

# 长线路测量坐标系建立与 GPS 的应用

俞建康<sup>1</sup>, 蒋惠新<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 浙江省统一征地事务办公室勘测中心, 杭州 浙江 310007; <sup>2</sup> 江苏省地质勘查技术院, 南京 江苏 210008)

**摘要** 本文以沪昆高铁浙江段前期勘测测定界控制测量为例, 阐述坐标系选择的过程, 通过对投影变形值的分析, 选择适宜的坐标系, 并建立了该线路的 GPS 平面控制网, 满足勘测测定界测量工作的要求。

**关键词** GPS 控制网 沪昆高铁 独立坐标系 投影变形分析

中图分类号: P226 文献标识码: B 文章编号: 1672- 4097(2011)03- 0034- 03

## 1 引言

国家重点工程沪昆高铁长度大, 东西跨度大。浙江段从杭州东站枢纽引出后, 通过在建的铁路新桥跨越钱塘江, 经杭州市萧山区、绍兴市的绍兴县和诸暨市、金华市的浦江县、义乌市、金东区、兰溪市、婺城区和衢州的龙游、衢江、柯城, 至浙赣省界, 线路走向与现有的沪昆铁路基本平行, 杭长铁路客运专线浙江段呈东北-西南带状走向, 浙江省境内长度为 293 km。测区范围东经 118° 29' 58" - 120° 18' 42", 北纬 28° 40' 22" 至 30° 12' 18"。

由于浙江测区范围, 东西跨度大, 如何克服边长投影, 是建立平面控制测量中首先要解决的难题。适宜的坐标系, 不但可以减少大量繁琐数据的计算, 而且也能极大提高前期勘测测定界成果精度。建立线路勘测平面控制的主要方法有导线测量、三角测量和 GPS 测量等方法, 其中 GPS 速度快、精度高、效率高已经普遍用于生产实践中。

因此本文结合浙江段勘测测定界工程实际, 讨论了平面坐标系的选取和 GPS 控制测量, 为相应的工程提供参考。

## 2 坐标系的选择

《工程测量规范》(GB50026-2007) 中规定: 工程平面坐标系的选择应以投影长度变化不大于 2.5 cm/km, 也就是要求控制网边长归算到参考椭球面上高程归化和高斯正投影距离归化的总和(即长度变形)应小于 1/40000。

### 2.1 边长投影变形分析

根据球面上的长度, 将其拉长改化为高斯平面上的距离叫做距离改化, 其值为  $\Delta s_1$ , 则:

$$\Delta s = \frac{1}{2} \left( \frac{y_m}{R_m} \right)^2 s_0 \quad (1)$$

式中  $s_0 = s + \Delta s_1$ , 即  $s$  为投影归算边长,  $y$  为归算边两端点横坐标平均值,  $R$  为参考椭球面平均曲率半径( $R$  的概值为 6371 km)。

由 (1) 得投影边长的相对投影变形为

$$\frac{\Delta s_1}{s_0} = \frac{1}{2} \left( \frac{y_m}{R_m} \right)^2 \quad (2)$$

实测边长归算到参考椭球面上的变形影响, 其值为  $\Delta s_2$ , 则

$$\Delta s_2 = - \frac{H_m}{R} \quad (3)$$

式中  $H_m$  为归算边高出参考椭球面的平均高程,  $s$  为归算边的长度,  $R$  为归算边方向参考椭球法截弧半径。归算边长相对变形

$$\frac{\Delta s_2}{s} = - \frac{H_m}{R} \quad (4)$$

依 (3) 计算每千米长度投影变形值, 依 (4) 计算不同高程面上的相对变形。沪昆高铁线路整体走势东西方向, 各区段实测边长变形值见表 1。

表 1 每千米长度投影变形值

段(里程, km)	平均高程(m)	一化改正(mm)	备注
0-25	15	- 2.4	萧山段
25-62	30	- 4.7	萧山、诸暨
62-102	40	- 6.3	浦江、诸暨
102-149	80	- 12.6	义乌
149-203	50	- 7.9	金华市
203-256	70	- 11.0	衢州
256-293	90	- 14.1	江山

从上表中可见  $\Delta s_2$  是负值, 表明将地面实测长度归算到参考椭球面上, 总是缩短的;  $\Delta s_2$  的绝对值与  $H_m$  成正比, 随着  $H_m$  增大而增大。

整个测区实测边长归算到参考椭球面上的变形  $\Delta s_1$ , 最大为 - 14.1 mm, 最小为 - 2.4 mm。

## 2.2 坐标系统的选择

### 2.2.1 国家统一3°带高斯正投影平面直角坐标系

采用国家3°带高斯正投影平面直角坐标系,其中中央子午线为120°。沪昆高铁最西端距离中央子午线最远的点为QD33,其Y坐标概略值为345697 m,该点距中央子午线距离为154.3 km。椭球面上长度投影到高斯面上为 $\Delta s_1$ ,实测边长归算到参考椭球面上的变形为 $\Delta s_2$ ,依据公式(1)和(3)可计算出 $\Delta s_1 = 0.29$  m,  $\Delta s_2 = -0.014$  m,该方案长度变形 $s = \Delta s_2 - \Delta s_1 = 0.286$  m,该数值远超规范规定。

### 2.2.2 任意带高斯正投影平面直角坐标系(采用穿过测区中央的经线为中央子午线)

测区地理位置为东经118°29'58"至120°18'42",测区的中央经线为119°22',采用119°30'为中央子午线。

测区最东端距离中央子午线最远点为HD07,其Y坐标为578116 m,该点距离中央子午线距离为78.1 km;最西端距离中央子午线最远点为QD33,其Y坐标为394560 m,该点距离中央子午线距离为105.5 km。依据公式(1)和(3)得出最西端投影长度变形 $s_1 = \Delta s_2 - \Delta s_1 = 0.116$  m,最东端长度变形为 $s_2 = \Delta s_2 - \Delta s_1 = 0.0715$  m。两端长度变形都超出规范限差。

### 2.2.3 依据测区位置将测区分为两段,采用穿过各段中央的经线为中央子午线的任意带高斯正投平面直角坐标系

根据线路走向采用将测区分为两段,分网平差。其中杭州市、绍兴市、金华市为网一,衢州市段为网二,见图1和图2。



图1 网一网图

图2 网二网图

网一东经度范围:119°21'50"–120°18'42",取其中央子午线为119°50'。经测算该段最东和最西端距离中央子午线的距离同为46.05 km,根据公式(1)得出两端参考椭球面上长度投影到高斯平面上的变形同为 $\Delta s_1 = 2.5$  cm/km,东端的长度变形为 $s_1 = \Delta s_1 - \Delta s_2$ ,此时最东端的 $s_2 \Delta = -0.0024$  m,该

端长度变形 $s_1 = 0.0226$  m/km。西端的长度变形为 $s_2 = \Delta s_1 - \Delta s_2$ ,此时最东端的 $\Delta s_2 = -0.01098$ ,该端长度变形 $s_1 = 0.01402$  m/km。

网二东经度范围:118°25'19"–119°21'50",取其中央子午线为118°53',经测算该段最东和最西端距离中央子午线的距离同为46.05 km,根据公式(1)得出两端参考椭球面上长度投影到高斯平面上的变形同为 $\Delta s_1 = 2.5$  cm/km。东端的长度变形为 $s_1 = \Delta s_1 - \Delta s_2$ ,此时最东端的 $\Delta s_2 = -0.01098$ ,该端长度变形 $s_1 = 0.01402$  m。

西端的长度变形为 $s_2 = \Delta s_1 - \Delta s_2$ ,此时最西端的 $\Delta s_2 = -0.01402$  m,该端长度变形 $s_2 = 0.01098$  m。该坐标系长度变形符合工程测量规范要求。

在网一和网二分带处设立公共点,分别计算两网坐标值,在应用中得以换算。

## 3 GPS控制网的建立

### 3.1 控制网的布设

控制网根据沪昆高铁线路走向采取分级布设、逐级控制的原则先布设GPS D级网,后在首级控制网基础上布设GPS E级控制或图根。

本控制网采用1980西安坐标系,投影面为80参考椭球。全线共布设113个点,为便于图坐标换算和地形图转换点位尽量利用项目公司提供的CPI控制点点位。起算点采用从浙江测绘档案馆搜集的15个C级GPS控制点和2个A级控制点。

### 3.2 外业数据采集

外业数据采集共采用10台GPS仪器进行观测,其中南方测绘公司生产的9600型GPS接收机6台,S86双频接收机4台。

外业数据采集按静态定位观测方法进行观测,基本要求如表2。

表2 GPS E级网外业作业要求

观测卫星高度角	有效观测卫星数	平均重复设站数	观测时段长度	数据采样间隔
$\geq 15^\circ$	$\geq 7$	$\geq 1.6$	$\geq 60$ m	15 s

外业观测过程中如果有的点不搬站,则不关机,以保证尽可能长的时段长度。丈量天线高度均从天线的三面丈量三次,在三次较差不大于3 mm的情况下,取平均值作为最后结果。结束观测时再丈量一次天线高度,以作校核。

## 4 GPS数据处理

### 4.1 数据传输

数据传输采用南方静态数据传输 Ver3.1 软

件,将每天观测的数据传输带计算机,并将外业记录的点名、点号、观测时间、观测时段、天线高等数据输入到计算机中,连同 GPS 接收机的数据一起进行备份。

#### 4.2 基线解算

采用 Sth Rinex 数据解算软件进行基线计算,基线解算模型采用双差固定解单基线解算模式。基线解算时属性一般采用缺省设置,通过选取卫星截至高度角为 15°,并剔除观测时间较短的卫星达到最优的解算结果。

#### 4.3 基线检核

进行 GPS 网平差,首先必须提取基线向量,构建 GPS 向量网。基线解算的质量检验包括同步环检核、异步环检核、复测基线检核。在 Sth Rinex 数据解算软件中提取基线计算结果,通过自动预处理,对同步环、异步环、复测基线进行检核,并对检核结果形成文本文件进行保存。

#### 4.4 三维无约束平差

三维无约束平差就是以 GPS 基线向量为观测值,以其方差阵之逆阵为权,进行平差计算。三维无约束平差是在 WGS-84 坐标系三维空间直角坐标系下进行,进行三维无约束平差是为了检查网内有无粗差,考察网本身的内符合精度以及基线向量之间有无明显的系统误差,方差因子是否符合客观实际精度。无约束平差反映了网的真实精度,在约束平差中,粗差基线均已剔除,方差因子得以改正,为约束平差提供一个经过多种检验的观测基线数据。

#### 4.5 二维约束平差

二维约束平差是对通过了预处理和三维无约束平差各项检核后的 GPS 向量网,在多个固定点的约束下进行平差。本网采用 17 个已知点进行约束平差。GPS D 级网最弱点中误差为 ±1.0 mm,最弱边相对中误差为 1/516681。

根据本文选取坐标系的方法,计算各个控制点

所在的高斯投影面的平面坐标。其中在分带边缘的控制点给出其在两个高斯平面坐标系的坐标。

#### 4.6 边长检验

对其中一些边长进行检测,检测结果见表 3。

表 3 边长检测结果表

检测边	反算边长 (m)	实测边长 (m)	较差 (m)	相对比例误差
HD07—HD08	1651.955	1651.975	- 0.02	1/ 82598
A011—SD09	1991.108	1991.126	- 0.018	1/ 110618
JD14—JD24	3552.890	3552.885	0.005	1/ 710577
QD07—QD09	3345.789	3345.768	0.021	1/ 159322
QD01—QD02	985.646	985.659	- 0.013	1/ 75819
QD10—QD11	1823.378	1823.364	0.014	1/ 130240

检测结果表明 GPS 点精度良好。

### 5 结束语

控制测量坐标系的选择基本原则是保证工程区域范围内的投影变形均足够小,使得外业观测的边长与根据坐标反算的边长相等,最大地方便外业施测和减少内业的改化。本文根据浙江段的实际情况,进行了任意的投影分带,将测区分成了两个投影带,很好地解决了边长变形问题。同时采用 GPS 静态定位技术建立经度跨度较大的控制网,最后平差结果表明精度良好,较好地完成了浙江段的勘测定界控制测量任务。本文取得的成果同时也对其他类似项目的勘测定界控制网具有一定的借鉴意义。

#### 参考文献

- 1 孔祥元,梅是义.控制测量学(第二版)[M].武汉:武汉大学出版社,2002.
- 2 周建郑.GPS 测量定位技术[M].北京:化学工业出版社,2010.
- 3 潘正风,程效军,成枢,等.数字测图原理与方法[M].武汉:武汉大学出版社,2009.

## Construction for Coordinate System of Long Route Survey and Application for GPS

YU Jian kang<sup>1</sup>, JIANG Hui-xin<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Unified Land Expropriation Affairs Office of Zhejiang Province Survey Center, Zhejiang Hangzhou 310007, China;<sup>2</sup> Jiangsu Geology and Minerals Prospecting Technical Institute, Nanjing Jiangsu 210008, China)

**Abstract** Take the boundary determination measurement of Zhejiang high speed railway section of Shanghai Kunming line as an example, this paper states the process on how to choose the coordinate system. Through the analysis on the values of projective deformation, an appropriate coordinate system is selected and a GPS plane control net is then established. The results show that the accuracy of this coordinate system could satisfy the survey requirement.

**Key words** GPS control network; Shanghai Kunming high speed railway; independent coordinate system; projection distortion analysis