

GPS在山区高速公路平面控制网复测的应用

胡伟明

中铁六局集团北京铁建公司 北京 100000

摘要: 由于国道109新线高速公路处于山区、河谷地带,地形起伏大、工期紧、任务繁重,与常规的GPS技术相比,利用GPS进行快速的测量可以节省大量的人力物力。通过对GPS从外部观察到内部分析的全程分析,得出了一系列的方法。该方法具有较好的可靠性,对类似项目的再测量技术具有一定的借鉴意义。

关键词: 高速公路;GPS测量;平面控制网;精度

引言:

GPS是当今世界上最为先进的技术,它已被应用于军事、科学、工程、生活等各个领域。在现代科学发展的今天,GPS已逐渐被应用到复杂的环境中。当前,我国西部山区线路形态较复杂,任务繁重,工期紧,利用GPS进行快速的测量技术,可以节省大量的人力物力。GPS具有易于操作、不会受到地形条件的干扰、综合分析、高效等优点,已经是当今世界上最常用的测量手段^[1]。

本文主要结合国道109新线高速公路的控制网复测工作,介绍了平面控制网复测的一般步骤及应考虑的问题,为施工单位线路施工提供了可靠依据。

一、工程概况

中国中铁承建的国道109新线高速公路第一合同段施工任务起于北京市西六环军庄立交,向西经军庄镇、龙泉镇、妙峰山镇、王平镇、雁翅镇,止于北京市门头沟区斋堂镇。线路起论里程为A1K13+527.894~A1K51+543.5(左线),全长38.016km。

本标段共计有主线桥梁15座/12.700km(左线,含互通立交3处/主线长4.956km、特大桥3座/5.914km、大桥5座/1.652km、中小桥4座/0.179km)、隧道10座/22.193km(左线,含特长隧道3座/13.942km、长隧4座/5.988km、短隧3座/2.263km)、路基22段/3.044km、涵洞32座/896横延米、本工程另设雁翅、斋堂2处收费站,西胡林服务区、收费管理所一处,隧道管理、养护处一处。

二、GPS测量简介

1、测量原理

GPS卫星定位是利用多个卫星在某一特定的地点,利用其与地面接收器的间距来确定其位置。因为在正常运行过程中,人造卫星会持续地发出讯息,通过参考星历表资料,可以推断出卫星当前的方位,再根据卫星与接收端的间距,也就是卫星讯号的传输速率(光速)与

接收端的时间。其计算时间是:从接收端获取到的卫星时刻和相应的地表时刻之间的差异为卫星的传输。这样,就可以获得接收器的定位。

2、接收器

当前的接收方式有两种,一种是单频,另一种是双频。单频率接收器只能接收L1级的载波,而且它的接收范围很小,只能用于20公里以下的短基线,价格比较便宜。然而GPS的观测资料中均含有电离层的错误,而双频接收器既能接收L1和L2载波的信号,又能利用两个频段的观察值来消除大部分的误差,适合20公里以上中、长基线的测量。在距离较长的情况下,采用双频率接收器可以有效地克服由于大气的不同而造成的误差,从而提高了测量的准确率。

3、定位方式

GPS的位置可以划分成单一的位置和相对的位置。单站是指只利用一架地面接收器进行定位,根据接收端的实测资料来判断接收端所在的位置,是当前船舶航行中常用的一种方法。而相对定位则是利用两个以上的接收器进行定位,根据各自的观察结果来判断各自的相对位置,避免了由于环境等原因造成的干扰,从而提高了定位精度。因此,在平面控制网测量时,采取了相对定位的方法。

4、优势

GPS相对于全站仪具有如下优势:第一,GPS相对于全站仪器来说,在不受外界干扰的情况下,GPS接收机可以接收到GPS接收机的卫星,不需要通过GPS接收机进行通信,这样就能使GPS接收机在道路上遇到障碍,特别是在山地中,它的优势就显现得淋漓尽致。因此,在GPS的实际应用中,正确地选取控制点位置,以确保GPS的实时采集、低噪音、在数据处理中实现高效的数据是非常关键的一环。

二、控制点平面坐标

本工程路线在测区内总体呈东北—西南走向，地理经度范围105°45'—106°30'，地理纬度范围28°25'—28°38'，沿途地势多有高低不平，属山岭重丘区。测区海拔高度在870~2200米左右。为确保工程施工方案的一致性，达到标准线形的设计和接边处的偏差，按照高斯投影原理，必须确保该区域内的投影长形变不超过2.5厘米/公里，及桥隧等大结构体的投射长形变不超过1.0厘米/公里。

本次平面控制网复测坐标系采用北京地方坐标系，中央子午线为116.210090650(dms)。

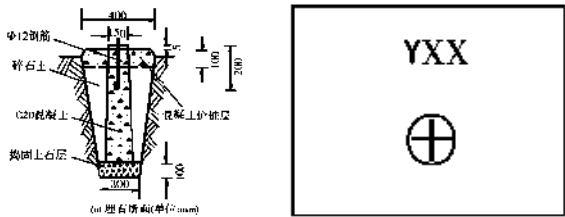
平面控制网复测包括设计交桩提供的四等GPS网控制点51个,为满足施工测量要求，标段内增加了35个平面加密控制点。

三、设计方案

(一) 选点埋石

(1) 对测段内控制点桩位进行核查。根据实际情况和施工要求对丢失或遭到破坏的网点进行修复或补设；对于对空通视条件较差的点位及时进行处理；保证各点能够及时准确的进行测量。

(2) 埋石要求如下：埋设的控制点标石，利用150mm×300mm×600mm规格的水泥混凝土桩，桩中埋设一根长300mm的φ12钢筋以便固定，并在桩顶露出5mm且做“十”字丝刻划。埋设时，基坑用水泥砂浆、石块回填夯实，在上部用水泥砂浆“戴帽”固结，如图1所示。点位埋设后及时做好点之记记录。



(a) 埋石断面 (单位: mm) (b) 埋石正面

(3) 在规划的道路两旁布置了控制点，这些控制点与规划的中线之间的距离为50~300米，控制点之间应尽可能的互相连通，而在有条件的区域，则应确保有2个控制点点可以互相连通。

(4) 控制点要选择在具有一定的地质环境下，便于长时间的维护，并考虑到测量的便利。

(5) 控制区周边应符合GPS野外和水平测量的规定，远离强震、强磁场、强反射区、高压电线等恶劣的工作场所。

(6) 平面和高程控制点通常是共享的，有条件的情況可以采用高程控制位置。

(二) 平面控制测量

(1) GPS 控制测量技术要求

GPS 静态测量基本技术要求见表1。

表 1 GPS 静态测量基本技术要求

观测方式	项目	四等
静态观测	卫星高度角 (°)	≥ 15°
	有效卫星总数	≥ 4
	时段长度 (min)	≥ 60
	观测时段数	≥ 1.6
	数据采用间隔 (s)	10 ~ 30
	GDOP	≤ 6

(2) GPS 控制测量方法

1. 该系统利用12个天宝R10-2型，在现场以侧连式推进方式进行现场数据的收集，其标称准确率为5mm+1ppm. D, D是以公里为基准的观察基准。

2. 本次平面控制网复测采用边联式构网，组成三角形或大地四边形相连的带状网。

(3) GPS 控制测量作业要求

1. 作业前按要求进行仪器检校。对中设备采用精密对点器，对中精度小于1mm。在作业前及作业过程中对基座水准器、光学对点器进行检校，确保其状态正常。

2. 观测严格执行调度计划，按规定时间同步观测同一组卫星。

3. 本次平面控制网复测同步观测时段数为1.6，每时段观测60分钟。

4. 作业过程中，天线安置严格整平、对中，天线标志线指向正北。

5. 卫星高度角设定为≥15°；数据采样间隔设定为15秒；同步观测有效卫星总数≥4颗。

6. 每时段观测前后分别量取天线高，误差小于2mm，取两次平均值作为最终结果。

7. 作业中使用对讲机，离GPS接收机10m以外。一个时段观测结束后，重新对中整平仪器，再进行第二时段的观测。

8. 观测过程中按规定填写了观测手簿，对观测点名、仪器高、仪器号、时间、日期以及观测者姓名均进行详细记录。

9. 一个时段的观测过程中严禁进行以下操作：关闭接收机重新启动；进行自测试（发现故障除外）；改变接收机的预置参数；改变天线位置；按关闭和删除文件功能键等。

10. 观测员在作业期间不得擅自离开测站, 应防止碰撞仪器或使仪器受振动, 防止行人和其他物体靠近天线遮挡卫星信号。

(4) GPS数据处理技术要求

外业观测过程中, 及时对已观测基线进行处理和质量分析, 检查基线质量是否符合规范要求。对不符合要求的及时进行重新测量。

1. 基线解算

外业观测结束后, 使用天宝商用软件Trimble Business Center (简称TBC) 按静态相对定位模式进行基线双差固定解求解。基线处理满足规范和软件规定后, 生成“.asc”后缀文件。

2. 在对所有基线进行质量分析为合格且精度满足规范要求的基础上, 使用武汉大学研究开发的CosaGPS (5.21版) 进行基线网的自由网平差和约束平差, 以获取本次复测控制点的坐标成果。

平差过程中各项限差满足下面规定:

1) 各等级控制网基线长度中误差 σ (单位mm) 按照下式计算:

$$\sigma = \pm \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2}$$

式中: a为固定误差 (单位mm),

b为比例误差系数 (单位mm),

d为基线或环的的平均的边长 (单位km)。

2) 对于重复观测的基线边, 不同时段重复观测所得的基线较差应满足 $ds \leq 2\sqrt{2}\sigma$ 的规定。

3) 基线向量异步环的各坐标分量闭合差是检验基线向量网质量的一项重要技术指标。基线向量的异步环的各坐标分量闭合差应符合下式规定:

$$\begin{aligned} V_x &\leq \sqrt{\frac{4n}{3}} \sigma \\ V_y &\leq \sqrt{\frac{4n}{3}} \sigma \\ V_z &\leq \sqrt{\frac{4n}{3}} \sigma \\ V &\leq 2\sqrt{n}\sigma \end{aligned}$$

上式中: n为闭合环边数 (n=3), σ 为GPS基线向量边长中误差。

4) 无约束平差中基线向量各分量的改正数绝对值 ($V_{\Delta x}$, $V_{\Delta y}$, $V_{\Delta z}$) 应符合下式的规定:

$$\begin{aligned} V_{\Delta x} &\leq \sqrt{3}\sigma \\ V_{\Delta y} &\leq \sqrt{3}\sigma \\ V_{\Delta z} &\leq \sqrt{3}\sigma \end{aligned}$$

5) 约束平差中基线向量各分量改正数与无约束平差

同一基线改正数较差的绝对值 (dV_x , dV_y , dV_z) 应符合下式的规定。

$$\begin{aligned} dV_{\Delta x} &\leq \sqrt{\frac{4}{3}} \sigma \\ dV_{\Delta y} &\leq \sqrt{\frac{4}{3}} \sigma \\ dV_{\Delta z} &\leq \sqrt{\frac{4}{3}} \sigma \end{aligned}$$

约束平差后各边长相对中误差精度满足表6.2.2规定的限差。

控制网平差的主要技术要求 表6.2.2

等级	固定误差a (mm)	比例误差系数 b (mm/km)	最弱相邻点边长相 对中误差
四等	5	3	1/35000

(5) GPS网平差技术要求

基线结算完成后, 进行控制网无约束平差, 在WGS-84椭球下进行。

1. 平差时需要选取一个线路中间位置的的控制点, 输入后平差生成基线文件。

2. 三维无约束平差后进行二维约束平差。选取线路首尾和中部的3个控制点的二维平面坐标作为已知起算点进行控制网的二维约束平差。所选取控制点必须先进行稳定性检验, 如不稳定需换取新的控制点。选取的控制点基线边长较差满足精度57000, 可以作为二维约束平差的起算数据。

四、测量方案

(一) GPS控制测量作业流程 (见图2)

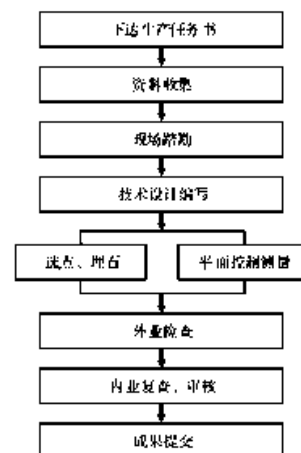


图2 GPS控制测量作业流程示意

(二) 现场资料的收集

(1) 利用GPS接收器

现场使用12个天宝R10-2型双频接收器, 以边连式推进构网, 测量精度为 $\pm (5\text{ mm} + 1\text{ ppm} \cdot D)$, D表示观察基准长, 以公里表示。

(2) 将天线安装和定位精确的安装在离地面1米或更高的位置,并对齐后的定位中误差超过1 mm的光学定心仪进行校准。

(3) 对天线高度进行测定

天线高度可达毫米,在观测前和观测前分别以倾斜和高两种方法进行测量,误差不超过2 mm,并将其结果用来做软件校正时所使用的天线高度。

观测质量控制见表3。

表 3 观测质量控制

等级	卫星高度	有效观测	平均重复	时段	数据采样	GDOP
	截止角 /(°)	卫星总数 /颗	设站数 /次·站 ⁻¹	长度 /min	间隔 /s	
三等	≥15	≥4	≥2	≥90	≤30	≤6
四等	≥15	≥4	≥1.6	≥60	≤30	≤6

(三) GPS 网的数据处理

GPS 平面控制网数据处理流程见图 3。

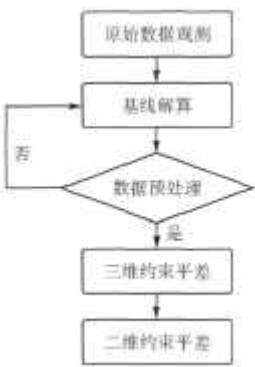


图 3 GPS 平面控制网数据处理流程示意

(1) 数据处理软件的选用

使用天宝商用软件(TBC)解算基线,相同时间段内的资料排除比例为0.9%。武汉大学研究开发的CosaGPS(5.21版)软件对网络进行了平差分析,对基线、同步环、异步环进行了分析。

(2) 复测基线检查

共有复测基线100条,较差最大值见表4。

表 4 重复基线观测值

起点	终点	Δ X (mm)	Δ y (mm)	Δ Z (mm)	S (m)	限差/较差 (mm)	结论
JM602-2	JM501	76.1222	132.8287	-30.6260	156.1282	28.6226	合格
		76.1084	132.8654	-30.5898	156.1456	17.4020	

本次平面控制网复测所有重复基线向量较差均满足 $\leq 2\sqrt{2}\sigma$ 的规范限差要求;本次平面控制网复测重复基线向量较差检验合格。

(3) 基线向量异步环闭合差

本次平面控制网复测共测量GPS闭合环247个,最大闭合差之环为:

最大异步环闭合差 表 7.1.2-2

闭合环	X限差 (mm)	Y限差 (mm)	Z限差 (mm)	S限差 (mm)	S (mm)	结论
	X闭合差 (mm)	Y闭合差 (mm)	Z闭合差 (mm)	S闭合差 (mm)		
JM602-2 ~ G1-30 ~ G1-31	49.80	49.80	49.80	86.26	3098.3737	合格
	30.70	-41.20	-35.30	62.34		

本次平面控制网复测所有异步环闭合差均满足规范限差要求;本次平面控制网复测异步环闭合差检验合格。

(4) 无约束平差

在北京地方坐标系下,以GPS控制点“G1-27”为位置基准进行GPS基线向量网的空间三维自由网平差,从而得到自由网平差后各点的北京地方坐标系下的三维空间直角坐标,基线向量网自身的内符合精度高,基线向量没有明显的系统误差和粗差,基线向量网的质量是可靠的,在此基础上可以进行下一步的二维约束平差。

平面控制网复测三维无约束平差精度统计 表 7.1.2-3

北京地方坐标系					
基线向量残差					
起点	终点	V_DX(cm)	V_DY(cm)	V_DZ(cm)	限差 (cm)
G1-39	JM611	0.90	-3.20	-2.40	3.62

由表7.1.2-3得知,本次平面控制网复测三维无约束平差的基线向量残差最大值的绝对值为3.20cm $\leq$ 限差3.62cm,所有基线边均满足《公路勘测规范》中基线边向量残差 $\leq \sqrt{3}\sigma$ 的精度要求,本次平面控制网复测三维无约束平差合格。

(5) 约束平差

为保证控制网能够顺接,本次平差采用相邻标段共用点G1-01、G1-06、G1-12、G1-17、G1-25、G1-29、G1-38、G1-39、G[2]11、G[2]12、G[2]17的坐标作为约束平差依据进行二维约束平差,从而得到各GPS点最终的平面坐标和精度信息。

平面控制网复测二维约束平差精度统计 表 7.1.2-4

北京地方坐标系 中央子午线 116.21009065 (° ' ")					
基线边相对精度					
起点	终点	S (m)	MS (mm)	MS: S	备注
JK1	G1-12	82.3690	0.14	1/57000	最弱边
基线边方位角相对中误差					
起点	终点	方位角 (DDD.MMSS)	中误差 (")		备注
JK1	G1-12	354.22239	3.68		最大值
相邻点的相对中误差 (mm)					
起点	终点	mdX(cm)	mdY(cm)		备注
XJ1	XJ	0.23	0.20		最大值

由表 7.1.2-4 得知，本次平面控制网复测二维约束平差的最弱边精度为 1/57000，所有基线边均满足《公路勘测规范》中最弱边边长相对中误差 $\leq 1/35000$ 的精度要求；本次平面控制网复测二维约束平差合格。

结语：

山区由于地形复杂，高差大，受气候条件的制约，以往采用常规的测量方式进行高精密平面控制网的布置，大多依靠全站仪。常规的导线、边角控制网的测控需要在各个控制点位之间相互连通，从而极大的制约了网络的布置。这是一种工作量大、耗时多、难以实现的传统测量技术。本论文所讨论的 GPS 平面控制网测量技术应用于本工程中，在四天内即可测量完成，节省人力物力，大大提升了工作的工作速度，充分体现了 GPS 技术与传

统方法相比的优势。

参考文献：

- [1](GB/T18314 — 2009) GPS 测量技术规程[S]. 中国标准出版社，2009.
- [2]交通部第三航务工程勘察设计院.(JTG_C10 — 2017)公路勘测规范 [S]. 2017.
- [3](GB50026 — 2007)工程测量规范[S]中国计划出版社，2017.
- [4]谢国军，王劲松，黄锦文.GPS 在广武高速公路上建设 GPS 平面控制网的实施.[J]. 交通标准化，2004 (6)： 81-83.
- [5]谭军，郭秦 . 复测平面控制网在高速公路上的重要作用[J]. 居舍，2018 (29)： 186