



第四讲 时间系统

同济大学土木学院测量系陈义

Chenyi@mail.tongji.edu.cn

2010年4月



一. 时间概述 (1)

- **时间**：物质存在和运动的基本形式之一。判别事件发生的先后顺序和运动的快慢程度。
- **时间间隔**：是指客观物质运动两个不同状态之间所经过的时间历程。
- **时刻**：是指客观物质在某种运动状态的瞬间与时间坐标轴的原点之间的时间间隔。
- 目前人类认识时间的水平为 $10^{-24} \sim 10^{18}$ 秒
- 例：天体的年龄可达100多亿年，人类有文字记载的历史有数千年，某些基本粒子的寿命只有 10^{-24} 秒。



一. 时间概述 (2)

- 1. 测定天体年龄的方法：测定天体的能量损耗速度和质量，再根据质量关系式估算它的寿命。
- 2. 测定地球的年龄，岩石形成的时间：采用测定放射性元素的衰变
- 3. 研究古生物的生长律：证实地球自转速度长期减慢
- 4. 日、月、年、世纪的时间计量属天文学的历法范畴
- 古代的计时、守时、测时、授时：
- 计时：十二时辰，子、丑、寅、卯.....
- 守时：流量计时、机械钟、摆钟
- 测时：杆影测时、日晷
- 授时：击钟、敲鼓



一. 时间概述 (3)

- 选择一种连续的、均匀的物质运动量度时间，这种运动必须满足下列要求：
 - 1. 必须是连续的周期性运动
 - 2. 运动的周期必须有足够的稳定性
 - 3. 这种周期运动必须可复现，即可观测的。
- 目前选择的物质运动有：
 - 1. 地球的自转：世界时系统（太阳时，恒星时）
 - 2. 地球的公转：历书时、力学时系统

二.时间系统(1)

- 地球自转：世界时UT
- 格林尼治恒星时 Θ
- $UT1=UT0+\Delta\lambda$ （极移改正）
- 地球运动：地球动力学时TDT
- 质心动力学时BDT
- 原子振荡：国际原子时TAI
- 协调时UTC
- 基于卫星定位系统的时间GPST



二.时间系统(2)

2.1、世界时系统

- **世界时**Universal Time
- 真太阳日的定义：真太阳视面中心连续两次经过某地上子午圈所经历的时间间隔称做一个真太阳日，简称真时或视时。
- 平太阳日的定义：平太阳视面中心连续两次经过某地下子午圈所经历的时间间隔称做一个平太阳日，简称平时。
- 区时：即分区统一的时间。全球共划分**24**个时区。格林尼治为**0**时区，然后向东、向西各划出**12**个时区，东**12**时区与西**12**时区相重合。



二.时间系统(3)

- 格林尼治恒星时 Greenwich Sidereal Time
- 恒星时的定义：春分点连续两次经过某地上子午圈的时间间隔称为一个恒星日。春分点的时角。
- 格林尼治平恒星时 Greenwich Mean Sidereal Time (GMST)：格林尼治时角，指对应某日的平春分点和格林尼治子午圈的角度。

二.时间系统(4)

• 2.2、历书时、力学时系统

• 历书时Ephemeris Time (ET)

- 地球运动的Newcomb's表中的时间参数，又称牛顿时。历书时秒的定义：1900年1月0日12时正回归年长度的 $1/31556925.9747$ ，起点为1900年初太阳几何平黄经为 $279^{\circ} 41' 48.04''$ 的瞬间，作为历书时1900年1月0日12时正。

• 地球动力学时Terrestrial Dynamic Time (TDT)

- 地心历书的独立时间变量，秒长同原子时。

• 地球时Terrestrial Time (TT)

- 用一个理想的钟在大地水准面上进行测量的均匀时间变



二.时间系统(5)

- 2.2、原子时系统
- 原子时Atomic Time
 - 由原子钟导出的时间系统。
 - 原子时秒长：铯原子133基态的两个超精细能级间在零磁场下跃迁辐射9192631770周所持续的时间称为国际秒。
 - 原子时起点：定在1958年1月1日0时（UT1），事后发现原子时与世界时相差0.0039秒。
- 国际原子时International Atomic Time (TAI)
 - 由全世界大约100台原子钟通过对比和数据统一处理得到的全世界统一的原子时称为国际原子时。



二.时间系统(6)

- **协调时**Universal Time Coordinated (UTC)
- 以原子时秒长为基础，在时刻上尽量接近于世界时的一种时间计量系统。世界时每年比原子时大约慢1秒。
- **GPS时间**GPS Time (GPST)
- 以原子时秒长为基础，从1980年1月6日0时开始起算。

- LAST: 地方真春分点的时角
- GAST: 格林尼治真春分点的时角
- LMST: 地方平春分点的时角
- GMST: 格林尼治平春分点的时角

$$GMST - GAST = \Delta\psi \cos \varepsilon$$

$$LMST - GMST = LAST - GAST = \lambda$$

$$UT = 12^h + \text{平太阳的时角}$$

$$1\text{平恒星日} = 1\text{平太阳日} - 3^m 55.909^s$$



标准历元，儒略日

- 国际天文联合会规定：从1984.01.01起，UT1与GMST的换算关系定义为：

$$\begin{aligned} \text{GMST at } 0^{\text{h}}\text{UT1} = & 24110.^{\text{s}}54841 + 8640184.^{\text{s}}812866T_{\text{u}} \\ & + 0.^{\text{s}}093104T_{\text{u}}^2 - 6.^{\text{s}}2 \times 10^{-6}T_{\text{u}}^3 \end{aligned}$$

- 其中 T_{u} 为从标准历元J2000.0开始的时间间隔，以儒略世纪数。
- J2000.0=01.01.2000. 12^h UT1
- 儒略日开始时间：在格林尼治公元前4713年1月1日平中午，用JD表示；约简儒略日MJD
- MJD=JD-2400000.5



三.时间系统之间的关系(1)

- 2002年，取250个原子钟的加权平均。
- 原子时的开始时间：与1958年1月1日的UT1同步
- 原子时与世界时的关系
- $\text{TAI}-\text{UT1}=+ 6^{\text{s}}.1 \quad 01.01.1968$
- $\quad \quad \quad =+16^{\text{s}}.4 \quad 01.01.1978$
- $\quad \quad \quad =+23^{\text{s}}.6 \quad 01.01.1988$
- $\quad \quad \quad =+30^{\text{s}}.8 \quad 01.01.1998$
- $\quad \quad \quad =+31^{\text{s}}.9 \quad 01.01.2001$
- $\quad \quad \quad =+32^{\text{s}}.3 \quad 01.01.2003$

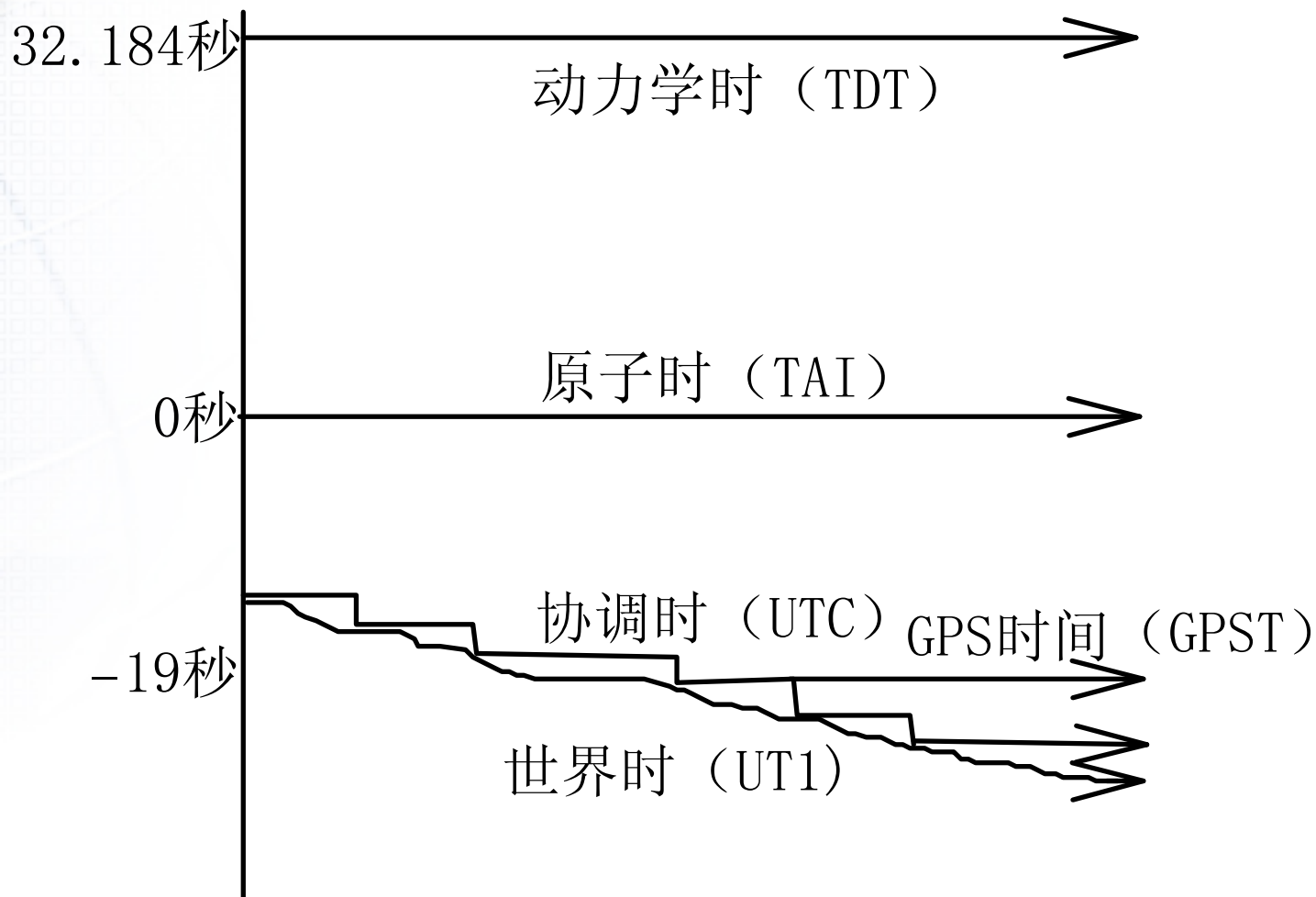


三.时间系统之间的关系(2)

- 当 $|DUT1| = |UT1 - UTC| \leq 0.9s$ 时, 跳秒
- 原子时之间的关系
- 2003年
- $TAI = UTC + n \times 1.^s0 \quad n=32$
- $TAI = GPS + 19.^s0$
- $UTC = GPST + 13.^s0$
- 力学时与原子时的关系
- $TT = TDT = ET = TAI - 32.^s184$

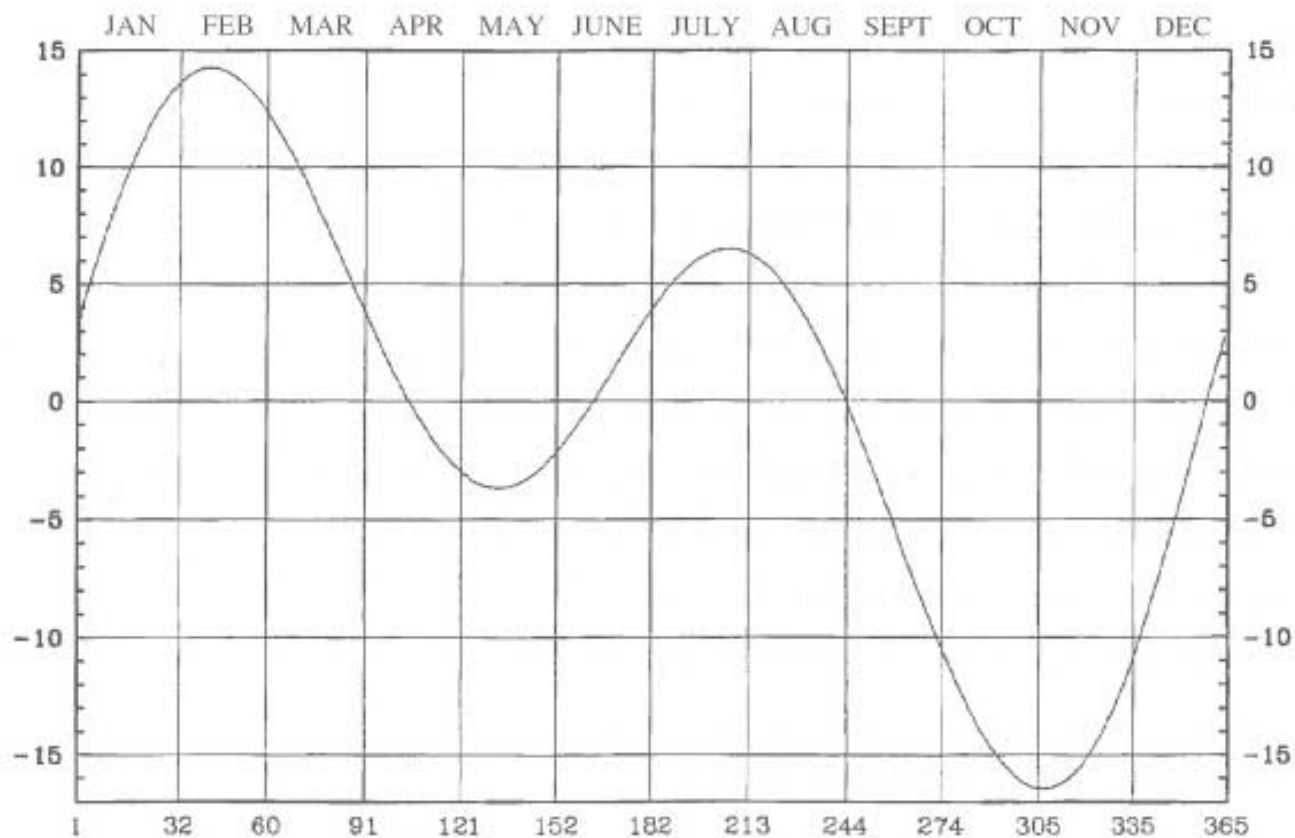


世界时，力学时，原子时示意图



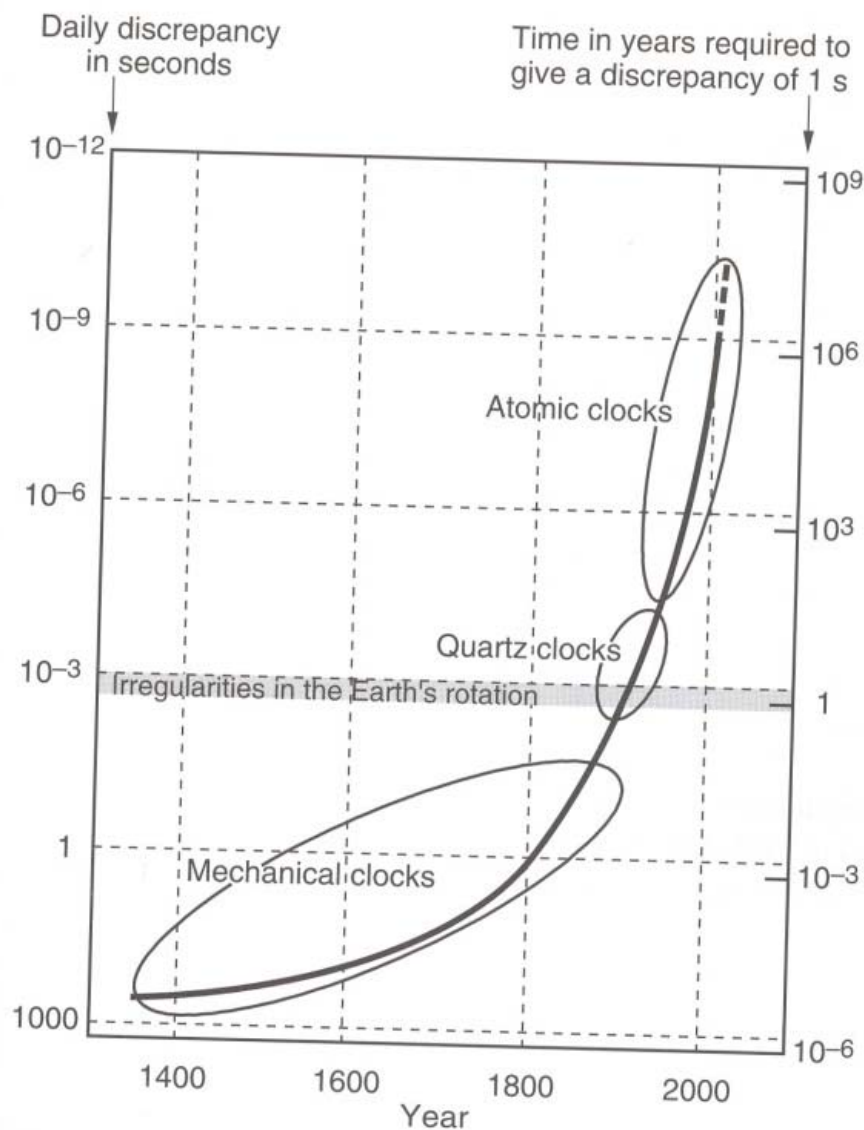


平太阳时-真太阳时





人造钟的质量与地球旋转的比较



三.时间系统之间的关系(3)

- GPS标准历元: 1980 January 6.^d0,
2 444 244.5
- 标准参考历元: 2000 January 1.^d5
2 451 545.0
- 儒略日JD: 4713 B.C., January 1.^d5
- 约化儒略日(MJD) $MJD = JD - 2400000.5$



三.时间系统之间的关系(4)

- 0^hUT1时，格林尼治平恒星时GMST计算公式：

$$GMST(0^h UT1) = 24110^s.54841 + 8640184^s.812866 \cdot T_u \\ + 0^s.093104 \cdot T_u^2 - 0^s.000062 \cdot T_u^3$$

- 其中 $T_u = \frac{JD(0^h UT1) - 2451545}{36525}$

- 任意时间的格林尼治平恒星时GMST计算公式：

$$GMST = 24110^s.54841 + 8640184^s.812866 \cdot T \\ + 0^s.093104 \cdot T^2 - 0^s.000062 \cdot T^3 \\ + 1.002737909350795 UT1$$

- 其中 $T = \frac{JD(UT1) - 2451545}{36525}$

三.时间系统之间的关系(4)

民用年历变换为儒略日

- 设民用的年, 月, 日, 时为Y, M, D, UT, 则
- $JD = \text{INT}[365.25y] + \text{INT}[30.6001(m+1)] + D + UT/24 + 1720981.5$
- If $M \leq 2$, $y = Y - 1$, $m = M + 12$
- If $M > 2$, $y = Y$, $m = M$



三.时间系统之间的关系(5)

儒略日变换为民用年历

- $a = \text{INT}[\text{JD} + 0.5]$
- $b = a + 1537$
- $c = \text{INT}[(b - 122.1) / 365.25]$
- $d = \text{INT}[365.25c]$
- $e = \text{INT}[(b - d) / 30.6001]$
- $D = b - d - \text{INT}[30.6001e] + \text{FRAC}[\text{JD} + 0.5]$
- $M = e - 1 - 12\text{INT}[e/14]$
- $Y = c - 4715 - \text{INT}[(7 + M) / 10]$



三.时间系统之间的关系(6)

儒略日变换为**GPS**周和周的天数

- The day of week
- $N = \text{modulo}\{\text{INT}[\text{JD} + 0.5], 7\}$
- $N=0$ 指星期一, $N=1$ 指星期二
- GPS week:
- $\text{Week} = \text{INT}[(\text{JD} - 2444244.5)/7]$