

中华人民共和国行业标准

# 全球定位系统(GPS)铁路测量规程

Code for GPS survey of railway engineering

**TB10054—97**

主编单位：铁道部第一勘测设计院

批准部门：中华人民共和国铁道部

施行日期：1997 年 7 月 1 日

1997 年 • 北 京

# 关于发布《新建铁路摄影测量规范》等 6 个铁路工程建设标准的通知

铁建函〔1997〕58 号

《新建铁路摄影测量规范》(TB10050—97)、《铁路工程地基土十字板剪切试验规程》(TB10051—97)、《铁路柔性墩桥技术规范》(TB10052—97)、《铁路房屋增层和纠倾技术规范》(TB10114—97)、《全球定位系统(GPS)铁路测量规程》(TB10054—97)和《铁路混凝土与砌体工程施工及验收规范》(TB10210—97)经审查批准,现予发布,自 1997 年 7 月 1 日起施行。现行《铁路混凝土及砌石工程施工规范》(TBJ210—86)、《铁路测量技术规则》(TBJ101—85)中的第二篇“航空摄影测量”和《铁路柔性墩桥设计暂行规定》(铁建〔1991〕108 号)同时废止。

以上规范由部建设司负责解释,由建设司标准科情所和铁道出版社共同组织出版发行。

中华人民共和国铁道部

一九九七年三月三日

# 目 次

1	总 则 .....	1
2	术 语 .....	2
3	基本规定 .....	4
3.1	坐标系和时间 .....	4
3.2	网的技术设计 .....	4
3.3	选点与埋石 .....	6
3.4	仪 器 .....	7
3.5	观 测 .....	10
3.6	数据处理 .....	13
3.7	技术总结 .....	17
4	铁路线路和航测外业控制测量 .....	19
4.1	一般规定 .....	19
4.2	技术要求 .....	19
4.3	数据处理 .....	21
4.4	成果验收与提交资料 .....	23
5	大型建筑物施工控制测量 .....	25
5.1	一般规定 .....	25
5.2	隧道控制测量 .....	25
5.3	桥梁控制测量 .....	26
5.4	数据处理 .....	27
5.5	成果验收与提交资料 .....	28
附录 A	大地坐标系说明 .....	29
附录 B	点之记与环视图 .....	31
附录 C	控制点标志注字办法 .....	33
附录 D	零基线法检验接收机内部噪声水平 .....	34

附录 E	超短基线法检验接收机内部噪声水平 .....	36
附录 F	相对定位法进行天线相位中心稳定性检验 .....	37
附录 G	接收机作业性能及不同测程精度指标测试 .....	38
附录 H	接收机检定场地的技术条件 .....	40
附录 J	作业调度命令 .....	41
附录 K	归心元素的测定与计算 .....	42
附录 L	测量手簿 .....	45
附录 M	高程转换的数学方法 .....	46
附录 N	直接投影法计算施工坐标 .....	51
附录 P	本规程用词说明 .....	54
附加说明	.....	55
条文说明	.....	57

# 1 总 则

**1.0.1** 为统一 **GPS** 铁路测量的技术要求，为不同勘测阶段和不同用途的测绘工作提供准确的测量成果，制订本规程。

**1.0.2** 本规程适用于利用全球定位技术 (**GPS**) 进行的铁路线路控制测量、航测外业控制测量、铁路大型建筑物 (桥梁、隧道) 施工控制网测量，不适用于机载 **GPS** 航测的测量工作。

**1.0.3** **GPS** 铁路测量除符合本规程的规定外，尚应符合国家和铁道部现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 基线 *Baseline*

由同步观测的 GPS 载波相位数据计算的两 GPS 点间的向量。

### 2.0.2 观测时段 *Observation Session*

测站上开始接收卫星信号进行观测到结束观测连续工作的时间段。

### 2.0.3 同步观测 *Simultaneous Observation*

两台或两台以上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*

三台或三台以上接收机同步观测所获得的基线向量构成的闭合环，简称同步环。

### 2.0.5 独立观测环 *Independent Observable Loop*

由独立观测得到的基线向量构成的闭合环，简称独立环。

### 2.0.6 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。

### 2.0.7 零基线 *Zero Baseline*

两台或多台接收机经过功率分配器接收来自同一天线的卫星信号所构成的基线。其理论值为零。

### 2.0.8 超短基线 *Mini-Baseline*

指边长 5~10m 的基线。

### 2.0.9 天线相位中心 *Antenna Phase Center*

天线相位中心是指微波天线的电气中心，其理论设计值应与天线几何中心一致。

### 2.0.10 接收机内部噪声水平 *Receiver Interior Noise Level*

接收机内部噪声指接收机通道间偏差、延迟锁相环偏差、码

跟踪偏差以及钟差等引起的测距和测相误差的综合反映。

**2.0.11 施工坐标系 *Construction Coordinate System***

供工程建筑物施工放样用的一种平面直角坐标系。其坐标轴与建筑物主轴线一致或平行，原点坐标值可以假定。

**2.0.12 工程平均高程面 *Engineering Mean Height-Level***

工程平均高程面是一个假定平面，该平面的高程等于工程的平均高程。该平面常作为施工坐标系的基准面。

**2.0.13 点联式 *Point Connected Method***

相邻同步图形之间仅有一个公共点相连。

**2.0.14 边联式 *Baseline Connected Method***

相邻同步图形之间有一条公共边相连。

**2.0.15 网联式 *Network Connected Method***

相邻同步图形之间有两个以上公共点相连。

## 3 基本规定

### 3.1 坐标系和时间

**3.1.1** GPS 测量应采用 WGS-84 大地坐标系。该坐标系的地球椭球基本参数，应按本规程的附录 A 采用。

**3.1.2** 当需要提供 1980 西安坐标系或 1954 年北京坐标系的坐标时，应通过坐标转换求得。两坐标系的参考椭球基本参数，应按本规程的附录 A 采用。

**3.1.3** 当需要提供施工坐标系或地方坐标系的坐标时，应具备下列技术参数：

- 1 测区参考椭球体基本参数；
- 2 测区中央子午线经度值；
- 3 测区平均高程异常；
- 4 工程或测区平均高程面的高程；
- 5 起始点坐标和起始方位角。

**3.1.4** GPS 定位获取的测点大地高转换为 1985 国家高程基准的高程所需的 GPS 点高程异常值，可根据不同的精度要求，用适当的数学模型推求。

**3.1.5** GPS 测量手簿应统一采用协调世界时 (UTC) 记录。

### 3.2 网的技术设计

**3.2.1** GPS 铁路测量按精度应划分为 B、C、D、E 四级。各级 GPS 网相邻点间弦长精度用式 (3.2.1) 表示，并应符合表 3.2.1 的规定。

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2} \quad (3.2.1)$$

式中  $\sigma$ ——标准差 (mm)；  
 $a$ ——固定误差 (mm)；



$b$ ——比例误差系数 (mm/km);

$d$ ——相邻点间距离 (km)。

GPS 测量的精度标准

表 3.2.1

级 别	$a(\text{mm})$	$b(\text{mm/km})$	级 别	$a(\text{mm})$	$b(\text{mm/km})$
B	$\leq 8$	$\leq 1$	D	$\leq 10$	$\leq 10$
C	$\leq 10$	$\leq 5$	E	$\leq 10$	$\leq 20$

**3.2.2 GPS** 网测量大地高的精度,固定误差  $a$  应符合表 3.2.1 的要求;比例误差系数  $b$  对于 B 级应符合表 3.2.1 所列的两倍要求, C 至 E 级仍应符合表 3.2.1 的规定。

**3.2.3 GPS** 网应视其目的,预期达到的精度,作业时卫星的可见性,成果的可靠性,以及参加作业的接收机台数,交通等后勤条件,按照优化设计的原则进行布设。

**3.2.4 GPS** 网应由一个或若干个独立观测环构成。当网的可靠性和精度要求较高时,宜采用三角形网或大地四边形网;当精度要求较低时,可采用四边形网、导线环、附和路线或者包括这些布网形式的混合网。一般不宜用单基线定点。

**3.2.5 GPS** 网同步图形之间的连接应采用边联式或网联式。当精度要求不高时,也可采用点联式布网,但应加强全网定位结果的检核,防止粗差出现。

**3.2.6 GPS** 网的布设应考虑利用常规测量方法进行线路定测、航测象控点测量、施工放样以及地形图测绘时的应用,在需要的地方, GPS 点应与 1~2 个相邻点通视。

**3.2.7 GPS** 网应与附近的国家大地点或者既有 GPS 点联测,联测点的总数不得少于三个,特殊情况下不得少于两个。当联测点数为两个时,应分布在网的两端;当联测点数为三个及其以上时,宜在网中均匀分布。

**3.2.8** 当利用 GPS 进行高程控制测量时, GPS 网点除利用国家等级水准点外,应根据精度需要和测区地形状况适当地联测高程点。联测高程点的高程可用等级水准测量(包括五等水准测量)或与其精度相当的其它方法测定。

### 3. 3 选点与埋石

#### 3. 3. 1 选点作业应符合下列要求；

##### 1 技术设计前应收集测区的有关资料；

1) 1:1 万~1:10 万的地形图；

2) 工程规划方案；

3) 既有控制测量资料，包括控制点的平面坐标、高程、坐标系统和高程系统、技术总结等资料；

4) 测区地质、气象、交通、通讯、供电等方面的资料。

2 控制网图上设计应根据测量任务书的要求，在研究既有资料的基础上进行。

##### 3 GPS 点的点位应符合下列要求；

1) 应符合工程测量的需要和技术设计的要求；

2) 应便于安置接收设备和操作；周围视野开阔，便于布设通视方向；对天空通视情况良好，高度角  $15^\circ$  以上不得有成片障碍物阻挡卫星信号；

3) 远离大功率无线电发射台（如电视台、微波站等），其距离不宜小于 200m；远离高压输电线，其距离不宜小于 50m；特殊情况下可缩短，但应使用抗干扰性能强的接收机观测；

4) 点位基础坚实稳定，易于保存，应便于利用常规测量方法扩展与联测；

5) 附近不应有强烈干扰卫星信号接收的物体；

6) 交通方便，宜于寻找和到达。

##### 4 选点人员应完成以下作业项目；

1) 在实地按要求选择和标定点位；

2) 实地绘制点之记（格式见本规程的附录 B）；

3) 点位周围有高度角大于  $10^\circ$  的障碍物时，应用罗盘仪测绘环视图（环视图形式见本规程的附录 B）；

4) 当所选点位需进行高程联测时，应实地踏勘高程联测路线，提出观测建议；

的接收机应定期检验，检验合格后方可使用。

**2 接收设备的全面检验应包括：**

- 1) 一般检视；
- 2) 通电测试；
- 3) 试测检验。

**3 一般检视应包括下列内容：**

- 1) 接收机及天线应匹配，主机及附件必须齐全；
- 2) 接收机及天线外观必须良好，各部件和附件应完好，需紧固的部件不得有松动和脱落；
- 3) 设备使用手册、后处理软件手册应齐全，软件磁盘必须有效。

**4 通电测试有关信号灯、按键、显示系统、仪器等工作状态必须正常，接收机锁定卫星的时间快慢、信噪比及信号失锁情况应符合厂方指标。**

**5 一般检视和通电测试完成后，还应进行以下测试检验：**

- 1) 接收机内部噪声水平的测试（其测试方法，见本规程的附录 **D** 和附录 **E**）；
- 2) 接收机天线相位中心稳定性检验（其测试方法，见本规程的附录 **F**）；
- 3) 接收机作业性能及不同测程精度指标测试（其测试方法，见本规程的附录 **G**。检定场地的技术条件，见本规程的附录 **H**）。

**6 接收机附件的检验应符合下列规定：**

- 1) 天线连接件（含天线与基座连接件、天线与单杆连接件）、各种电缆的型号及接头必须配套和完好；
- 2) 基座光学对中器、天线或基座或单杆的圆水准器、天线高量测杆（或卷尺）的长度应进行检校；
- 3) 电池、充电器功能必须完好；
- 4) 接收机数据传输接口配件及软件必须齐全，数据传输性能应正常。

的接收机应定期检验，检验合格后方可使用。

**2 接收设备的全面检验应包括：**

- 1) 一般检视；
- 2) 通电测试；
- 3) 试测检验。

**3 一般检视应包括下列内容：**

- 1) 接收机及天线应匹配，主机及附件必须齐全；
- 2) 接收机及天线外观必须良好，各部件和附件应完好，需紧固的部件不得有松动和脱落；
- 3) 设备使用手册、后处理软件手册应齐全，软件磁盘必须有效。

**4 通电测试有关信号灯、按键、显示系统、仪器等工作状态必须正常，接收机锁定卫星的时间快慢、信噪比及信号失锁情况应符合厂方指标。**

**5 一般检视和通电测试完成后，还应进行以下测试检验：**

- 1) 接收机内部噪声水平的测试（其测试方法，见本规程的附录 **D** 和附录 **E**）；
- 2) 接收机天线相位中心稳定性检验（其测试方法，见本规程的附录 **F**）；
- 3) 接收机作业性能及不同测程精度指标测试（其测试方法，见本规程的附录 **G**。检定场地的技术条件，见本规程的附录 **H**）。

**6 接收机附件的检验应符合下列规定：**

- 1) 天线连接件（含天线与基座连接件、天线与单杆连接件）、各种电缆的型号及接头必须配套和完好；
- 2) 基座光学对中器、天线或基座或单杆的圆水准器、天线高量测杆（或卷尺）的长度应进行检校；
- 3) 电池、充电器功能必须完好；
- 4) 接收机数据传输接口配件及软件必须齐全，数据传输性能应正常。

7 接收设备检验项目和检定周期应符合表 3.4.2 的规定。

接收设备检验规定

表 3.4.2

检 定 项 目	类 别	
	I	II
接收机一般检视	+	+
接收机通电测试	+	+
接收机内部噪声水平测试	+	+
天线相位中心稳定性检验	+	—
接收机作业性能及不同测程精度指标测试	+	—
接收机附件的检验	+	+

注：1. I 代表新购置的和修理后的 GPS 接收机的检定；

2. II 代表使用中的 GPS 接收机的定期检定；

3. II 类各项目的检定周期一般不超过一年；

4. “+” 代表必检项目，“—” 代表可检可不检项目。

### 3.4.3 接收设备维护应符合下列规定：

1 接收机应由专人保管。外业期间，不论采用何种运输方式，均要专人押运，并应注意防震、防潮、防晒和防尘。带有软盘驱动器的接收机或存储器在运输中应插入保护片或废磁盘。

2 接收机的接头和联接器应保持清洁，并定期用万用表进行导电检查。连接外电源时，应检查电压是否正常，电池正负极严禁接反。天线电缆不应有扭转，不得在硬度大的表面或粗糙面上拖曳。每次施测前应确认天线电缆、电源电缆工作正常。

3 接收机不使用时，应存放在有软垫的仪器箱内，仪器箱应放置于通风良好的阴凉处，并注意防潮、防霉。当箱内防潮剂呈粉红色时，应及时更换。

4 接收机在室内存放期间应每隔 1~2 个月通电检查一次。电池应在充满电的状态下保存，保存期间应注意检查剩余电量，当放电快结束时，应及时充电。

5 严禁任意拆卸接收机部件，如发生故障，应认真记录有关情况，交专业人员维修或更换部件。

## 3.5 观 测

**3.5.1** 各级 GPS 测量作业的基本技术要求应符合表 3.5.1 的规定。

各级 GPS 测量作业的基本技术要求 表 3.5.1

项 目 \ 级 别		B	C	D	E
静态测量	卫星高度角( $^{\circ}$ )	$\geq 15$	$\geq 15$	$\geq 15$	$\geq 15$
	有效卫星总数	$\geq 5$	$\geq 4$	$\geq 4$	$\geq 4$
	时段中任一卫星有效观测时间(min)	$\geq 30$	$\geq 20$	$\geq 15$	$\geq 15$
	时段长度(min)	$\geq 90$	$\geq 60$	$\geq 45$	$\geq 45$
	观测时段数	$\geq 2$	1~2	1~2	1~2
	数据采样间隔(s)	15~60	15~60	15~60	15~60
	PDOP 或 GDOP	$\leq 6$	$\leq 8$	$\leq 10$	$\leq 10$
快速静态测量	卫星高度角( $^{\circ}$ )	—	—	$\geq 15$	$\geq 15$
	有效卫星总数	—	—	$\geq 5$	$\geq 4$
	观测时间(min)	—	—	5~20	5~20
	平均重复设站数	—	—	$\geq 1.5$	$\geq 1.5$
	数据采样间隔(s)	—	—	5~20	5~20
	PDOP(GDOP)	—	—	$\leq 7(8)$	$\leq 7(8)$

**3.5.2** GPS 铁路测量应记录天气状况，B、C 级测量必须同时观测气象元素，D、E 级可不观测气象元素。气象元素的观测方法与要求及气象仪表的检定应符合现行的测绘行业标准《全球定位系统（GPS）测量规范》的规定。

**3.5.3** 观测计划的编制应符合下列规定：

1 开始观测前，应事先编制出卫星可见性预报表。预报表应包括可见卫星号、卫星高度角和方位角、最佳观测星组、点位几何图形强度因子等内容。

2 编制预报表所用概略位置坐标应采用测区中心位置的

经度和纬度。预报时间应选用作业期的中间时间。对长大干线,当作业期持续超过 30 天时,应按时间分段编制预报表。编制预报表所用的概略星历龄期不应超过 30 天,否则应重新采集一组新的概略星历。

3 根据卫星可见性预报表、参加作业的接收机台数、点位交通情况、点位环视图以及 GPS 网形设计,进行观测纲要设计,其内容应包括:

- 1) 确定测量模式;
- 2) 选定最佳观测星组;
- 3) 确定同步观测时段长度及起止时分,选定快速静态测量观测窗口;
- 4) 确定同步环和独立环;
- 5) 编制观测计划表,填写并下达作业调度命令(其格式和内容,见本规程的附录 J);
- 6) 依照实际作业的进展情况,及时调整观测计划和调度命令。

**3.5.4** 作业前准备工作应符合下列规定:

1 根据网的技术设计所确定的作业模式,在接收机或控制器上配置预置参数,参与作业的接收机所配置的参数应相同。

2 每天出工之前,必须检查电池容量是否满足作业要求;数据存储设备应有足够的存储空间;仪器及其附件必须齐全。

3 天线安置应符合下列要求:

1) 一般情况下,天线应利用脚架直接对中;当精度要求较低时,可用带支架的对中杆对中。

2) 需在觇标的基板上安置天线时,应先卸去觇标顶部,将标志中心投影至基板上,依投影点安置天线。

3) GPS 点上有木质寻常标,可在标下安置天线,但天线应尽量架低。钢质寻常标可先放倒觇标或采用偏心观测法观测(测定方法,见本规程的附录 K)。

4) 天线定向标志宜指向正北方向。

5) 天线圆水准气泡必须居中。

6) 雷雨季节架设天线时，要注意防雷击。雷雨过境时，应停止观测，并卸下天线。

### 3.5.5 观测作业应符合下列要求：

1 观测组必须严格遵守调度命令，按规定时间同步观测同一组卫星。当没按计划到达点位时，应及时通知其它各组，并经观测计划编制者同意对时段作必要调整，观测组不得擅自更改观测计划。

2 经检查，接收机的电源电缆、天线电缆等项连接正确，接收机预置状态和工作状态正常后，方能启动接收机开始观测。

3 每个时段观测前后，应各量取天线高一次，两次量测值互差不得大于 **3mm**，取平均值作为最后天线高。当互差超限时，应查明原因，提出处理意见并记入测量手簿。观测中，作业员应逐项填写测量手簿（格式见本规程的附录 **L**）。

4 接收机开始记录数据后，应及时将测站名、测站号、时段号、天线高等信息输入接收设备。使用专用功能键和选择菜单查看测站信息、接收卫星数、卫星号、各通道信噪比、实时定位结果、接收信号的类型及数量、存储器余量和电量余量等情况，并作必要记录。同时应注意仪器的警告信息，及时处理各种特殊情况。

5 一个时段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）；改变接收设备预置参数；改变天线位置；按关闭和删除文件功能键等。

6 静置和观测期间应防止仪器震动，不得移动仪器，要防止人员或其它物体碰动天线或阻挡信号。

7 在作业过程中，不应在天线附近使用无线电通讯。当必须使用时，对讲机应距天线 **10m** 以上，车载台应距天线 **50m** 以上。

8 经检查，调度命令已执行完毕，所有规定的作业项目已完成并符合要求，记录和资料完整无误，且将点位标识和觇标恢复原状后方可执行下一个调度命令。



### **3.5.6 外业测量记录的项目和内容应符合下列要求；**

1 观测记录的内容包括相位观测值、对应于载波相位观测值的 **GPS** 时间、**GPS** 卫星星历参数、测站和接收机初始信息（测站名、测站号、时段号、近似坐标及高程、天线及接收机编号、天线高）等；

2 测量手簿的记录内容应符合本规程的附录 **L** 的规定。

3 其它记录（如偏心观测记录等）；

### **3.5.7 GPS 测量记录的管理应符合下列要求；**

1 及时将当天观测记录结果录入计算机，并拷贝成一式两份；

2 数据文件备份时，宜以观测日期为目录名，各接收机为子目录名，把相应的数据文件存入其子目录下。存放数据文件的软盘应制贴标签，标明文件名、网名、点名、时段号和采集日期。测量手簿应编号；

3 制作数据文件备份时，不得进行任何剔除或删除，不得调用任何对数据实施重新加工组合的操作指令；

4 测量手簿必须在现场按作业顺序完成记录，严禁事后补记或追记，并按网装订成册，交内业验收。

## **3.6 数据处理**

### **3.6.1 数据处理软件应符合下列要求；**

1 **GPS** 测量各个阶段使用的处理软件（不管是商用的或者是科研软件）必须通过正式鉴定或检测。

2 数据处理软件验收项目应包括软件说明书、软件加密卡及功能、软件操作环境、软件的测试和评价。

软件测试应包括观测计划软件、静态定位和快速静态定位软件、网平差软件以及基准转换软件的测试。

软件评价应包括数据处理的精度、软件用户界面的友好性、自动批处理功能、数据增删、人工修复、周跳判断与修复、整周模糊度解算能力、相位残差图形化处理、网平差和基准转换的实用

性以及计算容量等。

### **3.6.2 原始观测数据的检核应符合下列要求；**

- 1 观测成果应符合调度命令和相应等级 **GPS** 测量作业的基本技术要求；
- 2 测量手簿记录项目应完整有效；
- 3 同步边处理结果检验和同步边构成的子网的成果检验，同步环闭合差和独立环闭合差应符合本规程 **3.6.4** 条的规定。

### **3.6.3 基线解算应符合下列规定；**

1 基线解算一般采用双差相位观测值和三差相位观测值。作为起算值的卫星坐标一般由广播星历确定，有条件时，宜用精密星历确定。

2 基线解算中起算点应有 **WGS-84** 坐标。起算点坐标精度：**B、C** 级网不宜低于 **20m**；**D、E** 级不宜低于 **25m**。

3 基线解算所需的起算点坐标可由 **GPS** 网的基准点用坐标向量传算求得。基准点的坐标应按以下优化顺序采用：

1) 国家 **A、B** 级 **GPS** 控制点或行业等级 **GPS** 控制点的 **WGS-84** 坐标；

2) 根据国家测绘主管部门提供的转换参数，将国家高等级控制点坐标转换为 **WGS-84** 的坐标值；

3) 2~3 小时 **C/A** 码伪距和广播星历绝对定位结果的 **WGS-84** 坐标的平均值。

4 快速静态模式测量的基线必须采用合格的双差固定解作为基线解算的最后结果。

5 各级 **GPS** 观测值均应加入对流层改正。单频接收机的观测值还应加入电离层改正。

### **3.6.4 基线向量的质量应符合下列要求；**

1 同一边任意两时段的结果互差，不应大于接收机标称精度的  $2\sqrt{2}$  倍。

2 利用批处理软件处理的基线，当基线质量因子满足软件规定时，可不进行同步环检验。否则对由手动处理的基线所组成

的同步环应进行闭合差检验，其闭合差应符合式 (3.6.4-1) 的规定。

$$\begin{aligned}
 w_x &\leq \frac{\sqrt{n}}{5} \sigma \\
 w_y &\leq \frac{\sqrt{n}}{5} \sigma \\
 w_z &\leq \frac{\sqrt{n}}{5} \sigma \\
 w &\leq \frac{\sqrt{3n}}{5} \sigma
 \end{aligned}
 \tag{3.6.4-1}$$

式中  $w_x$ 、 $w_y$ 、 $w_z$ ——坐标分量闭合差；  
 $w$ ——环的全长闭合差；  
 $n$ ——闭合环的边数；  
 $\sigma$ ——相应等级规定的精度（按环平均边长计算）。

3 由若干条独立边或采用不同数学模型解算的同步边组成的闭合环，其闭合差应符合式 (3.6.4-2) 的规定：

$$\begin{aligned}
 w_x &\leq 3\sqrt{n} \sigma \\
 w_y &\leq 3\sqrt{n} \sigma \\
 w_z &\leq 3\sqrt{n} \sigma \\
 w &\leq 3\sqrt{3n} \sigma
 \end{aligned}
 \tag{3.6.4-2}$$

4 当环中长、短边的长度相差较大时，宜按边长和等级规定的精度计算每条边的  $\sigma$ ，并按误差传播定律计算环闭合差的精度，以代替式 (3.6.4-1) 和式 (3.6.4-2) 中的  $\sqrt{n} \sigma$  计算环闭合差的限差。

5 重复观测的基线较差应符合式 (3.6.4-3) 的规定：

$$ds \leq 2\sqrt{2} \sigma \tag{3.6.4-3}$$

式中  $ds$ ——重复观测的基线较差；  
 $\sigma$ ——相应等级规定的精度（按边长计算）。

6 所有基线解应进行独立环检验,一般情况下,网中不得有不参加闭合差检验的基线存在。

**3.6.5** 当下列情况时应进行补测或重测;

1 外业有缺测、漏测,或数据处理后观测数据不符合本规程表 3.5.1 的规定时,应补测。

2 当检验发现基线向量质量不符合本规程 3.6.4 条规定时,经分析应对其中部分成果或全部成果进行重测。

**3.6.6** 数据后处理应符合下列规定;

1 数据后处理应包括以下基本内容;

1) 对原始观测数据进行编辑、加工与整理、分流,并产生各种数据信息文件。

2) 以同步观测区为单位进行独立基线解算与质量检核。

3) 在各项质量检核符合技术要求后,进行 **WGS-84** 坐标系中的无约束或最小约束平差,提供各测站点的大地坐标及其精度信息。

4) 以无约束平差确定的有效观测量为基础,在国家坐标系或地方坐标系下,进行三维约束平差或二维约束平差。作为约束条件的已知坐标、已知距离、已知方位角,可以作为强制约束的固定值,也可作为加权约束的可变值。平差结束应输出国家或地方坐标系的坐标、基线向量改正数、边长、方位角、转换参数及其精度信息。

5) 将基线向量及网平差结果拷贝在磁盘上。

2 无约束平差中,应对观测值先验中误差、单位权中误差、观测值改正数进行统计分析,确定异常观测值,并对其进行核查和分析,决定弃舍或重测。参加无约束平差的观测值不得有异常值存在。

3 约束平差基线向量改正数与无约束平差的同名基线改正数的较差 ( $dv_x$ 、 $dv_y$ 、 $dv_z$ ) 应符合式 (3.6.6) 的规定,否则,认为参与约束平差的已知坐标、已知距离、已知方位角的误差太大,应删除误差较大的约束值,直至符合式 (3.6.6) 的规定。

$$\begin{aligned} dv_z &\leq 2\sigma \\ dv_r &\leq 2\sigma \\ dv_s &\leq 2\sigma \end{aligned} \quad (3.6.6)$$

式中  $\sigma$ ——相应等级规定的精度（按基线长度计算）。

4 采用几何拟合法进行 **GPS** 高程转换，必须根据联测高程点的分布、测区地形状况、转换后高程的精度，选择适宜的数学模型进行。

拟合法高程转换数学方法，可按本规程的附录 **M** 选择。

**3.6.7** 计算完成后，应提供以下资料：

- 1 测区和各测站的信息；
- 2 观测值数量、时段起止时刻和持续时间；
- 3 基线质量检验与分析；
- 4 平差计算的坐标系统、高程系统、基本常数、起算数据、观测值类型和数据处理方法；
- 5 平差采用的约束条件、先验误差；
- 6 平差结果及精度。

### 3.7 技术总结

**3.7.1** **GPS** 测量任务完成后，应对网的技术设计和技术标准执行情况，作业方法、新技术应用，成果质量等进行分析研究和总结。

**3.7.2** 技术总结应符合下列要求：

- 1 概述部分应包括：
  - 1) 任务名称、来源、目的，测区概况，任务内容和工作量；
  - 2) 生产单位，生产起止时间，任务安排，组织概况和完成情况；
  - 3) 采用的基准、系统、投影方法、起算数据的来源与质量；
  - 4) 利用既有资料情况。

## **2 技术部分应包括：**

**1) 作业技术依据；**

**2) 仪器、主要设备与工具的使用及其检验；**

**3) 作业方法，特殊问题的处理，推广应用新技术和新方法的经验教训（含主要技术问题，采取措施及其效果）；**

**4) 保证和提高质量的主要措施，成果质量和精度的统计、分析与评价；**

**5) 对设计方案、作业方法和技术指标的改进意见和建议。**

## **3 附图、附表应包括：**

**1) 任务概况图；**

**2) 利用既有资料清单；**

**3) 成果质量统计表；**

**4) 上交资料清单。**

## 4 铁路线路和航测外业控制测量

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 铁路线路和航测外业控制测量除符合本章规定外,还应符合本规程第一章~第三章的规定。

**4.1.2** 铁路线路和航测外业控制网的精度应符合下列要求:

1 国家等级点加密测量的平面坐标精度应达到国家四等三角点的精度。

2 线路控制测量的平面坐标精度和高程精度应符合现行的《铁路测量技术规则》关于导线和五等水准的精度要求。

3 航测象控点的点位精度和高程精度应符合现行的《铁路测量技术规则》关于铁路航测象控点的精度要求。

**4.1.3** 加密国家等级点测量应按 *D* 级网的技术规定施测,线路控制测量和航测象控点测量应按 *E* 级网的技术规定施测。

**4.1.4** 根据任务情况和精度要求,控制网可采用分级布网法布设,也可在国家四等或以上等级控制点控制下采用越级布网法,直接测定线路控制点和航测象控点。

**4.1.5** 分级布网时,各级网可采用 **GPS** 定位技术施测,也可用 **GPS** 定位技术和常规测量方法联合法进行。

### 4.2 技术要求

**4.2.1** 加密国家等级控制点测量应符合下列要求:

1 布网设计应考虑线路初测导线、航测主导线、航测象控点 **GPS** 联测以及各专业的要求,统筹兼顾,一测多用。

2 加密网应沿线路方案按点对布设,宜布设成由四边形或大地四边形组成的带状网。点对间的距离为 **8~15km**,最长不应超过 **20km**。组成点对的两点应互相通视,其间距应大于 **400m**,特

殊情况下不宜短于 300m。

3 下列地段必须布设 **GPS** 点对；

- 1) 线路勘测起讫点附近；
- 2) 线路方案起讫点附近；
- 3) 隧道两端，特大桥和大型车站两端，大、中桥的一端；
- 4) 航空摄影测段重叠处；
- 5) 勘测分界处。

4 加密网应与不低于国家三等三角点的大地点联测。联测点的点数及分布应符合本规程 3.2.7 条的规定。当联测点的间距大于 100km 时，应在中间再联测一个大地点。联测点为两个时，应有数据证明其点位和精度的可靠性。

4.2.2 线路控制测量应符合下列规定：

1 控制网布设应符合下列要求：

1) 以 **GPS** 加密点或国家四等及以上等级控制点的坐标为起算数据布网施测。

2) 线路测量控制点的密度应根据地形状况、专业调查需要以及工程要求综合考虑。一般情况下，**GPS** 点的间距为 500~1000m，相邻点宜相互通视，至少应保证每隔 5km，困难时不应超过 10km 布设一对相互通视的 **GPS** 点。

3) 当采用 **GPS** 高程测量方法测量线路水准点时，布设控制点还应符合现行的《铁路测量技术规则》对线路水准点的分布要求。

4) 线路控制网应布设成以 **GPS** 加密点为起闭点的附合路线形式。需要时，也可布设成由若干个独立观测环构成的网。但严禁以单支点形式测定控制点。

5) 联测大地点的间距、数量及分布应符合本规程 3.2.7 条和 4.2.1 条的规定。

6) 联测高程点的精度不得低于四等水准点的精度。

7) 高山地区线路控制点的高程不宜用 **GPS** 高程转换求得。



2 外业观测可采用快速静态模式测量,也可采用静态和快速静态联合法测量。采用快速静态模式时,相邻基准站应相互联测,且应和 **GPS** 加密点或大地点组成附合路线。

**4.2.3** 航测象控点测量应符合下列要求:

1 以 **GPS** 加密点或大地点或航测主导线点或按本规程 **4.2.2** 条测定的线路测量控制点为控制布网施测。

2 象控点的位置和高程宜采用快速静态法测定。象控点至基准站的距离可根据接收机的性能在  $6\sim 10\text{km}$  间选择。快速静态测量的基准站应优先选用 **GPS** 加密点。当点位不适于观测时,可选择合适的主导线或象控点作为基准站,但相邻基准站应联测。

3 象控点的高程可由航测主导线点用 **GPS** 定位直接测定,也可用 **GPS** 高程转换方法获取。当采用 **GPS** 高程转换方法且航带宽度为  $2\text{km}$  左右时,在平原、丘陵地区每隔  $10\sim 20\text{km}$ ,山区  $6\sim 10\text{km}$  应联测一个铁路五等水准点;当航带较宽(多航带)联测高程点宜在测区周围和中间均匀分布,每个面积型测区联测高程点的个数不得少于 6 个,点间的密度在  $6\sim 10\text{km}$  间选择。

4 当象控点上不宜进行 **GPS** 观测时,可在适当的地方设置辅助点进行 **GPS** 观测,象控点的平面坐标和高程可根据辅助点用常规测量方法测定。

5 象控点在基线质量保证的前提下可用单基线测定。

### 4.3 数据处理

**4.3.1** 联测大地点和高程点应进行可靠性检验,并应符合下列规定:

1 联测大地点的可靠性检验可采用边长比较法进行。边长比较法应先进行 **GPS** 网无约束平差,将得到的 **GPS** 点间斜距经投影变换与边长的坐标反算值比较,其较差;三等点不应大于每公里  $\pm 12.5\text{mm}$ ,四等点不应大于每公里  $\pm 25\text{mm}$ 。

**GPS** 点间斜距的投影改正应按下列各式计算:

1) 地面倾斜距离归化至参考椭球面的计算

$$h_m \leq 6000\text{m} \quad \Delta h \leq 1000\text{m}$$

当边长为 30~100km;

$$S = D' \cdot \left[ 1 + \frac{D'^2}{24R_A^2} \right] + \frac{3 \cdot D'^2 h_m}{2R_A^2} \cdot \eta_1^2 \cdot t_1 \cdot \cos A_1 \quad (4.3.1-1)$$

当边长小于 30km;

$$S = D' \cdot \left[ 1 + \frac{D'^2}{24R_A^2} \right] \quad (4.3.1-2)$$

$$D' = \left[ D - \frac{\Delta h^2}{2D} - \frac{\Delta h^4}{8D^3} \right] \cdot \left[ 1 + \frac{h_m}{R_A} \right]^{-1} \quad (4.3.1-3)$$

式中  $S$ ——参考椭球面上的距离;

$D$ ——地面标志间倾斜距离;

$R_A$ ——测边一端点在测边方向上的椭球面法截线曲率半径, 计算时取  $R_A = 6370$  (km);

$h_m$ ——测边两个端点大地高的平均值即  $h_m = \frac{h_1 + h_2}{2}$ ;

$\Delta h$ ——测边两个端点大地高之差即  $\Delta h = h_2 - h_1$ ;

$\eta_1^2$ —— $\eta_1^2 = e'^2 \cdot \cos^2 B_1$ ;

$t_1$ —— $t_1 = \tan B_1$ ;

$A_1$ ——测边的大地方位角;

$B_1$ ——测边一端点的大地纬度;

$e'$ ——参考椭球第二偏心率。

## 2) 椭球面上距离化至高斯平面上的投影计算

$$S_o = S \cdot \left\{ 1 + \frac{y_m^2}{2R_m^2} + \frac{(\Delta y)^2}{24R_m^2} + \frac{y_m^4}{24R_m^4} \right\} \quad (4.3.1-4)$$

$$R_m = \frac{a \cdot \sqrt{1 - e^2}}{1 - e^2 \cdot \sin^2 B_m} \quad (4.3.1-5)$$

式中  $y_m$ ——测边两端点  $y$  坐标的平均值 (m), 精度为 0.1 (m);

$\Delta y$ ——测边两端点  $y$  坐标之差 (m);

$R_m$ ——相当于测边两端点纬度平均值的平均曲率半径

(m);

$a$ ——参考椭球长半轴 (m);

$e$ ——参考椭球第一偏心率;

$B_m$ ——测边两端点纬度的平均值;

$S_0$ ——高斯平面上的距离。

2 联测高程点的可靠性检验可采用残差统计检验法,即取若干个等级较高、可靠的联测高程点进行测区试拟合,由试拟合所确定的数学模型计算其余联测点拟合高程和残差,利用残差统计检验法(例如极差法等)剔除含粗差的联测高程点。

**4.3.2 WGS-84** 坐标系的坐标转换为 1980 年西安坐标系或 1954 年北京坐标系的坐标,应根据测区状况、对转换坐标的精度要求以及网中联测大地点配置情况,可分别采用 **GPS** 网和地面网的三维平差法、二维联合平差法,也可采用以联测大地点为约束条件的约束平差法和以基线向量为约束条件的基线向量约束平差法进行。各种平差法应在 **GPS** 网无约束平差的基础上进行。

**4.3.3** 高程转换应符合下列要求:

1 当使用 **GPS** 高程测量方法进行高程控制测量时,应根据测区地形状况、联测高程点分布、测区形状、转换后的高程精度要求,通过试拟合选定高程转换的数学模型。

2 线路控制带状测区可根据线路大致走向、联测高程点分布划分拟合区域。当采用直线或曲线拟合时,**GPS** 高程计算点到拟合区域首尾两个高程联测点连线的垂距不得大于 **1km**,否则应重新划分拟合区。每个拟合区的线路长度宜控制在 **20km** 以内。

3 航测平高点(高程点)的高程转换可根据航带宽度选用不同模型拟合。当航带宽度为 **2km** 左右时,宜选用线拟合法(直线、曲线);在多航带或似大地水准面变化较复杂地区可选用面(平面、曲面)拟合法拟合。拟合区域长度不宜超过 **20km**。

4 当测区地形变化和似大地水准面变化都较平缓时,可适当放宽拟合区域的长度。

## 4.4 成果验收与提交资料

### 4.4.1 成果验收应符合下列规定：

- 1 观测手簿、测量数据存储介质及其备份、调度命令等，内容与数量必须齐全、完整、足数，各项注记、整饰应符合要求。
- 2 接收机设备检验方法和结果应符合规定。
- 3 补测、重测及数据删除应符合要求。
- 4 原始观测数据检核计算必须正确。
- 5 数据处理软件选用及处理过程应符合规定。
- 6 各项精度应达到规定指标。

### 4.4.2 GPS 测量任务完成后提交资料应符合下列要求：

- 1 成果说明书应包括任务依据、技术标准、测量范围、测量日期、作业方法、数据处理方法、控制网测量精度、联测点坐标或高程检验、成果资料尚存在的问题及处理方法、其它需要说明的问题等。
- 2 控制网布置图应包括点位布设、联测点配置、线路方案、线路起讫里程及沿途主要地名、交通道路等。
- 3 同步环、独立环闭合情况及精度统计应包括  $W_x$ 、 $W_y$ 、 $W_z$ 、限差、环长、环相对精度等。
- 4 联测点（坐标、高程、边长）检测和检验资料。
- 5 控制网坐标成果应包括点号、平面坐标、坐标中误差、点位中误差、点对的坐标方位角及精度、平面边长及精度、高程及精度等。
- 6 控制点点之记和测量标志委托保管书。
- 7 原始观测数据文件、数据处理生成的磁盘拷贝、测量手簿及技术总结。

## 5 大型建筑物施工控制测量

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 大型建筑物施工控制网的建立与复测除应符合本章规定外，还应符合本规程第一章～第三章的规定。

**5.1.2** 隧道控制网的边长精度、洞内与洞外控制测量连接边的方位角精度、以及由洞外 **GPS** 测量引起的贯通误差应符合现行的《铁路测量技术规则》的规定。

**5.1.3** 桥梁控制网确定的桥轴线精度、边长精度应满足桥梁安装和桥墩交会对边长的精度要求，应符合现行的《铁路测量技术规则》的规定。

**5.1.4** 桥梁、隧道施工控制网的平面坐标应采用施工坐标系。隧道施工坐标系的坐标基准面应为隧道内线路平均高程面。桥梁施工坐标系的坐标基准面应为墩顶平均高程面。

**5.1.5** 桥、隧高程控制当前仍应以水准测量方法建立。有条件时，可对 **GPS** 高程测量方法进行试验、统计和分析，为全面利用 **GPS** 测量信息作准备。

**5.1.6** 利用 **GPS** 定位技术进行施工控制网复测，除应同精度观测外，控制网的位置基准、方向基准和尺度基准应与原测网相同。

**5.1.7** 桥梁和隧道施工控制网应以内部可靠性（发现粗差能力）和外部可靠性（不含粗差的测量误差对隧道贯通误差、对桥轴线长度误差的影响值）为目标进行优化设计。

### 5.2 隧道控制测量

**5.2.1** 测量设计之前应收集下列资料：

- 1 线路定测平面图及洞口附近地形图；
- 2 线路定测纵断面图；

3 辅助导坑布置图；

4 洞口施工场地布置图；

5 洞口定测控制桩、水准基点资料，隧道内和洞口附近的曲线资料；

6 隧道附近国家三角点、水准基点资料，其中含坐标系统、高程系统、成果数据及控制点在原网中的位置和精度；

7 隧道所在地区高程异常图。

#### **5.2.2 布网设计应符合下列要求：**

1 控制网应由洞口子网和子网间的联系网组成。洞口子网布设的控制点不得少于三个，其中至少一个点应为洞口投点。

2 布设洞口控制点时，应考虑用常规测量方法检测、加密、恢复控制点以及洞内引测的实际需要，洞口子网每个控制点至少应与子网的其它两个控制点通视。

3 洞外与洞内测量连接边的边长不宜短于 300m，连接边的两端控制点宜布置在与洞口高程基本等高的地方。

4 隧道 GPS 控制网宜布设成三角形网或大地四边形网。

**5.2.3** 根据布网设计和本规程 3.2.3 条的规定进行测量设计，按设计的观测精度估算的控制测量误差对贯通误差影响值，应符合本规程 5.1.2 条的规定。

**5.2.4** GPS 施工控制网应按测量设计的精度、隧道长度选择适当的精度等级施测，其精度指标和技术规定应符合本规程表 3.2.1 和表 3.5.1 的规定。

**5.2.5** GPS 施工控制网应采用静态测量模式观测。

**5.2.6** 联系网的基线向量观测宜在不同卫星组下进行。

### **5.3 桥梁控制测量**

**5.3.1** 进行测量设计前，除收集采用常规测量方法应收集的资料外，还应收集测区高程异常图。

**5.3.2** 控制网的布网设计应符合下列要求：

1 控制网应控制全桥（包括正桥和引桥）的长度和方向。

2 在正桥的轴线方向上,除桥位控制点外,每岸至少应设置 1~2 个方向控制点。

3 根据桥址附近地形情况,按照桥墩交会对控制点的位置要求,控制点应在两岸和桥轴线两侧布设。控制点至桥轴线的垂距不宜小于桥轴线的 0.6 倍。

4 控制网应由三角形或大地四边形组成,宜布设成以桥轴线为公共边的由多个四边形组成的网。引桥控制网应与跨河部分的控制网连成一个整体网。

5 控制网的相邻点间应力求相互通视。困难时,每个点至少应与两个控制点通视。

5.3.3 根据桥轴线长度、精度要求、布网设计,按表 5.3.3 确定 GPS 网的测量等级,进行测量设计。

桥梁控制网等级和精度 表 5.3.3

桥轴线长度 (m)	桥 轴 线 相 对 中 误 差		
	<1/200000	1/50000~1/200000	>1/50000
>2000	B	—	—
500~2000	—	$\sigma$	—
<500	—	—	D 或 E

5.3.4 GPS 控制网的基线向量应在不同的日期或不同卫星组下采用不同的天线高度进行观测。

5.4 数 据 处 理

5.4.1 铁路大型建筑物施工控制测量的数据后处理应在 GPS 网整体无约束平差的基础上进行。

5.4.2 进行无约束平差时,应选择一个 GPS 点为网的基准点。基准点一般选取工程始端轴线上的控制点,其 WGS-84 坐标测定应符合本规程 3.6.3 条的规定。

5.4.3 施工坐标可采用工程椭球直接投影法(见本规程的附录 N)或其它适用的方法计算。

5.4.4 GPS 控制网的测量误差对隧道贯通误差的影响应进行预

计，其值应符合现行的《铁路测量技术规则》的规定。

## **5.5 成果验收与提交资料**

**5.5.1** 成果验收除应符合本规程 4.4.1 条的规定外，还应符合下列要求；

- 1 控制网布设符合本规程的有关规定；
- 2 环闭合差、网的基准点精度符合规定；
- 3 平差中的粗差剔除合理，定权恰当，统计分析有效；
- 4 平差后的边长精度、方位角精度和点位误差符合测量设计的精度要求。

**5.5.2** GPS 控制测量完成后，应提交下列资料；

1 控制测量说明书，包括工程名称、任务依据、执行的技术标准、工程平面布置、布网概况、施测日期、测量单位、施测方法、使用的仪器、网基准的选择、投影面要素、平差方法、特殊情况及处理结果；

- 2 控制网布设图；
- 3 环闭合情况及精度；
- 4 控制网边长、方位角、坐标成果及其精度；
- 5 工程施工数据；
- 6 隧道贯通误差预计（桥梁控制测量无此项）；
- 7 对洞内测量或对桥梁施工放样的要求；
- 8 控制点点之记；
- 9 原始观测数据文件和数据处理生成文件的磁盘拷贝；
- 10 测量手簿和技术总结。

注：1. 1~8 款的资料提交施工单位；

2. 1~10 款的资料由施测单位存档。



## 附录 A 大地坐标系说明

### A. D. 1 WGS-84 大地坐标系的地球椭球基本参数

长半径	$a=6378137\text{m}$
短半径	$b=6356752.3142\text{m}$
扁率	$\alpha=1/298.257223563$
第一偏心率平方	$e^2=0.00669437999013$
第二偏心率平方	$e'^2=0.006739496742227$
地球引力常数 (含大气层)	$GM=3986005\times 10^3\text{m}^3/\text{s}^2$
正常化二阶带谐系数	$C_{20}=-484.16685\times 10^{-6}$
地球自转角速度	$\omega=7292115\times 10^{-11}\text{rad/s}$
椭球正常重力位	$U_0=62636860.8497\text{m}^2/\text{s}^2$
赤道正常重力	$\gamma_e=9.9703267714\text{m/s}^2$

### A. D. 2 1980 西安坐标系的参考椭球基本参数

长半径	$a=6378140\text{m}$
短半径	$b=6356755.2882\text{m}$
扁率	$\alpha=1/298.257$
第一偏心率平方	$e^2=0.00669438499959$
第二偏心率平方	$e'^2=0.00673950181947$
地球引力常数 (含大气层)	$GM=3986005\times 10^3\text{m}^3/\text{s}^2$
二阶带谐系数	$J_2=1082.63\times 10^{-6}$
地球自转角速度	$\omega=7292115\times 10^{-11}\text{rad/s}$
椭球正常重力位	$U_0=6263683\times 10\text{m}^2/\text{s}^2$
赤道正常重力	$\gamma_e=9.780318\text{m/s}^2$

### A. D. 3 1954 北京坐标系的参考椭球基本参数

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 点之记与环视图

### B.0.1 点之记

—————点之记

线路名称：

网名：

表 B

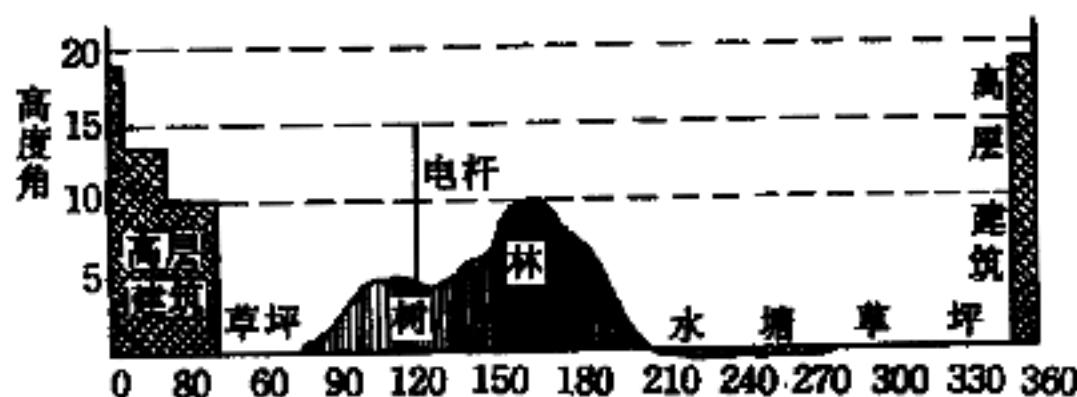
点 名		类 级		概略位置			
所 在 地				地 类		土 质	
交 通 路 线 图							
点 位 略 图							
选 点 (埋 石) 情 况				观 测 建 议			
单 位							
选点人员							
埋石人员							
备 注							

## B. 0. 2 环视图

### \_\_\_\_\_点测站环视图 (周围有高度角大于 $10^\circ$ 障碍物时绘制)

线路名称: \_\_\_\_\_

网名: \_\_\_\_\_

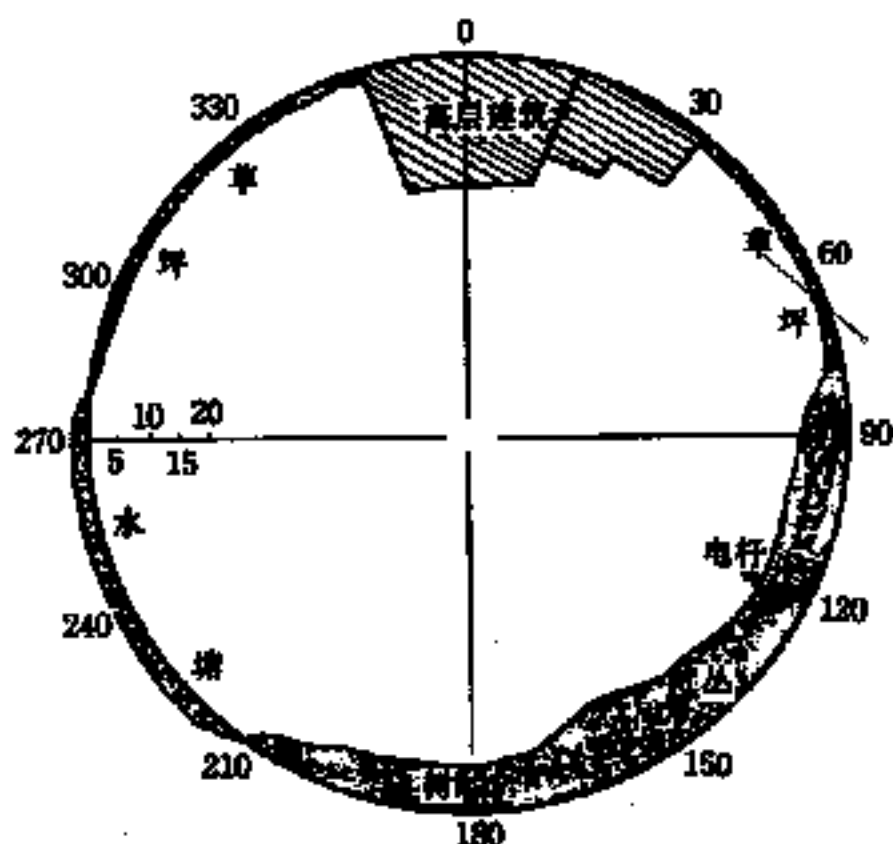


高度角大于  $18^\circ$  障碍物立面投影占总和的 %

绘图者: \_\_\_\_\_

日期: \_\_\_\_\_

图 B. 0. 2—1



高度角大于  $18^\circ$  障碍物水平投影占总和的 %

绘图者: \_\_\_\_\_

日期: \_\_\_\_\_

图 B. 0. 2—2

## 附录 C 控制点标志注字办法

各等级 GPS 点（象控点除外）的桩橛表面应压印如下标志（如图 C 所示）：

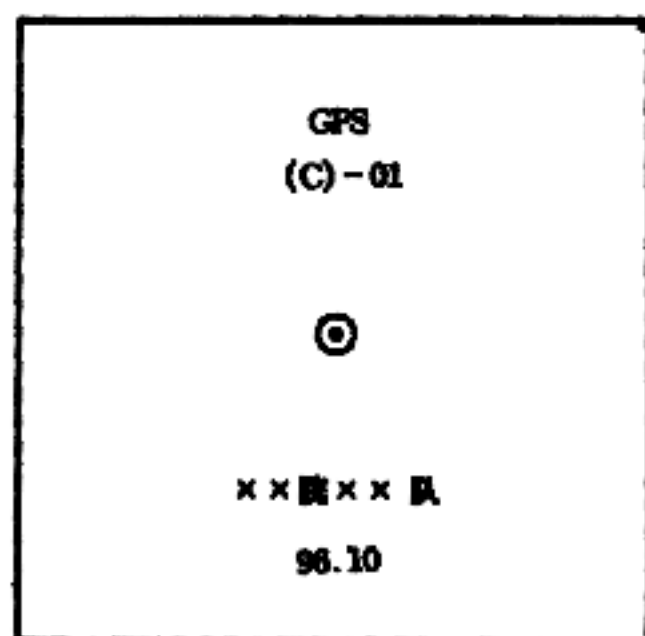


图 C GPS 点标志顶面示意图

- 注：1 ⊙——标志中心                      2 GPS——控制点类型  
3 (C)-01——表示等级和编号          4 ××院××队——测设单位  
5 96.10——测设时间

## 附录 D 零基线法检验接收机 内部噪声水平

**D. 0. 1** 零基线是采用“功率分配器”(简称功分器)将同一天线输出的信号分成功率、相位相同的两路或多路信号送到接收机,然后,将观测数据进行双差处理求得坐标增量,以检验仪器固有误差。

### **D. 0. 2** 零基线测试方法

1 选择周围高度角  $10^{\circ}$  以上无障碍物的地方安置天线,按图 D. 0. 2 连接功分器和接收机。

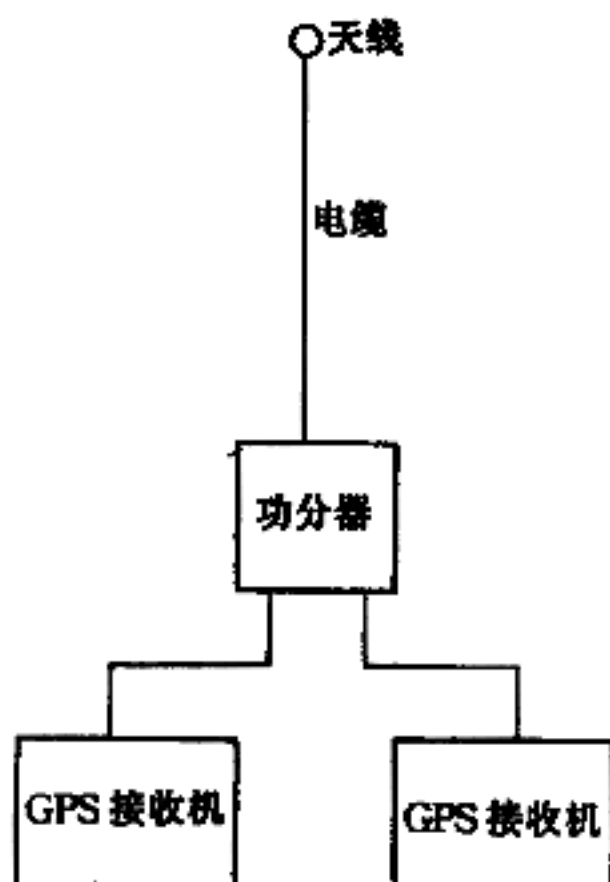


图 D. 0. 2

- 2 连接电源。
- 3 两台仪器同步接收 4 颗以上卫星,观测 1.5h。

4 交换接收机天线接口,按 **D. 0. 2. 3** 款要求再观测 **1. 5h**。

5 用静态定位软件计算坐标增量和基线长度,坐标增量及其误差应小于 **1mm**, 否则降低级别使用或送厂检修。

## 附录 E 超短基线法检验接收机 内部噪声水平

**E. 0. 1** 在无功分器的条件下，可采用超短基线法检验接收机内部噪声水平。

**E. 0. 2** 超短基线应选择在地面平坦，周围高度角  $10^{\circ}$  以上无障碍物，无强电磁波干扰及地面反射系数较小的地方。基线长度约 5~10m，用鉴定过的钢尺丈量。两台仪器的天线应对中、整平，对中误差应小于 1mm。天线定向标志指向正北方向，天线高量取至 1mm。

**E. 0. 3** 开机，同步观测 4 颗以上 GPS 卫星 1.5h。用静态定位软件计算的基线值与地面测量值之差（即内部噪声水平）应小于仪器固定误差，否则应降级别使用或检修。



## 附录 F 相对定位法进行天线相位 中心稳定性检验

**F. D. 1** 天线相位中心稳定性检验应在 GPS 检验场、标准基线或规定的比较基线场进行。

**F. D. 2** 检验时，将接收机天线分别安置在基线点上，精确对中、整平，天线定向标志指向正北方向。观测一个时段 (1.5h) 后，固定一个天线不动，其它天线按顺时针方向依次绕轴旋转  $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$  各观测一个时段。然后，原固定不动的天线，相对任意一个天线绕轴依次旋转  $90^\circ$ ，再测三个时段。

**F. D. 3** 观测结束后，用数据处理软件分别解算出各时段基线值，其最大互差不能超过相应等级的两倍固定误差，否则不宜用于该等级的测量作业。

基线计算成果

表 F

基线 名称	基线值 (m)	第一 时段 (m)	固定天线号			固定天线号			最大互差 $\Delta S$ (mm)
			第二时 段(m)	第三时 段(m)	第四时 段(m)	第五时 段(m)	第六时 段(m)	第七时 段(m)	

## 附录 G 接收机作业性能及不同 测程精度指标测试

**G. 0.1** 观测时段应根据基线长度、可接收卫星个数,按表G. 0.1选择。

**G. 0.2** 短基线直接比较法检验应在标准检定场上进行。接收机天线应严格对中整平,对中误差小于 1mm,天线指向正北方向,天线高量取至 1mm。可用两台或多台接收机同步观测。内业采用单频和双频分别计算。测试长度与基线标准长度的较差应小于仪器标准误差。仪器标准误差根据其标称精度按式 (3.2.1) 计算。

**G. 0.3** 中长边检验应采用基线比对法。无检定场时,可采用重复边检验或独立环检验。

1 采用基线比对法,40km 以上边长的测试长度与基线标准长度的较差应符合式 (G. 0.3-1) 的要求;

$$W_s \leq 2\sigma \quad W_x, W_y, W_z \leq 2\sigma \quad (\text{G. 0.3-1})$$

式中  $W_s$ ——测试长度与基线标准长度的较差;

$W_x, W_y, W_z$ ——坐标增量与已知基线坐标增量之差;

$\sigma$ ——相应等级的标准误差 (按基线长度计算)。

2 重复边检验要求至少观测两个时段,对于 40km 以上边长,两个时段的互差应符合式 (G. 0.3-2) 的规定;

$$W_s \leq 2\sqrt{2}\sigma \quad W_x, W_y, W_z \leq 3\sqrt{2}\sigma \quad (\text{G. 0.3-2})$$

式中  $W_s$ ——不同时段边长之差;

$W_x, W_y, W_z$ ——不同时段坐标增量之差。

3 对于构成多边形的各独立观测基线,应进行独立环检验。各坐标分量闭合差应符合式 (3.6.4-2) 的规定。

测试观测时段

表 G

时段长度(h) 卫星数				时段长度(h) 卫星数			
	4	5	6		4	5	6
基线长度(km)				基线长度(km)			
<5	2.0	1.5	1.5	30~40	3.5	3.0	3.0
5~15	2.5	2.0	2.0	>40	4.0	3.5	3.5
15~30	3.0	2.5	2.5				

## 附录 H 接收机检定场地的技术条件

- H. 0.1** 接收机检定场地应选择在交通方便、便于使用的地方。
- H. 0.2** 基线点布设应含有短边、中边和长边基线,以供不同测程检定使用。对于中长边基线宜组成网形,以便于进行闭合差检验。
- H. 0.3** 点位应选择在地质构造坚固、稳定、利于长期保存,周围没有强无线电信号源干扰,全方位高度角  $10^\circ$  以上无障碍物的地点。
- H. 0.4** 基线精度,中长边(40km)应达到  $10^{-7}$  量级,中短边应达到  $10^{-8}$  量级。

# 附录 J 作业调度命令

GPS 测量作业调度命令

表 J

编制日期		预报文件		调度员	
作业日期		到站时间		开机时间	
测站信息		近似坐标		仪器设备	
点名		纬度		接收机	
点名		经度		天线号	
时段号		高程		辅助设备	
机组编制	组长		注意事项		
	组员				
操作顺序					
序号	星组	北京时间	跟踪卫星的识别号(高度角、方位角)		
停测					

## 附录 K 归心元素的测定与计算

### K.1 归心元素的测定

#### K.1.1 GPS 方法

设  $P$  为大地点标志中心,  $A$  为已测的 GPS 观测点,  $B$  为 GPS 方位点, 如图 K.1.1 所示。

(1) 将 GPS 接收机天线安置在  $A$ 、 $B$  点上, 观测一时段后, 交换天线再观测一时段, 用静态定位软件计算  $A$ 、 $B$  点的 WGS-84 坐标。

(2) 水平角  $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$  用  $J_2$  经纬仪观测 4 测回, 观测限差应符合三等三角测量的要求。 $S_{AP}$ 、 $S_{BP}$  用红外测距仪测量 3 测回。

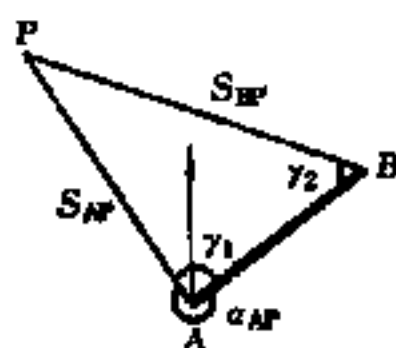


图 K.1.1

(3)  $PA$ 、 $PB$  的高差采用几何水准或光电三角高程测定。观测结束, 按 J.2 节公式计算归心元素  $\Delta x_A$ 、 $\Delta y_A$ 、 $\Delta h_{AP}$  与  $\alpha_{AP}$ 。

#### K.1.2 三角联测方法

当已知  $P$  点至某一方向的大地方位角, 可通过  $P$  点上对该方向与  $PA$  方向间夹角的观测值求出  $\alpha_{PA}$ , 进而得到  $\alpha_{AP}$ 。观测要求同 K1.1 的规定。

### K.2 归心元素的计算

K.2.1 已知  $A$ 、 $B$  两点的 WGS-84 空间直角坐标分别为  $X_A$ 、 $Y_A$ 、 $Z_A$  与  $X_B$ 、 $Y_B$ 、 $Z_B$ , 以  $A$  点坐标为原点, 求得  $B$  点在  $A$  点站心坐标系中的站心地平坐标。

$$\begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin B_A \cdot \cos L_A - \sin B_A \cdot \sin L_A & \cos B_A \\ -\sin L_A & \cos L_A & 0 \\ \cos B_A \cdot \cos L_A - \cos B_A \cdot \sin L_A \sin B_A \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} \quad (\text{K. 2. 1-1})$$

式中  $B_A = \arctan \left( Z_A / \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} \right)$

$$L_A = \arcsin \left( Y_A / \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} \right)$$

归心元素  $\Delta X_A$ 、 $\Delta Y_A$ 、 $\Delta h_{AP}$ 、 $\alpha_{AP}$  以下式计算：

$$\alpha_{BA} = \arctan (Y_B / X_B) \quad (\text{K. 2. 1-2})$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{BA} + (360^\circ - \gamma_1) \quad (\text{K. 2. 1-3})$$

$$\alpha_{PA} = \alpha_{AP} - 180^\circ = \alpha_{BA} + 180^\circ - \gamma_1 \quad (\text{K. 2. 1-4})$$

$$\Delta X_A = S_{AP} \cdot \sin \alpha_{PA} \quad (\text{K. 2. 1-5})$$

$$\Delta Y_A = S_{AP} \cdot \cos \alpha_{PA} \quad (\text{K. 2. 1-6})$$

$$\Delta h_{AP} = h_{AP} \quad (A \text{ 点高于 } P \text{ 点时取正, 反之取负})$$

$$(\text{K. 2. 1-7})$$

同理可求得归心元素  $\Delta X_B$ 、 $\Delta Y_B$  和  $\Delta h_{BP}$ 。

**K. 2. 2** 归心元素检查计算可按下列公式分别求出  $P$  点球心直角坐标。其点位误差  $\Delta_R$  应小于  $4\sqrt{3} \text{ mm}$ 。

$$\begin{bmatrix} X_{PA} \\ Y_{PA} \\ Z_{PA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin B_A \cdot \cos L_A - \sin L_A \cos B_A \cdot \cos L_A \\ -\sin B_A \cdot \sin L_A \cos L_A \cos B_A \cdot \sin L_A \\ \cos B_A & 0 & \sin B_A \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X_A \\ \Delta Y_A \\ \Delta Z_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} \quad (\text{K. 2. 2-1})$$

$$\begin{bmatrix} X_{PB} \\ Y_{PB} \\ Z_{PB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin B_B \cdot \cos L_B - \sin L_B \cos B_B \cdot \cos L_B \\ -\sin B_B \cdot \sin L_B \cos L_B \cos B_B \cdot \sin L_B \\ \cos B_B & 0 & \sin B_B \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X_B \\ \Delta Y_B \\ \Delta Z_B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} \quad (\text{K. 2. 2-2})$$

$$\Delta_{XP} = X_{PA} - X_{PB}$$

$$\Delta_{YP} = Y_{PA} - Y_{PB} \quad (\text{K. 2. 2-3})$$

$$\Delta_{ZP} = Z_{PA} - Z_{PB}$$

$$\Delta R = \sqrt{\Delta X_P^2 + \Delta Y_P^2 + \Delta Z_P^2} \quad (\text{K. 2. 2-4})$$



# 附录 L 测 量 手 簿

GPS 测量记录

表 L

点 号			点 名			网 名		
观 测 员			记 录 员			观测日期		
接 收 设 备			天 气 情 况			测 站 近 似 位 置		
接收机名称 及 编 号			天 气			纬 度		
天线类型 及 编 号			风 力			经 度		
存储介质编号 或数据文件名			风 力			高 程		
天线高 (m)	测 前		观测时间	年积日		站时段号		
	测 后			开 始		日时段号		
	平均值			结 束		观 测 记 事		
气 象 元 素	温度计类型及编号							
	气压计类型及编号							
	观测时间							
	气压(Pa)							
	干温(°)							
	湿温(°)							

## 附录 M 高程转换的数学方法

### M. 0. 1 直线拟合法

根据测区两个重合点 (GPS 测量和水准测量同测点) 所确定的相对高程异常变化梯度, 按 GPS 点至起始重合点的距离在两重合点连线方向上的投影长度, 内插确定 GPS 点的高程异常值。

数学模型:

$$T = \frac{\xi_2 - \xi_1}{S} \quad (\text{M. 0. 1-1})$$

$$\xi = \xi_1 + T \cdot X_i \quad (\text{M. 0. 1-2})$$

$$H_i = h_i - \xi \quad (\text{M. 0. 1-3})$$

式中  $\xi_1$ 、 $\xi_2$ 、 $\xi$ ——分别为重合点和内插  $i$  点的高程异常值;

$S$ ——为重合点间的距离;

$X_i$ —— $i$  点至起始重合点的距离在两重合点连线上的投影值;

$H_i$ —— $i$  点的正常高;

$h_i$ —— $i$  点的 WGS-84 大地高;

$T$ ——高程异常变化梯度。

应用条件: 测区内至少有两个重合点, 且重合点位应在带状测区的两端, 内插点离重合点连线的垂直距离应小于 1km。

适用范围: 平原和丘陵地区的 GPS 线路控制测量的高程转换, 限定每 km 高程异常变化梯度应小于 5cm。

### M. 0. 2 曲线拟合法

根据带状测区重合点的测量成果, 用多项式曲线函数拟合测段似大地水准面剖面曲线。依据 GPS 点至起始重合点的距离在首末两重合点连线上的投影值, 计算 GPS 点的高程异常值。

数学模型:

$$\text{令 } g(x) = (1 \ x \ x^2 \ x^3)$$

$$\bar{e} = (a_0 a_1 a_2 a_3)^T$$

$$\text{或 } g(x) = (1 \ x \ x^2)$$

$$\text{或 } \bar{e} = (a_0 a_1 a_2)^T$$

$$\text{则 } \xi(x) = g(x) \cdot \bar{e}$$

$$(M. 0. 2-1)$$

式中  $a_1$ ——待定参数。

当测段上重合点个数多余三个或四个时，可按最小二乘法计算待定参数  $a_1 (i=0, 1, 2 \text{ 或 } i=0, 1, 2, 3)$ ，误差方程式为：

$$V_{\xi} = a_0 + a_1 X_i + a_2 X_i^2 - \xi_i$$

$$\text{或 } V_{\xi} = a_0 + a_1 X_i + a_2 X_i^2 + a_3 X_i^3 - \xi_i \quad (M. 0. 2-2)$$

应用条件：测区内至少有三个或四个重合点，且重合点位应均匀分布在测区两端和中间。测区宽度应小于 2km。

适用范围：丘陵地区和一般山区线路 GPS 控制测量的高程转换。

### M. 0. 3 平面拟合法

把测区内的似大地水准面视为一个平面，这个平面由重合点的高程异常值确定。GPS 点的高程异常值根据点的平面直角坐标，由确定的平面方程计算。

数学模型：

$$\text{令 } g(x, y) = (1 \ x \ y) \quad \bar{e} = (a_0 a_1 a_2)^T$$

$$\text{则 } \xi(x, y) = g(x, y) \cdot \bar{e} \quad (M. 0. 3)$$

当重合点多于三个时，根据最小二乘法由误差方程计算  $a_0$ ， $a_1$ ， $a_2$ 。

应用条件：测区内至少有三个重合点。

适用范围：平原、丘陵地区的面积型测区。对带状测区则要求其长度不超过 20km，似大地水准面起伏的变化梯度不超过 5cm/km。

### M. 0. 4 曲面拟合法

本法是将测区似大地水准面视为一个曲面，测区 GPS 点的高程异常值由重合点所确定的曲面方程和 GPS 点的平面坐标来确定。

数学模型：

$$\xi(x, y) = g(x, y) \cdot \bar{e} \quad (\text{M. 0. 4})$$

当采用四参数法时

$$g(x, y) = (1 \ x \ y \ xy) \\ \bar{e} = (a_0 \ a_1 \ a_2 \ a_3)^T$$

当采用六参数法时

$$g(x, y) = (1 \ x \ y \ x^2 \ y^2 \ xy) \\ \bar{e} = (a_0 \ a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5)^T$$

当重合点的个数多于  $\bar{e}$  中参数的个数时, 采用最小二乘法确定待定参数  $a_0, a_1, \dots, a_n$ 。

应用条件: 要求测区内有四个以上重合点。

适用范围: 当测区内似大地水准面变化梯度大于  $5\text{cm/km}$ , 或者测区宽度超过  $2\text{km}$  时, 应优先考虑使用本方法。

#### M. 0. 5 双 B 样条拟合法

将测区似大地水准面视为曲面, 根据重合点的高程异常值和平面坐标, 采用双 B 样条函数法求得曲面的样条函数系数, 然后使用函数插值法计算测区内 GPS 点的高程异常值。

数学模型:

$$\xi_i = B(x_i, y_i) = \sum_{r=1}^m \sum_{s=1}^n C_{rs} \cdot M\left[\frac{x_i - x_r}{W_x}\right] \cdot M\left[\frac{y_i - y_s}{W_y}\right] \quad (\text{M. 0. 5-1})$$

式中  $M(x)$  ——磨光函数;

$C_{rs}$  ——样条函数系数;

$m$ 、 $n$  ——样条格网的  $X$  方向和  $Y$  方向条数;

$W_x$ 、 $W_y$  ——分别为样条格网在纵向和横向的间隔。

一次磨光函数的形式:

$$M_1(x) = \begin{cases} 0 & |x| \geq 1 \\ 1 - |x| & |x| \leq 1 \end{cases} \quad (\text{M. 0. 5-2})$$

二次磨光函数的形式:

$$M_3(x) = \begin{cases} 0 & |x| \geq \frac{3}{2} \\ \frac{3}{4} - x^2 & |x| \leq \frac{1}{2} \\ \frac{x^2}{2} - \frac{3}{2}|x| + \frac{9}{8} & \text{其它} \end{cases} \quad (\text{M. 0.5-3})$$

三次磨光函数的形式:

$$M_4(x) = \begin{cases} 0 & |x| \geq 2 \\ \frac{|x|^3}{2} - x^2 + \frac{2}{3} & |x| < 1 \\ -\frac{|x|^3}{6} + x^2 - 2|x| + \frac{4}{3} & \text{其它} \end{cases} \quad (\text{M. 0.5-4})$$

应用条件: **GPS** 和水准同测点的个数应在三个及其以上, 格网线应均匀覆盖整个测区,  $m \times n$  应小于和等于重合点个数。铁路工程带状测区, 应将 **GPS** 网的纵、横向旋转至与测区  $x$  轴和  $y$  轴平行的方向, 且  $n=1$  或  $m=1$ , 以减少求解参数的个数。磨光函数次数的选用原则是, 当测区似大地水准面起伏大, 可选二次、三次, 似大地水准面起伏小的测区, 可选用一次磨光函数。

适用范围: 带状测区和面积型测区。

#### M. 0.6 考虑地形影响的曲面拟合法

本法是将高程异常值视为由平滑项和地形影响项组成。测区似大地水准面用去掉地形影响项后的平滑项作为起始数据, 采用 **L. 0.1~L. 0.5** 的几何法拟合。**GPS** 点的高程异常值由函数插值法计算的平滑项和测点地形影响值计算。

数学模型:

$$\xi_{T_0} = \frac{T_0}{\gamma} \quad (\text{M. 0.6-1})$$

$$T_0 = G \cdot \rho \cdot \iint_{\pi} [(h - h_r)/r_0] d\pi - \frac{G \cdot \rho}{6} \cdot \iint_{\pi} [(h - h_r)^3/r_0^3] d\pi \quad (\text{M. 0.6-2})$$

$$\xi = \xi_0 + \xi_{T_0} \quad (\text{M. 0.6-3})$$

式中  $T_0$ ——地形起伏对地面点扰动位的影响;

$\rho$ ——地球质量密度；

$G$ ——万有引力常数；

$\xi_o$ ——地形影响项；

$\gamma$ ——地面点正常重力值；

$\xi_o$ ——高程异常平滑项；

$r_o$ ——积分元到计算点的距离，

$$r_o = \sqrt{(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2}；$$

$h_r$ ——参考面高程；

$h$ ——积分元的平均高程；

$x_p$ 、 $y_p$ ——计算点坐标；

$x$ 、 $y$ ——积分元平均坐标。

应用条件：要求至少有四个重合点，测区应有 1/10000 地形图或数字地面模型。

适用范围：山区、高山区的 **GPS** 高程转换。

## 附录 N 直接投影法计算施工坐标

直接投影法是以工程椭球为参考椭球,将 GPS 网平差结果直接投影至与工程椭球相切的高斯平面上(该平面的高程与工程平均高程相等),进行施工坐标计算的。工程椭球的球心和扁率与 WGS-84 参考椭球相同。

### N. 0. 1 工程椭球元素计算

$$a = a_{84} \cdot \left( 1 + \frac{H_m + \xi}{N} \right) \quad (\text{N. 0. 1-1})$$

$$N = \frac{a_{84}}{\sqrt{1 - e_{84}^2 \cdot \sin^2 B_m}} \quad (\text{N. 0. 1-2})$$

$$\xi = \frac{\sum (h_i - H_i)}{n} \quad (\text{N. 0. 1-3})$$

式中  $a_{84}$ 、 $e_{84}$ ——WGS-84 椭球的长半轴和扁率;

$B_m$ ——工程测区的平均纬度;

$H_m$ ——工程平均高程;

$h_i$ —— $i$  点的大地高;

$H_i$ —— $i$  点的高程;

$n$ ——求算  $\xi$  的 GPS 与水准同测点个数;

$N$ ——工程测区中心的卯酉圈曲率半径;

$\xi$ ——工程测区平均高程异常。

### N. 0. 2 工程椭球面上大地坐标计算

$$B = \arctan \frac{Z + a \cdot e^2 \cdot \sin^3 \theta / \sqrt{1 - e^2}}{\sqrt{X^2 + Y^2} - a \cdot e^2 \cdot \cos^2 \theta} \quad (\text{N. 0. 2-1})$$

$$L = \arctan(Y/X) \quad (\text{N. 0. 2-2})$$

$$h = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos B} - N \quad (\text{N. 0. 2-3})$$

$$\theta = \arctan \left( \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2} \cdot \sqrt{1 - e^2}} \right) \quad (\text{N. 0. 2-4})$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2} \cdot \sin^2 B} \quad (\text{N. 0. 2-5})$$

式中  $X, Y, Z$ ——地心空间直角坐标。

**N. 0. 3** 高斯平面直角坐标计算

$$A_0 = a \cdot (1 - e^2) \cdot \left[ 1 + \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 + \frac{350}{512}e^6 + \frac{11025}{16384}e^8 \right] \quad (\text{N. 0. 3-1})$$

$$B_0 = a \cdot (1 - e^2) \cdot \left[ \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 + \frac{350}{512}e^6 + \frac{11025}{16384}e^8 \right] \quad (\text{N. 0. 3-2})$$

$$C_0 = a \cdot (1 - e^2) \cdot \left[ \frac{45}{96}e^4 + \frac{350}{768}e^6 + \frac{11025}{24567}e^8 \right] \quad (\text{N. 0. 3-3})$$

$$D_0 = a \cdot (1 - e^2) \cdot \left[ \frac{350}{960}e^6 + \frac{11025}{30720}e^8 \right] \quad (\text{N. 0. 3-4})$$

$$E_0 = a \cdot (1 - e^2) \cdot \left[ \frac{11025}{35840}e^8 \right] \quad (\text{N. 0. 3-5})$$

$$S = A_0 \cdot B / \rho - \cos B \cdot [B_0 \cdot \sin B - C_0 \cdot \sin^3 B - D_0 \cdot \sin^5 B - E_0 \cdot \sin^7 B] \quad (\text{N. 0. 3-6})$$

$$x = S + \frac{N \cdot l^2}{2\rho^2} \cdot \sin B \cdot \cos B + \frac{N \cdot l^4}{24\rho^4} \cdot \sin B \cdot \cos^3 B \\ \cdot (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{N \cdot l^8}{720\rho^8} \cdot \sin B \cdot \cos^5 B \\ \cdot (61 - 58t^2 + t^4) \quad (\text{N. 0. 3-7})$$

$$y = N \cdot \cos B \cdot \frac{l}{\rho} + \frac{N \cdot l^3}{6\rho^3} \cdot \cos^3 B \cdot (1 - t^2 + \eta^2) \\ + \frac{N \cdot l^5}{120\rho^5} \cdot \cos^5 B \cdot (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^4 - 58t^2\eta^2) \quad (\text{N. 0. 3-8})$$

式中  $B$ ——测点的纬度；

$t$ —— $t = \tan B$ ；

$\eta$ —— $\eta = e' \cdot \cos B$ ；

$l$ —— $l = L - L_0$ ；

其中  $L$ ——测点的经度；



$L_0$ ——任意带投影中央子午线经度。

#### N. 0. 4 施工坐标计算

$$x_s = x_o + \Delta x \cdot \cos e - \Delta y \cdot \sin e \quad (\text{N. 0. 4-1})$$

$$y_s = y_o + \Delta y \cdot \sin e + \Delta x \cdot \cos e \quad (\text{N. 0. 4-2})$$

$$e = \alpha_s - \alpha_f \quad (\text{N. 0. 4-3})$$

式中  $x_o, y_o$ ——施工坐标系起算坐标；

$\alpha_s$ ——施工坐标轴在施工坐标系中的方位角；

$\alpha_f$ ——施工坐标轴在高斯平面坐标系中的方位角。

## 附录 P 本规程用词说明

执行本规程条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便在执行中区别对待。

**P. 0. 1** 表示很严格,非这样做不可的用词;

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

**P. 0. 2** 表示严格,在正常情况下均应这样做的用词;

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

**P. 0. 3** 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词;

正面词采用“宜”或“可”,反面词采用“不宜”。

## 附加说明

### 本规程主编单位和主要起草人名单

主编单位:铁道部第一勘测设计院

主要起草人:陈新焕 陈秀兰 陈光金 李春明

---

在执行本规程的过程中,如发现需要修改和补充之处,请将意见及有关资料寄交铁道部第一勘测设计院(兰州市和政路 75 号,邮政编码 730000),并抄送铁道部建设司标准科情所(北京市朝阳区门外大街 227 号,邮政编码 100020),供今后修订时参考。



# 《全球定位系统(GPS)铁路测量规程》

## 条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据,存在的问题,以及执行中应注意的事项等予以说明。为减少篇幅,本说明只列条文编号,未抄录原条文。

**1.0.1** 本规程是以现行《铁路测量技术规则》规定的测量精度为标准,兼顾 GPS 测量可能达到的精度,采纳了铁道部建设司立项研究的 GPS 定位技术科研成果和一、二、三、四、专业设计院、西南交大的开发成果及作业技术规定,并参考国内外 GPS 测量规范编制的。

**1.0.3** GPS 铁路测量除符合本规程外,尚应符合国家和铁道部现行有关标准的规定。这些标准包括:

CH 2001-92 全球定位系统(GPS)测量规范

CH 8016-95 全球定位系统(GPS)测量型接收机检定规程

CH 1001-91 测绘技术总结编写规定

ZBA 75002-89 测绘产品检查验收规定

GB 12898-91 国家三、四等水准测量规范

GB 50026-93 工程测量规范

TBJ 101-85 铁路测量技术规则

TBJ 101-88 既有铁路测量技术规则

国家测绘总局编 国家三角测量和精密导线测量规范

**3.1.3** GPS 相对定位技术获取的是 WGS-84 坐标系中的三维基线向量( $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ 、 $\Delta Z$ ),反映了 WGS-84 坐标系的指向和尺度。施工坐标系是一般的平面坐标系,从本质上讲是一个经过坐标旋转和坐标原点平移的自定义椭球(规程附录 N 称之为工程椭球)的高斯投影坐标系。计算自定义椭球的高斯投影坐标需确定测区

参考椭球基本参数和中央子午线经度值  $L_0$ ; 计算参考椭球基本参数需要已知测区平均高程异常(相对于 **WGS-84** 参考椭球)和工程平均高程; 将高斯投影坐标转换为施工坐标需知控制网起始点的施工坐标和工程主轴在施工坐标系中的坐标方位角。根据这些要求, 本条规定了要求具备的技术参数。

**3.1.4 GPS** 定位获取的大地高转换为我国高程系统的高程, 需要计算 **GPS** 点的高程异常。根据铁路系统测量单位拥有的设备和技术能力, 高程异常值一般用几何拟合法计算。据国内外的研究与实践, 拟合法数学模型选择只能根据测区似大地水准面状况、测区形状、转换后的结果精度、联测高程点个数与分布进行, 并且应通过试拟合和一定数量高程检查点(即不参与确定拟合模型计算的联测高程点)拟合高程残差检验才能确定, 任何脱离测区实际情况讨论拟合方法优劣是没有意义的。因此, 本条规定, **GPS** 点高程异常值可根据不同的精度要求, 用适当的数学模型推求。

**3.2.1** 对铁路 **GPS** 网的等级划分和 **GPS** 网相邻点间弦长精度表达式说明如下:

(1) 利用 **GPS** 定位技术建立测量控制网与经典测量方法的布网是不同的。**GPS** 测量所使用的仪器相同, 观测精度无显著差异, 与等级没有必然联系, 因此等级划分不能象经典测量那样等级清楚, 层次分明, 技术要求的差异明显。铁路 **GPS** 测量控制网根据其用途分为两类。第一类是以 **GPS** 相对定位网内部一致性为基础的, 其约束条件最少, 靠正确定权和最小二乘法平差来确定的独立网, 例如桥梁、隧道施工控制网。第二类是以约束平差结果为基础的国家大地测量系统的分级, 其坐标精度和高程精度取决于现行国家或行业的测量精度分级, 例如铁路工程测区国家等级控制点加密网、线路控制测量网(相当于初测导线)、航测外业控制网等。铁路 **GPS** 网的等级是根据这些特点, 按布网目的, 精度要求和目前路内现有设备能够达到的精度划分的。

考虑到与国家或测绘行业标准相一致, 本规程把铁路 **GPS** 网划分为 **B、C、D、E** 四级, 采用与之相同的英文字母表征级别, 并采

用与之相同的精度标准区分等级。

**B** 级网主要用于施工工艺要求精度高的特长隧道和特大桥的施工控制网测量。

**C** 级网主要用于短于 **20km** 的隧道和短于 **2km** 的桥梁的施工控制测量。

**D** 级网主要用于铁路工程测区国家四等点加密测量和测绘工程的基本控制,以及精度要求较低的桥梁控制测量。

**E** 级网主要用于铁路线路控制测量、航测象控点测量及地形测绘的控制测量等。

(2) 规程规定用基线测量的标准差(即中误差)表示各等级 **GPS** 测量的精度标准。基线测量的误差根据其性质及对基线精度的影响,可分为固定误差和比例误差两种。前者主要指天线相位中心的偏差、多路径误差、天线对中误差等;后者主要指星历误差、时钟误差、电离层和对流层残余误差。这两类误差彼此独立,所以规程规定 **GPS** 测量相邻点间弦长精度用式(3.2.1)表示。

**3.2.2 GPS** 测量所得的大地高差精度一般略低于空间弦长的精度。在 **GPS** 观测中,只要采取限制基线长度(例如 **20km**),减小测距误差,减小大气延迟误差残差,选择低温干燥有微风的天气施测,基线起算点的坐标误差控制在米级,采用抗干扰性能强的双频接收机观测,注意防止多路径影响,天线高量测精度不大于  $\pm 1\text{mm}$  等措施,大地高差的精度可以保持在 **1cm** 以内。铁路 **GPS** 网的边长基本上在 **20km** 以内,按本规程的要求布点和观测,高程分量精度可以达到与各等级弦长相近的指标。考虑到 **B** 级网比例误差系数  $b$  较小,高程分量测量精度达不到这个要求,故按弦长比例误差系数  $b$  的两倍要求。本条规定对于利用 **GPS** 高程测量方法施测高程控制(例如线路水准点测量和航测的平高点及高程点测量)是非常必要的。

**3.2.4 GPS** 网设计的主要技术经济指标是网的精度、网的可靠性及勘测成本。为研究图形结构与精度及可靠性的关系,以指导布网设计,编制组对三角形网、四边形网、导线环、附和路线形式进行

了模拟计算。在同样的技术条件下,三角形网可以获得很高的精度和良好的可靠性,点位误差椭圆均匀。与三角形网相比,四边形网也具有很好的精度和可靠性,点位误差椭圆也均匀,但平均点位误差约增大 26%。导线环形式布网的平均点位误差约是四边形的两倍,是三角形网的三倍。附和路线形式精度低于导线环的精度,且可靠性最差。据此,规程规定当网的可靠性和精度要求较高时,例如桥、隧施工控制网,应采用三角形或大地四边形网;当精度要求较低时,例如线路工程测区国家等级点加密,线路控制测量、航测象控点测量,可分别采用四边形网、导线环或附和路线形式,亦可布设成包括三角形网、环形网、附和路线的混合网。

**3.2.7 GPS 网与既有 GPS 点、国家大地点联测的目的有两个。**一是为 GPS 网提供 WGS-84 坐标系统的基准,二是为 GPS 网提供换算成我国坐标系统的约束条件。对于要求提供国家坐标的 GPS 网来说,联测是必不可少的。约束条件包括边长条件、方位角条件和坐标条件。显而易见,至少联测两个国家大地点,才能满足上述要求。考虑到国家大地点施测年代较久,标志破坏严重,点位可靠性需进行检验,为了较好地解决 GPS 成果与国家控制网的转换问题,据国内外研究和实践,联测 3~6 个精度较高(相对于 GPS 网的等级而言),分布合理的大地点是必要的。根据铁路 GPS 网的特点,规程规定了联测大地点总数及其分布。

**3.3.1 对测量设计前应收集的资料和 GPS 选点要求说明如下:**

#### (1)收集资料

控制点的坐标资料和高程资料是 GPS 成果转换为国家系统坐标和高程的基准,其精度和可靠性直接影响 GPS 测量的成果精度。因此,不但要求收集足数的控制点成果,还要求收集控制点的坐标精度、高程精度、以及坐标和高程系统,避免误选精度低,或系统不统一的控制点作为联测点。

#### (2)GPS 点位选择

GPS 定位测量的主要误差有卫星误差、信号传播误差和接收误差。其中与测量者有直接关系的是信号传播误差,主要包括电离



层和对流层的时延误差,以及多路径误差。对多路径误差一般是通过选择合适的测站点位来减弱。据研究和实验,具有强反射的地面、强反射的环境和电磁波强辐射源附近都不宜布设 **GPS** 测站。具有强反射的地面主要指邻近水面地区,平坦光滑地面、盐碱地带、金属矿区;具有强反射的环境包括山谷中、山坡上、建筑物旁;电磁波强辐射源包括雷达、电台、微波站等。本规程 3.3.1.3 第 5) 项的规定主要就是指上述容易产生多路径误差的物体,在实施 **GPS** 测量中需特别引起注意。

### 3.5.1 关于 **GPS** 测量的基本技术要求说明如下:

#### (1) 卫星高度角等于或大于 $15^{\circ}$

理论和实践研究表明,随着卫星高度角降低,**GPS** 信号接收的信噪比亦随之减小。当卫星高度角  $30^{\circ}$  以下时,信噪比随高度角降低而急剧下降,特别是在  $L_2$  频率上更为明显。另外,高度角越小,对流层影响越显著,测量误差随之增大。各级 **GPS** 测量的卫星高度角一般选定为  $15^{\circ}$ ,这样可以在简化气象模型条件下保证所需的测量精度。

#### (2) 有效卫星总数

**GPS** 定位的实质是空间距离后方交会,原则上观测三颗卫星有三个独立的空间距离,就可以确定测站的三维坐标  $X、Y、Z$ 。但为消除接收机钟差的影响,一个测站上至少应同步观测四颗卫星。同步观测的卫星越多,多余观测量就越多,用最小二乘法计算的成果精度就越高。现在 **GPS** 卫星星座已布设完成,同步观测的卫星个数至少四颗以上,因此规定有效观测卫星总数为四颗以上。

#### (3) 时段中任一卫星的有效观测时间

在两个或两个以上测站上同步观测 4 颗卫星的情况下,使用单差模型至少观测 3 个历元,使用双差模型至少必须观测两个历元。但是,如果同步观测时间间隔短,所测卫星几何分布变化很小,解的可靠性就比较差。为提高解的可靠性,所需的观测时间就较长。同时,电磁波传输中的多路径误差也要求适当地延长观测时间。从当前所谓第三代接收机的实测情况来看,3~41.5km 长的

基线固定模糊度的观测时间最长 **7min**,大多在 **5min** 以下。考虑到路内拥有的接收机不一定是第三代接收机,同时也顾及到多路径的影响及观测中周跳的可能性,规定了任一卫星有效观测时间为 **15~30min**。

#### (4)观测时段长度

时段长度确定主要是顾及成果精度的高低和整周模糊度的求解确定的。从实测统计数据来看,当收集的数据能正确解出整周模糊度后,再延长观测时间,提高精度的量是有限的。经验表明,在不出现周跳情况下,**15~30min** 的同步观测是必要的。另外,接收机内使用晶体振荡器,频率稳定度只能达到  $10^{-8}$ ,观测时间越长,钟差引起的模糊度求解误差就越大,因此,观测时段也不宜太长。综合 **GPS** 测量需要的数据量和晶体振荡器不稳定两个因素,工程 **GPS** 网观测时段可在 **0.5~1.5h** 之间选择。本规程选 **45min** 至 **1.5h**。

对快速静态测量来说,观测时间长短与基线长度、观测卫星个数,几何因子和电离层状况有关。正常情况下,观测时间为 **5~20min**。有的接收机在基线长 **10~15km** 时,观测时间为 **30min** 以上。考虑到快速静态测量的效率,测量短基线比测量长基线优越,快速静态观测时段长定为 **5~20min**。

#### (5)数据采样间隔

密集的数据采样有助于载波相位观测值周跳的诊断与修复。静态测量时段长度较长,规定数据采样间隔为 **15~60s**,快速静态观测时间短,规定数据采样间隔为 **5~10s**,这些规定对于保证成果质量是必要的。

#### (6)卫星图形强度因子

利用 **GPS** 进行绝对定位,成果精度取决于观测精度和被测卫星在空中的分布。后者通常用三维定位精度因子 **PDOP** 或三维定位及时间综合几何精度因子 **GDOP** 表示。在所测卫星相同情况下,**PDOP** 和 **GDOP** 有良好的一致性。当仪器噪声水平一定时,**PDOP** 值(或 **GDOP**)对绝对定位的成果精度有重大影响,但在相

对定位中就不能反映本质情况。美国学者提出相对几何图形强度因子 **RDOP** 的概念,但 **RDOP** 目前只能由后处理获取,还没有软件提供测前预报。所以规程暂取各商用软件普遍采用的 **PDOP** 或 **GDOP** 预报值来取代,并采用了测绘行业规范和由 **Leica**、**Trimble**、**Ashtech** 三家接收机制造商提供的作业指南中的取值,作为本规程的取值。

### (7)重复设站数

静态测量和快速静态测量中重复设站的目的在于通过重复观测产生大量的检核条件,提高观测数据和成果的可靠性及精度。静态测量的重复设站由布网设计和生产调度决定,重复设站数一般控制在两次以上。快速静态测量的观测工作在很短时间完成,可靠性检验尤为重要。检核的主要方法是重复设站。路内外实测统计数字表明,要想达到检核的目的,平均重复设站数至少在 **1.5** 次以上。

**3.5.2 GPS** 信号穿过电离层和对流层的时延误差对测量精度影响较大,解决的方法是根据实测气象元素,进行气象改正。铁一院在西康线秦岭地区曾进行了气象元素实测,当边长 **20km** 以下时,按实测数据计算的基线向量精度较高,考虑到铁路 **GPS** 网三维信息的利用和精度需要,规程对气象元素的测定方法与要求,按网的等级不同分别进行规定。

**3.6.3** 基线处理中应固定一点的坐标,其坐标精度的高低,将影响基线解算精度。据美国联邦大地测量协调委员会(**FGCC**)规范(1989年版本)规定,为达到每公里 **1mm** 的相对定位精度,固定点的坐标精度应为  $\pm 2.5m$ ,欲达到每公里 **10mm** 的精度,固定点坐标精度为  $\pm 25m$ 。铁路 **GPS** 测量的基线长度一般在 **20km** 以内,对铁路桥、隧控制网来说,最终结果在  $1/100000 \sim 1/200000$  之间,相当于每公里 **5~10mm**;对国家四等点加密网来说,结果精度为  $1/40000$ ,相当于每公里 **20mm**。按最高精度要求,固定点坐标精度应为  $\pm 12.5m \sim \pm 25m$  之间。据不完全统计,目前路内拥有的双频接收机观测 **2~3h**,单点定位的精度可以达到  $\pm 25m$  以内,规程规定

B、C 级固定点的精度不宜低于 20m,D、E 级不宜低于 25m 是可行的。

**3.6.6** 由于无约束平差中已剔除了异常观测值,基线向量改正数应是最或是改正数。加入了约束条件进行约束平差,同名基线改正数的变化可以认为主要是由约束条件的误差所造成。按照误差理论,较差不应大于测量误差。根据测量误差概率分布,较差应小于两倍中误差。铁一院在西南线西安至西峡段加密国家四等点测量中较差统计值如说明表 3.8.8 所列,表列 69 条基线统计数字显示,大多数较差均小于中误差,只有一个较差等于中误差,故采用两倍中误差作为较差的限差。为验证限差有效性,人为地给已知边加进 0.5m 的位移值,同名基线改正数之差最大的达 10m,绝大多数在 0.3m 以上,用此限差标准可以确定已知数据是否存在问题。

约束平差前后同名基线改正数较差 说明表 3.6.6

较差范围	$0 \sim \frac{1}{3}\sigma$	$\frac{1}{3}\sigma \sim \frac{1}{2}\sigma$	$\frac{1}{2}\sigma \sim \sigma$	$\sigma \sim 2\sigma$
基线条数	68	0	1	0

**4.2.1** 对加密国家等级控制点的技术要求说明如下:

(1)加密国家等级控制点测量主要是根据目前国家大地点标石破坏严重,初测导线或航测主导线与国家大地点联测困难的情况制定的,是 GPS 定位技术在铁路工程测量中的一个重要应用。《铁路测量技术规则》规定,初测导线或航测主导线起终点及不远于 30km 应与国家大地点联测。本规程 4.2.1.2 款规定施测的 GPS 点对就是为导线提供的起闭点,其间距 8~15km,最长不超过 20km,比测规的 30km 小得多。其根据是测边在 20km 以下, GPS 很容易解出整周模糊度和双差固定解,工作效率也容易提高,且便于导线闭合并能提高导线精度。组成点对两点的间距大于 400m,不宜短于 300m 主要是考虑 GPS 点对一般应与导线点重合,方便导线联测,其边长应与《铁路测量技术规则》所规定的导线边长相匹配。

(2)联测大地点的间距不得大于 100km 的依据主要是考虑到

联测的目的在于把 **GPS** 坐标转换成国家坐标。相对于联测点而言, **GPS** 测量误差所引起的点位误差应满足加密测量对点位的要求。根据 1974 年修订的《国家三角测量和精密导线测量规范》规定,我国四等点相对点位精度为  $\pm 0.10\text{m}$ , **GPS** 加密四等点也应达到这个要求。假定在两个三等三角点间进行 **GPS** 测量加密四等点。令边长  $D=10\text{km}$ , **GPS** 边长标称精度为  $\pm(5+1\times 10^{-6}\times D)\text{mm}$ , 方位精度为  $0.5''+2.5''/D$ , 边长中误差为  $\sigma_s$ , 边的方向中误差为  $\sigma_{\alpha}$ 。经过  $n$  条传算边, 测量误差引起的点位纵向中误差为  $\sigma_{\parallel}$ , 引起的点位横向误差  $\sigma_{\perp}$ , 点位误差  $\sigma_M$ 。按  $nD=50\text{km}, 100\text{km}, 150\text{km}$  计算, 计算结果列入说明表 4.2.1。由表列数据可以看出, 联测大地点的间距不应大于  $100\text{km}$ 。

**GPS 测量误差引起的点位误差**                      说明表 4.2.1

联测点间距(km)	50	100	150
$\sigma_s(\text{mm})$	11	11	11
$\sigma_{\alpha}(\text{mm})$	25	35	43
$\sigma_{\parallel}(\text{mm})$	0.56	0.56	0.56
$\sigma_{\perp}(\text{mm})$	61	86	105
$\sigma_M(\text{mm})$	66	93	113

**4.2.2 线路控制测量布网要求的依据说明如下：**

**(1)线路控制点布设密度及要求**

本条规定的线路控制测量是指与用常规测量方法施测的初测导线或航测主导线相当的测量工作。因为 **GPS** 定位测量不要求点间通视,在 线路方案附近布设若干个控制点,同时起到线路初测导线和航测主导线的作用是完全可能的,也是经济合理的。因此本条按现行《铁路测量技术规则》线路测量的要求规定了布点密度。所规定的“相邻控制点间宜相互通视”主要是考虑满足地形测绘和其它各专业调查的需要。“至少应保证每隔  $5\text{km}$  布设一对相互通视的 **GPS** 点,困难时不应超过  $10\text{km}$ 。”主要是为定测中线提供联测控制点,以符合现行《铁路测量技术规则》的规定。

**(2)联测大地点的间距和数量**

对分级布网来说,因为首先加密了国家大地点,联测大地点的间距不会超过 **20km**。对越级布网来说,联测大地控制点的密度和数量必须严格按照规定执行,以保证坐标转换后的成果精度。

### **(3)联测高程点的数量、精度**

由于拟合法是以联测高程点的高程和 **GPS** 测量的大地高为起始数据进行,所以联测高程点的数量、密度、分布和精度直接影响高程转换的结果精度。为达到设计的精度指标,**GPS** 高程测量方法要求联测高程点除应在测区均匀分布外,还应选在高程异常的变化点上;要求联测高程点的点数不但满足预先选用的拟合数学模型的需要,而且应有一定数量的拟合检查点。同时,根据控制测量的原则,联测高程点高程精度应比高程转换结果精度高一个等级。依据这些要求,本条规定了布设联测高程点的基本要求。

**4.3.1** 联测大地点的可靠性检验当前是采用边长比较法。由于 **GPS** 测量的精度很高,其较差可以认为主要是由大地点的测量误差所引起的。如果较差大于已有大地网的测量误差,则可认定大地点有位移或已知数据有误。考虑到联测大地点间的边是地面网直接边或者间接边两种情况,限差规定通过对两种边测量误差的计算确定。

国家三等三角网的边长 **7~8km**,相对中误差为 **1/80000**,点位中误差  **$\pm 0.13\text{m}$** 。四等三角网边长 **4~6km**,相对中误差为 **1/40000**,点位中误差为  **$\pm 0.10\text{m}$** 。对三等直接边而言,测量误差为 **0.1m**,相对误差为每公里 **12.5mm**。对四等直接边,测量误差 **0.15m**,相对误差为每公里 **25mm**。对间接边来说,三等网点位误差所引起的边长误差为 **0.184m**,四等网为 **0.170m**。三等网间接边的长度至少 **15km**,四等网至少 **10km**,其相对误差分别为每公里 **12.2mm** 和 **17mm**。据此,三等网边长较差规定为不大于每公里  **$\pm 12.5\text{mm}$** ,四等不大于每公里  **$\pm 25\text{mm}$** 。

**4.3.3** 高程转换因涉及测区似大地水准面变化而显得较为复杂。根据国内外的研究和实测资料分析,高程转换数学模型必须通过试拟合和优选才能确定。铁路线路带状测区基本上是采用直线或

者曲线拟合法两种数学模型,这些拟合法仅考虑沿线路方向的似大地水准面的变化,没有反映横向变化。如果计算点至首尾联测点连线的垂距大于  $1\text{km}$ ,就很可能引起数厘米的误差,这对线路水准点来说是不合适的,对航测外控高程测量来说也是一个较大的误差源。因此,当采用线拟合法进行高程转换时,无论是线路控制测量或是航测外控均应注意这个问题。

**5.2.2** 施工控制网测量误差对隧道贯通误差的影响值是设计隧道控制网的目标函数,只有当隧道贯通误差预估值满足规定时,施工控制网布网方案和测量方案才能实施。但截止目前,关于隧道 **GPS** 施工控制网测量误差对贯通误差影响值的计算方法讨论很少,还没有一个便于操作的经过工程验证的实用方法可利用。在这种情况下,经过按简化方法计算分析,隧道施工控制网应达到精度为每公里 $\pm 5\text{mm}$ 左右,隧道 **GPS** 施工控制网至少应按 *C* 级网的精度施测。从目前路内各单位拥有的 **GPS** 接收机的性能来看,达到 *B* 级网的标准也没有问题。因此,本条执行中可根据施工所规定的贯通误差或现行《铁路测量技术规则》所规定贯通误差设计测量精度,选择 *B* 级或 *C* 级施测。

**5.2.5** 由于联系网的基线都较洞口子网的基线长得多,所以本条规定,联系网的基线观测宜在不同卫星组下进行,以提高长边观测的精度和可靠性。

**5.3.2** **GPS** 定位技术布点灵活,可以克服常规测量难以克服的困难。利用常规测量方法施测桥梁施工控制网关于基线长度的规定,对 **GPS** 网就不再适用。常规网要求在两岸布测一定数量的节点,供交会桥墩使用,**GPS** 网可以根据需要直接选点测定不再布设节点。据此,本条规定了 **GPS** 控制网一般布网形式,特别提出以桥轴线为公共边的多个四边形网的布网形式,它可以同时满足桥轴线长度控制和桥墩交会的需要,突出了 **GPS** 定位技术的特点。

**5.3.3** 桥梁施工控制网的精度主要体现在桥轴线的精度和用于桥墩交会的基线精度。据大桥工程局实测统计,桥轴线和用于桥墩交会的基线精度不低于 $\pm 10\text{mm}$ ,能满足各种桥长、各种桥式的桥

梁施工安装的精度要求,符合现行《铁路测量技术规则》的规定。据此,规程按照桥长和精度 $\pm 10\text{mm}$ ,编制了表 5.3.3。

**5.3.4** 本条规定主要是考虑桥梁控制网测量周期短,在不同日期或不同卫星星组下观测可以保证精度和可靠性。采用不同天线高观测主要是考虑到桥梁施工控制网的点位离水面较近,易受多路径误差的影响,在观测中采用变换天线高观测,通过取平均值法可以减弱多路径误差对结果精度的影响。