

# 不同 GPS 定位方式在管道外检测中的应用研究

王超<sup>1</sup>, 黄锐<sup>2</sup>, 尹航<sup>2</sup>, 李正敏<sup>1</sup>

(1. 中国石油天然气管道科学研究院有限公司, 河北廊坊 065000; 2. 中油国际管道有限公司, 北京 100000)

**[摘要]** 管道外检测是管道完整性工作的重要组成部分, 作业时需要管道特征点的位置信息进行采集。通过使用手持 GPS、单基站 RTK、CORS 三种定位方式对某天然气管道的路由进行测量, 并设置部分点使用全站仪进行误差检验, 表明普通手持 GPS 定位精度一般, 坐标重现性较差; 单基站 RTK 可以实现相对精确的定位, 但效率较低; CORS 定位技术效率高、覆盖范围广、可以实现高精度的定位。随着测量技术的进步及相关规范的要求, 借助 CORS 技术对管道实现大范围、高精度的定位是必然趋势。

**[关键词]** 手持 GPS; 单基站 RTK; CORS; 埋地管道定位测量

**[中图分类号]** TE973

**[文献标志码]** B

**[文章编号]** 1003-8884(2021)05-0108-05

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.05.023

随着国内管道完整性管理工作的开展, 管道外检测成为管道完整性工作的重要组成部分<sup>[1]</sup>。管道外检测一般包括防腐层完整性、阴极保护有效性、杂散电流干扰以及直接开挖等检测项目<sup>[2-3]</sup>, 检测过程中涉及管道路由、管道埋深、防腐层破损点、测试桩位置等管道特征点的信息采集。管道完整性根据需求将采集的 GPS 位置信息与位置属性信息进行整合, 从而对管道进行综合、一体化的管理<sup>[4-6]</sup>。以往外检测过程中对管道特征点的位置信息的采集基本都是采用手持 GPS 来完成<sup>[7]</sup>。各家检测单位提供的检测成果数据质量参差不齐, 精度较低。近年来空间导航与定位技术快速发展, 可提供更高精度 GPS 位置信息的 RTK 和 CORS 技术随之出现。这些测量技术在道路工程、铁路工程、地质工程、水利工程等领域得到了广泛的应用, 而在管道行业测量和定位中的应用较少<sup>[8-10]</sup>。目前城市地下管线参照《城市地下管线探测技术规程》, 管道行业对管线位置测量提出了很高的要求, 为全面准确了解管道状况, 并为长输管道数字化建设提供更精确的数据, 采用现代化测绘技术将更好地服务油气长输管

道的规划、建设和运营。

## 1 手持 GPS、单基站 RTK、CORS 技术简介

GPS 接收机按照用途可分为导航型接收机、测地型接收机、授时型接收机。依据 JJF 1118—2004《全球定位系统(GPS)接收机(测地型和导航型)校准规范》, 手持 GPS 接收机归类于导航型 GPS 接收机。一般手持 GPS 只接收 GPS 卫星的 L1 载波信号, 采用伪距(包含误差的卫星到接收机的距离)定位原理且未对伪距进行差分处理, 手持 GPS 是一种单点绝对定位方式<sup>[11]</sup>。由于手持 GPS 具备体积小、携带方便、操作简单等优点, 该定位方式在管道外检测作业中得到了广泛应用。利用手持 GPS 定位防腐层破损点、管道路由、管道上方附属设施和地面标识物过程中, 结合卷尺测量附近标志桩、警示牌、光缆桩才能实现相对精确定位, 但地面上的标识物很容易受到地形地貌变化的影响而改变。

相较于手持 GPS 将伪距作为量测信号, 如果以载波作为量测信号, 再结合位置差分、伪距差分和载波相位差分等差分定位技术, 可以大幅度提高系统定位精度<sup>[12]</sup>。RTK 技术属于载波相位差分技术, 最早由美国天宝公司开发<sup>[13]</sup>。该定位技术包含两台 GPS, 其中一台 GPS 接收机设置为基站, 另一台 GPS 设置为移动站, 并且在基站和移动站之间建立无线电数据链。基站借助无线电数据链实时处理两个 GPS 接收机载波相位观测值, 并将观测值及基站坐

**[收稿日期]** 2021-06-29

**[作者简介]** 王超(1985-), 男, 宁夏银川人, 工程师, 硕士, 主要从事腐蚀与防护专业方向的研究工作。

**[引用格式]** 王超, 黄锐, 尹航, 等. 不同 GPS 定位方式在管道外检测中的应用研究[J]. 有色设备, 2021, 35(5): 108-112.

标信息一起发给移动站。移动站不仅通过数据链接收来自基站的数据,同时还采集自身测点的GPS观测数据,并在系统内组成差分观测值进行实时处理,这种测量方式可以在不到1s内给出相对于基站的厘米级定位<sup>[14]</sup>。通过理论和实践表明,虽然单基站RTK技术具备作业效率高、定位精度高以及全天候作业等优点,但也存在一些不足<sup>[15]</sup>。单基站RTK作业时,需要架设基准站,基准站通过内置电台、外挂电台两种方式进行数据链连接,内置电台一般空旷地区覆盖范围为2~3km,外挂电台一般空旷地区覆盖范围能达到20km左右。实际测量过程中一般不建议覆盖范围超过10km,距离过大则差分精度随站间距离变大而下降<sup>[16]</sup>。

为了克服单基站RTK的各种局限性,CORS技术应运而生。CORS是一种基于多参考站的RTK技术,是由一个或若干个固定的、连续运行的卫星参考站,利用计算机、通信和互联网技术组成网络,通过网络实时的向用户提供改正数据和状态信息的综合卫星服务系统。CORS可以提供实时定位和导航信息、高精度连续的时频信号以及定时、授时的信息。我国CORS从开始建设以来,通过国际合作、国家重大基础设施专项工程等建设,全国各省市自治区根据自身需求,逐步建成了省级CORS系统<sup>[17]</sup>。与单基站RTK技术相比,CORS仍然采用差分定位技术,但数据处理更为复杂和完善,通讯的方式也有区别。CORS测量时无需架设基准站,只需一台移动站并连接网络便可以开展现场测量。CORS测量节约了野外作业过程中人员值守和架设基准站的时间,降低了作业成本,提高了工作效率,另外CORS作业范围能达到50km以上。

## 2 现场准备

本项目选取某周围无建筑物、无通讯线路、无林木遮蔽的输气管段,利用PCM+探测管道并在管道正上方每隔约50m选取一个测量点。通过分别使用手持GPS、架设RTK基站、移动站以及直接使用移动站连接CORS系统三种方式对测量点进行定位测量,最后使用全站仪和钢尺对部分数据点进行复测以检验精度,从而对比三种定位方式在管道外检测中的定位误差。本次项目手持GPS型号为佳明Etrex 20;单基站RTK和CORS使用抗干扰性能较好的双频多通道中海达V60 GNSS RTK,该仪器标称精度为平面 $\pm(10+1\times 10^{-6}D)$ mm。鉴于GPS测量的高程为大地高程,平常测量使用的是正常高程,两者之间相差一个高程异常值,因此本项目只进行了大地坐标的采集,测量成果提供所选管段的WGS84坐标。

## 3 数据采集及结果分析

为了获得较高的测量精度,手持GPS测量时要求卫星数量大于4颗并且锁定,然后使用手持GPS位置平均功能,对每个测点进行4~5min采集,手持GPS将在同一地点记录多个读数,并求取平均值以获取更高的精度。单基站RTK和CORS测量过程中,首先应保证移动站圆水准气泡居中,其次必须在接收机已得到固定解且接收机的位置精度因子(Position Dilution of Precision, PDOP)值小于等于6时进行数据采集,如果等待3秒内仍不能获得固定解,应断开数据链,重启接收机再次进行初始化操作。三种测试方法获得的部分测试数据如表1所示。

表1 不同测量方式五个测点GPS大地坐标数据表

| 测点序号 | 手持GPS经度      | 手持GPS纬度     | 单基站RTK经度         | 单基站RTK纬度        | CORS经度          | CORS纬度         |
|------|--------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 1    | 11°18'08.25" | 3°18'27.54" | 11°18'08.232701" | 3°18'27.545896" | 11°18'08.25243" | 3°18'27.55550" |
| 2    | 11°18'07.14" | 3°18'28.54" | 11°18'07.166297" | 3°18'28.562614" | 11°18'07.16854" | 3°18'28.57879" |
| 3    | 11°18'06.12" | 3°18'29.67" | 11°18'06.011064" | 3°18'29.640340" | 11°18'06.02950" | 3°18'29.65231" |
| 4    | 11°18'04.87" | 3°18'30.82" | 11°18'04.810994" | 3°18'30.773470" | 11°18'04.82701" | 3°18'30.78331" |
| 5    | 11°18'03.50" | 3°18'32.09" | 11°18'03.451233" | 3°18'32.054820" | 11°18'03.46531" | 3°18'32.07175" |

通过GPS测量得到的WGS84大地坐标是一种球面坐标,实际施工和测量过程中用到的地图或图纸是平面的,因此必须得将球面上的坐标投影到平

面上。我国一般高斯-克吕格投影法,投影后建立高斯平面坐标系是以中央子午线与赤道的交点作为坐标原点,以中央子午线的投影为纵坐标轴X,规定

X 轴向北为正,以赤道的投影为横坐标轴 Y,Y 轴向东为正。投影所得的坐标系会产生一定变形,为了控制投影后的长度变形,通常是按中央子午线 6 度

和 3 度分带投影。按照,以 3°或 6°带的形式投影投影。将本次测量的 5 组数据按照高斯-克吕格 3°带投影,所得数据如表 2 所示。

表 2 五个测点投影后的数据

| 测点序号 | 手持 GPS         |                  | 单基站 RTK        |                  | CORS           |                  |
|------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|
|      | x              | y                | x              | y                | x              | y                |
| 1    | 476 419. 054 8 | 3 465 110. 617 0 | 476 418. 597 8 | 3 465 110. 799 8 | 476 419. 120 2 | 3 465 111. 094 3 |
| 2    | 476 389. 771 8 | 3 465 141. 481 7 | 476 390. 021 6 | 3 465 142. 381 8 | 476 390. 529 2 | 3 465 142. 674 7 |
| 3    | 476 362. 877 9 | 3 465 176. 344 9 | 476 359. 985 1 | 3 465 175. 527 4 | 476 360. 483 5 | 3 465 175. 805 5 |
| 4    | 476 329. 903 5 | 3 465 211. 837 9 | 476 328. 442 4 | 3 465 210. 187 1 | 476 328. 764 2 | 3 465 210. 710 4 |
| 5    | 476 293. 764 6 | 3 465 251. 034 0 | 476 292. 572 7 | 3 465 249. 949 2 | 476 292. 846 0 | 3 465 250. 474 0 |

参照 JJF 1118 对导航型 GPS 误差的计算公式,对三种方式的定位误差进行计算。

$$\delta = \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2} \quad (1)$$

式中  $\delta$ —定位误差, m;

$X_i$ —测试数据 X 轴方向的分量;

$Y_i$ —测试数据 Y 轴方向的分量;

$X_0$ —标准点 X 轴方向的分量;

$Y_0$ —标准点 Y 轴方向的分量。

CORS 具有很高的测量精度,测量精度能达到厘米级,误差能够控制在标准规范的范围。因此可以将 CORS 测量值作为标准点。利用公式(1)来比较手持 GPS 和单基站 RTK 的测量值的误差,经计算误差如表 3 所示。

表 3 手持 GPS 和单基站 RTK 测量同一测点的误差

| 测点序号 | 手持 GPS 和 CORS 的 $\delta$ /m | 单基站 RTK 和 CORS 的 $\delta$ /m |
|------|-----------------------------|------------------------------|
| 1    | 0.48                        | 0.60                         |
| 2    | 1.41                        | 0.59                         |
| 3    | 2.45                        | 0.57                         |
| 4    | 1.60                        | 0.61                         |
| 5    | 1.07                        | 0.59                         |

由表 1 可知手持 GPS 测量的大地坐标受设备精度限制,只能显示“秒”后两位,并且手持 GPS 测量的平均值不稳定。与手持 GPS 相比,单基站 RTK 和 CORS 可以提供较高精度的大地坐标,坐标“秒”后两位数值变化范围较窄。影响手持 GPS 大地坐标测量平均值不稳定的因素较多,通常包括三部分

误差<sup>[18]</sup>。首先是卫星钟差、电离层延迟误差、对流层传播误差以及卫星星历误差等,这部分误差是 GPS 定位时都存在的公共误差,可以使用差分等技术予以消除。普通的手持 GPS(比如佳明系列)接收机基本都是单频接收机,虽然接收机内置了差分全球定位系统(Differential Global Positioning System, DGPS)、广域增强系统(Wide Area Augmentation System, WAAS),但我国大陆地区目前并无基站提供 WAAS 系统广播校准数据,如果打开此功能 GPS 接收机可能会接收到东太平洋的校准数据,由于距离基站太远,因此在中国大陆地区该技术并不适用。相对高端的手持 GPS(比如天宝 Trimble 7x 和集思宝 MG868S)能同时接收 L1、L2 两种载波信号,可以消除电离层对电磁波的信号延迟的影响,而且接收机也内置了 DGPS、星基增强系统(Satellite Based Augmentation System, SBAS)等技术,一定程度上实现相对高精度的定位,但是相应的接收机价格昂贵,另外增强技术也存在很大的局限性,例如 SBAS 在沿海地区效果较好,但内陆地区有时不能使用<sup>[18]</sup>。第二部分误差是电磁波传播从卫星发射到用户接受的过程中造成的误差,这部分误差一般不能够通过用户测量或者使用差分方法来完全消除;第三部分误差是用户接收机设备的质量以及受观测环境影响造成的误差,比如 GPS 接收机的内部噪声、通道延迟、周围环境的电磁波干扰、多路径效应等。表 3 的数据显示手持 GPS、单基站 RTK 与 CORS 之间均存在一定的误差,但手持 GPS 的误差相对更大。这主要因为测量的数据经过投影后一般情况下纬度 1 秒对应地面距离大约 30.8 m,经度 1 秒对应地面距离

大约为 30.8 m × 该地区纬度的余弦值,因此手持 GPS 大地坐标测量平均值的不稳定,易造成地面较真值差距 1~3 m。单基站 RTK 理论上和 CORS 应该具有相同的精度,但本次测量出现了较大的误差,主要原因是:本次单基站 RTK 测量时未进行点校正,影响了单基站 RTK 定位的准确性,造成单基站 RTK 和 CORS 对测量值出现 0.6 米左右的整体偏移。通过本次实践可知当单基站 RTK 在采用任意点架站时,需要移动站增加控制点联测工作,因为任意点架站后,基准站获取的 WGS84 坐标是启动后实际获得的坐标,发送的数据链不是控制网求解转换参数所用的 WGS84 坐标的改正数  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ 、 $\Delta Z$ ,而是一个新的改正数  $\Delta X_1$ 、 $\Delta Y_1$ 、 $\Delta Z_1$ ,此时就需要移动站到已知点进行联测,联测后移动站在已知点获得实测 WGS84 坐标与已知 WGS84 坐标坐标的改正数  $\Delta X_2$ 、 $\Delta Y_2$ 、 $\Delta Z_2$ ,移动站将联测已知点获得的第二个改正数作为固定值对基准站发来的数据链进行修正从而获得与控制网匹配的 WGS84 坐标<sup>[21]</sup>。

外检测现场作业过程中,CIPS 和 PCM 测试会记录两个测量点之间的相对距离,以为后期评价测量段阴极保护电位和防腐层整体状况提供数据支撑,因此,本次项目检测时采用三种 GPS 测量方式对待测点相对距离进行了记录,并使用卷尺和全站仪对待测点之间的距离进行了检验,部分数据如表 4 所示。

表 4 不同测量方式下五个测点相对距离数据表

| 测点序号 | 全站仪测量的距离/m | 手持 GPS 相对距离/m | 单基站 RTK 相对距离/m | CORS 相对距离/m |
|------|------------|---------------|----------------|-------------|
| 1    | 0          | 0             | 0              | 0           |
| 2    | 42.517     | 42            | 42.06          | 42.59       |
| 3    | 44.723     | 44            | 46.02          | 44.73       |
| 4    | 46.715     | 48            | 47.48          | 46.86       |
| 5    | 53.621     | 53            | 53.13          | 53.55       |

由于 GPS 距离测量是通过两端点的坐标计算而获得,故在此将距离测量称为相对定位。由表 4 手持 GPS 所记录的相对距离数据较粗略,由于设备的精度问题只能精确到米;全站仪测量精度很高所测试的距离可以精确到 mm;通过全站仪对 5 个点之间的距离进行复测,可知 CORS 所测两点间的距离更接近全站仪测量的数据因此精度最高,手持

GPS 所测两点的距离的误差最大。单基站 RTK 理论和 CORS 出现了较大的误差原因也是未进行点校正造成的。

测量结束后第二天对三种方式测量的数据进行了放样。手持 GPS 测量的大地坐标和前一天的距离差距在 2 m 左右,且相对测量点的左右无明显规律;未进行点校正单基站 RTK 和 CORS 的出现整体偏移 0.6 m 左右;而 CORS 所测量的数据基本未发生偏移。

综上所述,由于多方面因素影响,利用手持 GPS 的定位精度,开展亚米级定位精度的外检测作业比较难以实现。而单基站 RTK 和 CORS 均使用了差分技术,使用单基站 RTK 和 CORS 测量具有更高的可靠性。根据长输和城市地下管线测量实践经验和规范的要求,使用手持 GPS 已经无法满足对管道进行定位测量的需求,有必要采用高精度的 CORS 技术来对管道进行定位和测量。

## 4 结论

根据以往管道外检测工作经验,手持 GPS 的定位精度很难复现,为了找出原因,本文对现有的定位技术进行了简述,并参照 JJF 1118 的方法对手持 GPS、RTK 和全站仪等设备的定位精度开展现场试验。结果表明:受设备自身、信号、天气等方面的影响,使用手持 GPS 开展亚米级外检测定位作业难以实现;使用单基站 RTK 在无已知校准点的情况下定位精度能够保证但准确度会存在偏差;使用 CORS 技术可以在大范围内更加方便、快捷、准确的对管道地理信息进行定位测量。

## 5 建议

现阶段,管道完整性所涉及的管道地理位置信息多数通过手持 GPS 取得,由于测量精度无法保证,给后续的数据对比、对齐以及复检带来了繁重的工作。自 2008 年 7 月 1 日起,我国已经全面启用 CSCG 2000 国家大地坐标,在涉及管道地理信息的检测作业中,建议检测单位使用 CORS 技术对管道路由进行定位,并提供 CSCG 2000 坐标成果,从而保障测量成果的精确性和可靠性。

### [参考文献]

- [1] 董绍华. 中国油气管道完整性管理 20 年回顾与发展建议[J]. 油气储运, 2020, 39(1): 1-21.

- [2] 马伟平,蔡亮,王禹钦,等.我国长输管道外检测技术现状综述[J].石油石化节能,2019,9(7):18-21,3.
- [3] 朱宁,李涛,刘红祥,等.国内长输管道外检测技术现状综述[J].石油化工自动化,2019,55(5):1-4.
- [4] 孟波,安超,鲜俊,等.输油气管道完整性管理数据采集研究[J].全面腐蚀控制,2019(10):53-57.
- [5] 史建峰,王晓霖,帅健,等.长输管道完整性数据模型及其建立[J].油气储运,2015,34(4):362-367.
- [6] 金剑,朱学山,刘艳阳,等.油气长输管道大数据整合技术方法研究[J].油气地面工程,2020,39(2):77-81.
- [7] 林桥,陈成.基于亚米级GPS+DM检测仪的埋地管道防腐层检测及缺陷的合于使用评价[J].石油和化工设备,2019(8):95-98.
- [8] 秦萌.地质矿产勘查测量中的CORS技术研究与应[ J].粘接,2019,11(40):114-117.
- [9] 黄军胜,龙华,黄良珂.千寻差分定位技术在水利工程中的应用[J].广西水利水电,2019(1):16-19.
- [10] 江木春,王柱,洪剑.千寻位置在江乌航道测量中的应用[J].水运工程,2019(7):179-183.
- [11] 徐绍铨,张华海,杨志强,等.GPS测量原理及应用[M].武汉:武汉大学出版社,2017.
- [12] 刘天雄.卫星导航差分系统和增强系统(二)[J].卫星与网络,2018,21(3):58-61.
- [13] Satalich J, Ralph R. Field test of trimble 4000 real-time kinematic GPS survey system [J]. Journal of Surveying Engineering, 1998, 124(1):40-48.
- [14] Gao Y, Liu Z. Internet-Based Real-Time Kinematic Positioning [J]. Gps Solutions, 2002, 5(3):61-69.
- [15] 李燕军,李永虎,胡敏.浅析CORS网络RTK技术的发展及应用[J].甘肃科技,2015;34(17):13-15,25.
- [16] Stewart M, Tsakiri M. The future of RTK GPS/GLONASS positioning in the urban canyon [J]. Australian Surveyor, 1997, 42(4):172-178.
- [17] 陈明,张鹏,武军邴.我国CORS发展与技术应用[J].中国测绘,2016(1):30-34.
- [18] 李景皓,关明宇,王介,等.中海达QminiA1手持GPS接收机精度提高方法与实现[J].测绘与空间地理信息,2019,42(8):84-90.
- [19] 赵传华,吴智亮,潘山,等.手持GPS单点定位精度分析[J].矿山测量,2018,46(2):68-71.
- [20] 胡涛.基于数理统计学的手持GPS测量精度测定[J].全球定位系统,2017,42(3):87-89.
- [21] 张冠军,张志刚,于华.GPS RTK测量技术实用手册[M].北京:人民交通出版社,2014.

## Study on the Application of Different GPS Positioning Methods in Pipeline External Detection

WANG Chao, HUANG Rui, YIN Hang, LI Zheng-min

**Abstract:** Pipeline external detection is an important part of pipeline integrity management and it requires the collection of location information of featured points on the pipeline during detection. The routing of a natural gas pipeline is detected with portable GPS, single base station RTK and CORS. Some of the points are subject to deviation verification with total station. It shows the unsatisfactory positioning accuracy and coordinate repeatability of common portable GPS. Single base station RTK can achieve relatively accurate positioning, but with low efficiency. High-precision positioning can be obtained by using CORS positioning technology with its high efficiency and wide coverage. With the development of surveying technology and the requirements of relevant specifications, it is an inevitable trend to use CORS technology to achieve large coverage and high-precision positioning of pipelines.

**Key words:** Portable GPS; single base station RTK; CORS; positioning survey of buried pipes

