



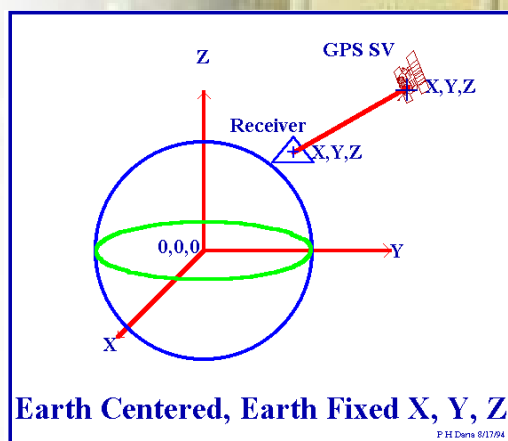
GPS定位原理与应用



Principles and Practice of GPS Positioning

第二章 坐标系统和时间系统

Chapter 2 Coordinate and Time System



主讲: 余学祥

xxyu9166@yahoo.com.cn



主要内容

The main contents

2.1 协议天球坐标系

Conventional Celestial Sphere Coordinate System

2.2 协议地球坐标系

Conventional Earth Coordinate System

2.3 WGS-84坐标系和我国的大地坐标系

World Geodetic System-1984 and
our national Geodetic Coordinate System

2.4 时间系统 Time System



思考题

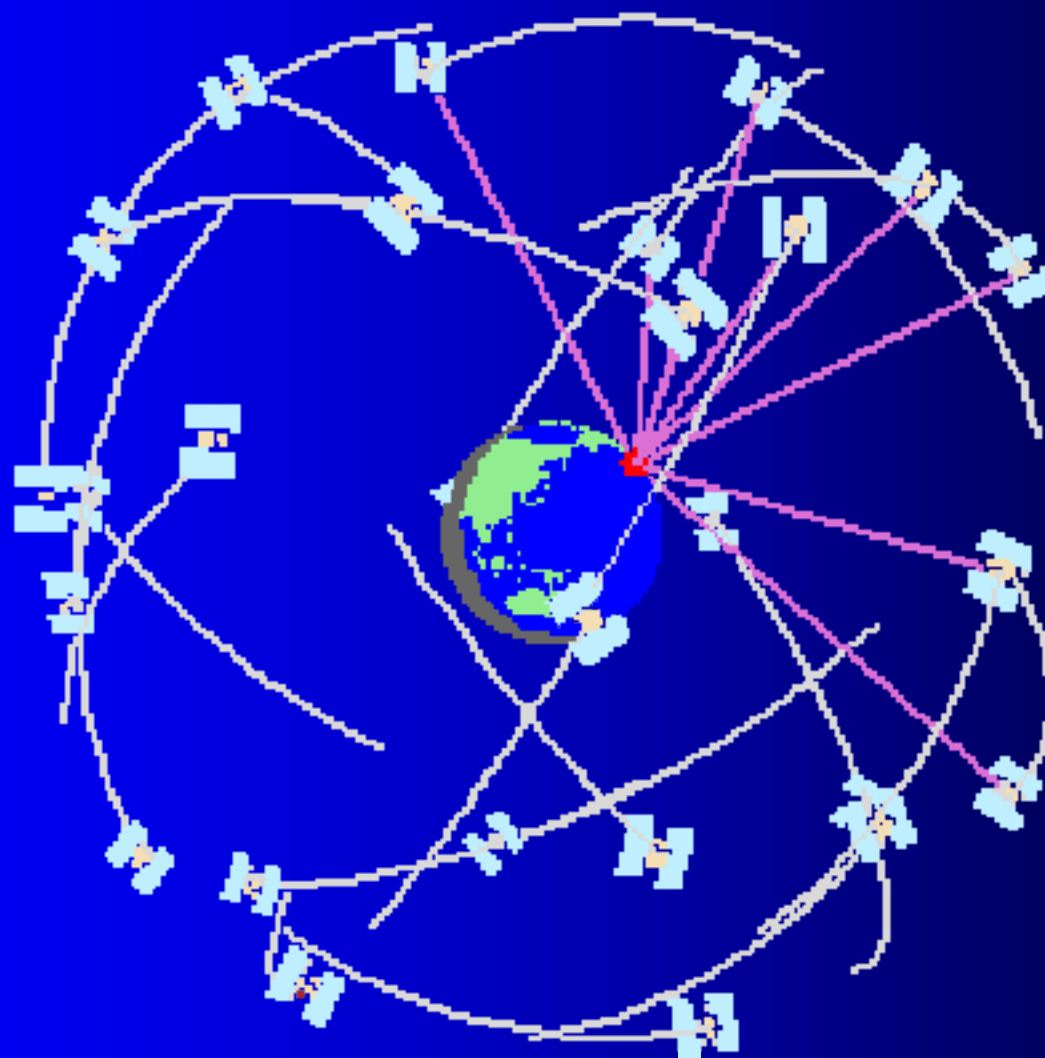
- 1、在GPS定位中，通常采用哪两种坐标系统？
- 2、何为天球？天球上有哪些主要的点、线、面？
- 3、天球空间直角坐标系和天球球面坐标系是如何定义的？二者间有何关系？
- 4、什么叫岁差和章动？二者对北天极的运动有何影响？
- 5、为什么要定义协议天球坐标系？它是如何定义的？
- 6、地心空间直角坐标系和地心大地坐标系是如何定义的？二者间有何联系？



思考题

- 7、什么叫极移？协议地球坐标系是如何定义的？
- 8、WGS-84坐标系是如何定义的？其主要参数是多少？
- 9、在GPS定位中时间系统有何重要意义？确定时间的基准是什么？
- 10、何为恒星时、世界时、原子时、协调世界时、GPS时？
- 11、GPS时和原子时、协调世界时有何关系？

第二章 坐标系统和时间系统——Coordinate and Time System





概 述

坐标系统与时间系统是描述卫星运动、处理观测数据和表达观测站位置的数学与物理基础。所以，了解GPS测量中的一些常用坐标系统和时间系统，熟悉它们各自间的转换关系，是极为重要的。本章将主要介绍天球坐标系与地球坐标系，以及有关时间系统的概念。



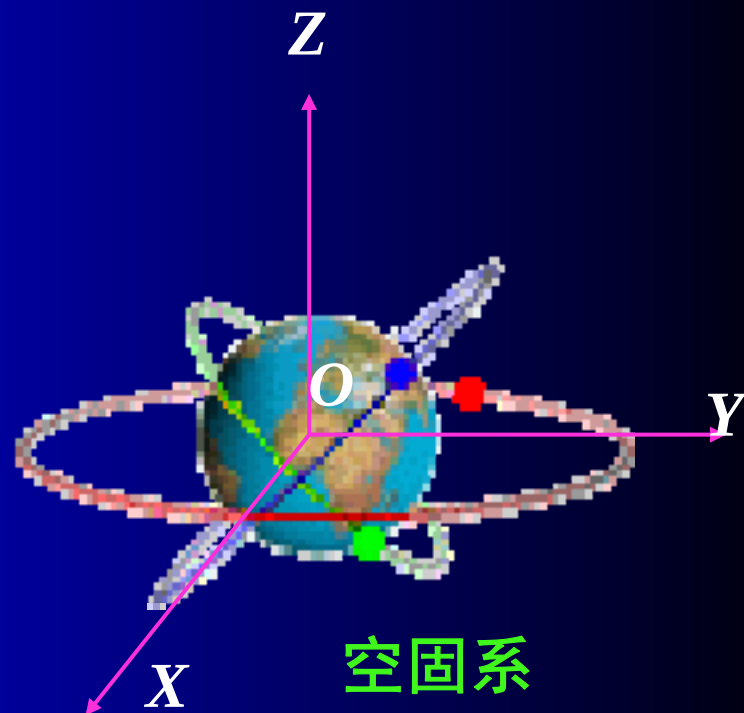
◆坐标系统大类划分

●一类是在空间固定的坐标系统（空固系）。

这类坐标系统与地球自转无关，对于描述卫星的运行位置和状态极为方便。严格说来，卫星的运动理论是根据牛顿引力定律，在惯性坐标系统中建立起来的，而惯性坐标系统在空间的位置和方向应保持不变，或仅作匀速直线运动。但是，实际上严格满足这一条件是困难的。在天体测量中，惯性参考系一般都是通过基本星表坐标系统来近似实现的。



● 另一类是与地球体相固联的坐标系统（地固坐标系）。这类坐标系统对于表达地面观测站的位置和处理GPS观测成果尤为方便。它在经典大地测量学(Geodesy)中，具有多种表达形式和极为广泛的应用。





◆坐标系统三个基本要素

坐标系统是由原点 (origin) 位置、坐标轴 (Coordinate axis) 的指向和尺度 (Scale) 所定义的。在GPS测量中, 坐标系的原点一般取地球的质心 (the mass center of the earth), 而坐标轴的指向具有一定的选择性。为了使用上的方便, 国际上都通过协议来确定某些全球性坐标系统的坐标轴指向, 这种共同确认的坐标系, 通常称为协议坐标系 (Conventional Coordinate System)。

第二章 坐标系统和时间系统

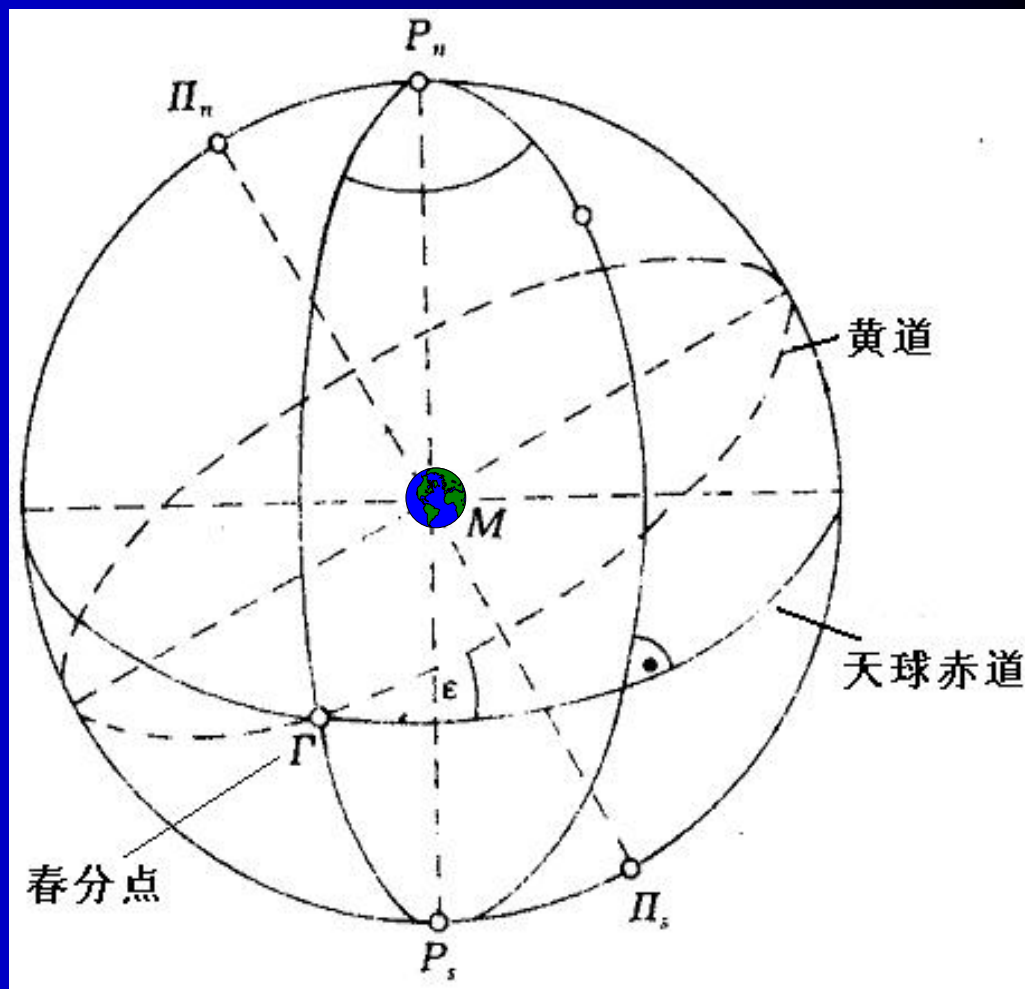


2.1 协议天球坐标系

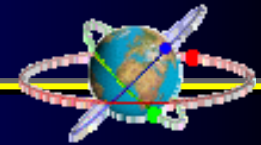
Conventional Celestial Coordinate System

一、天球的基本概念

● **天球**: 是指以地球质心 M 为中心, 半径 r 为任意长度的一个假想的球体。

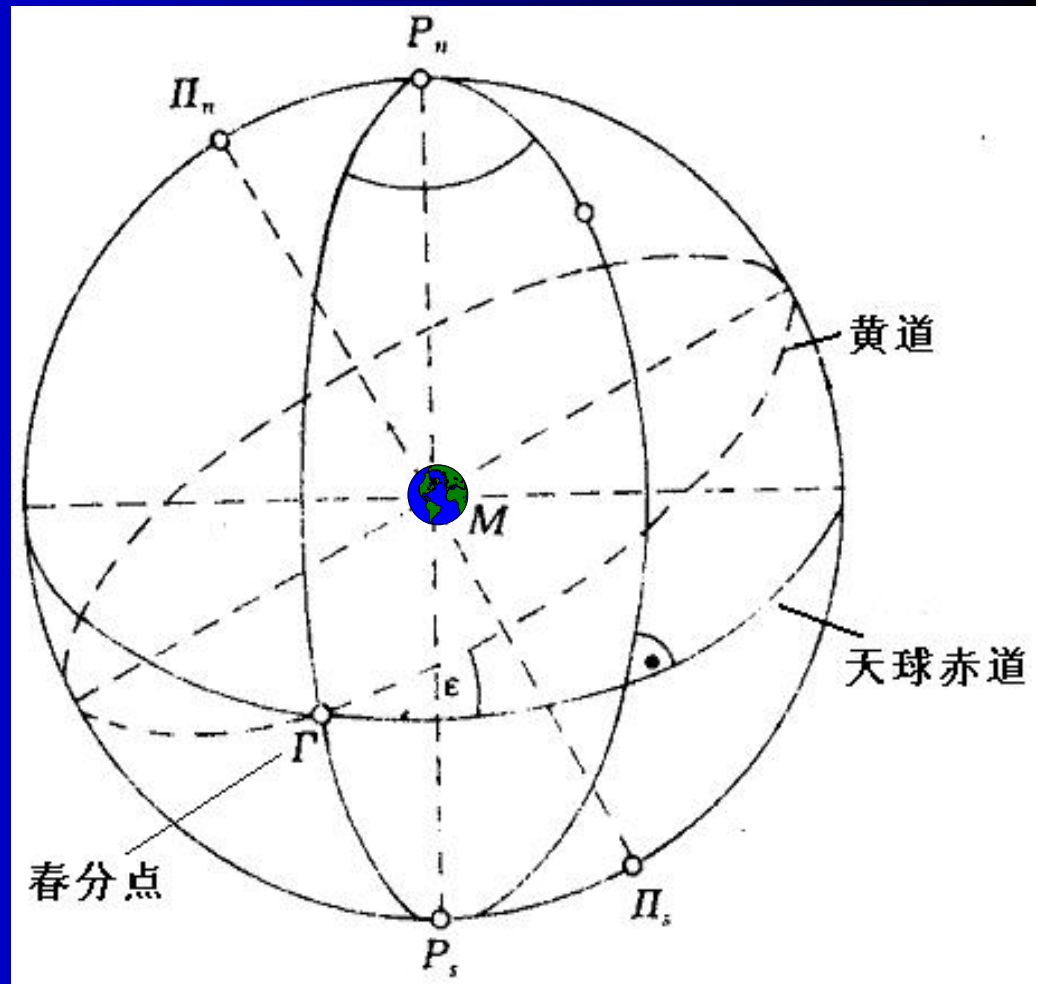


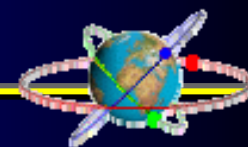
第二章 坐标系统和时间系统



2.1 协议天球坐标系

在天文学中，通常均把天体 (celestial bodies) 投影 (project) 到天球的球面，并利用球面坐标系统来表达或研究天体的位置及天体之间的关系。为了建立球面坐标系统，必须确定球面上的一些参考点、线、面和圈。在全球定位系统中，为描述卫星的位置也将涉及到这些概念。



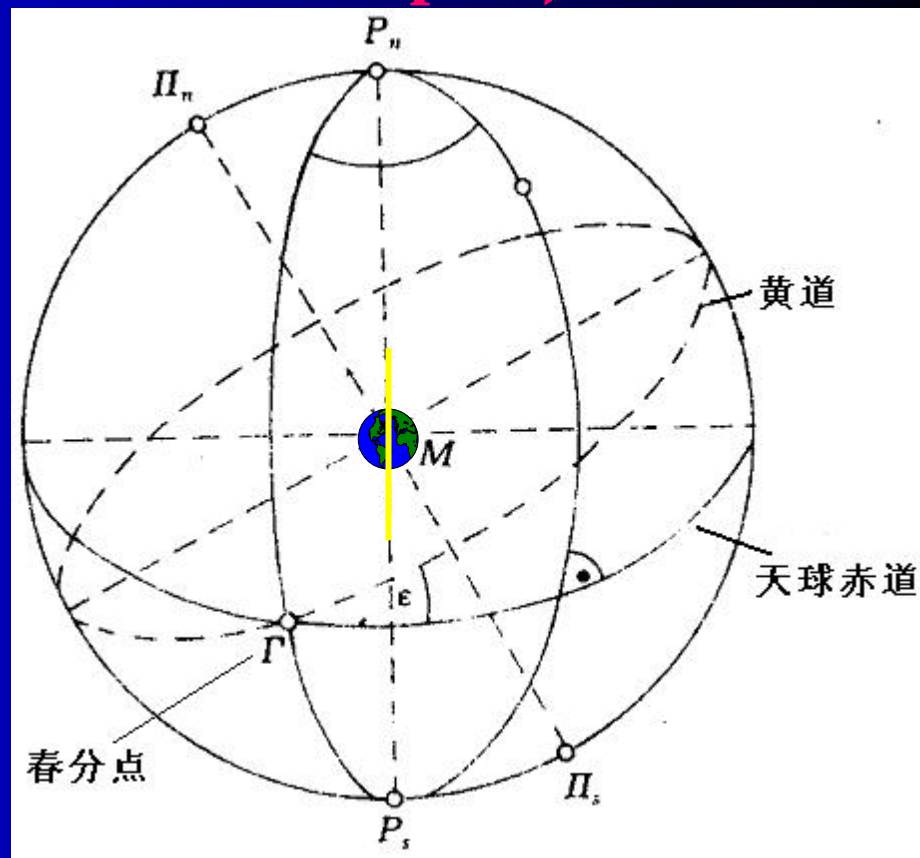


1、天轴和天极 (celestial axis and celestial pole)

地球自转轴的延伸称为天轴；天轴与天球的交点 P_n 、 P_s 称为天极，其中 P_n 称为北天极， P_s 称为南天极。

2、天球赤道面与天球赤道

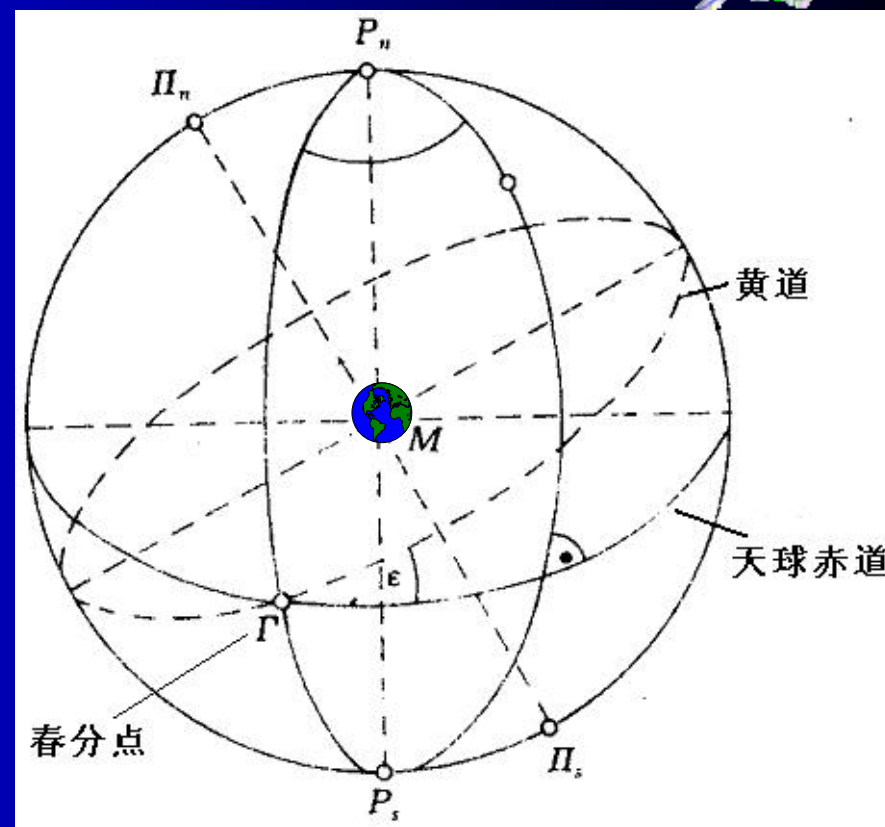
通过地球质心并与天轴垂直的平面，称为天球赤道面。这时天球赤道面与地球赤道面相重。该赤道面与天球相交的大圆称为天球赤道。





3、天球子午面与天球子午圈

包含天轴并通过地球上任一点的平面，称为天球子午面(Meridian Plane; Meridional)。而天球子午面与天球相交的大圆称为天球子午圈(Celestial Meridian)。



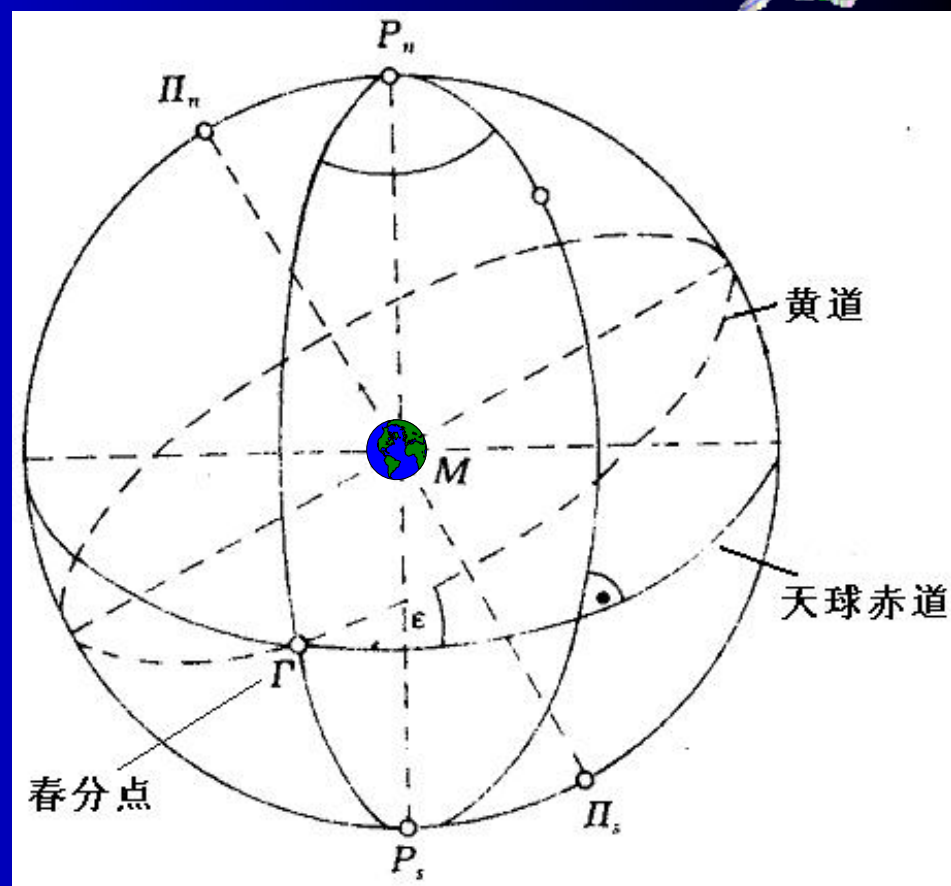
4、时圈

通过天轴的平面与天球相交的半个大圆。



5、黄道(ecliptic)

地球公转的轨道与天球相交的大圆，即当地球绕太阳公转时，地球上的观测者所见到的太阳在天球上运动的轨迹。黄道面与赤道面的夹角 ϵ 称为**黄赤交角**，约为 23.5° 。（Obliquity of the ecliptic）

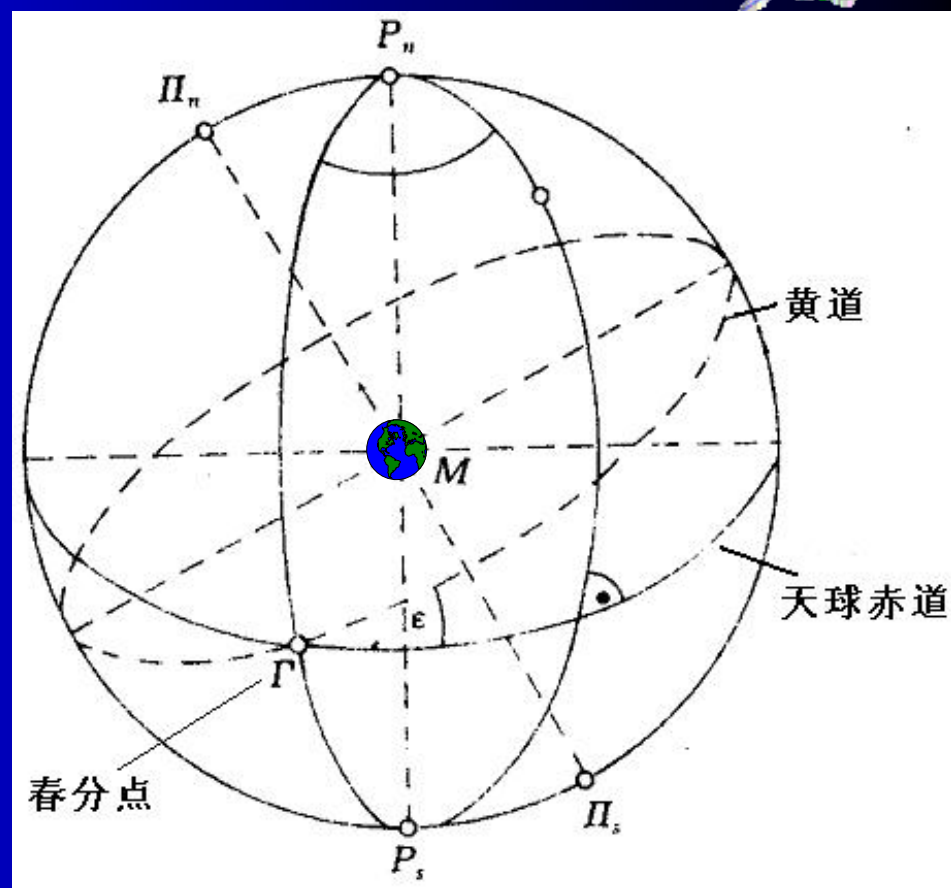


The intersection plane of the earth's orbit with the celestial sphere, along which the sun appears to move as viewed from the earth.



6、黄极(ecliptic pole)

通过天球中心，且垂直于黄道面的直线与天球的交点，其中靠近北天极的交点 Π_n ，称为北黄极，靠近南天极的交点 Π_s 称为南黄极。

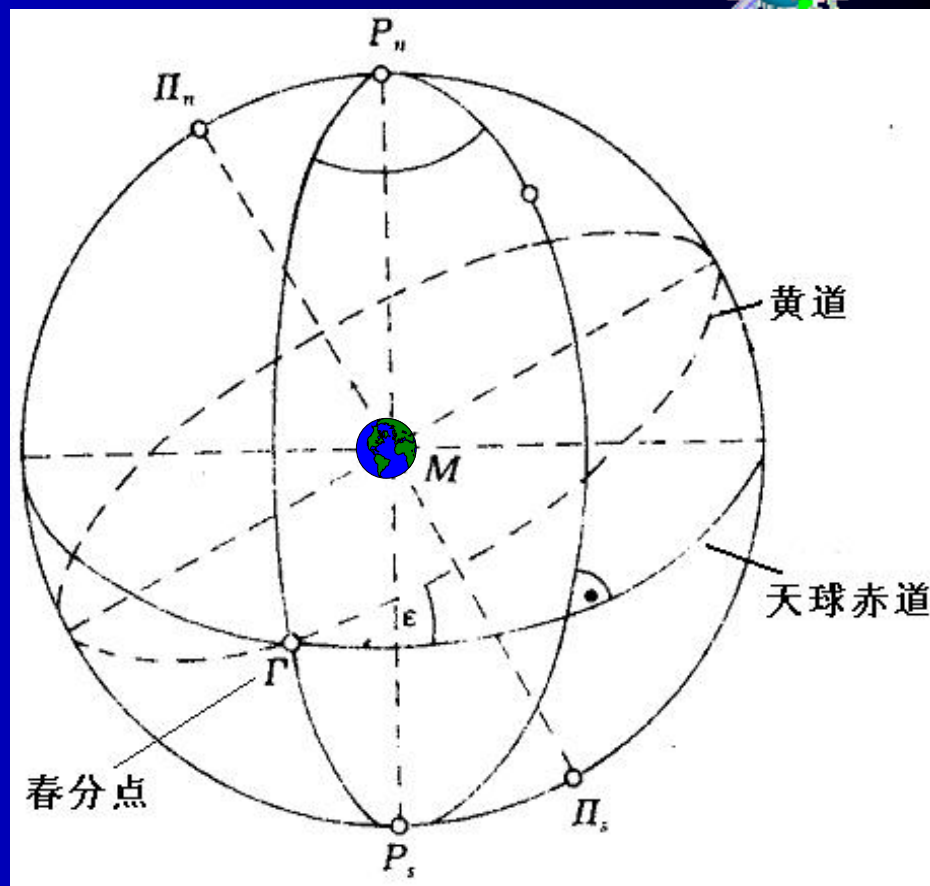




7、春分点 (equinox)

当太阳在黄道上从天球南半球向北半球运行时，黄道与地球赤道的交点 Γ 。在天文学和卫星大地测量学中，春分点和天球赤道面，是建立参考系的重要基准点和基准面。

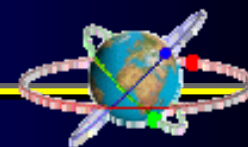
Either of two points on the celestial sphere at which the ecliptic intersects the celestial equator.



空间直角坐标系: the spatial rectangle coordinate system

球面坐标系: the spherical coordinate system

天球坐标系: Celestial Coordinate System

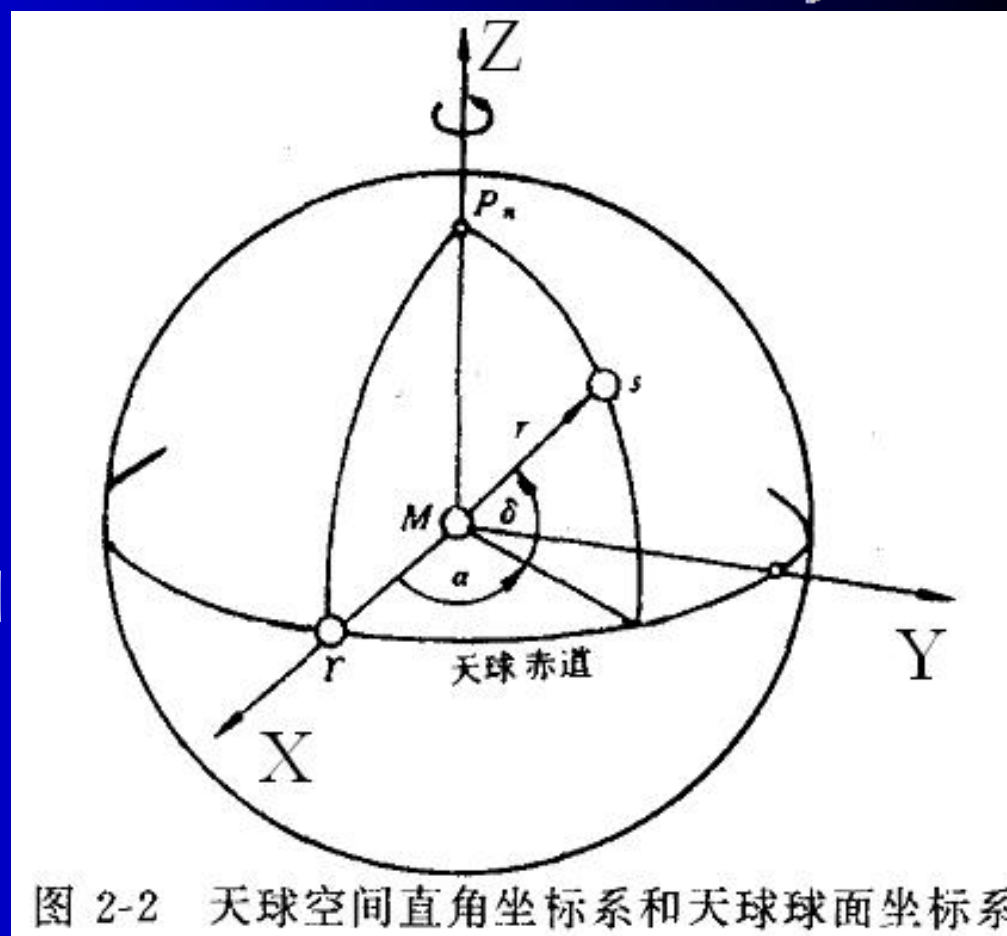


二、天球坐标系

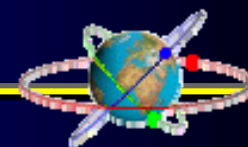
任一天体的位置，在天球坐标系中可用两种形式来描述。

1、天球空间直角坐标系

原点位于地球质心 M ； Z 轴指向天球北极 P_n ， X 轴指向春分点 γ ， Y 轴垂直于 XMZ 平面，与 X 轴和 Z 轴构成右手坐标系。



在天球空间直角坐标系中，天体的坐标为 (X, Y, Z) 。



二、天球坐标系

2、天球球面坐标系

原点位于地球质心 M ，赤经 α 为含天轴和春分点的天球子午面与过天体 S 的天球子午面之间的夹角；赤纬 δ 为原点 M 至天体 S 的连线与天球赤道面之间的夹角，向径长度 r 为原点 M 至天体 S 的距离。

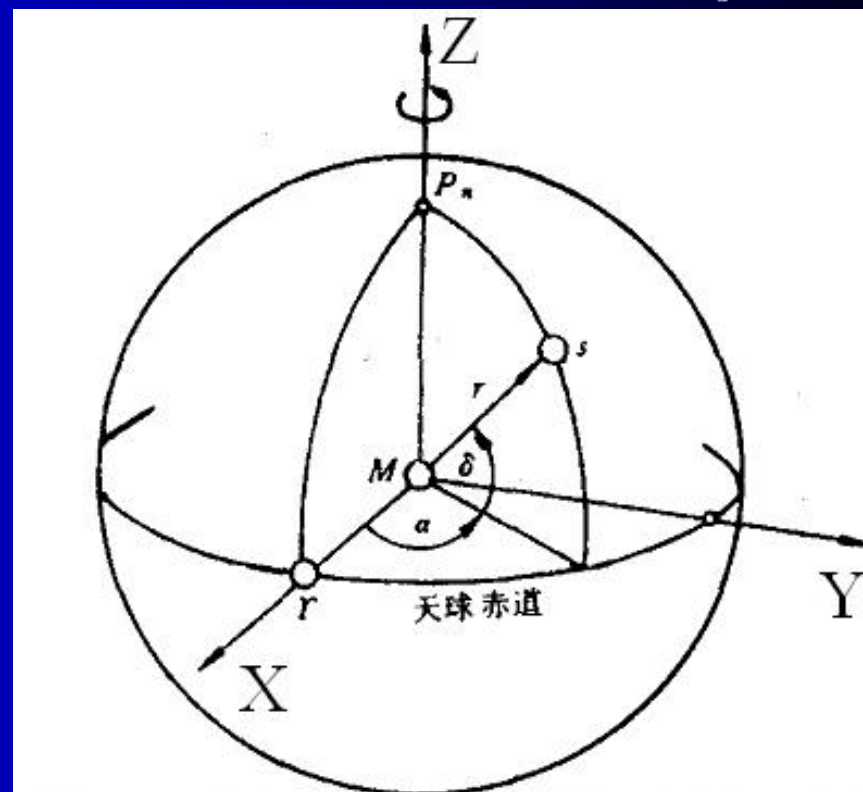
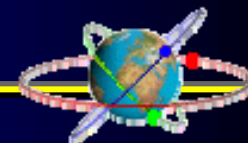


图 2-2 天球空间直角坐标系和天球球面坐标系

GAMIT

在天球球面坐标系中，天体的坐标为 (α, δ, r) 。

第二章 坐标系统和时间系统



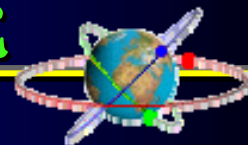
3、天球空间直角坐标和球面坐标的关系

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \cos \delta \cos \alpha \\ \cos \delta \sin \alpha \\ \sin \delta \end{bmatrix} \quad \text{或} \quad \begin{bmatrix} r \\ \alpha \\ \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \\ \arctg \frac{Y}{X} \\ \arctg \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \end{bmatrix}$$

在实践中，以上关于天球坐标系的两种表达形式，应用都很普遍。由于它们和地球的自转无关，所以对于描述天体或人造地球卫星的位置和状态是方便的。

第二章

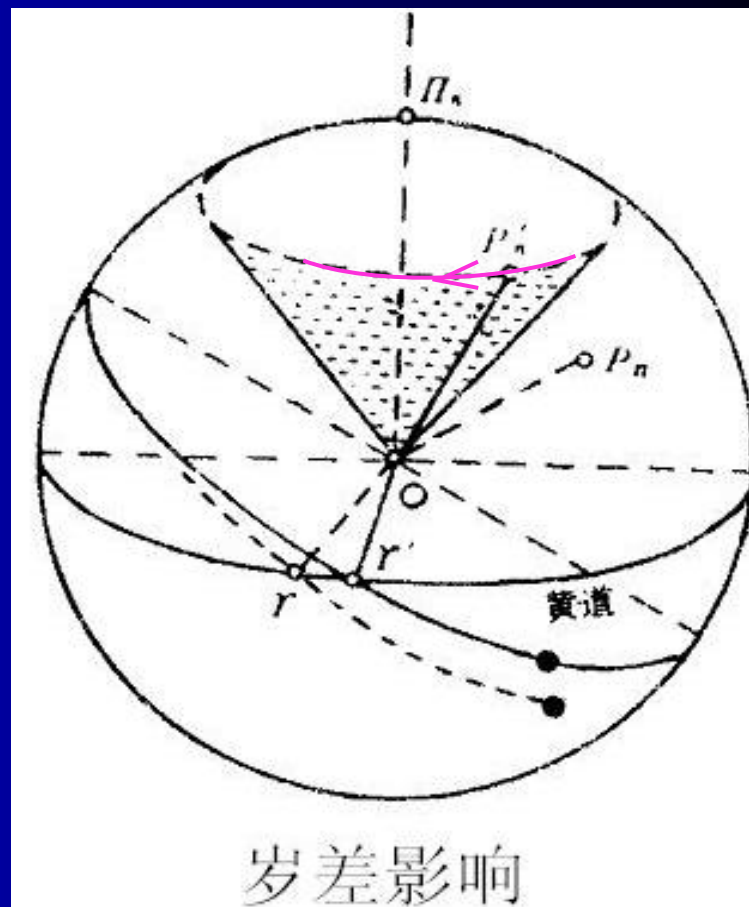
坐标系统和时间系统



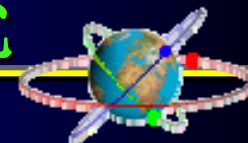
三、岁差与章动（precession and nutation）

1) 地球的非球形影响——岁差现象

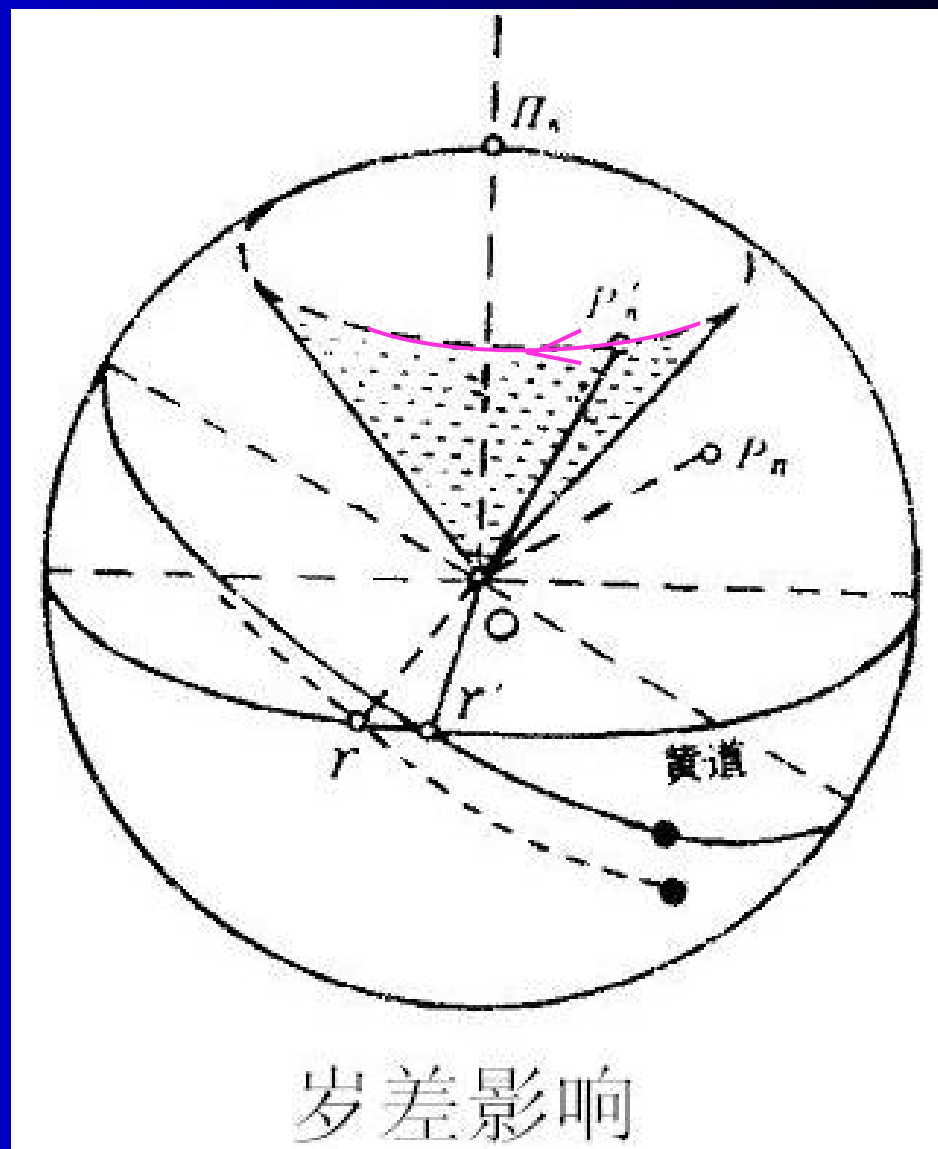
天球坐标系的建立，是基于假设地球为均质的球体，且没有其它天体摄动力影响的理想情况，即假定地球的自转轴在空间的方向是固定的，因而春分点在天球上的位置保持不变。但是，实际上地球的形体接近于一个赤道隆起的椭球体，因此，在日月引力和其它天体引力对地球隆起部分的作用下，地球在绕太阳运行时，自转轴的方向不再保持不变，从而使春分点在赤道上产生缓慢的西移，这种现象在天文学中称为岁差。



岁差影响



在岁差的影响下，地球自转轴在空间绕北黄极产生缓慢的旋转（从北天极上方观察为顺时针方向，以下同），因而使北天极以同样的方式在天球上绕北黄极产生旋转。



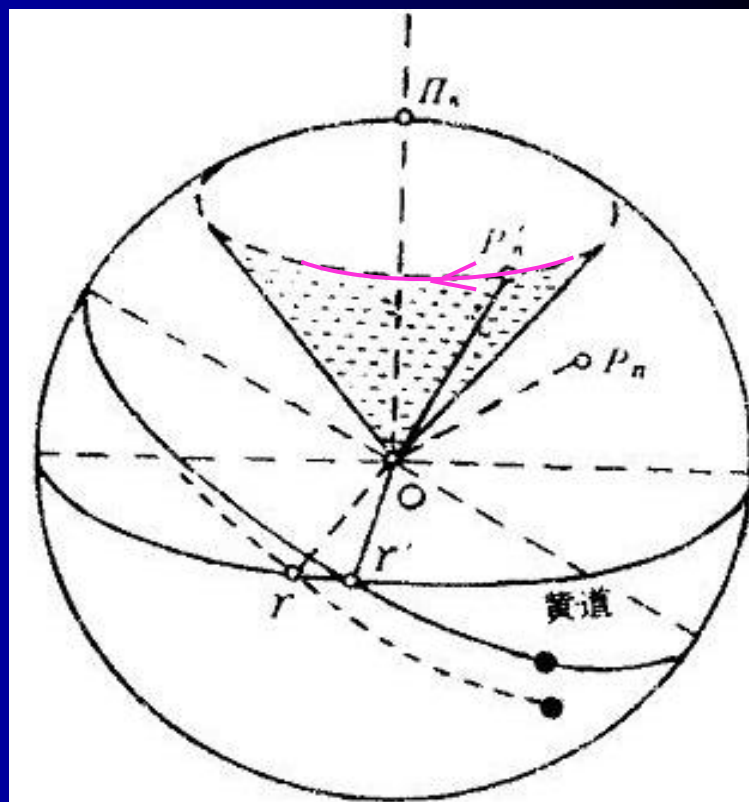
第二章

坐标系统和时间系统



地球自转轴在空间的方向变化，主要是由日月引力共同作用的结果，其中又以月球的引力影响为最大。由于太阳远较月球距地球为远，所以其引力的影响仅为月球影响的0.46倍。

如果月球的引力及其运行的轨道都是固定不变的，同时忽略其它行星引力的微小影响，那么日月引力的影响，仅将使北天极绕北黄极以顺时针方向缓慢地旋转，构成一个圆锥面；这时，在天球上，北天极的轨迹近似地构成一个以北黄极 Π_n 为中心，以黄赤交角 ε 为半径的小圆。在这个小圆上，北天极每年西移约为 $50.371''$ 。周期大约为25800年。



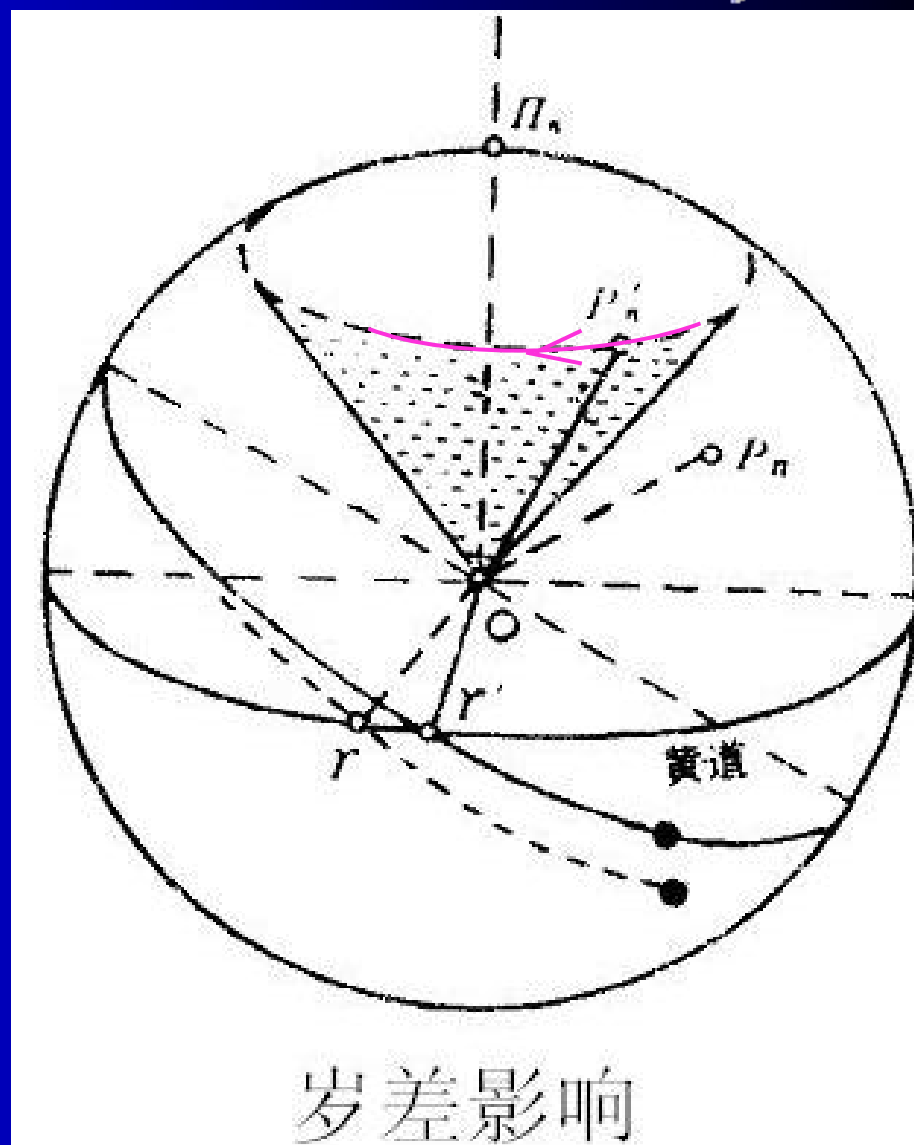
岁差影响

第二章

坐标系统和时间系统



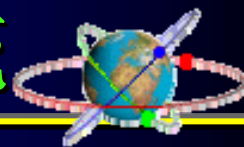
在天球上，这种规律运动的北天极，通常称为**瞬时平北天极**（或简称为平北天极），而与之相应的天球赤道和春分点，称为**瞬时天球平赤道**和**瞬时平春分点**。



instantaneous average north celestial pole

第二章

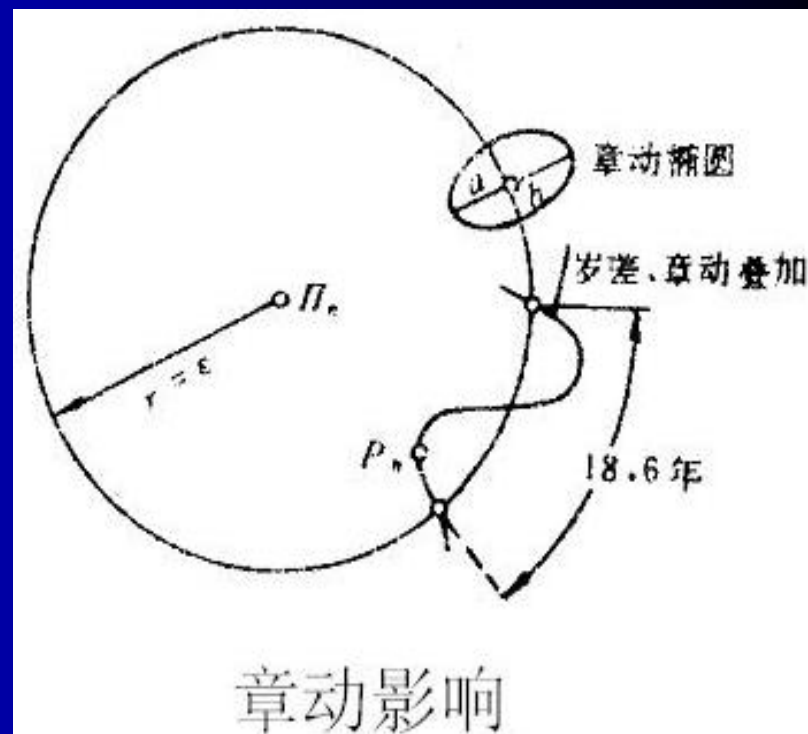
坐标系统和时间系统



2) 月地距变化——章动现象

在太阳和其它行星引力的影响下，月球的运行轨道以及月地之间的距离都是不断变化的，所以，北天极在天球上绕北黄极旋转的轨迹，实际上要复杂得多。

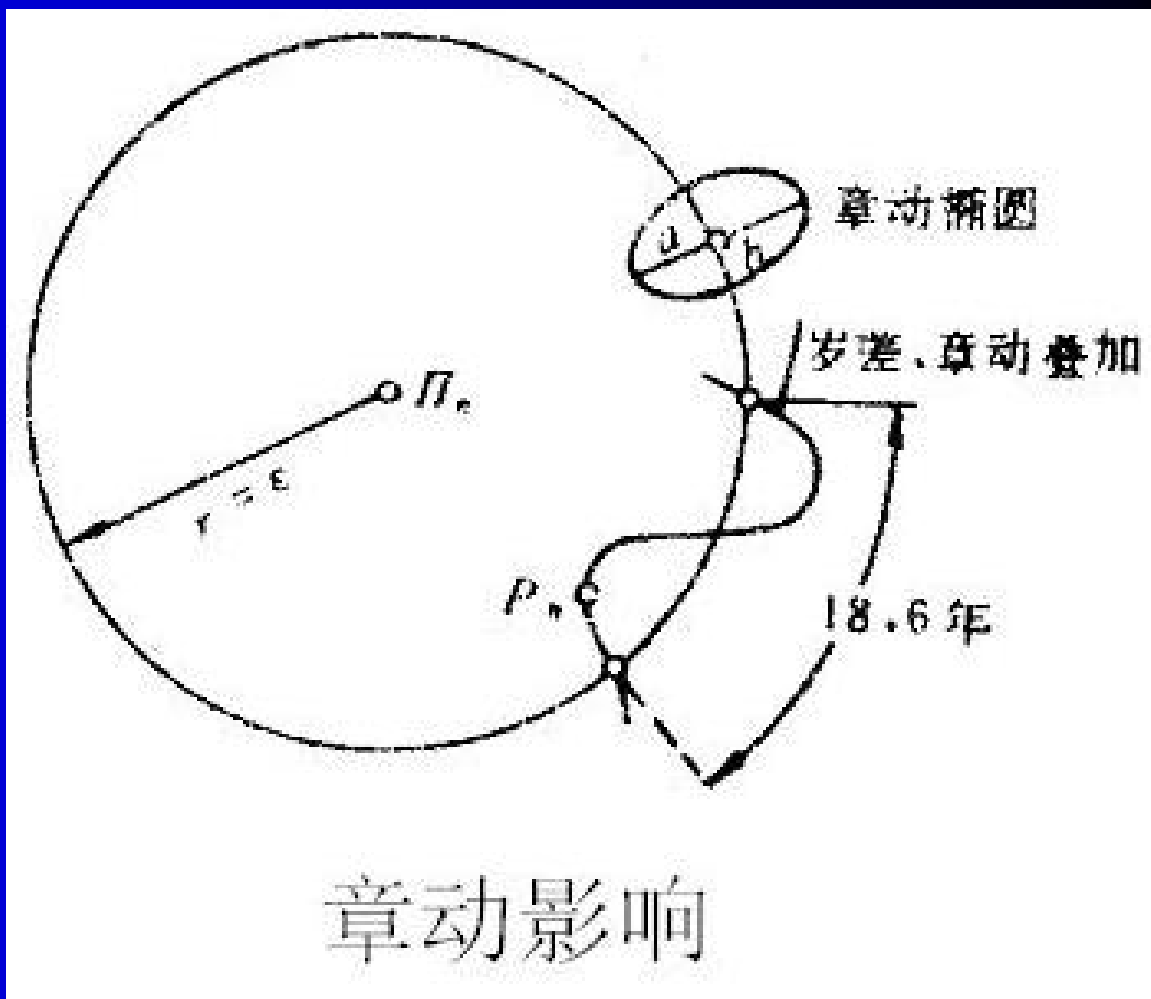
如果把观测时的北天极称为**瞬时北天极** (或称**真北天极**)，而与之相应的天球赤道和春分点称为**瞬时天球赤道**和**瞬时春分点** (或称**真天球赤道**和**真春分点**)，那么在日月引力等因素的影响下，瞬时北天极将绕瞬时平北天极产生旋转，大致成椭圆形轨迹，其长半径约为 $9.2''$ ，周期约为18.6年。这种现象称为**章动**。

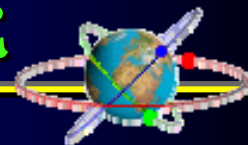




3) 如何描述北天极在天球上的运动

通常均把这种复杂的运动，分解为两种规律的运动，首先是平北天极绕北黄极的运动，这就是上面介绍的岁差现象；其次是瞬时北天极绕平北天极顺时针的转动，即章动现象。在岁差和章动的共同影响下，瞬时北天极绕北黄极旋转的轨迹，实际上如右图所示。





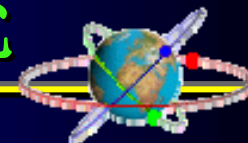
四、协议天球坐标系的定义和换算

在岁差和章动的影响下，瞬时天球坐标系的坐标轴指向是在不断地旋转。在这种非惯性坐标系统中，不能直接根据牛顿力学定律来研究卫星的运动规律。

为了建立一个与惯性坐标系相接近的坐标系，人们通常选择某一时刻 t_0 作为标准历元(epoch)，并将此时刻地球瞬时自转轴(指向北极)和地心至瞬时春分点的方向，经该时刻的岁差和章动改正后，分别作为Z轴和X轴的指向。由此所构成的空固坐标系，称为所取标准历元 t_0 的平天球坐标系或协议天球坐标系，也称协议惯性坐标系(Conventional Inertial System—CIS)。天体的星历通常都是在该系统中表示的。

第二章

坐标系统和时间系统



四、协议天球坐标系的定义和换算

国际大地测量协会和国际天文学联合会决定，从1984年1月1日后启用的协议天球坐标系，其坐标轴的指向是以2000年1月15日TDB（质心力学时）为标准历元（标以J2000.0）的赤道和春分点所定义。

国际大地测量协会 (IAG) —— International Association of Geodesy

国际天文学联合会 (IAU) —— International Astronomical Union

安徽理工大学 *Anhui University of Science and Technology*

第二章

坐标系统和时间系统



为了将协议天球坐标系的卫星坐标，转换到观测历元 t 的瞬时天球坐标系下，通常可分为两步：即首先将协议天球坐标系中的坐标，换算到观测瞬间的平天球坐标系下，然后再将瞬时平天球坐标系的坐标，转换到瞬时天球坐标系统。

在实际工作中，坐标系统的这种转换，一般都可借助计算机的相应软件自动完成。

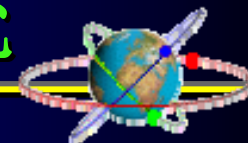
小知识

国际地球自转服务组织(IERS)—International Earth Rotation Service

国际时间局(BIH)——Bureau International de Heare

国际大地测量与地球物理联合会(IUGG)——International Union of
Geodesy and Geophysics

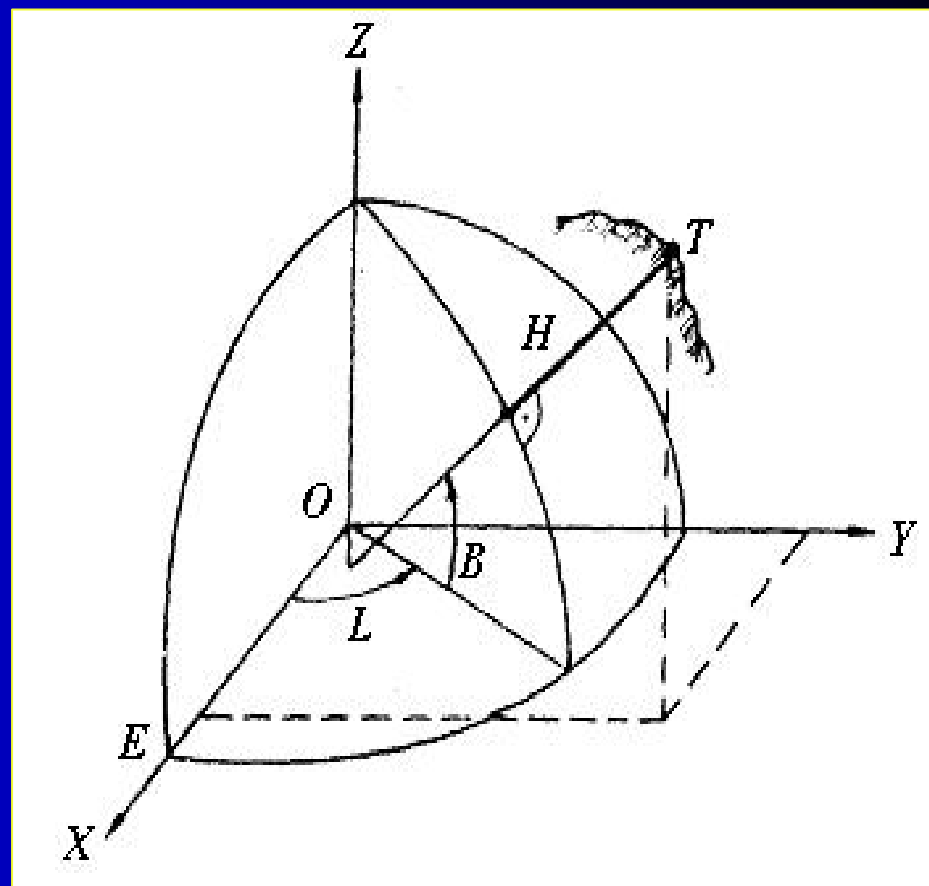
儒略历：是公元前罗马皇帝儒略·凯撒所实行的一种历法。一个儒略世纪含有36525个儒略日。儒略日是从公元前4713年儒略历1月1日正午起算的连续天数。新标准历元J2000.0相应的儒略日为2451545.0。

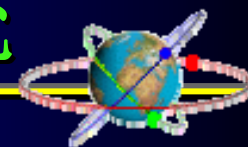


2.2 协议地球坐标系

一、地球坐标系

由于天球坐标系与地球自转无关，地球上任一固定点在天球坐标系中的坐标，将随地球的自转而变化，显然这在实用上很不方便。为了描述地面观测站的位置，有必要建立与地球体相固联的坐标系，即地球坐标系（有时称地固坐标系）。该系统也有两种形式。



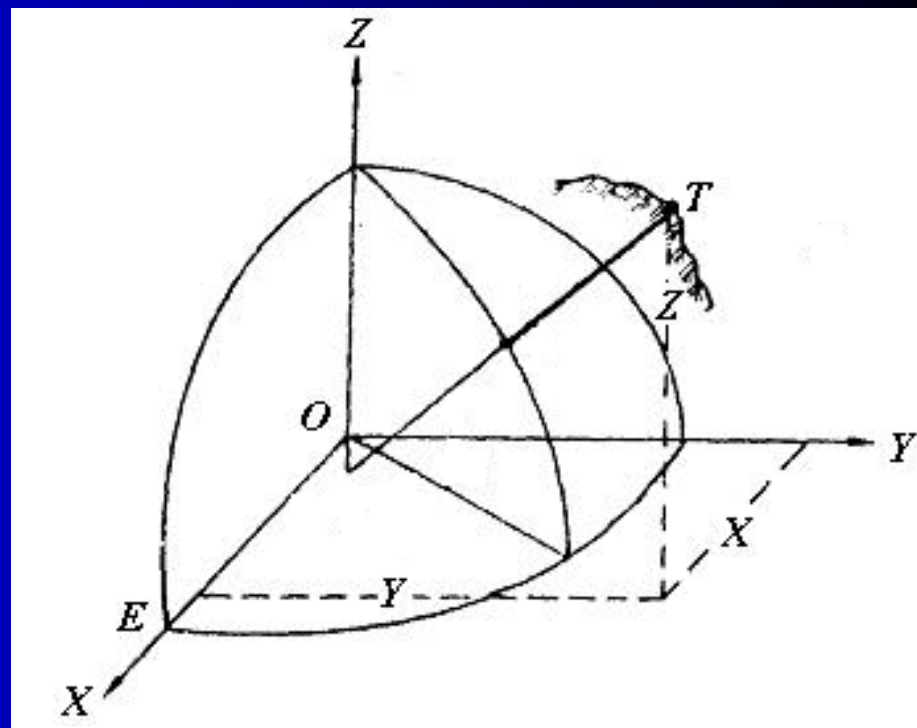


2.2 协议地球坐标系

一、地球坐标系

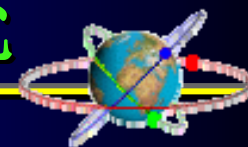
1、地心空间直角坐标系

原点 O 与地球质心重合， Z 轴指向地球北极， X 轴指向格林尼治平子午面与地球赤道的交点 E ， Y 轴垂直于 XOZ 平面构成右手坐标系。



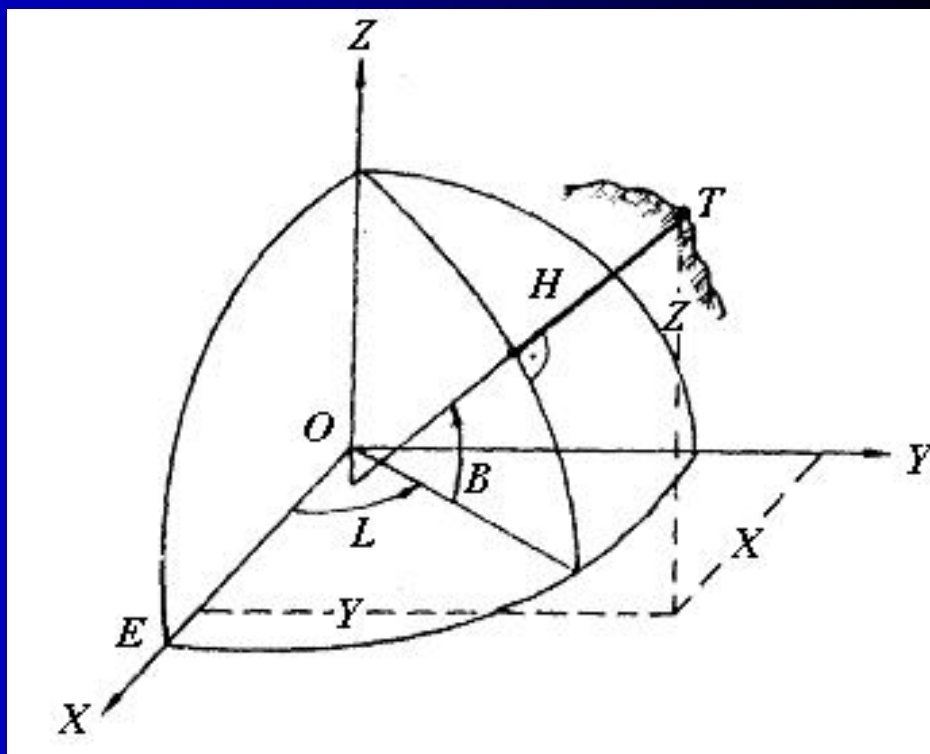
第二章

坐标系统和时间系统



2、地心大地坐标系

地球椭球的中心与地球质心重合，椭球的短轴与地球自转轴相合，大地纬度 B 为过地面点的椭球法线与椭球赤道面的夹角，大地经度 L 为过地面点的椭球子午面与格林尼治平大地子午面之间的夹角，大地高 H 为地面点沿椭球法线（normal）至椭球面的距离。





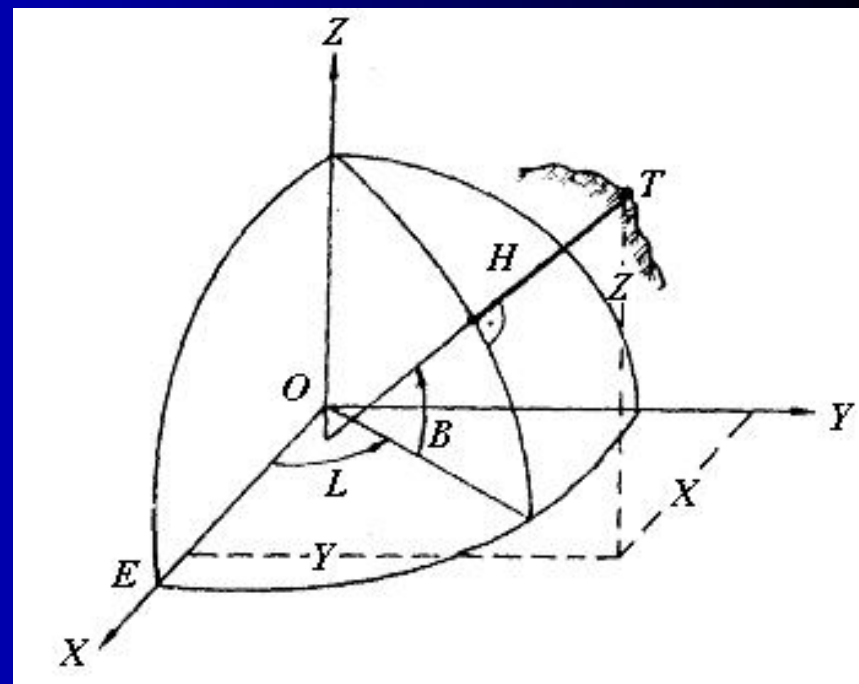
3、两种坐标系间的转换关系

● $(L \ B \ H) \rightarrow (X \ Y \ Z)$

$$\left. \begin{aligned} X &= (N + H) \cos B \cos L \\ Y &= (N + H) \cos B \sin L \\ Z &= [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{aligned} \right\}$$

式中， N 为椭球的卯酉圈曲率半径， e 为椭球的第一偏心率。

radius of curvature in the prime vertical



第二章

坐标系统和时间系统



● $(X \ Y \ Z) \longrightarrow (L \ B \ H)$

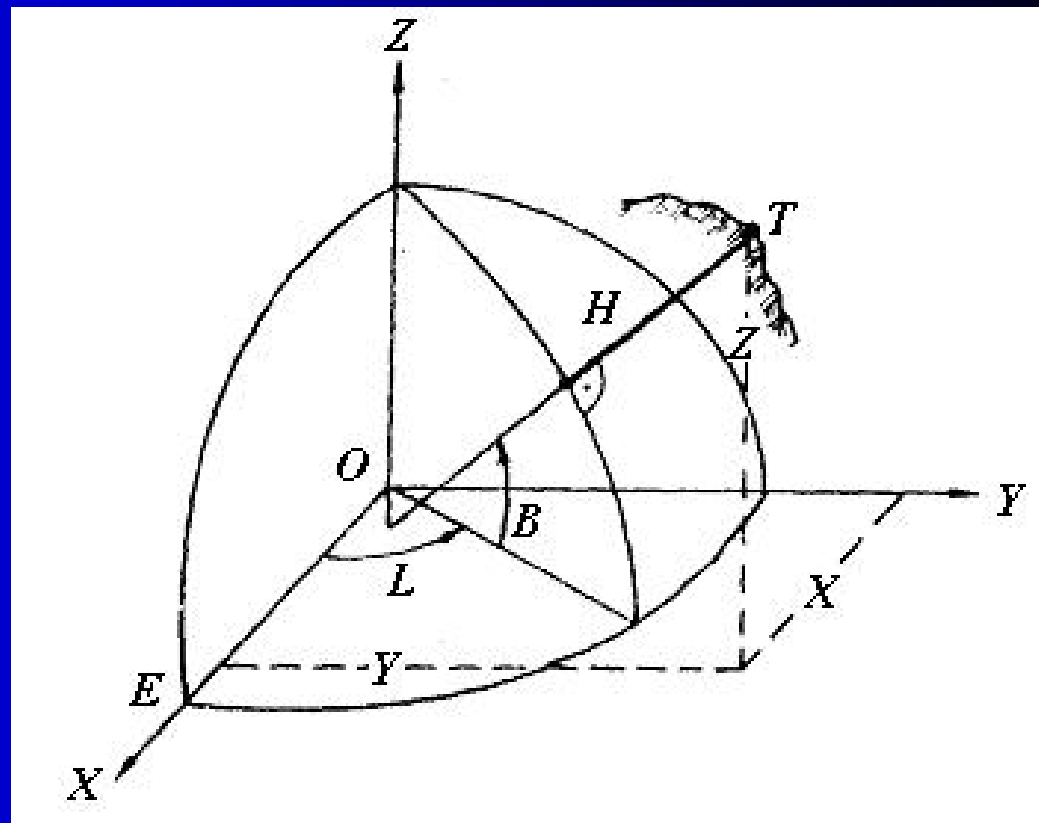
$$L = \arctan \frac{Y}{X}$$

$$\tan B = \frac{(N + H)Z \cos L}{[N(1 - e^2) + H]X}$$

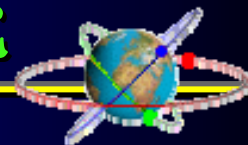
$$H = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos B} - N$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$$

$$e = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$



a 、 b 分别表示所取椭球的长半径和短半径



二、地极移动与协议地球坐标系

在介绍天球坐标系时，所关心的主要问题，是地球自转轴在空间的指向及其变化。因为天球坐标系与地球的自转无关，所以，这时地球自转轴相对地球体本身的变化与否并不重要；而对于与地球体固联的坐标系来说，情况就完全不同了，这时地极点是作为地球坐标系的一个重要基准点，自然我们希望它在地球上的位置是固定的，否则地球参考系的Z轴方向将有所改变，也就是说，地球赤道面和起始子午面的位置均将有所改变。从而引起地球上点的坐标变化。

第二章

坐标系统和时间系统



事实上，人们早已发现，地球自转轴相对地球体的位置并不是固定的，地极点在地球表面上的位置是随时间而变化的。这种现象称为地极移动，简称极移。观测瞬间地球自转轴所处的位置，我们称为瞬时地球自转轴，而相应的极点称为瞬时极。

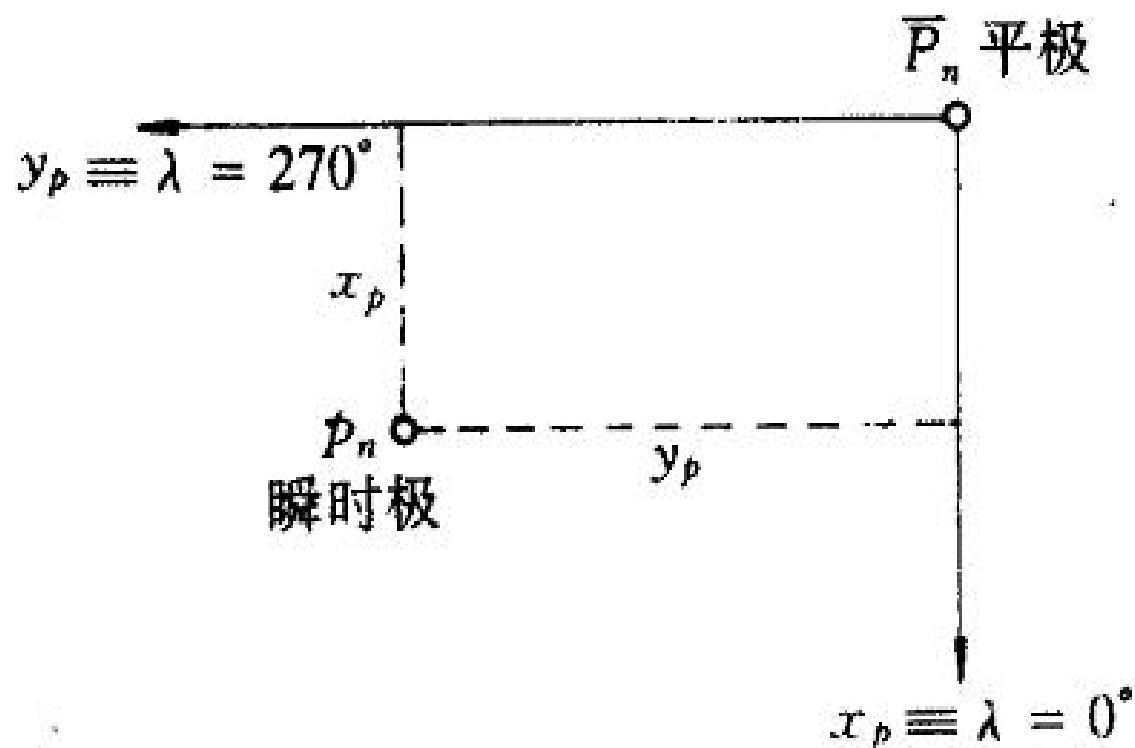
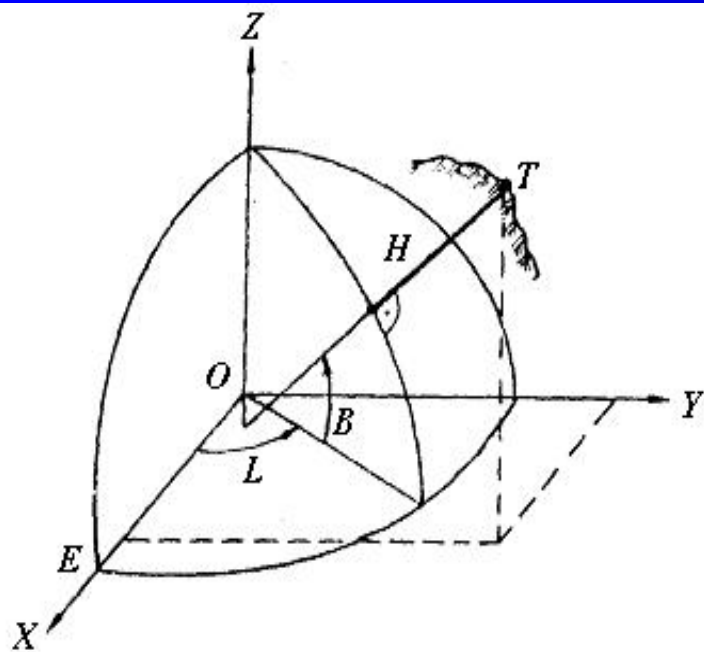
通过大量观测资料的分析表明，地极在地球表面上的运动，主要包含两种周期性的变化，一种是周期约为一年，振幅约为 $0.1''$ 的变化；另一种是周期约为432天，振幅约为 $0.2''$ 的变化(张德勒周期变化)。

第二章

坐标系统和时间系统



为了描述地极移的规律，通常均取一平面直角坐标系来表达地极的瞬时位置。为此，假设该面通过地极的某一平均位置（即平极）并与地球表面相切。在此平面上取直角坐标系(x_p 、 y_p)，设其原点与平极重合， x_p 轴指向格林尼治平均天文台， y_p 轴指向格林尼治零子午面以西 90° 的子午线方向。于是任一历元 t 的瞬时极 p_n 的位置，可表示为(x_p 、 y_p)。



第二章

坐标系统和时间系统



地极的移动将使地球坐标系坐标轴的指向发生变化，这对实际工作造成了许多困难。因此，国际天文学联合会和国际大地测量学协会，早在1967年便建议，采用国际上5个纬度服务站，以1900至1905年的平均纬度所确定的平均地极位置作为基准点。

国际纬度站分布

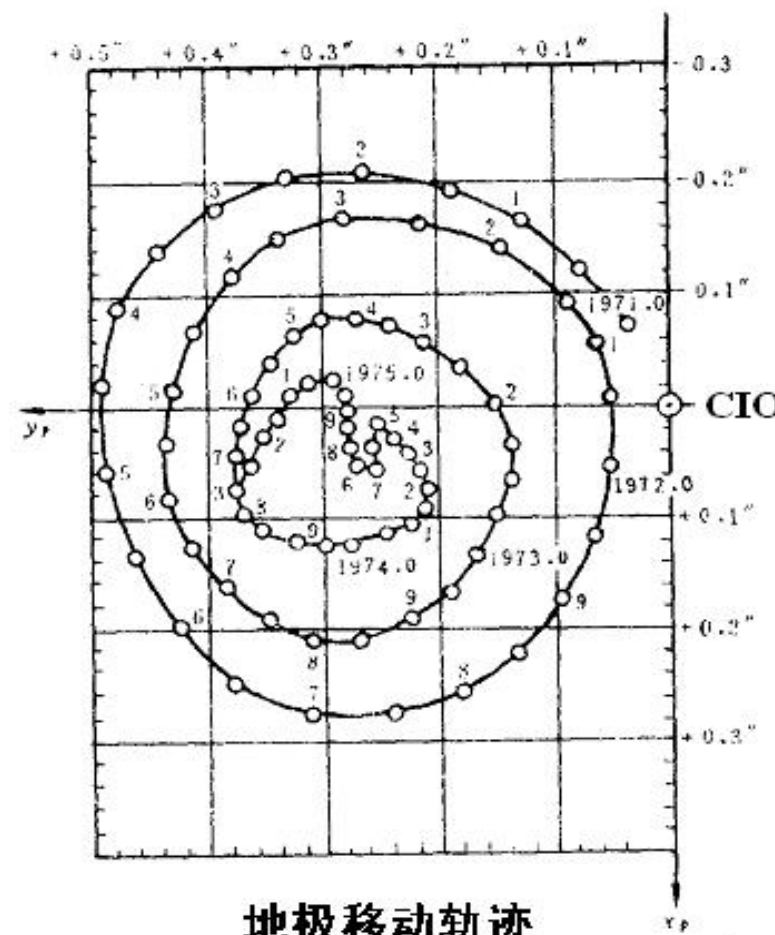
站 址	纬度 φ			经度 λ		
	°	'	″	°	'	″
卡洛福特 (Carloforte) 意大利	39	08	09	8	18	44
盖瑟斯堡 (Gaithersburg) 美国	39	08	13	-77	11	57
基塔布 (Kitab) /前苏联	39	08	02	66	52	51
水泽 (Mizusawa) /日本	39	08	04	141	07	51
尤凯亚 (Ukiah) /美国	39	08	12	-123	12	35

第二章

坐标系统和时间系统



平极的这个位置是相应于上述期间地球自转轴的平均位置，通常称为**国际协议原点(Conventional International Origin——CIO)**，与之相应的地球赤道面，称为平赤道面或协议赤道面。在实际工作中，至今仍普遍采用CIO作为**协议地极(Conventional Terrestrial Pole——CTP)**。以协议地极为基准点的地球坐标系，称为**协议地球坐标系(Conventional Terrestrial System——CTS)**，而与瞬时极相应的地球坐标系，称之为瞬时地球坐标系。右图描绘了从1971至1975年间，地极相对于CIO运动的轨迹。



地极移动轨迹

第二章

坐标系统和时间系统



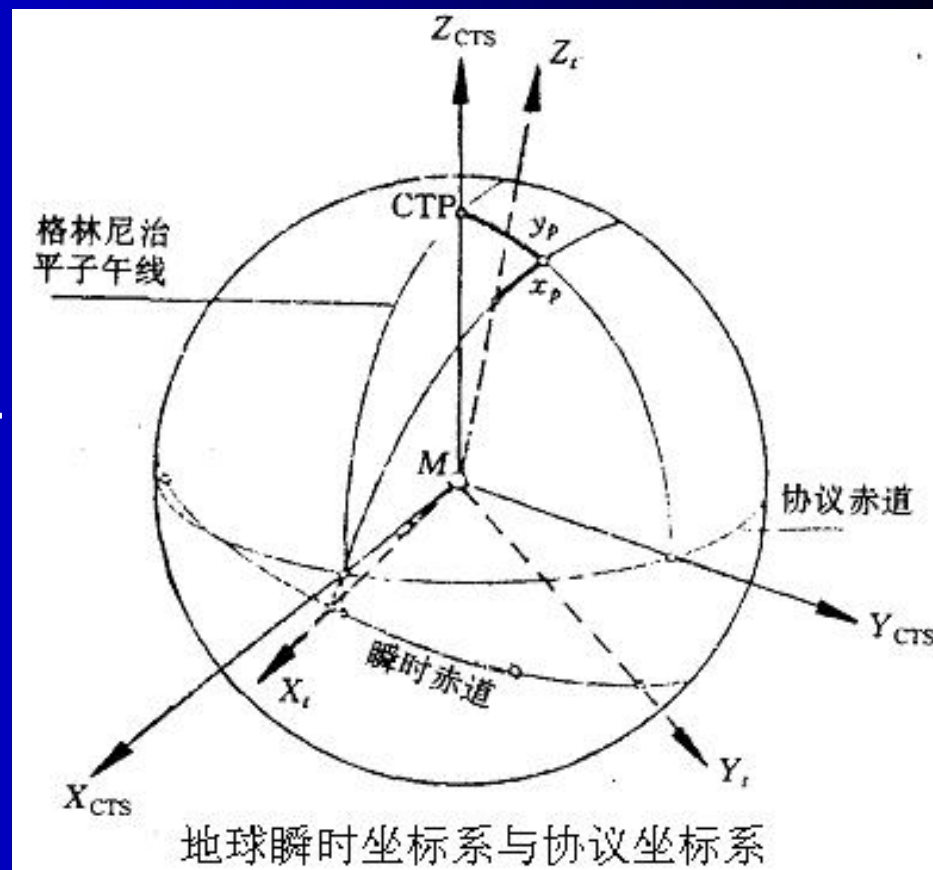
在上述地极平面坐标系中，地极的瞬时坐标 (x_p, y_p) 是由国际地球自转服务组织根据所属台站的观测资料，推算并定期出版公报向用户提供的。

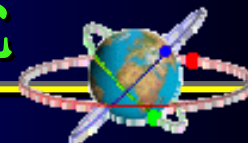
极移现象主要引起了地球瞬时坐标系相对协议地球坐标系的旋转（见右图）。如果以 $(X\ Y\ Z)_{CTS}$ 和 $(X\ Y\ Z)_t$ 分别表示协议地球空间直角坐标系和观测历元 t 的瞬时地球空间直角坐标系，那么其间的关系为

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{CTS} = M \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_t$$

其中

$$M = R_2(-x_p) R_1(-y_p)$$





考虑到地极坐标为微小量，如果仅取至一次微小项，则有

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_p \\ 0 & 1 & -y_p \\ -x_p & y_p & 1 \end{bmatrix}$$

三、协议地球坐标系与协议天球坐标系的关系

根据协议地球坐标系和协议天球坐标系的定义可知：

- ◆两坐标系的原点均位于地球的质心，故其原点位置相同；
- ◆瞬时天球坐标系的Z轴与瞬时地球坐标系的Z轴指向相同；
- ◆两瞬时坐标系的X轴的指向不同，其间夹角为春分点的格林尼治恒星时。

第二章

坐标系统和时间系统



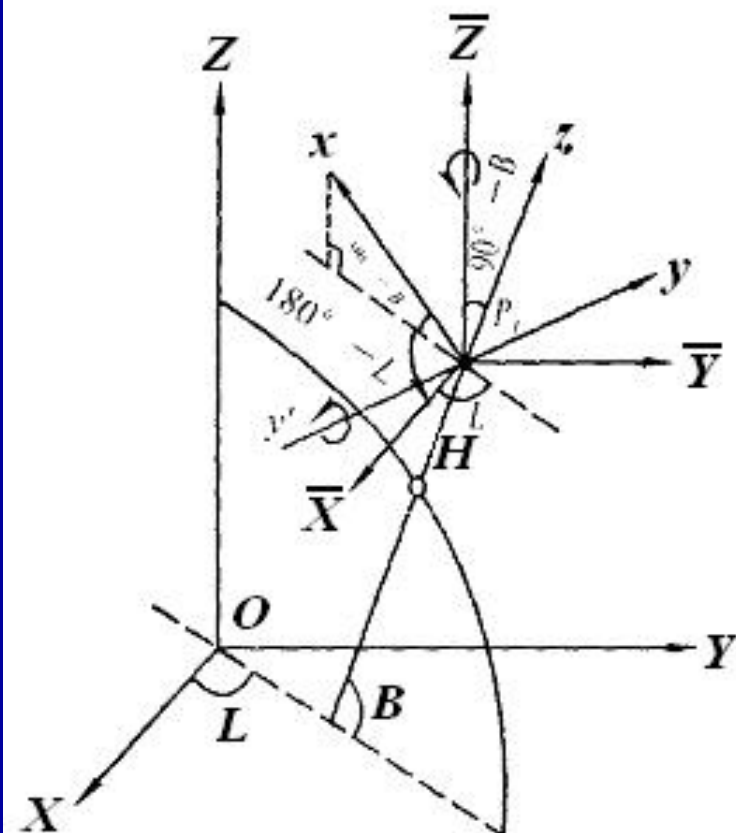
四、站心赤道直角坐标系与站心地平直角坐标系

使用站心地平坐标系能够比较直观方便地描述卫星与观测站之间的瞬时距离、方位角和高度角，了解卫星在天空的分布情况。

1、站心赤道直角坐标系

如右图， P_1 是测站， O 是球心。以 P_1 为原点建立与球心空间直角坐标系相应坐标轴平行的坐标系叫做站心赤道直角坐标系。显然，站心赤道直角坐标系与球心空间直角坐标系坐标系间有简单的平移关系。

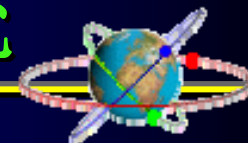
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (N + H) \cos B \cos L \\ (N + H) \cos B \sin L \\ [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{bmatrix}$$



站心赤道与地平直角坐标系

第二章

坐标系统和时间系统



2、站心地平直角坐标系

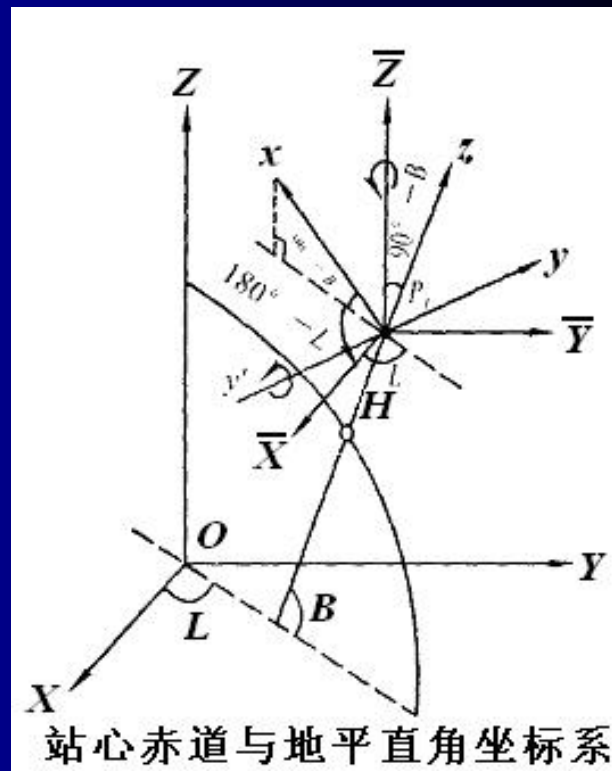
以 P_1 为原点， P_1 点的法线为 z 轴（指向天顶为正），以子午线方向为 x 轴（向北为正）， y 轴与 x 、 z 轴垂直（向东为正）。

站心赤道直角坐标系与站心地平直角坐标系之间的关系

$$\begin{bmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{bmatrix}_{\text{站赤}} = \begin{bmatrix} -\sin B \cos L & -\sin L & \cos B \cos L \\ -\sin B \sin L & \cos L & \cos B \sin L \\ \cos B & 0 & \sin B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{地平}}$$

站心地平直角坐标系与球心空间直角坐标系的关系

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{站心}} = \begin{bmatrix} -\sin B \cos L & -\sin L & \cos B \cos L \\ -\sin B \sin L & \cos L & \cos B \sin L \\ \cos B & 0 & \sin B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{地平}} + \begin{bmatrix} (N+H) \cos B \cos L \\ (N+H) \cos B \sin L \\ [N(1-e^2)+H] \sin B \end{bmatrix}$$



第二章

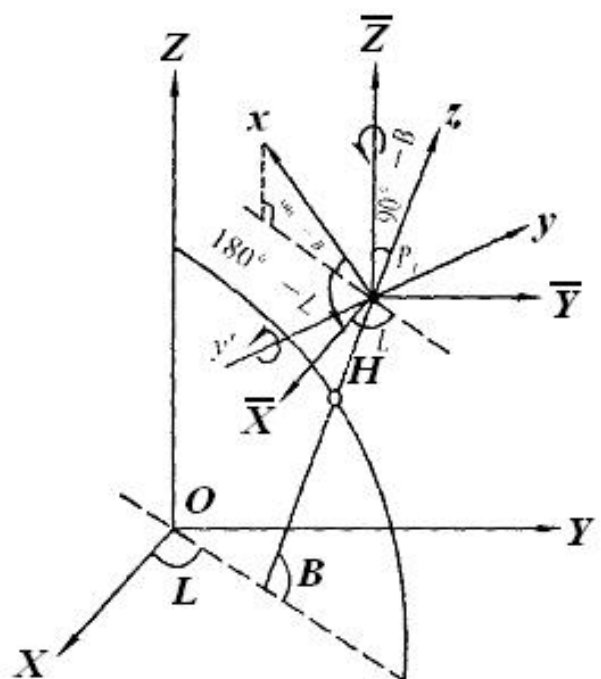
坐标系统和时间系统



3、站心地平极坐标系

以测站 P_1 为原点，至卫星 s 的距离 r 、卫星的方位角 A 、卫星的高度角 h 可以建立站心地平极坐标系。

站心地平极坐标系与站心地平直角坐标系间有关系

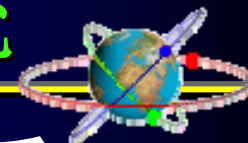


站心赤道与地平直角坐标系

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos A \cosh h \\ r \sin A \cosh h \\ r \sinh h \end{bmatrix}$$

,

$$\begin{bmatrix} r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ A = \arctan(y/x) \\ h = \arctan(z/\sqrt{x^2 + y^2}) \end{bmatrix}$$

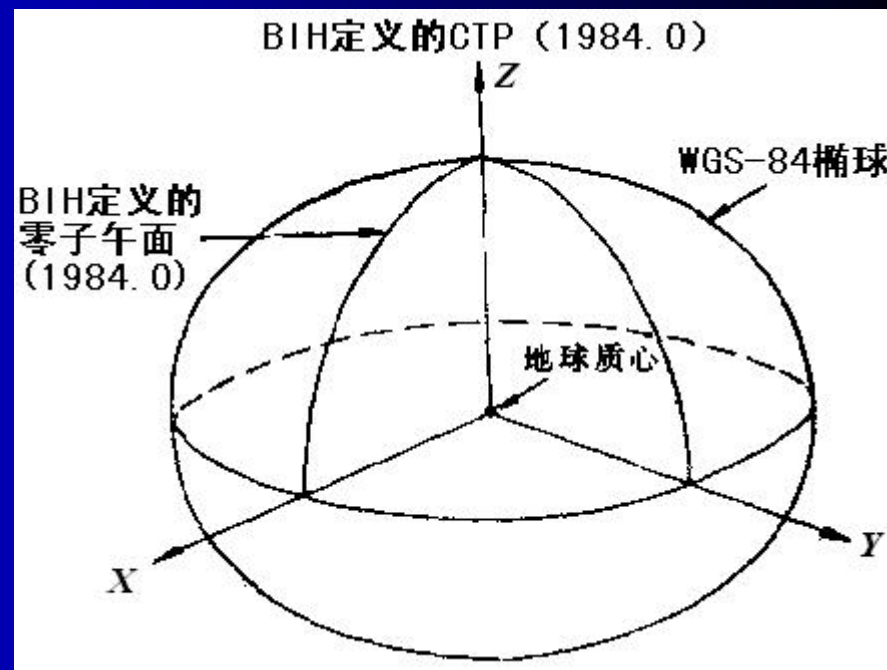


2.3 WGS-84坐标系和我国的大地坐标系

一、WGS-84大地坐标系

1、WGS-84大地坐标系定义

WGS-84 (World Geodetic System, 1984年) 是美国国防部研制确定的大地坐标系，其坐标系的几何定义是：



原点在地球质心，Z轴指向BIH 1984.0定义的协议地球极 (CTP) 方向，X轴指向BIH 1984.0的零子午面和CTP赤道的交点，Y轴与Z、X轴构成右手系。

第二章

坐标系统和时间系统



2、WGS-84椭球参数

对应于WGS-84大地坐标系有一个WGS-84椭球，其常数采用IUGG第17届大会大地测量常数的推荐值。这里给出WGS-84椭球的两个最常用的几何常数：

长半轴	$a = 6\,378\,137 \pm 2 \text{ m}$
扁率	$f = 1/298.257\,223\,563$

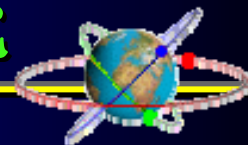
椭球第一偏心率： $e^2 = 0.00669437999013$

地球引力常数： $GM = (3986005 \pm 0.6) \times 10^8 \text{ (m}^3/\text{s}^2)$

正常化二阶带谐系数： $J_2 = (-484.16685 \pm 1.30) \times 10^{-9} \text{ (rad/s)}$

地球自转角速度： $\omega = (7292115 \pm 0.1500) \times 10^{-11} \text{ (rad/s)}$

国际大地测量与地球物理联合会 (IUGG) — International Union of
Geodesy and Geophysics



二、国家大地坐标系

1、1980国家大地坐标系

C80是为了进行全国天文大地网整体平差而建立的。根据椭球定位的基本原理，在建立C80坐标系时有以下先决条件：

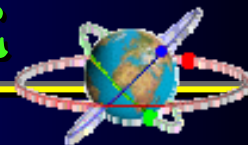
- ◆大地原点在我国中部，具体地点是陕西省泾阳县永乐镇；

- ◆ C80坐标系是参心坐标系，椭球短轴Z轴平行于地球质心指向地极原点JYD1968.0的方向；大地起始子午面平行于格林尼治平均天文台子午面，X轴在大地起始子午面内与Z轴垂直指向经度0方向，Y轴与Z、X轴成右手坐标系；

- ◆ 椭球两个最常用的几何参数为

长半轴 $a=6378140$ (m)，扁率 $f= 1/298.257$

椭球定位时按我国范围内高程异常值平方和最小为原则求解参数。



2、旧P54坐标系

建国初期，为了迅速开展我国的测绘事业，鉴于当时的实际情况，将我国一等锁与原苏联远东一等锁相连接，然后以连接呼玛、吉拉宁、东宁基线网扩大边端点的原苏联1942年普尔科沃坐标系的坐标为起算数据，平差我国东北及东部区一等锁，这样传算过来的坐标系就定名为1954年北京坐标系。我们称为旧1954年北京坐标系。因此，旧P54坐标系可归结为：

- ◆属参心大地坐标系；

- ◆采用克拉索夫斯基椭球的两个几何参数

长半轴 $a=6378245$ (m)，扁率 $f = 1/298.3$

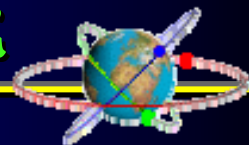
第二章

坐标系统和时间系统



- ◆大地原点在原苏联的普尔科沃；
- ◆采用多点定位法进行椭球定位；
- ◆高程基准为1956年青岛验潮站求出的黄海平均海水面；
- ◆高程异常以原苏联1955年大地水准面重新平差结果为起算数据，按我国天文水准路线推算而得。

自旧P54建立以来，在该坐标系内进行了许多地区的局部平差，其成果得到了广泛的应用。



3、新P54坐标系

全国天文大地网在1980年国家大地坐标系上进行整体平差完成后，理论上应使用该整体平差结果。但考虑到实用中许多部门和单位有大量测绘成果是旧P54下的，因而产生了所谓的新P54年北京坐标系。

新P54是将C80内的空间直角坐标经三个平移参数平移变换至克拉索夫斯基椭球中心得到的。它具有如下特点：

- ◆ 属参心大地坐标系；
- ◆ 椭球参数(P54)：长半轴 $a=6378245$ (m), 扁率 $f= 1/298.3$
- ◆ 大地原点与C80大地原点相同；
- ◆ 椭球轴向与C80椭球轴向相同；
- ◆ 高程基准为1956年青岛验潮站求出的黄海平均海水面；

第二章

坐标系统和时间系统

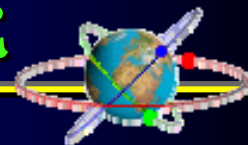


新P54点坐标与旧P54点坐标接近，但其精度和C80坐标精度完全一样。

据统计，新P54点坐标与旧P54点坐标相比较，就平面坐标而言，纵坐标 x 差值在-6.5m至+7.8m之间，横坐标 y 差值在-12.9m至+9.0m之间，差值在5m以内的约占全国80%的地区。反映在1:5万比例尺的地形图上，绝大部分不超过0.1mm。

4、2000国家大地坐标系

经国务院批准，我国自2008年7月1日起，启用2000国家大地坐标系。



1) 2000国家大地坐标系的定义

国家大地坐标系的定义包括坐标系的原点、三个坐标轴的指向、尺度以及地球椭球的4个基本参数的定义。

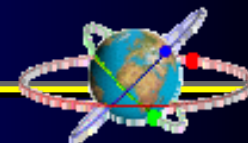
原点：包括海洋和大气的整个地球的质量中心；

Z轴：由原点指向历元2000.0的地球参考极的方向，该历元的指向由国际时间局给定的历元为1984.0的初始指向推算，定向的时间演化保证相对于地壳不产生残余的全球旋转；

X轴：由原点指向格林尼治参考子午线与地球赤道面（历元2000.0）的交点；

Y轴与Z轴、X轴构成右手正交坐标系

尺度：采用广义相对论意义下的尺度。



2) 地球椭球参数

长半轴

$$a=6378137\text{m}$$

扁率

$$f=1/298.257222101$$

地心引力常数

$$GM=3.986004418 \times 10^{14} \text{m}^3 \text{s}^{-2}$$

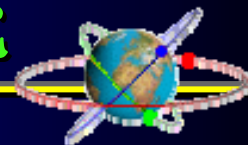
自转角速度

$$\omega=7.292115 \times 10^{-5} \text{rad s}^{-1}$$

3) 坐标系统转换模型选择

长半轴	$a = 6\,378\,137 \pm 2 \text{ m}$
扁率	$f = 1/298.257\,223\,563$

国及省级范围的坐标转换选择二维七参数转换模型；省级以下的坐标转换可选择三维四参数模型或平面四参数模型。对于相对独立的平面坐标系统与2000国家大地坐标系的联系可采用平面四参数模型或多项式回归模型。坐标转换模型详见《现有测绘成果转换到2000国家大地坐标系技术指南》。



三、ITRF坐标框架简介

国际地球参考框架ITRF (International Terrestrial Reference Frame的缩写) 是一个地心参考框架。它是由空间大地测量观测站的坐标和运动速度来定义的，是国际地球自转服务IERS的地面参考框架。由于章动、极移影响，国际协议地极原点CIO是变化的，所以ITRF框架每年也都在变化。根据不同的时间段可定义不同的ITRF，如ITRF-93、ITRF-94、ITRF₉₆、ITRF₉₄ (1996年7月1日以后的IGS星历都是在此框架下给出的) 等。它们的尺度和定向参数分别由人卫激光测距和IERS公布的地球定向参数序列确定。

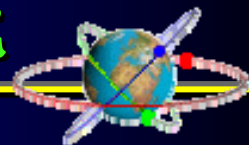
第二章

坐标系统和时间系统



ITRF框架实质上也是一种地固坐标系，其原点在地球体系(含海洋和大气圈)的质心，以WGS-84椭球为参考椭球。

ITRF框架为高精度的GPS定位测最提供较好的参考系，近几年已被广泛地用于地球动力学研究，高精度、大区域控制网的建立等方面，如青藏高原地球动力学研究、国家A级网平差、深圳市GPS框架网的建立等都采用了ITRF框架。一个测区在使用ITRF框架时，一般以高级约束点的参考框架来确定本测区的框架。例如，在深圳市GPS框架建立时，选用了96国家A级网的贵阳、广州、武汉三个A级站(其中武汉为IGS永久跟踪站)为约束基准，而96A级网的参考框架为ITRF-93框架，参考历元为96.365，所以深圳市GPS框架的基准也选用ITRF-93框架为参考点。



2.4 时间系统

在现代大地测量学中，为了研究诸如地壳升降和板块运动等地球动力学现象，时间也和描述观测点的空间坐标一样，成为研究点位运动过程和规律的一个重要分量，从而形成空间与时间参考系中的四维大地测量学。

在天文学和空间科学技术中，时间系统是精确描述天体和人造卫星运行位置及其相互关系的重要基础，因而也是人们利用卫星进行导航和定位的重要基准。



2.4 时间系统

一、有关时间的基本概念

1、时间的两个概念

◆ 时间有“时刻”和“时间间隔”两个概念。

◆ **时刻**，即发生某一现象的瞬间。在天文学和卫星测量学中，与所获数据对应的时刻也称为**历元**。

◆ **时间间隔**，系指发生某一现象所经历的过程，是这一过程始末的时刻之差。

◆ 时间间隔测量也称为**相对时间测量**，而时刻测量相应地称为**绝对时间测量**。

第二章

坐标系统和时间系统



2、在GPS定位中，时间的重要意义

◆ GPS卫星作为一个高空观测目标，其位置是不断变化的。因此在给出卫星运行位置的同时，必须给出相应的瞬间时刻。例如，当要求GPS卫星的位置误差少于1cm时，则相应的**时刻**误差应小于 2.6×10^{-6} 秒。（卫星运行速度约3~4km/s）

◆ GPS测量是通过接收和处理GPS卫星发射的无线电信号，来确定用户接收机（即观测站）至卫星的距离（或距离差），进而确定观测站的位置。因此，准确地测定观测站至卫星的距离，必须精密地测定信号的传播时间。如果要求上述距离误差小于1cm，则信号传播时间（**时间间隔**）的测定误差应不超过 3×10^{-11} 秒。

（光速约 3×10^8 km/s，精确值为 2.99792458×10^8 km/s）

◆ 由于地球的自转现象，在天球坐标系中，地球上点的位置是不断变化的。若要求赤道上一一点的位置误差不超过1cm，则**时刻**的测定误差须小于 2×10^{-5} 秒。（地球自转速度约3km/s）



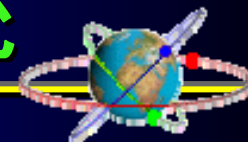
3、确定时间的基准

测量时间，同样必须建立一个测量的基准，即**时间的单位(尺度)和原点(起始历元)**。其中时间的尺度是关键，而原点可以根据实际应用加以选定。一般来说，任何一个可观察的周期运动现象，只要符合以下要求，都可以用作确定时间的基准。

- ◆ 运动应是连续的，周期性的；
- ◆ 运动的周期应具有充分的稳定性；
- ◆ 运动的周期必须具有复现性，即要求在任何地方和时间，都可以通过观测和实验复现这种周期性运动。

第二章

坐标系统和时间系统



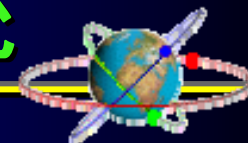
在实践中，由于我们所选的上述周期运动现象不同，便产生了不同的时间系统。在GPS测量中，具有重要意义的时间系统主要有三种：即恒星时、力学时和原子时。

二、世界时系统(Universal Time —UT)

地球在空间的自转运动是连续的，而且比较均匀。所以人类最先建立的时间系统，便是以地球自转运动为基准的世界时系统。但是，由于观察地球自转运动时，所选空间参考点不同，世界时系统又包括恒星时、平太阳时、世界时等不同的形式。

第二章

坐标系统和时间系统



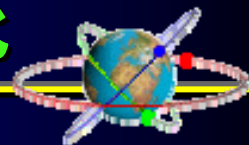
1、恒星时(Sidereal Time —ST)

以春分点为参考点，由春分点的周日视运动所确定的时间，称为恒星时。春分点连续两次经过本地子午圈的时间间隔为一个恒星日，含24个恒星小时。所以恒星时在数值上等于春分点相对于本地子午圈的时角。因为恒星时是以春分点通过本地子午圈时为原点计算的，同一瞬间对不同测站的恒星时各异，所以恒星时具有地方性，有时也称之为地方恒星时。

由于岁差、章动的影响，严格地讲，地球自转轴在空间的指向是变化的，春分点在天球上的位置并不固定，所以对于同一历元所相应的真北天极和平北天极，也有真春分点和平春分点之分。因此，相应的恒星时也有真恒星时和平恒星时之分。

第二章

坐标系统和时间系统



2、平太阳时(Mean Solar Time —MT)

由于地球的公转轨道为一椭圆，根据天体运动的开普勒定律已知，太阳的视运动速度是不均均的。如果以真太阳作为观察地球自转运动的参考点，那将不符合建立时间系统的基本要求。为此，假设一个参考点的视运动速度，等于真太阳周年运动的平均速度，且其在天球赤道上作周年视运动。这个假设的参考点，在天文学中称为平太阳。平太阳连续两次经过本地子午圈的时间间隔，为一个平太阳日，而一个平太阳日包含有24个平太阳时。与恒星时一样，平太阳时也具有地方性，故常称为地方平太阳时或地方平时。

第二章

坐标系统和时间系统



3、世界时(Universal Time —UT)

以平子夜为零时起算的格林尼治平太阳时称为世界时。世界时与平太阳时的尺度基准相同，其差别（12小时）仅在于起算点不同。

世界时系统是以地球的自转为基础的。但是前已指出。随着科学技术的发展，人们发现，地球自转轴在地球内部的位置并不是固定的，即有极移现象并且地球的自转速度也不均匀，它不仅包含有长期的减缓趋势，而且还具有一些短周期的变化和季节性的变化，情况甚为复杂。

第二章

坐标系统和时间系统

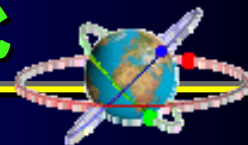


这样一来，地球自转的不稳定性，就破坏了上述建立时间系统的基本条件。为了弥补这一缺陷，从1956年开始，1) 在世界时UT0中引入了极移改正，得到世界时UT1（含有地球自转速度变化的影响）；

2) 在UT1中加入地球自转速度的季节性改正得到世界时UT2。

UT2虽经地球自转季节性变化的改正，但仍含有地球自转速度长期变化和不规则变化的影响，所以世界时UT2仍不是一个严格均匀的时间系统。

世界时系统在天文学、大地天文学中有着广泛的应用。在GPS测量中，其主要用于天球坐标系与地球坐标系之间的转换等项计算工作。



三、原子时 (Atomic Time——TA)

随着空间科学技术和现代天文学与大地测量学新技术的发展和应用，对时间准确度和稳定度的要求不断提高。以地球自转为基础的世界时系统，已难以满足要求。为此，人们从20世纪50年代，便建立了以物质内部原子运动的特征为基础的原子时间系统。

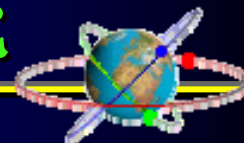
因为物质内部的原子跃迁所辐射和吸收的电磁波频率，具有很高的稳定性和复现性，所以由此而建立的原子时，便成为当代最理想的时间系统。



原子时秒长的定义为：位于海平面上的铯原子基态两个超精细能级，在零磁场中跃迁辐射振荡9 192 631 770周所持续的时间，为一原子时秒。该原子时秒作为国际制秒(SI)的时间单位。

这一定义严格地确定了原子时的尺度，而原子时的**原点**由下式确定： $TA=UT2-0.0039\text{ s}$

在卫星大地测量学中，原子时作为高精度的时间基准，普遍地用于精密测定卫星信号的传播时间。

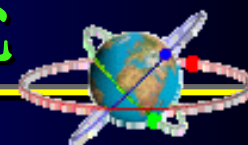


原子时出现，得到了迅速的发展和广泛的应用，许多国家都建立了各自的地方原子时系统。但不同的地方原子时之间存在着差异。为此，国际上大约有100座原子钟，通过相互比对，并经数据处理推算出统一的原子时系统，称为**国际原子时**(**International Atomic Time——ATI**)。

原子时是通过原子钟来守时和授时的。因此，原子钟振荡器频率的准确度和稳定度便决定了原子时的精度。

第二章

坐标系统和时间系统



当前常用的几种频率标准的特性，如下表所列。

几种常用频标的特性比较

特征值		振荡器的种类			
		晶体振荡器	铷气泡	铯原子束	氢原子激光射器
相对频率稳定性	1 秒	$10^{-6} \sim 10^{-12}$	$2 \times 10^{-11} \sim 5 \times 10^{-12}$	$5 \times 10^{-11} \sim 5 \times 10^{-13}$	5×10^{-13}
	1 天	$10^{-6} \sim 10^{-12}$	$5 \times 10^{-12} \sim 5 \times 10^{-13}$	$10^{-13} \sim 10^{-14}$	$10^{-13} \sim 10^{-14}$
钟误差达 1 微秒的时间		1 秒 ~ 10 天	1 天 ~ 10 天	7 天 ~ 30 天	7 天 ~ 30 天
相对频率再现性		必须校准	10^{-11}	$10^{-11} \sim 2 \times 10^{-12}$	5×10^{-13}
相对频率漂移		$10^{-9} \sim 10^{-11}/\text{天}$	$10^{-11}/\text{月}$	$5 \times 10^{-13}/\text{天}$	$5 \times 10^{-13}/\text{年}$

第二章

坐标系统和时间系统



四、协调世界时 (Coordinate Universal Time—UTC)

在许多应用部门，如大地天文测量、导航和空间飞行器的跟踪定位等部门，当前仍需要以地球自转为基础的世界时。但是，由于地球自转速度长期变慢的趋势，近二十年来，世界时每年比原子时约慢1秒，两者之差逐年积累。为了避免发播的原子时与世界时之间产生过大的偏差，所以，从1972年便采用了一种以原子时秒长为基础，在时刻上尽量接近于世界时的一种折衷的时间系统，这种时间系统称为协调世界时 (UTC)，或简称协调时。

第二章

坐标系统和时间系统

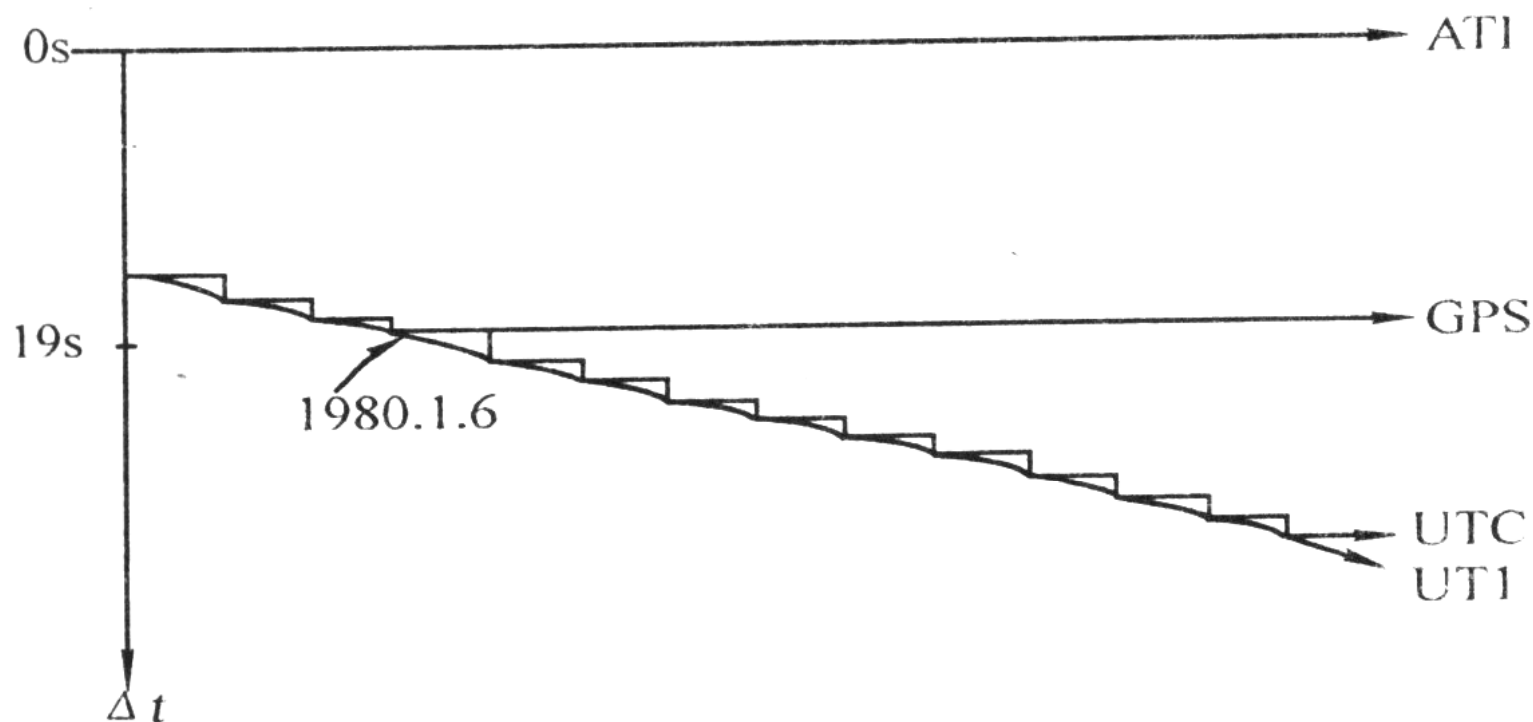
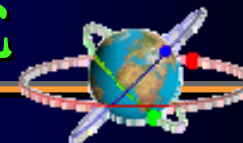
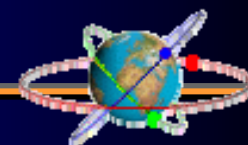


图 2-6 GPS 时间系统与各种时间系统

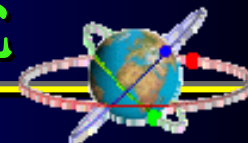
第二章

坐标系统和时间系统



协调世界时的秒长严格等于原子时的秒长，采用闰秒(或跳秒)的办法使协调时与世界时的时刻相接近。当协调时与世界时的时刻超过 $\pm 0.9\text{s}$ 时，便在协调时中引入一闰秒(正或负)，闰秒一般在12月31日或6月30日末加入。具体日期由国际时间局安排并通告。

为了使采用世界时的用户得到精度较高的UT1时刻，时间服务部门发播协调时(UTC)时号的同时，还给出UT1与UTC的差值。这样用户便可容易地由UTC得到相应的UT1。目前，几乎所有国家时号的发播，均以UTC为基准。时号发播的同步精度约为 $\pm 0.2\text{ms}$ 。



五、GPS时（GPST）

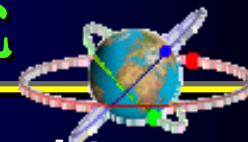
为了精密导航和定位的需要，全球定位系统（GPS）建立了专用的时间系统。该系统可简写为GPST，由GPS的**主控站**原子钟所控制。

GPS时属原子时系统，其秒长与原子时相同，但与国际原子时具有不同的起点。所以，GPST与ATI在同一瞬间均有一常量偏差，其间关系为

$$\text{ATI} - \text{GPST} = 19 (\text{s})$$

第二章

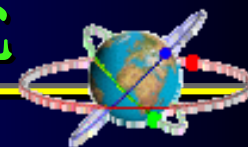
坐标系统和时间系统



GPS时与协调时的时刻，规定于1980年1月6日0时相一致。其后随着时间的积累，两者之间的差别将表现为秒的整倍数。至1987年这个差值为4秒，而到1989年其值已达5秒，目前为13s。在GPS测量中，应用的几种主要时间系统之间的差别见下图。

第二章

坐标系统和时间系统



几种主要时间系统之间的差别

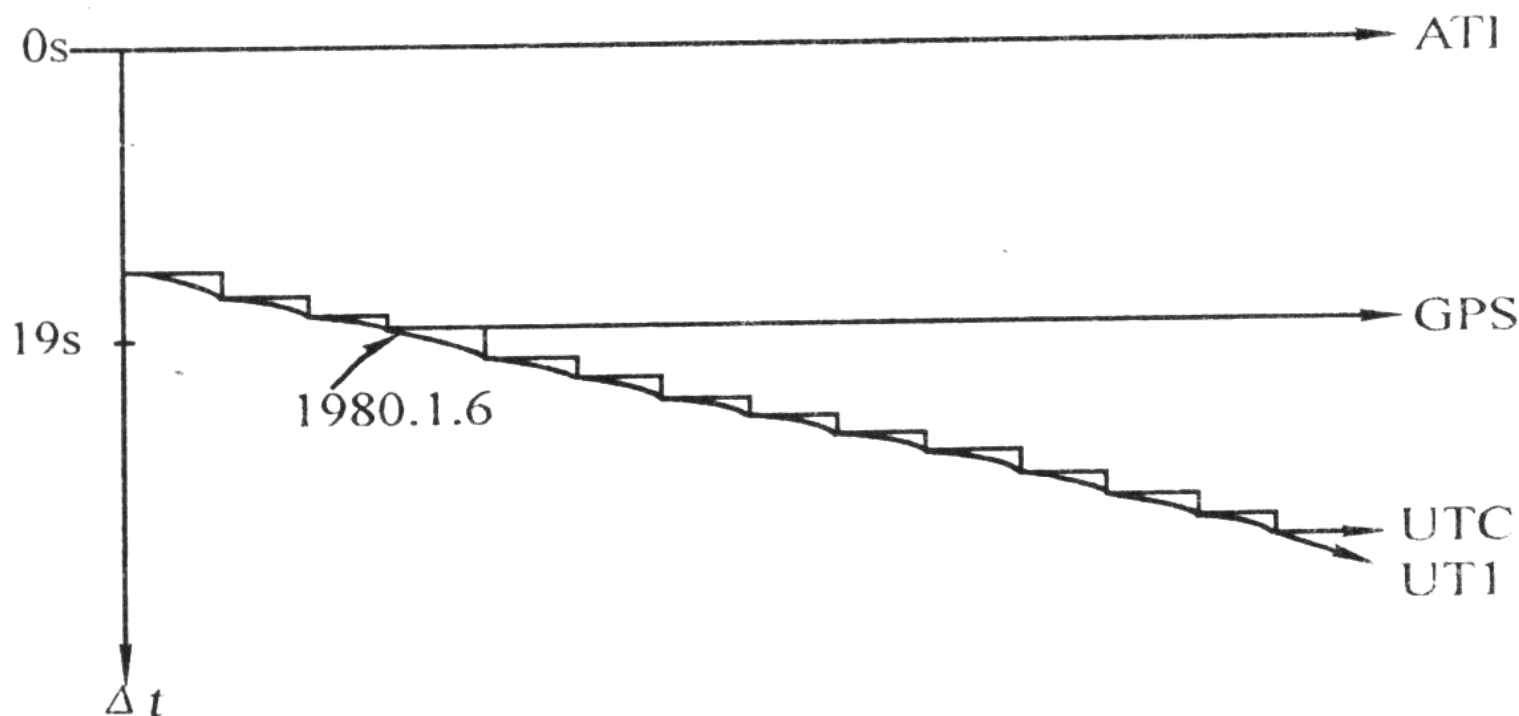


图 2-6 GPS 时间系统与各种时间系统

A scenic view of a mountain landscape with mist and a village. The image shows a valley with a small village of traditional Chinese buildings, surrounded by lush greenery and towering, misty mountains in the background. The overall atmosphere is serene and picturesque.

第二章结束!

谢谢大家!