

BD

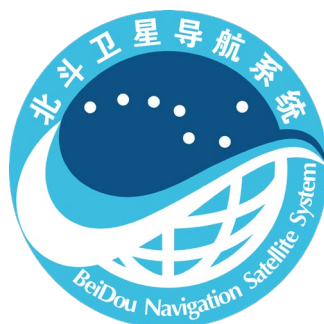
中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 410034—2022

北斗多模多频 SoC 性能要求与测试方法

Performance requirements and test methods
for BeiDou multi-constellation multi-frequency System-on-Chip

(报批稿)



2022-08-01 发布

2022-09-01 实施

中国卫星导航系统管理办公室 批准

目 次

1	范围.....	1
2	规范性引用文件.....	1
3	术语定义和缩略语.....	1
3.1	术语定义.....	1
3.2	缩略语.....	2
4	要求.....	3
4.1	功能.....	3
4.2	信号接收性能.....	3
4.3	精度.....	3
4.4	接口.....	4
4.5	差分数据格式要求.....	4
4.6	标准协议要求.....	4
4.7	冷启动首次定位时间.....	4
4.8	热启动首次定位时间.....	4
4.9	信号重捕获时间.....	4
4.10	定位数据输出频度.....	4
4.11	动态要求.....	4
4.12	多音干扰消除.....	5
4.13	功耗.....	5
4.14	ESD.....	5
4.15	环境适应性.....	5
5	测试方法.....	5
5.1	测试条件.....	5
5.2	信号接收性能.....	7
5.3	精度.....	7
5.4	接口.....	8
5.5	差分数据格式要求.....	8
5.6	标准协议要求.....	9
5.7	冷启动首次定位时间.....	9
5.8	热启动首次定位时间.....	9
5.9	信号重捕获时间.....	9
5.10	定位数据输出频度.....	9

5.11 动态要求.....	9
5.12 多音干扰消除.....	9
5.13 功耗.....	10
5.14 ESD.....	10
5.15 环境适应性要求.....	10
附录 A 定位精度的数据处理方法	12

前 言

本标准由中国卫星导航系统管理办公室提出。

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：中国人民解放军63921部队、湖南卫导科技有限公司、北京东方计量测试研究所、和芯星通科技有限公司、深圳华大北斗科技有限公司。

本标准主要起草人：张湘熠、国际、隋叶叶、郭树人、高为广、苏牡丹、曹坤梅、石善斌、王凯、朱智勇、刘思慧、王田、高静波、张肇东、葛晨、王昊。

引 言

为推动国内GNSS芯片形态的发展，加强市场引导，制定本标准。本标准中的SoC定义为射频基带一体化SoC，即射频和基带SoC（含MPU）集成于单个晶圆上的形态。

北斗多模多频SoC性能要求与测试方法

1 范围

本标准规定了北斗多模多频SoC的性能要求和测试方法。

本标准适用于北斗多模多频 SoC 以及基于其生产的板卡、模块、终端等产品的研制、生产、检测和应用。

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（包括所有的修改单）适用于本标准。

- GB/T 2423.1-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 2423.3-2016 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验cab：恒定湿热试验
- GB/T 2423.10-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动(正弦)
- GB/T 2423.11-1997 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法：宽频带随机振动一般要求
- GB/T 3358.2-2009 统计学词汇及符号 第2部分：应用统计
- GB/T 6379.1-2004 测量方法与结果的准确度(正确度与精密度) 第1部分：总则与定义
- GB/T 39267-2020 北斗卫星导航术语
- BD 410002 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）接收机差分数据格式（一）
- BD 410003 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）接收机差分数据格式（二）
- BD 420003 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）测量型天线性能要求及测试方法
- BD 420004 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）导航型天线性能要求及测试方法
- ESDA-JEDEC 固态委员会

3 术语定义和缩略语

3.1 术语定义

GB/T 3358.2-2009、GB/T 6379.1-2004 和 GB/T 39267-2020 界定的下列术语和定义适用于本标准。

3.1.1

冷启动首次定位时间 cold start time to first fix

用户设备在无有效星历、历书、概略时间和概略位置的状态下，从开机到首次正常定位所需的时间。

3.1.2

热启动首次定位时间 hot start time to first fix

用户设备在星历、历书、概略时间和概略位置已知的状态下，从开机到首次正常定位所需的时间。

3.1.3

重捕获时间 reacquisition time

用户设备在接收的导航信号短时失锁后，从信号恢复到正常定位所需的时间。

3.1.4

捕获灵敏度 acquisition sensitivity

用户设备在冷启动条件下，捕获导航信号并正常定位所需的最低信号电平。

3.1.5

重捕获灵敏度 reacquisition sensitivity

用户设备在接收的导航信号短时失锁后，重新捕获导航信号并正常定位所需的最低信号电平。

3.1.6

跟踪灵敏度 tracking sensitivity

用户设备在正常定位后，能够继续保持对导航信号的跟踪和定位所需的最低信号电平。

3.1.7

多模多频

多星座多频点。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本标准。

BDS——BeiDou Navigation Satellite System, 北斗卫星导航系统;

BDCS——BeiDou Coordinate System 北斗坐标系统;

ESD——Electro-Static discharge, 静电防护;

GLONASS——Global Navigation Satellite System, 格洛纳斯卫星导航系统;

GNSS——Global Navigation Satellite Systems, 全球卫星导航系统;

GPS——Global Positioning System, 全球定位系统;

HBM ——Human Body Model, 人体工程模型

HDOP——Horizontal Dilution Of Precision, 水平精度因子;

PDOP——Positioning Dilution Of Precision, 位置精度因子;

ppm——part per million, 百万分之一;

RTK——Real - time kinematic, 实时动态差分测量;

UTC——Universal Time Coordinated, 协调世界时。

4 要求

4.1 功能

本标准所列要求适用于多模多频 SoC 以及基于多模多频 SoC 芯片研发生产的板卡、模块及终端等产品, 应具备如下功能:

- a) 芯片使用 GNSS 公开服务信号, 提供基于 BDCS 或 CGCS2000 坐标系下的位置信息;
- b) 基于协调世界时 (UTC) 的时间信息;
- c) 被测产品应能在仅使用 BDS 信号时, 提供位置、速度和时间信息。

4.2 信号接收性能

4.2.1 信号处理能力

至少支持如下卫星导航系统相关导航信号的接收处理并可实现单系统定位和多系统联合定位:

- a) BDS: B1I、B1C、B2a;
- b) GPS: L1C/A、L5 (Q)。

可自主选择是否支持 GLONASS、GALILEO 等其他导航系统信号以及自主选择是否支持 QZSS 等相关增强系统服务。

4.2.2 捕获灵敏度

捕获灵敏度应优于-143dBm。

在概略位置、概略时间、星历和历书未知的状态下开机, 各颗卫星的单通道导航信号载波电平不高于-143dBm 时, 应能在 300 秒内以 1Hz 更新率连续 10 次输出三维定位误差小于 60 米的定位数据。

4.2.3 跟踪灵敏度

跟踪灵敏度应优于-155dBm。

正常定位后, 各颗卫星的单通道导航信号载波电平降低到-155dBm 或以下时, 应能在 300 秒内以 1Hz 更新率连续 10 次输出三维定位误差小于 60 米的定位数据。

4.3 精度

4.3.1 单点定位精度

水平: ≤ 1.5 米 (1σ);

垂直: ≤ 3 米 (1σ)。

4.3.2 伪距差分定位精度

水平: ≤ 1 米 (1σ);

垂直： ≤ 1.5 米 (1σ)。

注：单站伪距差分定位，基线距离小于 50 千米。

4.3.3 载波相位差分定位精度

水平： ≤ 0.02 米 $+1\times 10^{-6}\times D$ (1σ)；

垂直： ≤ 0.04 米 $+1\times 10^{-6}\times D$ (1σ)。

4.3.4 测速精度

测速精度 ≤ 0.2 米/秒 (1σ) 定位授时精度与大系统的一致起来 不匹配

4.4 接口

支持 UART/I2C 接口。

4.5 差分数据格式要求

应符合 BD 410002 和 BD 410003 规定的差分数据格式要求。支持 RTCM2.x 和 RTCM3.x 格式的输入输出。

4.6 标准协议要求

支持 NMEA-0183 协议输出。

4.7 冷启动首次定位时间

在输入卫星导航信号功率电平为-130dBm 时，导航单元在概略位置、概略时间、星历和历书未知的状态下开机，到首次能够在其后 10 秒连续输出三维定位误差小于 100 米的定位数据，所需时间应不超过 40 秒。

4.8 热启动首次定位时间

在输入卫星导航信号功率电平为-130dBm 时，导航单元在概略位置、概略时间、星历和历书已知的状态下开机，到首次能够在其后 10 秒连续输出三维定位误差小于 100 米的定位数据，所需时间应不超过 3 秒。

4.9 信号重捕获时间

在输入 GNSS 卫星信号功率电平为-130dBm 且正常工作状态时，GNSS 卫星信号短时中断 30 秒，从信号恢复到首次能够在其后 10 秒连续输出三维定位误差小于 100 米的定位数据，所需时间应不超过 1 秒。

4.10 定位数据输出频度

定位数据输出频度不低于 1Hz。

4.11 动态要求

速度 200 米/秒、加速度 0.5g 条件下，可正常定位 30 分钟并满足三维定位误差不超过 10 米。

4.12 多音干扰消除

在输入卫星导航信号功率电平为-130dBm时，可抑制分布在信号频带内总数不少于6个的连续波干扰，总干扰功率不低于-72dBm，干扰信号持续5分钟，可正常定位并满足10分钟内三维定位误差不超过10米。

4.13 功耗

在连续正常工作状态下，在实际开阔天空场景下，工作于被测设备全部系统频点下，连续稳定伪距单点定位 20 分钟，平均功耗应不超过 150mW。

4.14 ESD

HBM: $\geq 2000\text{V}$; CDM: $\geq 500\text{V}$ 。

4.15 环境适应性

4.15.1 温度

工作温度: $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$;

贮存温度: $-55^{\circ}\text{C}\sim+125^{\circ}\text{C}$ 。

4.15.2 湿热

工作温度: 40°C ;

工作湿度: 相对湿度为 85%。

4.15.3 振动

符合GB/T2423.10-2008要求，经过表1的条件振动后，应能正常工作，保持结构良好。

表 1 随机振动参数

振动模式	加速度谱密度 (m^2/s^3)	频率范围 (Hz)
随机振动	10	2~10
	1	10~200
	0.3	200~2000

5 测试方法

5.1 测试条件

5.1.1 测试环境

除另行规定外，所有测试应在以下条件下进行：

- a) 温度: $15^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$;
- b) 相对湿度: 20%~80%。

如果实际测试条件不能满足上述环境要求，测试结果中应标明测试时真实的环境温度和相对湿度。

5.1.2 标准测试信号和测试设备

在测试中根据需要使用实际的导航卫星信号或模拟测试信号。模拟器产生的信号必须具有与卫星信号相同的特性，在正常动态星座下，能产生几何位置良好（PDOP \leq 3）的卫星信号。

测试用仪器、设备测量范围、分辨力、准确度和稳定度满足测量要求，其性能应满足计量要求；测试所用仪器设备应经过计量部门检定或校准，符合性能指标要求，并在检定或校准有效期内。

测试中采用的天线需符合 BD 420003 或 BD 420004 标准的要求。

5.1.3 测试场地

除另行规定外，测试场地远离大功率无线电发射源，其距离不小于 200 米；远离高压输电线路和微波无线电信号传送通道，其距离不小于 50 米；附近不应有强烈遮挡或反射卫星信号的物体，如大型建筑物、水面等。

天线安装高度应高于地面 1 米以上，从天顶到安装面上 10°的仰角空间范围内对卫星的视野清晰。天线与被测单元均通过射频线缆直连，不可经过信号转发器等设备进行转发。具有位置已知的标准点：

- a) 绝对位置精度：在X、Y、Z方向均应优于0.005 米（1 σ ）；
- b) 相对位置精度：在X、Y、Z方向均应优于0.0005 米（1 σ ）；

5.1.4 测试项目

测试项目见表 2。

表 2 测试项目列表

序号	测试项目	性能要求	测试方法	
1	信号接收性能	信号处理能力	4.2.1	5.2.1
		捕获灵敏度	4.2.2	5.2.2
		跟踪灵敏度	4.2.3	5.2.3
2	精度	单点定位精度	4.3.1	5.3.1
		伪距差分定位精度	4.3.2	5.3.2
		载波相位差分定位精度	4.3.3	5.3.3
		测速精度	4.3.4	5.3.4
3	接口	4.4	5.4	
4	差分数据格式要求	4.5	5.5	
5	标准协议要求	4.6	5.6	

表 2 测试项目列表（续）

序号	测试项目	性能要求	测试方法
6	冷启动首次定位时间	4.7	5.7
7	热启动首次定位时间	4.8	5.8
8	信号重捕获时间	4.9	5.9
9	定位数据输出频度	4.10	5.10
10	动态要求	4.11	5.11
11	多音干扰消除	4.12	5.12
12	功耗	4.13	5.13
13	ESD	4.14	5.14
14	环境适应性	4.15	5.15

5.2 信号接收性能

5.2.1 信号处理能力

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真静态用户轨迹。设置模拟器输出的各颗卫星的每一通道信号电平至被测单元前端为-127dBm。

被测单元在冷启动状态下开机，参照被测单元提供的技术文件，以 1Hz 数据采样率记录对应的定位语句，评估定位结果，应符合 4.2.1 的要求。

5.2.2 捕获灵敏度

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度不高于 2 米/秒的直线运动用户轨迹。每次设置模拟器输出的各颗卫星的每一通道信号电平从被测单元不能捕获信号的状态开始，以 1dB 步进增加。

在模拟器输出信号的每个电平值下，被测单元在冷启动状态下开机，并以 1Hz 数据采样率输出定位语句，能够在 300 秒内捕获导航信号定位，应符合 4.2.2 的要求。

5.2.3 跟踪灵敏度

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度不高于 2 米/秒的直线运动用户轨迹。每次设置模拟器输出的各颗卫星的各通道信号电平-127dBm，稳定工作 3 分钟后，以 1dB 步进下降，被测单元以 1Hz 数据采样率输出定位语句。

在模拟器输出信号的每个设置电平值下测试导航单元在 300 秒内连续 10 次输出定位结果均满足要求的三维定位精度，找出能够使导航单元满足该定位要求的最低电平值，记录该设置电平值，应符合 4.2.3 的要求。

5.3 精度

5.3.1 单点定位精度

用实际信号测试，将被测单元的天线按使用状态固定在一个位置已知的标准点上，被测单元以 1Hz 数据采样率输出定位语句，连续测试 30 分钟，将获取的定位数据与标准点坐标进行比较，参照附录 A 计算定位精度，应满足 4.3.1 的要求。

5.3.2 伪距差分定位精度

用实际信号进行测试，选取 2 个已知点位（直线距离约 10 千米），分别定义为基准站和移动站，将移动站设置为伪距差分工作模式，被测单元以 1Hz 数据采样率输出定位语句，记录 30 分钟定位数据，参照附录 A 计算其后 20 分钟定位精度，应满足 4.3.2 要求。

5.3.3 载波相位差分定位精度

用实际信号进行测试，选取两个已知点位（直线距离约 10 千米），分别连接两台被测单元，将移动站设置为 RTK 工作模式，被测单元 5 秒输出一次数据采样率定位语句，记录 30 分钟定位数据，取后 20 分钟 RTK 固定解数据，参照附录 A 计算其后 1h 定位精度，应满足 4.3.3 要求。

5.3.4 速度精度

用 GNSS 模拟器模拟卫星导航信号和用户运动轨迹，输出卫星仿真信号。被测单元 1Hz 的更新率输出速度数据，以模拟器仿真的速度作为标准，计算速度误差，应满足 4.3.4 的要求。

表 3 速度精度测试用户运动轨迹参数

速度 米/秒	最大加速度米/秒 ²
5	1
60	10
100	20

5.4 接口

用静态实际信号进行测试。根据被测单元选择，进行下述两种接口测试，测试结果应符合 4.4 要求。

支持一个及以上 UART 输出接口：将导航信息从该接口输出，根据被测产品的说明书，将被测单元的输出接口接入计算机，通过厂家提供的软件或第三方软件读取信息，检查被测单元输出信息。

注：可以为 LVTTTL/TTL/RS232/RS485/RS422。

5.5 差分数据格式要求

用静态实际信号进行测试。根据被测单元选择，分别进行差分数据输出及输入测试，测试结果应符合 4.5 要求。

差分格式输出：将被测单元使能其输出差分数据，通过第三方工具，逐一确认其输出的差分数据类型，确认被测单元是否具备该功能。

差分格式输入：通过第三方接收器使能其输出差分数据，接入被测单元，通过其工作状态，检查被测单元是否可解析并使用，确认被测单元是否具备该功能。

5.6 标准协议要求

使能接收机输出 NMEA 数据并保存，检查输出信息是否符合 4.6 的要求。

至少需包含以下 NMEA-0183 语句：GGA/RMC/GLL/GSV/GSA/ZDA。

5.7 冷启动首次定位时间

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度不高于 2 米/秒的直线运动用户轨迹。

被测单元以 1Hz 的位置更新率连续记录输出的定位数据，找出首次连续 10 次输出三维定位误差不超过 100 米的定位数据的时刻，计算从开机到上述 10 个输出时刻中第 1 个时刻的时间间隔，应符合 4.7 的要求。

5.8 热启动首次定位时间

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度不高于 2 米/秒的直线运动用户轨迹。

在被测单元正常定位状态下，保持工作超过 3 分钟后，短时断电 60 秒后，被测单元重新开机，以 1Hz 的位置更新率连续记录输出的定位数据，由被测单元上电开始计时，至被测单元连续 10 次输出三维定位误差不超过 100 米的定位数据，计算从开机到上述 10 个输出时刻中第 1 个时刻的时间间隔，即为热启动首次定位时间，应符合 4.8 的要求。

5.9 信号重捕获时间

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度不高于 2 米/秒的直线运动用户轨迹。

在被测单元正常定位状态下，保持稳定工作至少 3 分钟后，短时中断卫星信号 30 秒后，恢复卫星信号，以 1Hz 或者 2Hz 的位置更新率连续记录输出的定位数据，找出自卫星信号恢复后，首次连续 10 次输出三维定位误差不超过 100 米的定位数据的时刻，计算从卫星信号恢复到上述 10 个输出时刻中第 1 个时刻的时间间隔，应符合 4.9 的要求。

5.10 定位数据输出频度

参照 5.3.3、5.3.4 测试方法，分别参照被测单元技术文件，设置其定位输出频率，并分析其定位精度，按照不同工作模式分别检测其满足精度要求的定位数据输出频率，应满足 4.10 的要求。

5.11 动态要求

使用模拟器测试，参照 4.11 要求，设置模拟器动态仿真场景，设置模拟器输出的各颗卫星的各通道信号电平-130dBm。设置被测单元以 2Hz 数据采样率输出定位语句；被测单元工作 3 分钟后采集数据，连续采集 20 分钟；参照附录 A，分析其定位精度，判断其工作状态，应满足 4.11 的要求。

5.12 多音干扰消除

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度不高于 2 米/秒的直线运动用户轨迹。

在输入卫星导航信号功率电平为-130dBm 时，同时在信号频带内施加总数不少于 6 个的连续波干扰，总干扰功率不低于-75dBm，干扰信号持续 5 分钟，多次重复，评估被测单元定位结果，应符合 4.12 的要求。

5.13 功耗

通过程控直流稳压电源为被测单元供电，在被测单元正常定位后（按照被测单元选择产品类型，配置其工作模式），在 10 分钟内每 5 秒记录一次程控直流稳压电源显示的瞬时电压和瞬时电流值，并由

二者的乘积计算出各瞬时功率。对各时刻的瞬时功率取平均值得到功耗测量值，应符合 4.13 的要求。

5.14 ESD

HBM 为人体模型测试，该测试项是模拟人身上带静电，测试依据标准为 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001-2014，在失效电压档 2000V 下进行测试，应符合 4.14 的要求。

CDM 为带电器件模型测试，该测试项是因时间本身累计静电而迅速放电，造成元器件损伤的模型，测试依据标准为 ESD STM5.3.1-1999，在 500V 电压下进行测试，应符合 4.14 的要求。

5.15 环境适应性要求

5.15.1 工作温度

参照 GB/T 2423.1-2008 和 GB/T 2423.2-2008 进行工作温度测试。

用实际信号进行测试，天线参照 5.1 进行安装，通过射频线直连至试验箱内，被测单元以 1Hz 数据采样率上传定位语句，分别进行高温、低温工作测试，工作时长 2 小时，参照附录 A，分析其定位精度，应满足 4.3.1 的要求。

且被测单元外观无明显变化，无变形、气泡和开裂现象。

5.15.2 贮存温度

参照 GB/T 2423.1-2008 和 GB/T 2423.2-2008 进行贮存温度测试。

贮存结束后，待被测单元恢复室温 2 小时后，参照 5.3.1 进行测试，其定位精度应满足 4.3.1 单点定位精度要求。

被测单元外观无明显变化，无变形、气泡和开裂现象。

5.15.3 湿热

参照 GB/T 2423.3-2016 进行工作湿热测试。

用实际信号进行测试，天线参照 5.1 进行安装，通过射频线直连至试验箱内，被测单元以 1Hz

数据采样率上传定位语句，工作时长 2 小时，参照附录 A，分析其定位精度，应满足 4.3.1 的要求。

被测单元外观无明显变化，无变形、气泡和开裂现象。

5.15.4 振动

参照 GB/T 2423.11-1997 进行随机振动测试。

用实际信号进行测试，天线参照 5.1 进行安装，被测单元以 1Hz 数据采样率上传定位语句，工作时长每个轴向 10 分钟，参照附录 A，分析其定位精度，应满足 4.3.1 的要求。

被测单元外观无明显变化，无变形、气泡和开裂现象。

附录 A

(资料性附录)

定位精度的数据处理方法

A.1 概述

静态定位精度和动态定位精度测试，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) 得到的全部实时定位数据中剔除平面精度因子 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 σ 准则）剔除粗大误差数据；
- c) 将被测产品输出的大地坐标系（BLH）定位数据转换为站心坐标系（ENU）定位数据；
- d) 按公式（A.1）～公式（A.3）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：

$$\Delta E_i = E_i - E_{0i} \dots\dots\dots (A.1)$$

$$\Delta N_i = N_i - N_{0i} \dots\dots\dots (A.2)$$

$$\Delta U_i = U_i - U_{0i} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

ΔE_i 、 ΔN_i 、 ΔU_i 、 ΔH_i ——第 i 次实时定位数据的 E 、 N 、 U 方向和水平方向的定位误差（ $i = 1, 2 \sim n$ ）；

E_i 、 N_i 、 U_i ——第 i 次实时定位数据的 E 、 N 、 U 方向分量，单位为米；

E_{0i} 、 N_{0i} 、 U_{0i} ——第 i 次实时定位的标准点坐标 E 、 N 、 U 方向分量，单位为米。

- e) 按公式（A.4）～公式（A.7）计算站心坐标系下各方向的定位偏差：

$$\bar{\Delta}_E = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E_i}{n} \dots\dots\dots (A.4)$$

$$\bar{\Delta}_N = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta N_i}{n} \dots\dots\dots (A.5)$$

$$\bar{\Delta}_U = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta U_i}{n} \dots\dots\dots (A.6)$$

$$\bar{\Delta}_H = \sqrt{\bar{\Delta}_N^2 + \bar{\Delta}_E^2} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

$\bar{\Delta}_E$ 、 $\bar{\Delta}_N$ 、 $\bar{\Delta}_U$ ——定位偏差的 E 、 N 、 U 方向分量，单位为米；

$\bar{\Delta}_H$ ——水平定位距离偏差，单位为米 (m)。

f) 按公式 (A.8) ~ 公式 (A.11) 计算定位误差的标准差：

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta E_i - \bar{\Delta}_E)^2} \dots\dots\dots (A.8)$$

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta N_i - \bar{\Delta}_N)^2} \dots\dots\dots (A.9)$$

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta U_i - \bar{\Delta}_U)^2} \dots\dots\dots (A.10)$$

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_E^2} \dots\dots\dots (A.11)$$

式中：

σ_E 、 σ_N 、 σ_U ——定位误差的标准差在 E 、 N 、 U 方向的分量，单位为米；

σ_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 2σ 的定位精密度 (precision)：

- 1) 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 $k = 2$ ($k = 2.448 / \sqrt{2} \approx 1.73$ 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% 之间，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^[5])，按公式 (A.12) 计算：

$$U_H = k\sigma_H = 2\sigma_H \dots\dots\dots (A.12)$$

- 2) 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.13) 计算：

$$U_U = k\sigma_U = 2\sigma_U \dots\dots\dots (A.13)$$

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 (bias) 和精密度 (precision)：

- 1) NEU 三个方向的定位偏差： $(\bar{\Delta}_N$ 、 $\bar{\Delta}_E$ 、 $\bar{\Delta}_U)$ ；
- 2) 水平定位精密度： $U_H = 2\sigma_H$ ；
- 3) 垂直定位精密度： $U_U = 2\sigma_U$ 。

i) 计算定位精度:

水平定位精度按公式 (A.14) 计算:

$$M_H = \bar{\Delta}_H + U_H \dots\dots\dots (A.14)$$

垂直定位精度按公式 (A.15) 计算:

$$M_U = |\bar{\Delta}_U| + U_U \dots\dots\dots (A.15)$$
