

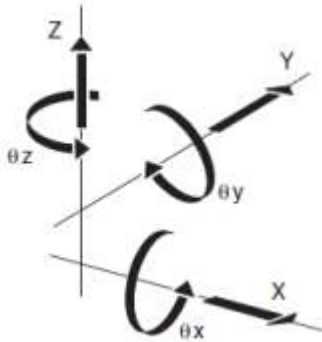
# 精密位移系统的技术指标介绍

## 精密位移系统的技术指标介绍

选购精密位移产品时要根据具体应用考虑不同的性能指标，正确理解各项技术指标的物理意义，对最终组建的系统性能至关重要，因此本文就常用的一些技术指标做简要介绍。

六个自由度 (Six degrees of freedom) :

基于笛卡尔直角坐标系内的任意刚体有六个自由度：三个平动自由度 (x, y, z) 和三个转动自由度 (θx, θy, θz)。对于单轴的位移机构，理想的状况是：它只沿着我们要求的运动方向移动，在其他自由度上没有移动量，但实际上无法做到，所以我们除了控制好运动方向这个自由度以外，需要约束其他五个自由度的运动。



分辨率(Resolution) :

分辨率是指移动系统可以分辨的最小位置增量。这是一个理论值，针对电动平移台而言，分辨率是指步进电机接到一个脉冲时，位移台的移动量。但由于电脉冲可以通过驱动器进行细分 (参见电移台综合说明中细分部分)，所以理论上单个脉冲可以做到很小，也就是说理论上位移台的移动量可以做到很小 (比如说：在丝杠导程为4mm，电机步距角为1.8°，将电脉冲进行256细分时，电移台的理论分辨率为0.078μm)。

但实际上当细分数过高时，想要精确控制变得很困难，而且电机对高细分后的脉冲响应也会变差，所以高细分情况下经常会发生：给了脉冲不动，或运动后不准的情况。经过多年的经验，我们标称的分辨率 (开环情况下) 都是在8细分情况下的指标，这个指标相对来讲是真实的。关于这部分内容，请您参阅电机部分的基础介绍。

平移台的分辨率可以用如下公式计算：

$$\text{分辨率} = \frac{\text{螺杠导程}}{\frac{360}{\text{电机步距角}} \times \text{电机驱动器细分数}}$$

当：螺杠导程为4mm，电机的步距角为1.8°，进行8细分时，分辨率为：

$$\frac{4}{\frac{360}{1.8} \times 8} = 0.0025$$

即分辨率为2.5μm。

旋转台的角度分辨率可以用如下公式计算：

$$\text{旋转台的角度分辨率} = \frac{\text{步距角}}{\text{电机驱动器细分数} \times \text{传动比}}$$

当：电机的步距角为1.8°，蜗轮蜗杆的传动比为180:1，驱动器细分数为8时，

$$\text{分辨率} = \frac{1.8^\circ}{180 \times 8} = 0.00125^\circ$$

误差 (Error, Deviation) :

误差是指实测值和理论值的差值。对于位移台来说误差主要有两个方面：轴向误差和非轴向误差。

轴向误差 (On-Axis Error) :

与沿着运动方向 (通常定义为X方向) 的参数有关的误差，包括精度、重复定位精度、空回等。

精度 (Accuracy) :

精度往往被误解为最小移动增量 (incremental motion)，但最小增量实际上应该称为分辨率 (Resolution)，上面我们已经谈到，分辨率是一个理论值。严格意义上来说，精度是指绝对精度 (Absolute Accuracy)，也就是：对于一个给定的输入量，位移台运行后的实际位置。这个实际位置和理想位置，通常会有一定的差距，这就是误差。

平移台的 (绝对) 精度需要考虑到很多因素，包括控制部分、电机、联轴器、丝杠、导轨、连接用轴承等各个环节，都有可能影响平移台的 (绝对) 精度，对于旋转台或角位移台，也存在同样的情况。甚至在闭环系统中，光栅尺等装置本身的精度也会影响绝对精度。相关内容，请参照“电控位移台产品综合介绍”部分。

整套产品 (或系统) 的精度，虽然不是各个部件 (或系统组件) 误差的简单相加，但通常不会优于各个部件 (或系统组件) 的误差，这一点需要特别注意。比如，电移台的行程为200mm，假设螺杠全长为340mm，选用国标5级螺杠 (精度23μm/300mm)，如果标称电移台的“精度”小于25μm显然是不合适的。

重复定位精度 (Repeatability) :

是指移动系统多次可达到一个既定点的的能力，通常重复定位精度是指单个方向上的，这样能将“空回”的指标分开，避免数据混乱。



## 精密位移系统的技术指标介绍

空回 (Backlash) :

空回是指不至引起反向可测量输出的最大输出量。通俗的讲，空回就是机械结构的间隙，比如：轴向预紧不够或传动元件的啮合不好会导致空回。首先需要明确，复杂机械结构几乎都会有空回；另外，空回是相对稳定的，并且可以通过控制进行补偿。

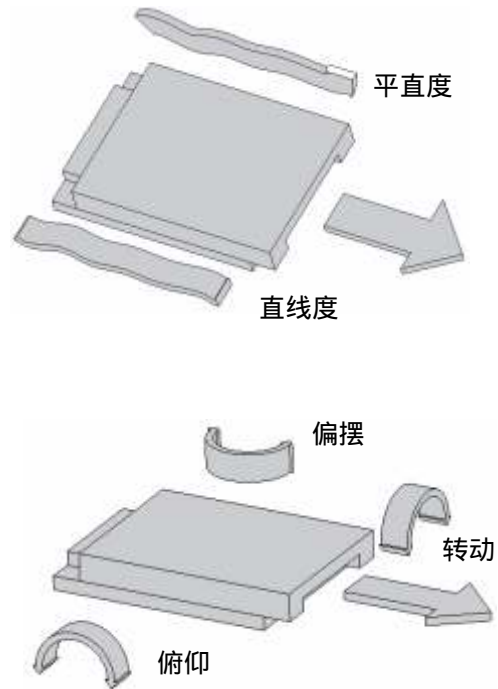
非轴向误差 (Off-Axis Error) :

与约束的自由度方向相关的误差，包括非轴向线性误差和非轴向角度误差两个方面。

非轴向线性误差就是我们通常说的直线度，直线度分为两个正交分量，一个是垂直方向 (Z方向) 的直线度，称平直度 (Flatness)，也称为平行度、平面度；另一个是水平方向 (Y方向) 的直线度 (Straightness)，称直线度。

非轴向角度误差有三个相互垂直的分量，分别是：z方向的偏摆 (Yaw)、y方向的俯仰 (Pitch) 和 x方向的转动 (Roll)。

对于平移台系统，上述非轴向误差说明如右图：



# 电移台部分技术指标的检验方法介绍

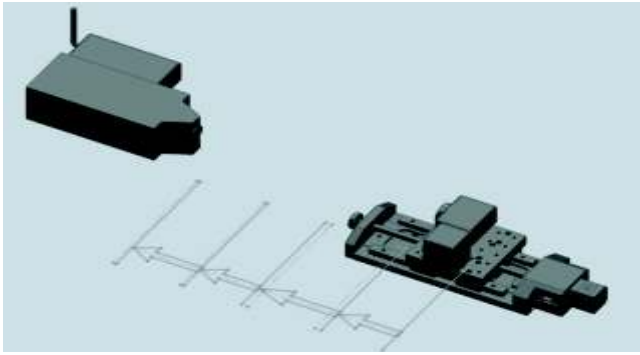
为了让您对一些技术指标有一个较清楚的了解，特介绍部分技术指标的检验方法如下：

## 对于平移台产品：

分辨率：分辨率是一个理论值，这个项目不进行检验；

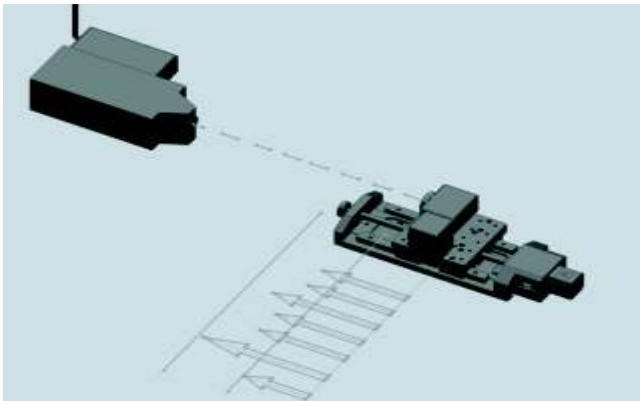
精度（绝对定位精度）：

从基准点（原点）开始，在全行程上的某一方向（单方向）上，以一定间隔（选10个点，尽可能均布在全行程范围）依次驱动平移台并定位。分别实测在相应定位位置上的位移值（即从原点算起的移动距离），并和目标值（移动指令指示的理论距离）进行比较，计算出位移偏差，找出所有测量点中的最大和最小偏差值，并定义其差值为定位精度。



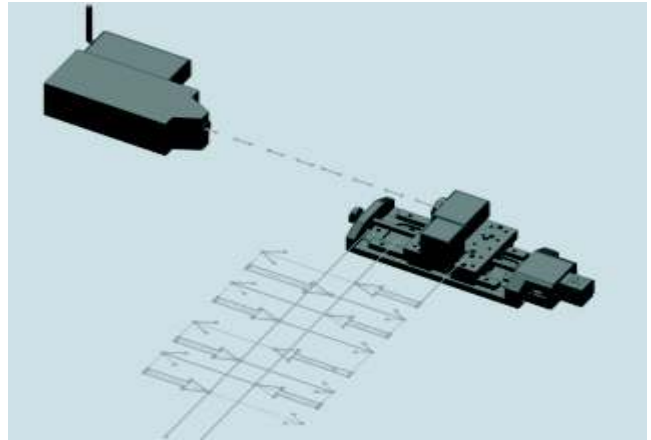
重复定位精度：

我们在上文中已经提到，重复定位精度一般是指单向重复定位精度，重复定位精度的检验方法：在平移台的10个位置（尽可能均布在全行程范围）上，分别从同一个方向定位5次。我们首先记录其停止位置（定位位置）的最大变化范围，然后定义以上10个位置中的最大变化值为重复定位精度。



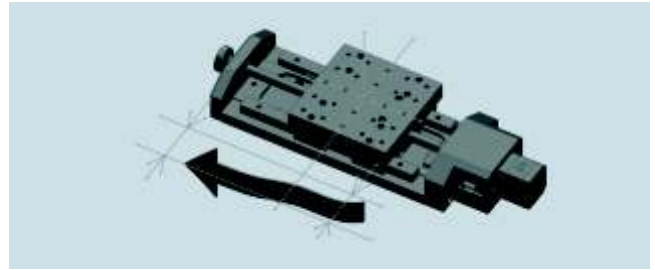
空回：

在平移台的10个位置（尽可能均布在全行程范围）上，分别从正方向和反方向驱动平移台并定位，并记录两个方向的停止位置（定位位置）的差异值。以上测量共进行5次，并求出其平均值。我们定义以上



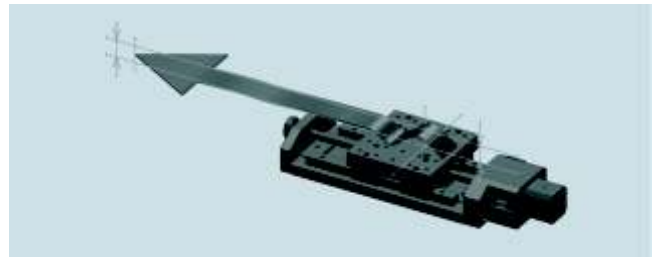
直线度：

直线度是指非轴向线性误差中的水平方向的分量。从基准点（原点）开始，在全行程上的某一方向（单方向）上，以一定间隔（选10个点，尽可能均布在全行程范围）依次驱动平移台并定位。在相应定位位置上，分别测量水平方向的差异量，我们定义其最大差值为直线度。



平直度：

平直度是指非轴向线性误差中的垂直方向的分量。从基准点（原点）开始，在全行程上的某一方向（单方向）上，以一定间隔（选10个点，尽可能均布在全行程范围）依次驱动平移台并定位。在相应定位位置上，分别测量垂直方向的差异量，我们定义其最大差值为平直度。



# 电移台部分技术指标的检验方法介绍



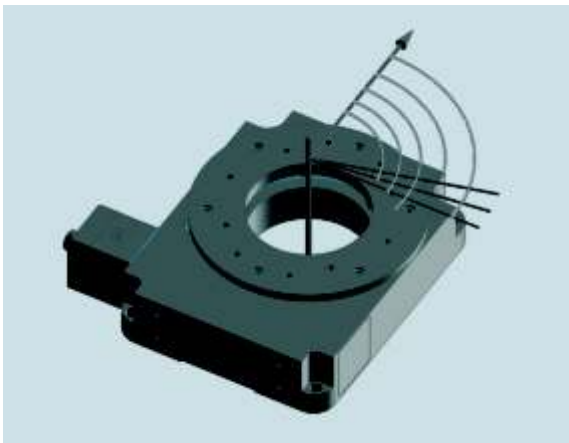
## 对于旋转台产品：

分辨率：

分辨率是一个理论计算值，这个项目不进行检验

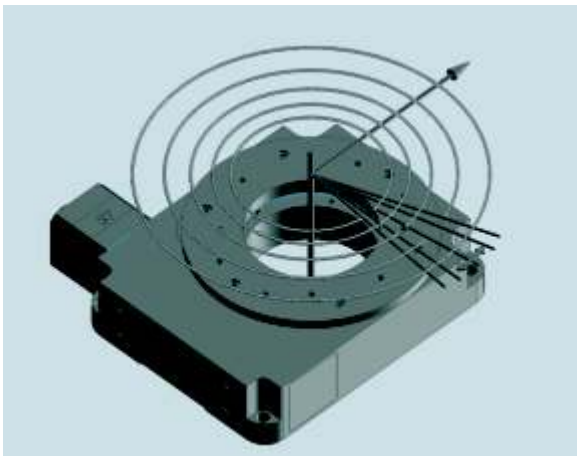
重复定位精度：

我们在上文中已经提到，重复定位精度一般是指单向重复定位精度，旋转台的重复定位精度的检验方法：从基准点开始，以一定间隔（结合12面棱柱体，角度差 $30^\circ$ ）依次定位12个位置，在每个位置上，从两个方向分别定位5次。分别实测在相应定位位置上的位置值（即从原点算起的移动值），并计算出和目标值（移动指令指示的理论值）的差值。计算出某方向（单方向）的平均值和标准偏差，我们定义以上各个位置上的平均值 $\pm$ 标准偏差中的最大值为重复定位精度。



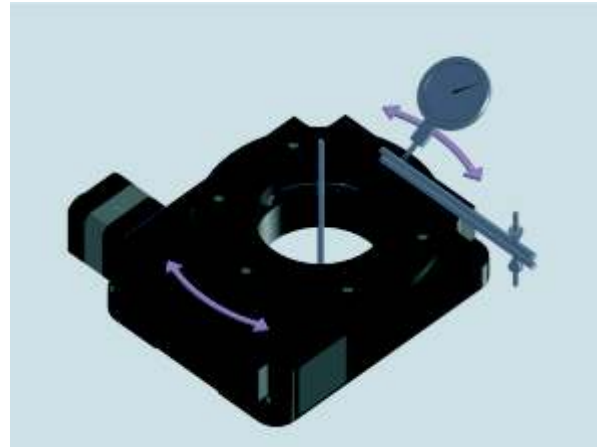
空回：

从基准点开始，以一定间隔（结合12面棱柱体，角度差 $30^\circ$ ）依次定位12个位置，在每个位置上，从两个方向分别定位5次。分别实测定位时的位置的平均值，并计算出在两个方向上的平均值的差异。我们称此差值为这个位置上的空回。我们定义以上各点的空回的最大值为此旋转台的空回。



端跳（端面跳动、轴向跳动）：

旋转台面旋转一周（ $360^\circ$ ）时，在台面的垂直方向测量其位置变化，我们定义其变化量的最大值为端跳。测试端跳时需要注意，受台面加工精度和装配误差的影响，不能直接用千分表打在旋转台台面上测量，需要用测试工装（标准大理石量块，并调试为水平状态），具体方法示意图如下：



径跳（径向跳动）：

旋转台面旋转一周（ $360^\circ$ ）时，在台面的水平方向测量其位置变化，我们定义其变化量的最大值为径跳。测试径跳时需要注意，受台面加工精度和装配误差的影响，不能直接用千分表打在旋转台台面的侧边测量，需要用测试工装（标准大理石量块，并调试为水平状态），示意图参照端跳中说明。



实际测试场景