武漢大学
Wuhan University

国家注册测绘师考试培训教程

大 地 测 量 学

武汉大学测绘学院　姚宜斌
ybyao@whu.edu.cn
二00九年六月



第一部分
大地测量考试基本要求



1.根据国家、区域和工程测量的不同需求，优化设计满足要求的卫星定位连续运行参考站网、卫星定位控制网、边角控制网、高程控制网和重力控制网等空间框架基准，并应充分考虑到对似大地水准面精化工作的要求。

【要点】：

✓侧重于大地测量学的基本概念，熟练掌握经典大地测量与现代大地测量的区别；

✓熟练掌握空间框架基准的构成及实现方式；

✓熟练掌握优化设计方法，根据不同的需要，选择合适的框架基准建立相应的控制网；

✓掌握国家现代基准的组成和实现方式。



➢大地测量学的定义

指在一定的时间与空间参考系中，测量和描绘地球形状及其重力场并监测其变化，为人类活动提供关于地球的空间信息的一门学科。

➢大地测量学的基本体系

应用大地测量、椭球大地测量、天文大地测量、大地重力测量、测量平差等；新分支： 海样大地测量、行星大地测量、卫星大地测量、地球动力学、惯性大地测量。



- **几何大地测量学（即天文大地测量学）**

基本任务：

确定地球的形状和大小及确定地面点的几何位置。

主要内容：

国家大地测量控制网(包括平面控制网和高程控制网)建立的基本原理和方法，精密角度测量，距离测量，水准测量；地球椭球数学性质，椭球面上测量计算，椭球数学投影变换以及地球椭球几何参数的数学模型等。



- **物理大地测量学：即理论大地测量学**

基本任务：

用物理方法(重力测量)确定地球形状及其外部重力场。

主要内容：

包括位理论，地球重力场，重力测量及其归算，推求地球形状及外部重力场的理论与方法。

- **空间大地测量学：**

基本任务： 主要研究以人造地球卫星及其他空间探测器为代表的空间大地测量的理论、技术与方法。利用人造地球卫星进行地面点定位及测定地球形状、大小和地球重力场的理论、方法的学科.



现代大地测量的特征：

- 研究范围大（全球：如地球两极、海洋）
- 从静态到动态，从地球内部结构到动力过程。
- 精度越高，相对精度10^{-8}~10^{-9}，绝对精度毫米。
- 测量与数据处理周期短，但数据处理越来越复杂。



一、国家平面大地控制网的建立

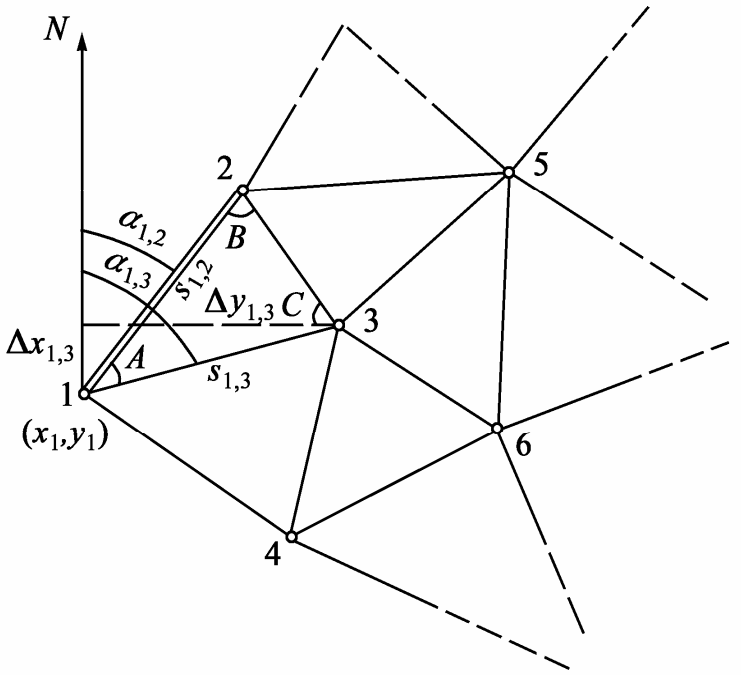
➢ 国家平面大地控制网的建立方法

1、常规大地测量法

● 三角测量法

优点：图形简单，结构强，几何条件多，便于检核，网的精度较高。

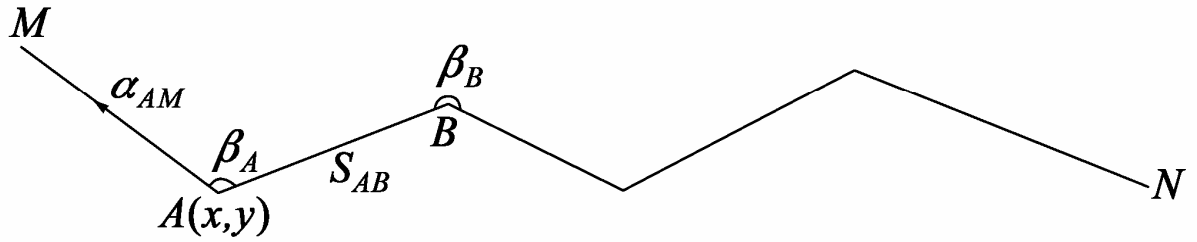
缺点：易受障碍物的影响，布设困难，增加了建标费用；推算边长精度不均匀，距起始边越远边长精度越低。



●导线测量法：

优点：布设灵活，容易克服地形障碍；导线测量只要求相邻两点通视，故可降低觇标高度，造标费用少，且便于组织观测；网内边长直接测量，边长精度均匀。

缺点：导线结构简单，没有三角网那样多的检核条件，不易发现粗差，可靠性不高。



● 三边测量及边角同测法

边角全测网的精度最高，相应工作量也较大。在建立高精度的专用控制网(如精密的形变监测网)或不能选择良好布设图形的地区可采用此法而获得较高的精度。

2、天文测量法

■ 天文测量法是在地面点上架设仪器，通过观测天体(主要是恒星)并记录观测瞬间的时刻，来确定地面点的地理位置，即天文经度、天文纬度和该点至另一点的天文方位角。

优点：各点彼此独立观测，也勿需点间通视，测量误差不会积累。

缺点：精度不高，受天气影响大。

用途：在每隔一定距离的三角点上观测天文来推求大地方位角，控制水平角观测误差积累对推算方位角的影响。

3、现代大地测量新技术GPS测量

全球定位系统**GPS(Global Positioning System)**可为各位用户提供精密的三维坐标、三维速度和时间信息。



➢ 国家平面控制网的布设原则

- **从高到低、逐级控制**

  国家三角网分为一、二、三、四等，GPS网分为A、B、C、D、E五级，A级网为高精度坐标框架， B、C、D、 E相当于常规大地测量的一、二、三、四等。

- **大地控制网要有足够的精度**

  如各级GPS 网相邻点间基线长度精度用下式表示，按表规定执行.

$$\delta = \sqrt{a^2 + (b \times D)^2}$$

表 1　　精度分级

级　别	固定误差 a，mm	比例误差系数
AA	≤3	≤0.01
A	≤5	≤0.1
B	≤8	≤1
C	≤10	≤5
D	≤10	≤10
E	≤10	≤20



各等级三角测量的精度

等　　级	一　等	二　等	三　等	四　等
测角中误差	±0″.7	±1″.0	±1″.8	±2″.5

等　　级	一　等	二　等	三　等	四　等
边长相对中误差	1/20 万	1/12 万	1/7 万	1/4 万
方位角中误差	±0″.9	±1″.5	±2″.5	±4″.5



- **大地控制网要有足够的密度**

国家控制网是测图的基本控制，其密度要满足测图的要求。控制点的密度是指每幅图中包含有多少控制点，不同比例尺有不同的要求。

测图比例尺	平均每幅图面积(km2)	平均每幅图要求的控制点数	每点控制的面积（km2)	网平均边长（km)	控制网等级
1：5万	350~500	3	150	13	二　等
1：2.5万	100~125	2~3	50	8	三　等
1：1万	15~20	1	20	2~6	四　等

GPS网	A	B	C	D	E
相邻点最小距离	100（km)	15	5	2	1
相邻点最大距离	2000(km)	250	40	15	10
相邻点平均距离	3009(km)	70	15~10	10~5	5~2

- **大地控制网要有统一的规格和要求**

国家三角测量规范**GB/T 17942-2000**

全球定位系统测量规范**GB/T 18314-2001**

国家测量规范规定了：具体的布网方案、作业方法、使用的仪器、各种精度指标等内容。

表 6　　接收机选用

级别	AA	A	B	C	D、E
单频/双频	双频/全波长	双频/全波长	双频	双频或单频	双频或单频
观测量至少有	L1、L2 载波相位	L1、L2 载波相位	L1、L2 载波相位	L1 载波相位	L1 载波相位
同步观测接收机数	≥5	≥4	≥4	≥3	≥2



表 7　　各级 GPS 测量基本技术要求规定

项目 \ 级别			AA	A	B	C	D	E
卫星截止高度角（°）			10	10	15	15	15	15
同时观测有效卫星数			≥4	≥4	≥4	≥4	≥4	≥4
有效观测卫星总数			≥20	≥20	≥9	≥6	≥4	≥4
观测时段数			≥10	≥6	≥4	≥2	≥1.6	≥1.6
时段长度 min	静态		≥720	≥540	≥240	≥60	≥45	≥40
	快速静态	双频 + P（Y）码	—	—	—	≥10	≥5	≥2
		双频全波	—	—	—	≥15	≥10	≥10
		单频或双频半波	—	—	—	≥30	≥20	≥15
采样间隔 s	静态		30	30	30	10 ~ 30	10 ~ 30	10 ~ 30
	快速静态		—	—	—	5 ~ 15	5 ~ 15	5 ~ 15

各等级三角测量使用的仪器与观测方法和测回数

等级	使用仪器类型	全组合测角法方向权：n*m	方向观测法测回数	备注
一	DJ07 DJ1	36（35） 42（40）		n. 方向数 m. 测回数
二	DJ07 DJ1	24（25） 30（28，32）	12 15	
三	DJ07 DJ1 DJ2		6 9 12	
四	DJ07 DJ1 DJ2		4 6 9	



全组合测角法限差

序　　号	项　　目	一　　等		二　　等	
		DJ07	DJ1	DJ07	DJ1
1	主望远镜、偏扭观察镜目镜测微器三次读数互差	3 格		3 格	
2	光学测微器两次重合读数差	1″	1″	1″	1″
3	上、下半测回角值的差	5″	6″	5″	6″
4	同一角度各测回互差	4″	5″	4″	5″
5	直、间接角互差 3～4 个方向 5～6 个方向 7 和 7 个以上方向	 2″5 3″ 4″		 3″ 4″ 5″	
6	三角形最大闭合差	2″.5		3″.5	

方向观测限差

序号	项　　目	二　　等		三　　等			四　　等		
		DJ07	DJ1	DJ07	DJ1	DJ2	DJ07	DJ1	DJ2
1	光学测微器两次重合读数差	1″	1″	1″	1″	3″	1″	1″	3″
2	半测回归零差	5″	6″	5″	6″	8″	5″	6″	8″
3	一测回内 2C 互差	9″	9″	9″	9″	13″	9″	9″	13
4	化归同一起始方向后，同一方向值各测回互差	5″	6″	5″	6″	9″	5″	6″	9″
5	三角形最大闭合差	3″.5		7″.0			9″.0		

➢ 国家平面大地控制网的布设

包括以下工作：技术设计，实地选点，建造觇标，标石埋设，外业测量，平差计算，成果整理等

- 技术设计
  —收集资料
  —实地踏勘
  —图上设计
  —编写技术设计书
- 实地选点：选点图，点之记，选点工作技术总结（参照规范）。
- 标石埋设：大地点的坐标指的标石中心的坐标。



- 外业测量。
- 平差计算。

观测工作结束后应及时整理和检查外业观测手簿。检查手簿中所有计算是否正确、观测成果是否满足各项限差要求。确认观测成果全部符合本规范规定之后，方可进行计算。

三角测量成果的验算

1）三角形闭合差、测角中误差计算；
2）极条件自由项及限差计算；
3）基线条件自由项及限差计算；
4）方位角条件自由项及限差计算；
5）三角高程高差的验算。



GPS 测量成果的检验

基线解算结果要进行重复基线和异步环检验：

1）复测基线长度较差 $ds \le 2\sqrt{n}\delta$

2）异步环的坐标分量相对闭合差精度应满足：

$$W_X \le 2\sqrt{n}\delta \qquad W_Y \le 2\sqrt{n}\delta \qquad W_Z \le 2\sqrt{n}\delta \qquad W \le 2\sqrt{3n}\delta$$

其中：**n**为独立环的边数 ，$\delta = \sqrt{a^2 + (b \times D)^2}$

- 成果的检查验收与上交

三角测量任务完成后，参照**CH1002** 进行检查和验收并编写检查验收报告。检查验收以后参照**CH1003** 进行质量评定。经过检查验收后的三角测量成果，须清点、整理、装订成册、编制目录，开列清单，上交资料管理部门。



➢ 国家平面大地控制网的国家技术规范

国家三角测量规范**GB/T 17942-2000**
全球定位系统测量规范**GB/T 18314-2001**
测绘技术总结编写规定**CH1001-1995**
测绘产品检查验收规定**CH1002-1995**
测绘产品质量评定标准**CH1003-1995**
测绘技术设计规程**CH/T 1004-1999**
全球定位系统（**GPS**）测量型接受机检查规程**CH8016-1995**

国家一、二等水准测量规范**GB12978-1991**（**2006**）
国家三、四等水准测量规范**GB12978-1991**



二、国家高程控制网的建立

■ 国家高程（框架）控制网的目的和任务

1）建立统一的高程控制网，为地形测图和各项建设提供必要的高程控制基础；

2）为地壳垂直运动、平均海面倾斜及其变化和大地水准面形状等地球科学研究提供精确的高程数据。

■ 国家高程（框架）控制网的布设原则

● 从高到低、逐级控制

一等水准测量是国家高程控制网的骨干，同时也为相关地球科学研究提供高程数据；二等水准测量是国家高程控制网的全面基础；三、四等水准测量是直接为地形测图和其他工程建设提供高程控制点。



● 水准点满足一定的密度

水准标石类型	间距（km）			布设具体要求
	一般地区	经济发达地区	荒漠地区	
基岩水准标石	500			只设于一等水准路线上，大城市和断裂带附近应增设，基岩较深地区可适当放宽，每省（市、自治区）至少两座。
基本水准标石	40	20-30	60	设于一二等水准路线上及交叉处，大、中城市两侧及县城附近。尽量设置在坚固岩层上。
普通水准标石	4-8	2-4	10	设于各等级水准路线上，以及山区水准路线高程变换点附近，长度超过300米的遂道，跨河水准测量的两岸标尺附近。

●水准测量达到足够的精度

各等级水准测量的精度，是用每公里高差中数的偶然中误差和每公里高差中数的全中误差来表示的。

水准测量等级	一等 (mm)	二等 (mm)	三等 (mm)	四等 (mm)
M_{Δ}的限值	≤±0.45	≤±1.0	≤±3.0	≤±5.0
M_W的限值	≤±1.0	≤±2.0	≤±6.0	≤±10.0

● 一等水准网应定期复测



国家高程（框架）控制网布设方案

- 国的水准测量分为四等，各等级水准测量路线必须自行闭合或闭合于高等级的水准路线上，与其构成环形或附合路线，以便控制水准测量系统误差的积累和在高等级的水准环中布设低等级的水准路线。
- 一等闭合环线周长，在平原和丘陵地区为**1 000～1 500km**，一般山 区为**2 000km**左右。
- 等闭合环线周长，在平原地区为**500～750km,**山区一般不超过**1 000km**。
- 三、四等水准用于加密，根据高等级水准环的大小和实际需要布设，其中环线周长、附合路线长度和结点间路线长度，三等水准分别为**200km**、**150km**和**70km**；四等分别为**100km**、**80km**和**30km**。



三、 精密角度测量

■ 精密角度测量仪器概述

我国大地经纬仪系列标准：

五个等级：**DJ07，DJ1，DJ2，DJ6，DJ15**

D：表示“大地测量”

J： 表示“经纬仪”

下标数字：表示一测回水平方向中误差

DJ07级系列：北京光学仪器厂：DJ07

南京 1002厂：DJ07等；

DJ1级系列：Wild厂：T3，Kern厂：DKM3等。



■ 精密测角的误差来源及影响

➢外界条件的影响

□大气层密度的变化对目标成像稳定性的影响

- 早晨太阳升起时，目标成像也仅有轻微的波动；
- 日出以后，有一段时间，大约**1～3h**，成像较稳定；
- 12~15 h，成像波动较大；
- 日落前有一段成像稳定而有利于观测的时间；

□ 水平折光的影响

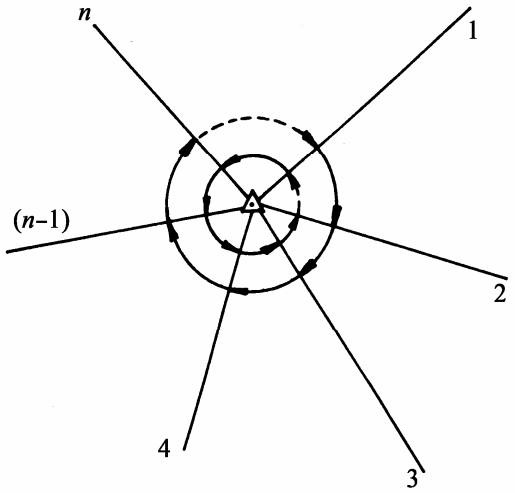
□ 照准目标的相位差

□ 温度变化对视准轴的影响

□ 外界条件对觇标内（或三角架）架稳定性的影响



■ 角度观测方法



- 观测程序

  上半测回：1→ 2 → 3 → 4 → 1

  下半测回：1→ 4 → 3 → 2 → 1

  “1”称为零方向.

  零方向选择：通视好，成像清晰，边长适中

- 测回数确定: 参考规范
- 度盘配置: 参考规范
- 测站限差: ①2次读数的秒差（光学经纬仪）,②半测回归零差

  ③L-R=2C的各方向互差

  ④各测回同一方向的方向值之差
- 测站平差



四、 精密电磁波测距

电磁波测距仪的分类和分级

- 测距原理：相位式测距仪（固定频率、可变频率）、脉冲式测距仪
- 测程：长(十10km以上)、中(数公里至10km)、短(3km)
- 载波源：红外、激光、微波
- 载波数：单频、双频
- 反射目标：合作目标、漫反射目标
- 精度：高精度、一般精度、低精度

仪器公司概况:

国外: GMD系列: 瑞典AGA →Geotronic 捷创力

TC系列: wild威特公司+kern 克恩公司→leica徕卡公司

elta系列:西德(zaiss蔡司) → Topcon公司(GTS系列)

set系列: sokkisha测机舍公司 → sokki Λ索佳公司

国内: 北光, 苏光等.



五、 精密水准测量

■ 水准测量仪器概述

我国水准测量仪系列标准：

五个等级：**DS05，DS1，DS3，DS10，DS20**

D：表示“大地测量”

J： 表示“水准仪”

下标数字：表示每公里往返高差中数的偶然中误差。

与我国**DS05**相当精度的仪器：

德国蔡司：**Ni007**自动安平水准仪

瑞士威特厂：**N3**水准仪

瑞士徕卡：**DNA03**数字水准仪，托普康**DL101/102C**数字水准仪等。

索佳**SDL30**电子水准仪。



■ 水准测量的概算

概算的主要内容：观测高差的各项改正数的计算和水准点概略高程表的编算等。

1.水准标尺每米长度误差的改正数计算；

2.水准高差温度改正；

3.正常水准面不平行的改正数计算；

4.重力异常改正；

5.水准路线闭合差改正计算；

6.水准测量外野高差与概算高程表。



CORS系统实时定位技术

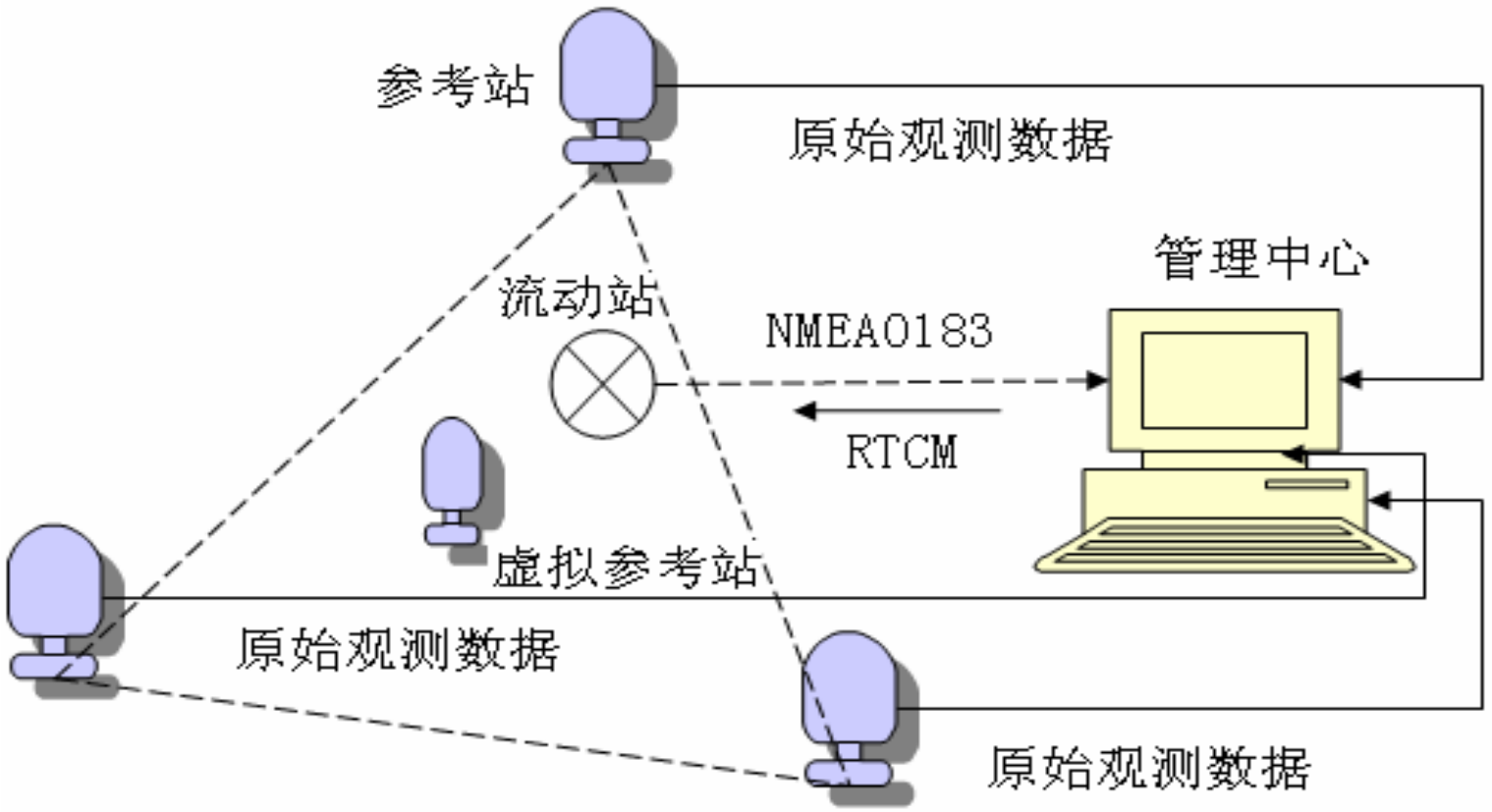
1、虚拟参考站技术（Virtual Reference Station, VRS）

2、区域改正参数方法（FKP）

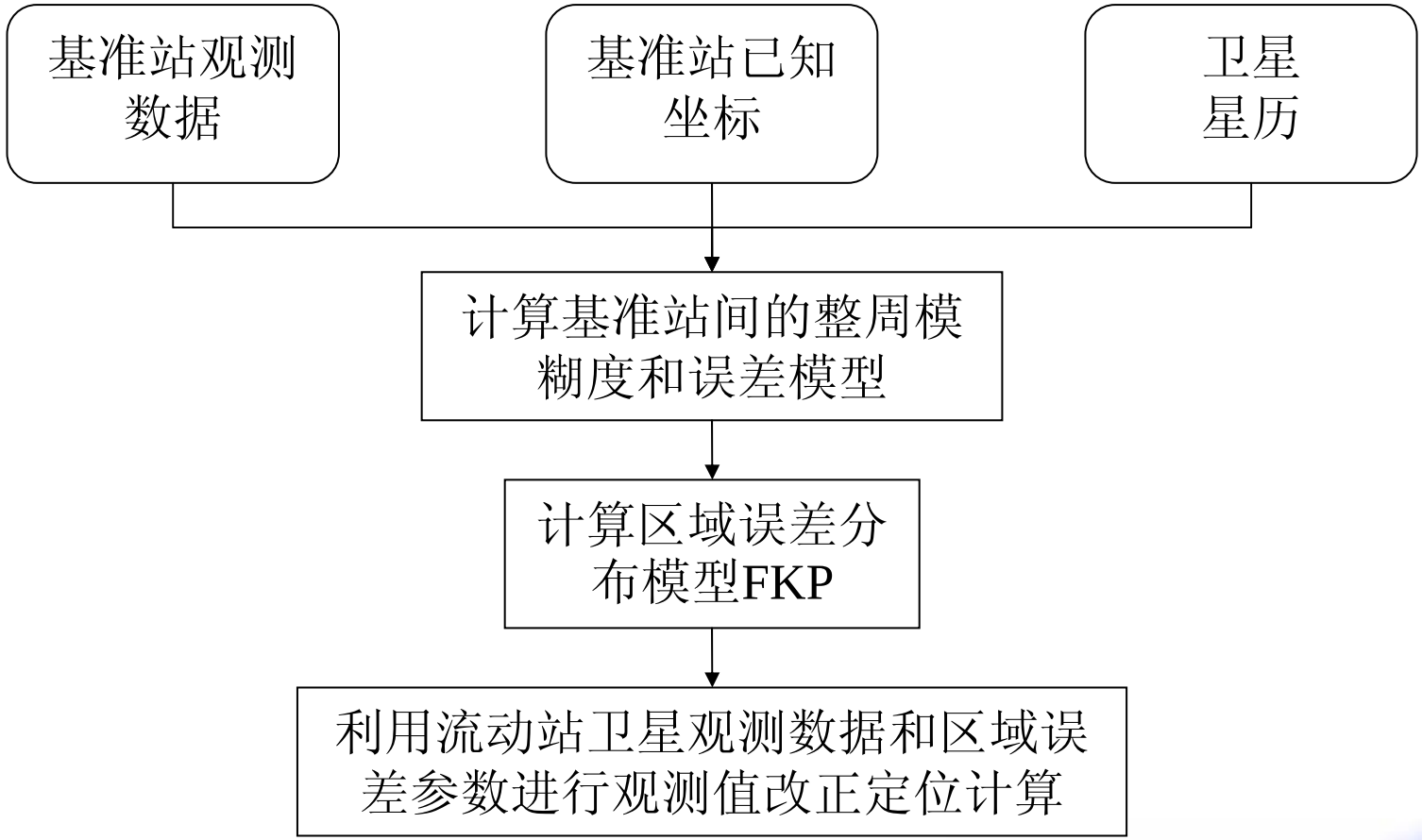
3、主辅站技术（Master-Auxiliary Concept, MAC）



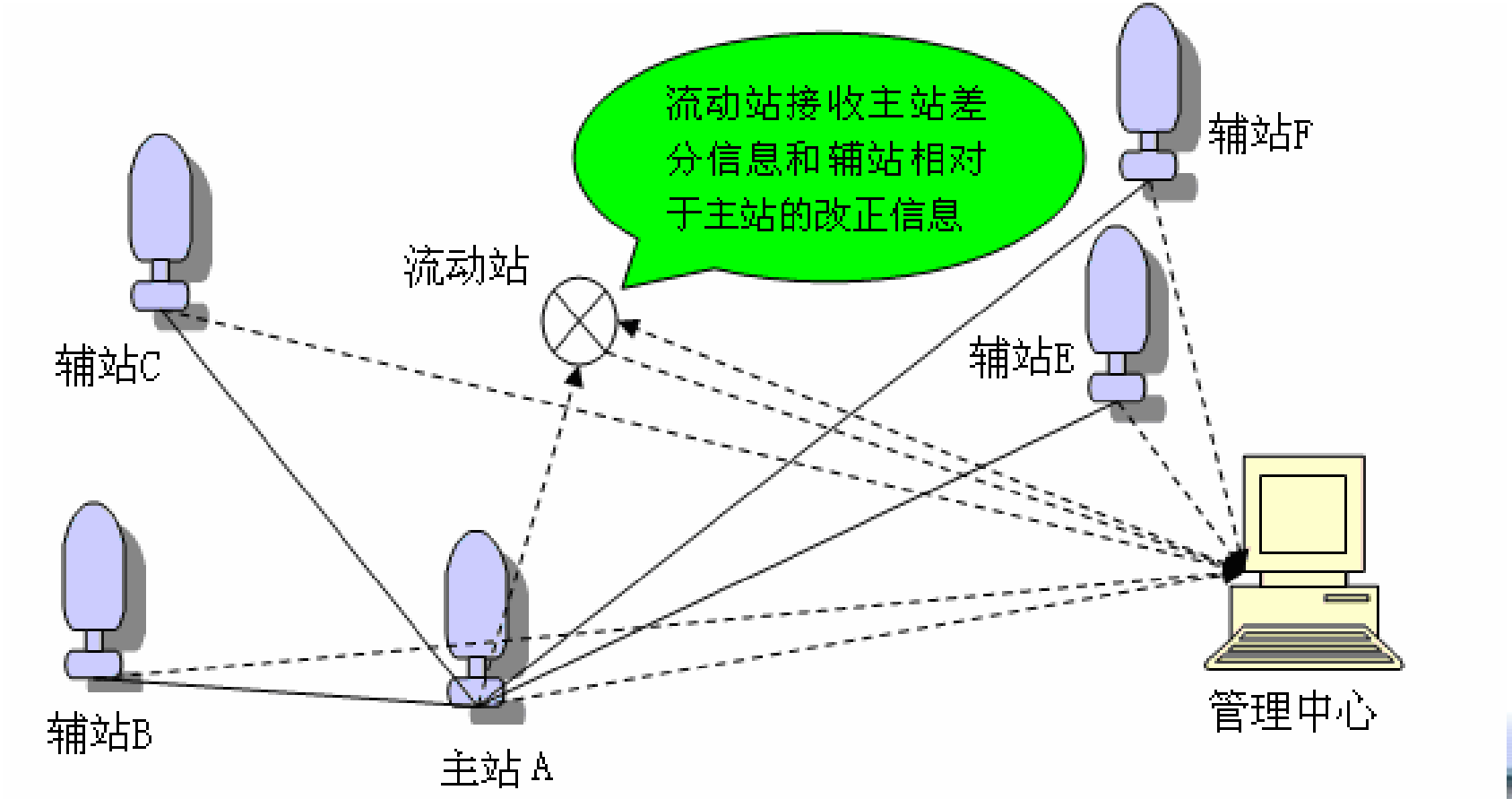
VRS技术



FKP技术


基准站观测数据
基准站已知坐标
卫星星历
计算基准站间的整周模糊度和误差模型
计算区域误差分布模型FKP
利用流动站卫星观测数据和区域误差参数进行观测值改正定位计算

MAC技术



2.根据不同作业区域的地质、环境、地物以及气象等情况，选择满足设计要求的点(站)址，并建造适合该区域的测量标志。

【要点】：

- ✓ 根据不同测量方法与手段，掌握选点准备、选点基本要求以及选点作业过程；
- ✓ 根据不同测量方法，不同的测量目的，熟练掌握测量标石的制作与埋设的具体要求。



3.根据控制网的布设情况，编写实施方案，选择满足设计要求的仪器设备，进行相应的仪器设备检验，并依据设计的作业方法进行外业观测。对外业观测数据进行检核，获得合格的观测成果。

【要点】：

- ✓ **CH/T 1004-1999，掌握控制网技术设计书的编写方法；**
- ✓ **掌握三角网、水准网、GPS网外业观测的作业流程；**
- ✓ **掌握三角网、水准网、GPS网外业观测的数据质量控制方法。**



4.根据观测方法和工程项目的要求，选择经过验证、可靠的数据处理软件对外业观测数据进行处理，处理结果应符合设计的要求。

【要点】：

✓ 掌握不同的观测方法的常用的数据处理软件；

✓ 掌握平面三角网、水准网、GPS网的数据处理方法。



5.据卫星定位控制网的特点，依据工程需要进行似大地水准面(或高程异常模型)的精化工作，完成卫星定位三维控制网的建设。

【要点】：

- ✓ 熟悉似大地水准面精化的意义与目的；
- ✓ 熟悉似大地水准面精化的实施步骤和实现方法；
- ✓ 熟悉似大地水准面精化所用的资料。



➢ 高程系统

在测量中常用的高程系统有大地高系统、正高系统和正常高系统。

大地高系统是以参考椭球面为基准面的高程系统。某点的大地高是该点到通过该点的参考椭球的法线与参考椭球面的交点间的距离。大地高也称为椭球高，大地高一般用符号H表示。同一个点，在不同的基准下，具有不同的大地高。

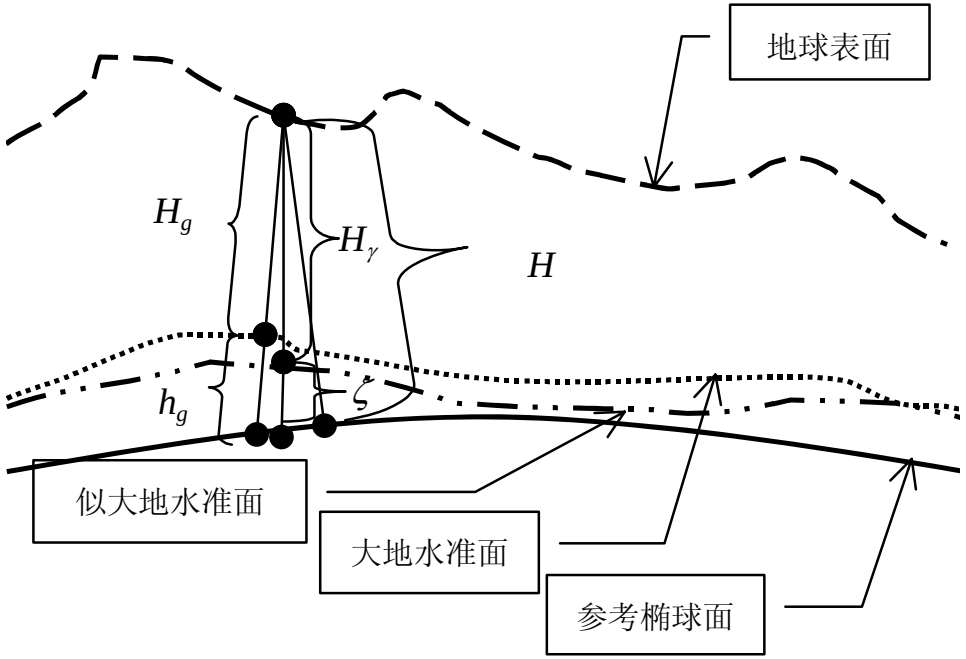
正高系统是以大地水准面为基准面的高程系统。某点的正高是该点的铅垂线与大地水准面的交点之间的距离。

正常高系统是以似大地水准面为基准的高程系统。某点的正常高是该点到通过该点的铅垂线与似大地水准面的交点之间的距离。示。

➢ 国家高程系统：正常高高程系统



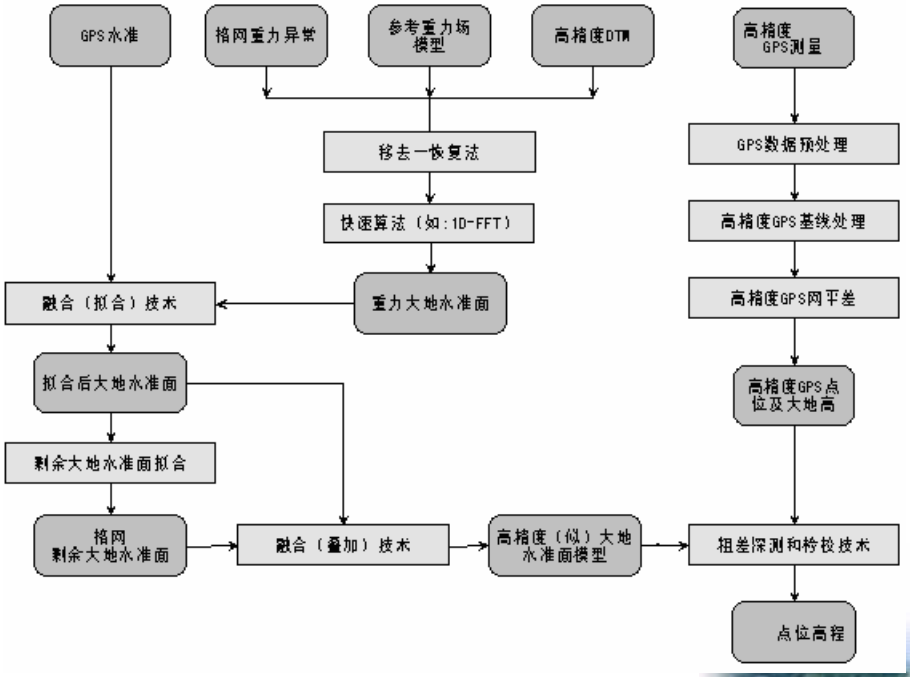
高程系统之间的转换关系



$$H = H_g + h_g \qquad H = H_\gamma + \zeta$$



似大地水准面精化法：在建立区域高精度、三维（GPS）空间定位网、高程控制网的同时，结合重力测量、重力场数据，确定高精度区域似大地水准面。我国有CQG2000，各个省有省级的厘米级似大地水准面模型。



提高GPS水准精度的方法

✓提高GPS大地高(高差)测定的精度

✓提高似大地水准面模型计算的精度



6.根据作业区域的坐标系统情况，进行坐标系之间的分析，确定不同等级、不同年代控制网间的相互关系。

【要点】：

- ✓ 熟练掌握**1954**年北京坐标系、**1980**西安坐标系、**CGCS2000**坐标系的定义及相关内容；
- ✓ 熟练掌握测量坐标系的不同表达方式（空间直角坐标、空间大地坐标、站心坐标系、高斯平面直角坐标系、城市独立坐标系以及施工平面坐标系）及转换方法；
- ✓ 熟练掌握不同坐标系之间转换的实现方法（空间三维坐标转换、二维平面坐标转换）；
- ✓ 熟练掌握城市坐标系或工程坐标系的建立方法。



- 地测量系统与参考框架的描述

大地测量系统：

规定了大地测量的起算基准、尺度标准及其实现方式（理论、模型与方法）。

大地测量参考框架：

是通过大地测量手段，由固定在地面上的点所构成的大地网(点）按大地测量系统所规定的模式构建的，是大地测量系统的具体实现。大地测量系统是总体概念，大地测量参考框架是大地测量系统的具体的应用形式。

大地测量系统包括：坐标系统、高程系统与重力参考系统。

大地测量参考框架包括：坐标参考框架、高程参考框架和重力参考框架。



一、 坐标系统与坐标参考框架

1 坐标系统

1）参心坐标系统

定义：参心坐标系统的原点位于参考椭球体的中心，Z轴即椭球的旋转轴与地球的自转轴平行，X轴指向平行于天文起始子午面的大地子午面与赤道面的交点，Y轴与X和Z轴构成右手坐标系。

➢ **参心坐标系的建立：**

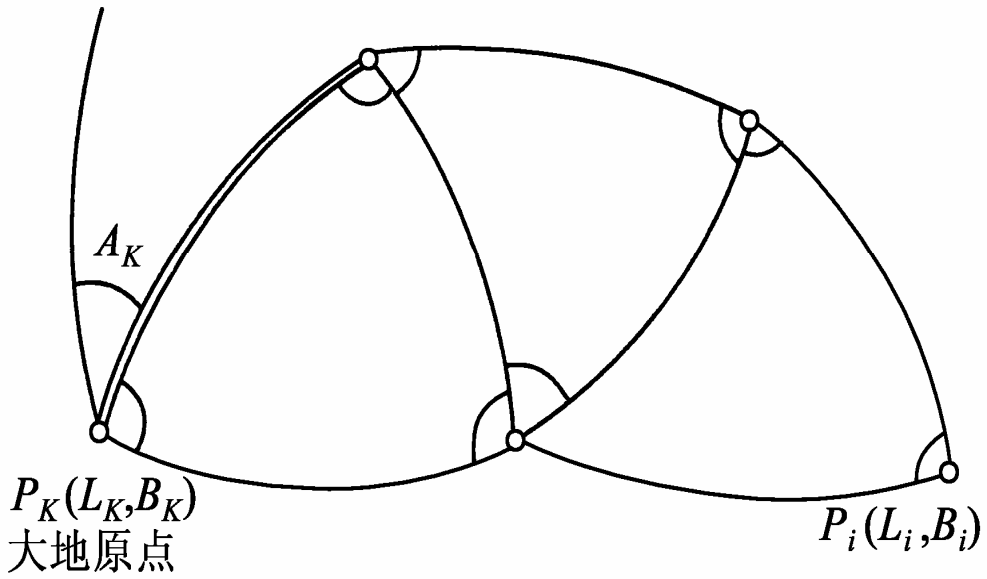
建立地球参心坐标系，需如下几个方面的工作：

- 选择或求定椭球的几何参数(半径a和扁率α)。
- 确定椭球中心的位置(椭球定位)。
- 确定椭球短轴的指向(椭球定向)。
- 建立大地原点。



❖大地原点和大地起算数据

大地原点也叫大地基准点或大地起算点，参考椭球参数和大地原点上的起算数据的确立是一个参心大地坐标系建成的标志.



1954年北京坐标系

1954年北京坐标系可以认为是前苏联**1942**年坐标系的延伸。它的原点不在北京，而在前苏联的普尔科沃。相应的椭球为克拉索夫斯基椭球。

1954年北京坐标系的缺限：

- 椭球参数有较大误差。
- 参考椭球面与我国大地水准面存在着自西向东明显的系统性的倾斜，在东部地区大地水准面差距最大达**+68m**。
- 何大地测量和物理大地测量应用的参考面不统一。
- 定向不明确 。



坐标系统(续)

➢1980西安坐标系

- 采用**1975**年国际大地测量与地球物理联合会**IUGG**第**16**届大会上推荐的**4**个椭球基本参数。

  长半径 a=6378140m,

  地心引力常数 GM=3.986 005×1014m3/s2

  重力场二阶带球谐系数J2 =1.082 63×10-8

  自转角速度 ω=7.292 115×10-5 rad/s

- 在1954年北京坐标系基础上建立起来的。
- 椭球面同似大地水准面在我国境内最为密合，是多点定位。
- 定向明确。椭球短轴平行于地球质心指向地极原点 的方向
- 大地原点地处我国中部，位于西安市以北**60 km** 处的泾阳县永乐镇，简称西安原点。
- 大地高程基准采用**1956**年黄海高程系 。



2）地心坐标系统

地心坐标系统满足以下四个条件：

- 原点位于整个地球的质心（包括海洋和大气）
- 尺度是相对论意义下某一局部地球框架内的尺度。
- 定向为国际时间局测定的某一历元的协议地极和零子午线，称为地球的定向参数**EOP**。
- 定向随时间的演变满足地壳无整体的约束条件。

通俗化的定义：

- 原点位于地球的质心
- **Z**轴与**X**轴的定向某一历元的**EOP**参数确定
- **Y**轴与**X**、**Z**构成空间右手坐标系。



2. 坐标参考框架

1）参心坐标参考框架

传统测量坐标框架是由天文大地网来实现的，一般定义在参心坐标系中，是一种区域、二维、静态的地球参考框架。**50~80**年代，北京**1954**参心坐标参考框架、西安**1980**参心坐标参考框架。



2）地心坐标参考框架

(1)国际地球参考系统(ITRS) 与ITRF

国际地球自转服务**IERS（ International Earth Rotation Service)**

IERS的任务主要有以下几个方面：

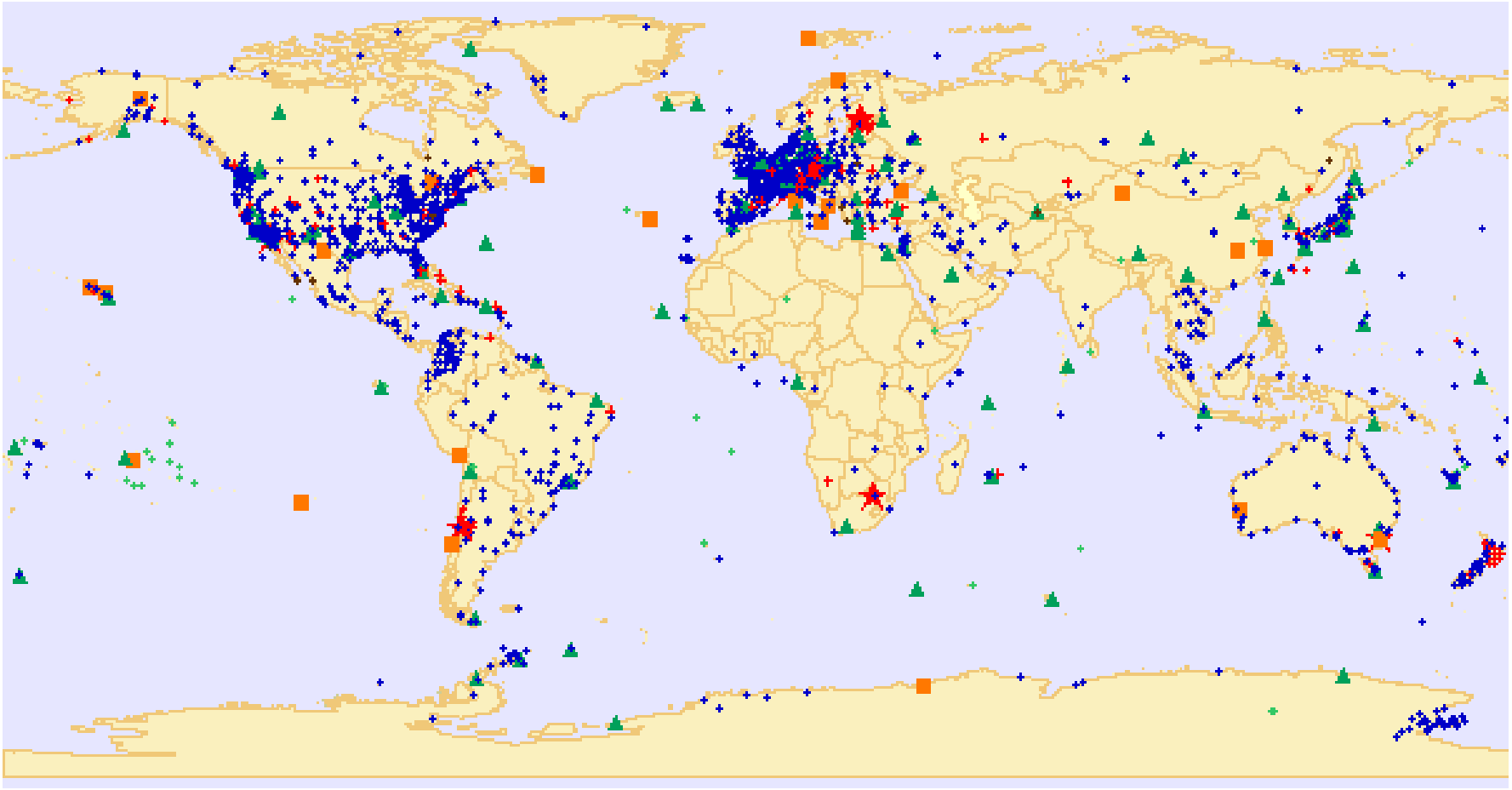
- **维持国际天球参考系统(ICRS)和框架(ICRF)；**
- **维持国际地球参考系统(ITRS)和框架(ITRF)；**
- **提供及时准确的地球自转参数(EOP)。**



国际地球参考系统ITRS

- ITRF是ITRS 的具体实现,是由IERS中心局IERS CB利用VLBI、LLR、SLR、GPS和DORIS等空间大地测量技术的观测数据分析得到的一组全球站坐标和速度。
- 自1988年起，IERS已经发布ITRF88、ITRF89、ITRF90、ITRF91、ITRF92、ITRF93、ITRF94、ITRF96、 ITRF97、 ITRF2000、ITRF2005等全球参考框架。
- ITRF是通过框架的定向、原点、尺度和框架时间演变基准的明确定义来实现的。
- 目前**ITRF**是全球公认的应用最广泛、精度最高的地心坐标框架。





1 2 3 4



(2) WGS-84世界大地坐标系

- **WGS-84**坐标系统的全称是**World Geodical System-84**（世界大地坐标系**-84**），它是一个地心地固坐标系统。**WGS-84**坐标系统由美国国防部制图局建立，于**1987**年取代了当时**GPS**所采用的坐标系统—**WGS-72**坐标系统而成为**GPS**的所使用的坐标系统。

- **1996**年，**WGS-84**坐标框架再次进行更新,参考历元为**1997.0**。
- WGS84最近更新的时间是2002年1月，更新后的WGS84(G1150)的站坐标与ITRF2000框架的站坐标差异为几个厘米，参考历元为2001.0.



（3）CGCS2000坐标系

- 参考框架ITRF97;
- 参考历元为 2000.0。

长半轴	a＝6378137 m
扁 率	f = 1/298.257222101
地心引力常数	GM＝3.986004418×1014m^3s^{-2}
自转角速度	ω ＝7.292l15×10^{-5}rad s^{-1}

- **CGCS2000坐标系是基于2000国家GPS网平差建立起来的地心坐标系**
- 2008年7月1日正式启用



二、 高程系统与参考框架

➢ 高程基准

- 区域性高程基准可以由验潮站的长期平均海水面来确定，通常定义该平均海水面的高程为零。平均海水面通常称为**高程的基准面**
- 在地面上预先设置一固定点（组），利用精密水准测量联测固定点与该平均海水面的高差，从而确定该固定点（组)的海拔高程。该固定点称为**水准原点**。水准原点的高程就是区域性水准测量的起算点。

➢ 国家高程基准： 黄海平均海水面

1987年以前, **“1956**年国家高程基准”. 水准原点高程为**72.289m**

1988年**1**月**1**日起, **“1985**国家高程基准”, 水准原点的高程为**72.260.**

“1985国家高程基准”的平均海水面比**“1956**年国家高程基准”的平均海水面高**0.029m**。



三、 重力参考系统与重力测量框架

- **重力基准和参考系统**

重力基准是标定一个国家或地区重力值的标准。**20**世纪**70**年代以前我国采用波茨坦重力基准，重力参考系统采用克拉索夫斯基椭球常数。**80**年我国重力基准采用经国际比对的高精度相对重力仪自行测定，参考系统是**IUGG75**椭球常数。**21**世纪初，我国采用高精度绝对和相对重力仪测定我国新的重力基准，目前重力基准的参考系统采用**GRS80**椭球常数。

- **重力参考框架**

重力参考由分布在我国的若干绝对重力点和相对重力点构成的重力网，以及用做相对重力尺度标准的若干重力长短基线构成。

重力参考框架的现状

国家重力基本网是确定我国重力加速度数值的参考框架，目前提供使用的**2000**国家重力基本网包括**21**个重力基准点和**126**个重力基本点



四、测量常用坐标系的分类

- 按坐标原点的不同分类：

  地心坐标系统（空间直角坐标系、大地坐标系）

  参心坐标系统（空间直角坐标系、大地坐标系 ）

  站心坐标系统（站心直角坐标系 、站心极坐标系 ）

  平面坐标系统（高斯平面坐标系、施工平面坐标系）

- 按坐标的维数不同分类：

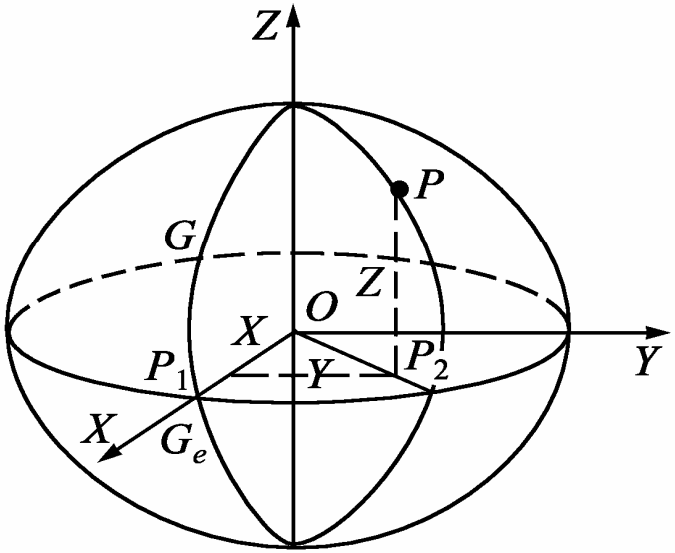
  二维坐标：北京54坐标，80大地坐标，城市独立坐标 系，施工平面坐标系。

  三维坐标：地心坐标（ITRF、CGCS2000)，站心坐标。



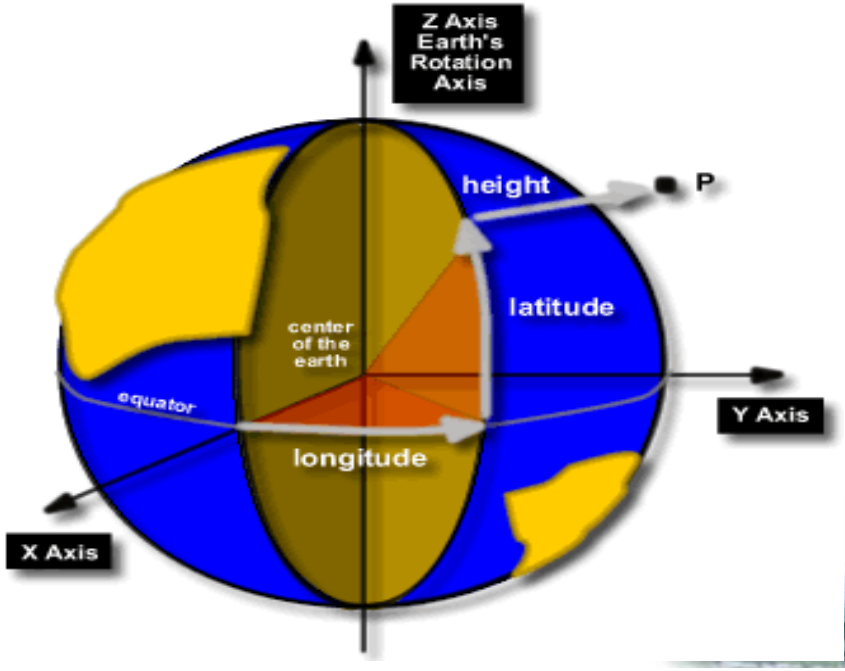
①空间直角坐标系

坐标系原点位于参考椭球的中心，Z轴指向参考椭球的北极， X轴指向起始子午面与赤道的交点，Y轴位于赤道面上，且按右手系与X轴呈90°夹角. 某点在空间中的坐标可用该点在此坐标系的各个坐标轴上的投影来表示



②空间大地坐标系

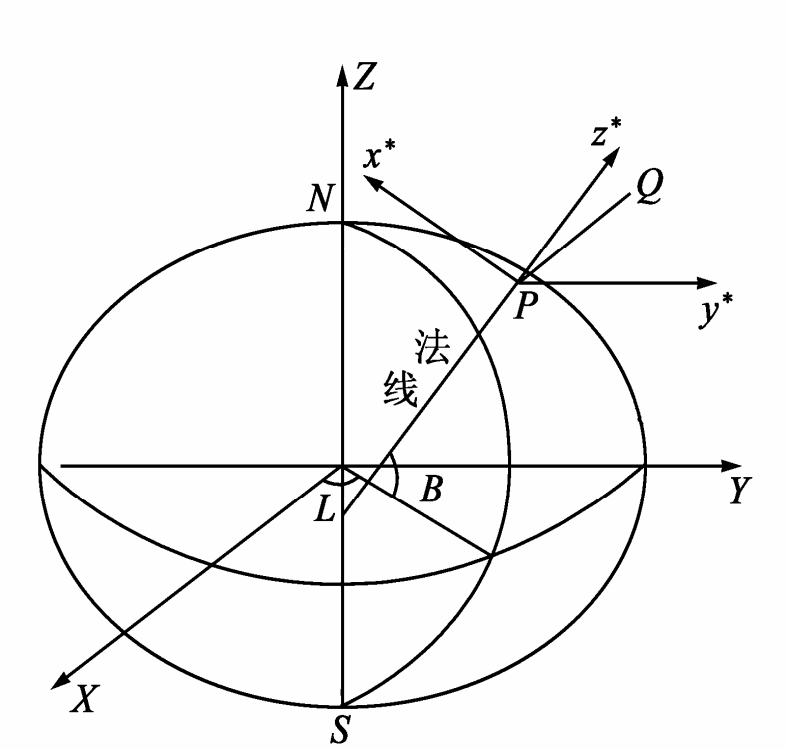
采用大地经度（L）、大地纬度（B）和大地高（H）来描述空间位置的。纬度是空间的点与参考椭球面的法线与赤道面的夹角，经度是空间中的点与参考椭球的自转轴所在的面与参考椭球的起始子午面的夹角，大地高是空间点沿参考椭球的法线方向到参考椭球面的距离。





③站心坐标系

以测站为原点，测站上的法线(垂线)为Z轴方向的坐标系就称为法线(或垂线)站心坐标系。



④高斯平面直角坐标系

平面直角坐标系是利用投影变换，将空间坐标（空间直角坐标或空间大地坐标）通过某种数学变换映射到平面上，这种变换又称为投影变换。投影变换的方法有很多，如UTM投影、Lambert投影等，在我国采用的是高斯-克吕格投影，也称为高斯投影。

高斯平面直角坐标系：

- 原点：中央子午线和赤道的交点；
- X轴：中央子午线的投影；
- Y轴：赤道的投影。

高斯投影必须满足以下以下条件：

(1)中央子午线投影后为直线,且为投影点的对称轴；

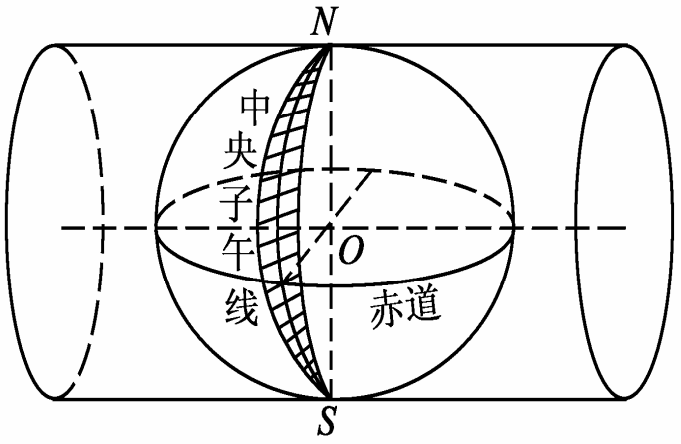
(2)中央子午线投影后长度不变；

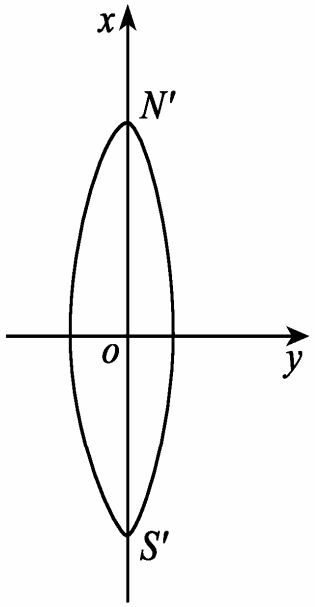
(3)投影具有正形性质(长度比与方位角无关)；



■ 高斯投影的描述

想象有一个椭圆柱面横套在地球椭球体外面，并与某一条子午线(此子午线称为中央子午线或轴子午线)相切，椭圆柱的中心轴通过椭球体中心，然后用一定投影方法，将中央子午线两侧各一定经差范围内的地区投影到椭圆柱面上，再将此柱面展开即成为投影面 。





高斯平面直角坐标系

我国规定按经差6°和3°进行投影分带

- **6°带：**自0°子午线起每隔经差6°自西向东分带，依次编号1，2，3，…60。我国6°带中央子午线的经度，由73°起每隔6°而至135°，共计11带，带号用n表示，中央子午线的经度用L_0表示。

带号及中央子午线经度的关系：

$$L_0 = 6n - 3$$

$$N = \frac{L}{6}\text{的整数商}+1\text{（有余数时）}$$

- **3°带：**自东经1.5°子午线起，每隔3°设立一个投影带，依次编号为1，2，3，…，120带；中央子午线经度依次为3°，6°，9°，…，360°。



高斯平面直角坐标系

带号及中央子午线经度的关系：　n=L/3(四舍五入)

$L_0 = 3n$

- 1.5°带或任意带：工程测量控制网也可采用1.5°带或任意带，但为了测量成果的通用，需同国家6°或3°带相联系。

- 国家统一坐标

在我国x坐标都是正的，y坐标的最大值(在赤道上)约为330km。为了避免出现负的横坐标，规定在横坐标上加上500 000m。此外还应在坐标前面再冠以带号。这种坐标称为国家统一坐标。

例如：　Y=19 123 456.789m
该点位在19带内，横坐标的真值：首先去掉带号，再减去 500 000m，最后得 y = -376 543.211(m)。



⑤城市独立坐标系

- 建立原则要求边长投影变形满足：$2.5cm/km(1/40000)$

高程归化改正—将地面上观测的长度元素归算到参考椭球面上而产生的改正。

$$\frac{S_0}{S}=\frac{R+H_m}{R}=1+\frac{H_m}{R} \qquad \Delta D_1=-S_0\frac{H_m}{R}$$

高斯投影改正—将参考椭球面上的长度经高斯投影归算到高斯平面上而产生的改正，

$$\Delta D_2=\frac{y_m^2}{2R^2}S$$



城市坐标系的确定原则

■ 确定坐标系的原则

a)按面积大小来确定是否采用高斯平面坐标系；

b)按长度变形值来决定是否采用国家3度带高斯平面直角坐标系；

如果不考虑边长的归化改正，仅考虑边长的投影改正，城市控制网要求长度变形小于1/40000，相当于离中央子午线小于45km。否则，就不能采用3°带坐标。

总变形：$\Delta D = \Delta D_1 + \Delta D_2 = D(\frac{y_m^2}{2R^2} - \frac{H_m}{R})$



■ 减小投影变形的方法

总变形 $\Delta D = \Delta D_1 + \Delta D_2 = D(\frac{y_m^2}{2R^2} - \frac{H_m}{R})$

1）改变 y_m ： 任意带坐标系，确定中央子午线位置

2）改变 H_m ： 抵偿坐标系，确定高程抵偿面的高程。

3）同时改变 y_m 和 H_m ：确定高程抵偿面的高程与中央子午线。

■ 确定平面坐标系的三大要素

- 投影面的高程；
- 中央子午线的经度；
- 起始点坐标和起始方位角。



五 坐标系换算

1）二维坐标变换

(1) 二维平面直角坐标变换

平面坐标系统之间的相互转换实际上是一种二维转换。一般而言，两平面坐标系统之间包含四个原始转换因子，即两个平移因子、一个旋转因子和一个尺度因子。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_{新} = (1+m)\left(\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha \\ -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_{旧}\right)$$



（2）大地坐标（B，L）计算高斯直角坐标（x，y）

$$x = X + \frac{N}{2}\sin B\cos B l^2 + \frac{N}{24}\sin B\cos^3 B(5 - t + 9\eta^2 + 4\eta^4)l^4 + \frac{N}{720}\sin B\cos^5 B(61 - 58t^2 + t^4)l^6$$

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

高斯投影正算



（3）高斯直角坐标（x，y）计算大地坐标（B，L）

$$B = B_f - \frac{t_f}{2M_f N_f} y^2 + \frac{t_f}{24M_f N_f^3}(5 + 3t_f^2 + \eta_f^2 - 9\eta_f^2 t_f^2) - \frac{t_f}{720M_f N_f^5}(61 + 90t_f^2 + 45t_f^4) y^6$$

$$l = \frac{1}{N_f \cos B_f} y - \frac{1}{6N_f^3 \cos B_f}(1 + 2t_f^2 + \eta_f^2) y^3 + \frac{1}{120N_f^5 \cos B_f}(5 + 28t_f^2 + 6\eta_f^2 + 24t_f^4 + 8t_f^2\eta_f^2) y^5$$

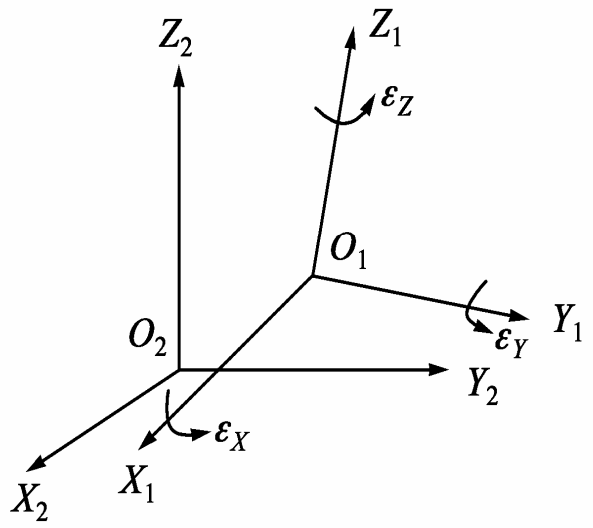
高斯投影反算



2）三维坐标的相互转换

不同坐标系统的转换本质上是不同基准间的转换，不同基准间的转换方法有很多，其中，最为常用的有布尔沙模型，又称为七参数转换法(3个平移参数、3个旋转参数和1个尺度参数)。

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = (1+m)\begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y & -\varepsilon_X & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix}$$



第二部分
界线测绘考试基本要求



1.根据界线测绘要求制定技术方案。
2.根据技术方案，选择测绘方法，实施界线测绘；确定权属关系和确定方位。
3.根据界线分类整理测绘成果，确定检测和检查验收方法。
4.根据《省级行政区域界线勘界测绘技术规定》的要求，确定测绘界线的实施方法。

【要点】：
✓ 熟悉界线测绘的主要技术流程和作业方法；
✓ 熟悉《省级行政区域界线勘界测绘技术规定》。



界线测绘的工作内容

- 在遥感影像上判读
- 到现场实地确认并埋石
- 利用GPS测量界址点坐标
- 坐标标注，在GIS平台上入库

《省级行政区域界线勘界测绘技术规定》



第三部分 GPS测量与数据处理



3.1 GPS测量的技术设计



测量任务书或测量合同书

- 内容
  - 点位要求
    - 分布、密度、数量
  - 精度要求
    - 等级、点位误差、相邻点间距离误差
  - 进度要求
    - 提交成果的时间
  - 成果要求
    - 坐标参照系、是否需要高程成果、提交资料的内容



GPS测量规范及规程

- 全球定位系统（GPS）测量规范，GB/T18314-2001，国家质量技术监督局，国家标准，2001
- 全球定位系统（GPS）测量规范，CH2001-92，国家测绘局，1992
- 全球定位系统（GPS ）测量型接收机检定规程CH8016-1995
- 全球定位系统城市测量技术规程CJJ 73-97，建设部，行业标准，1997
- …



GPS测量规范及规程


CH
中华人民共和国测绘行业标准
CH 2001-92
全球定位系统(GPS)测量规范
Specifications for
Global Positioning System (GPS) surveys
1992-06-08 发布
1992-10-01 实施
国 家 测 绘 局 发布
中华人民共和国行业标准
全球定位系统城市测量技术规程
Technical Specification for Urban
Surveying Using Global Positioning System
CJJ 73—97
1997 北 京
GB
中华人民共和国国家标准
GB/T 18314—2001
全球定位系统(GPS)测量规范
Specifications for global
positioning system (GPS) surveys
2001-03-05 发布
2001-09-01 实施
国家质量技术监督局 发布

GPS测量的等级及其用途

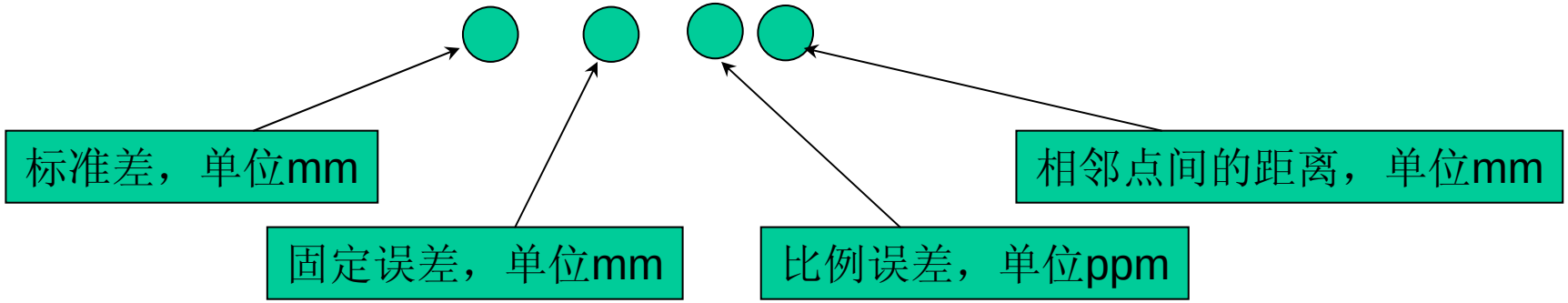
级别	用途	实例
AA	全球参考框架、全球性地球动力学研究、地壳形变测量和精密定轨	IGS 永久跟踪站网
A	国家参考框架、区域性地球动力学研究和地壳形变测量	国家 A 级网
B	国家大地控制、地方参考框架、局部形变监测和各种精密工程测量	国家 B 级网
C	大中城市及工程的基本控制网	
D	中小城市、城镇及测图、地籍、土地信息、房产、物探、勘测、建筑施工等的控制网	
E		



各级GPS测量的精度指标

- 相邻点间基线长度标准差

$$\sigma = \sqrt{a^2 + \left(b \times d \times 10^{-6}\right)^2}$$





各级GPS测量的精度指标

- 相邻点间基线长度的精度要求

级　别	固定误差 (mm)	比例误差 (ppm)
AA	≤3	≤0.01
A	≤5	≤0.1
B	≤8	≤1
C	≤10	≤5
D	≤10	≤10
E	≤10	≤20



各级GPS测量的精度指标

- 点位及基线长度年变化率的精度要求

级　别	点位的地心坐标精度	基线长度年变化率精度
AA	≤0.05m	≤0.01
A	≤5	≤0.1



各级GPS点的密度指标

- GPS网中相邻点间的平均距离

级　别	平均距离 (km)
AA	1000
A	300
B	70
C	10~15
D	5~10
E	0.2~5



GPS网的基准

- GPS网的基准包括
  - 位置基准
  - 尺度基准
  - 方位基准



GPS网图形设计的内容*

- 一般控制网图形设计的内容
  - 与精度和可靠性有关的点位设计
  - 观测设计（观测点、测回数等）
- GPS网图形设计的内容
  - 观测设计（同步观测图形、重复观测）
  - 注意：GPS网无与精度和可靠性直接相关的图形设计问题（点位观测环境方面的问题除外）



GPS网的基本图形

- 三角形网
- 多边形网
- 附和导线网
- 星形网



图形设计中的注意事项

- AA、A、B级GPS网应布设成连续网，除边缘点外，每点至少应与3个点相连，C、D、E级GPS网可布设成多边形或附和导线。



图形设计中的注意事项

- 各级GPS网中最简独立闭合环或附和导线的边数满足下表要求

级　别	闭合环和附和导线的边数
AA	–
A	≤5
B	≤6
C	≤6
D	≤8
E	≤10



图形设计中的注意事项

- AA、A、B级GPS网点应与永久GPS跟踪站联测。联测站数满足下表要求

级　别	联测永久 GPS 跟踪站的最少站数
AA	≥4
A	≥3
B	≥2



图形设计中的注意事项

- AA、A、B级GPS网点应与参加过全国天文大地网整体平差的三角点、导线点及一、二等水准点重合
- 新布设的GPS网应与附近已有的国家高等级GPS点进行联测，联测点数不少于2个
- 大陆、岛、礁之间的A、B级GPS网的边长可视实际情况变通。重要岛礁与大陆之间的联测点数不得少于3个



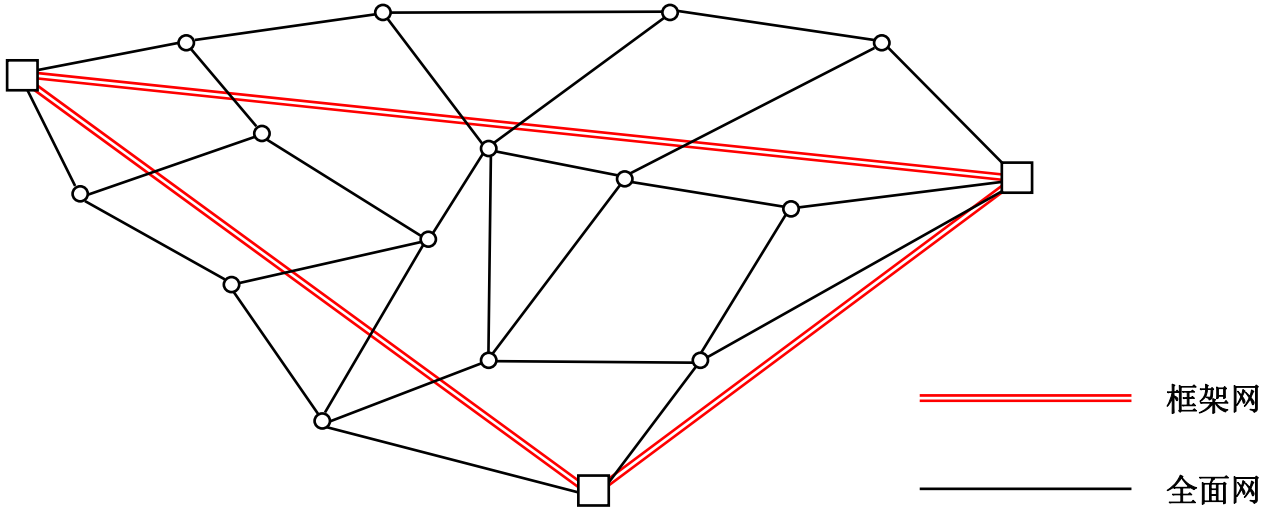
图形设计中的注意事项

- 为求得GPS点在某一参考坐标系中的坐标，应与该坐标系中的原有控制点进行联测，联测点数不得少于3个



图形设计中的注意事项

- 当控制网的范围较大时，可采用分级布设的方法，即首先布设点数较少但等级较高的框架网，然后再布设项目所要求等级的全面网*



图形设计中的注意事项

- 为求得GPS点的正常高，应进行高程联测，联测应满足下表要求

级　别	高程联测点密度要求	高程联测点的等级
AA	逐点联测	二等水准
A	逐点联测	二等水准
B	每隔 2~3 点联测 1 个	三等水准
C	每隔 3~6 点联测 1 个	四等或精度相当
D	视情况	四等或精度相当
E	视情况	四等或精度相当



GPS网的特征条件

- 总基线数
- 独立基线数
- 必要基线数
- 多余基线数



GPS网的特征条件

- 若某GPS网由n个点组成，每点的设站次数为m，用N台GPS接收机进行观测
  - 观测时段数C：$C = n \cdot m / N$
  - 总基线数$J_{总}$：$J_{总} = C \cdot N \cdot (N-1)/2$
  - 独立基线数$J_{独}$：$J_{独} = C \cdot (N-1)$
  - 必要基线数$J_{必}$：$J_{必} = n-1$
  - 多余基线数$J_{多}$：$J_{多} = J_{独} - J_{必}$



GPS网设计书

- 编写提纲
  - 概述：测区位置，项目概况
  - 技术依据：规范、标准…
  - 坐标系统与起算数据
  - 网形设计
  - 质量检核
  - 选点埋石
  - 外业观测
  - 数据处理：软件、处理方法（包括基线解算与网平差）
  - 成果资料



3.2 数据采集



GPS测量的作业流程

- 测绘资料收集整理
- 仪器检验、检定
- 踏勘、选点、埋石
- 作业队进驻
- 卫星状态预报
- 观测计划制定
- 作业调度及外业观测
- 数据传输、转储、备份
- 基线解算及质量控制



问题

- 要布设一个100个点的C级网，若某个外业测量对计划采用4台接收机进行观测，问题：
  - 外业观测需要进行多少天？
  - 外业观测费用是多少？



重复设站次数和时段长度的规定

- 规范中对不同等级的网的重复设站次数和观测时段长度的规定

表 7　各级 GPS 测量基本技术要求规定

项目 \ 级别	AA	A	B	C	D	E
卫星截止高度角(°)	10	10	15	15	15	15
同时观测有效卫星数	≥4	≥4	≥4	≥4	≥4	≥4
有效观测卫星总数	≥20	≥20	≥9	≥6	≥4	≥4
观测时段数	≥10	≥6	≥4	≥2	≥1.6	≥1.6

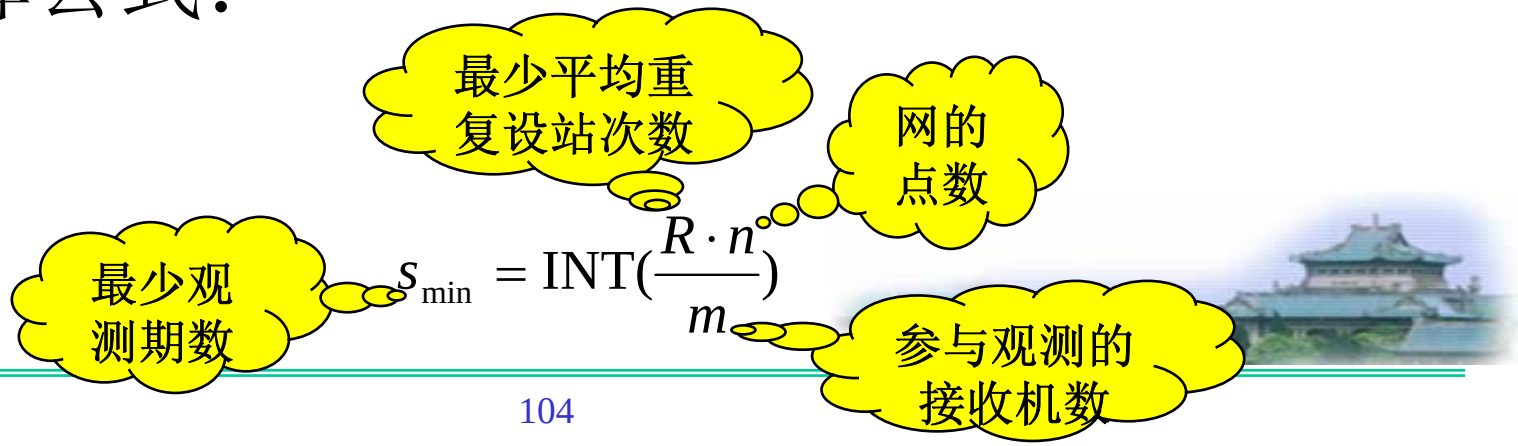
表 7(完)

项目 \ 级别		AA	A	B	C	D	E
	静态	≥720	≥540	≥240	≥60	≥45	≥40



最少观测期数

- 定义
  - 根据规范要求，布设一GPS网，需要观测的最少时段数。
- 特性
  - 最少观测期数与网的等级、点的数量和用于观测的接收机的数量有关。
- 计算公式：



外业观测进度及费用预算

- 用于估算工程进度
  - 最少观测期数/单天观测期数+机动天数
- 用于估算外业观测作业成本
  - 观测天数×单天成本



图上设计

- 应收集的资料
  - 现有测量控制（平面控制点、水准点、GPS点）资料，包括：点之记、网图、成果表、技术总结等
  - 地形图、交通图
  - 测区总体建设规划、近期发展规划
- 图上设计
  - 考虑应用、保存、交通等因素



选点

- 测站的基本要求
  - 对空通视条件好，15°以上不宜有成片障碍物。
  - 便于仪器安置及观测作业。
  - 远离可能的干扰源。
  - 远离易引起多路径的环境。
  - 地质条件良好、点位稳定、易于保存，尽可能顾及交通等条件。
  - 充分利用符合要求的现有观测设施。
  - 尽量选择测站小环境与周围大环境一致的地点。



选点

- 辅助点和方位点
  - 若AA级和A级GPS点不位于基岩上时，应在附近埋设1~3个辅助点，并测定它们与GPS点之间的距离和高差，精度优于5mm。
  - 可根据需要在GPS点附近设置方位点。



选点

- 选点作业
  - 实地探勘选点、标记。
  - 利用旧点时，应对其稳定性、可靠性和完好性进行检查。
  - 点名通常应取居民地名，C、D、E级点也可取山名、地名、单位名。少数民族地区的点名采用音译汉语名，可附原文。
  - 新旧点重合时，通常用原名，否则因注上原名。与水准点重合时，应注明水准点等级和编号。
  - 所有点应在现场绘制点之记。AA级和A级点还应填写地质概要、构造背景及地形地质略图。
  - 点位周围存在高于10的障碍物时，应绘制点的环视图。
  - 选点工作完成后，应绘制GPS网选点图。



选点

- 上交资料
  - 点之记和环视图（黑墨水填写）
  - GPS网选点图
  - 选点工作总结



埋石

标石类型

标石类型	适用级别
基岩天线墩	AA，A
岩层天线墩	AA，A
岩层标石	B
岩层普通表示	B~E
土层天线墩	AA，A
普通基本标石	B~E
冻土基本标石	B
固定沙石基本标石	B
普通标石	B~E
建筑物上的标石	B~E



埋石

- 中心标志
  - 基岩和基本标石的中心标志采用铜或不锈钢制作
  - 普通标石的中心标志可采用铁或坚硬的复合材料制作
  - 中心用十字丝或直径小于0.5mm的中心点表示
- 埋石作业
- 上交资料
  - 填写了埋石情况的点之记
  - 土地占用批准文件和测量标志委托保管书
  - 埋石工作总结



GPS接收机的选用

- 规范规定

表 6　接收机选用

级　　别	AA	A	B	C	D、E
单频/双频	双频/全波长	双频/全波长	双频	双频或单频	双频或单频
观测量至少有	L1、L2 载波相位	L1、L2 载波相位	L1、L2 载波相位	L1 载波相位	L1 载波相位
同步观测接收机数	≥5	≥4	≥4	≥3	≥2



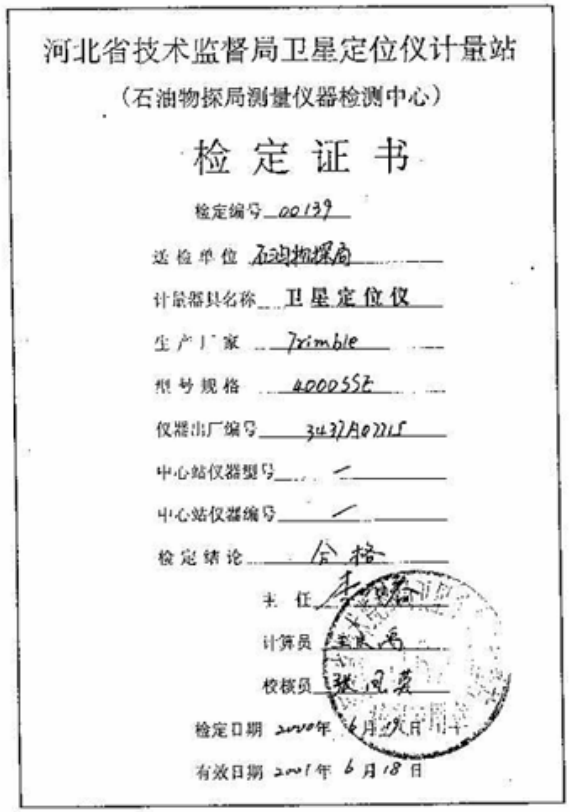
GPS接收机的检验

- 新购置GPS接收机的检验
  - 一般性检视、通电检验、试测检验
- 旧GPS接收机的检验
  - 一般性检视、通电检验、试测检验的准备部分



GPS接收机的检验

- 其他内容
  - 接收机频标稳定性检验和数据质量评价
  - 接收机高低温性能测试
  - 接收机综合性能评价



河北省技术监督局卫星定位仪计量站

（石油物探局测量仪器检测中心）

检 定 证 书

检定编号 00139

送检单位 石油物探局

计量器具名称 卫星定位仪

生产厂家 Trimble

型号规格 4000SSE

仪器出厂编号 3437A07215

中心站仪器型号 /

中心站仪器编号 /

检定结论 合格

主任

计算员

校核员

检定日期 2000年 6月 [illegible]日

有效日期 2001年 6月18日

拟定作业计划

- 分区观测
- 卫星可见性预报及观测时段的选择
  - 选择卫星数较多，DOP值较小的时间段
- 调度命令

作业分组与作业调度表

2000 年 9 月 7 日 星期四 年积日：251

作息时间：07:45 出发

作业时间： 9:30 - 13:30； 13:40 - 17:40

组别	作业人员	点号	点 名	送	接
①	田泽海 兰贵文	51	II 新 10	丘师傅 13600166703	丘师傅
②	黄勇 邱华	57	II 新 6	丘师傅 13600166703	丘师傅
③	张洪波 黄海兰	72	I 广深惠 118	陈师傅 13923865039	陈师傅
④	张 波 吴 云	70	I 穗普 43-1	小陈师傅 13823316953	小陈师傅
⑤	邵水强 曾文宪	71	I 穗普 39-1	小陈师傅 13823316953	小陈师傅
⑥	朱黎智 丁建国	62	II 新 4	廖师傅 13823228256	廖师傅
⑧	董立祥 老 曾	54	II 新 9	陈师傅 13923865039	陈师傅

作业要求：

1. 采样率：15 秒
2. 截止高度角：10 度
3. 量高：每时段测前、测后各三次读数，三次读数互差小于 3mm，测前与测后互差小于 2mm
4. 气象元素：0.5 小时一次，测定干温、湿温和气压，温度读至 0.1°，气压读至 0.1 hPa
5. 测站跟踪记录：0.5 小时一次
6. 电源状态：至少 0.5 小时查看一次

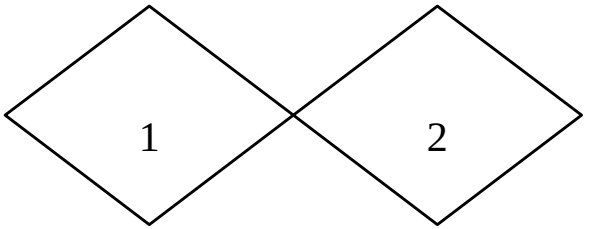
注：

1. 如遇到特殊情况请及时与大本营联系，联系电话：13612811431（黄劲松）
2. 请大家带全仪器：天线，主机，基座，脚架，温度机，气压计，电池，电缆，指南针，卷尺，铅笔，记录纸，卷笔刀，雨布，电筒，（铲子，铁锹）等



调度方案

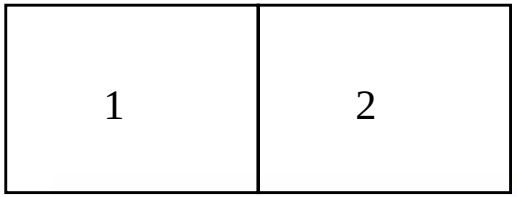
- 点连式
  - 形式
    - 相邻的同步图形间只通过一个公共点相连。
  - 优点
    - 作业效率高，图形扩展迅速。
  - 缺点
    - 图形强度低，如果连接点发生问题，将影响到后面的同步图形。



点连式

调度方案

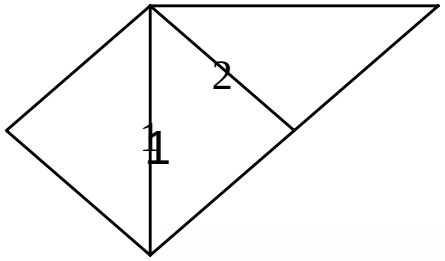
- 边连式
  - 形式
    - 相邻的同步图形间有一条边（即两个公共点）相连。
  - 优点
    - 作业效率较高，图形强度较强。



边连式

调度方案

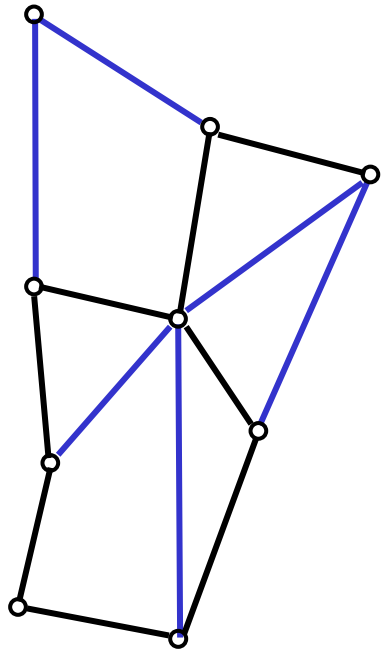
- 网连式
  - 形式
    - 相邻的同步图形间有3个（含3个）以上的公共点相连。
  - 优点
    - 图形强度最强。
  - 缺点
    - 作业效率低。



网连式

GPS网作业进度图

- GPS网作业进度图
  - 从已完成观测的同步图形中选取独立基线，在GPS网展点图上将被测点用直线连接起来，用以显示作业进度。
- 进度图的绘制
  - 应选取独立基线；
  - 用不同的颜色表示不同时段的同步观测基线。
- 作用
  - 进行网形设计；
  - 掌握作业进度。



同步图形的扩展

观测

基本技术规定

10.3 基本技术规定

10.3.1 各级 GPS 测量基本技术规定应符合表 7 要求。

表 7 各级 GPS 测量基本技术要求规定

项目 \ 级别	AA	A	B	C	D	E
卫星截止高度角(°)	10	10	15	15	15	15
同时观测有效卫星数	≥4	≥4	≥4	≥4	≥4	≥4
有效观测卫星总数	≥20	≥20	≥9	≥6	≥4	≥4
观测时段数	≥10	≥6	≥4	≥2	≥1.6	≥1.6



观测

- 基本技术规定

表 7(完)

项目 \ 级别			AA	A	B	C	D	E
时段长度 min	静态		≥720	≥540	≥240	≥60	≥45	≥40
	快速静态	双频+P(Y)码	—	—	—	≥10	≥5	≥2
		双频全波	—	—	—	≥15	≥10	≥10
		单频或双频半波	—	—	—	≥30	≥20	≥15
采样间隔 s	静态		30	30	30	10～30	10～30	10～30
	快速静态		—	—	—	5～15	5～15	5～15
时段中任一卫星有效观测时间 min	静态		≥15	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15
	快速静态	双频+P(Y)码	—	—	—	≥1	≥1	≥1
		双频全波	—	—	—	≥3	≥3	≥3
		单频或双频半波	—	—	—	≥5	≥5	≥5

注

1 在时段中观测时间符合表 7 中第七项规定的卫星，为有效观测卫星；

2 计算有效观测卫星总数时，应将各时段的有效观测卫星数扣除其间的重复卫星数；

3 观测时段长度，应为开始记录数据到结束记录的时间段；

4 观测时段数≥1.6，指每站观测一时段，至少 60%测站再观测一时段。

观测

基本技术规定

10.3.2　AA、A 与 B 级观测时段的分布应尽可能日夜均匀，且夜间观测时段所占比例不得少于 25%。夜间观测从日落后 1 小时开始起算至日出为止(以同步环最西部点为标准)。

10.3.3　AA、A、B 级测量必须同时观测记录各项气象元素和天气状况。C、D 与 E 级测量可不观测气象元素，而只记录天气状况。

10.3.4　GPS 静态定位测量时，观察数据文件名中应包含测站名或测站号、观测单元、测站类型(是参考站还是流动站)、日期、时段号等信息，具体命名方法依采用的 GPS 静态定位软件而定。

10.3.5　雷电、风暴天气时，不宜进行 AA、A、B 级 GPS 测量。



观测

观测准备

10.4 观测准备

10.4.1 GPS 接收机在开始观测前，应进行预热和静置，具体要求按接收机操作手册进行。

10.4.2 天线安置应符合下列要求：

a）用三脚架安置天线时，其对中误差不应大于 3 mm；B 级不应在高标上安置天线；

b）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，然后依投影点安置天线。投影点示误三角形的最长边或示误四边形的长对角线不得大于 5 mm，投影方法见 GB/T 17942；

c）GPS 点上建有寻常标时，应在安置天线前放倒觇标或采取其他措施；

d）B 级及以上各级 GPS 测量，其定向标志线应指向正北，顾及当地磁偏角修正后，其定向误差应不大于±5°，对于定向标志不明显的接收机天线，可预先设置标记，每次按此标记安置仪器；

e）天线集成体上的圆水准气泡必须居中，没有圆水准气泡的天线，可调整天线基座脚螺旋，使在天线互为 120°方向上量取的天线高互差小于 3 mm。



观测

10.5 观测作业的要求

10.5.1 观测组必须严格遵守调度命令，按规定的时间进行作业。

10.5.2 经检查接收机电源电缆和天线等各项联结无误，方可开机。

10.5.3 开机后经检验有关指示灯与仪表显示正常后，方可进行自测试并输入测站、观测单元和时段等控制信息。



观测

观测

10.5.4 接收机启动前与作业过程中，应随时逐项填写测量手簿中的记录项目，测量手簿格式、记录内容及要求见附录 D。

10.5.5 接收机开始记录数据后，观测员可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、卫星健康状况、各通道信噪比、相位测量残差、实时定位的结果及其变化、存储介质记录和电源情况等，如发现异常情况或未预料到的情况，应记录在测量手簿的备注栏内，并及时报告调度组织者。

10.5.6 每时段观测开始及结束前各记录一次观测卫星号、天气状况、实时定位经纬度和大地高、PDOP 值等。须观测记录气象元素的等级 GPS 网点，每时段气象观测应不少于 2 次。一次在时段开始时，一次在时段结束时。时段长度超过 2 h 时，应每当 UTC 整点时增加观测记录上述内容一次，夜间放宽到 4 h。

10.5.7 气象观测所用通风干湿表需悬挂在测站附近，与天线相位中心大致等高度处。悬挂地点应通风良好，避开阳光直接照射，便于读数。空盒气压表可置于测站附近地面，其读数应顾及至天线相位中心高度，加入相应的高程修正。

当测站附近的小环境与周围的大环境不一致时，可在合适的地方量测气象元素，然后加上高差修正化为天线相位中心处的气象元素。

10.5.8 每时段观测前后应各量取天线高一次，其测量方法及要求见附录 D。两次量高之差不应大于 3 mm，取平均值作为最后天线高。若互差超限，应查明原因，提出处理意见记入测量手薄记事栏。

10.5.9 除特殊情况外，不宜进行偏心观测，若迫不得已进行时，应测定归心元素，其方法可参考附录 F 或 GB/T 17942。

观测

观测

10.5.10 观测员要细心操作，观测期间防止接收设备震动，更不得移动，要防止人员和其他物体碰动天线或阻挡信号。

10.5.11 观测期间，不得在天线附近 50 m 以内使用电台，10 m 以内使用对讲机。

10.5.12 天气太冷时，接收机应适当保暖；天气很热时，接收机应避免阳光直接照晒，确保接收机正常工作。

10.5.13 一时段观测过程中不允许进行以下操作：

a）接收机关闭又重新启动；

b）进行自测试；

c）改变卫星仰角限；

d）改变数据采样间隔；

e）改变天线位置；

f）按动关闭文件和删除文件等功能键。

10.5.14 在 GPS 快速静态定位测量中，同一观测单元期间

a）参考站观测不能中断；

b）参考站和流动站采样间隔要相同，不能变更。

10.5.15 经认真检查，所有规定作业项目均已全面完成，并符合要求，记录与资料完整无误，且将点位和觇标恢复原状后，方可迁站。

记录

11 外业成果记录

11.1 记录类型

GPS 测量作业所获取的成果记录应包括以下三类：

a）观测记录(磁盘、光盘或磁带存储)；

b）测量手簿；

c）其他记录，主要有观测计划、偏心观测资料等。

11.2 记录内容



记录

11.2.1 观测记录项目主要有：

a）载波相位观测值、C/A 码伪距和 P(Y)码伪距等；

b）对应观测值的 GPS 时间；

c）GPS 卫星星历参数；

d）测站和接收机初始信息：测站名、测站号、观测单元号、参考站或流动站、时段号、近似坐标及高程、天线及接收机编号、天线高、观测日期、采样间隔、卫星截止高度角。

11.2.2 测量手簿分为四种。AA、A 与 B 级静态定位测量一种，C、D 与 E 级静态定位测量一种，GPS 快速静态定位参考站测量一种，及 GPS 快速静态定位流动站测量一种，格式见附录 D。

11.3 记录要求

11.3.1 观测前和观测过程中应按要求及时填写各项内容，书写要认真细致，字迹清晰、工整、美观。

11.3.2 各项观测记录一律使用铅笔，不得开刀和涂改，不得转抄和追记，如有读、记错误，可整齐划掉，将正确数据写在上面并注明原因。其中天线高，气象读数等原始记录不得连环涂改。

11.3.3 手簿整饰，存储介质注记和各种计算一律使用蓝黑墨水书写。

11.3.4 外业观测中接收机内存储介质上的数据文件应及时拷贝成一式两份，并在外存储介质外面适当处制贴标签，注明网区名、点名、点号、观测单元号、时段号、文件名、采集日期、测量手簿编号等。两份存储介质应分别保存在专人保管的防水、防静电的资料箱内。

11.3.5 接收机内存数据文件卸到外存介质上时，不得进行任何剔除、删改和编辑。

11.3.6 测量手簿应事先连续编印页码并装订成册，不得缺损。

11.3.7 其他记录，亦应分别装订成册。

外业数据质量检验

- 数据删除率
- 复测基线的长度差
- 同步环闭合差
- 独立环闭合差及附和路线坐标闭合差



重测和补测

12.4 重测和补测

12.4.1 未按施测方案要求，外业缺测、漏测，或数据处理后，观测数据不满足表 7 规定时，有关成果应及时补测。

12.4.2 允许舍弃在复测基线边长较差、同步环闭合差、独立环或附合路线闭合差检验中超限的基线，而不必进行该基线或与该基线有关的同步图形的重测，但必须保证舍弃基线后的独立环所含基线数，不得超过表 3 的规定，否则，应重测该基线有关的同步图形。

12.4.3 由于点位不满足 GPS 测量要求而造成一个测站多次重测仍不能满足各种限差检核要求时，经主管部门批准，可以布设新点重测或者舍弃该点。

12.4.4 对需补测或重测的观测时段或基线，要具体分析原因，在满足表 7 要求的前提下，尽量安排一起进行同步观测。

12.4.5 补测或重测的分析应写入数据处理报告。



成果验收

13.1 成果验收

13.1.1 成果验收按 CH 1002 进行。交送验收的成果，包括观测记录的存储介质及其备份，内容与数量必须齐全、完整无损，各项注记、整饰应符合要求。

13.1.2 验收重点包括：

a）实施方案是否符合规范和技术设计要求；

b）补测、重测和数据剔除是否合理；

c）数据处理的软件是否符合要求，处理的项目是否齐全，起算数据是否正确；

d）各项技术指标是否达到要求。

13.1.3 验收完成后，应写出成果验收报告。在验收报告中应按 CH 1003 对成果的质量做出评定。



上交资料

13.2 上交资料

a）测量任务书(或合同书)、技术设计书；

b）点之记、环视图、测量标志委托保管书、选点资料和埋石资料；

c）接收设备、气象及其他仪器的检验资料；

d）外业观测记录、测量手簿及其他记录；

e）数据处理中生成的文件、资料和成果表；

f）GPS 网展点图；

g）技术总结和成果验收报告。

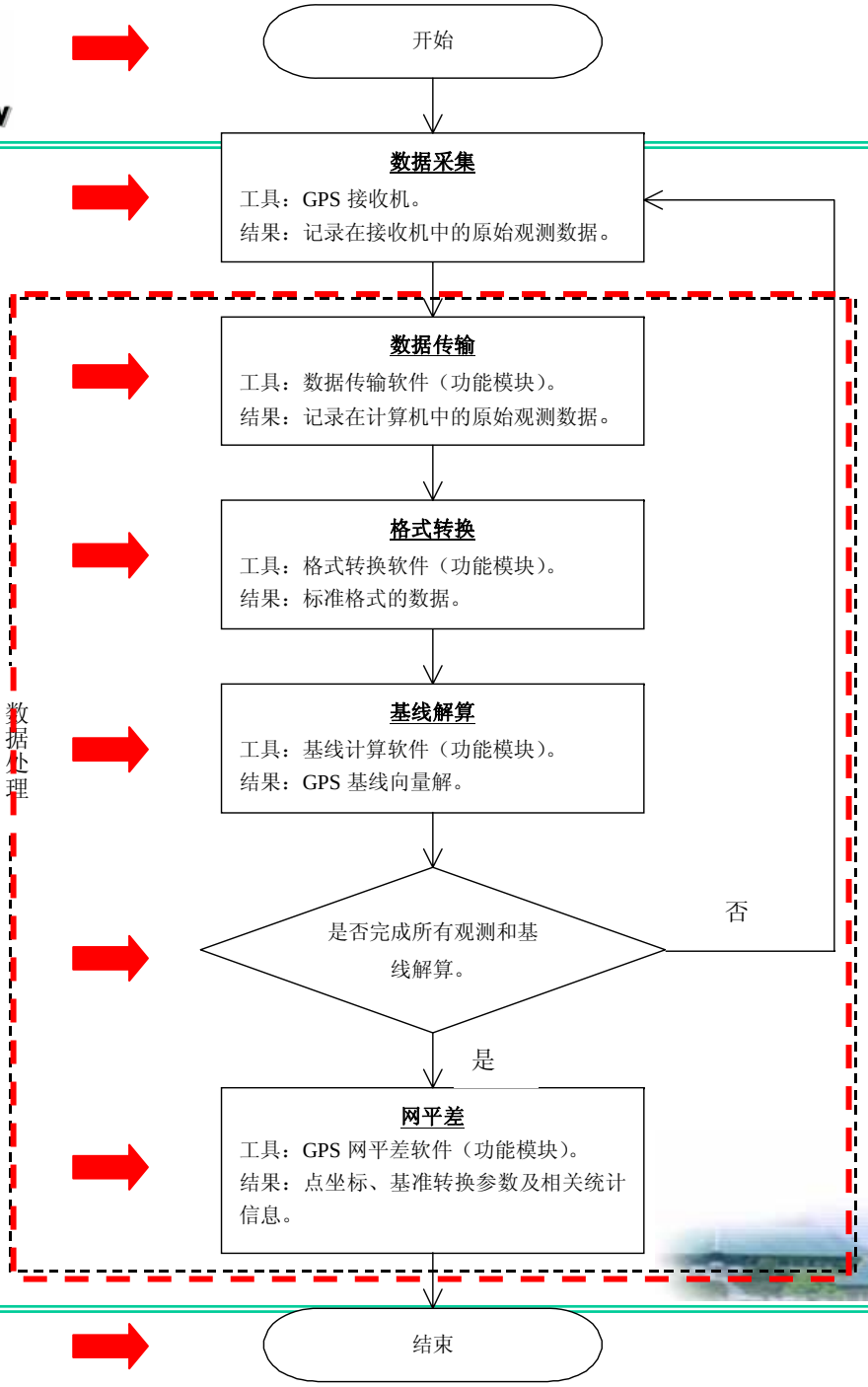


3.3 GPS测量数据处理



武汉大学 Wuhan University

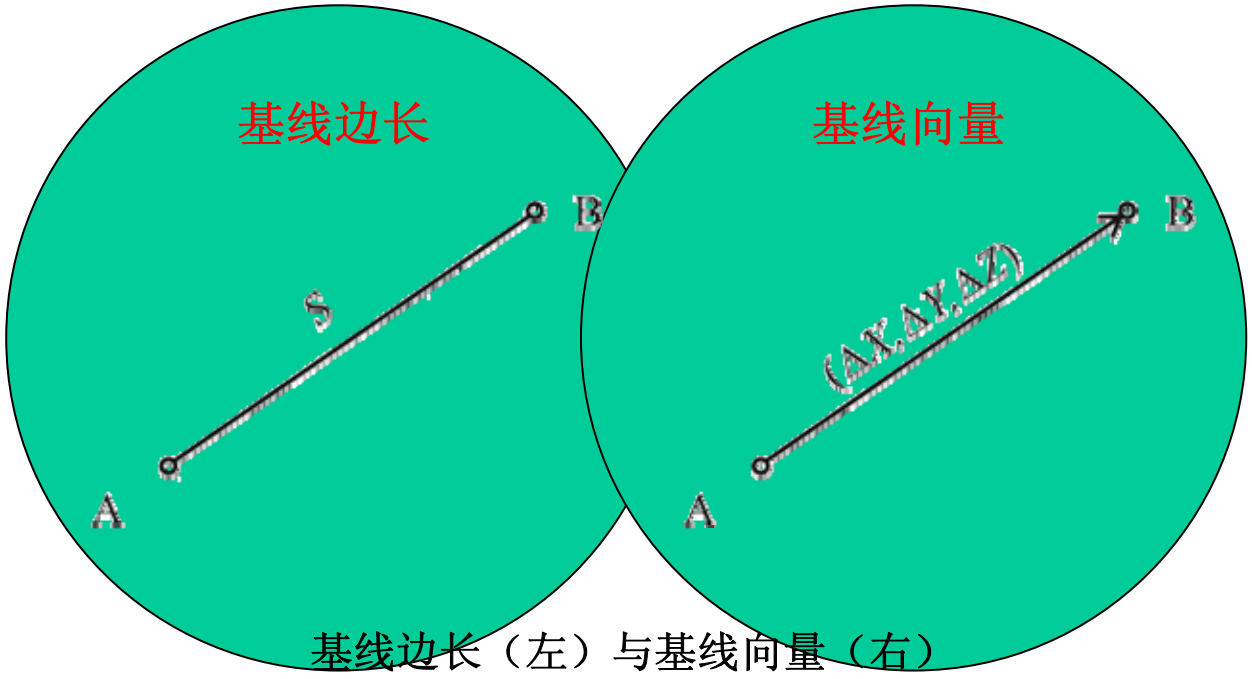
GPS测量数据处理的流程



四个阶段：
1. 数据传输
2. 格式转换（可选）
3. 基线处理
4. 网平差

基线向量解

- 基线边长与基线向量



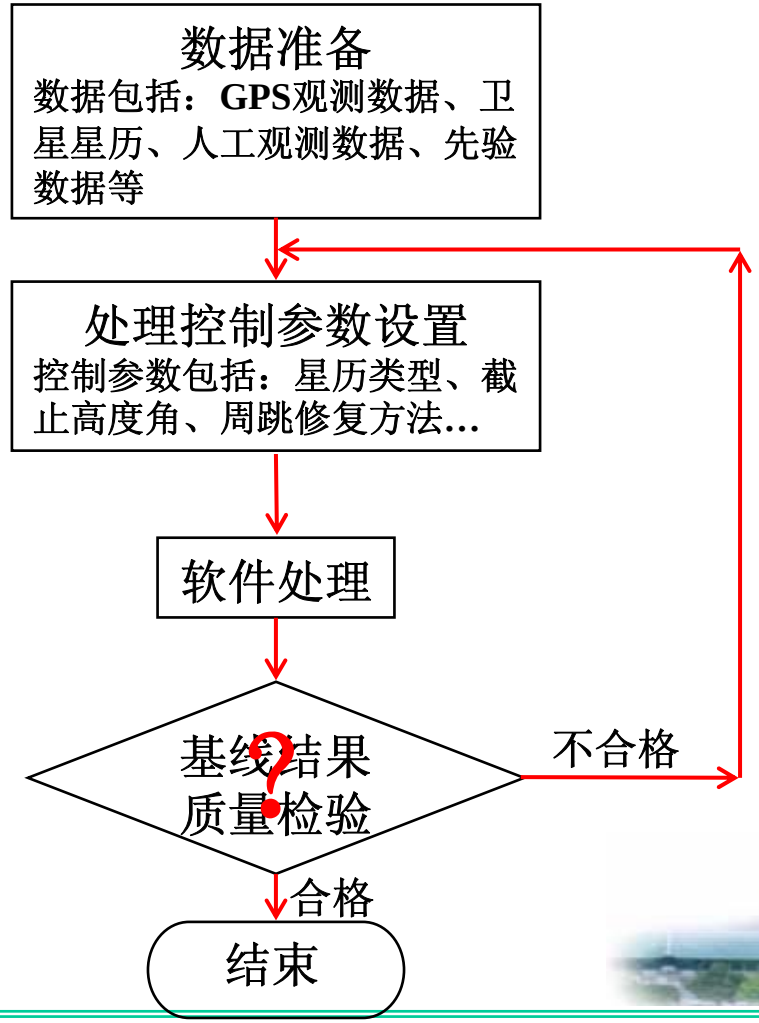
基线边长（左）与基线向量（右）

基线解算模式

- **单基线解/基线模式：**一次仅同时提取两台GPS接收机的同步观测数据进行基线解算。
- **多基线解/时段模式：**一次提取一个观测时段中所有进行同步观测的n台接收机所采集的同步观测数据，在一个单一解算过程中共同解求出所有$n-1$条相互函数独立的基线。
- **整体解/战役模式：**一次提取项目整个观测过程中所有观测数据，在一个单一解算过程中同时对它们进行处理，得出所有独立基线。



软件操作流程图


数据准备
数据包括：GPS观测数据、卫星星历、人工观测数据、先验数据等
处理控制参数设置
控制参数包括：星历类型、截止高度角、周跳修复方法…
软件处理
基线结果质量检验
不合格
合格
结束

基线质量控制的目的和内容

- 基线质量控制的目的
  - 为后续的数据处理分析提供合格的基线向量结果。
- 基线质量控制的内容
  - 质量评定
    - 通过一系列的指标，对基线向量结果的质量进行评估，发现质量差（不合格的基线）。
  - 质量改善
    - 通过数据处理手段，提高基线向量结果的质量。



评定基线质量的指标

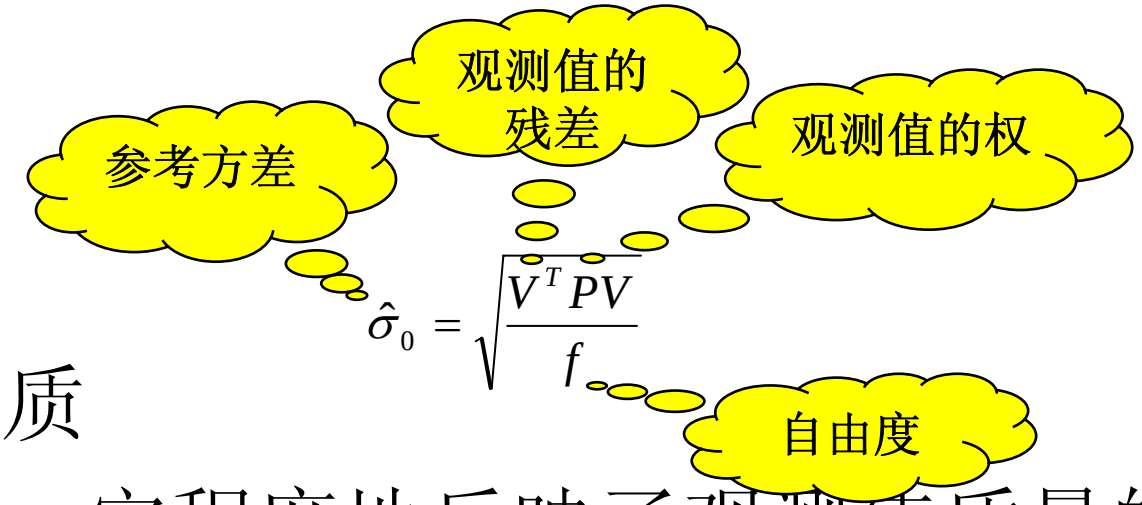
- 相对指标
  - 特点：仅具参考意义
  - 指标：观测值的参考方差，观测值残差的RMS，RATIO，数据删除率
- 半绝对指标
  - 特点：能用于判定基线是否不合格，但不能用于判定基线是否合格
  - 指标：同步环闭合差
- 绝对指标
  - 特点：可用于判定基线是否合格
  - 指标：独立环闭合差，复测基线较差



相对指标①

- 观测值的参考方差（Reference Variance）
  - 定义

$$\hat{\sigma}_0$$

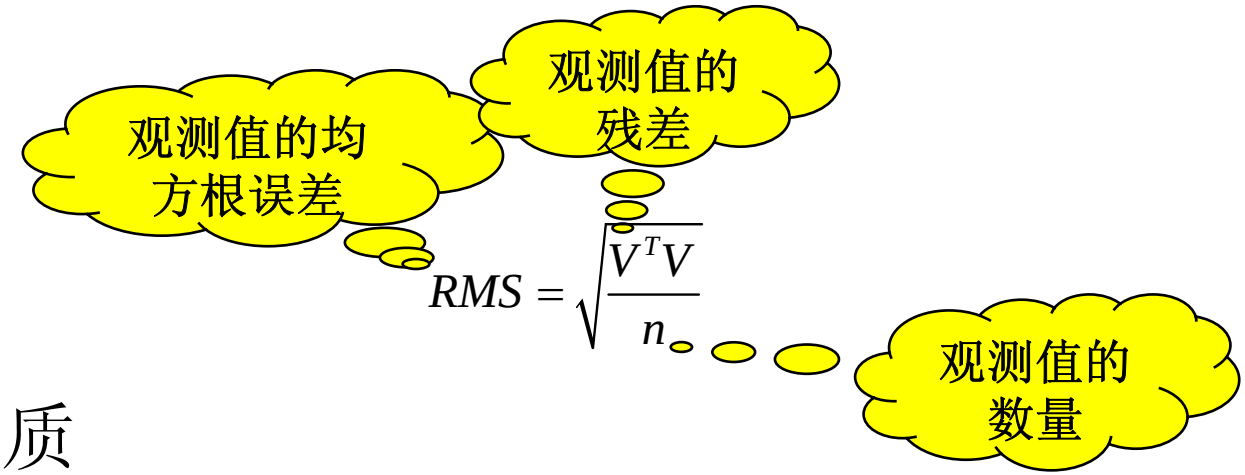


  - 实质
    - 一定程度地反映了观测值质量的优劣



相对指标②

- 观测值残差的RMS
  - 定义： 观测值残差的RMS（Root Mean Square/均方根）



  - 实质
    - 反映了观测值与参数估值间的符合程度
    - 一定程度地反映了观测值质量的优劣
    - 一般认为，RMS越小越好

相对指标③

- 数据删除率
  - 定义：在基线解算时，如果观测值的改正数大于某一个阈值时，则认为该观测值含有粗差，则需要将其删除。被删除观测值的数量与观测值的总数的比值，就是所谓的数据删除率。
  - 实质：数据删除率从某一方面反映出了GPS原始观测值的质量。数据删除率越高，通常表明观测值的质量越差。



相对指标④

- RATIO
  - 定义

$$RATIO = RMS_{\text{次最小}} / RMS_{\text{最小}}$$

  - 实质
    - 反映了所确定出的整周未知数参数的可靠性，该值总大于等于1，值越大，可靠性越高。
    - 这一指标取决于多种因素，既与观测值的质量有关，也与观测条件（卫星星座的几何图形的分布和变化）的好坏有关。



相对指标⑤

- RDOP
  - 定义：所谓RDOP值指的是在基线解算时待定参数的协因数阵的迹的平方根，即

$$RDOP = (tr(Q))^{1/2}$$

  - 实质：
    - RDOP值的大小与基线位置和卫星在空间中的几何分布及运行轨迹（即观测条件）有关，当基线位置确定后，RDOP值就只与观测条件有关了，而观测条件又是时间的函数，因此，实际上对与某条基线向量来讲， 其RDOP值的大小与观测时间段有关。
    - RDOP表明了GPS卫星的状态对相对定位的影响，即取决于观测条件的好坏，它不受观测值质量好坏的影响。



半绝对指标

- 同步环闭合差
  - 定义
    - 由同步观测基线所组成的闭合环的闭合差。
  - 特点
    - 理论上：由于同步观测基线间具有一定的内在联系，同步环闭合差在理论上应总是为0。
    - 实践中：只要数学模型正确、数据处理无误，即使观测值质量不好，同步环闭合差将非常小。
  - 实质
    - 若同步环闭合差超限，则说明组成同步环的基线中至少存在一条基线向量是错误的
    - 若同步环闭合差没有超限，还不能说明组成同步环的所有基线在质量上均合格。



绝对质量指标①

- 异步环闭合差
  - 定义
    - 由相互独立的基线所组成的闭合环的闭合差。
  - 实质
    - 异步环闭合差满足限差要求时，则表明组成异步环的基线向量的质量是合格的。
    - 当异步环闭合差不满足限差要求时，则表明组成异步环的基线向量中至少有一条基线向量的质量不合格。
    - 要确定出哪些基线向量的质量不合格，可以通过多个相邻的异步环或重复基线来判定。



绝对质量指标②

- 复测基线较差（重复基线互差）
  - 定义
    - 不同观测时段，对同一条基线的观测结果，就是所谓重复基线。这些观测结果之间的差异，就是复测基线较差。
  - 实质
    - 复测基线较差满足限差要求时，则表明基线向量的质量是合格的。
    - 复测基线较差不满足限差要求时，则表明复测基线中至少有一条基线向量的质量不合格。
    - 要确定出哪些基线向量的质量不合格，可以通过多条复测基线来判定。



规范要求①

全球定位系统（GPS）测量规范（GB/T 18314 – 2001）

12.2 外业数据质量检核

12.2.1 同一时段观测值的数据剔除率，其值宜小于10%。

12.2.2 B级基线外业预处理和C级以下各级GPS网基线处理，复测基线的长度较差 d_S，两两比较应满足下式的规定：

$$d_S \leqslant 2\sqrt{2}\sigma \qquad \cdots\cdots(2)$$

式中：σ——相应级别规定的精度(按实际平均边长计算)。

12.2.3 各级GPS网同步环闭合差，不宜超过附录E规定。

12.2.4 C级以下各级网、及B级GPS网外业基线预处理结果，其独立闭合环或附合路线坐标闭合差应满足：

$$\begin{aligned} W_X &\leqslant 3\sqrt{n}\sigma \\ W_Y &\leqslant 3\sqrt{n}\sigma \\ W_Z &\leqslant 3\sqrt{n}\sigma \\ W_S &\leqslant 3\sqrt{3n}\sigma \end{aligned} \qquad \cdots\cdots(3)$$

式中：n——闭合环边数；

σ——相应级别规定的精度(按实际平均边长计算)。

$$W_S = \sqrt{W_X^2 + W_Y^2 + W_Z^2}$$



规范要求②

全球定位系统（GPS）测量规范（GB/T 18314 – 2001）

附　录　E

（标准的附录）

同步观测环检核

三边同步环中只有两个同步边成果可以视为独立的成果，第三边成果应为其余两边的代数和。由于模型误差和处理软件的内在缺陷，第三边处理结果与前两边的代数和常不为零，其差值应小于下列数值：

$$W_X \leqslant \frac{\sqrt{3}}{5}\sigma$$

$$W_Y \leqslant \frac{\sqrt{3}}{5}\sigma \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (E1)$$

$$W_Z \leqslant \frac{\sqrt{3}}{5}\sigma$$

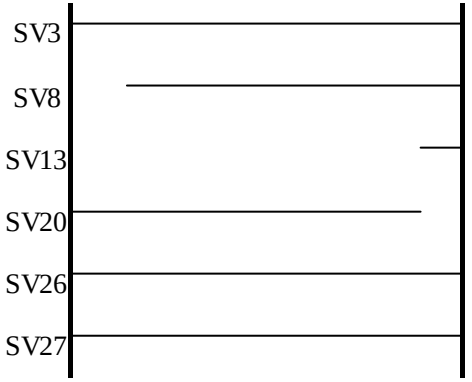
式中：σ——相应级别规定的精度（按网的实际平均边长计算）。

对于四站以上同步观测时段，在处理完各边观测值后，应检查一切可能的三边环闭合差。

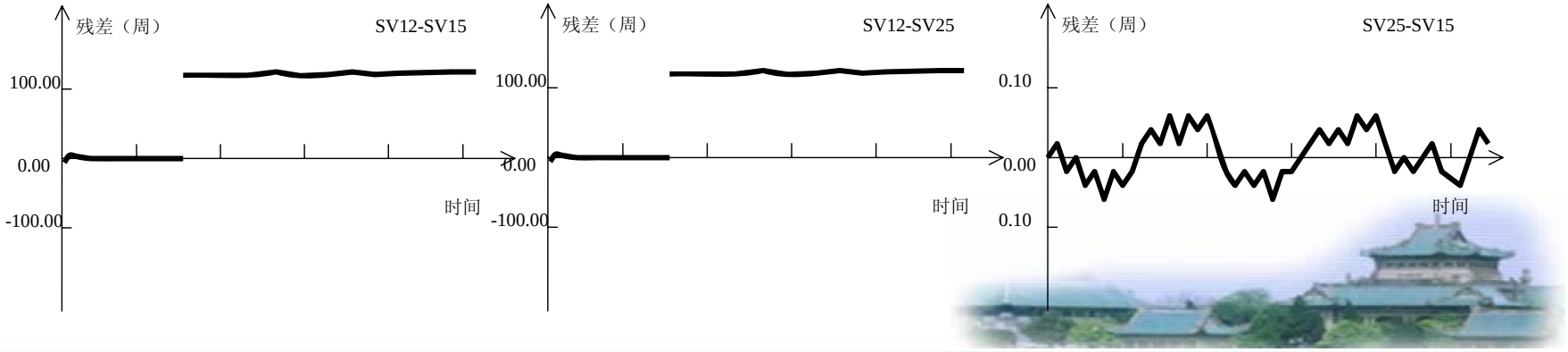


影响基线质量因素的判别①

- 基线起点坐标不准确的判别
  - 无明确的方法
- 卫星观测时间短的判别
  - 通过卫星可见性图
- 周跳
  - 通过残差图（残差跳跃）



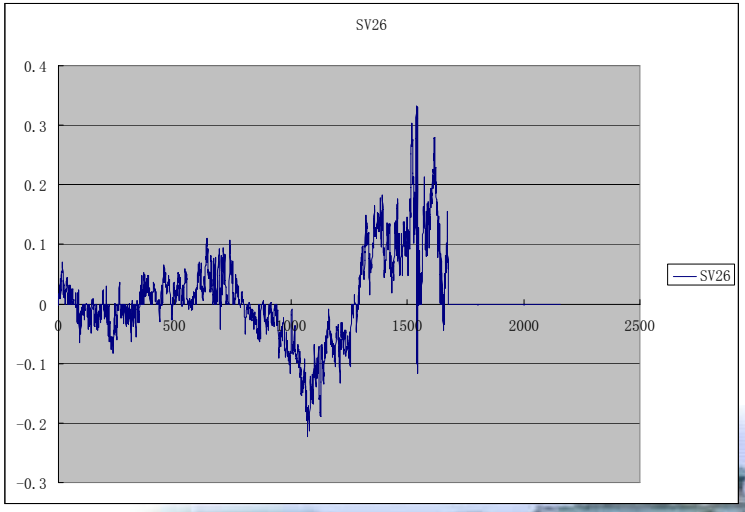
卫星可见性图



上面3幅双差残差图表明SV12存在周跳

影响基线质量因素的判别②

- 多路径效应严重
  - 通过残差图（残差中部分区间成系统性变化，且呈现周日特征）
- 对流层或电离层折射影响过大
  - 通过残差图（残差中部分区间成系统性变化，但无周日特征）



受多路径效应或大气折射影响的残差图

GPS网平差的目的

- 消除GPS网几何上的不一致性
  - 闭合条件
  - 重复条件
  - 符合条件
- 评定GPS网的内符合精度
- 确定点在指定参照系下的坐标
  - 引入位置基准
  - 引入其它的起算条件



GPS网平差的类型

- GPS网平差的类型
  - 无约束平差/最小约束平差
  - 约束平差
  - 联合平差



GPS网平差的类型

- 无约束平差/最小约束平差
  - 观测值
    - GPS观测值（GPS基线向量）
  - 约束条件
    - 无或最少约束条件数
  - 目的
    - 判别是否存在粗差基线
    - 调整各基线向量观测值的权
    - 确定各点在地心地固系下的相对位置关系



GPS网平差的类型

- 约束平差
  - 观测值
    - GPS观测值（GPS基线向量）
  - 约束条件
    - 多于最少约束条件数
  - 目的
    - 确定各点在指定坐标参照系下的坐标



GPS网平差的类型

- 联合平差
  - 观测值
    - GPS观测值（GPS基线向量）
    - 地面常规观测值
  - 约束条件
    - 多于最少约束条件数
  - 目的
    - 确定各点在指定坐标参照系下的坐标



网平差的整体流程

- 网平差的步骤
  - 提取基线向量，构建GPS基线向量网
  - 三维无约束平差
  - 约束平差/联合平差
  - 质量分析与控制



网平差的整体流程

- 提取基线向量的原则
  - 必须选取相互独立的基线
  - 所选取的基线应构成闭合的几何图形
  - 选取质量好的基线向量
  - 选取能构成边数较少的异步环的基线向量
  - 选取边长较短的基线向量



三维无约束平差

- 单位权方差的检验
  - 作用
    - 观测值的先验单位权方差是否合适；
    - 各观测值之间的权比关系是否合适。
  - 检验未通过所反映出的问题
    - 给定了不适当的先验单位权方差；
    - 观测值之间的权比关系不合适；
    - 观测值中可能存在粗差。



三维约束平差

- 单位权方差的检验
  - 目的
    - 确定起算数据是否与GPS观测成果相容
  - 检验未通过所反映出的问题
    - 起算数据的质量不高
    - GPS网的质量不高



观测值(基线向量)质量的检验①

- 方法
  - 残差检验

$$|v_i| < \hat{\sigma}_0 \cdot \sqrt{q_i} \cdot t_{1-\alpha/2}$$

或

$$\frac{|v_i|}{\hat{\sigma}_0 \cdot \sqrt{q_i} \cdot t_{1-\alpha/2}} < 1 \left(\text{标准化残差} \frac{|v_i|}{\hat{\sigma}_0 \cdot \sqrt{q_i}}\right)$$

  - 处理方法
    - 删除劣质基线基线
    - 对劣质基线降权



观测值(基线向量)质量的检验②

- 规范要求

12.5.4.2 无约束平差中，基线分量的改正数绝对值($V_{\Delta X}$、$V_{\Delta Y}$、$V_{\Delta Z}$)应满足下式：

$$\begin{aligned} V_{\Delta X} &\leqslant 3\sigma \\ V_{\Delta Y} &\leqslant 3\sigma \\ V_{\Delta Z} &\leqslant 3\sigma \end{aligned} \qquad \cdots\cdots(12)$$

式中：σ——为相应级别规定的基线的精度。

否则，认为该基线或其附近的基线存在粗差，应在平差中采用软件提供的自动方法或人工方法剔除，直至上式满足。

12.5.5.3 约束平差中，基线分量的改正数与经过12.5.4.2粗差剔除后的无约束平差结果的同一基线相应改正数较差的绝对值($dV_{\Delta X}$、$dV_{\Delta Y}$、$dV_{\Delta Z}$)应满足下式

$$\begin{aligned} dV_{\Delta X} &\leqslant 2\sigma \\ dV_{\Delta Y} &\leqslant 2\sigma \\ dV_{\Delta Z} &\leqslant 2\sigma \end{aligned} \qquad \cdots\cdots(13)$$

式中：σ——为相应等级基线的规定精度。

否则，认为作为约束的已知坐标、已知距离、已知方位中存在一些误差较大的值应采用自动或人工的方法剔除这些误差较大的约束值，直至上式满足。



相邻点距离中误差的检验

- 规范要求

5.3 各级 GPS 网相邻点间基线长度精度用下式表示，并按表 1 规定执行。

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (b \cdot d \cdot 10^{-6})^2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

式中：σ——标准差，mm；

a——固定误差，mm；

b——比例误差系数；

d——相邻点间距离，mm。

表 1 精度分级

级　别	固定误差 a，mm	比例误差系数
AA	≤3	≤0.01
A	≤5	≤0.1
B	≤8	≤1
C	≤10	≤5
D	≤10	≤10
E	≤10	≤20

ESS OF CHINA



起算点质量的检验

- 方法
  - 方差因子检验（ χ 2检验）
  - 检查点法
  - 符合路线法



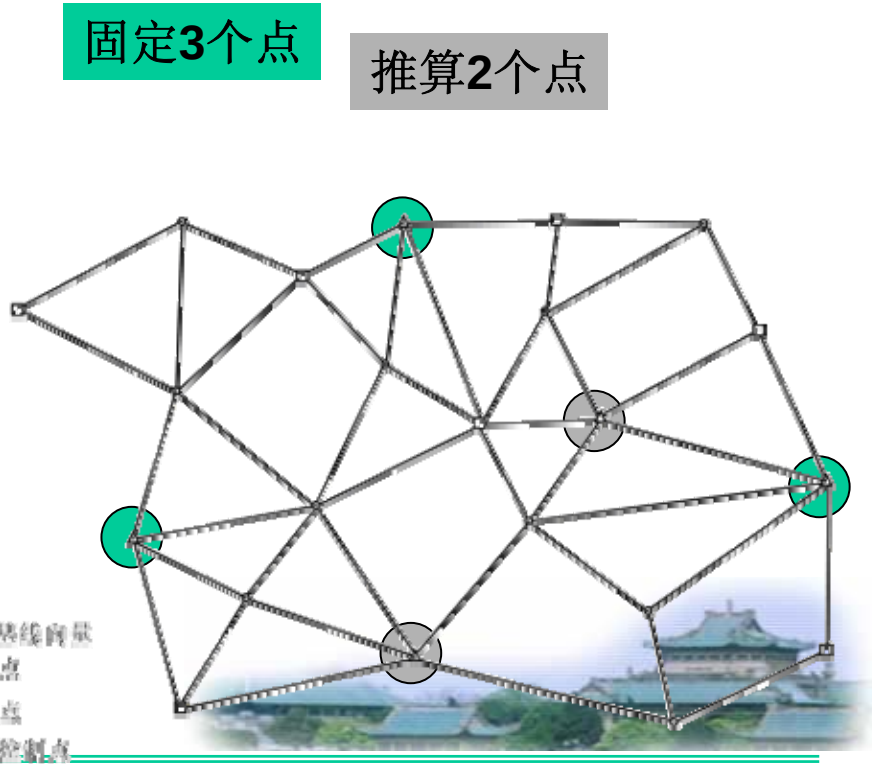
起算点质量的检验

- 方差因子检验（χ2检验）
  - 方法：检验约束平差的验后方差因子与无约束平差的验后方差因子是否一致。
  - 特点：理论方法，实用性差。



起算点质量的检验

- 检查点法
  - 方法：当有多个已知点时，可先仅固定其中部分点进行平差，然后将平差得到的点坐标与已知成果进行比较，以判定起算点成果的质量。
  - 特点：实用性强，可用现有网平差软件进行，但需要有三个以上的已知点。



起算点质量的检验

- 符合路线法
  - 方法：从某个已知点，经过由若干基线向量所组成的导线，推算出另一已知点的坐标，对推算值与已知值进行比较，以判定起算点成果的质量。
  - 特点：实用性强，但无法利用现有的网平差软件进行。

