



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104296717 B

(45)授权公告日 2017.04.12

(21)申请号 201410513455.3

(22)申请日 2014.09.29

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104296717 A

(43)申请公布日 2015.01.21

(73)专利权人 中国石油天然气股份有限公司
地址 100007 北京市东城区东直门北大街9号中国石油大厦

(72)发明人 李睿 冯庆善 陈朋超 张海亮
赵晓明 韩小明 刘成海 燕冰川

(74)专利代理机构 北京华沛德权律师事务所
11302

代理人 刘杰

(51)Int.Cl.

G01B 21/32(2006.01)

(56)对比文件

CN 203337155 U,2013.12.11,
CN 101936735 A,2011.01.05,
CN 102435165 A,2012.05.02,
US 2010305875 A1,2010.12.02,
CN 103185565 A,2013.07.03,
王富祥等.油气管道惯性测绘内检测及其应用.《油气储运》.2012,第31卷(第5期),第372-375页.

审查员 赵柯

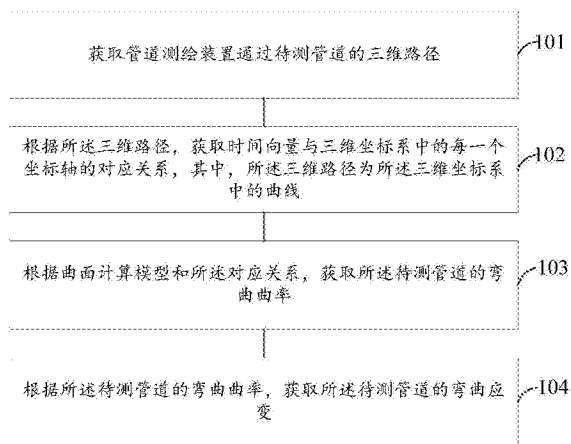
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

一种管道弯曲应变的获取方法及测量设备

(57)摘要

本发明公开了一种管道弯曲应变的获取方法及测量设备,获取管道测绘装置通过待测管道的三维路径;根据所述三维路径,获取时间向量与三维坐标系中的每一个坐标轴的对应关系,其中,所述三维路径为所述三维坐标系中的曲线;根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的弯曲曲率;根据所述待测管道的弯曲曲率,获取所述待测管道的弯曲应变。



1. 一种管道弯曲应变的获取方法,其特征在于,包括:

获取管道测绘装置通过待测管道的三维路径;

根据所述三维路径,获取时间向量与三维坐标系中的每一个坐标轴的对应关系,其中,所述三维路径为所述三维坐标系中的曲线;

根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的弯曲曲率;

根据所述待测管道的弯曲曲率,获取所述待测管道的弯曲应变;所述三维路径具体为:

$$v(s) = [x(s), y(s), z(s)] \quad \text{公式(1)}$$

其中, $v(s)$ 用于表征所述三维路径, s 为选取中心线的距离;所述根据所述三维路径,获取时间向量与三维坐标系中的每一个坐标轴的对应关系,具体为:

若时间向量用 t 表示,且 t 与三维坐标系中的 xy 平面之间的角度为 P , t 与三维坐标系中的 yz 平面之间的角度为 A ,则 t 与每一个坐标轴的对应关系为:

$$t_x = \cos P \sin A$$

$$t_y = \cos P \cos A \quad \text{公式(2)}$$

$$t_z = \sin P。$$

2. 如权利要求1所述的获取方法,其特征在于,所述根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的弯曲曲率,具体为:

根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的总曲率、所述待测管道的垂直曲率和所述待测管道的水平曲率。

3. 如权利要求2所述的获取方法,其特征在于,所述根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的总曲率、所述待测管道的垂直曲率和所述待测管道的水平曲率,具体为:

根据三维坐标系中总曲率为 $k(s) = dt/ds$,确定曲率与三维坐标系中的三个平面的对应关系为:

$$k_x = dt_x/ds; k_y = dt_y/ds; k_z = dt_z/ds \quad \text{公式(3)}$$

$$k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2} \quad \text{公式(4)}$$

将公式(2)代入公式(3)和公式(4)中,获取所述待测管道的总曲率为:

$k = \sqrt{(dP/ds)^2 + ((dA/ds) \cos P)^2}$,所述待测管道的垂直曲率为 $k_v = -dP/ds$ 和所述待测管道的水平曲率为 $k_h = -(dA/ds) \cos P$ 。

4. 如权利要求3所述的获取方法,其特征在于,所述根据所述待测管道的弯曲曲率,获取所述待测管道的弯曲应变,具体包括:

根据弯曲曲率与弯曲应变的关系模型和所述待测管道的弯曲曲率,确定所述待测管道的总弯曲应变为 $\varepsilon = kD/2$ 、所述待测管道的水平弯曲应变为 $\varepsilon_h = k_h D/2$ 和所述待测管道的垂直弯曲应变为 $\varepsilon_v = k_v D/2$ 。

5. 如权利要求3所述的方法,其特征在于,在所述获取所述待测管道的弯曲应变之后,所述方法还包括:

根据所述管道的弯曲应变,获取所述管道表面上任意一点所受的弯曲应变 $\varepsilon(\alpha)$ 为:

$$\varepsilon(\alpha) = \varepsilon_v \cos \alpha + \varepsilon_h \sin \alpha$$

其中, α 为管道截面的顺时针角度。

一种管道弯曲应变的获取方法及测量设备

技术领域

[0001] 本发明涉及原油管道测量领域,具体涉及一种管道弯曲应变的获取方法及测量设备。

背景技术

[0002] 长输管道具有输送能力大、成本低等优点,是油气输送的主要方式。但由于地震、滑坡、洪水、永久冻土融沉、冻胀和第三方损毁等地质灾害原因,管道会产生位移,导致管道区域性或局部性弯曲应变,严重时,环境载荷会引起管道褶皱,影响管道完整性,如果不能及时发现和维修,会缩短管道使用寿命,甚至发生油气泄漏的危险,对环境和人类的生命财产安全造成威胁。

[0003] 现有技术中,通常使用视距技术、声发射和光纤方法等测量管道位移的方法来测量管道位移,但是上述测量管道位移的方法需要安装专用传感器、建设信号传输设施和人为手动操作等,由于专用传感器在测量管道位移时,是隔着水和沙土等介质来测量的,使得测量的数据准确性不高,使得根据所述测量数据而获得的长输管道的弯曲应变的精确性也较低。

发明内容

[0004] 本发明提供一种管道弯曲应变的获取方法及测量设备,能够将管道测绘装置运行在待测管道中,使得测量而得到的数据准确性更高,使得根据所述测量数据而得到的待测管道的弯曲应变的精确度也更高。

[0005] 本申请实施例提供了一种管道弯曲应变的获取方法,包括:

[0006] 获取管道测绘装置通过待测管道的三维路径;

[0007] 根据所述三维路径,获取时间向量与三维坐标系中的每一个坐标轴的对应关系,其中,所述三维路径为所述三维坐标系中的曲线;

[0008] 根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的弯曲曲率;

[0009] 根据所述待测管道的弯曲曲率,获取所述待测管道的弯曲应变。

[0010] 可选的,所述三维路径具体为:

[0011] $v(s) = [x(s), y(s), z(s)]$ 公式(1)

[0012] 其中, $v(s)$ 用于表征所述三维路径, s 为选取中心线的距离。

[0013] 可选的,所述根据所述三维路径,获取时间向量与三维坐标系中的每一个坐标轴的对应关系,具体为:

[0014] 若时间向量用 t 表示,且 t 与三维坐标系中的 xy 平面之间的角度为 P , t 与三维坐标系中的 yz 平面之间的角度为 A ,则 t 与每一个坐标轴的对应关系为:

[0015] $t_x = \cos P \sin A$

[0016] $t_y = \cos P \cos A$ 公式(2)

[0017] $t_z = \sin P$ 。

[0018] 可选的,所述根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的弯曲曲率,具体为:

[0019] 根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的总曲率、所述待测管道的垂直曲率和所述待测管道的水平曲率。

[0020] 可选的,所述根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的总曲率、所述待测管道的垂直曲率和所述待测管道的水平曲率,具体为:

[0021] 根据三维坐标系中总曲率为 $k(s) = dt/ds$,确定曲率与三维坐标系中的三个平面的对应关系为:

[0022] $k_x = dt_x/ds; k_y = dt_y/ds; k_z = dt_z/ds$ 公式(3)

[0023] $k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}$ 公式(4)

[0024] 将公式(2)代入公式(3)和公式(4)中,获取所述待测管道的总曲率为:

$k = \sqrt{(dP/ds)^2 + ((dA/ds)\cos P)^2}$,所述待测管道的垂直曲率为 $k_v = -dP/ds$ 和所述待测管道的水平曲率为 $k_h = -(dA/ds)\cos P$ 。

[0025] 可选的,所述根据所述待测管道的弯曲曲率,获取所述待测管道的弯曲应变,具体包括:

[0026] 根据弯曲曲率与弯曲应变的关系模型和所述待测管道的弯曲曲率,确定所述待测管道的总弯曲应变为 $\varepsilon = kD/2$ 、所述待测管道的水平弯曲应变为 $\varepsilon_h = k_h D/2$ 和所述待测管道的垂直弯曲应变为 $\varepsilon_v = k_v D/2$ 。

[0027] 可选的,在所述获取所述待测管道的弯曲应变之后,所述方法还包括:

[0028] 根据所述管道的弯曲应变,获取所述管道表面上任意一点所受的弯曲应变 $\varepsilon(\alpha)$ 为:

[0029] $\varepsilon(\alpha) = \varepsilon_v \cos \alpha + \varepsilon_h \sin \alpha$

[0030] 其中, α 为管道截面的顺时针角度。

[0031] 本申请另一实施例还提供了一种管道弯曲应变的测量设备,包括:

[0032] 三维路径获取单元,用于获取管道测绘装置通过待测管道的三维路径;

[0033] 对应关系获取单元,用于根据所述三维路径,获取时间向量与三维坐标系中的每一个坐标轴的对应关系,其中,所述三维路径为所述三维坐标系中的曲线;

[0034] 弯曲曲率获取单元,用于根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的弯曲曲率;

[0035] 弯曲应变获取单元,用于根据所述待测管道的弯曲曲率,获取所述待测管道的弯曲应变。

[0036] 本发明的有益效果如下:

[0037] 基于上述技术方案,本发明实施例中,获取管道测绘装置通过待测管道的三维路径,再根据所述三维路径,获取时间向量与三维坐标系中的每一个坐标轴的对应关系,根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的弯曲曲率;根据所述待测管道的弯曲曲率,获取所述待测管道的弯曲应变,由于所述三维路径是所述管道测绘装置通过所述待测管道而获得的,使得获取的所述三维路径更准确,进而通过所述三维路径而获取的弯曲应变也更准确,使得根据所述测量数据而得到的待测管道的弯曲应变的精确度也更高。

附图说明

- [0038] 图1为本发明实施例中管道弯曲应变的获取方法的流程图；
- [0039] 图2为本发明实施例中在管道测绘装置运行在管道中的结构图；
- [0040] 图3为本发明实施例中时间向量与三维坐标系对应的结构图；
- [0041] 图4为本发明实施例中待测管道的曲率图；
- [0042] 图5为本发明实施例中检测器的俯仰角的曲线图；
- [0043] 图6为本发明实施例中检测器的航向角的曲线图；
- [0044] 图7为本发明实施中待测管道的三维路径图；
- [0045] 图8为本发明实施中待测管道的水平应变的曲线图；
- [0046] 图9为本发明实施中待测管道的垂直应变的曲线图；
- [0047] 图10为本发明实施例中管道弯曲应变的测量设备的结构图。

具体实施方式

[0048] 本发明提供一种管道弯曲应变的获取方法及测量设备,能够将管道测绘装置运行在待测管道中,使得测量而得到的数据准确性更高,使得根据所述测量数据而得到的待测管道的弯曲应变的精确度也更高。

[0049] 下面结合附图对本发明优选的实施方式进行详细说明。

[0050] 如图1所示,本发明一实施例提供了一种管道弯曲应变的获取方法,所述方法包括:

[0051] 步骤101:获取管道测绘装置通过待测管道的三维路径;

[0052] 步骤102:根据所述三维路径,获取时间向量与三维坐标系中的每一个坐标轴的对应关系,其中,所述三维路径为所述三维坐标系中的曲线;

[0053] 步骤103:根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的弯曲曲率;

[0054] 步骤104:根据所述待测管道的弯曲曲率,获取所述待测管道的弯曲应变。

[0055] 其中,在步骤101中,所述管道测绘装置包括检测器和跟踪装置,其中,所述检测器包括里程装置和惯性元件,所述惯性元件例如是陀螺仪和加速度计等电子设备,所述里程装置例如是里程计等电子设备,在确定所述待测管道之后,将所述检测器运行在所述待测管道中,通过所述跟踪装置对所述待测管道的运行数据进行定位和修正,从而可以通过所述检测器通过所述待测管道的三维路径。

[0056] 在具体实施过程中,参见图2,所述管道测绘装置包括检测器30和跟踪装置40,其中,检测器30包括4个里程轮31、记录装置32、时钟33、惯性元件34和里程计35,跟踪装置40包括GPS接收机41、记录装置42、信号探测器43和时钟44,4个里程轮31通过弹簧紧密接触在管道20的内壁上,以300个/m产生脉冲信号,测量检测器30在行进时的角度变化和速度变化,惯性元件34的角速度漂移率不大于 $0.01^{\circ}/h$,跟踪装置40用于确定跟踪装置40的GPS位置和探测检测器40通过的时间,其中,GPS接收机41用于接收检测器30发出的脉冲信号。当然,检测器30中的里程轮还可以设置为3个或4个以上的数量,本申请不作具体限制。

[0057] 其中,在检测开始前,对检测器30和跟踪装置40的时钟进行同步,确保两者记录的数据能够按时间对齐,然后将同步后的跟踪装置40,在管道20沿线,按1km的间隔摆放在管

道20的正上方,用于测量跟踪装置40自身的GPS位置和记录检测器30通过的时间,然后,运行检测器30,依靠管道20内流动介质的压强推动检测器30在管道20内运行,通过惯性元件34和里程计35测量检测器30在管道20内运行的姿态和距离,通过检测器30内的记录装置42记录所述姿态和距离,其中,惯性元件34和里程计35的数据记录频率例如可以为50Hz、60Hz等;同时通过跟踪装置40中的记录装置44记录自身的GPS位置和检测器30通的时间数据,运行结束后,获取记录装置34和记录装置44中记录的惯性元件数据、里程计数据和GPS数据、时钟数据等所有数据,对所有数据进行分析,进而获取管道20的三维路径。

[0058] 其中,在对所有数据进行分析时,首先按时间整合惯性元件数据、里程计数据,估算检测器30通过管道20的三维路径,得到检测器30运行的姿态,即航向角Azimuth (A)、俯仰角Pitch (P) 和滚动角Yew (Y),采用卡尔曼滤波处理后,消除惯性元件34漂移误差,再结合里程计数据可计算出检测器30的准确姿态信息,根据所述姿态信息,获取所述三维路径,由于检测器30的姿态信息更准确,使得获取的所述三维路径更精确。

[0059] 具体的,所述检测器在所述待测管道中所经过的轨迹(即管道中心线)将在空间坐标系(笛卡尔坐标系)中形成一条曲线 $v(s)$, s 为选取中心线的距离,则可以确定所述三维路径具体为:

$$[0060] \quad v(s) = [x(s), y(s), z(s)] \quad \text{公式(1)}$$

[0061] 其中, $v(s)$ 用于表征所述三维路径, s 为选取中心线的距离。

[0062] 接下来执行步骤102,在该步骤中,根据所述三维路径,获取时间向量与三维坐标系中的每一个坐标轴的对应关系,其中,所述三维路径为所述三维坐标系中的曲线。

[0063] 在具体实施过程中,参见图3,若时间向量用 t 表示,则向量 t 是与某点轨迹 $v(s)$ 相切的切向量,它与空间坐标系 xy 平面所成角度为Pitch (P),即为所述检测器的俯仰角;同理,向量 t 与 yz 平面所成角度为Azimuth (A),即为所述检测器的航向角,如此,则可以得到向量 t 与空间坐标系三轴之间的关系为:

$$[0064] \quad t_x = \cos P \sin A$$

$$[0065] \quad t_y = \cos P \cos A \quad \text{公式(2)}$$

$$[0066] \quad t_z = \sin P。$$

[0067] 接下来执行步骤103,在该步骤中,根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的弯曲曲率。

[0068] 在具体实施过程中,在通过步骤102获取到所述时间向量与三维坐标系中的每一个坐标轴的对应关系之后,根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的总曲率、所述待测管道的垂直曲率和所述待测管道的水平曲率,其中,所述待测管道的弯曲曲率包括所述总曲率、所述垂直曲率和所述水平曲率。

[0069] 具体来讲,若假设 $k(s)$ 为管道中心线的曲率,则曲率 k 为可表示为垂直方向的 k_v 和水平方向的 k_h ,则总曲率 k 和垂直曲率及水平曲率在导航坐标系的关系为:

$$[0070] \quad k = \sqrt{k_v^2 + k_h^2}$$

[0071] 再根据三维坐标系中总曲率为 $k(s) = dt/ds$,确定曲率与三维坐标系中的三个平面的对应关系为:

$$[0072] \quad k_x = dt_x/ds; k_y = dt_y/ds; k_z = dt_z/ds \quad \text{公式(3)}$$

[0073] $k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}$ 公式 (4)

[0074] 具体的,可以将公式 (2) 代入公式 (3) 后得出:

[0075] $k_x = -\sin P (dP/ds) \sin A + \cos P \cos A (dA/ds)$

[0076] $k_y = -\sin P (dP/ds) \cos A - \cos P \sin A (dA/ds)$ 公式 (5)

[0077] $k_z = \cos P (dP/ds)$

[0078] 具体的,再将公式 (5) 代入公式 (4),从而获取所述待测管道的总曲率为:

$k = \sqrt{(dP/ds)^2 + ((dA/ds) \cos P)^2}$,所述待测管道的垂直曲率为 $k_v = -dP/ds$ 和所述待测管道的水平曲率为 $k_h = -(dA/ds) \cos P$ 。

[0079] 在实际应用过程中,曲率符号定义如图4所示,对于水平弯曲,沿介质流向,定义向右弯为正,向左弯为负,对于垂直弯曲,沿介质流向,定义向下弯为正,向上弯为负。具体如图5和图6所示分别为检测器20的俯仰角及航向角的曲线图,由于航向角及俯仰角同为离散数据,需进行多项式拟合后计算每一点的曲率。

[0080] 接下来执行步骤104,在该步骤中,据所述待测管道的弯曲曲率,获取所述待测管道的弯曲应变。

[0081] 在具体实施过程中,根据弯曲曲率与弯曲应变的关系模型和所述待测管道的弯曲曲率,确定所述待测管道的总弯曲应变为 $\varepsilon = kD/2$ 、所述待测管道的水平弯曲应变为 $\varepsilon_h = k_h D/2$ 和所述待测管道的垂直弯曲应变为 $\varepsilon_v = k_v D/2$ 。

[0082] 具体来讲,根据管道水平曲率和垂直曲率结果,通过以下公式,即可得到管道的总弯曲应变 ε 及水平 ε_h 、垂直方向 ε_v 的弯曲应变:

[0083] $\varepsilon = kD/2$

[0084] $\varepsilon_v = k_v D/2$

[0085] $\varepsilon_h = k_h D/2$

[0086] 管道的弯曲总应变 ε 是管道截面上轴向方向受管道弯曲变形时所产生的最大应变,所以管道表面任意一点所受的弯曲应变 $\varepsilon(\alpha)$ 为:

[0087] $\varepsilon(\alpha) = \varepsilon_v \cos \alpha + \varepsilon_h \sin \alpha$

[0088] 其中, α 为管道截面的顺时针角度。

[0089] 在实际应用过程中,使用上述获取方法对某管道进行了弯曲应变测量,采用检测器携带惯性元件的组合检测系统,被检测管道的直径是28英寸,在正式检测时,采用差分GPS系统,对摆放跟踪装置的点位进行了准确测量,所述检测器运行速度设定在1~3m/s范围内,检测结束后,对检测数据进行下载和后处理,所述检测器测量的管段长度为119m,与实际长度一致。

[0090] 其中,从所述检测器测量数据获得的管段三维路径如图7所示,根据所述惯性元件中的陀螺仪和里程轮数据,经滤波处理后,获得管道水平应变如图8所示,垂直应变如图9所示,设定弯曲应变检测阈值为应变0.125%,即1/400D曲率,最小应变特征的长度不小于12m,即标准管节的长度,从图9中可以看出,在距离42.5m~61.1m处,存在一个应变0.17%超过检测阈值的弯曲变形特征,长度18.55m,其水平应变分量为-0.07%,垂直应变分量为0.16%,这与实际管道弯曲变形量是一致的,证明了本获取方法的有效性。

[0091] 本例经试验,具有可重复性强、误差小、灵敏度高、检测范围广的优点,适合定期、

全面的长输管道弯曲应变检测。并且,结合高精度的GPS差分系统,能够准确提供弯曲变形特征的地理位置,为查找、修复弯曲变形提供有效的手段。

[0092] 由于本申请技术方案中管道弯曲应变通过检测器连续运行前后的曲率变化获得,对于新建管道,可通过运行内检测首先定义管道基线,用于与下次运行结果比较。不过,由于曲率能够从单次的运行数据中获取,如果假定管道在制造时是直的,对于首次运行内检测的管道,可以做初步应变分析,评价影响管道的大的地质不稳定性。

[0093] 进一步的,在获取管道的曲率和弯曲应变数据之后,可以将曲率和弯曲应变数据与几何检测数据、内检测历史数据、竣工资料、运行资料等信息进行比较分析,可以获取应变特征与其他报告中异常(几何特征、腐蚀、裂纹、环焊缝异常等)的关联,解释管道曲率变化的原因,能够及时的发现管道出现安全隐患的情况,及时给出应对措施和建议,进而能够降低管道出现安全事故的概率。

[0094] 本发明采用管道检测器在不影响管道正常工作情况下,通过惯性测量单元和里程轮测量管道弯曲曲率,以及由曲率计算管道弯曲应变,评价管道的弯曲变形,具有可重复性强、误差小、灵敏度高、检测范围广的优点,适合定期、全面的长输管道弯曲应变检测。并且,结合高精度的GPS差分系统,能够准确提供弯曲变形特征的地理位置,为查找、修复弯曲变形提供有效的手段。将弯曲应变数据与其他检测数据、运行资料等信息进行比较,可以分析整个管道的曲率变化原因,评价管道完整性,为管道事故的预防和合理维护提供科学依据。

[0095] 基于与上述方法相同的技术构思,如图10所示,本发明实施例还提供了一种管道弯曲应变的测量设备,包括:

[0096] 三维路径获取单元901,用于获取管道测绘装置通过待测管道的三维路径;

[0097] 对应关系获取单元902,用于根据所述三维路径,获取时间向量与三维坐标系中的每一个坐标轴的对应关系,其中,所述三维路径为所述三维坐标系中的曲线;

[0098] 弯曲曲率获取单元903,用于根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的弯曲曲率;

[0099] 弯曲应变获取单元904,用于根据所述待测管道的弯曲曲率,获取所述待测管道的弯曲应变。

[0100] 本发明的有益效果如下:

[0101] 基于上述技术方案,本发明实施例中,获取管道测绘装置通过待测管道的三维路径,再根据所述三维路径,获取时间向量与三维坐标系中的每一个坐标轴的对应关系,根据曲面计算模型和所述对应关系,获取所述待测管道的弯曲曲率;根据所述待测管道的弯曲曲率,获取所述待测管道的弯曲应变,由于所述三维路径是所述管道测绘装置通过所述待测管道而获得的,使得获取的所述三维路径更准确,进而通过所述三维路径而获取的弯曲应变也更准确,使得根据所述测量数据而得到的待测管道的弯曲应变的精确度也更高。

[0102] 显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

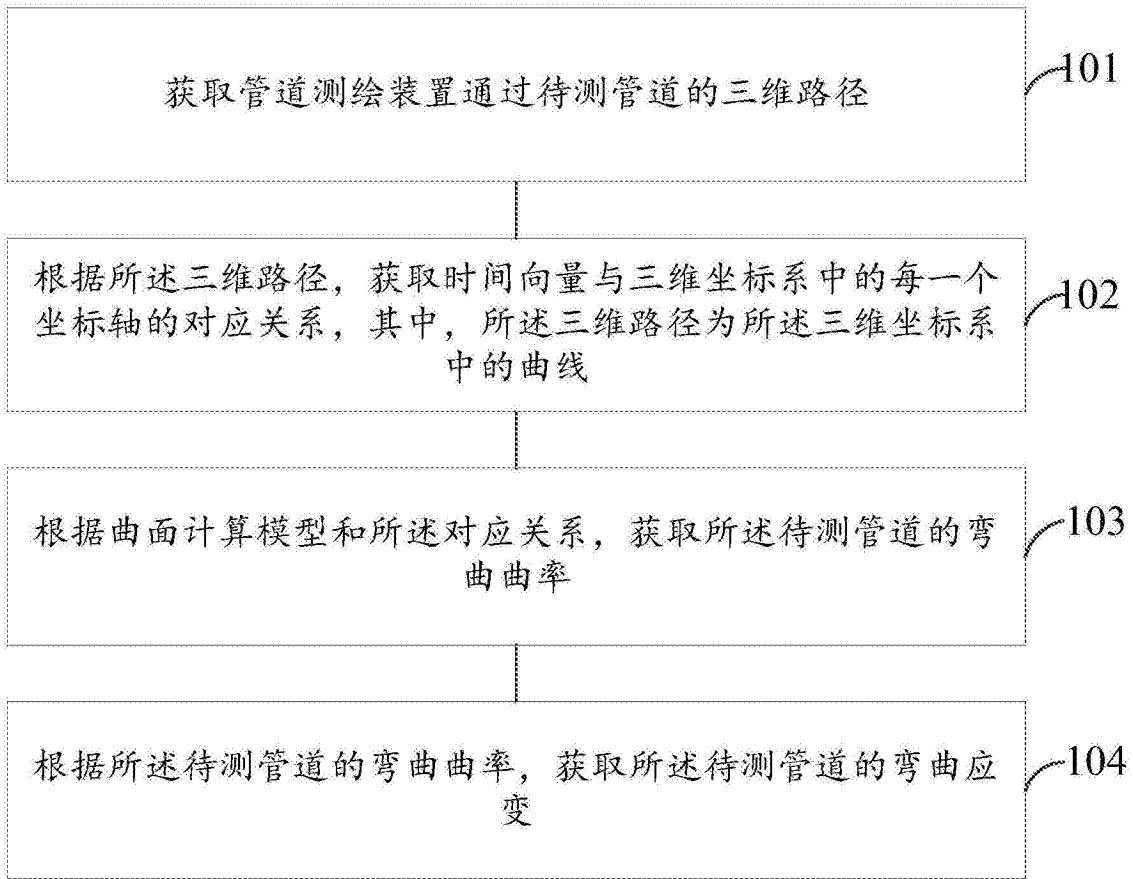


图1

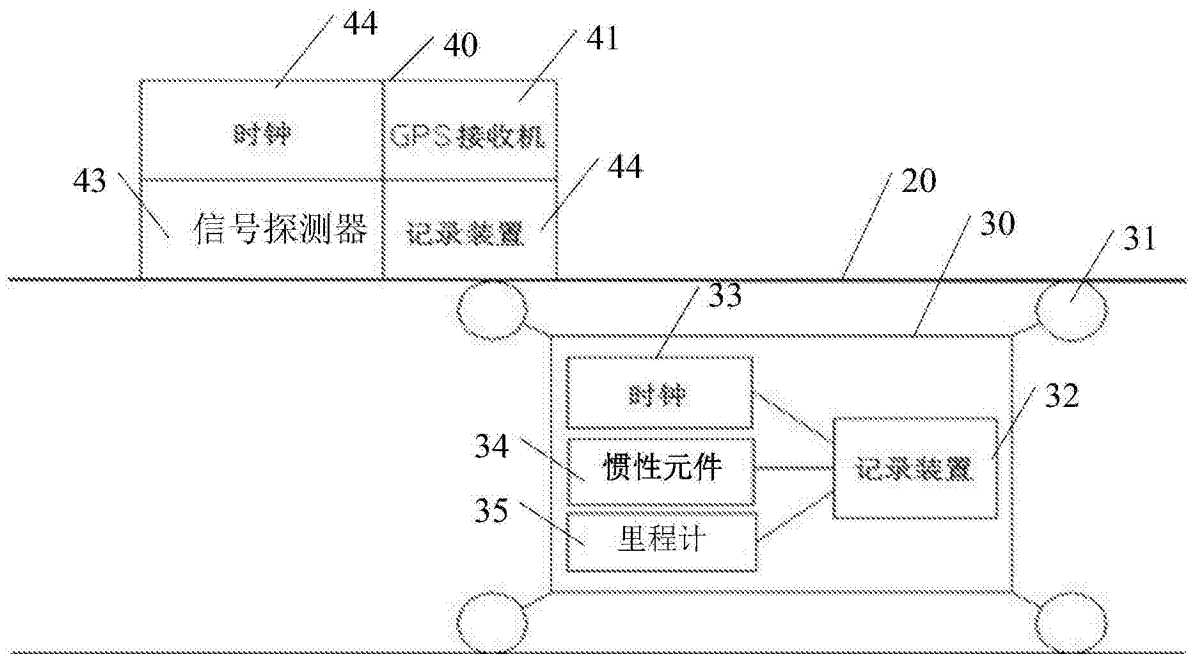


图2

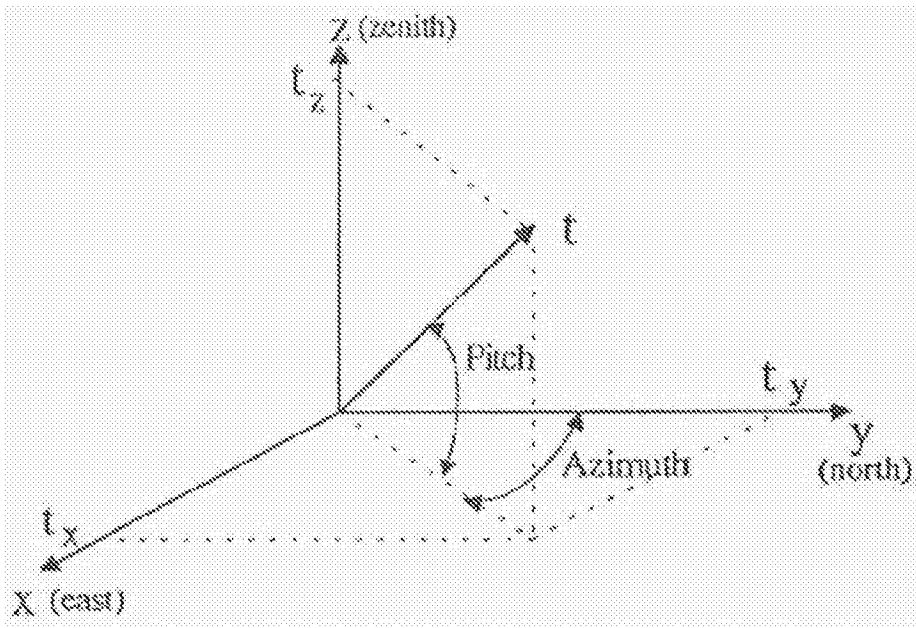


图3

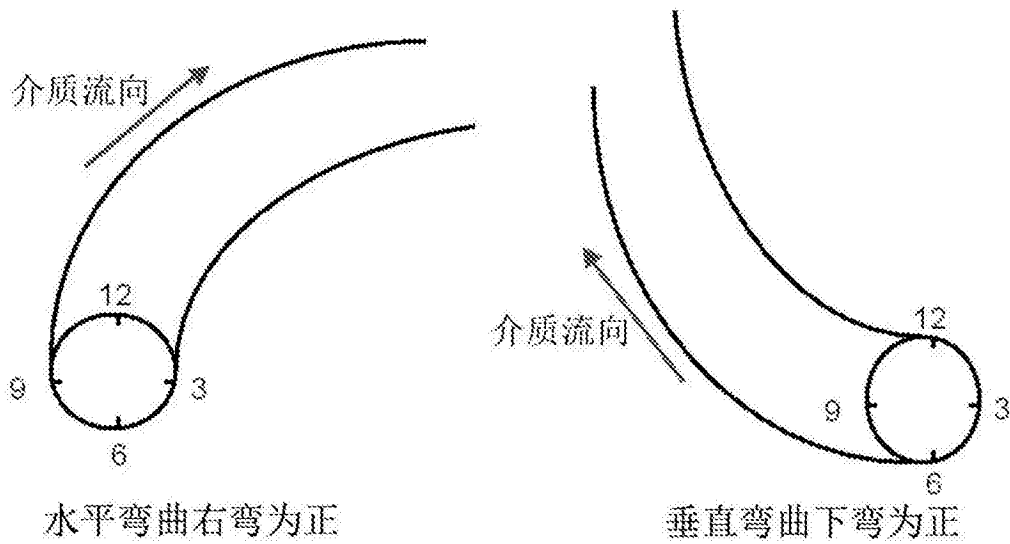


图4

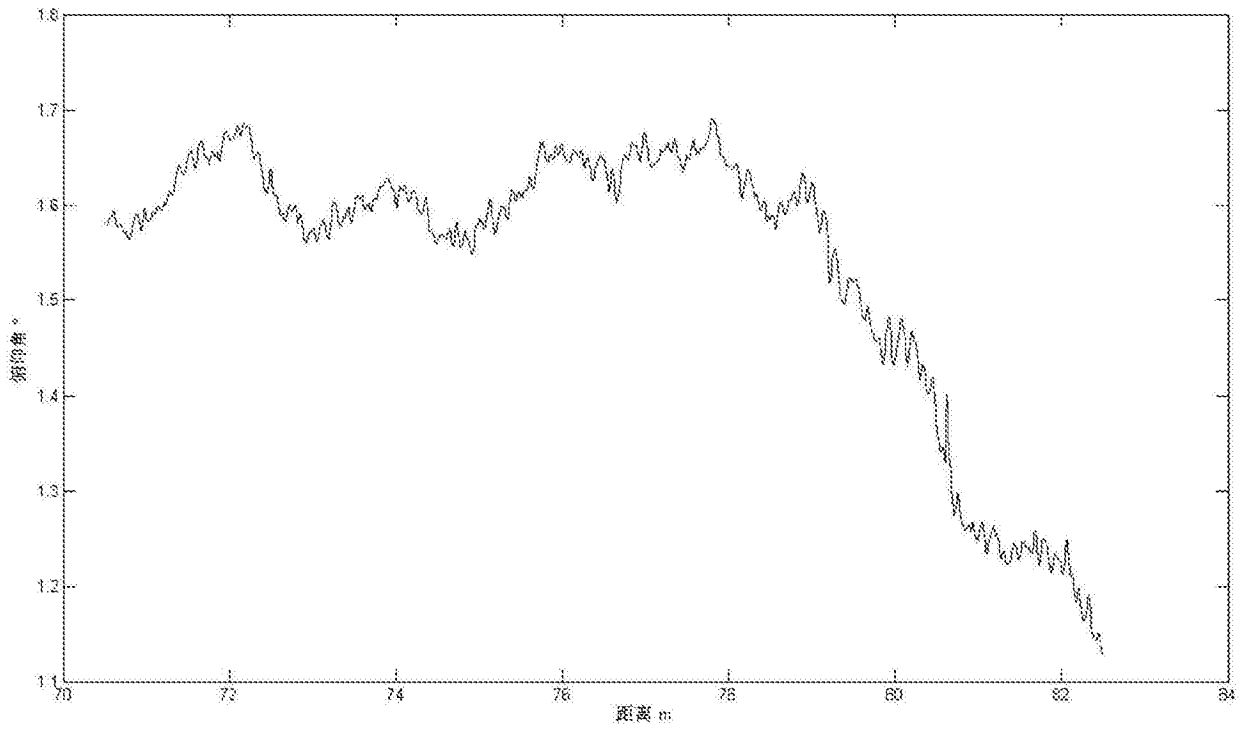


图5

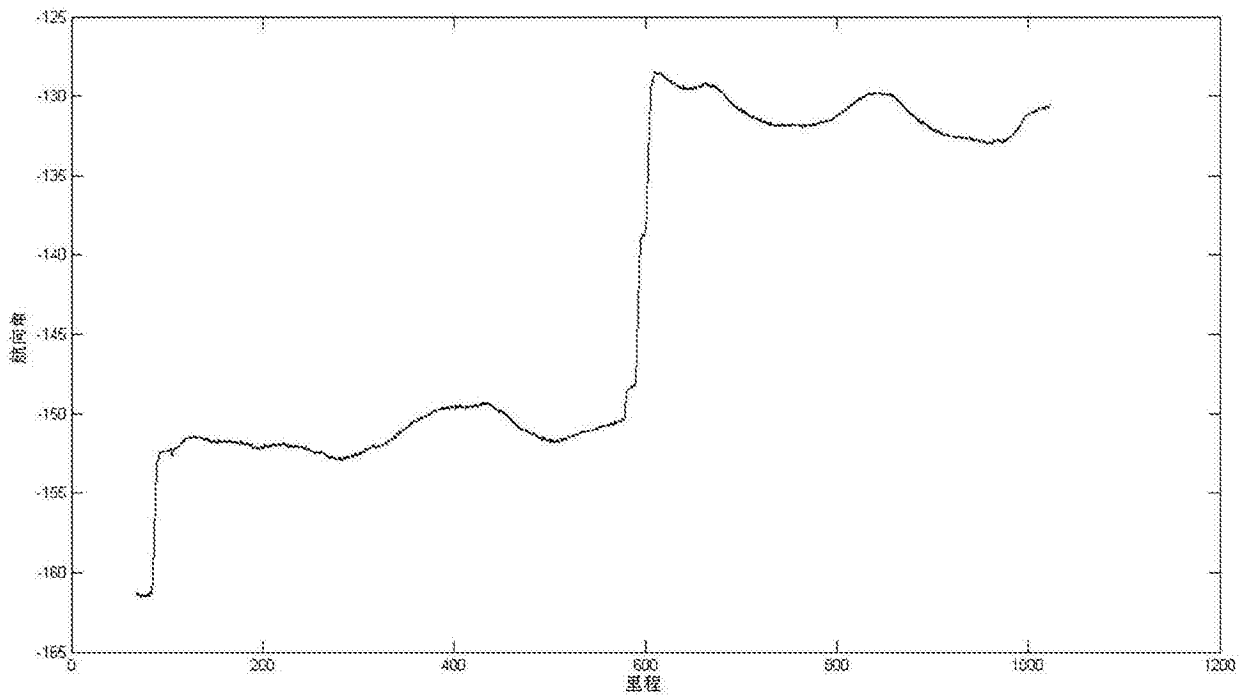


图6

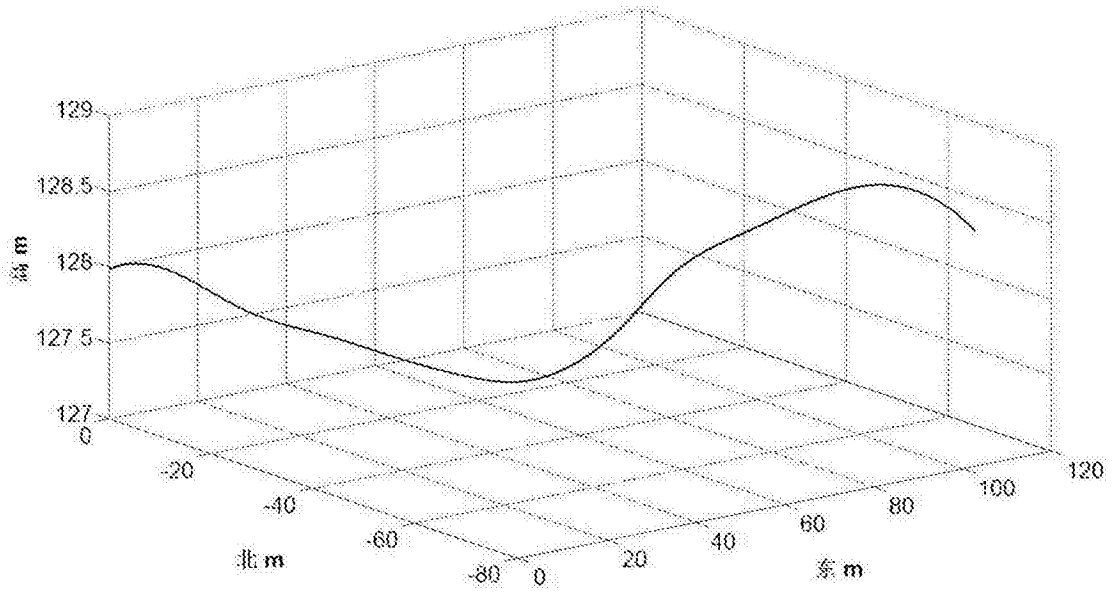


图7

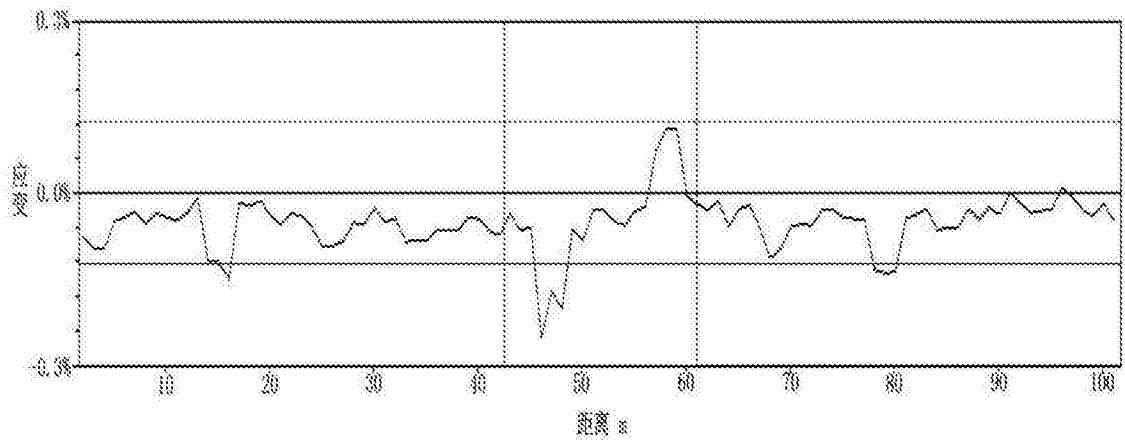


图8

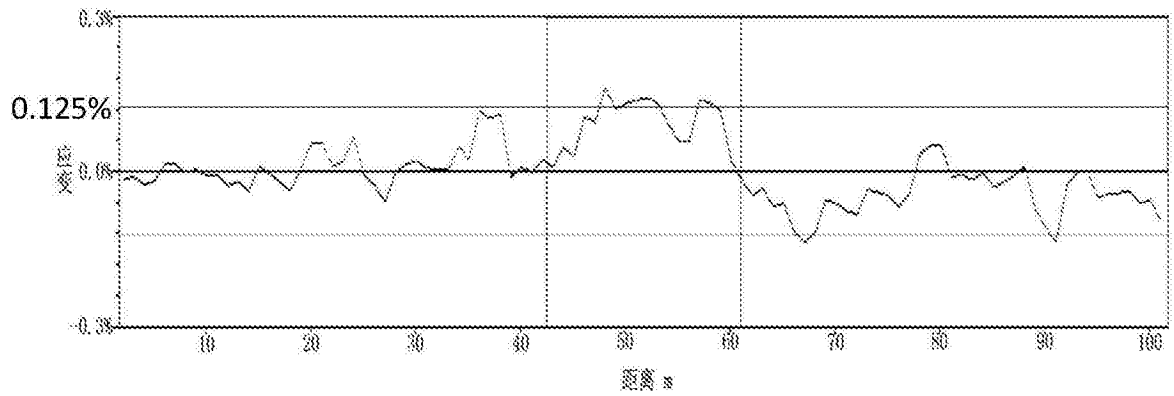


图9

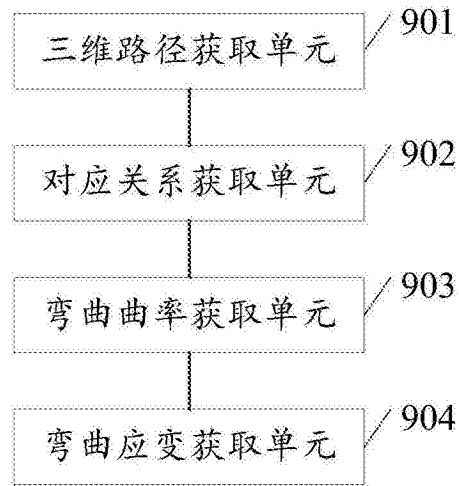


图10