



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102337710 B

(45) 授权公告日 2014. 02. 05

(21) 申请号 201010230227. 7

(22) 申请日 2010. 07. 19

(73) 专利权人 西安奥通数码科技有限公司
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

(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 黄瑞华

(51) Int. Cl.
E01B 35/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 201161592 Y, 2008. 12. 10, 说明书第 3 页
第 14-19 行.

CN 201497509 U, 2010. 06. 02, 说明书第 2 页
[0020]-[0024] 段.

CN 201106146 Y, 2008. 08. 27, 说明书第 3
页.

CN 2837164 Y, 2006. 11. 15, 全文.

SU 949030 A1, 1982. 08. 07, 全文.

AT 336662 B, 1977. 05. 25, 全文.

CN 1164891 A, 1997. 11. 12, 全文.

CN 1624241 A, 2005. 06. 08, 全文.

CN 101233384 A, 2008. 07. 30, 全文.

JP 11108651 A, 1999. 04. 23, 全文.

洪绍明等. 常用定向方法综述及其比较. 《勘
察科学技术》. 2008, (第 1 期), 全文.

郑树彬等. 基于惯性法的磁浮轨道长波
不平顺检测及其实现. 《电子测量与仪器学
报》. 2007, (第 1 期), 第 61 页.

审查员 杨敏

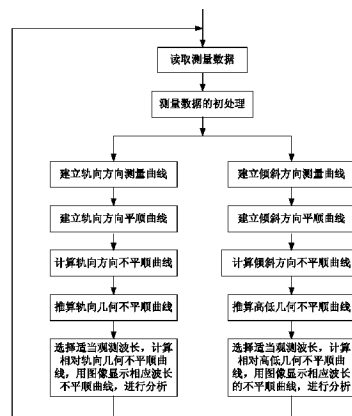
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种 GPS 轨道不平顺检测系统及其检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种 GPS 轨道不平顺检测系统及其检测方法,包括测量单元和数据后处理单元,所述测量单元包括活动设置在轨道表面的移动支架和测量装置;所述测量装置刚性固定在移动支架上,该测量装置包括 2 个独立设置的测量数据采集记录仪;所述测量数据采集记录仪用于实时测量移动支架的状态数据并将每次测量的状态数据按照时间顺序排列记录到数据记录单元中;所述数据后处理单元用于离线处理数据记录单元中记录的状态数据。本发明的优点是:测量精度高、测量速度快、测量功能全面。



1. 一种 GPS 轨道不平顺检测系统,包括测量单元和数据后处理单元,其特征在于:所述测量单元包括活动设置在轨道表面的移动支架和测量装置;所述测量装置刚性固定在移动支架上,该测量装置包括 2 个独立设置的测量数据采集记录仪;所述测量数据采集记录仪用于实时测量移动支架的状态数据并将每次测量的状态数据按照时间顺序排列记录到数据记录单元中;所述数据后处理单元用于离线处理数据记录单元中记录的状态数据;所述移动支架与轨道之间设置有滑动装置,该滑动装置包括一个主安装板、二个侧安装板、二个导向轮和一个主滚动轮;所述导向轮包括一个固定支架、第一活动轴、一个弹簧、第二活动轴和金属轴承;所述主滚动轮由一个圆筒形尼龙件、二个金属轴承和一个金属轴组成。

2. 如权利要求 1 所述一种 GPS 轨道不平顺检测系统,其特征在于:所述测量数据采集记录仪由一个双天线 GPS 定位定向仪、三个陀螺仪、三个加速度计和一个导航计算与数据记录中心构成,其中双天线 GPS 定位定向仪用于测量移动支架的绝对位置、运行速度、轨向方向角和倾斜角,三个陀螺仪测量移动支架的三维角速度,三个加速度计测量移动支架的三维加速度;所述导航计算与数据记录中心对 GPS 定位定向仪所输出的绝对位置、运行速度、轨向方向角和倾斜角以及三个陀螺仪所输出的三维角速度和三个加速度计所输出的三维加速度数据进行导航计算处理,得出精确的时间、绝对位置、轨向方向角和倾斜角,并按时间顺序将状态数据记录在测量与数据采集记录仪内部;所述移动支架的状态数据是指移动支架的绝对位置、轨向方向角和倾斜角。

3. 如权利要求 1 所述一种 GPS 轨道不平顺检测系统,其特征在于:所述移动支架包括四个纵向移动支架和二个横向移动支架,该四个纵向移动支架和二个横向移动支架通过六个连接件活动连接,使所述移动支架成为一个 ZZ 型的非刚性结构。

4. 一种 GPS 轨道不平顺检测方法,其特征在于,按照如下步骤:

(1) 实时测量轨道的状态数据并将其按照时间顺序排列;所述状态数据是指测量点的绝对位置、轨向方向角和倾斜角;

(2) 将步骤 (1) 中绝对位置计算成相应的里程数据,并按照时间先后顺序将里程数据进行排序;

(3) 按照步骤 (2) 所得里程数据的顺序将步骤 (1) 中的里程、轨向方向角和倾斜角按选定步长进行筛选排序;

(4) 对步骤 (3) 中已排序的轨向方向角进行平滑处理,并在轨向方向里程坐标系中建立轨向方向测量曲线;

(5) 根据轨向方向测量曲线的几何特征划分区段,确定每个区段内轨向方向平顺曲线的类型;并在轨向方向测量曲线基础上,用最小二乘法确定代表轨向方向平顺曲线的轨向方向函数的参数,使轨向方向平顺曲线与轨向方向测量曲线偏差值的平方和为最小;当轨向方向变量为零时,轨向方向平顺曲线是直线型;当轨向方向变量为非零的常数时,轨向方向平顺曲线是圆弧线型;当轨向方向变量为一次变量时,轨向方向平顺曲线是过渡线型;

(6) 通过轨向方向测量曲线与轨向方向平顺曲线的差分,计算出轨向方向不平顺曲线;

(7) 以积分方式将轨向方向不平顺曲线转换成轨向几何不平顺曲线,以此得出轨向几何不平顺绝对值;

(8) 使用不同的观察波长对轨向几何不平顺绝对值进行处理计算,得出相应波长的轨

向几何不平顺测量值；

(9) 按里程顺序读取倾斜方向测量数据, 并对其进行平滑处理, 在倾斜方向里程坐标系中, 建立倾斜方向测量曲线；

(10) 根据倾斜方向测量曲线的几何特征划分区段, 确定每个区段内倾斜方向平顺曲线的类型；并在倾斜方向测量曲线基础上, 用最小二乘法确定倾斜方向平顺曲线的倾斜方向函数的参数, 使倾斜方向平顺曲线与倾斜方向测量曲线间偏差值的平方和为最小；当倾斜角方向变量为零时, 倾斜方向平顺曲线是直线型；当倾斜角方向变量为非零的常数时, 倾斜方向平顺曲线是圆弧线型；

(11) 通过倾斜方向测量曲线与倾斜方向平顺曲线的差分, 计算出倾斜方向不平顺曲线；

(12) 用积分的方法将倾斜方向不平顺曲线换算成轨道高低几何不平顺曲线, 以此得出高低不平顺的绝对值；

(13) 使用不同的观测波长对高低几何不平顺绝对值进行处理, 计算出与波长相适应的高低几何不平顺测量值；所述观测波长是指检测轨道不平顺的最大长度。

一种 GPS 轨道不平顺检测系统及其检测方法

技术领域：

[0001] 本发明属于轨道检测领域，涉及一种 GPS 轨道检测装置及其检测方法，尤其是一种 GPS 轨道不平顺检测系统及其检测方法。

背景技术：

[0002] 轨检车、精简小车、轨检小车、弦线和道尺是目前测量轨道不平顺的主要设备。由于各种自身的原因，使传统测量设备的精度受到限制而无法实现对高铁无碴轨道进行快速、有效的检测。

[0003] 轨检车虽然可以快速检测轨道，但需要使用众多的惯性传感器来完成各项检测任务、结构复杂、操作繁复，需要培训专业人员进行测量。因为存有偏移误差，轨检车所能检测轨道不平顺的波长和测量精度都有限，仅能作为日常测量后的验证使用，因造价高，全国仅配备有十几台机组，无法满足对全国 8.6 万公里轨道的检测需求。

[0004] 精简小车是唯一符合高铁轨道对检测精度要求的测量设备，所能达到的测量精度较高，约 1.4 毫米，但因其主要采用全站仪测量轨道外部几何状态，对测量环境条件，如温度、湿度、光线、能见度、风速等要求很高，同时，由于全站仪自身是相对测量设备，不带有固定的参照系统，需要借助铁路工程测量网的帮助，对众多的 CPⅢ 参照点的观测，以确定轨道外部几何状态，因而费时费力，操作极为复杂，测量速度和效率都很低，同样不能满足对既有轨道的检测要求，仅适用于铁路建设施工的标定和验收。另外，精检小车的价格十分昂贵，每台高达 130 万元人民币。

[0005] 目前工务部门多用轨检小车对轨道进行日常测量，然而绝大部分轨检小车的检测任务都是针对传统有碴轨道的检测精度和周期，其测量精度无法满足高铁轨道的要求，存在测量速度慢、需要在线停顿打点、精度不高、测量波长有限等缺点。

[0006] 还有一些没有配备机械化检测设备的偏远小站，只能使用最为原始和落后的弦线和道尺对轨道不平顺进行测量。这两种工具测量速度最慢、并且是由肉眼读出数据，受人为因素的影响较大，测量精度低，不能量化和信息化管理，根本不适合对高速铁路的检测。

[0007] 从表面上看，影响各种轨道检测设备测量精度的因素各有不同，但实际上，它们存在着几个共有而常被人们所忽视的因素，比如，所有设备的主要测量对象仅限于线路中某一点或若干点的几何位置，而不是整轨道条线路本身，另外，所使用的测量方法中没有建立完善测量标准线路的能力，如弦测法和惯性基准法。这是由目前所使用的测量理论和方法本身的局限性所造成的。

[0008] 经过分析，我们将影响轨道检测设备精度的主要原因归纳为以下几点：

[0009] 1. 测量理论上的局限性

[0010] 理论上讲，轨道测量实属于线路测量，更确切地说，是对平滑曲线的测量。可传统的测量理论是不能对平滑曲线进行完美描述的，因此也就不具备处理平滑曲线的能力。目前所广泛使用的测量理论都是基于直角坐标系对线路的位置进行描述和处理的，其主要方法是：首先对若干个点进行位置观测，然后将这些点的位置坐标标入到一个直角坐标系中，

再将这些点与点按顺序用直线相连,组合成一条连线作为被测线路进行计算处理。用这种方法所组成连线,实际上不是平滑曲线,而只是一条折线。因此,无论测量点的数目有多少,用此方法所组成的连线与实际轨道曲线总是存在着差别的,影响被测轨道的精度。

[0011] 平滑曲线是有方向性的,因为曲线上每一个观测点的方向都指向下一个临近点的位置。因为平滑曲线本身是连续的,下一个临近点与它的观测点是无限接近的。这说明,失去了曲线的方向,也失去了曲线上点与点之间的几何关系。直角坐标系是没有表示方向的能力的,这就是在直角坐标系中是无法对轨道进行完整的描述的根本原因。

[0012] 如果要想准确测量轨道,首先就必须考虑如何准确描述平滑曲线。

[0013] 我们对平滑曲线进行一个定义:平滑曲线是一条除两个端点外在位置上和方向上保持有唯一和连续特征的连线。位置上的唯一性和连续性保证了曲线本身在几何位置上是一条连续的,不存着错位或断点的连线;而方向上的唯一性和连续性则保证了连线中不存在着拐点和交点;

[0014] 对于轨道来说,交点表示里程中的某一位置存在多个交叉轨道(此情况不考虑道岔),错位表示里程中在某点上有两根轨道,断点表示里程中在某一点上没有轨道,而拐点则指里程上存在一个轨道折点。显而易见,对于轨道来说,这几种情况都是不应该存在的,也就是说,轨道上任意一点的位置和方向都是唯一和连续的,因此可以说,轨道是一条平滑曲线。使用直角坐标系,仅使用位置测量和处理方法对轨道进行测量是不适宜的。

[0015] 2. 测量方法上的局限性

[0016] 轨道检测与轨道测量有所不同。轨道测量是确定被测轨道自身的几何位置和状态,轨道检测是将测量到的轨道几何位置和状态与已知的轨道标准位置和状态相比较,以此判断被测轨道所存在着的位置与状态几何偏差。实际上,轨道不平顺检测则只限于轨道相对几何状态间的比较,而不考虑轨道绝对位置上的差别。因此,在检测轨道不平顺时,我们不但需要对轨道本身进行测量,同时还要建立一个绝对平顺的标准轨道作为比较的标准。显而易见,这种绝对平顺的标准轨道在现实中是不存在的,我们也无法测量到它,必须用其它方式获取或替代。虽然,我们可以考虑如何将设计轨道作为标准轨道使用,但这种想法却是不能实现的,这是因为一方面设计轨道仅是以信息方式存在的,其所使用的参照坐标以测量轨道时所能使用的实际参照坐标是不同的,另一方面,由于施工原因,实际轨道的位置和状态总与设计轨道有较大差别的,这些差别往往多倍于轨道自身的不平顺信息。因此,设计轨道是不能作为标准轨道使用的。

[0017] 目前常用的轨道检测方法有两种:弦测法和惯性基准法。

[0018] 弦测法是使用轨道测量点前后短距离间(≤ 10 米)的弦线(直线)替代标准轨道,这种做法显然是不准确,甚至是错误的,因为所被选用的弦线直接取决于实际轨道的几何位置状态,它自身包含着一些不平顺的因素,必然影响到轨道不平顺的最终计算结果。另外,在轨道的过渡段与圆弧段,选择弦线作为基准线根本就是错误的,即使对其进行修正,但仍会存在着不小的误差。

[0019] 惯性基准法是一种动态测量方法,通过对检测设备本身动态信息的测量,如加速度和角速度,并对动态测量数据在时间上进行积分而得到相对的有关轨道几何位置变化和状态的变化信息,最后将此变化信息与应有的变化信息相比较得出轨道几何不平顺信息。因为动态测量信息存有一定的误差,通过积分会使所计算到的相对几何信息随时间带有较

大的漂移误差。要想控制漂移误差就必须提高动态测量设备的测量精确度,同时减少轨道不平顺的检测时间,既缩短检测距离。而且,确定应有的状态变化信息也同样是十分困难的。

[0020] 轨道是平滑的,标准轨道也是平滑的,无论是弦测法,还是惯性基准法所使用的坐标系同样是直角坐标系,都是不能建立平滑标准轨道的。标准轨道信息的不准确,同样是影响轨道检测精度的一个重要原因。

[0021] 3. 测量技术上的缺陷

[0022] 目前在铁路工程测量中所使用的技术主要有三种:光学测量技术(包括全站仪)、惯性测量技术和 GPS-RTK 定位技术。这三种技术存在着许多自身的缺陷。

[0023] 光学测量技术主要分为距离测量(如激光测距)或角度测量(如经纬仪、水准仪),或二者的结合(如全站仪),属于静态相对测量设备,其最终目的是测定目标的相对位置坐标。它们存在一个共同的缺陷,就是没有一个固定参照坐标,每次测量前必须单独建立一个局部坐标系,因此,要想统一处理多个测量点数据,就必须借助外部信息进行局部坐标系间的转换。每次坐标转换都会导致最终测量误差的增加。虽然,人们可以用多次测量或对选择对多个参照点进行闭合测量的方法提高最终的测量精度,但是使测量时间和工作量数倍增加,降低了测量效率。光学测量技术受环境影响很大,其测量精度有限,只适于对轨道外部几何状态测量。

[0024] GPS-RTK 是一种新的 GPS 载波差分定位技术,属于静态相对测量技术,其主要优点一是使用同一绝对坐标系 WGS84,使每次测量结果都能在这一坐标系内进行处理,二是定位精度达到 0.5 ~ 2 厘米,三是没有系统误差和漂移误差。GPS-RTK 技术需要差分站,因为测量点与差分站的工作距离会直接影响定位精度,所以 GPS-RTK 的最大工作距离限于 3 ~ 5 公里。虽然此测量精度比标准 GPS 10 米的定位精度有了极大的提高,但远不能满足检测轨道不平顺 1 毫米的测量精度要求,所以只能在测绘铁路工程控制网中 CPI 和 CPII 这种对定位精度要求相对较低的控制点时使用。在一些新的轨道检测设备中也使用了 GPS-RTK 定位技术,其目的是测量轨道的外部几何状态。

[0025] 惯性测量技术所使用的工作原理是对被测体的动态物理变化量(如加速度、角速度)进行连续测量,然后经过在时间上进行积分计算,不断推算出被测体的位置和状态。惯性测量技术的优点是测量精度高,数据更新快,独立性强,不需要其它参照物或参照坐标。影响惯性测量技术的精度有很多,最大的是传感器的测量误差,因为测量物理量需要在时间上进行 2 次积分,因此,传感器的测量误差同样会随时间非线性增加。另外,地球吸引力、地球自转以及测量坐标系因在地球表面上的位移所发生的旋转都直接影响的惯性测量技术的测量精度。惯性测量技术仅适合短距离和短时间使用,一般主要用于轨道内部几何状态的测量。

[0026] 4. 测量设备的局限性

[0027] 光学测量设备属于精密测量仪器,对安装、使用、维修和环境要求都十分高,比如光线强度、温度、湿度、空气能见度、振动、目视条件、零部件安装误差和操作失误等因素都会影响到测量结果的准确性,重复率低。光学测量设备的另一缺陷是,必须依靠工程测量网才能进行长距离的测量。而测量工程测量网的参照点 CPIII 会大大增加测量时间和工作强度,影响工作效率。工程测量网参照点位置坐标的质量同样会影响最终的测量精度。

[0028] GPS-RTK 虽然稳定性好,受外界因素影响小,但是需要基准站和无线通讯等地面辅助设备,由于基站设备比较昂贵,所以不可能建立大量的永久性基站为轨道检测提供服务,测量时必须在将移动基站安装事先选好的位置使用。因为 GPS-RTK 的测量噪声比较大,对卫星信号接收质量要求也比较高,所以一般需要 60 分钟以上的时间才能得到可靠的位置信息。GPS-RTK 的测量精度和工作效率都不能满足轨道不平顺检测的需求。

[0029] 轨道测量中使用最多的惯性测量设备是光纤陀螺。光纤陀螺所测的物理量是传感器自身的转动,即角速度。利用角速度在时间上的累积可以计算出角度变化量。光纤陀螺的最大优点是测量精度高、输出频率高,而且不受外界影响,可以精确地测量出轨道的几何变化。但是,任何测量设备都带有测量误差,因为光纤陀螺仪所测的是角速度,因此,角速度的测量误差会导致角度测量结果随时间产生漂移。另外,测量设备的姿态会直接影响到光纤陀螺测量值的正确使用,因此,人们常常使用加速度计确定测量设备的姿态。测量设备的移动和震动都会影响加速度计的测量值,因此,姿态的测量精度也受到限制。总之,惯性测量设备的不适合于长时间的使用,因为测量速度有限,使得测量距离也同样受到限制。

[0030] 5. 测量方式的局限性

[0031] 由于历史原因和目前测量技术及方法的限制,传统的测量方式比较复杂、繁琐,首先是要确定轨道中心线的几何不平顺,如轨向不平顺和高低不平顺,然后确定两轨之间的几何不平顺,如轨距不平顺、水平不平顺、超高不平顺和三角坑(扭曲)不平顺等。这些不平顺参数只能表示短距离内的轨道内部几何不平顺,而要表示轨道外部几何不平顺,既轨道长波不平顺则需要使用其它参数,如位置偏差等,这是因为测量轨道内部几何不平顺所使用的基准是直线,而测量轨道外部几何不平顺的基准则是通过测量 CPIII 所得到的精度相对较低的几何曲线,这必然导致长波不平顺测量精度的降低。另外,对于轨道维护来说,最重要的是获得对每根轨道几何不平顺的测量值,而传统的测量方式需要对多个测量数据进行组合,比如,轨向、轨距和水平不平顺,这样会导致测量误差的叠加,影响最终测量值的精度。高铁无砟轨道对不平顺的要求非常高,而左右轨道的不平顺彼此是互不相关的,测量轨道中心线的几何状态就等于测量左右轨道的几何状态的平均值,也就是说,所测得的轨道中心线几何信息与左右轨道的几何信息都存在着一定的偏差,轨道中心线与左右轨道间的几何状态偏差同样是影响最终测量值精度的原因之一。目前大部分测量设备所采用的在线实时处理方式还存在一些其它的弱点,比如,为实时处理所能提供的仅是过去短时间内所采集的测量数据,测量信息是有限的,而且计算机的处理能力也同样是有限的,不能进行复杂的数学计算。

发明内容:

[0032] 本发明的目的在于使用与众不同的测量理论、测量方法、测量技术、测量设备和测量方式克服上述的缺点,提供一种用位置、方向和倾斜角测量进行轨道检测的 GPS 轨道不平顺检测系统及其检测方法。

[0033] 本发明的目的是通过以下技术方案来解决的:

[0034] 一种 GPS 轨道不平顺检测系统,包括测量单元和数据后处理单元,所述测量单元包括活动设置在轨道表面的移动支架和测量装置;所述测量装置刚性固定在移动支架上,该测量装置包括 2 个独立设置的测量数据采集记录仪;所述测量数据采集记录仪用于实时

测量移动支架的状态数据并将每次测量的状态数据按照时间顺序排列记录到数据记录单元中；所述数据后处理单元用于离线处理数据记录单元中记录的状态数据。

[0035] 所述测量数据采集记录仪由一个双天线 GPS 定位定向仪、三个陀螺仪、三个加速度计和一个导航计算与数据记录中心构成，其中双天线 GPS 定位定向仪用于测量移动支架的绝对位置、运行速度、轨向方向角和倾斜角，三个陀螺仪测量移动支架的三维角速度，三个加速度计测量移动支架的三维加速度；所述导航计算与数据记录中心对 GPS 定位定向仪所输出的绝对位置、运行速度、轨向方向角和倾斜角以及三个陀螺仪所输出的三维角速度和三个加速度计所输出的三维加速度数据进行导航计算处理，得出精确的时间、绝对位置、轨向方向角和倾斜角，并按时间顺序将状态数据记录在测量与数据采集记录仪内部的文档中；所述移动支架的状态数据是指移动支架的绝对位置、轨向方向角、倾斜角。

[0036] 所述移动支架包括四个纵向移动支架和二一个横向移动支架，该四个纵向移动支架和二一个横向移动支架通过六个连接件活动连接，使所述移动支架成为一个 ZZ 型的非刚性结构。

[0037] 所述移动支架与轨道之间设置有滑动装置，该滑动装置包括一个主安装板、二个侧安装板、二个导向轮和一个主滚动轮；所述导向轮包括一个固定支架、第一活动轴、一个弹簧、第二绝缘活动轴和金属轴承；所述主滚动轮由一个圆筒形尼龙件、二个金属轴承和一个金属轴组成。

[0038] 一种 GPS 轨道不平顺检测方法，按照如下步骤：

[0039] (1) 实时测量轨道的状态数据并将其按照时间顺序排列；所述状态数据是指测量点的绝对位置、轨向方向角和倾斜角；

[0040] (2) 将步骤 (1) 中绝对位置计算成相应的里程数据，并按照时间先后顺序将里程数据进行排序；

[0041] (3) 按照步骤 (2) 所得里程数据的顺序将步骤 (1) 中的里程、轨向方向角和倾斜角按选定步长进行筛选排序；

[0042] (4) 对步骤 (3) 中已排序的轨向方向角进行平滑处理，并在轨向方向里程坐标系中建立轨向方向测量曲线；

[0043] (5) 根据轨向方向测量曲线的几何特征划分区段；确定每个区段内轨向方向平顺曲线的类型；并在轨向方向测量曲线基础上，用最小二乘法确定代表轨向方向平顺曲线的轨向方向函数的参数，使轨向方向平顺曲线与轨向方向测量曲线偏差值的平方和为最小；当轨向方向变量为零时，轨向方向平顺曲线是直线型；当轨向方向变量为非零的常数时，轨向方向平顺曲线是圆弧线型；当轨向方向变量为一次变量时，轨向方向平顺曲线是过渡线型；

[0044] (6) 通过轨向方向测量曲线与轨向方向平顺曲线的差分，计算出轨向方向不平顺曲线；

[0045] (7) 以积分方式将轨向方向不平顺曲线转换成轨向几何不平顺曲线，以此得出轨向几何不平顺绝对值；

[0046] (8) 使用不同的观察波长对轨向几何不平顺绝对值进行处理计算，得出相应波长的轨向几何不平顺测量值；

[0047] (9) 按里程顺序读取倾斜方向测量数据，并对其进行平滑处理，在倾斜方向里程坐标

系中,建立倾斜方向测量曲线;

[0048] (10) 根据倾斜方向测量曲线的几何特征划分区段,确定每个区段内倾斜方向平顺曲线的类型;并在倾斜方向测量曲线基础上,用最小二乘法确定倾斜方向平顺曲线的倾斜方向函数的参数,使倾斜方向平顺曲线与倾斜方向测量曲线间偏差值的平方和为最小;当倾斜角方向变量为零时,倾斜方向平顺曲线是直线型;当倾斜角方向变量为非零的常数时,倾斜方向平顺曲线是圆弧线型;

[0049] (11) 通过倾斜方向测量曲线与倾斜方向平顺曲线的差分,计算出倾斜方向不平顺曲线;

[0050] (12) 用积分的方法将倾斜方向不平顺曲线换算成轨道高低几何不平顺曲线,以此得出高低不平顺的绝对值;

[0051] (13) 使用不同的观测波长对高低几何不平顺绝对值进行处理,计算出与波长相适应的高低几何不平顺测量值;所述观测波长是指检测轨道不平顺的最小长度。

[0052] 本发明使用方向里程坐标系,因为直角坐标系不能描述平滑曲线,所以选用方向里程坐标系对平滑曲线进行准确描述,因为方向里程坐标系可以同时描述平滑曲线中任意一点的位置和方向,其中里程表示每一测量点在曲线中的绝对位置,方向则表示相应测量点与下一临近测量点的指向,代表着曲线中各个测量点间的几何关系。因为平滑曲线具有位置和方向上的唯一性和连续性特征,曲线在方向里程坐标系中同样是唯一和连续的。曲线的方向信息与曲线中任意两个相邻点间的相对位置变化是相同的,所以曲线的方向信息就代表着曲线的几何位置变化信息,相当于曲线在直角坐标系中位置信息的导数。方向里程曲线不是直接描写曲线的几何位置,而是描写曲线的几何位置变化过程。使用方向里程坐标系有以下优点:

[0053] (1) 保留了曲线的位置信息和方向信息,保留了曲线中点与点之间的几何关系;

[0054] (2) 保证了平滑曲线的位置和方向唯一和连续基本特征,准确地描述平滑曲线;

[0055] (3) 方向与里程是两个互不相关的物理量,测量距离对方向值不会产生影响;

[0056] (4) 里程是一种单向连续增长的变量,可作为基数使用,因而减少了一个变量;

[0057] (5) 方向数值范围是封闭的,因此不会因为数值的大小影响测量精度;

[0058] (6) 因为方向信息相当于位置信息的导数,所以处理方向信息比处理位置信息简单;

[0059] (7) 一个方向里程坐标系可以描述一个二维平面中的平滑曲线,使用两个相互垂直的方向里程坐标系(水平方向和竖直方向)能描写一条三维空间的平滑曲线。

[0060] 因此,通过对轨道的位置、水平方向(轨向)和竖直方向(倾斜角)进行连续测量就可以在轨向里程坐标系和倾斜角里程坐标系中准确描写一条轨道的三维几何信息。

[0061] 本发明建立以里程为基准的方向测量轨道曲线,自动生成方向平顺曲线作为检测标准,通过对方向不平顺曲线的计算,推算出轨道的几何不平顺曲线

[0062] 要想使用轨道的位置和方向测量信息在方向里程坐标系中建立方向测量曲线,首先要将位置信息换算成里程信息,并选择一个恰当的固定步长按里程顺序将方向信息重新进行筛选和排列。因为方向和里程的测量数值中都会含有测量误差,所以,按顺序将方向里程坐标系中所标明的测量坐标点的用直线连接所形成的连线是不平滑的。根据平滑曲线方向上的连续特征,可以通过对连线进行简单的平滑处理,得出一条平滑曲线,以此消除测

量值中的噪声,提高方向测量曲线的精度。

[0063] 得出平滑方向测量曲线后,需要建立方向平顺曲线作为测量轨道方向不平顺的基准线。所谓平顺曲线就是绝对平顺的曲线。平顺曲线的定义与设计曲线不同。设计曲线既强调曲线的几何位置,同时又强调曲线的几何状态,既平顺状态。而理想曲线则只强调曲线的平顺状态,而不考虑曲线的几何位置。因此,我们将平顺曲线定义成为一条在总体几何位置已知情况下,其几何状态变化为最小的平滑曲线。

[0064] 设计轨道线路时,人们对轨道平顺状态的要求体现为三种形式:直线段、圆弧线段和过渡线段。因此,平顺轨道就是一条由这三种平顺特征的轨道线路段连接起来所形成的,其基本要求是平顺轨道与实际轨道的总体几何位置偏差为最小。

[0065] 在方向里程坐标系中,我们所要建立的是方向平顺曲线,而利用方向变量可以准确描述三种平顺理想曲线:

[0066] (1) 直线——方向变量为零;

[0067] (2) 圆弧线——方向变量为非零的常数;

[0068] (3) 过渡线——方向变量为一次变量;

[0069] 因此,我们可以首先根据方向测量曲线的几何特征划分区段,然后确定每个区段方向平顺曲线的类型,最后用最小二乘法计算出每一区段的方向平顺曲线,使方向测量曲线与方向平顺曲线间的总体偏差为最小,然后将所有区段的方向平顺曲线连接起来,形成一条总的方向平顺曲线,作为检测方向不平顺曲线的基准线。使用这种方法可以建立任何长度的方向平顺曲线,保证了基准线的准确度和精确度。

[0070] 轨道方向不平顺曲线可以简单地通过方向测量曲线与方向平顺曲线间的差分而得出。然后使用简单的积分方法可以将方向里程坐标系中的方向不平顺曲线转换成直角坐标系中的几何不平顺曲线。使用这种方法所计算出的轨道几何不平顺近似于绝对值,不受测量波长限制,具有极高的准确性。在实际工作中,我们对轨道不平顺检测的要求不是轨道不平顺的绝对值,而是在固定观察距离内的相对不平顺测量值,比如 10 米、20 米或 300 米观察距离等。我们可以对轨道几何不平顺绝对值进行相应的处理,达到以上需求。其方法是将测量点的几何不平顺绝对值减去测量点选定波长之前的几何不平顺绝对值以得到相应观测波长下的相对不平顺数值。

[0071] 本发明使用 GPS 定位定向技术和惯性测量技术测量轨道的位置、轨向方向角和倾斜方向角

[0072] 因为光学测量技术缺乏长距离连续观测的能力,而目前所使用的惯性测量技术则因为无法排除漂移误差而不能进行长时间的测量,所有我们选用 GPS 测量最新技术——双天线 GPS 定位定向技术和惯性测量相结合的方法,解决对方向进行连续精确测量这一难题。

[0073] 双天线 GPS 定位定向技术是利用 2 个 GPS 测量型天线和 1 个或 2 个 GPS 接收机和 1 个导航计算中心相组合,使用载波差分技术精确地测量出第二天线在已第一天线位置为原点的东北天直角坐标系中的三维几何位置,并将三维位置信息换算成水平方向角和倾斜角信息。使用双天线 GPS 定位定向技术所测量的方向角和倾斜角具有造价低、结构简单、多功能、准确性高和无漂移误差等优点。GPS 方向的稳定性可以弥补光纤陀螺仪所带有的漂移误差的缺陷,而光纤陀螺仪的高精度、高有效性和高可靠性消除了 GPS 定向技术的高噪声

和易受干扰等弊病,两种不同的方向测量方法是最佳组合。另外,GPS 定位定向技术同惯性测量技术一样,不需其它参照物或地面辅助设备,这是因为 GPS 定位定向技术内部使用全球坐标系,可以完成地球表面上任何一点的测量。

[0074] 本发明使用 GPS 惯性组合测量设备

[0075] 在 GPS 定位定向技术与惯性导航融合技术已在航空业研究使用多年,所以我们所选用 GPS 惯性融合导航设备是一种集成度很高的成熟产品。使用 GPS 惯性融合导航设备作为数据采集和记录设备有许多优点,比如,测量功能齐全,实时输出时间、位置、速度、加速度、角速度、方向角和倾斜角等测量数据,可以完全独立工作、测量精度高、速度快、数据更新率高、自动记录数据、能长时间地连续工作、不需给入指令或其它地面设施,如铁路工程测量网或地面设施等。虽然,价格较高,但是测量精度和速度都比传统测量设备提高一个或几个数量级,性价比十分突出。

[0076] 本发明使用双轨在线测量和数据采集与离线数据后处理方式

[0077] 为了避免传统检测方式中测量误差叠加问题, GPS 轨道测量系统采用双系统双轨测量方式,同时对每根轨道的轨向和高低不平顺直接进行非接触式检测。为了加快检测速度,采用数据采集与数据处理分步进行方式,提高工作效率。

[0078] 本发明的优点是:用轨道方向测量曲线描述被测轨道更加准确和完整;充分利用惯性测量设备的测量精度和 GPS 定向的稳定性实现对轨道的全面、快速、连续、高精度和独立测量;使用轨道方向平顺曲线作为检测轨道方向不平顺的基准,避免了使用直线影响长距离轨道不平顺检测所带来的弊病;采用对双轨进行非接触式的直接测量方式降低了轨道测量的复杂性,避免了测量误差叠加的可能性;采用在线轨道测量与数据采集和离线数据后处理的工作模式,加快了测量速度,减少了对技术人员的工作时间和强度要求,提高了工作效率;通过计算轨道方向不平顺推算轨道几何不平顺的方法可以测出轨道几何不平顺的绝对值,选用任意观测波长对所测定的近似于绝对值的进行处理,得出相应波长的相对轨道几何不平顺,更有方便于轨道的检测和维护工作。

[0079] 因为本发明的检测方法和设备能够完全独立工作,不需要其它地面辅助设备的支持,比如铁路工程监测网,为今后减少铁路建设和维修的投入、减少建设和运营开支,提供了新的可能性。

[0080] 本发明能检测超长波长的轨道不平顺,为监测路基沉降和线下构筑物变形提供了新的方法。

[0081] 本发明的检测原理不受测量速度影响,可以直接安装在动车组上实现 350 公里/小时以上的实速检测,为列车在实际运营过程中实时提供有关轨道线路现行状态信息,同时也实时提供列车自身的时间、位置、里程、轨道线路以及速度、加速度、转速、振动等全方位的静态与动态信息,提高列车对自身和轨道的监控能力,保证行车安全。

附图说明:

[0082] 图 1 是本发明测量单元的结构示意图;

[0083] 图 2 是本发明滑动装置的结构示意图;

[0084] 图 3 是本发明的方法流程示意图;

[0085] 图 4 是本发明的方法 10 米观测波长的轨向偏差比较图;

[0086] 图 5 是本发明的方法 20 米观测波长的轨向偏差比较图；

[0087] 其中 1 是左轨道、2 是右轨道、3 是第一纵向移动支架、4 是第二纵向移动支架、5 是第三纵向移动支架、6 是第四纵向移动支架、7 是第一横向移动支架、8 是第二横向移动支架、9 是第一 GPS 天线、10 是第二 GPS 天线、11 是第三 GPS 天线、12 是第四 GPS 天线、13 是第一 GPS 惯性测量仪、14 是第二 GPS 惯性测量仪、15 是活动连接件、16 是金属轴承、17 是侧安装板、18 是圆筒形尼龙件、19 是固定支架、20 是活动轴、21 是绝缘轴。

具体实施方式：

[0088] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述：

[0089] 参见图 1、2，一种 GPS 轨道不平顺检测系统，包括测量单元和数据后处理单元，所述测量单元包括活动设置在轨道表面的移动支架和测量装置；所述测量装置刚性固定在移动支架上，该测量装置包括 2 个独立设置的测量数据采集记录仪；所述测量数据采集记录仪用于实时测量移动支架的状态数据并将每次测量的状态数据按照时间顺序排列记录到数据记录单元中；所述数据后处理单元用于离线处理数据记录单元中记录的状态数据。

[0090] 所述 2 个独立设置的测量数据采集记录仪分别是第一测量数据采集记录仪和第二测量数据采集记录仪；其中第一测量数据采集记录仪由第一双天线 GPS 定位定向仪和第一 GPS 惯性测量仪组成，第一双天线 GPS 定位定向仪上的第一 GPS 天线和第二 GPS 天线分别设置在第一纵向移动支架和第二纵向移动支架上，第一纵向移动支架和第二纵向移动支架之间通过活动连接件连接；其中第二测量数据采集记录仪由第二双天线 GPS 定位定向仪和第二 GPS 惯性测量仪组成，第二双天线 GPS 定位定向仪上的第三 GPS 天线和第四 GPS 天线分别设置在第三纵向移动支架和第四纵向移动支架上，第三纵向移动支架和第四纵向移动支架之间通过活动连接件连接；第一 GPS 惯性测量仪和第二 GPS 惯性测量仪都包括三个陀螺仪、三个加速度计和一个导航计算与数据记录中心；其中双天线 GPS 定位定向仪用于测量移动支架的绝对位置、运行速度、轨向方向角和倾斜角，三个陀螺仪测量移动支架的三维角速度，三个加速度计测量移动支架的三维加速度；所述导航计算与数据记录中心对 GPS 定位定向仪所输出的绝对位置、运行速度、轨向方向角和倾斜角以及三个陀螺仪所输出的三维角速度和三个加速度计所输出的三维加速度数据进行导航计算处理，得出精确的时间、绝对位置、轨向方向角和倾斜角，并按时间顺序将状态数据记录在测量与数据采集记录仪内部；所述移动支架的状态数据是指移动支架的绝对位置、轨向方向角和倾斜角。

[0091] 所述移动支架包括四个纵向移动支架和二个横向移动支架，该四个纵向移动支架和二个横向移动支架通过六个连接件活动连接，使所述移动支架成为一个 ZZ 型的非刚性结构。

[0092] 所述移动支架与轨道之间设置有滑动装置，该滑动装置包括一个主安装板、二个侧安装板、二个导向轮和一个主滚动轮；所述导向轮包括一个固定支架、活动轴、一个弹簧、绝缘轴和金属轴承；所述主滚动轮由一个圆筒形尼龙件、二个金属轴承和一个金属轴组成。

[0093] 将硬盘中所记录的测量数据文档输入到数据处理中心的计算机中，使用 GPS 轨道测量后处理单元进行处理。GPS 轨道测量数据后处理单元按照以下步骤：

[0094] a) 读取数据记录文档；

[0095] b) 测量数据的初处理，其主要目的是将所有测量数据中的位置信息换算成里程参

数,并按里程顺序将方向测量数据重新排列,选择固定步长将测量数据重新记录到新的文档中,以便下一步处理计算使用;

[0096] c) 建立轨向方向测量曲线和倾斜方向测量曲线:读取所有按里程排列的含有轨向方向和倾斜方向测量数据,分别将轨向方向数据和倾斜方向数据进行平滑处理,消除两种方向测量值中的噪声,形成平滑的轨向方向测量曲线和倾斜方向测量曲线;

[0097] d) 建立轨向方向平顺曲线和倾斜方向平顺曲线:根据轨向方向测量曲线和倾斜方向测量曲线的特征进行自动分段,根据每段测量曲线的基本特征,确定每段轨向方向平顺曲线和倾斜方向平顺曲线的种类,使用最小二乘法建立每段的最佳轨向方向平顺曲线和倾斜方向平顺曲线。

[0098] e) 计算轨向方向不平顺和倾斜方向不平顺:将轨向方向测量曲线与轨向方向平顺曲线进行差分得出轨向方向不平顺曲线,将倾斜方向测量曲线与倾斜方向平顺曲线进行差分得出倾斜方向不平顺曲线;

[0099] f) 轨向方向不平顺曲线与轨向几何不平顺曲线换算以及倾斜方向不平顺曲线与倾斜几何不平顺曲线的换算:以积分方式,将固定步长的轨向方向不平顺曲线换算成轨向几何不平顺曲线,并以同样方式,将轨道步长的倾斜方向不平顺曲线换算成轨道高低几何不平顺曲线;

[0100] g) 计算不同观测波长下的相对轨向几何不平顺曲线和相对高低几何不平顺曲线:将所有轨向几何不平顺测量值分别减去选定波长固定距离前的轨向几何不平顺测量值,以得出相应波长的相对轨向几何不平顺曲线。将所有高低几何不平顺的测量值减去选定波长固定距离前的高低几何不平顺测量值,以得出相应波长的相对轨道高低几何不平顺曲线。

[0101] h) 用图像显示所有曲线的功能和任意放大和平移图像显示窗口;

[0102] 本发明中几何偏差的具体算法由下述公式给出:

$$[0103] \quad \Delta v = \Delta l \cdot \sin(\Delta \theta) \approx \Delta l \cdot \Delta \theta$$

[0104] 使用以下公式可计算出测量轨道与理想轨道横向长距离的几何偏差:

$$[0105] \quad v(l) = \sum_0^1 \theta(l)$$

[0106] 其中, l 为里程变量, $\theta(l)$ 为方向偏差角变量, $v(l)$ 为几何偏差变量。这样,就将方向偏差曲线转换成了几何位置偏差曲线,并能够得出任意里程上位置的偏差值。

[0107] 本发明的核心是:使用GPS惯性组合测量系统和“ZZ”型变形结构测量拖车对双轨同时进行位置、方向角和倾斜角进行测量并记录测量数据,首次提出用方向里程坐标描述被测轨道线路,建立轨道方向测量曲线,并在轨道方向测量曲线的基础上,结合平顺轨道的基本特征组成轨道方向平顺曲线,保证基准线的准确性和可靠性,利用差分计算出轨道方向不平顺曲线,再用积分方法推导出轨道几何不平顺的绝对值,最后根据需要,选用固定观测波长对轨道几何不平顺曲线进行处理,得出相应波长的规定几何不平顺曲线。

[0108] 我们在新建郑西高速客运专线上进行了多次实地重复性测量实验,测试线路长1.6公里,测试结果表明,绝大部分的轨道不平顺均小于1毫米,只有一处3885米地段的轨道存在大于3毫米的不平顺。图4和图5所示的是10米和20米观测波长下同一路段上往返七次轨向不平顺的测量数据,图中可以看出,在同一里程上轨向不平顺测量值是基本相同的,测量偏差 ≤ 0.5 毫米。

[0109] 从图 4 和图 5 相比较可以看出, 20 米观测波长下的不平顺测量值比 10 米观测波长下的测量值更接近于实际情况。图 4 所显示在 A、B 两处都存在着 3 毫米的不平顺。而图 5 则显示轨道只在 A 处出现一个 3 毫米左右的 20 米波长的不平顺, B 处则是平顺的。由此可见, 观测波长的选择直接影响轨道不平顺检测值。

[0110] 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。

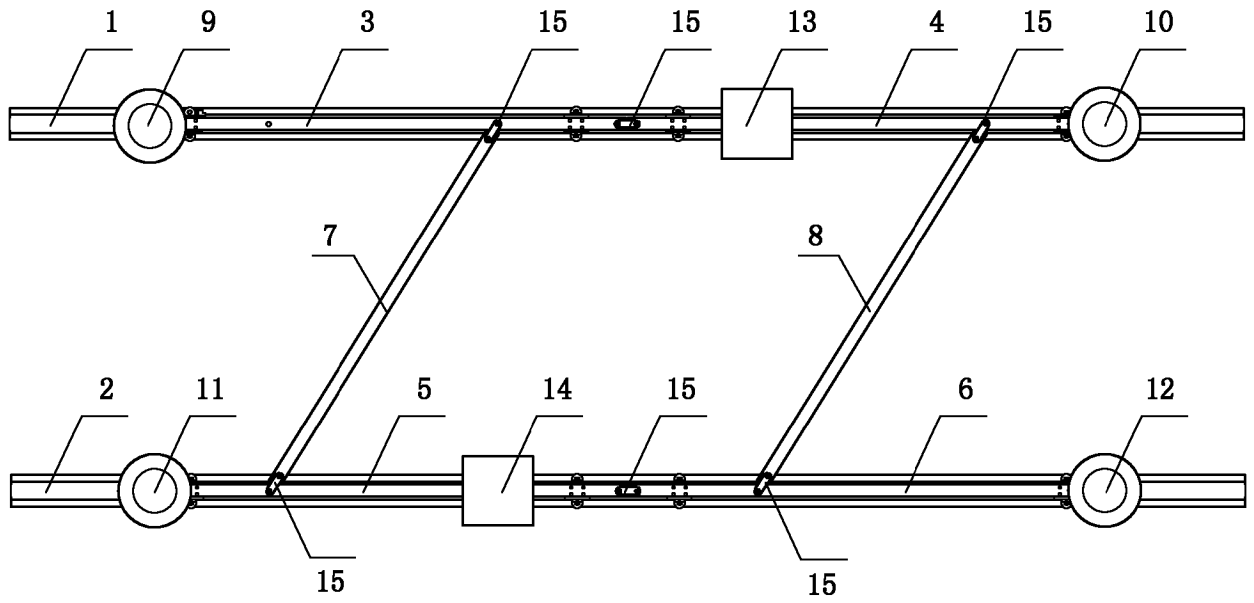


图 1

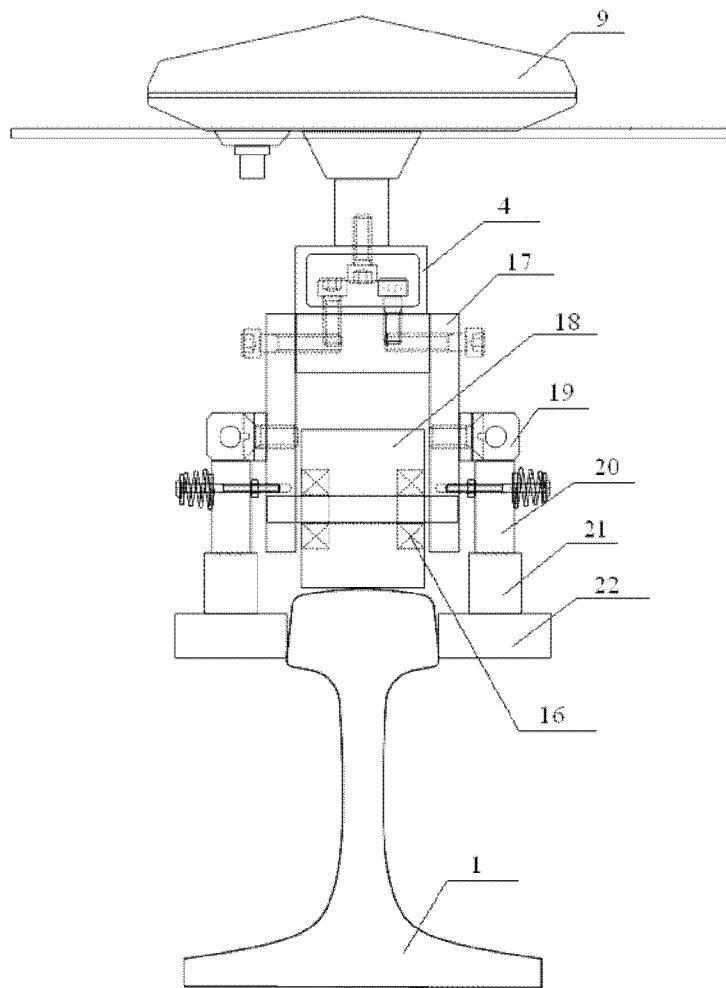


图 2

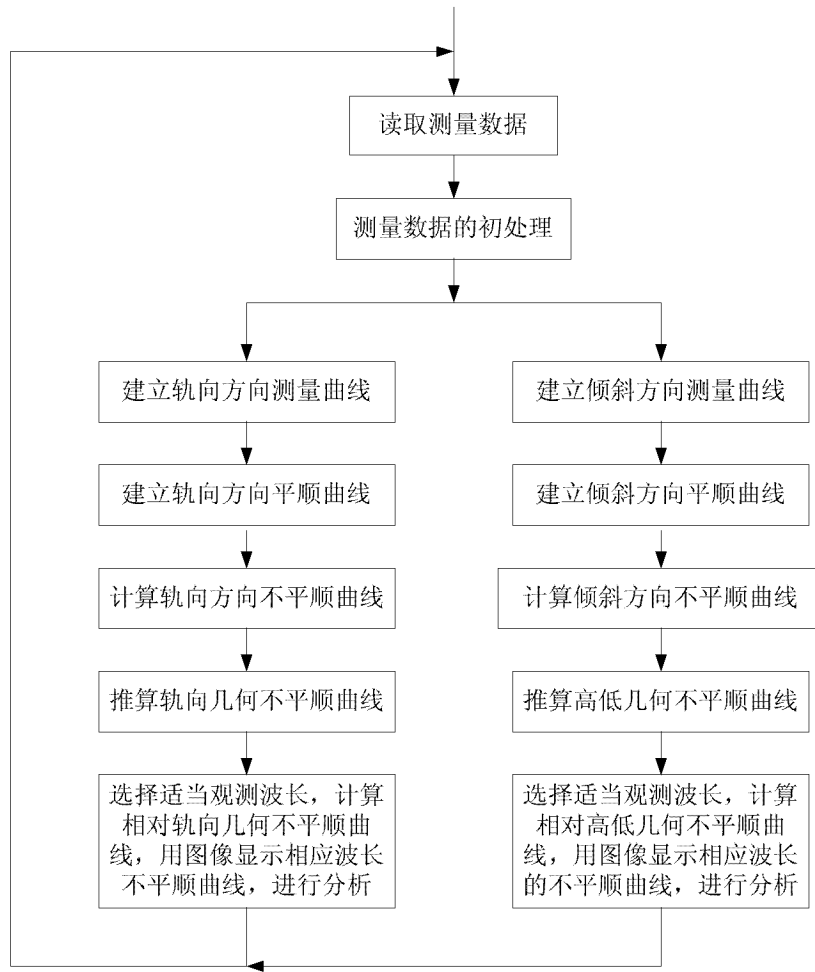


图 3

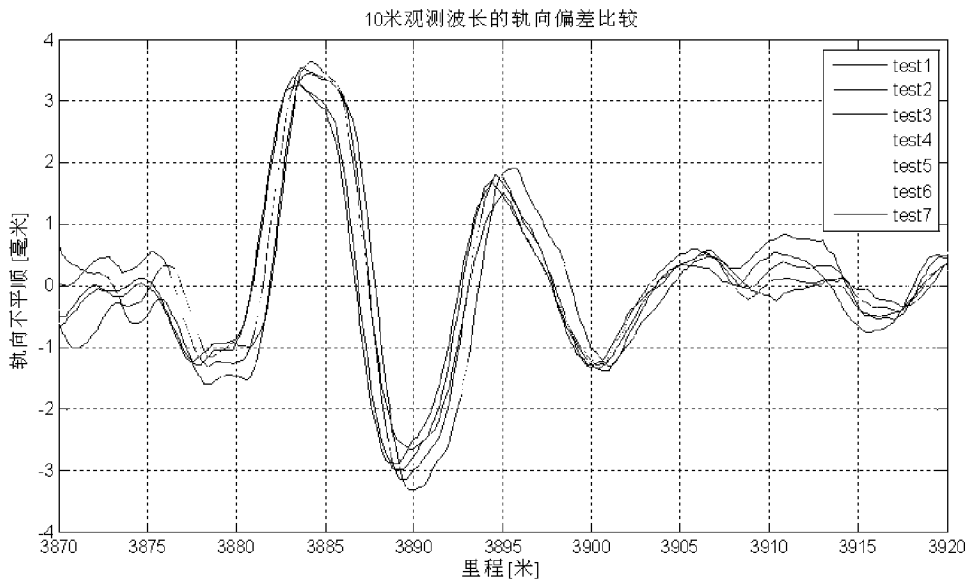


图 4

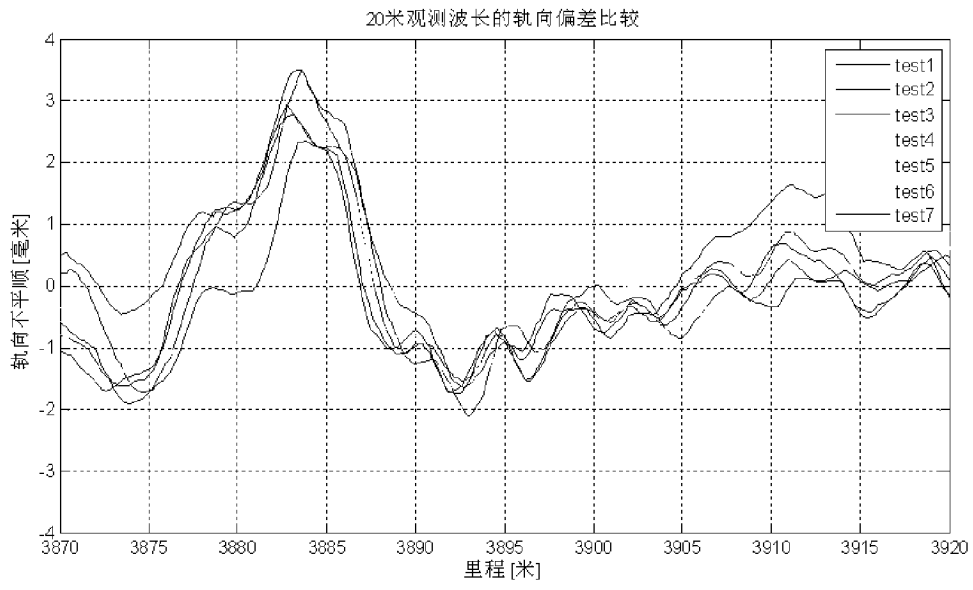


图 5