



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105134248 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 09

(21) 申请号 201510564846. 2

(22) 申请日 2015. 09. 08

(71) 申请人 中国科学院武汉岩土力学研究所

地址 430071 湖北省武汉市武昌区水果湖街  
小洪山 2 号

(72) 发明人 赵武胜 陈卫忠 马少森 杨典森

(74) 专利代理机构 武汉宇晨专利事务所 42001

代理人 王敏锋

(51) Int. Cl.

E21D 11/00(2006. 01)

E21D 11/10(2006. 01)

E21D 11/08(2006. 01)

E21D 11/14(2006. 01)

E21D 11/05(2006. 01)

权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种盾构隧道与竖井连接部位的抗震与减震  
方法

(57) 摘要

本发明公开了一种盾构隧道与竖井连接部位的抗震与减震方法,其步骤:A、抗震加固体施工,抗震加固体由主加固体与渐变加固体组成:(1)主加固体;(2)渐变加固体,宽度和深度与主加固体一致;B、抗震加固圈施工:对抗震加固体施工的同时,对盾构开挖轮廓面进行加固,通过管片预留注浆孔对该区域进行二次注浆加固,在盾构开挖面形成抗震加固圈;C、柔性减震层施工:待盾构机破墙完成后,刀盘外径大于管片直径,随着管片脱出盾尾,管片与土体之间产生建筑空隙,通过盾构机同步注浆系统在建筑空隙中进行柔性减震层的施工,最终形成柔性减震层。方案易行,操作简便,加之对柔性减震材料的充分利用,对盾构隧道的抗震与减震能起到良好效果。

1. 一种盾构隧道与竖井连接部位的抗震与减震方法,其步骤是:

A、抗震加固体施工,抗震加固体由主加固体与渐变加固体组成:

(1)主加固体:主加固体的长度不小于 $1.5D$ ,两侧宽度不小于 $0.5D$ ,深度不小于基坑深度 $H$ ,不小于盾构破墙要求尺寸,在竖井开挖前,采用高压旋喷桩对主加固体范围内的土体进行加固,桩体梅花型布置,根据现场土质条件采用二重管或三重管;被加固土体的 $28d$ 无侧限抗压强度不小于 $1.2MPa$ ,控制靠近竖井壁 $5m$ 范围内土体的加固,重复喷射加固,达到加固,形成抗震主加固体;降低竖井与盾构隧道间刚度的差异,控制带来的管片震害;

(2)渐变加固体:其紧临抗震主加固体,其长度不小于 $0.5D$ ,宽度与深度与主加固体一致,抗震主加固体施工完成后,沿盾构推进方向继续施工渐变加固体,其桩体密度逐渐减小,使土体由主加固区向未加固区平滑过渡;

B、抗震加固圈施工:

对抗震加固体施工的同时,对盾构开挖轮廓面以外 $2\sim 3m$ 范围土体进行加固,根据现场土质条件,加大浆液注浆压力:增加 $0.5\sim 1.0MPa$ ,浆液压力不小于 $3MPa$ ;降低旋喷注浆管提升速度:降低 $3\sim 5cm/min$ ,不大于 $8cm/min$ ;提高复合地基承载力;管片拼装后,再通过管片预留注浆孔对该区域进行二次注浆加固,加固圈内土体的承载力与强度不小于加固区其它部位,在盾构开挖面外 $2\sim 3m$ 范围内形成抗震加固圈;

C、柔性减震层施工:

待盾构机破墙完成后,刀盘外径大于管片直径,随着管片脱出盾尾,管片与土体之间产生建筑空隙,通过盾构机同步注浆系统在建筑空隙中进行柔性减震层的施工,柔性减震材料的质量配合比为水泥:砂:乳化沥青:水:铝粉= $1.0:2.0:1.8:0.5:0.15$ ,首先将水泥、砂、外加剂混合在一起拌匀,然后加入水,均匀搅拌 $2\sim 5min$ ,接着加入乳化沥青,均匀搅拌 $2\sim 5min$ ;加入铝粉再搅拌 $1\sim 3min$ ,通过盾构机同步注浆系统,将上述浆液注入管片与开挖面间的空隙中,注浆压力取注浆位置 $1.1\sim 1.2$ 倍的静止水土压力,注浆压力设定在 $0.3\sim 0.5MPa$ ,最终形成柔性减震层;

所述的铝粉为银色的金属颜料,以纯铝箔加入润滑剂,经捣击压碎为鳞状粉末,再经抛光;

所述的外加剂为聚羧酸减水剂。

## 一种盾构隧道与竖井连接部位的抗震与减震方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及岩土抗震技术领域,具体涉及一种盾构隧道与竖井连接部位的抗震与减震方法。主要适用于高烈度区土质地层中盾构隧道与竖井连接部位的抗震设计与施工。

### 背景技术

[0002] 近年来,随着我国基础设施建设的快速发展,一大批铁路、公路、地铁、水电隧道(洞)相继建成并投入使用,且在建隧道仍以每年数百公里的速度在增长。盾构法施工采用现代化手段,具有施工速度快,效率高,工作环境好,安全保障程度高等优点,从而使得盾构隧道在已建及规划建造的隧道中,占有相当大的比例。盾构隧道目前已成为我国现代交通的重要组成部分。

[0003] 近年来,在全球范围内的数次地震中,许多盾构隧道遭受到破坏,且震害主要发生在隧道与竖井连接部位。主要表现为隧道横断面管片旋转、错位,导致管片错台、接头破坏;隧道纵向管片向竖井突出,导致连接部位防水失效,继发漏水;严重影响了隧道的安全与正常使用。我国位于太平洋地震带与欧亚地震带的交汇处,地震断裂带发育,地震活动频发,强度大、震源浅、分布广、危害大。而我国高烈度区在建盾构隧道,大多采用传统刚性连接的方法,其抗震性能差,难以满足结构抗震安全性能要求。因此,盾构隧道与竖井连接部位的抗震设计已成为我国高烈度区盾构隧道建设中一个亟待解决的难题,急需发明一种安全、可靠、易于施工的盾构隧道与竖井连接部位抗震方法。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于为克服上述不足,而提供一种盾构隧道与竖井连接部位的抗震与减震方法。该方法方案易行,操作简便,其将渐变式抗震加固体和抗震加固圈综合考虑,加之柔性减震材料的充分利用,对盾构隧道的抗震与减震能起到良好效果。

[0005] 为了达到上述目的,本发明采取以下技术方案:

一种盾构隧道与竖井连接部位的抗震与减震方法,其步骤是:

1、抗震加固体施工,抗震加固体由主加固体与渐变加固体组成:

(1)主加固体:主加固体的长度不小于 $1.5D$ ( $D$ 为管片外径),两侧宽度不小于 $0.5D$ ,深度不小于基坑深度 $H$ (基坑深度原则上可深可浅,其具体根据工程现场而定),并不小于盾构破墙要求尺寸。在竖井开挖前,采用高压旋喷桩对主加固体范围内的土体进行加固,桩体梅花型布置,根据现场土质条件可采用二重管或三重管;被加固土体的 $28d$ 无侧限抗压强度不小于 $1.2\text{MPa}$ ,严格控制靠近竖井壁 $5\text{m}$ 范围内土体的加固效果,必要时可重复喷射加固,确保达到加固要求,形成抗震主加固体;降低竖井与盾构隧道间刚度的差异,进而控制由此带来的管片震害。

[0006] (2)渐变加固体:其紧临抗震主加固体,其长度不小于 $0.5D$ ( $D$ 为管片外径),宽度与深度宜与主加固体一致。待抗震主加固体施工完成后,沿盾构推进方向继续施工渐变加固体,其桩体密度逐渐减小,使土体由主加固区向未加固区平滑过渡。

### [0007] 2、抗震加固圈施工：

对抗震加固体施工的同时，重点对盾构开挖轮廓面以外 2~3m 范围土体进行重点加固。根据现场土质条件，加大浆液注浆压力（增加 0.5~1.0MPa，浆液压力不小于 3MPa），降低旋喷注浆管提升速度（降低 3~5cm/min，不大于 8 cm/min），提高复合地基承载力；有条件的情况下，管片拼装后，再通过管片预留注浆孔对该区域进行二次注浆加固，从而保证加固圈内土体的承载力与强度不小于加固区其它部位，在盾构开挖面外 2~3m 范围内形成抗震加固圈。

### [0008] 3、柔性减震层施工：

待盾构机破墙完成后，由于刀盘外径大于管片直径，随着管片脱出盾尾，管片与土体之间将产生建筑空隙。此时，通过盾构机同步注浆系统在此建筑空隙中进行柔性减震层的施工。柔性减震材料的质量配合比为水泥：砂：乳化沥青：水：铝粉=1.0：2.0：1.8：0.5：0.15。首先，将水泥、砂、外加剂混合在一起拌匀；然后加入水，均匀搅拌 2~5min；接着加入乳化沥青，均匀搅拌 2~5min；加入铝粉再搅拌 1~3min。待配置的浆液达到施工要求后，通过盾构机同步注浆系统，将上述浆液注入管片与开挖面间的空隙中，注浆压力取注浆位置 1.1 ~ 1.2 倍的静止水土压力，注浆压力一般设定在 0.3~0.5MPa，最终形成柔性减震层。

[0009] 所述的水泥为普通硅酸盐水泥；所述的砂为普通的河砂。

[0010] 所述的乳化沥青是沥青和乳化剂在一定工艺作用下，生成水包油型液态沥青。乳化沥青是将通常高温（120 到 130 摄氏度）使用的道路沥青，经过机械搅拌和化学稳定的方法（乳化），扩散到水中而液化成常温下粘度很低、流动性很好的一种道路建筑材料。可以常温使用，也可以和冷、潮湿的石料一起使用。

[0011] 所述的铝粉，即银色的金属颜料，以纯铝箔加入少量润滑剂，经捣击压碎为鳞状粉末，再经抛光而成。铝粉质轻，漂浮力高，遮盖力强，对光和热的反射性能均好。主要用作水泥乳化沥青砂浆尚未固化前的膨胀剂，适当的铝粉可产生体积膨胀以抵消水泥乳化沥青砂浆固化初期的体积收缩。

[0012] 所述的外加剂，主要为聚羧酸减水剂，尽量使用减水率高、扩展度损失小、质量稳定的减水剂。主要用于现场壁后注浆材料的拌合，通过在注浆材料中添加减水剂，增加浆液的活易性，提高其施工性能。

[0013] 柔性减震层材料既有一定的早期及最终强度，又具有相对较低的剪切模量。一定的早期及最终强度可保证管片的稳定；同时，从图 1 与图 2 有限元分析结果可以看出，柔性减震层又可有效降低地震作用下管片的内力。

### [0014] 4、纵向减震装置施工：

其尺寸根据竖井墙体与隧道外径确定，不应小于 0.8m，其中橡胶缓冲层不应小于 0.2m。待负管环与零号过渡环拆除后，结合破墙期竖井墙体中的预埋钢环，在预埋钢环中焊接钢筋，形成钢筋网，然后分区进行混凝土浇注，形成钢筋混凝土锁止层。

[0015] 待钢筋混凝土锁止层施工完成后，选取邵氏硬度（简称 HS，表示材料硬度的一种标准；由英国人邵尔在 1907 年首先提出）约 35（采用 35 度锥角的压针，在试验力作用下垂直压入试样表面，当压足表面与试样表面完全贴合时，压针尖端面相对压足平面有一定的伸出长度 L，邵氏硬度  $HA=100-L/0.025$ ）的橡胶密封材料，测定其压缩与剪切模量，验证橡胶的变形性能。然后将橡胶块压入钢筋混凝土锁止层与 1 号管环中间的空隙，橡胶块间及

橡胶与管片间采用密封胶粘结在一起,橡胶内外两侧做防老化措施。橡胶缓冲层可缓冲地震作用下衬砌向竖井的突出,而模注混凝土又将突出限制在一定范围内,确保隧道的正常使用。

[0016] 从图 3 有限元分析结果可以看出,纵向减震装置可有效降低地震作用下隧道纵向的动应力,减小管片与连续墙间的相对位移,保证破墙位置的防水性能与正常使用性能。

[0017] 与现有技术相比,本发明具有以下优点和效果:

1 渐变式抗震加固体可有效提高端头土体的自承能力,实现刚度变化的平稳过度,继而可降低竖井与端头土体由于刚度差异导致的隧道震害;

2 抗震加固圈可进一步提高开挖轮廓面附近土体的刚度与承载力,降低其在地震作用下向管片传递的变形;同时,还可以提高加固体与柔性减震层间的模量差异,提升柔性减震层的减震效果;

3 柔性减震材料具有一定的早期及永久强度、相对较低的剪切模量、较好的防水性、适宜施工性能。因此,与传统同步注浆材料相比,其可有效吸收地震作用下周围加固体的变形,减震性能更优越;

4 纵向减震装置通过橡胶层允许管片在纵向有一定的变位,又通过锁止层限制纵向变位过大。将抗震与减震进行了有机结合,解决了以往单纯刚性连接导致的管片应力集中,造成局部受力破坏的问题;

本发明充分考虑了地震作用下盾构隧道与竖井连接部位的受力特征,将抗震与减震进行了有机结合,既能有效降低结构局部应力集中引起的破坏,又能保证结构的正常使用。

## 附图说明

[0018] 图 1 为一种有/无柔性减震层时隧道管片最大主应力时程曲线(有限元分析结果)

上述为某一种盾构隧道(开挖外径 14.9m,管片厚 0.6m,幅宽 2.0m)在地震作用(峰值加速度为 0.2g)下的计算结果,从结果可以看出,与无柔性减震层(厚 15cm)相比,施加柔性减震层后,地震作用下管片最大主应力(拉应力)降低约 56%,有效控制了地震作用下管片的拉破坏、接头张开等风险,降低了隧道的震害。

[0019] 图 2 为一种有/无柔性减震层时隧道管片剪应力时程曲线(有限元分析结果)

从图中可以看出,与无柔性减震层相比,施加柔性减震层后,地震作用下管片剪应力降低约 46%,有效控制了地震作用下管片的剪切破坏,进而降低管片间错台的风险。

[0020] 图 3 为一种有/无纵向减震装置时一号管片与连续墙相对位移时程曲线(有限元分析结果)

上述为该隧道在纵向地震作用下的计算结果(峰值加速度为 0.2g),从分析结果可以看出,由于隧道纵向刚度大于地层,同时在连续墙处结构的刚度发生突变,一号管片与连续墙间发生了较大相对位移,严重影响到端头的防水性能与隧道的正常使用。当施作了纵向减震装置后,缓冲了管片纵向的拉压,一号管片与连续墙间的相对位移得到了有效控制,确保了隧道端头的防水性能与正常使用。

[0021] 图 4 为一种渐变式抗震加固体截面图;

图 5 为一种抗震加固圈断面图;

图 6 为一种柔性减震层与纵向减震装置截面图;

其中,1. 重点加固区,2. 核心加固区,3. 渐变加固区,4. 竖井,5. 内衬墙,6. 地连墙,7. 盾构隧道,8. 1号管环,9. 接头,10. 柔性减震层,11. 抗震加固圈,12. 预埋钢环,13. 预埋钢环连接筋,14. 纵向钢筋混凝土锁止层,15. 纵向锁止层加筋,16. 纵向橡胶缓冲层,17. 遇水膨胀止水橡胶。

## 具体实施方式

### [0022] 实施例 1:

下面结合具体的实例进一步说明。

### [0023] 一种盾构隧道与竖井连接部位的抗震与减震方法:

#### 1、抗震加固体

##### (1) 主加固体:

加固重点加固区 1,核心加固区 2:

主加固体自地连墙 6 向盾构掘进方向的长度不小于 1.5D (管片外径 D 为 14.5m),地连墙 6 两侧外延宽度不小于 0.5D,深度不小于基坑深度 H,并不小于盾构隧道 7 破墙要求范围。根据工程竖井尺寸,主加固区的长度取 22m(其中,重点加固区 1 取 5m,核心加固区 2 取 17m);双线隧道中心间距约 22.4m,两侧加固宽度不小于 0.5D,取管片外径 D 为 14.5m,故加固宽度取  $22.4+14.5+0.5\times 14.5\times 2=51.4\text{m}$ ,大于基坑长度 47.3m;加固体深度取基坑深度 26.2m。

[0024] 在竖井 4 开挖前,采用高压旋喷桩对主加固体范围内的土体进行高压旋喷加固,桩体梅花型布置,根据现场土质条件采用三重管;加固完成后经检验,被加固土体的 28d 无侧限抗压强度不小于 1.2MPa,符合加固要求。

##### [0025] (2) 渐变加固体 3:

渐变加固体 3 长不小于 0.5D(D 为管片外径),取 7.5m,宽度与深度宜与主加固体一致,分别取 51.5m 与 26.2m。

[0026] 待抗震主加固体施工完成后,同样采用三重管高压旋喷桩加固,沿盾构推进方向继续施工渐变加固体,其桩体密度线性减小,并线性增加提升速度,使加固土体逐渐从主加固区向未加固区过渡;沿纵向等间距取芯试验结果表明,渐变区试样的强度、模量均能够实现由加固体向非加固土体的渐变过渡。

### [0027] 2、抗震加固圈 11:

对抗震加固体施工的同时,重点对盾构开挖轮廓面以外 2~3m 范围内土体进行重点加固。加大浆液注浆压力(增加 0.5~1.0MPa,浆液压力不小于 3MPa),降低旋喷注浆管提升速度(降低 3~5cm/min,不大于 8 cm/min)。施工完成后,对加固圈进行取芯试验,检验圈内被加固土体的加固效果,确保加固圈范围内土体的承载力与强度优于其它部位。

### [0028] 3、柔性减震层 10:

盾构机破墙完成后,待接头 9 螺栓预紧力达到设计要求后,管片环被脱出盾尾,通过同步注浆在管片与土体之间施工柔性减震层。根据现场施工情况,为改善浆液的流动性,添加一定的减水剂(减水剂型号例如为 CR-P200 标准型等)。柔性减震材料的质量配合比为 42.5# 早强型普通硅酸盐水泥:河砂:乳化沥青:水:铝粉:减水剂=1.0:2.0:1.8:0.5:0.15:0.005。通过试验得到该配比下材料的力学性能指标,确保其满足现场施工要求与接

头 9 防水要求,并符合地下工程减震的要求。

[0029] 浆液在现场拌合站制备时,首先将水泥、砂、外加剂混合在一起拌匀;然后加入水,均匀搅拌 2 或 3 或 4 或 5min;接着加入乳化沥青,均匀搅拌 2 或 3 或 4 或 5min;加入铝粉再搅拌 1 或 2 或 3min。使用管片运输车将浆液罐运至盾构机台车处进行施工。

[0030] 4、纵向减震装置:

纵向减震装置由纵向钢筋混凝土锁止层 14,纵向橡胶缓冲层 16,遇水膨胀止水橡胶 17 组成,它们之间的位置关系如附图 6 所示。

[0031] 减震装置厚度取 0.8m,其中纵向钢筋混凝土锁止层 14 厚度取 0.6m,纵向橡胶缓冲层 16 厚度取 0.2m。

[0032] 破墙完成后,待破墙位置柔性震层满足防水要求,且负环与零号过渡环拆除后,选取符合遇水膨胀止水橡胶技术指标的橡胶材料,分块施工遇水膨胀止水橡胶 17,止水橡胶厚度取 2cm,通过胶粘剂(胶粘剂型号例如为乐泰 498 等)将止水橡胶固定在 1 号管片 8 上。待止水橡胶施工完成后,选取符合缓冲橡胶技术指标的橡胶材料,分块施工纵向橡胶缓冲层 16,并通过胶粘剂将缓冲橡胶固定在 1 号管片 8 上,橡胶内外两侧做防老化措施。

[0033] 结合竖井 4 墙体中的预埋钢环 12,通过钻机钻孔向竖井内衬墙 5 内插入钢筋,做成预埋钢环连接筋 13,形成纵向锁止层钢筋 15 网;并分块架立模板,进行混凝土浇注,待混凝土达到拆模要求后,拆除模板。为保证橡胶缓冲环在正常使用状态下处于受压状态,可在浇注混凝土中加入少量外加剂,使混凝土在硬化过程中产生少量膨胀,保证纵向橡胶缓冲层 16 与纵向钢筋混凝土锁止层 14 紧密结合。

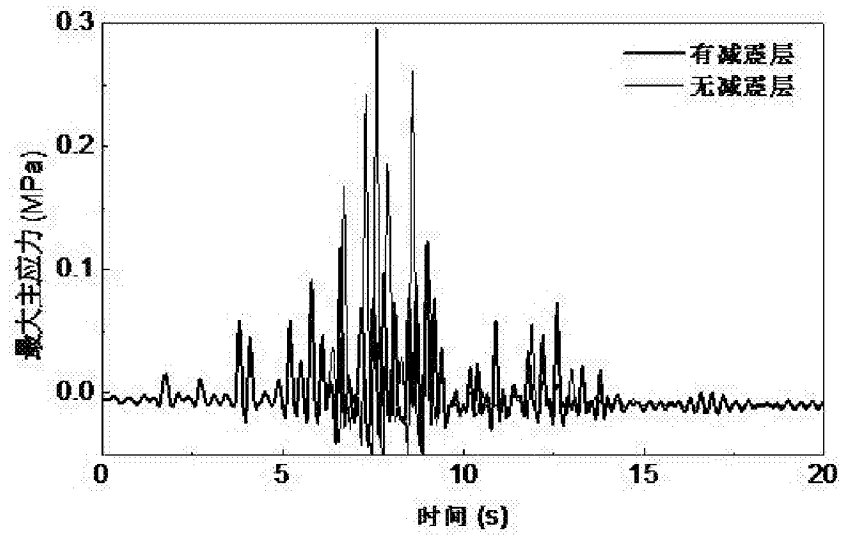


图 1

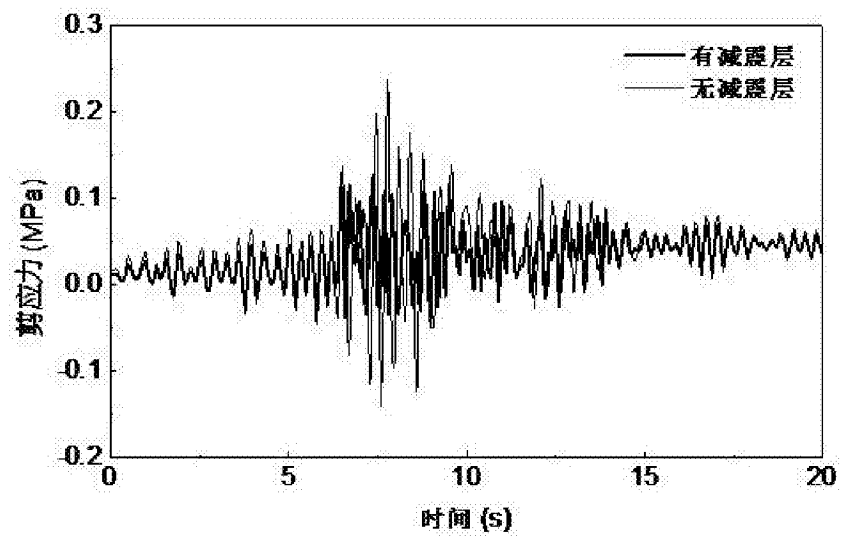


图 2



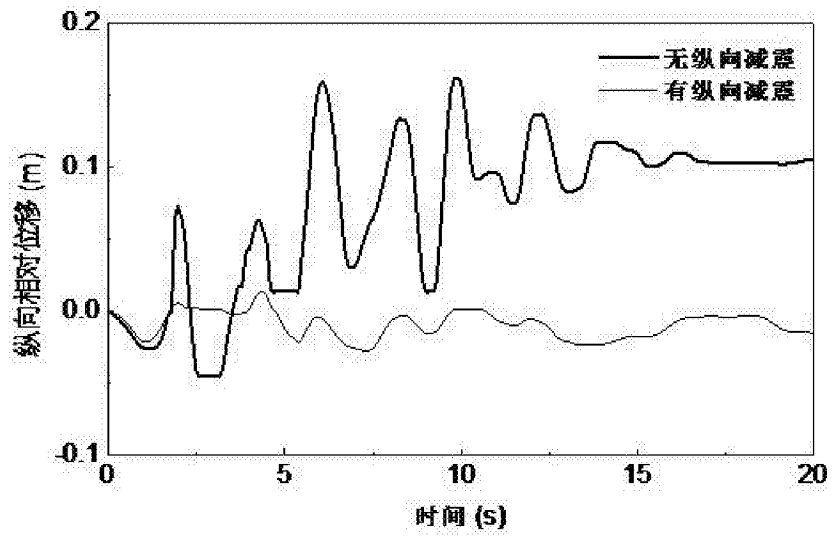


图 3

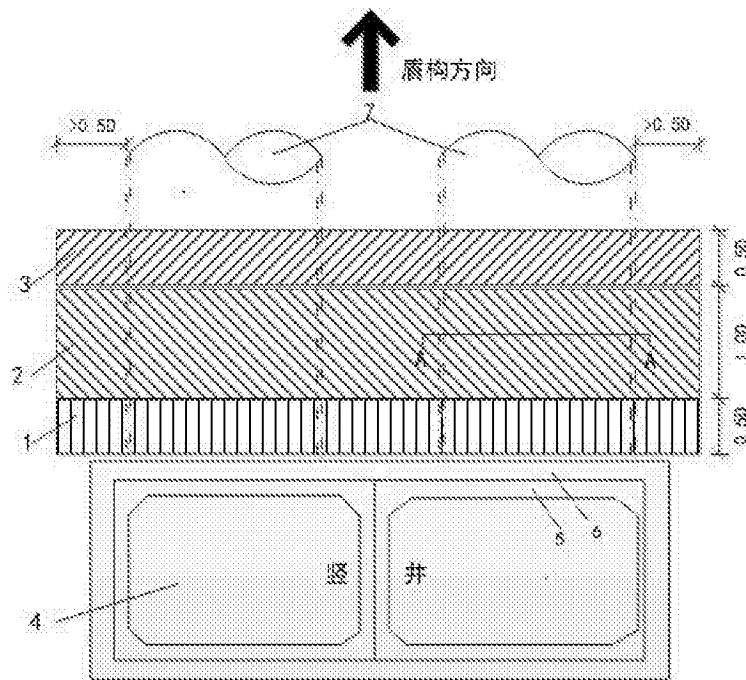


图 4

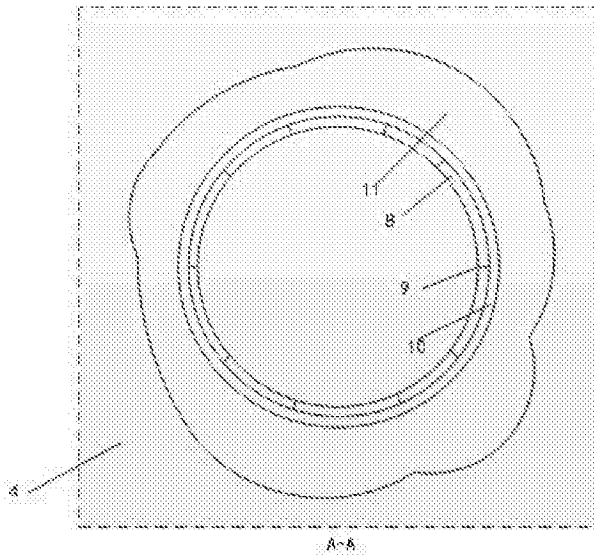


图 5

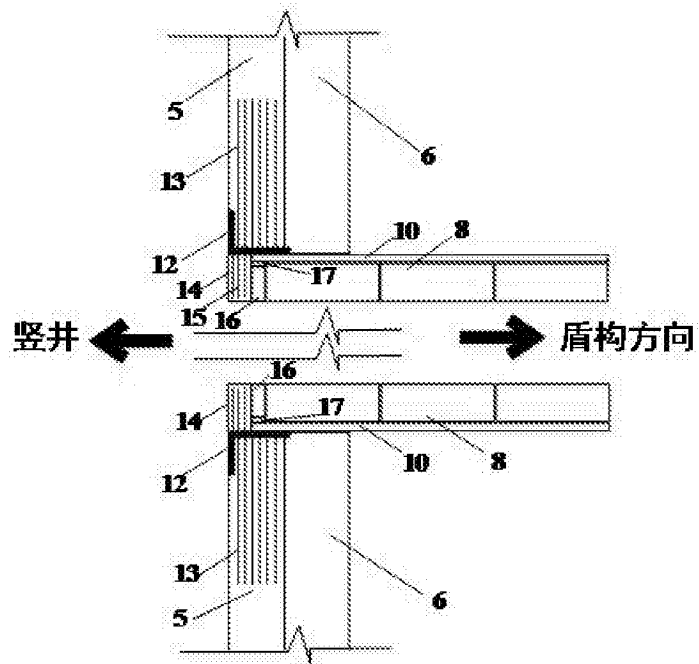


图 6