

文章编号: 1000-8349(2010)04-383-08



时空参考系中的坐标和时间单位

马高峰, 郑 勇, 杜 兰, 骆亚波

(信息工程大学 测绘学院, 郑州 450052)

摘要: 针对目前时空参考系中关于坐标和时间单位的一些模糊认识, 回顾了国际单位制 SI 与计量基准的定义及其发展, 分析了国际计量局 (BIPM) 对测量单位 SI 米和 SI 秒的新定义, 得出了在原时的单位采用 SI 秒时, 各种时空参考系中的坐标量 (坐标时和空间坐标) 的单位均可认为是 SI 秒的结论。同时通过分析, 明确了目前太阳系历表中使用的天文单位系统在时空参考系中的使用方法。

关键词: 时空参考系; 坐标时; 天文单位

中图分类号: P126

文献标识码: A

1 引 言

现代社会广泛使用国际单位制 (SI) 中定义的米、秒、千克、安培、开尔文、坎德拉和摩尔 7 个基本单位, 作为计量基准, SI 单位的定义随着理论和技术的发展不断得到改进。在测量中, 人们通过与由仪器复现的基本单位的比对来定量描述待测量的属性。然而, 基本单位不仅用于对可观测量的描述, 在定位和导航中, 人们仍以米和秒作为坐标和时间的单位。在相对论时空参考系中, 为了理论和应用的方便, 人们定义了众多的坐标和时间尺度, 对于这些坐标和时间尺度的单位, 目前存在很多模糊的认识。如认为不同地点对应的 SI 秒 (SI 米) 是不同的, 地球时 (TT) 的单位是旋转大地水准面上的 SI 秒, 质心力学时 (TDB) 定义了新的时间单位 TDB 秒, 质心坐标时 (TCB) 以距太阳系质心无穷远处的 SI 秒为单位^[1], 某一段时间间隔为多少 TT(或 TDB) 秒等。本文结合计量基准的发展和国际测量组织对长度和时间单位的定义, 在相对论框架下澄清了这些模糊的认识, 并对目前仍在使用的天文单位系统及其与 SI 系统的关系进行了分析。

收稿日期: 2009-12-20; 修回日期: 2010-04-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40974019)

2 国际单位制 (SI) 与计量基准

国际单位制 (SI) 的 7 个基本单位的量值由计量基准所保存和复现。19 世纪下半叶到 20 世纪上半叶, 根据经典物理学原理, 国际上逐步建立起经典的实物计量基准, 它通常采用某种特别稳定的实物来实现。例如一根 X 型铂铱合金米尺元器上两条刻线间距离就定义为长度单位米。然而实物基准一旦制成后, 总会有一些不易控制的物理、化学过程使它的特性发生缓慢的变化, 因而它所保存的量值也会有所改变。而且实物计量基准全世界只有一个或一套, 一旦由于天灾、战争或其他原因发生意外损坏, 就无法精确地复制, 原来连续保存的单位量也会因此中断。另外, 量值传递检定系统繁杂, 从最高等级的实物基准到具体应用场所, 量值要经过多次传递, 准确度也必然会有所下降。鉴于此, 20 世纪 50 年代逐步提出用量子基准代替实物基准。

量子基准基于量子物理学中阐明的微观粒子的运动规律, 特别是微观粒子的态和能级的概念, 宏观物体中基本粒子的能级结构与物体的宏观参数, 如形状、体积、质量等, 并无明显关系。因此, 即使物体的宏观参数随时间发生了缓慢变化, 也不会影响物体中微观粒子的量子跃迁过程。这样, 如果利用量子跃迁现象来复现计量单位, 就可以从原则上消除各种宏观参数不稳定性所产生的影响, 复现的计量单位不再发生缓慢漂移, 计量基准的稳定性和准确度可以达到空前的高度。更重要的是, 量子跃迁现象可以在任何时间、任何地点用原理相同的装置重复产生, 与实物基准不同, 实物是特定的物体, 一旦由于事故而毁伤, 就不可能再准确地复制。此类用量子现象复现量值的计量基准统称为量子基准, 量子基准的精度通常比实物基准高几个量级^[2]。

第一个付诸使用的量子基准是 1960 年国际计量大会 (CGPM) 推荐采用的 ^{86}Kr 光波长基准。其原理是将 ^{86}Kr 原子跃迁时所发射的光波的波长作为长度基准, 准确度达到 10^{-9} 量级。第二个量子计量基准, 是 1967 年在国际上正式启用的铯原子钟, 它将铯原子在两给定能级之间的量子跃迁所发射或吸收的无线电波的高准确频率作为频率和时间的基准, 其准确度目前已达到 10^{-15} 量级。最近有人根据实验数据提出用铯原子的长寿命能级之间的跃迁, 可使原子钟的准确度达到 10^{-18} 量级。新的稳定激光器的波长稳定性已达到 10^{-12} 量级^[2]。由此可见, 量子基准总是伴随着某一种具体的量子物理过程, 并由此定义了一种基本单位。如果此量子物理过程有新的发展, 人们就会面临改变基本单位定义的问题, 而频繁的改变单位定义是人们不希望的。可见, 对所有的观测者基本物理单位的定义应该是不变的, 具体的物理条件和物理过程不应该改变其定义。从目前的物理学知识来看, 基本物理常数是不变的, 有最好的稳定性。如果能把基本单位用基本物理常数重新定义, 虽然复现基本单位的具体技术手段可以随着科学技术的进步而不断改进, 但基本单位的定义将长期保持稳定。

用基本物理常数定义基本单位的做法首先在长度单位的定义方面取得了突破。20 世纪 80 年代, 人们把利用新技术测定的激光波长与由 ^{86}Kr 光波波长定义的长度单位相比较, 得出真空中的光速值为 $299\,792\,458\text{ m/s}$, 其误差主要来源于 ^{86}Kr 光波波长定义的长度单位的不准确性。但如果把真空中的光速值固定下来, 视作无误差常数, 反过来用频率单位和真空中的光速导出长度单位, 即定义长度单位为“真空中光在 $1/299\,792\,458\text{ s}$ 的

时间间隔内飞行的距离”^[2,3]。这样的定义原则上可消除⁸⁶Kr 光波波长定义的长度单位的不确定性, 长度单位的定义就不需要随着激光技术的进步而改变。1983 年, CGPM 正式通过了以上基于真空中光速的长度单位的新定义, 使长度单位成为采用物理常数定义的基准, 其不确定性完全由时间(频率)单位的不确定性决定。对于时间(频率)单位的定义, 也可考虑采用物理常数给出其定义, 目前已有有人提出用给定黎德堡常数的数值重新定义时间频率单位的建议。黎德堡常数出现在氢原子或类氢粒子的光谱频率表达式中, 其不确定性仅 10^{-14} 量级, 在平差时是作为无误差常数输入的。用该常数定义时间频率单位目前还只是一种探讨, 尚未进行具体的工作^[2]。

目前, 在实践中实物基准、量子基准和常数基准都在使用, 2005 年 10 月国际计量委员会原则上批准关于用基本物理常数重新定义基本单位的建议, 这取决于基本物理常数的精密测定理论与技术的进步。现在时间单位仍由基于铯原子钟的量子基准定义, 而长度单位则由以上基于物理常数(光速)的常数基准定义。时间和长度单位都通过原子钟提供的电磁波频率基准来复现。

3 观测量及其数值与单位

为了定量地描述一个物理量, 首先必须清楚定义物理量与其数值之间的联系。国际标准化组织(ISO)对物理量是这样定义的(ISO, 1993, 定义 1.1): 物理量代表了某种现象的属性, 依据该属性物体(物质)能够从性质上被区分, 从数量上被确定。对其数值是这样定义的(ISO 1993, 定义 1.18): 如果物理量可表示为一个数值与其测量单位的乘积, 则该数值称为此物理量的数值。根据这样的定义, 一个量可以表示为^[4]:

$$A = \{A\}[A], \quad (1)$$

其中 $\{A\}$ 是一个单纯的数值, 而 $[A]$ 为其对应的单位, 这种表示方法是 ISO 31-0 (ISO 1992) 推荐采用的表示方法。对于物理量的单位 $[A]$, ISO (1993, 定义 1.7) 明确定义如下: 量的单位是一个特殊的量, 它通过协议定义并被采用, 通过与它比较可以描述具有相同性质的物理量的大小。物理量的单位是定量实现或描述该物理量的方法, 观测者可以通过物理量的单位定量地描述具有相同属性的物理量的大小。

在实际测量中, 人们通过与复现的基本单位进行比对从而定量地给出描述被测物体属性的数值。可见, 基本单位必须由可观测量来定义和复现, 但这并不表示基本单位只能用于可观测量。在定位和导航中, 时空参考系中用于描述物体位置的坐标量(坐标时和空间坐标)就是不可观测量, 其仍可采用 SI 秒或 SI 米作为单位来描述, 由于目前 SI 米已由定义的光速常数与 SI 秒联系在一起, 以下论述中认为时空坐标量都用 SI 秒来度量。

利用基本单位的定义在实验室复现观测单位时, 人们可以控制物理条件如温度、湿度、气压等, 从而使所复现的观测单位与定义的单位尽可能相同。但由相对论知道, 由于观测者的运动状态和所处引力场的不同, 观测结果是无法直接进行比对的, 必须将它们归算到同一时空参考系中才可定量描述物理量的相对大小, 由此得到的时空坐标量的单位还是 SI 单位吗? 下章将重点讨论这一问题。

4 相对论框架下的时空坐标单位

在相对论框架下,由等效原理可知,一个观测者本身并不能判断其运动状态和所处的引力场,但可读取与其一起运动的理想钟的读数,即原时^[1]。在其他物理条件都相同的条件下,在狭义相对论中,不同观测者用随身携带的理想钟与 SI 秒比对得到的时间间隔的数值相对于它自己应该是相同的,但相对于某一时空参考系其数值受观测者的运动状态影响;在广义相对论中,如果将引力场理解为时空的弯曲,对于观测者来说,即引力场使观测者所在的时空产生弯曲,但其并不对观测所携带的理想钟产生影响。从这个意义上讲,在不同的时空背景下,观测者用随身所带理想钟与 SI 秒比对得到的时间间隔的数值相对它自己应该是相同的,但相对于某一时空参考系其数值受观测者所处的引力场的影响。由此可见,不论是实物基准、计量基准或常数基准,观测者观测到的原时的单位都是 SI 秒,对于观测者自己来说,其数值不受观测者的运动状态和其所处的引力场的影响。相对论里所说的时间膨胀、长度收缩是指相对于特定的参考系而言的,相对于观测者自己,并不存在这些效应。可见,时空背景与上述物理条件有本质的区别,在观测者所处的无穷小的邻域内,物理条件会影响观测者所复现的观测单位,从而影响观测结果,而时空背景对观测结果并不产生影响。

因此,观测者只能观测到他自己的原时, SI 秒作为观测单位对于所有观测者都是一样的,它是原时的单位。然而不同观测者之间的原时因定义域不同而无从直接比较,也就是说不存在绝对的同时性,必须通过一个定义了坐标同时性的时空参考系作为中介才能进行比较。时空中的任一事件可通过时空坐标系中的 4 个实数 (t, \boldsymbol{x}) 来唯一标识,其中 \boldsymbol{x} 称为类空坐标矢量,可由 3 个实数标识, t 称为类时坐标或坐标时,由 1 个实数来标识。正如前面所述,作为观测单位, SI 秒是可观测量原时的单位,但这并不代表 SI 秒只能用于可观测量。时空坐标分量是不可观测量,为了区分,可将它的单位称为刻度单位,其数值由可观测量的单位通过理论和常数导出。以下关系式表示了原时与坐标时的关系^[4,7]。

$$\frac{d\tau}{dt} = \left(-g_{00} - \frac{2}{c}g_{0i}\dot{x}^i - \frac{1}{c^2}g_{ij}\dot{x}^i\dot{x}^j \right)^{1/2}. \quad (2)$$

式(2)采用了爱因斯坦求和约定, t 表示坐标时; τ 为观测者的原时; $\dot{x}^i (i=1, 3)$ 为 t 时刻观测者在以上度规对应的时空参考系中的速度分量; $g_{00}, g_{0i}, g_{ij}, (i, j=1, 2, 3)$ 为给定的时空度规,由观测者的位置、太阳系模型(如 JPL 的 DE 系列历表)和相对论理论确定。式(2)可理解为观测单位 SI 秒与时空坐标刻度单位的关系式,通过数值积分的方法求解式(2)时,需给定初始条件: $\tau(t_0) = \tau_0$, 其中 t_0 和 τ_0 为常数,由时间同步给出。

在式(2)中,如果原时的观测单位为 SI 秒,为了保证等式成立,坐标时 t 的刻度单位亦应为 SI 秒。不可观测的坐标量的数值必须由可观测量原时的数值导出,因此坐标量的单位应与其对应的可观测量的单位一致或由其导出,而没有必要单独定义坐标刻度单位。在实用中并不需要区分观测单位和刻度单位,而把它们统称为一个量的单位。

考虑到爱因斯坦的等效原理, SI 秒的定义并不需要限定在特定地点,它应适应任意地点的观测者。1967 年第 13 届国际度量衡会议通过了 SI 秒的定义:位于海平面上的铯原子 Cs^{133} 基态的两个超精细能级在零磁场中跃迁辐射振荡为 9 192 631 770 周所持续的时间^[1]。该定

义强调了铯原子跃迁的地点, 容易给人造成错觉, 似乎 SI 秒仅适用于零磁场中的位于海平面上的原子钟。因此 BIPM 在 2006 年重新定义 SI 秒为: 铯原子 Cs^{133} 基态的两个超精细能级跃迁辐射振荡为 9 192 631 770 周所持续的时间^[1,7]。由于物理条件不同, 不同的原子钟复现的 SI 秒是不同的, 这通常可由钟差来描述, 它属于仪器误差的一种。利用特定的理论模型将观测结果归算到具有相同的物理条件的时空参考系中, 仅仅是为了相互比对的需要, 它并不改变观测结果本身, 考虑到零磁场通常是无法实现的, 因此新定义去掉了零磁场和位于海平面的限定。可见, SI 秒的新定义给定了复现它的方法, 其对所有的观测者都是一样的, 正如第 2 章讨论的那样, SI 秒的新定义仍然受限于具体的量子物理过程, 应采用适当的物理常数(如黎德堡常数)给出其更准确的定义。

利用特定时空度规可将观测结果归算到特定的时空参考系, 因此不同的时空参考系对应不同的度规, 不同的度规也定义了不同的时空参考系。国际天文协会 (IAU) 利用相对论理论和太阳系模型, 给定了适用于太阳系质心天球参考系 (BCRS) 和地心天球参考系 (GCRS) 的度规表达式, 从而定义了 BCRS 和 GCRS。BCRS 和 GCRS 中的类时坐标分别定义为质心坐标时 (TCB) 和地心坐标时 (TCG), 利用 IAU 给出的度规表达式和现有的太阳系模型, 由式 (2) 可给出 TCB 和 TCG 之间及它们分别与原时之间的关系式。通过计算可知, 相对于旋转大地水准面上的原时, TCG 每年大约快 20 ms, 而 TCB 每年大约快 0.5 s, 由于目前绝大多数的观测都是在地球表面上(即旋转大地水准面附近)进行, 直接使用 TCG 和 TCB 将会造成很多不便。为了方便应用, 可调整 TCB 和 TCG 的速率使其尽量接近位于旋转大地水准面上的原时速率, 即对 TCG 和 TCB 分别作线性变换, 从而得到另外两个坐标时地球时 (TT) 和质心力学时 (TDB), 为了保证光速不变, 相应的空间坐标亦应作相同的线性变换, 称其为与 TT 或 TDB 一致的坐标。以上 TCG 和 TCB 调整量的大小取决于模型和常数的精度, 随着模型和常数精度的提高, 其定义也将发生变化, 这在应用中是十分不便的。类似于常数基准, 依据当前所估计的最佳数值, IAU 将调整量固定为常数来定义 TT 和 TDB, 即^[5,8]:

$$\frac{dT_T}{dT_{CG}} \equiv 1 - L_G, \quad \frac{dT_{DB}}{dT_{CB}} \equiv 1 - L_B. \quad (3)$$

TT (TDB) 及与其一致的坐标对应新的时空度规, 它与 IAU 定义的 GCRS (BCRS) 度规存在简单的线性关系, 可将其称为 TT (TDB) 度规。从度规与时空参考系的关系来说, 这相当于定义了新的时空参考系, 因此 TT 和 TDB 也是坐标时, 作为坐标量其单位也应与原时的单位 SI 秒一致。很多文献提出, 坐标时 TCB 以距太阳系质心无穷远处的 SI 秒为单位, 这种说法是不准确的, 事实上只能认为在 BCRS 中 TCB 的速率与距太阳系质心无穷远处的原时的速率相同, 如果原时单位采用 SI 秒, 则坐标时在其定义域内的单位都应为 SI 秒。同样, 对于时间间隔只能说其 TT(或其他坐标时) 间隔是多少 SI 秒, 而不能说其时间间隔是多少 TT(或其他坐标时) 秒, 因为不存在 TT(或其他坐标时) 秒这样的单位。目前 TT 由经过比对的国际原子时 (TAI) 所复现, 为了保持与世界时的同步, 实用中通过无线电发布的是协调世界时 (UTC), TAI、UTC 与 TT 之间仅存在常数补偿, 因此它们也是坐标时, 其单位当然也是 SI 秒。

通过以上讨论可知, 如果原时的单位为 SI 秒, 时空参考系的坐标刻度单位都应是 SI 秒, 但两个时空点之间的坐标距离的数值大小受到理论和观测条件的限制, 包括采用的相对论模型、测量仪器所复现的测量单位的精度, 测量环境的影响等。利用不同观测资料经平差后实现

的相同定义的时空参考系,其两个时空点之间的坐标距离的数值是不同的,但其单位都为 SI 秒。由于相对论时空度规已经考虑了时空的各向异性,因此在相同定义的时空坐标系的转换中仅需考虑 1 个尺度因子的影响,它是由理论模型和观测误差引起的,与尺度单位的定义无关。目前已经实现由 TDB 度规定义的时空参考系,包括国际天球参考架(ICRF-1, ICRF-2)、依巴谷星表、JPL 的 DE 系列历表等,经过简单的线性变换即可得到基于 BCRS 定义的参考架;另外亦实现了一系列由 TT 度规定义的时空坐标系,如 ITRF 系列地球参考架等;天球参考架和地球参考架通过理论模型和常数(岁差章动模型,地球定向参数 EOP 等)建立联系。

5 天文单位系统

目前太阳系中的动力学历表依然采用 IAU 在 1938 年定义的天文单位系统,本章讨论在不同时空参考系中其与 SI 单位的关系。采用第 3 章所述 ISO 的表示方法,在牛顿力学中,时间 t 、坐标 x 、质量 M 与引力常数 G 和 SI 单位的关系可分别表示为^[4]:

$$[t]_A = d = d[t]_{\text{SI}} , \quad \{t\}_A = d^{-1}\{t\}_{\text{SI}} , \quad (4)$$

$$[x]_A = \text{AU} = \chi[x]_{\text{SI}} , \quad \{x\}_A = \chi^{-1}\{x\}_{\text{SI}} , \quad (5)$$

$$[M]_A = M_{\odot} = \alpha[M]_{\text{SI}} , \quad \{M\}_A = \alpha^{-1}\{M\}_{\text{SI}} , \quad (6)$$

$$\{G\}_A \equiv k^2 = 0.017\ 202\ 098\ 95^2 . \quad (7)$$

其中下标 A 表示天文单位, SI 表示 SI 单位,天文单位系统由常数 d, α, χ, k 与 SI 建立联系。由于历史的原因高斯常数 k 一直作为定义常数给出,其量纲为 $\text{AU}^3\text{d}^{-2}M_{\odot}^{-1}$; 时间单位为 d ; 长度单位为日地之间的平均距离,称为天文单位 AU; 质量单位取为太阳的质量 M_{\odot} , 在牛顿框架中定义 $\{M_{\odot}\}_A \equiv 1$ 。根据以上符号可将开普勒第三定律表示为:

$$\{a\}_A^3 \{n\}_A^2 = \{G\}_A \{M\}_A , \quad (8)$$

设 $\mu = GM_{\odot}$, 在 SI 单位下可如下计算:

$$\{\mu\}_{\text{SI}} = k^2 \{M_{\odot}\}_A \chi^3 d^{-2} . \quad (9)$$

利用上式可根据 G 在 SI 单位下的值估计以 kg 表示的太阳的质量。在相对论框架中,以上天文单位系统应该定义在 BCRS 中,其时间尺度应为 TCB。如上节所述,为了应用方便,目前其时间尺度采用 TDB, 则 SI 单位的 TCB 与 TDB 对应参考系的数值关系可表示为:

$$t^* = Ft + t_0^* , \quad (10)$$

$$x^* = Fx , \quad (11)$$

$$\mu^* = F\mu . \quad (12)$$

其中 $F \equiv (1 - L_B)$ 即上述定义常数, t_0^* 为一微小的零点常数差。如果将与 TCB 和 TDB 一致的天文常数系统分别定义为 A 和 A*, 则由以上关系式可得它们的数值关系如下^[1]:

$$\{t^*\}_{A^*} = F \left(\frac{d^*}{d} \right) \{t\}_A, \quad (13)$$

$$\{x^*\}_{A^*} = F \left(\frac{\chi^*}{\chi} \right)^{-1} \{x\}_A, \quad (14)$$

$$\{\mu^*\}_{A^*} = F \left(\frac{d^*}{d} \right)^2 \left(\frac{\chi^*}{\chi} \right)^{-3} \{\mu\}_A, \quad (15)$$

考虑到 $\{\mu^*\}_{A^*} = (k^*)^2 \{M_{\odot}^*\}_{A^*}$ 和 $\{\mu\}_A = (k)^2 \{M_{\odot}\}_A$, 式 (15) 可写为:

$$F = \frac{(k^*)^2 \{M_{\odot}^*\}_{A^*}}{k^2 \{M_{\odot}\}_A} \left(\frac{\chi^*}{\chi} \right)^3 \left(\frac{d^*}{d} \right)^{-2}. \quad (16)$$

这即上述常量所需满足的唯一关系式, 根据 IAU 的建议, 取 $d^*=d=86\,400$, 由于目前还没有采用 TCB 尺度实现的历表, 因此满足以上关系式可以有多种选择。考虑到太阳由于辐射存在质量损失, 一种比较自然的选择是取 $\chi = \chi^*$, 即要求一个天文单位对应 SI 米的数值在 TCB 一致和 TDB 一致的时空参考系中对应的数值相等, 此时:

$$\{t^*\}_{A^*} = F \{t\}_A, \quad (17)$$

$$\{x^*\}_{A^*} = F \{x\}_A, \quad (18)$$

$$\{\mu^*\}_{A^*} = F \{\mu\}_A. \quad (19)$$

可见只要给出适当的约定, 采用 TCB 的动力学历表和采用 TDB 的动力学历表之间存在确定的简单关系, 从而没有必要利用同样的数据和软件建立与 TCB 一致的动力学历表。目前动力学历表的头文件中给出了 χ^* 和各天体的 $\{\mu^*\}_{A^*}$ 的数值, 其中 $\{\mu_{\odot}^*\}_{A^*} \equiv k^2$ 。利用式 (18) 和 (19) 很容易得到与 TCB 一致的天体的 μ 和位置坐标数值, 而由式 (17) 和 (18) 可知天体的速度在两种框架下是一致的。

最初定义天文单位系统的初衷是因为当时角度观测的精度远远高于距离观测的精度, 而通过观测行星绕太阳的周期很容易得到其轨道半径。目前, 除了冥王星外太阳系行星都有基于航天器的高精度 SI 单位的距离观测, 因此, 将来的太阳系动力学历表似乎没有采用天文单位系统的必要。

6 小 结

通过以上分析可以看出, 作为距离和时间测量的导出量, 目前所采用的相对论时间尺度 TT、TDB、TCG 和 TCB 的单位都是 SI 秒, 与其对应的坐标的单位都是 SI 米。SI 秒和 SI 米的定义仅仅给出了复现其大小的方法, 它对所有的观测者应该一样。为了便于比较, 需要将测量所得到的数值利用理论模型归算到相同的物理环境和相同的时空参考系, 这些用于相互比较的导出物理量的单位只能由实际观测到的物理量的单位导出, 它们并不能定义新的单

位。对于目前在太阳系历表中仍在使用的天文单位系统,通过适当的约定,可使其适用于相对论时空参考系 BCRS,而随着空间测量技术的发展,天文单位系统似乎已没有存在的必要。

参考文献:

- [1] 夏一飞, 黄天衣. 球面天文学. 南京: 南京大学出版社, 1995: 17
- [2] 张钟华. 中国计量, 2006, (3): 6
- [3] 冯 杰, 郑树文. 中山大学学报论丛, 2001, 21: 31
- [4] Klioner S A. A&A, 2008, 478: 951
- [5] Standish E M. A&A, 1998, 336: 381
- [6] McCarthy D D Petit G. IERS Conventions 2003, 2004
- [7] Klioner S, Capitaine N, Folkner W, et al. Proceedings IAU Symposium, 2009: 261
- [8] IAU Resolutions 3, [http://www.iau.org/Resolutions at GA-XXVI.340.0.html](http://www.iau.org/Resolutions%20at%20GA-XXVI.340.0.html), 2006

The Unit of Coordinates and Time in Space-time Reference Systems

MA Gao-Feng, ZHENG Yong, DU Lan, LUO Ya-Bo

(School of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: Aiming at some fuzzy knowledge about the unit of coordinates and time in space-time reference systems, developments and definitions of SI unit and metrological datum are reviewed, new definitions with SI metric and SI second of the Bureau International des Poids et Mesures are analyzed in this paper. It is argued that the scaled time scales, the scaled spatial coordinates, should be considered as SI second, the TDB second and TT second are not exist, the relativity model and physical model used to correct observation quantity are only to contrast expediently each other. Along the same lines, the system of astronomical units is discussed in the relativistic framework, the application method of astronomical unit used in solar system ephemeris in space-time reference systems is presented as well.

Key words: space-time reference systems; coordinate time; astronomical unit