(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
2020 年 7 月 2 日 (02.07.2020)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2020/133774 A1

(51) 国际专利分类号:
G01V 1/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/080715

(22) 国际申请日: 2019 年 4 月 1 日 (01.04.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201811579791.2 2018年12月24日 (24.12.2018) CN

(71) 申请人: 山东科技大学(SHANDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。

(72) 发明人: 郭银景 (GUO, Yinjing); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 孔芳 (KONG, Fang); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 吕文红 (LYU, Wenhong); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 丁庆安 (DING, Qingan); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 高洁 (GAO, Jie); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 孙红雨 (SUN, Hongyu); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 陈赓 (CHEN, Geng); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579号, Shandong 266590 (CN)。 王正杰 (WANG, Zhengjie); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 陆翔 (LU, Xiang); 中

(54) **Title:** ELASTIC WAVE PHASE-CONTROLLED TRANSMITTING AND RETROSYNTHETIC RECEIVING METHOD

(54) 发明名称: 一种弹性波相控发射逆合成接收方法

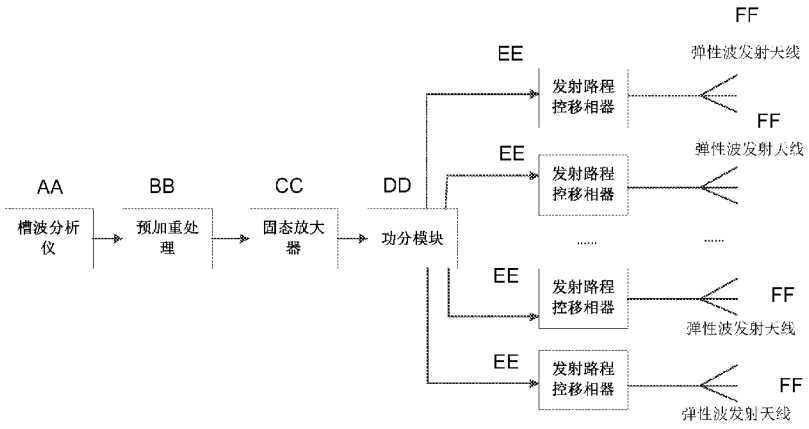


图 1

AA Slot wave analysis meter
BB Pre-emphasis processing
CC Solid state amplifier
DD Power division module
EE Transmitting path program-controlled phase shifter
FF Elastic wave transmitting antenna

(57) **Abstract:** An elastic wave phase-controlled transmitting and retrosynthetic receiving method: converting, by using a phase-controlled transmitting technology, a single-pulse modulation carrier transmitting signal subjected to pre-emphasis and power division processing into an elastic wave containing detection information by means of an elastic wave transmitting antenna, and coupling the elastic wave to a target stratum channel for transmission; and receiving the elastic waves of different paths, propagated by the ground and reflected by all interfaces, by means of an elastic wave receiving antenna using a retrosynthetic receiving technology, fusing parameters of a plurality of slot wave echo signals, and synthesizing a modulation function of a geological structure to slot wave signals

WO 2020/133774 A1

[见续页]

国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 **牛晨曦(NIU, Chenxi)**; 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 **孟庆良(MENG, Qingliang)**; 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 **刘辉(LIU, Hui)**; 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 **周玉洁(ZHOU, Yujie)**; 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 **杨文健(YANG, Wenjian)**; 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。 **刘珍(LIU, Zhen)**; 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路579号, Shandong 266590 (CN)。

(74) **代理人**: **青岛智地领创专利代理有限公司(QINGDAO ZHIDILINGCHUANG PATENT AGENCY CO.,LTD)**; 中国山东省青岛市黄岛区江山路480号青岛研创中心4号楼602室联系人: 雷钰, Shandong 266555 (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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

having different frequencies, so that the precision of slot wave analysis is improved, and a relatively high geological structure detection resolution is obtained.

(57) **摘要**: 一种弹性波相控发射逆合成接收方法，利用相控发射技术将经过预加重和功分处理的单脉冲调制载波发射信号由弹性波发射天线转为包含探测信息的弹性波耦合到目标地层信道中进行传输；利用逆合成接收技术，将经过大地传播和各个交界面反射以后不同路径的弹性波，利用弹性波接收天线进行接收，融合多个槽波回波信号的参数，合成地质构造对不同频率槽波信号的调制函数，从而提高槽波分析的精度，获得较高的地质构造探测分辨率。

说明书

发明名称: 一种弹性波相控发射逆合成接收方法

技术领域

[0001] 本发明涉及地质勘探领域，具体涉及一种弹性波相控发射逆合成接收方法。

背景技术

[0002] 目前人类对于地球深部的认知相当匮乏，因此，超前布局、抢占深地研究高地、积极推动深地基础前沿大科学问题探索已迫在眉睫。随着勘探技术的不断发展，各种勘探方法营运而生，其中槽波地震勘探技术主要利用在井下煤层中的激发和传播的导波来有效探测煤层中存在的局部小构造、异常体及煤层厚度变化情况，能够有效指导煤田井下煤炭开采工作，对安全开采具有非常重要的意义。受地层强吸收衰减的影响，槽波的主要能量均集中在低频段，现有槽波分析仪的发射载波频率集中在0.01Hz-10KHz。要想获得较高的地质构造探测分辨率，只利用载波信号的频率信息是不够的；分析槽波特性时，需要获得槽波相位的精确信息，基于单脉冲调制的载波发射信号无法满足实际需要，对于复杂地质构造进行勘探，精度较低。

发明概述

技术问题

问题的解决方案

技术解决方案

[0003] 针对现有的单脉冲调制的载波发射信号不能满足槽波分析的要求，本发明提供了一种弹性波相控发射逆合成接收方法。

[0004] 本发明采用以下的技术方案:

[0005] 一种弹性波相控发射逆合成接收方法，包括发射部分和接收部分，发射部分包括槽波分析仪、固态放大器、功分模块、多个发射路程控移相器和多个弹性波发射天线，接收部分包括多个弹性波接收天线、多个接收路程控移相器和矢量模块;

[0006] 该方法包括以下步骤:

[0007] 步骤1：槽波分析仪发射脉冲调制载波发射信号，脉冲调制载波发射信号送至固态放大器，固态放大器对脉冲调制载波发射信号进行放大后送入功分模块，功分模块将脉冲调制载波发射信号进行等功率分配，输出多路发射信号，每路发射信号送入一个发射路程控移相器，每个发射路程控移相器与一个弹性波发射天线相连；

[0008] 步骤2：发射路程控移相器对发射信号进行相位数控调节，之后，送入弹性波发射天线，弹性波发射天线发射探测信号至目标地层；

[0009] 步骤3：弹性波接收天线接收来自目标地层的弹性波回波，每个弹性波接收天线与一个接收路程控移相器相连，接收路程控移相器与矢量模块相连；

[0010] 步骤4：接收路程控移相器对弹性波回波进行相位数控调节，之后，送入矢量模块，在矢量模块内，将多个弹性波回波信号的参数进行融合，合成地质构造对不同频率槽波信号的调制函数送入槽波分析仪进行分析。

[0011] 优选地，步骤1中，槽波分析仪发射的脉冲调制载波发射信号进行预加重处理，预加重处理为依据目标地层槽波衰减特性先验知识，增加可能被强衰减的频率分量的发射功率。

[0012] 优选地，接收部分还包括多个低噪放大器和多个选频滤波器，接收路程控移相器对弹性波回波进行相位数控调节后，弹性波回波先送入低噪放大器处理后，再进入选频滤波器，自选频滤波器处理后的弹性波回波送入矢量模块。

发明的有益效果

有益效果

[0013] 本发明具有的有益效果是：

[0014] 本发明提供的弹性波相控发射逆合成接收方法，利用相控发射技术将经过预加重和功分处理的一组单脉冲调制载波发射信号由弹性波发射天线转为包含一定探测信息的弹性波耦合到目标地层信道中进行传输；利用逆合成接收技术，将一系列经过大地传播和各个交界面反射以后不同路径的弹性波，利用弹性波接收天线进行接收，融合多个槽波回波信号的参数，合成地质构造对不同频率槽波信号的调制函数，从而提高槽波分析的精度，获得较高的地质构造探测分辨率。

对附图的简要说明

附图说明

[0015] 图1为发射部分的结构框图。

[0016] 图2为接收部分的结构框图。

[0017] 图3为波速指向移相控制原理图。

[0018] 图4为相控阵工作原理图。

发明实施例

本发明的实施方式

[0019] 下面结合附图和具体实施例对本发明的具体实施方式做进一步说明：

[0020] 结合图1至图4，一种弹性波相控发射逆合成接收方法，包括发射部分和接收部分，发射部分包括槽波分析仪、固态放大器、功分模块、多个发射路程控移相器和多个弹性波发射天线，接收部分包括多个弹性波接收天线、多个接收路程控移相器和矢量模块。

[0021] 该方法包括以下步骤：

[0022] 步骤1：槽波分析仪发射脉冲调制载波发射信号，脉冲调制载波发射信号送至固态放大器，固态放大器对脉冲调制载波发射信号进行放大后送入功分模块，功分模块将脉冲调制载波发射信号进行等功率分配，输出多路发射信号，每路发射信号送入一个发射路程控移相器，每个发射路程控移相器与一个弹性波发射天线相连。

[0023] 槽波分析仪发射的脉冲调制载波发射信号要先进行预加重处理。

[0024] 考虑到不同频率的弹性波在地层中传播时，其衰减特性随地层岩性的变化而剧烈变化。脉冲调制载波发射信号的不同频率分量在地层中传播后，回波中的各频率分量能量损耗往往差异很大。为了补偿不同地域地层的槽波衰减特性对回波信号的影响，提高接收灵敏度，在产生发射信号时，采用预加重处理技术，依据目标地层槽波衰减特性先验知识，增加可能被强衰减的频率分量的发射功率。

[0025] 为了保证发射信号的等幅等相，采用一部总前级固态放大器和功分模块对脉冲调制载波发射信号进行处理。

[0026] 步骤2：发射路程控移相器对发射信号进行相位数控调节，之后，送入弹性波发射天线，弹性波发射天线发射探测信号至目标地层。

[0027] 发射路程控移相器进行相位调节的作用是：使得弹性波发射天线发出的波束的相位不同，基于惠更斯耳原理通过控制各弹性波发射天线发射的时间差，从而发射机能像转动的天线一样实现波束不同指向的传播，达到一个对地层不同方位快速扫描的效果。

[0028] 步骤3：弹性波接收天线接收来自目标地层的弹性波回波，每个弹性波接收天线与一个接收路程控移相器相连,每个弹性波接收天线接收不同相位发射信号的回波。接收路程控移相器与矢量模块相连。

[0029] 步骤4：接收路程控移相器对弹性波回波进行相位数控调节，之后，送入矢量模块，在矢量模块内，将多个弹性波回波信号的参数进行融合，合成地质构造对不同频率槽波信号的调制函数送入槽波分析仪进行分析。

[0030] 具体的，接收部分还包括多个低噪放大器和多个选频滤波器，接收路程控移相器对弹性波回波进行相位数控调节后，弹性波回波先送入低噪放大器处理后，再进入选频滤波器，自选频滤波器处理后的弹性波回波送入矢量模块。

[0031] 如图3和图4所示，本发明的天线采用线性相控天线，天线阵有N个子发射（接收）阵元$r_0, r_1, r_2, \ldots, r_{N-1}, r_N$,阵元间的距离为d。为使信号波束指向θ（波束偏离阵面法向的角度），只需要形成图3所示的平直等相位面，即各阵元的辐射信号到达此平面时相位相同。相位控制波速指向时，各阵元辐射信号同时发出，但信号相位不同。相邻子发射单元之间相位差与波束指向关系为：

[0032] $$\Delta\Phi = 2\pi \frac{d.\sin\theta}{\lambda}$$

[0033] 式中，d为阵元间距，θ为波束指向，λ为信号波长；ΔΦ为相邻阵元馈相差。

[0034] 这样就可以达到上述所说的合成不同相位(指向)的波束，实现波束不同指向的传播，达到一个对地层不同方位快速扫描的效果。

[0035] 当然，上述说明并非是对本发明的限制，本发明也并不仅限于上述举例，本技术领域的技术人员在本发明的实质范围内所做出的变化、改型、添加或替换，也应属于本发明的保护范围。

权利要求书

[权利要求 1] 一种弹性波相控发射逆合成接收方法，其特征在于，包括发射部分和接收部分，发射部分包括槽波分析仪、固态放大器、功分模块、多个发射路程控移相器和多个弹性波发射天线，接收部分包括多个弹性波接收天线、多个接收路程控移相器和矢量模块；

该方法包括以下步骤：

步骤1：槽波分析仪发射脉冲调制载波发射信号，脉冲调制载波发射信号送至固态放大器，固态放大器对脉冲调制载波发射信号进行放大后送入功分模块，功分模块将脉冲调制载波发射信号进行等功率分配，输出多路发射信号，每路发射信号送入一个发射路程控移相器，每个发射路程控移相器与一个弹性波发射天线相连；

步骤2：发射路程控移相器对发射信号进行相位数控调节，之后，送入弹性波发射天线，弹性波发射天线发射探测信号至目标地层；

步骤3：弹性波接收天线接收来自目标地层的弹性波回波，每个弹性波接收天线与一个接收路程控移相器相连，接收路程控移相器与矢量模块相连；

步骤4：接收路程控移相器对弹性波回波进行相位数控调节，之后，送入矢量模块，在矢量模块内，将多个弹性波回波信号的参数进行融合，合成地质构造对不同频率槽波信号的调制函数送入槽波分析仪进行分析。

[权利要求 2] 根据权利要求1所述的一种弹性波相控发射逆合成接收方法，其特征在于，步骤1中，槽波分析仪发射的脉冲调制载波发射信号进行预加重处理，预加重处理为依据目标地层槽波衰减特性先验知识，增加可能被强衰减的频率分量的发射功率。

[权利要求 3] 根据权利要求1所述的一种弹性波相控发射逆合成接收方法，其特征在于，接收部分还包括多个低噪放大器和多个选频滤波器，接收路程控移相器对弹性波回波进行相位数控调节后，弹性波回波先送入低噪放大器处理后，再进入选频滤波器，自选频滤波器处理后的弹性波回

波送入矢量模块。

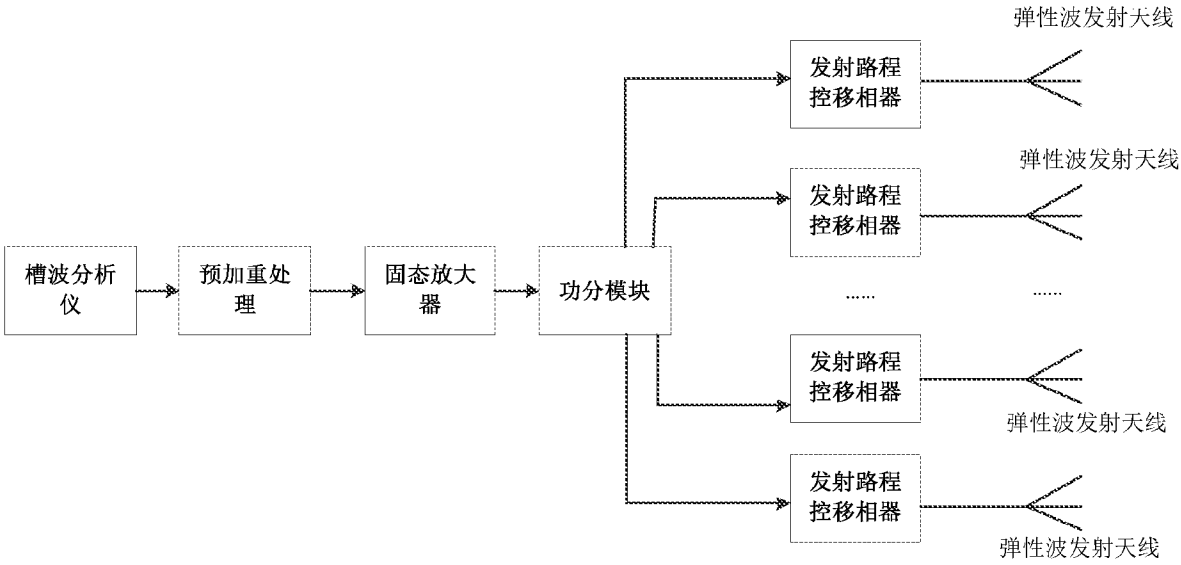

槽波分析仪
预加重处理
固态放大器
功分模块
发射路程控移相器
发射路程控移相器
.....
发射路程控移相器
发射路程控移相器
弹性波发射天线
弹性波发射天线
.....
弹性波发射天线
弹性波发射天线

图 1

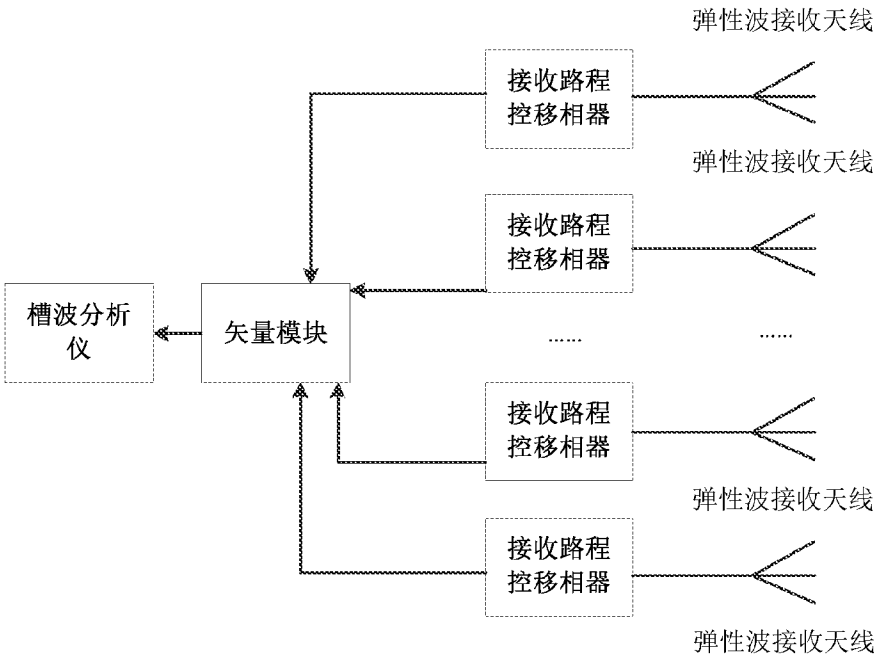

槽波分析仪
矢量模块
接收路程控移相器
接收路程控移相器
.....
接收路程控移相器
接收路程控移相器
弹性波接收天线
弹性波接收天线
.....
弹性波接收天线
弹性波接收天线

图 2

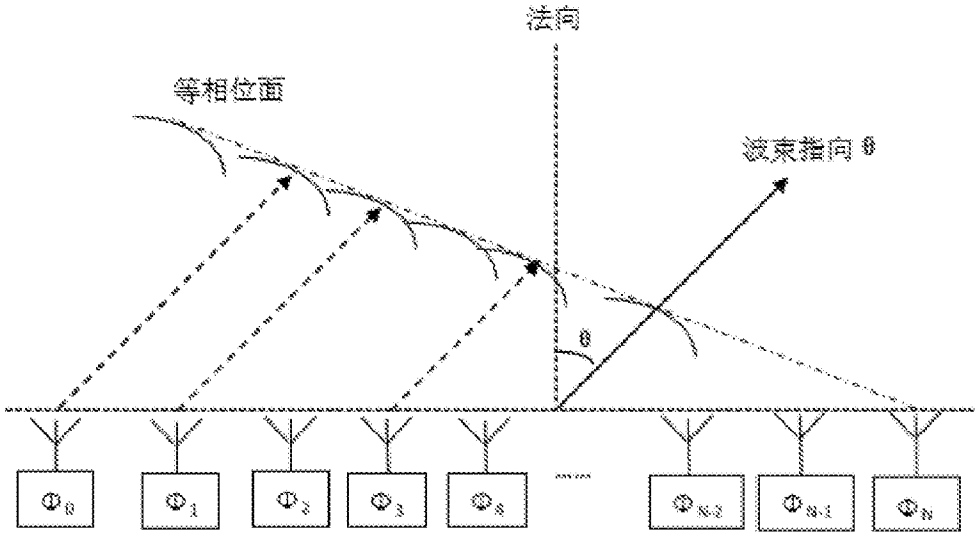


图 3

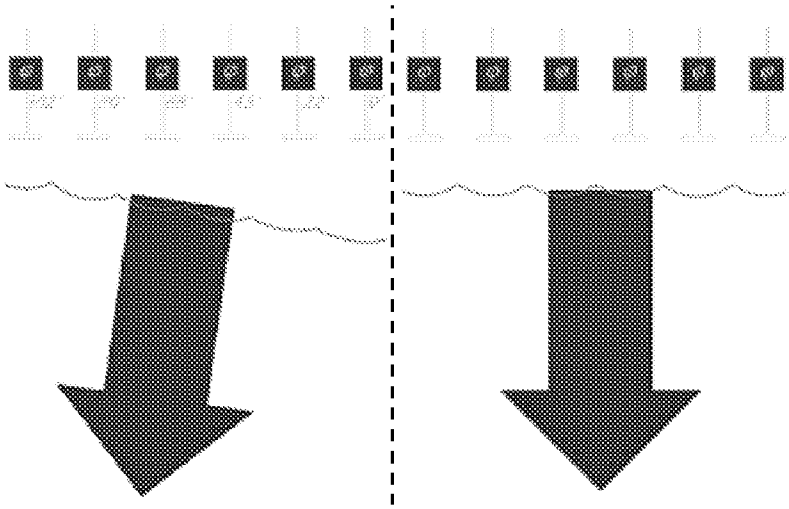


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2019/080715

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01V 1/00(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

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, VEN, CNTXT, CNKI: 弹性波, 放大器, 天线, 接收, 槽波, wave, receiv+, ampl+, antenna

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101826905 A (SHANDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 08 September 2010 (2010-09-08) entire document	1-3
A	CN 101146084 A (BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY) 19 March 2008 (2008-03-19) entire document	1-3
A	CN 102759733 A (UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 31 October 2012 (2012-10-31) entire document	1-3
A	US 2016313465 A1 (PGS GEOPHYSICAL AS) 27 October 2016 (2016-10-27) entire document	1-3

☐ 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	Date of mailing of the international search report
14 May 2019	**27 May 2019**
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
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2019/080715

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 101826905 A	08 September 2010	CN 101826905 B	21 November 2012
CN 101146084 A	19 March 2008	None	
CN 102759733 A	31 October 2012	None	
US 2016313465 A1	27 October 2016	US 10156651 B2	18 December 2018

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2019/080715

A. 主题的分类

G01V 1/00(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

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,VEN,CNTXT,CNKI:弹性波,放大器,天线,接收,槽波,wave,receiv+,ampl+,antenna

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 101826905 A (山东科技大学) 2010年 9月 8日 (2010-09-08) 全文	1-3
A	CN 101146084 A (北京交通大学) 2008年 3月 19日 (2008-03-19) 全文	1-3
A	CN 102759733 A (电子科技大学) 2012年 10月 31日 (2012-10-31) 全文	1-3
A	US 2016313465 A1 (PGS GEOPHYSICAL AS) 2016年 10月 27日 (2016-10-27) 全文	1-3

☐ 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
2019年 5月 14日	2019年 5月 27日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
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	何昱康 电话号码 (010)62085747

表 PCT/ISA/210 (第2页) (2015年1月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2019/080715

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 101826905 A	2010年 9月 8日	CN 101826905 B	2012年 11月 21日
CN 101146084 A	2008年 3月 19日	无	
CN 102759733 A	2012年 10月 31日	无	
US 2016313465 A1	2016年 10月 27日	US 10156651 B2	2018年 12月 18日