

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利申请公布说明书

G01B 11/02 (2006.01)

G01K 11/32 (2006.01)

G01D 5/26 (2006.01)

[21] 申请号 200910026385.8

[43] 公开日 2009年9月9日

[11] 公开号 CN 101526339A

[22] 申请日 2009.4.22

[21] 申请号 200910026385.8

[71] 申请人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市四牌楼2号

[72] 发明人 周广东 李爱群 丁幼亮

[74] 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司  
代理人 许方

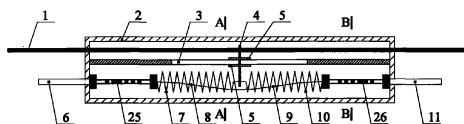
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

[54] 发明名称

温度自补偿光纤光栅位移传感器

[57] 摘要

本发明提供一种温度自补偿光纤光栅位移传感器，它是利用毛细金属管封装的两只裸光纤光栅通过金属连接块、弹簧和连接杆与探头相连，形成位移传感器实施其功能的主体，再将此主体安装于金属盒内，最后将毛细金属管的端部通过金属连接块与金属盒固定，光纤从金属连接块和金属盒侧壁上的小孔穿出，探头通过金属盒的导杆孔可以自由伸缩。当位移传感器安装于结构上，在结构产生位移时，探头和金属盒发生相对运动，这使得光纤光栅伸长或者缩短，从而产生光纤光栅工作波长的漂移，利用位移传感器的温度补偿理论和位移计算公式可以测试结构的位移和温度。



1、一种温度自补偿光纤光栅位移传感器，该温度自补偿光纤光栅位移传感器的外壳由金属盒（2）和金属盒盖（12）组成，其特征在于：还包括探头（1）、隔板（3）、连接杆（4）、限位板（5）、左光纤光栅传感装置和右光纤光栅传感装置；其中隔板（3）横向设置在金属盒（2）的内部、左右两端及底部与金属盒（2）内壁固定，将金属盒（2）分割成上下两个空腔，隔板（3）中部开设有长孔（22）；探头（1）布置在金属盒（2）的上部空腔内，两端分别从金属盒（2）的左右两侧壁穿出；连接杆（4）的一端穿过长孔（22）与探头（1）相连，连接杆（4）在位于隔板（3）的上下两侧分别设置限位板（5），以防止连接杆（4）发生上下滑动；左光纤光栅传感装置和右光纤光栅传感装置结构相同，在金属盒（2）的下部空腔内相互对称放置，分别通过弹簧与连接杆（4）的另一端连接；

所述左光纤光栅传感装置从左至右依次设置左金属连接块（15）、第一光纤光栅传感器（23）、右金属连接块（18）与左弹簧（7）；其中左金属连接块（15）的左端与金属盒（2）的内壁固定连接，第一光纤光栅传感器（25）的左右两端分别连接左金属连接块（15）的右端和右金属连接块（18）的左端，右金属连接块（18）的右端与左弹簧（7）的一端连接，左弹簧（7）的另一端与连接杆（4）的另一端连接；

所述右光纤光栅传感装置与左光纤光栅传感装置结构对称，从左至右依次包括右弹簧（10）、第一金属连接块（20）、第二光纤光栅传感器（26）、第二金属连接块（21），右弹簧（10）的左端与连接杆（4）的另一端连接，右弹簧（10）的右端与第一金属连接块（20）的左端连接，第二光纤光栅传感器（26）的左右两端分别与第一金属连接块（20）的右端、第二金属连接块（21）的左端连接，第二金属连接块（21）的右端与金属盒（2）的右侧壁固定；

第一光纤光栅传感器（25）的光纤导线的一端依次穿过左金属连接块（15）、金属盒（2）的内壁后伸出金属盒（2）的外部形成第一尾纤（6），另一端穿过右金属连接块（18）后形成第二尾纤（8）；第二光纤光栅传感器（26）的光纤导线的一端穿过第一金属连接块（20）后形成第三尾纤（9），另一端依次穿过第二金属连接块（21）和金属盒（2）的右侧壁后形成第四尾纤（11）；第一光纤光栅传感器（25）与第二光纤光栅传感器（26）通过第二尾纤（8）与第三尾纤（9）焊接连接。

2、根据权利要求1所述的温度自补偿光纤光栅位移传感器，其特征在于：左光纤光栅传感装置和右光纤光栅传感装置与金属盒（2）底板的接触面以及限位板（5）与隔

板（3）之间的接触面设置润滑材料。

3、根据权利要求 1 所述的温度自补偿光纤光栅位移传感器，其特征在于：所述第一光纤光栅传感器（25）包括毛细金属管（16）、环氧树脂（17）、裸光纤光栅（19），其中裸光纤光栅（19）被环氧树脂（17）封装在毛细金属管（16）中，裸光纤光栅（19）的两端分别穿出毛细金属管（16）的两端在管腔外形成第一尾纤（6）和第二尾纤（8）；所述第二光纤光栅传感器（26）与第一光纤光栅传感器（25）的结构相同。

## 温度自补偿光纤光栅位移传感器

### 技术领域

本发明涉及一种位移测量装置,尤其是对土木工程结构模型试验和长期使用过程中的位移进行测量的传感器。

### 背景技术

目前,普通电式、振弦式位移传感器安装在结构上,可以短期或者长期测量结构在各种荷载下的位移,以分析结构的受力状况。但此类位移传感器在工程应用中尚有一定的局限性,如电式位移传感器容易受到电磁干扰、测量信号不稳定,振弦式位移传感器长期使用时会产生徐变、长期稳定性差等。

为了开发性能更为优良的位移传感器用于结构的状态测量,选用新型的测量原理并进行合理的传感器设计是有效途径之一。光纤布拉格光栅传感(Fiber Bragg Grating, FBG)是一种新型的传感原理,它以光波为信号载体,并采用波长调制,不受光强的影响,信号稳定,在土木工程结构的各种场合都具有良好的传感性能。利用光纤光栅原理制作的位移传感器能有效的测量结构的位移,且制作出的传感器具有体积小、测量精度高、抗电磁干扰、耐腐蚀、可靠性和稳定性好、耐久性好等优点。

### 发明内容

**技术问题:**本发明的目的是提供一种光纤光栅位移传感器,它能对工程结构的位移反应进行实时准确的测量;同时,在测量的过程中能自动对温度变化引起的干扰进行补偿并且获得测量点的温度值。

**技术方案:**本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

本发明的温度自补偿光纤光栅位移传感器,该温度自补偿光纤光栅位移传感器的外壳由金属盒和金属盒盖组成,还包括探头、隔板、连接杆、限位板、左光纤光栅传感装置和右光纤光栅传感装置;其中隔板横向设置在金属盒的内部、左右两端及底部与金属盒内壁固定,将金属盒分割成上下两个空腔,隔板中部开设有长孔;探头布置在金属盒的上部空腔内,两端分别从金属盒的左右两侧壁穿出;连接杆的一端穿过长孔与探头相连,连接杆在位于隔板的上下两侧分别设置限位板,以防止连接杆发生上下滑动;左光

纤光栅传感装置和右光纤光栅传感装置结构相同，在金属盒的下部空腔内相互对称放置，分别通过弹簧与连接杆的另一端连接；

所述左光纤光栅传感装置从左至右依次设置左金属连接块、第一光纤光栅传感器、右金属连接块与左弹簧；其中左金属连接块的左端与金属盒的内壁固定连接，第一光纤光栅传感器的左右两端分别连接左金属连接块的右端和右金属连接块的左端，右金属连接块的右端与左弹簧的一端连接，左弹簧的另一端与连接杆的另一端连接；

所述右光纤光栅传感装置与左光纤光栅传感装置结构对称，从左至右依次包括右弹簧、第一金属连接块、第二光纤光栅传感器、第二金属连接块，右弹簧的左端与连接杆的另一端连接，右弹簧的右端与第一金属连接块的左端连接，第二光纤光栅传感器的左右两端分别与第一金属连接块的右端、第二金属连接块的左端连接，第二金属连接块的右端与金属盒的右侧壁固定；

第一光纤光栅传感器的光纤导线的一端依次穿过左金属连接块、金属盒的内壁后伸出金属盒的外部形成第一尾纤，另一端穿过右金属连接块后形成第二尾纤；第二光纤光栅传感器的光纤导线的一端穿过第一金属连接块后形成第三尾纤，另一端依次穿过第二金属连接块和金属盒的右侧壁后形成第四尾纤；第一光纤光栅传感器与第二光纤光栅传感器通过第二尾纤与第三尾纤焊接连接；

本发明的温度自补偿光纤光栅位移传感器，左光纤光栅传感装置和右光纤光栅传感装置与金属盒底板的接触面以及限位板与隔板之间的接触面设置润滑材料。

本发明的温度自补偿光纤光栅位移传感器，所述第一光纤光栅传感器包括毛细金属管、环氧树脂、裸光纤光栅，其中裸光纤光栅被环氧树脂封装在毛细金属管中，裸光纤光栅的两端分别穿出毛细金属管的两端在管腔外形成第一尾纤和第二尾纤；所述第二光纤光栅传感器与第一光纤光栅传感器的结构相同。

#### 有益效果：

本发明的温度自补偿光纤光栅位移传感器，在利用光纤光栅位移传感器测量位移的同时还能得到结构的温度变化，具有温度自补偿功能，不需要额外的温度测量装置。而且其具有长期稳定性好、测量精度高、量程大及性能稳定等优点。另外，本发明是将探头通过弹簧与光纤光栅相连并安装于外壳内，结构较为简单。

#### 附图说明

图1是本发明的内部构造示意图；

图2是图1中沿A-A方向的剖面构造示意图；

图 3 是图 1 中沿 B-B 方向的剖面构造示意图；

图 4 金属盒 2 的左视图；图 5 金属盒 2 的右视图；

图 6 是第一光纤光栅传感器 25 构造示意图；

图 7 是右光纤光栅传感装置构造示意图；图 8 是隔板 3 的俯视图；

图 9 是左金属连接块 15 的剖视图；图 10 是右金属连接块 18 的剖视图。

图中有：探头 1；金属盒 2；隔板 3；连接杆 4；限位板 5；第一尾纤 6；左弹簧 7；第二尾纤 8；第三尾纤 9；右弹簧 10；第四尾纤 11；金属盒盖 12；导杆孔 13；第一小孔 14；左金属连接块 15；毛细金属管 16；环氧树脂 17；右金属连接块 18；裸光纤光栅 19；第一金属连接块 20；第二金属连接块 21；隔板长孔 22；第二小孔 23；第三小孔 24；第一光纤光栅传感器 25；第二光纤光栅传感器 26。

### 具体实施方式

下面结合附图对本发明的技术方案进行详细说明：

如图 1~图 10 所示，本发明温度自补偿光纤光栅位移传感器包括探头 1、金属盒 2、隔板 3、连接杆 4、限位板 5、第一尾纤 6、左弹簧 7、第二尾纤 8、第三尾纤 9、右弹簧 10、第四尾纤 11、金属盒盖 12、导杆孔 13、第一小孔 14、左金属连接块 15、毛细金属管 16、环氧树脂 17、右金属连接块 18、裸光纤光栅 19、隔板长孔 22、第二小孔 23，第三小孔 24、第一光纤光栅传感器 25、第二光纤光栅传感器 26；其中，隔板 3 横向设置在金属盒 2 的内部、左右两端及底部与金属盒 2 内壁固定，将金属盒 2 分割成上下两个空腔，隔板 3 上开长孔 22；探头 1 布置在金属盒 2 的上部空腔内，通过金属盒 2 的左右两侧壁导杆孔 13 穿出，连接杆 4 通过隔板 3 的长孔 22 和探头 1 相连，连接杆 4 在隔板 3 上下两侧分别设置限位板 5，以防止连接杆 4 发生上下的滑动，产生位移偏差；将毛细金属管 16 采用酒精洗净烘干后固定于实验台座，裸光纤光栅 19 的光栅段去除涂敷层并用脱脂棉球蘸酒精擦净后穿过毛细金属管 16，调整实验台座使裸光纤光栅 19 具有一定的预拉应变并保持平直且位于毛细金属管 16 的中心，在毛细金属管 16 中灌入环氧树脂 17，加热使环氧树脂 17 凝固，从而形成第一光纤光栅传感器 25；在金属盒 2 的下部空腔内，将第一光纤光栅传感器 25 左端与左金属连接块 15 粘接，右端与右金属连接块 18 粘接；并将光纤导线一端依次穿过左金属连接块 12 的第二小孔 23、金属外壳 2 的第一小孔 14 后形成第一尾纤 6，另一端穿过右金属连接块 18 的第三小孔 24 后形成第二尾纤 8；左金属连接块 15 和金属盒 2 的左侧壁固定，右金属连接块 18 和左弹

簧7左端相连,左弹簧7右端与连接杆4固定,左光纤光栅传感装置就制作完成,右光纤光栅传感装置与左光纤光栅传感装置结构对称放置于金属盒2的下部空腔内,从左至右依次包括右弹簧10、第一金属连接块20、第二光纤光栅传感器26、第二金属连接块21,右弹簧10的左端与连接杆4固定,右端与第一金属连接块20的左端连接,第二光纤光栅传感器26的左右两端分别与第一金属连接块20的右端、第二金属连接块21的左端连接,第二金属连接块21的右端与金属盒2的右侧壁固定;第二光纤光栅传感器26的光纤导线的一端穿过第一金属连接块20后形成第三尾纤9,另一端依次穿过第二金属连接块21和金属盒2的右侧壁后形成第四尾纤11;第三尾纤9与第二尾纤8焊接连接;传感器探头1与传感器外壳2发生相对位移时,通过连接杆4与探头1相连的左弹簧7和右弹簧10带动第一光纤光栅传感器25和第二光纤光栅传感器26伸长或缩短,从而使光栅反射波长产生漂移。

左光纤光栅传感装置和右光纤光栅传感装置与金属盒底板的接触面以及限位板5与隔板3之间的接触面设置润滑材料。图2中金属盒盖12与金属盒2粘接形成传感器外壳。

下面对本发明的工作原理做进一步详细的说明:

金属盒和金属盒盖组成传感器的外部结构,主要起保护传感器和帮助固定传感器于待测点的作用;两个光纤光栅传感装置和两个与之相连的弹簧以及一个探头形成传感器的内部结构,是实现传感器功能的主体。弹簧的刚度可以根据光纤光栅传感装置刚度和结构测量的实际需要进行调整。当传感器探头所在点与传感器外壳固定点发生相对位移时,与探头通过连接杆相连的弹簧带动光纤光栅伸长或者缩短,从而产生光栅反射波长的漂移,光纤光栅解调仪通过检测波长的漂移,并经过一定的计算公式得出探头所在点的位移。由于连接杆处在两个光纤光栅的中间,在探头与传感器外壳相对运动的过程中,总是会有其中一只光纤光栅伸长,另外一只光纤光栅压缩,造成两只光纤光栅波长漂移方向相反,综合利用两只光纤光栅的波长漂移量可以消除光纤光栅传感装置由于温度变化引起的波长漂移的影响并获得测量点的位移变化和温度变化,因而温度自补偿光纤光栅位移传感器具有温度自补偿功能,不需要额外的温度测量装置。

具体计算公式如下:

根据模耦合理论,FBG中心波长与光纤光栅栅距的关系为:

$$\lambda_B = 2n \cdot \Lambda \quad (1)$$

其中, $\lambda_B$ 是光纤光栅的反射波长; $n$ 是光纤光栅纤芯的有效折射率; $\Lambda$ 是光纤光栅的栅距。反射光信号的中心波长 $\lambda_B$ 跟光栅周期 $\Lambda$ 和纤芯的有效折射率 $n$ 有关,所以当外

界的被测量引起光纤光栅温度、应力改变都会导致反射光的中心波长发生变化。光纤光栅的中心波长漂移  $\Delta\lambda_B$  与温度变化  $\Delta T$  和应变变化  $\Delta\varepsilon$  的关系为：

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (\alpha_f + \xi)\Delta T + (1 - P_e)\Delta\varepsilon \quad (2)$$

其中， $\alpha_f = \frac{1}{\Lambda} \frac{d\Lambda}{dT}$  为光纤的热膨胀系数， $\xi = \frac{1}{n} \frac{dn}{dT}$  为光纤材料的热光系数， $P_e = -\frac{1}{n} \frac{dn}{d\varepsilon}$  为光纤材料的弹光系数。

设光纤光栅传感装置的位移变化为  $\Delta L$ ，左光纤光栅传感装置的标距长度为  $L_1$ ，右光纤光栅传感装置的标距长度为  $L_2$ ，则左右两光纤光栅由于位移引起的应变为：

$$\Delta\varepsilon_1 = \frac{\Delta L}{L_1} \quad (3)$$

$$\Delta\varepsilon_2 = -\frac{\Delta L}{L_2} \quad (4)$$

综合公式 (3)、(4) 得：

$$\Delta L = \frac{1}{2}(L_1\Delta\varepsilon_1 - L_2\Delta\varepsilon_2) \quad (5)$$

采用同一批光纤光栅封装，左右两光纤光栅传感装置的热膨胀系数  $\alpha_f$ 、热光系数  $\xi$ 、弹光系数  $P_e$  相同。将 (2) 式代入 (5) 式得：

$$\begin{aligned} \Delta L &= \frac{1}{2} \left\{ L_1 \frac{1}{1-P_e} \left[ \frac{\Delta\lambda_{B1}}{\lambda_{B1}} - (\alpha_f + \xi)\Delta T_1 \right] - L_2 \frac{1}{1-P_e} \left[ \frac{\Delta\lambda_{B2}}{\lambda_{B2}} - (\alpha_f + \xi)\Delta T_2 \right] \right\} \\ &= \frac{1}{2} \frac{1}{1-P_e} (L_1 \frac{\Delta\lambda_{B1}}{\lambda_{B1}} - L_2 \frac{\Delta\lambda_{B2}}{\lambda_{B2}}) \end{aligned} \quad (6)$$

左右两光纤光栅传感装置的初始波长  $\lambda_{B1}$  和  $\lambda_{B2}$  已知，通过检测光纤光栅的波长漂移  $\Delta\lambda_{B1}$  和  $\Delta\lambda_{B2}$ ，则光纤光栅传感装置的位移变化可得。

设光纤光栅传感装置的等效刚度为  $K_1$ ，弹簧的刚度为  $K_2$ ，则结构的位移  $L$  与光纤光栅传感装置的位移为  $\Delta L$  之间的关系为：

$$L = \frac{K_1 + K_2}{K_2} \Delta L \quad (7)$$



利用（2）式可得结构的温度变化为：

$$\Delta T = \frac{1}{\alpha_f + \xi} \left[ \frac{\Delta \lambda_B}{\lambda_B} - (1 - P_e) \Delta \varepsilon \right] \quad (8)$$

在利用光纤光栅位移传感器测量位移的同时还能得到结构的温度变化，而且其具有长期稳定性好、测量精度高、量程大及性能稳定等优点。另外，本发明是将探头通过弹簧与光纤光栅相连并安装于外壳内，结构较为简单。

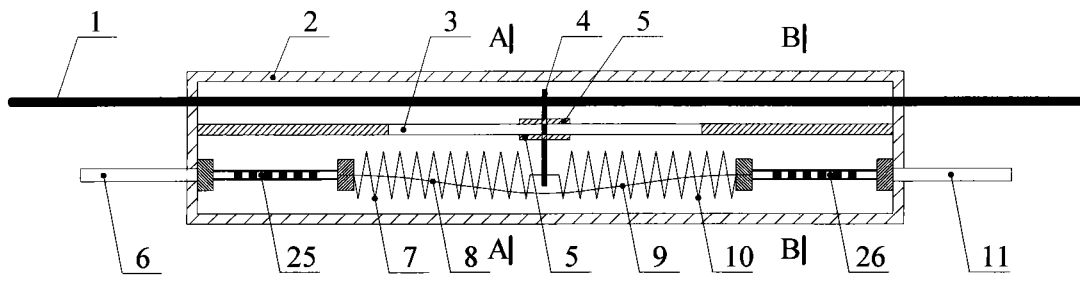


图 1

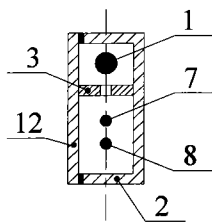


图 2

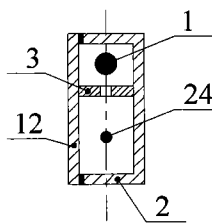


图 3

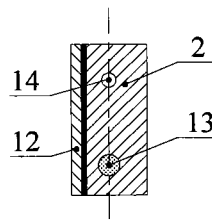


图 4

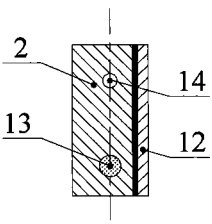


图 5

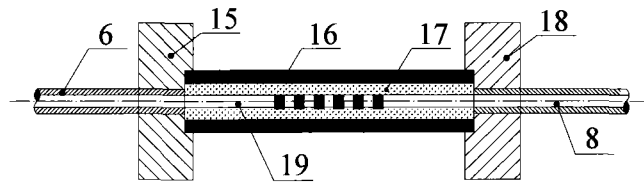


图 6

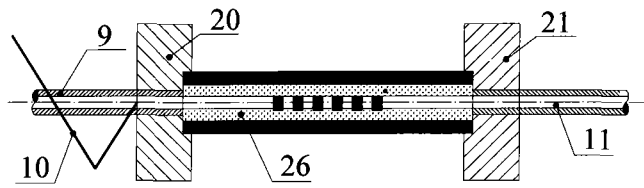


图 7

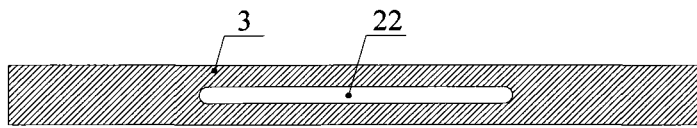


图 8

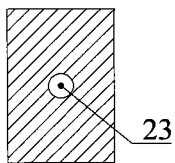


图 9

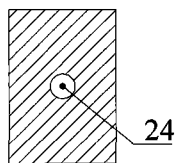


图 10