(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108519626 A
(43)申请公布日 2018.09.11

(21)申请号 201810253955.6

(22)申请日 2018.03.26

(71)申请人 天津大学
地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72)发明人 李醒飞 陈宗玉 凌林本 董九志

(74)专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代理事务所 12201
代理人 刘子文

(51)Int.Cl.
G01V 7/12(2006.01)

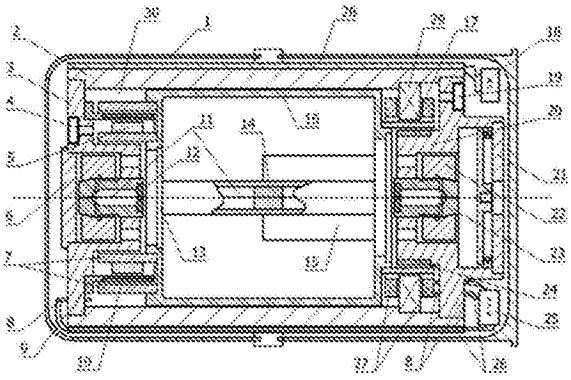
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种高精度便携式海洋重力仪

(57)摘要

本发明公开了一种高精度便携式海洋重力仪，包括外罩、壳体、左端盖、右端盖、密封盖、波纹管、悬丝、悬丝夹紧机构、温控系统、再平衡回路、浮子组件、短路匝角度传感器、永磁动铁式力矩器、浮液、加热片、引线、接线柱、进油口和出油口；浮子组件包括浮筒、支架、定位块、偏心质量块、磁钢、力矩器导磁环和短路环，其中定位块和支架相固定，并位于支架的中部，偏心质量块位于浮筒内壁，悬丝中部与定位块连接，两端由悬丝夹紧机构夹紧；永磁动铁式力矩器包括线圈骨架、力矩器线圈、磁钢和力矩器导磁环，短路匝角度传感器包括定子铁芯、传感器线圈、传感器导磁环和短路环。该重力仪具有液体温度补偿、灵敏度高、结构紧凑、体积小、成本低等优点。



CN 108519626 A

1.一种高精度便携式海洋重力仪，其特征在于，包括外罩(1)、壳体(2)、左端盖(3)、右端盖(20)、密封盖(6)、波纹管(21)、悬丝(11)、悬丝夹紧机构、温控系统、再平衡回路(25)、浮子组件、短路匝角度传感器、永磁动铁式力矩器、浮液(30)、加热片(31)、引线(26)、接线柱(8)、进油口(4)和出油口(19)；

所述浮子组件作为敏感元件浸没在浮液(30)内，浮子组件包括浮筒(16)、支架(13)、定位块(14)、偏心质量块(15)、磁钢(5)、力矩器导磁环(7)和短路环(17)，其中定位块(14)和支架(13)相固定，并位于支架(13)的中部，所述磁钢(5)、力矩器导磁环(7)、短路环(17)及支架(13)均采用胶接的方式与浮筒(16)相连，偏心质量块(15)位于浮筒(16)内壁并与浮筒(16)固定，所述悬丝(11)中部与定位块(14)连接，两端由所述悬丝夹紧机构夹紧，悬丝夹紧机构由定位片(12)、锁紧螺母(22)和悬丝夹(23)组成，所述悬丝夹(23)和左端盖(3)、右端盖(20)相连，所述锁紧螺母(22)与悬丝夹(23)螺纹连接，通过旋转锁紧螺母(22)可起到夹紧悬丝(11)的作用，定位片(12)起到限位功能，所述密封盖(6)与左端盖(3)相连用于密封；

所述永磁动铁式力矩器包括线圈骨架(9)、力矩器线圈(10)、磁钢(5)和力矩器导磁环(7)，其中力矩器线圈(10)、线圈骨架(9)与所述左端盖(3)固定连接，作为永磁动铁式力矩器的定子部分，所述力矩器导磁环(7)和磁钢(5)作为永磁动铁式力矩器的转子部分；

所述短路匝角度传感器包括定子铁芯(29)、传感器线圈(27)、传感器导磁环(24)和短路环(17)，其中定子铁芯(29)和传感器线圈(27)与所述壳体(2)相固定，作为短路匝角度传感器的定子部分，短路环(17)作为短路匝角度传感器的转子部分。

2.根据权利要求1所述一种高精度便携式海洋重力仪，其特征在于，所述壳体(2)外圆柱表面连有所述温控系统起到保温作用，所述温控系统包括温控回路(18)和加热装置(28)。

3.根据权利要求1所述一种高精度便携式海洋重力仪，其特征在于，所述波纹管(21)位于重力仪的最右端，用于补偿液体体积的变化。

4.根据权利要求1所述一种高精度便携式海洋重力仪，其特征在于，短路匝角度传感器和永磁动铁式力矩器的引线(26)采用接线柱(8)引出并与再平衡回路(25)相连接，实现负反馈。

5.根据权利要求1所述一种高精度便携式海洋重力仪，其特征在于，所述进油口(4)和出油口(19)用于充浮液(30)；进油口(4)和出油口(19)通过密封钉进行密封。

一种高精度便携式海洋重力仪

技术领域

[0001] 本发明属于重力辅助导航领域，具体涉及到一种高精度便携式海洋重力仪。

背景技术

[0002] 目前潜艇的水下导航主要是利用惯性导航系统，但是惯性导航系统的定位误差具有随时间积累的特点，极大的影响了潜艇的定位精度，所以必须通过辅助导航手段对其进行重调和校正。利用GPS等无线电辅助导航和天文导航存在降低潜艇隐蔽性的问题，不利于潜艇的安全。重力辅助导航是一种基于重力场的辅助水下无源导航系统，通过测量外部重力场信息对惯性系统进行组合导航，可限制误差随时间积累的特性，提高系统的定位精度，延长系统的重调周期。海洋重力仪是重力辅助导航系统的关键设备，用于海洋重力场的测量，其构造原理和结构设计以及加工装配的难易程度，直接决定了重力仪的灵敏度、测量系统的复杂程度以及制造周期长短等。

[0003] 海洋重力仪属于相对重力仪，其原理都是利用弹性力来平衡重力，从构造原理可分为直线型和助动型重力仪。目前代表国内最高水平的海洋重力仪CHZ、CHZ-2型轴对称海洋重力仪，采用的是直线型构造原理，由检测质量、拉丝绷簧系统和主弹簧三部分组成。检测质量的顶部为电容测微器的动极板，底端为瓶盖状的非金属线圈骨架，在骨架上绕有比例积分、积分反馈和温度补偿三组线圈。主弹簧采用的是零长弹簧，处于垂直悬挂状态，拉丝及绷簧的拉力与位置分布均对称于垂直轴，用于限制除竖直方向平动以外的其余自由度的运动，以抑制水平交叉耦合效应。令m为检测质量，g为重力加速度，δ为弹簧伸长量，K为弹簧的刚度，测量原理如下：

[0004] $mg=K\delta$

[0005] 对其变为对数式，进行微分可得：

[0006] $$\frac{d\delta}{dg}=\frac{\delta}{g}$$

[0007] 由此可知，直线型重力仪的灵敏度和伸长量成正比，如果测量重力变化的精度为0.1毫伽时，则$\frac{dg}{g}=\frac{d\delta}{\delta}$约等于$1\times10^{-7}$，因此需要测量弹簧0.01至0.02微米的变化，需采用高精度的放大量测系统才能满足。

[0008] 目前我国的海洋重力测量主要依赖于国外进口的海洋重力测量设备，我国的海洋重力仪则由于资金的缺乏和国外成熟产品的冲击，仅停留在试验样机阶段而没有实现量产化。其主要原因是由于零长弹簧在制作的过程中要求在全长度范围内的力学参数和材料参数一致性要好，在长时间工作过程中参数稳定性极高，因此具有制作工艺复杂、成本高、成品率低、周期长等问题。而且金属零长弹簧在制造的过程中会产生剩磁，导致弹簧金属圈与金属圈之间会有磁力作用的存在，在重力测量过程中将会产生不可预测的误差。另外采用直线型的构造原理，体积较大，并且需要精密电容测微器，因此使得重力仪的电子控制系统更加复杂，成本更高。

发明内容

[0009] 本发明的目的是为了克服现有技术中的不足，提供一种具有液体温度补偿、灵敏度高、结构紧凑、体积小、成本低、制造周期短且易于实现产品化的高精度便携式海洋重力仪。

[0010] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的：

[0011] 一种高精度便携式海洋重力仪，包括外罩、壳体、左端盖、右端盖、密封盖、波纹管、悬丝、悬丝夹紧机构、温控系统、再平衡回路、浮子组件、短路匝角度传感器、永磁动铁式力矩器、浮液、加热片、引线、接线柱、进油口和出油口；

[0012] 所述浮子组件作为敏感元件浸没在浮液内，浮子组件包括浮筒、支架、定位块、偏心质量块、磁钢、力矩器导磁环和短路环，其中定位块和支架相固定，并位于支架的中部，所述磁钢、力矩器导磁环、短路环及支架均采用胶接的方式与浮筒相连，偏心质量块位于浮筒内壁并与浮筒固定，所述悬丝中部与定位块连接，两端由所述悬丝夹紧机构夹紧，悬丝夹紧机构由定位片、锁紧螺母和悬丝夹组成，所述悬丝夹和左端盖、右端盖相连，所述锁紧螺母与悬丝夹螺纹连接，通过旋转锁紧螺母可起到夹紧悬丝的作用，定位片起到限位功能，所述密封盖与左端盖相连用于密封；

[0013] 所述永磁动铁式力矩器包括线圈骨架、力矩器线圈、磁钢和力矩器导磁环，其中力矩器线圈、线圈骨架与所述左端盖固定连接，作为永磁动铁式力矩器的定子部分，所述力矩器导磁环和磁钢作为永磁动铁式力矩器的转子部分；所述短路匝角度传感器包括定子铁芯、传感器线圈、传感器导磁环和短路环，其中定子铁芯和传感器线圈与所述壳体相固定，作为短路匝角度传感器的定子部分，短路环作为短路匝角度传感器的转子部分；

[0014] 进一步的，所述壳体外圆柱表面连有所述温控系统起到保温作用，所述温控系统包括温控回路和加热装置。

[0015] 进一步的，所述波纹管位于重力仪的最右端，用于补偿液体体积的变化。

[0016] 进一步的，短路匝角度传感器和永磁动铁式力矩器的引线采用接线柱引出并与再平衡回路相连接，实现负反馈。

[0017] 进一步的，所述进油口和出油口用于充浮液；进油口和出油口通过密封钉进行密封。

[0018] 由于浮筒内置有偏心质量块，使浮子组件的重心集中的外端，悬丝自然状态下，重心处于垂直状态，扭转悬丝(一般扭转3-4圈)，使重心处于水平状态，这时弹性力矩与重力矩相平衡。当有重力变化时，浮子组件(重心)将绕悬丝顺时针或逆时针旋转，旋转角度的大小由浮子组件一端的短路匝传感器检测到，并输出成比例的电压信号，经过再平衡回路的放大，滤波，校正等处理，提供给另一端永磁动铁式力矩器一个适合的力矩电流，从而产生反馈力矩，使得浮子组件再重新回到平衡位置，实现零位读数。通过对加矩电流信号进行检测，即可得到重力变化量的大小，其输出电压的正负，即可知道重力变化值的正负。整个重力敏感器内充浮液，为系统提供了强阻尼和液体补偿。

[0019] 与现有技术相比，本发明的技术方案所带来的有益效果是：

[0020] (1)本发明构造原理采用助动型重力仪，灵敏度具有一个很大的助动系数(几十到几百)，因此具有很高的灵敏度，避免了使用复杂高精度量测系统，在精度要求相同的情况

下更易于实现。

[0021] (2)本发明采用有扭丝结构，避免了零长弹簧复杂的制造工艺，从而缩短了制造周期，降低了成本。角度传感器采用的短路匝传感器，力矩反馈元件采用的动铁式力矩器均为成熟产品，因此更易于实现产品化。

[0022] (3)本发明采用负反馈机制，实现零位读数法，避免了仪器倾斜所造成的测量误差等问题，同时不受交叉耦合效应的影响，大大提高了仪器的测量精度和避免了复杂的拉丝绷簧装置。

[0023] (4)整个浮子组件浸在某种浮液之中，不但可以为系统提供强阻尼，使其能在海况恶劣的情况下正常工作，而且一定温度范围内可以补偿灵敏系统由于温度变化所产生误差问题，使系统大大的简化。

[0024] (5)结构设计方面，短路匝角度传感器、永磁动铁式力矩器的线圈均固定于外壳体上，不存在导电游丝带来的弹性干扰力矩，使得测量精度大大提高。并且结构设计紧凑、体积小、充油量少、重量轻、成本低、易于携带。

[0025] (6)由于整个浮子组件(敏感元件)完全浸没在浮液里，因此不受大气压变化的影响，而且由于浮液具有良好的导电性，所以静电干扰也可以消除，因此具有结构简单，误差因素少，测量精度高的优点。

附图说明

[0026] 图1为本发明的整体结构示意图。

[0027] 图2为本发明的质心浮心位置示意图。

具体实施方式

[0028] 下面结合附图对本发明作进一步的描述。

[0029] 如图1所示，一种高精度便携式海洋重力仪，包括外罩1、壳体2、左端盖3、右端盖20、密封盖6、波纹管21、悬丝11、悬丝夹紧机构、温控系统、再平衡回路25、浮子组件、短路匝角度传感器、永磁动铁式力矩器、浮液30、加热片31、引线26、接线柱8、进油口4和出油口19；

[0030] 浮子组件作为敏感元件整体浸没在浮液30内，浮子组件包括浮筒16、支架13、定位块14、偏心质量块15、磁钢5、力矩器导磁环7和短路环17，其中定位块14和支架13相固定，并位于支架13的中部，磁钢5、力矩器导磁环7、短路环17及支架13均采用胶接的方式与浮筒16相连，偏心质量块15位于浮筒16内壁并与浮筒16固定，悬丝11中部与定位块14连接，两端由悬丝夹紧机构夹紧，悬丝夹紧机构由定位片12、锁紧螺母22和悬丝夹23组成，悬丝夹23和左端盖3、右端盖20相连，锁紧螺母22与悬丝夹23螺纹连接，通过旋转锁紧螺母22可起到夹紧悬丝11的作用，定位片12起到限位功能，密封盖6与左端盖3相连用于密封；

[0031] 永磁动铁式力矩器包括线圈骨架9、力矩器线圈10、磁钢5和力矩器导磁环7，其中力矩器线圈10、线圈骨架9与所述左端盖3固定连接，作为永磁动铁式力矩器的定子部分，力矩器导磁环7和磁钢5与浮筒16相连作为永磁动铁式力矩器的转子部分；

[0032] 短路匝角度传感器包括定子铁芯29、传感器线圈27、传感器导磁环24和短路环17，其中定子铁芯29和传感器线圈27与所述壳体2相固定，作为短路匝角度传感器的定子部分，短路环17与浮筒16相连作为短路匝角度传感器的转子部分；

[0033] 壳体2外圆柱表面连有温控系统的加热装置28和温控电路18，起到保温作用。波纹管21位于重力仪结构的最右端，用来进行补偿液体体积的变化。进油口4和出油口19用来充浮液30，为使整体处于密封状态，通过密封钉进行密封，外面还要进行涂胶封死。短路匝角度传感器和永磁动铁式力矩器的引线26采用接线柱8来引出与再平衡回路25相连接，实现负反馈。重力仪外部通过外罩1进行封装。

[0034] 如图2可知，在没有偏心质量块15存在的情况下，浮子组件的质心位于33，通过扭转悬丝11，使其产生的扭力矩与浮子组件的重力矩相平衡，质心则位于32，31为浮子组件的浮心和悬丝中心位置，此时浮子组件处于一种不稳定的平衡状态，当有重力变化时，重力矩发生变化，浮子组件将绕悬丝中心31进行旋转。重力变小时，浮子组件顺时针旋转，重力变大时，则逆时针旋转，旋转的角度的大小通过右端的短路匝传感器检测到，并输出成比例的电压信号，电压信号经过再平衡回路25的放大、滤波、矫正等处理以后，提供给永磁动铁式力矩器一个适当的电流信号，使其产生的反馈力矩，可以将浮子组件重新回到初始平衡位置，通过测量流经永磁动铁式力矩器的电流值即可得到重力的变化大小，输出值的正负即为重力变化的增加和减小，从而完成重力测量的目的。

[0035] 助动型海洋重力仪的悬丝11要预先扭转一个相当大的角度，这样便使得敏感元件具有助动的特性，因而大大的提高了它的灵敏度，悬丝11的预扭角度与悬丝11的长短、粗细和浮子组件的摆性大小相关，这些尺寸均由仪器所需的灵敏度来确定。令m为浮子组件的质量；L为浮子组件重心32与浮心31之间的距离；θ为悬丝11的预扭角；α为重力变化时悬丝11扭转的角度；τ为悬丝11的扭力常数；g为重力加速度，则悬丝11扭矩与重力矩之间的平衡方程可表示：

[0036] $mgL\cos\alpha-\tau(\theta-\alpha)=0$

[0037] 对上式进行微分可得：

[0038] $$\frac{\partial\alpha}{\partial g}=\frac{mL\cos\alpha}{mg\sin\alpha-\tau}$$

[0039] $$\partial\alpha=\frac{mgL\cos\alpha}{mg\sin\alpha-\tau}\cdot\frac{\partial g}{g}$$

[0040] 全助动的条件是：

[0041] $\tau=mgL\sin\alpha$

[0042] 悬丝的扭力常数τ可以根据悬丝的材料的刚性模量G、半径r和总长l得到，即为：

[0043] $$\tau=\frac{\pi r^4 G}{2l}$$

[0044] 在仪器的设计时，悬丝11采用的材料和尺寸相配合，使得τ尽量的接近$mgL\sin\alpha$，这样右边的系数$\frac{mgL\cos\alpha}{mg\sin\alpha-\tau}$便可达到一个很大的值，则重力微小的变化即可获得较大的转角。

[0045] 重力仪的浮子组件即敏感元件全部浸在浮液30之中，浮液30作用有两点，其一应用于海洋重力测量，仪器安放在船上进行工作时，所受到的扰动加速度很大，远远超过了重力值的变化范围，浮液30可以为其提供阻尼，使水平摆迅速稳定，可以大大减小观测时间，同时运输过程中可以减小震荡，从而避免敏感元件受到损伤。敏感元件受到外界扰动加速

度时振幅大小的缩小倍数约等于它本身的静止半周期(即从偏出位置回复到平衡位置所需的时间)与加速度周期的比例,合理选择浮液30的粘度值,可以将外界的扰动加速度的影响减到极小,而对与重力加速度本身影响很小,从而获得高精度的测量值。

[0046] 其二则为浮子组件提供自动温度补偿,温度的变化将改变悬丝11的扭力,因而直接影响浮子组件重心32的平衡位置(水平位置),而且悬丝11的长度和重心32位置的变化都将随着温度的变化而变化,这种变化同样会改变浮子组件的平衡位置。浮液30的存在使得其对浮子组件产生一个浮力,浮液30的密度随温度的增高而减小,浮力也随之减小,由于热胀冷缩的原理,悬丝11的扭矩则随着温度的增加而增加,通过所选浮液30的温度膨胀系数和灵敏系统中悬丝11的扭力温度系数相配合,温度改变之时,液体浮力的变化等于敏感元件所有变化的总和,从而得到补偿。通过对上述问题的考虑与分析,合理选择浮液30的粘度、密度和体膨胀系数来确定浮子组件的重心位置及质量大小,可以使得灵敏系统达到很高的测量精度。

[0047] 本发明并不限于上文描述的实施方式。以上对具体实施方式的描述旨在描述和说明本发明的技术方案,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,并不是限制性的。在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,本领域的普通技术人员在本发明的启示下还可做出很多形式的具体变换,这些均属于本发明的保护范围之内。

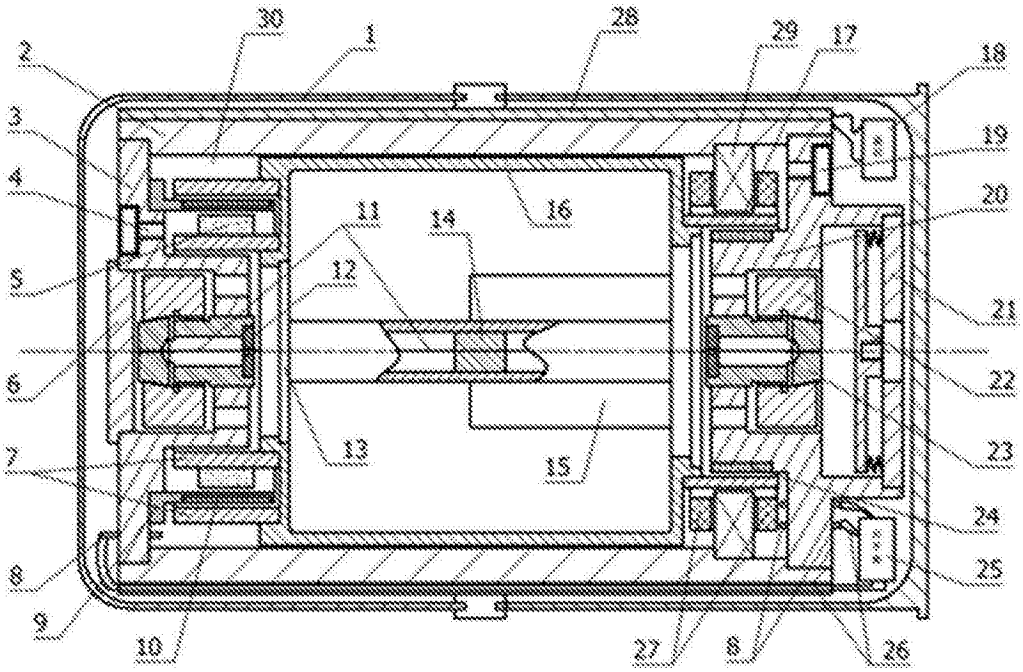

30
1
28
29
17
18
2
3
19
4
16
11
14
20
12
5
21
6
22
13
15
23
7
24
8
25
9
10
27
8
26

图1

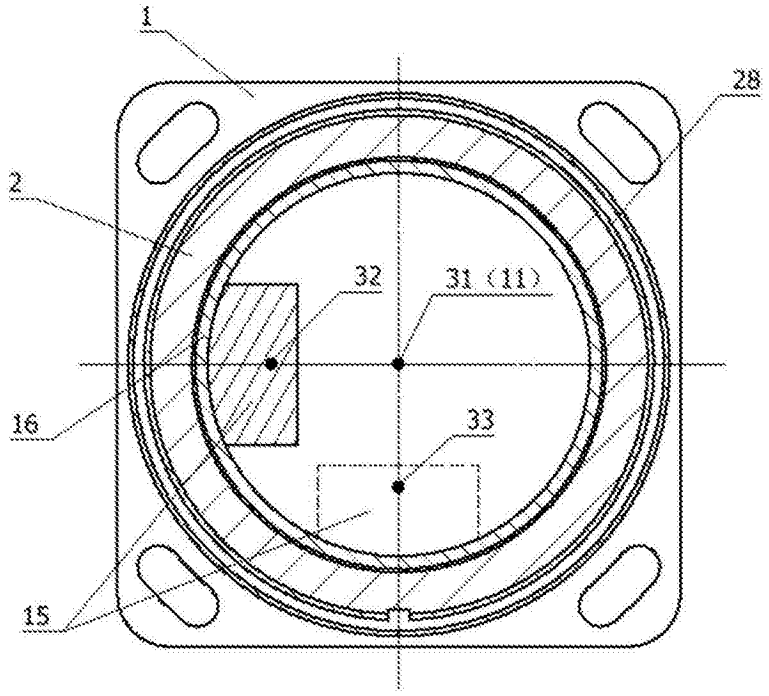

1
28
2
32
31（11）
16
33
15

图2