

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

连续运行 GNSS 接收机校准规范

Calibration Specification of Continuously
Operating GNSS Receiver
(征求意见稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

连续运行 GNSS 接收机校准规范

Calibration Specification of Continuously
Operating GNSS Receiver

JJF XXXX—XXXX

归口单位：全国地震专用计量测试技术委员会

主要起草单位：中国地震局第一监测中心

中国测绘科学研究院

参加起草单位：中国地震台网中心

湖北省地震局

本规范委托全国地震专用计量测试技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

李文一（中国地震局第一监测中心）

刘 浩（中国地震局第一监测中心）

张 锐（中国测绘科学研究院）

张风霜（中国地震局第一监测中心）

参加起草人：

王 坦（中国地震台网中心）

师宏波（中国地震台网中心）

刘海波（湖北省地震局）

目 录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语	1
4 概述	3
5 计量特性	3
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 检查和校准项目	5
7.2 检查方法	5
7.3 校准方法	9
8 校准结果表达	13
9 复校时间间隔	14
附录 A 计算多路径误差的双频组合	0
附录 B 天线相位中心偏差的计算方法	1
附录 C 校准证书内页参考格式	4
附录 D 天线相位中心偏差校准结果测量不确定度评定（示例）	6

引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列文件。

本规范为首次发布。

连续运行 GNSS 接收机校准规范

1 范围

本规范适用于连续运行GNSS接收机的校准，包括仅支持北斗模式的接收机的校准。

2 引用文件

JJG 1200—2023 全球导航卫星系统（GNSS）接收机（测地型和导航型）

JJF 1214—2008 长度基线场校准规范

GB/T 19391—2003 全球定位系统（GPS）术语及定义

GB/T 39399—2020 北斗卫星导航系统测量型接收机通用规范

GB/T 39267-2020 北斗卫星导航术语

DB/T 97—2024 地震观测数据质量评价规范全球导航卫星系统观测

BD 420022-2019 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）测量型接收机观测数据质量评估方法

ISBN 978-7-5111-1554-6 地壳运动监测技术规程

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

JJF 1001—2011、GB/T 19391—2003、GB/T 39267-2020 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 内部噪声水平 interior noise level

由接收机通道间的随机偏差,锁相环、码跟踪环的随机偏差,以及其钟差残差等引起的测距和测相误差,一般以零基线测量误差来表征。

3.2 静态测量 static positioning

一种接收机处在静止或几乎静止情况下的定位。

3.3 几何相位中心参考点 antenna reference point; ARP

天线几何中心参考点,是天线设计制造中确定的物理几何中心,与天线相位中心（APC）相互独立。

3.4 天线相位中心 antenna phase center; APC

天线相位中心（平均天线相位中心）是指 GNSS 接收机接收卫星信号的理想电气相位中心，是测距定位理想的起始点。其理论设计应与天线几何中心一致。

3.5 天线相位中心偏差 phase center offset; PCO

天线相位中心（APC）与几何中心参考点（ARP）之差。

3.6 天线高 antenna height

观测时接收机天线相位中心至测站中心标志面的高度。

3.7 几何精度因子 geometrical dilution of precision; PDOP

表征卫星几何位置布局对 GNSS 三维位置误差和时间误差综合影响的精度因子。

3.8 长度基线场 baseline and basenet

地面标志稳定、清晰，具有足够准确度的一组测量点，标志点间距离称为长度基线的长度标准值。包括超短基线、短基线、中基线和长基线等四种基线。

3.9 数据完整率 data integrity ratio

某观测时段内，接收机实际观测记录数据的时间长度与设定应观测记录数据的时间长度的比率。

3.10 数据有效率 data validity ratio

某观测时段内，在设定的截止高度角以上，卫星观测数据中实际观测历元数量与根据卫星星历计算可观测历元数量的比率。

3.11 周跳 cycle slip

在接收机进行载波相位测量时，由于信号失锁、接收机故障等原因导致的载波周期计算错误的现象。

3.12 周跳比值 cycle slip ratio

某观测时段内，在接收机观测数据的实际观测历元中平均每 1000 个历元发生周跳的数量。

3.13 多路径误差 multipath error

由非直达导航信号引入的测距误差。

3.14 伪距噪声 pseudorange noise

伪距测量随机误差，泛指导航信号产生端、传播路径、接收端产生或引入的

各种随机误差对伪距测量的综合影响值。

3.15 载波相位噪声 carrier phase noise

载波相位测量随机误差，泛指导航信号产生端、传播路径、接收端产生或引入的各种随机误差对载波相位测量的综合影响值。

3.16 秒脉冲 1 pulse per second; 1PPS

设备按每秒输出的一个同步脉冲。

4 概述

GNSS主要由空间卫星、地面跟踪服务站和用户接收机三部分组成，用户通过接收机实现定位、导航和授时的目的。GNSS接收机按用途可分为测地型、导航型和授时型。

连续运行 GNSS 接收机是测地型接收机的一种，是对卫星导航信号进行长期连续观测，并通过通信设施将观测数据实时或者定时传送至数据中心的地面固定观测站。一般用于精密大地测量、工程测量和其他高精度定位领域。

5 计量特性

连续运行 GNSS 接收机的计量特性见表 1。

表 1 计量特性

检查项目/计量特性		技术指标
仅支持北斗模式查验		通过卫星信号模拟器仅播发北斗信号，检验终端能否独立完成定位
数据质量	数据完整率	85%
	数据有效率	85%
	周跳比值	≤ 10
	多路径误差	0.5 m
	伪距噪声	15 cm
	载波相位噪声	2 mm
内部噪声水平		≤ 1.0 mm
天线相位中心偏差		≤ 1.0 mm

静态测量基线误差	静态基线水平测量误差绝对值不大于 2 倍接收机静态测量水平方向标准偏差
长基线测量重复率	300 km 以内基线边长重复率应不超过 3.0 mm, 300 km 以上基线边长重复率应优于 1×10^{-8}
1PPS 稳定度	$< 50 \text{ ns}$
说明：接收机静态测量水平方向标准偏差 $\sigma = \sqrt{a^2 + b^2 \times D^2}$ 式中： a —静态测量固定误差，mm； b —静态测量比例误差，mm/km； D —被测点间距离，km，当 $D < 0.5 \text{ km}$ 时，取 $D = 0.5 \text{ km}$ 。	

注：本规范所有技术指标仅供参考，不作为符合性判定依据。

6 校准条件

6.1 环境条件

a) 温度：接收机的校准在常温下进行；

b) 校准场地的各个观测点应位于周围无电磁信号干扰，选择最佳卫星通视观测环境，且观测场周边不得有高度大于 10° 的遮蔽物和多路径反射物，截止高度角设置为零，采样间隔 30 s。数据质量评价；

c) 校准应选取在可接收卫星数目不少于 6 颗，卫星的位置精度因子 PDOP 不大于 3 的情况下进行。

6.2 测量标准及其他设备

测量标准和配套设备见表 2。

表 2 测量标准和配套设备

序号	设备名称	技术要求		用途
1	基线场	超短基线	长度：0.2 m~24 m； 测量标准差：<1 mm	提供标准场地，比较法校准基线时的参考标准
		短基线	长度：24 m~2000 m； 测量标准差：<（1+1×10 ⁻⁶ <i>D</i> ）mm	
		中基线	长度：2000m~30000 m； 测量标准差：<（3+0.5×10 ⁻⁷ <i>D</i> ）mm	
		长基线	长度：>30000m； 测量标准差：<（3+0.5×10 ⁻⁷ <i>D</i> ）mm	
		<i>D</i> 为基线长度，km		
2	功率分配器	有两个以上输出端； 工作频率范围：1100 MHz~1800 MHz； 信号功率均匀分配，相位差：<2°		校准零基线

3	铷原子钟	输出频率：支持 10 MHz 信号； 1 s 频率稳定度：优于 5×10^{-11} ； 频率准确度：优于 2×10^{-10}	校准 1PPS 稳定度
4	通用计数器	测量范围：10 ns~10 s； 1 s 频率稳定度： 10^{-8} ； 有效分辨力： ≤ 10 ns	
5	GNSS 信号模拟器	伪距分辨力： ≤ 1 m； 内部通道延迟： ≤ 15 ns	
6	等距基线臂装置	基线臂长度：0.4 m； 臂长测量误差： ≤ 0.1 mm； 参考天线高差： ≤ 0.5 mm	校准连续运行接收机天线相位中心偏差

7 校准项目和校准方法

7.1 检查和校准项目

连续运行 GNSS 接收机的检查项目为仅支持北斗模式查验和数据质量；校准项目为内部噪声水平、天线相位中心偏差、静态测量基线误差、长基线测量重复率和 1PPS 稳定度。

表 3 检查和校准项目一览表

序号	项目名称	类型	校准项目选择		规范条款
			连续运行前	连续运行中	
1	仅支持北斗模式查验	检查	+	-	7.2.1
2	数据质量	检查	-	+	7.2.2
3	内部噪声水平	校准	+	+	7.3.1
4	天线相位中心偏差	校准	+	+	7.3.2
5	静态测量基线误差	校准	+	-	7.3.3
6	长基线测量重复率	校准	+	+	7.3.4
7	1PPS 稳定度	校准	+	-	7.3.5

注：表中“+”表示可校项目，“-”表示可不校项目

7.2 检查方法

7.2.1 仅支持北斗模式查验

a) 通过卫星信号模拟器仅播发北斗信号，检验接收机独立工作能力，验证能且仅能跟踪北斗卫星导航系统信号。在微波暗室或屏蔽箱环境，使用模拟器仿真动态、静态场景对被测设备进行测试，输出 GPS、Galileo、GLONASS 等非北斗卫星信号，信号功率设置为-130 dBm，此时被测设备应无法搜星定位。

b) 在微波暗室或屏蔽箱环境, 使用模拟器仿真动态、静态场景对被测设备进行测试, 设置模拟器播发所有北斗卫星信号频点, 信号功率设置为-130 dBm, 此时被测设备应能完成搜星定位并满足基本精度要求 (水平定位精度 ≤ 10 m (95%), 垂直定位精度 ≤ 15 m (95%))。

c) 在微波暗室或屏蔽箱环境, 使用模拟器仿真动态、静态场景对被测设备进行测试, 模拟器输出 BDS、GPS、Galileo、GLONASS 导航信号, 并对 GPS、Galileo、GLONASS 等导航系统不同卫星信号随机施加伪距偏差(300 m 及以上), 采集被测设备所上报的定位信息, 将其与北斗导航系统定位位置进行对比, 此时被测设备应能完成搜星定位并满足基本精度要求 (水平定位精度 ≤ 10 m (95%), 垂直定位精度 ≤ 15 m (95%))。

d) 在微波暗室或屏蔽箱环境, 使用模拟器仿真动态、静态场景对被测设备进行测试, 模拟器输出 3 颗北斗可用卫星信号, 并分别依次输出 3 颗 GPS、Galileo、GLONASS 可用卫星信号, 此时被测设备应无法完成三维定位。

7.2.2 数据质量检查

7.2.2.1 数据完整率

检查单日时段 RINEX 数据文件头中的信息, 应有完整准确的 RINEX 版本号、卫星系统、观测标志名、观测标志编号、接收机序列号、类型和版本号、天线序列号和类型、观测者和观测单位名称、测站近似坐标、天线高、数据采样间隔、观测开始时刻, 时间系统、观测结束时刻, 时间系统、当前跳秒数。

在相同的截止高度角和采样间隔下, 根据接收机近似坐标位置和卫星星历计算观测时段内观测的卫星总数 n , 按公式 (1)、公式 (2) 计算单频点观测数据完整率和单系统观测数据完整率。

$$DI_f = \left(\sum_{j=1}^n A^j / \sum_{j=1}^n B^j \right) \times 100\% \quad (1)$$

$$DI_s = \left(\sum_{j=1}^n C^j / \sum_{j=1}^n D^j \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

DI_f ——单频点观测数据完整率, %;

n ——在观测时间段内, 观测的卫星总数;

A^j ——在观测时间段内, 第 j 颗卫星在某频点的实际观测历元总数;

B^j ——在观测时间段内，第 j 颗卫星在某频点的理论历元总数；

DI_s ——单系统观测数据完整率，%；

C^j ——在观测时间段内，第 j 颗卫星所有频点均有有效观测数据的历元数；

D^j ——在观测时间段内，第 j 颗卫星的理论历元总数。

7.2.2.2 数据有效率

按式（3）计算单日时段数据评价单元数据有效率：

$$A = \left(\frac{\sum_{j=1}^n p^j}{\sum_{j=1}^n w^j} \right) \times 100\% \quad (3)$$

式中，

A ——单日时段数据有效率，%；

n ——观测卫星数；

j ——观测卫星序号， $j = 1, 2, 3, \dots, n$

p^j ——卫星 j 的实际观测历元数；

w^j ——根据卫星星历计算的卫星 j 可观测历元数。

7.2.2.3 周跳比值

按式（4）计算单日时段数据评价单元的周跳比值 S_{CSR} ：

$$S_{CSR} = 1000 \times \frac{\sum_{j=1}^n g^j}{\sum_{j=1}^n p^j} \quad (4)$$

式中，

S_{CSR} ——单日时段数据评价单元的周跳比值；

n ——单日时段中观测卫星数；

j ——观测卫星序号， $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ；

g^j ——卫星 j 的周跳数；

p^j ——卫星 j 的观测历元数。

7.2.2.4 多路径误差

计算伪距多路径误差，必须依赖双频观测数据。采用伪距观测方程和载波相位观测方程组合，消除对流层和电离层延迟影响，按公式（5）进行计算。当多频观测数据时，采用两导航信号频率相差较大的进行双频组合计算，参见附录A。

$$\begin{cases} MP_{k_1} = \rho_{k_1} - \frac{f_{k_1}^2 + f_{k_2}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2} \varphi_{k_1} + \frac{2f_{k_2}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2} \varphi_{k_2} \\ MP_{k_2} = \rho_{k_2} - \frac{2f_{k_1}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2} \varphi_{k_1} + \frac{f_{k_1}^2 + f_{k_2}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2} \varphi_{k_2} \end{cases} \quad (5)$$

式中,

MP_{k_1} ——卫星 k_1 频率上包含多路径误差和整周模糊度信息的计算量, m;

ρ_{k_1} ——卫星 k_1 频率的伪距观测量, m;

f_{k_1} ——导航信号 k_1 载波的频率, MHz;

f_{k_2} ——导航信号 k_2 载波的频率, MHz;

MP_{k_2} —— k_2 频率上包含多路径误差和整周模糊度信息的计算量, m;

ρ_{k_2} ——卫星 k_2 频率的伪距观测量, m。

对于同一颗卫星在连续观测且无周跳的情况下组合的模糊度参数不会变化, 在无周跳的多个历元间按公式(6)进行计算, 得到多路径误差。

$$\overline{MP}_k = \sqrt{\frac{1}{N_{sw}-1} \sum_{i=1}^{N_{sw}} (MP_k(t_i) - \frac{\sum_{i=1}^{N_{sw}} MP_k(t_i)}{N_{sw}})^2} \quad (6)$$

式中:

\overline{MP}_k ——接收机观测到卫星 k 频率上多路径误差的评估值;

N_{sw} ——滑动窗口的历元个数, 默认为50;

$MP_k(t_i)$ ——在历元 t_i 接收机观测到卫星在 k 频率上包含多路径误差和整周模糊度信息的计算量。

7.2.2.5 伪距噪声

伪距噪声计算的主要步骤如下:

a) 按公式(7)对各频点各卫星伪距观测值分跟踪弧段计算历元间三次差:

$$\begin{cases} \Delta\rho(t_i) = \rho(t_i) - \rho(t_{i-1}) \\ \Delta\Delta\rho(t_i) = \Delta\rho(t_i) - \Delta\rho(t_{i-1}) \\ \Delta\Delta\Delta\rho(t_i) = \Delta\Delta\rho(t_i) - \Delta\Delta\rho(t_{i-1}) \end{cases} \quad (7)$$

式中:

$\Delta\rho(t_i)$ ——某频点相邻历元伪距观测量组差值(一次差值), m;

$\rho(t_i)$ ——历元 t_i 接收机观测到卫星在某频点的伪距观测量, m;

$\Delta\Delta\rho(t_i)$ ——某频点相邻历元伪距观测量一次差值的组差值(二次差值), m;

$\Delta\Delta\Delta\rho(t_i)$ ——某频点相邻历元伪距观测量二次差值的组差值(三次差值),

m;

b) 按公式 (8) 求得伪距观测值精度:

$$\sigma_{\rho} = \sqrt{\frac{1}{8 \times (N_{\rho} - 1)} \sum_{i=1}^{N_{\rho}} (\Delta\Delta\Delta\rho(t_i))^2} \quad (8)$$

σ_{ρ} ——伪距观测值精度, m;

N_{ρ} ——接收机观测到卫星在某频点相邻历元测码伪距观测值的三次差值的个数。

7.2.2.6 载波相位噪声

载波相位噪声计算的主要步骤如下:

a) 剔除观测数据中含周跳历元的载波相位观测值, 按公式 (9) 对各频点各卫星载波相位观测值分跟踪弧段计算历元间三次差:

$$\begin{cases} \Delta\varphi(t_i) = \varphi(t_i) - \varphi(t_{i-1}) \\ \Delta\Delta\varphi(t_i) = \Delta\varphi(t_i) - \Delta\varphi(t_{i-1}) \\ \Delta\Delta\Delta\varphi(t_i) = \Delta\Delta\varphi(t_i) - \Delta\Delta\varphi(t_{i-1}) \end{cases} \quad (9)$$

式中:

$\Delta\varphi(t_i)$ ——某频点相邻历元相载波相位观测值组差值 (一次差值), 周;

$\varphi(t_i)$ ——历元 t_i 接收机观测到卫星在某频点的相载波相位观测值, 周;

$\Delta\Delta\varphi(t_i)$ ——某频点相邻历元载波相位观测值一次差值的组差值 (二次差值), 周;

$\Delta\Delta\Delta\varphi(t_i)$ ——某频点相邻历元载波观测值二次差值的组差值 (三次差值), 周。

b) 按公式 (10) 求得载波相位观测值精度:

$$\sigma_{\varphi} = \sqrt{\frac{1}{8 \times (N_{\varphi} - 1)} \sum_{i=1}^{N_{\varphi}} (\Delta\Delta\Delta\varphi(t_i))^2} \quad (10)$$

式中:

N_{φ} ——接收机观测到卫星在某频点相邻历元测相载波相位观测值的三次差值的个数。

7.3 校准方法

7.3.1 内部噪声水平

静态测量设置卫星截止高度角 15° 、采样间隔 15s, 基线解算采用双差固定解。通过功分器或转发器将同一天线接收到的 GNSS 信号传送到两台接收机, 接收机同步观测 40min。观测结束后计算基线长度。

7.3.2 天线相位中心偏差

7.3.2.1 连续运行前的天线相位中心偏差校准

a) 相对定位法测定天线相位中心偏差在超短基线（基线长度为 0.2 m~24 m）上进行。

b) 校准时将若干台 GNSS 接收机天线（至少两台，其中任意选择一台作为校准的参考天线，它本身的相位中心偏差可以是未知的，而其余天线则均为待检天线）分别安置在超短基线的观测墩上，精确整平，参考天线与待检天线定向标志均指向正北。

c) 观测 1 个完整的全天时段，观测时间大于 23.5 h（观测时段在 UTC 00:00~UTC 24:00）。保持参考天线固定不动，将其它待检天线水平旋转 180°（指向正南），再观测 1 个完整的全天时段。

d) 通过处理两个全天时段 L1 和 L2 的载波相位观测值，分别求出待检天线旋转 180°前、后，与参考天线之间的短基线矢量（计算基线矢量时参考天线与待检天线均不加相位中心偏差模型改正）。由待检天线旋转 180°前、后得到的两个基线矢量的水平分量之差的 1/2，即可得到待检天线相位中心水平“偏差”的 E-W 分量和 S-N 分量。计算方法见附录 B。

e) 同样的方法分别处理 L1 和 L2。使用专业解算软件，其结果均应满足表 1 的要求。如果发现超限，允许重新检验一次，两次超限则视该天线为不合格天线。

7.3.2.2 连续运行中的天线相位中心偏差校准

a) 相对定位法测定连续运行 GNSS 接收机天线相位中心偏差在等距基线臂装置（图 2）（基线臂长度为 0.4 m）上进行。校准时先将等距基线臂装置安装在观测墩上，再将两台 GNSS 接收机天线作为参考天线架设在基线臂两端，参考天线与待检天线等高，定向标志均指向正北。



图2 GNSS接收机天线相位中心测试装置

b) 观测1个完整的全天时段, 观测时间大于23.5 h (观测时段在UTC 00:00~UTC 24:00)。

c) 然后保持待检天线固定不动, 将两台参考天线水平旋转180° (指向正南), 再观测1个完整的全天时段。

d) 通过处理两个全天时段L1和L2的载波相位观测值, 分别求出参考天线旋转180°前、后, 与待检天线之间的短基线矢量 (计算基线矢量时参考天线与待检天线均不加相位中心偏差模型改正)。

e) 由参考天线旋转180°前、后得到的两个基线矢量的水平分量之差的1/2, 即可得到待检天线相位中心水平“偏差”的E-W分量和S-N分量。计算方法见附录B。

f) 同样的方法分别处理L1和L2。使用专业解算软件, 其结果均应满足表1的要求。如果发现超限, 允许重新检验一次, 两次超限则视该天线为不合格天线。

7.3.3 静态测量基线误差

在基线场安置接收机, 天线精确对中、整平, 天线按约定统一指向北方向, 高度角为10°, 采样率设置为30 s。天线量高精确到1.0 mm。

接收机高度角为15°, 采样率设置为15 s。天线量高精确到1.0 mm。在长基线上进行观测, 可同时联测中基线和短基线。短基线每时段1h, 中基线每时段2h, 长基线每时段4h。同类基线应不少于2条, 每条基线观测2个时段。用仪器厂商的软件解算各条基线, 解算结果与已知基线之差为静态测量基线误差。

7.3.4 长基线测量重复率

长基线检验, 按照区域网的观测参数设置接收机, 在同一个观测墩上安置接收机与配套天线, 连续观测4 d。采用高精度的定位软件, 与多个不同距离的观

测站的同步观测联合处理。300 km 以内基线边长重复率应不超过 3.0 mm, 300 km 以上基线边长重复率应优于 1×10^{-8} 。

7.3.5 1PPS 稳定度

接收机 1PPS 稳定度可以采用模拟卫星信号或者实际卫星信号进行校准。

a) 采用模拟卫星信号进行校准时, 按图3连接设备, 铷原子钟为信号模拟器提供标准频率信号, GNSS信号模拟器仿真一个静态位置, 与接收机同时输出 1PPS至通用计数器, 获得1000个时间间隔值。

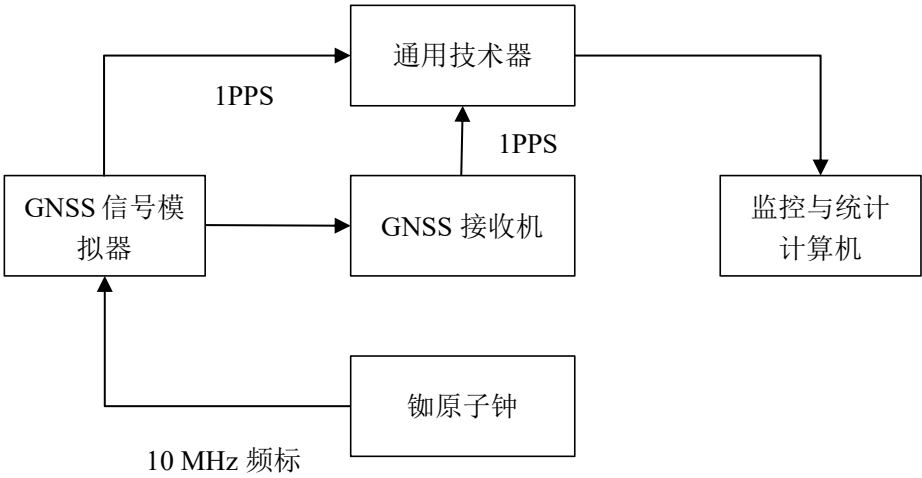


图3 1PPS稳定度模拟卫星信号校准方法连接图

统计GNSS信号模拟器和接收机输出的1PPS上升沿时差, 计算其样本标准偏差, 结果应优于50 ns。

b) 采用实际卫星信号进行检定时, 按图4连接测试设备, 铷原子钟为通用计数器提供标准频率信号, 接收机输出1PPS至通用计数器, 获得1000个周期测量值。

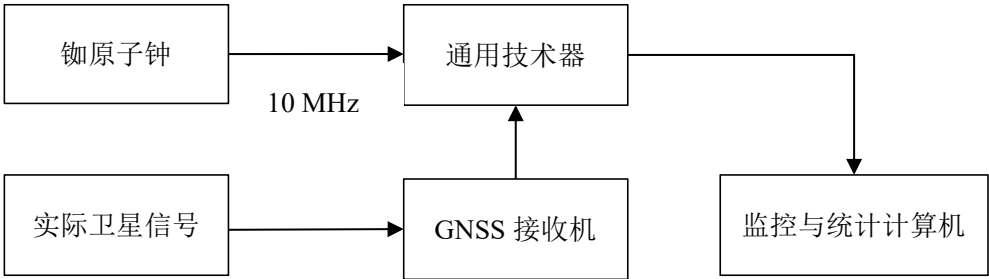


图4 1PPS稳定度实际卫星信号校准方法连接图

统计接收机输出的1PPS信号周期，按式（11）计算1PPS稳定度，结果应优于50 ns。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{1000} (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{1998}} \quad (11)$$

式中：

S ——1PPS稳定度，ns；

Δ_i ——1PPS周期第*i*次测量值，ns；

$\bar{\Delta}$ ——1PPS周期平均值，ns。

8 校准结果表达

经校准的连续运行 GNSS 接收机出具校准证书，校准结果应在校准证书上反映（校准证书内容及内页参考格式见附录 C）。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性或应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性或应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；

- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由连续运行 GNSS 接收机的使用环境、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据使用情况自主决定复校时间间隔。建议复校时间间隔不超过 3 年。

附录 A

计算多路径误差的双频组合

系统	双频组合	
	载波名称 1	载波名称 2
BDS	B1	B2
	B1	B3
GPS	L1	L2
	L1	L5
GLONASS	G1	G2
	G1	G3
Galileo	E1	E5a
	E1	E5b
	E1	E5 (E5a+E5b)
	E1	E6

附录 B

天线相位中心偏差的计算方法

B.1 连续运行前

B.1.1 校准方法

校准时将若干台 GNSS 接收机天线（至少两台，其中任意选择一台作为校准的参考天线，它本身的相位中心偏差可以是未知的，而其余天线则均为待检天线）分别安置在超短基线的观测墩上、精确整平、参考天线与待检天线定向标志均指向正北。观测 1 个完整的全天时段，观测时间大于 23.5 h（观测时段在 UTC 00:00~UTC 24:00），采样率设置为 30 s；然后保持参考天线固定不动，将其它待检天线水平旋转 180°（即此时这些待检天线的定向标志均指向正南），再观测 1 个完整的全天时段。

B.1.2 计算方法

通过处理两个全天时段 L1 和 L2 的载波相位观测值，分别求出待检天线旋转 180°前、后，与参考天线之间的短基线矢量（计算基线矢量时参考天线与待检天线均不加相位中心偏差模型改正）。由待检天线旋转 180°前、后得到的两个基线矢量的水平分量之差的 1/2，即可得到待检天线相位中心水平“偏差”的 E-W 分量和 S-N 分量。

设：待检天线旋转 180°前测得的与参考天线之间的短基线 E-W 分量为 $B_{E-W \text{ 前}}$ ，待检天线旋转 180°后测得的与参考天线之间的短基线 E-W 分量为 $B_{E-W \text{ 后}}$ 。则，待测天线的相位中心偏差的东西分量为：

$$D_{E-W} = (B_{E-W \text{ 前}} - B_{E-W \text{ 后}})/2$$

同样：待检天线旋转 180°前测得的与参考天线之间的短基线 S-N 分量为 $B_{S-N \text{ 前}}$ ，待检天线旋转 180°后测得的与参考天线之间的短基线 S-N 分量为 $B_{S-N \text{ 后}}$ ，则，待测天线的相位中心偏差的东西分量为：

$$D_{S-N} = (B_{S-N \text{ 前}} - B_{S-N \text{ 后}})/2$$

对于一个合格的天线，要求 D_{E-W} 、 D_{S-N} 与制造商给出的天线相位中心偏差模型改正值之差的径向长度，即 $\sqrt{(D_{S-N} - D_{SN})^2 + (D_{E-W} - D_{EW})^2}$ ，式中 D_{SN}

为制造商给出的天线相位中心偏差的南北分量、 D_{EW} 为制造商给出的天线相位中心偏差的东西分量）不得超过 1.0 mm。同时要求各被检天线相位中心水平分量构成的径向长度，即 $\sqrt{(D_{S-N})^2 + (D_{E-W})^2}$ 不超过 2.0 mm。

同样的方法分别处理 L1 和 L2。使用专业解算软件，其结果均要满足要求。

B.2 连续运行中

B.2.1 校准方法

校准时先将等基线臂装置安装在观测墩上，再将两台 GNSS 接收机天线作为参考天线架设在基线臂两端，参考天线与待检天线等高，定向标志均指向正北。观测 1 个完整的全天时段，观测时间大于 23.5 h（观测时段在 UTC 00:00～UTC 24:00）。然后保持待检天线固定不动，将两台参考天线水平旋转 180°（指向正南），再观测 1 个完整的全天时段。

B.2.2 计算方法

设等距基线臂装置两端的参考天线分别是 1 号参考天线和 2 号参考天线，如图所示，其几何中心至中间待检天线几何中心的臂长分别为 L_1 和 L_2 ，其水平分量分别为 L_{1N} 、 L_{1E} 、 L_{2N} 和 L_{2E} ；设 d_{1N} 、 d_{2N} 和 d_{3N} 分别为待检天线和 2 台参考天线相位中心水平偏差的 S-N 分量， d_{1E} 、 d_{2E} 和 d_{3E} 分别为待检天线和 2 台参考天线相位中心水平偏差的 E-W 分量。

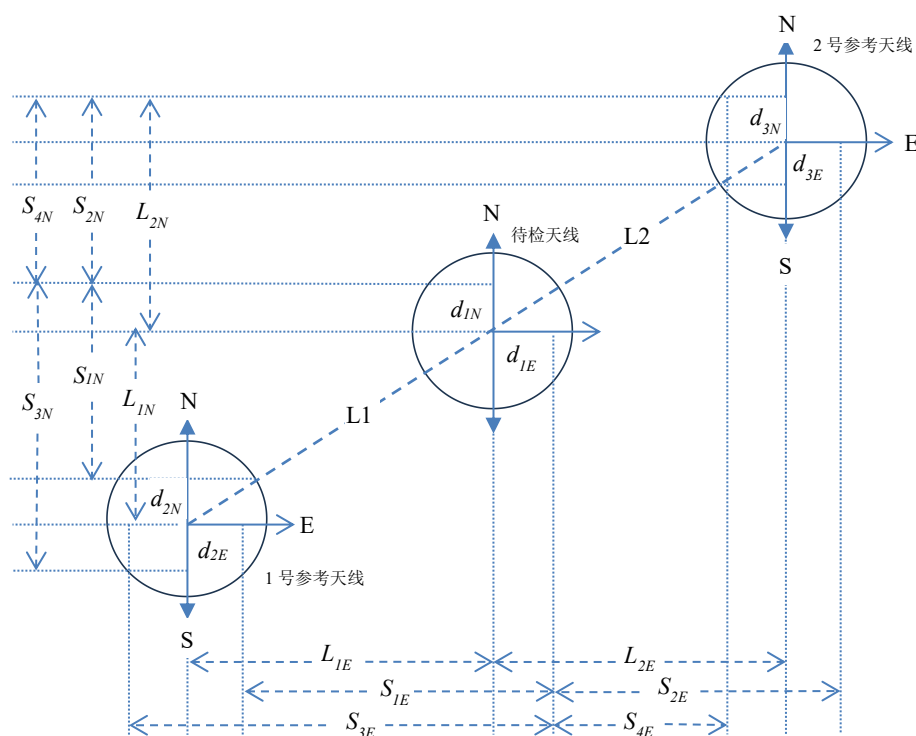


图 等距基线臂法进行 GNSS 天线相位中心偏差校准示意图

设 S_{1N} 、 S_{1E} 分别为第一个全天观测时段 1 号参考天线和待检天线之间短基线矢量的 S-N 和 E-W 分量； S_{2N} 、 S_{2E} 分别为第一个全天观测时段 2 号参考天线与待检天线之间短基线矢量的 S-N 和 E-W 分量； S_{3N} 、 S_{3E} 分别为第二个全天观测时段 1 号参考天线和待检天线之间短基线矢量的 S-N 和 E-W 分量； S_{4N} 、 S_{4E} 分别为第二个全天观测时段 2 号参考天线与待检天线之间短基线矢量的 S-N 和 E-W 分量。则：

两台参考天线与待检天线之间短基线矢量的南北分量为：

$$S_{1N} = L_{1N} + d_{1N} - d_{2N} \quad (\text{B-1})$$

$$S_{2N} = L_{2N} + d_{3N} - d_{1N} \quad (\text{B-2})$$

$$S_{3N} = d_{1N} + L_{1N} + d_{2N} \quad (\text{B-3})$$

$$S_{4N} = L_{2N} - d_{1N} - d_{3N} \quad (\text{B-4})$$

由式 (B-1) 与 (B-3) 求和得：

$$S_{1N} + S_{3N} = 2L_{1N} + 2d_{1N} \quad (\text{B-5})$$

由式 (B-2) 与 (B-4) 求和得：

$$S_{2N} + S_{4N} = 2L_{2N} - 2d_{1N} \quad (\text{B-6})$$

由式 (B-5) 与 (B-6) 求差得：

$$d_{1N} = \frac{1}{4}((S_{1N} + S_{3N}) - (S_{2N} + S_{4N}))$$

同样：两台参考天线与待检天线之间短基线矢量的东西分量为：

$$d_{1E} = \frac{1}{4}((S_{1E} + S_{3E}) - (S_{2E} + S_{4E}))$$

对于一个合格的天线，要求各被检天线相位中心水平分量构成的径向长度，即 $\sqrt{(d_{1N})^2 + (d_{1E})^2}$ 不超过 2 mm，同时要求 d_{1N} 、 d_{1E} 与制造商给出的天线相位中心偏差模型改正值之差径向长度，即 $\sqrt{(d_{1N} - D_{SN})^2 + (d_{1E} - D_{EW})^2}$ （式中 D_{SN} 为制造商给出的天线相位中心偏差的南北分量、 D_{EW} 为制造商给出的天线相位中心偏差的东西分量）不超过 1 mm。

如果发现超限，允许重新校准一次，两次超限则视该天线为不合格天线。

证书编号××××××××××

校 准 结 果

序号	校准项目		标准值	实测值	测量不 确定度	是否符 合技术 要求
1	数据 质量	数据完整率				
2		数据有效率				
3		周跳比值				
4		多路径误差				
5		载波相位				
6		伪距误差				
7	仅支持北斗模式查验					
8	内部噪声水平					
9	天线相位中心偏差					
10	静态测量基线误差					
11	长基线测量重复率					
12	1PPS 稳定度					

以下空白

第 2 页 共 2 页

附录 D

天线相位中心偏差校准结果测量不确定度评定（示例）

D.1 测量方法

本示例所用接收机为参考站 GNSS 接收机，接收机静态测量标准偏差（水平）为 $2.5 \text{ mm} + 0.5 \times 10^{-6} D$ （ D 为基线长度，单位为 km），按本规范的规定方法进行天线相位中心偏差的校准。

主要测量标准：GNSS 长度基线场。

D.2 测量模型

天线相位中心偏差测量模型：

$$e = D - D_0 \quad (\text{D-1})$$

式中，

e ——静态水平基线测量误差；

D ——测得水平基线长度；

D_0 ——标准水平基线长度。

D.3 各输入量引入的标准不确定度评定

D.3.1 输入量 GNSS 观测误差引入的标准不确定度 u_1

相对于常规检测，本规范所述等基线臂装置需增加引入两台参考天线，由于连续两个全天观测时段的观测环境干扰因素基本保持一致，因此只考虑 GNSS 接收机分辨力引入的误差，GNSS 接收机分辨力 $\delta_x = 1 \text{ mm}$ ，故由分辨力引入的标准不确定度分量为：

$$u_1 = 0.29\delta_x = 0.29 \text{ mm}$$

D.3.2 输入量装置定位安装误差引入的标准不确定度 u_2

等距基线装置采用电涡流传感器进行精确定位安装，定位安装精度在 0.1 mm 以内，其安装误差可控制在 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 范围内，按对称区间均匀分布，故由便携装置定位安装误差引入的标准不确定分量为：

$$u_2 = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ mm}$$

D.3.3 输入量装置臂长差异值误差引入的标准不确定度 u_3

等距基线臂装置两端参考天线几何中心至中间被测天线几何中心的臂长差异值误差不超过 0.1 mm ，按对称区间均匀分布，故由臂长差异值误差引入的标准不确定分量为：

$$u_3 = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ mm}$$

D.3.4 输入量天线安置对中误差引入的标准不确定度 u_3

GNSS 接收机天线安置采用强制归心孔，其安置对中误差可控制在 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 范围内，对中误差按对称区间均匀分布，故由天线对中误差引入的标准不确定分量为：

$$u_4 = 0.1/\sqrt{3} = 0.06 \text{ mm}$$

D.4 标准不确定度汇总

天线相位中心误差校准不确定度评定各标准不确定度分量见表 D-1。

表 D-1 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	输入量标准不确定度		输出量标准不确定度分量
	符号	数值	
GNSS 观测误差	u_1	0.29 mm	0.29 mm
装置定位安装误差	u_2	0.06 mm	0.06 mm
装置臂长差异值误差	u_3	0.06 mm	0.06 mm
天线安置对中误差	u_4	0.06 mm	0.06 mm

D.5 合成标准不确定度

以上各标准不确定度分量互不相关，则合成标准不确定度为：

$$\begin{aligned}
 u_c &= \sqrt{\left(\frac{1}{4}u_1\right)^2 + \left(\frac{1}{4}u_1\right)^2 + \left(\frac{1}{4}u_1\right)^2 + \left(\frac{1}{4}u_1\right)^2 + \left(\frac{1}{2}u_3\right)^2 + u_2^2 + u_4^2} \\
 &= \sqrt{4 \times \left(\frac{1}{4}u_1\right)^2 + \left(\frac{1}{2}u_3\right)^2 + u_2^2 + u_4^2} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{4} \times 0.29^2 + \frac{1}{4} \times 0.06^2 + 0.06^2 + 0.06^2} = 0.17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

D.6 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.17 \text{ mm} = 0.34 \text{ mm}$$