

## 附录二——应用文章：采用干式计量炉时的不确定度分析

### 概述

干式炉是过程和实验室环境中用来校准温度传感器的稳定热源。由于机械设计和热力学性质的原因，所有热源都会引入测量误差。通过确定热源引起的测量不确定度，即可量化这些影响。福禄克公司哈特子公司研制了干式计量炉来减小通常在使用干式炉时产生的误差。干式计量炉配置有一支经过校准的控制传感器，并且提供内置测温仪选件。干式计量炉的不确定度会随使用模式发生明显的变化。本文讨论了与每一种使用方法相关的不确定度。

### 使用干式计量炉及其内置参考测温仪时的不确定度

在把干式计量炉作为稳定热源，并且有一个外部参考温度计或可选的内置参考测温仪作为参考标准时，通常能够获得最佳性能（请参考例1和例2）。一般而言，不确定度的主要原因是有缺陷的轴向和径向均匀性、负载、不稳定性、径向传导、参考温度计的准确度，以及被测温度计的特性。

#### 轴向均匀性

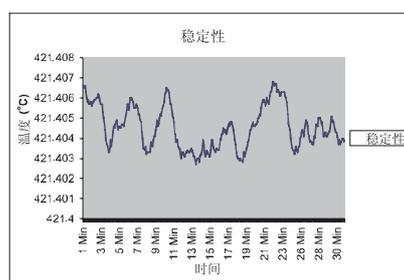
每一干式计量炉的恒温插块（有几个钻孔的可拔出的套筒）其顶端都被暴露于周围环境之下，其整个长度范围内都处于受控的温度下。恒温插块内的垂直梯度用专业名词讲就是“轴向均匀性”。由于温度感测元件在构造和长度上存在差异性，因此就必须考虑干式计量炉的轴向均匀性。

#### 径向均匀性

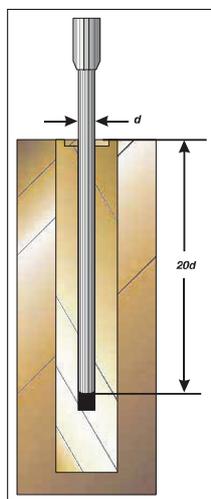
从一个插孔到另一插孔的温度梯度被称为径向均匀性。径向均匀性不好引起的测量误差可归结为插孔和加热器之间的距离、恒温插块的热力学性质，以及由于非均衡负载引起的不均匀热分布的影响。

### 负载效应

插入到干式计量炉的探头数量影响着从干式计量炉中带走或带入到干式计量炉中的热量。这种影响被称为负载效应。将探头插入到干式计量炉，并计算参考读数的变化，即可测得负载效应。干式计量炉的设计特性，例如 203 mm (8 in) 的插入深度和双温区控制，能够使负载效应最小化。



干式计量炉的显示可以帮助用户确定什么时间达到了稳定，但是更好的办法是依赖具有更高分辨率的参考标准的显示。



推荐的探头插入深度

### 稳定性

随时间变化的稳定度影响着校准。EURAMET/cg-13/v.01(EA-10/13)将稳定度定义为“在 30 分钟的周期内”的温度变化。干式计量炉显示可以帮助用户确定什么时间达到了稳定，但是在稳定期间，

实际温度和显示的温度会有明显的差异。更好的方法是依赖于具有更高分辨率的温度计的显示。

### 径向传导误差

径向传导是指沿温度计护杆的热量。径向传导同时影响参考温度计和 UUT。推荐的探头插入深度是按以下方法计算的： $[20 \times \text{探头直径}] + [\text{敏感元件的长度}]$ 。由于干式计量炉的插入深度很深（160 mm 至 203 mm），因此径向传导造成的误差对总不确定的影响非常小。

### 参考探头、测温仪和 UUT

在使用参考探头、参考测温仪、UUT，以及这些仪器的读出装置时，还要考虑它们引起的其它很多不确定度来源。这些误差包括参考探头和测温仪的校准不确定度或准确度、参考探头漂移和迟滞、参考探头自热、UUT 短期漂移和迟滞，以及 UUT 读出装置的准确度。

### 使用干式计量炉及其经校准的控制传感器时的不确定度

干式计量炉控制传感器带有可溯源校准证书，可以将其显示作为一个参考标准。以这种方式使用干式计量许多测量误差都炉时，会影响到不确定度。

#### 轴向均匀性

当利用经校准的控制传感器作为参考标准时，干式计量炉的垂直梯度要比使用外部参考温度计时更加明显。这是因为在实际中往往不能将控制传感器（被固定在恒温块中）的敏感元件与 UUT 对齐。

#### 径向均匀性

经校准的控制传感器被固定在插块中，并且往往与 UUT 到加热器的距离不相等。因此，径向均匀性就成为一项必须要考虑的因素。

### 负载影响

当使用控制传感器作为参考标准时，由于控制传感器在插块中是孤立的并且不能补偿插块中的负载影响，因此相对于使用外部参考探头来说，负载引起的误差一般要大得多。

### 短期和长期漂移

每一个干式计量炉控制传感器都存在与其使用方法相关联的短期和长期漂移。漂移与干式计量炉使用方法及维护的关系都非常大。通过定期校准或在固定的温度下进行中间检查，即可确定传感器的漂移。

### 迟滞

迟滞指的是当干式计量炉温度从一个方向接近某个温度点时，干式计量炉实际温度和该点的温度差。在干式计量炉温度范围的中间点，迟滞是最大的。

### 控制传感器校准

干式计量炉控制传感器是经过校准的，并且带有可溯源至NIST的校准报告。控制传感器的准确度可能在 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 到 $\pm 0.25^\circ\text{C}$ 的范围内变化。当6.35 mm的钻孔插有UUT时，将读数与显示温度进行比较，使用经校准的显示方式就变得非常有用。

### 其它注意事项

短期漂移、迟滞和UUT的读数准确度引起的误差，与采用外部参考使用干式计量炉时的影响是相同的。

### 例 1、使用外部参考标准时干式计量炉的不确定度计算

使用仪器：9171-B-R 和 5626-15-D 在  $0^\circ\text{C}$  时

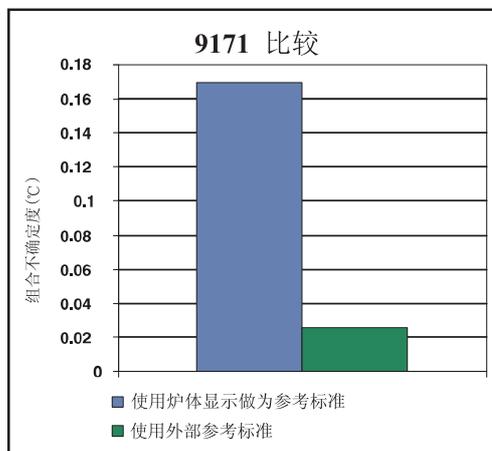
	技术指标 (mK)	概率分布	不确定度 (mK)
轴向均匀性	20	均匀分布	11.55
径向均匀性	10	均匀分布	5.77
负载影响	5	均匀分布	2.89
稳定性	5	均匀分布	2.89
参考探头校准	4	均匀分布	2.31
参考探头漂移, 含迟滞	3	均匀分布	1.73
参考探头径向传导	2	均匀分布	1.15
测温仪的准确度	6	均匀分布	3.46
组合标准不确定度 (RSS)			14.32
扩展不确定度 (k=2)			28.64

### 例 2、使用炉体显示作为参考标准时，干式计量炉的不确定度的计算

使用仪器：9171-B 在  $0^\circ\text{C}$  时

	技术指标 (mK)	概率分布	不确定度 (mK)
轴向均匀性	20	均匀分布	11.55
径向均匀性	10	均匀分布	5.77
负载影响	5	均匀分布	2.89
稳定性	5	均匀分布	2.89
短期漂移	5	均匀分布	2.89
迟滞	25	均匀分布	14.43
控制传感器准确度	100	均匀分布	57.74
长期漂移	100	均匀分布	57.74
组合标准不确定度 (RSS)			84.06
扩展不确定度 (k=2)			168.13

说明：关于例 1 和例 2 的注意事项：根据均分布匀，用  $\sqrt{3}$  去除所列的技术指标，获得一个“标准偏差”作为标准不确定度。合成不确定度采用方和根方法，并假设每项标准不确定度是不相关的。



当使用一个外部温度计作为参考标准时，合成不确定度明显降低

## 附录二——应用文章：消除环路校准中的传感器误差

校准一个环路不仅仅是 4mA 到 20 mA – 消除环路校准中的传感器误差

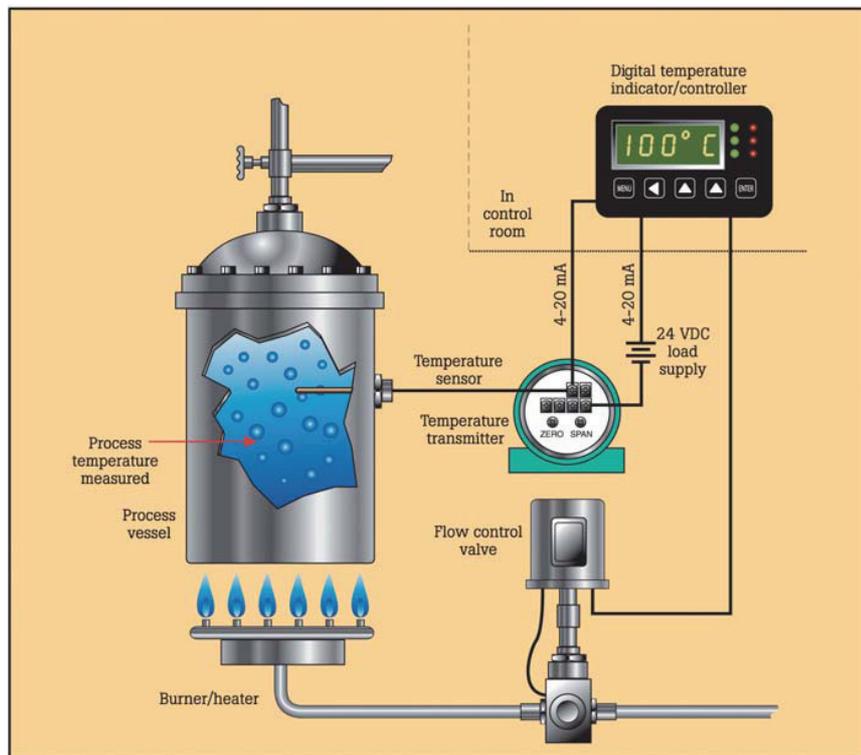


图. 典型的过程温度测量系统的图解

在许多工业和商业过程中，温度扮演着重要的角色。这种应用覆盖从制药公司的消毒到太空应用中保证强度的金属热处理，以及在冷藏库中的温度检定和大气与海洋研究。在所有的温度测量应用中，传感器严重影响着结果。

大多数过程的温度测量是利用连接至变送器的敏感元件完成的。图1所示的是一种常见配置的图解。



图 1. Fluke 744 和 Fluke 9141 校准 4–20mA 变送器和温度传感器

在许多应用中，独立的检定测量系统的元件是很普遍的。单独对元件进行检定或校准的理由之一就是往往认为它更加有效。利用热电偶 (TC) 或热电阻 (RTD) 仿真器，可以快速、简便的完成测量元件的检定。这种方法并不检定相关的温度探头的性能，并且假设所有的探头是相同的，并且严格符合相关标准。在实际应用中，没有哪两个探头是完全相同的；它们不会完全符合理想的标准，并且随着时间和使用方法，它们的特性也会变化。充分理解探头如何偏离理想状态，将有助于优化测量系统，使其达到最佳的性能。

Rosemount Inc. 使用下面的例子作为其 644H 型智能温度变送器在使用不同方法校准的传感器时可能得到的性能改善。表 1 给出了 644H 型智能温度变送器使用相同的 IEC751 Pt100 传感器在校准方法不同时两者之间的测量误差。一种方法

是通用的校准方法；另一种方法是通过校准给出这支探头的特性系数。

将 Fluke 744 过程认证校准器与 Fluke 干式炉和微型槽的相组合，就可以测试整个环路。下列是一些例子，介绍如何使用这些设备优化测量系统的性能。

通过串行 RS-232 接口电缆(部件号 211108)将 Fluke 744 连接至 Fluke 的干式炉或微型槽。通过一次按键 Fluke 744 将控制干式炉或微型槽。图 2 给出了连接图

### 校准或调试 4mA–20mA 环路

在许多过程应用中，使用的温度测量仪表是可以输出 4-20mA 信号的温度变送器。为测试这种类型的环路，将传感器从过程中取出放入干式炉中。4-20mA 的变送器输出直接连到 Fluke 744。图 2 给出了这种测试的例子。

一旦完成连接，即可获得变送器的配置 (如果变送器具有 Fluke 通信功能的话)、设置测试参数、配置校准器进行 mA 测量、将干式炉作为热源参数控制。

当规定了测试方法之后，Fluke 744 将接收并运行测试，记录所提供的温度、测得的以 mA 为单位的变送器输出。在测试的最后，将在屏幕上显示结果，使技术人员评估结果，如有必要的话采取正确的行动。下列是一个结果的例子。

### 使用检定的传感器和校准常数校准和调节测量系统

降低不确定度和优化温度测量系统的另一种方法是仔细的校准温度传感器，计算特性系数，并将这些特性系数输入到测量设备。这就是前面 Rosemount 644H 所使用的方法。这种方法能有效降低测量系统中来自传感器的误差。例如，铂电阻温度计一般使用 Callendar-Van Dusen (CVD) 方程线性化传感器的输出。经校准的传感器将提供特有的 CVD 系数，系数可以被输入到变送器，使其转换算法更加匹配传感器的特有特征。

和干式炉相连接的 Fluke 744 可以帮助您收集被校传感器的必要信息，但是接收该数据并产生新的 CVD 系数还需要其它软件和资源。例如，所需的软件包括 Fluke 的 TableWare (型号: 9933) 或 MET/TEMP II (型号: 9938)。

校准温度探头的方法与以上的过程相类似，但是它不测量变送器的输出，传感器的输出被直接连接到 Fluke 744。以下所示的是 Fluke 744 所收集的温度传感器的数据。

利用图4中的屏幕，可以将类似这样的数据输入到 Fluke 的 TableWare (型号: 9933) 或 MET/TEMP II (型号: 9938) 软件，然后输入所计算的探头特有的 CVD 系数。

这些系数可以被输入到适当的测量设备，使其线性化与探头的特性相匹配。

### 总结

使用干式炉和过程校准器的组合，可以校准和调整测量系统，优化测量性能。通过校准整个测量系统，敏感元件所特有的特性可以和测量仪器相联合，使测量误差最小。这样能明显降低测量误差。Fluke 744 过程认证校准器与 Fluke 干式炉将组合，能使这个过程更快、更简便。

SOURCE	MEASURE	ERROR %
50.0 °C	49.87C	-0.13
75.1 °C	75.58C	0.48
100.0 °C	100.55C	0.55
125.2 °C	126.50C	1.30
150.0 °C	151.50C	1.50

Tag Prev. Page Next Page Done

图 3

SOURCE	MEASURE	ERROR %
-25.0 °C	91.1 Ω	2.33
0.0 °C	101.0 Ω	2.91
25.0 °C	110.8 Ω	3.23
50.0 °C	120.6 Ω	3.55
75.0 °C	130.2 Ω	3.36

Tag Prev. Page Next Page Done

图 4

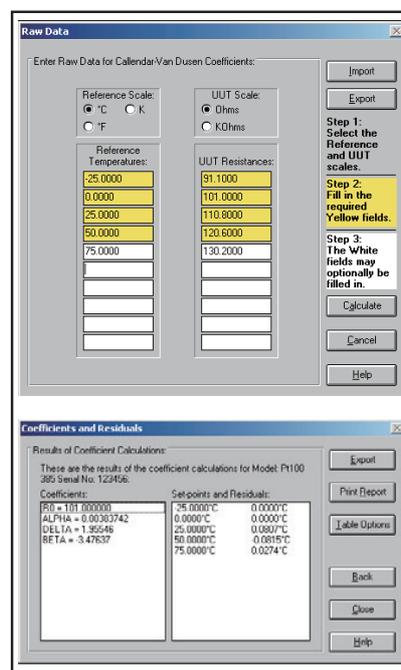


图 5

