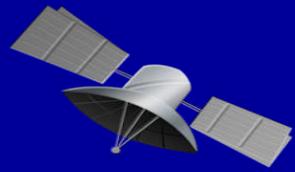


GNSS原理及应用

长安大学地质工程与测绘学院

主讲教师：张双成

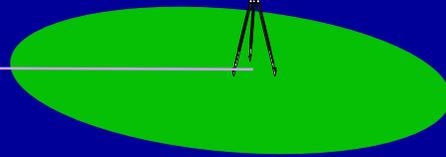
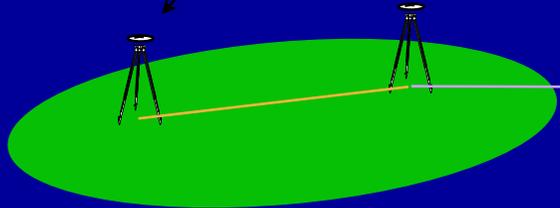
GNSS原理及应用章节安排



第一章 系统及时空基准



第二章 信号及测量原理



第三、四章 GNSS静动态定位原理

第五、六章 GNSS控制网及数据处理

第一章 GPS卫星定位测量基础

1、1 卫星导航定位系统发展概述

1、引言 导航与定位

从小学二年级的一篇课文谈起

要是你在野外迷了路，

可千万别慌张，

大自然有很多天然的指南针，

会帮助你辨别方向。

太阳是个忠实的向导，

它在天空给你指点方向：

中午的时候它在南边， 地上的树影正指着北方。

北极星是盏指路灯， 它永远高挂在北方。

要是你能认出它， 就不会在黑夜里乱闯。

要是你在野外迷了路，怎么办？

什么时候	观察什么	怎样辨别
白天	太阳	中午时，太阳在南边；树影正指着北方
黑夜	北极星	永远高挂在北方
阴雨天	大树枝叶	稠的一面是南方；稀的一面是北方
下雪天	沟渠里的积雪	化得快的是北，化得慢的是南

你们还有其他办法辨别方向吗？

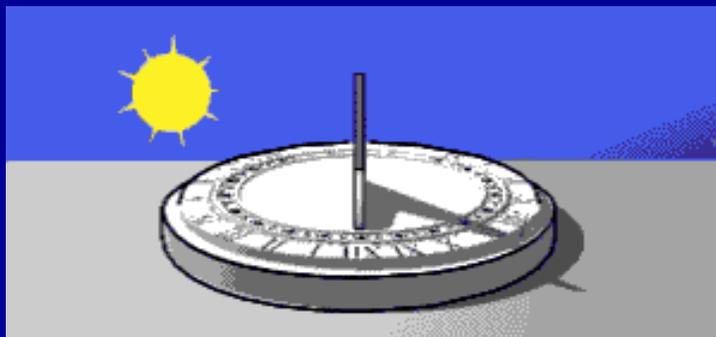
➤远古的时候，农业民族从事耕作，他们怎样确定播种和收获的季节和时令？靠的是观察群星出没时间的变化。

➤远古的游牧民族在辽阔的原野上放牧、迁徙，那时既没有地图又没有指南针，他们怎样辨别方向呢？靠的是观察天空中的星星。

➤古代的渔民和水手在汪洋大海中前进，他们怎样为自己导航？靠的是辨认星空。他们又怎样知道潮水涨落的时间？靠的是观察月亮的盈亏圆缺.....

➤于是，大约在6000年前，天文(测量)学（含测绘学的一部分）就悄然萌芽、诞生了。它是自然科学中最古老的科学之一，也是人类文明进步的象征。

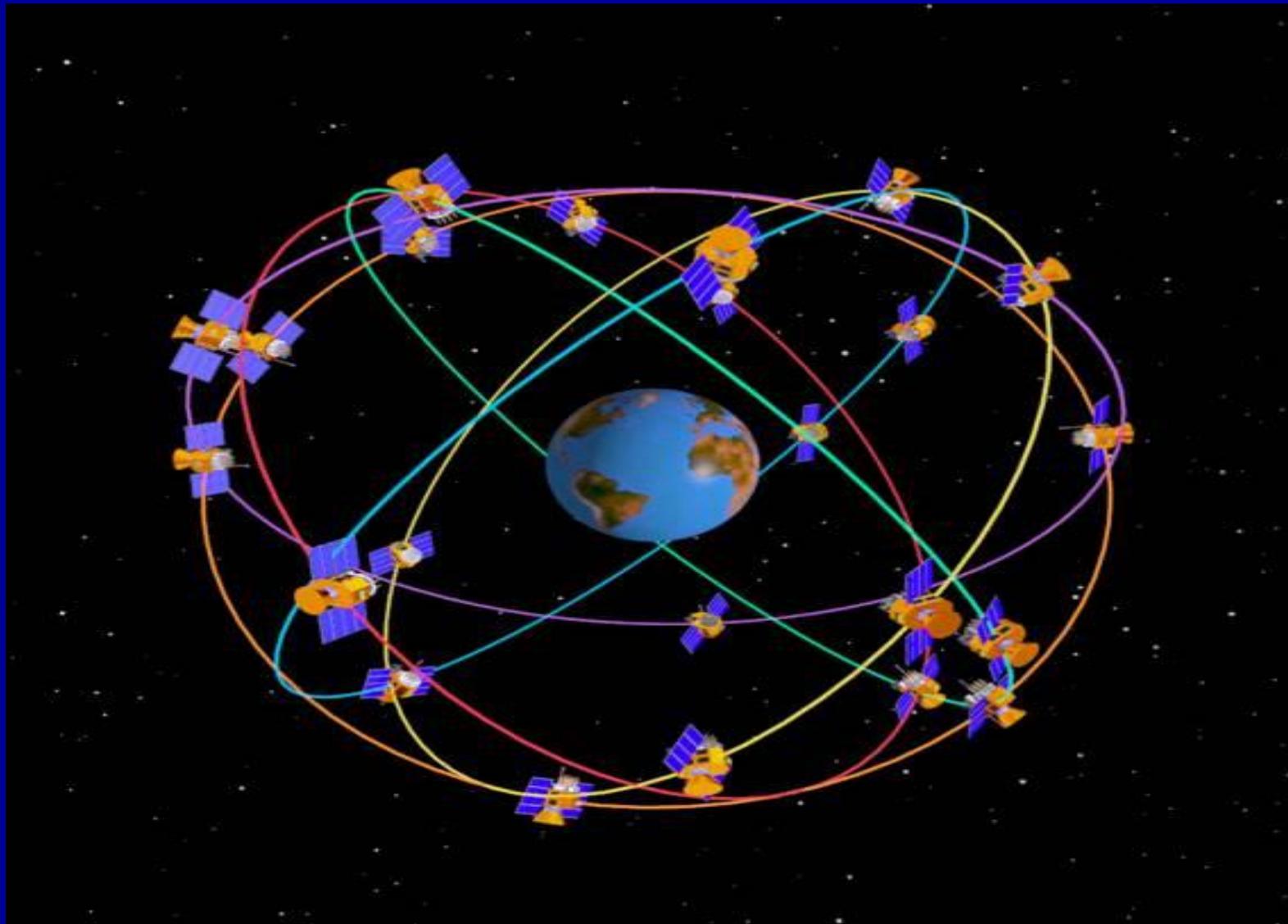
古代天文测量方法



圭表（前7C）、日晷（6千年前、隋）、漏刻（西周）、浑仪（西汉）、浑象（西汉）

从古至今，人类在生产和生活实践中发明了多种导航定位方法，例如：

- **天文导航：**是通过观测天体的位置来确定自身的位置和航向，此法设备简单，但受到气象条件的限制。
- **无线电导航：**是接收海岸电台发出的无线电波来确定舰船自身的位置，它虽不受气象条件的影响，但由于无线电波的传播距离有限，故用于远航时有困难。
- **惯性导航：**是一种不依赖于外部信息、也不向外部辐射能量的自主式导航系统。其工作环境不仅包括空中、地面，还可以在水下；但该系统定位误差随时间而增大，长期精度差，且设备价格昂贵。
- **卫星导航：**是指利用一组导航卫星，对地面、海洋和空间用全户进行精确的定位。它具有全时空、全天候、高精度、连续实时地提供导航、定位和授时的特点，已成为应用广泛的导航定位技术。

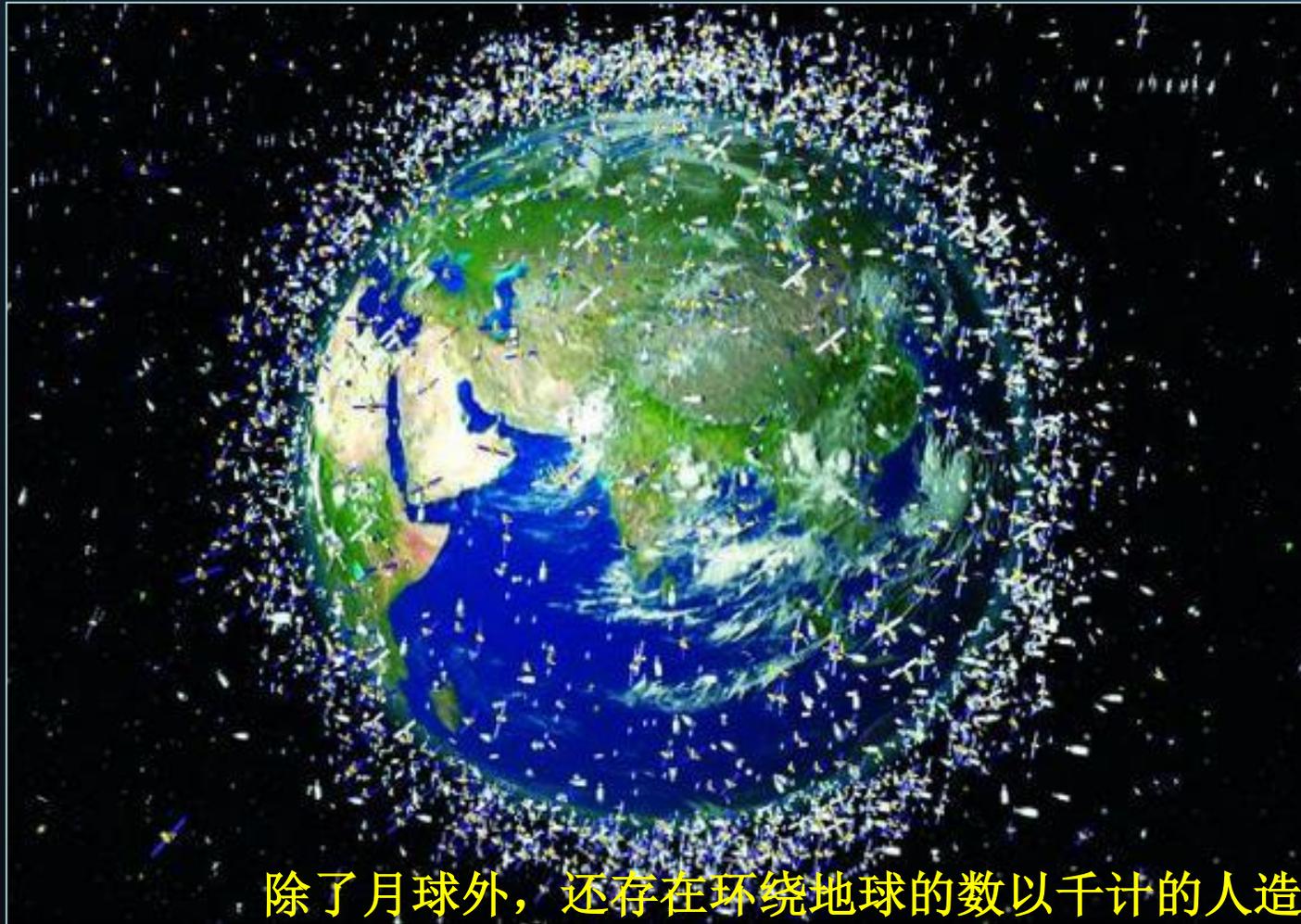


卫星导航示意图

恒古至今，人类认知世界
的渴望从未停止！



→ 人类生存的美丽星球—地球



除了月球外，还存在环绕地球的数以千计的人造卫星

人类基于各种用途需要，发射了数以千计的人造地球卫星，根据用途可分为如下几类：

- 一. 太空“信使”——通信卫星
- 二. 太空“遥感器”——地球资源卫星
- 三. 太空“气象站”——气象卫星
- 四. 太空“向导”——导航卫星
- 五. 太空“间谍”——侦察卫星
- 六. 太空“广播员”——广播卫星
- 七. 太空“测绘员”——测地卫星
- 八. 太空“千里眼”——天文卫星

组成了一个庞大的“卫星世家”。



一. 太空“信使”——通信卫星



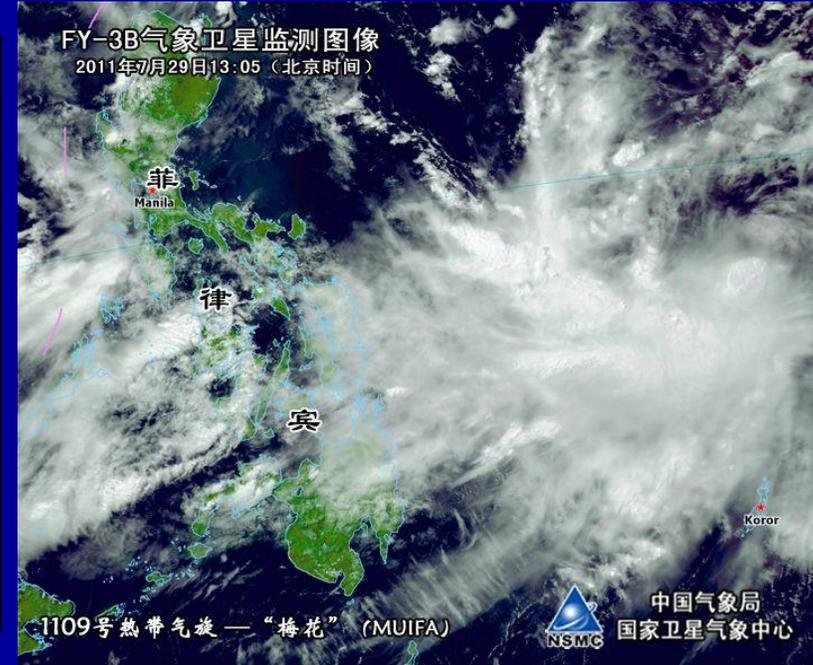
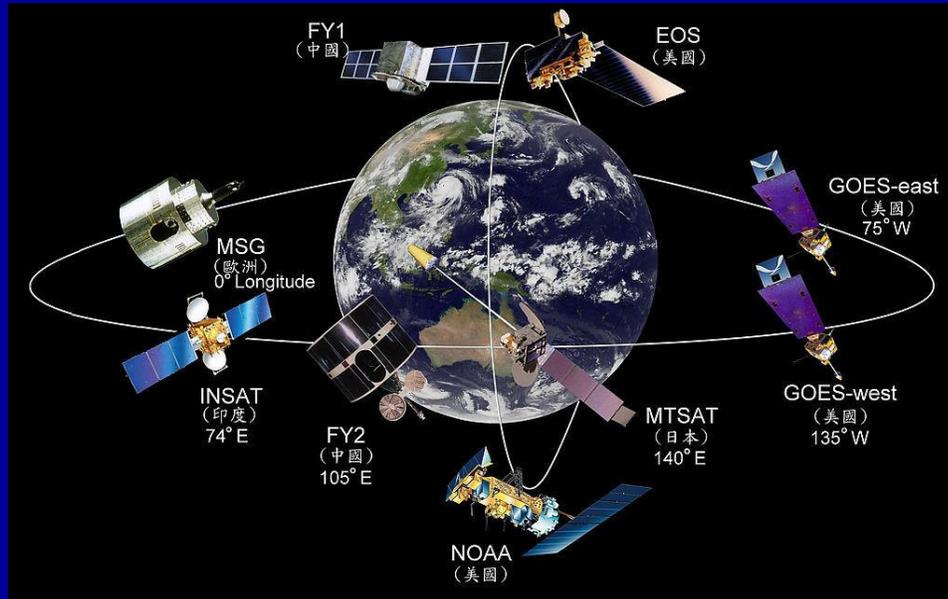
主要作用：通讯联络、数据传输、广播电视等。

二. 太空“遥感器”——地球资源卫星



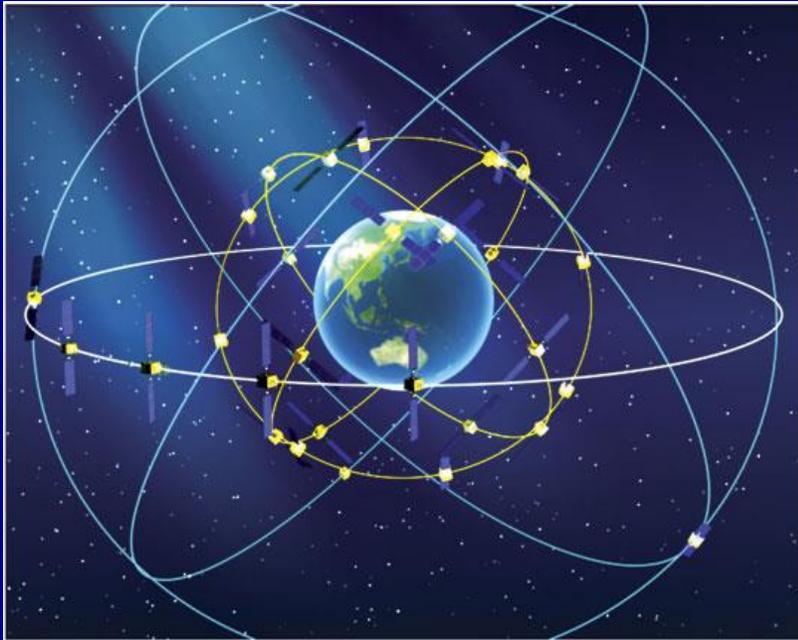
主要作用：地球资源的勘察以及监视地球等。

三. 太空“气象站”——气象卫星



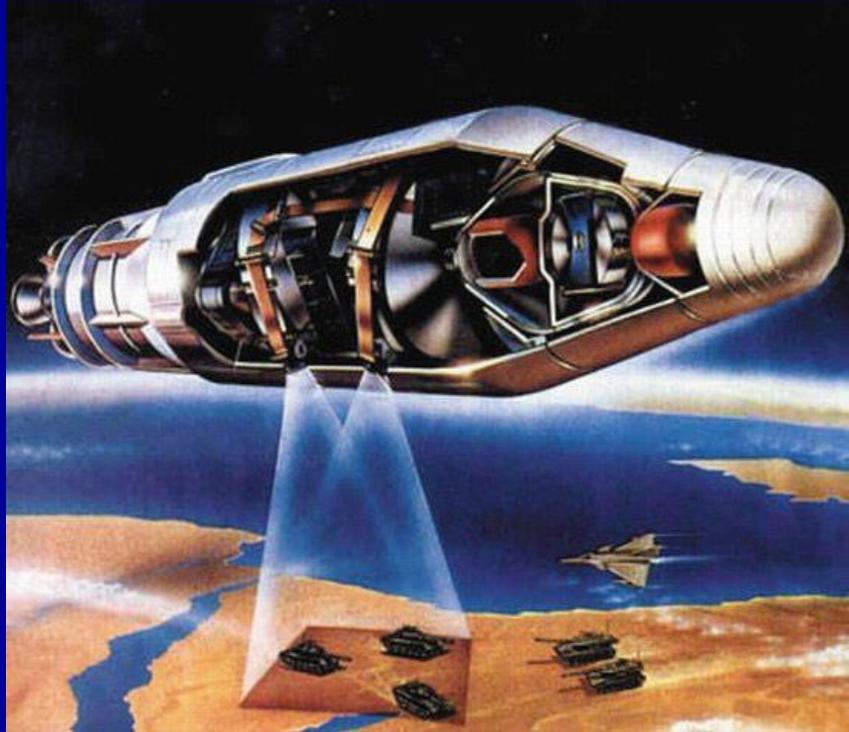
主要作用：气象观测与预报。

四. 太空“向导”——导航卫星



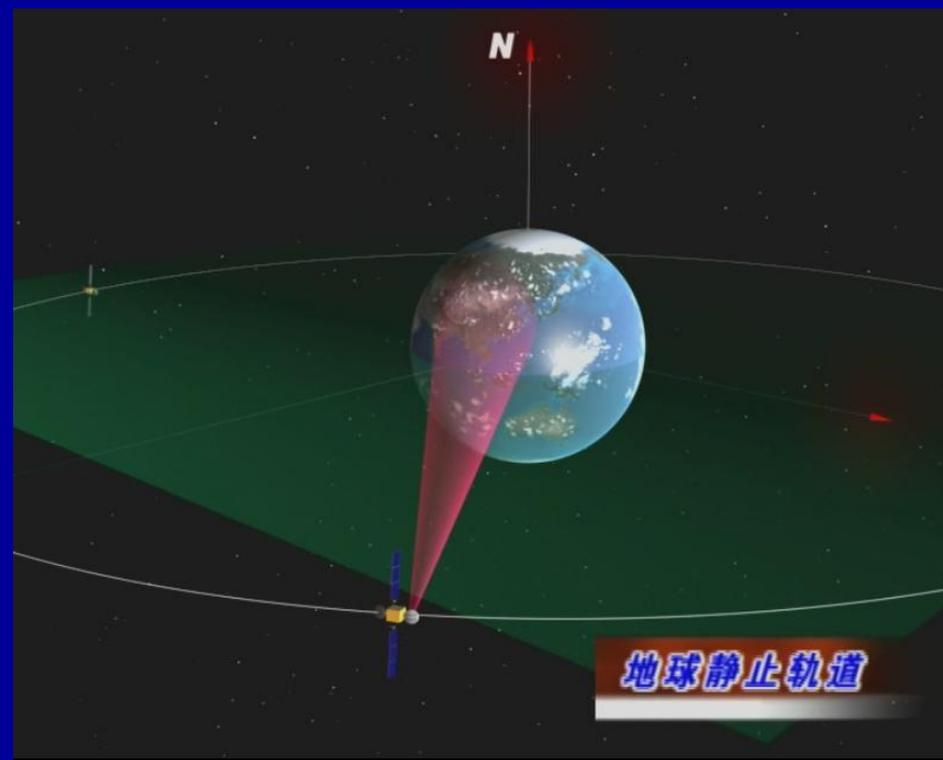
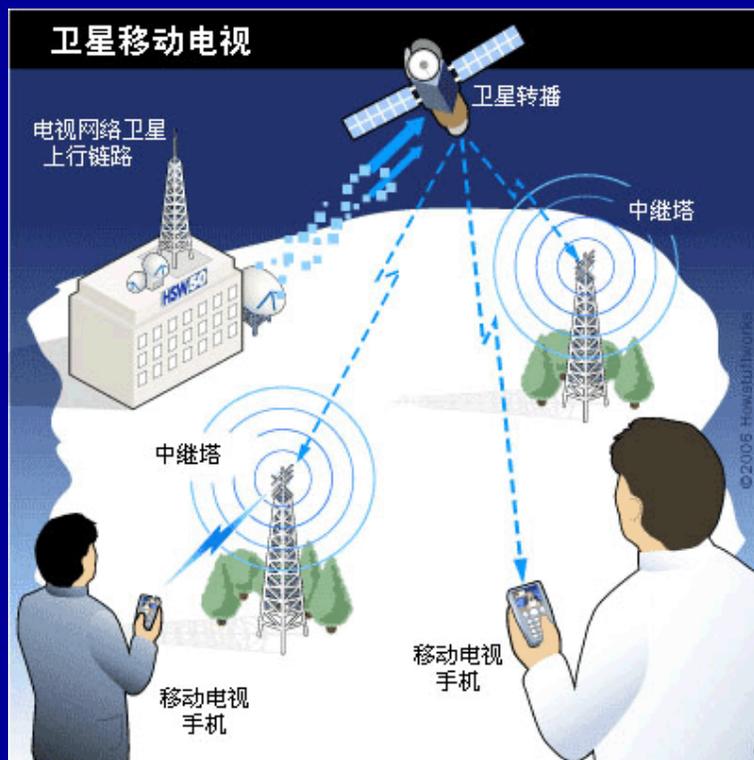
主要作用：实时导航与位置测量。

五. 太空“间谍”——侦察卫星



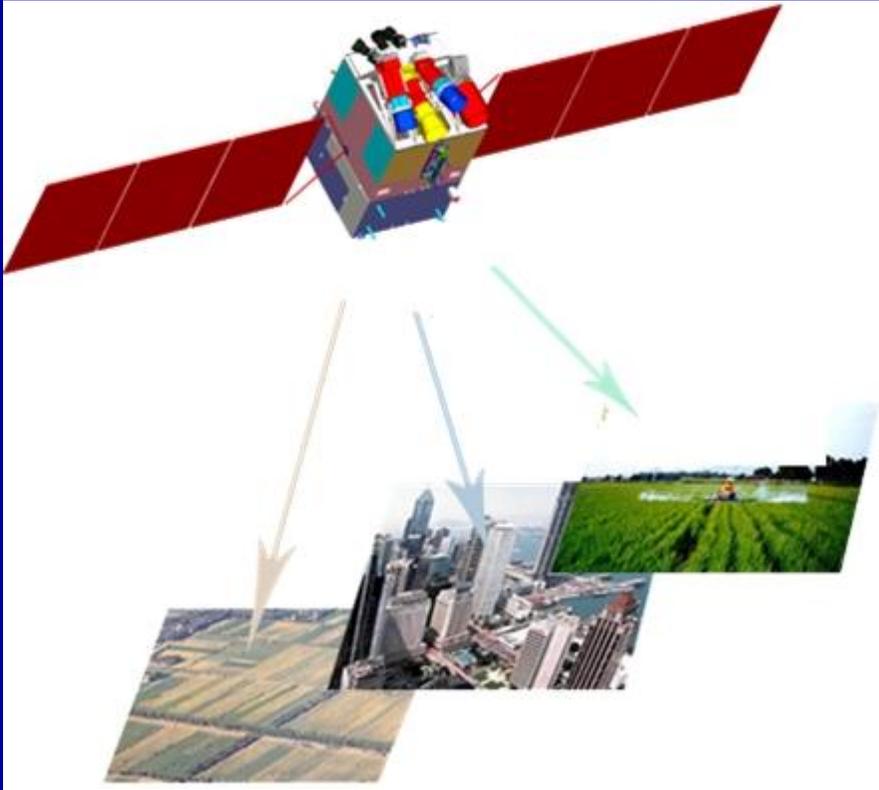
主要作用：军事用途。

六. 太空“广播员”——广播卫星



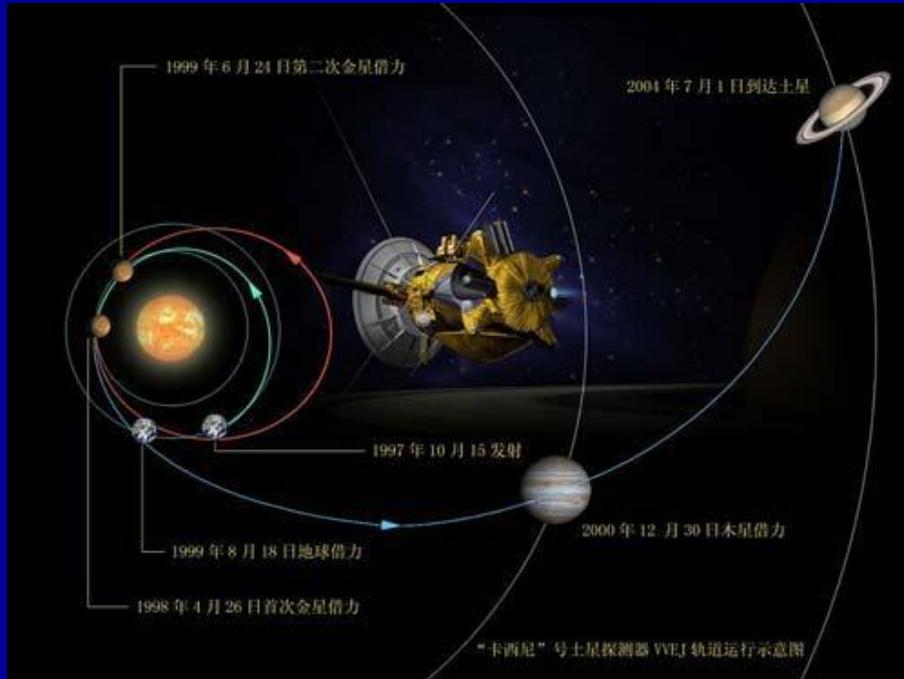
主要作用：专为电视广播的通信卫星等。

七. 太空“测绘员”——测绘卫星



主要作用：用于地球形状测量、地球重力场分布测量、地壳移动测量。

八. 太空“千里眼”——天文卫星



主要作用：扒开大气层直接观察宇宙。

本课程的内容

“太空向导”——导航卫星

GPS

(Global Positioning System)

GNSS(Global Navigation Satellite System)

全球导航定位技术

全球导航卫星系统GNSS（Global Navigation Satellite System）又称天基PNT（Position、Navigation、Timing，定位、导航、授时）系统，是指利用在太空中的导航卫星对地面、海洋和空间用户进行导航定位的一种空间导航定位技术。

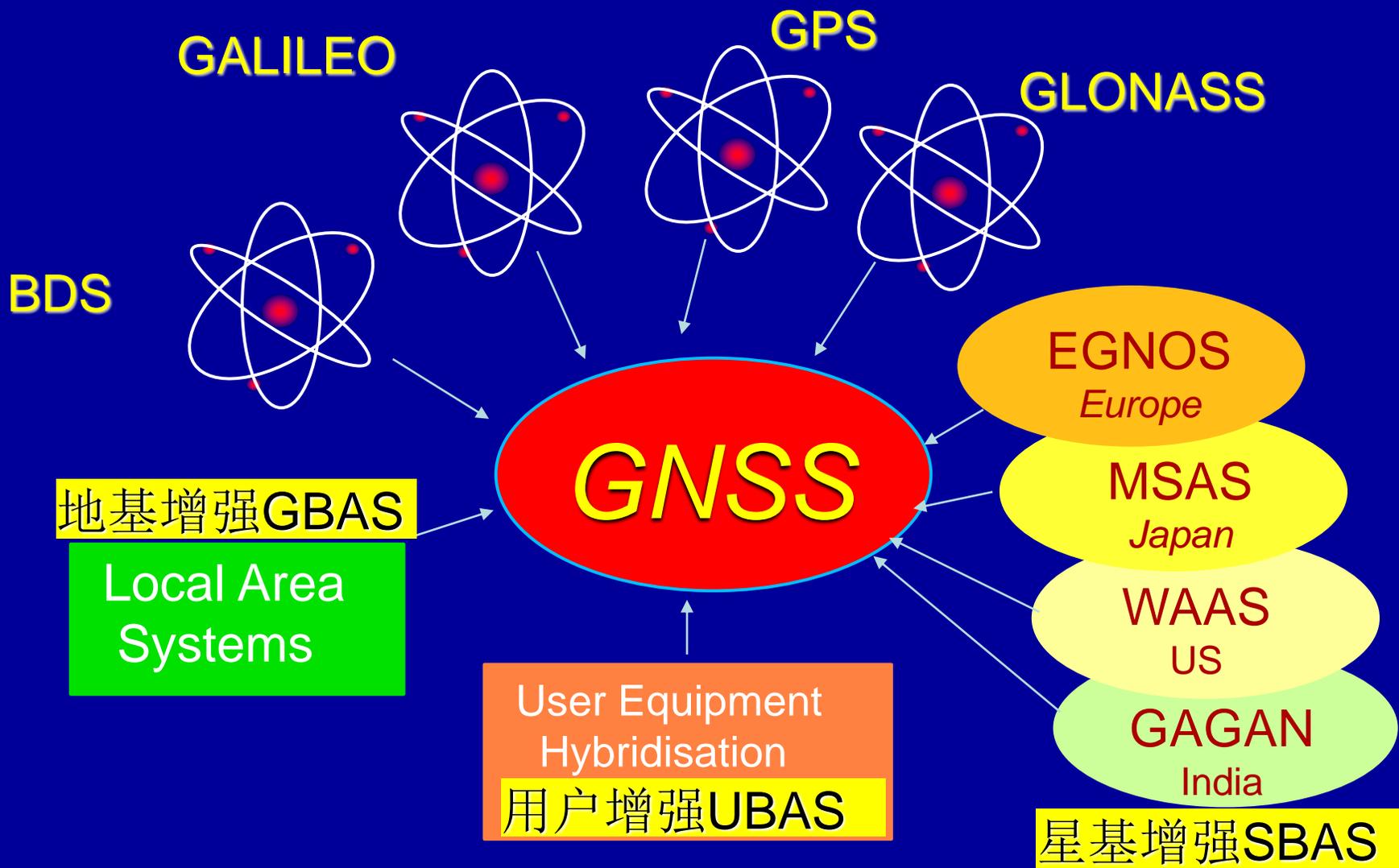
❖ **卫星导航**是采用导航卫星对地面、海洋、空中和空间用户进行导航定位的技术。

❖ 利用**太阳、月球和其他自然天体导航**已有数千年历史，由人造天体导航的设想虽然早在**19世纪后半期**就有人提出，但直到**20世纪60年代**才开始实现。

❖ **1964年**美国建成**子午卫星导航系统（NNSS）**，并交付海军使用，**1967年**开始民用。

❖ **1973年**又开始研制**全球定位系统（GPS）**。苏联也建立了类似的卫星导航系统。法国、日本、中国也开展了卫星导航的研究和试验工作。

❖ 卫星导航综合了传统导航系统的优点，真正实现了各种天气条件下全球高精度被动式导航定位。特别是测时与测距卫星导航系统，不但能提供全球和近地空间连续立体覆盖、高精度三维定位和测速，而且抗干扰能力非常强。



**G
N
S
S
组
成**

- **全球导航系统**：预计在2020年前，世界将建成美国GPS、俄罗斯GLONASS，欧盟GALILEO和中国BDS四大全球导航定位系统。
- **区域导航系统**：法国的DORIS、德国的PRARE、日本的QZSS、印度的IRNSS、中国的Beidou-1和CAPS等。
- **星基增强系统**：美国的WAAS、欧洲的EGNOS、俄罗斯的SDCM、日本的MSAS、印度的GAGAN等。
- **地基增强系统**：全球IGS跟踪站网、各国国家级和区域级的地面连续运行参考站CORS综合服务系统。

导航卫星系统包括：

1、区域导航卫星系统

系统建设最为完善、应用范围最为广泛、日常生活最为熟悉的当属**美国GPS系统**

2、全球导航卫星系统(GNSS)

**美国的GPS；俄罗斯的GLONASS；
中国的BDS；欧盟的Galileo。**

定位与导航的概念

- 定位

- 从测绘的意义上说，定位就是测量和表达某一地表特征、事件或目标发生在什么空间位置的理论和技術。
- 从广义和现代意义上来说，定位就是测量和表达信息、事件或目标发生在什么时间、什么相关的空间位置的理論方法与技術。

- 导航

- 指运动目标，通常是指运载工具如飞船、飞机、船舶、汽车、运载武器等的实时动态定位即三维位置、速度和包括航向偏转、纵向摇摆、横向摇摆三个角度的姿态的确定。

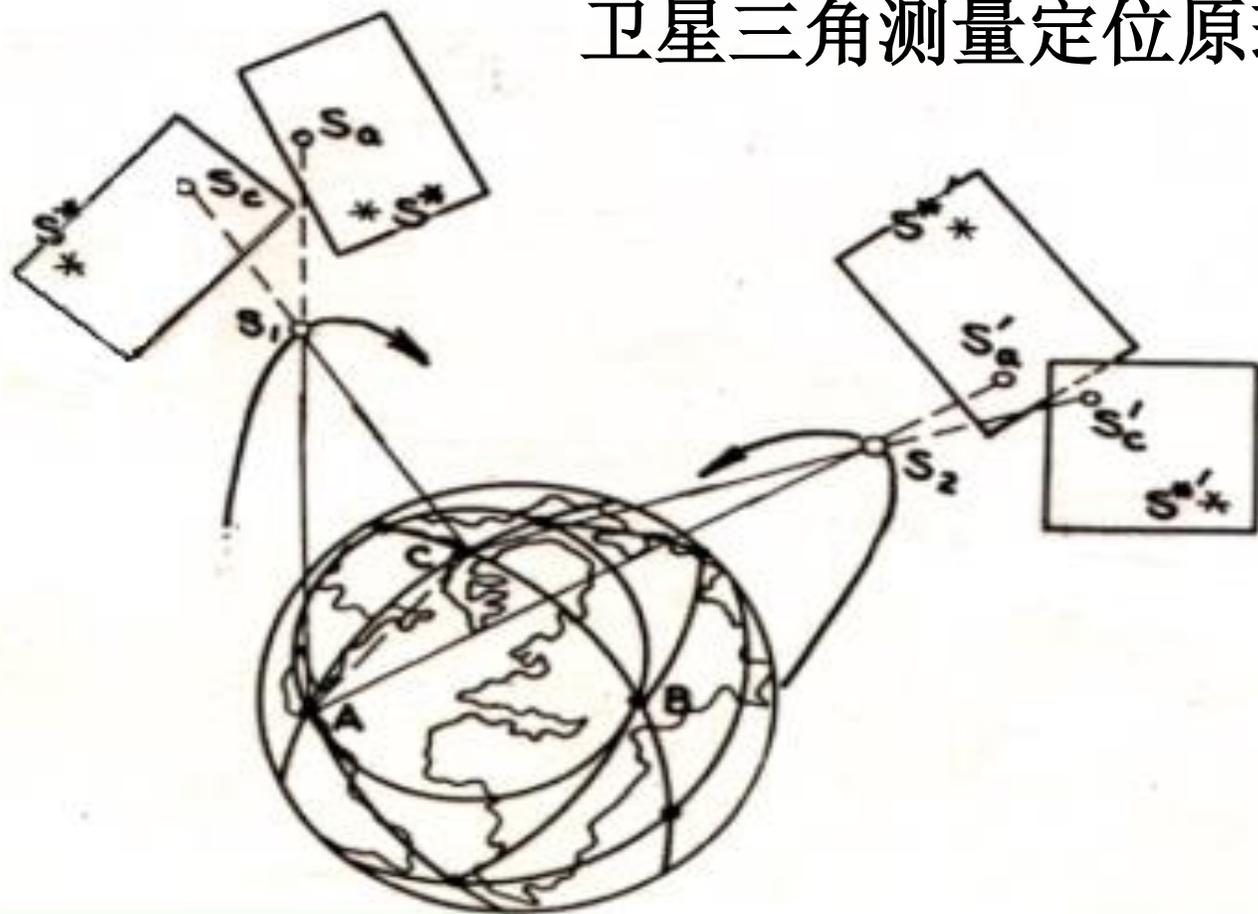
2、GPS卫星定位技术的发展

(1) 卫星定位技术发展的三个阶段：

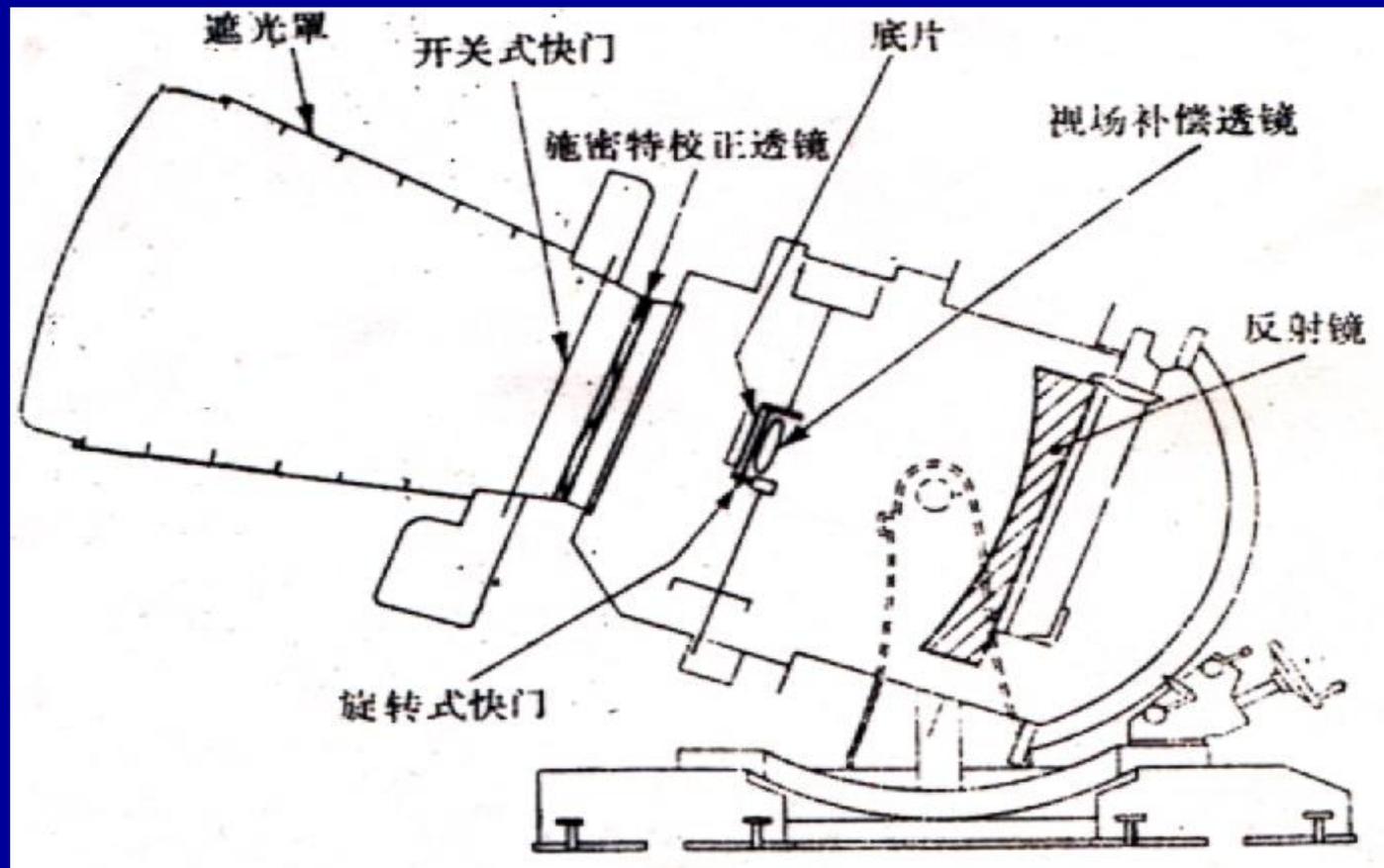
- 卫星三角测量
- 卫星多普勒定位测量
- GPS卫星定位测量

① 第一阶段：卫星三角测量

卫星三角测量定位原理



卫星三角测量摄影仪



② 第二阶段：美国的子午卫星定位系统 (TRANSIT SYSTEM)

1959: 系统研制启动

1964: 军方启用子午卫星系统

1967: 系统公开，提供民用服务

1997: 子午卫星系统暂告一阶段

子午卫星定位系统的重要参数

卫星星座: 6颗卫星, 分布在6个轨道平面内

轨道高度: 1075 km (LEO)

运行周期: 107 min

两极的轨道倾角 $i \approx 90^\circ$

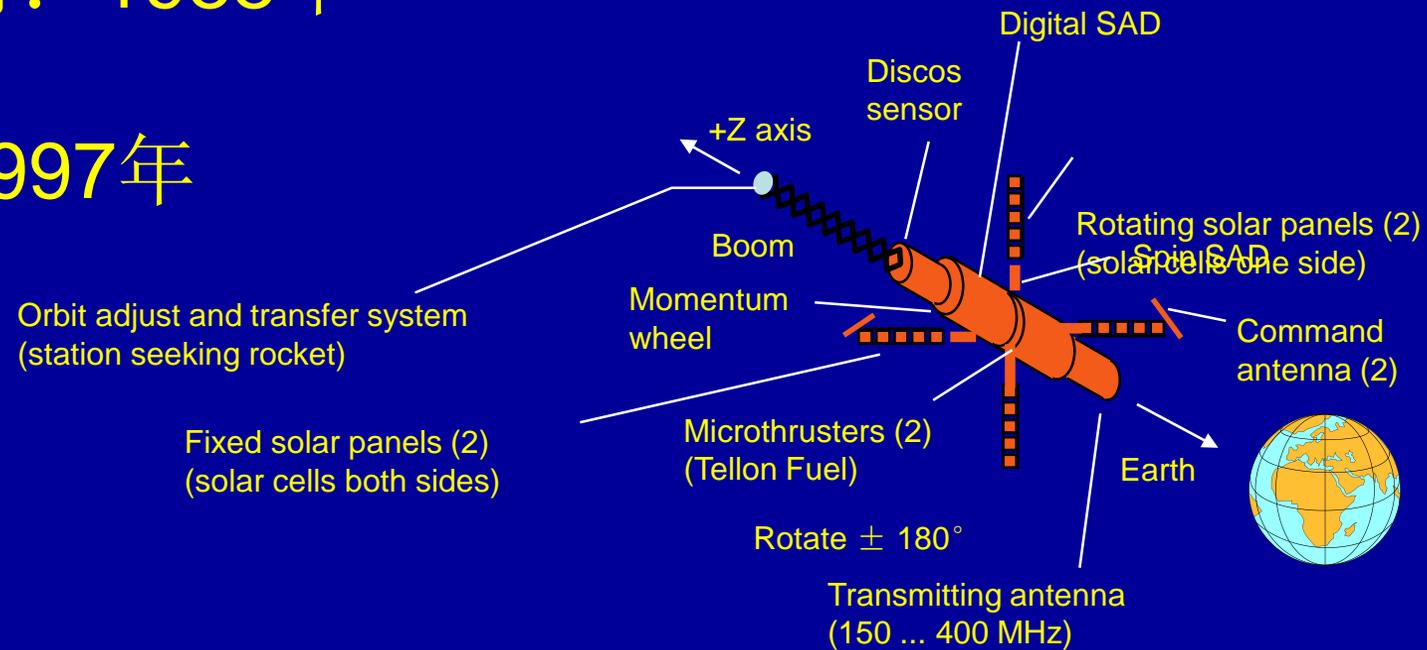
两种载波频率: $f_1 = 150 \text{ MHz}$, $f_2 = 400 \text{ MHz}$

定位的时间间隔: 35 to 100 min

精度 (1σ): 200 m (400 m)

美国的子午卫星定位系统（TRANSIT SYSTEM）

- 设计主要为船只导航服务及大地测量应用
- 最后一次发射：1988年
- 终止服务：1997年



子午卫星定位系统存在的问题：

- (1) 卫星颗数少，不能实现连续实时导航定位。
- (2) 卫星轨道高度低，难以实现精密定轨。
- (3) 信号频率低，难以补偿电离层效应的影响。
- (4) 仅能进行二维定位。

③ 第三阶段：全球卫星定位系统（GPS）

为了突破子午卫星导航系统的局限性，实现全天候、全球性和高精度的实时导航与定位，美国国防部于1973年12月批准陆海空三军联合研制的一种新的军用卫星导航系统——Navigation by Satellite Timing And Ranging/Global Positioning System)，今译为导航卫星测时与测距全球定位系统，简称GPS卫星全球定位系统。

(2) GPS卫星定位系统建立的过程

① 原理与可行性实验阶段，自1973年12月算起，到1978年2月22日第一颗试验卫星发射成功为止，历时5年。

② 系统研制与实验阶段，由1978年2月22日算起，到1989年2月14日第一颗工作卫星发射成功为止，历时11年。

③ 工程发展与完成阶段，由1989年2月14日算起，到1995年4月27日为止，历时7年。

GPS卫星定位系统的现状

1995年4月27日美国国防部(DOD)宣布：“GPS系统已具备全部运作能力”。意即在全世界任何地方、任意时刻都可以实现全天候的导航、定位和定时。GPS计划的实现历时23年、耗资130多亿美元，前后共发射42颗GPS卫星，目前已基本完成GPS现代化。

GPS系统是第二代卫星导航定位系统，它的出现导致测绘行业一场深刻的技术革命。

20世纪末至21世纪初的十年是第二代全球定位系统进入全运行和盛行时代。GPS广泛地扩展了应用领域，并在应用中证明了自己的成功。

- 1991年，在海湾战争中，GPS首次大规模用于实战。
- 1995年7月17日，GPS达到FOC — 完全运行能力（Full Operational Capability）。
- 1999年1月25日，美国副总统戈尔宣布，将斥资40亿美元，进行GPS现代化。
- 1999年8月21/22日子夜，GPS发生GPS周结束翻转问题。
- 2000年5月1日，美国总统克林顿宣布，GPS停止实施SA政策。
- 2001-2010：进行GPS现代化，现已基本完成。
- 2010年之后：执行GPS III计划。

表 3 GPS 卫星钟类型和卫星号对照表

Tab. 3 Comparison of Satellite Numbers
with Satellite Clock Styles

卫星钟类型	卫星号
Block II/ IIA Cs 钟	01 ,02 ,03 ,05 ,06 ,09 ,10 ,15 ,17 ,18 , 19 ,21 ,23 ,25 ,27 ,30 ,31
Block II/ IIA Rb 钟	04 ,07 ,08 ,16 ,22 ,24 ,26 ,29
Block IIR Rb 钟	11 ,13 ,20

(3) GPS卫星定位系统的组成

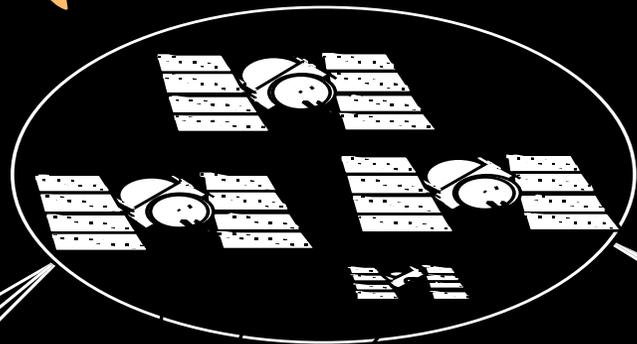
GPS卫星定位系统的三大组成部分：

- ① 卫星部分（空间）
- ② 监控部分（地面）
- ③ 接收部分（用户）

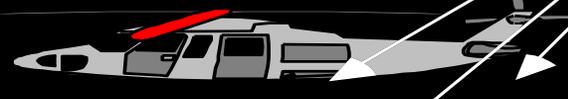
GPS系统的组成

空间部分：

21颗工作卫星
； 三颗备用卫星。



用户部分：
GPS信号接收
机



监控站：

科罗拉多
卡瓦加兰
狄哥-伽西亚
阿松森岛
夏威夷



地面监控部分



GPS的系统组成——空间部分

■ GPS的空间部分（GPS卫星星座）

• GPS卫星星座

– 设计星座：21+3（**27+3**）

– 21颗正式的工作卫星+3颗

活动的备用卫星

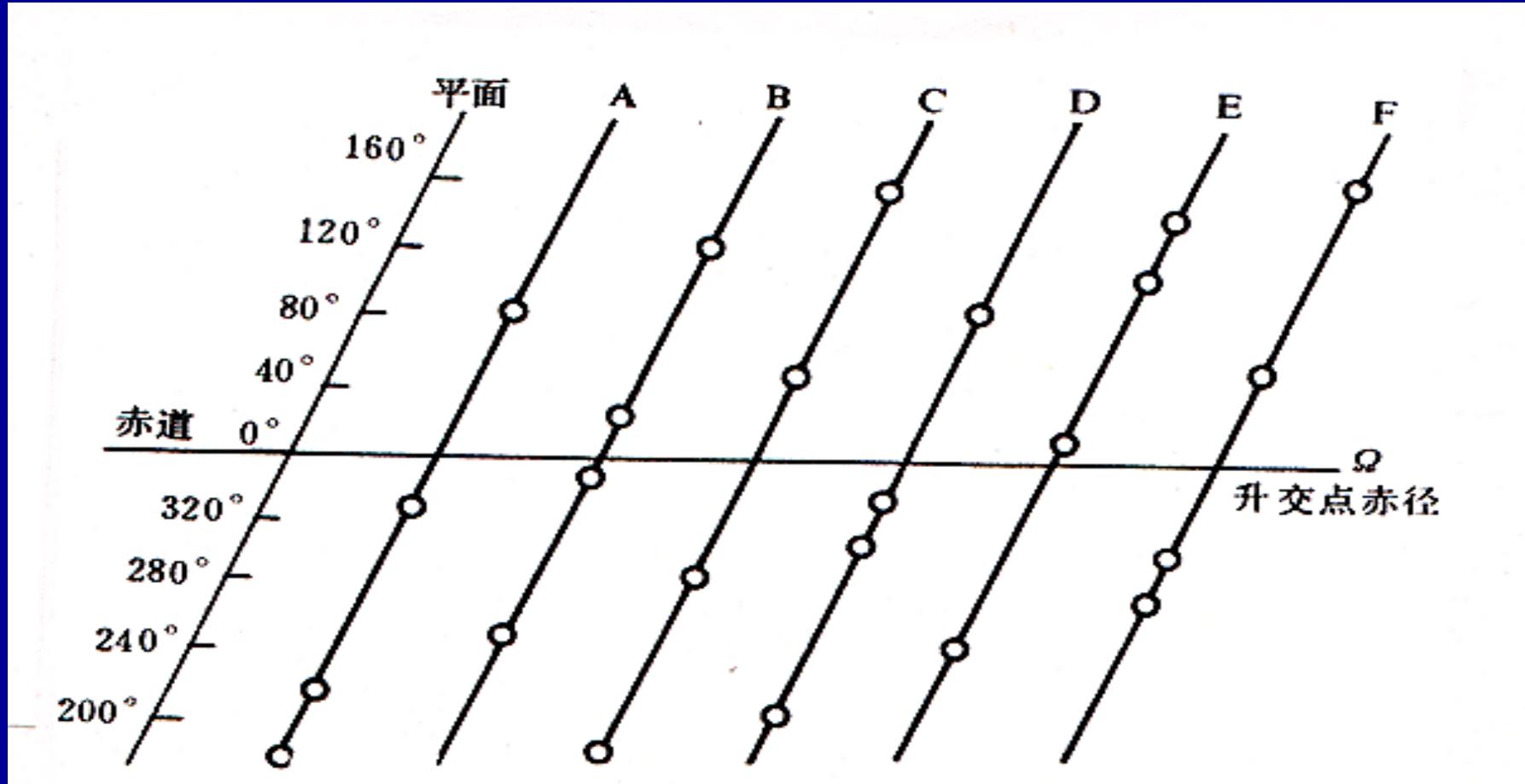
• 6个轨道面，平均轨道高度20200km，轨道倾角 55° ，周期 $11^h 58^{\text{min}}$

• 保证在24小时，在高度角 15° 以上，能够同时观测到4至8颗卫星

– 当前星座：32颗



GPS卫星星座分布情况



GPS的系统组成——空间部分

• GPS卫星

— 作用：

- 发送用于导航定位的信号
- 其他特殊用途，如通讯、监测核暴等。

— 主要设备：

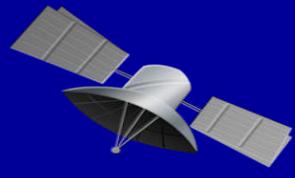
- 原子钟（2台铯钟、2台铷钟）、信号生成与发射装置

— 类型：

- 试验卫星：Block I
- 工作卫星：Block II
 - Block II, Block IIA, Block IIR
 - Block IIF（新一代的GPS卫星）



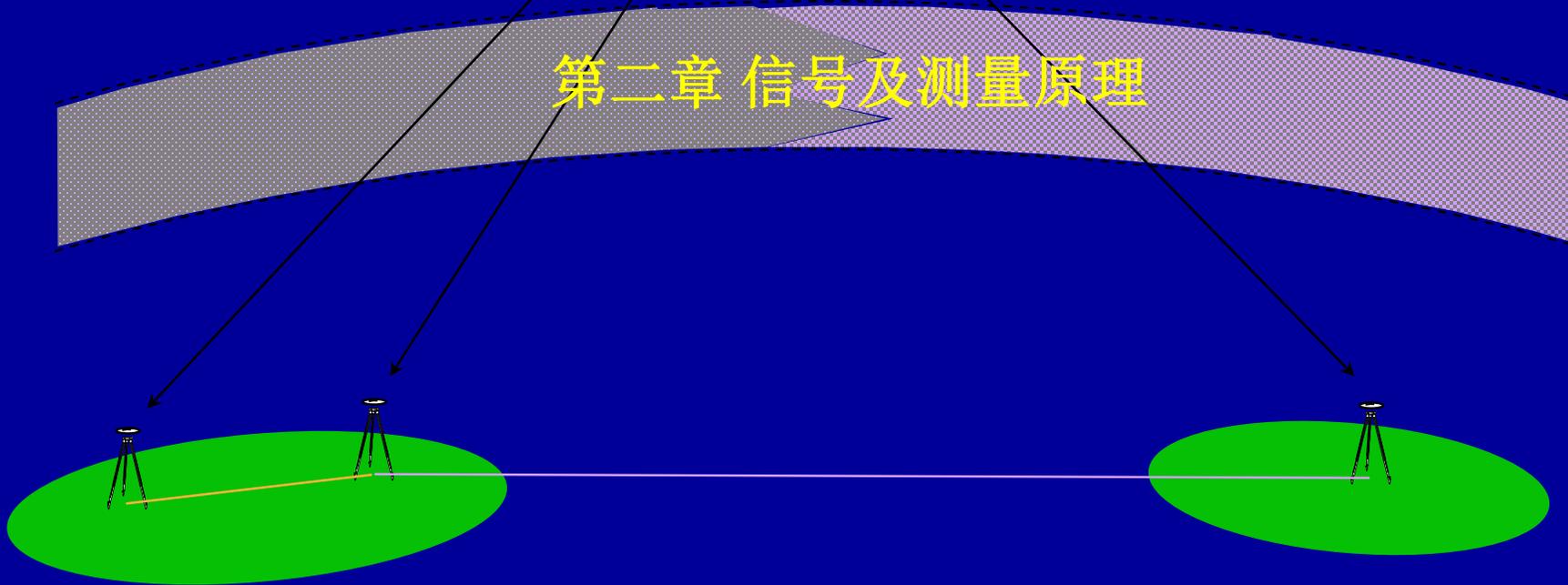
GNSS原理及应用章节安排



第一章 系统及时空基准



第二章 信号及测量原理



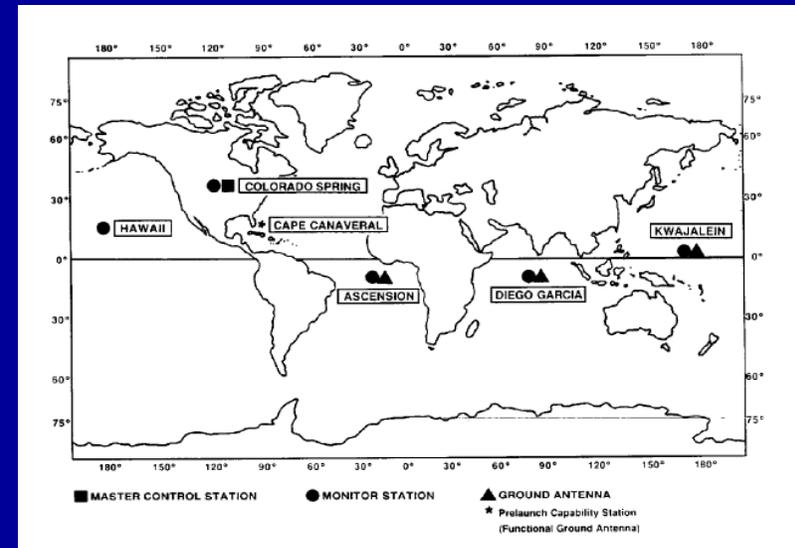
第三、四章 GNSS静动态定位原理

第五、六章 GNSS控制网及数据处理

GPS的系统组成——地面控制部分

GPS的地面控制部分（地面监测系统）

- 组成：主控站（1个）、跟踪站（5个）和注入站（3个）
- 作用：监测和控制卫星运行，编算卫星星历（导航电文），保持系统时间。





GPS的系统组成——地面控制部分

■ 主控站（1个）

作用：

- 收集各检测站的数据，编制导航电文，监控卫星状态；
- 通过注入站将卫星星历注入卫星，向卫星发送控制指令；
- 卫星维护与异常情况的处理。

地点：美国克罗拉多州法尔孔空军基地。

■ 跟踪站（5个）

作用：接收卫星数据，采集气象信息，并将所收集到的数据传送给主控站。

地点：夏威夷、主控站及三个注入站。

■ 注入站（3个）

作用：将导航电文注入GPS卫星。

地点：阿松森群岛（大西洋）、迪戈加西亚（印度洋）和卡瓦加兰（太平洋）。

遍布世界各地的 200~500个IGS连续跟踪站

GPS的系统组成——用户设备部分

- 用户设备部分 - **GPS**信号接收机及相关设备
 - 接收、跟踪、变换和测量**GPS**信号的设备
 - 多数采用石英钟



用户设备部分——GPS信号接收机

- (1) 按用途分类：测量型； 导航型； 授时型。
- (2) 按接收频率分类：单频机； 双频机； 三频机。



(4) GPS卫星定位系统的特点及应用

特点:

1) 全球地面连续覆盖，卫星数目多且分布合理，在地球上任何地方可连续同步观测到至少4颗卫星。保障了全球、全天候连续实时导航与定位。

2) 功能多、精度高，连续提供动态目标的三维位置信息、三维速度和时间信息。

3) 实时定位速度快，一秒即可完成定位。

4) 抗干扰性能好，保密性强。

优点:

- 1) 作业灵活，操作简便。
- 2) 定位精度高。
- 3) 观测时间短，经济效益高。
- 4) 全天候作业，可以在任何地点、任何时间、任何天气下连续作业。

(5) GPS卫星定位系统的应用

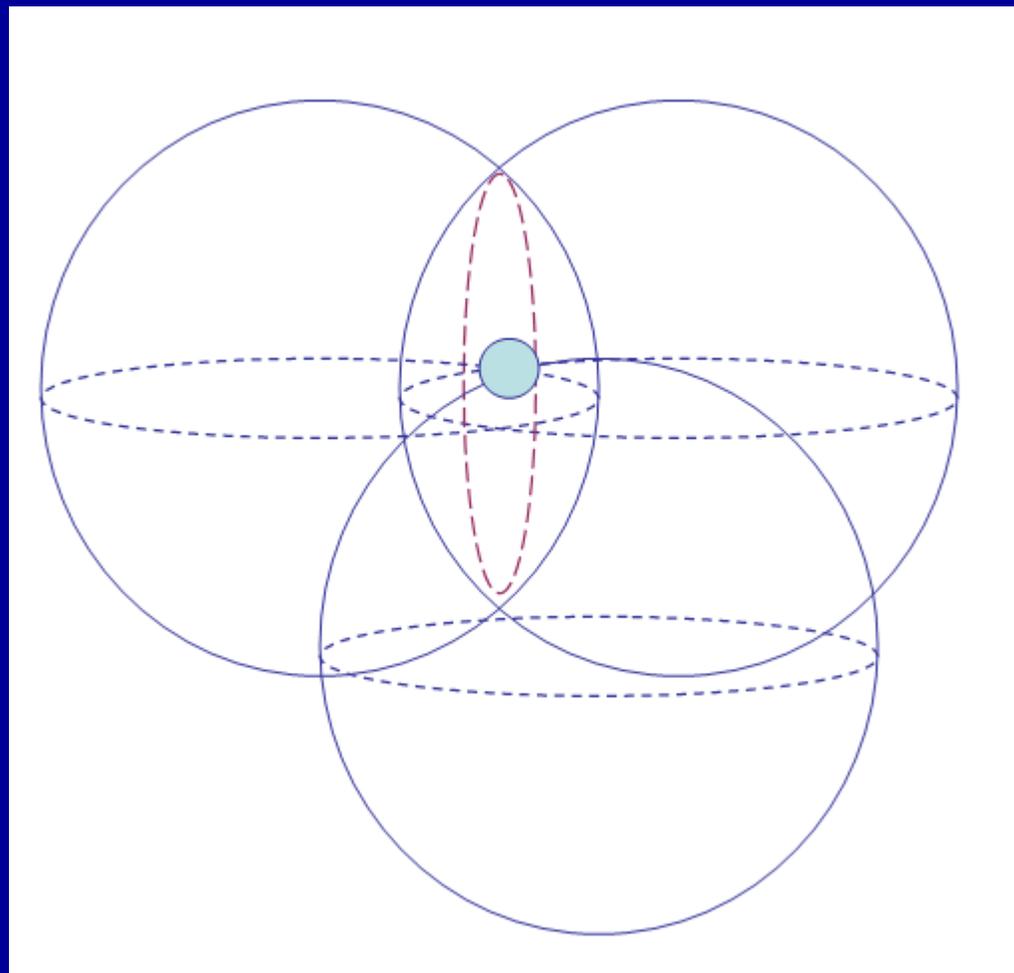
- 军事、国防
- 陆路交通（车辆导航、监控）、航运、航空
- 搜索、救援
- 遥感
- 测量
- 卫星定轨
- 资源勘探
- 通讯
- 广播、电视
- 电力
- 时间传递
-

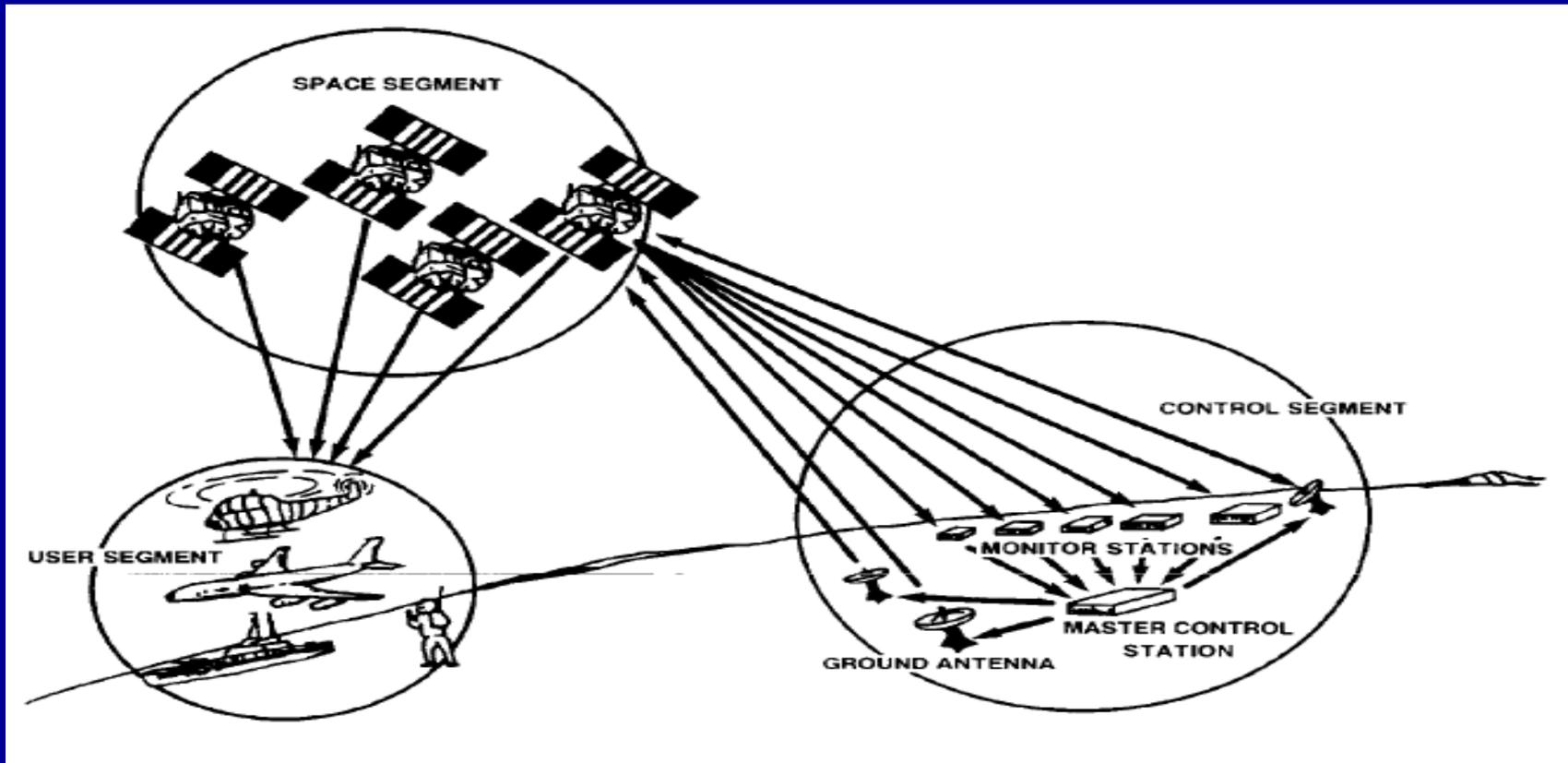


(6) GPS (GNSS) 工作的基本原理

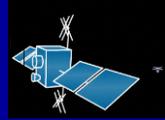
■ GPS工作的基本原理 – 空间距离后方交会

- 已知点: **GPS**卫星
- 待定点: 接收机 (天线)





$$S = \sqrt{(X_S - X_I)^2 + (Y_S - Y_I)^2 + (Z_S - Z_I)^2} + C * \Delta T$$

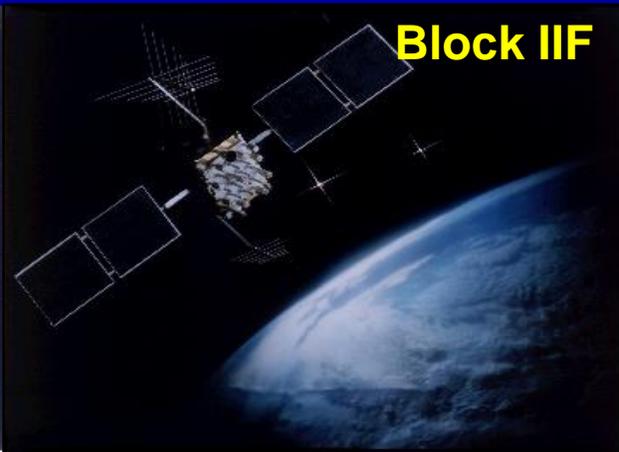
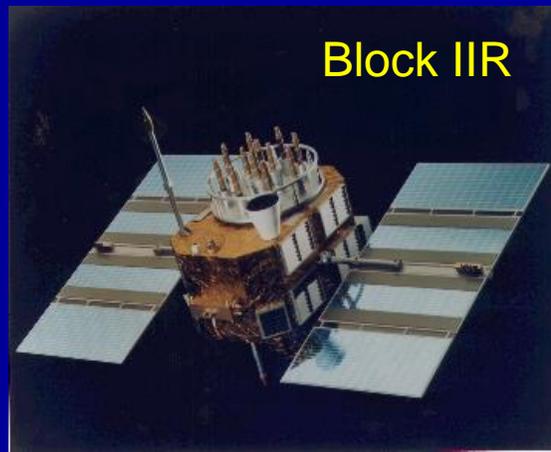


$$S = \sqrt{(X_S - X_I)^2 + (Y_S - Y_I)^2 + (Z_S - Z_I)^2} + C * \Delta T$$

(7) 美国GPS的现代化

在全球GNSS系统竞争如此激烈的局面中，为了巩固GPS系统的有利地位，美国决定通过三个阶段采用先进技术改进和完善现有的GPS系统，即“GPS现代化”。

- ◆ **第一阶段：**增加民用码L2C信号, 在轨卫星数增加到**30颗**
- ◆ **第二阶段：**发射三频的GPS BLOCK II F卫星
- ◆ **第三阶段：**构建新型GPS BLOCK III 星座



GPS现代化中卫星的升级



Increasing System Capabilities ♦ Increasing Defense/Civil Benefit

Block IIA/IIR

- Basic GPS
- Std Service (36m/77m/40 ns horizontal/vertical/time)
 - Single frequency (L1)
 - Coarse acquisition (C/A) code navigation
- Precise Service (3.7m/5.3m)
 - Two frequencies (L1 & L2)
 - P-code navigation

Block IIR-M, IIF

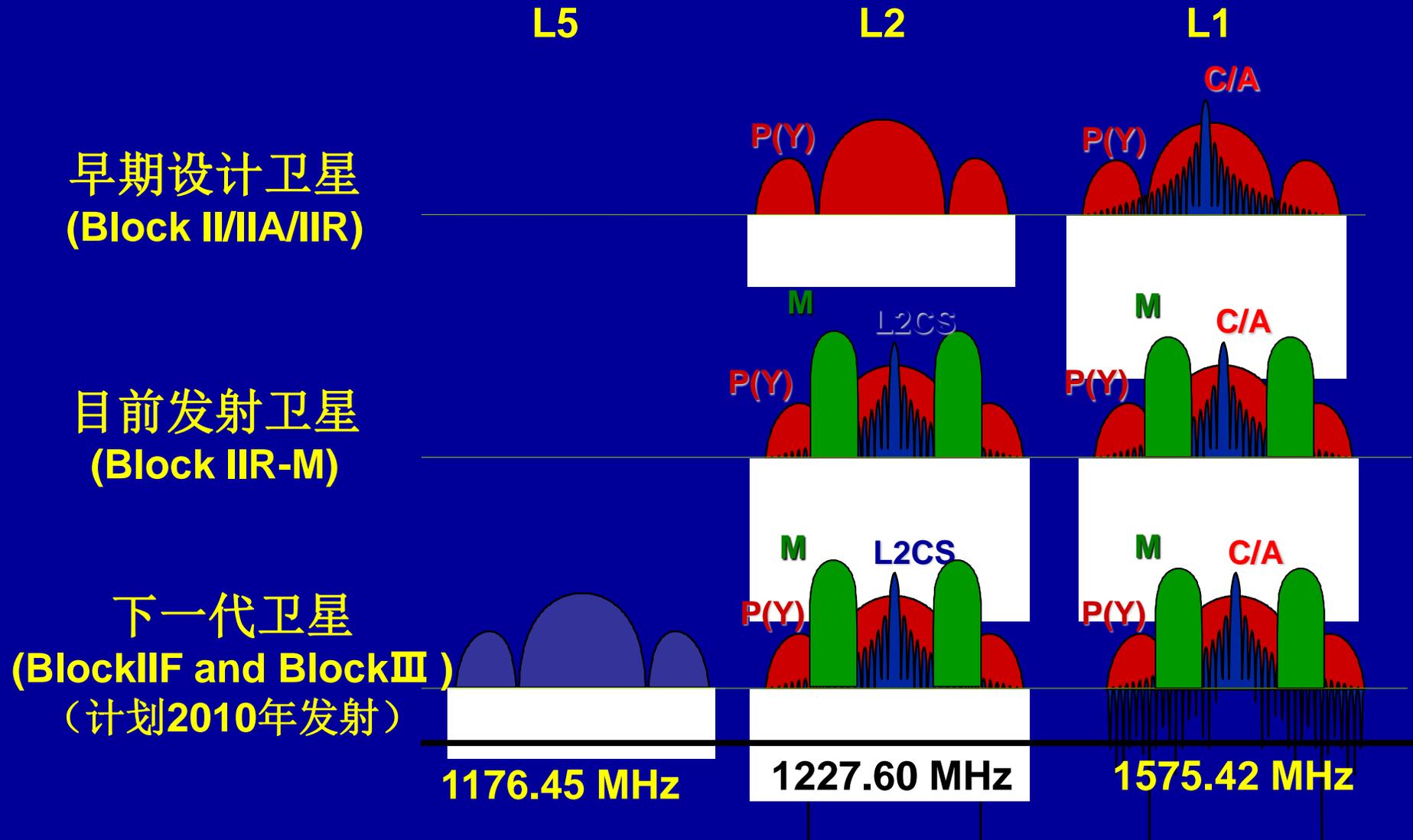
- IIR-M: IIA/IIR capabilities plus
- 2nd civil signal (L2C)
 - Earth coverage military code
 - Basic anti-jam power (+7dB)
- IIF: IIR-M capability plus
- 3rd civil signal (L5)

Block III

Evolutionary acquisition:

- Increased anti-jam power (+20dB)
- Increased accuracy (1.2m/4.8m)
- Satellite Crosslinks
 - Controlled integrity
- Backward compatibility
- Increased security
- Assured availability
- System survivability

美国GPS现代化信号结构变化



美国GPS现代化的目的

- **保护**

- 采用一系列措施保护GPS系统不受敌方和黑客的干扰，增加GPS军用信号的抗干扰能力，其中包括增加GPS的军用无线电信号的强度。

- **阻止**

- 阻止敌方利用GPS的军用信号。设计新的GPS卫星型号（IIF），设计新的GPS信号结构，增加频道，将民用频道L1、L2、L5(1.17645GHz)和军用频道L3、L4分开。

- **改善**

- 改善GPS定位和导航的精度，在GPSIIF卫星中增加两个新的民用频道，即在L2中增加CA码，另增L5民用频道。

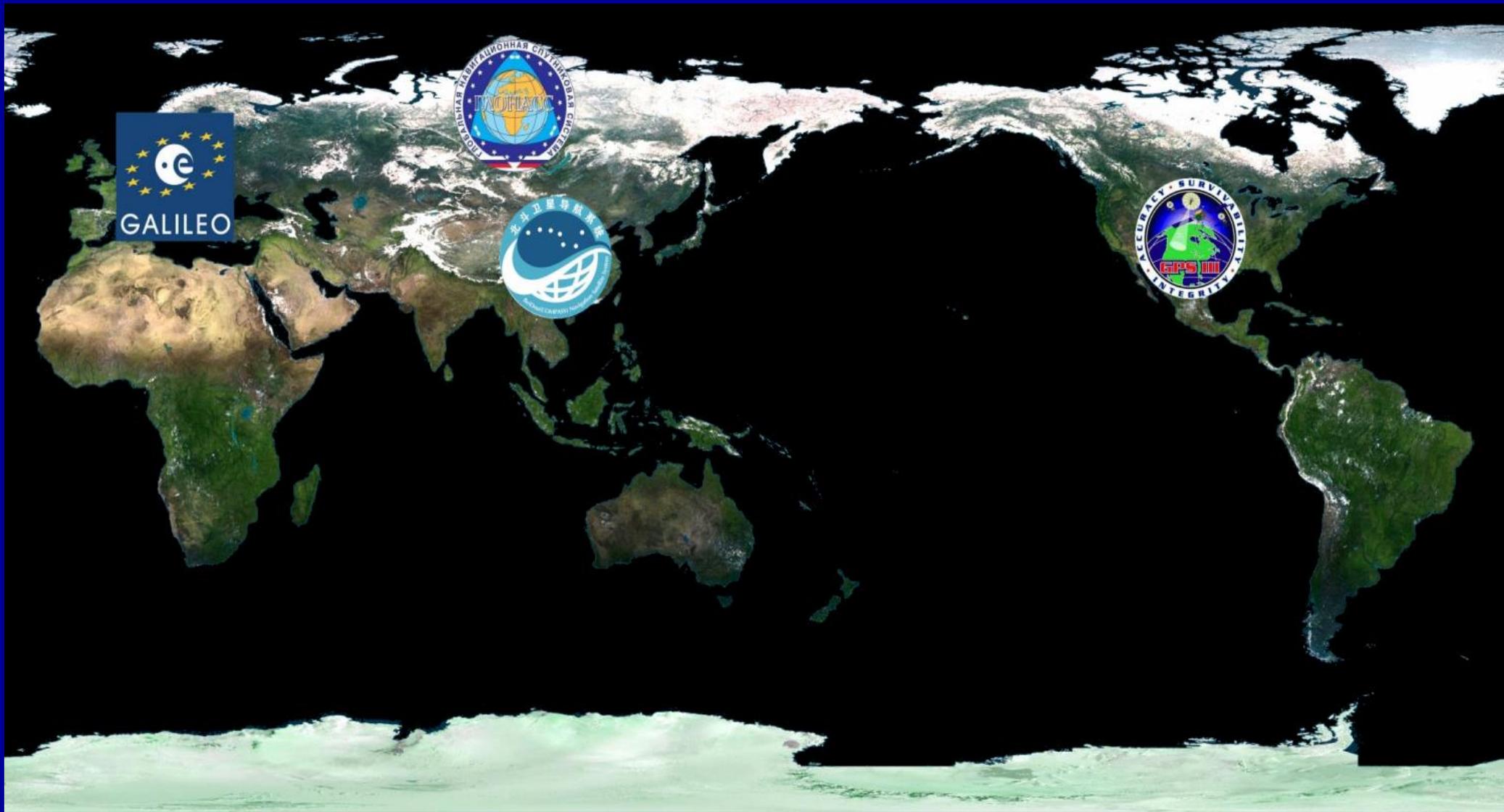
3、全球导航定位系统（GNSS）的介绍比较

在2020年前，世界将建成四大全球导航定位系统：美国GPS、俄罗斯GLONASS，欧盟GALILEO以及中国BDS。

除了上述四个全球系统及其增强系统（美国的WAAS、欧洲的EGNOS和俄罗斯的SDCM）外，还包括法国DORIS、德国PRARE、日本QZSS和增强系统MSAS，印度IRNSS和静地增强导航系统GAGAN等。

全球导航卫星系统GNSS







1、GLONASS系统的组成

与GPS系统一样，GLONASS系统包括21颗工作卫星和3颗备用卫星，均匀分布在3个轨道平面内。

卫星高度19100km，轨道平面倾角64.8度，卫星运行周期11小时15分（恒星时），卫星信号频率为

$$1.6 \times 10^3 \text{ MHz} \text{ 和 } 1.2 \times 10^3 \text{ MHz}$$

2、GLONASS系统的发展

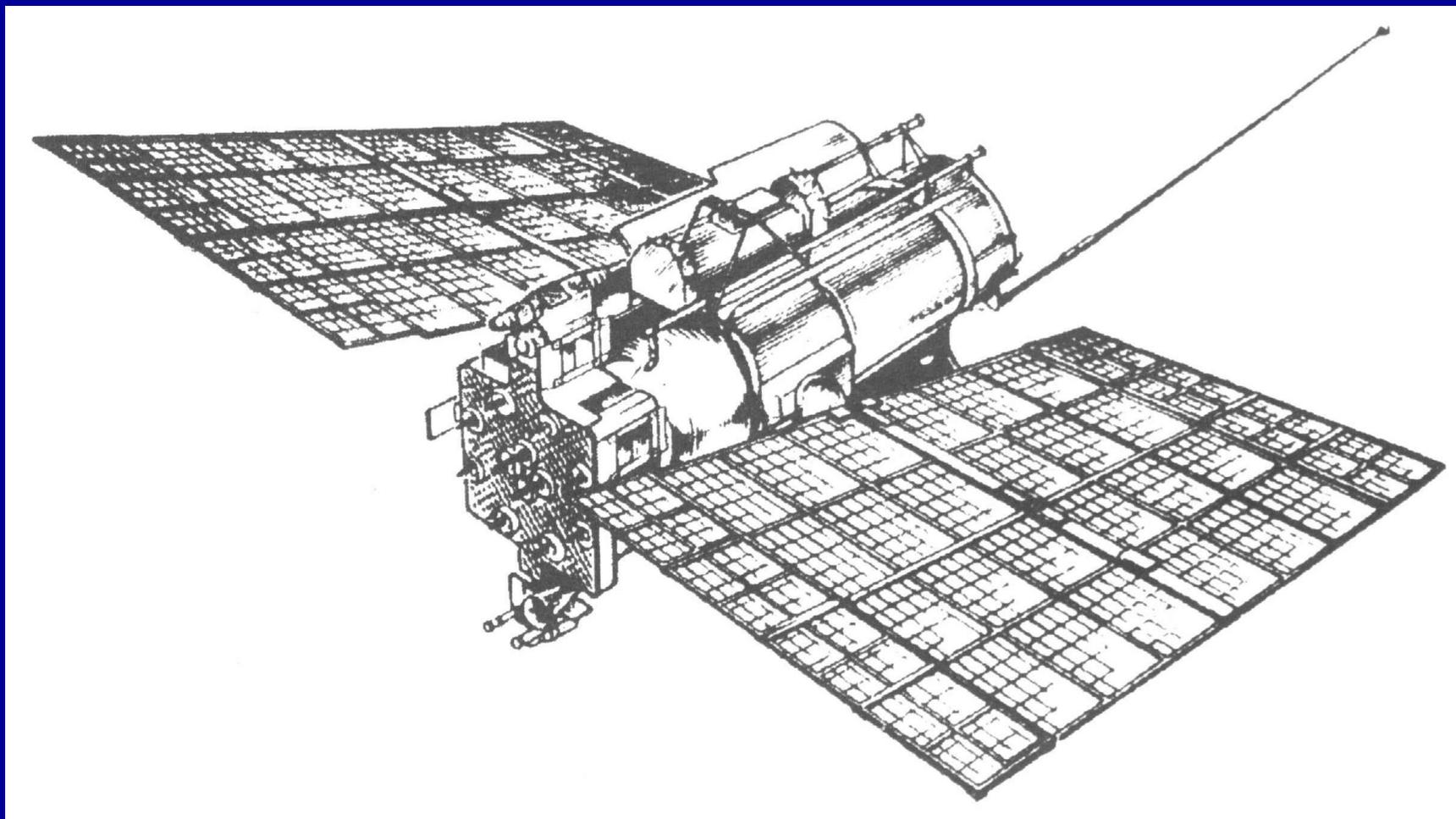
由前苏联国防部独立研制和控制的军用导航系统，开始于70年代；
1982年发射第一颗GLONASS卫星；
1995年底建成满星座运行。

GLONASS 发展历程 (1)

- 研发阶段
 - 70年代初, 前苏联国防部开始研制 GLONASS
 - 1982年10月, 发射第一颗GLONASS卫星
- 试运行阶段 (Pre-operational Phase)
 - 1982 - 85, 10颗 Block I 型卫星投入使用 (Kosmos 1414-1650)
- 正式运行阶段
 - 1985 - 86, 6颗 Block IIa 卫星发射(K. 1651-1780)
 - 1987 - 88, 12颗 Block IIb 卫星发射 (K. 1838-1948)
 - 1988 - 94, 31 颗Block IIv卫星发射 (K. 1970-2289)

GLONASS发展历程 (2)

- 1988年 GLONASS 提供民用
- 1989-1990 由于卫星故障，暂停发射一年
- 1994年8月 - 增发 GLONASS 卫星
- 1995年7月 俄罗斯联邦政府正式宣布: GLONASS可以作为全球卫星导航定位系统之一



GLONASS 卫星

3、GLONASS系统的问题

- 1) 卫星寿命短;
- 2) 信号故障多;
- 3) 没有大批量生产接收机供应;
- 4) 没有扩展应用。

**2001年开始进行GLONASS现代化，目前已
实现在轨满星座24颗卫星！**

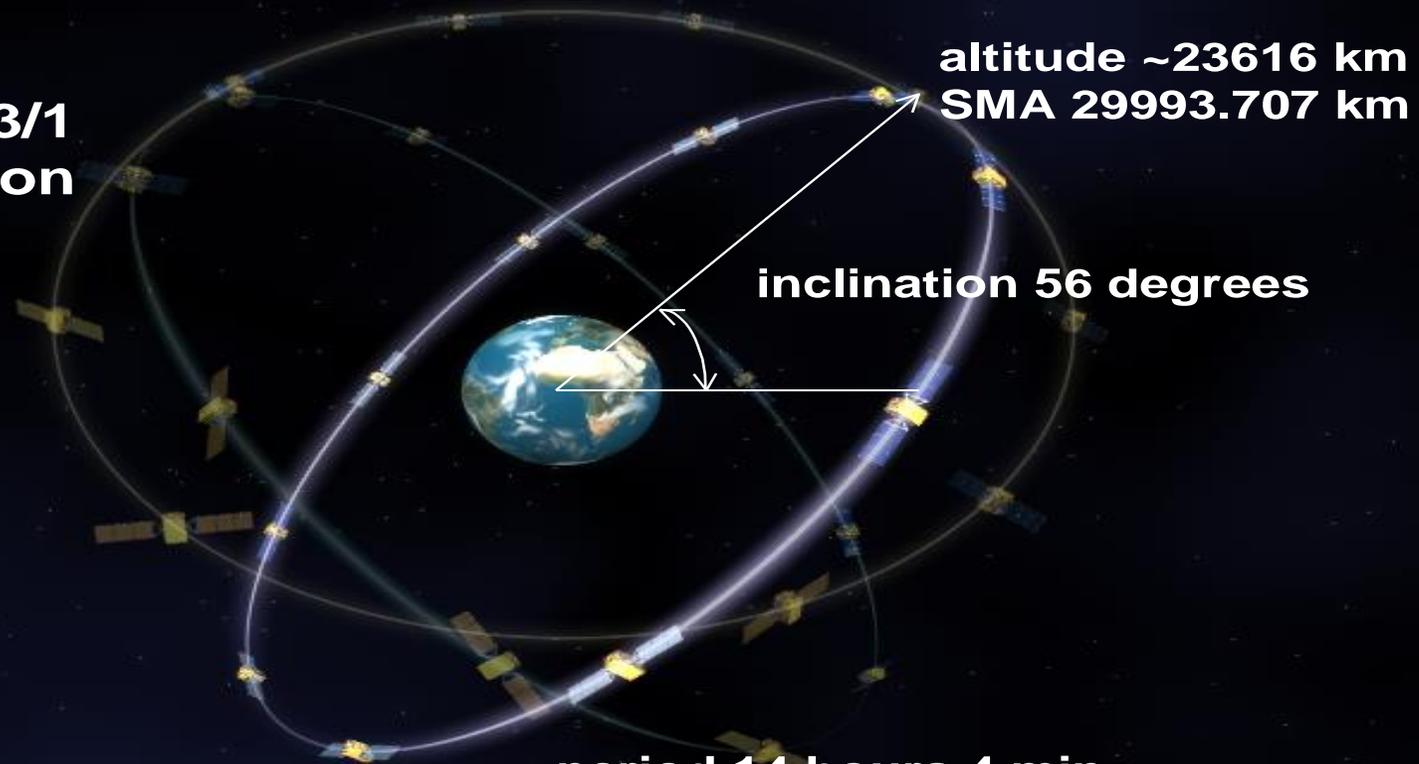
(二) Galileo计划 (伽利略计划)



- 欧盟的Galileo系统

GALILEO DATA

Walker 27/3/1 Constellation



27 + 3 satellites in three
Medium Earth Orbits (MEO)

- period 14 hours 4 min
- ground track repeat about 10 days

Galileo系统的组成

■ 太空部分

由30颗Galileo卫星组成，分布在三个高度为23616千米，轨道倾角为56度的轨道上，每个轨道有9颗工作卫星外加1颗备用卫星。备用卫星停留在高于正常轨道300千米的轨道上。卫星使用的时钟是铷钟和无源氢钟，卫星上除基本的载荷外，还有搜索救援载荷和通信载荷。

Galileo系统的组成

■ 地面部分

包括两个位于欧洲的Galileo控制中心和20个分布在全球的Galileo 传感站。除此之外还有若干个实现卫星和控制中心进行数据交换的工作站。Galileo控制中心主要负责控制卫星的运转和导航任务的管理。20个传感站通过通信网络向控制中心发传送数据。

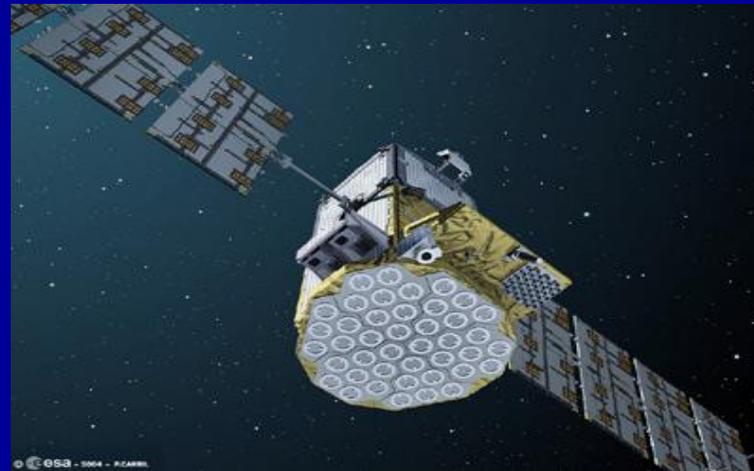
■ 用户部分

即Galileo接收机，由导航定位模块和通信模块组成。

Galileo系统试验卫星



GIOVE A

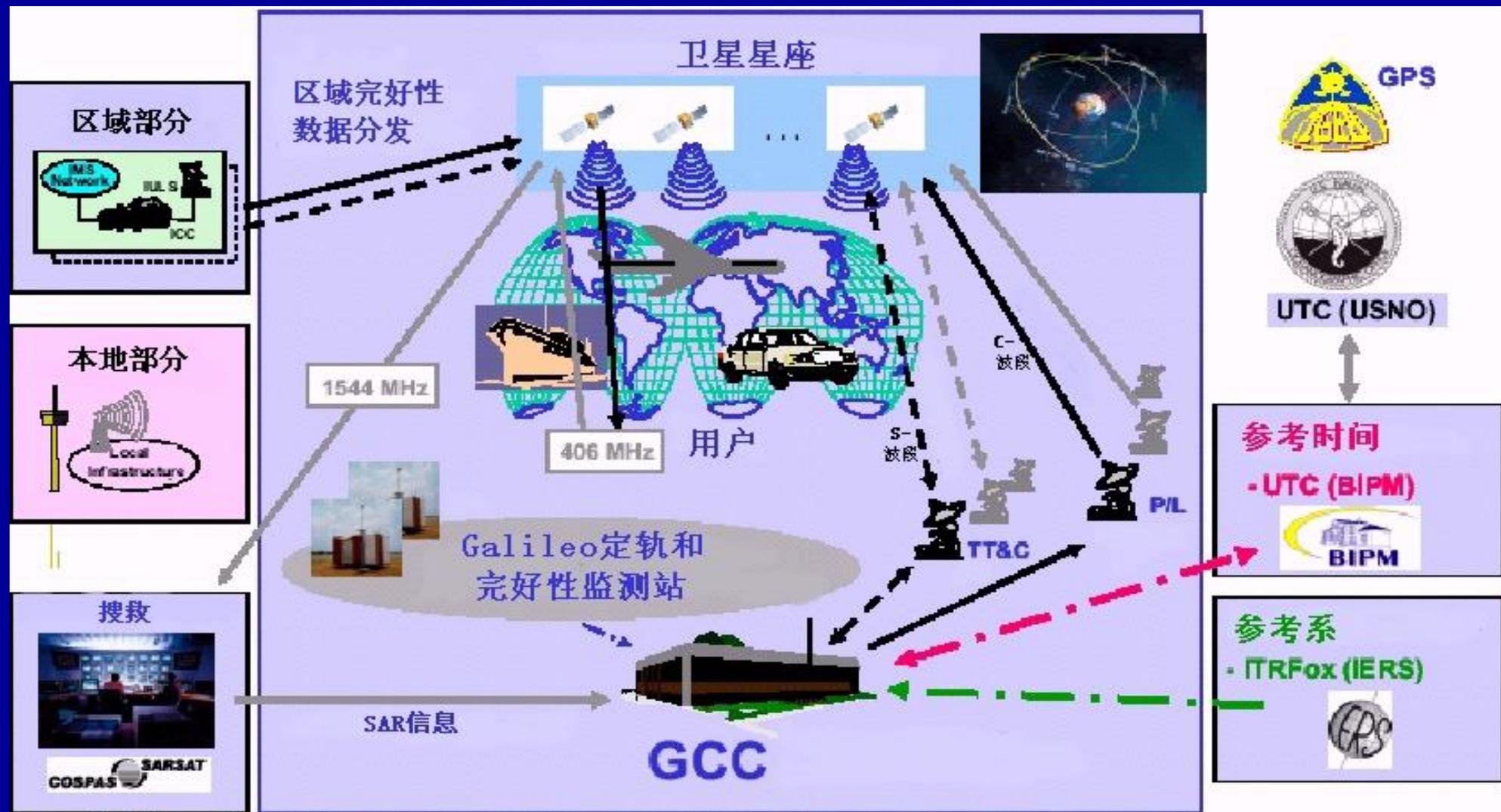


GIOVE B

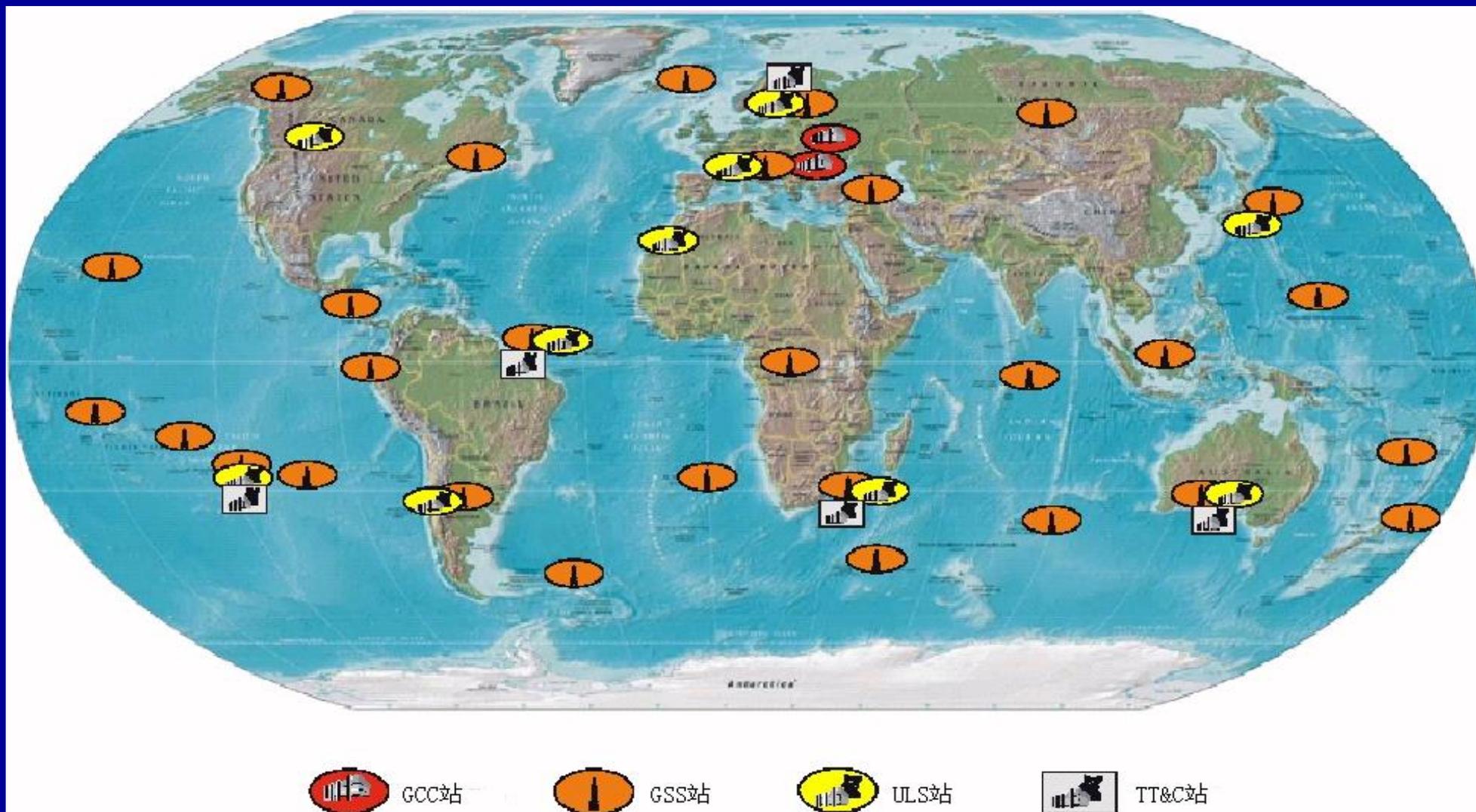
the GIOVE Satellite

- **GIOVE的主要目标：**

- 频率信号测试；
- 验证一些关键技术（比如铷原子钟、氢原子钟）；
- 轨道环境特征测试；
- 并行2或3通道信号传输测试。



Galileo系统体系结构图



Galileo全球地面监测控制站分布示意图

欧洲认为不能依赖于GPS或GLONASS有三个理由：

- 1) 欧洲安全攸关的导航系统的管辖或保安问题不能落到欧洲控制以外；
- 2) 需要确保欧洲用户不至于陷入被独占和垄断服务供应者改变服务或引入收费机制的被动局面和困境；
- 3) 欧盟工业界需要有效地进入有利可图的全球市场。

Galileo系统服务的精度指标及其服务领域

(1) 公开服务（免费）：15-20米（单频）、5-10米（双频）

(2) 商业服务：5-10米（全球，双频）、1-10米（局部）

(3) 公共事业服务：4-6米（全球，双频）、1米（局部）

Galileo计划设计为支持各种领域广泛应用，包括实时导航、位置基准、安全和应急跟踪、体育、休闲服务和支持政府公共事业的需要。

Galileo系统建设的时间表：

(1) 第一阶段（1999-2001）：定义Galileo系统的框架，制定
发展计划；

(2) 第二阶段（2001-2005）：发展阶段；

(3) 第三阶段（2006-2007）：实施阶段，进行卫星的研制、
卫星的发射及地面设施建设；

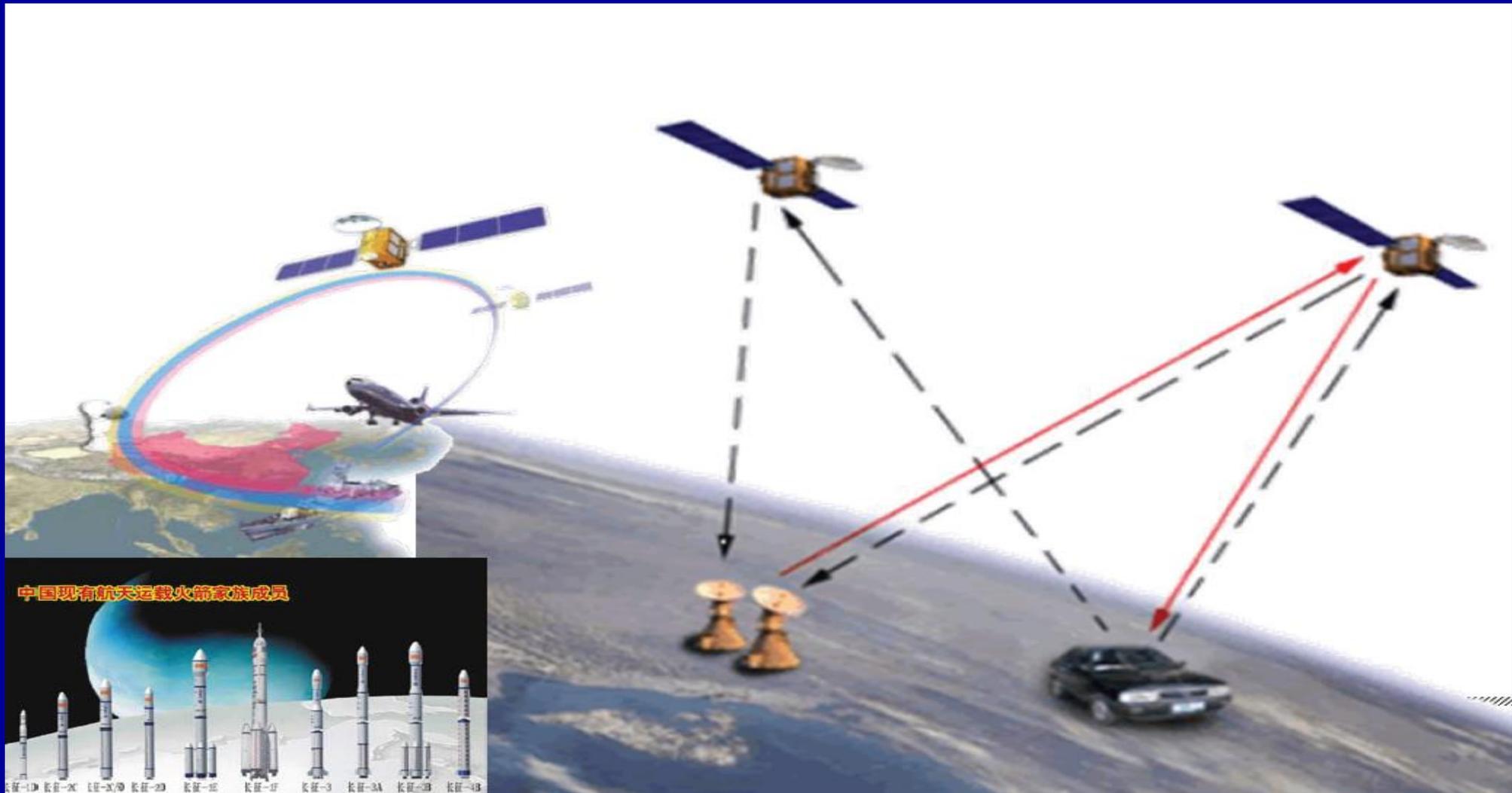
(4) 第四阶段（2008-2020）：运行应用阶段。

因为经费问题，伽利略计划被延迟，目前仅有
2颗工作卫星和6颗试验卫星在轨。

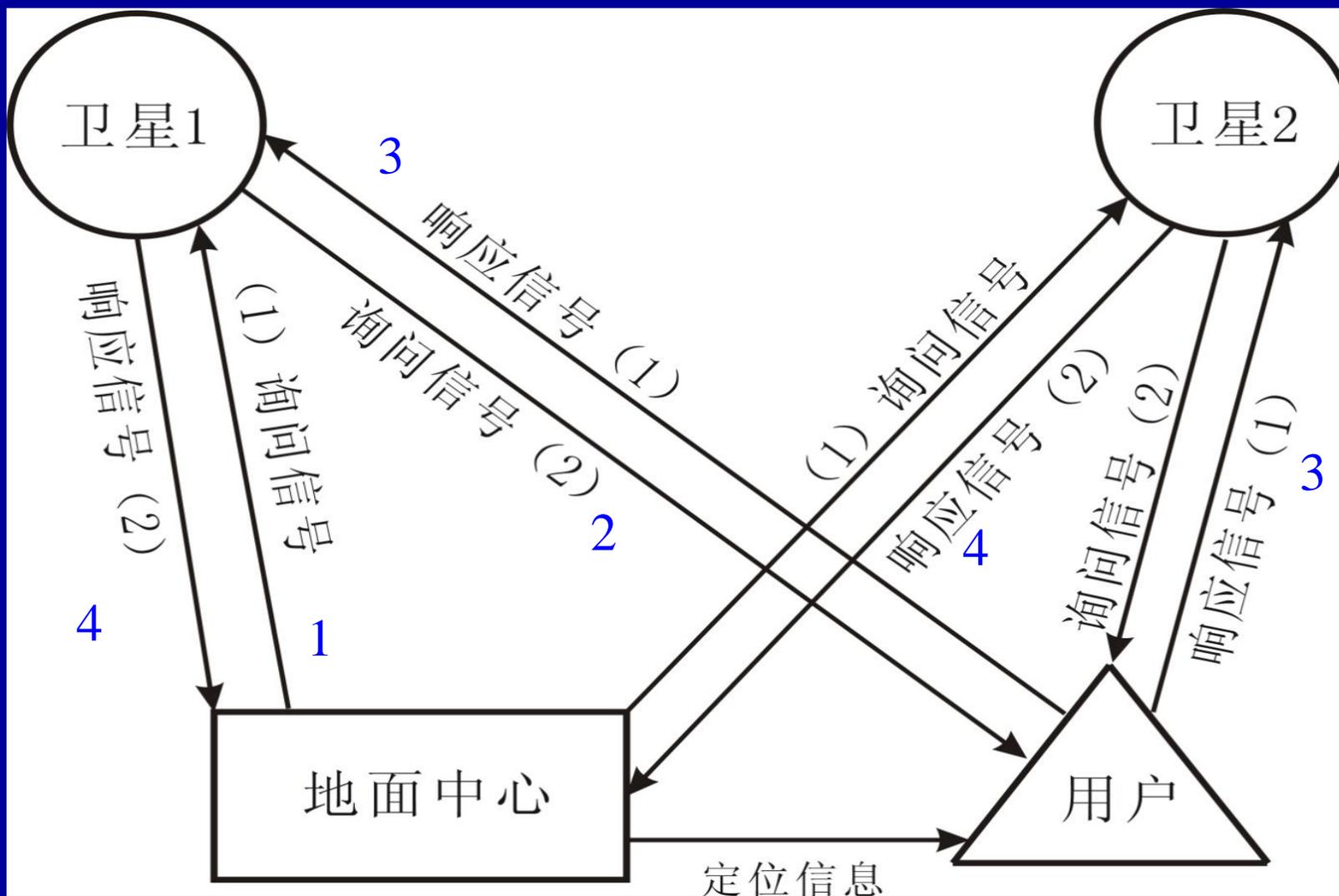
（三）中国的Beidou\BDS系统

我国为了克服对美国GPS导航定位系统的过度依赖，陈芳允院士于1983年提出了建设自己的双静止卫星导航定位系统的设想，经过十几年的论证与研制，于2000年10月和12月分别成功发射了两颗“北斗”导航定位卫星，并于2003年5月发射了第三颗“北斗”导航备份卫星，标志着我国已拥有了自主完善的第一代卫星导航定位系统，该系统就是一个有源导航定位与通讯系统。

中国的Beidou双星定位系统



中国的Beidou双星系统定位原理



“北斗”双星是我国的第一代导航定位系统，尽管有许多不足，但也具有GPS系统所没有的优点。更重要的是它结束了我国无自主导航定位系统以及完全依赖美国GPS系统的历史。目前我国正在进行第二代卫星导航定位系统的建设。

中国北斗二代BDS系统

二代系统在继承北斗卫星系统已有研究基础之上，建立MEO+GEO+IGSO卫星的全球覆盖星座框架，采用单向时间被动式测距，实现无源定位，用户容量不受限制的导航系统体制。中国二代卫星导航定位系统将从根本上克服BD-1系统的弱点。

中国北斗二代BDS系统组成

中国COMPASS系统将计划建成由35颗覆盖全球的卫星导航定位系统，其中包括目前4颗BD-1卫星在内的5颗地球同步轨道卫星（GEO）、3颗倾斜同步轨道卫星（IGSO）和27颗中轨卫星（MEO）。



中国BDS系统的进程

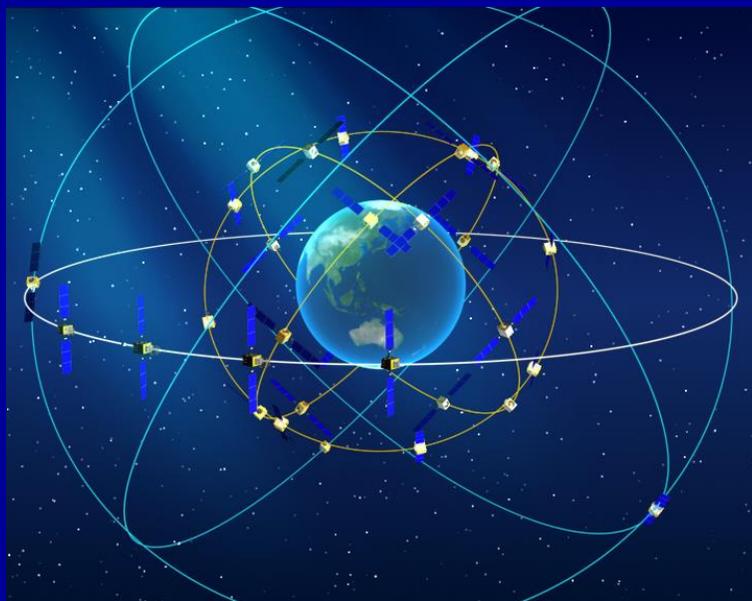
- ◆ 2007年4月14日，我国成功发射了首颗试验卫星**COMPASS-M1**，同时也拉开了第二代北斗导航系统布网建设的序幕。
- ◆ 2009年4月15日，我国成功将第2颗地球同步静止轨道卫星**COMPASS-G2**送入预定轨道，2010年1月17日又将第三颗静止轨道卫星**COMPASS-G3**送入预定轨道，这标志着北斗二号卫星组网稳步推进。
- ◆ 此后，中国自主研发的北斗二号系列卫星进入**组网高峰期**，已发射10余颗导航卫星，在**2012年**形成了覆盖亚太地区的卫星导航定位系统。

中国北斗卫星导航系统建设进程

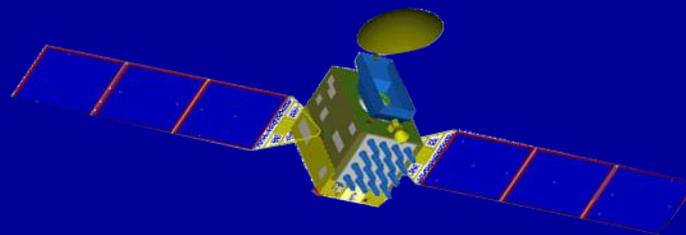
- ◆ 2012年10月25日，我国成功发射第16颗试验卫星G06。截止目前共发射16颗北斗导航卫星（M5、G6、IGS05）。
- ◆ 北斗卫星导航系统于2012年12月27日开始正式提供区域服务，并公布了北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件ICD(1.0版)，标志北斗卫星导航系统建设三步走的第二步顺利完成。
- ◆ 目前，北斗卫星导航系统可向亚太大部分地区正式提供连续无源定位、导航、授时等服务，其位置精度为平面10米、高程10米；测速精度每秒0.2米；授时精度为单向50纳秒。

中国北斗卫星导航系统组成

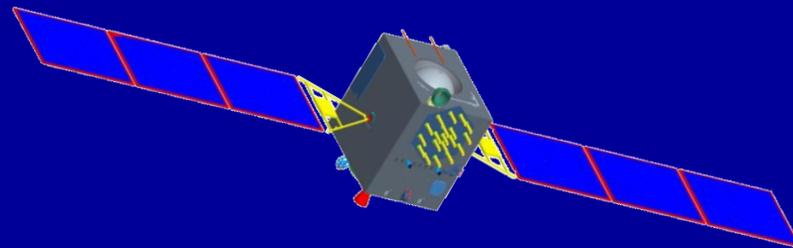
5颗GEO卫星和30颗Non-GEO卫星



BDS星座



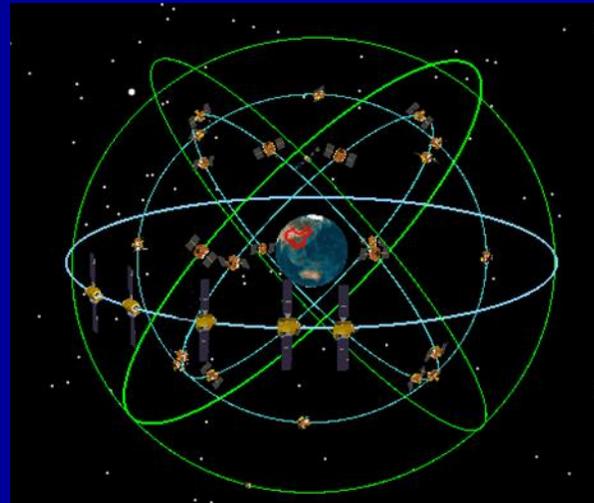
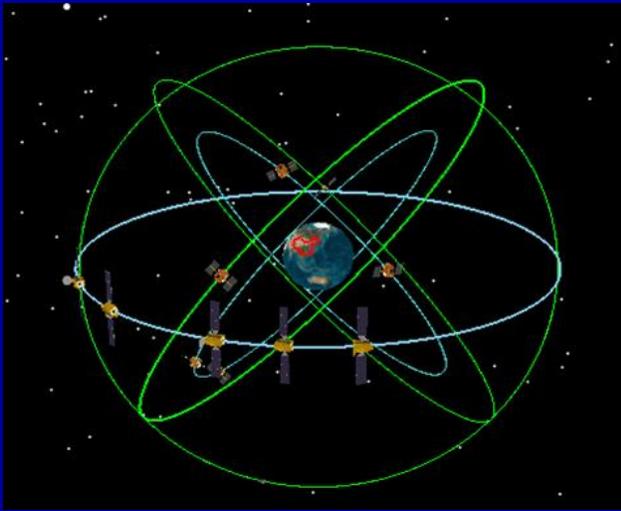
GEO 卫星



MEO 卫星

中国北斗卫星导航系统完成第二步

作为全球系统，北斗卫星导航系统首先在2012年左右覆盖亚太地区，并将在2020年前覆盖全球。



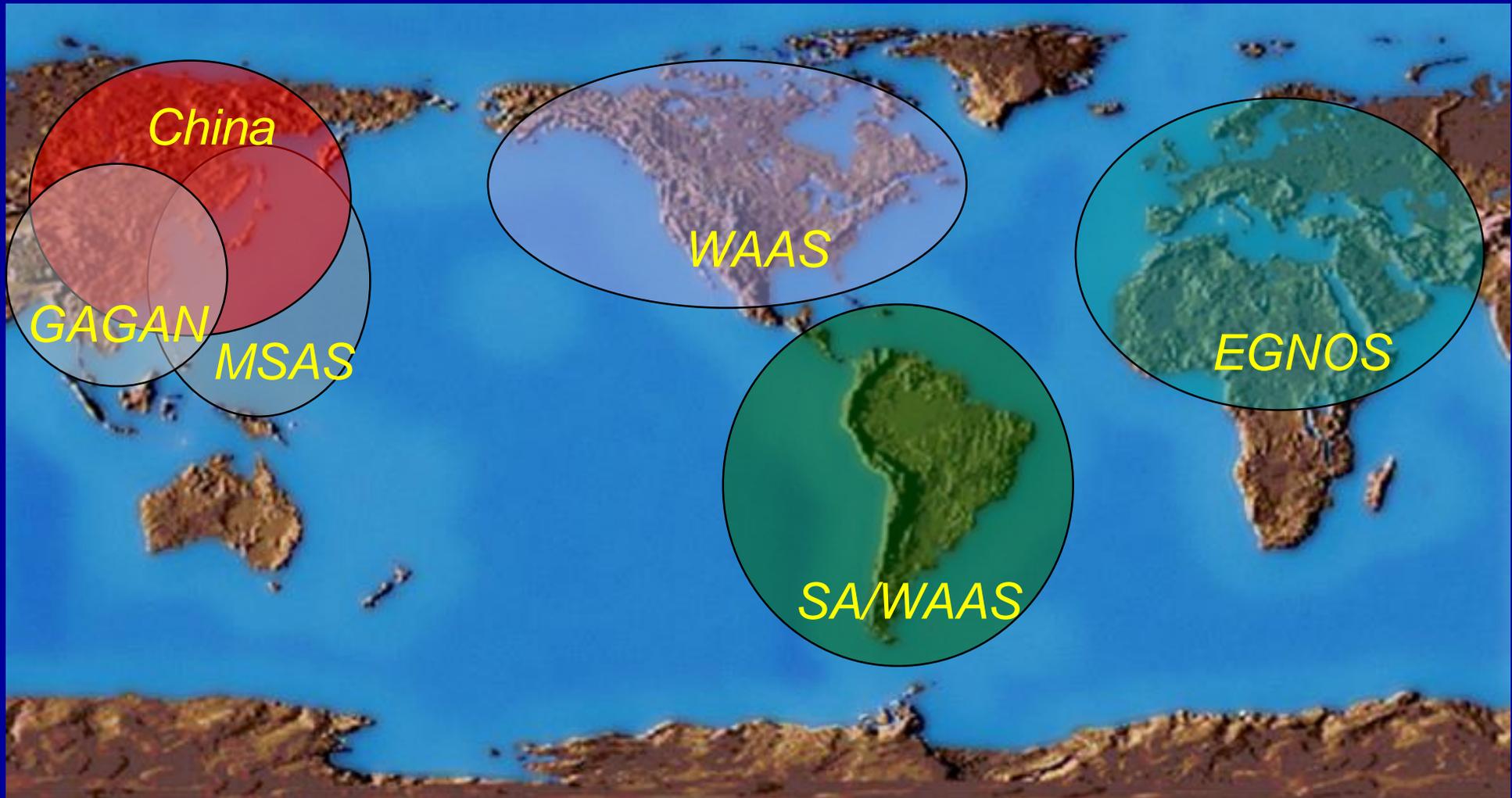
北斗系统第二阶段
2012年左右

北斗系统第三阶段
2020年前

四大卫星导航系统的主要参数对比

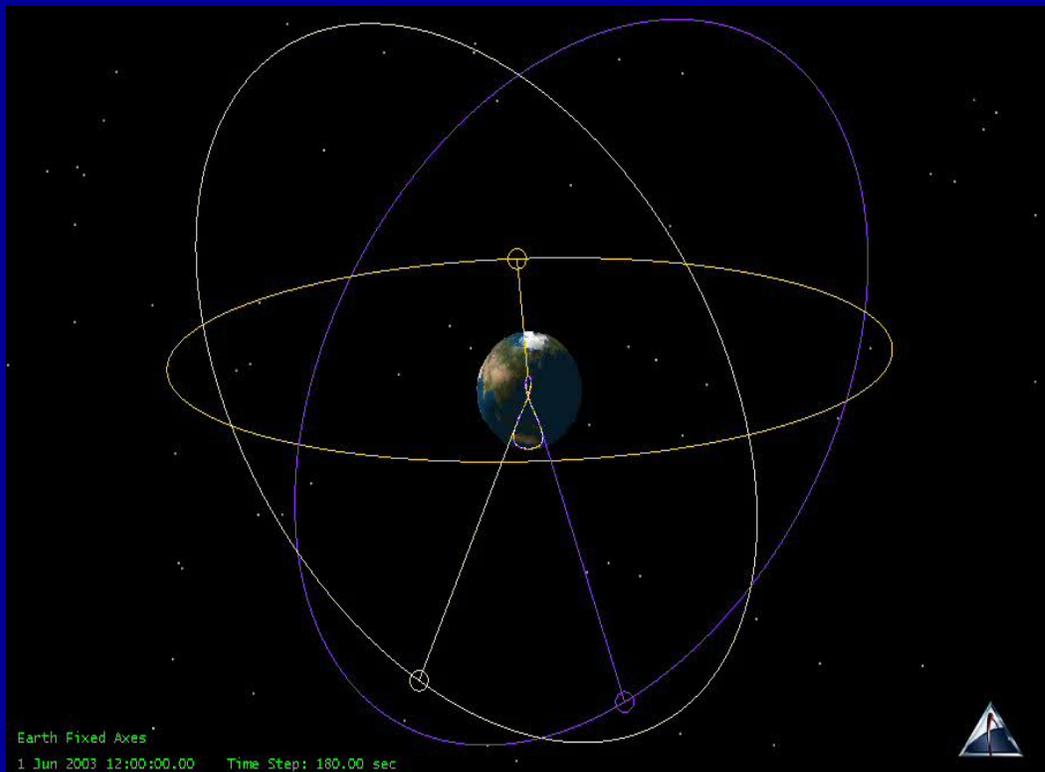
系统	GPS	BDS			GLONASS	GALILEO
		GEO	IGSO	MEO		
卫星数	32	5	5	4+	24	12
轨道面	6			3	3	3
轨道高度	20200	35786	35786	21538	19100	23226
卫星类型	MEO	GEO	IGSO	MEO	MEO	MEO
卫星天线类型 (2016,2,15)	BLOCK IIA BLOCK IIR-A BLOCK IIR-B BLOCK IIM BLOCK IIF (可发射三频观测数据)	BEIDOU-2G	BEIDOU-2I	BEIDOU-2M	GLONASS-M GLONASS-K1	Galileo-IOV
时间系统	GPST	BDT			GLONASST	GST
坐标系统	WGS-84	CGCS2000			PZ-90	GTRF
广播星历参数	轨道6根数	轨道6根数			位置速度	轨道6根数
频率 (MHZ)	L1:1575.420 L2:1227.600 L5:1176.450	B1:1561.098 B2:1207.140 B3:1268.520			Gi1=1602.5625+(i-1)*0.5625 Gi2=1246.4375+(i-1)*0.4375	E1: 1575.420 E5a:1176.450 E5b:1207.140 E5:1191.795 E6: 1278.750
轨道周期T(hh,mm,ss)	11,57,59.80	23,56,09.35	23,55,58.22	12,53,14.96	11,15,47.58	14,04,46.88
轨道半长轴(m)	26560840.41	42165886.26	42162252.98	27906577.24	25509542.31	29602137.25
轨道倾角(°)	55.06	1.61	54.38	55.54	65.5	55.1

全球广域星基增强系统

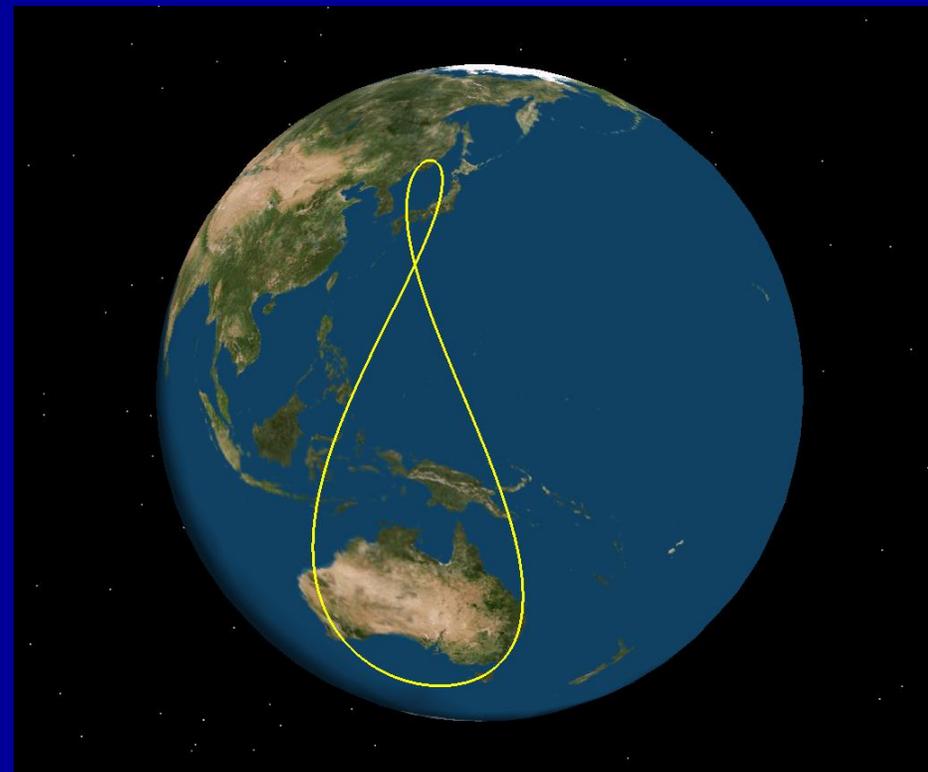


日本准天顶卫星系统QZSS

QZSS增强系统：日本政府和工业界联合投资，由三颗卫星组成，2009年发射第一颗卫星。



QZSS星座轨道

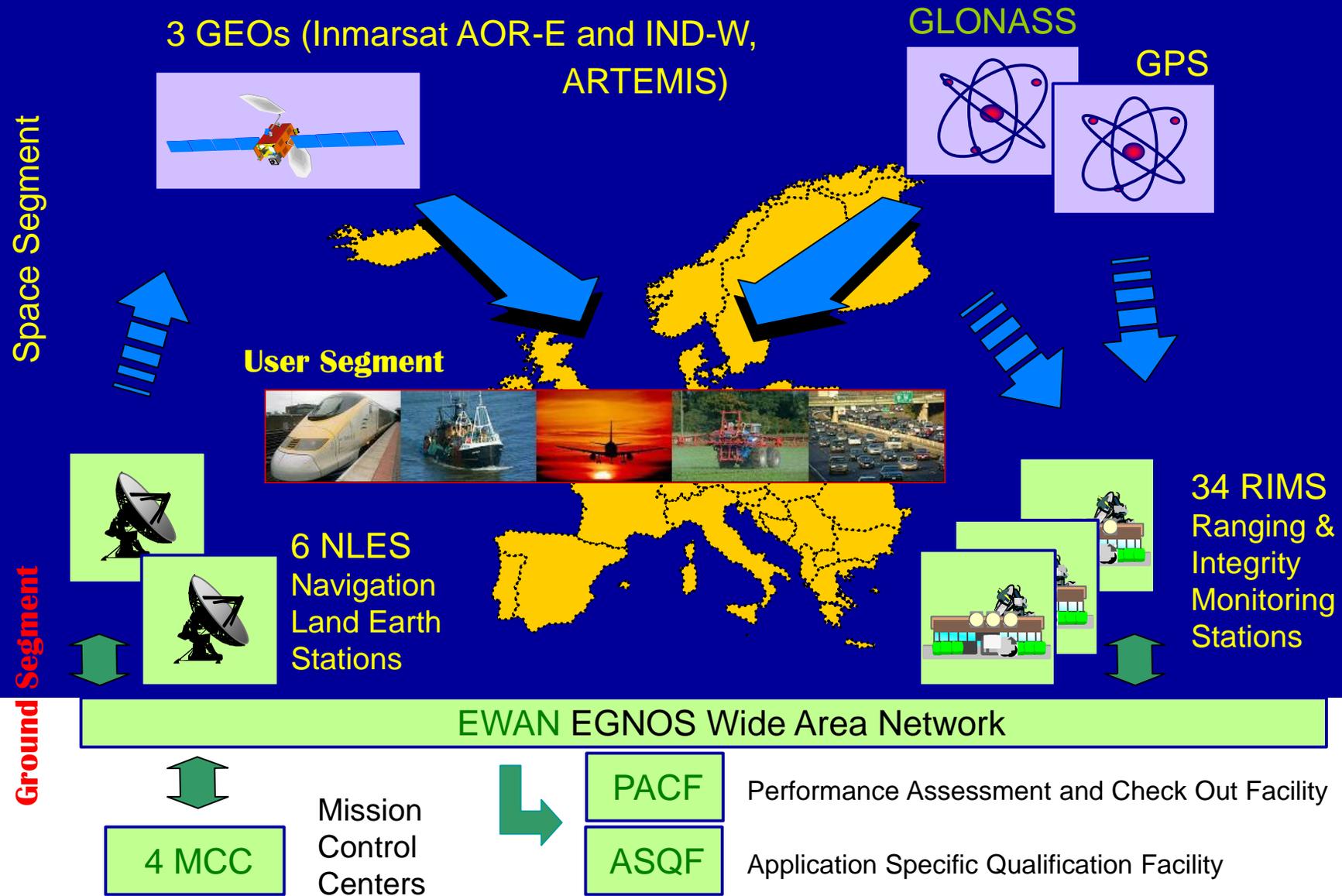


QZSS星下点轨迹

欧洲静地星导航重叠服务 EGNOS

欧洲静地星导航重叠服务（EGNOS）是正由欧洲开发的同时对GPS和GLONASS广域星基增强系统。它的原理与美国的WAAS类似，包括相应的地面设施和空间卫星，以提高GPS和GLONASS系统的精度、完好性和可用性。EGNOS是欧洲GNSS计划的第一阶段，即GNSS-1，并作为向欧洲GNSS-2（伽利略计划）发展的基础。

EGNOS 系统结构



3 GEOs (Inmarsat AOR-E and IND-W, ARTEMIS)

GLONASS

GPS

Space Segment

User Segment

Ground Segment

6 NLES
Navigation
Land Earth
Stations

34 RIMS
Ranging &
Integrity
Monitoring
Stations

EWAN EGNOS Wide Area Network

4 MCC

Mission
Control
Centers

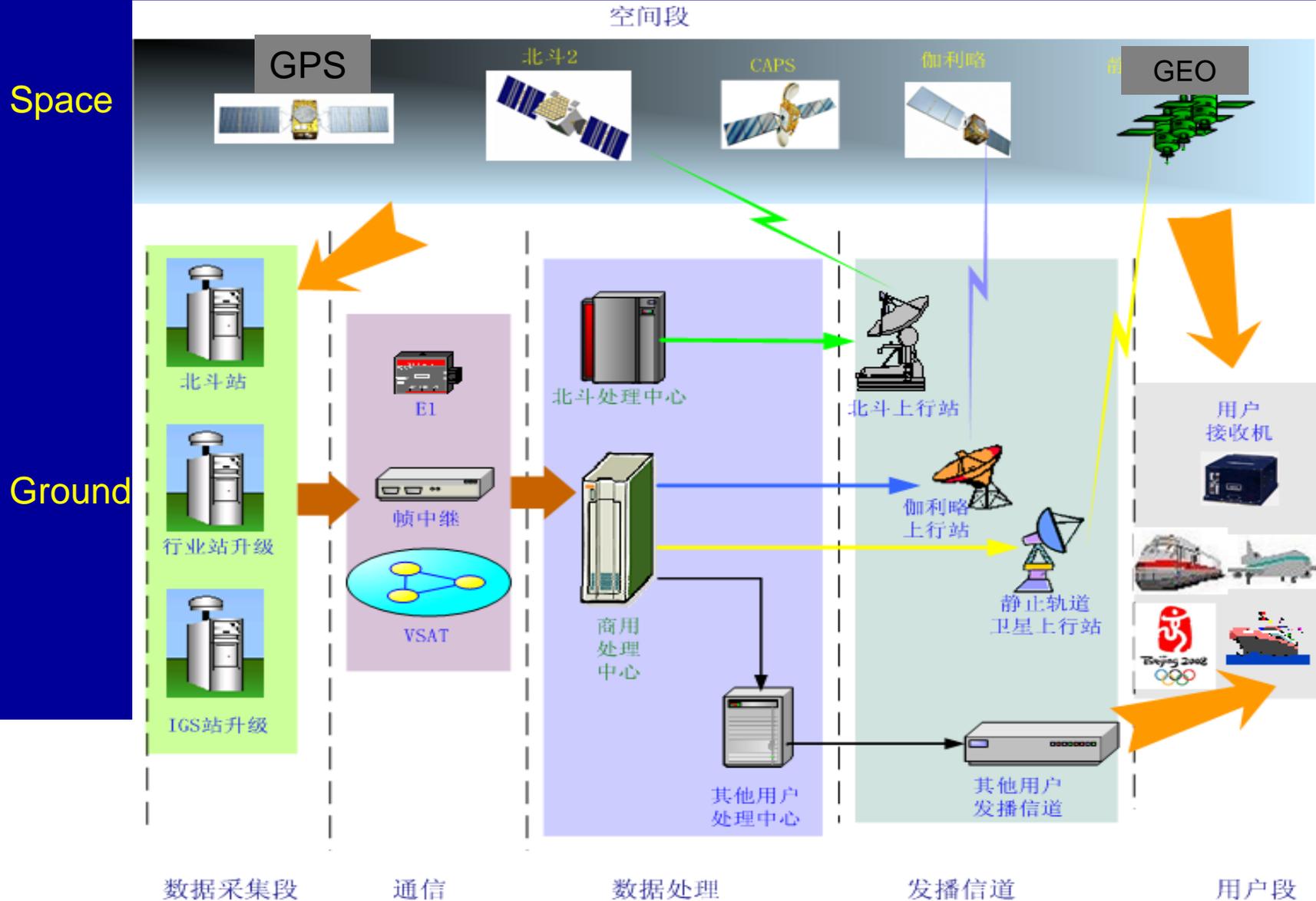
PACF

Performance Assessment and Check Out Facility

ASQF

Application Specific Qualification Facility

中国多模实时增强服务系统



本节结束!

