



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109141223 B

(45)授权公告日 2020.06.16

(21)申请号 201811112040.X

(22)申请日 2018.09.25

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109141223 A

(43)申请公布日 2019.01.04

(73)专利权人 成都飞机工业(集团)有限责任公  
司

地址 610092 四川省成都市青羊区黄田坝  
纬一路88号

(72)发明人 冯超钰 李杰 夏文涵 陈云  
宋智勇 李卫东

(74)专利代理机构 成都君合集专利代理事务所  
(普通合伙) 51228

代理人 张鸣洁

(51)Int.Cl.

G01B 9/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 203908500 U,2014.10.29,全文.

CN 107576265 A,2018.01.12,全文.

CN 102506764 A,2012.06.20,全文.

CN 105300279 A,2016.02.03,全文.

CN 110449993 A,2019.11.15,全文.

CN 1560563 A,2005.01.05,全文.

US 8289525 B2,2012.10.16,全文.

李杰.五轴数控机床空间定位精度改善方法  
研究现状.《机械工程学报》.2017,第116-123页.

审查员 刘兵

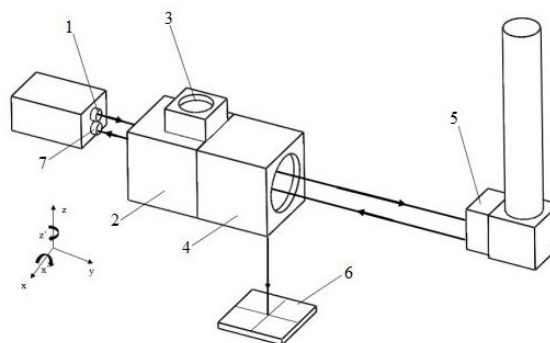
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称

一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法,首先建立系统光路,然后粗调整激光干涉仪光路,最后根据PSD二维光敏位置传感器获取各校准点的坐标值并计算测量光相对于参考反射光的偏移量,并根据偏移量对激光干涉仪光路进行精确调整。本发明通过PSD二维光敏位置传感器中测量的坐标实现自动校准激光干涉仪光路,本发明利用PSD二维光敏位置传感器获取校准光束的偏移量,从而间接的得到测量光的偏移量,可以实现自动调节光路,从而实现高精度的光路校准,提高了校准的效率和精度,具有较好的实用性。



1. 一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法,其特征在于,主要包括以下步骤:

步骤S101:建立系统光路,激光干涉仪发射头(1)发出的发射光(A)经过干涉分光镜(2)分成反射光和透射光,反射光经过参考角锥反射镜(3)形成参考反射光(B)回到干涉分光镜(2)后返回激光干涉仪接收头(7);透射光经移动角锥反射镜(5)形成移动反射光(C)回到反光镜被分为校准光(D)和测量光(E),所述校准光(D)投射在PSD二维光敏位置传感器(6)得到二维坐标,发射光(A)的方向为Y轴;所述测量光(E)透过干涉分光镜(2)返回激光干涉仪接收头(7);

步骤S102:在测量线段中选取若干个测量点作为校准点,将机床主轴移动到第一个校准点,采用视觉导引的方法调整激光干涉仪的位置,使校准光(D)投射在PSD二维光敏位置传感器(6)上以获得校准光(D)斑的坐标值,然后根据坐标值调整激光干涉仪的位置使校准光(D)斑投射在二维坐标的轴心处;

步骤S103:机床主轴沿着测量线段运动,并通过PSD二维光敏位置传感器(6)获取各校准点的坐标值并计算测量光(E)相对于参考反射光(B)的偏移量;若偏移量大于阈值,则将激光干涉仪沿X轴或者Z轴直线运动以校准光(D)路;否则将激光干涉仪通过绕X轴或者Z轴旋转运动微调的校准光(D)路。

2. 根据权利要求1所述的一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法,其特征在于,所述步骤S101中建立标准光偏移量与测量光(E)偏移量的方程;当移动角锥反射镜(5)在ZY平面内沿Z轴上、下移动或者是绕X轴俯仰旋转时,则有测量光(E)偏移量等于 $y$ ,其中 $y$ 为校准光(D)斑在PSD二维光敏位置传感器(6)上的 $y$ 坐标值;当移动角锥反射镜在XY平面内沿X轴左右移动或者是绕Z轴偏摆旋转时,则有测量光(E)偏移量等于 $x$ ,其中 $x$ 为校准光(D)斑在PSD二维光敏位置传感器(6)上的 $x$ 坐标值。

3. 根据权利要求2所述的一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法,其特征在于,还包括步骤S104:控制机床主轴沿测量线段从起始点运动至终点位置,若测量光(E)始终投射在激光干涉仪接收头(7)中心并与参考反射光(B)形成干涉,则光路校准完成。

4. 根据权利要求1所述的一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法,其特征在于,所述步骤S102中将移动角锥反射镜(5)安装在机床主轴上,根据机床几何精度的误差辨识方法,调整移动角锥反射镜(5)以保证其垂直于测量线段;在测量线段上均匀的选取10个测量点作为校准点。

5. 根据权利要求1-4任一项所述的一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法,其特征在于,所述阈值为10mm。

6. 根据权利要求1所述的一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法,其特征在于,所述激光干涉仪包括移动角锥反射镜(5)、电动微调平台和分别设置在电动微调平台上的激光干涉仪发射头(1)、激光干涉仪接收头(7)、干涉分光镜(2)、参考角锥反射镜(3)、分光镜(4);所述激光干涉仪发射头(1)、激光干涉仪接收头(7)纵向并排设置在靠近干涉分光镜(2)的一侧,所述干涉分光镜(2)的一侧固定设置有分光镜(4),且干涉分光镜(2)的顶部设置有参考角锥反射镜(3);所述分光镜(4)的下方固定设置有PSD二维光敏位置传感器(6);所述移动角锥反射镜(5)安装在机床主轴上。

7. 根据权利要求6所述的一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法,其特征在

于,所述电动微调平台的直线精度为5mm、旋转精度为8';所述激光干涉仪的激光器的功率范围为mw级、波长范围为633nm、光斑大小为6mm。

8.根据权利要求6所述的一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法,其特征在于,所述PSD二维光敏位置传感器(6)的尺寸为20×20mm,且光谱范围为320-1100nm,线性误差范围为±0.3%。

## 一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于光学技术领域,具体涉及一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法。

### 背景技术

[0002] 多轴数控机床在航空航天和汽车制造业等领域被广泛应用于零部件的加工中,往往需要其具有很高的几何精度,其几何精度主要分为两个方面:(1)多轴数控机床的初始几何精度;(2)多轴数控机床在使用过程中,其几何精度会有所下降,当前机床所具有的几何精度。

[0003] 为使得机床的几何精度稳定在较高的水平,必须定期检测机床的几何精度并且对产生的几何误差进行补偿。利用几何误差辨识方法和检测仪器可以有效地获得机床的几何误差,再通过误差补偿手段针对性地对几何误差进行补偿。这里检测仪器应用最多的就是激光干涉仪,其包括测量光源,参考角锥反射镜、移动角锥反射镜和分光干涉镜、三脚架等。

[0004] 针对误差辨识方法的研究,国内外主要根据激光干涉仪的特性,提出了9线法、12线法、15线法等,这些误差辨识方法都是根据机床几何精度特性在空间中建立若干条线段,驱动机床主轴沿着测量线段进行直线运动,检测过程中机床主轴暴露出来的几何误差。机床几何精度检测前期准备的时候,通常需要将移动角锥反射镜固定在机床主轴上,跟随机床主轴运动。此外,参考角锥反射镜与干涉分光镜连接并且固定。参考光路长度稳定不变,测量光路长度随着移动角锥反射镜的移动而改变,干涉测量光的相对相位也随之改变,从而得到机床主轴的实际移动距离。

[0005] 目前这种测量手段存在的问题主要表现在:(1)根据机床几何误差辨识方法建立的空间测量线段方向多样,如单个平动轴的测量线段是沿着机床坐标系X、Y、Z方向的,而XZ、XY、XYZ多轴联动的测量线段与各坐标轴构成一定倾斜角度,而根据激光干涉仪的测量原理必须保证经移动角锥反射镜返回的测量光与经参考角锥反射镜的参考反射光在激光干涉仪接收头形成干涉,这就需要通过调整激光干涉仪的位置来校准光路,保证测量光可以返回接收头;(2)目前校准光路的方式仅仅是工程师利用三脚架进行激光干涉仪位置的微调,过度依赖工程经验,且调节过程效率低、准确率低。

[0006] 这些困难制约着激光干涉仪在机床几何精度检测方面的应用,因此,设计一种激光干涉仪光路的高效精确校准方法,配合电动微调平台和PSD(Position Sensitive Detector)光敏位置传感器使用,辅助机床平动轴几何精度检测时激光干涉仪光路的前期校准,具有重要的应用前景。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法,本发明通过PSD二维光敏位置传感器中测量的坐标实现自动校准激光干涉仪光路,具有较好的实用性。

[0008] 本发明主要通过以下技术方案实现：一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法，主要包括以下步骤：

[0009] 步骤S101：建立系统光路，激光干涉仪发射头发出的发射光经过干涉分光镜分成反射光和透射光，反射光经过参考角锥反射镜形成参考反射光回到干涉分光镜后返回激光干涉仪接收头；透射光经移动角锥反射镜形成移动反射光回到反光镜被分为校准光和测量光，所述校准光投射在PSD二维光敏位置传感器得到二维坐标，发射光的方向为Y轴；所述测量光透过干涉分光镜返回激光干涉仪接收头；

[0010] 步骤S102：在测量线段中选取若干个测量点作为校准点，将机床主轴移动到第一个校准点，采用视觉导引的方法调整激光干涉仪的位置，使校准光投射在PSD二维光敏位置传感器上以获得校准光斑的坐标值，然后根据坐标值调整激光干涉仪的位置使校准光斑投射在二维坐标的轴心处；

[0011] 步骤S103：机床主轴沿着测量线段运动，并通过PSD二维光敏位置传感器获取各校准点的坐标值并计算测量光相对于参考反射光的偏移量；若偏移量大于阈值，则将激光干涉仪沿X轴或者Z轴直线运动以校准光路；否则将激光干涉仪通过绕X轴或者Z轴旋转运动微调的校准光路。

[0012] 移动角锥反射镜安装在机床主轴上，机床主轴沿着误差辨识方法的测量线段运动，保证移动角锥反射镜垂直于测量线段，使得移动反射光平行于测量线段。所述PSD二维光敏位置传感器是固定在电动微调平台的底座上的，不会发生位移。

[0013] 选取第一校准点，此时光路的光程最短，通过视觉导引，工程师可以容易地控制电动微调平台调整校准光投射在PSD上。此时PSD获取到校准光斑的坐标值，通过数据采集卡传输到计算机，计算机控制电动微调平台调节激光干涉仪的位置，使得校准光斑投射在PSD的中心，完成光路的粗校准。

[0014] 为了更好的实现本发明，进一步的，所述步骤S101中建立标准光偏移量与测量光偏移量的方程；当移动角锥反射镜在ZY平面内沿Z轴上、下移动或者是绕X轴俯仰旋转时，则有测量光偏移量等于 $y$ ，其中 $y$ 为校准光斑在PSD二维光敏位置传感器上的 $y$ 坐标值；当移动角锥放射镜在XY平面内沿X轴左右移动或者是绕Z轴偏摆旋转时，则有测量光偏移量等于 $x$ ，其中 $x$ 为校准光斑在PSD二维光敏位置传感器上的 $x$ 坐标值。

[0015] 如图3-7所示，校准光投射在PSD中心时，就可以保证测量光返回干涉仪接收头中心；建立校准光坐标值与测量光偏移量的方程如下：

[0016] 1) 当移动角锥反射镜在ZY平面内沿 $z$ 轴上下移动或者是绕 $x$ 轴俯仰旋转的时候：

[0017] 当前测量光偏移量 $b=y$ ，其中 $y$ 为校准光斑在PSD上的 $y$ 坐标值。

[0018] 2) 当移动角锥放射镜在XY平面内沿 $x$ 轴左右移动或者是绕 $z$ 轴偏摆旋转的时候：

[0019] 当前测量光偏移量 $d=x$ ，其中 $x$ 为校准光斑在PSD上的 $x$ 坐标值。

[0020] 为了更好的实现本发明，进一步的，还包括步骤S104：控制机床主轴沿测量线段从起始点运动至终点位置，若测量光始终投射在激光干涉仪接收头中心并与参考反射光形成干涉，则光路校准完成。完成激光干涉仪光路的精校准，从而保证校准光斑处在PSD的中心范围内。

[0021] 为了更好的实现本发明，进一步的，所述步骤S102中将移动角锥反射镜安装在机床主轴上，根据机床几何精度的误差辨识方法，调整移动角锥反射镜以保证其垂直于测量

线段;在测量线段上均匀的选取10个测量点作为校准点。在机床几何误差识别方法的测量线段中选取10个测量点作为校准点,使其均匀分布在测量线段上。机床几何误差辨识方法包括22线法,14线法,12线法,9线法等,均包括平行线、面对角线和体对角线。要求校准点是均匀分布在测量线段上的,保证校准点选取的合理性可以有效地保证光路校准的成功率。所述机床几何误差识别方法为现有技术且不是本发明的改进点,故不再赘述。

[0022] 为了更好的实现本发明,进一步的,所述阈值为10mm。

[0023] 为了更好的实现本发明,进一步的,所述激光干涉仪包括移动角锥反射镜、电动微调平台和分别设置在电动微调平台上的激光干涉仪发射头、激光干涉仪接收头、干涉分光镜、参考角锥反射镜、分光镜;所述激光干涉仪发射头、激光干涉仪接收头纵向并排设置在靠近干涉分光镜的一侧,所述干涉分光镜的一侧固定设置有分光镜,且干涉分光镜的顶部设置有参考角锥反射镜;所述分光镜的下方固定设置有PSD二维光敏位置传感器;所述移动角锥反射镜安装在机床主轴上。电动微调平台包括2个精密型电控平移台和2个精密型电控角位台,可以实现沿x、z轴直线运动和绕x、z轴旋转运动,直线精度5 $\mu$ m、旋转精度8'。所述电动微调平台为现有技术且不是本发明的改进点,故不再赘述。

[0024] 在电动微调平台上安装一个激光干涉仪,作为测量光源;将干涉分光镜、参考角锥反射镜和分光镜通过螺栓连接在一起,分光镜的下方布置PSD二维光敏位置传感器;将干涉分光镜、参考角锥反射镜、分光镜一起固定在激光干涉仪上,PSD二维光敏位置传感器固定在电动微调平台的底座上;将移动角锥反射镜安装在机床主轴上。参考反射光始终可以返回接收头中心,并且电动微调平台可以控制激光干涉仪、干涉分光镜、参考角锥反射镜、分光镜一起调整位置;PSD固定在电动微调平台的底座上,其位置是固定不动的;移动角锥反射镜是固定在机床主轴上,并且垂直于测量线段的;当移动角锥反射镜的反射光经分光镜返回的测量光位于干涉仪接收头中心时,校准光正好投射在PSD的中心。

[0025] 移动机床主轴至第一个校准点,采用视觉导引的方式,控制电动微调平台调整激光干涉仪位置,使得校准光投射在PSD二维光敏位置传感器上,此时电动微调平台通过PSD的坐标值自动调节激光干涉仪的位置,实现激光干涉仪光路的粗校准。

[0026] 干涉分光镜由两块45°直角三棱镜拼合而成,

[0027] 为了更好的实现本发明,进一步的,所述电动微调平台的直线精度为5mm、旋转精度为8';所述激光干涉仪的激光器的功率范围为mw级、波长范围为633nm、光斑大小为6mm。

[0028] 为了更好的实现本发明,进一步的,所述PSD二维光敏位置传感器的尺寸为20X20mm,且光谱范围为320-1100nm,线性误差范围为 $\pm 0.3\%$ 。

[0029] 本发明的目的在于为克服已有技术的不足之处,提供一种激光干涉仪光路的高效精确校准方法,该方法与电动微调平台和PSD配合使用,可以使得普通激光干涉仪具有自动调节位置的功能,方便了机床平动轴几何精度检测前期激光干涉仪的光路校准,实现光路校准过程的自动化,大大减少了机床平动轴几何精度检测的时间和成本。

[0030] 本发明涉及一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法,辅助普通激光干涉仪完成多轴数控机床平动轴几何精度检测前期的光路校准。校准方法包括以下步骤:(1)根据机床几何精度的误差辨识方法,在各个测量线段中选取典型的测量点作为校准点;(2)移动机床主轴至第一个校准点,采用视觉导引的方式,控制电动微调平台调整激光干涉仪位置,使得校准光投射在PSD二维光敏位置传感器上,实现激光干涉仪光路的粗校准;(3)建

立校准光偏移量与测量光的偏移量方程,移动机床主轴获取各校准点对应的PSD坐标值,计算测量光的偏移量;(4)当测量光偏移量小于或等于10mm的时候,控制电动微调平台绕X轴旋转或者绕Z轴旋转;当偏移量大于10mm的时候,控制电动微调平台沿X轴直线运动或者沿Z轴直线运动,完成光路的精校准;(5)验证光路校准效果,保证干涉测量光始终返回干涉仪接收头中心。该校准方法可与普通激光干涉仪、PSD和电动微调平台配合使用,自动化程度高,调整灵活且精度高,可以辅助普通激光干涉仪完成单轴定位精度检测和多平动轴的联动轨迹定位精度检测前期的光斑位置校准,提高检测效率。

[0031] 本发明针对ZY、XY平面的激光干涉仪光路偏移量进行分析,以机床几何误差辨识方法实施过程前期的激光干涉仪光路校准为例进行了本发明的应用说明。本领域的技术人员在不超出本发明范围的情况下,可自行选择机床几何误差辨识方法和电动微调平台,只要确保电动微调平台的控制精度即可。

[0032] 本发明的有益效果:

[0033] (1)本发明通过PSD二维光敏位置传感器中测量的坐标实现自动校准激光干涉仪光路,本发明利用PSD二维光敏位置传感器获取校准光束的偏移量,从而间接的得到测量光的偏移量,可以实现自动调节光路,从而实现高精度的光路校准,提高了校准的效率和精度,具有较好的实用性;

[0034] (2)所述步骤S101中建立标准光偏移量与测量光偏移量的方程;当移动角锥反射镜在ZY平面内沿Z轴上、下移动或者是绕X轴俯仰旋转时,则有测量光偏移量等于 $y$ ,其中 $y$ 为校准光斑在PSD二维光敏位置传感器上的 $y$ 坐标值;当移动角锥放射镜在XY平面内沿X轴左右移动或者是绕Z轴偏摆旋转时,则有测量光偏移量等于 $x$ ,其中 $x$ 为校准光斑在PSD二维光敏位置传感器上的 $x$ 坐标值。本发明通过标准光偏移量与测量光偏移量方程的建立有效快速的测量到测量光的偏移量,可以实现自动调节光路,从而实现高精度的光路校准,提高了校准的效率和精度,具有较好的实用性。

[0035] (3)所述步骤S102中将移动角锥反射镜安装在机床主轴上,根据机床几何精度的误差辨识方法,调整移动角锥反射镜以保证其垂直于测量线段;在测量线段上均匀的选取10个测量点作为校准点。要求校准点是均匀分布在测量线段上,以保证校准点选取的合理性可以有效地保证光路校准的成功率,具有较好的实用性。

[0036] (4)所述激光干涉仪包括移动角锥反射镜、电动微调平台和分别设置在电动微调平台上的激光干涉仪发射头、激光干涉仪接收头、干涉分光镜、参考角锥反射镜、分光镜。本发明通过控制电动微调平台实现机械自动调整激光干涉仪光路,杜绝了依赖经验的不确定性,提高了校准的效率和精度,具有较好的实用性。

## 附图说明

[0037] 图1为本发明的激光干涉仪的结构示意图;

[0038] 图2为本发明的光路校准过程ZY平面的光路示意图;

[0039] 图3为本发明的光路校准过程ZY平面移动角锥反射镜直线偏移的光路示意图;

[0040] 图4为本发明的光路校准过程ZY平面移动角锥反射镜角度偏移的光路示意图;

[0041] 图5为本发明的光路校准过程XY平面的光路示意图;

[0042] 图6为本发明的光路校准过程XY平面移动角锥反射镜直线偏移的光路示意图;

[0043] 图7为本发明的光路校准过程XY平面移动角锥反射镜角度偏移的光路示意图；

[0044] 图8为本发明的流程图。

[0045] 其中：1-激光干涉仪发射头；2-干涉分光镜；3-参考角锥反射镜；4-分光镜；5-移动角锥反射镜；6-PSD二维光敏位置传感器；7-激光干涉仪接收头、A-发射光、B-参考反射光、C-移动反射光、D-校准光、E-测量光。

## 具体实施方式

[0046] 实施例1：

[0047] 一种基于PSD的激光干涉仪光路高效精确校准方法，主要包括以下步骤：

[0048] 步骤S101：建立系统光路，如图1所示，激光干涉仪发射头1发出的发射光A经过干涉分光镜2分成反射光和透射光，反射光经过参考角锥反射镜3形成参考反射光B回到干涉分光镜2后返回激光干涉仪接收头7；透射光经移动角锥反射镜5形成移动反射光C回到反光镜被分为校准光D和测量光E，所述校准光D投射在PSD二维光敏位置传感器6得到二维坐标，发射光A的方向为Y轴；所述测量光E透过干涉分光镜2返回激光干涉仪接收头7；

[0049] 步骤S102：在测量线段中选取若干个测量点作为校准点，将机床主轴移动到第一个校准点，采用视觉导引的方法调整激光干涉仪的位置，使校准光D投射在PSD二维光敏位置传感器6上以获得校准光D斑的坐标值，然后根据坐标值调整激光干涉仪的位置使校准光D斑投射在二维坐标的轴心处；

[0050] 步骤S103：机床主轴沿着测量线段运动，并通过PSD二维光敏位置传感器6获取各校准点的坐标值并计算测量光E相对于参考反射光B的偏移量；若偏移量大于阈值，则将激光干涉仪沿X轴或者Z轴直线运动以校准光D路；否则将激光干涉仪通过绕X轴或者Z轴旋转运动微调的校准光D路。

[0051] 本发明通过PSD二维光敏位置传感器6中测量的坐标实现自动校准激光干涉仪光路，本发明利用PSD二维光敏位置传感器6获取校准光D束的偏移量，从而间接的得到测量光E的偏移量，可以实现自动调节光路，从而实现高精度的光路校准，提高了校准的效率和精度，具有较好的实用性。

[0052] 实施例2：

[0053] 本实施例是在实施例1的基础上进行优化，如图2-4所示，所述步骤S101中建立标准光偏移量与测量光E偏移量的方程；当移动角锥反射镜5在ZY平面内沿Z轴上、下移动或者是绕X轴俯仰旋转时，则有测量光E偏移量等于 $y$ ，其中 $y$ 为校准光D斑在PSD二维光敏位置传感器6上的 $y$ 坐标值；如图5-7所示，当移动角锥放射镜在XY平面内沿X轴左右移动或者是绕Z轴偏摆旋转时，则有测量光E偏移量等于 $x$ ，其中 $x$ 为校准光D斑在PSD二维光敏位置传感器6上的 $x$ 坐标值。

[0054] 本发明通过数据采集卡获取PSD中校准光D斑相对于PSD坐标系零点的偏移量，即当前坐标值 $(x, y)$ 。所述数据采集卡以及数据后期的处理均为现有技术且不是本发明的改进点，故不再赘述。

[0055] 干涉分光镜2由两块 $45^\circ$ 直角三棱镜拼合而成可知，校准光D斑的偏移量 $y$ 与测量光E束偏移量 $b$ 是相同的，根据移动角锥反射镜5位置的变化情况建立方程关系；

[0056] 如图2所示，移动角锥反射镜5在ZY平面内移动。如图3所示当移动角锥反射镜5在



ZY平面内沿z轴上下移动距离 $a-a'$ 或者如图4所示绕x轴俯仰旋转角度 $\alpha$ 的时候;当前测量光E束偏移量 $b=y$ ,其中 $y$ 为PSD二维光敏位置传感器66当前的 $y$ 坐标值。

[0057] 如图5所示,移动角锥反射镜5在XY平面内移动。如图6所示当移动角锥反射镜在XY平面内沿x轴左右移动距离 $c-c'$ 或者是如图7所示绕z轴偏摆旋转角度 $\beta$ 的时候;当前测量光E束偏移量 $d=x$ ,其中 $x$ 为PSD二维光敏位置传感器66当前的 $x$ 坐标值。

[0058] 本发明通过标准光偏移量与测量光E偏移量方程的建立有效快速的测量到测量光E的偏移量,可以实现自动调节光路,从而实现高精度的光路校准,提高了校准的效率和精度,具有较好的实用性。

[0059] 本实施例的其他部分与实施例1相同,故不再赘述。

[0060] 实施例3:

[0061] 本实施例是在实施例2的基础上进行优化,如图8所示,所述阈值为10mm,还包括步骤S104:控制机床主轴沿测量线段从起始点运动至终点位置,若测量光E始终投射在激光干涉仪接收头7中心并与参考反射光B形成干涉,则光路校准完成。机床主轴沿着误差辨识方法的测量线段运动,保证移动角锥反射镜5垂直于测量线段,使得移动反射光C平行于测量线段。

[0062] 本发明通过PSD二维光敏位置传感器6中测量的坐标实现自动校准激光干涉仪光路,本发明利用PSD二维光敏位置传感器6获取校准光D束的偏移量,从而间接的得到测量光E的偏移量,可以实现自动调节光路,从而实现高精度的光路校准,提高了校准的效率和精度,具有较好的实用性。

[0063] 本实施例的其他部分与上述实施例2相同,故不再赘述。

[0064] 实施例4:

[0065] 本实施例是在实施例1-3任一个的基础上进行优化,如图1所示,所述激光干涉仪包括移动角锥反射镜5、电动微调平台和分别设置在电动微调平台上的激光干涉仪发射头1、激光干涉仪接收头7、干涉分光镜2、参考角锥反射镜3、分光镜4;所述激光干涉仪发射头1、激光干涉仪接收头7纵向并排设置在靠近干涉分光镜2的一侧,所述干涉分光镜2的一侧固定设置有分光镜4,且干涉分光镜2的顶部设置有参考角锥反射镜3;所述分光镜4的下方固定设置有PSD二维光敏位置传感器6;所述移动角锥反射镜5安装在机床主轴上。

[0066] 在电动微调平台上安装一个激光器作为测量光E源。电动微调平台包括2个精密型电控平移台和2个精密型电控角位台,可以实现沿x、z轴直线运动和绕x、z轴旋转运动。所述电动微调平台为现有技术且不是本发明的改进点,故不再赘述。

[0067] 所述干涉分光镜2、参考角锥反射镜3和分光镜4通过螺栓连接在一起;干涉分光镜2和分光镜4分别为立方体形分束镜,由两块 $45^\circ$ 直角三棱镜拼合而成;角锥反射镜是由三个正交的等腰直角三角形(反射面)和一个等边三角形(折射面)构成的四面体。PSD是二维PSD,光敏面是其重要组成部分,校准光D束投射在PSD上形成光斑,测得当前 $x$ 坐标和 $y$ 坐标,作为校准光D束的位移信息。本发明通过电动微调平台控制激光器、干涉分光镜2、参考角锥反射镜3和分光镜4共同的位置,即激光器、干涉分光镜2、参考角锥反射镜3和分光镜4之间的相对位置不变。

[0068] 粗校准阶段:移动机床主轴至第一个校准点,采用视觉导引的方式,手动控制电动微调平台调整激光干涉仪的位置,工程师可以容易地控制电动微调平台调整校准光D投射

在PSD二维光敏位置传感器6上,此时PSD二维光敏位置传感器6获取到校准光D斑的坐标值,通过数据采集卡传输到计算机,计算机控制电动微调平台调节激光干涉仪的位置,使得校准光D斑投射在PSD的中心,从而保证测量光E可以返回到接收头中心。

[0069] 本发明通过控制电动微调平台实现机械自动调整激光干涉仪光路,杜绝了依赖经验的不确定性,提高了校准的效率和精度,具有较好的实用性。

[0070] 本实施例的其他部分与上述实施例1-3任一个相同,故不再赘述。

[0071] 实施例5:

[0072] 本实施例是在实施例4的基础上进行优化,所述电动微调平台的直线精度为5mm、旋转精度为8';所述激光干涉仪的激光器的功率范围为mw级、波长范围为633nm、光斑大小为6mm。所述PSD二维光敏位置传感器6的尺寸为20X20mm,且光谱范围为320-1100nm,线性误差范围为 $\pm 0.3\%$ 。

[0073] 本实施例的其他部分与上述实施例4相同,故不再赘述。

[0074] 实施例6:

[0075] 本实施例是在实施例1的基础上进行优化,所述步骤S102中将移动角锥反射镜5安装在机床主轴上,根据机床几何精度的误差辨识方法,调整移动角锥反射镜5以保证其垂直于测量线段;在测量线段上均匀的选取10个测量点作为校准点。要求校准点是均匀分布在测量线段上,以保证校准点选取的合理性可以有效地保证光路校准的成功率,具有较好的实用性。

[0076] 本实施例的其他部分与上述实施例1相同,故不再赘述。

[0077] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例,并非对本发明做任何形式上的限制,凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化,均落入本发明的保护范围之内。

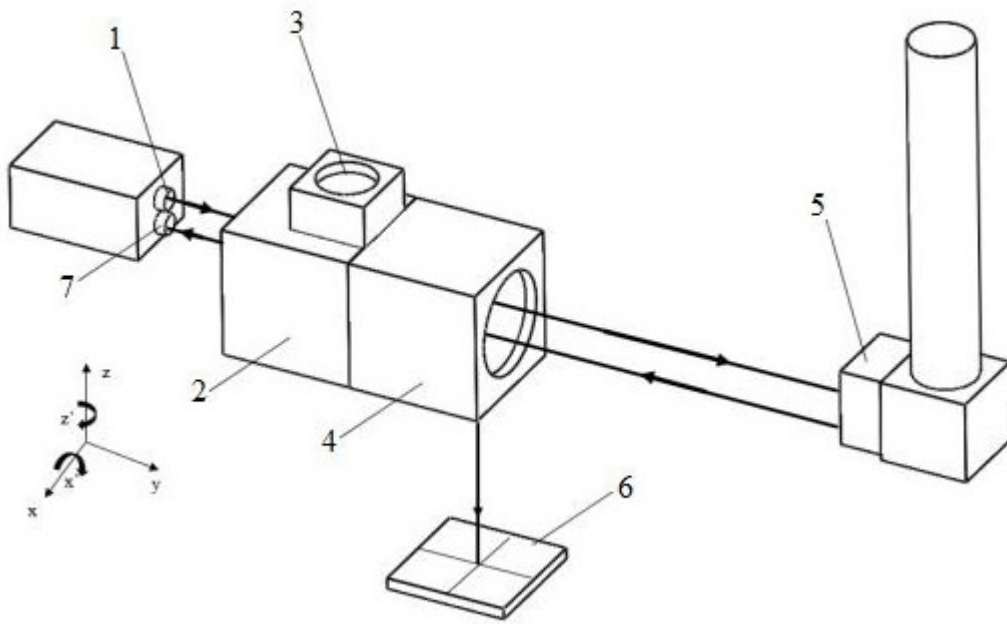


图1

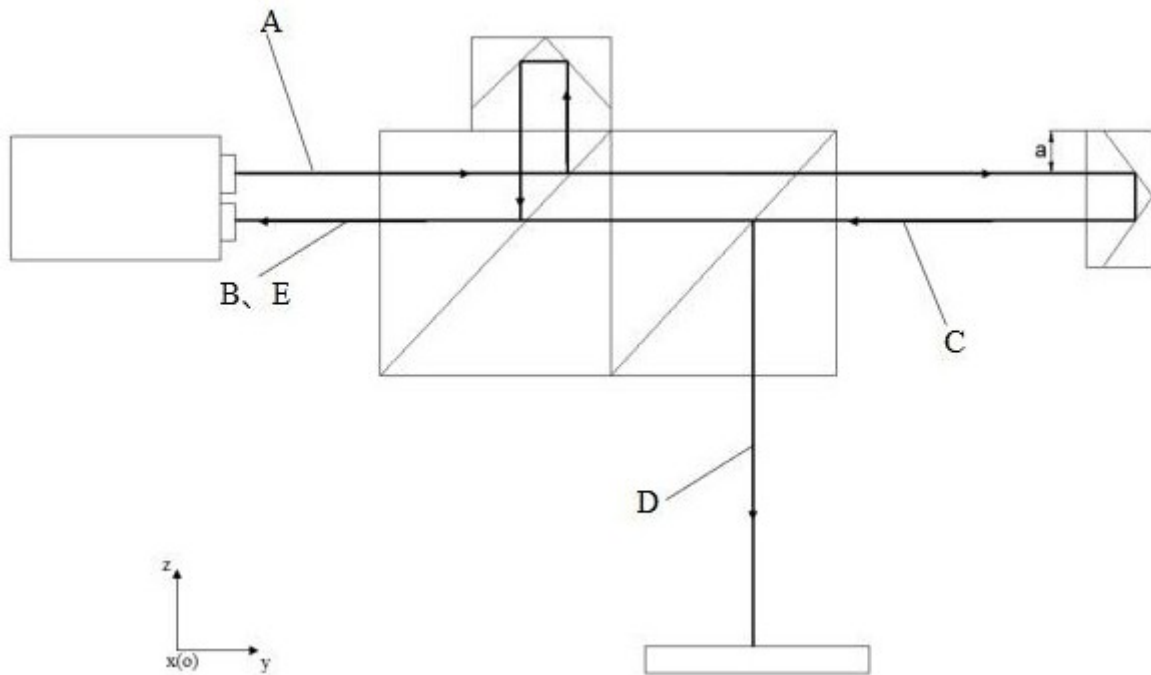


图2

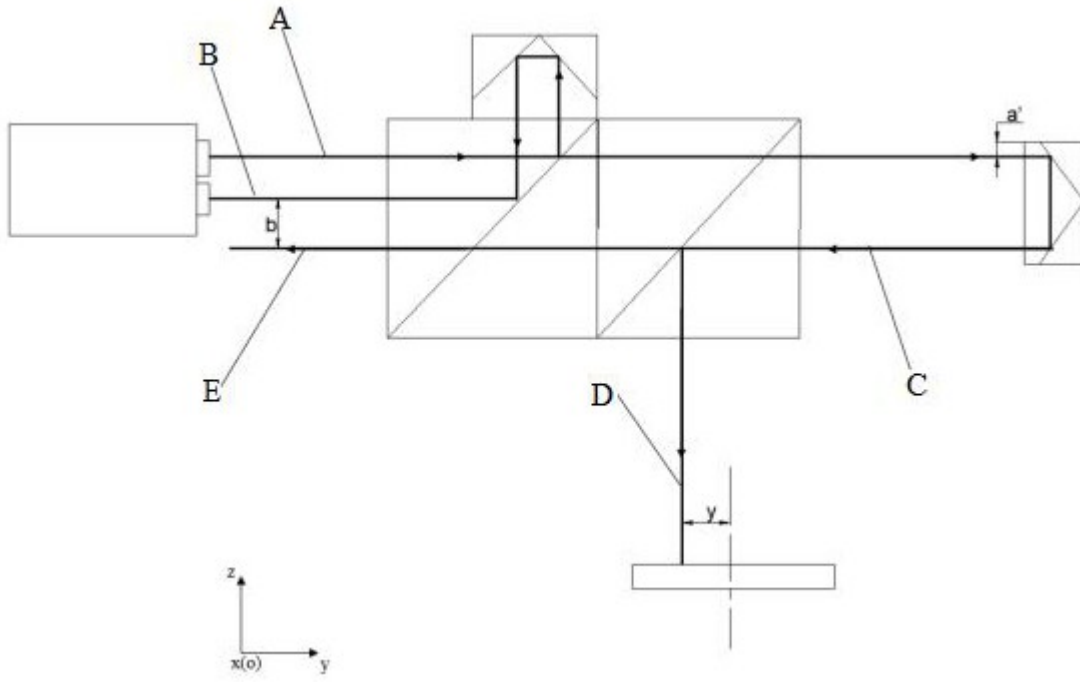


图3

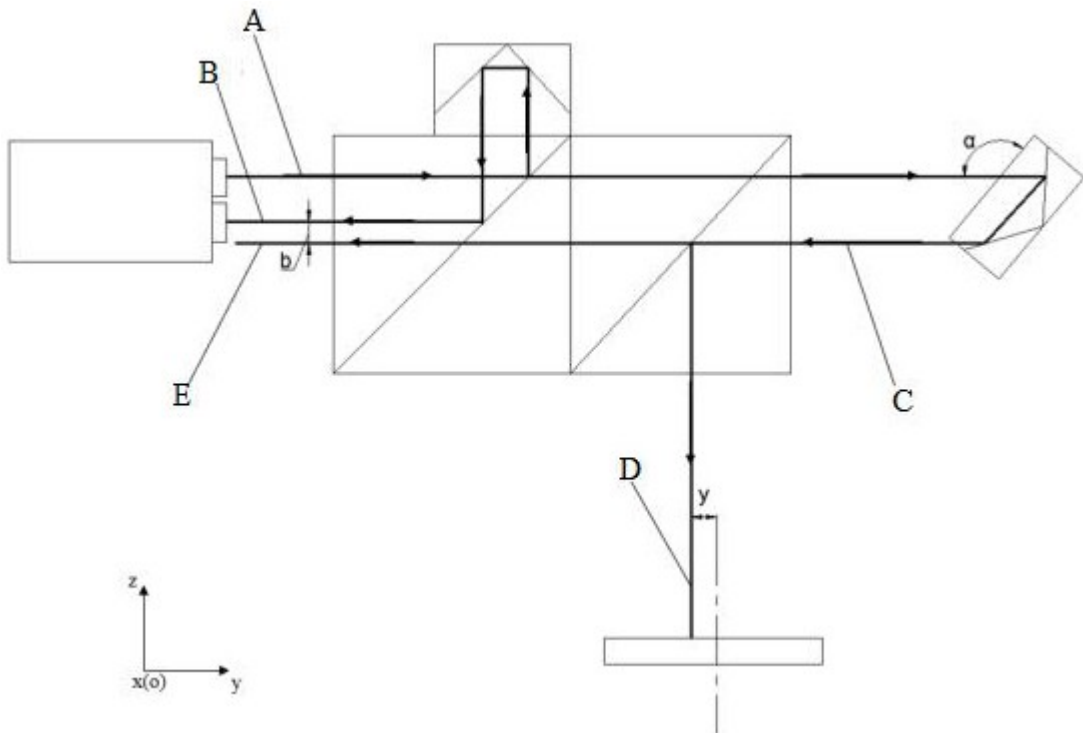


图4

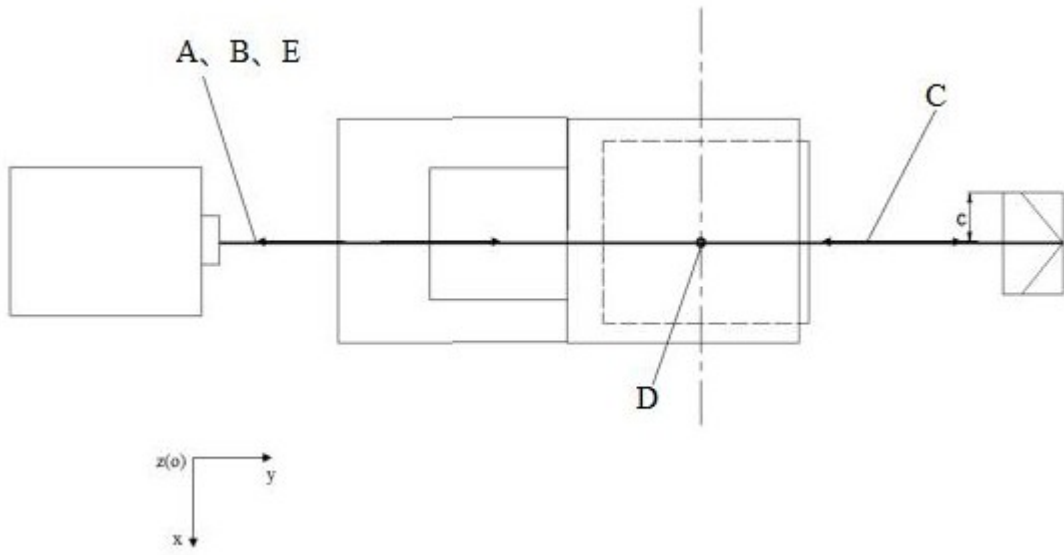


图5

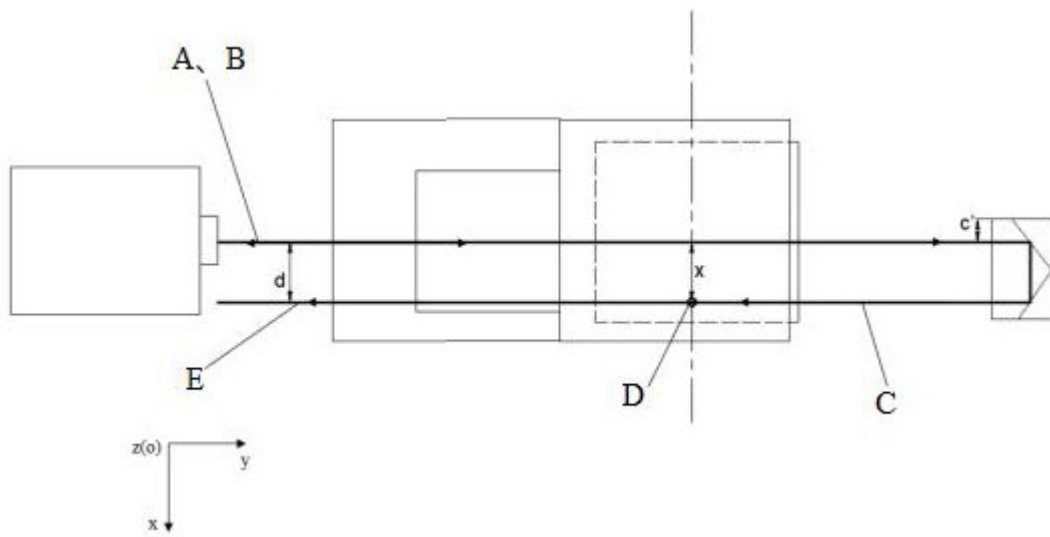


图6

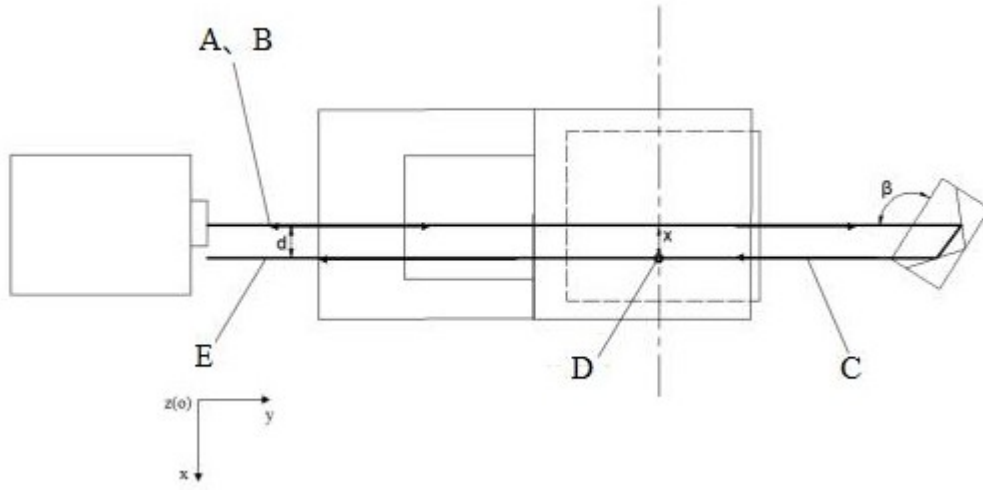


图7

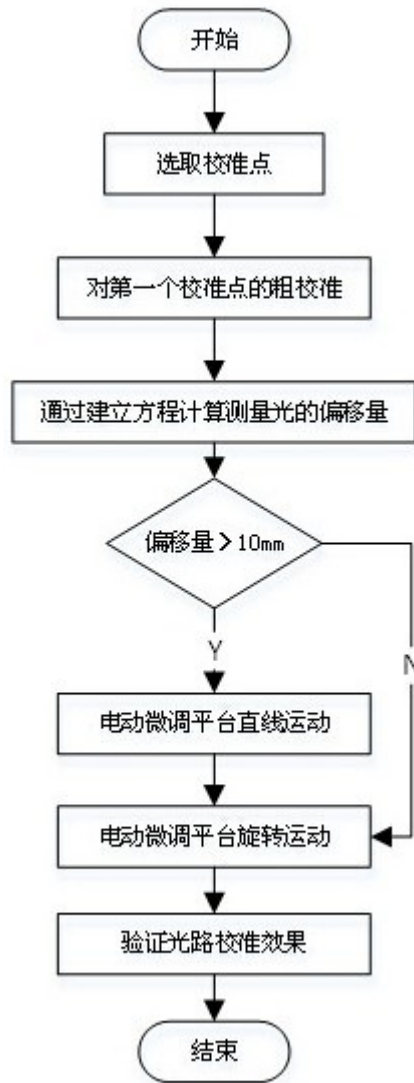


图8