



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 39472—2020

---

## 北斗卫星导航系统信号采集回放仪 性能要求及测试方法

Performance requirements and test methods for BeiDou navigation satellite  
system signal record and playback devices

2020-11-19 发布

2021-03-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义、缩略语..... 1

    3.1 术语和定义 ..... 1

    3.2 缩略语 ..... 2

4 要求 ..... 2

    4.1 总则 ..... 2

    4.2 一般要求 ..... 2

    4.3 功能要求 ..... 2

    4.4 性能要求 ..... 3

5 测试方法 ..... 4

    5.1 测试项目 ..... 4

    5.2 测试环境条件 ..... 4

    5.3 测试设备要求 ..... 4

    5.4 一般要求测试 ..... 5

    5.5 功能测试 ..... 6

    5.6 性能测试 ..... 6

附录 A（资料性附录） 定位精度的数据处理方法 ..... 12



## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中央军委装备发展部提出。

本标准由全国北斗卫星导航标准化技术委员会(SAC/TC 544)归口。

本标准起草单位:上海交通大学、北京东方计量测试研究所、上海市计量测试技术研究院、上海北斗导航创新研究院、北京卫星导航中心。

本标准主要起草人:陈新、刘莹、许丽丽、董莲、郁文贤、王礼亮、明德祥、冯丽程、张文杰、锦晓曦、陈强、徐斌铨、郑潇男。



# 北斗卫星导航系统信号采集回放仪 性能要求及测试方法

## 1 范围

本标准规定了北斗卫星导航信号采集回放仪的功能要求、性能要求及测试方法。

本标准适用于北斗卫星导航系统信号采集回放仪(以下简称“采集回放仪”)的研制、生产和检验。其他 GNSS 卫星导航系统信号采集回放仪可参照使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包含所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 39267—2020 北斗卫星导航术语

JJF 1180—2007 时间频率计量名词术语及定义

JJF 1188—2008 无线电计量名词术语及定义

## 3 术语和定义、缩略语

### 3.1 术语和定义

GB/T 39267—2020、JJF 1180—2007 和 JJF 1188—2008 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**采集回放仪** **signal record and playback device**

将卫星导航系统射频信号转换为数字信号进行保存,并能够将所保存的数字信号转换为射频模拟信号播发的仪器。

#### 3.1.2

**3 dB 带宽** **3 dB bandwidth**

以给定频率的电平为参考,在频响曲线上电平下降 3 dB 处的高低频率的差值。

#### 3.1.3

**无杂散动态范围** **spurious free dynamic range; SFDR**

在采集最大输入功率的正弦波信号时,回放信号频域中该信号与最大谐波频率成分的相对电平。

#### 3.1.4

**载噪比回放一致性** **carrier to noise ratio playback consistency**

GNSS 多频接收机进行卫星导航信号回放测试获得的载噪比与卫星导航信号直接测试获得的载噪比结果之差的统计值。

#### 3.1.5

**定位回放一致性** **positioning playback consistency**

GNSS 多频接收机进行卫星导航信号回放测试获得的定位结果与卫星导航信号直接测试获得的定

位结果之差的统计值。

### 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BDS:北斗卫星导航系统(BeiDou Navigation Satellite System)  
BNC:卡扣配合型连接器(Bayonet Nut Connector)  
GNSS:全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System)  
GPS:全球定位系统(Global Positioning System)  
GLONASS:格洛纳斯卫星导航系统(Global Navigation Satellite System)  
GALILEO:伽利略卫星导航系统(Galileo Navigation Satellite System)  
HDOP:水平精度因子(Horizontal Dilution of Precision)  
PDOP:位置精度因子(Position Dilution of Precision)  
SMA:超小型 A 版(Sub Miniature Version A)  
TNC:螺纹尼尔接头(Threaded Neill Concelman)  
USB:通用串行总线(Universal Serial Bus)

## 4 要求

### 4.1 总则

采集回放仪的基本功能、性能要求和测试方法应以本标准为依据,针对产品的特殊要求和详细要求可在产品规范中规定。

### 4.2 一般要求

#### 4.2.1 接口要求

采集回放仪接口满足下列要求:

- a) 采集回放仪至少具有一个射频信号输入/输出接口,宜采用 TNC 或 SMA 等接口;
- b) 采集回放仪至少具有一个数据导入/导出接口,宜采用 USB 或网口等接口;
- c) 采集回放仪可具有外部参考时钟输入接口,宜采用 BNC 或 SMA 等接口;
- d) 采集回放仪可具有内部参考时钟输出接口,宜采用 BNC 或 SMA 等接口;
- e) 采集回放仪具备外接电源接口。

#### 4.2.2 外观及附件

采集回放仪应外观完好,输入、输出接口内外导体应无变形和损坏。设备上应清晰标记名称、型号、厂家、生产序列号。产品使用说明书及附件应齐全。

### 4.3 功能要求

#### 4.3.1 存储

采集回放仪应将采集到的卫星信号实时保存在存储介质中。

#### 4.3.2 数据导入与导出

采集回放仪应能将外部卫星导航信号数据导入到设备存储介质中或将存储在介质上的卫星导航信号数据导出。

## 4.4 性能要求

### 4.4.1 数据存储

在最大采集通道数、最高采样率与最大量化位数设置条件下,采集回放仪的最大记录时间应不少于 60 min。

### 4.4.2 信号采集回放带宽

采集回放仪的 3 dB 通道带宽: $\geq 8$  MHz。



### 4.4.3 带内平坦度

带内平坦度: $\leq 2$  dB。

### 4.4.4 无杂散动态范围

无杂散动态范围: $\geq 25$  dB。

### 4.4.5 载噪比回放一致性

载噪比回放一致性: $\leq 2$  dB。

### 4.4.6 频率偏差

频率偏差:优于 $\pm 5 \times 10^{-8}$ 。

### 4.4.7 频率稳定度

频率稳定度:优于 $5 \times 10^{-8}/s$ 。

### 4.4.8 输出功率动态范围

输出功率动态范围: $\geq 30$  dB(在 $-120$  dBm $\sim 0$  dBm 范围内)。

### 4.4.9 功率电平线性

功率电平线性:优于 $\pm (0.5$  dB/10 dB)(在产品规范规定的工作功率范围内)。

### 4.4.10 绝对功率准确度

绝对功率准确度在其最大输出功率处: $\pm 1$  dB。

### 4.4.11 伪距准确度

伪距准确度: $\leq 0.6$  m。

### 4.4.12 伪距变化率准确度

伪距变化率准确度: $\leq 0.05$  m/s。

### 4.4.13 定位回放一致性

在 HDOP $\leq 4$  或者 PDOP $\leq 6$  时,回放前后置信概率为 95% 三维定位结果误差: $< 5$  m。

5 测试方法

5.1 测试项目

采集回放仪的测试项目、要求和相应的测试方法见表 1。

表 1 测试项目一览表

测试类别	测试项目		要求	测试方法
一般要求	接口要求		4.2.1	5.4.1
	外观及附件		4.2.2	5.4.2
功能要求	存储		4.3.1	5.5.1
	数据导入与导出		4.3.2	5.5.2
性能要求	数据存储		4.4.1	5.6.1
	信号采集回放带宽		4.4.2	5.6.2
	带内平坦度		4.4.3	5.6.2
	噪声	无杂散动态范围	4.4.4	5.6.3
		载噪比回放一致性	4.4.5	5.6.4
	频率	频率偏差	4.4.6	5.6.5
		频率稳定度	4.4.7	5.6.6
	输出功率特性	输出功率动态范围	4.4.8	5.6.7
		功率电平线性	4.4.9	5.6.7
		绝对功率准确度	4.4.10	5.6.8
	回放信号质量	伪距准确度	4.4.11	5.6.9
		伪距变化率准确度	4.4.12	5.6.9
		定位回放一致性	4.4.13	5.6.10

5.2 测试环境条件

除非在产品规范中另有规定外,所有测试应在如下条件下进行:

- a) 环境温度:在(23±5)℃内任选一点,温度变化不超过±2℃;
- b) 相对湿度:不大于80%。

5.3 测试设备要求

测试设备要求包括:

- a) 测试用仪器设备均应经过计量部门检定合格且在有效期内;
- b) 测试用仪器设备应具备足够的分辨力、准确度和稳定性,其性能应满足被测性能指标的要求,其精度应至少高于被测指标精度的1/3个量级;
- c) 设备要求见表2。

表 2 测试所需设备要求

仪器名称	仪器性能指标要求
测量接收机	a) 频率测量范围 $\geq 3$ GHz; b) 频率分辨率:1 Hz; c) 输入信号电平范围:−120 dBm~0 dBm; d) 绝对功率电平测量误差 $<0.1$ dB; e) 功率电平线性 $\pm 0.01$ dB/10 dB
测量接收机	a) 频率测量范围 $\geq 3$ GHz; b) 频率分辨率:1 Hz; c) 输入信号电平范围:−120 dBm~0 dBm; d) 绝对功率电平测量误差 $<0.1$ dB; e) 功率电平线性 $\pm 0.01$ dB/10 dB
频谱仪	a) 频率范围:2 Hz~6 GHz; b) 频率偏差:优于 $\pm 1 \times 10^{-7}$ ; c) 功率测量不确定度:0.3 dB( $k=2$ )
信号发生器	a) 输出信号频率范围 100 kHz~3 GHz; b) 输出信号功率范围−130 dBm~0 dBm; c) 频率偏差:优于 $\pm 1 \times 10^{-7}$ ; d) 非谐波失真: $\leq -70$ dBc; e) 相位噪声: $\leq 0.01$ rad (10 Hz~100 kHz)
GNSS 多频接收机	a) 支持 BDS/GPS/GLONASS/Galileo 导航系统多频点信号的捕获、跟踪、解算、定位; b) 伪距测量准确度优于 0.20 m; c) 多普勒测量准确度优于 0.02 m/s
卫星信号模拟器	a) 支持 BDS/GPS/GLONASS/Galileo 导航系统多频点信号; b) 伪距控制精度 $<0.05$ m; c) 伪距变化率控制精度 $<0.005$ m/s; d) 功率电平线性:优于 $\pm 0.5$ dB
频标比对器	a) 频率范围为 5 MHz~30 MHz; b) 对比不确定度 $<1 \times 10^{-11}$ /s
频率源	a) 输出频率 10 MHz; b) 短期频率稳定度( $1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-9}$ )/s; c) 频率偏差 $1 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-10}$

5.4 一般要求测试

5.4.1 接口要求

采集回放仪应进行接口测试,测试步骤如下:

- a) 目测采集回放仪接口单元;
- b) 用频标比对器测试采集回放仪内部参考时钟输出接口的信号频率。



### 5.4.2 外观及附件

用目视法检查被检卫星导航信号采集回放仪的外观及附件。

## 5.5 功能测试

### 5.5.1 存储

存储功能测试方法见 5.6.1。

### 5.5.2 数据导入与导出

数据导入与导出测试框图见图 1。

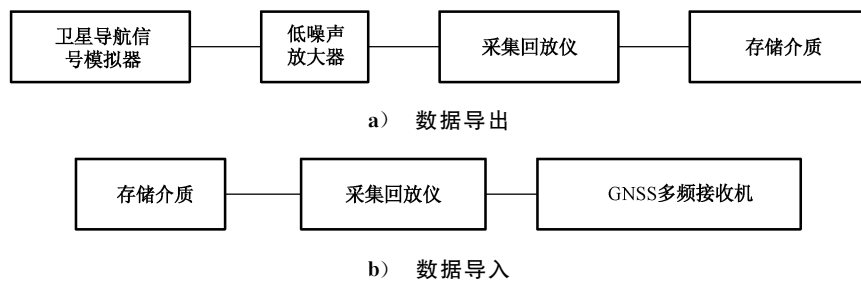


图 1 数据导入与导出功能测试框图

测试步骤包括：

- 按图 1 连接设备,并按照各设备技术说明书的要求进行预热;
- 设置卫星导航信号模拟器仿真静止载体场景,可见卫星数不少于 10 颗;
- 设置模拟器输出被测导航信号类型,输出功率设为  $-120$  dBm;
- 操作被测采集回放仪,根据产品规范要求采集和存储信号模拟器的输出信号,其中采集带宽设置为最大采集带宽,采集时间为 30 min,将采集数据导出到存储介质中;
- 将存储介质中的数据导入到采集回放仪中,操作被测采集回放仪以匹配 GNSS 多频接收机最佳工作点的功率回放该介质中的卫星导航信号数据,输出端接 GNSS 多频接收机,以 1 Hz 更新率定位解算,存储并计算三维定位数据;
- GNSS 多频接收机能够连续输出 30 min 定位结果,且与模拟器设定的标准位置三维定位误差应小于 5 m(95%)。

## 5.6 性能测试

### 5.6.1 数据存储

数据采集与存储测试框图见图 2。

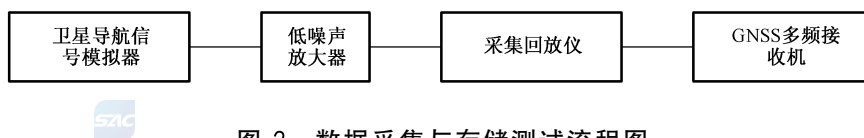


图 2 数据采集与存储测试流程图

测试步骤包括：

- 按图 2 连接设备,并按照各设备技术说明书的要求进行预热;
- 设置卫星导航信号模拟器仿真静止载体场景,可见卫星数不少于 10 颗,输出功率设为

- 120 dBm;
- c) 在被测采集回放仪最大采集通道数下,设置模拟器输出最多被测导航信号类型;
  - d) 操作被测采集回放仪,设置最大采集通道数与最大量化位数,根据产品规范要求采集并存储 60 min 卫星导航信号;
  - e) 操作 GNSS 多频接收机对被测采集回放仪记录的卫星导航信号数据回放信号进行 1 Hz 更新频率定位解算,存储并计算三维定位数据;
  - f) GNSS 多频接收机接收回放的卫星导航信号,每个通道每个频点都能够保证连续输出 60 min 定位结果,且能保持 60 min 连续正确定位,与模拟器设定的标准位置三维定位误差应小于 5 m (95%)。

5.6.2 信号采集回放带宽和带内平坦度

信号采集回放带宽和带内平坦度测试框图见图 3。

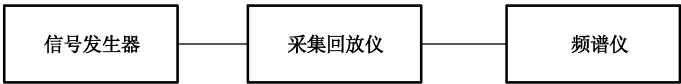


图 3 信号采集回放带宽和带内平坦度测试框图

测试步骤包括:

- a) 按图 3 连接设备,并按各设备技术说明书的要求进行预热;
- b) 设置信号发生器输出扫频信号,扫频宽度设置为 50 MHz,扫频步进 10 kHz,功率设置为采集回放仪射频输入端口允许的最大采集信号输入功率;
- c) 设置信号发生器输出信号中心频率,对于指定各通道导航信号类型的采集回放仪,设置中心频率为  $f_0 = (f_{\max} + f_{\min})/2$ ,其中  $f_{\max}$  为该通道所支持的载波频率最高的导航频点频带内上限频率, $f_{\min}$  为该通道所支持的载波频率最低的导航频点频带内下限频率;对于按频段定义通道的采集回放仪,以该通道的中心频率作为信号发生器输出信号的中心频率;
- d) 用采集回放仪采集该信号并回放,回放信号功率设为最大输出功率,使用信号与频谱分析仪的频谱测量模式,设置最大功率保持,测量得到回放信号的频响曲线,测量频响曲线上  $f_0$  处的功率电平  $P_0$ 、频率  $f_L = f_0 - BW/2$  处的功率电平  $P_L$ 、频率  $f_H = f_0 + BW/2$  处的功率电平  $P_H$ ,其中  $BW$  为采集回放仪的标称通道带宽,计算  $P_0 - P_L$  和  $P_0 - P_H$ ,当  $P_0 - P_L$  和  $P_0 - P_H$  均小于 3 dB 时符合要求;
- e) 测量频响曲线上中心频率两侧共 75% 带宽范围内的最大电平值与最小电平值的差值,作为带内平坦度的测量值;
- f) 对于每个通道,重复步骤 b)~e)。

5.6.3 无杂散动态范围

无杂散动态范围测试框图见图 3,测试步骤包括:

- a) 按图 3 连接设备,并按各设备技术说明书的要求进行预热;
- b) 设置信号发生器输出正弦波,频率设置为采集回放仪支持的导航信号频点,输出功率设为采集回放仪射频输入端口允许的最大采集信号输入功率;
- c) 操作被测采集回放仪,根据产品规范要求采集、存储和回放信号发生器的输出信号,其中采集带宽设置为最大采集带宽,并回放,采集时间为 30 min;
- d) 将回放信号功率设为最大值,使用频谱仪测量回放信号在被测卫星导航信号带宽内的谐波和杂波成分的最大功率值与峰值功率之差的绝对值,判断是否满足无杂散动态范围指标;
- e) 选择不同通道及导航信号频点,重复步骤 b)~d)。

## 5.6.4 载噪比回放一致性

载噪比回放一致性测试框图见图 4。

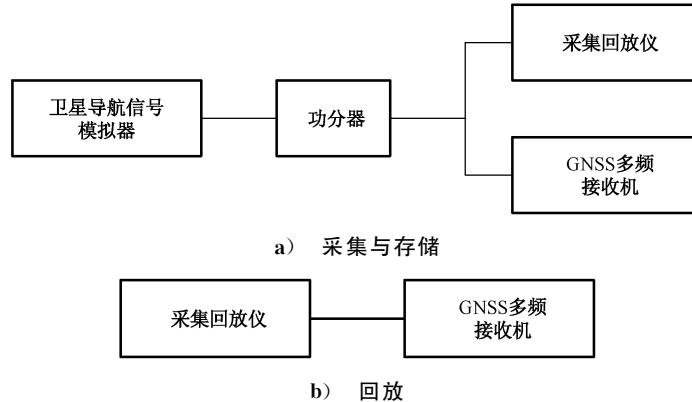


图 4 载噪比回放一致性测试框图

测试步骤包括：

- 按照图 4 连接设备,并按照各设备技术说明书的要求进行预热;
- 设置卫星导航信号模拟器仿真静止载体场景,可见卫星数不少于 10 颗;
- 设置模拟器输出被测导航信号类型,输出功率设为  $-120$  dBm;
- 操作被测采集回放仪,根据产品规范要求采集和存储信号模拟器的输出信号,其中采集带宽设置为最大采集带宽,采集时间为 30 min;
- 操作 GNSS 多频接收机终端以 1 Hz 的更新率连续输出并保存观测结果数据文件;
- 操作被测采集回放仪以匹配 GNSS 多频接收机最佳工作点的功率回放该时段卫星导航信号数据,输出端接同一 GNSS 多频接收机,以 1 Hz 更新率连续输出并保存卫星导航数据文件;
- 按照公式(1)计算载噪比一致性误差;

$$\Delta Cnr = \overline{Cnr_0} - \overline{Cnr_i} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $\Delta Cnr$  ——载噪比一致性误差值；  
 $\overline{Cnr_0}$  ——卫星导航信号直接测试的载噪比均值；  
 $\overline{Cnr_i}$  ——卫星导航信号回放测试的载噪比均值。

- 选择不同通道及导航信号频点,重复步骤 c)~g)。

## 5.6.5 频率偏差

频率偏差及频率稳定度测试框图见图 5。

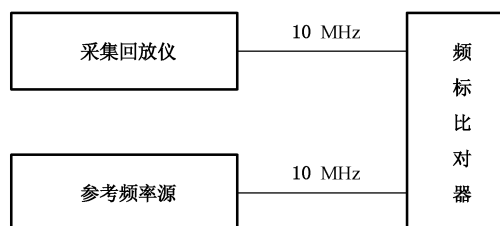


图 5 频率偏差及频率稳定度测试框图

测试步骤包括：

- a) 按图 5 连接好测试设备,并按照各设备技术说明书的要求进行预热；
- b) 取样时间  $\tau$  设为 10 s,被测采集回放仪输出内部参考时钟为 10 MHz 的信号；
- c) 操作频标比对器直接测量被测采集回放仪输出信号的频率  $f_x$ ；
- d) 根据公式(2)计算频率偏差,次数>100 次,求平均值：

$$A = \frac{f_0 - f_x}{f_0} \dots\dots\dots (2)$$

式中：  
 $A$  ——频率偏差；  
 $f_0$  ——频率标称值；  
 $f_x$  ——被测频率测量值。

5.6.6 频率稳定度

频率稳定度测试框图见图 5。测试步骤包括：

- a) 按图 5 连接好测试设备,并按照各设备技术说明书的要求进行预热；
- b) 被测采集回放仪输出内部参考时钟为 10 MHz 信号；
- c) 设置频标比对器为阿伦方差测量模式,测量被测采集回放仪输出信号的频率；
- d) 测试时间大于或等于 100 s,记录列表中取样时间 1 s 对应的频率稳定度,结果保留两位有效数字。

5.6.7 输出功率动态范围和功率电平线性

输出功率动态范围和功率电平线性测试框图见图 6。

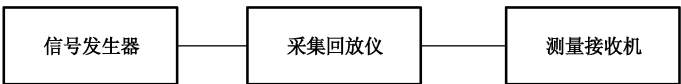


图 6 输出功率动态范围和功率电平线性测试框图

测试步骤如下：

- a) 按图 6 连接设备,并按照各设备技术说明书的要求进行预热；
- b) 设置信号发生器输出正弦波,频率设置为采集回放仪支持的导航信号频点,输出功率设为采集回放仪射频输入端口允许的最大采集信号输入功率；
- c) 用采集回放仪采集信号发生器的输出信号,并回放；
- d) 将回放信号功率设为最大值,测量接收机工作在接收机模式下,使用其绝对功率测量功能,中心频率为所测导航信号频点的载波频率；
- e) 以 10 dB 为步进,设置回放信号输出功率标称电平值从最大输出功率电平  $P_{\max}$  逐步减小到最小输出功率电平  $P_{\min}$ ,依次记录测量接收机测得的功率电平  $P_i (i=1,2,\dots,n)$ ,并逐一计算功率电平线性  $P_{L,i} = P_{\text{norm},i} - (P_{\max} - P_i)$ ,  $P_{\text{norm},i}$  为标称功率衰减量,即 10 dB、20 dB、...,功率电平线性测量值  $P_{L,i}$  应符合  $|P_{L,i}| \leq P_{\text{norm},i} / 10 \text{ dB} \times 0.5 \text{ dB}$ ；
- f) 计算输出功率动态范围  $P_d = P_{\max} - P_{\min}$ ；
- g) 选择不同通道及导航信号频点,重复步骤 b)~f)。

5.6.8 绝对功率准确度

绝对功率准确度测试步骤如下：

- 按图 6 连接设备,并按照各设备技术说明书的要求进行预热;
- 设置信号发生器输出正弦波,频率设置为采集回放仪支持的导航信号频点,输出功率设为采集回放仪射频输入端口允许的最大采集信号输入功率;
- 用采集回放仪采集信号发生器的输出信号,并回放;
- 将回放信号功率设为最大值  $P$ ,将测量接收机的中心频率设为所测导航频点的频率,并对测量接收机的绝对功率电平进行自校准后,用测量接收机测量回放信号的功率电平  $P'$ ,计算绝对功率电平误差  $\Delta P = P - P'$ ;
- 选择不同通道及导航信号频点,重复步骤 b)~d)。

### 5.6.9 伪距准确度和伪距变化率准确度

回放导航信号准确度包括伪距准确度、伪距变化率准确度,伪距准确度用 GNSS 多频接收机与卫星导航信号模拟器间、星间伪距双差的标准偏差表征,伪距变化率准确度用 GNSS 多频接收机与卫星导航信号模拟器间、星间伪距变化率双差的标准偏差表征。

测试框图见图 2。测试步骤包括:

- 按图 2 连接设备,并按照各设备技术说明书的要求进行预热;
- 设置卫星导航信号模拟器仿真静止载体场景,可见卫星数不少于 10 颗,关闭卫星导航信号模拟器的星历误差、星钟误差、电离层延迟、对流层延迟等各距离误差项;
- 设置模拟器输出被测导航信号类型,输出功率设为  $-120$  dBm;
- 用被检采集回放仪采集卫星导航信号模拟器的输出信号,采集时间 30 min,回放时信号功率设置为匹配 GNSS 多频接收机最佳工作点的功率(必要时外加衰减器);
- 用 GNSS 多频接收机接收回放信号,并记录各时刻的伪距和多普勒观测值;
- 根据公式(3)~公式(6)分别计算回放信号的伪距准确度和伪距变化率准确度:

$$\nabla \Delta x_{ij} = (x_{ij} - x_{i0}) - (x'_{ij} - x'_{i0}) \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} (\nabla \Delta x_{ij})^2}{2 \sum_{i=1}^n (m_i - 1)}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\nabla \Delta d_{ij} = (d_{ij} - d_{i0}) - (d'_{ij} - d'_{i0}) \dots\dots\dots (5)$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} (\nabla \Delta d_{ij})^2}{2 \sum_{i=1}^n (m_i - 1)}} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- $\nabla \Delta x_{ij}$  ——接收机与模拟输出的导航信号的  $j$  卫星在  $i$  历元的伪距双差值;
- $x_{ij}$  —— $i$  历元接收机  $j$  卫星伪距观测值;
- $x_{i0}$  —— $i$  历元接收机基准星(设其序号为 0)的伪距观测值;
- $x'_{ij}$  —— $i$  历元模拟器输出的  $j$  卫星伪距值;
- $x'_{i0}$  —— $i$  历元模拟器输出的基准星(设其序号为 0)的伪距值;
- $m_i$  ——接收机在  $i$  历元有伪距输出的卫星(通道)数目;
- $n$  ——历元总数;
- $\nabla \Delta d_{ij}$  ——接收机与模拟器输出的导航信号  $j$  卫星(通道)在  $i$  历元的伪距变化率双差值;
- $d_{ij}$  —— $i$  历元接收机  $j$  卫星多普勒观测值;
- $d_{i0}$  —— $i$  历元接收机基准星(设其序号为 0)的多普勒观测值;

$d'_{ij}$  —— $i$  历元模拟器输出的  $j$  卫星伪距变化率值；  
 $d'_{i0}$  —— $i$  历元模拟器输出的基准星(舍弃序号为 0)的伪距变化率值。

5.6.10 定位回放一致性

定位回放一致性测试框图见图 4。测试步骤包括：

- a) 按照图 4 连接设备,并按照各设备技术说明书的要求进行预热；
- b) 设置卫星导航信号模拟器仿真静止载体场景,可见卫星数不少于 10 颗；
- c) 设置模拟器输出被测导航信号类型,输出功率设为  $-120\text{ dBm}$ ；
- d) 操作被测采集回放仪,根据产品规范要求采集并存储 30 min 卫星导航信号；
- e) 操作 GNSS 多频接收机对相应频点卫星导航信号进行捕获和定位解算,以 1 Hz 的更新频率连续输出并保存解算结果数据文件；
- f) 操作被测采集回放仪以匹配 GNSS 多频接收机最佳工作点的功率回放该时段卫星导航信号数据,通过同一 GNSS 多频接收机对回放的相应频点卫星导航信号进行捕获和定位解算,以 1 Hz 的更新频率连续输出并保存解算结果数据文件；
- g) 参见附录 A 中的公式,利用 GNSS 多频接收机直接接收卫星导航信号和采集回放仪回放信号输出的解算结果计算三维定位误差；
- h) 选择不同通道及导航信号频点,重复步骤 c)~g)。



附 录 A  
(资料性附录)  
定位精度的数据处理方法

### A.1 概述

回放定位一致性测试,可以按本附录给出的方法进行数据处理。

### A.2 基于统计分布假设的数据处理方法

数据处理步骤如下:

- a) 在得到的全部实时定位数据中剔除水平精度因子 HDOP>4 或位置精度因子 PDOP>6 的测量数据。
- b) 在下述处理过程中,应选用适当的统计判断准则(如:3 $\sigma$  准则)剔除粗大误差数据。
- c) 将导航单元输出的大地坐标系定位数据转换为站心坐标系定位数据。
- d) 按公式(A.1)计算各历元输出的定位数据在站心坐标系下各方向(ENU 方向,即东北天方向)的定位误差:

$$\left. \begin{aligned} \Delta E_i &= E_i - E_{0i} \\ \Delta N_i &= N_i - N_{0i} \\ \Delta U_i &= U_i - U_{0i} \\ \Delta H_i &= \sqrt{\Delta E_i^2 + \Delta N_i^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$\Delta E_i, \Delta N_i, \Delta U_i, \Delta H_i$  ——第  $i$  次测试定位数据的 E、N、U 方向和水平方向的定位误差( $i=1, 2, \dots, n$ ),单位为米(m);

$E_i, N_i, U_i$  ——第  $i$  次测试定位数据的 E、N、U 方向分量,单位为米(m);

$E_{0i}, N_{0i}, U_{0i}$  ——第  $i$  次定位的标准点坐标 E、N、U 方向分量,单位为米(m)。

- e) 按公式(A.2)计算站心坐标系下各方向的定位偏差:

$$\left. \begin{aligned} \overline{\Delta E} &= \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E_i}{n} \\ \overline{\Delta N} &= \frac{\sum_{i=1}^n \Delta N_i}{n} \\ \overline{\Delta U} &= \frac{\sum_{i=1}^n \Delta U_i}{n} \\ \overline{\Delta H} &= \sqrt{\overline{\Delta N}^2 + \overline{\Delta E}^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

$\overline{\Delta E}, \overline{\Delta N}, \overline{\Delta U}$  ——定位偏差的 E、N、U 方向分量,单位为米(m);

$\overline{\Delta H}$  ——水平定位距离偏差,单位为米(m)。

f) 按公式(A.3)计算定位误差的标准差:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_E &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta E_i - \bar{\Delta}_E)^2} \\ \sigma_N &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta N_i - \bar{\Delta}_N)^2} \\ \sigma_U &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta U_i - \bar{\Delta}_U)^2} \\ \sigma_H &= \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_E^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$\sigma_E, \sigma_N, \sigma_U$  ——定位误差的标准差在 E、N、U 方向的分量,单位为米(m)。

$\sigma_H$  ——定位误差的标准差在水平方向的分量,单位为米(m)。

g) 计算置信概率为 95% 的定位精密度:

对于水平方向,在各轴向随机误差接近正态分布、且误差椭圆轴比约为 1 的假设下,可取置信因子  $k=2$  ( $k=2.448/2 \approx 1.73$  的安全近似值,  $k=2$  时水平误差落在半径为  $2\sigma_H$  的圆内的概率在 95.4%~98.2%,具体值取决于误差椭圆的轴比,  $2\sigma_H$  值通常作为水平误差大小的 95% 界限),按公式(A.4)计算:

$$U_H = k\sigma_H = 2\sigma_H, p = 95\% \dots\dots\dots (A.4)$$

对于垂直方向,取置信因子  $k=2$  ( $k=1.96$  的安全近似值),按公式(A.5)计算:

$$U_U = k\sigma_U = 2\sigma_U, p = 95\% \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

$U_H$  ——置信概率 95% 的水平定位精密度,单位为米(m);

$U_U$  ——置信概率 95% 的垂直定位精密度,单位为米(m)。

h) 分别报告偏差和精密度:

1) NEU 三个方向的定位偏差:  $(\bar{\Delta}_E, \bar{\Delta}_N, \bar{\Delta}_U)$ ;

2) 水平定位精密度:  $U_H = 2\sigma_H, p = 95\%$ ;

3) 垂直定位精密度:  $U_U = 2\sigma_U, p = 95\%$ 。

i) 计算定位精度:

1) 水平定位精度:  $M_H = \bar{\Delta}_H + U_H$ ;

2) 垂直定位精度:  $M_U = |\bar{\Delta}_U| + U_U$ 。

j) 计算回放定位一致性:

直接测试的水平定位精度为  $M_H^D$ ,垂直定位精度为  $M_U^D$ ,回放测试的水平定位精度为  $M_H^P$ ,垂直定位精度为  $M_U^P$ 。则水平定位回放误差见公式(A.6):

$$E_h = M_H^D - M_H^P \dots\dots\dots (A.6)$$

垂直定位回放误差见公式(A.7):

$$E_v = M_U^D - M_U^P \dots\dots\dots (A.7)$$

三维定位回放误差见公式(A.8):

$$E_{3D} = \sqrt{E_h^2 + E_v^2} \dots\dots\dots (A.8)$$