



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101922909 A

(43) 申请公布日 2010. 12. 22

(21) 申请号 201010120779. 2

(22) 申请日 2010. 03. 09

(71) 申请人 中国科学院国家天文台南京天文光  
学技术研究所

地址 210042 江苏省南京市板仓街 188 号

(72) 发明人 张勇 李烨平

(74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207  
代理人 栗仲平

(51) Int. Cl.

G01B 7/02 (2006. 01)

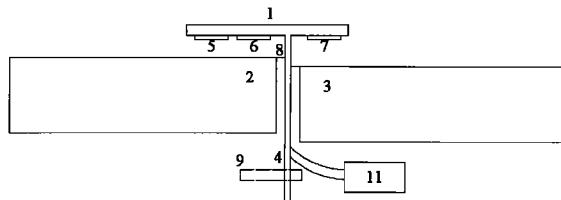
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 1 页

(54) 发明名称

非接触直接检测镜面高低差的高精度电容式  
位移传感器

(57) 摘要

非接触直接检测镜面高低差的高精度电容式位移传感器，被检测的各子镜镜面安装在支撑系统的桁架上，其特征在于，在所述支撑系统的桁架上设置有一个基准板，在该基准板对着子镜的一面、与子镜镜面对应的位置上，安装有电容极板；同时，将对应的被检测子镜镜面的反射金属膜层或者金属镜面本身，作为电容的另一个极板；将该两个电容极板与电容位移传感器的检测电路连接。本发明能直接实现拼接镜面高低差检测。具有原理清晰明了、结构紧凑、工艺简单和高低差检测精度高等优点；相对于传统经典的传感器，能直接、非接触地获得镜面高低差，不引入其它杂散光。本发明适用于各种光学或者射电系统的镜面高低差检测。



1. 一种非接触直接检测镜面高低差的高精度电容式位移传感器，被检测的各子镜镜面安装在支撑系统的桁架上，其特征在于，在所述支撑系统的桁架上设置有一个基准板，在该基准板对着子镜的一面、与子镜镜面对应的位置上，安装有电容极板；同时，将对应的被检测子镜镜面的反射金属膜层或者金属镜面本身，作为电容的另一个极板；将该两个电容极板与电容位移传感器的检测电路连接。

2. 根据权利要求 1 所述的非接触直接检测镜面高低差的高精度电容式位移传感器，其特征在于，所述两个相邻的子镜镜面对应的基准板上安装的电容极板，是分别安装一个和两个电容极板。

3. 根据权利要求 1 所述的非接触直接检测镜面高低差的高精度电容式位移传感器，其特征在于，所述两个相邻的子镜镜面对应的基准板上安装的电容极板，是都安装两个电容极板。

4. 根据权利要求 1 所述的非接触直接检测镜面高低差的高精度电容式位移传感器，其特征在于，所述的电容位移传感器的检测电路为：电桥电路、谐振电路、调频电路、运算放大电路、差动脉冲宽度调制电路，或不完全驱动放大器检测电路。

5. 根据权利要求 1～4 之一所述的非接触直接检测镜面高低差的高精度电容式位移传感器，其特征在于，所述的电容位移传感器的检测电路，采用镜面接地的不完全驱动放大器检测电路。

6. 根据权利要求 5 所述的非接触直接检测镜面高低差的高精度电容式位移传感器，其特征在于，所述的电容位移传感器的不完全驱动放大器检测电路中的放大器开环放大倍数在 85～90dB 以上，以减小电缆电容的影响。

## 非接触直接检测镜面高低差的高精度电容式位移传感器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种可供拼接镜面高低差非接触直接检测的高精度电容式位移传感器，用于尤其用于需要实现拼接天文望远镜镜面高低差检测（包括光学系统要求共焦和共相，甚至大批量使用）的场合。

### 背景技术

[0002] 高精度传感器技术是科学技术高度发展的必然选择。常见可用于拼接天文望远镜镜面时检测镜面高低的传感器有很多种，主要分为接触式和非接触式，直接检测式和间接检测式等等；接触式主要包括在镜面背面或者侧面安装的电容、电感、电涡流等位移传感器，通过预先定标来检测镜面高低；而非接触式主要有光纤位移传感器和其它基于光学系统的瞳孔检测和像面检测方法；直接检测是指直接获得高低差的位移表达，而间接检测则需要检测角度或者其它物理量通过公式或者方法间接获得位移。

[0003] 上述多种方法及其所实现的位移传感器，都有各种各样的缺点。接触式测量在镜面背面或者侧面安装位移传感器，需要经常使用其它仪器来进行高低位置的传感器标定，比如 Keck 望远镜拼接主镜等；而光纤位移传感器虽然能直接反映镜面的高低，但是因为采用光学能量检测，所以会给光学系统带来杂光等多种因素的影响，此外光纤端面与镜面距离会影响测量精度；基于光学检测系统的瞳孔面检测和像面检测方法，会受到大气湍流、温度变化、噪声等等各种环境因素变化的影响，精度有限并且检测批量有限，使用场合有限。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种非接触直接检测镜面高低差的高精度电容式位移传感器，该电容式镜面高低差位移传感器能直接测量镜面的高低差，原理清晰明了、结构紧凑和工艺简单。相对于传统经典的传感器，该电容式镜面高低差位移传感器能直接、非接触地获得镜面高低差，不引入其它杂散光。本发明适用于各种光学或者射电系统的镜面高低差检测。

[0005] 完成上述发明任务的方案是，一种非接触直接检测镜面高低差的高精度电容式位移传感器，被检测的各子镜镜面安装在支撑系统的桁架上，其特征在于，在所述支撑系统的桁架上设置有一个基准板，在该基准板对着子镜的一面、与子镜镜面对应的位置上，安装有电容极板；同时，将对应的被检测子镜镜面的反射金属膜层或者金属镜面本身，作为电容的另一个极板；将该两个电容极板与电容位移传感器的检测电路连接。

[0006] 以上方案中，在两个相邻的子镜镜面对应的基准板上，可以分别安装一个电容极板或两个电容极板。也可以将两个子镜上的基准板上全部安装对称的两个等面积的电容极板，以消除安装倾斜的误差，从而构成图 2 的实现形式。

[0007] 本发明的工作原理是：

[0008] 首先提出一种可供拼接镜面高低差直接检测的高精度电容式位移传感器，并称之为电容式镜面高低差位移传感器。如图 1 所示。用镜面的反射金属膜层或者金属镜面，与基准面上的等面积电容极板组成电容传感器；在一个镜面上布置两个电容传感器，而另外

镜面上布置一个电容传感器,以消除基准面安装倾斜所引起的误差;镜面和基准面上的等面积电容极板接谐振电路或其它检测电路,为了避免镜面金属反射膜或金属镜面发热,可以采用镜面接地的不完全驱动放大器检测电路;电容极板面积的大小可以通过其它测量仪器来进行标定出比例关系。例如,将两电容的一极分别同时接到电路中,另外一极对应同一块足够大的极板,两电容的极距通过安装或者基准块来进行保证完全相同并平行,通过对电容或相关电路参数的检测即可确定出电容大小及其比例关系,标定出极板面积等相关比例系数。

[0009] 在以上两镜面高低差检测传感器技术上,如果对相邻 N 个子镜(六角形拼接则 N 为 6,四边形拼接则 N 为 4),可以另外伸出 N-2 个传感器探头(每个镜面各包括一个镜面电容传感器),从而实现相邻全部子镜高低差的检测和标定。

[0010] 电容位移传感器的检测电路有电桥电路、谐振电路、调频电路、运算放大电路、差动脉冲宽度调制电路、不完全驱动放大器检测电路等。

[0011] 下文以图 1 电容式镜面高低差位移传感器为对象,对其进行理论计算以及对其特性作进一步说明。

[0012] 1、电容式镜面高低差位移传感器位移检测及精度分析

$$[0013] C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{\delta} \quad (1)$$

$$[0014] dC = -\frac{\epsilon_0 \epsilon S}{\delta^2} d\delta \quad (2)$$

$$[0015] K = \frac{dC}{d\delta} = -\frac{\epsilon_0 \epsilon S}{\delta^2} = -\frac{C}{\delta} \quad (3)$$

[0016] 当被测量  $\delta$ 、S 或  $\epsilon$  发生变化时,都会引起电容的变化。如果保持其中的两个参数不变,而仅改变另一个参数,就可把该参数的变化变换为单一电容量的变化。根据其改变参数不同,可将电容式传感器分为下三种:改变极板之距离( $\delta$ )的极距型传感器、改变极板遮盖面积(s)的面积型传感器、改变电介质之介电常数( $\epsilon_0$ )的介介质型传感器。极距式电容传感器。计算可知其灵敏度 K 与极距平方成反比,极距愈小,灵敏度愈高。一般通过减小初始极距( $\delta_0$ )来提高灵敏度。但极距减小受电容极板间击穿电压的限制。由于电容量 C 与极距  $\delta$  呈非线性关系,故这将引起非线性误差。当  $\Delta \delta / \delta_0 \approx 0.1$  时,可得到近似的线性关系。为了减小这一误差,通常规定测量范围  $\Delta \delta << \delta_0$ 。一般取极距变化范围为  $\Delta \delta / \delta_0 \approx 0.01 \sim 0.1$ ,此时,传感器的灵敏度近似为常数。一般  $\delta_0 = 0.1 \sim 1\text{mm}$  左右。此类电容仅适于微小位移的测量(0.01 微米~数百微米)。

[0017] 经典的极距式电容位移传感器在实际应用中,为了提高传感器的灵敏度、增大线性工作范围和克服外界条件(如电源电压、环境温度等)的变化对测量精度的影响,常常采用两个电容串联式的差动型电容式传感器。

[0018] 电容式镜面高低差位移传感器通过三电容的直线分布形式,可以同样实现克服外界条件的变化对测量精度的影响。

[0019] 在安装之前,通过在双频激光干涉仪上进行相同极距的电容检测标定,可以获得三电容极板面积的 S 的比例关系和三个电容之间的距离比例关系。在光学系统的拼接镜面的指向调整完成之后,此时镜面之间完全是高低差。通过测量出三个极距  $\delta_5$ 、 $\delta_6$ 、 $\delta_7$ ,利用标定的面积 S 的关系可以计算出准确的三个极距  $\delta_{50}$ 、 $\delta_{60}$ 、 $\delta_{70}$ 。则基准板相对于镜面的

倾斜量为：

$$[0020] \quad \theta = \frac{\delta_{60} - \delta_{50}}{d_{56}} \quad (4)$$

[0021] 这里的  $d_{56}$  为传感器 5 和 6 沿着连线上的间距。而电容 7 所在子镜相对于电容 5 和 6 所在子镜的高低差则可表达为：

$$[0022] \quad \Delta d = \delta_{70} - \delta_{50} - \frac{(\delta_{60} - \delta_{50}) \times d_{57}}{d_{56}} \quad (5)$$

[0023]  $d_{57}$  为传感器 5 和 7 沿着连线上的间距。

[0024] 从上式可以看出，高低差同样能传递保持电容位移传感器的精度。

[0025] 可以采用镜面接地的不完全驱动放大器检测电路方式，则可以通过把放大器开环放大倍数调整到足够大（一般在 85 ~ 90dB 以上），把电缆电容的影响减小到足够小，电路简单，成本低。

[0026] 本发明的有益效果是：电容式镜面高低差位移传感器能直接实现拼接镜面高低差检测。具有原理清晰明了、结构紧凑、工艺简单和高低差检测精度高等优点；相对于传统经典的传感器，能直接、非接触地获得镜面高低差，不引入其它杂散光。本发明适用于各种光学或者射电系统的镜面高低差检测。

### 附图说明

[0027] 图 1 镜面电容式高低差位移传感器结构图；

[0028] 图 2 对称镜面电容式高低差位移传感器结构图；

[0029] 图 3 为一种电容的谐振检测电路的电路原理图。

[0030] 图中 1、电容传感器放置基准底板，2、放置两电容传感器的镜面，3、放置一个电容传感器的镜面，4、基准底板与桁架间的连接机构；5、电容器 5,6、电容器 6,7 电容器 7,8 镜面接线，9、子镜支撑桁架，10、电容器，11、电容检测电路。

[0031] 图 3 中 12、15、17 分别为普通电容，16 为可变电容，13 和 14 为普通电感，18 为振荡器，19 为放大和检波部分。

### 具体实施方式

[0032] 实施例 1，参照图 1：在图中两个镜面 2、3 上方的基准板 1 上分别配置两个电容传感器正极板 5,6，和一个电容传感器正极板 7（此处对于对称式即有两个，分别为 7 和 10），沿着直线方向，以消除基准座的倾斜误差，而电容传感器的负极板则利用镜面的金属反射膜或者金属镜面本身，电容传感器的基准座连接在镜面支撑系统的桁架 9 上，通过预先定标的方法来确定该传感器的系统误差，主要来自电容极板的面积和电容间距等，并在安装前调整电容基准座 1 与桁架连接机构 4 的大致垂直（传感器极板与镜面大致平行，误差小）和通过连接机构 4 可以粗调电容两极间距至传感器的范围 0.1 ~ 0.2 毫米左右。镜面电极通过电缆 8 接电路 11 或直接接地，而电容电极 5,6,7,10 电缆直接从桁架连接机构 4 走线。整个传感器系统外接检测电路 11。

[0033] 实施例 2，参照图 2：与实施例 1 基本相同，但两个镜面 2、3 上方的基准板 1 上所配置电容传感器正极板为两个，分别为 7 和 10。

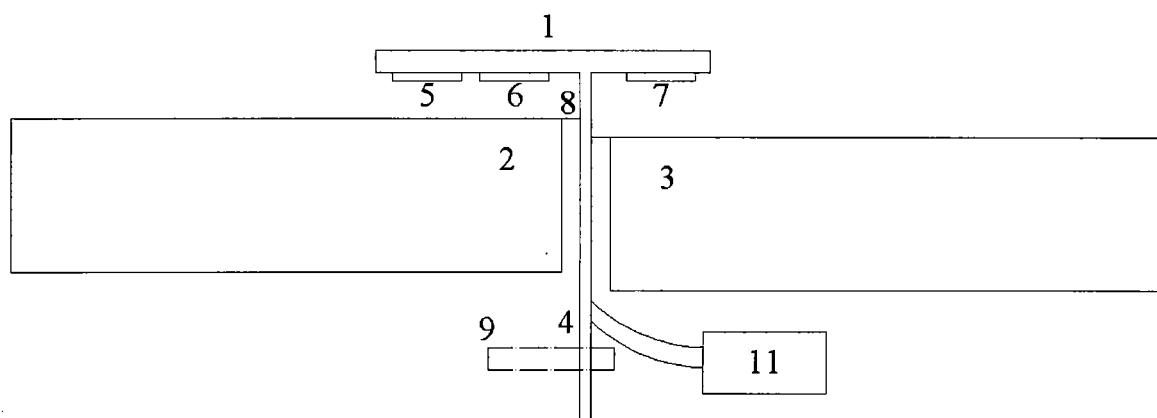


图 1

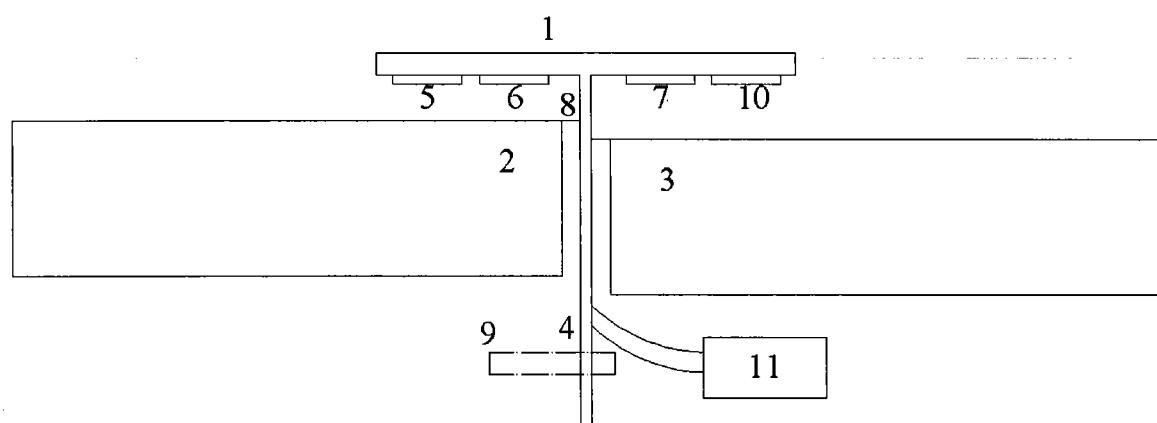


图 2

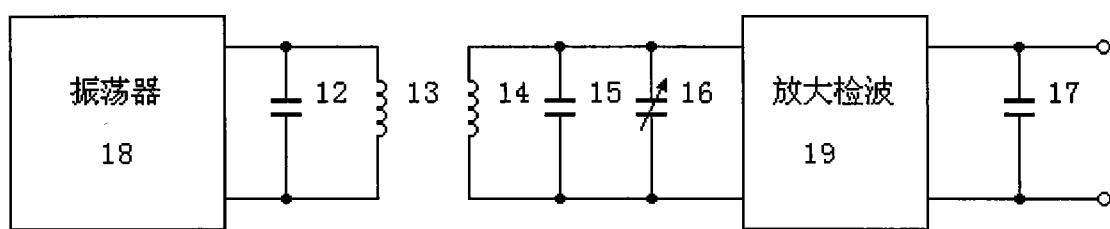


图 3