

PI 是怎么测量的 - 第 I 部分

测量环境/测量设备系列/数据评价



对于 PI，定位和运动系统的每一项测量和鉴定都是质量保证的工具。这确保了所有出厂的产品均符合保证的规格。高精度测量对于所有运动和定位系统的验证以及最终检验和批准检查都是必需的。测量环境的选择和测量设备的设置均适应相应产品线的要求。

所需的分辨率、测量精度、公差和采样率是选择的标准。此外，测量装置随时间的稳定性同样起着决定性的作用，并且针对避免漂移效应提出了特殊要求（例如在采用适当的温度和振动隔离时）。

1 测量环境

1.1 测量实验室

在被动地隔离振动的蜂窝台上进行精确测量。每间测量室的地基依次与建筑物的其他部分隔离，因此抑制了地震影响。所有测量实验室都装有空调设备。

位于卡尔斯鲁厄的 PI 总部设有 15 个总面积为 750 平方米的专用测量实验室。五个带有上游区域的测量实验室用于初步温度调节，并采取特殊的地震、电磁和热隔离保护措施，从而确保了 24 小时内的温度稳定性始终优于 0.25 开尔文。这使得精确测量可以达到皮米范围。只有在这种条件下才能实现位置稳定性的长期测量。



Fig. 1 查看具有六重隔离的纳米计量实验室。在受控的环境条件下全自动执行测量。

	测量实验室的数量	空调和简单的地震基础隔离	多个地震、声学 and 热基础隔离
VC 分类*		VC-D、VC-E、VC-F、VC-G	VC-G、VC-H、VC-I
	5	276 平方米	82 平方米
	10	481 平方米	-

Fig. 2 可用于测量的实验室。

*每个房间的 VC 分类都各不相同。简单的减震室实现了 VC-D 至 VC-G 的等级。这对应于 1 至 100 赫兹频率范围内小于 6.25 微米/秒的最大振动。多个减震室实现了 VC-F 至 VC-I 的等级。这对应于 1 至 100 赫兹频率范围内小于 0.78 微米/秒的最大振动。

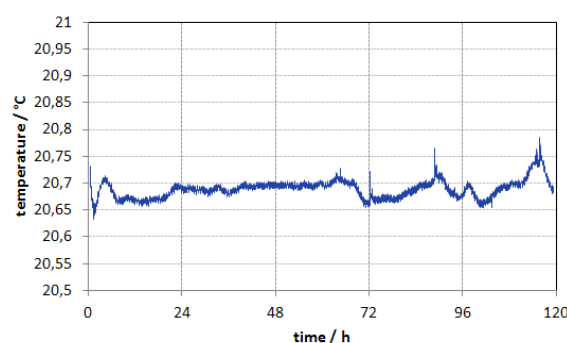


Fig. 3 测量室在数天内的温度稳定性

1.2 生产环境中的测量技术

在（大型）批量生产中，直接在生产环境中进行大部分测量。这允许快速检测流程中的偏差，从而有助于杜绝不合格产品或重新加工的成本。

为此，PI 开发了全自动和半自动测量和测试站，在生产中使用它们之前，可以借助于测量系统分析验证其适用性（“量具重复精度和重现性”）。



Fig. 4 用于大批量生产的半自动测试站的视图

1.3 专门设计的环境条件下的测量能力概述

在设备齐全的应用实验室中，可以在特定的环境条件下进行很多项测量。

基准压力为 10-11 百帕的真空室可以执行功能测试和残余气体分析。根据应用，不仅压力区域是决定性的，而且真空室内的允许残留材料也是决定性的，例如在结晶学或光学镀膜中。

用于测量可达 77 开尔文温度（氮气冷凝点）的低温室允许在极低温度下进行启动和功能检查。

在这些特殊条件下，甚至可以进行长期检查和使用寿命测试。

特殊环境条件			
测量设备	温度范围	湿度范围	试验室容积
气候室	-72 至+180 摄氏度	10 ... 95% 相对湿度	190/275 升
低温室	77 至 300 开尔文温度	-	21.2 升
真空室	20 至约 70 摄氏度	-	98/106 升
手套箱	-	约百万分之 5	748 升

1.4 专用设备

负载能力为 5000 千克的提升和倾斜设备允许在特定于应用的对准和负载的任何角度验证定位系统。

一个限定为两吨的六足位移台假设可以安全地装载高达五吨的质量进行测量。在重载车间，三龙门起重机跨越工作区，升降并运输定位系统的组件。



Fig. 5 在卡尔斯鲁厄的 PI，提供了专门用于根据应用测量或检验产品的提升和倾斜设备。在该图中，示出了正在干涉测量带负载的六足位移台

2 测量设备

所有测量设备都需要重新校准，因此可以在最小的不确定性下进行适当的测量。这意味着所得到的测量值与实际值始终相互对应，并且可以根据国家和国际标准进行重现。在高分辨率、短测量时间和非接触、无磨损测量特别突出的情况下，经常使用干涉测量系统。

并非所有位置都有针对每种分辨率的测量设备。

2.1 测量设备视被测对象而定

长度/路径			
测量设备	测量原理	分辨率/DPMI	量程
触觉测量传感器	感应 (增量)	达 5 纳米	达 50 毫米
激光干涉仪	光学 (增量)	达 0.151 纳米	达 10 米
测振计	光学 (多普勒效应)	2 纳米	40 毫米
多传感器测量机	光学和触觉	0.1 微米	300 毫米 × 300 毫米 × 160 毫米
CNC 坐标测量机	带玻璃标尺的增量传感器	0.1 微米	900 毫米 × 1800 毫米 × 800 毫米
PISeca	电容传感器	0.001% 的行程	达 100 微米

角度			
测量设备	测量原理	分辨率/DPMI	量程
激光干涉仪	光学 (增量)	达 34 纳弧度	± 0.11°
自准直仪(AKF)	光学 (自准直)	达 0.05 角秒	± 0.29° (高达 ± 2.3°)
角度测量设备/旋转编码器	增量	达 0.4 角秒	360°

速度			
测量设备	测量原理	速度分辨率	V _{max}
激光干涉仪	光学 (增量)	达 10 纳米/秒	高达 4 毫米/秒
测振计	光学 (多普勒效应)	达 0.005 微米/秒	高达 10 毫米/秒

表面光洁度/表面平面度			
测量设备	测量原理	分辨率/DPMI	量程
白光干涉仪	光学 (增量)	λ/25	80 毫米 × 80 毫米
白光干涉仪	光学 (扫描白光干涉测量)	达 1 纳米 用于光滑表面	Z=70 毫米 X=38 毫米 Y=28 毫米

激光扫描显微镜	光学		X=100 毫米 ; Y=100 毫米 ; 1 倍-8 倍物镜
---------	----	--	---------------------------------

偏心度/摆动			
测量设备	测量原理	分辨率/DPMI	量程
静态主轴分析仪	电容式	80 微伏/微米	低值±125 微米 高值±6.5 微米

3 评估测得的数据

DIN ISO 230-2 和 VDI/DGQ 3441 标准是鉴定 PI 产品和评估被测量对象的基础。

始终可以针对每件产品验证鉴定数据。测得的数据在数据库中编译并用于流程控制。产品级别的可追溯性对于大型生产运营尤为有用。

许多系统（如六足位移台或压电系统）都提供有测量日志。因此，客户可以在调度系统前通过测量的数据对系统性能进行验证，同时查看哪些系统组件属于一个整体。

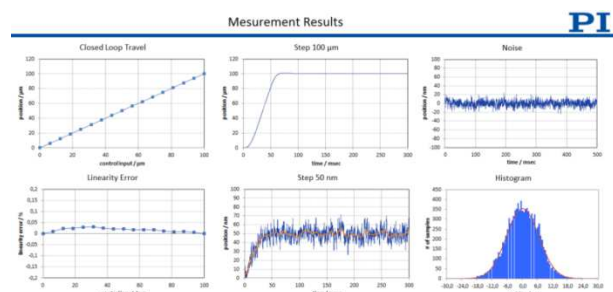


Fig. 6 测量日志中显示压电系统的线性度和脉冲响应的典型被测对象

3.1 获取测量数据和统计流程控制

系统自动实时传输测量数据并将其保存在数据库中，然后在基于 Web 的用户界面上实现可视化。通过 Web 浏览器访问控制图和分析工具。技术专家可以立即访问所有流程数据，并且可以在必要时立即进行干预。

- 测量后自动保存测得的数据
- 在控制图中实时显示测得的值
- 实现最大流程控制的多控制图
- 动态计算警告和干预限制
- 下载原始数据和客户日志
- 计算流程能力 Cpk 水平
- 用于流程分析和优化的帕累托图
- 检查两个被测对象依赖性的相关图
- 多种导出功能

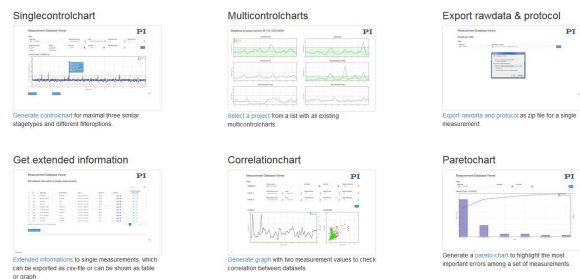


Fig. 7 来自测量结果数据库的可视化示例

3.2 测量软件

用于控制全自动或半自动测量和测试站的软件均由 PI 内部开发。所有测量设备都可以直接配置并从软件中读取，这意味着测得的值、存储在数据库中以及创建日志均无不必要的错误源。

软件开发采用现行的版本控制系统、缺陷追踪、自动构建系统、静态代码分析、单元测试和代码审查等开发标准。这确保了软件始终可追溯并遵守质量标准。

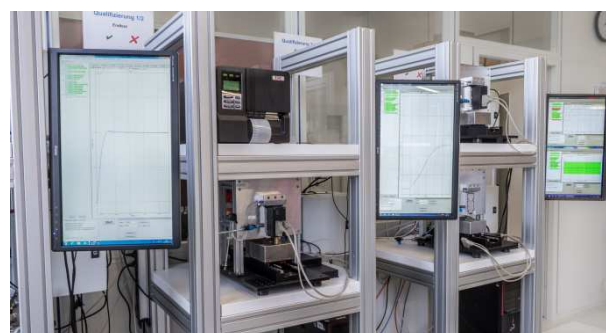


Fig. 8 包含各个测量日志完整文档的标准化流程控制

关于 PI

PI(Physik Instrumente)是全球精密定位技术市场领先者，多年来以其优质产品而享誉世界。在使用压电或电机驱动器的标准及 OEM 产品的开发和制造方面，PI 拥有 40 年的历史。凭借持续开发创新的驱动概念、产品和系统解决方案并拥有 200 多项技术专利，公司实现了日新月异的发展。PI 独立开发、制造并认证所有核心技术：从压电陶瓷部件、促动器和电机以及磁性直接驱动器到空气轴承、磁性和弯曲导向器再到纳米计量传感器、控制技术和软件。

因此，PI 无需依赖市售的组件即可为客户提供最先进的解决方案。高度垂直的制造可以对工艺进行完全控制，因此可以灵活地对市场开发和全新需求作出响应。通过收购 ACS Motion Control (全球领先的多轴驱动系统模块化运动控制器开发商和制造商) 的大部分股份，PI 还可以为工业应用提供定制的完整系统，以满足对精度和动态性的最高要求。PI 集团遍布全球，除了在德国设有四个基地之外，在其他国家和地区还设立了十五个销售和服务分部。