



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103207403 B

(45) 授权公告日 2015. 01. 21

(21) 申请号 201310014507. 8

CN 102304884 A, 2012. 01. 04,

(22) 申请日 2013. 01. 15

CN 102337710 A, 2012. 02. 01,

CN 202124809 U, 2012. 01. 25,

(73) 专利权人 萨伏威(西安) 导航技术有限公司
地址 710077 陕西省西安市高新区锦业路
69 号创业研发园 B 栋 403 室

审查员 刘玫

(72) 发明人 韩云飞

(74) 专利代理机构 西安西交通盛知识产权代理
有限责任公司 61217

代理人 陈翠兰

(51) Int. Cl.

G01S 19/50(2010. 01)

G01S 19/49(2010. 01)

(56) 对比文件

CN 101913368 A, 2010. 12. 15,

US 2011283915 A1, 2011. 11. 24,

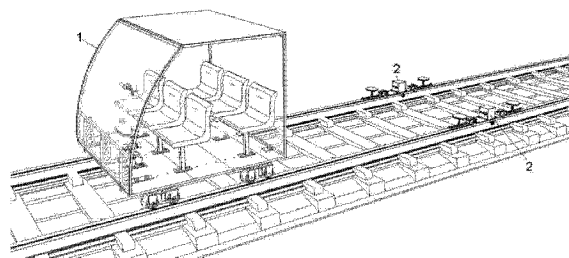
权利要求书2页 说明书9页 附图15页

(54) 发明名称

一种卫星导航与惯性测量组合轨道测量系统
与方法

(57) 摘要

本发明公开了一种卫星导航与惯性测量组合轨道测量系统与方法,系统包括测量单元和数据后处理单元,测量单元包括两个卫星导航与惯性测量组合轨道测量设备,两设备放在两根单轨上,牵引设备牵引卫星导航与惯性测量组合系统,实时在线测量和记录双轨几何状态和设备运行状态的原始数据,并将其通过数据后处理单元离线处理。方法包括对原始测量数据预处理,建立方向里程测量曲线和理想曲线,计算轨向绝对和相对不平顺,建立倾斜角里程测量曲线和倾斜角理想曲线,计算高低绝对和相对不平顺。本发明通过采用在线数据采集,离线数据处理模式和双轨平行测量模式,确定轨道外部几何信息和内部几何不平顺。



1. 一种卫星导航与惯性测量组合轨道测量系统,包括测量单元和数据后处理单元,其特征在于,所述测量单元包括两个独立的卫星导航与惯性测量组合设备,该两个测量设备分别安放在两根单轨(15)上,通过牵引设备牵引两个独立的卫星导航与惯性测量组合设备,用于在线连续测量设备沿双轨运行时的几何信息和物理信息,实时记录原始数据,并将该原始测量数据通过数据后处理单元进行离线处理;

所述牵引设备为一便携式轨道牵引小车(1),包括侧部敞开的车厢、车厢底部设置双轨轮,在车厢内设有动力系统、操纵机构和载人座位;

所述卫星导航与惯性测量组合设备为一单轨式测量小车(2),包括一个与单轨(15)非接触的双天线GPS惯性测量中心(8)、置于其两侧通过主板(3)连接的一对车轮组,以及位于车轮组两侧的一对GPS天线;

所述一对GPS天线通过天线支架与单轨(15)非接触性连接,天线支架上设有与便携式轨道牵引小车(1)相连的拉环;

所述车轮组通过轮支架架设于单轨(15)上,通过主轮(16)与单轨(15)轨面相接,通过轮支架连接侧轮(19)与单轨(15)侧部相接;

所述双天线GPS惯性测量中心(8)包括一嵌入式计算机,以及与该嵌入式计算机分别相连的双天线卫星导航GPS接收机、3个陀螺仪、3个加速度计、1个里程计、1个轨枕识别器,以及SD读卡器、USB接口、RS232串口、信号灯以及电源插头和蓄电池,所述双天线卫星导航GPS接收机与2个GPS天线相连;

所述里程计(12)设置于车轮组两侧,里程计(12)包括一穿过及车轮组的发射光源(24)和一接收极;

所述轨枕识别器(11)设置于与轨枕相平行的双天线GPS惯性测量中心(8)靠轨道单轨的内侧,轨枕识别器(11)通过2个反射式光电开关确定道钉(34)的位置、轨枕编号、运行方向和轨枕里程。

2. 一种卫星导航与惯性测量组合轨道测量方法,其特征在于,该方法包括下述步骤:

A. 对原始测量数据进行预处理,导出对应每个轨枕的位置序列号、里程、GPS数据、水平方向角和倾斜角等测量数据;

B. 基于里程和水平方向角建立方向测量曲线,并根据方向测量曲线的变化建立方向理想曲线;

C. 计算轨向绝对不平顺和轨向相对不平顺;

D. 基于里程和倾斜角建立倾斜角测量曲线,并根据倾斜角测量曲线的变化特征,建立倾斜角理想曲线;

E. 计算高低绝对不平顺和高低相对不平顺;

所述方法进一步包括下述步骤:

1) 将原始实时测量轨道的包括GPS数据和惯性测量在线数据按照时间顺序进行导航计算,获得准确的方向角、倾斜角和横滚角等导航计算结果,将导航计算结果与里程计和轨枕识别器电平信号共同记录到同一数据文档中;

2) 实现对里程计所输出的电平信号的预处理,根据电平信号的先后判定车轮的滚动方向,并根据方向对其中一个脉冲信号进行累积或递减计算,作为里程计序列号使用,将里程序列号乘以对应脉冲间隔车轮所行走的距离,获得相对里程;

3) 对轨枕识别器所输出的电平信号的预处理,识别轨枕的位置,同时确定运行方向,并对轨枕序列号进行相应的递增或递减处理,将轨枕序列号乘以平均轨枕间距换算成相对里程;

4) 通过里程计所测量的里程信息与轨枕识别器所测量的里程信息相比较,识别是否存在轨枕漏记或重复记录的现象出现;

5) 根据有效的 GPS 里程和里程计序列号、轨枕总数,实现对里程计单位距离和轨枕平均间距进行验证和校准:

$$S = L/I$$

其中, S 为里程计单位距离, L 为 GPS 里程, I 为里程计序列号;

$$H = L/M$$

其中, H 为轨枕平均间距, L 为 GPS 里程, M 为轨枕总数;

6) 实现根据对轨枕的识别,确定轨枕的序列号和里程,将在同一时刻所记录的包括导航计算结果数据同一记录到一个按轨枕顺序排列的测量数据文件中;

7) 通过对按轨枕序列号所排列的里程、位置、水平方向角和倾斜角的处理,实现对轨道外部几何信息测量,实现对单根钢轨线路内部几何信息的测量;

8) 使用水平方向角和里程参数描述轨道线路在水平面中的形状,在方向里程坐标中建立描述轨道线路在水平面中几何形状的方向里程测量曲线;

9) 使用差分手段根据方向里程测量曲线确定方向变量里程测量曲线,根据方向变量里程测量曲线的特征进行分段,使每一段线路具有相同线型特征,根据每段线路的特征,确定每段的最佳线型,用最小二乘法确定相应线型的最佳参数,建立方向变量理想曲线;

10) 对方向变量理想曲线进行积分,获得方向理想曲线,并使其与方向测量曲线间的偏差最小;

11) 用方向测量曲线减除方向理想曲线,获得方向绝对不平顺曲线;

12) 对方向绝对不平顺曲线进行积分,获得轨向绝对不平顺曲线;

13) 选择设置区分轨向绝对不平顺中的轨向相对平顺信息和轨向相对不平顺信息所需的观测波长;

14) 按观测波长的四分之一间隔对轨向绝对不平顺曲线进行抽样取值,然后使用三次样条插值计算方式对样值进行处理,获得轨向相对平顺曲线;

15) 将轨向绝对不平顺曲线减去轨向相对平顺曲线获得轨向不平顺曲线;

16) 通过对轨道里程和倾斜角的测量,在倾斜角里程坐标系中建立描述轨道线路在纵断面中几何形状的倾斜角里程测量曲线;

17) 根据倾斜角形状特征进行分段,确定每段线路的线型和最佳线型参数,建立倾斜角理想曲线,获得被测线路在纵断面中的外部几何信息;

18) 将倾斜角测量曲线减除倾斜角理想曲线,计算出倾斜角绝对不平顺,通过倾斜角绝对不平顺的积分推算高低绝对不平顺;

19) 人工选定观测波长,按观测波长的四分之一间隔对高低绝对不平顺数据进行抽样取值,对所有抽样值进行三次样条插值计算处理,建立高低相对平顺曲线;

20) 用高低绝对不平顺曲线减除高低相对平顺曲线,获得高低相对不平顺曲线;

21) 实现根据轨向不平顺和高低不平顺检测结果计算出相应的拨道量和抬道量。

一种卫星导航与惯性测量组合轨道测量系统与方法

技术领域

[0001] 本发明属于轨道检测技术领域,特别涉及一种利用 GPS、北斗、GLONASS、Galileo 等卫星导航与惯性测量组合系统检测轨道外部几何形状及内部不平顺的系统与测量方法。

背景技术

[0002] 对于高速铁路来说,轨道的外部几何形状及内部高平顺性是保证动车的快速、平稳、舒适、安全和经济运行的关键。保持轨道的高平顺性是高铁轨道养护的宗旨,对轨道不平顺的精密检测则是轨道维护工作的关键。目前高铁对检测设备所提出的严格要求已超出了传统检测设备的能力,检测设备技术滞后已成为阻碍我国高速铁路今后持续健康发展的一个瓶颈。

[0003] 多年来,国内外都在积极开展静态轨道不平顺检测技术、方法和设备的研究,目前以使用激光测量技术为主,但至今为止,收效甚微。激光测量技术是一种相对测量技术,需要依靠基准点作为参照坐标,最常用的检测手段是,使用全站仪和 CPIII 控制点测量轨道上观测点的绝对位置坐标或相对位置坐标,通过参考设计线路位置坐标确定轨道的不平顺。

[0004] 全站仪是一种精度较高的位置测量设备,但具有许多弊病。首先它的作用范围有限,最长测量距离仅为 100 米左右,其次位置测量精度受到测量距离的影响,测量距离越大,位置精度就越低,同时受到外界环境和人为因素的影响也很大。使用激光技术测量轨道线路需要 CPIII 控制网配合使用,CPIII 控制网建设和维护成本要远大于测量成本,同时也增加了工作量,降低了测量速度和测量精度。另外,若要依靠位置测量确定轨道不平顺,还需依靠设计线路作为检测基准。使用这种方式只能确定轨道在位置上的绝对偏差或相对偏差,不是真正意义上的不平顺。这些偏差往往要大于实际轨道的不平顺,大幅度地增加了轨道维护工作的成本和难度,甚至会超出调轨范围,无法达到应有的维修效果。

[0005] 目前存在许多测量轨道不平顺的方法,例如,弦测法、长弦测量法、惯性基准法和绝对测量法等。除了绝对测量法外,其它测量法均属于相对测量法,以测量位移或位置偏差为手段。因为相对测量法仅考虑轨道局部的内部几何状态,不考虑全局的外部几何形状,也就不能区分测量数据中的设计信息和非设计信息,轨道不平顺属于非设计信息中的一部分。因此,使用位移测量方法是不能准确测量轨道不平顺的。相对测量只能保证短波不平顺的准确性,不能保证长波不平顺的准确性。绝对测量法的特性则相反,它虽然可以较为准确地测量轨道的绝对不平顺,但是相对不平顺,特别是短波的不平顺的测量结果是不够准确的。

[0006] 传统检测方法都是以位置测量和位置对比为手段的。因为每个测量点位置信息彼此是独立的,所有位置测量数据之间缺乏相关性,因而很难共同处理。轨道不平顺描述的是一种线路形状变化属性,与位置无关,也是位置测量数据中所不包含的信息。所以,人们无法直接从位置测量数据中提取不平顺数值,仅能依靠几何函数和参考数据进行近似模拟,几何函数同时处理多个测量点位置信息的能力十分有限,准确度和精度都会随着处理数据

的增大而降低,这是为什么传统检测方法无法精确测量轨道不平顺的根本原因。

发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种卫星导航与惯性测量组合轨道测量系统与amp;方法,本发明利用航空导航测量系统——双天线 GPS 惯性测量组合设备和单轨测量小车,以 100Hz 的速率,实现对轨道全方位信息的实时测量和数据记录,然后使用后处理软件对测量数据进行离线处理,计算有关轨道线路的外部几何信息,如位置,线型和线型参数,以及轨道内部几何信息,如轨向不平顺、高低不平顺、水平不平顺和三角坑等,生成检测结果报表和提供轨道维修方案。

[0008] 本发明的目的是通过下述技术方案来实现的。

[0009] 一种卫星导航与惯性测量组合轨道测量系统,包括测量单元和数据后处理单元,所述测量单元包括两个独立的卫星导航与惯性测量组合设备,该两个测量设备分别安放在两根单轨上,通过牵引设备牵引两个独立的卫星导航与惯性测量组合设备沿钢轨平稳运行,用于在线连续测量设备沿双轨运行时的几何信息和物理信息,实时记录原始数据,并将该原始测量数据通过数据后处理单元进行离线处理。

[0010] 本发明设备所述进一步的特征在于:

[0011] 所述牵引设备为一便携式轨道牵引小车,包括侧部敞开的车厢、车厢底部设置双轨轮,在车厢内设有动力系统、操纵机构和载人座位。

[0012] 所述卫星导航与惯性测量组合设备为一单轨式测量小车,包括一个与单轨非接触的双天线 GPS 惯性测量中心、置于其两侧通过主板连接的一对车轮组,以及位于车轮组两侧的一对 GPS 天线。

[0013] 所述一对 GPS 天线通过天线支架与单轨非接触性连接,天线支架上设有与便携式轨道牵引小车相连的拉环。

[0014] 所述车轮组通过轮支架架设于单轨上,通过主轮与单轨轨面相接,通过轮支架连接侧轮与单轨侧部相接。

[0015] 所述双天线 GPS 惯性测量中心包括一嵌入式计算机,以及与该嵌入式计算机分别相连的双天线卫星导航 GPS 接收机、3 个陀螺仪、3 个加速度计、1 个里程计、1 个轨枕识别器,以及 SD 读卡器、USB 接口、RS232 串口、信号灯以及电源插头和蓄电池,所述双天线卫星导航 GPS 接收机与 2 个 GPS 天线相连。

[0016] 所述双天线 GPS 惯性测量中心测量并记录 GPS 数据、惯性测量数据和里程计与轨枕识别器所输出的信号数据,用于后期离线处理,计算出有关轨道线路的外部几何信息和内部几何信息。

[0017] 所述里程计设置于车轮组两侧,里程计包括一穿过及车轮组的发射光源和一接收极。

[0018] 所述轨枕识别器设置于与轨枕相平行的双天线 GPS 惯性测量中心靠近轨道单轨的内侧,轨枕识别器通过 2 个反射式光电开关确定螺旋道钉的位置、轨枕编号、运行方向和轨枕里程。

[0019] 相应地,本发明还给出了一种卫星导航与惯性测量组合轨道测量方法,包括下述步骤:

[0020] A. 对原始测量数据进行预处理, 导出对应每个轨枕位置的序列号、里程、GPS 数据、水平方向角和倾斜角等测量数据;

[0021] B. 基于里程和水平方向角建立方向测量曲线, 并根据方向测量曲线的变化特征建立方向理想曲线;

[0022] C. 计算轨向绝对不平顺和轨向相对不平顺;

[0023] D. 基于里程和倾斜角建立倾斜角测量曲线, 并根据倾斜角测量曲线的变化特征, 建立倾斜角理想曲线;

[0024] E. 计算高低绝对不平顺和高低相对不平顺。

[0025] 通过对左右钢轨轨向不平顺和高低不平顺的处理, 确定双轨间的不平顺信息, 如轨距变化量、水平不平顺和三角坑等, 在后处理软件中, 实现用图像形式显示各种测量数据、理想数据、平顺数据和不平顺数据, 并实现放大、缩小和比较功能, 便于数据分析。

[0026] 其中, 所述 GPS 数据包括时间、位置、速度、方向和倾斜角, 所述惯性测量原始数据包括时间、三轴角速度和三向加速度; 所述外部几何信息包括位置坐标, 不同线段的线型和线型参数; 所述内部几何信息包括轨向不平顺、高低不平顺和轨底坡不平顺; 所述方向变量理想曲线中包含被测线路在水平面中的线型、长度、圆弧半径外部几何特征。

[0027] 本发明的有益效果在于:

[0028] 用形状代替位置描述和分析轨道线路, 确定轨道外部几何和内部几何信息。轨道线路的形状可被看成是由设计形状和非设计形状组成。设计形状与非设计形状的区别在于, 设计形状具有非周期性变化属性, 而非设计形状则具有周期性形状变化属性。因此, 可根据形状变化是否呈周期性, 剥离出形状测量数据中设计形状和非设计形状。因为能够直接从测量数据中获得形状设计信息, 因此可节省设计数据的引进。轨道线路的设计形状特征十分明显, 必须是直线型、圆弧型和过渡型(3次抛物线)中的一种。此三种线型都无周期性形状变化特征, 且形状变化特征各有不同, 可根据形状变化测量数据直接确定被测线路的线型和相应线型参数, 建立与测量形状最相符合的由三种线型所组成的理想形状, 代替设计形状使用。将测量形状减去设计形状获得非设计形状。非设计形状可被划分为相对平顺形状和相对不平顺形状, 划分标准是看其形状变化周期(既波长)是否大于指定长度, 既观测波长。所有波长大于观测波长的非设计形状都属于相对平顺部分, 反之, 所有波长小于或等于观测波长的非设计形状都属于相对不平顺部分。轨道不平顺是指相对不平顺的非设计信息。

[0029] 水平方向角和倾斜角分别代表轨道线路在水平面和纵断面中的形状信息。使用方向里程坐标描述被测线路在水平面中的几何形状。通过对方向测量曲线和方向变量测量曲线的处理, 建立代表被测线路在水平面中的代表设计形状的方向理想曲线。方向测量曲线减除方向理想曲线获得代表非设计形状信息的方向绝对不平顺曲线。对方向绝对不平顺进行积分, 获得相应的轨向绝对不平顺。使用选定观测波长四分之一间距对轨向绝对不平顺数据进行抽样取值, 然后对样值进行三次样条插值计算, 获得一条平滑的, 最小波长长于观测波长的轨向相对平顺曲线。轨向绝对不平顺减除轨向相对平顺曲线获得轨向相对不平顺曲线, 既轨向不平顺曲线。与对方向角的处理方式相对应, 使用倾斜角里程坐标建立描述被测线路在纵断面中的几何形状。通过对倾斜角测量曲线的处理, 建立代表被测线路在纵断面中的代表设计形状信息的倾斜角理想曲线。对其积分后获得代表非设计形状的高低绝对

不平顺曲线。使用选定观测波长的四分之一间隔对其进行取样,并对样值进行三次样条插值计算,获得高低相对平顺曲线。用高低绝对不平顺曲线减去高低相对平顺曲线,获得高低相对不平顺曲线。

[0030] 传统检测设备都是以测量轨道中心线的几何不平顺和两轨间的几何不平顺为主要目的而设计的,因此采用的均是双轨设备结构。检测设备的载体是运行在双轨之上的。这种设计方式有个缺陷,就是测量点是在轨道的中心线上。轨道中心线是一条虚拟线路,没有相应的标记或参照物,因此在实际中无法确定和使用。检测设备的载体是安置在双轨的轨面上的,由于每根钢道都存在自身的不平顺,中心线与每根钢轨间的距离是不确定的,中心线的几何状态与左右钢轨的几何状态有所不同,给左右轨道维护工作带不必要的误差。

[0031] 为了避免检测和调整不是同一条线路的问题,我们采用单轨单测和双轨双测的工作模式,设计一种检测单根钢轨不平顺检测的系统——双天线 GPS 惯性测量中心和单轨小车所组成。双天线 GPS 惯性测量中心与两个 GPS 天线、一个里程计和一个轨枕识别器一起被安装在测量小车上,测量小车由两组车轮,一个平台和两个天线支架所组成,能稳定地在单根钢轨上,沿钢轨方向自由滑动。双天线 GPS 惯性测量中心始终处于钢轨中心线的上方。里程计安装在小车的一个主轮上,由两个对射式光电开关组成。由两个反射式光电开关组成的轨枕识别器安装在双天线 GPS 惯性测量中心位置的靠轨道中心线方向的内侧,能自动识别道钉,发给双天线 GPS 惯性测量中心相应的电子脉冲。双天线 GPS 惯性测量中心内部安装有三个加速度计、三个陀螺仪、一个双天线 GPS 接收机和嵌入式计算机、电池等。开机后,双天线 GPS 惯性测量中心内部自动记录时间、位置、速度、方向角、倾斜角、横滚角和加速度及角速度的原始测量数据,可连续工作 4 小时以上。

附图说明

- [0032] 图 1 为本发明系统结构示意图。
- [0033] 图 2 为测量小车整体结构图。
- [0034] 图 3 为车轮组结构图。
- [0035] 图 4 为侧轮向上翻转示意图。
- [0036] 图 5 为主车轮结构示意图。
- [0037] 图 6 为双天线 GPS 惯性测量中心结构框图。
- [0038] 图 7 为里程计结构图。
- [0039] 图 8 (a) 和 8 (b) 分别为双发射光电开关识别道钉示意图。
- [0040] 图 9 为本发明方法流程框图。
- [0041] 图 10 为本发明具体方法流程框图。
- [0042] 图 11 为方向里程测量曲线。
- [0043] 图 12 为方向变量里程测量曲线。
- [0044] 图 13 为方向变量测量曲线和方向变量理想曲线。
- [0045] 图 14 为方向测量曲线与方向理想曲线。
- [0046] 图 15 为方向绝对不平顺曲线。
- [0047] 图 16 为轨向绝对不平顺曲线。
- [0048] 图 17 为轨向绝对不平顺曲线和几种不同波长的轨向平顺曲线。

- [0049] 图 18 为轨向绝对不平顺曲线和不同波长轨向相对平顺曲线的局部放大图。
- [0050] 图 19 为几种不同波长的轨向不平顺。
- [0051] 图 20 为几种不同波长的轨向不平顺局部放大图。
- [0052] 图 21 为倾斜角测量曲线。
- [0053] 图 22 为倾斜角测量曲线和倾斜角理想曲线。
- [0054] 图 23 为倾斜角绝对不平顺曲线。
- [0055] 图 24 为高低绝对不平顺曲线。
- [0056] 图 25 为高低绝对不平顺曲线和不同波长的高低相对平顺曲线。
- [0057] 图 26 为高低绝对不平顺曲线和不同波长的高低相对平顺曲线的局部放大图。
- [0058] 图 27 为几种不同波长的高低不平顺曲线。
- [0059] 图 28 为几种不同波长的高低不平顺曲线的局部放大图。
- [0060] 图 29 为线路观测波长的周期性形状变化示意图。
- [0061] 图中：1、便携式轨道牵引小车；2、单轨式测量小车；3、主板；4、前车轮组；5、后车轮组；6、前天线支架；7、后天线支架；8、双天线 GPS 惯性测量中心；9、前 GPS 天线；10、后 GPS 天线；11、轨枕识别器；12、里程计；13、前拉环；14、后拉环；15、单轨；16、主轮；17、主轮支架；18、侧轮支架；19、侧轮；20、轮芯；21、轮胎；22、主轴；23、轴承；24、发射光源；25、上接收极；26、下接收极；27、光束；28、第一反射式光电开关；29、第二反射式光电开关；30、31、光束；32、33、两个光电开关越过弹条上方时所输出的电平信号；34、道钉；35、弹条；36、37、两个光电开关越过弹条上方时所输出的电平信号。

具体实施方式

- [0062] 现将该发明的具体事例表述于下，详细结构参照附图。
- [0063] 图 1 所示为该发明的系统结构示意图，包括一测量单元——两个独立的卫星导航与惯性测量组合设备：单轨式测量小车 2 和一牵引设备：便携式轨道牵引小车 1 以及数据后处理单元，两个单轨式测量小车 2 分别安放在单轨 15 上，通过便携式轨道牵引小车 1 牵引两个沿钢轨运行的单轨式测量小车 2，用于实时进行在线测量和记录有关设备沿双轨运行时所采集的几何状态和物理状态原始数据。
- [0064] 其中，便携式轨道牵引小车 1 包括侧部敞开的车厢、车厢底部设置双轨轮，在车厢内设有动力系统、操纵机构和载人座位。便携式轨道牵引小车的主要功能为牵引，其特点为重量轻，少于 60 公斤，可以随时随地由 2 人抬起、掉头或上下线，并自带动力，可乘多人，由 1 人操作，时速可达 15 公里以上。
- [0065] 便携式轨道牵引小车的主要特征在于重量轻、易拆卸、易搬运、带动力和乘多人，可在无通车的情况下，无需调度管理进行使用，实现检测工作的快速进行，同时减轻工作人员的劳动强度。发明专利 201210099781.5 《便携式多功能轨道组合牵引小车》介绍了一种具有以上特性的便携式轨道牵引设备。
- [0066] 如图 2 所示，单轨式测量小车的主要功能是实现轨道线路的自动测量和数据记录。采用牵引式工作原理，在外力的牵引下，测量小车能在单根钢轨上平稳前行。单轨式测量小车 2 包括一个与单轨 15 非接触的双天线 GPS 惯性测量中心 8，在其两侧各安装有一个主板 3，通过主板 3 连接有一对车轮组（前车轮组 4 和后车轮组 5，位于两车轮组外侧各设一

GPS 天线(前 GPS 天线 9 和后 GPS 天线 10),一对 GPS 天线分别安装在前天线支架 6 和后天线支架 7 的中部,并非接触性地支撑在单轨 15 上。轨枕识别器 11 安装在主板 3 内侧,与双天线 GPS 惯性测量中心 8 的中心相平行的位置,里程计 12 安装在一组车轮组的支架上。测量设备的纵轴与钢轨水平方向保持一致,其运动轨迹永远与钢轨中心线保持平行,2 个 GPS 天线始终处于钢轨的正上方,使其测量方向与钢轨方向相同。单轨式测量小车 2 安放在单轨 15 上,前天线支架 6 和后天线支架 7 两端分别设有与便携式轨道牵引小车 1 相连的前拉环 13 和后拉环 14,以便固定牵引绳使用。

[0067] 测量小车的核心测量设备为双天线 GPS 惯性测量中心(以下简称为测量中心)、里程计和轨枕识别器。当测量小车沿单根钢轨平稳运行时,测量中心自动测量并记录时间、GPS 位置、速度、方向角、倾斜角、三轴角速度、三向加速度、里程计和轨枕识别器所输出的电子脉冲信号等测量信息。

[0068] 如图 3 所示,车轮组通过主轮支架 17 架设于单轨 15 上,通过主轮 16 与单轨 15 轨面相接,在主轮支架 17 两侧通过侧轮支架 18 各连接一侧轮 19 与单轨 15 侧部相接。主轮行走在钢轨的顶面上,2 个侧轮夹住轨道头的两个侧面,以防止主轮在行进中方式平移。

[0069] 如图 4 所示,为侧轮向上翻转示意图,侧轮支架 18 可沿主轮支架 17 旋转,侧轮支架是由螺丝和弹簧固定在主轮支架的侧面的,可以选择。当车轮经过道岔时,可将外侧的侧轮支架向上旋转,以避免撞击道尖。

[0070] 如图 5 所示,为主车轮结构示意图,车轮组的主轮由 1 个轮芯 20、1 个轮胎 21、1 个主轴 22、2 个轴承 23 所组成。轮芯 20 的材料为尼龙或其它塑料,侧面在同一圆周上均匀排列若干个直径约 10 毫米大小的圆孔,能让里程计的对射光电开关光线通过。轮胎的材料为不锈钢,轮胎外表面呈两个梯形,使主轮与轨面始终有两个接触点,以保证车轮的横向稳定状态。

[0071] 如图 6 所示,为双天线 GPS 惯性组合测量设备结构框图,双天线 GPS 惯性测量中心 8 包括一嵌入式计算机,以及与该嵌入式计算机分别相连的双天线卫星导航 GPS 接收机、3 个陀螺仪、3 个加速度计、1 个里程计、1 个轨枕识别器,以及 SD 读卡器、USB 接口、RS232 串口、信号灯以及电源插头和蓄电池,双天线卫星导航 GPS 接收机与双天线相连。测量中心的主要功能是记录双天线 GPS 接收机所输出的时间、位置、速度、方向、倾斜角等 GPS 测量数据,3 个陀螺仪和 3 个加速度计所输出的三轴角速度和三向加速度等惯性,以及里程计和轨枕识别器光电开关的电压信号等测量数据。嵌入式计算机将所有测量数据以文件形式实时记录到内部的存储器或 SD 储存卡中,为后期处理使用。232 串口用于软件升级和在线分析。USB 接口用于读取内部所存储的数据。信号灯实时显示测量设备的工作状态。锂电池作为测量设备在线工作电源使用。电源插头用于锂电池充电。

[0072] 如图 7 所示,里程计 12 设置于车轮组轴侧,里程计 12 包括一穿过及车轮组的发射光源 24 和一对接接收极(上接收极 25、下接收极 26)。测量设备使用两个对射式光电开关实现里程计的基本功能:确定测量小车的行进方向和里程。2 个对射式光电开关并列安装在一个车轮组的主轮支架上。随着主轮的转动,内芯上在同一圆周上均匀排列的 N 个圆孔将按顺序逐一经过光电开关的两极,让过或切断光束。光电开关的发射光源 24 安装在主车轮架一侧,2 个光电开关的上接收极 25 和下接收极 26 上下并排安装在另一侧。每当主轮上的一个圆孔经过光束 27 时,2 个接收端便分别接收到光线,输出电平 1。当圆孔离开光束后,

光束被轮芯切断,2 个接收极便输出电平 0。因为 2 个接收极的安装位置有差异,当一个圆孔经过时,2 个接收极所输出的电平在时间上有先后差异。根据电平信号的先后差异,可以判断出车轮旋转的方向。根据一个接收极所输出的脉冲数,可以计算出相应的里程。嵌入式计算机同时记录里程计的 2 个接收端的电平信号,便于后处理使用。

[0073] 如图 8 (a)、8 (b)所示,轨枕识别器 11 设置于与轨枕相平行的双天线 GPS 惯性测量中心 8 下部,使用 2 个反射式光电开关(第一反射式光电开关 28 和第二反射式光电开关 29)发出光束 30 和 31 实现轨枕识别的基本功能:确定道钉的位置 34、轨枕编号、运行方向和轨枕里程。2 个反射式光电开关感应与被测物体间的距离。当光电开关经过螺栓道钉上方时,因间距小于设定界限,将输出电平信号 1。当光电开关离开道钉时,间距大于设定界限而发出电平信号 0。显示两个光电开关越过弹条上方时所输出的电平信号 32 和 33 如图 8 (a)所示。使用 2 个有合适距离先后安装的反射式光电开关,区分光电开关对道钉 34 和弹条 35 的反应,避免出现道钉的重复识别。2 个光电开关间的距离要大于弹条的直径,并小于道钉顶帽的直径,这样,当 2 个光电开关经过弹条上方时,只有其中一个光电开关的输出电平为 1。当 2 个光电开关经过道钉上方时,会出现 2 个输出电平同时为 1 的现象,道钉识别才为有效。显示两个光电开关越过弹条 35 上方时所输出的电平信号 36 和 37 如图 8(b)所示。2 个反射式光电开关的输出电平将与其它测量数据一起被实时记录到嵌入式计算机中,便于后处理使用。

[0074] 本发明可采用两套单轨式测量小车实现对左右单轨的同步测量,或使用一套单轨式测量小车实现对左右单轨的异步测量。

[0075] 本发明使用后处理单元实现对由测量小车所记录的数据进行后期的离线处理,计算并输出被测线路相应每根轨枕位置的各项检测结果,其中包括里程、轨枕序列号、位置坐标、线型和线型参数,以及任意波长的轨向不平顺和高低不平顺;在后处理单元中,为了确定和量化轨向不平顺和高低不平顺,使用以下几种概念:

[0076] 绝对平顺:一种线路没有任何周期性形状变化的属性;

[0077] 绝对不平顺:一种线路拥有某种周期性形状变化的属性;

[0078] 相对平顺:一种线路出现波长大于观测波长的周期性形状变化的属性;

[0079] 相对不平顺:一种线路出现波长小于或等于观测波长的周期性形状变化的属性。

[0080] 见图 29 所示。

[0081] 其中,相对不平顺属性也被称之为不平顺属性,相对平顺属性和绝对平顺属性统一被称之为平顺属性。表 1 显示以上概念间的相互关系;

[0082] 表 1:平顺与不平顺概念间的关系

[0083]

在后处
绝对平顺和
顺和相对不
从线路形状

绝对不平顺 (内部几何)		绝对平顺 (外部几何)
相对不平顺	相对平顺	
不平顺	平顺	

理单元中,对轨道的
绝对不平顺、相对平
平顺、平顺和不平顺
和线路几何两个角度

进行观测和描述。所谓线路形状是指线路在水平面和纵断面中的角度,既水平方向角和倾斜角;

[0084] 在后处理单元中,使用方向里程坐标和倾斜角里程坐标描述被测线路在水平面和纵断面中的几何形状,用偏差里程坐标描述被测线路在两个平面中的几何偏差。在后处理单元中,实现图 9、图 10 所示的流程,确定轨道线路的轨向不平顺和高低不平顺。

[0085] 下面通过利用后处理单元来实现卫星导航与惯性测量组合轨道测量方法。

[0086] 包括下述步骤:

[0087] 1) 将原始实时测量轨道的包括 GPS 数据(如时间、位置、速度、方向和倾斜角)和惯性测量在线数据(如时间、三轴角速度和三向加速度)按照时间顺序进行导航计算,获得准确的方向角、倾斜角和横滚角等导航计算结果,将导航计算结果与里程计和轨枕识别器电平信号共同记录到同一数据文档中;

[0088] 2) 实现对里程计所输出的 2 个电平信号的预处理,根据电平信号的先后判定车轮的滚动方向,并根据方向对其中一个脉冲信号进行累积或递减计算,作为里程计序列号使用,将里程序列号乘以对应脉冲间隔车轮所行走的距离,获得相对里程;

[0089] 3) 对轨枕识别器所输出的 2 个电平信号的预处理,识别轨枕的位置,同时确定运行方向,并对轨枕序列号进行相应的递增或递减处理,将轨枕序列号乘以平均轨枕间距换算成相对里程;

[0090] 4) 通过里程计所测量的里程信息与轨枕识别器所测量的里程信息相比较,识别是否存在轨枕漏记或重复记录的现象出现,必要时加以修正;

[0091] 5) 根据有效的 GPS 里程和里程计序列号、轨枕总数,实现对里程计单位距离和轨枕平均间距进行验证和校准:

[0092] $S=L/I$

[0093] 其中, S 为里程计单位距离, L 为 GPS 里程, I 为里程计序列号;

[0094] $H=L/M$

[0095] 其中, H 为轨枕平均间距, L 为 GPS 里程, M 为轨枕总数;

[0096] 6) 实现根据对轨枕的识别,确定轨枕的序列号和里程,将在同一时刻所记录的包括导航计算结果数据同一记录到一个按轨枕顺序排列的测量数据文件中;

[0097] 7) 通过对按轨枕序列号所排列的里程、位置、水平方向角和倾斜角的处理,实现对轨道外部几何信息测量,实现对单根钢轨线路内部几何信息的测量,如位置坐标,不同线段的线型和线型参数等;实现对单根钢轨线路内部几何信息的测量,如轨向不平顺、高低不平顺和轨底坡不平顺等;

[0098] 8) 使用水平方向角和里程参数描述轨道线路在水平面中的形状,在方向里程坐标中建立描述轨道线路在水平面中几何形状的方向里程测量曲线,见图 11 所示;

[0099] 9) 使用差分手段根据方向里程测量曲线确定方向变量里程测量曲线(见图 12 所示),根据方向变量里程测量曲线的特征进行分段,使每一段线路具有相同线型特征,根据每段线路的特征,确定每段的最佳线型,用最小二乘法确定相应线型的最佳参数,建立方向变量理想曲线(图 13)。方向变量理想曲线中包含被测线路在水平面中的重要外部几何特征,如线型、长度、圆弧半径等;

[0100] 10) 对方向变量理想曲线进行积分,获得方向理想曲线,并使其与方向测量曲线间的偏差最小(图 14)。方向理想曲线代表轨道线路的外部几何信息,与轨道几何不平顺无关;

[0101] 11)用方向测量曲线减除方向理想曲线,获得方向绝对不平顺曲线(图 15);方向绝对不平顺曲线代表被测线路在形状上的绝对不平顺;

[0102] 12)对方向绝对不平顺曲线进行积分,获得轨向绝对不平顺曲线(图 16)。轨向绝对不平顺曲线代表被测线路在几何位置上包含所有波长的不平顺;

[0103] 13)选择观测波长,区分轨向绝对不平顺中的轨向相对平顺信息和轨向相对不平顺信息。轨向绝对不平顺中,所有周期性变化波长都大于观测波长的部分为轨向相对平顺,周期性形状变化波长小于等于观测波长的部分叫轨向相对不平顺。观测波长不同,轨向相对平顺与轨向相对不平顺的划分不同;

[0104] 14)按观测波长的四分之一间隔对绝对不平顺曲线进行抽样取值,然后使用三次样条插值计算方式对样值进行计算处理,获得相对平顺曲线(图 17 和图 18);

[0105] 15)将轨向绝对不平顺曲线减去轨向相对平顺曲线获得轨向相对不平顺曲线(图 19 和图 20);

[0106] 16)通过对轨道里程和倾斜角的测量,在倾斜角里程坐标系中建立钢轨线路在纵断面中的形状测量曲线——倾斜角测量曲线(图 21);

[0107] 17)根据倾斜角形状特征进行分段,确定每段线路的线型和最佳线型参数,建立倾斜角理想曲线(图 22),获得被测线路在纵断面中的外部几何信息;18)计算倾斜角绝对不平顺(图 23),通过倾斜角绝对不平顺的积分推算几何高低绝对不平顺(图 24);

[0108] 19)人工选定观测波长,按观测波长的四分之一间隔对几何高低绝对不平顺数据进行抽样,作为数据点进行三次样条插值计算,建立三次样条曲线作为高低相对平顺曲线(图 25 和图 26)。三次样条曲线的基本特征是保持二次导数的连续性,既平滑特征;

[0109] 20)用高低绝对不平顺曲线减除高低相对平顺曲线,获得高低相对不平顺曲线(图 27 和图 28);

[0110] 21)实现根据轨向不平顺和高低不平顺检测结果计算出相应的拨道量和抬道量,并以表格形式输出轨枕序列号、里程、轨向不平顺、高低不平顺、拨道量和抬道量。

[0111] 通过对左右钢轨轨向不平顺和高低不平顺的处理,确定双轨间的不平顺信息,如轨距不平顺、水平不平顺和三角坑等。轨距不平顺等于右轨 10 米轨向不平顺减去左轨 10 米轨向不平顺;三角坑等于 6.5 米波长的右轨高低不平顺减去左轨高低不平顺;实现用图像形式显示各种测量数据、理想数据、平顺数据和不平顺数据,并实现放大、缩小和比较功能,便于数据分析。

[0112] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明,不能认定本发明的具体实施方式仅限于此,对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干简单的推演或替换,都应当视为属于本发明由所提交的权利要求书确定专利保护范围。

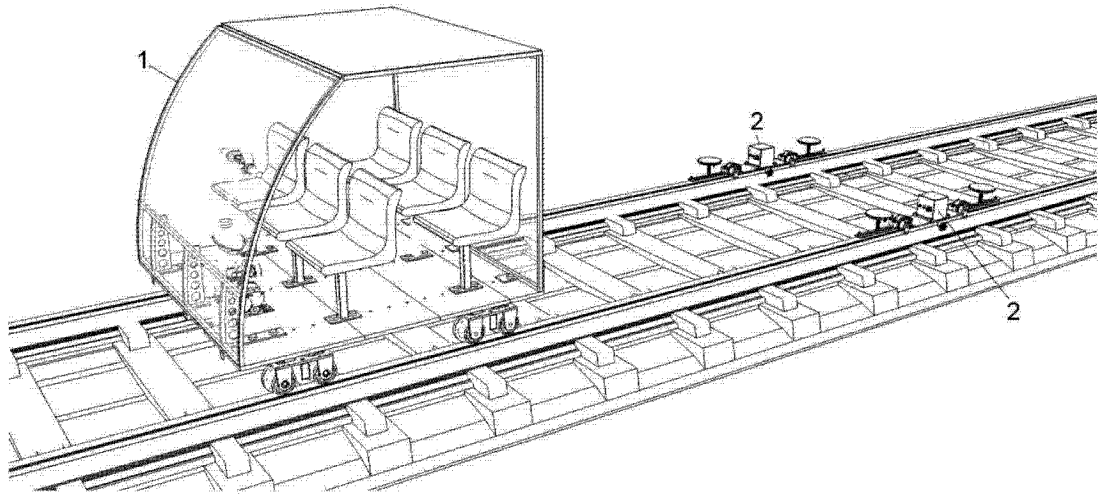


图 1

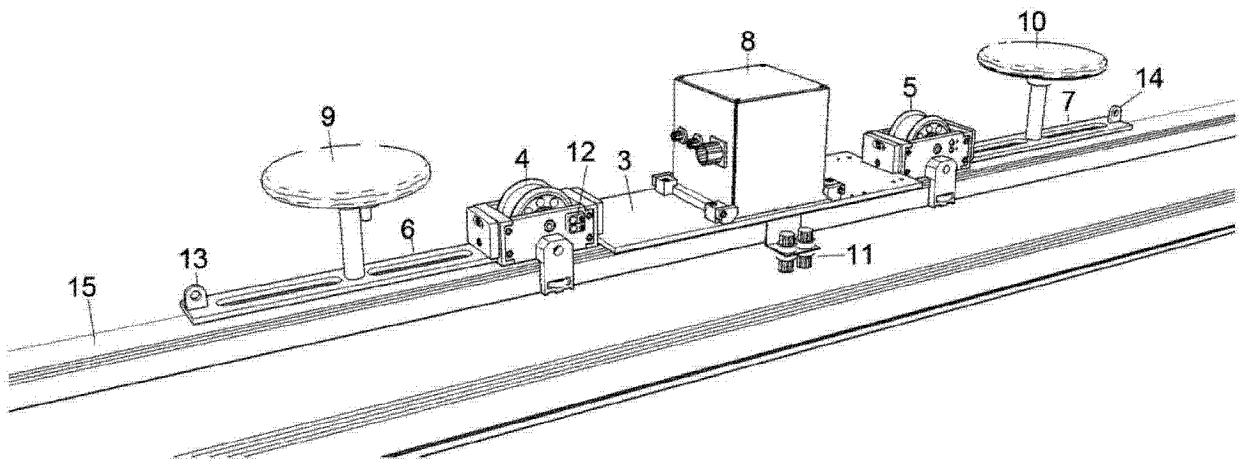


图 2

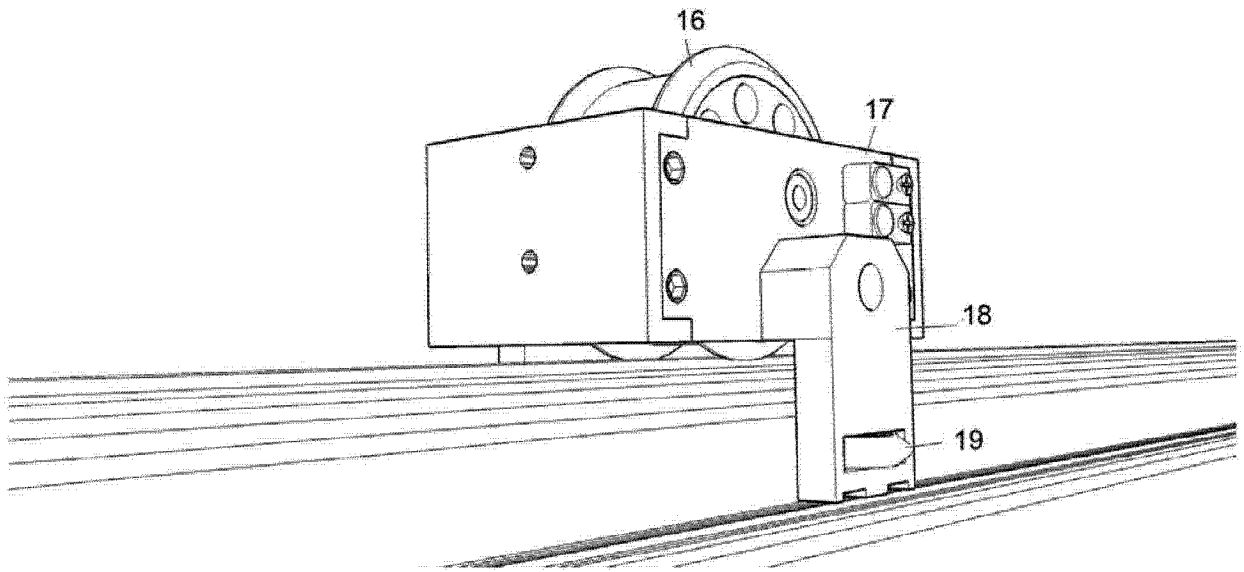


图 3

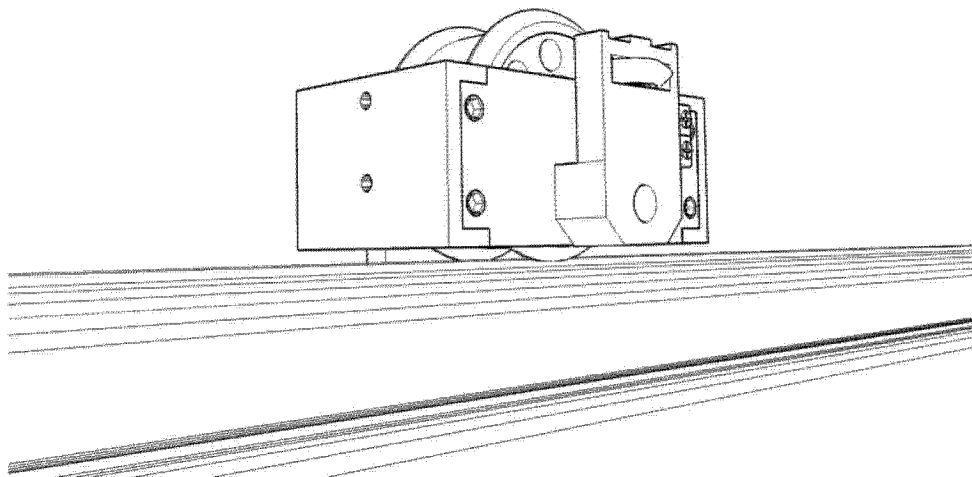


图 4

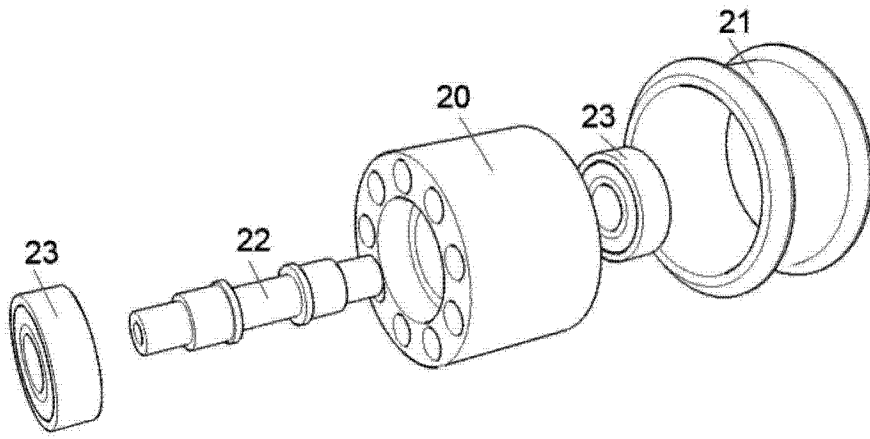


图 5

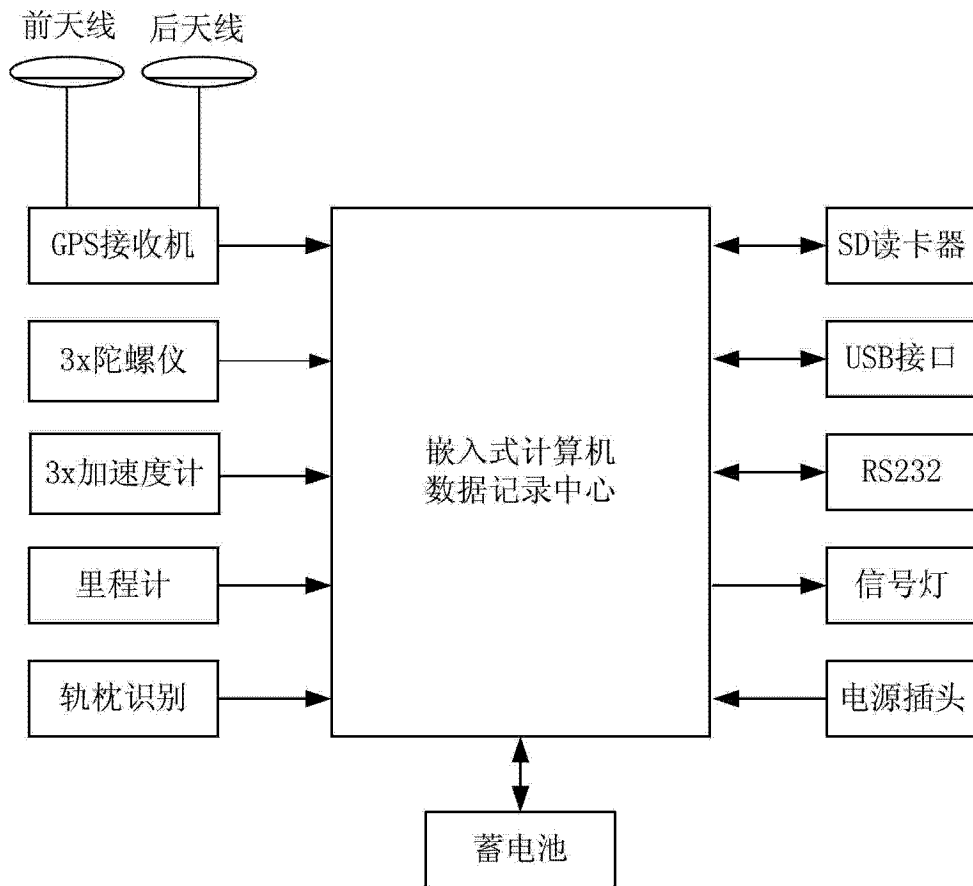


图 6

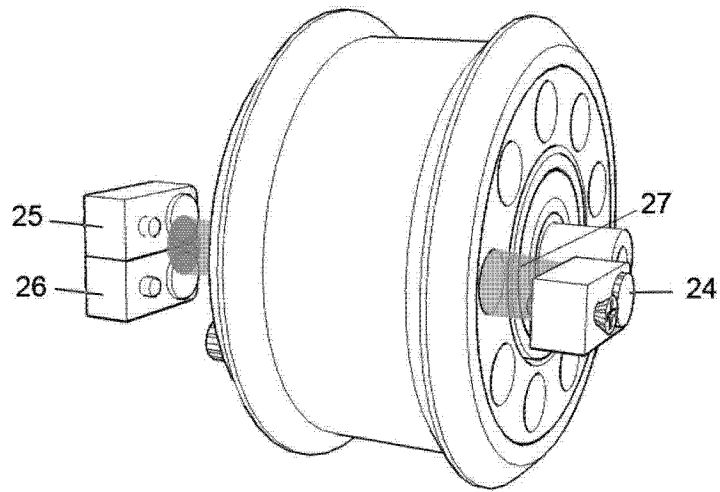


图 7

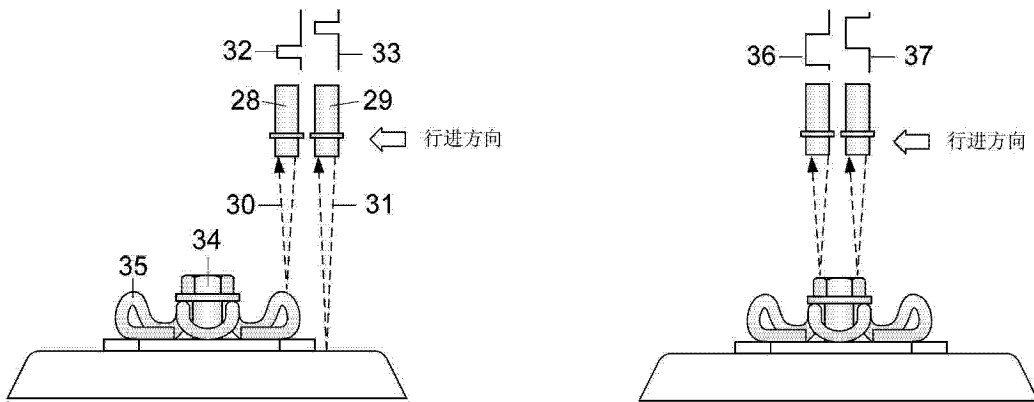


图 8(a)

图 8(b)

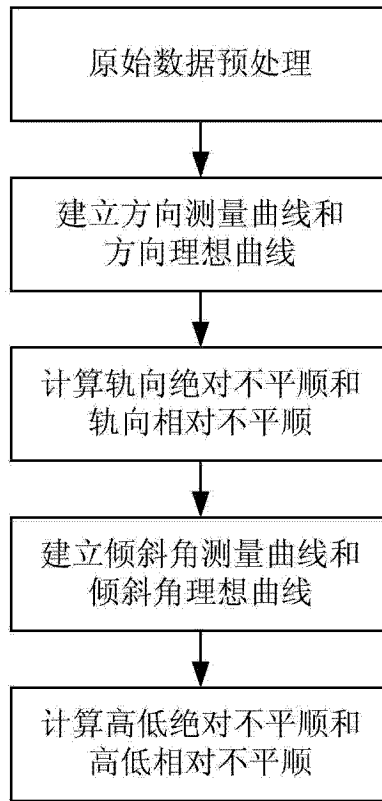


图 9

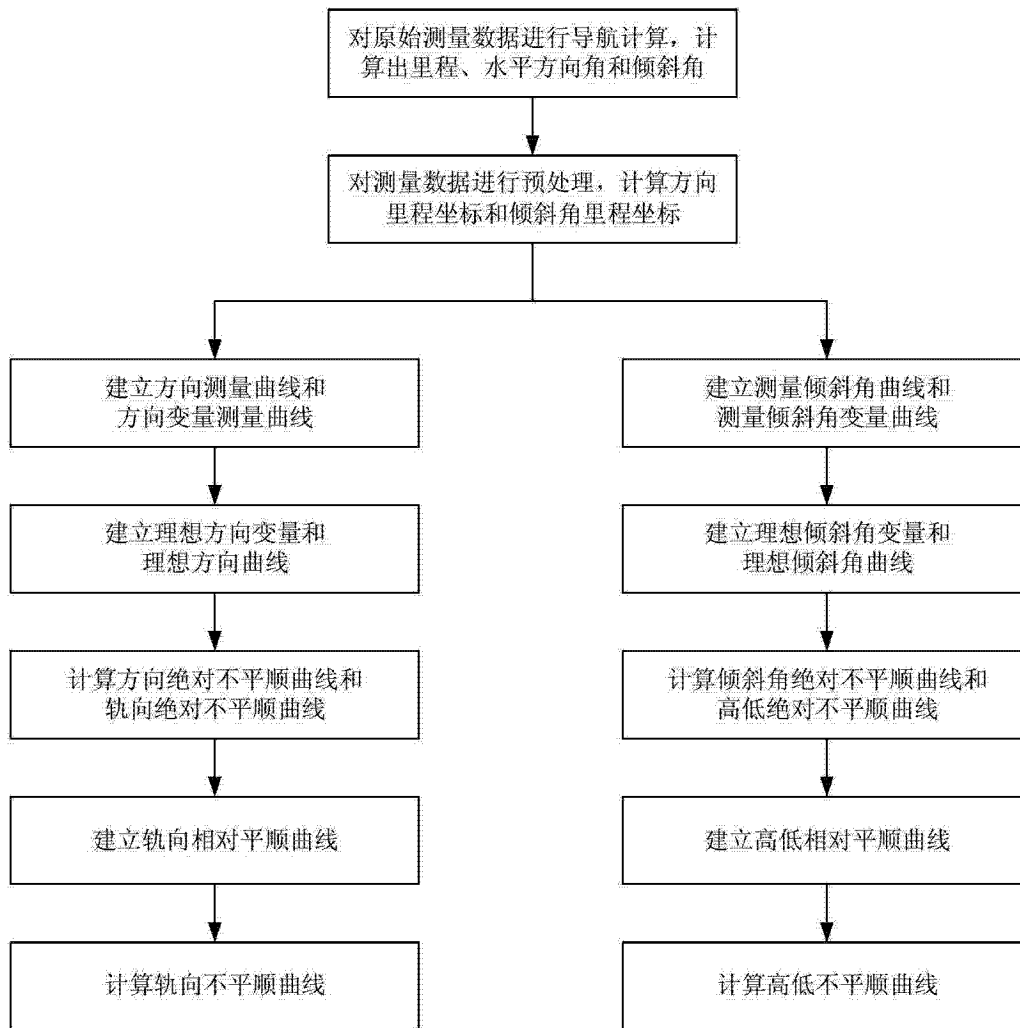


图 10

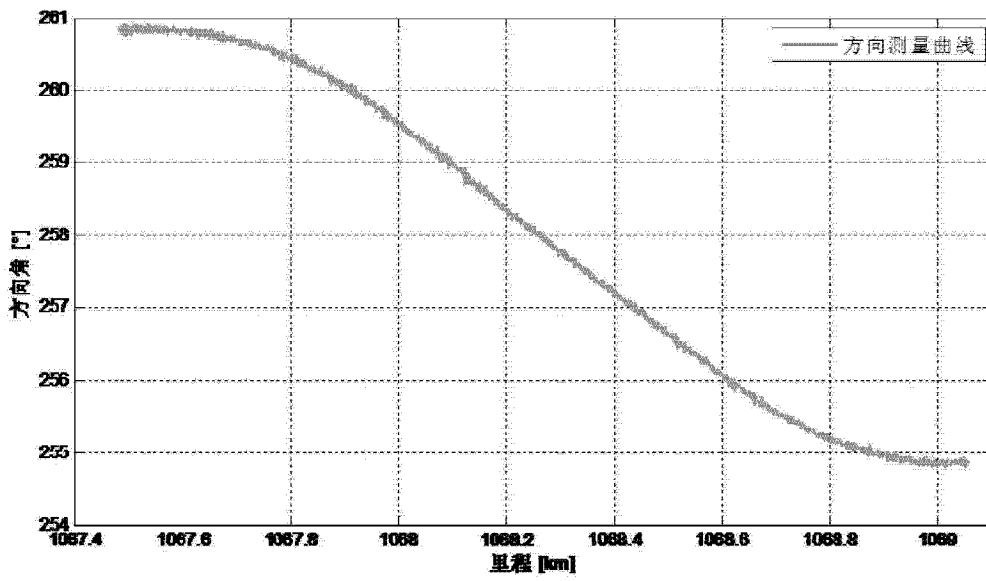


图 11

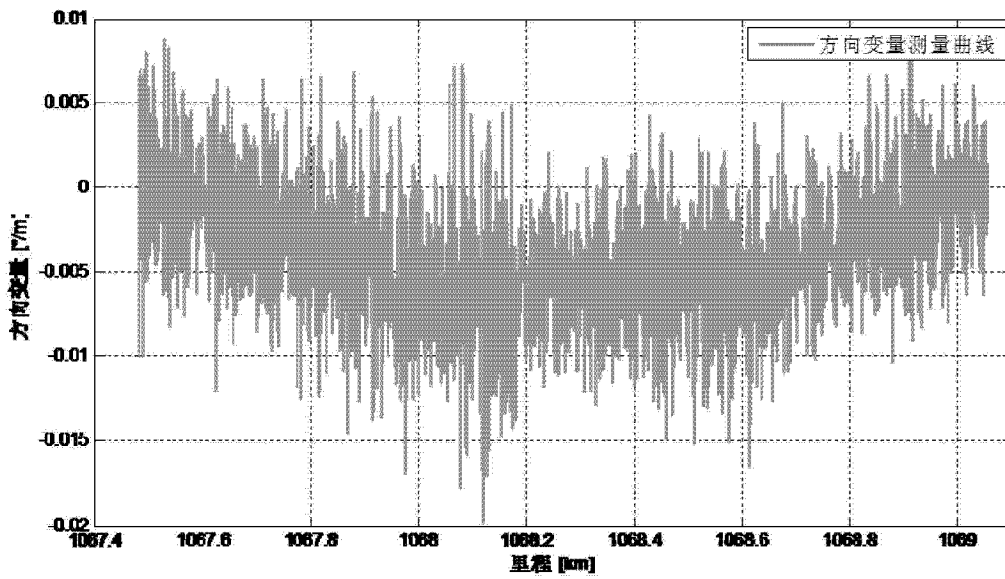


图 12

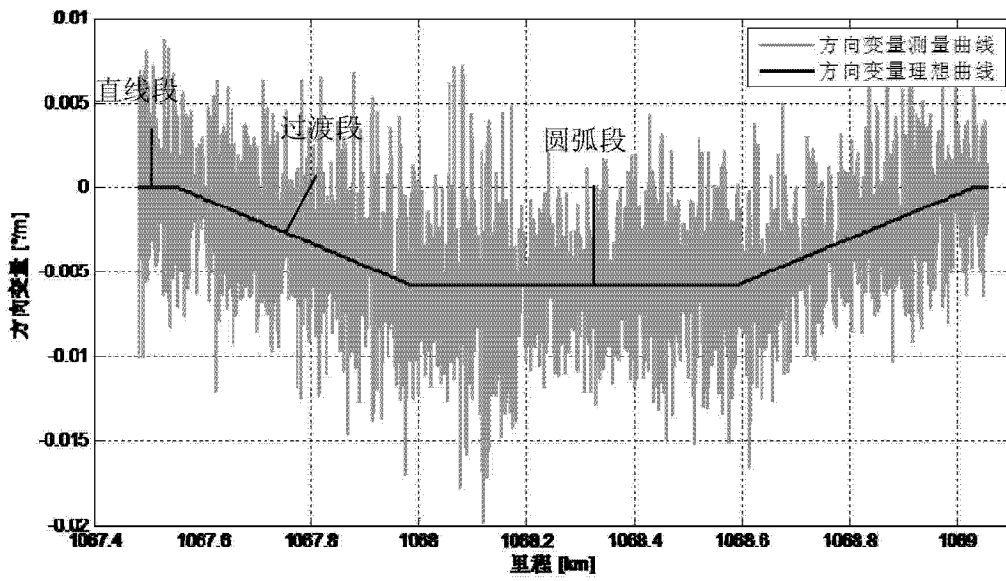


图 13

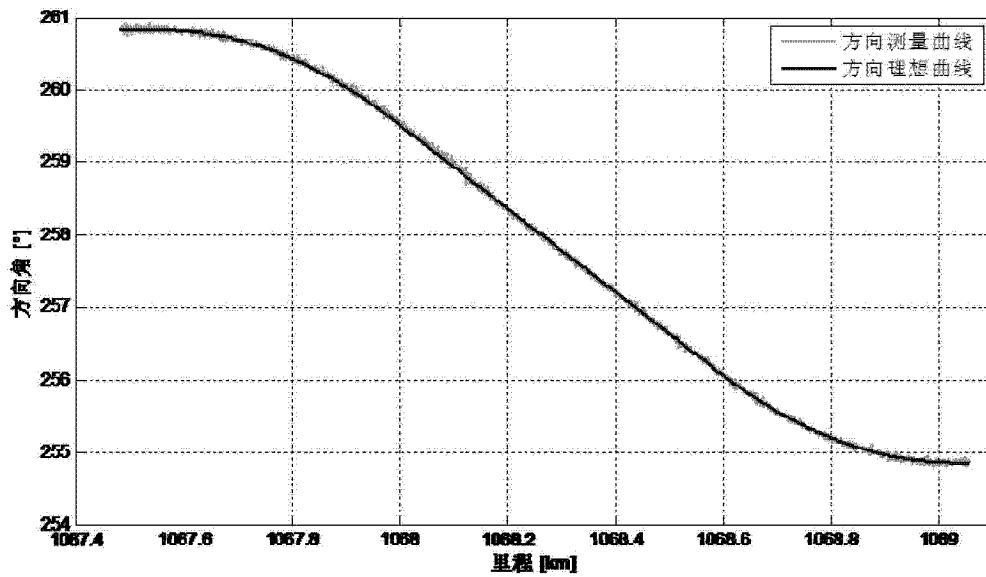


图 14

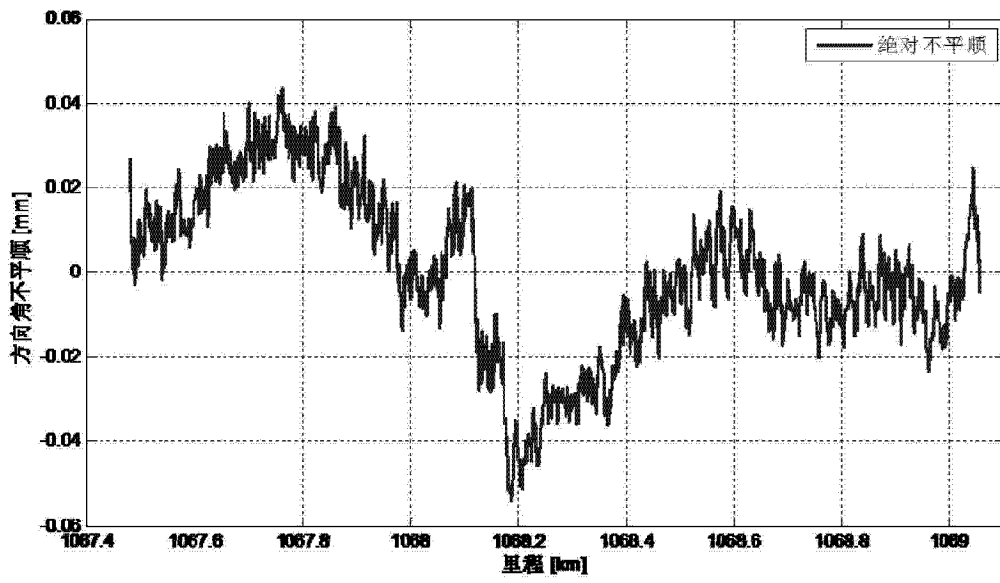


图 15

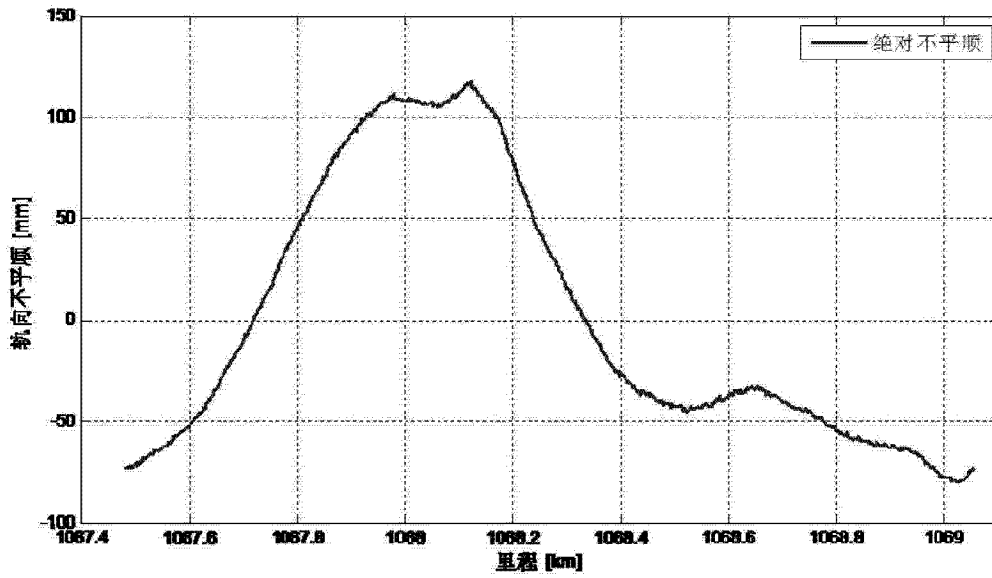


图 16

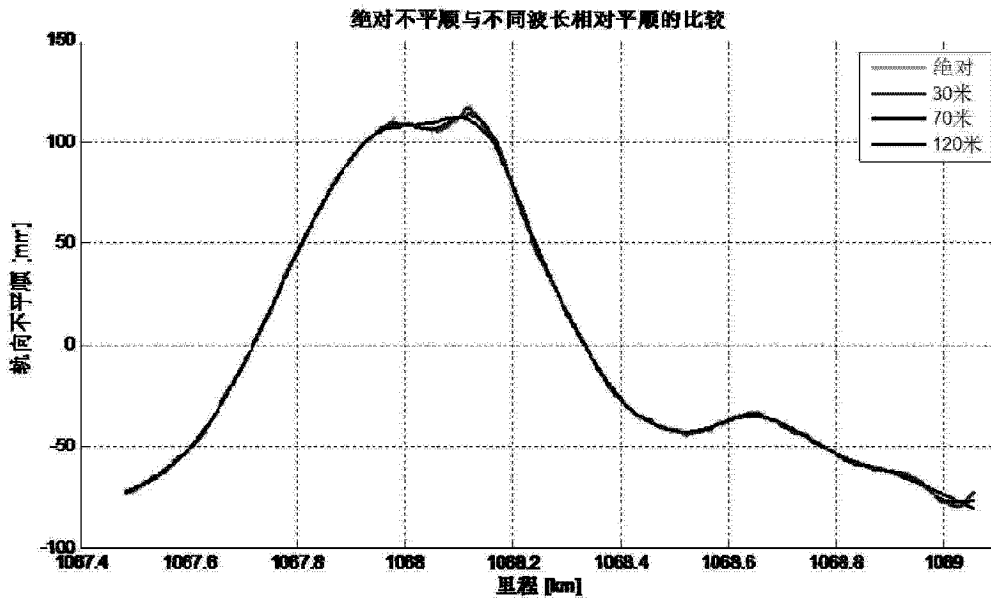


图 17

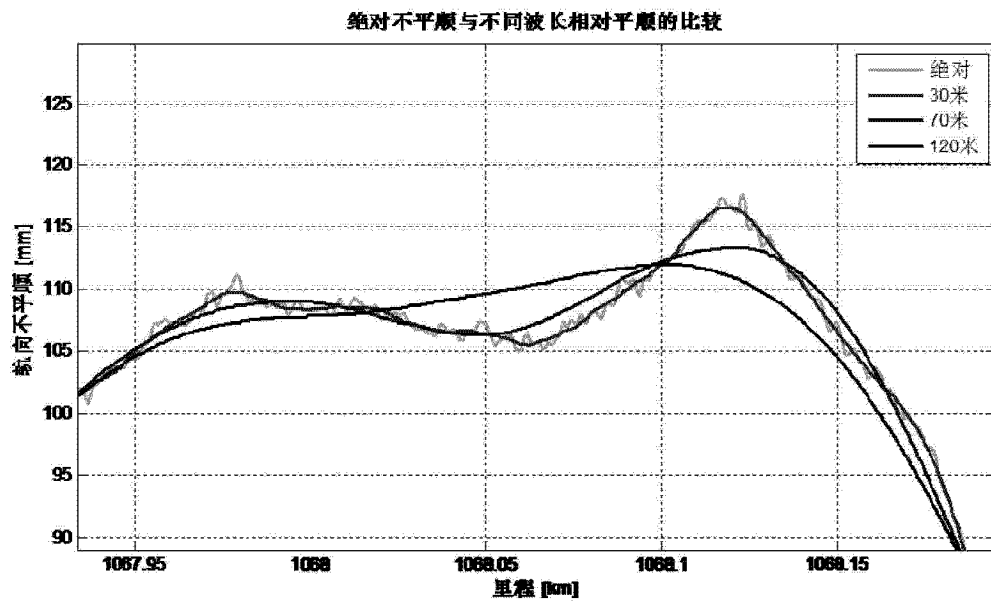


图 18

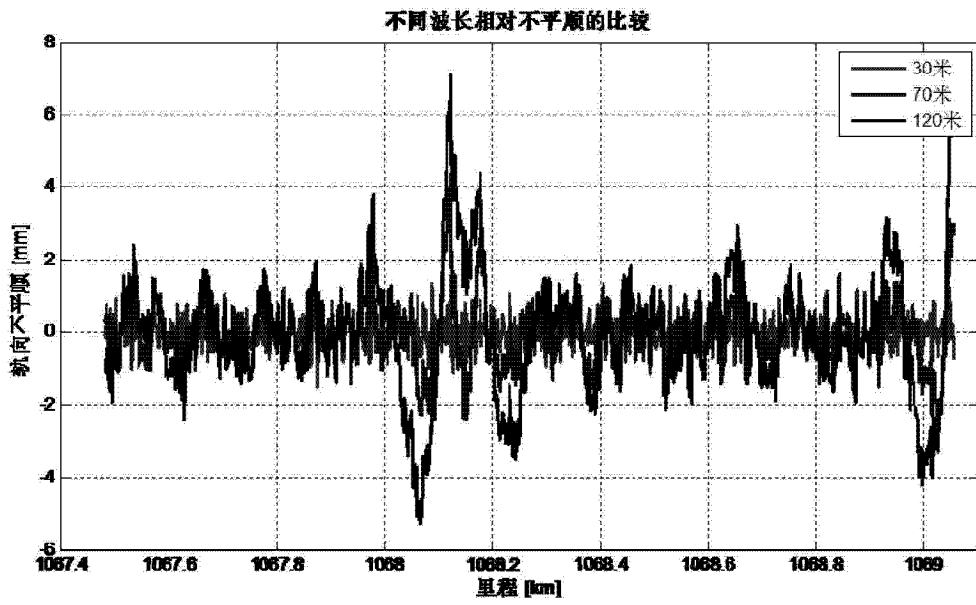


图 19

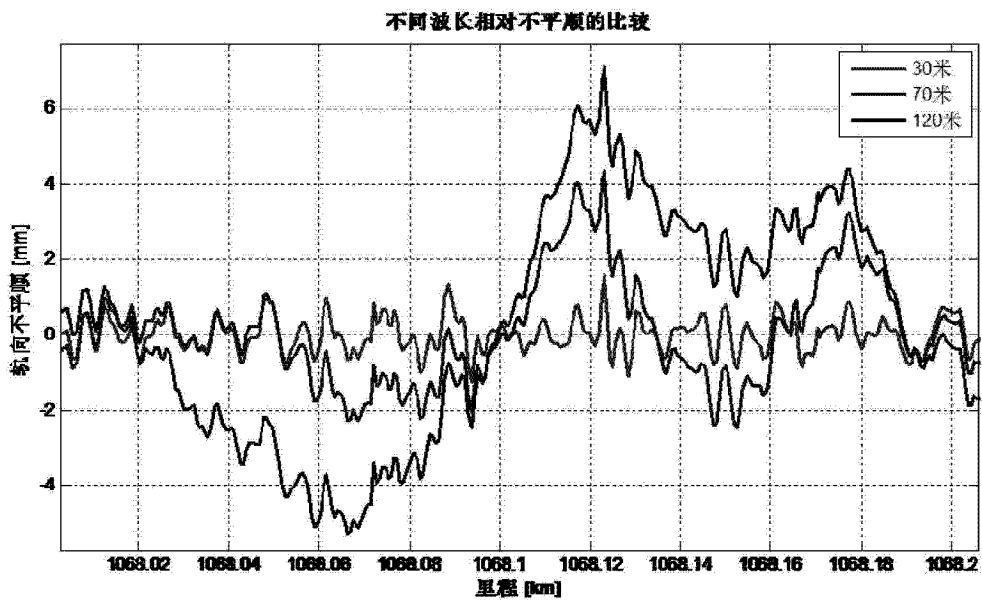


图 20

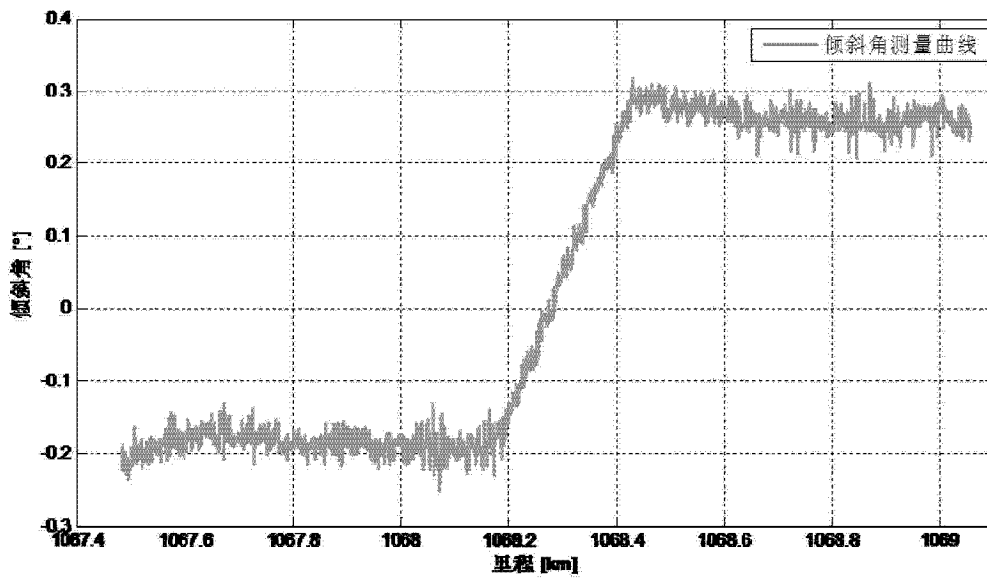


图 21

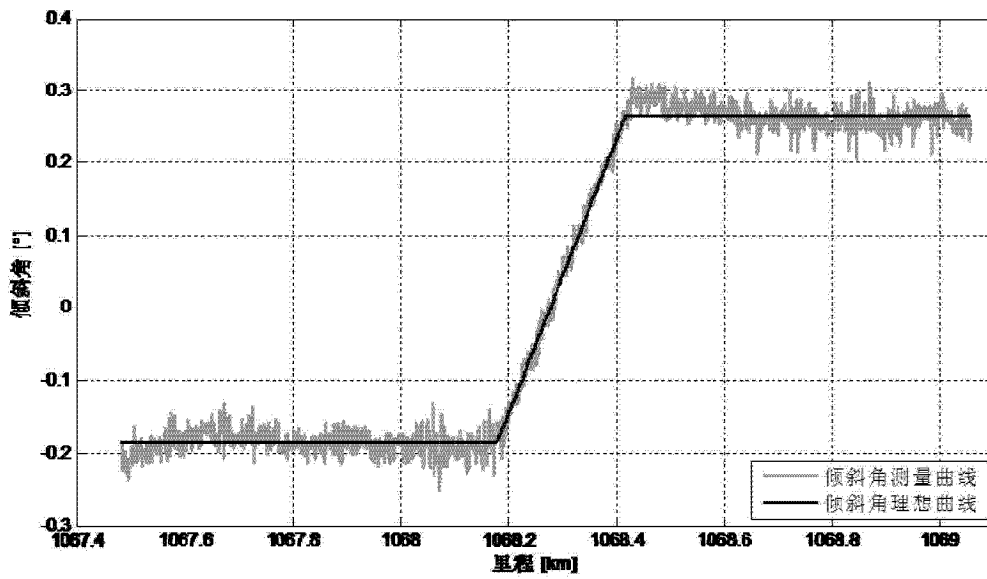


图 22

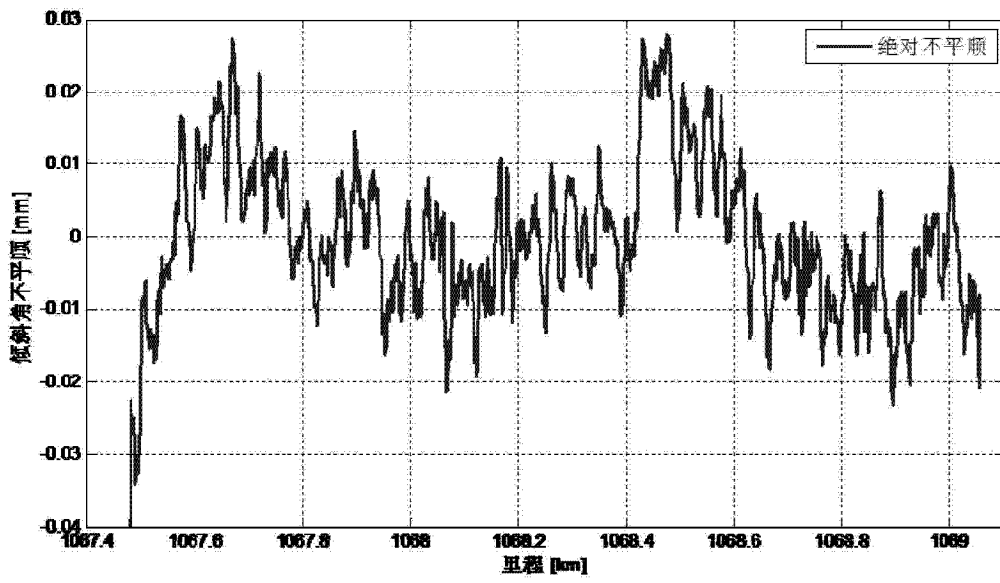


图 23

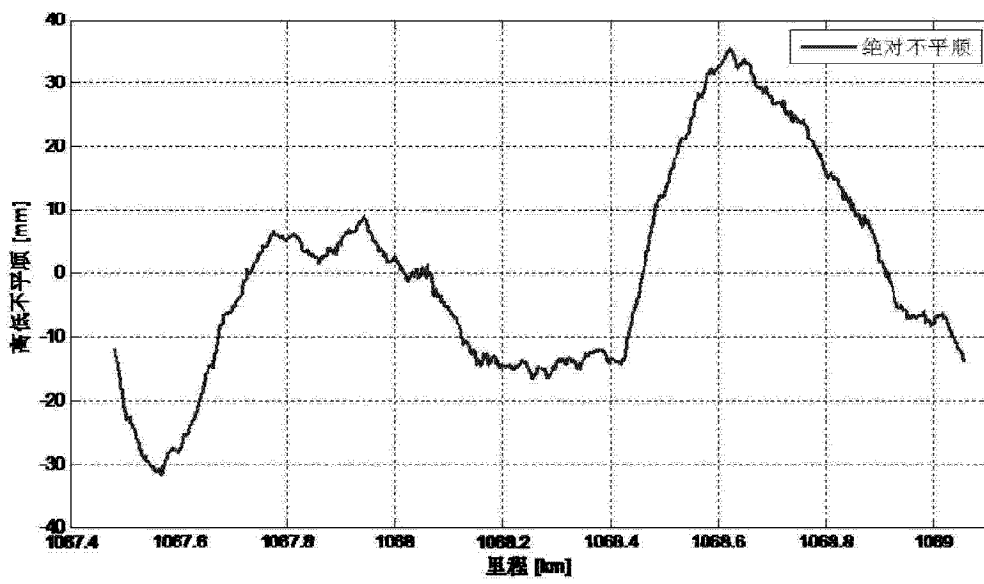
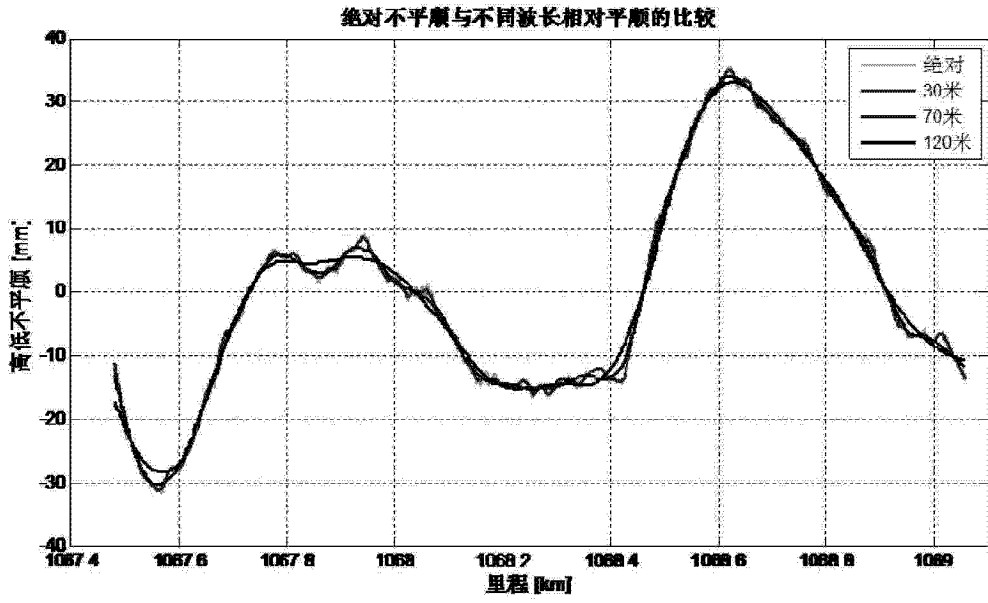


图 24



图

图 25

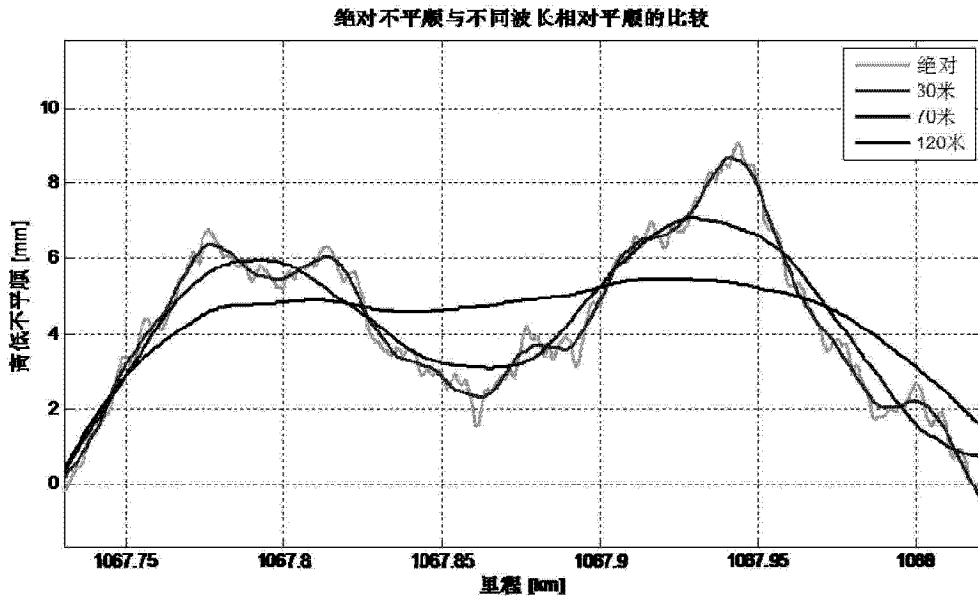


图 26

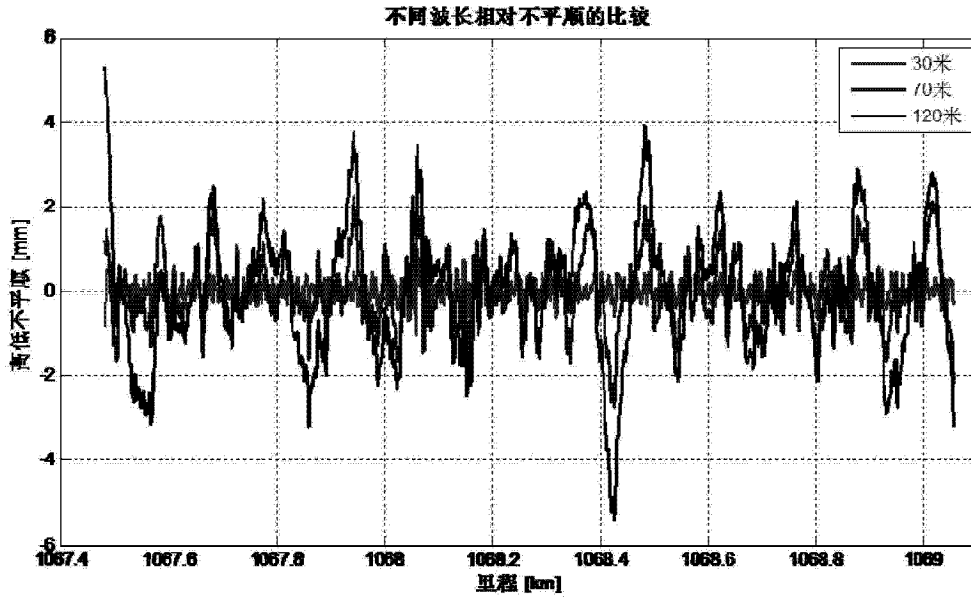


图 27

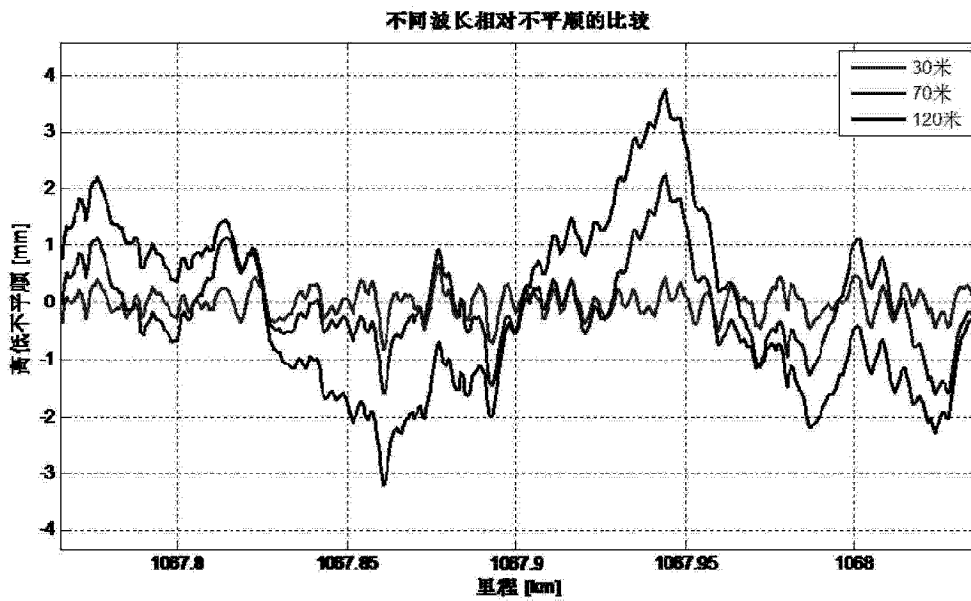


图 28

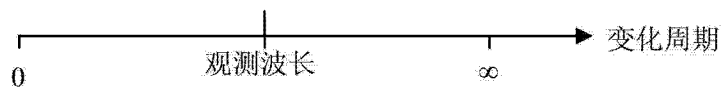


图 29