

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1403—2013

全球导航卫星系统(GNSS) 接收机(时间测量型)校准规范

Calibration Specification for GNSS Receivers

Used in Time Measurement

2013-04-27 发布

2013-07-27 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

中 华 人 民 共 和 国
国 家 计 量 技 术 规 范
全球导航卫星系统(GNSS)
接收机(时间测量型)校准规范

JJF 1403—2013

国家质量监督检验检疫总局发布

※

中国质检出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100013)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.gb168.cn

服务热线: 010-51780168

010-68522006

2013年8月第一版

※

书号: 155026·J-2816

版权专有 侵权必究

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

JJF 1403—2013

归口单位：全国时间频率计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：北京浩宇巡天科技有限公司

北京华力创通科技股份有限公司

上海市计量测试技术研究院

北京无线电计量测试研究所

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：

梁 坤（中国计量科学研究院）

张爱敏（中国计量科学研究院）

参加起草人：

金兆峰（北京浩宇巡天科技有限公司）

邹德君（北京华力创通科技股份有限公司）

董 莲（上海市计量测试技术研究院）

杨 军（北京无线电计量测试研究所）

王伟波（中国计量科学研究院）

目 录

引言	(III)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 GNSS	(1)
3.2 冷启动首次定位时间	(1)
3.3 热启动首次定位时间	(1)
3.4 重捕获时间	(1)
3.5 捕获灵敏度	(1)
3.6 跟踪灵敏度	(2)
3.7 定位偏差和精密度	(2)
3.8 测速偏差和精密度	(2)
3.9 动态范围	(2)
3.10 内部噪声水平	(2)
3.11 内部延迟	(2)
3.12 国际时间频率咨询委员会 GNSS 时间传递标准格式	(2)
3.13 与接收机无关的交换格式	(2)
3.14 共钟差	(2)
3.15 历元	(2)
3.16 天线相位中心及其稳定性	(2)
3.17 1 PPS	(2)
3.18 定时准确度	(2)
3.19 定时稳定度	(2)
3.20 零基线	(2)
3.21 超短基线	(3)
3.22 几何精度因子	(3)
3.23 地心地固坐标系	(3)
3.24 伪距	(3)
3.25 伪距率	(3)
4 概述	(3)
5 计量特性	(3)
5.1 冷启动首次定位时间	(3)
5.2 热启动首次定位时间	(4)
5.3 重捕获时间	(4)
5.4 捕获灵敏度	(4)

5.5	跟踪灵敏度	(4)
5.6	定位偏差和精密度	(4)
5.7	测速偏差和精密度	(4)
5.8	动态范围	(4)
5.9	内部噪声水平	(4)
5.10	内部延迟	(4)
5.11	天线相位中心稳定性	(4)
5.12	1 PPS 定时准确度和稳定度	(4)
5.13	内部时基频率准确度和稳定度	(4)
6	校准条件	(4)
6.1	环境条件	(4)
6.2	测量标准及其他设备	(4)
7	校准项目和校准方法	(5)
7.1	校准项目	(5)
7.2	校准方法	(6)
8	校准结果表达	(12)
9	复校时间间隔	(12)
附录 A	原始记录格式	(13)
附录 B	校准证书 (内页) 格式	(16)
附录 C	校准结果的不确定度评定示例	(18)

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—1997《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》，国际文件《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）和《NMEA-0183 协议》（NMEA-0183 protocol）的相关内容。

本规范为首次制定。

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 接收机或接收机）的校准。

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—2007 时间频率计量名词术语及定义

GJB/J 3073—1997 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-0183 protocol）

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 Global Navigation Satellite System

全球导航卫星系统。目前包括美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧盟的 Galileo 及中国的 COMPASS（北斗）。

3.2 冷启动首次定位时间 time to first fix (TTFF) for cold start

接收机在时间未知、当前历书、星历和位置均未知的情况下，从开机（正常接收 GNSS 信号）至输出第一个有效定位（定位偏差和精密度不大于接收机指标）值所持续的时间。

3.3 热启动首次定位时间 time to first fix for hot start

当接收机关闭时间较短（2 h 以内）且移动距离不大（100 km 以内），系统的历书和星历信息有效时，接收机从开机（正常接收 GNSS 信号）至输出第一个有效定位值所持续的时间。

3.4 重捕获时间 re-acquisition time

接收机在丢失所有接收信号状态下，从重新接收到 GNSS 信号至获得第一个有效定位值所持续的时间。

3.5 捕获灵敏度 acquisition sensitivity

接收机能够捕获并锁定 GNSS 卫星信号的最低功率电平。

3.6 跟踪灵敏度 tracking sensitivity

接收机捕获 GNSS 卫星后能够保持持续锁定卫星信号的最低功率电平。

3.7 定位偏差和精密度 position offset and precision

前者指接收机定位值与标准位置值的偏差，后者指接收机定位值自身的一致程度。

3.8 测速偏差和精密度 velocity offset and precision

前者指接收机测速值与标准速度值的偏差，后者指接收机测速值自身的一致程度。

3.9 动态范围 dynamic range

满足接收机正常锁定并定位的速度、加速度及高度范围。

3.10 内部噪声水平 interior noise level

接收机内部通道间的偏差、载波跟踪环和码跟踪环的跟踪误差以及钟差等引起的测距和测相误差的综合反映。

3.11 内部延迟 internal delay

信号经过接收机时，由接收机本身所引起的信号时间延迟。

3.12 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。

3.13 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。

3.14 共钟差 CCD, Common Clock Difference

超短基线情况下，两台接收机连接相同的参考时间频率源，进行比对得到的时差值。

3.15 历元 epoch

时标上的一点或一个时刻。

3.16 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。

3.17 1 PPS Pulse Per Second

秒脉冲信号。

3.18 定时准确度 timing accuracy

接收机输出 1 PPS 信号与标准 1 PPS 信号的偏差。

3.19 定时稳定度 timing stability

接收机输出 1 PPS 信号自身的一致程度。

3.20 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。

3.21 超短基线 mini-baseline

标准值在 (0.2~24) m 的标准长度。

3.22 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。

3.23 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), 是一种笛卡尔坐标系。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。

3.24 伪距 pseudorange

由 GNSS 观测而得的 GNSS 观测站到卫星的距离, 由于尚未对因“卫星时钟与接收机时钟同步误差”的影响加以改正, 在所测距离中包含着时钟误差因素在内。

3.25 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。

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; 接收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、接收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。

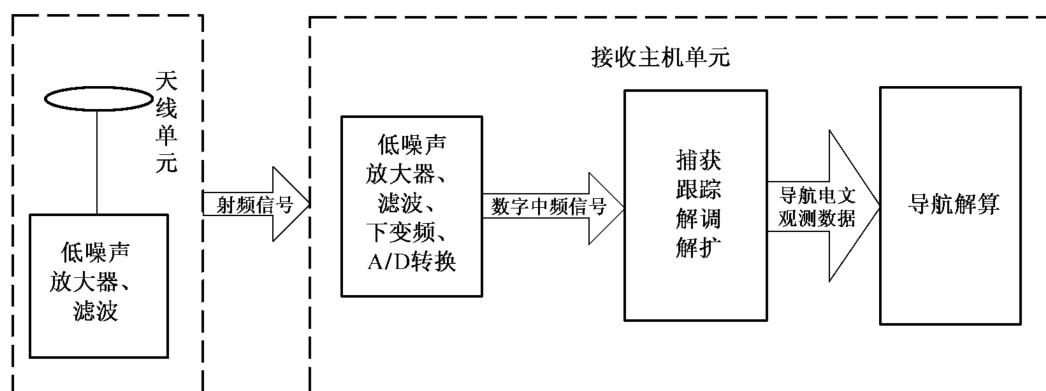


图 1 GNSS 接收机基本结构和工作原理

5 计量特性

5.1 冷启动首次定位时间

(45~75) s。

5.2 热启动首次定位时间

(20~40) s。

5.3 重捕获时间

(1~10) s。

5.4 捕获灵敏度

(-115~-110) dBm (20 dB 天线增益)。

5.5 跟踪灵敏度

(-125~-120) dBm (20 dB 天线增益)。

5.6 定位偏差和精密度

(1~15) m; (1~15) m, 1σ 。

5.7 测速偏差和精密度

(0.1~2) m/s; (0.1~2) m/s, 1σ 。

5.8 动态范围

速度 (0~515) m/s; 加速度 (0~4) g; 高度 (0~18) km。

5.9 内部噪声水平

(2~10) mm。

5.10 内部延迟

(-500~500) ns。

5.11 天线相位中心稳定性

(0~4) mm。

5.12 1 PPS 定时准确度和稳定度

10 ns~2 μ s; (10~200) ns。

5.13 内部时基频率准确度和稳定度

$5 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-6}$; $5 \times 10^{-11} \sim 1 \times 10^{-7}$ ($\tau=1$ s, 10 s, 100 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 测量标准及其他设备

6.2.1 GNSS 信号模拟器

a) 输出频率：支持被校准接收机所适用的 GNSS 系统。

b) 场景：可定义校准所需标准场景，如首次定位时间校准场景、灵敏度校准场景、定位偏差和精密度校准场景、测速偏差和精密度校准场景及动态范围校准场景。

c) 信号功率：输出电平覆盖 (-100~-140) dBm；绝对误差应优于 ± 2 dB。

- d) 信号相位噪声（抖动）： $<0.1 \text{ rad (rms)}$ 。
- e) 谐波抑制水平： $>25 \text{ dBc}$ 。
- f) 速度、加速度及高度范围：覆盖被校准接收机的速度、加速度及高度范围。
- g) 伪距精度： $<100 \text{ mm (rms)}$ ；伪距率精度： $<100 \text{ mm/s (rms)}$ 。
- h) 内部时钟稳定度： $<5 \times 10^{-8}/\text{d}$ 。
- i) 有外频标输入功能。
- j) 有 1 PPS 信号输出，其与 GNSS 射频信号过零点的偏差绝对值 $<1\,000 \text{ ns}$ ，偏差最大变化率优于 $\pm 100 \text{ ns/h}$ 。

6.2.2 计时装置

测量不确定度优于 0.2 s ($k=2$)。

6.2.3 参考接收机

内部噪声指标优于被校接收机 3 倍以上；天线相位中心稳定性指标优于被校接收机 3 倍以上；内部延迟已校准，不确定度优于 20 ns ($k=2$)。

6.2.4 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 。

6.2.5 参考时间频率源

输出 $5 \text{ MHz}/10 \text{ MHz}$ 、1 PPS 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 $5 \times 10^{-12}/\text{s}$ ；1 PPS 信号不确定度优于 40 ns ($k=2$)。

6.2.6 时间间隔测量装置

测量范围应为 $1 \text{ ns} \sim 1\,000 \text{ s}$ ，测量不确定度优于 2 ns ($k=2$)。

6.2.7 频标比对器

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

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	冷启动首次定位时间
2	热启动首次定位时间
3	重捕获时间
4	捕获灵敏度
5	跟踪灵敏度
6	定位偏差和精密度

表 1 (续)

序号	校准项目名称
7	测速偏差和精密度
8	动态范围
9	内部噪声水平
10	内部延迟
11	天线相位中心稳定性
12	1 PPS 定时准确度和稳定度
13	内部时基频率准确度和稳定度

7.2 校准方法

7.2.1 冷启动首次定位时间

采用模拟器法，仪器连接见图 2。

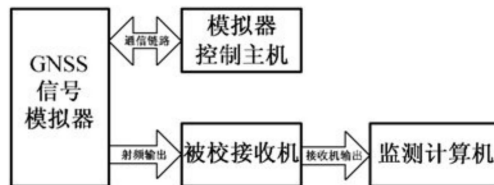


图 2 模拟器法校准示意图

校准步骤如下：

- 1) 接收机开机，使所有先验导航数据和时间信息失效，然后关机；
- 2) 打开 GNSS 信号模拟器（简称模拟器），开启首次定位时间校准场景（此场景为静态场景，可见卫星为 6 颗，几何精度因子为 2.5，卫星均匀分布在天顶上空，信号功率置为 -120 dBm 或者按厂家接口电平指标，仿真时间 60 min），模拟器开始仿真；
- 3) 规定时间（如 1 min）后，接收机开机，利用计时装置测量从开机至输出第一个有效定位值的时间间隔 x_i ，作为冷启动首次定位时间。

注：

- 1 本场景已包含标准的大气传播误差模型，也可通过模拟器去除误差模型。
- 2 定位值指通过接收机输出的 NMEA-0183 协议 [美国国家海洋电子协会（National Marine Electronics Association）为海用电子设备制定的标准格式] GGA 语句解析得到；如接收机不支持此协议，需按照接收机操作手册得到定位值。

7.2.2 热启动首次定位时间

采用模拟器法，仪器连接见图 2，校准步骤如下：

- 1) 打开模拟器，开启首次定位时间校准场景，场景设置按 7.2.1 (2)，模拟器开始仿真；
- 2) 规定时间（如 1 min）后，接收机开机；
- 3) 接收机正常定位 20 min 后，接收机断电 5 s 或规定时间；
- 4) 接收机重新开机，并记录从开机至输出第一个有效定位值的时间间隔 x_j ，作为热启动首次定位时间。

7.2.3 重捕获时间

采用模拟器法，仪器连接见图 2，校准步骤如下：

- 1) 打开模拟器，场景设置按 7.2.1 (2)，模拟器开始仿真；
- 2) 规定时间（如 1 min）后，接收机开机并正常定位 20 min；
- 3) 通过操作模拟器控制软件暂停输出仿真信号，5 s 或规定时间后再继续输出仿真信号；
- 4) 记录从模拟器重新输出仿真信号至接收机输出第一个有效定位值的时间间隔 x_k ，作为重捕获时间。

7.2.4 捕获灵敏度

采用模拟器法，仪器连接见图 2，校准步骤如下：

- 1) 接收机开机，使所有先验导航数据和时间信息失效，然后断电；
- 2) 打开模拟器，开启灵敏度校准场景（此场景为静态场景，只有一颗卫星，位于天顶上空，仿真时间 60 min，模拟器输出功率置为 -160 dBm），开始仿真；
- 3) 接收机开机，等待 5 min，观察接收机是否成功捕获卫星，若捕获则将模拟器输出功率 P_i 作为捕获灵敏度；
- 4) 如果没有成功捕获，则增大模拟器输出功率，每次增大模拟器输出功率后等待 5 min，直至接收机成功捕获卫星信号，将模拟器输出功率 P_i 作为捕获灵敏度。

注：

- 1 接收机是否成功捕获卫星可通过接收机的输出来看，如果成功捕获卫星，会显示出此卫星的编号、信噪比等数值，并利用 NMEA-0183 协议 GSV 语句信息位（〈7〉 信噪比 0~99 dB，没有捕获到卫星时为空，前面的 0 也将被传输）确定捕获状态；如果接收机不支持此协议，需按照接收机操作手册具体判断捕获状态。
- 2 输出功率调节分辨率可根据模拟器用户手册具体确定，如，可为 1 dB。

7.2.5 跟踪灵敏度

采用模拟器法，仪器连接见图 2，校准步骤如下：

- 1) 接收机开机，使所有先验导航数据和时间信息失效，然后断电；
- 2) 打开模拟器，开启灵敏度校准场景，场景设置按 7.2.3 2)，调节模拟器输出功率为捕获灵敏度功率，开始仿真；
- 3) 接收机开机，并成功捕获模拟器输出的单颗星信号；
- 4) 逐渐降低模拟器输出功率并等待 60 s，直至接收机信号失锁，将接收机信号失锁前一次的模拟器输出功率 P_j 作为跟踪灵敏度。

注：每次降低功率后，如果 60 s 内能正常捕获，就继续下降功率。输出功率调节先粗调后细调并利用 NMEA-0183 协议 GSV 语句信息位（〈7〉 信噪比 0~99 dB，没有跟踪到卫星时为空，前面的 0 也将被传输）确定跟踪状态；如果接收机不支持此协议，需按照接收机操作手册具体判断跟踪状态。

7.2.6 定位偏差和精密度

可使用模拟器法或场地实测法，校准步骤如下：

- 1) 模拟器法仪器连接见图 2。打开模拟器，开启定位偏差和精密度校准场景，场景设置按 7.2.1 2)，仿真时间大于 8 h，模拟器开始仿真，记录仿真标准位置值（ x_0 ， y_0 ， z_0 ）。

实测法按仪器安装要求在标准位置 (x_0, y_0, z_0) 点正确安置接收机天线；

2) 接收机开机，记录定位信息 (x, y, z) （采样间隔按接收机操作手册，如手册无规定可设为 30 s）；

3) 接收机正常定位 8 h 后，停止记录；

4) 根据式 (1)，计算接收机测量值 x_i, y_i, z_i ($i=1, \dots, n$, n 为测量次数) 的平均值 $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ ，并由式 (2) 计算接收机的定位偏差 δ_p ；据式 (3)，计算测量值的实验标准差 s_x, s_y, s_z ，并由式 (4) 计算接收机的定位精密度 σ_p 。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i \quad (1)$$

$$\delta_p = \sqrt{(\bar{x} - x_0)^2 + (\bar{y} - y_0)^2 + (\bar{z} - z_0)^2} \quad (2)$$

$$s_x = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad s_y = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad s_z = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\sigma_p = \sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2} \quad (4)$$

注：

1 本规范推荐使用 GNSS 信号模拟器仿真方法进行校准。

2 其中， (x, y, z) 代表地心地固坐标系中接收机三维位置。

3 式 (1) ~ (4) 中，除 i 和 n 外的所有物理量单位均为 m 或 mm。

7.2.7 测速偏差和精密度

采用模拟器法，仪器连接见图 2，校准步骤如下：

1) 打开模拟器，开启测速偏差和精密度校准场景（此场景为动态场景，可见卫星不少于 6 颗，几何精度因子小于 2.5，卫星均匀分布在天顶上空，信号功率置为 -120 dBm 或者按厂家接口电平指标，仿真时间置为 2 h），模拟器开始仿真，记录仿真标准速度值 (v_{x0}, v_{y0}, v_{z0}) ；

2) 接收机开机，正常定位后，记录测速信息 (v_x, v_y, v_z) （采样间隔按接收机操作手册，如手册无规定可设为 30 s）；

3) 1 h 后，停止记录；

4) 参考式 (1)，计算接收机测量值 v_{xi}, v_{yi}, v_{zi} ($i=1, \dots, n$, n 为测量次数) 的平均值 $\bar{v}_x, \bar{v}_y, \bar{v}_z$ ，并由式 (5) 计算接收机的测速偏差 δ_v ；参考式 (3)，计算测量值的实验标准差 s_{vx}, s_{vy}, s_{vz} ，并由式 (6) 计算接收机的测速精密度 σ_v 。

$$\delta_v = \sqrt{(\bar{v}_x - v_{x0})^2 + (\bar{v}_y - v_{y0})^2 + (\bar{v}_z - v_{z0})^2} \quad (5)$$

$$\sigma_v = \sqrt{s_{vx}^2 + s_{vy}^2 + s_{vz}^2} \quad (6)$$

注：

1 其中， (v_x, v_y, v_z) 代表地心地固坐标系中接收机三维速度。

2 式 (5) 和式 (6) 中，所有物理量单位均为 m/s 或 mm/s。

7.2.8 动态范围

采用模拟器法，仪器连接见图 2，校准步骤如下：

7.2.8.1 打开模拟器，开启动态范围校准场景（此场景为动态场景，可见卫星不少于 6 颗，几何精度因子小于 2.5，卫星均匀分布在天顶上空，信号功率置 -120 dBm 或者按厂家接口电平指标）；

1) 速度极限校准场景

- a) 设置载体静止，接收信号 3 min；
- b) 以 0.5 g 加速度开始加速至接收机失锁，以校准接收机速度极限。

2) 加速度极限校准场景

如有规定值，按规定加速度值进行校准。否则，按如下步骤进行：

- a) 设置载体静止，接收信号 3 min；
- b) 以 1 g 加速度加速至接收机最大速度，再以 1 g 加速度减速至 0 m/s；
- c) 以 2 g 加速度加速至接收机最大速度，再以 1 g 加速度减速至 0 m/s；
- d) 以 3 g 加速度加速至接收机最大速度，再以 1 g 加速度减速至 0 m/s；
- e) 依此类推，逐渐增大加速度，以校准接收机加速度极限。

3) 高度极限校准场景

- a) 设置载体在 0 m 高程位置静止，接收信号 3 min；
- b) 加速至 100 m/s，爬升至高程 20 km 或规定值位置，以校准接收机在此高度是否正常工作。

7.2.8.2 模拟器开始仿真，记录仿真速度、加速度和高度信息；

7.2.8.3 速度范围校准中，记录接收机的定位结果，如果中间定位结果出现间断，将断点之前的仿真速度值作为用户动态范围中的速度结果；加速度范围校准中，记录接收机的定位结果，如果中间定位结果出现间断，将断点之前的仿真加速度值作为动态范围中的加速度结果；高度范围校准中，记录接收机的定位结果，如果中间定位结果出现间断，将断点之前的仿真高度值作为动态范围中的高度结果，如在校准范围内接收机都能正常定位，则表明接收机高度动态范围优于 20 km。将这三项结果作为接收机动态范围校准结果。

注：上面给出了 3 个场景，三项分开校准。这里给出的只是一个参考场景，场景参数可能因为接收机性能不同有所改变。

7.2.9 内部噪声水平

仪器连接见图 3 或图 4。



图 3 接收机内部噪声校准示意图（仿真 GNSS 信号）



图 4 接收机内部噪声校准示意图（实际 GNSS 信号）

如图 3 或图 4，采用功分器将 GNSS 信号分成功率、相位相同的两路信号送到参考接收机和被校准接收机，同时记录两接收机观测数据，通过专业 GNSS 数据后处理软件计算求得两接收机基线向量，用以校准接收机内部噪声水平。

校准步骤如下：

- (1) 利用 GNSS 信号模拟器开始仿真（可采用定位偏差和精密度校准场景），或选择周围高度角 10° 以上无障碍物的地方安放天线（保证 4 颗以上卫星信号）；
- (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，重复步骤 (2)；
- (4) 用专业 GNSS 数据后处理软件分别计算在两个时间段内的两接收机基线长度；
- (5) 取两时间段内的基线长度结果实验标准差的平均值作为接收机内部噪声水平。

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。

7.2.10 内部延迟

仪器连接见图 5。

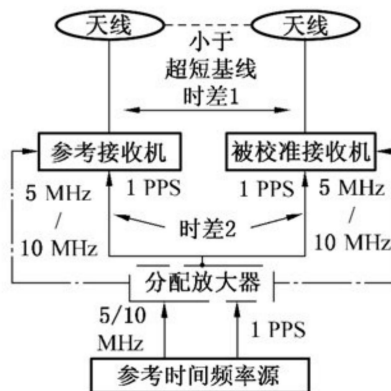


图 5 接收机内部延迟校准示意图

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 ；

被校准接收机的内部延迟如式 (7) 所示。

$$\tau_{\text{DUT}} = \Delta t - (\Delta t_1 + \Delta t_2) + \tau_{\text{REF}} + (\tau_{\text{in1}} - \tau_{\text{in2}}) \quad (7)$$

式中：

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 1 PPS 输出和接收机 1 PPS 输入的电缆延迟之差，s 或 ns；

τ_{REF} ——参考接收机内部延迟，s 或 ns；

τ_{in1} ， τ_{in2} ——参考接收机与被校准接收机 1 PPS 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，则将相应项取 0，s 或 ns；

$\Delta t_1, \Delta t_2$ ——可通过时间间隔测量装置测量计算得到，s 或 ns。

7.2.11 天线相位中心稳定性

采用相对定位测量法，仪器连接见图 6。

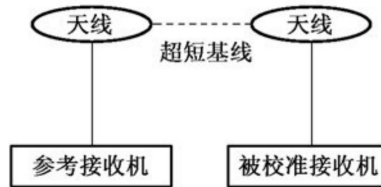


图 6 天线相位中心稳定性校准示意图

如图 6，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：

$$d = |b_{\max} - b_{\min}| \quad (8)$$

式中：

$b_{\max}$ ——基线结果最大值，m 或 mm；

$b_{\min}$ ——基线结果最小值，m 或 mm。

7.2.12 1 PPS 定时准确度和稳定度校准

仪器连接见图 7。

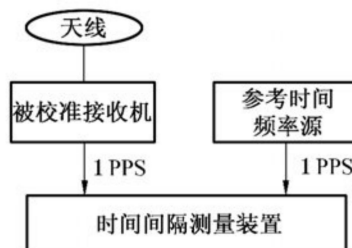


图 7 1 PPS 定时准确度和稳定度校准示意图

7.2.12.1 定时准确度

由时间间隔测量装置测量得到被校准接收机与参考时间频率源 1 PPS 24 h 的时差数据（采样间隔 1 s），计算平均值，取绝对值作为定时准确度。

7.2.12.2 定时稳定度

由时间间隔测量装置测量得到接收机 1 PPS 与参考时间频率源 24 h 的时差数据（采样间隔 1 s），计算实验标准差，作为定时稳定度。

7.2.13 内部时基频率准确度和稳定度

仪器连接见图 8，利用频标比对器，测量得到接收机内部时基频率准确度和稳定度。

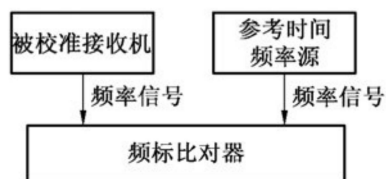


图 8 内部时基频率准确度和稳定度校准示意

7.2.13.1 频率准确度

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频率准确度。

7.2.13.2 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/s	m
1	≥ 100
10	≥ 50
100	≥ 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：

- 校准方的名称和地址；
- 被校准方的名称和地址；
- 校准时间：____年____月____日；
- 被校准接收机的名称、型号和出厂序列号；
- GNSS 信号模拟器的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- 计时装置的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- 参考接收机的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- 参考时间频率源的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- 时间间隔测量装置的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- 频标比对器的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- 校准结果及其测量不确定度。

9 复校时间间隔

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，全球导航卫星系统（GNSS）接收机（时间测量型）复校时间间隔建议 1 年。

附录 A

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	☐ 冷启动首次定位时间 ☐ 热启动首次定位时间 ☐ 重捕获时间 ☐ 捕获灵敏度 ☐ 跟踪灵敏度 ☐ 定位偏差和精密度 ☐ 测速偏差和精密度 ☐ 动态范围 ☐ 内部噪声 ☐ 内部延迟 ☐ 天线相位中心稳定性 ☐ 1 PPS 定时准确度和稳定度 ☐ 内部时基频率准确度和稳定度

1. 冷启动首次定位时间（TTFF）校准

模拟器场景名称：

模拟器输出功率/dBm	冷启动时间/s
冷启动首次定位时间：	不确定度：

2. 热启动首次定位时间校准

模拟器场景名称：

模拟器输出功率/dBm	热启动时间/s
热启动首次定位时间：	不确定度：

3. 重捕获时间校准

模拟器场景名称：

模拟器输出功率/dBm	重捕获时间/s
重捕获时间：	不确定度：

4. 捕获灵敏度校准

模拟器场景名称：

模拟器输出功率/dBm	是否成功捕获卫星
捕获灵敏度：	不确定度：

5. 跟踪灵敏度校准

模拟器场景名称：

模拟器输出功率/dBm	是否失锁
跟踪灵敏度：	不确定度：

6. 定位偏差和精密度校准

模拟器场景名称：

模拟器输出功率/dBm	模拟器输出已知位置值	接收机定位位置均值
定位偏差：	不确定度：	
定位精密度：	不确定度：	

7. 测速偏差和精密度校准

模拟器场景名称：

模拟器输出功率 dBm	模拟器输出已知速度值 m/s	接收机测速速度均值 m/s
测速偏差：	不确定度：	
测速精密度：	不确定度：	

8. 动态范围校准

模拟器场景名称：

模拟器输出功率 dBm	动态场景的最大速度 m/s	动态场景的最大加速度 g	动态场景的最大高度 m
最大速度：	不确定度：		
最大加速度：	不确定度：		
最大高度：	不确定度：		

9. 内部噪声校准

模拟器场景名称：

模拟器输出功率/dBm	内部噪声水平/mm	不确定度

10. 内部延迟校准

模拟器场景名称：

接收机内部延迟/ns	不确定度

11. 天线相位中心稳定性校准

模拟器场景名称：

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：		不确定度：

12. 1 PPS 定时准确度和稳定度校准

模拟器场景名称：

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

13. 内部时基频率准确度和稳定度校准

模拟器场景名称：

接收机内部时基准确度	接收机内部时基稳定度
内部时基频率准确度：	不确定度：
内部时基频率稳定度：	不确定度：

附录 B

校准证书(内页)格式

1 冷启动首次定位时间

$$T_i =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

2 热启动首次定位时间

$$T_j =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

3 重捕获时间

$$T_k =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

4 捕获灵敏度

$$P_i =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

5 跟踪灵敏度

$$P_j =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

6 定位偏差和精密度

6.1 定位偏差

$$\delta_P =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

6.2 定位精密度

$$\sigma_P =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

7 测速偏差和精密度

7.1 测速偏差

$$\delta_v =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

7.2 测速精密度

$$\sigma_v =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

8 动态范围

8.1 最大速度

$$dy_v =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

8.2 最大加速度

$$d_{y_A} =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

8.3 最大高度

$$d_{y_H} = \quad \text{或优于 } 20\,000 \text{ m}$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

9 内部噪声

$$n_{\text{int}} =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

10 内部延迟

$$\tau_{\text{DUT}} =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

11 天线相位中心稳定性

$$d =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

12 1 PPS 定时准确度和稳定度

12.1 1PPS 定时准确度

$$\delta_T =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

12.2 1 PPS 定时稳定度

$$\sigma_T =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

13 内部时基频率

13.1 内部时基频率准确度

$$\delta_f =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

13.2 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

GNSS 接收机校准结果可分为接收机时间校准结果（包括冷启动首次定位时间、热启动首次定位时间、重捕获时间）、灵敏度校准结果（捕获灵敏度、跟踪灵敏度）、定位校准结果、测速校准结果、动态范围校准结果、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、1 PPS 校准结果、内部时基校准结果。

C.1 时间校准

时间间隔 T 测量可由式 (C.1) 表示：

$$T = t_2 - t_1 \quad (\text{C.1})$$

其中， t_1 和 t_2 分别为启动时间和截止时间，s。

校准合成不确定度可计算如式 (C.2)：

$$u_c(T) = \sqrt{u^2(t_1) + u^2(t_2)} \quad (\text{C.2})$$

其中， $u(t_1)$ 和 $u(t_2)$ 分别为 t_1 和 t_2 的标准不确定度，s。

t_1 或 t_2 不确定度主要来源相同，如表 C.1 所示。

表 C.1 t_1 或 t_2 不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
计时装置测量分辨力	B	0.1 s	矩形	$\sqrt{3}$	0.029 s
测量重复性	A				

冷启动首次定位时间、热启动首次定位时间和重捕获时间测量结果分别如表 C.2～表 C.4 所示。

表 C.2 冷启动首次定位时间校准结果

次数	模拟器输出功率/dBm	冷启动时间/s
1	-120.0	51.0
2	-120.0	51.0
3	-120.0	51.0
4	-120.0	51.0
5	-120.0	51.0
6	-120.0	51.0
7	-120.0	51.0
8	-120.0	51.0
9	-120.0	51.0
10	-120.0	51.0

表 C.3 热启动首次定位时间校准结果

次数	模拟器输出功率/dBm	热启动时间/s
1	-120.0	40.0
2	-120.0	40.0
3	-120.0	40.0
4	-120.0	40.0
5	-120.0	40.0
6	-120.0	40.0
7	-120.0	40.0
8	-120.0	40.0
9	-120.0	40.0
10	-120.0	40.0

表 C.4 重捕获时间校准结果

次数	模拟器输出功率/dBm	重捕获时间/s
1	-120.0	1.0
2	-120.0	1.0
3	-120.0	1.0
4	-120.0	1.0
5	-120.0	1.0
6	-120.0	1.0
7	-120.0	1.0
8	-120.0	1.0
9	-120.0	1.0
10	-120.0	1.0

参考以上主要不确定度来源和实际校准结果,冷启动首次定位时间、热启动首次定位时间、重捕获时间合成 $u(t_1)$ 和 $u(t_2)$ 都为 0.029 s,最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(T)$ 为 0.05 s,扩展不确定度 $U(T)$ 为 0.1 s ($k=2$)。

C.2 灵敏度校准

灵敏度测量可由式 (C.3) 表示。

$$x = P \quad (\text{C.3})$$

其中, P 为模拟器输出信号功率, dBm。

校准合成不确定度可计算如式 (C.4):

$$u_c(x) = u(P) \quad (\text{C.4})$$

其中, $u(P)$ 为 P 的标准不确定度, dB。

P 的不确定度主要来源如表 C.5 所示。

表 C.5 P 不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
模拟器分辨力	B	0.1 dB	矩形	$\sqrt{3}$	0.029 dB
模拟器功率输出 校准不确定度	B	0.04 dB			0.04 dB
模拟器功率输出重复性	B	0.1 dB			0.1 dB
电缆衰减	B	0.01 dB			0.01 dB
测量重复性	A				

捕获灵敏度和跟踪灵敏度校准结果分别如表 C.6 和表 C.7 所示。

表 C.6 捕获灵敏度校准结果

次数	模拟器输出功率/dBm（至接收机捕获灵敏度功率）	捕获灵敏度/dBm
1	-130.0~-121.4	-121.4
2	-130.0~-121.5	-121.5
3	-130.0~-121.5	-121.5
4	-130.0~-121.4	-121.4
5	-122.0~-121.4	-121.4
6	-122.0~-121.6	-121.6
7	-122.0~-121.6	-121.6
8	-122.0~-121.6	-121.6
9	-122.0~-121.7	-121.7
10	-122.0~-121.8	-121.8

表 C.7 跟踪灵敏度校准结果

次数	模拟器输出功率/dBm（至接收机捕获灵敏度功率以上）	跟踪灵敏度/dBm
1	-135.9~-120.0	-135.9
2	-135.6~-120.0	-135.6
3	-135.9~-120.0	-135.9
4	-135.6~-120.0	-135.6
5	-135.6~-120.0	-135.6
6	-135.6~-120.0	-135.6
7	-135.6~-120.0	-135.6
8	-135.6~-120.0	-135.6
9	-135.6~-120.0	-135.6
10	-135.6~-120.0	-135.6

参考以上主要不确定度来源和实际校准结果,捕获灵敏度和跟踪灵敏度合成 $u(P)$ 都为 0.2 dB,最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(x)$ 为 0.2 dB,扩展不确定度为 $U(P)$ 为 0.4 dB($k=2$)。

C.3 定位校准

定位偏差测量可由式 (C.5) 表达。

$$\delta_P = \sqrt{(\bar{x} - x_0)^2 + (\bar{y} - y_0)^2 + (\bar{z} - z_0)^2} \quad (\text{C.5})$$

定位偏差测量公式为非线性模型,但非线性高阶项远小于一阶项,故仅考虑一阶项,根据不确定度传播定律,校准合成不确定度如 (C.6) 所示。

$$\begin{aligned} u_c(\delta) = & \frac{(\bar{x} - x_0)}{\sqrt{(\bar{x} - x_0)^2 + (\bar{y} - y_0)^2 + (\bar{z} - z_0)^2}} \sqrt{u^2(\bar{x}) + u^2(x_0)} \\ & + \frac{(\bar{y} - y_0)}{\sqrt{(\bar{x} - x_0)^2 + (\bar{y} - y_0)^2 + (\bar{z} - z_0)^2}} \sqrt{u^2(\bar{y}) + u^2(y_0)} \\ & + \frac{(\bar{z} - z_0)}{\sqrt{(\bar{x} - x_0)^2 + (\bar{y} - y_0)^2 + (\bar{z} - z_0)^2}} \sqrt{u^2(\bar{z}) + u^2(z_0)} \end{aligned} \quad (\text{C.6})$$

其中, $u(\bar{x})$ 、 $u(x_0)$ 、 $u(\bar{y})$ 、 $u(y_0)$ 、 $u(\bar{z})$ 和 $u(z_0)$ 分别为 $\bar{x}$ 、 x_0 、 $\bar{y}$ 、 y_0 、 $\bar{z}$ 和 z_0 的标准不确定度, m 或 mm。

$\bar{x}$ 、 x_0 、 $\bar{y}$ 、 y_0 、 $\bar{z}$ 或 z_0 不确定度主要来源相同,如表 C.8 表示。

表 C.8 $\bar{x}$ 、 x_0 、 $\bar{y}$ 、 y_0 、 $\bar{z}$ 或 z_0 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
模拟器伪距精度	B	1.1 mm			1.1 mm
由通道间偏差引起的 模拟器伪距不确定度	B	3.0 mm			3.0 mm
模拟器定位信息分辨力	B	0.1 mm	矩形	$\sqrt{3}$	0.029 mm
接收机定位信息分辨力	B	0.1 mm	矩形	$\sqrt{3}$	0.029 mm
测量重复性	A				

定位校准结果如表 C.9 所示。

表 C.9 定位校准结果

次数	模拟器输出功率/ dBm	模拟器输出已知点坐标 (X, Y, Z)	接收机定位均值点坐标 (X, Y, Z)
1	-120.0	(6378137.0000, 0.0000, 0.0000)	(6378136.4346, 0.0200, -0.0300)

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 $u_c(\delta_P)$ 为 3.2 mm,扩展不确定度为 $U(\delta_P)$ 为 6.4 mm($k=2$)。

定位精密密度测量不确定度来源同定位偏差测量,评估方法相同,故不确定度结果同定位偏差。

C.4 测速校准

测速偏差测量可由式 (C.7) 表达。

$$\delta_v = \sqrt{(\bar{v}_x - v_{x0})^2 + (\bar{v}_y - v_{y0})^2 + (\bar{v}_z - v_{z0})^2} \quad (\text{C.7})$$

测速偏差测量公式为非线性模型，但非线性高阶项远小于一阶项，故仅考虑一阶项，根据不确定度传播定律，合成不确定度如（C.8）所示。

$$\begin{aligned} u_c(\delta_v) = & \frac{(\bar{v}_x - v_{x0})}{\sqrt{(\bar{v}_x - v_{x0})^2 + (\bar{v}_y - v_{y0})^2 + (\bar{v}_z - v_{z0})^2}} \sqrt{(u^2(\bar{v}_x) + u^2(v_{x0}))} \\ & + \frac{(\bar{v}_y - v_{y0})}{\sqrt{(\bar{v}_x - v_{x0})^2 + (\bar{v}_y - v_{y0})^2 + (\bar{v}_z - v_{z0})^2}} \sqrt{(u^2(\bar{v}_y) + u^2(v_{y0}))} \\ & + \frac{(\bar{v}_z - v_{z0})}{\sqrt{(\bar{v}_x - v_{x0})^2 + (\bar{v}_y - v_{y0})^2 + (\bar{v}_z - v_{z0})^2}} \sqrt{(u^2(\bar{v}_z) + u^2(v_{z0}))} \end{aligned} \quad (\text{C.8})$$

其中， $u(\bar{v}_x)$ 、 $u(v_{x0})$ 、 $u(\bar{v}_y)$ 、 $u(v_{y0})$ 、 $u(\bar{v}_z)$ 和 $u(v_{z0})$ 分别为 $\bar{v}_x$ 、 v_{x0} 、 $\bar{v}_y$ 、 v_{y0} 、 $\bar{v}_z$ 和 v_{z0} 的标准不确定度，m/s或mm/s。

$\bar{v}_x$ 、 v_{x0} 、 $\bar{v}_y$ 、 v_{y0} 、 $\bar{v}_z$ 和 v_{z0} 不确定度主要来源相同，如表C.10所示。

表 C.10 $\bar{v}_x$ 、 v_{x0} 、 $\bar{v}_y$ 、 v_{y0} 、 $\bar{v}_z$ 或 v_{z0} 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
模拟器伪距变化率误差	B	1.0 mm/s			1.0 mm/s
模拟器测速信息分辨力	B	0.1 mm/s	矩形	$\sqrt{3}$	0.029 mm/s
接收机测速信息分辨力	B	0.1 mm/s	矩形	$\sqrt{3}$	0.029 mm/s
测量重复性	A				

测速校准结果如表C.11所示。

表 C.11 测速校准结果

次数	模拟器输出功率/dBm	动态场景的速度范围 (m/s)	接收机测速误差均值 (m/s)
1	-120.0	0.000 0~100.000 0	0.062 0

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 $u_c(\delta_v)$ 为1.1 mm/s，扩展不确定度为 $U(\delta_v)$ 为2.2 mm/s($k=2$)。

测速精密度测量不确定度来源同测速偏差测量，评估方法相同，故不确定度结果同测速偏差。

C.5 动态范围校准

不确定度来源主要为模拟器速度、加速度、高度。

动态范围校准结果如表C.12所示。

表 C.12 动态范围校准结果

次数	模拟器输出功率 dBm	动态场景的最大速度 m/s	动态场景的最大加速度 g	动态场景的最大高度 m
1	-120.0	10 000.000	40	20 000
结论	接收机的最大速度：559.100 0 m/s 接收机的最大加速度：38.000 0g 接收机的最大高度：未失锁			

C.5.1 速度限制校准

速度测量可由式 (C.9) 表达。

$$x = v \quad (\text{C.9})$$

其中, 模拟器仿真载体标准速度 v , m/s 或 mm/s。

校准不确定度可计算如式 C.10

$$u_c(x) = u(v) \quad (\text{C.10})$$

其中, $u(v)$ 为 v 的标准不确定度, m/s 或 mm/s。

v 的不确定度主要来源如表 C.13 所示。

表 C.13 v 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
模拟器伪距变化率误差	B	1.0 mm/s			1.0 mm/s
模拟器速度信息分辨力	B	0.1 mm/s	矩形	$\sqrt{3}$	0.029 mm/s
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, 合成 $u(v)$ 为 1.1 mm/s, 最终单次测量的合成不确定度 $u_c(x)$ 为 1.1 mm/s, 扩展不确定度为 $U(v)$ 为 2.2 mm/s ($k=2$)。

C.5.2 加速度限制校准

加速度测量可由式 (C.11) 表达。

$$x = a \quad (\text{C.11})$$

其中, 模拟器仿真载体标准加速度 a , m/s² 或 mm/s²。

校准不确定度可计算如式 (C.12) 所示。

$$u_c(x) = u(a) \quad (\text{C.12})$$

其中, $u(a)$ 为 a 的标准不确定度, m/s² 或 mm/s²。

a 的不确定度主要来源如表 C.14 所示。

表 C.14 a 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
模拟器加速度信息分辨力	B	0.1 mm/s ²	矩形	$\sqrt{3}$	0.029 mm/s ²
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, 合成 $u(a)$ 为 0.03 mm/s², 最终单次测量的合成不确定度 $u_c(x)$ 为 0.03 mm/s², 扩展不确定度为 $U(a)$ 为 0.1 mm/s² ($k=2$)。

C.5.3 高度限制校准

高度测量可由式 (C.13) 表达。

$$x = h \quad (\text{C.13})$$

其中, 模拟器仿真载体高度 h , m 或 mm。

校准不确定度可计算如式 (C.14) 所示。

$$u_c(x) = u(h) \quad (\text{C. 14})$$

其中, $u(h)$ 为 h 的标准不确定度, m 或 mm。

h 的不确定度主要来源如表 C. 15 所示。

表 C. 15 h 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
模拟器伪距	B	1.1 mm			1.1 mm
由通道间偏差引起的伪距不确定度	B	3.0 mm			3.0 mm
模拟器高度信息分辨力	B	0.1 mm	矩形	$\sqrt{3}$	0.029 mm
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, 合成 $u(h)$ 为 3.2 mm, 最终单次测量的合成不确定度 $u_c(x)$ 为 3.2 mm, 扩展不确定度为 $U(h)$ 为 6.4 mm ($k=2$)。

C. 6 内部噪声校准

接收机内部噪声水平 n_{int} 测量可由式 C. 15~式 C. 17 表达。

$$s_1 = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b}_1)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{C. 15})$$

$$s_2 = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (b_j - \bar{b}_2)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{C. 16})$$

$$n_{\text{int}} = \frac{s_1 + s_2}{2} \quad (\text{C. 17})$$

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基线解算值 ($i, j = 1 \cdots n$, n 为测量次数), $\bar{b}_1$ 和 $\bar{b}_2$ 分别为前后两时段基线解算值的平均值, s_1 和 s_2 分别为前后两时段基线解算值的标准差, m 或 mm。

校准合成不确定度可计算如式 (C. 18) 所示。

$$u_c(n_{\text{int}}) = \frac{1}{2} \sqrt{u^2(s_1) + u^2(s_2)} \quad (\text{C. 18})$$

其中, $u(s_1)$ 和 $u(s_2)$ 分别为 s_1 和 s_2 的标准不确定度, m 或 mm。

s_1 或 s_2 不确定度主要来源相同, 如表 C. 16 所示。

表 C. 16 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
基线解算分辨力	B	0.1 mm	矩形	$\sqrt{3}$	0.029 mm
测量重复性	A				

接收机内部噪声校准结果如表 C. 17 所示。

表 C. 17 接收机内部噪声校准结果

次数	模拟器输出功率/dBm	基线测量实验标准差/mm
1	-120.0	1.3

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 $u_c(n_{\text{int}})$ 为 0.03 mm,扩展不确定度为 $U(n_{\text{int}})$ 为 0.1 mm ($k=2$)。

C.7 内部延迟校准

内部延迟测量可由式 (C.19) 表达。

$$\tau_{\text{DUT}} = \Delta t - (\Delta t_1 + \Delta t_2) + \tau_{\text{REF}} + (\tau_{\text{in1}} - \tau_{\text{in2}}) \quad (\text{C.19})$$

校准不确定度可计算如式 (C.20) 所示。

$$u_c(\tau_{\text{DUT}}) = \sqrt{u^2(\Delta t) + u^2(\Delta t_1) + u^2(\Delta t_2) + u^2(\tau_{\text{REF}}) + u^2(\tau_{\text{in1}}) + u^2(\tau_{\text{in2}})} \quad (\text{C.20})$$

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.18 所示。

表 C.18 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
参考延迟测量 (Δt_1 、 τ_{in1} 、 τ_{in2})	B	1 ns			1 ns
测量重复性	A				

接收机内部延迟校准结果如表 C.19 所示。

表 C.19 接收机内部延迟校准结果

次数	接收机内部延迟(C1)/ns	接收机内部延迟(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 $u_c(\tau_{\text{DUT}})$ 为 5.4 ns,扩展不确定度为 $U(\tau_{\text{DUT}})$ 为 10.8 ns ($k=2$)。

C.8 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.21) 表达。

$$d = |b_{\text{max}} - b_{\text{min}}| \quad (\text{C.21})$$

校准合成不确定度可计算如式 (C.22) 所示。

$$u_c(d) = \sqrt{u^2(b_{\text{max}}) + u^2(b_{\text{min}})} \quad (\text{C.22})$$

其中, $u(b_{\text{max}})$ 和 $u(b_{\text{min}})$ 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.20 所示。

表 C.20 b_{max} 和 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
基线解算分辨率	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.21 所示。

表 C.21 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	2.984 0
2	0	90	2.983 5
3	0	180	2.983 2
4	0	270	2.983 8
5	90	270	2.983 6
6	180	270	2.982 4
7	270	270	2.983 0
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 $U(d)$ 为 0.1 mm($k=2$)。

C.9 1 PPS 定时校准

定时准确度可由式 (C.23) 表达。

$$\delta_T = t_{1 \text{ PPS(DUT)}} - t_{1 \text{ PPS(REF)}} \quad (\text{C.23})$$

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

校准不确定度可计算如式 (C.24) 所示。

$$u_c(\delta_T) = \sqrt{u^2(t_{1 \text{ PPS(DUT)}}) + u^2(t_{1 \text{ PPS(REF)}})} \quad (\text{C.24})$$

其中, $u(t_{1 \text{ PPS(DUT)}})$ 和 $u(t_{1 \text{ PPS(REF)}})$ 分别为 $t_{1 \text{ PPS(DUT)}}$ 和 $t_{1 \text{ PPS(REF)}}$ 的标准不确定度, s 或 ns。 $t_{1 \text{ PPS(DUT)}}$ 或 $t_{1 \text{ PPS(REF)}}$ 不确定度主要来源相同, 如表 C.22 所示。

表 C.22 $t_{1 \text{ PPS(DUT)}}$ 和 $t_{1 \text{ PPS(REF)}}$ 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				

1 PPS 定时准确度和稳定度校准结果如表 C.23 所示。

表 C.23 1 PPS 定时准确度和稳定度校准结果

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

参考以上主要不确定度来源和实际校准结果,最终单次测量定时准确度的合成不确

定度 $u_c(\delta_T)$ 为 20.1 ns, 扩展不确定度为 $U(\delta_T)$ 为 40.2 ns ($k=2$)。

1 PPS 定时稳定度测量不确定度来源同准确度测量, 评估方法相同, 故不确定度结果同准确度。

C.10 内部时基校准

C.10.1 频率准确度

设被校准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 , 两频率标准的频率标称值相同为 f_0 , 则两频率标准的频率差 $y_{AB}(\tau)$ 可由式 (C.25) 表示。

$$y_{AB}(\tau) = \frac{f_A - f_B}{f_0} = \frac{f_A - f_0}{f_0} - \frac{f_B - f_0}{f_0} = y_A(\tau) - y_B(\tau) \quad (\text{C.25})$$

$y_A(\tau)$ 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。

内部时基频率准确度单次校准结果为 5.7×10^{-7} 。

$y_{AB}(\tau)$ 的不确定度主要来源如表 C.24 所示。

表 C.24 $y_{AB}(\tau)$ 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度	B	1×10^{-14}			1×10^{-14}
参考时间频率源的频率不稳定性	B	$7 \times 10^{-15} / 100$ s			$7 \times 10^{-15} / 100$ s
电缆、转接头稳定性	B	1×10^{-14}			1×10^{-14}
频标比对器	B	$1 \times 10^{-14} / 100$ s			$1 \times 10^{-14} / 100$ 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, 最终单次测量频率准确度的合成不确定度 $u_c(y_{AB}(\tau=100 \text{ s}))$ 为 5×10^{-9} , 扩展不确定度为 $U(y_{AB}(\tau=100 \text{ s}))$ 为 1×10^{-8} ($k=2$)。

C.10.2 频率稳定度

频率稳定度 $\sigma_y(\tau)$ 由频标比对器直接给出, 校准结果如表 C.25 所示。

表 C.25 内部时基频率稳定度校准结果

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

$\sigma_y(\tau)$ 校准不确定度评定过程中, 有限次测量引入的不确定度可由式 (C.26) 计算,

$$u_r = \frac{\sigma_y(\tau)}{\sqrt{m}} \quad (\text{C.26})$$

其中, m 为计算 $\sigma_y(\tau)$ 时的取样个数。例中, τ 取 1 s、10 s 和 100 s 时, m 分别为

100、50 和 30。

$\sigma_y(\tau)$ 的不确定度主要来源如表 C.26 所示。

表 C.26 $\sigma_y(\tau)$ 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 频率不稳定性	B	$2 \times 10^{-14} / 1 \text{ s}$ $3 \times 10^{-14} / 10 \text{ s}$ $7 \times 10^{-15} / 100 \text{ s}$			$2 \times 10^{-14} / 1 \text{ s}$ $3 \times 10^{-14} / 10 \text{ s}$ $7 \times 10^{-15} / 100 \text{ s}$
频标比对器	B	$1.2 \times 10^{-13} / 1 \text{ s}$ $2.2 \times 10^{-14} / 10 \text{ s}$ $1.0 \times 10^{-14} / 100 \text{ s}$			$1.2 \times 10^{-13} / 1 \text{ s}$ $2.2 \times 10^{-14} / 10 \text{ s}$ $1.0 \times 10^{-14} / 100 \text{ s}$
有限次测量	A				

参考以上主要不确定度来源和实际校准结果，最终单次测量频率稳定度的合成不确定度 $u_c(\sigma_y(\tau=1 \text{ s}))$ 、 $u_c(\sigma_y(\tau=10 \text{ s}))$ 和 $u_c(\sigma_y(\tau=100 \text{ s}))$ 分别为 7.1×10^{-12} 、 2.8×10^{-11} 和 2.4×10^{-10} ，扩展不确定度 $U(\sigma_y(\tau=1 \text{ s}))$ 、 $U(\sigma_y(\tau=10 \text{ s}))$ 和 $U(\sigma_y(\tau=100 \text{ s}))$ 分别为 1.5×10^{-11} 、 6×10^{-11} 和 5×10^{-10} ($k=2$)。



JJF 1403-2013

版权专有 侵权必究

*

书号:155026 · J-2816