



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107338758 A

(43)申请公布日 2017. 11. 10

(21)申请号 201710703196.4

(22)申请日 2017.08.16

(71)申请人 河海大学

地址 210098 江苏省南京市西康路1号

(72)发明人 袁赛瑜 唐洪武 林青炜 夏阳

曹昊 姜兆宇

(74)专利代理机构 南京君陶专利商标代理有限公司 32215

代理人 沈根水

(51) Int. Cl.

E02B 1/02(2006.01)

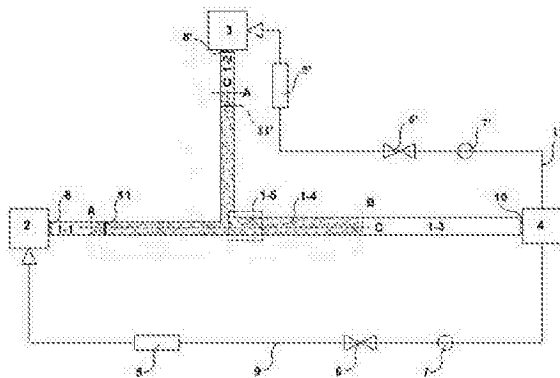
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统及其模拟方法

(57)摘要

本发明是河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统及其模拟方法,该系统的结构包括干流水槽、支流水槽、水槽下游区、上游A水箱、上游B水箱、下游水箱、A抽水管道、加沙器、B抽水管道;其中,干流水槽的上游与上游A水箱连通,支流水槽的上游与上游B水箱连通,上游A水箱与下游水箱之间通过A抽水管道连通实现水流循环,上游B水箱与下游水箱之间通过B抽水管道连通实现水流循环,A抽水管道上设有A电磁流量计、A阀门、A变频泵,B抽水管道上设有B电磁流量计、B阀门、B变频泵,干流水槽上有A加沙器,支流水槽上有B加沙器。优点:实现了河网交汇区深坑-沙垄等复杂河床下水流、泥沙运动和床面形态变化的模拟和观测。



1. 河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统,其特征是包括干流水槽、支流水槽、水槽下游区、上游A水箱、上游B水箱、下游水箱、A抽水管道、加沙器、B抽水管道;其中,干流水槽的上游与上游A水箱连通,支流水槽的上游与上游B水箱连通,上游A水箱与下游水箱之间通过A抽水管道连通,上游B水箱与下游水箱之间通过B抽水管道连通,A抽水管道上设有A电磁流量计、A阀门、A变频泵, B抽水管道上设有B电磁流量计、B阀门、B变频泵,干流水槽上有A加沙器,支流水槽上有B加沙器。

2. 根据权利要求1所述的河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统,其特征是所述干流水槽的上游与上游A水箱的连通处设有A整流格栅,支流水槽的上游与上游B水箱的连通处设有B整流格栅,A整流格栅和B整流格栅确保水槽内水流平稳。

3. 根据权利要求1所述的河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统,其特征是所述干流水槽、支流水槽、水槽下游区的宽度设置应遵循水力几何关系: $w_{pc} = w_m [1 + (w_t/w_m)^{1/b}]^b$ , $w_{pc}$ 是指水槽下游区的水槽宽度, $w_m$ 为干流水槽的宽度, $w_t$ 为支流水槽的宽度;参数b设置为0.5。

4. 根据权利要求1所述的河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统,其特征是所述干流水槽和支流水槽的汇流角根据现场河道交汇的真实情况设定,或者根据实验研究人员的研究目的而设定特定汇流角进行研究。

5. 根据权利要求1所述的河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统,其特征是所述干流水槽与支流水槽连接处为交汇口,交汇口的周围是交汇区,选取位于干流水槽上交汇口下游的部分交汇区为测量区,利用超声波多普勒测速仪测取测量区的三维水流流度,用来确定交汇区内复杂的水流结构的对流和紊动扩散特性,测量时添加中性浮力空心玻璃球增强超声波多普勒测速仪的超声波散射信号。

6. 根据权利要求1所述的河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统,其特征是所述交汇区中铺有两种中值粒径不同的沙混合而成的泥沙,且应满足:(1)在上游和下游恢复区无大量泥沙起动,即泥沙中值粒径大于起动粒径;(2)在表面细颗粒泥沙被冲蚀之后,会产生强烈的床面粗化,保护底下的细颗粒泥沙不再被冲蚀,并形成冲坑和沙垄等典型的床面形态。

7. 根据权利要求1所述的河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统,其特征是所述干流水槽的边缘和外壁上贴有坐标贴纸,用以快速确定水位和确定超声波多普勒测速仪的测量位置。

8. 根据权利要求1所述的河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统,其特征是所述下游水箱与干流水槽连通处设置有尾部阀门,通过调节尾部阀门高度控制水槽内水位高度。

9. 利用如权利要求1所述的河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统进行模拟的方法,其特征是该方法包括以下步骤:

1) 根据实验设定的流速,查询Shields曲线,确定下游恢复区泥沙起动粒径,因为恢复区流速大于上游流速,所以只要恢复区无大量泥沙起动,则上游也无大量泥沙起动;

2) 在交汇区处覆盖一层由两种不同中值粒径的沙混合而成的泥沙混合物作为河床,其中一种粒径远大于下游水流恢复区粒径,一种小于水流恢复区泥沙粒径;交汇区河床其厚度根据实验设置确定,其中值粒径大于下游恢复区泥沙起动粒径,并能在交汇区处产生床

面粗化,形成冲坑和沙垄的床面形态,铺沙过程缓慢均匀,并在实验开始前将河床面整平,铺沙区域端部以坡比为1:5的不起动泥沙过渡到水槽底面;

3) 在干流水槽的上游与上游A水箱连通处及支流水槽的上游与上游B水箱3的连通处设置A整流格栅;

4) 根据实验设定的水位高度,调节尾部阀门高度,然后向下游水箱内加适量的水,确保实验系统稳定运行;

5) 调节变频泵和阀门,观察两个电磁流量计的示数,根据实验设定的干支流汇流比、雷诺数和弗洛德数,按实验需要确定变频泵频率和阀门大小,直至示数稳定后继续实验;

6) 水槽内通入稳定水流直至河床形态不再改变,使用激光测距仪测量冲淤平衡后的河床地形高程,然后,均匀撒上充足的水泥粉,以达到固化床面的效果;

7) 在床面固化后,重新通入水流,随后向水槽内添加中性浮力空心玻璃球,增强超声波多普勒测速仪的超声散射信号,等待至中性浮力空心玻璃球与水流充分混合并达到稳定状态;

8) 根据实验设定,在测量区处选取一定数目的垂直于水槽下游区槽壁的横断面,使用超声波多普勒测速仪进行实时三维流速测量;

9) 通过在干流水槽和/或支流水槽的加沙器中加入不同粒径组的染色沙子向水中加沙,通过观测染色沙子的运动轨迹和淤积分布规律,即能够模拟汇流区复杂床面下泥沙的输移情况。

## 河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统及其模拟方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统及其模拟方法,属于河流动力学科学技术领域。

### 背景技术

[0002] 我国东部平原地区经济发达,人口众多,但河湖污染严重,加上河流交错、水动力不足,自净能力差,水安全形势严峻,严重威胁人民的用水安全;这使我国东部平原河流尤其是河网的水安全问题备受关注;平原区河网交汇处是河网水体污染物汇合掺混和输移富集的重要控制节点,揭示河网交汇处污染物输移规律对明确河网污染物输移轨迹和归宿、保障我国东部河网水安全具有十分重要的意义。

[0003] 污染物输移的主要驱动力包括对流和紊动扩散;但是,交汇处“深坑-沙垄”床面形态特殊,水流结构复杂、紊动强烈,对流特性未明;同时,平原地区泥沙较细且富含黏沙,对污染物具有较强的吸附和解吸附作用,因此泥沙运动在污染物富集和水体二次污染方面同样扮演着重要角色;因此,研究河网交汇处复杂床面下水沙运动规律是揭示河网交汇处污染物输移规律的前提;因床面形态生成、稳定和固化等的困难,目前现有的研究河网交汇处水沙运动的实验系统和模拟方法主要是不考虑床面形态下的水沙运动,所得的研究成果也与实际情况有所背离,故亟需河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验模拟系统及其模拟方法。

### 发明内容

[0004] 本发明提出的是河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统及其模拟方法,其目的旨在提供一种进行河网交汇区水沙输移规律研究的实验模拟系统及其模拟方法,实现河网交汇区深坑-沙垄等复杂河床下水流、泥沙运动和床面形态变化的模拟和观测,为河网交汇处水沙污染物等物质输移研究提供技术支撑。

[0005] 本发明的技术方案:河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统,其结构包括干流水槽1-1、支流水槽1-2、水槽下游区1-3、上游A水箱2、上游B水箱3、下游水箱4、A抽水管道9、加沙器11、B抽水管道12;其中,干流水槽1-1的上游与上游A水箱2连通,支流水槽1-2的上游与上游B水箱3连通,上游A水箱2与下游水箱4之间通过A抽水管道9连通实现水流循环,上游B水箱3与下游水箱4之间通过B抽水管道12连通实现水流循环,A抽水管道9上设有A电磁流量计5、A阀门6、A变频泵7,B抽水管道12上设有B电磁流量计5'、B阀门6'、B变频泵7',干流水槽1-1上有A加沙器11,支流水槽1-2上有B加沙器11'。

[0006] 本发明的有益效果:本发明提出的一种河网交汇区水沙输移规律研究的实验模拟系统及其模拟方法,根据交汇口特殊的水流结构,合理选择粗细两种沙进行混合,实现交汇口粗化床面的模拟;待河床形态不再变化后缓慢排清水流,随后均匀撒上充足的水泥粉以实现河床的固化;利用超声波多普勒测速仪ADV对交汇口紊流结构进行测量;通过在支流或干流加入不同粒径组染色沙,观测泥沙运动轨迹以及床面淤积过程,模拟汇流区复杂床面

下泥沙运动规律;本发明实现河网交汇区深坑-沙垄等复杂河床下水流、泥沙运动和床面形态变化的模拟和观测,为河网交汇处水沙污染物等物质输移研究提供技术支撑。

### 附图说明

[0007] 附图1为汇流角为90°的实验模拟系统俯视图。

[0008] 附图2为附图1中A断面示意图。

[0009] 附图3为附图1中B断面示意图。

[0010] 附图4为附图1中C断面示意图。

[0011] 附图5为附图1中D断面示意图。

[0012] 附图6为测量区对应的流速测量区横断面示意图。

[0013] 附图中1-1是干流水槽,1-2是支流水槽,1-3是水槽下游区,1-4是交汇区,1-5是测量区,2是上游A水箱,3是上游B水箱,4是下游水箱,5是A电磁流量计,6是A阀门,7是A变频泵,5'是电磁流量计,6'是阀门,7'是变频泵,8是A整流格栅,8'是B整流格栅,9是A抽水管道,10是尾部阀门,11是A加沙器,11'是B加沙器,12是B抽水管道。

### 具体实施方式

[0014] 河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统,其结构包括干流水槽1-1、支流水槽1-2、水槽下游区1-3、上游A水箱2、上游B水箱3、下游水箱4、A抽水管道9、加沙器11、B抽水管道12;其中,干流水槽1-1的上游与上游A水箱2连通,支流水槽1-2的上游与上游B水箱3连通,上游A水箱2与下游水箱4之间通过A抽水管道9连通实现水流循环,上游B水箱3与下游水箱4之间通过B抽水管道12连通实现水流循环,A抽水管道9上设有A电磁流量计5、A阀门6、A变频泵7, B抽水管道12上设有B电磁流量计5'、B阀门6'、B变频泵7',干流水槽1-1上有A加沙器11,支流水槽1-2上有B加沙器11'。

[0015] 所述干流水槽1-1的上游与上游A水箱2的连通处设有A整流格栅8,支流水槽1-2的上游与上游B水箱3的连通处设有B整流格栅8',A整流格栅8和B整流格栅8'确保水槽内水流平稳。

作为优选,所述干流水槽1-1、支流水槽1-2、水槽下游区1-3的宽度设置应遵循水力几何关系: $w_{pc} = w_m [1 + (w_t/w_m)^{1/b}]^b$ , $w_{pc}$ 是指水槽下游区1-3的水槽宽度, $w_m$ 为干流水槽1-1的宽度, $w_t$ 为支流水槽1-2的宽度,参数b设置为0.5;如果干流水槽1-1和支流水槽1-2的宽度一样,交汇区1-4下游处水槽下游区1-3的水槽宽度为交汇之前水槽宽度的1.4倍。

[0016] 所述干流水槽1-1和支流水槽1-2的汇流角可以根据现场河道交汇的真实情况设定,也可根据实验研究人员的研究目的而设定特定汇流角进行研究。

[0017] 所述干流水槽1-1与支流水槽1-2连接处为交汇口,交汇口的周围是交汇区1-4,选取位于干流水槽1-1上交汇口下游的部分交汇区1-4为测量区1-5。

[0018] 所述测量区1-5的水槽壁上可架设超声波多普勒测速仪,用以测量实时三维流速,确定汇流区内复杂的水流结构的对流和紊动扩散特性;利用超声波多普勒测速仪测取测量区的三维水流流度,用来确定交汇区1-4内复杂的水流结构的对流和紊动扩散特性,测量时添加中性浮力空心玻璃球增强超声波多普勒测速仪的超声波散射信号。

[0019] 所述交汇区1-4中铺有由两种中值粒径不同的沙混合而成的泥沙,且应满足:(1)

在上游和下游恢复区无大量泥沙起动,即泥沙中值粒径大于起动粒径;(2)在表面细颗粒泥沙被冲蚀之后,会产生强烈的床面粗化,保护底下的细颗粒泥沙不再被冲蚀,并形成冲坑和沙垄等典型的床面形态。

[0020] 所述干流水槽1-1的边缘和外壁上贴有坐标贴纸,用以快速确定水位和确定超声波多普勒测速仪的测量位置。

[0021] 所述下游水箱4与干流水槽1-1连通处设置有尾部阀门10,通过调节尾部阀门10高度控制水槽内水位高度。

[0022] 一种河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统的模拟方法,该方法包括以下步骤:

1)根据实验设定的流速,查询Shields曲线,确定下游恢复区泥沙起动粒径,因为恢复区流速大于上游流速,所以只要恢复区无大量泥沙起动,则上游也无大量泥沙起动;

2)交汇区1-4处覆盖一层由两种不同中值粒径的沙混合而成的泥沙混合物作为河床,其中一种粒径远大于下游水流恢复区粒径,一种小于水流恢复区泥沙粒径;交汇区1-4河床其厚度根据实验设置确定,其中值粒径大于下游恢复区泥沙起动粒径,并能在交汇区1-4处产生床面粗化,形成冲坑和沙垄等典型的床面形态,铺沙过程缓慢均匀,并在实验开始前将河床面整平,铺沙区域端部以坡比为1:5的不起动泥沙过渡到水槽底面;

(3)在干流水槽1-1的上游与上游A水箱2连通处及支流水槽1-2的上游与上游B水箱3的连通处设置整流格栅8;

4)根据实验设定的水位高度,调节尾部阀门10高度,然后向下游水箱4内加适量的水,确保实验系统稳定运行;

5)调节变频泵7和阀门6,观察两个电磁流量计5的示数,根据实验设定的干支流汇流比、雷诺数和弗洛德数,按实验需要确定变频泵频率和阀门大小,直至示数稳定后继续实验;

6)水槽内通入稳定水流直至河床形态不再改变,使用激光测距仪测量冲淤平衡后的河床地形高程,然后,均匀撒上充足的水泥粉,以达到固化床面的效果;

7)在床面固化后,重新通入水流,随后向水槽内添加中性浮力空心玻璃球,增强超声波多普勒测速仪的超声散射信号,等待至中性浮力空心玻璃球与水流充分混合并达到稳定状态;

8)根据实验设定,在测量区1-5处选取一定数目的垂直于水槽下游区1-3槽壁的横断面,使用超声波多普勒测速仪进行实时三维流速测量;

9)通过在干流水槽1-1的A加沙器11和/或支流水槽1-2的B加沙器11'中加入不同粒径组的染色沙子向水中加沙,通过观测染色沙子的运动轨迹和淤积分布规律,即可模拟汇流区复杂床面下泥沙的输移情况。

## 实施例

[0023] 下面结合附图对本发明作更进一步说明。

[0024] 如图1至图3所示,河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统,其结构包括干流水槽1-1、支流水槽1-2、水槽下游区1-3、上游A水箱2、上游B水箱3、下游水箱4、抽水管9、尾部阀门10、加沙器11、超声波多普勒测速仪(ADV)、激光测距仪;其中,干流水槽1-1的上游

与上游A水箱2连通,支流水槽1-2的上游与上游B水箱3连通,上游A水箱2与下游水箱4之间通过A抽水管道9连通实现水流循环,上游B水箱3与下游水箱4之间通过B抽水管道12连通实现水流循环,A抽水管道9上设有A电磁流量计5、A阀门6、A变频泵7, B抽水管道12上设有B电磁流量计5'、B阀门6'、B变频泵7',干流水槽1-1上有A加沙器11,支流水槽1-2上有B加沙器11'。

所述干流水槽1-1、支流水槽1-2、水槽下游区1-3利用有机玻璃做壁面,使得整个实验过程获得良好的可视效果;干流水槽1-1、支流水槽1-2利用钢架托举,钢架下设有滚轮,这样既能保证防锈,又能增强装置的整体稳定性,更重要的是钢架下设有滚轮,便于移动装置和设定汇流角度。

[0025] 所述测量区1-5的水槽壁上可架设ADV,用以测量实时三维流速,确定汇流区内复杂的水流结构的对流和紊动扩散特性。

[0026] 所述干流水槽1-1沿长度方向依次设为上游区、交汇区1-4和水槽下游区1-3;支流水槽1-2沿长度方向依次设为上游区和1-4交汇区;支流水槽1-2与干流水槽1-1在交汇区1-4处连通。

[0027] 所述干流水槽1-1和支流水槽1-2高度为40cm,交汇前上游段的干流水槽1-1和支流水槽1-2宽度为30cm,则交汇后下游水槽宽度根据水力几何可设为40cm,约为上游水槽宽度的1.4倍;交汇前干流水槽1-1和支流水槽1-2的长度均为4m,交汇后干流水槽1-1和支流水槽1-2的水槽长度为7m;水槽底面为平坡式,比降 $i$ 为0,汇流角为 $90^\circ$ 。

[0028] 所述交汇区1-4铺沙厚度为5.5cm,泥沙由两种中值粒径的沙混合而成,一种泥沙的中值粒径为0.1mm,另一种泥沙的中值粒径为2mm,混合后总泥沙的中值粒径为0.9mm,使得交汇区可以实现强烈的床面粗化并形成典型交汇区沙垄—深坑床面。

[0029] 所述水槽下游区1-3的水流恢复区流速为0.27m/s,根据Shields曲线确定水流恢复区泥沙起动粒径为0.3mm,小于混合泥沙中值粒径0.9mm,所以水流恢复区无大量泥沙起动。

[0030] 所述铺沙长度为:从交汇区1-4处向上游两汉水槽延伸300cm,向下游水槽延伸330cm,铺沙区域端部以坡比为1:5泥沙过渡;所述A抽水管道9和B抽水管道12为110mmPVC管道。

[0031] 所述A抽水管道9上设有A电磁流量计5、A阀门6、A变频泵7, B抽水管道12上设有B电磁流量计5'、B阀门6'、B变频泵7',分别用以控制干流水槽1-1和支流水槽1-2内的流量;调节A阀门6、A变频泵7、B阀门6'、B变频泵7',使干支流汇流比为0.4,即干流流量 $Q_1$ 为9L/s,支流流量 $Q_2$ 为6L/s;干流、支流和交汇区的弗洛德常数分别为0.14、0.10、0.18;干流、支流和交汇区的雷诺数分别为14141、9430、20344。

[0032] 所述下游水箱4与水槽下游区1-3连通处设置有尾部阀门10,通过调节尾部阀门10高度控制水槽内水位高度为16.5cm。

[0033] 所述干流水槽1-1的上游与上游A水箱2的连通处设有A整流格栅8,支流水槽1-2的上游与上游B水箱3的连通处设有B整流格栅8',整流格栅8和整流格栅8'确保水槽内水流平稳。

一种利用河网交汇区复杂河床下水沙运动的实验系统进行的模拟方法,包括以下步骤:

1) 根据下游恢复区流速, 查询Shields曲线, 确定恢复区泥沙起动粒径为0.3mm, 因为恢复区流速大于上游流速, 所以只要恢复区无大量泥沙起动, 则上游也无大量泥沙起动;

2) 在交汇区处覆盖一层由两种不同中值粒径的沙混合而成的泥沙混合物作为河床, 一种泥沙的中值粒径为0.1mm, 另一种泥沙的中值粒径为2mm, 混合后中值粒径为0.9mm, 大于恢复区起动粒径, 沙层厚度为5.5cm, 铺沙过程缓慢均匀, 并在实验开始前将河床面整平, 铺沙区域端部以坡比为1:5不起动泥沙过渡, 如图2所示;

3) 在干流水槽上游1-1与上游A水箱2连通处及支流水槽上游1-2与上游B水箱3连通处设置整流格栅;

4) 调节尾部阀门高度使水位为16.5cm, 然后向下游水箱内加适量的水, 保证系统稳定运行;

5) 调节A阀门6、A变频泵7、B阀门6'、B变频泵7', 观察两个电磁流量计的示数, 控制干流流量 $Q_1$ 为9L/s, 水深为16.5cm, 支流流量 $Q_2$ 为6L/s, 水深也为16.5cm, 使得汇流比为0.4, 控制干流、支流和交汇区的弗洛德数分别为0.14、0.10、0.18; 控制干流、支流和交汇区的雷诺数分别为14141、9430、20344; 调节至流量计示数稳定后继续实验;

6) 水槽内通入稳定水流三小时后, 河床形态不再改变, 使用激光测距仪测量冲淤平衡后的河床地形高程, 然后, 均匀撒上充足的水泥粉, 以达到固化床面的效果;

7) 床面固化后, 重新通入水流, 随后向水槽内添加中性浮力空心玻璃球, 增强超声波多普勒测速仪的超声波散射信号, 等待至中性浮力空心玻璃球与水流充分混合并达到稳定状态;

8) 根据实验总共设定5个垂直于水槽下游区1-3槽壁的横断面进行流速测量, 即T1到T5断面(见图3); 实测断面的横向间距为2cm, 靠近河床的两个相邻的垂直测量点之间的间隔为0.5cm, 且靠近水面的间距为1cm, 使用ADV进行三维流速测量;

9) 在干流水槽1-1上游的A加沙器11缓慢加入不同粒径组的白色沙子, 在支流水槽1-2上游的B加沙器11'缓慢加入不同粒径组的黑色沙子; 观察干流和支流染色沙于汇流区特殊水利条件作用下在复杂床面上的运动轨迹和淤积分布规律, 实现模拟汇流区复杂床面下泥沙输移情况。

[0034] 上诉实验模拟系统为本发明实验模拟系统的一种优选表现形式, 应当指出: 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明原理的前提下, 还可以做出若干改进和润饰, 这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。



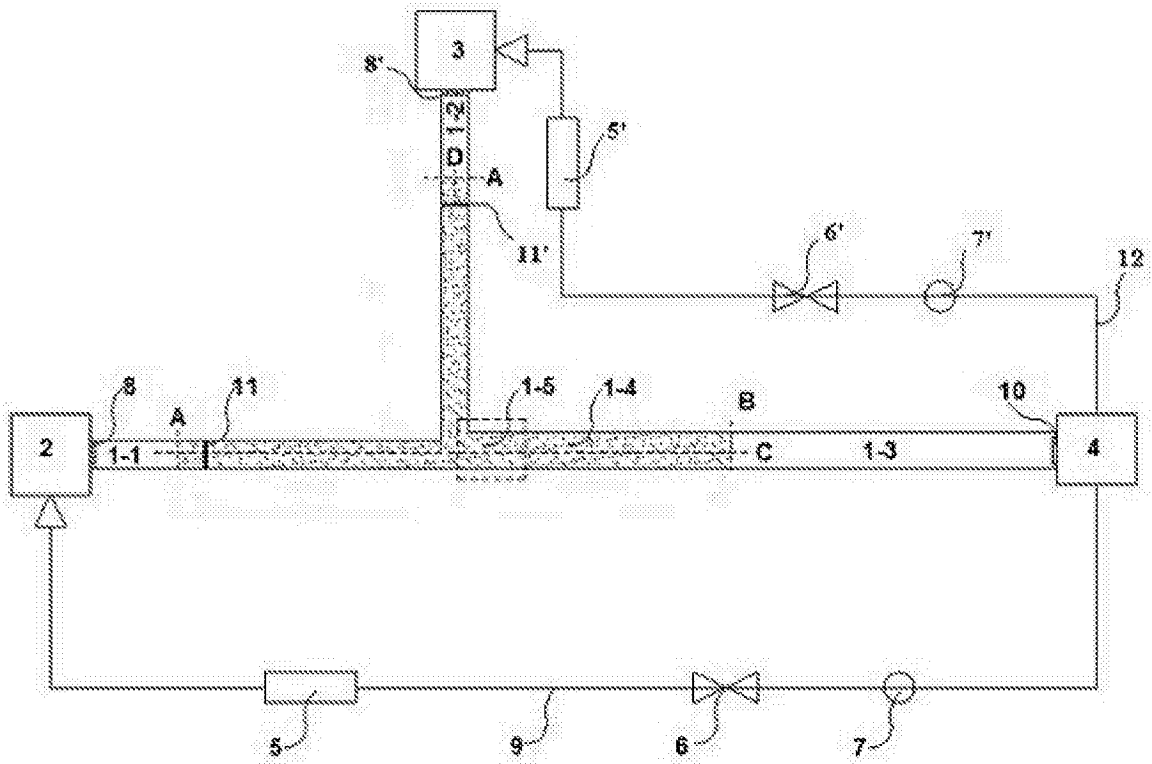


图1

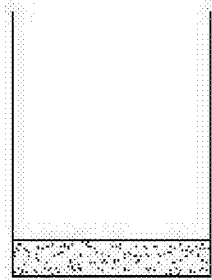


图2

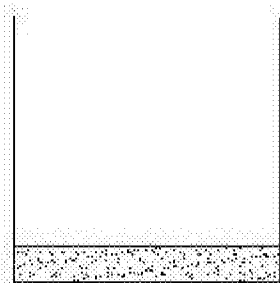


图3



图4



图5

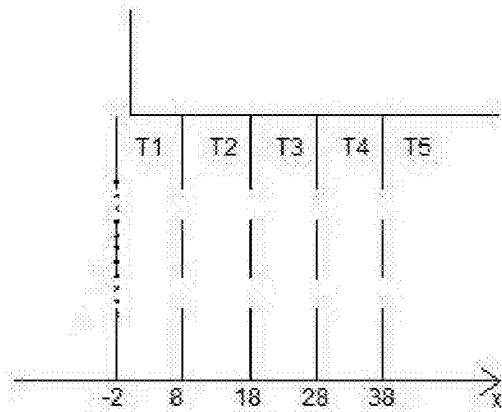


图6