

中国地质调查局工作标准

DD2004—03

地质调查 GPS 测量规程

Global positioning system survey

Specification for geological reconnaissance

二〇〇四年九月

前 言

本规程是根据我国现阶段和今后一段时期内，地质矿产行业中地质调查各专业采用的或将采用的全球定位系统（GPS）测量生产技术的水平及发展趋势，参考有关标准而起草制定的。

本规程包括正文与附录两大部分。正文部分内容：范围、规范性引用文件、术语和定义、总则、加密控制测量、地质调查测点定位测量、技术总结、成果资料检查验收及依据与成果资料提交。附录部分：附录 A、附录 B、附录 C、为规范性附录；附录 D、附录 E、附录 F、附录 G、附录 H 为资料性附录。

本规程的编制，以满足地质调查诸多专业对 GPS 测点定位测量的需要为目的，综合性的对精度指标、技术要求和作业方法作出了明确的规定，可作为地质调查 GPS 测量作业的依据。

本标准由中国地质调查局提出并归口管理。

本标准起草单位：陕西省地质调查院。

本标准起草人：许殿德 姚元生 左愚 洪海军 杨春阁

本标准由中国地质调查局负责解释。

目 次

目次	I
前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
5 加密控制测量	4
6 地质调查测点定位测量	10
7 技术总结	15
8 成果资料检查验收及依据	15
9 成果资料提交	16
附录 A（规范性附录）大地坐标系的地球椭球基本参数	17
附录 B（规范性附录）GPS 仪器的检验与维护	18
附录 C（规范性附录）GPS 加密控制点标志埋设图与点之记	20
附录 D（资料性附录）GPS 测量作业调度表	22
附录 E（资料性附录）GPS 测量手簿记录格式	23
附录 F（资料性附录）GPS 测量三维坐标的转换	25
附录 G（资料性附录）高斯平面直角坐标与地理坐标、带与带之间的换算	29
附录 H（资料性附录）本规程用词说明	32

1 范围

本标准规定了地质调查 GPS 测量的工作方法、精度指标和技术要求。

本标准适用于陆上地质调查各专业（地球物理勘查、地球化学勘查、区域地质调查、矿产资源调查、水文地质、工程地质、环境地质、探矿工程等）的 GPS 测量工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注明日期的引用文件，其随后的所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准。然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 18314—2001 全球定位系统（GPS）测量规范

GB/T 18341—2001 地质矿产勘查测量规范

GB/T 17228—1998 地质矿产勘查测绘术语

DZ/T 0153—95 物化探工程测量规范

CJJ 73—97 全球定位系统城市测量技术规程

CH 1002—95 测绘产品检查验收规定

CH 1003—95 测绘产品质量评定标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 地质调查 GPS 测量 GPS survey for geological reconnaissance

为配合地质调查工作所做的 GPS 测量工作的统称。

3.2 测点 Survey Point

地质调查中各类专业的地质点、物理点（重力、磁力、地震、交直流电场、电磁场、地热场、放射性场等观测点、地震炮点、供电点等）、化探采样点、物性采样点、水文点、钻孔、异常标志点、工区边界、独立剖面端点、重要地物点以及地质工程位置的定位点等统称为测点。

3.3 观测时段 Observation Session

测站上开始接收 GPS 卫星信号到停止接收时，连续观测的时间长度称为观测时段，简称时段。

3.4 基准站 Base station

在一定的观测时间内，用固定在一个已知点上的 GPS 接收机，一直保持跟踪观测卫星，其余的 GPS 接收机在其控制范围内的测点上作业，这个固定测站称为基准站（也称为参考站或固定站）。

3.5 流动站 roving station

在基准站控制的范围内由流动作业的 GPS 接收机所设立的测站称为流动站。

3.6 静态定位 Static positioning

通过两台或两台以上 GPS 接收机处于静止状态下分别在各自测站上进行若干时段同步观测，确定测站间相对位置或基线向量的 GPS 测量方法称之为静态定位。又称为载波相对定位测量。

3.7 快速静态定位 rapid static positioning

利用快速整周模糊度解算原理所进行的 GPS 静态定位测量。

3.8 载波相位差分 GPS 测量 Carrier phase differential GPS survey

通过两台或多台 GPS 接收机获取的载波相位观测值进行差分计算，从而解算它们之间相对位置的测量方法（简称 RTK）。

3.9 伪距差分 GPS 测量 Pseudo distance differential GPS survey

通过两台或多台 GPS 接收机获取的伪距观测值进行差分计算，从而解算它们之间相对位置的测量方法（简称 RTD）。

3.10 实时差分 GPS 测量 Real Time differential GPS survey

将基准站 GPS 接收机采集的载波相位或伪距观测值，通过通讯链实时地传送给流动站的 GPS 接收机，从而在被测点上实时地解算出两站点相对位置的测量方法。

3.11 单点定位 Single point positioning

是利用一台 GPS 接收机，直接确定其观测点所在大地坐标系中的绝对位置，又称为绝对定位。

3.12 世界大地坐标系 1984 (WGS-84) World Geodetic System 1984

由美国在与 WGS-72 相应的精密星历 NSWC-9Z-2 的基础上，采用 1980 大地参考系和 BIH1984.0 系统定向所建立的一种地球参考系和地心坐标系。

4 总则

4.1 坐标系统和时间系统

4.1.1 坐标系统

4.1.1.1 GPS 测量的坐标系统为世界大地坐标系 WGS-84。由于在地质调查 GPS 测量中，一般要求提供高斯正形投影下的 3° 带或 6° 带的 1954 年北京坐标系或 1980 西安坐标系成果资料，因此，需按坐标转换等方法，求得在这些坐标系下的坐标。各坐标系的地球椭球基本参数以及主要几何和物理常数，详见附录 A。

4.1.1.2 GPS 测量的大地高转换为正常高时，其高程系统一般应采用 1985 国家高程基准，或因条件限制也可采用 1956 年黄海高程系。高程系统转换可选用适宜的高程模型（CQG—2000）、高程拟合、大地水准面精化等方法，求得正常高。

4.1.1.3 当工区面积小于 100km²、地形条件及交通特别困难且已知控制点较少时，允许自建独立三维坐标系统，由 GPS 测量坐标系向自建独立坐标系转换时，需要事先确定下列技术参数：

- a) 参考椭球几何参数；
- b) 中央子午线经度值；
- c) 坐标加常数；
- d) 投影面正常高；
- e) 工区平均高程异常；
- f) 起算坐标及起算方位角。

独立坐标系所采用的椭球中心轴向和扁率应与国家参考椭球参数相同。

4.1.2 时间系统

GPS 测量可采用协调世界时（UTC）记录，或采用北京标准时（BST）记录。

4.2 精度分级及主要技术指标

4.2.1 加密控制测量的精度分级及主要技术指标

4.2.1.1 精度分级

GPS 加密控制测量，是在国家已有三角点、导线点或 GPS 等级控制点基础上扩展的。以满足地质调查测点定位测量起算点或闭合点的精度要求为前提，按相邻点的平均距离和精度划分为一、二级。布网时可以逐级布设、越级布设或布设同级全面网。

4.2.1.2 主要技术指标

4.2.1.2.1 各级 GPS 加密控制测量主要技术指标见表 1

表 1 GPS 加密控制测量主要技术指标

级别	相邻点间平均距(km)	附和路线或异步环的边数	基线最弱边相对中误差	固定误差 a (mm)	比例系数 b 1×10^{-6}	三维坐标中误差(m)	
						平面	高程
一级	15	≤ 10	1/20000	≤ 10	≤ 15	0.10	0.10
二级	5	≤ 10	1/10000	≤ 15	≤ 20	0.10	0.20

注 1：各级相邻点间最小距离一般不应小于平均距离的 1/3，最大距离一般不应超过平均距离的 3 倍，在满足表 1 三维坐标精度要求的前提下，相邻点间的最小或最大距离的要求，可以适当的放宽，但不应小于 1/5 和超过 5 倍。
 注 2：特殊工种加密控制还可在二级网精度下适当放宽。
 注 3：当边长小于 200m 时，边长中误差不应大于 20mm。

4.2.1.2.2 各级 GPS 控制网相邻点间弦长精度应按下列式计算：

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (bd)^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- σ —— 标准差， mm；
- a —— 固定误差， mm；
- b —— 比例误差系数， 1×10^{-6} ；
- d —— 相邻点间的距离， km。

4.2.1.2.3 自建独立三维 GPS 控制网其精度视工作性质及要求在施工设计中予以规定，一般可参照表 1 中一级技术指标执行。

4.2.2 测点定位的精度分级及主要技术指标

4.2.2.1 精度分级

地质调查测点定位测量，应以加密控制点及其以上各等级点为基准进行施测。其精度划分为 I、II、III 级。各专业应按照各自作业精度要求进行技术设计。

4.2.2.2 主要技术指标

4.2.2.2.1 各级测点定位测量主要技术指标见表 2。

4.2.2.2.2 对低于 III 级精度要求的测点，通过试验确定能够满足地质调查需要的技术指标。

4.2.2.2.3 使用地形图判定测点的各个专业及其工种，为提高精度和便于成果数字化可采用 GPS 技术中的单点定位方法施测。定位精度可参考 III 级定位要求。

4.2.2.2.4 对测点三维定位精度有特殊要求的专业及其工种，可在施工设计中按本专业标准，参考表 2 指标作出专项规定。

表 2 GPS 测点定位测量主要技术指标

等级	三维定位中误差(<i>m</i>)	
	平面	高程
I 级	1.0	0.2
II 级	5.0	1.0
III 级	15.0	5.0

4.3 GPS 仪器的技术要求

4.3.1 GPS 加密控制测量采用的仪器

4.3.1.1 各级加密控制点对 GPS 仪器选型的技术要求,应根据用途选用至少 2 台单频或双频测地型 GPS 接收机,其标称精度均应满足 $\leq 10\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \times D$ (km) 的要求。

4.3.1.2 GPS 仪器设备的检验:对于正在使用中的测地型 GPS 接收机,每年度应按附录 B 的规定自行检验后方可使用。对于新购置的或维修后的以及使用期超过三年的测地型 GPS 接收机,应送国家级仪器鉴定中心进行全面检验。

4.3.2 GPS 测点定位采用的仪器

4.3.2.1 各级测点定位测量对 GPS 仪器的技术要求应按表 3 的规定执行。

4.3.2.2 GPS 接收机设备的检验:测地型 GPS 仪器应按 4.3.1 的规定进行。导航型手持 GPS 接收机除每年标定一次外,还须在作业前进行标定。其标定方法可根据仪器型号及其说明书自行拟定,但须确保仪器能正常使用为原则。

表 3 GPS 测点定位采用的仪器

项 目	等 级			
	I 级	II 级	III 级	
接收机类型	单频、差分型	单频、差分型	差分型	导航型
标称精度	$10\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \times D$ (平面) $20\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \times D$ (高程)	$10\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \times D$ (平面) $20\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \times D$ (高程)	$20\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \times D$ (平面) $30\text{mm} + 5 \times 10^{-6} \times D$ (高程)	定位精度 $\pm 15\text{m}$ DGPS 精度 $\pm 1 \sim 3\text{m}$ 高程精度 $\pm 3 \sim 5\text{m}$ (校准 情况下)
观测量	载波相位	载波相位或伪距	载波相位或伪距	伪距
同步观测接收机台数	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 1

5 加密控制测量

5.1 布网原则与设计

5.1.1 GPS 加密控制网 (以下简称 GPS 网) 的布设,应根据测区实际用途、预期精度指标、所用仪器类型与数量、测区自然地理地形条件与交通状况等因素,并按照优化设计原则进行。

5.1.2 GPS 网布设根据需要可采用三角网、单三角形、附和导线网、星型网等多种形式进行布设。各级 GPS 网附和路线或异步闭合环的边数应按照表 1 的规定执行。

5.1.3 为方便常规测量方法加密时的应用,每个 GPS 控制点应有两个或两个以上通视方向 (包括与同等级以上已有控制点通视)。

5.1.4 在地方坐标系中布设 GPS 网时,应在该坐标系中选定起算数据,并应与附近已有高级控制点 (三

角点、导线点或 E 级以上 GPS 点) 联测。联测点数一般不得少于 3 个, 困难地区不得少于 2 个, 并均匀分布在网内或其周围。

5.1.5 为求定 GPS 网点正常高, 应进行不低于等外水准测量的高程联测。根据地形条件的不同, 确定高程联测点的数量, 且应均匀分布在网内或其周围。

5.1.6 加密控制测量技术设计编写前的准备工作

5.1.6.1 收集资料: 收集测区已有各类大地点、水准点成果及各种比例尺地形图与专业用图(交通图、行政区划图、地质调查中的有关专业图、森林图、水利图等)、坐标转换参数与高程异常改正值, 以及测区内交通、经济、气象、民族、治安等方面情况与资料。

5.1.6.2 测区踏勘: 了解测区地形、地理、交通、通讯、供电、气象等条件, 其中特别注意了解对影响 GPS 测量的对空遮蔽情况及干扰因素, 如高压线、无线电发射台、站等; 实地查对测区已有大地点(三角点、导线点或 GPS 点)、水准点, 掌握其标志保存情况; 选择基准站位置及会同参与地质调查有关人员划定测区边界位置。

5.1.7 编写技术设计: 根据资料收集与测区踏勘获得的具体情况, 按照设计编写提纲有关内容编写技术设计, 拟定作业计划, 经主管部门审批后实施。

5.1.8 GPS 仪器检验: 根据加密控制测量精度等级、已有国家控制点分布情况等选择合适的 GPS 仪器及其配套设备, 依照附录 B 有关规定进行检验, 合格后方可投入使用。

5.2 选点与埋石

5.2.1 选点

5.2.1.1 控制点选取应根据地质调查各专业对所需精度等级及密度的要求, 并考虑其它方法扩展和联测的需要, 首先于地形图上设计点位, 然后在实地踏勘核实各类控制点(国家三角点、导线点、水准点及 GPS 点等)的完好情况及有关施工条件, 以最终确定所选点位并加以标定。

5.2.1.2 选点时作业人员应充分了解测区自然地理地形条件, 尤其是交通、供电、通讯及气象等情况。

5.2.1.3 点位的地基应稳定、易于长期保存, 有利于安全作业、易于设置 GPS 仪器、便于操作且视野开阔、目标明显、周围无视角 $\geq 15^\circ$ 的成片障碍物。

5.2.1.4 所选点位一般应远离大功率无线电发射源(电视台、电台、微波站等)200m 以上, 高压输电线和微波无线电传送通道 50m 以上。

5.2.1.5 控制点点名可选取就近的地名、山名等, 在同一个测区或 GPS 网中不应有重名, 点位选定后应标注于地形图上, 并做好埋石准备工作。

5.2.2 埋石

5.2.2.1 各级 GPS 控制点的标石均应设有中心标志, 其标石与标志规格要求应符合本规程附录 C。标石可预制或现场灌注。

5.2.2.2 点位若选在山区岩石地段或建筑物顶时, 应对基岩或水泥板进行凿孔, 埋入中心标志并灌注混凝土, 标石顶部外形应符合附录 C 的规定。

5.2.2.3 点位处于农耕地区时, 应尽量埋设在非耕地上, 并要求露出地面 0.2m。

5.2.2.4 所有 GPS 控制点在埋石处应设置明显指向标志, 并于现场绘制点位略图、填写点之记。点之记格式见附录 C。

5.3 观测

5.3.1 基本技术要求

GPS 加密控制测量各等级的作业基本技术要求应符合表 4 规定。

表 4 GPS 加密控制测量作业基本技术要求

项 目	等 级		一 级	二 级
	观 测 方 法			
卫星高度角(°)	静 态		≥15	≥15
	快速静态		≥15	≥15
有效观测卫星总数	静 态		≥4	≥4
	快速静态		≥5	≥5
观测时段长度(min)	静 态		≥45	≥40
	快速静态		≥15	≥10
施测时段数	静 态		≥1	≥1
	快速静态		≥1	≥1
数据采样间隔(s)	静 态		10~30	10~30
	快速静态		5~15	5~20
点位几何图形强度因子(PDOP)			≤6	≤6

5.3.2 观测计划

5.3.2.1 编制观测计划应依据测区自然地理地形条件及交通状况、作业方案、投入台班数(人员及仪器), 等综合因素计划观测时段, 确定作业序号。

5.3.2.2 制定观测调度表(参照附录 D), 拟定每天的台班调度计划, 通过通讯联系或事先约定的时间开机与关机, 充分利用有效时间作业。

5.3.3 观测准备

5.3.3.1 出测前应检查携带仪器及其附件是否齐全, 电池容量是否充足。

5.3.3.2 天线安置应符合下列要求:

a) 三角架安置天线时, 应严格对中整平, 对中误差≤3mm;

b) 天线安置在觇标上时, 应将标志中心投影到基板上, 然后依照投影点安置天线, 对中整平, 若觇标顶部对信号有干扰则应卸去;

c) 天线定向标志应指向正北, 定向误差不宜超过 5°。对于定向标志不明显的接收机天线, 可预先设置标记, 并按此标记安置天线。

5.3.4 观测要求

5.3.4.1 严格按照计划规定的时间进行作业, 保证同步观测同组卫星。

5.3.4.2 开机前应检查电源电缆和天线电缆联接无误后, 方可启动接收机。

5.3.4.3 观测前应量取天线高, 并及时输入测站名、年、月、日、时段号、天线高等信息。关机后再量取一次天线高, 其互差不得大于 3mm, 取其平均值作为最后结果, 记录在手簿上。记录格式见附录 E。

5.3.4.4 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, 如接收的卫星号及卫星数、各通道信噪比、实时定位结果及 PDOP 值等。

5.3.4.5 观测时应防止仪器受震动和移动, 防止其他人员或物体触动天线或遮挡卫星信号。

5.3.4.6 在观测时段内, 若遇雷雨过境时应及时关机, 并卸下天线以防雷击。

5.3.4.7 观测时段内不得进行下述各项操作: 如中途关机、开机、自测试、改变卫星仰角限、改变采样间隔、改变天线位置、关闭文件和删除文件等项操作。

5.3.4.8 GPS 快速静态观测时, 同一时段内基准站和流动站采样间隔应相同, 一般应对同一组卫星进行观测, 基准站观测不能中断。

5.3.4.9 数据采集完后应及时做好各项记录, 其格式参照附录 E, 检查无误后方可迁站。

5.3.4.10 每日观测结束后应及时将数据传至计算机硬、软盘或其它载体上，以防数据丢失，对已储存数据的载体应完整编录并妥善保存。

5.4 数据处理

5.4.1 数据预处理

5.4.1.1 基线解算

5.4.1.1.1 数据质量与分析

a) 按照规范或技术设计的规定，对外业提供的全部成果进行全面检查和验收，重点了解成果是否符合规范与设计要求，原始观测值和项目是否齐全，编号是否统一，有无重号现象；

b) 采用不同类型 GPS 接收机时，应将观测数据转换成相同格式；

c) 检测每个测站上的星历、相位、测站数据是否齐全；

d) 检查观测数据中的整周间断点所占的比例，确定能否采用数据编辑技术恢复正常整周数；

e) 计算分析同一时段数据观测值的数据剔除率应小于 10%；

f) 残差状态分析，包括统计偶然误差和系统误差所占比例，用手工删除不合格卫星信号。

5.4.1.1.2 基线解算方案

a) 基线解算根据基线长短可以分别采用双差相位观测值和三差相位观测值；

b) 基线解算起算数据的选择，应首先选用已有 WGS-84 系坐标的高等级 GPS 控制网点成果，其次为国家三角点转换到 WGS-84 系后的坐标值，也可以用 GPS 单点定位方法，其观测时间应长于 20min，且经平差后的 WGS-84 系坐标。

c) 相同等级的 GPS 网，根据基线长度不同，应采用不同的数学处理模型：基线短于 8km 时，须采用双差固定解。长度为 8~30km 的基线，可在双差固定解和双差浮点解中选择最优结果。30km 以上的长基线，可采用三差解作为基线解算的最终结果。

5.4.1.2 基线解算的质量检验

5.4.1.2.1 同一条基线不同时段观测解算结果其长度较差 ds 应符合下式规定：

$$ds \leq 2\sqrt{2}\sigma \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

σ ——基线向量的弦长中误差（按实际平均边长计算）。

5.4.1.2.2 在同一时段观测值基线处理中数据剔除率不应大于 10%。同步观测环检验的限差应满足下式的要求：

$$\begin{aligned} W_x &\leq \frac{\sqrt{n}}{2}\sigma \\ W_y &\leq \frac{\sqrt{n}}{2}\sigma \quad \dots\dots\dots (3) \\ W_z &\leq \frac{\sqrt{n}}{2}\sigma \end{aligned}$$

$$W \leq \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2} \leq \frac{\sqrt{3n}}{5} \sigma$$

式中：

n —— 闭合环中的边数；

σ —— 基线向量的弦长中误差（按实际平均边长计算）。

5.4.1.2.3 采用单基线处理方案时，对由同一种数学模型的基线解，三边同步环的坐标分量相对闭合差和全长相对闭合差不应超过表 5 的规定。

表 5 三边同步环坐标分量和全长相对闭合差

等 级		一 级	二 级
坐标分量相对 闭合差(1×10^{-6})	同步观测环	9.0	9.0
	异步观测环	10.0	11.0
环线全长相对 闭合差(1×10^{-6})	同步观测环	10.0	15.0
	异步观测环	35.0	60.0

5.4.1.2.4 异步（独立）观测环的坐标分量闭合差和全长闭合差应符合下式的规定，其限差不能超过表 5 的规定。

$$\begin{aligned}
 W_x &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\
 W_y &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\
 W_z &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\
 W &\leq 3\sqrt{3n}\sigma
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

W —— 环闭合差， $W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2}$ ；

n —— 闭合环中的边数。

σ —— 相应等级基线规定的精度（按实际平均边长计算）。

5.4.2 GPS 网平差处理

5.4.2.1 无约束平差，当基线向量各项质量检核符合要求时，以所有独立基线向量组成闭合图形（GPS 空间向量网），在 WGS-84 坐标系统内以一个点三维坐标为起算依据进行三维无约束平差。在无约束平差中，基线向量的改正数绝对值（ $V_{\Delta x}$ 、 $V_{\Delta y}$ 、 $V_{\Delta z}$ ）应符合下式规定：

$$\begin{aligned}
 V_{\Delta x} &\leq 3\sigma \\
 V_{\Delta y} &\leq 3\sigma \\
 V_{\Delta z} &\leq 3\sigma
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots (5)$$

式中：

σ —相应等级基线的规定精度（按实际平均边长计算）。当基线改正数超限时，可能存在粗差基线，可采取随机软件提供或手动处理方法剔除个别粗差基线，做检核处理。

5.4.2.2 约束平差，在无约束平差确定的有效观测量基础上，在所选定的国家坐标系或独立坐标系下选取精度可靠的起算数据，进行二维或三维约束平差。约束平差后的精度还应满足 4.2.1.2 中的规定，同时约束平差中基线向量的改正数与无约束平差结果的同名基线向量的相应改正数的较差（ $dV_{\Delta x}$ 、 $dV_{\Delta y}$ 、 $dV_{\Delta z}$ ）应符合下式规定：

$$\begin{aligned} dV_{\Delta x} &\leq 2\sigma \\ dV_{\Delta y} &\leq 2\sigma \quad \dots\dots\dots (6) \\ dV_{\Delta z} &\leq 2\sigma \end{aligned}$$

式中：

σ —相应等级基线的规定精度。

5.4.2.3 GPS 加密控制点高程计算，首先利用已联测的具有等外水准及其以上等级的 GPS 点的海拔高程（正常高）和经平差后的 GPS 高（大地高）计算高程异常值，然后计算各点正常高。

5.4.2.4 平差后输出各点的三维坐标、基线向量改正数、基线边长、方位、点位、转换参数及其精度。

5.4.2.5 数据处理中的数字取位，规定三维坐标与边长均取至 0.001m。

5.4.2.6 数据处理后应进行成果整理，对基线解算无约束平差和约束平差（或整体平差）的结果均要求拷贝到磁（光）盘上，要求装入盒内，贴上标签，注明资料内容，最后各打印一份文件，并装订成册。

5.4.3 精度统计与质量评定

5.4.3.1 精度统计

5.4.3.1.1 中间精度统计包括：观测数据剔除率、同步与异步观测环坐标分量闭合差、环线全长相对闭合差、基线重复观测闭合差及其相对中误差、三维坐标转换参数中误差。

5.4.3.1.2 最终结果精度统计包括：最弱边长相对中误差、最弱点三维坐标中误差及各点的误差椭圆。

5.4.3.2 质量评定

数据处理完成后根据规程与技术设计规定的技术指标与精度指标，对平差成果的中间精度及最终精度进行对比。凡是全部符合限差规定的为合格，其中有 50% 以上各项精度优于限差 1/3 指标为优秀，优于限差 1/2 指标为良好。有任一指标低于限差规定的均为不合格。对于产品中不合格的部分应在室内采取相应的技术措施进行处理，若仍无法补救，应于野外进行补测或重测。

5.5 三维坐标转换

5.5.1 坐标转换方案是根据测区地形条件及加密控制点测量要求的精度进行设计或选定。一般规定采用七参数转换法与三参数转换法。若测区无此转换参数时需采用以下方法测求：

a) 七参数转换方法：需在测区四周及其外围已知 4 个大地点上，采用测地型 GPS 仪器载波相位静态观测 1~2h，采用随机软件或按附录 F 所示坐标转换数学模型编制的软件进行计算。利用多余大地点进行外符合检核。检核精度一般要求 m_x 、 m_y 、 m_z 应小于 0.5m，符合要求后可供使用。

b) 三参数转换方法：需在测区外围及其附近 3 个大地点上采用测地型 GPS 仪器，载波相位静态观测 1h，用随机软件或按附录 F 所示坐标转换数学模型编制的软件进行解算，再经多余点进行外符合

精度检核。一般要求外符合精度 m_x 、 m_y 、 m_z 应小于 0.7m，检核符合要求后，可供使用。

5.5.2 高程转换方法：首先应尽量选用适宜的高程模型（如 CQG—2000，大地水准面精度达 1m），其次应根据测区地形条件参照附录 F 所示选定转换方法，测求高程异常值。一般可用多项式拟合方法求取，即用 GPS 方法联测的多个已知高程点数据，以一次或二次多项式拟合确定测区大地水准面差距或高程异常值，也可直接转换成正常高。

a) 当工区小于 100km^2 且处于平坦、丘陵或山区时，联测的高程点数应分别在不少于 4 个与 5 个的范围内选定，对于大范围工区 ($>100\text{km}^2$) 的丘陵或山区联测的高程点应不少于 7 个与 8 个，拟合后应有 1 个或 1 个以上多余点进行检核。

b) 当作基准站的控制点已有高程异常值时，也可以直接用来将 GPS 加密点的大地高转换成正常高。

6 地质调查测点定位测量

6.1 测点定位技术设计原则

6.1.1 测点布设方案包括规则测网与非规则测网（自由网）。规则测网布点，一般适用于 1:500~1:50000 比例尺地质、物探、化探普、详查工作和相应的勘探剖面测量以及有需要的地质填图或地质工程等。非规则网（自由网），一般适用于 1:100000~1:1000000 比例尺区域地质调查、区域物化探调查、区域水文地质调查等各类地质填图及其剖面测量。

6.1.2 测点施测技术设计，应按照各工种的作业精度要求，参照测点定位精度分级（I、II、III）进行编写。

6.1.3 地质调查各工种对坐标及高程精度如有特殊要求时，应在技术设计中予以规定。

6.2 测点定位的准备工作

6.2.1 准备工作：收集资料、测区踏勘等工作内容同 5.1.6。

6.2.2 编写技术设计：根据收集资料与测区踏勘掌握的具体情况，拟定作业计划后编写技术设计，经审批后实施。

6.2.3 仪器检验：根据测点定位精度等级及地质调查作业要求，按照表 3 的规定，选择合适的 GPS 仪

器及其配套通讯联络设备等。测地型 GPS 仪器应按照附录 B 有关规定进行检验；导航型手持机应定期与测地型仪器比对或实地检测，合格后方可投入使用。

6.3 基准站布设

测点定位一般采用短时间静态定位、快速静态定位、实时差分 GPS 定位（载波相位差分与伪距差分）、事后差分 GPS 定位（载波相位差分和伪距差分）与单点绝对定位测量。其中除单点绝对定位测量方法外，其它方法均需设定 GPS 基准站。具体要求如下：

a) 测区内所有等级控制点及加密控制点均可作为基准站。若需自建基准站，其点位仍应按加密控制点精度要求予以施测。

b) 基准站尽量设在具有对天通视的开阔地带，要求基准点周围 360° 视野范围内，至少应有高度角不大于 15° 的对空视域。交通方便。有利于设站和数据通讯链发射信息。

c) 基准站周围，应无大面积水域、大型建筑物等 GPS 信号反射物、避免或减少多路径效应；应无高压线、电视台、无线电发射站、微波站等干扰源，以防止数据通信链丢失信息。

6.4 GPS 测点定位方法技术

6.4.1 测点定位作业的基本技术要求

测点定位作业的基本技术要求应符合表 6 规定。

表 6 测点定位测量作业的基本技术要求

项 目	等 级			
	观测方法	I 级	II 级	III 级
卫星高度角(°)	快速静态定位 差分 GPS 定位 单点定位	≥15	≥15	≥10
有效观测卫星数	快速静态定位 差分 GPS 定位 单点定位	≥5 ≥5	≥5 ≥5 ≥4	≥5 ≥5 ≥4
时段长度(min)	快速静态定位 差分 GPS 定位 单点定位	≥15 ≥5	≥10 ≥3	≥5 ≥2 ≥5
数据采样间隔(s)	快速静态定位 差分 GPS 定位	5~30 1~30	5~30 1~30	5~30 1~30
几何图形强度因子 PDOP		≤6	≤8	≤10
注 1: 表中快速静态定位测量方法中包括短时间静态定位测量。 注 2: 差分 GPS 定位测量中包括实时差分与事后差分定位测量。				

6.4.2 GPS 测点定位作业方法

6.4.2.1 短时间静态定位测量：采用星形网观测方式，在已知控制点上设基准站，安置测地型 GPS 仪器连续观测，流动站分别到达待测点位置上，观测 GPS 卫星。对于 I 级测点定位，控制半径最长为 10km，观测时段为 15min；II 级测点定位，控制半径 20km，观测时段为 10min；III 级测点定位，控制半径 50km，观测时段为 8min。具体作业方法与要求按 5.3 与 5.4 有关规定执行。

6.4.2.2 快速静态定位测量：包括单基准站设站方法与双基准站设站方法。单基准站设站方法相当于星形网布点；双基准站设站方法相当于单三角形网。在基准站安置 GPS 仪器连续观测 GPS 卫星，其它接收机分别依次到待测点上流动设站，按规定时段进行观测。对于 I、II 级测点定位，控制半径分别不得超过 15km 与 20km，对于 III 级测点定位，控制半径不得超过 30km。野外观测方法与 5.3 有关规定相同，数据处理方法与 5.4 规定相同。

6.4.2.3 差分 GPS 测量：差分方法包括实时差分 GPS 与事后差分 GPS 测量，它们又可分为实时载波相位差分 GPS 测量与伪距差分 GPS 测量。具体方法及其要求如下：

a) 实时载波相位差分测量，一般采用两台或两台以上测地型单频或双频 GPS 接收机进行观测，一台设在事先布设好的基准站上连续观测 GPS 卫星，其它设在待测点上，同步观测相同 GPS 卫星，按照规定的作业基本要求，采集载波相位观测值。基准站采集的载波相位观测值与所在已知点信息进行比较，计算出差分改正值，通过数据链（通讯链）传输到流动站，精化改正其 GPS 观测值，流动站从而实时地获取差分改正后的三维坐标。作业流程如下：

1) 输入有关参数，包括三维坐标转换参数（或者输入基准站 WGS-84 坐标系坐标）及当地坐标系的椭球参数、长半轴和扁率、中央子午线经度、测区西南角与东北角的概略经纬度。

2) 根据需要输入事先设计的测点二维坐标或所在测线位置。

3) 流动站在基准站有效控制半径为 15~20km 的范围内依次导航到达测点设计位置。首先在起始点上初始化（单频机 3~5min，双频机 1~2min），完成后迁站至待测点大约 1min，即可解算出三维坐标。当实时显示定位误差符合要求后，方可迁站。若迁站过程中卫星失锁，要求在前一测点上重新进行

初始化后再迁站。

4) 内业数据处理, 将外业采集的数据及计算成果下载到计算机内, 采用随机软件统一整理、生成数据文件(包括各项中间精度指标和测点位置等图形文件)。作业精度可达厘米级, 它主要适用于 I、II 级测点定位测量。

b) 实时伪距差分 GPS 测量, 此种方法与实时载波相位差分 GPS 测量基本相同, 仅其差分改正值为伪距改正值, 外业作业方法也基本类似。基准站有效控制半径为 15~20km, 作业取得的成果精度为米级, 它主要适用于 II、III 级测点定位测量。

c) 事后载波相位差分 GPS 测量, 一般采用测地型 GPS 接收机, 一台设在基准站上, 连续观测 GPS 卫星。另一台或多台 GPS 接收机, 在基准站控制半径 50km~200km 的范围内对测点进行观测。事后将采集的载波相位观测数据下载到计算机内, 进行联合处理。在数据处理时可采用随机软件或其它可用的数据处理软件, 并按事先已给定的三维坐标转换参数进行测点坐标换算, 其精度可达到厘米级或分米级。此种方法主要适用于 II、III 级测点定位测量。

d) 事后伪距差分 GPS 测量, 此方法与事后载波相位差分 GPS 测量方式基本相同, 差别在于它在基准站与流动站采集的 GPS 观测值为伪距。使用导航型手持机作此项测量时, 要求控制半径应在 100~200km 以内, 观测 2~5min。测地型和导航型手持式 GPS 仪器其精度一般可分别达到分米级与米级。此种方法主要适用于 II、III 级测点定位测量。

e) 事后位置差分 GPS 测量, 位置差分 GPS 测量宜采用各类导航型手持式 GPS 接收机进行测点三维定位。要求基准站上的 GPS 接收机与流动站上的 GPS 接收机同步观测同组卫星, 通过计算基准站的 GPS 三维定位结果与已有三维坐标进行比较, 算出基准站上的差分改正数, 然后依次对流动站的三维坐标进行改正, 解算出三维坐标。每点同步观测 5~10min, 要求 PDOP 值小于 10, 控制半径 50~100km。它主要适用于 III 级测点定位测量。

6.4.2.4 单点定位测量

6.4.2.4.1 单点定位参数设置及输入

a) 根据需要按事先设计的测点理论坐标或按前述 5.5 的规定已测定的三维坐标转换参数, 安置到导航型手持式 GPS 接收机内, 选定用户坐标与高程系统, 按拟定的作业路线依次导航到达预定的测点位置或实时指定的位置进行观测。根据 GPS 卫星分布状况及精度要求确定每点观测时间, 一般是按表 6 规定 ($\geq 5\text{min}$) 进行观测。

b) 在工区内选择已有 5 个均匀分布的高级控制点上测定三维坐标转换参数 DX、DY、DZ。要求其间最大差值 $\leq 15\text{m}$, 平均差值 $\leq 10\text{m}$ 。

c) 使用带有提高测高精度装置的手持式 GPS 接收机测高时, 需在高级控制点上进行高程校准且控制半径要求不超过 50km。

6.4.2.4.2 单点定位现场作业

单点定位现场作业, 一般按照表 6 中的规定进行观测。在使用显示电子地图的接收机, 或一般接收机而与便携式计算机联机连续观测时, 可以在电子地图或计算机屏幕上实时显示流动站当前位置及行走路线, 根据需要可随时修改行走路线及掌握所在测点的定位信息。当导航定位剩余误差显示符合要求后确认, 并按附录 E 的格式做好记录。

6.4.2.4.3 单点定位资料的处理与整理

单点定位的资料在当天或完成一定工作量后, 应转入室内, 利用随机软件将采集或确定的测点位置信息传送到计算机内进行编辑、打印, 最后获得测点三维坐标成果、行走路线及测点位置图。

6.4.2.4.4 单点定位测量的精度

采用导航型手持机进行单点定位作业时，其平面和高程精度一般可达 15m 以内，如用带有提高测高精度功能的 GPS 手持机，高程精度可达±5m 以内。此种方法主要适用于Ⅲ级及Ⅲ级以下测点定位测量。

6.5 GPS 测点定位的检核与质量评定

6.5.1 测点定位的检核

6.5.1.1 测点定位检核方法：一般采用同精度检核和高精度检核。同精度检核是采用同等精度仪器及观测方法作检核。高精度检核是采用高精度仪器及高等级的观测方法，对测点进行三维联测。检核点位应分布均匀，且具有不同地形条件的代表性。对测点定位检核的总量一般应控制在占测点总数的 3%。

6.5.1.2 同精度检核

检核要求包括：

- a) 采用同精度检核，应按照不小于测点总数 2~3% 的检核工作量施测 GPS 测点；
- b) 检核点的坐标较差最大限差，一般以按表 7 要求为宜。

表 7 测点定位同精度检核较差的限差

等级	三维坐标较差 (m)	
	dp	dz
I	1.4	0.3
II	7.1	1.4
III	21.2	7.1

c) 同精度检核相对中误差应按公式 (7) 计算

$$\begin{aligned}
 m_x &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{2n}} \\
 m_y &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2}{2n}} \dots\dots\dots (7) \\
 m_z &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta z_i)^2}{2n}} \\
 m_p &= \sqrt{m_x^2 + m_y^2}
 \end{aligned}$$

式中：

- $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ —— 为检核点三维坐标的较差；
- m_x —— 测点定位坐标 x 的相对中误差；
- m_y —— 测点定位坐标 y 的相对中误差；
- m_z —— 测点定位坐标 z 的相对高程中误差；

m_p ——测点定位相对平面位置中误差；

n ——检核测点总数。

测点同精度最终检核结果应满足表 2 的规定。

6.5.1.2 高精度检核

检核要求应包括：

a) 应按照测点总数的 1~2% 的检核工作量检测 GPS 测点（一般宜用在一、二级测点定位测量范围内）。

b) 高精度检查三维坐标的较差一般以满足表 8 的要求为宜。

表 8 测点定位高精度检核较差的限差

等级	三维坐标较差 (m)	
	dp	dz
I	≤ 2.0	≤ 0.4
II	≤ 10.0	≤ 2.0
III	≤ 30.0	≤ 10.0

c) 高精度检核以公式 (8) 计算中误差

$$\begin{aligned}
 m_x &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta X_i)^2}{n}} \\
 m_y &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Y_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (8) \\
 m_z &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_i)^2}{n}} \\
 m_p &= \sqrt{m_x^2 + m_y^2}
 \end{aligned}$$

式中：

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ ——为检核点三维坐标较差；

m_x ——测点定位坐标 x 中误差；

m_y ——测点定位坐标 y 中误差；

m_z ——测点定位高程中误差；

m_p ——测点平面位置中误差；

n ——检核点数。

高精度最终检核中误差应满足表 2 的规定。

6.5.1.3 实际工作中经常有在一工区需多天或多批次分片进行质量检核的情况。为保证全工区最终检核结果能符合规定的精度要求，因此对每天、每片的检核结果都必须达到表 2 或设计中专有的精度要求，而且误差值也须符合误差分布规律，即超过两倍中误差和三倍中误差的点数，不得分别超过已检核总点数的 5%、1%。当超过此比例时，须增加检查工作量，若增加到测点总数 20% 后，仍不符合要求时，须对该片工作量作返工处理。对超过三倍中误差的测点须作粗差处理。一般说在分片检核质量时，为保证总精度可对前几批检核结果适当提高精度要求。

6.5.2 GPS 测点定位质量评定

测点定位检核工作完成后，应对其成果进行质量评定。质量评定等级的划分方法与 5.4.3.2 精度评价基本类同。

7 技术总结

地质调查 GPS 测量全部工作结束后，应及时编写技术总结，其内容一般应包括：

- a) 概述
 - 1) 工作任务：任务来源、项目名称、施测单位、测区范围、计划工作量及施工期限；
 - 2) 任务完成概况。
- b) 作业依据及主要技术指标
- c) 测区概况
 - 1) 测区位置、自然地理地形条件、气象、供电、交通及电讯等情况；
 - 2) 已有测量成果资料和可被利用程度。
- d) 作业人员及仪器设备
 - 1) 作业人员数量及技术状况；
 - 2) 作业仪器类型、精度以及检验和使用情况。
- e) 野外选点埋石、观测实施情况、观测时段、补测和重测的情况及作业时发生和存在的问题说明；
- f) 室内对观测数据质量分析与检核计算情况、采用的起算数据、三维坐标系统及相应的技术参数、数据处理的内容、方法及所用的软件情况；
- g) 观测成果及其质量检查、精度分析、统计与评价；
- h) 结束语；
- i) 各种附表与附图及附录、附件等。

8 成果资料检查验收及依据

8.1 成果检查验收标准

8.1.1 按照《测绘产品检查验收规定》(CH1002-95) 和《测绘产品质量评定标准》(CH1003-95) 的规定进行检查验收。

8.1.2 本行业标准《地质调查 GPS 测量规程》与项目技术设计书。

8.2 检查验收的内容

8.2.1 加密控制测量

检查验收内容应包括：

- a) GPS 控制网的布设方案及实测资料；

- b) GPS 接收机的检验方法和结果;
- c) 野外数据采集的质量检验资料;
- d) 数据处理的中间及最终成果的实达精度;
- e) 各类观测手簿、网图、存储介质及其备份;
- f) 技术设计及技术总结有关部分。

8.2.2 测点定位测量

检查验收内容应包括:

- a) 测点布设方案及实测资料;
- b) GPS 接收机的检验方法和结果;
- c) 野外数据采集的质量的检验资料;
- d) 测点定位方法选择及其实达精度审查;
- e) 测点三维坐标成果表及点位图件、数据存储介质及备份;
- f) 技术设计及技术总结有关部分。

9 成果资料提交

提交的成果资料应包括:

- a) GPS 测量任务书
- b) 技术设计书;
- c) 外业观测记录(包括光盘、软盘及其备份)与 GPS 测量手簿及控制点点之记;
- d) GPS 接收机检验资料;
- e) 观测数据质量分析、外业检核计算及精度统计等资料;
- f) GPS 网平差成果表、测点定位成果表及其计算资料(含软盘及备份);
- g) GPS 网及测点位置图;
- h) 技术总结和成果验收报告。

附录 A

(规范性附录)

大地坐标系的地球椭球基本参数

A1 WGS-84 大地坐标系的地球椭球基本参数及主要几何和物理常数

A1.1 地球椭球基本参数

长半径 $a = 6\,378\,137\text{ m}$

地球引力常数 (含大气层) $GM = 3\,986\,005 \times 10^8\text{ m}^3\text{s}^{-2}$

正常化二阶带谐系数 $C_{2,0} = -484.166\,85 \times 10^{-6}$

地球自转角速度 $\omega = 7\,292\,115 \times 10^{-11}\text{ rads}^{-1}$

A1.2 主要几何和物理常数

短半径 $b = 6\,356\,752.314\,2\text{ m}$ 扁率 $\alpha = 1/298.257\,223\,563$

第一偏心率平方 $e^2 = 0.006\,694\,379\,990\,13$

第二偏心率平方 $e'^2 = 0.006\,739\,496\,742\,227$

椭球正常重力位 $U_0 = 62\,636\,860.849\,7\text{ m}^2\text{s}^{-2}$

赤道正常重力 $\gamma_e = 9.790\,326\,771\,4\text{ ms}^{-2}$

A1.3 WGS-84 (G730) 大地坐标系 $GM = 3986004.418 \times 10^8\text{ m}^3\text{s}^{-2}$, 其它地球椭球基本参数及主要几何和物理常数同 A1.1、A1.2 规定。

A2 1954 年北京坐标系参考椭球的基本几何参数

长半径 $a = 6\,378\,245\text{ m}$ 短半径 $b = 6\,356\,863.018\,8\text{ m}$

扁率 $\alpha = 1/298.3$

第一偏心率平方 $e^2 = 0.006\,693\,421\,622\,966$

第二偏心率平方 $e'^2 = 0.006\,738\,525\,414\,683$

A3 1980 西安坐标系的参考椭球基本参数及主要几何和物理常数

A3.1 参考椭球基本参数

长半径 $a = 6\,378\,140\text{ m}$

地球引力常数 (含大气层) $GM = 3\,986\,005 \times 10^8\text{ m}^3\text{s}^{-2}$

二阶带谐系数 $J_2 = 1\,082.63 \times 10^{-6}$

地球自转角速度 $\omega = 7\,292\,115 \times 10^{-11}\text{ rads}^{-1}$

A3.2 主要几何和物理常数

短半径 $b = 6\,356\,755.288\,2\text{ m}$ 扁率 $\alpha = 1/298.257$

第一偏心率平方 $e^2 = 0.006\,694\,384\,999\,59$

第二偏心率平方 $e'^2 = 0.006\,739\,501\,819\,47$

椭球正常重力位 $U_0 = 6\,263\,683 \times 10\text{ m}^2\text{s}^{-2}$

赤道正常重力 $\gamma_e = 9.780\,318\text{ ms}^{-2}$

附录 B

(规范性附录)

GPS 仪器的检验与维护

B1 GPS 仪器设备的检验

新购置的或维修后的测地型或差分型 GPS 接收机，应按规定的项目进行全面检验后使用，其检验的内容包括：一般检验、通电检验和实测检验。

B1.1 一般检验

- a) 接收机天线、仪器箱及其配件应匹配、齐全和外观良好、完整无损，紧固部件不得松动和脱离；
- b) 仪器操作手册、后处理软件使用手册及其软盘应齐全。

B1.2 通电检验

- a) 有关电源信号灯等工作应正常；
- b) 按键和显示系统工作应正常；
- c) 利用自测试命令进行测试，检验接收机接收信号强弱、锁定 GPS 卫星数据快慢和卫星失锁等情况。

B1.3 实测检验

a) 测量状态检验

在开机测量后，应随时能够查看每个通道上跟踪的卫星高度角和方位角、采集的连续观测值个数与全部观测值、计算出的经纬度、高程、PDOP、HDOP、VDOP 和 TDOP 等各种几何误差放大因子，水平的或垂直的速度、日期和时间信息，观测开始和停止的条件，软件版本和接收机号码等。

b) 接收机内部噪音水平检验

采用零基线测量法检验，即利用同一天线，以功分器连接两台接收机，同步接收四颗以上卫星 1 小时，交换功分器与接收机接口，再观测一个时段。计算基线长度，其误差应小于 1mm，否则应送厂检修或降级使用。

c) 天线相位中心稳定性检验

在标准基线场，于基线两端放置天线及接收机，天线精确对中，定向指标线指向正北，观测一个时段。然后交换接收机与天线，再观测一个时段。按上述方向将一个接收机天线固定指北，另一接收机天线绕轴顺时针转动 90° 、 180° 、 270° ，进行观测。解算各时段三维坐标，计算各时段坐标差和基线长，其误差不应超过仪器标称精度的二倍固定误差，否则应送厂返修或降级别使用。

d) 光学对点器检验

把基座置放三角架上，整平后，将轮廓画在三角架上。在地板上放一张方格厘米纸，读出十字的位置。然后转动基座在其它两个位置上依次读出十字的位置。如果三次读数不相符，则需进行校正。

e) 电池检验

蓄电池经八小时充电后，可达到 90% 的充电度，能支持接收机工作八小时。若达不到此种状态，则应考虑更换电池。

B2 GPS 仪器的维护

每天工作后，应用毛刷将尘土、脏物擦刷干净，装入箱中。若被雨淋湿，应放在通风处自然晾干。

B2.2 仪器长途搬运。必须将仪器及附件装入防震箱内，防止仪器受到冲击和剧烈震动。

B2.3 若较长时间不使用仪器，应用软布、毛刷清洁仪器各部分，放入仪器箱内。箱内应放置干燥剂。

同时每一个月应对仪器进行定期保养、通电，通电时间不少于一小时。

B2.4 仪器若出现故障或使用不慎摔坏、进水等，不要擅自打开仪器，应及时送固定维修点维修。

B2.5 应建立 GPS 接收机及天线等设备的使用维修档案，以便掌握每台设备的质量和使用情况。

附录 C

(规范性附录)

GPS 加密控制点标志埋设图与点之记

C1 一级、二级 GPS 加密控制点标志埋设图

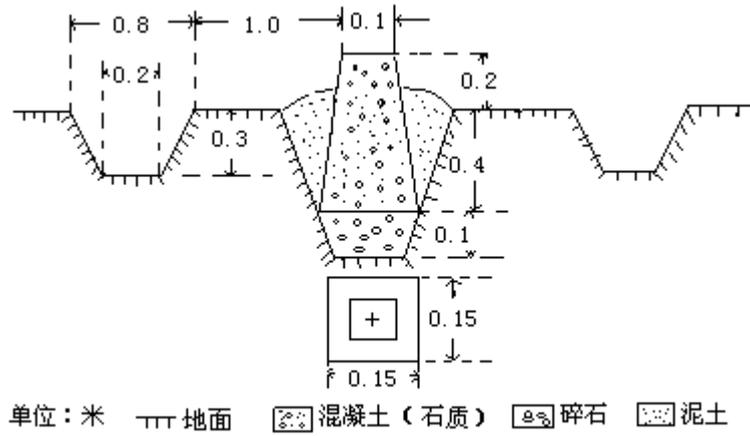


图 C1 一、二级 GPS 加密控制点标志埋设图

C2 GPS 加密控制点点之记

GPS 加密控制点点之记

工区名称			
点 名		等 级	
所在地			
地 点			
交 通 情 况 概 述		交 通 路 线 略 图	
点 位 略 图		埋 石 断 面 图	
概略坐标	x:	y:	
备注			

作业者

检查者

年 月 日

附录 D
 (资料性附录)
 GPS 测量作业调度表

时段 编号	观 测 时 间	测站号、名	测站号、名	测站号、名	测站号、名	测站号、名	测站号、名
		机 号	机 号	机 号	机 号	机 号	机 号
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

附录 E
 (资料性附录)
 GPS 测量手簿记录格式

E1 GPS 加密控制测量手簿记录格式

测站号		点名		图幅编号	
观测记录员		观测日期		接收机名称及编号	
天线类型及编号		时段号		存储介质编号数据文件名	
纬度 (B)	° ' " N	经度 (L)	° ' " E	近似高程 (H)	m
定位模式及采样 间隔 (s)		开始记录时间	h min	结束记录时间	h min
天线高测定		天气状况	点位略图		
测前： 测后： 测定值： _____ m 改正值： _____ m 天线高： _____ m 平均值： _____ m					
接收卫星号 (PRN)		信噪比		PDOP	接收历元数
记 事					

附录 F
(资料性附录)

GPS 测量三维坐标的转换

GPS 测量的坐标系是世界大地坐标系即 WGS-84 坐标系。而我们国家目前通用的三维坐标系为 1954 年北京坐标系与 1956 黄海高程系或 1980 西安坐标系与 1985 国家高程基准，因此对 GPS 测量的三维定位成果必须进行换算，才能满足实际需要。

F1 二维坐标换算

二维坐标换算方法，目前可行的有七参数转换法与三参数转换法。七参数转换法需由测区至少在三个已知大地点上，三参数转换法需由测区至少两个已知大地点上获取载波相位静态观测 1~2 个小时的 WGS-84 系坐标 (X, Y, Z) 成果。根据有关数学模型解算出转换参数后，进行坐标转换。二维坐标转换的数学模型分述如下：

F1.1 七参数转换法数学模型

七参数转换法具有较精确的数学模型，其转换参数如图 F1 所示，转换数学模型如下：

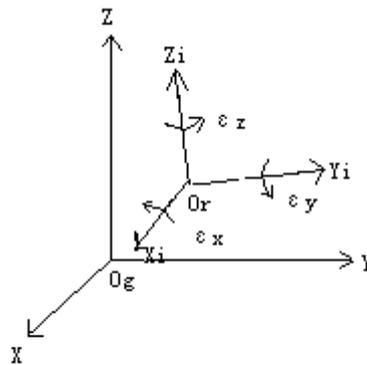


图 F1

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix}_{54} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{84} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}_{54-84} + K \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{84} + \begin{pmatrix} 0 & \varepsilon_x & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_x & 0 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{84} \dots\dots\dots (F1)$$

- 式中：
- X_i, Y_i, Z_i ——北京-54 系空间直角坐标；
 - X, Y, Z ——WGS-84 系空间直角坐标；
 - $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ——两坐标原点之间的平移参数；
 - K ——两坐标原点之间的尺度变化因子；
 - $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ ——两坐标系坐标轴旋转参数（旋转角）。

F1.2 三参数转换法数学模型

三参数转换法采用最简化的数学模型，其转换参数如图 F2 所示，转换数学模型如下：

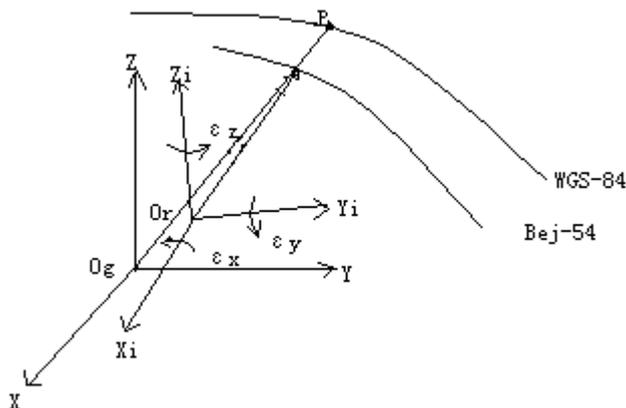


图 F2

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix}_{54} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{84} + \begin{bmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \end{bmatrix}_{54-84} \quad \dots\dots\dots (F2)$$

式中： D_x, D_y, D_z ——两坐标系的综合平移参数。

三参数转换数学模型，由于 WGS-84 与北京-54 坐标轴基本平行，即转换角 ($\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$) 实际上很小，把平移参数 (D_x, D_y, D_z) 作适当调整，使其余四项 ($K, \epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$) 的影响在相当程度上综合到平移参数中。这样，使形式上的三参数转换，而实际上却包含了七参数的影响，因此既起到简化数学模型的作用，又不会造成坐标转换时出现太大的精度损失。七参数与三参数转换法计算结果的差异，一般在 $\pm 2m$ 以内，最大的不超过 $5\sim 6m$ 。七参数转换法主要适用于精密 GPS 控制测量，三参数转换法主要适用于要求精度不高的 GPS 三维定位测量。

F2 高程转换

高程系统一般常用的主要有大地高程(简称大地高)和正常高程(简称正常高)，大地高是 WGS-84 系下的 GPS 高，正常高是我国采用的高程系统。大地高是以 WGS-84 椭球体面为基准，由地面点沿通过该点的椭球面法线到 WGS-84 椭球体面的距离，称之为大地高。正常高是以似大地水准面为基准的高程系统，由地面点沿该点的铅垂线至似大地水准面的距离称为正常高。两者之间关系如图 F2 所示。由 GPS 测定的大地高转为正常高的关键是如何求取大地高 H (大地) 与正常高 H (正常) 之间的差值，即高程异常值 (ζ)。高程转换的基本数学模型如下：

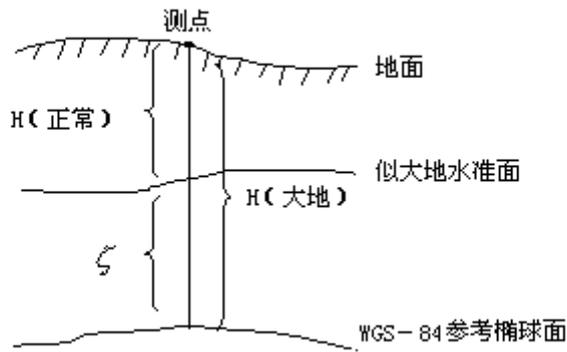


图 F3 大地高与正常高的关系

$$H_{\text{正常}} = H_{\text{大地}} - \zeta \quad \dots\dots\dots (F3)$$

$$\zeta = H_{\text{大地}} - H_{\text{正常}} \quad \dots\dots\dots (F4)$$

推算 ζ 值的方法很多，如 GPS 水准高程法与 GPS 重力高程法等。GPS 水准高程方法内又包括平面拟合法、二次曲面拟合法、多面函数法、样条函数法等。GPS 重力高程方法则包括地球重力场模型法、重力场模型与 GPS 水准相结合法、地形改正方法等。根据工区范围大小及地形条件如平丘地、山地或高山地等不同而选择相应有效方法。通过实践证明，在局部 GPS 网中宜采用 GPS 水准高程拟合法：如对于测区不大 ($<100\text{km}^2$) 的平坦地区宜用平面拟合法，拟合精度优于 3~4cm。高程异常变化有规律的地区且已有控制点分布较均匀的情况下，宜用二次曲面拟合法或高次多项式曲面拟合法，拟合精度优于 3cm。对大面积测区宜用重力场模型与 GPS 水准相结合方法。下面分别给出解求高程异常的数学模型。

F2.1 平面拟合法

$$\zeta_i = a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i \quad \dots\dots\dots (F5)$$

式中：

ζ_i ——已知某公共点（具有水准高程）高程异常；

x_i, y_i ——已知某公共点的相应平面坐标；

a_1, a_2, a_3 ——待求模型参数（当已知公共点为 3 时，可直接求出 a_1, a_2, a_3 值）。

如果公共点的数目大于 3 时，则相应的误差方程式为

$$v_i = a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i - \zeta_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (F6)$$

用矩阵形式表示为

$$V = Ax - \zeta \quad \dots\dots\dots$$

(F7)

式中：

$$V = \begin{Bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{Bmatrix} \quad A = \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{Bmatrix} \quad X = \begin{Bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & y_n \end{Bmatrix} \quad \zeta = \begin{Bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \\ \dots \\ \zeta_n \end{Bmatrix}$$

根据最小二乘原理可求得：

$$A = (X^T X)^{-1} X^T \zeta \quad \dots\dots\dots (F8)$$

F2.2 二次曲面拟合法与高次多项式曲面拟合法

F2.2.1 二次曲面拟合法

$$\zeta_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 x_i^2 + a_4 y_i^2 + a_5 x_i y_i \quad \dots\dots\dots (F9)$$

式中：

a_0, \dots, a_5 为模型待定参数，因此，区域内至少需有 6 个公共点。当公共点多于 6 个时，仍可组成 (F7) 式的误差方程。此时：

$$X = \begin{Bmatrix} 1 & x & y & x^2 & y^2 & x y \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & y_2^2 & x_2 y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & y_n^2 & x_n y_n \end{Bmatrix} \quad A = \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_5 \end{Bmatrix}$$

仍按最小二乘原理求解参数 a_0, a_1, \dots, a_5 。

F2.2.2 高次多项式曲面拟合法

二次曲面拟合法还可以进一步扩展为高次多项式曲面拟合法，此时的数学模型为：

$$\zeta_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 x_i^2 + a_4 y_i^2 + a_5 x_i y_i + a_6 x_i^3 + a_7 y_i^3 + \dots\dots\dots (F10)$$

显然，上式的误差方程矩阵式仍可参照 (F5) 式予以扩展列出：

$$V = AX - \zeta$$

F2.3 地球重力场模型与 GPS 水准相结合法

该方法的实质是在 GPS 水准点上，将由 GPS 大地高和水准正常高求得的高程异常 ζ_i 与由重力场模型求得的高程异常 ζ_{mi} 进行比较，以求出其差值：

$$\delta\zeta_i = \zeta_i - \zeta_{mi} \quad \dots\dots\dots (F11)$$

然后再采用二次曲面拟合方法，由已知点的平面坐标 (x_i, y_i) 和 $\delta\zeta_i$ 推求其它点 K 上的 $\delta\zeta_K$ ，则可计算出待测点的正常高 $H_{K\text{正常}}$

$$\delta\zeta_K = b_0 + b_1 x_K + b_2 y_K + b_3 x_K^2 + b_4 y_K^2 + b_5 x_K y_K \quad \dots\dots\dots (F12)$$

$$H_{K\text{正常}} = H_{K\text{大地}} - \zeta_{mi} - \delta\zeta_K \quad \dots\dots\dots (F13)$$

附录 G

(资料性附录)

高斯平面直角坐标与地理坐标、带与带之间的换算

G1 高斯平面直角坐标 (X, Y) 与地理坐标 (B, L) 之间的换算

G1.1 地理坐标 (B, L) 换算高斯平面坐标 (X, Y)

换算的数学模型 (高斯投影正算公式) 如下:

$$\left. \begin{aligned} x &= X_0 + \frac{1}{2} N \cdot t \cdot \cos^2 B \cdot l^2 + \frac{1}{24} N \cdot t (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) \cos^4 B \cdot l^4 \\ &+ \frac{1}{720} N \cdot t (61 - 58t^2 + t^4) \cos^6 B \cdot l^6 \\ y &= N \cdot \cos B \cdot l + \frac{1}{6} N (1 - t^2 + \eta^2) \cos^3 B \cdot l^3 + \frac{1}{120} N (5 - 18t^2 + t^4 \\ &+ 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2) \cos^5 B \cdot l^5 \end{aligned} \right\} \dots\dots (G1)$$

式中:

B 为投影点的大地纬度; $l = L - L_0$, L 为投影点的大地经度, L_0 为轴子午线的大地经度; N 为投影点的卯西圈曲率半径; $t = \operatorname{tg} B, \eta = e' \cos B$; e' 为椭球第二偏心率。

X_0 为当 $l = 0$ 时, 从赤道起算的子午线弧长, 其计算公式为:

$$X_0 = a(1 - e^2)(K_0 B + K_2 \sin 2B + K_4 \sin 4B + K_6 \sin 6B + K_8 \sin 8B)$$

式中:

K_0, K_2, K_4, K_6, K_8 为系数, 其中:

$$K_0 = 1 + \frac{3}{4} e^2 + \frac{45}{64} e^4 + \frac{350}{512} e^6 + \frac{11025}{16384} e^8$$

$$K_2 = -\frac{1}{2} \left(\frac{3}{4} e^2 + \frac{60}{64} e^4 + \frac{525}{512} e^6 + \frac{17640}{16384} e^8 \right)$$

$$K_4 = \frac{1}{4} \left(\frac{15}{64} e^4 + \frac{210}{512} e^6 + \frac{8820}{16384} e^8 \right)$$

$$K_6 = \frac{1}{6} \left(\frac{35}{512} e^6 + \frac{2520}{16384} e^8 \right)$$

$$K_8 = \frac{1}{8} \left(\frac{315}{16384} e^8 \right)$$

e 为椭球第一偏心率。

G1.2 高斯平面直角坐标 (X, Y) 换算地理坐标 (B, L)

换算的数学模型 (高斯投影反算公式) 如下:

$$\left. \begin{aligned}
B &= B_f - \frac{t_f}{2M_f N_f} y^2 + \frac{t_f}{24M_f N_f^3} (5 + 3t_f^2 + \eta_f^2 - 9\eta_f^2 t_f^2) y^4 \\
&\quad - \frac{t_f}{720M_f N_f^5} (61 + 90t_f^2 + 45t_f^4) y^6 \\
L &= \frac{1}{N_f \cos B_f} y - \frac{1}{6N_f^3 \cos B_f} (1 + 2t_f^2 + \eta_f^2) y^3 + \\
&\quad \frac{1}{120N_f^5 \cos B_f} (5 + 28t_f^2 + 24t_f^4 + 6\eta_f^2 + 8\eta_f^2 t_f^2) y^5
\end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (G2)$$

式中：

B_f 为投影点的纬度，下标“ f ”表示与该点有关的量。投影点也称为底点，其纬度计算公式为：

$$B_f = B_0 + \sin 2B_0 \{K_a + \sin^2 B_0 [K_b + \sin^2 B_0 (K_c + K_d \sin^2 B_0)]\}$$

其中： $B_0 = \frac{X}{a(1-e^2)A_0}$ ， X 为 $y = 0$ 时， x 值对应的子午线弧长。

$$K_a = \frac{1}{2} \left[\frac{3}{4} e^2 + \frac{45}{64} e^4 + \frac{350}{512} e^6 + \frac{11025}{16384} e^8 \right]$$

$$K_b = -\frac{1}{3} \left[\frac{63}{64} e^4 + \frac{1108}{512} e^6 + \frac{58239}{16384} e^8 \right]$$

$$K_c = \frac{1}{3} \left[\frac{604}{512} e^6 + \frac{68484}{16384} e^8 \right]$$

$$K_d = -\frac{1}{3} \left[\frac{26328}{16384} e^8 \right]$$

G2 坐标换带计算

换带的数学模型如下：

$$x_2 = x_1 + (m + m_1 \Delta y_1) \Delta y_1 + \delta_x \dots\dots\dots (G3)$$

$$y_2 = y_0 + (n + n_1 \Delta y_1) \Delta y_1 + \delta_y$$

或

$$x_2 = x_1 + \{m + (m_1 + m_2 \Delta y_1) \Delta y_1\} \Delta y_1 + \sigma_x \dots\dots\dots (G4)$$

$$y_2 = y_0 + \{n + (n_1 + n_2 \Delta y_1) \Delta y_1\} \Delta y_1 + \sigma_y$$

上述两式中：

y_0 永为正，西带换至东带和东带换至西带时， y_1 前取±号， y_2 前取干号。

$$\Delta y_1 = \pm y_1 - y_0$$

$$\delta x = m_2 \Delta y_1^3 + m_3 \Delta y_1^4$$

$$\delta y = n_2 \Delta y_1^3 + n_3 \Delta y_1^4$$

$$\sigma_x = m_3 \Delta y_1^4$$

$$\sigma_y = n_3 \Delta y_1^4$$

而

$$m = -\sin 2\gamma_0$$

$$m_1 = A \sin 3\gamma_0$$

$$m_2 = -C \cos 4\gamma_0 - D \sin 4\gamma_0$$

$$m_3 = \frac{5y_0}{8R} \sin 2\gamma_0$$

$$n = -\cos 2\gamma_0$$

$$n_1 = A \cos 3\gamma_0$$

$$n_2 = C \sin 4\gamma_0 - D \cos 4\gamma_0$$

$$n_3 = \frac{y_0}{12R_0^4}$$

$$A = \cos \gamma_0 \left\{ \frac{y_0}{R_0^2} - \frac{2\eta_0^2 t_0}{R_0^3} y_0^2 \operatorname{tg} \gamma_0 - \frac{y_0^3}{3R_0^4} \right\}$$

$$C = \frac{1}{6R_0^2} \sin 2\gamma_0 + \frac{4\eta_0^2 t_0}{3R_0^3} y_0 \cos 2\gamma_0$$

$$D = \left(\frac{y_0}{R_0^2} \cos \gamma_0 \right)^2$$

此种坐标换带数字模型比较精确实用，换带计算精度可达 1mm。

附录H
(资料性附录)
本规程用词说明

H1 本规程条文中对执行严格程度不同的用词，现说明如下：

H1.1 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”。

H1.2 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”。

H1.3 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”。

H2 条文中指明应按其它有关标准、规范执行或引用本标准其它条文规定时的写法为：“应按……执行”或“应符合……要求或规定”。非必须按所指定的标准、规范或其它规定执行的写法为：“可参照……”。
