

(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
2022 年 1 月 6 日 (06.01.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/002071 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01V 3/12 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2021/103199
- (22) 国际申请日: 2021 年 6 月 29 日 (29.06.2021)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202010603031.1 2020年6月29日 (29.06.2020) CN
- (71) 申请人: 山东大学 (SHANDONG UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国山东省济南市历下区经十路
17923号, Shandong 250061 (CN)。
- (72) 发明人: 李术才 (LI, Shucan); 中国山东省济南市
历下区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。
孙怀凤 (SUN, Huafeng); 中国山东省济南市历下

区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 张
诺亚 (ZHANG, Nuoya); 中国山东省济南市历下
区经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 杨
静 (YANG, Jing); 中国山东省济南市历下区
经十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 杨洋
(YANG, Yang); 中国山东省济南市历下区经
十路17923号, Shandong 250061 (CN)。 郑梓强
(ZHENG, Ziqiang); 中国山东省济南市历下区经
十路17923号, Shandong 250061 (CN)。

(74) 代理人: 济南圣达知识产权代理有限公司
(JINAN SHENGDA INTELLECTUAL PROPERTY
AGENCY CO., LTD.); 中国山东省济南市历
下区经十路17703号华特广场B510室,
Shandong 250061 (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,

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR DETECTING HIDDEN KARST CONDUIT

(54) 发明名称: 一种隐伏岩溶管道探测方法及系统

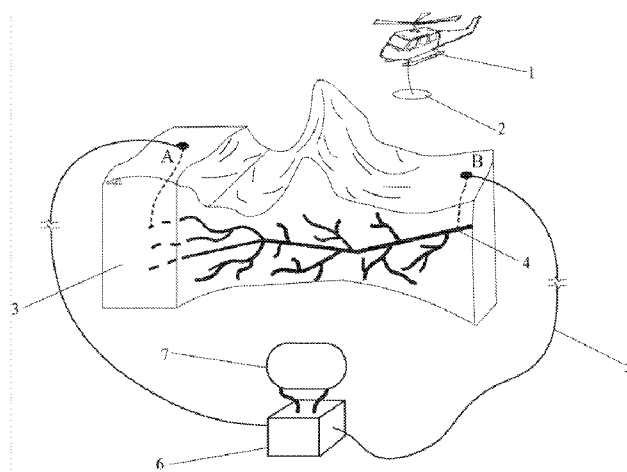


图 1

(57) Abstract: A method for detecting a hidden karst conduit. The method mainly comprises: determining an upstream point A and a downstream point B of an underground karst conduit; arranging grounding electrodes at the upstream point A and the downstream point B, and using an underground water channel, a transmitter and a generator in a karst conduit in a measuring region to establish an electromagnetic transmitting system; using an aerial mobile apparatus carrying a receiver as a receiving end to arrange a receiving system; starting the electromagnetic transmitting system, and supplying power to a transmitting loop by means of the transmitter; controlling the aerial mobile apparatus to move according to a measuring line designed by a geological survey result, and continuously collecting data along the designed measuring line in the measuring region to complete area measurement, so as to acquire data in the whole measuring region; and carrying out data processing on observation data, and determining a net-shaped path diagram or tree-shaped path diagram of underground karst water from A to B. Further provided is a system for detecting a hidden karst conduit.

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, IT, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种隐伏岩溶管道探测方法, 主要包括: 确定地下岩溶管道的上游点A和下游点B; 在上游点A和下游点B布置接地电极, 利用测区内岩溶管道中的地下水通道、发射机以及发电机建立电磁发射系统; 使用空中移动设备搭载接收器作为接收端布置接收系统; 电磁发射系统开启, 发射机向发射回路供电; 控制空中移动设备根据地质调查结果设计的测线移动, 在测区内沿设计好的测线不间断的进行连续数据采集, 完成面积性测量, 获得整个测区内的数据; 对观测数据进行数据处理, 确定地下岩溶水自A到B的网状路径图或树状路径图。还提供一种隐伏岩溶管道探测系统。

一种隐伏岩溶管道探测方法及系统

技术领域

本发明属于岩溶地质探测领域，具体的设计一种隐伏岩溶管道探测方法及系统。

背景技术

岩溶是具有溶蚀力的地下水对可溶性岩石侵蚀而形成的。我国国土面积的1/3为灰岩分布区，其中岩溶最为发育的地区位于云南, 贵州, 广西, 四川南部等地区。研究地下岩溶的分布对了解和分析区域岩溶地质非常重要，在工程、环境、水资源等领域都极为重要。

目前常用的岩溶地质调查方法有：地质调查法、连通试验、钻探及抽水试验法、物探法等，其中地质调查法主要依赖调查人员的地表调查，包括对上升泉、下降泉、岩溶塌陷等明显地质现象的调查，如果没有明显的地表现象则无法对地下隐伏岩溶开展有效的地质调查；连通试验需要在上游投放示踪剂并在下游接收，仅可判断两点的连通性，对于地下岩溶管道的分布无法定位和推断；钻探及抽水试验一般是针对某一钻孔区域及周边小范围内的岩溶发育程度进行评估，在大面积使用时成本较高；物探法是常用的隐伏岩溶地下成像方法，目前常用的手段有地质雷达法、高密度电法、瞬变电磁法、地震法、天然源和人工源音频大地电磁法、结合钻孔开展的跨孔CT法等，其中，高密度电法、地震反射法、探地雷达探测等方法受仪器设备和方法本身的限制，主要解决地表浅部异常，常常用来进行地表探测；天然源和人工源音频大地电磁法要求测区现场满足所选用的场源布设要求，地表异常可能会在探测盲区内从而达不到探测

效果，因此其常常用于中深部异常探测。这些方法往往探测深度有限，有时候假异常较多，不易判断，特别在一些勘探面积大且目标区域未知的测区，勘探的成本会大幅增加，勘探的效率也较低。

发明内容

针对目前隐伏岩溶管道探查没有可用方法的难题，本发明公开了一种隐伏岩溶管道探测新方法及系统，可以实现隐伏岩溶管道的探查。

为了实现上述目的，本发明采用的技术方案如下：

第一方面，本发明提出一种隐伏岩溶管道探测新方法，包括以下步骤：

步骤 1：确定地下岩溶管道的上游点 A 和下游点 B；

步骤 2：在上游点 A 和下游点 B 布置接地电极，利用测区内岩溶管道中的地下岩溶水通道、发射机以及发电机建立电磁发射系统；

步骤 3：使用空中移动设备搭载接收器作为接收端布置接收系统；

步骤 4：电磁发射系统开启；

步骤 5：控制空中移动设备根据地质调查结果设计的测线移动，在测区内沿设计好的测线不间断地进行连续数据采集，完成面积性测量，获得整个测区内的数据；

步骤 6：对观测数据进行数据处理；确定地下岩溶水自 A 到 B 的网状或树状路径图。

作为进一步的技术方案，所述的步骤 1 的具体方法如下：

所述上游点 A 和下游点 B 需要为两个明显出露的上升泉或下降泉，或通过钻孔发现存在流动的地下水；

作为进一步的技术方案，所述的步骤 4 的具体方法如下：

通过发射机向发射系统供入不同编码的波形，包含不同的频率（频率域）和不同的占空比（时间域），同时将所发射的波形及电流记录，用于后续数据处理，发射机通过 GPS 或石英钟与接收端定时；

作为进一步的技术方案，所述的步骤 5 的具体方法如下：

通过飞行器悬挂磁场传感器进行测量，按照设计好的测线飞行，必要时可以通过多架飞行器并行工作，所有采集需要通过 GPS 或石英钟与发射端定时；

作为进一步的技术方案，所述的步骤 6 的具体方法如下：

首先对观测信号进行离散傅里叶变换，离散傅里叶变换后获得每个单频电磁波数据的对应幅值和相位信息；

对观测幅值进行归一化之后绘制幅值的等值图，对相位也进行处理并绘制相位的等值图；

对导电性进行计算和绘制平面分布图，通过不同的色标显示不同的高低值，结果呈树根状，能够清晰看到潜在的隐伏岩溶管道；

综合根据幅值、相位、导电性分布图中的异常区域，绘图确定地下岩溶水自 A 点到 B 点的网状路径图或树状路径图。

第二方面，本发明基于上述的隐伏岩溶管道探测方法，还提供了一种探测系统，包括空中移动设备、发射机、接收机、接收传感器、电极、供电装置和数据处理装置；

所述的发射机、供电装置和两个电极连接的地下岩溶水通道组成电磁发射系统，两个电极分别设置在岩溶管道的上游点 A 和下游点 B；

所述的空中移动设备搭载接收机，在测区内沿设计好的测线不间断地进行连续数据采集，完成面积性测量，获得整个测区的数据；

所述的数据处理装置对测得的数据进行处理，确定地下岩溶管道的分布。

作为进一步的技术方案，所述的数据处理装置包括：

离散傅里叶变换模块，其被配置为对观测信号进行离散傅里叶变换，离散傅里叶变换后获得每个单频电磁波数据的对应幅值和相位信息；

归一化处理模块，其被配置为对观测幅值进行归一化之后绘制幅值的等值图，对相位也进行处理并绘制相位的等值图；

计算和图形绘制模块，其被配置为对导电性进行计算和绘制平面分布图，通过不同的色标显示不同的高低值，结果呈树根状，能够清晰看到潜在的隐伏岩溶管道；综合根据幅值、相位、导电性分布图中的异常区域，绘图确定地下岩溶水自 A 点到 B 点的网状或树状路径图。

本发明的有益效果：

本发明结构简单，能够简单、快速探测出隐伏的岩溶管道系统。

本发明得到的地下岩溶水自 A 点到 B 点的网状或树状路径图能够辅助区域岩溶地质建模。

本发明提出的岩溶探测未进行钻探及抽水等，因此有利于地下水保护，做到区域发展与生态环境保护相协调。

附图说明

构成本发明的一部分的说明书附图用来提供对本发明的进一步理解，本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明，并不构成对本发明的不当限定。

图 1 提供了本发明工作过程示意图。

图中：无人机 1、接收线圈 2、测区 3、隐伏岩溶通道 4、导线 5、发射机 6、发电机 7。

具体实施方式

应该指出，以下详细说明都是例示性的，旨在对本发明提供进一步的说明。除非另有指明，本发明使用的所有技术和科学术语具有与本发明所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

需要注意的是，这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式，而非意图限制根据本发明的示例性实施方式。如在这里所使用的，除非本发明另外明确指出，否则单数形式也意图包括复数形式，此外，还应当理解的是，当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时，其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合；

正如背景技术所介绍的，现有技术中岩溶地质调查方法包括地质调查法、连通试验、钻探及抽水试验法、物探法等，但是这些方法均存在一些不足，针对目前隐伏岩溶管道探查没有可用方法的难题，本发明公开了一种隐伏岩溶管道探测新方法。

本发明的一种典型的实施方式中，如图 1 所示，本探测方法主要用到的设备包括无人机 1、接收线圈 2、发射机 6、发电机 7 和数据处理装置；

所述的无人机 1 采用现有的无人机，在此不进行赘述了，但是不难理解的，在其他实施例中，无人机可以由其他的可飞行的装置进行代替，主要可以载着接收线圈在空中移动即可。

所述的接收线圈 2 主要是为了接收地面发射机发射的电磁波，接收线圈接收方式采取全时段、全频率、高采样率的波形采集，在空中以扫描形式完成数据采集；具体根据实际需要进行设置，该接收线圈也是现有的结构，在此不进行赘述了，当然不难理解的，这里的接收线圈 2 还可以采用磁棒进行代替。

发射机 6 和发电机 7 与测区内岩溶管道中的地下岩溶水通道建立电磁发射系统, 结合附图, 在图 1 中的 A 和 B 点分别布置接地电极, 两个电极之间通过导线相连并连接发射机 6, 发射机 6 和发电机 7 相连, 发电机 7 为发射机 6 供电, 其中, 低电阻导线应尽量放置在测区之外, 以免对采集数据造成干扰, 测量接地电阻并估算用电负荷, 发电机选择一般以额定功率的 80%。

数据处理装置, 其主要是对接收线圈 2 接收的数据进行处理, 获得岩溶通道的分布图。所述的数据处理装置, 包括离散傅里叶变换模块、归一化处理模块和计算和图形绘制模块;

离散傅里叶变换模块, 其被配置为对观测信号进行离散傅里叶变换,
$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)(\cos 2\pi k \frac{n}{N} - j \sin 2\pi k \frac{n}{N})(k = 0, 1, 2, \dots, N-1)$$
, 式中 $X(k)$ 表示离散傅里叶变换后的数据, $x(n)$ 为采样的模拟信号。离散傅里叶变换后获得每个单频电磁波数据的对应幅值和相位信息;

归一化处理模块, 其被配置为对观测幅值进行归一化之后绘制幅值的等值图, 对相位也进行处理并绘制相位的等值图;

计算和图形绘制模块, 其被配置为对导电性进行计算和绘制平面分布图, 通过不同的色标显示不同的高低值, 结果呈树根状, 能够清晰看到潜在的隐伏岩溶管道; 综合根据幅值、相位、导电性分布图中的异常区域, 绘图确定地下岩溶水自 A 点到 B 点的网状或树状路径图。

下面对本发明的探测方法进行详细说明:

本发明通过调查发现至少 2 个地表出露区域, 例如上升泉或下降泉、人工施工的钻孔、有流水的岩溶塌陷等, 将上游点命名为 A, 下游点命名为 B。在 A、B 两点放置接地电极, 通过导线将电极连接起来, 并在中间连接发射机, 发射机

使用发电机供电。在发射机中有专门设计的发射电流流动，则 A、B 两点处的电极以及地表的导线作为外部回路，地下岩溶水相对于周边灰岩属于低电阻率物质，近似认为网状导线传导电流，与地面的外部回路形成封闭的电路系统。使用无人机挂载专用电磁场采集线圈或磁棒，在空中以扫描形式完成数据采集，由于电磁感应作用，地下良导介质会表现出低阻特性，进而感应出二次场，可通过接收器接收获取，通过信号处理和坐标成图，就可以获得隐伏岩溶管道的分布范围、网络脉状、联通情况等特性，良好连通区域和不良连通区域会因为导电性的差异而呈现出不同的颜色，用于辅助判断隐伏岩溶管道的地下分布情况。

其详细步骤为：

步骤 1 通过在测区内的地质踏勘、调查、钻探等手段，确定地下岩溶水通道的典型出露点，包括但不限于地面出露点和钻孔出露点；并通过测量所有出露点的水头、区域水文地质分析确定地下岩溶管道的上游点 A 和下游点 B；

步骤 2 利用测区内岩溶管道中的地下岩溶水通道、发射机以及发电机建立电磁发射系统，包括：在 A 和 B 点分别布置接地电极，电极之间通过导线相连并连接发射机和发电机，其中，低电阻导线应尽量放置在测区之外，以免对采集数据造成干扰，测量接地电阻并估算用电负荷，发电机选择一般以额定功率的 80%；

步骤 3 发射系统开启，如果接地电阻过大，在 A 极持续向地下岩溶水中加入电解质，考虑到地下水的污染问题，以食盐为宜。

步骤 4 发电机向发射回路供电，发射机的发射波形包含 n 种频率的混频电磁波，其编码方式采取 2n 序列、m 序列、M 序列等伪随机信号序列，更一般地可

以采用多个正弦波直接叠加的方式，根据隐伏岩溶的埋深情况确定频率组成及编码方式；

步骤 5 使用无人机吊载接收器作为接收端布置接收系统；接收线圈接收方式采取全时段、全频率、高采样率的波形采集；

步骤 6 控制无人机根据地质调查结果设计的测线移动，在测区内沿设计好的测线不间断地进行连续数据采集，完成面积性测量，获得整个测区内的数据；

步骤 7 对观测数据进行数据处理，首先对观测信号进行离散傅里叶变换，
$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)(\cos 2\pi k \frac{n}{N} - j \sin 2\pi k \frac{n}{N}) (k = 0, 1, 2, \dots, N-1)$$
，式中 $X(k)$ 表示离散傅里叶变换后的数据， $x(n)$ 为采样的模拟信号。离散傅里叶变换后获得每个单频电磁波数据的对应幅值和相位信息；

步骤 8 对观测幅值进行归一化之后绘制幅值的等值图，对相位也进行处理并绘制等值图；

步骤 9 对导电性进行计算和绘制平面分布图，通过不同的色标显示不同的高低值，结果呈树根状，能够清晰看到潜在的隐伏岩溶管道；

步骤 10 综合根据幅值、相位、导电性分布图中的异常区域，绘图确定地下岩溶水自 A 到 B 的网状或树状路径图。

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，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。

1. 一种隐伏岩溶管道探测方法，其特征在于，包括如下步骤：

步骤 1：确定地下岩溶管道的上游点 A 和下游点 B；

步骤 2：在上游点 A 和下游点 B 布置接地电极，利用测区内岩溶管道中的地下岩溶水通道、发射机以及发电机建立电磁发射系统；

步骤 3：使用空中移动设备搭载接收器作为接收端布置接收系统；

步骤 4：电磁发射系统开启，发电机向发射回路供电；

步骤 5：控制空中移动设备根据地质调查结果设计的测线移动，在测区内沿设计好的测线不间断地进行连续数据采集，完成面积性测量，获得整个测区内的数据；

步骤 6：对观测数据进行数据处理，确定地下岩溶水自 A 到 B 的网状或树状路径图，具体方法如下：

首先对观测信号进行离散傅里叶变换，离散傅里叶变换后获得每个单频电磁波数据的对应幅值和相位信息；

对观测幅值进行归一化之后绘制幅值的等值图，对相位也进行处理并绘制相位的等值图；

对导电性进行计算和绘制平面分布图，通过不同的色标显示不同的高低值，结果呈树根状，能够清晰看到潜在的隐伏岩溶管道；

综合根据幅值、相位、导电性分布图中的异常区域，绘图确定地下岩溶水自 A 点到 B 点的网状路径图或树状路径图。

2. 如权利要求 1 所述的隐伏岩溶管道探测方法，其特征在于，步骤 1 中的上游点 A 和下游点 B 确认方法如下：

通过在测区内的地质踏勘、调查、钻探手段，确定地下岩溶水通道的典型

出露点，包括但不限于地面出露点和钻孔出露点；并通过测量所有出露点的水头、区域水文地质分析确定地下岩溶管道的上游点 A 和下游点 B。

3. 如权利要求 1 所述的隐伏岩溶管道探测方法，其特征在于，所述的步骤 2 中，两个电极之间通过导线相连并连接发射机，其中，低电阻导线应尽量放置在测区之外，以免对采集数据造成干扰。

4. 如权利要求 1 所述的隐伏岩溶管道探测方法，其特征在于，所述的步骤 3 接收器的接收方式采取全时段、全频率、高采样率的波形采集。

5. 如权利要求 1 所述的隐伏岩溶管道探测方法，其特征在于，所述的步骤 4 中，如果接地电阻过大，在 A 极持续向地下岩溶水中加入电解质，为防止地下水污染，以食盐为宜；电磁发射系统的发射波形包含 n 种频率的混频电磁波，其编码方式采取 $2n$ 序列、 m 序列或者 M 序列伪随机信号序列；或者采用多个正弦波直接叠加的方式，根据隐伏岩溶的埋深情况确定频率组成及编码方式。

6. 一种隐伏岩溶管道探测系统，其特征在于，包括空中移动设备、发射机、接收传感器、接收机、电极、供电装置和数据处理装置；

所述的发射机、供电装置和两个电极连接的地下岩溶水通道组成电磁发射系统，两个电极分别设置在岩溶管道的上游点 A 和下游点 B；

所述的空中移动设备搭载接收机，其在测区内沿设计好的测线不间断地进行连续数据采集，完成面积性测量，获得整个测区内的数据；

所述的数据处理装置对测得的数据进行检测，确定地下岩溶管道的分布，所述的数据处理装置包括：

离散傅里叶变换模块，其被配置为对观测信号进行离散傅里叶变换，离散傅里叶变换后获得每个单频电磁波数据的对应幅值和相位信息；

归一化处理模块，其被配置为对观测幅值进行归一化之后绘制幅值的等值图，对相位也进行处理并绘制相位的等值图；

计算和图形绘制模块，其被配置为对导电性进行计算和绘制平面分布图，通过不同的色标显示不同的高低值，结果呈树根状，能够清晰看到潜在的隐伏岩溶管道；综合根据幅值、相位、导电性分布图中的异常区域，绘图确定地下岩溶水自 A 点到 B 点的网状路径图或树状路径图。

7. 如权利要求 6 所述的探测系统，其特征在于，所述的发射机为电磁波发射机；所述的接收机为电磁波接收机。

8. 如权利要求 7 所述的系统，其特征在于，所述的电磁波接收机为接收线圈或电磁棒。

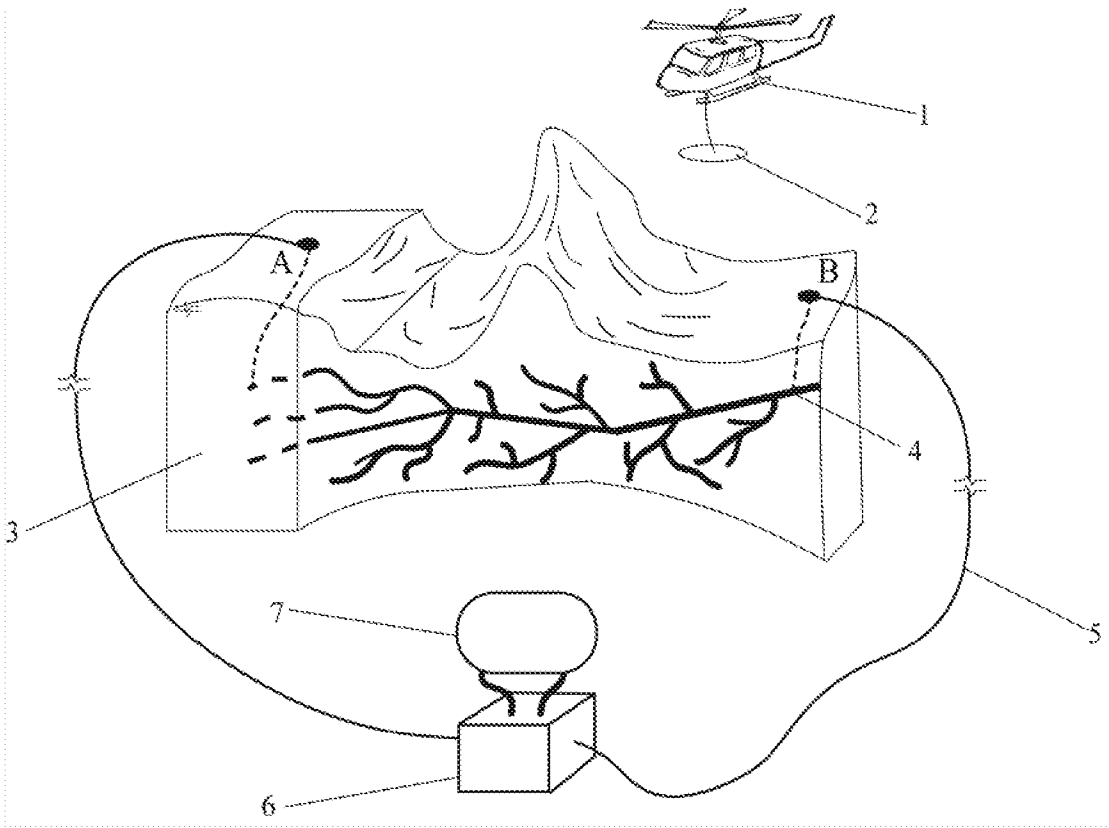


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/103199

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01V 3/12(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)

G01V 3/-

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, CNPAT, TWABS, CNTXT, TWTXT, CNKI, DWPI, SIPOABS, USTXT, EPTXT, WOTXT: 孙怀凤, 杨静, 张诺亚, 杨洋, 山东大学, 隐伏, 岩溶, 管道, 探测, 地下, 接地, 电极, 地下水, 通道, 发射, 发电, 电磁发射, 空中, 移动, 接收, 供电, 控制, 地质, 测线, 连续, 数据, 采集, 测量, 处理, 网状, 路径图, 树状, hidden, rock, solution, pipeline, detect+, determin+, point, underground, electrode, receiv+, aerial mobile, electromagnetic, emit+, loop, generat+, control+, move, measure+, survey, result, data, tree-like, path diagram, water, mesh

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111812724 A (SHANDONG UNIVERSITY) 23 October 2020 (2020-10-23) claims 1-10	1-8
Y	CN 104597506 A (JILIN UNIVERSITY) 06 May 2015 (2015-05-06) description, paragraphs [0006]-[0059], and figures 1-7	1-8
Y	CN 106547030 A (WUHAN CHANGSHENG ENGINEERING EXPLORATION TECHNOLOGY DEVELOPMENT CO., LTD. et al.) 29 March 2017 (2017-03-29) description, paragraphs [0040]-[0054], and figures 1-3	1-8
Y	CN 108152854 A (UJIAN PROVINCIAL INSTITUTE OF ARCHITECTURAL DESIGN AND RESEARCH CO., LTD.) 12 June 2018 (2018-06-12) description, paragraphs [0010]-[0067], and figures 1-5	1-8
A	CN 104597511 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 06 May 2015 (2015-05-06) entire document	1-8



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

30 August 2021

Date of mailing of the international search report

28 September 2021

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/CN2021/103199

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 109031428 A (ZHEJIANG QIANJIANG TECHNOLOGY DEVELOPMENT CO., LTD.) 18 December 2018 (2018-12-18) entire document	1-8
A	CN 103207412 A (BEIJING RESEARCH INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERING AND METALLURGY et al.) 17 July 2013 (2013-07-17) entire document	1-8
A	CN 103728659 A (CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORPORATION et al.) 16 April 2014 (2014-04-16) entire document	1-8
A	CN 105866848 A (INSTITUTE OF GEOLOGY AND GEOPHYSICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 17 August 2016 (2016-08-17) entire document	1-8
A	CN 103064120 A (FUZHOU HUAHONG SMART S&T CO., LTD.) 24 April 2013 (2013-04-24) entire document	1-8
A	US 2012229321 A1 (HOLLY, Sandor et al.) 13 September 2012 (2012-09-13) entire document	1-8
A	CN 111104374 A (SHENYANG AIRCRAFT DESIGN AND RESEARCH INSTITUTE OF AVIATION INDUSTRY CORPORATION OF CHINA, LTD.) 05 May 2020 (2020-05-05) entire document	1-8
A	CN 110470914 A (XIDIAN UNIVERSITY) 19 November 2019 (2019-11-19) entire document	1-8
A	CN 110608721 A (HUNAN UNIVERSITY) 24 December 2019 (2019-12-24) entire document	1-8
A	刘富波 等 (LIU, Fubo et al.). "无人机平台半航空瞬变电磁勘探系统及其应用 (Development and application of a new semi-airborne transient electromagnetic system with UAV platform)" 《地球物理学进展》 (《Progress in Geophysics》), Vol. 32, No. 5, 31 December 2017 (2017-12-31), ISSN: 1004-2903, entire document	1-8
A	李术才 等 (LI, Shucai et al.). "隧道瞬变电磁超前预报平行磁场响应探测方 法 (ADVANCED GEOLOGY PREDICTION WITH PARALLEL TRANSIENT ELECTROMAGNETIC DETECTION IN TUNNELLING)" 岩石力学与工程学报 (Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering), Vol. 33, No. 7, 31 July 2014 (2014-07-31), entire document	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/103199

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	111812724	A	23 October 2020	None			
CN	104597506	A	06 May 2015	CN	104597506	B	29 March 2017
CN	106547030	A	29 March 2017	CN	106547030	B	18 September 2018
CN	108152854	A	12 June 2018	CN	108152854	B	07 February 2020
CN	104597511	A	06 May 2015	CN	104597511	B	01 December 2017
CN	109031428	A	18 December 2018	None			
CN	103207412	A	17 July 2013	None			
CN	103728659	A	16 April 2014	CN	103728659	B	06 July 2016
CN	105866848	A	17 August 2016	CN	105866848	B	22 February 2017
CN	103064120	A	24 April 2013	CN	103064120	B	30 September 2015
US	2012229321	A1	13 September 2012	US	8289201	B2	16 October 2012
CN	111104374	A	05 May 2020	None			
CN	110470914	A	19 November 2019	None			
CN	110608721	A	24 December 2019	CN	110608721	B	17 November 2020

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/103199

A. 主题的分类 G01V 3/12 (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) G01V 3/- 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, CNPAT, TWABS, CNTXT, TWTXT, CNKI, DWPI, SIPOABS, USTXT, EPTXT, WOTXT: 孙怀凤, 杨静, 张诺亚, 杨洋, 山东大学, 隐伏, 岩溶, 管道, 探测, 地下, 接地, 电极, 地下水, 通道, 发射, 发电, 电磁发射, 空中, 移动, 接收, 供电, 控制, 地质, 测线, 连续, 数据, 采集, 测量, 处理, 网状, 路径图, 树状, hidden, rock, solution, pipeline, detect+, determin+, point, underground, electrode, receiv+, aerial mobile, electromagnetic, emit+, loop, generat+, control+, move, measure+, survey, result, data, tree-like, path diagram, water, mesh																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 111812724 A (山东大学) 2020年 10月 23日 (2020 - 10 - 23) 权利要求1-10</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 104597506 A (吉林大学) 2015年 5月 6日 (2015 - 05 - 06) 说明书第[0006]-[0059]段、附图1-7</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 106547030 A (武汉长盛工程检测技术开发有限公司 等) 2017年 3月 29日 (2017 - 03 - 29) 说明书第[0040]-[0054]段、附图1-3</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 108152854 A (福建省建筑设计研究院有限公司) 2018年 6月 12日 (2018 - 06 - 12) 说明书第[0010]-[0067]段、附图1-5</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104597511 A (中国矿业大学) 2015年 5月 6日 (2015 - 05 - 06) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109031428 A (浙江钱江科技发展有限公司) 2018年 12月 18日 (2018 - 12 - 18) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 111812724 A (山东大学) 2020年 10月 23日 (2020 - 10 - 23) 权利要求1-10	1-8	Y	CN 104597506 A (吉林大学) 2015年 5月 6日 (2015 - 05 - 06) 说明书第[0006]-[0059]段、附图1-7	1-8	Y	CN 106547030 A (武汉长盛工程检测技术开发有限公司 等) 2017年 3月 29日 (2017 - 03 - 29) 说明书第[0040]-[0054]段、附图1-3	1-8	Y	CN 108152854 A (福建省建筑设计研究院有限公司) 2018年 6月 12日 (2018 - 06 - 12) 说明书第[0010]-[0067]段、附图1-5	1-8	A	CN 104597511 A (中国矿业大学) 2015年 5月 6日 (2015 - 05 - 06) 全文	1-8	A	CN 109031428 A (浙江钱江科技发展有限公司) 2018年 12月 18日 (2018 - 12 - 18) 全文	1-8
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
PX	CN 111812724 A (山东大学) 2020年 10月 23日 (2020 - 10 - 23) 权利要求1-10	1-8																					
Y	CN 104597506 A (吉林大学) 2015年 5月 6日 (2015 - 05 - 06) 说明书第[0006]-[0059]段、附图1-7	1-8																					
Y	CN 106547030 A (武汉长盛工程检测技术开发有限公司 等) 2017年 3月 29日 (2017 - 03 - 29) 说明书第[0040]-[0054]段、附图1-3	1-8																					
Y	CN 108152854 A (福建省建筑设计研究院有限公司) 2018年 6月 12日 (2018 - 06 - 12) 说明书第[0010]-[0067]段、附图1-5	1-8																					
A	CN 104597511 A (中国矿业大学) 2015年 5月 6日 (2015 - 05 - 06) 全文	1-8																					
A	CN 109031428 A (浙江钱江科技发展有限公司) 2018年 12月 18日 (2018 - 12 - 18) 全文	1-8																					
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> * 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 </td> <td style="vertical-align: top;"> “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 </td> </tr> </table>			* 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																			
* 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 2021年 8月 30日		国际检索报告邮寄日期 2021年 9月 28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 刘时雄 电话号码 86-(10)-53962528																					

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	CN 103207412 A (核工业北京化工冶金研究院 等) 2013年 7月 17日 (2013 - 07 - 17) 全文	1-8
A	CN 103728659 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2014年 4月 16日 (2014 - 04 - 16) 全文	1-8
A	CN 105866848 A (中国科学院地质与地球物理研究所) 2016年 8月 17日 (2016 - 08 - 17) 全文	1-8
A	CN 103064120 A (福州华虹智能科技开发有限公司) 2013年 4月 24日 (2013 - 04 - 24) 全文	1-8
A	US 2012229321 A1 (HOLLY, Sandor 等) 2012年 9月 13日 (2012 - 09 - 13) 全文	1-8
A	CN 111104374 A (中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所) 2020年 5月 5日 (2020 - 05 - 05) 全文	1-8
A	CN 110470914 A (西安电子科技大学) 2019年 11月 19日 (2019 - 11 - 19) 全文	1-8
A	CN 110608721 A (湖南大学) 2019年 12月 24日 (2019 - 12 - 24) 全文	1-8
A	刘富波 等. "无人机平台半航空瞬变电磁勘探系统及其应用" 《地球物理学进展》, 第32卷, 第5期, 2017年 12月 31日 (2017 - 12 - 31), ISSN: 1004-2903, 全文	1-8
A	李术才 等. "隧道瞬变电磁超前预报平行磁场响应探测方法" 《岩石力学与工程学报》, 第33卷, 第7期, 2014年 7月 31日 (2014 - 07 - 31), 全文	1-8

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/103199

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	111812724	A	2020年 10月 23日	无	
CN	104597506	A	2015年 5月 6日	CN 104597506	B 2017年 3月 29日
CN	106547030	A	2017年 3月 29日	CN 106547030	B 2018年 9月 18日
CN	108152854	A	2018年 6月 12日	CN 108152854	B 2020年 2月 7日
CN	104597511	A	2015年 5月 6日	CN 104597511	B 2017年 12月 1日
CN	109031428	A	2018年 12月 18日	无	
CN	103207412	A	2013年 7月 17日	无	
CN	103728659	A	2014年 4月 16日	CN 103728659	B 2016年 7月 6日
CN	105866848	A	2016年 8月 17日	CN 105866848	B 2017年 2月 22日
CN	103064120	A	2013年 4月 24日	CN 103064120	B 2015年 9月 30日
US	2012229321	A1	2012年 9月 13日	US 8289201	B2 2012年 10月 16日
CN	111104374	A	2020年 5月 5日	无	
CN	110470914	A	2019年 11月 19日	无	
CN	110608721	A	2019年 12月 24日	CN 110608721	B 2020年 11月 17日