

GPS RTK 测量精度定位与质量控制方法



张振军, 杨德安, 杨建, 胡秀蓉

(长江水利委员会 水文局汉江水文水资源勘测局, 湖北 丹江口 442700)

摘要: 在 GPS RTK 观测实验和误差分析的基础上, 对 RTK 测量的平面和高程精度进行了定位; 针对 RTK 测量的特点, 对其可靠性进行了分析, 并针对性地提出了相应的质量控制方案。

关键词: GPS; RTK; 误差; 精度定位; 质量控制

中图分类号: P228.42

文献标志码: B

文章编号: 1672-4623 (2011) 05-0044-03

GPS 实时载波相位差分测量, 即 RTK 测量, 以其高精度、实时性、快捷性、可靠性以及易用性等优势, 已经广泛的应用于图根控制测量、像控测量、地形测量以及施工测量等现代测绘生产活动中, 其工作原理为: 参考站接收机在本身进行 GPS 测量的同时, 通过无线电台等数据链设备, 实时的将其测量信息和键入信息发送给流动站, 流动站则通过接收电台接收来自参考站的信息, 并通过测量手簿的内置软件, 在系统内形成差分观测值, 组成差分方程, 实时的解算出待测点在 WGS 84 地心坐标系下的三维大地坐标和相应的精度指标。但是, 在工程测量中, 要求的平面测量基准信息为国家参心坐标或地方独立坐标, 高程测量基准信息为似大地水准面为基准的正常高系统, 因此, 必须对 GPS 测量成果进行坐标转换、投影变换以及高程拟合等一系列的操作, 才能满足工程测量的需求。由于必须进行基准转换以及转换方法的不同, 必然导致在 GPS 测量误差源的基础上, 引入了一些新的误差, 这样, 就不能简单的依据手簿软件给出的平面和高程精度指标对 RTK 测量进行精度评价和定位。因为 RTK 测量解算出的整周模糊度的可靠性不可能达到 100%, 并且 RTK 测量的网形为星形, 无图形检核条件, 图形强度低, 可靠性差。又由于基准转换的模型误差带来的影响, 所以, 必须对 RTK 测量的成果进行质量控制。本文在分析 RTK 测量误差源的基础上, 通过理论分析和实验数据, 指出其精度评定方法和定位。在兼顾测量质量和生产效率的前提下, 对 RTK 测量需观测的历元数进行规定。针对 RTK 测量的特点, 对其可靠性进行分析, 并针对性的提出相应的质量控制方案。

1 RTK 测量的作业方法

依据 RTK 测量不同的基准转换方法, 可产生 3 种作业方法:

1.1 坐标转换法

所谓坐标转换法, 即在参考站输入国家参心坐标系某一投影带的平面直角坐标和某一高程基准的正常高, 或输入 WGS 84 地心坐标系下的三维大地坐标。其中, 基准转换采用三参数或七参数法, 在已知 WGS 84 大地坐标和平面直角坐标以及正常高的条件下, 可采用正常高来代替地方基准下的大地高, 依据三参数或七参数基准转换模型, 在测区均匀的选取一定数量的控制点, 即可求得基准转换参数。如无 2 套坐标成果, 则必须进行室外校正。投影采用横轴墨卡托投影; 流动站的参数设置和参考站相同即可, 这样, 就可得到流动站点的平面直角坐标和拟合的正常高以及相应的精度指标。

1.2 假设转换参数法

所谓假设转换参数法, 即在参考站输入国家参心坐标系某一投影带的平面直角坐标和某一高程基准的正常高, 其中, 基准转换采用三参数法, 三参数 (ΔX 、 ΔY 、 ΔZ) 可任意设置, 投影采用横轴墨卡托投影; 流动站的参数设置和参考站相同即可, 这样, 就可得到流动站点的平面直角坐标和正常高以及相应的精度指标^[1]。

1.3 高程拟合法

如 RTK 测量手簿的内置软件支持此方法, 则选取适合测区的相应的数值拟合方法即可。如不支持, 则应选取后处理动态或快速静态作业模式, 内业采用商业软件或自编软件进行坐标转换和高程拟合。常用的高程拟合方法为, 平面拟合和曲面拟合^[2]。

3 种转换方法中, 假设转换参数法以其所需已知条件少和易用性等诸多优点应用较为广泛。但当参考站和流动站之间的高程异常变化不能满足测量的精度要求时, 则不能采用假设转换参数法, 坐标转换法为首选方法。在某些测区, 由于高程异常变化较为复杂, GPS 点校正所计算出的最大高程残差不能满足精度要

收稿日期: 2010-08-18

求，所以应采用高程拟合法的作业模式，选取最适合测区的数值拟合方法。

2 GPS RTK 观测实验

本单位所处的地理位置为湖北省丹江口市，生产项目所涉及的测区多在华中地区，通过大量的实践数据和生产经验证明，在 5 km 为半径的范围内，测区的高程异常变化均小于 0.1 m。依据水利水电工程测量规范对图根高程控制的精度要求，即最后一次加密的高程控制点对临近基本高程控制的高程中误差不得大于 $\pm h/10$ ，本次 GPS RTK 观测实验采用的作业方法为假设转换参数法，实验测区为丹江口大坝下游局部冲刷河段。此河段在 2006 年 7 月恢复 D 级 GPS 控制和四等水准控制，控制成果精度可靠。测区范围内地形较为复杂，具有大面积水面和树林，具有代表性，控制点较为密集，有利于进行实验研究。

本次 RTK 实验工作中，分别使用了丹 17-1 左 5 和 GPSXY11 2 个控制点架设参考站，2 点平面均为 D 级 GPS 控制，高程均为四等几何水准；在 54 个比对控制中，有 29 个为 D 级、E 级 GPS 控制，高程为四等几何水准；25 个平面为一等导线，高程为五等几何水准。

在施测过程中，对 29 个 D 级、E 级 GPS 点分别进行了单历元、5 个历元、10 个历元、20 个历元、30 个历元、60 个历元、120 个历元、180 个历元、300 个历元的 RTK 观测；对 25 个导线点分别进行了单历元、5 个历元、10 个历元、20 个历元、30 个历元、60 个历元、120 个历元的 RTK 观测。

内符合精度检验使用同一点的不同历时的观测数据进行，假设单历元的观测成果为 RTK 观测的最或然值，进行精度统计，可以更方便地了解到 RTK 成果的稳定性，统计成果见表 1。

表 1 RTK 测量内符合精度统计表

点名	点位差			高程差		
	最大点位差	最小点位差	平均点位差	最大高程差	最小高程差	平均高程差
DS01	0.019	0.009	0.015	0.022	0.008	0.016
D15Y5	0.017	0.004	0.010	0.016	0.003	0.010
DS03	0.010	0.005	0.008	0.013	0.001	0.007
DS04	0.010	0.006	0.009	0.022	0.002	0.014
DS05	0.022	0.009	0.015	0.012	0.005	0.009
DS02	0.030	0.002	0.013	0.011	0.000	0.004
D16Y6	0.010	0.001	0.007	0.009	0.001	0.004
DS08	0.005	0.003	0.004	0.006	0.001	0.003
DS09	0.008	0.003	0.005	0.012	0.001	0.008
DS010	0.017	0.004	0.010	0.035	0.020	0.027
D16-1Z5	0.013	0.001	0.007	0.024	0.003	0.011
D15-1Z5	0.006	0.002	0.004	0.012	0.004	0.007
DS06	0.017	0.010	0.014	0.033	0.001	0.015

由表 1 可见，在一般观测条件下，RTK 测量在不考虑首级控制误差和基准转换误差的前提下，即 RTK 测量的内符合精度一般可达到点位误差优于 2 cm，高程误差优于 3 cm。这和 RTK 测量的标称精度相符。

外符合精度检验使用同一点的不同历时的观测数据和控制数据相比较，进行精度统计，可以很容易地了解到 RTK 成果在现有首级控制和测区条件下的精度定位，统计成果见表 2。

表 2 RTK 测量外符合精度统计表

测量历时	比测数据量	点位差			高程差				
		最大较差	最小较差	平均较差	中误差	最大较差	最小较差	平均较差	中误差
1	29	0.072	0.008	0.037	0.044	0.033	-0.050	-0.002	0.019
5	29	0.078	0.003	0.039	0.044	0.037	-0.051	-0.001	0.021
10	29	0.081	0.007	0.039	0.046	0.040	-0.047	0.000	0.021
20	29	0.073	0.003	0.040	0.047	0.041	-0.036	-0.001	0.019
30	29	0.077	0.005	0.039	0.046	0.031	-0.037	-0.001	0.018
60	29	0.076	0.005	0.040	0.047	0.054	-0.044	0.001	0.022
120	29	0.077	0.003	0.040	0.048	0.051	-0.044	0.000	0.022
180	18	0.071	0.007	0.032	0.039	0.032	-0.052	-0.001	0.024
300	17	0.067	0.005	0.032	0.039	0.031	-0.045	-0.006	0.023

由表 2 可见，在丹江口坝下现有首级控制的条件下，RTK 测量的点位中误差优于 5 cm，高程中误差优于 3 cm。

在 RTK 测量中，增加观测历元的个数，对测量外符合精度影响不大。

3 RTK 测量的误差源及精度定位

1) GPS 观测所带来的误差，包括卫星钟误差、星历误差、电离层误差、对流层误差、传播延迟误差、数据链设备的内部噪声、外部无线电信号的干扰。此类

误差已由厂商在仪器出厂时进行了检定, Trimble 5700 的平面标称精度为 $10\text{ mm} + 1 \times 10^{-6}D$, 测高标称精度为 $20\text{ mm} + 1 \times 10^{-6}D$, 这类误差在仪器的控制手簿中可以进行实时的显示, 测量员可以很好的控制。

2) 坐标转换模型的误差。

3) 首级控制系统的固有误差。

4) 流动站和基准站之间的高程异常差值所带来的误差。

由以上的误差分析和实验数据可知, 如果不考虑首级控制的固有误差, RTK 作业半径小于 5 km , 则 RTK 测量的平面精度优于 $\pm 2\text{ cm}$, 对于 RTK 测量的高程精度, 如果参考站和流动站之间的高程异常差值在允许的范围之内, 即采用假设转换参数法, 优于 $\pm 3\text{ cm}$ 。RTK 测量的相对精度优于 $1/20\,000$, 即一级导线的最弱边相对精度要求^[4]。

在实际生产中, 应考虑基准转换、首级控制固有误差以及参考站和流动站之间的高程异常变化等不定因素, 根据比测数据来统计 RTK 测量的精度指标, 判定是否满足工程的需求。

4 可靠性分析及质量控制

1) RTK 测量解算出的整周模糊度的可靠性不可能达到 100% , 因此, 需避免粗差的引入。在 RTK 测量的过程中, 应随时注意高程的变化, 因为如果 RTK 测量的值为假值, 高程的变化较大, 一般为 0.5 m 以上; 在进行全站仪碎步测量时, 应对 RTK 施测的图根控制进行 100% 的检核, 最大限度地避免测量错误的产生。

2) RTK 测量的网形为星形, 无图形检核条件, 图形强度低, 可靠性差。

针对此, 应采取的质量控制措施为: 与已知点检核比较; 2 个相邻观测单元应至少有 1 个 RTK 检测重点, 即在测区建立一条数据检核链路^[1]。这样可有效地控制参考站和流动站之间的高程异常差值是否在容许的范围内。电台变频实时检测, 即在测区同时架设 2 个参考站, 通过对电台进行变频, 进行 2 次 RTK 测量, 可最大限度地提高 RTK 测量的可靠性。但由于对仪器的要求条件较高, 在实际生产中很少应用。

3) RTK 测量的观测历时。GPS 测量中的观测条件指的是卫星星座的几何图形的分布和变化。通常, 卫星数量越多, 卫星分布越均匀, 观测时间越长, 观测条件越好。

由表 2 可见, 在 RTK 测量中, 对多个观测量取算术平均值外符合精度几乎得不到提高, 原因在于, GPS 观测误差属随机系统误差; 并且 WGS 84 大地坐标在向地方平面直角坐标转换的过程中, 不可避免地会有转换模型误差以及原有控制点误差的引入, 这部分误差属系统误差, 是不可以通过取算术平均值的方法减弱的。

RTK 测量是利用最小量的数据来解求测点的三维坐标和相应的精度指标, 通过重复观测可提高其可靠性。因此, 在兼顾测点质量和生产效率的前提下, RTK 测量时, 用户应实时监测待测点的数据观测质量和基线解算结果的收敛情况, 根据待定点的精度指标, 适当延长观测时间, 从而减少冗余观测, 提高工作效率。

4) 天线高为 RTK 测量的明显的误差源, 甚至很容易导致粗差的引入, 流动站应采用定长的观测杆。在作业前, 应正确设置天线类型和天线高量取方法, 并进行外业记录, 记录中禁止流动站天线高的连环涂改, 内业根据外业记录进行检查校对。

5) 有效卫星数应不少于 5 颗, 点位几何精度因子 (PDOP) 值应小于 6, 手簿中显示的平面精度和垂直精度应达到仪器的标称精度。

5 结 语

本文在 RTK 观测实验和误差分析的基础上, 对 RTK 测量的平面和高程精度进行了定位, 指出一般条件下, RTK 测量所能达到的精度指标完全能够满足大比例尺图根控制的要求。针对 RTK 测量的特点, 对其进行可靠性分析, 提出相应的质量控制方案, 指出 RTK 测量在此质量控制方案的指导下, 可达到较高的可靠性。

参考文献

- [1] 张振军. GPS RTK 测量观测方案及质量控制方法研究 [A]/2007 年全国测绘科技信息交流会议论文集 [C] 2007
- [2] 刘大杰. 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
- [3] 刘基余. GPS 卫星导航定位原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003
- [4] 章红平, 温宇斌, 张志勇, 等. 静态 GPS 测量与 RTK 测量实例分析 [J]. 测绘通报, 2006(1): 28-32
- [5] 周晓华, 李永兴, 吴根姣, 等. RTK 技术在控制测量中的应用探讨 [J]. 测绘通报, 2007(7): 41-42

第一作者简介: 张振军, 工程师, 主要从事河道勘测工作。

Spatial Characteristics Detecting Model Based on TIN

by *LI Jingzhong*

Abstract The detection of spatial characteristics of GIS data is one of the key points in GIS theory research and engineering applications.

This paper present a delaunay triangulated irregular network based model, which adopt to all three geometry types (point, polyline and polygon) and could detect many types of spatial characteristics, such as distribution extent, density and skeleton for point cluster; bend structure for line object; bottleneck area and subgroup for polygon and poly-polygon. All these methods were tested and verified by related experiments; the results were promising and satisfy the basic principle of spatial cognition.

Key words GIS, spatial data mining, spatial cognition, delaunay triangulation (Page:26)

Discussion of Urban Road Network Evaluation System

by *XU Huichen*

Abstract There is not a systematic set of urban road network evaluation system in our country at present. Different planning need choose the proper evaluation method and set up the evaluation index system. Then took Xuzhou for example, set up the evaluation index system with the method of urban road network technology evaluation and made use of fuzzy logic model. The conclusion is: the urban road network of Xuzhou is good, however, at the aspect of road networks scale, it needs some improvements.

Key words road networks scale, evaluation system, evaluation index, fuzzy logic (Page:29)

Study of Information Dynamic Graphical on Disaster Response

by *ZHAO Hong*

Abstract To develop disaster contingency plans is most in text description, because of the single expression and the complexity of contents cause application difficulties and prone to understand the ambiguity. To solve this problem, this paper analyzed five spatial objects in disaster response were used to describe space phenomena features, and proposed spatial seven structured information elements owned by objects in disaster emergency were used in six kind expression of thematic map in disaster contingency, and researched the graphical mechanism of structured information elements, and emphasis the correspondence relationship between structured information elements and five variables of map symbol and the animation control during the process of dynamic graphics, and states design principles of symbol rendering. As a application example of forest fires and rescue team action, geographic data of which were tried to convert into dynamic graphical mapping data, which were symbolized by the drawing program of map symbol.

Key words disaster response, spatial information, map symbol, plotting (Page:32)

Real-time Method for Deformation Measurement on the Plane Based on TPS

by *HUI Guangyu*

Abstract During the intensity test of flight-testing, the results of deformation measurement is the base to evaluating whether it is risky for aviation and impedimental for control or not. This pater present a real-time method of deformation measurement based on the interface technology of GeoCOM, according to the theory of total station position and the method of data combination by excessive stations. Practice had proved that the method not only ensured data accuracy, provided deformation results and improved the work efficiently, but also had important guiding significance for the study of the measurement of plane bas-

ed on TPS (Total Position Station) in the future.

Key words deformation measurement, TPS; ordinate system of plane, coordinate system of TPS, real-time (Page:35)

Method for ADS40 Data Processing

by *ZHOU Junyuan*

Abstract This article introduced the characteristics of ADS40 data and its distinction with combine production practice. It studied ADS40 data handling methods and techniques in production process.

Key words ADS40, aerial photogrammetry, data handles (Page:39)

Design and Implementation of Thematic Cartography of Oil-Gas Geochemical Prospecting Based on GIS Data Warehouse

by *SUN Qiufen*

Abstract This paper present the design and implementation of thematic cartography for BTEX Data Warehouse of Oil-Gas Geochemical Prospecting based on GIS. It included the analysis of Data Streams in Automatic Aided Mapping System, the design of system scheme and the constructing of geologic symbol library in common use, saving and extracting spatial and attribute data in Data Warehouse, automatic theme filled and also the function for geologic thematic map's design and export. The result of the system test indicated that the system had commendably carried out the primary design, for it can effectively exhibit the result of BTEX Data Warehouse of Oil-Gas Geochemical Prospecting and has a good interaction capability between users and computer.

Key words GIS, BTEX, Data Warehouse, thematic map, symbol library (Page:41)

Methods for GPS RTK Positioning Accuracy and Quality Control

by *ZHANG Zhenjun*

Abstract Based on the experiments of GPS RTK observations and the analysis with error margin, pointed out its accuracy fixed position, aimed at the characteristics that the RTK measures, as to it's the credibility carried on analysis, and aimed at sexual of put forward the homologous quality control project.

Key words GPS, RTK, error margin, accuracy positions, quality controls (Page:44)

Method for Improving the City Large Scale Topographic Maps Coordinate Transformation Accuracy between the City Coordinate System and CGCS 2000

by *MA Wensheng*

Abstract For the purpose of translating the urban coordinate system to the CGCS2000 for large-scale topographic maps, the integral transformation productions using an uniform transformation model and parameters don't satisfy the accuracy. A method was put forward to solve the accuracy problem in the article. First, compatible analysis was made for all control points and gross error points were get rid of. Then remaining control points were build TIN and calculated partitioned transformation parameters. As a result, we could improve the partitioned transform accuracy. Last, a real example was used to testing. The result shows that method put forward in the thesis is feasible and can enhance the transform accuracy.

Key words large-scale topographic maps, China Geodetic Coordinate System 2000, transformation model, Triangulated Irregular Network (Page:47)

Establishment of Urban Water Resources Surveying GPS Network

by *LU Jianwei*

Abstract Combining CORS VRS technology, this paper introduced the related establishment and data processing method of an urban GPS network for water resources. Network accuracy was analyzed.