



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103234884 B

(45) 授权公告日 2015.06.03

(21) 申请号 201310115522.1

(22) 申请日 2013.04.03

(73) 专利权人 河海大学

地址 210098 江苏省南京市鼓楼区西康路 1 号

(72) 发明人 陈孝兵 赵坚 沈振中 陶小虎 周贝

(74) 专利代理机构 南京苏高专利商标事务所
(普通合伙) 32204

代理人 柏尚春

(51) Int. Cl.

G01N 15/08(2006.01)

(56) 对比文件

CN 102435540 A, 2012.05.02,

US 2002095984 A1, 2002.07.25,

JP 3772872 B2, 2006.05.10,

CN 101699258 A, 2010.04.28,

CN 201984008 U, 2011.09.21,

Xunhong Chen. Hydrologic connections
of a stream-aquifer-vegetation

zone in south-central Platte River
valley, Nebraska. 《Journal of
Hydrology》. 2007, 554-568.

Ashok Kumar et al. Non-Darcy mixed
convection in a vertical pipe filled with
porous medium. 《International Journal of
Thermal Sciences》. 2011, 725-735.

尹立河, 王晓勇等. 大克泊湖垂向渗透系数
试验研究. 《盐湖研究》. 2011, 第 19 卷 (第 1 期),
杨勇, 赵坚等. 河道低温水对地表水-地下水
交错带温度的影响. 《长江科学院院报》. 2012, 第
29 卷 (第 1 期), 第 20-24 页.

来文立, 宋进喜等. 渭河河床沉积垂向渗透
系数深度变化分析. 《西北大学学报(自然科学
版)》. 2013, 第 43 卷 (第 1 期),

审查员 唐颖

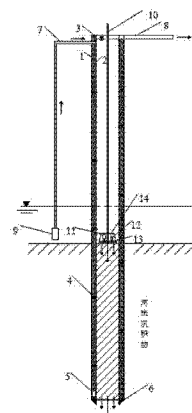
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置
及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置, 包括保温套管、金属杆以及位于保温套管和金属杆内的温度传感器和压力传感器。在热脉冲作用下, 可测试竖直套管内沉积物垂向温度分布以及沉积物两端水压值, 通过渗透系数与温度时空分布的关系公式, 推算出土柱的垂向渗透系数。本发明还公开了一种河床浅层沉积物垂向渗透系数测试方法。该发明装置结构简洁, 测试效率高, 对待测河床沉积物颗粒空间结构干扰小, 测试方法是一种较为环保和经济的河床沉积物垂向渗透系数测试新方法, 具有较好的应用前景。



1. 一种河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,其特征在于,包括保温套管和金属杆(10),所述保温套管包括外管(1)和内管(2),所述内管(2)设置在所述外管(1)中,所述内管(1)和外管(2)之间具有夹层,所述内管(2)上设置有若干第一通孔,所述夹层中与所述第一通孔相对应的位置设置有第一温度传感器(4),所述夹层的底部设置有第一压力传感器(5),所述内管(2)的下端设置有压力测试孔,所述压力测试孔连通所述第一压力传感器(5)的进水口,所述夹层的下端封闭,所述夹层中设置有保温层(3),所述保温套管的上部设置有进水孔,所述进水孔连通潜水泵(9),所述进水孔的上方设置有溢水孔,所述溢水孔连通溢流导管(8);所述金属杆(10)上设置有刻度,所述金属杆(10)伸入所述保温套管,所述金属杆(10)伸入所述保温套管的一端设置有第一金属圆盘(15),所述第一金属圆盘(15)上设置有多个第二通孔,所述第一金属圆盘(15)的上方设置有第二金属圆盘(16),所述第二金属圆盘(16)上设置有多个第三通孔,所述第一金属圆盘(15)和第二金属圆盘(16)的外侧设置有网罩(14),所述网罩(14)内设置有第二压力传感器(11)、第二温度传感器(12)和热电阻丝(13)。

2. 如权利要求1所述的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,其特征在于,所述保温层(3)为聚氨酯层。

3. 如权利要求1所述的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,其特征在于,所述内管(1)和外管(2)之间夹层的下端设置有圆环,所述圆环的内径与所述内管(2)的内径相同,所述圆环的外壁为斜面。

4. 如权利要求1所述的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,其特征在于,所述第一通孔沿所述内管(2)的轴向均匀分布,相邻所述第一通孔分别设置在所述内管(2)轴线的两侧。

5. 如权利要求1所述的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,其特征在于,所述第一压力传感器(5)和第二压力传感器(11)的进水口处设置有泥沙过滤网。

6. 如权利要求1所述的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,其特征在于,所述金属杆(10)的刻度零点为所述金属杆(10)与所述第一金属圆盘处,由下向上标示刻度。

7. 如权利要求1所述的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,其特征在于,还包括温控仪,所述温控仪连接所述热电阻丝(13)。

8. 如权利要求1所述的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,其特征在于,还包括信号数据采集装置和数据处理装置,所述信号数据采集装置用于采集第一温度传感器、第一压力传感器、第二温度传感器和第二压力传感器的输出信号,所述数据处理装置通过所述信号数据采集装置采集到的信号获得保温套管内土柱的渗透系数。

9. 如权利要求8所述的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,其特征在于,所述信号数据采集装置为组合式信号巡检仪。

10. 一种河床浅层沉积物垂向渗透系数测试方法,其特征在于,采用权利要求1-9任一项所述的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,测量时,将所述保温套管竖直插入河床,所述金属杆(10)的底端接触所述保温套管内水沙界面,所述金属杆(10)底端的所述热电阻丝(13)加热所述网罩内水体,使所述水体形成稳定的热水层,所述水体在稳定的水力梯度作用下向下渗透,不同时刻沿水流方向上的温度值与土柱的垂向渗透系数通过下式计算得到:

$$T_i(x_i, t) = \frac{T_0}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x_i - KJt}{2\sqrt{\frac{K_{w\lambda}t}{c_w}}} \right) + \exp \left(\frac{c_w KJx_i}{K_{w\lambda}} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x_i + KJt}{2\sqrt{\frac{K_{w\lambda}t}{c_w}}} \right) \right]$$

其中, x_i 为土柱内水土界面以下第 i 个所述第一温度传感器 (4) 与水土界面的垂向距离; $T_i(x_i, t)$ 为对应的 x_i 点处 t 时刻的所述第一温度传感器 (4) 的温度值; t 为时间; T_0 为所述金属杆 (10) 下端网罩内所述第二温度传感器 (12) 的温度值; K 为待测土柱的垂向渗透系数; J 为所述第二压力传感器 (11) 与第一压力传感器 (5) 测量值的差与土柱长度的比值, 其中, 土柱长度通过所述保温套管的总长度减去所述金属杆 (10) 伸入所述保温套管的长度得到; $K_{w\lambda}$ 与 c_w 均为常数值, $K_{w\lambda}$ 为热水弥散系数, c_w 为水比热容, erfc 为余误差函数;

计算保温套管内各温测点的温度值, 并与实测温度值进行对比, 若误差在设定的容许误差范围内, 则获得土柱的垂向渗透系数。

一种河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于水利工程和农业工程技术领域,具体涉及一种河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置及方法。

背景技术

[0002] 在水资源规划、河流水文学、河流生态学等领域,河床的渗透性参数是各种水环境模型和水资源总量评估模型的关键参数。对河床渗透性的准确测量,尤其是垂向渗透系数,直接关联着对河流与地下水补排水量的准确计算,影响着决策者对水资源进行合理评估与规划。长期以来,渗透系数的测量主要采用的是经典的达西渗透装置,但由于试验过程涉及到对水面下河床沉积物的取样及对原样土的严重扰动,并不适用于河床渗透性的测试;另一种重要的间接测试手段是首先对河床沉积物取样、烘干,然后进行颗粒级配试验,通过特征粒径与经验计算公式推求河床沉积物的渗透系数,但是,大量的文献表明,通过该方法获得的渗透系数因特征粒径选取差异和经验公式的不同而差别较大,有时候这种差别可以达到数个量级,其准确性有待进一步的论证。此外,与达西渗透试验方法一样,该方法取样过程同样干扰了河床原有沉积物结构。

[0003] 由于河流河床受到泥沙冲淤及底栖生物活动等影响,通常具有较高的非均质性,需要获得足够数量的渗透系数离散分布点才能较好地刻画河床的全局渗透性,前述采用水下河床质取样,然后送至实验室进行渗透测试或筛分试验将会给试验人员带来较大的工作量;此外,随着水电站的开发与运行,河流在枯水季节通常也具备较高的水位,对深水型河流而言,河床床质的取样或渗透性的现场测试均面临着较大的难度。

[0004] 因此,需要一种新的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置以解决上述问题。

发明内容

[0005] 发明目的:本发明针对现有技术中河床的渗透性参数测试装置的缺陷,提供一种快速并且精度较高的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置。

[0006] 技术方案:为解决上述技术问题,本发明的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置采用如下技术方案:

[0007] 一种河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,包括保温套管和金属杆,所述金属套管包括外管和内管,所述内管设置在所述外管中,所述内管和外管之间具有夹层,所述内管上设置有若干第一通孔,所述夹层中与所述第一通孔相对应的位置设置有第一温度传感器,所述夹层的底部设置有第一压力传感器,所述内管的下端设置有压力测试孔,所述压力测试孔连通所述第一压力传感器的进水口,所述夹层的下端封闭,所述夹层中设置有保温层,所述保温套管的上部设置有进水孔,所述进水孔连通潜水泵,所述进水孔的上方设置有溢水孔,所述溢水孔连通溢流导管;所述金属杆上设置有刻度,所述金属杆伸入所述保温套管,所述金属杆伸入所述保温套管的一端设置有第一金属圆盘,所述第一金属圆盘上设置有多个第二通孔,所述第一金属圆盘的上方设置有第二金属圆盘,所述第二金属圆盘上设

置有多个第三通孔,所述第一金属圆盘和第二金属圆盘的外侧设置有网罩,所述网罩内设置有第二压力传感器、第二温度传感器和热电阻丝。

[0008] 更进一步的,所述保温层为聚氨酯层。

[0009] 更进一步的,所述内管和外管之间夹层的下端设置有圆环,所述圆环的内径与所述内管的内径相同,所述圆环的外壁为斜面。以便于整体插向河床沉积物中。

[0010] 更进一步的,所述第一通孔沿所述内管的轴向均匀分布,相邻所述第一通孔分别设置在所述内管轴线的两侧。使得第一温度传感器交叉排列,减少测量误差。

[0011] 更进一步的,所述第一压力传感器和第二压力传感器的进水口处均设置有泥沙过滤网。避免泥沙堵塞进水口。

[0012] 更进一步的,所述金属杆的刻度零点为所述第一金属圆盘处,由下向上标示刻度。方便读取土柱的长度。土柱的长度等于所述保温套管的总长减去所述金属杆与所述保温套管上端所对应的刻度值。

[0013] 更进一步的,还包括温控仪,所述温控仪连接所述热电阻丝。对网罩内水体加热并维持相对稳定的温度值。

[0014] 更进一步的,还包括信号数据采集装置和数据处理装置,所述信号采集装置用于采集第一温度传感器、第一压力传感器、第二温度传感器和第二压力传感器的输出信号,所述数据处理装置通过所述信号采集装置采集到的信号获得保温套管内土柱的渗透系数。

[0015] 更进一步的,所述数据采集装置为组合式信号巡检仪。

[0016] 本发明还公开了一种河床浅层沉积物垂向渗透系数测试方法,采用如下的技术方案:

[0017] 一种河床浅层沉积物垂向渗透系数测试方法,采用如上所述的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,测量时,将所述保温套管竖直插入河床,所述金属杆的底端接触所述保温套管内水沙界面,所述金属杆底端的所述热电阻丝加热所述网罩内水体,使所述水体形成稳定的热水层,所述水体在稳定的水力梯度作用下向下渗透,不同时刻沿水流方向上的温度值与土柱的垂向渗透系数通过下式计算得到:

$$[0018] \quad T_i(x_i, t) = \frac{T_0}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x_i - KJt}{2\sqrt{\frac{K_w \lambda t}{c_w}}} \right) + \exp \left(\frac{c_w K J x_i}{K_w \lambda} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x_i + KJt}{2\sqrt{\frac{K_w \lambda t}{c_w}}} \right) \right]$$

[0019] 其中, x_i 为土柱内水土界面以下第 i 个所述第一温度传感器与水土界面的垂向距离; $T_0(x_i, t)$ 为对应的 x_i 点处 t 时刻的所述第一温度传感器的温度值; t 为时间; T_0 为所述金属杆下端网罩内所述第二温度传感器的温度值; K 为待测土柱的垂向渗透系数; J 为所述第二压力传感器与第一压力传感器测量值的差与土柱长度的比值,其中,土柱长度通过所述保温套管的总长度减去所述金属杆伸入所述保温套管的长度得到; $K_w \lambda$ 与 c_w 均为常数值, $K_w \lambda$ 为热水弥散系数, c_w 为水比热容, erfc 为余误差函数。

[0020] 发明原理:采用两端开口的夹层保温套管,保温材料充填于夹层之中,夹层中沿管轴方向设置有温度传感器,套管底端夹层内设置有压力传感器,上端连有进水管和溢流导管,进水管与潜水泵相连。渗透系数测量时套管处于竖直插入河床状态,由潜水泵抽水取河水至套管,溢流出水管则将套管内多余的河水导出,使套管内外形成稳定的水位差;在设置温度传感器时,套管夹层内的第一温度传感器穿透套管内壁,通过第一通孔能够直接测量

套管内土柱的温度,减少了套管内壁对第一温度传感器温测值的干扰。

[0021] 金属杆底端设置有第二温度传感器、第二压力传感器以及热电阻丝,三者置于由第一金属圆盘、第二金属圆盘和网罩形成的空间内,网罩焊接于金属杆的底端形成一个类似于活塞的组合构件,放置于夹层保温套管内。注意,金属杆的长度不应小于保温套管的长度。热电阻丝与第二温度传感器一起,对网罩内水体加热并维持相对稳定的温度值;网罩的设置既可以使套管内土柱在水沙界面处的水体有一个相对稳定的热水层,又可以阻截部分泥沙颗粒进入到网罩空间内,从而降低了泥沙对设置于其中的第二压力传感器和第二温度传感器的干扰。

[0022] 测量时,将所述保温套管竖直插入河床,所述金属杆的底端接触所述保温套管内水沙界面,所述金属杆底端的所述热电阻丝加热所述网罩内水体,使所述水体形成稳定的热水层,所述水体在稳定的水力梯度作用下向下渗透,最终通过温度与渗透系数的时空关系式,获得套管内土柱的渗透系数。

[0023] 有益效果:本发明的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置采用温度示踪获得一定深度河床沉积物垂向温度分布,通过所获得的各温测点温度值对垂向渗透系数进行多点校核,从而获得较为准确的河床沉积物垂向渗透系数。本发明中将温度作为一种示踪剂,对比于其他示踪剂(常见的如氯化钠)而言,是一种较为经济的示踪方法,且具有对待测河流的环境干扰小、零污染等特点。本发明中由于管内水位与管外河水位形成了一个较大的、稳定的水位差,这样使得管内土柱内的水流能够形成流向为单方向且流速相对稳定的流态。这种稳定的水位差可以有效地减少因河床非均质特性导致地下水在垂直流向上的时空不稳定现象对管内土柱流场的干扰。此外,管内外较大的水头差使得热量随水流在管内土柱中快速传播,使得在野外现场的测量者可在较短的时间内获得足够数量的温测点的温度值,从而可以形成对渗透系数的高效率的快速测量。

附图说明

[0024] 图1为本发明的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置的结构示意图;

[0025] 图2为保温套管的俯视图;

[0026] 图3为金属杆的俯视图;。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图和具体实施例,进一步阐明本发明,应理解这些实施例仅用于说明本发明而并不用于限制本发明的范围,在阅读了本发明之后,本领域技术人员对本发明的各种等价形式的修改均落于本申请所附权利要求所限定的范围。

[0028] 请参阅图1、图2和图3所示,本发明的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,包括保温套管和金属杆10。金属套管包括外管1和内管2,内管2设置在外管1中,内管1和外管2之间具有夹层。其中,外管1为内径5cm,外径5.2cm的不锈钢管,内管2为内径4cm,外径4.2cm的不锈钢管。内管2与外管1的长度为2m。双管竖直放置,首先在内管2底端3cm处开始用电钻机按5cm间隔错位打孔,用于安装第一温度传感器4探头,在温度传感器4与孔壁接触处缝隙采用透明硅胶封堵,温度传感器4的屏蔽线缆由内外管夹层从上端引出接入组合式信号巡检仪,第一温度传感器4采用精度为 ± 0.01 的PT100型铂电阻。

[0029] 内管 2 上设置有若干第一通孔,夹层中与第一通孔相对应的位置设置有第一温度传感器 4。第一通孔靠近内管 2 内侧的一端通过导热材料封堵。其中,导热材料为硅胶。优选的,第一通孔沿内管 2 的轴向均匀分布,相邻第一通孔分别设置在内管 2 轴线的两侧。使得第一温度传感器交叉排列,减少测量误差。夹层的底部设置有第一压力传感器 5,内管 2 的下端设置有压力测试孔,压力测试孔连通第一压力传感器 5 的进水口。具体的,在内管 2 底端外壁上焊接精度为 $\pm 1\text{mm}$,量程为 1.5m 的第一压力传感器 5,第一压力传感器 5 进水口朝下设置,并在进水口处设置不锈钢金属网,在内管 2 底端打一个压力测试孔,并将该压力测试孔与第一压力传感器 5 进水口通过硅胶导管相连接,第一压力传感器 5 的屏蔽线缆仍然通过夹层空间由上端引出连接到组合式信号巡检仪。第一压力传感器 5 的进水口处设置有泥沙过滤网。避免泥沙堵塞进水口的孔口。

[0030] 夹层的下端封闭,本发明中夹层在下端采用不锈钢焊接封堵。夹层中设置有保温层 3。保温层 3 为聚氨酯层。具体的,在内外管夹层上端倒入液态聚氨酯对夹层空间进行化学发泡充填,形成致密的保温层 3,温度传感器与压力传感器的屏蔽线缆也随聚氨酯发泡一起被固定于夹层中,内外管的夹层上端也采用不锈钢片焊接封堵。内管 1 和外管 2 之间夹层的下端设置有圆环,圆环的内径与内管 2 的内径相同,圆环的外壁为斜面。以便于整体插向河床沉积物中。

[0031] 保温套管的上部设置有进水孔,进水孔连通潜水泵 9。进水孔的上端设置有溢水孔,溢水孔连通溢流导管 8。具体的,在不锈钢保温套管的上端,打一个直径为 2cm 的进水孔,并安装进水管 7,进水管 7 的另一端连接微型潜水泵,微型潜水泵的最大扬程为 5m,最大流量不大于每小时 3 立方米。在略高于进水口的高程处,同样对套管打一个孔作为溢水孔,溢水孔直径为 4cm,并用溢流导管 8 将水引出。进水管 7、溢流导管 8 在各自与金属保温管连接处缝隙用硅胶进行封堵。

[0032] 金属杆 10 采用内径为 0.9cm,外径为 1.1cm,长度为 2.5m 的不锈钢管。金属杆 10 上设置有刻度,金属杆 10 伸入保温套管。金属杆 10 伸入保温套管的一端设置有第一金属圆盘 15,第一金属圆盘 15 上设置有多第二通孔,第一金属圆盘 15 的上方设置有第二金属圆盘 16,第二金属圆盘 16 上设置有多第三通孔。第一金属圆盘 15 和第二金属圆盘 16 的外侧设置有网罩 14,网罩 14 内设置有第二压力传感器 11、第二温度传感器 12 和热电阻丝 13。具体的,金属杆 10 底端焊接一个半径为 3cm 的第一金属圆盘 15,焊接点为金属圆盘的圆心处。在第一金属圆盘 15 上设置一个第二压力传感器 11 和一个第二温度传感器 12,第二压力传感器 11 精度为 $\pm 1\text{mm}$,量程为 3m,第二温度传感器 12 选用精度为 ± 0.01 的 PT100 型铂电阻,第二压力传感器 11 的进水口需设置多孔滤网以防止泥沙颗粒对测量的干扰。压力传感器 11 与温度传感器 12 的屏蔽线缆通过金属杆 10 的中间空隙向上端引出,并连接到组合式信号巡检仪上。在第一金属圆盘 15 上,除了设置上述的第二压力传感器 11 和第二温度传感器 12 外,还需在平面上设置成 120 度角分布的热电阻丝 13,连接热电阻丝 13 的导线也通过带刻度手持金属杆 10 的中间空隙向上端引出,连接到温控仪上。在距离第一金属圆盘 15 上方约 6cm 处,再焊接一个第二金属圆盘 16,焊接位置也为该圆盘的圆心处,第二金属圆盘 16 的半径略小于位于其下的第一金属圆盘 15 的半径,选为 2.8cm。第一和第二金属圆盘呈相互水平布置,两者侧面可用不锈钢金属网包扎封闭,使之形成一个相对可透水又能有效阻止泥沙颗粒进入的网罩 14。金属杆 10 的刻度零点为第一金属圆盘 15 处,由下向

上标示刻度。方便读取土柱的长度。土柱的长度等于保温套管的总长减去金属杆 10 与保温套管上端所对应的刻度值。

[0033] 还包括信号数据采集装置和数据处理装置,信号采集装置用于采集第一温度传感器 4、第一压力传感器 5、第二温度传感器 12 和第二压力传感器 11 的输出信号,数据处理装置通过信号采集装置采集到的信号获得保温套管内土柱的渗透系数。其中,信号采集装置为组合式信号巡检仪,巡检仪的通道接口数量应该满足压力传感器与温度传感器的接入。由巡检仪获得的模拟信号通过常规的 RS485 通讯协议进行转换,导入到计算机,形成计算机可识别的信号值。通过前述的计算原理进行计算,推求保温金属管内土柱的垂向渗透系数。测量时需要注意以下几点:①将不锈钢金属保温管竖直插入河床一定深度,并固定。先要开启潜水泵 9 一段时间,使进入保温套管内的土柱流场达到稳定;②金属杆 10 下端的热电阻丝 13 需要先预热,待底端第一金属圆盘 15 接触保温套管内水土界面后,调节热电阻丝 13 使其对网罩 14 狭小空间内的水体进行快速加热,并通过温控仪的设定使水温相对稳定在一个水平。由于高温或低温均会对渗透系数造成一定的影响,因此,网罩 14 空间的内的水温不应该与河流正常水温相差过大,控制在 15 摄氏度温差以内。

[0034] 本发明还公开了一种河床浅层沉积物垂向渗透系数测试方法,采用如上的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置,测量时,将保温套管竖直插入河床,金属杆 10 的底端接触保温套管内水沙界面,金属杆 10 底端的热电阻丝 13 加热网罩内水体,使水体形成稳定的热水层,水体在稳定的水力梯度作用下向下渗透,不同时刻沿水流方向上的温度值与土柱的垂向渗透系数通过下式计算得到:

$$[0035] \quad T_i(x_i, t) = \frac{T_0}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x_i - KJt}{2\sqrt{\frac{K_w \lambda t}{c_w}}} \right) + \exp \left(\frac{c_w K J x_i}{K_w \lambda} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x_i + KJt}{2\sqrt{\frac{K_w \lambda t}{c_w}}} \right) \right]$$

[0036] 其中, x_i 为土柱内水土界面以下第 i 个第一温度传感器 4 与水土界面的垂向距离; $T_0(x_i, t)$ 为对应的 x_i 点处 t 时刻的第一温度传感器 4 的温度值; t 为时间; T_0 为金属杆 10 下端网罩内第二温度传感器 12 的温度值; K 为待测土柱的垂向渗透系数; J 为第二压力传感器 11 与第一压力传感器 5 测量值的差与土柱长度的比值,其中,土柱长度通过保温套管的总长度减去金属杆 10 伸入保温套管的长度得到; $K_w \lambda$ 与 c_w 均为常数值,一般情况下可以分别取为 0.597 和 4180, $K_w \lambda$ 为热水弥散系数,由于热量的传播主要由水流速度控制,热弥散作用影响较小,因此热水弥散系数取经验常数值即可, c_w 为水比热容, erfc 为余误差函数。

[0037] 基于上述原理,采用计算机语言编程,计算保温套管内各温测点的温度值,并与实测温度值进行对比,若误差在设定的容许误差范围内,则获得土柱的垂向渗透系数。

[0038] 发明原理:采用两端开口的夹层保温套管,保温材料充填于夹层之中,夹层中沿管轴方向设置有温度传感器,套管底端夹层内设置有压力传感器,上端连有进水管和溢流导管,进水管与潜水泵相连。渗透系数测量时套管处于竖直插入河床状态,由潜水泵抽水取河水至套管,溢流出水管则将套管内多余的河水导出,使套管内外形成稳定的水位差;在设置温度传感器时,套管夹层内的第一温度传感器穿透套管内壁,通过第一通孔能够直接测量套管内土柱的温度,减少了套管内壁对第一温度传感器温测值的干扰。

[0039] 金属杆底端设置有第二温度传感器、第二压力传感器以及热电阻丝,三者置于由第一金属圆盘、第二金属圆盘和网罩形成的空间内,网罩焊接于金属杆的底端形成一个类

似于活塞的组合构件,放置于夹层保温套管内。注意,金属杆的长度不应小于保温套管的长度。热电阻丝与第二温度传感器一起,对网罩内水体加热并维持相对稳定的温度值;网罩的设置既可以使套管内土柱在水沙界面处的水体有一个相对稳定的热水层,又可以阻截部分泥沙颗粒进入到网罩空间内,从而降低了泥沙对设置于其中的水压力传感器和温度传感器的干扰。

[0040] 测量时,将保温套管竖直插入河床,金属杆 10 的底端接触保温套管内水沙界面,金属杆 10 底端的热电阻丝 13 加热网罩内水体,使水体形成稳定的热水层,水体在稳定的水力梯度作用下向下渗透,最终通过温度与渗透系数的时空关系式,获得套管内土柱的渗透系数。

[0041] 本发明的河床浅层沉积物垂向渗透系数测试装置采用温度示踪获得一定深度河床沉积物垂向温度分布,通过所获得的各温测点温度值对垂向渗透系数进行多点校核,从而获得较为准确的河床沉积物垂向渗透系数。本发明中将温度作为一种示踪剂,对比于其他示踪剂常见的如氯化钠而言,是一种较为经济的示踪方法,且具有对待测河流的环境干扰小、零污染等特点。本发明中由于管内水位与管外河水位形成了一个较大的、稳定的水位差,这样使得管内土柱内的水流能够形成流向为单方向且流速相对稳定的流态。这种稳定的水位差可以有效地减少因河床非均质特性导致地下水在垂直流向上的时空不稳定现象对管内土柱流场的干扰。此外,管内外较大的水头差使得热量随水流在管内土柱中快速传播,使得在野外现场的测量者可在较短的时间内获得足够数量的温测点的温度值,从而可以形成对渗透系数的高效率的快速测量。

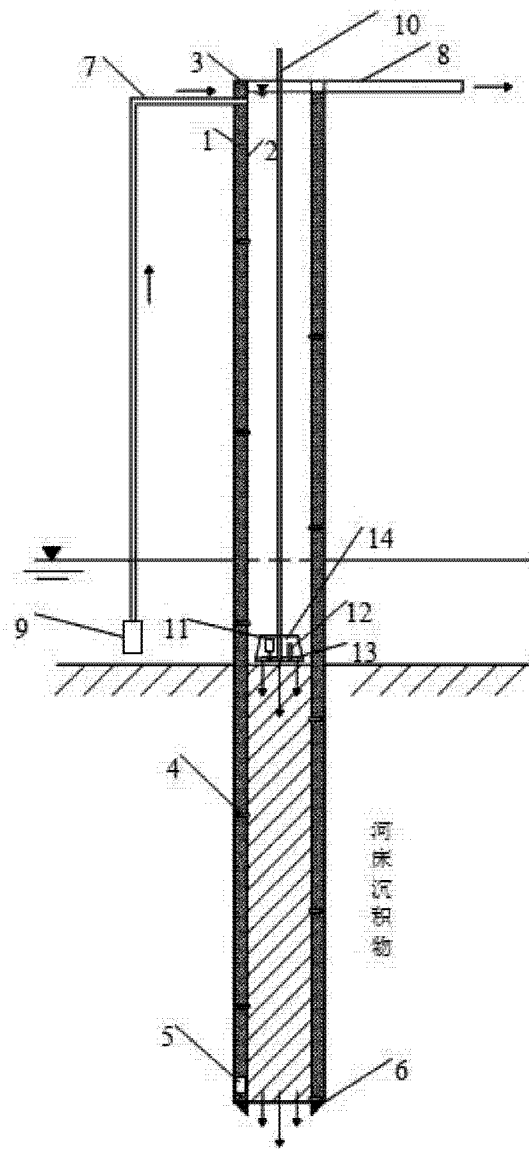


图 1

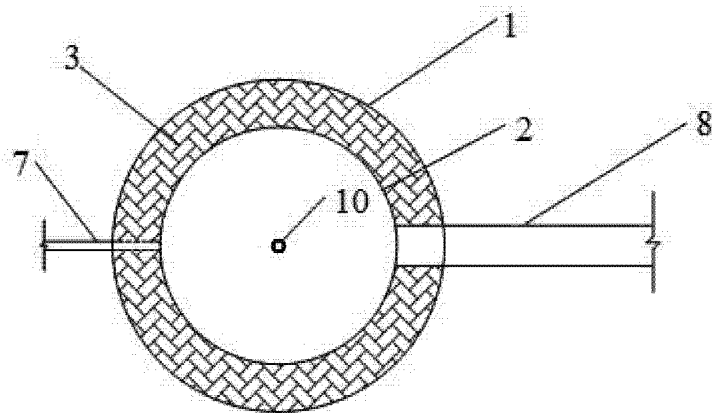


图 2

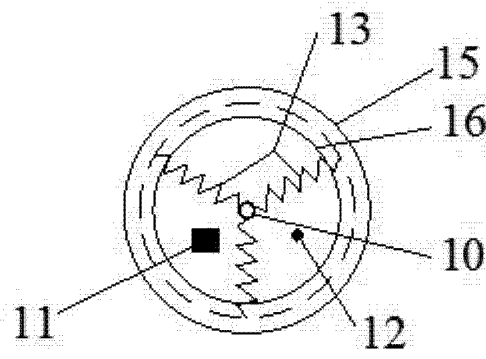


图 3