



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF \*\*\*\*—20xx

## GNSS/INS 组合导航定位终端计量校准规范

Calibration Specification for GNSS/INS Integrated Navigation

System

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

# GNSS/INS 组合导航定位 终端计量校准规范

JJF\*\*\*\*\*—20xx

Calibration Specification for GNSS/INS Integrated  
Navigation System

本规范经国家市场监督管理总局 XXXX 年 XX 月 XX 日批准，  
并自 XXXX 年 XX 月 XX 日起施行。

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

参加起草单位：成都市计量检定测试院

北京东方计量测试研究所

中国信息通信研究院

本规范委托全国卫星导航应用专用计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

许 原（北京市计量检测科学研究院）

黄 艳（北京市计量检测科学研究院）

高 伟（北京市计量检测科学研究院）

本规范参加起草人：

郑子伟（成都市计量检定测试院）

许丽丽（北京东方计量测试研究所）

陈晓晨（中国信息通信研究院）

# 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 .....                | 2  |
| 5 计量特性 .....              | 3  |
| 5.1 标度因数 .....            | 3  |
| 5.2 零偏 .....              | 3  |
| 5.3 失准角 .....             | 3  |
| 5.4 速度偏差和精密度 .....        | 3  |
| 5.5 姿态偏差偏差和精密度 .....      | 3  |
| 5.6 位置偏差和精密度 .....        | 4  |
| 5.7 失锁后定位偏差和精密度保持能力 ..... | 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  |
| 6.3 主要校准设备 .....          | 5  |
| 7 校准项目和校准方法 .....         | 7  |
| 7.1 校准项目 .....            | 7  |
| 7.2 校准方法 .....            | 7  |
| 8 校准结果表达 .....            | 12 |
| 9 复校时间间隔 .....            | 13 |
| 附录 A 原始记录参考格式 .....       | 14 |
| 附录 B 校准证书内页参考格式 .....     | 17 |
| 附录 C 模拟器仿真场景的参数设置 .....   | 19 |
| 附录 D 测量方法中的数据格式说明 .....   | 22 |

# 引言

本规范是以 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行编写。

本规范采用了 JJF 1403-2013《全球导航卫星系统（GNSS）接收机（时间测量型）》和 JJF 1536-2015《捷联式惯性航姿仪校准规范》相关术语定义和部分技术内容。

本规范为首次发布。

# GNSS/INS 组合导航定位终端计量校准规范

## 1 范围

本规范适用于车载、船用 GNSS/INS 组合模式的导航定位终端（以下简称“终端”）的校准。其他类型的 GNSS/INS 组合模式的导航定位终端也可参照本规范进行校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001-2011 《通用计量术语及定义》

JJF 1403-2013 《全球导航卫星系统(GNSS) 接收机(时间测量型)》

JJF 1536-2015 《捷联式惯性航姿仪校准规范》

GJB 3183A-2018 惯性-卫星组合导航系统通用规范

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；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 标度因数 scale factor

IMU 输出的变化与输入角速度变化的比值，也称一次项误差。一般用最小二乘法拟合整个输入速率范围内测得的输出与输入数据得到。[来源：JJF 1536-2015，3.1]

### 3.2 零偏 zero offset

当输入角速度为零时的输出，一般情况下为常值误差。[来源：JJF 1536-2015，3.2]

### 3.3 横滚角 roll angle

载体北、天、东三个方向构成右手坐标系，绕向北的方向旋转的角。[来源：JJF 1536-2015，3.3]

### 3.4 俯仰角 pitch angle

载体北、天、东三个方向构成右手坐标系，绕向东的方向旋转的角。[来源：JJF 1536-2015，3.4]

### 3.5 航向角 heading angle

载体北、天、东三个方向构成右手坐标系，绕向天的方向旋转的角。

注：无参照物时航向角就是指前进方向和正北方向之间的夹角。[来源：JJF 1536-2015，3.5]

### 3.6 失准角 misalignment angle

航姿仪器的陀螺敏感轴与安装轴的不正交角。[来源：JJF 1536-2015，3.6]

### 3.7 零偏稳定性 bias stability

当组合导航定位终端输入角速率为零时，衡量陀螺仪输出量围绕其均值（零偏）的离散程度。可以用规定时间内输出量的标准偏差相应的等效输入角速率表示，也可称为零漂。单位为 $^{\circ}/h$ ， $^{\circ}/s$ 。

### 3.8 全球导航卫星系统 GNSS

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）。

### 3.9 INS Inertial Navigation System

惯性导航系统，一种以牛顿力学定律为基础工作原理的自主导航系统。通过测量载体在惯性参考系的加速度，将它对时间进行积分并把它变换到导航坐标系中，得到在导航坐标系中的速度、偏航角和位置等信息。

### 3.10 IMU Inertial Measurement Unit

惯性测量单元。一种测量物体三轴姿态角(或角速率)以及加速度的装置。

## 4 概述

GNSS/INS 组合导航定位终端一般是指包含全球导航卫星系统（GNSS）和惯性定向定位导航系统（INS）的定位定姿导航终端。根据 GNSS 和 INS 导航功能互补的特点，GNSS/INS 组合导航定位终端以适当的方式将两者组合，来提高系统的整体定位导航精度、定位导航性能和使用中对准的能力。组合导航定位终端能够实时对载体进行三维位置、三维速度、三维姿态的测量，多采用 GNSS/INS 松组合、紧组合、深组合等组合模式。由于 GNSS 与 INS 具有较好的互补特性，GNSS/INS 组合导航定位终端已广泛应用于交通物流、自动驾驶、机器人等行业。

其基本结构和工作原理如图1所示。

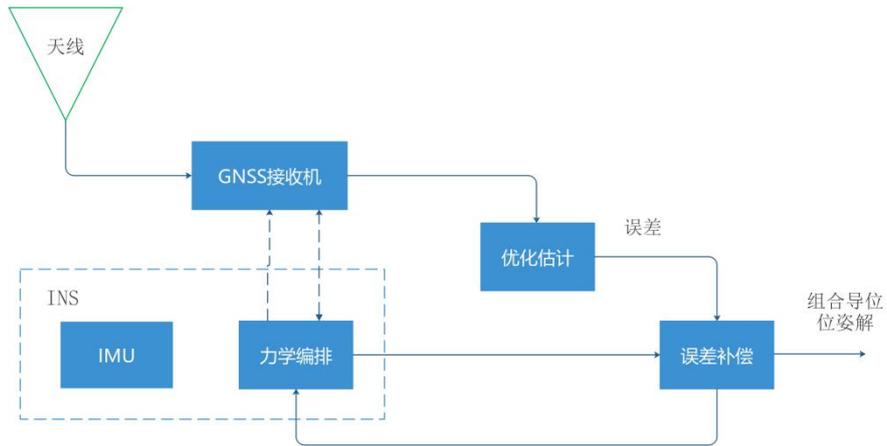


图1 GNSS/INS模式的组合导航定位终端基本结构和工作原理

## 5 计量特性

### 5.1 标度因数

$(20\sim 200) \times 10^{-6}$

### 5.2 零偏

$(0.1\sim 1)^\circ / \text{h}$

### 5.3 失准角

$(0.001\sim 0.1)^\circ$

### 5.4 速度偏差和精密度

$(0.01\sim 2) \text{ m/s}$ ;  $(0.01\sim 2) \text{ m/s} (1\sigma)$

### 5.5 姿态偏差偏差和精密度

方向角:  $(0.01\sim 0.2)^\circ$ ;  $(0.01\sim 0.2)^\circ (1\sigma)$ 。

俯仰角:  $(0.01\sim 0.2)^\circ$ ;  $(0.01\sim 0.2)^\circ (1\sigma)$ 。

横滚角:  $(0.01\sim 0.2)^\circ$ ;  $(0.01\sim 0.2)^\circ (1\sigma)$ 。

## 5.6 位置偏差和精密度

在 GNSS 锁定，PDOP $\leq$ 4 条件下：

DGNSS 水平： $\leq 0.5\text{m}$  ( $1\sigma$ )

DGNSS 垂直： $\leq 0.8\text{m}$  ( $1\sigma$ )

RTK（水平）： $0.03\text{m}$  ( $1\sigma$ )

RTK（垂直）： $0.05\text{m}$  ( $1\sigma$ )

## 5.7 失锁后定位偏差和精密度保持能力

在 GNSS 失锁 60s 条件下：

DGNSS 水平： $\leq 3.0\text{m}$  ( $1\sigma$ )

DGNSS 垂直： $\leq 0.8\text{m}$  ( $1\sigma$ )

RTK（水平）： $\leq 1.2\text{m}$  ( $1\sigma$ )

RTK（垂直）： $\leq 0.3\text{m}$  ( $1\sigma$ )

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

- (a) 温度： $(20\pm 3)\text{℃}$ 内任选一点，温度变化应不超过 $\pm 2\text{℃}$ ；
- (b) 相对湿度： $(30\sim 85)\%$ ；
- (c) 实验室应有接地装置，接地电阻小于  $4\Omega$ ；
- (d) 转台应安装在隔振地基上。

### 6.2 测量标准及其他设备

- (a) 组合导航终端的安装定位面和安装夹具工作面应清洁平滑；
- (b) 安装的夹具应具有良好的刚性，且各垂直面相互垂直度应小于  $5''$ ，平面度小于  $0.01\text{mm}$ 。

## 6.3 主要校准设备

### 6.3.1 三轴位置速率转台

#### 6.3.1.1 位置工作方式

- (a) 定位精度:  $\pm 3''$  ;
- (b) 定位分辨力:  $0.36''$  ;
- (c) 定位重复性:  $\pm 3''$  。

#### 6.3.1.2 速率工作方式

##### (a) 速率范围

内框  $\pm 0.001 \sim \pm 400^\circ /s$ ;

中框  $\pm 0.001 \sim \pm 250^\circ /s$ ;

外框  $\pm 0.001 \sim \pm 180^\circ /s$ ;

##### (b) 速率分辨力: $0.0001^\circ /s$ ;

##### (c) 速率精度

$5 \times 10^{-5}$  ( $\omega \geq 10^\circ /s$  ,  $360^\circ$  平均)

$1 \times 10^{-3}$  ( $1^\circ /s \leq \omega < 10^\circ /s$ ,  $10^\circ$  平均)

$1 \times 10^{-2}$  ( $\omega < 1^\circ /s$  ,  $1^\circ$  平均);

##### (d) 速率平稳性

$5 \times 10^{-5}$  ( $\omega \geq 10^\circ /s$  ,  $360^\circ$  平均);

$1 \times 10^{-3}$  ( $1^\circ /s \leq \omega < 10^\circ /s$ ,  $10^\circ$  平均);

$1 \times 10^{-2}$  ( $\omega < 1^\circ /s$  ,  $1^\circ$  平均);

注: 1. 校准设备的测量不确定度应满足被测组合导航终端 IMU 指标要求;

2. 实验室应用北向。

### 6.3.2 GNSS/INS 导航定位定姿信号联合仿真器

#### 6.3.2.1 支持卫星系统和频点

支持被测终端所用的 GNSS 系统, 至少需包含 GPS L1 和 BDS B1 频点。

#### 6.3.2.2 伪距分辨力与伪距误差

伪距分辨力:  $\leq (0.001 \sim 0.01) \text{ m}$

伪距误差:  $\leq 0.01 \text{ m}$ ;

#### 6.3.2.3 输出信号功率范围

(-170~-70)dBm;

#### 6.3.2.4 功率分辨力

(0.1~2) dB

#### 6.3.2.5 功率偏差

±(0.5~2) dB。

#### 6.3.2.6 内部通道延迟

(0~15) ns。

#### 6.3.2.7 具备 IMU 误差模型配置功能

表 1 IMU 误差模型主要参数列表

| 序号 | 参数名称       | 参数范围                         | 备注        |
|----|------------|------------------------------|-----------|
| 1  | 零偏常值       | /                            | 具备白噪声误差模型 |
| 2  | 标度因数常值     | /                            | 具备白噪声误差模型 |
| 3  | 失准角常值      | /                            | 具备白噪声误差模型 |
| 4  | 信息输出频度     | (1~2000) Hz<br>对应更新周期 1s~2ms |           |
| 5  | 串口波特率      | (9600~468000) Baud           |           |
| 6  | IMU 载体安装矩阵 | /                            |           |

#### 6.3.2.8 具备测试场景关键参数的设置和同步仿真功能

表 2 模拟器同步仿真参数清列表

| 序号 | 参数名称            | 参数范围                      | 备注 |
|----|-----------------|---------------------------|----|
| 1  | UTC 时间          | /                         |    |
| 2  | 姿态（航向角、俯仰角、横滚角） | (0~360) °                 |    |
| 3  | 位置 (X,Y,Z)      | /                         |    |
| 4  | 速度              | 0~36000m/s                |    |
| 5  | 加速度             | (0~2000) m/s <sup>2</sup> |    |
| 6  | 加加速度            | (0~2000) m/s <sup>3</sup> |    |
| 7  | 传感器同步时延         | -1000μs~1000μs            |    |
| 8  | 接收机轨迹自生成        | \                         |    |
| 9  | 载体天线方向图模型选择     | 增益:-30dB~30dB             |    |

|  |  |               |  |
|--|--|---------------|--|
|  |  | 方向角 (0~360) ° |  |
|  |  | 俯仰角 (0~90) °  |  |

### 6.3.3 线性电源

交流电压：(110~230) V，MPE：±10%

直流电压：(0~30) V，纹波及噪声小于 0.3mV

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目及对应校准方法见表 3。

**表 4 校准项目及对应校准方法一览表**

| 序号 | 校准项目名称        | 首次校准 | 后续校准 | 使用中检查 |
|----|---------------|------|------|-------|
| 1  | 外观和功能检查       | +    | +    | +     |
| 2  | 标度因数          | +    | -    | -     |
| 3  | 零偏            | +    | -    | -     |
| 4  | 失准角           | +    | -    | -     |
| 5  | 速度偏差          | +    | +    | +     |
| 6  | 位置偏差          | +    | +    | +     |
| 7  | 姿态偏差          | +    | +    | +     |
| 8  | GNSS失锁后定位偏差保持 | +    | +    | +     |

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 外观和功能检查

7.2.1.1 组合导航定位终端的外形结构应完好，标识清晰，应标明设备的名称、型号、规格、制造商、出厂编号、制造年月等。

7.2.1.2 组合导航定位终端各部件机壳外表面应光洁、平整，不应有凹痕、划伤、裂缝、变形等缺陷。金属机壳表面应有防锈、防腐蚀涂层，金属零件不应有锈蚀。

7.2.1.3 组合导航定位终端的显示值应清晰、无叠字，不应有不亮、缺笔划等现象，操作控制功能、GNSS 定位功能、数据打印输出功能正常。

#### 7.2.2 标度因数

将被测组合导航终端通过夹具固联于三轴位置速率转台上，X 正向朝上固定再转台内框安装板上，接通转台和终端电源，通过滑环接口连接终端数据线缆，参照 JJF 1536-2015 中 7.1.1 的校准方法，获得 IMU 的 X 轴标度因数  $K_x$ 。重复上面的校准步骤，分别获得 Y 轴标度因数  $K_y$  和 Z 轴标度因数  $K_z$ 。

### 7.2.3 零偏

使用四位置法进行 IMU 的零偏校准，将被测组合导航终端通过夹具固联于三轴位置速率转台上，X 轴朝东，Y 轴保持水平朝北固定在转台内框安装板上，接通转台和终端电源，通过滑环接口连接终端数据线缆，参照 JJF 1536-2015 中 7.2.1 的校准方法，获得航向角零偏  $B_x$ ，重复上面的校准步骤，获得俯仰角零偏  $B_y$ 、横滚角零偏  $B_z$ 。

### 7.2.4 失准角

将被测组合导航终端通过夹具固联于三轴位置速率转台上，X 轴朝天放置，参照 JJF 1536-2015 中 7.3.1 的方法进行失准角校准，分别获得 X 轴对 Y 轴失准角  $L_{yx}$ 、X 轴对 Z 轴失准角  $L_{zx}$ ，Y 轴对 X 轴失准角  $L_{xy}$ ，Y 轴对 Z 轴失准角  $L_{zy}$ ，Z 轴对 X 轴失准角  $L_{xz}$ ，Z 轴对 Y 轴失准角  $L_{yz}$ 。

### 7.2.5 定位偏差和精密度

#### 7.2.5.1 模拟器校准法

- a) 将使用转台校准得到的 IMU（陀螺和加速度计）的标度因数、零偏和失准角的常值偏差输入 GNSS/INS 联合仿真模拟器的测控软件中，建立 INS 传感器的误差模型。
- b) 根据组合导航终端、GNSS 天线相对载体的安装位置，确定安装矩阵参数并输入 GNSS/INS 联合仿真模拟器仿真软件。
- c) 按照图 2 连接 GNSS/INS 联合仿真模拟器检测组合导航终端。模拟器用户 1、用户 2 射频信号输出对应组合导航终端 GNSS 天线 1 接口和天线 2 接口，通过组合导航终端的 SDK 软件设置终端 IMU 传感器进入非工作状态，并将模拟器输出的 IMU 仿真数据通过串口输入给被测终端，同时启动终端位置、姿态测量数据记录功能。

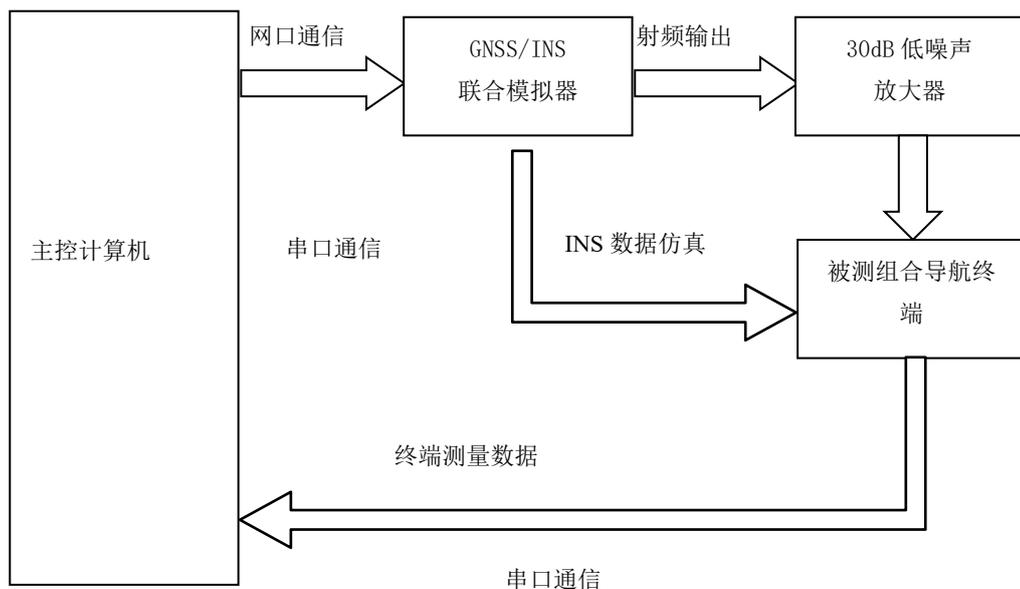


图2 模拟器检测组合导航终端连接图

- d) 启动模拟器惯性仿真模块，设定仿真诸元参数，包括信息输出频度，仿真数据格式、串口波特率、初始横滚角、初始俯仰角、初始航向角、测试场景轨迹、传感器同步时延等信息等。
- e) 诸元参数设置完成后，启动测试场景，同时记录模拟器测试场景轨迹文件中各项参数的标准值，更新率 200Hz。
- f) 终端卫星锁定 3min 后开始记录测量数据，连续记录 1h 的测量数据。测试结束后，先停止被测终端的数据记录再停止模拟器测试场景运行。将终端记录的数据和对应的模拟器测试场景轨迹文件导出，根据时间戳对数据进行排序并比较对应时间点的位置、姿态、速度、加速度等参数的测量误差。
- g) 设  $i$  时刻模拟器仿真标准位置值为  $(x_0, y_0, z_0)$ ，被检组合导航终端此时此刻的测量输出的位置坐标为  $(x_i, y_i, z_i)$ ，计算模拟器仿真标准值与被测终端测量值之差  $(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i)$ ，并由式(1)计算组合导航终端在  $i$  时刻的定位偏差  $\delta_{pi}$ 。重复仿真测试 3 次，计算 3 次位置测量值的实验标准差  $s_x$ 、 $s_y$ 、 $s_z$ ，并由式(2)计算导航定位仪的定位精密度。

$$\delta_{pi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2 + \sum_{i=1}^n \Delta y_i^2 + \sum_{i=1}^n \Delta z_i^2}{n}} \quad (1)$$

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

## 7.2.5.2 实测道路比较法

室外环境下，测试连接图如图 3 所示。测试步骤如下：

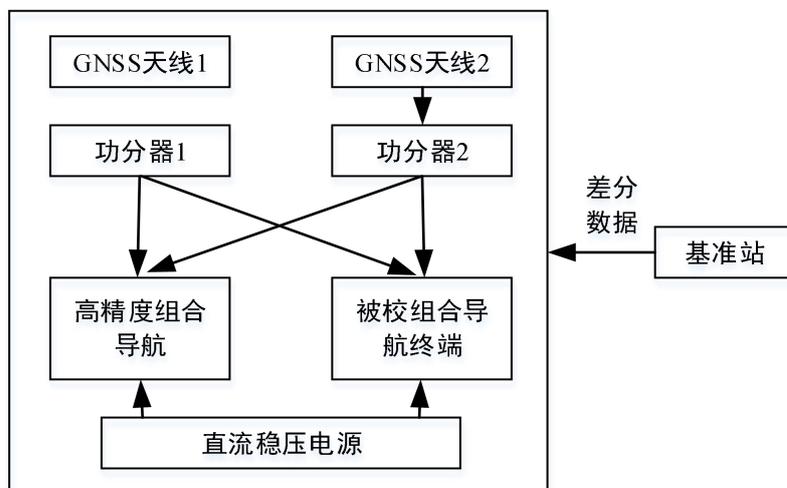


图 3 室外测试连接图

(a) 选择室外空旷环境，周围无电磁干扰，将高精度组合导航系统和被测组合导航终端固定安装在移动测试平台上，被测组合导航终端和高精度组合导航通过功分器连接 GNSS 天线获取卫星信号；

(b) 启动电源，高精度组合导航系统和被测组合导航终端都进入导航状态以后，移动测试平台沿着直线行驶（建议行进速度 $\geq 0.5\text{m/s}$ ，可根据用户需求进行校准），并保存高精度组合导航系统和被测组合导航终端的数据；

(c) 对比每个时间点高精度组合导航系统输出的位置和被测组合导航终端输出的位置，按式（3）计算动态条件下被测组合导航终端定位偏差（建议位置点数 $\geq 1200$ 个，可根据用户需求进行校准）。

$$\delta_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((m_i - x_i)^2 + (n_i - y_i)^2 + (l_i - z_i)^2)}{n}} \quad (3)$$

式中：

$x_i, y_i, z_i$ ，--分别为被测组合导航终端测量的第  $i$  个采样时刻在站心地平坐标系下的东、北、天向坐标，单位为米（m）；

$m_i, n_i, l_i$  --分别为高精度组合导航系统测量的第  $i$  个采样时刻在站心地平坐标系下的东、北、天向坐标，单位为米（m）；

注：定位偏差校准时，模拟器校准法或实测道路比较法任选其一即可。

## 7.2.6 姿态偏差和精密度

### 7.2.6.1 模拟器校准法

- a) 姿态偏差的校准过程同 7.2.5.2 中步骤 a) ~f) 的步骤,
- b) 设  $i$  时刻模拟器仿真标准姿态值为  $(\psi_0, \theta_0, \varphi_0)$ , 被检组合导航终端此时此刻的测量输出的姿态坐标为  $(\psi_i, \theta_i, \varphi_i)$ , 计算模拟器仿真标准值与被测终端测量值之差  $(\Delta\psi_i, \Delta\theta_i, \Delta\varphi_i)$ , 并由式 (4) 计算组合导航终端在  $i$  时刻的姿态偏差  $\delta_{ai}$ 。重复仿真测试 3 次, 计算 3 次姿态测量值的实验标准差  $s_{a\psi}$ 、 $s_{a\theta}$ 、 $s_{a\varphi}$ , 并由式 (5) 计算组合导航终端的姿态标准差

$$\delta_{ai} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta\psi_i^2 + \sum_{i=1}^n \Delta\theta_i^2 + \sum_{i=1}^n \Delta\varphi_i^2}{n}} \quad (4)$$

$$\sigma_{ai} = \sqrt{s_{a\psi}^2 + s_{a\theta}^2 + s_{a\varphi}^2} \quad (5)$$

### 7.2.6.2 实测道路比较法

- a) 姿态偏差的校准过程同 7.2.5 中步骤 a) ~b) 的步骤;
- b) 对比每个时间点高精度组合导航系统输出的姿态和被测组合导航终端输出的姿态, 按式 (6) 计算动态条件下被测组合导航终端姿态偏差 (建议姿态点数  $\geq 1200$  个, 可根据用户需求进行校准)。

$$\delta_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((\alpha_i - \eta_i)^2 + (\beta_i - \kappa_i)^2 + (\gamma_i - \lambda_i)^2)}{n}} \quad (6)$$

式中:

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ , --分别为被测组合导航终端测量的第  $i$  个采样时刻在站心地平坐标系下的航向、俯仰、横滚角, 单位为度 ( $^\circ$ );

$\eta_i, \kappa_i, \lambda_i$  --分别为高精度组合导航系统测量的第  $i$  个采样时刻在站心地平坐标系下的航向、俯仰、横滚角, 单位为度 ( $^\circ$ );

注: 姿态偏差校准时, 模拟器校准法或实测道路比较法任选其一即可。

### 7.2.7 速度偏差和精密度

将模拟器测试场景设为动态场景 (可见卫星不少于 6 颗, PDOP  $\leq 4$ , 信号功率: -120 dBm 或者按厂家接口电平指标)。模拟器开始仿真, 组合导航终端输出第一个有效测速值后, 等待

3 min，连续运行 15 min，记录组合导航终端的测速数据值，采样率 200Hz。模拟器仿真标准速度值 $(v_{x0}, v_{y0}, v_{z0})$ ，被校组合导航终端的测速信息 $(v_{xi}, v_{yi}, v_{zi})$ ，计算模拟器仿真标准值与被测终端测量值之差 $(\Delta v_{xi}, \Delta v_{yi}, \Delta v_{zi})$ ，并由式(7)计算导航定位仪的测速偏差；重复仿真测试 3 次，计算 3 次速度测量值的实验标准差 $s_{vx}$ 、 $s_{vy}$ 、 $s_{vz}$ ，并由式(8)计算组合导航终端的测速标准差。

$$\delta_{vi} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta v_{xi}^2 + \sum_{i=1}^n \Delta v_{yi}^2 + \sum_{i=1}^n \Delta v_{zi}^2} \quad (7)$$

$$\sigma_{vi} = \sqrt{s_{vx}^2 + s_{vy}^2 + s_{vz}^2} \quad (8)$$

### 7.2.8 失锁后定位偏差保持能力

如 7.2.5 中的方法，模拟器载入预设的仿真场景（包括 UTC 时间、载体轨迹、载体运动状态、数据更新率、IMU 误差模型等信息），启动联合仿真 15min 后，开始连续采集终端输出的位置和姿态测量数据，采样率 10Hz。

在终端定位解状态达到固定解后，将联合仿真器输出的 GNSS 信号中断，继续记录终端输出的位置和姿态测量信息，取 GNSS 信号中断后 60s、600s 和 3600s 后三个时刻组合导航终端输出的位置坐标、姿态、速度、加速度等数据，对三个时间间隔内的数据做 RMS 统计，与模拟器输出的仿真状态理论真值进行比较，得到终端在 GNSS 失锁 60s、600s、3600s 时的保持精度。设 t 时刻模拟器仿真标准位置值为 $(x_{t0}, y_{t0}, z_{t0})$ ，被检组合导航终端输出的位置坐标 $(x_{ti}, y_{ti}, z_{ti})$ ，计算模拟器仿真标准位置坐标点值与被测终端输出位置坐标点之间的距离，并由式(9)计算被测组合导航终端的定位偏差。

$$\delta_p = \sqrt{(x_{ti} - x_{t0})^2 + (y_{ti} - y_{t0})^2 + (z_{ti} - z_{t0})^2} \quad (9)$$

## 8 校准结果表达

经校准后的组合导航定位终端出具校准证书。证书上的内容应至少包括以下信息，校准证书内页格式见附录B：

- 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) 送校单位的名称和地址;
- 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, 以及签发日期;
- 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

复校时间间隔的长短由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定, 送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议复校间隔时间为 1 年。凡在使用过程中经过修理、更换重要器件等的一般需要重新校准。

## 附录 A 原始记录参考格式

## 原始记录参考格式

|        |   |
|--------|---|
| 校准地点   |   |
| 校准时间   |   |
| 标准器信息  |   |
| 被校设备信息 |   |
| 校准人员   |   |
| 校准项目   | <input type="checkbox"/> 外观和功能检查<br><input type="checkbox"/> 标度因数<br><input type="checkbox"/> 零偏<br><input type="checkbox"/> 失准角<br><input type="checkbox"/> 位置偏差<br><input type="checkbox"/> 速度偏差<br><input type="checkbox"/> 姿态偏差<br><input type="checkbox"/> 失锁后位置偏差保持 |

## 1. 外观和工作正常性检查

| 校准项目 | 技术要求   | 是否符合 |
|------|--|------|
| 外观检查 | 设备外形应美观大方、合理、使用安装方便。产品表面色泽均匀，整洁，无明显伤痕、裂痕、变形等现象，印字字迹清楚端正，指示灯显示清晰。 |      |

## 2. 功能检查

| 校准项目 | 技术要求                                  | 是否符合 |
|------|---------------------------------------|------|
| 通电检查 | 显示及操作控制功能、GNSS/INS 位置姿态测量功能、数据输出功能正常。 |      |

## 3. 定位偏差

| 校准项目   | X 方向定位偏差/m | Y 方向定位偏差/m | Z 方向定位偏差/m |
|--------|------------|------------|------------|
|        |            |            |            |
| 水平定位偏差 |            |            |            |
| 垂直定位偏差 |            |            |            |
| 不确定度   |            |            |            |

## 4. 标度因数

| 校准项目  | 测量值 | 不确定度 $U$ |
|-------|-----|----------|
| $K_x$ |     |          |
| $K_y$ |     |          |
| $K_z$ |     |          |

## 5. 零偏

| 序号    | 测量值 | 不确定度 $U$ ( $^{\circ}$ /h) |
|-------|-----|---------------------------|
| $B_x$ |     |                           |
| $B_y$ |     |                           |
| $B_z$ |     |                           |

## 6. 失准角

| 序号 | 失准角 | 不确定度 $U$ ( $^{\circ}$ ) |
|----|-----|-------------------------|
| 1  |     |                         |
| 2  |     |                         |
| 3  |     |                         |
| 4  |     |                         |
| 5  |     |                         |
| 6  |     |                         |

## 7. 速度偏差

| 序号 | 速度偏差 | 不确定度 $U$ (m/s) |
|----|------|----------------|
| 1  |      |                |
| 2  |      |                |
| 3  |      |                |

**8. 姿态偏差**

| 序号  | 姿态偏差 | 不确定度 $U(^{\circ})$ |
|-----|------|--------------------|
| 航向角 |      |                    |
| 俯仰角 |      |                    |
| 横滚角 |      |                    |

**9. 失锁后保持位置偏差保持能力校准**

| 失锁时间  | 失锁后位置偏差保持 | 不确定度 $U(m)$ |
|-------|-----------|-------------|
| 60s   |           |             |
| 600s  |           |             |
| 3600s |           |             |

## 附录 B 校准证书内页参考格式

校准证书内页参考格式

| 序号 | 测量项目        | 技术要求 | 实测结果 | 测量不确定度 |
|----|-------------|------|------|--------|
| 1  | 外观检查        |      | \    | \      |
| 2  | 通电检查        |      |      |        |
| 3  | 零偏稳定性（陀螺仪）  |      |      |        |
| 4  | 零偏稳定性（加速度计） |      |      |        |
| 5  | 位置精度        |      |      |        |
| 6  | 航向角         |      |      |        |
| 7  | 俯仰角         |      |      |        |
| 8  | 横滚角         |      |      |        |
| 9  | 标度因数        |      |      |        |
| 10 | 失准角         |      |      |        |
| 11 | 速度精度        |      |      |        |

---

|    |             |  |  |  |
|----|-------------|--|--|--|
| 12 | 位置精度        |  |  |  |
| 13 | 失锁后保持定位偏差精度 |  |  |  |

## 附录 C

### 模拟器仿真场景的参数设置

(资料性附录)

#### 1. 载体坐标系

参数设置使用的载体坐标系，其定义为  $Ox_b y_b z_b$ 。

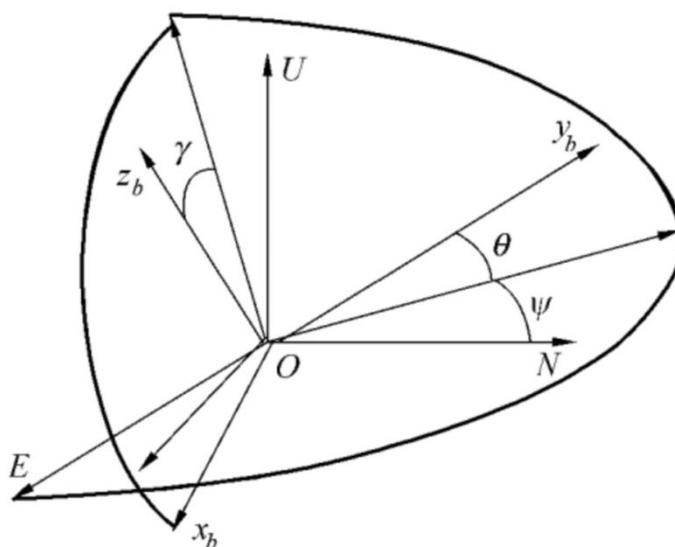


图 1 载体坐标系定义

#### 2. 导航坐标系定义

使用导航坐标系，其定义为  $OENU$ 。

#### 3. 载体坐标系到导航坐标系的转换

在组合导航终端的算法中主要涉及两个坐标系，载体坐标系 ( $Ox_b y_b z_b$ ) 和导航坐标系 ( $OENU$ )。导航坐标系 ( $OENU$ ) 通过航向角、俯仰角、横滚角转换到载体坐标系 ( $Ox_b y_b z_b$ )，如图 1 所示。其欧拉角的旋转顺序为航向—俯仰—滚动；其中：航向角的定义为当被测物体没有俯仰和横滚角时，被测物体 X 轴与真北方向形成的夹角，正角度表示被测物体向东航行；横滚角的定义为当被测物体没有航向和俯仰角时，被测物体 Y 轴与东向形成的夹角，正角度表示被测物体向右倾斜；俯仰角的定义为当被测物体没有航向和横滚角时，被测物体 Z 轴与当地垂向之间形成的夹角，正角度表示被测物体机头向上。体坐标系到导航系的方向余弦阵如式 (C.1)

$$C_b^n = \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & \sin\theta\sin\phi\cos\psi - \cos\phi\sin\psi & \sin\theta\cos\phi\cos\psi + \sin\phi\sin\psi \\ \cos\theta\sin\psi & \sin\theta\sin\phi\sin\psi + \cos\phi\cos\psi & \sin\theta\cos\phi\sin\psi - \sin\phi\cos\psi \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\phi & \cos\theta\cos\phi \end{bmatrix} \quad (1)$$

#### 4. 轨迹参数设置

在 INS 信号仿真主界面上，点击“轨迹参数”页，进入轨迹参数设置。见图 2。

| 名称   | 时间 (秒) |                |
|------|--------|----------------|
| 加速运动 | 100    | 速度变化 (米/秒) :10 |
| 滚动运动 | 20     | 滚动角变化 (度) :45  |
| 方位运动 | 30     | 方位角变化 (度) :90  |
| 俯仰运动 | 40     | 俯仰角变化 (度) :60  |

图 2 轨迹参数配置

##### 4.1 初始参数设置

- 纬度，单位为度，范围：-90~+90，北纬为正。
- 经度，单位为度，范围：-180~+180，东经为正。
- 高度，单位为米，向上为正。
- 速度，单位为米/秒。这里表示载体初始速率，也即速度的大小。
- 横滚角，单位为度，范围：-180~+180。
- 俯仰角，单位为度，范围：-90~+90。注意俯仰不能为±90度，最好不要在±90度附近。
- 方位角，单位为度，范围：-180~+180。

##### 4.2 轨迹段参数

载体完整的动态轨迹，由连续的多个轨迹段表示，每个轨迹段表示一类特定的运动，在本系统中，轨迹段包括四种类型，见表 1。

附表 1 可定义的轨迹段类型及其参数

| 类型   | 功能                       | 参数 1  | 参数 2        |
|------|--------------------------|-------|-------------|
| 加速运动 | 描述载体的线运动（姿态保持不变）         | 时间（秒） | 速度变化量（注 1）  |
| 滚转运动 | 描述载体的滚转运动（匀速线运动，俯仰、方位不变） | 时间（秒） | 横滚角变化量（注 2） |
| 俯仰运动 | 描述载体的俯仰运动（匀速线运动，滚转、方位不变） | 时间（秒） | 俯仰角变化量（注 3） |
| 方位运动 | 描述载体的方位运动（匀速线运动，滚转、俯仰不变） | 时间（秒） | 方位角变化量（注 4） |

注 1，若变化的速度为 0，则为匀速运动。在本系统中，载体速度的方向，始终沿着载体坐标系的纵

轴，因此只需要定义速度大小的变化量。

注 2，连续滚动大于 1 周时，该值为最终横滚角的变化量加上  $360 \times \text{周数}$ ，例如，若需要正方向转动两圈加 30 度，则变化的横滚角为  $30 + 360 \times 2 = 750$  度。

注 3，俯仰角必须在  $-90$  度~ $90$  度之间，且最好不要在  $90$  度附近。

注 4，连续转弯大于 1 周时，该值为最终方位角的变化量加上  $360 \times \text{周数}$ ，例如，若方位需要正方向转动两圈加 30 度，则变化的方位角为  $30 + 360 \times 2 = 750$  度。

#### 4.3 轨迹段设置

##### ■ 添加轨迹段

包括：“加速运动”；“滚转运动”；“俯仰运动”；“方位运动”；  
设置持续时间；

#### 5 IMU 基本参数设置

将转台校准和静态测试得到的 IMU 的误差模型参数输入 IMU 基本参数列表中。

## 附录 D

## 测量方法中的数据格式说明

(资料性附录)

## 数据格式 (参考)

| # Exporter with the sbgCenter application |        |       |         |              |               |                     |
|---|--------|-------|---------|--------------|---------------|---------------------|
| GPS Time<br>(S)                           | Roll   | Pitch | Yaw     | Latitude     | Longitude     | Altitude MSL<br>(m) |
| 910.540                                   | -1.773 | 9.946 | 154.857 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.550                                   | -1.728 | 9.873 | 154.853 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.560                                   | -1.680 | 9.797 | 154.848 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.570                                   | -1.628 | 9.716 | 154.844 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.580                                   | -1.574 | 9.631 | 154.838 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.590                                   | -1.518 | 9.542 | 154.833 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.600                                   | -1.459 | 9.448 | 154.827 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.610                                   | -1.399 | 9.350 | 154.820 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.620                                   | -1.337 | 9.248 | 154.814 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.630                                   | -1.272 | 9.143 | 154.806 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.640                                   | -1.206 | 9.033 | 154.798 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.650                                   | -1.139 | 8.921 | 154.790 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.660                                   | -1.069 | 8.804 | 154.781 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.670                                   | -0.997 | 8.684 | 154.771 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.680                                   | -0.922 | 8.561 | 154.761 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.690                                   | -0.847 | 8.435 | 154.751 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.700                                   | -0.770 | 8.305 | 154.739 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.710                                   | -0.692 | 8.173 | 154.726 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.720                                   | -0.612 | 8.038 | 154.713 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.730                                   | -0.531 | 7.901 | 154.699 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.740                                   | -0.449 | 7.761 | 154.684 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.750                                   | -0.366 | 7.619 | 154.668 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.760                                   | -0.281 | 7.475 | 154.652 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.770                                   | -0.196 | 7.329 | 154.635 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.780                                   | -0.110 | 7.181 | 154.617 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.790                                   | -0.023 | 7.031 | 154.598 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.800                                   | 0.065  | 6.879 | 154.579 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |
| 910.810                                   | 0.154  | 6.726 | 154.559 | 39.000000000 | 116.000000000 | 70.000              |