[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01N 15/08 (2006.01)
G01N 1/28 (2006.01)

[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910024152.4

[43] 公开日 2010 年 3 月 17 日

[11] 公开号 CN 101672761A

[22] 申请日 2009.9.29
[21] 申请号 200910024152.4
[71] 申请人 长安大学
地址 710064 陕西省西安市南二环中段长安大学
[72] 发明人 毛雪松 侯仲杰 马 鼐 支喜兰 孔令坤
[74] 专利代理机构 西安创知专利事务所
代理人 李子安

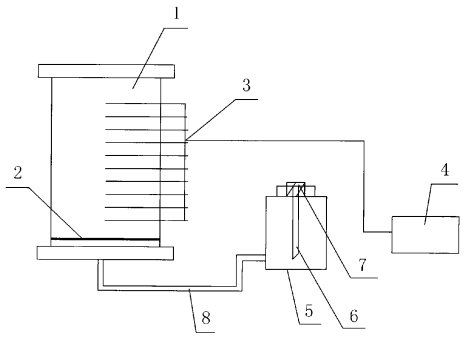
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 2 页

[54] 发明名称

砂性土土水特征曲线测试装置及测试方法

[57] 摘要

本发明公开了一种砂性土土水特征曲线测试装置及测试方法，其测试装置包括圆柱体土柱试模、模拟地下水进行均匀补水且能维持补水水位的补水系统、实时检测被测试砂性土土样内部水分的水分传感器和与其相接的水分采集系统以及据水分采集系统分析结果且经内部处理运算制作出土水特征曲线的数据分析处理系统。 其测试方式包括步骤：一、配制砂性土土样；二、装模；三、补水并对砂性土土柱内部含水量进行定时检测且将检测数据传至数据分析处理系统；四、当砂性土土柱内部含水量达到稳定状态时，数据分析处理系统制作土水特征曲线。 本发明结构简单合理且使用操作方便，能有效解决现有土水特征曲线测试装置测试难度大且测试结果不准确的实际问题。



1.一种砂性土土水特征曲线测试装置，其特征在于：包括盛装被测试砂性土土样的圆柱体土柱试模（1）、模拟地下水对被测试砂性土土样进行均匀补水且能维持补水水位的补水系统、实时对被测试砂性土土样内部水分进行检测的水分传感器（3）、定时对水分传感器（3）所检测信号进行分析处理并相应得出被测试砂性土土样内部含水量的水分采集系统（4），以及根据水分采集系统（4）分析结果且经内部处理运算相应制作出土水特征曲线的数据分析处理系统（10）；所述水分传感器（3）接水分采集系统（4），水分采集系统（4）接数据分析处理系统（10），所述补水系统包括补水装置和水平安装在土柱试模(1)内部底部的透水板(2)，所述补水装置通过补水管（8）对被测试砂性土土样进行补水。

2.按照权利要求1所述的砂性土土水特征曲线测试装置，其特征在于：所述补水装置为利用马氏瓶原理制作的补水瓶。

3.按照权利要求2所述的砂性土土水特征曲线测试装置，其特征在于：所述补水瓶包括上部开口的盛水瓶（5）、对盛水瓶（5）上部开口进行密封的瓶塞（7）以及从瓶塞（7）中部密封插入盛水瓶（5）底部的玻璃管（6），所述玻璃管（6）的上端开口，玻璃管（6）的下端口高度与土柱试模（1）的底部平齐；所述补水管（8）一端插装在盛水瓶（5）底部且二者内部相通，补水管（8）另一端从土柱试模（1）底部中心处插入土柱试模（1）内部。

4.按照权利要求1、2或3所述的砂性土土水特征曲线测试装置，其特征在于：所述透水板（2）为均匀开有多个透水孔（9）的圆板，所述圆板的直径与土柱试模（1）的内径相同。

5.按照权利要求4所述的砂性土土水特征曲线测试装置，其特征在于：所述透水孔（9）为圆孔。

6.一种利用如权利要求1所述砂性土土水特征曲线测试装置进行砂性土土水特征曲线测试的方法，其特征在于该方法包括以下步骤：

步骤一、配制砂性土土样：根据需配制砂性土土样的初始含水量，将烘干后相应质量的砂性土和水拌合且经 4 ± 0.5h 闷料后，制成含水量分布均匀的砂性土土样；

步骤二、装模：将配制成的砂性土土样分层装入土柱试模（1）内，相应形成由多层砂性土土体组成的砂性土土柱；装模过程中，将水分传感器（3）预埋在砂性土土柱内相应检测位置上，且对每层砂性土土体均采用击实工具进行击实以达到需要的密实度；

步骤三、开启所述补水系统对装入土柱试模（1）内的被测试砂性土土柱进行补水，同时连接水分传感器（3）和水分采集系统（4）对被测试砂性土土柱内部相应检测位置处的含水量进行定时检测，且水分采集系统（4）同步将所检测含水量数据上传至数据分析处理系统（10）；

步骤四、当水分传感器（3）和水分采集系统（4）所检测含水量数据在 ± 0.1 % 内变动并且所述补水系统的补水水位维持不变时，数据分析处理系统（10）根据由达西定律推得的砂性土土柱内部任一点的土水势和水分采集系统（4）传送的此时所述砂性土土柱内部相应检测点的含水量数据制作土水特征曲线，所述砂性土土柱内部任一点的土水势为该点距砂性土土柱底部的垂直距离。

7. 按照权利要求 6 所述的砂性土土水特征曲线测试方法，其特征在于：步骤二中所述水分传感器（3）的数量为多个。

砂性土土水特征曲线测试装置及测试方法

技术领域

本发明涉及一种土体水分特征曲线测试装置及测试方法，尤其是涉及一种砂性土土水特征曲线测试装置及测试方法。

背景技术

土水特征曲线即土体水分特征曲线主要是用于描述土体吸力与含水率之间的关系，因而建立土水特征曲线最重要的是测定土体吸力和含水率。目前，室内测试土水特征曲线的方法较多，如体积压力板仪法、Temple仪法、滤纸法等,但在不同条件下测试出土体的土水特征曲线差别较大,表现出不同的行为特征，因而上述测试方法中，外界测试环境对测试结果的影响较大，测试结果不稳定且不准确。另外，野外吸力测试可以采用张力计、热传导探头等方法，但现场条件复杂，因而土水特征曲线测试难度更大。

发明内容

本发明所要解决的技术问题在于针对上述现有技术中的不足，提供一种结构简单合理、成本低且使用操作方便的砂性土土水特征曲线测试装置。

为解决上述技术问题，本发明采用的技术方案是：一种砂性土土水特征曲线测试装置，其特征在于：包括盛装被测试砂性土土样的圆柱体土柱试模、模拟地下水对被测试砂性土土样进行均匀补水且能维持补水水位的补水系统、实时对被测试砂性土土样内部水分进行检测的水分传感器、定时对水分传感器所检测信号进行分析处理并相应得出被测试砂性土土样内部含水量的水分采集系统，以及根据水分采集系统分析结果且经内部处理

运算相应制作出土水特征曲线的数据分析处理系统；所述水分传感器接水分采集系统，水分采集系统接数据分析处理系统，所述补水系统包括补水装置和水平安装在土柱试模内部底部的透水板，所述补水装置通过补水管对被测试砂性土土样进行补水。

所述补水装置为利用马氏瓶原理制作的补水瓶。

所述补水瓶包括上部开口的盛水瓶、对盛水瓶上部开口进行密封的瓶塞以及从瓶塞中部密封插入盛水瓶底部的玻璃管，所述玻璃管的上端开口，玻璃管的下端口高度与土柱试模的底部平齐；所述补水管一端插装在盛水瓶底部且二者内部相通，补水管另一端从土柱试模底部中心处插入土柱试模内部。

所述透水板为均匀开有多个透水孔的圆板，所述圆板的直径与土柱试模的内径相同。

所述透水孔为圆孔。

本发明还提供了一种测试步骤简单、实现方便且测试结果准确的砂性土土水特征曲线测试方法，其特征在于该方法包括以下步骤：

步骤一、配制砂性土土样：根据需配制砂性土土样的初始含水量，将烘干后相应质量的砂性土和水拌合且经 4 ± 0.5h 闷料后，制成含水量分布均匀的砂性土土样；

步骤二、装模：将配制成的砂性土土样分层装入土柱试模内，相应形成由多层砂性土土体组成的砂性土土柱；装模过程中，将水分传感器预埋在砂性土土柱内相应检测位置上，且对每层砂性土土体均采用击实工具进行击实以达到需要的密实度；

步骤三、开启所述补水系统对装入土柱试模内的被测试砂性土土柱进行补水，同时连接水分传感器和水分采集系统对被测试砂性土土柱内部相应检测位置处的含水量进行定时检测，且水分采集系统同步将所检测含水量数据上传至数据分析处理系统；

步骤四、当水分传感器和水分采集系统所检测含水量数据在 ± 0.1 %

内变动并且所述补水系统的补水水位维持不变时，数据分析处理系统根据由达西定律推得的砂性土土柱内部任一点的土水势和水分采集系统传送的此时所述砂性土土柱内部相应检测点的含水量数据制作土水特征曲线，所述砂性土土柱内部任一点的土水势为该点距砂性土土柱底部的垂直距离。

上述步骤二中所述水分传感器的数量为多个。

本发明与现有技术相比具有以下优点：

1、结构简单合理，加工制作方便且使用操作简便。

2、适用范围较广，适用于农业、岩土工程等技术领域。

3、所用装置各部分之间连接关系明确合理且最终组成一有机整体，通过被测试砂性土土样即被测试土柱含水量分布曲线来确定砂性土土水特征曲线，在测试过程中，通过水分传感器实时对被测试砂性土土样中的水分进行检测且同时将其检测信号传送至水分采集系统，水分采集系统及时对水分传感器所检测信号进行分析处理并相应得出被测试砂性土土样内部含水量；同时，利用马氏瓶原理制作而成的补水系统模拟地下水并维持水位，同时通过补水管从底部对被测试砂性土土样进行均匀补水，直至被测试砂性土土样内部含水量分布达到稳定状态，此时与水分采集系统相接的数据分析处理系统所分析得出的被测试砂性土土样终态含水量分布曲线即为需测试得出的土水特征曲线。

4、通过补水系统模拟地下水上升情形，并通过该补水系统实现向被测试土柱进行均匀补水的过程，因而本发明能够更好地与工程实际相结合，并且测试结果直观准确且稳定，试验测试结果受外界测试环境因素的影响较小。

5、能够对被测试土体内部某一点含水量的变化过程进行实时监测。

综上所述，本发明结构简单合理且使用操作方便，能有效解决现有土水特征曲线测试装置测试难度大且测试结果不准确的实际问题，其通过被测试砂性土土柱含水量的分布曲线确定砂性土土体水分特征曲线，并且能

分析出被测试砂性土土体内部含水量的变化规律。

下面通过附图和实施例对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

附图说明

图 1 为本发明砂性土土水特征曲线测试装置的结构示意图。

图 2 为本发明砂性土土水特征曲线测试装置中透水板的结构示意图。

图 3 为本发明砂性土土水特征曲线测试装置的电路框图。

图 4 为本发明进行砂性土土水特征曲线测试的方法流程图。

附图标记说明:

1—土柱试模; 2—透水板; 3—水分传感器;

4—水分采集系统; 5—盛水瓶; 6—玻璃管;

7—瓶塞; 8—补水管; 9—透水孔;

10—数据分析处理系统。

具体实施方式

如图 1、图 2 及图 3 所示，本发明包括盛装被测试砂性土土样的圆柱体土柱试模 1、模拟地下水对被测试砂性土土样进行均匀补水且能维持补水水位的补水系统、实时对被测试砂性土土样内部水分进行检测的水分传感器 3、定时对水分传感器 3 所检测信号进行分析处理并相应得出被测试砂性土土样内部含水量的水分采集系统 4，以及根据水分采集系统 4 分析结果且经内部处理运算相应制作出土水特征曲线的数据分析处理系统 10。其中，所述水分传感器 3 接水分采集系统 4，水分采集系统 4 接数据分析处理系统 10，所述补水系统包括补水装置和水平安装在土柱试模 1 内部底部的透水板 2，所述补水装置通过补水管 8 对被测试砂性土土样进行补水。

本实施例中，所述补水装置为利用马氏瓶原理（Marriotte 原理）制作的补水瓶。所述补水瓶包括上部开口的盛水瓶 5、对盛水瓶 5 上部开口进行密封的瓶塞 7 以及从瓶塞 7 中部密封插入盛水瓶 5 底部的玻璃管 6，

所述玻璃管 6 的上端开口，玻璃管 6 的下端口高度与土柱试模 1 的底部平齐。实际操作过程中，将玻璃管 6 下口插到盛水瓶 5 底部，这样盛水瓶 5 内的静水压便等于玻璃管 6 出口液面的高度，使玻璃管 6 下端口高度与土柱试模 1 的底部齐平，则就能控制所述补水系统的补水水位即补水液面的高度，以达到模拟地下水上升的目的。

所述补水管 8 一端插装在盛水瓶 5 底部且二者内部相通，补水管 8 另一端从土柱试模 1 底部中心处插入土柱试模 1 内部。所述透水板 2 为均匀开有多个透水孔 9 的圆板，所述圆板的直径与土柱试模 1 的内径相同。所述透水孔 9 为圆孔。

所述水分采集系统 4 能建立被测试土体介电常数与已知体积含水量的土体之间的关系，用水分采集系统 4 来标定水分传感器，进而对被测试土体的内部含水量即体积含水量进行检测。

对于砂性土而言，由于土体的基质吸力相对于粘性土和粉土而言较小，故在地下水位维持不变，地表处的水分通量等于零时，土体内部含水率的大小及分布必定达到稳定状态，不再随时间变化。测试过程中，利用马利奥特（Mariotte）瓶补水装置进行补水，其补水水位与砂性土土柱底面平齐，这样在经过一段时间补水后，被测试砂性土土样即被测试土柱内部的含水量分布最终达到稳定状态。当被测试土柱内部的含水量分布达到稳定状态，即被测试土柱内部含水量不再随时间变化时，所述被测试土柱的终态含水量分布曲线就是其土水特征曲线。

结合图 4，本发明所述的一种利用所述砂性土土水特征曲线测试装置进行砂性土土水特征曲线测试的方法，包括以下步骤：

步骤一、配制砂性土土样：根据需配制砂性土土样的初始含水量，将烘干后相应质量的砂性土和水拌合且经 4 ± 0.5h 闷料后，制成含水量分布均匀的砂性土土样。

步骤二、装模：将配制成的砂性土土样分层装入土柱试模 1 内，相应形成由多层砂性土土体组成的砂性土土柱；装模过程中，将水分传感器 3

预埋在砂性土土柱内相应检测位置上，且对每层砂性土土体均采用击实工具进行击实以达到需要的密实度。需注意的是：装模之前，先将透水板 2 平装在土柱试模 1 底部。

步骤三、开启所述补水系统对装入土柱试模 1 内的被测试砂性土土柱进行补水，同时连接水分传感器 3 和水分采集系统 4 对被测试砂性土土柱内部相应检测位置处的含水量进行定时检测，且水分采集系统 4 同步将所检测含水量数据上传至数据分析处理系统 10。

实际操作过程中，所述水分传感器 3 的数量为多个且多个水分传感器 3 相应预埋在砂性土土柱的多个检测位置上。开启补水系统前，在土柱试模 1 的底部用补水管 8 将土柱试模 1 与所述补水系统中的补水装置相连接，测试过程中通过所述补水系统控制补水水位，通过补水管 8 和透水板 2 将水均匀的补入被测试砂性土土柱的土体中。

本实施例中，连接水分传感器 3 和水分采集系统 4 对被测试砂性土土柱内部检测位置处的含水量进行定时检测时，当所检测的含水量数值在 ± 0.1 % 内变动时，检测结束且通过水分采集系统 4 将此时所检测的含水量数值上传至数据分析处理系统 10。实际操作时，在被测试砂性土土柱中预埋水分传感器 3 时，将水分传感器 3、水分采集系统 4 和数据分析处理系统 10 依次相连接，从而实现由水分传感器 3 和水分采集系统 4 定时对被测试土柱内部任一点的含水量变化进行测试。

步骤四、当水分传感器 3 和水分采集系统 4 所检测含水量数据在 ± 0.1 % 内变动并且所述补水系统的补水水位维持不变时，数据分析处理系统 10 根据由达西定律推得的砂性土土柱内部任一点的土水势和水分采集系统 4 传送的此时所述砂性土土柱内部相应检测点的含水量数据制作土水特征曲线，所述砂性土土柱内部任一点的土水势为该点距砂性土土柱底部的垂直距离。

由达西定律推得砂性土土柱内部任一点的土水势为该点距砂性土土柱底部的垂直距离的原理是：

首先，测试过程中，当水分传感器 3 和水分采集系统 4 所检测含水量数据在 ± 0.1 % 内变动并且所述补水系统的补水水位维持不变时，被测试砂性土土柱顶部即地表处的水通量 q 等于零，此时所述砂性土土柱内部的含水量分布最终达到稳定状态（即达到终态含水量分布状态），而砂性土土柱终态含水量的分布曲线就是砂性土土水特征曲线。

根据达西定律可知：$q=-k(\theta)\frac{\partial(\psi_m+z)}{\partial z}$，式中 q 为水通量，$\psi_m$ 为土水势，θ 为单位体积含水量，z 为测试点距砂性土土柱底部的垂直距离，$k(\theta)$ 为导水率，

由于砂性土土柱内部的含水量分布达到终态含水量分布状态时，砂性土土柱底部处于饱和状态，则此时砂性土土柱底部的 $\psi_m=0$。

若以所述补水系统的补水水面处即砂性土土柱底部某一点为坐标原点建立空间直角坐标系，则砂性土土柱底部的纵坐标 z=0 且纵坐标方向向上为正，并且当砂性土土柱内部的含水量分布达到终态含水量分布状态时，砂性土土柱底部的 $\psi_m=0$。

而对于 q=0 的被测试砂性土土柱断面，由于导水率 $k(\theta)\neq 0$，故 $\frac{\partial(\psi_m+z)}{\partial z}=0$，则 $\psi_m=-z$，这表明，砂性土土柱内部剖面上任一点的 z 坐标即为砂性土土柱内部该点土体水的吸力值，相应通过水分传感器 3 和水分采集系统 4 测出此时该点的含水量后，即可得到土体水分特征曲线即土水特征曲线。

以上所述，仅是本发明的较佳实施例，并非对本发明作任何限制，凡是根据本发明技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、变更以及等效结构变化，均仍属于本发明技术方案的保护范围内。

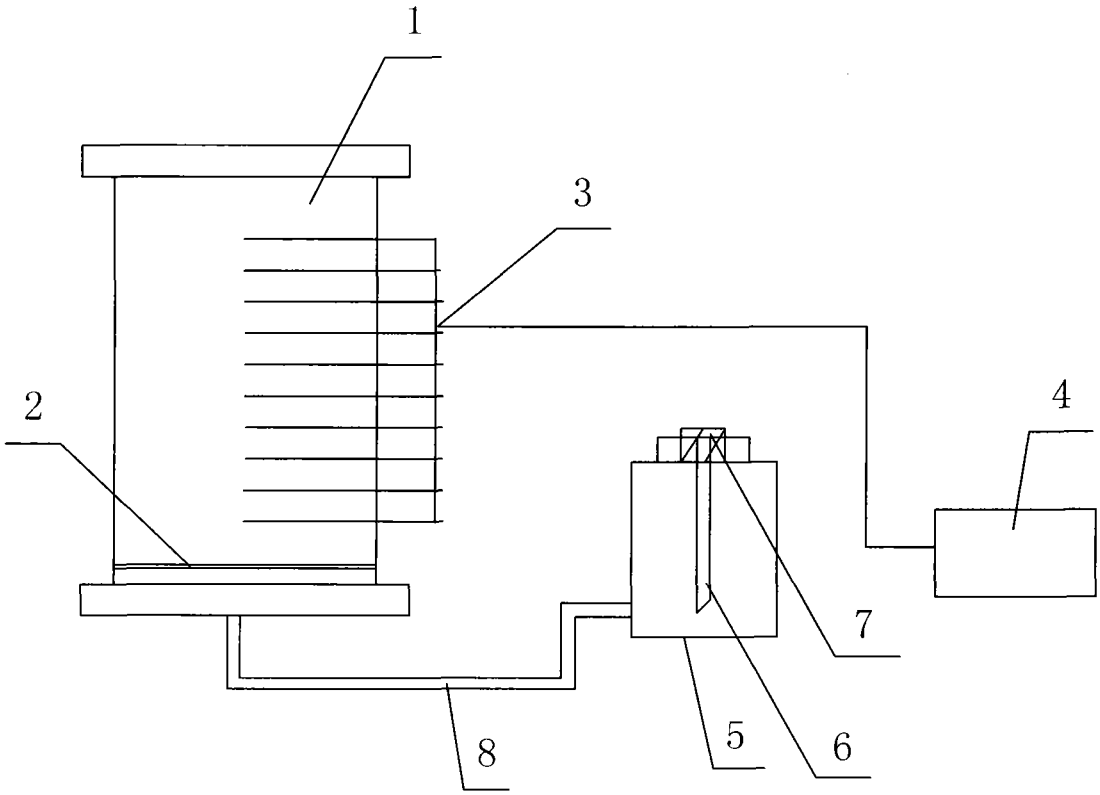


图1

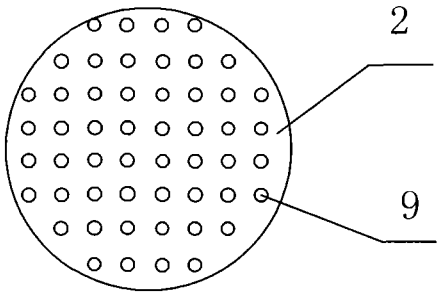


图2

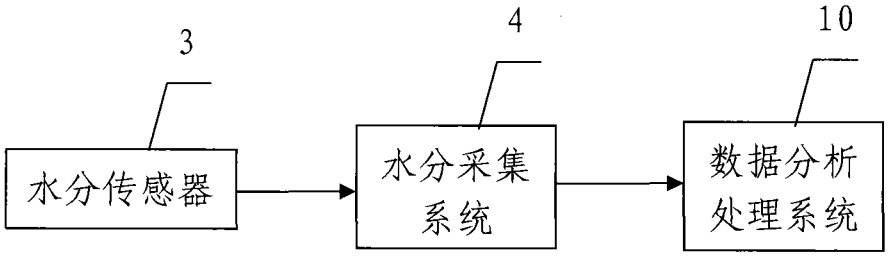

3
4
10
水分传感器
水分采集系统
数据分析处理系统

图 3

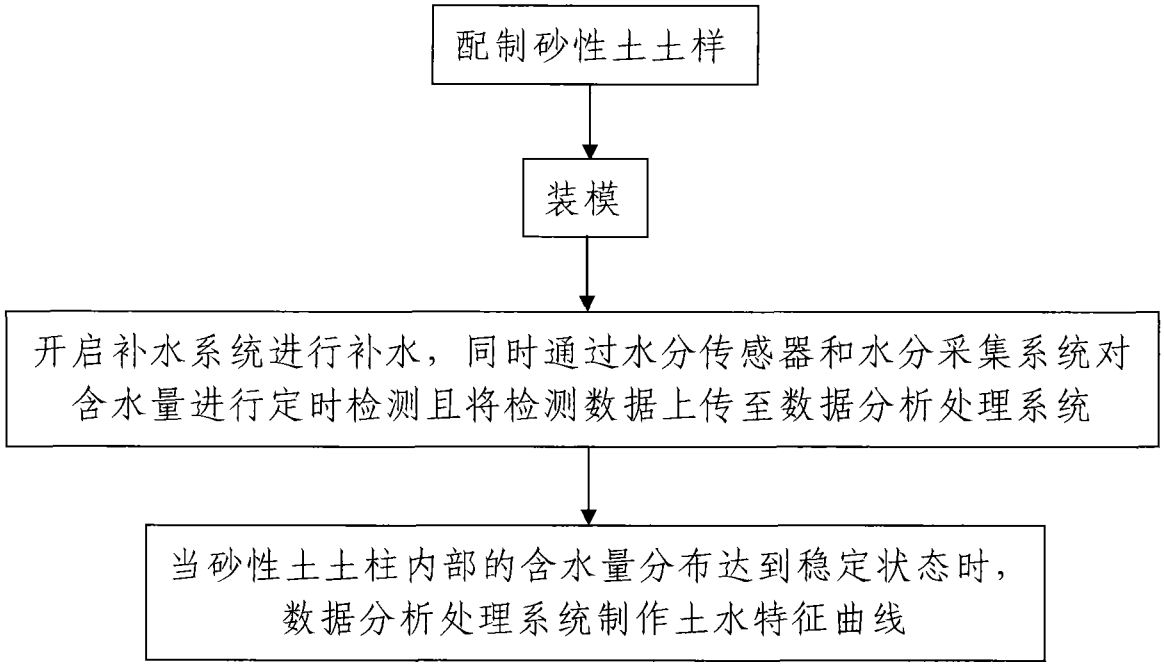

配制砂性土土样
装模
开启补水系统进行补水，同时通过水分传感器和水分采集系统对含水量进行定时检测且将检测数据上传至数据分析处理系统
当砂性土土柱内部的含水量分布达到稳定状态时，数据分析处理系统制作土水特征曲线

图 4