

成果与方法

RTK 技术在高速公路像片控制测量中的应用

李宏伟,潘宝玉,崔国钧

(山东省地质测绘院,山东 济南 250011)

摘要:通过 RTK 技术在诸永高速公路 1:2000 像片控制测量中的应用,介绍了 RTK 测量在带状测区基准转换参数的求解方法及 RTK 测量成果的精度检验等情况。结果表明,RTK 测量不仅能够满足 1:2000 像片控制测量精度要求,而且可以大幅度提高作业效率,尤其在交通和通视困难地区更具明显优势。即使在山区和高山区,只要采取有效措施,RTK 测量同样能取得比较高的精度。

关键词:RTK 测量;高速公路;像片控制;基准转换参数;精度检验

中图分类号:P235.2;P236 文献标识码:A

近年来,随着 GPS 定位技术的迅速发展,实时动态测量技术(Real Time Kinematic,简称 RTK)以其实时、快捷等优点,已广泛应用于图根测量、放样测量、碎部测量、像片控制测量等诸多方面。由于 RTK 数据链采用超高频(UHF)电磁波,它的传输属于一种视距传输(准光学通视),要求基准站电台天线和移动站天线之间无大的遮挡物(如高层建筑物、高山等)^[1],因此,RTK 技术通常应用于通视条件良好的平坦或低丘地区。为了试验 RTK 技术在高山地区的使用效果,在诸永(诸暨-永嘉)高速公路 1:2000 航空摄影地形测量中,成功地应用 RTK 技术进行了像片控制测量,不仅能够满足 1:2000 比例尺像片控制测量精度要求,而且可以大幅度提高作业效率,取得了理想的经济效益及社会效益。

1 测区概况

诸永高速公路是浙江省一条南北公路大动脉,是浙江中部连接东南部沿海城市的纽带。该公路北起诸暨市直埠镇骆家庄,经诸暨市、东阳市、磐安县、仙居县,向南止于永嘉县上塘镇南,总长 398km(其中,主线 238km、比较线 160km)。测区大部分为山地、高山地,最高峰海拔 1045m,最大比高约 650m,山高路陡,部分路段经过深山峡谷,交通极为不便;山上植被大部分为松、杉树,叶茂枝盛,通视十分困

难。鉴于测区交通不便、通视困难的条件,用常规的导线测量的方法难度很大。因此,该测区使用 GPS 控制和航空摄影测量的方法作业,由浙江省测绘大队和山东省地质测绘院共同完成。

2 基本控制测量

为了满足诸永高速公路航空摄影测量的需要,于 2003 年 6-8 月,依据 JTJ/T066-98《公路全球定位系统(GPS)测量规范》,在该区施测了三、四级 GPS 控制网,其中布设三级 GPS 控制点 85 个(平均边长 3.5km)、四级 GPS 控制点 561 个(平均边长 0.5km)。测区内的三、四级 GPS 点大部分联测了四等水准, GPS 网的平差精度情况见表 1。测区基本控制测量平面采用 1954 年北京坐标系,高斯-克吕格正形投影,任意分带,中央子午线为 120°30',高程采用 1985 国家高程基准。

从三、四级 GPS 点的精度及密度情况看,完全满足诸永高速公路 1:2000 航空摄影测量的需要。

3 基准转换参数的求解

RTK 与 GPS 静态测量一样, GPS 接收机接收的卫星信号经数据处理后,首先得到的是世界大地坐标系(WGS-84)坐标,而在测绘工程中应用的通

收稿日期:2006-02-10;修订日期:2006-07-10;编辑:陶卫卫

作者简介:李宏伟(1966-),男,山东平阴人,测量工程师,主要从事 GPS 技术应用研究及测绘管理工作。

表 1 三、四级 GPS 网平差精度统计

点位中误差/cm				边长相对中误差				高程中误差/cm	
三级		四级		三级		四级		三、四级	
一般	最大	一般	最大	一般	最大	一般	最大	一般	最大
±2.5	±4.3	±1.8	±2.7	1/20 万	1/6.0 万	1/12 万	1/3.2 万	±3.0	±4.5

注:三、四级 GPS 点位中误差限差为 $\pm 5\text{cm}$,高程中误差限差为 $\pm 5\text{cm}$;边长相对中误差三级为 $1/4$ 万、四级为 $1/2$ 万。

常是地方坐标系的平面直角坐标(1980 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。因此,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 2 种坐标系间的转换参数。由于转换参数在不同区域不完全相同,为了提高 RTK 的测量精度,就必须求出适合该地区的基准转换参数。

基准转换参数的求解方法: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 坐标系统坐标和地方坐标系统坐标,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基准转换参数^[2]。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基准转换参数。

求解基准转换参数所使用的已知控制点的精度、密度及分布状况对基准转换参数的求解质量有着直接影响。因此,所选定的已知控制点要求精度要高,并且应均匀分布在测区周围。已知控制点的数量视测区的大小一般取 3~6 点为宜。一般在求解基准转换参数时,应采取不同已知控制点的匹配方案,用不同的计算方法求得基准转换参数,经比较后选择残差较小、精度较高的一组参数使用。

该测区根据已有的三、四级 GPS 点的 WGS - 84 系(无约束平差)三维坐标和 1954 年北京坐标系、1985 国家高程基准(高程为四等水准)的三维坐标,利用随机软件进行基准转换参数(七参数)的解算。由于该测区为带状,再加之路线长、高差大,为提高基准转换参数的精度,该测区七参数以 20~25km 长度为区段,共分 12 段求解,每段至少使用 5 个基准转换点。

4 RTK 像片控制测量

4.1 航摄资料

测区航摄资料为 2003 年 6~7 月航摄,根据诸

永高速公路的走向,分 39 条单航线摄影。像幅 $23\text{cm} \times 23\text{cm}$,航摄仪类型为 RC - 10,焦距 $f = 151.902\text{mm}$,摄影比例尺为 1:8000;摄影高度在 $1300 \sim 2000\text{m}$ 之间。

4.2 像控点布设

该测区像片控制测量的目的,是为了满足测制 1:2000 比例尺地形图的需要。根据规范和设计要求,该测区地形为平地、丘陵地的图幅(等高距为 1m)采用全野外布点,每个立体像对布设 4 个平高点,其区段为第 1,2,30,31,4 条航线和第 4,5,8,9,10,B8,6 条航线的一部分;地形为山地、高山地的图幅(等高距为 2m)采用单航线布点,布点的区段为第 3,6,7,11~29 等 29 条航线及 4,5,8,9,10,B8,6 条航线的另一部分。每条航线每一分段布设 6 个平高点,首尾端点间的基线数最多 13 条,一般在 10 条基线以下,2 端的上下 2 点均布设在通过像主点且垂直于方位线的直线上,互相偏离不超过 $1/2$ 条基线;中间一对点一般选在 2 端控制点的中间,因受地形限制(无刺点目标)偏离中间最多 1.5 条基线。全区共布设平高点 447 个。

4.3 RTK 像控点测量

4.3.1 作业组织

该测区像控点的三维坐标使用 6 台(2 套 1+2) Trimble5700 GPS - RTK(标称精度平面为 $1\text{cm} + 1\text{ppm} \times D$,高程为 $2\text{cm} + 1\text{ppm} \times D$)双频接收机施测。每套仪器基准站 1 台,移动站 2 台。基准站作业员 1 名,实时观察基准站的工作状态,以确保其工作正常。移动站每台 2 名作业员,其中 1 人负责选点、刺点、像片整饰,另 1 人负责像控点 RTK 测量,同时对所选刺的点位进行检查校核。

4.3.2 基准站设置

GPS 卫星处在 2 万多千米的高空,从卫星发出的信号到接收机接收,中间要经过电离层、对流层以及来自多方面的干扰,其信号一般十分微弱,通常只有 $-50 \sim -180\text{dB}$ 。同时,由于 RTK 数据链采用超

高频(UHF)电磁波,其频率大约为 450~470MHz,波长约 60cm 左右。根据电磁波理论,它的传输属于一种视距传输(准光学通视),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,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);同时,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,要求基准站电台天线和移动站天线之间无大的遮挡物(如高层建筑物、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^[3]。该区作业时,基准站一般设置在地势较高的三、四级 GPS 控制点上。

4.3.3 RTK 测量

在进行 RTK 测量时,首先要在 GPS 手簿中设置好基准转换参数、基准站坐标和高程以及像片控制点预设精度指标(点位和高程中误差的限值)。观

测时,流动站对中杆的圆气泡保持居中,当流动站终端(手簿)上显示的点位中误差符合要求后进行坐标数据的存贮。每个像控点独立(关机或卫星失锁)观测 2 次,取中数作为像控点的最终成果;像控点 2 次测量的点位较差最大为 2.5cm,一般在 1.0cm 以内;高程较差最大为 7cm,一般在 5cm 以内,完全符合像控点测量的精度要求。

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。因此作业时,作业半径在平地和丘陵地一般在 10km 以内,山地和高山地不超过 6km。

4.3.4 GPS-RTK 点的精度检测

RTK 测量具有显著的实时、快捷的优点,但作业中缺乏检核条件,个别点可能会出现误差。因此,为了保证 RTK 的实测精度,作业中要非常注重成果的复核。首先,在每天作业前,先将移动站设置在原三、四级 GPS 点上进行检测;作业过程中,当距已知点较近时,进行检测。检测情况见表 2。

表 2 GPS-RTK 点精度检测统计

检测点数	平面精度统计/cm						高程精度统计/cm		备注
	X_{\max}	5.2	Y_{\max}	6.7	S_{\max}	7.1	Z_{\max}	4.3	
78 点	$X_{\text{平}}$	2.4	$Y_{\text{平}}$	2.6	$S_{\text{平}}$	4.6	$Z_{\text{平}}$	2.2	“平”代表平均误差
	$X_{\text{中}}$	2.2	$Y_{\text{中}}$	3.1	$S_{\text{中}}$	5.1	$Z_{\text{中}}$	2.5	“中”代表中误差

由表 2 可知, GPS-RTK 所施测的点,与三、四级 GPS 点比较,其平面和高程较差均小于《规范》中规定的像控点平面及高程位置中误差的精度要求,也就是说,用 GPS-RTK 施测像控点的精度是完全可靠的。

5 空三加密和地形图的精度情况

5.1 空三加密

空三加密采用单航线法,用 GXP-AAT 和 VirtuoZo AAT 自动空中三角测量系统在微机上进行。用光束法区域网整体平差程序和 PAT-B 区域网平差软件进行像控点的平差解算。加密点的精度情况见表 3。

表 3 空三加密精度统计

内定向残余 上下视差/mm	绝对定向坐标较差/m				模型连接误差/m				加密点中误差/m			
	平面		高程		平面		高程		平面		高程	
最大	限差	最大	限差	最大	限差	最大	限差	最大	限差	最大	限差	最大
0.013	0.020	0.36	0.4	0.38	0.6	0.25	0.48	0.38	0.48	0.26	0.55	0.16
												0.8

5.2 数字测图

航测数字化测图使用 VirtuoZo 和 JX-4C 全数字摄影测量系统进行,内定向限差均为 0.02mm;相对定向采用自动定向的方法进行,要求每个像对的相对定向点在 120 个以上,且分布均匀。定向各点的残余上下误差不大于 0.008mm;绝对定向时利用

空三导入像控点,并对各个像控点进行量测。

在内定向、相对定向和绝对定向完成后,按照设

袁新强,RTK 技术在地形测量中的应用,中国测绘学会工程测量分会:21 世纪我国工程测量技术发展研讨论文集,2001 年。

计要求进行地物、地貌的信息采集，并按照规定进行编辑、接边和整饰工作。

5.3 地形图的精度检验

地形图的最终成图精度使用全站仪外业设站检查，检查图幅总数的 30%，共设站 136 个，检查地物点 2720 个、高程点 1509 个。其中地物点中误差为 $\pm 0.60m$ (限差 $\pm 1.2m$)、高程点中误差为 $\pm 0.21m$ (限差 $\pm 0.45m$)。

6 结论

(1) 从表 2、表 3 和地形图的精度检验情况看，RTK 测量精度(包括平面坐标和高程)不仅能够达到 1:2000 比例尺像片控制测量精度要求，而且误差分布均匀，不产生误差积累。即使在山区和高山区，只要采取有效措施，RTK 测量同样能取得比较高的精度。

(2) RTK 测量实时、快捷，操作简便，且不受通视条件限制，外业组织形式灵活。用 RTK 进行图根或像片控制测量，可直接在高等级控制点上进行，减少了大量的施测一、二级导线和水准测量的工作量，不仅可以大幅度提高作业效率，而且能有效减轻作业员的劳动强度，尤其在交通和通视困难地区更具明显优势。

(3) 为了保证 RTK 的测量精度，在高速公路、铁路、河道测量等带状测区作业时，求解基准转换参数

时应分区段进行，其长度一般应控制在 25km 以内，在山区和高山区不宜超过 20km；基准点一般不应少于 5 个，且应分布在带状区段的两端和中部拐弯处的外侧。即求定 RTK 点坐标时应在基准点(已知点)控制的范围内(即控制范围不宜外延)。

(4) 基准站的设置及作业半径对 RTK 的测量精度和速度有着直接影响。一般地，基准站应选择在远离强电磁干扰源和大面积的信号反射物且地势较高的已知点或建筑物上。移动站距基准站的距离一般应控制在 10km 以内，山地和高山地不宜超过 6km。

(5) 为了提高 RTK 测量成果的可靠性，作业中应加强检核工作。尤其是在航带法或区域网法布设像片控制点时，点位粗差将对空三加密和内业测图产生严重影响。因此，在作业中可采用不同起算点测定(重合点法)，或在同一点上采用 2 次观测法(失锁或关机)测定像控点坐标。

参 考 文 献：

- [1] 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.
- [2] 潘宝玉, 傅文祥, 刘军. RTK 像片控制测量及其精度检验[J]. 测绘通报, 2004(8): 27—30.
- [3] 张西恩, 傅文祥, 潘宝玉, 许传新. RTK 技术在土地利用现状调查中的应用[J]. 地矿测绘, 2003, 19(4): 25—27.

Application of RTK Technology in Highway Photo Control Survey

LI Hong - wei, PAN Bao - yu, CUI Guo - jun

(Shandong Geological Mapping Institute, Shandong Jinan 250011, China)

Abstract : Through application of RTK technology in Zhuyong highway photo control survey with the scale of 1:2000, datum transformation parameter solution method in belt-shaped area and achievement precision examination of RTK technology are introduced in this paper. It is proved that it not only can satisfy the precision request of the photo control survey with the scale of 1:2000, but also can promote working effect.

Key words : RTK survey; highway; photo control; datum transformation parameter; precision examination