

# GPS RTK 加装秒脉冲触发模块在多波束系统中的应用研究

邓卫红, 汤坚

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 主要论述改装 GPS 发射的同步信号是否可被 R2 SINC 2024 识别, 多波束系统是否可以利用 GPS RTK 高精度定位技术实现无验潮作业。通过改装 LEICA GPS, 加入 PPS 秒脉冲发射模块, 为多波束系统提供同步信号。并经过野外实验结果分析, 改装的 LEICA GPS PPS 秒脉冲发射模块可以被 R2 SINC 2024 识别, 同时由于采用 GPS RTK 输出的高精度定位信息, 显著提高了多波束系统扫测的水深数据质量。

**关键词:** 多波束系统; 改装; 同步信号; 识别

**中图分类号:** U612.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-8676(2017)S1-0097-04

## GPS RTK Install with Pulse Trigger Module in the Application Research of Multibeam System

DENG Weihong, TANG Jian

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663)

**Abstract:** This paper mainly discussed whether the modified synchronous signal of GPS emission could be recognized by R2 SINC 2024, whether multi beam system could use the GPS RTK high precision positioning technique without tidal operations. By modifying the LEICA GPS, joining the PPS second pulse transmitting module, synchronous signal were provided for multi-beam system. By analyzing the results of field experiments, modified LEICA GPS PPS second pulse transmitting module can be identified by R2 SINC 2024, at the same time, because of the high precision positioning information using the GPS RTK output, the quality of multi beam system bathymetric data was significantly improved.

**Key words:** multi-beam system; modification; synchronous signal; identify

多波束系统因为测深精度高、工作效率快, 目前在海洋工程上的应用越来越频繁, 如水深测量、海底冲淤调查、障碍物探测、底质分类、海洋资源调查、考古、水下扫雷、海底电力电缆调查、输油管道检修等领域发挥了重要作用<sup>[1]</sup>。目前国内用户定位系统主要采用以下几种方式: (1) RNB DGPS 定位技术, 该定位技术精度不

高, 为 1~5 m, 这对多波束系统的成果质量影响很大<sup>[2]</sup>; (2) 星站差分技术(如: Starfire、VeriPos、OmniStar), 该定位技术确实在提高多波束系统的定位精度方面较显著, 但不足之处是测量的高程值精度还是有些缺陷, 波动较大, 不宜采用无验潮作业模式; (3) GPS RTK 定位技术, 目前只有少量的著作提到该技术在多波束系统中的应用, 但都未提及 GPS RTK 输的同步信号在多波束系统中的研究。鉴于以上原因, 为了提高多波束系统的平面与高程测量精度、测深与定位做到严格同步, 在该背景下笔者通过改装 Leica 1230 GPS, 在该设备上加装 PPS 秒脉冲输

收稿日期: 2017-02-10

作者简介: 邓卫红(1978), 男, 湖南汝城人, 高级工程师, 学士, 主要从事海洋工程勘测、工程测量等工作(e-mail) 13602751990@163.com。

出模块，采用 GPS RTK 无验潮模式把它成功地应用到多波束系统中，并通过野外实验得到验证，在提高多波束系统的定位和测深精度方面效果显著。

1 多波束系统同步技术概述

1.1 同步技术的重要性分析

众所周知，多波束系统作业时需要校正四个参数<sup>[3]</sup>，分别为：时间延迟校正(简称 Latency)、横轴偏差(简称 Roll)、纵轴偏差(简称 Pitch)、艏摇偏差(简称 Yaw)，其中后三个参数只要校准时能选择有利地形，一般校准的准确性还是较高的，但 Latency 校正难度较大，即使采用同样的数据计算，计算值偏差都会较大，所以计算的准确性就值得考究<sup>[4]</sup>。Latency 是指 GPS 定位时间与定位信息通过各种串口进入数据采集软件的时间出现偏差<sup>[5]</sup>，不同步，根据资料查询对于 DPGS 该值在 0.1 ~ 0.3 s 之间；它对成果影响的主要表现在测深与定位错位，该值主要与船速有关，船速大偏差变大，反之变小，若延迟为 0.3 s、船速为 10 节(约 0.514 m/s)时，将导致测深与定位偏差 1.5 m。现如今的多波束系统大多都会采用 PPS(秒脉冲)与 GPS 输出的 NMEA ZDA 语句来同步到多波束数据采集软件，根据资料查询如果使用 GPS RTK 输出的 PPS 与 NMEA ZDA 语句同步，可以得到较高的精度，时间延迟大致只有 1 ms，造成的测深与定位错位可以忽略不计<sup>[6]</sup>。

1.2 改装 GPS RTK

多波束控制中心需要 GPS RTK 输出的同步信号(1 PPS + NMEA ZDA 语句或者 1 PPS + UTC 时间)，它将根据脉冲和准确的时间同步多波束数据；数据采集软件将在相同的 PPS 和时间信息同步计算机的时钟和辅助传感器数据<sup>[7]</sup>。多波束控制中心要求 PPS 是一个 TTL(晶体管—晶体管逻辑电路)脉冲；并要求 PPS 最后两个脉冲必须在 200 ppm 内，如果 PPS 不稳定或不存在，将会影响多波束数据的精确同步<sup>[8]</sup>。由于笔者单位所有 GPS 都不具备 PPS 秒脉冲输出功能，为此根据多波束(R2 SONIC 2024)和数据采集软件 PDS 2000 对同步信息输入的要求，最终选用 Leica 1230 GPS 加装 TTL 脉冲输出模块，为了验证改装后的 GPS RTK 与多波束系统及数据采集软件的兼容性，在开展海南联网海底电

缆综合检测项目时笔者特意做了测试，并与采用星站差分技术的 NAVCOM SF-3050 GPS 测量成果进行比较，通过野外实验验证这次改装获得了预期的效果，精度可靠，为此下面主要从同步效果和测深精度两方面来讨论 GPS RTK 与多波束系统及数据采集软件及数据后处理软件之间的兼容性及优势。

2 野外试验

2.1 试验设备介绍

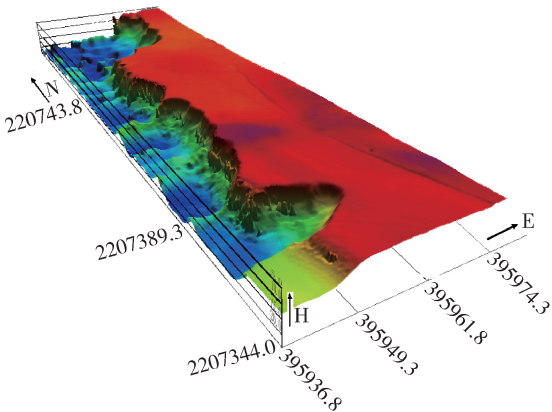
实验时 GPS RTK 定位模式与 SF 3050 定位模式的试验环境相同，多波束系统的各项参数相同，并根据表面声速的变化适时测量了剖面声速，从而减小了因为外界因素对成果质量的影响，实验时采用的硬件及其精度见表 1：

表 1 实验设备清单表  
Tab. 1 List of laboratory equipment

| 名 称        | 规格            | 数量  | 主 要 性 能                                |
|------------|---------------|-----|----------------------------------------|
| 波浪补偿仪      | OCTANS III    | 1 套 | 升沉、横摆、纵摆精度为 5 cm 或 5%；横滚、俯仰、动态精度 0.01° |
| 表面声速探头     | Smart SV      | 1 套 | 测速范围 1 400 ~ 1 550 m/s；精度：0.05 m/s     |
| 声速剖面仪      | AML SVPlus V2 | 1 套 | 声速精度为 ±0.03 m/s                        |
| 多波束测深仪     | R2 SONIC 2024 | 1 套 | 频率：200 ~ 400 kHz；量程分辨率 1.25 cm         |
| 徕卡 GPS 接收机 | LEICA 1230    | 2 套 | 水平 ±1 cm ±1 ppm，垂直 ±2 cm ±1 ppm        |
| 全球星站差分 GPS | SF-3050       | 1 套 | 水平精度：±15 cm、高程精度：±30 cm                |

2.2 试验区域选择

野外试验时，笔者在距海南马村码头 5 km 附近的海域选择了两处有代表性的海底地形，一块区域为挖沙区，如图 1 所示，海底地形地貌凹凸不平，另一处为正在修建的跨越海湾的桥墩，如图 2 所示；两处地形水深为 6 ~ 15 m。验潮站位置选择在马村港内，验潮位置无沙洲、浅滩阻隔，无壅水、回流现象、风浪小等特点，符合规范的要求；GPS RTK 作业时参考站选择在马村港，位于检测区域的中间，小于规范要求的 20 km 作业半径。



注: 坐标单位为 m, 下同。

图 1 多波束测量的挖沙区域的三维影像

Fig. 1 Three-dimensional shadow of dredging area measured by multi-beam system

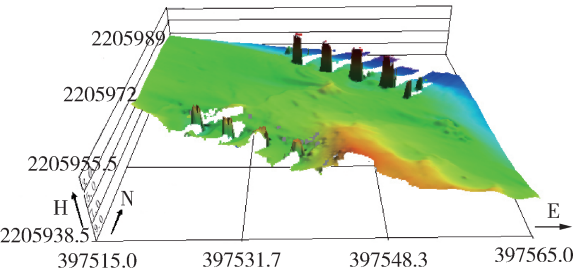


图 2 多波束测量的桥墩三维影像

Fig. 2 Three-dimensional image of piers measured by multi-beam system

3 试验结果分析

3.1 同步效果分析

同步效果分析主要是检验 Leica 1230 GPS 的秒脉冲模块是否起作用, 发射的同步信号是否可以被多波束系统接受, 为此通过两种方式验证: 一、野外数据采集时采用 GPS RTK 和 SF 3050 测量了一座待建桥梁的桥墩, 比较两者的位置差; 二、通过 CARIS 7.0 多波束数据处理软件比较不同测线的重叠精度。

3.1.1 桥墩位置测量

测试区域桥墩分别位于测线的两边, 形状为圆形, 每边各 4 个, 该区域水深大约 7 m。比较数据采用多波束系统扫测的水深点文件和多波束影像资料, 确定不同定位模式测量的桥墩圆弧, 并根据圆弧确定每个桥墩的圆心, 比较 GPS RTK 和 SF 3050 定位模式测量的桥墩中心差值, 从而推断 GPS RTK 测量模式的同步效果。共计测量了 8 个桥墩, 精度比较如表 2 所示。

表 2 GPS RTK 定位模式与星站差分技术测量的桥墩位置差值表

Tab. 2 Difference table of bridge pier position measured by GPS RTK positioning mode and star station differential technology m

| 桥墩序号 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 成果   | 0.57 | 0.54 | 0.55 | 0.59 | 0.63 | 0.68 | 0.54 | 0.76 |
| 差值   |      |      |      |      |      |      |      |      |

注: 均值为 0.59, 测量成果差值去掉一个最大值和一个最小值, 取 6 个桥墩差值的均值作为本次检验值。

两种不同定位模式测量的成果差值大致为 0.59 m, 众所周知, GPS RTK 的定位精度在厘米级, 而 SF 3050 的定位精度在静态检测时为 0.20 ~ 0.45 m<sup>[9]</sup>, 加上测量误差, 基本上可以推断 GPS RTK 加装的秒脉冲模块可以为多波束系统提供同步信息, 可提供精度更高的位置信息。

3.1.2 不同测线的重叠效果比较

为了进一步确认 GPS RTK 与多波束系统的同步效果, 在多波束数据处理时, 查看 GPS RTK 定位模式的不同测线扫测的数据重叠效果, 是否有间隙分析结果如图 3 所示; 并与 SF 3050 定位模式的成果比较, 从而推断 GPS RTK 与多波束系统的同步效果, 分析结果如图 4 所示。图 3 中共计三条测线, A 测线采集的水深数据为蓝色, B 测线为绿色, C 测线为品红色。

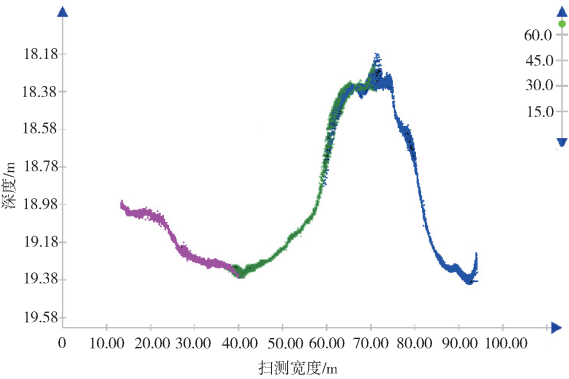


图 3 GPS RTK 定位模式不同测线测量的水深数据重叠效果图

Fig. 3 Using GPS RTK positioning mode to measure the depth of the different lines of data overlap effect map

从图 3 可知 GPS RTK 本身测量的不同测线重叠效果十分好, 未出现错位现象; 图 4 为两种不同定位模式测量的数据重叠效果, 从图中可以知它们的重叠效果也十分理想, 未出现明显的错位情况; 所以可以论证 LEICA GPS 在加装秒脉冲发射模块

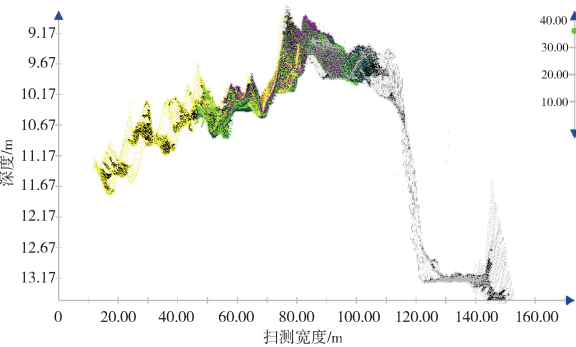


图 4 GPS RTK 定位模式(白色数据)与 SF 3050 定位模式的测量数据重叠效果图

Fig. 4 GPS RTK positioning mode (gray data) and SF 3050 positioning mode of the measurement data overlap effect map

后与 R2 SONIC 2024 在信号同步处理上取得了成效。

3.2 海底地形测量精度分析

多波束系统采用常规定位方法作业时要求在岸边设立水尺,海上测深作业与陆上水尺测量需要同步进行,数据处理时根据验潮结果把测量的水深值归算到统一深度基准面上,也就是潮位改正。由于水尺读数获得的水面高程严格意义上说只能代表水尺周围平静的海面高程,不能反映受随机的海流、风浪、荷载、航速等诸多因素综合影响的作业船舶的高程信息;而 GPS RTK 定位模式只要在能获得固定解的情况下,无论海面波浪、潮汐、航速如何变化,都能瞬时获得厘米级的水面高程,无需开展验潮工作<sup>[10]</sup>。

无验潮模式数据处理时需要根据 GPS 测量的水面大地高把多波束测量的水深数据归算到大地高<sup>[11]</sup>,然后再根据转换参数(七参数、四参数)把归算到大地高的点云数据换算成需要的深度基准面。为此选择了挖沙区域测量的数据,该区域水深变化快,可以有效检测无验潮与验潮模式测量的水深数据。数据处理时用 CARIS 7.0 多波束数据处理软件对两种模式的数据分别进行了处理,并且分别提取出测量的原始水深点数据,如表 3 所示,比较结果小于规范要求的检测限差要求,因此验证了 Leica 1230 GPS 测量的水深数据正确性及精度。

4 结论

综上所述,根据海底地形测量数据和海底地物

表 3 验潮模式与无验潮模式测量水深数据对比分析表

Tab. 3 Comparison and analysis of water depth data between tide mode and tide-free mode

| 测量模式  | 有效点数/个 | $\Delta Z \leq 0.1\text{m}$ / % | $0.1 < \Delta Z \leq 0.2$ / % | $0.2 < \Delta Z \leq 0.4$ / % | $\Delta Z > 0.4$ / % |
|-------|--------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 验潮模式  | 66 105 | 54                              | 38                            | 8                             | 0                    |
| 无验潮模式 | 58 970 |                                 |                               |                               |                      |

注:根据《工程测量规范》,水深小于 20 m,深度比对限差为 0.4 m<sup>[12]</sup>。重合点深度比对(图上距离 1 mm 以内,差值以 $\Delta Z$ 表示)。

匹配信息分析,在 LEICA 1230 GPS 上安装秒脉冲发射模块,为 R2 SONIC 2024 多波束系统提供的同步信号是可以被识别和接受的;由于 GPS RTK 定位精度高,采用该模式作业不需要进行验潮,减少人力的投入,并且水面高测量值能更真实地反映作业区域潮位变化信息,可以更真实地反映海底地形地貌变化和精确地确定障碍物的位置,有效提高多波束的数据质量。

参考文献:

[1] 吕曰恒. 多波束测深技术的应用试验 [J]. 海洋信息技术, 2011(2): 1-3.  
LV Y H. Application test of multi-beam system sounding technology [J]. Marine Information Technology, 2011(2): 1-3.

[2] 梅生强, 宫煦利. RTK 在 R2 Sonic 2024 多波束系统中应用探讨 [J]. 测绘工程, 2013(31): 28-29.  
MEI S Q, GONG X L. Discussion on application of RTK in R2 Sonic 2024 multi-beam system [J]. Surveying Engineering, 2013(31): 28-29.

[3] 邓卫红. 多波束系统安装偏差造成的误差分析及校正方法探讨 [J]. 湖北电力, 2012, 36(2): 4-6.  
DENG W H. Discussion of the correction method and error analysis caused by erection deviation of multi-beam system [J]. Hu-bei Electric Power, 2012, 36(2): 4-6.

[4] 李家彪, 郑玉龙, 王小波, 等. 多波束测深及影响精度的主要因素 [J]. 海洋测绘, 2001(1): 26-32.  
LI J B, ZHENG Y L, WANG X B, et al. Multi-beam sounding and the main factors affecting the accuracy [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2001(1): 26-32.

[5] 中华人民共和国交通运输部. 多波束测深系统测量技术要求: JT 790—2010 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.

[6] R2Sonic LLC. Sonic 2024-2022 operation manual [M]. [S. l.: s. n.], 2010.

重建精度说明,应用 IRR 算法进行图像重建是有效的。

## 5 结论

本文提出了一个新的目标函数,将 ECT 图像重建问题转化为一个最优化问题;并基于 SB 方法,提出了一个新的迭代方法有效求解该目标函数。数值实验结果表明,本研究所提出的算法是有效的,其成像质量优于 STR 方法、OIOR 方法、ART 方法、Landweber 方法、TV 方法、L1R 方法。而且该算法计算复杂性相对较低,从而为 ECT 图像重建提供了一种新的有效方法。

### 参考文献:

- [1] TIKHONOV A N, ARSENIN V Y. Solution of ill-posed problems [J]. Mathematics of Computation, 1977, 32 (144): 491-491.
- [2] LIU S, FU L, YANG W Q, et al. Prior-online iteration for image reconstruction with electrical capacitance tomography [J]. IEE Proceedings-Science Measurement and Technology, 2004, 151(3): 195-200.
- [3] LANDWEBER L. An iteration formula for fredholm integral equations of the first kind [J]. American Journal of Mathematics, 1951, 73(3): 615-624.
- [4] Dong X Y, YE Z Y, SOLEIMANI M. Image reconstruction for

electrical capacitance tomography by using soft-thresholding iterative method with adaptive regulation parameter [J]. Measurement Science and Technology, 2013, 24(24): 1-8.

- [5] SOLEIMANI M, LIONHEART W R. Nonlinear image reconstruction for electrical capacitance tomography using experimental data [J]. Measurement Science and Technology, 2005, 16 (10): 1987-1996.
- [6] GORDON R, BENDER R, HERMAN G T. Algebraic reconstruction techniques(ART) for three-dimensional electron microscopy and X-ray photography [J]. Journal of Theoretical Biology, 1970, 29(3): 471-481.
- [7] XIA C, SU C, CAO J, et al. Reconstruction of electrical capacitance tomography images based on fast linearized alternating direction method of multipliers for two-phase flow system [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2016, 24 (5): 597-605.
- [8] LEI J, MU H P, LIU Q B, et al. Tensor-based dynamic reconstruction method for electrical capacitance tomography [J]. Measurement Science and Technology, 2017, 28: 1-12.
- [9] GOLDSTEIN T, OSHER S. The split bregman method for L1-regularized problems [J]. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009, 2(2): 323-343.
- [10] BECK A, TEOULLE M. A fast iterative shrinkage-thresholding algorithm for linear inverse problems [J]. SIAM Journal on Imaging Sciences, 2009, 2(1): 183-202.

(责任编辑 李辉)

(上接第 100 页 Continued from Page 100)

- [7] 阳凡林, 赵建虎, 张红梅, 等. RTK 高程和 Heave 信号的融合及精度分析 [M]. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32(3): 226-228.
- YANG F L, ZHAO J H, ZHANG H M, et al. Fusion and accuracy analysis of RTK elevation and heave signal [M]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007, 32 (3): 226-228.
- [8] RESON B V. PDS 2000 User Manual V3.3 [M]. Netherlands: RESON, 2006.
- [9] 杜强, 陆秀平, 肖振坤, 等. 基于 StarFire 星站差分 GPS 系统的精密静态解研究 [J]. 海洋测绘, 2011, 31(5): 5-7.
- DU Q, LU X P, XIAO Z K, et al. Research on precision static solution of differential GPS system based on starfire [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2011, 31(5): 5-7.
- [10] 陈尚州, 王灵锋. RTK 无验潮测量与有验潮测量的比较 [J]. 浙江水利科技, 2009(5): 44-46.

CHEN S Z, WANG L F. Comparison of RTK elevation and tide measurement [J]. Zhejiang Hydrotechnics, 2009 (5): 44-46.

- [11] 李凯锋, 田建波. 无验潮水深测量系统定位精度检验 [J]. 海洋测绘, 2013, 33(6): 22-25.
- LI K F, TIAN J B. Positioning accuracy test of non-tide depth measurement system [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2013, 33(6): 22-25.
- [12] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 工程测量规范: GB 50026—2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- Ministry of Construction of the People's Republic of China, Code for engineering surveying: GB 50026—2007 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.

(责任编辑 李辉)