

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1922—2021

GNSS 导航信号采集回放仪校准规范

Calibration Specification for GNSS Signal Record & Playback Instruments

2021-10-18 发布

2022-04-18 实施

国家市场监督管理总局 发布

GNSS 导航信号采集

回放仪校准规范

Calibration Specification for GNSS Signal

Record & Playback Instruments

JJF 1922—2021

归口单位：全国卫星导航应用专用计量测试技术委员会

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

中国计量科学研究院

参加起草单位：北京东方计量测试研究所

湖南卫导信息科技有限公司

本规范委托全国卫星导航应用专用计量测试技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

梁 炜（北京市计量检测科学研究院）

梁 坤（中国计量科学研究院）

仲崇霞（北京市计量检测科学研究院）

参加起草人：

许丽丽（北京东方计量测试研究所）

吴锦铁（北京市计量检测科学研究院）

张勇虎（湖南卫导信息科技有限公司）

何梓滨（北京东方计量测试研究所）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语及定义	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准及其他设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准项目	(4)
7.2 校准方法	(4)
7.2.1 外观及功能检查	(4)
7.2.1.1 外观检查	(4)
7.2.1.2 功能检查	(4)
7.2.2 采集信号输入功率范围	(5)
7.2.3 3 dB 采集带宽	(5)
7.2.4 带内杂散	(6)
7.2.5 回放信号频率	(6)
7.2.6 回放信号功率电平	(7)
7.2.7 回放信号相位噪声	(7)
7.2.8 内部晶振频率	(7)
7.2.9 载噪比一致性	(7)
7.2.10 定位一致性	(8)
8 校准结果表达	(8)
9 复校时间间隔	(9)
附录 A 校准原始记录格式	(10)
附录 B 校准证书内页格式	(13)
附录 C 校准结果的不确定度评定示例	(16)

引 言

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

本规范为首次发布。

GNSS 导航信号采集回放仪校准规范

1 范围

本规范适用于采集、回放 GPS、BDS、GLONASS 和 Galileo 卫星导航信号的 GNSS 导航信号采集回放仪（以下简称采集回放仪）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 19391 全球定位系统（GPS）术语及定义

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 术语及定义

3.1 回放载噪比偏差 playback carrier noise ratio offset

导航接收机接收导航模拟器信号解算的载噪比，与同一导航接收机接收采集回放同一场景导航信号解算的载噪比之差。

3.2 回放定位偏差 playback position offset

导航接收机接收导航模拟器信号解算的定位偏差，与同一导航接收机接收采集回放同一场景导航信号解算的定位偏差之差。

3.3 回放定位精密度偏差 playback position precision offset

导航接收机接收导航模拟器信号解算的定位精密度，与同一导航接收机接收采集回放同一场景导航信号解算的定位精密度之差。

3.4 载噪比一致性 consistency of carrier to noise ratio

导航接收机接收导航模拟器信号和接收采集回放仪回放同一场景卫星导航信号，前后两次解算的载噪比的一致程度，用回放载噪比偏差表示。

3.5 定位一致性 consistency of position

导航接收机接收导航模拟器的信号和接收采集回放仪回放同一场景卫星导航信号，前后两次解算的定位偏差及定位精密度的一致程度，用回放定位偏差和回放定位精密度偏差表示。

4 概述

采集回放仪能够采集真实环境下的卫星导航信号，并将采集到的信号进行存储、回放，主要用于 GNSS 导航终端的测试。其原理框图如图 1 所示，主要由滤波放大、下变频、模数转换、中央处理器、存储单元、数模转换、上变频、滤波衰减等单元构成。

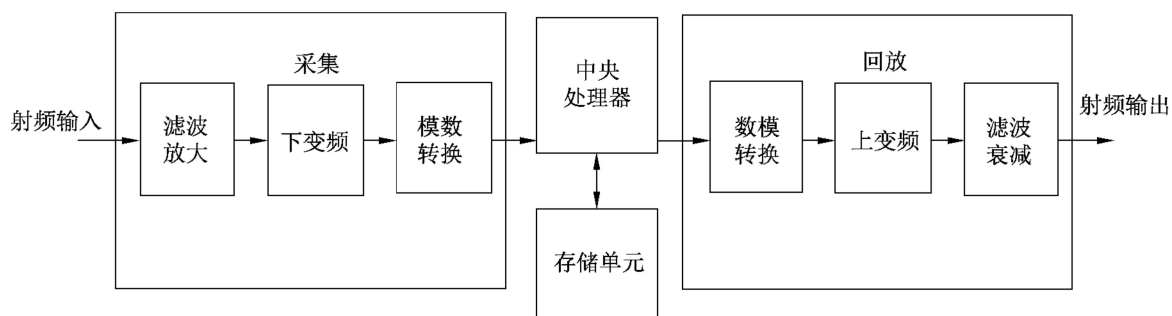


图1 GNSS信号采集回放仪原理图

5 计量特性

5.1 采集信号功率范围

—110 dBm～—50 dBm。

5.2 3 dB采集带宽

10 MHz～80 MHz。

5.3 带内杂散

优于—30 dBc。

5.4 回放信号频率

相对频率偏差：优于 $\pm 1 \times 10^{-7}$ 。

5.5 回放信号功率

功率范围：—110 dBm～—30 dBm；

最大允许误差： ± 2 dB。

5.6 相位噪声

(—100～—65) dBc/Hz (频偏 100 Hz)；

(—110～—70) dBc/Hz (频偏 1 kHz)；

(—120～—80) dBc/Hz (频偏 10 kHz)；

(—130～—85) dBc/Hz (频偏 100 kHz)；

(—140～—90) dBc/Hz (频偏 1 MHz)。

5.7 内部晶振频率

相对频率偏差：优于 $\pm 1 \times 10^{-7}$ ；

1 s 频率稳定度：优于 5×10^{-8} 。

5.8 载噪比一致性

回放载噪比偏差： ≤ 1 dB。

5.9 定位一致性

回放定位偏差： ≤ 2 m；

回放定位精密度偏差 (2σ)： ≤ 2 m。

注：以上技术指标不做合格性判定，仅提供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

供电电源：电压 $(220\pm 22)\text{V}$ ，频率 $(50\pm 1)\text{Hz}$ ；

环境温度： $(20\pm 5)\text{℃}$ 范围内任一点，温度变化最大允许误差： $\pm 2\text{℃}$ ；

相对湿度： $\leq 80\%$ ；

周围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 信号发生器

频率： $1\text{GHz}\sim 3\text{GHz}$ ，最大允许误差： $\pm 1\times 10^{-8}$ ；

功率范围： $-120\text{dBm}\sim -30\text{dBm}$ ，最大允许误差： $\pm 2\text{dB}$ ；

$-30\text{dBm}\sim 0\text{dBm}$ ，最大允许误差： $\pm 0.5\text{dB}$ ；

相位噪声：优于被测采集回放仪 10dB 。

6.2.2 频谱分析仪

频率： $10\text{MHz}\sim 8\text{GHz}$ ；

功率范围： $-120\text{dBm}\sim -30\text{dBm}$ ，最大允许误差： $\pm 3\text{dB}$ ；

$-30\text{dBm}\sim 10\text{dBm}$ ，最大允许误差： $\pm 1\text{dB}$ 。

6.2.3 测量接收机

频率： $10\text{MHz}\sim 8\text{GHz}$ ；

功率范围： $-120\text{dBm}\sim -30\text{dBm}$ ，最大允许误差： $\pm 2\text{dB}$ ；

$-30\text{dBm}\sim 0\text{dBm}$ ，最大允许误差： $\pm 0.5\text{dB}$ 。

6.2.4 相噪分析仪

频率： $1\text{GHz}\sim 3\text{GHz}$ ；

频偏： $1\text{Hz}\sim 1\text{MHz}$ ；

本底相位噪声：优于被测采集回放仪 10dB 。

6.2.5 GNSS 导航模拟器

支持模拟 GNSS 卫星导航信号；

功率：输出范围 $(-140\sim -50)\text{dBm}$ （带内功率）；最大允许误差： $\pm 2\text{dB}$ ；

伪距分辨力： $\leq 0.05\text{m}$ 。

6.2.6 参考 GNSS 导航接收机

支持接收 GNSS 卫星导航信号，可单频点定位解算；

定位偏差： 2m ；

定位精密度 (2σ) ： 2m ；

重复性（模拟测试）：载噪比 $\leq 0.2\text{dB}$ ，定位偏差 $\leq 0.5\text{m}$ ，定位精密度 $\leq 0.5\text{m}$ 。

6.2.7 频标比对器

频率： 1MHz 、 5MHz 、 10MHz ；

1s 比对不确定度：优于 1×10^{-11} 。

6.2.8 参考频率标准

频率： 1MHz 、 5MHz 、 10MHz ；

相对频率偏差：优于 $\pm 1\times 10^{-10}$ 。

6.2.9 低噪声放大器

频率：1.1 GHz~1.7 GHz；

增益：20 dB~40 dB；

附加相位噪声：优于被测采集回放仪 10 dB。

6.2.10 功分器

频率：1 GHz~3 GHz；

驻波比： ≤ 1.5 dB。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

功能检查及校准项目见表 1。

表 1 功能检查及校准项目表

序号	校准项目名称	条款
1	外观及功能检查	7.2.1
2	采集信号输入功率范围	7.2.2
3	3 dB 采集带宽	7.2.3
4	带内杂散	7.2.4
5	回放信号频率	7.2.5
6	回放信号功率电平	7.2.6
7	回放信号相位噪声	7.2.7
8	内部晶振频率	7.2.8
9	载噪比一致性	7.2.9
10	定位一致性	7.2.10

7.2 校准方法

7.2.1 外观及功能检查

7.2.1.1 外观检查

被校采集回放仪外观应完好无损，无影响正常工作的机械损伤，其开关、按键、旋钮应正常，显示屏能正常显示。被校仪器通电后，应能正常工作，并按规定时间进行预热。

7.2.1.2 功能检查

采集回放支持的导航信号：

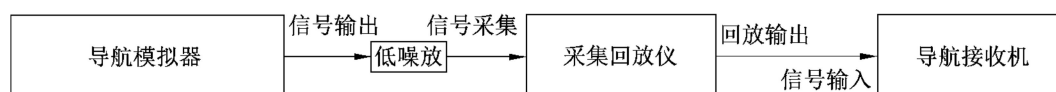


图 2 采集回放频点连接图

a) 仪器连接如图 2 所示，在导航模拟器与采集回放仪之间串联低噪放，隔离采集回放仪采集端直流馈电，同时与实际采集导航信号时天线中低噪放条件一致。

b) 导航模拟器仿真采集回放仪支持的导航信号, 静止场景, 可见卫星数不少于 10 颗, 关闭所有误差来源, 信号功率设置为 -120 dBm, 采集回放仪采集 10 min。

c) 采集回放仪回放记录的导航信号, 信号幅度在接收机输入范围内, 导航接收机应能接收解算相应频点的导航信号, 定位偏差小于 50 m。

7.2.2 采集信号输入功率范围

a) 仪器连接如图 2 所示。

b) 导航模拟器仿真采集回放仪支持的导航信号, 静止场景, 可见卫星数不少于 10 颗, 关闭所有误差来源, 调节模拟器的输出功率, 使模拟器输出功率减去低噪放增益后的带内功率为采集回放仪的最大输入功率 P_{inmax} , 采集回放仪采集 10 min。

c) 采集回放仪回放记录的导航信号, 信号幅度在接收机范围内, 导航接收机接收导航信号, 解算的定位偏差小于 5 m。

d) 调节模拟器的输出功率, 使模拟器输出功率减去低噪放增益后的带内功率为采集回放仪的最小输入功率 P_{inmin} , 采集回放仪采集 10 min, 重复步骤 c)。

e) 选择不同通道导航信号频点, 重复步骤 b) ~ d)。

7.2.3 3 dB 采集带宽

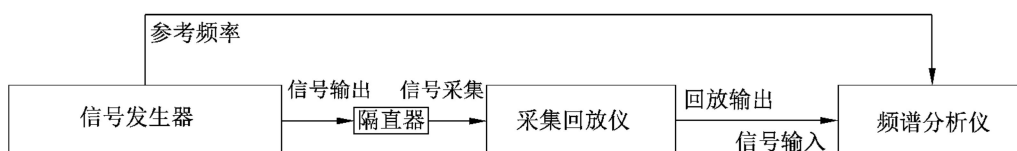


图 3 采集带宽校准连接图

a) 仪器连接如图 3 所示, 信号发生器和频谱分析仪参考频率同源, 在信号发生器与采集回放仪之间串联隔直器。

b) 采集回放仪设置为任一通道采集功能 (单频点或多频点), 采集带宽 f_{bw} , 采集比特位适当 (推荐 4 bit)。

c) 采集回放仪通道中心频率为 f_0 (导航频点或说明书规定的频率值), 信号发生器设置为正弦波单次扫频功能, 扫频步进 50 kHz, 步进时间 20 ms, 扫频起始频率为 $f_0 - \frac{1}{2}f_{\text{bw}} - 5$ MHz, 终止频率为 $f_0 + \frac{1}{2}f_{\text{bw}} + 5$ MHz, 信号幅度设为 -50 dBm。采集回放仪开始采集, 信号发生器启动扫频信号, 扫频完成后停止采集, 保存采集文件。

d) 频谱分析仪扫频范围与信号发生器一致, 参考电平高于回放电平 10 dB, 分辨率带宽、视频带宽自动, 显示设为最大保持功能。设置回放功率电平为最大, 回放采集的扫频信号, 频谱分析仪记录完整波形曲线。用光标读取 f_0 处功率电平 P_0 , 在波形曲线上用相对光标分别读取 f_0 左右两侧功率下降 3 dB 时的频率 f_L 、 f_R , 按公式 (1) 计算采集带宽:

$$f_{\text{bw}} = f_R - f_L \quad (1)$$

式中:

f_{bw} —— 采集带宽, MHz;

f_L —— 中心频率左侧功率下降 3 dB 处频率值, MHz;

f_R ——中心频率右侧功率下降 3 dB 处频率值, MHz。

e) 改变采集带宽, 重复 (b) ~ (d)。

如采集回放仪没给出具体中心频率和采集带宽值, 设置扫频信号起始频率和终止频率, 使扫频范围大于采集导航信号包含的最大频率范围, 测量实际采集带宽值。

7.2.4 带内杂散

a) 仪器连接如图 3 所示。

b) 信号发生器频率设置为采集回放仪可以采集的任一频点 f_0 , 幅度设为 -50 dBm (或采集回放仪支持的信号幅度范围内较大值)。

c) 采集回放仪设置采集带宽大于导航信号带宽, 量化比特位为最大值, 采集信号发生器信号 5 min。

d) 将采集回放仪回放信号功率设为最大值, 用频谱分析仪测量回放信号峰值功率 L_1 与被测导航信号带宽内的杂波最大功率值 L_z , 按公式 (2) 计算带内杂散:

$$A = L_z - L_1 \quad (2)$$

式中:

A ——带内杂散, dBc;

L_1 ——回放信号峰值功率, dBm;

L_z ——带内杂波最大功率, dBm。

e) 选择不同通道导航信号频点, 重复步骤 b) ~ d)。

7.2.5 回放信号频率

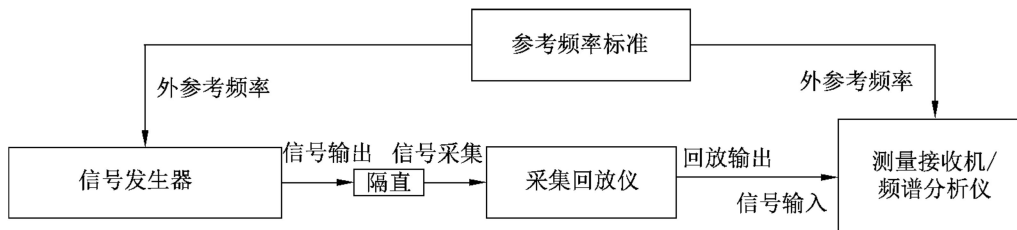


图 4 回放信号频率校准连接图

a) 仪器连接如图 4 所示。

b) 信号发生器频率设置为采集回放仪可以采集的任一频点 f_0 , 幅度设为 -50 dBm (或采集回放仪支持的信号幅度范围内较大值), 采集回放仪比特位和采集带宽设为适当值 (推荐 4 bit, 30 MHz 带宽), 采集回放仪采集信号发生器输出信号 5 min。

c) 采集回放仪回放信号, 用测量接收机 (或频谱分析仪, span 设为 10 kHz) 读取信号频率值 f_1 , 可按公式 (3) 计算回放信号相对频率偏差:

$$y = \frac{f_1 - f_0}{f_0} \quad (3)$$

式中:

y ——回放信号相对频率偏差;

f_1 ——回放信号频率实际值, GHz;

f_0 ——频点频率标称值, GHz。

d) 改变信号发生器输出频率为其他频点, 重复 (b) ~ (c)。

7.2.6 回放信号功率电平

a) 仪器连接如图 4 所示。

b) 重复 7.2.5 步骤 b) 或直接使用 7.2.5 采集文件。

c) 采集回放仪设置衰减为 0, 幅度为最大值, 用经过功率校准的测量接收机 (或频谱分析仪) 读取最大回放功率电平 P_{outmax} 。

d) 改变采集回放仪输出幅度, 测量其他功率电平。

e) 改变信号发生器输出频率为其他频点, 重复 b) ~ d)。

7.2.7 回放信号相位噪声

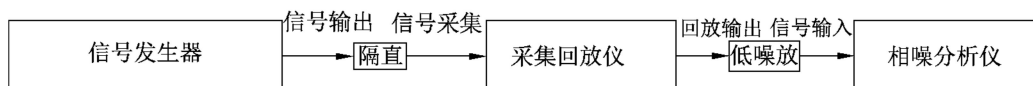


图 5 回放信号相位噪声校准连接图

a) 仪器连接如图 5 所示。

b) 重复 7.2.5 步骤 b) 或直接使用 7.2.5 采集文件。

c) 设置采集回放仪输出幅度, 使相噪分析仪输入电平大于 -10 dBm, 相噪分析仪测量回放信号相位噪声。

d) 改变信号发生器输出频率为其他频点, 重复 b) ~ c)。

7.2.8 内部晶振频率

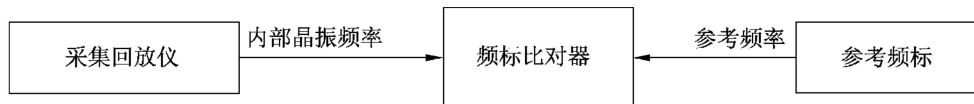


图 6 内部晶振频率校准连接图

a) 仪器连接如图 6 所示。

b) 设置频标比对器采样时间 10 s, 测量采集回放仪晶振相对频率偏差 δ_{fn} , 设置采样时间 1 s, 测量晶振 1 s 频率稳定度 σ 。

7.2.9 载噪比一致性

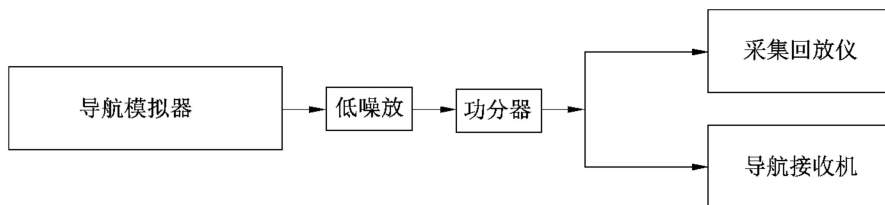


图 7 载噪比一致性测试信号采集连接图

a) 仪器连接如图 7 所示。

b) 导航模拟器仿真采集回放仪和导航接收机同时支持的频点信号, 静态场景, 可见卫星数不少于 10 颗, 信号幅度 -130 dBm。采集回放仪比特位和采集带宽设为适当值 (推荐 4 bit, 30 MHz 带宽), 导航接收机清空内部星历文件。启动模拟器仿真, 采集回放仪采集存储导航信号, 导航接收机定位后存储记录 30 min 数据 R_0 , 停止记录导

航接收机数据，停止采集回放仪采集信号。

c) 按图 8 连接仪器。

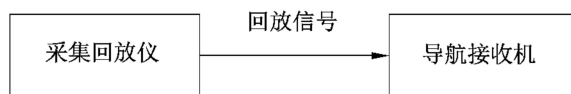


图 8 载噪比一致性测试信号回放连接图

d) 采集回放仪对同一台导航接收机回放存储的场景文件，导航接收机清空内部星历文件，调节采集回放仪衰减值，使导航接收机增益补偿 AGC 与步骤 b) 一致，导航接收机定位后存储记录 30 min 数据 R_1 ，停止记录导航接收机数据，停止采集回放仪回放信号。

e) 导航接收机解算 R_0 的一个频点中单颗卫星载噪比均值为 $\overline{\text{CNR}}_0$ ， R_1 同一频点同一卫星载噪比均值为 $\overline{\text{CNR}}_1$ ，按公式 (4) 计算回放载噪比偏差：

$$\Delta \text{CNR} = \overline{\text{CNR}}_0 - \overline{\text{CNR}}_1 \quad (4)$$

式中：

ΔCNR ——载噪比一致性偏差，dB；

$\overline{\text{CNR}}_0$ ——接收机测量模拟器信号单颗星的载噪比均值，dB；

$\overline{\text{CNR}}_1$ ——接收机测量采集回放信号单颗星的载噪比均值，dB。

7.2.10 定位一致性

a) 仪器连接如图 7 所示。

b) 按 7.2.9 中 b)、c) 操作或使用 7.2.9 采集文件。

c) 按图 8 连接仪器。

d) 采集回放仪回放信号给导航接收机，计算定位偏差 δ_{p0} 、 δ_{p1} 和定位精密度 σ_{p0} 、 σ_{p1} ，按公式 (5) 计算回放定位偏差，按公式 (6) 计算回放定位精密度偏差：

$$\Delta \delta = |\delta_{p0} - \delta_{p1}| \quad (5)$$

$$\Delta \sigma = |\sigma_{p0} - \sigma_{p1}| \quad (6)$$

式中：

$\Delta \delta$ ——回放定位偏差，m；

δ_{p0} ——接收机测量模拟器信号定位偏差，m；

δ_{p1} ——接收机测量采集回放信号定位偏差，m；

$\Delta \sigma$ ——回放定位精密度偏差，m；

σ_{p0} ——接收机测量模拟器信号定位精密度 (2σ)，m；

σ_{p1} ——接收机测量采集回放信号定位精密度 (2σ)，m。

注：可参考 7.2.10 一致性评判方法，评估速度、加速度等其他指标。

8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准结果应在校准证书上反映，校准证书应至少包括以下信息：

a) 标题，如“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和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，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。

校准原始记录格式见附录 A，校准证书内页格式见附录 B、校准结果的不确定度评定示例见附录 C。

9 复校时间间隔

复校时间间隔建议为 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

校准原始记录格式

GNSS 信号采集回放仪校准原始记录

证书编号：

被校仪器信息：

委托单位名称			
委托单位地址			
委托仪器名称			
生产单位			
规格型号		仪器编号	

标准设备信息：

标准器名称	型号	编号	准确度等级、 最大允许误差或不确定度	证书编号

本次校准所用测量标准的溯源性说明：

技术依据：

环境条件： 温度： 相对湿度：

校准地点：

备注：

校准日期：

校准人员： 核验人员：

原始记录

表 A.1 采集回放支持的导航信号

导航系统	GPS	BDS	GLONASS	Galileo
确认导航信号				

表 A.2 采集信号输入功率范围

频点	采集功率下限 dBm	采集功率上限 dBm	不确定度

表 A.3 3 dB 采集带宽

频点	带宽设置值 /MHz	幅度下降 3 dB 频率值 f_L /MHz	幅度下降 3 dB 频率值 f_R /MHz	带宽实测值 MHz	不确定度 MHz

表 A.4 带内杂散

频点	峰值功率 dBm	带内杂波最大功率 dBm	实测值 dBc	不确定度

表 A.5 回放信号频率

频点	频率标称值 /GHz	频率实测值 /GHz	相对频率误差	不确定度

表 A.6 回放信号功率

频点	标称值/dBm	实测值/dBm	不确定度

表 A.7 回放信号相位噪声

频点	频偏/kHz	相位噪声/dBc/Hz	不确定度

表 A.8 内部晶振频率

标称值/MHz	相对频率偏差	不确定度
	1 s 频率稳定度	

表 A.9 载噪比一致性

频点卫星	接收机测量模拟器信号载噪比 dB	接收机测量回放信号载噪比 dB	回放载噪比偏差 /dB	不确定度 dB

表 A.10 定位一致性

指标	接收机测量模拟器信号定位结果 m	接收机测量回放信号定位结果 /m	回放偏差 m	不确定度 m
定位偏差				
定位精密度				

附录 B

校准证书内页格式

证书编号 ××××××—××××

校准机构授权说明：				
校准环境条件及地点：				
温度	℃	地点		
相对湿度	%	其他		
校准所依据的技术文件（代号、名称）：				
校准所使用的主要测量标准：				
名称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	检定/校准 证书编号	证书有效期至

注：

- 1 ××××仅对加盖“××××校准专用章”的完整证书负责。
- 2 本证书的校准结果仅对所校准的对象有效。
- 3 未经实验室书面批准，不得部分复印证书。

表 B.1 采集回放频点

导航系统	GPS	BDS	GLONASS	Galileo
确认频点				

表 B.2 采集信号输入功率范围

频点	最大输入功率 dBm	最小输入功率 dBm	不确定度

表 B.3 3 dB 采集带宽

频点	带宽标称值/MHz	带宽实际值/MHz	不确定度/MHz

表 B.4 带内杂散

频点	实测值/dBc	不确定度

表 B.5 回放信号频率

频点	频率标称值 /GHz	频率实测值 /GHz	回放信号相对 频率误差	不确定度

表 B.6 回放信号功率

频点	功率标称值/dBm	功率实测值/dBm	不确定度

表 B.7 回放信号相位噪声

频点	频偏/kHz	相位噪声/dBc/Hz	不确定度

表 B.8 内部晶振频率

标称值/MHz	相对频率偏差	不确定度
	1 s 频率稳定度	

表 B.9 载噪比一致性

频点卫星	回放载噪比偏差/dB	不确定度/dB

表 B.10 定位一致性

指标	回放偏差/m	不确定度/m
定位偏差		
定位精密度		

附录 C

校准结果的不确定度评定示例

C.1 3 dB 采集带宽校准不确定评定

C.1.1 测量模型

3 dB 采集带宽可表示为：

$$f_{\text{bw}} = f_{\text{R}} - f_{\text{L}}$$

式中：

f_{bw} ——采集带宽，MHz；

f_{L} ——中心频率左侧功率下降 3 dB 处频率值，MHz；

f_{R} ——中心频率右侧功率下降 3 dB 处频率值，MHz。

C.1.2 测量不确定度来源

不确定度来源主要有频谱分析仪 MARK 测频分辨力引入的不确定度、扫频步进引入的不确定度和测量重复性引入的不确定度。

C.1.3 标准不确定度分量的评定

C.1.3.1 频谱分析仪引入的不确定度

根据测量时设置频谱分析仪的分辨力带宽，以测量 30 MHz 采集带宽为例，MARK 分辨力为 0.3 MHz，按 B 类评定，为均匀分布，标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{0.3 \text{ MHz}}{\sqrt{3}} = 0.173 \text{ MHz}$$

C.1.3.2 扫频步进引入的不确定度

扫频步进为 50 kHz = 0.05 MHz，视其为均匀分布，按 B 类评定，标准不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{0.05 \text{ MHz}}{2 \times \sqrt{3}} = 0.014 \text{ MHz}$$

C.1.3.3 测量重复性引入的不确定度

重复测量 GPS L1 频点（带宽 30 MHz 为例）采集信号 10 次，测量结果见表 C.1。按 A 类评定，标准不确定度分量为：

表 C.1 重复性测量结果

序号	测量值 $f_{\text{bwi}}/\text{MHz}$
1	30.26
2	30.45
3	30.64
4	30.23

表 C.1 (续)

序号	测量值 $f_{\text{bwi}}/\text{MHz}$
5	30.16
6	30.21
7	30.55
8	30.38
9	30.49
10	30.11
$\bar{f}_{\text{bw}}$	30.54

$$u_3 = s_n(f_{\text{bw}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{\text{bwi}} - \bar{f}_{\text{bw}})^2}{n-1}} = 0.18 \text{ MHz}$$

C.1.3.4 标准不确定度一览表 (见表 C.2)

表 C.2 标准不确定度一览表

不确定度来源	分布	包含因子	不确定度分量/MHz
频谱分析仪 MARK 分辨率 u_1	均匀	$\sqrt{3}$	0.173
扫频步进 u_2	均匀	$\sqrt{3}$	0.014
测量重复性 u_3	——	——	0.18

C.1.4 不确定度分量之间相关性

估计各不确定度分量之间无相关性。

C.1.5 合成标准不确定度

因各不确定度分量彼此不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \approx 0.25 \text{ MHz}$$

C.1.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k u_c \approx 0.50 \text{ MHz}$$

3 dB 采集带宽校准结果的扩展不确定度为 $U = 0.50 \text{ MHz}$ ($k=2$)

C.2 带内杂散不确定度

C.2.1 测量模型

$$A = L_z - L_1$$

式中：

A ——带内杂散，dBc；

L_1 ——回放信号峰值功率，dBm；

L_z ——带内杂波最大功率, dBm。

C.2.2 测量不确定度来源

测量不确定度来源于4个方面: 频谱分析仪引入的不确定度、频谱分析仪垂直刻度保真度引入的不确定度、失配引入的不确定度、连接线缆引入的不确定度和测量重复性引入的不确定度。

C.2.3 标准不确定度分量的评定

C.2.3.1 频谱分析仪功率电平不准确引入的测量不确定度

频谱分析仪绝对功率电平最大允许误差为 ± 0.2 dBm, 为均匀分布, 按B类评定, 标准不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{0.2 \text{ dBm}}{\sqrt{3}} = 0.12 \text{ dBm}$$

C.2.3.2 频谱分析仪显示刻度线性度引入的标准不确定度

按频谱分析仪的技术说明书, 在对数模式下误差为 ± 0.35 dB, 视其为均匀分布, 按B类评定, 标准不确定度分量为:

$$u_2 = \frac{0.35 \text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.20 \text{ dB}$$

C.2.3.3 失配引入的不确定度频谱分析仪

失配引入的不确定度为0.3 dB, 服从反正弦分布, 按B类评定, 标准不确定度分量为:

$$u_3 = \frac{0.3 \text{ dB}}{\sqrt{2}} = 0.21 \text{ dB}$$

C.2.3.4 连接线缆引入的不确定度

连接线缆引入的误差约为 ± 0.2 dB, 服从均匀分布, 按B类评定, 标准不确定度分量为:

$$u_4 = \frac{0.2 \text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.12 \text{ dB}$$

C.2.3.5 测量重复性引入的不确定度

重复测量GPS L1频点回放信号10次, 带内杂散的测量值如表C.3所示, 按A类评定, 标准不确定度分量为:

表 C.3 重复性测量结果

序号	测量值 A_i/dBc ($f \leq 10 \text{ kHz}$)
1	-50.4
2	-50.3
3	-50.2
4	-50.3

表 C.3 (续)

序号	测量值 A_i/dBc ($f \leq 10 \text{ kHz}$)
5	-50.4
6	-50.4
7	-50.3
8	-50.2
9	-50.3
10	-50.3
$\bar{A}$	-50.31

$$u_5 = s_n(A) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n-1}} = 0.073 \text{ dB}$$

C.2.3.6 标准不确定度一览表 (见表 C.4)

表 C.4 标准不确定度一览表

不确定度来源	分布	包含因子	不确定度分量/dB
频谱分析仪功率电平 u_1	均匀	$\sqrt{3}$	0.12
频谱分析仪显示刻度保真度 u_2	均匀	$\sqrt{3}$	0.20
失配 u_3	反正弦	$\sqrt{2}$	0.21
连接线缆 u_4	均匀	$\sqrt{3}$	0.12
测量重复性 u_5	——	——	0.073

C.2.4 不确定度分量之间相关性

估计各不确定度分量之间无相关性。

C.2.5 合成标准不确定度

因各不确定度分量彼此不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \approx 0.33 \text{ dB}$$

C.2.6 扩展不确定度

包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k u_c \approx 0.6 \text{ dB}$$

带内杂散校准结果的扩展不确定度 $U=0.6 \text{ dB}$ ($k=2$)。

C.3 频率校准不确定度评定

C.3.1 测量模型

回放信号频率可表示为：

$$F = f_x$$

式中：

F ——被测采集回放仪回放频率；

f_x ——读取的测量接收机频率值。

C.3.2 测量不确定度来源

测量不确定度主要来源于 2 个方面：参考频率标准引入的不确定度、测量重复性引入的不确定度。

C.3.3 标准不确定度分量的评定

C.3.3.1 参考频率标准引入的测量不确定度

技术说明书给出的准确度为 2×10^{-11} ，服从矩形分布，按 B 类评定，标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{2 \times 10^{-11}}{\sqrt{3}} = 1.2 \times 10^{-11}$$

C.3.3.2 测量重复性引入的不确定度

重复测量 GPS L1 频点回放信号 10 次，测量结果见表 C.5。按 A 类评定，标准不确定度分量为：

表 C.5 重复性测量结果

序号	测量值 F_i/GHz
1	1. 575 420 006
2	1. 575 420 006
3	1. 575 420 005
4	1. 575 420 006
5	1. 575 420 006
6	1. 575 420 006
7	1. 575 420 005
8	1. 575 420 005
9	1. 575 420 006
10	1. 575 420 006
$\bar{F}$	1. 575 420 006

$$u_2 = s_n(F) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}{n-1}}$$

测量重复性引入的相对不确定度为 $u_2 = \frac{s_n(F)}{f_0} = 4.8 \times 10^{-10}$

C.3.3.3 标准不确定度一览表（见表 C.6）

表 C.6 标准不确定度一览表

不确定度来源	分布	包含因子	不确定度分量
参考频率标准 u_1	均匀	$\sqrt{3}$	1.2×10^{-11}
测量重复性 u_2	——	——	4.8×10^{-10}

C.3.4 不确定度分量之间相关性

估计各不确定度分量之间无相关性。

C.3.5 合成标准不确定度

因各不确定度分量彼此不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \approx 5 \times 10^{-10}$$

C.3.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 1 \times 10^{-9}$$

频率校准结果的扩展不确定度为 $U = 1 \times 10^{-9}$ ($k=2$)。

C.4 功率校准的不确定度评定

C.4.1 测量模型

$$P = W_x$$

式中：

P ——回放功率；

W_x ——测量接收机测得功率值。

C.4.2 测量不确定度来源

测量不确定度来源于 3 个方面：测量接收机功率自校准用功率传感器引入的不确定度、测量接收机引入的不确定度、测量重复性引入的不确定度。

C.4.3 标准不确定度分量的评定

C.4.3.1 功率传感器引入的测量不确定度

根据功率传感器 NRP-Z21 的技术指标可知，在温度范围 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内，传感器的绝对不确定度在 $0.047\text{ dB} \sim 0.128\text{ dB}$ 之间，取最大值作为功率传感器的不确定度，按 B 类评定，标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{0.128\text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.074\text{ dB}$$

C.4.3.2 测量接收机测量误差引入的不确定度

测量接收机线性度为 $\pm 0.01\text{ dB} \pm 0.005\text{ dB}$ 每 10 dB ，按 60 dB 计算，测量接收机线性误差引入的不确定度，按 B 类评定，标准不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{0.04\text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.023\text{ dB}$$

C.4.3.3 测量重复性引入的不确定度

重复测量 GPS L1 频点回放信号 10 次，测量结果见表 C.7。按 A 类评定，标准不确定度分量为：

表 C.7 重复性测量结果

序号	测量值 P_i/dBm
1	-31.82
2	-31.74
3	-31.66
4	-31.79
5	-31.84
6	-31.67
7	-31.75
8	-31.77
9	-31.84
10	-31.79
$\bar{P}$	-31.77

$$u_3 = s_n(P) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}} = 0.064 \text{ dB}$$

C.4.3.4 标准不确定度一览表（见表 C.8）

表 C.8 标准不确定度一览表

不确定度来源	分布	包含因子	不确定度分量/dB
功率传感器 u_1	均匀	$\sqrt{3}$	0.074
测量接收机误差 u_2	均匀	$\sqrt{3}$	0.023
测量重复性 u_3	——	——	0.064

C.4.4 不确定度分量之间相关性

估计各不确定度分量之间无相关性。

C.4.5 合成标准不确定度

因各不确定度分量彼此不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \approx 0.10 \text{ dB}$$

C.4.6 扩展不确定度

包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 0.2 \text{ dB}$$

功率校准结果的扩展不确定度 $U=0.2 \text{ dB}$ ($k=2$)。

C.5 相位噪声校准的不确定度评定

C.5.1 测量模型

$$l(f) = l_m(f)$$

式中：

$l(f)$ ——采集回放仪回放信号的相位噪声, dBc/Hz；

$l_m(f)$ ——相位噪声分析仪显示的相位噪声值, dBc/Hz。

C.5.2 测量不确定度来源

测量不确定度来源于 3 个方面：相位噪声分析仪引入的不确定度、读数误差引入的不确定度、测量重复性引入的不确定度。

C.5.3 标准不确定度分量的评定

C.5.3.1 相位噪声分析仪引入的测量不确定度

相位噪声分析仪在傅里叶频率 $f = 10$ kHz 时最大误差为 ± 2 dBc/Hz，视其为均匀分布，按 B 类评定，标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{2 \text{ dB}}{\sqrt{3}} = 1.15 \text{ dB}$$

C.5.3.2 读数误差引入的不确定度

根据经验，读数误差最大贡献为 ± 0.5 dBc/Hz，视其为均匀分布，按 B 类评定，标准不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{0.5 \text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{ dB}$$

C.5.3.3 测量重复性引入的不确定度

重复测量 GPS L1 频点回放单载波信号 10 次，选择傅里叶频率 $f = 10$ kHz 的相位噪声为分析点，相位噪声测量值如表 C.9 所示，按 A 类评定，标准不确定度分量为：

表 C.9 重复性测量结果

序号	测量值 $l_i / (\text{dBc/Hz}) (f \leq 10 \text{ kHz})$
1	-85.4
2	-84.9
3	-84.8
4	-85.3
5	-85.4
6	-84.8
7	-84.7
8	-85.4
9	-85.3
10	-84.7
$\bar{l}$	-85.1

$$u_3 = s_n(l) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}{n-1}} = 0.31 \text{ dB}$$

C.5.3.4 标准不确定度一览表（见表 C.10）

表 C.10 标准不确定度一览表

不确定度来源	分布	包含因子	不确定度分量/dB
相位噪声分析仪 u_1	均匀	$\sqrt{3}$	1.15
读数误差 u_2	均匀	$\sqrt{3}$	0.29
测量重复性 u_3	——	——	0.31

C.5.4 不确定度分量之间相关性

估计各不确定度分量之间无相关性。

C.5.5 合成标准不确定度

因各不确定度分量彼此不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 1.26 \text{ dB}$$

C.5.6 扩展不确定度

包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2.5 \text{ dB}$$

相位噪声校准结果的扩展不确定度 $U=2.6 \text{ dB}$ ($k=2$)。

C.6 内部晶振相对频率偏差不确定度

C.6.1 测量模型

$$y(\tau) = \frac{f_x - f_0}{f_0}$$

式中：

$y(\tau)$ ——被测采集回放仪内部晶振相对频率偏差；

f_x ——被测采集回放仪内部晶振输出频率，MHz。

C.6.2 测量不确定度来源

测量不确定度来源于 5 个方面：参考标准频率源的频率不准确性引入的不确定度、参考标准频率源的频率不稳定性引入的不确定度、连接线缆引入的不确定度、频标比对器引入的不确定度和测量重复性引入的不确定度。

C.6.3 标准不确定度分量的评定

C.6.3.1 参考标准频率源不准确性引入的测量不确定度

参考标准频率源准确度为 1×10^{-12} ，视其为均匀分布，按 B 类评定，标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{2 \times 10^{-12}}{\sqrt{3}} = 1.15 \times 10^{-12}$$

C.6.3.2 参考标准频率源不稳定性引入的不确定度

参考标准频率源的稳定度 ($\tau=100 \text{ s}$) 为 3.8×10^{-13} ，视其为均匀分布，按 B 类评

定，标准不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{3.8 \times 10^{-13}}{2\sqrt{3}} = 1.1 \times 10^{-13}$$

C.6.3.3 连接线缆引入的不确定度

连接线缆引起的不确定度约为 1×10^{-14} ，服从均匀分布，按 B 类评定，标准不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{1 \times 10^{-14}}{2\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-15}$$

C.6.3.4 频标比对器引入的不确定度

频标比对器引起的不确定度约为 $1 \times 10^{-14} / (100 \text{ s})$ ，服从均匀分布，按 B 类评定，标准不确定度分量为：

$$u_4 = \frac{1 \times 10^{-14}}{2\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-15}$$

C.6.3.5 测量重复性引入的不确定度

重复测量采集回放仪内部晶振相对频率偏差 10 次，测量值如表 C.11 所示，按 A 类评定，标准不确定度分量为：

表 C.11 重复性测量结果

序号	测量值 $y_i(\tau) / (\times 10^{-7})$
1	1.12
2	1.22
3	1.27
4	1.24
5	1.22
6	1.11
7	1.19
8	1.07
9	1.23
10	1.13
$\bar{y}(\tau)$	1.18

$$u_5 = s_n[y(\tau)] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [y_i(\tau) - \bar{y}(\tau)]^2}{n-1}} = 6.7 \times 10^{-9}$$

C.6.3.6 标准不确定度一览表（见表 C.12）

表 C.12 标准不确定度一览表

不确定度来源	分布	包含因子	不确定度分量
参考频标准确性 u_1	均匀	$\sqrt{3}$	1.15×10^{-12}
参考频标稳定性 u_2	均匀	$\sqrt{3}$	1.1×10^{-13}
连接线缆 u_3	均匀	$\sqrt{3}$	2.9×10^{-15}
频标比对器 u_4	均匀	$\sqrt{3}$	2.9×10^{-15}
测量重复性 u_5	——	——	6.7×10^{-9}

C.6.4 不确定度分量之间相关性

估计各不确定度分量之间无相关性。

C.6.5 合成标准不确定度

因各不确定度分量彼此不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \approx 6.7 \times 10^{-9}$$

C.6.6 扩展不确定度

包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = ku_c \approx 1 \times 10^{-8}$$

内部晶振相对频率偏差校准结果的扩展不确定度 $U=1 \times 10^{-8}$ ($k=2$)。

C.7 载噪比一致性不确定度评定

C.7.1 测量模型

$$\Delta N = N_0 - N_1$$

式中：

ΔN ——回放载噪比偏差；

N_0 、 N_1 ——接收机测量载噪比。

C.7.2 测量不确定度来源

测量不确定度来源于 3 个方面：评估系统重复性引入的不确定度、信号电平引入的不确定度、测量重复性引入的不确定度。

C.7.3 标准不确定度分量的评定

C.7.3.1 评估系统重复性引入的不确定度

条件相同情况下模拟器对接收机多次载噪比测试，测试结果最大相差 0.2 dB，按矩形分布估计，标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{0.2 \text{ dB}}{2 \times \sqrt{3}} = 0.06 \text{ dB}$$

C.7.3.2 信号电平引入的不确定度

模拟器信号电平对载噪比测试噪声影响大小为 $\pm 0.1 \text{ dB}$ ，按矩形分布估计，标准不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{0.1 \text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.06 \text{ dB}$$

C.7.3.3 测量重复性引入的不确定度

重复测量 10 次，测量结果见表 C.13。按 A 类评定，标准不确定度分量为：

表 C.13 重复性测量结果

序号	测量值 Y_i/dB
1	0.3
2	0.3
3	0.3
4	0.5
5	0.3
6	0.5
7	0.3
8	0.3
9	0.5
10	0.3
$\Delta\bar{N}$	0.36

$$u_3 = s_n(\Delta N) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta N_i - \Delta\bar{N})^2}{n-1}} = 0.096 \text{ dB}$$

C.7.3.4 标准不确定度一览表（见表 C.14）

表 C.14 标准不确定度一览表

不确定度来源	分布	包含因子	不确定度分量/dB
系统重复性 u_1	矩形	$\sqrt{3}$	0.06
信号电平 u_2	矩形	$\sqrt{3}$	0.06
测量重复性 u_3	——	——	0.096

C.7.4 不确定度分量之间相关性

估计各不确定度分量之间无相关性。

C.7.5 合成标准不确定度

因各不确定度分量彼此不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.13 \text{ dB}$$

C.7.6 扩展不确定度

包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 0.3 \text{ dB}$$

载噪比一致性校准结果的扩展不确定度 $U=0.3 \text{ dB}$ ($k=2$)。

C.8 定位一致性不确定度评定

C.8.1 测量模型

$$\Delta P = P_0 - P_1$$

式中：

ΔP ——回放定位偏差；

P_0 、 P_1 ——接收机定位偏差。

C.8.2 测量不确定度来源

测量不确定度来源于 4 个方面：评估系统重复性引入的不确定度、模拟器伪距引入的不确定度、模拟器通道间延迟引入的不确定度，测量重复性引入的不确定度。

C.8.3 标准不确定度分量的评定

C.8.3.1 评估系统重复性引入的不确定度

条件相同情况下模拟器对接收机多次定位测试，测试结果最大相差 0.5 m，按矩形分布估计，标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{0.5 \text{ m}}{2 \times \sqrt{3}} = 0.14 \text{ m}$$

C.8.3.2 模拟器伪距引入的不确定度

模拟器信号伪距误差为 $\pm 0.02 \text{ m}$ ，按矩形分布估计，标准不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{0.02 \text{ m}}{\sqrt{3}} = 0.01 \text{ m}$$

C.8.3.3 模拟器通道间延迟引入的不确定度

模拟器通道间延迟一致性偏差为 $\pm 0.1 \text{ ns}$ ，按矩形分布估计，标准不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{0.1 \times 299\,792\,458}{1\,000\,000\,000 \times \sqrt{3}} = 0.02 \text{ (m)}$$

C.8.3.4 测量重复性引入的不确定度

重复测量 10 次，测量结果见表 C.15。按 A 类评定，标准不确定度分量为：

表 C.15 重复性测量结果

序号	测量值 $\Delta P_i/\text{m}$
1	0.43
2	0.21
3	0.64
4	0.46
5	0.12
6	0.51
7	0.23

表 C. 15 (续)

序号	测量值 $\Delta P_i/\text{m}$
8	0.26
9	0.41
10	0.18
$\Delta \bar{P}$	0.35

$$u_4 = s_n(\Delta P) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_i - \Delta \bar{P})^2}{n-1}} = 0.17 \text{ m}$$

C. 8. 3. 5 标准不确定度一览表

不确定度来源	分布	包含因子	不确定度分量/m
系统重复性 u_1	矩形	$\sqrt{3}$	0.14
伪距 u_2	矩形	$\sqrt{3}$	0.01
通道间延迟 u_3	矩形	$\sqrt{3}$	0.02
测量重复性 u_4	——	——	0.17

C. 8. 4 不确定度分量之间相关性

估计各不确定度分量之间无相关性。

C. 8. 5 合成标准不确定度

因各不确定度分量彼此不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.22 \text{ m}$$

C. 8. 6 扩展不确定度

包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k u_c = 0.4 \text{ m}$$

定位偏差校准结果的扩展不确定度 $U=0.4 \text{ m}$ ($k=2$)。

同理评定定位精密度不确定度为 $U=0.4 \text{ m}$ ($k=2$)。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 计 量 技 术 规 范
GNSS 导航信号采集回放仪校准规范

JJF 1922—2021

国家市场监督管理总局发布

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2021年11月第一版

*

书号: 155066 • J-3950

版权专有 侵权必究



JJF 1922—2021