



几种新测绘方法 在西部航道原型观测中的应用*

冯玉全, 卢自来, 高桃峰

(四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017)

摘要: 通过分析我国长江上游重要支流金沙江向家坝电站库尾段和岷江宜宾市、眉山市市域段重要航道原型观测项目的试验数据, 论述了千寻知寸高程异常预算法、千寻 GPS 浮筒法和临时水尺悬线法等 3 种新型测绘方法在西部航道原型观测中的应用可行性。结果表明: 千寻知寸高程异常预算法获得的全测区高程异常值能够代替传统 RTK 点校正测量水准高; 应用千寻 GPS 浮筒法可代替传统全站仪前方交会法求得表面流速、流向, 并得到河心比降; 临时水尺悬线法可代替传统临时水尺法进行水文观读。试验数据证明, 新型测绘方法的测量质量达到甚至超过了传统测绘方法, 满足勘测规范和设计的质量要求, 相比传统方法降低了生产成本, 提高了工作效率, 起到事半功倍的效果, 具有较好的推广使用价值。

关键词: 原型观测; 千寻知寸; 高程异常; 浮筒; 临时水尺

中图分类号: P216; U61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)07-0164-05

Application of several new surveying methods in prototype observation of western waterway

FENG Yuquan, LU Zilai, GAO Taofeng

(Sichuan Transportation Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610017, China)

Abstract: This paper discusses the feasibility of applying three new surveying and mapping methods in the prototype observation of the western waterway, namely the Thousand Seekers Knowing Inch Elevation Anomaly Budget Method, the Thousand Seekers GPS Float Method and the Temporary Water Scale Suspension Method, by analyzing the experimental data of the important tributaries of the upper reaches of the Yangtze River in China, including the reservoir tail section of the Jinsha River Xiangjiaba Power Station and the important waterway prototype observation projects in the municipal sections of the Min River Yibin and Meishan. The results show that the elevation anomalies of the whole survey area obtained by the elevation anomaly budget method can replace the traditional RTK point correction measurement level height. Additionally, the GPS float method can replace the traditional total station front rendezvous method to obtain the surface flow velocity and direction, as well as the river core specific drop, while the temporary water scale suspension method can replace the traditional temporary water scale method for hydrological observation. The experimental data prove that the measurement quality of the new surveying and mapping methods reaches or even exceeds that of the traditional surveying and mapping methods. These approaches can meet the quality requirements of the survey specification and design, while also reducing production costs and improving working efficiency compared to traditional methods, achieving twice the result with half the effort. These methods have significant potential for promotion and use.

Keywords: prototype observation; Thousand Seekers Knowing Inch; elevation anomaly; buoys cylinder; temporary water gauge

收稿日期: 2022-09-27

*基金项目: 四川省交通勘察设计研究院有限公司科技项目 (232022015)

作者简介: 冯玉全 (1985—), 男, 高级工程师, 主要从事公路与航运工程勘察测绘工作。

金沙江向家坝库区航道建设工程河段位于我国大型水电站向家坝电站库尾,全长约 54 km,涉及四川省凉山州、云南省昭通市。目前,该段航道库尾部分仍存在弯曲半径不满足《内河通航标准》要求,航宽偏窄,通视条件差,航槽附近有暗礁孤石,中、洪水期流速大、流态紊乱的情况。通过航道整治,该段航道将达到内河Ⅲ-(3)级航道标准。岷江龙溪口枢纽—宜宾合江门航道整治二期工程河段全长约 42 km。目前,该段航道中五粮液酒厂外铜锣湾滩群受无序采沙影响,原较为稳定的边滩被破坏,导致水流分散、航槽易变,滩情明显恶化。42 km 航道中,存在碍航滩险 10 处。该段航道拟按内河Ⅲ-(3)级航道标准建设。岷江张坎航电工程河段位于岷江干流四川省眉山市境内,全长约 20 km,该段工程既有航电工程,也有航道疏浚工程。为了给工程设计提供基础数据支撑,开展了 3 个河段的原型观测工作,包含江道图测量、表面流速流向测量、临时水尺观读、流量测量、比降测量等内容。本文采用千寻知寸高程异常预算法、千寻浮筒法、临时水尺悬线法等 3 种新型测量方法开展 3 个工程河段原型观测工作,分析了 3 种方法的优点。

1 千寻知寸高程异常预算

1.1 测区高程异常预算

目前,大比例尺江道图的测量方法有全站仪极坐标法、GPS-RTK 法、航空摄影测量法、省级 CORS、千寻知寸法,水深常使用单波束、多波速测深仪、无人船测量。各种方法均有优劣势和适用场景。近几年发展成熟起来的千寻知寸法具有全天候、覆盖范围广、长距离、跨省区、厘米级定位精度、操作简便,可直接获取 CGCS 2000 坐标的特点。千寻知寸可达厘米级精度^[1]定位的优势决定了其可直接用于平面测图。在基站和信号覆盖良好的地方,千寻知寸的高程精度在 10 cm 以内,可利用它测得的控制点大地高结合测区已有

的控制点水准高求取测区高程异常变化值。而似大地水准面精化结果一般无从知道。如果知道测区高程异常值,则方便利用千寻知寸加密测量图根点高程、测量地物地貌点水准高。大地高、正常高(水准高)、高程异常^[2-3]之间的关系见图 1。

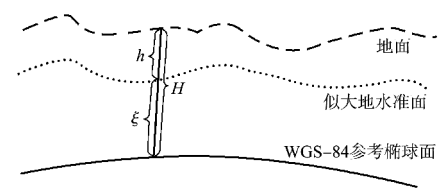


图 1 高程异常

可见,正常高=大地高-高程异常,即 $h=H-\xi$ 。如果控制点能够较好地覆盖测区,控制点处的高程异常值可求得。通过高程异常 ξ 的变化情况,使用线性内插法^[4-7]可较好地预算测区其它没有控制点处的高程异常值,进而得到正常高 h 。因此,千寻知寸可得到测区的三维坐标。如测区高程异常值变化不大,趋于稳定,则可使用少量控制点先开展测图等工作,无需先控制再碎步。航空摄影测量无法获得图根点、水尺零点坐标;使用全站仪测量图根点和水尺零点高程受地形条件所限,效率太低;省网 CORS 系统测量覆盖范围不能跨省区^[8],在两省交界处不宜使用。相比传统的 GPS-RTK,千寻知寸无需架设基站、误差累积、作用距离更远、更方便、整体精度更好。方便获得河心比降、水尺零点高程。

1.2 项目试验

在岷江张坎航电工程可研设计原型观测项目上,由于工期较紧,项目计划同时开展控制测量、航空摄影测量、水深测量。航空摄影测量需要像控点坐标、水深图需要水准高程。使用千寻知寸接测测区首尾国家控制点和测区附近高速公路控制点的大地高,结合其已知的水准高,算出控制点高程异常值变化值较小约 0.1 m。测区和已有控制点分布见图 2。

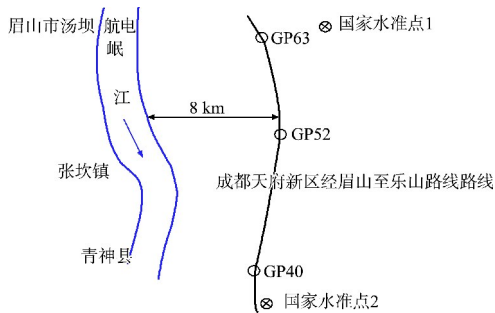


图 2 测区和控制点

由于项目区属于浅丘地形，已知控制点基本可控制住测区高程，预算出测区高程异常值为 43.600 m，高程精度为 0.100 m。该精度完全满足像控点坐标测量、水深测量、河心比降测量的需要。等测区控制测量完成后，使用千寻知寸测得控制点高程值和四等水准测量值的比较结果见表 1。

表 1 高程异常值预算及差值

点名	千寻大地高/m	预估高程异常值/m	预估高程/m	水准值/m	差值/m
G005	356.210	43.600	399.810	399.815	-0.005
G012	364.446	43.600	408.046	408.084	-0.038
G013	365.591	43.600	409.191	409.232	-0.041
G015	367.383	43.600	410.983	411.064	-0.081
G016	368.181	43.600	411.781	411.896	-0.115
G019	359.033	43.600	402.633	402.667	-0.034
G021	359.215	43.600	402.815	402.858	-0.043

通过表 1 数据，得出千寻知寸测得大地高加上预算高程异常值 43.600 m 后，控制点高程值和四等水准测量值差值最大为 -0.115 m，最小为 -0.005 m，平均差值为 -0.051 m，满足像控点测量和水深测量精度要求。

在岷江(龙溪口枢纽—宜宾合江门)航道整治二期工程原型观测项目上，由于工期较紧，且枯水位水文数据将可能较快丢失，项目计划不加密控制点而使用较早时间比较稀疏的控制点成果。在短时间内，不间断地完成全江段 32 km 江道的流速/流向测量、河心比降测量，GPS-RTK 不满足，因此使用千寻知寸测量。测区控制点较为稀疏，已有控制点数量为 7 个，首尾有控制点 M21 和 GP51，相邻控制点最大距离 8.5 km，平均点间距 5.3 km。由于项目区属于丘陵地形，河道内地

势较平坦，通过接测测区控制点估算出测区高程异常值变化情况。开展流速流向测量、河心比降测量工作。测区和已有控制点分布见图 3。千寻知寸测得的大地高，控制点已有水准高，高程异常值见表 2。

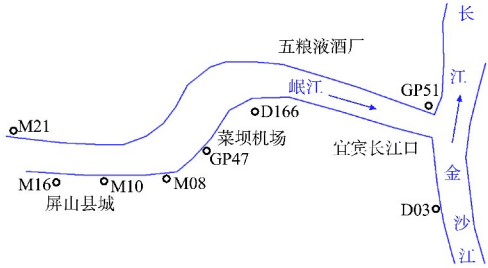


图 3 测区和控制点

表 2 千寻高程异常值

点名	千寻大地高/m	水准高/m	高程异常/m
D03	232.132	274.548	42.416
GP51	242.664	285.102	42.438
D166	241.890	284.499	42.609
GP47	243.281	285.866	42.585
M08	243.399	285.970	42.571
M10	242.932	285.429	42.497
M16	253.644	296.066	42.422

使用线性内插法预算测区其他测点的高程异常值。本项目可控制其它测点值，由于高程异常变化值影响的高程精度约 0.100 m。满足水深测量、河心比降测量、水尺零点的高程精度要求。

2 千寻浮筒法

2.1 传统浮标法和千寻浮筒法

岷江(龙溪口枢纽—宜宾合江门)航道整治二期工程原型观测项目和金沙江向家坝库区航道建设工程项目均要求在上游来流较为稳定的情况下，进行表面流速、流向测量，获得该流量下航道内水流表面的流速流态。

2.1.1 传统浮标法

传统测量表面流速流向的方法为全站仪前方交会法^[9]，使用的漂浮物为十字草靶或气球加石块。在江道两岸架设 2 台全站仪，每台全站仪的坐标已知，相互置零，然后在间隔相同的时间点进行同步交会浮标，通过软件计算得到每个交会时刻的浮标坐标。该办法的缺点在于，通常每次

只能交会1个浮标,如果一段航道内需要交会多个浮标则很耗时;全站仪交会距离有限,2 km以外可能看不见浮标,同时受天气、地形的影响,通视距离有限;前方交会精度有限,角度不好则浮标坐标不准;搬站耗时,架设耗时。

2.1.2 千寻浮筒法

浮筒法的工作原理为,将连接好千寻信号的GPS接收机、手簿放置于悬浮在水面的浮筒内连续测量坐标值,得到水流表面流速流向值。实际上使用到的器材包括GPS接收机、手簿、浮筒、沙袋、船只。水面上的浮筒见图4。

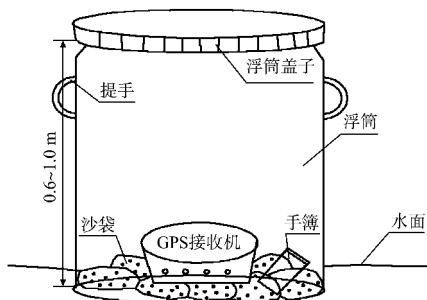


图4 浮筒装置设计

GPS接收机放置在沙袋上,机身一部分没入沙袋中,沙袋围紧GPS接收机,使得由于水流冲击筒身,但GPS不在桶内翻动,且正常接收卫星信号。手簿平放于沙袋上,按固定时间间隔记录坐标值。塑料浮筒可直接购买,水面不能没过GPS接收机。整个装置约10 kg,悬浮于水中,始终不翻倒。

2.2 浮筒法应用

在金沙江向家坝库区航道建设工程项目和岷江(龙溪口枢纽—宜宾合江门)航道整治二期工程原型观测项目上,GPS接收机均接收千寻短信号,手簿记录三维坐标。通过观察记录长江水文网的水文信息,分析测区高场水文站和溪洛渡电站出库流量情况,预计在来流较为稳定的时段,开展流速流向测量和河心比降测量。各水尺同时观读记录。将船只驾驶到测区最上游,依次投放浮筒,船只跟在最上游的1个浮筒后面。如浮筒由于回水等原因被水流冲到岸边,可及时将其捞出,继续投放,直到完成,最后用船只回收浮筒,见图5、6。



图5 船只和浮筒

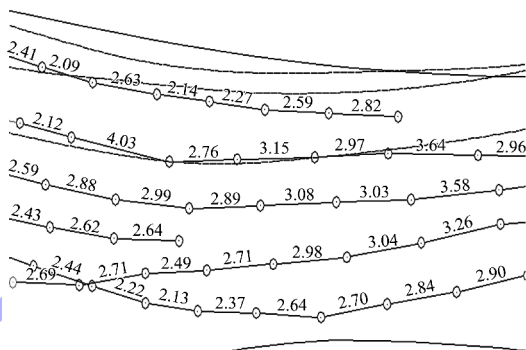


图6 流速流向成果 (单位: m/s)

通过浮筒法,测得岷江在来流为 $1\ 780\ \text{m}^3/\text{s}$ 左右时的最大流速为 $4.21\ \text{m/s}$,而金沙江在来流为 $6\ 700\ \text{m}^3/\text{s}$ 左右时的最大流速达 $5.21\ \text{m/s}$ 。浮筒法也可测量河心比降,将浮筒内GPS测得的高程转化成水面高,获得河心比降,和乘船测量^[10]比降的原理基本一致。

新式浮筒法相比传统浮标法的优势在于:使用GPS千寻短信号等时间间隔记录坐标,定位坐标准确;测量距离长,可达几千米,而全站仪交会每天只有几千米;工作效率高,可同时投放多个浮筒,而全站仪交会法1次只能交会1个浮标;浮筒法用途更广,可测量河心比降,而交会法不能。

3 临时水尺悬线法

3.1 水尺观读

水尺观读是水文观测中非常重要的方面,通过水尺观读数据设计可掌握航道内水面涨落情况,分析纵横比降。目前,行业内水尺观读方法多样,主要包括仪器自动观读和人工观读。自动观读的仪器有压力式自动水位计、雷达式自动观读水位计^[11]等,而人工观读往往设置标尺来进行观读。

自动观测水位计一般对观测地点地形要求较高,比如需位于湖泊、水库、陡坎、陡崖等水深较深的地方。一般安置过程也较为繁琐,需对观测地点进行长年累月的观读。项目中要求观读临时水尺,观读时间 15 d,甚至更短的时间,并设置了临时水尺的位置,其地形有多种情况,且临时水尺的数量往往一二十把。因此,一般不使用自动水位计,而进行人工观读。临时水尺的设置往往需充分结合实地地形情况来考虑。实地可能有堡坎、陡坡、陡崖、河滩卵石地、缓坡等情况。对于堡坎、陡崖地形则可把水尺零点设置在堡坎上、陡崖边,用钢卷尺直接量取水尺零点至水面的垂直高度。若在陡坡上,可沿坡依次设立水尺,由于坡度较陡,1 个地方水尺数量不会太多。

实际上由于只观读半月,水尺往往用简易的木棍、竹筒代替,栽于地中。而在缓坡、河滩卵石地以上的方法则不实用,需设置多个木桩,且人员涉水很危险。因此需用悬线法。

3.2 临时水尺悬线法

临时水尺悬线法,即在缓坡地势、河滩地势通过悬挂水平细绳来量测水位。如图 7 所示: A、B、C 点的高程可测得,并使线 1、2 保持水平,测得线的高程。通过量取 h_1 、 h_2 可得不同时刻的水位值。如果水面 1 到 A 棍的底部及水面 2 到 B 棍的底部大于 1 m,则人员不容易到 A、B 点量取。 h_1 、 h_2 则很容易量取。在实施过程中,木棍或竹筒需细且硬度好,以防被水流冲走;悬线可使用鱼线;先把螺纹钢筋打入石头地,然后将木棍绑定在上面。在木棍上标记牵绳位置,如果绳子被损毁,则可以重新拉绳。

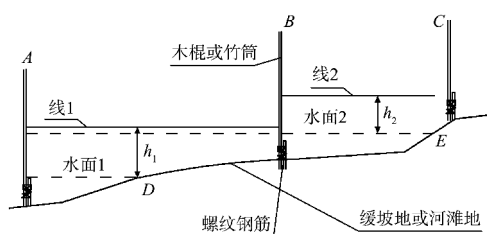


图 7 临时水尺悬线法

临时水尺悬线法较好地解决了在缓坡地、卵石地需要立很多把水尺且人员涉水危险的问题。提高了水尺观读精度、工作效率,增强了生产安全性。

4 结论

1) 使用千寻知寸技术结合测区有限控制点水准高可以提前预算测区高程异常变化情况。如果高程异常变化较小或变化有规律,则无需先进行加密控制测量,而利用高程异常值得正常高进行图根测量和测图工作,高程精度可达 0.100 m。

2) 使用千寻浮筒法完全能够代替传统全站仪前方交会浮标法进行水文表面流速、流向测量,并可测量河心比降。相比传统方法,千寻浮筒法作业效率高、更人工、精度好、应用范围广。

3) 在缓坡地、河滩地形测量中,新式临时水尺悬线法可代替传统水尺法进行临时水尺观读。并且施工简便、成本较低、测量精度可靠、作业安全性更强。

4) 在千寻网络信号覆盖良好的地域,控制点较为稀疏的测区,表面流速流向和河心比降测量中,缓坡地形临时水位观读中,新型测量方法具有独特的优势。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 谢萌丽,姜永涛,刘国仕.小区域 GNSS 高程异常拟合方法研究[J].全球定位系统,2020,45(5):34-39.
- [3] 孔祥元,郭际明.控制测量学[M].武汉:武汉大学出版社,2006.
- [4] 周伟.插值和拟合方法在高程异常模型建立中的应用[J].地理空间信息,2021,19(3):99-101,104.
- [5] 林春峰.GNSS RTK 高程拟合控制点选取工具设计与实现[J].铁道勘察,2021,47(6):21-25,54.
- [6] 卢银宏,岳东杰,刘毅,等.线性内插法在 GPS 高程拟合中的应用[J].勘察科学技术,2012(5):52-53,57.
- [7] 布金伟,左小清.区域似大地水准面精化的方法探讨与精度分析[J].测绘工程,2017,26(6):40-45.
- [8] 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.
- [9] 宁伟,周立,焦明连,等.顾及起算数据误差的测角前方交会点坐标精度分析[J].测绘通报,2014(9):51-53.
- [10] 冯玉全,高俊.内河航道水深及比降测量实践[J].中国新技术新产品,2018(22):120-121.
- [11] 许笠,王延乐,华小军.雷达水位计在水情监测系统中的应用研究[J].人民长江,2014,45(2):74-77.

(本文编辑 赵娟)