中 国 科 学
1982 年 7 月　　A 辑　　第 7 期

关于世界时的定义

许邦信　任江平　孙竹申
（南京大学天文系）

摘　要

本文对于 Newcomb 提出的世界时定义，以及国际上对将于 1984 年开始采用的世界时新定义的讨论和建议进行了研究．文中指出应注意区分两种赤经岁差以及两种非旋转原点概念上的差异，并认为目前的主要问题是时间变量定义含糊．本文建议采用与地球自转速率有明确关系的世界时新定义：

$$\theta_0 = 24110^s.54841 + 8639877^s.317119T_s,$$

$$\mathrm{UT1} = 0.9972696632372(\theta - \theta_0),$$

其中 θ = 格林尼治平恒星时－绝对赤经岁差，T_s 为自 2000 年 1 月 1 日 UT1 12^h 起算的世界时儒略世纪数．

世界时，即格林尼治平太阳时，是表示地球自转速率的一种形式．由于地球自转速率曾被认为是均匀的，因此在 1960 年以前，世界时被认为是一种均匀时．Newcomb 所提出的世界时定义[1]就是以此为基础的．现已证实，地球自转实际上是不均匀的，所以世界时是一种非均匀时，它与原子时或力学时都没有任何理论上的关系，只有通过观测才能对它们进行比较．这样，世界时的定义主要应该是表示它与地球自转速率的关系．

1984 年 1 月 1 日将对天文参考系进行修改．近年来，环绕如何相应地修订世界时的定义，在国际上展开了讨论[2-5]．本文拟就讨论中的不同意见进行探讨，同时提出我们的看法和建议．

一、关于非旋转原点的概念

1. 关于 Guinot 的建议

表示地球自转速率的不同形式依赖于计量时角的各种参考原点．假平太阳的时角称为平太阳时，平春分点的时角称为平恒星时．1978 年 Guinot 提出了非旋转原点的概念[2]，他认为非旋转原点的时角能直接反映地球的自转速率．

在天球上取大圆 Q_0Q_0' 和大圆上的一个参考点 σ_0 定义一个非旋转参考系（图 1）．令大圆的极 S_0 定义 OZ_0 轴，$O\sigma_0$ 为 OX_0 轴，第三个方向为 OY_0 轴．实践中，可取 Q_0Q_0' 和 σ_0 分别为某一固定历元 t_0 的平赤道和平春分点，S_0 即该历元的平天极．历元 t 时刻的瞬时平天极 S 相对于 S_0 的坐标用角度 $E(t)$ 和 $d(t)$ 表示．对于瞬时参考系，取 S 定义 OZ 轴，N 为瞬时平赤道 QQ' 对于历元平赤道 Q_0Q_0' 的升交点，在 QQ' 上取 σ 点定义 OX 轴．σ 的选取应满足如下的

本文 1982 年 2 月 27 日收到．

条件：当 S 在天球上运动时，瞬时参考系没有绕 OZ 的旋转分量．σ 称为非旋转原点，它可由瞬时平春分点 Υ 沿瞬时平赤道向东旋转 $\zeta_A + Z_A - s$ 而取得．其中 $\zeta_A + Z_A = m_A$ 为 Lieske 等人所定义的赤经岁差[6]，岁差量 ζ_A 和 Z_A 分别相当于图 1 中的 E 和 d，s 的表示式为[4]：

$$s = \sigma N - \sigma_0 N = \int (1 - \cos d) dE. \qquad (1)$$

为了方便，本文中所采用的符号与 Guinot 略有不同．

2. 关于 Aoki 和 Kinoshita 的意见

Aoki 和 Kinoshita[3] 认为 Guinot 提出的非旋转原点并不是一种新的概念，它已经隐含在 Newcomb 的平太阳赤经的公式中，而且

$$\zeta_A + Z_A - s = \int_0^T m dT. \qquad (2)$$

并认为这就是赤经岁差，式中 m 为赤经岁差的速率．

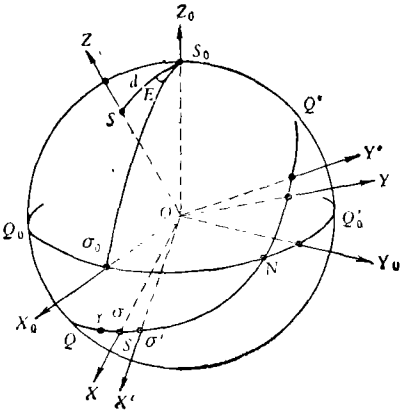

图 1　非旋转参考系

此外，Kinoshita 等人在另一篇文章中[7]还提出过一种 t 坐标系，即真坐标系．由 s 坐标系，即恒星坐标系(相当于图 1 中的非旋转参考系)向 t 坐标系的转换，要求这个坐标系并不绕自己的 Z 轴自转．若忽略章动矩阵，这种转换可由下列岁差矩阵来实现：

$$\boldsymbol{P}' = \boldsymbol{R}_Z(E)\boldsymbol{R}_Y(d)\boldsymbol{R}_Z(-E). \qquad (3)$$

在图 1 中，设 t 坐标系表示为 $O - X'Y'Z'$，其中 σ' 为 OX' 轴与 QQ' 的交点，显然有

$$\sigma' N = \sigma_0 N. \qquad (4)$$

在某种意义上 σ' 也可以称为非旋转原点，但它与 Guinot 定义的 σ 点不同，两者相距 $\sigma\sigma' = s$．此外，由以上可见存在着两种赤经岁差，它们的差异也是 s，为了便于区别，我们令

$$M_A = \zeta_A + Z_A - s = m_A - s. \qquad (5)$$

3. 两种非旋转原点在概念上的差别

σ 与 σ' 虽然都是根据瞬时参考系没有自转的原则而得的非旋转原点，但是我们应该指出，它们的自转是分别相对于不同的参考系而言的．

σ' 是根据瞬时参考系相对于本身运动着的 Z 轴没有自转所得的非旋转原点．由(3)式可知，在坐标转换过程中总的效果相当于没有绕 Z 轴自转．它只具有几何的意义，而没有运动学的意义．

σ 是根据瞬时参考系相对于非旋转参考系在 OZ 方向没有自转所得的非旋转原点．由(1)和(4)式或由(5)式可以看出，从 $O—X_0Y_0Z_0$ 转换到 $O—XYZ$ 可以通过如下的矩阵来实现：

$$\boldsymbol{P} = \boldsymbol{R}_Z(-s)\boldsymbol{P}' = \boldsymbol{R}_Z(-s)\boldsymbol{R}_Z(E)\boldsymbol{R}_Y(d)\boldsymbol{R}_Z(-E). \qquad (6)$$

由(6)式可以求得，相对于非旋转参考系而言各旋转分量在 OZ 方向上总和为：

$$-\frac{ds}{dt} + \frac{dE}{dt} - \frac{dE}{dt}\cos d = 0, \qquad (7)$$

上式根据(1)式是不难证明的．

因此，我们建议称 σ' 为相对于瞬时参考系的非旋转原点，简称为相对非旋转原点；称 σ 为相对于非旋转参考系的非旋转原点，简称为绝对非旋转原点．

4. 两种赤经岁差在概念上的差别

m_A 与 M_A 虽然都称为赤经岁差，但它们的概念是不同的. m_A 是相对非旋转原点 σ' 的平赤经; M_A 是绝对非旋转原点 σ 的平赤经，亦即它们分别是平春分点在 $t-t_0$ 时间内参考于 σ' 和 σ 的"赤经自行".

地球自转是地球相对于非旋转参考系的运动，因此为了测量地球自转速率，需要测定绝对非旋转原点 σ 的时角. 同理，平太阳赤经公式中的赤经岁差也需要采用 M_A 值(这一点在下一节中还将进行讨论).

在图 1 中，若令 N 点在 t_0 和 t 时刻的平赤经分别为 α_0 和 α_t，则有

$$\alpha_0 = \sigma_0 N, \tag{8}$$

$$\alpha_t = \sigma' N + \zeta_A + Z_A = \sigma_0 N + \zeta_A + Z_A = \alpha_0 + m_A. \tag{9}$$

所以，对于不同历元的恒星赤道坐标的换算则需要采用 m_A 值.

为了区别这两种赤经岁差，我们同样建议称 M_A 为绝对赤经岁差；称 m_A 为相对赤经岁差.

综合以上讨论可见，分清两种非旋转原点以及两种赤经岁差的概念，就可以澄清 Guinot 和 Aoki，Kinoshita 在讨论世界时定义时所产生的混淆.

二、世界时定义与赤经岁差

1. Newcomb 的世界时定义

Newcomb 的世界时定义的基础是假平太阳的概念[1]，他首先定义："假平太阳是在天球赤道上具有均匀恒星运动的一点，它的赤经尽可能接近于太阳的平黄经." 假平太阳的平赤经可用下式表示:

$$R_\odot = \tau_0 + \mu T_1 + 4606''.36 T_1 + 1''.394 T_1^2, \tag{10}$$

他所求得的太阳平黄经公式是:

$$L = 279°47'58''.2 + 129602766''.74 T_1 + 1''.089 T_1^2. \tag{11}$$

根据(10)和(11)式，取

$$\begin{aligned} R_\odot &= 279°47'58''.2 + 129602766''.74 T_1 + 1''.394 T_1^2 \\ &= 18^h39^m11^s.880 + 8640184^s.449 T_1 + 0^s.0929 T_1^2, \end{aligned} \tag{12}$$

其中 T_1 为由 1850 年 1 月 0 日 UT1 12^h 起算的儒略世纪数.

由(12)式可得 UT1 0^h 的格林尼治平恒星时为:

$$S_0 = R_\odot - 12^h = 6^h39^m11^s.880 + 8640184^s.449 T_1 + 0^s.0929 T_1^2, \tag{13}$$

这是 Newcomb 第一次给出的世界时定义.

后来，Newcomb 第二次又求得太阳平黄经的公式[8]:

$$L = 279°41'27''.54 + 129602768''.13 T_2 + 1''.089 T_2^2. \tag{14}$$

根据相同的原则求得:

$$R_\odot = 18^h38^m45^s.836 + 8640184^s.542 T_2 + 0^s.0929 T_2^2, \tag{15}$$

$$S_0 = 6^h38^m45^s.836 + 8640184^s.542 T_2 + 0^s.0929 T_2^2, \tag{16}$$

其中 T_2 为由 1900 年 1 月 0 日 UT1 12^h 起算的儒略世纪数. (16)式是目前采用的世界时定义.

2. 世界时定义中的赤经岁差

根据假平太阳的定义，它在天球赤道上应具有均匀的恒星运动，即对于绝对非旋转原点具有均匀运动．因此假平太阳平赤经应等于绝对非旋转原点的平赤经加线性项．这两部分分别由(10)式的第三、四项和第一、二项所表示．

Newcomb 在文献[1]中所采用的每世纪的赤经岁差速率为：

$$m = 4606''.36 + 2''.79\tau_1, \tag{17}$$

其中 τ_1 为自 1850 年 1 月 0 日 UT1　12^h 起算的回归世纪数．由此可得

$$M_A = \int_0^{\tau_1} m d\tau_1 = 4606''.36\tau_1 + 1''.394\tau_1^2. \tag{18}$$

如将 M_A 换算为以儒略世纪为单位，严格地说(10)式应写为

$$R_\odot = \tau_0 + \mu T_1 + 4606''.46T_1 + 1''.394T_1^2, \tag{19}$$

因此，(13)式中所采用的赤经岁差为：

$$M_A = 307^s.097T_1 + 0^s.0929T_1^2. \tag{20}$$

同理，根据 $\tau_2 = \tau_1 + 0.5$，代入(17)式可得

$$m = 4607''.76 + 2''.79\tau_2. \tag{21}$$

由此可得(16)式中采用的赤经岁差为：

$$M_A = 307^s.190T_2 + 0^s.0929T_2^2. \tag{22}$$

但是 Newcomb 于 1897 年又重新确定了岁差常数，现在的采用值为[9]：

$$m = 307^s.234 + 0^s.186\tau_2. \tag{23}$$

因此，目前的世界时定义中采用的赤经岁差应该是

$$M_A = 307^s.241T_2 + 0^s.0930T_2^2. \tag{24}$$

3. 关于 1984 年后的世界时定义

根据 IAU 的决议，1984 年 1 月 1 日起将要对天文参考系作如下的修改：1）采用 IAU 1976 年天文常数系统，2）采用 1980 年 IAU 章动理论，3）采用 *FK*5 星表．为了使 1984 年前后不因以上的修改而产生世界时的跳跃，IAU 第 4，19，31 委员会已经作出决议[10]，修改世界时 0^h 格林尼治平恒星时的表示式(即(16)式)，使 UT_1 在数值上和速率上保持连续，但忽略由于改变章动理论所引起的微小周期性差异．

考虑到星表春分点和岁差量的变化，Aoki，Guinot，Kaplan，Kinoshita，McCarthy 和 Seidelmann 等人建议[5]，1984 年后的世界时新定义将采用如下的形式：

$$S_0 = 24110^s.54841 + 8640184^s.812866T_3 + 0^s.093104T_3^2 - 6^s.2 \times 10^{-6}T_3^3, \tag{25}$$

其中 T_3 为自 2000 年 1 月 1 日 UT1　12^h 起算的儒略世纪数．(25)式中的赤经岁差是根据 Lieske 等人的岁差量[6]计算的，

$$M_A = 307^s.495747T_3 + 0^s.093104T_3^2 - 6^s.2 \times 10^{-6}T_3^3. \tag{26}$$

三、世界时定义中的时间变量

1. 历书平太阳与世界平太阳

在 Newcomb 时代，人们认为地球自转是均匀的，因此假平太阳的平赤经公式(15)式中的时间变量既是世界时，又是均匀时．但是 1960 年以后世界时已被认为是非均匀时，根据 Newcomb 的假平太阳的定义，它的平赤经公式应该以均匀时为时间变量[9,p.74]，即(15)式应改写为

$$R_E = 18^h38^m45^s.836 + 8640184^s.542T_U + 0^s.0929T_E^2, \quad (27)$$

其中 T_E 为自 1900 年 1 月 0 日 ET 12^h 起算的历书儒略世纪数. R_E 又称为历书平太阳的平赤经[9,p.79],它与世界时无关,显然不能用于定义世界时.

从 1960 年以来,世界时的定义仍一直沿用(16)式,即平太阳的平赤经仍以世界时为时间变量. 由(15)式所定义的平太阳可称为世界平太阳[9,p.79]. 虽然在 1960 年以后,世界时定义与 Newcomb所用的公式完全相同,但在概念上世界时已不再等于假平太阳的格林尼治时角 $+12^h$,而等于世界平太阳的格林尼治时角 $+12^h$.

2. 世界平太阳的精确概念

在地球自转不均匀的情况下,要用世界平太阳的时角表示地球自转的速率,应该使世界平太阳在天球赤道上对于绝对非旋转原点的关系与世界时相对应. 因此世界平太阳的平赤经应等于绝对非旋转原点的平赤经,加上以世界时为时间变量的线性项.

由于 Lieske 等人的岁差量[6]是以历书时为时间变量,即(26)式应改写为:

$$M_A = 307^s.495747T_{E_3} + 0^s.093104T_{E_3}^2 - 6^s.2 \times 10^{-6}T_{E_3}^3, \quad (28)$$

其中 T_{E_3} 是自 2000 年 1 月 1 日 ET12^h 起算的历书儒略世纪数. 因此严格地说世界平太阳的平赤经公式应包括两种时间变量,

$$R_\odot = \tau_0 + \mu T_3 + 307^s.495747T_{E_3} + 0^s.093104T_{E_3}^2 - 6^s.2 \times 10^{-6}T_{E_3}^3. \quad (29)$$

同理,对1984年后所建议的世界时新定义(25)式,也应包括两种时间变量,应改为

$$S_0 = 24110^s.54841 + 8639877^s.3171197T_3 + 307^s.495747T_{E_3} + 0^s.093104T_{E_3}^2 - 6^s.2 \times 10^{-6}T_{E_3}^3, \quad (30)$$

这就是世界时定义中的主要矛盾. 而 Aoki 等人所建议采用的(25)式仅是对(30)式的一种近似.

3. 用自转时定义世界时

世界时定义中具有两种时间变量的矛盾是完全可以避免的. 令绝对非旋转原点的格林尼治时角为自转时 θ, 则有

$$\theta = S - M_A, \quad (31)$$

因此 UT1 0^h 的格林尼治自转时为

$$\theta_0 = \tau_0 + \mu T_3, \quad (32)$$

(32)式同样可以作为世界时的定义,它只包含一种时间变量.

Guinot 在文献[4]中曾提出建议,采用如下的世界时定义: "世界时是与地球的恒星自转成比例的一个角度,比例系数的选择是要使长时期内 UT1 12^h 与格林尼治正午同位相." 这样的定义可以表示为如下的形式,

$$\mathrm{UT1} = k(\theta - \theta_0). \quad (33)$$

他认为采用(33)式可以避免岁差常数误差对世界时定义的影响,可以取消令人烦恼的平太阳的复杂定义,还明确给出了 UT1 与地球自转速率的比例关系. 然而 Guinot 并没有指出时间变量矛盾的问题,也没有给出世界时定义的具体数值表达式.

Aoki 和 Kinoshita[3] 正确地指出, Guinot 所提出的第一个优点实际上是不成立的. 因为恒星的赤经不仅受赤经岁差的影响,同时也受赤纬岁差的影响. 最后,在文献 [5] 中包括 Guinot 本人在内都同意采用近似公式(25)式,作为 1984 年后所建议的世界时定义.

我们认为(33)式的形式是值得采用的，主要的原因是可以避免世界时定义中具有两种时间变量的矛盾．根据(30)式，(32)式可改写为：

$$\theta_0 = 24110^s.54841 + 8639877^s.317119T_3. \tag{34}$$

类似于文献[5]中的讨论，我们可以推算出

$$\theta(T_3) = 67310^s.54841 + (876600^h + 8639877^s.317119)T_3, \tag{35}$$

$$k = 0.9972696632372 \text{ 平太阳时秒/自转时秒}, \tag{36}$$

$$1/k = 1.0027378119113 \text{ 自转时秒/平太阳时秒}. \tag{37}$$

将 k 值代入(33)式，得

$$\mathrm{UT1} = 0.9972696632372(\theta - \theta_0). \tag{38}$$

实践中，天文年历可不再提供 S_0，而只提供每天 UT1　0^h 的 M_A 和 θ_0．由观测所得的格林尼治真恒星时减去赤经章动和绝对赤经岁差，可求得观测时刻的格林尼治自转时 θ．由 $\theta - \theta_0$，根据(38)式就可求得观测时刻的 UT1，必要时还可按(38)式编表附在天文年历中．这就是我们的建议．

四、结　论

1. 在定义世界时或平太阳的平赤经时，应该采用绝对赤经岁差；而对于不同历元恒星赤道坐标的换算则需要采用相对赤经岁差．这是两种不同概念的赤经岁差，前者是绝对非旋转原点的平赤经；后者是相对非旋转原点的平赤经．分清这两种概念，可以避免讨论世界时定义时所产生的混淆．

2. Newcomb 定义的假平太阳是历书平太阳，由于地球自转的不均匀性，它不适用于定义世界时．目前是用世界平太阳定义世界时，但世界平太阳的平赤经公式包括两种时间变量，因此(16)和(25)式都只能是近似公式．这是目前世界时定义的主要矛盾．

3. 建议从 1984 年开始采用自转时定义的世界时，其表达式为(34)和(38)式：

$$\theta_0 = 24110^s.54841 + 8639877^s.317119T_3,$$

$$\mathrm{UT1} = 0.9972696632372(\theta - \theta_0),$$

其中 T_3 为自 2000 年 1 月 1 日 UT1　12^h 起算的世界时儒略世纪数．

这个新定义与(25)式所定义的世界时的数值和速率完全一致，但是概念更加简单明了，并且提供了世界时与地球自转速率的数量关系．根据相同的原则也可以计算出目前的世界时与地球自转速率的关系．

参　考　文　献

[1] Newcomb, S., *Supplement to the Amer. Eph. and Naut. Almanac for* 1897, 1895a, 188, 196.

[2] Guinot, B., *IAU Symp.*, No. 82, 1979, 7—18.

[3] Aoki, S. & Kinoshita, H., Note on the Relation between the Equinox and Guinot's Non-rotating origin, 1980, Submitted to *Celestial Mechanics*.

[4] Guinot, B., *IAU Colloquium* No. 56, 1981, 125—134.

[5] Aoki, S., et al., The New Definition of Universal Time, Submitted to *Astron. Astrophys.*

[6] Lieske, J. H., et al., *Astron. Astrophys.*, **58** (1977), 1—16.

[7] Kinoshita, H., et al., *Publ. Int. Lat. Obs. Mizusawa*, **7** (1979), 71—108.

[8] Newcomb, S., *A. P. A. E.*, **6** (1895 b). Part I, 9.

[9] Explanetary Supplement to the Astronomical Ephemeris and American Ephemeris and Nautical Almanac, 1961, 38.

[10] *IAU Information Bulletin*, No. 43, 1980, 10.