

GPS - RTK 在常规控制测量中的精度及可靠性分析

陈俊林

(华南农业大学 信息学院 广东 广州 510642)

摘要: GPS - RTK 实时动态测量技术是继 GPS 全球定位技术之后,在测绘领域的又一次技术革命,它改变了传统的测量模式。随着测绘新技术的不断出现和发展,快速、灵活、高效的 GPS - RTK 为测绘工作带来了崭新的突破,其应用前景越来越广。文章主要通过对 GPS - RTK 的工作原理、精度分析、影响 RTK 测量的因素和可靠性等方面的问题进行探讨,结合一些工程实例,提出如何提高 GPS - RTK 技术在常规控制测量中的精度和可靠性的措施和建议,具有一定的可操作性和现实的指导意义。

关键词: GPS - RTK; 控制测量; 精度; 可靠性

中图分类号: P228.4

文献标识码: B

文章编号: 1672 - 5867(2011)05 - 0095 - 04

Accuracy and Reliability Analysis on GPS - RTK in Traditional Control Surveying

CHEN Jun - lin

(College of information, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: GPS - RTK real - time dynamic measurement technique is the second after the GPS global positioning technology mapping the field in another technological revolution, it has changed the traditional measurement mode. With the continual emergence of new mapping technologies and development of fast flexible and efficient GPS - RTK for the mapping work has brought a new breakthrough in its increasingly broad application prospects. The working principle of GPS - RTK accuracy analysis the factors affecting RTK measurement and reliability issues were discussed in this article. Combined with a number of engineering practice, some to improve GPS - RTK technology in the routine control of measurement accuracy and reliability of measures and proposals, has got to be operational and practical significance.

Key words: GPS - RTK; control survey; accuracy; reliability

0 引言

RTK(Real Time Kinematic)技术又称载波相位动态实时差分技术,能够实时地提供测量点在指定坐标系中的3维坐标,并达到厘米级精度^[1]。GPS - RTK具备灵活、快速、高效、省时、省力等优点,它是GPS测量技术发展中的一个新突破,它极大地提高了测量工作效率和成果的可靠性,随着技术的不断完善和发展,GPS - RTK在工程测量中的应用越来越广泛,大量实践证明RTK技术能够替代常规控制测量中的一些重要工作,如一、二级导线测量、图根控制测量、四等水准测量等。目前,该技术已广泛应用于地形测量、航空摄影测量、地籍测量、房产测量、勘界与拨地测量、工程测量等各个领域。

1 GPS - RTK 的工作原理

GPS - RTK测量技术是以载波相位观测测量为根据的实时差分GPS测量技术,其基本思路是:在基准站上设置1台GPS接收机,对所有可见GPS卫星进行连续地观测,并将其观测数据通过无线电传输设备实时地发送给流动站;在用户站上,GPS接收机在接收GPS卫星信号的同时,通过无线电接收设备,接收基准站传输的观测数据,然后根据相对定位原理,实时地解算整周模糊度未知数并计算显示流动站的3维坐标及其精度^[2]。通过实时计算的定位结果,便可监测基准站与流动站观测成果的质量和解算结果的收敛情况,实时地判定解算结果是否成功,从而减少冗余观测,缩短观测时间。RTK测量系

收稿日期:2010 - 09 - 17

作者简介:陈俊林(1971 -)男,广东韶关人,讲师,硕士,2007年毕业于华南农业大学生态学专业,主要从事GPS、GIS的教学与实践应用研究工作。

统一一般由以下 3 部分组成: GPS 接收设备、数据传输设备、软件系统。数据传输系统由基准站的发射电台与流动站的接收电台组成,它是实现实时动态测量的关键设备。软件系统具有能够实时解算出流动站的 3 维坐标的功能。RTK 测量技术除具有 GPS 测量的优点外,同时具有观测时间短,能实现坐标实时解算的优点,因此可以提高作业效率。

2 GPS - RTK 精度分析

一般来说 GPS 接收机对精度的描述通常是以相对精度进行的,本次以南方灵锐 S82T 为例,其 GPS 接收机对 RTK 实时定位精度描述为:

RTK 水平精度: $\pm 1 \text{ cm} + 1 \text{ ppm}$

RTK 垂直精度: $\pm 2 \text{ cm} + 1 \text{ ppm}$

这些精度表述都是在 WGS - 84 框架下的相对精度,但在转换到可用的地方坐标系中精度如何,因受多种因素的影响,还没有较系统的理论和可借鉴的资料。表 1 是广东清远市某经济开发区多个不同类型测区的导线网使用 GPS - RTK 进行检测的误差分析表,在检测过程中 GPS 基站使用与导线重合的静态 GPS 点, GPS - RTK 作业半径均控制在 6 km 范围以内,按导线点和 GPS - RTK 点具有相同的点位误差,点位中误差按下式^[1]计算:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum (\Delta x^2 + \Delta y^2)}{2n}}$$

其中 m 为点位中误差; n 为实测点的数目。

表 1 不同测区的误差范围表

Tab. 1 Measurement error range of different areas

测区类别	测点数	作业半径 /km	误差分布 /cm	测点中误差 /cm
平原区	52	0 ~ 5.8	$\pm 0.1 \sim \pm 1.8$	± 0.4
丘陵地	40	0 ~ 5.6	$\pm 0.2 \sim \pm 2.6$	± 0.6
城区	30	0 ~ 3.8	$\pm 0.4 \sim \pm 4.0$	± 1.1
$m = \pm 0.6 \text{ cm}$				

从表 1 可发现,城区由于高楼林立,其他电磁波的干扰, GPS 接收机信号受干扰较多,点位精度明显低于平原和丘陵区,一般的 GPS - RTK 点位精度优于 $\pm 1 \text{ cm}$,这跟有关资料介绍的精度相符合。相对于最近起算点的点位中误差远远高于规范要求,且精度均匀,不存在误差累计传递。

在广东清远某工业园区 1: 500 地形图测量工程中,因带状地形较长且靠近郊区,附近可用的 GPS 控制点很少,如果采用常规控制测量方法无法满足甲方对工期的要求,故使用 RTK 技术进行了控制加密。本次测量分别取 D 级 GPS 点 G101, G308 为基准站,进行了两次测量,并对相同 GPS - RTK 点的两个观测坐标进行了比较,其中坐标较差值最大为 $\pm 3.0 \text{ cm}$,最小为 $\pm 0.2 \text{ cm}$,坐标较差值的中误差为 $\pm 2.4 \text{ cm}$ 。随后我们使用 2"级 NIKON -

530 全站仪对部分 RTK 控制点进行了角度和边长(按照二级导线精度)的检测,并对检测结果进行了统计,见表 2。在本次检测中 RTK 观测值与全站仪观测值反算夹角和边长比较,测角中误差为 $\pm 5.4''$,测距中误差为 $\pm 4.2 \text{ mm/km}$ 。检测结果表明:检测边长的差值在 0.001 mm 至 0.008 mm 之间,比较边长的相对精度在 1/20 000 ~ 1/110 000 之间,在导线计算中最弱边长差值最大为 $\pm 6 \text{ mm/km}$,边长差值相对误差最大为 1/57 712,以上均满足《工程测量规范》(GB 50026 - 2007)^[3]中对二级导线的规范要求。RTK 测量坐标反算边长与全站仪测距边长比较结果见表 2。

表 2 RTK 测量坐标反算边长与全站仪测距边长比较
Tab. 2 RTK back calculation side length and Side comparison of total station test

序号	检测边	RTK 测量	DM 测距	较差	相对精度
1	G101 - K103	120.786	120.778	-0.006	1/20 000
2	G101 - K112	323.207	323.200	-0.007	1/46 000
3	G101 - Y902	222.933	222.929	-0.006	1/37 000
4	G318 - Y11	171.866	171.874	0.008	1/21 000
5	G308 - Y101	136.014	136.019	0.005	1/27 000
6	Y114 - K107	295.415	295.424	0.009	1/33 000
7	T665 - K107	369.237	369.230	-0.007	1/51 000
8	K107 - Y14	319.388	319.391	0.003	1/110 000

3 影响 GPS - RTK 测量的精度和可靠性因素

3.1 RTK 误差

RTK 测量的误差同 GPS 静态定位的误差相类似,一般可分为两类,即同测站有关的误差和同距离有关的误差。

1) 同测站有关的误差

此类误差包括天线相位中心变化、多路径误差、信号干扰和气象因素影响等。其中多路径误差是 RTK 定位测量中最严重的误差,将严重损害 GPS 测量的精度,严重时还将引起 GPS 信号失锁。多路径误差主要取决于 GPS 接收机天线周围的环境,若天线周围有高大建筑物或大面积水面时,将对电磁波有强反射作用^[4],即天线接收的信号不但有直接从卫星发射的信号,还有从反射体反射的电磁波,这两种信号叠加作为观测量,将对定位产生误差。通常情况下,多路径误差为 1 ~ 5 cm,高反射环境下可达 10 cm 以上,且多路径误差的大小常以 5 ~ 20 min 的周期性变化,这对 RTK 测量将产生严重影响。

2) 同距离有关的误差

此类误差包括轨道误差、电离层误差和对流层误差。目前轨道误差只有几米,其残余的相对误差约为 1×10^{-6} D,对长度小于 10 km 的基线而言,其影响可忽略不计。电离层误差同太阳黑子活动密切相关,一般情况下,其影

响小于 $5 \times 10^{-6}D$,而当太阳黑子爆发时,影响值可达 $50 \times 10^{-6}D$ 。对流层误差同点间距离和高差有关,一般影响在 $3 \times 10^{-6}D$ 以内。

对与同测站有关的误差可通过各种校正方法和有效措施予以削弱,而与同距离有关的误差将随移动站至基准站的距离增大而加大。因此,在进行 RTK 测量时,除采取有效措施削弱测量误差外,还要对作业半径加以限制。

3.2 整周模糊数的确定

在正常条件下,地面两点间距离较短时,系统能够模拟电离层和对流层的影响,其残余影响也可通过对观测值的差分处理予以消除或减弱^[5]。但电离层的电子含量会随时空发生剧烈变化,卫星信号到达基准站和移动站时将有不同的影响,且基线越长,影响越大,当电离层剧烈活动时,将导致周跳或失锁,即使是短基线也需要大大延长观测时间才能固定整周模糊值,严重时(如太阳黑子爆发时)甚至根本不能固定整周模糊值^[6]。实践证明,确定整周模糊值的时间和可靠性取决于4个因素,即接收机类型(单频或双频)、所观测卫星的个数、移动站至基准站的距离及 RTK 软件质量。一般地,双频 RTK 初始化的时间比单频 RTK 要短,而且同距离的关系不大;解算时采用的星数越多,RTK 的精确性和可靠性越好;移动站至基准站的距离越近,其初始的时间也越短。

3.3 数据传输

RTK 测量时,移动站需要实时地接收基准站播发的差分信号(观测值及相关数据),才能求得待定点的位置^[5]。因此,能否连续地、可靠地接收基准站播放的信号,是 RTK 能否成功的决定因素,也是制约 RTK 测程的关键因素。一般的 RTK 均标称测程达到 15 km,理论上甚至达到 40 km,但如果在复杂地形上,基准站和流动站之间由于有障碍物的阻隔,特别是在城区高密度楼房边时,不但基准站与流动站之间的通讯受阻,流动站接收卫星的信号同样受影响,所以其工作半径将大大减小。一个固定解的解算时间有时要花几分钟,甚至无法正常工作。

因此,为了使流动站能顺利接收基准站发射的数据信号,接收站与基准站之间应满足“电磁波通视”——即电磁波能从基准站通过直射、绕射或反射等传播方式有效地传输给流动站,RTK 手簿获得固定解情况应相对容易。实验证明:在平坦地区 RTK 的作业半径能达到 5~8 km,条件好的情况下有可能更远,复杂地区只能在 3 km 以内,甚至更短。

4 提高 GPS-RTK 测量的精度和可靠性的措施

RTK 测量技术在一定的区域内能够满足常规控制测量中对一、二级导线和四等水准测量的(技术)要求^[7]。由于 RTK 技术不同于常规的控制测量,不可能完全用常规控制测量的技术标准来衡量,尤其是在边长较短的相邻点表现比较明显。RTK 技术的测量误差分布均匀、相互独立,不存在误差积累,精度可靠度较高^[1]。提高 RTK 在

控制测量中精度可以采用如下几种措施。

4.1 合理分布控制点

在 GPS-RTK 作为常规控制测量时,RTK 的首级控制网的分布情况同样影响着 RTK 测量的精度,这些控制点是为 RTK 提供基准的数据,为满足基准站与流动站之间的正常数据交换,通常相邻控制点之间的距离应小于 RTK 作业半径的 $2/3$ 。在一些测区环境不良的区域还要适当增设控制点的数量。

4.2 基准站位置的选择

多路径误差不仅与卫星信号方向有关、与反射系数有关,且与反射物离站侧的远近有关,到目前为止,仍无法建立数学改正模型^[8],通常我们采用如下措施进行减弱。

1) 基准站尽量远离大面积的平静水域。灌木丛、草地和其他地面植被能较好地吸收微波信号能量,是较为理想的基准站安置地。一些耕作后的土地及其他粗糙不平的地面,其反射能力也较差,也可以作为基准站的安置地。

2) 为避免反射信号从天线抑制板上方进入天线,产生多路径效应误差,基准站不宜选择在山坡、山谷和盆地中。

3) 尽量远离高层建筑的遮挡及汽车穿流频繁的公路边。

4.3 限制作业半径

要想获得较高 RTK 测量精度,流动站的作业半径也影响着 RTK 的精度。对在平坦的作业区其工作半径应控制在 8~10 km 以内,丘陵地区应控制在 5~6 km 范围内,城镇地区则控制在 2~3 km 范围内,复杂区域甚至更短。

4.4 注意复核观测结果

RTK 测量具有显著的实时、快捷等优点,但其初始化(整周末知数)的置信度通常为 95%~99%,且作业中缺乏检核条件,个别点可能会出现粗差。因此,为了保证 RTK 的实测精度和可靠性,作业中必须注重成果的复核。成果的复核分为作业前复核和作业中复核。作业前复核是指在 RTK 作业前,先在已知点上检测,新测坐标与已知坐标较差符合要求后,才能进行 RTK 测量;作业中复核一般是指在作业中采用不同起算点测定部分重合点,或在同一点上采用两次观测法(失锁或关机)观测。

5 结束语

5.1 结论

1) RTK 测量技术能够满足一般控制测量中对一、二级导线和四等水准测量的(技术)要求^[9](RTK 代替四等水准测量受一定条件的限制)。由于 RTK 技术不同于常规的控制测量,不可能完全用常规控制测量的技术标准来衡量,尤其是在边长较短的相邻点表现比较明显。RTK 技术的测量误差分布均匀、相互独立,不存在误差积累,精度可靠度较高。

2) RTK 测量技术能够实时地提供测量成果,不需要

像常规控制测量那样分级布网,可以大大减少生产成本,减轻测量员的劳动强度,提高测量速度和企业效益。

3) 测量误差与流动站至基准站的距离成正比,因此求解坐标转换参数时所采用的已知点应分布均匀,覆盖整个测区,水平、垂直残差宜在 3.5 cm 以下(山区及重力异常地区另论)。基准站尽可能设置在符合观测条件的已知点上,这对高程测量尤为重要。

4) 转换参数的求解对成果精度至关重要,转换参数求解必须选择覆盖全测区的参考点,并利用已知点检查转换参数的准确性。

5) 观测时间长短对精度影响不是很大,观测时点位精度稳定收敛后再增加观测时间对成果精度不会有大的提高。

6) 虽然 RTK 精度与基准站的距离不是同步增长,并不代表距离不影响精度,根据经验,用 RTK 施测一级点,建设距离最好在 3 km 以内,最长不要超过 5 km。

5.2 建议

1) 国家行业管理部门应尽快制定相关的 GPS-RTK 测量技术标准,规范 GPS-RTK 测量作业,使 GPS-RTK 技术在各行各业中得到广泛应用。

2) GPS-RTK 应尽量避免在不利区域内使用。

3) 在使用 GPS-RTK 作业时,应尽量查看最新的卫星星历,选择卫星信号最优时段,提高 GPS-RTK 测量的精度^[10]。

4) 使用 GPS-RTK 作图根控制时,尽量将 RTK 的观测

成果与首级控制成果进行整体平差,这样动态观测结果经平差后的精度可靠性更强。

参考文献:

[1] 张风录,陈品祥. GPS-RTK 在城市导线测量中的应用研究[J]. 测绘通报, 2005(7): 13-17.

[2] 刘斌,郭小波,董俊竹. RTK 高程精度的探讨[J]. 中国水运, 2007(6): 177-178.

[3] 中国有色金属工业协会(主编). GB 50026-2007 工程测量规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.

[4] 潘宝玉,李宏伟. RTK 技术的特点及提高成果精度的技术关键[J]. 测绘工程, 2003, 12(04): 46-49.

[5] 徐绍铨,张华海,杨志强,等. GPS 测量原理及应用[M]. 湖北: 武汉大学出版社, 2005.

[6] 张勤,李家权. GPS 测量原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[7] 潘宝玉,傅文祥,刘彦长. 临淄区四等 GPS 网的布网特点及精度分析[J]. 测绘通报, 2001(9): 78-81.

[8] 吉长东,乔仰文,王国清. 复杂条件下提高 RTK 观测高程精度的研究与分析[J]. 测绘通报, 2005(9): 16-17.

[9] 刘长建,柴洪洲,吴洪举,等. GPS 水准高程等级的评定[J]. 测绘通报, 2008(8): 35-39.

[10] 龙海奎,白锋. GPS-RTK 测量中高程精度的评价[J]. 新疆大学学报, 2008, 25(2): 250-252.

[编辑:宋丽茹]

(上接第 94 页)

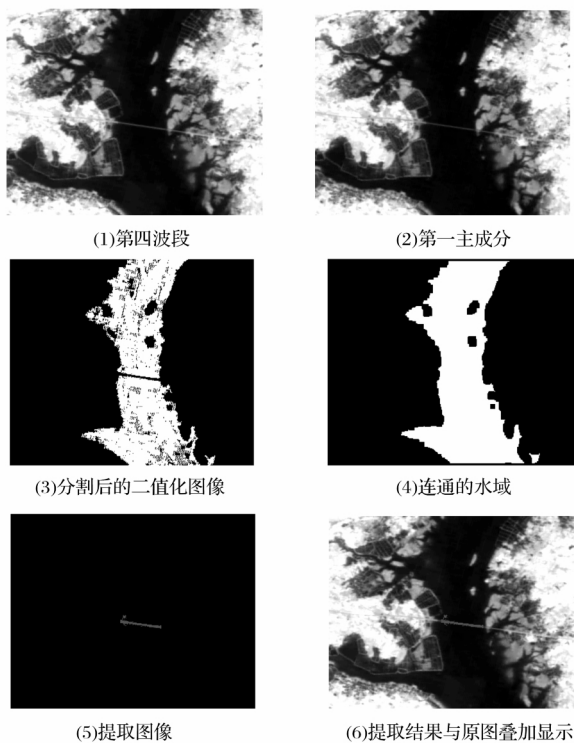


图 2 HJ-1 卫星影像桥梁提取

Fig. 2 Bridge extraction from HJ-1 satellite image

况下表现为单像素宽度,不适合用直线或平行线来检测,受到的干扰较多。②同样,由于分辨率较低,HJ-1 号卫星影像中河流目标所占像素宽度也较小,使跨河桥梁目标较小,难以采用边缘算子或其他方法提取。③由于 HJ-1 号卫星影像分辨率相对较低,影像中的纹理特征信息不明显。

4 结束语

本文结合 HJ-1 小卫星影像数据的多光谱波段特征,充分利用桥梁跨越水域这一特点,发展了一种采用数学形态学变换的方法提取桥梁目标的方法处理流程,可较好地实现水陆分离,进一步可将桥梁目标较好地提取出来。试验表明,以下条件会影响桥梁提取的结果:

1) 对于过窄的桥梁,受邻近效应的影响,会影响数学形态学处理的结果,影响提取结果;

2) 对于过短的桥梁,在经过数学形态学处理后的过滤中,有可能会被过滤掉,影响提取结果。

但是,所述桥梁提取方法对于大部分 HJ-1 号小卫星遥感影像桥梁目标的提取是可行的,具有一定的应用价值。

(下转第 102 页)