

# 理解采用不同方法使用干式计量炉时的不确定度

## 应用文章

### 概述

干井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（Hart Scientific Division）研制了干式计量炉来减小通常在使用干井炉时会产生的误差。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。本应用文章的目的是帮助技术人员和计量人员理解和量化使用干式计量炉时的测量不确定度。

### 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（请参考第4页的例1和例2）。一般而言，不确定度的主要原因是存在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。

根据 EA（欧洲计量组织）指南 10/13 的规定，从干井炉的底部开始，干井炉应该有一个“40 mm 的具有足够温度均匀性的区域”。我们建议这一温区要至少 60 mm，以覆盖被测温度计（UUT）和参考标准的敏感元件范围，而这些温度计敏感元件往往需要至少 50 mm 的长度。

**应用提示：**通过将参考探头和 UUT 的敏感元件的中心对准（请参见图 4），往往会获得优于技术指标的轴向一致性误差。

#### 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。

**应用提示：**当使用参考探头，且参考探头的直径与 UUT 的直径相同，并使用比对插块（恒温插块 B、D 或 E），参考探头放置在 UUT 正对面进行测量时，会获得最佳的结果。

#### 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。

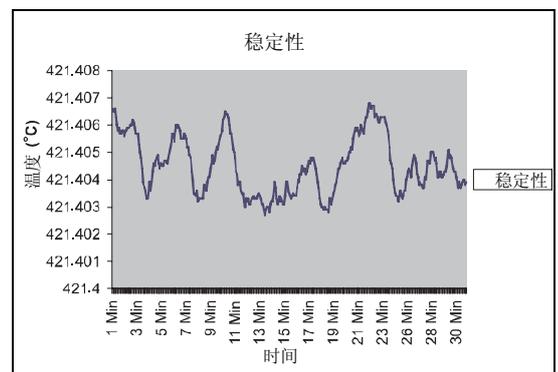
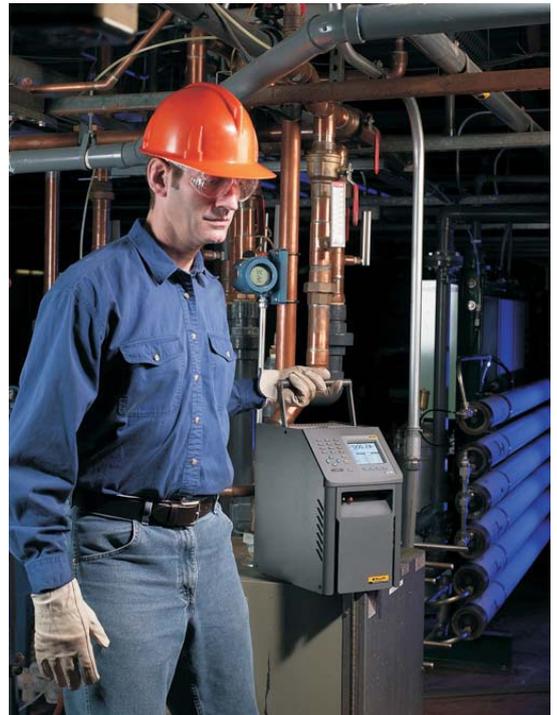


图 1. 干式计量炉的显示可以帮助用户确定什么时间达到了稳定，但是更好的办法是依赖具有更高分辨率的参考标准的显示。

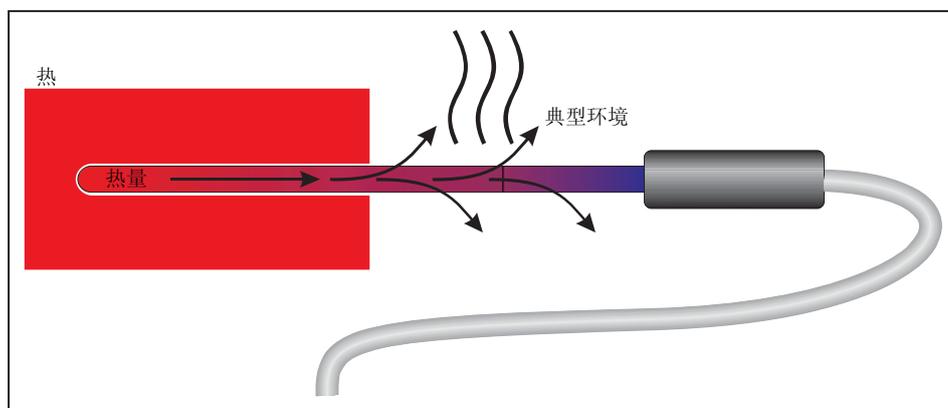


图 2. 径向传导 (或散热效应)

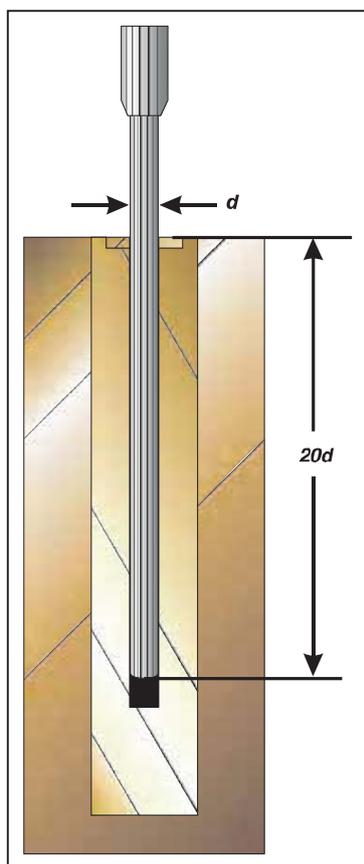


图 3. 推荐的探头插入深度

### 稳定度

随时间变化的稳定度影响着校准。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 (请参见图 1)。

### 径向传导误差

径向传导是指沿温度计护杆的热流量。径向传导同时影响参考温度计和 UUT (请参见图 2)。推荐的探头插入深度是按以下方法计算的： $[20 \times \text{探头直径}] + [\text{敏感元件的长度}]$  (请参见图 3)。由于干式计量炉的插入深度很深 (160 mm [6.3 in] 至 203 mm [8 in])，因此径向传导造成的误差对总不确定度的影响非常小。

### 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。本文并不详细介绍这些因素，用户可以从福禄克公司哈特分公司 (Hart Scientific) 的网站 [www.hartscientific.com](http://www.hartscientific.com) 获得更详细的信息。

**应用提示：**将探头插入到恒温槽中，并且当设置升高增量时记录其温度变化，即可确定径向传导误差。当每一探头对径向传导的影响都比较独特，需要单独进行评估，这是最好的方法。

### 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以及准确度表，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炉时，许多测量误差都会影响到不确定度。

### 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 (请参见图 4 和图 5)。

### 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，径向均匀性就成了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  $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  到  $\pm 0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$  的范围内变化。当 6.35 mm (0.25 in) 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。

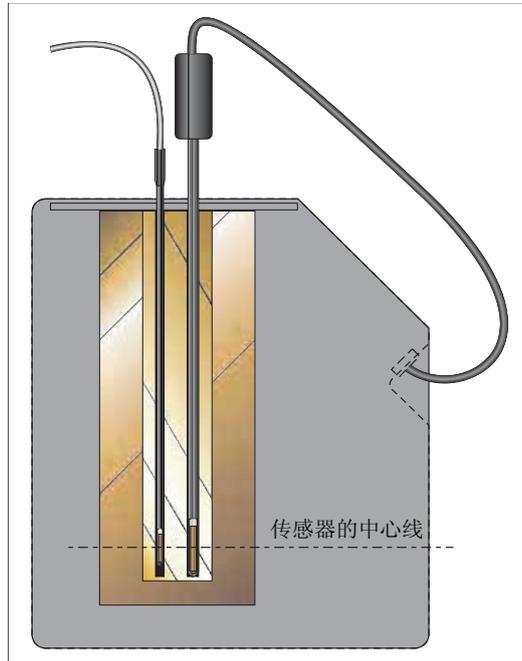


图 4. 将参考探头和 UUT 的敏感元件中心对齐

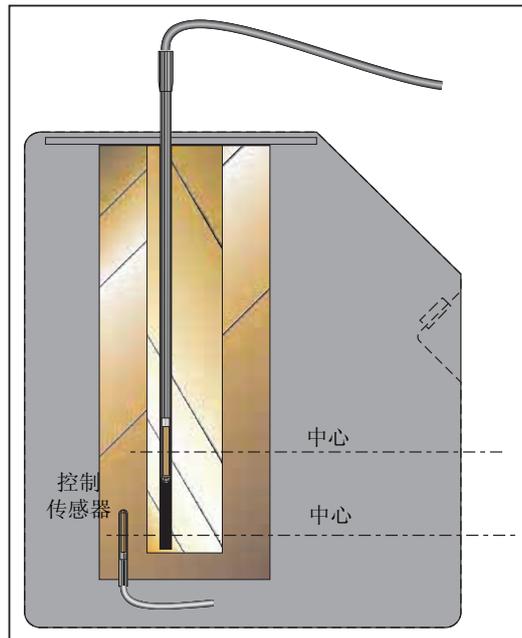


图 5. 当使用经校准的控制传感器作为参考标准时，干式计量炉内的垂直梯度更加明显。

**例 1 — 当采用一个参考探头和一个测温仪作为参考标准时，与干式计量炉相关的不确定度计算。**

表 1 中的例子所示为干式计量炉产生的校准不确定度。实际值会根据应用和温度的不同而变化。该例子中不考虑由于 UUT 的特性引起的不确定度。

本例中的温度为 0 °C。适用于本例中的仪器包括：

- Model 9171-B-R, 具有内置参考输入的干式计量炉
- Model 5626-15-D, 二等标准铂电阻温度计, 100 Ω

**例 2 — 当采用经校准的显示作为参考标准时，与干式计量炉相关的不确定度的计算。**

表 2 中的例子所示为干式计量炉产生的校准不确定度。实际值会根据应用和温度的不同而变化。该例子中不考虑由于 UUT 的特性引起的不确定度源。

本例中的温度为 0 °C。适用于本例中的仪器包括：

- Model 9171-B, 利用经校准的控制传感器作为参考标准的干式计量炉。

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。

表 1.

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

表 2.

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

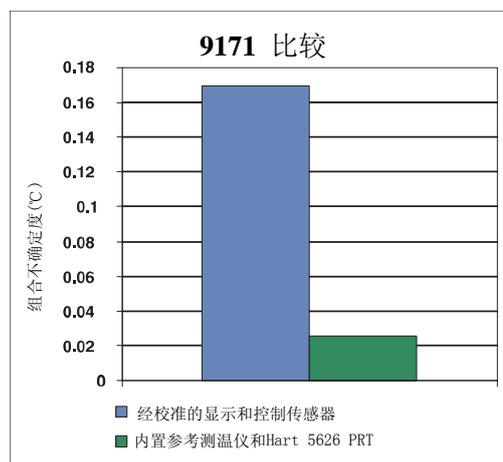


图 6. 当使用一个外部温度计作为参考标准时，合成不确定度明显降低，如上图所示。

**福禄克，助您与时代同步！**

**美国福禄克公司**

英文网址: [www.fluke.com](http://www.fluke.com) <http://www.hartscientific.com>

英文网址: [www.fluke.com](http://www.fluke.com)

**北京办事处:**  
地址: 北京建国门外大街 22 号, 赛特大厦 2301 室 邮编: 100004  
电话: 010-65123435 传真: 010-65123437

**上海办事处:**  
地址: 上海市天目西路 218 号, 嘉里不夜城第一座 1208-1209 室 邮编: 200070  
电话: 021-63548829 传真: 021-63545852

**广州办事处:**  
地址: 广州体育西路 109 号, 高盛大厦 15 楼 B1 座 邮编: 510620  
电话: 020-38795800/38795811 传真: 020-38791137

**成都办事处:**  
地址: 成都市人民南路四段 19 号威斯顿联邦大厦 17 楼 K-N 座 邮编: 610041  
电话: 028-85268810 传真: 028-85268988

**西安办事处:**  
地址: 西安市二环南路 100 号, 金叶现代之窗 1010 室 邮编: 710065  
电话: 029-88376090 传真: 029-88376199

**北京维修站:**  
地址: 北京建国门外大街 22 号, 赛特大厦 2301 室 邮编: 100004  
电话: 010-65123435 传真: 010-65123437

© 2005 Fluke Corporation, Hart Scientific Division. 保留所有权利。  
印刷于中国。6/2005  
2510068 A-CN-Rev A