



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102797185 A

(43) 申请公布日 2012. 11. 28

(21) 申请号 201210238467. 0

B29C 70/20(2006. 01)

(22) 申请日 2012. 07. 10

B29C 70/52(2006. 01)

B29C 70/70(2006. 01)

(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 杨才千 王红涛 吴智深 杨小聪

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 张惠忠

(51) Int. Cl.

D07B 1/14(2006. 01)

D07B 1/16(2006. 01)

D07B 7/14(2006. 01)

G01B 7/16(2006. 01)

G01L 1/22(2006. 01)

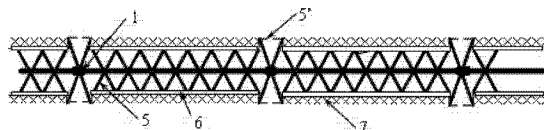
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种基于碳纤维分布式传感的智能 FRP 复合筋及其规模化生产工艺

(57) 摘要

本发明公开了一种基于碳纤维分布式传感的智能 FRP 复合筋及其规模化生产工艺,该智能 FRP 复合筋由长标距碳纤维传感芯和外包覆 FRP 层组成,长标距碳纤维传感芯由碳纤维传感芯半成品、非导电纤维包覆层、隔胶层及保护层组成,所述的碳纤维传感芯半成品由碳纤维和树脂固化层组成,在碳纤维上设置有电极,非导电纤维包覆层绕制在传感芯半成品外表面,且电极处的非导电纤维包覆层厚度大于非电极处的非导电纤维包覆层厚度,在非电极处的非导电纤维包覆层外表面依次设置隔胶层及保护层。本发明智能 FRP 复合筋具有分布式、稳定的监测性能以及优良的力学性能,生产成本却不显著高于普通 FRP 筋的生产成本。



1. 一种基于碳纤维分布式传感的智能 FRP 复合筋,其特征是:由长标距碳纤维传感芯(8)和外包覆 FRP 层(29)组成;其中长标距碳纤维传感芯(8)由碳纤维传感芯半成品(4)、非导电纤维包覆层(5)、隔胶层(6)及保护层(7)组成,所述的碳纤维传感芯半成品(4)由碳纤维(2)和树脂固化层组成,在碳纤维(2)上设置有电极(1),所述的非导电纤维包覆层(5)绕制在碳纤维传感芯半成品(4)外表面,且电极(1)处的非导电纤维包覆层(5)厚度大于非电极处的非导电纤维包覆层(5),在非电极处的非导电纤维包覆层(5)外表面依次设置所述的隔胶层(6)及保护层(7)。

2. 根据权利要求 1 所述的基于碳纤维分布式传感的智能 FRP 复合筋,其特征是:外包覆层(29)由纤维(20)经树脂(3)浸润固化而成。

3. 一种制备权利要求 1 所述基于碳纤维分布式传感的智能 FRP 复合筋的规模化生产工艺,其特征是:包括以下步骤

第一步、测量电极(1)的安装:去除安装测量电极部分碳纤维表面的浸润剂,抛光金属丝并涂导电胶,然后每隔一标距长度固定在碳纤维束(2)上,使碳纤维和金属丝充分接触粘,并预留一段金属丝作为导线接头;

第二步、用树脂(3)对安装了电极(1)的碳纤维束(2)进行浸渍并固化,形成长标距碳纤维传感芯半成品(4);

第三步、长标距碳纤维传感芯的制备和封装:在长标距碳纤维传感芯半成品(4)外围编织非导电纤维(10)形成一包覆层(5);在电极(1)部分编织的厚度大于其他部分,电极部分的编织长度不小于 20mm,在相邻两电极之间涂敷一个标距长度的隔胶层(6),在隔胶层(6)的外围包覆弹性模量小的软树脂或泡沫塑料或低弹性模量纤维形成保护层(7),从而制成长标距碳纤维传感芯(8);

第四步、长标距隔离法制造智能 FRP 复合筋:纤维(20)和长标距碳纤维传感芯(8)分别通过纱轴(9)和碳纤维轴(19)进行放线,其中纤维(20)导入浸胶槽(15)充分浸渍树脂,而长标距碳纤维传感芯(8)通过淋胶孔(21)在空中淋胶,然后直接经由集束架(12')的中心孔与被集束架(12')集束定位后的树脂浸渍纤维(20)一起挤入拉挤成型器(13),在其中挤压初步成型,经工序(14')把导线剥离出;初步成型的智能 FRP 复合筋需要用缠丝机(21)进一步刻螺纹并挤胶成型,之后进入加热固化管(16)去除部分多余树脂、预热并加热固化成型;成品智能 FRP 复合筋(23)被夹具(24)牵拉出生产线,放置在产品支架(26)上或直接将盘成一定直径的筋盘。

4. 根据权利要求 3 所述的规模化生产工艺,其特征是:电极(1)及导线用导电性良好的铜丝、铝丝或银丝;测量电极用导电性良好的银胶或铜胶粘结安装,或用化学镀、电镀或蒸镀的方法安装。

5. 根据权利要求 3 所述的规模化生产工艺,其特征是:拉挤工艺中所使用的树脂为常用纤维材料浸渍用在加热时可快速固化成型的普通型商业树脂。

6. 根据权利要求 3 所述的规模化生产工艺,其特征是:长标距碳纤维传感芯半成品(4)在制备过程中对碳纤维(1)施加 $100 \mu \epsilon$ 以上的预张拉。

7. 根据权利要求 3 所述的规模化生产工艺,其特征是:长标距碳纤维传感芯半成品制作用的纤维(11)为非导电纤维,如玻璃纤维、玄武岩纤维、芳纶纤维、Dyneema 纤维、PBO 纤维。

8. 根据权利要求 3 所述的规模化生产工艺,其特征是:所述的隔胶层(6)为可防止 FRP 筋拉挤成型过程中树脂浸入长标距碳纤维传感芯半成品(4)的 PVC 层或薄壁套管,每段隔胶层(6)的长度根据传感标距长度而定,锚固段(5')的长度不小于 20mm。

9. 根据权利要求 3 所述的规模化生产工艺,其特征是:所述的保护层(7)由弹性模量低的树脂、泡沫塑料或低弹性模量纤维形成,保护层(7)的长度与隔胶层(6)的长度相同。

10. 根据权利要求 3 所述的规模化生产工艺,其特征是:智能 FRP 复合筋(23)拉挤成型用的纤维(20)可以为导电性纤维或非导电性的纤维;纤维(20)采用浸胶工艺,长标距碳纤维传感芯(8)采用淋胶工艺。

一种基于碳纤维分布式传感的智能 FRP 复合筋及其规模化 生产工艺

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于碳纤维分布式传感的智能 FRP 复合筋及其规模化生产工艺，属于智能材料与结构及传感监测的技术领域。

技术背景

[0002] 连续纤维增强聚合物复合材料(Fiber Reinforced Polymer, FRP)具有拉伸强度高、密度小、比强度及比刚度高、抗化学腐蚀、耐久性好等诸多优点。因此,FRP被认为是可以在土木、交通、岩土等工程结构中代替钢材的良好选择,具有广阔的应用前景。目前,用于实际工程的纤维主要有碳纤维、玻璃纤维、纺轮纤维、玄武岩纤维、Dyneema 纤维、PBO 纤维等多种纤维,纤维与聚合物可以复合成筋材、板材以及其他各种形式的型材。其中,FRP 筋受到了研究者的广泛研究和关注。国内,东南大学、清华大学、同济大学、福州大学等一些大学和科研机构对 FRP 筋的基本力学性能及其增强结构的性能展开了比较系统的研究。然而,FRP 材料是一种各向异性材料,而且完全线弹性,故 FRP 筋存在抗剪能力较差、脆性破坏等多项缺陷。对 FRP 筋实现全寿命周期的健康监测,可以有效提高其工程应用的安全性,这种高技术材料在实际工程中具有广泛的应用前景。

[0003] 对比文献 1(ZL200910026540.6)、2(ZL200910026538.9)和 3(ZL200910027179.3)报道了一种基于分布式光纤传感的自监测 FRP 筋/索规模化生产工艺,实为一个专利。对比文献 1、2 和 3 中用于传感的是基于布里渊时域散射机理的分布式光纤传感器,根据后散射光的频率漂移量测量应变大小,根据后散射光的接收时间进行空间定位。但该分布式光纤传感技术需要用专门、高精度的仪器设备进行解调和分析,通常的解调设备为 BOTDR、BOTDA 或 PPP-BOTDA 解调仪,其价格高昂(BOTDR 解调仪的价格通常为 50 万元以上,PPP-BOTDA 解调仪价格为 150 万元左右),其操作和分析也需要专门的技术人员,而且仪器比较笨重、携带不便,一定程度上限制了其推广和使用。而本发明用于传感的是分布式碳纤维传感技术,碳纤维为普通的高强度、中模量、高模量等类型的碳纤维或几种混杂组合,与光纤相比传感用碳纤维的价格非常低廉;如同常用的电阻应变片只需要用简单的电阻测试仪器进行电阻检测即可,不需要价格高昂的专门仪器设备,操作和分析也相对简单,几乎不需要专门的技术人员,推广和使用价值更广。另外,光纤非常脆弱,在生产过程中极易断裂,光纤在自监测筋/索中的成活率相对较低;而本发明所用的碳纤维具有高强度、刚度和其他力学性能,抗腐蚀性和耐久性良好,生产过程中不易断裂,在智能 FRP 复合筋生产过程中存活率高。

[0004] 碳纤维不仅具有超过一般纤维材料的优越力学性能,而且还具有良好的导电性和压阻效应。利用其电学性能可以制作智能传感器,国内外对其进行了较多研究。如对比文件 4(Distributed sensing of RC beams with HCFRP sensors(基于混杂碳纤维传感的混凝土梁分布式监测), Caiqian Yang (杨才千), Zhishen Wu(吴智深), Lieping Ye(叶列平), Proceedings of the SPIE, Vol.5765, 2005.5.31, P376-385)报道了用混杂碳纤维传感器监测混凝土梁的应变和混凝土开裂,由于混杂了低弹性模量的碳纤维,因而在约

4,000 $\mu \epsilon$ 后高模量的碳纤维开始出现断裂,监测的精度和准确度下降明显,此后的监测主要以定性监测为主。

[0005] 将分布式长标距碳纤维传感芯复合进 FRP 筋,形成一种智能结构材料,即智能 FRP 复合筋。这样不仅使碳纤维传感芯在实际使用时得到很好的保护,同时能够对 FRP 筋进行有效的实时监测,极大提高这种高强度、高耐久性的高新 FRP 复合性材料在工程应用时的安全性和可靠性。

[0006] 但在实际生产、应用中主要存在以下几个方面问题:(1)碳纤维在 FRP 筋的拉挤成型工艺中容易受损、存活率较低,影响连续化大规模生产和测量的精度;(2)在 FRP 材料普通复合工艺(即热固性复合)中碳纤维传感芯的导线(即用来连接测量设备的导线)引出比较困难;(3)碳纤维纤芯测量标距内碳纤维应变不均匀等因素降低了分布式传感测试的精度,而且传感芯与外围纤维存在一定程度的滑移现象;(4)通常的成型工艺没有进行预张拉,未预张拉的碳纤维通常在 300 $\mu \epsilon$ 之前的传感性能比较差。

[0007] 针对上述问题,本发明提出了碳纤维长标距化(即定点)、预张拉及无滑移布设技术,可有效提高分布式传感碳纤维的测试精度。

[0008] 然而,目前各种研究中总是涉及到非常繁杂的人工处理,不仅降低了工业化水平,增加了生产成本,而且会影响产品的成品率和性能的稳定性的。

[0009] 本发明是建立在机械化、自动控制化的基础上,真正意义实现基于碳纤维分布式传感的智能 FRP 复合筋的规模化生产。

发明内容

[0010] 技术问题:本发明所要解决的技术问题是针对上述现有技术的不足,提供一种基于碳纤维传感的智能 FRP 复合筋,并在适当改造现有 FRP 筋的生产设备及工艺的基础上,研发出适合于基于分布式碳纤维传感技术的智能 FRP 复合筋规模化制造工艺。

[0011] 技术方案

本发明为解决技术问题所采用的技术方案为:

一种基于碳纤维分布式传感的智能 FRP 复合筋,由长标距碳纤维传感芯和外包覆 FRP 层组成;其中长标距碳纤维传感芯由碳纤维传感芯半成品、非导电纤维包覆层、隔胶层及保护层组成,所述的碳纤维传感芯半成品由碳纤维和树脂固化层组成,在碳纤维上设置有电极,所述的非导电纤维包覆层绕制在碳纤维传感芯半成品外表面,且电极处的非导电纤维包覆层厚度大于非电极处的非导电纤维包覆层,在非电极处的非导电纤维包覆层外表面依次设置所述的隔胶层及保护层。

[0012] 外包覆层由纤维经树脂浸润固化而成。

[0013] 智能 FRP 复合筋的特色之处在于采用预张拉、长标距化(隔胶层封装)及无滑移技术制得长标距碳纤维传感芯,经过这样的措施处理可大幅提高碳纤维传感的精度和使用性,智能 FRP 复合筋的自传感性能优劣主要取决于长标距碳纤维传感芯的性能优劣。制备长标距碳纤维传感芯所用的碳纤维可以为高强度、中模量和高模量碳纤维,也可以上述几种纤维的混杂物。通常情况下,高强度碳纤维的传感性能要优于高模量碳纤维的传感性能;几种碳纤维混杂后,可以实现阶跃式传感。根据不同的工程需求,可以适当选取碳纤维的种类。

[0014] 同时,在传感芯的外围缠绕一层 FRP 包覆层,该 FRP 层是主要受力层,智能 FRP 复合筋的力学性能优劣主要取决该 FRP 包覆层的力学性能。根据碳纤维传感芯的参数(碳纤维种类、长标距与否等)及外围 FRP 包覆层参数(纤维种类、树脂种类等),所生产的智能 FRP 复合筋可分为多个不同的系列。

[0015] 智能 FRP 复合筋的生产工艺包括以下步骤:

第一步、测量电极的安装:去除安装测量电极部分碳纤维表面的浸润剂,抛光金属丝并涂导电胶,然后每隔一标距长度固定在碳纤维束上,使碳纤维和金属丝充分接触粘结,并预留一段金属丝作为导线接头;

第二步、用树脂对安装了电极的碳纤维束进行浸渍并固化,形成长标距碳纤维传感芯半成品;

第三步、长标距碳纤维传感芯的制备和封装:在长标距碳纤维传感芯半成品外围编织非导电纤维并用树脂浸渍后形成一 FRP 包覆层;在测量电极部分编织的厚度大于其他部分,电极部分的编织长度不小于 20mm,在相邻两电极之间涂敷一个标距长度的隔胶层,在隔胶层的外围包覆弹性模量小的软树脂或泡沫塑料或低弹性模量纤维形成保护层,从而制成长标距碳纤维传感芯;

第四步、长标距隔离法制造智能 FRP 复合筋:纤维和长标距碳纤维传感芯分别通过纱轴和碳纤维轴进行放线,其中纤维导入浸胶槽充分浸渍树脂,而长标距碳纤维传感芯通过淋胶孔在空中淋胶,然后直接经由集束架的中心孔与被集束架集束定位后的树脂浸渍纤维一起挤入拉挤成型器,在其中挤压初步成型,经一定的工序把导线剥离出;初步成型的智能 FRP 复合筋需要用缠丝机进一步刻螺纹并挤胶成型,之后进入加热固化管去除部分多余树脂、预热并加热固化成型;成品智能 FRP 复合筋被夹具牵拉出生产线,放置在产品支架上或直接将其盘成一定直径的筋盘。

[0016] 电极及导线用导电性良好的铜丝、铝丝或银丝;测量电极用导电性良好的银胶或铜胶粘结安装,或用化学镀、电镀或蒸镀的方法安装。

[0017] 拉挤工艺中所使用的树脂为常用纤维材料浸渍用、在加热时可快速固化成型的普通型商业树脂。

[0018] 长标距碳纤维传感芯半成品在制备过程中对碳纤维施加 $100 \mu \epsilon$ 以上的预张拉,一定的预张拉可以提高碳纤维传感在低应变区域的传感稳定性和线性度。

[0019] 长标距碳纤维传感芯半成品的非导电性纤维为玻璃纤维、玄武岩纤维、芳纶纤维、Dyneema 纤维、PBO 纤维或其他非导电性纤维。

[0020] 所述的隔胶层为可防止 FRP 筋拉挤成型过程中树脂浸入长标距碳纤维传感芯半成品的 PVC 层或薄壁套管,每段隔胶层的长度根据传感标距长度而定,锚固段的长度一般不小于 20mm。

[0021] 所述的保护层由弹性模量低的树脂、泡沫塑料或低弹性模量纤维形成,保护层的长度与隔胶层的长度相同。

[0022] 智能 FRP 复合筋拉挤成型用的外包覆纤维可以为导电性纤维或非导电性的纤维;纤维采用浸胶工艺,长标距碳纤维传感芯采用淋胶工艺。

[0023] 测量电极及导线选用导电性良好的金属丝,如铜丝、铝丝、银丝;测量电极可以用导电性良好的银胶或铜胶粘结安装,也可以用化学镀、电镀或蒸镀的方法安装。拉挤工艺中

所使用的树脂为常用纤维材料浸渍用的普通型商业树脂,在加热时可快速固化成型。

[0024] 主要技术关键包括:(1)测量电极的安装及保护,是获得高测量精度和可靠度的关键;(2)长标距化技术,巧妙的采用隔胶层使标距内成为均匀的应力场,进一步提高其监测精度和稳定性;(3)预张拉处理,拉挤成型过程中利用张力器和高稳定性的连续牵引系统控制碳纤维传感芯与纤维的复合状态,并对长标距碳纤维传感芯施加 $100 \mu \varepsilon$ 以上的预应力,使碳纤维传感芯沿智能 FRP 复合筋的通长范围内准确、均匀复合,从而确保智能 FRP 复合筋在小应变范围内便有良好的监测性能。

[0025] 本发明的有益效果:

1、本发明通过长标距化、预张拉及无滑移技术处理,极大改善了碳纤维传感的监测精度,提升了发明中所述智能 FRP 复合筋的传感性能和力学性能,开拓和深化了分布式碳纤维传感技术的实际应用。

[0026] 2、通过在碳纤维传感芯的外围编织非导电纤维增强了传感用碳纤维的抗剪、抗拉能力,对碳纤维传感器进行保护,大幅提高了其在智能 FRP 复合筋生产过程中的存活率,既降低了产品工业化生产的废品率,又降低了成本、提高了市场竞争力;同时,使碳纤维传感芯与外围处于绝缘状态,进一步提高智能 FRP 复合筋的监测稳定性、线性度和精度。

[0027] 3、采用发明中所述的长标距隔离法制造智能 FRP 复合筋,对原有 FRP 筋的工业化生产工艺和设备改动小。因此,产品的传感、力学性能的稳定性得到了有效保障同时,对生产成本的增加比较小,具有显著的附加值。同时,生产过程中很少涉及到手工劳动,使得该工艺具有很高的工业化水平,保证大规模化生产的生产效率。

[0028] 4、根据长标距碳纤维传感芯和外包覆 FRP 层的不同,可以生产多个系列具有不同传感性能和力学性能的智能 FRP 复合材料,如长标距型智能 FRP 复合筋、全面粘结型智能 FRP 复合筋等。

[0029] 5、相比于其他智能结构材料而言,本发明生产的制品具有分布式、稳定的监测性能以及优良的力学性能,生产成本却不显著高于普通 FRP 筋的生产成本(成本提高不超过 10%)。因此,具有很高的性价比和附加值。

[0030] 6、本发明所生产的智能 FRP 复合筋适应于目前国家大型基础设施建设和运营的需求,尤其能够解决各种恶劣环境中的混凝土结构的长期监测的难题,具有很高的社会效益。

附图说明

[0031] 图 1 长标距碳纤维传感芯半成品。

[0032] 图 2 长标距碳纤维传感芯轴向剖视图。

[0033] 图 3 长标距碳纤维传感芯径向剖视图。

[0034] 图 4 传感碳纤维外围包覆层编织工艺。

[0035] 图 5 隔胶层及保护层生产工艺。

[0036] 图 6 全面粘结碳纤维传感芯线生产工艺。

[0037] 图 7 智能 FRP 复合筋。

[0038] 图 8 智能 FRP 复合筋测试图。

[0039] 图 9 智能 FRP 复合筋生产工艺路线图。

[0040] 各部分名称:1 测量电极;2 碳纤维;3 树脂;4 长标距碳纤维传感芯半成品;5 纤维包覆层;6 隔胶层;7 保护层;8 长标距碳纤维传感芯;9 纱轴;10 非导电纤维纱轴;11 非导电纤维;12 集束编织机;13 拉挤成型控制器;14 电极处理工艺;15 浸胶槽;16 加热固化;17 隔胶层涂敷机;18 保护层涂敷机;19 纱轴;20 纤维;21 淋胶孔;22 螺纹缠绕;23 智能 FRP 复合筋;24 夹具;25 牵引动力系统;26 产品支架;27 智能生产控制系统;28 支撑平台;29 外包覆 FRP 层;30 梁式结构;31 多通道电阻测量仪;32 导线。

具体实施方式

[0041] 结合图例,对本发明的具体实施过程进行更详细的描述:

附图 7 为本发明智能 FRP 复合筋 23 的结构图,同时参见图 2 和图 3,主要由两大部分组成,即的长标距碳纤维传感芯 8 和外包覆 FRP 层 29。其中长标距碳纤维传感芯 8 位于智能 FRP 复合筋 23 的中间,测量电极 1 牢固的锚固于长标距碳纤维传感芯 8 并由导线 32 引出,与外围的外包覆 FRP 层粘结成整体,隔胶层将传感部分标距长度与树脂及纤维 20 完全隔离开,保证长标距碳纤维传感芯 8 在标距段内的自由伸缩,以便形成均匀应力/应变场。碳纤维传感芯的主要功能是监测智能 FRP 复合筋在受力过程中的应变及可能出现的损伤,智能 FRP 复合筋传感性能的优劣主要取决于碳纤维传感芯的制作;而外包覆 FRP 层的主要作用是承受外力,智能 FRP 复合筋的力学性能优劣主要取决于外包覆 FRP 层纤维、树脂的性能以及生产工艺。

[0042] 本发明的工艺技术方案主要包括以下四部分的内容:(1)测量电极的安装与保护;(2)长标距碳纤维传感芯的制备和封装;(3)长标距隔离法制造智能 FRP 复合筋;(4)智能 FRP 复合筋的电阻监测。

[0043] (1)测量电极的安装、保护和引出

首先,用有机溶剂等手段除去安装测量电极部分碳纤维表面的浸润剂,提高碳纤维与碳纤维之间的导电性,降低其横向电阻;然后,对金属丝进行抛光,目的是去除其上面的锈迹和油污,降低其与导电胶和碳纤维的接触电阻,并在抛光后的金属丝上涂导电胶,然后每隔一标距长度固定在碳纤维束上,使碳纤维和金属丝充分接触粘结,并预留一段金属丝作为导线接头,从而实现碳纤维传感芯的分布式监测;导电胶可以选用导电性能好的银胶或铜胶,其作用是固定测量电极、减少碳纤维与碳纤维及与金属丝之间的接触电阻,从而提高其测量精度。在拉挤成型过程中,需要将作为导线部分的金属丝从智能 FRP 复合筋内部剥离出来,以便进行连接和测量。

[0044] (2)长标距碳纤维传感芯的制备

核心技术是碳纤维传感芯的长标距化封装,确保传感标距范围内的碳纤维传感芯均匀受力,形成均匀的应力/应变场。图 1 为长标距碳纤维传感芯的半成品示意图,其制作包括两个步骤:在碳纤维束上安装测量电极;然后,用树脂进行浸润、封装和固化。图 2、图 3 为长标距碳纤维传感芯的轴向和径向剖视图,其中的碳纤维传感芯是长标距封装,即每两相邻测量电极之间的碳纤维传感芯与外包覆 FRP 层处于隔离状态,这样当智能 FRP 复合筋受力后,碳纤维传感芯的应变为均匀应变状态。其标距长度可以根据实际需要进行任意设计,通常情况下标距长度越长传感的稳定性越好。

[0045] 第一步,结合附图 4,首先在安装了电极的碳纤维传感芯(长标距碳纤维传感芯半

成品) (图 1) 的周围通过编织机 12 编织一层非导电的纤维 11, 并用树脂浸渍和固化后形成包覆层 5; 不仅可以使碳纤维传感芯半成品 4 与外部绝缘, 也使碳纤维传感芯半成品 4 具有足够的抗剪、抗拉能力, 在 FRP 筋的拉挤成型工艺中能够存活。电极部分的编织厚度要大于其他部分的编织厚度, 通常要厚 0.5mm 以上, 电极部分的编织长度要不小于 20mm。这样可以增大电极部分的刚度, 受力后其变形小, 一方面提高了标距段碳纤维传感芯的测量精度, 另一方面对电极的保护更好。电极部分的编织长度和厚度越大越有利于提高碳纤维传感芯与外包覆 FRP 层的共同变形能力, 测量的应变也越接近于智能 FRP 复合筋的真实应变。

[0046] 第二步, 结合附图 5, 把第一步的制品经过隔胶层涂覆机 17 直接间断涂覆一层隔胶层 6。所述的隔胶层 6 为 PVC 层、薄壁套管或其它可防止 FRP 筋拉挤成型过程中树脂浸入长标距碳纤维传感芯半成品 4 的涂层, 每段隔胶层 6 的长度根据传感标距长度而定。

[0047] 第三步, 结合附图 5, 在通过涂敷机 17 涂敷了隔胶层 6 后, 通过保护层涂敷机 18 涂敷保护层 7, 保护层的长度与隔胶层 6 的长度一致。保护层 7 可由弹性模量低的树脂、泡沫塑料或低弹性模量纤维形成。保护层的弹性模量低有利于在碳纤维测量标距段形成均匀的应力场, 因而有利于提高测量精度和稳定性。

[0048] 另外, 对于一些对监测精度和稳定性要求比较低的情况, 可不进行长标距化封装, 生产工艺复杂性和成本则可大幅下降。通过编织机 12 直接在碳纤维传感芯 4 上编织一层非导电的纤维 11, 经树脂浸渍固化后形成包覆层 5 即可, 测量电极部分的编织厚度可与其他部分的编织厚度相同, 如附图 6 所示。

[0049] (3) 长标距隔离法制造智能 FRP 复合筋

该方法是将上述长标距碳纤维传感芯 8 导入 FRP 筋的工业化生产工艺。然后, 利用 FRP 复合材料各项异性的特征, 直接将导线 1 从 FRP 筋中剥离出来。

[0050] 本工艺的关键点: 长标距碳纤维传感芯的制备、多测量电极的安装与保护及其导入 FRP 筋拉挤生产线以及导线的引出。

[0051] 纤维 20 和长标距碳纤维传感芯 8 分别通过纱轴进行放线, 其中纤维 20 导入浸胶槽 18 充分浸渍树脂通常选用常用的商业型热固性树脂; 而为了避免弯折损伤, 长标距碳纤维传感芯 8 则通过淋胶孔 19 在空中淋胶, 然后直接经由集束编织器 12' 的中心孔与被集束架集束定位后的树脂浸渍纤维一起挤入拉挤成型器 13', 在其中挤压初步成型, 并把导线剥离出; 初步成型的智能 FRP 复合筋需要用螺纹缠绕机进一步刻螺纹并挤胶成型, 之后进入加热固化管 16' 对智能 FRP 复合筋去除部分多余树脂、预热并加热固化成型; 成品智能 FRP 复合筋被夹具牵拉出生产线, 放置在产品支架上或直接将其盘成一定直径的筋盘。

[0052] 该生产流程有几个关键控制工艺:

1、碳纤维复合状态控制。为了提高碳纤维传感束的测试精度, 要求纤维 11 和 20 分别与碳纤维 2 和长标距碳纤维 8 能够均匀准确复合。为了达到这样的目的, 一方面, 可以在集束编制架机上安装张力控制器, 保证纤维 11 及 20、碳纤维 2 和长标距碳纤维传感芯 8 进入集束编织机的初始张力相同; 另一方面, 利用高稳定性的连续牵引系统如连续液压牵引系统, 包括夹具 24 和牵引动力系统 25, 保证沿 FRP 筋的通长范围内长标距碳纤维传感芯 8 与纤维 20 的复合状态一致。

[0053] 2、智能 FRP 复合筋的外形控制。依据用途不同, 产品的尺寸和外表状态有不同的要求。本工艺中, 通过集束编织机 12' 的内径可以控制智能 FRP 复合筋的直径, 而缠丝机 22

缠丝的力度和速度可以控制螺纹的螺深和螺距。

[0054] 3、导线的引出。长标距碳纤维传感芯 8、纤维 11 和纤维 20 经过集束编织机 12 和 12' 后,金属丝测量电极被纤维覆盖,经剥离后,可把电极引出,然后再经缠丝机 22 刻纹成型。

[0055] (4) 智能 FRP 复合筋的电阻监测

如附图 8 所示,该智能 FRP 复合筋的监测主要通过各标距段的电阻测量,智能 FRP 复合筋的测量导线通过导线 32 连接到多通道电阻测量仪 31,然后根据所测的电阻变化率及灵敏度系数可以获得智能 FRP 复合筋的应变大小。梁式结构 30 受不同的力作用,但在每个标距范围内测量的是该范围内的平均电阻变化率(平均应变);不同测量标距内的平均电阻变化率(平均应变)与该标距内的受力大小有关,受力大则平均电阻变化率(平均应变)大,受力小则小。

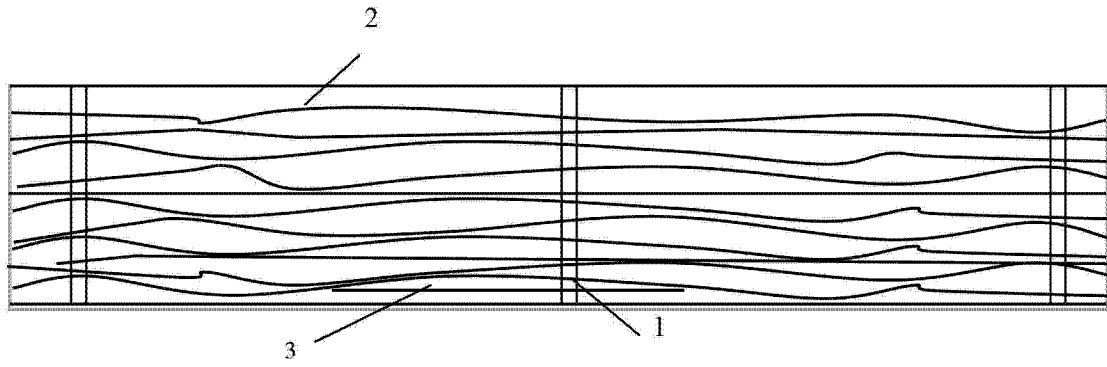


图 1

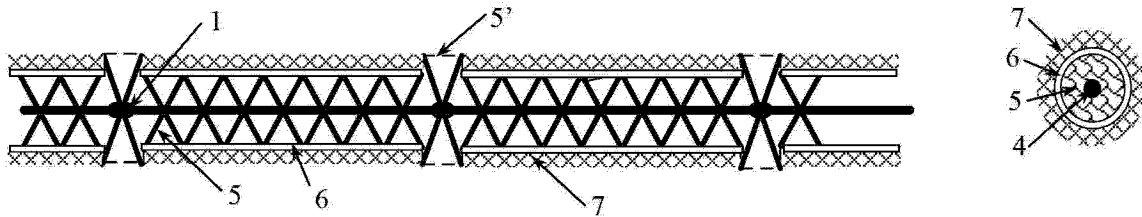


图 2

图 3

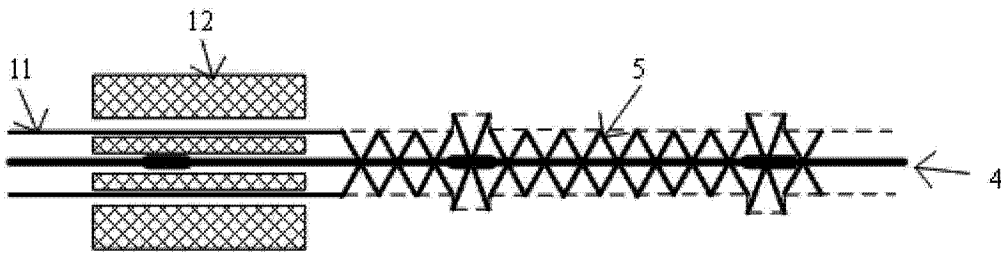


图 4

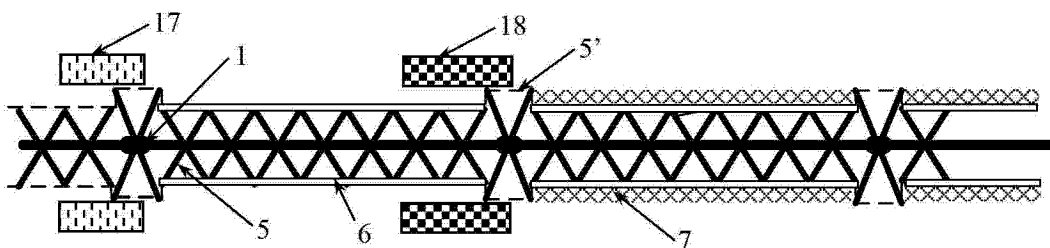


图 5

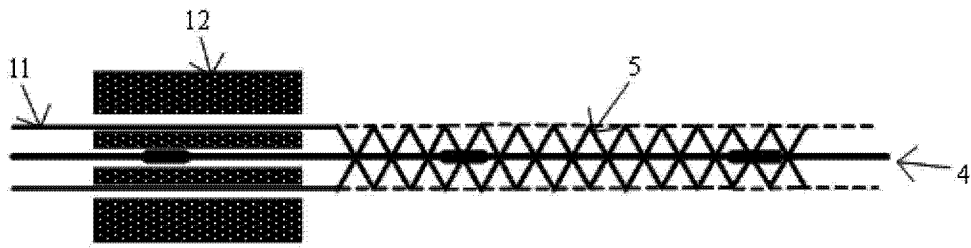


图 6

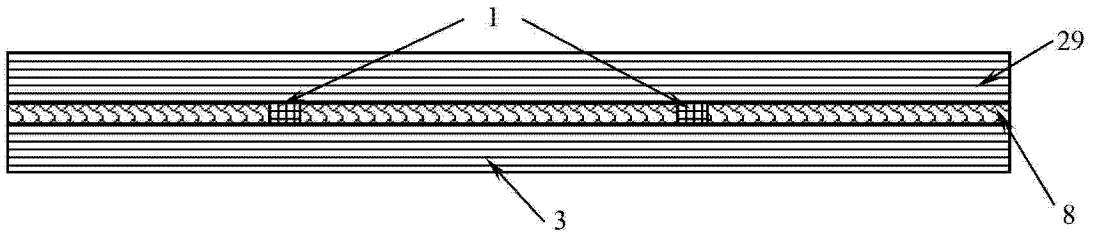


图 7

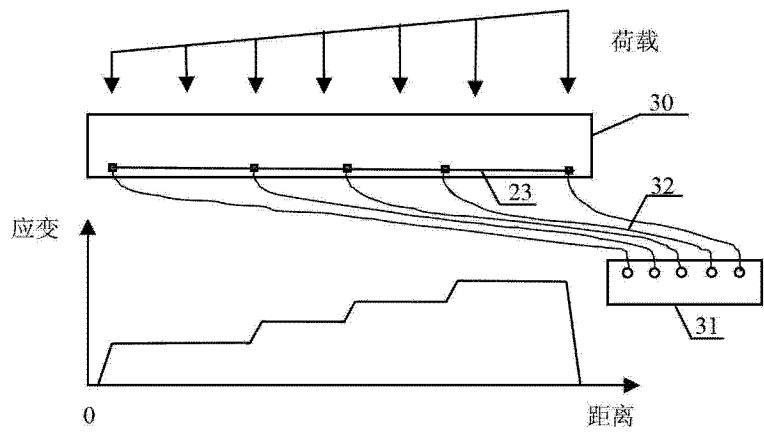


图 8

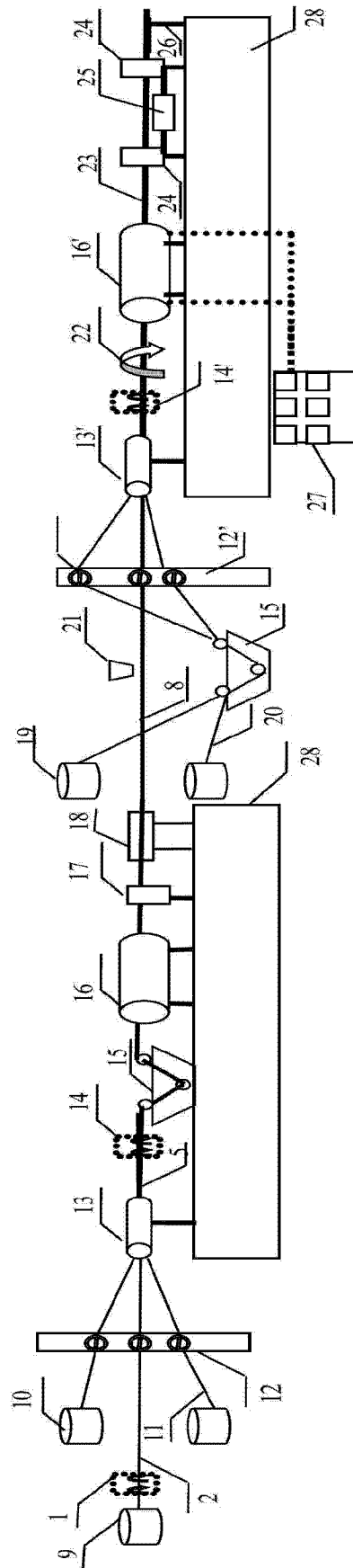


图 9