



## 采用 NANMAC 侵蚀热电偶测量瞬态表面温度

### 摘要

本文探讨全新的侵蚀热电偶的精度，以及在测量瞬态温度时的精度。侵蚀热电偶是 NANMAC 公司开发的产品。

本实验涉及两个相同样本的瞬态温度测量。采用十二个有不同设计参数的侵蚀热电偶。用侵蚀热电偶进行了六十多个实验，测量结果与期望值相符。

采用 F 实验统计方法研究了样本被测表面温度与侵蚀热电偶几个设计参数之间的函数关系。比较了侵蚀热电偶的响应时间，并确定了重要的设计参数。

采用有限差分法计算侵蚀热电偶模型的某些数值解。根据这些数值解，针对侵蚀热电偶的设计特性进行误差分析。

### 1.3 文献资料评估

有许多有关热电偶误差的研究，但由于侵蚀热电偶是一种新技术，目前还没有有关侵蚀热电偶误差的理论研究和实验研究。然而，有关其他类型热电偶安装方法的温度注意事项仍然适用于侵蚀热电偶。

常用的瞬态表面温度测量方法是采用本征热电偶。本征热电偶由一条或两条与导电材料表面相连的导线组成，导电材料称为基底，它是热电偶电路的一部分[5]。随着基底温度上升，热量从基底传到导线上。基底和本征热电偶之间的热传导会改变表面的局部温度分布，致使在测量温度或热通量时引入误差。Burnett[2]、Henning 和 Parker[3]、Shewen[4]、Keltner[5]、Keltner 和 Beck[6]、Litkouhi[7] 以及其他人对这个问题进行过实验和/或理论研究。

Keltner [5]考虑过理想本征热电偶的经典模型（见图 1.1a），设计了一种方法测量基底温度发生阶跃变化时的响应时间。他的研究采用有限差分法和各种分析方法，研究表明在本征热电偶和基底之间的接合面转角附近，早期存在很大的温度梯度。Litkouhi[7]进一步研究了这种情形，对早期的研究很重要。他的研究结果与 Shewen[4]和 Keltner[5]的研究结果相吻合，显示在采用铬镍合金基底和铝镍合金导线的情况下，接合面中心线与转角之间的早期误差可能超过基底阶跃温度升幅的百分之十。Keltner 和 Beck[6]的研究结果显示“未受干扰的温度与热电偶温度之间的差异”在起始时最大，时间足够大时下降到零。零时误差的大小和显著误差的无因次时间均取决于导线和基底的热物理特性。

如将焊珠热电偶安装在基底表面，可能会产生瞬态和稳态温度扰动（参看图 1.1 Ib）。焊珠热电偶和本征热电偶之间的区别在于表面的热电偶结被一定厚度的焊珠取代了[6]。

误差是焊珠热惯性与焊珠和基底之间接触不良造成的[6, 8-10]。焊珠热惯性的影响是延迟热电偶在零时对输入热通量的响应，“除了最后阶段以外，所有时段的误差均上升”[6]。焊珠和基底之间接触不良会降低初始响应速度，并使稳态温度测量产生漂移[6, 10]。

在某些场合下，例如表面暴露在热通量很高的场合，或者表面与运动物体接触，常常很难直接测量瞬态表面温度。在这些情况下，要在基底上钻一个孔，将热电偶安装在孔内（见图 1.1c），用间接方法测量表面温度或热通量。因此，内置传感器测量的温度是准确的，这一点很重要。误差是热电偶和基底造成的。

Beck[11, 12]和Chen [13-15]发现上述误差与基底和热电偶导线的导热系数之比和热容量之比成反比。如果这些比率小于1，误差是正数，说明过热；当比率大于1时，误差是负数；假如热电偶垂直安装在受热面上，误差最大[11]。基底内的孔可能会导致基底受热面产生过热点[12]，文献[13]至[15]全面研究了热电偶在受热面的最佳安装孔尺寸和深度，以便将这些误差降到最低限度。

NANMAC 侵蚀热电偶旨在将采用热电偶测量温度时引起的误差降到最低限度，例如：

1. 热电偶组件的热物理特性引起的热扰动，
2. 热电偶结热电惯性引起的误差，以及
3. 未知热电偶结的位置所引起的误差。

侵蚀热电偶的热电偶组件（热电偶套管）可采用与基底相同的材料制成。侵蚀热电偶的这一特性消除了一次误差；然而，如插销与热电偶套管组件的锥体和插销锥体之间接触不良，可能会产生温度扰动（参看图 2.4）。第四章分析这些误差。

侵蚀热电偶的热电偶结没有质量（参看 2-3 节），与基底受热面齐平。采用侵蚀热电偶测量基底的内部温度时，使用套管组件不需要套管安装孔。同时，在此情况下，可以精确确定热电偶结的位置，精度可达 $\pm 0.001$  英寸或更高[1]。与文献[11]至[15]讨论的将热电偶安装在孔内的情形相比，这种方法的精度更高。

## 结论

总之，试验结果和分析表明，NANMAC 侵蚀热电偶的套管并不会引起任何很大的系统误差。