(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
2017 年 5 月 4 日 (04.05.2017)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2017/071435 A1

(51) 国际专利分类号:
G01V 1/20 (2006.01) *G01V 1/18* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2016/099822

(22) 国际申请日: 2016 年 9 月 23 日 (23.09.2016)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201510711745.3 2015 年 10 月 28 日 (28.10.2015) CN

(71) 申请人: **中国石油天然气股份有限公司 (PETROCHINA COMPANY LIMITED)** [CN/CN]; 中国北京市东城区东直门北大街 9 号, Beijing 100007 (CN)。

(72) 发明人: **陈立康 (CHEN, Likang)**; 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。

(74) 代理人: **北京三友知识产权代理有限公司 (BEIJING SANYOU INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.)**; 中国北京市金融街 35 号国际企业大厦 A 座 16 层, Beijing 100033 (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, JP, KE, KG, 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))。

(54) Title: OMNI-DIRECTIONAL VECTOR CURL SEISMIC WAVE DETECTOR

(54) 发明名称 : 一种地震全向矢量旋度检波器

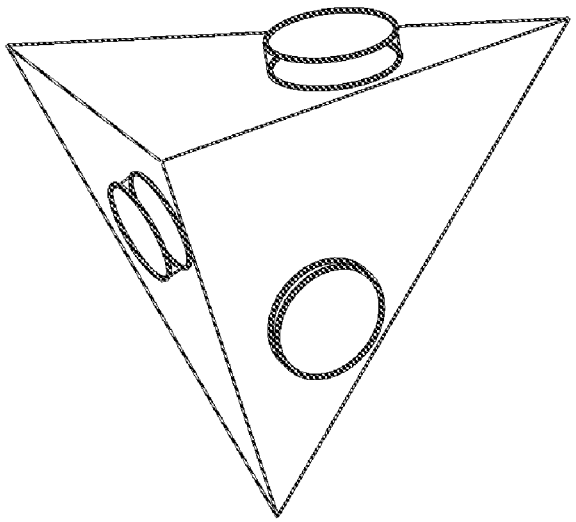


图 3

(57) Abstract: The present invention discloses an omni-directional vector curl seismic wave detector, comprising: four detectors and a support structure, the support structure being used for supporting the four detectors, such that the bottoms of the four detectors are respectively positioned on a regular triangular surface of a regular tetrahedron, the intersection point of the working axis of each detector and the corresponding regular triangular surface being located on the angular bisector of a corner of the regular triangular surface, and not overlapping the centre of the regular triangular surface. According to the formula for Stokes' curl in field theory, the present invention is designed with a specific spatial motion vector detection structure, and thus implements information detection of properties such as the frequency, amplitude, phase and vibration direction of the seismic wave field, in particular the degree of curl of the wave power field, forming a new omni-directional vector curl seismic wave detection technology.

(57) 摘要: 本发明公开了一种地震全向矢量旋度检波器，其中包括：四个检波器及支撑结构，支撑结构用于支撑四个检波器，使得四个检波器的底面分别位于一正四面体的其中一个正三角形面上，每个检波器的工作轴与对应的正三角形面的交点位于该正三角形面的一个角的角平分线上并且不与该正三角形面的中心重叠。本发明根据场论的斯托克斯旋度公式，设计特定的空间运动矢量检测结构，以实现对地震波场的频率、振幅、相位、振动方向、尤其是波动力场的旋度信息的检测，形成全新的地震全向矢量旋度检波器技术。

WO 2017/071435 A1

一种地震全向矢量旋度检波器

技术领域

本发明涉及检波器技术领域，尤其涉及一种地震全向矢量旋度检波器。

背景技术

根据波动理论，波动不只表示振动，还表示振动的传播。具体地：1、振动可分解为线振动、旋振动；2、波场散度驱动纵波，波场旋度驱动横波；3、线振动是散度和旋度的共同作用，既包含纵波，也包含横波；4、旋振动只与旋度有关；5、体旋度是完全旋度，面旋度是不完全旋度。因此，只能检测线振动的技术，不能干净分离纵横波。必须是能够检测体旋度或散度的技术，才有可能解出纯横波和纯纵波。

波动的空间运动属性，包含了丰富的信息，可以在波场分离、信噪比、保真度、成像精度、介质属性分析等方面起到重要作用。但是，现有采集技术却只能检测振幅、频率、相位等信息，基本没有检测波动空间运动属性的功能。

目前地震波的检测，是将波振动转换为电信号（电压、电流）或再进行数字转换来实现。将机械运动转换为电信号的方法，不外乎应用电磁检波器、电容检波器、压电检波器和光纤应变检波器。

电磁检波器和电容检波器是线振动型，有工作方向。理想方向滤波效应为 $\cos\theta$，$out(t)=A(t)\cos\theta$。A(t)和 θ 都是未知的，仅单个器件是求不出真振幅 A(t)和夹角 θ 的。MEMS 检波器基本属于电容型检波器，也遵循上述规律。

光纤应变检波器可归于线振动或压强型，单器件也不能确定振动方向。所以，单个电磁检波器、电容检波器和光纤应变检波器，都不能区分波场振动方向，更不具备检测波场散度旋度的功能。

压电检波器是压强型，输出与周围液态介质压强有关，无方向性，不能区分振动方向。液态环境中压强各向同性，等效于波场散度。但在陆上固态环境，即使将其置于液态容器中，也无法实现散度测量。

三分量检波器，以三矢量合成方法，可以求出波场振动方向 θ 和振幅 A(t)。这也是称其为矢量检波器的原因，但只是测量点的线振动矢量，不能检测振动性质、旋度和散度。

综上所述，现有技术中的各类检波器不能实现地震波场全信息的检测。

图 1 是相关技术中理想单检波器在纵波波场中的方向性响应示意图，图 2 是相关技术中理想单检波器在横波波场中的方向性响应示意图，用以说明检波器的工作方向性。如图 1、图 2 所示，检波器的输出基于下述公式实现：

$out = A \bullet n = a \times b\cos\theta$。其中，$A$ 表示波场函数，矢量；n 表示检波器工作方向单位矢量；a 表示波场 A 在振动方向的瞬时振幅；b 表示检波器灵敏度；θ 表示检波器的工作方向与检波器位置处波场振动方向的夹角；p 为纵波下标；S 为横波下标。

具体地，如图 1 所示，检波器在纵波波场中的输出基于下述公式实现：

$out = A_p \bullet n = a_p \times b\cos\theta_p$；其中，$A_p$ 表示纵波波场等时面；a_p 表示波场 A_p 在检波器位置的的法线方向的瞬时位移量；b 表示检波器灵敏度；θ_p 表示检波器的工作方向与波场振动方向的夹角。

如图 2 所示，检波器在横波波场中的输出基于下述公式实现：

$out = A_s \bullet n = a_s \times b\cos\theta_s$；其中，$A_s$ 表示横波波场等时面；a_s 表示波场 A_s 在检波器位置的振动矢量方向的瞬时位移量；b 表示检波器灵敏度；θ_s 表示检波器的工作方向与波场振动方向的夹角。

图 1、图 2 以及上述公式中没有包含电磁电容检波器的其它性能，只是方向性的描述。上述公式只是用来说明单个检波器，满足多矢量空间结构的方向性要求。

传统技术中的地震波检测流程如下：

根据波动方程，介质质点在力场中的运动关系如下式（1）：

$$\rho\frac{\partial^2\vec{U}}{\partial t^2} = (\lambda+\mu)grad\theta + \mu\nabla^2\vec{U} + \rho\vec{F} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

其中，λ、μ 是拉梅常数，ρ 是密度，U 是位移向量，t 是时间。

$\vec{F}$ 是外力向量，$\vec{F} = f_x\vec{i} + f_y\vec{j} + f_z\vec{k}$。

∇^2 是拉普拉斯算子，$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$。

θ 是体变系数，$\theta = div\vec{U} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$。

对公式（1）求散度，得到以下公式（2）：

$$\frac{\partial^2\theta}{\partial t^2} - V_p^2\nabla^2\theta = \frac{\partial^2\theta}{\partial t^2} - \frac{\lambda+2\mu}{\rho}\nabla^2\theta = div\vec{F} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

其中，div 是散度，V_p 是纵波传播速度。

对公式（1）求旋度，得到以下公式（3）有：

$$\frac{\partial^2 \vec{w}}{\partial t^2} - V_s^2 \nabla^2 \vec{w} = \frac{\partial^2 \vec{w}}{\partial t^2} - \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \vec{w} = rot\vec{F} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

其中，rot 是旋度。$w = rot(U)$，V_s 是横波传播速度。

在传统技术中，地震波的检测只是采集到 $\vec{U}(t,x,y,z)$ 在竖直检波器工作方向的投影，根本就不是 $\vec{U}$。之后就根据公式（2）演化各种方程解纵波；采集到 $\vec{U}(t,x,y,z)$ 在水平检波器工作方向的投影，之后就根据公式（3）演化各种方程解横波。在这些误差的基础上进行联合求解、联合反演。因此，其误差是显而易见的。

针对现有技术中对地震波场不具备旋度信息检测或测量功能的问题，目前尚未提出有效的解决方案。

发明内容

本发明提供了一种地震全向矢量旋度检波器，以至少解决现有技术中对地震波场不具备旋度信息检测或测量功能的问题。

根据本发明的一个方面，提供了一种地震全向矢量旋度检波器，其中包括：四个检波器及支撑结构，所述支撑结构用于支撑所述四个检波器，使得所述四个检波器的底面分别位于一正四面体的其中一个正三角形面上，每个检波器的工作轴与对应的正三角形面的交点位于该正三角形面的一个角的角平分线上并且不与该正三角形面的中心重叠。

优选地，设所述正四面体的其中一个正三角形面为主三角形面，所述主三角形面其中一个角为所述正四面体的第一顶角，所述主三角形面上的检波器的工作轴与所述主三角形面的交点位于所述第一顶角的角平分线上，且位于所述主三角形面的中心与所述第一顶角之间；

设所述第一顶角对应的底边所在的所述正四面体的另一面为所述正四面体的第一侧面，该底边的中点在所述主三角形面逆时针方向滑动，遇到的所述第一侧面上的角为第二顶角；所述第一侧面上的检波器的工作轴与所述第一侧面的交点位于所述第二顶角的角平分线上，且位于所述第一侧面的中心与所述第二顶角之间；

设所述第二顶角对应的底边所在的所述正四面体的另一面为所述正四面体的第二侧面，该底边的中点在所述第一侧面顺时针方向滑动，遇到的所述第二侧面上的角为第三顶角；所述第二侧面上的检波器的工作轴与所述第二侧面的交点位于所述第三顶角的角平分线上，且位于所述第二侧面的中心与所述第三顶角之间；

设所述第三顶角对应的底边所在的所述正四面体的另一面为所述正四面体的第三侧面，该底边的中点在所述第二侧面逆时针方向滑动，遇到的所述第三侧面上的角为第四顶角；所述第三侧面上的检波器的工作轴与所述第三侧面的交点位于所述第四顶角的角平分线上，且位于所述第三侧面的中心与所述第四顶角之间；

或者，

设所述第一顶角、所述第二顶角、所述第三顶角及所述第四顶角分别对应所述正四面体的第一顶点、第二顶点、第三顶点及第四顶点；

所述主三角形面上的检波器的工作轴与所述主三角形面的交点位于所述第一顶角的角平分线上，且位于所述主三角形面的中心与所述第一顶角之间；

所述第一侧面上的检波器的工作轴与所述第一侧面的交点位于所述第三顶点在所述第一侧面上的角的角平分线上，且位于所述第一侧面的中心与所述第三顶点在所述第一侧面上的角之间；

所述第二侧面上的检波器的工作轴与所述第二侧面的交点位于所述第四顶点在所述第二侧面上的角的角平分线上，且位于所述第二侧面的中心与所述第四顶点在所述第二侧面上的角之间；

所述第三侧面上的检波器的工作轴与所述第三侧面的交点位于所述第二顶点在所述第三侧面上的角的角平分线上，且位于所述第三侧面的中心与所述第二顶点在所述第三侧面上的角之间。

优选地，设所述正四面体的其中一个正三角形面为主三角形面；所述主三角形面其中一个角为所述正四面体的第一顶角，所述主三角形面上的检波器的工作轴与所述主三角形面的交点位于所述第一顶角的角平分线上，且位于所述主三角形面的中心与所述第一顶角对应的底边之间；

设所述第一顶角对应的底边所在的所述正四面体的另一面为所述正四面体的第一侧面，该底边的中点在所述主三角形面逆时针方向滑动，遇到的所述第一侧面上的角为第二顶角；所述第一侧面上的检波器的工作轴与所述第一侧面的交点位于所述第二顶角的角平分线上，且位于所述第一侧面的中心与所述第二顶角对应的底边之间；

设所述第二顶角对应的底边所在的所述正四面体的另一面为所述正四面体的第二侧面，该底边的中点在所述第一侧面顺时针方向滑动，遇到的所述第二侧面上的角为第三顶角；所述第二侧面上的检波器的工作轴与所述第二侧面的交点位于所述第三顶角的角平分线上，且位于所述第二侧面的中心与所述第三顶角对应的底边之间；

设所述第三顶角对应的底边所在的所述正四面体的另一面为所述正四面体的第三侧面，该底边的中点在所述第二侧面逆时针方向滑动，遇到的所述第三侧面上的角为第四顶角；所述第三侧面上的检波器的工作轴与所述第三侧面的交点位于所述第四顶角的角平分线上，且位于所述第三侧面的中心与所述第四顶角对应的底边之间；

或者，

设所述第一顶角、所述第二顶角、所述第三顶角及所述第四顶角分别对应所述正四面体的第一顶点、第二顶点、第三顶点及第四顶点；

所述主三角形面上的检波器的工作轴与所述主三角形面的交点位于所述第一顶角的角平分线上，且位于所述主三角形面的中心与所述第一顶角对应的底边之间；

所述第一侧面上的检波器的工作轴与所述第一侧面的交点位于所述第三顶点在所述第一侧面上的角的角平分线上，且位于所述第一侧面的中心与所述第三顶点在所述第一侧面上的角对应的底边之间；

所述第二侧面上的检波器的工作轴与所述第二侧面的交点位于所述第四顶点在所述第二侧面上的角的角平分线上，且位于所述第二侧面的中心与所述第四顶点在所述第二侧面上的角对应的底边之间；

所述第三侧面上的检波器的工作轴与所述第三侧面的交点位于所述第二顶点在所述第三侧面上的角的角平分线上，且位于所述第三侧面的中心与所述第二顶点在所述第三侧面上的角对应的底边之间。

优选地，所述检波器为圆柱电磁型检波器，各个圆柱电磁型检波器的底面与所述正四面体的体几何中心的距离为各个检波器互不接触的最小值。

优选地，所述检波器为扁片电容型检波器。

优选地，所述四个检波器的四个空间矢量符合斯托克斯积分公式。

优选地，所述检波器的振幅响应，与自身工作轴和波场法线间夹角 θ 的关系为 $out(t)=A(t)\cos\theta$，其中 $A(t)$ 为所述检波器在 $\theta=0$ 时对波场的响应。

优选地，所述支撑结构上连接一圆椎形尾椎，所述圆椎形尾椎的轴线的延长线经过所述正四面体的一个顶点后，垂直穿过所述正四面体的其中一个面的中心。

优选地，所述地震全向矢量旋度检波器还包括：球形壳体，分为上半球形壳体和下半球形壳体，所述四个检波器及所述支撑结构放置在所述球形壳体内部，所述下半球形壳体的底部设置尾椎孔，所述尾椎穿过所述下半球形壳体的尾椎孔。

优选地，所述上半球形壳体和所述下半球形壳体的边缘分别设置有相互配合的突出部，所述上半球形壳体和所述下半球形壳体的突出部通过固定组件固定。

优选地，所述球形壳体上设置信号线孔，各个检波器的信号输出线穿过该信号线孔。

优选地，所述球形壳体的上半球形壳体和下半球形壳体之间的接合缝隙、所述尾椎孔和所述信号线孔，均以硅胶或橡胶材料密封防水。

优选地，所述支撑结构为正四面体支撑结构，所述正四面体支撑结构的每个面为任意曲面或平面。

本发明根据场论的斯托克斯旋度公式，设计特定的空间运动矢量检测结构，以实现对地震波场的频率、振幅、相位、振动方向、尤其是波动力场的旋度信息的检测，形成全新的地震全向矢量旋度检波器技术。

以本发明的技术方案为基础，可以达到以下目的：

1、在传统检波器功能的基础上，再增加测量地震波的旋度测量功能；

2、为全矢量散旋合体检波器奠定基础结构；

3、为全弹波动理论提供地震数据基础。

附图说明

此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解，构成本申请的一部分，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限定。在附图中：

图 1 是相关技术中理想单检波器在纵波波场中的方向性响应示意图；

图 2 是相关技术中理想单检波器在横波波场中的方向性响应示意图；

图 3 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的结构示意图；

图 4 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第一种结构示意图；

图 5 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第二种结构示意图；

图 6 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第三种结构示意图；

图 7 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第四种结构示意图；

图 8 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第一种结构的工作矢量示意图；

图 9 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第二种结构的工作矢量示意图；

图 10 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第三种结构的工作矢量示意图；

图 11 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第四种结构的工作矢量示意图；

图 12 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的空间矢量关系图；

图 13 是根据本发明实施例的全积分等效高斯散度结构示意图；

图 14 是根据本发明实施例的斯托克斯积分正反旋等效结构示意图；

图 15 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器实测输出示意图；

图 16 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的球形壳体外观示意图；

图 17 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的外观示意图。

具体实施方式

下面结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明的实施例，本领域普通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，都属于本发明的保护范围。

本发明实施例提供了一种地震全向矢量旋度检波器，图 3 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的结构示意图，如图 3 所示，该地震全向矢量旋度检波器包括：四个检波器及支撑结构，该支撑结构用于支撑上述四个检波器，使得四个检波器的底面分别位于一正四面体的其中一个正三角形面上，每个检波器的工作轴与对应的正三角形面的交点分别位于该正三角形面的一个角的角平分线上并且不与该正三角形面的中心重叠。

需要说明的是，上述工作轴为虚拟轴，用以说明位置关系。在实际应用中，检波器的工作轴并不一定位于检波器的正中央位置（即中心轴）。上述正四面体并非为实体结构，而是虚拟的空间结构，旨在描述四个检波器之间的位置关系。

本实施例根据场论的斯托克斯旋度公式（也称为斯托克斯积分公式），设计特定的空间运动全矢量检测结构，以实现对地震波场的频率、振幅、相位、振动方向、尤其是波动力场的旋度的全信息检测，形成全新的地震全向矢量旋度检波器技术。

地震全向矢量旋度检波器的支撑结构可以基于需求设计成任意形状，本发明对此不做限定，只要能保证空间矢量形态即可。优选地，可以设计为正四面体形状，正四面体支撑结构的尺寸一般大于上述虚拟的正四面体。优选地，正四面体支撑结构的每个面可

以改变为任意曲面，从而满足不同需求。支撑结构的材料不局限于固态，支撑结构的刚度与测量结果相关，因此可基于需求选择不同材料。

在本实施例中，正四面体的每个正三角形面所对应的位置上有一个检波器，这个检波器在正三角形面的摆放位置，需要符合特定要求，才能保证地震全向矢量旋度检波器的正常工作。对于每个正三角形面上的检波器的位置，至少有四种摆放方式，不同的摆放方式对应四种不同结构。下面分别进行介绍。

第一种：

图 4 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第一种结构示意图，图 4 以支撑结构为正四面体形状为例进行介绍，如图 4 所示，设正四面体的其中一个正三角形面为主三角形面 100，主三角形面 100 其中一个角定义为正四面体的第一顶角 a，主三角形面 100 上的检波器的工作轴与主三角形面 100 的交点位于第一顶角 a 的角平分线上，且位于主三角形面 100 的中心与第一顶角 a 之间；

第一顶角 a 对应的底边所在的正四面体的另一面定义为正四面体的第一侧面 101，该底边的中点在主三角形面 100 逆时针方向滑动，遇到的第一侧面 101 上的角为第二顶角 b；第一侧面 101 上的检波器的工作轴与第一侧面 101 的交点位于第二顶角 b 的角平分线上，且位于第一侧面 101 的中心与第二顶角 b 之间；

第二顶角 b 对应的底边所在的正四面体的另一面定义为正四面体的第二侧面 102，该底边的中点在第一侧面 101 顺时针方向滑动，遇到的第二侧面 102 上的角定义为第三顶角；第二侧面 102 上的检波器的工作轴与第二侧面 102 的交点位于第三顶角 c 的角平分线上，且位于第二侧面 102 的中心与第三顶角 c 之间；

第三顶角 c 对应的底边所在的正四面体的另一面定义为正四面体的第三侧面 103，该底边的中点在第二侧面 102 逆时针方向滑动，遇到的第三侧面 103 上的角定义为第四顶角 d；第三侧面 103 上的检波器的工作轴与第三侧面 103 的交点位于第四顶角 d 的角平分线上，且位于第三侧面 103 的中心与第四顶角 d 之间。

第二种：

图 5 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第二种结构示意图，图 5 以支撑结构为正四面体形状为例进行介绍，如图 5 所示，上述第一顶角 a、上述第二顶角 b、上述第三顶角 c 及上述第四顶角 d 分别对应正四面体的第一顶点 A、第二顶点 B、第三顶点 C 及第四顶点 D。

主三角形面 100 上的检波器的工作轴与主三角形面 100 的交点位于第一顶角 a 的角平分线上，且位于主三角形面 100 的中心与第一顶角 a 之间；

第一侧面 101 上的检波器的工作轴与第一侧面 101 的交点位于第三顶点 C 在第一侧面 101 上的角的角平分线上，且位于第一侧面 101 的中心与第三顶点 C 在第一侧面 101 上的角之间；

第二侧面 102 上的检波器的工作轴与第二侧面 102 的交点位于第四顶点 D 在第二侧面 102 上的角的角平分线上，且位于第二侧面 102 的中心与第四顶点 D 在第二侧面 102 上的角之间；

第三侧面 103 上的检波器的工作轴与第三侧面 103 的交点位于第二顶点 B 在第三侧面 103 上的角的角平分线上，且位于第三侧面 103 的中心与第二顶点 B 在第三侧面 103 上的角之间。

第三种：

图 6 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第三种结构示意图，图 6 以支撑结构为正四面体形状为例进行介绍，如图 6 所示，设正四面体的其中一个正三角形面为主三角形面 100，主三角形面 100 其中一个角定义为正四面体的第一顶角 a，主三角形面 100 上的检波器的工作轴与主三角形面 100 的交点位于第一顶角 a 的角平分线上，且位于主三角形面 100 的中心与第一顶角 a 对应的底边之间；

第一顶角 a 对应的底边所在的正四面体的另一面定义为正四面体的第一侧面 101，该底边的中点在主三角形面 100 逆时针方向滑动，遇到的第一侧面 101 上的角定义为第二顶角 b；第一侧面 101 上的检波器的工作轴与第一侧面 101 的交点位于第二顶角 b 的角平分线上，且位于第一侧面 101 的中心与第二顶角 b 对应的底边之间；

第二顶角 b 对应的底边所在的正四面体的另一面定义为正四面体的第二侧面 102，该底边的中点在第一侧面 101 顺时针方向滑动，遇到的第二侧面 102 上的角定义为第三顶角 c；第二侧面 102 上的检波器的工作轴与第二侧面 102 的交点位于第三顶角 c 的角平分线上，且位于第二侧面 102 的中心与第三顶角 c 对应的底边之间；

第三顶角 c 对应的底边所在的正四面体的另一面定义为正四面体的第三侧面 103，该底边的中点在第二侧面 102 逆时针方向滑动，遇到的第三侧面 103 上的角定义为第四顶角 d；第三侧面 103 上的检波器的工作轴与第三侧面 103 的交点位于第四顶角 d 的角平分线上，且位于第三侧面 103 的中心与第四顶角 d 对应的底边之间。

第四种：

图 7 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第四种结构示意图，图 7 以支撑结构为正四面体形状为例进行介绍，如图 7 所示，上述第一顶角 a、上述第二顶角 b、上述第三顶角 c 及上述第四顶角 d 分别对应正四面体的第一顶点 A、第二顶点 B、第三顶点 C 及第四顶点 D。

主三角形面 100 上的检波器的工作轴与主三角形面 100 的交点位于第一顶角 a 的角平分线上，且位于主三角形面 100 的中心与第一顶角 a 对应的底边之间；

第一侧面 101 上的检波器的工作轴与第一侧面 101 的交点位于第三顶点 C 在第一侧面 101 上的角的角平分线上，且位于第一侧面 101 的中心与第三顶点 C 在第一侧面 101 上的角对应的底边之间；

第二侧面 102 上的检波器的工作轴与第二侧面 102 的交点位于第四顶点 D 在第二侧面 102 上的角的角平分线上，且位于第二侧面 102 的中心与第四顶点 D 在第二侧面 102 上的角对应的底边之间；

第三侧面 103 上的检波器的工作轴与第三侧面 103 的交点位于第二顶点 B 在第三侧面 103 上的角的角平分线上，且位于第三侧面 103 的中心与第二顶点 B 在第三侧面 103 上的角对应的底边之间。

对于上述四种摆放方式，还可以采取下述方法实现：

1）在正四面体的四个正三角形面上，分别设置连接一个角、面几何中心和对边棱（即对应的底边）中点的唯一的一条直线。正四面体的一个面朝上设置（即上述主三角形面），体几何中心与此面的几何中心的连线竖直向上定义为地震全向矢量旋度检波器的竖直轴（也可以称为主轴），也是第一线矢量轴，朝上设置的面上设置的上述直线的方向，定义为地震全向矢量旋度检波器的自北方向（也可以称为第一方向）。沿与自北方向垂直相交的棱（即底边）逆时针滑动遇到的第一侧面上的角，指向对棱中点的方向定义为第二方向，沿与第二方向垂直相交的棱顺时针滑动遇到的第二侧面上的角，指向对棱中点的方向定义为第三方向，沿与第三方向垂直相交的棱逆时针滑动遇到的第三侧面上的角，指向对棱中点的方向定义为第四方向。

沿上述四个方向的方向线上，在每个正三角面的中心向角分别移动 a（其中， $0< a <\lambda/4$，λ 是波长）各安装一个工作方向垂直于正三角面的高灵敏度宽频带全倾角检波器。该摆放方式对应于上述介绍的第一种结构。

或者，

沿上述四个方向的方向线上，在每个正三角面的中心向楞分别移动 a（其中， 0< a <λ/4， λ 是波长）各安装一个工作方向垂直于正三角面的高灵敏度宽频带全倾角检波器。该摆放方式对应于上述介绍的第三种结构。

2）在上述朝上设置的面上，沿与上述自北方向垂直相交的棱顺时针滑动遇到的角，指向对棱中点的方向定义为第五方向，沿与第五方向垂直相交的棱逆时针滑动遇到的角，指向对棱中点的方向定义为第六方向，沿与第六方向垂直相交的棱顺时针滑动遇到的角，指向对棱中点的方向定义为第七方向。

沿上述四个方向的方向线上，在每个正三角面的中心向角分别移动 a（其中， 0< a <λ/4， λ 是波长）各安装一个工作方向垂直于正三角面的高灵敏度宽频带全倾角检波器。该摆放方式对应于上述介绍的第二种结构。

或者，

沿上述四个方向的方向线上，在每个正三角面的中心向楞分别移动 a（其中， 0< a <λ/4， λ 是波长）各安装一个工作方向垂直于正三角面的高灵敏度宽频带全倾角检波器。该摆放方式对应于上述介绍的第四种结构。

本实施例中的检波器至少可以是圆柱电磁型检波器，需满足：各个圆柱电磁型检波器的底面与正四面体的体几何中心的距离为各个检波器互不接触的最小值；还可以是扁片电容型检波器。当然，也可以是其他类型的检波器，只要能够在地震全向矢量旋度检波器中正常工作即可，本发明对此不做限制。

图 8 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第一种结构的工作矢量示意图，图 9 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第二种结构的工作矢量示意图，图 10 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第三种结构的工作矢量示意图，图 11 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的第四种结构的工作矢量示意图，图 8、图 9 图 10、图 11 中的每个面上的箭头表示工作矢量，与主三角形面 100 垂直的中心轴设置为主轴，主三角形面 100 上第一顶角 a 的角平分线的方向设置为自北方向。

图 12 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的空间矢量关系图，如图 12 所示，图中的各个箭头即表示每个面上的工作矢量。图 12 中的圆表示地震全向矢量旋度检波器的四个空间矢量所围成的内切圆球。

将多个具有图 1 所示方向性的检波器按图 1 所示空间矢量方向组合，即为图 12 所示空间矢量关系，可具有全向空间矢量的功能。这样的结构具有空间线矢量、旋矢量检测功能。

图 13 是根据本发明实施例的全积分等效高斯散度结构示意图，图 14 是根据本发明实施例的斯托克斯积分正反旋等效结构示意图，结合图 13 和图 14 所示的矢量关系可知：

根据散度高斯定理：$\iiint_V \mathrm{div}\mathbf{A}dv = \oiint_S \mathbf{A}\cdot\mathbf{n}dS$，可得本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的旋度公式：$\iiint_V \mathrm{div}\mathbf{A}dv = \oiint_S \mathbf{A}\cdot\mathbf{n}dS = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\mathbf{A}\cdot\mathbf{n}_i$。

根据旋度斯托克斯公式：$\iint_s \mathrm{rot\,A}\cdot dS = \iint_s \mathrm{rot\,A}\cdot\mathbf{n}dS = \oint_L \mathrm{A}\cdot dl$，可得本实施例的正旋度公式：$\iint_S \mathrm{rot}\mathbf{A}dS = \oint_L \mathrm{A}\cdot dl = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\mathrm{A}\cdot\vec{l}_i$，以及，反旋度公式：

$-\iint_S \mathrm{rot}\mathbf{A}dS = -\oint_L \mathrm{A}\cdot dl = \frac{1}{m}\sum_{i=m+1}^{2m}\mathrm{A}\cdot\overleftarrow{l}_i$。

其中，A 为波场函数，l 为检波器响应矢量，i 为检波器的内道序号，$trace(i)=A\cdot\vec{l}_i$ 为采集到的第 i 道内部道数据，在上述全积分等效高斯散度结构上：$\vec{l}_i$ 为第一组，i=1-4，$\overleftarrow{l}_i$ 为第二组，i=5-8。div 为散度，rot 为旋度，V 为体积，dv 为体积微分，S 为面积，dS 为面积微分，m 为正 m 面体的个数；$\mathbf{n}_i$ 为第 i 面法线上的检波器响应矢量。根据三角和差化积公式，在本特定结构上，$\vec{l}_i + \overrightarrow{l_{m+i}} = \vec{l}_i + \overleftarrow{l}_i = 2\mathbf{n}_i$。

需要说明的是，本发明提供的地震全向矢量旋度检波器是基于虚拟正四面体的四根轴（即正四面体的体中心与四个正三角面的中心连线构成的立体星型轴）形成的四均分立体空间平衡结构。各个检波器的底面距体中心距离 d，d 为单元器件互不接触的最小值，在正四面体的每个正三角形面上分别与轴平行安装一个高灵敏度宽频带全倾角检波器，其振幅响应与自身工作轴和波场法线间夹角 θ 的关系为 out(t)=A(t)cos θ，其中，A(t)为检波器在 θ =0 时对波场的响应。

在地震全向矢量旋度检波器中，第一种结构和第三种结构（即正四面体的每一个正三角形面上的检波器均靠近角的结构，也可称为向角结构）的检波器称为 A 组，第二种结构和第四种结构（即正四面体的每一个正三角形面上的检波器均靠近棱的结构，也可

称为向棱结构）的检波器称为 B 组，A 组或 B 组的检波器在空间中构成符合斯托克斯旋度公式的封闭环路。A 组输出为正旋度，B 组输出为负旋度。

地震全向矢量旋度检波器中包括四个检波器，上面介绍的 A、B 两组检波器共计 8 道数据输出。图 15 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器实测输出示意图，如图 15 所示，在波场光滑、检波器尺度小于 λ/4，且器件基质材料 K 系数远大于环境介质条件下，地震全向矢量旋度检波器的 4 道数据积分就是对地震波场的旋度响应，即斯托克斯旋度积分的标量值。向角结构与向棱结构的矢量方向相反，所以测量出的旋度数值极性相反。地震全向矢量旋度检波器的频率特性由所采用的单元器件性能决定，MEMS 检波器效果最佳。地震全向矢量旋度检波器的旋度是横波力场特征的响应，与纵波无关。地震全向矢量旋度检波器的原始数据和解出的旋度，可作为全弹方程、全矢量处理技术、全矢量解释技术、全矢量岩性/流体技术的输入数据。

前面已经对地震全向矢量旋度检波器的具体结构进行了详细描述，在实际使用过程中，为了方便放置，地震全向矢量旋度检波器的支撑结构上连接一圆椎形尾椎，该圆椎形尾椎的轴线的延长线经过正四面体的一个顶点后，垂直穿过正四面体的其中一个面的中心。在正常使用过程中，该圆锥形尾椎竖直朝下插入地面，从而便于固定。

地震全向矢量旋度检波器还可以设置球形壳体，分为上半球形壳体和下半球形壳体，四个检波器及支撑结构放置在球形壳体内部，下半球形壳体的底部设置尾椎孔，上述尾椎穿过下半球形壳体的尾椎孔。图 16 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的球形壳体外观示意图，如图 16 所示，地震全向矢量旋度检波器的球形壳体分为上半球形壳体 20 和下半球形壳体 21，地震全向矢量旋度检波器的支撑结构上连接的圆椎形尾椎 30 穿过下半球形壳体 21 的底部设置的尾椎孔 31。通过该优选实施方式，可以保护检波器，稳固地震全向矢量旋度检波器。

为了将地震全向矢量旋度检波器的支撑结构及其上的四个检波器稳固放在球形壳体中，可以将支撑结构的形状设计为易于放入球形壳体的形状。图 17 是根据本发明实施例的地震全向矢量旋度检波器的外观示意图，如图 17 所示，将正四面体形状的支撑结构的各个顶点削掉一块，以便于安置在球形壳体中，确保地震全向矢量旋度检波器采集数据的准确性。

考虑到上半球形壳体和下半球形壳体的固定问题，本实施例提供了一种优选实施方式，即：上半球形壳体和下半球形壳体的边缘分别设置相互配合的突出部，上半球形壳

体和下半球形壳体的突出部通过固定组件固定。例如，通过螺丝和螺丝孔的方式固定。从而保证地震全向矢量旋度检波器在实际操作过程中的稳定性。

对于地震全向矢量旋度检波器的信号输出线，可以在球形壳体上设置信号线孔，使检波器的信号输出线穿过该信号线孔，从而便于信号输出线输出到壳体外面，有效获取数据。

为了避免地震全向矢量旋度检波器进水影响使用，可以在球形壳体的上半球形壳体和下半球形壳体之间的接合缝隙、尾椎孔和信号线孔，均密封防水，例如，可以选择硅胶或橡胶材料进行密封，从而提高地震全向矢量旋度检波器的密封性。

本发明提供的地震全向矢量旋度检波器可以适用于以下方面：陆上人工地震勘探、天然地震探测。本发明的应用前景如下：由于基于本发明的地震全向矢量旋度检波器可检测到地震波的旋度，因此可以获得以往从未有过的丰富的地震波信息，为地球科学的探索研究奠定了全新的数据基础。

地震全向矢量旋度检波器的旋度特征，为刚性支撑结构的检波器放置于地表自由表面时的特征。当检波器放置于地下或是介质内部时，这些特征将由放置环境、检波器支撑结构材料及其与外界的接触关系而确定。可随具体应用目的的变化而设计。本发明不做详细说明。

应用地震全向矢量旋度检波器进行地震波检测，是一种全新理念的地震波旋度信息检测方法，可发展出全新理念的地震采集、处理、解释方法，形成全新的地震勘探技术系列。不仅仅是提高信噪比、灵敏度、保真度的新技术。对该技术进一步的研究和应用，将会有更多技术特点的发现，是一个全新的发明、发现、发展的技术领域。

以上所述的具体实施例，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本发明的具体实施例而已，并不用于限定本发明的保护范围，凡在本发明的精神和原则之内，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。

权利要求书

1、一种地震全向矢量旋度检波器，其中，包括：四个检波器及支撑结构，所述支撑结构用于支撑所述四个检波器，使得所述四个检波器的底面分别位于一正四面体的其中一个正三角形面上，每个检波器的工作轴与对应的正三角形面的交点位于该正三角形面的一个角的角平分线上并且不与该正三角形面的中心重叠。

2、根据权利要求 1 所述的地震全向矢量旋度检波器，其中，设所述正四面体的其中一个正三角形面为主三角形面，所述主三角形面其中一个角为所述正四面体的第一顶角，所述主三角形面上的检波器的工作轴与所述主三角形面的交点位于所述第一顶角的角平分线上，且位于所述主三角形面的中心与所述第一顶角之间；

设所述第一顶角对应的底边所在的所述正四面体的另一面为所述正四面体的第一侧面，该底边的中点在所述主三角形面逆时针方向滑动，遇到的所述第一侧面上的角为第二顶角；所述第一侧面上的检波器的工作轴与所述第一侧面的交点位于所述第二顶角的角平分线上，且位于所述第一侧面的中心与所述第二顶角之间；

设所述第二顶角对应的底边所在的所述正四面体的另一面为所述正四面体的第二侧面，该底边的中点在所述第一侧面顺时针方向滑动，遇到的所述第二侧面上的角为第三顶角；所述第二侧面上的检波器的工作轴与所述第二侧面的交点位于所述第三顶角的角平分线上，且位于所述第二侧面的中心与所述第三顶角之间；

设所述第三顶角对应的底边所在的所述正四面体的另一面为所述正四面体的第三侧面，该底边的中点在所述第二侧面逆时针方向滑动，遇到的所述第三侧面上的角为第四顶角；所述第三侧面上的检波器的工作轴与所述第三侧面的交点位于所述第四顶角的角平分线上，且位于所述第三侧面的中心与所述第四顶角之间；

或者，

设所述第一顶角、所述第二顶角、所述第三顶角及所述第四顶角分别对应所述正四面体的第一顶点、第二顶点、第三顶点及第四顶点；

所述主三角形面上的检波器的工作轴与所述主三角形面的交点位于所述第一顶角的角平分线上，且位于所述主三角形面的中心与所述第一顶角之间；

所述第一侧面上的检波器的工作轴与所述第一侧面的交点位于所述第三顶点在所述第一侧面上的角的角平分线上，且位于所述第一侧面的中心与所述第三顶点在所述第一侧面上的角之间；

所述第二侧面上的检波器的工作轴与所述第二侧面的交点位于所述第四顶点在所述第二侧面上的角的角平分线上，且位于所述第二侧面的中心与所述第四顶点在所述第二侧面上的角之间；

所述第三侧面上的检波器的工作轴与所述第三侧面的交点位于所述第二顶点在所述第三侧面上的角的角平分线上，且位于所述第三侧面的中心与所述第二顶点在所述第三侧面上的角之间。

3、根据权利要求 1 所述的地震全向矢量旋度检波器，其中，设所述正四面体的其中一个正三角形面为主三角形面；所述主三角形面其中一个角为所述正四面体的第一顶角，所述主三角形面上的检波器的工作轴与所述主三角形面的交点位于所述第一顶角的角平分线上，且位于所述主三角形面的中心与所述第一顶角对应的底边之间；

设所述第一顶角对应的底边所在的所述正四面体的另一面为所述正四面体的第一侧面，该底边的中点在所述主三角形面逆时针方向滑动，遇到的所述第一侧面上的角为第二顶角；所述第一侧面上的检波器的工作轴与所述第一侧面的交点位于所述第二顶角的角平分线上，且位于所述第一侧面的中心与所述第二顶角对应的底边之间；

设所述第二顶角对应的底边所在的所述正四面体的另一面为所述正四面体的第二侧面，该底边的中点在所述第一侧面顺时针方向滑动，遇到的所述第二侧面上的角为第三顶角；所述第二侧面上的检波器的工作轴与所述第二侧面的交点位于所述第三顶角的角平分线上，且位于所述第二侧面的中心与所述第三顶角对应的底边之间；

设所述第三顶角对应的底边所在的所述正四面体的另一面为所述正四面体的第三侧面，该底边的中点在所述第二侧面逆时针方向滑动，遇到的所述第三侧面上的角为第四顶角；所述第三侧面上的检波器的工作轴与所述第三侧面的交点位于所述第四顶角的角平分线上，且位于所述第三侧面的中心与所述第四顶角对应的底边之间；

或者，

设所述第一顶角、所述第二顶角、所述第三顶角及所述第四顶角分别对应所述正四面体的第一顶点、第二顶点、第三顶点及第四顶点；

所述主三角形面上的检波器的工作轴与所述主三角形面的交点位于所述第一顶角的角平分线上，且位于所述主三角形面的中心与所述第一顶角对应的底边之间；

所述第一侧面上的检波器的工作轴与所述第一侧面的交点位于所述第三顶点在所述第一侧面上的角的角平分线上，且位于所述第一侧面的中心与所述第三顶点在所述第一侧面上的角对应的底边之间；

所述第二侧面上的检波器的工作轴与所述第二侧面的交点位于所述第四顶点在所述第二侧面上的角的角平分线上，且位于所述第二侧面的中心与所述第四顶点在所述第二侧面上的角对应的底边之间；

所述第三侧面上的检波器的工作轴与所述第三侧面的交点位于所述第二顶点在所述第三侧面上的角的角平分线上，且位于所述第三侧面的中心与所述第二顶点在所述第三侧面上的角对应的底边之间。

4、根据权利要求 1 所述的地震全向矢量旋度检波器，其中，所述检波器为圆柱电磁型检波器，各个圆柱电磁型检波器的底面与所述正四面体的体几何中心的距离为各个检波器互不接触的最小值。

5、根据权利要求 1 所述的地震全向矢量旋度检波器，其中，所述检波器为扁片电容型检波器。

6、根据权利要求 1 所述的地震全向矢量旋度检波器，其中，所述四个检波器的四个空间矢量符合斯托克斯积分公式。

7、根据权利要求 1 所述的地震全向矢量旋度检波器，其中，所述检波器的振幅响应，与自身工作轴和波场法线间夹角 θ 的关系为 $out(t)=A(t)\cos\theta$，其中 A(t)为所述检波器在 $\theta=0$ 时对波场的响应。

8、根据权利要求 1 所述的地震全向矢量旋度检波器，其中，所述支撑结构上连接一圆椎形尾椎，所述圆椎形尾椎的轴线的延长线经过所述正四面体的一个顶点后，垂直穿过所述正四面体的其中一个面的中心。

9、根据权利要求 8 所述的地震全向矢量旋度检波器，其中，所述地震全向矢量旋度检波器还包括：球形壳体，分为上半球形壳体和下半球形壳体，所述四个检波器及所述支撑结构放置在所述球形壳体内部，所述下半球形壳体的底部设置尾椎孔，所述尾椎穿过所述下半球形壳体的尾椎孔。

10、根据权利要求 9 所述的地震全向矢量旋度检波器，其中，所述上半球形壳体和所述下半球形壳体的边缘分别设置有相互配合的突出部，所述上半球形壳体和所述下半球形壳体的突出部通过固定组件固定。

11、根据权利要求 9 所述的地震全向矢量旋度检波器，其中，所述球形壳体上设置信号线孔，各个检波器的信号输出线穿过该信号线孔。

12、根据权利要求 11 所述的地震全向矢量旋度检波器，其特征在于，所述球形壳体的上半球形壳体和下半球形壳体之间的接合缝隙、所述尾椎孔和所述信号线孔，均以硅胶或橡胶材料密封防水。

13、根据权利要求 1 所述的地震全向矢量旋度检波器，其特征在于，所述支撑结构为正四面体支撑结构，所述正四面体支撑结构的每个面为任意曲面或平面。

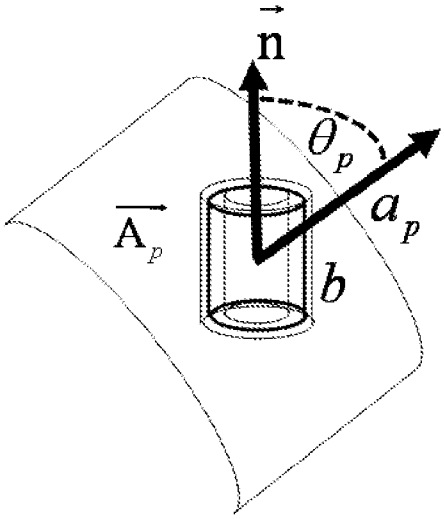

$\vec{n}$
θ_p
a_p
$\overrightarrow{A_p}$
b

图 1

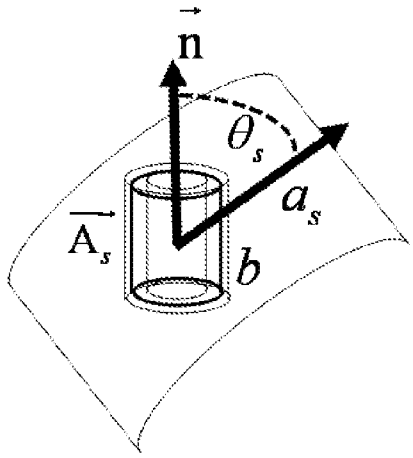

$\vec{n}$
θ_s
a_s
$\overrightarrow{A_s}$
b

图 2

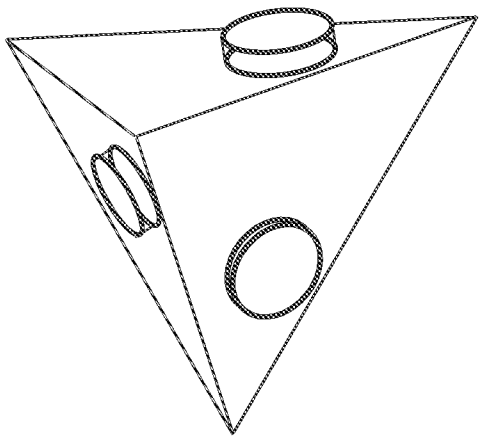


图 3

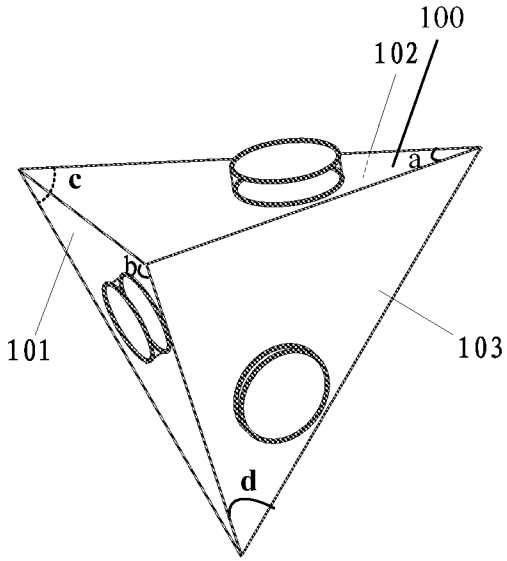


图 4

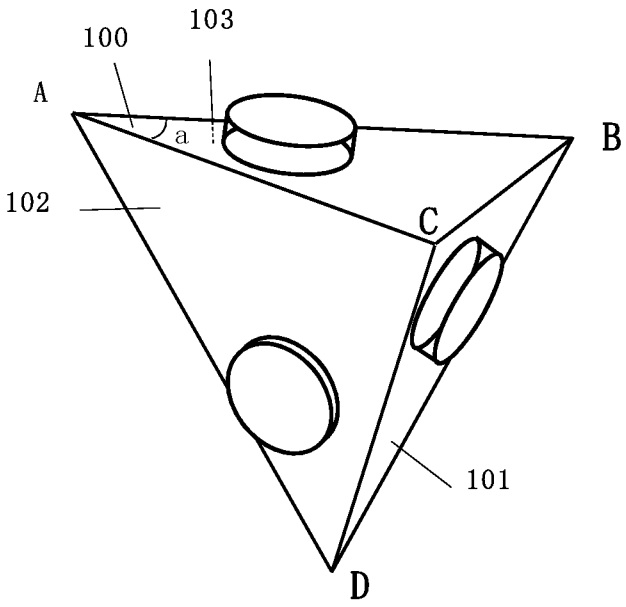


图 5

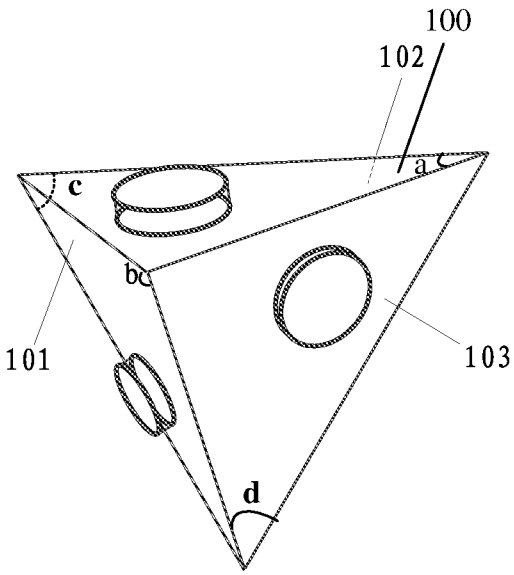


图 6

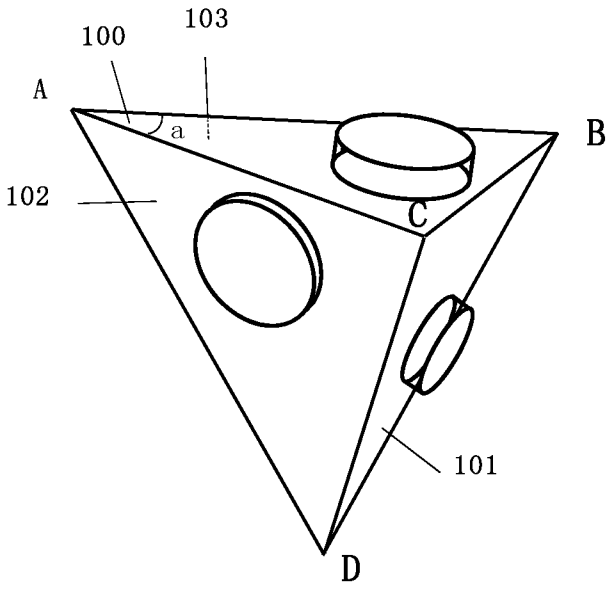


图 7

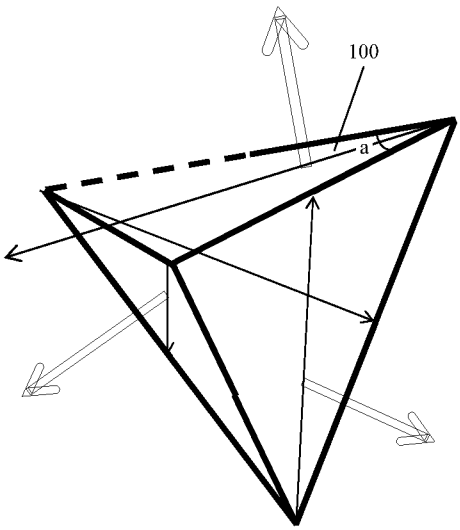


图 8

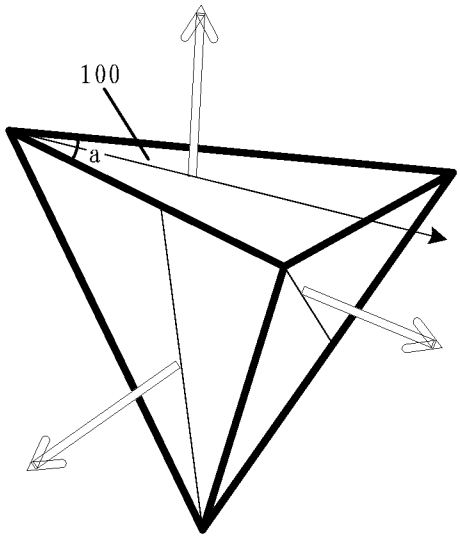


图 9

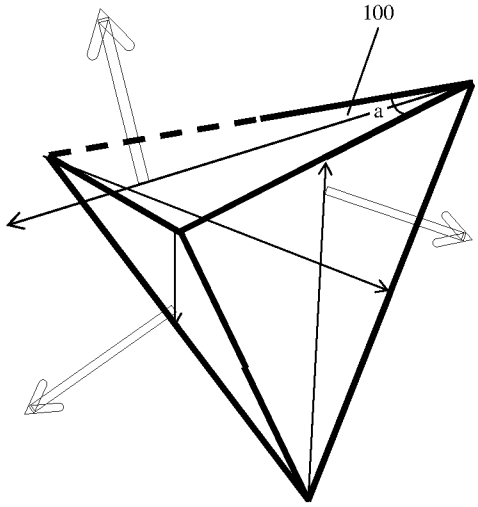


图 10

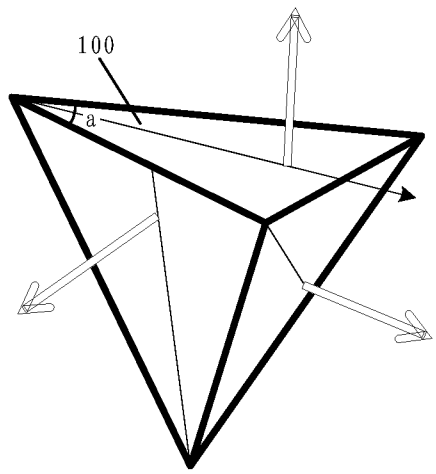


图 11

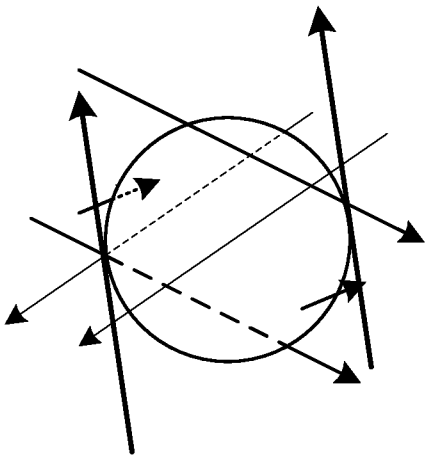


图 12

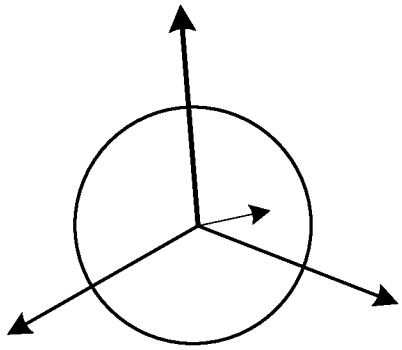


图 13

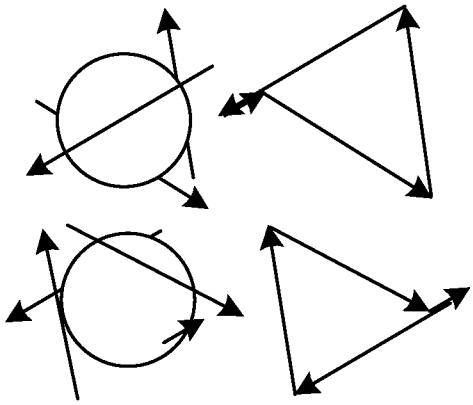


图 14

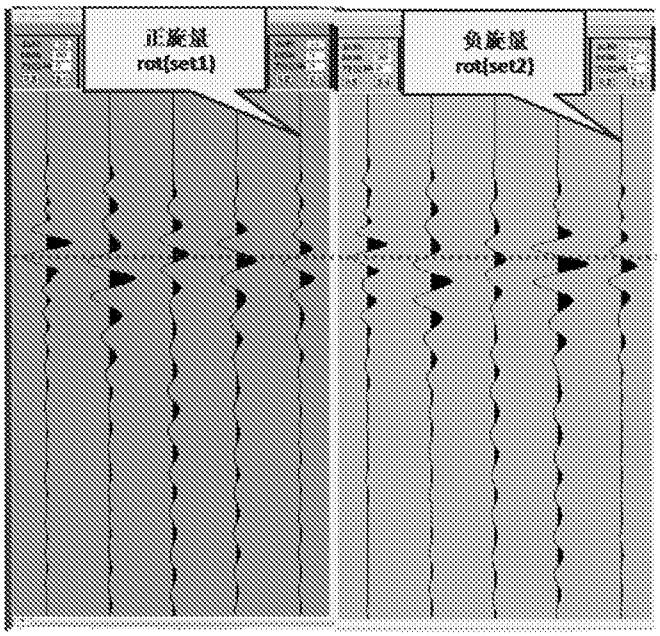


图 15

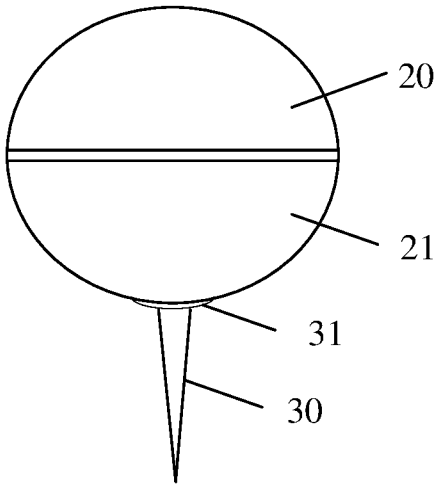


图 16

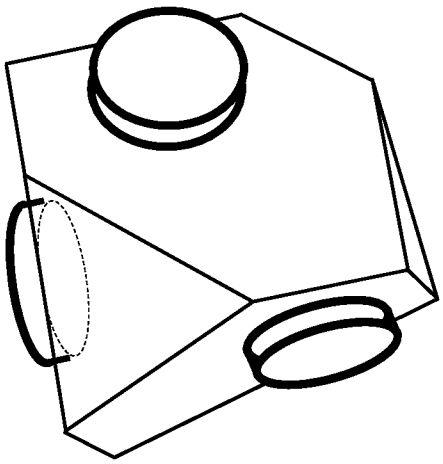


图 17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/099822

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01V 1/20 (2006.01) i; G01V 1/18 (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: regular tetrahedron curl tetrahedral detector sensor

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4791617 A (GEOPHYSICAL SERVICE INC.), 13 December 1988 (13.12.1988), description, columns 1-8, and figure 1	1-13
X	WO 2006043046 A1 (SCHLUMBERGER HOLDINGS et al.), 27 April 2006 (27.04.2006), description, pages 2-5, claims 1-13, and figures 1-6	1-13
X	WO 2002068996 A1 (JONES et al.), 06 September 2002 (06.09.2002), abstract	1-13
PX	CN 105259567 A (PETROCHINA COMPANY LIMITED), 20 January 2016 (20.01.2016)	1-13
A	CN 102341728 A (GECO TECHNOLOGY B.V.), 01 February 2012 (01.02.2012), the whole document	1-13

☐ 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
03 December 2016 (03.12.2016)	**25 November 2016 (25.11.2016)**
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 **XIE, Gang** Telephone No.: (86-10) **62085844**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2016/099822

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US 4791617 A	13 December 1988	GB 2192457 B	14 February 1990
		GB 2192457 A	13 January 1988
		GB 8715950 D0	12 August 1987
		GB 8616904 D0	20 August 1986
WO 2006043046 A1	27 April 2006	US 2008092643 A1	24 April 2008
		NO 20072218 A	18 May 2007
		GB 2419410 A	26 April 2006
		GB 2419410 B	21 May 2008
		US 2013186203 A1	25 July 2013
		CA 2584607 A1	27 April 2006
		EP 1807716 A1	18 July 2007
		GB 0423216 D0	24 November 2004
		US 9057643 B2	16 June 2015
WO 2002068996 A1	06 September 2002	None	
CN 105259567 A	20 January 2016	None	
CN 102341728 A	01 February 2012	RU 2523734 C2	20 July 2014
		EP 2394185 A2	14 December 2011
		WO 2010090949 A3	04 November 2010
		EP 2394185 A4	30 April 2014
		WO 2010090949 A2	12 August 2010
		CA 2751613 A1	12 August 2010
		MX 2011008292 A	19 October 2011
		RU 2011136642 A	10 March 2013
		US 2016170052 A1	16 June 2016
		CN 102341728 B	24 June 2015
		US 2010195439 A1	05 August 2010
		US 9304216 B2	05 April 2016
		CA 2939276 A1	12 August 2010

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2016/099822

A. 主题的分类

G01V 1/20(2006.01)i; G01V 1/18(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 正四面体 检波器 旋度tetrahedral detector sensor

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
X	US 4791617 A (GEOPHYSICAL SERVICE INC) 1988年 12月 13日 (1988-12-13) 说明书第1栏-第8栏，附图1	1-13
X	WO 2006043046 A1 (SCHLUMBERGER HOLDINGS等) 2006年 4月 27日 (2006-04-27) 说明书第2-5页，权利要求1－13，附图1-6	1-13
X	WO 2002068996 A1 (JONES 等) 2002年 9月 6日 (2002-09-06) 摘要	1-13
PX	CN 105259567 A (中国石油天然气股份有限公司) 2016年 1月 20日 (2016-01-20)	1-13
A	CN 102341728 A (格库技术有限公司) 2012年 2月 1日 (2012-02-01) 全文	1-13

☐ 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
2016年 12月 3日	2016年 11月 25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	谢岗
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)62085844

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2016/099822

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）
US	4791617	A	1988年 12月 13日	GB	2192457	B	1990年 2月 14日
				GB	2192457	A	1988年 1月 13日
				GB	8715950	D0	1987年 8月 12日
				GB	8616904	D0	1986年 8月 20日
WO	2006043046	A1	2006年 4月 27日	US	2008092643	A1	2008年 4月 24日
				NO	20072218	A	2007年 5月 18日
				GB	2419410	A	2006年 4月 26日
				GB	2419410	B	2008年 5月 21日
				US	2013186203	A1	2013年 7月 25日
				CA	2584607	A1	2006年 4月 27日
				EP	1807716	A1	2007年 7月 18日
				GB	0423216	D0	2004年 11月 24日
				US	9057643	B2	2015年 6月 16日
WO	2002068996	A1	2002年 9月 6日		无		
CN	105259567	A	2016年 1月 20日		无		
CN	102341728	A	2012年 2月 1日	RU	2523734	C2	2014年 7月 20日
				EP	2394185	A2	2011年 12月 14日
				WO	2010090949	A3	2010年 11月 4日
				EP	2394185	A4	2014年 4月 30日
				WO	2010090949	A2	2010年 8月 12日
				CA	2751613	A1	2010年 8月 12日
				MX	2011008292	A	2011年 10月 19日
				RU	2011136642	A	2013年 3月 10日
				US	2016170052	A1	2016年 6月 16日
				CN	102341728	B	2015年 6月 24日
				US	2010195439	A1	2010年 8月 5日
				US	9304216	B2	2016年 4月 5日
				CA	2939276	A1	2010年 8月 12日