



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112229552 B

(45) 授权公告日 2021.05.14

(21) 申请号 202011103337.7

G01L 5/24 (2006.01)

(22) 申请日 2020.10.15

审查员 潘如琴

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112229552 A

(43) 申请公布日 2021.01.15

(73) 专利权人 武汉科技大学

地址 430081 湖北省武汉市青山区和平大道947号

(72) 发明人 郭永兴 胡钊 熊丽 周兴林

朱攀

(74) 专利代理机构 北京金智普华知识产权代理

有限公司 11401

代理人 杨采良

(51) Int. Cl.

G01L 1/24 (2006.01)

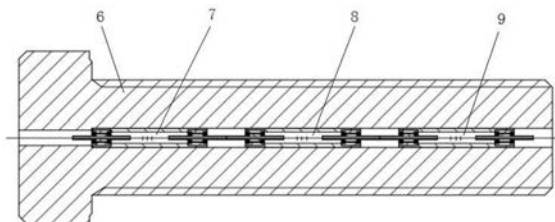
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器

(57) 摘要

本发明公开了一种螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器,沿螺栓的中心轴向方向加工有埋植孔,所述埋植孔内串联装配若干个光纤光栅测量单元,采用粘结剂将光纤光栅测量单元固定在埋植孔内;固定好的光纤光栅测量单元分布于螺栓的不同位置,用于对螺栓结构受力状态进行分布式测量。本发明实现了对螺栓连接状态的分布式监测,并且不受外部扭矩干扰。



1. 一种螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器,其特征在于:沿螺栓(6)的中心轴向方向加工有埋植孔,所述埋植孔内串联装配若干个光纤光栅测量单元,采用粘结剂将光纤光栅测量单元固定在埋植孔内;固定好的光纤光栅测量单元分布于螺栓(6)的不同位置,用于对螺栓结构受力状态进行分布式测量;

每个光纤光栅测量单元均包括光纤光栅(1)、毛细钢管(2)、微型轴承(3)、固定架(4)和外壳(5);所述光纤光栅(1)两端的光纤去除涂覆层,采用毛细钢管(2)进行固定;所述毛细钢管(2)为阶梯状结构,两端小、中间大,加工有中心孔;毛细钢管(2)的中部设有轴肩,置于固定架(4)中,轴肩的两端采用微型轴承(3)作为支撑;所述固定架(4)为空心圆筒结构,两端设置有微型轴承固定位,通过粘结剂将微型轴承(3)固定于固定架(4)两端的固定位;所述外壳(5)为空心圆筒结构,外壳(5)的外径与螺栓(6)埋植孔的直径相同,外壳(5)两端的内孔直径大于中间部分的内孔直径,所述固定架(4)置于外壳(5)的两端内孔中,采用粘结剂进行固定。

2. 根据权利要求1所述的一种螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器,其特征在于:所述光纤光栅(1)处于中心位置,光纤光栅(1)的光纤穿过两侧的毛细钢管(2),留在毛细钢管(2)中的光纤部分事先去除涂覆层,采用拉伸装置对光纤进行预拉伸,再将去除涂覆层的光纤用粘结剂封装于毛细钢管(2)内。

3. 根据权利要求1所述的一种螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器,其特征在于:所述微型轴承(3)的端面与毛细钢管(2)的阶梯面相重合,防止微型轴承(3)沿毛细钢管(2)的轴向产生移动。

4. 根据权利要求1-3中任一项所述的一种螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器,其特征在于:所述微型轴承(3)与毛细钢管(2)之间的装配关系为过渡配合或过盈配合。

螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器

技术领域

[0001] 本发明属于光纤光栅传感器技术领域,具体涉及一种螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器。

背景技术

[0002] 螺栓连接是一种常见的组装连接方式,被广泛应用于机械、电子、电力、车辆、船舶、航空、建筑等各行各业。在螺栓拧紧的过程中,螺栓螺纹连接过紧会使螺纹产生疲劳损伤,连接太松又会导致螺栓松动、连接失效;在螺栓正常装配后,受振动、温度变化、负载改变的影响,螺栓连接状态也会产生变化,螺纹副之间发生相对转动,螺栓松动,螺栓连接紧密性降低,零件连接失效。因此,需要对螺栓连接状态进行监测,从而掌握螺栓连接状态,及时进行人工干预,防止关键部位螺栓松动造成连接失效,从而带来巨大的损失。

[0003] 现有技术中存在的主要问题包括:

[0004] 螺栓连接状态表现为其轴向预紧力,许多学者针对螺栓轴向受力状态进行了大量研究。目前,基于响应信号的螺栓连接状态测试技术主要包括振动信号分析法、机电阻抗法、声弹性效应法、超声波能量法。其中振动信号分析法在螺栓连接状态监测方面还不成熟,关于螺栓结构振动信号的非线性动力学特性、信号处理、特征提取等方面需进一步完善;机电阻抗法需对压电材料施加高频激励,通过对比结构连接状态变化前后的电阻抗谱来判断其连接状态变化情况,其方法所用技术设备昂贵且压电材料难以在曲面结构中应用;基于声弹性效应的螺栓连接状态监测技术由于通过螺栓的声速变化微小,需要精密设备进行监测,难以应用到现场环境中;超声波能量法通过压电材料产生超声波,通过透射波的能量来确定螺栓连接状态,由于透射波的能量与螺栓连接界面实际接触面积有关,因此存在连接界面接触面积饱和的问题;另外,基于压电材料的主动传感或阻抗技术对外界电场和磁场敏感,不适用于具有强电磁场的环境。这些问题大大增加了监测难度,难以在实际工况下进行高精度、实时长期的螺栓连接状态监测。

[0005] 光纤光栅传感器已被广泛应用于结构健康监测,具有尺寸小、可嵌入、灵敏度高、抗电磁干扰等优势。目前,已有不少研究将光纤光栅传感器应用于螺栓连接状态监测。常见的方法是将光纤光栅传感器直接封装于螺栓螺柱外表面或嵌入到事先加工好的螺栓埋植孔中,也有部分研究者将光纤光栅嵌入到带凹槽的垫圈中以监测螺栓轴向受力状况。但在螺栓拧紧过程中或者在受偏心载荷影响时,不可避免的会使螺栓产生扭矩,引起封装于螺栓表面或者嵌入内部的光纤光栅受到应变作用,从而干扰轴向的螺栓受力测量;而通过将光纤光栅传感器嵌入垫圈来间接监测螺栓轴向受力状态,其存在应变滞后、动态测量误差大、测量不准确的问题。另外,现有的技术方案均不能对螺栓不同位置的受力做出逐一的、准确的测量,仅仅是根据一个光纤光栅测点处的测量结果,来判断整个螺栓的受力状态。实际上,螺栓连接的实际工况复杂,尤其是对于长螺栓,其不同位置处的受力是不同的,现有技术无法开展不同位置的准确受力状态监测。

发明内容

[0006] 针对现有技术中存在的上述问题,本发明提供了一种螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器,实现了对螺栓连接状态的分布式监测,并且不受外部扭矩干扰。

[0007] 为此,本发明采用了以下技术方案:

[0008] 一种螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器,沿螺栓的中心轴向方向加工有埋植孔,所述埋植孔内串联装配若干个光纤光栅测量单元,采用粘结剂将光纤光栅测量单元固定在埋植孔内;固定好的光纤光栅测量单元分布于螺栓的不同位置,用于对螺栓结构受力状态进行分布式测量。

[0009] 进一步地,每个光纤光栅测量单元均包括光纤光栅、毛细钢管、微型轴承、固定架和外壳;所述光纤光栅两端的光纤去除涂覆层,采用毛细钢管进行固定;所述毛细钢管为阶梯状结构,两端小、中间大,加工有中心孔;毛细钢管的中部设有轴肩,置于固定架中,轴肩的两端采用微型轴承作为支撑;所述固定架为空心圆筒结构,两端设置有微型轴承固定位,通过粘结剂将微型轴承固定于固定架两端的固定位;所述外壳为空心圆筒结构,外壳的外径与螺栓埋植孔的直径相同,外壳两端的内孔直径大于中间部分的内孔直径,所述固定架置于外壳的两端内孔中,采用粘结剂进行固定。

[0010] 优选地,所述光纤光栅处于中心位置,光纤光栅的光纤穿过两侧的毛细钢管,留在毛细钢管中的光纤部分事先去除涂覆层,采用拉伸装置对光纤进行预拉伸,再将去除涂覆层的光纤用粘结剂封装于毛细钢管内。

[0011] 优选地,所述微型轴承的端面与毛细钢管的阶梯面相重合,防止微型轴承沿毛细钢管的轴向产生移动。

[0012] 优选地,所述微型轴承与毛细钢管之间的装配关系为过渡配合或过盈配合。

[0013] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0014] (1) 封装有光纤光栅的毛细钢管采用微型轴承作为支撑,微型轴承内圈与毛细钢管紧密结合固定,而轴承内外圈之间可发生相对转动,从而避免螺栓扭矩对光纤光栅的影响。

[0015] (2) 光纤光栅两端的光纤采用毛细钢管封装,并经过预拉伸后进行固定,保证在螺栓受载荷影响时嵌入到螺栓中心孔中光纤光栅始终处于张弛状态,而光栅部分悬空,无粘结剂,不会因胶层固化不均而产生啁啾。

[0016] (3) 基于光纤光栅复用技术,将多个光纤光栅测量单元沿螺栓轴向布置,组成一个传感网络,可实现螺栓整体结构、以及不同位置处的受力状态的分布式监测。

附图说明

[0017] 图1是本发明所提供的一种螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器中的光纤光栅测量单元的剖面结构示意图。

[0018] 图2是本发明实施例所提供的一种螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器的分布式测量示意图。

[0019] 附图标记说明:1、光纤光栅;2、毛细钢管;3、微型轴承;4、固定架;5、外壳;6、螺栓;7、第一光纤光栅测量单元;8、第二光纤光栅测量单元;9、第三光纤光栅测量单元。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图以及具体实施例来详细说明本发明,其中的具体实施例以及说明仅用来解释本发明,但并不作为对本发明的限定。

[0021] 本发明公开了一种螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器,沿螺栓6的中心轴向方向加工有埋植孔,所述埋植孔内串联装配若干个光纤光栅测量单元,采用粘结剂将光纤光栅测量单元固定在埋植孔内;固定好的光纤光栅测量单元分布于螺栓6的不同位置,用于对螺栓结构受力状态进行分布式测量。

[0022] 具体地,如图1所示,每个光纤光栅测量单元均包括光纤光栅1、毛细钢管2、微型轴承3、固定架4和外壳5;所述光纤光栅1两端的光纤去除涂覆层,采用毛细钢管2进行固定;所述毛细钢管2为阶梯状结构,两端小、中间大,加工有中心孔;毛细钢管2的中部设有轴肩,置于固定架4中,轴肩的两端采用微型轴承3作为支撑;所述固定架4为空心圆筒结构,两端设置有微型轴承固定位,通过粘结剂将微型轴承3固定于固定架4两端的固定位;所述外壳5为空心圆筒结构,外壳5的外径与螺栓6埋植孔的直径相同,外壳5两端的内孔直径大于中间部分的内孔直径,所述固定架4置于外壳5的两端内孔中,采用粘结剂进行固定。

[0023] 所述光纤光栅1处于中心位置,光纤光栅1的光纤穿过两侧的毛细钢管2,留在毛细钢管2中的光纤部分事先去除涂覆层,采用拉伸装置对光纤进行预拉伸,再将去除涂覆层的光纤用粘结剂封装于毛细钢管2内。

[0024] 所述微型轴承3的端面与毛细钢管2的阶梯面相重合,防止微型轴承3沿毛细钢管2的轴向产生移动。

[0025] 所述微型轴承3与毛细钢管2之间的装配关系为过渡配合或过盈配合。

[0026] 实施例

[0027] 如图1所示,一种螺栓分布式受力状态监测光纤光栅传感器中的光纤光栅测量单元,包括光纤光栅1、毛细钢管2、微型轴承3、固定架4、外壳5。

[0028] 光纤光栅1两端的光纤去除涂覆层,采用毛细钢管2用粘结剂(如环氧树脂)进行固定,在使用粘结剂固定前需对光纤光栅1进行预拉伸。毛细钢管2为阶梯状结构,加工有中心孔,两端小、中间大,两端各有一个轴肩,将其置于固定架4中,其两端采用微型轴承3作为支撑;微型轴承3端面与毛细钢管2阶梯面相重合,防止其沿毛细钢管轴向产生移动,微型轴承3内圈与毛细钢管2之间的装配关系为过渡配合或过盈配合;固定架4为空心圆筒结构,两端设置有微型轴承3固定位,用粘结剂将微型轴承3固定于固定架4两端固定位;外壳5与固定架4结构类似,为空心圆筒结构,两端内孔直径较大,固定架4置于其中,并用胶进行固定。

[0029] 具体实施时,毛细钢管2置于固定架4中心孔中,微型轴承3分别从毛细钢管2两端穿入,将其装配到固定架4两端固定位,微型轴承3内侧端面与毛细钢管2的轴肩相配合,微型轴承3外圈与固定架4之间用胶进行固定,保证毛细钢管2不会产生轴向移动,同时可沿轴向进行转动;装配完以上部件的固定架4分别置于外壳5两端内孔中,固定架4与外壳5之间采用粘结剂进行固定;光纤穿过两侧毛细钢管2,光纤光栅1处于中心位置,留在毛细钢管2中的光纤部分事先去除涂覆层,采用拉伸装置对光纤进行预拉伸,再将去除涂覆层的光纤用粘结剂(如环氧树脂)封装于毛细钢管2内。

[0030] 螺栓6中心轴向方向加工有埋植孔,其埋植孔直径与上述光纤光栅测量单元外壳5的外径相同。一根光纤上串联有三个光纤光栅,对各个光纤光栅进行上述的封装操作,得到

第一光纤光栅测量单元7、第二光纤光栅测量单元8、第三光纤光栅测量单元9,将各个光纤光栅测量单元依次装配到螺栓6的中心埋植孔内,如图2所示,为保证螺栓与光纤光栅测量单元之间紧密连接,更好的传递应变,可用粘结剂将其固定。固定好的光纤光栅测量单元分布于螺栓体的不同位置,因此可实现对螺栓结构受力状态进行分布式测量。

[0031] 光纤光栅1两端采用粘结剂封装于毛细钢管2内,毛细钢管2两端采用微型轴承3作为支撑,其与微型轴承3内圈之间采用过渡配合或过盈配合的装配方式,保证两者之间紧密连接。微型轴承3内外圈之间的滚动体使得两者可发生相对转动,且滚动摩擦阻力较小。当螺栓6受到扭矩作用时,嵌入螺栓6中的光纤光栅测量单元外壳5也会产生应变,由于微型轴承3内外圈之间的相对转动,使得封装于其中的光纤光栅1不受外界扭矩的影响。

[0032] 本发明的工作原理如下:螺栓在拧紧过程中,螺栓内部产生轴向的预紧力,使得螺栓产生变形,轴向伸长,径向收缩,封装于螺栓内部的光纤光栅测量单元受到外界应变的影响,光栅的中心波长发生漂移。在实验室中对螺栓进行标定试验,将装配有光纤光栅测量单元的螺栓固定好,通过拉伸装置对螺栓施加不同的轴向载荷,获得不同受力状态的波长漂移量,通过数据处理得到螺栓轴向载荷和光纤光栅测量单元波长漂移量之间的关系,在实际应用中,获得的光纤光栅测量单元的实际波长漂移量通过标定得到的函数关系反推出光纤光栅测量单元所在位置的螺栓受力状态。光纤光栅测量单元分布于螺栓体的不同位置,因此,可对螺栓不同位置处的受力状态进行监测。光纤光栅测量单元的数量可根据所用螺栓的长度和实际工程需要进行设置。

[0033] 本发明的测量原理如下:

[0034] 当环境温度恒定时,对于初始中心波长为 λ_B 的光纤光栅,其波长的漂移量 $\Delta\lambda_B$ 与其所受到的轴向应变变量 $\Delta\varepsilon$ 之间的关系为:

$$[0035] \quad \frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (1 - P_e)\Delta\varepsilon \quad (1)$$

[0036] 其中: P_e 为光纤的有效弹光系数,常温时 P_e 约等于0.22。

[0037] 螺栓所受轴向载荷为 F ,根据拉应力公式和胡克定律,则螺栓所受拉应力 σ 和应变 ε 分别为:

$$[0038] \quad \begin{aligned} \sigma &= F / (\pi * d * d / 4) \\ \varepsilon &= \sigma / E \end{aligned} \quad (2)$$

[0039] 其中: d 为螺柱直径, E 为螺栓材料弹性模量。

[0040] 螺栓在轴向预紧力的作用下产生应变,封装于螺栓内部的光纤光栅随之一起发生应变,假设应变传递系数为1,即光纤光栅所受轴向应变量和螺栓的应变相等,则螺栓所受载荷 F 和光纤光栅波长变化量 $\Delta\lambda_B$ 之间的关系为:

$$[0041] \quad F = \frac{\Delta\lambda_B E d^2 \pi}{4\lambda_B (1 - P_e)} \quad (3)$$

[0042] 由上述方程可得螺栓所受载荷 F 和光纤光栅波长变化量 $\Delta\lambda_B$ 之间的理论关系,螺栓所受载荷 F 和光纤光栅波长变化量 $\Delta\lambda_B$ 之间存在很好的线性关系。在实际应用前,需要对嵌入螺栓的光纤光栅测量单元做进一步标定,通过万能试验机对螺栓施加轴向载荷,同时监测光纤光栅测量单元的波长变化,建立螺栓所受载荷 F 和光纤光栅波长变化量 $\Delta\lambda_B$ 之间

的测量函数关系。在螺栓实际应用时,可根据位于螺栓不同位置处光纤光栅的波长漂移情况,结合测量函数,反演出该处的螺栓受力状态。

[0043] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则范围之内所作的任何修改、等同替换以及改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

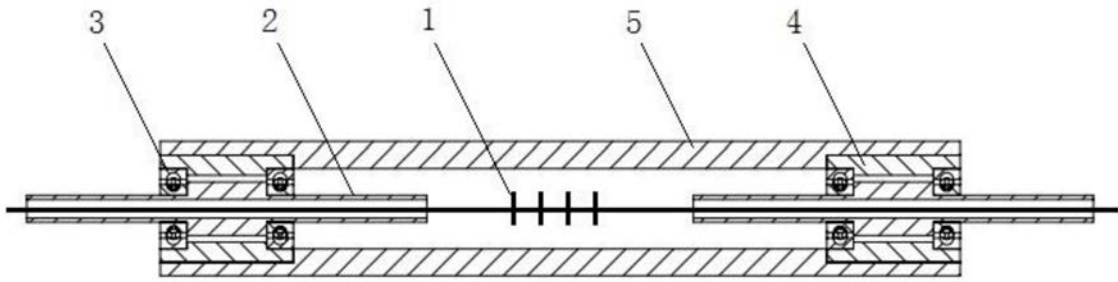


图1

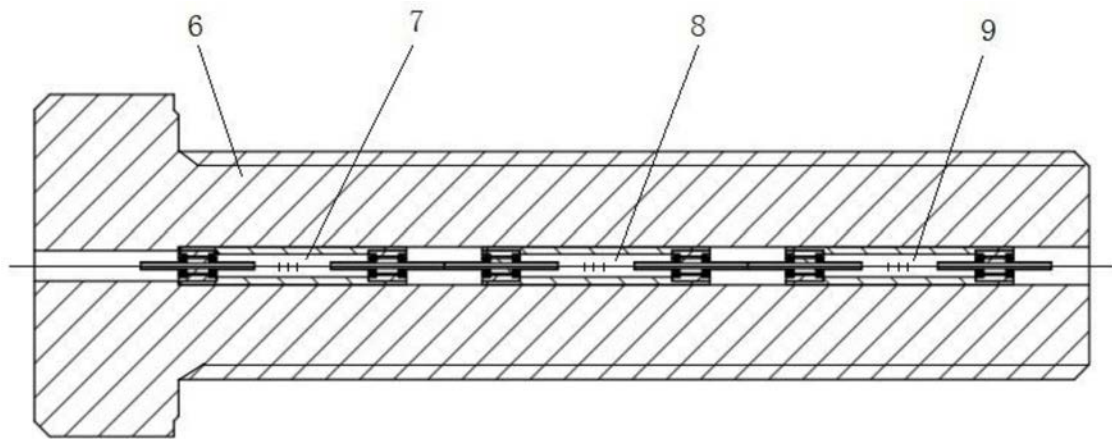


图2