

【应用指南】浅谈运动控制中的重复定位精度

高精度电动位移控制广泛应用于光纤耦合，半导体晶圆定位，微加工等多个领域。针对不同的应用，我们需要选择不同的位移控制台，评估多个参数，比如重复性、精度、倾斜、俯仰等等。用户通常需要对比多个厂家的技术参数，这会有很大的风险，尤其是在选择亚微米级的应用中。这是因为每个厂家的测试方法以及测试条件的不同，甚至在一些参数的定义上略有不同。本文将讨论真实的运动控制中的关键参数以及测试方法，告诉您这些参数实际的意义。

关于重复性

通常认为重复性是一个系统从不同位置移动到同一位置（命令）很多次，实际到达的位置的能力。对于高精度运动来讲，这个参数至关重要。用户需要知道他的器件每次都能连续的到达固定位置。不能将重复性和精度这两个概念混淆。如下图所示，一个系统他可能具有非常好的重复性，但是精度可能会很差。

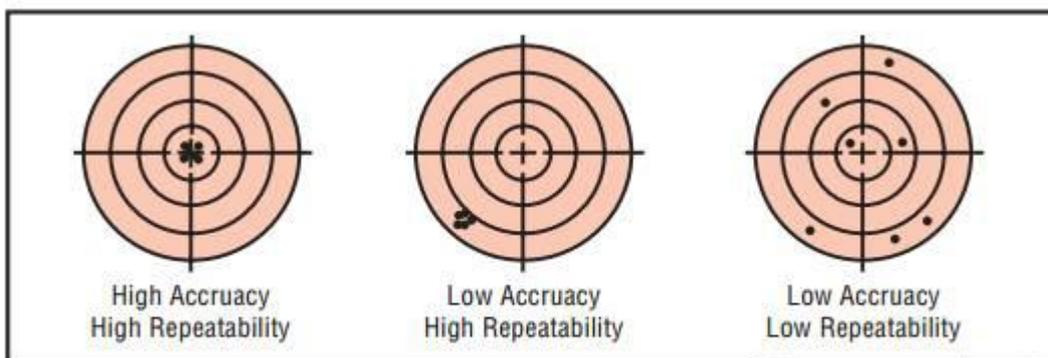


Figure 1. Accuracy vs Repeatability

newport理波

在很多应用中，重复性是最基本的一个参数。在制造环境中，如果没有一个很好的重复性，也就意味着没有一个可靠的制程来保证产品的一致性。

产品手册中的指标，通常都是在近乎完美的条件下测试获得的，很难在用户实际使用环境中重现。因此，手册中的重复性并不能每次都是非常准确的满足用户的需求。而且，不同的测试方法以及数据统计方法，也会获得不同的结果。

为了获得真实的重复性的数据，对比测试方法非常重要。比如测试中，采集了多少数据，不同的统计方法，不同的测试标准，都会对重复性有很大影响。

收集数据

测试的第一步就是收集数据。数据的质量，将会决定误差的范围。图 2-4 是不同的结果。测量中，前后移动方向不同，结果不一样，样本数也会影响统计结果。完美的重复性的结果是，所有的数据都会集中在一个点上。

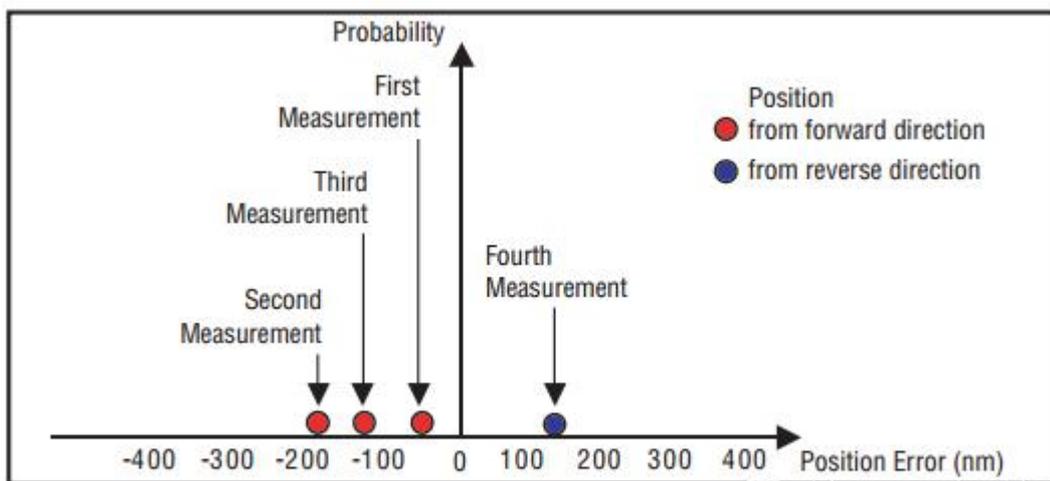


Figure 2. Measuring Position Error

图 2 中，第一次测量误差是 55nm，第二次测量误差 195nm，第三次测量误差 120nm。从另外一个方向测量，有 130nm 的误差。从数据中，无法获得有效的结果。重新测试获得了下面的结果（图 3）。

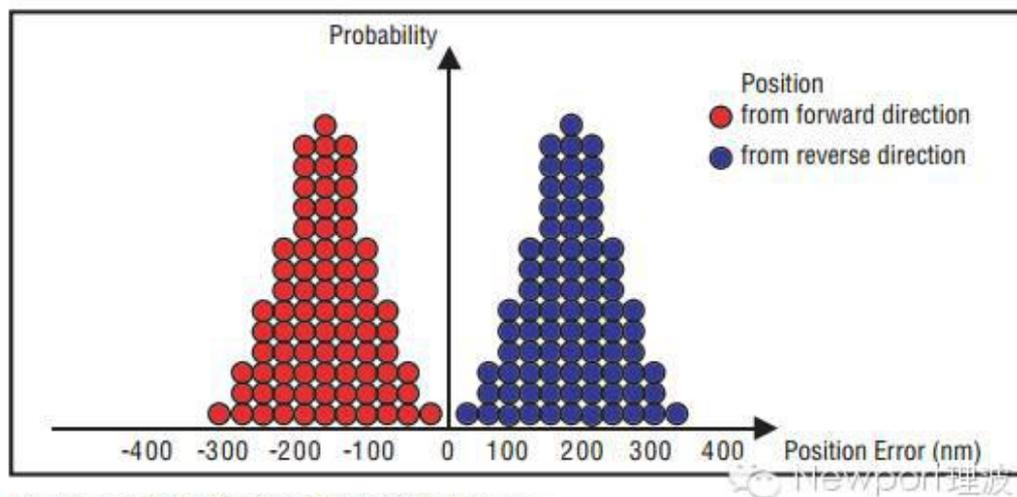


Figure 3. Distribution of Position Errors

多次测量后，数据分布如上图（图 3 中，我们仅仅假设正态分布）。从图中可以看出，不同方向的数据分为两组。所以回到我们问题“什么是准确的重复性”？如图 4 所示，不同的定义方法，重复性的范围也不一样。本例中只显示三种数值：单向平均重复定位精度，单向最大重复定位精度，双向最大重复定位精度。其实还有很多别的定义方式。

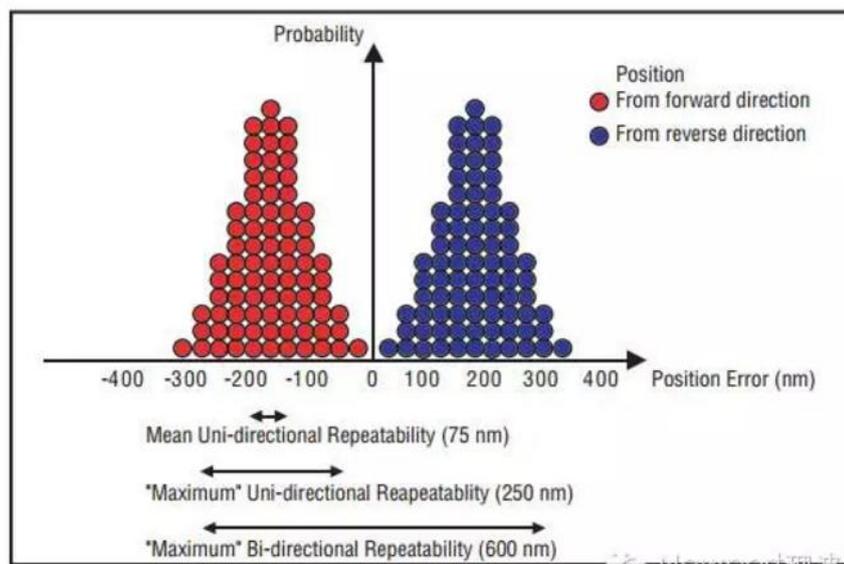


Figure 4. Definitions of "Repeatability"

计算重复性，通常会用到下面的数学统计方法：

平均值，计算公式如下，取决于样本数量的多少。平均值就是样本总和除以样本数量。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

最大值与平均值和标准差（Sigma 或者 σ ）相关。

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 = \frac{1}{n-1} [(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2]$$

$$\sigma = \sqrt{s^2}$$

通常在询问关于重复性的参数时，有几个问题要特别注意：

双向重复性还是单向重复性？

你的计算公式是什么？

2-sigma, 4-sigma, 6-sigma, 或者 RMS？

样本数量多少？

在数据采集中，你的行程占据整个 stage 的全行程多少百分比？

对比了这些参数后，我们才能更好的理解重复性的含义。

常用的测试设备及方法：

Newport 精密位移台的测试设备及环境通常如下：

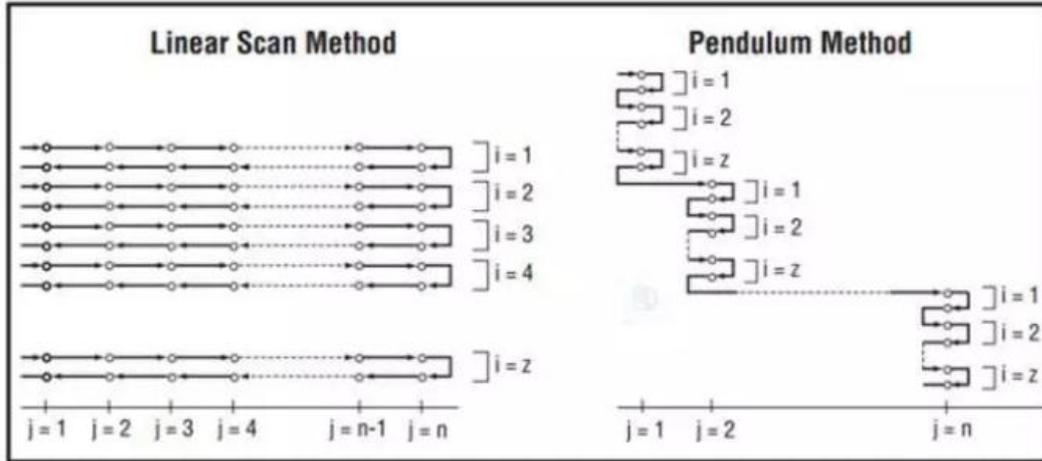
平面度 < 1 μ m 的大理石平台

测试环境温度 20° +/- 0.03°

湿度：45% +/- 5%

大气压力的补偿

Newport 通常使用两种测试方法：线性扫描方法及钟摆式测试方法。具体区别见下图：



数据采集好后，我们使用美国机械工程师学会 ASME B5.57 的标准进行数学统计。同时我们也会使用独立的工业优化流程来计算重复性。两者的区别在于对数据的计算及解释方法不同。下面的表格是使用不同方法测试同一平台的测试数据：

Parameter	Procedure	Data Collection Method	Value (μm)
Forward Repeatability	ASME B5.57	Linear Scan	0.86
Forward Repeatability	ASME B5.57	Pendulum	0.39
Reverse Repeatability	ASME B5.57	Linear Scan	0.78
Reverse Repeatability	ASME B5.57	Pendulum	0.43
Bi-Directional Repeatability	ASME B5.57	Linear Scan	0.86
Bi-Directional Repeatability	ASME B5.57	Pendulum	0.45
Repeatability*	Independent	Linear Scan	0.34
Repeatability*	Independent	Pendulum	0.14

从数据中可以看出，线性扫描方式和钟摆式方法，结果大不相同。究其原因，在于线性扫描中，驱动螺丝行程更大，产生更多热量，从而对数

据采集产生影响。而钟摆式测试方法中，每个点的测试时间更短，所以热对其影响相对较小，所以测试结果也不相同。

结论：

很多高精度的电动位移平台声称有亚微米的重复性，更有一些在纳米量级的重复性，但是对于不同的应用，不同的环境，重复性的含义都不一样。抛开了实际应用的环境，来谈重复性是没有意义的。

不同的测试方法，不同的数据统计方法，不同的测试环境，比如温度、湿度、空气污染、振动等等都会对测试结果有影响。同样的情况，也会发生在 motion 的其余的一些参数的测试上，比如精度、摆动、俯仰、翻转等等。所以在选型时，不能仅仅是对比指标，更重要的是要理解实际的应用所需要的指标。

森泉为您的科研事业添砖加瓦：

- 1) 激光控制：激光电流源、激光器温控器、激光器控制、伺服设备与系统等等
- 2) 探测器：光电探测器、单光子计数器、单光子探测器、ccd、光谱分析系统等等
- 3) 定位与加工：纳米定位系统、微纳运动系统、多维位移台、旋转台、微型操作器等等
- 4) 光源：半导体激光器、固体激光器、单频激光器、单纵模激光器、窄线宽激光器、光通讯波段激光器、CO₂ 激光器、中红外激光器、染料激光器、飞秒超快激光器等等
- 5) 光机械件：用于光路系统搭建的高品质无应力光机械件，如光学调整架、镜架、支撑杆、固定底座等等
- 6) 光学平台：主动隔振平台、气浮隔振台、实验桌、刚性工作台、面包板、隔振、隔磁、隔声综合解决方案等等
- 7) 光学元件：各类晶体、光纤、偏转镜、反射镜、透射镜、半透半反镜、滤光片、衰减片、玻片等等
- 8) 染料：激光染料、荧光染料、光致变色染料、光致发光染料、吸收染料等等

地址：青岛市黄岛区峨眉山路 396 号光谷软件园 57 号楼 501 室
电话：0532-80982936/80982937/80982938
传真：0532-80982935
邮箱：sales@sourcescn.com
网址：www.sourcescn.com



谢谢关注！

我们拥有优质的产品，稳定的供货渠道，强大的技术支持和成熟的销售服务经验，可提供所有光电应用解决方案，竭诚为您提供最满意的服务！