



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102980842 B

(45) 授权公告日 2015. 01. 07

(21) 申请号 201210530675. 8

CN 102095833 A, 2011. 06. 15,

(22) 申请日 2012. 12. 11

CN 101358917 A, 2009. 02. 04,

CN 101788450 A, 2010. 07. 28,

(73) 专利权人 重庆交通大学

地址 400074 重庆市南岸区学府大道 66 号

周中等. “粗粒土渗透性能的试验研究”. 《第一届中国水利水电岩土力学与工程学术讨论会论文集》. 2006,

(72) 发明人 王俊杰 邱珍锋 马伟

孔东生等. 低渗砂岩储层渗透率各向异性规律的试验研究. 《地球物理学进展》. 2012, 第 27 卷 (第 3 期), 1101-1106.

(74) 专利代理机构 北京同恒源知识产权代理有限公司 11275

代理人 赵荣之

审查员 唐颖

(51) Int. Cl.

G01N 15/08 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101788450 A, 2010. 07. 28,

CN 101303289 A, 2008. 11. 12,

CN 101949815 A, 2011. 01. 19,

WO 03071253 A3, 2005. 02. 17,

CN 201032480 Y, 2008. 03. 05,

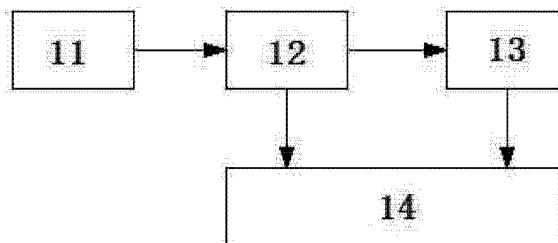
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统及测试方法

(57) 摘要

本发明公开了一种层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统及测试方法,包括上游供水装置、渗透装置、下游量水装置和数据采集系统;上游供水装置将储存的试验用水注入到渗透装置,经过渗透装置的渗透水将被收集到下游量水装置,渗透装置和下游量水装置通过设置的信息采集装置将采集的渗水信息输入到数据采集系统进行信息处理。直接在该系统的试样室中制备试样、饱和试样、实时测量过水断面处的水头和通过试样的水量,避免了对试样的扰动。试样的形状为长方体形,垂直于渗透方向的试样断面为正方形,平行于渗透方向的试样断面为长方形,且沿渗透方向边长大于垂直渗透方向边长的 2 倍,该试样适于测试层状粗粒土体的各向异性渗透系数。



1. 层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统,其特征在于:包括上游供水装置、渗透装置、下游量水装置和数据采集系统;所述上游供水装置将储存的试验用水注入到渗透装置,并将经过渗透装置的渗透水收集到下游量水装置,所述渗透装置和下游量水装置通过设置的信息采集装置将采集的渗水信息输入到数据采集系统进行信息处理;

所述渗透装置包括进水室、试样室和出水室;所述进水室和试样室之间设置有透水板;所述试样室和出水室之间设置有透水板;所述进水室安装有用于测量进水室水头的水压力传感器;所述出水室安装有用于测量出水室水头的水压力传感器;所述试样室等间距安装有多个用于测量固定过水断面水头的孔隙水压力传感器;所述进水室通过压力水进水管与上游供水装置连接;所述出水室通过出水管与下游量水装置连接;

所述试样室的形状为长方体形,其尺寸为 $a \times a \times b$,且 b 为 a 的2—4倍;所述试样室的一个 $a \times b$ 长方形侧面和一个 $a \times a$ 正方形侧面为能打开的侧面;所述进水室和出水室的尺寸为 $a \times a \times c$,其中, c 为进水室和出水室的厚度, c 为 a 的0.1—0.5倍。

2. 根据权利要求1所述的层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统,其特征在于:所述上游供水装置包括用于储存试验用水的水汽交换器和用于给水汽交换器提供难溶于水的高压气体的高压气体源;所述高压气体源通过压力气体进气管将高压气体通入水汽交换器中,所述水汽交换器通过压力水进水管将试验用水压入渗透装置中。

3. 根据权利要求1所述的层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统,其特征在于:所述下游量水装置包括储水容器及设置于储水容器上的称重传感器、流量传感器和计时传感器;所述储水容器,用于容纳通过试样的渗透水,为了防止液面蒸发损失水量,该储水容器为半密封结构;所述称重传感器,用于测量储水容器内水的质量变化;所述流量传感器,用于测量进入储水容器内水的流量;所述计时传感器,用于记录储水容器水量变化过程的历史;所述数据采集系统,用于自动采集、储存和分析采集到渗透装置和下游量水装置的试验数据。

4. 利用权利要求1-3中任一项所述的层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统来进行各向异性渗透系数的测试方法,其特征在于:包括以下步骤:

S1:准备试验土料,并把土料平均分成至少2份;

S2:根据制备试样的层面与过水断面平行或垂直的要求选择打开前述层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统试样室的相应侧面;

S3:把其中一份试验土料装入层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统的试样室,并压实到要求的密实度;

S4:重复步骤S3,直至层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统试样室完全充满试样;

S5:密闭步骤S2中打开的层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统试样室的侧面;

S6:饱和试样;

S7:直接对经过饱和的试样进行渗透系数测试;

S8:结束试验。

5. 根据权利要求4所述的利用层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统来进行各向异性渗透系数的测试方法,其特征在于:所述试样的形状为长方体形,其尺寸为 $a \times a \times b$,垂直于渗透方向的试样断面为正方形,其边长为 a ,且 a 为试样粒径 d_{85} 的5—10倍; b 为试

样长度, b 为 a 的 2—4 倍。

6. 根据权利要求 4 所述的利用层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统来进行各向异性渗透系数的测试方法, 其特征在于: 所述试样制备采用分层压实的方法进行制备, 制备后的试样直接用于测试其渗透系数; 所述试样制备具体步骤如下:

所述试样制备包括平行于层面渗透试样的制备和垂直于层面渗透试样的制备; 所述试样制备平行于层面渗透系数试样的制备, 采用在渗透装置内分层虚铺试验土料并逐层压实制样, 所述制备试样的层面与试样的长边平行、与试样横截断面垂直, 使得层面与试验中渗透方向一致;

所述垂直于层面渗透试样的制备; 采用在渗透装置内分层虚铺试验土料并逐层压实制样, 所述制备试样的层面与试样的长边垂直、与试样横截断面平行, 使得层面与试验中渗透方向垂直; 所述试样层面间距、土料类型根据试验目的确定。

7. 根据权利要求 4 所述的利用层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统来进行各向异性渗透系数的测试方法, 其特征在于: 所述渗透系数测试具体包括以下步骤:

S51: 确定试样内的两个过水断面, 并测量两个过水断面间的距离和过水断面的面积;

S52: 测试过水断面处的水头, 所述过水断面处的水头通过安装在过水断面处的孔隙水压力传感器或孔隙水压力测压管实时测定;

S53: 测试通过过水断面的水量, 所述通过过水断面的水量采用安装在试样出水口的流量传感器直接测定或称重传感器间接测定;

S54: 试验历时测量, 所述试验历时通过计时器或计时传感器测定。

8. 根据权利要求 4 所述的利用层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统来进行各向异性渗透系数的测试方法, 其特征在于: 所述渗透系数测试包括平行于层面的渗透系数测试和垂直于层面的渗透系数测试;

所述平行于层面的渗透系数测试, 用于对平行于层面渗透试样的渗透系数测试;

所述垂直于层面的渗透系数测试, 用于对垂直于层面渗透试样的渗透系数测试。

层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统及测试方法

技术领域

[0001] 本发明属于土工试验技术领域,特别涉及一种测量层状粗粒土体各向异性渗透系数的测试系统及测试方法。

背景技术

[0002] 土体渗透系数是反映土体透水性能的定量指标,是工程中评价土体的透水能力、抗渗透变形能力、抗渗透破坏能力等的一个极其重要的指标。在土体工程中,常见的施工方法是土料逐层虚铺后压实,形成的土工结构具有显著的层状特性。由于施工方法引起土工结构具有了层状特性,导致其渗透特性也呈现显著的各向异性特性,即平行于层面的渗透系数明显不同于垂直于层面的渗透系数。研究层状土体的各向异性渗透系数的测定问题具有重要的现实意义。

[0003] 测试土体渗透系数的方法主要有现场原位试验和室内试验两种,其中室内试验分为常水头试验和变水头试验,均基于达西定律计算渗透系数。常水头试验适用于测试渗透性较强土体的渗透系数。我国现行土工试验规程中的常水头试验只能测试均质土样或层状土样垂直于层面的渗透系数,无法测试平行于层面的渗透系数。

[0004] 目前,室内测定土体渗透系数的仪器已有多种,按照试样周围的约束条件分为硬壁式渗透仪和柔壁式渗透仪;按照施加水头的情况分为常水头试验和变水头试验。常用的硬壁式渗透仪主要有 70 型渗透仪、南 55 型渗透仪等。70 型渗透仪适用于测定砂性土的渗透系数,南 55 型渗透仪适用于测定粘性土的渗透系数。柔壁式渗透仪多以三轴试验仪改进而成,将土样套入橡胶模以施加侧向围压,进行渗透试验。现有的渗透仪普遍存在试样尺寸较小、提供的渗透压力小、测试周期长、密封止水效果差、无法测量平行于层面的渗透系数、仪器操作复杂等缺陷。不少学者针对特定问题,对常规渗透仪进行了改进或研制了新的仪器,但或仍无法测试平行于层面的渗透系数;或即使能够测试平行于层面的渗透系数,仍存在操作复杂、测试时间长、试样不易饱和,无法在同一仪器中测试两个方向的渗透系数等缺陷。

[0005] 对于常规渗透仪以及已有改进仪器不能满足准确测定层状粗粒土体各向异性渗透系数的问题,需要研制一种渗透试验系统以测试层状粗粒土体的各向异性渗透系数的测试方法。

发明内容

[0006] 鉴于此,本发明所要解决的技术问题是如何测试层状粗粒土体的各向异性渗透系数。

[0007] 本发明的目的之一是提出一种层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统;本发明的目的之二是提出一种层状粗粒土体各向异性渗透系数测试方法。

[0008] 本发明的目的之一是通过以下技术方案来实现的:

[0009] 本发明提供的层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统,包括上游供水装置、渗

透装置、下游量水装置和数据采集系统；所述上游供水装置将储存的试验用水注入到渗透装置，经过渗透装置的渗透水将被收集到下游量水装置，所述渗透装置和下游量水装置通过设置的信息采集装置将采集的渗水信息输入到数据采集系统进行信息处理。

[0010] 进一步，所述上游供水装置包括用于储存试验用水的水汽交换器和用于给水汽交换器提供难溶于水的高压气体的高压气体源；所述高压气体源通过压力气体进气管将高压气体通入水汽交换器中，所述水汽交换器通过压力水进水管将试验用水压入渗透装置中。

[0011] 进一步，所述渗透装置包括进水室、试样室和出水室；所述进水室和试样室之间设置有透水板；所述试样室和出水室之间设置有透水板；所述进水室安装有用于测量进水室水头的水压力传感器；所述出水室安装有用于测量出水室水头的水压力传感器；所述试样室等间距安装有多个用于测量固定过水断面水头的孔隙水压力传感器；所述进水室通过压力水进水管与上游供水装置连接；所述出水室通过出水管与下游量水装置连接。

[0012] 进一步，所述试样室的形状为长方体形，其尺寸为 $a \times a \times b$ ，且 b 为 a 的 2—4 倍；所述试样室的一个 $a \times b$ 长方形侧面和一个 $a \times a$ 正方形侧面为能打开的侧面；所述进水室和出水室的尺寸为 $a \times a \times c$ ，其中， c 为进水室和出水室的厚度， c 为 a 的 0.1—0.5 倍。

[0013] 进一步，所述下游量水装置包括储水容器及设置于储水容器上的称重传感器、流量传感器和计时传感器；所述储水容器，用于容纳通过试样的渗透水，为了防止液面蒸发损失水量，该容器为半密封结构；所述称重传感器，用于测量储水容器内水的质量变化；所述流量传感器，用于测量进入储水容器内水的流量；所述计时传感器，用于记录储水容器水量变化过程的历时；所述数据采集系统用于自动采集、储存和分析采集到渗透装置和下游量水装置的试验数据。

[0014] 本发明的目的之二是通过以下技术方案来实现的：

[0015] 本发明提供的层状粗粒土体各向异性渗透系数来进行各向异性渗透系数测试方法，包括以下步骤：

[0016] S1：准备试验土料，并把土料平均分成至少 2 份；

[0017] S2：根据制备试样的层面与过水断面平行或垂直的要求选择打开前述层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统试样室的相应侧面；

[0018] S3：把其中一份试验土料装入层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统的试样室，并压实到要求的密实度；

[0019] S4：重复步骤 S3，直至层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统试样室完全充满试样；

[0020] S5：密闭步骤 S2 中打开的层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统试样室的侧面；

[0021] S6：饱和试样；

[0022] S7：直接对经过饱和的试样进行渗透系数测试；

[0023] S8：结束试验。

[0024] 进一步，所述试样的形状为长方体形，其尺寸为 $a \times a \times b$ ，垂直于渗透方向的试样断面为正方形，其边长为 a ，且 a 为试样粒径 d_{85} 的 5—10 倍； b 为试样长度，且 b 为 a 的 2—4 倍。

[0025] 进一步，所述试样制备采用分层压实的方法进行制备，制备后的试样直接用于测

试其渗透系数；所述试样制备具体步骤如下：

[0026] 所述试样制备包括平行于层面渗透试样的制备和垂直于层面渗透试样的制备；所述试样制备平行于层面渗透系数试样的制备，采用在渗透装置内分层虚铺试验土料并逐层压实制样，所述制备试样的层面与试样的长边平行、与试样横截面垂直，使得层面与试验中渗透方向一致；

[0027] 所述垂直于层面渗透试样的制备；采用在渗透装置内分层虚铺试验土料并逐层压实制样，所述制备试样的层面与试样的长边垂直、与试样横截面平行，使得层面与试验中渗透方向垂直；所述试样层面间距、土料类型根据试验目的确定。

[0028] 进一步，所述渗透系数测试具体包括以下步骤：

[0029] S51：确定试样内的两个过水断面，并测量两个过水断面间的距离和过水断面的面积；

[0030] S52：测试过水断面处的水头，所述过水断面处的水头通过安装在过水断面处的孔隙水压力传感器或孔隙水压力测压管实时精确测定；

[0031] S53：测试通过过水断面的水量，所述通过过水断面的水量采用安装在试样出水口的流量传感器直接测定或称重传感器间接测定；

[0032] S54：试验历时测量，所述试验历时通过计时器或计时传感器测定。

[0033] 进一步，所述渗透系数测试包括平行于层面的渗透系数测试和垂直于层面的渗透系数测试；

[0034] 所述平行于层面的渗透系数测试，用于对平行于层面渗透试样的渗透系数测试；

[0035] 所述垂直于层面的渗透系数测试，用于对垂直于层面渗透试样的渗透系数测试。

[0036] 本发明的优点在于：本发明提供的测量层状粗粒土体各向异性渗透系数的测试系统采用上游供水装置、渗透装置、下游量水装置和数据采集系统；使得渗透试验测试的试样能够在本装置的试样室中进行制备试样、饱和试样、实时测量过水断面处的水头和通过试样的水量，以便依据达西定律计算渗透系数。本发明采用分层压实的方法制备试样，并将制备后的试样直接用于测试其渗透系数，这样避免了对试样的扰动。采用形状为长方体形的试样，垂直于渗透方向的试样断面为正方形，平行于渗透方向的断面为长方形，且沿渗透方向边长大于垂直渗透方向边长的 2 倍，该试样适合于测试层状粗粒土体的各向异性渗透系数。

附图说明

[0037] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图对本发明作进一步的详细描述，其中：

[0038] 图 1 是本发明渗透系数测试系统的结构示意图；

[0039] 图 2 是本发明上游供水装置的结构示意图；

[0040] 图 3 是本发明的渗透装置结构示意图；

[0041] 图 4 是本发明的下游量水装置结构示意图。

[0042] 图 5 是本发明的试样形状及尺寸示意图；

[0043] 图 6 是本发明的制备用于测试平行于层面渗透系数的试样示意图；

[0044] 图 7 是本发明的制备用于测试垂直于层面渗透系数的试样示意图；

[0045] 图 8 是本发明的渗透系数测试方法示意图。

[0046] 图中:11-上游供水装置;12-渗透装置;13-下游量水装置;14-数据采集系统;21-水汽交换器;22-高压气体源;23-压力气体进气管;24-压力水进水管;31-进水室;32-试样室;33-出水室;34-透水板;35-出水管;36-孔隙水压力传感器;37、38-水压力传感器;41-储水容器;42-称重传感器;43-流量传感器;44-计时传感器;51-上游水头;52-下游水头;53-渗透方向;54-平行于渗透方向的层面;55-垂直于渗透方向的层面;81-上游过水断面处的水头;82-下游过水断面处的水头;83-两过水断面间的距离;84-上游过水断面;85-下游过水断面。

具体实施方式

[0047] 以下将结合附图,对本发明的优选实施例进行详细的描述;应当理解,优选实施例仅为了说明本发明,而不是为了限制本发明的保护范围。

[0048] 图 1 是本发明渗透系数测试系统的结构示意图,图 2 是本发明上游供水装置的结构示意图,图 3 是本发明的渗透装置结构示意图,图 4 是本发明的下游量水装置结构示意图,如图所示:本发明提供的层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统,包括上游供水装置 11、渗透装置 12、下游量水装置 13 和数据采集系统 14;

[0049] 上游供水装置的目的是给试样提供试样饱和及渗透系数测试所需的水,且具有一定的水头,该装置与渗透装置的进水室相连。所述上游供水装置将储存的试验用水注入到渗透装置,经过渗透装置的渗透水将被收集到下游量水装置,所述渗透装置和下游量水装置通过设置的信息采集装置将采集的渗水信息输入到数据采集系统进行信息处理。

[0050] 所述上游供水装置包括用于储存试验使用的水的水汽交换器 21 和用于给水汽交换器提供难溶于水的高压气体的高压气体源 22;所述高压气体源通过压力气体进气管 23 将高压气体压入水汽交换器中;所述水汽交换器通过压力水进水管 24 将水压入渗透装置中。

[0051] 水汽交换器可以储存足够试验使用的水,并在有高压气源的情况下可以使水具有较高的水头,并通过进水管提供给渗透装置的进水室。高压气体源用于给水汽交换器提供难溶于水的高压气体,如氮气。

[0052] 渗透装置是渗透试验系统的核心,其目的是制备试样、饱和试样、实时测量过水断面处的水头和通过试样的水量,以便依据达西定律计算渗透系数。所述渗透装置包括进水室 31、试样室 32 和出水室 33;所述进水室和试样室之间设置有透水板 34;所述试样室和出水室之间设置有透水板;所述进水室安装有用于测量进水室水头的水压力传感器 37;所述出水室安装有用于测量出水室水头的水压力传感器 38;以便分别测量进水室和出水室的水头。

[0053] 所述试样室等间距安装有用于测量固定过水断面水头的孔隙水压力传感器 36;本实施例中试样室等间距安装 4 个孔隙水压力传感器,以便同时测量 4 个固定过水断面的水头。所述进水室通过压力水进水管 24 与上游供水装置连接,出水室通过出水管 35 与下游量水装置连接。

[0054] 所述试样室的形状为长方体形,其尺寸为 $a \times a \times b$ (a 为垂直于渗透方向的边长, b 为平行于渗透方向的边长),且 b 宜不小于 a 的 2 倍,即 $b \geq 2a$,本实施例中 b 为 a 的 2—4

倍,也可以按实际要求进行改变;所述试样室的一个 $a \times b$ 长方形侧面和一个 $a \times a$ 正方形侧面为能打开的侧面;所述进水室和出水室的尺寸为 $a \times a \times c$ (c 为进水室和出水室的厚度, c 约为 a 的0.1—0.5倍)。

[0055] 下游量水装置的目的是测量通过试样的水量和经历的时间,该装置与渗透装置的出水室相连。所述下游量水装置包括储水容器41及设置于储水容器上的称重传感器42、流量传感器43和计时传感器44;

[0056] 所述储水容器,用于容纳通过试样渗透的水,为了防止液面蒸发损失水量,该容器为半密封结构。

[0057] 所述称重传感器,用于测量储水容器内水的质量变化,以便间接得到水的体积,可计算得到流量。

[0058] 所述流量传感器,用于测量进入储水容器内水的流量,流量传感器用于直接测量流量。称重传感器和流量传感器相互补充,以确保流量测量结果正确。

[0059] 所述计时传感器,用于记录储水容器水量变化过程的历时。

[0060] 所述数据采集系统用于自动采集、储存和分析采集到渗透装置和下游量水装置的试验数据。该系统用于自动采集、储存和分析试验数据,与渗透装置和下游量水装置中的各传感器相连,由数据采集箱、计算机和数据采集分析软件三部分组成。

[0061] 还包括试验附件,所述试验附件包括制样压实器和天平。

[0062] 图5是本发明的试样形状及尺寸示意图,图6是本发明的制备用于测试平行于层面渗透系数的试样示意图,图7是本发明的制备用于测试垂直于层面渗透系数的试样示意图,图8是本发明的渗透系数测试方法示意图,图中,上游水头51;下游水头52;渗透方向53;平行于渗透方向的层面54;垂直于渗透方向的层面55;上游过水断面处的水头81;下游过水断面处的水头82;两过水断面间的距离83;上游过水断面84;下游过水断面85,如图所示:本发明提供的层状粗粒土体各向异性渗透系数测试方法,包括以下步骤:

[0063] S1:准备试验土料,并把试验土料平均分成至少2份,也可以根据实际要求来分配试验土料;

[0064] S2:确定试样尺寸。试样的形状为长方体形,其尺寸为 $a \times a \times b$,垂直于渗透方向的试样断面为正方形,其边长为 a ,且 a 不小于试样粒径 d_{85} 的5倍,本实施例中取 a 为试样粒径 d_{85} 的5—10倍; b 为试样长度, b 为 a 的2—4倍。

[0065] S3:根据制备试样的层面与过水断面平行或垂直的要求选择打开前述层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统试样室的相应侧面;

[0066] S4:把其中一份试验土料装入层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统的试样室,并压实到要求的密实度;

[0067] S4:重复步骤S3,直至层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统试样室完全充满试样;

[0068] S5:密闭步骤S2中打开的层状粗粒土体各向异性渗透系数测试系统试样室的侧面。

[0069] 所述试样制备采用分层压实的方法制备,制备后的试样直接用于测试其渗透系数。所述试样制备具体步骤如下:

[0070] 所述试样制备包括平行于层面渗透试样的制备和垂直于层面渗透试样的制备;所

述试样制备平行于层面渗透系数试样的制备,采用在渗透装置内分层虚铺试验土料并逐层压实制样,所制备试样的层面与试样的长边平行、与试样横截断面垂直,使得层面与试验中渗透方向一致;

[0071] 所述垂直于层面渗透试样的制备;采用在渗透装置内分层虚铺试验土料并逐层压实制样,所制备试样的层面与试样的长边垂直、与试样横截断面平行,使得层面与试验中渗透方向垂直。

[0072] 所述试样层面间距、土料类型根据试验目的确定。试样内的各层面间距可以是相同的,也可以是不同的;试样内各层土料可以是相同的,也可以是不同的。

[0073] 所述渗透装置为长方体形的试样室,所述试样室设置有能分别打开的两个相互垂直的方向的侧面,根据制备试样的层面与过水断面平行或垂直的要求选择打开试样室的相应侧面,然后在试样室内制备满足试验要求的试样。

[0074] S6:饱和试样;

[0075] S7:直接对经过饱和的试样进行渗透系数测试;按照地下水渗流理论,测试土体的渗透系数,所述渗透系数测试具体包括以下步骤:

[0076] S71:确定试样内的两个过水断面,并测量两个过水断面间的距离和过水断面的面积;

[0077] S72:测试过水断面处的水头,所述过水断面处的水头通过安装在过水断面处的孔隙水压力传感器和/或孔隙水压力测压管实时测定;

[0078] S73:测试通过过水断面的水量,所述通过过水断面的水量通过安装在试样出水口的流量传感器直接测定和/或称重传感器间接测定;

[0079] S74:试验历时测量,所述试验历时通过计时器和/或计时传感器测定。

[0080] 所述渗透系数测试包括平行于层面的渗透系数测试和垂直于层面的渗透系数测试;

[0081] 所述平行于层面的渗透系数测试,用于对平行于层面渗透试样的渗透系数测试;

[0082] 所述垂直于层面的渗透系数测试,用于对垂直于层面渗透试样的渗透系数测试。

[0083] S8:结束试验。

[0084] 以上所述仅为本发明的优选实施例,并不用于限制本发明,显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

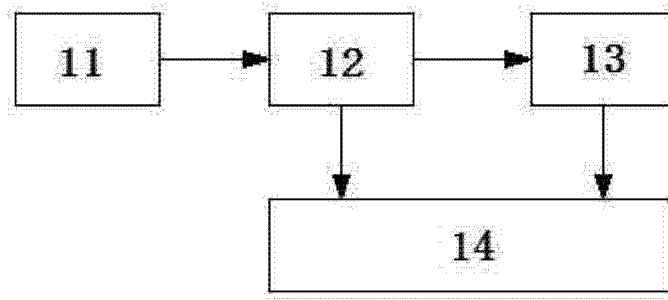


图 1

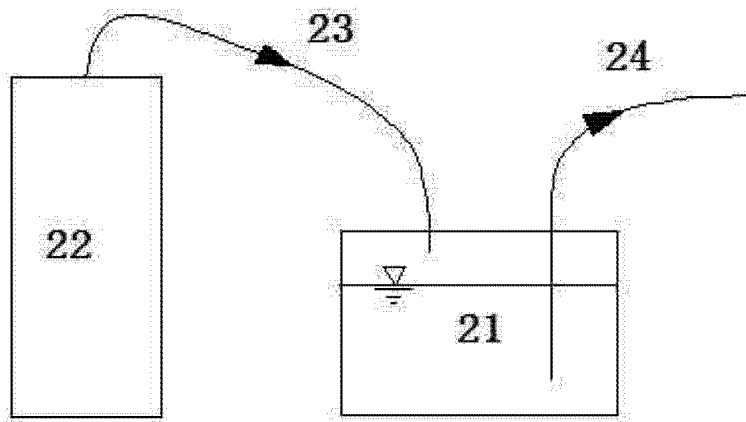


图 2

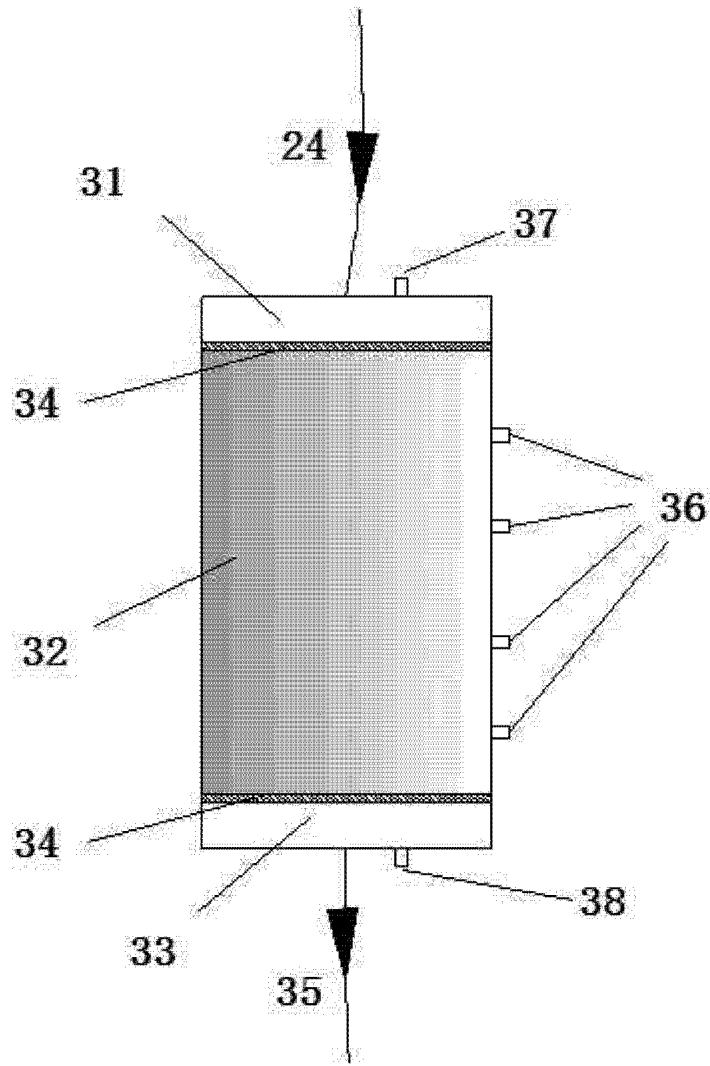


图 3

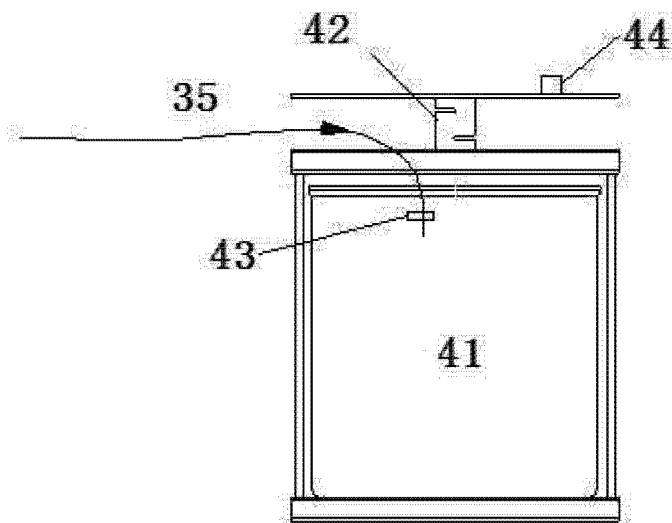


图 4

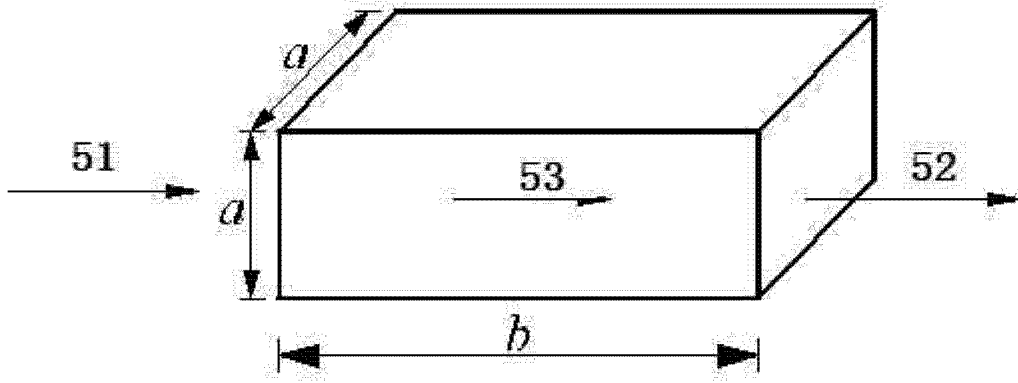


图 5

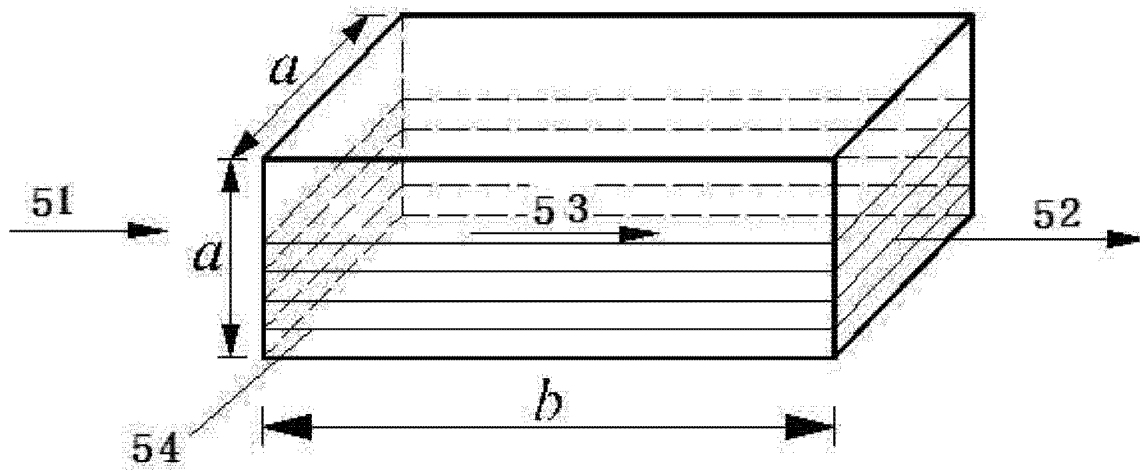


图 6

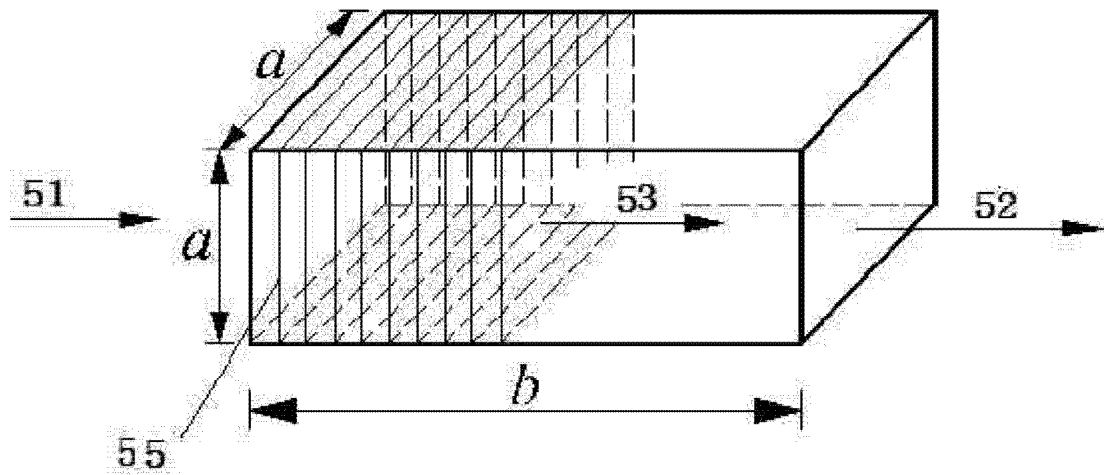


图 7

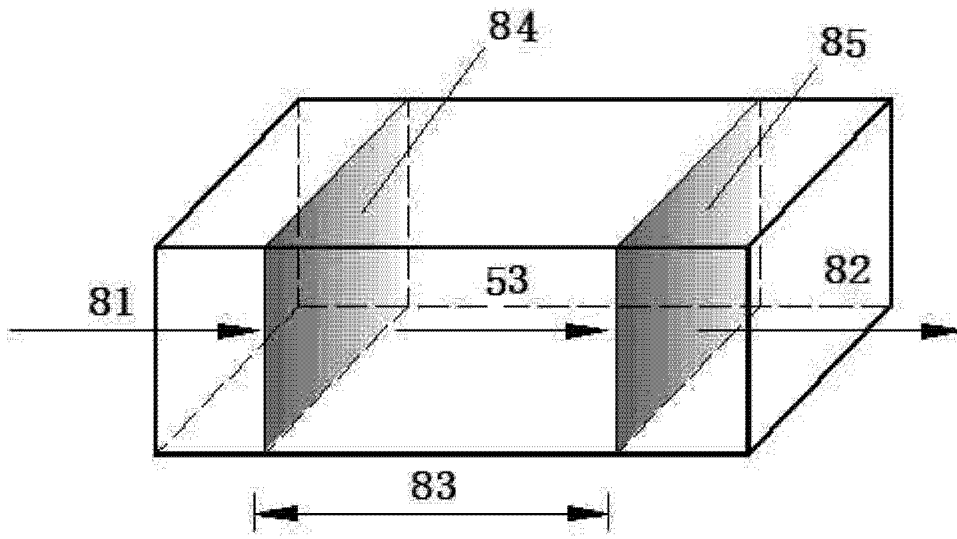


图 8