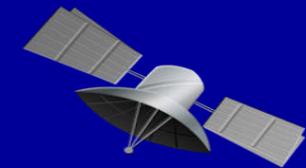
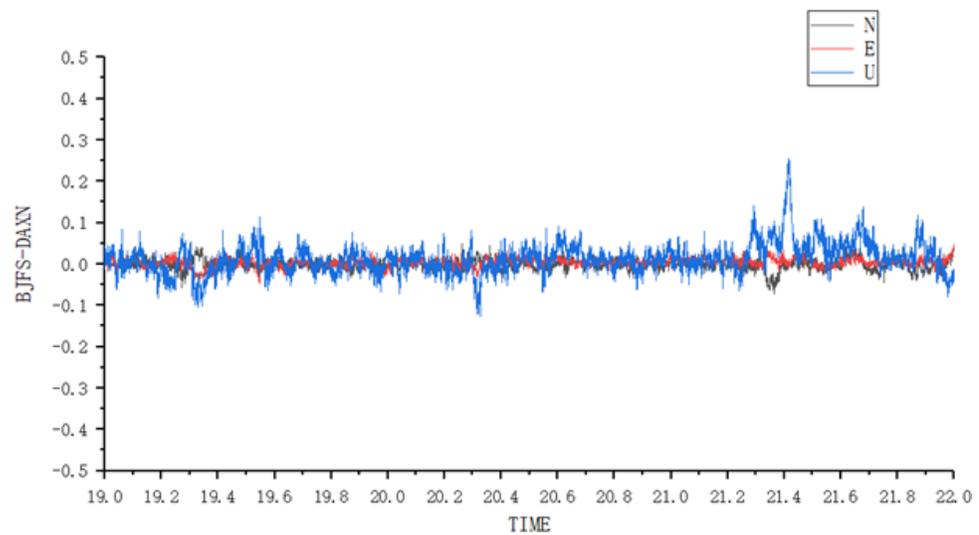


第四章 GPS动态定位原理

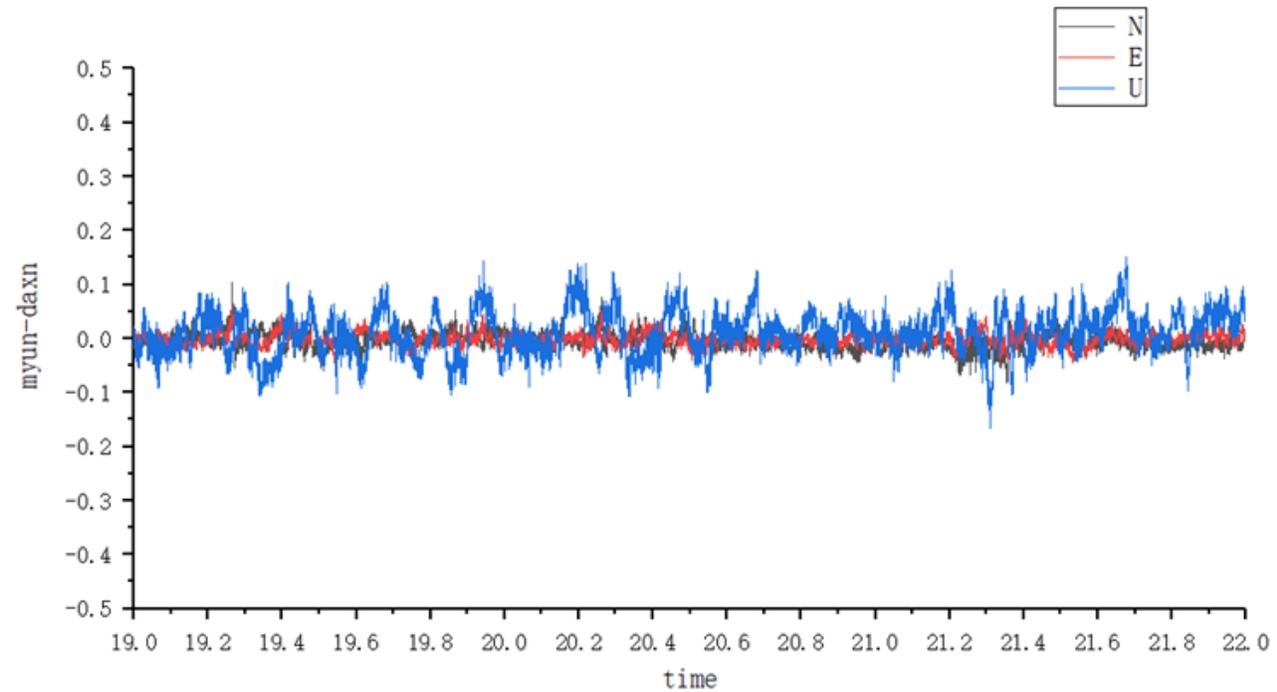
长安大学地质工程与测绘学院

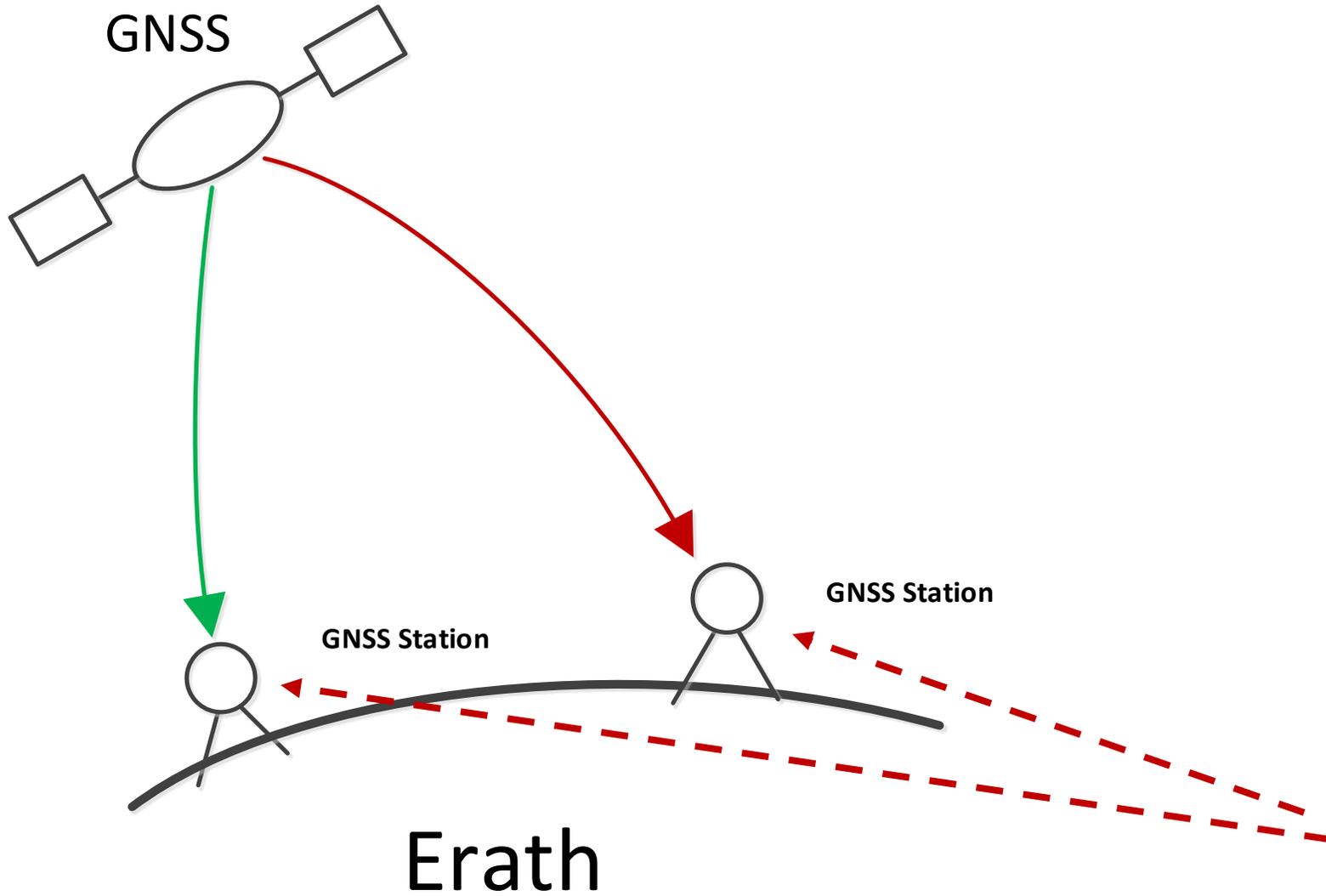
主讲教师：张双成

bjfs-daxn 41505.976 m



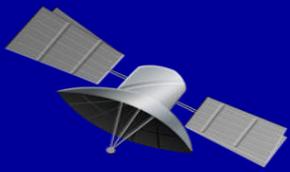
myun-daxn 122699.464 m





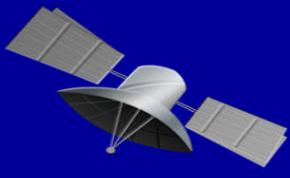
1. GNSS星座
2. 时空基准
3. 卫星位置
4. GNSS信号
5. GNSS接收机
6. GNSS误差源
7. GNSS绝对定位
8. GNSS相对定位
9. GNSS动态定位
10.

主要讲解内容



1. **GPS动态定位应用**
2. **GPS动态绝对定位原理**
3. **GPS动态相对定位与差分GPS**
4. **差分GPS定位原理**
5. **载波相位差分原理**
6. **广域差分GPS**

1、GPS动态定位应用

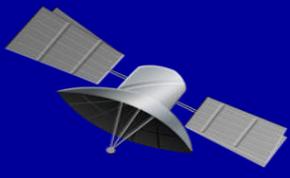


GPS静态相对定位应用：

GPS静态相对定位主要应用领域有卫星精密定轨、高精度控制网建立、框架网维持、地壳形变与地球动力学，地面沉降地裂缝监测、地球大气探测等，通常需要**长时间观测**。

为了解决导航、定位（如数字测图）与授时等实际应用问题，需在**短时间内获取高精度定位结果**。

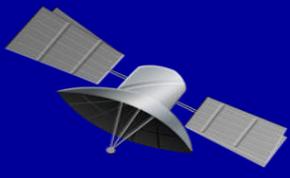
1、GPS动态定位应用



GPS动态定位的概念：

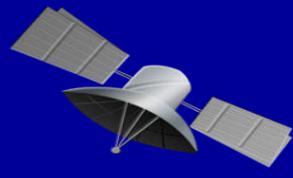
- GPS动态定位（测量）：是利用GPS信号，测定相对于地球运动的用户天线的**状态参数**，这些状态参数包括三维坐标、三维速度和时间七个参数。
- 导航：是测得运动载体的**状态参数**，并导引运动载体准确地运动到预定的后续位置。

1、GPS动态定位应用



GPS动态定位的应用领域：

- **导航** - 探险、车辆、船舶、航空器等。
- **监控** - 车辆、船舶、航空器等。
- **制导** - 武器制导、自动驾驶等。
- **定轨** - 卫星、火箭、航天器等。
- **姿态** - 卫星、航天器、航空器等。
- **测量** - 数字测图、放样、监测等
-



1、GPS动态定位应用

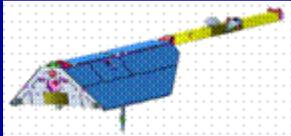
GPS动态定位的应用领域：



车辆导航与测量



航空导航与测量

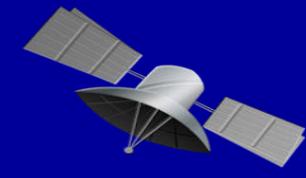


卫星侦察与测绘



舰船导航与测绘

高精度动态
定位和导航

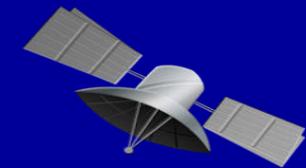


1、GPS动态定位应用

GPS动态定位的应用领域：



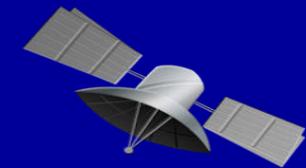
1、GPS动态定位应用



GPS动态定位的应用领域:

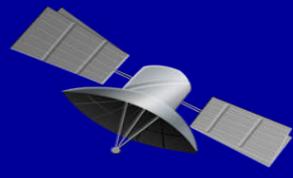


1、GPS动态定位应用



GPS动态定位的应用领域：





1、GPS动态定位应用

GPS动态定位的特点：

用户多样性

速度多异性

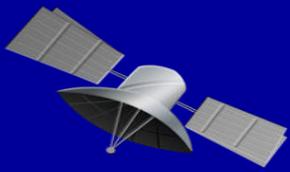
定位实时性

数据短时性

精度多样性

.....

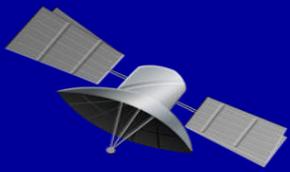
1、GPS动态定位应用



GPS动态定位的类型：

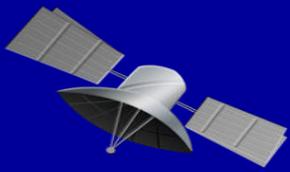
- (1) 动态绝对定位（精度低）
- (2) 实时差分动态定位（高精度）
 - ① 位置差分
 - ② 伪距差分
 - ③ 相位平滑伪距差分
 - ④ 载波相位差分

主要讲解内容



1. GPS动态定位应用
2. **GPS动态绝对定位原理**
3. GPS动态相对定位与差分GPS
4. 差分GPS定位原理
5. 载波相位差分原理
6. 广域差分GPS

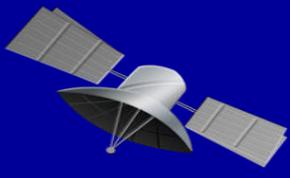
2、GPS动态绝对定位原理



GPS动态绝对定位的概念：

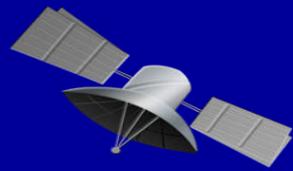
GPS动态绝对定位是确定处于**运动载体**上的接收机在运动的**每一瞬间**的位置。由于接收机天线处于运动状态，故天线点位的坐标是一个变化的量，因此确定每一瞬间坐标的观测方程只有**较少的多余观测**（甚至没有多余观测），且一般常利用**测距码伪距进行动态绝对定位**。因此，其精度较低，一般仅有**几十米的精度**，在SA政策影响下，其精度甚至低于百米。通常这种定位方法只用于精度要求不高的飞机、船舶以及陆地车辆等**运动载体的导航**。

2、GPS动态绝对定位原理



GPS测码伪距动态绝对定位观测方程：

$$\begin{aligned}\tilde{D}_i^j(t) &= D_i^j(t) + \delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t) + c \cdot \delta t_i - c \cdot \delta t^j \\ &= D_i^j(t) + \delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t) + c \cdot \delta t_i^j\end{aligned}$$



2、GPS动态绝对定位原理

线性化后的GPS测码伪距观测方程：

$$\tilde{D}_i^j(t) = (D_i^j(t))_0 - k_i^j(t)\delta X_i - l_i^j(t)\delta Y_i - m_i^j(t)\delta Z_i + c\delta t_i^j + \delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t)$$

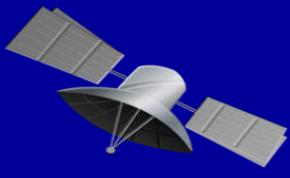
$$D_i^j(t) = (D_i^j(t))_0 + \left(\frac{\partial D_i^j(t)}{\partial X_i}\right)_0 \delta X_i + \left(\frac{\partial D_i^j(t)}{\partial Y_i}\right)_0 \delta Y_i + \left(\frac{\partial D_i^j(t)}{\partial Z_i}\right)_0 \delta Z_i$$

$$\left(\frac{\partial D_i^j(t)}{\partial X_i}\right)_0 = -\frac{1}{(D_i^j(t))_0} (X^j(t) - X_i^0) = -k_i^j(t)$$

$$\left(\frac{\partial D_i^j(t)}{\partial Y_i}\right)_0 = -\frac{1}{(D_i^j(t))_0} (Y^j(t) - Y_i^0) = -l_i^j(t)$$

$$\left(\frac{\partial D_i^j(t)}{\partial Z_i}\right)_0 = -\frac{1}{(D_i^j(t))_0} (Z^j(t) - Z_i^0) = -m_i^j(t)$$

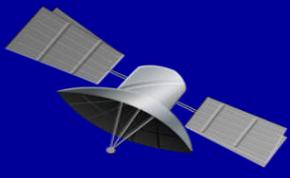
2、GPS动态绝对定位原理



GPS测码伪距动态绝对定位：

- 在动态定位中，平差前需获得待定点的**初始坐标**，一般可将前一时刻的点位坐标作为当前时刻点位的初始坐标。因此，关键是确定第一个点位坐标的精确值。由于该点的坐标的初始值难以较精确地求得，因此需要通过一定的算法，经过多次迭代求得第一点精确的三维坐标，并为后续点位的解算提供初始坐标值，这个迭代计算第一点位坐标值的过程也称为动态定位的**初始化过程**。
- GPS动态绝对定位一般常采用**测码伪距**。

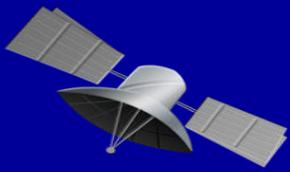
2、GPS动态绝对定位原理



GPS测码伪距动态绝对定位：

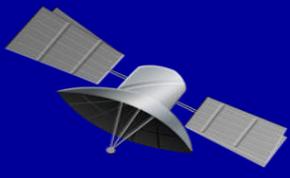
由于测相伪距观测方程中存在**整周未知数**，因而难以利用载波相位进行**实时定位**。但只要接收机保持对卫星的连续跟踪，则整周未知数是一个不变的值。因此，只要通过一个初始化过程求出整周未知数，且GPS接收机在载体运动过程中保持对卫星信号的连续跟踪，则仍可用于GPS动态绝对定位，且精度优于测距码伪距动态定位。但是，要在**载体运动过程中保持对卫星的连续跟踪是较为困难的**，所以，动态绝对定位中主要采用**测距码伪距定位法**。

主要讲解内容



1. GPS动态定位应用
2. GPS动态绝对定位原理
3. **GPS动态相对定位与差分GPS**
4. 差分GPS定位原理
5. 载波相位差分原理
6. 广域差分GPS

3、GPS动态相对定位与差分GPS



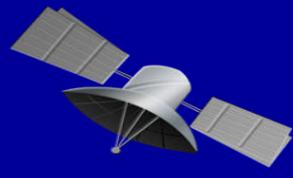
GPS动态相对定位：

GPS绝对定位受**多种系统误差**影响，其**定位精度不高**，难以满足高精度动态定位的要求。

由于GPS测量系统误差具有**较强相关性**，因此可以在GPS动态定位中引入**相对定位作业方法**，即**GPS相对定位（差分GPS）**。

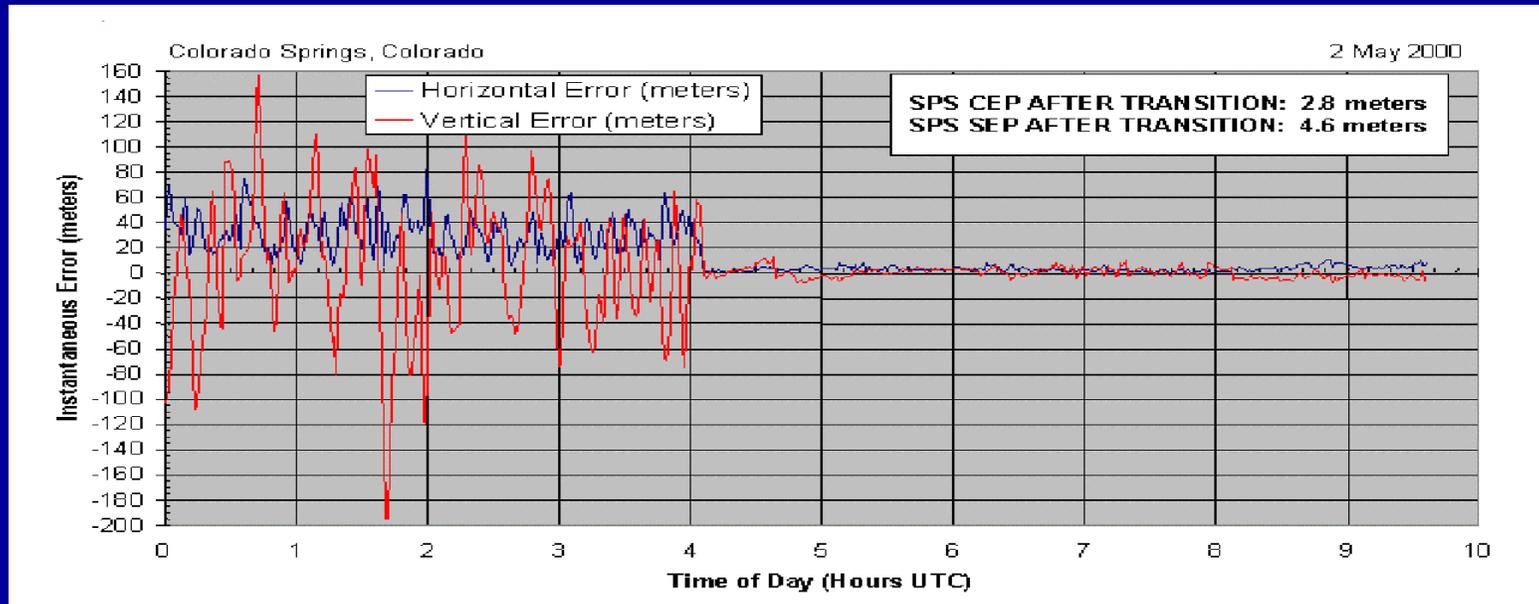
GPS相对定位既可基于**伪距**，也可以采用**载波相位**进行定位。

3、GPS动态相对定位与差分GPS



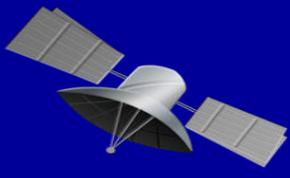
差分GPS产生的诱因：

- GPS绝对定位的精度受多种误差因素的影响，无法满足某些特殊应用的要求。
- 美国的GPS政策对GPS绝对定位精度的影响（选择可用性SA）。



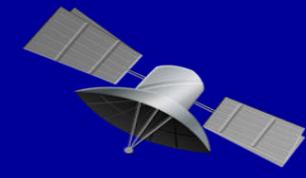
SA关闭前后GPS绝对定位精度的变化

3、GPS动态相对定位与差分GPS



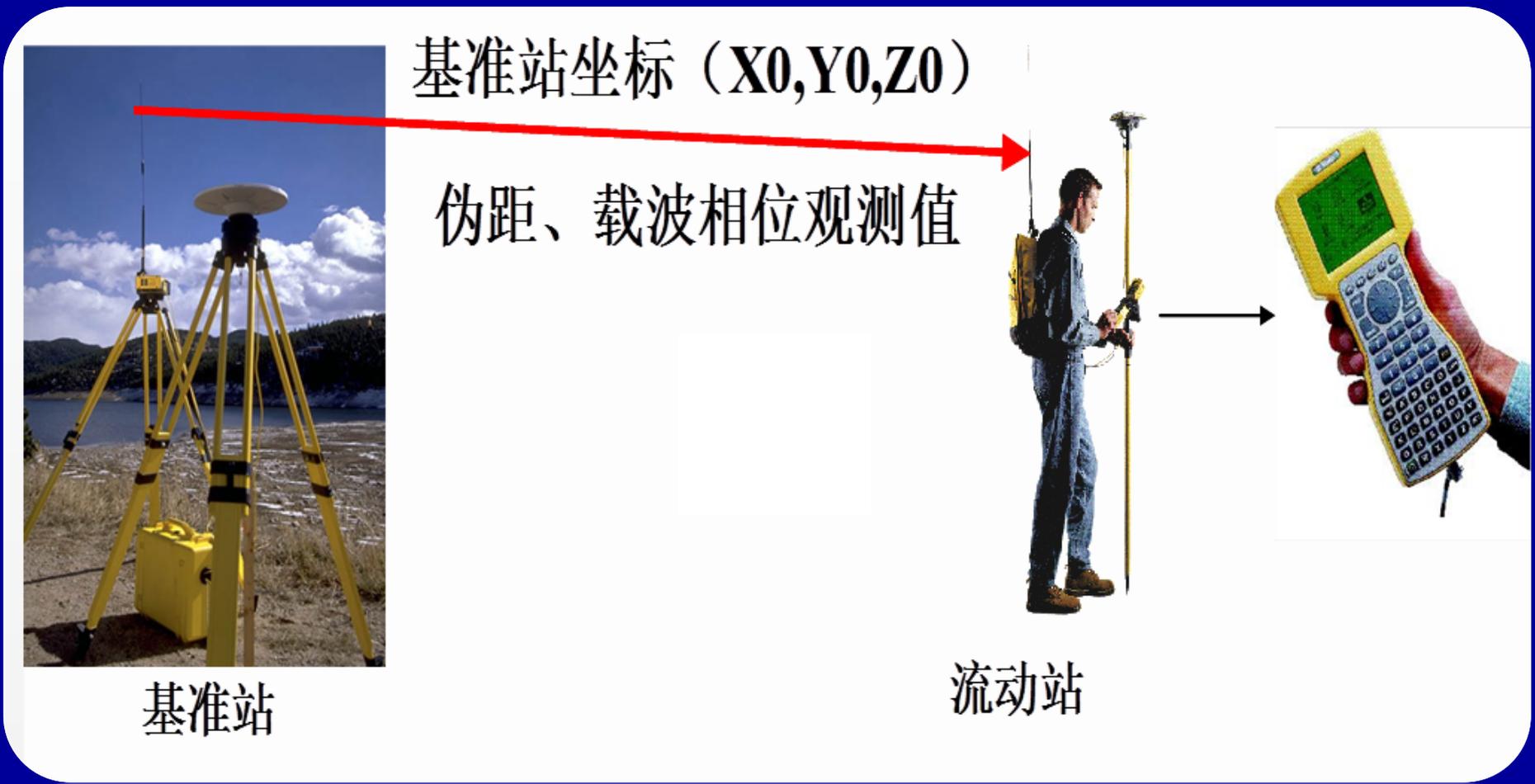
GPS动态相对定位原理：

GPS动态相对定位的作业方法实际上是用**两台GPS接收机**，将一台接收机安置在坐标已知的基准站上**固定不动**，另一台接收机安置在运动的**载体**上，两台接收机同步观测**相同的卫星**，通过在观测值之间**求差**，以**消除具有相关性的误差**，提高定位精度。而运动点位置是通过确定该点相对基准站的位置实现的，这种定位方法也叫**差分GPS**。

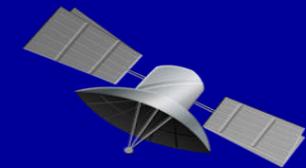


3、GPS动态相对定位与差分GPS

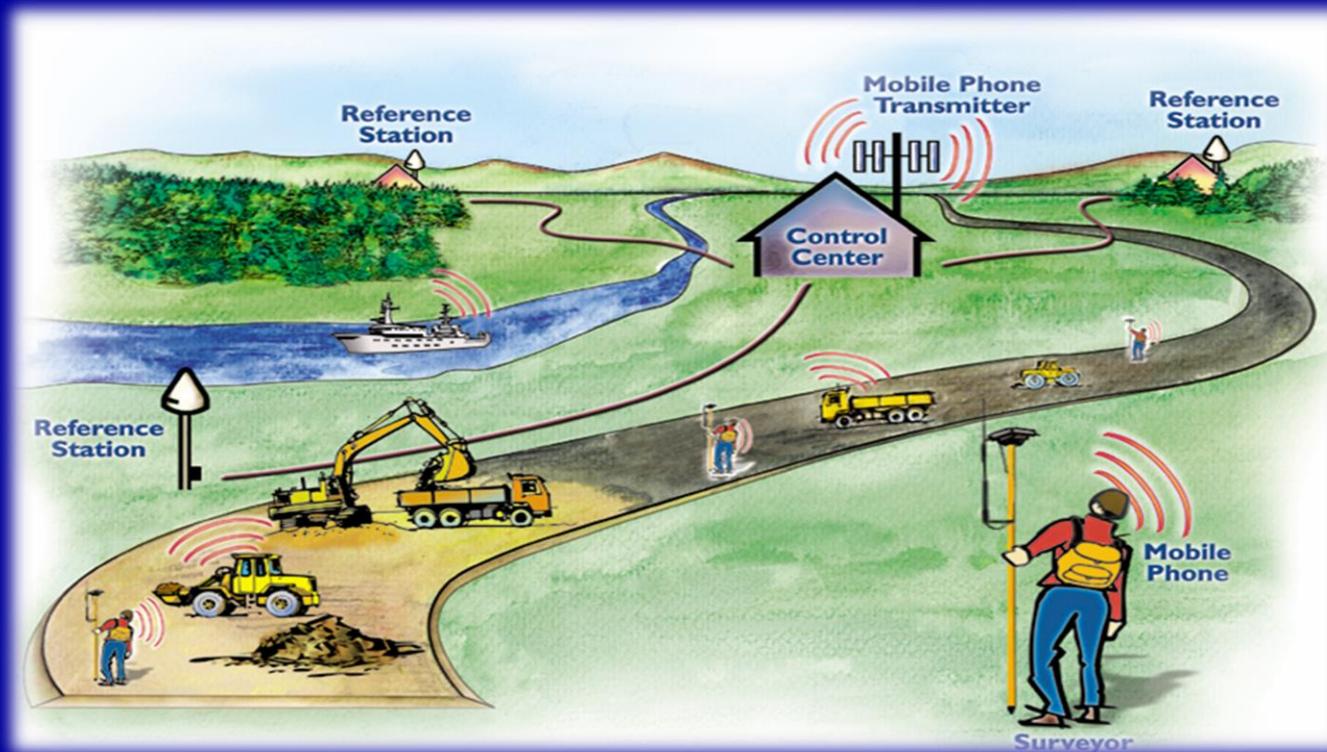
GPS动态相对定位工作原理：



3、GPS动态相对定位与差分GPS

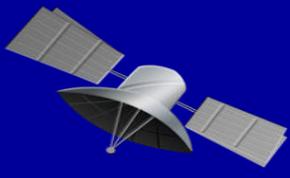


GPS动态相对定位工作原理：



动态相对定位分为以测距码伪距为观测量的动态相对定位和以载波相位伪距为观测量的动态相对定位。

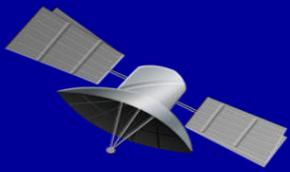
3、GPS动态相对定位与差分GPS



差分GPS原理：

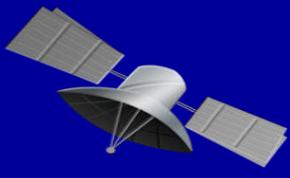
- 差分GPS (DGPS - Differential GPS)
 - 利用设置在坐标已知的点（基准站）上的GPS接收机测定GPS测量定位误差，用以提高在一定范围内其它GPS接收机（流动站）测量定位精度的方法。
- RTCM相对定位改正格式

主要讲解内容



1. GPS动态定位应用
2. GPS动态绝对定位原理
3. GPS动态相对定位与差分GPS
4. 差分GPS定位原理
5. 载波相位差分原理
6. 广域差分GPS

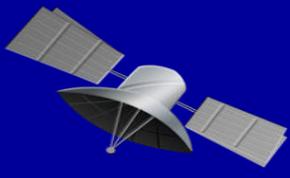
4、差分GPS定位原理



影响绝对定位精度的主要误差

- 轨道误差
- 卫星钟差
- 大气延迟（电离层延迟、对流层延迟）
- 多路径效应
-

4、差分GPS定位原理



差分GPS的基本原理：

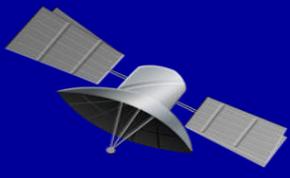
- 误差的空间相关性

- 以上各类误差中除多路径效应均具有较强的空间相关性，从而定位结果也有一定的空间相关性。

- 差分GPS的基本原理

- 利用基准站（设在坐标精确已知的点上）测定具有空间相关性的误差或其对测量定位结果的影响，供流动站改正其观测值或定位结果。

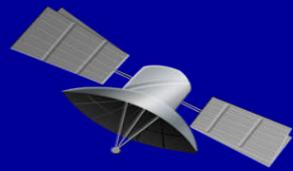
4、差分GPS定位原理



差分改正数的类型：

- **距离改正数**：利用基准站坐标和卫星星历可计算出站星间的计算距离，计算距离减去观测距离即为距离改正数。
- **位置改正数（坐标改正数）**：基准站上的接收机对GPS卫星进行观测，确定出测站的观测坐标，测站的已知坐标与观测坐标之差即为位置的改正数。

4、差分GPS定位原理

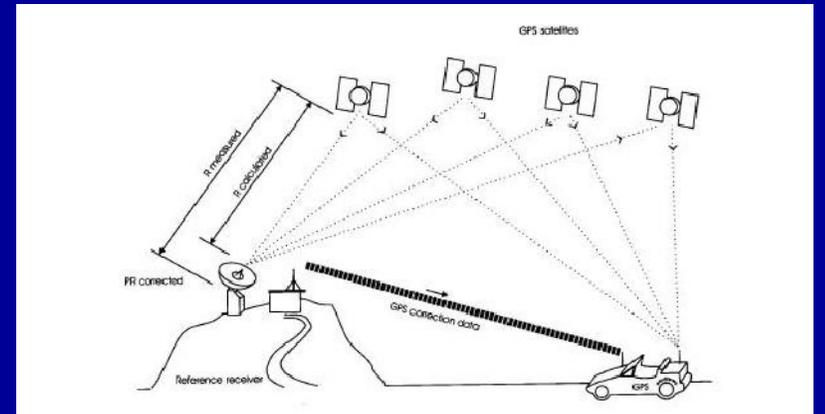
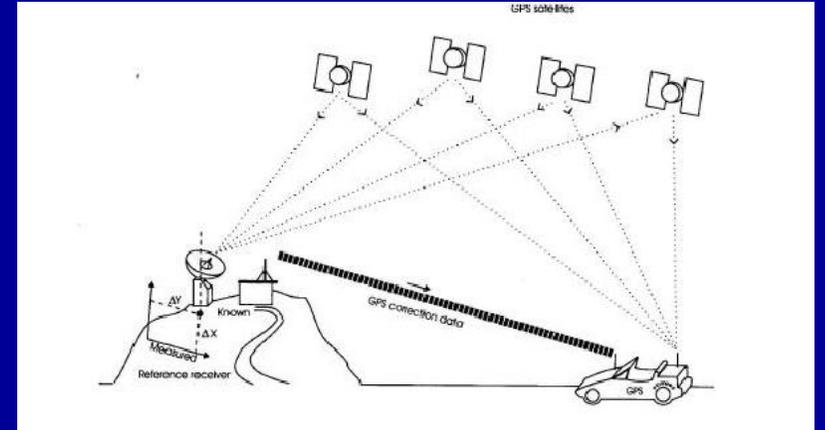


差分GPS的分类：

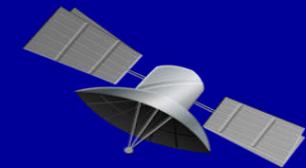
- **根据时效性**
 - 实时差分
 - 事后差分
- **根据观测值类型**
 - 伪距差分
 - 载波相位差分
- **根据差分改正数**
 - 位置差分（坐标差分）
 - 距离差分（伪距差分）
 - 载波相位差分
- **根据工作原理和差分模型**
 - 局域差分（LADGPS - Local Area DGPS）
 - 单基准站差分
 - 多基准站差分
 - 广域差分（WADGPS - Wide Area DGPS）

坐标改正

距离改正



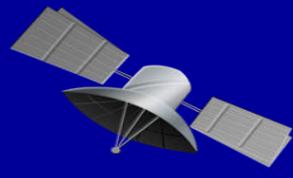
4、差分GPS定位原理



差分GPS的本质：

无论哪种差分，其基本工作原理均是由**基准站发送改正数**，**用户站接收改正数**，并用**对其测量结果进行改正**，以获得精确地定位结果。发送改正数的**具体内容不一样**，其**定位精度也不一样**。





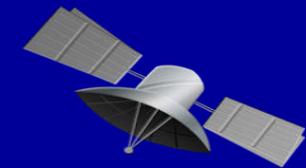
4、差分GPS定位原理

位置差分GPS原理：

位置差分GPS是一种最简单的差分方法。安置在已知点基准站上的GPS接收机，经过对4颗及4颗以上的卫星观测，便可实现定位。先求出基准站的坐标(X' , Y' , Z')，由于存在着卫星星历、时钟误差、大气折射等误差的影响，该坐标与已知基准站坐标(X , Y , Z)不一样，存在误差。即：

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= X - X' \\ \Delta Y &= Y - Y' \\ \Delta Z &= Z - Z' \end{aligned} \right\}$$

式中： ΔX 、 ΔY 、 ΔZ 为坐标改正数，基准站利用数据链将坐标改正数发送给用户站，用户站用接收到的坐标改正数对其坐标进行改正：

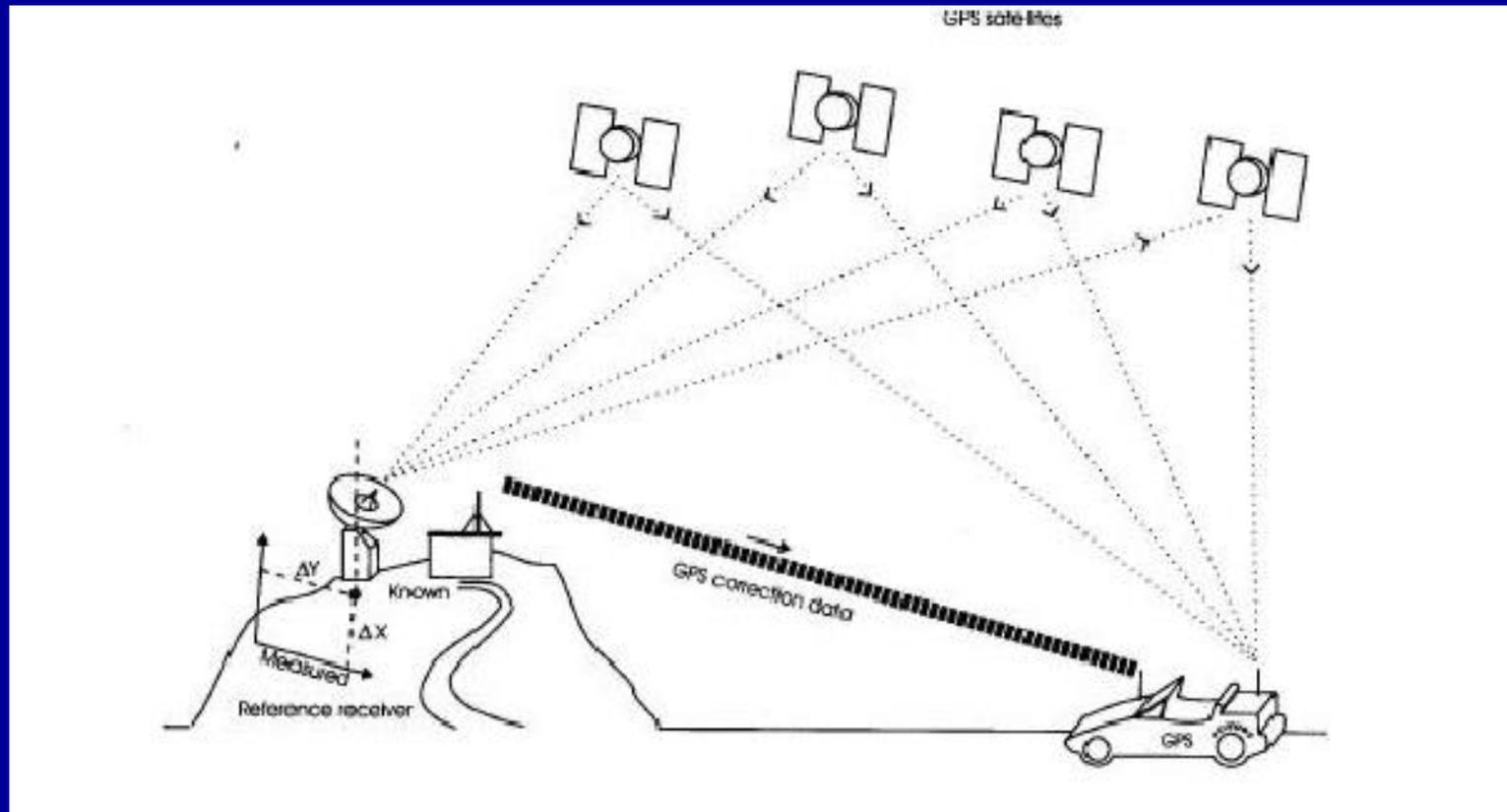


4、差分GPS定位原理

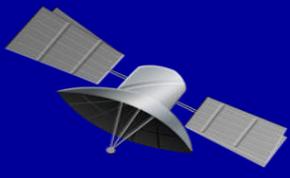
位置差分GPS原理：

$$\left. \begin{aligned} X_k &= X'_k + \Delta X \\ Y_k &= Y'_k + \Delta Y \\ Z_k &= Z'_k + \Delta Z \end{aligned} \right\}$$

经过**坐标改正**后的用户坐标已消去了**基准站与用户站的共同误差**，如卫星星历误差、大气折射误差、卫星钟差、SA政策影响等，提高了定位的精度。



4、差分GPS定位原理



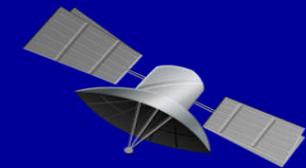
位置差分GPS原理：

位置差分的优点是**需要传输的差分改正数较少**，**计算方法较简单**，任何一种GPS接收机均可改装成这种差分系统。其缺点主要为：

(1) 要求基准站与用户站必须保持**观测同一组卫星**，由于基准站与用户站接收机配备的不完全相同，且两站观测环境也不完全相同，因此难以保证两站观测同一组卫星，并会导致定位所产生的误差可能会不很匹配，从而影响定位精度。

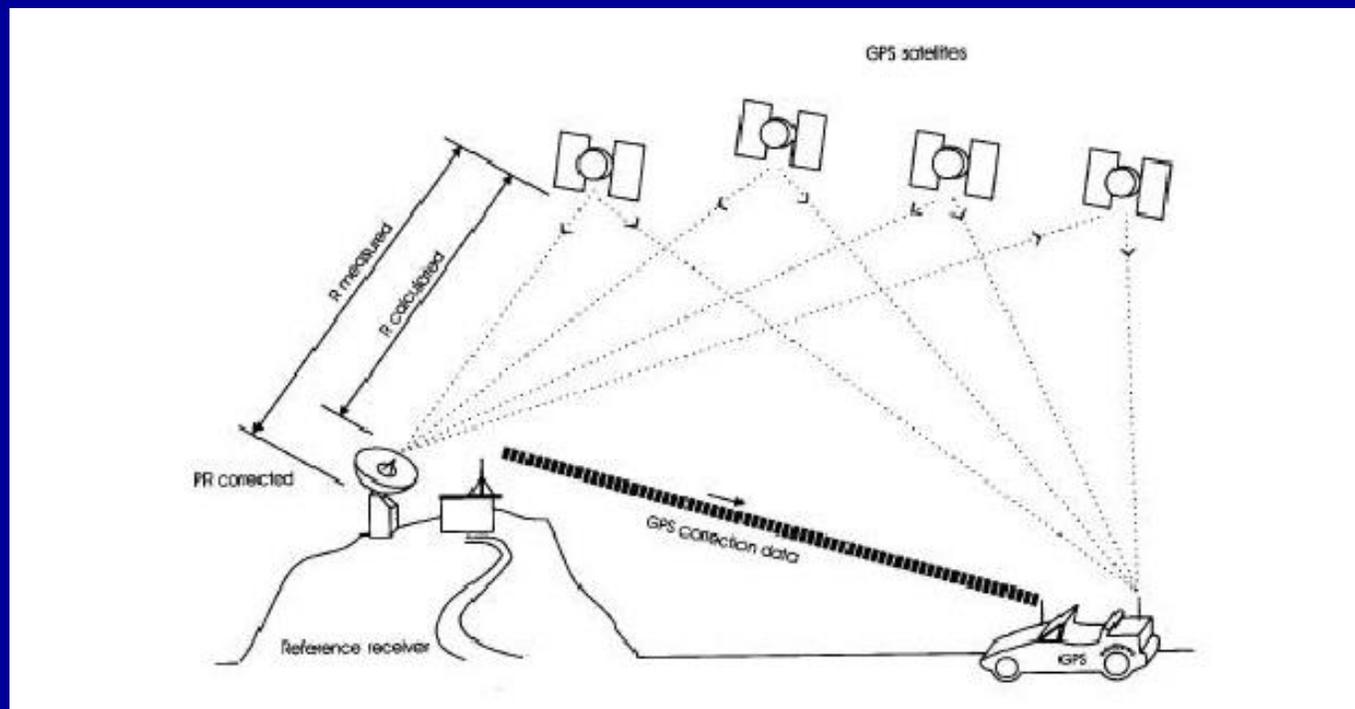
(2) **位置差分定位效果不如伪距差分好。**

4、差分GPS定位原理

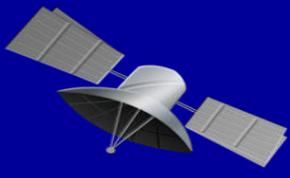


伪距差分GPS原理：

伪距差分是目前应用最广泛的一种差分定位技术之一。该定位技术通过在基准站上**利用已知坐标求出测站至卫星的距离，并将其与含有误差的测量距离比较**，然后利用一个 $\alpha - \beta$ 滤波器将此差值滤波并求出其偏差，并将所有卫星的测距误差传输给用户，用户利用此测距误差来改正测量的伪距。最后，**用户利用改正后的伪距求出自身的坐标**。如果基准站、用户站均观测了相同的4颗或4颗以上的卫星，即可实现用户站的定位。



4、差分GPS定位原理

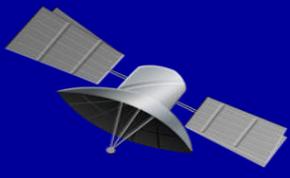


伪距差分GPS原理：

由于伪距差分可提供**单颗卫星的距离改正数**，因此用户站可选其中**任意4颗相同卫星的伪距改正数进行改正**，而不必要求两站观测的卫星完全相同，且伪距改正数是直接在WGS-84坐标系上进行的，是一种**直接改正数**，不必先变换为当地坐标，定位精度更高，且使用更方便。

由于伪距差分定位依赖于两站公共误差的抵消来提高定位精度，误差抵消的程度决定了精度的高低。而误差的公共性在很大程度依赖于**两站距离**，随着两站距离的增加，其误差公共性逐渐减弱，例如对流层、电离层误差。因此用户和基准站之间的距离对精度有着决定性的影响，用户站离基准站的距离越大，伪距差分后的剩余误差越大，定位精度越低。

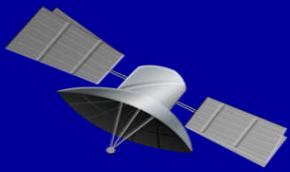
4、差分GPS定位原理



位置差分 and 距离差分的差异:

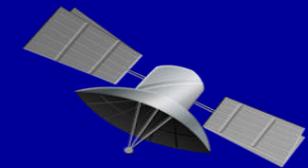
- **位置差分**
 - 差分改正计算的数学模型简单
 - 差分数据的数据量少
 - 基准站与流动站要求观测完全相同的一组卫星
- **距离差分**
 - 差分改正计算的数学模型较复杂
 - 差分数据的数据量较多
 - 基准站与流动站不要求观测完全相同的一组卫星

主要讲解内容



1. GPS动态定位应用
2. GPS动态绝对定位原理
3. GPS动态相对定位与差分GPS
4. 差分GPS定位原理
5. 载波相位差分原理
6. 广域差分GPS

5、载波相位差分原理

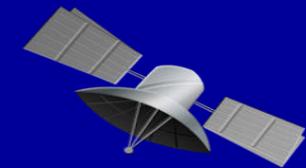


载波相位差分技术的出现：

测距码差分GPS能以米级精度实时给出运动载体的位置，满足诸多导航用户的要求，但是测距码由于自身结构及精度限制，很难达到更高的精度。载波相位的静态相对定位精度极高，但模糊度求解需较长时间，且数据需后处理限制了其应用范围。

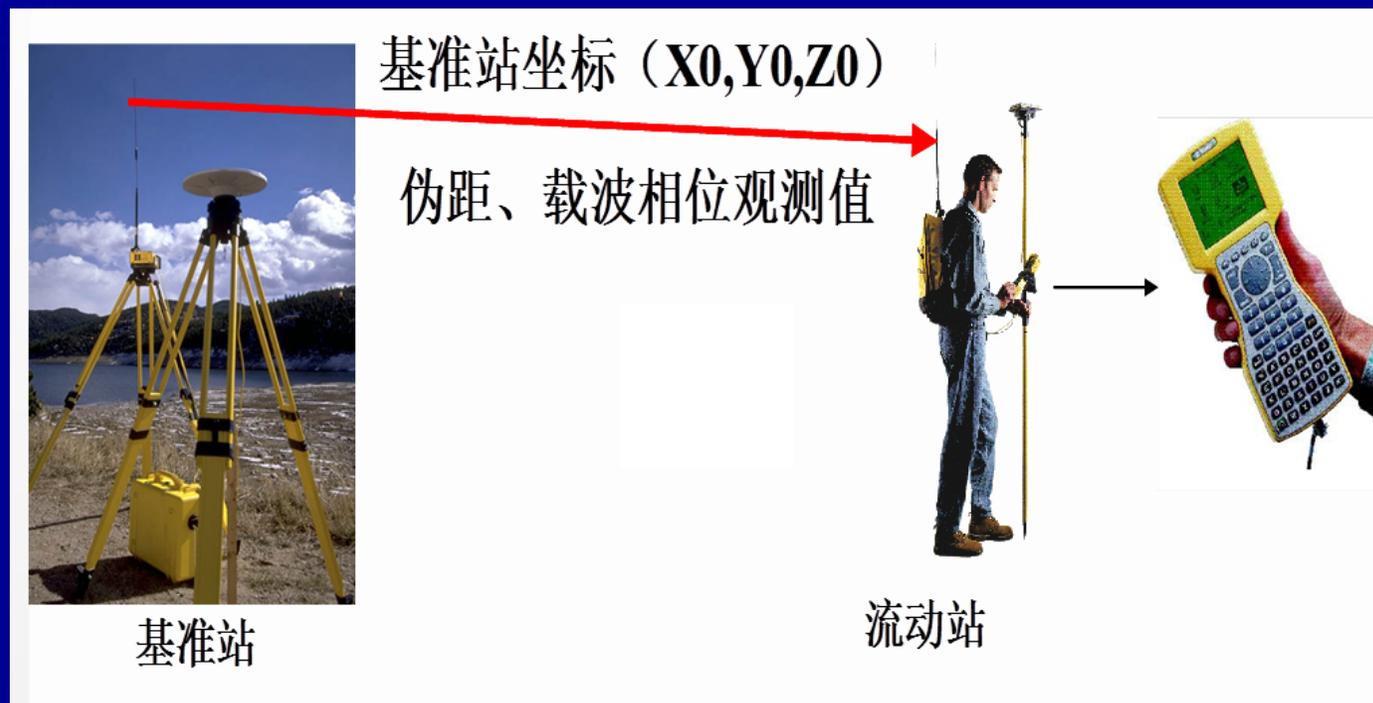
由于快速逼近模糊度技术的出现，模糊度可以被迅速确定，而差分GPS的出现，使利用载波相位差分实时求解载体的位置成为可能，这一具有快速高精度定位功能的载波相位差分测量技术，通常简称为RTK技术（Real Time kinematic）。

5、载波相位差分原理

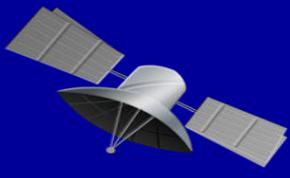


载波相位差分GPS原理：

载波相位差分GPS定位与伪距差分GPS原理相类似，其基本思想是：在基准站上安置一台GPS接收机，对卫星进行连续观测，并通过无线电传输设备实时地将**观测数据及站坐标信息**传送给**用户站**；用户站一方面通过接收机接收GPS卫星信号，同时还通过无线电接收设备接收基准站传送的观测数据，然后根据**相对定位原理**，**实时地处理数据**，并能实时地以**厘米级**的精度给出用户站的三维坐标。



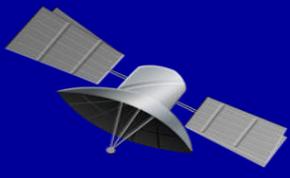
5、载波相位差分原理



载波相位差分GPS的定位方法：

- **修正法：**与伪距差分相同，基准站将载波相位的修正量发送给用户站，以对用户站的载波相位进行改正实现定位。
- **求差法：**另一种是将基准站的载波相位观测值发送给用户站，并由用户站将观测值求差进行坐标解算。求差法用的最广泛。

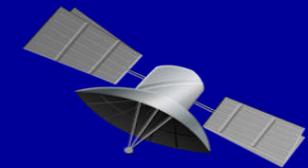
5、载波相位差分原理



载波相位实时动态差分技术RTK的发展：

- RTK测量技术，是以**载波相位观测为根据的实时差分GPS**（RTD GPS）测量技术。目前，GPS测量工作的模式已有多种，如静态、快速静态、准动态和动态相对定位等。但是，利用这些测量模式，如果**不与数据传输系统相结合**，其定位结果均需通过观测数据的**测后处理**而获得。测后处理不仅**无法实时地给出观测站的定位结果**；而且也无法对基准站和用户站观测数据的质量进行实时的检核，因而难以避免在数据后处理中发现不合格的测量成果，需要进行**返工重测**等情况。
- 为了避免返工重测，主要采用**延长观测时间进行解决**，以获得大量的多余观测，来保障测量结果的可靠性。但是，这样一来，便显著地**降低了GPS测量工作的效率**。

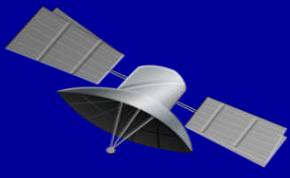
5、载波相位差分原理



载波相位实时动态差分技术RTK的发展：

- 通过**实时计算的定位结果**，便可监测基站与用户站观测成果的质量和解算结果的收敛情况，从而可实时地**判别解算结果是否成功**，以减少冗余观测，缩短观测时间。
- RTK测量系统的开发成功，为GPS测量工作的**可靠性和高效率**提供了保障，这对GPS测量技术的发展和普及，具有重要的现实意义。不过，这一测量系统的应用，也明显地增加了用户的**设备投资**。

5、载波相位差分原理



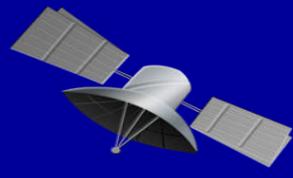
载波相位差分技术RTK:

实时差分动态 (Real Time Kinematic——RTK) 测量系统, 是GPS测量技术与数据传输技术相结合而构成的组合系统。它是GPS测量技术发展中的一个**新的突破**。

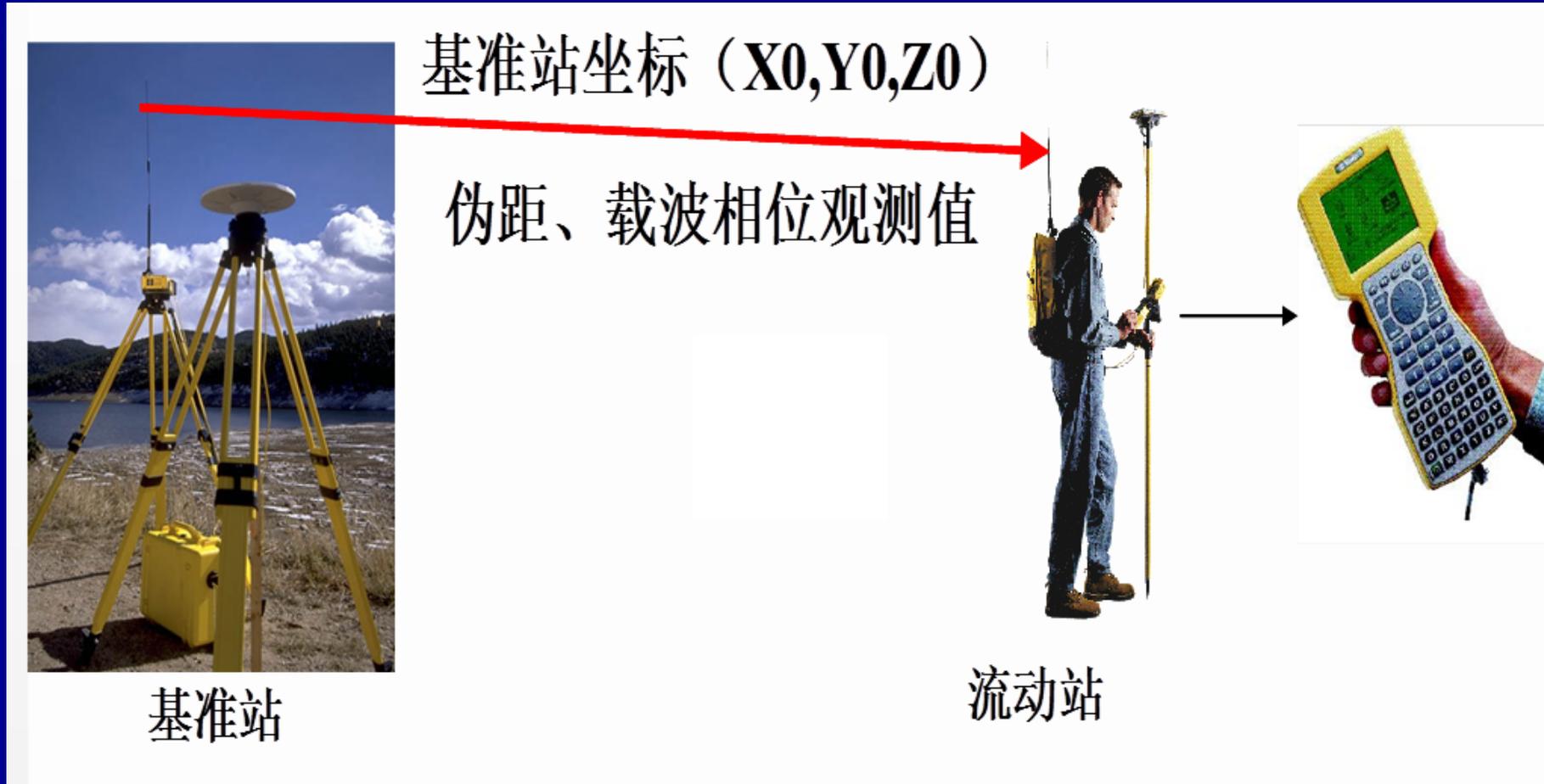
RTK 测量技术, 是以**载波相位观测量**为根据的**实时差分GPS测量技术**。

RTK 测量技术是**准动态测量技术**与**AROTF算法**和**数据传输技术**相结合而产生的, 它完全可以达到“**精度、速度、实时、可用**”等各方面的要求。

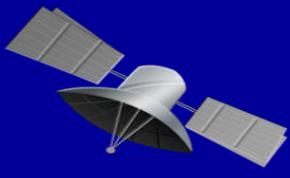
5、载波相位差分原理



载波相位差分技术RTK系统：



5、载波相位差分原理

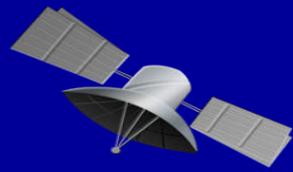


整周未知数的实时动态求解：

在GPS动态定位中，快速准确求定“整周未知数”的整数解较GPS静态定位具有更为重要的意义。

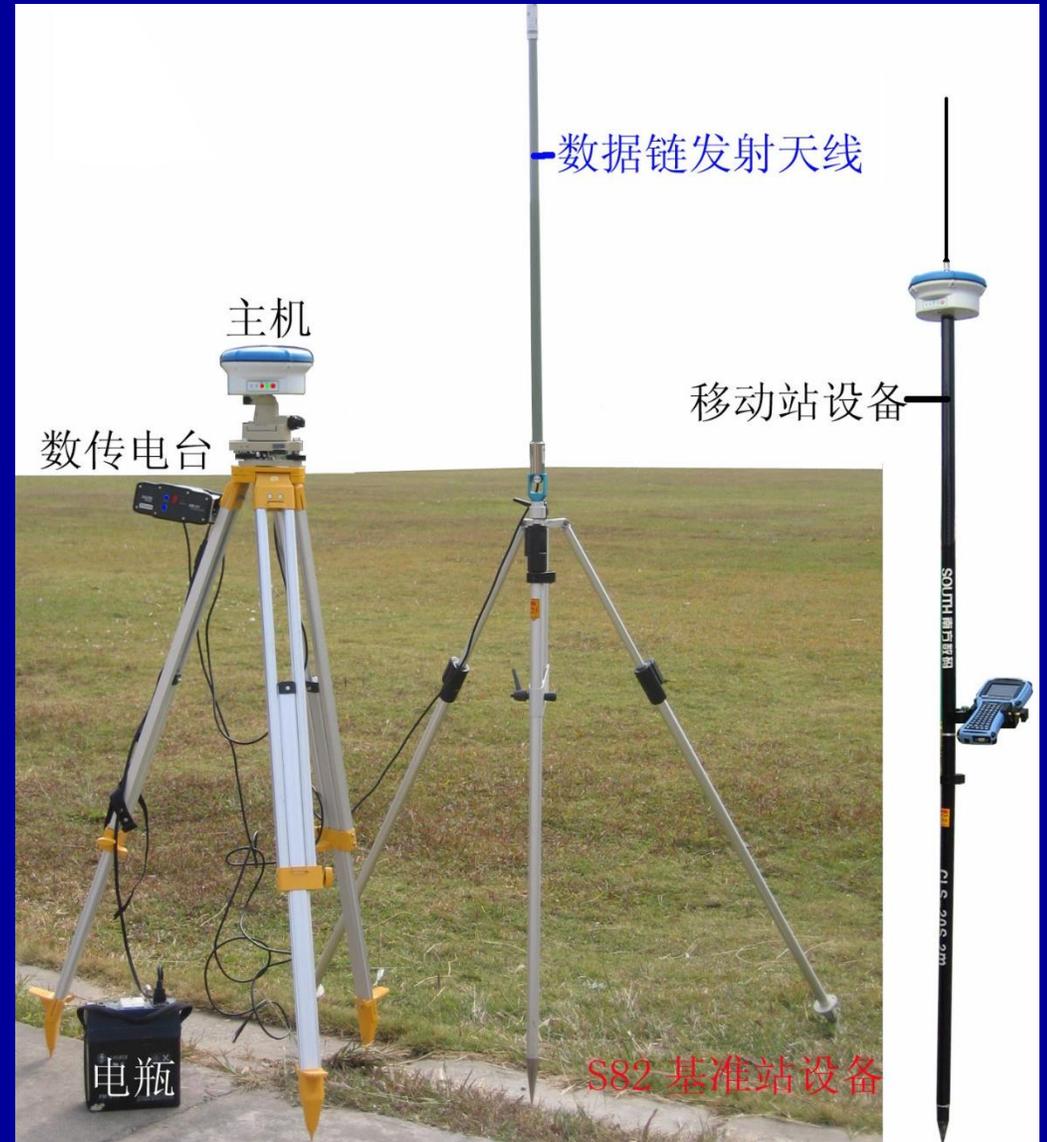
- 最小二乘搜索法
- 最小二乘模糊度不相关法（LAMBDA）
- 模糊度函数法
- 综合法（AOTF）

5、载波相位差分原理



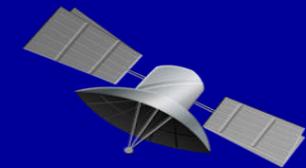
载波相位差分技术RTK系统组成：

- GPS接收机（至少2台）
- 数据链（数据传输系统）
- 软件系统（GPS数据处理）

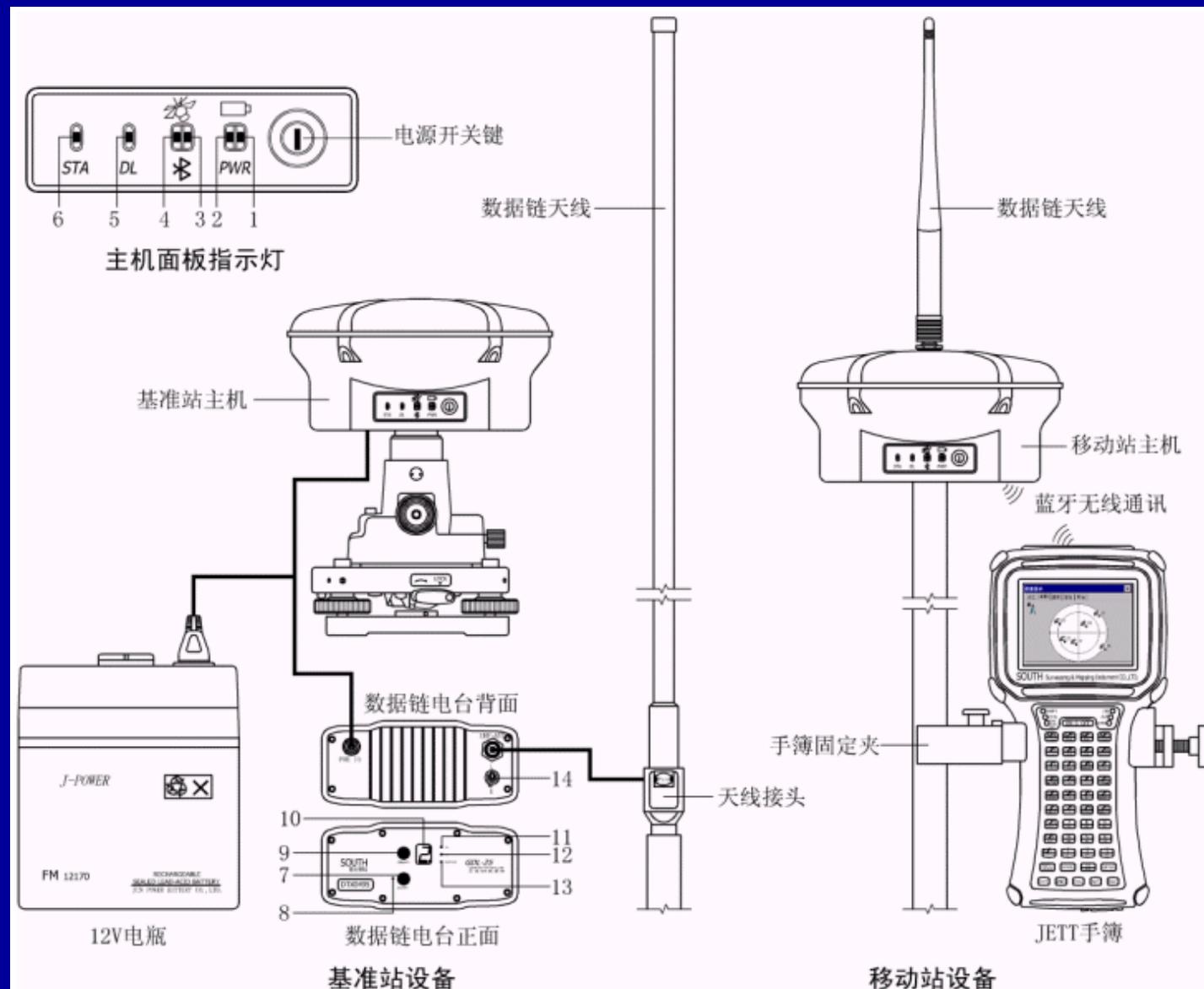


南方测绘灵锐S82双频蓝牙通讯RTK系统

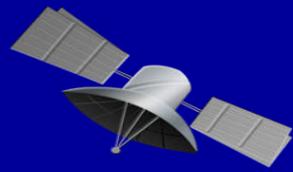
5、载波相位差分原理



RTK接收机系统：



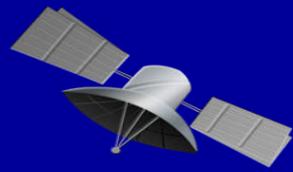
5、载波相位差分原理



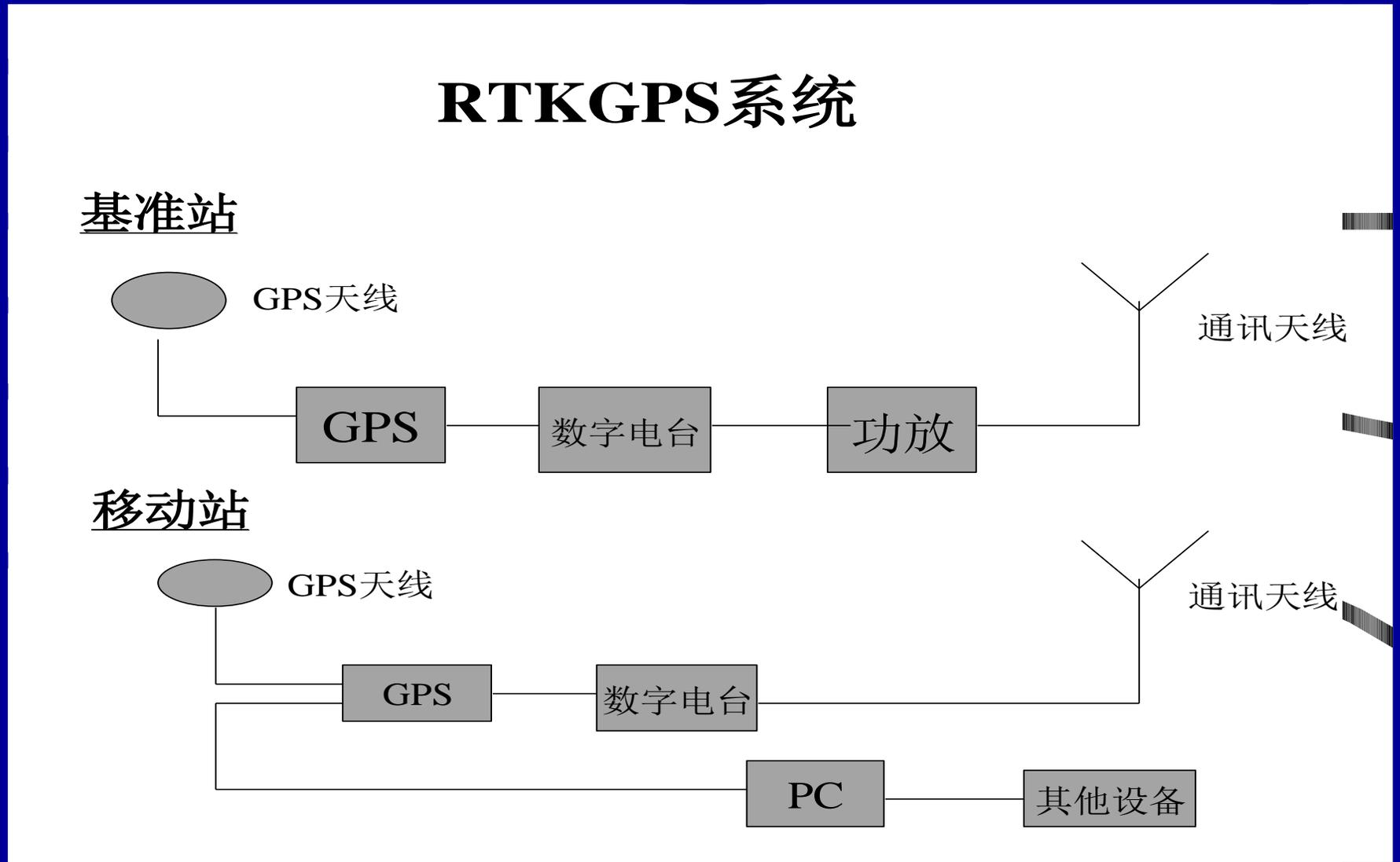
RTK接收机系统:



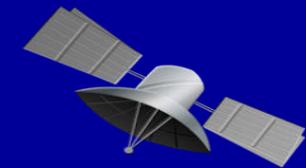
5、载波相位差分原理



RTK系统组成：

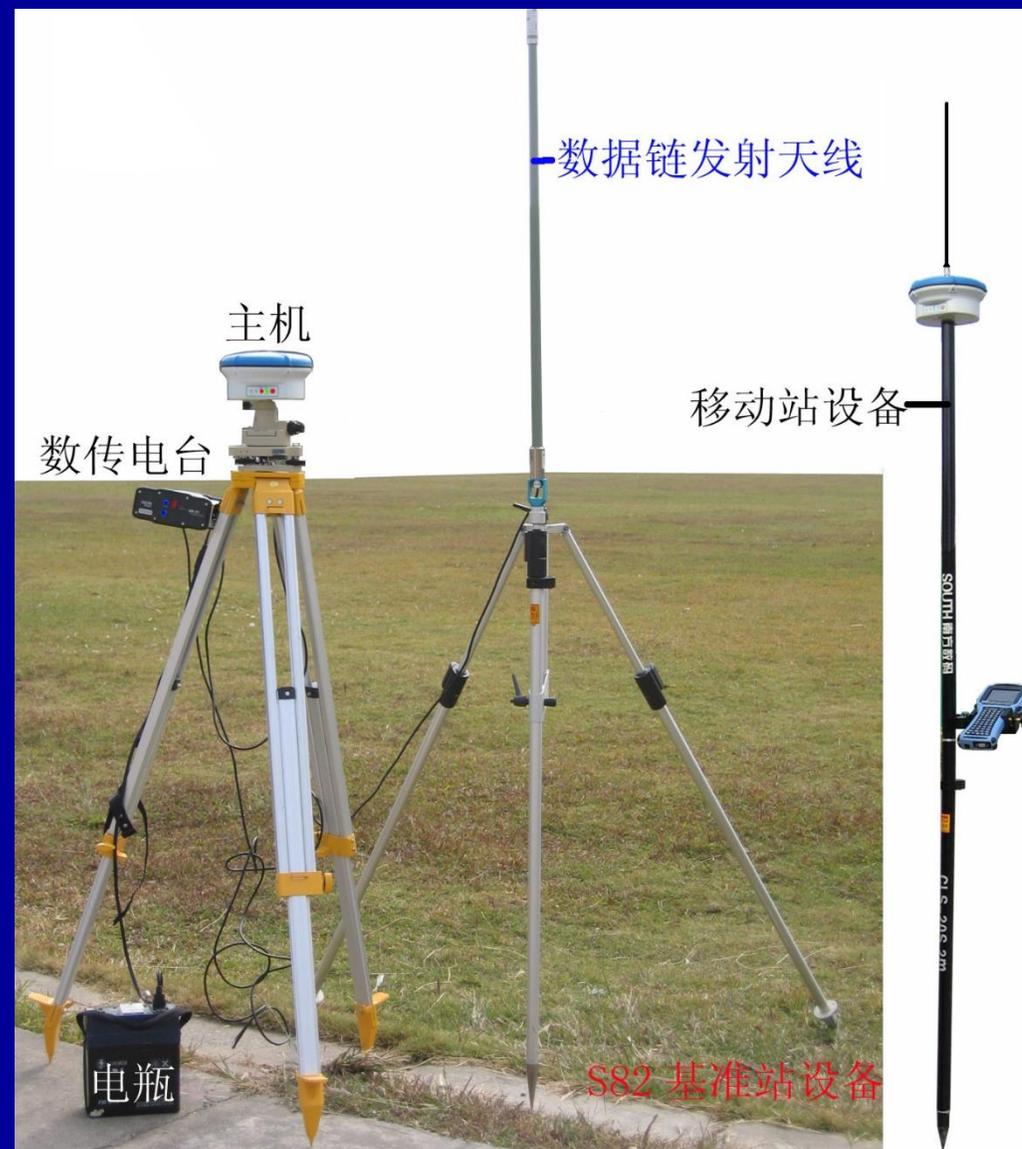


5、载波相位差分原理

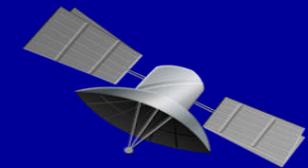


RTK系统组成（GPS接收机设备）：

RTK测量系统中，至少包含**二台接收机**，分别安置在基准站和用户站上。基准站应设在测区内**地势较高**，视野开阔，且坐标已知的点上。作业期间，基准站的接收机应将**观测数据通过数据传输系统，实时地发送给用户站**。当基准站为多用户服务时，应采用**双频GPS接收机**，且其采样率应与用户站接收机采样率最高的相一致。



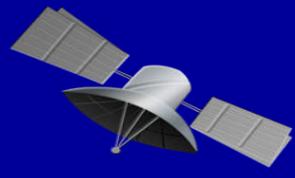
5、载波相位差分原理



RTK系统组成（数据传输）：

- 数据传输系统（或简称**数据链**），由基准站的发射台与用户站的接收台组成，它是实现实时动态测量的关键设备。
- 数据传输由调制解调器和无线电台组成。
- 数据传输设备，要充分保证传输数据的可靠性，其频率和功率的选择主要决定于用户站与基准站间的距离，环境质量，数据的传输速度。

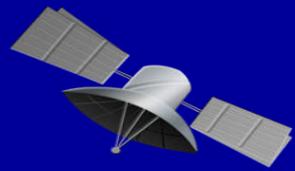
5、载波相位差分原理



RTK系统组成（软件系统）：

- 软件系统的质量与功能，对于保障实时动态测量的可行性，测量结果的精确性与可靠性，具有决定性的意义。
- 以测相伪距为观测量的实时动态测量，其主要问题仍在于，载波相位初始整周未知数的精密确定，流动观测中对卫星的连续跟踪，以及失锁后的重新初始化问题。
- 由于快速解算和动态解算整周未知数的发展，为实时动态测量的实施奠定了基础。

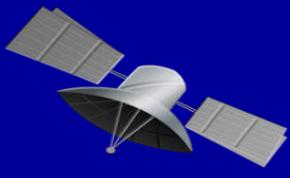
5、载波相位差分原理



RTK系统组成（软件系统功能）：

- 快速解算，或动态快速解算整周未知数；
- 根据相对定位原理，采用适当的数据处理方法（例如序贯平差法），实时解算用户站在WGS84中的三维坐标；
- 根据已知转换参数，进行坐标系统的转换；
- 解算结果质量的分析与评价；
- 作业模式（例如静态、快速静态、准动态和动态等）的选择与转换；
- 测量结果的显示与绘图。

5、载波相位差分原理



RTK系统小结:

目的:

为特定的用户提供参考站原始观测结果，从而达到提高其定位精度的目的。

方法:

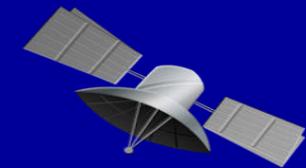
在已知点上建立GPS参考站，用无线电发送原始观测数据。

特点:

采用载波相位，精度可达厘米级，可靠的作用距离为20~30公里。

用途:

精密施工放样、低等级控制测量、地形测图。



5、载波相位差分原理

RTK应用:

RTK测量横跨英吉利海峡42.3KM

(精度: $\Delta X=1.6\text{cm}$, $\Delta Y=2.4\text{cm}$, $\Delta Z=5.9\text{cm}$)

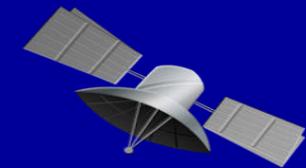


英吉利海峡

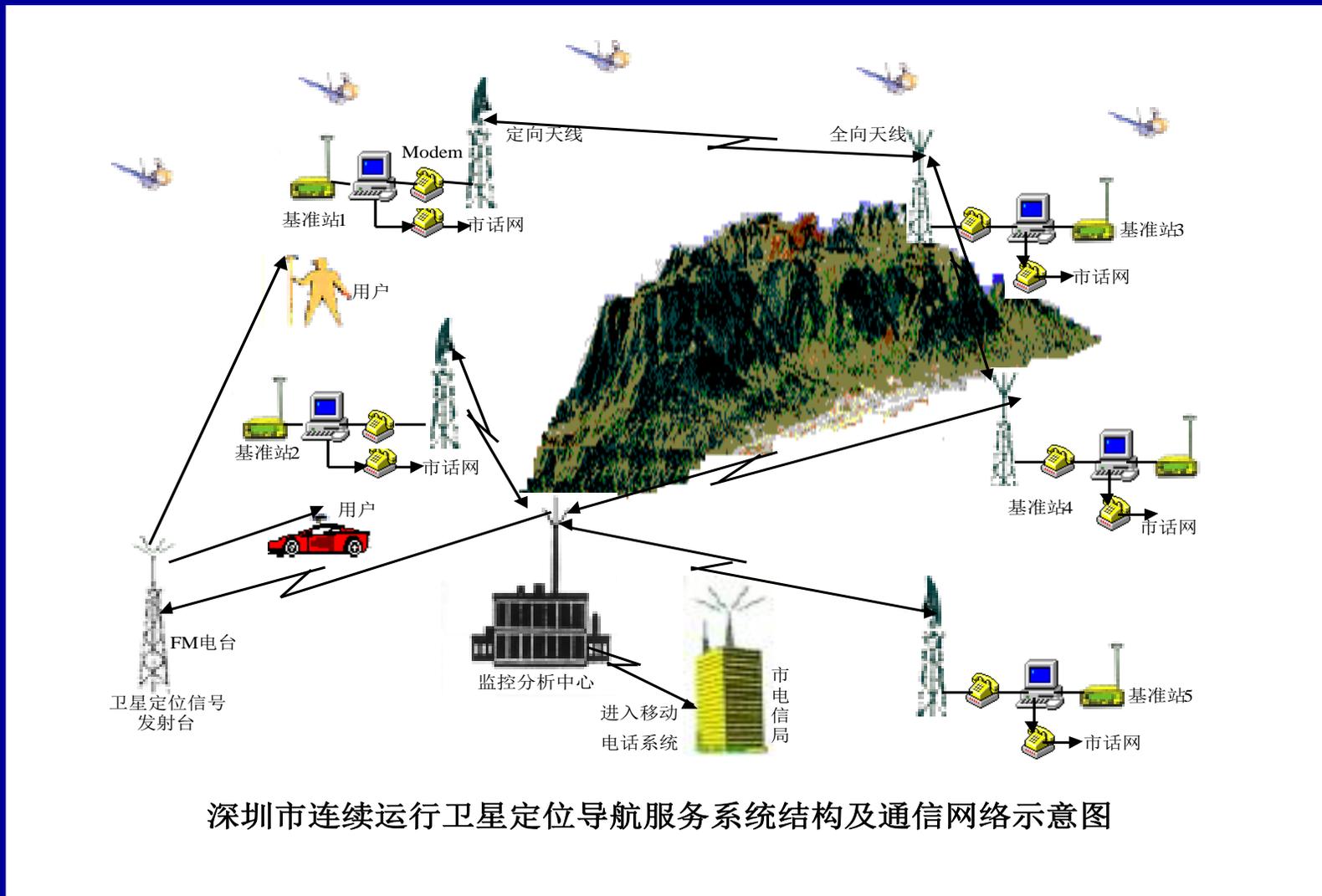
塔顶参考站

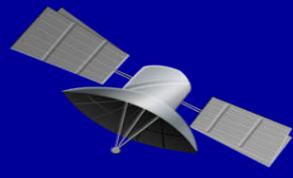
对岸流动站

5、载波相位差分原理



网络RTK技术深圳示范点：

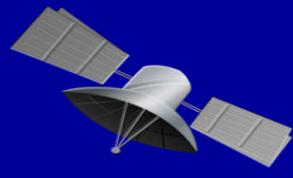




主要讲解内容

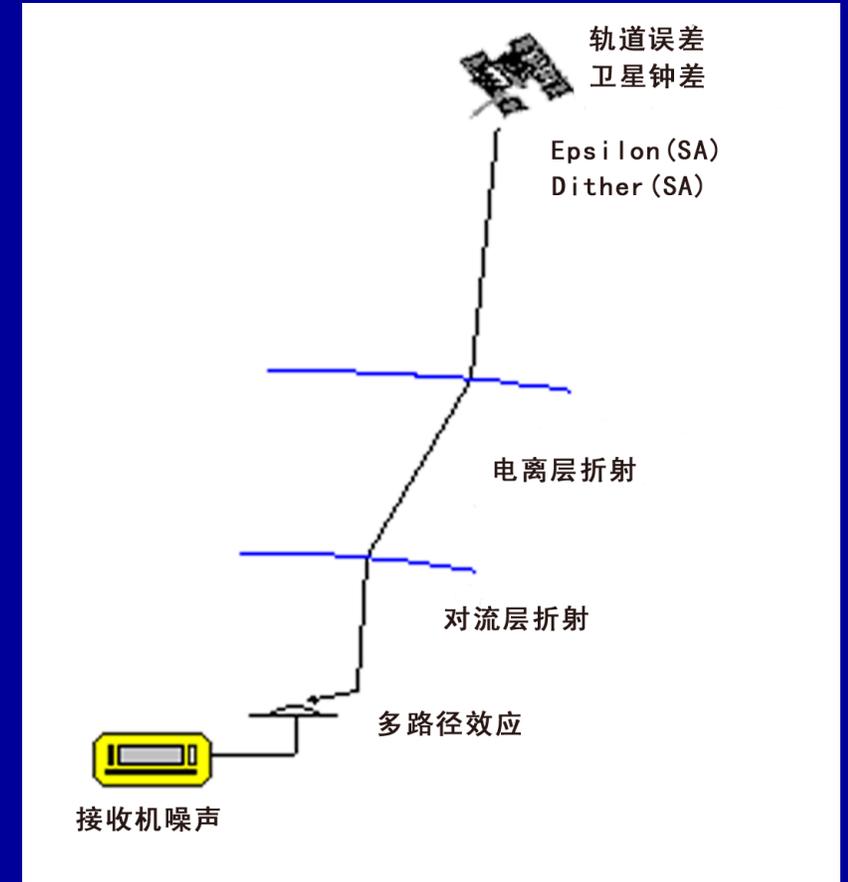
1. GPS动态定位应用
2. GPS动态绝对定位原理
3. GPS动态相对定位与差分GPS
4. 差分GPS定位原理
5. 载波相位差分原理
6. 广域差分GPS

6、广域差分GPS

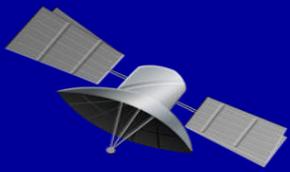


差分GPS的工作原理：

卫星导航的差分GPS定位技术是显著改善卫星导航系统精度和完善性的一种技术。利用卫星导航系统的误差随时间变化缓慢，而且与距离和路径强相关的特性，通过求差的方法，消除或大大减少公共误差，从而提高定位精度。



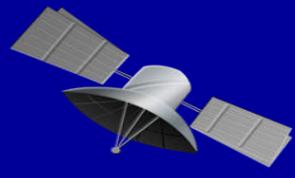
6、广域差分GPS



GPS误差特性：

- **卫星轨道误差**：影响大小与测站位置有关，距离较近时，影响大小相近（误差的空间位置相关性）
- **卫星钟差**：影响大小与测站无关
- **大气折射**（电离层、对流层折射）：影响具有空间位置相关性
- **SA政策影响**：卫星轨道与卫星钟差影响
- **多路径**：与测站有关，测站间无关

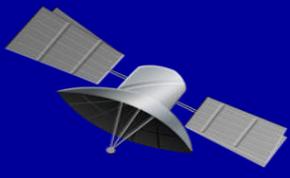
6、广域差分GPS



GPS误差影响量级：

定位误差	GPS	DGPS
卫星星历误差/m	100	0
卫星钟误差/m	5	0
电离层误差/m	6.41	0.07
对流层误差/m	0.4	0.07
接收机误差/m	2.44	0.61
接收机通道/m	0.61	0.61
多路径效应/m	3.05	3.05
水平位置误差/m	150.60	5.95
垂直位置误差/m	251.00	9.91

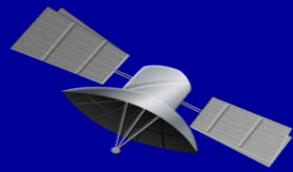
6、广域差分GPS



广域差分GPS的分类：

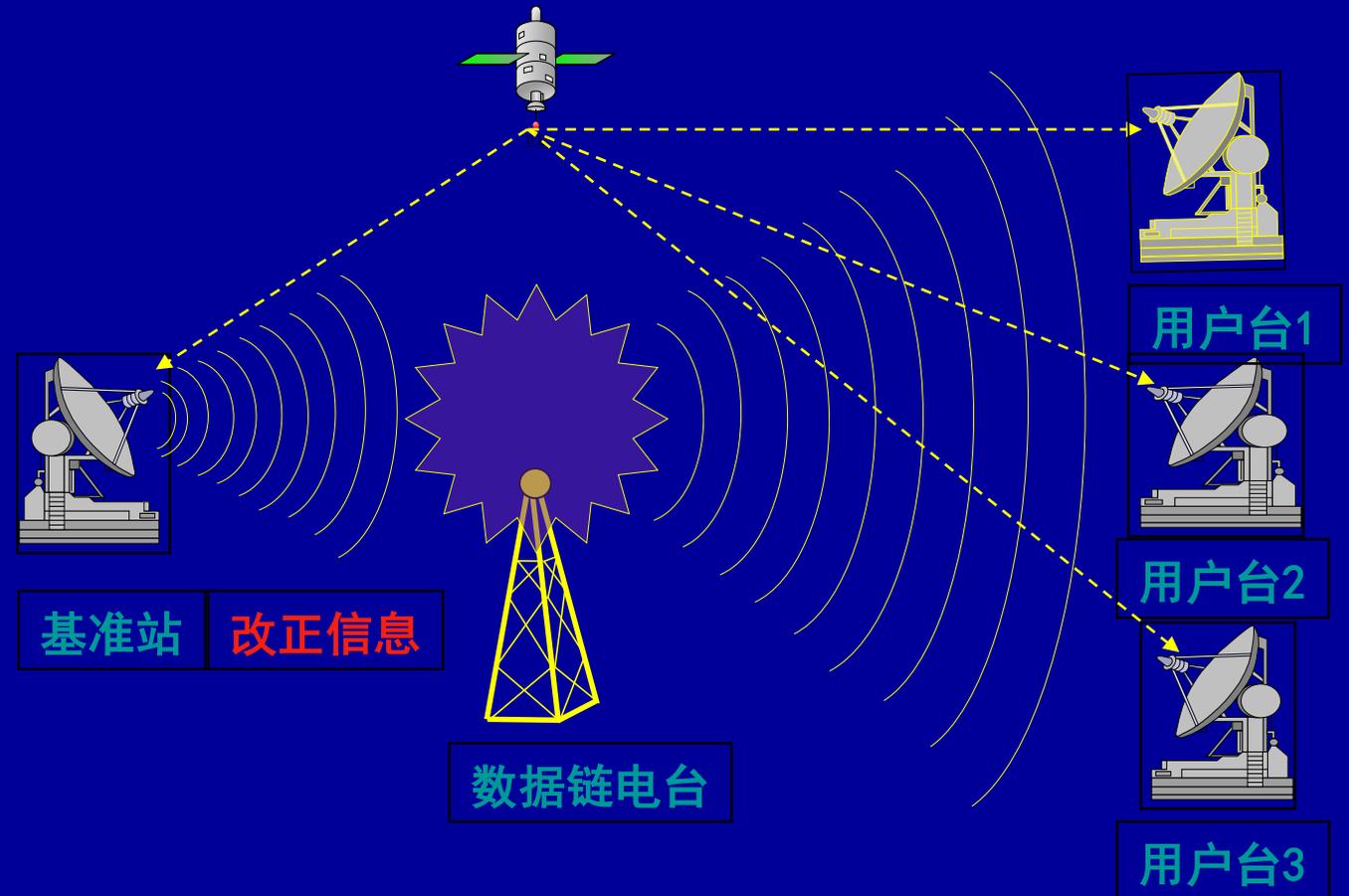
- 差分GPS系统与单站差分GPS（SRDGPS）
- 局部区域差分（LADGPS）
- 广域差分GPS系统（WADGPS）
- 增强型的差分GPS系统（WAAS、LAAS、EGNOS）
- 无线电信标差分GPS系统（RBN/DGPS）

6、广域差分GPS

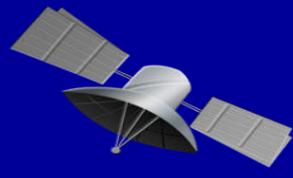


差分GPS系统的组成：

- 基准站
- 多个用户台
- 数据链（调制解调器电台）

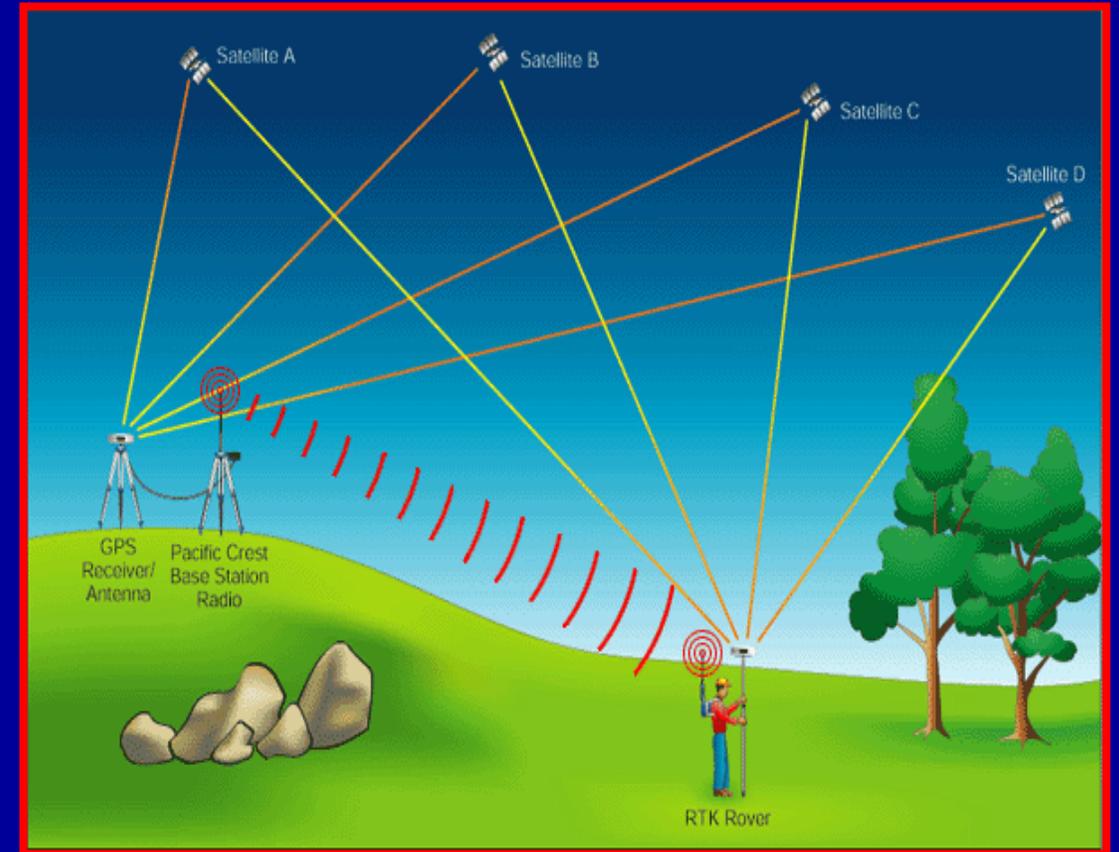


6、广域差分GPS

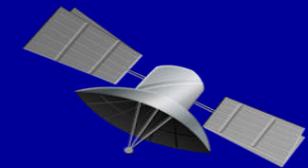


单基准站差分GPS:

仅根据**一个基准站**所提供的差分改正信息，对用户站（流动站）进行改正的差分GPS系统。因此，在差分定位中，即使在某区域设立有多个基准站，只要用户站**仅接收一个基准站**发送的改正信息，仍是单基准站差分GPS。



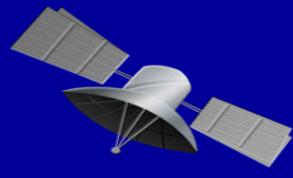
6、广域差分GPS



单基准站差分GPS的特点：

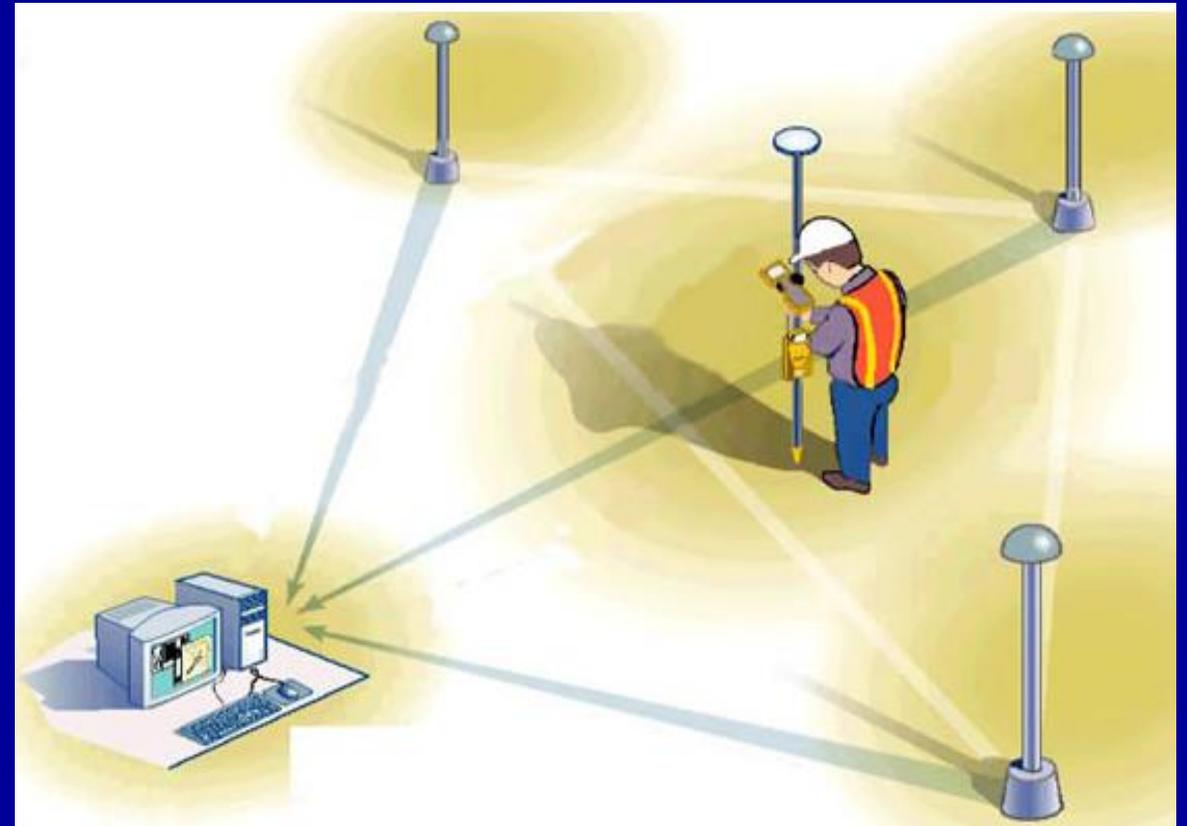
- 优点是结构与算法简单，**技术成熟**；
- 基准站与流动站误差具有强相关性，随着**距离增加精度迅速降低**；
- 单基准站差分GPS**可靠性差**，仅一个基准站所提供的差分改正信息，硬件和信号易出故障；
- 采用设置监控站的方法保证改正信号完好性。

6、广域差分GPS

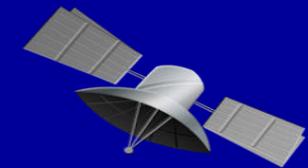


多基准站差分GPS:

在一个较大的区域布设**多个基准站**，以构成基准站网，其中常包含一个或数个监控站，位于该区域中的用户根据**多个基准站所提供的改正信息**经平差计算后求得用户站定位改正数，这种差分GPS称为具有多个基准站的局部区域差分GPS（Local Area DGPS -- LADGPS）



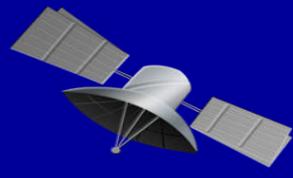
6、广域差分GPS



多基准站差分GPS:

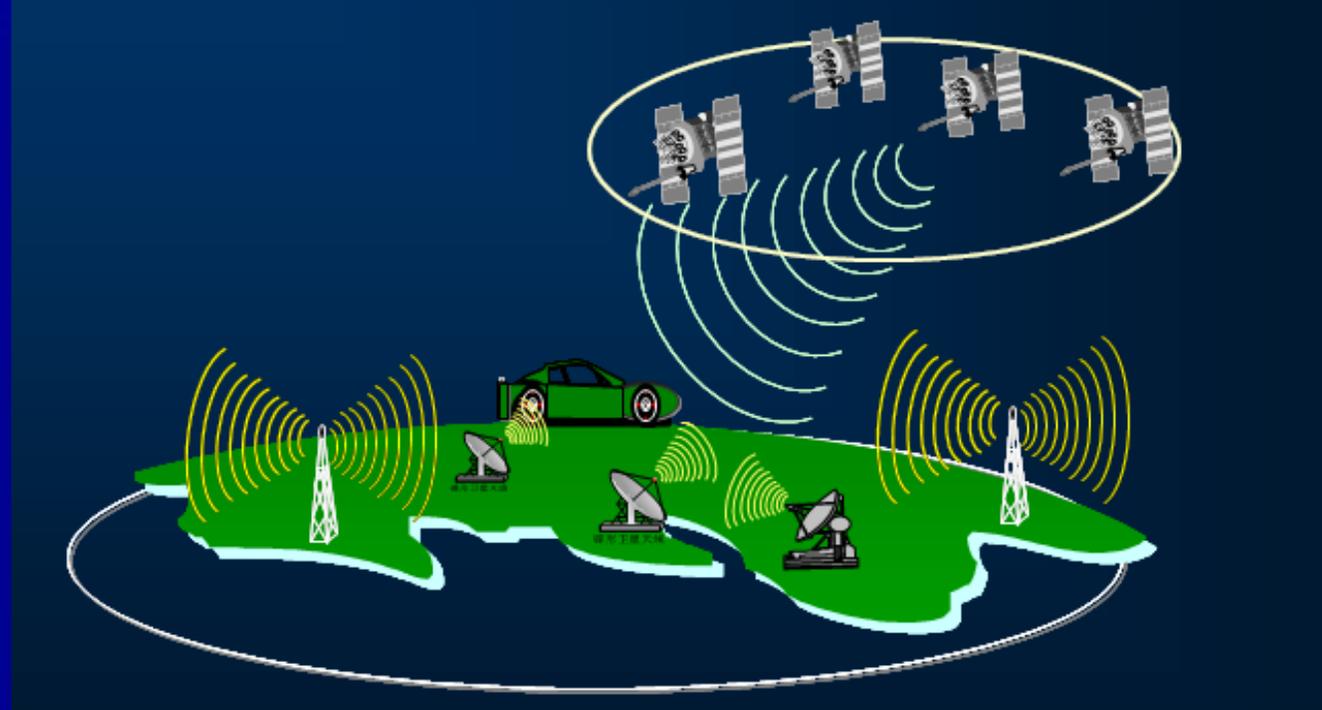
- 基准站作用距离可达**数百公里**;
- 基于多个基准站标准改正信息**加权平均**, 权可根据用户与基准站距离确定, 要求**多倍宽带**, 效率低;
- 数据处理是将各种误差的影响**综合在一起改正**, 未顾及各个误差影响量级;
- 距离基准站不能太远 ($<300\text{Km}$), 保持一定**密度和均匀度**。

6、广域差分GPS

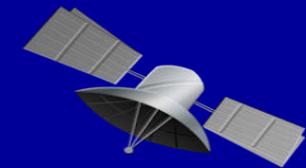


广域差分GPS：

在一个相当大的区域中用**相对较少的基准站**组成差分GPS网，各基准站将求得距离改正数发给数据处理中心，由数据处理中心统一处理，将各种GPS**观测误差源加以区分**，然后再传送给用户，称为广域差分GPS（Wide Area DGPS -- WADGPS）。



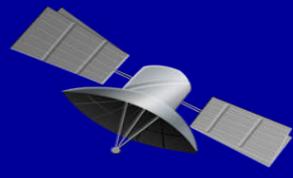
6、广域差分GPS



广域差分GPS的特点：

- 最大限度降低监测站与用户定位误差的相关性；
- 广域差分GPS对用户误差源直接改正，距离可达数千公里；
- 基准站较少，但不影响定位精度，精度与距离无关；
- 覆盖区域较大，可扩展到海洋、沙漠、森林等；
- 系统结构复杂，建设费用高。

6、广域差分GPS



广域增强系统（WAAS）：

美国联邦航空局FAA在广域差分GPS基础上，提出利用**地球同步卫星GEO**，采用**L1波段转发广域差分GPS修正信号**，同时发射调制在L1上的C/A码伪距的思想，称为广域增强GPS系统（Wide Area Augmentation System — WAAS）。

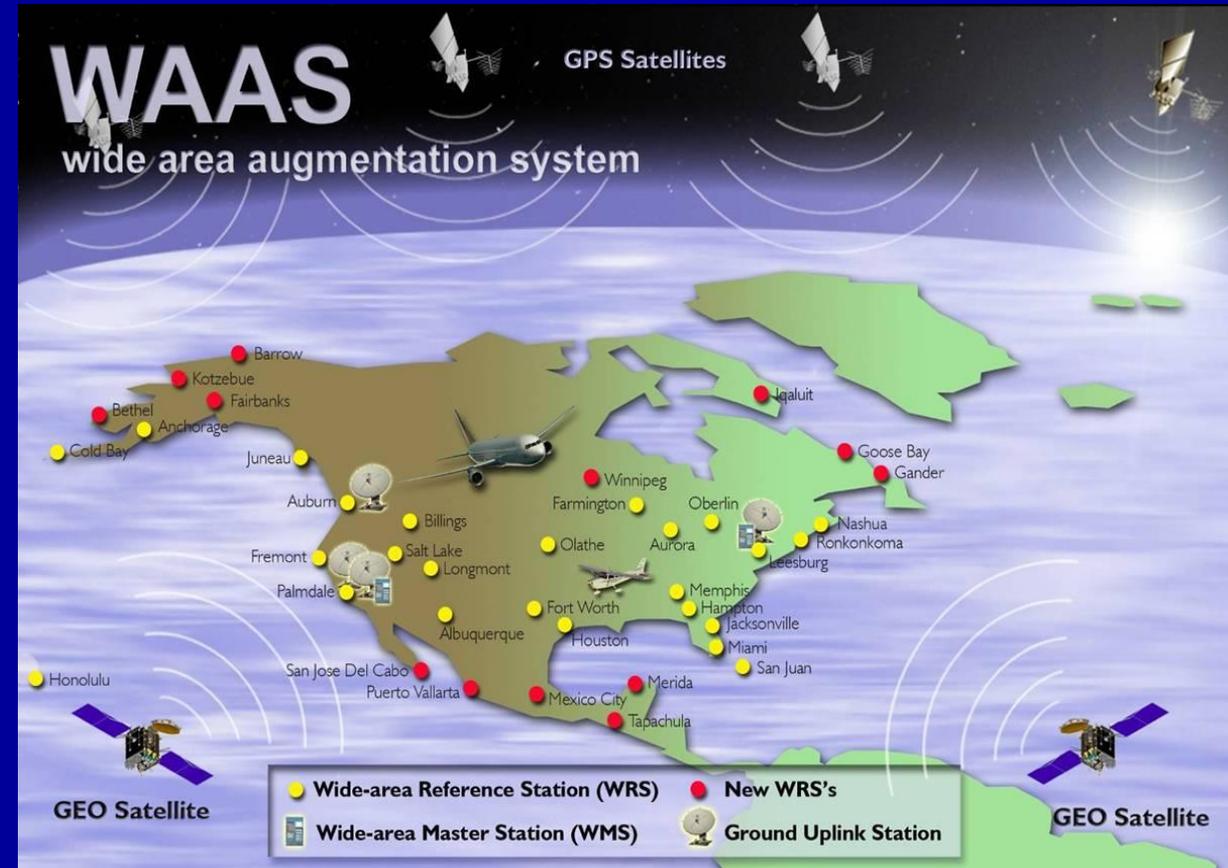
这一系统完全**抛弃了附加的差分数据通讯链系统**，直接利用GPS接收机天线识别，接收、解调由GEO卫星发送的差分数据链。



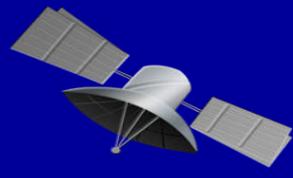
6、广域差分GPS

广域增强系统（WAAS）：

WAAS（Wide Area Augmentation System）是美国FAA作为民用航空无缝卫星导航系统战略目标的关键组成部分，它将提高覆盖区域内GPS的精度（采用差分技术）、完好性（提供及时的报警能力）和可用性（通过附加测距信号）。WAAS的目标是要使GPS能够成为民航飞机从起飞至I类精密进近阶段的主用导航方式。



6、广域差分GPS

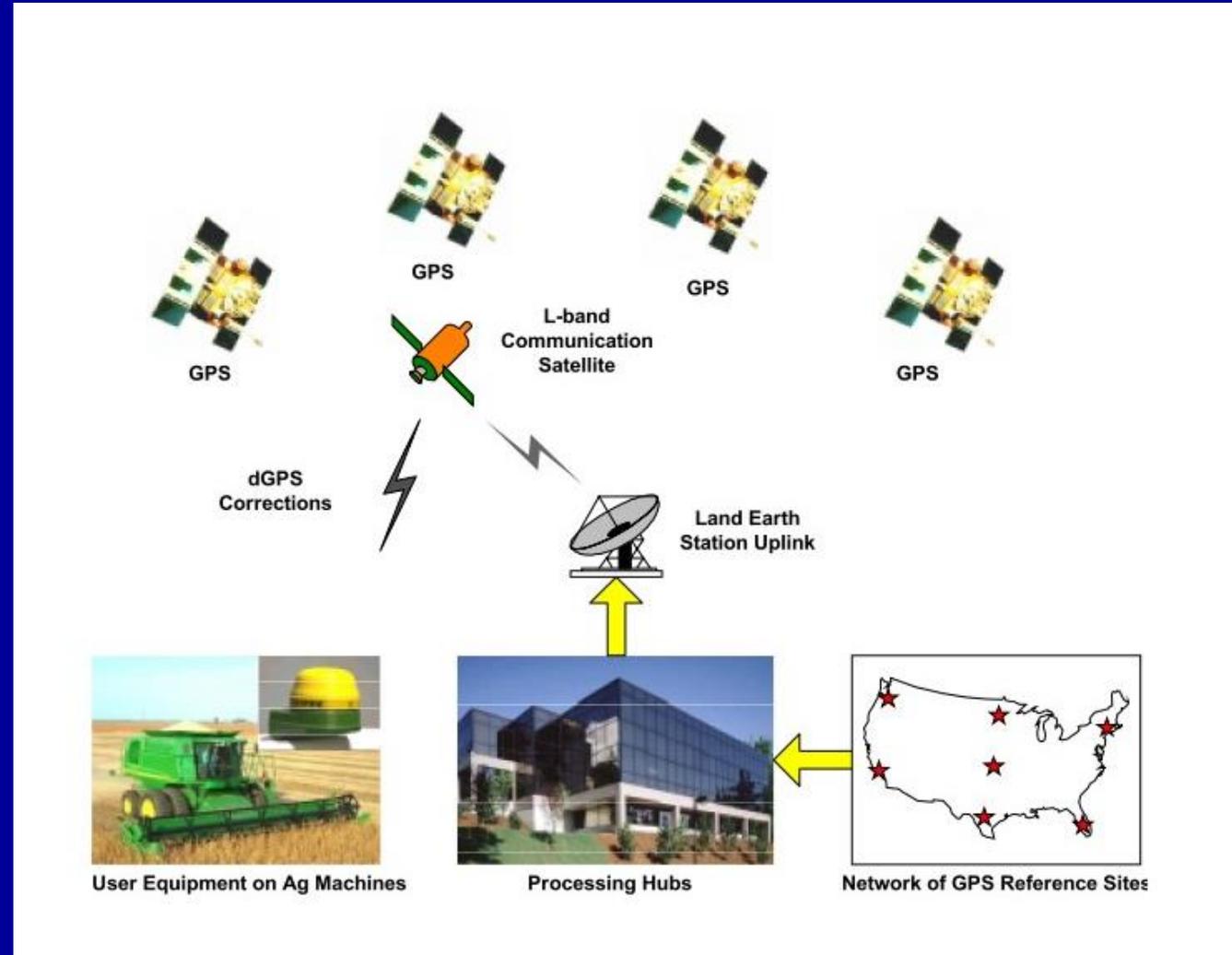


广域增强系统（WAAS）的组成：

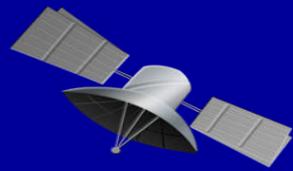
WAAS 系统主要由四部分组成：

地面广域参考基站，WAAS主控站，
WAAS上传站和地球同步卫星等。

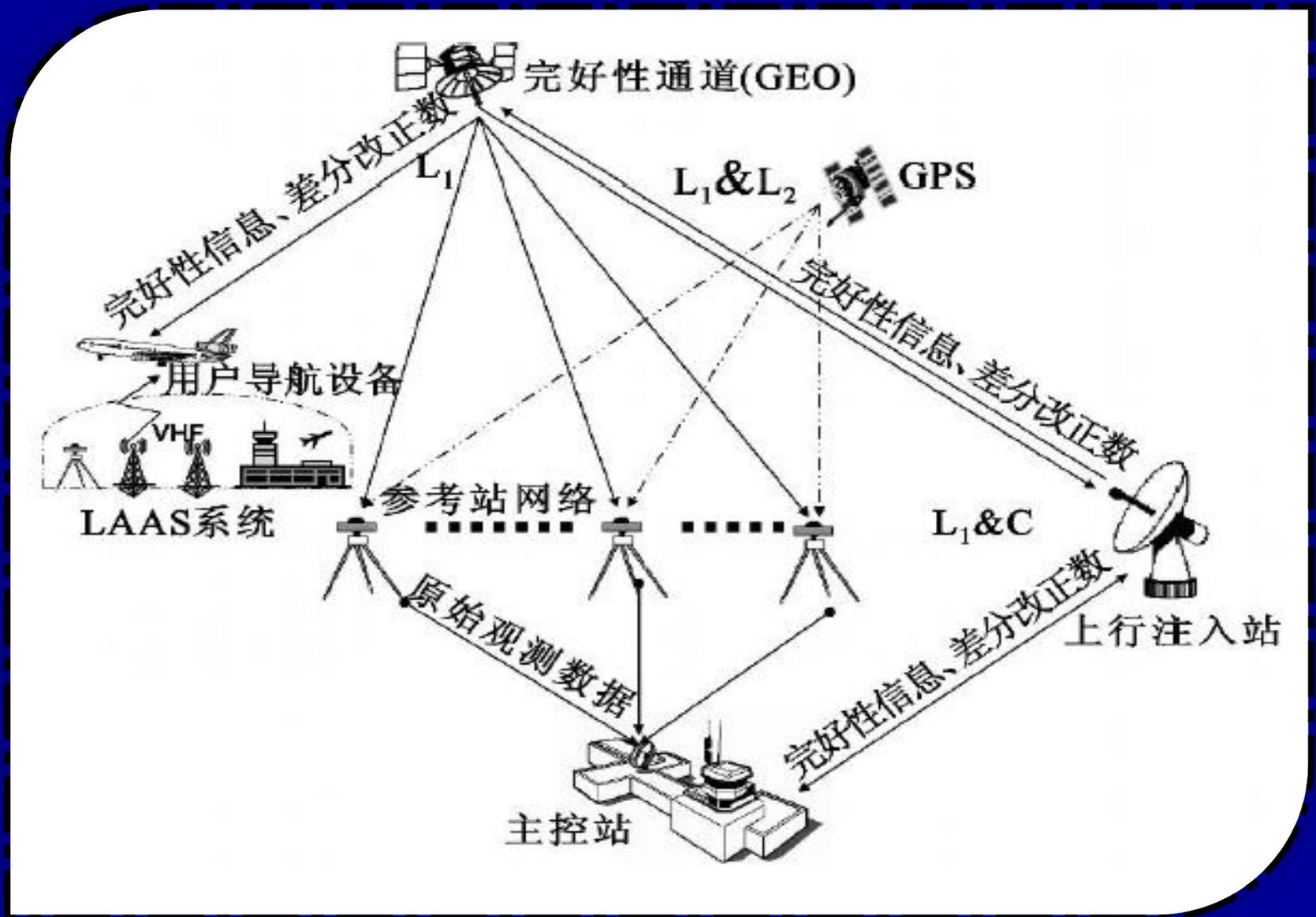
2003年7月，美国WAAS已正式运行，由3个主控站、38个参考站以及4个海事卫星（Inmarsat）组成。



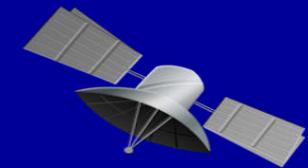
6、广域差分GPS



WAAS的工作原理:



6、广域差分GPS



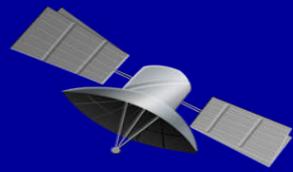
美国WAAS系统服务指标：

FAA提出的WAAS第一次把导航作为一项服务，全面定义了精度、完好性、连续性和可用性等方面的服务质量要求。目前可获取水平**2-3m**，高程约7m的定位精度。2007年9月起，WAAS服务区域扩展到了加拿大和墨西哥等地。

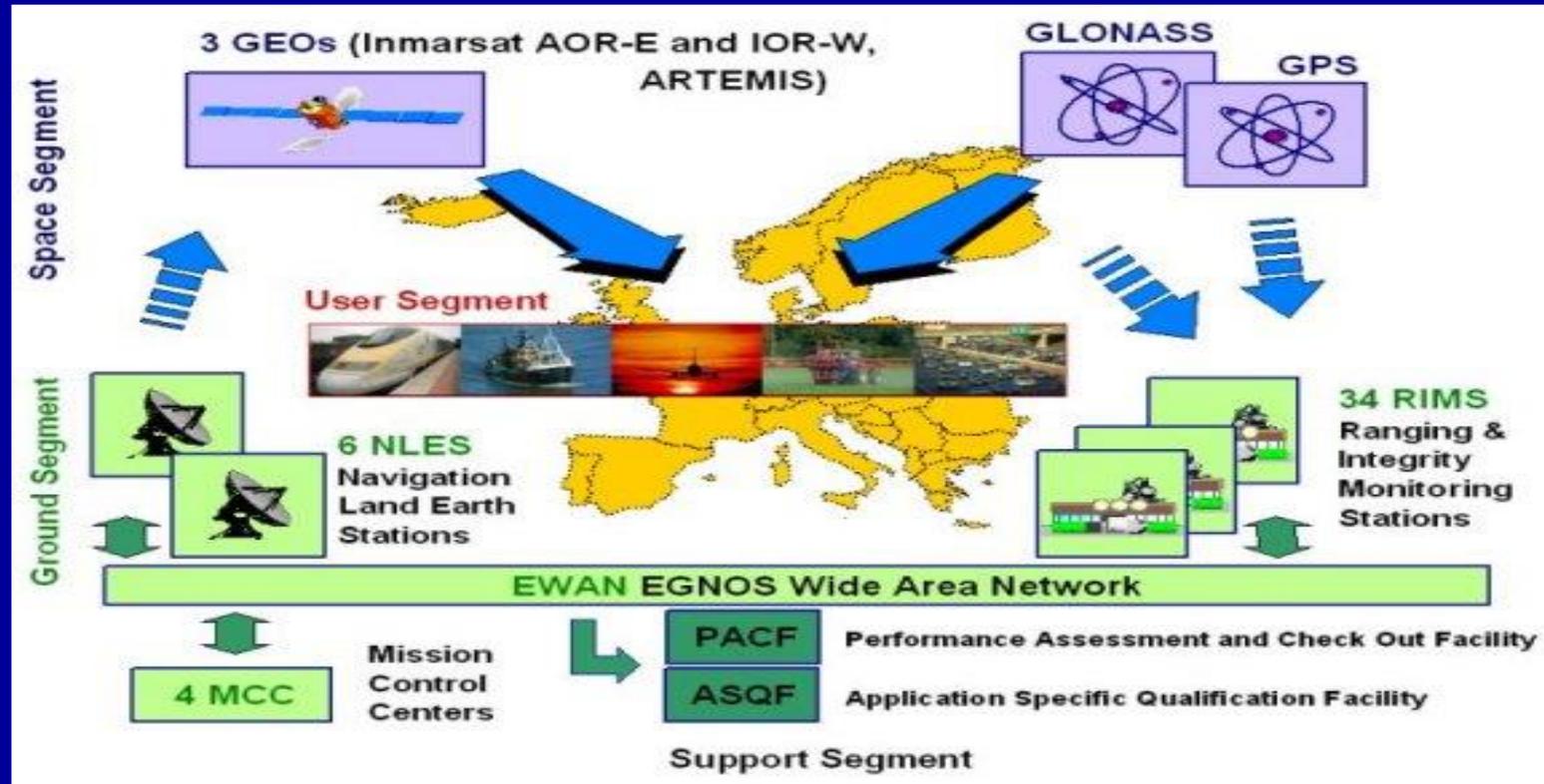
美国WAAS最重要的特点是提出了**系统增强**这一全新结构，并且具有星座增强、服务区栅格化监管、完好性监测与处理结构、完好性通道、兼容与互操作设计等技术特点。

WAAS并不像GPS，WAAS并不是全球共享的，目前仅向美国本土及邻国提供服务信号，从而推动EGNOS等产生。

6、广域差分GPS



欧盟EGNOS增强系统：



欧盟EGNOS原理上和WAAS是一样的，覆盖区域则是整个欧洲。有一点不同的是，EGNOS整合了GPS和GLONASS两套系统信号，并加以修正。

6、广域差分GPS

EGNOS系统组成及指标：

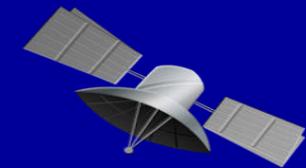


系统组成： EGNOS由3颗GEO同步卫星、四个中央控制中心MCC以及由40个参考基准站组合的地面网络所构成。

系统完成： 欧盟于2009年10月1日正式宣布，欧洲同步卫星导航覆盖服务（EGNOS）为公众免费开放。作为欧洲首个卫星导航系统，EGNOS系统以其高精度开创了欧洲大陆基于位置服务的新时代。

系统指标： 可将美国GPS在欧洲范围的定位精度由10米左右提高到2米以内，并提供完好性等服务。

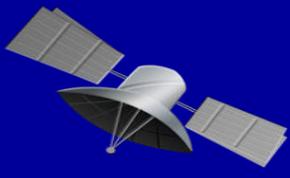
6、广域差分GPS



中国沿海信标差分RBN/DGPS系统：



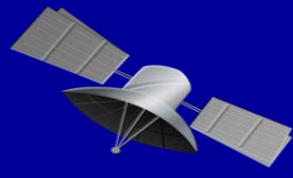
6、广域差分GPS



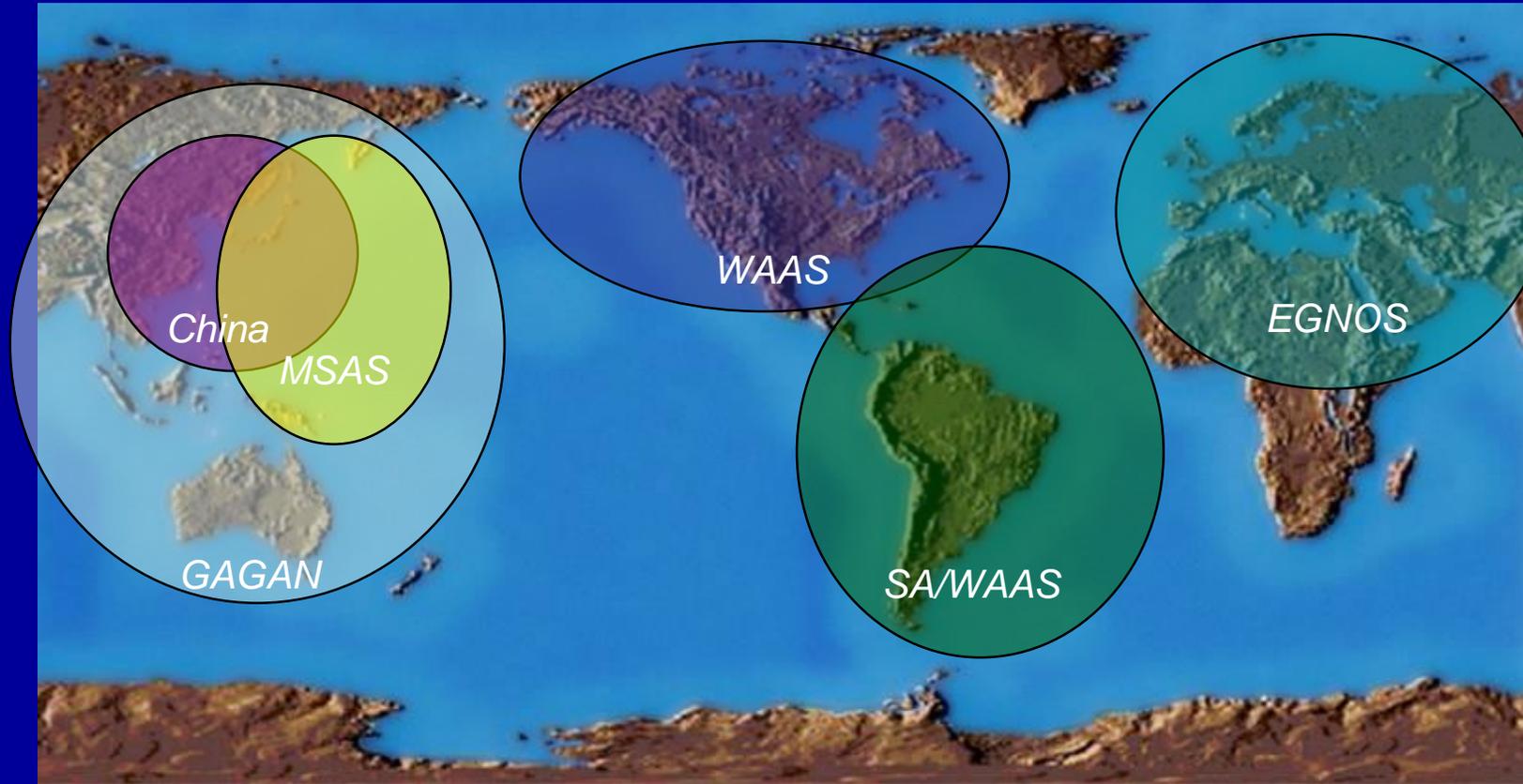
增强差分GPS系统的分类：

- 基于GEO的**星基增强系统SBAS** --WAAS (Satellite Based Augmentation System) ， 精度优于3米。
- 基于地面伪卫星的**陆基增强系统GBAS** --LAAS (Ground Based Augmentation System) ， 精度优于3米。

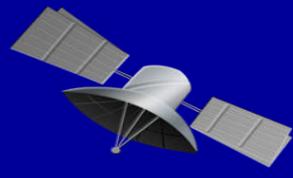
6、广域差分GPS



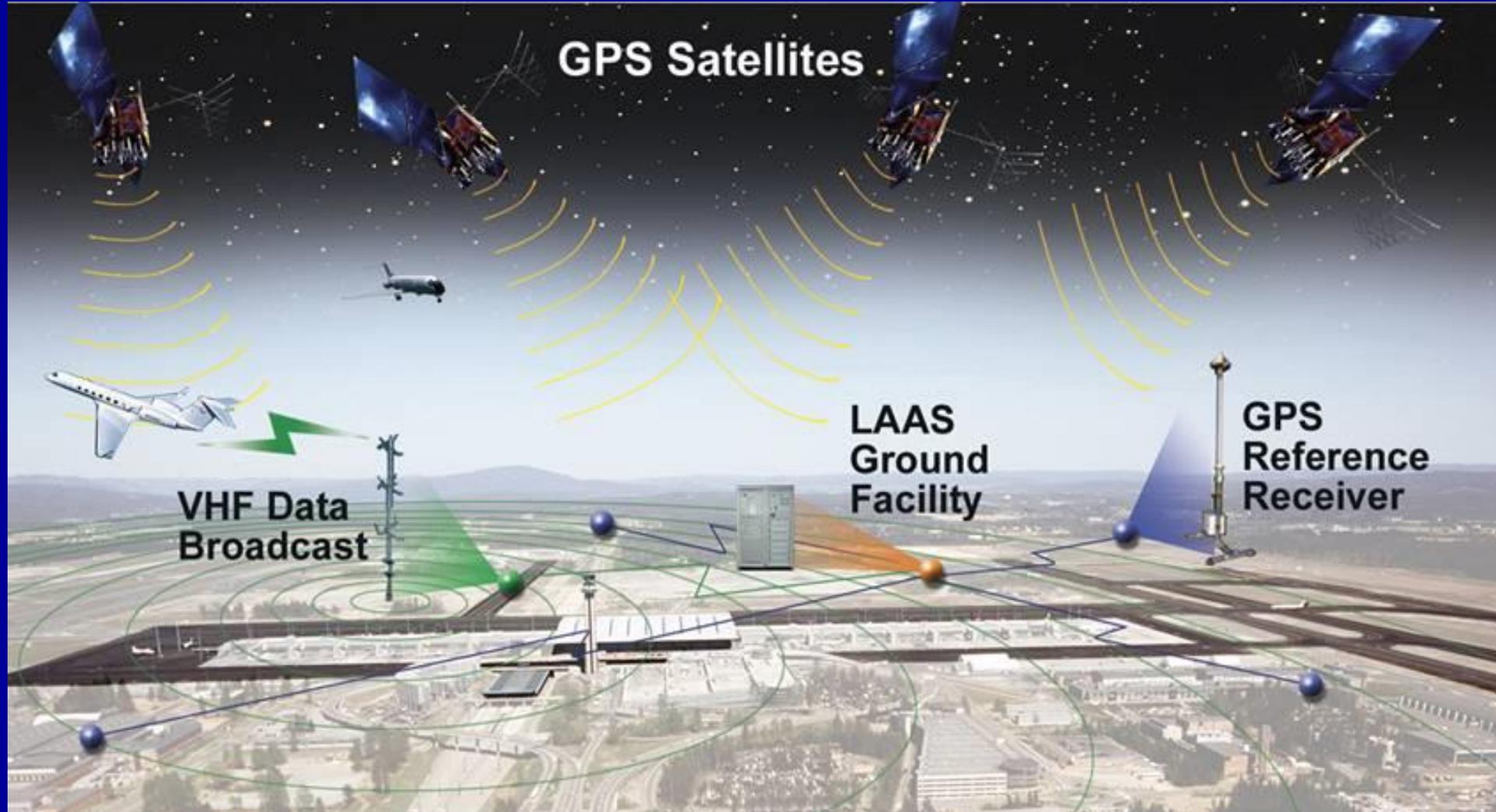
SBAS系统的全球发展：



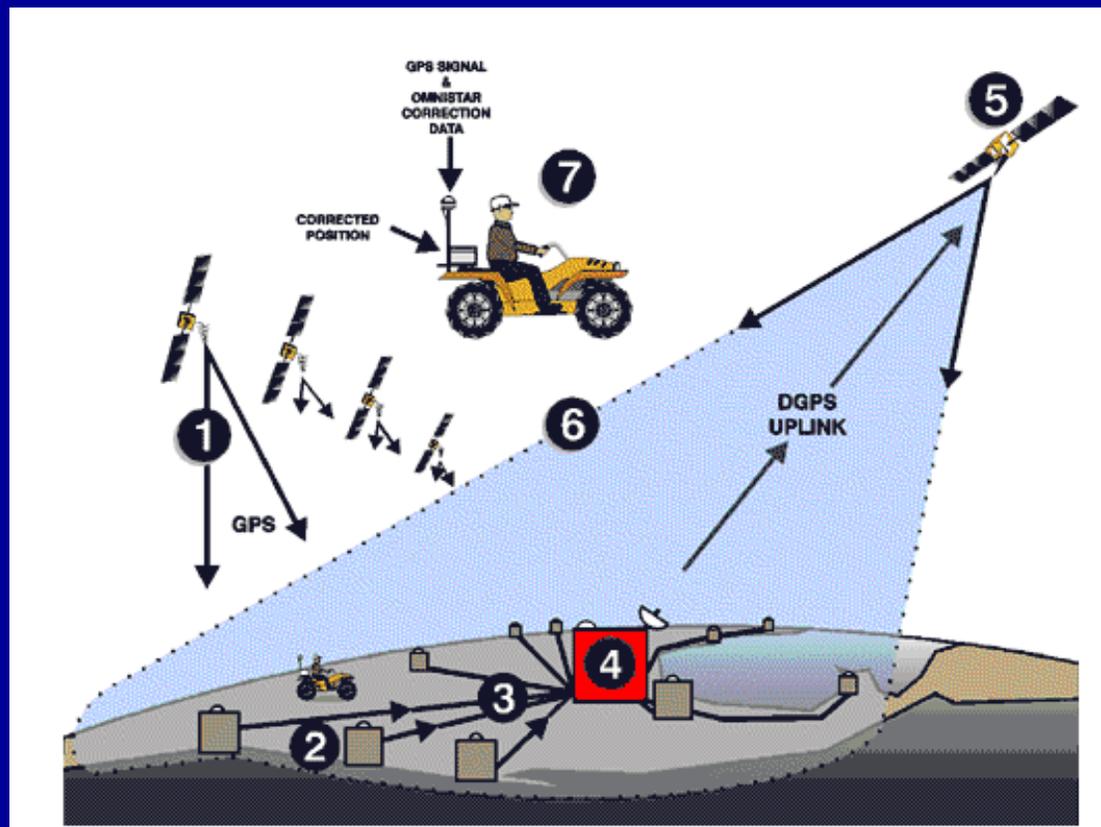
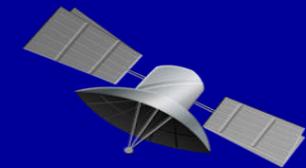
6、广域差分GPS



GBAS系统的发展：

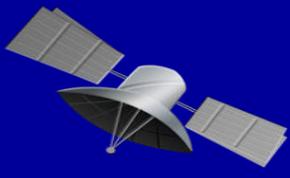


实时分米级全球广域增强系统 StarFire™ \ Omnistar



美国NAVCOM公司的StarFire™和Fugro公司的Omnistar技术均属于SBAS，可实现全球范围的实时分米级的定位精度。

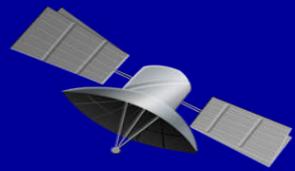
6、广域差分GPS



导航卫星增强系统特点

- 克服导航卫星系统在精度、完好性、连续性和可用性方面的脆弱性。
- 利用局域、区域和广域的卫星跟踪基准站数据对导航卫星系统信号的星历、钟差、电离层大气层传播延迟等误差进行确定并向用户播报，供实时用户进行定位修正。
- 甚至通过增加卫星或地面的测距信号源。
- 提高系统的导航定位的精度、可用性、可靠性的相关技术、方法和系统。

6、广域差分GPS

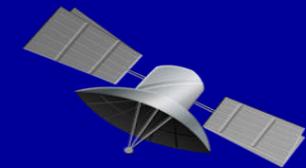


CORS综合服务网（厘米级增强系统）：

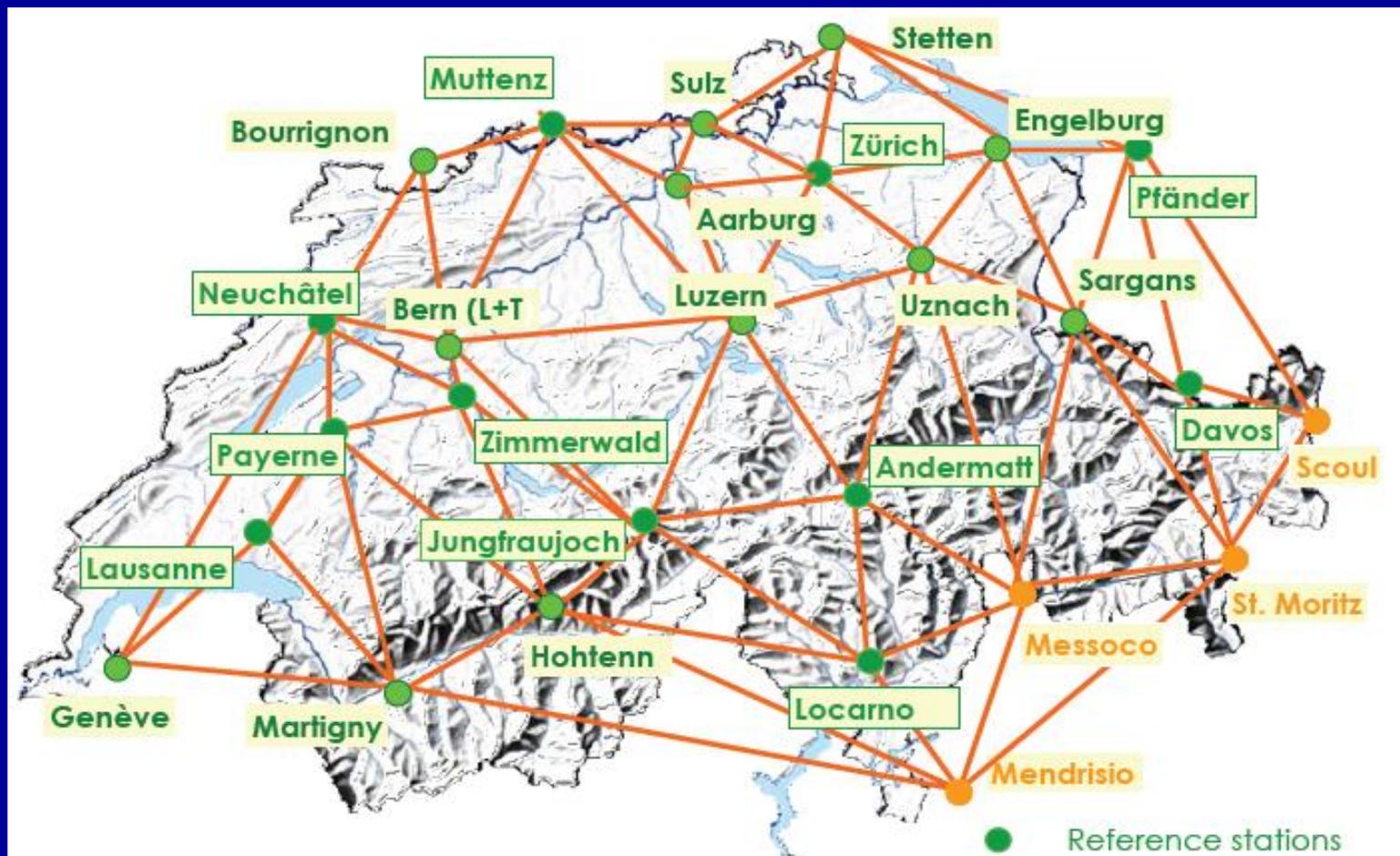
连续运行参考站网络（Continuously Operating Reference Stations —— CORS）。

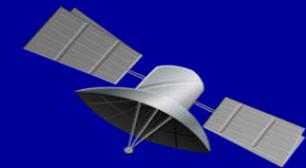
- 基于网络的、动态地、连续地，快速高精度获取空间数据和地理特征的现代信息基础设施之一。
- 融合了GNSS、现代大地测量、地球动力学、计算机网络和通信等技术与方法。
- 提供移动定位、动态连续空间参考框架和地球动力学参数等服务。

6、广域差分GPS



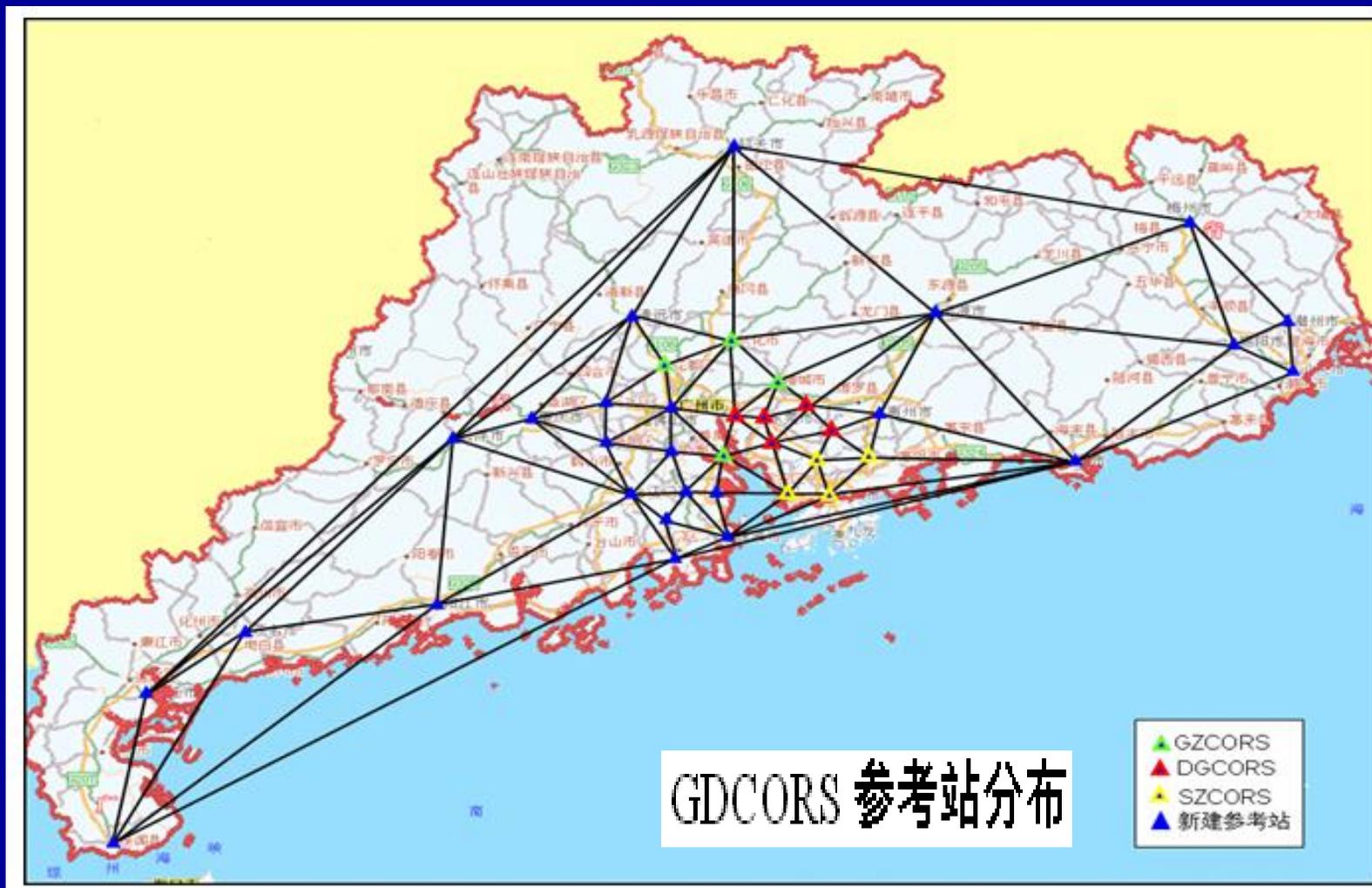
瑞士国家级CORS综合服务网：

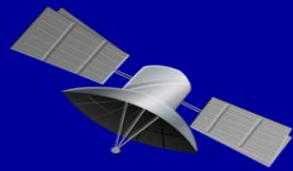




6、广域差分GPS

广东省CORS综合服务网：





6、广域差分GPS

我国已建CORS综合服务网：

呼和浩特

乌鲁木齐

昆明市

兰州市

西安市

成都

重庆

武汉

东莞

深圳

广东省

江苏省



北京市

哈尔滨

沈阳市

杭州市

上海市

湖北省

福建省

河南省

湖南省

山东省

江西省

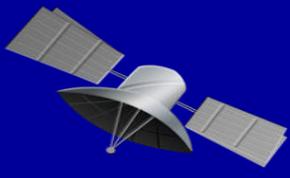
广西省

河北省

天津市

山西省

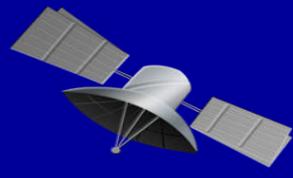
6、广域差分GPS



CORS网的主要应用领域：

- 提供厘米级水平的实时RTK定位和导航服务
- 为地球动力学和大气研究提供科学数据
- 气象部门天气预报、空间预警和气候监测
- 监测地壳运动、进行地震预报等
-

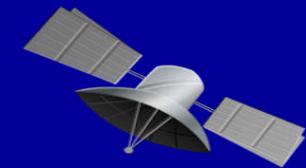
6、广域差分GPS



CORS网系统组成：



6、广域差分GPS



CORS网系统组成：

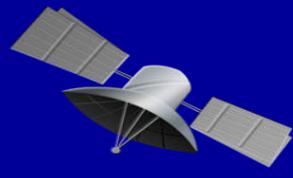
龙岗分局基准站



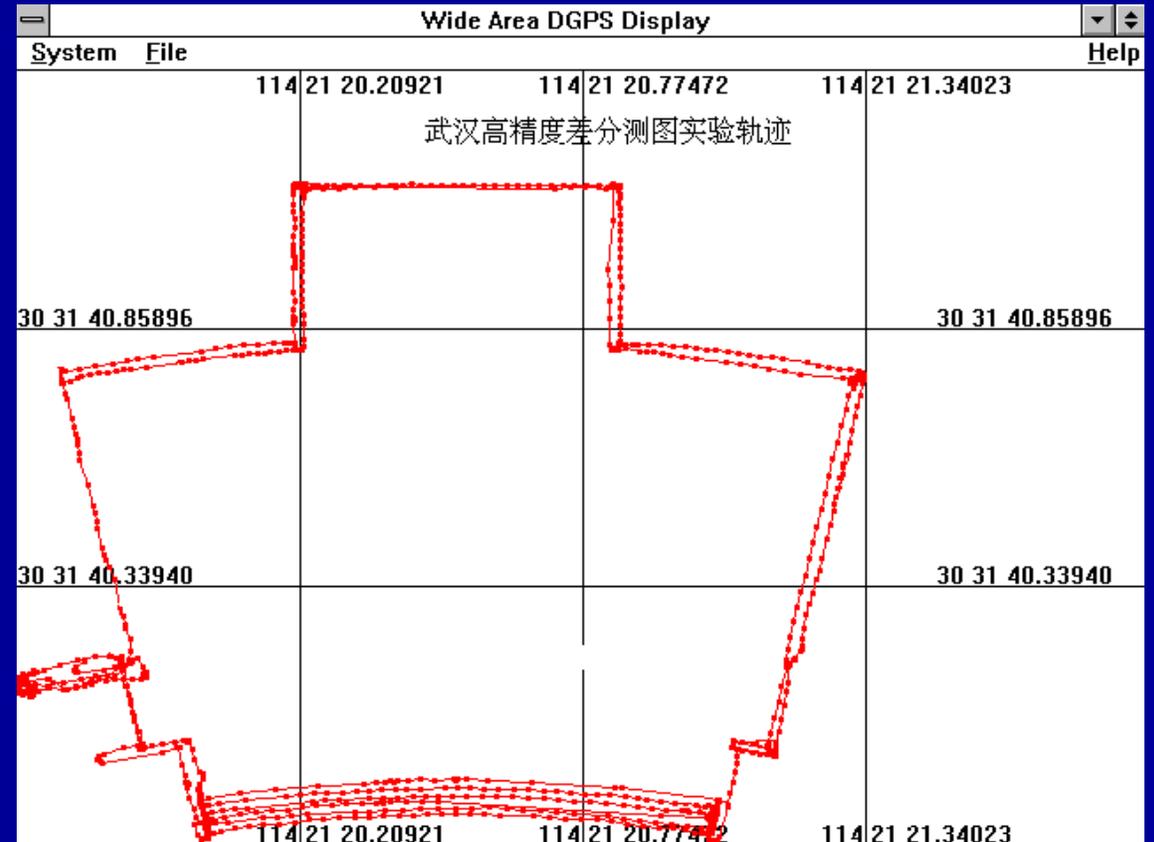
东莞CORS数据处理中心

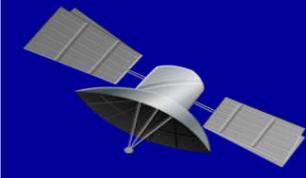


6、广域差分GPS



基于CORS网的网络RTK测图:





单点绝对定位 { 动态定位
静态定位 }

精度达不到测绘要求，测量专业一般不使用。

载波相位
伪距
测量
定位

相对定位

动态 { 单站式差分

---GPS RTK
(小区域地形、工测)

局域差分

---网络GPS

(城市级交通等)

广域差分

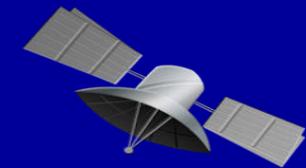
---GPS增强系统

(全球或大区域交通、导航等)

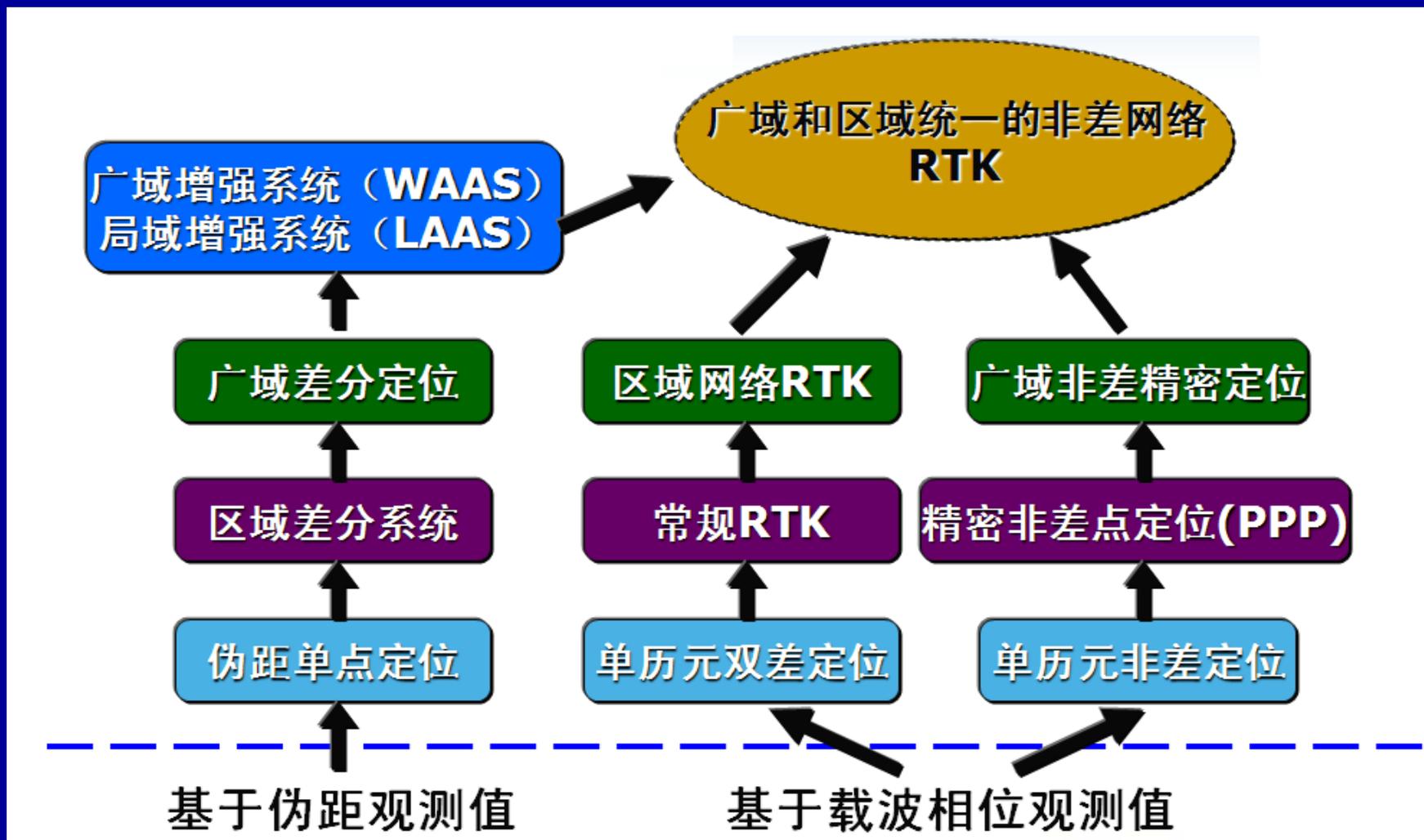
静态定位

--- (用于大规模、高精度全球或全国性GPS大地网测量；用于工程控制网、城市控制网测量)

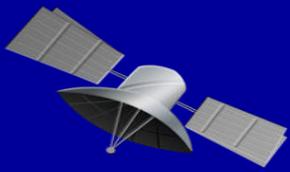
6、广域差分GPS



广域增强系统的发展趋势：



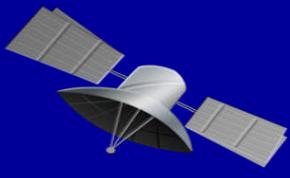
6、广域差分GPS



GPS定位技术及精度指标:

定位技术 类型	精度 (m)	作用距离 (km)	响应时间 (小时)
单点定位	±10—±20	全球	实时
局域差分	±1.0—±5.0	<150	实时
广域差分(WAAS)	±1.0—±5.0	<1500/全球	实时
(网络) RTK	±0.01—±0.20	<100	实时
静态定位	±0.001—±0.05	0.01—10000	0.5小时—24小时
精密单点定位 (PPP)	分米、亚米、厘米	全球	实时、事后

讲解小结



1、GPS动态绝对定位原理

(动态绝对定位观测方程、特点)

2、GPS动态相对定位与差分GPS静态绝对定位原理

(动态相对定位概念、位置差分GPS、伪距差分GPS)

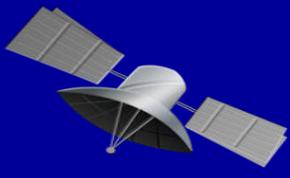
3、载波相位差分原理

(载波相位差分GPS定位原理、RTK的组成及功能)

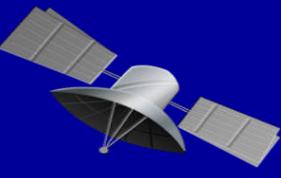
4、广域差分GPS

(单站差分GPS、局域差分GPS、广域差分GPS、WAAS、CORS网、网络RTK)

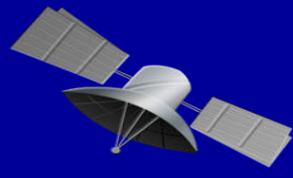
思考题



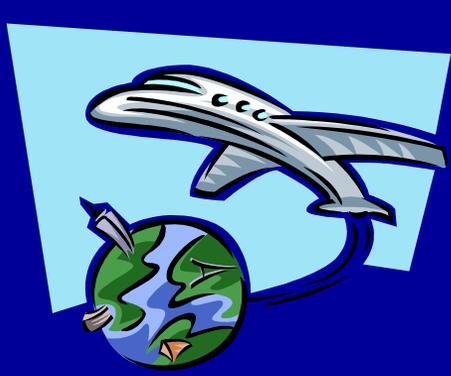
1. 名词解释：GPS动态绝对定位、差分GPS、位置差分GPS、伪距差分GPS、载波相位差分GPS、RTK组成、LADGPS、WADGPS、WAAS、精密单点定位PPP)
2. 试述位置差分和伪距差分的基本原理。
3. RTK的定位原理及RTK系统的组成。
4. WAAS系统的构成及工作原理。
5. GPS定位模式及精度指标。



第四章内容讲解结束，谢谢！



新的需求将不断推动新技术的产生和发展!



GPS技术的应用仅受人们想象力的限制!