

# 在地勘测量中应用 RTK 技术

苏长武<sup>1</sup>, 王秀文<sup>2</sup>, 刘 莉<sup>3</sup>

(1. 武警黄金第七支队, 山东 烟台 264004; 2. 龙口市地方铁路办, 山东 龙口 265700; 3. 大连市勘察测绘研究院, 辽宁 大连 116021)

**摘要:**传统光学仪器测量需要测量点之间通视, 数据需要手工记录和进行繁琐的后处理。RTK 技术将 GPS 接收机、现场手持计算机和无线电数据链相结合, 实时提供 cm 级测量精度, 可大大提高工作效率, 减轻劳动强度。它由基准站、流动站和数据处理系统组成。在基准站安置 GPS 接收机, 对 GPS 卫星进行连续观测, 将观测数据通过无线电传输设备实时地发送给用户观测站。GPS 接收机在接收卫星信号的同时接收基准站传输的观测数据, 实时地计算并显示用户站的三维坐标及其精度。RTK 技术可以替代常规测量为地质勘查工作快速提供可靠、高精度的测量成果。

**关键词:**RTK 技术; 地勘测量; WGS-84 坐标系; 参数变换

中图分类号: P208

文献标识码: A 文章编号: 1006-558X (2004) 03-0077-04

RTK [ (Real Time Kinematic (实时动态))] 测量技术是以载波相位观测量为依据的实时差分 GPS (RTD GPS) 技术, 它是 GPS 测量技术发展中的一个新突破。GPS 测量如果不与数据传输系统相结合, 其定位结果均需通过观测数据的后处理而获得, 而且也无法对基准站和用户站观测数据的质量进行实时检核, 因此无法实时地给出观测站的定位结果, 因而难以避免在数据后处理中发现不合格的测量成果, 会出现需要进行返工重测的情况。以往解决这一问题的措施主要是延长观测时间, 以获得大量观测结果, 这样便降低了工作效率。RTK 技术根据相对定位、差分定位的原理, 能实时计算并显示用户站的三维坐标及其精度, 实时地判定解算结果是否成功。它将 GPS 接收机、现场手持计算机和无线电数据链相结合, 并实时提供 cm 级测量精度。在地质勘查测量中, 可用于矿区控制测量、控制加密, 碎部、剖面测量, 钻孔、物化探放样。

## 1 RTK 技术概况

### 1.1 工作原理

RTK 技术基本原理是在基准站上安置 GPS 接收机, 对所有可见 GPS 卫星进行连续观测, 将观测数据通过无线电传输设备, 实时地发送给用户观测站。GPS 接收机在接收卫星信号的同时, 通过无线电接收设备接收基准站传输的观测数据, 然后根据相对定位的原理实时地计算并显示用户站的三维坐标及其精度。相应的方程式

$$R_o^j + \lambda (N_{p_o}^j - N_o^j) + \lambda (N_p^j - N^j) + \varphi_p^j - \varphi_o^j = [(X^j - X_p)^2 + (Y^j - Y_p)^2 + (Z^j - Z_p)^2]^{1/2} + \Delta d\rho,$$

式中:  $R_o^j$ —基准站到第  $j$  个卫星的真实距离;  $\lambda$ —载波波长;  $N_{p_o}^j$ —用户接收机起始相位模糊度;  $N_o^j$ —基准站接收机起始相位模糊度;  $N_p^j$ —用户接收机起始至观测历元相位整周数;  $N^j$ —基准站接收机起始至观测历元



相位整周数； $\varphi_p^j$ —用户接收机测量相位的小数部分； $\varphi_o^j$ —基准站接收机测量相位的小数部分； $X^j$ 、 $Y^j$ 、 $Z^j$ —测出的各卫星的地心坐标； $\Delta d\rho$ —同一观测历元各项残差； $X_p$ ， $Y_p$ ， $Z_p$ —经过改正后的坐标，由下列 2 方程组求得

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= X_o - X \\ \Delta Y &= Y_o - Y \\ \Delta Z &= Z_o - Z \end{aligned} \right\}, \quad \left. \begin{aligned} X_p &= X'_p + \Delta X \\ Y_p &= Y'_p + \Delta Y \\ Z_p &= Z'_p + \Delta Z \end{aligned} \right\}.$$

式中： $X'_p$ ， $Y'_p$ ， $Z'_p$ —用户接收机自身观测结果； $X_o$ ， $Y_o$ ， $Z_o$ —基准站的精密已知坐标； $X$ ， $Y$ ， $Z$ —在基准站上的 GPS 接收机测出的坐标<sup>[1]</sup>。

## 1.2 作业模式

1) 快速静态测量模式，要求 GPS 接收机在每一用户站上静止地进行观测。用户站的接收机在流动过程中可以不必保持对卫星连续跟踪，定位精度可达 1~2 cm。该模式可用于城市及矿山等区域性的控制、工程和地籍测量等。

2) 准动态测量模式，要求流动的 GPS 接收机在观测工作开始之前，在某一起始点上静止地进行观测，以便采用快速解算整周未知数的方法实时地进行初始化工作，定位精度可达 cm 级。该方法要求观测中保持对所测卫星的连续跟踪，一旦发生失锁，便需重新进行初始化工作。该模式通常应用于地籍、碎部、路线测量和工程放样等。

3) 动态测量模式，一般要求先在某一起始点上静止地观测数分钟，以便进行初始化工作。然后，运动的接收机按照预定的采样时间间隔自动进行观测，并连同基准站的同步观测数据实时地确定采样点的空间位置，目前的定位精度可达 cm 级。要求观测中保持对所测卫星的连续跟踪，一旦发生失锁便需要重新进行初始化工作。该模式主要应用于航空摄影测量和航空物探采样点的实时定位，航道、道路中线测量以及运动目标

的精密导航等<sup>[1]</sup>。

## 1.3 基本配置

RTK 系统由基准站（参考站）、流动站、中继站（可选）和数据处理系统 4 部分构成。1) 基准站：由双频 GPS 接收机、数据链发送电台、天线、电源、脚架等组成；2) 流动站：由双频 GPS 接收机、数据接收电台、GPS 天线、操作手簿、对中杆等组成；3) 中继站（可选）：为 1 个功率较大的电台，只有当基准站和流动站之间的无线电信号受干扰、阻碍，需要加长 2 站之间距离时才使用；4) 数据处理系统：包括支持 RTK 的软件和各种工程测量应用软件（测量放样软件），主要用于 RTK 作业前的数据准备，作业后的数据传输、整理、精度分析比较，野外一体化测图及其他工程设计<sup>[2]</sup>。

## 1.4 坐标转换参数的求解

GPS 定位成果（包括单点定位的坐标以及相对定位中解算的基线向量）属于 WGS-84 大地坐标系，该坐标系的几何定义是原点位于地球质心，Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地球极（CTP）方向，X 轴指向 BIH1984.0 的零子午面与 CTP 赤道的交点，Y，Z，X 轴构成右手坐标系。而实用的地质勘查测量成果属于北京 54、西安或地方独立坐标系，应用中必须进行坐标换算，而且首先要进行坐标转换参数的求解。

1.4.1 求解转换参数的坐标转换式 求解坐标转换参数的方法有多种，根据地质勘查测量矿区的特点，采用局部地区应用坐标差求解转换参数的方法较为合理，这种方法不仅简便，而且精度较高 [只求 7 个转换参数中的 4 个，即尺度变化参数 ( $k$ ) 和 3 个旋转角参数 ( $\epsilon_x$ ， $\epsilon_y$ ， $\epsilon_z$ )，而坐标平移参数  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ 、 $\Delta Z$  不需要求解]。

局部地区应用坐标差求解转换参数的坐标转换式  $X_{Di} = X_{D0} + (1 + k) R(\epsilon_x) R(\epsilon_y) R(\epsilon_z) (X_{Gi} - X_{G0})$ 。式中： $X_{D0} = (X_{D0}, Y_{D0}, Z_{D0})$ —原点的参心坐标向量



(可以是北京 54、西安或地方独立坐标系);  
 $X_{G0} = (X_{G0}, Y_{G0}, Z_{G0})$ —原点的地心坐标  
 向量 (WGS-84 坐标系);  $X_{Di} = (X_{Di},$   
 $Y_{Di}, Z_{Di})$ —其余控制点的参心坐标向量;

$$R(\epsilon_z) = \begin{bmatrix} \cos\epsilon_z & \sin\epsilon_z & 0 \\ -\sin\epsilon_z & \cos\epsilon_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R(\epsilon_y) = \begin{bmatrix} \cos\epsilon_y & 0 & -\sin\epsilon_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\epsilon_y & 0 & \cos\epsilon_y \end{bmatrix},$$

$$R(\epsilon_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\epsilon_x & \sin\epsilon_x \\ 0 & -\sin\epsilon_x & \cos\epsilon_x \end{bmatrix};$$

$X_{Gi} = (X_{Gi}, Y_{Gi}, Z_{Gi})$ —其余控制点的地  
 心坐标向量;  $R(\epsilon_x), R(\epsilon_y), R(\epsilon_z)$ —旋转参  
 数矩阵。

1.4.2 坐标转换参数的求解 RTK 测量要  
 求实时得出待定点的实用坐标, 如北京坐  
 标。所以在某测区作业前应当做一定数量的  
 静态 GPS 控制点, 与实用坐标系的控制点  
 联测, 以同时取得 GPS 点的 WGS-84 坐标  
 和实用坐标, 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实用  
 坐标和 WGS-84 坐标, 则可直接利用随机  
 软件求解坐标转换参数<sup>[3]</sup>。

这里应该指出, 转换参数的精度和正确  
 性是影响 RTK 测量精度的重要因素。在  
 GPS 定位结果中, 随着基准点坐标的不同,  
 所求转换参数会有很大差异, 也就是说求  
 出的转换参数具有时间性和区域性。

## 2 RTK 技术应用

### 2.1 基准站的选定

#### 2.1.1 注意事项

1) 基准站应有正确的已知坐标, 其精  
 度相对较高 (应是 GPS 控制网中的点);

2) 尽量在工区中心且接收条件好, 地  
 势较高没有遮挡, 在视场内周围障碍物的高  
 度角应不大于  $10^\circ$ ;

3) 基准站的周围应无大功率的无线电  
 发送源 (与电视台、微波站的距离大于  
 200 m) 和高压电线 (距离大于 50 m), 无大  
 面积水域或其他对电磁波反射或吸收强烈的  
 物体 (高层建筑)。这是为减弱它们对 GPS  
 信号的干扰或避免多路径效应产生的影响<sup>[1]</sup>。

2.1.2 作业流程 RTK 野外作业包括基  
 准站和流动站操作 (图 1)。



图 1 RTK 野外作业操作图

### 2.2 工作方法

目前 RTK 技术已相当成熟, 被广泛应  
 用于各类测量工程。它的高效率、高精度、  
 可靠性已被众多测量实践所证明。由于地质  
 勘查工作通常在山地、丘陵甚至沙漠地区,  
 还可能遇到树林、村庄, 所以在使用 RTK  
 进行测量时会面临卫星跟踪受影响和数据链  
 不稳定 2 个问题。这 2 个问题的解决程度决  
 定 RTK 能否在正常状态下工作。

2.2.1 森林和村庄地区 主要受卫星跟踪  
 的影响, 应尽量减少 GPS 天线被遮挡的程

度。在遮挡严重,致使 GPS 接收机无法正常工作的地段,可应用快速静态测量模式采集数据,然后进行处理得出其坐标。

2.2.2 山地、丘陵和沙漠地区 主要是通讯数据受影响,解决的方法是加高基准站的发射天线和流动站的接收天线。如果在一些“死角”(山脚或山沟)地区,数据链存在信号中断的现象,且卫星跟踪情况较差,用差分方法无法工作时,需采用快速静态与常规测量工具相结合,运用解析法或图解法进行细部测量。此外,卫星状态分布的 PDOP 值对 RTK 工作的精度也会有一定影响。PDOP 值过大,将影响 RTK 的精度,甚至导致 RTK 不能正常工作。所以,施工前要用最近几天的星历数据绘制出有利作业的最佳时段可见卫星图,避开作业卫星数过少和 PDOP 值过大的时段。

### 3 结 论

与传统的光学测量方法不同,RTK GPS 设备不要求测点之间必须通视,测量人员不必在测量点之间来回奔波,工作效率显著提高;RTK 实时提供测量成果(坐标和精度),

省去数据后处理的麻烦,减轻劳动强度;RTK 所提供的测量成果精度可达 cm 级,可以满足所有勘查测量的技术要求;RTK 的数据链是无线电传播,有效半径为 15 km(不用中继站),覆盖面积超过 180 km<sup>2</sup>,如果使用中继站或迁移基准站,其覆盖面积将成倍增加。在地质勘查工作中,能为一个或几个矿区进行工程测量,经济效益显著。以上几点说明 RTK 技术在地质勘查中的运用前景十分广阔,值得推广。

尽管在起伏较大的山地、森林密集区、沙丘高差大的地区会造成卫星信号失锁和数据链中断问题,但随着 RTK GPS 设备的改进和技术的不断提高(VRS-虚拟参考站多功能 GPS 网络;RTK 综合集成定位),RTK 将具更强的抗干扰和抗遮挡能力,完全代替常规测量运用于地质勘查测量将不会很远。

### 参考文献:

- [1]徐绍铨,张华海,杨志强,等. GPS 测量原理及应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2001.
- [2]丁翔宇. 苏六井气田 3 维地震勘探中 RTK 技术的应用[J]. 测绘通报,2003,(4): 38-41.
- [3]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(4): 46-49.

## RTK technology in geological exploration and survey

SU Chang-wu<sup>1</sup>, WANG Xiu-wen<sup>2</sup>, LIU Li<sup>3</sup>

(1. No.7 Gold Geological Party of CAPF, Yantai 264004, Shandong, China; 2. The Locality Railway Office of Longkou City, Longkou 265700, Shandong, China; 3. Reconnaissance Surveying and Mapping Institute of Dalian City, Dalian 116021, Liaoning, China)

**Abstract:** The traditional optical instrument survey requires surveying points could be seen each other, the survey data should be recorded manually and processed later, RTK technology combines GPS receiver, spot handhold computer with radio data chain, and provides centimeter-precision, which can improve efficiency greatly and lighten working intension. RTK consist of reference station, roving station and data processing system. Installing a GPS receiver on the reference station and observing GPS satellites constantly, the observation data from reference station while receive the satellite signal, and compute and display the user station's 3D coordinate and their precision. RTK technology can provide reliable and high precision survey production for geological exploration substitute for general survey method rapidly.

**Key words:** RTK technology; geological exploration and survey; WGS-84 coordinate system; parameter transformation