

如何评价一台 AFM?



购买原子力显微镜时，根据最终的系统应用状况，许多因素是很重要的。当用户对原子力显微镜系统进行评价时，这些因素会产生一系列特别的问题。对个体用户来说，比较重要的问题包括：

- 该系统是设计用于工业生产或用于研究？
- 该系统是否将安装于多用户设施中？
- 该系统是否能够支持我所需的可用选项？
- 该系统对初级用户来说，使用起来是否简单？
- 该原子力显微镜系统是否适合高端用户使用？

上述问题及其他许多问题普遍存在于客户收集原子力显微镜系统信息的过程中。一旦上述问题得到答案，便可编制一系列可行的系统。用户需要对这些系统进行深入比较，从而找出最符合其总体要求的系统。

为了达到这个目的，Park Systems 公司针对“何谓良好的原子力显微镜？”这个问题编制了一份我们认为比较全面的概览。

基本因素

从历史上看，虽然原子力显微镜已被证明是测定样品相对尺寸的可靠工具，但是它仍难以测定出表面形貌准确的绝对尺度。由于在研究及工业应用中测量尺度级别变得越来越小，因此当前使用原子力显微镜准确多次测量地表形态的绝对尺度显得空前重要。

为了进行纳米级计量，测量结果的准确性与可靠性以及可用模式和选项的灵活性与分辨率同样重要。原子力显微镜系统的性能将会受以下特性的影响：

- Noise Floor (本底噪声)
- XY Scan Flatness (XY 扫描平坦度)
- XY Scan Linearity (XY 扫描直线性)
- Tip Life (针尖寿命)
- Thermal Drift (热漂移)
- Available SPM Modes (可用扫描探针显微镜模式)
- Option Compatibility (选项兼容性)

本底噪声

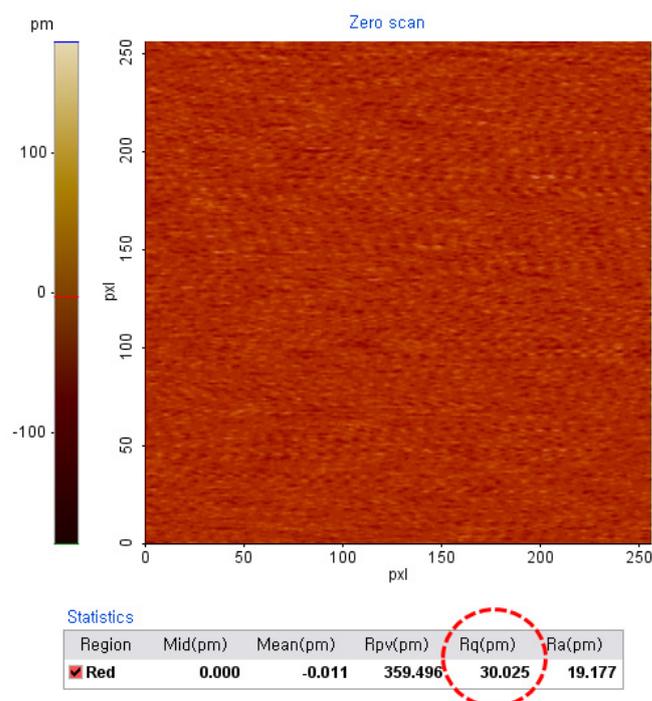


图 1.本底噪声通过采用零扫描计进行测量，在零扫描过程中针尖放置在样品表面上，然后将 0×0 纳米的 256×256 像素扫描仪放大 0.5 倍进行扫描。一个点的扫描信号与仪器的本底噪声相对应。

即使最小的环境振动都可增加原子力显微镜测量结果的噪音成分，使其很难反映最小的细节或描述平坦度最高的表面。为了测定基底噪音或本底噪声，用户将悬臂放置在样品表面，并获得系统对零扫描所作出的反应（见图 1）。良好的原子力显微镜必须远离振动，从而使噪音本底低于 0.5Å 。

- 0×0 纳米扫描，集中在一个点上。
- 放大 0.5 倍，使用接触模式。
- 256×256 像素

XY 扫描平坦度

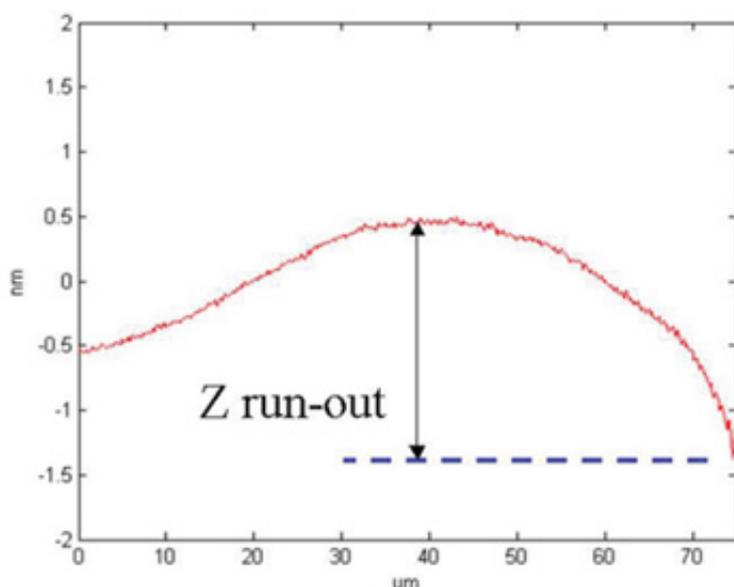


图 2. Z 偏摆或离面运动是扫描量变曲线在没有任何软件校正（样品倾斜校正除外）时的峰谷高度（不高于一级平面拟合）。样品可以是光学平面（参考反射镜）或满足原子力显微镜校准标准的一个平面部分。

原子力显微镜扫描器是原子力显微镜最重要的组成部分，因为该扫描器的性能能够决定原子力显微镜成像结果的准确性。因此，检查扫描器的功能度，例如高位非线性背景运动，从而避免所获得原子力显微镜图像出现扭曲。

因此，在平面的成像过程中，消费者必须挑选一个能够将离面运动最小化的扫描器设计。不管扫描率（见图 3）、扫描尺度或扫描偏移度（见图 4）有多大，一个好的原子力显微镜扫描器都必须能够将 Z 离面运动控制在整个扫描范围的几纳米以内。

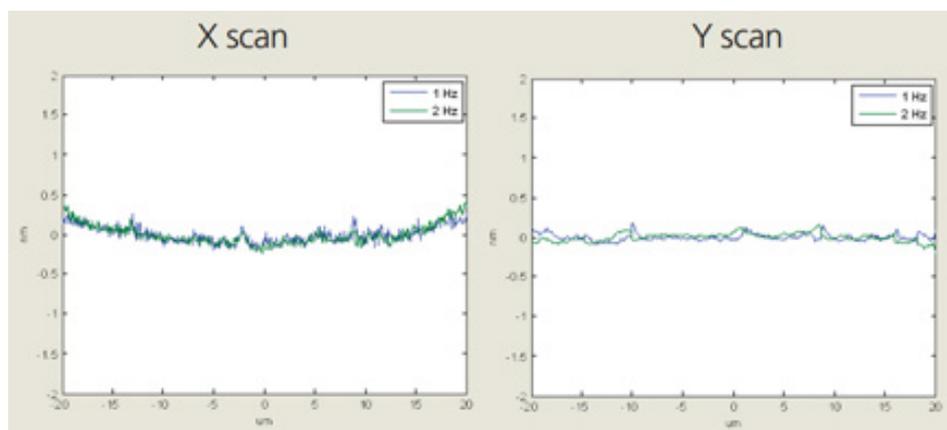


图 3. 对于一个好的原子力显微镜，其典型的离面运动在整个 100 μm 扫描范围内低于 $\pm 2\text{nm}$ ，在扫描率 0.5、1 及 2 赫兹时，其重复率小于 0.5 纳米。重复率是指两次或多次扫描获得的平均量变曲线的最大变化值。本试验可在 X 轴及 Y 轴两个快速扫描方向上进行。

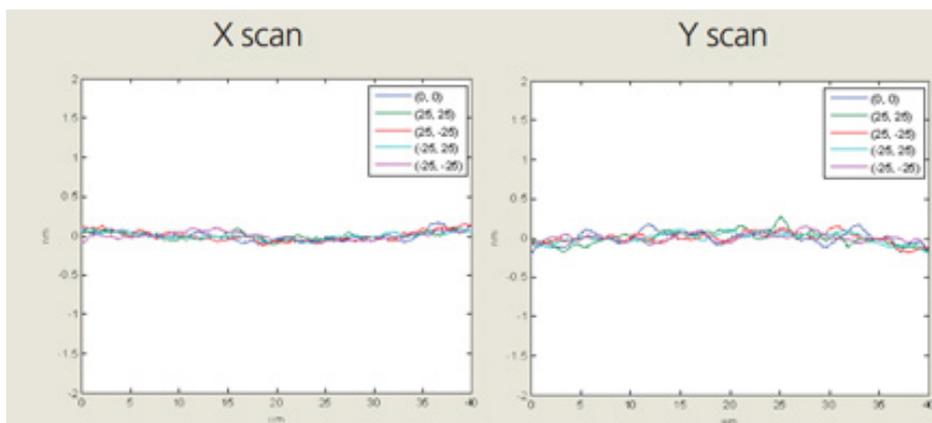


图 4. 对于一个好的原子力显微镜，其典型的离面运动在 40 μm 扫描范围内低于 $\pm 2\text{nm}$ ，在 X 轴和 Y 轴位移量为 (0, 0)、(25 μm , 25 μm)、(25 μm , -25 μm)、(-25 μm , 25 μm)及 (-25 μm , -25 μm)时，其重复率小于 0.5 纳米。重复率是指两次或多次扫描获得的平均量变曲线的最大变化值。本试验可在 X 轴及 Y 轴两个快速扫描方向上进行。

XY 扫描线性度

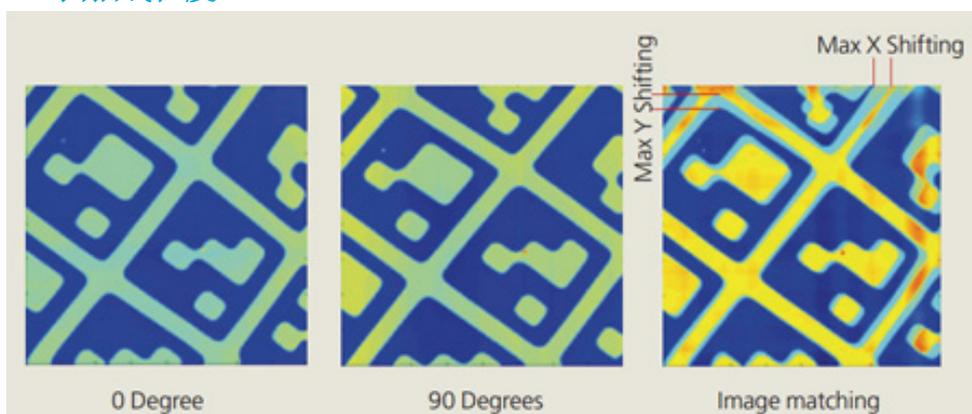


图 5. X-Y 线性度是在改变快速扫描轴方向后，通过匹配两个正交扫描结果求得的。试验可在大小为 40 x 40 μm 的地方，采用随机位移坐标进行。

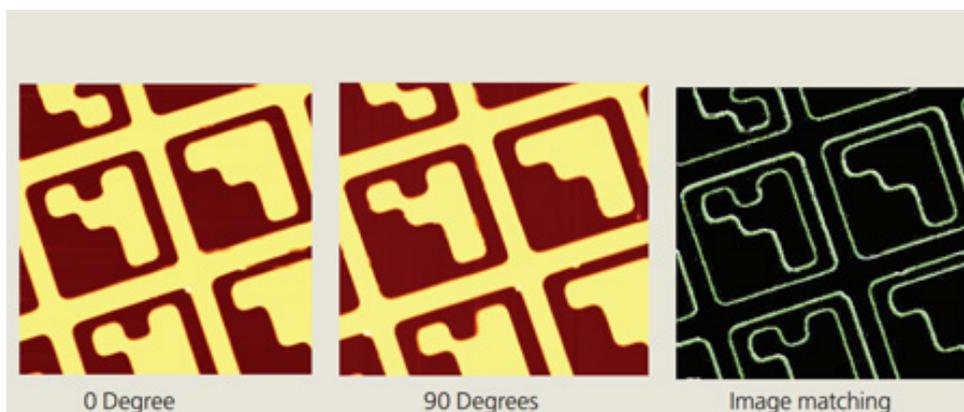


图 6. 对于好的原子力显微镜而言，两次正交扫描不会存在明显的匹配不当，且能够获得良好的 XY 轴扫描线性。

XY 轴扫描线性度是原子力显微镜的另外一个重要评估指标，它能够决定原子力显微镜能够提高的成像精确度。若 X 轴与 Y 轴扫描活动是结合在一起的，则在管型扫描器中，X 轴方向上的延长将直接影响到扫描器的 Y 轴位置。XY 轴扫描线性度是通过如图 5 所示方法两次正交扫描与匹配的图像进行测量的。扫描器所形成的两个图像的不匹配量将显示出 X 轴与 Y 轴扫描活动的线性度。

因此，消费者必须挑选一个能够将 XY 轴扫描线性度最大化的扫描器设计。不管扫描率（见图 7）、扫描尺度或扫描位移度（见图 8）有多大，一个好的原子力显微镜扫描器在任何坐标下（见图 6）都必须能够将 XY 轴扫描线性度控制在低于 0.05% 以内。

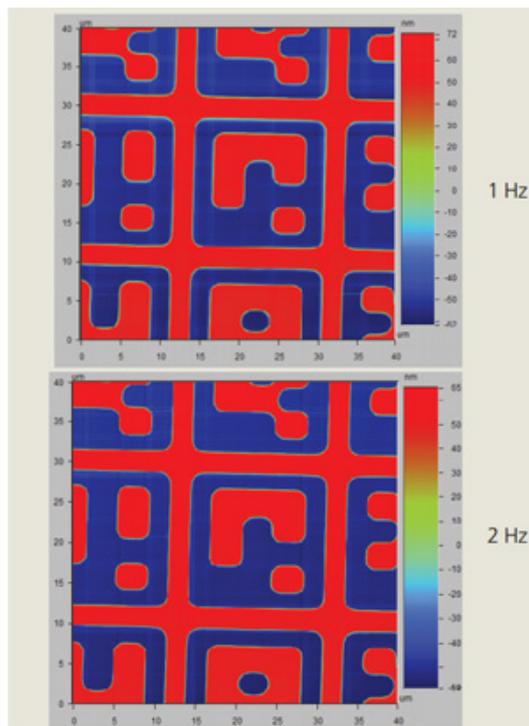


图 7. 好的原子力显微镜不得出现两次正交扫描匹配不当的情况，且在 1 赫兹或 2 赫兹下的扫描率下，能够获得良好的 XY 轴扫描线性度。

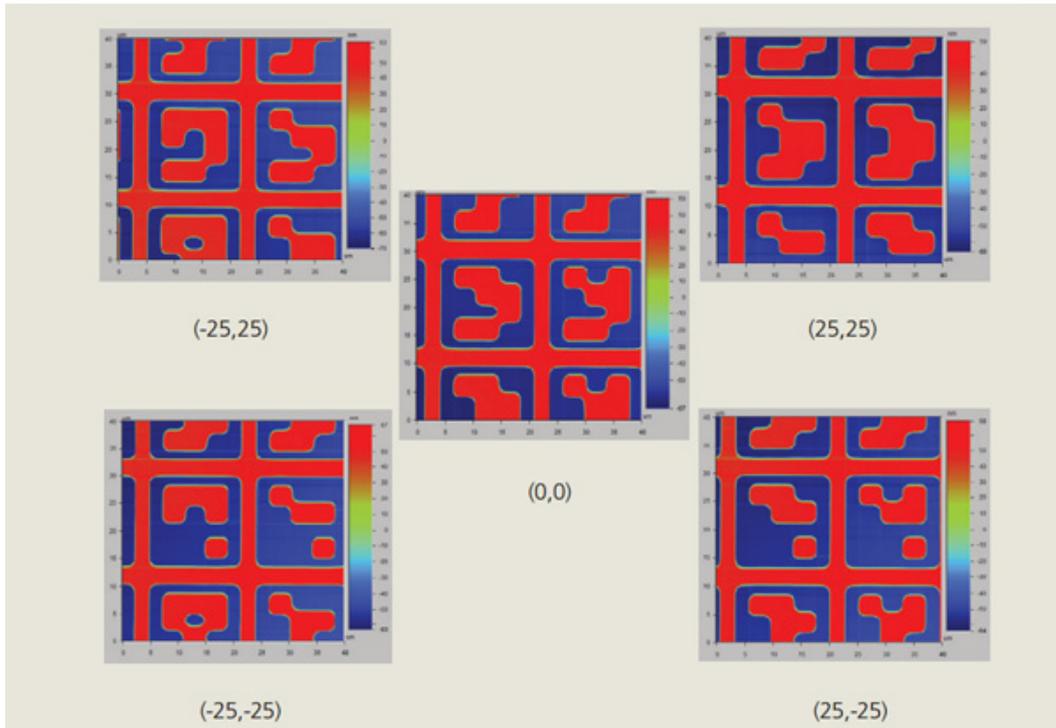


图 8. 良好的原子力显微镜不得出现两个正交扫描匹配不当的情况，且在 X 轴和 Y 轴位移量为(0, 0)、(25um, 25um)、(25um, -25um)、(-25um, 25um)及(-25um, -25um)时，能够获得良好的 XY 轴扫描线性度。

探针寿命

对于获得高稳定性及高可靠性的高质量图像来说，针尖寿命是一个重要因素。若针尖接触样品后变钝，则它可能限制原子力显微镜的分辨率，从而降低扫描图像的质量。对于比较柔软的样品，针尖面接触会损坏样品及针尖，使得样品高度测量时的不准确可能性更高。因此，保持针尖的完整无损才能够使原子力显微镜能够持续拥有高分辨率并获得精确的数据。

测试原子力显微镜系统的针尖寿命的好方法就是通过扫描 CrN，CrN 非常坚固的表面上有锋利尖细物体。若针尖变钝或受损，它将无法达到尖细物体底部，从而所获得的扫描图像将变得很模糊。对于好的原子力显微镜，即使对 CrN 样品进行 100 次图像扫描(如图 9 所示)，它依然能够保持针尖的锐度，同时能够保持样品的表面粗糙度(见图 10)。

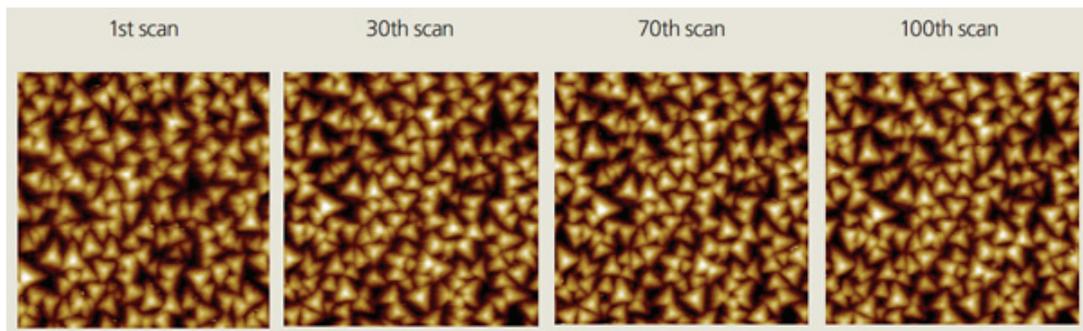


图 9. 我们可以通过 CrN 样品(所谓的针尖测试器)简单地进行针尖磨损实验。对于好的原子力显微镜而言，即使进行 100 次扫描后，它依然能够保持针尖的尖度。若针尖寿命不够长，我们所获得图像将是模糊的，没有尖锐、三角形物体，这是针尖磨损导致的后果。

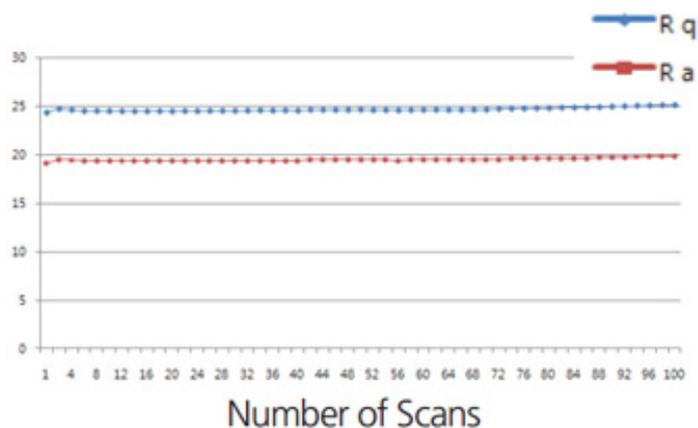


图 10. 对于好的原子力显微镜，它能够保持针尖的锐度，同时能够保持样品表面粗糙度。

热漂移

原子力显微镜针尖可能由于仪器内部机械部件的热膨胀或收缩而进行不需要的位移运动。我们必须使这种不需要的位移运动（被称为热漂移）最小化，从而能够对小于 $1\mu\text{m}$ 的样品进行准确扫描。通过标注出样品表面的特征物位置，然后测量出几次扫描后针尖与这些位置点的偏移度，从而测出 XY 轴方向上的漂移速率。对于好的原子力显微镜，其漂移速率一般低于 $1.5\text{ nm/min}/^\circ\text{C}$ 。

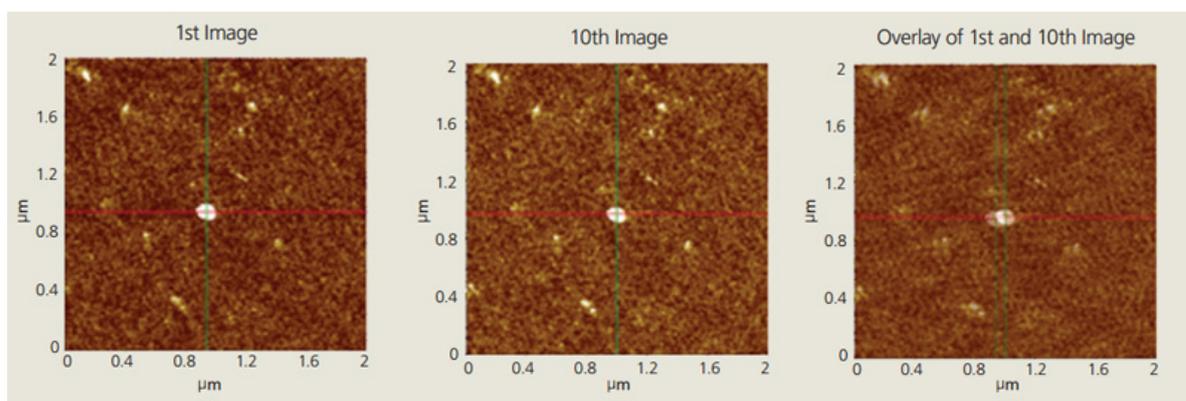


图 11. 在此 XE-100 原子力显微镜例子中，在连续 $2 \times 2\ \mu\text{m}$, 256×256 像素、扫描频率为 1 赫兹的连续扫描过程中，使用了硅晶片上的一个小小纳米颗粒作为参考点。此类扫描是在将新样品及新悬臂被装到 XE-100 原子力显微镜之后进行的，在扫描之前没有进行任何系统预热。所测得的 X 轴漂移速率为 0.738 nm/min 而所测得的 Y 轴漂移速率为 0.523 nm/min 。

可用扫描探针显微镜模式

自从 80 年代发明使用之后，原子力显微镜已经发展成为作用最强的一种纳米测量工具。现在，用户将原子力显微镜作为描述很多物理性质的一种功能性工具，而具体应用模式根据消费者的样品及应用需求不同而不同。其中，特别重要的一种模式是扫描探针显微镜模式，该模式具有以下特征：

- 标准成像
- 化学特性

- 介质特性/压电特性
- 力值测量
- 电气特性
- 液体内成像
- 磁性
- 力学性能
- 光学特性
- 热力学特性

选择兼容性

一个好的原子力显微镜必须能够提供广泛的选择兼容性, 从而使其能在不同条件及样品环境下, 都能测得相应数据, 特别是以下环境:

- 具有低内聚的超级发光二极管光源
- 扫描范围为 25 微米的 Z 扫描器
- 加热&冷却样品台
- 容器的液体测量
- 通电细胞室