

## 技术指南:如何使用 DAQ 设备测量热电偶

### 什么是热电偶?

热电偶测量是一种通用且低成本的温度测量方式。热电偶是一种简易的传感器——两根不同金属材料的导线在一端焊接在一起。但是使用这种“简易”的传感器在测量系统中有许多挑战，包括需要运算放大、滤波和冷端补偿 (CJC)。

当成对连接时，它们是简易而高效的传感器，可输出在闭合电路中两个结点之间的温差成正比的直流电压（见图 1）。

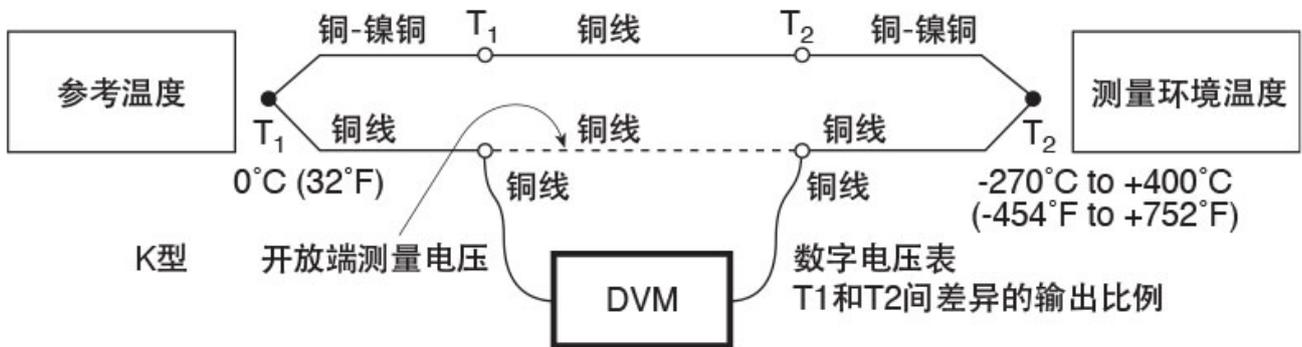


图 1: T 型热电偶电路。传统的热电偶测量系统需要两个传感器：一个用于被测环境端，另一个用于参考端，通常保持在 0 °C (32 °F)。

一端通常保持恒定的参考温度，而另一端则放入待测环境中。工作原理由金属导线的开放端和保持在特定温度下的两种不同金属之间热电动势 (EMF) 的唯一值决定。

热电偶每一端都不会单独产生电压。在输出（开放）端产生的电压或电位差是由 T1 温度和开路端 Tsub>1' 温度的函数构成。T1sub>1 必须保持在恒定温度，例如 0 °C，以确保开放端电压的变化与 T1 中的温度变化成比例。原则上，热电偶可以由任何两种不同的金属制成，例如镍和铁。然而，在实践中，只有少数热电偶类型被选作标准类型，因为它们的温度系数具有高度可重复性、坚固耐用且输出电压相对较小。最常见的热电偶类型称为 J、K、T 和 E，其次是 N28、N14、S、R 和 B。理论上，结点温度可

以通过查阅标准表从塞贝克电压推断出来。然而，实际上，这个电压并不能直接使用，因为热电偶线连接到测量设备的铜端子其本身就构成了一个热电偶结点（除非热电偶引线也是铜的）并产生另一个需要补偿的热电动势。

在热电偶的开放端产生的电压差非常小，大约在  $\mu\text{V}$  级别。使用典型的多功能 DAQ 设备（例如 0-10 V 范围）无法准确测量此电压。这种小信号需要  $\times 100$  范围内的增益，而传统多功能 DAQ 设备通常不提供这种增益。而且，由于热电偶产生的电压相对较小，因此噪声始终是一个问题。最常见的噪声源就是交流电源（50 Hz 或 60 Hz）。由于大多数温度系统的带宽低于 50 Hz，因此每个通道中的简单滤波器便可以降低 AC 线路噪声。常见的滤波器包括仅使用电阻和电容的无源滤波器，以及另外包含运算放大器的有源滤波器。虽然无源 RC 滤波器价格低廉且适用于模拟电路，但不建议应用于多路复用的电路中，因为多路复用负载会改变滤波器特性。由一个运算放大器和一些无源元件组成的有源滤波器在多路复用系统中运行良好，但更昂贵且更复杂。

## 冷端补偿

大型测试夹具中的冰浴和多个参考结点可能难以设置和维护，但幸运的是，它们都可以消除。终端所需的 EMF 校正可以通过参考计算机软件补偿到 NIST 标准。取消冰浴后，仍需要冷端补偿才能获得准确的热电偶测量值。软件必须读取等温块温度。一种广泛使用的技术是将热敏电阻安装在靠近等温端并连接到外部热电偶导线。在包含热敏电阻和端子的区域中不允许出现温度梯度。所使用的热电偶类型针对其各自的通道进行了预编程，软件的动态输入数据包括等温块温度和测量到的环境温度。软件通过统计等温块温度和热电偶类型，使用多项式方程计算传感器的温度。该方法允许同时连接多个不同类型的热电偶通道，同时计算机自动处理所有转换。

## 热电偶开路检测

在具有多个通道的系统中，快速地检测热电偶是否开路尤其重要。热电偶在受到振动、处理不当或长时间使用后往往会断裂或增加电阻阻值。一个简单的热电偶开路检测电路由低电平电流驱动的小电容组成。正常状态下热电偶的低阻抗对电容造成虚短，因此无法充电。当热电偶断开或电阻发生显著变化时，电容充电并将输入放大器驱动到电源轨道，这表明热电偶存在缺陷（参见图 2）。

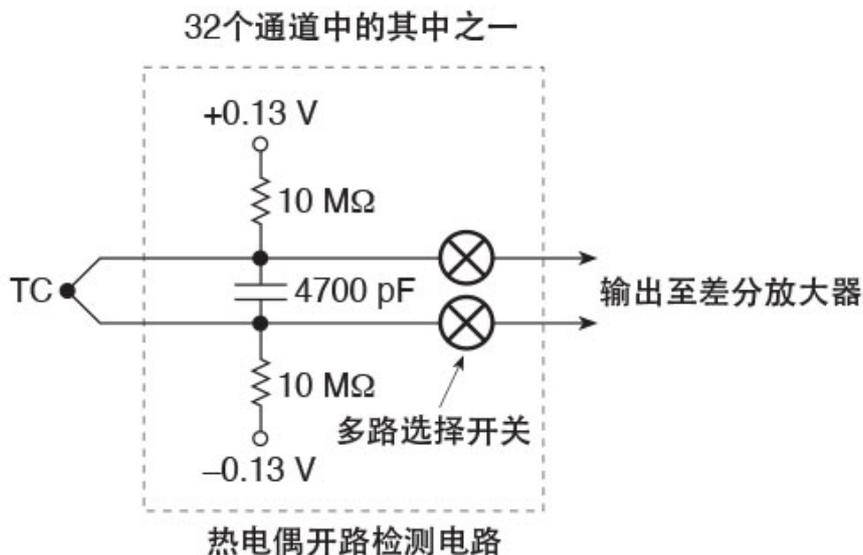


图 2：热电偶开路检测系统。热电偶为电容器周围的 DC 提供短路的路径，防止它通过电阻充电。

当热电偶因操作不当或震动而断开时，电容充电并将输入放大器驱动到电源轨道，发出故障信号。

### 热电偶测量设备

不同于专门为热电偶测量设计的 DAQ，普通的设备缺乏准确测量热电偶所需的信号调理和 CJC。USB-TC 这一类设备具有  $\pm 0.080\text{ V}$  的输入范围、每通道 24 位 A/D 和 NIST 可追溯校准过程。由于内部测量电子设备的精度超过了热电偶传感器的精度规格，因此这些设备可提供最精确的温度测量。