



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110187400 B

(45) 授权公告日 2020.11.10

(21) 申请号 201910627745.3

审查员 丁虎

(22) 申请日 2019.07.12

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110187400 A

(43) 申请公布日 2019.08.30

(73) 专利权人 中国人民解放军国防科技大学

地址 410073 湖南省长沙市开福区德雅路  
109号

(72) 发明人 曹聚亮 王明皓 于瑞航 蔡绍琨

吴美平 杨阳 刘伟

(74) 专利代理机构 国防科技大学专利服务中心

43202

代理人 王文惠

(51) Int. Cl.

G01V 7/00 (2006.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

基于航向跟踪的海空重力扰动水平分量测量误差调制方法

(57) 摘要

本发明属于重力测量领域,公开了基于航向跟踪的海空重力扰动水平分量测量误差调制方法。方法通过对捷联式重力仪添加一个具有360°任一航向角跟踪保持功能的航向轴旋转机构,来消除由载体运动方向变化导致的测量误差以提高重力扰动水平分量的测量精度。在载体从静止或系泊向测区运动时,旋转机构锁死,重力仪跟随载体相对于导航系进行运动以增强系统的可观性。在载体抵达测区后,旋转机构跟踪某一航向角直到测量任务结束,最后通过重力基准点信息校正重力扰动水平分量测量误差的线性漂移。本发明在尽可能低的增加系统结构复杂度的前提下,解除了载体运动方向对于重力扰动水平分量测量的影响,对提高海空重力扰动水平分量的测量精度具有较大意义。



1. 基于航向跟踪的海空重力扰动水平分量测量误差调制方法, 其特征在于: 通过对捷联式重力仪添加一个具有 $360^{\circ}$ 任一航向角的跟踪保持功能的航向轴跟踪旋转机构, 来消除由载体运动方向变化导致的测量误差以提高重力扰动水平分量的测量精度, 具体包括以下步骤

步骤一, 在测量开始前, 载体处于静止或系泊状态, 航向轴跟踪旋转机构处于锁死状态, 捷联式重力仪进行初始对准;

步骤二, 测量开始后载体进入待测区域前, 航向轴跟踪旋转机构保持于锁死状态, 重力仪跟随载体进行运动以增强系统的可观性;

步骤三, 进入待测区域开始测量作业后, 航向轴跟踪旋转机构开始工作, 其跟踪某一固定角度, 即载体进入第一条测线时的航向角, 使得重力仪的航向角在进行测线测量过程中保持不变;

步骤四, 测线测量结束后, 航向轴跟踪旋转机构继续工作, 直到载体回到静态或者系泊状态;

步骤五, 由于通过航向跟踪消除了方向性误差, 进而进一步利用静态或者系泊处的重力基准点信息校正重力扰动水平分量测量误差的线性漂移。

## 基于航向跟踪的海空重力扰动水平分量测量误差调制方法

### 技术领域：

[0001] 本发明属于重力测量领域，涉及一种重力扰动水平分量测量误差调制方法，特别涉及了基于航向跟踪的海空重力扰动水平分量测量误差调制方法。

### 背景技术：

[0002] 地球重力场的信息在大地测量、资源勘探、空间科学以及军事科技等领域具有非常重要的作用。尽管地球质量的不规则分布导致了地球重力场是一个复杂的保守力场，但总体上来说，地球形状还是较为规则。因此可将地球建模为一个标准椭球体，称为正常地球，同它相应的地球重力场称为正常重力场。进而，实际重力场与真实重力场的差异称为重力扰动。重力扰动是一个空间矢量，从当前重力测量技术的发展来看，通过飞行或者船舶搭载捷联式或者平台式重力仪可以实现重力扰动的水平分量高精度测量。相对于重力扰动垂向分量来说，重力扰动水平分量受限制于惯性器件的精度，其测量精度不能满足实际应用如重力辅助/匹配导航、大地测量以及资源勘探的要求。因此，在现有惯性器件精度条件下，提升重力扰动水平分量的测量精度就是一个非常具有实际价值的问题。

[0003] 航空或者海洋重力仪都是在惯性导航系统基础上发展出来的，在惯性导航领域中旋转调制式惯导设备是提高导航定位精度的有效手段。旋转调制惯性导航设备通过将单轴或者双轴旋转调制装置与捷联惯导系统融合，以有效提高导航的定位精度。而对于重力扰动矢量测量来说，目前并没有专门用于重力扰动矢量测量的旋转调制方案，即并没有针对重力信号误差特性而设计的旋转调制式重力仪。对比文件1(战德军,戴东凯,张忠华,王省书,黄宗升,基于单轴旋转INS/GPS组合导航中重力垂线偏差引起的姿态误差分析[J].中国惯性技术学报,2014,22(3):301-305.)首先分析了重力扰动水平分量对于旋转调制惯导设备的影响,指出了重力扰动水平分量严重影响了旋转调制导航设备的精度,但是并没有说明重力扰动水平分量影响导航精度与重力扰动水平分量测量是一对对偶的问题。对比文件2(戴东凯,王省书,战德军,吴伟,黄宗升,基于单轴旋转INS/GPS组合姿态误差观测的垂线偏差测量方法[J].中国惯性技术学报,2015,23(2):172-178.)将一套应用于航海惯性导航的旋转调制惯导系统应用于重力扰动水平分量测量。该方法的调制方案是旋转调制惯性导航设备中所较为常见的四位置调制方案,并没有根据重力信号的特点来选定调制方案,仅将常见的旋转调制惯导设备用于重力测量,并没有研究重力扰动水平分量测量所特需的旋转调制方法。正如前文所述,重力扰动水平测量以及重力扰动水平分量对于旋转调制惯导的影响是对偶问题,重力扰动水平分量在这两个问题中分别是误差源以及信号。所以,旋转调制用于重力扰动水平分量测量需要专门的调制方案。在重力扰动水平分量测量的实际试验中发现,载体的运动方向变化导致重力扰动水平分量测量中出现与方向有关的误差。那么,通过跟踪某特定的航向就可以在载体运动方向改变时,使重力仪在导航系的航向近似保持不变,以消除由载体运动方向变化导致的误差。因此,实现一种基于航向跟踪的海空重力扰动水平分量测量误差调制方法具有很高的实际应用价值以及研究意义。

**发明内容:**

[0004] 本发明针对海空重力仪测量重力扰动水平分量受到运动方向影响进而产生误差的问题,提出了一种基于航向跟踪的海空重力扰动水平分量测量误差调制方法,消除由载体运动方向导致的误差,提高重力扰动水平分量测量的精度。

[0005] 主要的技术方案如下:

[0006] 基于航向跟踪的海空重力扰动水平分量测量误差调制方法,通过对捷联式重力仪添加一个具有 $360^{\circ}$ 任一航向角的跟踪保持功能的航向轴跟踪旋转机构,来消除由载体运动方向变化导致的测量误差以提高重力扰动水平分量的测量精度,具体包括以下步骤:

[0007] 步骤一,在测量开始前,载体处于静止或系泊状态,航向轴跟踪旋转机构处于锁死状态,捷联式重力仪进行初始对准;

[0008] 步骤二,测量开始后载体进入待测区域前,航向轴跟踪旋转机构保持于锁死状态,重力仪跟随载体相对于导航系进行运动以增强系统的可观性;

[0009] 步骤三,进入待测区域开始测量作业后,航向轴跟踪旋转机构开始工作,其跟踪某一固定角度(比如正北即 $0^{\circ}$ 或正东 $90^{\circ}$ ),使得重力仪的航向角在进行测线测量过程中保持不变;

[0010] 步骤四,测线测量结束后,航向轴跟踪旋转机构继续工作,直到载体回到静态或者系泊状态;

[0011] 步骤五,由于通过航向跟踪消除了方向性误差,进而进一步利用静态或者系泊处的重力基准点信息校正重力扰动水平分量测量误差的线性漂移。

[0012] 在本发明中,通过以上五个步骤,便可以实现基于航向跟踪调制方案的海空重力扰动水平分量测量误差调制方法。

[0013] 本发明具有以下优点:

[0014] 1. 基于航向跟踪的调制方案,在尽可能低的增加系统结构复杂度的前提下,解除了载体运动方向对于重力扰动水平分量测量的影响,提高了海空重力扰动水平分量的测量精度。

[0015] 2. 通过系统层面的优化,不改变重力测量数据处理的流程。

**附图说明:**

[0016] 图1为仿真实验中载体的飞行轨迹;

[0017] 图2为仿真中重力扰动三分量的变化;

[0018] 图3为仿真实验中两种情况下的航向角变化;

[0019] 图4为仿真实验中两种情况下重力扰动水平分量测量结果;

[0020] 图5为方法的流程图。

**具体实施方式:**

[0021] 下面结合附图和仿真实验对本发明中的方法做进一步详细阐述.仿真实验的轨迹如图1,速度为 $60\text{m/s}$ ,包含三条测线与两次转弯机动,在进入测线以前,载体进行一个8字机动来提升重力仪的可观性,仿真实验中误差的参数设置情况如表1所示.仿真实验分为两种情况,第一种为经典的捷联式重力测量模式,第二种为添加航向跟踪装置后的新型测量模

式,通过对比来体现基于航向跟踪的重力扰动水平分量测量误差调制方法的优越性。仿真中重力扰动三分量的变化如图2所示。

[0022] 表1

	加速度计误差	噪声(mGal)	零偏 (mGal)	比例因子误差 (ppm)
[0023]	X 轴	10	100	10
	Y 轴	10	100	10
	Z 轴	10	100	10
	陀螺	噪声( $^{\circ}/h^{1/2}$ )	零偏( $^{\circ}/h$ )	
[0024]	X 轴	0.003	0.004	
	Y 轴	0.003	0.004	
	Z 轴	0.003	0.004	

[0025] ( $mGal = 10^{-5}m/s^2$ ,  $ppm = 10^{-6}$ )

[0026] 步骤一,在测量开始前,载体处于静止或系泊状态,航向轴跟踪旋转机构处于锁死状态,捷联式重力仪进行初始对准。

[0027] 采用基于位置速度观测的方法对重力仪的初始姿态进行对准,得到精确的初始信息。

[0028] 步骤二,测量开始后载体进入待测区域前,航向轴跟踪旋转机构保持于锁死状态,重力仪跟随载体相对于导航系进行运动以增强系统的可观性。

[0029] 图3给出了仿真实验中两种不同情况下步骤二、三、四中的航向角变化情况。如步骤二所述,在8字机动阶段两种情况的航向角变化一致。

[0030] 步骤三,进入待测区域开始测量作业后,航向轴跟踪旋转机构开始工作,其跟踪某一固定角度(比如正北即 $0^{\circ}$ 或正东 $90^{\circ}$ ),使得重力仪的航向角在进行测线测量过程中保持不变。

[0031] 在进入测线阶段以后,在第二种仿真情况中航向跟踪装置开始工作,跟踪正东方向(航向角 $90^{\circ}$ )。载体经过第一次转弯机动之后,两种情况下航向角出现差异。载体经过第二次转弯机动之后,两种情况下航向角再次重合。

[0032] 步骤四,测线测量结束后,航向轴跟踪旋转机构继续工作,直到载体回到静态或者系泊状态;

[0033] 在仿真实验中载体于终点完成测量,两种情况的航向角一致。

[0034] 步骤五,由于通过航向跟踪消除了方向性误差,进而进一步利用静态或者系泊处的重力基准点信息校正重力扰动水平分量测量误差的线性漂移。

[0035] 方法的流程图如图5所示。由于仿真实验中重力扰动的真值已知,进而将其作为基点信息来对重力测量结果进行校正。两种情况仿真实验的结果如图4所示,误差统计情况如表2。首先,在纯捷联式情况中飞机转弯机动后误差明显增大,而航向跟踪减小了飞行方向对于测量的影响。其次,纯捷联条件下的三条测线误差的标准差也大于航向跟踪模式下的3条测线差的标准差。可以得出结论,航向跟踪的测量模式确实改善了重力测量的性能,特别是减小了载体运动方向变化造成的测量误差。

[0036] 表2

	纯捷联情况	航向跟踪情况
[0037]	北向分量误差标准差	3.45mGal
	东向分量误差标准差	4.59mGal
		2.48mGal
		1.77mGal

[0038] 以上仅是本发明的优选实施方式,本发明的保护范围并不仅局限于上述实施例,凡属于本发明思路下的技术方案均属于本发明的保护范围。应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理前提下的若干改进和润饰,应视为本发明的保护范围。

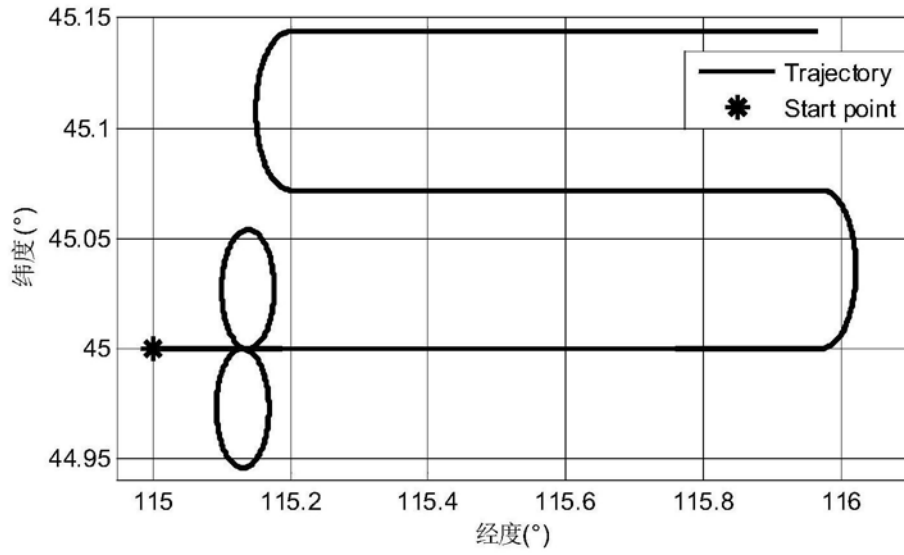


图1

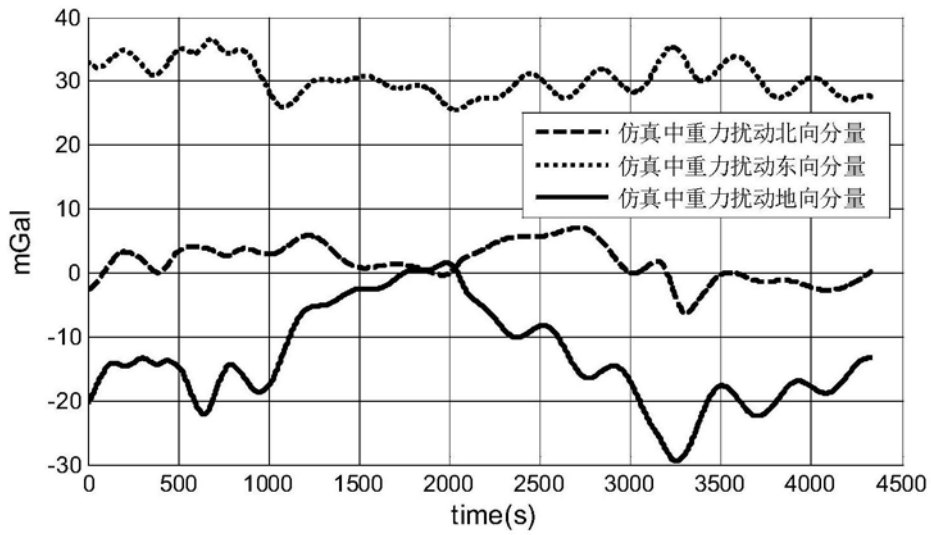


图2

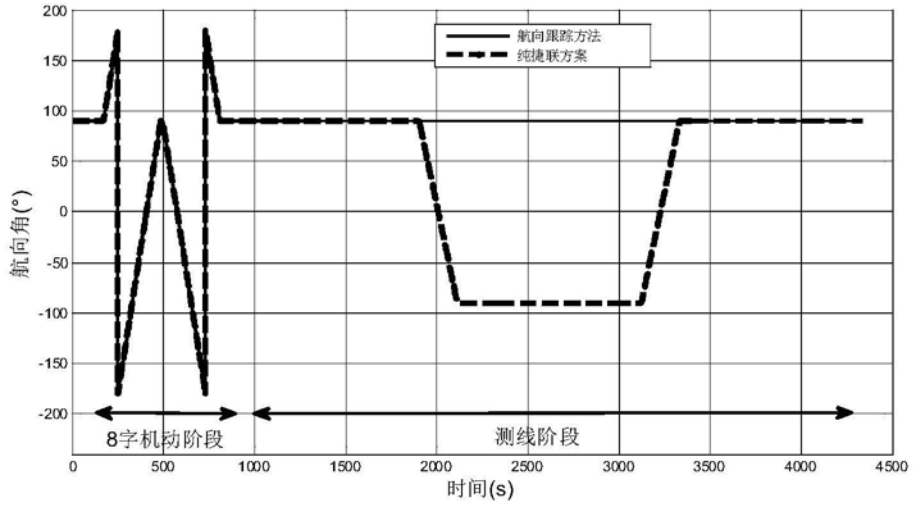


图3

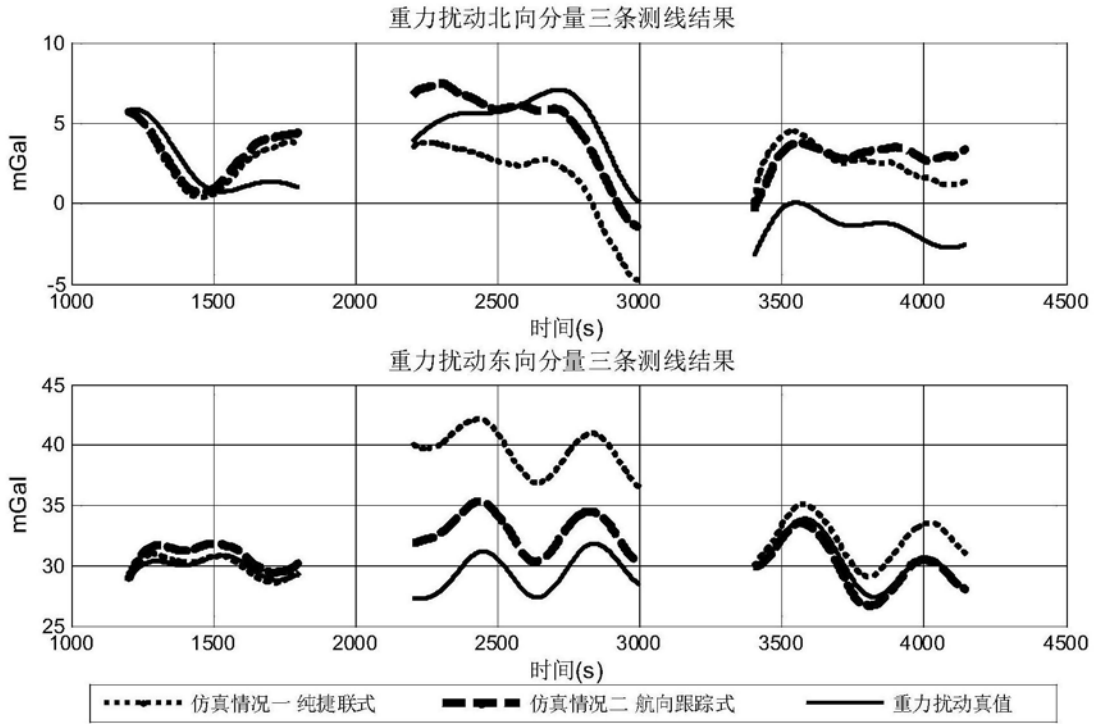


图4



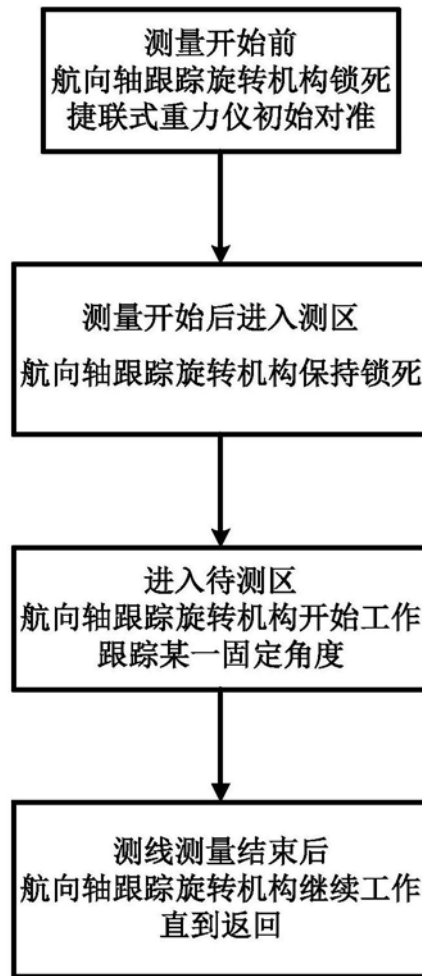


图5