



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114383932 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 17

(21) 申请号 202111644245.4

(22) 申请日 2021.12.29

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114383932 A

(43) 申请公布日 2022.04.22

(73) 专利权人 大连理工大学
地址 116024 辽宁省大连市甘井子区凌工
路2号
专利权人 大连公共交通建设投资集团有限
公司
中铁大连地铁五号线有限公司

(72) 发明人 冯新 杨丰源 张军 袁永博
钟国 周晶

(74) 专利代理机构 大连智高专利事务所(特殊
普通合伙) 21235

专利代理师 盖小静

(51) Int.Cl.

G01N 3/02 (2006.01)

G01N 3/06 (2006.01)

G01N 3/08 (2006.01)

G01B 11/16 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106289844 A, 2017.01.04

CN 109269900 A, 2019.01.25

CN 110618037 A, 2019.12.27

CN 207066755 U, 2018.03.02

CN 209280028 U, 2019.08.20

JP H0829297 A, 1996.02.02

审查员 王风懿

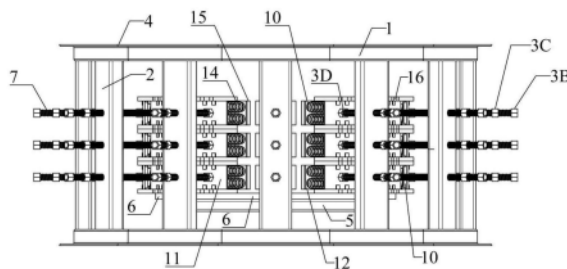
权利要求书3页 说明书8页 附图10页

(54) 发明名称

一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法

(57) 摘要

本发明公开了一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法,包括:先将分布式应变和温度光纤沿隧道模型内壁环向布设,再将模型放置在底座上;通过压缩加载弹簧施加荷载,使结构产生变形,而结构变形导致部分加载弹簧和地层弹簧产生的压缩变形,提供了地层抗力;在数据采集过程中,先利用解调仪采集健康状态下结构的环向应变,然后在模型外表面某一位置制造损伤使该位置截面特性发生改变,获得损伤状态下的环向应变。本方法操作简单,所需部件易于购买、加工方便、成本低廉;加载部件采用多弹簧并联的方式,通过调整弹簧刚度和压缩量,可以对不同尺寸的隧道模型进行多种工况的重复试验,解决了模型埋置于土体中试验所导致的重复性差、复杂性高等问题。



1. 一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法,其特征在于,包括:

通过相似理论得到隧道模型的尺寸、外荷载和地层抗力的大小,确定所述隧道模型圆周加载点位的个数;

将等边角钢(1)进行切割和焊接,形成两个相同的正多边形框架(4),然后对矩形方管(2)进行切割和钻孔,将第一六角螺母焊接到矩形方管(2)的钻孔位置处,再将多个矩形方管(2)均匀焊接到正多边形框架(4)之间;

将方管切割焊接制作底座钢框架(5),切割加工木板(6),将木板(6)胶粘固定到钢框架(5)上,木板(6)的尺寸能同时放下隧道模型和加载部件的端头部位;

将第二六角螺母和第三六角螺母沿螺杆(7)的一端拧上,采用焊接方式把第二六角螺母固定在螺杆(7)的端部,然后将螺杆(7)旋转穿过矩形方管(2)上的钻孔与第一六角螺母,此时第三六角螺母位于第二六角螺母和矩形方管(2)之间,从而保证在荷载施加到位后,能够将螺杆(7)拧紧固定在矩形方管(2)上;

在带孔钢板(11)的中心位置钻孔,将小直径扁平头铆钉(9)焊接到薄六角螺母(8)上,将大直径扁平头铆钉(10)焊接到带孔钢板(11)和钢板(12)的相对位置,将压力传感器(18)通过圆形磁石(17)吸附到钢板(12)一侧,然后把变直径转接头(19)安装到压力传感器(18)上,再把橡胶连接块(15)通过胶粘固定到钢板(12)另一侧;

把第四六角螺母从螺杆(7)另一端拧上,把带孔钢板(11)穿到螺杆(7)上,然后把焊接在一起的薄六角螺母(8)和小直径扁平头铆钉(9)从螺杆(7)另一端拧紧,之后在带孔钢板(11)上粘接方形塑料棒(16),最后在小直径扁平头铆钉(9)和变直径转接头(19)之间安装加载弹簧(13),在大直径扁平头铆钉(10)之间安装地层弹簧(14),将带孔钢板(11)和钢板(12)连接起来;

将连接跳线(21)、分布式应变光纤(26)和分布式温度光纤(27)通过熔接机焊接串联起来,在隧道模型(28)内表面粘贴所述分布式应变光纤(26)和分布式温度光纤(27),再将隧道模型(28)放置在木板(6)的中心位置;

将压力传感器(18)通过桥盒(23)连接至NI采集板卡(24),所述NI采集板卡(24)连接至NI数据采集计算机(25);

将橡胶连接块(15)与隧道模型(28)接触,通过扭力扳手转动第二六角螺母来调整螺杆(7)、薄六角螺母(8)和小直径扁平头铆钉(9)的位置,根据NI数据采集计算机(25)输出的压力传感器(18)的结果,保证加载弹簧(13)处于初始临界状态,然后通过扳手转动第四六角螺母,调整带孔钢板(11)的位置,通过测量带孔钢板(11)和钢板(12)之间的距离,保证地层弹簧(14)处于初始临界状态;

将连接跳线(21)连接至基于布里渊散射的分布式光纤解调仪和配套的数据采集计算机(20),测量隧道模型在未受荷载状态下的环向应变作为初值;

施加荷载,首先用扳手控制第四六角螺母不发生旋转,使其和带孔钢板(11)的位置保持不变,然后使用扭力扳手转动第二六角螺母,通过调整螺杆(7)在第一六角螺母处的旋进距离来控制加载弹簧(13)的压缩量,达到施加荷载的目的,其施加荷载的具体数值通过压力传感器(18)的输出结果进行校核和调整;

使用光纤解调仪和配套的数据采集计算机(20)采集隧道模型(28)在不同荷载作用下,分别处于健康状态和损伤状态时分布式应变光纤(26)和分布式温度光纤(27)的数据;通过

对不同工况下的数据进行温度补偿处理,减去初值后即可获得沿环向的应变数据,根据模型损伤点位(22)对应的应变值,定性判断损伤程度的大小。

2. 根据权利要求1所述一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法,其特征在于,所述第一六角螺母用于限制螺杆(7)的移动;所述第二六角螺母为扭力扳手提供支点,并通过自身的旋转圈数、螺杆(7)的螺距来量化和控制加载弹簧(13)的压缩量;所述第三六角螺母是在荷载施加到位后,将螺杆(7)拧紧固定到矩形方管(2)上;所述第四六角螺母在加载前用于调整带孔钢板(11)的位置,使地层弹簧(14)处于临界状态,在加载中和加载后其位置保持不变,用于模拟土弹簧的固定端。

3. 根据权利要求1所述一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法,其特征在于,所述加载弹簧(13)和地层弹簧(14)的刚度通过下列公式得到:

$$K = k_r \times A$$

$$K' = K/C$$

$$K' = K_0 + 4K_1$$

其中, k_r 表示地层抗力系数; A 表示与单个加载部件作用范围相对应的实际结构与地层的接触面积,作用范围根据模型环向布设的加载部件个数确定,根据实际盾构圆环的半径得到作用范围对应的弦长 L ,再乘以盾构圆环的幅宽 B ,即实际结构与地层的接触面积 $A = L \times B$; K 表示实际结构中单个土弹簧的刚度, C 表示原型和模型之间的相似比, K' 表示通过相似比计算得到的模型结构单个加载部件的弹簧总刚度, K_0 表示单个加载部件中加载弹簧(13)的刚度, $4K_1$ 表示单个加载部件中四个地层弹簧(14)的刚度。

4. 根据权利要求1所述一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法,其特征在于,单个加载部件中第二六角螺母所需转动的圈数通过下列公式得到:

$$F = \Delta L \times K_0$$

$$\Delta L = P \times n$$

其中, F 表示所需施加荷载的大小, ΔL 表示加载弹簧(13)的压缩变形量,也即螺杆(7)的位移量, P 表示螺杆(7)的螺距, n 表示第二六角螺母的旋转圈数,该旋转圈数根据所需施加荷载的大小除以加载弹簧(13)的刚度,然后再除以螺距得到。

5. 根据权利要求1所述一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法,其特征在于,单个土弹簧等效为五个并联弹簧,具体设置为一个加载弹簧(13)和四个地层弹簧(14);所述加载弹簧(13)的刚度和地层弹簧(14)的刚度之和等于土弹簧的刚度,但加载弹簧(13)的刚度和地层弹簧(14)的刚度不一定相等;所述加载弹簧(13)在试验中既用于施加外荷载,又提供因结构变形导致的地层抗力作用,所述地层弹簧(14)在试验中仅用于提供因结构变形导致的地层抗力作用。

6. 根据权利要求1所述一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法,其特征在于,是基于加载装置实施的,所述加载装置包括反力架部件、底座部件和加载部件,所述反力架部件用于支持加载部件和承担荷载及地层抗力的反力,所述底座部件用于放置加载部件头部和隧道模型,所述加载部件用于施加荷载、约束隧道模型变形并提供地层抗力。

7. 根据权利要求6所述一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法,其特征在于,所述反力架部件包括矩形方管(2)、第一六角螺母和正多边形框架(4),两个正多边形框架(4)之间均匀焊接有多个矩形方管(2),所述矩形方管(2)横截面长边的中点与正多边形框架(4)边

长的中点对齐,在矩形方管(2)上设有多个钻孔,相邻钻孔之间距离相等,每个钻孔处焊接有第一六角螺母,所述第一六角螺母的直径与钻孔直径相等。

8.根据权利要求6所述一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法,其特征在于,所述底座部件的中心轴和反力架部件的中心轴重合,其包括钢框架(5)和木板(6),所述木板(6)通过胶粘的方式固定到钢框架(5)上,木板(6)的长宽根据隧道模型的直径和加载部件头部的长度确定,木板(6)的厚度保证放置其上的加载弹簧(13)、地层弹簧(14)的轴线方向与螺杆(7)的轴线方向平行一致。

9.根据权利要求6所述一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法,其特征在于,所述加载部件包括第二六角螺母、第三六角螺母、第四六角螺母、螺杆(7)、薄六角螺母(8)、小直径扁平头铆钉(9)、大直径扁平头铆钉(10)、带孔钢板(11)、钢板(12)、小刚度加载弹簧(13)、大刚度地层弹簧(14)、橡胶连接块(15)、方形塑料棒(16)、圆形磁石(17)、压力传感器(18)和变直径转接头(19),所述第二六角螺母通过焊接固定到螺杆(7)的端部,第三六角螺母和第四六角螺母能在螺杆(7)上自由旋转移动,所述第三六角螺母位于矩形方管外侧,用于在荷载施加到位后能够将螺杆(7)拧紧固定在矩形方管(2)上,所述第四六角螺母位于带孔钢板(11)外侧,用于调整带孔钢板(11)的位置,其作用相当于土弹簧的固定端;所述带孔钢板(11)通过中心位置一个直径与螺杆(7)相同的钻孔穿到螺杆(7)上,相对设置的带孔钢板(11)与钢板(12)内侧四周通过焊接固定有大直径扁平头铆钉(10),相对设置的两个大直径扁平头铆钉之间套接有地层弹簧(14),所述钢板(12)外侧通过胶粘固定有橡胶连接块,内侧通过圆形磁石(17)吸附有压力传感器(18),该压力传感器(18)上安装有变直径转接头(19),加载弹簧(13)一端穿过小直径扁平头铆钉(9),另一端穿过变直径转接头(19),所述小直径扁平头铆钉(9)和薄六角螺母(8)通过焊接固定在一起,将薄六角螺母(8)在螺杆(7)的另一端拧紧;

所述加载部件通过螺杆(7)安装到反力架部件的矩形方管(2)上;加载部件的头部通过方形塑料棒(16)支撑在底座部件的木板(6)上,从而保证加载弹簧(13)、地层弹簧(14)的轴线方向与螺杆(7)的轴线方向平行一致;所述方形塑料棒(16)通过胶粘固定到带孔钢板(11)上。

10.根据权利要求9所述一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法,其特征在于,所述加载弹簧(13)与小直径扁平头铆钉(9)、压力传感器(18)和变直径转接头(19)之间为活动状态,地层弹簧(14)与大直径扁平头铆钉(10)之间能相互滑动,以此来模拟土体只受压不受拉的特性。

一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法

技术领域

[0001] 本发明涉及工程结构模型试验技术领域,具体涉及一种基于分布式光纤和新型加载装置的盾构隧道模型环向应变检测试验方法。

背景技术

[0002] 盾构隧道作为地下工程中的一种特殊结构,工程规模大,服役时间长,在城市轨道交通领域承担着极其重要的作用,如果结构发生损坏、坍塌等事故,会不可避免地造成重大的人员伤亡和财产损失。所以,如何保证盾构隧道全生命周期内的安全是目前设计、施工和结构健康监测等领域研究的重点内容之一。

[0003] 考虑到地下环境的多样性和复杂性,结合盾构隧道自身构造的特殊性,该类型结构的受力情况和边界条件很难清楚准确的获得,即使大规模有限元方法极大地减小了结构计算的难度,但受限于理论研究的进展,现有的物理模型和力学机理也都是在诸多假定和简化的基础上得出的,计算结果无法准确真实反应实际结构的状态响应。而模型试验作为可以反映结构响应机理的重要途径和方法,因其自身具有的直观性和可控性,能够为解决盾构隧道力学理论研究和健康检测研究提供坚实的基础。

[0004] 现有的盾构隧道试验方法多为原型试验或者是埋入土体的模型试验,存在诸如规模过大、成本过高、周期过长、操作复杂等缺陷,最重要的是可重复性差,极大的限制了研究内容的多样性,而且所采用的传感器多为土压力计、应变片、位移计等点式传感器,其操作复杂、信号易受干扰,且不能很好的探知结构响应的分布状态。

发明内容

[0005] 针对上述问题,本发明的目的是提供一种基于分布式光纤和新型加载装置的盾构隧道模型环向应变检测试验方法,将作用在盾构隧道周围的荷载以及荷载作用下结构变形导致的地层抗力以弹簧模拟的方式实现,然后通过盾构隧道模型内表面布设环向分布式光纤传感器,实现隧道环向应变数据的采集。

[0006] 为实现上述目的,本申请提出一种盾构隧道模型环向应变检测试验方法,包括:

[0007] 通过相似理论得到隧道模型的尺寸、外荷载和地层抗力的大小,确定所述隧道模型圆周加载点位的个数;

[0008] 将等边角钢进行切割和焊接,形成两个相同的正多边形框架,然后对矩形方管进行切割和钻孔,将六角螺母A焊接到矩形方管的钻孔位置处,再将多个矩形方管均匀焊接到正多边形框架之间;

[0009] 将方管切割焊接制作底座钢框架,切割加工木板,将木板胶粘固定到钢框架上,木板的尺寸能同时放下隧道模型和加载部件的端头部位;

[0010] 将六角螺母B和六角螺母C沿螺杆的一端拧上,采用焊接方式把六角螺母B固定在螺杆的端部,然后将螺杆旋转穿过矩形方管上的钻孔与六角螺母A,此时六角螺母C位于六角螺母B和矩形方管之间,从而保证在荷载施加到位后,能够将螺杆拧紧固定在矩形方管

上；

[0011] 在带孔钢板的中心位置钻孔，将小直径扁平头铆钉焊接到薄六角螺母上，将大直径扁平头铆钉焊接到带孔钢板和钢板的相对位置，将压力传感器通过圆形磁石吸附到钢板一侧，然后把变直径转接头安装到压力传感器上，再把橡胶连接块通过胶粘固定到钢板另一侧；

[0012] 把六角螺母D从螺杆另一端拧上，把带孔钢板穿到螺杆上，然后把焊接在一起的薄六角螺母和小直径扁平头铆钉从螺杆另一端拧紧，之后在带孔钢板上粘接方形塑料棒，其粘接位置关于带孔钢板上下左右对称，最后在小直径扁平头铆钉和变直径转接头之间安装加载弹簧，在大直径扁平头铆钉之间安装地层弹簧，将带孔钢板和钢板连接起来；

[0013] 将连接跳线、分布式应变光纤和分布式温度光纤通过熔接机焊接串联起来，在隧道模型内表面粘贴所述分布式应变光纤和分布式温度光纤，再将隧道模型放置在木板的中心位置；

[0014] 将压力传感器通过桥盒连接至NI采集板卡，所述NI采集板卡连接至NI数据采集计算机；

[0015] 将橡胶连接块与隧道模型接触，通过扭力扳手转动六角螺母B来调整螺杆、薄六角螺母和小直径扁平头铆钉的位置，根据NI数据采集计算机输出的力传感器的结果，保证加载弹簧处于初始临界状态，然后通过扳手转动六角螺母D，调整带孔钢板的位置，通过测量带孔钢板和钢板之间的距离，保证地层弹簧处于初始临界状态；

[0016] 将连接跳线连接至基于布里渊散射的分布式光纤解调仪和配套的数据采集计算机，测量隧道模型在未受荷载状态下的环向应变作为初值；

[0017] 施加荷载，首先用扳手控制六角螺母D不发生旋转，使其和带孔钢板的位置保持不变，然后使用扭力扳手转动六角螺母B，通过调整螺杆在六角螺母A处的旋进距离来控制加载弹簧的压缩量，达到施加荷载的目的，其施加荷载的具体数值通过力传感器的输出结果进行校核和调整；

[0018] 使用光纤解调仪和配套的数据采集计算机采集隧道模型在不同荷载作用下，分别处于健康状态和损伤状态时分布式应变光纤和分布式温度光纤的数据；通过对不同工况下的数据进行温度补偿处理，减去初值后即可获得沿环向的应变数据，根据模型损伤点位对应的应变值，定性判断损伤程度的大小。

[0019] 进一步的，所述六角螺母A用于限制螺杆的移动；所述六角螺母B为扭力扳手提供支点，并通过自身的旋转圈数、螺杆的螺距来量化和控制加载弹簧的压缩量；所述六角螺母C是在荷载施加到位后，将螺杆拧紧固定到矩形方管上；所述六角螺母D在加载前用于调整带孔钢板的位置，使地层弹簧处于临界状态，在加载中和加载后其位置保持不变，用于模拟土弹簧的固定端。

[0020] 进一步的，所述加载弹簧和地层弹簧的刚度通过下列公式得到：

$$[0021] \quad K = k_r \times A$$

$$[0022] \quad K' = K/C$$

$$[0023] \quad K' = K_0 + 4K_1$$

[0024] 其中， k_r 表示地层抗力系数；A表示与单个加载部件作用范围相对应的实际结构与地层的接触面积，作用范围根据模型环向布设的加载部件个数确定，根据实际盾构圆环的

半径得到作用范围对应的弦长L,再乘以盾构圆环的幅宽B,即实际结构与地层的接触面积 $A=L \times B$;K表示实际结构中单个土弹簧的刚度,C表示原型和模型之间的相似比,K'表示通过相似比计算得到的模型结构单个加载部件的弹簧总刚度, K_0 表示单个加载部件中加载弹簧的刚度, $4K_1$ 表示单个加载部件中四个地层弹簧的刚度。

[0025] 进一步的,单个加载部件中六角螺母B所需转动的圈数通过下列公式得到:

$$[0026] \quad F = \Delta L \times K_0$$

$$[0027] \quad \Delta L = P \times n$$

[0028] 其中,F表示所需施加荷载的大小, ΔL 表示加载弹簧的压缩变形量,也即螺杆的位移量,P表示螺杆的螺距,n表示六角螺母B的旋转圈数,该旋转圈数根据所需施加荷载的大小除以加载弹簧的刚度,然后再除以螺距得到。

[0029] 进一步的,单个土弹簧等效为五个并联弹簧,具体设置为一个加载弹簧和四个地层弹簧;所述加载弹簧的刚度和地层弹簧的刚度之和等于土弹簧的刚度,但加载弹簧的刚度和地层弹簧的刚度不一定相等;所述加载弹簧在试验中既用于施加外荷载,又提供因结构变形导致的地层抗力作用,所述地层弹簧在试验中仅用于提供因结构变形导致的地层抗力作用。

[0030] 更进一步的,上述方法是基于加载装置实施的,所述加载装置包括反力架部件、底座部件和加载部件,所述反力架部件用于支持加载部件和承担荷载及地层抗力的反力,所述底座部件用于放置加载部件头部和隧道模型,所述加载部件用于施加荷载、约束隧道模型变形并提供地层抗力。

[0031] 更进一步的,所述反力架部件包括矩形方管、六角螺母和正多边形框架,两个正多边形框架之间均匀焊接有多个矩形方管,所述矩形方管横截面长边的中点与正多边形框架边长的中点对齐,在矩形方管上设有多个钻孔,相邻钻孔之间距离相等,每个钻孔处焊接有六角螺母A,所述六角螺母A的直径与钻孔直径相等。

[0032] 更进一步的,所述底座部件的中心轴和反力架部件的中心轴重合,其包括钢框架和木板,所述木板通过胶粘的方式固定到钢框架上,木板的长宽根据隧道模型的直径和加载部件头部的长度确定,木板的厚度保证放置其上的加载弹簧、地层弹簧的轴线方向与螺杆的轴线方向平行一致。

[0033] 作为更进一步的,所述加载部件包括六角螺母B、六角螺母C、六角螺母D、螺杆、薄六角螺母、小直径扁平头铆钉、大直径扁平头铆钉、带孔钢板、钢板、小刚度加载弹簧、大刚度地层弹簧、橡胶连接块、方形塑料棒、圆形磁石、压力传感器和变直径转接头,所述六角螺母B通过焊接固定到螺杆的端部,六角螺母C和六角螺母D能在螺杆上自由旋转移动,所述六角螺母C位于矩形方管外侧,用于在荷载施加到位后能够将螺杆拧紧固定在矩形方管上,所述六角螺母D位于带孔钢板外侧,用于调整带孔钢板的位置,其作用相当于土弹簧的固定端;所述带孔钢板通过中心位置一个直径与螺杆相同的钻孔穿到螺杆上,相对设置的带孔钢板与钢板内侧四周通过焊接固定有大直径扁平头铆钉,相对设置的两个大直径扁平头铆钉之间套接有地层弹簧,所述钢板外侧通过胶粘固定有橡胶连接块,内侧通过圆形磁石吸附有压力传感器,该压力传感器上安装有变直径转接头,加载弹簧一端穿过小直径扁平头铆钉,另一端穿过变直径转接头,所述小直径扁平头铆钉和薄六角螺母通过焊接固定在一起,将薄六角螺母在螺杆的另一端拧紧;

[0034] 所述加载部件通过螺杆安装到反力架部件的矩形方管上；加载部件的头部通过方形塑料棒支撑在底座部件的木板上，从而保证加载弹簧、地层弹簧的轴线方向与螺杆的轴线方向平行一致；所述方形塑料棒通过胶粘固定到带孔钢板上。

[0035] 作为更进一步的，所述加载弹簧与小直径扁平头铆钉、压力传感器和变直径转接头之间为活动状态，地层弹簧与大直径扁平头铆钉之间能相互滑动，以此来模拟土体只受压不受拉的特性。

[0036] 本发明采用的以上技术方案，具有的优点是：本发明试验方法先将分布式应变和温度光纤沿隧道模型内表面环向布设，再将模型放置在加载装置底座上；通过压缩加载弹簧施加荷载，使结构产生变形，而结构变形导致部分加载弹簧和地层弹簧产生的压缩变形，提供了地层抗力；在数据采集过程中，先利用解调仪采集健康状态下结构的环向应变，然后在模型外表面某一位置制造损伤使该位置截面特性发生改变，获得损伤状态下的环向应变。本方法操作简单，所需部件易于购买、加工方便、成本低廉；加载部件采用多弹簧并联的方式，通过调整弹簧刚度和压缩量，可以对不同尺寸的隧道模型进行多种工况的重复试验，解决了模型埋置于土体中试验所导致的重复性差、复杂性高等问题。

附图说明

[0037] 图1为盾构隧道模型环向应变检测试验方法中加载装置的正视图。

[0038] 图2为盾构隧道模型环向应变检测试验方法中加载装置的俯视图。

[0039] 图3为反力架部件三维示意图。

[0040] 图4为反力架部件的正视图。

[0041] 图5为反力架部件的俯视图。

[0042] 图6为底座部件的正视图。

[0043] 图7为底座部件的仰视图。

[0044] 图8为加载部件的三维示意图。

[0045] 图9为加载部件的正视图。

[0046] 图10为加载部件的侧视图。

[0047] 图11为加载部件的分解示意图。

[0048] 图12为本发明方法应用于盾构隧道三环模型试验的俯视图。

[0049] 图13为图12中A-A的剖视结构示意图。

[0050] 图14为隧道模型分别处于健康状态和损伤状态时光纤传感器沿圆周采集到的应变数据示意图。

[0051] 图中序号说明：1、等边角钢，2、矩形方管，3A-3D、六角螺母，4、正多边形框架，5、钢框架，6、木板，7、螺杆，8、薄六角螺母，9、小直径扁平头铆钉，10、大直径扁平头铆钉，11、带孔钢板，12、钢板，13、加载弹簧，14、地层弹簧，15、橡胶连接块，16、方形塑料棒，17、圆形磁石、18、压力传感器，19、变直径转接头，20、解调仪和配套数据采集计算机，21、连接跳线，22、模型损伤点位，23、桥盒，24、NI采集板卡，25、NI数据采集计算机，26、应变光纤，27、温度光纤，28、隧道模型。

具体实施方式

[0052] 为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本申请进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本申请,并不用于限定本申请,即所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本申请实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。

[0053] 因此,以下对在附图中提供的本申请的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本申请的范围,而是仅仅表示本申请的选定实施例。基于本申请的实施例,本领域技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0054] 实施例1

[0055] 图1和图2展示了盾构隧道模型环向应变检测试验方法中加载装置的整体示意图,这种加载装置包括反力架部件、底座部件和加载部件三个部分。反力架部件包括矩形方管2、六角螺母3A和正多边形框架4,底座部件包括钢框架5和木板6,加载部件包括六角螺母3B、3C、3D、螺杆7、薄六角螺母8、小直径扁平头铆钉9、大直径扁平头铆钉10、带孔钢板11、钢板12、小刚度加载弹簧13、大刚度地层弹簧14、橡胶连接块15、方形塑料棒16、圆形磁石17、压力传感器18和变直径转接头19。其中,反力架部件用于支持加载部件和承担荷载及地层抗力的反力;底座部件用于放置加载部件头部和隧道模型;加载部件用于施加荷载、约束模型变形并提供地层抗力;底座部件的中心轴和反力架部件的中心轴重合;加载部件通过螺杆7安装到反力架部件的矩形方管2上;加载部件的头部包括橡胶连接块15、大刚度地层弹簧14、小刚度加载弹簧13、钢板12、带孔钢板11、大直径扁平头铆钉10等,通过方形塑料棒16支撑在底座部件的木板6上,从而保证加载弹簧13、地层弹簧14的轴线方向与螺杆7的轴线方向平行一致。

[0056] 图3至图5展示了所述反力架部件的结构示意图。图中,正多边形框架4通过将等边角钢1进行切割焊接制作而成;矩形方管2通过将标准长度的方管切割钻孔制作而成,钻孔位于矩形方管2横截面长边的中点位置,且根据盾构隧道模型的特点,多个钻孔之间间隔距离相等;六角螺母3A的直径与钻孔直径相等,通过焊接的方式固定到矩形方管2上;矩形方管2横截面长边的中点与正多边形框架4边长的中点对齐,通过焊接的方式固定到正多边形框架4上。

[0057] 图6至图7展示了所述底座部件的结构示意图。图中,钢框架5采用方管焊接制成;木板6通过胶粘的方式固定到钢框架5上,木板6的长宽根据盾构隧道模型的直径和加载部件头部的长度确定,木板6的厚度要能保证使放置其上的加载弹簧13、地层弹簧14的轴线方向与螺杆7的轴线方向平行一致。

[0058] 图8至图11展示了所述加载部件的结构示意图。图中,六角螺母3B通过焊接固定到螺杆7的端部,六角螺母3C和3D可以在螺杆7上自由旋转移动,六角螺母3C用于在荷载施加到位后,能够将螺杆7拧紧固定在矩形方管2上,通过六角螺母3D可以调整带孔钢板11的位置,六角螺母3D的作用相当于土弹簧的固定端;将带孔钢板11通过中心位置一个直径与螺杆7相同的钻孔穿到螺杆7上;大直径扁平头铆钉10通过焊接固定到带孔钢板11上,方形塑料棒16通过胶粘固定到带孔钢板11上;薄六角螺母8和小直径扁平头铆钉9通过焊接固定在一起,将薄六角螺母8在螺杆7的另一端拧紧;大直径扁平头铆钉10通过焊接固定在钢板12上,橡胶连接块15通过胶粘固定在钢板12上,压力传感器18通过圆形磁石17吸附在钢板12

上,变直径转接头19安装在压力传感器18上;小直径扁平头铆钉9的直径略小于加载弹簧13的内径,大直径扁平头铆钉10的直径略小于地层弹簧14的内径,加载弹簧13一端穿过小直径扁平头铆钉9,另一端穿过安装在压力传感器18上的变直径转接头19;加载弹簧13与小直径扁平头铆钉9、压力传感器18和变直径转接头19之间为活动状态,地层弹簧14与大直径扁平头铆钉10之间可以相互滑动,以此来模拟土体只受压不受拉的特性。

[0059] 图12和图13展示了一种基于分布式光纤和新型加载装置的盾构隧道模型环向应变检测试验的示意图。这种基于分布式光纤和新型加载装置的盾构隧道模型环向应变检测试验方法可以采用以下步骤:

[0060] 第一步,通过相似理论得到隧道模型28的尺寸、外荷载和地层抗力的大小,确定所述隧道模型圆周加载点位的个数,确定等边角钢1~变直径转接头19等各部分的尺寸、规格和数量;

[0061] 第二步,将等边角钢1进行切割和焊接,加工成两个相同的正多边形框架4,然后对矩形方管2进行切割和钻孔,将六角螺母3A焊接到矩形方管2的钻孔位置处,再将多个矩形方管2均匀焊接到正多边形框架4上;

[0062] 第三步,将方管切割焊接制作底座钢框架5,切割加工木板6,将木板6胶粘固定到钢框架5上,木板6的尺寸要能同时放下隧道模型和加载部件的端头部位;

[0063] 第四步,将六角螺母3B和3C沿螺杆7的一端拧上,采用焊接方式把六角螺母3B固定在螺杆7的端部,然后将螺杆7旋转穿过矩形方管2上的钻孔和六角螺母3A,使螺杆7安装到反力架4上,此时六角螺母3C位于六角螺母3B和矩形方管2之间,从而保证在荷载施加到位后,能够将螺杆7拧紧固定在矩形方管2上;

[0064] 第五步,在带孔钢板11的中心位置钻孔,将小直径扁平头铆钉9焊接到薄六角螺母8上,将大直径扁平头铆钉10焊接到钢板11和12的相对位置,将压力传感器18通过圆形磁石17吸附到钢板12一侧,然后将变直径转接头19安装到压力传感器18上,再将橡胶连接块15通过胶粘固定到钢板12另一侧;

[0065] 第六步,把六角螺母3D从螺杆7另一端拧上,把带孔钢板11穿到螺杆7上,然后把焊接在一起的薄六角螺母8和小直径扁平头铆钉9从螺杆7另一端拧紧,之后在带孔钢板11上粘接方形塑料棒16,注意粘接位置关于带孔钢板11上下左右对称,最后在小直径扁平头铆钉9和变直径转接头19之间安装加载弹簧13,在大直径扁平头铆钉10之间安装地层弹簧14,将带孔钢板11和钢板12连接起来;

[0066] 第七步,将连接跳线21、分布式应变光纤26和分布式温度光纤27通过焊接串联起来,在隧道模型28内表面粘贴分布式应变光纤26和分布式温度光纤27,再将隧道模型28放置在木板6的中心位置;

[0067] 第八步,将压力传感器18通过桥盒23连接至NI采集板卡24,所述NI采集板卡24连接至NI数据采集计算机25;

[0068] 第九步,将加载装置中的橡胶连接块15与隧道模型28接触,通过扭力扳手转动六角螺母3B来调整螺杆7、薄六角螺母8和小直径扁平头铆钉9的位置,根据NI数据采集计算机25输出的力传感器18的结果,保证加载弹簧13处于初始临界状态,然后通过扳手转动六角螺母3D,调整带孔钢板11的位置,通过测量带孔钢板11和钢板12之间的距离,保证地层弹簧14处于初始临界状态;

[0069] 第十步,将连接跳线21连接至基于布里渊散射(BOTDA、BOFDA)的分布式光纤解调仪和配套数据采集计算机20,测量模型在未受荷载状态下的环向应变作为初值;

[0070] 第十一步,施加荷载,首先使用扳手控制六角螺母3D不发生旋转,使其和带孔钢板11的位置保持不变,然后使用扭力扳手转动六角螺母3B,通过调整螺杆7在螺母3A处的旋进距离来控制加载弹簧13的压缩量,达到施加荷载的目的,施加荷载的具体数值通过力传感器18的输出结果进行校核和调整;

[0071] 第十二步,使用光纤解调仪和配套数据采集计算机20采集隧道模型28在不同荷载作用下,分别处于健康状态和损伤状态时分布式应变光纤26和分布式温度光纤27的数据。通过对不同工况下的数据进行温度补偿处理,减去初值后即可获得沿环向的应变数据,根据模型损伤点位22对应的应变值,定性判断损伤程度的大小。

[0072] 上述中六角螺母3A、3B、3C和3D规格相同但作用不同。六角螺母3A的主要作用是限制螺杆7的移动;六角螺母3B为扭力扳手提供支点,并通过自身的旋转圈数和螺杆7的螺距来量化和控制加载弹簧13的压缩量;六角螺母3C是在荷载施加到位后,将螺杆7拧紧固定到矩形方管2上;六角螺母3D在加载前用于调整带孔钢板11的位置,使地层弹簧14处于临界状态,在加载中和加载后其位置保持不变,用于模拟土弹簧的固定端。

[0073] 所述加载弹簧13和地层弹簧14的刚度(单位:N/mm)可通过下列公式得到:

$$[0074] \quad K = k_r \times A$$

$$[0075] \quad K' = K/C$$

$$[0076] \quad K' = K_0 + 4K_1$$

[0077] 其中, k_r 表示地层抗力系数(单位:KN/m³),可通过经验取值或者理论计算公式确定。 A 表示与单个加载部件作用范围相对应的实际结构与地层的接触面积(单位:m²),作用范围根据模型环向布设的加载部件个数确定,如图12所示,圆环模型周围共有12个加载部件,则单个加载部件的作用范围为30°,根据实际盾构圆环的半径可以求出30°范围对应的弦长 L ,再乘以盾构圆环的幅宽 B ,即实际结构与地层的接触面积 $A = L \times B$ 。 K 表示实际结构中单个土弹簧的刚度, C 表示原型和模型之间的相似比, K' 表示通过相似比计算得到的模型结构单个加载部件的弹簧总刚度, K_0 表示单个加载部件中加载弹簧13的刚度, $4K_1$ 表示单个加载部件中四个地层弹簧14的刚度。

[0078] 单个加载部件中六角螺母3B所需转动的圈数可以通过下列公式得到:

$$[0079] \quad F = \Delta L \times K_0$$

$$[0080] \quad \Delta L = P \times n$$

[0081] 其中, F 表示所需施加荷载的大小(单位:N), ΔL 表示加载弹簧13的压缩变形量(单位:mm),也即螺杆7的位移量, P 表示螺杆7的螺距, n 表示六角螺母3B的旋转圈数,圈数可根据所需施加荷载的大小除以加载弹簧13的刚度,然后再除以螺距得到。

[0082] 本发明将单个土弹簧等效为五个并联弹簧,具体设置为一个加载弹簧13和四个地层弹簧14;加载弹簧13的刚度和地层弹簧14的刚度之和等于土弹簧的刚度,但加载弹簧13的刚度和地层弹簧14的刚度不一定相等;加载弹簧13在试验中既用于施加外荷载,又可提供因结构变形导致的地层抗力作用,地层弹簧14在试验中仅用于提供因结构变形导致的地层抗力作用。

[0083] 前述对本发明的具体示例性实施方案的描述是为了说明和例证的目的。这些描述

并非想将本发明限定为所公开的精确形式,并且很显然,根据上述教导,可以进行很多改变和变化。对示例性实施例进行选择 and 描述的目的在于解释本发明的特定原理及其实际应用,从而使得本领域的技术人员能够实现并利用本发明的各种不同的示例性实施方案以及各种不同的选择和改变。本发明的范围意在由权利要求书及其等同形式所限定。

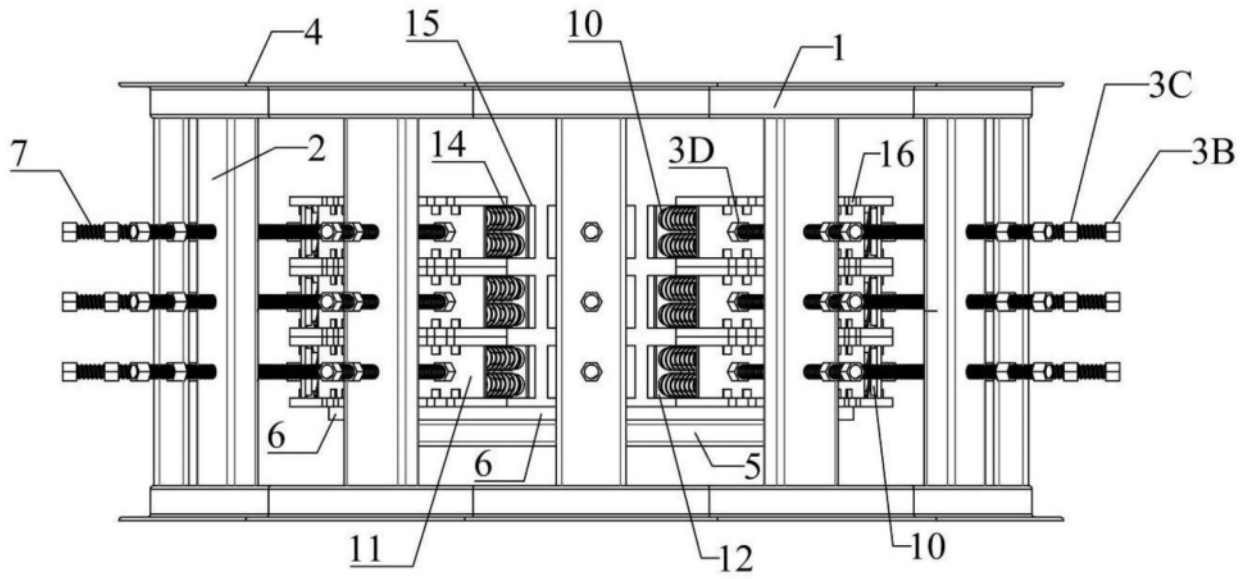


图1

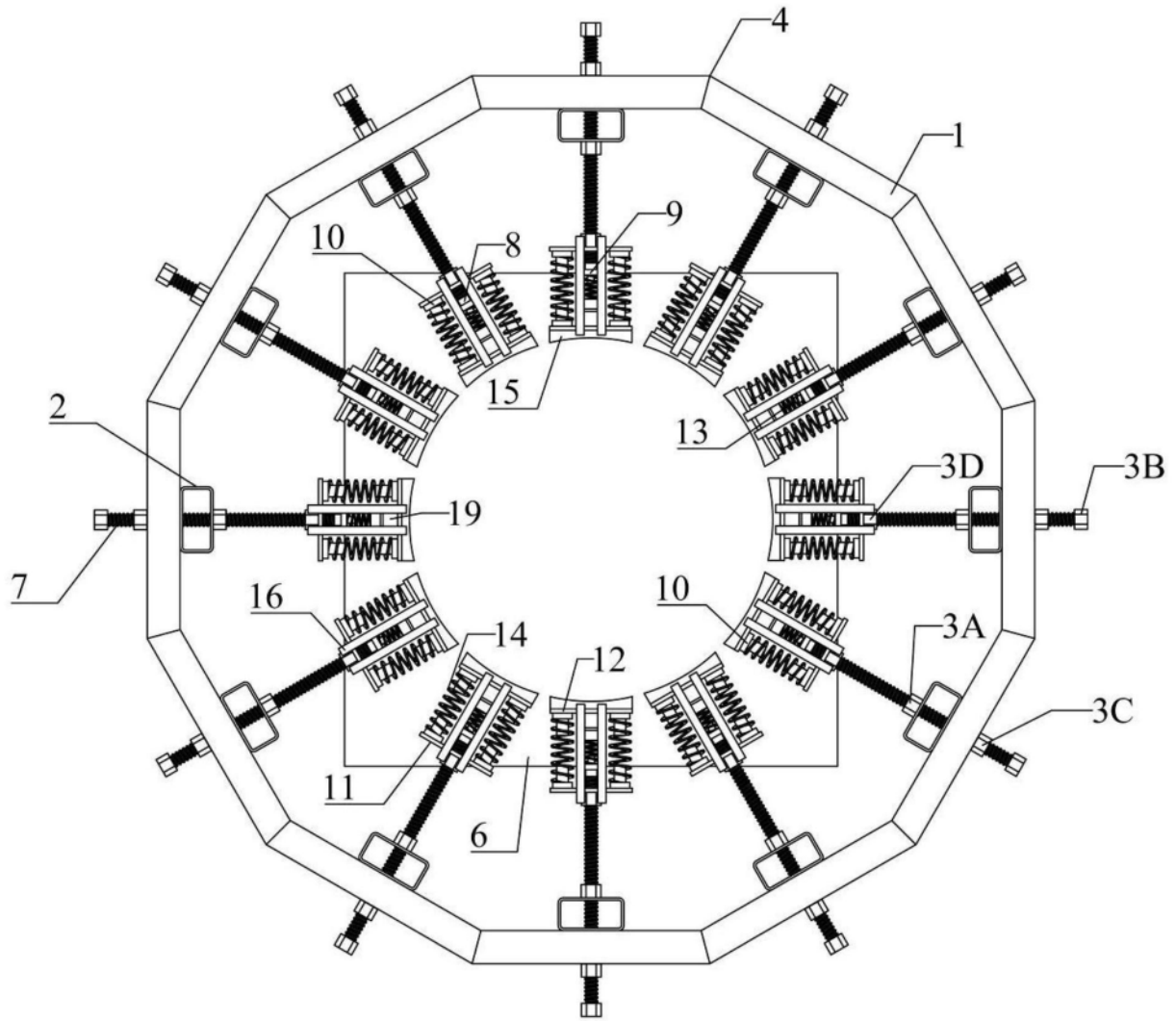


图2

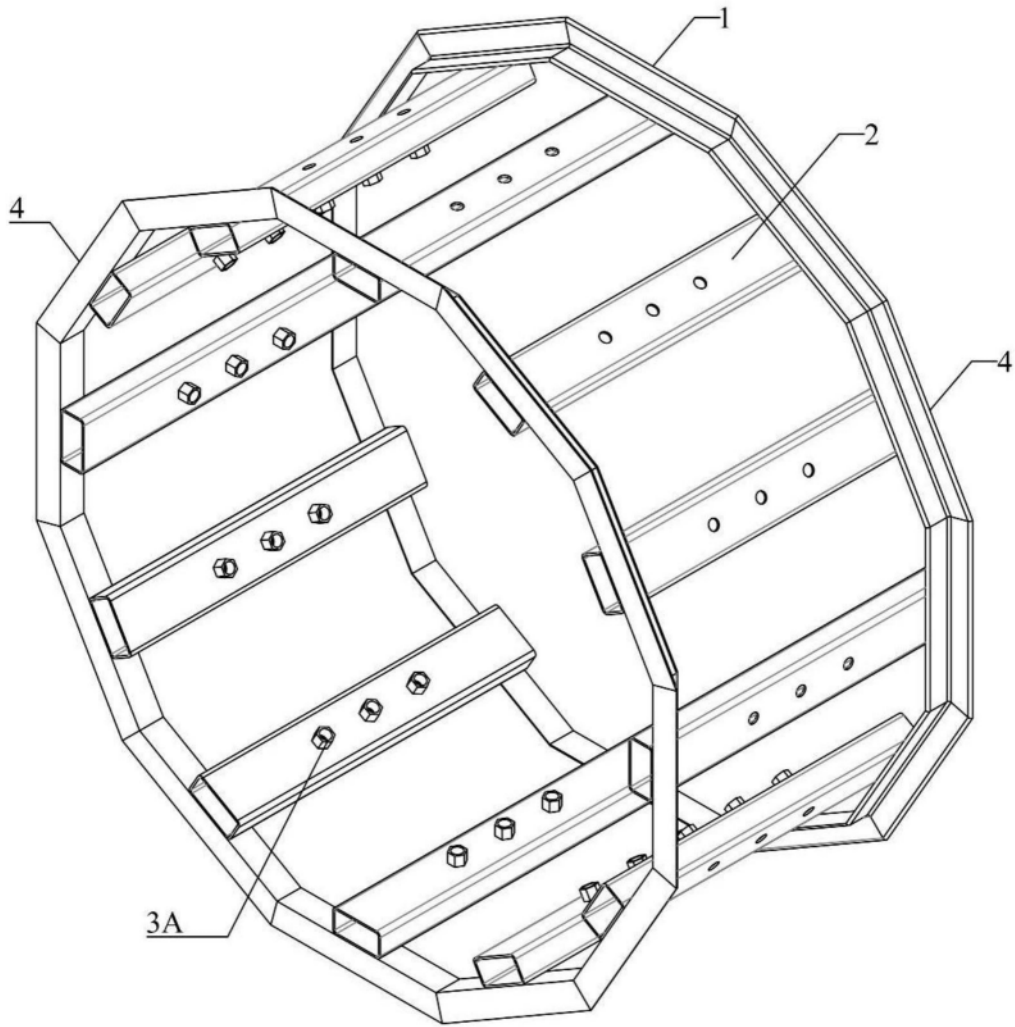


图3

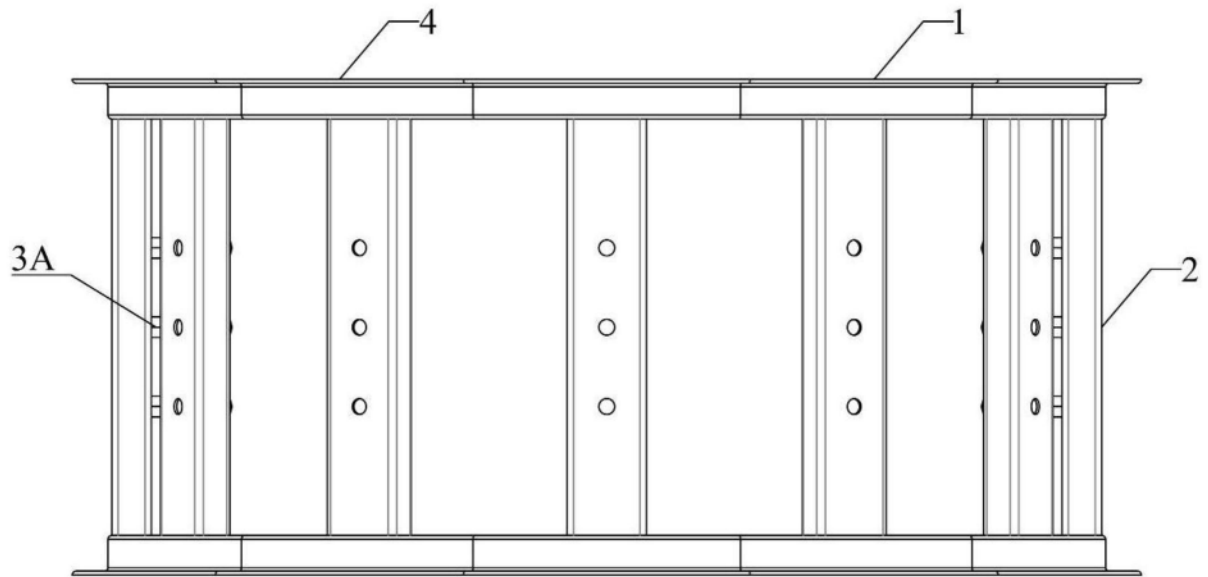


图4

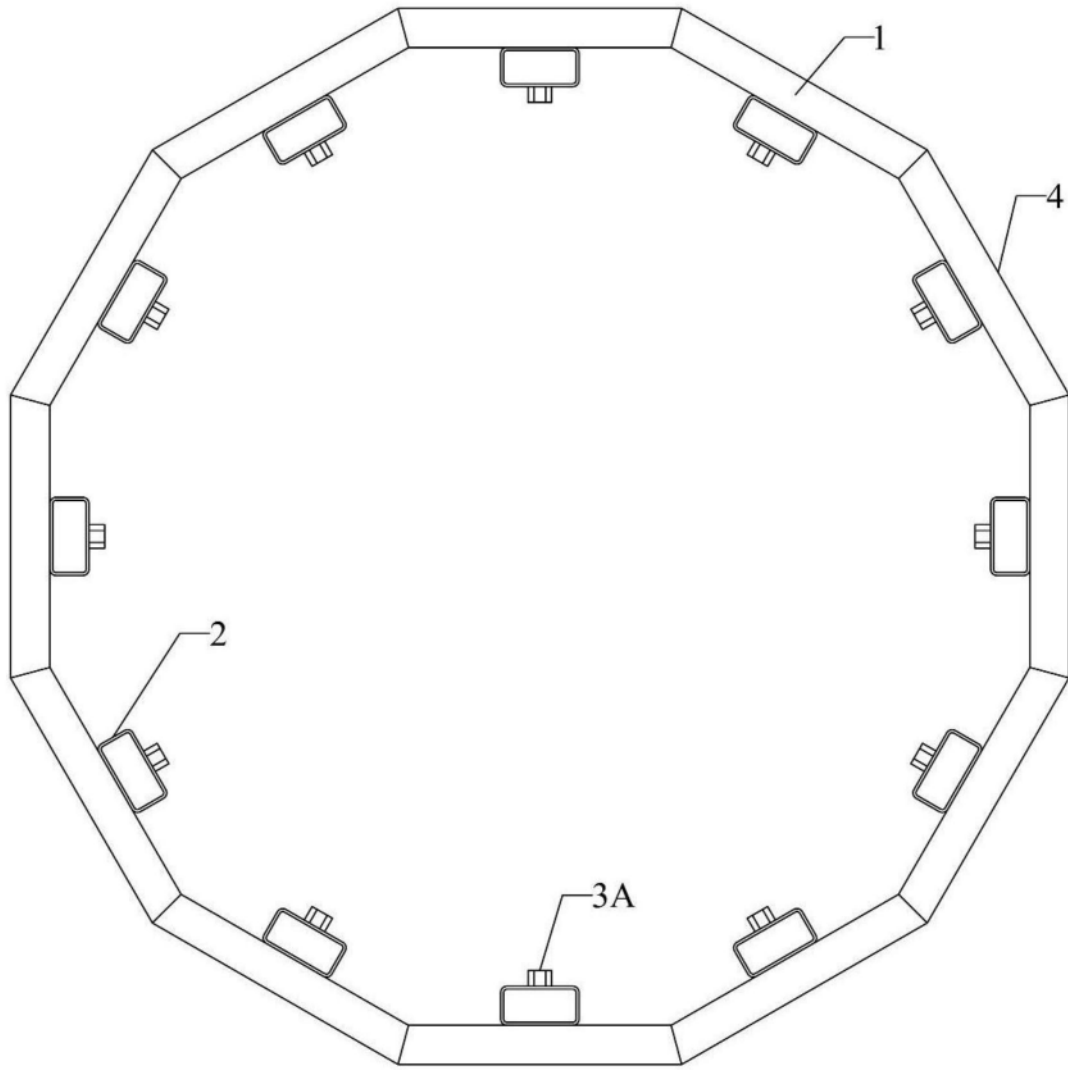


图5

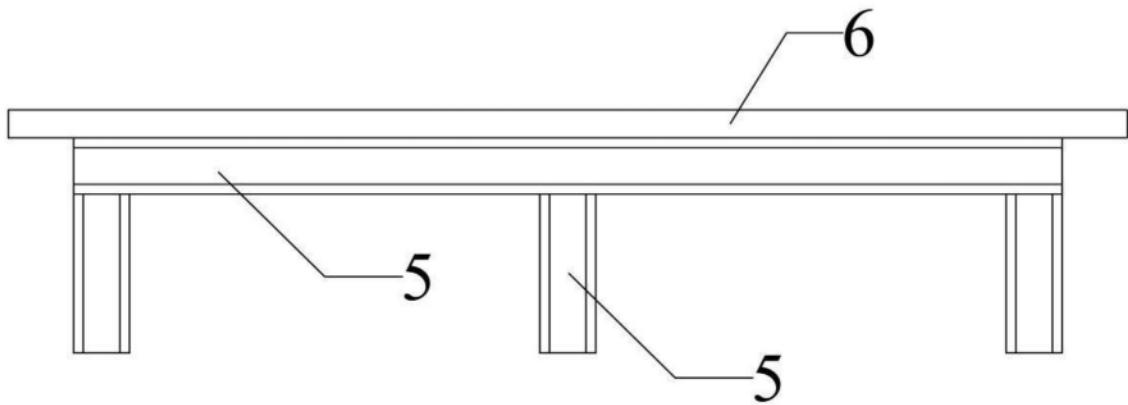


图6

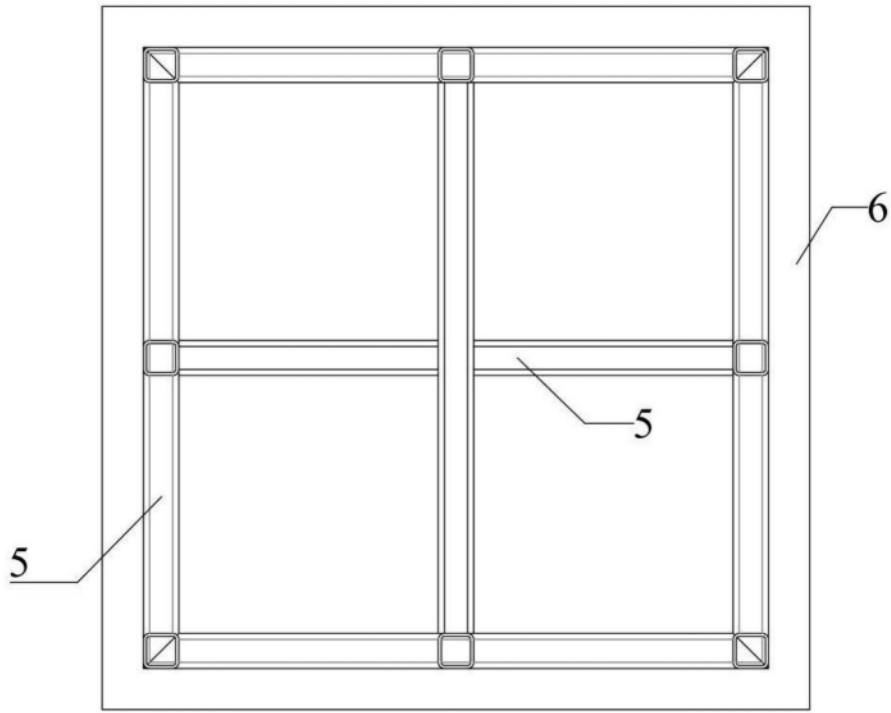


图7

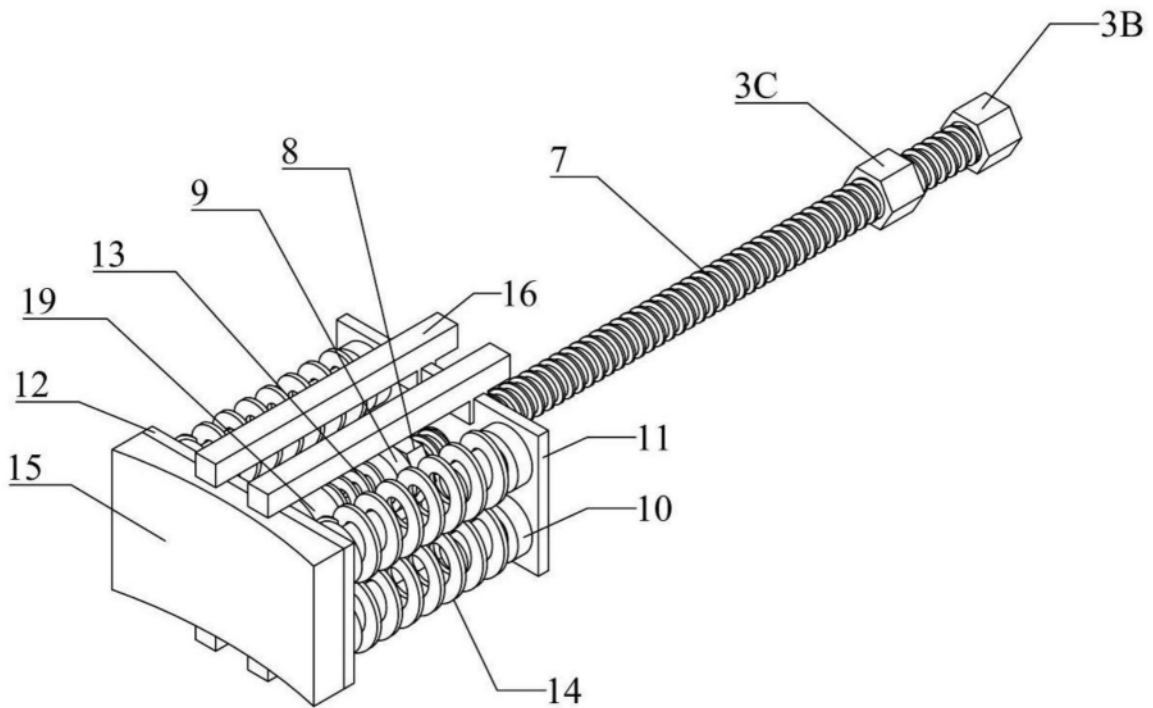


图8

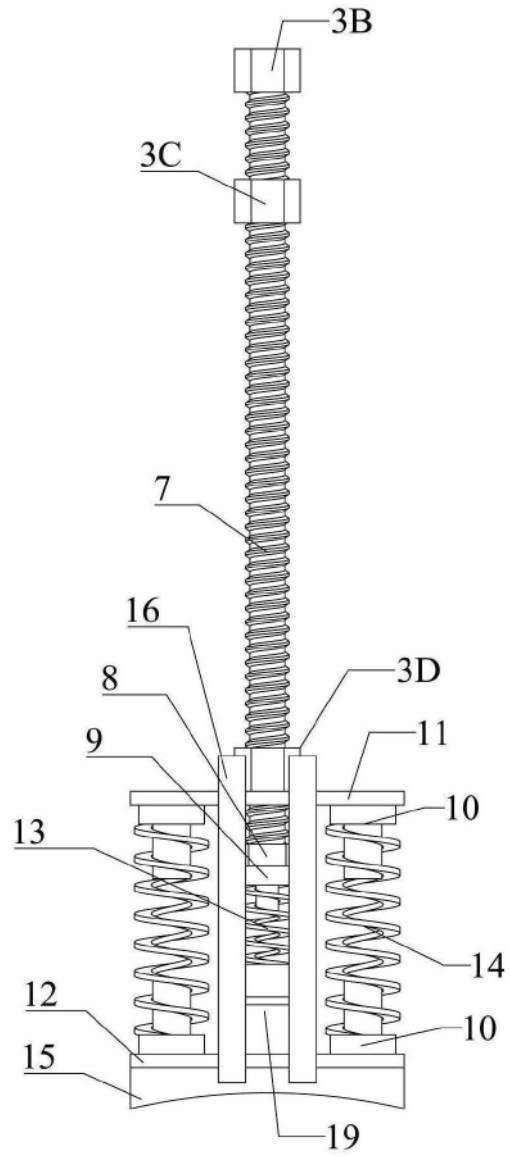


图9

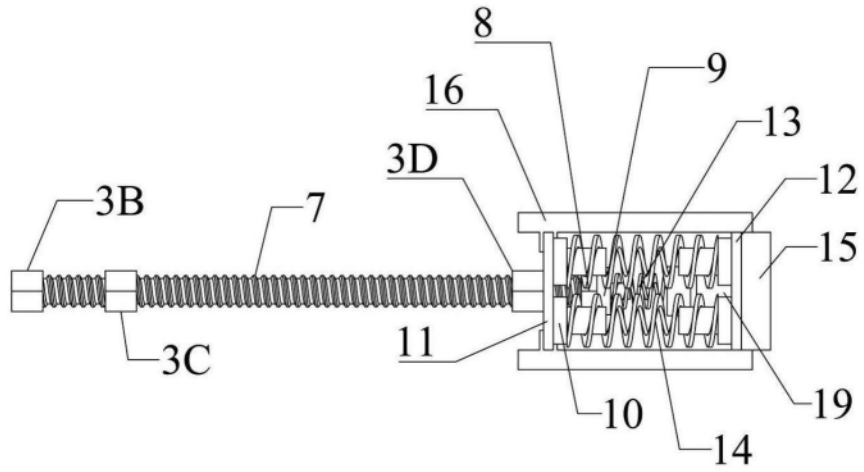


图10

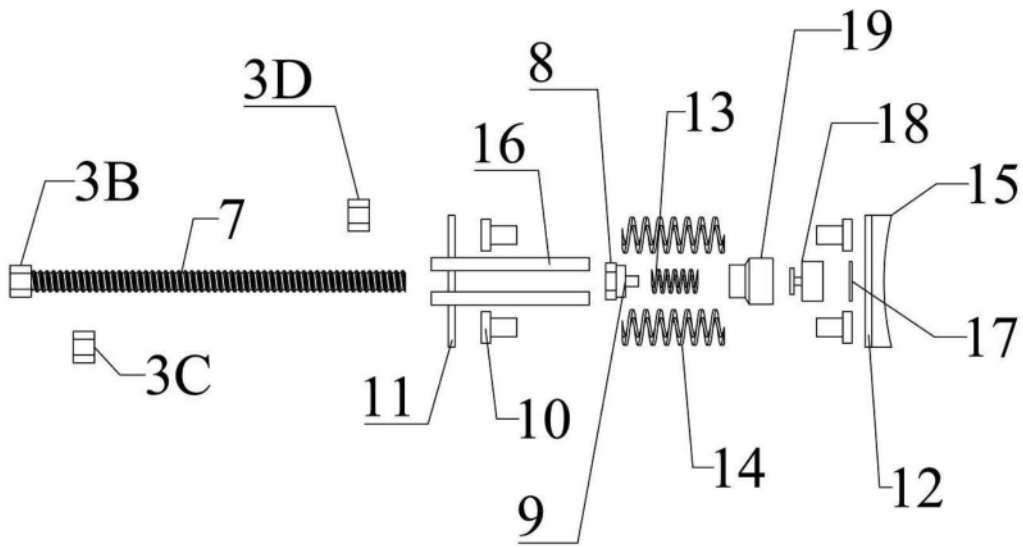


图11

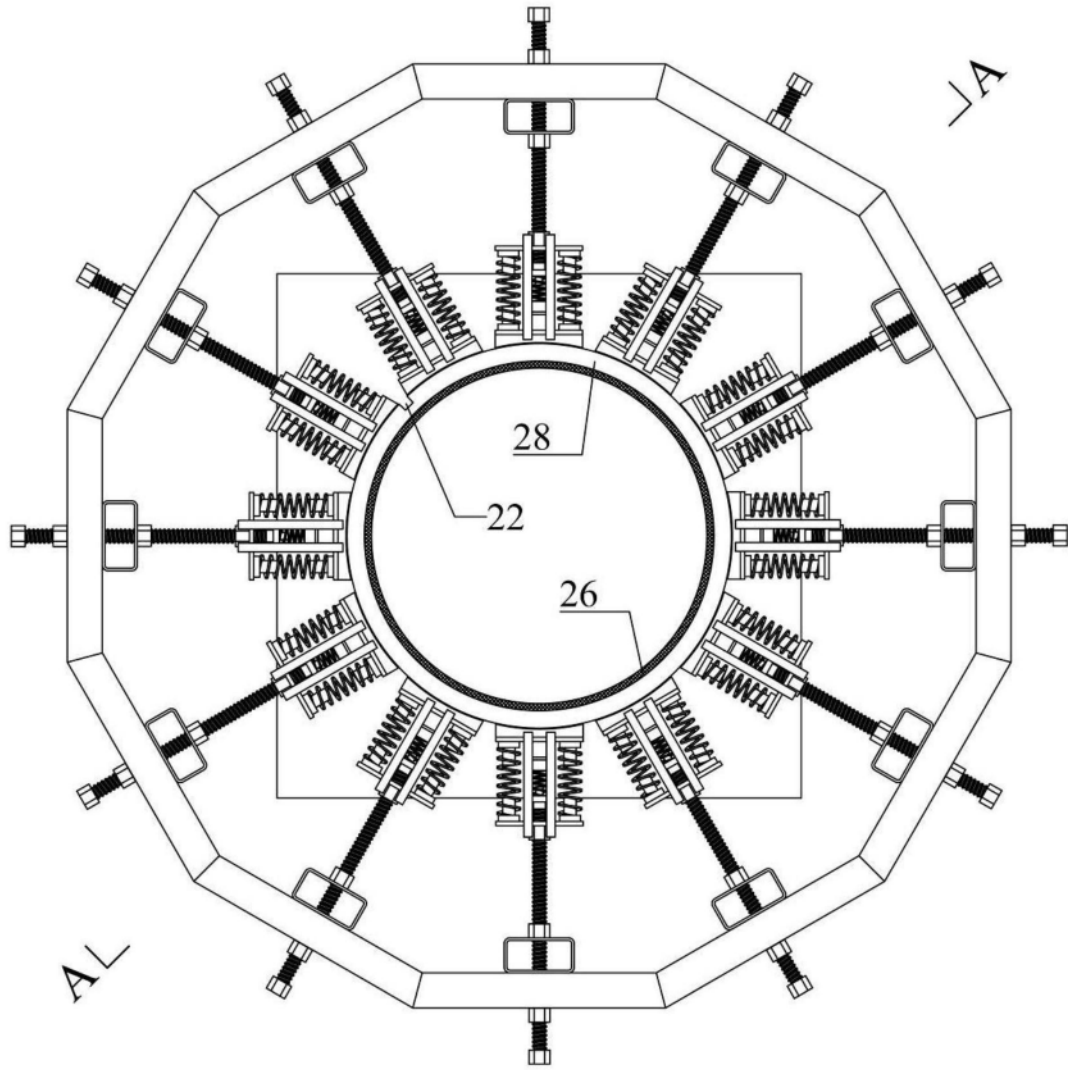


图12

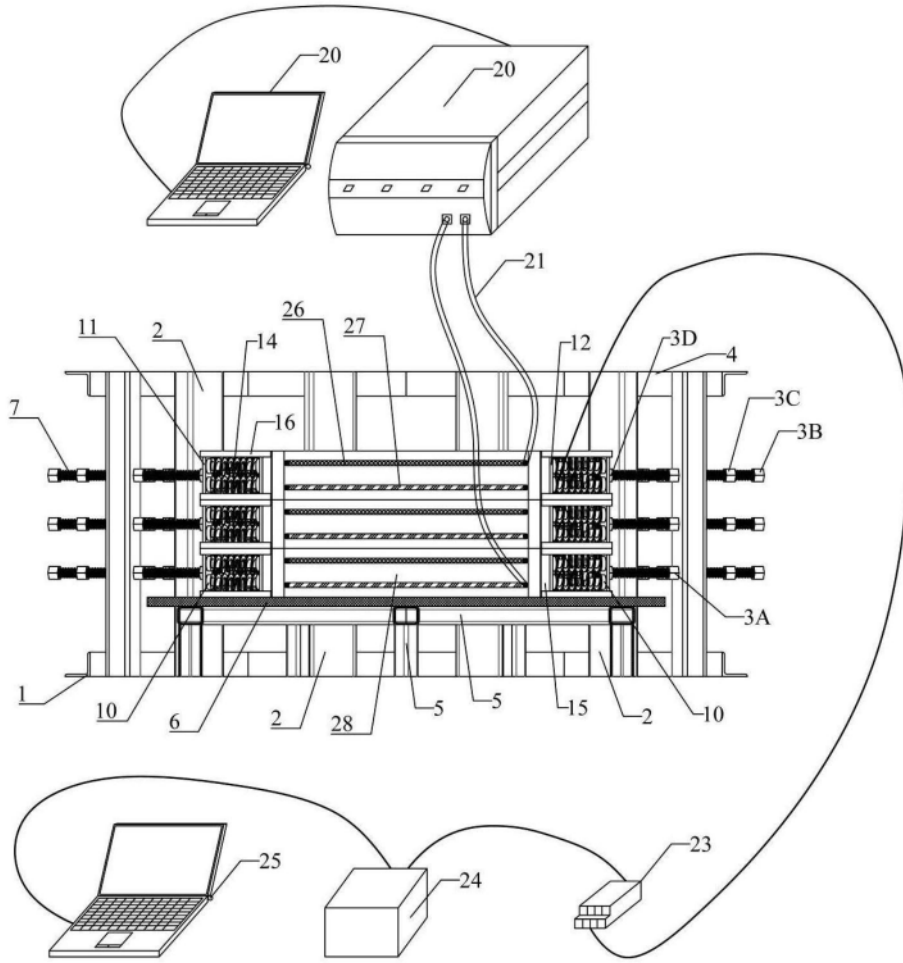


图13

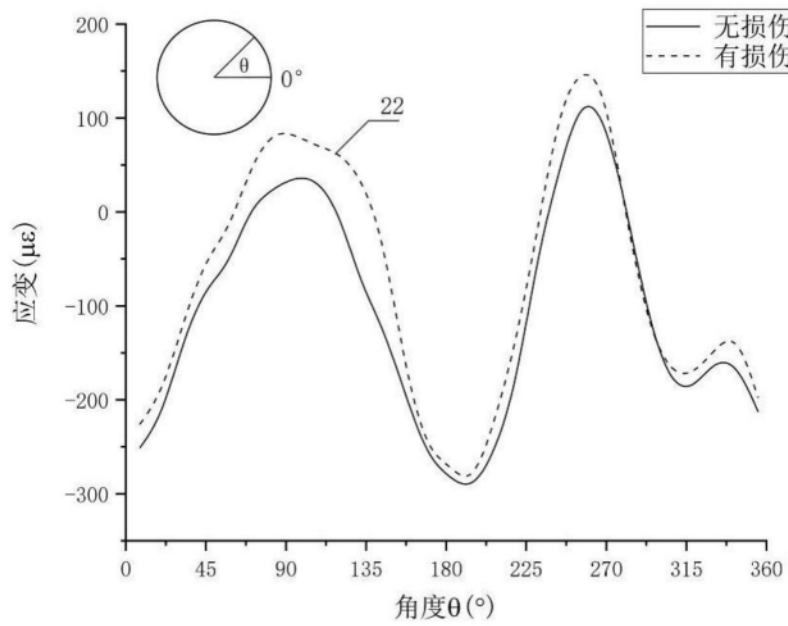


图14