



中华人民共和国国家计量技术规范

JJFXXXX-XXXX

全球导航卫星系统(GNSS) 接收机（时间测量型）校准规范

Calibration Specification of GNSS Receivers

for Time Measurement

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布 XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局发布

全球导航卫星系统(GNSS)
接收机（时间测量型）校准规范
Calibration Specification of GNSS Receivers
for Time Measurement

JJFxxxx—xxxx

归口单位：全国时间频率计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国时间频率计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目录

引言	III
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	2
3.1 GNSS 接收机 (GNSS receiver)	2
3.2 内部噪声水平(interior noise level).....	2
3.3 内部延迟(internal delay).....	2
3.4 国际时间频率咨询委员会 GNSS 时间传递标准格式(CGGTTS, CCTF Group on GNSS Time Transfer Standards).....	2
3.5 与接收机无关的交换格式(RINEX, Receiver Independent Exchange Format).....	3
3.6 共钟差(CCD, Common Clock Difference)	3
3.7 历元(epoch).....	3
3.8 天线相位中心及其稳定性(antenna phase center and its stability)	3
3.9 1PPS(Pulse Per Second)	3
3.10 定时准确度(timing accuracy).....	3
3.11 定时稳定度(timing stability).....	4
3.12 零基线(zero baseline).....	4
3.13 超短基线(mini-baseline).....	4
3.14 几何精度因子(Geometric Dilution of Precision, GDOP).....	4
3.15 地心地固坐标系(ECEF(Earth-Centered Earth-Fixed) Coordinate System).....	4
3.16 伪距(pseudorange)	4
3.17 伪距率(pseudorange rate).....	5
3.18 天线相位中心(APC, Antenna Phase Center).....	5
3.19 天线参考点 (ARP, Antenna Reference Point)	5
4 概述	5
5 计量特性	6
5.1 内部噪声水平	6
5.2 内部延迟	6
5.3 天线相位中心稳定性	6
5.4 1PPS 定时准确度和稳定度.....	6
5.5 内部时基相对频率偏差和频率稳定度	7
6 校准条件	7
6.1 环境条件	7
6.2 测量标准及其它设备	7
7 校准项目和校准方法	9
7.1 校准项目	10
7.2 校准方法	10
8 校准结果表达	21
9 复校时间间隔	22

附录 A 原始记录格式..... 22

附录 B 校准证书（内页）格式..... 1

附录 C 校准结果的不确定度评定示例..... 1

 C.1 内部噪声校准..... 1

 C.2 内部延迟校准..... 2

 C.3 天线相位中心稳定性校准..... 4

 C.4 1PPS 定时准确度和稳定度校准 6

 C.5 内部时基校准..... 7

引言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》编制。

本规范参考了 GJB/J 3073《全球定位系统(GPS)时间频率接收机检定规程》、GB/T 18214.1—2000《全球导航卫星系统(GNSS) 第 1 部分：全球定位系统(GPS)接收设备性能标准、测试方法和要求的测试结果》、国际时间频率咨询委员会(CCTF)《GPS 定时接收机软件标准化技术指南》(Technical Directives for Standardization of GPS Time Receiver Software)和 NMEA-0183 协议的相关内容。

本规范代替 JJF 1403—2013《全球导航卫星系统(GNSS)接收机(时间测量型)校准规范》。与 JJF 1403—2013 相比,除结构调整和编辑性修改外,主要技术变化如下:

——将校准项目由 13 项调整为 5 项,删除与测地型、导航型接收机功能重叠的 8 项导航性能校准项目;

——将内部噪声水平的表征量由基线长度标准偏差调整为共钟零基线时差结果的标准偏差;

——内部延迟在保留相对校准的基础上,增加天线、馈线和接收主机分项绝对校准及完整接收链时延合成方法;

——增加内部延迟绝对校准所需的测量标准、数据要求和结果表达;

——修改术语、计量特性、校准条件、原始记录、证书内页格式和不确定度

评定示例。

本规范的历次版本发布情况为：

——JJF 1403—2013。

全球导航卫星系统(GNSS) 接收机（时间测量型）校准规范

1 范围

本规范适用于全球导航卫星系统（GNSS）时间测量型接收机（以下简称GNSS接收机）的校准。

2 引用文件

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1180—2025 时间频率计量名词术语及定义

GJB/J 3073 全球定位系统（GPS）时间频率接收机检定规程

GB/T 18214.1—2000 全球导航卫星系统（GNSS） 第1部分：全球定位系统（GPS）接收设备性能标准、测试方法和要求的测试结果

国际时间频率咨询委员会(CCTF)关于 GPS 定时接收机软件标准的技术指南
(Technical Directives for Standardization of GPS Time Receiver Software)

NMEA-0183 协议 (NMEA(National Marine Electronics Association)-0183
protocol)

注 凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；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 术语和计量单位

3.1 GNSS 接收机 (GNSS receiver)

由天线单元、馈线（如适用）和接收主机组成，接收并处理 GNSS 信号，输出时间、频率或相关观测数据的设备。接收主机是 GNSS 接收机中不含天线和外部馈线的信号处理与时间频率输出单元。

3.2 内部噪声水平(interior noise level)

GNSS 接收机在共钟零基线条件下，由内部通道偏差、载波跟踪环和码跟踪环误差以及钟差噪声等引起的时差结果随机变化的综合反映。

3.3 内部延迟(internal delay)

信号经过 GNSS 接收机时，由 GNSS 接收机自身引起的信号时间延迟。根据参考点不同，可分别给出接收主机内部延迟、天线与接收主机时延以及完整接收链时延。

3.4 国际时间频率咨询委员会 GNSS 时间传递标准格式(CGGTTS, CCTF Group on GNSS Time Transfer Standards)

国际时间频率咨询委员会 GPS 时间传递标准组制定的用于进行 GNSS 时间频率传递的标准数据格式。

3.5 与接收机无关的交换格式(RINEX, Receiver Independent Exchange Format)

瑞士伯尔尼大学天文学院于 1989 年提出的在 GPS 测量应用中普遍采用的标准数据格式。该格式采用文本文件存储数据，数据记录格式与接收机的制造厂商和具体型号无关。

3.6 共钟差(CCD, Common Clock Difference)

两台 GNSS 接收机使用同一参考时间频率源时得到的时差测量结果。

3.7 历元(epoch)

时标上的一点或一个时刻。

3.8 天线相位中心及其稳定性(antenna phase center and its stability)

微波天线的电气中心，其理论设计应与天线几何中心一致。天线相位中心与几何中心之差称为天线相位中心偏差，该偏差在多次测量结果中所反映出的最大差异称为天线相位中心稳定性。

3.9 1PPS(Pulse Per Second)

秒脉冲信号。

3.10 定时准确度(timing accuracy)

GNSS 接收机输出 1PPS 信号与参考时间频率源输出 1PPS 信号的偏差。

3.11 定时稳定度(timing stability)

接收机输出 1PPS 信号自身的一致程度。

3.12 零基线(zero baseline)

两台或多台接收机通过功分器接收来自同一天线的卫星信号，由此构成的基线，其标准长度理论值为零。

3.13 超短基线(mini-baseline)

标准值在(0.2 ~ 24) m 的标准长度。

3.14 几何精度因子(Geometric Dilution of Precision, GDOP)

因用户和所选星座间的几何关系引起定位误差的放大因子，GDOP 值越小，定位误差越小。

3.15 地心地固坐标系(ECEF(Earth-Centered Earth-Fixed) Coordinate System)

简称地心坐标系，是一种以地心为原点的地固坐标系（也称地球坐标系），是一种笛卡儿坐标系。原点 $O(0,0,0)$ 为地球质心， z 轴与地轴平行指向北极点， x 轴指向本初子午线与赤道的交点， y 轴垂直于 xOz 平面构成右手坐标系。

3.16 伪距(pseudorange)

由 GNSS 观测得到的 GNSS 接收机天线相位中心（或规定参考点）至卫星的距离。该距离尚未完全改正卫星钟与接收机钟不同步等影响，因而包含钟差因

素。

3.17 伪距率(pseudorange rate)

对实际测量时间间隔内伪距微分所得的速度测量值。

3.18 天线相位中心(APC, Antenna Phase Center)

接收天线在给定频率、极化和信号入射方向下的等效电气参考点，用于表征天线接收信号相位的参考位置。天线相位中心的位置可随信号频率、入射方位角和高度角变化，其相对于天线参考点的位置通常以三维坐标表示。

3.19 天线参考点（ARP, Antenna Reference Point）

天线机械结构上规定的几何参考点，通常为天线底部安装面中心或制造商规定的参考位置。天线参考点用于天线安装、坐标测量、相位中心坐标描述以及天线时延参考点说明。

4 概述

GNSS 接收机是 GNSS 系统用户终端，主要由天线单元、接收主机单元两部分组成。天线单元将卫星信号电磁波转化为电流，并进行滤波和放大处理；主机单元对天线单元输出的信号进行跟踪、处理和测量。GNSS 接收机按其功能，可分为硬件部分和软件部分。硬件部分指上述天线单元、主机单元等所组成的可实现其功能的软件算法的硬件平台；软件部分是支持接收机捕获、跟踪、解调、解

扩以最终进行导航解算，实现授时、定位、测速等功能的算法。图 1 描述了接收机的基本结构和工作原理。

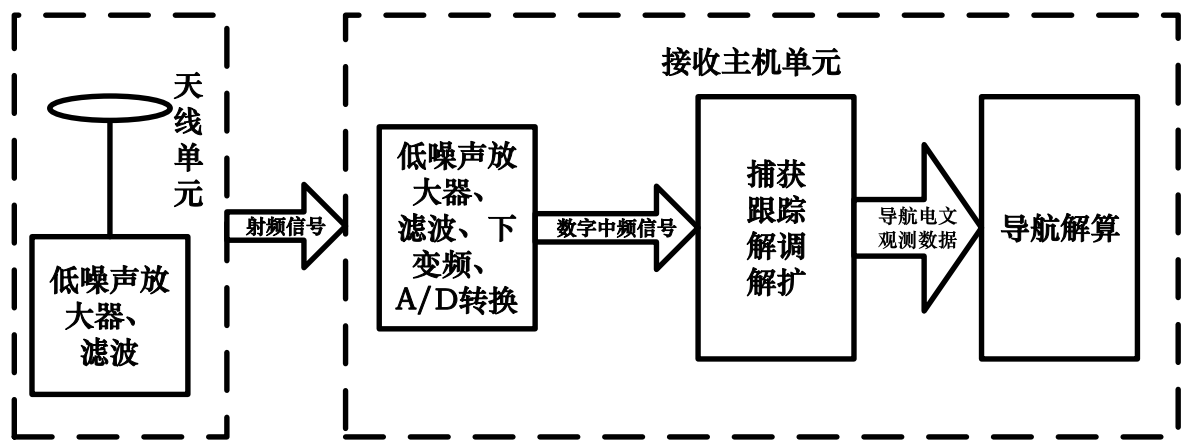


图 1 GNSS 接收机基本结构和工作原理

5 计量特性

5.1 内部噪声水平

(20~500) ps。

5.2 内部延迟

相对校准值为 (-500~500) ns；绝对校准结果按天线时延、馈线时延、接收主机时延、天线与接收主机时延及完整接收链时延分别给出。

5.3 天线相位中心稳定性

(0~4) mm。

5.4 1PPS 定时准确度和稳定度

10 ns ~ 2 μs；(10 ~ 200) ns

5.5 内部时基相对频率偏差和频率稳定度

$$5 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-6}; 5 \times 10^{-11} \sim 1 \times 10^{-7} (\tau = 1 \text{ s}, 10 \text{ s}, 100 \text{ s})$$

注 以上指标不适用于合格性判别, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 实验室环境温度: 在(20 ~ 25) °C内任选一点, 温度变化应不超过 ± 2 °C

6.1.2 实验室环境相对湿度: $\leq 80\%$

6.1.3 电源电压: 220(1 $\pm$ 10%) V; 电源频率: (50 $\pm$ 2) Hz

6.1.4 无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动

6.2 测量标准及其它设备

6.2.1 GNSS 信号模拟器

- 输出频率:

支持被校 GNSS 接收机所适用的 GNSS 系统。

- 场景:

可定义接收主机时延绝对校准所需的静态多星场景, 场景参数应符合

7.2.2.2.3 的要求。

- 信号功率:

输出电平覆盖(-100 ~ -140) dBm; 绝对误差优于 ± 2 dB。

- 信号相位噪声（抖动）： $< 0.1 \text{ Rad (rms)}$

- 谐波抑制水平： $> 25 \text{ dBc}$

- 伪距与时间基准：

应能输出与接收主机观测历元匹配的理论伪距，并给出 GNSS 码相位参考点与模拟器 1PPS 参考沿之间的时延。

- 伪距误差和时间基准误差应满足接收主机时延校准的目标测量不确定度要求。
- 内部时钟稳定度： $< 5 \times 10^{-8}/\text{d}$
- 有外频标输入功能
- 有 1PPS 信号输出，其与 GNSS 码相位参考点之间的时延应可校准，扩展不确定度优于 2 ns ($k=2$)，24 h 内变化不超过 5 ns 。

6.2.2 参考 GNSS 接收机

内部噪声水平和天线相位中心稳定性的测量能力应优于被校项目目标测量不确定度 3 倍以上；接收主机内部延迟应已校准，扩展不确定度优于 5 ns ($k=2$)。

6.2.3 标准位置点

地心地固坐标系中三维坐标 (x, y, z) 误差均不大于 10 cm 。

6.2.4 参考时间频率源

输出 $5 \text{ MHz}/10 \text{ MHz}$ 、1PPS 信号。 $5 \text{ MHz}/10 \text{ MHz}$ 信号频率准确度优于 5×10^{-11} ，稳定度优于 $5 \times 10^{-12}/\text{s}$ ；1PPS 信号不确定度优于 40 ns ($k=2$)。

6.2.5 时间间隔测量装置

测量范围应为 $1 \text{ ns} \sim 1000 \text{ s}$ ，测量不确定度优于 2 ns ($k=2$)。

6.2.6 频标比对器

测量范围应为(1~ 20) MHz，比对不确定度优于 $1 \times 10^{-12}/s$ ($k = 2$)。

6.2.7 矢量网络分析仪

用于馈线、标准天线链路和射频附件群时延测量；频率范围应覆盖被校 GNSS 频段，群时延扩展不确定度应满足分项校准的目标测量不确定度要求。

6.2.8 暗室或低多路径天线测试装置

用于天线时延校准；应满足远场或等效测量条件，具备天线对准、空间距离测量和安装复现能力。

6.2.9 标准增益喇叭天线

用于标准天线时延三角帽校准；工作频率应覆盖被校 GNSS 频段，天线参考点应明确，机械安装应具有良好复现性。

6.2.10 高速示波器或高速采集系统

用于模拟源射频信号与 1PPS 信号相对时延测量；带宽、采样率、触发抖动和时间间隔测量能力应满足接收主机时延校准的目标测量不确定度要求。

6.2.11 激光测距或几何测量装置

用于测量天线参考点、相位中心或口面之间的空间距离；测量不确定度应满足时延不确定度目标。

注 以上条件为校准中需遵循的一般性要求，根据实际情况也可做合理变化。

7 校准项目和校准方法

如无特殊说明，所有设备应按规定时间预热。

7.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目表

序号	校准项目名称
1	内部噪声水平
2	内部延迟
3	天线相位中心稳定性
4	1PPS 定时准确度和稳定度
5	内部时基相对频率偏差和频率稳定度

7.2 校准方法

7.2.1 内部噪声水平

仪器连接见图 2 或图 3。

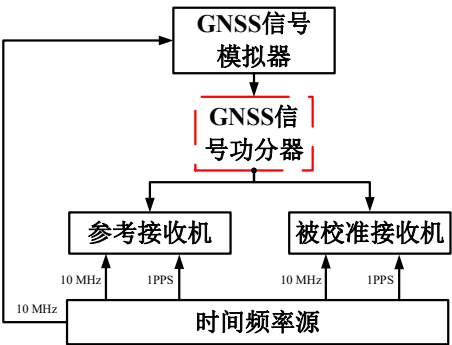


图 2 接收机内部噪声校准示意图（仿真 GNSS 信号）

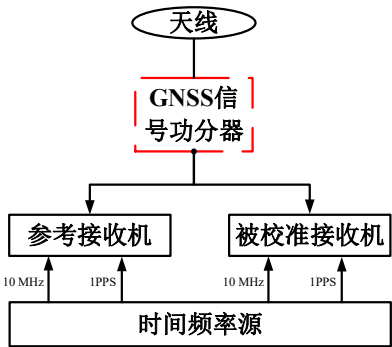


图 3 接收机内部噪声校准示意图（实际 GNSS 信号）

如图 2 或图 3，采用功分器将同一 GNSS 信号分为两路，分别送入参考 GNSS 接收机和被校 GNSS 接收机；两台接收主机连接同一参考时间频率源，同时记录观测数据并解算共钟零基线时差，用以校准 GNSS 接收机内部噪声水平。

校准步骤如下：

- (1) 利用 GNSS 信号模拟器输出稳定的静态多星场景，或在周围高度角 10° 以上无障碍物的场地安放天线（保证可用卫星数不少于 4 颗）；
- (2) 两台接收机开机，同步接收仿真卫星信号或真实卫星信号 1.5 h；
- (3) 交换两接收机天线接口，重复 (2)；
- (4) 用专业 GNSS 数据后处理软件分别计算交换前、后两个时间段内两台 GNSS 接收机的共钟零基线时差结果；
- (5) 分别计算交换前、后两个时间段共钟零基线时差结果的标准偏差，取两个标准偏差的平均值作为 GNSS 接收机内部噪声水平。两个时间段不得合并后计算标准偏差。

注 1 本规范推荐使用 GNSS 信号模拟器仿真方法进行校准。

2 GNSS 数据后处理软件：指利用 GNSS 原始观测量进行后期非实时的精密位置、基线、时差等解算的数据处理软件，可以获得比接收机实时解算更高的精度。

7.2.2 内部延迟

7.2.2.1 相对校准

仪器连接见图 4。

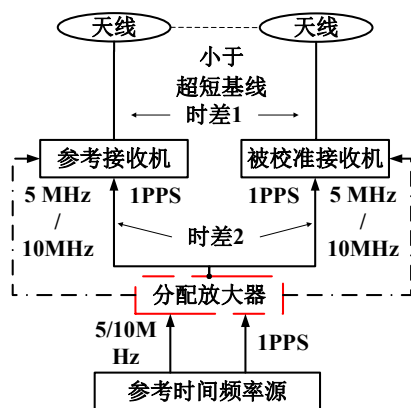


图4 接收主机内部延迟校准示意图

参考接收机和被校准接收机同步到同一个外部参考时间频率源，两接收机同时工作，测量及记录 CGGTTS 数据或 RINEX 数据，共测量 7 d，对两接收机数据做共钟差处理，计算各历元时差，计算其平均值，作为总时差 Δt ；

本条所用时差方向规定如下：总时差按“被校接收主机测得的时差减参考接收主机测得的时差”取值；天线电缆时差按“被校支路减参考支路”取值；1PPS 输入电缆时差按“参考支路减被校支路”取值。

被校 GNSS 接收机的内部延迟如式(1)所示。

$$\tau_{\text{DUT}} = \Delta t - (\Delta t_1 + \Delta t_2) + \tau_{\text{REF}} + (\tau_{\text{in1}} - \tau_{\text{in2}}) \quad (1)$$

其中， Δt_1 (时差 1)：连接两接收机天线电缆延迟之差，s 或 ns；

Δt_2 (时差 2)：分配放大器 1PPS 输出和接收机 1PPS 输入的电缆延迟之差，s 或 ns；

τ_{REF} ：参考接收主机内部延迟（参考点为天线输入端至内部时钟参考点，不含天线和外部馈线），s 或 ns；

τ_{in1} 和 τ_{in2} ：参考接收主机与被校接收主机 1PPS 输入点到接收机内部时钟参考点的延迟，根据接收机工作模式分别确定是否需要测量，如不需要测量，则将对应的输入点至内部时钟参考点延迟项取 0，s 或 ns；需要测量时，应采用时

间间隔测量装置或经校准的等效装置测量，并记录连接电缆、触发沿和参考平面。

Δt_1 、 Δt_3 可通过时间间隔测量装置测量计算得到，s 或 ns。相对校准结果应给出接收主机内部延迟、适用的 GNSS 系统/频点/信号码以及扩展不确定度。

7.2.2.2 绝对校准

绝对校准采用分项测量与链路合成的方法。对每个 GNSS 信号 s ，分别确定天线时延 $\tau_{A,s}$ 、馈线时延 $\tau_{C,s}$ 和接收主机时延 $\tau_{R,s}$ ，并按式 (2) 合成为完整接收链时延。若应用场景仅需要“天线 + 接收机”且不包含长馈线，则按式 (3) 计算。

$$\tau_{L,s} = \tau_{A,s} + \tau_{C,s} + \tau_{R,s} \quad (2)$$

$$\tau_{AR,s} = \tau_{A,s} + \tau_{R,s} \quad (3)$$

$$u(\tau_{L,s}) = \sqrt{u^2(\tau_{A,s}) + u^2(\tau_{C,s}) + u^2(\tau_{R,s})} \quad (4)$$

式中： $\tau_{L,s}$ 为完整接收链时延，ns； $\tau_{AR,s}$ 为天线+接收主机时延，ns； $\tau_{A,s}$ 为天线时延，ns； $\tau_{C,s}$ 为馈线时延，ns； $\tau_{R,s}$ 为接收主机时延，ns； u 为标准不确定度。下标 s 表示 GNSS 系统、频点和信号码。

绝对校准结果应按 GNSS 系统、频点和信号码分别给出。对于无电离层组合频点，应说明组合模型、组合系数及不确定度传播方式。

7.2.2.2.1 天线时延

(1) 标准天线时延确定

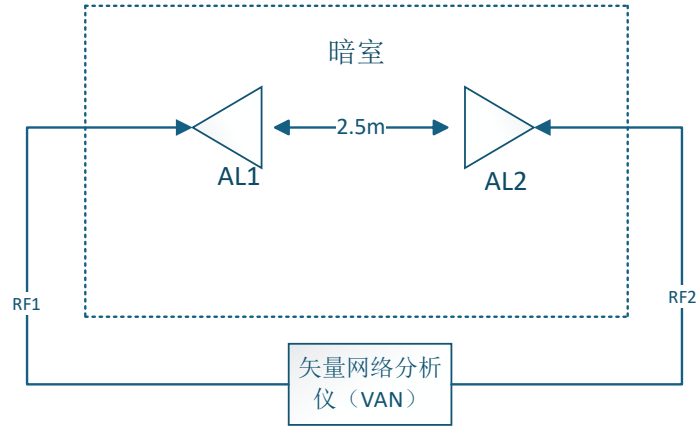


图 5 标准天线时延三角帽校准示意图

在暗室或低反射环境中，采用 VNA 测量标准增益喇叭天线两两组合的群时延。测量时应使两只标准天线端面对准，并记录两天线参考点或相位中心之间的空间距离。VNA 测得的总群时延应扣除射频馈线时延、空间传播时延和相位中心修正项。

设经修正后的标准天线两两组合时延分别为 S_{12} 、 S_{13} 、 S_{23} ，则三只标准天线的时延可按式（5）～式（7）计算。

$$\tau_{AL1} = \frac{S_{12} + S_{13} - S_{23}}{2} \quad (5)$$

$$\tau_{AL2} = \frac{S_{12} + S_{23} - S_{13}}{2} \quad (6)$$

$$\tau_{AL3} = \frac{S_{13} + S_{23} - S_{12}}{2} \quad (7)$$

每个频点或信号带宽均应分别计算标准天线时延。应记录 VNA 型号、校准件、校准日期、频率跨度、频率点数、IFBW、输出功率、平均次数、连接线缆、转接头和几何距离。

（2）被测天线时延测量

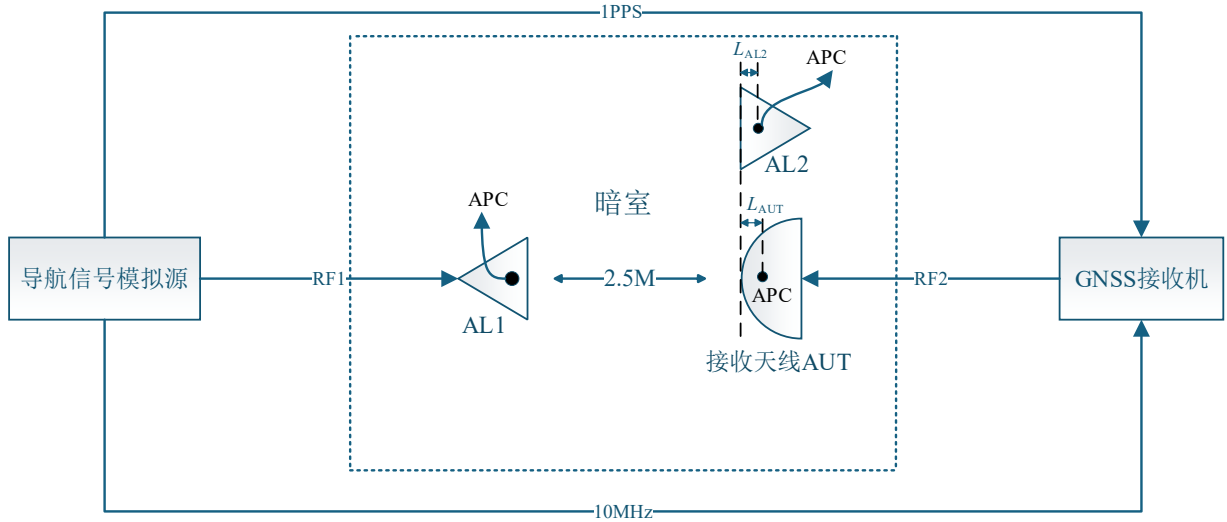


图 6 天线时延替代校准示意图

有源 GNSS 天线可采用替代法校准。先用已校准标准天线接收模拟 GNSS 信号并记录接收机伪距，再用被测 GNSS 天线替换标准天线；在保持几何位置、RF 链路、接收机工作状态、模拟源场景和输入功率条件尽可能一致的情况下再次测量。两次伪距差经标准天线时延、几何距离、相位中心和连接配置修正后得到被测天线时延。

$$\tau_{A,s} = \frac{\bar{P}_{AUT,s} - \bar{P}_{STD,s}}{c} + \tau_{STD,s} + \frac{\Delta d_s}{c} + \Delta \tau_{conf,s} \quad (8)$$

式中： $\bar{P}_{AUT,s}$ 为被测天线测量时接收机输出伪距平均值，m； $\bar{P}_{STD,s}$ 为标准天线测量时接收机输出伪距平均值，单位为 m； c 为真空光速，单位为 m/s； $\tau_{STD,s}$ 为标准天线时延，单位为 ns； Δd_s 为被测天线与标准天线相位中心或规定参考点之间的几何修正量，单位为 m； $\Delta \tau_{conf,s}$ 为连接配置、馈电、转接头等差异引入的修正量，单位为 ns。

天线相位中心或天线参考点的选取应在校准结果中说明。若结果用于 CGGTTS 或时间传递链路，应说明时延参考点为 APC 还是 ARP。

7.2.2.2.2 馈线时延

天线馈线时延可采用 VNA 传输法进行校准。测试前应完成 VNA 端口校准，将被校馈线、功分器、放大器、衰减器和转接头按实际使用状态连接，测量 S_{21} 幅相并计算群时延。

$$\tau_{C,s} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \tau_g(f_k) \quad (9)$$

式中： $\tau_g(f_k)$ 为频率 f_k 处的群时延； N 为信号带宽内参与平均的频点数。馈线时延应按 GNSS 系统、频点和信号码分别给出。仅当有数据证明被校频段内非色散特性良好时，方可按信号中心频率或覆盖信号带宽的平均群时延给出统一值。

测量次数应不少于 6 次；对可拆卸连接，应至少重新连接一次并记录连接重复性。测量结果应记录 GNSS 系统、频点、信号码、馈线布放、弯折、温度、转接头和端口参考平面。

7.2.2.2.3 接收主机时延

(1) 导航信号模拟源时延确定

模拟源时延 SDs 定义为模拟源产生的 GNSS 码相位参考点与模拟源 1PPS 参考沿之间的相对时延。模拟源时延可由厂家校准报告给出，也可采用高速示波器或采集系统记录模拟源 RF 信号和 1PPS 信号，并通过相关处理软件确定。

采用示波器和相关软件测量时，应在接收主机时延校准前后分别测量模拟源时延。高精度校准时，前后各测量次数宜不少于 10 次；前后测量结果之差

应作为模拟源时延闭合项纳入不确定度评定。当闭合差显著大于其合成标准不确定度时，应检查模拟源状态、线缆连接、触发条件和相关软件配置，必要时重新测量。每次用于统计的有效采样点应不少于 50 个。

采用厂家报告给出的模拟源时延时，应记录报告编号、校准日期、适用频点、适用信号码、给定值、不确定度和适用条件。

(2) 接收主机时延测量

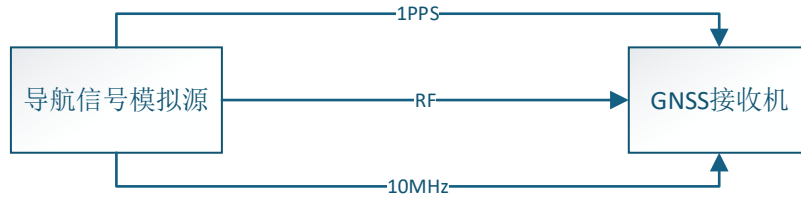


图 7 接收主机时延绝对校准连接示意图

接收主机时延采用有线方式校准。模拟源与接收机使用同一外部频率参考，模拟源 RF 输出连接接收机天线端口，模拟源 1PPS 输出连接接收机 1PPS 输入。模拟源场景应关闭电离层、对流层和卫星钟误差；模拟源应输出或记录与接收机观测历元匹配的理论伪距。

接收机开机并稳定后记录 RINEX 或接收机原始观测数据。每次测量时间宜不少于 1 h；若接收机存在收敛过程，前 20 min 或经验证的收敛段数据不参与处理。每次测量的有效采样点应不少于 50 个。

$$\tau_{R,s} = \frac{\bar{P}_{rx,s} - \bar{\rho}_{sim,s}}{c} - SD_s - \tau_{RF,s} + \tau_{PPS,s} - \tau_{0,s} \quad (10)$$

式中： $\bar{P}_{rx,s}$ 为接收机输出伪距平均值，单位为 m； $\bar{\rho}_{sim,s}$ 为模拟源生成的同一卫星、同一历元、同一信号码的理论几何伪距平均值，单位为 m； SD_s 为模

拟源时延，单位为 ns； $\tau_{RF,s}$ 为模拟源 RF 输出端至接收机天线输入端之间未包含在 SDs 中的射频路径时延，单位为 ns； $\tau_{PPS,s}$ 为模拟源 1PPS 输出至接收机 1PPS 输入之间的路径修正量，单位为 ns； $\tau_{0,s}$ 为接收机 1PPS 输入锁存或内部补偿项，单位为 ns。若 SD_s 已定义在接收机端口参考平面，或接收机 PPS_IN 采用自动补偿且补偿完成，对应的射频路径时延、1PPS 路径修正量或 PPS_IN 补偿项可按实际定义取 0。

接收主机时延结果应记录接收机型号、序列号、固件版本、PPS_IN 补偿模式、补偿完成状态、观测码、PRN 设置、模拟源场景文件、输入功率、AGC 状态、数据剔除规则和每次测量统计量。

结果处理与完整接收链时延合成

完成天线时延、馈线时延和接收主机时延校准后，应按式（2）或式（3）计算接收链时延。结果应按系统、频点、信号码分别给出。

必要时，可对接收链路进行闭合验证，即采用独立连接方式直接测量接收链路总体时延，并与天线时延、馈线时延、接收主机时延及相关修正项的合成值进行比较。闭合差宜满足式（11）。

$$E_{c,s} \leq 2u_{c,s} \quad (11)$$

式中： $E_{c,s}$ 为直接测量总体时延与分项合成时延之差的绝对值，单位为 ns； $u_{c,s}$ 为闭合差的合成标准不确定度，单位为 ns。若闭合差超过式（11）给出的判据，应检查模拟源时延、接收机观测码、线缆连接、参考点定义、数据处理符号和接收机配置。

校准结果用于真实卫星信号环境时，应注意实验室模拟信号条件与实际使用条件的差异。多路径、信号畸变、接收机跟踪环设置和实际天线安装环境可能

增大测量不确定度。

7.2.3 天线相位中心稳定性

采用相对定位测量法，仪器连接见图 8。

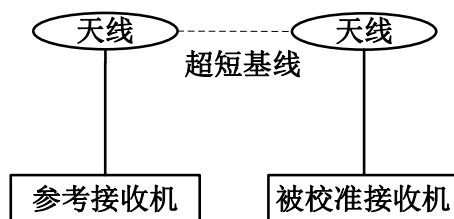


图 8 天线相位中心稳定性校准示意图

如图 8，在两固定点位上，分别将参考接收机天线和被校准接收机天线正确安置，统一指向北，观测 1.5 h。固定参考 GNSS 接收机天线，被校准接收机天线依次顺时针转动 90°、180°、270°，各观测 1.5 h。固定被校准接收机天线，参考 GNSS 接收机天线依次顺时针转动 90°、180°、270°，各观测 1.5 h。分别求出各时段两接收机的基线长度 b ，被校准接收机天线相位中心稳定性：各时段的基线长度 b 应由同一 GNSS 数据处理策略解算三维基线向量后计算得到，不得以点位间几何量测值直接替代；应记录天线正北标识、安装高度和点位信息。

$$d = |b_{\max} - b_{\min}| \quad (12)$$

其中， $b_{\max}$ ：基线结果最大值，m 或 mm；

$b_{\min}$ ：基线结果最小值，m 或 mm。

7.2.4 1PPS 定时准确度和稳定度校准

仪器连接见图 9。

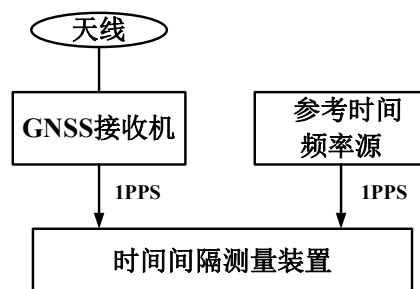


图 9 1PPS 定时准确度和稳定度校准示意图

7.2.4.1 1PPS 定时准确度

应确认参考时间频率源输出的 1PPS 与被校 GNSS 接收机维持的系统时间一致。被校 1PPS 和参考 1PPS 接入时间间隔测量装置的信号电缆应等长；不等长时，应分别校准电缆时延并修正。连续测量 24 h 时差数据（采样间隔 1 s），计算平均值并取绝对值作为 1PPS 定时准确度。

7.2.4.2 1PPS 定时稳定度

利用 1PPS 定时准确度测量得到的 24 h 有效时差数据，计算实验标准偏差，作为 1PPS 定时稳定度。

7.2.5 内部时基相对频率偏差和频率稳定度

仪器连接见图 10。被校 GNSS 接收机应连接天线并连续接收 GNSS 信号，在正常锁定或驯服达到稳定状态后，利用频标比对器测量接收机内部时基相对频率偏差和频率稳定度；测量期间应保持工作状态不变并记录驯服模式。若校准自由运行状态，应按制造商规定退出驯服并记录保持时间。

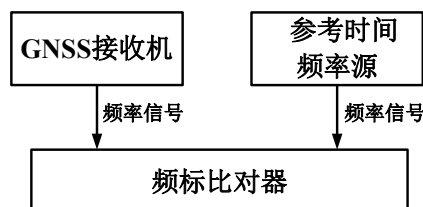


图 10 内部时基相对频率偏差和频率稳定度校准示意

7.2.5.1 相对频率偏差

取样时间 $\tau = 100\text{ s}$ ，测量相对频率偏差，取 3 次测量结果平均值的绝对值作为最终结果。

7.2.5.2 频率稳定度（阿伦标准偏差）

取样时间 τ 和取样组数 m 见表 2。

表 2 取样时间和取样组数

τ	m
1 s	≥ 100
10 s	≥ 50
100 s	≥ 30

8 校准结果表达

由校准方出具“校准证书”或校准报告。包括下列内容：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 校准机构的名称和地址；
- c) 证书或报告的唯一性标识、页码和总页数；
- d) 委托方的名称和地址；
- e) 被校 GNSS 接收机的名称、型号、出厂编号、固件版本及必要的附件信息；
- f) 校准日期、地点和环境条件；
- g) 本规范的名称及编号，以及偏离本规范的方法说明（如有）；
- h) 所用测量标准和其他设备的名称、型号、编号、溯源信息及校准有效期；
- i) 校准连接、参考点、GNSS 系统、频点、信号码、工作模式和数据处理规则；

- j) 校准项目、校准结果和计量单位；
- k) 校准结果的测量不确定度、覆盖因子及必要的概率说明；
- l) 对校准结果有效性有影响的限制条件或说明；
- m) 校准结果仅与被校对象有关的声明；
- n) 未经校准机构书面批准不得部分复制证书或报告的声明；
- o) 校准人员、核验人员和批准人员的签名或等效标识；
- p) 证书或报告的签发日期。

9 复校时间间隔

建议 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A 原始记录格式

原始记录格式

校准地点	
校准时间	
校准仪器	
被校设备	
校准人员	
校准项目	☐ 内部噪声水平 ☐ 内部延迟（相对校准） ☐ 内部延迟（绝对校准）

- | |
|--|
| ☐ 天线相位中心稳定性
☐ 1PPS 定时准确度和稳定度
☐ 内部时基相对频率偏差和频率稳定度 |
|--|

1. 内部噪声校准

信号来源/场景名称:

模拟器输出功率/dBm	内部噪声水平/ps	不确定度

2.1 内部延迟相对校准

GNSS 系统、频点和信号码:

接收主机内部延迟/ns	扩展不确定度/ns ($k=2$)

2.2 内部延迟绝对校准

系统	信号	τ_A /ns	u_A /ns	τ_C /ns	u_C /ns	τ_R /ns	u_R /ns	τ_{AR} /ns	u_{AR} /ns	τ_L /ns	u_L /ns

3. 天线相位中心稳定性校准

观测场地/场景名称:

天线 A 与北向角度 度	天线 B 与北向角度 度	接收机天线基线测量值 m
天线相位中心稳定性为:		不确定度:

4. 1PPS 定时准确度和稳定度

参考时间频率源:

参考源	1PPS 定时准确度/ns	1PPS 定时稳定度/ns
1PPS 定时准确度为:		不确定度:

1PPS 定时稳定度为:	不确定度:
--------------	-------

5. 内部时基相对频率偏差和频率稳定度

工作状态/驯服模式:

接收机内部时基相对频率偏差	接收机内部时基频率稳定度
内部时基相对频率偏差为:	不确定度:
内部时基频率稳定度为:	不确定度:

附录 B 校准证书（内页）格式

校准证书（内页）格式

1 内部噪声水平

$n_{\text{int}} =$

扩展不确定度： $U =$ (k=2)

2.1 内部延迟相对校准

$\tau_{DUT} =$

扩展不确定度： $U =$ (k=2)

2.2 内部延迟绝对校准

系统	信号	τ_A/ns	u_A/ns	τ_C/ns	u_C/ns	τ_R/ns	u_R/ns	τ_{AR}/ns	u_{AR}/ns	τ_L/ns	u_L/ns

3 天线相位中心稳定性

$d =$

扩展不确定度： $U =$ (k=2)

4 1PPS 定时准确度和稳定度

4.1 1PPS 定时准确度

$\delta_T =$

扩展不确定度： $U =$ (k=2)

4.2 1PPS 定时稳定度

$\sigma_T =$

扩展不确定度： $U =$ (k=2)

5 内部时基

5.1 内部时基相对频率偏差

$$\delta_f =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

5.2 内部时基频率稳定度

$$\sigma_f = \quad , \quad , \quad (\tau = 1 \text{ s}, 10 \text{ s}, 100 \text{ s})$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

附录 C 校准结果的不确定度评定示例

校准结果的不确定度评定示例

GNSS 接收机校准结果可分为内部噪声校准结果、内部延迟校准结果、天线相位中心稳定性校准结果、1PPS 校准结果、内部时基校准结果。

C.1 内部噪声校准

GNSS 接收机内部噪声水平 n_{int} 可由式 (C.1) ~ 式 (C.3) 表示。

$$s_1 = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b}_1)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{C.1})$$

$$s_2 = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (b_j - \bar{b}_2)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{C.2})$$

$$n_{\text{int}} = \frac{s_1 + s_2}{2} \quad (\text{C.3})$$

其中, b_i 和 b_j 分别为交换两接收机天线接口前后两个时段内得到的共钟零基线时差结果 ($i, j=1 \cdots n$, n 为测量次数), $\bar{b}_1$ 和 $\bar{b}_2$ 分别为前后两时段共钟零基线时差结果的平均值, s_1 和 s_2 分别为前后两时段共钟零基线时差结果的标准偏差, 单位为 s、ns 或 ps。

合成标准不确定度可按式 (C.4) 计算。

$$u_c(n_{\text{int}}) = \frac{1}{2} \sqrt{u^2(s_1) + u^2(s_2)} \quad (\text{C.4})$$

其中, $u(s_1)$ 和 $u(s_2)$ 分别为 s_1 和 s_2 的标准不确定度, s、ns 或 ps。

s_1 或 s_2 不确定度主要来源相同, 如表 C.1 所示。

表 C.1 s_1 或 s_2 不确定度来源

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
共钟时差解算 分辨率	B	1 ps	矩形	$\sqrt{3}$	0.29 ps
测量重复性	A				

接收机内部噪声校准结果如表 C.2 所示。

表 C.2 接收机内部噪声校准结果

次数	模拟器输出功率/dBm	共钟零基线时差标准偏差/ps
1	-120.0	130

参考以上主要不确定度来源和实际校准结果，最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(n_{\text{int}})$ 为 0.3 ps，扩展不确定度为 $0.6 \text{ ps } U(n_{\text{int}})$ ($k=2$)。

C.2 内部延迟校准

C.2.1 相对校准

接收主机内部延迟相对校准的测量模型见式 (C.5)。

$$\tau_{\text{DUT}} = \Delta t - (\Delta t_1 + \Delta t_2) + \tau_{\text{REF}} + (\tau_{\text{in1}} - \tau_{\text{in2}}) \quad (\text{C.5})$$

相对校准的合成标准不确定度可按式 (C.6) 计算。

$$u_c(\tau_{\text{DUT}}) = \sqrt{u^2(\Delta t) + u^2(\Delta t_1) + u^2(\Delta t_2) + u^2(\tau_{\text{REF}}) + u^2(\tau_{\text{in1}}) + u^2(\tau_{\text{in2}})} \quad (\text{C.6})$$

其中， $u(\Delta t)$ 、 $u(\Delta t_1)$ 、 $u(\Delta t_2)$ 、 $u(\tau_{\text{REF}})$ 、 $u(\tau_{\text{in1}})$ 和 $u(\tau_{\text{in2}})$ 分别为 Δt 、 Δt_1 、 Δt_2 、 τ_{REF} 、 τ_{in1} 和 τ_{in2} 的标准不确定度，s 或 ns。

不确定度主要来源如表 C.3 所示。

表 C.3 τ_{DUT} 不确定度来源

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
参考接收主机 内部延迟(τ_{REF})	B	5 ns			5 ns
天线电缆延迟 测量(Δt_1)	B	1 ns			1 ns

电缆时差和内部参考点时延 测量(Δt_1 、 τ_{in1} 、 τ_{in2})	B	1 ns			1 ns
测量重复性	A				

接收主机内部延迟校准结果如表 C.4 所示。

表 C.4 接收主机内部延迟校准结果

次数	接收主机内部延迟(C1)/ns	接收主机内部延迟(P3)/ns
1	-14.5	17.8

参考以上主要不确定度来源和实际校准结果，最终单次测量的合成不确定度 $u_c(\tau_{DUT})$ 为 5.4 ns，扩展不确定度为 10.8 ns $U(\tau_{DUT})(k=2)$ 。

C.2.2 绝对校准

完整接收链时延按式 (C.7) 计算，合成标准不确定度按式 (C.8) 计算。

$$\tau_{L,S} = \tau_{A,S} + \tau_{C,S} + \tau_{R,S} \quad (C.7)$$

$$u(\tau_{L,S}) = \sqrt{u^2(\tau_{A,S}) + u^2(\tau_{C,S}) + u^2(\tau_{R,S})} \quad (C.8)$$

式中各量含义同 7.2.2.2。若各分量之间存在相关性，应按实际相关性进行修正。

C.2.2.1 典型不确定度预算

表 C.5 内部延迟绝对校准典型不确定度预算

分项	主要不确定度来源	典型标准不确定度 /ns
天线时延	标准天线传递、相位中心位置、连接配置、暗室反射、输入功率、温度稳定性、替代测量重复性	0.50
馈线时延	VNA 群时延、连接器/适配器、线缆弯折与布放状态、频带平均、重复测量	0.30
接收主机时延	伪距测量重复性、模拟源时延、RF/1PPS 连接线缆、输入功率、PPS_IN 锁存或补偿、卫星号/码相关偏差	0.68

表 C.6 内部延迟绝对校准结果示例

系统	信号	τ_A/ns	u_A/ns	τ_C/ns	u_C/ns	τ_R/ns	u_R/ns	τ_{AR}/ns	u_{AR}/ns	τ_L/ns	u_L/ns
BDS	B1C	21.85	0.50	202.74	0.30	10.88	0.68	32.73	0.84	235.47	0.90
BDS	B2a	21.24	0.50	204.51	0.30	10.51	0.68	31.75	0.84	236.26	0.90

以 BDS B1C 为例，天线+接收主机时延 $\tau_{AR} = 21.85 \text{ ns} + 10.88 \text{ ns} = 32.73 \text{ ns}$ ；
完整接收链时延 $\tau_L = 21.85 \text{ ns} + 202.74 \text{ ns} + 10.88 \text{ ns} = 235.47 \text{ ns}$ 。

$$u(\tau_{AR}) = \sqrt{0.50^2 + 0.68^2} = 0.84 \text{ ns} \quad (\text{C.9})$$

$$u(\tau_L) = \sqrt{0.50^2 + 0.30^2 + 0.68^2} = 0.90 \text{ ns} \quad (\text{C.10})$$

若按覆盖因子 $k=2$ 表示扩展不确定度，则 BDS B1C 完整接收链时延的扩展不确定度为 $U=1.8 \text{ ns}$ 。

C.2.2.2 模拟源时延不确定度处理示例

若模拟源厂家给出的模拟源时延最大允许误差或界限值为 1.0 ns ，并按矩形分布处理，则模拟源时延的标准不确定度按式 (C.11) 计算。

$$u(\text{SD}_s) = \frac{1.0}{\sqrt{3}} = 0.58 \text{ ns} \quad (\text{C.11})$$

该分量应参与接收主机时延不确定度合成。若采用示波器和相关软件实测模拟源时延，应同时考虑重复性、示波器采样与触发、相关算法、前后测量闭合差和线缆连接状态等分量。

C.3 天线相位中心稳定性校准

天线相位中心稳定性结果可由式 (C.12) 表示。

$$d = |b_{\max} - b_{\min}| \quad (\text{C.12})$$

合成标准不确定度可按式（C.13）计算。

$$u_c(d) = \sqrt{u^2(b_{\max}) + u^2(b_{\min})} \quad (\text{C.13})$$

其中， $u(b_{\max})$ 和 $u(b_{\min})$ 分别为 $b_{\max}$ 和 $b_{\min}$ 的标准不确定度，m 或 mm。

$b_{\max}$ 或 $b_{\min}$ 不确定度主要来源相同，如表 C.7 所示。

表 C.7 $b_{\max}$ 或 $b_{\min}$ 不确定度来源

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
基线解算分辨力	B	0.1 mm	矩形	$\sqrt{3}$	0.029 mm
测量重复性	A				

天线相位中心稳定性校准结果如表 C.8 所示。

表 C.8 天线相位中心稳定性校准结果

次数	天线 A 与北向角度/度	天线 B 与北向角度/度	接收机天线基线测量值/m
1	0	0	2.9840
2	0	90	2.9835
3	0	180	2.9832
4	0	270	2.9838
5	90	270	2.9836
6	180	270	2.9824
7	270	270	2.9830
结论	接收机天线相位中心稳定性 1.6 mm		

参考以上主要不确定度来源和实际校准结果，标准不确定度 $u(b_{\max})$ 和 $u(b_{\min})$

都为 0.03 mm，最终单次测量的合成不确定度 $u_c(d)$ 为 0.05 mm，扩展不确定度为

0.1 mm $U(d)(k=2)$ 。

C.4 1PPS 定时准确度和稳定度校准

1PPS 定时准确度可由式 (C.14) 表示。

$$\delta_T = t_{1\text{PPS}(\text{DUT})} - t_{1\text{PPS}(\text{REF})} \quad (\text{C.14})$$

其中, $t_{1\text{PPS}(\text{DUT})}$ 和 $t_{1\text{PPS}(\text{REF})}$ 分别为被校接收机和参考时间频率源 1PPS 的到达时间, s 或 ns。

1PPS 定时准确度的合成标准不确定度可按式 (C.15) 计算。

$$u_c(\delta_T) = \sqrt{u^2(t_{1\text{PPS}(\text{DUT})}) + u^2(t_{1\text{PPS}(\text{REF})})} \quad (\text{C.15})$$

其中, $u(t_{1\text{PPS}(\text{DUT})})$ 和 $u(t_{1\text{PPS}(\text{REF})})$ 分别为 $t_{1\text{PPS}(\text{DUT})}$ 和 $t_{1\text{PPS}(\text{REF})}$ 的标准不确定度, s 或 ns。

$t_{1\text{PPS}(\text{DUT})}$ 或 $t_{1\text{PPS}(\text{REF})}$ 不确定度主要来源相同, 如表 C.9 所示。

表 C.9 $t_{1\text{PPS}(\text{DUT})}$ 或 $t_{1\text{PPS}(\text{REF})}$ 不确定度来源

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
参考时间频率源的不确定度	B	20 ns			20 ns
时间间隔测量仪	B	1 ns			1 ns
引出电缆延迟测量	B	1 ns			1 ns
电缆转接头稳定性	B	0.1 ns			0.1 ns
测量重复性	A				

1PPS 定时准确度和稳定度校准结果如表 C.10 所示。

表 C.10 1PPS 定时准确度和稳定度校准结果

次数	参考源	1PPS 定时准确度/ns	1PPS 定时稳定度/ns
1	UTC(NIM)	251.7	2.3

$$u_c(\delta_T) \quad U(\delta_T)$$

1PPS 定时稳定度的不确定度应根据 24 h 时差序列的统计方法、时间间隔测

量装置分辨力、采样间隔和有效样本数单独评定。

C.5 内部时基校准

C.5.1 相对频率偏差

设被校 GNSS 接收机内部时基的频率为 f_A ，参考时间频率源的频率为 f_B ，两者的频率标称值相同为 f_0 ，则两者的相对频率偏差可由式 (C.16) 表示。 $y_{AB}(\tau)$

$$y_{AB}(\tau) = \frac{f_A - f_B}{f_0} = \frac{f_A - f_0}{f_0} - \frac{f_B - f_0}{f_0} = y_A(\tau) - y_B(\tau) \quad (\text{C.16})$$

$y_A(\tau)$ 和 $y_B(\tau)$ 分别为两者的频率偏差，无量纲； τ 为测量时的平均时间（取样时间），s；在本规范中取 $\tau = 100$ s。

内部时基相对频率偏差单次校准结果为 5.7×10^{-7} 。

$y_{AB}(\tau)$ 的不确定度主要来源如表 C.11 所示。

表 C.11 $y_{AB}(\tau)$ 不确定度来源

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
参考时间频率源的频率不准确性	B	1×10^{-14}			1×10^{-14}
参考时间频率源的频率不稳定性	B	$7 \times 10^{-15}/100\text{s}$			$7 \times 10^{-15}/100\text{s}$
电缆、转接头稳定性	B	1×10^{-14}	矩形	$\sqrt{3}$	5.8×10^{-15}
频标比对器	B	$1 \times 10^{-14}/100\text{s}$			$1 \times 10^{-14}/100\text{s}$
数据修约	B	5×10^{-9}			5×10^{-9}
测量重复性	A				

参考以上主要不确定度来源和实际校准结果，最终单次测量相对频率偏差的合成不确定度 $u_c(y_{AB}(\tau = 100\text{s}))$ 为 5×10^{-9} ，扩展不确定度为 $U(y_{AB}(\tau = 100\text{s})) 1 \times 10^{-8}$ ($k=2$)。

C.5.2 频率稳定度

频率稳定度由频标比对器直接给出，校准结果如表 C.12 所示。

表 C.12 内部时基频率稳定度校准结果

次数	稳定度
1	$7.1 \times 10^{-11}/s$ $2.0 \times 10^{-10}/10s$ $1.3 \times 10^{-9}/100s$

不确定度主要来源如表 C.13 所示。

表 C.13 时基频率稳定度不确定度来源

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
参考时间频率源的频率不稳定性	B	$2 \times 10^{-14}/1s$ $3 \times 10^{-14}/10s$ $7 \times 10^{-15}/100s$		1	$2 \times 10^{-14}/1s$ $3 \times 10^{-14}/10s$ $7 \times 10^{-15}/100s$
频标比对器	B	$1.2 \times 10^{-13}/1s$ $2.2 \times 10^{-14}/10s$ $1.0 \times 10^{-14}/100s$		1	$1.2 \times 10^{-13}/1s$ $2.2 \times 10^{-14}/10s$ $1.0 \times 10^{-14}/100s$
有限次测量	A	$7.1 \times 10^{-12}/s$ $2.8 \times 10^{-11}/10s$ $2.4 \times 10^{-10}/100s$		1	$7.1 \times 10^{-12}/s$ $2.8 \times 10^{-11}/10s$ $2.4 \times 10^{-10}/100s$

注：有限次测量重复性引入的不确定度为： $u_r = \frac{\sigma_y(\tau)}{\sqrt{m}}$ (C.17)

其中， $\sigma_y(\tau)$ 为取样个数为 m 时的稳定度测量结果。例中 m 分别为100、50及30。

则，可知最终单次测量频率稳定度的合成不确定度 $u_c(\sigma_y(\tau=1s))$ 、 $u_c(\sigma_y(\tau=10s))$ 和 $u_c(\sigma_y(\tau=100s))$ 分别为 7.1×10^{-12} 、 2.8×10^{-11} 、 2.4×10^{-10} ，扩展不确定度为 $U(\sigma_y(\tau=1s))$ 、 $U(\sigma_y(\tau=10s))$ 和 $U(\sigma_y(\tau=100s))$ 分别为 1.5×10^{-11} 、 6×10^{-11} 、 5×10^{-10} ($k=2$)。