



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103900468 A

(43) 申请公布日 2014. 07. 02

(21) 申请号 201410118922. 2

(22) 申请日 2014. 03. 20

(71) 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 崔继文 李俊英 谭久彬

(51) Int. Cl.

G01B 11/00 (2006. 01)

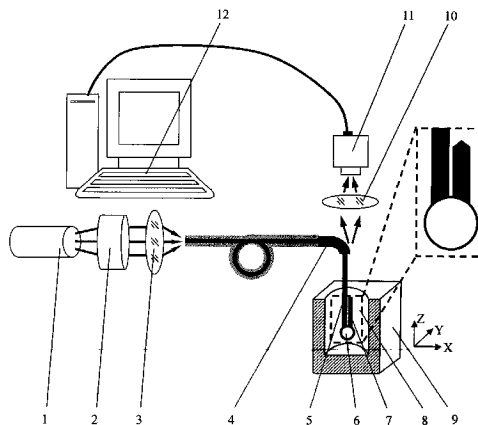
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

带有端面微结构的双光纤共球耦合微测量力瞄准传感器

(57) 摘要

带有端面微结构的双光纤共球耦合微测量力瞄准传感器属于精密仪器制造及测量技术;该传感器包括激光器、扩束准直镜、光纤耦合透镜、导管、显微物镜、CCD 相机、计算机和由入射光纤、耦合器、带有锥形端面微结构的出射光纤组成的探针,耦合器作为探针的触点,光束经入射光纤导入耦合器后由带有锥形端面微结构的出射光纤导出,导出光束经显微物镜进入 CCD 相机,通过图像处理技术即可得到出射光束在 CCD 相机上形成的光斑能量中心位置,由 CCD 相机上光斑能量中心位置与传感器触测点在空间位置的一一对应关系即可得出传感器在空间的瞄准情况;本传感器探针中的出射光纤带有端面微结构,极大的提高了检测信号的信噪比,提升了传感器的测量分辨力。



1. 一种带有端面微结构的双光纤共球耦合微测量力瞄准传感器,所述传感器由激光器(1)、扩束准直镜(2)、光纤耦合透镜(3)、导管(4)、探针(8)、显微物镜(10)、CCD相机(11)和计算机(12)构成,数据线将CCD相机(11)与计算机(12)连通,探针(8)置于待测微孔(9)内;其特征在于:所述探针(8)包括入射光纤(5)、耦合器(6)和带有锥形端面微结构的出射光纤(7),耦合器(6)分别与入射光纤(5)和带有锥形端面微结构的出射光纤(7)连接,耦合器(6)作为探针(8)的触点,激光器(1)发出的光束经扩束准直镜(2)与光纤耦合透镜(3)进入入射光纤(5),光束经入射光纤(5)导入耦合器(6)后由带有锥形端面微结构的出射光纤(7)导出,导出光束经显微物镜(10)进入CCD相机(11)。

2. 根据权利要求1所述的带有端面微结构的双光纤共球耦合微测量力瞄准传感器,其特征在于:所述探针(8)由入射光纤(5)、耦合器(6)和带有非球面形端面微结构的出射光纤(13)构成。

3. 根据权利要求1所述的带有端面微结构的双光纤共球耦合微测量力瞄准传感器,其特征在于:所述探针(8)由入射光纤(5)、耦合器(6)和带有球面形端面微结构的出射光纤(14)构成。

带有端面微结构的双光纤共球耦合微测量力瞄准传感器

技术领域

[0001] 本发明属于精密仪器制造及测量技术,特别涉及一种带有端面微结构的双光纤共球耦合微测量力瞄准传感器。

背景技术

[0002] 随着航空航天工业、汽车工业、电子工业以及尖端工业等的不断发展,对于精密微小构件的需求急剧增长。由于受到空间尺度和待测微小构件遮蔽效应的限制以及测量接触力的影响,微小构件尺寸的精密测量变得难以实现,尤其是微小内腔构件的测量深度难以提高,这些已然成为制约行业发展的“瓶颈”。为了实现更小的尺寸测量、增加测量深度,最广泛使用的办法就是使用细长的探针深入微小构件的内腔进行探测,通过瞄准发讯的方式测量不同深度上的微小内尺寸。因此,目前微小构件尺寸的精密测量主要以坐标测量机结合具有纤细探针的瞄准发讯式探测系统为主,由于,坐标测量机技术的发展已经比较成熟,可以提供精密的三维空间运动,因此瞄准触发式探针的探测方式成为微小构件尺寸探测系统设计的关键。

[0003] 目前,微小构件尺寸测量的主要手段包括以下几种方法:

[0004] 1. 德国联邦物理技术研究院的 H. Schwenke 教授等人提出了一种微光珠散射成像法,实现了对探针测头位置信息的二维检测。该方法利用单光纤作为探针测杆,把微光珠粘接或者焊接到测杆末端,使光线耦合进入光纤内部传播到微光珠上形成散射,用一个面阵 CCD 接收散射光形成敏感信号,实现了微力接触式测量。后来 H. Schwenke 教授等人拓展了这种方法,在测杆上粘接了一个微光珠,同时增加了一路对该微光珠的成像光路,这使得该探测系统具有了三维探测能力,测量标准球时得到的标准偏差为 $0.2\ \mu\text{m}$ 。据相关报道,此方法可实现测量 $\Phi 151\ \mu\text{m}$ 的孔径,测量深度为 1mm 。这种方法在测量深孔过程中,由于微光珠散射角度较大,随着测量深度的增加,微光珠散射成像光斑的质量由于散射光线受到孔壁遮挡而逐渐降低,导致成像模糊,降低了测量精度,因此无法实现大深径比的高精度测量。

[0005] 2. 中国哈尔滨工业大学谭久彬教授和崔继文博士等人提出一种基于双光纤耦合的探针结构,把两根光纤通过末端熔接球连接,熔接球作为测头,一根较长光纤引入光线,另外一根较短导出光线,克服了微光珠散射法测量深度的局限,可以实现对直径不小于 0.01mm 、深径比不大于 $50:1$ 的微深孔测量时的精确瞄准。但是该方法的耦合球中存在相干光的干涉,且光束经出射光纤出射后迅速衰减,探测器检测到的光能量较低,最终导致获取的信号信噪比较低,影响测量精度进一步提升。

[0006] 3. 美国国家标准技术研究院使用了单光纤测杆结合微光珠测头的探针,通过光学设计在二维方向上将光纤测杆成像放大 35 倍左右,用 2 个面阵 CCD 分辨接收二维方向上光纤测杆所成的像,然后对接收到的图像进行轮廓检测,从而监测光纤测杆的在测量过程中的微小移动,进而实现触发式测量,该探测系统的理论分辨力可以达到 4nm ,探测系统的探针测头直径为 $\Phi 75\ \mu\text{m}$,实验中测量了 $\Phi 129\ \mu\text{m}$ 的孔径,其扩展不确定度估算值达到了 70nm ($k=2$),测量力为 μN 量级。这种方法探测分辨力高,测量精度高,使用的测头易于小

型化,可以测量较大深径比的微孔。该方法的局限是成像单元对光纤测杆的微位移放大倍数较低(仅有35倍),必须通过图像算法进一步提高分辨率,探测光纤测杆的二维微位移必须使用两套成像系统,导致系统结构比较复杂,测量数据计算量比较大,这些因素导致探测系统的分辨率难以进一步提高,探测系统的实时性较差,系统构成比较复杂。

[0007] 4. 瑞士联合计量办公室研发了一个新型的坐标测量机致力于小结构件纳米精度的可追迹的测量。该测量机采用了基于并联运动学原理的弯曲铰链结构的新型接触式探针,该设计可以减小移动质量并且确保全方向的低硬度,是一个具有三维空间结构探测能力的探针。这一传感结构的测量力低于0.5mN,同时支持可更换的探针,探针测头的直径最小到 $\Phi 100\ \mu\text{m}$ 。探测系统结合了一个由 Philips CFT 开发的高位置精度的平台,平台的位置精度为20nm。该测量系统测量重复性的标准偏差达到5nm,测量结果的不确定度为50nm。该方法结构设计复杂,同时要求测杆具有较高的刚度和硬度,否则难以实现有效的位移传感,这使得测杆结构难以进一步小型化,测量深径比同时受到制约,探测系统的分辨率难以进一步提高。

[0008] 5. 中国哈尔滨工业大学谭久彬教授和王飞等人提出了一种基于单光纤探针测杆的一维微焦准直的测量方法,该方法利用单光纤探针测杆的超大曲率与微柱面透镜的结构特点组建了点光源一维微焦准直成像光路,通过测量成像亮条纹的能量中心的位置与条纹宽度,从而获得光纤探针测杆的二维位移量信息,若对该装置如下配置:光纤探针测杆半径为 $10\ \mu\text{m}$,其折射率 $n=1.7$,像距 $l'=300\text{mm}$,光电接收器像元尺寸为 $7\ \mu\text{m}$,利用图像算法能够分辨0.1个像元的变化,其理论分辨率可达0.03nm。该方法所成像亮条纹的条纹宽度不易测量,同时在二维位移测量时,存在成像信息中的耦合问题,即成像亮条纹的能量中心的位置与条纹宽度的耦合问题,因此,该方法不具备二维精密测量的能力。

[0009] 综上所述,目前微小尺寸和坐标探测方法中,由于光纤制作的探针具有探针尺寸小、测量接触力小、测量深径比大、测量精度高的特点而获得了广泛关注,利用其特有的光学特性和机械特性通过多种方式实现了一定深度上的微小尺寸的精密测量。现存测量手段主要存在的问题有:

[0010] 1. 探测系统的测量深度受限。德国 PTB 的微光珠散射成像法受遮蔽效应的影响,难以实现测量深度的提升,同时降低了系统探测精度。

[0011] 2. 探测系统的位移分辨率难以进一步提高。现存的探测系统的初级放大率较低,导致了其整体放大率较低,难以实现其位移分辨率的进一步提高。美国国家标准技术研究院采用的探测方法的光学测杆的光学光路放大倍率仅有35倍,较低的初级放大倍率导致了其位移分辨率难以进一步提高。

[0012] 3. 探测系统实时性差,难以实现精密的在线测量。美国国家标准技术研究院采用的探测方法必须使用两路面阵 CCD 接收信号图像,必须使用较复杂的图像算法才能实现对光纤测杆位移的高分辨率监测,这导致测量系统需要处理的数据量大大增加,降低了探测系统的实时性能,难以实现微小内腔尺寸和二维坐标测量过程中瞄准发讯与启、止测量的同步性。

[0013] 4. 存在二维位移传感的耦合,导致二维位移方向探测能力不足。哈尔滨工业大学提出的基于单光纤探针测杆的微焦准直测量方法在二维位移传感时存在耦合,被测位移量为二维位时,该方法获得的二维信息之间有相关性,而且无法分离,导致二维测量存在很大

误差,无法实现二维位移的准确测量。

[0014] 5. 出射光束由于衍射效应而迅速衰减,使接收器接收的光能量较小。哈尔滨工业大学提出的基于双光纤耦合的探针结构中,出射光束由于正常的空间衍射而迅速衰减,使得 CCD 接收的光能量较小,信号的信噪比降低,因此分辨力较低。

发明内容

[0015] 本发明的目的是克服微小构件尺寸测量方法现有技术中存在的不足,提供一种适用于大深径比微小构件尺寸测量的带有端面微结构的双光纤共球耦合微测量力瞄准传感器,通过耦合器及显微物镜将传感器探针在微孔内的微小位移量转变为 CCD 图像捕捉系统的横向位移量,由图像质心定位算法实现对孔壁测量时的高精度瞄准。

[0016] 本发明的技术方案是:一种带有端面微结构的双光纤共球耦合微测量力瞄准传感器,所述传感器由激光器、扩束准直镜、光纤耦合透镜、导管、探针、显微物镜、CCD 相机和计算机构成,数据线将 CCD 相机与计算机连通,探针置于待测微孔内;所述探针包括入射光纤、耦合器和带有锥形端面微结构的出射光纤,耦合器分别与入射光纤和带有锥形端面微结构的出射光纤连接,耦合器作为探针的触点,激光器发出的光束经扩束准直镜与光纤耦合透镜进入入射光纤,光束经入射光纤导入耦合器后由带有锥形端面微结构的出射光纤导出,导出光束经显微物镜进入 CCD 相机。

[0017] 经入射光纤导入耦合器后的高斯光束经过带有锥形端面微结构的出射光纤后将变为近似的贝塞尔光束,近似的贝塞尔光束的传播距离远大于高斯光束的传播距离,因此经显微物镜进入 CCD 相机的光能量增大,信号的信噪比提高,从而提高了传感器的分辨力。

[0018] 本发明的优点是:

[0019] 1. 传感器的探针中的出射光纤带有端面微结构,极大的提高了检测信号的信噪比,使传感器具有纳米级的分辨力,相比于由不带端面微结构的出射光纤组成的双光纤耦合传感器,分辨力提升了 30% 以上。

[0020] 2. 本传感器可以通过改变显微物镜的放大率来改变传感器的测量分辨力,节约成本以满足不同场合的要求。

[0021] 3. 光学探测信号仅在光纤内部传输,不受微孔内壁的影响,测量最大深径比可达 50 : 1,满足大深径比微孔测量要求。

附图说明

[0022] 图 1 是带有端面微结构的双光纤共球耦合微测量力瞄准传感器结构示意图;

[0023] 图 2 是带有非球面形端面微结构的探针结构示意图;

[0024] 图 3 是带有球面形端面微结构的探针结构示意图。

[0025] 图中:1、激光器,2、扩束准直镜,3、光纤耦合透镜,4、导管,5、入射光纤,6、耦合器,7、带有锥形端面微结构的出射光纤,8、探针,9、待测微孔,10、显微物镜,11、CCD 相机,12、计算机,13、带有非球面形端面微结构的出射光纤,14、带有球面形端面微结构的出射光纤。

具体实施方式

[0026] 下面结合附图对本发明实施例作进一步详细描述。

[0027] 实施例 1：

[0028] 一种带有端面微结构的双光纤共球耦合微测量力瞄准传感器,所述传感器由激光器 1、扩束准直镜 2、光纤耦合透镜 3、导管 4、探针 8、显微物镜 10、CCD 相机 11 和计算机 12 构成,数据线将 CCD 相机 11 与计算机 12 连通,探针 8 置于待测微孔 9 内;所述探针 8 包括入射光纤 5、耦合器 6 和带有锥形端面微结构的出射光纤 7,耦合器 6 分别与入射光纤 5 和带有锥形端面微结构的出射光纤 7 连接,耦合器 6 作为探针 8 的触点,激光器 1 发出的光束经扩束准直镜 2 与光纤耦合透镜 3 进入入射光纤 5,光束经入射光纤 5 导入耦合器 6 后由带有锥形端面微结构的出射光纤 7 导出,导出光束经显微物镜 10 进入 CCD 相机 11。

[0029] 利用导管 4 将入射光纤 5 弯曲以便提供图像捕获空间,也可以不使用导管 4,而直接用热定型法将入射光纤 5 弯曲以便提供图像捕获空间。带有锥形端面微结构的出射光纤 7 的使用可以极大的提高了检测信号的信噪比,使传感器具有纳米级的分辨力。

[0030] 本发明的工作过程如下：

[0031] 提前半小时打开激光器 1,使激光器 1 发出的光束稳定。调整光纤耦合透镜 3 与入射光纤 5 之间的相对位置与姿态,保证最大光能量进入入射光纤。调整带有锥形端面微结构的出射光纤 7 与显微物镜 10 之间的相对位置与姿态,保证出射光纤 7 的出射端面相对显微物镜 10 是近轴区内物体,以提高成像质量。将探针 8 伸入待测微孔 9 内部,并使之与待测微孔 9 产生相对位移,当耦合器 6 与待测微孔 9 孔壁接触时,通过显微物镜 10 将探针 8 在待测微孔 9 内的微小触测位移量转变为 CCD 相机 11 图像捕捉系统的横向位移量,即通过 CCD 相机 11 对探针 8 在 X 向与 Y 向的位移量进行探测,最终由图像质心定位算法实现对孔壁测量时的高精度瞄准。

[0032] 实施例 2：

[0033] 探针 8 由入射光纤 5、耦合器 6 和带有非球面形端面微结构的出射光纤 13 构成,非球面形端面微结构提高了检测信号的信噪比。本实施例的其他部件及工作过程均与实施例 1 相同。

[0034] 实施例 3：

[0035] 探针 8 由入射光纤 5、耦合器 6 和带有球面形端面微结构的出射光纤 14 构成,球面形端面微结构提高了检测信号的信噪比。本实施例的其他部件及工作过程均与实施例 1 相同。

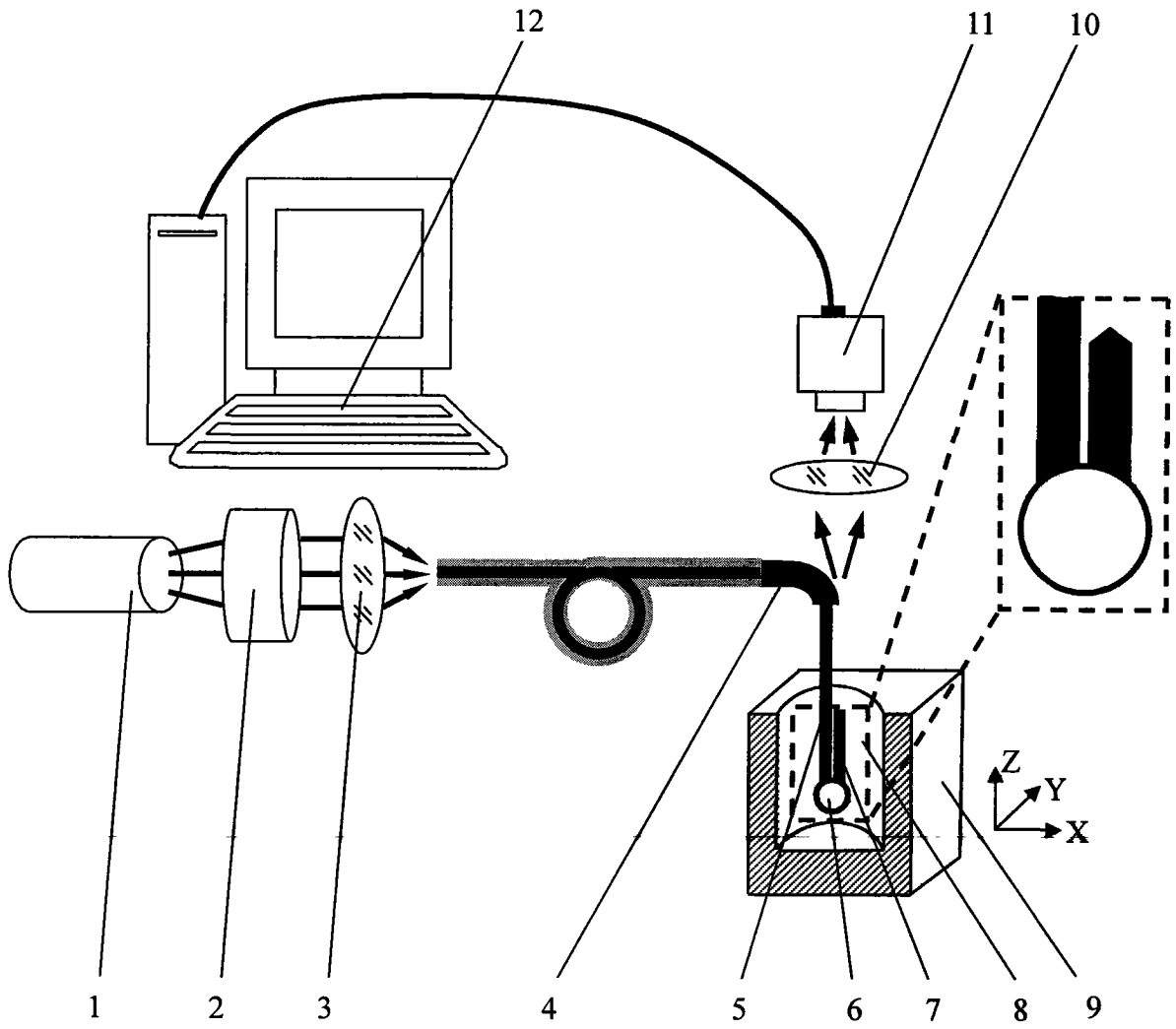


图 1

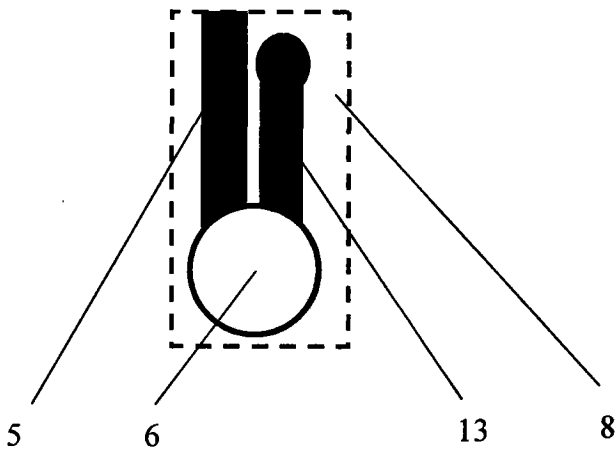


图 2

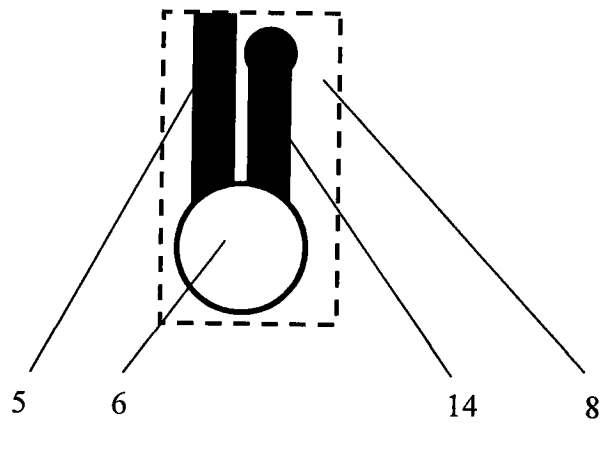


图 3