



第二章 坐标系统和时间系统



2.1 天球坐标系

2.2 地球坐标系

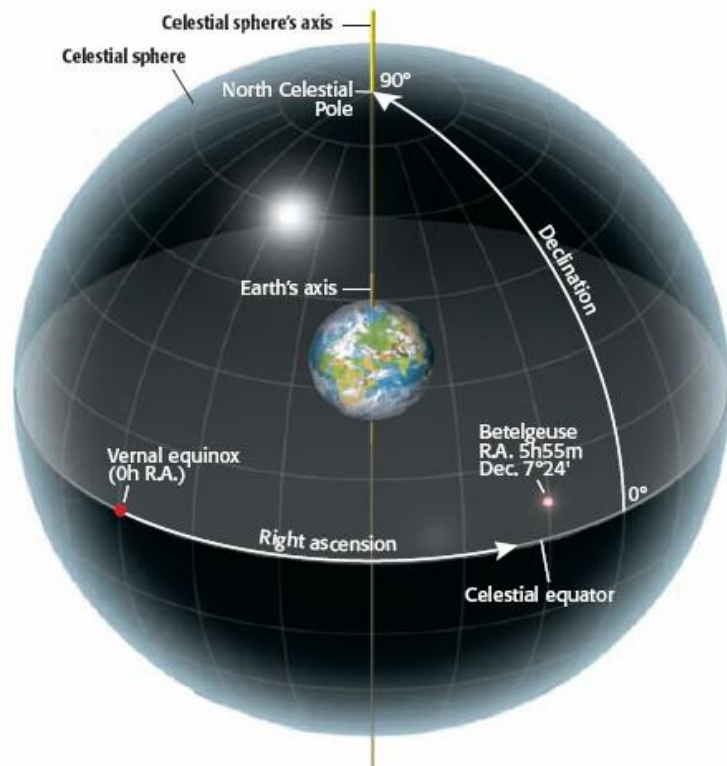
2.3 坐标系转换

2.4 时间系统



2.1 天球坐标系

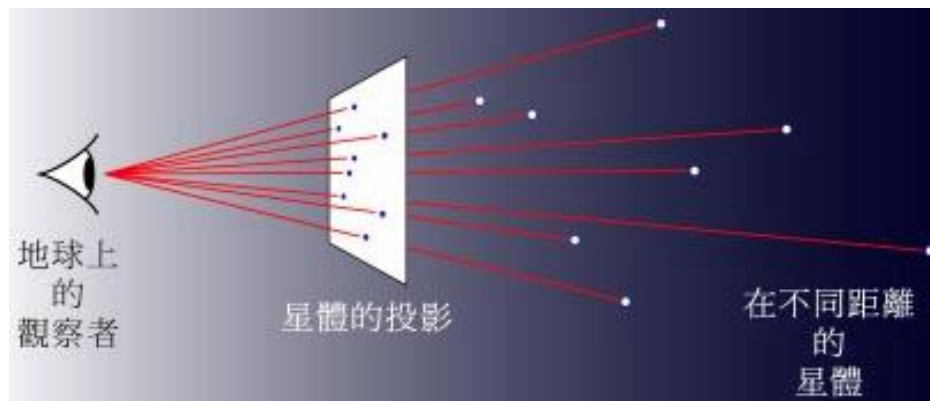
天文学中，天球指的是一个假想的旋转的球，理论上具有无限大的半径，与地球同心。天空中所有的物体都投影到这个天球的表面上，并利用球面坐标系统来表达或研究天体的位置及天体之间的关系。



我们站在地球上仰望星空，看到天上的星星好像都离我们一样远。星星就好像镶嵌在一个圆形天幕上一样。

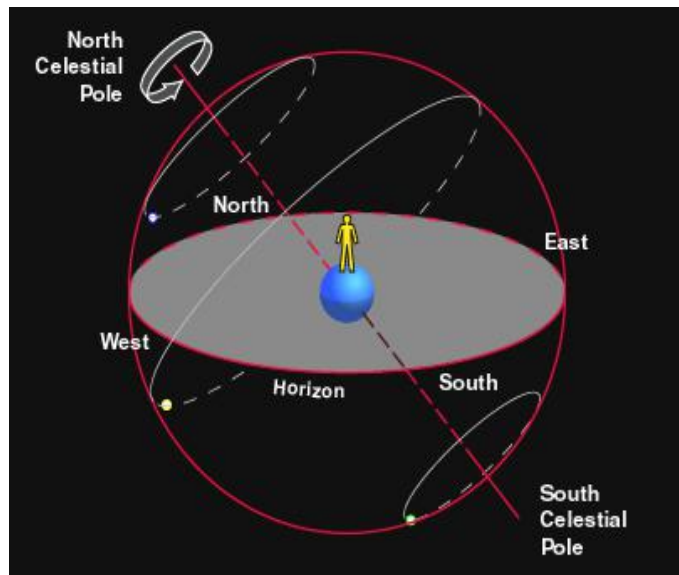


视位置定义为：把不同远近的星星与观测者的眼睛连成的直线延长，它们和天球相交的点，即星星在天球上的投影。

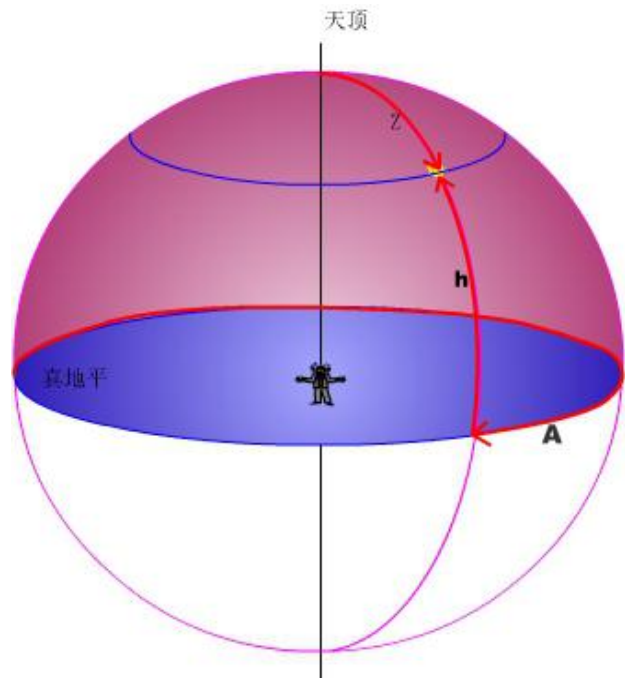


一、天球的基本概念

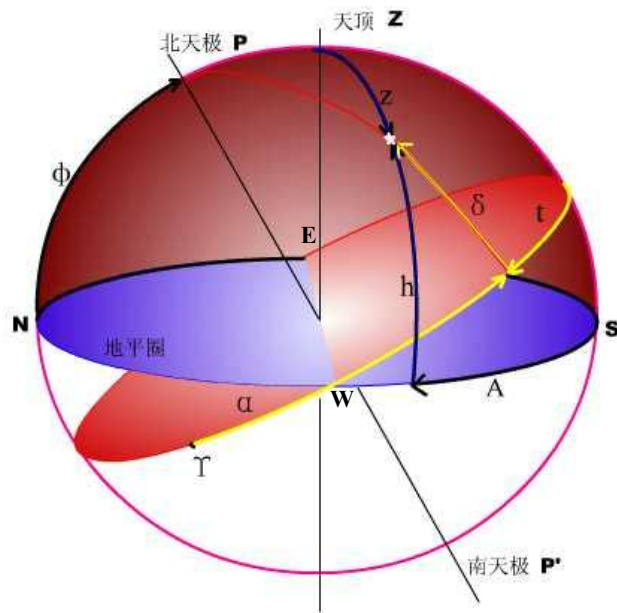
- 天球：以地球质心为中心，任意长度为半径的假象球体
- 天轴：地球自转轴的延伸直线
- 天极：天轴与天球的交点 P_n 、 P_s
- 天球赤道面：通过地球质心与天轴垂直的平面
- 天球赤道：天球赤道面与天球相交的大圆



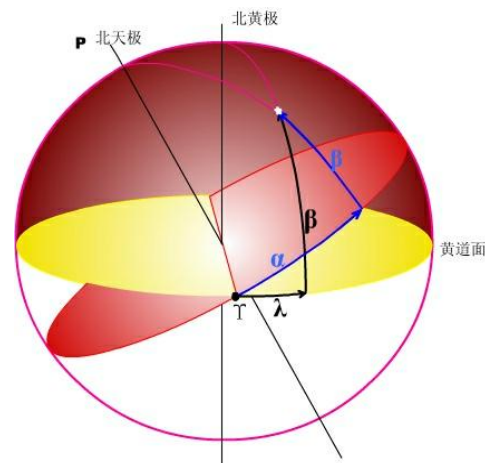
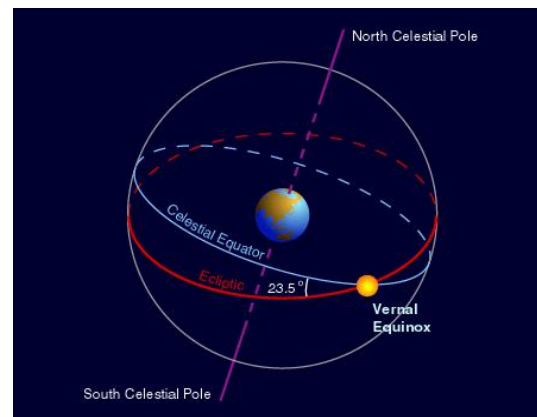
- 天顶：Z 过天球中心做一直线与观测点的铅垂线平行，交天球于两点，位于观测者头顶的一点称天顶。
- 天底：Z' 与天顶相对的另一交点为天底。
- 真地平：过天球中心做一与铅垂线垂直的平面，与天球相交的大圆为真地平。



- 天子午圈：过天极和天顶的大圆。
- 四方点：天子午圈与真地平相交的两点为南北点，（靠近北天极的为北点）天赤道与真地平相交的两点为东西点。
- 卯酉圈：过天顶和东西点所做的大圆。



- 黄道：地球绕太阳公转的轨道平面称为黄道面，它与天球相交的大圆称之为黄道。
- 黄极：过天球中心垂直于黄道面的直线与天球的交点。
- 黄赤交角：天球赤道面与黄道面的交角 ε 约为 23.5° 。
- 春分点：当太阳在黄道上从天球的南半球向北半球运行时，天球赤道与黄道的交点 γ 。



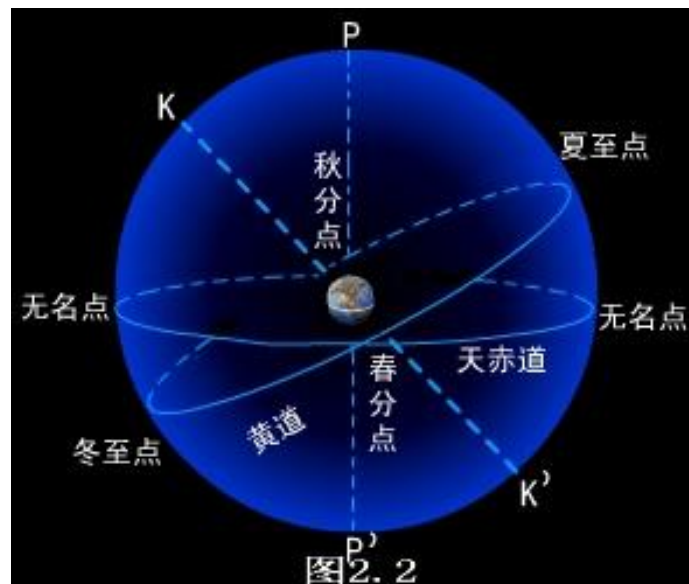
二分二至点

3/19, 20, 21, 春分

6月21日或22日, 夏至

9/22或23, 秋分

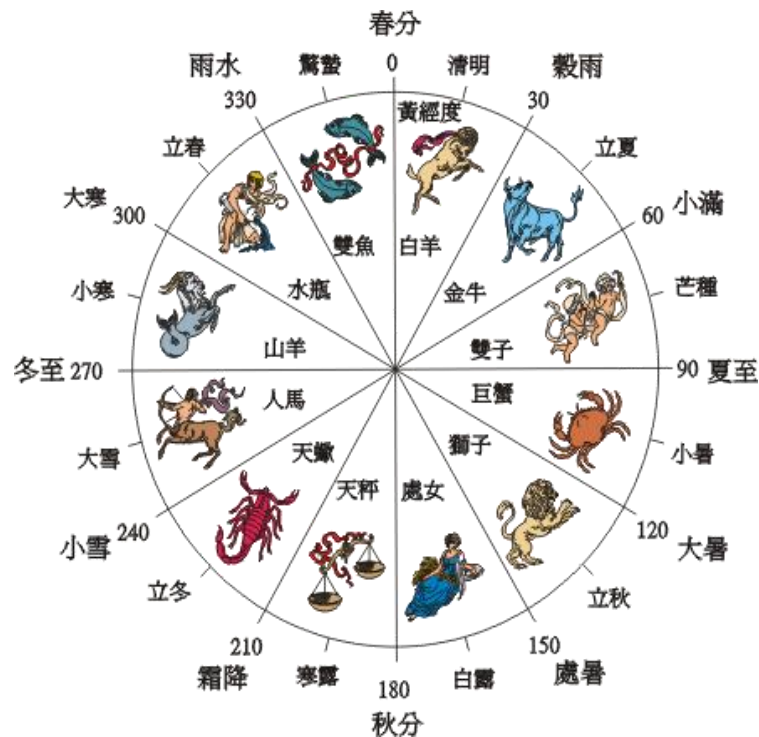
12月21日至23日之间, 冬至



人们把黄道划分成12等份（每份 30° ），每份用邻近的一个主要星座命名，共12个星座，这些星座就称为黄道十二星座或黄道十二宫（Signs of Zodiac）。这样，相当于把一年划分成了十二段，在每段时间里太阳进入一个星座。在西方，一个人出生时太阳正走到哪个星座，就说此人所属这个星座。

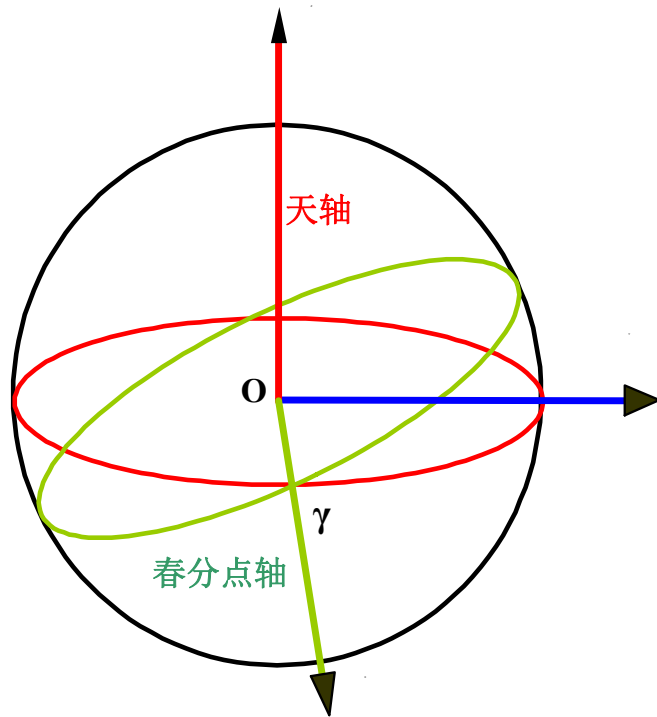


最早有关于黄道的历史纪录出现在巴比伦文化当中，他们利用太阳在黄道上的运行位置辨识日期，黄道上十二星座最早的功用就如同今天月历上的十二个月，白羊座起始于春分点被视为是一年的开始，而当太阳运行到天秤座的那天是昼夜平分的时候。在巴比伦时代，3月21日的春分点（Spring Equinox）也正好是太阳跨入白羊座的时候。



二、天球坐标系

- **原点**位于地球的质心
- **地球自转轴（天轴）**空间指向稳定不变
- **春分点轴**空间指向稳定不变
- 与两轴垂直并位于天球赤道平面内的**第三轴**空间指向稳定不变



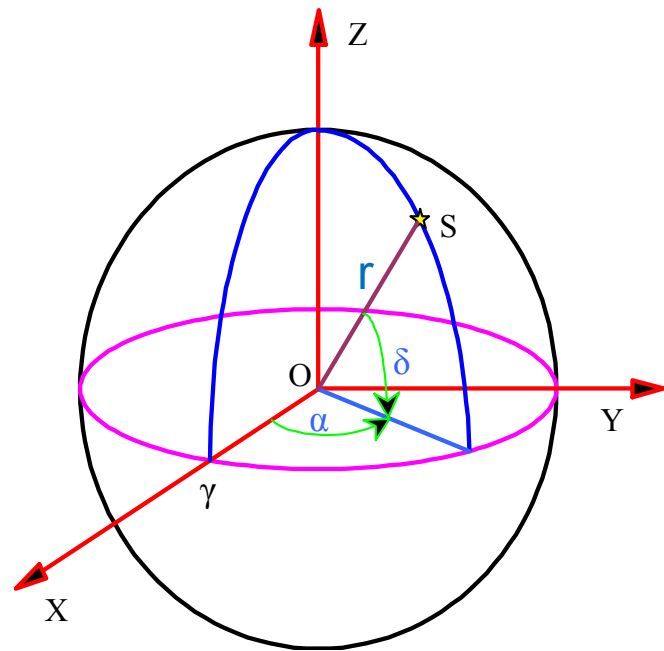
任一天体S的位置在天球坐标系中可用两种形式描述:

1、天球空间直角坐标系S (X, Y, Z)

原点位于地球的质心, Z轴指向Pn, X轴指向春分点, Y轴垂直于XOZ平面。

2、天球球面坐标系S (α, δ, r)

原点位于地球的质心, 赤经 α 为含天轴和春分点的子午面与过S的子午面的夹角, 赤纬 δ 为原点到天体S的连线与天球赤道面之间的夹角, 向径 r 为原点到天体S的距离。



3、转换关系

$$Z = r \sin \delta$$

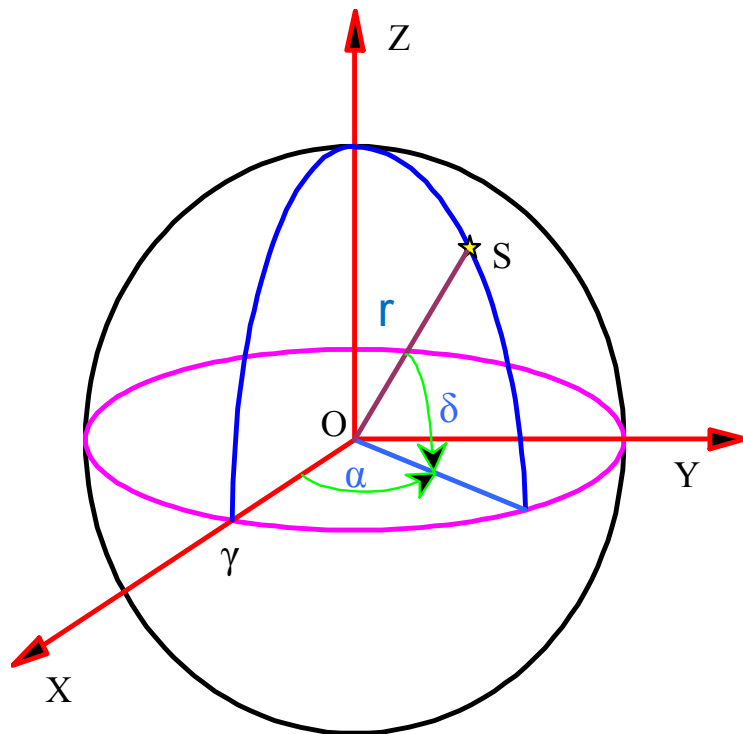
$$X = r \cos \delta \cos \alpha$$

$$Y = r \cos \delta \sin \alpha$$

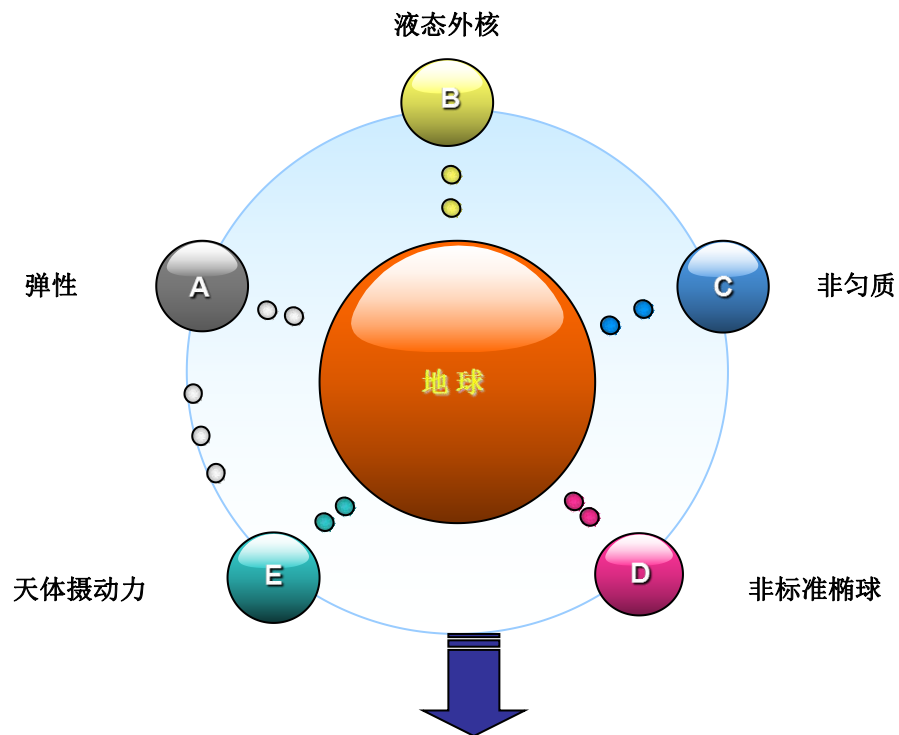
$$r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{Y}{X}$$

$$\delta = \operatorname{arctg} \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$$



三、岁差和章动

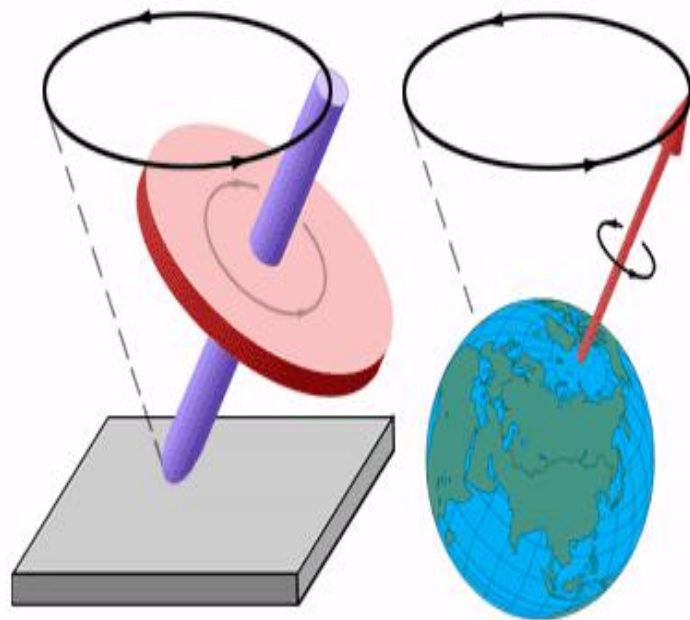


地球运动状态变化 → 岁差和章动

1、岁差

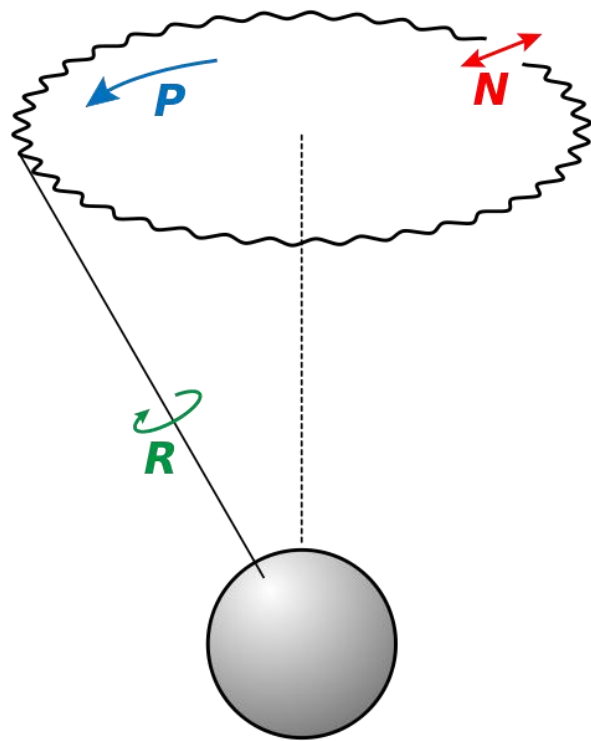
地球的形体接近于一个赤道隆起的椭球体，在日月引力和其他天体引力对地球隆起部分的作用下，地球自转轴的方向不再保持不变从而使春分点在黄道上产生缓慢的移动。

在天文学中是指一个天体的自转轴指向因为重力作用导致在空间中缓慢且连续的变化。



2、章动

章动是在行星或陀螺仪的自转运动中，轴在进动中的一种轻微不规则运动，使自转轴在方向的变化中出现如“点头”般的摇晃现象。



倾斜的地球自转 (绿色)，
岁差 (蓝色) 和章动 (红色)

把仅有岁差影响的北天极叫**平北天极**。

如果把观测时的北天极叫**瞬时北天极**，那么在日月引力等因素的影响下，瞬时北天极将绕平北天极产生旋转大致成椭圆形轨迹。

北天极在天球上的运动可分解成两种规律运动：

平北天极绕北黄极运动（**岁差**）

瞬时北天极绕平北天极运动（**章动**）

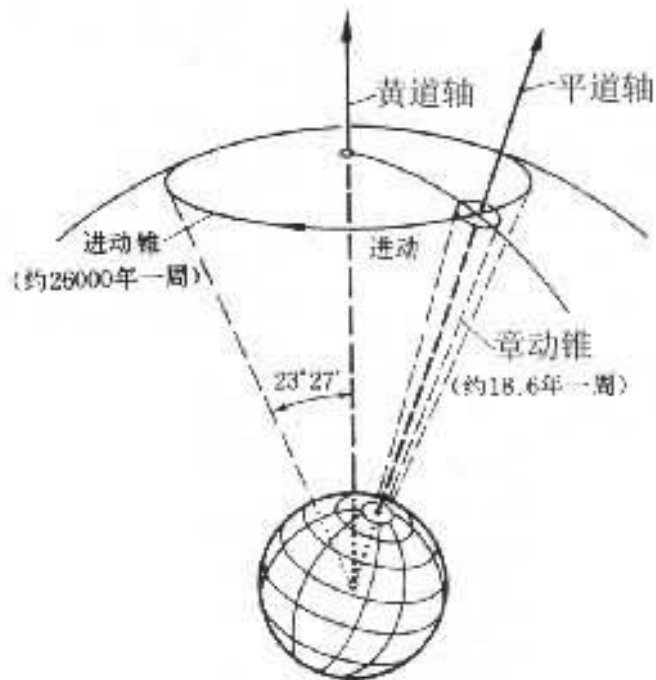
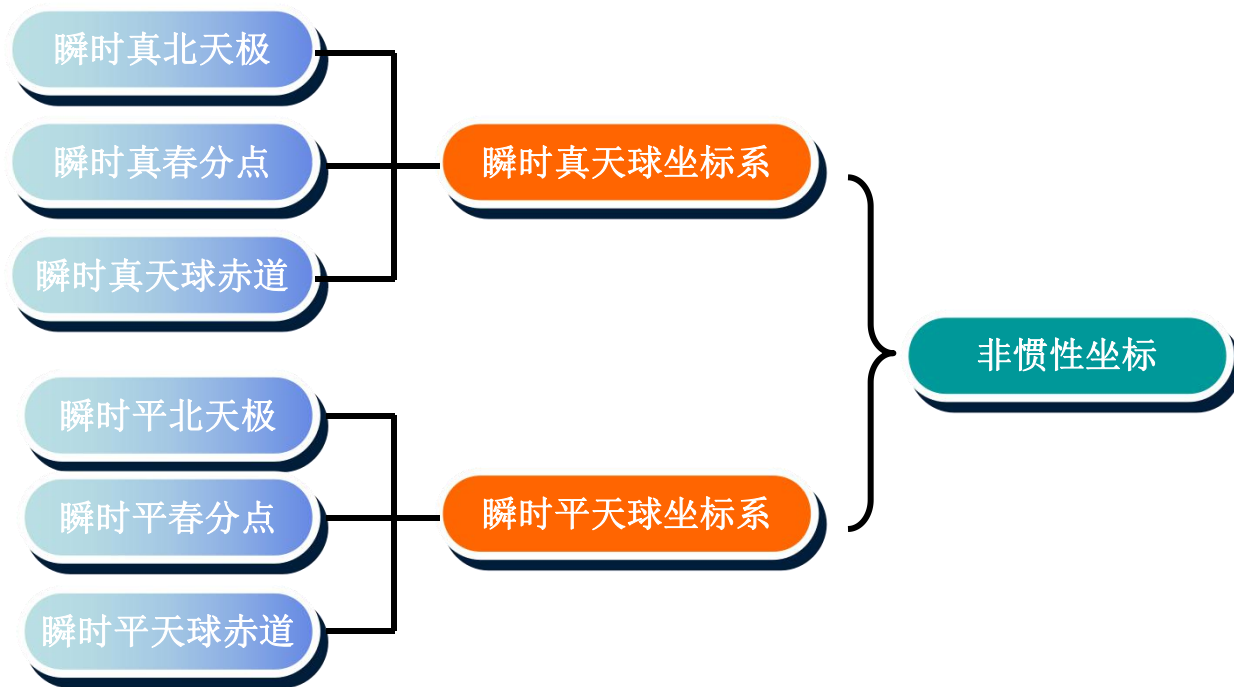


图6 地球的受迫进动和章动

四、协议天球坐标系



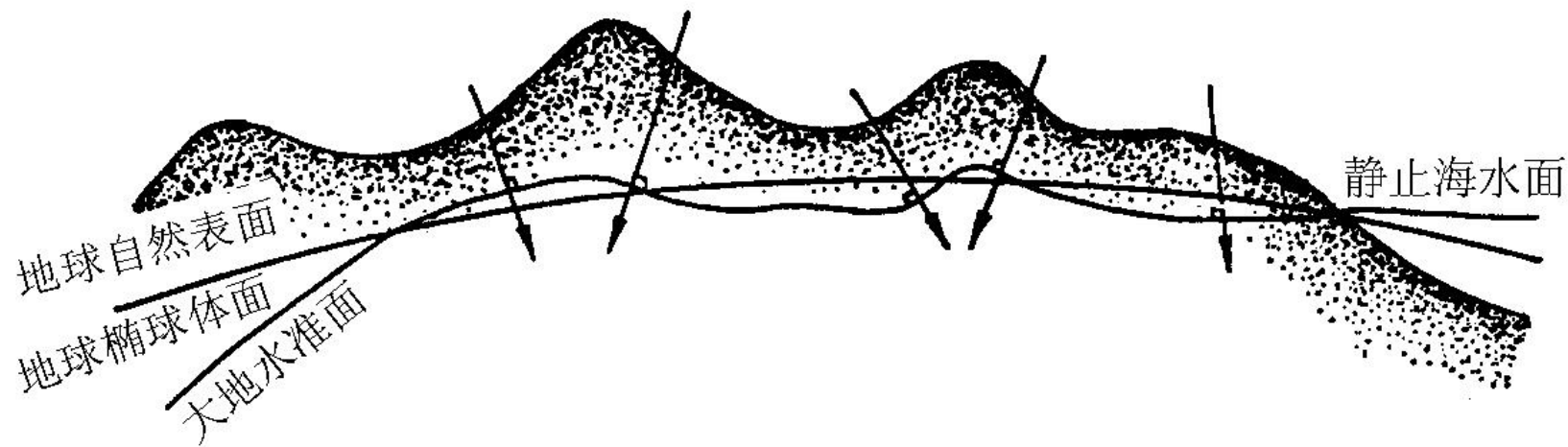
- 1、瞬时天球坐标系：瞬时北天极和瞬时春分点
平天球坐标系：平北天极和平春分点
- 2、协议天球坐标系：人们通常选择某一时刻 t_0 作为标准历元，并将此时刻地球瞬时自转轴和地心至瞬时春分点的方向，经该瞬时岁差和章动的改正后，分别作为Z轴、X轴，这样构成的天球坐标系，称为所取标准历元的平天球坐标系或协议惯性坐标系CIS（Conventional Inertial System）
- 3、国际大地测量协会和国际天文学联合会决定，从1984年1月1日启用的协议天球坐标系，其坐标轴的指向是以2000年1月1.5日质心力学时为标准历元（J2000.0）的赤道和春分点所定义的，称为J2000.0协议天球坐标系。

儒略日JD=2451545.0为标准历元，记为J2000.0，公历为2000年1月1日12h00m00s

三种天球坐标系之间的坐标转换

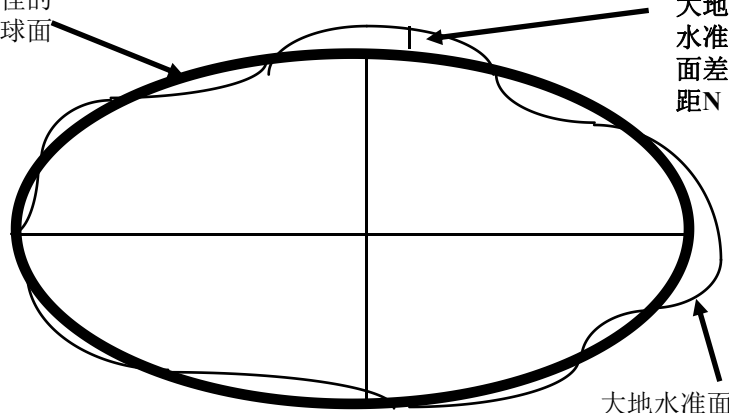


2.2 地球坐标系



配合最佳的
参考椭球面

大地
水准
面差
距 N



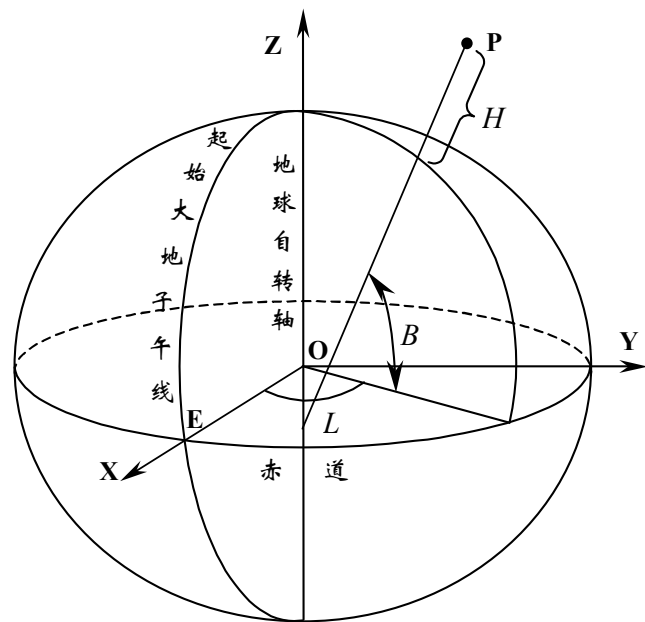
大地水准面

- 地心坐标系：原点位于地球质心
- 参心坐标系：原点位于参考椭球体的中心

一、地心坐标系的建立

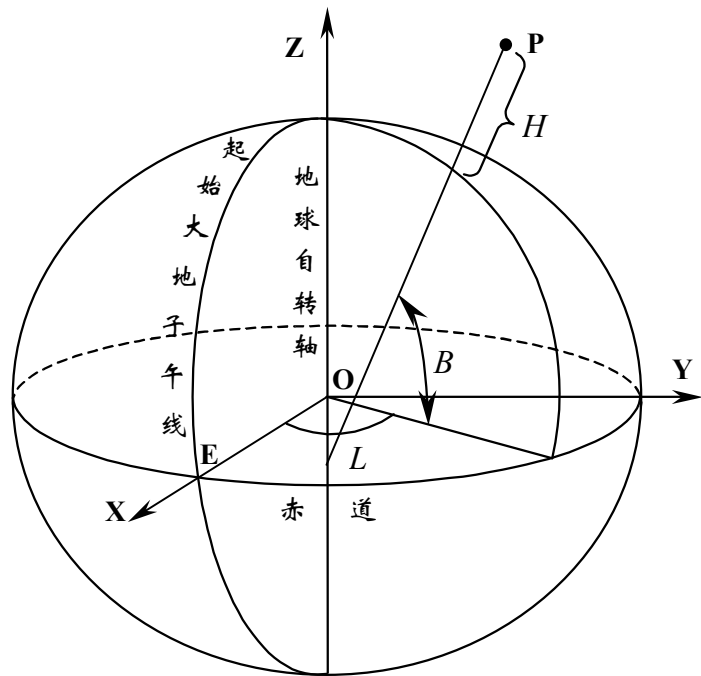
1、地球直角坐标系

原点 O 与地球质心重合， z 轴指向地球北极， x 轴指向地球赤道面与格林威治子午圈的交点， y 轴在赤道平面里与其构成右手系统坐标系。



2、地球大地坐标系

地球椭球的中心与地球质心O重合，椭球的短轴与地球的自转轴重合。P点的大地纬度为过该点的椭球法线与椭球赤道面的夹角B，经度为该点所在的椭球子午面与格林威治平大地子午面之间的夹角L，大地高H为P点沿椭球法线至椭球面的距离。



3、地球大地坐标系与直角坐标系的转换

➤ 由大地坐标系换算为直角坐标系：

$$x = (N + H) \cos B \cos L$$

$$y = (N + H) \cos B \sin L$$

$$z = [N(1 - e^2) + H] \sin B$$

式中：N为椭球的卯酉圈曲率半径；e为椭球的第一偏心率

➤ 由地球直角坐标系换算为大地坐标系

$$\varphi = \arctan \left\{ Z(N + H) / \left[\sqrt{X^2 + Y^2} (N(1 - e^2) + H) \right] \right\}$$

$$L = \arctan \left(\frac{Y}{X} \right)$$

$$H = \frac{Z}{\sin B} - N(1 - e^2)$$

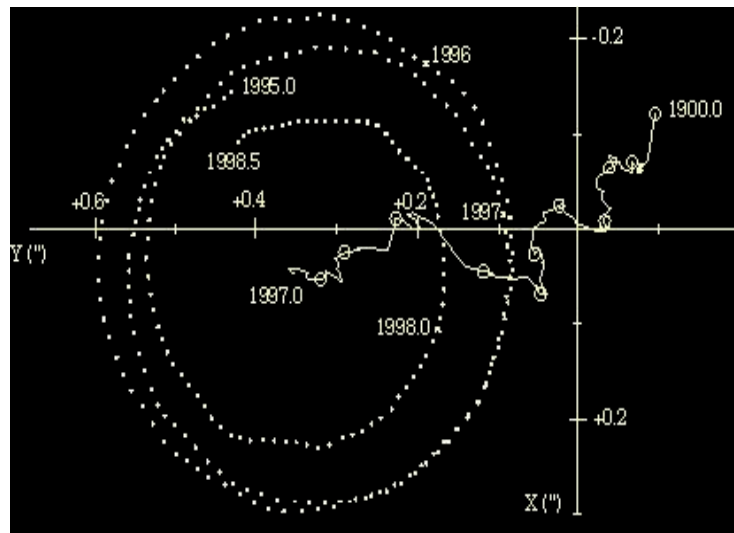
二、极移、协议地球坐标系

1、地极移动

地极移动：地球瞬时自转轴在地球上随时间而变。

瞬时极：随时间而变化的极点。

平极：某一时期瞬时极的平均位置。



2、协议地球坐标系：

国际协定原点：国际大地测量与地球联合会以1900.00~1905.05年地球自转轴瞬时位置的平均位置作为地球的固定极称为国际协定原点Conventional International Origin, CIO。又称为**协议地极**conventional Terrestrial Pole , CTP。

协议赤道面：与CTP相对应的地球赤道。

起始子午线：1968年BIH（Bureau International de l'Heure）决定用通过CIO和格林尼治天文台的子午线作为起始子午线。该子午线与协议赤道的交点 E_{CTP} 作为经度零点。

协议地球坐标系的定义：坐标原点位于地球质心，Z轴指向CTP，X轴指向 E_{CTP} ，Y轴与之垂直。

BIH：综合全球数十个天文台站测量结果开展时间和极移服务的国际机构，设于巴黎。1922年成立，1988年改组为国际地球自转服务。

两种地球坐标系

地球坐标系	原 点	Z 轴	X 轴
瞬时地球坐标系	地心	瞬时北地极	瞬时真赤道面和包含瞬时自转轴的格林尼治平子午面的交线
平地球坐标系	地心	协议地极原点 (如1900.00~1905.00年 地球自转轴的瞬时平均位置)	与地心和CIO连线正交之平面 和格林尼治平子午面的交线

3、坐标转换

协议天球坐标系与协议地球坐标系的转换

$$(x, y, z)_{\text{CIS}} \longrightarrow (x, y, z)_{\text{Mt}} \longrightarrow (x, y, z)_{\text{ICS}} \longrightarrow (x, y, z)_{\text{ITS}} \longrightarrow (x, y, z)_{\text{CTS}}$$

它们分别表示卫星在J2000.0协议天球坐标系、观测历元t的瞬时平天球坐标系、观测历元t的瞬时天球坐标系、观测历元t的瞬时地球坐标系和协议地球坐标中的坐标。

步骤	作用	坐标向量	坐标系
第一步	消除岁差的影响	$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{CIS}} \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{Mt}}$	J2000.0协议天球坐标系（CIS）
			观测历元t的瞬时平天球坐标系（Mt）
第二步	消除章动的影响	$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{Mt}} \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{ICS}}$	观测历元t的瞬时天球坐标系（ICS）
			观测历元t的瞬时地球坐标系（ITS）
第三步	瞬时天球坐标转换为瞬时地球坐标	$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{ICS}} \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{ITS}}$	
第四部	消除极移的影响	$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{ITS}} \Rightarrow \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{CTS}}$	观测历元t的瞬时地球坐标系（ITS）
			协议地球坐标系（CTS）

三、WGS-84坐标系

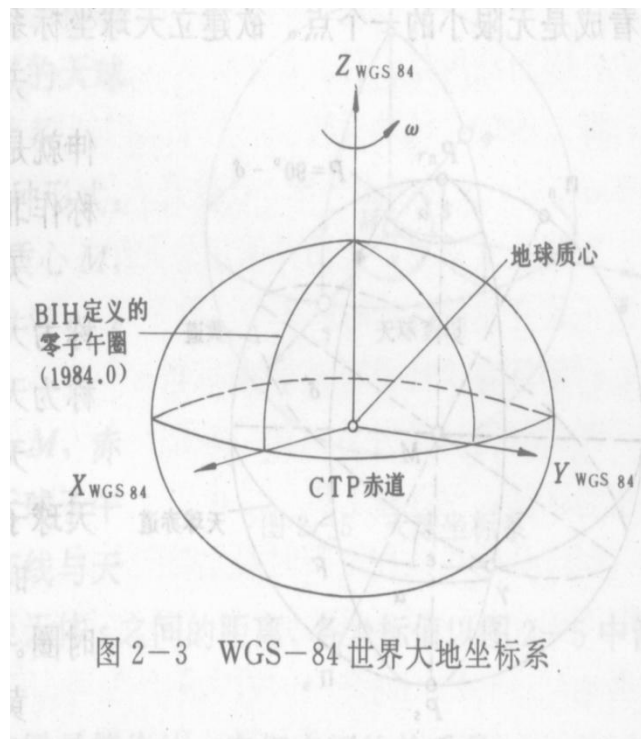
WGS84 (World Geodetic System of 1984)
美国国防部制图局建立，于1987年取代了
WGS-72坐标系

原点：地球质心

Z 轴：BIH1984.0定义的协议地球极CTP

X 轴：BIH1984.0和CTP赤道的交点

Y 轴：垂直于XOZ

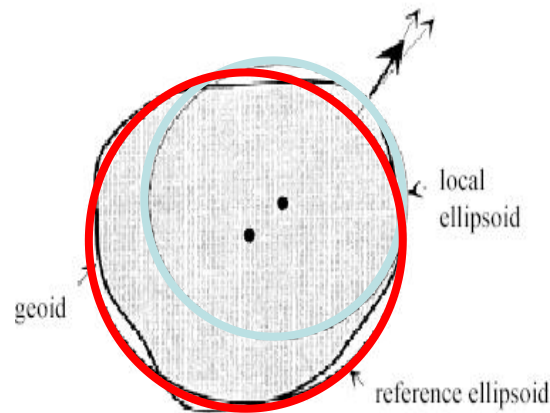
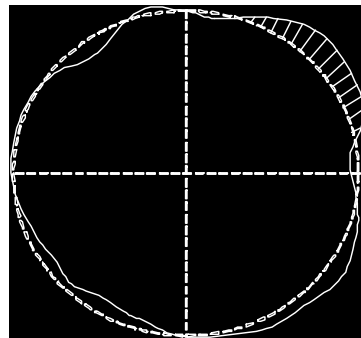


四、参心坐标系统

地球椭球用来代表地球形状其越接近大地水准面越好，大地测量学中称之为“密合”。在实践上，通常先用重力技术推算出大地水准面，然后再用数学上的最佳拟合方法计算与大地水准面最密合的旋转椭球体，确定它的形状和大小。拟合的原则是使全球大地水准面差距平方和最小，即 $\sum N_g = \min$ 。这样确定的椭球称为总地球椭球（Datum-centered Ellipsoid）或平均地球椭球，总椭球在理论上是唯一的。

由于总椭球的建立要求全球范围 $\sum N_g$ 最小，于是有的地方（如海洋）与椭球面非常接近，差距 N_g 较小；有的地方（如青藏高原和喜马拉雅山脉）大地水准面起伏较大，则差距 N_g 较大。后者给该地区测绘成果的归算以及地图投影引来了误差和不便。为了解决这个问题，人们引入了参心椭球（Local Ellipsoid）。参心椭球只求在某一特定范围内的 $\sum N_g = \min$ 。

19世纪以来，世界上许多国家和地区都使用各自的参心大地坐标系。



地心坐标系和参心坐标系的区别

	地心坐标系	参心坐标系
原点定义	以地球质心(总椭球的几何中心)为原点的大地坐标系	以参考椭球的几何中心为原点的大地坐标系
椭球定位	总地球椭球体中心与地球质心重合 总地球椭球面与全球大地水准面差距的平方和最小	参考椭球体中心与地球质心不重合 参考椭球面与区域大地水准面差距的平方和最小
椭球定向	椭球短轴与地球自转轴重合	椭球短轴与地球自转轴平行
适用范围	全球测图	区域(国家)测图
实例	WGS84坐标系 2000国家大地坐标系	1954年北京坐标系 1980西安坐标系

1、BJZ54（原）坐标系

克拉索夫斯基椭球，大地原点在普拉克沃

2、GDZ80坐标系

IUGG椭球，原点在永乐店

3、BJZ54（新）坐标系

在GDZ80坐标系基础上，将IUGG椭球旋转为克拉索夫斯基椭球

1954年北京54坐标系

坐标系类型

1954年北京坐标系属参心坐标系

原点

位于原苏联的普尔科沃天文台圆形大厅中心

z轴

没有明确定义

x轴

没有明确定义

参考椭球

椭球参数采用1940年克拉索夫斯基椭球参数

定位方式

多点定位

椭球长半径

$a=6378245\text{m}$

椭球扁率

由相关参数计算的扁率： $\alpha=1/298.3$

1954年54坐标系存在以下问题：

- 1) 椭球参数与现代精确参数相差很大，现在的精确椭球参数相比，长半轴约长109米；椭球只有两个几何参数（长半轴、扁率），缺乏物理意义；
- 2) 定向不明确，椭球短轴未指向国际协议原点CIO，也不是中国地极原点JYD1968.0；起始大地子午面也不是国际时间局BIH所定义的格林尼治平均天文台子午面。
- 3) 该坐标系中的大地点坐标是经过局部分区平差得到的，在区与区的接合部，同一点在不同区的坐标值相差1~2m；
- 4) 坐标是从我国东北传递到西北和西南，后一区是以前一区的最弱部作为坐标起算点，因此有明显的坐标积累误差。
- 5) 椭球面与我国大地水准面呈西高东低系统偏差，东部高程异常最大+65m，全国范围29m

1980年国家大地坐标系

坐标系类型	1980年国家大地测量坐标系属参心坐标系
原点	位于我国中部—陕西省泾阳县永乐镇
z轴	平行于地球质心指向我国定义的1968.0地极原点(JYD)方向
x轴	起始子午面平行于格林尼治平均天文子午面
参考椭球	椭球参数采用1975年第16届国际大地测量与地球物理联合会的推荐值
定位方式	多点定位
椭球长半径	$a=6378140\text{m}$
椭球扁率	由相关参数计算的扁率： $\alpha=1/298.257$

2000国家大地坐标系

地心系CGCS2000（ China Geodetic Coordinate System 2000 ）的定义如下：

- a. 原点：包括海洋和大气在内的整个地球的质心
- b. 长度单位：国际单位制m，与局部地心框架下的地心坐标时一致，通过适当的相对论模型获得
- c. 定向：初始定向由1984.0时的BIH 定向给出
- d. CGCS2000大地坐标系是右手地固直角坐标系（直角坐标系包括笛卡尔空间直角坐标系（X、Y、Z）和空间大地直角坐标系（B、L、H））。

原点位于地球质心；Z轴与IERS参考极（IRP）方向一致，X轴为IERS参考子午面（IRM）与垂直于Z轴的赤道面的交线，Y轴与Z轴、X轴垂直并最终形成右手正交系。

	CGCS 2000	WGS 84
长半径	6 378 137m	6 378 137±2m
地心引力常数	$3.986\ 004\ 418 \times 10^{14} \text{m}^3/\text{s}^2$	$3.986\ 004 \times 10^{14} \text{m}^3/\text{s}^2$
自转角速度	$7\ 292\ 115 \times 10^{-11} \text{rad/s}$	$7\ 292\ 115 \times 10^{-11} \text{rad/s}$
扁率	1/298.257 222 101	1/298.257 223 563

地方独立坐标系

- 水准面建立在当地的平均海拔高程面上，（隐含着一个与当地平均海拔高程对应的参考椭球）
- 以当地子午线作为中央子午线
- 参考椭球的中心、轴向和扁率与国家参考椭球相同，
- 长半径有一改正量

站心坐标系（以测站为原点的坐标系）

站心地平直角坐标系:

原点：观测站P1

Z轴：与P1点椭球法线相重合；

X轴：垂直于Z轴，指向参考椭球的短半轴；

Y轴：垂直于XP1Z平面

站心赤道坐标系:

P1为测站点，O为地球质心，以P1为原点建立与O-XYZ相应坐标轴平行的坐标系。

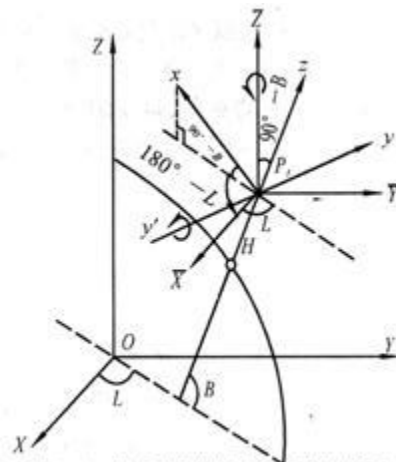


图 2-3 站心赤道与地平直角坐标系

五、国际地表参考系统

- 为使全球各地使用者能有一共同的参考基准，国际大地测量及地球物理协会(IUGG)和国际大地测量协会(IAG)采用唯一的**ITRS**，称为国际地表参考系统(International Terrestrial Reference System, ITRS)
- ✓ ITRS原点定义在地球的质量中心，包含海洋与大气；
- ✓ 长度单位为米；
- ✓ 定向Z轴从地心指向BIH1984.0定义的协议地球极（CTP）；X轴从地心指向格林尼治平均子午面与CTP赤道的交点；Y轴与XOZ平面垂直而构成右手坐标系；
- ✓ 坐标轴指向随时间的变化应满足“地壳无整体旋转”这一条件。

参考框架

参考系统的具体实现，用固定在地球上的一组标记及其坐标和其他一些参数间接地表示出参考系统，这组标记即是参考框架。

由一组参考点的位置和坐标来具体实现某一协议参考系，这组参考点的位置和坐标构成了一个协议参考框架(Conventional Terrestrial Reference Frame, CTRF)。

实现一个地球参考系，就是建立一个与之相应的地球参考架：

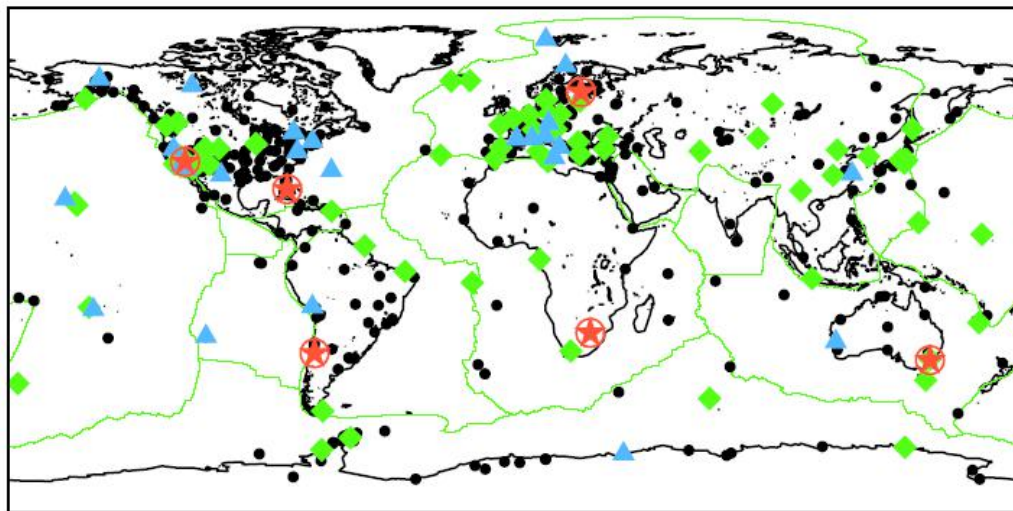
- 1) 给出理论定义和协议约定；
- 2) 建立地面观测台站，并用空间大地测量技术进行观测；
- 3) 根据前面对协议地球参考系的一些约定，采用国际推荐的一组模型和常数，对观测数据进行数据处理，解算出各观测台站在某一历元的站坐标。即建立一个国际协议地球参考架(ITRF)；
- 4) 对于影响地面台站稳定的各种形变因素进行分析处理，建立相应的时变模型，以维持该协议地球参考架的稳定。

- **国际地球参考框架（ITRF）**：是ITRS的实现，是由一组具有ITRS下坐标和速度估值的IERS观测站组成，并由IERS中心局的地球参考框架部负责建立和维护。
- **数据构成**：基于甚长基线干涉VLBI、激光测月LLR、激光测卫SLR、GPS和卫星轨道跟踪和定位DORIS等空间大地测量技术的观测数据。
- 这些观测数据首先由不同技术各自的分析中心进行处理，最后由 IERS 中心局（IERS CB）根据各分析中心的处理结果进行综合分析，得出ITRF的最终结果，并由IERS年度报告和技术备忘录向世界发布，提供各方面的应用。

- 在定义ITRF时是采用一组基本测站所组成的全球网，该类测站的坐标值必须采用最精确的空间定位技术予以良好测定。在考虑点位会受地壳变动之影响而产生坐标改变之现象，ITRF除透过一组地面测站坐标值之公布外，测站坐标变化之速度场量亦会加以提供。
- 自1988年起，随着测站数量的增加、观测精度的提高以及观测资料的累积、数据处理方法的改进，也不断进行改进和完善，IERS已经发布ITRF88、ITRF89、ITRF90、ITRF91、.....、ITRF2014等多种版本。

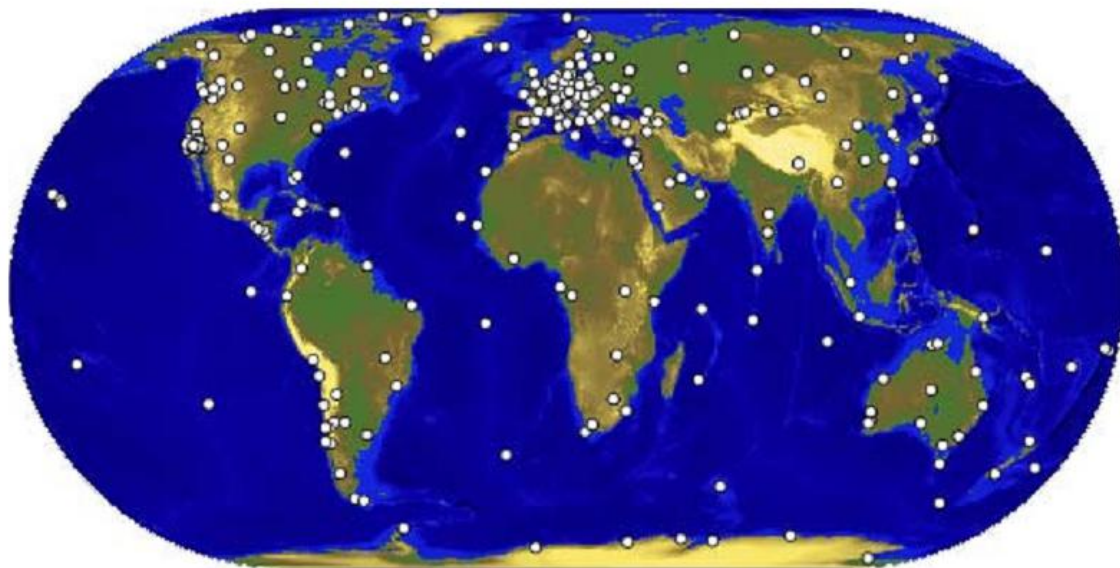
ITRF坐标框架序列

ITRF	观测技术	参考历元	速度场	板块运动模型
88	VLBI,SLR,LLR	1988.0	AM0-2,AM1-2	AM0-2,AM1-2
89	VLBI,SLR,LLR	1988.0	AM0-2,AM1-2	AM0-2,AM1-2
90	VLBI,SLR,LLR	1988.0	AM0-2,AM1-2	AM0-2,AM1-2
91	VLBI,SLR,LLR,GPS	1988.0	AM0-2,NNR-NUVEL1,少量实测	AM0-2,NNR-NUVEL1
92	VLBI,SLR,LLR,GPS	1988.0	NNR-NUVEL1,实测	AM0-2,NNR-NUVEL1
93	VLBI,SLR,GPS	1993.0	NNR-NUVEL1A,实测	NNR-NUVEL1A
94	VLBI,SLR,GPS	1993.0	实测加NNR-NUVEL1A约束	NNR-NUVEL1A
96	VLBI,SLR,GPS,DORIS	1997.0	实测	没有说明
97	VLBI,SLR,GPS,DORIS	1997.0	实测	没有说明
2000	VLBI,SLR,GPS,DORIS,LLR	1997.0	实测加NNR-NUVEL1A约束	NNR-NUVEL1A



•1 Collocated techniques -> 70 ◆2 ▲3 ★4
25 6

ITRF2000框架的54个核心站和736个点位坐标站分布图
(1: GPS站, 2: SLR站, 3: VLBI站, 4: DORIS站)



GMT Aug 10 17:30:05 2004

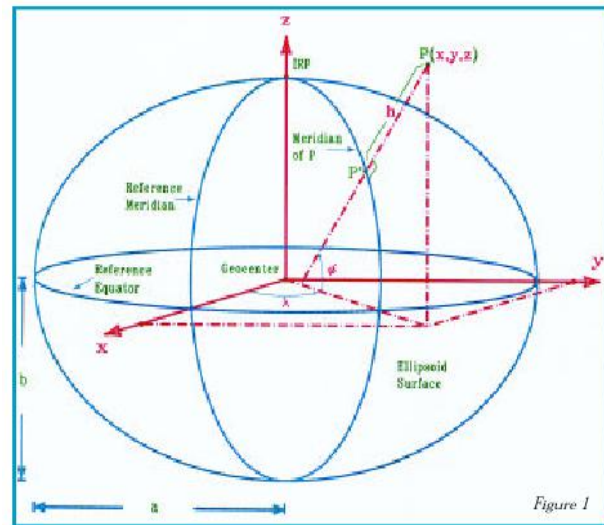
IERS 全球观测站

2.3 坐标系之间的转换

- 坐标系变换——就是在同一地球椭球下，空间点的不同坐标表示形式间进行变换
- 坐标基准转换——是指空间点在不同的地球椭球下的坐标变换，在不同的参考基准间进行变换

一、坐标系的变换

- 空间大地坐标系
 - 空间直角坐标系
- 空间直角坐标系
 - 空间大地坐标系
- 空间大地坐标系
 - 高斯平面直角坐标系

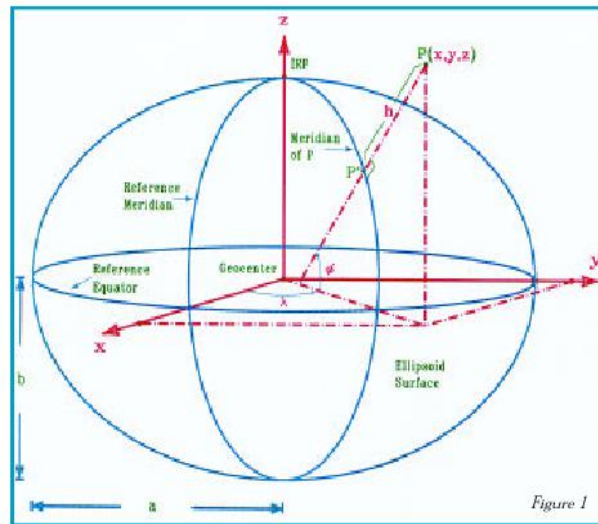


1、 (B L H) \rightarrow (X Y Z)

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

其中：

$N = a / \sqrt{(1 - e^2 \cdot \sin^2 B)}$, 该点卯酉圈
曲率半径



2、(X Y Z)→(B L H)

$$\left\{ \begin{array}{l} B = \tan^{-1} \left[\frac{1}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \left(Z + \frac{C \cdot e^2 \cdot \tan B}{1 + e^2 + \tan^2 B} \right) \right] \\ L = \tan^{-1} \left(\frac{Y}{X} \right) \\ H = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos B} - N \end{array} \right.$$

其中：

$$C = a^2 / b$$

$$e'^2 = e^2 / (1 - e^2)$$

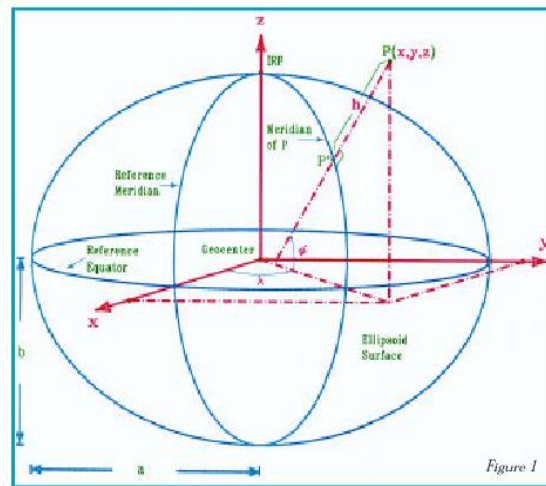


Figure 1

3、(B L) → (x y)

高斯投影的计算公式：

$$\begin{cases} x = S + \frac{\lambda^2 \cdot N}{2} \sin B \cdot \cos B + \frac{\lambda^4 \cdot N}{24} \sin B \cdot \cos^3 B (5 - \tan^2 B + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \dots \\ y = \lambda \cdot N \cdot \cos B + \frac{\lambda^3 \cdot N}{6} \cdot \cos^3 B (1 - \tan^2 B + \eta^2) + \frac{\lambda^5 \cdot N}{120} \cdot \cos^5 B (5 - 18 \tan^2 B + \tan^4 B) \end{cases}$$

其中：

λ ——该点经度到中央子午线的经差

S ——该点到赤道的子午线弧长

η —— $\eta = e'^2 \cdot \cos 2\Phi$

二、基准转换的基本方法

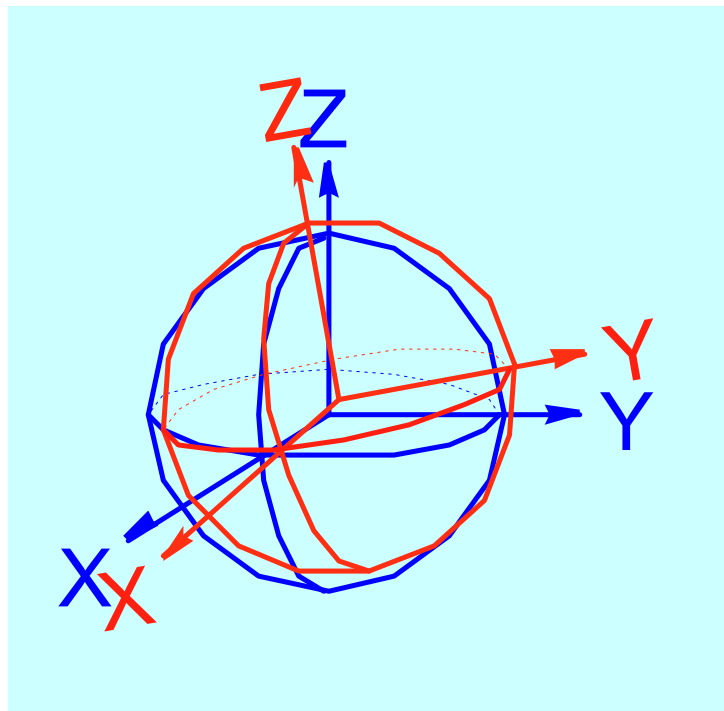
BJ54

WGS84

$(B,L)_1$ ——— $(B,L)_2$

$(x,y)_1$ ——— $(x,y)_2$

$(X,Y,Z)_1$ ——— $(X,Y,Z)_2$



转换参数的计算

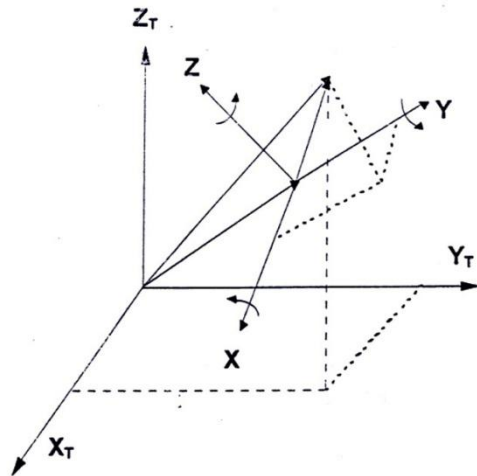
➤ 布尔萨7参数:

3个平移参数（原点不重合产生）；

3个旋转参数（坐标轴不平行产生）；

1个尺度参数（两坐标系间的尺度不一致产生）

➤ 如果不知道两坐标系的转换参数，而是知道部分点在两个坐标系的坐标，称公共点，须通过公共点的两组坐标求得转换参数



转换参数的求解方法

三点法：对转换参数的要求精度不高，或只有三个公共点时，可用三个点的9个坐标，列出9个方程，取其中的7个方程求解

$$\begin{bmatrix} X_i^H \\ Y_i^H \\ Z_i^H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i^I \\ Y_i^I \\ Z_i^I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_i^I & 0 & Z_i^I & Y_i^I \\ 0 & 1 & 0 & Y_i^I & Z_i^I & 0 & -X_i^I \\ 0 & 0 & 1 & Z_i^I & -Y_i^I & X_i^I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0^B \\ Y_0^B \\ Z_0^B \\ \delta_u^B \\ \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z \end{bmatrix}$$

WGS-84坐标系—我国国家坐标系

BJ54

WGS84

$(x,y)_1$

$(x,y)_2$



$(B,L)_1$

$(B,L)_2$

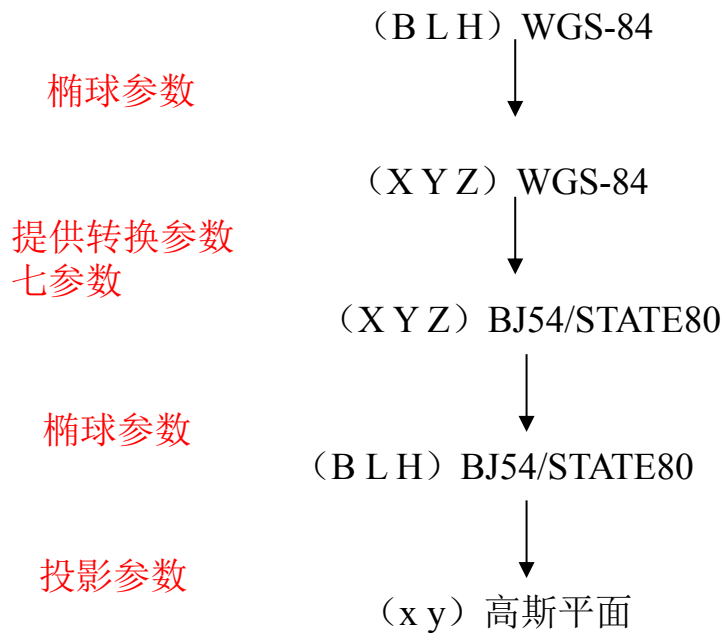


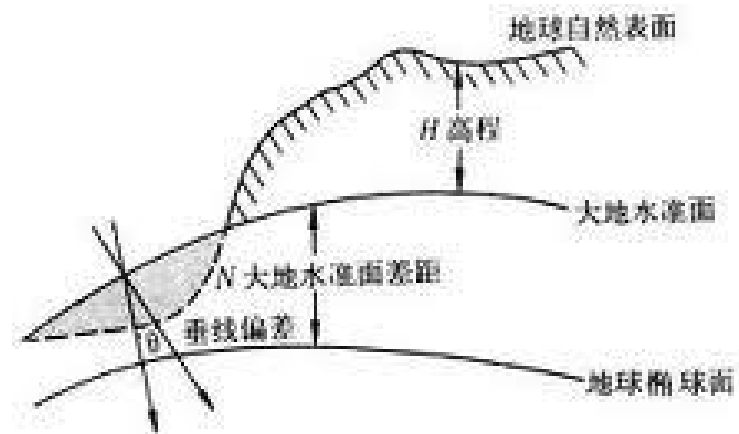
$(X,Y,Z)_1$



$(X,Y,Z)_2$

转换中的参数设置





2.4 时间系统

- 时间系统
- 常用的时间系统

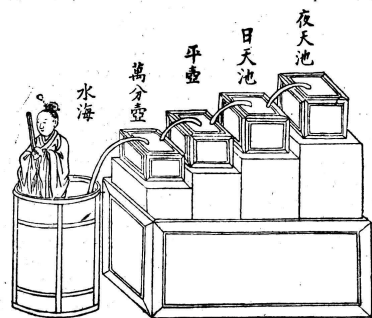
意义：

- ▶ 导航卫星作为一个动态已知点，其位置不断变化，如果位置误差 $<1\text{cm}$ ，要求相应的时刻误差应小于 $2.6 \times 10^{-6}\text{s}$ （ $2.6\mu\text{s}$ ）；
- ▶ 卫星导航定位系统通过接受卫星信号获得星地距离，如果测距误差 $<1\text{cm}$ ，要求信号传播时间的测量误差，应不超过 $3 \times 10^{-11}\text{s}$ （ 0.03ns ）；

一、时间系统

- 时间：包含时刻和时间间隔两种意义
- 时间系统：作为测时的基准，包含时间尺度（单位）和原点（起始历元），一般来说任何一个可观测的周期运动现象，只要满足：连续性，稳定性，复现性均可作为时间基准

- 漏刻、钟摆



二、常用的时间系统

任何可复制的周期性物质运动都可以作为度量时间的单位尺度。

如果按照不同物质的周期性运动给目前常用的高精度时间系统分类的话，可以分为三类：

- 1、以地球的周期性自转运动为基准的时间系统
- 2、以地球围绕太阳的周期性公转运动为基准的时间系统
- 3、以原子核外电子在能级跃迁时辐射或吸收的电磁波频率为基准的时间系统

➤ 恒星时和太阳时

地球的周
期性自转

➤ 历书时

地球的周
期性公转

➤ 原子时

原子核外电子能
级跃迁时辐射的
电磁波的频率

1、恒星时

参考点：春分点，由春分点的周日视运动所决定的时间系统。

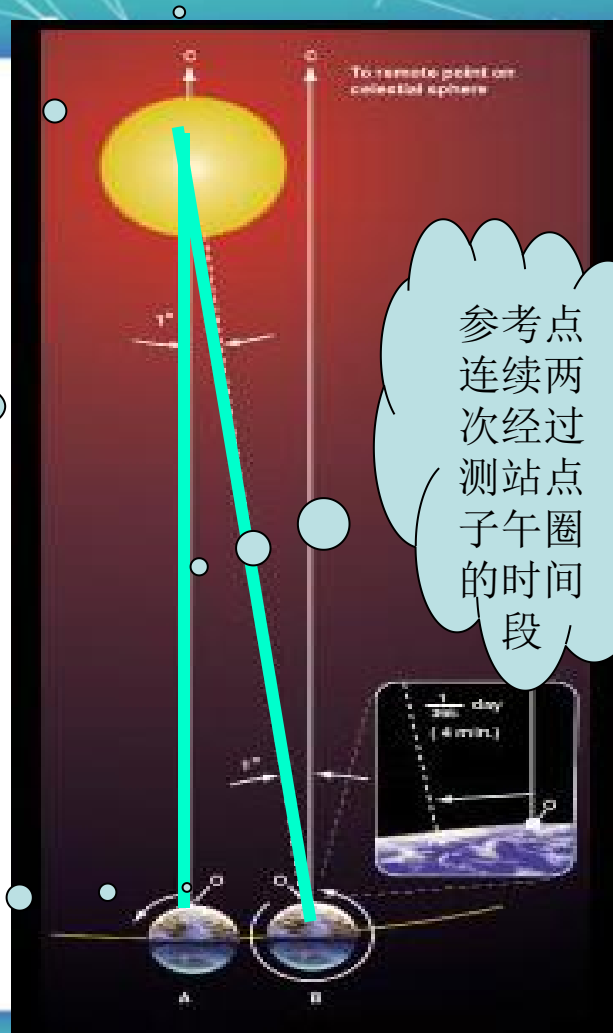
定 义：春分点两次经过地方子午圈的时间间隔为一恒星日。

并由此派生出“时”、“分”、“秒”等单位；属于地方时。

- 数值上等于春分点相对于本地子午圈的时角。
- 有真恒星时与平恒星时之分

参考点：一个天体或天球上某个特殊点

测站点子午圈



2、太阳时

参考点：太阳，利用太阳的视运动来确定时间基准。

定 义：太阳中心连续两次经过地方上子午圈的时间间隔为一太阳日。

并由此派生出“时”、“分”、“秒”等单位；属于地方时。

➤ 数值上等于太阳中心相对于本地子午圈的时角。

- 平太阳：假设一个参考点的运动速度等于真太阳周年视运动平均速度，且该点在赤道上作周年运动。
- 平太阳时：以平太阳的周日视运动为基础建立的时间系统。天文学上假定由一个太阳（平太阳）在天赤道上（而不是在黄赤道上）作等速运行，其速度等于运行在黄赤道上真太阳的平均速度，这个假想的太阳连续两次上中天的时间间隔，叫做一个平太阳日，这也相当于把一年中真太阳日的平均称为平太阳日，并且把 $1/24$ 平太阳日取为1平太阳时。通常所谓的“日”和“时”，就是平太阳日和平太阳时的简称。

- 以真太阳计算的是真太阳时，日晷所表示的时间就是真太阳时。以平太阳日为标准来计算的叫平太阳时，钟表所表示的时间就是平太阳时。



地球绕太阳公转一周：

365.2422 平太阳日 $= 366.2422$ 恒星日

1 恒星日 $= 0.9972696$ 平太阳日 $= 23$ 小时 56 分 4.1 秒

1 平太阳日 $= 1.0027379$ 恒星日

1 平太阳时 $= 1.0027379$ 恒星时

3、世界时

定义：格林尼治零子午线处的格林尼治平太阳时称为世界时（UT），世界时与平太阳时的尺度相同，但起算点不同。

- 世界时是以地球自转为基础定义的，地球自转的速度并不均匀，且自转轴的方向在地球内部并不固定（极移现象）。这样，地球的自转的不稳定性，就违背了建立时间系统的基本条件。
 - ✓ 长期变化：潮汐影响使地球自转速度变慢
 - ✓ 季节性变化：大气层中的气团随季节变化
 - ✓ 不规则变化：地球内部的物质运动

为弥补这一缺陷，自1956年以来，便在世界时UT中引入了极移改正项和季节性改正。

- ▶ UT0: 未经改正的世界时
- ▶ UT1: 引入极移改正 ($\Delta\lambda$) 的世界时
- ▶ UT2: 引入极移改正 ($\Delta\lambda$) 和地球自转速度的季节改正 (ΔT_s) 的世界时

$$UT0 \xrightarrow{\text{极移改正}} UT1 \xrightarrow{\text{地球自转速度改正}} UT2$$

$$UT1 = UT0 + \Delta\lambda$$

$$UT2 = UT1 + \Delta T_s$$

4、原子时

- 以物质的原子内部发射的电磁振荡频率为基准的时间计量系统。这是一种均匀的时间计量系统。
- 1967年10月，第十三届国际度量衡大会通过：位于海平面上的铯133（Cs133）原子基态两个超精细能级间在零磁场中跃迁辐射振荡9192631770周所持续的时间为1原子时秒。（原子时秒长的定义）
- 国际原子时（International Atomic Time – IAT）
 - ✓ 1977年建立
 - ✓ 通过100台原子钟比对求得

- ▶ 原子时的初始历元规定为 1958年1月1日世界时0时
- ▶ 原本规定AT与UT2在1958年1月1日0h时相同，但实际相差0.0039秒，
即： $(AT-UT2)_{1958.0} = -0.0039$ 秒。（原子时时刻的定义）



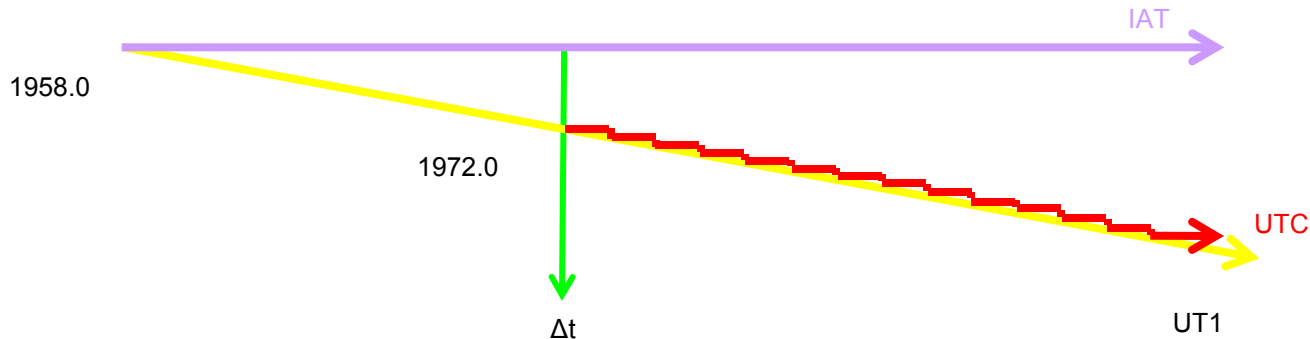
地球自转速度长期性变慢，世界时每年比原子时慢

5、协调世界时（Universal Time Coordinated – UTC）

- 1972年开始，国际上开始使用一种以原子时秒长为基准，时刻上接近世界时的折衷的时间系统。
- 原因：秒长稳定；广泛应用于天体测量，大地测量
- 与AT秒长相同

闰秒：当协调时和世界时相差超过正负0.9秒时，便在协调时上加入一个闰秒（跳秒）。

（跳秒由国际自转服务组织发布，一般在12.31或6.30进行）

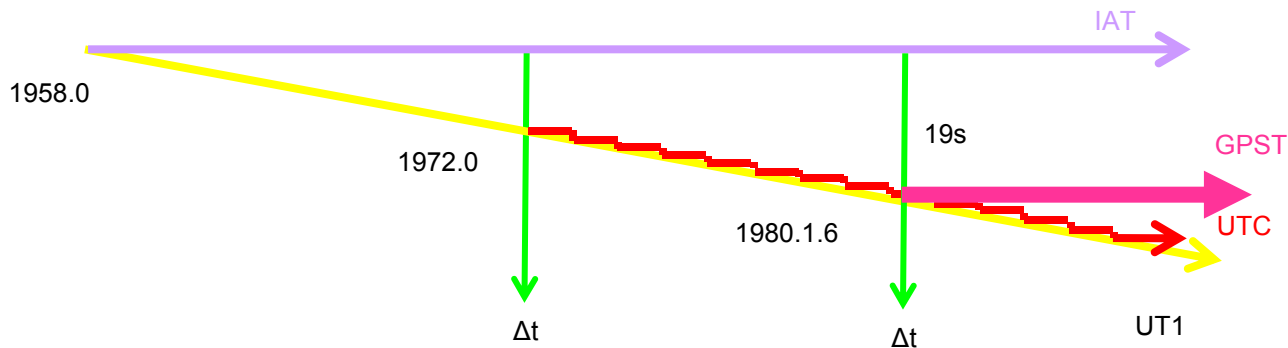


在2017年的1月1日，我国的时钟拨慢：

7时59分59秒——7时59分60秒——8时00分00秒。

6、GPS时间系统

- GPST属于原子时系统——秒长与原子时相同
- 原点：1980年1月6日的UTC零时
- 没有跳秒



7、BDS时间系统

- 原点：2006年1月6日的UTC零时
- 没有跳秒
- 与GPST差14s