

相对论框架里的时间尺度

黄天衣 许邦信

(南京大学天文系)

张挥 朱进

(中国科学院陕西天文台) (北京师范大学天文系)

提 要

对国际原子时(TAI), 地球力学时(TDT)和质心力学时(TDB)的定义和概念作了回顾和阐述。对其中一些有争议的问题进行了介绍和讨论。我们认为, TAI的建立应当与地心坐标系的选择有关, 而把TDT看为是在去除地心引力的虚拟时空中的地心处的原时比较恰当。

一、前 言

1985年5月, 国际天文学联合会在列宁格勒举行的题为“天体力学和天体测量中的相对论”的第114次学术讨论会上, 美国Colorado大学Ashby博士提出动议^[1], 建议IAU采纳CCDS(秒定义咨询委员会)和CCIR(国际无线电咨询委员会)所通过的坐标时系统, 并以此作为地球的全球时间尺度。在讨论这一动议时, 一些与会者指出: “天体力学和天体测量方面的专家需要一些时间来理解引入统一坐标时的必要性。”因而Ashby的动议并未得到通过。

在列宁格勒讨论会上及其前后, 天文学家、物理学家对相对论框架下时间尺度的概念有形形色色的理解。这些相互分歧的看法比较集中在TAI(国际原子时)和TDT(地球力学时)上。本文介绍TAI和TDT当前的定义和其简史, 在介绍一些有争议的问题时同时阐述我们的看法。

二、关于SI秒(国际单位制秒)的定义

由CGPM(国际计量大会)决定的国际单位制(SI)的时间单位是秒, 称为SI秒, 它先后曾采用过三个定义。时间是以物质的运动来度量的。1960年以前, 秒长以地球自转运动为标准, 规定1个平太阳日的86400分之一为1秒。1960年第十一届CGPM的决议9规定“秒为1900年1月0日(即1900年1月1日)起算的回归年的 $1/31556925.9747$ ”。这是历书秒, 它以地球公转运动为标准。1967年第十三届CGPM决议1决定引入新的秒长定义^[2]: “秒是铯-133原子基态的两超精细能级之间跃迁所对应的辐射的9192631770个周期的持续时间。”它就是当前采用的SI秒。

对于SI秒的概念, 以下两点在引用时常发生模糊和错误。

1. SI秒的定义中并未规定跃迁发生在平均海平面上

相对论原理表明, 运动使钟变慢, 引力使钟变慢。SI秒的定义相当于规定了一种标准钟, 而并没有规定钟置放的地点或运动状态。如果把两个实现SI秒的钟分别置于地心和平均海平面上, 在地固参考系中, 这两个钟都是静止的, 设对应坐标时间间隔 dt 的两钟的原时间隔分别为 $d\tau_1$ 和 $d\tau_2$, 且有

$$d\tau_1/d\tau_2 = \sqrt{1 + 2V_1/c^2} / \sqrt{1 + 2V_2/c^2} \approx 1 + \frac{V_1 - V_2}{c^2} \quad (1)$$

其中 V_1 和 V_2 分别为在地心和在平均海平面上的引力势。太阳和月球的潮汐势只引起海平面的周期性变化, 因而 V_2 只包含地球的引力势和自转引起的惯性离心力的势。若地球不自转而且是球对称的, 则可证明 $V_1 = \frac{5}{3}V_2 < 0$, 也就是地心钟走得慢些。这一结论连同(1)式是在两处用同样结构的钟(也就是都用SI秒为单位)时才成立的。这说明在SI秒定义中不规定地点和运动状态比较恰当。

2. 平均海平面上的SI秒是地心参考系里而不是质心参考系里的时间单位

IAU(1976)天文常数系统规定了天文时间单位为“日”, 它等于86400SI秒。在[3]的注解中指出: “明确地说, 这是在平均海平面上的国际单位制秒”。当前只有在地面上才能建立最稳定的原子频率标准, 选用平均海平面显然很恰当。

一个理想的钟的钟面读数显示自己的原时。从SI秒的定义可看出它是一种量度原时的单位。然而在一个给定的参考系中为静止的一只钟的原时 τ 和坐标时 t 的关系为

$$d\tau^2 = g_{00}(\mathbf{x}) dt^2 \quad (2)$$

这里假定引力场不随时间而变。在平均海平面上日月的潮汐力的势为零, 这一假设得到满足。(2)式中的 \mathbf{x} 是钟的空间位置矢量。设在 $\mathbf{x} = \mathbf{x}_0$ 处有 $g_{00}(\mathbf{x}_0) = 1$, 则坐标时 t 也用 \mathbf{x}_0 处的SI秒为单位来量度。

福岛登志夫等^[4]指出, 在IAU(1976)天文常数系统里, 没有就所采用的SI秒是哪个参考系里的时间单位作出规定, 从而造成了一系列的问题。在天文工作中涉及两个参考系: 地心参考系和太阳系质心参考系。每个参考系都有各自的坐标时。平均海平面上的SI秒是地心参考系里的时间单位, 却不是太阳系质心参考系里的时间单位。这两个时间单位之间的关系应当由1976年IAU Grenoble大会的决议5(c)来决定。决议5(c)指出“太阳系质心系里运动方程的时间尺度和视地心历表的时间尺度之间应当只有周期变化”。福岛登志夫等^[4]指出, 这一要求相当于使太阳系质心参考系里的秒长 $[S_B]$ 和平均海平面上的SI秒 $[S_L]$ 间存在关系

$$[S_B] = [S_L] / \eta_G \quad (3)$$

$$\eta_G = 1 - 1.550505 \dots \times 10^{-8} \quad (4)$$

三、关于TAI(国际原子时)的定义

从1956年开始, 在BIH(国际时间局)和美国海军天文台等几个实验室里有了原子时间尺度。1968年年底以前, BIH的几个铯频率标准的平均频率被用于实现所谓TAI。1969年起由

BIH负责把一些国家天文台和实验室里的许多钟的读数进行综合比较, 用加权平均的算法得到TAI。1971年第14届CGPM认为, 建立国际原子时间尺度的时机已经成熟, 因此在决议1中要求其下属的CIPM(国际计量委员会)规定国际原子时的定义。鉴于这一要求, CIPM第59次会议批准CCDS(秒定义咨询委员会)对TAI的定义如下^[2]:“国际原子时是国际时间局根据国际单位制时间单位秒的定义, 以各研究所运转的原子钟的读数为根据而建立的时间参考坐标。”显然, 这还不能说是一个建立在相对论框架里的定义, 尽管BIH在综合各个原子钟的读数时, 已经进行了引力势差等相对论效应的改正^[5]。随着频率标准稳定性的不断提高, 开始认识到需要在相对论框架里给TAI下定义。

1980年CCDS用法语给出了TAI的相对论定义^[6]:“TAI是地心参考系里的坐标时间尺度, 以在旋转的大地水准面上的SI秒为单位。”这里用旋转的大地水准面代替平均海平面。两个名词的意义并不完全一致。由于地形, 洋流等因素, 平均海平面并不是一个严格的等势面, 但在本文中将对两者的意义予以区分。

CCDS关于TAI的报告里还给出了计算电磁波传播和搬钟时耗费的时间(TAI)的相对论计算公式。这些公式只考虑了球对称地球的引力势, 只能适用于地面邻近。

1982年CCIR(国际无线电咨询委员会)采纳了CCDS对TAI的定义^[7], 但对上述相对论计算公式作了改进, 计入了地球形状的二阶带谐项。这样, 在地固坐标系里从P点到Q点搬钟所需的TAI间隔为

$$\Delta t = \int_P^Q ds \left(1 - \frac{\Delta\phi}{c^2} + \frac{v'^2}{2c^2} \right) + \frac{2\omega}{c^2} A_E \quad (5)$$

其中 ds 为钟的原时间隔乘以光速常数 c , v' 是钟在地固坐标系里的坐标速度, ω 为地球自转角速度, A_E 是钟的地心矢径在地固坐标系里扫过的面积在赤道面上的投影, 当矢径投影由西向东时取为正, 含 A_E 的项称为Sagnac效应, 是由于取了旋转参考系而造成, $\Delta\phi$ 是在钟处的重力势与大地水准面上相应的重力势之差。按CCIR的决议, $\Delta\phi$ 的表达式是

$$\Delta\phi = -GM_e \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{a_1} \right) - \frac{1}{2} \omega^2 (r^2 \sin^2 \theta - a_1^2) + \frac{J_2 GM_e}{2a_1} \left[1 + \left(\frac{a_1}{r} \right)^3 (3 \cos^2 \theta - 1) \right] \quad (6)$$

其中 GM_e 是万有引力常数和地球质量的乘积, r 是钟的地心距, θ 是钟的余纬度, J_2 是地球二阶带谐系数, 而 a_1 是地球平均参考椭球(在最小二乘意义下对大地水准面为最佳逼近的旋转椭球体)的半长径。CCIR给出的电磁波传播的计算公式为

$$\Delta t = \frac{1}{c} \int_P^Q d\sigma \left(1 - \frac{\Delta\phi}{c^2} \right) + \frac{2\omega}{c^2} A_E \quad (7)$$

其中 $d\sigma$ 是沿着传播路径的固有长度的增量。

公式(5)和(7)可用于地面附近的钟的比对, 直至GPS卫星系统和通讯卫星。由于公式里忽略了太阳和月球的潮汐势, 在 10^{-14} 的精度要求下, 这些公式不宜在离开地球5万公里以外的地方应用。

对钟是建立TAI的核心问题之一。各研究所的钟, 在进行了各项系统差改正后, 要因地重力势与大地水准面的势有差别而进行钟速改正, 然后用某种对钟的方式参加到TAI系统里去。

对于TAI, 下列两点是值得注意并应予以讨论的。

1. 为什么说TAI是坐标时而不是原时

Brumberg在列宁格勒会议上说到“TAI是原时, 但对地面天文台的原时进行了平均。”^[18]这句话代表了当时很多天文学家对TAI的看法。Moyer于1981年在讨论太阳系质心坐标时 t 和地面上静止钟的原时 τ 之间关系的论文^[9]中说:“原时 τ 特指国际原子时TAI”。然而, 前面介绍的CCDS在1980年下的定义中明确指出“TAI是地心参考系里的坐标时间尺度”。Guinot对此曾有进一步的论证^[6]。

这里就我们的认识再进一步谈谈TAI是坐标时而不是原时的理由。

(i) 每一个钟的钟面读数都是钟本身的原时, 而原时只有在钟的世界线上才有定义。如果说TAI是大地水准面上静止钟的原时, 那么它在水准面以外的任何地方都没有定义, 这显然不符合TAI的实用要求。

(ii) 设 τ_A 和 τ_B 是参考系里A和B处的两个钟的原时。要比对 τ_A 和 τ_B 以达到利用这些资料建立TAI的目的, 必须首先将 τ_A 和 τ_B 换算成坐标时 t_A 和 t_B 。坐标时是在参考系内处处有定义的, 不同地点的坐标时通过同时性联系着。 t_A 和 t_B 可以互相比对, 通过比对而建立起来的时间尺度是坐标时而不是原时。在天文观测实践中, 尽管每个天文台的钟走的都是本身的原时, 但都已通过接受罗兰C信号或利用GPS等新技术改到坐标时TAI。实际上天文观测的时间记录用的是与TAI直接关联的UTC(协调世界时), 而不是当地的原时, 也不是时号发播台的原时。

(iii) 式(2)表明, 坐标时的钟速总是和参考系中某一处原时的钟速全同。这就会使人认为把TAI说成是坐标时或是大地水准面上的原时都可以。然而, 当建立TAI和太阳系质心参考系里的坐标时TDB(质心力学时)之间的联系时, 两种看法就截然不同了。如果TAI是坐标时, TAI和TDB之间没有一一对应的关系, 而和所要计量时间的事件的空间位置有关; 反之, 若TAI是原时, 事件发生的地点就已完全确定, TAI和TDB之间就应当是一一对应的。因此, 在概念上明确一个时间尺度是坐标时还是原时是完全必要的, 不明确将会带来处理上的混乱。而且, 简单地说TAI是大地水准面上的原时是不足以去建立它和TDB间的确定关系。尽管在大地水准面上所有静止的标准钟的钟速都相同, 那里不同地点的原时和TDB之间仍将有不同的关系。

2. 建立TAI用的是爱因斯坦同时性还是坐标同时性。TAI的定义依不依赖于坐标系的选择

用不同地点的钟的读数来建立TAI的核心问题之一是对钟, 对钟时必须依据某种同时性的定义。经典的的同时性概念来自爱因斯坦。设想在某一参考系里的A点和B点各有一个标准钟, 在A钟读数为 τ_1 时向B发射一个光脉冲, 到B后立即反射, 回到A时A钟读数为 τ_2 。于是定义脉冲到达B的时刻为 $(\tau_1 + \tau_2)/2$ 。B处的观测者可以据此校对自己的钟。这也可以看作为是用A处钟的原时向外延伸来建立坐标时网的一种标准过程。如果在一个参考系里可以建立爱因斯坦同时性, 显然可以用参考系里某一静止钟的原时及其时间单位来定义一个坐标时, 而无需对坐标系和所用的度规作出任何规定。

这里, 我们沿用了Møller^[10]的术语。“参考系”指三维物理空间的参照系统; “坐标系”则

指四维时空的坐标系, 在一个坐标系里每一个事件用 (x^i, t) 表示。两个坐标系间的变换若具有形式

$$x^i = f(x'^i), t = \phi(t', x'^i) \quad (8)$$

则称为有相同的参考系, 因为三维物理空间的参照系统并未受到变换而只是每一点有了不同的记号, 并且每一点的坐标钟调整了钟速。形如(8)的变换称为“规范变换”。在一个参考系里可以有无穷多种坐标系的选择, 它们相互之间用规范变换联系着。

然而, 并不是在每一个参考系里都能用爱因斯坦同时性自洽地对钟的。一个著名的例子是像地固参考系那样的旋转参考系(参见[11], §10—11)。这时只能用下述方法形式地建立同时性。当选定坐标系 (x^i, t) 后, 在不同地点发生的两个事件 (x^i_A, t_A) 和 (x^i_B, t_B) 称为同时, 当且仅当 $t_A = t_B$ 。Møller把这种同时性称为“坐标同时性”。在同一个参考系里, 不同的坐标系可以有不同的“坐标同时性”, 它依赖于坐标系的选择, 因而也依赖于度规的选择, 从而是一种形式上的同时性。Møller把爱因斯坦同时性之类称为“标准同时性”, 它只依赖于参考系而不依赖于坐标系的选择, 可以完全用实测的方式来建立^[10]。

由于地固参考系相对恒星在转动, 在其中不能建立标准同时性。这一事实体现在(5)和(7)式里与自转角速度有关的Sagnac效应项里。CCDS对TAI下的定义中只规定了它是“地心参考系”里的坐标时和时间单位是“旋转大地水准面上的SI秒”似乎并不足够, 那里并未对坐标系或度规予以规定。Allan和Ashby^[7]认为TAI是地心不旋转参考系(他们称为局部惯性系)里用爱因斯坦同时性建立起来的坐标时。他们说: 在地心不旋转参考系里“处处都引入一组假想的标准钟, 用爱因斯坦过程来建立同步, 并使它们有相同的钟速以保持同步。称所得的时间尺度为‘坐标时’。在自转着的地球表面上引入一组标准钟。对每一个钟都进行系统改正, 以使该钟每一瞬间都和局部惯性系中的一个静止的假想钟有相同的读数, 这两个钟在该瞬间位置相重。地面上的这组钟因而就计量着坐标时。”他们认为这就是TAI的物理概念。换句话说, 地心旋转的和非旋转的参考系有相同的坐标时, 因而CCDS的定义中不必要标明是哪个地心参考系, 此外TAI可在地心非旋转参考系里用爱因斯坦同时性来建立, 因而定义中也不必标明是哪一个坐标系。应当说明, 上面除两引号间的话是原话外, 纯属我们的理解和引伸。

然而, 由于以下两个因素既使在地心非旋转参考系里标准同时性也不能建立。一个因素是地球在转动, 即使在球对称情况下, 应当用Kerr度规而不是Schwarzschild度规来描述时空。另一个因素是作为引力源的太阳和大行星在这一参考系里是运动的。这两个因素造成这一参考系里的任一坐标系中的度规都有不为零的时间空间交叉项的系数, 而这意味着不能建立标准同时性。

所以, 严格说来, TAI只能用坐标同时性来建立, CCDS的定义就显得不够完备, 而必须对地心坐标系及相联的度规作出协议性的规定。迄今为止, 对地心坐标系的选择有着各种意见^[12], 各种坐标系之间甚至对应不同的参考系。尽管就当前TAI的精度来说, 这并不构成差别。然而仍应当说, 在相对论的框架里如何给TAI下定义的问题并未完全解决。

四、关于TDT (地球力学时)和TDB (质心力学时)的定义

1976年IAU的Grenoble大会并未确定TDT和TDB的名称,但却给出了具体的定义。有关的决议为^[3]

“提案5:动力学理论和历表的时间尺度。建议:

(a) 在1977年TAI时1月1日零时零分零秒这一瞬间,视地心历表的新时间尺度准确地为1977年1.0003725日;

(b) 这一时间尺度的单位是1日,等于平均海平面上的86400SI秒;

(c) 太阳系质心系里的运动方程的时间尺度和视地心历表的时间尺度之间只有周期变化;

(d) 对国际原子时不引入闰秒。”

在1979年IAU的Montreal大会上正式给这两个时间尺度定名为地球力学时和质心力学时。

Grenoble决议5(a)说了两件事。一是TDT是视地心历表的时间变量;另一是规定了TDT的原点。天文学家从时号广播中所能得到的是与TAI直接关联的UTC,所以TDT也应当与TAI相连。因为从1977年1月1日起IAU决定TAI频率调小 10^{-12} ,两者间的联系也从1977年算起。零点差0.0003725日为32.184秒,这正是该瞬间历书时和TAI的差别。

决议5(b)给出了TDT的单位,它和TAI的单位相同,只是改用天文时间单位——日。5(a)和5(b)一起给出TDT的定义,也是常用的关系 $TDT = TAI + 32.184$ 的来源。

决议5(c)定义TDB为太阳系质心系内运动方程的自变量,并对它的钟速作了一个约束:TDB和TDT的平均钟速相等,亦即两者之差只能有周期变化。各大行星的运动方程共同进行数值积分时其自变量只能是坐标时。实际上,人们都是把TDB作为坐标时来看待的。

作为坐标时的TDB和上节中讨论的TAI一样,是用坐标同时性来建立的。它的精确定义依赖于太阳系质心系里坐标系和度规的选择,而IAU对此并未作出明确的规定。TDB和TDT之间的转换公式还依赖于地球、月球和各大行星在太阳系质心坐标系中运动的表达式,不同作者结果的高阶项会有差异。就目前天文应用的精度来看,这一差异并不重要。一个比较新和完整的结果见参考文献[13]。

当前的讨论主要集中在TDT上,概括起来有下列几条。

1. TDT是坐标时还是原时

在这之前TDT常被用作地心坐标系中运动方程的自变量,像是坐标时。这可能由于它的名称和TDB一样,都有力学(Dynamical)一词的缘故。然而在上述IAU定义中,TDT被定义为“地心视历表的自变量”,该定义并未说明可用作人卫等天体在地心系里的运动方程的自变量。

地心视历表是观测历表,其自变量记载的应当是光子到达位于地心的观测者的时刻。也就是说所记载的事件发生的地点是地心。中国天文年历中视地心历表编制的依据是美国航天局的DE200历表。DE历表的自变量是TDB,它记载了天象在太阳系空间里发生的时刻。首先要计算该天象传送到地心时的TDB值(光行时改正),然后在地心处将TDB换算成TDT,这样

才得到了该天象在地心视历表里的观测时刻^[14]。

由此可见, 不应当把 TDT 看作是地心系里运动方程的自变量。后者常用一种地心坐标时 t , 它和 TAI 的关系为

$$d(\text{TAI}) = \sqrt{1 - \frac{2U_{\text{Geo}}}{c^2}} dt \quad (9)$$

其中 U_{Geo} 是旋转大地水准面上的地球的重力势。

实际上, 在地球附近运行的人造卫星的观测历表并不使用 TDT。它们的天象经过光行时改正直接归算到地面上的观测站去而不是先归算到地心。这进一步说明 TDT 不应看为是地球附近的坐标时。

这样, 如同 Guinot 和 Seidelman 的建议^[15], TDT 应当看作是“位于地心的一个钟的原时”。他们说的理由与上面略有不同, 为的是避免和 TDB 关系中依赖于钟位置的周日项。

这一说法的缺点是在归算 TDB 和 TDT 之间的关系时, 实际上无法考虑地球的引力。如果把地球看为是一个质点, 地心恰是一个奇点; 如果把地球看为是一个延伸物体, 由于得不到场方程的内部解而无法计算在地心的势, 何况光子实际到达的是地面而不是地心。

我们建议把 TDT 看为是“在去除地球引力的虚拟的时空里位于地心的一个钟的原时”。这样做和目前 DE 历表的建立方式, TDB 和 TDT 之间的变换方式完全一致^[13], 那里都把地球当作试验体来对待, 在地心处的日月引力势与大地水准面上的完全相同, 而地球的引力势严格为零。量度 TDT 的时间单位不是地心处的 SI 秒, 而是大地水准面上的 SI 秒。若用 SG 秒表示 TDT 的时间单位, 则它和地心处 SI 秒单位的关系是

$$[\text{SG}] = [\text{SI}] \left(1 + \frac{U_{\text{Geo}}}{c^2} + O(C^{-4}) \right) \quad (10)$$

2. IAO 决议 5(b) 中的 SI 秒对应于哪一个瞬间

Guinot 和 Seidelman 指出^[15], 这可以有两种理解: (i) 对应 1977 年 1 月 1 日 TAI 零时那一瞬间; (ii) 对应要计算 TDT 的那一瞬间。他们认为, 对理论工作者, 应当认为是前者, 因而 TDT 是理想化的 TAI; 对天文历表应用来说, 应当用后者, 这样 TDT 是一个可以计量的时间尺度。然而正如福岛登志夫^[13] 所指出, 并不存在任何办法来比较过去和现在的两个秒是否等长, 这样的区分并没有什么意义。我们认为决议 5(b) 中的 SI 秒应当是对应所讨论的瞬间的, 不可能用已经流逝的一个秒长来量度正在发生的一个运动。决议 5(b) 中的 SI 秒和同一瞬间的 TAI 秒若有差异只是 TAI 实现的问题。另外, 还有一个实质上的困难: TAI 秒是在地面或地面以外实现的, 没有办法用同时性传递到不可及的地心上去。

如果以上讨论是正确的话, 那么公式 $\text{TDT} = \text{TAI} + 32^s.184$ 仅在地心才成立。

3. TDT 和 TDB 名称里的 “Dynamical”(力学) 一词要不要去掉

Guinot 和 Seidelman^[15] 认为应当把这两个时间尺度重新命名为 TT (Terrestrial Time, 地球时) 和 TB (Barycentric Time, 质心时)。我们觉得, “Dynamical” 一词可能有两种含意: (i) 该时间尺度是天体动力学方程或动力学历表的自变量; (ii) 该时间尺度和历书时一样是用动力学方法来予以实现的。对于 (i), TDB 和 TDT 确实都是天体动力学历表的自变量, 而 TDT 并不是运动方程的自变量。应当说 TAI 的性质更和 TDB 相似, 然而 TAI 的名称中并没

有“Dynamical”一词。对于(ii),情况和历书时有很大的不同。历书时是用观测太阳或月球的位置后根据它们的历表查到对应的时间来实现的。现代观测是用测站的坐标钟记下天象发生的时刻TAI(或UTC),再转换成TDT,然后换成地心处的TDB,作光行时改正后,得到天象发生地点处的TDB就可以与DE历表作比较(也可在得到TDT时与视地心历表作比较)。观测时刻的记录以及以后的换算都可以达到相当精确的程度,其精度远超过用观测天体坐标来确定时间尺度的办法。因此,“Dynamical”一词可以去掉,放在那里(特别是对于TDT)容易引起误解。

鉴于前面对TDT物理概念的讨论。建议TDT应命名为Geocentric Proper Time(地心原时)。为清晰起见,建议TDB改名为Barycentric Coordinate Time(质心坐标时)。

在写作本文的过程中得到过南京大学陆焱,彭秋和,韩春好,复旦大学须重明,武汉测地所韩天芑,上海天文台程宗颐等的讨论和帮助。上海天文台魏学曾提醒我们地球在地心的势不等于零。在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Brumberg, V. A., in *Relativity in Celestial Mechanics and Astrometry*, IAU Symposium No. 114, ed by J. Kovalevsky and V. A. Brumberg, p-419, (1985).
- [2] 李慎安, 房玉生译, 国际单位制(SI), 第三版, 科学出版社, (1983).
- [3] 关于天文常数、时间尺度与基本参考系的决议并概述基本天文常数的改进, 天文进展, 2 (1983), 62.
- [4] Fukushima, T., Fujimoto, M., Kinoshita, H. and Aoki, S., *Celes. Mech.*, 36 (1986), 215.
- [5] 刘金铭, 翟造成, 现代计时学概述, 上海科技文献出版社, (1980).
- [6] Guinot, B., *Celes. Mech.*, 38 (1986), 155.
- [7] Allan, D. M. and Ashby, N., in *Relativity in Celestial Mechanics and Astrometry*, IAU Symposium No. 114, ed. by J. Kovalevsky and V. A. Brumberg, 299, (1985).
- [8] Brumberg, V. A., *ibid*, 4, (1985).
- [9] Moyer, T. D., *Celes. Mech.*, 23 (1981), 33.
- [10] Møller, C., *The Theory of Relativity*, Second Edition, Oxford University Press, (1972).
- [11] 朗道, 栗弗席兹, 场论, 任朗, 袁炳南译, 高等教育出版社, (1959).
- [12] Brumberg, V. A. and Kopejkin, S. M., *Relativistic Theory of Celestial Reference Frames*, preprint, (1987).
- [13] Fukushima, T., *Time-System in the General Relativity*, preprint, (1987).
- [14] 中国科学院紫金山天文台, 新版中国天文年历编算原理与方法, (1984).
- [15] Guinot, B. and Seidilman, P. K., *Time Scales — Their History, Definition and Interpretation*, preprint, (1987).

(责任编辑 刘金铭)

Time Scales in Relativity

Huang Tianyi Xu Bangxin

(Department of Astronomy, Nanjing University)

Zhang Hui

(Shaanxi Observatory)

Zhu Jin

(Department of Astronomy, Beijing Normal University)

Abstract

This paper reviews the definition and conception of TAI, TDT and TDB, introduces and discusses some problems which are disputed recently among astronomers and physicists. We think, the construction of TAI should depend on the choice of geocentric coordinate system and TDT should be considered as the proper time at geocentre in a fictitious spacetime when the gravitation of the earth were removed.

1. 基本公式

在相对论框架里, 时间尺度的定义和概念, 是随着坐标系的选取而变化的。本文首先回顾了 TAI, TDT 和 TDB 的定义和概念, 并讨论了最近在天文学家和物理学家之间引起争论的一些问题。我们认为, TAI 的构造应该依赖于地心坐标系的选取, 而 TDT 应该被认为是地心在一个假想的时空中, 当地球引力场被移除后的固有时。

在相对论框架里, 时间尺度的定义和概念, 是随着坐标系的选取而变化的。本文首先回顾了 TAI, TDT 和 TDB 的定义和概念, 并讨论了最近在天文学家和物理学家之间引起争论的一些问题。我们认为, TAI 的构造应该依赖于地心坐标系的选取, 而 TDT 应该被认为是地心在一个假想的时空中, 当地球引力场被移除后的固有时。