引文格式：姚明经. 莲沱段航道北斗+GPS表面流速流向观测[J]. 地理空间信息, 2023, 21(3): 136-138. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623. 2023.03.031

莲沱段航道北斗+GPS表面流速流向观测

姚明经[1]
（1. 长江三峡通航管理局，湖北 宜昌 443002）

摘　要：表面流速流向观测是航道水文测量中一项重要的内容，对于外业采集的精度、时机、环境等方面均有较苛刻的要求。目前主要采用GPS RTK或网络RTK直接测量的方法，但GPS在峡谷河段上空卫星数量有限，冗余不足，易丢失数据，影响定位服务的持续性。根据莲沱段航道特点，采用双模GNSS接收机，同时接收北斗和GPS系统的卫星信号，再利用网络RTK进行表面流速流向观测。该方法克服了现有航道表面流速流向测量技术短板，解决了传统GPS在三峡—葛洲坝两坝间水域峡谷河段数据易丢失等问题，提高了航道水文条件观测成果的质量、精度和效率，保障了高精度位置应用安全，能满足通航发展需要，也为山区峡谷河段表面流速流向观测提供了参考。

关键词：表面流速流向观测；CORS；网络RTK
中图分类号：P228.4　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）03-0136-03

Surface Current Velocity and Direction Observation in Liantuo Channel by BDS+GPS

YAO Mingjing[1]
(1. Three Gorges Navigation Authority Navigation, Yichang 443002, China)

Abstract: The observation of surface current velocity and direction is an important part of waterway hydrological measurement, which has strict requirements for the accuracy, timing and environment of field acquisition. At present, GPS RTK or network RTK is mainly used to measure directly, but the number of GPS satellites over the canyon reaches is limited, and the redundancy is insufficient, which is easy to lose data and affects the continuity of positioning services. In this paper, according to the characteristics of Liantuo channel, we used the dual-mode GNSS receiver to receive the satellite signals of BDS and GPS, and used the network RTK to observe the surface current velocity and direction. This method can overcome the shortcomings of existing channel surface current velocity and direction measurement technology, solve the problem that the traditional GPS data is easy to lose in the canyon section between the Three Gorges and Gezhou Dam, improve the quality, accuracy and efficiency of channel hydrological condition observation results, ensure the safety of high accuracy position application, which can meet the needs of navigation development and provide reference for the surface current velocity and direction observation in mountainous gorge reach.

Key words: surface current velocity and direction observation, CORS, network RTK

表面流速流向观测是航道水文测量中的一项重要内容，对于航道整治设计和航道维护来说不可或缺，观测数据量大，图形要求规则美观。表面流速流向观测早期采用间接法，如前方交会法、后方交会法、单点法[1]等；现在主要采取测量机器人（自动跟踪全站仪）[2]、RTK[3-5]或网络RTK[6]等直接测量的方式。莲沱段是三峡—葛洲坝两坝间“四滩一湾”滩险中最上游的一个，是长江著名的洪水急流滩，水流流速和比降较大、流态紊乱。利用GPS在莲沱河段进行数据采集时，存在数据不完整不连续的情况，与该位置GPS卫星信号质量有很大关系。如果仅采用单一导航系统，可能在某一区域上空卫星数量有限，冗余不足，一旦接收机与某颗卫星断开链接，就会影响定位服务的持续性；如果一台接收机能同时接收北斗和GPS系统的卫星信号，那么出现与卫星断开链接而导致导航异常的可能性将会降低。本文根据莲沱段航道特点，采用双模GNSS接收机同时接收北斗和GPS系统的卫星信号，再利用CORS进行表面流速流向观测，解决了GPS数据在峡谷河段易丢失等问题，提高了观测成果的质量与精度。

收稿日期：2021-10-20；修回日期：2021-12-21。
项目来源：2020年度交通运输行业重点科技资助项目；长航局科技资助项目（CKJ2020-02B）。
作者简介：姚明经（1984—），硕士研究生，高级工程师，主要从事航道测量和大坝安全监测等工作，E-mail：1114yao@163.com。

1　表面流速流向观测

表面流速流向观测成果作为航道河演分析的重要基础数据，对于外业采集的精度、时机、环境等均有较苛刻的要求。由于工序复杂、技术难度大、受外界影响因素多，表面流速流向观测一直以来都是困扰航道水文检测的重难点工作，也是需要投入船艇、人员和设备数量最多、耗时最长的一项外业工作。结合行业发展和技术革新的需要，本文采用北斗+GPS的方法进行航道表面流速流向观测。

1.1　可用性测试

在进行实测前，需在测区覆盖范围内进行可用性测试。本文采用网络RTK进行空间可用性测试，通信方式为移动4G，选用CORS系统，测试设备为支持北斗三代兼容GPS的GNSS设备。将两台GNSS设备同时固定在船上，采样间隔为1 s，船速为10~20 km/h，连续测量记录数据，对解状态进行统计分析。解状态包括单点解、差分解、浮点解和固定解。GNSS在测区范围内的轨迹如图1所示。测试结果表明，99.5%数据为固定解，网络RTK在整个覆盖区域内精度稳定，通信方式（移动4G）满足用户终端对通信能力的要求。

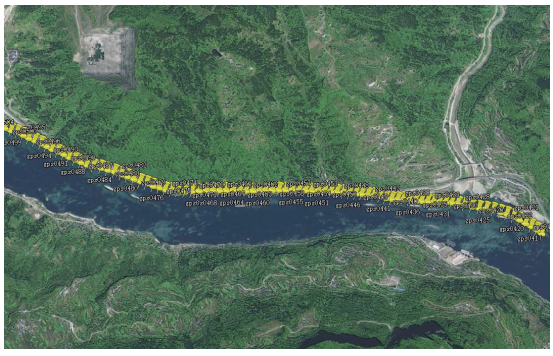


图1　GNSS RTK可用性沿江测试轨迹图

1.2　技术设计

合理布设计划线是表面流速流向观测技术设计的关键。计划线布设合理，则能节省时间，提高效率。JTS 132–2015《水运工程水文观测规范》中明确指出，内河航道工程至少应布设3条测线，其中应有1条测线流经主流区，分汊河段应有1条测线进入汊道[7]。

通常根据河段特点布设计划线，计划线起始距离不宜过长，河段弯曲处宜设置为计划线起点或终点。若已有测区历史资料，则根据资料进行布设，避免测线过长导致部分测区“空白”；若部分测区无数据，则进行补测。测区计划线位置如图2所示，分两段进行，每段4条测线。根据GNSS设备数量，合理选择浮标数量，保留一台GNSS设备进行实时定位导航。

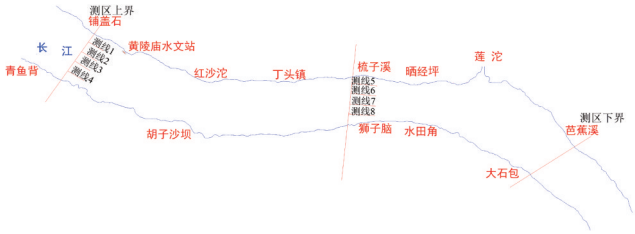


图2　测区计划线位置图

1.3　作业流程

1）通过移动网络链接CORS，在流动站控制手簿中设置相关网络，包括名称、方式、APN、地址、端口、接入点、用户和密码等；设置坐标参数，包括系统名称、椭球参数、中央子午线、投影模式、坐标转换参数等。

2）点校检。作业前，均需在测区附近确定已知控制点，获得固定解后还要进行测前检查，检查结果合格才能进行数据采集。选择测区任意控制点，将移动站接收机架设其上进行观测，将所测控制点坐标与已知坐标进行对比，误差小于3 cm即可开始测量。

3）将计划线导入导航用GNSS设备。测量开始前，船舶按照导航行驶至测量水域的上游。测量时应同步观测水位，本文直接引用测区水位站数据。

4）准备测量浮标。待GNSS移动站获得固定解后，开始连续测量，设置测量时间间隔（如10 s），将其放入浮标并密封。

5）接近测量点时，投掷浮标至测量起始点，记录开始测量时间；对浮标进行跟踪，等到达测量结束点后，船舶驶向浮标，将其打捞回船上，记录结束测量时间。此时，可将设备取出，查看测量情况，若出现异常情况，则需重新测量[8]。

6）进行下一条测线测量。

7）测量作业结束后，从手簿中导出测量坐标点，分测线选择适当的测量点绘制到航道图中，添加测量标注信息后，生成表面流速流向成果图。

测量过程中需要注意4点：①使用CORS时，应关闭基准站变化提醒，如开启基准站变化，需在手簿上操作才能继续测量，否则测量会中断；②记录好每一条测线的开始时间、结束时间，特别是多个浮标连续投放时，采集时点的编号应区分主机或测线，便于后期数据处理；③测量过程中，对急流、漩涡、回流、横流、泡水、剪刀水等不良流态进行记录，并应于测图资料中予以反映；④设置连续测量时间间隔时，应综合考虑测图比例尺和测区平均流速大小，如测图比例尺为1∶2 000，平均流速为2 m/s，则可设置

时间间隔为10 s，若事先不知道流速情况，则可将时间间隔设置为1 s，后续处理时按要求将点进行抽稀。

内业数据处理采用自主开发的三峡河段表面流速流向数据处理系统（图3）。该系统能进行数据的批量处理，节省了大量复杂的工序，极大地提高了效率，计算结果准确、使用方便、图形规范美观。

内业数据处理时应注意3点：①应将测量数据按详细信息格式导出，这种格式带有时间以及解的状态、星况等信息，需要注意的是，软件按时间间隔采集记录数据时，并非所有数据都是严格按照时间间隔采集记录的，后期数据处理需计算时间间隔，再计算流速；②测量数据中断区域通常可通过均值内插的方式填充数值，若数据缺失较多，则需分析原因，如果是测量方法导致GNSS信号不好，则需考虑其他方法进行补测；③成图时，流速小的地方点非常密集，在图上无法全部显示，则考虑只标注点，不标注流速。

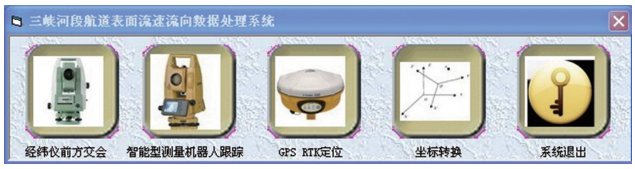


图3 三峡河段表面流速流向数据处理系统主界面

2 观测结果与分析

CORS初始化时间为0.5 min，基于VRS的实时定位精度（平面为±3 cm、高程为±5 cm），差分后处理可达平面精度为3 mm、高程精度为5 mm，满足表面流速流向测量的精度要求。经校核，网络RTK测值与该点已知坐标差值小于2 cm，满足规范要求。

本次莲沱段汛期表面流速流向测量采用网络RTK的方式施测，三峡出库流量为30 500 m^3/s现场共施测8条测线，测线总长度约为10 km，测点间隔设置为5 s，共采集1 442组定位数据，成果如表1所示，测区表面流速流向图如图4所示，可以看出，1 436组数据为固定解，占比为99.6%。在同样的区域，2014年仅采用GPS进行网络RTK测量，共采集1 612组定位数据，其中1 515组数据为固定解，占比为94%，且在岸边水域基本无法得到固定解。显然，采用GPS+北斗的方式进行测量可提高效率和质量。

表1 流速计算成果

编号	时间		历时/s	流程/km	水位/m	流速(m/s)		
	开始	结束				最小	最大	平均
1	10:45	11:03	925	2.5	67.6	1.94	3.79	2.76
2	11:17	11:31	810	2.7	67.6	2.96	3.89	3.37
3	11:43	11:57	860	2.7	67.8	2.74	3.73	3.19
4	13:42	13:54	725	1.9	67.8	1.78	3.14	2.56
5	14:31	14:58	925	2.4	68.8	1.88	3.10	2.64
6	15:23	15:39	910	2.0	67.8	0.58	3.57	2.24
7	15:51	16:01	595	1.8	67.7	1.44	3.93	3.03
8	16:10	16:20	595	1.9	67.7	2.26	3.63	3.16

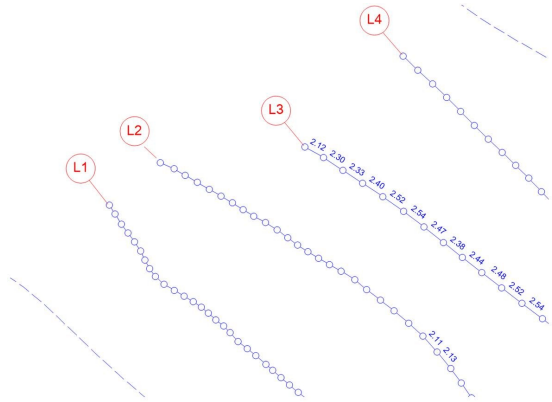


图4 测区表面流速流向图

3 结 语

采用GNSS接收机同时接收GPS和北斗系统信号，再利用网络RTK进行表面流速流向观测，该方法克服了现有航道表面流速流向测量技术短板，解决了传统GPS在三峡—葛洲坝两坝间水域峡谷河段数据易丢失等问题，提高了航道水文条件观测成果的质量与精度，保障了航道信息应用安全，为服务现代三峡通航发挥了重要支撑作用。下一步将重点进行单北斗测试，研究北斗系统在三峡—葛洲坝两坝间水域定位信号的覆盖情况，对北斗、GPS等不同定位方式进行现场实测，从而进行单北斗的表面流速流向观测。

参考文献

[1] 素雅. 河水流向测定方法概述[J]. 测绘通报,1957(3):130-131

[2] 姚明经,陈冲,王紫阳. 三峡河段表面流速流向数据处理[J]. 海洋测绘,2014,34(2):53-55

[3] 陆历富. RTK技术在表面流向及流速测量中的应用[J]. 西部交通科技,2006(6):61-63

[4] 王文平. 徕卡GPS差分定位测量在水文测量中的应用[J]. 测绘通报,2011(9):87-88

[5] 章茂林. GPS在水面流速流向测量中的应用[J]. 水利信息化,2006(1):33-35

[6] 李昱. 基于网络RTK的水面流速流向测量系统研究[J]. 现代测绘,2013,36(2):33-35

[7] 水运工程水文观测规范:JTS 132-2015[S].

[8] 左涛. 水面流速流向测量系统的设计与实现[D]. 荆州:长江大学,2014