



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113391343 A

(43) 申请公布日 2021.09.14

(21) 申请号 202110652939.6

G01V 1/36 (2006.01)

(22) 申请日 2021.06.11

(71) 申请人 中油奥博(成都)科技有限公司

地址 611730 四川省成都市高新区天映路
11号

(72) 发明人 余刚 苟量 徐朝红 刘海波

安树杰 王熙明 夏淑君

(74) 专利代理机构 成都方圆聿联专利代理事务

所(普通合伙) 51241

代理人 李鹏

(51) Int. Cl.

G01V 1/18 (2006.01)

G01V 1/38 (2006.01)

G01V 1/133 (2006.01)

G01V 1/22 (2006.01)

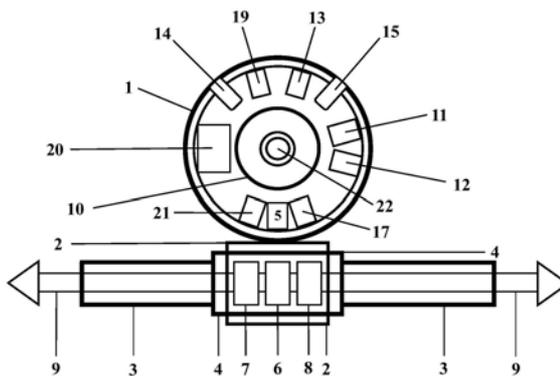
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

海底光纤四分量地震仪器系统及其数据采集方法

(57) 摘要

本发明涉及一种海底光纤四分量地震仪器系统及其数据采集方法,通过圆形缆环将四分量节点地震仪器以一定间距串接在铠装光电复合缆上;铠装光电复合缆与计算机连接;每个四分量节点地震仪器侧面都配套设置有外部近距离无线传输模块、外部光电转化模块、外部无线充电模块,上述模块均通过功能模块套固定在铠装光电复合缆上;四分量节点地震仪器通过外部近距离无线传输模块与计算机连接并进行通讯和数据传输。本发明具有灵敏度高、频带宽、高频响应好、具有平坦的频率特性响应、相位呈线性变化、技术参数一致性好;而且由于前端没有电子元件,使其具有更高的可靠性,耐高温高压,无需供电,防水耐腐蚀,可长期布放,抗电磁干扰,通道串扰小。



1. 海底光纤四分量地震仪器系统,其特征在于,包括多个四分量节点地震仪器、一根铠装光电复合缆(3);四分量节点地震仪器的侧面固定有圆形缆环(2),通过所述的圆形缆环(2)将四分量节点地震仪器以一定间距串接在铠装光电复合缆(3)上;铠装光电复合缆(3)与甲板上或控制仪器舱里的计算机连接;

每个四分量节点地震仪器处都配套设置有外部近距离无线传输模块(6)、外部光电转化模块(7)、外部无线充电模块(8),所述的外部近距离无线传输模块(6)、外部光电转化模块(7)、外部无线充电模块(8)均通过功能模块套(4)固定在铠装光电复合缆(3)上;四分量节点地震仪器通过所述的外部近距离无线传输模块(6)以无线通讯的方式通过铠装光电复合缆(3)与计算机连接并进行通讯和数据传输。

2. 根据权利要求1所述的海底光纤四分量地震仪器系统,其特征在于,所述的铠装光电复合缆(3)内部设有线缆(9),外层再包裹用凯夫拉纤维编织的高强度护套或者用一层或多层不锈钢丝绞合的铠装;所述的线缆(9)包括单模和多模光纤、同轴电缆和双绞供电线。

3. 根据权利要求1所述的海底光纤四分量地震仪器系统,其特征在于,所述的四分量节点地震仪器,包括承压舱(1),承压舱(1)内设有三分量光纤检波器(10)、光纤声压水听器(14)、三分量姿态传感器(13)、水声应答器(22)、半导体光源(16)、内部光电转换模块(17)、调制解调模块(18)、前置放大与A/D转换模块(11)、数据存储模块(12)、原子钟(19)、内部近距离无线传输模块(5)、可充电电池模块(20);内部无线充电模块(21);

所述的三分量光纤检波器(10)按正交坐标系方式安装组合,并安置在承压舱(1)底部,用于测量所处位置的三分量海底地震数据;

光纤声压水听器(14)安装在承压舱(1)侧面,用于测量其所处位置的海底压力波数据;

三分量姿态传感器(13)提供三分量光纤检波器(10)和光纤声压水听器(14)所处位置的三分量姿态数据,用于对海底四分量地震数据进行方位旋转和姿态校正处理;

承压舱(1)顶部安装水声应答器(22),用于通过长基线或短基线或超短基线定位系统为其在海底进行定位;

所述半导体光源(16)给三分量光纤检波器(10)和光纤声压水听器(14)提供激光信号;

从三分量光纤检波器(10)反射回来的散射光信号由内部光电转换模块(17)转变为对应的电信号,基于FPGA的调制解调模块(18)将三分量光纤检波器(10)和光纤声压水听器(14)接收到后转换的电信号调制解调成四分量地震信号;

前置放大与A/D转换模块(11)用于将三分量光纤检波器(10)、光纤声压水听器(14)和三分量姿态传感器(13)输出的信号转换为数字信号,通过所述数据存储模块(12)进行存储;

原子钟(19)给所有采集的数据进行精确的授时;

甲板电源系统通过铠装光电复合缆(3)和内部无线充电模块(21)对可充电电池模块(20)进行近距离无线供电与充电;所述的可充电电池模块(20)为四分量节点地震仪器内部的电路板和电子器件提供电源。

4. 根据权利要求3所述的海底光纤四分量地震仪器系统,其特征在于,所述的承压舱(1)为铝合金或高强度耐压复合材料制成。对于铝合金承压舱,设有阳极保护装置(15)。

5. 根据权利要求3所述的海底光纤四分量地震仪器系统,其特征在于,所述的承压舱(1)还安装有数据下载和电池充电水密接口以及仪器工作状态指示灯。

6. 根据权利要求3所述的海底光纤四分量地震仪器系统,其特征在于,所述的所述的三分量光纤检波器(10)为基于光纤MEMS加速度计的三分量光纤检波器,包括六个或十二个光纤MEMS加速度计按相互正交结构组成,每个分量方向各由一对或两对光纤MEMS加速度计并联叠加构成;或者为三分量光纤矢量传感器构成的三分量光纤检波器,三分量光纤矢量传感器包括三根几何尺寸完全一样的实心的弹性柱体成三轴正交结构组装在一起,一对光纤分别绕在一根弹性柱体的两端臂上,缠绕的光纤形成了迈克尔逊干涉仪的两光纤臂;质量块粘接在弹性柱体正交结合处,弹性柱体固定安装在密封的外壳内。

7. 根据权利要求3所述的海底光纤四分量地震仪器系统,其特征在于,所述的光纤声压水听器(14)选自调幅型光纤声压水听器、调相型光纤声压水听器、偏振型光纤声压水听器中的任一种。

8. 海底光纤四分量地震仪器系统的数据采集方法,其特征在于,采用权利要求1到7任一项所述的海底光纤四分量地震仪器系统,包括以下步骤:

(a) 在不超过1000米水深环境下采集海底四分量地震数据时,首先在甲板上的传送带上把四分量节点地震仪器按照预先设计好的间距,固定到铠装光电复合缆(3)上组成四分量节点地震仪器串;

(b) 随后由甲板上的绞车将由铠装光电复合缆(3)连接固定的四分量节点地震仪器串按照施工设计的位置要求逐一投放到海底;

(c) 计算机沿铠装光电复合缆(3)通过近距离无线传输的方式对每个四分量节点地震仪器进行启动、仪器自检以及工作状态实时监测;

(d) 将海洋地震勘探船上的GPS天线接收到的GPS信号,通过铠装光电复合缆(3)上的外部近距离无线传输模块(6)以无线通讯的方式对每个四分量节点地震仪器进行授时;

(e) 当四分量节点地震仪器布设到海底后,甲板电源系统通过铠装光电复合缆(3)和内部无线充电模块(21)对可充电电池模块(20)进行无线充电或对四分量节点地震仪器直接进行无线供电;

(f) 启动安装在海洋地震数据采集作业船底部的长基线或短基线或超短基线定位系统的发射声源换能器,向作业工区海底发射定位声波信号,布设在海底的每个四分量节点地震仪器顶部的水声应答器(22)接收作业船底部发射声源换能器发出的信号,定位系统对每个四分量节点地震仪器进行实时定位;

(g) 随后一条或数条海水气枪震源作业船按照预先设计好的震源线路和震源激发位置,依次激发气枪震源,四分量节点地震仪器开始采集海面气枪震源激发的海底四分量地震数据,四分量节点地震仪器内部的前置放大与A/D转换模块(11)将采集到的三分量光纤检波器(10)、光纤声压水听器(14)和三分量姿态传感器(13)的输出信号转换为数字信号并通过数据存储模块(12)进行存储,数据存储模块(12)里的数据通过内部安装的外部近距离无线传输模块(6)传输到铠装光电复合缆(3)上固定的外部近距离无线传输模块(6)内,然后通过铠装光电复合缆(3)上的光电转化模块转换成光信号,沿铠装光电复合缆(3)内的光纤实时传输到计算机里;

(h) 在超过1000米水深环境下作业时,四分量节点地震仪器通过深水ROV按照预先设计好的检波点位置依次逐一进行布放及实时定位,随后一条或数条海水气枪震源作业船按照预先设计好的震源线路和震源激发位置,依次激发气枪震源,四分量节点地震仪器开始采

集海面气枪震源激发的海底四分量地震数据,四分量节点地震仪器内部的前置放大与A/D转换模块(11)将采集到的三分量光纤检波器(10)、光纤声压水听器(14)和三分量姿态传感器(13)的输出信号转换为数字信号并通过数据存储模块(12)进行存储;气枪震源激发完所有预先设计好的震源信号后,再次使用深水ROV逐一将四分量节点地震仪器进行回收,四分量节点地震仪器回收到甲板上后,采集的海底四分量地震数据通过数据下载接口进行有线或无线下载,同时对可充电电池模块(20)进行有线或无线充电;

(i) 根据三分量姿态传感器(13)同步实时采集的每个四分量节点地震仪器在数据采集位置的三分量姿态数据,将采集位置的海底四分量地震数据通过旋转投影变换成相应采集位置的三分量海洋地震数据,得到该位置沿垂直方向和与海平面平行的两个正交水平方向的三分量海洋地震数据,其中一个水平分量是沿布设在海底的四分量节点地震仪器测线延伸方向的水平分量,另一个是垂直于四分量节点地震仪器测线延伸方向的水平分量;

(j) 将步骤(i)中转换成相应数据采集位置的海底四分量地震数据进行海洋地震数据处理,最后获得海底以下介质的纵横波速度、纵横波波阻抗、纵横波各向异性系数、纵横波衰减系数、弹性参数、粘弹性参数、地震属性数据、海底以下高分辨率地质构造成像,用于海底以下地质构造调查和矿产资源勘探,实现海底以下地质矿产资源和油气藏的高分辨率地质构造成像和对含油气储层的综合评价。

9. 根据权利要求8所述的海底光纤四分量地震仪器系统的数据采集方法,其特征在于,步骤(j)中所述的进行海洋地震数据处理,包括地震子波的整形、去除纷繁复杂的多次波、从低信噪比的数据中恢复出可靠的有效反射波、应用震源信号反褶积实现对地震记录的整形、提高有效反射波的信噪比、速度建模、地层划分、层析成像,高频恢复、鬼波去除、多次波消除、反褶积处理、各向异性时间域或深度域偏移成像、Q补偿或Q偏移。

海底光纤四分量地震仪器系统及其数据采集方法

技术领域

[0001] 本发明属于地球物理勘探技术领域,涉及一种海底光纤四分量地震仪器系统及其数据采集方法。

背景技术

[0002] 海洋地震勘探是利用勘探船在海洋上进行地震勘探的方法。海洋地震勘探的原理、使用的仪器,以及处理资料的方法都和陆地地震勘探基本相同。由于在大陆架地区发现大量的石油和天然气,因此,海洋地震勘探有极为广阔的前景。海洋地震勘探是在海水中进行人工地震的调查方法,具有4个特点:①多数使用非炸药震源;②水中激发,水中接收,水听器装在船后拖缆(浮缆、电缆、等浮电缆)上;③走航连续记录;④资料由计算机处理,工作效率高。由于上述特点,使海洋地震勘探具有比陆地地震勘探高得多的生产效率,更需要用数字电子计算机处理资料。海洋地震勘探中常遇到一些特殊的干扰波,如鸣震和交混回响,以及与海底有关的底波干扰。

[0003] 海底地震勘探技术是海上地震勘探技术的一种,同样由震源和采集仪器组成。海底地震勘探技术大都采用非炸药震源(以空气枪为主),震源漂浮在接近海面,由海上地震勘探船拖曳;采集仪器放到海底来接收震源发出、经过海底底层反射的纵横波信号。由于海水不能传播横波,只有把检波器放到海底才可接收到横波及转换波。其特点是在水中激发,水中接收,激发,接收条件均一;可进行不停船连续观测。检波器最初使用压电检波器,现在发展到压电与振速检波器组合使用。海底地震勘探技术又可分为海底电缆勘探技术(Ocean Bottom Cable,简称OBC)和海底节点地震仪勘探技术(Ocean Bottom Node,简称OBN)。OBC技术是将成百上千个检波器连接在海底电缆上,由专用的放线艇在定位仪的引导下将采集电缆沉放到海底(海底电缆可以是一条或多条),海底电缆的一端连接到固定的仪器船上(仪器船要在海上抛前后锚以保证船身不转向和船位不偏移),而由海洋地震勘探船在海面四周按设计测线放炮的方式采集海底地震数据。

[0004] 目前的海底地震数据采集方式主要有两种,一种是单分量、二分量、三分量或四分量海底地震数据采集缆(OBC)沉入海底采集地震数据,另一是独立的三分量或四分量海底地震数据采集站(OBS和OBN)沉底采集地震数据,两者都使用独立的海洋地震气枪激发源在水中拖移时激发。沉入海底的海底地震数据采集缆,其工作方式是海底地震电缆(OBC)由放缆船是先投放布设到海底,然后由气枪震源船拖曳着水下可控气枪震源在距海面以下一定的深度上前行并向海水中激发地震信号,由事先投放布设到海底的地震缆采集海底地震数据。数据采集结束后,放缆船回收海底地震缆,投放布设到新的测量工区,然后重复海底地震信号的数据采集作业。独立的海底地震数据采集缆和海底地震数据采集站如ION、Sercel、Fairfield和OYOGeospace等公司生产销售的各种OBC、OBS和OBN。

[0005] 海底节点地震仪勘探技术(OBN)是把节点地震仪器放置水下无缆供电并且不进行通讯,每个节点地震仪器自主运行,完全独立于所有其它节点,可以连续采集数据数个月。OBN的数据采集工作是两船作业—震源船和节点地震仪器布放和回收船。节点地震仪器的

布设方式和间距没有约束限制,适合全方位角勘探。布设节点地震仪器时,每个节点仪器上可能会附加沿绳线或钢丝绳,可轻松回收节点地震仪器,类似渔民回收长串列蟹笼。往数千米水深的海底布设节点地震仪器时,不适用附加沿绳线或钢丝绳,一般由ROV携带节点地震仪器在海底按照设计的测点坐标布设仪器,回收时,也是由ROV下潜到海底去逐一回收深水节点地震仪器。

[0006] 目前的海底节点地震仪器有两类,一类是借助绳索或钢丝绳绳收放的自主运行且完全独立于所有其它节点的海底节点地震仪器,另一类是由ROV下潜到海底逐一布放和回收的自主运行且完全独立于所有其它节点的海底节点地震仪器。由于没有供电与通讯电缆与海底节点地震仪器相连接,无法对海底节点地震仪器进行实时供电或电池充电,致使仪器需要携带大量的可充电电池以保证能长时间在海底工作,增加了节点地震仪器的生产成本、体积和重量,无法对投放在海底的节点地震仪器进行定位、无法实时监测海底节点地震仪器的工作状态、无法实时传输海底节点地震仪器采集的数据(仪器只能进行盲采)、无法给在海底工作的节点地震仪器进行授时,它们只能依靠价格昂贵的原子钟芯片给仪器授时,长期在海底工作时会由于原子钟芯片的时间漂移而带来授时误差。

[0007] 目前行业内使用最广泛的海底节点地震仪器采用是常规的三分量电子检波器和压电晶体采集四分量海底地震数据。三分量检波器是多波勘探时使用的特种检波器。与单分量的常规地震检波器不同,每个检波器内装有三个互相垂直的传感器,以记录质点振动速度向量的三个分量,用于同时记录纵波、横波、转换波。常规的检波器主要是由外壳、圆柱行磁钢、环行弹簧片和线圈等组成。磁钢被垂直的固定在外壳中央,线圈通过上下两个弹簧片与外壳做软连接,使它置于磁钢和外壳之间环行磁通间隙间,能够上下移动。当地震波传到地表观测点时,检波器外壳连同磁钢随之发生震动,线圈则由于惯性而滞后于磁钢,形成二者之间的相对运动。在这样的运动中,线圈切割磁力线产生感应电动势,输出与震动周期相对应的电流信号,通过专门的仪器可将这些信号放大并记录下来,从而实现了将地面振动信号转化为电振动的机电转换,拾取到了地震波。这类检波器输出的信号电压和其振动的位移速度有关,因此称为速度检波器。这类检波器的特点是:它的输出电压反映检波器外壳的位移随时间的变化率即速度,其性能指标包括固有频率,灵敏度,线圈自电阻,阻尼,谐波畸变和寄生共振。从实际上考虑还有耐用性,大小和形状。一般来说,对于检波器的大小和形状,用户没有多少选择的余地。通常选用灵敏度高(阻尼约为0.6)、谐波畸变小、寄生共振频率在记录频率之外,并且耐用性好的检波器。

[0008] 光纤传感技术始于1977年,伴随光纤通信技术的发展而迅速发展起来的,光纤传感技术是衡量一个国家信息化程度的重要标志。光纤传感技术已广泛用于军事、国防、航空航天、工矿企业、能源环保、工业控制、医药卫生、计量测试、建筑、家用电器等领域有着广阔的市场。世界上已有光纤传感技术上百种,诸如温度、压力、流量、位移、振动、转动、弯曲、液位、速度、加速度、声场、电流、电压、磁场及辐射等物理量都实现了不同性能的传感。

[0009] 光纤MEMS加速度计是一种单分向的宽频带加速度传感器,采用21世纪新近发展的微米/纳米加工技术(micro/nanotechnology),将加速度检测质量块、弹性支撑体、光学反射微镜、光入射及出射波导直接集成在一个微小的芯片上,光纤MEMS加速度系统由高灵敏度光纤加速度计与高速光纤解调仪组成。该种传感系统兼具了光纤光栅传感器结构简单、体积小巧、灵敏度高、耐腐蚀、具有平坦的频率特性响应、相位呈线性变化,技术参数一致性

好、性能稳定可靠、无源无电、抗电磁干扰、能实现远距离光信号传输等诸多优点,以及MEMS技术的高分辨率与高解调速率的优点,被广泛应用在各大领域。

[0010] 光纤地震检波器具有灵敏度高、频带宽、高频响应好、具有平坦的频率特性响应、相位呈线性变化、技术参数一致性好、性能稳定可靠、无电无源、耐腐蚀、耐高温的优势,是地震检波器技术的发展方向。光纤检波器比常规的检波器具有更高的灵敏度、更好的高频响应特性,可实现多通道、大数据量、高速传输。而且由于前端没有电子元件,使其具有更高的可靠性,耐高温高压,无需供电,防水耐腐蚀,可长期布放,抗电磁干扰,通道串扰小。

发明内容

[0011] 鉴于现有的海底节点地震仪器存在的问题,本发明提供了海底光纤四分量地震仪器系统及其数据采集方法,克服常规电子检波器和压电水听器灵敏度低、动态范围小、信号频带有限、功耗较大,以及目前用绳索或钢丝绳投放回收的节点地震仪器无法进行实时通讯和数据传输,也克服了现有技术无法了解海底节点地震仪器在作业时的工作状态和对采集的数据进行实时监控和评估的缺陷。。

[0012] 海底光纤四分量地震仪器系统,包括多个四分量节点地震仪器、一根铠装光电复合缆;四分量节点地震仪器的侧面固定有圆形缆环,通过所述的圆形缆环将四分量节点地震仪器以一定间距串接在铠装光电复合缆上;铠装光电复合缆与甲板上或控制仪器舱里的计算机连接;

[0013] 每个四分量节点地震仪器处都配套设置有外部近距离无线传输模块、外部光电转化模块、外部无线充电模块,所述的外部近距离无线传输模块、外部光电转化模块、外部无线充电模块均通过功能模块套固定在铠装光电复合缆上;四分量节点地震仪器通过所述的外部近距离无线传输模块以无线通讯的方式通过铠装光电复合缆与计算机连接并进行通讯和数据传输。

[0014] 所述的铠装光电复合缆内部设有线缆,外层再包裹用凯夫拉纤维编织的高强度护套或者用一层或多层不锈钢丝绞合的铠装;所述的线缆包括单模和多模光纤、同轴电缆和双绞供电线。

[0015] 其中,所述的四分量节点地震仪器,包括承压舱,承压舱内设有三分量光纤检波器、光纤声压水听器、三分量姿态传感器、水声应答器、半导体光源、内部光电转换模块、调制解调模块、前置放大与A/D转换模块、数据存储模块、原子钟、内部近距离无线传输模块、可充电电池模块;内部无线充电模块;

[0016] 所述的三分量光纤检波器按正交坐标系方式安装组合,并安置在承压舱底部,用于测量所处位置的三分量海底地震数据;

[0017] 光纤声压水听器安装在承压舱侧面,用于测量其所处位置的海底压力波数据;

[0018] 三分量姿态传感器提供三分量光纤检波器和光纤声压水听器所处位置的三分量姿态数据,用于对海底四分量地震数据进行方位旋转和姿态校正处理;

[0019] 承压舱顶部安装水声应答器,用于通过长基线或短基线或超短基线定位系统为其在海底进行定位;

[0020] 所述半导体光源给三分量光纤检波器和光纤声压水听器提供激光信号;

[0021] 从三分量光纤检波器反射回来的散射光信号由内部光电转换模块转变为对应的

电信号,基于FPGA的调制解调模块将三分量光纤检波器和光纤声压水听器接收到后转换的电信号调制解调成四分量地震信号;

[0022] 前置放大与A/D转换模块用于将三分量光纤检波器、光纤声压水听器和三分量姿态传感器输出的信号转换为数字信号,通过所述数据存储模块进行存储;

[0023] 原子钟给所有采集的数据进行精确的授时;

[0024] 甲板电源系统通过铠装光电复合缆和内部无线充电模块对可充电电池模块进行近距离无线供电与充电;所述的可充电电池模块为四分量节点地震仪器内部的电路板和电子器件提供电源。

[0025] 进一步的,所述的承压舱为铝合金或高强度耐压复合材料制成,当承压舱为铝合金时,设有阳极保护装置。

[0026] 所述的承压舱还安装有数据下载和电池充电水密接口以及仪器工作状态指示灯。

[0027] 所述的三分量光纤检波器为基于光纤MEMS加速度计的三分量光纤检波器,包括六个或十二个光纤MEMS加速度计按相互正交结构组成,每个分量方向各由一对或两对光纤MEMS加速度计并联叠加构成;或者为三分量光纤矢量传感器构成的三分量光纤检波器,三分量光纤矢量传感器包括三根几何尺寸完全一样的实心的弹性柱体成三轴正交结构组装在一起,一对光纤分别绕在一根弹性柱体的两端臂上,缠绕的光纤形成了迈克尔逊干涉仪的两光纤臂;质量块粘接在弹性柱体正交结合处,弹性柱体固定安装在密封的外壳内。

[0028] 所述的光纤声压水听器选自调幅型光纤声压水听器、调相型光纤声压水听器、偏振型光纤声压水听器中的任一种。

[0029] 本发明还提供该海底光纤四分量地震仪器系统的数据采集方法,其包括括以下步骤:

[0030] (a) 在不超过1000米水深环境下采集海底四分量地震数据时时,首先在甲板上的传送带上把四分量节点地震仪器按照预先设计好的间距,固定到铠装光电复合缆上组成四分量节点地震仪器串;

[0031] (b) 随后由甲板上的绞车将由铠装光电复合缆连接固定的四分量节点地震仪器串按照施工设计的位置要求逐一投放到海底;

[0032] (c) 计算机沿铠装光电复合缆通过近距离无线传输的方式对每个四分量节点地震仪器进行启动、仪器自检以及工作状态实时监测;

[0033] (d) 将海洋地震勘探船上的GPS天线接收到的GPS信号,通过铠装光电复合缆上的外部近距离无线传输模块以无线通讯的方式对每个四分量节点地震仪器进行授时;

[0034] (e) 当四分量节点地震仪器布设到海底后,甲板电源系统通过铠装光电复合缆和内部无线充电模块对可充电电池模块模块进行无线充电或对四分量节点地震仪器直接进行无线供电;

[0035] (f) 启动安装在海洋地震数据采集作业船底部的长基线或短基线或超短基线定位系统的发射声源换能器,向作业工区海底发射定位声波信号,布设在海底的每个四分量节点地震仪器顶部的水声应答器接收作业船底部发射声源换能器发出的信号,定位系统对每个四分量节点地震仪器进行实时定位;

[0036] (g) 随后一条或数条海水气枪震源作业船按照预先设计好的震源线路和震源激发位置,依次激发气枪震源,四分量节点地震仪器开始采集海面气枪震源激发的海底四分量

地震数据,四分量节点地震仪器内部的前置放大与A/D转换模块将采集到的三分量光纤检波器、光纤声压水听器和三分量姿态传感器的输出信号转换为数字信号并通过数据存储模块进行存储,数据存储模块里的数据通过基于光纤传感器的海底四分量节点地震仪内部安装的外部近距离无线传输模块传输到铠装光电复合缆上固定的外部近距离无线传输模块内,然后通过铠装光电复合缆上的光电转化模块转换成光信号,沿铠装光电复合缆内的光纤实时传输到计算机里;

[0037] (h) 在超过1000米水深环境下作业时,四分量节点地震仪器通过深水ROV按照预先设计好的检波点位置依次逐一进行布放及实时定位,随后一条或数条海水气枪震源作业船按照预先设计好的震源线路和震源激发位置,依次激发气枪震源,四分量节点地震仪器开始采集海面气枪震源激发的海底四分量地震数据,四分量节点地震仪器内部的前置放大与A/D转换模块将采集到的三分量光纤检波器、光纤声压水听器和三分量姿态传感器的输出信号转换为数字信号并通过数据存储模块进行存储;气枪震源激发完所有预先设计好的震源信号后,再次使用深水ROV逐一将四分量节点地震仪器进行回收,四分量节点地震仪器回收到甲板上后,采集的海底四分量地震数据通过数据下载接口进行有线或无线下载,同时对可充电电池模块模块进行有线或无线充电;

[0038] (i) 根据三分量姿态传感器同步实时采集的每个四分量节点地震仪器在数据采集位置的三分量姿态数据,将采集位置的海底四分量地震数据通过旋转投影变换成相应采集位置的三分量海洋地震数据,得到该位置沿垂直方向和与海平面平行的两个正交水平方向的三分量海洋地震数据,其中一个水平分量是沿布设在海底的四分量节点地震仪器测线延伸方向的水平分量,另一个是垂直于四分量节点地震仪器测线延伸方向的水平分量;

[0039] (j) 将步骤(i)中转换成相应数据采集位置的海底四分量地震数据进行海洋地震数据处理,最后获得海底以下介质的纵横波速度、纵横波波阻抗、纵横波各向异性系数、纵横波衰减系数、弹性参数、粘弹性参数、地震属性数据、海底以下高分辨率地质构造成像,用于海底以下地质构造调查和矿产资源勘探,实现海底以下地质矿产资源和油气藏的高分辨率地质构造成像和对含油气储层的综合评价。

[0040] 其中,步骤(j)中所述的进行海洋地震数据处理,包括地震子波的整形、去除纷繁复杂的多次波、从低信噪比的数据中恢复出可靠的有效反射波、应用震源信号反褶积实现对地震记录的整形、提高有效反射波的信噪比、速度建模、地层划分、层析成像,高频恢复、鬼波去除、多次波消除、反褶积处理、各向异性时间域或深度域偏移成像、Q补偿或Q偏移。

[0041] 本发明的海底光纤四分量地震仪器系统及其数据采集方法,其光纤传感器具有灵敏度高、频带宽、高频响应好、具有平坦的频率特性响应、相位呈线性变化、技术参数一致性好、性能稳定可靠、无电无源、耐腐蚀、耐高温的优势,是地震检波器技术的发展方向。光纤检波器比常规的检波器具有更高的灵敏度、更好的高频响应特性,可实现多通道、大数据量、高速传输。而且由于前端没有电子元件,使其具有更高的可靠性,耐高温高压,无需供电,防水耐腐蚀,可长期布放,抗电磁干扰,通道串扰小。可以克服常规电子检波器和压电水听器灵敏度低、动态范围小、信号频带有限以及功耗较大的缺陷。

[0042] 本发明的海底光纤四分量地震仪器系统及其数据采集方法,适用于低成本的海底四分量地震勘探数据采集作业,可以克服目前工业界使用的用绳索或钢丝绳投放的海底节点地震仪器无法进行实时通讯和数据传输,也无法了解海底节点地震仪器在数据采集作业

时的工作状态和对采集的数据进行实时监控和评估的问题。本发明利用安装在铠装光电复合缆上的近距离无线数据传输功能模块,可以大大的降低海底节点地震仪器的制造成本,减小节点地震仪器的体积和重量,保证所有的四分量节点地震仪器在状态完好正常时采集海底四分量地震数据,保持海底节点仪器在海底连续工作更长的时间,消除海底节点地震仪器的授时和定位误差,保证在海底节点仪器不幸丢失的情况下不丢失采集到的海底四分量地震数据,解决了目前海底节点地震仪器所面临的种种问题,便于海洋地震勘探公司高效安全低成本的采集海底多分量地震数据,为海底矿产和油气资源的高效低成本勘探开发提供有力的技术支持,有着良好的推广应用前景。

附图说明

- [0043] 图1是本发明四分量节点地震仪器结构示意图;
- [0044] 图2是本发明的海底光纤四分量地震仪器系统海底布放示意图;
- [0045] 图3是本发明的海底光纤四分量地震仪器系统结构示意图;
- [0046] 图4是本发明海底光纤四分量地震仪器系统结构平面俯视图。

具体实施方式

[0047] 下面结合附图和实施例对本发明的海底光纤四分量地震仪器系统的数据采集方法做出详细的说明和描述。

[0048] 图1是本发明四分量节点地震仪器结构示意图,包括承压舱1,承压舱1内安装有三分量光纤检波器10、光纤声压水听器14、三分量姿态传感器13、水声应答器22、半导体光源16、内部光电转换模块17、调制解调模块18、前置放大与A/D转换模块11、数据存储模块12、原子钟19、内部近距离无线传输模块5、可充电电池模块20;内部无线充电模块21;

[0049] 承压舱为铝合金或高强度耐压复合材料制成,用于抵抗深海海底高压对舱内的传感器和附属的电子器件的损坏。铝合金承压舱设有阳极保护装置。

[0050] 三分量光纤检波器10按正交坐标系方式安装组合,并安置在承压舱1底部,用于测量所处位置的海底三分量地震数据。

[0051] 所述的三分量光纤检波器10为基于光纤MEMS加速度计的三分量光纤检波器,包括六个或十二个光纤MEMS加速度计按相互正交结构组成,每个分量方向各由一对或两对光纤MEMS加速度计并联叠加构成;或者为三分量光纤矢量传感器构成的三分量光纤检波器,三分量光纤矢量传感器包括三根几何尺寸完全一样的实心的弹性柱体成三轴正交结构组装在一起,一对光纤分别绕在一根弹性柱体的两端臂上,缠绕的光纤形成了迈克尔逊干涉仪的两光纤臂;质量块粘接在弹性柱体正交结合处,弹性柱体固定安装在密封的外壳内。

[0052] 三分量姿态传感器13提供三分量光纤检波器10和光纤声压水听器14所处位置的承压舱1的三分量姿态数据,用于对海底四分量地震数据进行方位旋转和姿态校正处理。

[0053] 所述的光纤声压水听器14选自调幅型光纤声压水听器、调相型光纤声压水听器、偏振型光纤声压水听器中的任一种。

[0054] 光纤声压水听器14安装在承压舱1侧面,光纤声压水听器14的声压传感头用高强度耐腐蚀声敏材料密封,接触海水可直接感应声压信号,用于测量其所处位置的海底压力波数据;承压舱的另一侧对称安装有数据下载和电池充电水密接口以及仪器工作状态指示

灯;承压舱1顶部安装水声应答器22,用于通过长基线或短基线或超短基线定位系统为其在海底进行定位。

[0055] 所述半导体光源16给三分量光纤检波器10和光纤声压水听器14提供激光信号,从三分量光纤检波器10反射回来的散射光信号由光电转换模块17转变为对应的电信号,基于FPGA的调制解调模块18将三分量光纤检波器10和光纤声压水听器14接收到后转换的电信号调制解调成四分量地震信号,前置放大与A/D转换模块11用于将三分量光纤检波器10、光纤声压水听器14和三分量姿态传感器13输出的信号转换为数字信号,通过所述数据存储模块12进行存储,原子钟19给所有采集的数据进行精确的授时。

[0056] 甲板电源系统通过铠装光电复合缆(3)和内部无线充电模块(21)对可充电电池模块(20)进行近距离无线供电与充电;所述的可充电电池模块(20)为四分量节点地震仪器内部的电路板和电子器件提供电源。

[0057] 如图2、图3和图4所示,海底光纤四分量地震仪系统包括多个四分量节点地震仪器、一根铠装光电复合缆3,四分量节点地震仪器的数量根据实际需要确定。四分量节点地震仪器的侧面固定有圆形缆环2,通过该圆形缆环2将四分量节点地震仪器以一定间距串接在铠装光电复合缆3上,间隔距离为数米至上百米之间,根据具体情况而定。每个四分量节点地震仪器处都配套设置有外部近距离无线传输模块6、外部光电转化模块7、外部无线充电模块8,上述模块通过功能模块套4固定在铠装光电复合缆3上。铠装光电复合缆3内部设有线缆9,所述的线缆9包括单模和多模光纤、同轴电缆和双绞供电线。铠装光电复合缆3与甲板上或控制仪器舱里的计算机连接。

[0058] 本发明的海底光纤四分量地震仪系统的数据采集方法,具体实施过程如下:

[0059] 首先在甲板上的传送带上把多个四分量节点地震仪器按照预先设计好的间距,通过四分量节点地震仪器上的圆形缆环2固定到铠装光电复合缆3上组成四分量节点地震仪器串,随后由甲板上的绞车将四分量节点地震仪器串按照施工设计的位置要求逐一投放到海底。

[0060] 甲板上或控制仪器舱里的计算机,沿铠装光电复合缆3通过近距离无线传输的方式对每个四分量节点地震仪器进行启动、仪器自检以及工作状态实时监测。

[0061] 同时将海洋地震勘探船上的GPS天线接收到的GPS信号,通过外部近距离无线传输模块6以无线通讯的方式对每个四分量节点地震仪器进行授时。

[0062] 四分量节点地震仪器由高强度铠装光电复合缆3依次布设到预定工区的海底后,启动安装在海洋地震数据采集作业船底部的长基线或短基线或超短基线定位系统的发射声源换能器,向作业工区海底发射定位声波信号,布设在海底的每个四分量节点地震仪器顶部的水声应答器22接收作业船底部发射声源换能器发出的信号,定位系统对每个四分量节点地震仪器进行实时定位;

[0063] 随后一条或数条海水气枪震源作业船按照预先设计好的震源线路和震源激发位置,依次激发气枪震源,四分量节点地震仪器开始采集海面气枪震源激发的海底四分量地震数据,四分量节点地震仪器内部的前置放大与A/D转换模块11将采集到的三分量光纤检波器10、光纤声压水听器14和三分量姿态传感器13的输出信号转换为数字信号并通过数据存储模块12进行存储,数据存储模块12里的数据通过四分量节点地震仪器内部安装的第二内部近距离无线传输模块5传输到铠装光电复合缆3上固定的外部近距离无线传输模块6

内,然后通过铠装光电复合缆3上的外部光电转化模块7转换成光信号,沿铠装光电复合缆3内的线缆9实时传输到计算机里。

[0064] 当海底光纤四分量地震仪器系统布设到海底后,甲板电源系统通过铠装光电复合缆3和圆形缆环2处的外部无线充电模块8对四分量节点地震仪器内的可充电电池模块20进行无线供电与充电。同时计算机,通过近距离无线传输方式对四分量节点地震仪器的工作状态进行实时监控。

[0065] 在超过1000米水深环境下作业时,海底光纤四分量地震仪器系统可通过深水ROV按照预先设计好的检波点位置依次逐一进行布放及实时定位,随后一条或数条海水气枪震源作业船按照预先设计好的震源线路和震源激发位置,依次激发气枪震源,四分量节点地震仪器开始采集海面气枪震源激发的海底四分量地震数据,四分量节点地震仪器内部的前置放大与A/D转换模块11将采集到的三分量光纤检波器10、光纤声压水听器14和三分量姿态传感器13的输出信号转换为数字信号并通过数据存储模块12进行存储。气枪震源激发完所有预先设计好的震源信号后,再次使用深水ROV逐一将海底光纤四分量地震仪器系统进行回收,四分量节点地震仪器回收到甲板上后,采集的海底四分量地震数据通过四分量节点地震仪器侧面的数据下载接口进行有线或无线下载,同时对四分量节点地震仪器内的可充电电池模块模块20进行有线或无线充电;

[0066] 本发明的海底光纤四分量地震仪器系统,其光纤传感器具有灵敏度高、频带宽、高频响应好、具有平坦的频率特性响应、相位呈线性变化、技术参数一致性好、性能稳定可靠、无电无源、耐腐蚀、耐高温的优势,是地震检波器技术的发展方向。光纤检波器比常规的检波器具有更高的灵敏度、更好的高频响应特性,可实现多通道、大数据量、高速传输。而且由于前端没有电子元件,使其具有更高的可靠性,耐高温高压,无需供电,防水耐腐蚀,可长期布放,抗电磁干扰,通道串扰小。可以克服常规电子检波器和压电水听器灵敏度低、动态范围小、信号频带有限以及功耗较大的缺陷。

[0067] 本发明的海底光纤四分量地震仪器系统,适用于低成本的海底四分量地震勘探数据采集作业,可以克服目前工业界使用的用绳索或钢丝绳投放的海底节点地震仪器无法进行实时通讯和数据传输,也无法了解海底节点地震仪器在数据采集作业时的工作状态和对采集的数据进行实时监控和评估的问题。本发明利用安装在铠装光电复合缆上的近距离无线数据传输功能模块,可以大大的降低海底节点地震仪器的制造成本,减小节点地震仪器的体积和重量,保证所有的四分量节点地震仪器在状态完好正常时采集海底四分量地震数据,保持海底节点仪器在海底连续工作更长的时间,消除海底节点地震仪器的授时和定位误差,保证在海底节点仪器不幸丢失的情况下不丢失采集到的海底四分量地震数据,解决了目前海底节点地震仪器所面临的种种问题,便于海洋地震勘探公司高效安全低成本的采集海底多分量地震数据,为海底矿产和油气资源的高效低成本勘探开发提供有力的技术支持,有着良好的推广应用前景。

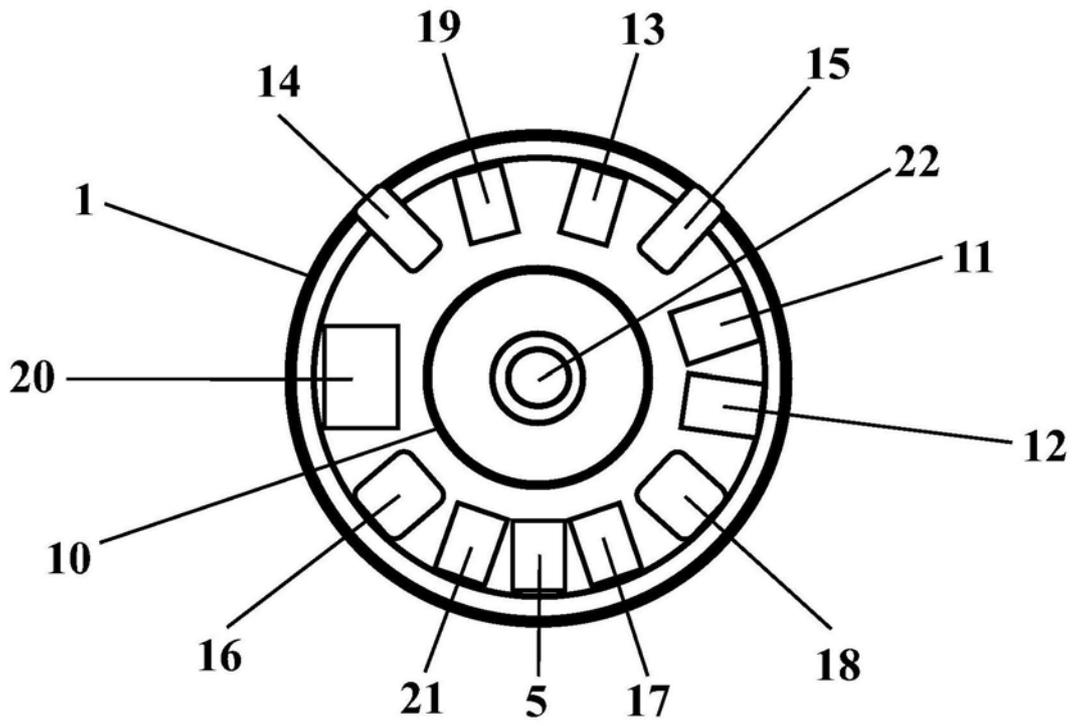


图1

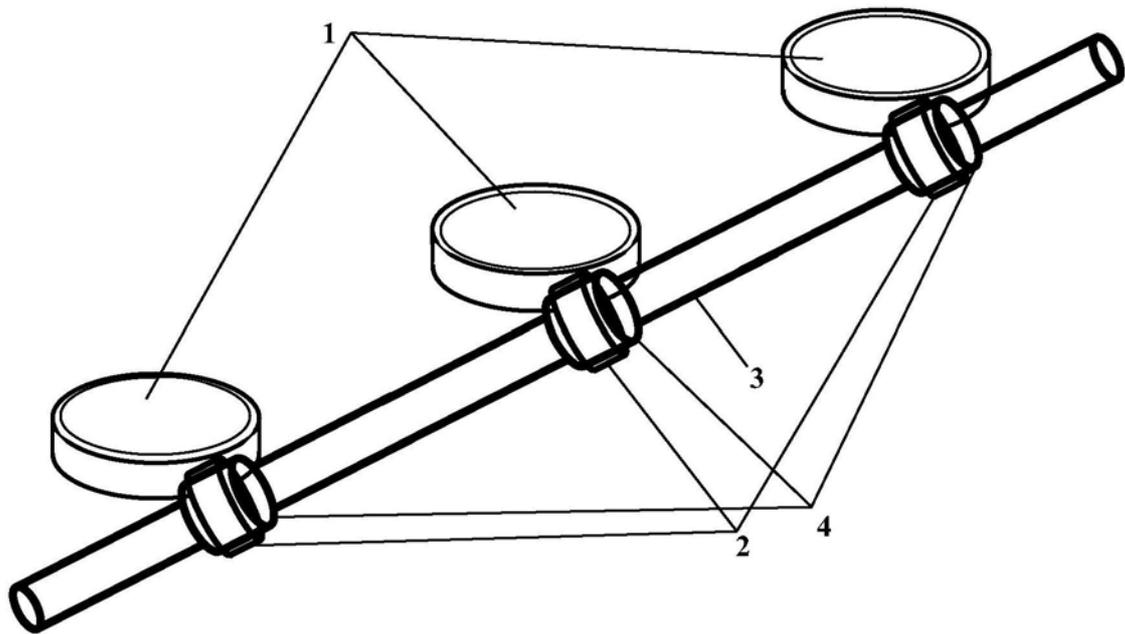


图2

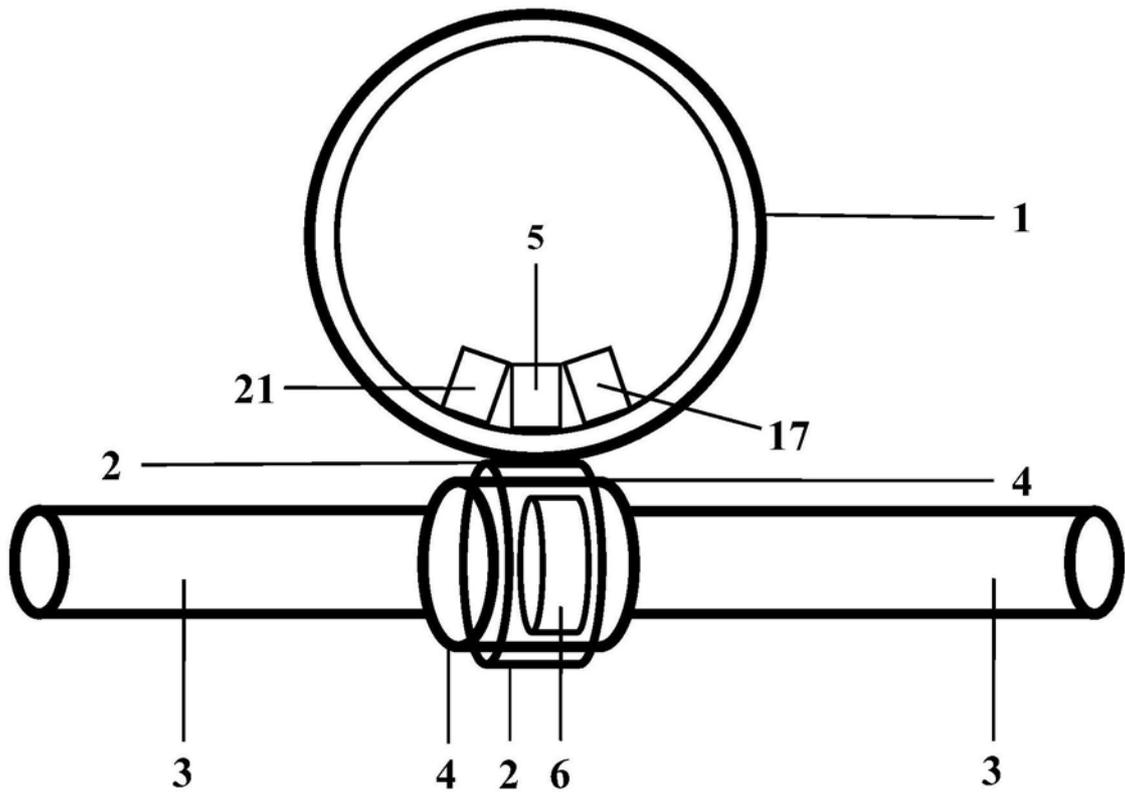


图3

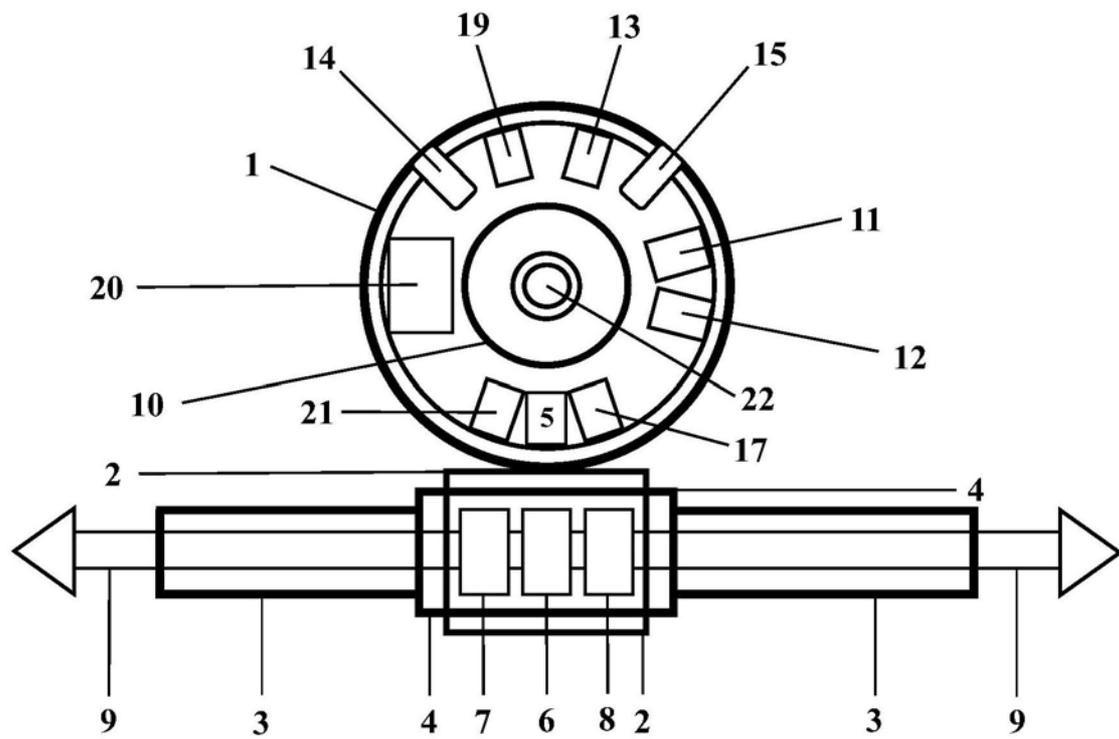


图4