

中华人民共和国行业标准

公路全球定位系统(GPS)测量规范

**Global Positioning System (GPS) Survey
Specifications for Highway**

JTJ/T 066—98

主编单位：交通部第一公路勘察设计院

批准单位：中华人民共和国交通部

施行日期：1998年12月1日

关于发布《公路全球定位系统 (GPS)测量规范》的通知

交公路发〔1998〕401号

各省、自治区交通厅,北京市交通局,上海市市政工程项目管理局,天津市市政工程局,重庆市交通局,部属公路设计、施工、科研、监督、监理单位,公路院校:

现批准发布《公路全球定位系统(GPS)测量规范》(编号JTJ/T 066—98),作为推荐性行业标准,自1998年12月1日起施行。

《公路全球定位系统(GPS)测量规范》由交通部第一公路勘察设计院主编,人民交通出版社出版。希望各单位在实践中注意积累资料,总结经验,及时将发现的问题和修改意见函告交通部第一公路勘察设计院,以便修订时参考。

中华人民共和国交通部

1998年7月2日

前 言

根据交通部 1994 年下达的编制《公路全球定位系统(GPS)测量规范》任务,成立了由交通部第一公路勘察设计院为主编单位的编制组。

公路部门是 80 年代后期开始运用 GPS 测量技术的,随着 GPS 技术的迅速发展和不断完善,其运用更加广泛。编制组在广泛调查研究、总结经验的基础上提出了利用全球定位系统建立公路工程 GPS 测量控制网的原则、精度和作业方法。

本规范共八章,主要内容有总则、术语、GPS 控制网分级与设计、选点与埋石、观测、基线解算与检核、GPS 控制网平差计算、成果验收与资料提交等。

本规范系首次编制,加之 GPS 技术发展十分迅速,在执行过程中,请各单位结合工程实践将发现的问题和建议及时函告交通部第一公路勘察设计院(地址:710068 西安市友谊西路 87 号;电话:029-7210249)。

主要起草人员: 陈永耀 黄文元 王溯先

1 总 则

1.0.1 为规定利用全球定位系统(Global Positioning System,缩写为 GPS)建立公路工程 GPS 测量控制网的原则、精度和作业方法,特制定本规范。

1.0.2 本规范是依据《公路勘测规范》(JTJ 061),并参照《全球定位系统(GPS)测量规范》(CH 2001—92)的有关规定,在收集、分析、研究和总结经验的基础上制定的。

1.0.3 本规范适用于新建和改建公路工程项目的各级 GPS 控制网的布设与测量。

1.0.4 采用全球定位系统测量技术建立公路平面控制网时,应根据《公路勘测规范》(JTJ 061)中规定的平面控制测量的等级、精度等确定相应的 GPS 控制网的等级。

1.0.5 GPS 测量采用 WGS—84 大地坐标系。当公路工程 GPS 控制网根据实际情况采用 1954 年北京坐标系、1980 西安坐标系或抵偿坐标系时,应进行坐标转换。各坐标系的地球椭球基本参数、主要几何和物理常数见附录 A。

高程系统根据实际情况可采用 1956 年黄海高程系或 1985 国家高程基准。

1.0.6 GPS 测量时间系统为协调世界时(UTC)。在作业过程中,附录 D“GPS 观测手簿”中的开、关机时间可采用北京时间记录。

1.0.7 GPS 接收机及附属设备均应按有关规定定期检测。

1.0.8 GPS 控制测量应按有关规定对全过程进行质量控制。

1.0.9 在提供 GPS 控制测量成果资料时,应执行保密制度中的有关规定。

2 术 语

2.0.1 基线 Baseline

两测量标志中心的几何连线。

2.0.2 观测时段 Observation session

GPS 接收机在测站上从开始接收卫星信号进行观测到停止观测的时间长度。

2.0.3 同步观测 Simultaneous observation

两台或两台以上 GPS 接收机同时对同一组卫星进行的观测。

2.0.4 同步观测环 Simultaneous observable loop

三台或三台以上 GPS 接收机同步观测所获得的基线向量构成的闭合环。

2.0.5 独立基线 Independent baseline

由独立观测时段所确定的基线。

2.0.6 独立观测环 Independent observable loop

由独立基线向量构成的闭合环。

2.0.7 自由基线 Free baseline

不属于任何非同步图形闭合条件的基线。

2.0.8 复测基线 Duplicate measure baseline

观测两个或两个以上观测时段的基线。

2.0.9 边连式 Link method by a baseline

相邻图形之间以一条基线边相连接的布网方式。

2.0.10 无约束平差 Non-constrained adjustment

在一个控制网中,不引入外部基准,或虽引入外部基准但并不产生控制网非观测误差引起的变形和改正的平差方法。

2.0.11 公路抵偿坐标系 Compensation coordinate system for highway

在建立公路控制网时,根据需要投影到抵偿高程面上和(或)以任一子午线为中央子午线的一种直角坐标系。

2.0.12 首级控制网 First class control network

为一个公路工程项目而建立的精度等级最高,并同国家控制点联测能控制整个路线的控制网。

2.0.13 主控制网 Main control network

为满足公路测设放线或施工放样,在首级控制网基础上加密并贯通整条公路的控制网。

2.0.14 天线高 Antenna height

观测时天线平均相位中心至测站中心标志面的高度。

3 GPS 控制网分级与设计

3.1 GPS 控制网分级

3.1.1 根据公路及特殊桥梁、隧道等构造物的特点及不同要求，GPS 控制网分为一级、二级、三级、四级共四个等级。

各级 GPS 控制网的主要技术指标规定见表 3.1.1。

表 3.1.1 GPS 控制网的主要技术指标

级别	每对相邻点平均距离 d (km)	固定误差 a (mm)		比例误差 b (ppm)		最弱相邻点 点位中误差 m (mm)	
		路线	特殊构造物	路线	特殊构造物	路线	特殊构造物
一级	4.0	≤ 10	5	≤ 2	1	50	10
二级	2.0	≤ 10	5	≤ 5	2	50	10
三级	1.0	≤ 10	5	≤ 10	2	50	10
四级	0.5	≤ 10		≤ 20		50	

注：① 各级 GPS 控制网每对相邻点间的最小距离应不小于平均距离的 1/2，最大距离不宜大于平均距离的两倍；

② 特殊构造物指对施工测量精度有特殊要求的桥梁、隧道等构造物。

3.1.2 GPS 控制网相邻点间弦长精度应按下式计算确定：

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (bd)^2} \quad (3.1.2)$$

式中： σ ——弦长标准差(mm)；

a ——固定误差(mm)；

b ——比例误差(ppm)；

d ——相邻点间的距离(km)。

3.2 GPS 控制网设计

3.2.1 GPS 控制网的布设应根据公路等级、沿线地形地物、作业

时卫星状况、精度要求等因素进行综合设计,并编制技术设计书(或大纲)。

3.2.2 GPS 的 WGS-84 大地坐标系统转换到所选平面坐标系时,应使测区内投影长度变形值不大于 2.5cm/km。根据测区所处地理位置及平均高程情况,可按下列方法选定坐标系:

3.2.2.1 当投影长度变形值不大于 2.5cm/km 时,采用高斯正形投影 3°带平面直角坐标系。

3.2.2.2 当投影长度变形值大于 2.5cm/km 时,可采用公路抵偿坐标系,并可选用下列方式:

(1)投影于 1954 年北京坐标系或 1980 西安坐标系椭球面上的高斯正形投影任意带平面直角坐标系。

(2)投影于抵偿高程面上的高斯正形投影 3°带平面直角坐标系。

(3)投影于抵偿高程面上的高斯正形投影任意带平面直角坐标系。

3.2.3 GPS 控制网采用公路抵偿坐标系进行坐标转换时,应确定以下技术参数:

- 参考椭球及其相应的基本参数;
- 中央子午线经度值;
- 纵横坐标的加常数值;
- 投影面正常高;
- 测区平均高程异常值;
- 起算点坐标及起算方位角。

公路抵偿坐标系所采用的椭球中心、轴向和扁率应与国家参考椭球相同。

3.2.4 公路路线过长时,可视需要将其分为多个投影带。在各分带交界附近应布设一对相互通视的 GPS 点。

3.2.5 同一公路工程项目中的特殊构造物的测量控制网应同该项目测量控制网一次完成设计、施测与平差。

当特殊构造物测量控制网的等级要求高时,宜以其作为首级

控制网,并据以扩展其它测量控制网。

3.2.6 当 GPS 控制网作为公路首级控制网,且需采用其它测量方法进行加密时,应每隔 5km 设置一对相互通视的 GPS 点。

当 GPS 首级控制网直接作为施工控制网时,每个 GPS 点至少应与一个相邻点通视。

3.2.7 设计 GPS 控制网时,应由一个或若干个独立观测环构成,并包含较多的闭合条件。

3.2.8 GPS 控制网由非同步 GPS 观测边构成多边形闭合环或附合路线时,其边数应符合下列规定:

——一级 GPS 控制网应不超过 5 条;

——二级 GPS 控制网应不超过 6 条;

——三级 GPS 控制网宜不超过 7 条;

——四级 GPS 控制网宜不超过 8 条。

3.2.9 一、二级 GPS 控制网应采用网连式、边连式布网;三、四级 GPS 控制网宜采用铰链导线式或点连式布网。

GPS 控制网中不应出现自由基线。

3.2.10 GPS 控制网应同附近等级高的国家平面控制网点联测,联测点数应不少于 3 个,并力求分布均匀,且能控制本控制网。当 GPS 控制网较长时,应增加联测点的数量。

路线附近具有等级高的 GPS 点时,应予以联测。

同一公路工程项目的 GPS 控制网分为多个投影带时,在分带交界附近应同国家平面控制点联测。

3.2.11 GPS 点需要进行高程联测时,可采用使 GPS 点与水准点重合,或 GPS 点与水准点联测的方法。

平原、微丘地形联测点的数量不宜少于 6 个,必须大于 3 个;联测点的间距不宜大于 20km,且应均匀分布。

重丘、山岭地形联测点的数量不宜少于 10 个。

各级 GPS 控制网的高程联测应不低于四等水准测量的精度要求。

4 选点与埋石

4.1 准 备

4.1.1 在编制技术设计书(或大纲)前应搜集与公路工程有关的以下资料:

——测区 1:10000~1:50000 地形图;

——既有各类控制测量资料,包括控制点的平面坐标、高程、坐标系统、技术总结等;

——测区的气象、地质、地形、地貌、交通、通信及供电等资料;

——路线走向、线位布设、路线设计数据及大型构造物位置等资料。

4.1.2 按技术设计书(或大纲)要求,进行 GPS 控制网技术设计。

4.2 选 点

4.2.1 选点员应按技术设计要求进行踏勘,并实地核对、调整、确定点位。点位应有利于采用其它测量方法扩展和联测。对需做水准联测的点位还应踏勘水准路线。

4.2.2 点位应选在基础稳定,并易于长期保存的地点。

4.2.3 点位应便于安置接收设备和操作,视野开阔,视场内不应有高度角大于 15°的成片障碍物,否则应绘制点位环视图。

4.2.4 点位附近不应有强烈干扰卫星信号接收的物体。点位距大功率无线电发射源(如电视台、微波站等)的距离应不小于 400m;距 220kV 以上电力线路的距离应不小于 50m。

4.2.5 点位应利于公路勘测放线与施工放样,且距路线中心线不宜小于 50m,并不大于 300m。对于大型桥梁、互通式立交、隧道等

还应考虑加密布设控制网的要求。

4.2.6 GPS 控制点需要设方位点时,其目标应明显,便于观测;与 GPS 点的距离不宜小于 500m,且与路线垂直。

4.2.7 GPS 控制网的点名应沿公路前进方向顺序编号,并在编号前冠以“GPS”字样和等级。当新点同原有点重合时,应采用原有点名。同一个 GPS 控制网中严禁有相同的点名。

4.2.8 选定的点位应标注于 1:10000 或 1:50000 的地形图上,并绘制 GPS 控制网选点图,填写 GPS 点之记,点之记格式见附录 B。

4.3 埋 石

4.3.1 各级 GPS 点的标石均应设有中心标志。中心标志用直径不小于 14mm 的钢筋制作,并用清晰、精细的十字线刻成直径小于 1mm 的中心点。标石表面应有 GPS 点名及施测单位名称。

4.3.2 GPS 点的标石可按附录 C 预制,亦可现场浇制。埋设时坑底应填以砂石并捣固密实,或现浇 20cm 厚的混凝土。埋设的 GPS 点应待沉降稳定后方可使用。

4.3.3 GPS 点位于山区岩石地段时,可利用基岩凿成坑穴,埋入中心标志并浇灌混凝土。标石顶端外形尺寸应符合附录 C 的规定。

4.3.4 GPS 点位于耕作地区时,应埋设于非耕种地上,并露出地面少许;当必须埋设于耕地时,标石顶面应埋设于耕种表土层以下。对冰冻地区,其埋设深度应大于该地区的冰冻深度。

4.3.5 GPS 点位于沙丘或土层疏松地区,应适当增大标石尺寸和基坑底层现浇混凝土的面积与厚度。

4.3.6 当有牢固永久性建筑物可用以设置标石时,可在建筑物上凿孔埋入中心标志并浇灌混凝土,其顶端外形尺寸应符合附录 C 的规定。

4.3.7 利用原有平面控制点时,应确认该点标石完好,并符合同级 GPS 点观测与埋石要求,且能长期保存。

- 4.3.8** 为特殊构造物而设计的一、二级 GPS 控制网可视需要埋设有强制对中装置的观测墩。
- 4.3.9** 所有 GPS 点在埋石处应设置明显的指向标志,并现场绘制交通路线略图,填写点之记。

5 观 测

5.1 技术指标

5.1.1 GPS 控制网观测基本技术指标规定见表 5.1.1。

表 5.1.1 GPS 控制网观测基本技术指标

项 目		级 别			
		一级	二级	三级	四级
卫星高度角 (°)		≥15	≥15	≥15	≥15
数据采集间隔 (s)		≥15	≥15	≥15	≥15
观测时间	静态定位 (min)	≥90	≥60	≥45	≥40
	快速静态 (min)		≥20	≥15	≥10
点位几何图形强度因子 (GDOP)		≤6	≤6	≤8	≤8
重复测量的最少基线数 (%)		≥5	≥5	≥5	≥5
施测时段数		≥2	≥2	≥1	≥1
有效观测卫星总数		6	6	4	4

5.2 观测计划

5.2.1 进入测区前,应事先编制 GPS 卫星可见性预报表。预报表应包括可见卫星号、卫星高度角、方位角、最佳观测星组、最佳观测时间、点位图形强度因子、概略位置坐标、预报历元、星历龄期等。

5.2.2 观测作业前,应根据接收机台数、GPS 图形、卫星可见性预报表编制观测计划。在实施中,应依照实际作业情况,及时作出调整。

5.2.3 观测作业后,应及时绘制联测草图以备后续作业调度使用。

5.3 作业要求

- 5.3.1 观测组必须执行调度计划,按规定的时间进行同步观测作业。
- 5.3.2 观测人员必须按照 GPS 接收机操作手册的规定进行观测作业。
- 5.3.3 天线安置在脚架上直接对中整平时,对中精度为 1mm。
- 5.3.4 天线安置在觇标上时,应将标志中心投影至基板上,然后在基板上对中整平。如觇标顶部对信号有干扰,则应卸去。
- 5.3.5 每时段观测应在测前、测后分别量取天线高。两次天线高之差应不大于 3mm,并取平均值作为天线高。
- 5.3.6 观测时应防止人员或其它物体触动天线或遮挡信号。
- 5.3.7 接收机开始记录数据后,应随时注意卫星信号和信息存储情况。当接收或存储出现异常时,应随时进行调整,必要时应及时通知其它接收机以调整观测计划。
- 5.3.8 在现场应按规定作业顺序填写观测手簿,不得事后补记。观测手簿的格式见附录 D。
- 5.3.9 经检查所有规定作业项目全部完成,且记录完整无误后方可迁站。
- 5.3.10 每日观测结束后,应将外业数据文件及时转存到磁盘上,不得作任何剔除或删改。磁盘应贴好标签,并妥善保存。

6 基线解算与检核

6.0.1 外业观测结束后应及时进行观测数据的处理和质量分析,检查其是否符合规范或技术设计要求。

6.0.2 基线解算中所需的起算点坐标,可按下列顺序选用:

——国家或其它等级高的 GPS 控制网点的既有 WGS—84 坐标值;

——国家或其它等级高的控制点转换至 WGS—84 后的坐标值;

——GPS 单点定位观测 2h 以上的平差值提供的 WGS—84 坐标值。

6.0.3 当 GPS 控制网点间距离小于 20km 时,可不考虑对流层和电离层的修正;当大于 20km 时,每时段应于始、中、终各观测一次气象元素,并采用标准模型加入对流层和电离层的修正。

6.0.4 采用 M 台接收机同步观测时,每一时段应解算出 $M(M-1)/2$ 条 GPS 基线向量边,并计算出该观测时间段的同步环坐标分量闭合差。当各基线的同步观测时间超过观测时间段的 80% 时,其闭合差值应符合式(6.0.4-1)~(6.0.4-4)的要求。

$$W_x \leq (\sqrt{n}/5) \cdot \sigma \quad (6.0.4-1)$$

$$W_y \leq (\sqrt{n}/5) \cdot \sigma \quad (6.0.4-2)$$

$$W_z \leq (\sqrt{n}/5) \cdot \sigma \quad (6.0.4-3)$$

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2} \leq (\sqrt{3n}/5) \cdot \sigma \quad (6.0.4-4)$$

式中: W ——同步环坐标分量闭合差(mm);

σ ——弦长标准差(mm);

n ——同步环中的边数。

当各基线同步观测时间为观测时间段的 40%~80%时,其同

步环坐标分量闭合差可适当放宽。

当各基线同步观测时间少于观测时间段的 40% 时,应按异步环处理。

6.0.5 由独立观测边组成的异步环的坐标分量闭合差应符合式(6.0.5-1)~(6.0.5-4)的规定:

$$V_x \leq 3 \sqrt{n} \cdot \sigma \quad (6.0.5-1)$$

$$V_y \leq 3 \sqrt{n} \cdot \sigma \quad (6.0.5-2)$$

$$V_z \leq 3 \sqrt{n} \cdot \sigma \quad (6.0.5-3)$$

$$V \leq 3 \sqrt{3n} \cdot \sigma \quad (6.0.5-4)$$

式中: V ——异步环坐标分量闭合差(mm);

σ ——弦长标准差(mm);

n ——异步环中的边数。

6.0.6 同一条边任意两个时段的结果互差,应小于 GPS 接收机标称精度的 $2\sqrt{2}$ 倍。

6.0.7 当网中有两个或两个以上已知点时,应按本规范第 6.0.5 条的规定计算已知点之间的附和闭合差。

6.0.8 当检查或数据处理时发现观测数据不能满足要求,应对成果进行全面的分析,并对其中部分数据进行补测或重测,必要时全部数据应重测。

7 GPS 控制网平差计算

7.0.1 平差时应首先以一个点的 WGS—84 系坐标作为起算依据进行无约束平差,检查 GPS 基线向量网本身的内符合精度、基线向量间有无明显的系统误差,并剔除含有粗差的基线边。

7.0.2 当用 M 台接收机同步观测时,应从计算出的 $M(M-1)/2$ 条 GPS 观测边中选取 $(M-1)$ 条边参加 GPS 网平差计算。选取的原则是:

- 独立的观测边;
- 网形构成非同步闭合环,不应存在自由基线;
- 必须不含明显的系统误差;
- 组成的闭合环基线数和异步环长度应尽量小。

7.0.3 在进行 GPS 控制网平差前,应根据实际需要选定起算数据和相应的地面坐标,并应对起算数据的可靠性及精度进行检查分析。

7.0.4 GPS 控制网可以采用三维约束平差或二维约束平差法。

约束平差时,约束点的坐标、距离或方位角可作为强制约束的固定值,也可作为加权观测值。

当采用三维约束平差时,可只假定一个点的大地高作为高程起算数据。

当采用二维约束平差时,应先将三维 GPS 基线向量转换为二维基线向量。

7.0.5 当 GPS 控制网分为多个投影带,且在分带交界附近联测国家控制点时,可分片进行平差。平差时应有一定数量的重合点,重合点位互差不得大于两倍的点位中误差。

7.0.6 平差结果应输出所选直角坐标系的三维或二维坐标、基线向量改正数、基线长、方位、点位精度、转换参数及其精度,并同时

输出单位权中误差及其它要求输出的内容。

7.0.7 为计算 GPS 控制网点的正常高,先利用已联测高程的 GPS 点正常高和经 GPS 控制网平差得到的大地高,求其高程异常值,然后采用拟合或插值等方法求其它 GPS 点的高程异常值和正常高。

7.0.8 计算结束后,应对所处理的数据及结果进行分析,并写入总结报告。

8 成果验收与资料提交

8.0.1 GPS 测量工作结束后应编写技术总结,并按《测绘产品检查验收规定》(CH 1002-95)和《测绘产品质量评定标准》(CH 1003-95)的要求进行验收。

8.0.2 GPS 测量工作技术总结应包括:

- 任务来源、项目名称、施测目的、施测单位及施测起讫时间,参加作业人员、工作量及作业简况;
- 作业依据及技术精度要求;
- 测区范围与位置、测区概况,测区已有测量资料情况及检核、采用情况;
- GPS 接收机型号、数量及相应的技术参数,仪器检验情况等;
- 坐标系统与起算数据的选定及相应的技术参数;
- 选点、埋石情况;
- 野外观测方案、作业中的问题、观测成果检查以及执行技术规定情况;
- 观测数据质量分析与野外检核计算情况;
- 数据处理软件以及处理过程说明;
- 平差计算和精度分析;
- 存在问题和需要说明的问题;
- 各种附表和附图。

8.0.3 成果验收的重点:

- 接收机检验方法和结果;
- GPS 控制网网形设计与联测图;
- GPS 控制网的布设应满足公路路线及大型构造物勘察设计与施工放样的要求;

- 起算数据和坐标系统的选择；
- 野外资料的检核与计算；
- 数据处理、平差过程及其成果精度。

8.0.4 提交的资料应包括：

- 测量任务书和技术设计书(或大纲)；
- GPS 接收机检验资料；
- 卫星可见性预报和观测计划；
- GPS 坐标成果表；
- 点之记；
- 观测手簿和存储介质(包括数据处理过程中生成的文件)；
- 平差计算资料和成果磁盘；
- GPS 联测示意图；
- 标注有 GPS 点位的 1 : 10000 或 1 : 50000 地形图；
- 所使用的原始资料；
- 技术总结和成果验收报告。

附录 A 大地坐标系有关资料

A1 WGS-84 大地坐标系的地球椭球基本参数、 主要几何和物理常数

A1.1 地球椭球基本参数

长半径 $a=6378137$ m

地球引力常数(含大气层) $GM=3986005 \times 10^8 \text{m}^3 \text{s}^{-2}$

正常化二阶带谐系数 $C_{2,0}=-484.16685 \times 10^{-6}$

地球自转角速度 $\omega=7292115 \times 10^{-11} \text{rads}^{-1}$

A1.2 主要几何和物理常数

短半径 $b=6356752.3142$ m

扁率 $\alpha=1/298.257223563$

第一偏心率平方 $e^2=0.00669437999013$

第二偏心率平方 $e'^2=0.006739496742227$

椭球正常重力位 $u_0=62636860.8497 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$

赤道正常重力 $\gamma_e=9.9703267714 \text{ms}^{-2}$

A2 1980 西安坐标系的参考椭球基本参数、 主要几何和物理常数

A2.1 参考椭球基本参数

长半径 $a=6378140$ m

地球引力常数(含大气层) $GM=3986005 \times 10^8 \text{m}^3 \text{s}^{-2}$

二阶带谐系数 $J_2=1082.63 \times 10^{-6}$

地球自转角速度 $\omega=7292115 \times 10^{-11} \text{rads}^{-1}$

A2.2 主要几何和物理常数

短半径 $b=6356755.2882$ m

扁率 $\alpha=1/298.257$

第一偏心率平方 $e^2=0.00669438499959$

第二偏心率平方 $e'^2=0.00673950181947$

椭球正常重力位 $u_0=62636830\text{m}^2\text{s}^{-2}$

赤道正常重力 $\gamma_e=9.780318\text{ms}^{-2}$

A3 1954年北京坐标系参考椭球的基本几何参数

长半径 $a=6378245\text{ m}$

短半径 $b=6356863.0188\text{ m}$

扁率 $\alpha=1/298.3$

第一偏心率平方 $e^2=0.006693421622966$

第二偏心率平方 $e'^2=0.006738525414683$

附录 B GPS 点之记

工程名称：

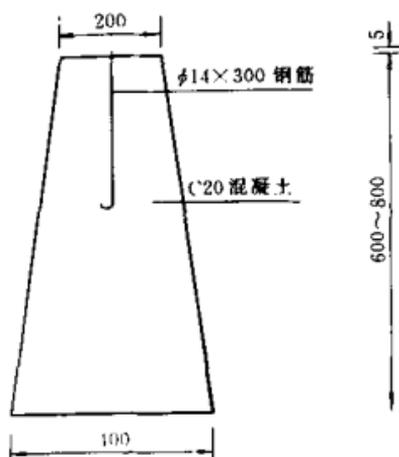
点 名		等 级	
所在地			
地 类		土 质	冻土深度
交通情况概述			交通路线略图
点位略图			埋石断面及类型图
选点情况	单 位		
	选点员		日 期
	是否需联测高程		建议联测等级
埋石情况	单 位		
	埋石员		日 期
	保管人及地址		
备注			

调制：

校核：

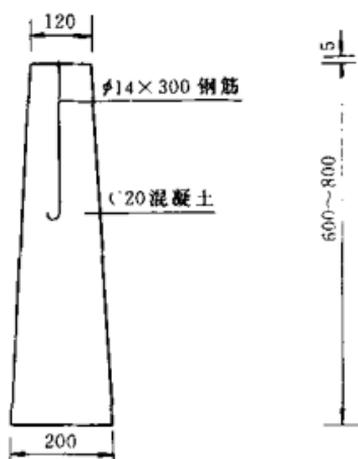
附录 C GPS 标石规格

C1 一、二级 GPS 点标石规格(附图 C1)



附图 C1(单位:mm)

C2 三、四级 GPS 点标石规格(附图 C2)



附图 C2(单位:mm)

附录 D GPS 观测手簿

工程名称：

点 名		等 级	
观测者		记 录 者	
接收机名称		接收机编号	
定位模式			
开机时间	h min	关机时间	h min
站时段号		日时段号	
天线高(mm)	测前		测后
			平均
日 期	存储介质编号及数据文件名		
时间	跟踪卫星号(PRN)	干 温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿 温 ($^{\circ}\text{C}$)
			气 压 (mb)
			测站大 地 高 (m)
			GDOP
经度('')		纬度('')	
备 注			

附录 E 本规范用词说明

一、本规范条文,要求执行的严格程度的用词,说明如下:

1. 表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词一般采用“必须”;

反面词一般采用“严禁”。

2. 表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词一般采用“应”;

反面词一般采用“不应”或“不得”。

3. 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词一般采用“宜”或“可”;

反面词一般采用“不宜”。

二、条文中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为:“应按……执行”或“应符合……要求或规定”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行的写法为:“可参照……”。

**附件 《公路全球定位系统
(GPS)测量规范》**

(JTJ/T 066—98)

条文说明

1 总 则

1.0.1 自 1980 年第一台商用 GPS 接收机问世以来,随着 GPS 工作卫星的不断入轨和 GPS 接收机性能的不断改进,GPS 测量技术已广泛应用于我国国民经济建设的各个部门。公路测设部门是 80 年代后期开始运用 GPS 测量技术的。由于公路建设的特点,无论是在测量原则,还是在测量精度和作业方法等方面均有别于其它行业。因此,为了将 GPS 测量技术更好地应用于公路工程建设,有必要制定本规范。

目前 GPS 测量技术在公路测设中主要用于建立公路工程测量控制网。最近推出 RTK 方法后虽可使运用范围扩大,但由于尚处于推广阶段,故本规范规定的应用范围是公路测量控制网的布设与测量。

作为建立公路测量控制网的主要手段之一,GPS 定位技术应用于公路建设的主要方法是静态相对定位及快速静态定位。因为这两种方法能够获得高精度的定位,故本规范规定了按静态相对定位及快速静态定位建立测量控制网的方法。

1.0.4 《公路勘测规范》(JTJ 061)中根据公路等级及所需的测量精度等规定了相应的控制测量等级。GPS 测量作为建立公路测量控制网的有效手段之一,为保证各规范间的衔接和一致,GPS 控制网的等级是根据《公路勘测规范》(JTJ 061)中相对应的具体规定确定的。

1.0.6 GPS 测量的时间系统采用协调世界时(UTC),而实际作业人员为调度方便起见,一般在记录时采用北京标准时(BST)。因此本规范规定在“GPS 观测手簿”中的有关观测作业计划及开关机时间可采用北京标准时(BST)。两者可用 $BST = UTC + 8h$ 式进行换算。

3 GPS 控制网分级与设计

3.1.1 GPS 控制网分级

GPS 测量技术具有精度高、灵活性强等特点,各等级的观测方法和观测时间没有很大差异,但为了和《公路勘测规范》(JTJ 061)相适应,根据公路勘测的特点,将 GPS 控制网分为一、二、三、四级共四个等级。

GPS 控制网与《公路勘测规范》(JTJ 061)中公路平面控制测量等级关系见表 3.1.1。

表 3.1.1 GPS 控制网与公路平面控制测量等级关系

GPS 控制网	公路平面控制测量	GPS 控制网	公路平面控制测量
一级	二等三角	三级	四等三角、导线
二级	三等三角、导线	四级	一级小三角、导线

GPS 控制网等级与主要技术指标中有关每对相邻点间的平均距离,是根据公路勘测中的实际情况确定的。如四级 GPS 控制网主要是直接作为高速公路的施工控制网,其平均距离规定为 500m 较为适宜;三级 GPS 控制网主要是作为高速公路的首级控制网,测设时还需在此基础上加密低一级控制网, GPS 控制网中的点作为加密低一级控制网的起算数据,其每对相邻点间的平均距离规定为 1km 较为适宜;一、二级 GPS 控制网,主要应用于大型桥梁、隧道等测量控制网的建立,其实际作业中要求相邻点间的平均距离较长。

表中固定误差和比例误差的规定是既考虑到施测控制网的等级,又结合目前 GPS 接收机发展的状况而确定的。

点位中误差是指 GPS 控制网中的点相对于联测的高等级控制点的相对点位误差。

3.2 GPS 控制网设计

3.2.2 为了使 GPS 控制网投影长度变形值小于 2.5cm/km, 必要时可采用公路抵偿坐标系。公路抵偿坐标系除可移动中央子午线外, 亦可选择自己的参考椭球。一般情况下该椭球的中心、轴向和扁率与国家参考椭球相同, 只不过其长半径有一改正量。

设某公路抵偿坐标系位于海拔高程为 h 的曲面上, 该地的大地水准面差距为 ζ , 则该曲面离国家参考椭球的高度 (h_n) 为:

$$h_n = h + \zeta \quad (3.2.2-1)$$

长半径的改正量为:

$$d_a = (a/N)h_n \quad (3.2.2-2)$$

式中: d_a ——椭球长半径的改正量(m);

a ——国家参考椭球的长半径(m);

N ——抵偿坐标系控制网原点在国家参考椭球中卯酉圈的曲率半径(m)。

则公路抵偿坐标系参考椭球的长半径 a_L 为:

$$a_L = a + d_a \quad (3.2.2-3)$$

GPS 定位成果是相对于 WGS-84 椭球而言的, 地方抵偿坐标系坐标是相对于某一地方椭球而言的, 因此必须将 GPS 定位成果投影成与国家大地测量控制网或地方独立控制网相匹配兼容。其要点是使 GPS 基线向量网与常规地面测量控制网原点重合, 起始方位一致, 这样使两者在方向和尺度上均具有可比性。两者在起始方向上的偏差可利用地面网原点至起始方位点的大地方位角 A_0 和 GPS 控制网相应方位上的大地方位角 A 求得。显然, 两坐标系在起始方向上的偏差对转换精度具有直接的影响。

坐标系转换关系的确定是根据两坐标系公共点的坐标来确定的, 其公式如下:

$$\begin{bmatrix} X_{is} \\ Y_{is} \\ Z_{is} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{it} \\ Y_{it} \\ Z_{it} \end{bmatrix} + CT \quad (3.2.2-4)$$

式中:

$$T = [\Delta X \quad \Delta Y \quad \Delta Z \quad K \quad \varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \varepsilon_z]$$
$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_{it} & 0 & -Z_{it} & Y_{it} \\ 0 & 1 & 0 & Y_{it} & Z_{it} & 0 & -X_{it} \\ 0 & 0 & 1 & Z_{it} & -Y_{it} & X_{it} & 0 \end{bmatrix}$$

$X_{is}, Y_{is}, Z_{is}; X_{it}, Y_{it}, Z_{it}$ ——公共点在两坐标系中的坐标;

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ ——两坐标系间的旋转参数;

K ——两坐标系间的尺度比。

影响转换参数求定精度的主要因素有:

- (1)地面网观测值与卫星网观测值不匹配;
- (2)地面网坐标精度和卫星网的精度;
- (3)公共点的分布情况等。

3.2.4 “必要时”是指东西方向的路线过长时,即使采用抵偿坐标系,仍然难以保证其投影长度变形值小于 2.5cm/km,为此,可将整个路线分成多个投影带。在分带附近布设一对相互通视的 GPS 点,是为使采用其它测量方法进行加密和扩展时两分带在该处的坐标能统一和唯一。

3.2.5 一项公路工程中往往分布着多种大型构造物,如桥梁、互通立交、隧道等,为保持 GPS 控制网精度的一致性,使构造物测量控制网与路线测量控制网协调一致,无论其等级如何,应一次设计、布设、平差。而对于特殊构造物,由于它们对测量精度要求高,故在进行 GPS 控制网平差时,可以先将特殊构造物按首级控制网平差,然后把首级控制网点作为固定点,对次级网平差。为提高 GPS 控制网的精度,也可将两级网联合进行统一平差。

3.2.6 GPS 控制网作为公路工程项目的首级控制网时,每隔 5km 应布设一对相互通视的 GPS 点,是为在采用其它测量方法进行加密时可布设成附和导线的形式。当 GPS 控制网直接作为施工控制网时,每一点至少应与一个相邻点通视,是为了便于施工放样顺利进行。

3.2.7 衡量 GPS 控制网测量质量高低的主要指标与其它测量方

法一样，同样是精度和可靠性。采用不同的布网方法，其总基线数、独立基线数、剩余独立基线数均不会相等，其同步环闭合条件、异步环闭合条件亦不相同，因而控制网的精度、可靠性等也不同。显然，闭合条件越多，其精度和可靠性越好，因此在布网时应尽可能使整个网中包含较多闭合条件。

3.2.8 评定基线处理结果质量的重要依据之一是非同步环闭合差。为避免基线过多时误差可能相互掩盖，所以组成非同步环的基线数不宜过多；根据经验与测算，对不同等级的基线数作了具体的规定。

3.2.9 所谓网连式布网，是指相邻同步图形之间有两个以上公共点相连接的布网方法；所谓边连式布网，是指相邻同步图形之间仅有两个公共点相连的布网方法；所谓铰链导线式布网是指沿路线方向，布设成具有多个结点且同步环与同步环相套的布网方法；所谓点连式布网，是指相邻同步图形之间仅有一个公共点连接的布网方法。显然依图形几何强度和可靠性指标由强到弱的布网方式分别为网连式、边连式、铰链导线式和点连式，据此规定了各级网的布网方式。

3.2.10 要求 GPS 控制网应同附近国家平面控制点联测，是将国家平面控制点坐标作为 GPS 控制网成果转换的起算数据，因此要求联测点应具有高的精度、一定的数量和密度。联测的点数必须是两个以上，其中一个作为 GPS 控制网在地面坐标系中的定位起算点，这两个点间的方位和长度作为 GPS 控制网在地面坐标系内的定向、长度的起算数据；为保证地面点的正确性和可靠性，至少还需一个点作为检核点，所以规定联测的国家平面控制点应不少于 3 个。当测区较大时，还应适当增加联测点的数量。根据国内外的研究和实践证明，应联测 3~5 个精度高、分布均匀的点；为了能使各个投影带分带平差，在分带附近还应联测一个平面控制点。

3.2.11 GPS 控制网进行高程联测的目的是使 GPS 控制网所测的大地高有效地转化为海拔高程。GPS 控制网所测高程是大地高，它是相对于数字表面——椭球面的高程，而我们实际使用的是

正常高,是相对于大地水准面的高程。大地水准面和参考椭球面之间存在着一个差值,称之为大地水准面差距。该差距是一个变化量,随地点的不同而不同。求大地水准面差距有两种方法,一是大地水准面模型法,目前使用较多的模型有美国的 Rapp Osu91A、英国的 osu91A 等;二是利用 GPS 网中的水准点,求其正常高与 GPS 大地高之差,然后对其它各点求出改正数。一般进行二次多项式拟合:

$$d_H = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 \quad (3.2.11)$$

式中: d_H ——GPS 点正常高与大地高之差(mm);

$a_i(i=0, \dots, 5)$ ——二次多项式系数;

x, y ——GPS 点的纵横坐标(m)。

为了使求得的正常高准确,至少应联测 6 个以上的水准点,如少于 6 个则只能进行线性改正。另外,水准点的分布应均匀并在测区的周边,以尽可能避免外推和保证内插的精度。

根据我国对 GPS 高程联测的经验,当水准点间距在 20km~30km 时,平原和丘陵地区高程精度可达到厘米级,山区也可达到 10cm~20cm。当测区内地形复杂时,则联测点的数量和分布要求较高,这是由于需要详细的大地水准面才能有效地解决 GPS 大地高往海拔高程转换的问题。至于联测点的高程精度问题,只要求达到不对求定大地水准面差距产生显著影响的程度即可。另外理论和试验表明,大地高误差除使高程方向产生的变形最大外,还使平面路线方向产生较大的变形。当高程基准误差等于 0.5m 时,进行三维约束平差造成 GPS 控制网的变形已大于网的观测误差,因此,对作为基准点的高程联测点的精度也应引起足够的重视。四等水准测量可达到要求并且较易施测,因此规定应以不低于四等水准测量的方法进行联测。

4 选点与埋石

4.2.4 GPS 卫星定位误差主要有三种原因:(1) GPS 信号的自身误差(包括 SA 技术带来的人为干涉误差),简称卫星误差;(2) GPS 信号的传播误差;(3)GPS 信号接收机的误差。对于 GPS 相对定位而言,关键在于传播误差,它是由电离层和对流层的时延误差以及多路径误差所致。对于前者在观测和数据处理时采用一定的措施可有所减弱,而多路径误差则与点位的选择相关,因此选择的点位附近不应有强烈干扰卫星信号接收的物体。

点位离开高压输电线路的距离除与输电线路的电压高低有关外,还与输电线路的走向、卫星分布象限等因素有关,比较复杂,实际作业过程中应尽量远离高压输电线路。

4.3.2 GPS 点埋设后,均需等待一段时间后方可认为“稳定”。时间长短与点的等级、点位埋设位置等情况有关,一般对冰冻地区至少要经过一个解冻期;位于软土地区至少要经过一个雨季。

4.3.4 GPS 标石埋设于非耕地时应露出地面少许,是为便于寻找;当埋设于耕种地时应埋设于耕种表土层以下,是为利于标石的保存。

5 观 测

5.1.1 一个完整的载波相位观测值应由整周未知数 N_0 、整周数部分 $\text{Int}(\varphi)$ 和不足一整周的部分 $\text{Fr}(\varphi)$ 等构成。其中不足一整周的部分可以通过相位差法准确确定，整周数部分亦可利用卫星间求差等方法对周跳进行探测及修复而得出正确的数值，因此能否正确确定整周未知数是定位精度的关键所在。

静态定位中之所以要观测较长时间，其主要目的就是為了正确确定整周未知数。

快速静态定位是利用初次平差中所提供的所有信息，如解矢量、相应的协因数阵、单位权方差等采用假设检验的方法进行基线解算。在短基线上进行快速静态定位时，采用双频接收机只需观测 1min 便能成功地确定整周未知数，单频接收机观测 7~8 颗卫星也能在几分钟内确定整周未知数。一般快速静态定位在已解出整周未知数的情况下观测 1min~2min 就可达到厘米级的精度，但为保险起见，给予一定的精度储存，对各级 GPS 控制网仍规定了较长的观测时间。当单频接收机采用快速静态定位方法施测 GPS 控制网时，其观测时间均应大于 15min。一级 GPS 控制测量主要应用于跨江河、海峡等施工时对测量精度具有特殊要求的桥梁、隧道等特殊构造物的测量控制网，可靠性及精度要求较高，而快速静态定位方法对直接观测基线不构成闭合图形，因此本规范不提倡使用快速静态定位方法建立类似的测量控制网。

6 基线解算与检核

6.0.2 基线解算时,必须固定一点作为起算点。该起算点在 WGS-84 坐标系中的坐标精度,将会影响基线解算结果的精度。根据研究,为达到 1ppm 的相对定位精度,要求起始点坐标的精度达到 $\pm 2.5\text{m}$;要达到 10ppm 的相对定位精度,则要求起始点的坐标精度为 $\pm 25\text{m}$ 。因此,为达到各类接收机的标称精度 $1\text{cm}+(1\sim 2)\text{ppm}$,基线解算时起始点坐标误差应小于 20m,即起算点坐标的精度水平应值得重视。鉴于此,本规范对基线解算时 WGS-84 坐标系中的参考点的获取方法作了具体的规定,目的是为了参考点能保证一定的精度。

当采用单点定位方法获取坐标值时,实践证明,要获得上述精度的坐标值,则定位时间至少要大于 2h。

6.0.3 电离层折射误差、对流层折射误差是影响 GPS 定位精度的两个主要因素。据国外资料报道,在太阳活动激烈的年份中,利用广播星历中给出的系数进行单频电离层折射改正,残余误差对较长基线的影响可达 3ppm,电离层折射中的残余误差的影响将导致无法准确确定整周未知数。特别是当基线长度较长(大于 20km~30km)时,电离层折射与对流层折射的影响将越来越明显,因此规定当控制网点间距离大于 20km 时,应加入对流层和电离层的修正。

一般情况下, GPS 控制网的边长不会超过 20km,但当 GPS 控制网与国家点联测或为加强 GPS 控制网的图形结构而进行图形间联测时,边长可能超过 20km,此时应加入对流层和电离层修正。

电离层和对流层的修正模型,不同的 GPS 接收机生产厂家所采用的标准模型各不相同,因此应采用随机购进的软件进行修正。

6.0.4 就理论而言,在同一观测时间段所形成的闭合环称为同步环。但在实际观测过程中,由于种种原因,如某台仪器未准时到位、观测过程中仪器或信号出现故障等,同一组观测并未能在同一时间段进行,严格地讲应为未同步观测。可是从另一方面讲,尽管观测时并未同步,但实际上毕竟还是形成了一个闭合环;这种闭合环是同步环还是异步环,这要看同步观测的时间比而定。本规范中所规定的40%、80%只是力求从量上作出具体的规定,实际作业中可视具体情况而定。

6.0.5 如何正确评定基线处理结果,是一个值得继续探讨的问题。基线处理结果的评定,本规范采用《全球定位系统(GPS)测量规范》(CH 2001—92)中的方法。实际作业过程中也可根据作业条件和GPS接收机的性能按接收机的标称精度来评定基线的处理结果,其闭合差限差为:

$$\Delta_{\text{限}} = 2\sqrt{n} \cdot \sqrt{e^2 + (d \cdot p)^2} \quad (6.0.5)$$

式中: $\Delta_{\text{限}}$ ——同步环或异步环闭合差;

n ——同步环或异步环中的基线数;

d ——同步环或异步环中基线的平均长度(km);

e, p ——GPS接收机标称精度的加、乘常数。

7 GPS 控制网平差计算

7.0.2 影响伪距定位结果的一个主要原因是使用了工作状态不佳的卫星数据,因而删除工作状态不佳的卫星数据是提高伪距定位精度的重要途径。如果对某一或某几个卫星在某段时间内的残差过大且有明显的系统误差,则表明这些卫星在这一时间段内的伪距质量欠佳,应予删除。

7.0.3 根据实践经验,起算数据在平差计算时起着至关重要的作用,但往往却是容易被忽略的问题。为了使 GPS 基线向量网能与地面网的成果兼容一致,必须将 GPS 基线向量归化到地面相应的坐标系中去。但 GPS 控制网的相对精度一般要比地面网的精度高,这一点可通过比较 GPS 控制网无约束平差结果的精度和固定地面已知点的 GPS 控制网约束平差结果的精度而明显看出;特别是当地面已知点误差较大或含有粗差时,将严重影响 GPS 控制网约束平差的精度。已知数据本身是肯定含有误差的,关键是误差的大小,如果已知数据对 GPS 控制网最后平差结果的影响在测量生产的精度要求范围之内,则认为所采用的起算数据的可靠性和精度是合理的。

7.0.4 本规范规定当采用三维平差时,一般只假定一个点的大地高作为起算数据,主要是考虑到我国目前三角点高程精度较低的原因。当所联测的三角点高程精度较高,不至于影响平差结果时则应尽可能地采用。

7.0.5 按误差理论,同精度两次测设同一点的互差限差为 $2\sqrt{2}$ 倍的点位中误差,考虑到公路设计施工精度的需要,将重合点位的互差限差定为两倍的点位中误差。