

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2021 年 1 月 7 日 (07.01.2021)



(10) 国际公布号
WO 2021/000345 A1

- (51) 国际专利分类号:
E02D 1/00 (2006.01) *G01N 19/02* (2006.01)
G01N 3/08 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/096258
- (22) 国际申请日: 2019 年 7 月 17 日 (17.07.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910586774.X 2019年7月1日 (01.07.2019) CN
- (71) 申请人: 大连理工大学(DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。
- (72) 发明人: 于龙(YU, Long); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。
韩云瑞(HAN, Yunrui); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。 杨

庆(YANG, Qing); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。

- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,

(54) Title: HORIZONTAL CONTINUOUS MEASURING METHOD FOR SOIL MASS PARAMETERS OF SOFT SOIL SITE

(54) 发明名称: 一种软土场地土体参数横向连续测量方法

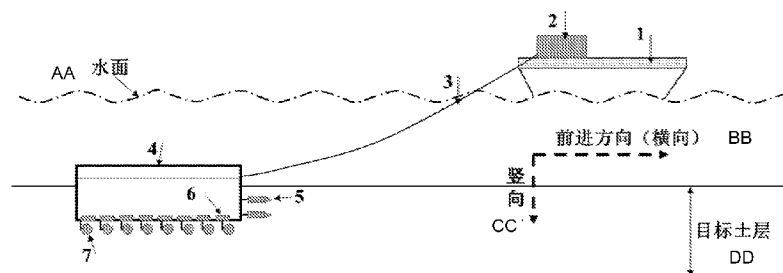


图 1

AA THE SURFACE OF WATER
BB ADVANCING DIRECTION (HORIZONTAL)

CC VERTICAL
DD TARGET SOIL LAYER

(57) Abstract: A horizontal continuous measuring method for soil mass parameters of a soft soil site. The measuring steps are as follows: soil mass strength measuring devices are arranged at the front end of a towing device; soil mass strain softening relationship measuring devices are arranged at the bottom end of the towing device; an interface friction parameter between a soil mass and a structure is measured; and the towing device actively or passively walks in a soft soil layer, a part of the towing device in walking is ensured to penetrate into a soil layer to be measured, and the penetration depth of the towing device is controlled by adjusting balance weight above the towing device and a towing angle. The method breaks through the limitation that the horizontal continuous soil mass parameters cannot be obtained by a conventional single-point vertical measuring method, and can accomplish the horizontal long-distance continuous field measurement of the parameters such as the soil mass strength, the strain softening, and the interface friction effect between the soil mass and the structure by means of a one-time towing test.

RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：一种软土场地土体参数横向连续测量方法，测量步骤如下：拖曳装置前端布置土体强度测量装置，拖曳装置底端布置土体应变软化关系测量装置和土体与结构物之间界面摩擦参数测量，拖曳装置主动或被动在软土层内行走，确保拖曳装置在行走中部分贯入待测土层，通过调整拖曳装置上方配重及拖拽角度控制其入土深度。突破了传统单点竖向测量方法不能获取横向连续土体参数的局限，通过一次拖拉试验即可完成土体强度、应变软化以及土体与结构物界面摩擦作用等参数的横向长距离连续现场测量。

一种软土场地土体参数横向连续测量方法

技术领域

本发明属于岩土、地质和环境等研究技术领域，涉及一种软土场地土体参数横向连续测量方法，该方法尤其适用于水下管线设计及施工前的土体参数调查。

背景技术

准确地测量土体参数是一切工程实施的基础。软土作为一种不良土体，一般具有天然含水量高、天然孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低、固结系数小、固结时间长、灵敏度高、透水性差等特点。因此，对软土场地进行设计和施工风险较高。在工程实践中，实现对软土场地土体参数精确测量是降低工程风险和优化工程设计的重要途径，而达到快速、连续、准确的测量不仅是对实验方法的重要考验，更是工程界所面对的主要难题。

传统土体参数的获取主要是通过现场重力取样或钻孔取样等方法获取芯状样，继而通过室内试验完成土体相关参数的测量。但该方法由于取样过程对土体的扰动以及室内试验方法存在的局限性，很难准确估计实际场地的土体性质，这必然对工程造成不利的影响，甚至影响工程安全。近些年，现场原位试验方法得到了快速发展，静力触探试验（CPT，CPTU）、原位 T-bar 试验，原位 Ball-bar 试验等方法得到了广泛应用，试验精度也得到了显著提升，尤其对于软土场地，这些实验方法体现了无法比拟的优越性。然而，这些实验方法均是针对某一个目标点通过测量设备的竖向单次贯入或循环贯入来获得土体参数，这对于单一目标点的土体参数测量具有良好的适用性。但对于大范围、长距离的场地，已有试验方法得到的结果不能反应土体参数在横向的变化。通过设置较多的竖向钻孔点可以从一定程度上获得土体参数在地表平行向的变化关系，但

由此导致的工程费用和耗时的增加，使得实际工程中该种方案也变得不切实际。结合目前工程中遇到的问题，急需找到一种能够实现横向、长距离、连续测量土体参数的实验方法，该方法对建立于软土场地工程的设计及稳定性评价具有重要的意义。

发明内容

针对已有实验方法不能实现横向长距离土体参数测量的问题，本发明提出了一种可实现横向连续测量土体参数的方法。该方法可适用于湖泊、沼泽、河流、海洋等底部软弱土层的土体参数的横向连续测量，最终服务于防波堤、海底油气管线、电缆、光缆等依托于地表平行向长距离浅层土体参数进行设计和施工的工程。尤其是随着深海油气资源开发日益增多，依托本发明所提方法对海底土体参数进行测量并应用于海底管线、海底电缆等工程设施的设计及稳定性评价具有极为重要意义。

本发明的技术方案：

一种软土场地土体参数横向连续测量方法，主要测量步骤如下：

步骤 1、拖曳装置前端布置土体强度测量装置：多个土体强度测量装置安装于拖曳装置前端，安装数量根据待测土层深度的增加而增多，安装方向指向拖曳装置运动方向；采集土体强度测量装置在横向运动过程中的电压信号，根据所测电压信号与土体强度测量装置所受阻力的转换关系，确定土体强度测量装置所受的阻力；再通过所得阻力与土体强度之间的关系，获得沿运动方向连续变化的土体强度；

步骤 2、拖曳装置底端布置土体应变软化关系测量装置：多个土体应变软化关系测量装置安装于拖曳装置底端，安装方向为指向拖曳装置运动方向，确保多个土体应变软化关系测量装置位于同一水平线上；拖曳装置在土体内行进过

程中，同一位置土体受到拖曳装置底端多个土体应变软化关系测量装置的扰动；通过土体应变软化关系测量装置所测电压信号与阻力之间的转化关系，获得土体应变软化关系测量装置行进中的阻力；对同一位置土体，即获得土体应变软化关系测量装置所受阻力与其对应的扰动土体的土体应变软化关系测量装置个数之间的关系；结合扰动土体应变软化关系测量装置个数与土体发生的累积塑性应变之间的关系，继而获得阻力和累积塑性应变之间的关系；结合土体应变软化关系测量装置所受阻力与土体强度之间的关系，最终确定土体强度与累积塑性应变之间的关系，即土体应变软化关系；

步骤 3、土体与结构物之间界面摩擦参数测量：拖曳装置底端设有多个凹槽，凹槽内布置摩擦板，摩擦板与安装于凹槽内的拉压传感器连接，确保摩擦板的下表面与土体接触并位于同一水平线上；一个拉压传感器平行于运动方向，另一个传感器垂直于运动方向；拖曳装置在土体内行进过程中，直接测量拉压传感器电压信号并通过其与力之间的转化关系，获得摩擦板所受土体的摩擦力和竖向压力；对于黏土，结合土层内同一位置摩擦板的摩擦阻力和其对应的扰动土体的摩擦板个数之间的关系，以及扰动土体摩擦板个数与土体发生的相对位移之间的关系，最终获得摩擦板摩擦阻力和累积相对位移之间的关系；对于砂性土，通过土层内同一位置摩擦板所受摩擦阻力与其所受竖向压力的关系，即获得摩擦板与土体之间的摩擦系数，结合经过同一位置扰动土体摩擦板个数与土体发生的相对位移之间的关系，最终获得摩擦板摩擦系数和累积相对位移之间的关系；

步骤 4、拖曳装置主动或被动在软土层内行走，确保拖曳装置在行走中部分贯入待测土层，通过调整拖曳装置上方配重及拖拽角度控制其入土深度。

用于土体强度测量装置为 T-bar 贯入仪、Ball-bar 贯入仪或静力触探仪(CPT、

CPTU)。

用于土体应变软化关系测量装置为 T-bar 贯入仪或 Ball-bar 贯入仪。

本发明所提方法主要优点在于可获得水平方向连续的土体参数，但须注意，以上所说明的土体参数仅为实施例中主要关注的土体参数，而不是全部可获得的土体参数，实施例中配套的传感器所获得的数据还可用于其他参数例如超固结比、灵敏度、砂土的相对密实度、内摩擦角、土的压缩模量、变形模量、饱和黏土不排水模量、地基承载力、单桩承载力以及砂土液化判别等参数的确定。

本发明的有益效果：

1) 土体强度作为工程设计及施工的基础参数，依据本发明所提方法，通过强度测量设备（T-bar 贯入仪、Ball-bar 贯入仪、CPT 探头等）的水平布设并使其沿水平方向在土层中横向贯入，可连续获取拖曳距离内的土体强度参数。本发明所提方法突破了传统单点竖向测量方法不能获取横向连续土体强度参数的局限，提高了工程安全性并降低了工程实际测量中所需的时间成本和经济成本。

2) 应变软化参数作为软土地带重要的土体力学参数，应用本发明所提方法，通过一次拖拉试验即可完成应变软化参数的现场测量，并获得测量范围内横向连续的土体应变软化参数。采用该方法避免了传统单点竖向测量方法由于取样点的特殊性对软化参数测量结果的影响，对分析海底结构及海底边坡稳定性具有重要参考价值。

3) 土体与结构物界面摩擦参数一直是海洋工程设计及稳定性分析的重点和难点，采用本发明所提方法，通过一次拖拽试验，可完成土体与结构物界面摩擦参数的现场测量。同时，通过多个摩擦板的水平线性布设，可获得土体在不同扰动程度下的摩擦参数及其衰减规律，为工程实践中的土与结构相互作用的研究提供了参数依据。

4) 依据本发明所提方法, 可实现土体参数的横向长距离连续测量, 所测参数可用于指导防波堤、海底油气管线、电缆、光缆等工程的设计及施工。尤其随着深海油气资源开发日益增多, 依托本发明所提方法对海底土体参数进行测量并应用于海底管线、海底电缆等工程设施的设计及稳定性评价具有重要意义。

附图说明

图 1 为本发明实施例提供的所提试验方法试验设备布置示意图。

图 2 为本发明实施例提供的拖曳装置前端 CPT 探头布局主视图。

图 3 为本发明实施例提供的拖曳装置前端 CPT 探头布置侧视图。

图 4 为本发明实施例提供的拖曳装置底端设备布局示意图。

图 5 为本发明实施例提供的拖曳装置底端局部 T-bar 贯入仪布置图。

图 6 为本发明实施例提供的拖曳装置底端局部位置摩擦板测量原理图。

图 7 为本发明实施例提供的基于 CPT 探头所测土体强度变化情况示意图。

图 8 (a) 为本发明实施例提供的基于 T-bar 探头不同位置所测阻力变化示意图。

图 8 (b) 为本发明实施例提供的基于 T-bar 探头某一位置所测阻力衰关系示意图。

图 9 (a) 为本发明实施例提供的基于摩擦板竖向压力传感器测量压力变化示意图。

图 9 (b) 为本发明实施例提供的基于摩擦板横向压力传感器测量摩擦力变化示意图。

图 9 (c) 为本发明实施例提供的基于摩擦板试验所获摩擦系数变化情况示意图。

图 10 (a) 为本发明实施例提供的基于摩擦板试验所获剪应力衰减关系示意

图。

图 10 (b) 为本发明实施例提供的基于摩擦板试验所获摩擦系数衰减关系示意图。

图中：1 拖船；2 拖缆终端设备（涵盖收放绞车及数据采集等设备）；3 拖缆（具有较高抗拉强度且可传输传感器采集信号）；4 拖曳结构主体；5CPT 探头；6 摩擦板；7T-bar 探头；8 拖缆拉环；9 拖曳结构顶板；10 拖曳结构中空肋板；11CPT 探头安装支座；12 拉压传感器；13T-bar 固定支座。

其中拖曳结构主体 4 可以通过拖船等外部设备进行拖拽使其横向行走，也可通过自身配置动力系统使其在实际测量中进行横向移动。拖曳装置行走过程中采集到的传感器信号可通过拖缆 3 直接传递到测量终端设备 2，用于试验人员实时分析；也可在试验过程中先期存储在拖曳装置内部，待试验完成后对测量数据进行分析。

具体实施方式

为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更清楚，下面将结合本发明的实施例中的附图对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。此处所描述的实施例是本发明部分实施例，而不是全部的实施例。通常在此处附图中的描述和展示出的本发明实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。

因此，对以下附图中提供的本发明的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围，而仅仅是表示本发明的选定实施例。基于本发明的实施例，本领域技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

应当注意到，相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项，因此，一旦某一项在一个附图中被定义，则在随后的附图中不需要对其进行进一步定义和

解释。

本发明描述中的“上”、“下”、“左”、“右”等指示的位置关系，为基于附图所示的方位和位置关系，或者是该发明产品使用时惯常摆放的方位或位置关系，或者是本领域技术人员惯常理解的方位或位置关系，仅是为了便于本实施例中的描述，而不是指示或暗示所指的设备和元件必须具有特定的方位，因此不能理解为对本发明的限制。

此外，本发明中所出现的“第一”、“第二”、……、“第十”等序列性用词，仅为便于描述，而不能理解为指示或者暗示相对重要性。

实施例

本实施例为一种软土场地土体参数横向连续测量方法，本实施例提供的实验方法简单且能够实现横向长距离土体参数的连续测量，可用以服务于水下管线、电缆等结构的设计和施工。

请参阅图 1，本实施例提供的横向连续测量软土场地参数的实验方法可通过一次水平拖拽拖曳装置完成。拖曳装置包括拖曳结构主体 4、CPT 探头 5、摩擦板 6、T-bar 探头 7、拖拉拉环 8、拖曳结构顶板 9、拖曳结构中空肋板 10、CPT 探头安装支座 11、拉压传感器 12 及 T-bar 固定支座 13。CPT 探头 5 与 CPT 探头安装支座 11 相连接，摩擦板 6 分别与横向和竖向布设的拉压传感器 12 相连接，T-bar 探头 7 与拉压传感器 12 相连接。

结合附图及技术方案，本实施例主要步骤如下：

第一，组装拖曳装置前端 CPT 探头 5

参阅图 1、图 2 和图 3，拖曳结构主体 4 采用不锈钢结构，可通过控制其上方配重使其沉入土层一定深度。拖曳结构主体 4 上部采用厚壁钢板制作，该拖曳结构主体 4 中空用以排设线缆和施加配重铅块；拖缆 3 与布设于顶板前部的

拉环 8 相连接，用以拖拽拖曳结构主体 4；2 个 CPT 探头 5 与 CPT 探头安装支座 11 相连并固定于拖曳结构主体 4 前端肋板上。

CPT 探头 5 选用国际标准探头，即探头顶角为 60° 、底面积为 10cm^2 。

第二，组装拖曳装置底端 T-bar 探头 7

参阅图 4 和图 5，T-bar 支座 13 在拖曳结构主体 4 底端沿同一直线布设 8 个，拉压传感器 12 与 T-bar 支座 13 相连接并指向拖曳装置运动方向。8 个 T-bar 探头 7 分别与对应的拉压传感器 12 相连接，T-bar 探头 7 尺寸选用工程中常用的直径 4cm，长度 10cm 的不锈钢圆柱。

第三，组装拖曳装置底端摩擦板 6

参阅图 4 和图 6，8 个摩擦板 6 沿着拖曳结构主体 4 底端纵向均匀布设，摩擦板 6 分别与固定于拖曳装置底部凹槽内的横向和竖向布设的拉压传感器 12 相连接，摩擦板 6 长度为 10cm，宽度为 5cm；相邻摩擦板 6 之间所用材料与摩擦板 6 所用材料相同，并要求相邻摩擦板 6 间的距离与摩擦板 6 长度相同。

第四，设备性能检测和调试。

土体参数测量设备布设结束后，通过拉压 CPT 探头 5、T-bar 探头 7 和摩擦板 6 来配套传感器、传输信号拖缆 3 和采集拖缆终端设备 2 等配套设施的灵敏性和有效性，测试中通过拖缆终端设备 2 进行数据的试采。设备检测完全无问题后，准备下一步实验。

第五，拖曳装置投放至待测土层表面

将组装好的拖曳装置通过龙门吊或其他吊装设备缓慢下放于土体表面，下放过程中控制下放速度，避免较大的惯性力对设备造成破坏。拖曳装置下放至指定位置后，继续下放拖缆 3 并使拖船 1 低速前进，控制拖缆 3 长度使其与泥面之间的夹角足够小（一般 30° 以内）。待拖缆 3 到达指定角度后，检查拖缆终

端设备 2 运行情况，设备检查无误后，数据采集设备开启。

第六，拖曳装置的横向拖拽

试验准备工作就绪后，采用拖船 1 沿着指定方向拖动拖曳装置，拖拽中严格控制拖船速度和方向，尽量保证拖船 1 以匀速前进，对采集数据进行时时观察、分析和保存。

第七，设备的回收

待实验完成，拖船 1 缓慢倒退并同时收缆，向上提升拖曳装置，回收至拖船甲板后，进行设备的检查和存放。

第八，测量数据的处理

一次拖拉试验完成后，本发明所提方法测量的主要土体参数及数据分析过程如下：

1) 土体抗剪强度的确定

土体的抗剪强度作为重要的土体参数之一，主要依据第一步中所设置的静力触探（CPT）探头 5 的测量结果进行确定，土体强度计算过程如下：

$$s_u = \frac{Q_c}{N_{kt} A}$$

其中： Q_c 为探头的锥尖阻力，N； A 为探头的锥底面积， m^2 ； N_{kt} 为探头的承载力系数，介于 11~19 之间，一般取值为 15.0。依据本发明所提试验方法以及上述强度计算方法，试验后土体强度变化关系如图 7 所示。

2) 土体应变软化参数的确定

应变软化参数的计算主要依据拖曳结构主体 4 下方不同位置的 T-bar 探头 7 对应的拉压传感器 12 测量数据进行分析获得，拖曳结构主体 4 下方 T-bar 探头 7 在拖动过程中阻力变化情况如图 8（a）所示。

土体的应变软化模型为：

$$s_u = [\delta_{rem} + (1 - \delta_{rem}) e^{-3\xi/\xi_{95}}] s_{u0}$$

其中： s_{u0} 为土体的初始强度，kPa； δ_{rem} 为土体的灵敏度（ S_t ）的倒数； ξ_{95} 为土体强度降低 95%所对应的累积塑性应变值。

土体的初始强度（ s_{u0} ）采用拖曳结构主体 4 前端第一个 T-bar 探头 7 测量结果进行确定，计算过程如下：

$$s_{u0} = \frac{q_{T-bar}}{N_{T-bar} DL}$$

其中： q_{T-bar} 为 T-bar 在土体内水平运动过程中的阻力； N_{T-bar} 为 T-bar 的承载力系数，介于 9.14~11.94 之间，一般取值为 10.5； D 为选用 T-bar 的直径，m； L 为选用 T-bar 中 T 型头的长度，m。

同一位置土体，受到拖曳结构主体 4 底端不同位置 T-bar 扰动后，阻力衰减关系如下：

$$\frac{q_{(n)}}{q_{(in)}} = \frac{q_{rem}}{q_{in}} + \left(1 - \frac{q_{rem}}{q_{in}} \right) e^{-3(n-0.25)/N_{95}}$$

其中， n 为沿着运动方向同一位置经过的 T-bar 探头 7 个数，考虑贯入过程中的应变均值，一般由 0.25 开始计数并按照 T-bar 个数逐渐以 0.5 累加，即 n 值顺序为 0.25、0.75、1.25 进行递增变化； q_n 为沿着运动方向开始计数对应的第 n 个 T-bar 所受的阻力值， q_{in} 为运动方向最前端的 T-bar 的阻力值， q_{rem} 为最后端 T-bar 的阻力值（阻力稳定时所对应的数值，一般为最后一个 T-bar 的测量阻力值）， N_{95} 为强度降低 95%时所对应的 T-bar 个数。某一位置土体受不同次数 T-bar 的扰动后，所测阻力衰减情况如图 8（b）所示， N_{95} 可通过如图 8（b）的阻力衰减关系分析获得。

土体的灵敏度 (S_t) 可按照下面公式进行估计:

$$S_t = \left(\frac{q_{in}}{q_{rem}} \right)^{1.4}$$

ξ_{95} 可通过下式计算,

$$\xi_{95} = 2N_{95}\xi_{T-bar}$$

其中 ξ_{T-bar} 可按照下式进行计算,

$$\xi_{T-bar} = 0.83 \log(S_t) + 3.09$$

3) 土与结构界面摩擦参数的确定

土与结构之间的界面摩擦系数通过测量拖曳装置底端摩擦板 6 所受的压力和摩擦阻力获得。土体摩擦参数获取步骤如下:

3.1) 粘性土摩擦参数

由于同一位置土体在拖曳装置沿运动方向拖动过程中会受其装置底端多个摩擦板 6 的摩擦作用, 且不同摩擦板 6 对土体扰动情况不同, 故摩擦板 6 所受摩擦阻力会存在明显的不同。摩擦板 6 所受到的摩擦阻力和法向压力通过拉压传感器 12 获得, 试验中横向摩擦力如图 9 (b) 所示, 第 m 个摩擦板 6 在土体内同一位置所受到的剪应力为

$$\tau_m = \frac{F_{f,m}}{WL}$$

式中: $F_{f,m}$ 为分析位置第 m 个摩擦板 6 所受的摩擦力, N; W 为单个摩擦板 6 的宽度, m; L 为单个摩擦板 6 的长度, m。

经过 m 个摩擦板 6 摩擦作用后, 土体所发生的摩擦位移为

$$S_{(m)} = mL$$

通过以上计算, 即可获得粘性土材料的土与结构界面摩擦参数 (剪应力) 的衰减规律, 如图 10 (a) 所示。

3.2) 砂性土摩擦参数

土体与结构之间的摩擦系数通过测量拖曳装置底端摩擦板 6 的压力和摩擦阻力获得。拖曳过程中，摩擦板 6 所受到的竖向压力通过竖向拉压传感器 12 测量获得，试验中摩擦板 6 所受竖向压力变化情况如图 9 (a) 所示；摩擦板 6 所受水平摩擦力根据其横向布设的拉压传感器 12 测量结果获得，试验中横向摩擦力如图 9 (b) 所示。根据库伦摩擦准则，摩擦系数可通过下式计算。

$$\mu = \frac{F_f}{F_N}$$

其中： F_f 为拖曳过程中摩擦板 6 所受的横向摩擦力，N； F_N 为摩擦板 6 在拖曳过程中所受到的竖向压力，N。拖曳过程中不同位置的摩擦系数变化情况如图 9 (c) 所示。

同一位置土体的摩擦系数为

$$\mu_m = \frac{F_{f,m}}{F_{N,m}}$$

其中： $F_{N,m}$ 为分析位置第 m 个摩擦板 6 所受的竖向压力，N；试验后所获摩擦系数随摩擦位移的衰减关系如图 10 (b) 所示。

以上仅为本发明的优选实例而已，并不用于限制本发明，对于本领域的技术人员来说，本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的思想和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

1.一种软土场地土体参数横向连续测量方法，其特征在于，测量步骤如下：

步骤 1、拖曳装置前端布置土体强度测量装置：多个土体强度测量装置安装于拖曳装置前端；采集土体强度测量装置在横向运动过程中的电压信号，根据所测电压信号与土体强度测量装置所受阻力的转换关系，确定土体强度测量装置所受的阻力；再通过所得阻力与土体强度之间的关系，获得沿运动方向连续变化的土体强度；

步骤 2、拖曳装置底端布置土体应变软化关系测量装置：多个土体应变软化关系测量装置安装于拖曳装置底端；拖曳装置在土体内行进过程中，同一位置土体受到拖曳装置底端多个土体应变软化关系测量装置的扰动；通过土体应变软化关系测量装置所测电压信号与阻力之间的转化关系，获得土体应变软化关系测量装置行进中的阻力；对同一位置土体，即获得土体应变软化关系测量装置所受阻力与其对应的扰动土体的土体应变软化关系测量装置个数之间的关系；结合扰动土体应变软化关系测量装置个数与土体发生的累积塑性应变之间的关系，继而获得阻力和累积塑性应变之间的关系；结合土体应变软化关系测量装置所受阻力与土体强度之间的关系，最终确定土体强度与累积塑性应变之间的关系，即土体应变软化关系；

步骤 3、土体与结构物之间界面摩擦参数测量：拖曳装置底端设有多个摩擦板，摩擦板通过拉压传感器连接于拖曳装置底部，确保摩擦板的下表面与土体接触并位于同一行进线上；拖曳装置在土体内行进过程中，直接测量拉压传感器电压信号并通过其与力之间的转化关系，获得摩擦板所受土体的摩擦力和竖向压力；对于黏土，结合土层同一位置摩擦板所受的摩擦阻力和其对应的扰动土体的摩擦板个数之间的关系，以及扰动土体摩擦板个数与土体发生的相对位移之间的关系，最终获得摩擦板摩擦阻力和累积相对位移之间的关系；对于砂

性土，通过土层同一位置摩擦板所受摩擦阻力与其所受竖向压力的关系，即获得摩擦板与土体之间的摩擦系数，结合经过同一位置扰动土体的摩擦板个数与土体发生的相对位移之间的关系，最终获得摩擦板摩擦系数和累积相对位移之间的关系；

步骤 4、拖曳装置主动或被动在土层内行走，确保拖曳装置在行走中部分贯入待测土层，通过调整拖曳装置上方配重及拖拽角度控制其入土深度。

2.根据权利要求 1 所述的软土场地土体参数横向连续测量方法，其特征在于，所述的土体强度测量装置安装数量根据待测土层深度的增加而增多，其安装方向指向拖曳装置运动方向。

3.根据权利要求 1 或 2 所述的软土场地土体参数横向连续测量方法，其特征在于，所述的土体应变软化关系测量装置安装方向为指向拖曳装置运动方向，确保多个土体应变软化关系测量装置位于同一行进线上。

4.根据权利要求 1 或 2 所述的软土场地土体参数横向连续测量方法，其特征在于，所述的拖曳装置底端设有多个凹槽，凹槽内布置摩擦板，摩擦板与安装于凹槽内的拉压传感器连接，确保摩擦板的下表面与土体接触并位于同一行进线上；一个拉压传感器平行于运动方向，另一个传感器垂直于运动方向。

5.根据权利要求 3 所述的软土场地土体参数横向连续测量方法，其特征在于，所述的拖曳装置底端设有多个凹槽，凹槽内布置摩擦板，摩擦板与安装于凹槽内的拉压传感器连接，确保摩擦板的下表面与土体接触并位于同一横向线上；一个拉压传感器平行于运动方向，另一个传感器垂直于运动方向。

6.根据权利要求 1、2 或 5 所述的软土场地土体参数横向连续测量方法，其特征在于，用于土体强度测量装置为 T-bar 贯入仪、Ball-bar 贯入仪或静力触探仪；用于土体应变软化关系测量装置为 T-bar 贯入仪或 Ball-bar 贯入仪。

7.根据权利要求 3 所述的软土场地土体参数横向连续测量方法，其特征在于，用于土体强度测量装置为 T-bar 贯入仪、Ball-bar 贯入仪或静力触探仪；用于土体应变软化关系测量装置为 T-bar 贯入仪或 Ball-bar 贯入仪。

8.根据权利要求 4 所述的软土场地土体参数横向连续测量方法，其特征在于，用于土体强度测量装置为 T-bar 贯入仪、Ball-bar 贯入仪或静力触探仪；用于土体应变软化关系测量装置为 T-bar 贯入仪或 Ball-bar 贯入仪。

9.根据权利要求 1、2、5、7 或 8 所述的软土场地土体参数横向连续测量方法，其特征在于，该方法所获得的数据还可用于超固结比、灵敏度、砂土的相对密实度、内摩擦角、土的压缩模量、变形模量、饱和黏土不排水模量、地基承载力、单桩承载力以及砂土液化判别确定。

10.根据权利要求 6 所述的软土场地土体参数横向连续测量方法，其特征在于，该方法所获得的数据还可用于超固结比、灵敏度、砂土的相对密实度、内摩擦角、土的压缩模量、变形模量、饱和黏土不排水模量、地基承载力、单桩承载力以及砂土液化判别确定。

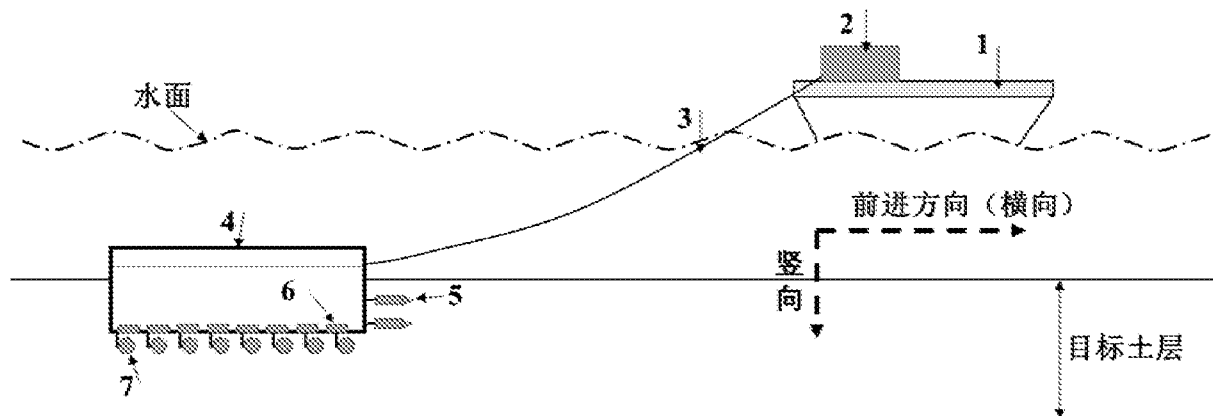


图 1

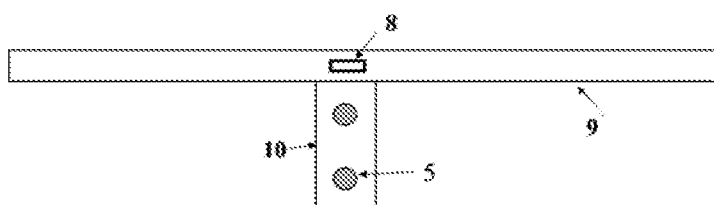


图 2

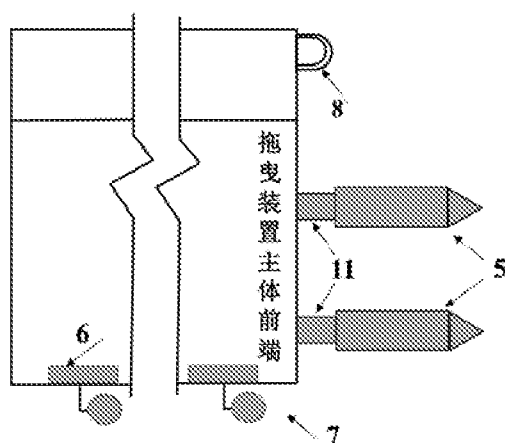


图 3

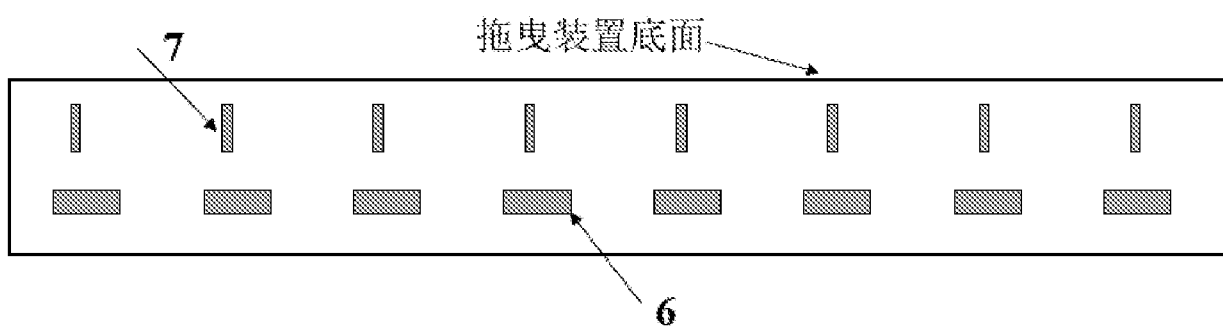


图 4

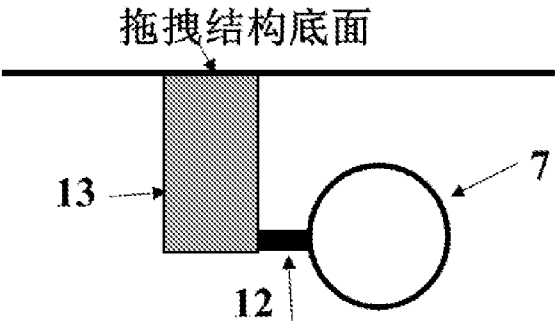


图 5

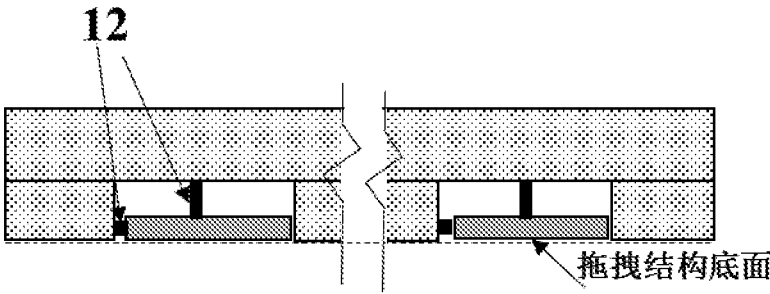


图 6

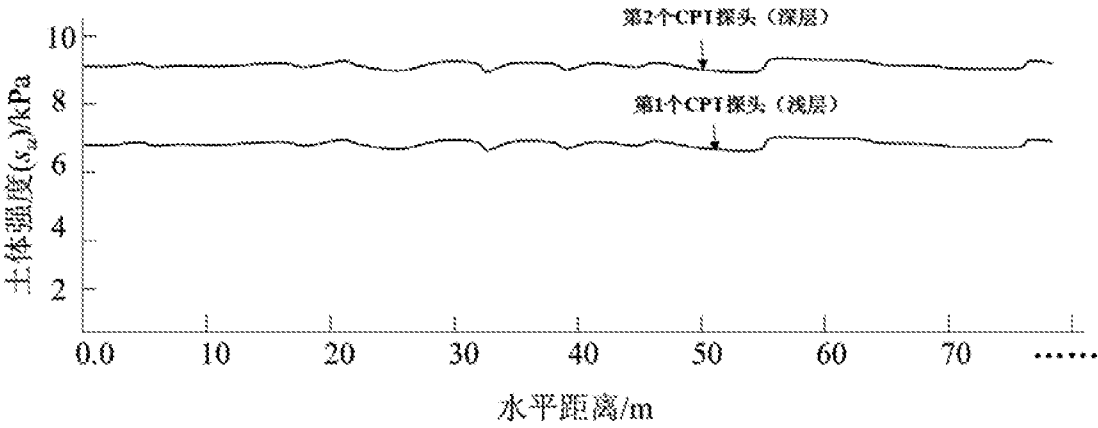
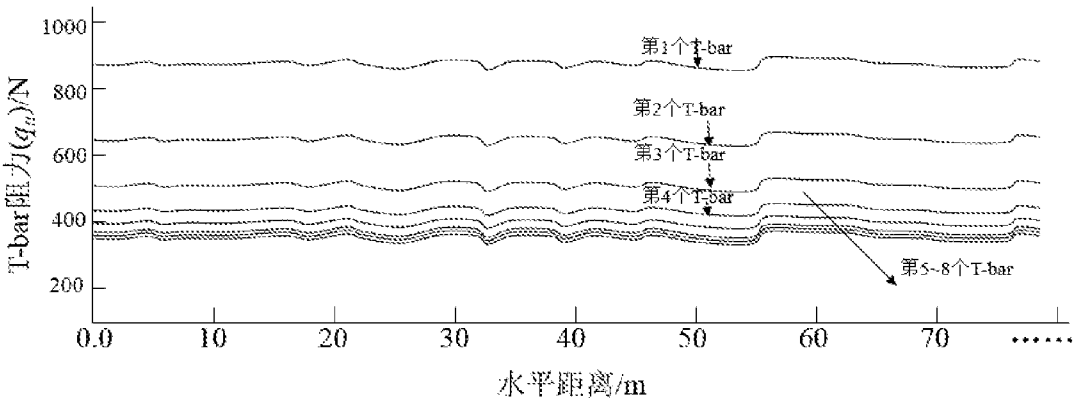
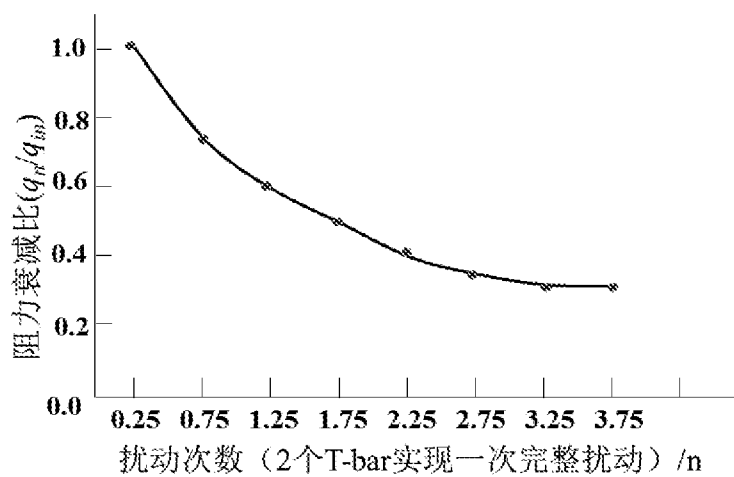


图 7

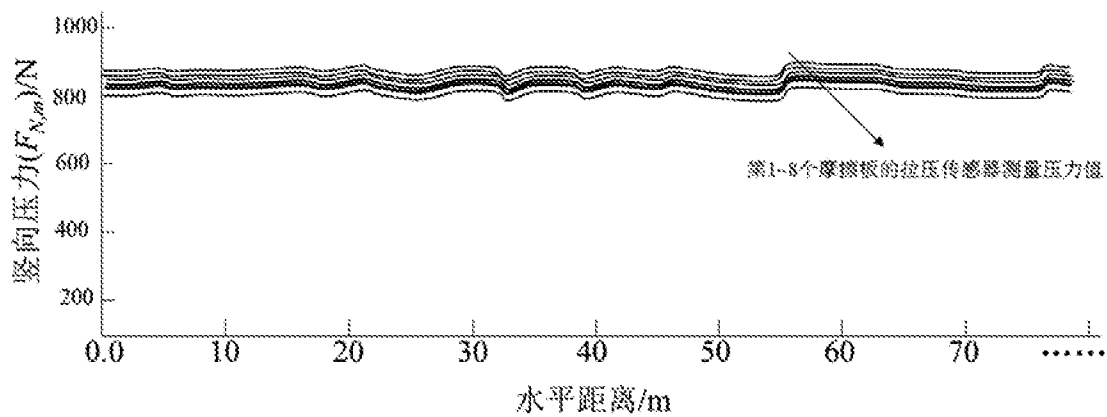


(a)

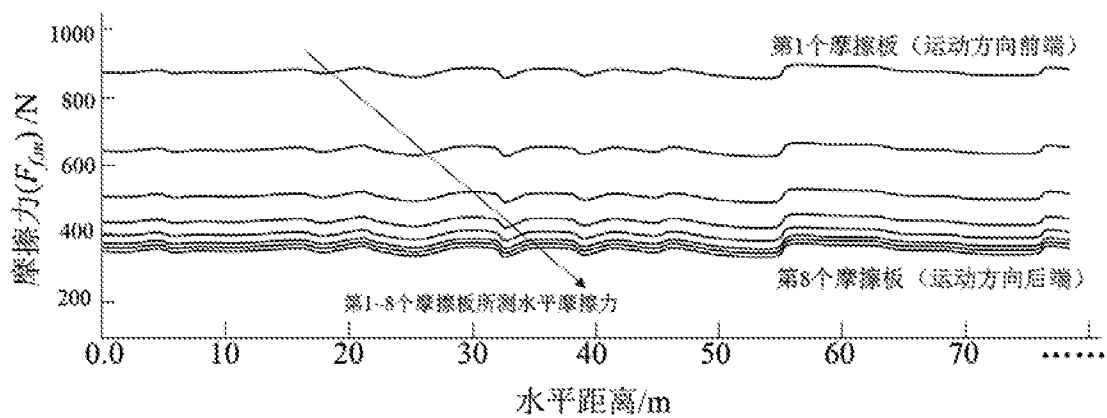


(b)

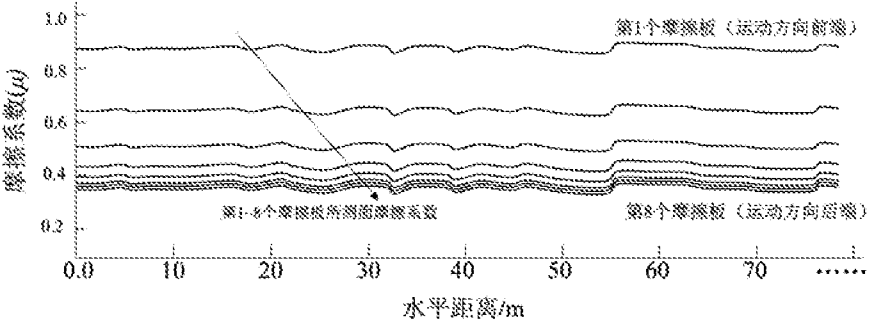
图 8



(a)

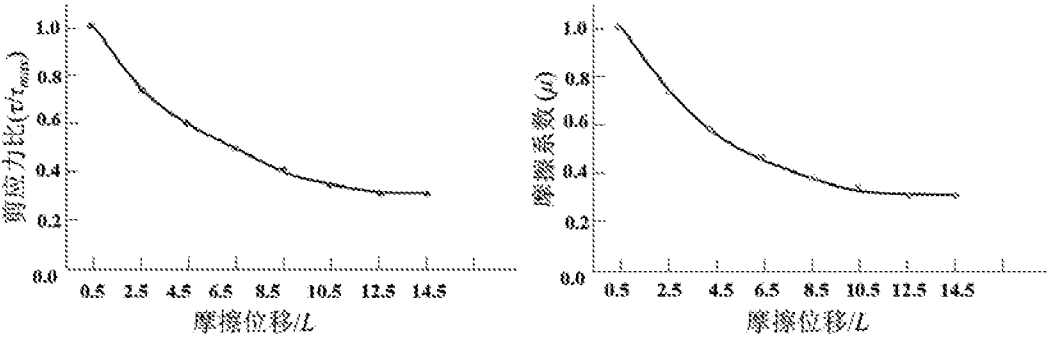


(b)



(c)

图 9



(a)

(b)

图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/096258

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E02D 1/00(2006.01)i; G01N 3/08(2006.01)i; G01N 19/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

E02D1; G01N3; G01N19; G01N1; G01N33

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

VEN; CNABS, CNKI: 海洋, 海底, 水下, 软土, 土体, 泥, 拖拽, 拖曳, 拖, 参数, 强度, 应变, 原位, 测试, sea, seafloor, underwater, submarine, mud, sand, soil, haul, tow, in situ, original position, sediment, silt, clay

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	CN 110346535 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 18 October 2019 (2019-10-18) description, paragraphs 41-96, and figures 1-11	1-10
A	CN 1900682 A (OCEAN UNIVERSITY OF CHINA) 24 January 2007 (2007-01-24) description, page 2, lines 10-24, and figures 1-2	1-10
A	CN 2919231 Y (OCEAN UNIVERSITY OF CHINA) 04 July 2007 (2007-07-04) entire document	1-10
A	CN 206177937 U (TIANJIN PORT ENGINEERING INSTITUTE LTD. OF CCCC FIRST HARBOR ENGINEERING CO., LTD et al.) 17 May 2017 (2017-05-17) entire document	1-10
A	CN 1940554 A (OCEAN UNIVERSITY OF CHINA) 04 April 2007 (2007-04-04) entire document	1-10
A	CN 109238877 A (CENTRAL SOUTH UNIVERSITY et al.) 18 January 2019 (2019-01-18) entire document	1-10
A	JP 04363408 A (TOA HARBOR WORKS CO., LTD. et al.) 16 December 1992 (1992-12-16) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

01 April 2020

Date of mailing of the international search report

16 April 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/096258**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 60131016 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES LTD. et al.) 12 July 1985 (1985-07-12) entire document	1-10
A	GB 1457071 A (SHELL INT RESEARCH) 30 November 1976 (1976-11-30) entire document	1-10
A	US 4069679 A (STANDARD OIL CO.) 24 January 1978 (1978-01-24) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/096258

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110346535	A	18 October 2019	None			
CN	1900682	A	24 January 2007	None			
CN	2919231	Y	04 July 2007	None			
CN	206177937	U	17 May 2017	None			
CN	1940554	A	04 April 2007	None			
CN	109238877	A	18 January 2019	None			
JP	04363408	A	16 December 1992	JP	H04363408	A	16 December 1992
				JP	H0726383	B2	22 March 1995
JP	60131016	A	12 July 1985	JP	S60131016	A	12 July 1985
				JP	H0116082	B2	22 March 1989
GB	1457071	A	30 November 1976	JP	S5938371	B2	17 September 1984
				JP	S50103113	A	14 August 1975
US	4069679	A	24 January 1978	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/096258

A. 主题的分类

E02D 1/00(2006.01)i; G01N 3/08(2006.01)i; G01N 19/02(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

E02D1; G01N3; G01N19; G01N1; G01N33

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

VEN;CNABS,CNKI:海洋, 海底, 水下, 软土, 土体, 泥, 拖拽, 拖曳, 拖, 参数, 强度, 应变, 原位, 测试, sea, seafloor, underwater, submarine, mud, sand, soil, haul, tow, in situ, original position, sediment, silt, clay

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
E	CN 110346535 A (大连理工大学) 2019年 10月 18日 (2019 - 10 - 18) 说明书第41-96段以及附图1-11	1-10
A	CN 1900682 A (中国海洋大学) 2007年 1月 24日 (2007 - 01 - 24) 说明书第2页第10-24行以及附图1-2	1-10
A	CN 2919231 Y (中国海洋大学) 2007年 7月 4日 (2007 - 07 - 04) 全文	1-10
A	CN 206177937 U (中交天津港湾工程研究院有限公司等) 2017年 5月 17日 (2017 - 05 - 17) 全文	1-10
A	CN 1940554 A (中国海洋大学) 2007年 4月 4日 (2007 - 04 - 04) 全文	1-10
A	CN 109238877 A (中南大学等) 2019年 1月 18日 (2019 - 01 - 18) 全文	1-10
A	JP 04363408 A (TOA HARBOR WORKS CO LTD等) 1992年 12月 16日 (1992 - 12 - 16) 全文	1-10

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2020年 4月 1日

国际检索报告邮寄日期

2020年 4月 16日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

杨建坤

电话号码 62085211

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	JP 60131016 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES等) 1985年 7月 12日 (1985 - 07 - 12) 全文	1-10
A	GB 1457071 A (SHELL INT RESEARCH) 1976年 11月 30日 (1976 - 11 - 30) 全文	1-10
A	US 4069679 A (STANDARD OIL CO) 1978年 1月 24日 (1978 - 01 - 24) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/096258

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	110346535	A	2019年 10月 18日	无	
CN	1900682	A	2007年 1月 24日	无	
CN	2919231	Y	2007年 7月 4日	无	
CN	206177937	U	2017年 5月 17日	无	
CN	1940554	A	2007年 4月 4日	无	
CN	109238877	A	2019年 1月 18日	无	
JP	04363408	A	1992年 12月 16日	JP H04363408 A	1992年 12月 16日
				JP H0726383 B2	1995年 3月 22日
JP	60131016	A	1985年 7月 12日	JP S60131016 A	1985年 7月 12日
				JP H0116082 B2	1989年 3月 22日
GB	1457071	A	1976年 11月 30日	JP S5938371 B2	1984年 9月 17日
				JP S50103113 A	1975年 8月 14日
US	4069679	A	1978年 1月 24日	无	