

# 一种三角梁柔性约束变刚度微纳测头

褚勇, 赵旭, 权紫晴

(安徽理工大学, 安徽 淮南 23200)

**摘要:** 提出了一种三角梁柔性约束变刚度微纳测头, 包括动平台, 动平台呈圆台状, 动平台的一侧安装有测量组件, 测量组件通过测量支撑结构与动平台连接, 测量支撑结构的中心与测量组件的圆心同轴, 测量支撑结构上固定安装有若干反射片, 动平台的另一侧安装有若干与反射片相对应的干涉仪, 动平台在于反射片相应的位置处分别设有贯穿孔; 测量支撑结构的一端与测量组件连接, 另一端通过柔性调节件与压电堆栈器连接, 柔性调节件在动平台的下方呈正三角形分布; 测量组件的顶部与动平台的底面之间具有间隙。本发明可通过调节压电堆栈器不同的工作状态, 改变测量组件的刚度, 可满足因测量过程、测量对象不同而对测量组件有不同刚度的需求。

**关键词:** 微纳测头;变刚度;最小势能原理

## License plate character recognition based on the combined features

Chu Yong, Zhao Xu, Quan Ziqing

(Anhui University of Science and Technology)

**Abstract:** A triangular beam flexible constraint variable stiffness micro-nano probe is proposed, which includes a moving platform, the moving platform is in the shape of a truncated cone, and a measuring component is installed on one side of the moving platform. The center is coaxial with the center of the measuring assembly, a number of reflection sheets are fixedly installed on the measurement support structure, and a number of interferometers corresponding to the reflection sheets are installed on the other side of the moving platform. Through hole; one end of the measurement support structure is connected to the measurement component, and the other end is connected to the piezoelectric stacker through a flexible adjustment piece, and the flexible adjustment piece is distributed in a regular triangle below the moving platform; there is a space between the top of the measuring component and the bottom surface of the moving platform. gap. The present invention can change the stiffness of the measurement component by adjusting different working states of the piezoelectric stacker, and can meet the requirements of different

stiffness of the measurement component due to different measurement processes and measurement objects.

**Keywords:** Micro-nano probe; Variable stiffness; principle of least potential energy

## 1 传感器设计背景和应用价值

### 1.1 设计背景

微系统技术的快速发展,各种微型精密元器件产品需求日益增大。测头是三坐标测量机的重要组成部分,三坐标测量机的总体测量精度在很大程度上取决于测头的测量性能。当测头接触脆弱工件表面时,为避免测头在测量过程中划伤工件表面,要求测头支撑机构必须具有较低的刚度,而在测头主轴运动过程中,为保证测头系统的稳定性以避免误触发,需要增大谐振频率和提高动态反应,又要求测头支撑机构具有较高的刚度。

### 1.2 应用价值

测头是三坐标测量机的重要组成部分,三坐标测量机的总体测量精度在很大程度上取决于测头的测量性能。传统的三坐标测量机由于存在测球直径过大和测量精度仅有微米级等问题,无法测量特征尺寸较小的微纳结构。因此,研究新型微纳坐标测量机对于提高微工件的表面加工质量和促进微纳米加工技术的发展具有重要意义。

## 2 创新点与优势

**2.1** 采用了呈三角形的柔性调节件结构,使得压电堆栈器提供的压力通过柔性调节件,只在柔性调节件的轴向有作用力,测量组件不会受到挤压力,解决了测量组件易出现偏移的问题。

**2.2** 采用柔性铰链串联机构,通过将刚性运动副替换成柔性铰链,提高了系统的精度和分辨率;柔性铰链串联结构由于其整体式结构,减少了装配间隙和摩擦等因素,常被应用于高精度微动平台;具体为通过一个压电堆栈器可同时对两个约束支撑梁施加压力,解决了约束支撑梁易受弯矩作用从而导致中心体平移的问题,空间排布合理,容易实现微型精密控制。

## 3 实现方案简介

### 3.1 设计原理

柔性三角梁约束微纳测头的具体变刚度流程和原理如下:当微纳测头快速接近待测微工

件时，由于快速运动使得微纳测头具有惯性力，为了避免微纳测头产生误触发及提高微纳测头的动态响应特性，此时无需对约束梁末端施加压缩载荷，应保持微纳测头约束支撑机构原有的高刚度特性，因此，在此测量过程中，叠堆压电陶瓷不需要对新型柔顺导向机构施加压电驱动力；由于高刚度的微纳测头会对待测微工件的表面造成损坏，为了避免这一问题，此时需要减小微纳测头的支撑刚度，即通过对约束支撑机构施加压缩载荷，使得欧拉-伯努利梁被压缩，进而微纳测头约束支撑机构刚度减小，在此测量过程中就可以避免或者大大减小对微纳测头造成永久破坏，因此，在此测量过程中，叠堆压电陶瓷需要对新型柔顺导向机构施加压电驱动力；当微纳测头快速远离微工件时，由于此时微纳测头仍然保持前述测量过程中的低刚度特性，但是微纳测头与微工件之间的范德华力会对低刚度测头的运动产生影响，因此，微纳测头在此测量过程时需要叠堆压电陶瓷停止输出压电驱动力，从而使得微纳测头恢复初始的高刚度特性，以使得微纳测头能够安全远离待测微工件的表面。

### 3.2 设计方法

构造了一种柔性三角梁约束支撑的变刚度微纳测头，其整体构型如图 1 所示，主要由测杆和测球机构、新型柔顺导向机构、约束支撑机构和叠堆压电陶瓷等部分构成。

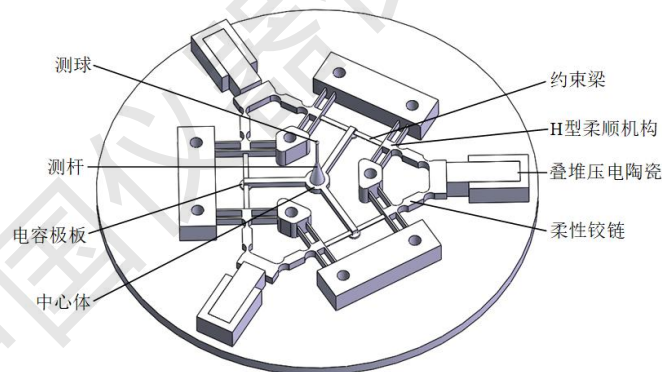


图 1 微纳测头的整体结构

构建了微纳测头中心体的力矩平衡方程，应用最小势能原理建立了约束支撑机构的理论刚度模型，基于该理论模型进一步获得了约束支撑机构达到刚度各向同性时所需的轴向压力大小以及约束梁发生失效时的临界屈曲载荷。

### 3.3 实验验证过程

利用灵敏度极高的变极距式电容传感器作为微纳测头系统的位移测量系统以检测触发信号，基于柔顺机构和叠堆压电陶瓷的特性构造出一种压电驱动的新型柔顺导向机构，对比新型柔顺导向机构输入和输出压电驱动力的理论值和仿真值，证明了两数值关系的正确性，利用有限元仿真工具分析了新型柔顺导向机构的模态频率、最大等效应力和疲劳失效等

相关特性，结果表明所构造的新型柔顺导向机构符合使用要求。

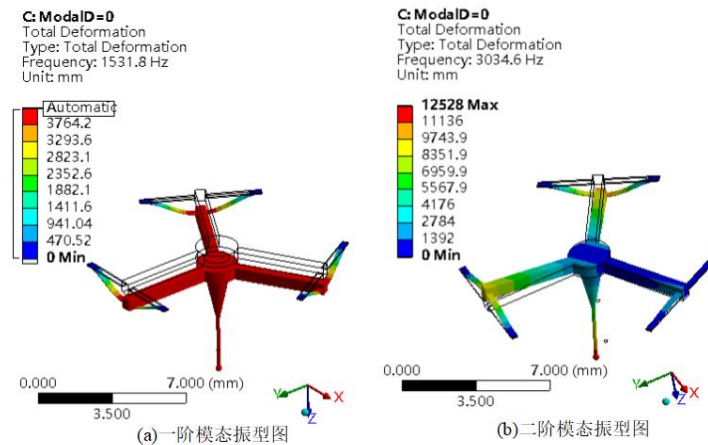


图2 一阶模态和二阶模态振型图

#### 参考文献:

- [1] 黄强先,余惠娟,黄帅,等. 微纳米三坐标测量机测头的研究进展[J]. 中国机械工程,2013,24(9):1264-1272.
- [2] 杨洪涛,蔡春梅,张炜,等. 基于微力测量的微纳米测头系统设计及优化[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版),2012(2):13-17.
- [3] 蔡春梅. 基于微力测量原理的微纳米测头结构设计及特性研究[D]. 安徽理工大学,2013.
- [4] 李政. 二自由度大行程微定位平台设计与运动控制[D]. 天津大学, 2014.
- [5] 郑银涛. 基于平板式电容的微位移测量系统设计[D]. 大连理工大学, 2010.
- [6] 温建明. 新型惯性压电叠堆驱动机构的研究[J]. 吉林大学, 2006.
- [7] Sohani F, Eipakchi H R. Analytical solution for modal analysis of Euler-Bernoulli and Timoshenko beam with an arbitrary varying cross-section[J]. Mathematical Models in Engineering, 2018, 4(3):164-174.
- [8] 靳宏. 基于压电叠堆的大力矩微位移平台研究[D]. 东南大学, 2016.