



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119321956 A

(43) 申请公布日 2025. 01. 17

(21) 申请号 202411505346.7

G01N 3/02 (2006.01)

(22) 申请日 2024.10.25

(71) 申请人 山东大学

地址 264209 山东省威海市环翠区文化西路180号

(72) 发明人 王挺挺 孙成祥 何银川 宋明浩  
李子正 王丽

(74) 专利代理机构 北京知艺互联知识产权代理有限公司 16137

专利代理师 陆颖

(51) Int. Cl.

G01N 3/08 (2006.01)

G01N 3/04 (2006.01)

G01N 3/06 (2006.01)

G01N 3/18 (2006.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图4页

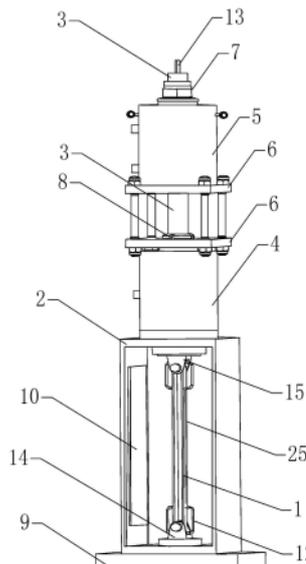
(54) 发明名称

一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法

(57) 摘要

本发明属于树脂基纤维增强复合材料力学性能测试技术领域,具体公开了一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法,该装置包括特制测试样、应变测量系统、载荷加载装置、环境箱;本发明采用上述一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法,通过该创新性方法和装置,能够更全面地捕捉和分析外部环境作用下缠绕纤维增强复合材料的应力松弛行为,进而对纤维增强复合材料预应力缠绕结构在长期服役过程中的应力松弛特性进行测量,可解决缠绕成型纤维增强复合材料预应力结构的应力松弛的测量问题。

CN 119321956 A



1. 一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置,其特征在于:包括特制测试样、应变测量系统、载荷加载装置、环境箱;特制测试样结构整体为环形,由直线和过度圆弧组成;应变测量系统由内嵌入特制测试样的柔性应变传感器及外部测量装置组成;载荷加载装置由拉伸夹具、拉伸螺杆、轴力计、空心千斤顶、反力支架、张拉螺母、锁紧螺母、装置底座组成;环境箱内部设有加热板和温度控制系统,环境箱外部底端设有传感器连接线引出孔;环境箱设于装置底座的顶部。

2. 根据权利要求1所述的一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置,其特征在于:特制测试样为X,Y轴对称结构,特制测试样材料为纤维增强树脂基复合材料,纤维增强树脂基复合材料包括玻璃纤维、碳纤维多种不同类型的纤维材料;特制测试样的制备工艺为纤维缠绕成型,通过边缘圆弧过渡的单向板模具制备。

3. 根据权利要求1所述的一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置,其特征在于:柔性应变传感器上设有传感器引出线,传感器引出线包括下引出线、上引出线;

柔性应变传感器在特制测试样厚度方向分布在多层缠绕中间层或表层,位于特制测试样宽度方向的中部;在特制测试样环形结构的中线两侧对称嵌入两条柔性应变传感器;

柔性应变传感器分布在特制测试样直线部分,柔性应变传感器嵌入部分大于特制测试样直线段长度的70%。

4. 根据权利要求1所述的一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置,其特征在于:拉伸夹具分为固定拉伸夹具和可动拉伸夹具,固定拉伸夹具和可动拉伸夹具均由夹具体和插入夹具体孔内的辊销组成,夹具体开设第一底孔。

5. 根据权利要求4所述的一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置,其特征在于:拉伸夹具的辊销直径尺寸小于特制测试样内部圆弧尺寸,特制测试样宽度小于夹具体预留宽度。

6. 根据权利要求5所述的一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置,其特征在于:固定拉伸夹具和可动拉伸夹具设于环境箱内部;固定拉伸夹具与环境箱的底部固定连接,可动拉伸夹具通过连接帽与拉伸螺杆组合连接。

7. 根据权利要求6所述的一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置,其特征在于:拉伸螺杆为中空结构,其外表面具有螺纹结构;环境箱上部具有与可动拉伸夹具的夹具体底座外圆相匹配的孔型滑道,孔型滑道的顶部设有轴力计底座安装轴力计,轴力计与反力支架的下钢板连接;反力支架由上钢板、下钢板、两端设有螺纹的螺柱组成。

8. 根据权利要求7所述的一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置,其特征在于:反力支架下钢板上设置锁紧螺母,反力支架上钢板与空心千斤顶底部连接;拉伸螺杆穿过轴力计、反力支架和空心千斤顶的中间孔,拉伸螺杆的上端部通过张拉螺母与空心千斤顶的可动部分连接。

9. 根据权利要求1所述的一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置,其特征在于:装置底座包括底板,底板与传感器连接线引出孔相接触处设有与传感器连接线引出孔相匹配的第二底孔;底板底部设有出线槽,出线槽一端与第二底孔连接贯通。

10. 一种如权利要求1-9所述的缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤S1、松开锁紧螺母,将空心千斤顶卸载,拧下张拉螺母,根据特制测试样长度调整

拉伸螺杆的上下位置；

步骤S2、抽出固定拉伸夹具和可动拉伸夹具的辊销,穿过测试样环状结构后插入夹具体孔位;先完成固定拉伸夹具端特制测试样的安装,再移动可动拉伸夹具实现可动拉伸夹具与测试样的固定;

步骤S3、传感器下引出线通过夹具体的第一底孔、环境箱底部的传感器连接线引出孔和装置底座的第二底孔、出线槽引出;上引出线通过拉伸螺杆中心孔引出至外部测量装置,用于确定试样应变数据;

步骤S4、拧上张拉螺母,调整拉伸螺杆上下位置,确保动拉伸夹具进入环境箱上部滑道,同时确定动拉伸夹具和固定拉伸夹具的辊销方向一致;

步骤S5、拧紧张拉螺母后通过空心千斤顶进行预加载,空心千斤顶的可动部分上移带动拉伸螺杆移动,使可动拉伸夹具上移,测试样被张紧;

步骤S6、特制测试样受到的拉伸载荷以反力的方式通过空心千斤顶、反力支架传递到轴力计,通过轴力计读出当前拉伸载荷;利用张拉螺母在给定负载条件下对拉伸载荷微调至零;

步骤S7、根据测试要求确定特制测试样需要施加的预应力、测试环境温度,使用空心千斤顶继续加载至要求负载后,利用锁紧螺母将拉伸螺杆与反力支架下钢板牢固锁紧;

步骤S8、固定测试样总应变,记录当前轴力计和应变测量系统的示数,实现给定应变条件下,特制测试样的应力变化监测。

## 一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于树脂基纤维增强复合材料力学性能测试技术领域,具体涉及一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法。

### 背景技术

[0002] 聚合物基复合材料高比强度、高比模量的特性使其在航空航天、能源、体育、汽车工业和各类基础设施中扮演着不可或缺的角色。缠绕成型工艺是纤维增强复合材料回转结构成型的重要方式,近年来用于高速电机转子碳纤维护套、高压复合气瓶等典型的预应力结构的成型。缠绕结构的预应力为内部构件提供正压力,起到保护内部结构的重要作用。

[0003] 纤维增强复合材料在长期使用过程中,由于聚合物基体的粘弹性会导致纤维增强复合材料长期力学性能的变化,发生蠕变和应力松弛,进而导致构件的预应力衰减到低于安全阈值。预紧力的劣化不仅影响零件的可靠性,还可能对整个系统的安全性造成威胁。因此,通过测量获得纤维增强复合材料长期力学性能在各种复杂服役环境下的变化,获得聚合物基复合材料在使用过程中的残余预紧力,是评估预应力材料或结构寿命的关键。这对于提高产品的整体性能和经济效益具有重要意义,也为进一步研究和开发更先进的复合材料提供了科学依据。

[0004] 中国发明专利CN106568650A提供了一种碳纤维复合材料筋应力松弛测试方法,中国发明专利CN111766164A提供了一种针对预应力筋的疲劳-应力松弛的联合测试装置。上述专利主要面向拉挤成型的复合材料筋,测试样结构为板/条状,应力松弛测试需要保证测试过程中试样变形量为定值,在实际长期测试过程中被测样品夹持端滑移影响造成的变形量非常难以控制,从而导致纤维增强复合材料应力松弛性能测量上的困难,所以上述专利未能明确如何改善和控制端部变化的影响。中国发明专利CN108801768A提供了一种面向纤维类柔性材料应力松弛的测试方法,中国发明专利CN113654779A公开了一种适用于锥形结构的应力松弛测试方法,中国发明专利CN102353588A、中国发明专利CN102650581A分别公开了面向橡胶和片状弹簧应力松弛测试的设备及方法。但上述装置及方法难以应用于缠绕纤维增强复合材料结构。

[0005] 目前缺少面向缠绕成型预应力纤维增强复合材料应力松弛特性的测试装置和测试方法,同时现有一般类型纤维增强复合材料测试方法中板、条类试样应力松弛测量中端部夹持位滑移导致应变难以准确捕捉的问题。因此,本领域有待开发出一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法,能够有效的解决上述问题。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法,通过该创新性方法和装置,能够更全面地捕捉和分析外部环境作用下缠绕纤维增强复合材料的应力松弛行为,进而对纤维增强复合材料预应力缠绕结构在长期服役过程中的应力松弛特性进行测量,可解决缠绕成型纤维增强复合材料预应力结构的应力松弛的测量问

题。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供了一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置,包括特制测试样、应变测量系统、载荷加载装置、环境箱;特制测试样结构整体为环形,由直线和过度圆弧组成;应变测量系统由内嵌入特制测试样的柔性应变传感器及外部测量装置组成;载荷加载装置由拉伸夹具、拉伸螺杆、轴力计、空心千斤顶、反力支架、张拉螺母、锁紧螺母、装置底座组成;环境箱内部设有加热板和温度控制系统,环境箱外部底端设有传感器连接线引出孔;环境箱设于装置底座的顶部。

[0008] 优选的,特制测试样为X,Y轴对称结构,特制测试样材料为纤维增强树脂基复合材料,纤维增强树脂基复合材料包括玻璃纤维、碳纤维多种不同类型的纤维材料;特制测试样的制备工艺为纤维缠绕成型,通过边缘圆弧过渡的单向板模具制备。

[0009] 优选的,柔性应变传感器上设有传感器引出线,传感器引出线包括下引出线、上引出线;

柔性应变传感器在特制测试样厚度方向分布在多层缠绕中间层或表层,位于特制测试样宽度方向的中部;在特制测试样环形结构的中线两侧对称嵌入两条柔性应变传感器;

柔性应变传感器分布在特制测试样直线部分,柔性应变传感器嵌入部分大于特制测试样直线段长度的70%。

[0010] 优选的,拉伸夹具分为固定拉伸夹具和可动拉伸夹具,固定拉伸夹具和可动拉伸夹具均由夹具体和插入夹具体孔内的辊销组成,夹具体开设第一底孔。

[0011] 优选的,拉伸夹具的辊销直径尺寸小于特制测试样内部圆弧尺寸,特制测试样宽度小于夹具体预留宽度。

[0012] 优选的,固定拉伸夹具和可动拉伸夹具设于环境箱内部;固定拉伸夹具与环境箱的底部固定连接,可动拉伸夹具通过连接帽与拉伸螺杆组合连接。

[0013] 优选的,拉伸螺杆为中空结构,其外表面具有螺纹结构;环境箱上部具有与可动拉伸夹具的夹具体底座外圆相匹配的孔型滑道,孔型滑道的顶部设有轴力计底座安装轴力计,轴力计与反力支架的下钢板连接;反力支架由上钢板、下钢板、两端设有螺纹的螺柱组成。

[0014] 优选的,反力支架下钢板上设置锁紧螺母,反力支架上钢板与空心千斤顶底部连接;拉伸螺杆穿过轴力计、反力支架和空心千斤顶的中间孔,拉伸螺杆的上端部通过张拉螺母与空心千斤顶的可动部分连接。

[0015] 优选的,装置底座包括底板,底板与传感器连接线引出孔相接触处设有与传感器连接线引出孔相匹配的第二底孔;底板底部设有出线槽,出线槽一端与第二底孔连接贯通。

[0016] 一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试方法,包括以下步骤:

步骤S1、松开锁紧螺母,将空心千斤顶卸载,拧下张拉螺母,根据特制测试样长度调整拉伸螺杆的上下位置;

步骤S2、抽出固定拉伸夹具和可动拉伸夹具的辊销,穿过测试样环状结构后插入夹具体孔位;先完成固定拉伸夹具端特制测试样的安装,再移动可动拉伸夹具实现可动拉伸夹具与测试样的固定;

步骤S3、传感器下引出线通过夹具体的第一底孔、环境箱底部的传感器连接线引

出孔和装置底座的第二底孔、出线槽引出；上引出线通过拉伸螺杆中心孔引出至外部测量装置，用于确定试样应变数据；

步骤S4、拧上张拉螺母，调整拉伸螺杆上下位置，确保动拉伸夹具进入环境箱上部滑道，同时确定动拉伸夹具和固定拉伸夹具的辊销方向一致；

步骤S5、拧紧张拉螺母后通过空心千斤顶进行预加载，空心千斤顶的可动部分上移带动拉伸螺杆移动，使可动拉伸夹具上移，测试样被张紧；

步骤S6、特制测试样受到的拉伸载荷以反力的方式通过空心千斤顶、反力支架传递到轴力计，通过轴力计读出当前拉伸载荷；利用张拉螺母在给定负载条件下对拉伸载荷微调至零；

步骤S7、根据测试要求确定特制测试样需要施加的预应力、测试环境温度，使用空心千斤顶继续加载至要求负载后，利用锁紧螺母将拉伸螺杆与反力支架下钢板牢固锁紧；

步骤S8、固定测试样总应变，记录当前轴力计和应变测量系统的示数，实现给定应变条件下，特制测试样的应力变化监测。

[0017] 本发明采用上述一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法，有益效果如下：

(1) 本发明利用纤维缠绕工艺特点，采用由直线和端部过渡圆弧组成的封闭环状测试样结构，配合辊销和夹具体组成的拉伸夹具，在测量过程中能够实现夹持端部不产生滑移；

(2) 本发明设计了针对封闭环状结构测试样的加载装置，在卸载情况下可动夹具能够沿滑轨上下移动，快捷安装和取下特制测试样，利用中空拉伸螺杆在保证加载路径的前提下合理布置内部传感器走线，采用反力支架利用反作用力精准测量拉伸载荷，环境箱在结构和功能实现一体化，上部滑道为可动夹具、拉伸螺杆等提供精确的径向定位，箱体本身也被视作反力支架的一部分，同时环境箱具备高温功能，可以实现特制测试样应力松弛特性对温度的响应。锁紧螺母将可动拉伸夹具与反力支架稳固锁定，实现测试样总应变的长期稳定；

(3) 为实现测试样应变的精准测量，本发明在测试样缠绕成型过程中嵌入柔性应变传感器道缠绕层中，可实现应变的原位测量；

(4) 本发明通过该创新性方法和装置，有助于优化复合材料缠绕成型工艺，还将提升复合材料在各类工程应用中的可靠性和使用寿命，可为复合材料缠绕成型在高速电机转子、高压气瓶等的应用提供帮助。

[0018] 下面通过附图和实施例，对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

## 附图说明

[0019] 图1为本发明一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法实施例测试装置的整体结构示意图；

图2为本发明一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法实施例拉伸夹具的结构示意图；

图3为本发明一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法实施例辊销的结构示意图；

图4为本发明一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法实施例环境箱的剖面图；

图5为本发明一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法实施例装置底座的结构示意图；

图6为本发明一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法实施例测试样的结构示意图；

图7为本发明一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法实施例拉伸螺杆与可动拉伸夹具的连接示意图。

[0020] 附图标记

1、特制测试样；2、环境箱；3、拉伸螺杆；4、轴力计；5、空心千斤顶；6、反力支架；7、张拉螺母；8、锁紧螺母；9、装置底座；10、加热板；11、传感器连接线引出孔；12、下引出线；13、上引出线；14、固定拉伸夹具；15、可动拉伸夹具；16、夹具体；17、辊销；18、第一底孔；19、连接帽；20、孔型滑道；21、轴力计底座；22、底板；23、第二底孔；24、出线槽；25、柔性应变传感器。

## 具体实施方式

[0021] 以下通过附图和实施例对本发明的技术方案作进一步说明。

[0022] 除非另外定义，本发明使用的技术术语或者科学术语应当为本发明所属领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。

[0023] 如图1所示，一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置，包括特制测试样1、应变测量系统、载荷加载装置、环境箱2。

[0024] 如图6所示，特制测试样结构整体为环形，由直线和过度圆弧组成，特制测试样1为X、Y轴对称结构。特制测试样1材料为纤维增强树脂基复合材料，纤维增强树脂基复合材料包括玻璃纤维、碳纤维多种不同类型的纤维材料。特制测试样1的制备工艺为纤维缠绕成型，通过边缘圆弧过渡的单向板模具制备。

[0025] 应变测量系统由内嵌入特制测试样1的柔性应变传感器25及外部测量装置组成，监测测试样的应变数据。柔性应变传感器25上设有传感器引出线，传感器引出线包括下引出线12、上引出线13。

[0026] 柔性应变传感器25在特制测试样1厚度方向分布在多层缠绕中间层或表层，位于特制测试样1宽度方向的中部。在特制测试样1环形结构的中线两侧对称嵌入两条柔性应变传感器25。

[0027] 柔性应变传感器25分布在特制测试样1直线部分，柔性应变传感器25嵌入部分大于特制测试样1直线段长度的70%。传感器的类型、量程和灵敏度可根据不同的应用场景进行选择，外部测量装置与传感器类型相匹配。

[0028] 载荷加载装置由拉伸夹具、拉伸螺杆3、轴力计4、空心千斤顶5、反力支架6、张拉螺母7、锁紧螺母8、装置底座9组成，为测试样提供给定拉伸力并测量拉力大小。环境箱2为测试样提供可变的高温环境，部分组件为加载装置的一部分。

[0029] 如图2-图3所示，拉伸夹具分为固定拉伸夹具14和可动拉伸夹具15，固定拉伸夹具14和可动拉伸夹具15均由夹具体16和插入夹具体16孔内的辊销17组成，夹具体16开设第一

底孔18。

[0030] 拉伸夹具的辊销17直径尺寸略小于特制测试样1内部圆弧尺寸,特制测试样1宽度略小于夹具体16预留宽度。保证安装在拉伸夹具上不发生偏移。

[0031] 固定拉伸夹具14和可动拉伸夹具15设于环境箱2内部。固定拉伸夹具14与环境箱2的底部固定连接,可动拉伸夹具15通过连接帽19与拉伸螺杆3组合连接。

[0032] 如图4所示,环境箱2内部设有加热板10和温度控制系统,环境箱2外部底端设有传感器连接线引出孔11。拉伸螺杆3具有中空结构,其外表面具有螺纹结构。可自由转动,不影响辊销17朝向。

[0033] 环境箱2上部具有与可动拉伸夹具15的夹具体16底座外圆相匹配的孔型滑道20,可动拉伸夹具15在拉伸螺杆3的带动下可在环境箱2上部的孔型滑道20中移动。孔型滑道20的顶部设有轴力计底座21安装轴力计4,轴力计4与反力支架6的下钢板连接。反力支架6由上钢板、下钢板、两端设有螺纹的螺柱组成。

[0034] 反力支架6下钢板上设置锁紧螺母8,锁定反力支架6下底板22与拉伸螺杆3的相对位置,固定测试样品的总应变。反力支架6上钢板与空心千斤顶5底部连接。如图7所示,拉伸螺杆3穿过轴力计4、反力支架6和空心千斤顶5的中间孔,拉伸螺杆3的上端部通过张拉螺母7与空心千斤顶5的可动部分连接。空心千斤顶5加载时通过张拉螺母7带动拉伸螺杆3向上移动,同时带动可动拉伸夹具15移动实现拉伸载荷的施加。拉伸载荷通过千斤顶底部、反力支架6传递到轴力计4,通过测试反力的方式获得拉伸载荷。拉伸螺杆3端部张拉螺母7可以微调拉伸载荷。

[0035] 环境箱2设于装置底座9的顶部。如图5所示,装置底座9包括底板22,底板22与传感器连接线引出孔11相接触处设有与传感器连接线引出孔11相匹配的第二底孔23。底板22底部设有出线槽24,出线槽24一端与第二底孔23连接贯通。

[0036] 实施例

本实施例中测试样采用张力缠绕的方式在边缘弧形过度的单向板模具上绕制,可以采用湿法和干法缠绕,在测试样缠绕至总层数一半时后嵌入光纤传感器,预留引出线后缠绕至完整厚度,脱模并打磨至合适尺寸。

[0037] 一种高速电机护套用缠绕成型碳纤维增强环氧树脂复合材料应力松弛测试方法,包括以下步骤:

步骤S1、松开锁紧螺母8,将空心千斤顶5卸载,拧下张拉螺母7,根据测试样长度调整拉伸螺杆3的上下位置。

[0038] 步骤S2、抽出固定拉伸夹具14和可动拉伸夹具15的辊销17,穿过测试样环状结构后插入夹具体16孔位。先完成固定拉伸夹具14端测试样的安装,再移动可动拉伸夹具15实现可动拉伸夹具15与测试样的固定。

[0039] 步骤S3、传感器下引出线12通过夹具体16的第一底孔18、环境箱2底部的传感器连接线引出孔11和装置底座9的第二底孔23、出线槽24引出,上引出线13通过拉伸螺杆3中心孔引出至外部测量装置,用于确定试样应变数据。

[0040] 步骤S4、拧上张拉螺母7,调整拉伸螺杆3上下位置,确保动拉伸夹具进入环境箱2上部滑道,同时确定动拉伸夹具和固定拉伸夹具14的辊销17方向一致。

[0041] 步骤S5、拧紧张拉螺母7后通过空心千斤顶5进行预加载,空心千斤顶5的可动部分

上移带动拉伸螺杆3移动,使可动拉伸夹具15上移,测试样被张紧,预加载确保特制测试样1在后续测试中受力均匀且可控。

[0042] 步骤S6、测试样受到的拉伸载荷以反力的方式通过空心千斤顶5、反力支架6传递到轴力计4,通过轴力计4读出当前拉伸载荷。利用张拉螺母7在给定负载条件下对拉伸载荷微调至零。

[0043] 步骤S7、根据测试要求确定特制测试样1需要施加的预应力、测试环境温度,使用空心千斤顶5继续加载至要求负载后,利用锁紧螺母8将拉伸螺杆3与反力支架6下钢板牢固锁紧。

[0044] 步骤S8、固定测试样总应变,记录当前轴力计4和应变测量系统的示数,实现给定应变条件下,测试样的应力变化监测。

[0045] 本实施例中使用方法为常温下特制测试样的测试方法。若高温下的应力松弛特性测试首先在固定拉伸夹具14和可动拉伸夹具15的第一底孔18内填充隔热材料。通过环境箱2的温度控制系统设置测试温度,确保环境箱2达到预定温度后进行预加载,其余步骤与常温下测试特制测试样1的方法相同。

[0046] 因此,本发明采用上述一种缠绕成型纤维增强复合材料应力松弛测试装置及方法,通过该创新性方法和装置,能够更全面地捕捉和分析外部环境作用下缠绕纤维增强复合材料的应力松弛行为,进而对纤维增强复合材料预应力缠绕结构在长期服役过程中的应力松弛特性进行测量,可解决缠绕成型纤维增强复合材料预应力结构的应力松弛的测量问题。

[0047] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其进行限制,尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而这些修改或者等同替换亦不能使修改后的技术方案脱离本发明技术方案的精神和范围。

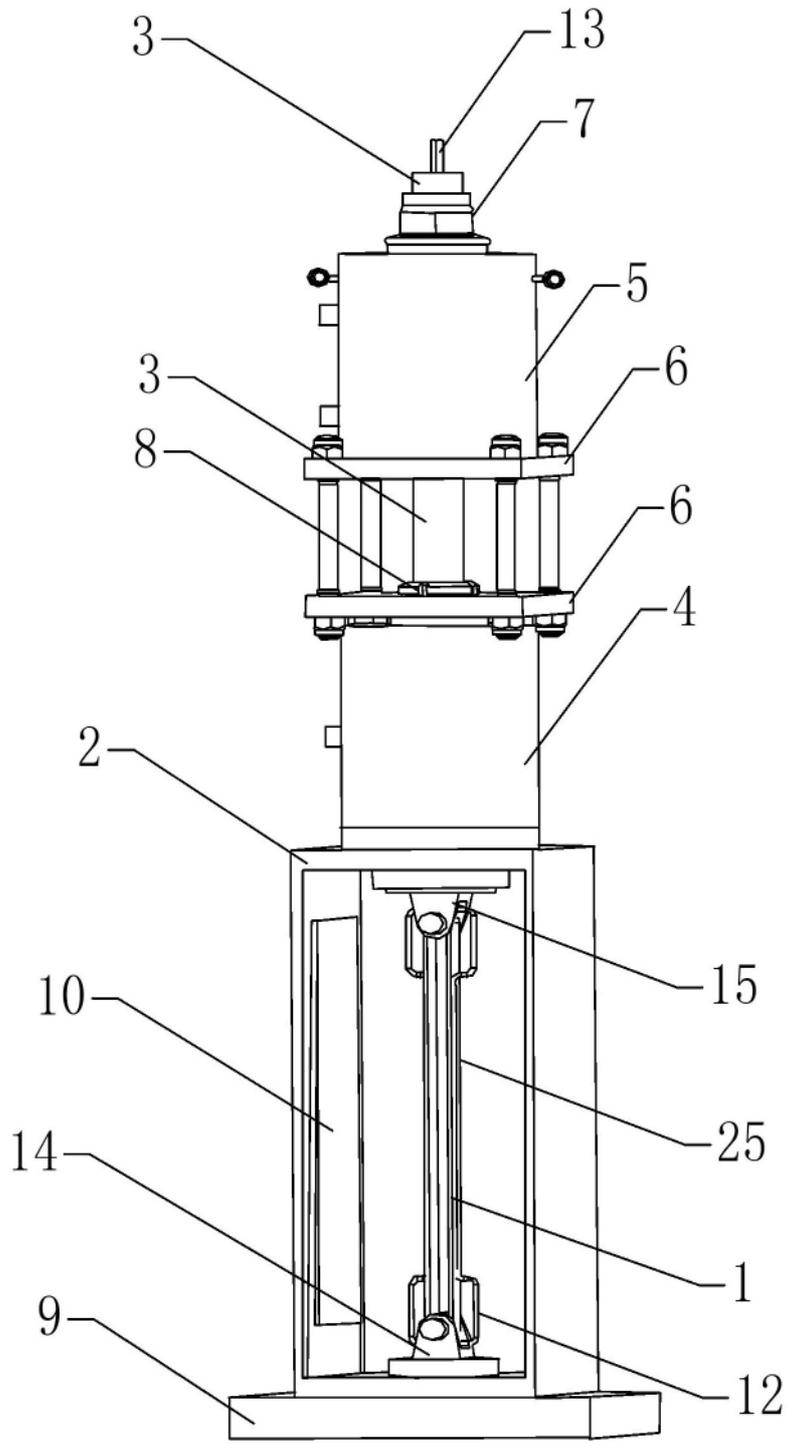


图1

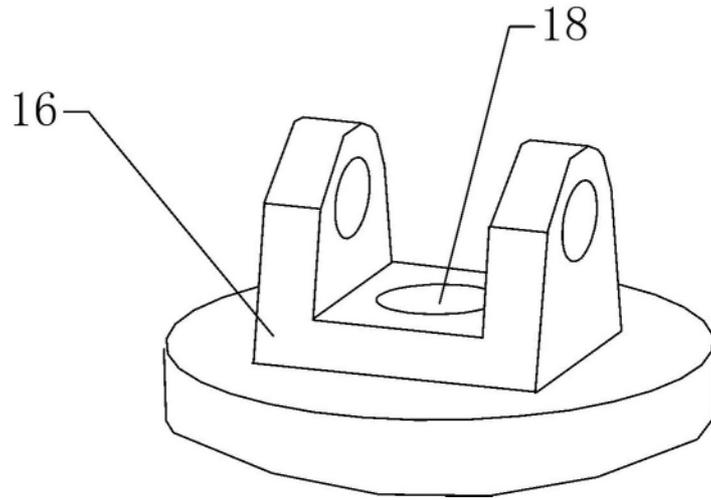


图2

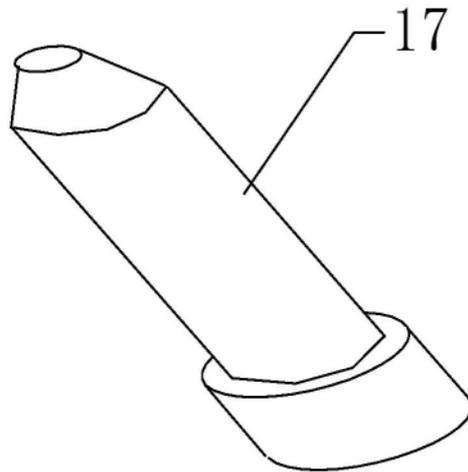


图3

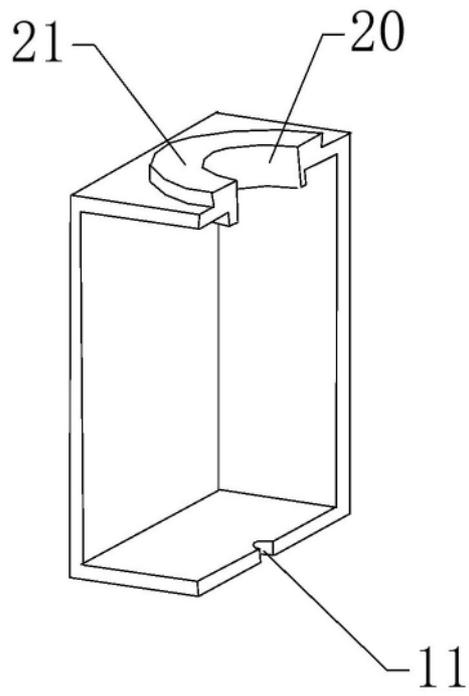


图4

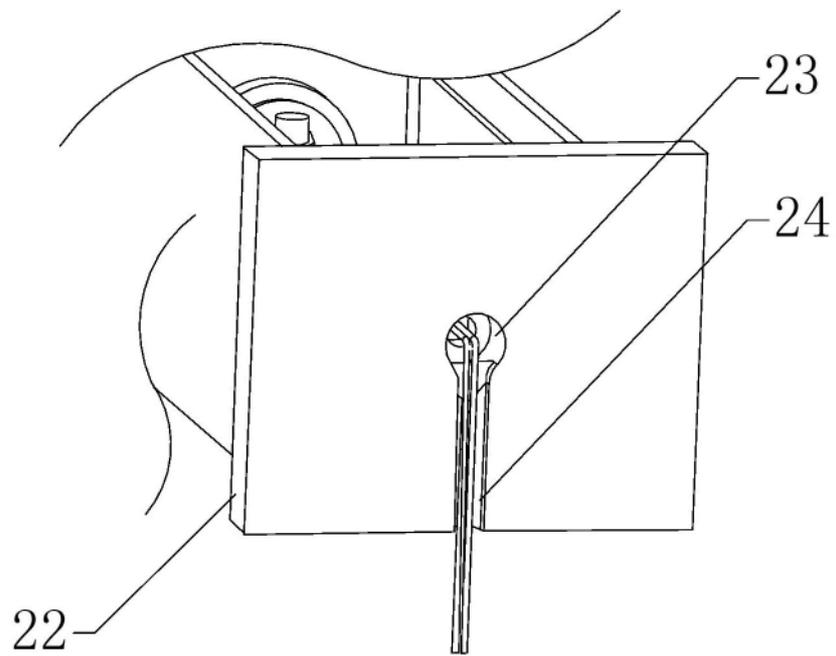


图5

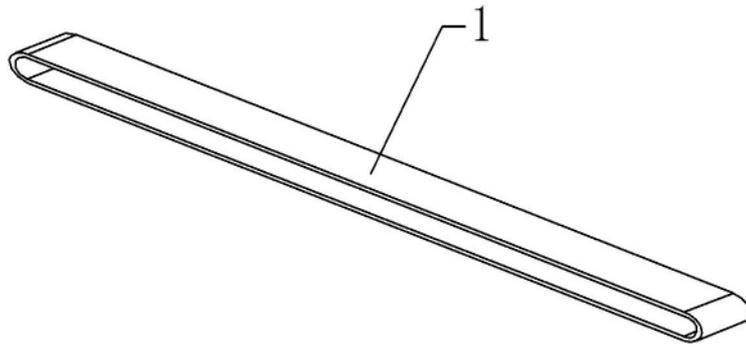


图6

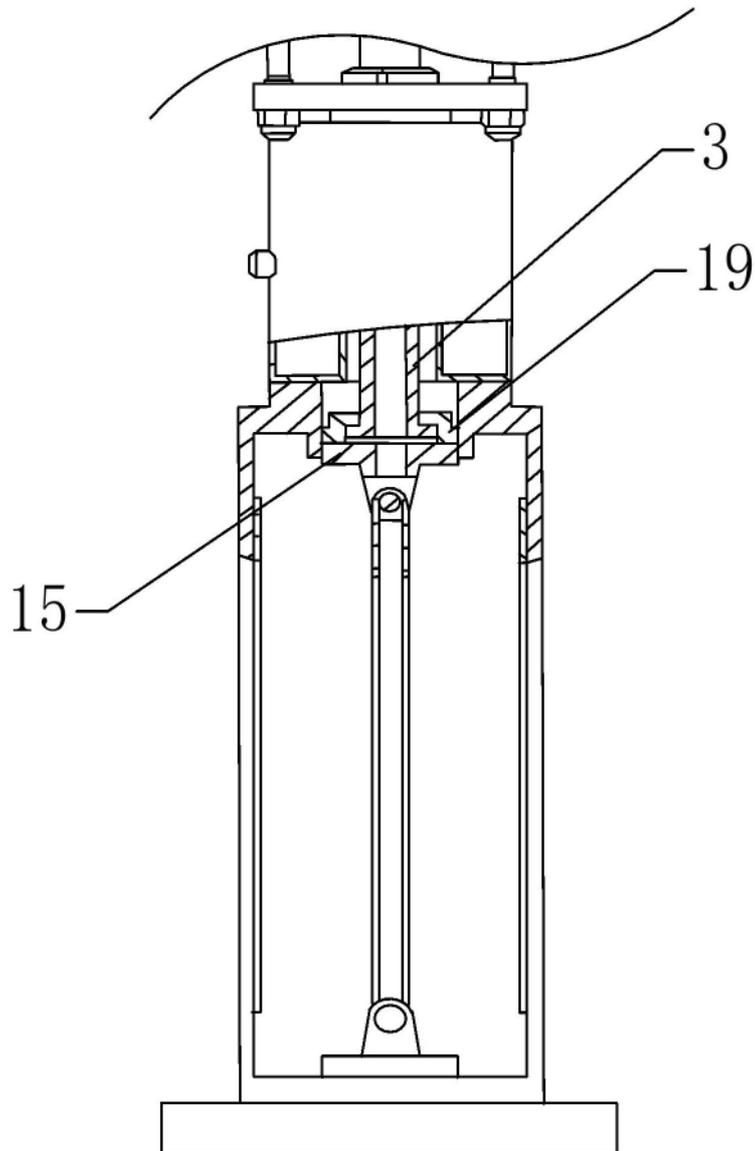


图7