

RTK 技术在水下地形测量中的应用

——以杭州湾跨海大桥的水下地形为例

姜小俊^{1,2}, 胡建炯², 任少华²

(1. 南京师范大学 地理科学学院, 江苏 南京 210097; 2. 浙江省水利河口研究设计院 勘测分院, 浙江 杭州 310008)

[摘要] 以杭州湾跨海大桥的水下地形测量为例, 简要介绍了水下地形测量主流技术的基本原理和 workflow 以及影响测量精度的两大关键技术: 测深和定位同步以及坐标转换, 并结合实际的测量数据, 重点阐述了如何通过保证测深和定位同步以及坐标转换精度来保证水下地形测量的精度。

[关键词] 杭州湾大桥, 水下地形, Buser-Wolff 模型, RTK

[中图分类号] P229; U442, [文献标识码] B, [文章编号] 1672-1292(2004)02-0070-03

0 引言

水下地形测量包括两部分: 定位和水深测量。就目前的水下地形测量的主流技术而言, 定位采用的是 GPS 卫星定位法, 而水深测量采用的是回声测深仪的方法。本文以杭州湾跨海大桥的水下地形测量为例, 从定位和水深测量两方面来讨论如何保证水下地形测量的精度。

1 工程特点及采用的关键技术

1.1 工程概况

1.1.1 作业区介绍

作业区位于杭州湾始端澉浦至中部金山, 作业区水面宽从 20 km 至 50 km 不等。测区内包括了深槽、深潭和边滩及水下浅滩等不同的水下地貌单元, 水下地形较为复杂。作业区内潮流强且复杂, 潮差大, 各地段有明显差异。

1.1.2 采用基准和测图比例尺

本次测量平面坐标采用 1954 年北京坐标系, 高斯正形投影 3°分带, 高程采用 1985 年国家高程基准。对应于测区的不同区域, 要求提供 3 种测图比例: 1: 2 000, 1: 5 000, 1: 10 000。

1.2 关键技术

1.2.1 基本原理

RTK 技术始于 20 世纪 90 年代初, 是基于载波相位观测值基础上的实时动态定位技术^[1]。如图 1 所示, 其基本原理是: 在已知点上架设基准站, 通过数据链将伪距和载波相位观测值及基准站坐标信

息一起发给流动站。流动站通过数据链接收来自基准站数据的同时, 还采集 GPS 的观测数据, 在系统内形成载波相位差分观测方程, 并实时处理, 采用卡尔曼滤波技术, 在运动中初始化求出整周模糊度。这样就可以保证测船在运动中实时定位, 给出达到厘米级精度的该点位置。RTK 算法比较复杂, 其关键是求载波相位的整周模糊度^[2]。

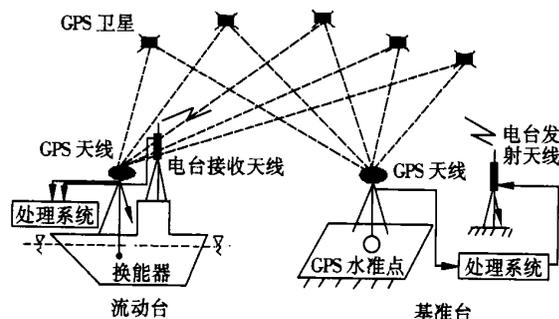


图 1 RTK 技术基本原理图

1.2.2 定位和测深的同步

水下地形测量是由定位和测深两部分各自独立进行数据采集的, 要获得正确的结果, 就需要使定位和测深的的数据在时间轴上对齐, 形成空间匹配的三维数据^[3]。经检测本次测量采用的 Trimble 5700 的 NMEA 数据的第一个上升沿与整秒的时间差, 标准偏差小于 0.001 s, 可直接作为水下地形测量的同步信号使用, 不需要进行相位移动, 所采用的 O-dem 单频测深仪 1 000 Hz 的频率也保证了测深信号可用性。同时由计算机通过串口连接 GPS 接收机和测深仪, 以 GPS 时间为基准同步采集 RTK 数据

和测深数据, 最终水下地形点的三维坐标值可由两者叠加求得。

1.2.3 坐标转换

由于 GPS 采集的是 WGS-84 系统内的坐标, 无法直接用于地形图的生成, 所以必须进行相应的坐标转换. 此处的坐标转换采用经典的 Bursa-Wolf 模型:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + (1 + \delta_0) \begin{bmatrix} X_i' \\ Y_i' \\ Z_i' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -Z_i & Y_i \\ Z_i & 0 & -X_i \\ -Y_i & X_i & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{bmatrix}$$

式中, X_0 、 Y_0 、 Z_0 为平移参数, ε_x 、 ε_y 、 ε_z 为旋转参数, δ_0 为尺度参数. 采用这一模型的优点是可以利用 GPS 接收机本身的坐标转换功能, 直接输出所需系统的坐标, 而且在数十千米内, 高程起伏在厘米级内。

转换过程如下: 首先在测区范围内选择至少 4 个点, 这些点在两系统内坐标值为已知且均匀分布测区, 利用它们的坐标值通过上述公式解出 7 参数, 再利用求得的 7 参数在测区内另外已知点上校正, 看求得的参数是否满足精度要求, 检验合格后的参数即可用于正式的数据采集。

在实际工作过程中有时候会碰到控制点数量不足的情况, 在距离控制点 30 km 内, 可以采用改正数的方法, 先通过现有的控制点, 直接求出两坐标系统大地坐标值之间的改正数, 然后所有的坐标值通过此改正数来实现坐标转换, 当然这个改正数也必须先通过检验。

2 作业基本流程

首先在已知点上设置 GPS 基准站, 启动基准站, 发射 RTK 信号, 然后启动 GPS 流动站, 在已知点上比测 RTK 信号. 确认无误后, 安装测深装置, 连接计算机接口, 即可开始正式采集同步的三维数据. 基本流程如图 2 所示。

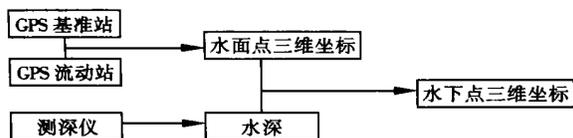


图 2 基本流程图

3 精度分析

水下地形测量的精度包括平面的定位精度和 水下地形点的高程测量精度. 如不考虑起始点误差的影响, 测量精度主要取决于以下 3 个方面:

(1) 高程转换精度: 采用较好的转换模型(如 Bursa-Wolf), 可使转换精度达到 2~3 cm.

(2) 测量精度: Trimble 5700 RTK 平面精度可达 1 cm, 高程精度可达 2 cm. ODOM 单频测深仪精度为 $\pm 1 \text{ cm} \pm 1\% \text{ 水深}$

(3) 其它因素的影响: 主要是风浪引起测船的起伏和摇摆的影响. 由于 GPS 天线与测深仪换能器之间联杆的长度为一固定值, 因此测深船的垂直起伏不会给水下地形测量的精度带来影响. 但测深船的摇摆会引起 GPS 天线与测深仪换能器之间联杆的倾斜. 如图 3 所示, 联杆的倾角为 α , 联杆长为 L , 其引起平面定位的误差 ΔS 为:

$$\Delta S = L \sin \alpha \quad (1)$$

其引起垂直方向上的误差 ΔH 为:

$$\Delta H = L - H = L(1 - \cos \alpha) \quad (2)$$

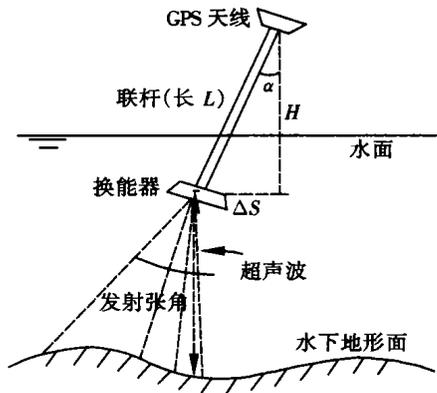


图 3 风浪对水下地形测量精度的影响

从(1)、(2)式可以看出, ΔS 及 ΔH 的大小主要取决于 L 及 α 的大小. 由风浪引起的联杆倾斜对平面定位的精度影响较大, 而对高程的精度影响很小. 只要将联杆长度缩短到 2 m 以下, 这两项误差影响可完全忽略。

将通过 GPS 静态控制网、全站仪等其它测量手段获得的已知坐标的结果与本次 RTK 作业中的定位坐标的结果进行比较(见表 1)可知, RTK 测量的点位精度可达厘米级, 各点位之间不存在误差积累, 与全站仪等其它测量手段取得结果符合得较好, 可以用来替代二三级导线控制测量和等外水准测量, 满足杭州湾跨海大桥桥位地形测绘的要求^[4]。

表1 已知结果与定位结果的比较

点号	已知结果			定位结果			差值		
	X	Y	H	X_1	Y_1	H_1	ΔX	ΔY	ΔH
1	6 648.54	323.89	7.721	6 648.575	323.900	7.769	-0.035	-0.010	-0.048
2	6 493.01	6 489.60	6.546	6 493.022	6 489.592	6.534	-0.012	0.008	0.012
3	5 746.06	2 097.38	6.474	5 764.047	2 097.348	6.495	0.013	0.032	-0.021
4	5 617.15	6 644.64	6.254	5 617.190	6 644.612	6.289	-0.040	0.028	-0.035
5	4 355.32	8 079.36	4.157	4 355.295	8 079.382	4.137	0.028	-0.018	0.020
6	867.43	3 629.56	6.288	867.378	3 629.624	6.252	0.052	-0.064	0.036
7	676.68	3 501.62	6.231	676.762	3 501.606	6.197	-0.082	0.014	0.034
8	1 339.03	3 873.25	7.122	1 339.049	3 873.255	7.105	-0.022	-0.004	0.017

4 结语

伴随OTF技术的成熟而日益成熟的RTK技术,给水下地形的测量带来了从原理到作业方式的全新革命,代表着未来一段时间内水下地形测量的方向。但其也存在着致命的缺点,即基线超过一定长度,RTK的精度将无法得到保障。这就给杭州湾湾口附近进行大比例的测量带来了难度。

[参考文献]

- [1] 施品浩. GPS定位作业模式的探讨[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1992, 17(2): 12-15.
- [2] 周忠谟. GPS卫星测量原理与应用(修订版)[M]. 北京: 测绘出版社, 1997.
- [3] 赵珞成. GPS输出的NMEA0183信号的时间特性分析[J]. 海洋测绘, 2002, 22(3): 19-21.
- [4] 任少华, 陈尚州. RTK技术在杭州湾跨海大桥桥位地形测绘中的应用[J]. 东海海洋, 2002, 20(4): 25-29.

A Brief Discussion on Key Technologies in Underwater Topographic Survey

—Taking the underwater topographic survey for the Hangzhou Bay Major Bridge as an example

JIANG Xiaojun^{1,2}, HU Jianjiong², REN Shaohua²

(1. School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China;

2. Surveying Department, Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary, Hangzhou 310008, China)

Abstract: Taking the underwater topographic survey for the Hangzhou Bay Major Bridge as an example, the factors affecting measurement accuracy and the general principle of underwater topographic survey and the working procedure technologies were discussed in terms of keeping the depth measurement and the location at the same time, coordinates translation. Based on the real data, the emphases was on how to ensuring the precision of this project through ensuring the position and the depth surveying at the same time and the coordinates converting precision.

Key words: Hangzhou Bay Major Bridge, underwater topographic survey, Bursa-Wolf model, RTK

[责任编辑: 严海琳]