

Topographic survey of specific environments

Lin Xichen

Jiangxi Institute of Geological Survey, Nanchang

Abstract: In this paper, based on GPS quasi dynamic measurement theory and characteristics of the dynamically measured by GPS compared with other GPS measurement method, in production instance objectively elaborated under the special environment of GPS dynamic measurement model the unique superiority in the large scale topographic survey method and its application, and detailed analysis, the measuring accuracy of the dynamic measurement model is discussed and its influencing factors.

Key words: GPS quasi-dynamic; Special circumstances; Topographic survey; Conversion parameters; Surface fitting; Data processing; Precision analysis

Received: 2019-08-02; Accepted: 2019-08-20; Published: 2019-08-27

特殊环境的地形测量研究

林熹晨

江西省地质调查研究院，南昌

邮箱: xcl17@126.com

摘要: 本文主要根据 GPS 准动态测量的理论和特点，通过把 GPS 准动态测量与其它 GPS 测量方法相比较，以生产实例客观阐述了在特殊环境下 GPS 准动态测量模式在大比例尺地形测量中独特的优越性及其应用方法，并详细分析、探讨了准动态测量模式的测量精度及其影响因素。

关键词: GPS 准动态；特殊环境；地形测量；转换参数；曲面拟合；数据处理；精度分析

收稿日期：2019-08-02；录用日期：2019-08-20；发表日期：2019-08-27

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 前言

GPS 准动态测量又称后处理差分动态定位测量，简称 GPSPPK，它是根

据 GPS 相对定位原理，将一台接收机设置在已知点上（基准站），另一台或几台接收机在进行静态初始化后依次到各待测点进行同步观测，每点观测几个历元数据。在观测结束后，将两观测值进行数据后处理，通过联合求差来确定运动载体的位置。GPS 准动态测量在野外数据采集时与 GPSRTK 相似，即每个流动点上只需观测几个历元，点位精度即可达到厘米级，但 GPS 准动态测量现场无法得到测量点的准确平面坐标，需要进行数据的后处理方可得到，而且，它要求移动站在搬站移动过程中不能失锁，且需要先在已知点或用其它方式进行静态初始化（采用有动态初始化 On-The -Fly 功能的软件处理时例外）。因此，在 GPSRTK 普遍、广泛应用的今天，GPS 准动态测量方式似乎已经过时。然而，笔者在生产实践中发现，在一些特殊的环境下，该作业模式有其它任何作业模式都无法比拟的优点，有时甚至是解决问题的惟一或最优选择。下面就以特殊环境下的大比例尺地形测量实例介绍和探讨该模式的作业方法、特点及其灵活应用。

2 GPS 准动态测量模式的特点、特殊的优越性及作业方法

相比 GPSRTK 测量模式及 GPS 快速静态测量模式，GPS 准动态模式有其独特的特点：野外数据采集既可以同 GPSRTK 一样在待测点上只需观测几个历元，又无须数据链通讯（与 RTK 定位最大的区别），可广泛用于无通信数据链测区的各种不急于知道精确定位结果的工程测量，如线路测量、图根控制测量、剖面测量及大比例尺地形碎步测量等。

2008 年初，我公司在崇明东滩进行大比例尺地形测量，由于该测区内均为沼泽和芦苇，地表多为水和泥，地基异常松软和泥泞，常规测量仪器 - 全站仪根本无法设站。于是，我们决定使用 9 台套 Trimble R8 采用 1 +8 模式的 GPSRTK 作业方法进行地形碎步点采集，但经现场实验方知，该测区基本无手机通讯信号，以 GSM 手机模块为通讯方式的 9 台 GPS 数据链根本无法正常运行，短时间又无法借调来大量电台模式的 GPS（目前上海地区电台模块的 Trim-

bleGPS 较少，多数是 GSM 模块，主要用于网络 RTK 测量），工作陷入了瘫痪。

经过反复论证和现场实践,我们最终决定利用9台套GPS进行准动态测量,即采用1+8测量模式进行地形碎步点的采集。最后实践证明,在这种特殊环境里,采用GPS准动态作业方法是最优的选择,不仅作业效率大大提高,而且测量精度完全满足设计要求。

2008年底,我公司在苏州东太湖进行退渔还湖区域的1:2000滩涂地形测量,退渔还湖区域主要分布在东太湖环湖大堤内侧,平均宽度在3~5km左右,测区内主要是错综复杂的各种鱼塘、蟹塘、虾塘、河流及滩涂。交通很不便,常规全站仪不宜架设,测区内也基本没有GPSRTK所用的GSM手机通讯信号。在几乎无法正常使用常规仪器和GPSRTK的情况下,我们采用了GPSPPK作业方式,即使用了6台LeicaSR530及1230GPS采用1+5作业模式进行地形点的数据采集,由于无须数据链通讯,又有RTK采集数据的便捷,因此外业工作进展十分顺利。

GPSPPK具体测量方法如下:

首先,利用测区附近已知控制资料精确求取该测区的转换参数,然后,在测区内的已知控制点(含三维坐标)上架设GPS基准站,各流动站GPS进行静态初始化(视卫星状况8至15分钟即可),初始化完成后,各流动站即可进行碎步点的数据采集,每点采集5~10s即可,只要在移动过程中保持初始化不丢失,这种采集方式即可一直持续下去,直到采集结束。在测量前、后或测量过程中,须在测区内已知点上进行坐标检核。外业数据采集完成后,进行数据的后处理,包括基线解算、网平差等,最后,利用事先求取的测区转换参数进行坐标转换,最终得到各测量点的三维坐标值。

3 GPS准动态的测量精度及影响因素分析

3.1 测量精度分析

理论上,GPS准动态测量模式的定位精度与GPSRTK一样,可以达到厘米级。为了在运动中取得厘米级水平的定位精度,一定要先解算出“整周未知数”,最好的方法是利用静态初始化进行准动态测量。一般,在小于20km的基线上进行观测,只要有8~10min(视卫星分布情况)的双频静态观测值,就能在事后基线处理中解算出“整周未知数”。一旦静态初始化成功完成,就可以移动

GPS 天线进行准动态测量，观测时间一般只需几秒钟即可。在移动过程中，只要卫星定位不中断（如：因障碍物遮挡导致接收机卫星少于 4 颗），定位结果就会保持高精度。一旦卫星定位中断，这将丧失高精度的定位结果，此时，必须重新进行静态初始化工作。需要注意的是这种方法要求在观测时段内确保有 5 颗以上卫星可供观测，流动点与基准点相距应不超过 20km。为检验数据的可靠性及精度分析，我们在几个不同的工程作业前均使用 GPS 准动态测量方法在测区附近已知 GPS 点上进行了坐标检测，检测内容包括平面和高程值，检测点均为 GPSD 级网点，其高程为四等水准留点。具体检测结果见表 1、表 2 所示：

表 1 苏州东太湖 1：2000 地形测量工程坐标检核表

点名	GPSD 级静态控制网坐标值			GPS 准动态检核坐标值			平面坐标较差 高程较差		
	纵坐标 X (m)	横坐标 Y (m)	高程 H (m)	纵坐标 X (m)	横坐标 Y (m)	高程 H (m)	$\Delta x(m)$	$\Delta y(m)$	$\Delta H(m)$
T12	29822.816	49373.109	7.444	29822.860	49373.133	7.463	0.044	0.024	0.019
T13	29175.603	49039.079	7.705	29175.633	49039.085	7.678	0.030	0.005	-0.027
T15	27508.337	47878.440	7.689	27508.320	47878.432	7.681	-0.016	-0.008	-0.008
T16	26455.355	47360.988	7.705	26455.309	47361.003	7.717	-0.046	0.015	0.012
T17	24924.291	46604.476	8.286	24924.256	46604.475	8.316	-0.035	-0.001	0.030
T19	23605.285	44491.073	7.664	23605.302	44491.093	7.653	0.018	0.020	-0.011
T21	23635.147	43191.060	8.310	23635.131	43191.113	8.283	-0.016	0.054	-0.027
T23	23363.466	41563.489	8.244	23363.446	41563.459	8.239	-0.019	-0.030	-0.005
H51	21899.959	39793.925	7.114	21900.026	39793.929	7.107	0.068	0.004	-0.007
T25	20764.835	39283.840	7.739	20764.871	39283.845	7.727	0.036	0.005	-0.012
T26	19917.627	38750.121	7.496	19917.663	38750.112	7.512	0.036	-0.009	0.017
T27	19262.848	38332.333	7.496	19262.863	38332.324	7.463	0.014	-0.008	-0.033
T28	17772.442	37678.193	5.074	17772.394	37678.207	5.111	-0.048	0.014	0.037
T31	15292.209	36256.718	7.451	15292.211	36256.745	7.421	0.003	0.026	-0.030
T32	14561.050	35791.574	7.432	14561.072	35791.588	7.410	0.023	0.014	-0.022
T33	13604.448	35413.885	7.165	13604.477	35413.903	7.137	0.029	0.018	-0.029
T34	13962.925	34566.945	7.771	13962.926	34566.968	7.796	0.003	0.023	0.025
T35	14845.744	32498.733	7.109	14845.736	32498.690	7.122	-0.008	-0.043	0.012

注：上述坐标基准为苏州地方坐标系统和镇江吴淞高程系统。

表2 崇明东滩1:1000地形测量工程坐标检核表

点名	GPSD级静态控制网坐标值			GPS准动态检核坐标值			平面坐标较差		高程较差
	纵坐标 X (m)	横坐标 Y (m)	高程 H (m)	纵坐标 X (m)	横坐标 Y (m)	高程 H (m)	$\Delta x(m)$	$\Delta y(m)$	$\Delta H(m)$
H2	39271.927	39627.204	7.450	39271.898	39627.202	7.430	-0.029	-0.002	-0.020
H4	37994.854	41998.925	7.112	37994.883	41998.956	7.167	0.029	0.031	0.055
H6	38921.503	40589.252	7.099	38921.529	40589.274	7.060	0.026	0.022	-0.039
H7	39268.946	40010.222	6.927	39268.970	40010.239	6.919	0.024	0.017	-0.008
H9	39664.786	37484.189	6.773	39664.757	37484.189	6.798	-0.029	0.000	0.025
H10	39963.383	36016.119	6.334	39963.351	36016.115	6.385	-0.032	-0.004	0.051
H11	40051.690	34999.087	6.956	40051.658	34999.082	7.013	-0.032	-0.005	0.057
H12	37621.433	42958.759	7.787	37621.459	42958.776	7.788	0.026	0.017	0.001
H13	37096.116	43593.613	7.990	37096.143	43593.599	7.965	0.027	-0.014	-0.025
H14	36207.427	44343.992	7.885	36207.442	44343.988	7.921	0.015	-0.004	0.036
H15	35928.683	44576.590	7.861	35928.673	44576.607	7.921	-0.010	0.017	0.060
H16	34842.742	45623.483	7.942	34842.731	45623.481	7.966	-0.011	-0.002	0.024
H17	34168.752	46432.444	7.929	34168.746	46432.451	7.913	-0.006	0.007	-0.016
H19	32073.796	46424.533	6.266	32073.806	46424.552	6.240	0.010	0.019	-0.026
H20	31147.119	46418.030	6.669	31147.107	46418.031	6.638	-0.012	0.001	-0.031

注：上述坐标基准为上海城市坐标系统和上海吴淞高程系统。

由上述表中数据可以看出，采用GPS准动态测量方法与静态GPSD级控制网测量方法所得平面坐标相差不大，最大为0.068m，若以GPSD级控制网测定的点位为准，则两个表中GPS准动态测量点位相对于GPSD级控制网测定点位的中误差分别为：

$$m_1 = \pm \sqrt{\sum \Delta^2 / n} = \pm \sqrt{\sum 0.02759 / 18} = \pm 0.039\text{m};$$

$$m_2 = \pm \sqrt{\sum \Delta^2 / n} = \pm \sqrt{\sum 0.01094 / 15} = \pm 0.027\text{m}$$

根据《城市测量规范》(CJJ8-99)相关规定：测站点相对于邻近图根点的点位中误差不大于图上0.1mm，地物点相对于邻近图根点的点位中误差不得大于图上0.5mm；邻近地物点间距中误差不得大于图上0.4mm。成图比例为1:1000时，图根点点位中误差限差为0.1m，地物点点位中误差限差为0.4m；成图比例为1:500时，限差分别为0.05m和0.2m。因此，采用GPS准动态测量方法完全能够满足大比例尺图根控制测量和地形碎步测量的精度要求。

在表1中，共采用了均匀分布在测区内的9个四等水准留点参与高程拟合，表2中，采用了7个四等水准留点参与高程拟合，拟合精度均小于3厘米。由

上表中数据可以看出,使用GPS准动态方法与常规四等水准方法测量的高程值相差不大,表1中最大值为-0.033m,平均为0.020m;表2中最大值为0.060m,平均为0.032m。若以四等水准高程为准,则GPS准动态测量高程相对于常规四等水准高程的中误差分别为:

$$m_1 = \pm \sqrt{\sum \Delta^2 / n} = \pm \sqrt{\sum 0.00895 / 18} = \pm 0.022\text{m};$$

$$m_2 = \pm \sqrt{\sum \Delta^2 / n} = \pm \sqrt{\sum 0.01948 / 15} = \pm 0.036\text{m}$$

根据《城市测量规范》(CJJ8-99)相关规定:测站点相对于邻近图根点的高程中误差不大于1/10基本等高距,地物点相对于邻近图根点的高程中误差不大于1/5基本等高距。等高距为1m时图根点高程中误差限差为0.1m,地物点高程中误差限差为0.2m,等高距为0.5m时限差分别为0.05m和0.1m。因此,采用GPS准动态测量时,其高程拟合精度完全能满足大比例尺图根高程控制和地形碎步测量的精度要求。

3.2 影响GPS准动态测量精度的因素分析

3.2.1 求解的测区坐标转换参数

求解坐标转换参数所使用的已知控制点(通常称作基准点)的精度、密度及分布状况对坐标转换参数的求解质量有着直接影响。因此,所选定的基准点要求精度要高,并且应均匀分布在测区周围。基准点的数量视测区的大小一般取3~6点为宜。一般地,在求解坐标转换参数时,应采取不同基准点的匹配方案,用不同的计算方法求得坐标转换参数,经比较后选择残差较小、精度较高,且能够控制整个测区的一组参数使用。由于坐标转换参数的求解精度与已知点两套坐标的精度和区域内点位的分布有关,因此坐标转换参数是有区域性的,它仅适用于已知点所圈定的区域和临近地区,其外推精度明显低于内插精度。因此,在一个测区求解的坐标转换参数不能直接应用到其它测区。但在一些特殊地区(如滩涂等),由于条件限制,求解的转换参数往往不能控制整个测区,转换区域需要外推,这就需要转换参数的控制区域要足够大,使外推区域明显小于转换参数控制区域,基本能够反映出外推区域的转换趋势,以便进行高程曲面拟和,切忌采用带状分布的控制点求解转换参数。

3.2.2 坐标转换方法的选择

主要有两种：一种是 Helmert（赫尔墨特）转换法（即经典三维转换法），将坐标从 WGS84 基准转换到地方椭球基准上，应用地图投影得到格网坐标；另外一种方法是直接将 WGS84 坐标转换成地方格网坐标（即一步法），使用哪种转换方法取决于需要的结果和已知点的数量分布。在椭球和地图投影信息未知且需要将 GPS 测量强制拟合到地方已有控制网情况下，一步法是最合适的。

3.2.3 野外作业方法的选择

由于测区内已知控制点精度或分布的原因，若求解的测区转换参数精度不是很好，则可通过架设两台基准站的方法进行适当弥补。具体做法为：在野外测量时，首先，在当天需要测量的区域内（或附近）选择两个相距不太远（2 ~ 5km 左右）、精度相对较高的控制点，在这两点上架设两台 GPS 准动态基准站，然后其它流动站 GPS 按常规进行准动态数据采集。在数据后处理时，解算两基准站所有相关基线，并约束该两点进行网平差计算，通过两个基准站平差解算出的基线解更准确，更有代表性，最后进行坐标转换，其精度会有效提高。

3.2.4 数据后处理方法

为保证 GPS 准动态测量的正确性，基线解算时必须保证能够正确解算出整周未知数，若整周未知数未解出或解算不可靠，该点应舍弃或重测。在数据后处理时剔除基线解粗差是重要环节，这是点位精度（尤其是高程精度）可靠性的重要保证。

4 结论和建议

4.1 无须“电磁波通视”（即数据链通讯）是其相对于其它 GPS 作业模式的**最大特点，这也是其能在一些特殊的环境下发挥重要作用的关键所在。

4.2 GPS 准动态测量方式的缺陷：一是在作业现场无法实时得到精确的三维坐标数据，不能进行精确的坐标放样等工作；二是在“一些特殊的环境下”意味着在一定环境条件下方能发挥其独特的作用，即全站仪不宜设站、无通讯信号不适合 GPS RTK 作业的地区，如沼泽、沙漠、滩涂等。因此，GPS 准动态测量只能是在特定条件下的有效补充作业手段。

4.3 随着距离的增加，点位及高程误差成正比增长，增长大小取决于转换

参数所能控制的范围和精度。因此，参考站与流动站间的距离应尽可能的短，理想情况是小于 3km，超过 5km 的基线应尽量避免。

4.4 在选取求解测区坐标转换参数的已知控制点时，要十分慎重，应尽量避免“外推”，以确保坐标转换参数的质量。

4.5 一般情况下，测量链（由静态初始化与流动阶段的观测值以及随后各准动态点上的观测值组成）不应过长，建议测量到一定点位后（如最大不超过 50 个点），结束测量链并重新初始化，开始另一条测量链。

4.6 测区应尽可能开阔，测点的旁边不应有大量的障碍物，在整个测量过程中，应至少保持 5 颗卫星可见，6 颗以上卫星效果更佳，以保证卫星信号强度，否则，将大大降低野外作业的效率。

4.7 静态初始化阶段，流动站应保持稳定，即使是几厘米的移动也将使事后处理数据很难进行。由于移动而引起的整周未知数的无法解算将导致起始点及随后测量的一系列点位的精度显著降低。

4.8 随着技术的不断完善，GPS 准动态测量的静态初始化速度、成果精度及可靠性会越来越高。但是由于受卫星信号、接收机状态、测站周围环境及仪器操作的影响，测量定位有时会出现失真，其成果不可能 100% 的可靠。因此，在作业中，我们要根据其技术的特点及测区状况，采取有效措施，严格按操作规程作业，并加强成果的复核，以确保测量成果的精确性和可靠性。可通过采用不同的静态初始化两次测量同一个点，也可以将已知点包括在测量链中的方式进行检查。

4.9 在地形测量中，若等高距为 0.5 米以上时，GPS 准动态既可以直接进行碎步点采集，也可进行图根水准点布测。

参考文献

- [1] 徐绍铨. GPS 测量原理及应用 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2008.
- [2] 史先领, 张书毕. GPS 准动态测量在地表移动观测站中的应用 [J]. 西部探矿工程, 2006 (12): 148-149+151.
- [3] 高成发. GPS 事后相位差分坐标解算模型及其相关问题的研究 [J]. 测绘学报, 2006, 35 (2): 148-148.