

(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
2014 年 7 月 24 日 (24.07.2014)



(10) 国际公布号
WO 2014/110689 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01V 3/04 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2013/000042
- (22) 国际申请日: 2013 年 1 月 17 日 (17.01.2013)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
2013200184650 2013 年 1 月 15 日 (15.01.2013) CN
2013100134355 2013 年 1 月 15 日 (15.01.2013) CN
- (71) 申请人: 山东大学 (SHANDONG UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国山东省济南市历城区山大南路 27 号,
Shandong 250061 (CN)。
- (72) 发明人: 李术才 (LI, Shucui); 中国山东省济南市历
城区山大南路 27 号, Shandong 250061 (CN)。 刘斌
(LIU, Bin); 中国山东省济南市历城区山大南路 27
号, Shandong 250061 (CN)。 聂利超 (NIE, Lichao);
中国山东省济南市历城区山大南路 27 号, Shandong
250061 (CN)。 隋青美 (SUI, Qingmei); 中国山东省

济南市历城区山大南路 27 号, Shandong 250061
(CN)。 宋杰 (SONG, Jie); 中国山东省济南市历城
区山大南路 27 号, Shandong 250061 (CN)。 郝亭宇
(HAO, Tingyu); 中国山东省济南市历城区山大南路
27 号, Shandong 250061 (CN)。 曹玉强 (CAO, Yuqi-
ang); 中国山东省济南市历城区山大南路 27 号,
Shandong 250061 (CN)。 张法业 (ZHANG, Faye); 中
国山东省济南市历城区山大南路 27 号, Shandong
250061 (CN)。 王静 (WANG, Jing); 中国山东省济
南市历城区山大南路 27 号, Shandong 250061 (CN)。
刘征宇 (LIU, Zhengyu); 中国山东省济南市历城区
山大南路 27 号, Shandong 250061 (CN)。 孙怀凤
(SUN, Huaifeng); 中国山东省济南市历城区山大南
路 27 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千佛山路 3 号
华特广场山东大学科技园 5 号楼 2 层 3、4 号, Shan-
dong 250061 (CN)。

[见续页]

(54) Title: THREE-DIMENSIONAL FOCUS INDUCED POLARIZATION DEVICE FOR ADVANCED GEOLOGICAL FORE-
CAST OF WATER BURST SOURCE IN UNDERGROUND CONSTRUCTION

(54) 发明名称: 地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备

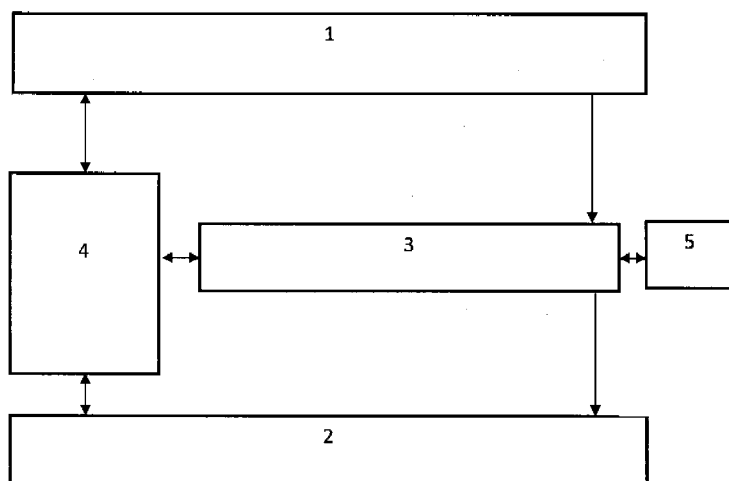


图 1 / FIG.1

(57) Abstract: A three-dimensional focus in-
duced polarization device for advanced geologic-
al forecast of a water burst source in underground
construction comprises a constant current mul-
tipath transmitter (1), a multichannel intelligent
receiver (2), a multipath electrode automatic
converter (3), an industrial computer (4), an ob-
serving electrode array, and a shielding electrode.
Electrodes in the observing electrode array are
selected to serve as a power supply electrode and
an observing electrode respectively. The industri-
al computer (4) controls the constant current mul-
tipath transmitter (1) to transmit currents of the
same nature to the shielding electrode and the
power supply electrode, so that the currents of
the power supply electrode almost point to a di-
rection right in front of a heading face under the
effect of the shielding electrode. Scanned data
collection is conducted by using the observing
electrode, and the collected data is fed back to
the industrial computer (4) through the mul-
tichannel intelligent receiver (2). The industri-
al computer (4) controls the multipath electrode
automatic converter (3) to replace the power sup-
ply electrode. The provided device implements
multipath power supply and multipath collection

as well as directional detection of a tunnel face, so that the directivity of the currents is good, and the problem of side interference
near a measuring line is effectively solved; therefore, background interference data is reduced, the forecast accuracy is greatly im-
proved, and the detection range is largely increased.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2014/110689 A1



(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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则 4.17 的声明:

- 关于申请人有权申请并被授予专利(细则 4.17(ii))
- 发明人资格(细则 4.17(iv))

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备, 包括恒流多路发射机(1)、多通道智能接收机(2)、多路电极自动转换器(3)、工控机(4)、观测电极阵列和屏蔽电极。选择观测电极阵列中的电极分别作为供电电极和观测电极, 工控机(4)控制恒流多路发射机(1)向屏蔽电极和供电电极传输同性电流, 使得在屏蔽电极的作用下供电电极电流几乎指向掘进面的正前方。利用观测电极进行扫描性数据采集, 并通过多通道智能接收机(2)反馈至工控机(4)。工控机(4)控制多路电极自动转换器(3)更换供电电极。该设备实现了多路供电以及多路采集, 实现了掌子面的定向探测, 电流的指向性好, 有效解决了测线附近的旁侧干扰问题, 使得背景干扰数据少, 预报精度以及探测距离大大提高。

地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备

技术领域

本发明涉及一种隧道等地下工程施工中基于三维聚焦激发极化法的突水灾害源超前地质预报系统，具体地说是一种地下工程施工期突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化仪器。

背景技术

我国是隧道等地下工程突水灾害最严重的国家之一，突水突泥灾害所造成的人员伤亡和经济损失在各类隧道等地下工程地质灾害中居于前列，往往造成重大的人员伤亡、严重的经济损失和环境破坏。为防止隧道等地下工程突水突泥灾害的发生，需要在施工期间实施超前地质预报工作，超前地质预报工作的目的就是探明隧道等地下工程开挖面前方一定范围内的地质情况。但是由于突水突泥灾害源的强隐蔽性和强复杂性，缺乏对突水灾害源三维定位与水量定量预测的有效方法和仪器，是国内外隧道等地下工程领域亟待解决的关键难题。

自上世纪 70 年代起，国际上开始了隧道等地下工程施工期的不良地质超前预报研究工作，经过近 40 年的发展，已经发展到地震反射法、电法、电磁法等多种地球物理勘探方法。对于突水灾害源的超前地质预报而言，地震波反射超前预报方法及其设备(如 TSP 法、TRT 法等)对水体的响应不敏感，无法有效的识别并定位突水灾害源。电磁超前预报方法及其设备(如地质雷达法、瞬变电磁法等)对水体的空间位置信息响应比较敏感，在水体定位方面有一定的效果，但电磁法抗干扰能力极弱，且无法预测水量的大小。

电法类超前地质预报方法中较为有效的是激发极化法，激发极化方法被证明对水体的空间位置和水量大小有较好的反应，为解决隧道等地下工程施工中突水灾害源超前预报三维定位和水量预测难题提供了可行有效的途径。但是目前已有的隧道等地下工程超前探测激发极化设备均是基于电测深理论的定点源非聚焦型的激发极化设备。非聚焦型的激发极化超前预报设备是将探测测线布置在隧道边墙或底板上，测线附近的旁侧干扰往往掩盖了隧道开挖面前方的有用信息，对突水灾害源的定位和水量预测的精度低，可信性差，往往导致地质探测结果错误，影响了隧道施工安全。

在三维聚焦型激发极化设备的发明中存在以下关键难题：① 屏蔽电极和供电电极需要同时输出同性电流，具有自动调制功能的多路大电流恒流发射机的发明是关键难题；② 三维聚焦型激发极化探测方法在掘进面上需要布置由数十个电极构成的观测电极系统，需要研制多通道观测数据自动化采集装置，即多通道智能接收机；③ 该设备需要测量观测电极阵列的大

量数据,采集过程中需要不断的切换电极,同时大电流的切换是一个亟待解决的难题,需要研制电极自动转换器。④ 该设备需要具备多元激发极化信息综合采集的功能,包括屏蔽电流、供电电流、视电阻率、接地电阻、视极化率、激发极化衰减时等。

发明内容

本发明的目的就是为了解决非聚焦型激发极化设备存在的问题,提供一种地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备,它性能稳定、灵敏度高、方便实用且能批量生产,能够预报隧道等地下工程掌子面前方岩性的变化和含水层性质。

为实现上述目的,本发明采用下述技术方案。

一种地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备,它包括恒流多路发射机、多通道智能接收机、多路电极自动转换器、工控机和电极系;所述电极系包括观测电极阵列和屏蔽电极;所述观测电极阵列包括若干个电极,观测电极阵列中的电极、屏蔽电极分别与多路电极自动转换器连接,多路电极自动转换器分别与恒流多路发射机、多通道智能接收机连接,恒流多路发射机、多通道智能接收机、多路电极自动转换器分别与工控机实现通信。本发明将观测电极阵列和屏蔽电极布置在隧道掘进面上,选择观测电极阵列中的任一电极作为供电电极,其他的电极作为观测电极,工控机控制恒流多路发射机向屏蔽电极和供电电极传输同性电流,使得在屏蔽电极的作用下供电电极电流几乎指向掘进面的正前方,不存在旁侧干扰;利用观测电极进行扫描性数据采集,并通过多通道智能接收机反馈至工控机;测完此循环后,工控机控制多路电极自动转换器更换供电电极再进行下一循环测量,可得到携带掘进面前方有效信息的大量数据,从而实现突水危险源的三维定位和水量的预测,解决了非聚焦型激发极化设备存在问题。

所述恒流多路发射机包括发射单片机系统、逆变电路、多路驱动模块、升压模块、整流模块、电流电压采样模块以及数据采集模块。电源通过逆变电路、升压模块、整流模块产生高压恒定电流,整流模块与多路驱动模块连接;发射单片机系统控制逆变电路、升压模块和多路驱动模块,通过电流电压采样模块检测反馈电路中的电流,控制多路驱动模块输出多路可调的恒流电流。

所述发射单片机系统包含发射单片机、数字显示模块、时钟模块、数据存储模块、数据通信模块,主要完成检测、显示、开关量和模拟量控制,发射单片机及外围电路供电与恒流源采用全隔离设计,参量设置通过键盘设定,并在数字显示模块上显示,发射单片机系统利用发射单片机的定时器比较输出功能输出两路PWM调制波形,控制逆变电路利用脉宽调制技术(PWM)对直流电压进行逆变;电流电压采样模块对经过整流模块后的电流进行检测,发射

单片机调节升压电路，以满足通过整流模块后电流的恒定，同时电流电压采样模块对多路驱动模块输出的每一路电流进行检测，发射单片机控制多路驱动模块，从而调节多路驱动模块每一路电流达到稳定的设定值。

所述多路驱动模块，将直流电压，经逆变电路和升压模块产生高压，利用大功率MOSFET管构成多路负反馈恒流输出回路，从而实现多路恒流大电流的输出，同时电流电压采样模块反馈每一路电流大小，从而由发射单片机调节多路驱动模块以输出设置的供电路数、供电时间、电流大小。

所述电流电压采样模块，一端分别检测通过整流模块后的电流以及多路驱动模块产生的多路电流，另一端通过数据采集模块连接与发射单片机连接。电流电压采样模块采用霍尔检测电路，进行模拟隔离。

所述发射单片机系统还包括过压过流保护模块，过压过流保护模块分别与电流电压采样模块、发射单片机连接，电流电压采样模块反馈电流大小到电流电压保护模块，实现多路输出每支路输出电压自动保护。

所述多通道智能接收机包括依次连接的多道并行的接收模块、多通道ADC转换器、接收单片机，接收信号依次通过接收模块、ADC转换器，并进入接收单片机；接收单片机对每个接收模块的数据进行采集，通过通信与工控机实现控制和信息反馈，进行数字信号的最终处理，完成视电阻率、接地电阻、视极化率、半衰时、激发比的测量。

所述接收模块包括依次连接的静电高压抑制电路、共模抑制电路、差模抑制电路、第一级50Hz限波器、差分输入放大器、第二级50Hz限波器、100Hz限波器、8阶巴特沃斯20Hz低通滤波器连接，同时接收单片机通过DAC调零电路控制差分输入放大器。

所述静电高压抑制电路主要吸收工作环境中的静电和浪涌冲击，保护后端电路；共模抑制电路和差模抑制电路吸收输入的共模、差模干扰信号，两级50Hz限波器初步吸收50Hz工频干扰，保证差分输入放大器的直流工作点不随上述干扰信号漂移；差分输入放大器输出信号，在经过第一级50Hz限波器和100Hz限波器，充分抑制工频及工频谐波的干扰；8阶巴特沃斯低通滤波器，有40dB每十倍频程的衰减量，且保证带宽内信号的平坦。

所述多路电极自动转换器包括多路继电器开关、解码电路、转换器单片机、通信模块、电压采样电路，工控机通过通信模块与转换器单片机连接，转换器单片机通过解码电路与多路继电器开关连接，多路继电器开关一端与电极系连接，另一端通过多路电缆与恒流多路发射机和多通道智能接收机连接，可进行温纳、偶极、微分、联剖四种排列转换，每改变一次测点只需一秒钟，大大节省了人力、物力和时间，提高了测量的精度和效率。

所述多路继电器开关采用大功率继电器,同时采用电压采样电路检测大功率继电器电压,通过转换器单片机反馈到工控机,从而实现对发射大电流的快速切换,避免负载太大烧毁继电器。转换器单片机按照工控机发送的指令,通过编码电路控制多路继电器开关的开、合,实现了多路电极快速转换。

所述工控机包含信号识别模块、信号处理模块和终端显示控制模块,工控机通过通信与恒流多路发射机连接,通过通信与工控机实现控制和信息反馈,通过通信与多路电极自动转换器连接,可以设置多路电极自动转换器、恒流多路发射机、多通道智能接收机的参数,同时向多通道智能接收机和恒流多路发射机发送支路路数以及每支路电流大小的控制指令,完成对多路电极自动转换器反馈的电压进行检测,对经过多通道智能接收机的多路信号的处理,并进行数字信号处理并终端显示。

本发明的实际应用过程操作简单:

1、连接仪器。连接电极电缆到多路电极自动转换器,多路电极自动转换器通过电缆与恒流多路发射机多路输出端、多通道智能接收机多路接收端连接。

2、启动接收机。连接电源,打开发射机、接收机开关,打开控制软件并打开端口。

3、设置参数。设置供电电路路数、电流大小、供电时间,多通道智能接收机接收路数、设置采样时间、间隔,设置多路电极自动转换器参数。

4、仪器检验。测量接地电阻,检验电极与测区的接触情况,检测恒流多路发射机、多通道智能接收机、多路电极自动转换器的接通情况。

5、仪器测量。点击“调零按钮”开始调零,待曲线显示窗口电压曲线在零点时停止调零。点击“开始测量”发射电流开始测量,点击“停止采样”停止电流采样,停止电流发射。

6、保存退出。点击“保存数据”保存曲线和采样值,同时退出采集程序。

本发明的有益效果是:

1、该发明采用大功率高精度多路驱动模块,实现了自动调制功能的多路大电流恒流发射机,可以实现 6 路大电流恒流输出,从而实现屏蔽电极和供电电极同时输出大小可调的同性电流,电流输出范围 0~2.0A,步长 0.01A。

2、该发明可使用 8 道并行的接收模块、三个多通道 24 位 ADC 转换器,实现了多通道观测数据多通道智能接收机,可以同时实现 8 通道观测数据同步测量,大大提高了采集效率,满足三维聚焦型激发极化探测方法探测巨大数据量的要求。

3、该发明使用了多路电极转换装置,该装置实现了电极的自动化转换,并采用大功率继电器和反馈电路实现了大电流的自动切换,实现了聚焦激发极化探测按照预先设定的序列进

行自动采集，提高了采集效率，为三维聚焦激发极化快速探测提供了硬件支持。

4、该发明实现了聚焦激发极化仪器的硬件系统，可以完成视电阻率、接地电阻、视极化率、半衰时、激发比等等多元信息综合采集，其电流指向性好，实现了掌子面定向超前预报，有效的减少了掌子面后方的干扰信息，提高了探测的精度与准确性。可满足目前国家重点工程建设中地质灾害控制的迫切需求，将带来可观的经济效益与社会效益。

附图说明

图 1 是本发明原理结构图。

图 2 是本发明恒流多路发射机结构图。

图 3 本发明多通道智能接收机结构图。

图 4 是本发明多通道智能接收机的接收模块硬件原理框图。

图 5 本发明多路电极自动转换器结构图。

其中，1、大电流恒流多路发射机；2、多通道智能接收机；3、多路电极自动转换器；4、工控机；5、电极系；6、H 桥逆变电路；7、升压模块；8、整流模块；9、大功率高精度多路驱动模块；10、电流电压采样模块；11、过压过流保护模块；12、数据采集模块；13、发射单片机；14、数字显示模块；15、时钟模块；16、数据存储模块；17、数据通信模块；18、接收模块；19、ADC 转换器；20、接收单片机；21、多路继电器开关；22、解码电路；23、转换器单片机；24、通信模块；25、电压采样电路。

具体实施方式

下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

如图 1 所示，一种地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备，它包括大电流恒流多路发射机 1、多通道智能接收机 2、多路电极自动转换器 3、工控机 4 和电极系 5；电极系 5 包括观测电极阵列和屏蔽电极；所述观测电极阵列包括若干个电极，观测电极阵列中的电极、屏蔽电极分别与多路电极自动转换器 3 连接，电极系 5 共有 36 路电极，多路电极自动转换器 3 分别与大电流恒流多路发射机 1、多通道智能接收机 2 连接，大电流恒流多路发射机 1、多通道智能接收机 2、多路电极自动转换器 3 分别与工控机 4 实现通信。本发明将观测电极阵列和屏蔽电极组布置在隧道掘进面上，选择观测电极阵列中的任一电极作为供电电极，其他的电极作为观测电极，工控机 4 控制大电流恒流多路发射机 1 向屏蔽电极和供电电极传输同性电流，使得在屏蔽电极的作用下供电电极电流几乎指向掘进面的正前方，不存在旁侧干扰；利用观测电极进行扫描性数据采集，并通过多通道智能接收机 2 反馈至工控机 4；测完此循环后，工控机 4 控制多路电极自动转换器 3 更换供电电极再进行下一循环测量，

可得到携带掘进面前方有效信息的大量数据,从而实现突水危险源的三维定位和水量的预测,解决了非聚焦型激发极化设备存在问题。

所述大电流恒流多路发射机1主要由发射单片机系统、H桥逆变电路6、大功率高精度多路驱动模块9、升压模块7、整流模块8、电流电压采样模块10、过压过流保护模块11以及数据采集模块12组成,如图2。36V电源通过H桥逆变电路6、升压模块7、整流模块8产生高压恒定电流,整流模块8与大功率高精度多路驱动模块9连接;发射单片机系统控制H桥逆变电路6、升压模块7和大功率高精度多路驱动模块9,通过电流电压采样模块10检测反馈电路中的电流,控制大功率高精度多路驱动模块9输出6路可调的恒流电流给多路继电器开关。

所述发射单片机系统包含发射单片机13,其型号为MSP430F169、数字显示模块14、时钟模块15、数据存储模块16、数据通信模块17,主要完成检测、显示、开关量和模拟量控制,发射单片机13及外围电路供电与恒流源采用全隔离设计,参量设置通过键盘设定并显示,显示采用LED方式。发射单片机控制系统利用发射单片机13的定时器比较输出功能输出两路PWM调制波形,控制H桥逆变电路6利用脉宽调制技术(PWM)对直流电压进行逆变;电流电压采样模块10对经过整流模块8后的电流进行检测,发射单片机13调节升压模块7,以满足通过整流模块8后电流的恒定,同时电流电压采样模块10对大功率高精度多路驱动模块9输出的每一路电流进行检测,发射单片机13控制大功率高精度多路驱动模块9,从而调节大功率高精度多路驱动模块9每一路电流达到稳定的设定值。

所述大功率高精度多路驱动模块9,通过从蓄电池组输出的36V直流电压,经H桥逆变电路6和升压模块7产生高压,利用大功率MOSFET管构成多路负反馈恒流输出回路,从而实现6路恒流大电流的输出,同时电流电压采样模块10反馈每一路电流大小,从而由发射单片机13调节大功率高精度多路驱动模块9以输出设置的供电路数、供电时间、电流大小,电流设定值范围0~2.0A,步长0.01A。

所述电流电压采样模块10,一端分别检测通过整流模块8后的电流以及大功率高精度多路驱动模块9产生的多路电流,另一端分别与电流电压保护模块11、数据采集模块12连接,并与发射单片机13连接。电流电压采样模块10采用霍尔检测电路,进行模拟隔离,同时,电流电压采样模块10反馈电流大小到电流电压保护模块11,实现多路输出每支路输出电压超过1000V自动保护。

所述多通道智能接收机2包括8道并行的接收模块18、三个多通道24位ADC转换器19、接收单片机20组成,如图3,接收信号依次通过接收模块18、多通道24位ADC转换器19,并进入接收单片机20;接收单片机20对每个接收模块18的数据进行采集,通过通信与工控机4实现控

制和信息反馈。

所述接收模块18包括依次连接的静电高压抑制电路、共模抑制电路、差模抑制电路、第一级50Hz限波器、差分输入放大器、第二级50Hz限波器、100Hz限波器、8阶巴特沃斯20Hz低通滤波器连接，同时接收单片机20通过DAC调零电路控制差分输入放大器，其原理框图如图4。

所述静电高压抑制电路主要吸收工作环境中的静电和浪涌冲击，保护后端电路；共模抑制电路和差模抑制电路吸收输入的共模、差模干扰信号，两级50Hz限波器初步吸收50Hz工频干扰，保证差分输入放大器的直流工作点不随上述干扰信号漂移；差分输入放大器输出信号，在经过第一级50Hz限波器和100Hz限波器，充分抑制工频及工频谐波的干扰；8阶巴特沃斯低通滤波器，有40dB每十倍频程的衰减量，且保证带宽内信号的平坦。ADC转换器19的输入双极性信号，最大信号电压为 $\pm 15V$ ，每级增益下转换输出的信号分辨率可达24位。DAC调零电路与差分输入放大器连接，最小调零电压为 $\pm 4.8\mu V$ 。

所述多路电极自动转换器3主要由多路继电器开关21、解码电路22、转换器单片机23、通信模块24、电压采样电路25等组成，如图5。工控机4通过通信模块与转换器单片机23连接，转换器单片机23通过解码电路22与多路继电器开关21连接，多路继电器开关21一端与36路电极连接，另一端通过多路电缆分别与大功率高精度多路驱动模块9和接收模块18连接，可进行温纳、偶极、微分、联剖四种排列转换，每改变一次测点只需一秒钟，大大节省了人力、物力和时间，提高了测量的精度和效率。

所述多路继电器开关21采用大功率继电器，同时采用电压采样电路25检测大功率继电器电压，通过转换器单片机23反馈到工控机4，从而实现对发射大电流的快速切换，避免负载太大烧毁继电器。转换器单片机23按照工控机4发送的指令，通过编码电路22控制多路继电器开关21的开、合，实现了36路电极快速转换。

所述工控机4包含信号识别模块、信号处理模块和终端显示控制模块，工控机4通过通信与大电流恒流多路发射机1连接，工控机4通过通信与大电流恒流多路发射机1实现信号控制，并且工控机4进行数字信号的最终处理，完成视电阻率、接地电阻、视极化率、半衰时、激发比的测量。通过通信与多通道智能接收机2实现控制和信息反馈，通过通信与多路电极自动转换器3连接，可以设置多路电极自动转换器3、大电流恒流多路发射机1、多通道智能接收机2的参数，同时向多通道智能接收机2和大电流恒流多路发射机1发送支路路数以及每支路电流大小的控制指令，完成对多路电极自动转换器3反馈的电压进行检测，对经过多通道智能接收机2的多路信号的处理，并进行数字信号处理并终端显示。

本发明在工作时，通过在掌子面上布置扫描电极阵列和屏蔽电极，使得在屏蔽电极的作

用下供电电极电流几乎沿径向流入围岩,即可得到携带掌子面前方有效信息,采用多路电极自动转换器 3、多通道智能接收机 2、大电流恒流多路供电发射机 1,实现了对掌子面前方信息的快速采集可获得丰富的数据,利用三维电阻率反演成像技术和水量估算技术对掌子面前方的含水体进行地质解译,电流的指向性好,有效解决了测线附近的旁侧干扰(如低阻含水体、金属构件)问题,使得背景干扰数据少,预报精度以及探测距离大大提高。

上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述,但并非对本发明保护范围的限制,所属领域技术人员应该明白,在本发明的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

1、一种地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备，其特征是，包括恒流多路发射机、多通道智能接收机、多路电极自动转换器、工控机和电极系；所述电极系包括观测电极阵列和屏蔽电极；所述观测电极阵列包括若干个电极，观测电极阵列中的电极、屏蔽电极分别与多路电极自动转换器连接，多路电极自动转换器分别与恒流多路发射机、多通道智能接收机连接，恒流多路发射机、多通道智能接收机、多路电极自动转换器分别与工控机实现通信；所述观测电极阵列和屏蔽电极布置在隧道掘进面上，选择观测电极阵列中的任一电极作为供电电极，其他的电极作为观测电极，工控机控制恒流多路发射机向屏蔽电极和供电电极传输同性电流，使得在屏蔽电极的作用下供电电极电流几乎指向掘进面的正前方；利用观测电极进行扫描性数据采集，并通过多通道智能接收机反馈至工控机；工控机控制多路电极自动转换器更换供电电极再进行下一循环测量。

2、如权利要求1所述的地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备，其特征是，所述恒流多路发射机包括发射单片机系统、逆变电路、多路驱动模块、升压模块、整流模块、电流电压采样模块以及数据采集模块；电源通过逆变电路、升压模块、整流模块产生高压恒定电流，整流模块与多路驱动模块连接；发射单片机系统控制逆变电路、升压模块和多路驱动模块，通过电流电压采样模块检测反馈电路中的电流，控制多路驱动模块输出多路可调的恒流电流。

3、如权利要求2所述的地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备，其特征是，所述发射单片机系统包含发射单片机、数字显示模块、时钟模块、数据存储模块、数据通信模块，完成检测、显示、开关量和模拟量控制，发射单片机控制逆变电路对直流电压进行逆变；电流电压采样模块对经过整流模块后的电流进行检测，发射单片机调节升压电路，以满足通过整流模块后电流的恒定，同时电流电压采样模块对多路驱动模块输出的每一路电流进行检测，发射单片机控制多路驱动模块，从而调节多路驱动模块每一路电流达到稳定的设定值。

4、如权利要求2所述的地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备，其特征是，所述多路驱动模块，与直流电压、经逆变电路、升压模块构成多路负反馈恒流输出回路，从而实现多路恒流大电流的输出。

5、如权利要求2所述的地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备，其特征是，所述电流电压采样模块，一端分别检测通过整流模块后的电流以及多路驱动模块产生的多路电流，另一端通过数据采集模块连接与发射单片机连接。

6、如权利要求2所述的地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备，其特

征是，所述发射单片机系统还包括过压过流保护模块，过压过流保护模块分别与电流电压采样模块、发射单片机连接，电流电压采样模块反馈电流大小到电流电压保护模块，实现多路输出每支路输出电压自动保护。

7、如权利要求1所述的地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备，其特征是，所述多通道智能接收机包括依次连接的多道并行的接收模块、多通道ADC转换器、接收单片机，接收信号依次通过接收模块、ADC转换器，并进入接收单片机；接收单片机对每个接收模块的数据进行采集，通过通信与工控机实现控制和信息反馈，进行数字信号的最终处理。

8、如权利要求7所述的地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备，其特征是，所述接收模块包括依次连接的静电高压抑制电路、共模抑制电路、差模抑制电路、第一级50Hz限波器、差分输入放大器、第二级50Hz限波器、100Hz限波器、8阶巴特沃斯20Hz低通滤波器连接，同时接收单片机通过DAC调零电路控制差分输入放大器。

9、如权利要求1所述的地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备，其特征是，所述多路电极自动转换器包括多路继电器开关、解码电路、转换器单片机、通信模块、电压采样电路，工控机通过通信模块与转换器单片机连接，转换器单片机通过解码电路与多路继电器开关连接，多路继电器开关一端与电极系连接，另一端通过多路电缆与恒流多路发射机和多通道智能接收机连接；所述多路继电器开关采用大功率继电器，同时采用电压采样电路检测大功率继电器电压，通过转换器单片机反馈到工控机，从而实现对发射大电流的快速切换；转换器单片机按照工控机发送的指令，通过编码电路控制多路继电器开关的开、合，实现多路电极快速转换。

10、如权利要求1所述的地下工程突水灾害源超前地质预报三维聚焦激发极化设备，其特征是，所述工控机包含信号识别模块、信号处理模块和终端显示控制模块，工控机通过通信与恒流多路发射机连接，通过通信与工控机实现控制和信息反馈，通过通信与多路电极自动转换器连接，能够设置多路电极自动转换器、恒流多路发射机、多通道智能接收机的参数，同时向多通道智能接收机和恒流多路发射机发送支路路数以及每支路电流大小的控制指令，完成对多路电极自动转换器反馈的电压进行检测，对经过多通道智能接收机的多路信号的处理，并进行数字信号处理并终端显示。

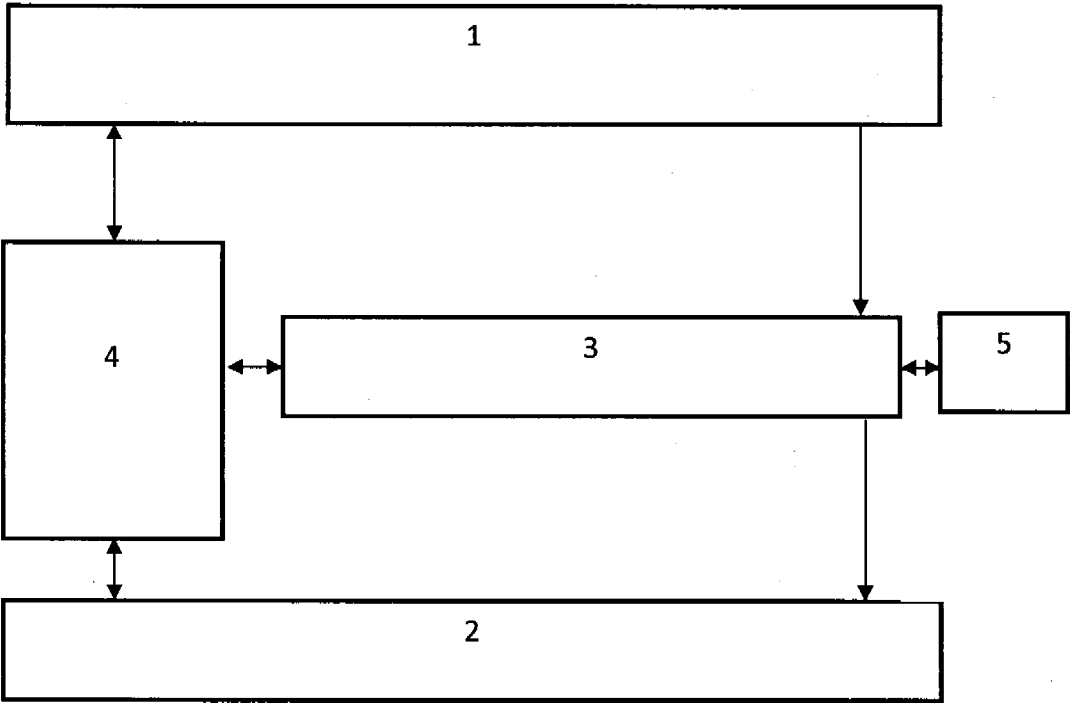


图 1

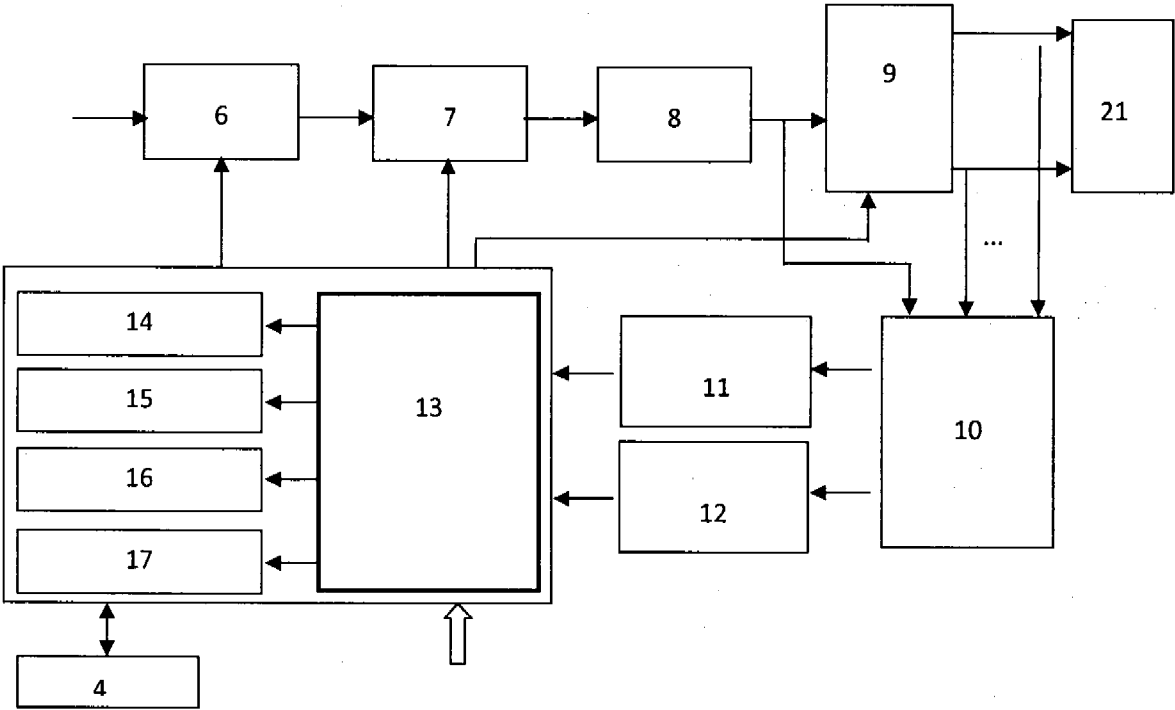


图 2

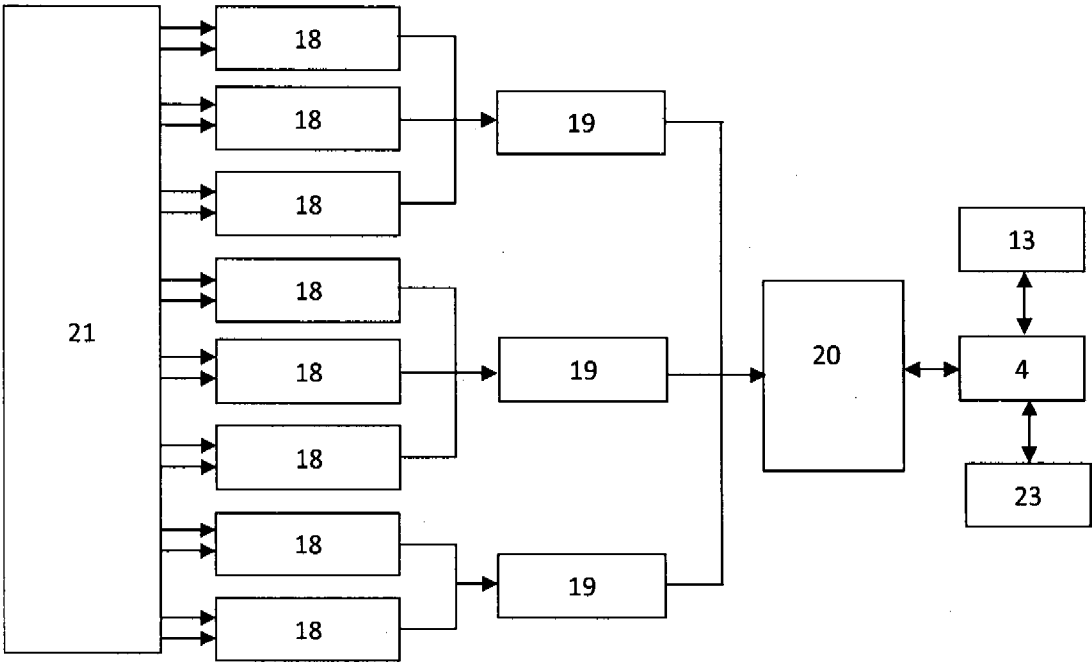


图 3

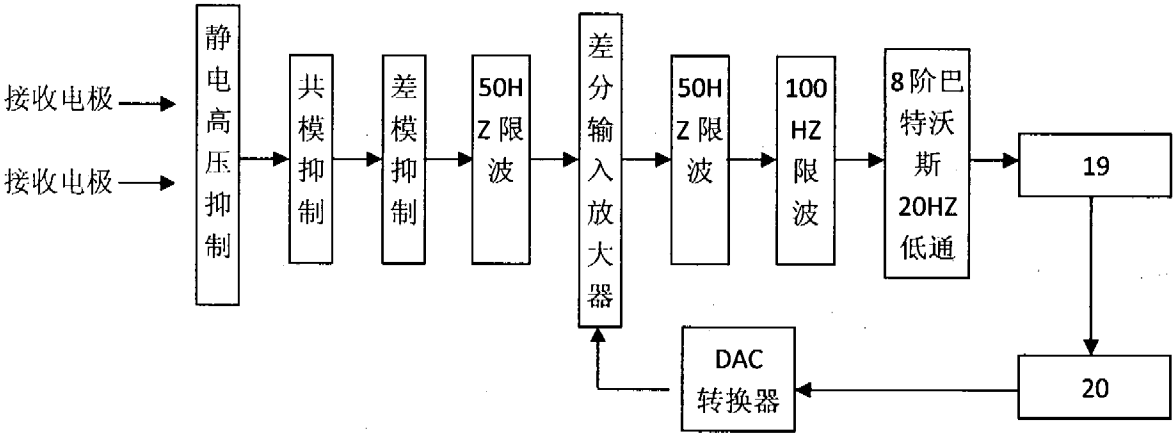


图 4

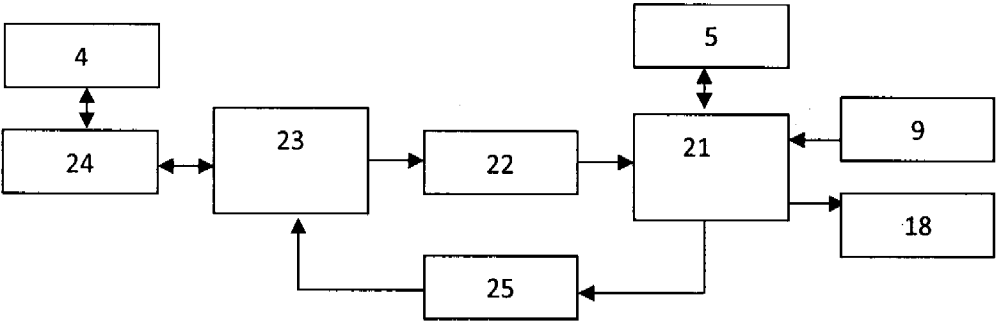


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2013/000042

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01V 3/04 (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)

IPC: G01V 3/, G01R

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; VEN: geological forecast, three-dimensional focusing, geologic+, geology forecast+, induced 1w polarization, induced 1w polarization, focus+, three 1w dimensional, tridimensional, electrode?, transmit+, send+, emit+, emission, receive?, receiving, switch+, instead+, replace+, chang+, transfer+, tunnel+, calamity, disaster, casualty, catastroph+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	LI, Zhiwu et al., Data-collecting System for Resistivity Tomography, PROGRESS IN GEOPHYSICS, December 2004, volume 19, number 4, pages 812-817, ISSN 1004-2903	1-10
Y	CN 202649483 U (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY, BEIJING), 02 January 2013 (02.01.2013), description, paragraphs 55-64, and figures 1-5	1-10
Y	CN 102176059 A (SHANDONG UNIVERSITY), 07 September 2011 (07.09.2011), description, paragraphs 48-58, and figures 1-7	2-8, 10
Y	CN 201909852 U (SHANDONG UNIVERSITY), 27 July 2011 (27.07.2011), description, paragraphs 48-58, and figures 1-7	2-8, 10
A	CN 1904644 A (WUHAN CONOURISH ENGINEERINGN EXPLORATION TECHNOLOGY DRVELOPMENT CO., LTD), 31 January 2007 (31.01.2007), the whole document	1-10

☒ 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 09 October 2013 (09.10.2013)	Date of mailing of the international search report 24 October 2013 (24.10.2013)
Name and mailing address of the ISA/CN: 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 LIU, Jin Telephone No.: (86-10) 62085726

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2013/000042**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102508303 A (SHANDONG UNIVERSITY), 20 June 2012 (20.06.2012), the whole document	1-10
A	CN 201508417 U (SHANDONG UNIVERSITY), 16 June 2010 (16.06.2010), the whole document	1-10
A	CN 101561513 A (JILIN UNIVERSITY), 21 October 2009 (21.10.2009), the whole document	1-10
A	US 4642570 A (CONOCO INC.), 10 February 1987 (10.02.1987), the whole document	1-10
A	US 20050280419 A1 (SCHLUMBERGER TECHNOLOGY CORP.), 22 December 2005 (22.12.2005), the whole document	1-10
A	NIE, Lichao et al., An Advanced Detection Study of Frequency Domain Induced Polarization Method for Water-bearing Structure of Tunnel, ROCK AND SOIL MECHANICS, April 2012, volume 33, number 4, pages 1151-1160, ISSN 1000-7598	1-10
A	LI, Shucai et al., Study of Advanced Detection for Tunnel Water-bearing Geological Structures with Induced Polarization Method, CHINESE JOURNAL OF ROCK MECHANICS AND ENGINEERING, July 2011, volume 30, number 7, pages 1297-1309, ISSN 1000-6915	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2013/000042

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 202649483 U	02.01.2013	None	
CN 102176059 A	07.09.2011	CN 102176059 B	06.03.2013
CN 201909852 U	27.07.2011	None	
CN 1904644 A	31.01.2007	CN 100510780 C	08.07.2009
CN 102508303 A	20.06.2012	CN 102508303 B	05.06.2013
CN 201508417 U	16.06.2010	None	
CN 101561513 A	21.10.2009	CN 101561513 B	20.04.2011
US 4642570 A	10.02.1987	None	
US 20050280419 A1	22.12.2005	US 7233150 B2	19.06.2007
		CA 2794316 A	29.12.2005
		CA 2793786 A	29.12.2005
		CA 2570049 A	29.12.2005
		WO 2005124395 A	29.12.2005
		US 2006089804 A	27.04.2006
		US 7466136 B	16.12.2008
		US 2006125474 A	15.06.2006
		US 7301345 B	27.11.2007
		EP 1756622 A	28.02.2007
		US 2007057674 A	15.03.2007
		US 7586310 B	08.09.2009
		MXPA 06014506 A	09.07.2007
		US 2007170924 A	26.07.2007
		US 7388380 B	17.06.2008

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2013/000042

A. 主题的分类

G01V 3/04 (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)

IPC: G01V 3/, G01R

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; VEN: 地质预报, 激发极化, 三维聚焦, 电极, 发射, 接收, 转换, 更换, 变换, 切换, 隧道, 灾害, geologic+, geology, forecast+, induced 1w polarization, induced 1w polarization, focus+, three 1w dimensional, tridimensional, electrode?, transmit+, send+, emit+, emission, receive?, receiving, switch+, instead+, replace+, chang+, transfer+, tunnel+, calamity, disaster, casualty, catastroph+

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	李志武 等, 电阻率层析成像数据采集系统, 地球物理学进展, 12 月 2004, 第 19 卷, 第 4 期, 第 812-817 页, ISSN 1004-2903	1-10
Y	CN 202649483 U (中国矿业大学(北京)) 02.1 月 2013 (02.01.2013) 说明书第 55-64 段以及附图 1-5	1-10
Y	CN 102176059 A (山东大学) 07.9 月 2011 (07.09.2011) 说明书第 48-58 段以及附图 1-7	2-8, 10
Y	CN 201909852 U (山东大学) 27.7 月 2011 (27.07.2011) 说明书第 48-58 段以及附图 1-7	2-8, 10
A	CN 1904644 A (武汉长盛工程检测技术开发有限公司) 31.1 月 2007 (31.01.2007) 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

09.10 月 2013 (09.10.2013)

国际检索报告邮寄日期

24.10 月 2013 (24.10.2013)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:

中华人民共和国国家知识产权局

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

柳瑾

电话号码: (86-10) 62085726

C(续). 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 102508303 A (山东大学) 20.6 月 2012 (20.06.2012) 全文	1-10
A	CN 201508417 U (山东大学) 16.6 月 2010 (16.06.2010) 全文	1-10
A	CN 101561513 A (吉林大学) 21.10 月 2009 (21.10.2009) 全文	1-10
A	US 4642570 A (CONOCO INC) 10.2 月 1987 (10.02.1987) 全文	1-10
A	US 20050280419 A1 (SCHLUMBERGER TECHNOLOGY CORP) 22.12 月 2005 (22.12.2005) 全文	1-10
A	聂利超 等, 隧道含水构造频域激发极化法超前探测研究, 岩土力学, 4 月 2012, 第 33 卷, 第 4 期, 第 1151-1160 页, ISSN 1000-7598	1-10
A	李术才 等, 基于激发极化法的隧道含水地质构造超前探测研究, 岩石力学与工程学报, 7 月 2011, 第 30 卷, 第 7 期, 第 1297-1309 页, ISSN 1000-6915	1-10

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2013/000042

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN 202649483 U	02.01.2013	无	
CN 102176059 A	07.09.2011	CN 102176059 B	06.03.2013
CN 201909852 U	27.07.2011	无	
CN 1904644 A	31.01.2007	CN 100510780 C	08.07.2009
CN 102508303 A	20.06.2012	CN 102508303 B	05.06.2013
CN 201508417 U	16.06.2010	无	
CN 101561513 A	21.10.2009	CN 101561513 B	20.04.2011
US 4642570 A	10.02.1987	无	
US 20050280419 A1	22.12.2005	US 7233150 B2	19.06.2007
		CA 2794316 A	29.12.2005
		CA 2793786 A	29.12.2005
		CA 2570049 A	29.12.2005
		WO 2005124395 A	29.12.2005
		US 2006089804 A	27.04.2006
		US 7466136 B	16.12.2008
		US 2006125474 A	15.06.2006
		US 7301345 B	27.11.2007
		EP 1756622 A	28.02.2007
		US 2007057674 A	15.03.2007
		US 7586310 B	08.09.2009
		MXPA 06014506 A	09.07.2007
		US 2007170924 A	26.07.2007
		US 7388380 B	17.06.2008