

(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
2018 年 10 月 25 日 (25.10.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/192344 A1

(51) 国际专利分类号:
G01N 21/41 (2006.01) *G01K 11/32* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/080577

(22) 国际申请日: 2018 年 3 月 26 日 (26.03.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201710262733.6 2017 年 4 月 20 日 (20.04.2017) CN

(71) 申请人: 苏州南智传感科技有限公司 (SUZHOU NANZEE SENSING TECHNOLOGY CO., LTD) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市苏州工业园区仁爱路 150 号第二教学楼 A301 室, Jiangsu 215123 (CN)。 南京大学 (NANJING UNIVERSITY) [CN/

CN]; 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道 163 号朱共山楼, Jiangsu 210023 (CN)。

(72) 发明人: 施斌 (SHI, Bin); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道 163 号朱共山楼, Jiangsu 210023 (CN)。 魏广庆 (WEI, Guangqing); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道 163 号朱共山楼/施斌, Jiangsu 210023 (CN)。 段超喆 (DUAN, Chaozhe); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道 163 号朱共山楼/施斌, Jiangsu 210023 (CN)。 孙鑫 (SUN, Xin); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道 163 号朱共山楼, Jiangsu 210023 (CN)。 梅世嘉 (MEI, Shijia); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道 163 号朱共山楼/施斌, Jiangsu 210023 (CN)。 苗鹏勇 (MIAO, Pengyong); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道 163 号朱共山楼/施斌, Jiangsu 210023 (CN)。 张丹 (ZHANG, Dan); 中国江苏省南京市栖霞

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR MONITORING SEEPAGE RATE AND MOISTURE CONTENT OF ROCK-SOIL BODY BASED ON IHAT-FBG

(54) 发明名称: 基于 IHAT-FBG 的岩土体渗流速率与含水率监测系统与方法

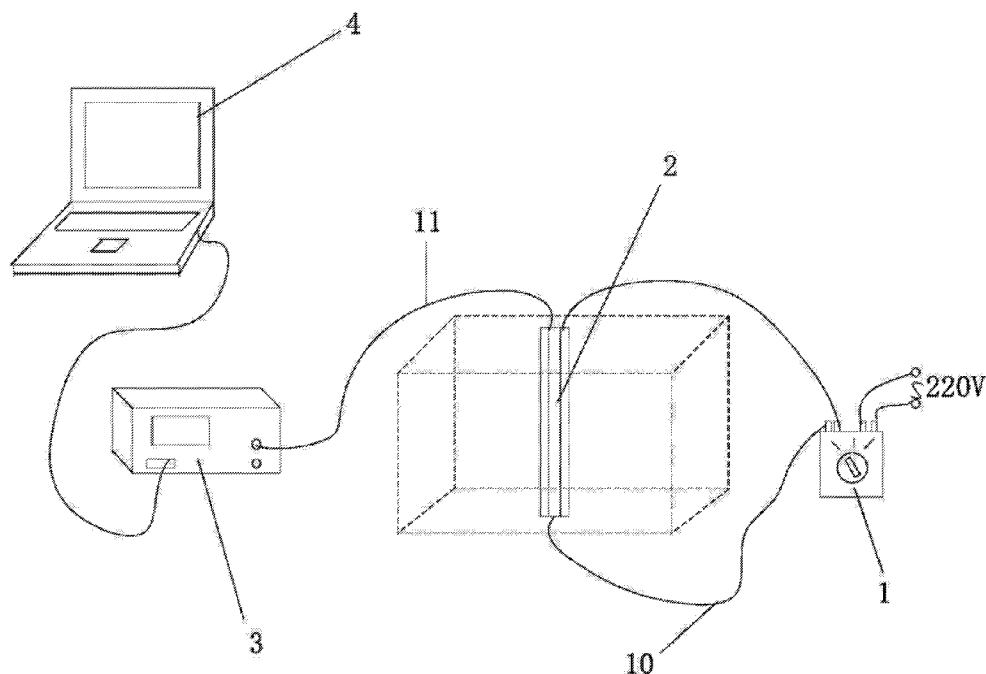


图1

(57) Abstract: The present invention falls within the field of geological disaster prevention. Provided are a system and method for monitoring the seepage rate and moisture content of a rock-soil body based on an IHAT-FBG. The system comprises a power supply, a power supply current control heating system, an IHAT-FBG, an FBG demodulation device and a data analysis and processing system which are connected in sequence. The method comprises the steps of: packaging an alundum tube into an IHAT-FBG, and burying same into a rock-soil body after calibration;



区仙林大道163号朱共山楼/施斌, Jiangsu 210023 (CN)。朱鸿鹄(ZHU, Honghu); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道163号朱共山楼/施斌, Jiangsu 210023 (CN)。唐朝生(TANG, Chaosheng); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道163号朱共山楼/施斌, Jiangsu 210023 (CN)。顾凯(GU, Kai); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道163号朱共山楼/施斌, Jiangsu 210023 (CN)。刘春(LIU, Chun); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道163号朱共山楼/施斌, Jiangsu 210023 (CN)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(74) 代理人: 江苏圣典律师事务所(JIANGSU SUNDY LAW FIRM); 中国江苏省南京市建邺区南湖路58号南苑大厦10楼知识产权部/刘辉, Jiangsu 210017 (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, 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)。

actively heating the FBG by means of an internal heating technology, and using an FBG demodulation device to record a wavelength change; and using data processing and analysis software to calculate a temperature characteristic value of the FBG, and substituting the temperature characteristic value into a linear function: $\Delta T_t = a - bv$ and $w = k\Delta T_t + c$ determined by means of calibration experiments, so as to calculate the seepage rate and moisture content of the rock-soil body. By means of serially connecting an IHAT-FBG according to actual requirements, the present invention achieves a quasi-distributed monitoring effect, can perform accurate-point monitoring and range monitoring, and has the advantages of simple manufacturing, convenient usage, low costs, high monitoring precision and stability, etc.

(57) 摘要: 本发明属于地质灾害防治领域, 提出了一种基于IHAT-FBG的岩土体渗流速率与含水率监测系统及方法。所述系统包括依次连接的电源、电源电流控制加热系统、IHAT-FBG、FBG解调设备和数据分析处理系统; 所述步骤: 采用刚玉管封装制成IHAT-FBG, 经率定后埋入岩土体; 通过内加热技术对FBG进行主动加热, 运用FBG解调设备记录波长变化; 运用数据处理分析软件求得FBG温度特征值, 将温度特征值带入由率定实验确定的一次函数: $\Delta T_t = a - bv$ 与 $w = k\Delta T_t + c$, 计算出岩土体渗流速率与含水率。本发明通过对IHAT-FBG按照实际需求进行串联, 达到准分布式监测效果, 可以进行精确点监测与范围监测, 具有制作简单、使用便捷、成本经济、监测精度与稳定性高等优点。

说明书

发明名称: 基于IHAT-FBG的岩土体渗流速率与含水率监测系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于地质灾害防治领域, 提出了一种基于内加热刚玉管FBG传感器(Insi deheated Alundum Tube以下简称IHAT-FBG)的岩土体渗流速率与含水率监测系统 及方法。

背景技术

[0002] 岩土体中的水分场是引发一系列地质灾害的重要因素, 如溃堤塌坝、崩滑流等 地质灾害均与岩土体中水分场的变化切相关, 岩土体中的水分场又可分为动态 的渗流与静态的含水率。因此, 对于岩土体中水分场的监测, 是预测和减轻地 质灾害的重要途径。近年来DTS技术开始应用于岩土体的渗流速率与含水率的监 测, 它不同于传统非接触式监测方法, 是一种分布式、接触式的监测手段, 监 测精度达到0.1℃, 尤其适用于分布式、连续性的岩土体渗流速率与含水率监测 需求。但对于待测点位置精确已知, 水分场测量精度要求极高的监测要求, DTS 的成本与精度便成为限制, 因此需要一种准分布式、成本低、精度高的新型方 法与其互补。如图3-1所示, 分布式布设17方法的特征是: 感测元件为一根感测 光纤, 感测光纤的各个部位均参与测量; 如图3-2所示, 准分布式布设18方法的 特征是: 使用一根光纤将多个感测元件串联起来, 仅感测元件部位参与测量, 空间分辨率可由串联感测元件个数控制, 感测元件个数根据监测要求而定。

[0003] 若使FBG直接与岩土体接触, 岩土体的恶劣条件和环境会对FBG造成破坏, 且 渗流温度与周围岩土体温度差异较小, 温度分辨率低, 因此需要采取一种更先 进的保护封装与增加温度分辨率的技术, 以解决上述问题。

[0004] 简单的使用FBG对已知待测电进行准分布式监测时, 所需后续工作繁琐复杂, 因此需要开发与之配套的监测系统使监测结果化繁为简, 提高监测效率。

发明概述

技术问题

[0005] 本发明的目的是提供一种基于IHAT-FBG的岩土体渗流速率与含水率监测系统及方法，消除应用于分布式监测的DTS技术在已知精确点监测上成本与精度的限制，将监测方法集成化、系统化，提高对渗流速率监测的效率。

问题的解决方案

技术解决方案

[0006] 本发明提供了如下的技术方案：

[0007] 基于IHAT-FBG的岩土体渗流速率与含水率监测系统，包括：依次连接的电源、电源电流控制加热系统、IHAT-FBG、FBG解调设备和数据分析处理系统；

[0008] 所述电源电流控制加热系统，用于控制加热所述电源的电流，使所述IHAT-FBG处于稳定功率下工作；

[0009] 所述IHAT-FBG，用于采集岩土体波长数据；

[0010] 所述FBG解调设备，用于记录加热趋于稳定后所述IHAT-FBG采集的波长数据；

[0011] 所述数据分析处理系统，用于将采集获得的波长数据分析处理后得到温度特征值，并根据率定关系计算岩土体渗流速率与含水率。

[0012] 优选的，所述IHAT-FBG包括刚玉管以及设在所述刚玉管内的FBG和加热电阻丝，所述FBG连接所述FBG解调设备，所述加热电阻丝连接所述电源电流控制加热系统。

[0013] 基于IHAT-FBG的岩土体渗流速率与含水率监测方法，包括以下步骤：

[0014] S1：将IHAT-FBG感测元件进行室内率定实验，确定温度特征值与渗流速率、含水率之间的关系，再将其埋设于岩土体之中；

[0015] S2：用电流电源加热控制系统对步骤一所述IHAT-FBG内的电阻丝通电，进行内加热，利用FBG解调设备，记录加热趋于稳定后IHAT-FBG采集的波长数据；

[0016] S3：运用数据分析处理系统对S2所得波长数据进行分析并处理，将波长转化为温度后，计算出FBG温度特征值，根据FBG温度特征值与岩土体渗流速率与含水率之间的线性关系： $\Delta T_t = a - bv$ 与 $w = k\Delta T_t + c$ ，计算出岩土体的渗流速率与含水率，其中 ΔT_t 为FBG温度特征值， v 为岩土体的渗流速率， w 为岩土体含水率， a 、 b 、 c 为常数，所述常数通过室内率定实验确定。

- [0017] 优选的, 根据实际情况进行准分布式的监测, 将S1-S3中的FBG进行串联, 实现精确点与范围性的渗流速率与含水率的监测。
- [0018] 优选的, 所述S1-S3中室内率定实验步骤:
- [0019] a: 将IHAT-FBG分别埋设于若干组不同渗流速率梯度与不同含水率梯度下的岩土体式样中;
- [0020] b: 用电流电源加热控制系统对IHAT-FBG内的电阻丝通电, 进行内加热, 利用FBG解调设备, 记录加热趋于稳定后IHAT-FBG采集的波长数据;
- [0021] c: 运用数据分析处理系统对S2所得波长数据进行分析并处理, 将波长转化为温度后, 计算出FBG温度特征值, 拟合出FBG温度特征值与渗流速率和含水量之间的关系: $\Delta T_t = a - bv$ 与 $w = k\Delta T_t + c$, 其中 ΔT_t 为FBG温度特征值, v 为岩土体的渗流速率, w 为岩土体含水率, a 、 b 、 c 为常数。
- [0022] 优选的, 所述FBG温度特征值为通电加热后, 所述IHAT-FBG测得的温度趋于稳定, 选取某一特征时间区间 $[t_1, t_2]$, 将该区间IHAT-FBG所测得的多个温度值进行算术平均得到温度平均值 T_t , 再与初始温度 T_0 作差获得。

发明的有益效果

有益效果

- [0023] 本发明的有益效果是: 采用FBG技术, 实现了准分布式监测, 消除了应用于分布式监测的DTS技术在已知精确点监测上成本与精度的限制, 准分布式监测的特点: 一根光纤将多个感测元件串联, 空间分辨率由串联感测元件的个数控制, 感测元件个数根据监测要求而定; 结合刚玉材料与内加热技术对FBG进行封装, 起到了对FBG的保护与增加温度分辨率的效果; 采用了系统集成技术, 将监测方法系统化, 提高了对渗流速率监测的效率。

对附图的简要说明

附图说明

- [0024] 附图用来提供对本发明的进一步理解, 并且构成说明书的一部分, 与本发明的实施例一起用于解释本发明, 并不构成对本发明的限制。在附图中:
- [0025] 图1是本发明系统结构示意图;
- [0026] 图2是本发明的IHAT-FBG结构示意图;

- [0027] 图3-1是分布式布设方式检测示意图；
- [0028] 图3-2是准分布式布设方式检测示意图；
- [0029] 图4是IHAT-FBG渗流速率-温度特征值线性关系率定实验装置示意图；
- [0030] 图5是渗流速率与温度特征值间的拟合关系图；
- [0031] 图6是IHAT-FBG含水率-温度特征值线性关系率定实验装置示意图；
- [0032] 图7是含水率与温度特征值间的拟合关系图；
- [0033] 图中标记为：1、电流电源加热控制系统，2、IHAT-FBG，3、FBG解调设备，4、数据分析处理系统，5、FBG，6、光纤引线，7、引线护套，8、加热电阻丝，9、刚玉管，10、光纤跳线，11、导线，12、有机聚合物管，13、堵头，14、入水龙头，15、出水龙头，16、水管，17、分布式布设，171、参与测量部分，18、准分布式布设，181、未参与测量部分，19、粘性土。

实施该发明的最佳实施例

本发明的最佳实施方式

- [0034] 如图1和图2所示，基于IHAT-FBG的岩土体渗流速率与含水率监测方法及系统示意图，包括依次连接的电源、电流电源加热控制系统1、IHAT-FBG2、FBG解调设备3和数据分析处理系统4。
- [0035] IHAT-FBG2为具有内加热功能的刚玉管FBG渗流与含水率感测原件，包括感测部分，加热部分和封装部分。所述感测部分包括FBG5，光纤引线6，引线护套7，光纤引线6通过导线11接入FBG解调设备3；所述加热部分为加热电阻丝8，两端通过光纤跳线10接入电流电源加热控制系统1；所述封装部分为双孔刚玉管9，用于保护FBG5，FBG5与光纤引线6相接，光纤引线6外套有引线护套7进行保护，将保护好的FBG5放置于双孔刚玉管9其中一孔中，将FBG5一端接带有引线护套7的光纤引线6，并用胶将引线6固定于孔口，另一端自由，以剔除应变干扰，光纤引线6通过导线11接入FBG解调设备3；加热电阻丝8放置于刚玉管9，另一孔中，用光纤跳线10接入电源电流加热控制系统1，接线端做好防水防漏电措施。
- [0036] FBG解调设备3是基于光纤布拉格光栅监测技术进行准分布式测量，感测元件为IHAT-FBG2。目前国内外均有十分成熟的相关产品，以下实例采用的是苏州

南智传感科技有限公司生产的A03便携式解调设备对岩土体中的渗流速率进行准分布式测量。

[0037] 数据分析处理系统4由数据采集系统和数据处理软件构成，集数据采集，数据处理，结果呈现为一体。数据采集系统可以设置对监测对象的数据采集频率与采集时间长度。数据处理软件对采集得到的波长数据进行处理，将波长数据转换成温度数据，取得温度特征值。再根据室内率定实验所得温度特征值与渗流速率、含水率之间的关系计算渗流速率与含水率。以下实例采用的数据分析处理系统4为苏州南智科技传感有限公司研发的基于FBG解调设备3的A03解调设备的配套数据分析处理系统4。

[0038] 基于IHAT-FBG的岩土体渗流速率与含水率监测方法，包括如下步骤：

[0039] S1：将IHAT-FBG感测元件进行室内率定实验，确定温度特征值与渗流速率、含水率之间的关系，再将其埋设于岩土体之中；

[0040] S2：用电流电源加热控制系统1对S1的IHAT-FBG2通电加热，利用FBG解调设备3记录加热趋于稳定后IHAT-FBG2采集的波长数据；

[0041] S3：运用数据分析处理系统4对S2所得波长数据进行分析并处理，将波长转化为温度后，计算出FBG温度特征值。根据FBG温度特征值与岩土体渗流速率与含水率之间的线性关系： $\Delta T_t = a - bv$ 与 $w = k\Delta T_t + c$ ，计算出岩土体的渗流速率与含水率。其中 ΔT_t 为FBG温度特征值， v 为岩土体的渗流速率， w 为岩土体含水率 a 、 b 、 c 为常数，通过室内率定实验确定。

[0042] 进一步地，对IHAT-FBG2进行率定，步骤如下：

[0043] a：将IHAT-FBG分别埋设于若干组不同渗流速率梯度与不同含水率梯度下的岩土体式样中；

[0044] b：用电流电源加热控制系统对IHAT-FBG内的电阻丝通电，进行内加热，利用FBG解调设备，记录加热趋于稳定后IHAT-FBG采集的波长数据；

[0045] c：运用数据分析处理系统对S2所得波长数据进行分析并处理，将波长转化为温度后，计算出FBG温度特征值，拟合出FBG温度特征值与渗流速率和含水量之间的关系： $\Delta T_t = a - bv$ 与 $w = k\Delta T_t + c$ ，其中 ΔT_t 为FBG温度特征值， v 为岩土体的渗流速率， w 为岩土体含水率， a 、 b 、 c 为常数。

[0046] 实例1:

[0047] 下面以饱和砂性土渗流速率率定实验为例,说明本方法的具体实施过程,实验装置图见图4。但本方法不限于饱和性沙土,适用于各种岩土体。

[0048] IHAT-FBG2砂土渗流速率-温度特征值率定实验,

[0049] S1:将IHAT-FBG2分别埋设于若干组不同渗流速率梯度下的砂性土中:

[0050] 如图1、图2和图4所示,将FBG 5放置于双孔刚玉管9其中一孔之中,一端留有光纤引线6,一端自由放置于刚玉管9中,光纤引线6外套有护套7作为保护,将光纤引线6用胶固定于刚玉管9孔口,另一孔内放置电阻丝8,电阻丝8两端用光纤跳线10接入电流电源加热控制系统1,制成IHAT-FBG2。在有机聚合物12内填入含有粘粒的细砂并夯实,在填砂过程中以25cm为间隔将制成的IHAT-FBG2垂直于轴线安置在有机聚合物12中,并使FBG5位于有机聚合物中心位置。有机聚合物管12两端用堵头13密封,并安装入水龙头14和出水龙头15,一端出水,一端接入水管16,通过控制两端入水龙头14和出水龙头15来调节渗流速率。

[0051] S2:用电流电源加热控制系统1以12V电压对IHAT-FBG2内的电阻丝8通电,进行内加热,加热功率为9W/m,利用FBG解调设备3,记录加热趋于稳定后IHAT-FBG2采集的波长数据:

[0052] 加热前,打开入水龙头14,关闭出水龙头15,使有机聚合物管12内砂土饱和,在不通水的情况下对内IHAT-FBG2通电加热,测定IHAT-FBG2在饱和砂土内的波长变化情况。打开出水龙头15,以固定数值增加渗流速率,采集不同速率下传感器的波长变化。实验中调节渗流速率时,控制两个龙头14、15,当水流稳定时,对传感器通电加热进行测量,加热时间20分钟至FBG5感测波长无明显变化时,停止加热,自然冷却时间10分钟,温度降至稳定后停止测量。

[0053] S3:运用数据分析处理系统4,对所得数据分析处理:

[0054] 设置数据采集系统使FBG解调设备3每20秒读取并保存一次IHAT-FBG 2波长数据。数据处理软件对步骤二得到的波长数据进行处理,将波长转化为温度,并计算温度特征值,再与相应渗流速率进行拟合,得到渗流速率与温度特征值之间的关系。根据实验数据,拟合得到的温度特征值与渗流速率之间的关系近似呈线性关系 $\Delta T_t = -15658.903v + 3.39897$, $R_2 = 0.98685$,如图5所示。

- [0055] S3所得渗流速率与温度特征值之间的关系即为此IHAT-FBG2用于渗流速率监测的率定关系，运用此率定关系可以对饱和砂性土中的渗流速率进行定性监测。但本方法不限于饱和性沙土，适用于各种岩土体。
- [0056] 实例2:
- [0057] 下面以粘性土含水率-温度特征值率定实验为例，说明本方法的具体实施过程，实验装置图见图5。但本方法不限于粘性土，适用于各种岩土体。
- [0058] IHAT-FBG2粘性土率定实验:
- [0059] S1: 将IHAT-FBG2分别埋设于若干组不同含水率下的粘性土19中:
- [0060] 如图1、图2和图6所示，将FBG 5放置于双孔刚玉管9其中一孔之中，一端留有光纤引线6，一端自由放置于刚玉管9中，光纤引线6外套有护套7作为保护，将光纤引线6用胶固定于刚玉管9孔口。另一孔内放置电阻丝8，电阻丝8两端用导线11接入电流电源加热控制系统1，制成IHAT-FBG2。在有机聚合物12内填入粘性土19并夯实，将IHAT-FBG2插入粘性土19中，并使FBG5全都没入粘性土19之中。
- [0061] S2: 用电流电源加热控制系统1以12V电压对IHAT-FBG2内的电阻丝8通电，进行内加热，加热功率为9W/m。利用FBG解调设备3，记录加热趋于稳定后IHAT-FBG2采集的波长数据。
- [0062] 每次加热前，以一定质量比例添加水，使粘性土19含水率范围从6.85%至30.85%并以2%的差异逐级递增，以此控制粘性土19含水率变化。对传感器通电加热进行测量，加热时间20分钟至FBG5感测波长无明显变化时，停止加热，自然冷却时间10分钟，温度降至稳定后停止测量。
- [0063] S3: 运用数据分析处理系统4，对所得数据分析处理:
- [0064] 设置数据采集系统使FBG解调设备3每20秒读取并保存一次IHAT-FBG2波长数据。数据处理软件对S2得到的波长数据进行处理，将波长转化为温度，并计算温度特征值，再与相应粘性土19含水率进行拟合，得到含水率与温度特征值之间的关系 $W = 275.03\Delta T_c - 1.1189$ ，如图7所示。
- [0065] S3所得含水率与温度特征值之间的关系即为此IHAT-FBG2用于含水率监测的率定关系，运用此率定关系可以对粘性土19中的含水率进行定性监测。但本方

法不限于粘性土19，适用于各种岩土体。

[0066] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明，对于本领域的技术人员来说，其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

- [权利要求 1] 基于IHAT-FBG的岩土体渗流速率与含水率监测系统，其特征在于，包括：依次连接的电源、电源电流控制加热系统、IHAT-FBG、FBG解调设备和数据分析处理系统；
- 所述电源电流控制加热系统，用于控制加热所述电源的电流，使所述IHAT-FBG处于稳定功率下工作；
- 所述IHAT-FBG，用于采集岩土体波长数据；
- 所述FBG解调设备，用于记录加热趋于稳定后所述IHAT-FBG采集的波长数据；
- 所述数据分析处理系统，用于将采集获得的波长数据分析处理后得到温度特征值，并根据率定关系计算岩土体渗流速率与含水率。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的基于IHAT-FBG的岩土体渗流速率与含水率监测系统，其特征在于，所述IHAT-FBG包括刚玉管以及设在所述刚玉管内的FBG和加热电阻丝，所述FBG连接所述FBG解调设备，所述加热电阻丝连接所述电源电流控制加热系统。
- [权利要求 3] 基于IHAT-FBG的岩土体渗流速率与含水率监测方法，其特征在于，包括以下步骤：
- S1：将IHAT-FBG感测元件进行室内率定实验，确定温度特征值与渗流速率、含水率之间的关系，再将其埋设于岩土体之中；
- S2：用电流电源加热控制系统对S1所述IHAT-FBG内的电阻丝通电，进行内加热，利用FBG解调设备，记录加热趋于稳定后IHAT-FBG采集的波长数据；
- S3：运用数据分析处理系统对S2所得波长数据进行分析并处理，将波长转化为温度后，计算出FBG温度特征值，根据FBG温度特征值与岩土体渗流速率与含水率之间的线性关系： $\Delta T_t = a - bv$ 与 $w = k\Delta T_t + c$ ，计算出岩土体的渗流速率与含水率，其中 ΔT_t 为FBG温度特征值， v 为岩土体的渗流速率， w 为岩土体含水率， a 、 b 、 c 为常数，所述常数通过室内率定实验确定。

- [权利要求 4] 根据权利要求3所述的基于IHAT-FBG的岩土体渗流速率与含水率监测方法，其特征在于，根据实际情况进行准分布式的监测，将S1-S3中的FBG进行串联，实现精确点与范围性的渗流速率与含水率的监测。
- [权利要求 5] 根据权利要求3所述的基于IHAT-FBG的岩土体渗流速率与含水率监测方法，其特征在于，所述S1-S3中室内率定实验步骤：
- a: 将IHAT-FBG分别埋设于若干组不同渗流速率梯度与不同含水率梯度下的岩土体式样中；
- b: 用电流电源加热控制系统对IHAT-FBG内的电阻丝通电，进行内加热，利用FBG解调设备，记录加热趋于稳定后IHAT-FBG采集的波长数据；
- c: 运用数据分析处理系统对S2所得波长数据进行分析并处理，将波长转化为温度后，计算出FBG温度特征值，拟合出FBG温度特征值与渗流速率和含水量之间的关系： $\Delta T_t = a - bv$ 与 $w = k\Delta T_t + c$ ，其中 ΔT_t 为FBG温度特征值， v 为岩土体的渗流速率， w 为岩土体含水率， a 、 b 、 c 为常数。
- [权利要求 6] 根据权利要求3-5中任一项所述的基于IHAT-FBG的岩土体渗流速率与含水率监测方法，其特征在于，所述FBG温度特征值为通电加热后，所述IHAT-FBG测得的温度趋于稳定，选取某一特征时间区间 $[t_1, t_2]$ ，将该区间IHAT-FBG所测得的多个温度值进行算术平均得到温度平均值 T_t ，再与初始温度 T_0 作差获得。

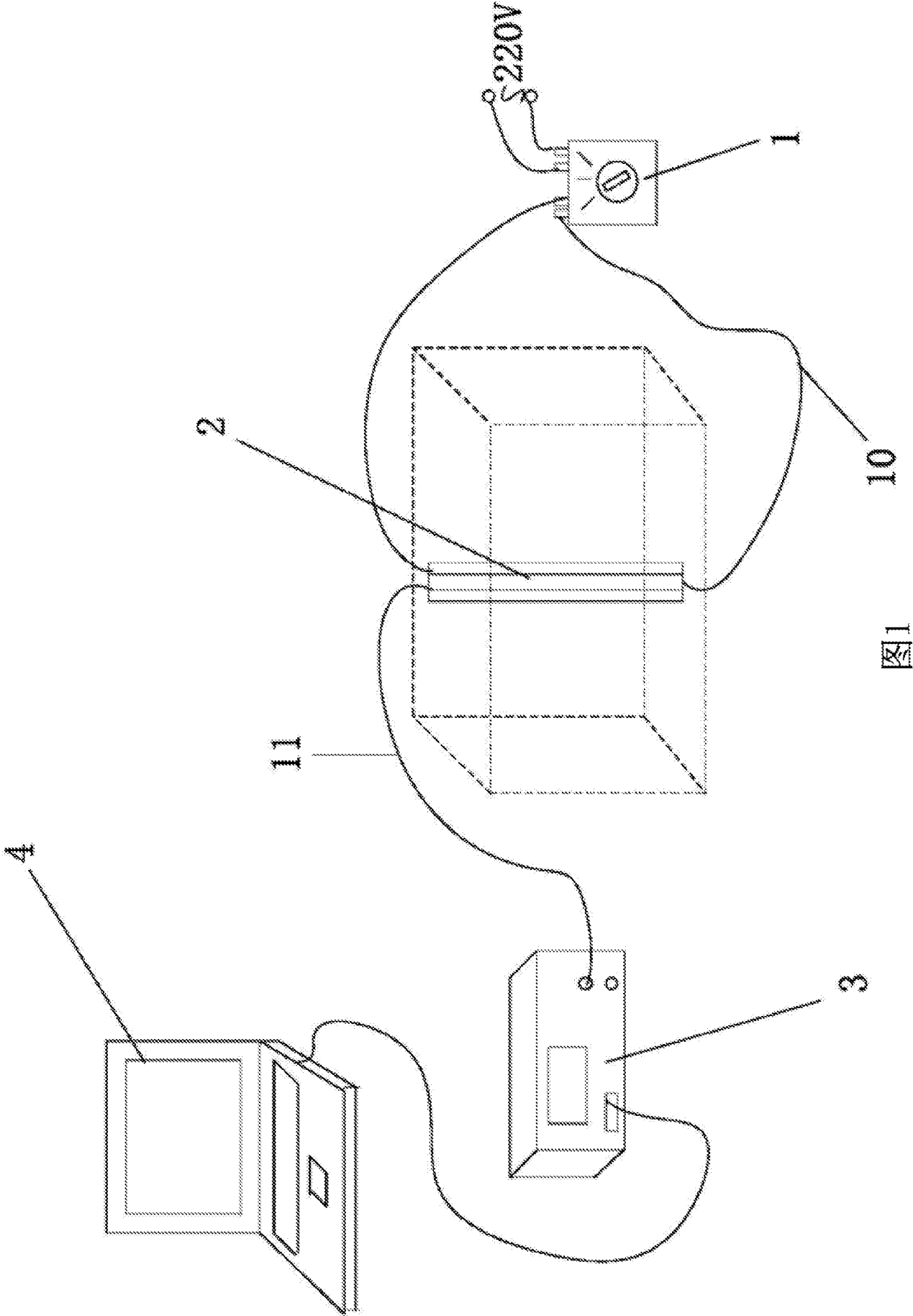
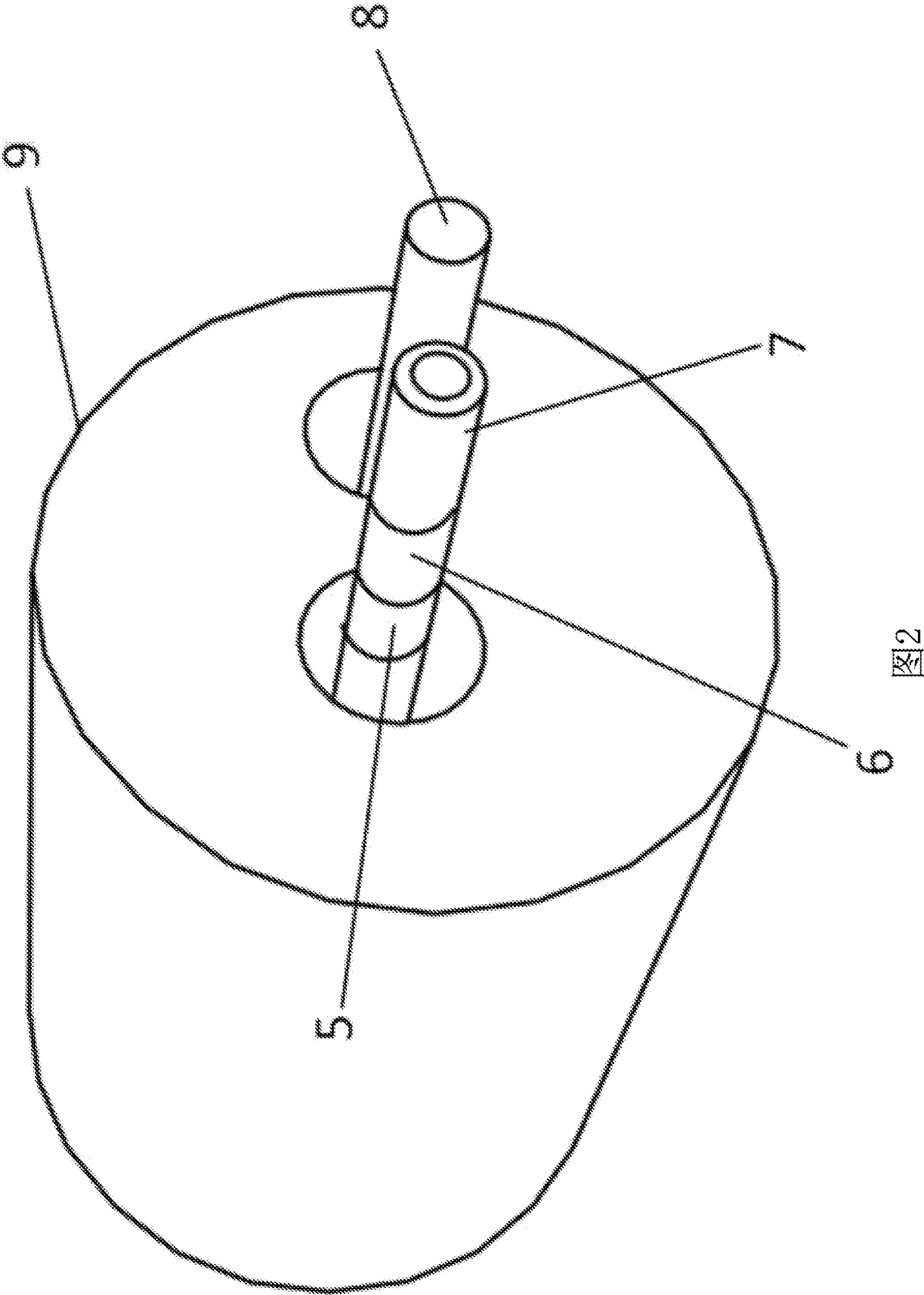


图1



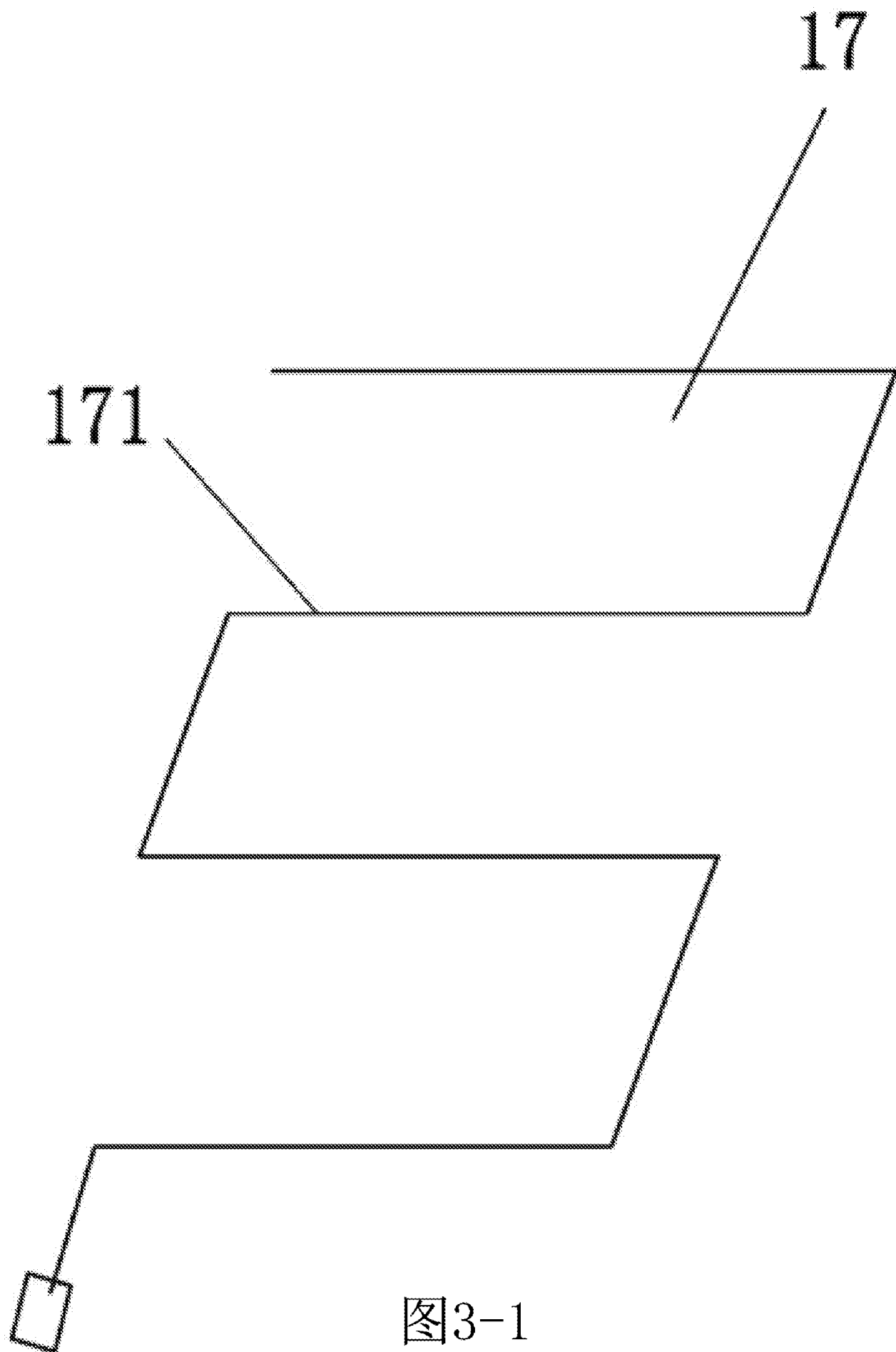


图3-1

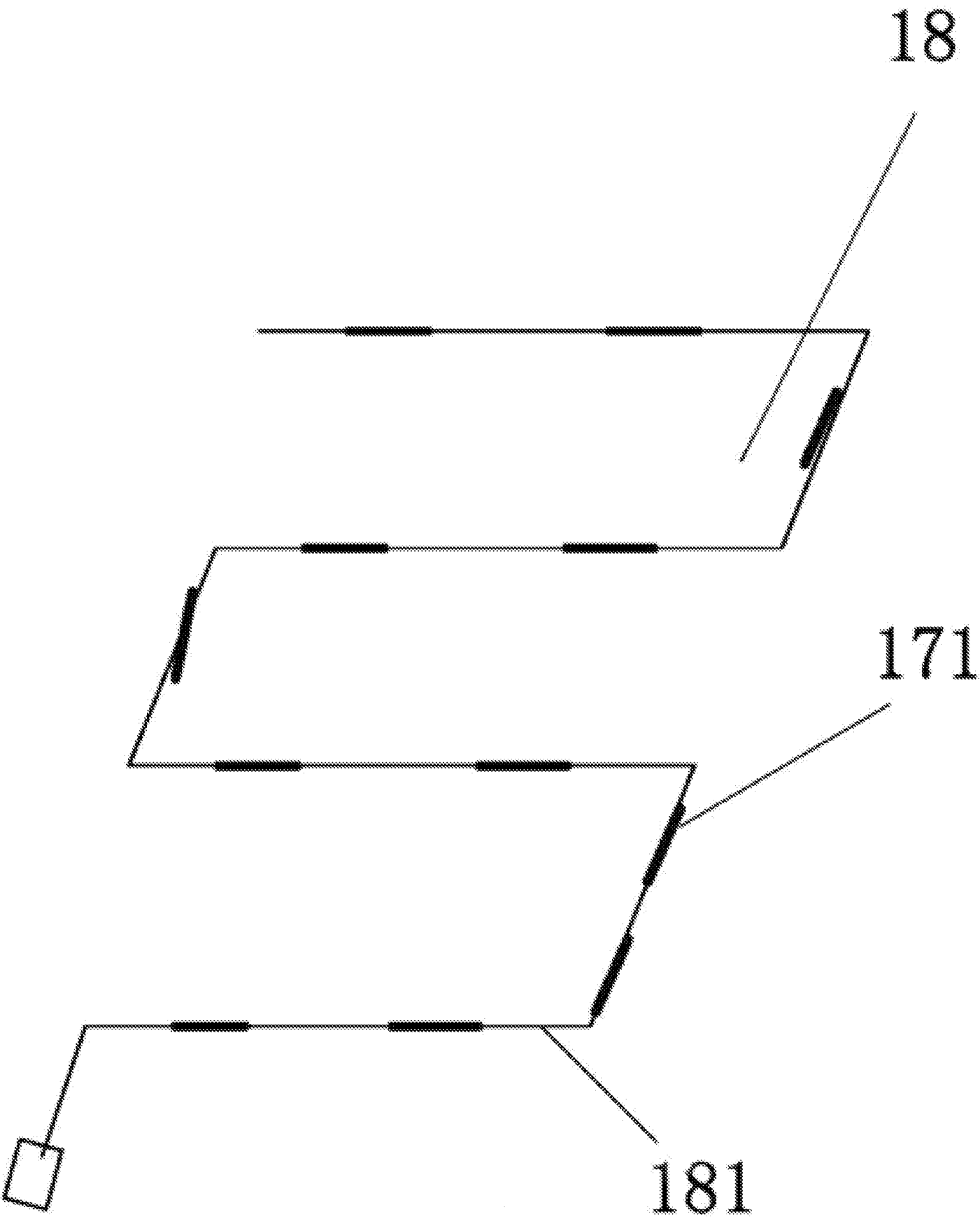


图3-2

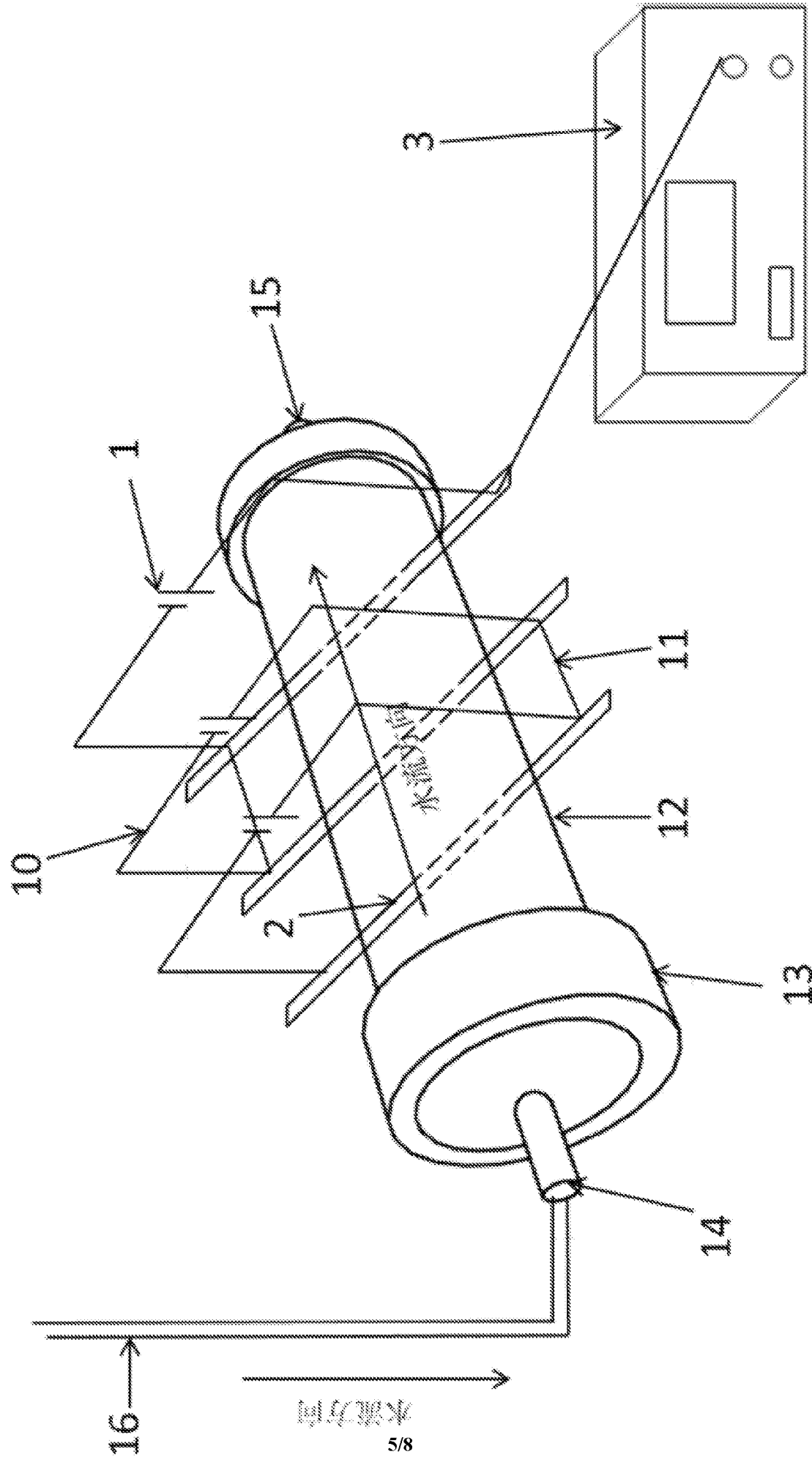
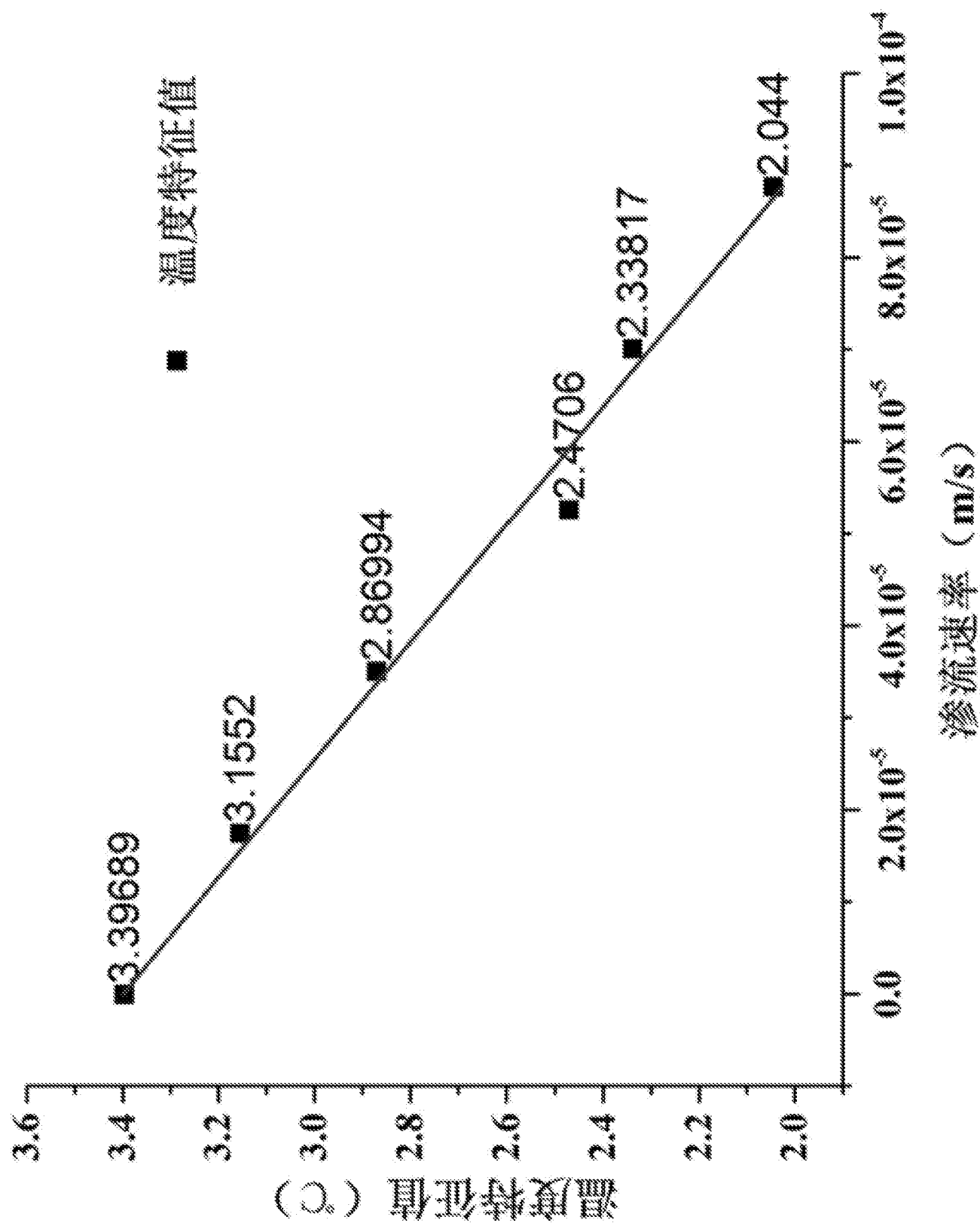


图4



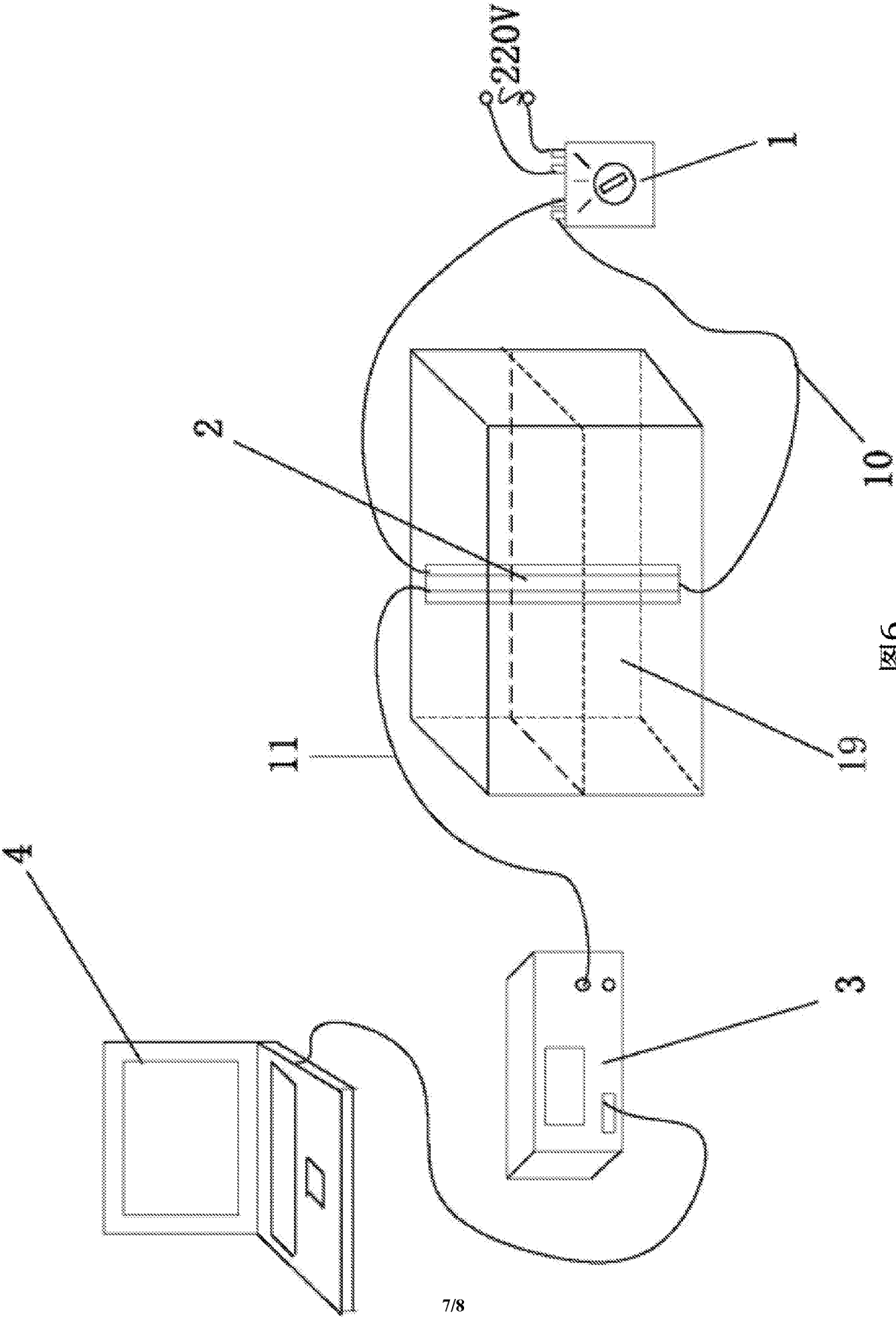


图6

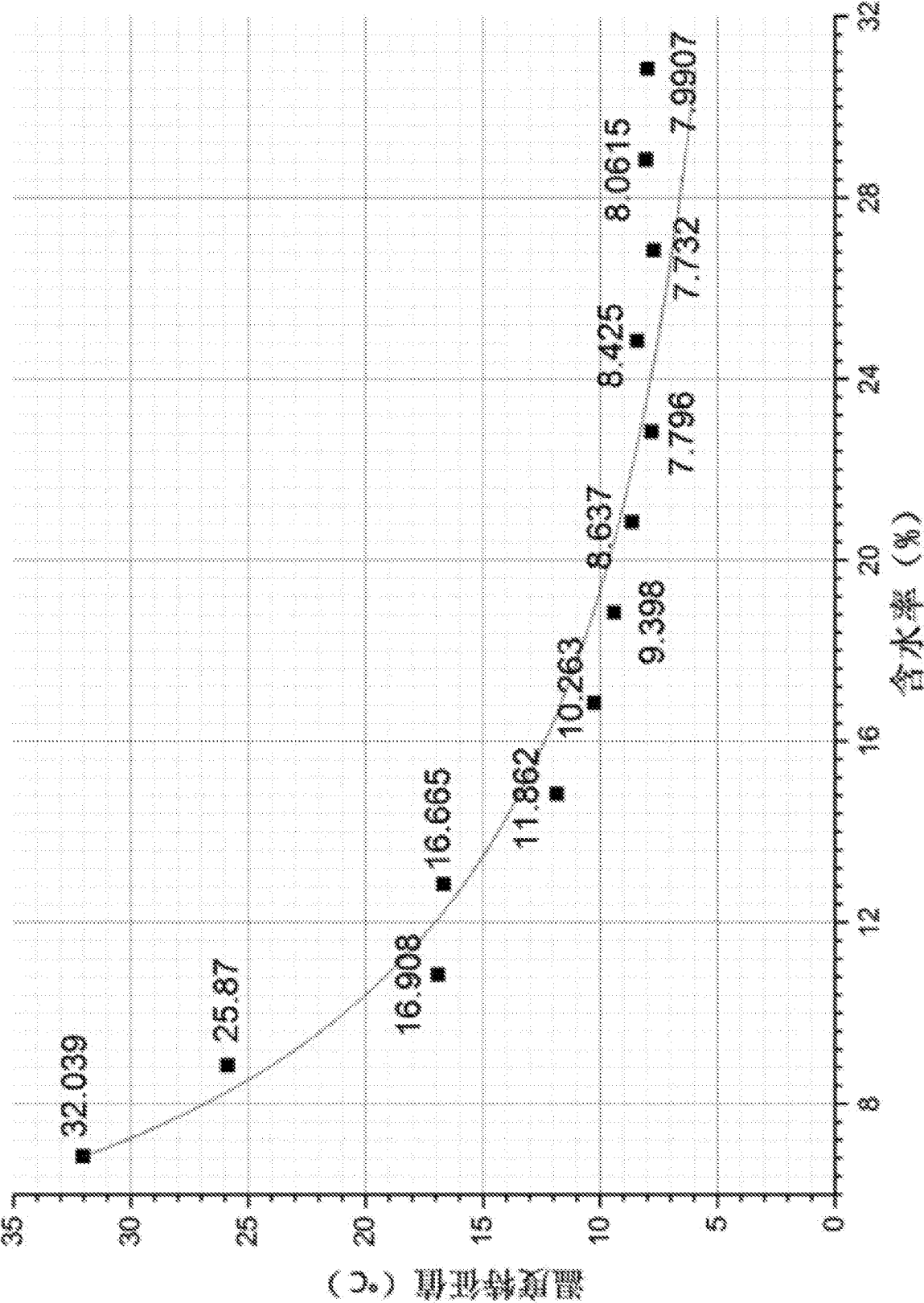


图7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/080577

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 21/41 (2006.01) i; G01K 11/32 (2006.01) n

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)

G01N 21

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)

CNABS, CNTXT, CNKI, 万方, 读秀: 岩, 土, 岩土, 土壤, 地质, 灾害, 水, 水分, 湿度, 渗流, 渗透, 渗流场, 速率, 速度, 刚玉, 刚玉管, 陶瓷, 氧化铝, 封装, 保护, 布拉格, 光栅, 光纤, 准分布, 准分布式, IHAT, FBG, Bragg VEN, WOTXT, EPTXT, ISI, Google: corundum, ceramic, packag+, FBG, Bragg, fiber, fibre, grating, temperature? geological, geotechnical, soil, rock, OS4300, CT-01, T02, T03, seep, seepage, water, moisture, humidity, permeability

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 107132172 A (SUZHOU NANSEE SENSING TECHNOLOGY CO., LTD. et al.), 05 September 2017 (05.09.2017), claims 1-6	1-6
Y	CN 103439239 A (NANJING UNIVERSITY et al.), 11 December 2013 (11.12.2013), description, paragraphs 8-19, and figures 1-3	1-6
Y	JP 2003294662 A (HITACHI CABLE), 15 October 2003 (15.10.2003), description, paragraphs 18-23 and 32, and figures 1-2	1-6
Y	CN 103364320 A (HOHAI UNIVERSITY), 23 October 2013 (23.10.2013), description, paragraphs 50-59, and figure 1	1-6
Y	CN 104677422 A (HARBIN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 03 June 2015 (03.06.2015), claim 1, and description, paragraphs 4-5	1-6
Y	CN 103454309 A (NANJING UNIVERSITY et al.), 18 December 2013 (18.12.2013), description, paragraphs 10-21, and figures 1-3	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 22 May 2018	Date of mailing of the international search report 31 May 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer LI, Ting Telephone No. 86-(20)-28950573

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/CN2018/080577

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 106525280 A (CCCC FIRST HIGHWAY CONSULTANTS CO., LTD. et al.), 22 March 2017 (22.03.2017), claim 1, and figures 1-2	1-6
A	CN 103727980 A (WUXI BANDWEAVER PHOTOELECTRIC TECHNOLOGY CO., LTD. et al.), 16 April 2014 (16.04.2014), entire document	1-6
A	CN 205991862 U (CHINA INSTITUTE OF WATER RESOURCES AND HYDROPOWER RESEARCH), 01 March 2017 (01.03.2017), entire document	1-6
A	CN 203479673 U (HOHAI UNIVERSITY), 12 March 2014 (12.03.2014), entire document	1-6
A	WO 2010072293 A2 (WATERFORD INST TECHNOLOGY), 01 July 2010 (01.07.2010), entire document	1-6
A	CN 102721722 A (YANGZHOU UNIVERSITY), 10 October 2012 (10.10.2012), entire document	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/080577

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 107132172 A	05 September 2017	None	
CN 103439239 A	11 December 2013	CN 103439239 B	23 December 2015
JP 2003294662 A	15 October 2003	None	
CN 103364320 A	23 October 2013	CN 103364320 B	13 April 2016
CN 104677422 A	03 June 2015	CN 104677422 B	29 August 2017
CN 103454309 A	18 December 2013	CN 103454309 B	29 July 2015
CN 106525280 A	22 March 2017	None	
CN 103727980 A	16 April 2014	None	
CN 205991862 U	01 March 2017	None	
CN 203479673 U	12 March 2014	None	
WO 2010072293 A2	01 July 2010	WO 2010072293 A3	14 October 2010
CN 102721722 A	10 October 2012	CN 102721722 B	09 July 2014

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/080577

A. 主题的分类 G01N 21/41(2006.01)i; G01K 11/32(2006.01)n 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) G01N21 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)) CNABS, CNTXT, CNKI, 万方, 读秀; 岩, 土, 岩土, 土壤, 地质, 灾害, 水, 水分, 湿度, 渗流, 渗透, 渗流场, 速率, 速度, 刚玉, 刚玉管, 陶瓷, 氧化铝, 封装, 保护, 布拉格, 光栅, 光纤, 准分布, 准分布式, IHAT, FBG, Bragg VEN, WOTXT, EPTXT, ISI, Google; corundum, ceramic, packag+, FBG, Bragg, fiber, fibre, grating, temperature, geological, geotechnical, soil, rock, OS4300, CT-01, T02, T03, seep, seepage, water, moisture, humidity, permeability		
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
PX	CN 107132172 A (苏州南智传感科技有限公司 等) 2017年 9月 5日 (2017 - 09 - 05) 权利要求1-6	1-6
Y	CN 103439239 A (南京大学 等) 2013年 12月 11日 (2013 - 12 - 11) 说明书第8-19段, 图1-图3	1-6
Y	JP 2003294662 A (HITACHI CABLE) 2003年 10月 15日 (2003 - 10 - 15) 说明书第18-23、32段, 图1-2	1-6
Y	CN 103364320 A (河海大学) 2013年 10月 23日 (2013 - 10 - 23) 说明书50-59段, 图1	1-6
Y	CN 104677422 A (哈尔滨理工大学) 2015年 6月 3日 (2015 - 06 - 03) 权利要求1, 说明书第4-5段	1-6
Y	CN 103454309 A (南京大学 等) 2013年 12月 18日 (2013 - 12 - 18) 说明书第10-21段, 图1-图3	1-6
☒ 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		国际检索报告邮寄日期
2018年 5月 22日		2018年 5月 31日
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(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		李婷 电话号码 86-(20)-28950573

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
Y	CN 106525280 A (中交第一公路勘察设计研究院有限公司 等) 2017年 3月 22日 (2017 - 03 - 22) 权利要求1, 图1-图2	1-6
A	CN 103727980 A (无锡波汇光电科技有限公司 等) 2014年 4月 16日 (2014 - 04 - 16) 全文	1-6
A	CN 205991862 U (中国水利水电科学研究院) 2017年 3月 1日 (2017 - 03 - 01) 全文	1-6
A	CN 203479673 U (河海大学) 2014年 3月 12日 (2014 - 03 - 12) 全文	1-6
A	WO 2010072293 A2 (WATERFORD INST TECHNOLOGY) 2010年 7月 1日 (2010 - 07 - 01) 全文	1-6
A	CN 102721722 A (扬州大学) 2012年 10月 10日 (2012 - 10 - 10) 全文	1-6

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/080577

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	107132172	A	2017年 9月 5日	无	
CN	103439239	A	2013年 12月 11日	CN 103439239	B 2015年 12月 23日
JP	2003294662	A	2003年 10月 15日	无	
CN	103364320	A	2013年 10月 23日	CN 103364320	B 2016年 4月 13日
CN	104677422	A	2015年 6月 3日	CN 104677422	B 2017年 8月 29日
CN	103454309	A	2013年 12月 18日	CN 103454309	B 2015年 7月 29日
CN	106525280	A	2017年 3月 22日	无	
CN	103727980	A	2014年 4月 16日	无	
CN	205991862	U	2017年 3月 1日	无	
CN	203479673	U	2014年 3月 12日	无	
WO	2010072293	A2	2010年 7月 1日	WO 2010072293	A3 2010年 10月 14日
CN	102721722	A	2012年 10月 10日	CN 102721722	B 2014年 7月 9日