



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104634646 A

(43) 申请公布日 2015. 05. 20

(21) 申请号 201510016904. 8

(22) 申请日 2015. 01. 13

(71) 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150000 黑龙江省哈尔滨市南岗区黄河路 73 号

申请人 中建交通建设集团有限公司

(72) 发明人 徐鹏举 祝树红 王云琪 马程昊  
张海鲲 魏超

(74) 专利代理机构 哈尔滨龙科专利代理有限公司 23206

代理人 高媛

(51) Int. Cl.

G01N 3/00(2006. 01)

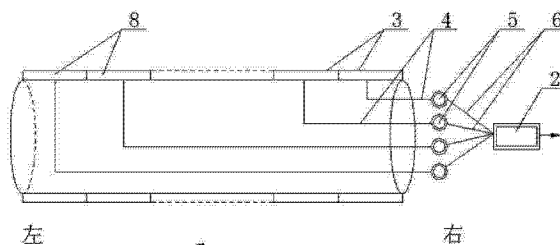
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种模拟盾构隧道施工周围地下管线力学行为的试验方法

(57) 摘要

一种模拟盾构隧道施工周围地下管线力学行为的试验方法,属于隧道工程、地铁工程施工防护领域。针对软土地区盾构隧道施工过程中地层损失引起周围土层位移,进而引起周围地下管线力学行为的变化,严重时造成管线变形、爆裂等灾害问题。所述的试验方法是:盾构隧道-地下管线-地层系统的相似设计;利用盾构隧道施工件随地层损失模拟装置盾构隧道施工件随地层损失过程的模拟;地下管线测量元件布设与数据采集分析;模型铺设安装。利用本发明的试验方法,可以进行多种施工工况条件下的模型试验,为进一步了解地下管线灾变机理,建立地下管线力学行为的简化计算方法,本发明在工程技术研究领域,隧道工程施工防护领域具有较大的应用前景。



1. 一种模拟盾构隧道施工周围地下管线力学行为的试验方法,其特征在于:所述的方法包括如下步骤:

步骤一:盾构隧道-地下管线-地层系统的相似设计;

首先根据模型箱(1)尺寸与原型尺寸确定几何相似比为1:N,其中N为缩尺比例,并按照该相似比设计地层分布厚度、隧道直径、隧道与地下管线空间关系,地下管线的直径及材料力学参数按照原型与试验模型纵向刚度相似进行设计,如式(一)所示:

$$E_{\text{原型}} I_{\text{原型}} / E_{\text{模型}} I_{\text{模型}} = N^4 \quad (一)$$

式(一)中, $E_{\text{原型}}$ 为原型的弹性模量;

$I_{\text{原型}}$ 为原型的惯性矩;

$E_{\text{模型}}$ 为模型的弹性模量;

$I_{\text{模型}}$ 为模型的惯性矩;

按照上述式(一)确定合理的地下管线材料、直径和壁厚;

步骤二:盾构隧道施工伴随地层损失过程的模拟装置制作;

所述的盾构隧道施工伴随地层损失模拟装置包括流量计(2)、多个环形液囊(3)、多根A型号液管(4)、多个电磁液阀(5)及多根B型号液管(6);首先按照隧道模型(7)外部的直径加工多个环形液囊(3),并将多个环形液囊(3)内部分别充满氯化钙溶液(8)后套设在隧道模型(7)外部,每个环形液囊(3)分别通过一根A型号液管(4)与其对应的电磁液阀(5)相连,然后将多个电磁液阀(5)通过多根B型液管(6)连接在同一个流量计(2)上;在进行盾构隧道施工模拟时,根据地层损失率即可确定每一环形液囊(3)中需要放出的氯化钙溶液(8)的体积,按照掘进方向,依次将每一环形液囊(3)中放出相同体积的氯化钙溶液(8)即可模拟伴随相同地层损失的盾构隧道掘进过程,将同一个环形液囊(3)依次等时间间断释放相同体积的氯化钙溶液(8),即可模拟盾构隧道施工引起不同地层损失率的工况;

步骤三:地下管线测量元件布设与数据采集分析;

地下管线模型(9)长度延伸至隧道模型(7)地层沉降影响范围以外,并沿着地下管线模型(9)全长在地下管线模型(9)上下两侧成对布设多对应变片(10),在试验过程中应变片(10)数据通过应变采集仪由计算机进行自动采集,通过对采集到的地下管线模型(9)应变数据按照式(二)和(三)进行计算,即可得到沿地下管线模型(9)由盾构隧道施工地层损失引起的附加剪力和弯矩的分布;

$$M(x_i) = \frac{EI [\varepsilon_t(x_i) - \varepsilon_c(x_i)]}{2R} \quad (二)$$

$$Q(x_i) = \frac{dM(x_i)}{dx_i} \quad (三)$$

式中, $x_i$ 为第*i*个应变片(10)的横坐标值;

$M(x_i)$ 为 $x_i$ 点处地下管线模型(9)的弯矩;

$E$ 为地下管线模型(9)的弹性模量;

$I$ 为地下管线模型(9)的横截面惯性矩;

$\varepsilon_t$ 为地下管线模型(9)受拉侧的应变;

$\varepsilon_c$ 为地下管线模型(9)受压侧的应变;

R 为地下管线模型 (9) 的半径；

$Q(x_i)$  为  $x_i$  点处地下管线模型 (9) 的剪力；

步骤四：模型铺设安装；

按照地下管线模型 (9) 和隧道模型 (7) 设计的尺寸及空间关系,将盾构隧道模型 (7) 及黏贴应变片 (10) 的地下管线模型埋设于相应土层中,为保证土层性质与原型相近,首先进行原型土层的室内土工试验,得到其原状土的密实度、含水率特性,然后按照原型场地的土层分布铺设土层,根据每一土层厚度确定铺设层数及层厚,每铺设一层进行夯实,达到原型场地土层的密实度后开始铺设下一层,直至管线模型 (9) 和隧道模型 (7) 铺设安装完毕。

## 一种模拟盾构隧道施工周围地下管线力学行为的试验方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种模拟盾构隧道施工周围地下管线力学行为的试验方法,属于隧道工程、地铁工程施工防护领域。

### 背景技术

[0002] 目前,城市交通拥挤问题成为制约我国城市化进程的重要瓶颈,城市地铁以其速度快,运量大,受天气影响小等优势成为解决城市交通拥挤问题的重要途径。在城市地下开展地铁工程的建设,不可避免的将会遇到既有管线处于盾构隧道施工影响范围之内的问题。由于盾构隧道施工过程中地层损失会引起周围土层变形,既有管道随着周围土层的变形产生附加应力,引起附加变形,变形过大时将会发生管道破坏,电力、煤气、城市用水等受到较大影响,特别是在我国东南沿海的软土地区,该类灾害更为严重,经常发生上述工程问题或事故,由此导致一系列较大的生命、生产、财产损失。因此,为了保证盾构隧道施工安全,必须查明隧道场地周围底线管线的分布情况,并对具有重要影响的重要管道进行安全评价以及采取必要的防护措施。然而,目前尚缺乏针对此问题的可靠技术手段,究其原因在于目前工程界对该类工况条件下管线灾变机理尚不明确,缺乏相应的设计计算文件;在工程研究领域也没有较为合理的试验手段。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种模拟盾构隧道施工周围地下管线力学行为的试验方法,本发明针对软土地区盾构隧道施工过程中地层损失引起周围土层位移,进而引起周围地下管线力学行为的变化,严重时造成管线变形、爆裂等灾害问题。

[0004] 鉴于前述,在盾构隧道施工时需要对其周围的重要管线的力学行为变化进行合理的预估评价,并根据预估结果提出相应的防护措施。本试验方法的发明可以为开展盾构隧道施工地层损失引起周围地下管线灾变机理、防护设计计算方法以及防护措施等研究提供一种有效的室内模型试验手段,相应的试验结论可为完善该类工况下既有地下管线安全计算校核奠定基础。

[0005] 本发明为实现上述目的采取的技术方案是:

[0006] 一种模拟盾构隧道施工周围地下管线力学行为的试验方法,所述的方法包括如下步骤:

[0007] 步骤一:盾构隧道-地下管线-地层系统的相似设计;

[0008] 首先根据模型箱尺寸与原型尺寸确定几何相似比为 $1:N$ ,其中 $N$ 为缩尺比例,并按照该相似比设计地层分布厚度、隧道直径、隧道与地下管线空间关系,地下管线的直径及材料力学参数按照原型与试验模型纵向刚度相似进行设计,如式(一)所示:

[0009] 
$$E_{\text{原型}} I_{\text{原型}} / E_{\text{模型}} I_{\text{模型}} = N^4 \quad (一)$$

[0010] 其中, $E_{\text{原型}}$ 为原型的弹性模量;

[0011]  $I_{\text{原型}}$ 为原型的惯性矩;

[0012]  $E_{\text{模型}}$  为模型的弹性模量；

[0013]  $I_{\text{模型}}$  为模型的惯性矩；

[0014] 按照上述式（一）确定合理的地下管线材料、直径和壁厚；

[0015] 步骤二：盾构隧道施工伴随地层损失过程的模拟装置制作；

[0016] 所述的盾构隧道施工伴随地层损失模拟装置包括流量计、多个环形液囊、多根 A 型号液管、多个电磁液阀及多根 B 型号液管；首先按照隧道模型外部的直径加工多个环形液囊，并将多个环形液囊内部分别充满氯化钙溶液后套设在隧道模型外部，每个环形液囊分别通过一根 A 型号液管与其对应的电磁液阀相连，然后将多个电磁液阀通过多根 B 型号液管连接在同一个流量计上；在进行盾构隧道施工模拟时，根据地层损失率即可确定每一环形液囊中需要放出的氯化钙溶液的体积，按照掘进方向，依次将每一环形液囊中放出相同体积的氯化钙溶液即可模拟伴随相同地层损失的盾构隧道掘进过程，将同一个环形液囊依次等时间间断释放相同体积的氯化钙溶液，即可模拟盾构隧道施工引起不同地层损失率的工况；

[0017] 步骤三：地下管线测量元件布设与数据采集分析；

[0018] 地下管线模型长度延伸至隧道模型地层沉降影响范围以外，并沿着地下管线模型全长在地下管线模型上下两侧成对布设多对应变片，在试验过程中应变片数据通过应变采集仪由计算机进行自动采集，通过对采集到的地下管线模型应变数据按照式（二）和（三）进行计算，即可得到沿地下管线模型由盾构隧道施工地层损失引起的附加剪力和弯矩的分布；

$$[0019] \quad M(x_i) = \frac{EI[\varepsilon_t(x_i) - \varepsilon_c(x_i)]}{2R} \quad (\text{二})$$

$$[0020] \quad Q(x_i) = \frac{dM(x_i)}{dx_i} \quad (\text{三}) \text{ 式中, } x_i \text{ 为第 } i \text{ 个应变片的横坐标值；}$$

[0021]  $M(x_i)$  为  $x_i$  点处地下管线模型的弯矩；

[0022]  $E$  为地下管线模型的弹性模量；

[0023]  $I$  为地下管线模型的横截面惯性矩；

[0024]  $\varepsilon_t$  为地下管线模型受拉侧的应变；

[0025]  $\varepsilon_c$  为地下管线模型受压侧的应变；

[0026]  $R$  为地下管线模型的半径；

[0027]  $Q(x_i)$  为  $x_i$  点处地下管线模型的剪力；

[0028] 步骤四：模型铺设安装；

[0029] 按照地下管线模型和隧道模型设计的尺寸及空间关系，将盾构隧道模型及黏贴应变片的地下管线模型埋设于相应土层中，为保证土层性质与原型相近，首先进行原型土层的室内土工试验，得到其原状土的密实度、含水率特性，然后按照原型场地的土层分布铺设土层，根据每一土层厚度确定铺设层数及层厚，每铺设一层进行夯实，达到原型场地土层的密实度后开始铺设下一层，直至管线模型和隧道模型铺设安装完毕。

[0030] 本发明相对于现有技术的有益效果是：

[0031] 1、本发明结合正在建设中的天津地铁 6 号线盾构隧道施工中的一工况，发明了一

种模拟盾构隧道施工地层损失引起周围地下管线力学行为变化的室内模型试验方法。该方法可以模拟确定地层损失率条件下盾构隧道施工推进过程,不同地层损失率条件下盾构隧道与地下管线各类空间近接关系等各类工况,为系统开展盾构隧道施工地层损失引起周围地下管线力学行为(如管线变形、爆裂等灾害)演化过程提供重要手段。

[0032] 2、利用本发明的试验方法,可以进行多种施工工况条件下的模型试验,为进一步了解地下管线灾变机理,建立地下管线力学行为的简化计算方法,提出合理的防护措施具有重要意义。因此,本发明在工程技术研究领域,隧道工程施工防护领域具有较大的应用前景。

### 附图说明

[0033] 图1是本发明的一种模拟盾构隧道施工周围地下管线力学行为的试验方法的步骤二中所述的盾构隧道施工伴随地层损失模拟装置的结构示意图,图中向左指向的箭头表示掘进方向;

[0034] 图2是本发明的一种模拟盾构隧道施工周围地下管线力学行为的试验方法的步骤三中地下管线应变片布设及计算简图;

[0035] 图3是本发明的一种模拟盾构隧道施工周围地下管线力学行为的试验方法的步骤四中所述的模型铺设安装示意图,即盾构隧道与地下管线垂直相交时两层土模型示意图,图中标号11表示表层土,标号12表示底层土。

### 具体实施方式

[0036] 下面将结合附图对本发明做进一步的详细说明。

[0037] 如图1~图3所示,一种模拟盾构隧道施工周围地下管线力学行为的试验方法,所述的方法包括如下步骤:

[0038] 步骤一:盾构隧道-地下管线-地层系统的相似设计(目的在于确定地下管线的附加应力及变形);

[0039] 首先根据模型箱1尺寸与原型尺寸确定几何相似比为1:N,其中N为缩尺比例,并按照该相似比设计地层分布厚度、隧道直径、隧道与地下管线空间关系,地下管线的直径及材料力学参数按照原型与试验模型纵向刚度相似进行设计,如式(一)所示:

$$[0040] \quad E_{\text{原型}} I_{\text{原型}} / E_{\text{模型}} I_{\text{模型}} = N^4 \quad (一)$$

[0041] 其中, $E_{\text{原型}}$ 为原型的弹性模量;

[0042]  $I_{\text{原型}}$ 为原型的惯性矩;

[0043]  $E_{\text{模型}}$ 为模型的弹性模量;

[0044]  $I_{\text{模型}}$ 为模型的惯性矩;

[0045] 按照上述式(一)确定合理的地下管线材料、直径和壁厚;

[0046] 步骤二:盾构隧道施工伴随地层损失过程的模拟装置制作;

[0047] 所述的盾构隧道施工伴随地层损失模拟装置包括流量计2、多个环形液囊3、多根A型号液管4、多个电磁液阀5及多根B型号液管6;首先按照隧道模型7外部的直径加工多个环形液囊3,并将多个环形液囊3内部分别充满氯化钙溶液8后套设在隧道模型7外部(每个环形液囊3的宽度根据隧道模型7长度及隧道模型7试验中盾构掘进步数确定),

每个环形液囊 3 分别通过一根 A 型号液管 4 与其对应的电磁液阀 5 相连（即 1 个环形液囊 3、1 根 A 型号液管 4 及 1 个电磁液阀 5 组成一套装置，电磁液阀 5 可以控制环形液囊 3 开和关），然后将多个电磁液阀 5 通过多根 B 型号液管 6 连接在同一个流量计 2 上；在进行盾构隧道施工模拟时，根据地层损失率即可确定每一环形液囊 3 中需要放出的氯化钙溶液 8 的体积，按照掘进方向，依次将每一环形液囊 3 中放出相同体积的氯化钙溶液 8 即可模拟伴随相同地层损失的盾构隧道掘进过程，将同一个环形液囊 3 依次等时间间断释放相同体积的氯化钙溶液 8，即可模拟盾构隧道施工引起不同地层损失率的工况；

[0048] 步骤三：地下管线测量元件布设与数据采集分析；

[0049] 地下管线模型 9 长度延伸至隧道模型 7 地层沉降影响范围以外，并沿着地下管线模型 9 全长在地下管线模型 9 上下两侧成对布设多对应变片 10（相邻两个应变片 10 之间的间距根据地下管线模型尺寸以及地下管线模型要求精度进行确定，并遵循在盾构隧道周围密布，随着与盾构隧道之间间距的增大逐渐变稀的原则进行布设），在试验过程中应变片 10 数据通过应变采集仪由计算机进行自动采集，通过对采集到的地下管线模型 9 应变数据按照式（二）和（三）进行计算，即可得到沿地下管线模型 9 由盾构隧道施工地层损失引起的附加剪力和弯矩的分布；

$$[0050] \quad M(x_i) = \frac{EI[\varepsilon_t(x_i) - \varepsilon_c(x_i)]}{2R} \quad (二)$$

$$[0051] \quad Q(x_i) = \frac{dM(x_i)}{dx_i} \quad (三)$$

[0052] 式中， $x_i$  为第  $i$  个应变片 10（在如图 2 所示的坐标系中）的横坐标值；

[0053]  $M(x_i)$  为  $x_i$  点处地下管线模型 9 的弯矩；

[0054]  $E$  为地下管线模型 9 的弹性模量；

[0055]  $I$  为地下管线模型 9 的横截面惯性矩；

[0056]  $\varepsilon_t$  为地下管线模型 9 受拉侧的应变；

[0057]  $\varepsilon_c$  为地下管线模型 9 受压侧的应变；

[0058]  $R$  为地下管线模型 9 的半径；

[0059]  $Q(x_i)$  为  $x_i$  点处地下管线模型 9 的剪力；

[0060] 步骤四：模型铺设安装；

[0061] 按照地下管线模型 9 和隧道模型 7 设计的尺寸及空间关系，将盾构隧道模型 7 及黏贴应变片 10 的地下管线模型埋设于相应土层中，为保证土层性质与原型相近，首先进行原型土层的室内土工试验，得到其原状土的密实度、含水率特性，然后按照原型场地的土层分布铺设土层，根据每一土层厚度确定铺设层数及层厚，每铺设一层进行夯实，达到原型场地土层的密实度后开始铺设下一层，直至管线模型 9 和隧道模型 7 铺设安装完毕。

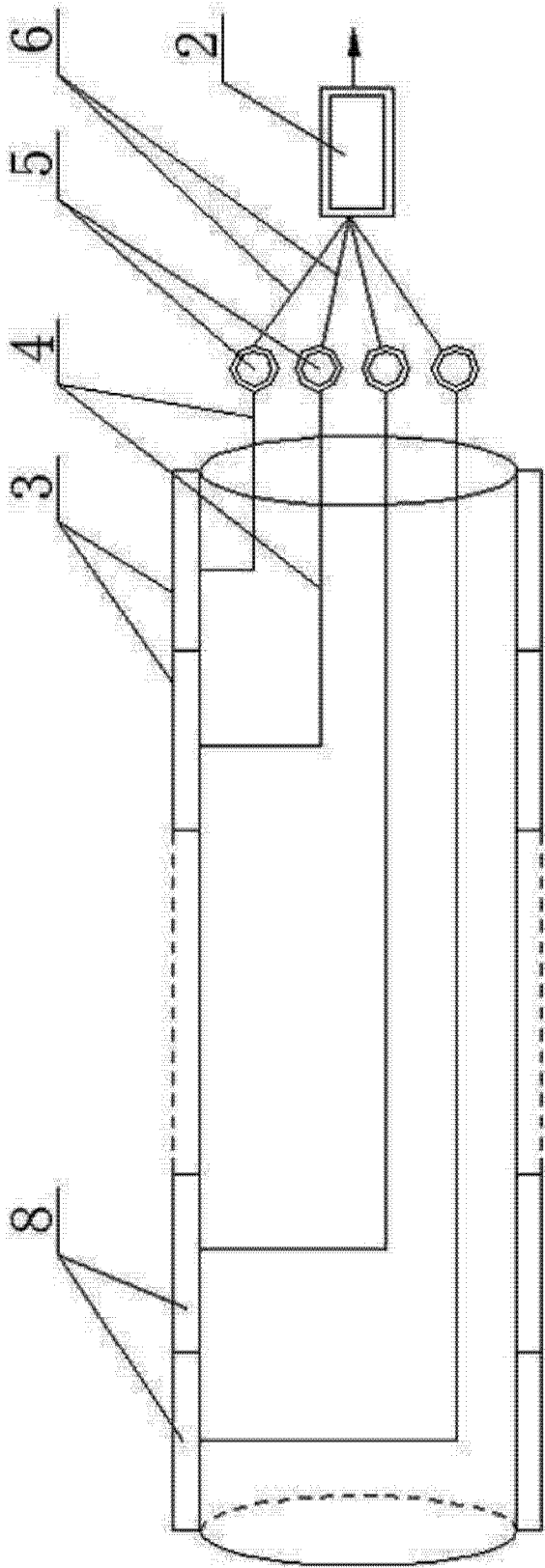


图 1

右

左

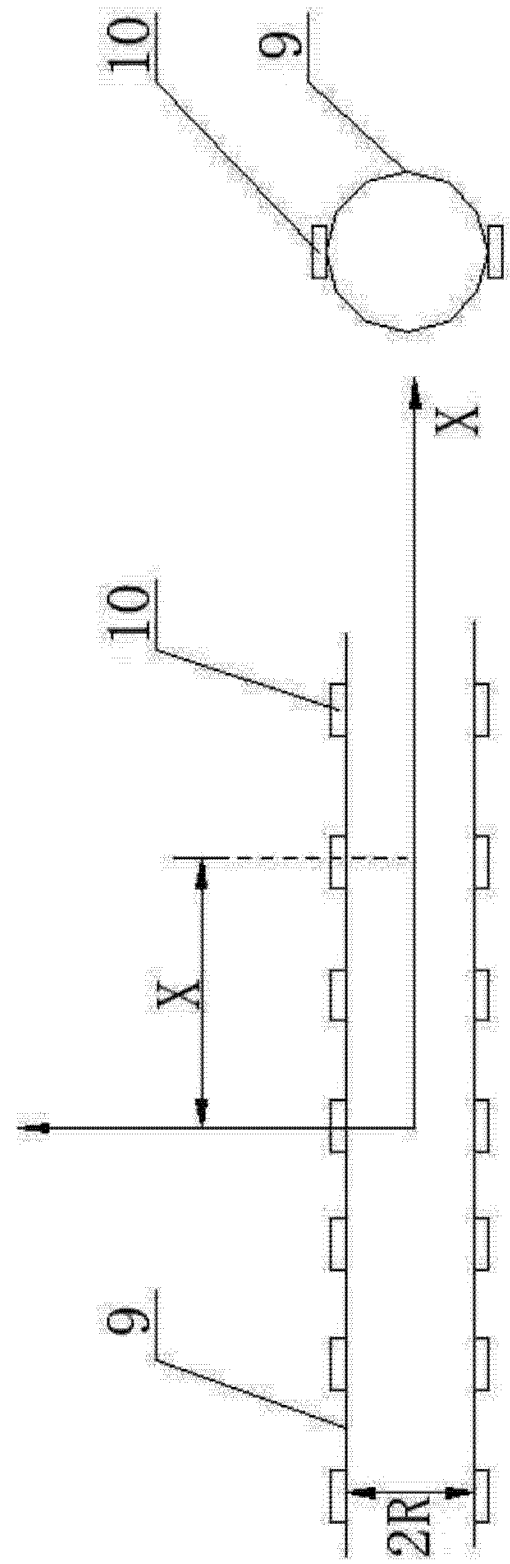


图 2



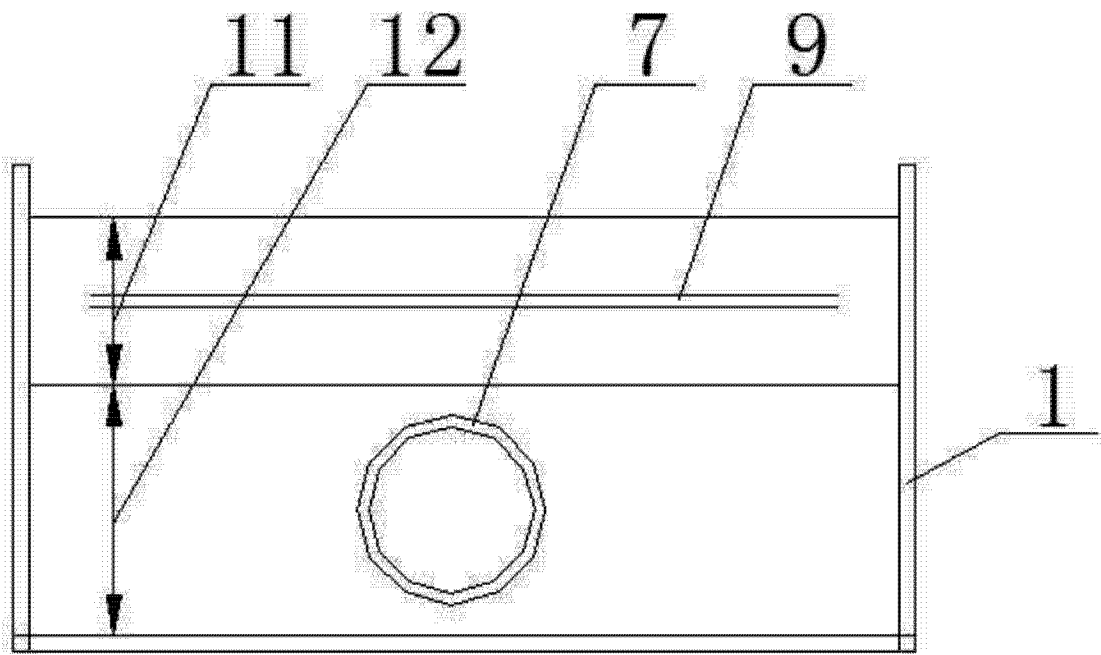


图 3