

# 新疆国家地下水监测站高程测量质量控制探讨

向 娇<sup>1</sup>, 谭尧耕<sup>2</sup>, 聂金华<sup>1</sup>, 谭 良<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>长江水利委员会水文局长江三峡水文水资源勘测局, 湖北 宜昌

<sup>2</sup>水利部信息中心(水文水资源监测预报中心), 北京

收稿日期: 2022年7月1日; 录用日期: 2022年7月27日; 发布日期: 2022年8月31日

## 摘 要

新疆地下水监测工程的430个地下水监测站分布于自治区下辖14个地区, 采用水准测量等常规方式难以完成监测站高程及平面坐标测量。本文提出建立新疆似大地水准面模型, 采用XJ-CORS为主、常规方法为辅的测量方法, 通过采用地下水监测站与CORS基准站距离控制、外业测量操作流程控制、数据质量控制、观测质量评价等一系列技术手段, 完成了监测站高程及平面坐标测量, 保证了观测质量。

## 关键词

XJ-CORS, 似大地水准面精化, 质量控制, 内符合精度, 外符合精度

# Discussion on the Quality Control of Elevation Survey of Xinjiang National Groundwater Monitoring Stations

Jiao Xiang<sup>1</sup>, Yaogeng Tan<sup>2</sup>, Jinhua Nie<sup>1</sup>, Liang Tan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Three Gorges Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Hydrology Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Yichang Hubei

<sup>2</sup>Information Center (Hydrology Monitor and Forecast Center), Ministry of Water Resources, Beijing

Received: Jul. 1<sup>st</sup>, 2022; accepted: Jul. 27<sup>th</sup>, 2022; published: Aug. 31<sup>st</sup>, 2022

## Abstract

The 430 groundwater monitoring stations in Xinjiang are distributed in 14 areas. It is difficult to complete the elevation and plane coordinate measurement of the monitoring stations by conventional me-

作者简介: 向娇, 女, 湖南永顺, 1969年1月出生, 本科, 工程师, 主要从事水文勘测收集分析工作。

\*通讯作者 Email: 1368238796@qq.com

thods, such as leveling. This paper proposes to establish a quasi-geoid model in Xinjiang, using XJ-CORS and supplemented by conventional methods, through a series of technical means, such as distance control between groundwater monitoring stations and CORS reference stations, field measurement operation process control, data quality control, observation quality evaluation, etc. to complete the elevation and plane coordinate measurement of monitoring stations, and guarantee the quality of the results.

## Keywords

XJ-CORS, Local Quasi Geoid Purification, Quality Control, Inner Precision, Outer Precision

Copyright © 2022 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## 1. 前言

新疆维吾尔自治区总面积 166 万 km<sup>2</sup>，占全国陆地总面积的六分之一，国家地下水监测站共计 430 口井，分布于全自治区下辖 14 个地区，如图 1 所示。

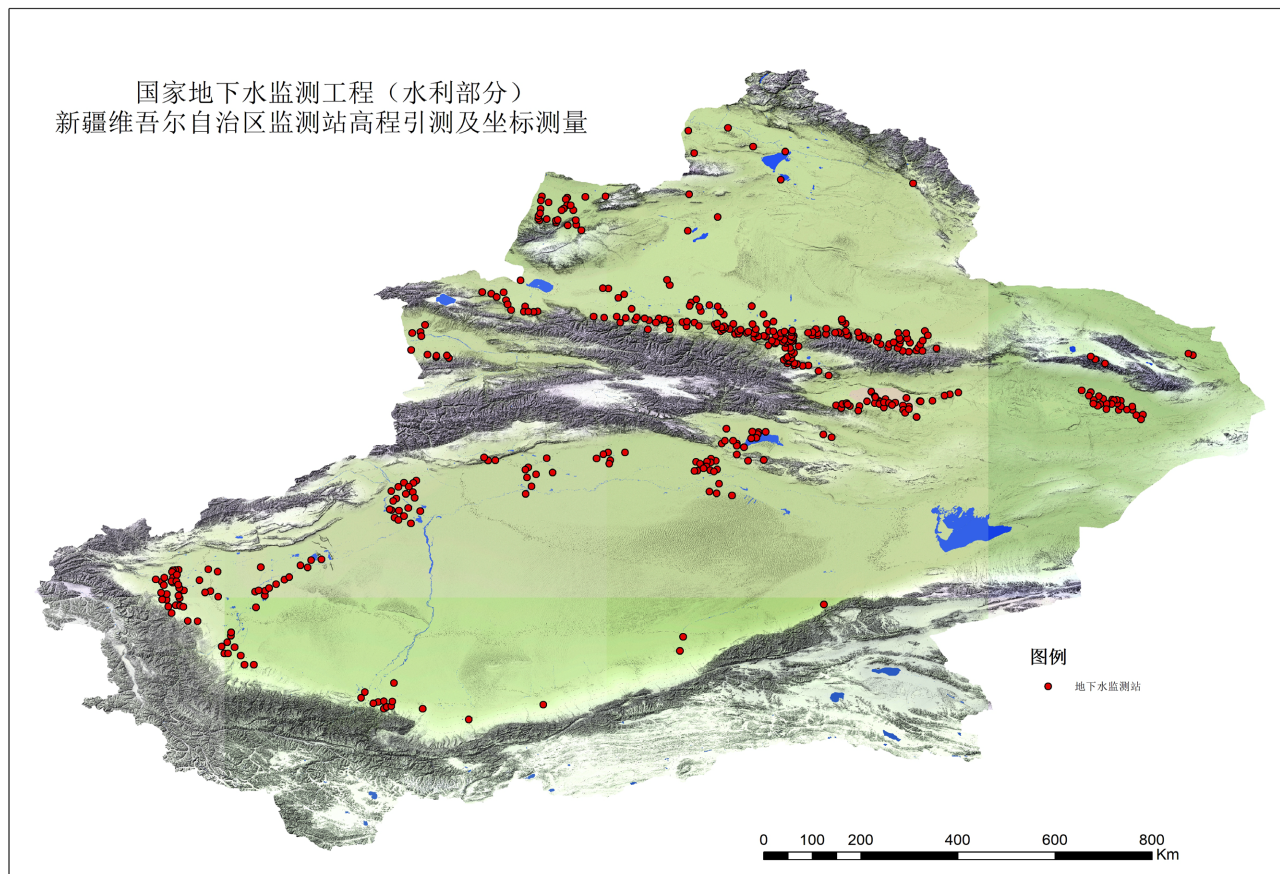


Figure 1. Distribution of Xinjiang groundwater monitoring stations

图 1. 新疆国家地下水监测站分布图

因地域广、控制引据困难,若采用传统平面与高程测量方式在如此大范围测量高度分散的430个地下水监测站高程及平面坐标,工作量大、工期长、效率低,由距离累积的测量误差难以控制。当前卫星定位连续运行服务系统(CORS)作为一个成熟的技术已广泛应用于省域工程测量和地形测量等领域,但其静态高程定位精度在5 cm左右,动态高程定位精度10 cm左右[1][2][3][4],而且还是理想的基站覆盖区域,直接用其开展作为精密测量领域的监测研究是不合适的。本文提出了建立新疆似大地水准面精化模型,采用XJ-CORS为主、常规测量方法为辅的测量方法,通过采用地下水监测站与CORS基准站距离控制、外业测量操作流程控制、数据质量控制等一系列技术手段加强质量控制,提高了CORS测量精度,特别是高程测量精度,保证了成果质量。

## 2. XJ-CORS与精化大地水准面

### 2.1. XJ-CORS简介

2016年8月29日新疆维吾尔自治区卫星定位连续运行服务系统(XJ-CORS)正式启动运行,该系统基准站网覆盖全疆90%以上的国土面积,站点分布北至阿尔泰山禾木,南至昆仑山脚下的于田,西至帕米尔高原的乌鲁克恰提,东至哈密的星星峡。这是目前全国分布范围最广、覆盖面积及规模最大的省级卫星定位连续运行服务系统。

系统由169个基准站(新疆基准站网)和1个数据中心组成,整体结构由基准站网、数据处理中心、数据传输系统、定位导航数据播发系统、用户应用系统五个部分组成[4][5]。

### 2.2. 新疆似大地水准面精化

精化大地水准面对于测绘工作有重要意义。首先,大地水准面或似大地水准面是获取地理空间信息的高程基准面。其次,GNSS(全球定位系统)技术结合高精度高分辨率大地水准面模型,取代传统的水准测量方法测定正高或正常高,能真正实现GNSS技术对几何和物理意义上的三维定位功能。第三,在现今GNSS定位时代,精化区域性大地水准面和建立新一代传统的国家或区域性高程控制网同等重要,也是一个地区建立现代高程基准的主要任务。

新疆似大地水准面计算中使用了655,889个点的重力数据和197个GNSS水准资料,ENGEN 03C地球重力场模型作为参考重力场,由第二类Helmert凝集法开展大地水准的计算,并且在技术上突破了一系列技术难题[6][7],主要实施步骤如下:

- ①地面重力观测值的归算;
- ②推估内插形成格网地形均衡异常;
- ③利用DEM恢复格网平均空间重力异常;
- ④移去位模型重力异常生成残差空间异常和残差法耶异常;
- ⑤计算格网残差重力大地水准面高与残差高程异常;
- ⑥由位模型值恢复重力大地水准面高和高程异常;
- ⑦重力似大地水准面与GNSS水准似大地水准面的融合。

### 2.3. 正常高的确定

高精度的似大地水准面结合GNSS定位技术所获得的三维坐标中分离的大地高可以求解正常高。大地高等于正常与高程异常之和,XJ-CORS测定的是大地高,要求正常高必须先知高程异常,新疆似大地水准面精化模型可以根据测量点在模型中的位置,计算该位置的高程异常,然后由大地高减去得到的高程异常就可求得正常高(水准高)。

在外业测量过程中,进入每个地下水监测站前先到已知点上通过XJ-CORS测定的是大地高和平面坐标,通过平面坐标在高精度的似大地水准面上得到高程异常,然后由大地高减去得到的高程异常就可求得正常高,测量精度统计如表3,满足合同要求后进入地下水监测站实施测量。

### 3. 外业测量及质量控制

#### 3.1. 测量距离控制

430 个监测站所处位置均为村镇及边缘,少数位于城区,距离 XJ-CORS 基准站平均距离约 21.8 km,距离 30 km 及以下的监测站占绝大多数,为 80%,适合采用 CORS 测量。监测站与 CORS 基准站距离统计结果见表 1。

**Table 1.** Statistics of distance between groundwater monitoring station and XJ-CORS reference station (km)

**表 1.** 地下水监测站与 XJ-CORS 基准站距离统计表(km)

	D ≤ 10	10 < D ≤ 20	20 < D ≤ 30	30 < D ≤ 40	40 < D ≤ 50	50 > D
监测站数量	62	141	141	60	19	7
百分比	14.4%	32.8%	32.8%	14.0%	4.4%	1.6%

利用 XJ-CORS 进行 RTK 高程控制测量按照《水利水电工程测量规范》(SL197-2013) (以下简称《规范》)技术要求执行,此规范规定网络 RTK 高程控制测量可不受流动站到基准站距离的限制,但应在网络有效服务范围内,从表 1 和外业测量实施过程情况中可知,430 个监测站所处位置均在 XJ-CORS 基准站网络有效服务范围内,满足规范技术要求[8]。

后经实际测量,XJ-CORS 除有一工作日系统维护外,其余时间信号稳定,430 个监测站测量时接收信号良好。

#### 3.2. 网络 RTK 高程测量流程控制

项目实施前共组织 14 个小组技术骨干 30 多人进行技术和质量培训,培训内容主要是 GNSS 网络 RTK、全站仪的操作、测前已知点检测、手工记录规范、电子存储与发送等。进入工地外业测量期间另外指派 5 位质量控制人员进行质量检查,主要检查内容有:

- ① 网络设置:采用 XJ-CORS 移动网络卡为 GNSS 测量设备提供网络信号,在测量手册设置好网络;
- ② XJ-CORS 基准站连接:根据 XJ-CORS 要求,在 GNSS 测量设备上设置 CORS 地址、端口、差分账号等;
- ③ 项目参数设置:根据任务要求新建任务,设置坐标系统、椭球参数、坐标转换参数;
- ④ 测量检核:进入测量,选择测区图根点进行精度检核,检核无误后开始测量;
- ⑤ 手工记录和电子存储检查:操作规范性检查等。

430 个地下水监测站高程引测与坐标测量(固定水准点高程、井口高程、井口附近地面高程)中有 418 个监测站全部采用 XJ-CORS 测量。

#### 3.3. 全站仪高程测量流程控制

430 口地下水监测井中极少数监测井所处位置 XJ-CORS 信号接受效果差,例如监测井位于房内、树林下,难以获得固定解算,另外少数监测井位于墙壁边等不便于架设仪器测量之处,对于不便于采用 XJ-CORS 进行高程测量的监测井一般采用全站仪实测,具体方法为:在监测井周围选三个相距 100 m 以上并且通视的固定点,分别作为全站仪观测的测站点、后视点和检核点,用 XJ-CORS 测出 3 点的三维坐标,架设全站仪施测地下水监测井的高程和坐标。

外业质量控制人员检查全站仪高程测量主要内容有:

- ① 设站:已知点上设站、仪器高量取,设置后视点及检核点,外业记录本填记等;
- ② 检核:测量检核点坐标,与采用 XJ-CORS 测量结果进行坐标对比,检核结果记录;
- ③ 碎步测量:测出地下水监测井的高程和坐标,外业记录本填记等;
- ④ 数据输出:电子存储并传内业检查。

经统计 22 个监测站的固定水准点高程、井口高程和井口附近地面高程全部或者部分采用全站仪按照《规范》



光电测距三角高程要求测量，全站仪测量方式情况见表 2。

**Table 2.** Statistics of total station measurement method of groundwater monitoring stations  
**表 2.** 地下水监测站全站仪测量方式统计表

测量日期	测量组		监测站编号	测量位置
	组号	地区		
2017.09.12	07 组	塔城	7-1	B K
2017.09.15	07 组	塔城	7-2	B K S
2017.09.30	06 组	塔城	6-1	B
2017.09.27	06 组	塔城	6-2	B
2017.09.24	07 组	塔城	7-3	B
2017.09.28、10.04	03 组	乌鲁木齐	3-1	B K S
2017.09.25	03 组	乌鲁木齐	3-2	K
2017.09.19	05 组	吐鲁番	5-1	B K S
2017.09.21	05 组	吐鲁番	5-2	B K S
2017.09.19	05 组	吐鲁番	5-3	B
2017.09.20	05 组	吐鲁番	5-4	B K S
2017.09.22	04 组	哈密	4-1	B K S
2017.09.21	14 组	喀什	14-1	B K S
2017.09.21	14 组	喀什	14-2	B K S
2017.09.22	14 组	喀什	14-3	K S
2017.09.22	14 组	喀什	14-4	B K S
2017.09.25	14 组	喀什	14-5	K
2017.09.30	14 组	喀什	14-6	B K S
2017.10.05	12 组	巴音格楞	12-1	B K S
2017.09.28	12 组	巴音格楞	12-2	B S
2017.10.02	12 组	巴音格楞	12-3	B K S
2017.10.03	12 组	巴音格楞	12-4	B K S

注：B 代表固定水准点；K 代表井口；S 代表井口附近地面。

#### 4. 数据质量控制

测量引用数据和启用数据应用时坚持一置入、二校核和纸质记录；外业观测记录簿、记录纸等严格按照记录要求填写清楚和完整；对原始观测数据均进行了备份，避免了数据丢失；作业期间作业组还及时进行了测量资料的合理性检查和比对，保证了资料的可靠性和完整性。

质量控制部人员与测量组人员随队作业，进行全过程跟踪检查，并采用不定期巡查方式控制关键性节点测量方法、测量技术和成果质量，质量控制人员检查了控制测量数据的合理性、高程转换及引用数据的正确性；检查了外业观测方法与观测精度、观测记录完整性等。现场质量控制人员对采用新疆似大地水准面精化模型内插计算出的高程异常进行合理性分析，计算无误后再计算正常高；对全站仪设站观测数据检核结果、监测井高程测量进行计算、复核，确保无误。在外业测量后期，检查测量数据资料完整性，并抽查 100% 的控制测量，经数据检查和比对后，方能合格。

## 5. 观测质量评价

### 5.1. 内符合精度

测量所采用的仪器均已经过了检定部门的检定且在检定期内, 各台 GNSS 在每天开工前进行了图根点和重复点检校, 统计 132 个点, 检校中误差统计为: 纵坐标 X 为 $\pm 0.03$  m, 横坐标 Y 为 $\pm 0.02$  m, 高程 H 为 0.03 m, 满足《规范》精度要求。

### 5.2. 外符合精度

为检验采用 XJ-CORS 测量的精度, 测量期间在高等级控制点上进行检测, 总共检测 21 点, 26 点次, 见表 3。

Table 3. Comparison accuracy statistics of grade control points

表 3. 等级控制点比测精度统计

序号	测量日期	检校点名	已知点平面等级	已知点高程等级	检校差值(m)		
					$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta H$
1	2017.09.25	*	C	IV	0.011	0.015	0.054
2	2017.09.23	*	C	I	-0.023	0.042	0.143
3	2017.09.25	*	C	IV	-0.011	0.022	0.018
4	2017.09.23	*	C	I	-0.007	0.028	0.158
5	2017.09.27	*	C	拟合	-0.052	0.187	0.047
6	2017.09.25	A	C	IV	0.031	0.031	-0.468
7	2017.09.27	A	C	IV	0.022	0.031	-0.445
8	2017.09.22	B	C	等外	0.051	0.061	-0.981
9	2017.09.25	*	C	一等	0.004	-0.020	0.006
10	2017.09.25	*	D	IV	0.204	0.016	0.031
11	2017.09.26	*	C	I	-0.040	0.027	0.177
12	2017.10.01	*	C	等外	0.039	0.019	0.131
13	2017.09.30	*	C	四等	-0.009	0.016	0.252
14	2017.09.25	*	D	IV	0.194	0.020	-0.015
15	2017.10.01	*	C	等外	0.027	-0.007	0.122
16	2017.09.29	*	C	四等	-0.026	0.019	0.177
17	2017.09.28	*	C	四等	0.030	0.023	0.117
18	2017.09.28	*	C	等外	0.034	0.038	0.002
19	2017.09.28	*	C	四等	-0.009	-0.005	0.107
20	2017.10.04	*	C	四等	-0.014	0.029	0.103
21	2017.09.22	*	C	等外	-0.058	0.019	0.111
22	2017.10.04	*	C	IV	-0.064	0.069	0.025
23	2017.10.05	*	C	I	-0.064	-0.026	0.274
24	2017.10.04	*	C	等外	-0.120	-0.005	-0.259
25	2017.10.05	*	C	IV	-0.029	0.173	-0.006
26	2017.09.25	*	C	四等	-0.095	0.009	-0.049

高程检测分析, A、B 两个点高程测量差值较大, 考虑到 A 经过两组不同测量人员在不同时间段测量两次, B 所标称等级为等外, 可以认定以上两控制点成果存在系统差或者控制点已毁坏, 不采用。根据在等级控制点上检测的平面坐标差值计算测量平面坐标中误差为 0.10 m, 远小于合同要求的 3 m。

## 6. 结语

通过建立新疆似大地水准面精化模型, 采用 XJ-CORS 测量为主、全站仪测量为辅的方式, 加强内外业质量控制, 成功完成 430 口地下水监测站高程测量, 成果质量满足合同要求, 项目顺利通过验收, 该测量方法成功推广到全国大多数省地下水监测项目中, 效果良好, 同时该方法对国家地下水监测二期工程和类似项目也具有指导作用。

## 参考文献

- [1] 梁艳. 新疆 CORS 网络 RTK 精度测试与分析[J]. 北京测绘, 2022, 36(1): 60-63.  
LIANG Yan. Network RTK accuracy test and analysis of Xinjiang CORS. Beijing Surveying and Mapping, 2022, 36(1): 60-63. (in Chinese)
- [2] 孟庆伟, 蒲莉莉. 新疆北斗卫星地基增强系统性能测试及分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(S1): 58-61+64.  
MENG Qingwei, PU Lili. Test and analysis of ground based augmentation system for Xinjiang Beidou Satellite. Geomatics & Spatial Information Technology, 2021, 44 (S1): 58-61+64. (in Chinese)
- [3] 徐艳海. 新疆连续运行卫星定位服务系统测试分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(2): 149-151.  
XU Yanhai. Testing and analysis of Xinjiang CORS system. Geomatics & Spatial Information Technology, 2018, 41(2): 149-151. (in Chinese)
- [4] 赵峻天. 新疆维吾尔自治区 CORS 系统的建设与定位服务测试[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2017.  
ZHAO Juntian. CORS system construction and position testing of Xinjiang Province. Xi'an: Chang'an University, 2017. (in Chinese)
- [5] 刘斌, 李胜, 孟庆伟, 杨浩. 新疆连续运行卫星定位服务系统的建设及应用[J]. 测绘地理信息, 2017, 42(5): 7-11.  
LIU Bin, LI Sheng, MENG Qingwei and YANG Hao. Construction and application of continuous operation satellite positioning service system in Xinjiang. Journal of Geomatics, 2017, 42(5): 7-11. (in Chinese)
- [6] 陈合忠. 新疆全区域似大地水准面的建立[J]. 测绘与空间地理信息, 2011, 34(6): 221-223.  
CHEN Hezhong. The construction of quasi-geoid in Xinjiang full-region. Geomatics & Spatial Information Technology, 2011, 34(6): 221-223. (in Chinese)
- [7] 丁剑. 高精度似大地水准面精化中的若干问题研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国测绘科学研究院, 2006.  
DING Jian. Investigations on some problems in high-precision quasi-geoid determination. Beijing: China Academy of Surveying and Mapping, 2006. (in Chinese)
- [8] 中华人民共和国水利部. SL197-2013《水利水电工程测量规范》[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.  
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Code for surveying of water resources and hydropower engineering SL197-2013. Beijing: China Water & Power Press, 2013. (in Chinese)