

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1471—2014

全球导航卫星系统（GNSS） 信号模拟器校准规范

Calibration Specification for GNSS Signal Simulators

2014-08-01 发布

2014-11-01 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

全球导航卫星系统（GNSS）

信号模拟器校准规范

Calibration Specification for GNSS Signal

Simulators

JJF 1471—2014

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：北京华力创通科技股份有限公司

国防科技大学

北京卫星导航中心

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：

邹德君（北京华力创通科技股份有限公司）

牟卫华（国防科技大学）

蔡志武（北京卫星导航中心）

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）

目 录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 加加速度	1
3.2 内部通道延迟	1
3.3 二相键控	1
3.4 误差矢量幅度	1
4 概述	1
5 计量特性	2
5.1 射频信号载波频率偏差	2
5.2 功率范围	2
5.3 功率分辨力	2
5.4 功率偏差	2
5.5 动态范围	2
5.6 伪距分辨力	2
5.7 伪距率分辨力	2
5.8 内部通道延迟	2
5.9 谐波抑制	3
5.10 非谐波抑制	3
5.11 相位噪声	3
5.12 内部时基频率准确度和 1 s 频率稳定度	3
5.13 误差矢量幅度	3
6 校准条件	3
6.1 环境条件	3
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	5
8 校准结果表达	11
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	19
附录 C 校准结果的不确定度评定示例	21

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》编制，其中测量结果不确定度的评定依据 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》进行。

本规范参考了国家标准 GB/T 19391—2003《全球定位系统（GPS）术语及定义》的相关内容。

本规范为首次制定。

全球导航卫星系统（GNSS） 信号模拟器校准规范

1 范围

本规范适用于全球导航卫星系统（GNSS）信号模拟器（以下简称模拟器）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

JJF 1403—2013 全球导航卫星系统（GNSS）接收机（时间测量型）校准规范

GB/T 19391—2003 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 术语和计量单位

3.1 加加速度 jerk

加速度的时间变化率。

3.2 内部通道延迟 internal channel delay

模拟器内部通道的信道特性引入的信号时间延迟。

3.3 二相键控 binary phase shift keying, BPSK

相移键控（PSK）是一种数字调制制式，它采用改变或调制载波的相位来传输数据。BPSK 是二相相移键控，使用两个相差 180° 的相位分别代表 0 和 1，取码元为“1”时，调制后载波与未调载波同相；取码元为“0”时，调制后载波与未调载波反相。

3.4 误差矢量幅度 error vector magnitude, EVM

误差矢量信号平均功率的均方根值与理想信号平均功率的均方根值之比，以百分比的形式表示。

4 概述

GNSS 信号模拟器是 GNSS 系统信号发生器，用于模拟产生特定的 GNSS 系统信号。模拟器提供全球导航卫星系统导航信号仿真，卫星星座可包括 GPS、GALILEO、GLONASS、BDS 等，可用在 GNSS 接收机的研发、生产和计量过程的各个环节。

图 1 描述了模拟器的基本结构和工作原理。数学仿真控制软件对导航卫星、信号传输环境和接收用户进行建模，模拟导航系统全星座的运行和用户的运动状态，运算产生信号模型参数，通过这些信号模型参数控制生成真实的动态导航射频信号。

射频信号生成模块根据仿真计算得到的电文与各模拟通道的模型控制参数，按照各导航系统接口控制协议（ICD）要求，生成各种卫星导航射频信号。

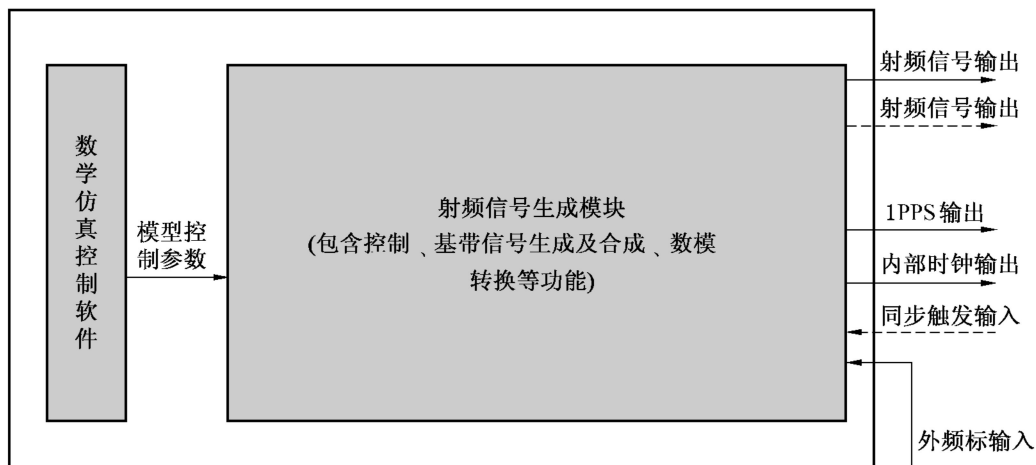


图1 GNSS信号模拟器的基本结构和工作原理

5 计量特性

5.1 射频信号载波频率偏差

射频信号载波频率偏差：(0~100) Hz。

5.2 功率范围

功率范围最大：(-60~-20) dBm

功率范围最小：(-170~-70) dBm

5.3 功率分辨率

功率分辨率：(0.1~2) dB

5.4 功率偏差

功率偏差： $\pm (0.1\sim 2)$ dB

5.5 动态范围

a) 速度动态范围：(0~36 000) m/s；

b) 加速度动态范围：(0~2 000) m/s²；

c) 加加速度动态范围：(0~2 000) m/s³。

5.6 伪距分辨率

伪距分辨率：(0.01~0.1) m。

5.7 伪距率分辨率

伪距率分辨率：(0.01~0.1) m/s。

5.8 内部通道延迟

内部通道延迟：(0~15) ns。

5.9 谐波抑制

谐波抑制： $(-60 \sim -20)$ dBc。

5.10 非谐波抑制

非谐波抑制： $(-60 \sim -30)$ dBc。

5.11 相位噪声

不同频偏的相位噪声如下：

$(-90 \sim -60)$ dBc/Hz (频偏 10 Hz)；

$(-100 \sim -65)$ dBc/Hz (频偏 100 Hz)；

$(-110 \sim -70)$ dBc/Hz (频偏 1 kHz)；

$(-120 \sim -80)$ dBc/Hz (频偏 10 kHz)；

$(-130 \sim -85)$ dBc/Hz (频偏 100 kHz)。

5.12 内部时基频率准确度和 1 s 频率稳定度

频率准确度： $5 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-11}$ ；

1 s 频率稳定度： $(1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-12})$ /s。

5.13 误差矢量幅度

误差矢量幅度： $2\% \sim 20\%$ 。

注：以上指标仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 内任选一点，温度变化不超过 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

6.1.2 环境相对湿度： $\leq 80\%$ 。

6.1.3 电源电压： (220 ± 11) V；

电源频率： (50 ± 1) 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 功率计

频率范围：100 kHz～3.6 GHz；

测量范围： -80 dBm～0 dBm；

最小分辨力：0.01 dB。

6.2.2 测量接收机

频率范围：100 kHz～3.6 GHz；

测量范围： -140 dBm～10 dBm；

最小分辨力：0.01 dB。

6.2.3 实时频谱分析仪

频率范围：100 Hz～3.6 GHz；

幅度范围： -170 dBm～10 dBm。

6.2.4 微波频率计

频率范围：10 Hz～20 GHz；

分辨力：1 Hz～1 MHz。

6.2.5 高速数字示波器

频率范围：100 kHz～3.6 GHz；

采样率：50 GS/s；

时间分辨力：80 ps。

6.2.6 频谱分析仪

频率范围：20 Hz～12.8 GHz；

幅度范围：(−170～10) dBm。

6.2.7 低噪声合成信号发生器

频率范围：10 MHz～3.6 GHz；

相位噪声：优于被校模拟器 10 dB。

6.2.8 相位噪声测量系统

频率范围：10 MHz～3.6 GHz；

频偏范围：1 Hz～1 MHz；

本底相位噪声：优于被校模拟器 10 dB。

6.2.9 频标比对器

测量范围：5 MHz 或 10 MHz；

比对不确定度：优于 $1 \times 10^{-12}/s$ ($k=2$)。

6.2.10 参考时间频率源

输出频率：5 MHz 或 10 MHz；

频率准确度：优于 5×10^{-12} ；

频率稳定度：优于 $1 \times 10^{-12}/s$ 。

6.2.11 低噪声放大器

适用频段要求：(1～3.6) GHz；

引入相位噪声：优于被校模拟器 10 dB。

6.2.12 矢量信号分析仪

频率范围：20 Hz～3.6 GHz；

解调分析带宽：120 MHz。

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

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	外观及工作正常性检查	
2	射频信号载波频率偏差	
3	功率控制	功率范围
4		功率分辨力
5		功率偏差
6	动态范围	速度动态范围
7		加速度动态范围
8		加加速度动态范围
9	误差控制	伪距分辨力
10		伪距率分辨力
11		内部通道延迟
12	频谱纯度	谐波抑制
13		非谐波抑制
14		相位噪声
15	内部时基频率准确度和 1 s 频率稳定度	频率准确度
16		1 s 频率稳定度
17	误差矢量幅度	

7.2 校准方法

所有校准用设备均需按各自技术说明书规定的时间预热。

部分参数校准利用模拟器的校准输出口或大信号输出口；如无校准输出口或大信号输出口，则利用模拟器通用射频信号输出口，必要时配合使用低噪声放大器（LNA）。

7.2.1 外观及工作正常性检查

被校准模拟器不应有影响正常工作及读数的机械损伤，各项标识应清晰完整，输入输出插座应牢靠，按键及旋钮应能正常动作并接触良好。仪器通电后状态正常，显示器能正常显示。达到规定预热时间后各输出端有相应信号输出，各项功能检查正常。有自检功能的，应能通过自检。

7.2.2 射频信号载波频率偏差

校准连接如图 2 所示。

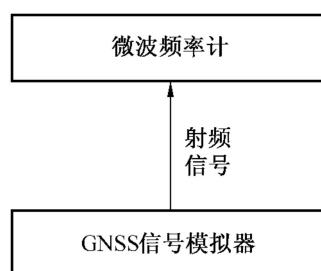


图2 模拟器射频信号载波功率校准

- 1) 模拟器开机，选择待测导航系统和频点；
- 2) 设置场景为卫星和载体均为静态，仿真单通道单载波信号；
- 3) 利用微波频率计对射频信号载波频率 f_m 测量并记录；
- 4) 根据模拟器输出射频信号载波频率标称值 f_0 及公式 (1)，计算射频信号载波频率偏差 Δf_c ，作为射频信号载波频率偏差校准值。

$$\Delta f_c = f_m - f_0 \quad (1)$$

7.2.3 功率控制

7.2.3.1 功率范围

校准连接如图3所示。

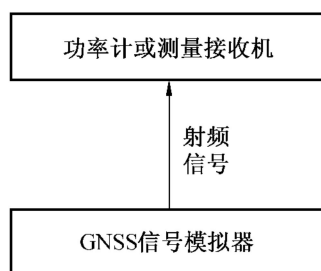


图3 模拟器信号输出功率控制校准

- 1) 模拟器开机，选择待测导航系统和频点；
- 2) 设置场景为卫星和载体均为静态，仿真单通道单载波信号；
- 3) 根据模拟器输出信号功率范围指标，设置信号最大和最小功率，利用功率计或测量接收机进行测量并记录，作为模拟器输出信号功率范围校准值。
- 4) 如果信号功率低至功率计或测量接收机无法测量，可通过测量模拟器校准口（或大信号口）和通用射频信号口的最大功率获得两口间衰减值，利用测得的模拟器校准口（或大信号口）的最小功率结合衰减值，得到模拟器输出信号最小功率值。

7.2.3.2 功率分辨力

校准连接如图3所示。

- 1) 模拟器开机，选择待测导航系统和频点；
- 2) 设置场景为卫星和载体均为静态，仿真单通道单载波信号；
- 3) 在模拟器功率范围内，设置初始信号功率，利用功率计或测量接收机进行测量并记录，根据模拟器功率分辨力指标增加或减少模拟器信号功率，利用功率计或测量接收机进行测量并记录，与原记录值相减，差值作为功率分辨力校准值。

7.2.3.3 功率偏差

校准连接如图 3 所示。

- 1) 模拟器开机，选择待测导航系统和频点；
- 2) 设置场景初始为卫星和载体均为静态，仿真单通道单载波信号；
- 3) 根据模拟器输出信号功率范围指标，在功率范围内，挑选至少 5 个校准功率点，功率计或测量接收机依次测量相应功率值 P_m 并记录；
- 4) 根据模拟器输出信号功率标称值 P_0 和公式 (2)，计算功率偏差 ΔP ，作为功率偏差校准值。

$$\Delta P = P_m - P_0 \quad (2)$$

7.2.4 动态范围

7.2.4.1 速度与加速度动态范围

校准连接如图 4 所示。

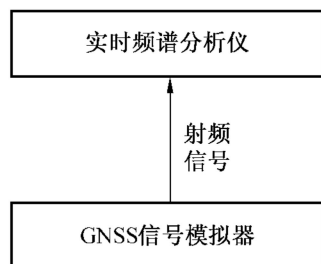


图 4 模拟器信号动态范围校准

- 1) 模拟器开机，选择待测导航系统和频点；
- 2) 设置场景，仿真单颗卫星，载波频率为 f_0 ，载体径向初始加速度为模拟器加速度范围指标上限、初始速度为 0 m/s，使速度达到模拟器速度范围指标上限；
- 3) 启动仿真；
- 4) 将实时频谱分析仪中心频点设为载波频率，观察扫频信号，记录扫频范围 Δf ，并记录从最低端开始到最高端的一次完整扫频的时间 t_{all} ；
- 5) 基于多普勒频移原理，利用公式 (3) 计算速度， $(-v \sim +v)$ 作为速度动态范围校准值；利用公式 (4) 计算加速度， $(-a \sim +a)$ 作为模拟器加速度动态范围校准值。

$$v = \Delta f \cdot \frac{c}{f_0} \quad (3)$$

$$a = \frac{\Delta f}{t_{all}} \cdot \frac{c}{f_0} \quad (4)$$

7.2.4.2 加速度动态范围

校准连接如图 4 所示。

- 1) 模拟器开机，选择待测导航系统和频点；
- 2) 设置场景，仿真单颗卫星，载波频率为 f_0 ，初始卫星与载体均为静态，规定时

间（如 1 min）后，载体在径向上开始以模拟器加加速度动态范围上限值进行匀加加速度运动，规定时间（如 5 s）后，载体以匀速运动运行；

3) 启动仿真；

4) 将实时频谱分析仪中心频点设为载波频率，观察扫频信号，记录扫频范围 Δf ，并记录从最低端开始到最高端的一次完整扫频的时间 t_{all} ；

5) 基于多普勒频移原理，利用公式（5）计算加加速度， $(-J \sim +J)$ 作为模拟器加加速度动态范围校准值。

$$J = \frac{2\Delta f}{t_{\text{all}}^2} \cdot \frac{c}{f_0} \quad (5)$$

7.2.5 误差控制

7.2.5.1 伪距分辨力

校准连接如图 5 所示。

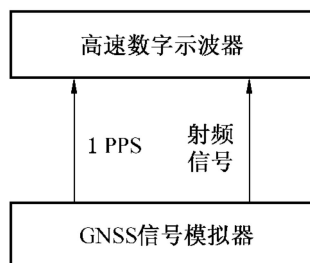


图 5 模拟器信号误差控制校准

- 1) 将模拟器开机，选择待测导航系统和频点；
- 2) 设置场景，卫星和载体均为静态，径向距离为 0 m，仿真单通道单载波信号；
- 3) 启动仿真；
- 4) 实时采集高速数字示波器上 1 PPS 信号与射频载波信号过零点的相位差 ΔT_1 ，并记录；

5) 根据模拟器伪距分辨力指标增加或减少模拟器径向距离，观察或实时采集高速数字示波器上 1 PPS 信号与射频载波信号过零点的相位差 ΔT_2 ，并记录；

6) 利用公式（6），计算伪距变化值，作为伪距分辨力校准值。

$$\Delta \rho = (\Delta T_2 - \Delta T_1) \times c \quad (6)$$

7.2.5.2 伪距率分辨力

校准连接如图 5 所示。

- 1) 将模拟器开机，选择待测导航系统和频点；
- 2) 设置场景，卫星和载体均为静态，径向距离为 0 m，仿真单通道单载波信号；
- 3) 启动仿真；
- 4) 实时采集高速数字示波器上 1 PPS 信号与射频载波信号过零点的相位差 ΔT_1 ，并记录；

5) 将径向速度改变为 $\dot{\rho}_1$ ，规定时间 Δt_1 （如 10 s）后，将径向速度恢复为 0 m/s；

6) 实时采集高速数字示波器上 1 PPS 信号与射频载波信号过零点的相位差 ΔT_2 ，并记录；

7) 根据模拟器伪距率分辨力指标改变径向速度为 $\dot{\rho}_2$ ，规定时间 Δt_2 （如 10 s）后，经径向速度恢复为 0 m/s；

8) 实时采集高速数字示波器上 1 PPS 信号与射频载波信号过零点的相位差 ΔT_3 ，并记录；

9) 利用公式 (7)，计算伪距率变化值，作为伪距率分辨力校准值。

$$\dot{\rho} = (\Delta T_3 - \Delta T_2) \times c / \Delta t_2 - (\Delta T_2 - \Delta T_1) \times c / \Delta t_1 \quad (7)$$

7.2.5.3 内部通道延迟

校准连接如图 5 所示。

1) 将模拟器开机，选择待测导航系统和频点；

2) 设置场景，卫星和载体均为静态，径向距离为 0 m，仿真单通道单颗卫星信号，调制方式为 BPSK 单 I 路；

3) 启动仿真；

4) 观察或实时采集计算高速数字示波器上 1 PPS 信号与射频载波调制信号扩频码相位翻转点的时延差，并记录，作为此通道内部通道时延的校准值。

5) 根据模拟器具体特性，改变硬件通道，重复步骤 2) ~ 4)。

7.2.6 频谱纯度

7.2.6.1 谐波抑制

校准连接如图 6 所示。

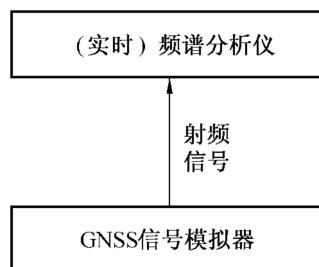


图 6 模拟器信号谐波校准

1) 将模拟器开机，选择待测导航系统和频点；

2) 设置场景，卫星和载体均为静态，径向距离为 0 m，仿真单通道单载波信号；

3) 启动仿真；

4) 利用 (实时) 频谱分析仪对输出信号进行分析，读取相应载频功率 P_1 及其二次和三次谐波功率 P_2 和 P_3 ；

5) 利用公式 (8)，计算谐波抑制水平 H_n ，作为谐波抑制校准值。

$$H_n = P_n - P_1, n=2 \text{ 或 } 3 \quad (8)$$

7.2.6.2 非谐波抑制

校准连接如图 6 所示。

1) 将模拟器开机，选择待测导航系统和频点；

- 2) 设置场景，卫星和载体均为静态，径向距离为 0 m，仿真单通道单载波信号；
- 3) 启动仿真；
- 4) 利用（实时）频谱分析仪对输出信号进行分析，读取相应频带内（频偏参考技术说明书）杂波（非谐波）功率 P_1 及 P_m ；
- 5) 利用公式（9），计算非谐波抑制水平 $H_m = P_m - P_1$ ，作为非谐波校准值。

$$H_m = P_m - P_1 \quad (9)$$

7.2.6.3 相位噪声

校准连接如图 7 所示。

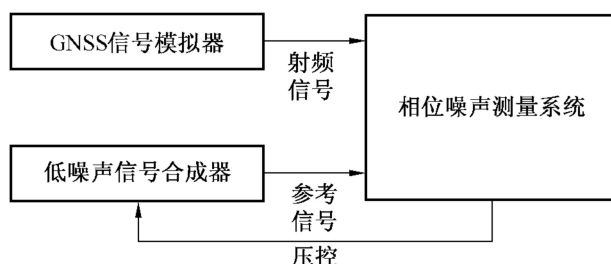


图 7 模拟器信号相位噪声校准

- 1) 将模拟器开机，选择待测导航系统和频点；
- 2) 设置场景，卫星和载体均为静态，径向距离为 0 m，仿真单通道单载波信号；
- 3) 启动仿真；
- 4) 利用相位噪声测量系统对输出信号进行分析，读取相应频点处的相位噪声，作为相位噪声校准值。

7.2.7 内部时基频率准确度和 1 s 频率稳定度

7.2.7.1 频率准确度

校准连接如图 8 所示。

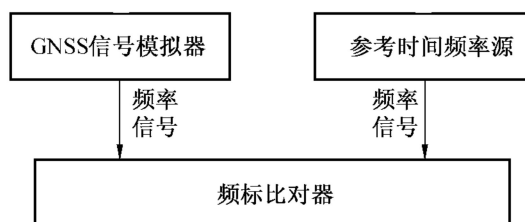


图 8 模拟器内部时基频率准确度校准

取样时间 $\tau = 100$ s，测量相对频率偏差，其绝对值作为频率准确度（根据保留 1 位有效数字，只入不舍）。

7.2.7.2 1 s 频率稳定度

校准连接如图 8 所示。

取样时间 1 s 和取样组数 100，读取阿伦标准偏差值作为 1 s 频率稳定度校准值。

7.2.8 误差矢量幅度

校准连接如图 9 所示。

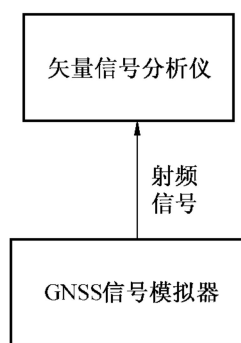


图9 模拟器信号调制误差矢量幅度校准

- 1) 将模拟器开机，选择待测导航系统和频点；
- 2) 设置场景，卫星和载体均为静态，径向距离为 0 m，仿真单通道单颗卫星信号，调制方式为 BPSK 单 I 路；
- 3) 启动仿真；
- 4) 矢量信号分析仪（载频、功率电平、调制频率、调相相偏及检波带宽）按模拟器说明书要求设置；
- 5) 用矢量信号分析仪测量信号误差矢量幅度（EVM）值，作为 EVM 校准值。

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) 校准方的名称和地址；
- b) 被校准方的名称和地址；
- c) 校准时间：_____年____月____日；
- d) 被校准模拟器的名称、型号和出厂序列号；
- e) 功率计的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- f) 测量接收机的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- g) 实时频谱分析仪的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- h) 微波频率计的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- i) 高速数字示波器的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- j) 频谱分析仪的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- k) 低噪声合成信号发生器的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- l) 相位噪声测量系统的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- m) 频标比对器的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- n) 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；
- o) 低噪声放大器的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- p) 矢量信号分析仪的名称、型号及校准期间的相应计量特性指标；
- q) 校准结果及其测量不确定度；
- r) 对校准规范的偏离的说明；
- s) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；

- t) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- u) 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

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	☐ 外观及工作正常性检查 ☐ 射频信号载波频率偏差 ☐ 功率控制 ➤ 功率范围 ➤ 功率分辨力 ➤ 功率偏差 ☐ 动态范围 ➤ 速度动态范围 ➤ 加速度动态范围 ➤ 加加速度动态范围 ☐ 误差控制 ➤ 伪距分辨力 ➤ 伪距率分辨力 ➤ 内部通道延迟 ☐ 频谱纯度 ➤ 谐波抑制 ➤ 非谐波抑制 ➤ 相位噪声 ☐ 内部时基频率准确度和 1 s 频率稳定度 ➤ 频率准确度 ➤ 1 s 频率稳定度 ☐ 误差矢量幅度

A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

检查项目	记录
是否有影响工作和读数的机械损伤	
各项标识是否清晰完整	
输入输出插座是否牢靠	
按键及旋钮是否正常动作并接触良好	
仪器通电后状态是否正常	
显示器是否能正常显示	
达到规定预热时间后各输出端是否有相应信号输出	
有自检功能的，是否能通过自检	

A.2 射频信号载波频率偏差

表 A.2 射频信号载波频率偏差校准参考记录表

		标称值	测量值	偏差值	不确定度
次数 \ 测量值	频点 1:				
	频点 2:				
	频点 3:				

A.3 功率控制

表 A.3 功率范围校准参考记录表

		最大值	最小值	不确定度
次数 \ 测量值	频点 1:			
	频点 2:			
	频点 3:			

表 A.4 功率分辨力校准参考记录表

		理论值	测量值	差值	分辨力	不确定度
次数 \ 测量值	频点 1					
	频点 2					
	频点 3					
	⋮					

表 A.5 准确性校准参考记录表

		理论值	测量值	差值	分辨力	不确定度
次数 \ 测量值	频点 1					
	频点 2					
	频点 3					
	⋮					

A.4 动态范围

(1) 速度和加速度动态范围

表 A.6 速度和加速度动态范围校准结果

频点/GHz	扫频范围/kHz	扫频时间/s	速度范围/(m/s)	加速度范围/(m/s ²)
⋮				
速度动态范围:				不确定度:
加速度动态范围:				不确定度:

(2) 加加速度动态范围

表 A.7 加加速度动态范围校准结果

频点/GHz	扫频范围/kHz	扫频时间/s	加加速度范围/(m/s ³)
⋮			
加加速度动态范围:			
不确定度:			

A.5 误差控制

(1) 伪距分辨力

表 A.8 伪距偏差测量结果参考记录表

次数	ΔT_1 ps	ΔT_2 ps	$\Delta \rho$ ps
1			
2			
3			
伪距分辨力： 不确定度：			

(2) 伪距率分辨力

表 A.9 伪距率分辨力测量结果参考记录表

次数	ΔT_1 ps	ΔT_2 ps	Δt ps	$\dot{\rho}$ ps
1				
2				
3				
伪距率分辨力： 不确定度：				

(3) 内部通道延迟

表 A.10 内部通道延迟

内部通道延迟量/ns	
不确定度	

A.6 频谱纯度

(1) 谐波抑制

表 A.11 谐波校准参考记录表

次数 \ 测量值	谐波抑制/dBc		
	频点 1	频点 2	频点 3
1			
2			
3			
4			
5			
谐波			
不确定度			

(2) 非谐波抑制

表 A.12 非谐波功率校准参考记录表

次数 \ 测量值	非谐波抑制/dBc		
	频点 1	频点 2	频点 3
1			
2			
3			
4			
5			
杂波功率			
不确定度			

(3) 相位噪声

表 A.13 某频点相位噪声校准参考记录表

校准次数	相位噪声/(dBc/Hz)			
	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
1				
2				
3				
4				
5				
相位噪声				
不确定度				

A.7 内部时基频率准确度和 1 s 频率稳定度**(1) 频率准确度****表 A.14 频率准确度**

参考频率值	模拟器频率值	相对频率偏差
频率准确度： 测量不确定度：		

(2) 1 s 频率稳定度**表 A.15 频率稳定度**

取样间隔	频率稳定度	不确定度
1 s		

A.8 误差矢量幅度**表 A.16 误差矢量幅度**

EVM/%	1	2	3	不确定度
频点 1				
频点 2				
频点 3				
⋮				

附录 B

校准证书（内页）格式

B.1 外观及工作正常性检查

是否通过：

B.2 射频信号载波频率偏差

$$\Delta f_c =$$

$$\text{扩展不确定度：} U = \quad (k=2)$$

B.3 信号功率

B.3.1 功率范围

$$(P_{\min} \sim P_{\max}) =$$

$$\text{扩展不确定度：} U = \quad (k=2)$$

B.3.2 信号功率分辨力

$$r_P =$$

$$\text{扩展不确定度：} U = \quad (k=2)$$

B.3.3 信号功率偏差

$$\sigma_P =$$

$$\text{扩展不确定度：} U = \quad (k=2)$$

B.4 信号动态范围

B.4.1 速度

$$v =$$

$$\text{扩展不确定度：} U = \quad (k=2)$$

B.4.2 加速度

$$a =$$

$$\text{扩展不确定度：} U = \quad (k=2)$$

B.4.3 加加速度

$$j =$$

$$\text{扩展不确定度：} U = \quad (k=2)$$

B.5 信号误差控制

B.5.1 伪距分辨力

$$\rho =$$

$$\text{扩展不确定度：} U = \quad (k=2)$$

B.5.2 伪距率分辨力

$$\dot{\rho} =$$

$$\text{扩展不确定度：} U = \quad (k=2)$$

B.5.3 内部通道延迟

$$D =$$

$$\sigma_D =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

B.6 频谱纯度

B.6.1 谐波

$$H =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

B.6.2 非谐波

$$H_m =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

B.6.3 相位噪声

$$PH =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

B.7 内部时基频率准确度和 1 s 频率稳定度

B.7.1 频率准确度

$$\delta_f =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

B.7.2 1 s 频率稳定度

$$\sigma_f =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

B.8 误差矢量幅度

$$E_k =$$

$$\text{扩展不确定度: } U = \quad (k=2)$$

注：校准内页格式仅给出单系统单频点的校准结果格式，多系统多频点按类似格式罗列。

附录 C

校准结果的不确定度评定示例

GNSS 信号模拟器校准结果可分为模拟器射频信号载波频率偏差、功率控制校准结果（包括功率范围、功率分辨力、功率偏差）、动态范围校准结果（包括速度动态范围、加速度动态范围、加加速度动态范围）、误差控制校准结果（包括伪距分辨力、伪距率分辨力、内部通道延迟）、频谱纯度校准结果（包括谐波抑制、非谐波抑制、相位噪声）、内部时基频率准确度和 1 s 频率稳定度校准结果（包括频率准确度和 1 s 频率稳定度）及误差矢量幅度校准结果。

在模拟器校准装置中，包括了多个测量仪器完成各参数的测量，由第 7 章各参数校准示意图所示，实例中给出了模拟器各参数校准的不确定度评估方法。

C.1 射频信号载波频率偏差校准

射频信号载波频率偏差校准测量可由公式 (C.1) 表示：

$$x = \Delta f_c \quad (\text{C.1})$$

式中：

Δf_c ——频谱分析仪测量得到的射频信号载波频率偏差，Hz。

校准合成不确定度可计算如公式 (C.2)：

$$u_c(x) = u(\Delta f_c) \quad (\text{C.2})$$

式中：

$u(\Delta f_c)$ —— Δf_c 的标准不确定度，Hz。

Δf_c 的不确定度主要来源如表 C.1 所示。

表 C.1 Δf_c 不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
实时频谱仪仪器	B	2 Hz	矩形	$\sqrt{3}$	1.2 Hz
时基参考	B	3 Hz	矩形	$\sqrt{3}$	1.8 Hz
测量重复性	A				

参考以上主要不确定度来源， $u(\Delta f_c)$ 为 2.2 Hz，最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(x)$ 为 2.2 Hz，扩展不确定度为 $U(\Delta f_c)$ 为 4.4 Hz ($k=2$)。

C.2 功率控制校准

C.2.1 功率范围校准

功率范围校准测量可由公式 (C.3) 表示：

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

式中：

P ——功率计测量得到的信号功率，dBm。

校准合成不确定度可计算如公式 (C.4)：

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

式中：

$u(P)$ —— P 的标准不确定度，dB。

P 的不确定度主要来源如表 C.2 所示。

表 C.2 P 不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
功率计仪器	B	0.02 dB	矩形	$\sqrt{3}$	0.012 dB
失配	B	0.02 dB	U 形	$\sqrt{2}$	0.014 dB
测量重复性	A				

参考以上主要不确定度来源， $u(P)$ 为 0.02 dB，最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(x)$ 为 0.02 dB，扩展不确定度为 $U(P)$ 为 0.04 dB ($k=2$)。

C.2.2 功率分辨力校准

功率分辨力校准测量可由公式 (C.5) 表示：

$$x = P_1 - P_0 \quad (\text{C.5})$$

式中：

P_0 ——功率计在模拟器调整信号功率前测量得到的信号功率，dBm；

P_1 ——功率计在模拟器调整信号功率后测量得到的信号功率，dBm。

校准合成不确定度可计算如公式 (C.6)：

$$u_c(x) = \sqrt{u^2(P_1) + u^2(P_0)} \quad (\text{C.6})$$

式中：

$u(P_1)$ —— P_1 的标准不确定度，dB；

$u(P_0)$ —— P_0 的标准不确定度，dB。

P_1 和 P_0 不确定度来源同 C.2.1，故可得最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(x)$ 为 0.03 dB，扩展不确定度为 $U(P)$ 为 0.06 dB ($k=2$)。

C.2.3 功率允许误差校准

不确定度评定同 C.2.1。

C.3 动态范围校准

C.3.1 速度范围校准

速度范围校准测量可由公式 (C.7) 表示：

$$v = \Delta f \cdot \frac{c}{f_0} \quad (\text{C.7})$$

式中：

Δf ——实时频谱仪测量得到的信号频偏，Hz。

校准合成不确定度可计算如公式 (C.8)：

$$u_c(v) = \frac{c}{f_0} \cdot u(\Delta f) \quad (\text{C.8})$$

式中：

$u(\Delta f)$ —— Δf 的标准不确定度，Hz。

Δf 的不确定度主要来源如表 C.3 所示。

表 C.3 Δf 不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
实时频谱仪仪器	B	2 Hz	矩形	$\sqrt{3}$	1.2 Hz
时基参考	B	3 Hz	矩形	$\sqrt{3}$	1.8 Hz
测量重复性	A				

参考以上主要不确定度来源， $u(\Delta f)$ 为 2.2 Hz，最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(v)$ 为 0.42 m/s，扩展不确定度为 $U(v)$ 为 0.84 m/s($k=2$)。

C.3.2 加速度范围校准

加速度范围校准测量可由公式 (C.9) 表示：

$$a = \frac{2\Delta f}{t_{\text{all}}} \cdot \frac{c}{f_0} \quad (\text{C.9})$$

式中：

t_{all} ——实时频谱仪测量得到的扫频时间，s。

忽略高阶项影响，校准合成不确定度可计算如公式 (C.10)：

$$u_c(a) = \frac{2c}{f_0} \cdot \sqrt{\frac{\Delta f^2}{t_{\text{all}}^4} \cdot u^2(t_{\text{all}}) + \frac{1}{t_{\text{all}}^2} \cdot u^2(\Delta f)} \quad (\text{C.10})$$

式中：

$u(t_{\text{all}})$ —— t_{all} 的标准不确定度，s。

t_{all} 的不确定度主要来源如表 C.4 所示。

表 C.4 t_{all} 不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
实时频谱仪仪器	B	2×10^{-7} s	矩形	$\sqrt{3}$	1.2×10^{-7} s
时基参考	B	2×10^{-9} /s	矩形	$\sqrt{3}$	1.2×10^{-9} /s
测量重复性	A				

参考以上主要不确定度来源， $u(t_{\text{all}})$ 为 1.2×10^{-7} s，结合表 C.2 中主要不确定度来源及实际测量结果，最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(a)$ 为 0.08 m/s²，扩展不确定度为 $U(a)$ 为 0.16 m/s²($k=2$)。

C.3.3 加加速度范围校准

加加速度范围校准测量可由公式 (C.11) 表示：

$$J = \frac{2\Delta f}{t_{\text{all}}^2} \cdot \frac{c}{f_0} \quad (\text{C.11})$$

忽略高阶项影响，校准合成不确定度可计算如公式 (C.12)：

$$u_c(J) = \frac{2c}{f_0} \cdot \sqrt{\frac{4\Delta f^2}{t_{\text{all}}^6} \cdot u^2(t_{\text{all}}) + \frac{1}{t_{\text{all}}^4} \cdot u^2(\Delta f)} \quad (\text{C.12})$$

参考表 C.3 和表 C.4 中主要不确定度来源及实际测量结果，最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(J)$ 为 0.13 m/s^3 ，扩展不确定度为 $U(J)$ 为 0.26 m/s^3 ($k=2$)。

C.4 误差控制校准

C.4.1 伪距偏差

伪距偏差校准测量可由公式 (C.13) 表示：

$$\Delta\rho = (\Delta T_2 - \Delta T_1) \times c \quad (\text{C.13})$$

校准合成不确定度可计算如公式 (C.14)：

$$u_c(\Delta\rho) = c \cdot \sqrt{u^2(\Delta T_1) + u^2(\Delta T_2)} \quad (\text{C.14})$$

式中：

$u(\Delta T_1)$ —— ΔT_1 的标准不确定度，s；

$u(\Delta T_2)$ —— ΔT_2 的标准不确定度，s。

ΔT_1 和 ΔT_2 的不确定度来源如表 C.5 所示。

表 C.5 ΔT_1 和 ΔT_2 不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
测量分辨力	B	0.56 ps	矩形	$\sqrt{3}$	可忽略
通道间偏差	B	10 ps	矩形	$\sqrt{3}$	可忽略
时基误差	B	0.1 ps	矩形	$\sqrt{3}$	可忽略
1PPS 信号噪声 引起误差	B	0.05 ns	矩形	$\sqrt{3}$	0.03 ns
射频信号噪声 引起误差	B	0.1 ns	矩形	$\sqrt{3}$	0.06 ns
测量重复性	A				

参考以上主要不确定度来源及实际测量结果， $u(\Delta T_1)$ 和 $u(\Delta T_2)$ 均为 0.07 ns ，最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(\Delta\rho)$ 为 0.03 m ，扩展不确定度为 $U(a)$ 为 0.06 m ($k=2$)。

C.4.2 伪距率偏差

伪距率偏差校准测量可由公式 (C.15) 表示：

$$\dot{\rho} = (\Delta T_2 - \Delta T_1) \times c / \Delta t \quad (\text{C. 15})$$

校准合成不确定度可计算如公式 (C. 16)：

$$u_c(\dot{\rho}) = \frac{c}{\Delta t} \cdot \sqrt{u^2(\Delta T_1) + u^2(\Delta T_2)} \quad (\text{C. 16})$$

参考表 C. 5 及实际测量结果， $u(\Delta T_1)$ 和 $u(\Delta T_2)$ 均为 0.07 ns，最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(\dot{\rho})$ 为 0.003 m/s，扩展不确定度为 $U(a)$ 为 0.006 m/s ($k=2$)。

C. 4.3 内部通道延迟

内部通道延迟 D 校准测量可由公式 (C. 17) 表示：

$$x = D \quad (\text{C. 17})$$

式中：

D ——内部通道延迟测量结果，ns。

校准合成不确定度可计算如公式 (C. 18)：

$$u_c(x) = u(D) \quad (\text{C. 18})$$

式中：

$u(D)$ —— D 的标准不确定度，ns。

参考表 C. 5，合成 $u(D)$ 为 0.07 ns，最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(x)$ 为 0.07 ns，扩展不确定度为 $U(D)$ 为 0.14 ns ($k=2$)。

C. 5 频谱纯度校准

C. 5.1 谐波和非谐波测量不确定度评估

谐波校准测量可由公式 (C. 19) 表示：

$$x = H \quad (\text{C. 19})$$

式中：

H ——谐波测量结果，dBc。

校准合成不确定度可计算如公式 (C. 20)：

$$u_c(x) = u(H) \quad (\text{C. 20})$$

式中：

$u(H)$ —— H 的标准不确定度，dBc。

H 的不确定度来源如表 C. 6 所示。

表 C. 6 H 不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
频谱分析仪测量 相对电平	B	0.41 dB			0.41 dB
失配	B	0.80 dB			0.80 dB
连接电缆	B	0.20 dB	矩形	$\sqrt{3}$	0.16 dB
测量重复性	A				

参考以上主要不确定度来源及实际测量结果, $u(H)$ 为 0.9 dB, 最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(x)$ 为 0.9 dB, 扩展不确定度为 $U(H)$ 为 1.8 dB($k=2$)。

非谐波的不确定度评定方法及结果同谐波。

C.5.2 相位噪声

相位噪声校准测量可由公式 (C.21) 表示:

$$x = PH \quad (C.21)$$

式中:

PH——相位噪声测量结果, dBc/Hz。

校准合成不确定度可计算如公式 (C.22):

$$u_c(x) = u(PH) \quad (C.22)$$

式中:

$u(PH)$ ——PH 的标准不确定度, dBc/Hz。

PH 的不确定度来源如表 C.7 所示。

表 C.7 PH 不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
测量系统测量误差	B	2 dB	矩形	$\sqrt{3}$	1.4 dB
测量系统本底	B	0.2 dB			0.2 dB
参考源相位噪声	B	0.2 dB			0.4 dB
测量重复性	A				

参考以上主要不确定度来源及实际测量结果, $u(PH)$ 为 1.5 dB, 最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(x)$ 为 1.5 dB, 扩展不确定度为 $U(PH)$ 为 3.0 dB($k=2$)。

C.6 内部时基校准

C.6.1 频率准确度

设被校准模拟器内部时基的频率为 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 $y_{AB}(\tau)$ 可由公式 (C.23) 表示。

$$y_{AB}(\tau) = \frac{f_A - f_B}{f_0} = \frac{f_A - f_0}{f_0} - \frac{f_B - f_0}{f_0} = y_A(\tau) - y_B(\tau) \quad (C.23)$$

$y_A(\tau)$ 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.8 所示。

表 C.8 $y_{AB}(\tau)$ 不确定度来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	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}			1×10^{-14}
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及实际校准结果, 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.6.2 1 s 频率稳定度

1 s 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.9 所示。

表 C.9 内部时基 1 s 频率稳定度校准结果

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

$\sigma_y(\tau)$ 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公式 (C.24) 计算,

$$u_r = \frac{\sigma_y(\tau)}{\sqrt{m}} \quad (\text{C.24})$$

式中:

m ——计算 $\sigma_y(\tau)$ 时的取样个数。例中, m 为 100。

$\sigma_y(\tau)$ 的不确定度主要来源如表 C.10 所示。

表 C.10 $\sigma_y(\tau)$ 不确定度来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
参考时间频率源的频率不稳定性	B	$2 \times 10^{-14} / 1 \text{ s}$			$2 \times 10^{-14} / 1 \text{ s}$
频标比对器	B	$1.2 \times 10^{-13} / 1 \text{ s}$			$1.2 \times 10^{-13} / 1 \text{ s}$
有限次测量	A				

参考以上主要不确定度来源及实际校准结果，最终单次测量频率稳定度的合成不确定度 $u_c[\sigma_y(\tau=1\text{ s})]$ 为 7.1×10^{-12} ，扩展不确定度 $U[\sigma_y(\tau=1\text{ s})]$ 为 1.5×10^{-11} 。

C.7 误差矢量幅度校准

误差矢量幅度校准测量可由公式 (C.25) 表示：

$$x = \text{EVM} \quad (\text{C.25})$$

式中：

EVM——误差矢量幅度测量结果。

校准合成不确定度可计算如公式 (C.26)：

$$u_c(x) = u(\text{EVM}) \quad (\text{C.26})$$

式中：

$u(\text{EVM})$ ——EVM 的标准不确定度。

EVM 的不确定度来源如表 C.11 所示。

表 C.11 EVM 不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
信噪比	B	0.20%	矩形	$\sqrt{3}$	0.12%
相位噪声	B	0.05%			0.05%
矢量信号分析仪 残余幅度误差	B	0.30%	矩形	$\sqrt{3}$	0.17%
矢量信号分析仪 残余相位误差	B	0.50%	矩形	$\sqrt{3}$	0.29%
矢量信号分析仪 I / Q 原点漂移	B	0.07%	矩形	$\sqrt{3}$	0.04%
测量重复性	A				

参考以上主要不确定度来源及实际测量结果， $u(\text{EVM})$ 均为 0.36%，最终单次测量的合成标准不确定度 $u_c(x)$ 为 0.36%，扩展不确定度为 $U(\text{EVM})$ 为 0.72% ($k=2$)。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 计 量 技 术 规 范
全 球 导 航 卫 星 系 统 (GNSS)
信 号 模 拟 器 校 准 规 范

JJF 1471—2014

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(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.gb168.cn

服务热线: 400-168-0010

010-68522006

2014年11月第一版

*

书号: 155026·J-2952

版权专有 侵权必究



JJF 1471—2014