

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

月球标准时间定义及其溯源性

Lunar Standard Time definition and its traceability

(征求意见稿)

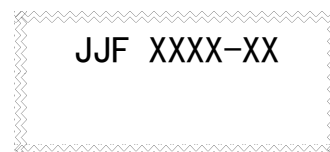
××××—××—××发布

××××—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布

月球标准时间定义及其溯源性

Lunar Standard Time definition and its
traceability



归口单位：全国空间计量技术委员会

主要起草单位：北京东方计量测试研究所

中国计量科学院

中国科学院国家天文台

兰州空间技术物理研究所

中国科学院精密测量科学与技术创新研究院

深空探测实验室（合肥）

参加起草单位：北京无线电计量测试研究所

北京卫星导航中心

中国空间技术研究院通信与导航卫星总体部

中国空间技术研究院西安分院

军事科学院系统工程研究院

本规范委托全国空间计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

X X X ()

X X X ()

X X X ()

X X X ()

参加起草人：

X X X ()

X X X ()

目 录

引 言	IV
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语及定义	1
3.1 费雷内坐标系 frenet frame	1
3.2 原时 proper time	1
3.3 坐标时 coordinate time	1
3.4 原点坐标时 coordinate time on the origin	2
3.5 守时 time keeping	2
3.6 时间戳 time stamp	2
3.7 历表 ephemeris	2
3.8 历表周期 ephemeris' cycle	2
3.9 协调世界时 UTC, universal coordinated time	2
3.10 月球坐标时 TCL, lunar coordinate time	3
3.11 月球质心坐标时 TCCL, lunar center coordinate time	3
3.12 月球标准时间 lunar standard time	3
3.13 守时装置 timekeeping device	3
3.14 月球频率标准 frequency standard on Moon	3
4 月球标准时间实现方法	4
4.1 地球 UTC 传递法	4
4.2 本地守时基准法	5
4.3 去中心化（或分布式）守时法	5
4.4 月球标准时间与地球 UTC 对照表	6
附录 A 四维时空同时性原理	8
A.1 局域内同时性定义	8
A.2 同时性与空间距离的关系	8
A.3 四维时空基准的同时性原理	9

引 言

本规范依据 JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1180《时间频率计量名词术语及定义》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编制。

2026 年 10 月（即将）发布的第 28 届国际计量大会（CGPM）决议 D（草案），标题为“关于国际月球参考时间尺度的定义及其与 UTC 的溯源性”与本规范直接相关。本规范的 3.1、3.2、3.11、3.12、4.1、4.2、4.3、4.4 对应落实了国际建议的相关内容。

本规范是首次发布。

月球标准时间定义及其溯源性

1 范围

本规范规定了月球质心坐标系上四维时空局域上的月球标准时间的定义、复现方法、以及月球和地球标准时间之间的关系，适用于月球表面及其附近轨道空间。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1180 时间频率计量名词术语及定义

GB/T 30114.3-2014 空间科学及应用术语 第三部分：空间天文

GB/T 42041-2022 航天术语 空间数据与信息传输

国际天文联合会的 IAU2024 决议 2: Resolution to establish a standard Lunar Celestial Reference System (LCRS) and Lunar Coordinate Time (TCL)

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语及定义

JJF 1001 和 JJF 1180 所规定的以及下列术语，适合用于本规范。

3.1 费雷内坐标系 **frenet coordinate system**

随质点一起运动的三维正交坐标系，以质点质心为坐标原点， α 方向指向质点运动速度方向， γ 方向垂直于密切面， $\beta=\gamma\times\alpha$ ，符合右手法则。在二体运动力学模型中密切面可视为质点绕中心天体的轨道平面。

3.2 原时 **proper time**

用国际单位制秒（以下称 SI 秒）为单位，本地铯原子钟或光钟（新 SI 秒通过后）直接测量获得的时间，具有局域特征，不同局域上的原时，不能直接比较。

3.3 坐标时 **coordinate time**

四维时空中，时间坐标轴的数值。

[来源：GB/T 30114.3-2014 3.42 坐标时 “在广义相对论下，由国际天文学联合会

(IAU) 规定的时空参考系的时间变量”，有修改]。

注：在费雷内坐标系内，坐标时不受相对论效应影响，一般在质心原点处的原时等于坐标时。在无旋转的坐标系，如太阳系质心坐标系中，坐标原点和无穷远处，两处的原时等于坐标时。

3.4 原点坐标时 coordinate time at the origin

坐标原点处的坐标时。

3.5 守时 time keeping

依照 SI 秒定义，复现标准时间，并保持标准时间的过程。

[来源：术语在线, 守时 2024 “通过维持天文钟组的运行和其他手段建立和保持标准时间的过程” 学科：天文学_天体测量；

以及来源，术语在线, 守时 2020 “通过原子钟组或其他手段建立和保持标准时间的过程”，学科：测绘学_大地测量学与导航定位，有修改]。

3.6 时间戳 time stamp

四维时空坐标值，包含三维空间坐标，和一维时间坐标。

[来源：GB/T 42041-2022, 3.1.40, 时间戳 “用于表示与国际通用时间标准相关联的时间点的变量参数”，有修改]。

3.7 历表 ephemeris

限定指以时间为索引的太阳系天体空间位置和速度的数值列表，以及关联的物理参数，或是以时间为变量的位置和速度的函数，或是二体运动力学模型中的轨道根数。

[来源：术语在线, 历表 2024 “以一定的时间间隔列出的天体位置表。” 学科：天文学_天体力学，有修改]。

注：本规范排除月球转动或月球物理天平动欧拉角数值列表。

3.8 历表周期 ephemeris' cycle

历表中空间参数变化的时间周期，当有多种周期叠加时，把空间参数幅值变化最大的那个周期作为历表周期。

3.9 协调世界时 UTC, universal coordinated time

由国际计量局（BIPM）发布的地球标准时间。

[来源：GB/T 30114.3-2014, 3.36 “以国际制秒 SI 为基准，用正负闰秒的方法保持与世界时相差在 1 秒以内的一种时间”。

以及来源：JJF1180-2025, 3.12 “国际原子时（TAI）与世界时（UT1）协调后产生

的时标，单位为原子秒，在时刻上与 UT1 靠近，两者相差在 0.9s 之内，与 TAI 相差整数秒”。有修改]。

3.10 月球坐标时 TCL, lunar coordinate time

月球天球坐标系的时间坐标轴的数值。

注：国际天文联合会的 IAU2024 决议 2 定义了月球天球坐标系（LCRS, Lunar Celestial Reference System）同时定义了月球坐标时 TCL。

3.11 月球质心坐标时 TCCL, lunar center coordinate time

在费雷内坐标系原点处的坐标时，该坐标原点与月球质心重合。

注：月球质心坐标时 TCCL 与月球坐标时 TCL 的数值相同，区别于不同的坐标系，LCRS 中的坐标时称 TCL，费雷内坐标系中的坐标时称 TCCL。

3.12 月球标准时间 lunar standard time

在费雷内坐标系中，坐标原点处的时钟的原时，也是费雷内坐标系的坐标时。

注：由于坐标时不能直接溯源到 SI 秒，而原时可直接测量，且能够溯源到国际单位制 SI 秒，原时需经过换算获得坐标时，推荐了三种实现溯源的方法，详见第 4 章。

3.13 守时装置 timekeeping device

测量原时，转换为原点坐标时，双向发送与接收，能与其他守时装置两两比对原点坐标时，不间断广播自身坐标时的装置。其原时到坐标时的转换系数和发送天线中心的历表，可根据约定条件进行调整。

3.14 月球频率标准 frequency standard on Moon

采用月球本地铯原子钟频率标准，借助时间与频率互为倒数关系，月球频率标准由时间标准对应导出，即铯-133 的原子基态的两个超精细能阶或能级间跃迁对应辐射电磁波 1 秒钟振荡 9,192,631,770 次，单位赫兹 Hz。

[来源：JJF1180-2025，4.3 输出标准频率信号（如 5 MHz、10 MHz）的装置。一般用作频率测量的参考源。注：简称频标。

以及来源：术语在线（2015）：一台独立工作的、输出几个标准频率值的装置。学科：计量学_时间、频率_频率。有修改]。

3.15 月球标准时间溯源性 traceability of lunar standard time

以月球标准时间定义中的原时和坐标时为参照对象的计量溯源性。

[参考：JJF1001-2011 4.14 计量溯源性]

注：原时溯源到国际单位制（SI）秒。坐标时无法直接测量，第4章推荐了三种溯源方法，其中去中心化方法溯源到约定性，即将约定的比对、检查、调节和收敛规则，以及约定的允许钟差范围作为参照对象。

4 月球标准时间溯源方法

4.1 地球 UTC 传递法

4.1.1 与参照对象的联系

以月球质心坐标时的转换结果为参照对象，地球测控站从地面标准时间 UTC 获得时间基准，同时转换为月球质心坐标时 $TCCL$ ，经地面测控站与月球时间用户进行双向时间比对，双向比对应补偿路径延迟不对称的影响，包括地球与月球的相对论性时延影响，月球上时间用户应调节时钟，保持在 $7 \times 10^{-10} \text{s/s}$ 量级以内与地球 UTC 同步。 UTC 与 $TCCL$ 之间的转换关系，宜通过两个转换系数进行换算如下：。

$$TCCL = (1 - L_{LG})TCG \quad (1)$$

$$TT = (1 - L_G)TCG \quad (2)$$

$$TT = UTC + n_{\text{leap}} + 32.184 \text{s} \quad (3)$$

式中： $TCCL$ 为月球质心坐标时，单位 SI 秒； TCG 为地球质心坐标时，单位 SI 秒； TT 为地球大地水准面的原时，单位 SI 秒； UTC 为地球上的协调世界时，由年月日时分秒组成，当用公历计算两时刻差值时不考虑闰秒情况； n_{leap} 为累计闰秒，增加为正，减少为负，从 1977 年 1 月 1 日到 2016 年 12 月 31 日增加了 20 个闰秒， UTC 和 TT 具有相同时间单位和步长； L_G 为地球质心坐标时 TCG 到大地水准面原时 TT 的转换系数，国际天文联合会 IAU2009 定义为 $L_G = 6.969\,290\,134 \times 10^{-10}$ ； L_{LG} 为地球质心坐标时 TCG 到月球质心坐标时 $TCCL$ 的转换系数，需要实际测量，变化原因与地月系轨道历表相关。地面测控站按式（1）~（3）计算 UTC 到 $TCCL$ 转换后的时间，再把 $TCCL$ 与月球时间用户进行双向时间比对。

4.1.2 测量不确定度来源

1. 地面站测量 UTC 不准确引入的测量不确定度；
2. 地面站与月球时间用户双向时间比对引入的测量不确定度；
3. 双向信道不对称，以及地球和月球相对论性延迟引入的测量不确定度；
4. 地球到月球质心坐标时转换系数 L_{LG} 变化引入的测量不确定度。

4.2 本地守时基准法

4.2.1 与参照对象的联系

以月球质心坐标时的转换结果为参照对象，在月球表面或绕月轨道上布设有一组能精准复现国际单位制 SI 秒的时钟组，被计量管理机构约定为月球的守时基准，时间用户接收该基准广播的标准时间。首先测量或精准获取守时基准所处位置的引力势或引力势模型，守时基准复现 SI 秒，累计获得本地原时，然后将原时转换为月球质心坐标时，见公式（4），广播月球标准时间的同时宜附带广播天线中心的坐标位置和该时钟处的引力势实际值。

$$\Delta t = (1 + \frac{U}{c^2})\Delta\tau + \frac{v^2}{2c^2}\Delta\tau \quad (4)$$

式中： Δt 为月球质心坐标时 $TCCL$ 的一段时间间隔，单位 SI 秒； $\Delta\tau$ 为测量本地原时的一段时间间隔，单位 SI 秒； U 为时钟位置处的引力势，单位 m^2s^{-2} ，月面处的平均值约为 $(U/c^2)=3.14\times 10^{-11}$ ，宜在时钟位置上实际测量获得； v 为时钟在费雷内坐标系中的速度，单位 ms^{-1} ，若固定在月球表面则可忽略，若在轨运行时可查历表获得。

4.2.2 测量不确定度来源

1. 守时基准测量国际单位制 SI 秒测量不准确引入的测量不确定度；
2. 守时基准所处位置引力势 U 测量不准确引入的测量不确定度；
3. 时钟在费雷坐标系内运动速度 v 测量不准确引入的测量不确定度；
4. 历表转换模型引入的测量不确定度。

4.3 去中心化（或分布式）守时法

4.3.1 与参照对象的联系

以约定的规则和约定的允许钟差范围为参照对象，该方法要求有 4 个及以上守时装置，分布于月球表面和近月轨道不同位置处，彼此之间具有直接或间接比对链路。在满足附录 A 的四维时空同时性原理的要求下，以平等、公开、透明为原则，约定一套比对、检查、调节和收敛的规则，实现月球标准时间定义的复现和保持。计量管理机构授权守时装置资格，不唯一授权单个月球守时基准，而是赋予每个守时装置编号和在原点坐标时比对表格中的位置。每个守时装置独立复现 SI 秒测量原时，复现 SI 秒的稳定度优于 $1E-15$ ($@1275696s$)，原时转换为原点坐标时，按约定的规则和步骤，经过多个历表周期后，

原点坐标时收敛到约定的允许钟差范围内，实现标准时间的集体复现和保持。

4.3.2 测量不确定度来源

1. 约定的允许钟差范围，即由约定性引入的测量不确定度；
2. 复现 SI 秒定义的原时时钟引入的测量不确定度；
3. 历表初始化偏差和调节过程不稳定，引入的不确定度；
4. 守时装置之间两两双向时间比对信道不对称引入的不确定度；
5. 比对信道（包括中继卫星和比对天线等）噪声干扰引入的测量不确定度。

4.4 月球标准时间与地球 UTC 对照表

月球守时装置或基准时钟与地球 UTC，没有线性绑定的关系。受四维时空相对论效应、太阳和太阳系大行星潮汐引力、时钟位置与月球质心速度等多种变化因素的影响，两地时钟速率有固有速率偏差，也有周期性的偏差，宜通过如 4.1 的步骤，进行月球守时基准到地球地面站之间的两地时钟双向比对，比对数据列入时间对照表，建立对照表联系月球标准时间与地球 UTC，如表 1，且信息公布共享。在月球标准时间与地球 UTC 对照表中，把嫦娥工程某历元规定为月球标准时间的起点。对照表举例如表 1：

表 1：地球 UTC 时间与月球标准时间对照表（举例）

公历	儒略日	UTC	朔望月周期 或嫦娥三号 (月昼月夜)	TCCL (累计 s) ①② ③	中国农历
1977/1/1	2443144.5	00h00m00s	-457	32.184	丙辰年十一月十二
2009/3/1	2454891.5	8h13m10s	-59 (嫦娥一号 受控撞月时 间举例)	1014970440.909 (从 1977 年到 2009 年 3 月 1 日的 增加闰秒数是 18s)	乙丑年二月十五
2013/12/14	2456640.5	13h11m00s	0 (嫦娥三号 着陆初始历 元) ④	1166107852.017 (从 1977 年到 2013 年 12 月 14 日 的闰秒数是 19s)	癸巳年十一月十二
2026/7/30	2461251.5	00h00m00s	156	1564444853.301 (从 1977 年到 2026 年的增加闰秒数是 20s)	丙午年六月十七

注 1：依据 IAU2024 决议 2 的 notes：“请注意，1977 年 1 月 1 日 0 时 0 分 32.184 秒是地球时 (TT)、TCG、TCB

以及现今的 TCL 的坐标时间的统一基准值；该基准值被任意设定为与 1977 年 1 月 1 日 0 时 0 分 0 秒 TAI 时刻在地心处的 TT 时间相一致。”

注 2：数值上 $\Delta TCCL = \Delta TCL$ 。由于 TCL 与其他时间尺度并无历史关联，因此其初始历元完全属于任意设定；此处设定 TCCL 的初始历元仅为举例。

注 3：从 UTC 转换为 TCCL 应以地球和月球两地时钟的实际钟差测量值为准，当月球上没有守时装置时，从地面 UTC 换算到 TCCL 依据公式（1）~（3），本例中假设 $L_{LG} = 1.70939 \times 10^{-11}$ 。

注 4：举例朔望月数值 0（单位）过 1036819=[12×86400+19]s 为嫦娥三号落月时刻，假设朔望月常数 (29.5305881×86400)s。

附录 A

四维时空同时性原理

在传统时间计量中，时间是绝对的、均匀的，且与观测者的位置和运动状态无关的物理量，任何两地之间均可存在同时性，即不论观测者在哪里，他的时钟都可以与标准时间同步，而且标准时间是唯一的。然而，基于广义相对论的空间计量理论认为，时间是相对的，标准时间不是唯一的，不同观测者有不同的时间，存在“原时”和“坐标时”两个时间概念。同时性仅在同一个坐标系内有定义，不同坐标系之间没有同时性，同时性是约定的。

A.1 局域内同时性定义

假设 A、B 两个时钟，它们在同一个坐标系内相对静止，在 A 与 B 比对时间的过程中，建立了同时线，如图 A.1 中的 A 钟在世界线 a_1 点发送光波信息给 B 钟，B 钟在世界线 b_0 点收到信息，同时，反射光波信息给 A 钟，A 钟在世界线 a_2 点收到 B 反射的信息，则约定两时钟读数相等 $\tau(a_0) \equiv \tau(b_0)$ ，定义同时性为：

$$\tau(a_0) = \frac{\tau(a_2) + \tau(a_1)}{2} \equiv \tau(b_0) \quad (\text{A.1})$$

式中： a_0, a_1, a_2 ----为 A 钟世界线上的点； b_0 ----为 B 钟世界线上的点； $\tau(\cdot)$ ----为时钟在世界线上某点的读数。

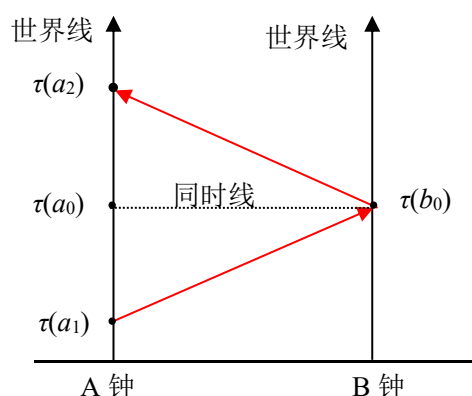


图 A.1 相对静止的 A、B 时钟定义同时性

A.2 同时性与空间距离的关系

在同时性定义中存在一个假设，即“光速各向同性”，进而推出“空间与时间能够相互转换”，当知道 A 钟与 B 钟的空间距离，假设为 d_{AB} ，就可以由 A 钟读数推算 B 钟的同

时线。

$$\tau(b_0) = \tau(a_1) + \frac{d_{AB}}{c} \quad (\text{A.2})$$

式中： d_{AB} ----为 A 钟与 B 钟的空间距离，单位 m； c ----为真空中的光速，单位 m/s。

A.3 四维时空基准的同时性原理

把上面的同时性定义扩展到四维时空，与当前全球卫星导航系统的工作原理基本相同，只是时间基准的溯源源头不一样。用空间计量专业的观点，我们需要约定时空基准，找到溯源源头，或找到稳定不变的时间基准。例如，图 A.2 中有四个守时装置在各自轨道上运行，各守时装置不间断地播发自己的四维坐标 (R_i, t_{xi}) ，其中 R_i 是第 i 个守时装置的三维空间位置， t_{xi} 是在该位置上的时钟读数。理想情况下，四维坐标 (R_i, t_{xi}) 信息，即时间戳，按光速传播到坐标系的原点处。比较各时间戳的数值，它们应该满足四维时空同时性要求，即坐标原点处的观测者的时钟读数 t_0 是唯一的。所有守时装置应保证与坐标原点处的那个假想的时钟的读数相同，即：

$$t_0 = t_{xi} - \frac{|R_i|}{c}, \quad i = 1, 2, 3, 4 \dots \quad (\text{A.3})$$

式中： t_0 ----坐标原点的那个假想的时钟读数； (R_i, t_{xi}) ----第 i 个守时装置广播天线相位中心处的时间戳。

公式(A.3)中表达了四维时空的同时性原理，它给出了两个条件：第一是空间统一条件，非原点位置上的任何时钟，都必须有时间索引的历表 (R_i, t_{xi}) ，历表的坐标系原点是公认且唯一的；第二是时间统一条件，假想在坐标原点上有一个时钟，这个时钟的读数是唯一的，所有其它非原点的时钟，按公式(A.3)换算到坐标原点的时间 t_0 应该相同。否则，不满足(A.3)的那个守时装置需要调整。

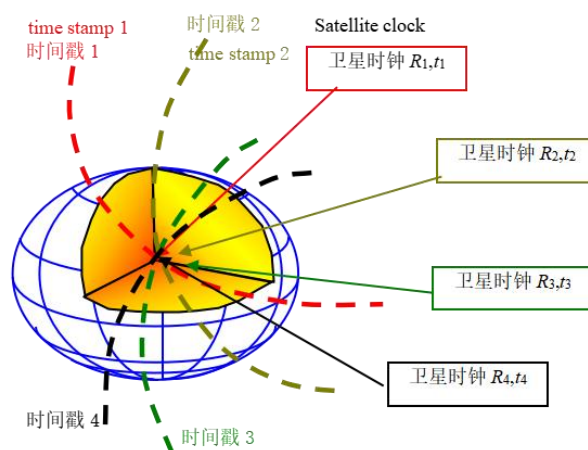


图 A.2 4 维时空基准的同时性原理.

JJF xxxx-2026