如果没有另行指定，多数仪表可使用2252型热敏电阻。

图1.假定已满足某些条件（正文中），则热电偶性能不受导线温度变化(a)、连接点成份(b)的影响，也不受导线中增加非热电偶合金(c)的影响。正文中还详述的一点是，热电偶的读数可以累加(d)。

# 温度测量实用准则 (续)

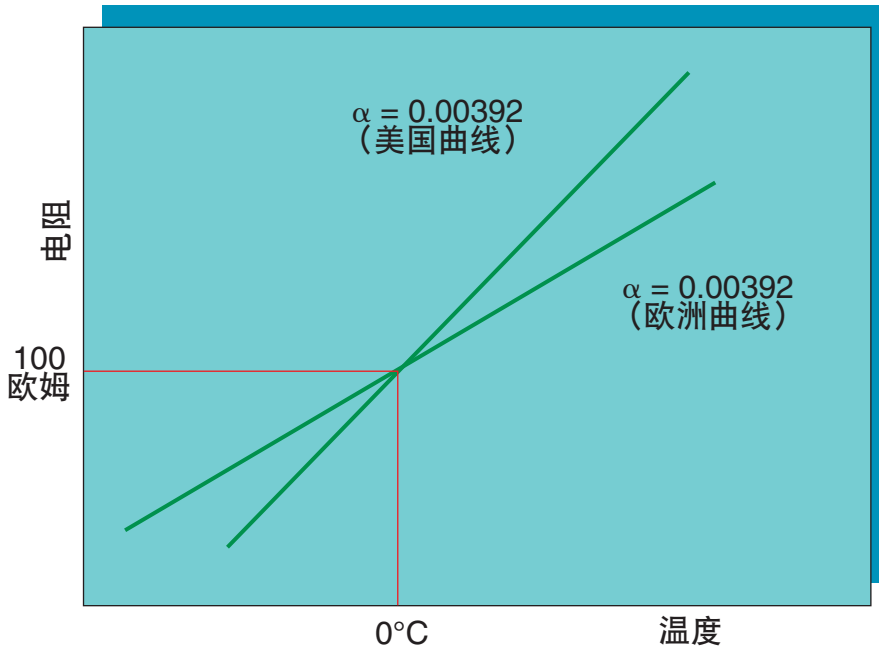


图2.给定RTD具有两种标准电阻与温度关系中的一种,这种关系通常称为 $\alpha$ 值。尤其是在进行高温测量时,在不了解RTD的 $\alpha$ 值之前,明智的工程师不会使用该RTD。

**红外传感器:** 红外传感器测量表面放射出的辐射量。所有物质不考虑其温度,都会放射出电磁能量。在许多加工过程中,能量都属于红外区。随着温度升高,红外辐射量及其平均频率都在增加。

不同材料以不同效率放射。这种效率被量化成放射率,一个介于0和1之间的小数或者介于0%与100%之间的百分数。包括皮肤在内的大多数有机材料效率极高,其放射率经常为0.95。另一方面,大部分抛光金属在室温下往往是效率低下的放射体,其放射率或效率通常为20%或更低。

要正确发挥其功能,红外测量设备必须考虑被测量表面的放射率。通常可以在参考表中查找到这种放射率。然而,请记住,该表无法说明氧化和表面粗糙度等具体状况。当放射率大小未知时,一种某些时候实用的温度测量方法是“强行”使放射率达到已知水平,具体做法是在表面贴上遮蔽胶带(放射率为95%)或者涂上放射性很强的油漆。

一些传感器输入中可能确实包括一些并非由测量面所在的设备或材料放射的能量,相反,这些能量是测量表面反射的其它设备或材料放射的能量。放射率与表面放射出的能量有关,而“反射率”则与另一源头反射的能量有关。不透明材料的放射率是其反射率的反指标,属于优良放射体的物质不会反射过多入射能量,因而不会给传感器确定表面温度造成太大问题。相反,当测量放射率很低(例如只有20%)的目标表面时,到达传感器的很多能量可能是反射能量,例如反射附近另一温度的炉子放射的能量。简言之,是由高温的、伪反射目标放射的能量。

红外器件像照相机,因此具备一定的视场。例如,红外器件可以“看到”1度的视锥或100度的视锥。测量某一表面时,确保该表面完全占满视场。如果目标表面起初没有占满视场,请向近移动或者使用视场更窄的仪器。或者在读取该仪器时,将背景温度考虑在内就行了,即根据背景温度来调整。

## 选型指南

RTD比热电偶更加稳定可靠。但另一方面,作为一个类别,RTD的温度范围较窄:RTD的工作范围为 $-250 \sim 850^{\circ}\text{C}$  ( $-418 \sim 1562^{\circ}\text{F}$ ),而热电偶的范围大约是 $-270 \sim 2,300^{\circ}\text{C}$  ( $-457 \sim 4172^{\circ}\text{F}$ )。热敏电阻的工作范围更小,通常在 $-40 \sim 150^{\circ}\text{C}$  ( $-40 \sim 302^{\circ}\text{F}$ )之间,但在该范围内其精度很高。

热敏电阻和RTD共同存在着一个非常重要的限制。它们都是电阻式器件,因此它们是通过让电流流过传感器来工作的。即使通常仅使用非常小的电流,但也会产生一定的热量,因而可导致温度读数出错。在测量静止液体(即不流动也未被搅动的液体)时,电阻式传感器内的这种自热效应很明显,因为不易散发产生的热量。热电偶基本上是零电流器件,因此不会出现这种问题。

红外传感器虽然相对较贵,但很适合测量极高温度。它们可测量的最高温度达到 $3,000^{\circ}\text{C}$  ( $5,400^{\circ}\text{F}$ ),远远超出了热电偶或其它接触型器件的范围。

当不想接触要测温的表面时,红外测量方式也很有吸引力。因此,易碎表面或湿表面(例如刚从烘干箱中出来的油漆表面)都可以用这种方法监测。具有化学活性或者可产生电噪声的物质非常适合红外测量。在测量需要大量热电偶或RTD才能测量的超大表面(如墙壁)的温度时,红外方式也同样具有优势。

