

# CORS 和数字摄影测量技术在水利划界中的应用

李智勇

(杭州定川信息技术有限公司, 浙江 杭州 310000)

**【摘要】** 由于水利划界项目的勘测线长、分布范围广、周围环境复杂,采用传统方式获取数据工作量大,耗时费力。和传统方式相比,采用连续运行卫星定位服务系统(CORS)及数字摄影测量技术,可以快速获取所需的地理信息数据。本文在分析数字摄影测量原理的基础上,以苏州市某河道影像采集为例,介绍 CORS 和数字影像技术在水利划界中的应用。研究表明:新技术有更高的工作效率,数据精度具有独立性,且具有较好的工程实用价值。

**【关键词】** 全球定位系统;连续运行卫星定位服务系统;数字摄影测量;水利划界

中图分类号: TV221

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2018)04-035-04

## Application of CORS and digital photogrammetry in water conservancy delimitation

LI Zhiyong

(Hangzhou Dingchuan Information Technology Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

**Abstract:** Since water conservancy delimitation project is characterized by long survey line, wide distribution scope and complex surrounding environment. Data acquisition through a traditional mode has disadvantages of high workload and serious time and labor waste. Compared with traditional modes, required geographic information data can be obtained quickly by using continuous satellite positioning service system (CORS) and digital photogrammetry technology. Image collection of one river channel in Suzhou is adopted as an example for introducing the application of CORS and digital image technology in water conservancy demarcation on the basis of analyzing the principle of digital photogrammetry. The results show that the new technology has higher working efficiency, data precision is independent, and it has good engineering practical value.

**Key words:** GPS; CORS; digital photogrammetry; water conservancy demarcation

### 1 引言

长期以来,由于河湖和水利工程征地范围不明确、权属边界不清晰、管理范围边界混乱,导致侵占河湖土地、破坏水利工程的现象时有发生,河湖及水利工程的管理和保护难度较大。水利划界项目是全面贯彻相关

法律法规,依据技术标准及工程审批文件,准确划定河湖和水利工程管理范围,明确管理界线,设立界桩标志,办理土地权属登记手续,建立信息共享系统,健全“范围明确、权属清晰、责任落实”的河湖和水利工程管理保护体系<sup>[1]</sup>。

当前,进行划界勘测、放样的主要方法是全站仪、

GPS-RTK。由于划界工作勘测线路通常有几百公里长,测区附近已知高等级控制点较少,如果沿河湖布设GPSD级控制网,工作量大且工作效率低下。近几年,随着连续运行卫星定位服务系统(CORS)和数字摄影测量技术的快速发展,通过采用新技术、新方法,全面提高了水利划界项目施测精度。

## 2 CORS 系统的应用

连续运行参考站网络(Continuously Operating Reference System,简称CORS)是利用GNSS、计算机、网络和通信等技术构成的地球参考坐标和地球动力学服务系统,是网络与GNSS定位技术及现代大地测量、地球动力学融合的成果<sup>[2]</sup>。该系统由若干个连续运行参考站和一个系统控制中心构成。系统控制中心通过数据链向用户提供动态连续的空间位置服务。

根据解算模式可以分为以下几种技术:单基站RTK技术,虚拟基准站技术(VRS),主副站技术(MAC)。其中,虚拟基准站技术(VRS)是现有网络RTK技术的代表。

### 2.1 虚拟参考站 VRS 原理

采用VRS技术,基准站网子系统必须包含三个以上的电离层误差、对流层误差、轨道误差模型等。流动站通过GPRS或CDMA无线网络向数据中心发出服务请求,并将流动站的概略位置传给数据中心,数据中心利用与流动位置最接近的三个基准站的观测数据及误差模型,产生一个对应于流动站概略位置的虚拟基准站(VRS),然后将这个虚拟基准站的改正数信息发给流动站,流动站再结合自身的观测数据实时解算出其所处位置的精确坐标。其服务半径可达40km。假设流动站(Mobile station)用户所在位置为M,虚拟基站(Virtual base station)所在位置为V,参考站(Reference station)位置为R。则R和V之间的站间双差观测方程表示为

$$\lambda_f(\Delta\Phi_{f,v}^j - \Delta N_V^j) = \nabla\Delta\rho_{RV}^j + \lambda_f(\Delta\Phi_{f,R}^j - \Delta N_R^j) - \nabla\Delta I_{f,RV}^j + \nabla\Delta T_{RV}^j + \nabla\Delta O_{RV}^j \quad (1)$$

式中  $\lambda_f$  ——电磁波波长;

$\nabla\Delta$  ——二次差分算子;

$\nabla\Delta\rho_{RV}^j$  ——卫星天线相位中心到接收机天线相位中心的双差几何距离;

$\Delta\Phi_{f,R}^j$  ——参考站星间单差;

$\nabla\Delta I_{f,RV}^j$ 、 $\nabla\Delta T_{RV}^j$ 、 $\nabla\Delta O_{RV}^j$  ——双差的电离层延迟、电离层延迟、轨道误差;

$\Delta\Phi_{f,v}^j - \Delta N_V^j$  ——虚拟参考站的星间单差观测值;

$\Delta N_V^j$ 、 $\Delta\Phi_{f,v}^j$  ——待求量。

由于R、V的坐标是已知,用它与流动站M的单差方程联立解算。

$$\lambda_f(\Delta\Phi_{f,v}^j - \Delta\Phi_{f,M}^j) = \nabla\Delta\rho_{MV}^j + \lambda_f(\Delta N_V^j - \Delta N_M^j) - \nabla\Delta I_{f,MV}^j + \nabla\Delta T_{MV}^j + \nabla\Delta\varepsilon_{MV,\phi}^j \quad (2)$$

由于流动站和虚拟参考站距离很近,认为两站与距离相关的双误差残差近似相等

$$\nabla\Delta I_{f,MV}^j = 0$$

$$\nabla\Delta T_{MV}^j = 0$$

不考虑观测噪声等偶然误差,由式(1)、式(2)可知:

$$\lambda_f\Delta\Phi_{f,Rv}^j = \nabla\Delta\rho_{RM}^j + \lambda_f(\Delta N_V^j - \Delta N_R^j) - \nabla\Delta I_{f,RV}^j + \nabla\Delta T_{RV}^j \quad (3)$$

流动站M坐标包含在 $\nabla\Delta\rho_{RM}^j$ 中,未知量为用户坐标和流动站的单差整周模糊度 $\Delta N_V^j$ ,按照相对定位的方法即可得流动站坐标。 $\nabla\Delta I_{f,RV}^j + \nabla\Delta T_{RV}^j$ 已在虚拟参考站的观测数据中得到,与距离相关的误差得到消除或减弱。

在虚拟参考站技术<sup>[3]</sup>中,数据中心根据网络内所有固定参考站(R的位置)的精确坐标和观测数据解算出基准站间的整周模糊度,并根据流动站(M的位置)概略坐标构建虚拟观测站(V的位置),利用线性内插算法内插出该处与测站相关的误差改正数,构建虚拟参考站的虚拟观测值。

此外,VRS系统是“容错”的。即如果某个参考站有误差,中央处理器会自动把它从网络中去除,并用其他站的数据进行补偿,从而确保精度,其测量结果比标准的RTK更为可靠。它将大大扩展RTK的作业范围,

使 GPS 的应用更广泛,精度和可靠性进一步提高,完成了许多 GPS 难于完成的任务。

## 2.2 实例分析

某地区收集已知点 GPS C 级点 3 个,合理选取 4

个未知点位,根据《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB/T 18314—2001)规范要求,采用 D 级网观测要求,基线平均距离约 8km,平均海拔高程约 10m。获得 4 个 GPS D 级点与 CORS 系统采集的点位对比,见表 1。

表 1 GPS 控制点与 CORS 精度对比

点 名	$X_{GPS}$	$Y_{GPS}$	$X_{CORS}$	$Y_{CORS}$	$\Delta x$	$\Delta y$
GPS-C-1	30 *** 78.572	49 *** 0.326	30 *** 78.565	49 *** 50.330	0.070	-0.04
GPS-C-2	30 *** 34.443	50 *** 6.891	30 *** 34.45	50 *** 6.901	-0.070	-0.010
GPS-C-3	30 *** 33.594	49 *** 4.89	30 *** 33.582	49 *** 4.906	0.012	-0.016
GPS-D-1	30 *** 27.013	49 *** 4.169	30 *** 27.157	49 *** 4.142	-0.080	0.012
GPS-D-2	30 *** 62.671	50 *** 8.459	30 *** 62.649	50 *** 8.466	0.022	-0.070
GPS-D-3	30 *** 58.527	49 *** 9.071	30 *** 58.504	49 *** 9.034	0.023	0.037
GPS-D-4	30 *** 77.638	50 *** 7.817	30 *** 77.62 已	50 *** 7.825	0.018	-0.008

通过 GPS C 级点布设 D 级控制网,解算出 D 级点坐标,再与当地 CORS 系统测出的点位做精度对比,目前,对界桩埋设平面及高程精度均在  $\pm 10\text{cm}$ 。因此,采用 GPS、CORS 等技术可满足划界精度要求。

## 3 数字摄影测量技术的应用

### 3.1 数字摄影测量原理

数字摄影测量是基于数字影像与摄影测量的基本原理,应用计算机技术、数字影像处理、影像匹配、模式识别等多学科的理论与方法,提取所摄对象用数字方式表达的几何与物理信息的摄影测量学的分支学科<sup>[4]</sup>。通过对影像进行内定向、相对定向、绝对定向、空中三角测量等处理后,实现像对的立体恢复。

采用数字摄影测量技术进行立体恢复的过程为:

a. 获取航空像、像控点对及相机参数。

b. 通过空中三角测量,进行模型定向(内定向、相对定向和绝对定向)。对影像质量较差区域(被阴影覆盖区域、大面积水域)做匹配预处理。

相对定向的目的是为了恢复构成立体像对的两张相片的相对位置,摄影光线与基线应满足共面条件:

$$\begin{bmatrix} B_x & B_y & B_z \\ X & Y & Z \\ X' & Y & Z \end{bmatrix} = 0 \quad (4)$$

或

$$[B_x B_y B_z] \begin{bmatrix} 0 & -Z & Y \\ Z & 0 & -X \\ -Y & X & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = 0 \quad (5)$$

式中  $B_x, B_y, B_z$ ——摄影站  $X, Y, Z$  方向的基线向量;

$X, Y, Z$  和  $X', Y', Z'$ ——左右影像正直像空间坐标系中的坐标。

绝对定向是将模型点的摄影测量坐标归算成相应地面坐标系的过程。其实质是两个坐标系间的坐标变换,即

$$\begin{bmatrix} X_\phi \\ Y_\phi \\ Z_\phi \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中  $\lambda$ ——缩放系数;

$a_i, b_i, c_i$ ——有角元素  $\Phi, \Omega, \kappa$  的函数组成的方向余弦;

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ——坐标原点的平移量;

下标  $\Phi$ ——地理坐标;

下标  $P$ ——摄测坐标。

c. 影像匹配,建立模型。

### 3.2 实例分析

获取苏州市某河道 2015 年 0.3m 分辨率立体像对

影像资料,软件采用航天远景数字摄影测量软件、Autocad2010、Arcgis10.1,仪器采用GPS-X900。根据河湖岸线坡面、堤防结构的相对高差,在空中三角测量输出恢复的立体模型上利用立体测图方法采集河口线、外堤肩线和堤脚线等划界基准线。为检验内业采集精度,使用苏州市CORS网络RTK,采集大约10km硬质界面基准线和软质界面基准线用于精度对比,见表2。

表2 精度统计结果

基准线长度		10km									
GPS实测点与数字摄影测量基准线垂直距离对比结果											
0~0.1m		0.1~0.2m		0.2~0.3m		0.3~0.4m		0.4~1m			
点数	占%	点数	占%	点数	占%	点数	占%	点数	占%	点数	占%
50	32%	26	16%	22	14%	12	7%	46	29%		

经检测156个点,差值 $\leq 0.1m$ 为50点,占总点对点32%。

由表2可知,采用0.3m分辨率遥感影像采集基准线,点位精度小于20cm占48%,点位精度大于0.4m且小于1m占36%,分析原因主要为河口基准线被树木或房屋阴影遮挡,内业数据采集时不能定位基准线,导致与实测数据相差较大。因此,对被树木或房屋阴影遮挡的基准线,可根据实际情况进行外业补测。对于硬质基准线的测量,为保证划界基准线硬质界面精

(上接第51页)调集费用为28841.59万元,占该工程建安投资比例为17%。

#### 4 结语

通过以上测算分析,西藏水电工程资源调集费用较低海拔地区工程明显增加,资源调集费用在建安投资中占比较高。因此,西藏水电工程造价管理应将资源调集费用作为重点管理对象之一,尤其是主要建筑材料运输费。

西藏水电工程在技术方案及施工方案选择时,要将资源调集费用作为方案选择的重点因素之一,尤其是建筑材料选择时,尽可能采用当地材料。

工程设计方案确定后,运量已基本确定,影响工程

度控制在10cm内,建议采用GPS实测方法获取硬质界面基准线;对于软质基准线的测量,以上数据均可达到验收标准要求,建议采用数字摄影测量方式获取软质基准线。

#### 4 结语

随着水利河湖划界的全面展开,GPS、CORS系统、数字摄影测量技术的引入大大提高了划界工作的推进。采用CORS系统能快速定位获取三维数据,虽然0.3m分辨率的遥感影像不能完全代替实测,由于河湖基准线约一半为软质基准线,因此,可采用数字摄影测量技术,对软质基准线采取内业采集、外业实测检验,这样可大大节约外业采集数据的时间。◆

#### 参考文献

- [1] 李亚平. 深化水利改革加强依法管水全力推进河湖和水利工程划界确权工作[J]. 江苏水利,2015(10):1-2.
- [2] 刘晖. 地球空间信息网格及其在连续运行参考站网络中的应用研究[D]. 武汉:武汉大学,2005.
- [3] 杨洋. 虚拟参考站(VRS)技术及其精度评定[D]. 成都:西南交通大学,2004.
- [4] 张祖勋,张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002.

资源调集费用的因素有运距及单位运价,运距取决于资源所在地的选则,运价取决于运输方式及路况等,在确定资源调集方案时要综合考虑。

本文以上测算分析是基于西藏果多水电工程建设所处的时间、空间及工程所在地自然、社会背景条件展开的,随着西藏水电工程开工项目的增加、西藏地区社会经济的发展及交通运输条件的改善,上述测算分析的边界条件发生变化,测算及分析结果也会随之变化。◆

#### 参考文献

- [1] 郭建欣,郭晓峰. 西藏自治区水电建设项目工程造价问题的思考[J]. 水力发电,2006,32(12):58-60.