

浅析 RTK 测绘系统在水文大断面测量中的应用 ——以元龙水文站为例

赵军霞¹, 雒 仪²

(1. 甘肃省天水水文水资源勘测局, 甘肃 天水 741000; 2. 甘肃省平凉水文水资源勘测局, 甘肃 平凉 744000)

摘 要: 河道断面分为纵断面和横断面, 水文大断面测量一般为横断面。大断面测量是水文测验工作的重要组成部分, 为测站考证、测深测速垂线布设、测站特性分析、河势变化分析、河道冲淤、河床演变等提供重要的基础资料, 断面成果质量直接关系到流量测验精度和相关分析结论。测量内容包括起点距和高程测定, 方法有很多种, 精度要求高。随着国家大力发展北斗卫星系统, RTK 技术已日益成熟, 在水利、农业、交通、国土等行业的工程测量、地形测量得到广泛应用, 极大地提高了外业作业效率。为了方便准确的对河道大断面进行高程测量, 本文根据元龙水文站大断面测量实际, 分析论证 RTK 测绘系统在河道断面测量中具备的优势与适用条件, 以便推广应用。

关键词: 水文测量; 断面测量; RTK 测绘系统

中图分类号: P332

文献标识码: B

文章编号: 1004-4701(2020)04-0280-06

1 大断面测量要求

大断面测量包含陆地与水下两部分测量, 陆地部分应测至历年最高洪水位以上 0.5~1.0m; 漫滩较远的河流, 可测至最高洪水边界; 有堤防的河流, 应测至堤防背河侧的地面为止。水文站应在每年汛前或汛后进行大断面测量, 对于河床不稳定的测站, 除汛前、汛后测量外, 还应在每次较大洪峰过后及时加测^[1]。起点距和高程测量应符合《水文测量规范》(SL58-2014)的要求。

2 主要测量方法

目前, 水文行业大断面测量普遍常规方法为: 高程采用四等或以上水准测量, 起点距采用钢尺直接量距、断面标志牌直读、经纬仪交汇或全站仪等方法测定。测量工作结束后, 对测得资料进行整理计算、绘

制断面图和计算断面面积。由于水准仪具有稳定的可靠性、高等级的测量精度等特点被广泛使用于水文测量中。

RTK (Real Time Kinematic) 中文名为实时动态差分测量系统, 是一种成熟的 GPS 测量方法。通过载波相位动态实时差分方法, 将基准站采集的载波相位发给移动站, 求差解算坐标, 使其能够在野外实时得到厘米级定位精度, 高程测量可以达到五等水准测量精度, 已广泛应用于各种工程测量和地形测量中^[2]。

3 元龙水文站简介

元龙水文站是国家重要水文站、中央报讯站, 隶属于甘肃省天水水文水资源勘测局管理。主要收集渭河流域基本水文资料, 积累该断面水量、水质、含沙量、蒸发量等水文要素。元龙站测验河段较顺直, 宽浅河槽, 洪水河宽约 110m, 主流靠近左岸。右岸为块石护堤, 左岸基本断面处为长约 30m 的石笼护堤, 其他为土质陡

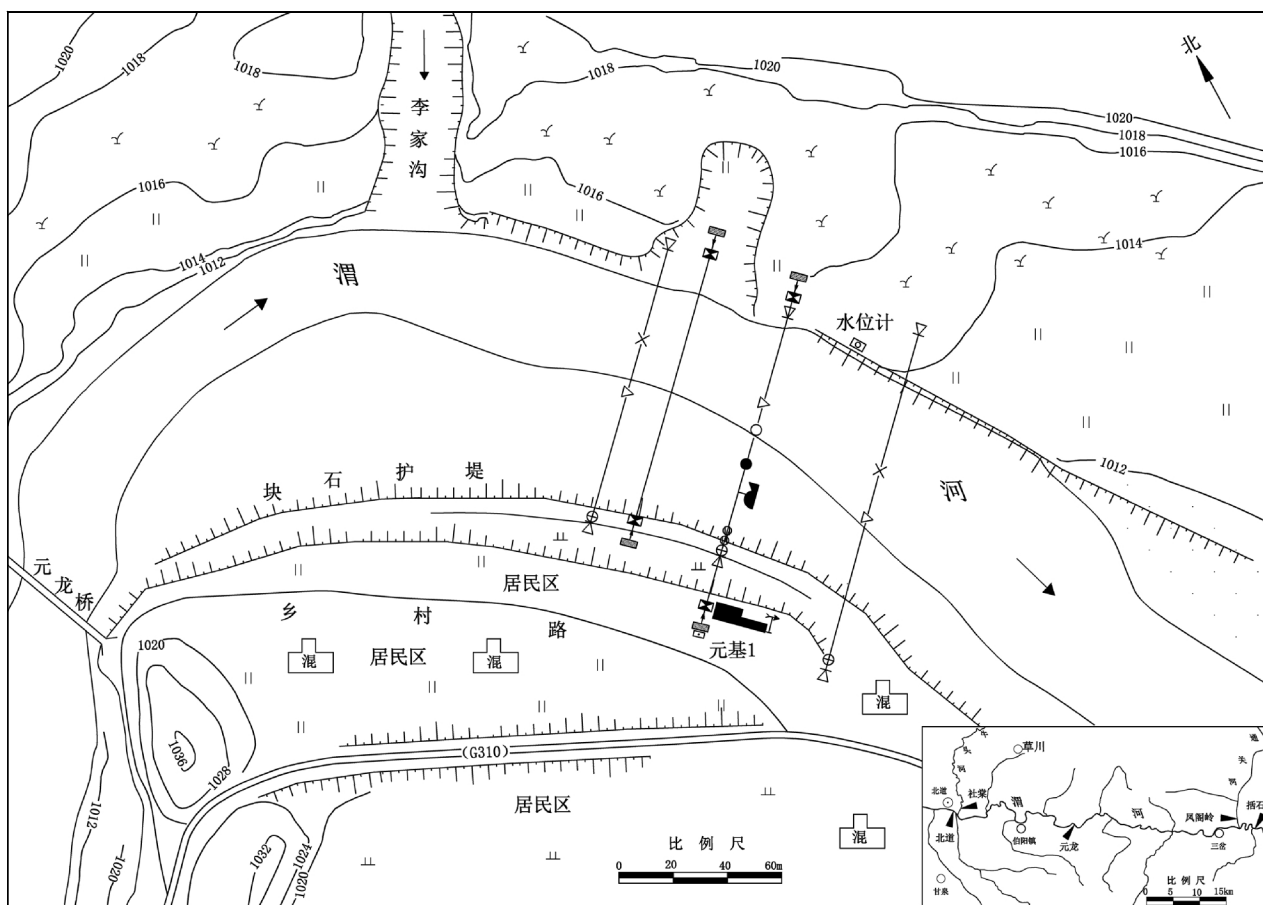


图 1 元龙水文站测验河段平面图

坎,遇洪水易坍塌,详见图 1 所示。

4 大断面测量作业

选择在元龙水文站利用 DS32 型光学水准仪与中海达 V30 型 RTK 测绘系统同时对其河道大断面进行测量,对比两种技术在相同环境下的测量采集能力。水准仪与 RTK 测绘系统应同时作业,确保实测时起点距位置一致。

4.1 外业测量

(1) 光学水准仪测量。水准测量采用四等水准闭合路线。将水准仪架设在通视条件较好的河道岸边并置平,首先应引测水准点高程作为基准高程,以起点距断面桩作为零点。由一名人员持水准尺沿着断面线测量,并严格控制断面变化,仪器观测人员利用对讲机时刻提示持尺人偏离断面线的位置。陆地部分按照起点距

依次测量河道大断面各点高程,水下部分利用测深杆实测水底高程,并通过水位换算成高程数据。测量结束后应闭合于引测水准点,以复核测量成果。

(2) RTK 测量。RTK 测量系统由基站、移动台、外挂电台组成,基准站应架设在待测断面附近空旷的制高点并使之保持水平安置。仪器架设完成后,当 GPS 指示达到“固定解”后开始断面测量。首先沿待测河道断面线测量 2 个控制点,作为起始与结束控制点,控制点必须在待测断面直线位置上。RTK 断面测量原理为 2 个控制点所确定的直线和其延长线的测量。测量时,手持软件图形界面会以虚线三角网的方式显示当前偏移与前进方向。

4.2 内业分析

(1) 水准测量资料整理采用人工内业计算方式。将测得的原始断面数据记录于测量记载表格中并加以计算,其成果符合四等测量规范要求。

（2）RTK 系统资料，采用 PC 端进行内业分析。利用 RTK 配套的 ActiveSync Driver 软件提取测量数据，通过 Excel 编辑成所需要的测量成果。

通过对测量资料进行内业计算整编，可分别得到水准测量大断面成果与 RTK 测绘大断面成果，具体见表 1。为了进一步分析光学水准仪与 RTK 测绘对比结

表 1 元龙站大断面成果对比表(基本水尺断面)

测量仪器	垂线号	起点距	河底高程	垂线号	起点距	河底高程	垂线号	起点距	河底高程	垂线号	起点距	河底高程
中海达 V30 型 RTK	左岸	0	995.96	8	47.0	989.41	16	74.5	990.26	24	100.0	990.96
	1	0.5	993.62	9	50.0	40.00	17	76.5	989.97	25	102.0	74.00
	2	2.0	68.00	10	53.0	41.00	18	80.0	990.68	26	105.0	991.01
	3	3.5	991.77	11	56.5	73.00	19	83.0	89.00	27	107.0	992.18
	4	36.0	61.00	12	58.0	91.00	20	86.0	990.70	28	123.0	10.00
	5	38.0	989.95	13	62.0	990.41	21	88.5	37.00	右岸	136.0	993.70
	6	38.0	94.00	14	66.0	38.00	22	92.5	76.00			
	7	44.0	32.00	15	68.0	15.00	23	96.0	98.00			
DS32 型光学水准仪	左岸	0	995.97	8	47.0	989.43	16	74.5	990.25	24	100.0	990.96
	1	0.5	993.63	9	50.0	40.00	17	76.5	989.98	25	102.0	74.00
	2	2.0	67.00	10	53.0	39.00	18	80.0	990.68	26	105.0	991.02
	3	3.5	991.77	11	56.5	73.00	19	83.0	90.00	27	107.0	992.18
	4	36.0	62.00	12	58.0	91.00	20	86.0	990.70	28	123.0	12.00
	5	38.0	989.94	13	62.0	990.40	21	88.5	38.00	右岸	136.0	993.70
	6	38.0	95.00	14	66.0	39.00	22	92.5	75.00			
	7	44.0	30.00	15	68.0	14.00	23	96.0	96.00			

果，根据两次实测成果资料绘制了元龙站河道大断面示意图，见图 2。

5 测量对比分析

5.1 数据误差分析

在测量时，测量结果与实际值之间存在差值是客观存在的。河道大断面测量应满足四等水准测量误差要求，其中闭合差应小于或等于 $\pm 12\sqrt{L}$ ，经测算利用 DS32 型光学水准仪测得元龙站大断面数据闭合差为 0.01mm，满足水文测量规范要求^[3]。

通过分析元龙水文站大断面 RTK 测得高程与水准测量高程误差分析，见表 2，采用中海达 V30 型 RTK 测

绘系统测得高程与 DS32 型光学水准仪测得高程的中误差为 0.015m，符合《水文测量规范》SL58-2014 中卫星定位高程测量主要技术指标要求，见表 3。

5.2 作业质量比对分析

利用水准仪进行大断面测量时，采用断面桩（杆）人工确定大断面线随意性较大，钢尺丈量起点距时存在累积误差，尤其是断面较宽时误差越大；水准测量高程转点多，测量误差较难控制，尤其是地形起伏较大，带来误差越大。RTK 测绘系统只需满足测验所需要的最少卫星数，且确保所采集的数值为固定解即可，不存在累积误差；RTK 测绘系统实时提供测量里程仪器和位置等参考信息，作业人员易对断面线方向定位进行控制。

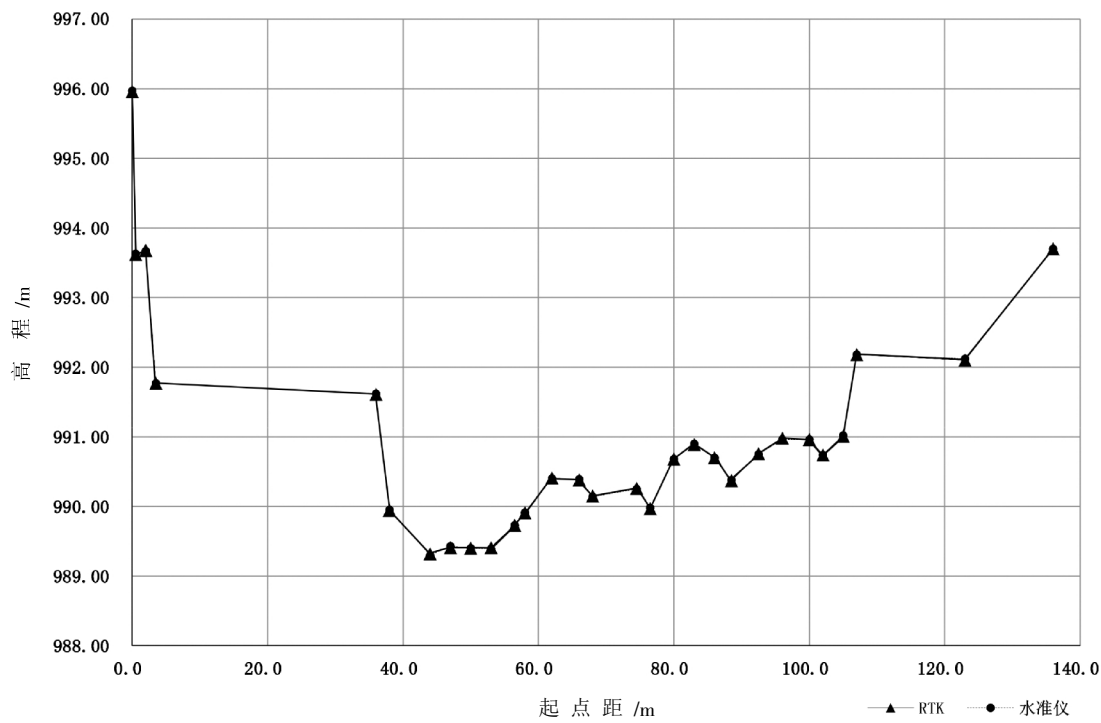


图 2 元龙水文站大断面测绘数据对比图

表 2 RTK 与水准测量高程误差评定分析表

垂线号	起点距	RTK 高程 /m	水准高程 /m	误差 i/m	i2	垂线号	起点距	RTK 高程 /m	水准高程 /m	误差 i/m	i2
左岸	0.0	995.96	995.97	-0.01	0.000 10	15	68.0	990.15	990.14	0.01	0.000 10
1	0.5	993.62	993.63	-0.01	0.000 10	16	74.5	990.26	990.25	0.01	0.000 10
2	2.0	993.68	993.67	0.01	0.000 10	17	76.5	989.97	989.98	-0.01	0.000 10
3	3.5	991.77	991.77	0.00	0.000 00	18	80.0	990.68	990.68	0.00	0.000 00
4	36.0	991.61	991.62	-0.01	0.000 10	19	83.0	989.89	989.90	-0.01	0.000 10
5	38.0	989.95	989.94	0.01	0.000 10	20	86.0	990.70	990.70	0.00	0.000 00
6	38.0	989.94	989.95	-0.01	0.000 10	21	88.5	990.37	990.38	-0.01	0.000 10
7	44.0	989.32	989.30	0.02	0.000 40	22	92.5	990.76	990.75	0.01	0.000 10
8	47.0	989.41	989.43	-0.02	0.000 40	23	96.0	990.98	990.96	0.02	0.000 40
9	50.0	989.40	989.40	0.00	0.000 00	24	100	990.96	990.96	0.00	0.000 00
10	53.0	989.41	989.39	0.02	0.000 40	25	102	990.74	990.74	0.00	0.000 00
11	56.5	989.73	989.73	0.00	0.000 00	26	105	991.01	991.02	-0.01	0.000 10
12	58.0	989.91	989.91	0.01	0.000 00	27	107	992.18	992.18	0.00	0.000 00
13	62.0	990.41	990.40	0.01	0.000 10	28	123	992.10	992.12	-0.02	0.000 40
14	66.0	990.38	990.39	-0.01	0.000 10	右岸	136	993.70	993.70	0.00	0.000 00
中误差					0.015						

表 3 卫星定位高程测量主要技术指标要求表

等级	平原、丘陵			山区		
	模型内符合中误差	高程中误差	检测较差	模型内符合中误差	高程中误差	检测较差
	cm					
四等	2.0	3.0	6.0	—	—	—
五等	3.0	5.0	10.0	4.5	7.5	15.0

5.3 作业效率比对分析

水准测量必须有两人以上同时进行，水准仪属于短距离测量，单站距离不得超过 150m，超出其可视范围或视线受阻时需增加转点，尤其是河道地形较为陡峭或通视性较差时，导致搬站次数较多，测绘记录较数据较为复杂，外业测验和内业数据整理工作量大。

RTK 测绘系统只需一名水文职工即可完成仪器组装、设置与测量工作。操作灵活方便不受河道地形限制，一站式解决全部测点测量任务，内业只需导出数值即可，无需人工计算，测量和计算工序少、效率高。

5.4 适用条件分析

水准仪为光学仪器，使用时必须具备光学通视条件，夜间等光线较弱时无法使用，待测水准尺与水准仪之间不能有任何遮挡物。RTK 测量可全天候应用，但必须满足测验所需要的最少卫星数，天线上空无遮挡，可利用 CORS 系统已有高程异常模型，如无 CORS 系统应建立高程异常模型。

6 RTK 适用条件及要求

6.1 技术要求

RTK 测量原理是一种卫星通信定位测量，所以在保证至少 5 颗卫星的前提下，采用中海达 V30 系列 RTK 测得其平距误差为 $1\text{cm}+1\text{ppm}\times D$ ，即里程每增加 1km 误差增加 1cm。RTK 测量采取基准站和移动站之间进行实时动态差分计算，在固定解的前提下，经测试高程误差可控制在 2cm 以内。另外差分测量很容易受到信号影响，电离层厚度、天气影响等都会直接影响到测量质量。如在测量过程中，遇到未知的复杂状况导致 RTK 无法固定解时，应及时采用水准测量。

6.2 仪器架设

RTK 测量系统应架设在待测断面附近空旷的制高点，且周围没有高层建筑物或山峰阻挡，以免影响卫星

信号。仪器架设时应注意架设误差、对中误差、仪器高误差，对于较为宽阔的河道断面可另架设独立电台以供扩展通信范围。

6.3 高程拟合

默认设置中 RTK 所测得的是基于 WGS84 坐标系下大地高程，与本地所采用的高程之间存在差别。可以通过拟合的方式进行高程异常换算，从而用本地高程取代 WGS84 大地高程，高程拟合可在测量前进行也可在测量完成后再拟合。距离较短的大断面测量可采用单点拟合，较大范围测量时，可利用“四参数平面拟合”或“七参数曲面拟合”。

7 结论与建议

通过对水准和 RTK 两种技术施测大断面论证分析，RTK 测绘系统比传统水准测量更为先进，并符合水文测量规范要求，操作简便，测量精度高，内业计算处理简单，RTK 测绘系统在不增加工作量的前提下拥有更加丰富的测点，对地形的变化控制更好。在满足 RTK 测量适用条件及要求时，推荐采用 RTK 测绘系统进行河道大断面测绘，既能保证测验质量，满足水文监测时效性和水文测验特性的要求；又可以提高工作效率，减少人工工作量，解放人力资源，让水文职工以更多的精力投入到提升水文服务能力和更好地支撑新形势下民生水利、水生态文明建设。

参考文献：

[1] 朱晓原，张留柱，姚永熙. 水文测验实用手册[M]. 中国水利水电出版社，2013.
[2] 高红光，魏强，吴成群. 网络 RTK 技术在水工测量中的应用[J]. 中国水利，2016(06)：58~59.
[3] SL 58-2014，水文测量规范[S].

编辑：张绍付

The application of RTK mapping system in large section hydrology measurement ——Taking Yuanlong hydrological station as a case

ZHAO Junxia¹, LUO Yi²

(1. Tianshui Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Gansu Province, Tianshui 741000, China;

2. Pingliang Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Gansu Province, Pingliang 744000, China)

Abstract: River section is divided into vertical section and cross section. Large section measurement is an important part of hydrology test, which provides important basic data for station textual research, vertical line layout of sounding velocity, station characteristic analysis, river potential change analysis, channel scouring and silting, river bed evolution, etc. The quality of section results is directly related to the accuracy of flow test and relevant analysis conclusions. The content of measurement includes starting distance and elevation measurement. There are many methods and high precision is required. With the national efforts to develop beidou satellite system, RTK technology has become increasingly mature, and has been widely used in engineering survey and topographic survey in water conservancy, agriculture, transportation, land and other industries, greatly improving the efficiency of field operations. In order to facilitate the accurate elevation measurement of large river section, this paper analyzes and demonstrates the advantages and applicable conditions of RTK mapping system in river section measurement based on the actual measurement of large section of Yuanlong hydrological station, so as to promote its application.

Key words: Hydrographic survey; Section measurement; RTK mapping system

翻译: 赵军霞