

激光干涉仪和校准装置 原理与应用

目录

简介

| | |
|-----------------|-----|
| 公司简介 | 1-2 |
| 测量与校准产品简介 | 3-4 |

测量原理简介

| | |
|---------------------------|-------|
| 干涉测量法原理 | 5-8 |
| 波长补偿 | 9-10 |
| 激光校准仪原理 / 多光束激光测量原理 | 11 |
| 回转轴测量原理 | 12 |
| 激光系统应用 | 13-14 |

校准产品

XM-60多光束激光干涉仪

| | |
|--|----|
| 什么是6个自由度? / 测量原理 | 15 |
| 系统概述 | 16 |
| CARTO软件包 | 17 |
| 数据处理 | 17 |
| 测量应用 | 18 |
| 数据处理 / 预防性维护 / 趋势分析 / 误差诊断 / 静态测试 / 空间补偿 | 18 |
| 测角仪校准 (滚摆、仰俯和扭摆) / 回转轴测量 | 19 |
| 大数据解决方案 / XM偏置算法 / 自由运行模式采集 / 长距离测量 / | |
| 稳定性测量 / XM可视化热图 / 将测试数据导出为CSV文件 | 20 |
| 长距离直线度 / 动态数据拟合 (DDF) 原理详解 | 21 |
| 更快、更简单的坐标测量机 (CMM) 误差补偿 (XM-600) | 22 |
| 雷尼绍全新Compensate (误差补偿) 软件 | 23 |

XK10激光校准仪

| | |
|--------------------------------------|----|
| 测量原理 / 系统概述 | 24 |
| 测量配置 | |
| 几何量测量 / 旋转轴心线测量 | 25 |
| 测量应用 | |
| 基准面直线度测量 (机器铸件) / 平面度测量 / 机器调平 | 26 |
| 平行度 / 平行直线度 | |
| 平行度 / 平行直线度测量步骤 | 27 |
| 多点垂直度 | 28 |
| 长距离直线度测量 / 主轴方向 / 同轴度测量 | 29 |

XL-80激光干涉仪

| | |
|------------------------|-------|
| 系统概述 | 30 |
| 测量配置 / 其他配置 / 应用 | 30 |
| 测量原理及应用 | |
| 线性测量 | |
| 原理 / 配置 | 31 |
| 测试图详解 | 32-33 |
| 平面镜干涉测量法应用1及2 | 34-35 |
| 应用 | 36-37 |
| 角度测量 | |
| 原理 / 配置 | 38 |
| 应用 | 39 |

| | |
|---|-------|
| 直线度测量 | |
| 原理 / 配置 | 40 |
| 应用 | 41 |
| 平行度测量 | |
| 原理 / 配置 / 应用 | 42 |
| 旋转平行度测量 | |
| 确定旋转轴/回转轴与线性轴之间的角度准直偏差 | 43 |
| 测量直驱 (DDR) 电机与龙门工作台线性轴之间的准直偏差 | 43 |
| 垂直度测量 | |
| 原理 / 配置 | 44 |
| 应用 | 45 |
| 双轴测量 | 46 |
| 双轴同步线性测量 | 47 |
| 动态测量 | 48 |
| 平面度测量 | |
| 原理 / 配置 | 48 |
| 对角线测量 | 50 |
| 软件开发工具包 (SDK) | 51 |
| XR20无线型回转轴校准装置 | |
| 回转轴测量 | |
| 测量原理 / 测量配置 / 测量分析 | 52 |
| 摆动轴转台测量 | |
| 测量原理 / 测量配置 / 测量分析 | 53 |
| 测试图详解 | 54 |
| QC20球杆仪系统 | |
| 测量原理 / 系统概述 | 55 |
| QC20球杆仪系统附件 | |
| VTL (立式车床) 适配器 / 小圆组件 / 车床组件 | 56 |
| 球杆仪校准规 / 根据位置公差的大小确定最佳夹具位置 | 57 |
| 测试图详解 | 58-59 |
| 使用球杆仪执行ISO 10791-6标准测试 | |
| 测量组件 | 60 |
| 测量要求 / BK机器测量示例 / 数据分析 | 61 |
| AxiSet™ Check-Up (回转轴心线检查工具) | |
| 特性与优点 | 62 |
| 中心误差曲线图 / 准直误差曲线图 | 63 |
| 测量数据 / 比较功能和历史记录功能 / 生成报告 | 64 |
| 系统组件及附件 | 65-68 |
| 产品选择指南 | 69 |
| 规格 | 70 |
| 参考信息 | 74 |

公司简介

雷尼绍公司总部位于英国，是一家高精度测量和医疗技术领域的跨国集团公司，也是世界领先的测量解决方案供应商。雷尼绍致力于提高制造效率和科研能力。

雷尼绍为不同的行业应用提供精密测量专业技术，涉足的主要领域包括数控机床、电子和半导体、制造自动化系统、精密制造等；产品包括各种测头、校准产品、光栅、磁编码器、数字化扫描及光谱系统。雷尼绍设计、开发和提供的解决方案及系统具有优异的精度、可靠性和控制性能。

公司宗旨

- 雷尼绍设计、开发和制造高质量和可靠性的测量系统，以帮助用户实现可溯源至国际标准的几何尺寸测量。
- 雷尼绍提供的产品可帮助您提高产品质量和效率；雷尼绍将通过优质的服务提升客户满意度。
- 雷尼绍的目标是不断鼓励创新，提供前沿技术，以满足客户的要求。雷尼绍致力于通过不断开发产品和制造技术，获得稳定的增长。

公司理念

雷尼绍坚信，成功源于专利和创新产品及工艺，高质量制造技术以及为全球市场就近提供客户支持的能力。



David McMurtry爵士
董事会执行主席

我们的经验

雷尼绍已经在全球范围内安装了数千台设备，在校准产品的制造和应用方面拥有30年以上的丰富经验。

- 雷尼绍深谙技术
- 基于实际制造需求提供解决方案
- 产品稳定性高，使用寿命长
- 雷尼绍校准产品在全球客户中获得广泛认可





雷尼绍位于New Mills的办公园区

我们的服务承诺

- 在整个产品生命周期内，为所有客户提供服务和支持，不受客户的地理位置、规模及采购量的限制。
- 不断改进现有服务，持续地以优质服务满足客户不断变化的需求和期望。
- 通过我们提供的产品和服务提高客户的整体产品质量和效率。
- 我们致力于与客户保持长期、双向、积极的合作关系，听取客户的反馈，并采取行动。

雷尼绍中国

雷尼绍在中国大陆设有14个办事处，为各地客户提供快速响应及产品和应用支持。

- 专家型应用工程师为新应用及现有设备提供支持建议。
- 服务快捷，让您的业务永不间断。
- 可为很多产品提供可选的高级RBE（换修）服务——我们在您提出请求的当天即可发出更换件。
- 故障排除及常见问题解答，请访问
www.renishaw.com.cn/support

测量与校准产品简介

雷尼绍测量与校准产品发展史

- 自1985年以来，雷尼绍一直积极致力于研发激光干涉技术
- 1987年首次推出ML10激光干涉仪
- 2001年推出ML10 Gold Standard激光干涉仪，它是当时世界领先的校准系统，在世界各地有数千套系统投入使用
- 2007年推出功能更强大的XL-80激光干涉仪
- 2009年推出QC20-W第二代无线型球杆仪系统
- 2011年推出XR20-W无线型回转轴校准装置
- 2012年推出AxiSet™ Check-Up（回转轴心线检查工具）
- 2013年推出针对摆动轴转台的测量软件，配合XR20回转轴校准装置使用



XK10



XM-60和XM-600



XL-80

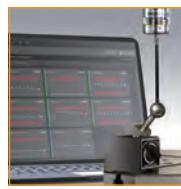
- 2015年推出适用于所有雷尼绍激光校准产品的CARTO软件包
- 2016年推出XM-60多光束激光干涉仪，只需一次设定即可在任意方向测量六个自由度
- 2018年推出XM-600多光束激光干涉仪，针对坐标测量机进行测量和误差补偿
- 2019年推出XK10激光校准仪——适用于各种机器装配过程的数字化解决方案
- 2019年推出CARTO Compensate（误差补偿）软件，针对机器进行空间精度补偿
- 2022年推出更新的QC20球杆仪系统与XR20无线型回转轴校准装置



QC20



XR20



AxiSet

ML10 Gold Standard 和 XL-80激光干涉仪

- 德国国家实验室(Physikalisch-Technische Bundesanstalt - PTB)校准若干台ML10 Gold Standard激光系统，结果显示，精度可达到 $\pm 0.2 \text{ ppm}$ （包括空气和材料补偿）
- 它们是当时经PTB认证的精度最高的系统之一

XM-60多光束激光干涉仪

- XM-60是2016年推出的一款激光系统，只需一次设定即可测量线性轴的全部6个自由度误差。所有误差结果均为直接测量（而非计算）得出
- 采用独特的技术、光学滚摆测量方法以及光纤发射器
- 设定简单便捷

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin

PTB

Kalibrierschein
Calibration certificate

Gegenstand:
Objekt: Laserinterferometer für Längenmessungen

Hersteller:
Manufacturer: Renishaw

Typ:
Type: ML 10 „Gold Standard“

Kennnummer:
Serial number: siehe Punkt 1

Auftraggeber:
Assignee: Renishaw GmbH
Postfach 1152
72120 Pforzheim

Anzahl der Seiten:
Number of pages: 8

Geschäftszeichen:
Reference no.: 5.21-02103

Kalibrierzeichen:
Calibration mark: 4415-PTB-02

Datum der Kalibrierung:
Date of calibration: 2002-05-03 bis 2002-05-15

Im Auftrag
By order: Dr. A. Albrecht-Zeid, Reg. Dir.

Siegel
Seal: Siegel

Bearbeiter:
Operator: Dipl.-Ing. G. Spärer

Kalibrierschein ohne Urheberrecht und Siegel können beliebig kopiert werden. Auszüge bedürfen der Genehmigung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt.
Calibration certificate without copyright and seal can be copied freely. Extracts require permission of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt.
Extracts may be taken only with the permission of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

PTB校准证书

雷尼绍激光尺系统的发展

- 1993年，客户要求提供一款ML10激光头，用于反馈应用
- 于是，雷尼绍将技术成熟的ML10激光校准系统改造成为HS10激光尺系统
- 当时，有数百套这样的系统投入使用，大部分安装在长轴机床上
- HS10适用的最大轴长为60米
- 2012年推出HS20激光尺系统，取代了HS10



HS10激光头

RLE光纤激光尺 — 系统概述

- 由于受物理尺寸及输出分辨率的限制，除机床市场以外，HS10在很多应用场合都施展不开
- 为了增强应用灵活性，我们开发了RLE光纤激光尺。它集干涉仪的高性能与光栅的便捷性于一体
- 2001年7月推出第一代RLE10



激光尺在FPD（平板显示器）设备上的应用



激光尺在E.G.半导体设备上的应用



激光尺在AEROTECH运动平台上的应用



激光尺在AEROTECH运动平台上的应用



HS20激光头



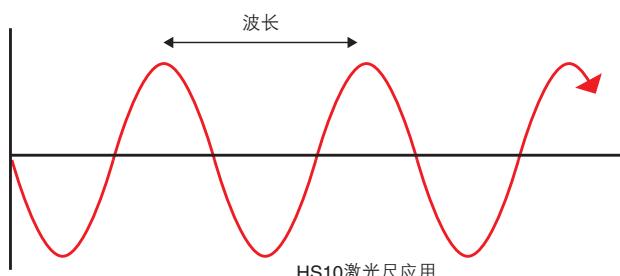
RLE系统

测量原理简介

干涉测量法原理

激光

激光输出可视为正弦光波



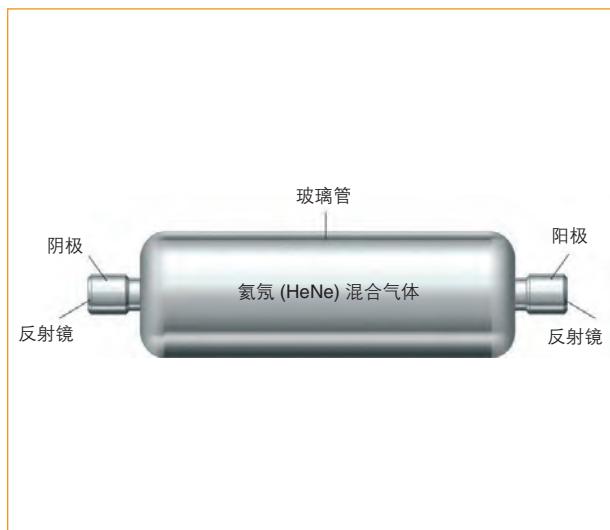
激光系统射出的光波具有三种主要特性：

- 精确波长已知，可确保测量的准确性。
- 波长非常短，可实现精确或高分辨率测量。
- 所有光波均为同相，可实现干涉测量。

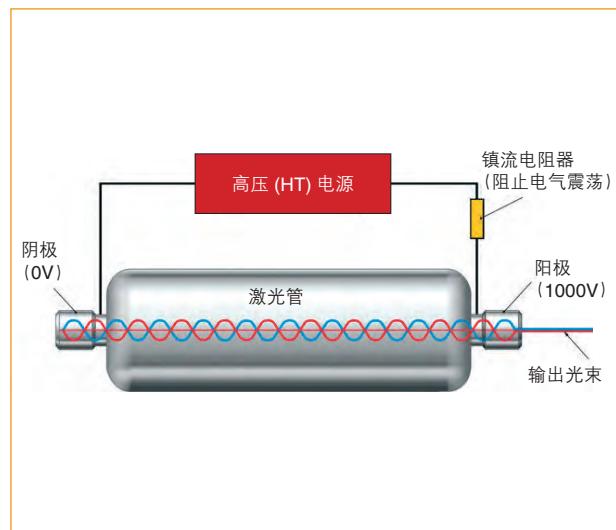
氦氖激光管

- LASER是“Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”的缩写，意为通过受激辐射而放大光强，即激光
- 大多数现代位移干涉仪都使用氦氖(HeNe)激光管。这些激光管输出633 nm的波长

氦氖激光管的构成如图所示：

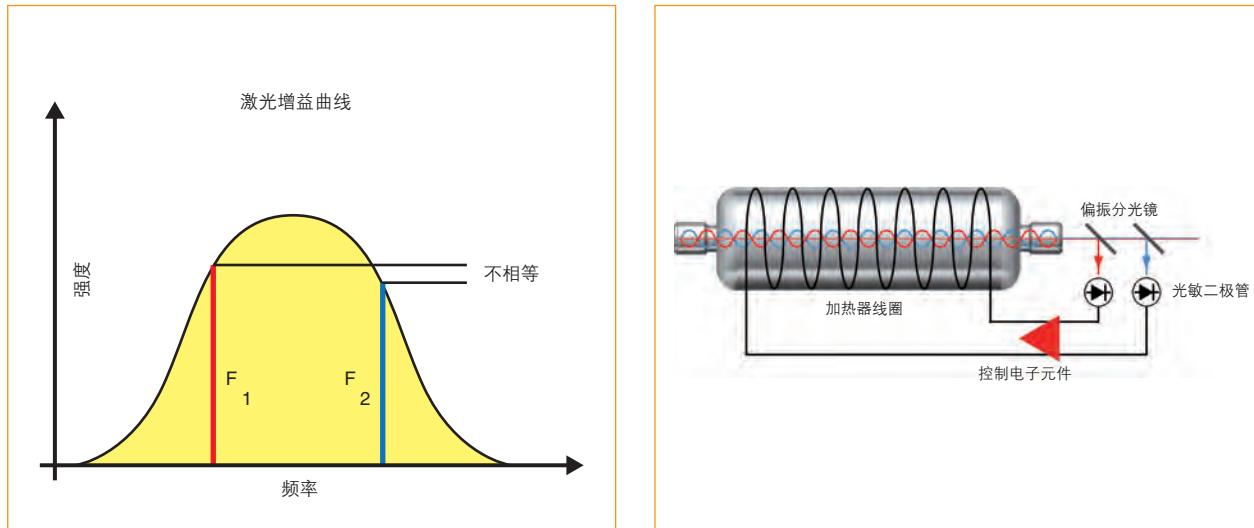


- 当阳极和阴极之间有高电压连接时，混合气体被激发，产生激光光束
- 激光光束的光强在两个反射镜之间来回共振时被放大
- 一些光透射出阳极反射镜，形成输出激光光束



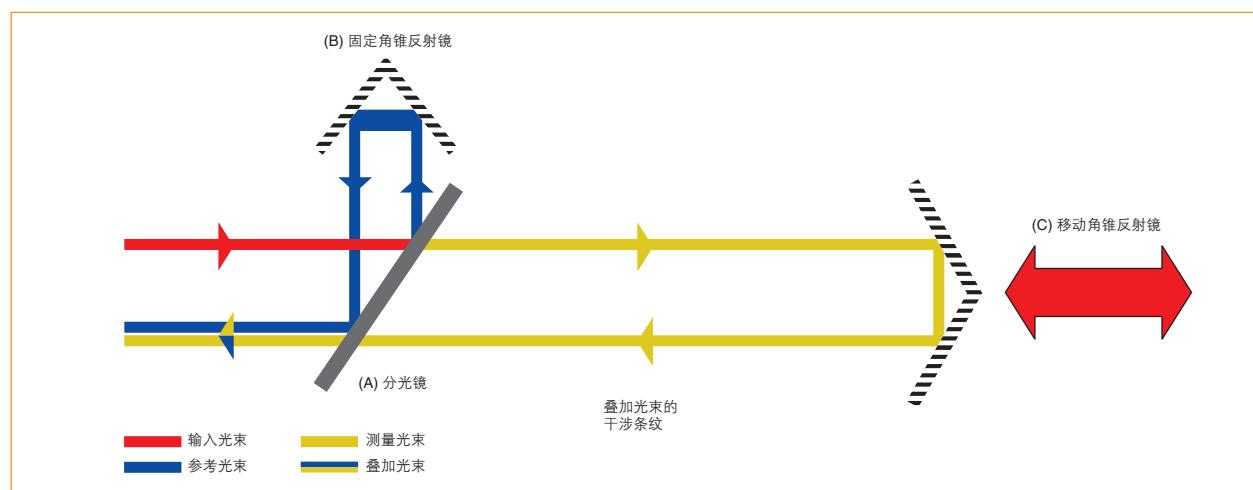
- 激光光束包含两种正交模式（在上图中分别以红色和蓝色表示）
- 这两种模式具有相近的频率（相差2 ppm），但彼此处于垂直极化状态
- 使用光敏二极管测量两种模式的光强，并用加热器控制激光管以平衡光强
- 这样可将激光稳频精度保持在 ± 0.05 ppm以内
- 激光实现稳定输出后，即可用于干涉测量

激光增益曲线如下图所示：



线性干涉测量

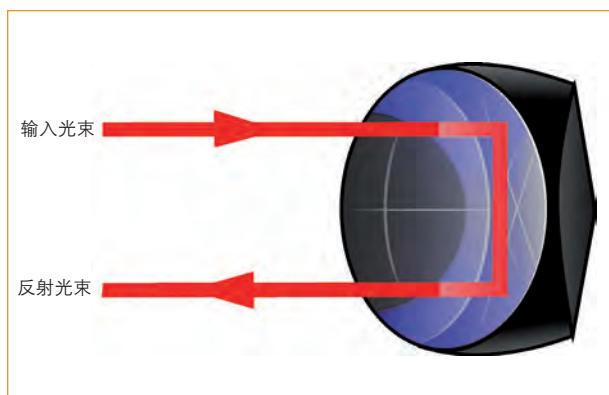
- 激光头发出的光被分光镜 (A) 分成两束
- 大约一半激光入射到固定角锥反射镜 (B) 上，形成参考光束。另一半激光入射到移动角锥反射镜 (C) 上，形成测量光束



注：干涉镜种类繁多。为便于理解，这里以线性角锥反射镜系统为例。

角锥反射镜

- 角锥反射镜通常由玻璃制成，经打磨和抛光后形成“三面直角棱镜”
- 它有一个很有用的特性，即总是将入射光束以平行于光入射的方向反射回去
- 这使得光束准直过程非常简单，并确保测量光束和参考光束在叠加时保持平行



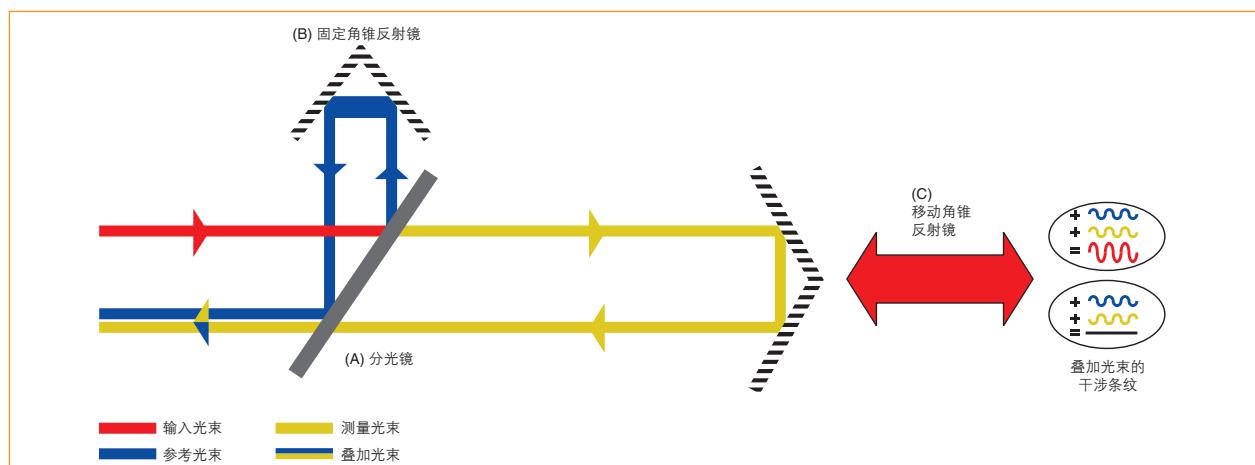
位移测量

- 如果测量光程长度改变（角锥反射镜C移动），干涉光束的相对相位将发生变化
- 由此产生相长干涉和相消干涉交替变化，致使叠加光束的光强出现明暗周期变化
- 角锥反射镜每移动316 nm，光强都会出现一个“明-暗-明”的周期变化（因为该移动会造成光程长度出现633 nm的变化）

干涉

- 角锥反射镜将两条光束返回到分光镜中，这时光束叠加并彼此干涉
- 如果两条光束中的相位相反，则可能是相消干涉。在这种情况下，一条光束的波峰被另一条光束的波谷抵消，产生暗条纹
- 如果两条光束中的相位相同，则可能是相长干涉。在这种情况下，一条光束的波峰被另一条光束的波峰加强，产生明条纹

- 通过计算这些周期来测量位移
- 在这些周期之间进行相位细分，可实现更高分辨率（1 nm）的测量



尽管目前的干涉仪更为精密，但当距离测量精度达到 $\pm 0.5 \text{ ppm}$ 或更高时，仍采用上述基本原理。

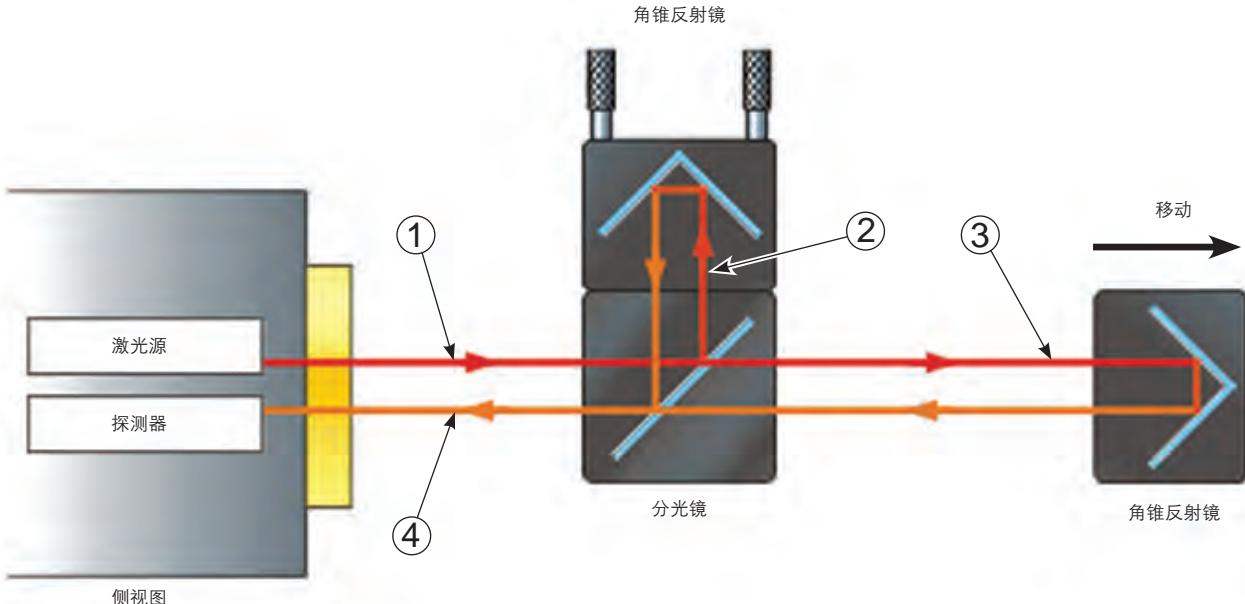
一个角锥反射镜紧紧固定在分光镜上，形成长度固定的参考光束。另一个角锥反射镜相对于分光镜移动，形成长度变化的测量光束。

从激光头射出的激光光束①具有单一频率，标称波长为 $0.633 \mu\text{m}$ ，长期波长稳定性（真空中）优于 0.05 ppm 。当此光束到达偏振分光镜时，被分成两束光：反射光束②和透射光束③。这两束光被传送到各自的角锥反射镜中，然后反射回分光镜，在探测器（嵌于激光头）中形成干涉光束。

如果两光程差没有变化，探测器将在相长干涉和相消干涉的两端之间的某个位置观察到一个稳定的信号。

如果两光程差发生变化，那么每次光程变化时，探测器都能观察到相长干涉和相消干涉两端之间的信号变化。通过计算这些信号变化（条纹），可以算出两光程差的变化。

被测长度等于条纹数乘以激光波长的一半。



注：

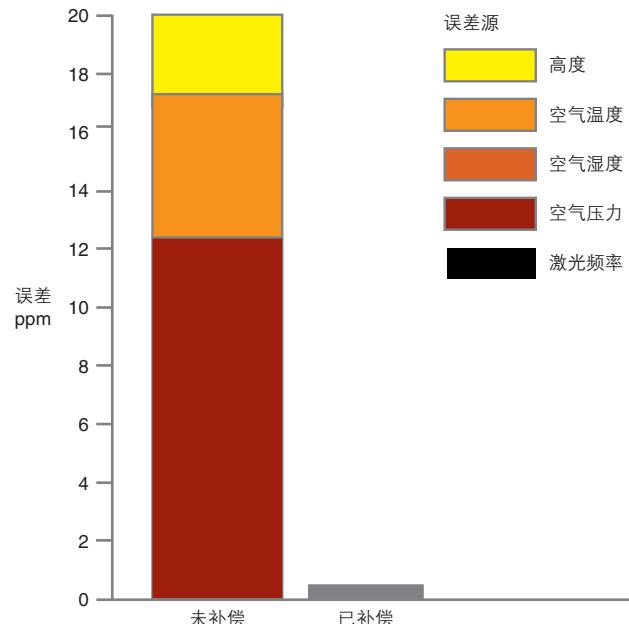
激光波长取决于光束经过的空气的折射率。由于空气折射率会随着气温、气压和相对湿度的变化而变化，因此在计算被测值之前，可能需要根据这些环境参数的变化，对波长值进行补偿。在实际应用中，对于规格中给出的测量精度，只有线性位移（定位精度）测量需要此类补偿。因为在这种测量中，两束光的光程差变化可能非常大。

波长补偿

线性定位测量精度取决于对已知激光波长的补偿精度。这不仅与激光的稳频精度有关，还与周围环境参数有关，尤其是气温、气压和相对湿度。这些参数将影响激光光束（在空气中）的波长。

如果不进行波长变化的补偿，激光线性测量误差可能会达到50 ppm。即使在恒温室内，日常的气压变化也可能会使波长变化达到20 ppm以上。以下每种环境条件变化都将产生大约1 ppm的误差（供您参考）。

| | |
|--------------|----------|
| 气温 | 1°C |
| 气压 | 3.3 mbar |
| 相对湿度 (20°C时) | 50% |
| 相对湿度 (40°C时) | 30% |



注：

这些数值是指最差情况，而且并非完全不受其他参数的影响。利用环境补偿单元和Edlen公式可减小这些误差。

Edlen公式

$$n_s = 1 + 10^{-8} \left[A + B(130 - S) + \frac{C}{(38.9 - S)} \right]$$

$$X = \left[\frac{1 + 10^{-8}(E - F)t}{(1 + Gt)} p \right]$$

$$n_{tp} = 1 + \frac{p(n_s - 1)X}{D}$$

$$n_{tpf} = n_{tp} \cdot 10^{-10} \left[\frac{292.75}{(t + 273.15)} \right] [3.7345 - 0.0401S] p_v$$

其中：

A、B、C、D、E、F、G为常量， $S = \frac{1}{\lambda^2}$

n_s - 为标准空气的折射率（温度为10°C，压力为101325 Pa下二氧化碳的容积为450 ppm的干燥空气）

n_{tp} - 在温度t（单位为摄氏度）和压力p（单位为帕斯卡）情况下的干燥空气折射率

n_{tpf} - 为湿空气折射率

p_v - 为水蒸气的部分压力（Pa）

λ - 为激光的真空波长

P - 为空气压力（单位为帕斯卡）

t - 为空气温度（单位为摄氏度）

波长补偿仅适用于线性测量。对于其他测量（角度、平面度、直线度等），环境的影响要小得多，因为测量光束和参考光束受环境变化的影响程度相似。

补偿器测量气温、气压和湿度，然后利用Edlen公式计算空气的折射率（及激光波长）。这样，激光读数自动得到调整，以补偿激光波长的变化。自动系统的优点是无需用户干预和经常更新补偿值。

空气温度传感器的位置

XC-80环境补偿单元随附的空气温度传感器安装在一个带强磁力的圆柱形底座上，这样它就可以“夹”到机器或雷尼绍安装组件基板或安装杆上。

或者，也可用与专用孔匹配的螺钉锁定，或用传感器下方凹槽中的O形圈“真空”夹紧。空气温度传感器应尽量靠近激光光束的测量路径，大致位于运动轴的中间位置。避免将传感器安装在局部热源（例如电机）或冷气流附近。在测量长轴时，应检查是否存在气温梯度。如果沿轴方向的气温变化超过1°C，应使用风扇增加空气流通（测量长垂直轴时尤其要注意，因为存在气温梯度的可能性很大）。

避免让传感器信号导线靠近主要电气干扰源，例如高功率电机或直线电机。



气压传感器和湿度传感器

气压传感器和湿度传感器固定在XC-80环境补偿单元内。一般情况下，不必测量紧邻光程区域的气压或相对湿度。因为，只有当气压和湿度出现较大变化时，才会产生明显的测量误差，而在整个工作区域，气压和湿度都不会有显著变化。但是，相对湿度传感器要远离热源或气流。在校准长度超过10 m的垂直轴时，建议将气压传感器放置在运动轴的中间位置。

小心：

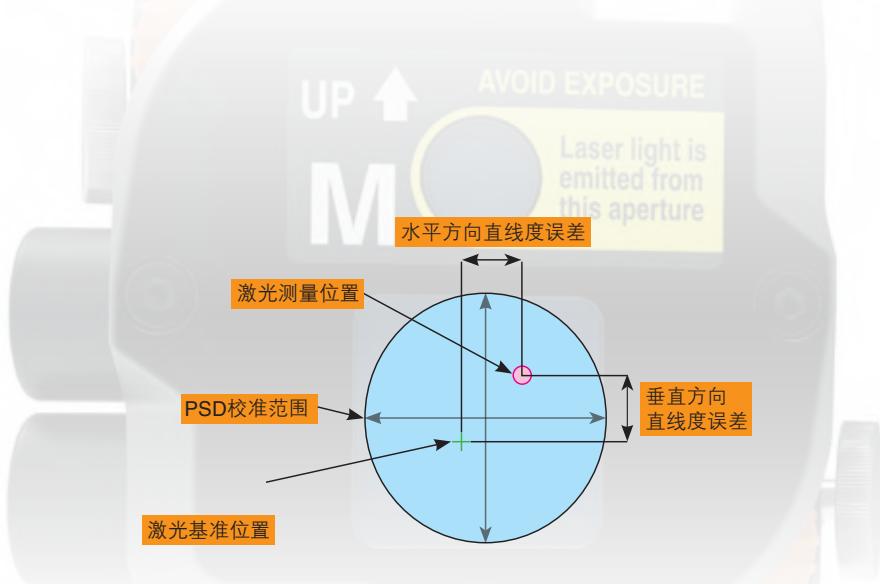
为了确保热稳定性，将空气温度传感器置于测量环境中之后，应至少等待15分钟再开始测量。

切勿将雷尼绍空气温度传感器放置在以下位置：计算机磁盘或磁带或可能因传感器磁场而损坏的物体附近。



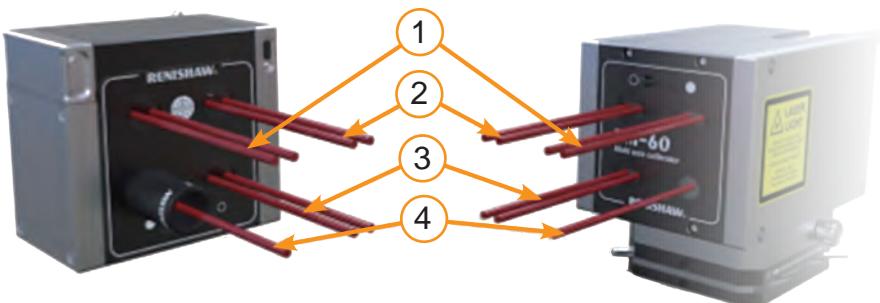
激光校准仪原理

使用激光校准仪测量误差时，通过调节发射器，使激光源发出的激光光束射入接收器，然后通过接收器内的位敏元件(PSD)检测激光入射位置的变化。以雷尼绍XK10激光校准仪为例，它由发射器、接收器以及显示装置组成。根据测量项目的需要，可将发射器和接收器架设在机器的适当位置处，从而测量直线度、垂直度、平行度、平面度、机器调平、主轴指向和同轴度等等。



多光束激光测量原理

利用多光束激光进行测量，只需一次设定便可沿线性轴同时测量六个自由度。以雷尼绍XM-60多光束激光干涉为例，采用三组激光束以干涉原理同时测量线性、俯仰角和扭摆角误差。



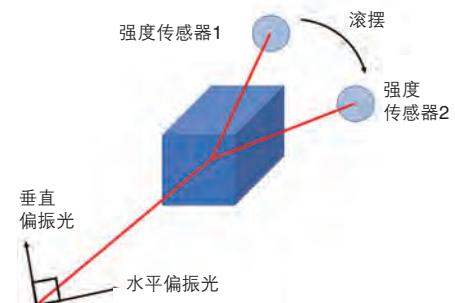
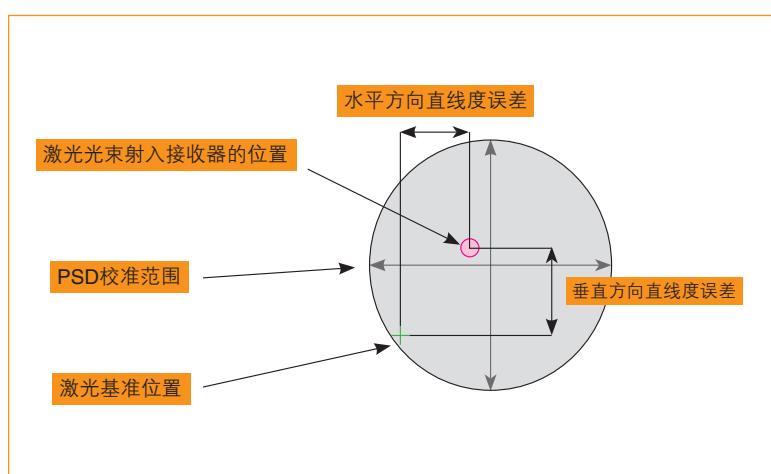
通过激光束4投射到激光接收器内的位敏元件(PSD)上，根据激光束的基准位置，可分别测量出垂直和水平方向的直线度误差。

激光光束4射入激光接收器内，经过偏振处理以垂直和水平方向传播，两条不同方向的光束的强度会随着光源和探测器方向的改变而发生变化。测量时，两个传感器分别测量垂直和水平方向的光束强度变化，从而得到滚摆角误差。滚摆角测量采用了雷尼绍专有技术，后面的章节中将作详细介绍。

俯仰角误差测量 = 激光光束1和激光光束2的相差值与两光束间的距离关系

扭摆角误差测量 = 激光光束2和激光光束3的相差值与两光束间的距离关系

线性误差测量 = 综合激光光束1、2和3的定位值及俯仰和扭摆角，以计算激光光束4位置处的定位误差



回转轴测量原理

进行回转轴测量时，回转轴校准装置安装在回转轴上，激光光束通过角度干涉镜射入回转轴校准装置上的反射镜组，以测量回转轴在不同角度的位置误差和重复性。

图1所示为使用激光干涉仪和角度镜组来测量回转轴的小旋转角度。随着轴的旋转，激光干涉仪可检测两路光束中光路长度之间的相对变化。轴旋转的角度为 θ 时，考虑到激光反射往返光程成倍的因素，光束1中的光路将变短约 $S \cdot \sin(\theta)$ ，光束2中的光路将变长约 $S \cdot \sin(\theta)$ ，其中S为两个反射镜之间的距离。因此，光束1和光束2之间往返光程长度的总相对变化为 $2S \cdot \sin(\theta)$ 。激光干涉仪装置内的干涉条纹计数器/细分器可检测到光路长度的这种变化。通过乘以激光波长的一半（半波长值），将可得到的条纹计数转换为线性距离 ΔL 。

$$\Delta L = \text{条纹数} \times \text{半波长值}.$$

在角度测量模式下，激光系统软件通过计算 $\arcsin(\Delta L/S)$ 将 ΔL 转换为角度测量值。

$$\theta = \arcsin(\Delta L/S)$$

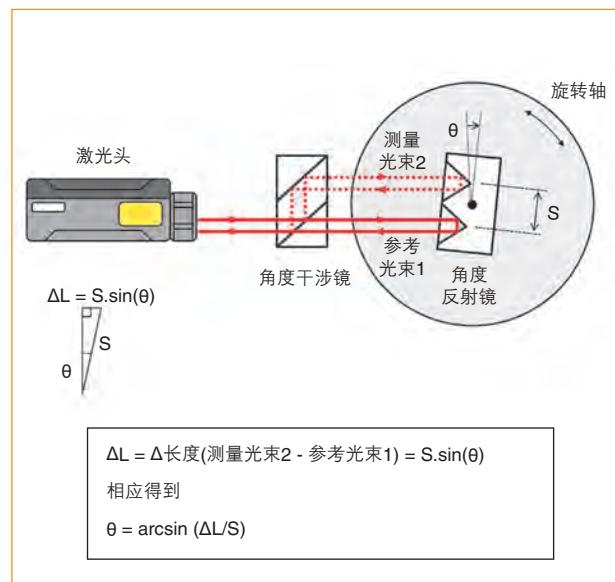


图1

由于轴的角度偏差而导致的误差

此处有2个主要的角度偏差需要考虑，如图2所示：

- 被测轴的回转轴中心线与XR20的回转轴中心线之间的角度偏差(α)。这通常由三个原因引起：被测轴表面不垂直于其回转轴，XR20的安装表面不垂直于其回转轴，以及这些安装表面上有破损或碎屑。
- 激光干涉仪发出的“光束线”与被测轴的旋转平面之间的角度偏差(β)。

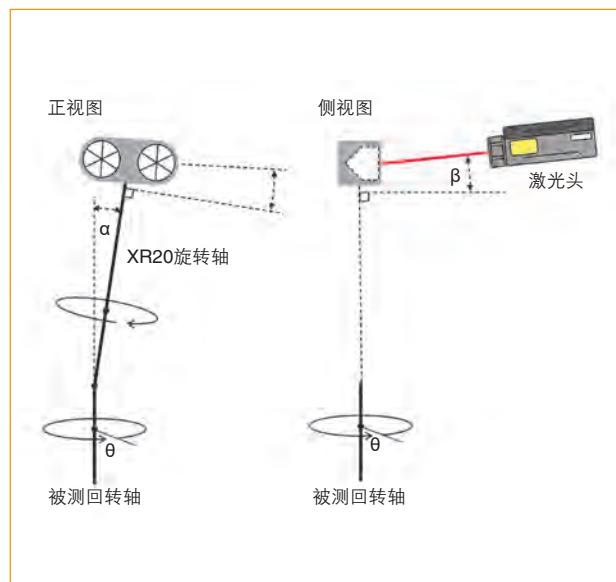


图2

激光系统应用

雷尼绍的校准产品，可满足不同产业，不同生产阶段的需求，包括

显示面板



运动控制



激光切割



半导体



机器人



校准服务供货商



汽车



PCB钻孔



航天



航空



预防性维护、精度补偿、机器优化、品质管控等。

设备



机床



电池生产设备



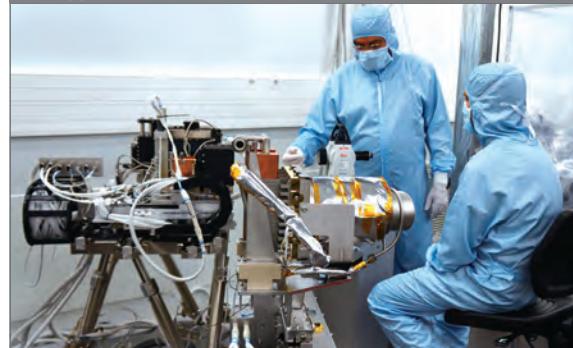
坐标测量机



机



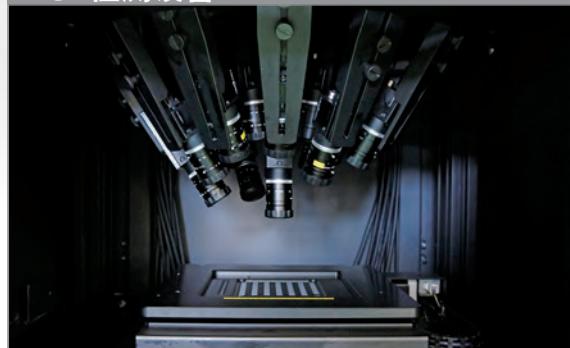
科研



印刷设备



AOI 检测设备



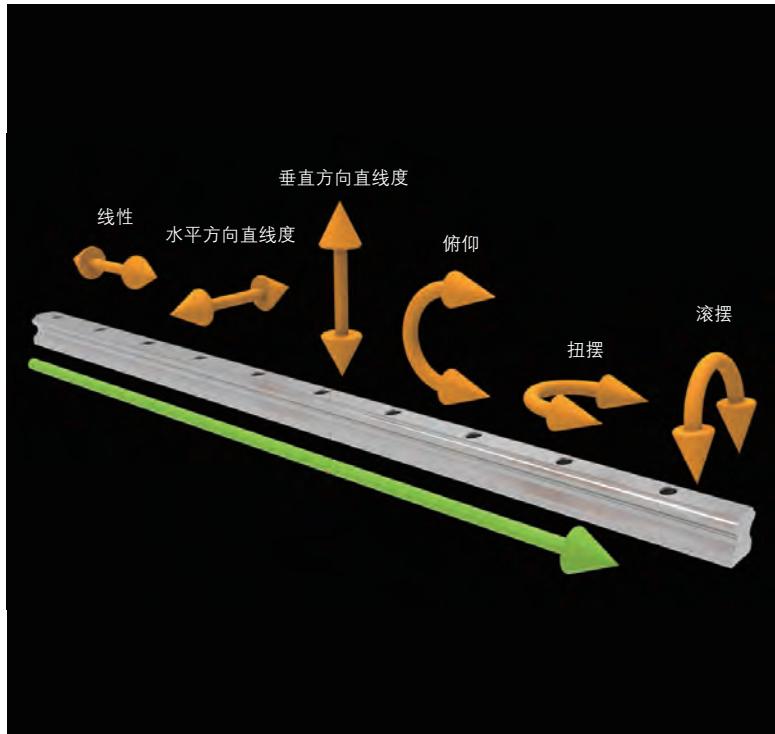
XM-60多光束激光干涉仪

什么是6个自由度？

无论是何种机器或运动系统，其设计运动方式与实际运动方式之间总是存在差异。在许多情况下，规划的运动沿着一条完美的直线移动，直至达到精确的目标距离。

而实际上，线性运动中总是存在六种不同类型的误差。它们是：

- 线性
- 水平方向直线度
- 垂直方向直线度
- 俯仰
- 扭摆
- 滚摆



测量原理

XM-60为用户提供了强大的机床诊断功能，只需一次移动即可测量所有自由度。通过采集6个自由度，用户可以发现特定误差源；当只测量线性精度时，看到的是各误差源对线性精度的影响结果，而不是具体误差源。

线性和角度测量

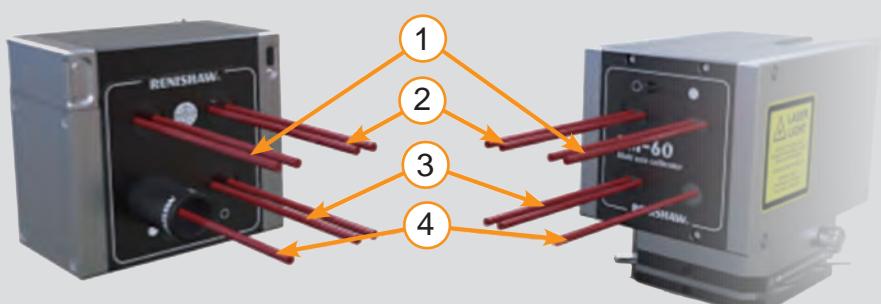
与XL-80系统一样，XM-60使用三条激光光束，通过干涉测量法测量线性、仰俯和扭摆误差。与之不同的是，XM-60可同时测量这些误差。

扭摆测量 = 从1与2的差值测得。

仰俯测量 = 从2与3的差值测得。

线性测量 = 结合光束1、2和3，得出在光束4位置处的线性误差。

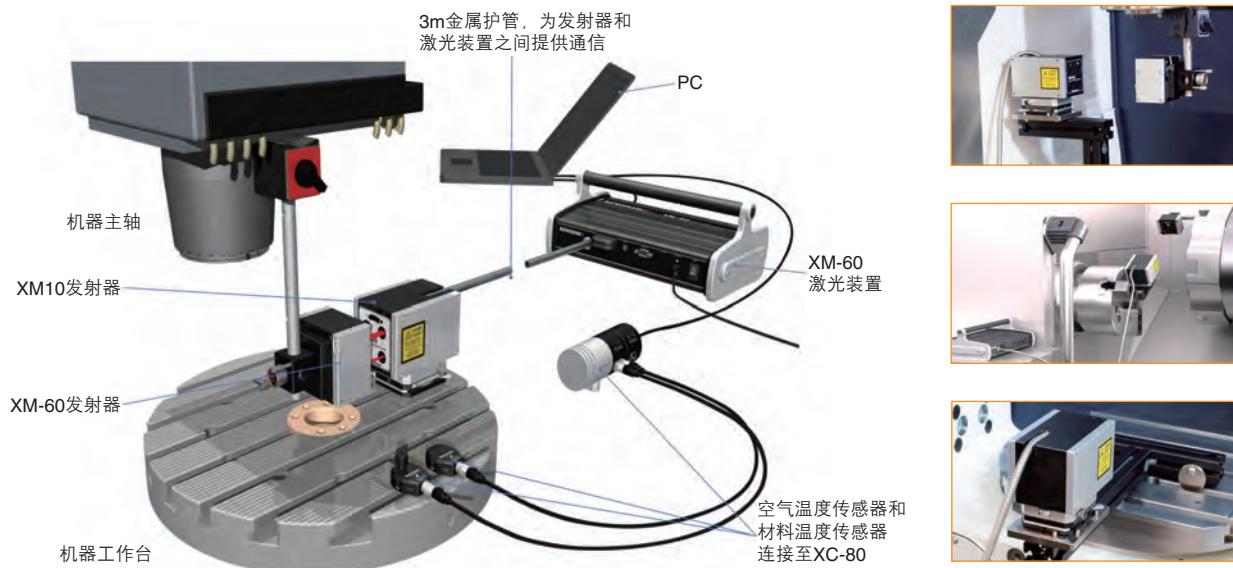
测量是在激光装置内处理的。



系统概述

轻型发射器通过光导纤维连接远离发热的激光源，从而减少测量点处的热影响。发射器可直接通过其侧面甚至背面安装到机器上或者上下倒置安装，非常适用于难以接近的机器区域。

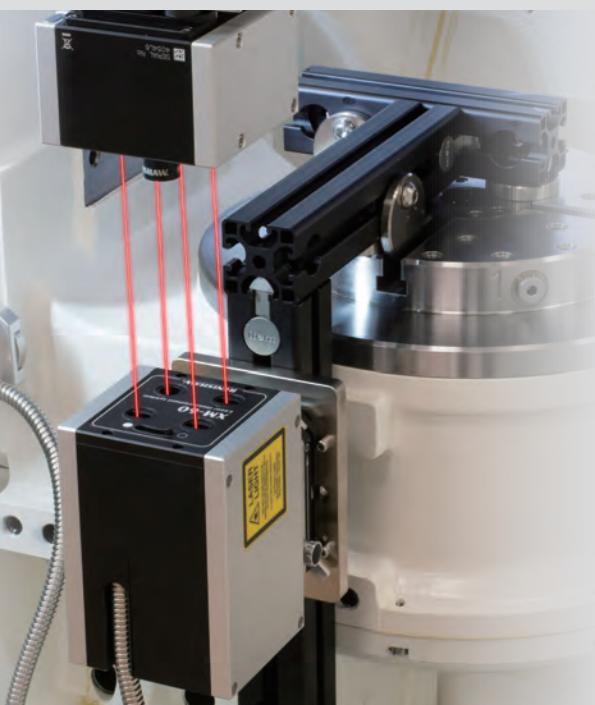
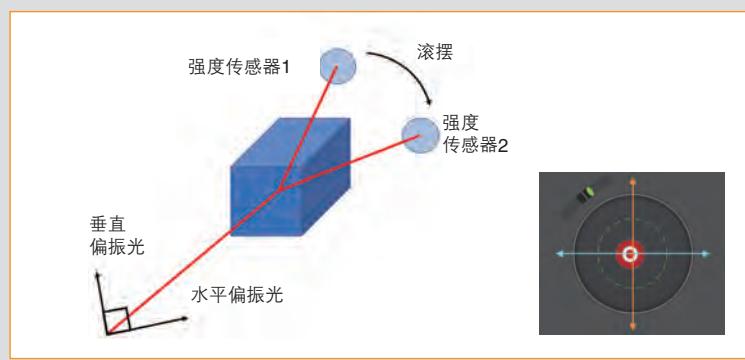
接收器可进行完全无线操作，由充电电池供电，从而在机器移动过程中避免电缆拖拽。在测量过程中，电缆拖拽可能会引起误差或激光束“断光”。



滚摆和直线度测量

光学滚摆测量

一个半导体激光光束（光束4）经过偏振处理，分成垂直和水平分量。一个探测器测量垂直偏振光的光强，另一个探测器测量水平偏振光的光强。探测器相对于激光光束旋转，将改变两条光束的光强测量值。利用这种独特的滚摆检测方法，XM-60可以从任意方向测量误差，而不依赖于重力原理。



CARTO软件包

CARTO是适用于雷尼绍XL-80、XM-60、XM-600及XR-20校准产品的软件解决方案，并且支持QC20和XK10的一些数据分析。

该软件提供数据采集、分析和补偿应用程序，可简化监控和改进机器定位性能的过程。CARTO的数据库是支持Capture（数据采集）、Explore（数据浏览）和Compensate（误差补偿）的中心枢纽。通过数据库，用户可方便快捷地访问其中任意应用程序的数据。

CARTO兼容所有激光校准产品和附件，因此测试方法和结果可一起存储在其数据库中。在软件中可轻松配置多个报告和误差修正首选项。



数据处理

Explore（数据浏览）包含各种数据处理工具，可根据您的要求对数据进行分析。您可以求取多次数据运行结果的平均值、删除斜率、剪辑数据，将零偏置应用于任意测量模式；查看线性定位误差或误差随时间的变化；配置图形比例、添加公差带。

数据比较工具提供强大的诊断功能，便于用户查看多个自由度误差的影响：

- 角度误差对线性定位的影响
- 角度误差对直线度偏差的影响
- 滚摆角误差对直线度偏差的影响
- 温度变化对定位误差的影响

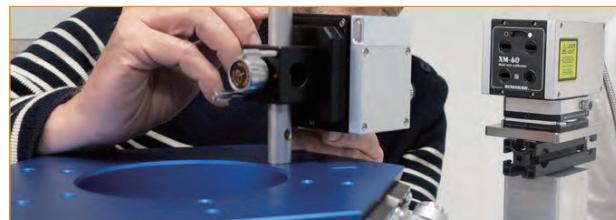
CARTO是雷尼绍校准产品的综合软件包。立即下载CARTO

测量应用

| | 线性 | 俯仰 | 扭摆 | 水平方向直线度 | 垂直方向直线度 | 滚摆 |
|----------------|----|----|----|---------|---------|----|
| 导轨直线度 直线马达 | | | | | | |
| XY- 扭摆 运动系统 | | | | | | |
| 旋转误差 关键应用 | | | | | | |

机床验证

在机器装配过程中，简单、快速地对机器的几何量误差进行机械准直。生成报告，以验证机器性能。



预防性维护/趋势分析

CARTO Explore中的标准比较功能可帮助用户轻松进行趋势分析。



误差诊断

了解机器误差的来源，在装配过程中予以解决。

静态测试

通过静态和动态测试，研究热变形对机器精度的影响。



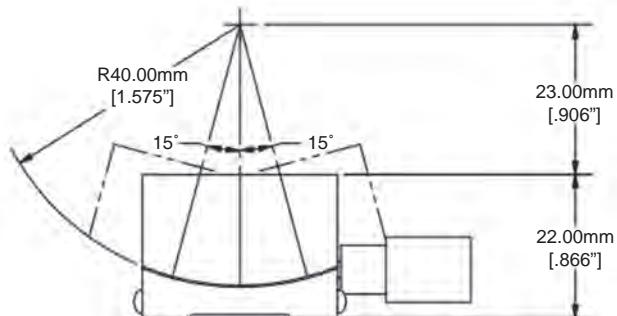
空间精度补偿

可在空间精度补偿表中快速输入补偿值。

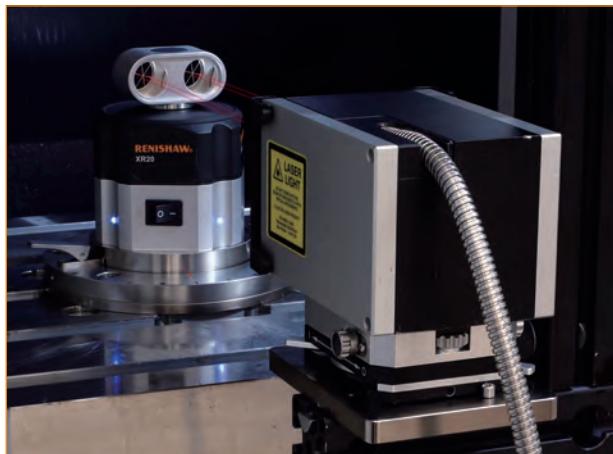


测角仪校准（滚摆、仰俯和扭摆）

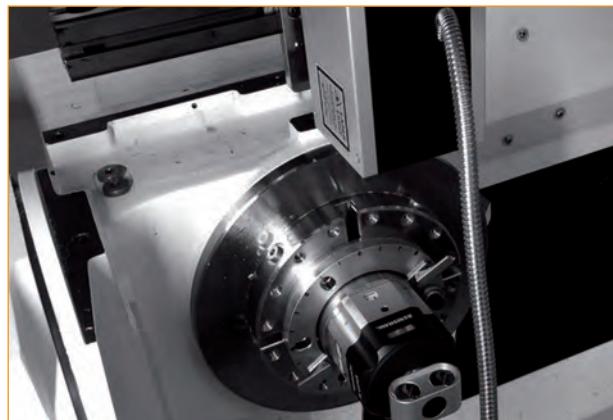
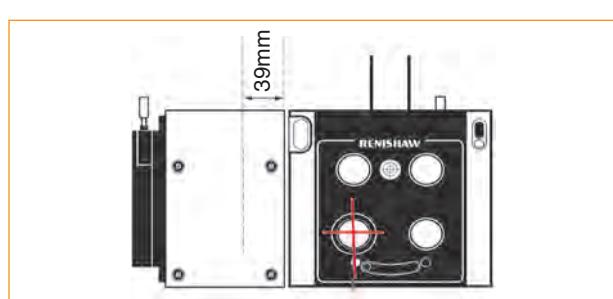
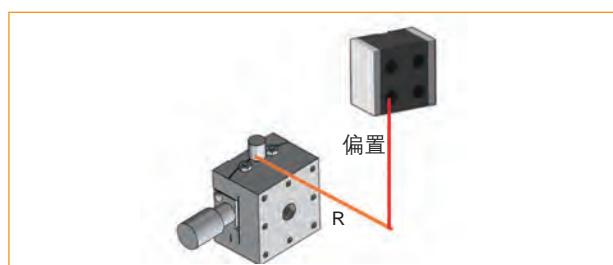
- 测量仰俯角和滚摆角两者的角度定位精度
- 光学滚摆测量
- 在任意方向测量



回转轴测量



XM-60与XR20无线型回转轴校准装置配用



大数据解决方案

- 集中存储和分析
- 简化数据采集过程
- 分析功能可显示上传至数据库的所有文件
- 可配置合格/不合格公差范围，并了解可改进哪些机器



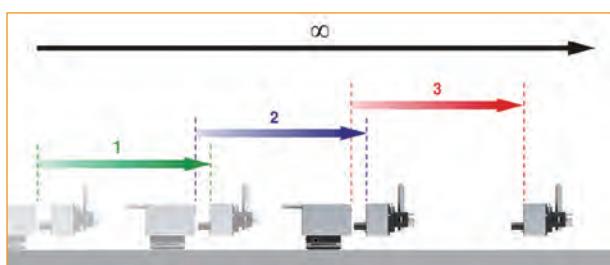
XM偏置算法

在关注点上直接测量往往并不可行。该位置可能会影响硬件安装或遮挡激光光束。可以使用Explore中的偏置读数功能，将接收器与关注点之间的X、Y、Z轴偏置距离输入软件。



长距离测量

XM-60或XM-600多光束激光干涉仪的测量距离可无限加长。使用Capture中的动态数据拟合模式可定义子测试方法、创建零件程序，以及采集数据组。子测试数据在Explore中可自动拼接，以便于分析。

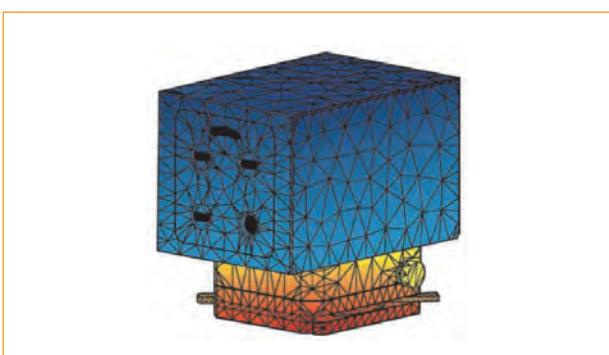


自由运行模式采集

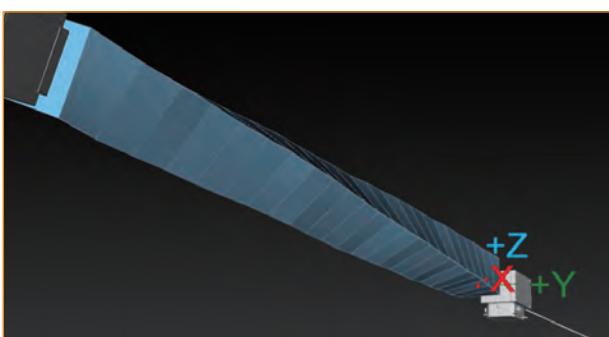
使用XM-60校准系统，用户无需定义目标位置甚至目标数量，就可以立即采集数据。在机床装配过程，“自由运行模式”的优势非常明显。

稳定性测量

XM-60在磁力表座和产品外壳之间采用隔热设计。这样可以确保机床的热变化不会影响设备，同时XM-60的温度变化也不会影响机床性能。



XM可视化热图



将测试数据导出为CSV文件

将单个或多个数据组导出为逗号分隔值 (CSV) 文件，方便您更直观地查看数据。同时，还可以更加灵活地扩展您的数据使用选项。



长距离直线度

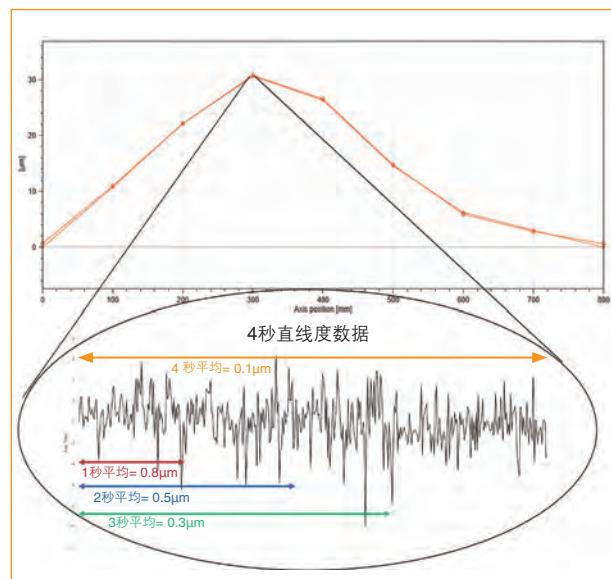
对机器制造商和维修人员来说，长距离精准测量直线度一直是个棘手的问题。

由于各种原因，对长度超过2 m的轴进行可重复的精确测量难度很大：

- 直尺 — 长度有限，需要熟练使用和操作
- PSD和激光干涉仪系统 — 空气扰动和振动会影响精度和重复性
- 自准直仪 — 系统误差和计算误差会影响精度

动态数据拟合 (DDF) 原理详解

- 校准测量所用的标准启停法利用求平均值处理测量过程中的噪声。
- 如果噪声频率固定（例如，系统性振动），那么“求平均值”功能非常有用；但是，如果偏差是随机的且不一致（存在空气扰动时比较常见，特别是长距离测量时），这种方法就不太理想。
- 如图所示，根据采样周期，“求平均值”将得出不同的最终结果。
- DDF并非求短时间内的平均值，而是沿着整个轴采集数据，然后利用采集到的数据拟合成一条曲线。
- 拟合遵循点的最高密度，突出了真实的直线度值。
- 这种方法更适合嘈杂的环境，因为随机过大的奇点数据会被自动滤除



目标模式

- 测量点数目少
- 结果 = 所有点的平均值，包括随机尖峰



DDF 模式

- 测量点数目多
- 结果 = 高密集的点数目，反映真实直线度

原理论证

通过“背靠背测试”，将DDF和标准的“基于目标模式”的结果进行比较，就可以简单地验证这一原理。

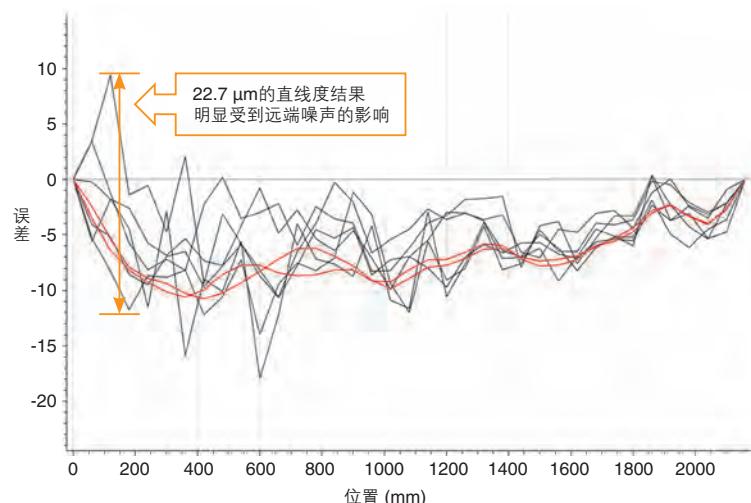
多次测试的结果显示：

- 最终的直线度结果存在较大差异。“基于目标的模式”受噪声影响明显。
- DDF的重复性更佳，尤其对于长距离测量。
- DDF的最大不确定度远远低于单个方向的重复性。



2米以上的垂直方向直线度

| | 目标模式 | DDF模式 |
|-------|--------------------|---------------------------|
| 精度 | 22.7 μm | 10.8 μm |
| 去程重复性 | 14.3 μm | 最大不确定度：±0.3 μm |
| 回程重复性 | 11.6 μm | 最大不确定度：±0.3 μm |
| 双向重复性 | 14.3 μm | 1 μm |



更快、更简单的坐标测量机 (CMM) 误差补偿 (XM-600)

在校准程序中，XM-600可与雷尼绍UCC软件进行通信，快速生成CMM的完整误差补偿。UCCsuite V5.4.1及以上版本均支持这项功能。



所需测量组件：

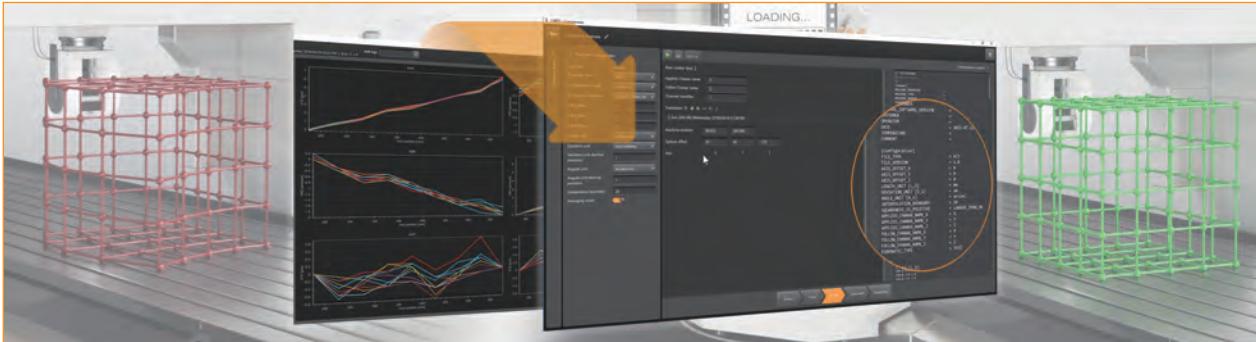
- CMM工作台连接板
- 机器光学镜安装组件
- 倾斜适配器组件



如需了解激光测量的各种应用说明，请访问Renishaw.com.cn

雷尼绍全新Compensate（误差补偿）软件 可简化空间精度补偿

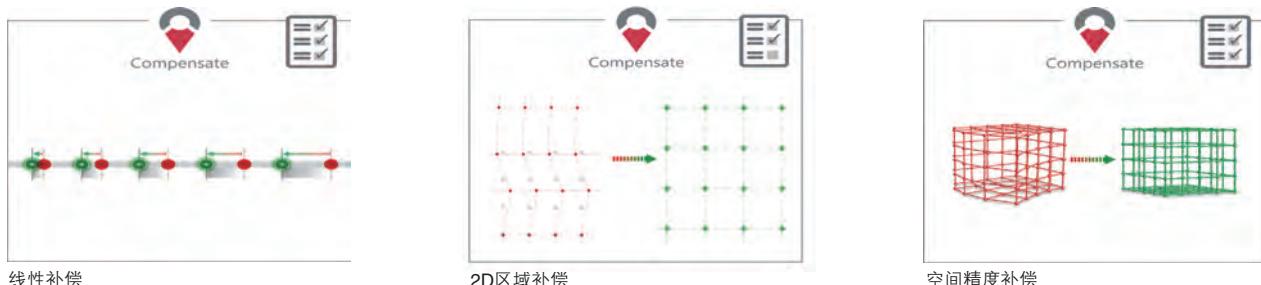
补偿（线性/2D区域/空间）



XM激光系统可帮助用户执行空间精度补偿或误差补偿，快速、精准地获得所需的数据组。所有测量均为光学测量，可在任意方向执行。可轻松更新线性、角度、直线度、滚摆和垂直度补偿表（21个自由度）。

兼容的硬件

- XM-60或XM-600多光束激光干涉仪（线性轴误差）
- QC20球杆仪或XK10激光校准仪（两轴线间的垂直度误差）



线性误差补偿

对于软件支持的控制器类型，用户可快速完成直线定位和回转轴角度定位补偿。



支持的机床控制器

- Siemens 840D Solution Line
- Heidenhain TNC 640
- Heidenhain iTNC 530
- Fanuc 30i系列

空间精度补偿

方便用户更新线性、角度、直线度、滚摆和垂直度补偿表（21个自由度）。

支持的机床控制器

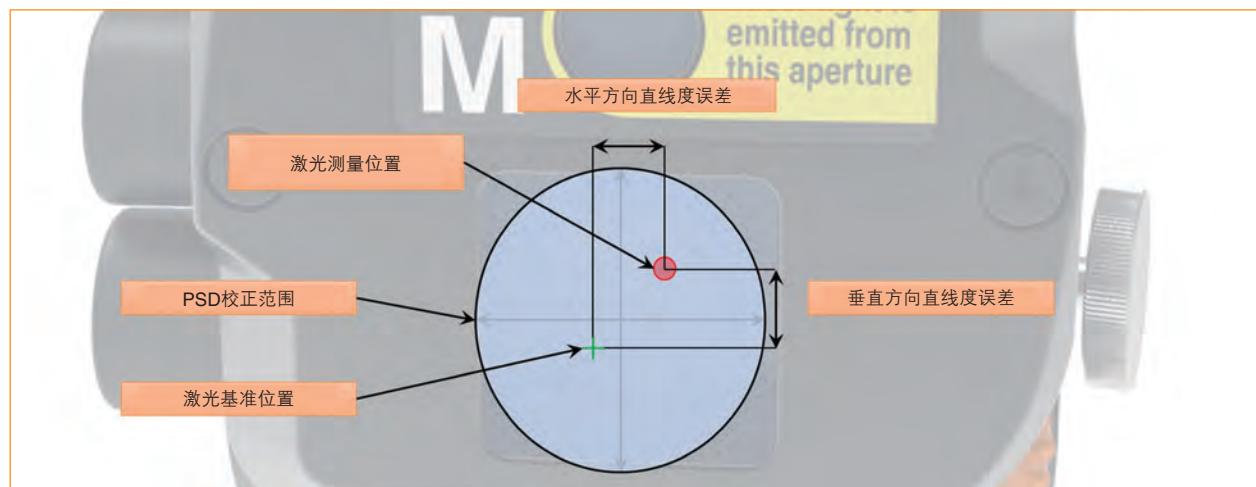
- Siemens 840D Solution Line (需要具备Siemens VCS的A3、A5或A5 plus选项)
- Fanuc 30i系列 (需要具备Fanuc J841、S666、J747选项)
- Mitsubishi M800系列 (需要具备空间误差补偿功能)
- 正在开发 (Mazak、Mitsubishi、Compensate Heidenhain...)

XK10 激光校准仪

XK10激光校准仪设计用于测量机床的几何量误差与旋转轴心线误差。该激光校准仪配有专用机床夹具组件，相较于千分表、自准直仪和计量标准器等传统测量工具，其测量速度更快，操作更简单。

测量原理

XK10使用半导体激光与位敏元件 (PSD) 测量机器装配过程中的准直误差。



系统概述

XK10由激光发射器、S（静止）装置、M（移动）装置及显示装置组成。

XK平行度组件是执行平行度测量时所需的额外附件。它允许在不移动发射器的情况下，测量两个名义上相互平行的直线度。

可为三脚架选配三脚架安装组件，用于因空间有限而不能直接安装发射器的应用场合。



测量配置

几何量测量

| | | | |
|--|-------------|--|--|
| | 直线度 | 沿一条直线轴测量其垂直方向和水平方向的直线度。用于机器装配的整个阶段，以确保安装和准直工作台及导轨时的精度。 | |
| | 垂直度 | 测量机器两条正交轴的垂直度。通常用于确保机器轴和工作台成直角，准直机床导轨，或者用于将单独的机器组件呈垂直方向组装。 | |
| | 平面度 | 沿机器工作台，导轨或其他机器平面，在所构成的平面内测量其垂直方向的偏差。测试模式灵活多样，可以测量连续或间断的平面，例如测量夹具或机器组件之间的高度差。 | |
| | 机器调平 | 根据重力或其他机器表面来调平机器。通常用于准直机器工作台及检查机器结构随着时间的推移而逐渐发生的变形情况，也可用于以一台机器为基准，调平另一台机器。 | |
| | 平行度 | 测量两个名义上平行的轴体之间的各点相互直线度偏差或两个平行轴体之间的夹角偏差。通常在制造机床结构件过程中使用。 | |

旋转轴心线测量

| | | | |
|--|------------------------|---|--|
| | 直线度 | 可沿着旋转刀具和小型机床的轴测量垂直方向和水平方向的直线度；还可以准直机器组件，例如准直车床的送料机构等。 | |
| | 同轴度 (轴对中准直) | 测量两个旋转中心之间的偏差。通常用于准直旋转主轴卡盘，例如在装配车床时。 | |
| | 主轴方向 | 测量主轴或卡盘的指向角度，可用于准直主轴或卡盘，确保其经过360°旋转后仍指向相同的方向。 | |

测量应用

基准面直线度测量（机器铸件）

使用XK10的靠板基座，在机器未安装线轨之前，就能精确采集并记录线轨安装基面的几何量误差。



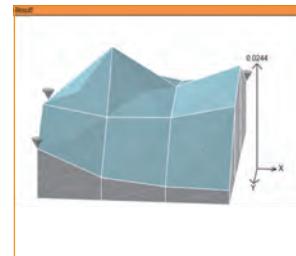
所需测量组件：

- M装置
- 靠板基座



平面度测量

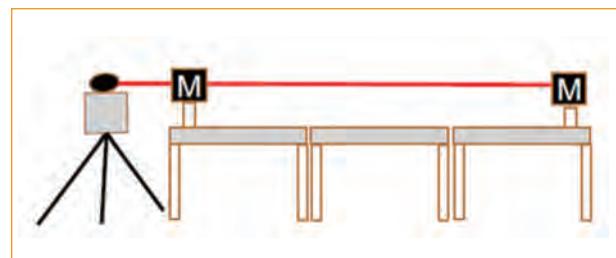
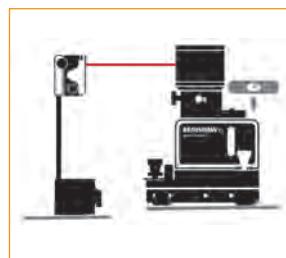
沿机器工作台、机器平面或CMM的花岗岩工作台，在所构成的平面内测量其垂直方向的偏差。



平面度分析图

机器调平

机器调平测量也就是根据重力调平机器，需要使用发射器上的气泡水平仪进行调平，并用M装置测量偏差。机器调平通常用于准直机器工作台，以及检查机器结构随时间推移而逐渐发生的变形情况。



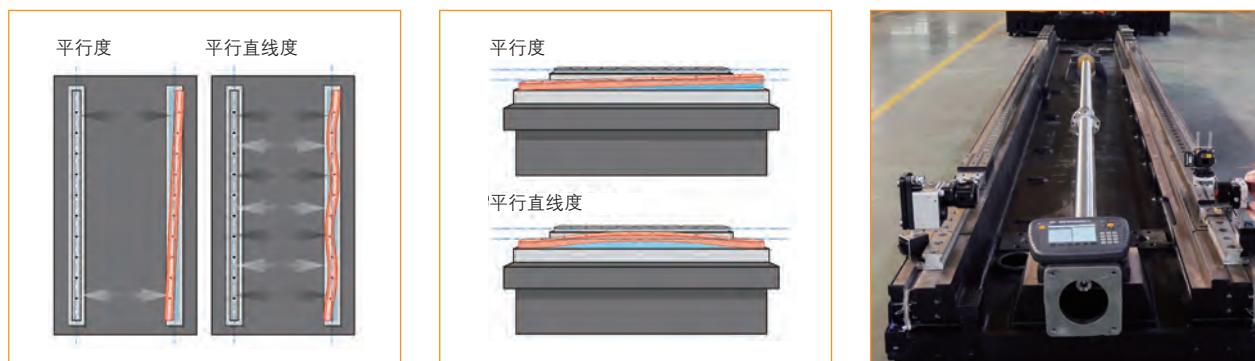
自动化装配线校准

平行度

在机床装配和导轨准直过程中，平行度被定义为两条名义上平行的导轨或轴之间的角度。

平行直线度

平行直线度适合用于两条导轨之间的直线度和平行度校准。它考虑到了沿每条轴的直线度误差，以及两条名义上平行的导轨或轴之间的角度。

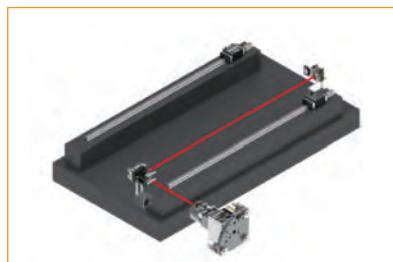


XK10平行度/平行直线度测量步骤

步骤1



步骤2



分析 — 平行直线度

步骤3



步骤4



平面度测量



XK平行度组件

XK平行度组件是执行平行度测量时所需的额外附件。它允许在不移动发射器的情况下，测量两个名义上相互平行的直线度。

可为三脚架选配三脚架安装组件，用于因空间有限而不能直接安装发射器的应用场合。

所需测量组件：

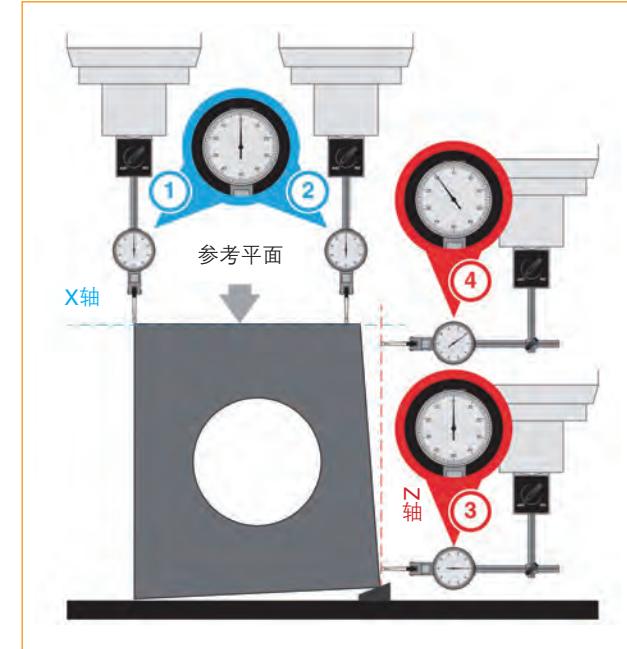
- M装置
- 平行度组件
- 三脚架安装组件（可选）

多点垂直度

传统方法

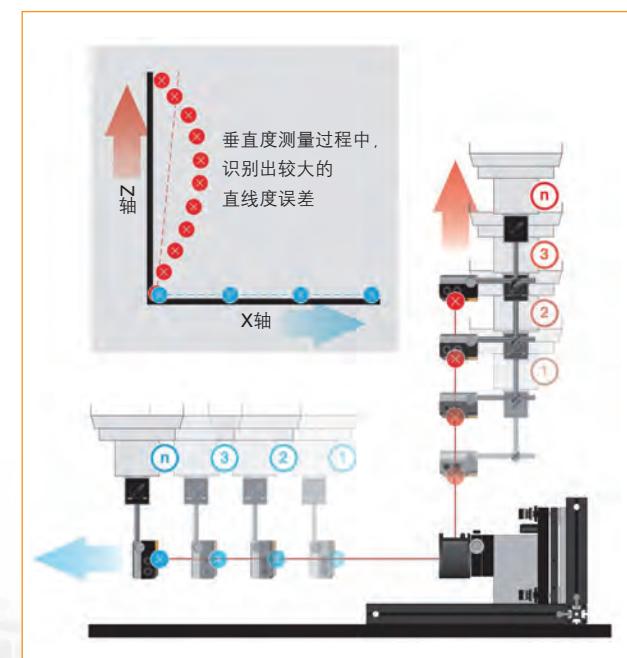
传统上，使用花岗岩方箱和千分表测量垂直度。
测量过程如下：

- 将花岗岩方箱的一个参考表面与一条待测轴对齐
- 调整（有时需要使用垫片）花岗岩方箱，直至在位置点1和位置点2时，千分表的读数为0
- 在位置点3重新定位千分表并设定基准
- 位置点4的读数就是两条轴之间的垂直度结果



XK10解决方案

- 沿各轴不同位置(位置点1、位置点2、位置点3、位置点n)采集多个直线度读数，并根据各个位置点绘制一条最佳拟合线，得出斜率。基于得出的每条轴的斜率计算垂直度。
- 因此，利用这种方法可以查看每条轴的直线度误差，并确定此误差是否会影响垂直度结果。
- 例如，如果轴上有一个很大的弧形，就需要先处理直线度问题，否则会导致整个机器工作空间内不同位置的垂直度不一致。



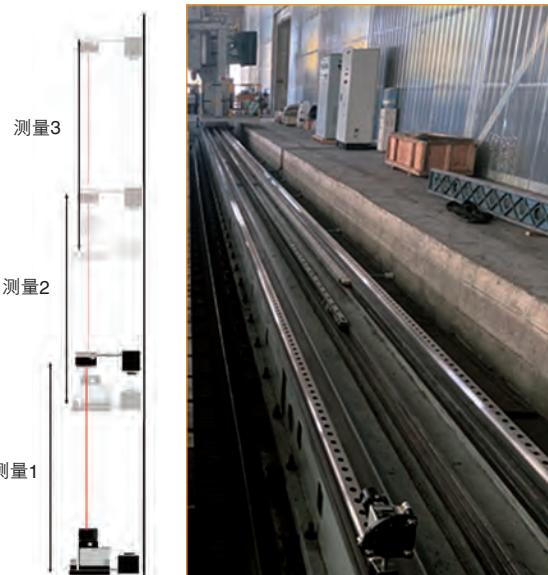
长距离直线度测量

在测量过程中，长轴（超过10 m）的环境条件会极大影响测量精度。

对于长距离直线度测量，理想的解决方案是将多次短距离测量整合起来。



45 m导轨的长距离直线度测量

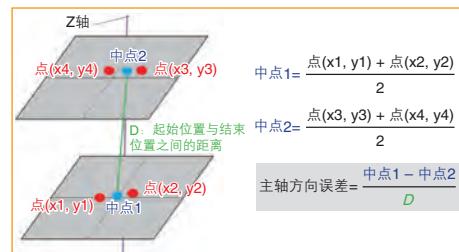


主轴方向

XK10测量主轴或卡盘的指向角度。

可用于准直主轴或卡盘，确保其经过360°旋转后仍指向相同的方向。

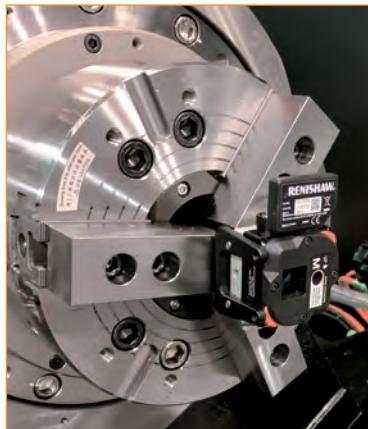
- 第1步：将探测器移到靠近主轴的位置。
采集第一个数据。
- 第2步：旋转180°，采集第二个数据。
- 第3步：将探测器移到远离主轴的位置。
- 第4步：采集第三个数据。
- 第5步：旋转180°，采集第四个数据。



同轴度测量

测量两个旋转中心之间的偏差。通常用于准直旋转主轴或卡盘，例如在装配车床时。

- 第1步：将S装置安装到其中一个主轴上
- 第2步：将M装置安装到第二个主轴上
- 第3步：同时旋转两个装置
- 第4步：在两个PSD上进行位置测量



所需测量组件：

- M装置
- S装置
- 主轴适配器



如需了解激光测量的各种应用说明，请访问Renishaw.com.cn

XL-80 激光干涉仪

系统概述

该系统具有模块化结构，您可以根据具体测量需求，从雷尼绍的一系列产品选择适用的组件。

测量配置



其他配置/应用

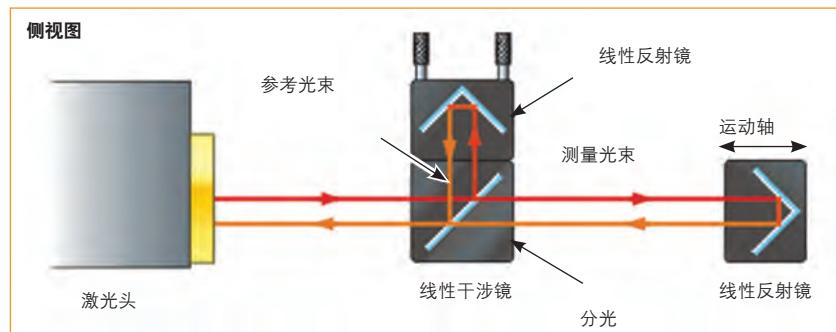


测量原理及应用

1. 线性测量

原理

设定线性测量时，需使用随附的两个螺钉将其中一个线性反射镜固定到分光镜上。这个组合装置称为“线性干涉镜”，它形成激光光束的参考光程。如下图所示，线性干涉镜放置在激光头和线性反射镜之间的光程上。

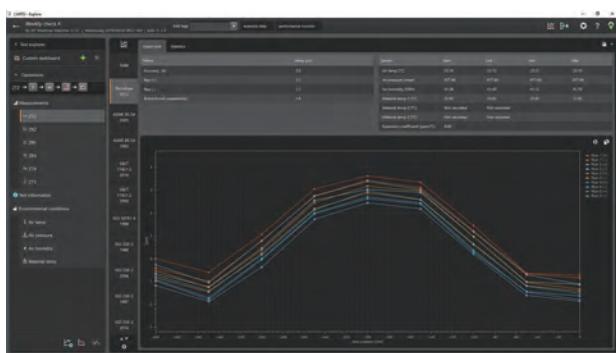
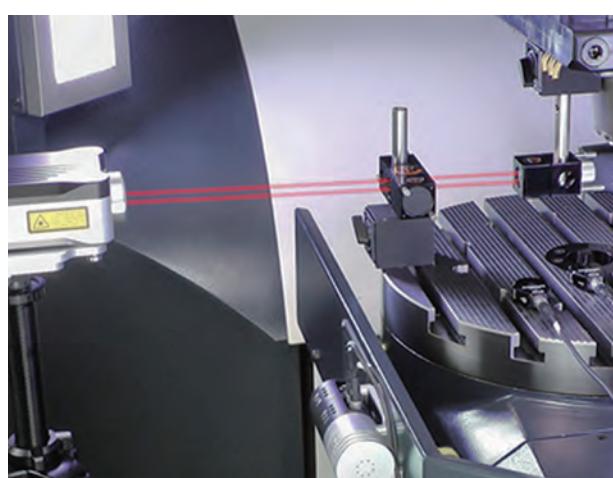
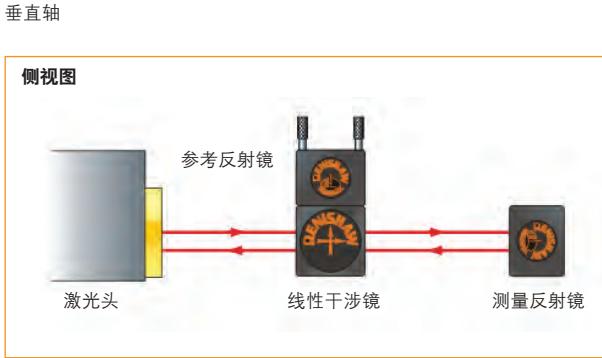
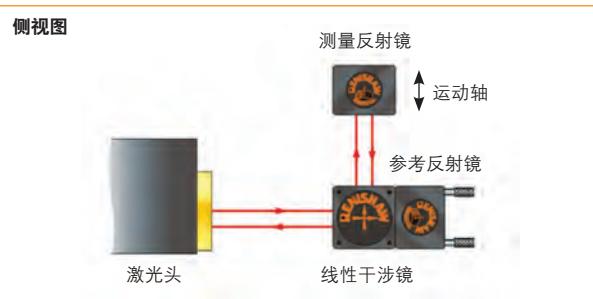


配置

数据采集方法如下：将机器沿着被测轴移到若干不同的位置（或“目标”），然后测量机器的误差。您可以编写“零件程序”，将机器从一个目标位置移到下一个目标位置，并在每个目标位置暂停几秒钟。在每次暂停时进行测量。

所需测量组件：

- XL-80激光头
- XC-80补偿单元
- 线性测量光学镜组



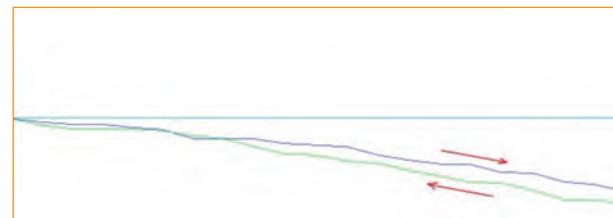
测试图详解

负斜率/正斜率

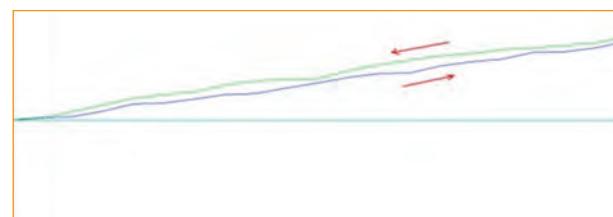
斜率可能是由于以下原因所致：线性测量设定错误；机器线性或角度误差。

检查激光准直；检查XC补偿器和传感器是否已连接并响应，或者检查手动输入的环境数据是否正确；检查材料传感器是否正确定位，以及输入的膨胀系数是否正确。

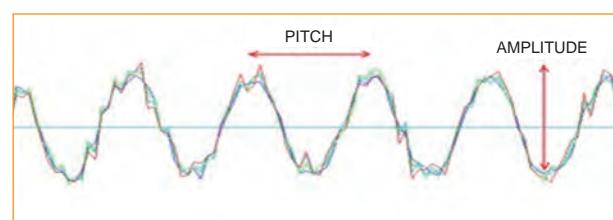
使用角度测量光学镜组再次测量，以检查机器的俯仰角和扭摆角误差。



负斜率



正斜率



周期误差

周期误差

周期误差可能是由于以下原因所致：机器滚珠丝杠或驱动系统故障；光栅问题；龙门机床长导轨的轴线直线度。

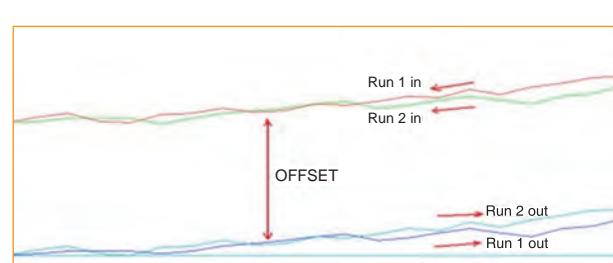
在一个丝杆螺距周期上，缩小采样点间隔后再次测量，以确认螺距误差。

比较以下各项参数，确认可能存在的误差源：机器螺杆的螺距、齿条的齿距、光栅、变速器误差、龙门长导轨支撑点之间的距离。导轨支撑点之间的距离。

偏置

偏置可能是由于以下原因所致：反向间隙补偿错误；刀架与导轨之间存在间隙。

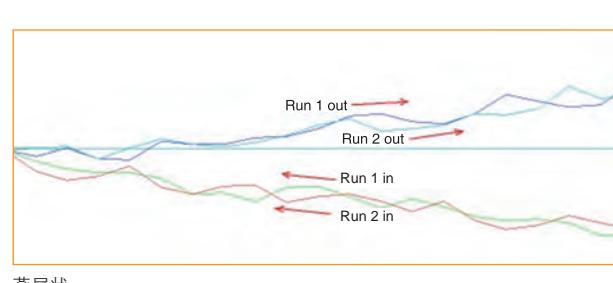
检查丝杆螺母是否磨损或螺杆轴承的端部浮动情况；使用角度测量光学镜组，检查轴线反向时的刀架角度间隙；检查控制器内的反向间隙补偿是否正确。



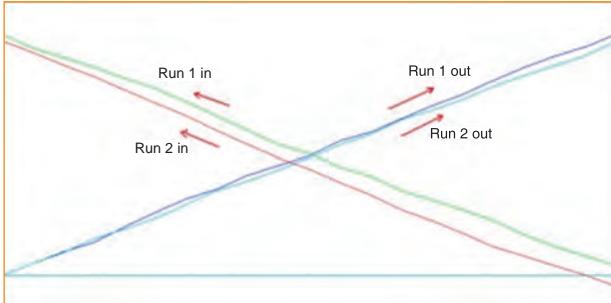
偏置

燕尾状

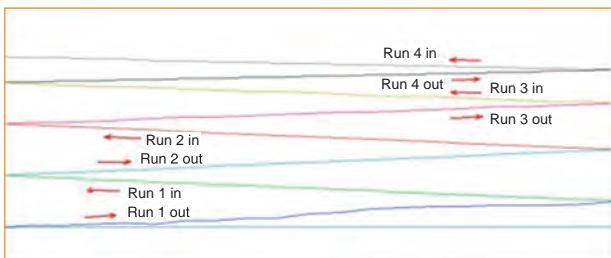
燕尾状可能是由于以下原因所致：滚珠丝杠扭转；导轨太紧；使用的误差补偿值不正确。



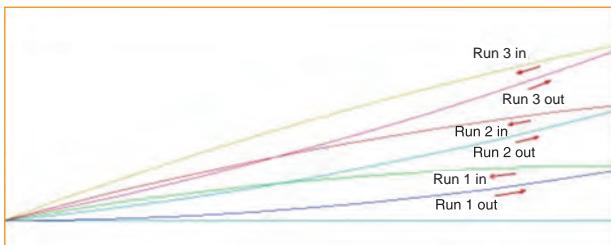
燕尾状



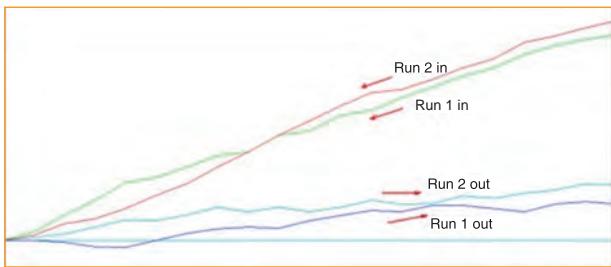
交叉线



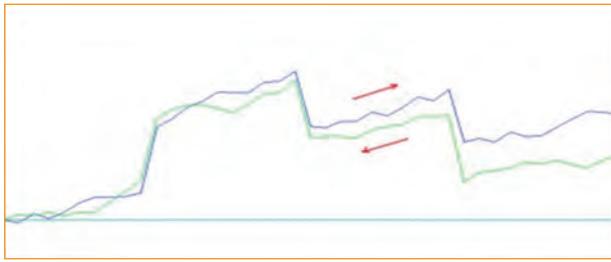
锯齿形



花瓣形



三角形



台阶形

交叉线

这是滚珠丝杠扭转的一个特殊例子。其中，已在控制器中设定单向线性误差补偿和单向反向值。

检查滚珠丝杠和导轨润滑；检查垂直轴上的平衡作用；检查并调节导轨夹条；检查控制器补偿。

锯齿形

锯齿形可能是由于以下原因所致：测量设定误差（死程、光学镜组的热变化）；机械故障或光栅反馈不可靠。

如果误差很小（几微米），可将光学镜组相互靠近，然后设定基准并再次测试。确保为光学镜组留出足够的时间，以适应环境温度。开始测试之前，先让机器预热。

花瓣形

花瓣形可能是由于以下原因所致：材料温度传感器定位不正确或者膨胀系数不正确；

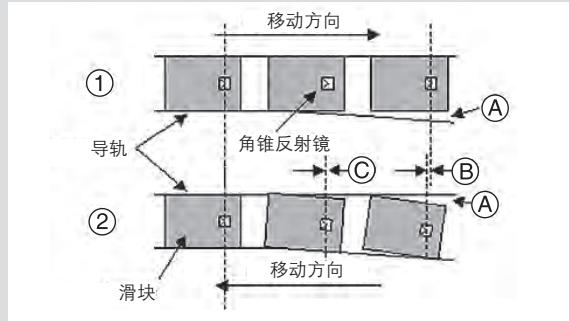
在测试期间，滚珠丝杠温度升高；

机器温度改变。

三角形

由于轴线外端的导轨磨损而出现扭摆。

因导轨磨损而引起偏转，如右图的‘A’点所示。



台阶形

台阶形可能是由于以下原因所致：大型机器上各齿条段对准不佳或装配不佳；直线光栅或同步感应器分段对准不佳或装配不佳。

平面镜干涉测量法应用1

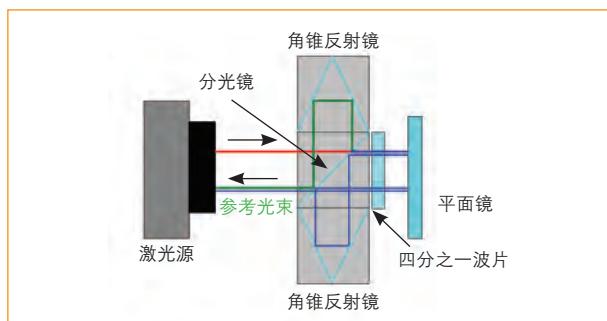
原理

在测量线性位移时，平面干涉镜使用平面镜（而不是角锥反射镜）返回测量光束。平面镜比雷尼绍标准角锥反射镜重量轻，这是其优势所在。因此，平面干涉镜适合振动分析等应用场合。此外，它还允许测量光学镜组与测量方向成90度移动，因此是XY坐标工作台测量的理想之选。

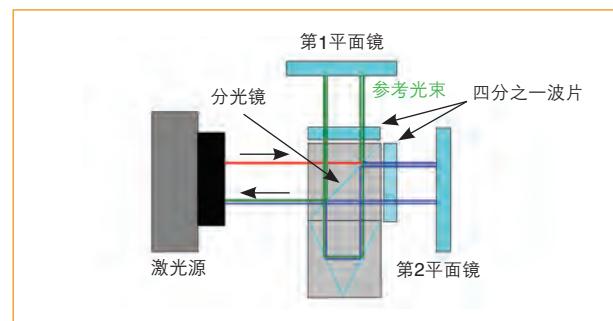
配置

雷尼绍提供两种平面干涉镜：

ii) 双光束双光程平面干涉镜



i) 高稳定性双光束双光程平面干涉镜



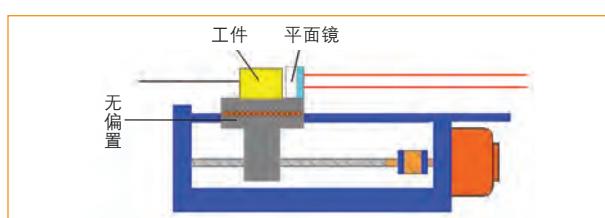
所需测量组件：

- 线性测量光学镜组
- 平面镜
- 四分之一波片

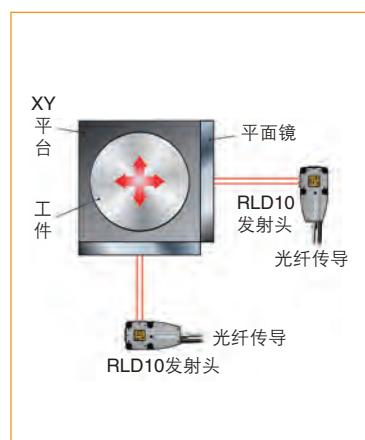
所需测量组件：

- 线性测量光学镜组
- 平面镜 x 2
- 四分之一波片 X 2

如下图所示，平面干涉镜还可用于测量或位置反馈，让光束与工件处于同一水平，并穿过工作点（如刀尖），从而消除阿贝偏置误差。



平面镜干涉测量法应用2



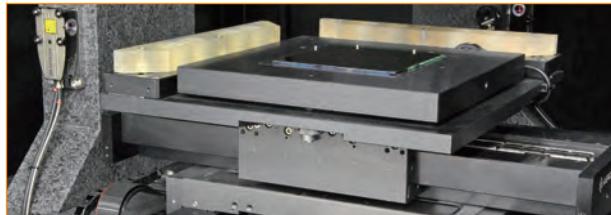
所需测量组件：

- 双轴RLE激光尺
- XC-80补偿单元
- RSU10接口 x 2
- 可调节的平面镜安装底座 x 2
- 平面镜 x 2

平面镜

雷尼绍的平面镜在热膨胀系数较低的玻璃基底上制造而成，具有硬氧化物电介质涂层。平面镜的长度为60 mm至380 mm。

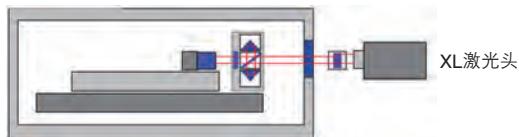
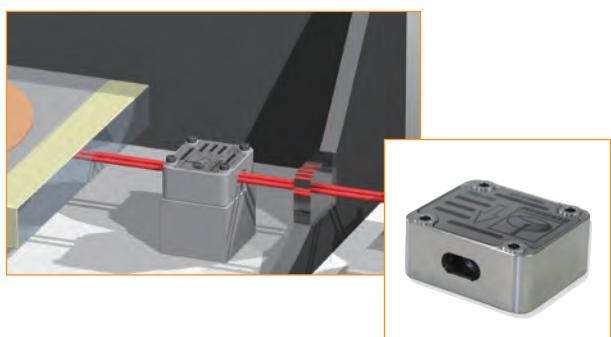
雷尼绍还提供可调节的安装底座，可与平面镜配合使用，以便将镜子安装到运动系统上并与之正确对准。



真空兼容型干涉镜

RVI20可安装在真空室中，激光光束穿过真空室窗口进入RVI20，然后到达平面镜。

RVI20是一套用于平面镜的真空兼容型干涉镜组件，当与雷尼绍RLD10-A3-XX发射头配合使用时，可使整个测量路径保持在真空环境中。



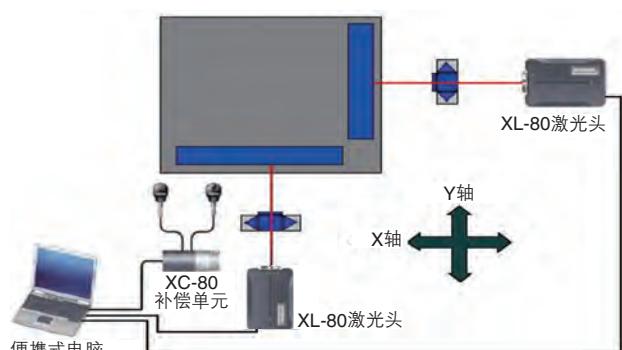
所需测量组件:

- XL-80激光头
- 真空室窗口
- RVI20真空干涉镜
- 缩光镜（小型光学镜组）
- 可调节的平面镜安装底座
- 平面镜

XL-80激光干涉仪用于X-Y平台校准测量

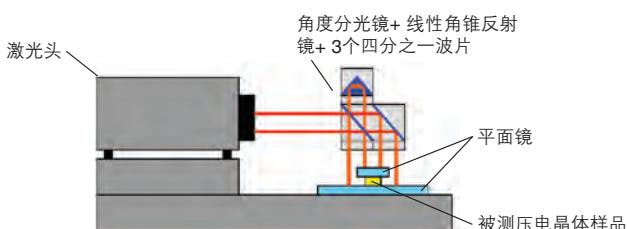
所需测量组件:

- XL-80激光头 x 2
- XC-80补偿单元
- 光学镜安装组件
- XL-80三脚架云台组件 x 2
- XL-80磁力表座适配器 x 2
- 线性测量光学镜组 x 2
- 四分之一波片组件 x 2
- 可调节的平面镜安装底座 x 2



材料研究或机电一体化

平衡差动光路线性平面干涉镜



- 以高达50 KHz 的频率进行高分辨率测量
- 纳米运动高分辨率测量

所需测量组件:

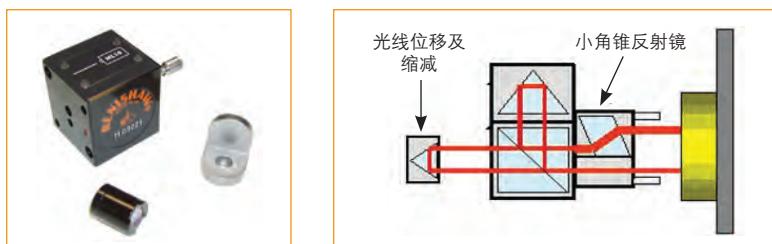
- 线性角锥反射镜
- 角度干涉镜
- 四分之一波片 x 3
- 平面镜 x 2

应用

1. 小型光学镜组

在需要使用小巧轻便的测量光学镜的情况下，XL-80激光干涉仪可配用小型线性测量光学镜组，从而最大程度降低对机器动态性能的影响，并提供灵活的安装方式。

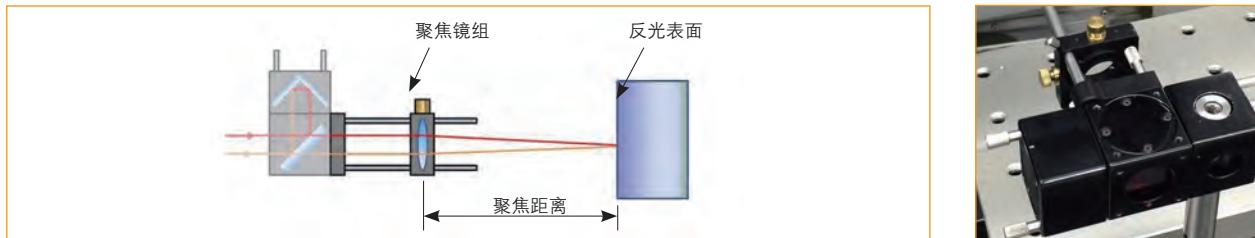
- 降低重量对机器动态特性的影响
- 提供更灵活的安装方式（螺钉固定或以磁吸方式安装）
- 重量 < 10 g, 尺寸 = 12 mm (直径) x 19 mm



2. 光学聚焦镜组

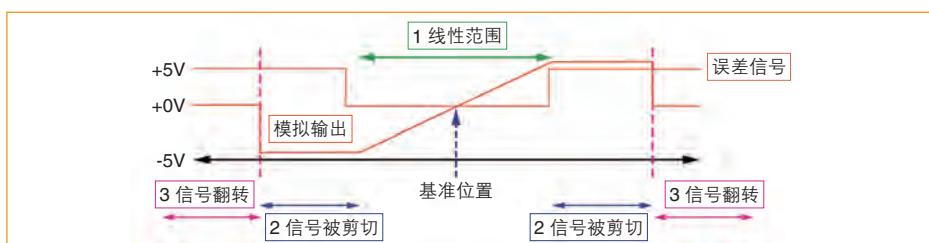
使用光学聚焦镜组，可以从主轴或标准球等反射表面进行线性测量，而无需借助额外的角锥反射光学镜。因此，可用来测量旋转主轴。

该系统是传统干涉镜的简易变体，其中透镜位于分光镜/干涉镜组合的后面，使光束聚焦后集中照射到平面镜的一个光斑上。由于光斑极小，因此可以使用质量很轻、尺寸很小（例如5 mm）的平面镜，但需要仔细准直光程。然而，测量范围也仅限于几百微米。



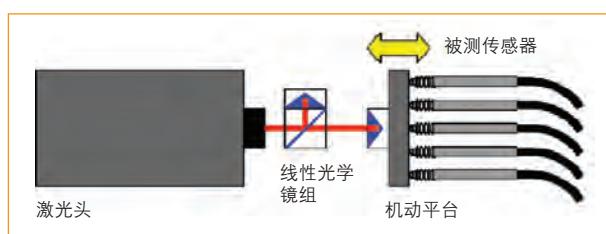
3. 模拟信号输出 (XL-80激光干涉仪的辅助输入/输出功能)

模拟信号输出设备输出的电压与测量光学镜组的位移成正比，可用来监控高频振动（例如，压电应用领域）。在基准位置 ± 5 V 的范围内模拟输出呈线性。模拟输出的带宽为 100 kHz。线性测量范围为 $\pm 5 \mu\text{m}$ 至 $\pm 5 \text{ mm}$ 。



辅助输入 / 输出接头

4. 高精度传感器校准

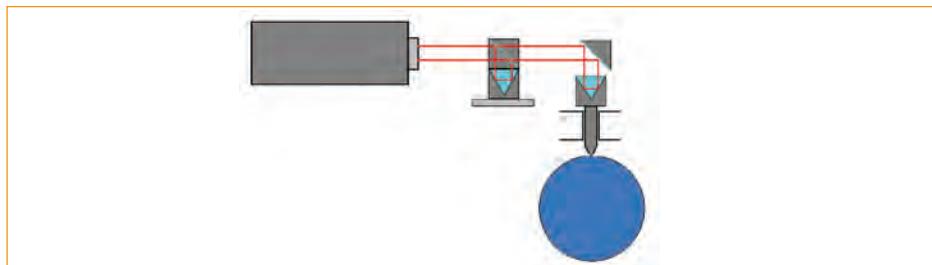


所需测量组件：

- 线性测量光学镜组
- 辅助输入/输出接头

应用

5. 用于精密透镜测量（直径）的极坐标测量系统



所需测量组件:

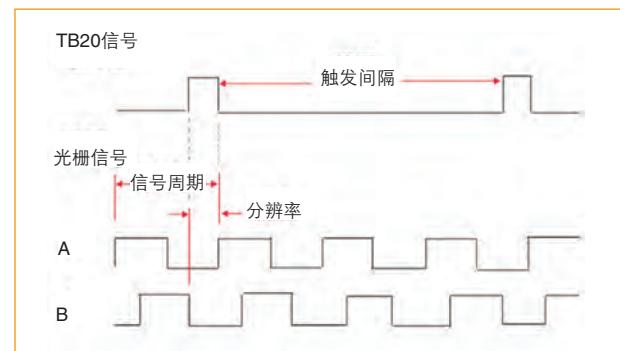
- 线性测量光学镜组
- 固定转向镜

6. 滚珠丝杠校准

激光系统的“基于距离的动态测量”功能沿着轴线“飞行”测量，即运动轴在不停顿的情况下，按照用户指定的间隔采集数据。

TB20正交触发器

TB20是一种接口，与雷尼绍的激光校准系统配合使用，其作用是触发记录激光系统数据。TB20监控机器的编码器与控制器之间的位置反馈信号，并向雷尼绍激光系统输入触发信号，从而对XL激光头的数据采集进行同步，以确定栅尺位置或移动。

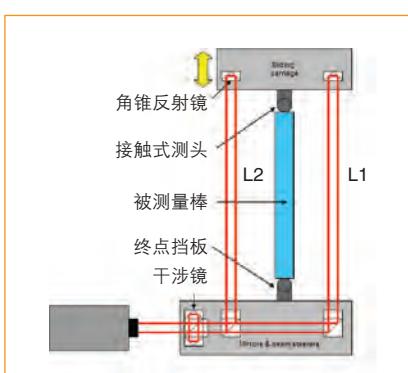


固定到滚珠丝杠一端的圆光栅与TB20相连，用于发出触发信号。在激光系统上安装线性光学镜组，以测量滚珠丝杠上丝杠螺母的位置。

所需测量组件:

- XL-80激光头
- XC-80补偿单元
- 线性测量光学镜组
- TB20

7. 高精度机械部件校准



该系统在一个特殊装置中内置雷尼绍激光干涉仪，以校准步距规和长度基准棒，提供可溯源性校准。

雷尼绍提供一个特殊的光学镜组装置，用于消除阿贝偏置误差。（如左图所示，测量公式为： $(L1+L2)/2$ ）

雷尼绍环境补偿单元还监控各种环境条件



所需测量组件:

- 线性测量光学镜组x2
- 固定转向镜（90度）
- 四分之一波片

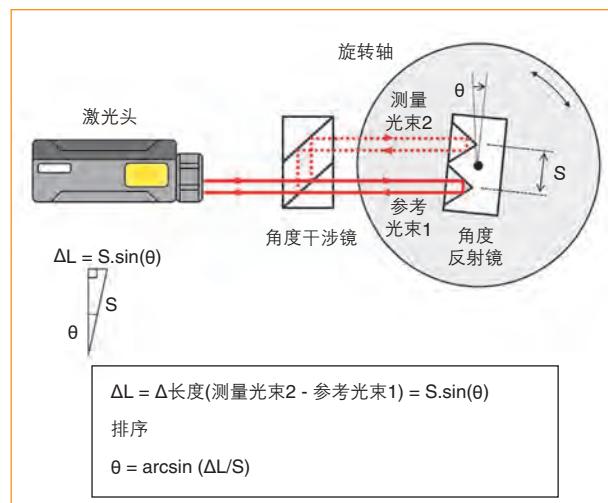
2. 角度测量

原理

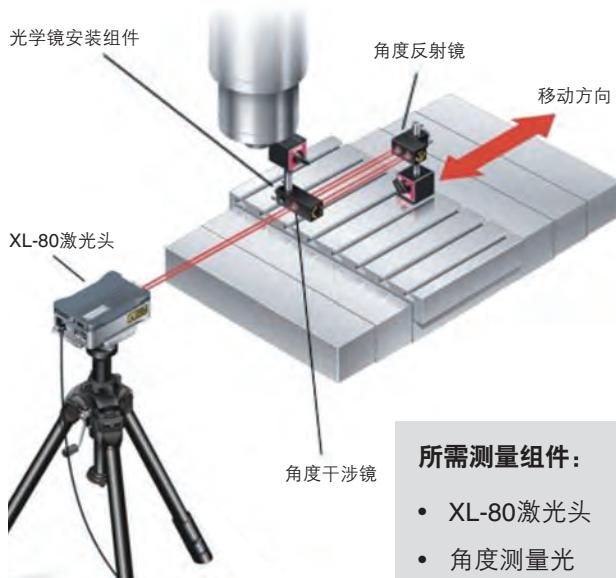
在进行角度测量时，一个光学组件（角度反射镜）必须相对于另一个光学组件（角度干涉镜）旋转。如右图所示，这会使两条测量光束之间的光程差发生变化。光程差的这种变化可由XL-80激光系统中的条纹计数器确定，并由软件转换成角度测量值或角度误差。



测量分析

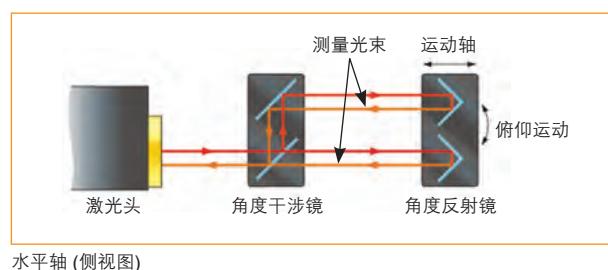


配置

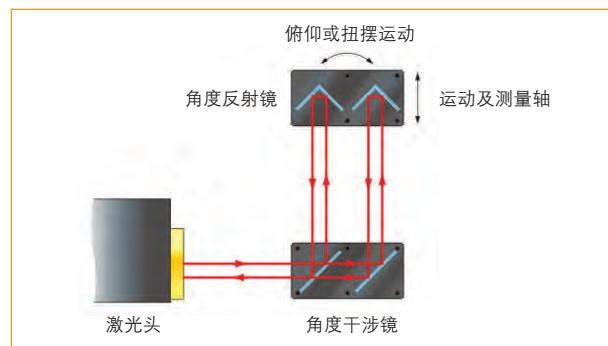


所需测量组件:

- XL-80激光头
- 角度测量光学镜组



水平轴 (侧视图)



垂直轴 (侧视图)

高精度小角度测量

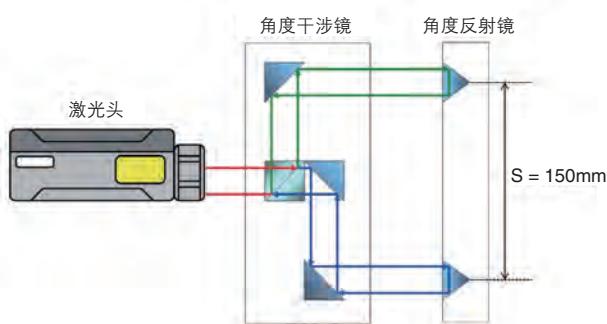
该设计专用于国家标准实验室。系统外壳由因钢制成，可最大限度地提高热稳定性。光束间距为150 mm，是30 mm标准间距的5倍，系统的分辨率也是其5倍。



规格*:

- 精度: $\pm 0.005\% \theta$
 ± 0.1 微弧度
角度分辨率: 0.01"
测量范围: $\pm 5^\circ$

*需用户送第三方校准更新系数



应用

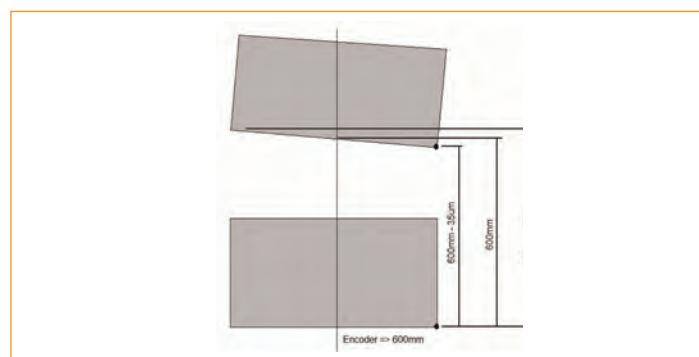
1. 倾斜工作台 / 准直辅助平台测量（切片机/晶圆检测机等）



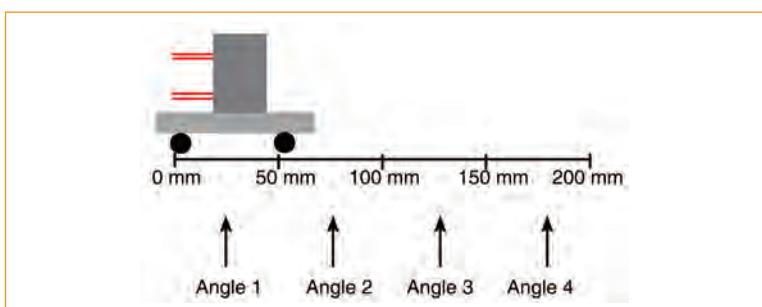
一些平台通过调整几个角度对工作台进行角度调整，以使工件与（例如）固定的相机对齐。特别是对于大直径工作台/工件，必须严格控制角度定位公差，以确保边缘的准确准直。

2.XY工作台的俯仰和扭摆评估（PCB钻孔机、LCD检测）

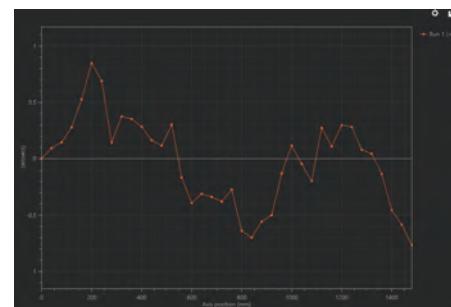
与阿贝偏置误差一样，扭摆（也称之为“工作台运动的平行度”）同样影响线性精度。



3. 直线导轨直线度测量



角度转直线度 (ANGST)



角度测量结果

XK10或XM-60是导轨直线度测量的理想解决方案。使用位置传感器测量垂直和水平直线度误差。

实时误差读数可用于在准直过程中对导轨进行调整。

所需测量组件：

- 角度测量光学镜组
- 角度转直线度
- 转换软件



角度转直线度 (ANGST) 的结果

3. 直线度测量

原理

从激光头射出的光束穿过直线度干涉镜后被分成两束光，以小角度分开后直接射向直线度反射镜。光束从直线度反射镜中反射回来，沿着新光程返回直线度干涉镜。两束光在直线度干涉镜中合成一束光，然后返回激光头的入射口。

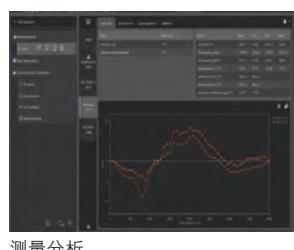
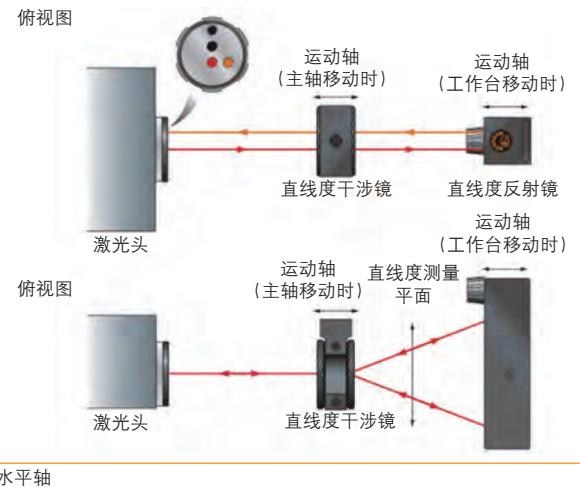
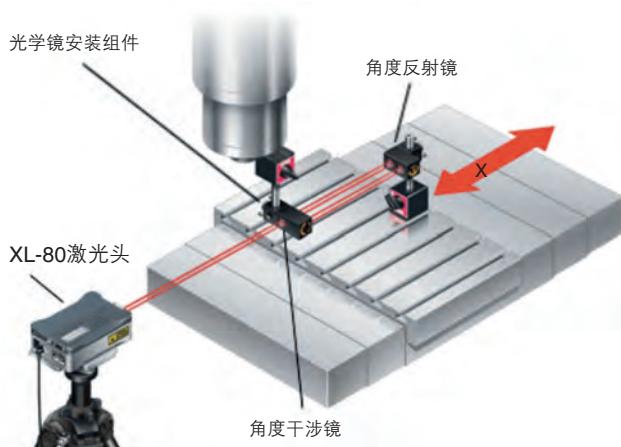


水平方向直线度

垂直方向直线度

直线度测量方法是：检测光程在干涉镜和反射镜之间的相对横向位移变化。直线度测量可在水平面或垂直面上进行，这取决于直线度干涉镜和反射镜的方向。

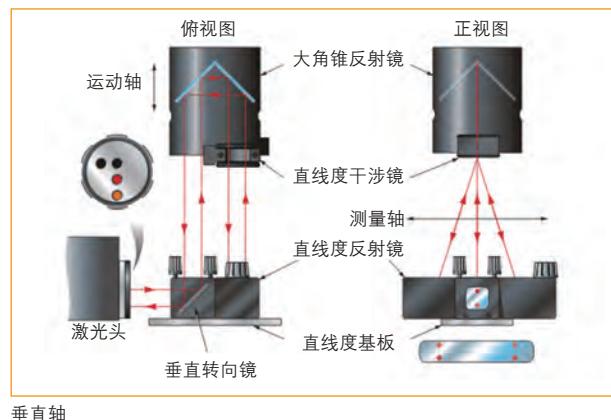
配置



测量分析

所需测量组件：

- XL-80激光头
- 直线度光学镜组件
- 直线度测量附件



垂直轴

应用

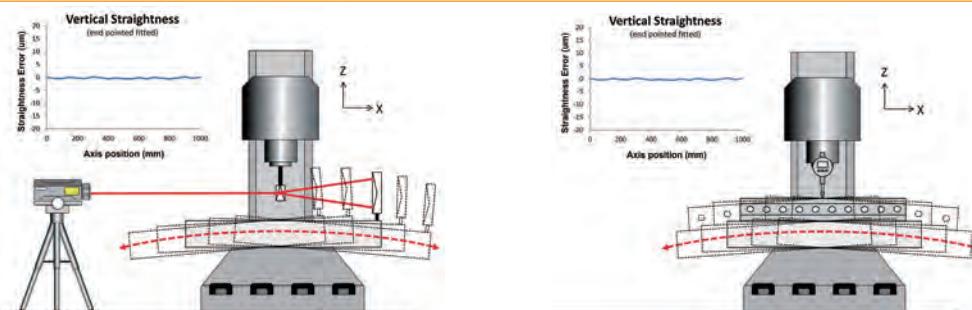
1.机器轴直线度误差测量 (CNC、CMM等)

直线度测量显示机器导轨弯曲或存在整体准直偏差的情况。直线度误差可能由以下因素所致：导轨磨损；因事故造成导轨损坏；或因机器地基不牢导致轴发生弯曲。这会对机器的定位精度及轮廓加工精度产生直接影响。

2.机器工作台直线度测量

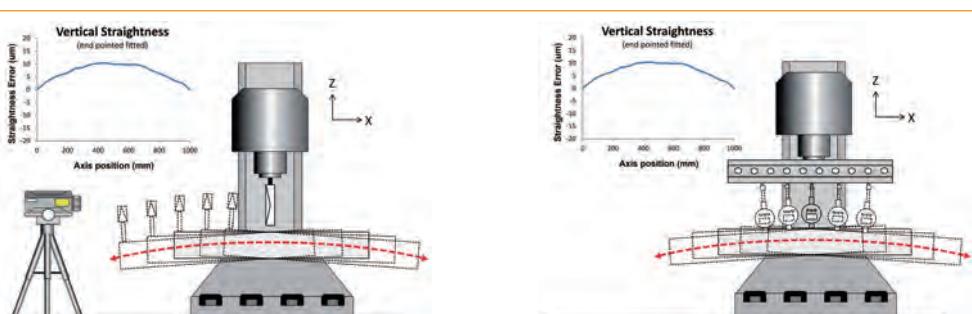
直线度反射镜应安装在固定工件的移动工作台上，直线度干涉镜安装在刀具位置。直线度反射镜的中心线可视为机械直尺。

这种安装方式可测量出主轴相对于工件坐标系的误差，帮助用户预先了解工件的加工精度。在检查机器的移动工作台时，ASME B5.54国际标准推荐使用该设置。



固定干涉镜或千分表

下图中显示的设置包括：使用三脚架安装的激光干涉仪，安装在主轴上的反射镜，以及安装在移动工作台上的干涉镜。检查机器上单个点的运动误差时，应使用该设置。例如，对比机器坐标系，以跟踪移动工作台上特定点的轨迹。这样可以反映机器的装配质量，但不一定能反映机器的加工精度。



移动干涉镜或千分表

3.动态直线度

将动态软件与直线度光学镜组配合使用，可以在晶片切割或激光切割等应用中采集“基于时间的”直线度数据。在这些应用中，“运动过程中的”直线度误差远比固定位置的误差更重要。如需了解操作原理，请参阅“动态测量”章节。

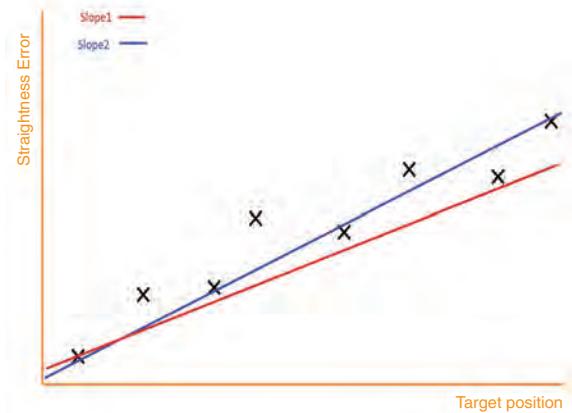
4. 平行度测量

原理

线性平行度测量用于确定两条名义上平行的轴之间角度偏差。平行度测量包含两组直线度测量，测量时以共同的直线度反射镜作为参考基准（与垂直度测量一样）。

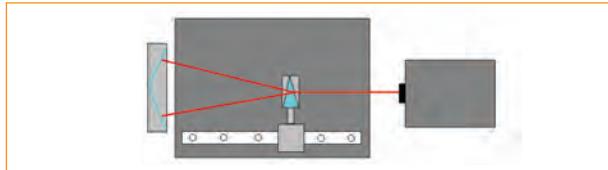
用第1条运动轴的斜率 ($\theta 1$) 减去第2条运动轴的直线度数据采集斜率 ($\theta 2$)，计算出线性平行度。

$$\text{线性平行度} = \text{斜率1} (\theta 1) - \text{斜率2} (\theta 2)$$

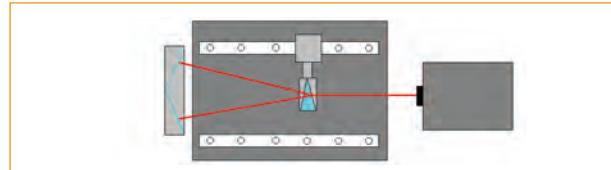


配置

第1步



第2步



在机床或CMM上进行平行度测量的方法是：激光从与两条轴线相同的垂直方向射出，沿着每条待比较的轴进行直线度测量。因此，采集数据的步骤与直线度测量相同。

所需测量组件：

- XL-80激光头
- 直线度光学镜组
- 直线度测量附件
- 垂直度测量光学镜组

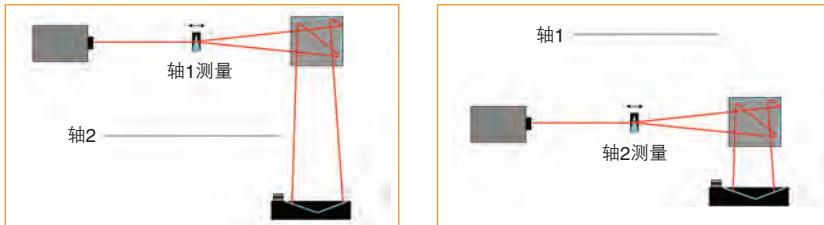


测量分析

应用

1. X-Y平台内多条导轨的平行度

第1步

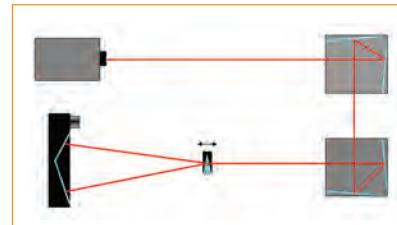


所需测量组件：

- 直线度光学镜组
- 垂直度测量光学镜组

2. 两条导轨的平行度（替代方法）

第2步



所需测量组件：

- 长距离直线度测量光学镜组
(范围：1 m至30 m)
- 垂直度测量光学镜组 x 2

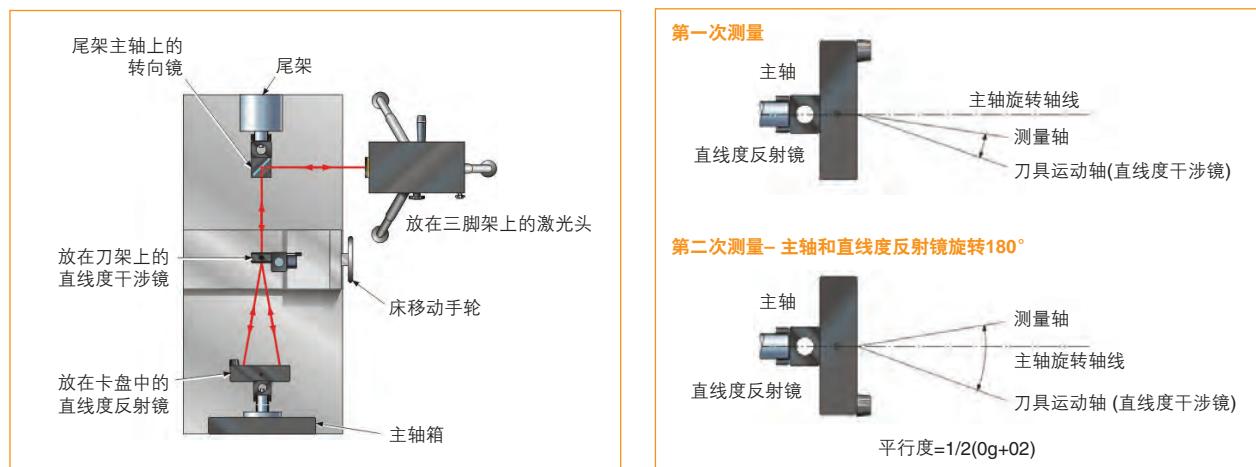
5. 旋转平行度测量

$$\text{平行度} = \frac{1}{2} (\theta_1 + \theta_2)$$

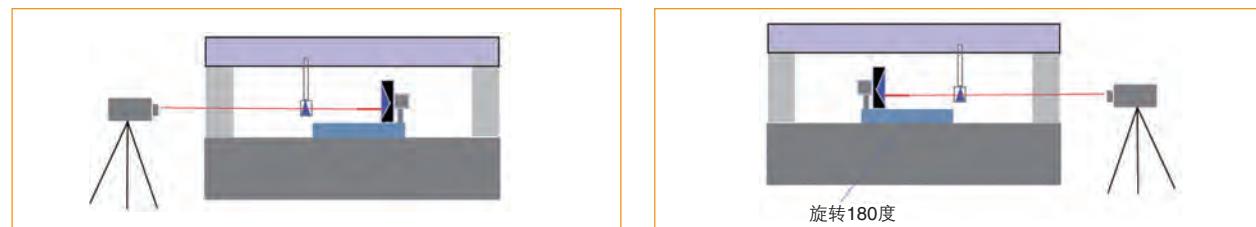


确定旋转轴/回转轴与线性轴之间的角度准直偏差

这项测量对于车床尤为重要。



测量直驱 (DDR) 电机与龙门工作台线性轴之间的准直偏差



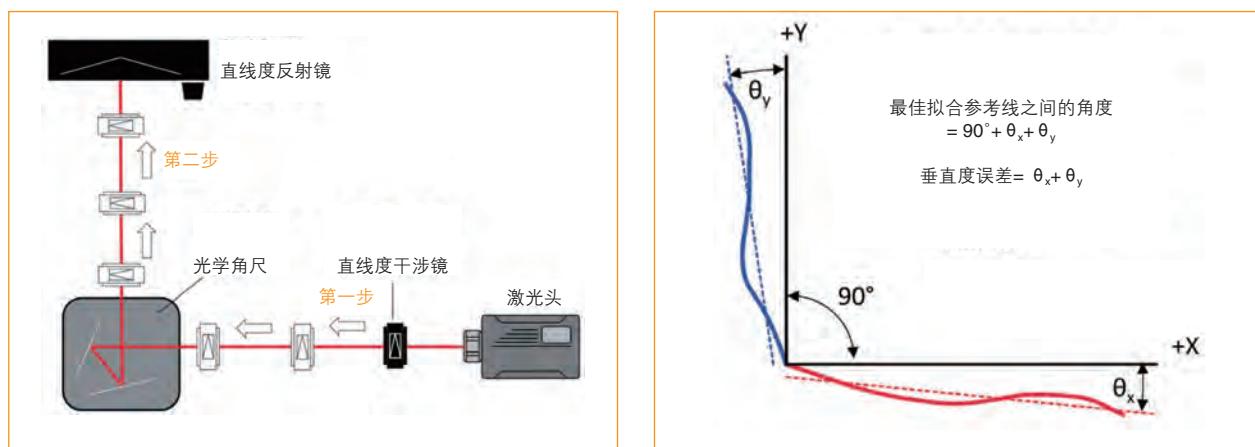
6. 垂直度测量

原理

垂直度测量方法是：使用同一个参考基准，对两条名义上垂直的坐标轴中的每条轴进行直线度测量。

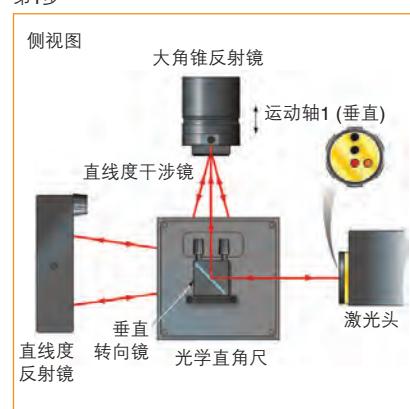
要求使用共同的参考基准，以便对两组直线度测量值进行比较，计算出两条轴的垂直度。

通常，将直线度反射镜的光学准直点作为“共同的参考基准”。该基准在两次直线度测量之间既不移动（相对于工作台），也不会被调整。至少在其中一次直线度测量中使用光学直角尺，使激光光束沿每一条轴准直，而不触碰直线度反射镜。

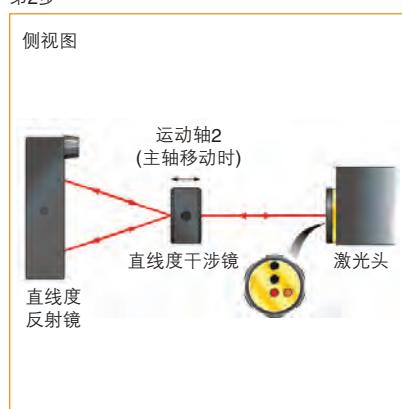


配置

第1步



第2步



测量分析

所需测量组件：

- XL-80激光头
- 直线度光学镜组
- 直线度测量附件
- 垂直度测量光学镜组



应用

1. 机器轴垂直度误差测量 (CNC、CMM等)

垂直度测量方法：比较两条名义上垂直的坐标轴的直线度值，确定它们之间的垂直度。垂直度误差可能由以下因素所致：机器导轨磨损；因事故造成导轨损坏；机器地基不牢；双驱动龙门机器上的参考点位置传感器未准确好。这项误差会对机器的定位精度及轮廓加工能力产生直接影响。

通常，对于长度超过1.5 m的机器轴，光学方法（例如，使用激光干涉仪）是唯一的选择。因为标准器，例如垂直度校准规，都有测量长度的限制（不能超过1 m）。

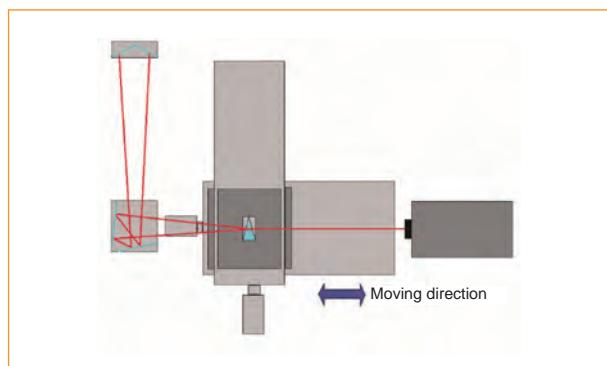
所需测量组件：

- 垂直度测量光学镜组
- 直线度测量光学镜组件

2. X、Y轴垂直 (90°) 准直

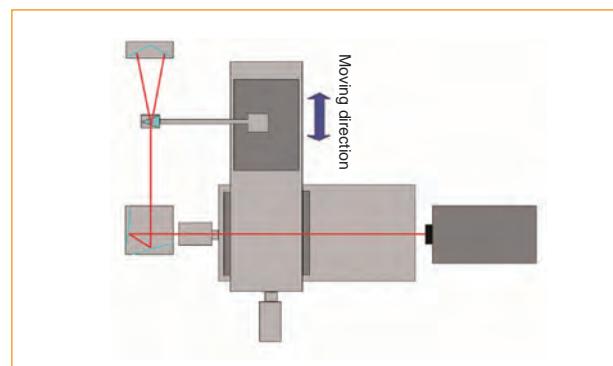
X-Y平台和水平面垂直度测量光学镜组设置的示例，请详见下图。无论是龙门型、混合型还是其他类型X-Y平台，无论是大型 (4 x 3 m) 还是小型 (50 x 50 mm) 平台，均需有一个通用的坚固基座，用于固定直线度角锥反射镜。该反射镜在测量中被用作共同的参考基准。

第1步



用直线度光学镜组测量

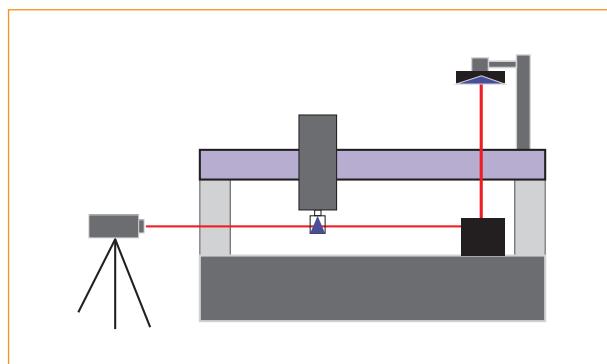
第2步



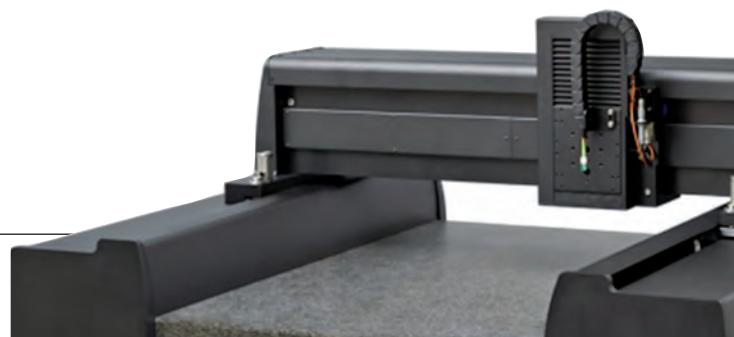
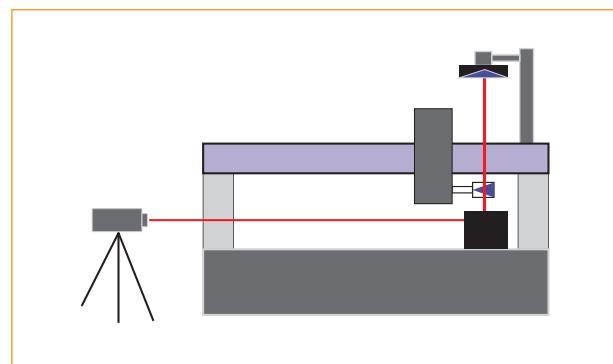
用直线度测量光学镜组测量Y轴斜率。
无需移动直线度反射镜或垂直度测量光学镜组或激光头

3. 龙门工作台上的X、Y=>Z轴垂直 (90°) 准直

第1步



第2步

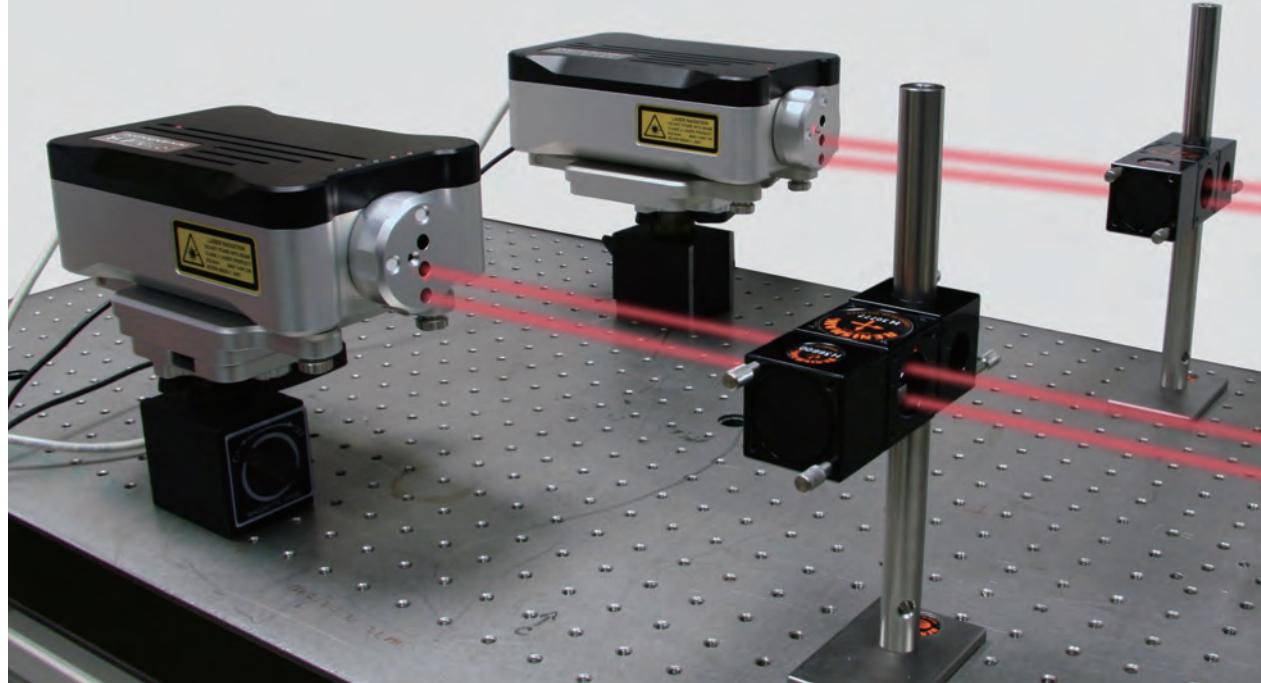
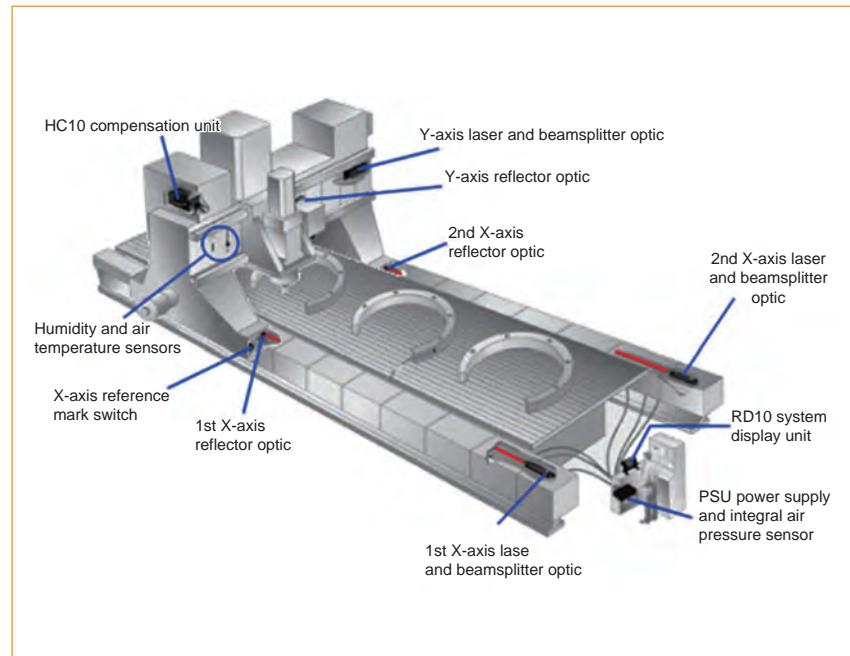


7. 双轴测量

在某些装置中，某运动轴由两个驱动系统和两个反馈系统（如“龙门铣床”和大型双光束型CMM）控制。在这种情况下，将两个激光头与激光校准软件结合使用，可自动同步采集两条平行轴的数据。

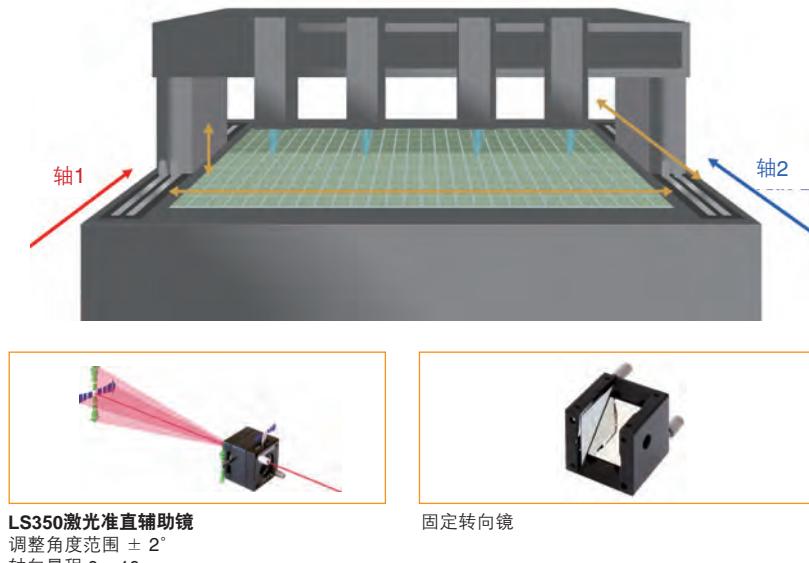
所需测量组件：

- XL-80激光头 x 2
- 线性测量光学镜组 x 2
- 光学镜安装组件 x 2
- XC-80环境补偿单元 x 1



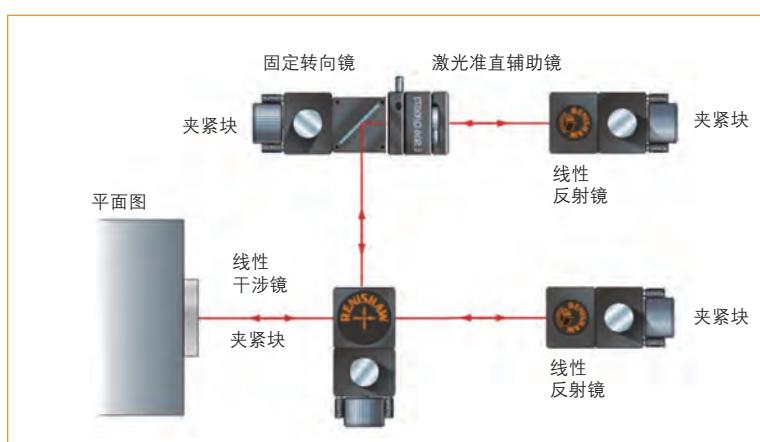
8. 双轴同步线性测量

典型的双轴龙门平台使用两台直线电机作为驱动系统，因此轴1和轴2之间的运动需要高度同步。



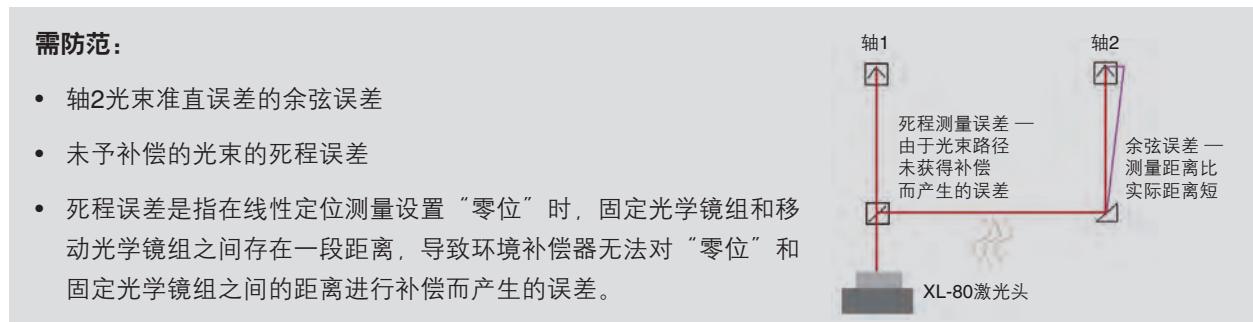
所需测量组件：

- XL-80激光头 x 1
- 线性测量光学镜组 x 1
- LS350激光准直辅助镜
- 固定转向镜
- XC-80补偿单元 x 1



测量步骤：

- 第1步：对轴1进行线性测量补偿
- 第2步：对轴2进行线性测量补偿
- 第3步：双轴同步线性测量
- 第4步：修正轴2的补偿参数



9. 动态测量

原理

动态数据采集可测量：

- 位移与时间关系 • 加速度与时间关系
- 速度与时间关系 • 振幅与频率

这些实时测量可以对某些机器误差特性进行监控和分析。

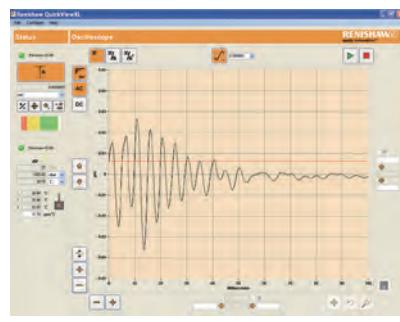
所需测量组件：

- 线性测量光学镜组
- QuickViewXL™软件
- 小型线性光学镜组件

配置

QuickViewXL™软件包简单易用、界面直观，可用于采集、查看及保存XL激光系统的动态数据。其主要特点是能够实时显示XL的连续数据“流”，从而对运动和定位特性进行分析。

QuickViewXL™软件可与线性、角度或直线度测量光学镜组配合使用，用于线性振动、速度纹波监控、角度振动，以及镜面加工或切片等需要动态直线度精度的应用中。可以“实时”监控数据（如调试机器参数），并保存最终结果，以便使用“动态”分析软件做进一步分析。

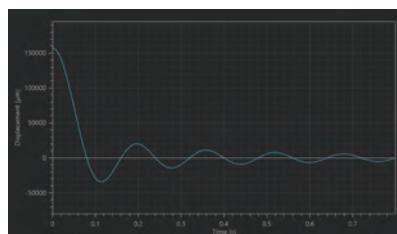


QuickViewXL™

应用

1. 机器定位控制

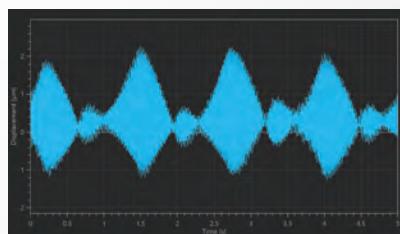
- 运动控制器PID参数设置
- 高速运动后机器的稳定性以及恢复稳定所需的时间
- 针对高性能运动控制，测试微小步距（亚微米）运动



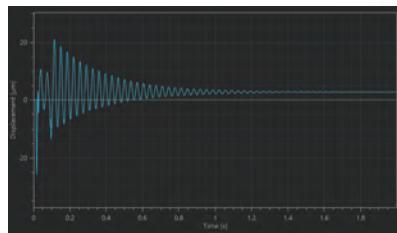
恢复稳定所需时间

2. 振动分析

- 分析被测对象的振动移动频率
- 通过快速傅立叶变换(FFT)距离-时间曲线，分离振动频率



位移 - 时间曲线



FFT曲线

3. 速度监控

• 扫描应用：

用于不要求定位精度，但恒定速度对实现高质量成像非常关键的场合

• FPD检测/维修平台：

“速度纹波”是一个重要参数（比如，在20 mm/s时为0.1%），通常以工作速度的分数或百分比表示

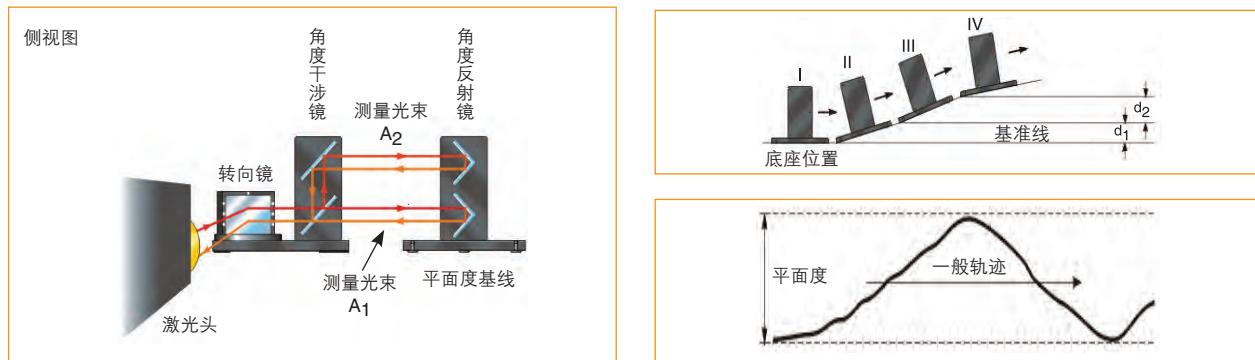
• 机床应用：

通常用于高质量的表面精加工。在这种应用中，要求刀具缓慢且平稳地沿轮廓移动

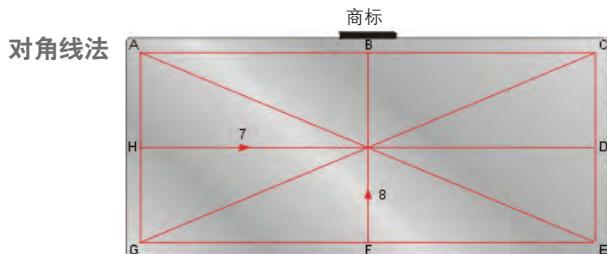
10.平面度测量

原理

平面度测量方法是：当角度反射镜沿着测量路径移动时，采集一系列增量高度读数。

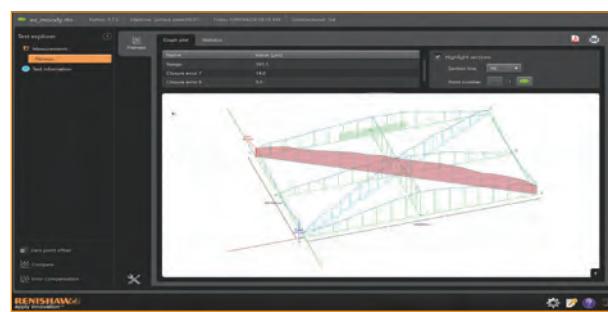
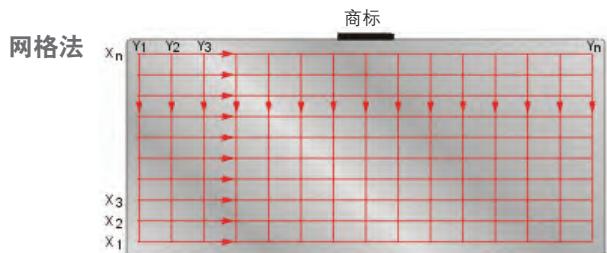


测量表面的平面度时，需要在表面上采集若干条测量直线。平面度测量有两种标准方法：



所需测量组件：

- XL-80激光头
- 角度测量光学镜组
- 平面度测量组件



配置

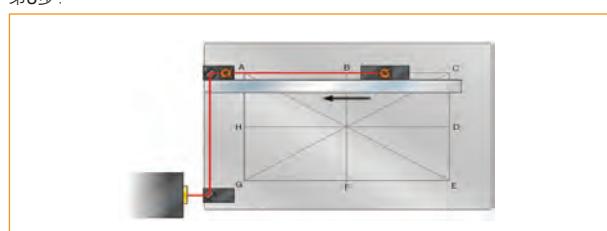
第1步：



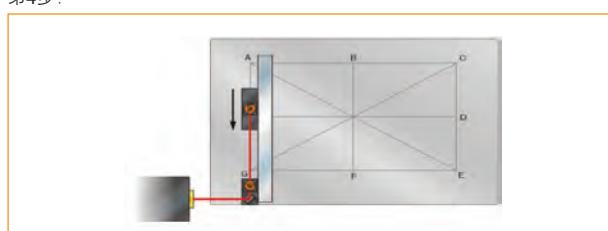
第2步：



第3步：



第4步：

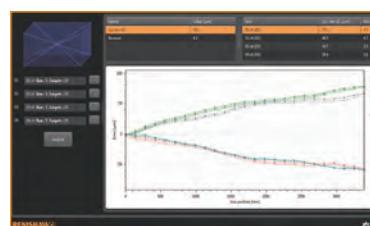


11. 对角线测量

借助线性对角线测量组件，用户可以使用XL-80激光干涉仪，沿机床体对角线和面对角线测量线性定位精度。这一测量方法符合B5.54和ISO 230-6标准的要求。

所需测量组件：

- XL-80激光头
- XC-80补偿单元
- 线性测量光学镜组
- 对角线测量全套组件
- 激光校准软件
- 倾斜适配器
- PK1适配器（用于CMM测量）



测量分析



PK1适配器

面对角线垂直度测量

如果两个面对角线长度分别为 d_1 和 d_2 ，则可通过以下公式计算机器垂直度误差（弧度）：

$$\theta \approx (1+m) (d_1-d_2)/(m(d_1+d_2))$$

其中， $m = \text{机器纵横比}$

XL-80激光头和线性光学镜组，通过旋转镜与两条轴间的机器面对角线准直。这种方法可快速测量轴之间的垂直度误差。

第1步：

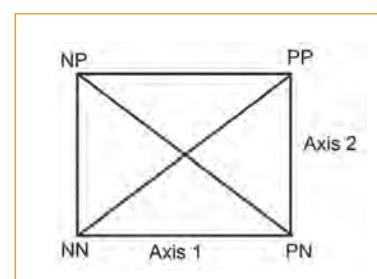
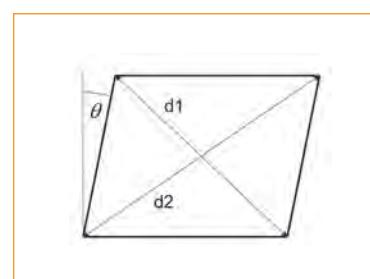
输入轴1和轴2的
长度

第2步：

完成两条对角轴线
(d_1 和 d_2)
的线性测量

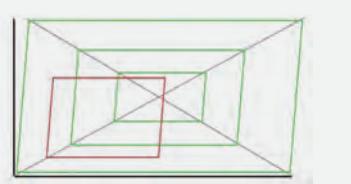
第3步：

用“对角线垂直度”
选项分析垂直度测量
结果



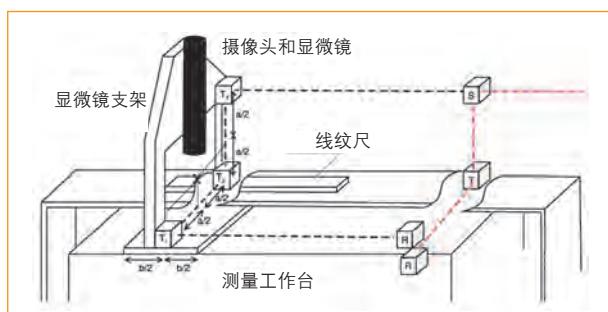
局限性：

- 对角线测量方法只能分析绿色截面区域的垂直度误差
- 垂直度测量方法可以分析绿色和红色截面区域的垂直度误差



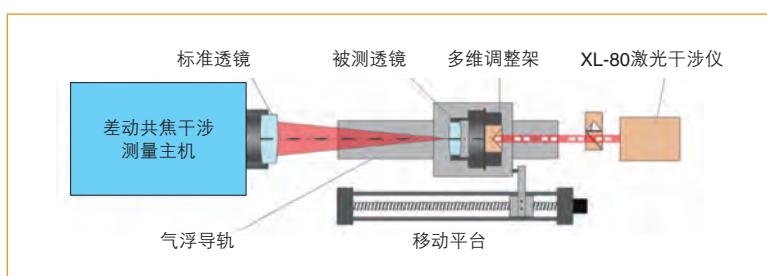
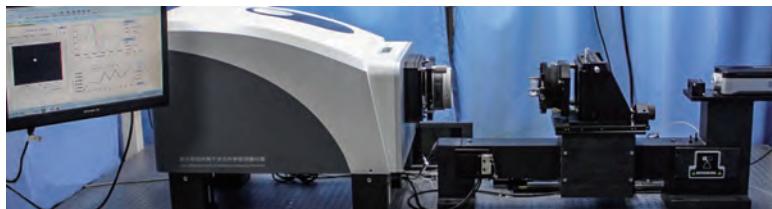
软件开发工具包 (SDK)

雷尼绍SDK 接口是一个高级应用程序编程接口，您可借助此接口将XL 激光干涉仪集成到您的程序中；利用它进行编程，以设定、监控并采集XL-80 激光干涉仪的读数。



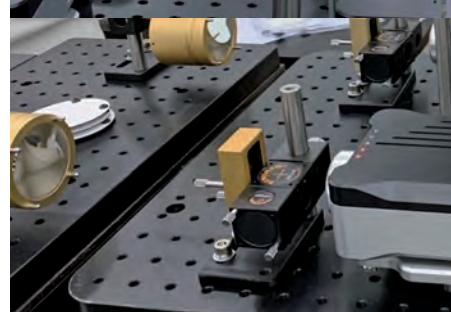
为达到稳定的亚微米级测量精度，用户开发了线纹尺自动校准系统。该校准系统配用雷尼绍XL-80激光干涉仪和XC-80补偿器，能够管理所有阿贝误差源以及环境条件变化。

带钢制外壳的线性和角度光学镜组随附角度系数说明证书，以及光学镜安装组件，适用于实验室工作环境。



利用雷尼绍的XL-80激光干涉仪开发了一种高精度仪器，性能可靠，可同时测量球面透镜的所有关键尺寸参数。

高精度长距离校准装置上集成了三套雷尼绍XL-80激光干涉仪。长距离线性光学镜组可用于在40 m以上的轴上进行线性测量。



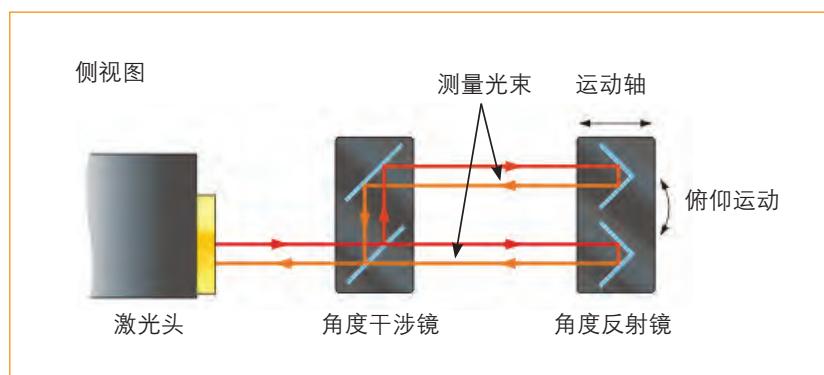
如需了解激光测量的各种应用说明，请访问Renishaw.com.cn

XR20 无线型回转轴校准装置

回转轴测量

测量原理

XR20 无线型回转轴校准装置安装在被测轴上，通过与雷尼绍激光测量系统配合使用，对回转轴进行校准，可提供极高的精度和重复性。



使用激光干涉仪、角度干涉镜和角度反射镜测量XR20校准装置的角度位置。软件将XR20的角度位置与激光头和角度光学镜组的读数合并在一起，从而显示被校准轴的真实位置。

测量配置

第1步：

将回转轴移到零位

第3步：

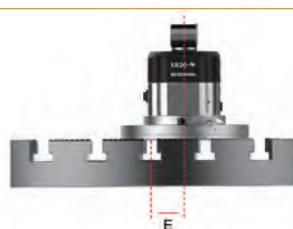
旋转XR20的角锥反射镜，
以检查激光光束准直

第2步：

在回转轴上准直XR20
对于XL-80, $E \leq \pm 1.0 \text{ mm}$
对于XM系统, $E \leq \pm 0.25 \text{ mm}$

第4步：

校准光学设定



测量分析



校准前



校准后

所需测量组件：

- XL-80激光头
- 角度干涉镜光学镜组
- XR20无线型回转轴校准装置

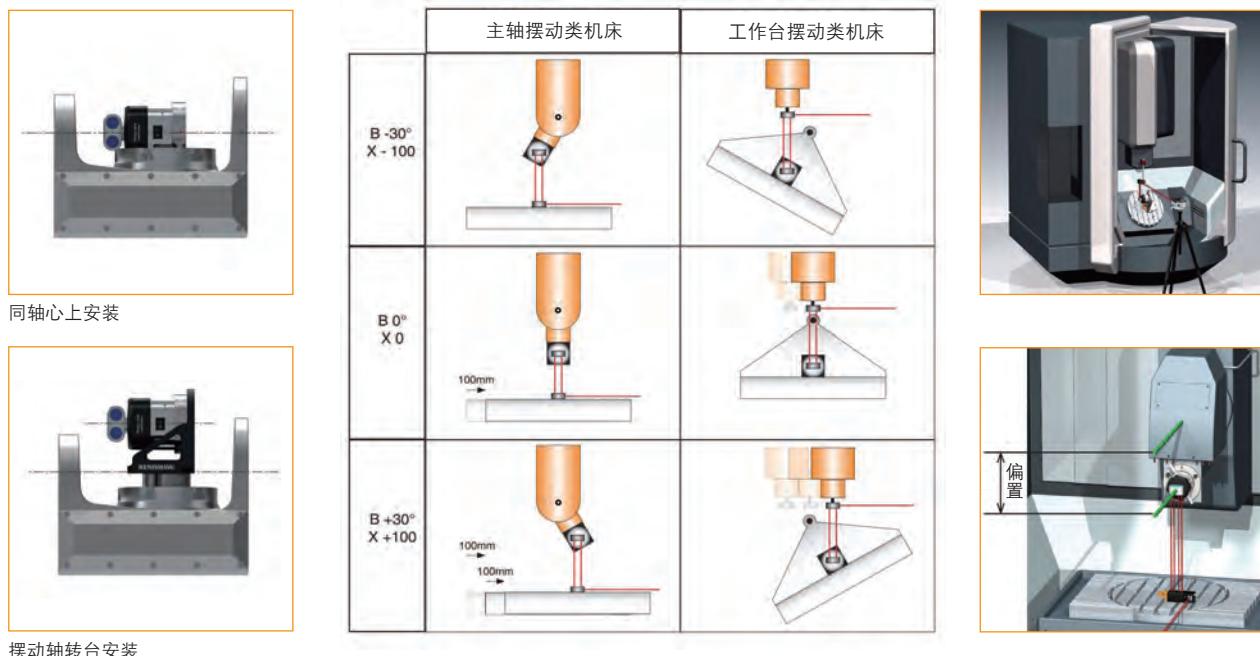
摆动轴转台测量

测量原理

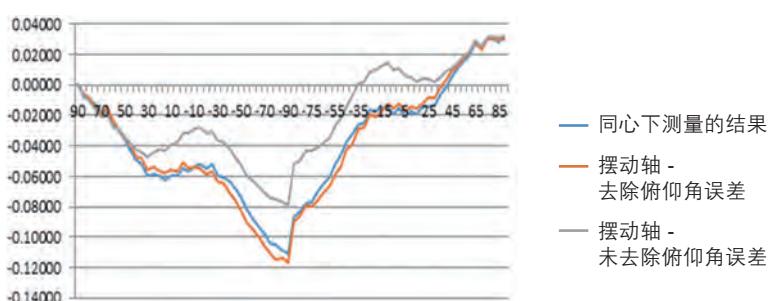
摆动轴转台测量的原理是，将回转轴和线性轴运动同步，使激光测量光束在整个测试中保持准直。在摆动轴测量过程中，因为线性轴处于运动状态，所以XR20获得的值可能会包含来自线性轴的额外角度误差（例如，俯仰角）。分别测量这些角度误差（使用XL-80和角度光学镜组），并将这些误差从回转轴的初始结果中移除。最终获得的一组数据将只反映回转轴本身的误差。

测量配置

通过回转轴和线性轴的同步运动，可以保持激光系统的信号强度，从而在XR20安装在偏离轴中心线的位置的情况下，执行回转轴校准。



测量分析



所需测量组件:

- XL-80/XM-60激光头
- 角度测量光学镜组
(仅限XL-80激光干涉仪)
- XR20无线型回转轴校准装置
- XR20摆动轴转台90度支架

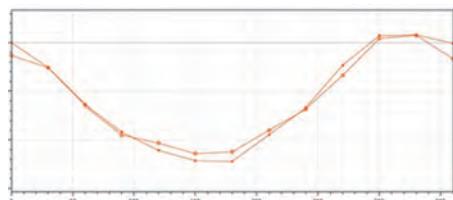
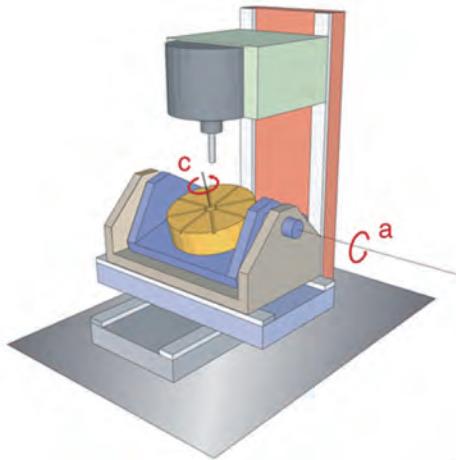


测试图详解

回转轴定位误差

实际旋转位置与机床控制器指示的位置不同。

表明定位系统出现问题，并会导致机加工特征的位置不正确。

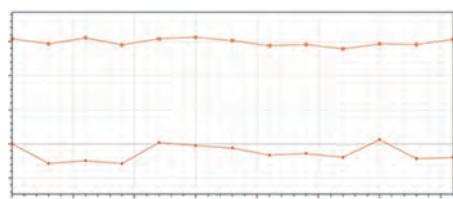


偏心率

偏心率是圆光栅的中心与机器轴的旋转中心之间的差值。

轴承跳动导致光栅测量的角度位置发生变化。

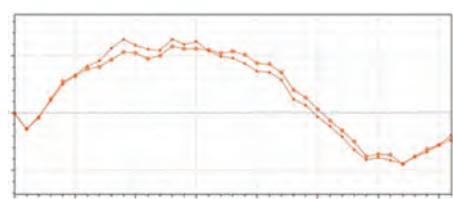
XR20的设定误差。回转轴重合但不平行。为使产生的误差小于±1角秒，须确保 $E < 0.025^\circ$ 。



反向间隙

机器的轴承中可能存在间隙，导致当机器驱动方向发生变化时，出现运动跳跃。

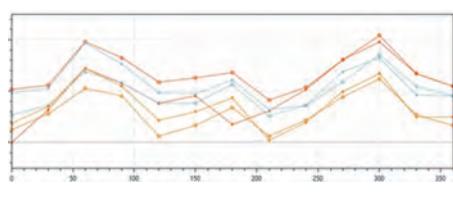
检查控制器反向间隙补偿参数的设置是否正确。检查机器是否受到光栅滞后现象的影响。



曲线

旋转过程中出现轴跳动，导致光栅系统的性能发生变化。

当安装着圆光栅的几何轴线相对回转轴存在倾斜时，会产生偏摆误差。



单次/多次重复

旋转过程中出现轴跳动，导致光栅系统的性能发生变化。

由于超过安装螺钉的螺钉扭矩，光栅系统发生局部变形。

齿轮、蜗杆或驱动系统故障。

QC20 球杆仪系统

测量原理

理论上，如果数控机床的位置性能优异，那么机床运行的圆轨迹应该与编程设定的圆轨迹完全吻合。

在实际应用中，上述各种误差都可能导致被测圆的半径偏离预设定的圆。如果精确地测量实际的圆轨迹，并将其与设定轨迹进行比较，就可以对机床性能作出评估，这是雷尼绍QC20球杆仪的基础。QC20是机床性能快速诊断的行业标准。



X、Y和Z轴上的理想圆轨迹可确保优异的机床位置性能



利用QC20球杆仪，无需移动中心座即可对三个互相垂直的平面执行测试，对其中两个平面进行 220° 部分圆弧测试，对第三个平面进行 360° 整圆测试。

Ballbar20软件能够生成独特且全面的诊断报告，可快速诊断机床性能。根据每项误差对机器整体性能的影响程度，对误差（包括误差值）进行排序。



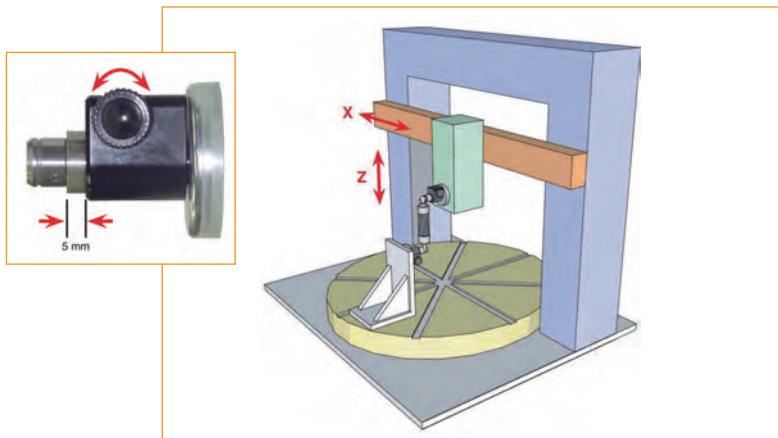
系统概述



QC20球杆仪系统附件

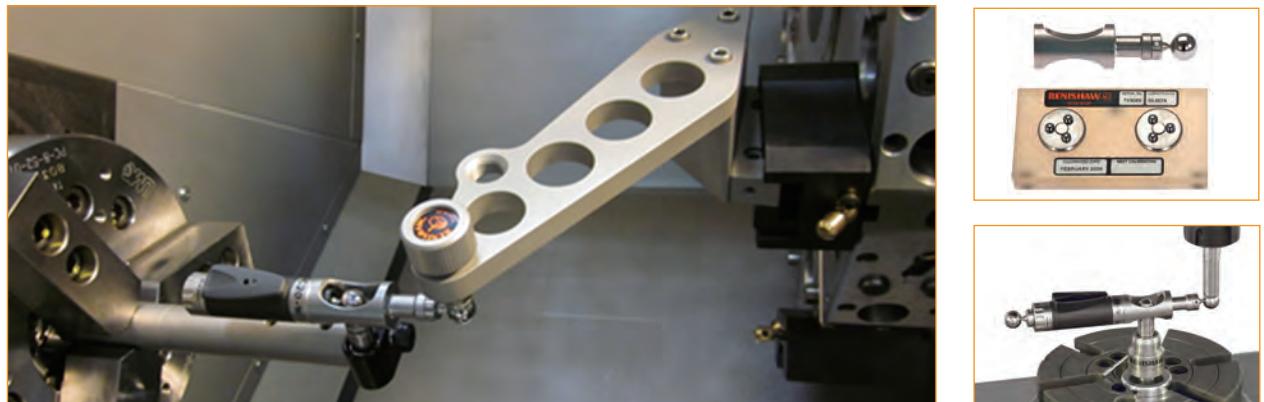
VTL（立式车床）适配器

VTL适配器可用于二轴CNC应用。它取代了标准设定中的“工具杯”，并将中心球碗的运动限制在单条轴。因此，典型的二轴机器（例如，立式车床和激光切割机等）也可以使用QC20球杆仪进行测量分析。



小圆组件

小圆组件与QC20球杆仪配合使用，可进行50 mm半径测试。如果被测机器的轴行程较短，或需要重点测试机器伺服效果和动态误差，则非常适合使用小圆组件（它要求较高的机器加速度和减速度）。



车床组件

使用车床组件，您可以在车床上进行 360° 的100 mm半径的球杆仪测试。该组件包括一个连接车床刀架的刀臂组件和一个连接车床主轴的主轴杆。刀臂和主轴杆均包括固定球杆仪的磁力碗座；刀臂中的磁力碗座相当于通用组件设定中的工具杯；主轴杆中的磁力碗座相当于中心支座组件/中心球碗。



球杆仪校准规

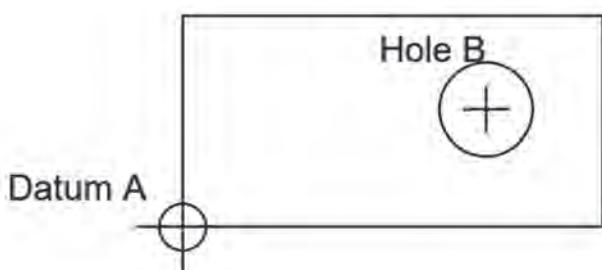
与校准规一起使用时，QC20球杆仪可以计算轴比例缩放和径向偏差值的绝对误差（而不是相对误差），用于ISO 230-4和ASME B5.54/57分析。此外，Ballbar软件还会自动计算被测机器的位置公差。



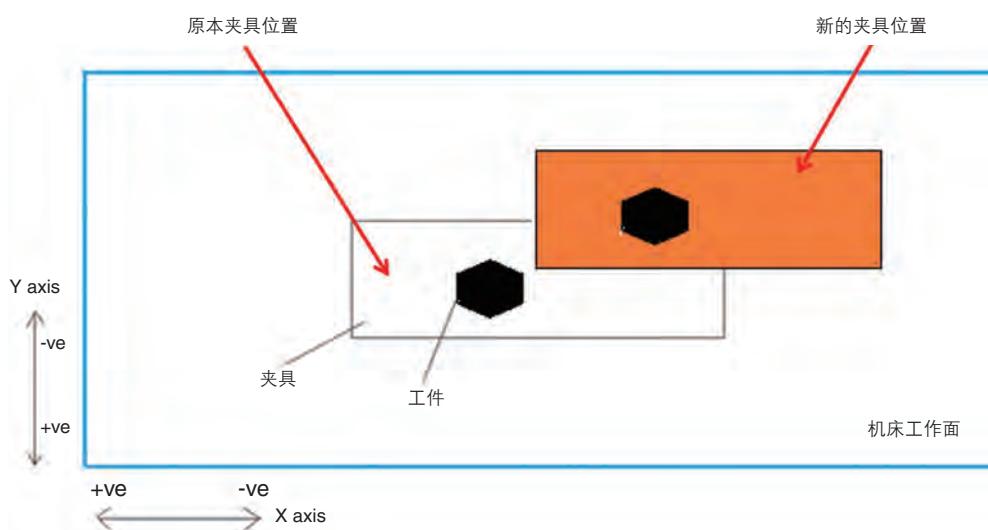
根据位置公差的大小确定最佳夹具位置

球杆仪位置公差结果与工程图上的位置公差的定义方式相同。

例如，假设图纸上的一个圆心（孔B）被定义为相对于其他圆心或基准（基准A）具有 $100 \mu\text{m}$ 的位置公差。它表示该圆心的实际位置（相对于基准）将落入直径为 $100 \mu\text{m}$ 的以标称位置为中心的公差圆内。

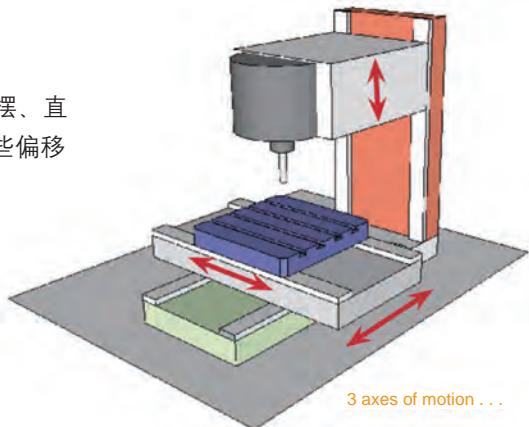


根据位置公差结果，可以确定工件的新夹具位置。

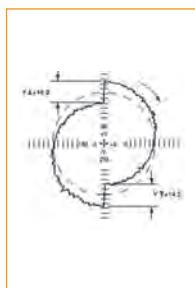


测试图详解

典型的三轴机床有21个自由度（包括线性定位、俯仰、扭摆、直线度、滚摆和各轴之间垂直度等与理论值之间的偏移量）。这些偏移量会对机床的整体位置精度和零件加工精度造成不利影响。



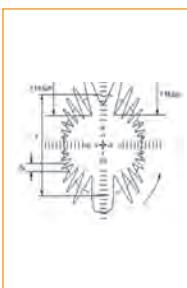
反向间隙



在机器的驱动系统中可能存在间隙。通常是由滚珠丝杠端部浮动或驱动螺母磨损所致。

可利用控制器反向间隙补偿参数设置对机器中存在的反向间隙进行补偿。

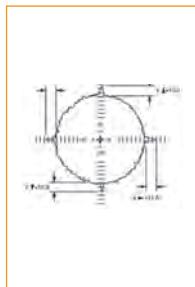
周期误差



该问题可能由以下因素所致：
光栅安装可能存在偏心；滚珠丝杠安装可能存在偏心；变速器或同步感应器未调整好。

调整滚珠丝杠、光栅的安装或平衡机构，以消除周期误差。

反向跃冲



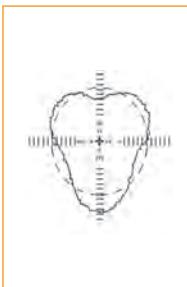
轴驱动电机在轴反向跃冲点施加的扭矩不足；

机器在进行反向间隙补偿时，伺服响应时间不足；

伺服换向点处的伺服响应很差。

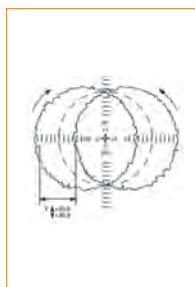
控制器具有滤除过大的奇点数据的能力，可以限制反向跃冲的影响。

直线度



直线度误差是由于机器导轨不直而引起的。导轨可能存在局部弯曲或整体准直偏差的情况。

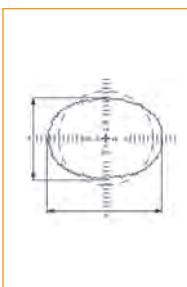
横向间隙



横向间隙主要是由于机器导轨中存在间隙或斜率所致。这会使机器轴在反向时垂直于导轨方向的移动。

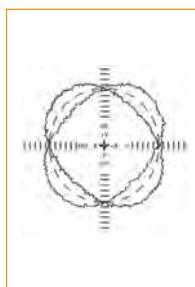
请调整或更换机器导轨，以消除任何间隙或斜率。

比例缩放误差



机器上的某条轴，相对于其他轴，行程过长或过短。该问题可能由以下因素所致：线性误差补偿参数不正确；轴上钢带尺拉得过紧或过松；轴的滚珠丝杠可能出现故障或过热，导致丝杠螺距误差；机器可能存在角度误差。

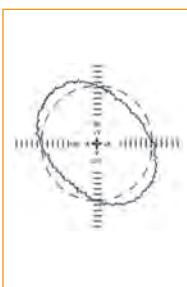
伺服不匹配



轴间伺服环增益不匹配。这会导致一条轴超前于另一条轴，因而出现椭圆图形。

通过调整机器控制器，使轴间伺服环增益平衡。可调高滞后轴的增益，也可调低超前轴的增益。

垂直度



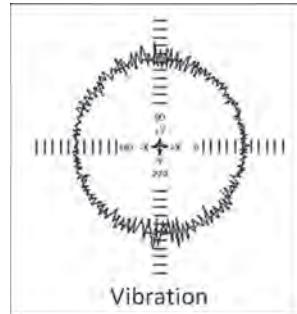
垂直度误差是指在机器上的被测位置，机器的X轴和Y轴相互间不为90°。

垂直度误差为正值表示两轴正向夹角超过90°。

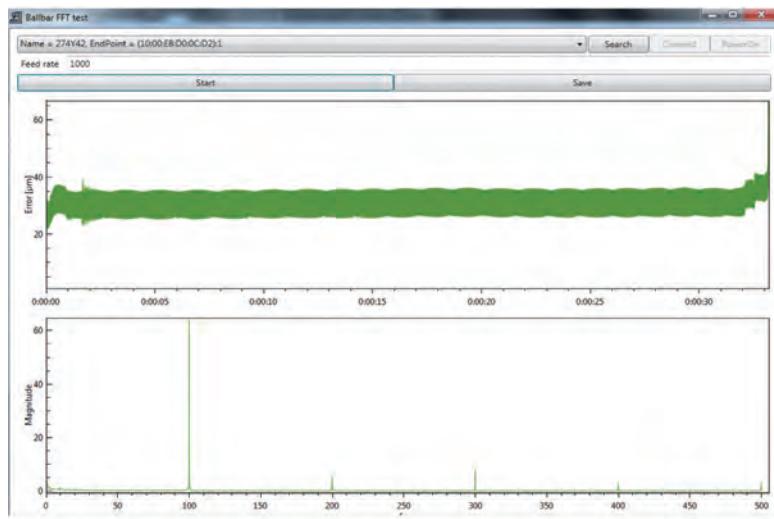
机器振动

图中显示存在不均匀的噪声分布。在数据采集过程中，当振动方向与球杆仪相同时，将出现最大噪声幅度。尽管沿圆周的噪声幅度不尽相同，但其频率不变。

机器上存在振动。振动有可能由机器自身产生（由传动系统、伺服环作用或损坏的滚柱引入），也可能由周围环境引入（通过地面振动）。需要再次测试，如关闭冷却泵后进行测试，以识别确切的振动源。



球杆仪FFT分析



识别出振动源以后，可采取必要的措施来解决振动，包括可能需要更换机器部件。借助雷尼绍激光干涉仪和动态软件来测试机器，可以更加准确、深入地评估机器振动。

球杆仪机床评级

- 集中存储和分析
- 分析功能可显示上传至数据库的所有文件
- 可配置合格/不合格公差范围，并了解可改进哪些机器。
- 导出CSV文件，用于数据分析



球杆仪SDK

球杆仪SDK为用户提供了一个简单的接口，以便通过QC20球杆仪设备与自定义软件进行通信。

```
C:\Wilson\Calibration\Product\QC20-W\QC20 API\BallbarApi\C# Exam
Searching...
Found devices
140033
Enter device serial number: 140033
Using Address (10:00:E8:C1:88:E1):1
Connect ballbar...
None
Enter the number of seconds to record: 1
Recording 1 secs...
Number of samples = 1000
PoweredDown
Reading 0 : -0.534443227315182
Reading 1 : -0.53396397179848
Reading 2 : -0.533424811577099
Reading 3 : -0.5324555997104
Reading 4 : -0.53246531029776
Reading 5 : -0.531867250794698
Reading 6 : -0.531447910869219
Reading 7 : -0.530988761625342
Reading 8 : -0.530669235282184
Reading 9 : -0.530070895688962
Reading 10 : -0.5293530946439254
Reading 11 : -0.529051799608154
Reading 12 : -0.528397262818555
Reading 13 : -0.527973434635947
Reading 14 : -0.527434308475097
Reading 15 : -0.52665555245757
Reading 16 : -0.52617632982592
Reading 17 : -0.525577308634037
Reading 18 : -0.524978274388467
```

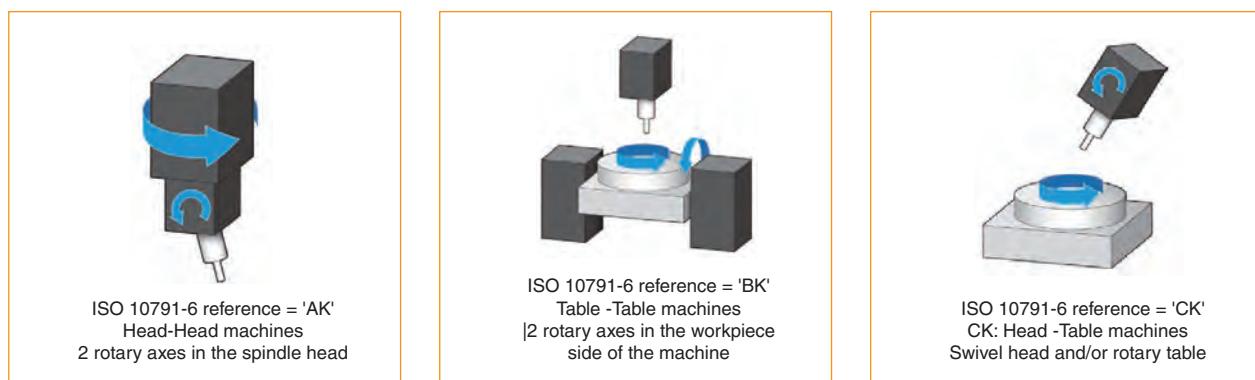
如需了解激光测量的各种应用说明，请访问Renishaw.com.cn

使用QC20球杆仪执行ISO 10791-6标准测试

ISO 10791-6标准用于验证四轴和五轴机器（具有三个线性轴和一个或两个回转轴的机器）的运动精度。测试时，通过同时移动三个传统的笛卡尔轴和一个或两个回转轴，可验证直线和圆轨迹的轮廓加工精度。



测试被分成三组，按照待测机器的“构成”来定义。这些测试分别称为AK、BK和CK。



测量组件



测量要求

| AK machine type | BK machine type | CK machine type |
|--------------------|--------------------|-----------------|
| AK1 - X, Y, Z | BK1 - X, Y, Z | CK1 - X, Y, Z |
| AK2 - X, Y, Z | BK2 - X, Y, Z | CK2 - X, Y, Z |
| AK3 - 10/30, 30/90 | BK3 - 10/30, 30/90 | CK310/30, 30/90 |
| AK4 - X, Y, Z | BK4 - X, Y, Z | CK4 - X, Y, Z |
| AK5 - X, YZ | - | - |

BK机器测量示例

您可以从雷尼绍网站下载基于宏程序的编程，并根据您的机器情况进行编辑。

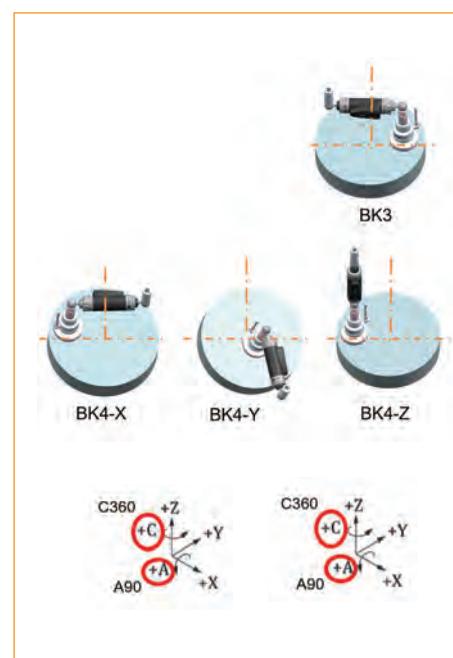
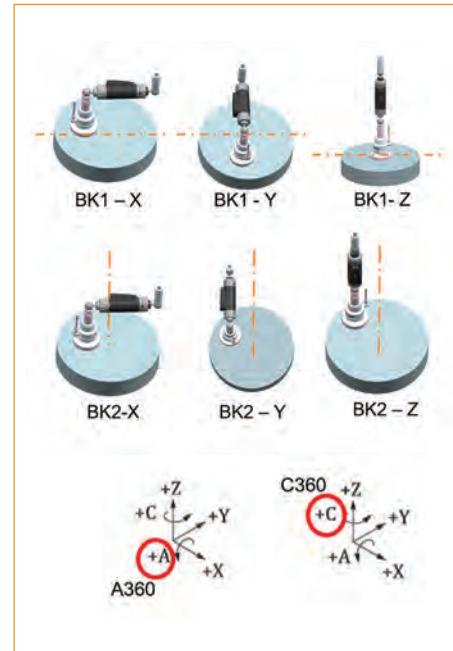
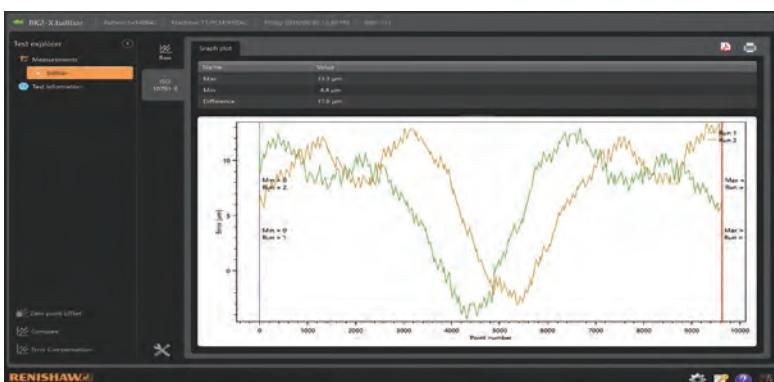
下图为一个简单的零件程序示例：

| G Code | Description |
|---------|---------------------------------|
| X101.5 | Liner start position from G54 |
| X100.0 | Feed-in 1.5 mm |
| G04X2 | Dwell 2 seconds |
| G43.4H1 | Enable TCP and call tool length |
| B90 | Rotate B axis 90 degrees |
| G49 | Disable TCP |
| G04X2 | Dwell 2 seconds |

机床控制器中启用和禁用刀具中心点的功能因制造商而异。下表列出了一些常见的制造商及用于生成零件程序的启用/禁用代码。

| Control type | TCP control function | Enable | Disable |
|-------------------|-------------------------------------|--------|---------|
| Fanuc 30 series | Tool Centre Point (TCP) | G43.4 | G49 |
| Siemens 840D | TRAORI | TRAORI | TRAFOOF |
| Mazak Matrix 2 | Tool Tip Point Control (TTPC) | G43.4 | G49 |
| Heidenhain TNC530 | Tool Centre Point Management (TCPM) | M128 | M129 |
| Haas UMC-750 | Tool Centre Point Management (TCPC) | G234 | G49 |

数据分析



如需了解ISO 10791-6测试的更多信息，请访问Renishaw.com.cn

AxiSet™ Check-up (回转轴心线检查工具)

AxiSet™ Check-Up (回转轴心线检查工具) 为回转轴中心的校正和位置性能检测提供了经济有效的解决方案。多轴加工中心与车铣复合中心的用户，现在可以快速确认并报告机床准直误差和几何量误差，而这些问题可能会增加辅助时间，甚至造成不合格工件。

AxiSet Check-Up 应用程序以图形方式报告机床性能，并可与用户定义的公差和历史数据进行比较。性能数据可以打印成标准化PDF报告，用于基准测试或参考，也可以导出为.csv文件，以便进一步分析。



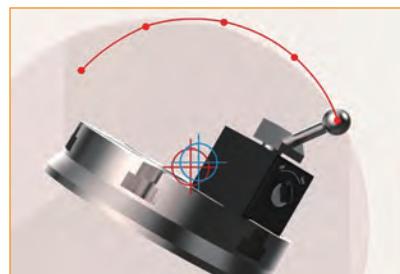
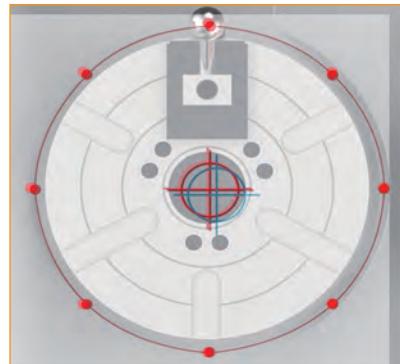
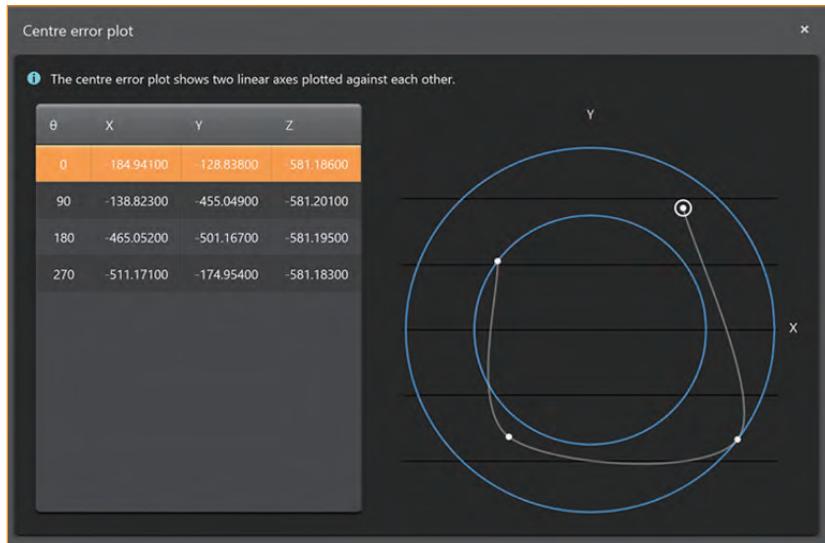
特性与优点

- 线性轴与回转轴中心之间的误差以及与车床中心线之间的误差，可通过逐点报告显示
- 提供建议的修正值，用于机床优化
- 自动更新和补偿回转轴中心误差
- 增强用户对关键特征尺寸加工的信心
- 避免意外停机，降低废品率，提高利润率
- 通过AxiSet Check-Up应用程序，以图形方式呈现性能分析
- 利用PDF报告生成和.csv文件导出功能，检查、跟踪及比较机床性能趋势曲线或图表



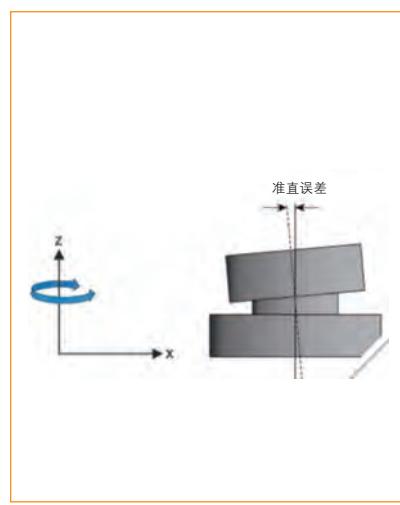
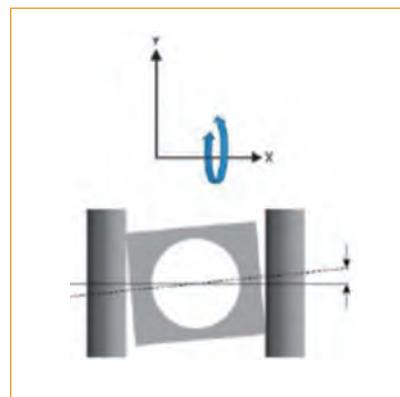
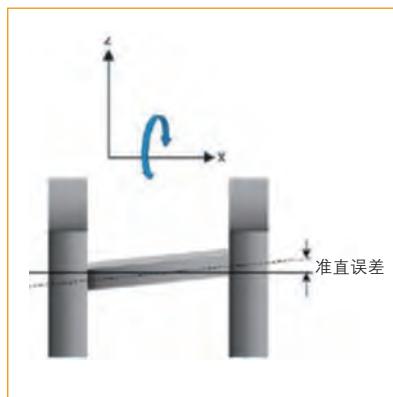
中心误差曲线图

中心误差曲线图显示了两条彼此相对变化的线性轴。生成中心误差曲线图的目的是，当在3+2或同步5轴模式下使用机床插补功能时，向用户展现将在试切削过程中生成的工件形状或轮廓的好坏。



准直误差曲线图

准直误差曲线图显示的是，一条随线性轴变化的回转轴，在不同回转位置的误差曲线。曲线图数据表示按比例绘制的实际机床数据，以展示跟踪性能。



测量数据

轴中心点误差是标称与实际被测中心之间的总误差。

X分量是第一条线性轴的轴中心点误差分量。

Y分量是第二条线性轴的轴中心点误差分量。

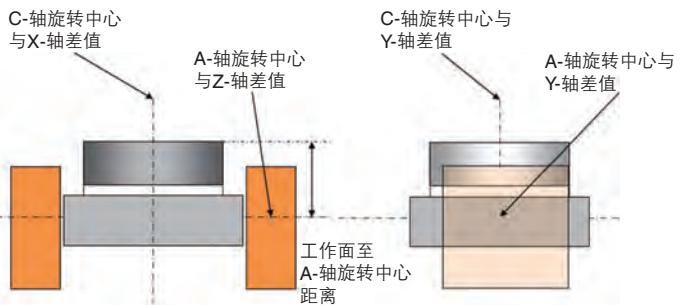
形状误差是根据轴分量值对数据进行最佳拟合后的余差。

路径误差（测试平面）是包括轴中心点误差和形状误差在内的所有测量误差的整体影响。

准直路径误差是静止轴的最大偏差。

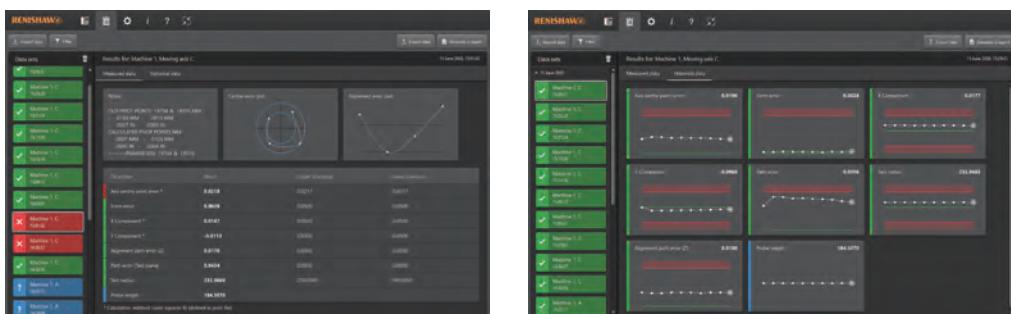


更新机床中心位置参数



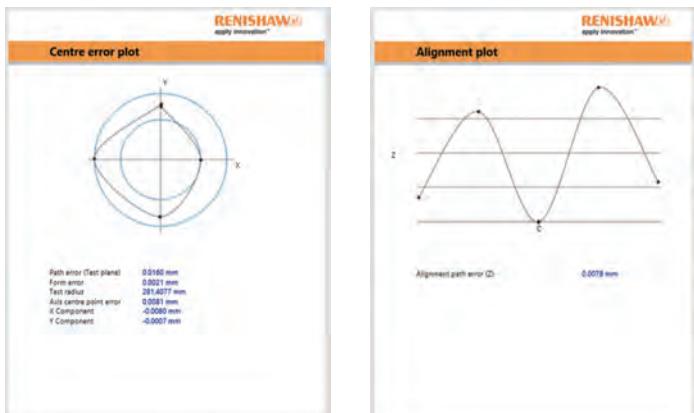
比较功能和历史记录功能

在历史数据屏幕中，可查看任意机床的检测结果的总体趋势。如果将校准硬件放置在机床内的相同位置，则通过历史数据功能可以对比机床性能随时间发生的变化。根据一段时间内的误差报告，可持续监控误差变化并与公差进行比较，从而识别趋势并跟踪事件（如严重碰撞等）。



生成报告

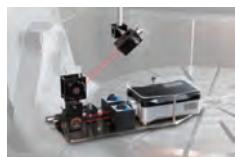
所有结果均可输出为PDF报告（包括关键测量数据图表），以便用于基准测试或参考。



系统组件和附件

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| RSU10 USB 接口 | 3 mm 光束角锥反射镜 | 光学聚焦镜组 | PK1 关节接头 |
| 工具杯 | 中心球碗 | 中心球 | 传感器球 |
| 小圆组件 | 车床适配器组件 | VTL 适配器组件 | 球杆仪校准规 |
| 部分圆弧组件 | 球碗螺钉组件 | 主轴芯棒组件 | 球杆仪系统便携箱 |
| 固定环 | 定心辅助工具 | 卡盘连接器 | XR20 磁体组件 |

产品选择指南

| 产品 | | XM-60 | XK10 | XL-80 激光干涉仪 | XR20 | QC20 | AxiSet™ |
|-------|--------------|-------|------|----------------|------|------|---------|
| 机器误差源 | 线性定位精度 | ● | | ● | | | |
| | 线性重复精度 | ● | | ● | | | |
| | 角度俯仰及扭摆 | ● | | ● | | | |
| | 直线度 | ● | ● | ● | | ● | |
| | 两轴之间的平行度 | | ● | ● | | | |
| | 两轴之间的平行直线度 | ● | ● | | | | |
| | 两轴之间垂直度 | | ● | ● | | ● | |
| | 表面的平面度 | | ● | ● | | | |
| | 多导轨平面度 | | ● | | | | |
| | 滚摆角量测 | ● | | | | | |
| | 回转轴角度定位精度 | | | | ● | | |
| | 反向间隙 | ● | | ● | | ● | |
| | 反向跃冲 | | | | | ● | |
| | 横向间隙 | | | | | ● | |
| | 周期误差 | | | | | ● | |
| | 比例误差 | | | | | ● | |
| | 伺服不匹配 | | | | | ● | |
| | 主轴方向 | | ● | | | | |
| | 同轴度 | | ● | | | | |
| | 回转轴中心位置误差 | | | | | | ● |
| | 回转轴准直误差 | | | | | | ● |
| | 回转轴机械误差 | | | | | | ● |
| | 床身热变型 | | | | | | ● |
| | FFT分析 | | | ● | | ● | |
| | ISO10791-6测试 | | | | | ● | |
| | 工作台移动过程中变形 | ● | | | | | |
| | 6个自由度误差评估 | ● | | | | | |
| | 空间精度 (动态) | | | | | ● | |
| | 空间精度 (体对角线) | | | ● | | | |

规格

XM-60多光束激光干涉仪

| 测量类型 | 轴向量程 | 测量范围 | 精度 | 分辨率 |
|-----------|--------------------|---------------------|---|---------|
| 线性 | 0 m至8 m | 0 m至8 m | ± 0.5 ppm (使用环境补偿) | 1 nm |
| 角度(俯仰/扭摆) | 0 m至8 m | ± 500微弧度 | ± 0.004A ± (0.5微弧度+0.11M微弧度) | 0.03微弧度 |
| 直线度* | 0 m至6 m | ± 50 μm ± 250 μm | ± 0.01A ± 1 μm ± 0.01A ± 1.5 μm | 0.25 μm |
| 滚摆* | 0 m至4 m 4 m至6 m | ± 500微弧度 | 0至4 m : ± 0.01A ± 6.3微弧度 4至6 m : ± 0.01A ± 10.0微弧度 | 0.12微弧度 |

注：精度值指标为95%的统计置信度 (k=2)。精度值不包括将材料温度归一化为20°C时与其有关的误差。

A = 显示的误差读数

M = 测量距离 (米)

* CARTO中的数据拼接功能支持超过6米时全部六个自由度的精确读数。

更多信息以及最佳应用和性能支持，请联系雷尼绍或访问 www.renishaw.com.cn/XM-60

XR20无线型回转轴校准装置性能规格

| 转台 (使用XL-80) | |
|--------------|------------------|
| 精度 | ± 1角秒 (在20° 时) |
| 分辨率 | 0.1角秒 |
| 范围 | 0° 至360° |
| 转台 (使用XM系统) | |
| 精度 | ± 1.2角秒 (在20° 时) |
| 分辨率 | 0.1角秒 |
| 范围 | 0° 至360° |

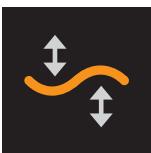
更多信息以及最佳应用和性能支持，请联系雷尼绍或访问 www.renishaw.com.cn/XR20

QC20球杆仪系统性能规格

| | |
|--------|---------------------|
| 精度 | ± (0.7 + 0.3% L) μm |
| 范围 | ± 1.0 mm |
| 最高采样速率 | 1000 Hz |
| 数据传输范围 | 10 m (典型值) |

更多信息以及最佳应用和性能支持，请联系雷尼绍或访问 www.renishaw.com.cn/qc20

XK10激光校准仪性能规格



直线度（发射器和M装置）

| | |
|-----|-------------------------------|
| 范围 | $\pm 5 \text{ mm}$ |
| 精度 | $\pm 0.01A \pm 1 \mu\text{m}$ |
| 分辨率 | 0.1 μm |

A = 显示的直线度读数 (μm)



垂直度

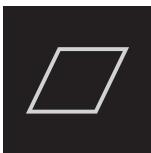
| | |
|------|---|
| 范围 | $\pm 5 \text{ mm}$ |
| 精度* | $\pm 0.01A/M \pm 2/M \pm 10 \mu\text{m}/\text{m}$ |
| 精度** | $\pm 0.01A/M \pm 2/M \pm 4 \mu\text{m}/\text{m}$ |
| 分辨率 | 0.1 μm |

A = 最远测量点的直线度读数 (μm)

M = (最短) 轴的长度 (m)

* 不含垂直度校准系数

** 含垂直度校准系数



平面度

| | |
|-----|--|
| 范围 | $\pm 5 \text{ mm}$ |
| 精度 | $\pm 0.01A \pm 1 \pm (1+1.1M) \mu\text{m}$ |
| 分辨率 | 0.1 μm |

A = 显示的直线度读数 (μm)

M = 到最远点的距离 (m)



平行度

| | |
|---------|--|
| 范围 | $\pm 5 \text{ mm}$ |
| 精度 (i) | $\pm 0.01A/M \pm 2/M \pm 4 \mu\text{m}/\text{m}^*$ |
| 精度 (ii) | $\pm 0.01A \pm 2 \pm 4M \mu\text{m}^*$ |
| 分辨率 | 0.1 μm |

* 激光系统到五棱镜的距离 > 0.3 m

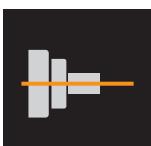
A = (最大) 直线度读数 (μm)

M = 轴长 (m)

(i) 在相关测量数值是导轨间的夹角时使用。

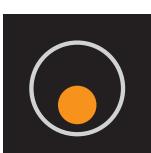
(ii) 在导轨间平行度为下列情况时使用：

- 指定作为与基准轴（例如主导轨）平行的两条平行线定义的公差带，被测轴线（例如次导轨）必须在此范围内
- 作为导轨间距的逐点变化（相对于两导轨最开始两个点的间距）



主轴方向

| | |
|----------|--|
| 范围 | $\pm 5 \text{ mm}$ |
| 精度（垂直方向） | $\pm 3 \mu\text{m} / 300 \text{ mm}$ |
| 精度（水平方向） | $\pm 1.5 \mu\text{m} / 300 \text{ mm}$ |
| 分辨率 | 0.1 μm |



同轴度（轴对中准直）

| | |
|--------|--------------------------------------|
| 范围 | $\pm 5 \text{ mm}$ |
| 精度（角度） | $\pm 1 \mu\text{m} / 100 \text{ mm}$ |
| 精度（偏置） | $\pm 1 \mu\text{m}$ |
| 分辨率 | 0.1 μm |

更多信息以及最佳应用和性能支持，请联系雷尼绍或访问 www.renishaw.com.cn/xk10

XL-80激光系统性能规格

线性

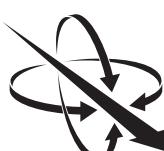


| 规格 | 公制 | 英制 |
|----------------------|-------------------------|----------------|
| 线性测量长度范围* | 0 m – 80 m | 0 in – 3200 in |
| 测量精度 (利用XC-80补偿器) | ±0.5 ppm (±0.5 µm/m) | |
| 分辨率 | 0.001 µm | 0.1 µin |

* 0 m - 40 m (标准)。

线性 (上述) 和其他测量模式的性能规格的置信度达到95% ($k = 2$)。并在整个环境工作范围内有效。

角度

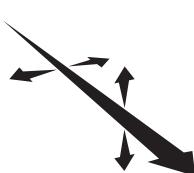


| 规格 | 公制 | 英制 |
|--------------------|--|---|
| 轴向量程 | 0 m - 15 m | 0 in - 590 in |
| 角度测量范围 | ± 175 mm/m | ± 10° |
| 角度精度 角度精度 (已校准) | ±0.002A ±0.5 ±0.1M微弧度 ±0.0002A ±0.5 ±0.1M微弧度* | ±0.002A ±0.1 ±0.007F角秒 ±0.0002A ±0.1 ±0.007F角秒 |
| 分辨率 | 0.1 µm/m | 0.01角秒 |

* 温度范围: 20 °C ±5 °C

A = 显示的角度读数 M = 以米计的测量距离 F = 以英尺计的测量距离

直线度



| 规格 | 公制 | 英制 |
|---------------------|--|--|
| 轴向量程 (短距离) (长距离) | 0.1 m - 4.0 m 1 m - 30 m | 4 in - 160 in 40 in - 1200 in |
| 直线度测量范围 | ± 2.5 mm | ± 0.1 in |
| 精度 (短距离) (长距离) ‡ | 0.005A ±0.5 ±0.15 M² µm ±0.025A ±5 ±0.015 M² µm | ±0.005A ±20 ±0.5 F² µin ±0.025A ±200 ±0.05 F² µin |
| 分辨率 (短距离) (长距离) | 0.01 µm 0.1 µm | 1 µin 10 µin |

A = 显示的直线度读数

M = 以米计的测量距离; F = 以英尺计的测量距离

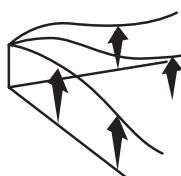
‡ 视环境条件而定

旋转



| 规格 | 公制 | 英制 |
|---------------|-----------------|------|
| 角度目标量程 | 达25转 | |
| 测量精度 (0° 时为零) | ±5 μm/m | ±1角秒 |
| 轴最高 转速 | <5°轴旋转 — 无限制 | |
| | >5°轴旋转 — 10 rpm | |
| 蓝牙 范围 | 通常为5 - 10米 | |
| 方向 | 任意 | |

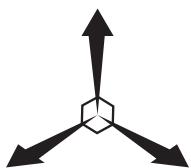
平面度



| 规格 | 公制 | 英制 |
|---------|------------------------------|-------------------------------------|
| 轴向量程 | 0 m - 15 m | 0 in - 590 in |
| 平面度测量范围 | ± 1.5 mm | ± 0.06 in |
| 精度 | ±0.002A ±0.02 M ² | μm ±0.002A ±0.08 F ² μin |
| 分辨率 | 0.01 μm | 1 μin |
| 桥板跨距 | 50 mm、100 mm和150 mm | 2 in、4 in和6 in (大约) |

A = 显示的平面度读数 / M = 以米计的对角长度 / = 以英尺计的对角长度

垂直度



| 规格 | 公制 | 英制 |
|-------------------|---|---|
| 范围 | ± 3/M mm/m | ± 2000/F角秒 |
| 精度 (短距离) (长距离) | ± 0.005A ± 2.5 ± 0.8 M微弧度 ± 0.025A ± 2.5 ± 0.08 M微弧度 | ± 0.005A ± 0.5 ± 0.05 F角秒 ± 0.025A ± 0.5 ± 0.005 F角秒 |
| 分辨率0 | 0.01 μm/m | 0.01角秒 |

A = 显示的垂直度读数
M = 以米计的最长轴测量距离: F = 以英尺计的测量距离

更多信息以及最佳应用和性能支持，请联系雷尼绍或访问 www.renishaw.com.cn/XL-80

参考信息

分析标准

除了一系列专有的雷尼绍分析方法外，还可以按照一些国际标准对采集的数据进行分析。

该软件支持的主要国际标准如下：

| | |
|--------------|--------------|
| ASME B5.54 | ISO10791-4 |
| GB/T 17421.2 | JIS B 6190-2 |
| GB/T 17421.4 | JIS B 6192 |
| ISO 230-2 | VDI 2617 |
| ISO 230-4 | VDI 3441 |
| ISO 10791-6 | |

CARTO软件能够执行以下分析：

- 线性分析
- 角度分析
- 直线度分析
- 垂直度分析
- 线性平行度分析
- 旋转平行度分析
- 动态分析
- 回转轴分析
- 角度转直线度分析

分析功能

- 数据比较
- 去除斜率
- 对多次数据运行结果求平均值
- 应用零位偏置
- 添加公差带
- 查看线性定位误差或误差随时间的变化

相关国际标准网站标准

| | |
|------|--|
| ISO | www.iso.org |
| GB | std.samr.gov.cn |
| BS | www.bsigroup.com |
| ASME | www.asme.org |
| VDI | www.vdi.de |
| JIS | www.jsa.or.jp |

重新校准

雷尼绍采用公司内部的经过认证的碘稳频激光校准系统和经NAMAS认证的环境测量设备，对所有激光系统进行校准，校准结果可溯源到英国国家物理实验室（NPL）。雷尼绍校准产品已获得下列国家标准组织网络的认可：NIST（美国）、NPL（英国）、NIM（中国）、LNE或ETCA（法国）、IMGC（意大利）、NRLM（日本）、PTB（德国）。



关于产品重新校准事宜，您可以联系当地的雷尼绍分支机构。我们设在英国、美国（具有NPL溯源性）和德国（具有PTB溯源性）的校准机构将提供产品重新校准服务。

美国的校准机构是通过ISO17025认证的美国实验室认可协会（A2LA）会员。



服务中心位置

英国、美国、德国、日本、中国上海

对于雷尼绍各种校准产品，建议的重新校准周期如下：

| | |
|----------------|------|
| XM-60多光束激光干涉仪 | 2年 |
| XK10激光校准仪 | 2年 |
| XL-80激光干涉仪 | 3年 |
| XR20无线型回转轴校准装置 | 3年 |
| XC-80补偿器和传感器 | 12个月 |
| QC20球杆仪 | 12个月 |

应用创新，始于1973

雷尼绍是世界领先的工程科技公司之一，在精密测量和医疗保健领域拥有专业技术。

我们遍布世界各地的子公司及经销商竭诚为全球客户提供产品和服务。



扫描关注雷尼绍官方微信

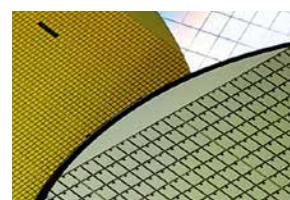
我们涉足的主要领域包括：



航空航天



汽车



电子



能源



重工业



医疗保健



精密制造



科研分析

www.renishaw.com.cn/calibration

#雷尼绍

© 2011-2023 Renishaw plc。版权所有。RENISHAW®和测头图案是Renishaw plc的注册商标。
Renishaw产品名、型号和“apply innovation”标识为Renishaw plc或其子公司的商标。
其他品牌名、产品名或公司名为其各自所有者的商标。

Renishaw plc 在英格兰和威尔士注册。公司编号：1106260。注册办公地：New Mills, Wotton-under-Edge, Glos, GL12 8JR, UK。
在出版本文时，我们为核实本文的准确性作出了巨大努力，但在法律允许的范围内，无论因何产生的所有担保、条件、声明和责任均被排除在外。

Issue date: 03.2023

文档编号: H-1000-0056-01-D

上海 T +86 21 6180 6416 E shanghai@renishaw.com 天津 T +86 22 8485 7632 E tianjin@renishaw.com 青岛 T +86 532 8503 0208 E qingdao@renishaw.com
北京 T +86 10 8420 0202 E beijing@renishaw.com 成都 T +86 28 8652 8671 E chengdu@renishaw.com 西安 T +86 29 8833 7292 E xian@renishaw.com
广州 T +86 20 8550 9485 E guangzhou@renishaw.com 重庆 T +86 23 6865 6997 E chongqing@renishaw.com 宁波 T +86 574 8791 3785 E ningbo@renishaw.com
深圳 T +86 755 3369 2648 E shenzhen@renishaw.com 苏州 T +86 512 8886 5539 E suzhou@renishaw.com 郑州 T +86 371 6658 2150 E zhengzhou@renishaw.com
武汉 T +86 27 6552 7075 E wuhan@renishaw.com 沈阳 T +86 24 2334 1900 E shenyang@renishaw.com