



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

满天星导航测试系统校准规范

Calibration Specification for Navigation Test System of
Zone darkroom

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局发布

满天星导航测试系统校准规范
Calibration Specification for Navigation
Test System of Zone darkroom

JJF XXXX—XXXX

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
湖南卫导信息科技有限公司

参加起草单位：湖南省计量检测研究院

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：

黄艳（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）
刘寒窑（湖南省计量检测研究院）

参加起草人：

胡浩（湖南省计量检测研究院）
薛仁魁（北京东方计量测试研究所）

目录

引言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文献.....	1
3 术语和计量单位.....	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 校准用设备.....	4
7 校准项目和校准方法.....	5
7.1 校准项目	5
7.2 校准方法	6
8 校准结果表达.....	13
9 复校时间间隔.....	14
附录 A 原始记录内页格式.....	15
附录 B 校准证书内页格式.....	18
附录 C 主要项目校准不确定度评定示例.....	19

引言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范参考了下列文件：

JJF1403 全球导航卫星系统(GNSS)接收机（时间测量型）校准规范

JJF1471 全球导航卫星系统(GNSS)信号模拟器校准规范

JJF 1922 GNSS 导航信号采集回放仪校准规范

GB/T 19391 全球定位系统术语及定义

GB/T 6379.1 测量方法与结果的准确度(正确度与精密度) 第一部分：总则与定义；

BD 420002 北斗全球卫星导航系统（GNSS）测量型 OEM 板性能要求及测试方法。

本规范为首次发布。

满天星导航测试系统校准规范

1、范围

本规范适用于满天星导航测试系统的校准（以下简称测试系统）。

2、引用文件

JJF1403 全球导航卫星系统(GNSS)接收机（时间测量型）校准规范

JJF1471 全球导航卫星系统(GNSS)信号模拟器校准规范

JJF 1922 GNSS 导航信号采集回放仪校准规范

GB/T 19391 全球定位系统术语及定义

GB/T 6379.1 测量方法与结果的准确度(正确度与精密度) 第一部分：总则与定义

BD 420002 北斗全球卫星导航系统（GNSS）测量型 OEM 板性能要求及测试方法。

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡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 满天星（zone darkroom）

在微波暗室内安装多个（至少 4 个）导航天线，模拟北斗、GPS 等导航卫星的来向变化。

3.2 导航信号功率准确度（navigation signal power accuracy）

满天星工作模式（可见导航信号从多个导航天线辐射,模拟不同来向）下,多路输出导航信号源仿真的卫星导航信号经过不同导航天线链路空间传输后到达转台转动几何中心处的功率与导航信号源设置的信号功率之间的差值，单位 dB。

3.3 导航信号通道间功率偏差（power deviation between navigation signal channels）

满天星工作模式下,多路输出导航信号源仿真相同功率的可见卫星信号,不同可见卫星信号经过不同导航天线链路空间传输后到达转台转动几何中心处的功率偏差，单位 dB。

3.4 导航信号时延一致性（consistency of navigation signal delay）

满天星工作模式下,多路输出导航信号源仿真的可见卫星信号经过不同导航天线链路空间传输后到达转台转动几何中心处的时延和载波相位的一致程度，用通道间伪距偏差和通道间载波相位偏差表示。

3.5 干扰信号功率范围（interference signal power range）

满天星导航测试系统仿真到达转台转动几何中心处干扰信号的功率的范围，单位

dBm。

3.6 干扰信号功率准确度 (accuracy of interference signal power)

干扰信号源仿真的干扰信号,经过不同干扰天线链路空间传输后到达转台转动几何中心处的功率偏差,单位 dB。

3.7 干扰来向角度偏差 (interference direction angle)

以转台转动几何中心为中心,标识干扰模拟信号的方向,单位°。

3.8 天线切换伪距偏差 (antenna switching pseudorange deviation)

满天星工作模式(可见导航信号从多个导航天线辐射,模拟不同来向)下,随着卫星运动产生的角度变化,辐射卫星的导航天线发生更改,卫星信号由当前导航天线切换到目标导航天线辐射的过程即天线切换。卫星发生天线切换前后到达转台转动几何中心的伪距值与仿真值的差值即天线切换伪距偏差。

3.9 通道间伪距偏差 (pseudo distance deviation between channels)

满天星工作模式下,导航卫星信号由多路输出导航信号源从不同角度天线辐射,被安装在微波暗室中心转台上的被测接收机接收(接收机相位中心与转台转动几何中心要重合),接收机相位中心处的各个卫星信号测量的伪距值与仿真值的最大差值,单位 m。

3.10 通道间载波相位偏差 (carrier-phase deviation between channels)

满天星工作模式下,导航卫星信号由多路输出导航信号源从不同角度天线辐射,被安装在微波暗室中心转台上的被测接收机接收(接收机相位中心与转台转动几何中心要重合),接收机相位中心处的各个卫星信号测量的载波相位值与仿真值的最大差值,单位°。

3.11 定位一致性 (consistency of position)

导航接收机接收满天星导航测试系统单天线工作模式(所有可见导航信号从一个天线辐射)和满天星工作模式播放的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,用定位偏差和定位精密度偏差表示。

3.12 满天星定位偏差 (zone darkroom position offset)

导航接收机接收满天星导航测试系统满天星工作模式播放的导航信号解算的定位偏差,与同一导航接收机接收满天星导航测试系统单天线工作模式播放的同一测试场景的导航信号解算的定位偏差之差,单位 m。

3.13 满天星定位精密度偏差 (zone darkroom position precision offset)

导航接收机接收满天星导航测试系统满天星工作模式播放的导航信号解算的定位精密度，与同一导航接收机接收满天星导航测试系统单天线工作模式播放的同一测试场景的导航信号解算的定位精密度之差，单位 m。

3.4 RTK 定位偏差（RTK position offset）

导航接收机接收满天星导航测试系统满天星工作模式播放的导航信号解算的 RTK 定位偏差，与同一导航接收机接收满天星导航测试系统单天线工作模式播放的同一测试场景的导航信号解算的 RTK 定位偏差之差，单位 cm。

4、概述

满天星导航测试系统通过在微波暗室内模拟导航系统导航卫星播发的不同来向的卫星信号, 以及干扰源从不同来向播放的干扰信号, 用于测试和评估各类多阵元抗干扰导航终端的抗干扰能力。

满天星导航测试系统主要由微波暗室、转台、天线、多路输出导航信号源、干扰信号源以及控制软件组成, 如原理图 1 所示（其中导航开关矩阵、干扰开关矩阵等非满天星导航测试系统的必须组成部分）。多路输出导航信号源生成的导航模拟信号和干扰信号源生成的压制干扰信号分别经导航天线和干扰天线辐射至微波暗室内。

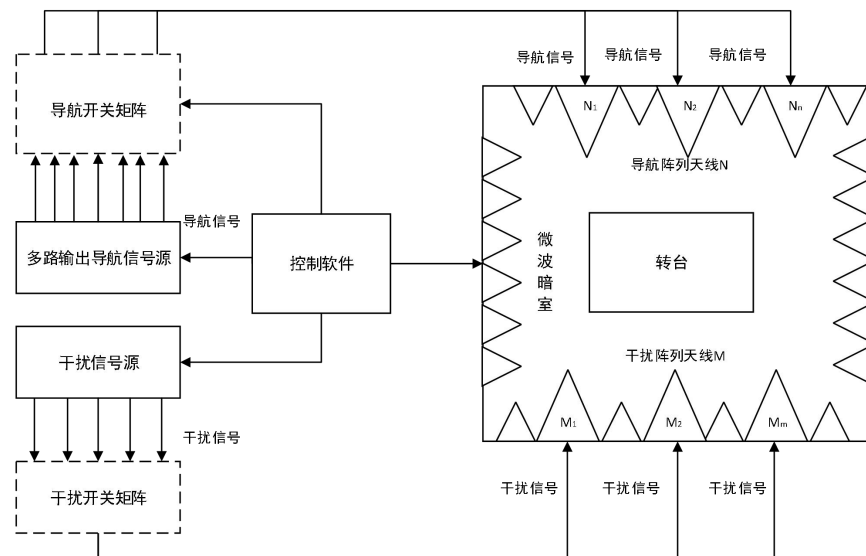


图 1 满天星导航测试系统原理图

5、计量特性

5.1 功率控制

导航信号功率准确度：(0.5~2) dB；

导航信号通道间功率偏差：(0.5~2) dB；

干扰信号功率范围：(-100~-5) dBm；

干扰信号功率准确度：(0.5~2) dB；

5.2 时延一致性

通道间伪距偏差：(0.1~0.3) m；

通道间载波相位偏差：(3.6~7.2)°；

天线切换伪距偏差：≤ 0.6 m。

5.3 角度控制

干扰来向俯仰角偏差：1° ~5°；干扰来向方位角偏差：1° ~5°。

5.4 定位一致性

满天星定位偏差：≤2 m；

满天星定位精密度偏差(2σ)：≤2 m。

RTK 定位偏差：≤3 cm。

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

6.1.1 环境温度：(23±5)°C 范围内任一点，温度变化最大允许误差：±2°C

6.1.2 相对湿度：≤80%

6.1.3 供电电源：(220±22) V，(50±1) Hz

6.1.4 其它：无影响仪器正常工作的电磁干扰及机械振动

6.2 校准用设备（测量标准及其他设备）

6.2.1 功率计

频率范围：50 MHz~3.6 GHz；

功率范围：-70 dBm~20 dBm；

最小分辨力：0.01dB；

最大允许误差：±0.03 dB。

6.2.2 参考 GNSS 接收机（时间测量型）

伪距测量误差：6 cm；

载波相位测量误差：1.3 mm；

内部噪声指标优于被校仪器 3 倍以上，天线相位中心稳定性指标优于被校仪器 3 倍以上，内部延迟已校准。

6.2.3 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：2 m；

定位精密度 (2σ)：2 m；

RTK 定位偏差：0.6 cm；

重复（模拟测试）：载噪比 ≤ 0.2 dB,定位偏差 ≤ 0.5 m,定位精密度 ≤ 0.5 m。

6.2.4 频谱分析仪

频率范围：20 Hz ~ 3.6 GHz；

功率范围：-120 dBm ~ -30 dBm，最大允许误差 ± 2 dB；

-30 dBm ~ 0 dBm，最大允许误差 ± 0.5 dB。

6.2.5 低噪声放大器

适用频段要求：(1~3) GHz ；

增益：30 dB~40 dB ；

噪声系数： < 2 ；

引入相位噪声，低于被校系统 10 dB。

6.2.6 接收天线

适用频段要求：(1~3) GHz；

天线类型：右旋圆极化；

相位中心（仰角 $\geq 20^\circ$ ）： $< \pm 3$ mm；

天线法向增益： ≥ 2 dB。

6.2.8 电子倾角仪

角度测量范围： $-90^\circ \sim +90^\circ$ ；

最大允许误差:0.1°。

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	条款
1.	外观及工作正常性检查	7.2.1
2.	功率控制	7.2.2
3.	时延一致性	7.2.3

4.	角度控制	7.2.4
5.	定位一致性	7.2.5

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

测试系统各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，系统运行自检功能正常。

7.2.2 功率控制

7.2.2.1 导航信号功率准确度

仪器连接如图 2 所示。

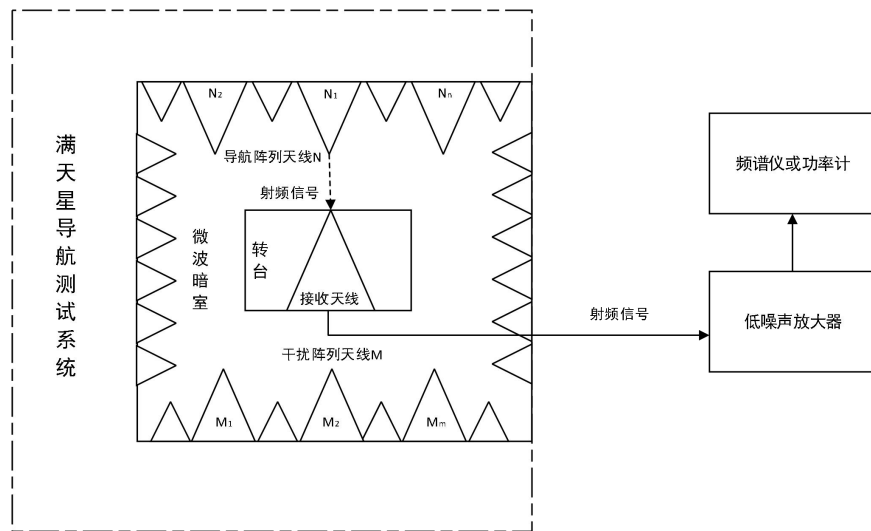


图 2 导航信号功率偏差校准

- 1) 满天星导航测试系统开机预热，选择待测导航系统和频点；
- 2) 接收天线安装在暗室转台转动几何中心，转动转台，使得接收天线法向垂直对准 N 个导航天线中的一个天线 N_1 ；
- 3) 关闭干扰信号，设置导航信号仿真场景为卫星和载体均为静态，仿真单通道单载波信号；
- 4) 测试系统输出信号功率 P_0 为 -90dBm ，使用频谱仪或功率计测量信号功率值，扣除天线、低噪放增益和线缆损耗后记为 P_m ；
- 5) 根据测试系统输出信号功率标称值 P_0 和公式 (1) 计算功率偏差 ΔP ，作为导航信号功率准确度校准值；

$$\Delta P = |P_m - P_0| \quad (1)$$

- 6) 重复上述步骤分别将接收天线法向垂直对准剩余导航天线，完成剩余导航天线校准并记录。

7.2.2.2 导航信号通道间功率偏差

仪器连接如图 2 所示。

- 1) 将 7.2.2.1 章节测量得到导航信号功率 P_m 中的最大和最小功率分别记为 P_{max} 和 P_{min} ;
- 2) 根据公式 (2) 计算功率偏差 ΔP ，作为导航信号通道间功率偏差校准值。

$$\Delta P = | P_{max} - P_{min} | \quad (2)$$

式中， P_{max} ：测量导航信号功率最大值；

P_{min} ：测量导航信号功率最小值。

7.2.2.3 干扰信号功率范围

仪器连接如图 3 所示。

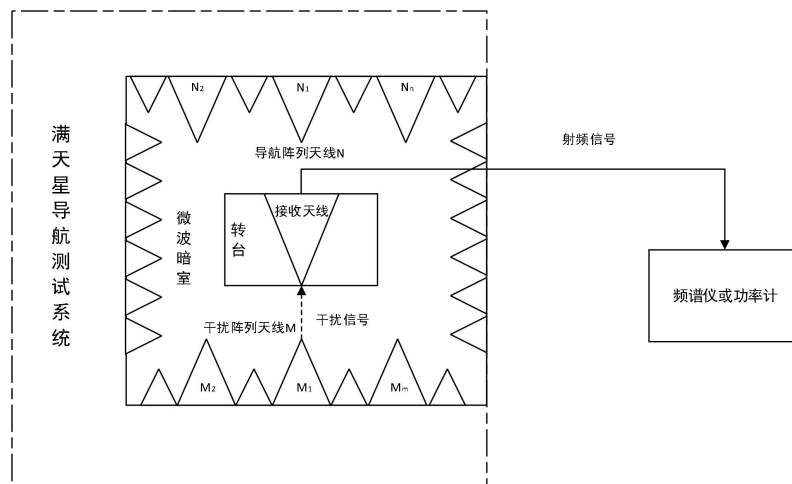


图 3 干扰信号功率范围校准_大信号

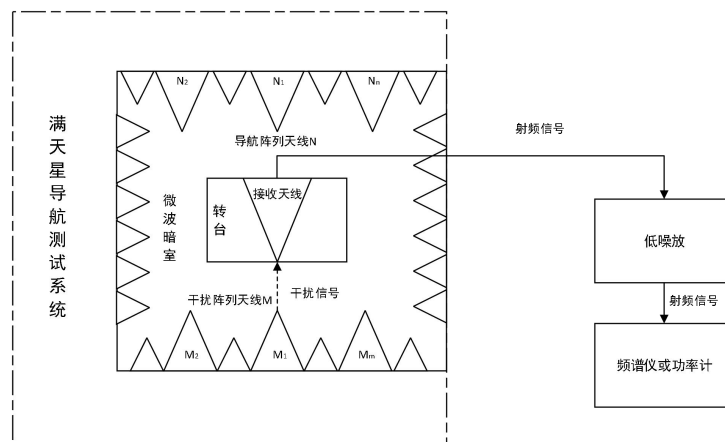


图 4 干扰信号功率范围校准_小信号

- 1) 测试系统开机预热，选择待测频点和待测干扰来向（如干扰可移动，则选择移动范围的最小角度和最大角度）；
- 2) 接收天线安装在暗室转台转动几何中心，转动转台，使得接收天线法向垂直对准待测信号链路的 M 个干扰阵列天线中的天线 M_1 ；
- 3) 关闭导航信号，设置干扰信号场景为干扰天线 M_1 仿真单通道单音干扰；
- 4) 根据测试系统输出信号功率范围指标，设置信号最大功率，使用频谱仪或功率计进行测量功率，扣除天线增益和线缆损耗后记为 P_m ；
- 5) 移除低噪放，测试链接图如图 4 所示；
- 6) 根据测试系统输出信号功率范围指标，设置信号最小功率，使用频谱仪或功率计进行测量功率，扣除天线增益和线缆损耗后记为 P_m ；
- 7) 重复上述步骤分别将接收天线法向垂直对准剩余干扰天线，完成剩余干扰天线校准并记录；
- 8) 取各干扰天线测量功率的最大值和最小值作为干扰功率范围校准值。

7.2.2.4 干扰信号功率准确度

仪器连接如图 3 所示。

- 1) 测试系统开机预热，选择待测频点和待测干扰来向；
- 2) 接收天线安装在暗室转台转动几何中心，转动转台，使得接收天线法向垂直对准待测信号链路的的天线 M_1 ；
- 3) 关闭导航信号，设置干扰信号场景为干扰天线 M_1 仿真单通道单音干扰；
- 4) 根据测试系统输出信号功率指标范围，在功率范围内，挑选至少四个功率校准点，使用频谱仪或功率计依次测量输出的功率值，扣除天线增益和线缆损耗后记 P_m ；
- 5) 根据测试系统输出信号功率标称值 P_0 和公式（1）计算功率偏差 ΔP ，作为干扰信号功率准确度校准值；
- 6) 重复上述步骤分别将接收天线法向垂直对准剩余干扰天线，完成剩余干扰天线校准并记录。

7.2.3 时延一致性

7.2.3.1 通道间伪距偏差

仪器连接如图 5 所示。

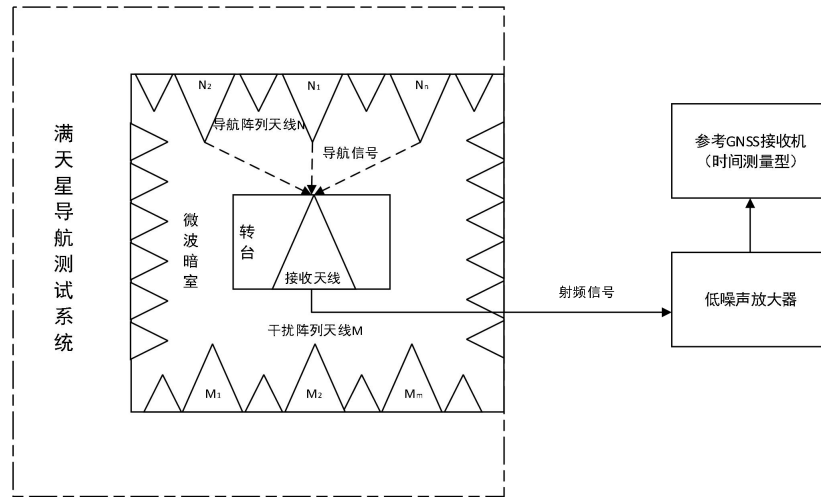


图 5 通道间伪距偏差校准

- 1) 测试系统开机预热，选择待测导航系统和频点；
- 2) 接收天线安装在暗室转台转动几何中心，转动转台，使得接收天线法向垂直对准暗室顶部；
- 3) 设置场景为全部卫星功率为-120dBm 的静态载体的满天星分布场景；
- 4) 启动仿真，并存储卫星伪距观测测量；
- 5) 参考 GNSS 接收机（时间测量型）接收信号等待 5min 后存储接收机伪距观测数据 30 分钟；
- 6) 对同一频点的不同接收通道上报的伪距测量值进行双差处理，消除各类系统误差及本地钟差，选取观测时段超过 15min 的观测数据进行处理，统计不同频点的伪距观测偏差，按公式（3）计算通道间伪距偏差。

$$\Delta(k) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta\varphi(k)_{ij}^2}{n-1}} \quad (3)$$

公式（3）中： $\Delta(k)$ ：第 K 个频点的通道伪距偏差； k ：信号频点编号；

i ：卫星观测数据历元序号； $\Delta\varphi(k)_{ij}$ ：第 i 个历元第 j 个卫星相对任意基准卫星的伪距观测值双差结果； j ：可见卫星序号； n ：测量时长。

7.2.3.2 通道间载波相位偏差

仪器连接如图 5 所示。

- 1) 测试系统开机预热，选择待测导航系统和频点；
- 2) 接收天线安装在暗室转台转动几何中心，转动转台，使得接收天线法向垂直对准暗室顶部；

- 3) 设置场景为全部卫星功率为-120dBm 的静态载体的满天星分布场景；
- 4) 启动仿真，并存储卫星载波相位观测量；
- 5) 参考 GNSS 接收机（时间测量型）接收信号稳定定位后，等待 5min 后存储接收机载波相位观测数据 30 分钟；
- 6) 对同一信号的不同接收通道上报的载波测量值进行三差处理，消除各类系统误差、本地钟差及整周模糊度，去除周跳，选取观测时段超过 15min 的观测数据进行处理，统计不同信号分量的载波相位观测偏差，按公式（4）计算通道间载波相位偏差。

$$\Delta(k) = \frac{1}{\sqrt{8}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta\Delta\varphi(k)_{ij}^2}{n-1}} \quad (4)$$

公式（4）中： $\Delta(k)$ ：第 K 个频点的通道载波相位偏差； k ：信号频点编号；

i ：卫星观测数据历元序号； $\Delta\Delta\varphi(k)_{ij}$ ：第 $i+1$ 个观测历元的第 j 颗卫星相对任意基准星的载波观测值双差与第 i 个观测历元的第 j 颗卫星相对任意基准星的载波观测值双差之差； j ：可见卫星序号； n ：测量时长。

7.2.3.3 天线切换伪距偏差

仪器连接如图 5 所示。

- 1) 测试系统开机预热，选择待测导航系统和频点；
- 2) 接收天线安装在暗室转台转动几何中心，转动转台，使得接收天线垂直法向对准暗室顶部；
- 3) 设置场景为全部卫星功率为-120dBm 的静态载体的满天星分布场景（场景半小时内最少有 3 颗卫星发生天线切换）；
- 4) 启动仿真，并存储卫星伪距观测量以及信号天线切换信息；
- 5) 参考 GNSS 接收机（时间测量型）接收信号等待 5min，开始存储接收机伪距观测数据和跟踪捕获锁定信息 30 分钟；
- 6) 按公式（5）计算天线切换前后链路伪距偏差，并取天线切换前后各 30s 的 $\Delta\varphi$ 均值的差值，为当前天线切换的伪距差，取所有天线切换的伪距差的最大值作为天线切换伪距偏差。

$$\Delta\varphi = |\varphi_{i+1j} - \varphi_{ij}| \quad (5)$$

公式（5）中： φ_{ij} ：第 i 个历元第 j 个卫星相对任意基准卫星的伪距观测值双差

结果。

7.2.4 角度控制

7.2.4.1 干扰来向角度偏差

仪器连接如图 6 所示，电子倾角仪安装在测试系统的转台转动几何中心；

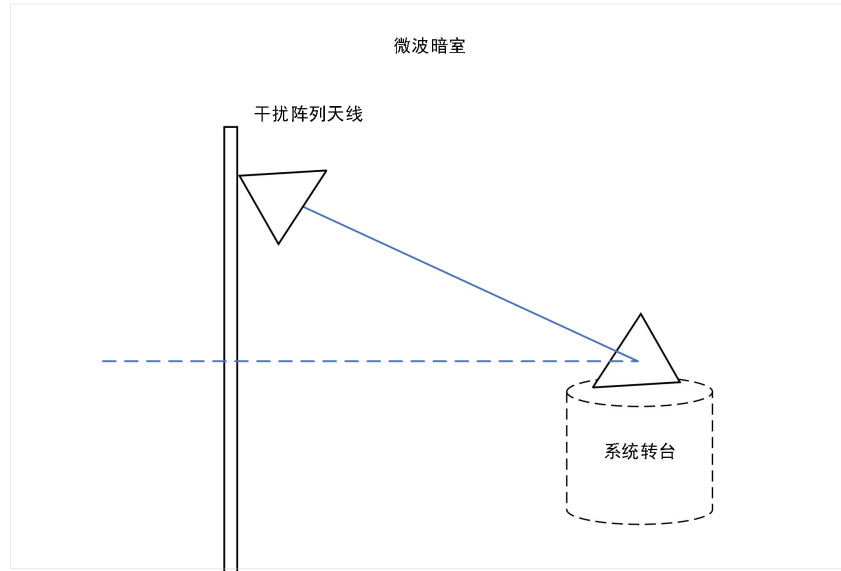


图 6 干扰来向角度校准

- 1) 根据测试系统的布局属性，设置电子倾角仪参数；
- 2) 测试系统开机预热，选择待测频点和 M 个干扰天线中的 M_1 天线的干扰来向 F_0 ；
- 3) 根据测试系统干扰覆盖角度范围指标，转动转台使得电子倾角仪对准干扰天线 M_1 ，测量实际的干扰来向，并记录为 F_m ；
- 4) 根据测试系统干扰来向的标称值 F_0 ，按公式 (6) 计算干扰角度偏差 F ，作为干扰来向偏差校准值。

$$\Delta F = |F_m - F_0| \quad (6)$$

- 5) 重复上述步骤分别将接收天线法向垂直对准剩余干扰天线，完成剩余导航天线校准并记录；

7.2.5 定位一致性

7.2.5.1 满天星定位偏差

仪器连接如图 7 所示。

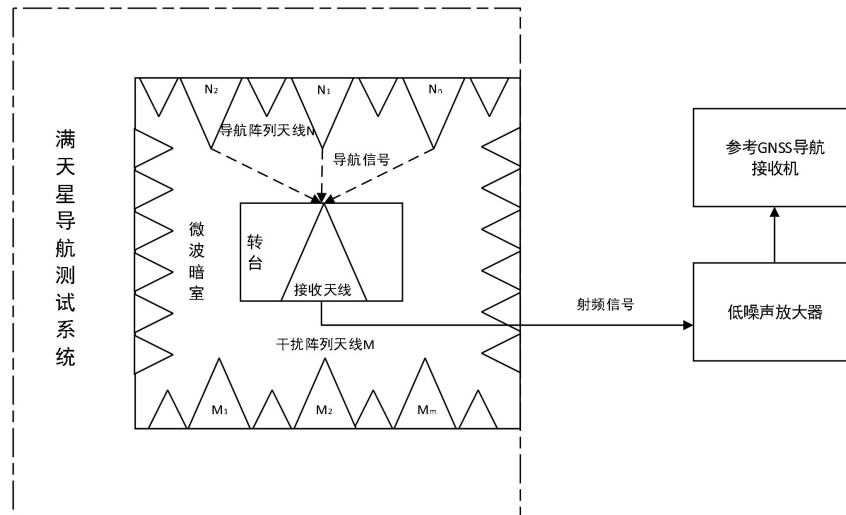


图7 满天星定位偏差校准

- 1) 测试系统开机预热，选择待测导航系统和频点；
- 2) 接收天线安装在暗室转台转动几何中心，转动转台，使得接收天线垂直法向对准暗室顶部；
- 3) 设置场景为全部卫星功率为-130dBm 的静态载体的满天星分布场景；
- 4) 启动仿真，并存储仿真位置信息；
- 5) 参考 GNSS 导航接收机稳定接收信号定位 2min，存储接收机位置信息 3min；
- 6) 切换场景为全部功率开启，全部卫星由导航天线 N_1 输出的单天线场景；
- 7) 参考 GNSS 导航接收机稳定接收信号定位 2min，存储接收机位置信息 3min；
- 8) 计算单天线和满天星模式下，参考 GNSS 导航接收机的定位偏差 δ_{p0} 和 δ_{p1} ，按公式 (9) 计算定位偏差作为满天星模式定位偏差校准值。

$$\Delta \delta = | \delta_{p0} - \delta_{p1} | \quad (9)$$

式中， δ_{p0} ：单天线模式下定位偏差，m；

δ_{p1} ：满天星模式下定位偏差，m；

$\Delta \delta$ ：满天星定位偏差。

7.2.5.2 满天星定位精密度偏差

仪器连接如图7所示。

- 1) 按章节 7.2.5.1 存储数据计算单天线和满天星模式下，参考 GNSS 导航接收机的定位精密度偏差 σ_{p0} 和 σ_{p1} ；
- 2) 按公式 (9) 计算定位精密度偏差作为满天星定位精密度偏差校准值。

$$\Delta \sigma = | \sigma_{p0} - \sigma_{p1} | \quad (10)$$

式中， σ_{p0} ：单天线模式下定位精密度偏差，m；
 σ_{p1} ：满天星模式下定位精密度偏差，m；
 $\Delta\sigma$ ：满天星定位精密度偏差。

7.2.5.3 RTK 定位偏差

仪器链接如图 8 所示。

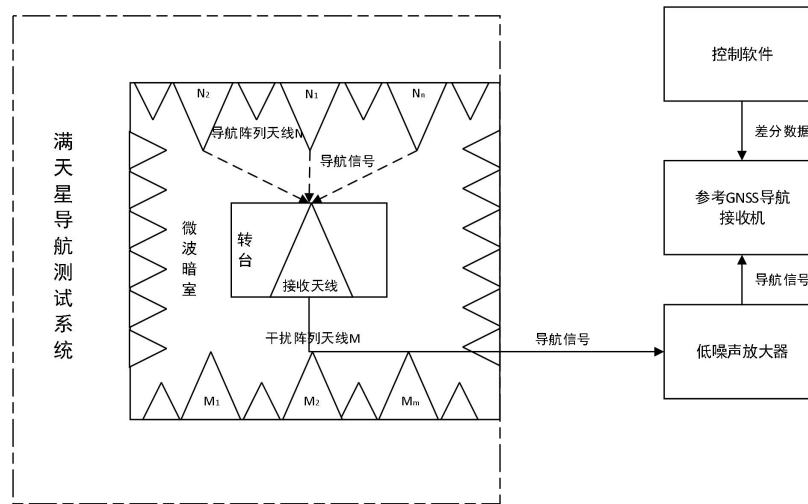


图 8 RTK 定位偏差校准

- 1) 测试系统开机预热，选择待测导航系统和频点；
- 2) 接收天线安装在暗室转台转动几何中心，转动转台，使得接收天线垂直法向对准暗室顶部；
- 3) 设置场景为导航信号功率为-120dBm 的静态载体的满天星分布场景，并开启 RTK 改正参数输出，基线设置长度为 0m；
- 4) 启动仿真，并存储仿真位置信息；
- 5) 参考 GNSS 导航接收机稳定接收信号定位 2min，存储接收机位置信息 3min；
- 6) 切换场景为导航信号功率为-120dBm，全部卫星由导航天线 N_1 输出的单天线场景，并开启 RTK 改正参数输出，基线设置长度为 0m；
- 7) 参考 GNSS 导航接收机稳定接收信号定位 2min，存储接收机位置信息 3min；
- 8) 计算单天线和满天星模式下，参考 GNSS 导航接收机的定位偏差 δ_{p0} 和 δ_{p1} ，按公式 (9) 计算定位偏差作为 RTK 定位偏差校准值。

8、校准结果表达

满天星导航测试系统校准后，出具校准证书，校准证书至少应包含以下信息：

- 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

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定, 推荐为 1 年。

附录 A 原始记录格式

校准原始记录格式

满天星导航测试系统校准原始记录

证书编号：

委托单位：_____ 计量器具名称：

型号/规格：_____ 出厂编号：

制造单位：_____ 校准依据：

校准所使用的主要计量标准：

名称	型号/规格	出厂编号	准确度等级/不确定度

检测地点：_____ 温度：_____ °C 相对湿度：_____ %

校准项目

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
外观	
工作正常性检查	

A.2 功率控制

表 A.2.1 导航功率准确度

导航天线	频点	设置值	测量值	导航功率偏差	测量不确定度

表 A.2.2 导航信号通道间功率偏差

频点	最大值	最小值	偏差	测量不确定度

表 A.2.3 干扰功率范围

干扰天线	频点	最大值	最小值	测量不确定度

表 A. 2. 4 干扰功率准确度

干扰天线	频点	设置值	测量值	偏差	测量不确定度

A. 3 时延一致性

表 A. 3. 1 通道间伪距偏差

导航天线	卫星	频点 1 偏差	频点 2 偏差	测量不确定度

表 A. 3. 2 通道间载波相位偏差

导航天线	卫星	频点 1 偏差	频点 2 偏差	测量不确定度

表 A. 3. 3 天线切换伪距偏差

导航天线	卫星	切换前伪距	切换后伪距	测量不确定度

A. 4 角度控制

表 A. 4. 1 干扰来向角度偏差

干扰天线	俯仰	方位角	俯仰角偏差	方位角偏差	测量不确定度

A. 5 定位一致性

表 A. 6. 1 满天星定位偏差

频点	单天线定位偏差	满天星定位偏差	定位偏差	测量不确定度

表 A. 6. 2 满天星定位精密度偏差

频点	单天线定位精密度	满天星定位精密度	定位精密度偏差	测量不确定度

--	--	--	--	--

表 A. 6. 1 RTK 定位偏差

频点	单天线定位偏差	满天星定位偏差	RTK 定位偏差	测量不确定度

附录 B 校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查:

B.2 功率控制

B.2.1 导航信号功率准确度:

测量不确定度:

B.2.2 导航信号通道间功率偏差:

测量不确定度:

B.2.3 干扰信号功率范围:

测量不确定度:

B.2.5 干扰信号功率准确度:

测量不确定度:

B.3 时延一致性

B.3.1 通道间伪距偏差:

测量不确定度:

B.3.2 通道间载波相位偏差:

测量不确定度:

B.3.3 天线切换伪距偏差:

测量不确定度:

B.4 角度控制

B.4.1 干扰来向角度偏差:

测量不确定度:

B.5 定位一致性:

B.5.1 满天星定位偏差:

测量不确:

B.5.2 满天星定位精密度偏差:

测量不确:

B.5.3 RTK 定位偏差:

测量不确:

附录 C

校准结果的不确定度评定示例

C.1 功率控制校准不确定度评定

C.1.1 导航功率准确度

C.1.1.1 测量模型

导航功率准确度校准测量由公式 (C.1.1) 表示:

$$x = P \quad (\text{C.1.1})$$

式中: P —功率计测量值, dBm。

C.1.1.2 不确定度来源及合成标准不确定度

校准合成不确定度由公式 (C.1.2) 计算得出:

$$\mu_c(x) = \mu(P) \quad (\text{C.1.2})$$

式中: $\mu(P)$ — P 的标准不确定度, dB。

P 的不确定度主要来源如表 C.1

表 C.1.1 P 的不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
功率计	B	0.03 dB	矩形	$\sqrt{3}$	0.017 dB
接收天线	B	0.1 dB	矩形	$\sqrt{3}$	0.058 dB
低噪放	B	0.1 dB	矩形	$\sqrt{3}$	0.058 dB
线缆	B	0.1 dB	U形	$\sqrt{2}$	0.071 dB
测量重复性	A	--	--	--	0.03 dB

参考以上主要不确定度来源, $\mu(P)=0.11$ dB, 最终单次测量的合成标准不确定度 $\mu_c(x)=0.11$ dB, 扩展不确定度为 $U(P)=0.23$ dB ($k=2$)。

C.1.2 导航信号通道间功率偏差

C.1.2.1 测量模型

导航通道间功率偏差校准测量由公式 (C.1.3) 表示:

$$x = P_1 - P_0 \quad (\text{C.1.3})$$

式中: P_0 —频谱仪测量功率最大值, dBm;

P_1 —频谱仪测量功率最小值, dBm。

C.1.2.2 不确定度来源及合成标准不确定度

P_0 和 P_1 标准不确定度彼此完全正相关，校准合成不确定度由公式（C.1.4）计算为：

$$\mu_c(x) = \mu(P_1) + \mu(P_0) \quad (\text{C.1.4})$$

式中： $\mu(P_1)$ — P_1 的标准不确定度，dB；

$\mu(P_0)$ — P_0 的标准不确定度，dB。

P_1 和 P_0 不确定度来源同C.1.1，故得到最终单次测量的合成标准不确定度

$\mu_c(x) = 0.23$ dB，扩展不确定度为 $U(P) = 0.46$ dB ($k=2$)。

C.1.3 干扰功率范围

C.1.3.1 测量模型

干扰功率范围校准测量由公式（C.1.5）表示：

$$x = P \quad (\text{C.1.5})$$

式中： P — 功率计测量值，dBm。

C.1.3.2 不确定度来源及合成标准不确定度

校准合成不确定度由公式（C.1.6）计算得出：

$$\mu_c(x) = \mu(P) \quad (\text{C.1.6})$$

式中： $\mu(P)$ — P 的标准不确定度，dB。

P 的不确定度主要来源如表C.1.2（最大功率输出时无低噪放）

表C.1.2 P 的不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
功率计	B	0.02 dB	矩形	$\sqrt{3}$	0.012 dB
天线	B	0.1 dB	矩形	$\sqrt{3}$	0.058 dB
低噪放_小信号	B	0.1 dB	矩形	$\sqrt{3}$	0.058 dB
线缆	B	0.02 dB	U形	$\sqrt{2}$	0.014 dB
测量重复性	A	--	--	--	0.01 dB

参考以上主要不确定度来源，校准连接无低噪放（最大输出功率）时， $\mu(P) = 0.10$ dB，最终单次测量的合成标准不确定度 $\mu_c(x) = 0.10$ dB，扩展不确定度为 $U(P) = 0.20$ Db ($k=2$)；

校准连接有低噪放（最大输出功率）时， $\mu(P)=0.11$ dB，最终单次测量的合成标准不确定度 $\mu_c(x)=0.11$ dB，扩展不确定度为 $U(P)=0.23$ Db ($k=2$)；

C.1.4 干扰功率准确度

干扰功率偏差校准不确定度评定来源同干扰功率范围，评估方法相同，故不确定度结果同干扰功率范围。

C.2 时延一致性校准不确定度评定

C.2.1 通道间伪距偏差

C.2.1.1 测量模型

通道伪距偏差校准测量由公式 (C.2.1) 表示：

$$k = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta\varphi(k)_{ij}^2}{n-1}} \quad (\text{C.2.1})$$

式中： $\Delta\varphi(k)_{ij}$ ：第*i*个历元第*j*个卫星相对任意基准卫星的伪距观测值双差结果；

C.2.1.2 不确定度来源及合成标准不确定度

根据不确定度传播定律，合成不确定度为：

$$U_c(k) = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{\Delta\varphi(k)_{ij}^2}{\sum_{i=1}^n \Delta\varphi(k)_{ij}^2}} \quad (\text{C.2.2})$$

$\Delta\varphi(k)_{ij}$ 的不确定来源相同，主要来源于以下几个方面（测试系统伪距精度和通道偏差引起的系统伪距不确定度来源参照多路输出导航信号源）：

表 C.2.1 $\Delta\varphi(k)_{ij}$ 的不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
测试系统伪距精度	B	1.1mm	矩形	$\sqrt{3}$	0.64mm
由通道偏差引起的测试系统伪距不确定度	B	3.0mm	矩形	$\sqrt{3}$	1.73mm
接收机伪距测量精度	B	6cm	矩形	$\sqrt{3}$	3.5cm
测量重复性	A	/	/	/	/

参考以上主要不确定度来源，最终确定合成不确定 $U_c(\mathbf{d})$ 为 0.035m，扩展不确定 $U(\mathbf{d})$ 为 0.07m ($k=2$)。

C.2.2 通道间载波相位偏差

C.2.2.1 测量模型

通道间载波相位偏差测量由公式 (C.2.3) 表示：

$$\Delta(k) = \frac{1}{\sqrt{8}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta\Delta\varphi(k)_{ij}^2}{n-1}} \quad (\text{C.2.3})$$

式中 $\Delta\Delta\varphi(k)_{ij}$ ：第 $i+1$ 个观测历元的第 j 颗卫星相对任意基准星的载波观测值双差与第 i 个观测历元的第 j 颗卫星相对任意基准星的载波观测值双差之差。

C.2.2.2 不确定度来源及合成标准不确定度

根据不确定度传播定律，合成不确定度为：

$$U_c(\Delta(k)) = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{\Delta\Delta\varphi(k)_{ij}^2}{\sum_{i=1}^n \Delta\Delta\varphi(k)_{ij}^2}} \quad (\text{C.2.4})$$

$\Delta\Delta\varphi(k)_{ij}$ 的不确定来源相同，主要来源于以下几个方面（测试系统伪距精度和通道偏差引起的系统伪距不确定度来源参照多路输出导航信号源）：

表 C.2.2 $\Delta\Delta\varphi(k)_{ij}$ 的不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
测试系统伪距精度	B	1.1mm	矩形	$\sqrt{3}$	0.64mm
由通道偏差引起的测试系统伪距不确定度	B	3.0mm	矩形	$\sqrt{3}$	1.73mm
接收机载波相位测量精度	B	1.3mm	矩形	$\sqrt{3}$	0.75mm
测量重复性	A	/	/	/	/

参考以上主要不确定度来源，最终确定合成不确定 $U_c(\mathbf{d})$ 为 1.99mm，扩展不确定 $U(\mathbf{d})$ 为 3.98mm ($k=2$)。

C.2.3 天线切换伪距偏差

天线切换伪距偏差测量不确定度来源同通道间伪距偏差，评估方法相同，故不确定度结果同定位偏差。

C.3 角度控制校准不确定度评定

C.3.1 干扰来向角度偏差

C.3.1.1 测量模型

干扰来向角度偏差校准测量计算公式：

$$x = P \quad (\text{C.3.1})$$

式中： P ——电子倾角仪测量角度值，单位 $^{\circ}$ 。

C.3.1.2 不确定度来源及合成标准不确定度

根据不确定度传播定律，合成不确定度为：

$$\mu_c(x) = \mu(P) \quad (\text{C.3.2})$$

式中： $\mu(P)$ —— P 的标准不确定度， $^{\circ}$ 。

P 的不确定度主要来源于以下几个方面：

表 C.3.1 P 的不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
倾角仪	B	0.1 $^{\circ}$	矩形	$\sqrt{3}$	0.058 $^{\circ}$
转台	B	0.1 $^{\circ}$	矩形	$\sqrt{3}$	0.058 $^{\circ}$
失配	B	0.02 $^{\circ}$	U形	$\sqrt{2}$	0.014 $^{\circ}$
测量重复性	A	/	/	/	0.1 $^{\circ}$

参考以上主要不确定度来源， $\mu(P)=0.13^{\circ}$ ，最终单次测量的合成标准不确定度 $\mu_c(x)=0.13^{\circ}$ ，扩展不确定度为 $U(P)=0.26^{\circ}$ （ $k=2$ ）。

C.4 定位一致性

C.4.1 满天星定位偏差

C.4.1.1 测量模型

满天星定位偏差校准测量计算公式：

$$P = P_0 - P_t \quad (\text{C.4.1})$$

式中： P_0 ：单天线模式下参考接收机定位偏差；

P_1 : 单天线模式下参考接收机定位偏差。

根据不确定度传播定律，合成不确定度为：

$$\mu_c(P) = \sqrt{\mu^2(P_1) + \mu^2(P_0)} \quad (\text{C.4.2})$$

C.4.1.2 不确定度来源

P_0 和 P_1 不确定度相同，主要来源于几个方面（测试系统伪距精度和通道偏差引起的系统伪距不确定度来源参照多路输出导航信号源）：

条件相同的情况下测试系统对接收机多次定位测试，测试结果最大相差 0.3m，按矩形分布计算，标准不确定分量为 $\mu_1 = \frac{0.3}{2\sqrt{3}} = 0.08\text{m}$

重复测量 10 次，测量结果见表 C.4.1，按 A 类评估，标准不确定分量为：

C.4.1 测量重复性结果

序号	测量值 (m) $\Delta(p_i)$ /m
1	1.43
2	1.21
3	1.64
4	1.46
5	1.12
6	1.51
7	1.23
8	1.26
9	1.42
10	1.18
$\Delta\bar{p}$	1.35

$$\mu_2(P) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta p_i - \Delta\bar{p})^2}{n-1}} = 0.17\text{m}$$

C.4.1.2.1 标准不确定度一览表

表 C.4.2 P_1 、 P_0 的不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
测试系统重复性 μ_1	B	0.3m	矩形	$\sqrt{3}$	0.08m
测试系统伪	B	1.1mm	矩形	$\sqrt{3}$	0.64mm

距精度					
多路输出信号源通道间延迟	B	3mm	矩形	$\sqrt{3}$	1.73mm
测量重复性	A	/	/	/	0.17m

C.4.1.3 合成标准不确定度

参考以上主要不确定度来源，最终确定合成不确定 $\mu_c(P)$ 为 0.19m，扩展不确定 $U(P)$ 为 0.38m ($k=2$)。

C.4.2 满天星定位精密度偏差

满天星定位精密度偏差不确定度评定来源同满天星定位偏差，评估方法相同，故不确定度结果同满天星定位偏差偏差。

C.4.3 RTK 定位偏差

C.4.3.1 测量模型

RTK 定位偏差校准测量计算公式：

$$P = P_0 - P_1 \quad (\text{C.4.3})$$

式中： P_0 ：单天线模式下参考接收机定位偏差；

P_1 ：单天线模式下参考接收机定位偏差。

根据不确定度传播定律，合成不确定度为：

$$\mu_c(P) = \sqrt{\mu^2(P_1) + \mu^2(P_0)} \quad (\text{C.4.4})$$

C.4.3.2 不确定度来源

P_0 和 P_1 不确定度相同，主要来源于几个方面：

条件相同的情况下测试系统对接收机多次定位测试，测试结果最大相差 5mm，按矩形分布计算，标准不确定分量为 $\mu_1 = \frac{5}{2\sqrt{3}} = 1.44\text{mm}$

重复测量 6 次，测量结果见表 C.4.3，按 A 类评估，标准不确定分量为：

C.4.3 测量重复性结果

序号	测量值 (m) $\Delta(p_i)$ /mm
1	4.2
2	8.7
3	3.2

4	9.1
5	3.3
6	7.5
$\Delta\vec{p}$	6

$$\mu_2(P) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta p_i - \Delta\vec{p})^2}{n-1}} = 2.74\text{mm}$$

C.4.3.2.1 标准不确定度一览表

表 C.4.4 P_1 、 P_0 的不确定度主要来源

不确定度来源	类型	值	分布	包含因子	标准不确定度
测试系统重复性 μ_1	B	5mm	矩形	$\sqrt{3}$	1.44mm
测试系统伪距精度	B	1.1mm	矩形	$\sqrt{3}$	0.64mm
多通道模拟源通道间延迟	B	3mm	矩形	$\sqrt{3}$	1.73mm
测量重复性 μ_2	A	/	/	/	2.74mm

C.4.3.3 合成标准不确定度

参考以上主要不确定度来源，最终确定合成不确定 $\mu_c(P)$ 为 0.36cm，扩展不确定 $U(P)$ 为 0.72cm ($k=2$)。