

位移传感器和 ASTM E2309 标准精度分类



消除材料试验方程中试验机的变异性是试验取得成功的关键。鉴于影响测量不确定性的参数可能多达三十个，因此必须确定可能误差出现的原因，然后尽量减少这些原因。在此过程中，确信位移测量结果变得越来越重要。在某些情况下，对位移测量的精度要求可以接近于对力 (ASTM E4/ISO7500) 测量或应变 (ASTM E83/ISO9513) 测量的精度要求。

位移测量标准

ASTM E2309 首次发布于 2005 年，适用于线性可变位移传感器 (LVDT) 和所有其他测量位移的传感器。更通俗地说，ASTM E2309 用于验证材料试验机所用的位移测量系统和设备。

ASTM E2309 要求运行两次数据以捕捉差异，为测量重复性提供更大的信心。ASTM E2309 还有多种类似于 ASTM E83 的精度分类，可用于验证引伸计。每个分类都有相对误差标准（以读数百分比表示）和固定误差。

借助 ASTM E2309，可以根据物理范围的不同部分以及整个范围对测量性能进行分类。

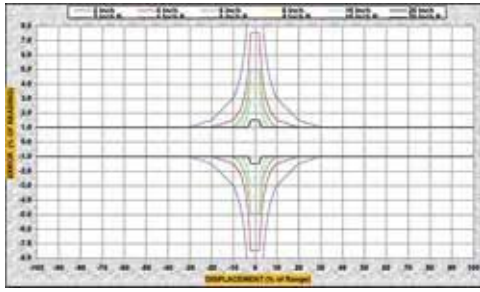
ASTM E2309 精度分类

ASTM E2309 的精度分类分为四个级别。每个分类都包含相对误差（读数百分比）和固定误差（本质上是固定最低规格）这两大精度规格。还有第三种与测量分辨率相关的规格，但这种规格在讨论的这一点上极其微不足道。

分类*相对误差*固定误差 (*以较大者为准)

- » **Class A** $\pm 0.5\%$ 读数，或者 ± 0.001 英寸 (0.025 毫米)
- » **Class B** $\pm 1.0\%$ 读数，或者 ± 0.003 英寸 (0.075 毫米)
- » **Class C** $\pm 2.0\%$ 读数，或者 ± 0.005 英寸 (0.125 毫米)
- » **Class D** $\pm 3.0\%$ 读数，或者 ± 0.010 英寸 (0.250 毫米)

ASTM E2309 B 类精度公差概括
 ASTM E2309 B 类精度公差 (± 1% 读数或 ± 0.003 英寸) 转换为读数百分比。



左侧附图帮助说明了 2、4、6、8、10 和 20 英寸全长 LVDT 或等效位移传感器的 B 类精度公差带。

需要注意的是，如此图表所示，随着位移设备满量程的增加，ASTM E2309 对起始段测量更加严格。该标准有效制定了与测量设备满量程相称的最低测量要求，有目的地说明了以下公理：“不要用码尺来完成千分尺的工作！”

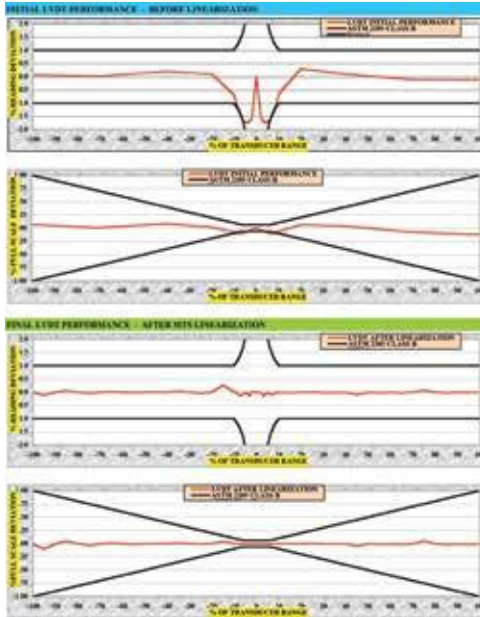
借助 ASTM E2309 的四个精度分类级别，可以为位移测量提供一致的参考，还提供确定特定精度分类要求的方法。

保持 LVDT 精度所面临的挑战

与典型的应变片传感器相比，LVDT 倾向于在其行程的不同部分具有更佳的非线性度性能。根据设计，LVDT 属于可变 AC 变压器，其中线缆电容、阻抗、解调器相位变化以及变压器物理绕组及其匹配铁芯的微小变异性都是导致测量误差的非线性度原因。在最坏情况下，LVDT 工作范围的非线性部分通常定义了其精度，在接近物理范围的零交叉区域时，这一情况最为常见。多种线性化技术可以用于解决整个工作范围的这一非线性度问题。左图说明了与 E2309 B 类精度公差带相比，线性化前后典型的 10 英寸行程 LVDT 的性能如何。

上面附图中的“海鸥”效应主要是由通过零区域的绕组的差异引起。如图 3 和图 4 所示，MTS 拥有完整的先进归一化和线性化算法。

借助 ASTM E2309，可以将位移范围的不同部分进行分类。在 < 10% 区域和 > 10% 区域单独分类精度性能，可以获得整个范围的确定信息。比起在传感器标定期间根本不在 < 10% 区域进行可追溯测量，前者明显要好得多。此外，比起假设在未定义传感器区域中的性能，了解该性能分类也要好得多。



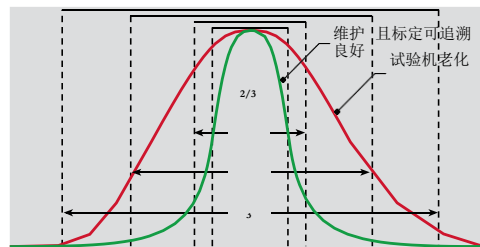
LVDT 随着时间的流逝而磨损和老化

保持 LVDT 测量精度面临的其他挑战是正常磨损和老化。LVDT 会随着时间的流逝而磨损，磨损程度通常和变压器及其铁芯在整个行程中相互保持同心对齐和角度对准的程度相关。在长期使用过程中，污垢形式的外部污染也会加速磨损。随着时间的流逝，这两个原因都会导致线性度和精度发生变化，最终导致传感器故障。通过定期标定得出的趋势可以指示，随着时间的流逝，线性度和精度发生了变化。

位移标定的重要性

定期标定在测量仪器或测量系统显示的数值与相应的标定标准之间建立了历史关系。

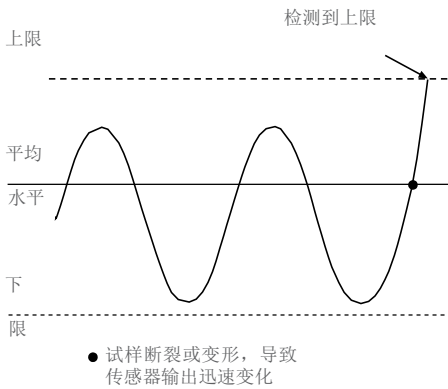
MTS 建议利用可追溯标准每年进行一次位移标定。在标定过程中，可以确定设备性能是否在规格以及试验应用对特定位移设备的要求所定义的可接受公差范围之内。



在同一试验件中，经过严格分组的重复试验数据始终优于轻率分组的数据。

了解精度要求

试验应用多种多样，不同应用对于主要位移设备的精度要求也各不相同。例如，限值检测用位移设备的精度要求不同于用于直接测量试样变形的位移设备的精度要求。



限值检测

示例1：限值检测

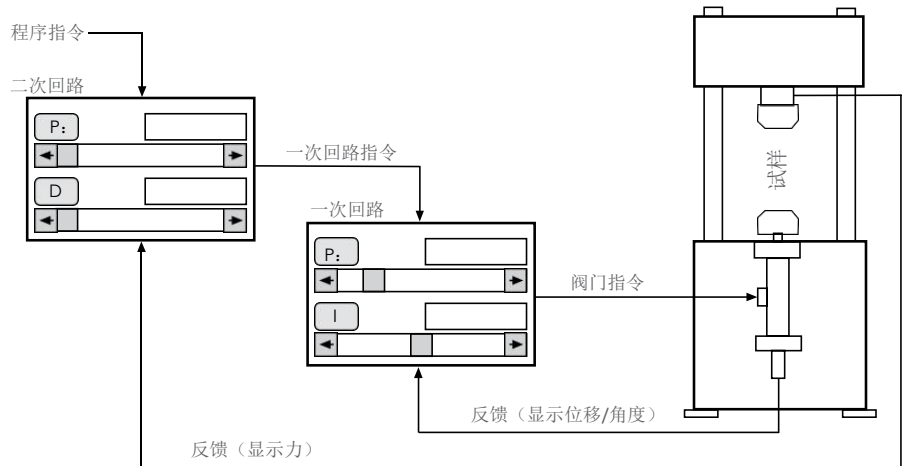
为了解释限值检测，先假设试验需循环 ± 10 千牛作用力，由此产生的位移大约是平均水平的 ± 1 厘米。将位移限值设置为略微超出预期工作范围，则可检测出意外变化。主要是

这一状态变化检测对重复性有所要求。

示例2：级联控制

级联控制是另一示例，用以说明位移反馈如何用于控制稳定性而非数据收集。此控制模式用于动态条件下对稳定性要求较高的试样试验。如图所示，此模式使用两个传感器反馈信号。在此配置中，力反馈精度是试样数据收集的重点。位移通道提供所需的稳定性，可确保通过试验件的作用力高度重复。

在限值检测和级联控制的示例中，位移设备的稳定性和可重复性最为关键，尽管其精度仍然非常重要，但从整体应用的角度来看，精度的重要程度相对较低。



级联控制图

磁致伸缩位移传感器 — LVDT 替代品

磁致伸缩线性位移传感器用于测量外部永磁体的位置，该磁体可以安装到作动缸活塞杆或机器的任何移动部件上。在传感元件内，通过两个磁场的瞬时相互作用，在经过专门设计的磁致伸缩波导中感应出声波应变脉冲。一个磁场来自沿传感器外部通过的可移动永磁体，而另一个磁场来自沿波导施加的“询问”电流脉冲。由此产

生的应变脉冲沿波导传播，在传感元件头部被检测到。使用高速计数器测量应用询问脉冲和由此产生的应变脉冲到达之间的经过时间，进而确定该磁体的位置。使用该经过时间确定永磁体位置可以获得绝对的位置读数，无需在断电后进行重新归位。非接触式传感经久耐用，不会出现磨损，其输出也具备重复性。

这些传感器通常可以在 > 100 厘米的整个物理范围内提供 E2309 A 类精度性能，而 LVDT 利用典型的线性化算法却难以在 > 25 厘米行程长度的物理范围内实现 C 类精度性能。

磁致伸缩位移传感器可以在非常长的行程长度 (> 100 厘米) 内提供超高的线性度，也能够 @ 50 赫兹的动态范围内进行闭环控制，速度高达 50 厘米/秒。

利用 ASTM E2309 标定进行卓越系统分析

根据 ASTM E2309 对试验系统位移传感器的测量性能进行分类，将会增强对试验结果的信心。

此外，MTS 现场服务工程师运用端到端标定的原则和理念。从本质上来说，这意味着系统级现场标定实践涉及测量过程中的所有元件，包括传感器、线缆、调理器和控制器。MTS 使用这种方式检查系统，因此可以提供更高质量的标定、降低错误风险。MTS 将系统元件作为一个整体进行评估，可消除相当大的不确定性。

MTS 的定期标定和日常维护解决方案旨在帮助确保您的试验机能够始终提供准确且可重复的数据。对于这一解决方案来说，不可或缺的是能够定期验证您测量设备的完整性。



MTS 系统公司

14000 Technology Drive
Eden Prairie, MN 55344-2290 USA

电话: 1-952-937-4000
免费电话: 1.800.328.2255

电子邮件: info@mts.com
www.mts.com

ISO 9001 QMS 认证

MTS 是 MTS 系统公司在美国的注册商标。
这些商标可能在其他国家/地区受到保护。
RTM No. 211177

© 2022 MTS 系统公司
100-257-730a ASTM · 于美国印刷 · 2022 年 11 月