

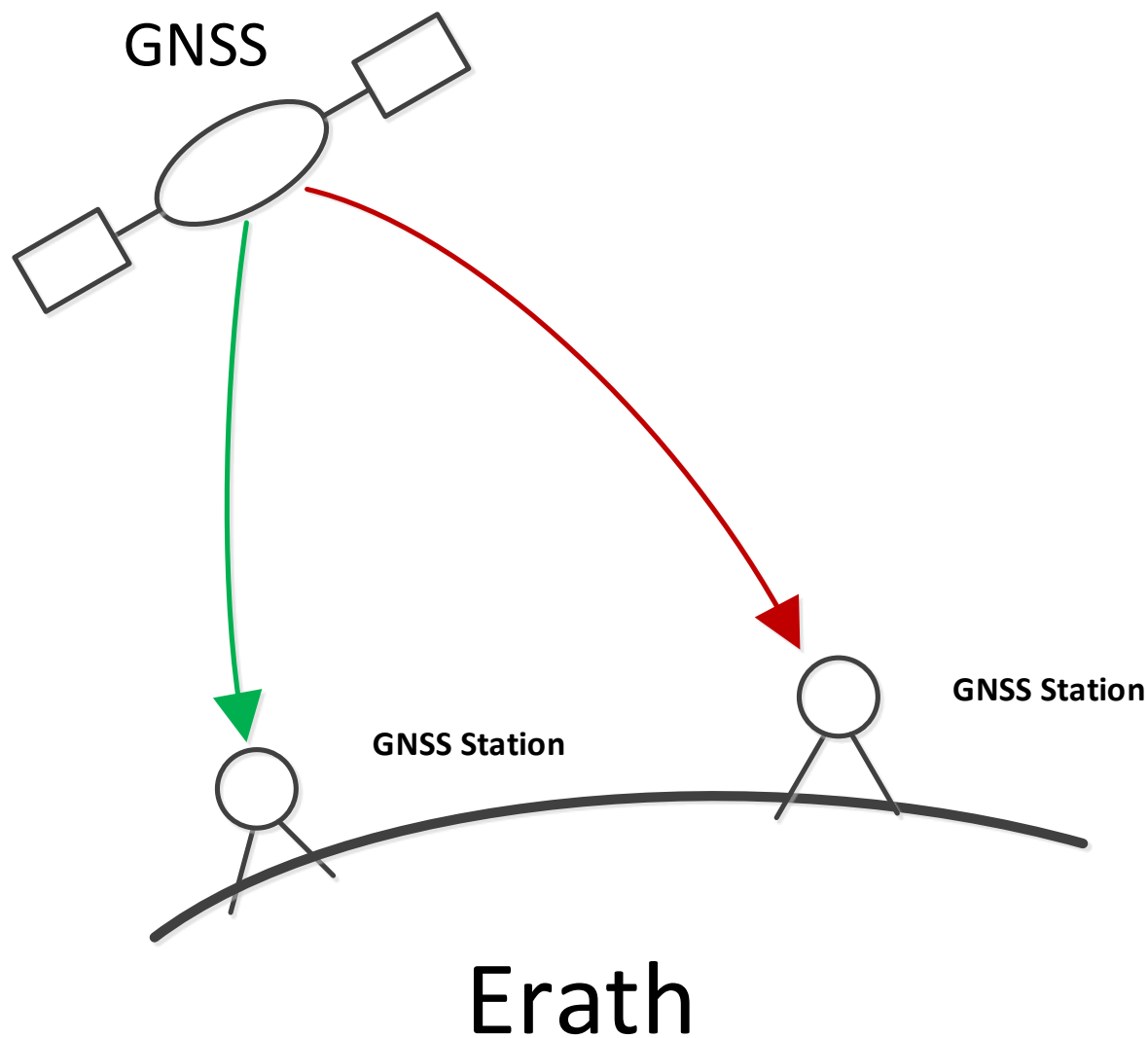
《GPS原理及应用》

第五章 GPS控制网的设计与外业工作

长安大学地质工程与测绘学院

张双成

shuangcheng369@chd.edu.cn

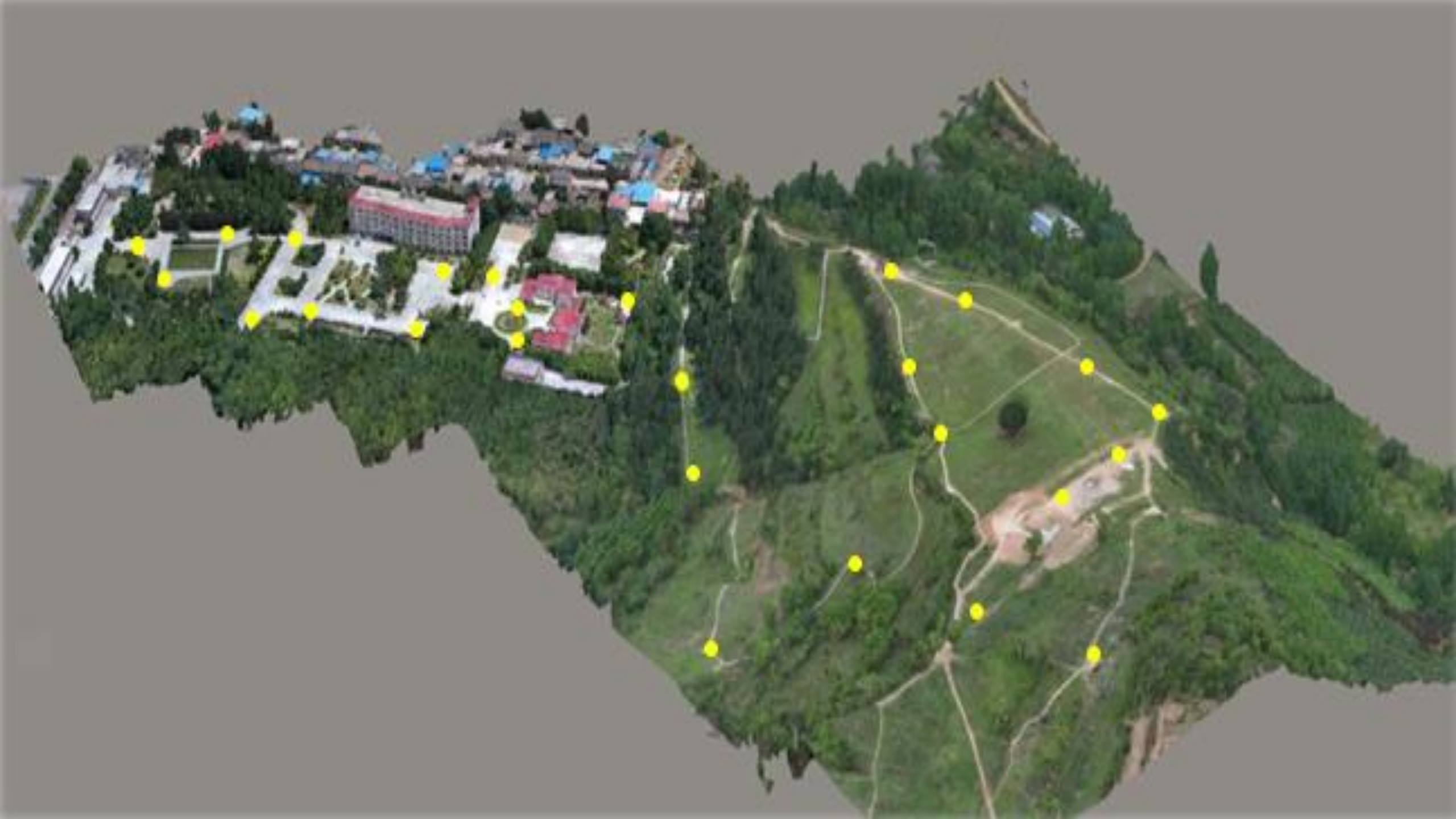


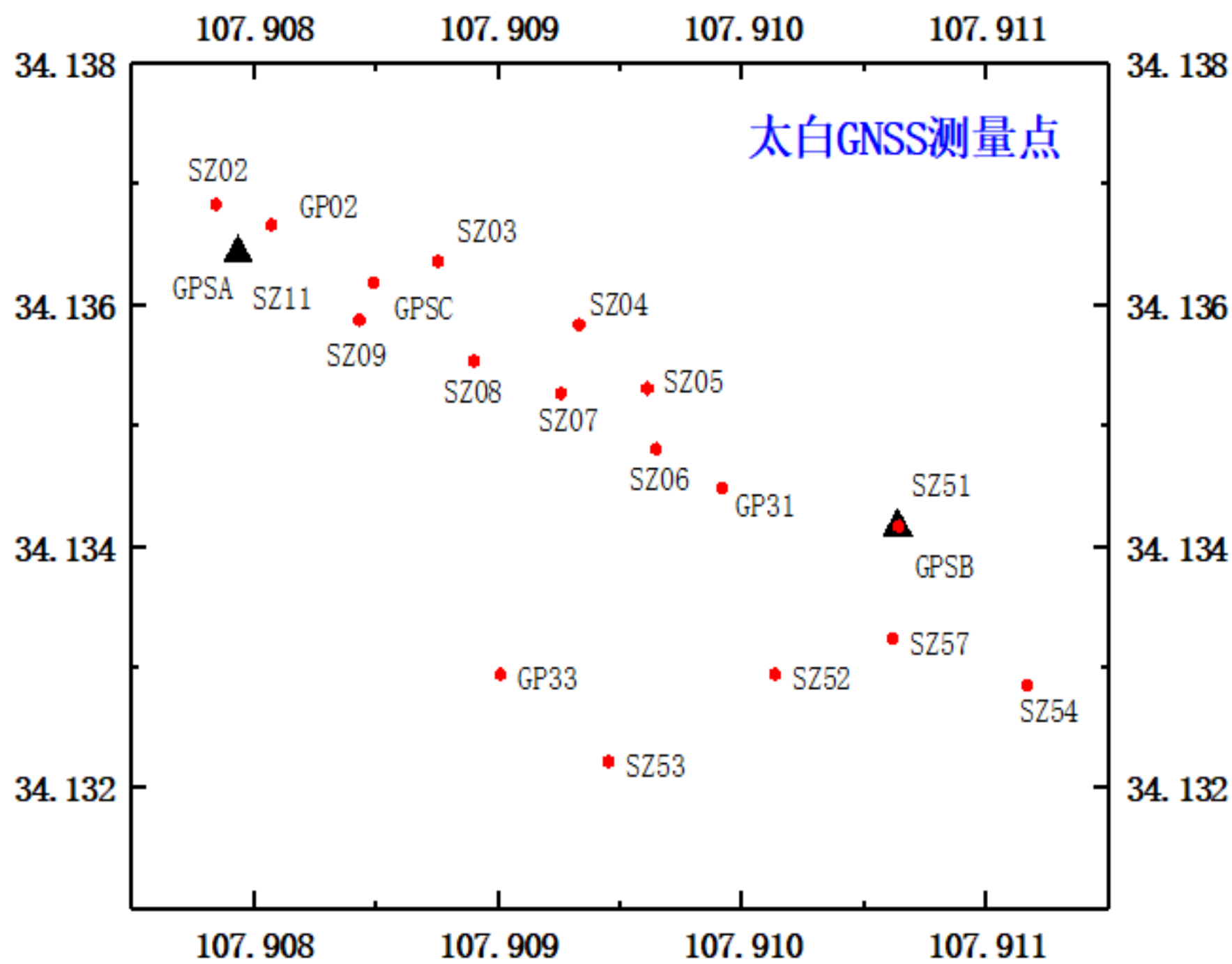
1. GNSS星座
2. 时空基准
3. 卫星位置
4. GNSS信号
5. GNSS接收机
6. GNSS误差源
7. GNSS绝对定位
8. GNSS相对定位
9. GNSS动态定位
10. 如何应用？

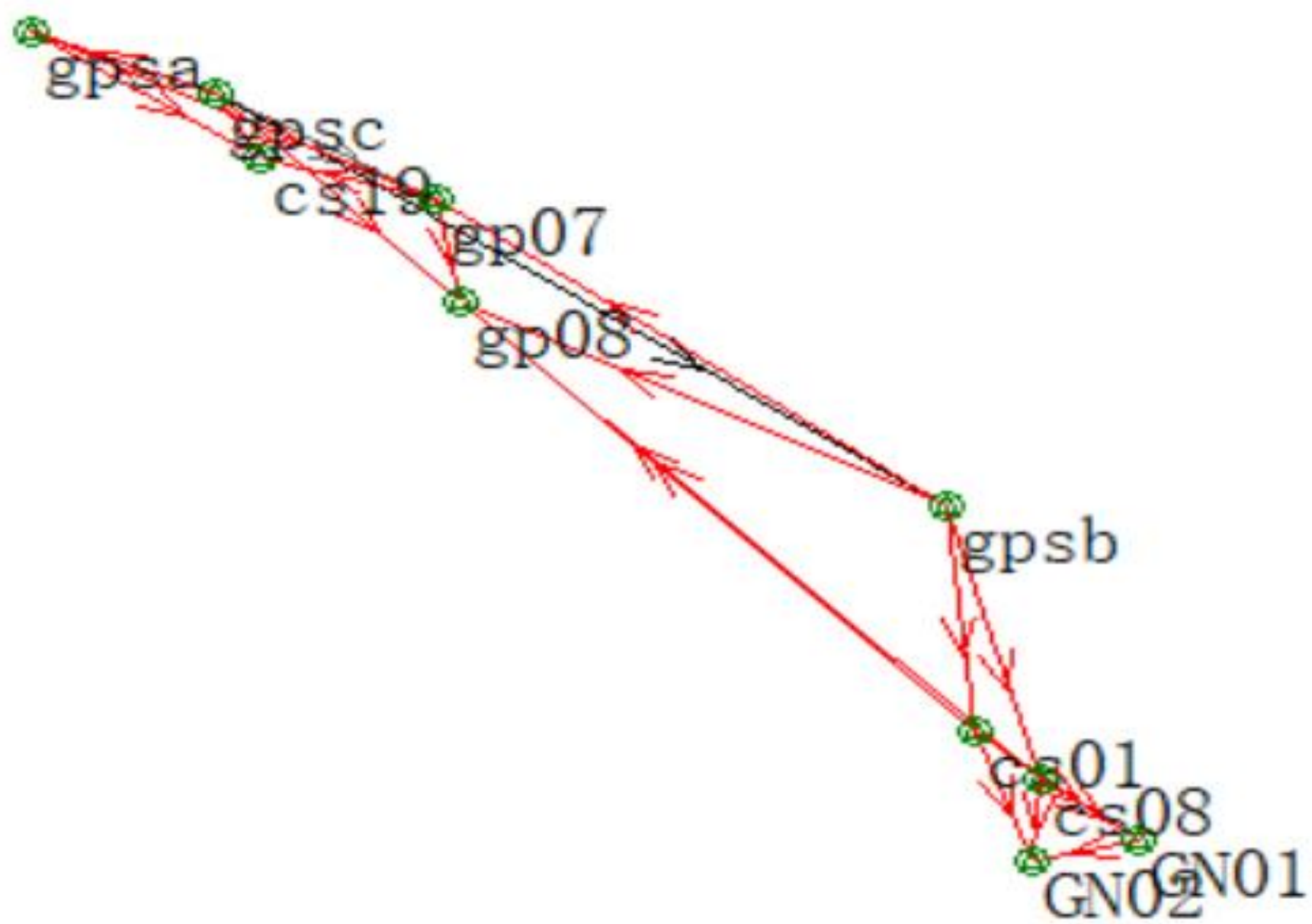
长安大学渭水校区2018年World view4遥感影像预处理成果:

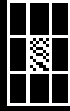


Gram-Schmidt Pan Sharpening

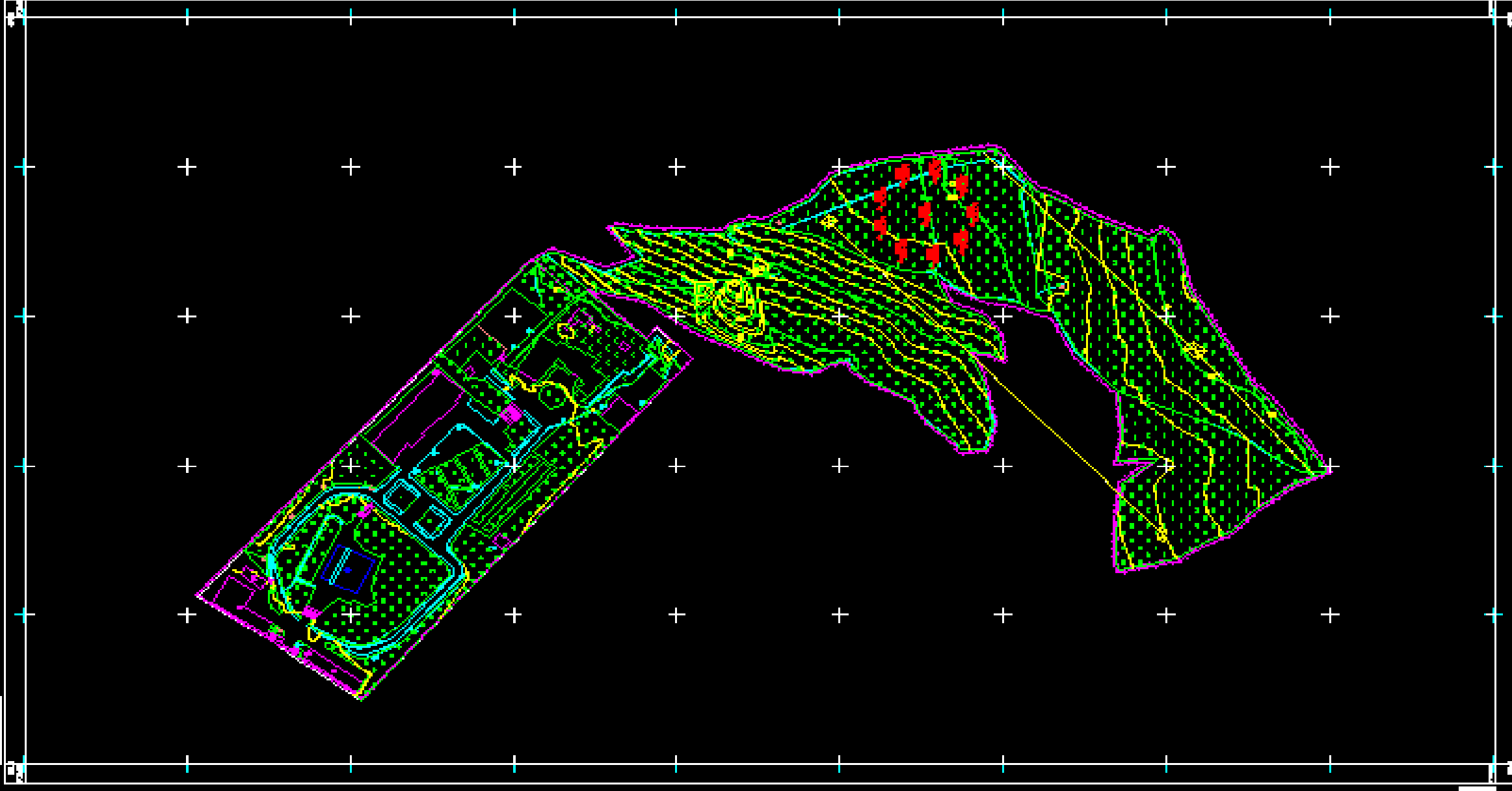








比例尺 1:500

























GPS定位测量的高精度、高效率和低成本是以测前科学的**技术设计**和测后精确可靠的**数据处理**为基础的。

GPS测量的技术设计是按照GPS测量规范要求，兼顾精度、可靠性、经济性等指标，在测量前制订严格、科学、切实可行的布网及观测方案。

GPS设计与施测的依据主要是**测量任务书**和**GPS测量规范**。由于GPS测量技术处于不断发展之中，因此，规范中某些条款在执行过程中可以商榷。但是，GPS测量规范仍然是我们进行GPS测量的**主要技术标准**，应按照GPS测量规范的统一标准，进行**GPS网的设计和制定外业工作方案**。

本章着重介绍**GPS控制网的设计理论与方法**，以及**外业测量工作的实施**等。

本章主要内容

第一节 概述

第二节 GPS测量规范

第三节 GPS网的布设

第四节 GPS控制测量的外业工作

第五节 GPS基线向量的解算

第六节 GPS基线向量网平差

第七节 GPS观测成果检验与技术总结

第一节 概述

- GPS测量的主要内容
- 布设GPS网的工作步骤

1、GPS测量的主要内容

- 布设各类GPS控制网
- 放样（测设）
- 测绘各类地形图或专题地图
- 地理信息要素的采集
- 辅助其它测量工作
- ...

2、布设GPS网的工作步骤

- 测前

- 立项：目的、范围、点位数量与分布、精度要求、成果内容、时限、经费、...
- 技术设计
- 测绘资料的收集
- 仪器检定
- 踏勘、选点、埋石

- 测中

- 实地了解测区情况
- 观测期间卫星状态的预报
- 确定作业方案
- 外业观测
- 内业数据处理
 - 数据传输、转储、备份
 - 基线解算
 - 质量评估

- 测后

- 测量结果分析

- 网平差

- 质量评估

- 技术总结

- 成果验收

第二节 GPS测量规范

- GPS测量规范的作用
- GPS测量规范的内容
- GPS测量规范的种类

1、GPS测量规范的作用

- 指导和规范GPS测量工作

2、GPS测量规范的内容

- 级别划分和测量精度
- GPS网的布设原则
- 选点与埋石的要求
- 仪器设备
 - 接收机选用
 - 仪器检定和维护
- 外业观测及记录要求
- 数据处理
- 成果验收与上交资料

前言	
1 范围	
2 规范性引用文件	
3 术语和定义	
4 基本规定	
5 级别划分和测量精度	
5.1 级别划分	
5.2 测量精度	
5.3 用途	
6 布设的原则	
6.1 基本原则	
6.2 GPS 点命名	
6.3 技术设计	
7 选点	
7.1 选点准备	
7.2 点位基本要求	
7.3 辅助点与方位点	
7.4 选点作业	
7.5 选点后应上交的资料	

8 埋石	
8.1 标石	
8.2 埋石作业	
8.3 标石外部整饰	
8.4 关键工序的控制	
8.5 埋石后上交的资料	
9 仪器	
9.1 接收机选用	
9.2 仪器检验	
9.3 仪器维护	
10 观测	
10.1 基本技术规定	
10.2 观测区的划分	
10.3 观测计划	
10.4 观测前的准备	
10.5 观测作业的要求	
11 外业成果记录	
11.1 A 级 GPS 网外业成果记录	
11.2 B、C、D、E 级 GPS 网外业成果记录	

12	数据处理	9
12.1	基本要求	9
12.2	外业数据质量检核	9
12.3	基线向量解算	10
12.4	A、B 级 GPS 网基线处理结果质量检核	11
12.5	重测和补测	11
12.6	GPS 网平差	12
12.7	数据处理成果整理和技术总结编写	13
13	成果验收与上交资料	13
13.1	成果验收	13
13.2	上交资料	13
附录 A (资料性附录)	大地坐标系有关说明	14
附录 B (规范性附录)	选点与埋石资料及其说明	15
附录 C (规范性附录)	气象仪表的主要技术要求	19
附录 D (规范性附录)	测量手簿记录及有关要求	20
附录 E (资料性附录)	归心元素测定与计算	23
附录 F (规范性附录)	同步观测环检核	25

3、GPS测量规范的种类

- CH2001-92, 《全球定位系统GPS测量规范》, 1992, 国家测绘局
- GB/T 18314-2001, 《全球定位系统GPS测量规范》, 2001, 国家质量技术监督局
- GB/T 18314-2009, 《全球定位系统GPS测量规范》, 2009, 国家质量技术监督局
- CJJ 73-97, 《全球定位系统城市测量技术规程》, 1997, 建设部
- CJJ/T 73-2010, 《卫星定位城市测量技术规范》, 2010, 住建部
- ...



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

JCS 07-048
A 76



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

ICS 07.040
A 76



中华人民共和国国家标准

GB/T 18314—2009
代替 GB/T 18314—2001

全球定位系统(GPS)测量规范

Specifications for global positioning system (GPS) surveys

2009-02-06 发布

2009-06-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

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

主编单位：北京市测绘设计研究院
批准部门：中华人民共和国建设部
施行日期：1997年10月1日

中国建筑工业出版社

UDC

中华人民共和国行业标准



P

CJJ/T 73—2010
备案号 J990—2010

卫星定位城市测量技术规范

Technical code for urban surveying using satellite
positioning system

2010-03-15 发布

2010-10-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

JTJ

中华人民共和国行业标准

JTJ/T 066—98

公路全球定位系统(GPS) 测量规范

Global positioning system (GPS) survey
specification for highway

1998—07—02 发布

1998—12—01 实施

中华人民共和国交通部发布

UDC

中华人民共和国行业标准

TB

P

TB10054—97

全球定位系统(GPS)铁路 测量规程

Code for GPS
survey of railway engineering

1997-03-03 发布

1997-07-01 实施

中华人民共和国铁道部 发布

第三节 GPS网的布设

- 概述
- GPS网的等级
- GPS网的布网形式
- 同步图形的连接方式
- GPS网工作量的计算方法
- GPS网的设计准则

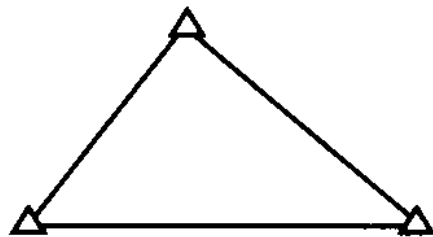
1、概 述

- GPS网 – **GPS基线向量网**

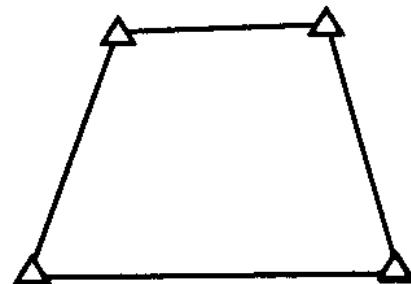
- 同步观测：两台以及两台以上的GPS接收机在相同的时间段内同时连续跟踪相同的卫星组。
- 同步图形（环）：同步观测时各GPS点间的基线向量首尾相接组成的闭合图形称为同步图形。
- 同步图形闭合差：在同步图形中形成的坐标闭合差条件（它可以反映野外观测质量和条件的好坏）。
- 同步观测基线与独立基线。



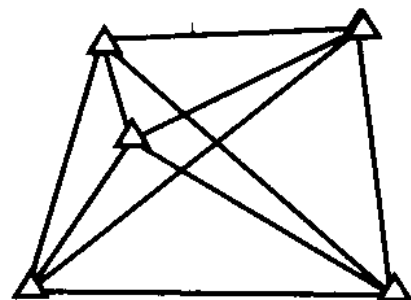
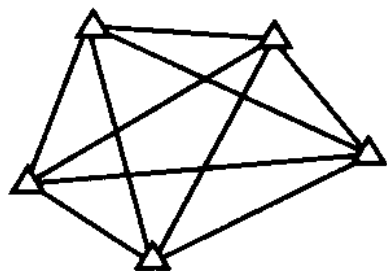
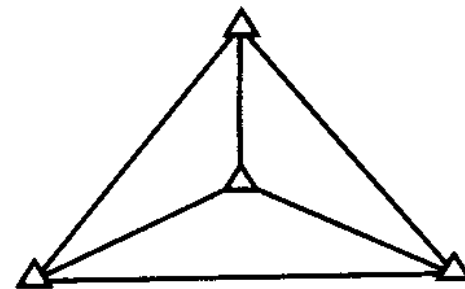
(a) 两台接收机



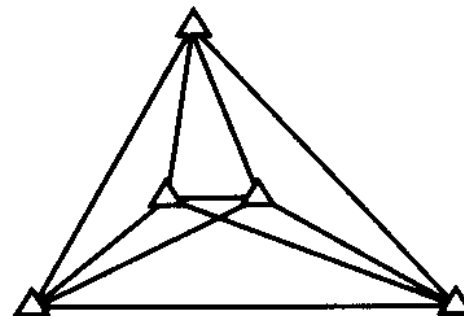
(b) 三台接收机



(c) 四台接收机



(d) 五台接收机



同步图形示例

- 异步图形（环）：即由不同时段의 基线向量首尾相接构成的闭合图形。
- 异步图形（环）闭合差：由异步图形形成的坐标闭合差条件。
- 重复基线坐标闭合差：当某条基线被两个或多个时段观测时，就构成了所谓重复基线坐标闭合差条件。

异步图形闭合条件和重复基线坐标闭合条件是衡量精度、检验粗差和系统差的重要指标！

- 布设GPS网的目的

- 提高GPS测量结果的精度和可靠性

- 进行坐标系统的转换

- GPS网网形设计的一般原则

(1) GPS网中不应存在自由基线。所谓自由基线是指不构成闭合图形的基线，由于自由基线不具备发现粗差的能力，因而必须避免出现，也就是GPS网一般应通过独立基线构成闭合图形。

(2) GPS网中的闭合条件中基线数不可过多。网中各点最好有三条或更多基线分支，以保证检核条件，提高网的可靠性，使网中的精度、可靠性较均匀。

(3) GPS网应以“每个点至少独立设站观测两次”的原则布网。这样不同接收机数测量构成的网之精度和可靠性指标比较接近。

- GPS网网形设计的一般原则（续）

（4）为了实现GPS网与地面网之间的坐标转换，GPS网至少应与地面网有2个重合点。研究和实践表明，应有3-5个精度较高、分布均匀的地面点作为GPS网的一部分，以便GPS成果较好地转换至地面网中。同时，还应与相当数量的地面水准点重合，以提供大地水准面的研究资料，实现GPS大地高向正常高的转换。

- GPS网网形设计的一般原则（续）

（5）为了便于观测，GPS点应选择在交通便利、视野开阔、容易到达的地方。尽管GPS网的观测不需要考虑通视的问题，但是为了便于用经典方法扩展，至少应与网中另一点通视。

2、GPS网的等级

- 精度衡量方法
 - 相邻点之间的距离测量误差

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

σ : 相邻点间的距离中误差(mm)

a : 固定误差(mm)

b : 比例误差因子(ppm或 10^{-6})

D : 相邻点间的距离(km)

- GPS网的分类（2001版规范）

测量分类	固定误差 a(mm)	比例误差 b(ppm)	相邻点距离 (km)
A	≤ 5	≤ 0.1	100~2000
B	≤ 8	≤ 1	15~250
C	≤ 10	≤ 5	5~40
D	≤ 10	≤ 10	2~15
E	≤ 10	≤ 20	1~10

- **GPS网的分类（2009版规范）**

级别	相邻点基线分量中误差		相邻点平均距离/km
	水平分量 /mm	垂直分量 /mm	
B	5	10	50
C	10	20	20
D	20	40	5
E	20	40	3

- **A级GPS网**由卫星定位连续运行基准站构成，其精度不低于下表的要求：

级别	坐标年变化率中误差		相对精度	地心坐标各分量年平均中误差/mm
	水平分量 (mm/a)	垂直分量 (mm/a)		
A	2	3	1×10^{-8}	0.5

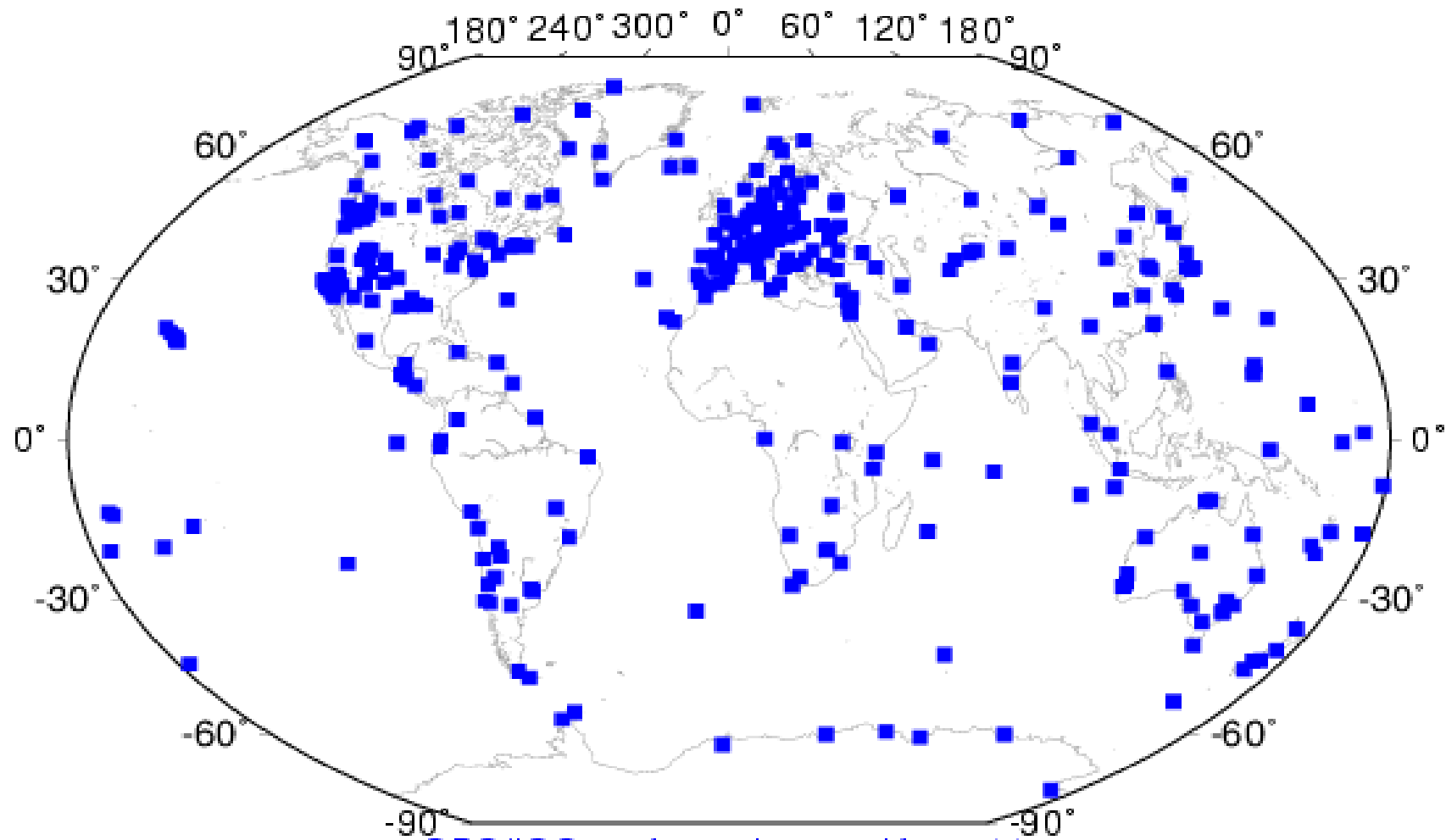
- 各类GPS网的用途（2009版规范）
 - **A级网**用于建立国家一等大地控制网，进行全球性的地球动力学研究、地壳形变测量和精密定轨等的GPS测量。
 - **B级网**用于建立国家二等大地控制网，建立地方或城市坐标基准框架、区域性的地球动力学研究、地壳形变测量、局部形变监测和各种精密工程测量等的GPS测量。
 - **C级网**用于建立三等大地控制网，以及建立区域、城市及工程测量的基本控制网等的GPS测量。
 - **D级网**用于建立四等大地控制网的GPS测量。
 - **E级网**用于中小城市、城镇以及测图、地籍、土地信息、房产、物探、勘测、建筑施工等的控制测量的GPS测量。

3、GPS网的布网形式

- 跟踪站式
- 会战式
- 多基准站式
- 同步图形扩展式
- 单基准站式

(1) 跟踪站式的布网

- 形式：若干台接收机长期固定安放在测站上，进行常年、不间断的观测，即一年观测365天，一天观测24小时，这种观测方式很像是跟踪站，因此，这种布网形式被称为跟踪站式（实际上就是跟踪站）。数据处理通常采用精密星历。
- 优点：精度极高，具有框架基准特性。
- 缺点：需建立专门的永久性建筑即跟踪站，观测成本很高。
- 适用范围：一般用于建立GPS跟踪站（AA级网），永久性的的监测网（如用于监测地壳形变、大气物理参数等的永久性监测网络）。



(资料来源: <http://igsws.unavco.org/network/list.html>)

长安大学GPS连续跟踪站（CORS站）

2011年5月，长安大学地测学院首次在西安建立了一座专门用于地面沉降GPS实时监测跟踪站（CHDC）和一座北斗跟踪站，于2011年8月10日正式联网运行。



(2) 会战式的布网

- 形式：在布设GPS网时，一次组织多台GPS接收机，集中在一段不太长的时间内，共同作业。在作业时，观测分阶段进行，在同一阶段中，所有的接收机，在若干天的时间里分别各自在同一批点上进行多天、长时段的同步观测，在完成一批点的测量后，所有接收机又都迁移到另外一批点上采用相同方式，进行另一阶段的观测，直至所有点观测完毕。
- 优点：可以较好地消除SA等因素的影响，因而具有特高的尺度精度。
- 适用范围：用于布设A、B级GPS网。

国家A、B级GPS网

- 国家高精度**GPS A级网**布测于1992年2月，由27个点组成。
- 1991—1995年期间布测了**国家GPS B级网**，共818个点（含GPS A级网）。
- **国家A、B级GPS网**是2000**国家GPS大地控制网**的基础

2000 国家GPS大地控制网

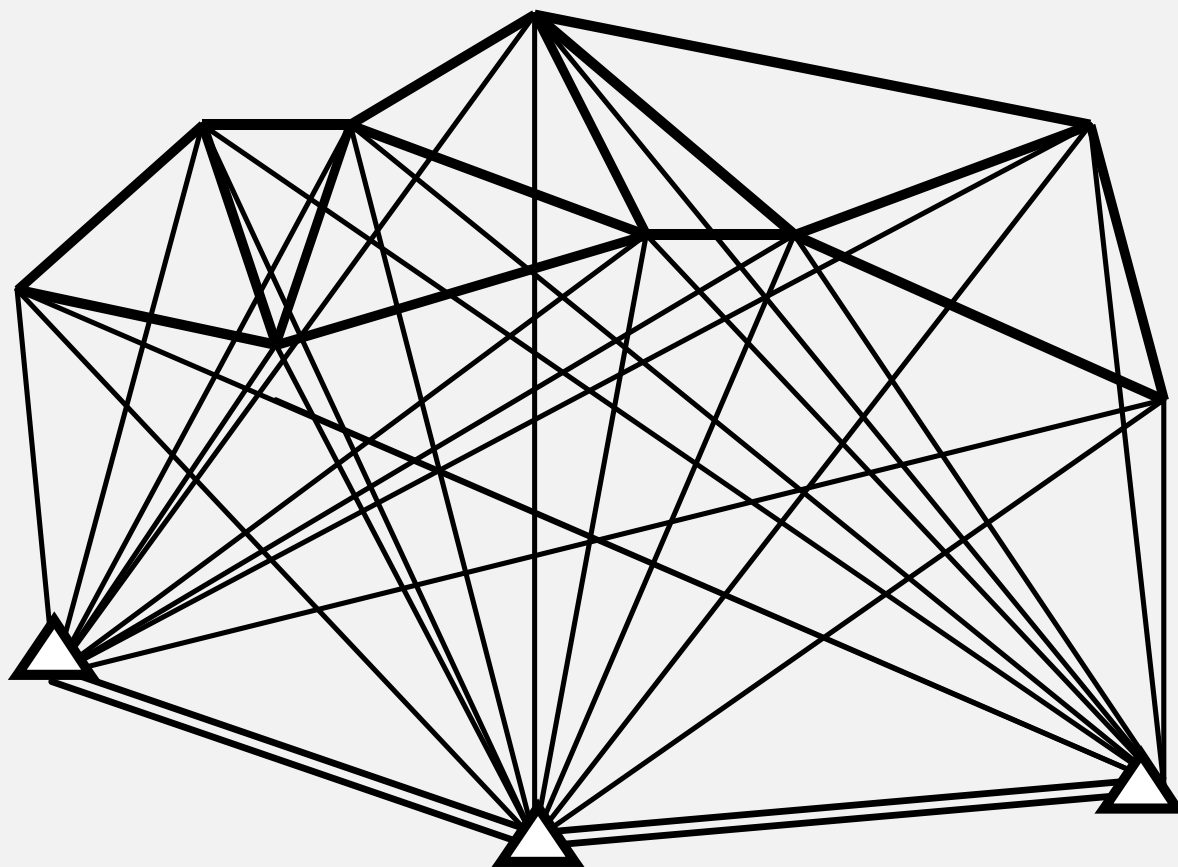
'2000 National GPS Control Network



(资料来源: <http://ngcc.sbsm.gov.cn/article/sjcg/clkzd>)

(3) 多基准站式的布网

- **形式：**若干台接收机在一段时间里长期固定在某几个点上进行长时间的观测，这些测站称为基准站，在基准站进行观测的同时，另外一些接收机则在这些基准站周围相互之间进行同步观测。
- **优点：**各个基准站之间进行了长时间的观测，因此，可以获得较高精度的定位结果，这些高精度的基线向量可以作为整个GPS网的骨架。另外一方面，其余的进行了同步观测的接收机间除了自身间有基线向量相连外，它们与各个基准站之间也存在有同步观测，因此，也有同步观测基线相连，这样可以获得更强的图形结构。
- **适用范围：**C、D级GPS网。



多基准站式的布网

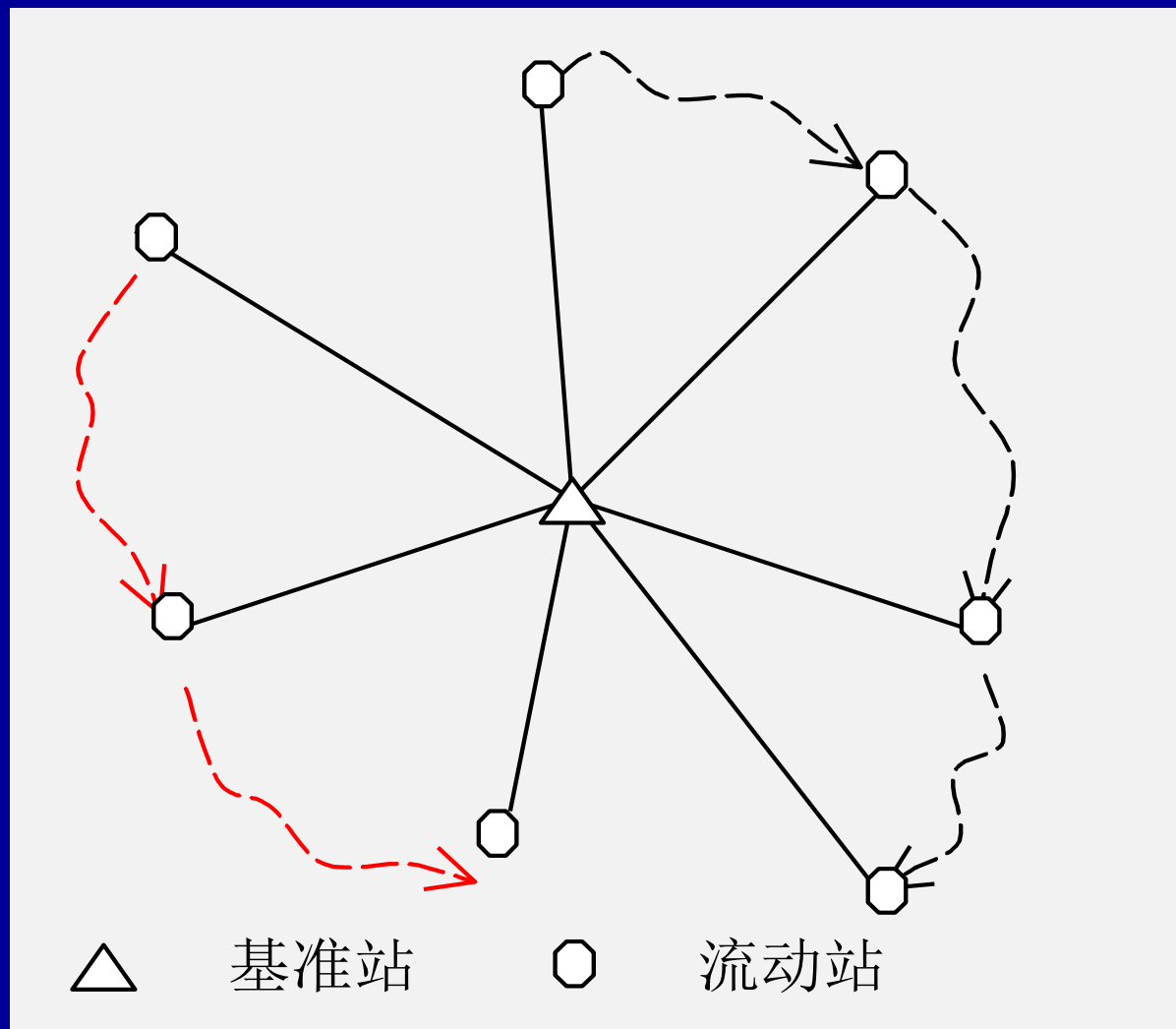
(4) 同步图形扩展式的布网

- 形式：多台接收机在不同测站上进行同步观测，在完成一个时段的同步观测后，又迁移到其它的测站上进行同步观测，每次同步观测都可以形成一个同步图形，在测量过程中，不同的同步图形间一般有若干个公共点相连，整个GPS网由这些同步图形构成。

- 一个由n台仪器测定的同步图形中：
 - 独立基线的数量为： $(n-1)$ 条
 - 总的基线数量为： $\frac{1}{2} \cdot n(n-1)$ 条
- 优点：扩展速度快，图形强度较高，且作业方法简单。
- 适用范围：C，D级GPS网。

(5) 单基准站（星形网）式的布网

- 形式：以一台接收机作为基准站，在某个测站上连续观测，其余的接收机在基准站观测期间，在其周围流动，每到一点就进行观测，流动的接收机之间一般不要求同步，这样，流动的接收机每观测一个时段，就与基准站间测得一条同步观测基线，所有这样测得的同步基线就形成了一个以基准站为中心的星形GPS网。
- 优点：作业效率高。
- 缺点：图形强度弱。
- 适用范围：D，E级GPS网。



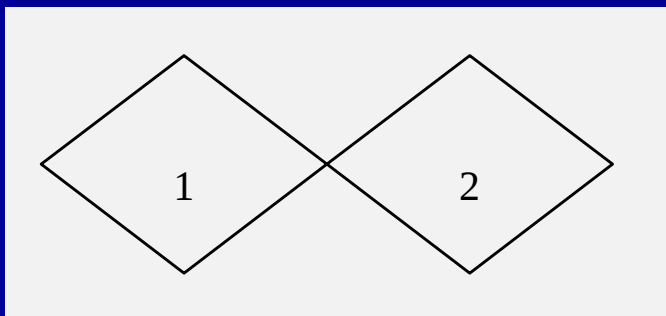
单基准站（星形网）式的布网

4、同步图形的连接方式

- 点 连 式
- 边 连 式
- 网 连 式
- 混 连 式

(1) 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

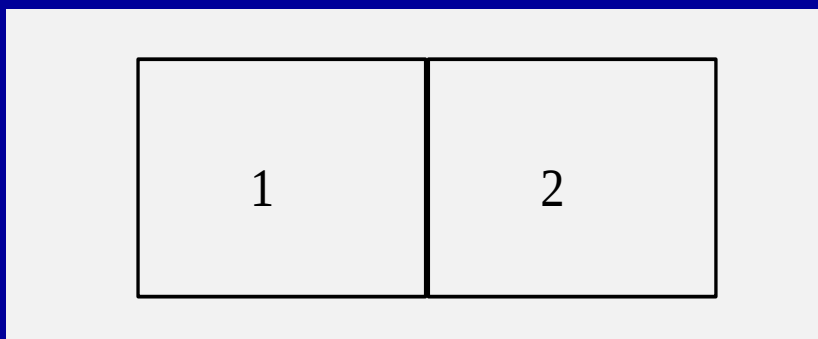


$$n = 1 + INT[(m - T) / (T - 1)]$$

➤ 网的必要观测基线数为 $m-1$ ，而网中 n 个同步图形总共有 $n \times (T-1)$ 条独立基线。

(2) 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



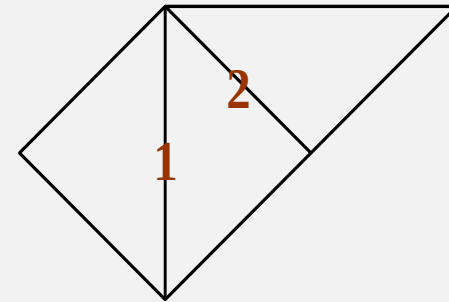
$$n = 1 + INT[(m - T) / (T - 2)]$$

➤ 网的必要观测基线数为 $m-1$

➤ 其中独立基线数为 $n \times (T-1)$ ，而网的多余观测基线数为 $n \times (T-1) - (m-1)$

(3) 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



(4) 混连式

- 形式：在实际的GPS作业中，一般并不是单独采用上面所介绍的某一种观测作业模式，而是根据具体情况，有选择地灵活采用这几种方式作业，这样一种观测作业方式就是所谓的混连式。
- 特点：混连式观测作业方式是我们实际作业中最常用的作业方式，它实际上是点连式、边连式和网连式的一个结合体。

5、GPS网工作量的计算方法

- 网工作量的计算

$$S_{\min} = \text{ceil}\left(\frac{R \cdot n}{m}\right)$$

$S_{\min}$: 最少观测期数

R : 重复设站次数

n : 点数

m : 同步观测的接收机数

ceil表示向上取整，例如 $\text{ceil}(9.3) = 10$

6、GPS网的设计准则

- 选点的原则
- 提高可靠性的原则
- 提高精度的原则

(1) 选点的原则

- 为保证对卫星的连续跟踪观测和卫星信号的质量，要求测站上空应尽可能的开阔，在 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 高度角以上不能有成片的障碍物。
- 为减少各种电磁波对GPS卫星信号的干扰，在测站周围约200m的范围内不能有强电磁波干扰源，如大功率无线电发射设施、高压输电线等。

选点的原则（续）

- 为避免或减少多路径效应的发生，测站应远离对电磁波信号反射强烈的地形、地物，如高层建筑、成片水域等。
- 为便于观测作业和今后的应用，测站应选在交通便利、上点方便的地方。
- 测站应选择在易于保存的地方。

(2) 提高可靠性的原则

- 增加观测期数（增加独立基线数）
- 保证一定的重复设站次数
- 保证每点与三条以上的独立基线相连
- 最小异步环边数满足规范的要求

级别	B	C	D	E
闭合环或附和路线的边数/条	6	6	8	10

(3) 提高精度的原则

- 网中距离较近的点一定要进行同步观测，以获得它们间的直接观测基线
- 建立框架网
- 最小异步环边数满足规范的要求
- 适当引入高精度电磁波测距边
- 若要进行高程拟合，水准点密度要高，分布要均匀，且要将拟合区域包围起来
- 适当延长观测时间，增加观测时段
- 选取适当数量的已知点，已知点分布均匀

本讲结束！