

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2015 年 2 月 5 日 (05.02.2015)



(10) 国际公布号
WO 2015/014126 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01B 11/16 (2006.01) G02B 6/44 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2014/072967
- (22) 国际申请日: 2014 年 3 月 6 日 (06.03.2014)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201310332548.1 2013 年 8 月 2 日 (02.08.2013) CN
- (71) 申请人: 东南大学 (SOUTHEAST UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国江苏省南京市玄武区四牌楼 2 号, Jiangsu 210096 (CN)。
- (72) 发明人: 吴智深 (WU, Zhishen); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼 2 号, Jiangsu 210096 (CN)。 杨才千 (YANG, Caiqian); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼 2 号, Jiangsu 210096 (CN)。 孙安 (SUN, An); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼 2 号, Jiangsu 210096 (CN)。 洪万 (HONG, Wan); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼 2 号, Jiangsu 210096 (CN)。 唐永圣 (TANG, Yongsheng); 中国江苏省南京市玄武区四牌楼 2 号, Jiangsu 210096 (CN)。

(74) 代理人: 江苏爱信律师事务所 (JIANGSU AIXIN LAW FIRM); 中国江苏省南京市汉中门大街 1 号金鹰汉中新城 18 层 E 座, Jiangsu 210029 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(54) Title: HIGH-DURABILITY AND LONG-SCALE-DISTANCE FIBER GRATING SENSOR AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种高耐久长标距光纤光栅传感器及其制造方法

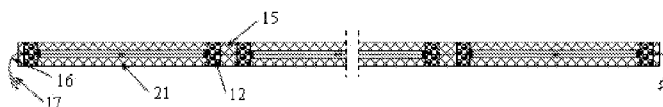


图 7 / FIG. 7

(57) Abstract: A high-durability and long-scale-distance fiber grating sensor and a manufacturing method therefor, which relate to the technical field of fiber grating sensors. A fiber grating (4) is disposed on the middle segment of a commercial optical fiber (5). A bushing (7), a woven fiber jacket layer (8) and a packaging structure (6) are disposed on the periphery of the commercial optical fiber (5). The commercial optical fiber (5) and the bushing (7) therebetween are fixed by using fixing points (11) in the bushing. Anchoring segments (12) are disposed between the fixing points (11) in the bushing and the woven fiber jacket layer (8). Two ends of the commercial optical fiber (5) are sequentially connected to optical fibers (13) on the anchoring segments and connecting optical fibers (15). Tail ends of the connecting optical fibers (15) are connected to a transmission cable (6) by using connecting flanges (16). By using the apparatus and the manufacturing method, the applicability and the durability of application of the fiber grating sensor in the civil traffic engineering field are improved, thereby providing a stable and reliable apparatus for long-time detection and sound monitoring of large engineering structures in the civil traffic engineering field.

(57) 摘要: 一种高耐久长标距光纤光栅传感器及其制造方法, 涉及光纤光栅传感器的技术领域。该传感器在商业光纤 (5) 的中段设置光纤光栅 (4), 商业光纤 (5) 的外周设置套管 (7)、编织纤维套层 (8)、封装结构 (6), 商业光纤 (5) 与套管 (7) 之间通过套管内固定点 (11) 固定; 套管内固定点 (11) 与编织纤维套层 (8) 之间分别设置锚固段 (12); 商业光纤 (5) 的两端依次连接锚固段光纤 (13)、连接光纤 (15), 连接光纤 (15) 的末端通过连接法兰 (17) 连接传输光缆 (16)。该装置和制造方法提高了光纤光栅传感器在土建交通工程领域应用的适用性和耐久性, 为土建交通领域大型工程结构的长期检测和健康监测提供一种稳定可靠的装置。

WO 2015/014126 A1

一种高耐久长标距光纤光栅传感器及其制造方法

技术领域

本发明涉及光纤光栅传感器的技术领域。

背景技术

结构健康监测技术作为提高大型土木交通工程结构安全性能、防灾减灾能力、管养智能化水平的一种重要技术，已引起了广泛的重视。自上个世纪 90 年代以来，该技术在美、欧洲及亚洲的日本、中国和韩国得到广泛的研究并在实际工程上得以应用，目前我国新建大型桥梁结构都不同程度的安装了结构健康监测系统。

然而，目前土建交通基础设施等大型工程结构的结构健康监测系统中的关键传感技术多数是早期应用于航天航空、军事及精密机械等方面的传感技术，甚至多数结构损伤识别理论也是针对均质、小型结构而并非大型的土建交通等工程结构而开发的。传统传感器耐久性差，数据传递受干扰大，只适用于短期、小范围的检测，不适合埋入式的长期实时监测，难以满足长期检测及结构健康监测。

目前大型桥梁、隧道等工程结构上还多以“点”式检测为主（应变片、加速度计、GPS 等），而且传统传感器的价格较高不适合大范围的分布布设。对于主体为钢筋混凝土的大型土建交通工程结构，局部检测很难捕捉到结构的损伤信息。如，对于比较小的损伤如果应变片或加速度计等布置位置离真实损伤较远，则这些传感器很难监测到损伤信息，如果应变片等布置在裂缝等损伤上，则传感器很容易被破坏。而且，对于动态测量，基于“点式”动态测量的识别方法很难反映结构的整体性态，很难有效捕捉到结构事先不可预知的损伤。

针对当前“点式”传感器在大型土建交通工程中应用的技术瓶颈，东南大学吴智深教授所领导的课题组开展了“点式”传感器长标距化技术研究。专利文献（ZL200610097290.1）公开了一种分布式长标距光纤布拉格光栅传感器，采用了纤维复合材料封装，使光纤布拉格光栅传感器具有分布传感功能，实现了增敏和温度自补偿。但，传感器的长期监测稳定性及耐久性有待进一步提高，且没有考虑锚固段的预张拉滑移问题。用于土建交通等大型工程结构长期检测和健康监测的传感器需要有良好的长期测量稳定性和耐久性，然而当前常用的传感器较难满足土建交通工程领域长期检测的性能要求。

发明内容

本发明目的是提供一种能够解决传统光纤光栅传感器在恶劣环境下长期监测稳定性与耐久差等问题，并克服光纤光栅传感器测量过程中存在的纤芯与包覆层存在的滑移问题，提高光纤光栅传感器在土建交通工程领域应用的适用性和耐久性，为土建交通领域大型工程结构的长期检测和健康监测提供一种稳定可靠的高耐久长标距光纤光栅传感器及其制造方法。

本发明为了实现上述目的，采用如下技术方案：

一种高耐久长标距光纤光栅传感器的制造方法，包括如下步骤：

选取：首先以光纤光栅为中心向两边分别量取一半传感标距长度 $L/2$ ，确定标距长度为 AB ，利用光纤涂覆层剥除及封装装置剥除该段光纤的包覆层，用丙酮或乙醇进行清洗后利用高模量材料进行再封装；然后，通过穿套管装置在传感标距长度 L 上穿过套管，用高弹性模量的胶将光纤光栅传感器的两端固定在套管的 A 与 B 两端，固定长度为 l_0 ；

制造：将单个长寿命高精度长标距光纤光栅传感器进行熔接，形成串联连接，将分布熔接串联光栅的光纤或分布刻写光栅的光纤缠绕在轴筒上，以备分布式光纤传感器的连续封装；

在牵引及产品收集装置的牵引下，轴筒自动将串联了光纤光栅的光纤按一定速度放光纤；在光纤包覆层剥除及封装装置处，自动除去套管内固定点及锚固段处的涂覆层，同时进行抗滑移封装；在穿套管装置处，进行套管安装，每个套管的长度为 $(L + 2l_0)$ ，通过光纤张拉应变控制装置控制光纤的拉伸应变，用光纤套管内固定装置将光纤的两端固定在套管上；封装用纤维通过纱轴放线，然后在编织机处对套管及商业光纤外面单向或双向编织纤维套层，通过锚固段树脂浸渍机用环氧树脂对锚固段进行浸渍，用环氧树脂对其他部分进行浸渍；通过烘干装置在真空环境下进行养护，并在长标距传感器的两端熔接上光缆和收集在牵引及产品收集装置上备用；整个过程通过智能生产控制系统进行智能化控制。

本发明对锚固段进行浸渍的环氧树脂中添加了质量百分比为 0.05-5% 抗老化剂和 0.5-20% 增强相，对其他部分进行浸渍的环氧树脂中添加了质量百分比为 0.05-5% 抗老化剂。

比较好的是，本发明的抗老化剂由苯并三唑类、苯酮类、受阻酚类、受阻胺类、三嗪类及水杨酸酯类中的一种或几种混合组成，增强相为炭黑、纳米碳管、陶瓷颗粒、金属颗粒及金属氧化物颗粒的一种或几种混合组成。

比较好的是，本发明的套管选取直径为 0.2-2.0mm 的毛细玻璃管、细金属管或高性能聚合物管中的一种。

本发明的长寿命高精度长标距光纤光栅传感器通过特殊的纤维复合材料封装设计实现其在恶劣及暴露环境下长期检/监测的稳定性和长寿命化；其中，在封装复合材料

的基体树脂中加入抗老化剂，以提高其在光照射、温度及湿度变化等条件下的抗老化性能与耐久性；为减小甚至避免测量过程中存在的纤芯与包覆层存在的滑移问题，在锚固段采用高弹性模量和高刚度的树脂基体，并在封装时除去锚固段光纤的低弹模树脂包覆层；同时，为使光纤光栅传感器具有区域传感功能，在光纤光栅外套一段长度为标距长度 L 的套管，确保套管内的光纤处于自由变形状态并形成均匀的应变场，另外多个长标距光纤光栅传感器可以进行串联形成分布式长标距光纤光栅传感器。为此需要解决下面三方面的问题：

1) 长寿命的实现，由于树脂是高分子材料，在土建交通等粗放与暴露环境下经日晒雨淋容易出现老化，严重影响长期测量的精度和稳定性，本发明专利采用了在浸渍树脂中添加了抗老化剂，由苯并三唑类、苯酮类、受阻酚类、受阻胺类、三嗪类及水杨酸酯类中的一种或几种混合组成，极大提高了长标距光纤光栅传感器的寿命和长期稳定性；另外，可选择采用具有对 248nm 激光透明涂敷层的光纤进行光栅制作，通过高功率准分子激光器脉冲光，可在不剥离涂敷层情况下制作出光纤光栅，一方面能有效提高光栅抗破坏性能，另一方面可实现光栅的耐水、抗潮性能，进一步提高其寿命与稳定性。

2) 长标距传感的实现，其技术关键是自由封装套管的使用，在包括光纤光栅在内的长标距传感段用套管穿过，套管的内壁要均匀光滑，与光纤的摩擦系数小，使长标距传感段内的光纤可自由移动，受力后形成均匀的应变场；根据实际工程需求，自由封装套管通常选用聚合物套管及金属套管，也可选择使用毛细玻璃套管；

3) 防滑移处理，主要采取了两种措施，一是除去锚固段光纤的包覆层，二是采用弹性模量高的树脂进行纤维复合材料封装，大幅提高光纤与封装复合材料的界面模量。

此外，在制作过程中对光纤光栅进行一定的预张拉，以使光纤光栅处于拉伸状态，

同时可以对压应变进行测量。预张拉应变的大小可以根据测量压应变的大小而定，通常情况下为了避免长期预张拉状态下的光纤可能存在的滑移，预张拉应变一般小于 $300\mu\epsilon$ 。

封装后的长标距光纤光栅传感器可以进行串联，实现分布式长期检/监测。长标距传感器可以与普通光缆进行熔接，通过光缆进行数据传递。封装后的长标距传感器抗老化、抗腐蚀性能优良，可以在土建交通工程结构的表面粘贴或埋入结构进行长期检测和健康监测，具有优良的测量稳定性和准确性。

蒸汽及水对光纤光栅传感器的长期测量性能影响大，因而在长标距光纤光栅传感器制作过程中应对套管两端进行严格的密封，防止水和蒸汽进入。

本发明采用上述技术方案，与现有技术相比具有以下优点：

1) 长寿命。由于采用了纤维材料和改性树脂（抗老化、高强韧性）进行封装，传感器的耐久性和长期测量稳定性得到了根本性的提高，适合土建交通工程结构在暴露及严酷环境下的长期检测和健康监测。

2) 高测量准确性和精度。针对影响传感器测量准确性的光纤滑移现象，采用除去光纤锚固段涂覆层、加长锚固段及提高锚固段树脂弹性模量与强韧性等技术手段，极大改善了光纤的滑移，从而提高了测量的准确性和精度。

3) 长标距传感。采用长标距传感技术，可以得到大型土建交通工程结构一定区域内的平均应变，可以避免混凝土结构因裂缝等因素引起的应力集中对监测结果引起的影响，测量结果更能反映结构的应力应变特征。

4) 分布式传感。可以将长标距光纤光栅传感器进行串联测量，尽可能广的覆盖大型土建交通工程结构较大范围，对结构进行整体监测，同时可以通过长标距分布应变获得大型结构的变形分布、转角等信息，适合大型土木交通工程结构的检/监测。

5) 多功能性。长标距光纤光栅传感器可以对结构进行动态和静态检/监测、整体和局部检/监测,同时能获得结构的应变、变形、曲率、频率、模态、振型等综合性参数信息。

附图说明

图1 为常用商用光纤的结构示意图。

图2 为基本型高耐久长标距光纤光栅传感器的结构示意图。

图3 为填充型高耐久长标距光纤光栅传感器的结构示意图。

图4 为增敏型高耐久长标距光纤光栅传感器的结构示意图。

图5 为抗老化树脂的示意图。

图6 为抗老化增强树脂的示意图。

图7 为分布式高耐久长标距光纤光栅传感器的结构示意图。

图8 为分布式高耐久长标距光纤光栅传感器制作工艺的示意图。

图中: 1、纤芯; 2、保护层; 3、涂覆层; 4、光纤光栅; 5、商业光纤; 6、封装结构; 7、套管; 8、纤维套层; 9、抗老化树脂; 10、填充介质; 11、套管内固定点; 12、锚固段; 13、锚固段光纤; 14、抗老化增强树脂; 15、连接光纤; 16、传输光缆; 17、连接法兰; 18-增敏封装段; 19、树脂; 20、抗老化剂; 21、增强相; 22、单个区域光纤光栅传感器; 23、轴筒; 24、光纤包覆层剥除及封装装置; 25、穿套管装置; 26、光纤套管内固定装置; 27、光纤张拉应变控制装置; 28、纱轴; 29、纤维; 30、编织机; 31、锚固段树脂浸渍机; 32、树脂浸渍机; 33、烘干装置; 34、牵引及产品收集装置; 35、智能生产控制系统。

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:

根据传感器的用途、测量精度分为三种类型,基本型、填充型和增敏型高耐久长标距光纤光栅传感器。

1) 基本型光纤光栅传感器,如图2所示,包括长度为 L 的商业光纤5,商业光纤5的中段设置光纤光栅4,商业光纤5的外周设置套管7、编织纤维套层8、封装结构6,商业光纤5与套管7之间通过厚度为 l_0 的套管内固定点11固定;套管内固定点11与编织纤维套层8之间分别设置厚度为 l_1 的锚固段12;商业光纤5的两端依次连接锚固段光纤13、连接光纤15,连接光纤15的末端通过连接法兰17连接传输光缆16。

其制作工艺主要包括如下步骤:

第一步、确定传感标距长度 L ,除去传感标距段两端套管内锚固点11和锚固段12长度为 $l_0 + l_1$ 光纤的涂覆层,并对光纤进行清洗;

第二步、对除去包覆层的锚固段光纤13进行封装保护,封装时要使保护层及界面的弹模与纤芯的弹模相匹配,一方面可降低测量过程中滑移对测量精度的影响,另一方面对除去包覆层的光纤进行保护;

第三步、将商业光纤5固定在套管7的两端,固定时施加一定的预应力以确保制作过程中光纤处于伸直状态并能满足压应变测量需求;

第四步、用编织机30在套管7、锚固段光纤13及连接光纤15的外围自动编织纤维套层8,纤维29可选用玄武岩纤维、玻璃纤维、碳纤维及芳纶纤维等纤维材料;

第五步、用抗老化增强树脂14对长标距光纤光栅传感器的锚固段12进行全面浸渍;

第六步、用抗老化树脂9对长标距光纤光栅传感器的封装结构6及连接光纤15进行

全面浸渍;

第七步、对用树脂浸渍后的长标距光纤光栅传感器进行养护,并连接传输光缆16。

2) 用于潮湿、振动大等严酷环境的填充型光纤光栅传感器,如图3所示。与基本型光纤光栅传感器相比,主要区别为套管7内充入填充介质,制作工艺主要区别在于第三步,即在将连接光纤5固定在套管7两端时,在套管内充入填充介质10后严格密封;介质可以为惰性气体或油脂类液体,如二氧化碳、氮气、润滑油脂等。填充型传感器主要针对地下工程等潮湿和严酷环境下应用,能够有效防止水及蒸汽进入套管而影响传感器的寿命及测量精度;另外,充入油脂后可有效缓冲并降低由于外界振动对光纤光栅传感器测量误差的影响,适合于传感标距较长的使用情况。

3) 增敏型光纤光栅传感器,如图4所示。与基本型与填充型光纤光栅传感器相比,其主要区别在于套管7内的光纤有增敏封装段18。其制作工艺主要包括如下步骤:

第一步、确定传感标距长度 L 及增敏系数,根据增敏系数确定增敏封装的长度 l_2 ,除去传感标距段两端套管内锚固点11、锚固段12和增敏封装段18长度为 $l_0 + l_1 + l_2$ 光纤的涂覆层,并对光纤进行清洗;

第二步、对除去包覆层的锚固段光纤13进行封装保护,封装时要使保护层及界面的弹模与纤芯的弹模相匹配,一方面可降低测量过程中滑移对测量精度的影响,另一方面对除去包覆层的光纤进行保护;

第三步、根据增敏系数,确定增敏封装段长度及增敏封装材料,用高模量的材料对增敏封装段18进行封装,提高该段的刚度,使传感器受力后变形能均匀的集中在光纤光栅附近 $L - 2l_2$;

第四步、将连接光纤5固定在套管7的两端,固定时施加一定的预应力以确保制作过程中光纤处于伸直状态并能满足压应变测量需求;

第五步、用编织机30在套管7、锚固段光纤13及连接光纤15的外围自动编织纤维套层8，纤维29可选用玄武岩纤维、高性能玻璃纤维、碳纤维及芳纶纤维等纤维材料；

第六步、用抗老化增强树脂14对长标距光纤光栅传感器的锚固段12进行全面浸渍；

第七步、用抗老化树脂9对长标距光纤光栅传感器的长标距传感段6及连接光纤15进行全面浸渍；

第八步、对用树脂浸渍后的长标距光纤光栅传感器进行养护，并连接传输光缆16。

高耐久长标距光纤光栅传感器制作树脂设计：

树脂是决定长标距光纤光栅传感器寿命和精度的一个主要因素，在高耐久长标距光纤光栅传感器制作中选用两类改性树脂。

一类是抗老化树脂9，如图5所示，即在树脂19中添加抗老化剂20，抗老化剂由苯并三唑类、苯酮类、受阻酚类、受阻胺类、三嗪类及水杨酸酯类中的一种或几种混合组成，质量百分比添加量通常在0.05-5%；主要用于封装结构6和连接光纤15等部分的封装。另一类是抗老化增强树脂14，如图6所示，即在树脂19中添加了抗老化剂20和增强相21，抗老化剂与抗老化树脂9中的抗老化剂种类及质量百分比含量相同；所添加的增强相21为炭黑、纳米碳管、陶瓷颗粒、金属颗粒及金属氧化物颗粒的一种或几种混合组成，添加的质量百分比为0.5-20%。树脂19主要为环氧类树脂，对于标距较长的传感器可以选用固化后呈柔软状的环氧树脂，以使用产品的运输和安装。

分布式传感器设计：

分布式长标距光纤光栅传感器是由多个长标距光纤光栅传感器串联而成，通常有两

种方式实现其分布式传感，如图7所示。

一是，将制备的单个长标距光纤光栅传感器用光缆进行串联连接，然后在被测工程结构上分布式布设。

二是，一体化封装制作，与单个长标距光纤光栅传感器制作基本相同，主要制作步骤如下：

第一步、在封装前将光纤光栅传感器用光纤进行串联连接，根据测量需要预留好光纤光栅传感器之间的距离；

第二步、分段除去每个长标距传感器套管内固定点 11 和两端锚固段的包覆层并进行清洗，两相邻长标距传感器可以共用之间的锚固段，但要确保锚固段的长度 $2l_1$ ；对于增敏型长标距光纤光栅传感器，同时需要除去增敏封装段 18 光纤的包覆层；

第三步、对串联的每个光纤光栅传感器穿过长度为 $L + 2l_0$ 的套管 7，确保传感标距长度为 L ，套管可以选用聚合物套、金属套管或毛细玻璃套管等，套管的内径一般为光纤直径的 2-3 倍；

第四步、在预张拉的情况下将光纤光栅传感器固定在每个传感器的套管两端，固定长度为 l_0 ，预张拉应变的大小在确保光纤光栅传感器伸直的基础上根据所要监测压应变的大小确定，确保套管两端的严格密封；对于填充型长标距光纤光栅传感器，在套管 7 两端固定商业光纤 5 时在套管内充入填充介质，填充介质可以为二氧化碳、氮气等惰性气体或油脂类液体。

第五步、在编织机上，在串联光纤光栅传感器的外面用纤维材料编织纤维套管，套管可以进行单向编织也可进行双向编织；

第六步、在锚固段 l_1 和其他部分（ L 及连接段）分别用抗老化增强树脂和抗老化树脂进行浸渍，最后进行养护和连接光缆。

长标距光纤光栅传感器锚固:

封装后的长寿命高精度长标距光纤光栅传感器与混凝土结构具有良好的粘结性能,而且小型轻巧,既便于在土建交通工程结构表面进行安装布设,也便于在大型工程结构内埋入布设,不影响结构的力学性能。安装布设的关键是确保每个长寿命高精度长标距光纤光栅传感器的锚固段 12 与被测结构必须进行牢固结合,其余部分粘结在结构上即可。

鉴于长标距光纤光栅传感器的特性,提出以下两种主要安装布设方式。

1) 表面布设

表面布设可分为表面全分布式和表面局部分布式布设。表面全分布式布设:对于大型土建交通工程结构,由于损伤位置及程度存在较大的随机性,为对结构进行全面监测,将长标距光纤光栅传感器沿被测结构物表面用树脂进行全面分布式粘贴。表面局部分布式布设:根据工程经验和理论分析,对结构的应变分布及可能出现的损伤部位进行预测,在应变较大和易出现损伤的位置布设长标距光纤光栅传感器。

2) 埋入布设

对于预制结构,可以将长标距光纤光栅传感器预埋入结构,也可分为全分布式埋入布设和局部分布式埋入布设。全分布式埋入布设:对于无法具体预测损伤位置及程度的大型工程结构,将分布式长标距光纤光栅传感器沿着钢筋或某方向布设,然后进行混凝土浇筑;或在结构物上开槽,长标距传感器布设好后用树脂、腻子等将所开的槽填平。局部分布式埋入布设:根据工程经验和理论分析,对结构的应变分布及可能出现的损伤部位进行预测,在混凝土浇筑前在相应的钢筋处布设长标距传感器,然后进行混凝土浇筑;或在结构上局部开槽,长标距传感器布设好后用树脂、腻子等将所开的槽填

平。

制作时, 首先以光纤光栅 4 为中心向两边分别量取一半传感标距长度 $L/2$, 确定标距长度为 AB。然后分别向外再量取固定点及锚固长度 $l_0 + l_1$, 利用光纤涂覆层剥除及封装装置剥除该段光纤的包覆层, 用丙酮或乙醇进行清洗后利用高模量材料进行再封装。然后, 通过穿套管装置 25 在标距长度 L 上穿过套管 7, 套管的直径可选取 0.2-1.0mm 的毛细玻璃管、金属管或高性能聚合物管, 其中要求套管内壁与光纤之间摩擦系数越小越好以便形成均匀应变场, 用高弹性模量的胶将光纤光栅传感器的两端固定在套管的 A 与 B 两端, 固定长度为 l_0 , 固定时对光纤适当施加预张拉, 在确保光纤伸直的基础上根据压应变的测量需求确定施加预应力的的大小。

将单个长寿命高精度长标距光纤光栅传感器进行熔接, 形成串联连接, 将分布熔接串联光栅的光纤或分布刻写光栅的光纤缠绕在轴筒 23 上, 以备分布式光纤传感器的连续封装。对于分布刻写光栅, 可以在 248nm 波长激光透明的特殊涂敷层光纤上刻写, 以避免常规光纤光栅刻写前须剥除涂敷层这一弊端, 有效提高了传感器抗破坏性能, 同时提高了光纤光栅使用寿命以及耐潮、耐水性能, 也可以在普通单模光纤上刻写。采用在光纤上直接刻写的优点是不需要将单个光纤光栅传感器通过熔接形成串联分布, 自然形成串联分布, 减少了单个光纤光栅的熔接工艺, 同时极大降低了测量中的光损和极大提高了光纤的强度。

长寿命高精度长标距光纤光栅传感器采用流水线封装作业, 在牵引机装置 34 的牵引下, 轴筒 23 自动将串联了光栅 4 的光纤按一定速度放光纤。在光纤包覆层剥除及封装装置 24 处, 自动除去套管内固定点 11 及锚固段 12 处的涂覆层 3, 同时进行抗滑移封装。在穿套管装置 25 处, 进行套管安装, 每个套管的长度为 $L + 2l_0$, 根据不同的使用环境, 套管可以选择毛细玻璃管、金属管或聚合物管。通过光纤张拉应变控制装置 27 严

格控制光纤的拉伸应变，其大小在确保光纤伸直的情况下根据所测压应变的大小设定，用光纤套管内固定装置26将光纤的两端牢固固定在套管7上。封装用纤维29通过纱轴28放线，然后在编织机30处对套管7及光纤5外面单向或双向编织纤维套层，编织用纤维可以选用玄武岩纤维、高性能玻璃纤维、碳纤维或芳纶纤维。通过锚固段树脂浸渍机31用添加了质量百分比为0.05-5%抗老化剂20和0.5-20%增强相21的环氧树脂对锚固段12进行浸渍，用添加了质量百分比为0.05-5%抗老化剂20的环氧树脂对其他部分进行浸渍；其中，抗老化剂18由苯并三唑类、苯酮类、受阻酚类、受阻胺类、三嗪类及水杨酸酯类中的一种或几种混合组成，增强相21为炭黑、纳米碳管、陶瓷颗粒、金属颗粒及金属氧化物颗粒的一种或几种混合组成。最后，通过烘干装置33进行养护，并在长标距传感器的两端熔接上光缆和收集在产品收集装置34上备用。整个工艺系统通过智能生产控制系统35进行智能化控制。

权 利 要 求 书

1、一种高耐久长标距光纤光栅传感器的制造方法，其特征在于包括如下步骤：

选取：首先以光纤光栅（4）为中心向两边分别量取一半传感标距长度（ $L/2$ ），确定标距长度为 AB，利用光纤涂覆层剥除及封装装置剥除该段光纤的包覆层，用丙酮或乙醇进行清洗后利用高模量材料进行再封装；然后，通过穿套管装置（25）在传感标距长度（ L ）上穿过套管（7），用高弹性模量的胶将光纤光栅传感器的两端固定在套管的 A 与 B 两端，固定长度为 l_0 ；

制造：将单个长寿命高精度长标距光纤光栅传感器进行熔接，形成串联连接，将分布熔接串联光栅的光纤或分布刻写光栅的光纤缠绕在轴筒（23）上，以备分布式光纤传感器的连续封装；

在牵引及产品收集装置（34）的牵引下，轴筒（23）自动将串联了光纤光栅（4）的光纤按一定速度放光纤；在光纤包覆层剥除及封装装置（24）处，自动除去套管内固定点（11）及锚固段（12）处的涂覆层（3），同时进行抗滑移封装；在穿套管装置（25）处，进行套管安装，每个套管的长度为 $(L + 2l_0)$ ，通过光纤张拉应变控制装置（27）控制光纤的拉伸应变，用光纤套管内固定装置（26）将光纤的两端固定在套管（7）上；封装用纤维（29）通过纱轴（28）放线，然后在编织机（30）处对套管（7）及商业光纤（5）外面单向或双向编织纤维套层，通过锚固段树脂浸渍机（31）用环氧树脂对锚固段（12）进行浸渍，用环氧树脂对其他部分进行浸渍；通过烘干装置（33）在真空环境下进行养护，并在长标距传感器的两端熔接上光缆和收集在牵引及产品收集装置（34）上备用；整个过程通过智能生产控制系统（35）进行智能化控制。

2、根据权利要求 1 所述的高耐久长标距光纤光栅传感器的制造方法，其特征在于上述对锚固段（12）进行浸渍的环氧树脂中添加了质量百分比为 0.05-5% 抗老化剂（20）

和 0.5-20%增强相 (21)，对其他部分进行浸渍的环氧树脂中添加了质量百分比为 0.05-5%抗老化剂 (20)。

3、根据权利要求 2 所述的高耐久长标距光纤光栅传感器的制造方法，其特征在于上述抗老化剂 (18) 由苯并三唑类、苯酮类、受阻酚类、受阻胺类、三嗪类及水杨酸酯类中的一种或几种混合组成，增强相 (21) 为炭黑、纳米碳管、陶瓷颗粒、金属颗粒及金属氧化物颗粒的一种或几种混合组成。

4、根据权利要求 1 所述的高耐久长标距光纤光栅传感器的制造方法，其特征在于上述套管 (7) 选取毛细玻璃管、细金属管或高性能聚合物管中的一种。

5、一种基于权利要求 1 所述的制造方法得到的高耐久长标距光纤光栅传感器，其特征在于包括自内往外依次布置的纤芯 (1)、保护层 (2)、涂覆层 (3)，所述纤芯 (1) 为长度为 L 的商业光纤 (5)，商业光纤 (5) 的中段设置光纤光栅 (4)，商业光纤 (5) 的外周设置由套管 (7)、编织纤维套层 (8)、封装结构 (6) 组成的保护层，商业光纤 (5) 与套管 (7) 之间通过厚度为 l_0 的套管内固定点 (11) 固定；套管内固定点 (11) 与编织纤维套层 (8) 之间分别设置厚度为 l_1 的锚固段 (12)；商业光纤 (5) 的两端依次连接锚固段光纤 (13)、连接光纤 (15)，连接光纤 (15) 的末端通过连接法兰 (17) 连接传输光缆 (16)。

6、根据权利要求 5 所述的高耐久长标距光纤光栅传感器，其特征在于上述位于套管 (7) 内充入填充介质 (10)；所述填充介质 (10) 为惰性气体或油脂类液体。

7、根据权利要求 6 所述的高耐久长标距光纤光栅传感器，其特征在于上述填充介质 (10) 为二氧化碳、氮气、润滑油脂。

8、根据权利要求 6 所述的高耐久长标距光纤光栅传感器，其特征在于上述商业光纤 (5) 的外周自两端向光纤光栅 (4) 分别包裹长度为 l_2 的增敏封装段 (18)。

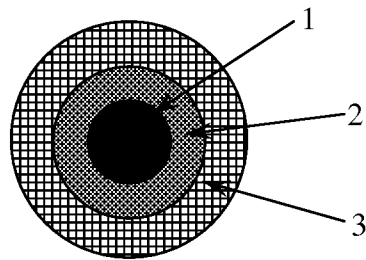


图 1

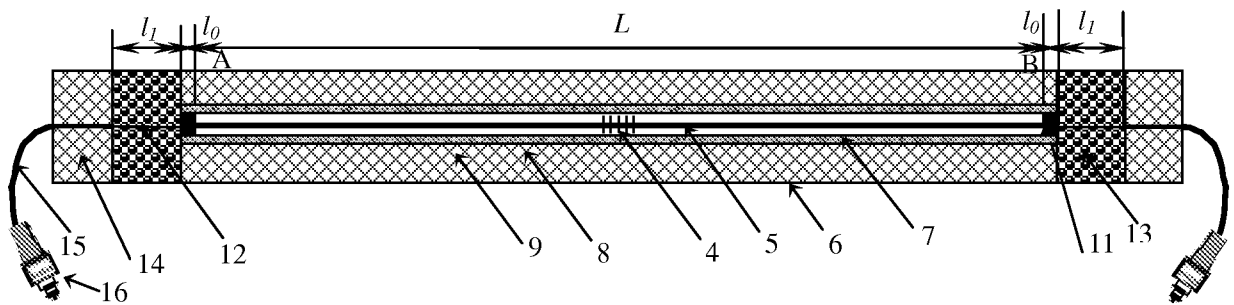


图 2

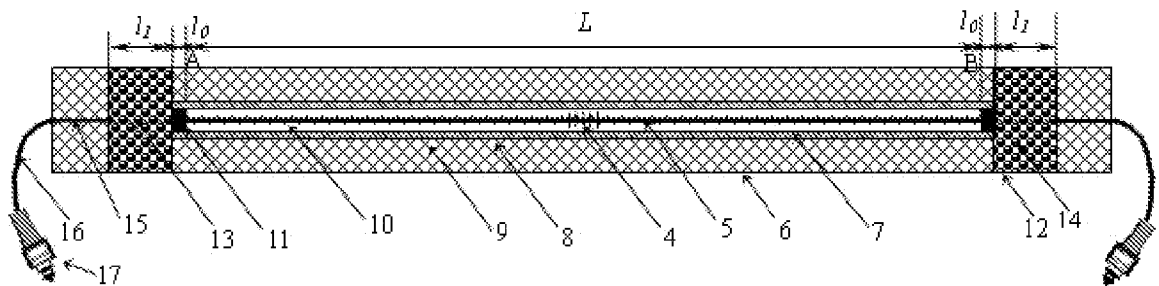


图 3

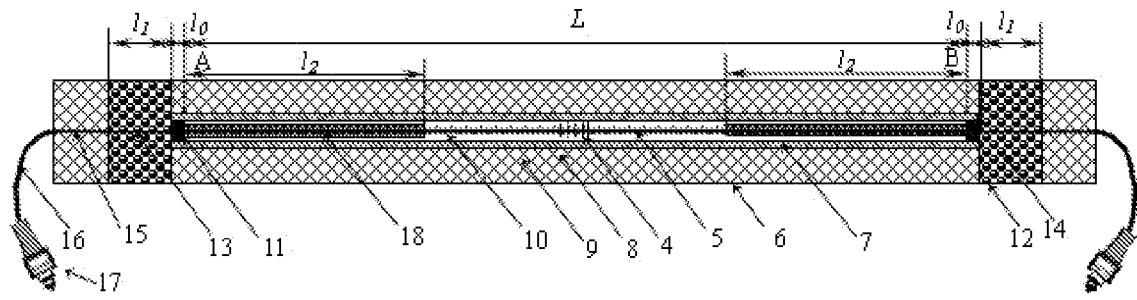


图 4

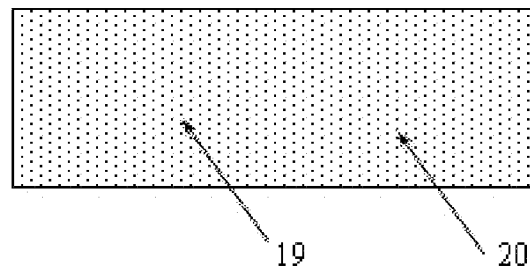


图 5

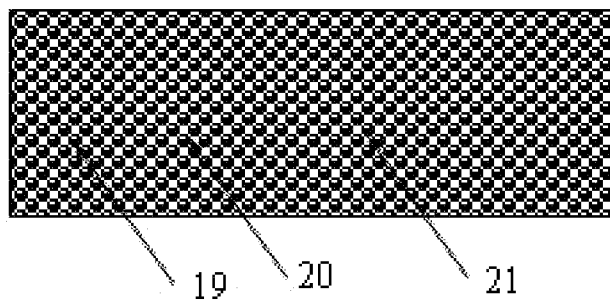


图 6

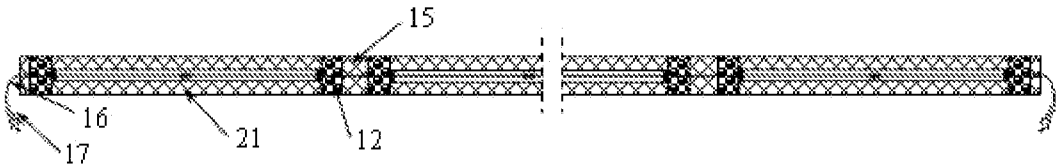


图 7

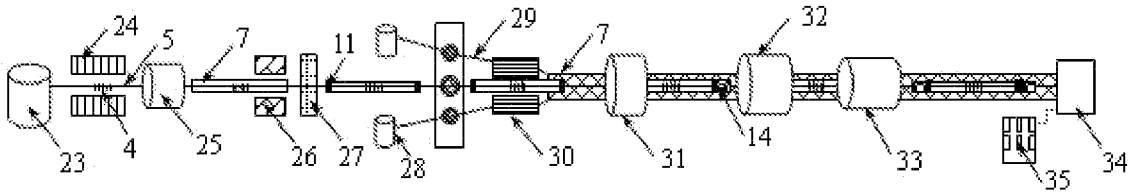


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2014/072967

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B 11/16 (2006.01) i;G02B 6/44 (2006.01) i
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G01B 11/16 G02B 6/44

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CJFD, CNABS, CNTXT, VEN: FIBER, GRAT+, SENSOR, structure, health, monitor, anchor

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 103438815 A (UNIV SOUTHEAST) 11 December 2013 (11.12.2013) claims 1-8	1-8
Y	CN 1949009 A (UNIV SOUTHEAST) 18 April 2007 (18.04.2007) description, page 1, line 15 to page 11, line 2, claims 1-4, and figures 1-7	1-8
Y	CN 101738214 A (SHENZHEN HAICHUAN ENG TECH CO LTD et al.) 16 June 2010 (16.06.2010) claims 1-5, description, paragraph [0004] to paragraph [0018], and figure 1	1-8
Y	CN 201780103 U (LI, Suzhen) 30 March 2011 (30.03.2011) description, paragraph [0006] to paragraph [0034], and figures 1-3	4, 8
Y	SHEN, Sheng et al, a new optical fiber with improved strain sensitivity based on distributed optical fiber strain sensing technique, the second structural engineering new progression international forum symposia, 31 December 2008 (31.12.2008) page 948 to page 952	4, 8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&”document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 29 May 2014 (29.05.2014)	Date of mailing of the international search report 11 June 2014 (11.06.2014)
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer YANG, Yanlan Telephone No. (86-10) 62085730

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/CN2014/072967

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101539403 A (UNIV SOUTHEAST) 23 September 2009 (23.09.2009) the whole document	1-8
A	CN 101275916 A (UNIV SOUTHEAST) 01 October 2008 (01.10.2008) the whole document	1-8
A	CN 201382777 Y (UNIV SOUTHEAST) 13 January 2010 (13.01.2010) the whole document	1-8
A	KR 20080046046 A (KOREA ADV INST SCI & TECHNOLOGY ET AL.) 26 May 2008 (26.05.2008) the whole document	1-8
A	YU, Dakuan et al, a novel packaged fiber bragg grating temperature sensor with high temperature-resistance, acta photonica sinica, 28 February 2006 (28.02.2006) vol. 35 no. 2 page 232 to page 234	1-8
A	WU, Zhishen et al, structural identification theories and SHM design methodology based on dynamic and static distributed sensing techniques, structural disaster prevention, monitoring and controlling--the second "structural engineering new progression international forum symposia", 31 December 2008 (31.12.2008) page 200 to page 252	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2014/072967

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103438815 A	11.12.2013	None	
CN 1949009 A	18.04.2007	CN 100417963 C	10.09.2008
CN 101738214 A	16.06.2010	CN 101738214 B	02.01.2013
CN 101539403 A	23.09.2009	CN 101539403 B	15.09.2010
CN 101275916 A	01.10.2008	CN 101275916 B	02.11.2011
CN 201382777 Y	13.01.2010	None	
CN 201780103 U	30.03.2011	None	
KR 20080046046 A	26.05.2008	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2014/072967

A. 主题的分类

G01B 11/16(2006.01)i; G02B 6/44(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01B 11/16 G02B 6/44

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNKI, CJFD, CNABS, CNTXT: 光栅 光纤 封装 锚固 树脂 老化 结构 健康 监测 VEN:FIBER GRAT+ SENSOR structure health monitor anchor

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 103438815A (东南大学) 2013年 12月 11日 (2013 - 12 - 11) 权利要求1-8	权利要求1-8
Y	CN 1949009A (东南大学) 2007年 4月 18日 (2007 - 04 - 18) 说明书第1页第15行至第11页第2行, 权利要求1-4, 附图1-7	权利要求1-8
Y	CN 101738214A (上海启鹏化工有限公司等) 2010年 6月 16日 (2010 - 06 - 16) 权利要求1-5, 说明书第[0004]段至第[0018]段, 附图1	权利要求1-8
Y	CN 201780103U (李素贞) 2011年 3月 30日 (2011 - 03 - 30) 说明书第[0006]段至[0034]段, 附图1-3	权利要求4, 8
Y	沈圣等. “一种基于分布式应变传感技术的新型应变增敏光纤” 第二届结构工程新进展国际论坛论文集, 2008年 12月 31日 (2008 - 12 - 31), 第948页至第952页	权利要求4, 8
A	CN 101539403A (东南大学) 2009年 9月 23日 (2009 - 09 - 23) 全文	权利要求1-8
A	CN 101275916A (东南大学) 2008年 10月 01日 (2008 - 10 - 01) 全文	权利要求1-8

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2014年 5月 29日

国际检索报告邮寄日期

2014年 6月 11日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
北京市海淀区蓟门桥西土城路6号
100088 中国

传真号 (86-10)62019451

受权官员

杨艳兰

电话号码 (86-10)62085730

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 201382777Y (东南大学) 2010年 1月 13日 (2010 - 01 - 13) 全文	权利要求1-8
A	KR 20080046046A (KOREA ADV INST SCI & TECHNOLOGY ET AL) 2008年 5月 26日 (2008 - 05 - 26) 全文	权利要求1-8
A	禹大宽等. “一种新颖封装的耐高温光纤Bragg光栅温度传感器” 光子学报, 第第2期卷, 第第35卷期, 2006年 2月 28日 (2006 - 02 - 28), 第232页至第234页	权利要求1-8
A	吴智深等. “动静态分布传感技术及结构健康监测理论与设计体系” 结构防灾、监测与控制——第二届“结构工程新进展国际论坛”特邀报告集, 2008年 12月 31日 (2008 - 12 - 31), 第200页至第252页	权利要求1-8

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2014/072967

检索报告引用的专利文件		公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	103438815A	2013年 12月 11日	无	
CN	1949009A	2007年 4月 18日	CN	100417963C 2008年 9月 10日
CN	101738214A	2010年 6月 16日	CN	101738214B 2013年 1月 02日
CN	101539403A	2009年 9月 23日	CN	101539403B 2010年 9月 15日
CN	101275916A	2008年 10月 01日	CN	101275916B 2011年 11月 02日
CN	201382777Y	2010年 1月 13日	无	
CN	201780103U	2011年 3月 30日	无	
KR	20080046046A	2008年 5月 26日		

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)