

惯性定位陀螺仪在地下管线探测中的应用研究

江兆南 杨记峰

重庆市建筑科学研究院有限公司

摘要: 随着我国城镇化的快速发展, 地下管线呈现出总量增长迅猛、埋设错综复杂、埋深越来越深、探测难度越来越大的特点, 越来越有必要引入精度较高的惯性陀螺仪定位技术。本文介绍了惯性定位陀螺仪的工作原理, 并介绍了在地下管线探测中的相关应用情况。

关键词: 惯性定位陀螺仪; 地下管线; 探测

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2020.12.211

一、惯性定位陀螺仪的工作原理及发展历史

陀螺仪最早是法国科学家在1850年在研究地球自转中获得灵感而发明的, 如图1所示, 将一个高速旋转的陀螺放到一个方向支架上, 靠陀螺的方向来计算角速度。

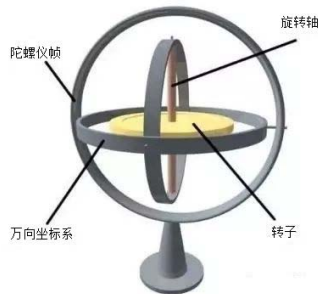


图1 陀螺仪示意图

中间金色的转子即为陀螺, 它因为惯性作用是不会受到影响的, 周边的三个“钢圈”则会因为设备的改变姿态而跟着改变, 通过这样来检测设备当前的状态。而这三个“钢圈”所在的轴, 也就是三轴陀螺仪里面的“三轴”, 即X轴、Y轴、Z轴。陀螺仪的最主要的作用在于可以测量角速度。

陀螺仪发明之后, 首先应用在飞机上, 后来又被德国用在导弹中, 德国人设计出惯性制导系统, 惯性制导系统可以采用陀螺仪确定方向和角速度, 用加速度计测试加速度, 就可以计算出导弹的路线, 从而进行飞行姿态的控制。

传统的惯性陀螺仪主要是机械式的陀螺仪, 机械式的陀螺仪对工艺结构等要求很高, 结构复杂, 它的精度受到了很多方面的制约。随着技术的逐渐发展, 渐渐的发展出了光纤陀螺仪、激光陀螺仪等各种较为先进的陀螺仪。目前手机中使用的为MEMS原理的陀螺仪, 即硅微机电陀螺仪。(MEMS: 是指集中机械元素、微型传感器、微型执行器以及信号处理和控制系统、接口电路、通信和电源于一体的完整微型机电系统。)

二、利用惯性陀螺仪进行管线定位的原理

利用惯性陀螺仪进行管线定位, 就是把装有航向和姿态传感器的测量模块放入管道并使其沿着管道运动, 测出管道各个位置的航向和俯仰角。将航向、姿态信息和里程信息结合, 从而推算出管道的三维坐标。

测量模块内的陀螺仪和加速度计分别测量定位仪内相对惯性空间的三个旋转角速度和三个线加速度沿定位仪坐标系的分量, 经过坐标变换, 把加速度信息转化为沿导航坐标系的加速度, 并计算出定位仪的位置、速度、方位和水平姿态。其中常用的几种坐标系主要为: 惯性坐标系、地球坐标系、地理坐标系、陀螺坐标系和运动参考坐标系。

三、惯性陀螺仪定位系统的构成

惯性陀螺仪定位系统主要由加速度计、陀螺仪、传感器、存储与控制模块、里程计算与传输模块、供电系统等几部分

组成。管道定位系统的主要目标是完成对惯性参数的采集和存储。陀螺仪可以测量互相垂直的三个轴的角速度, 加速度计可以测量大地平面的X轴、Y轴加速度和垂直大地方向的加速度。这样, 测量位移所需要的6个参数都可以得到。

四、管线定位过程简介

整个算法先确定惯性坐标系, 然后确定载体的初始点在惯性系的坐标 $N_0(x_0, y_0, z_0)$, 由于设备在不断地运动, 所以设备坐标系会不断地变化。因而, 在t时刻后通过计算求出 $N_1(x_1, y_1, z_1)$ 作为新的初始点坐标, 用同样的方法再求出 $N_2(x_2, y_2, z_2)$ 作为下一个初始点。通过反复计算就可以求得一系列的点 $N_0, N_1, N_2, \dots, N_n$ 。测量完成后, 再通过计算机将这些点描绘出来就可以得到载体的运动轨迹了。

五、工程应用情况

欧洲比利时Reduct公司生产的DUCT Runner™DR-HDD-4.2系列惯性陀螺仪, 是当前国际上最先进的惯性定位仪, 可用于测量4~150cm管径的各类管线, 提供高精度、连续的管线三维坐标, 平面测量精度可达0.25%L(测量管线的总长度), 高程测量精度可达0.10%L, 在国内已有较多的应用工程实例。

重庆市沙坪坝区某项目1#井-2#井段污水管线, 采用非开挖水平钻进方法穿越敷设, 长度约150m, 管线埋深约2~6m。由于地表场地障碍多, 地质情况不佳, 传统探测方法较难探测出其准确位置, 拟采用惯性定位陀螺仪测量其位置。现场条件较好, 导线通过水流从1#井漂流至2#井, 供惯性定位陀螺仪穿行测量。

非开挖管线起始终点均采用RTK进行测量。工作中将惯性陀螺仪从1#井至2#井来回拖拉测量2次, 采用点距为0.5m, 2组测量成果比较误差, 计算其方差。惯性陀螺仪定位作业完毕后, 将测量数据在电脑上进行处理, 计算出管线的三维坐标。为验证惯性陀螺仪的精度, 对所测的管线选择了两处可开挖的地方进行了开挖验证。开挖深度分别为2.3m和2.5m。开挖结果见表1。

表1 开挖验证结果

开挖位置	开挖深度 (m)	测量方式	平面偏差 (m)	高程偏差 (m)
开挖点1	2.3m	开挖	--	--
		惯性陀螺定位	0.051	0.068
开挖点2	2.5m	开挖	--	--
		惯性陀螺定位	0.045	0.056

从工程实例可以看出, 惯性定位陀螺仪在地下管线探测中精度较高, 且具有以下特点: ①不受任何地形影响。②可探测任何材质的管道。③不受电磁波、磁场的影响。④独立运行, 可探测任何深度的管道。⑤成果的数据由软件自动运算获得, 无需人工计算, 消除了人为误差因素, 并可重复验证。

六、结语

惯性定位陀螺仪作为一种高精度、抗干扰能力强的探测方法, 伴随着非开挖施工技术的发展, 其应用将会越来越广泛, 特别是自来水、油管以及长距离的地下管涵, 利用该方法进行定位探测, 在以后的管线运营管理和维护中将会起到十分重要的作用。特别是, 随着水中螺旋驱动管陀螺仪的研发成功, 有望攻克污水管涵等深埋有水管线的探测难题。

参考文献

[1]任广振, 罗进圣, 胡伟. 惯性陀螺仪定位三维测量技术在非开挖电力管线探测中的应用[J]. 浙江电力, 2014(7).