



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105572231 B

(45)授权公告日 2018.01.23

(21)申请号 201610053989.1

G01N 29/28(2006.01)

(22)申请日 2016.01.27

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105572231 A

JP 平11-125090 A,1999.05.11,  
JP 5223622 B2,2013.06.26,  
CN 101726544 A,2010.06.09,  
CN 201477077 U,2010.05.19,

(43)申请公布日 2016.05.11

陈炳瑞 等.深埋隧洞 TBM 施工过程围岩损伤演化声发射试验.《岩石力学与工程学报》.2010,第29卷(第8期),

(73)专利权人 武汉大学  
地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山  
武汉大学

审查员 胡慧

(72)发明人 刘泉声 刘琪 张晓平 刘学伟  
刘建平 赵怡凡

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务  
所(特殊普通合伙) 42222  
代理人 张火春

(51)Int.Cl.

G01N 29/14(2006.01)

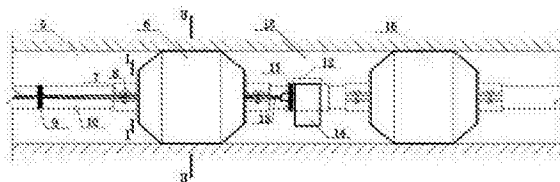
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

## (54)发明名称

一种适用于TBM隧洞的声发射监测实施系统

## (57)摘要

本发明公开了一种适用于TBM隧洞的声发射监测实施系统,首先在TBM隧道内岩壁上,以竖直线为中心的100°顶拱范围内,等间距钻设五个倾斜的监测钻孔,制作一个包括PPR空心管、三通、分别套在相邻两段PPR空心管上的止漏塞、以及声发射传感器组成的声发射监测装置,在每个钻孔内通过直通连接布置两个这样的声发射监测装置,并在每个声发射监测装置与孔壁形成的耦合区中充填耦合剂,当TBM开动时,打开与声发射传感器数据线相连的声发射仪采集数据,采集完后,旋下连接PPR空心管的直通,完成回收,该系统可解决TBM隧洞掌子面岩体声发射监测难以实施、传感器与钻孔孔壁耦合困难、试验后传感器不易回收的问题。



1. 一种适用于TBM隧洞的声发射监测实施方法,其特征在于:包括以下步骤:

a、在隧道(1)内敞开式TBM(2)盾壳后的岩壁上,以竖直线为中心的 $100^{\circ}$ 顶拱范围内,等间距钻设五个倾斜的监测钻孔(5),各监测钻孔(5)与隧道轴线分别共面,且各监测钻孔(5)与隧道轴线所成夹角均相等,每个孔内按相同间距布置两个声发射监测装置,构成一空间网状阵列;

b、声发射监测装置的制作,将声发射传感器数据线(13)穿过珍珠棉止漏塞I(6)中孔后,一同套在PPR空心管(10)上,在所述珍珠棉止漏塞I(6)的两侧安装止漏塞定位套(7)进行固定,再在另一PPR空心管(10)上安装好珍珠棉止漏塞II(16)通过止漏塞定位套(7)固定,通过三通(12)将安装有止漏塞的相邻两PPR空心管(10)连接起来,然后将声发射传感器(14)固定在三通(12)上,即完成一个声发射监测装置的制作;

c、声发射监测装置在所述监测钻孔(5)内的安装,根据钻孔深度,将两个所述声发射监测装置通过直通(18)续接若干段PPR空心管(10),并将孔底一侧端口封住,调节管长,使得作为推送杆的PPR空心管(10)推至监测钻孔(5)孔底时,两个声发射监测装置均处在预定的空间位置,再将整个装置缓慢伸入钻孔内完成安装;

d、声发射传感器与孔壁的耦合,在声发射传感器数据线(13)与洞外声发射仪连接后,将耦合剂逐步注入各PPR空心管(10)内并通过三通(12)溢出充填耦合区(15),直至耦合良好,然后将孔口一侧端口封住;

e、声发射监测与装置回收,当TBM开动时,打开声发射仪开始采集声发射数据,待TBM由远及近直至通过声发射监测区域(4)后,关闭声发射仪,断开数据线连接,将推送杆缓慢拔出,旋下直通(18),收集管内耦合剂,完成回收。

2. 如权利要求1所述的适用于TBM隧洞的声发射监测实施方法,其特征在于:在向PPR空心管(10)内注入耦合剂时,开启声发射仪采集数据并用铁锤敲击岩壁,检查相应声发射通道是否能有效接收振动信号,若能则表明耦合良好,停止注入并将端口封住;否则继续注入耦合剂直至声发射传感器(14)能有效接收信号,再将端口封住,所述耦合剂为00#润滑脂。

3. 如权利要求2所述的适用于TBM隧洞的声发射监测实施方法,其特征在于:同一监测钻孔(5)内,靠近孔口一侧声发射监测装置的三通(12)其溢出口口径小于靠近孔底一侧的,以使两耦合区(15)尽可能均匀地充填耦合剂。

4. 一种用于权利要求1所述声发射监测实施方法的声发射监测装置,其特征在于:包括兼做推送杆和耦合剂注入通道的PPR空心管(10)、声发射传感器(14)、用于连接两段PPR空心管(10)并作为耦合剂溢出通道的三通(12)、套在PPR空心管(10)上用于形成耦合区(15)的止漏塞、用于连接PPR空心管(10)的直通(18)、用于封住PPR空心管(10)端口防止耦合剂流出的端盖,所述止漏塞直径略大于监测钻孔(5)直径,每一个止漏塞两端均设有防止其相对PPR空心管(10)滑动的止漏塞定位套(7),所述三通(12)、直通(18)、端盖通过螺纹连接方式与PPR空心管(10)相连,声发射传感器(14)固定在三通(12)上。

5. 如权利要求4所述的声发射监测装置,其特征在于:所述止漏塞为珍珠棉止漏塞I(6)和珍珠棉止漏塞II(16),所述端盖为孔底端盖(19)和孔口端盖(20)。

## 一种适用于TBM隧洞的声发射监测实施系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于声发射监测技术领域,更具体涉及一种适用于TBM隧洞的声发射监测实施系统,可用于水利水电、交通建设等TBM开挖岩质隧洞时掌子面岩体的声发射监测。

### 背景技术

[0002] TBM(即全断面隧道掘进机)隧道开挖法相较于传统钻爆开挖法具有施工效率高、成洞效果好、对围岩扰动小、安全性优等特点,已越来越广泛地应用于水利水电、交通建设等领域。而随着基础设施建设的逐渐深入,隧道工程将不可避免地遇到高地应力、大埋深的地质环境,使得TBM在开挖过程中面临着掌子面岩体的岩爆、坍塌失稳、掘进困难等困扰。因此,如何获得掌子面岩体的损伤破裂信息、监测预警可能的地质灾害,是提高TBM掘进信息化智能化水平、建立岩体灾害预警体系的关键。

[0003] 声发射技术的基本原理在于利用布置在空间中构成监测网络的若干声发射传感器(要实现空间定位,理论上最少需要四个),将接收到的岩体在应力作用下产生微破裂而释放的应力波信号转换为电信号,并在主机中进行分析、处理。由于不同传感器接收到的应力波存在到时差,通过反演计算便可确定声源位置、时间、能量大小等信息。已有研究表明,许多岩石工程地质灾害发生前,都存在声发射活动异常。声发射活动信息反映了岩体内部的损伤破裂发展,监测TBM隧洞掌子面岩体的声发射活动信息,分析其损伤演化过程,可为判断和预防掌子面岩爆、坍塌等地质灾害,以及评价TBM掘进效率提供重要依据。另一方面,声发射信号在岩体中的传播存在衰减,因此声发射传感器的布置对声发射监测的效果及范围存在重要影响,而受工程实际的制约,特别是TBM隧洞中,声发射传感器往往只能布置在一定区域内,故如何进行传感器的布置并实现传感器与岩体的有效耦合对于声发射监测显得尤为重要。

[0004] 目前,针对TBM隧洞现场条件下声发射监测传感器的布置及安装研究还较少。已有的研究(文献《岩石力学与工程学报》,2010年第8期,陈炳瑞,“深埋隧洞TBM施工过程围岩损伤演化声发射试验”。文献《Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering》,2013年第6期,Wuwei Cheng,“Acoustic emission monitoring of rockbursts during TBM-excavated headrace tunneling at Jinping II hydropower station”。中国专利公开号CN101726544A,公开日2010.06.09,发明专利名称“声发射深孔监测传感器防护、固定与回收集成装置”),通过在TBM隧洞旁开挖试验洞,并垂直于TBM掘进方向钻设若干试验孔,使用安装杆将特制的带保护套的声发射传感器推送至钻孔孔底,在防水胶作用下使其与孔底岩壁耦合,从而实现了监测TBM侧向围岩声发射信号的目的。这种传感器布置方式需要在两平行隧洞间的横通洞中沿TBM掘进方向提前开挖试验洞,并钻设试验孔,而实际工程中往往不具备相应施工条件,且这类传感器布设方式只能用于监测TBM隧洞侧向围岩区域的损伤破裂过程,难以获得掌子面岩体声发射活动信息。同时,现有特制的带保护套的声发射传感器装置虽能解决传感器与孔底岩壁的耦合问题,但其组成部件多,制作工序复杂,操作不便,一个孔内只能安装一个声发射传感器,这些都限制了其使用

范围。另外,要实现未开挖岩体的声发射监测,须钻设深孔(20m以上)以安放声发射传感器,而钻机成孔过程中由于钻头受力不均,钻杆将产生一定的挠度偏离,使得实际成孔并非完全笔直,而是有一定的曲率。若采用钢制推送杆,推送(及回收)过程将在弯曲处存在较大的阻力,不利于传感器的顺利推送与回收。

[0005] 为实现对TBM开挖下掌子面岩体的声发射监测,须根据TBM施工特点设计合理可行的声发射监测系统,在保证声发射传感器与岩体耦合良好以及试验后能有效回收的前提下,考虑可能出现的安装问题,尽量精简装置,提高装置的可操作性。

## 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种适用于TBM隧洞的声发射监测实施系统,因地制宜解决TBM隧洞掌子面岩体声发射监测难以实施、传感器与钻孔孔壁耦合困难、试验后传感器不易回收的问题,使TBM开挖掌子面岩体过程中的微破裂声发射信息能被有效获取,为提高TBM掘进信息化智能化水平、建立岩体灾害预警体系奠定基础。

[0007] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案是:一种适用于TBM隧洞的声发射监测实施方法,其特征在于:包括以下步骤:

[0008] a、在隧道内敞开式TBM盾壳后的岩壁上,以竖直线为中心的 $100^{\circ}$ 顶拱范围内,等间距钻设五个倾斜的监测钻孔,各监测钻孔与隧道轴线分别共面,且各监测钻孔与隧道轴线所成夹角均相等,每个孔内按相同间距布置两个声发射监测装置,构成一空间网状阵列;

[0009] b、声发射监测装置的制作,将声发射传感器数据线穿过珍珠棉止漏塞I中孔后,一同套在PPR空心管上,在所述珍珠棉止漏塞I的两侧安装止漏塞定位套进行固定,再在另一PPR空心管上安装好珍珠棉止漏塞II通过止漏塞定位套固定,通过三通将安装有止漏塞的相邻两PPR空心管连接起来,然后将声发射传感器固定在三通上,即完成一个声发射监测装置的制作;

[0010] c、声发射监测装置在所述监测钻孔内的安装,根据钻孔深度,将两个所述声发射监测装置通过直通续接若干段PPR空心管,并将孔底一侧端口封住,调节管长,使得作为推送杆的PPR空心管推至监测钻孔孔底时,两个声发射监测装置均处在预定的空间位置,再将整个装置缓慢伸入钻孔内完成安装;

[0011] d、声发射传感器与孔壁的耦合,在声发射传感器数据线与洞外声发射仪连接后,将耦合剂逐步注入各PPR空心管内并通过三通溢出充填耦合区,直至耦合良好,然后将孔口一侧端口封住;

[0012] e、声发射监测与装置回收,当TBM开动时,打开声发射仪开始采集声发射数据,待TBM由远及近直至通过声发射监测区域后,关闭声发射仪,断开数据线连接,将推送杆缓慢拔出,旋下直通,收集管内耦合剂,完成回收。

[0013] 作为改进,在向PPR空心管内注入耦合剂时,开启声发射仪采集数据并用铁锤敲击岩壁,检查相应声发射通道是否能有效接收振动信号,若能则表明耦合良好,停止注入并将端口封住;否则继续注入耦合剂直至声发射传感器能有效接收信号,再将端口封住,所述耦合剂为00#润滑脂。

[0014] 作为改进,同一监测钻孔内,靠近孔口一侧声发射监测装置的三通其溢出口口径小于靠近孔底一侧的,以使两耦合区尽可能均匀地充填耦合剂。

[0015] 一种用于上述声发射监测实施系统的声发射监测装置,包括兼做推送杆和耦合剂注入通道的PPR空心管、用于连接两段PPR空心管并作为耦合剂溢出通道的三通、套在PPR空心管上用于形成耦合区的止漏塞、用于连接PPR空心管的直通、用于封住PPR空心管端口防止耦合剂流出的端盖,所述止漏塞直径略大于监测钻孔直径,每一个止漏塞两端均设有防止其相对PPR空心管滑动的止漏塞定位套,所述三通、直通、端盖通过螺纹连接方式与PPR空心管相连。

[0016] 所述止漏塞为珍珠棉止漏塞I和珍珠棉止漏塞II,所述端盖为孔底端盖和孔口端盖。

[0017] 本发明由于采用上述技术方案,具有如下有益效果:

[0018] 1. 监测钻孔布置方案充分利用了TBM施工时,拱顶区域存在的有限空间,布置传感器构成空间网状阵列,有利于声发射微震裂源的定位。同时这种传感器布置方式使得当少数声发射传感器或其线路出现故障无法工作时,不会影响声发射监测网络的整体稳定性,仍具有良好的微震裂源定位能力。

[0019] 2. 采用具有满足使用要求流动性的粘稠态半流体—00#润滑脂作为耦合介质,使得岩体中的应力波可通过该耦合介质被传感器有效接收,同时也避免了采用钻孔全段充水耦合方式时面临的堵水困难以及钻孔岩壁上可能存在贯通裂隙而形成渗漏通道的问题。由于该耦合剂具有粘稠特性,使得可以用珍珠棉材料制作止漏塞即可进行封堵,在由一对止漏塞限定的含声发射传感器的一小段范围内,通过三通充填耦合剂,可实现声发射应力波的有效传播与接收。

[0020] 3. 因地制宜解决TBM隧洞掌子面岩体声发射监测难以实施、传感器与钻孔孔壁耦合困难、试验后传感器不易回收的问题,使TBM开挖掌子面岩体过程中的微破裂声发射信息能被有效获取,为提高TBM掘进信息化智能化水平、建立岩体灾害预警体系奠定基础。

## 附图说明

[0021] 图1为TBM隧洞声发射监测传感器布置俯视图;

[0022] 图2为声发射传感器及其监测钻孔位置横剖面投影图;

[0023] 图3为3#监测钻孔及传感器位置纵剖面图;

[0024] 图4为声发射网状监测阵列示意图;

[0025] 图5为声发射监测装置示意图;

[0026] 图6为声发射监测装置I-I剖面图;

[0027] 图7为声发射监测装置II-II剖面图;

[0028] 图8为止漏塞定位套主视图;

[0029] 图9为止漏塞定位套俯视图;

[0030] 图10为止漏塞定位套A-A剖面投影图;

[0031] 图11为直通连接示意图;

[0032] 图12为孔底端盖连接示意图;

[0033] 图13为孔口端盖连接示意图。

[0034] 其中,1—隧道,2—敞开式TBM,3—掌子面岩体,4—声发射监测区域,5—监测钻孔,6—珍珠棉止漏塞I,7—止漏塞定位套,8—螺栓,9—胶带I,10—PPR空心管,11—胶带

II, 12—三通, 13—声发射传感器数据线, 14—声发射传感器, 15—耦合区, 16—珍珠棉止漏塞 II, 17—螺栓孔, 18—直通, 19—孔底端盖, 20—孔口端盖。

[0035] 1#—一号监测钻孔, 2#—二号监测钻孔, 3#—三号监测钻孔, 4#—四号监测钻孔, 5#—五号监测钻孔, 101—一号监测钻孔孔底侧传感器, 201—二号监测钻孔孔底侧传感器, 301—三号监测钻孔孔底侧传感器, 401—四号监测钻孔孔底侧传感器, 501—五号监测钻孔孔底侧传感器, 102—一号监测钻孔孔口侧传感器, 202—二号监测钻孔孔口侧传感器, 302—三号监测钻孔孔口侧传感器, 402—四号监测钻孔孔口侧传感器, 502—五号监测钻孔孔口侧传感器

### 具体实施方式

[0036] 以下结合附图进一步说明本发明的具体实施方式:

[0037] 如图5所示, 一种用于TBM隧洞声发射监测系统的声发射监测装置, 其特征在于: 包括兼做推送杆和耦合剂注入通道的PPR空心管10、用于连接两段PPR空心管10并作为耦合剂溢出通道的三通12、套在PPR空心管10上用于形成耦合区15的珍珠棉止漏塞I6和珍珠棉止漏塞II 16、用于连接PPR空心管10的直通18、防止耦合剂流出的孔底端盖19和孔口端盖20。所述止漏塞直径略大于监测钻孔5直径, 每一个止漏塞两端均设有防止其相对PPR空心管10滑动的止漏塞定位套7, 所述止漏塞定位套7通过螺栓8穿过止漏塞定位套7上的螺栓孔17进行固定, 所述声发射传感器14通过胶带II 11固定于三通12上, 所述声发射传感器数据线13通过胶带I9固定在PPR空心管10上且与监测钻孔5外的声发射仪相连, 所述三通12、直通18、孔底端盖19和孔口端盖20通过螺纹连接方式与PPR空心管10相连, 所述监测钻孔5内两个止漏塞之间的耦合区15以及PPR空心管10内充填耦合剂。所述止漏塞为珍珠棉止漏塞I6和珍珠棉止漏塞II 16。

[0038] 一种适用于TBM隧洞的声发射监测实施方法, 其特征在于: 包括以下步骤:

[0039] a、如图1~图4所示, 在隧道1内敞开式TBM 2盾壳后的岩壁上, 以竖直线为中心的100°顶拱范围内, 等间距钻设五个倾斜的监测钻孔5, 考虑到实际测试的可操作性, 推荐孔径为110mm, 并保证成孔后孔壁光滑无岩渣岩屑残留, 钻孔直度满足要求。各监测钻孔5与隧道轴线分别共面, 且各监测钻孔5与隧道轴线之间夹角均相等, 每个孔内按相同间距布置有两个声发射监测装置, 构成一空间网状阵列;

[0040] b、声发射监测装置的制作, 如图5所示, 将声发射传感器数据线13穿过珍珠棉止漏塞I6的中孔, 调节数据线长短至合适位置后, 与珍珠棉止漏塞I6一同套在PPR空心管10上, 再在其两侧安装上止漏塞定位套7, 止漏塞定位套7通过螺栓8固定, 检查珍珠棉止漏塞I6是否能沿PPR空心管10运动; 按上述同样方法安装好珍珠棉止漏塞II 16并固定, 使用带内螺纹的三通12将安装有止漏塞的相邻两PPR空心管10连接起来, 将声发射传感器14的探头通过胶带II 11固定在三通12上, 声发射传感器数据线13通过胶带I9固定在PPR空心管10上, 即完成一个声发射监测装置的制作;

[0041] c、声发射监测装置在所述监测钻孔5内的安装, 将两个所述声发射监测装置通过带内螺纹的直通18续接若干段PPR空心管10, 并将孔底一侧端头用孔底端盖19封住, 调节管长, 使得作为推送杆的PPR空心管10推至监测钻孔5孔底时, 两个声发射监测装置均处在预定的空间位置, 检查推送杆各处连接状况是否良好, 在推送声发射监测装置之前, 应先检查

钻孔质量是否满足工作要求,然后将连接好的声发射监测装置通过推送杆缓慢伸入钻孔内,至预定位置,利用止漏塞与岩壁间的摩擦力固定推送装置位置不至滑出;

[0042] d、声发射传感器与孔壁的耦合,在声发射传感器数据线13与洞外声发射仪连接后,将预先准备好的耦合剂逐步注入PPR空心管10内并通过三通12溢出充填耦合区15,直至耦合良好,然后通过孔口端盖20将推送杆端口封住,即完成TBM隧洞声发射监测系统的布置和安放;

[0043] e、按上述方法完成其他监测钻孔5内声发射监测装置的安装后,当TBM开动时,打开声发射仪开始采集声发射数据,待TBM由远及近直至通过声发射监测区域4后,关闭声发射仪,断开数据线连接,声发射监测数据采集完毕,将推送杆缓慢拔出,旋下PPR空心管10的直通18,收集管内的耦合剂,即完成TBM隧洞声发射监测系统的回收。

[0044] 同一监测钻孔5内,靠近孔口一侧声发射监测装置的三通12其溢出口口径小于靠近孔底一侧的,以使两耦合区15尽可能均匀地充填耦合剂。

[0045] 在向声发射监测装置的PPR空心管10内注入预先准备好的耦合剂时,开启声发射仪采集数据并用铁锤敲击岩壁,检查相应声发射通道是否能有效接收振动信号,若能则表明耦合良好,停止注入并使用孔口端盖将推送杆端口封住;否则继续注入耦合剂直至声发射传感器14能有效接收信号,再将端口封住,采用相同的办法,测试其他监测钻孔5内声发射监测装置使之耦合良好,正式采集前,再次敲击岩壁,确保各通道均可有效采集信号。

[0046] 所述耦合剂为00#润滑脂。

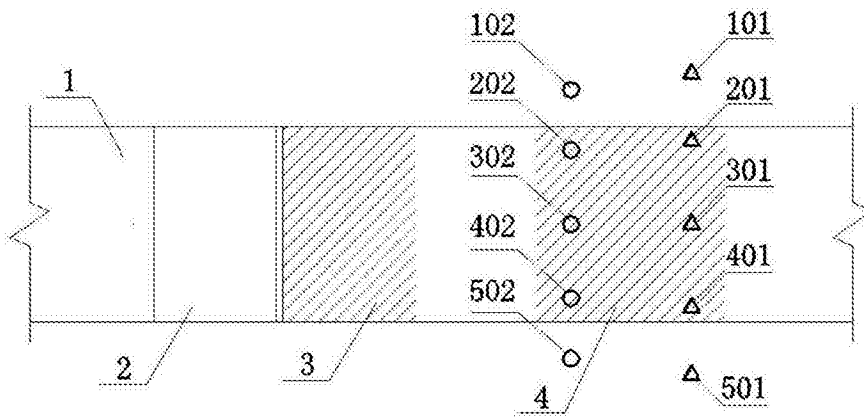


图1

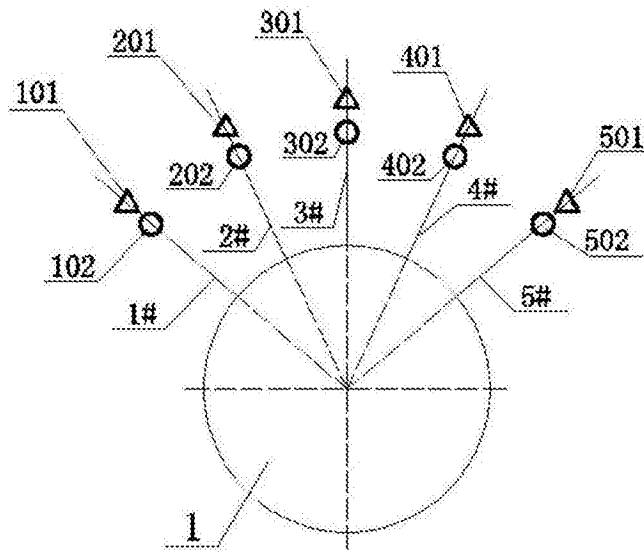


图2

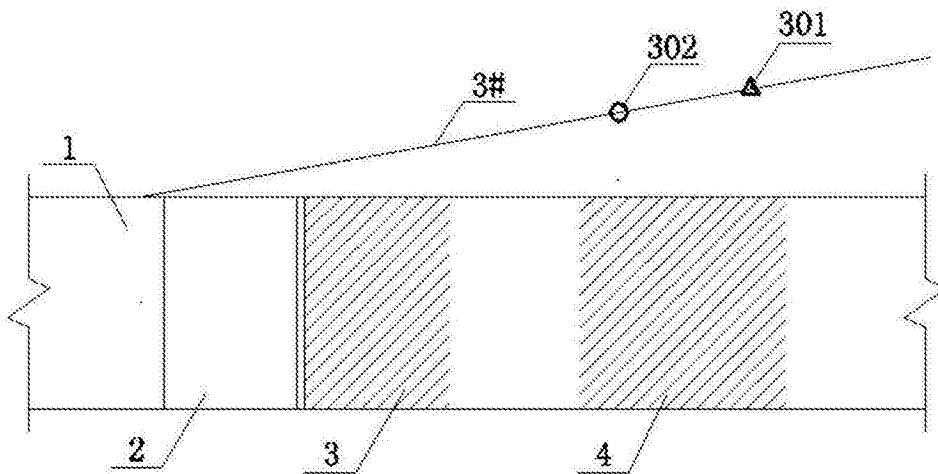


图3



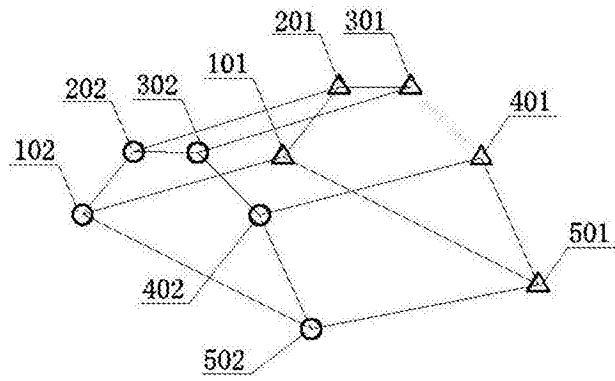


图4

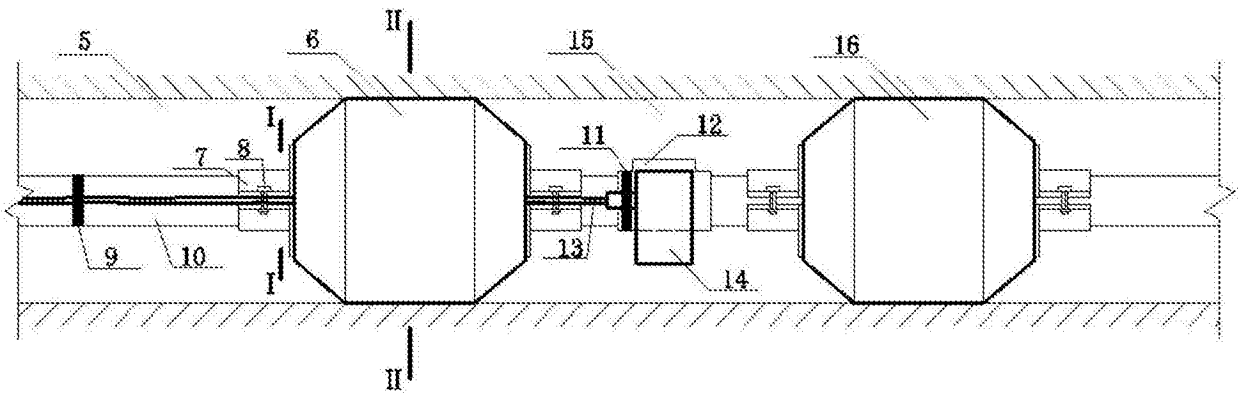


图5

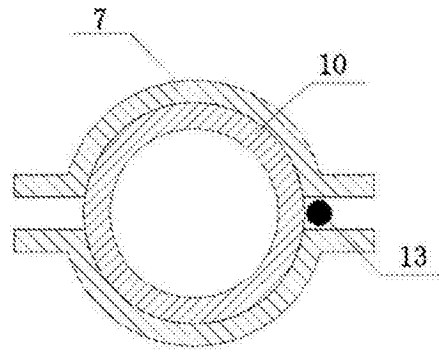


图6

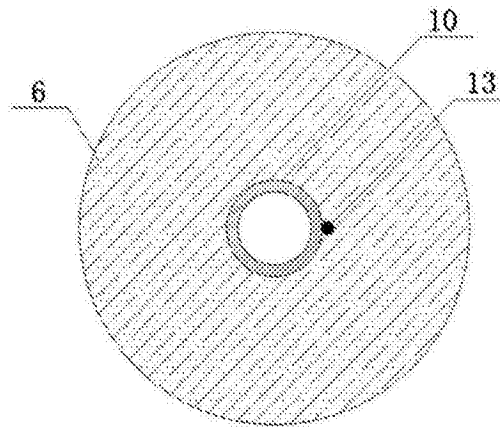


图7

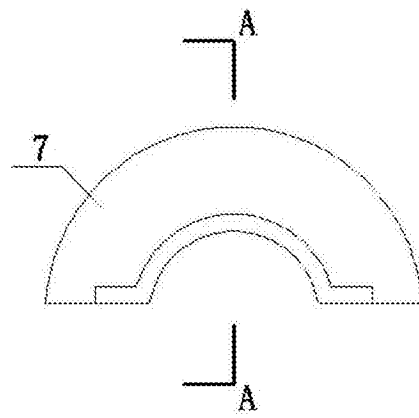


图8

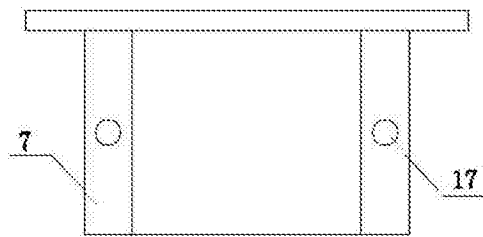


图9

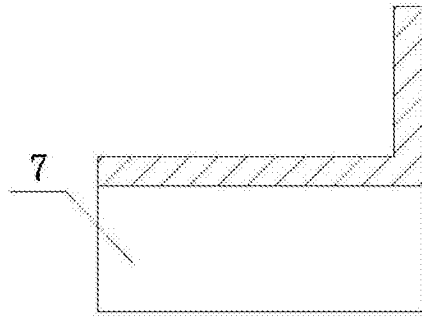


图10

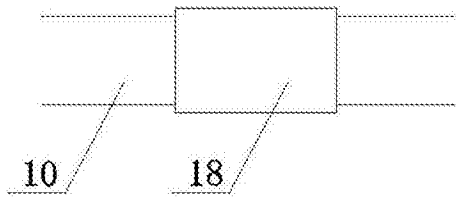


图11

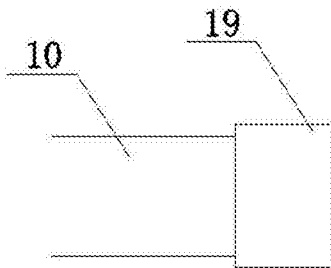


图12

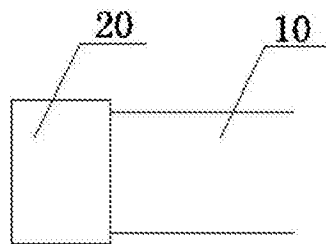


图13