

RTK 技术的特点及提高成果精度的技术关键

刘军¹, 许传新¹, 张日田², 潘宝玉¹

(1. 山东省地质测绘院, 山东 济南 250011 2. 青岛地质工程勘察院, 山东 青岛 266071)

摘要 RTK 误差分同测站有关误差和同距离有关误差, 可采用有效校正方法和措施予以削弱。相比而言, 采用双频 RTK, 足够多的观测卫星, 较近的移动站至基准站距离和高质量 RTK 软件, 其初始化的时间短, 可靠性强。因测绘领域 RTK 采用超高频信号传输, 应注意城区、山地、森林等对作业的影响。为保证 RTK 精度、速度和可靠性, 要在作业前正确求解 WGS-84 坐标系转换为地方坐标系的坐标转换参数, 要注意合理设置基准站和限制作业半径。此外, 观测卫星的图形强度要高, 要注意观测成果的复核, 控制测量还宜采用多历元观测结果, 并正确使用三角架固定移动站天线及远离强电磁干扰源和大面积信号反射物。

关键词 RTK 测量; 技术关键; 定位精度; 可靠性

中图分类号: P227, P228.4 文献标识码: A

0 前言

目前, 实时动态测量技术(Real Time Kinematic, 简称 RTK)以其实时、高效、不受通视条件限制等优点, 已广泛应用于图根控制测量、像片控制测量、施工放样测量及地形碎部测量等诸多方面, 倍受用户青睐。RTK 测量是根据 GPS 的相对定位理论^[1], 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放在待测点上(移动站), 同步采集相同卫星的信号。基准站在接收 GPS 信号并进行载波相位测量的同时, 通过数据链将其观测值、卫星跟踪状态和测站坐标信息一起传送给移动站, 移动站通过数据链接接收来自基准站的数据, 然后利用 GPS 控制器内置的随机实时数据处理软件与本机采集的 GPS 观测数据组成差分观测值进行处理, 实时地给出待测点的坐标、高程及实测精度。在测量过程中, 只要能保持 4 颗以上卫星相位观测值的跟踪和必要的几何图形, 移动站即可随时给出待测点的厘米级的三维坐标。但是, 相对于 GPS 静态测量, RTK 的实时性也给测量人员提出了更高的要求。因为 RTK 测量缺少必要的检核条件, 作业时如果操作失误或某些技术问题处理不当, 都将会给测量成果带来严重影响。因此, 及时了解 RTK 的技术特点及提高 RTK

测量成果精度的技术关键, 对 RTK 测量将大有裨益。

1 RTK 的特点

1.1 RTK 的误差

RTK 测量的误差同 GPS 静态定位的误差类似, 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^[2]。

同测站有关的误差包括天线相位中心变化、多径误差、信号干扰和气象因素影响等, 其中多径误差是 RTK 定位测量中最严重的误差。多径误差主要取决于 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。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, 多径误差为 1~5 cm, 高反射环境下可达 10 cm 以上, 且多径误差的大小常以 5~20 min 的周期变化, 这对 RTK 测量将产生严重影响。

同距离有关的误差包括轨道误差、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} , 对小于 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

*收稿日期: 2003-09-09; 修订日期: 2003-10-08; 编辑: 汪先起

作者简介: 刘军(1970-), 男, 山东宁津人, 工程师, 主要从事工程测量和测绘管理工作。

切相关,一般情况下,其影响小于 5×10^{-6} ,而当太阳黑子爆发时,影响值可达 50×10^{-6} 。对流层误差同点间距离和高差有关,一般影响在 3×10^{-6} 以内。

对于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。

1.2 整周模糊值

研究表明,确定整周模糊值(即初始化)的时间和可靠性,是 RTK 系统能否实时、准确定位的关键。

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。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。

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。通常,双频 RTK 初始化的时间比单频 RTK 要短,而且与距离的关系不大;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,其初始化的时间也越短。

1.3 数据链

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),才能求定待定点的位置。因此,能否连续地、可靠地接收基准站播发的信号,是 RTK 能否成功的决定因素,也是制约 RTK 测程的关键因素。

目前,RTK 系统的数据传输多采用超高频(UHF)、甚高频(VHF)和高频(HF)播发差分信号,其特点见表1。而在测绘领域的 RTK 应用中,无论单频或双频 RTK 系统,当前国际上都采用 UHF 电台播发差分信号,其频率大约为 450 ~ 470 MHz,波长 60 cm 左右。根据电磁波理论,它的传输属于一种视距传输(准光学视通),其最大的传输距离是由接收天线的高度、地球曲率半径以及大气折射等因素决定

的。因此,在沙漠、戈壁、平原、海域等地区,其 RTK 定位的效果比较好;而在城区、山地、森林等地区进行 RTK 测量时,其成果质量及作业效率将受到一定影响,甚至无法进行作业。

表1 不同频率信号的特点

频率	UHF	VHF	HF
传播方式	直线传播	直线传播	电离层反射
传播距离(km)	< 50	50 ~ 100	> 100
绕射能力	很小	很小	大
噪声	很小	很小	大
盲区	无	无	有

注:传播距离指使用 30W 电台时陆地上的传播距离。

1.4 坐标系统

GPS 接收机接收的卫星信号经数据处理后,首先得到的是地心坐标系(WGS-84)坐标,而在测绘工程中应用的通常是地方坐标系的平面直角坐标(1980年西安坐标系、1954年北京坐标系或地方独立坐标系等),其高程一般为正常高^[3]。因此 RTK 与 GPS 静态测量一样,为了把 WGS-84 坐标系坐标转换为地方坐标系坐标,作业前首先要根据坐标转换关系式求解两种坐标系间的转换参数。

现以 WGS-84 坐标系坐标转换为 1980 年西安坐标系坐标为例,其转换关系式为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{80} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1+m) \begin{bmatrix} 0 & -\epsilon_z & -\epsilon_y \\ \epsilon_z & 0 & \epsilon_x \\ \epsilon_y & -\epsilon_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{84} \quad (1)$$

式中: $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 为3个平移参数; $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ 为3个旋转参数; m 为尺度比参数^①。

在测区范围比较小时,由于参数中的尺度因子 m 和旋转参数 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ 对测量成果影响较小(1)式可简化为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{80} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{84} \quad (2)$$

即求出3个平移参数 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$, 利用(2)式可将 WGS-84 坐标系成果转换为 1980 年西安坐标系成果。

① 王伯刚、栾永 动态 GPS 在城市测量中的应用(21 世纪我国工程测量技术发展研讨会论文集,中国测绘学会工程测量分会 2001,172-175。

2 RTK 测量的技术关键

2.1 坐标转换参数的求解

在 GPS 静态测量中,不同坐标系的坐标转换是在数据后处理时进行的。而对于 RTK 测量,要求实时得出待测点在实用坐标系(1980 年西安坐标系、1954 年北京坐标系或地方独立坐标系等)中的坐标,因此,坐标转换问题就显得尤为重要。

坐标转换参数的求解方法,一般是在 RTK 作业前首先在测区做一定数量的静态 GPS 控制点,与地方坐标系的控制点联测,以同时获取 GPS 点的 WGS-84 坐标系坐标和地方坐标系坐标,然后利用后处理软件或 GPS 控制器内置的实时处理软件求解坐标转换参数。如果测区内的已知控制点已经具有地方坐标系坐标和 WGS-84 坐标系坐标,则可直接利用随机软件求解坐标转换参数。

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。在求解坐标转换参数时,一般应采取不同基准点的匹配方案,应比较用不同的计算方法求得的坐标转换参数,并选用残差较小、精度较高的一组。

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,坐标转换参数具有区域性,它仅适用于已知点所圈定的区域和临近地区,且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他测区。

2.2 基准站的设置

GPS 卫星处在两万多千米的高空,所发出的信号要经过电离层、对流层以及来自多方面的干扰,到达接收机时,通常只有 -50~-180 dB。由于 RTK 数据链采用超高频(UHF)电磁波,它的传输距离与接收天线的高度、地球曲率半径以及大气折射等因素有关。要提高 GPS 信号接收的质量,基准站必须远离各种强电磁干扰源(如微波站、寻呼台发射塔、变电站、高压线、电视台等)。为了减少多路径效应的影响,基准站周围应无明显的大面积的信号反射物(如大面积水域、大型建筑物等);另外,还要求

基准站电台天线和移动站天线之间无大的遮挡物(如高层建筑、高山等),且天线尽量设置高一些,以提高数传电台的传输距离。

2.3 作业半径的限制

移动站离开基准站的最大距离称作 RTK 的作业半径,它的大小取决于基准站电台信号的传输距离,且对 RTK 测量的速度和精度有着直接影响。

一般地,在进行 RTK 测量时要求移动站与基准站之间要准光学通视,即两点之间不能有大的遮挡物。目前,常用的单、双频 RTK 系统的数据链电台多为美国 PCC 公司的 35W(基准站)和 2W(移动站)电台,理论上作用距离可达几十千米。实际作业时,由于受测区地形、气象、电磁干扰源等多种因素的影响,一般双频 GPS 接收机的作用距离通常只有 5~10km,而在山区和城镇作业时,RTK 测量甚至无法进行。

近年来,随着 GPS 技术的不断完善,仪器制造商竞相采用先进技术,有效地扩大了 RTK 的作业范围。例如山东省地质测绘院使用的 Trimble 5700 双频 GPS 接收机所采用的 eRTK 技术,通过对 GPS 内部处理器、天线结构的改造以及对实时数据处理软件的完善,采用自适应双频处理技术,最大限度地利用 L_1 和 L_2 的码及载波相位观测值,在使用 Trimmark3-25W 电台进行数据链传输时,其单机站 RTK 的覆盖范围可达 $1\ 250\text{ km}^2$,即 RTK 测量的作业半径为 20km,且定位精度可达 $1\text{ cm} + 1 \times 10^{-6}$ (水平)和 $2\text{ cm} + 2 \times 10^{-6}$ (垂直)。但是,如果在建筑物或树木比较多的地区作业,移动站接收电台的信号会比较弱且容易失锁,而且高程精度较差。因此,RTK 的作业半径控制在 10 km 以内为宜。当信号受影响严重时,还应进一步缩短作业半径,以提高 RTK 测量的精度和速度。

2.4 RTK 测量中的一般要求

为了保证 RTK 测量的精度、速度(初始化时间)和可靠性,除了正确求解坐标转换参数、合理设置基准站和限制作业半径外,还应注意以下几点:

(1) 观测卫星的图形强度要高。在进行坐标解算时,所采用的卫星数越多,分布越均匀,则 PDOP 值越小,RTK 的精确性和可靠性越高,且初始化的时间也越短。因此,一般情况下,接收卫星数保持 5 颗以上,且 PDOP < 6 时,才能进行 RTK 测量。

(2)观测成果要注意复核。RTK测量具有显著的实时、快捷等优点,但其初始化(整周模糊值)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^[4]。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。作业前复核是先在已知点上检测,新测坐标与已知坐标较差符合要求后,再进行RTK测量;作业中复核一般是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。

(3)用RTK方法进行控制测量时,应采取一定的措施保证测量精度。现行测量规范(如《城市测量规范》、《地质矿产勘查测量规范》等)规定一、二级导线的点位中误差(相当于起算点)不大于 ± 5 cm,而常用GPS接收机RTK测量的标称精度为 $1\text{ cm} + 1 \times 10^{-6}$ 。所以,一、二级导线控制点完全可以采用RTK方法施测。当用RTK方法进行控制测量时,为了保证测量成果的精确、可靠,宜采用多历元的观测结果,同时,观测时应使用三脚架固定移动站的天线,进行严格的对中、整平,并远离各种强电磁干扰源和

大面积的信号反射物。

3 结束语

随着RTK技术的不断完善,RTK测量的初始化速度、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,RTK定位有时会出现失真,其成果不可能百分之百的可靠。因此,在作业中,要根据RTK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RTK成果的精确性和可靠性。

参考文献:

- [1] 刘大杰,施一民,过静君.全球定位系统(GPS)的原理与数据处理[M].上海:同济大学出版社,1996:83-84.
- [2] 潘宝玉,郝永生.工程GPS观测成果检核限值的探讨[J].地矿测绘,2000,16(1):8-11.
- [3] 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):18-19.
- [4] 史子乐,姚兴双.RTK技术在石油物探测量应用中的几个技术问题[J].测绘通报,2002(4):22-24.

Characteristics of RTK and Technological Key of Improving Its Achievement Precision

LIU Jun¹, XU Chuan-xin¹, ZHANG Ri-tian², PAN Bao-yu¹

(1. Institute of Surveying and Mapping of geology, Shandong Jinan 250011, China; 2. Qingdao Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Qingdao 266071, China)

Abstract: RTK technology with on-the-time and high-efficient characteristic has been widely used in survey and drawing area. Because of lacking necessary examining condition on RTK measurement, some improper technological treatment will bring badly influence to measurement achievements. Technological characteristics of RTK is introduced in this paper, and the technological key on how to improve measurement achievement precision is discussed as well.

Key word: RTK measurement; technological key; position precision; reliability