

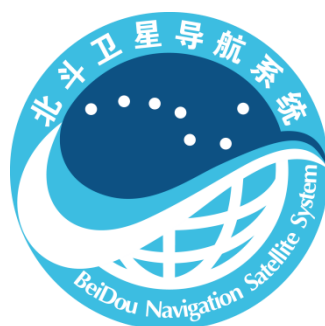
BD

中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 420020—2019

北斗/全球卫星导航系统（GNSS）基线处理 及网平差软件要求与测试方法

Requirements and test method for BDS/GNSS baseline processing
and network adjustment software



2019-11-07 发布

2019-12-01 实施

中国卫星导航系统管理办公室 批准

目 次

前言.....	II
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 术语和定义.....	1
3.2 缩略语.....	3
4 要求.....	3
4.1 软件架构.....	3
4.2 软件类型.....	4
4.3 软件功能.....	4
4.4 软件性能.....	9
5 测试.....	10
5.1 一般要求.....	10
5.2 测试环境.....	11
5.3 功能测试.....	12
5.4 性能测试.....	14
6 使用说明.....	16
6.1 使用说明的编写.....	16
6.2 使用说明的验证方法.....	16
附录 A（规范性附录） 测量等级划分及其精度要求.....	17
附录 B（资料性附录） 数据统计方法.....	18

前 言

为适应我国卫星导航对标准的需要，由全国北斗卫星导航标准技术委员会组织制定北斗专项标准，推荐有关方面参考采用。

本标准附录A是规范性附录，附录B是资料性附录。

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技术委员会归口。

本标准的起草单位：武汉大学、武汉导航与位置服务工业技术研究院、中国地质大学（武汉）、清华大学、北京卫星导航中心、广州中海达卫星导航技术股份有限公司、广州南方测绘科技股份有限公司、国家光电测距仪检测中心。

主要标准起草人：刘 晖、邹 蓉、张 一、张如飞、舒 宝、过静珺、翟清斌、李成钢、文述生、钱 闯、徐龙威、周 斌、蒋 军、刘经南。

北斗/全球卫星导航系统（GNSS）基线处理及网平差软件

要求与测试方法

1 范围

本标准规定了GNSS基线处理及网平差软件的功能要求、性能要求和测试方法等。
本标准适用于GNSS基线处理及网平差软件的研制、测试和GNSS网数据处理。

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，仅所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（包括所有的修订版）适用于本文件。

- GB/T 8566-2007 信息技术软件生存周期过程
- GB/T 8567-2006 计算机软件产品开发文件编制指南
- GB/T 9386-2008 计算机软件测试文件编制规范
- GB/T 11457 信息技术软件工程术语
- GB/T 15532-2008 计算机软件测试规范
- GB/T 17942-2000 国家三角测量规范
- GB/T 18314-2009 全球定位系统（GPS）测量规范
- GB/T 25000.51-2010 软件工程软件产品质量要求与评价
- CH/T 2008-2005 全球导航卫星系统连续运行参考站网建设规范
- CJJ/T 73 卫星定位城市测量技术标准
- BD 110001-2015 北斗卫星导航术语
- BD 410001-2015 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）接收机数据自主交换格式

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 18314-2009和 BD 110001-2015界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

基线处理 baseline processing

基线解算

在 GNSS 相对定位中，通过数据处理得到基线向量的过程。解算结果通常包括两点间的坐标差和基线长度及其相应精度等信息。

3.1.2

GNSS 网平差 network adjustment

平差数据处理

利用 GNSS 基线解算结果，采用测量平差的方法得到 GNSS 网各站点坐标及其精度等信息的方法。

3.1.3

观测时段 observation session

时段 session

观测站上接收机从开始记录观测数据到停止记录的时间段。

3.1.4

同步观测 simultaneous observation

两台或两台以上 GNSS 接收机同时对同一组卫星进行的观测。

【GB/T18314-2009 3.2】

3.1.5

同步环 simultaneous observation loop

同步观测环

三台或三台以上 GNSS 接收机同步观测所获得的基线向量构成的闭合环。

【GB/T18314-2009, 3.3】

3.1.6

同步环闭合差 simultaneous observation loop closure

GNSS 测量中，同步环的坐标闭合差称为同步环闭合差。

3.1.7

异步环 asynchronous loop

异步观测环 independent observation loop

GNSS 测量中，由非同步观测获得的基线向量构成的闭合环。

【GB/T18314-2009 3.4】

3.1.8

异步环闭合差 asynchronous loop closure

GNSS 测量中，异步环的坐标闭合差称为异步环闭合差。

3.1.9

重复基线 reputation baseline

观测了两次及以上的基线称为重复基线，其重复精度是评价各时段一致性的重要指标。

3.1.10

单基线解 single baseline processing

在 N 台 GNSS 接收机同步观测中, 每次选取两台接收机的 GNSS 观测数据解算相应的基线向量, 该方法可得到 $N \times (N-1)/2$ 条基线。

3.1.11

多基线解 multiple baseline processing

从 $N(N \geq 2)$ 台 GNSS 接收机同步观测数据中, 由 $N-1$ 条独立基线构成观测方程, 统一解算出 $N-1$ 条基线向量。

3.1.12

独立基线 independent baseline

N 台 GNSS 接收机同步观测所解算的基线中, 只有 $(N-1)$ 条线性无关的基线, 称为独立基线。

3.1.13

精密星历 precise ephemeris

由若干卫星跟踪站的观测数据, 经事后处理计算得到的导航卫星高精度轨道数据, 供精密定位等使用。

3.1.14

Ratio 检验 ratio test

次最优解与最优解的比值。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

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

CORS——Continuously Operating Reference Station, 连续运行参考站;

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

GNSS——Global Navigation Satellite System, 全球导航卫星系统;

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

4 要求

4.1 软件架构

本软件用于GNSS数据基线处理和网平差, 一般由输入模块、数据预处理模块、数据处理模块、输出模块、工具模块等组成, 见图1。

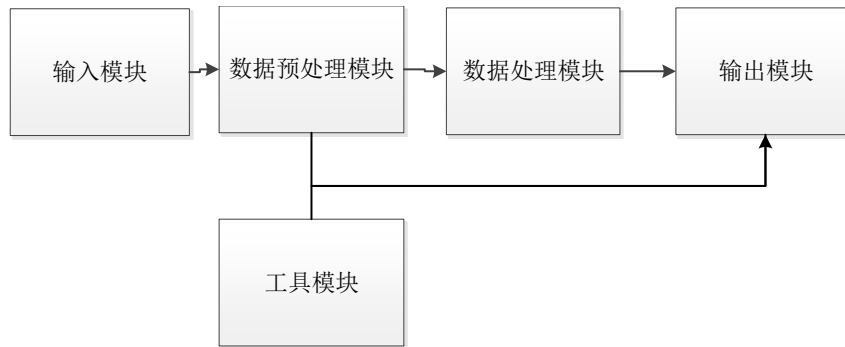


图1 软件架构图

4.2 软件类型

软件可分为精密数据处理软件和普通数据处理软件两类，分别处理 GB/T 18314 中所规定不同等级 GNSS 网数据，测量精度等级划分见附录 A。

- a) 精密数据处理软件应处理 A 级和 B 级 GNSS 观测网的数据；
- b) 普通数据处理软件应处理 C 级及以下等级 GNSS 观测网的数据；
- c) 精密数据处理软件具备普通数据处理软件的主要功能。

4.3 软件功能

4.3.1 一般要求

软件由输入模块、数据预处理模块、数据处理模块、输出模块、工具模块等组成，具备数据读取、参数设置、数据预处理、数据处理、结果输出等功能，每类功能由一个或多个软件模块实现。

一般包括：

- a) 数据读取功能：软件输入数据和参数；
- b) 数据预处理功能：软件进行数据格式转换、归心改正、数据质量分析等数据处理；
- c) 数据处理功能：软件进行基线解算和平差数据处理；
- d) 输出功能：软件输出基线处理、网平差数据处理和数据分析等信息；
- e) 辅助功能：软件进行时段设计、数据统计和图上量算等操作。

4.3.2 输入

4.3.2.1 数据输入

软件应输入用于进行数据预处理和数据处理的各类原始观测数据、定位结果数据和修正数据等，一般包括：

- a) GNSS 接收机记录的原始观测数据；
- b) 气象设备记录的气象观测数据；
- c) RTK 测量设备记录的动态定位结果数据；
- d) RTK 测量设备记录的原始观测数据；
- e) 常规仪器记录的角度和长度观测数据；

- f) 精密星历等数据；
- g) 高等级控制点坐标等数据；
- h) 电离层、对流层模型等其他数据。

4.3.2.2 信息输入

软件应输入用于进行数据预处理和数据处理的各类信息和设置参数等：

- a) 观测信息：站点名、点号、天线高及归心改正等信息；
- b) 时段信息：起止时间和截止高度角等信息；
- c) 基线处理参数：同步时间段、基线处理模式和基线解类型等参数；
- d) 平差处理参数：约束点信息、约束松弛量和迭代阈值等参数；
- e) 用于网型图叠加显示的地形图等；
- f) 用于进行高程系统转换的大地水准面参数。
- g) 其他用于数据处理的参数等。

4.3.3 数据预处理

4.3.3.1 数据格式转换

数据格式转换一般包括：

- a) 应将接收机原始观测数据文件转换为符合 BD 410001-2015 要求的 RINEX 数据文件；
- b) 可进行其它数据格式转换。

4.3.3.2 归心改正

软件应根据天线高记录、投影手簿或归心用纸等进行高标点和偏心观测点的归心改正，改正方法见 GB/T 18314-2009 和 GB/T 17942-2000。

4.3.3.3 数据质量分析

软件对所输入数据进行质量分析并给出分析统计信息，一般包括：

- a) 应对 GNSS 原始数据进行质量分析，给出观测历元数、理论历元数、可用性百分比、周跳数、观测值精度和多路径影响因子等信息；
- b) 可对 RTK 定位结果进行质量分析，给出 RTK 定位历元数、浮点解和固定解精度统计、收敛时间、点位坐标均值信息及线路图等信息；
- c) 可进行其他数据质量分析。

4.3.3.4 其他预处理功能

软件可具备删减数据、改变截止高度角和进行卫星筛选等其他功能。

4.3.4 数据处理

4.3.4.1 基线解算

4.3.4.1.1 一般要求

软件基线解算一般要求具备数据导入、解算参数设置、基线选取、基线解算和质量检核等功能。

4.3.4.1.2 数据导入

软件基线解算时需要导入经过数据预处理的各类数据，一般包括：

- a) GNSS 原始观测数据：包括多模多频的伪距、载波和多普勒观测值等。
- b) 卫星广播星历：观测时间内记录的卫星轨道和钟差信息；
- c) 卫星精密星历：观测时间内的精密卫星轨道和钟差信息；
- d) 起算点坐标：地心坐标系或其它坐标；
- e) 其它信息：用于进行基线解算的其他信息。

4.3.4.1.3 基线解算参数设置

软件应设置基线解算时的各类参数，一般包括：

- a) 星历和钟差类型：选择使用广播星历还是精密星历来进行基线解算；
- b) 截止高度角：基线解算时采用的数据截止高度角；
- c) 采样率：基线解算时采用的数据采样率；
- d) 周跳处理策略：基线解算时对周跳的处理方法，如自动修复和人工修复方法等；
- e) 对流层误差模型：指定基线解算所采用的对流层误差改正模型；
- f) 电离层误差模型：指定基线解算时所采用的电离层误差改正模型；
- g) 惯性参考框架：指定基线解算时所采用的惯性参考框架的类型；
- h) 地心参考框架：指定基线解算时所采用的地心参考框架的类型；
- i) 气象参数：在无气象观测数据时，可以设定温度和湿度等气象参数；
- j) 观测模型：设置基线解算时所采用的观测值组合方法、双差类型等参数；
- k) 随机模型：设置基线解算时所采用的定权方法，即权比的确定；
- l) 整周模糊度固定策略：设置基线解算时模糊度搜索的方法；
- m) 其它设置参数。

4.3.4.1.4 解算方案设置

用于设置基线解算的模式、精度要求等，一般包括：

- a) 软件应根据观测条件，设置采用单基线或多基线处理模式；
- b) 软件应根据需求，设置若干已知坐标的高等级控制点作为基线解算的起算点；
- a) 分时段处理时，相邻时段必须有重复点；
- b) 软件应对输入的起算数据进行完整性和正确性检核。

4.3.4.1.5 基线选取

选择参与 GNSS 网平差的基线，一般包括：

- a) 应具备选择独立基线功能；
- b) 可具备短基线优先的基线网组建方式。

4.3.4.1.6 基线解算

根据解算参数、解算方案和选取模式等进行基线解算，一般包括：

- a) 基线解算以同步观测时段为单位进行；
- b) A 和 B 级网基线处理应采用精密星历。C 级及以下基线处理时，可采用广播星历；
- c) B、C、D 和 E 级网观测值均应加入对流层延迟改正，对流层延迟改正模型中的气象元素可采用标准气象元素；
- d) B 和 C 级基线解算可采用单差解或双差解。D 和 E 级可根据基线长度，允许采用不同的数据处理模型。对于长度小于 15km 的基线，应采用双差固定解，对于长度大于 15km 的基线，可在双差浮点解和双差固定解中选择最优结果。

4.3.4.1.7 基线解算结果质量检核

基线解算后，软件需对基线解算结果进行质量检核，一般包括：

- a) 基线解算比率（Ratio）检验；
- b) 基线数据采用率检验；
- c) 重复基线较差检验，检验方法参见附录 B.1；
- d) 进行同步环闭合差检验，检验方法参见附录 B.2；
- e) 异步环闭合差检验，检验方法参见附录 B.3。
- f) 进行其它质量检核等。

4.3.4.1.8 基线解算结果输出

基线解算结果应以文件形式输出，内容一般包括：

- a) 按单基线解处理时，应提供每条基线坐标分量及其方差—协方差阵；
- b) 按多基线解处理时，应提供一组独立基线向量及其完整的方差—协方差阵；
- c) 应提供基线解算比率、精度值和单位权方差因子等信息。

4.3.4.2 平差数据处理

4.3.4.2.1 一般要求

平差数据处理一般要求具备无约束平差、约束平差和平差结果质量检验等功能。

4.3.4.2.2 无约束平差

精密数据处理软件和普通数据处理软件的要求不同，一般包括：

- a) 精密数据处理软件应具备以下功能：
 - 1) 可进行 A 和 B 级网的无约束平差；
 - 2) 根据外业分期及技术要求进行分区，分别进行无约束平差；
 - 3) 若进行相邻子区间联合无约束平差时，应可设置系统误差参数（尺度、定向等），并对每一系统误差参数进行显著性检验；
 - 4) 应具备对改正数粗差的检验和方差分量因子 σ^2 检验的能力；
 - 5) 可输出各平差点在地心坐标系中坐标结果及其精度信息；
 - 6) 可输出基线向量的改正数和平差值、地心坐标分量、大地坐标分量及其精度等信息。
- b) 普通数据处理软件应具备以下功能：

- 1) 可进行 C、D 和 E 级 GNSS 网无约束平差；
- 2) 可输入通过质量检核的基线向量及其方差—协方差阵，并以某点地心坐标系坐标为起算依据，进行无约束平差；
- 3) 应具备基线分量改正数绝对值检验功能，方法参见附 B.4。
- 4) 应可输出各点在地心坐标系中的三维坐标、基线向量及其改正数和其精度等信息。

4.3.4.2.3 约束平差

精密数据处理软件和普通数据处理软件的要求不同，一般包括：

- a) 精密数据处理软件应具备以下功能：
 - 1) 应具备在 2000 国家大地坐标系、1954 年北京坐标系或者 1980 西安坐标系、国际地球参考框架或独立坐标系中进行约束平差等功能；
 - 2) 在子网历元不同时，具备利用板块运动模型和速度场进行统一归算的功能；
 - 3) 具备引入起算点的全方差—协方差阵，并乘以适当的松弛因子定权的功能；
 - 4) 具备进行验后单位权方差因子 σ^2 的检验和转换参数的显著性检验功能；
 - 5) 具备输出 2000 国家大地坐标系、1954 年北京坐标系或者 1980 西安坐标系中各点的地心坐标和大地坐标、各基线的地心坐标分量和大地坐标分量、各基线改正数、平差值及其精度等信息的功能；
 - 6) 具备将地心坐标转换为独立坐标系坐标的功能，输出各点坐标及其转换精度等信息。
- b) 普通数据处理软件应具备以下功能：
 - 1) 进行 C、D 和 E 级等 GNSS 网的约束平差；
 - 2) 可以在地心坐标系等坐标系中进行三维约束平差或二维约束平差；
 - 3) 可以对点坐标、距离值或方位值进行约束；
 - 4) 可以进行强制约束，也可进行加权约束；
 - 5) 应具有同一条基线分量的无约束平差改正数与约束平差后的改正数较差检验能力，参见附录 B.5。
 - 6) 应输出相应坐标系中的三维或二维坐标、基线向量改正数、基线边长、方位、转换参数及其相应精度等信息。

4.3.5 输出

软件应输出数据预处理结果、基线处理结果和平差数据处理结果等信息，具体如下：

- a) 数据预处理结果应包括数据有效率和站点多路径分析等内容，宜以图形或其它形式输出站点分布图、点位环视图、星空图、同步观测数据情况等信息；
- b) 基线处理结果应包括基线向量、基线向量精度信息、同步环、异步环和复测基线及其精度信息等，可以图形形式输出基线网型图等信息；
- c) 平差数据处理结果应包括站点坐标、站点坐标改正值、平差所采用的基线网情况、基线改正值及其平差结果精度等信息，可以图形或其它形式输出点位分布图、平差基线网型图和

误差椭圆等信息。

4.3.6 辅助功能

软件的辅助功能一般包括：

- a) 可具备统计外业重复设站率；
- b) 应具备向 RINEX 数据格式转换等功能；
- c) 根据卫星广播星历、站点概略位置、起止观测时间、截止高度角等信息，可计算并给出可视卫星数、几何精度因子等信息，以此作为观测时段设计的依据；
- d) 可进行坐标转换并进行精度统计，可具备计算坐标转换参数的能力；
- e) 可具备通过大地水准面模型或高程拟合模型进行高程系统转换的能力；
- f) 可具备进行图上距离量算、面积量算等能力，可具备在数字地面模型支持下的体积量算能力。

4.4 软件性能

4.4.1 一般要求

软件性能指标主要包括处理能力、用户并发数、响应时间、资源利用率、数据接口、兼容性、稳定性和容错性等指标：

- a) 处理能力：可同时处理的同步观测值数量及平差点数量；
- b) 用户并发数：实时处理软件系统可同时提供服务的用户数量，对于 GNSS 基线处理及网平差软件不作要求；
- c) 响应时间：规定运算环境中，软件完成规定计算所使用的时间；
- d) 资源利用率：软件运行时 CPU、内存和存储占用率等要求；
- e) 稳定性：实时处理软件系统可以长期稳定工作的能力；
- f) 容错性：指故障存在的情况下软件仍能够正常工作的特性。

4.4.2 处理能力

精密处理软件和普通处理软件对处理能力要求不同：

- a) 精密处理软件一般要求如下：
 - 1) 可以单基线或多基线方式处理至少 10 台 GNSS 接收机的同步时段数据；
 - 2) 支持 30km 距离以上基线数据的解算；
 - 3) 具备进行 1000 个点平差计算的能力；
 - 4) 必须具备 2000 国家大地坐标系下的平差能力。
- b) 普通处理软件一般要求如下：
 - 1) 可以单基线或多基线方式处理至少 6 台 GNSS 接收机的同步时段数据；
 - 2) 支持 30km 基线长度数据的解算；
 - 3) 具备进行 200 个点平差计算的能力。

4.4.4 响应时间

软件在其使用说明规定的计算机环境下，其计算能力一般要求如下：

- a) 精密数据处理软件应能在 30min 内完成 10 台 GNSS 接收机 24h15s 采样率的同步观测的多基线解算；
- b) 精密数据处理软件应能在 60min 内完成一次 1000 点的无约束平差运算；
- c) 普通数据处理软件应能在 30min 内给出 6 台 GNSS 接收机 4h15s 采样率同步观测的多基线解算；
- d) 普通数据处理软件应能在 60min 内完成一次 200 点的无约束平差运算。

4.4.5 资源使用率

软件在其使用说明规定的计算机环境下，其资源使用率一般要求如下：

- a) 软件运行时，对 CPU 占用率、内存占用率和存储占用率等的一般要求如下：
- b) CPU 占用率应低于 95%；
- c) 内存占用率应低于 95%；

4.4.6 稳定性

软件稳定性一般要求如下：

- a) 可以长期稳定运行；
- b) 数据处理期间，在运行其他程序时其应不受影响。

4.4.7 容错性

软件的容错性要求一般要求如下：

- a) 具备判断输入参数是否重复输入的能力，当重复输入原始观测值、基线向量和已知点坐标等数据时，软件应可正常运行并给出重复输入的提示；
- b) 具备判断输入数据是否存在粗差或错误的能力，当输入错误的精密星历、原始数据和已知点坐标等参数时，软件应可正常运行并提出警示；

5 测试

5.1 一般要求

软件测试一般要求包括：

- a) 软件应通过由 GB/T 8566-2007 规定的测试。测试内容应满足 GB/T25000.51-2010 的基本要求，测试方法应满足 GB/T15532-2008 的基本要求，软件的测试文档等应满足 GB/T 8567 的基本要求；
- b) 应根据 4 的要求进行功能测试和性能测试；
- c) 测试所使用观测数据的采集应在 GNSS 接收机正常工作的情况下进行。

5.2 测试环境

5.2.1 运行环境

按照软件使用说明配置软件运行环境。

5.2.2 测试数据

5.2.2.1 功能测试的数据准备

软件功能测试需进行实际操作并检查其处理结果。测试前应准备测试数据，一般包括：

- a) 测试精密数据处理软件时，应准备以下数据：
 - 1) 不少于 10 个观测时段、至少 20 个点的 A 级或 B 级网观测数据；
 - 2) 某站点原始观测数据及经过转换后的符合 BD410001-2015 要求的数据；
 - 3) 与观测数据同时期的至少一个站的实测气象观测数据；
 - 4) 与观测数据同时期的精密轨道和钟差等数据；
 - 5) 对应站点名称、天线高度和已知坐标值等信息；
 - 6) 上述数据经国际认可的精密数据处理软件处理后，得到的基线和坐标结果。
- b) 测试普通数据处理软件时，应准备以下数据：
 - 1) 不少于 5 个观测时段、至少 10 个点的 C 级网及以下等级观测数据；
 - 2) 某站点原始观测数据及经过转换后的符合 BD410001-2015 要求的数据；
 - 3) 与观测数据同时期的至少一个站的实测气象观测数据；
 - 4) 与观测数据同时期的至少一个站的实测 RTK 定位结果数据和 RTK 原始数据；
 - 5) 与观测数据同时期的精密轨道和钟差等数据；
 - 6) 对应站点名称、天线高度和已知坐标值等信息；
 - 7) 上述数据经国际认可的精密数据处理软件处理后，得到的基线和坐标结果。

5.2.2.2 性能测试的数据准备

软件性能测试需进行实际操作并检查处理结果，测试前应准备测试数据，一般包括：

- a) 测试精密数据处理软件时，应准备以下数据：
 - 1) 分别相距 100km、60km、30km 和 10km，至少 4h 长度 15s 采样率，包含 BDS、GPS 和 GLONASS 等卫星观测值的 4 个站点的原始数据；
 - 2) 符合 BD410001-2015 格式要求，至少 24h 长度 15s 采样率的 10 个站点同步观测数据；
 - 3) 上述数据经国际认可的精密数据处理软件处理后，得到的基线和坐标结果。
- b) 测试普通数据处理软件时，应准备以下数据：
 - 1) 分别相距 60km、30km 和 10km，至少 4h 长度 15s 采样率，包含 BDS、GPS 和 GLONASS 等卫星观测值的 3 个站点的原始数据；
 - 2) 符合 BD410001-2015 格式要求，至少 24h 长度 15s 采样率的 10 个站点的同步观测数据；
 - 3) 上述数据经国际认可的精密数据处理软件处理后，得到的基线和坐标结果。

5.3 功能测试

5.3.1 输入

5.3.1.1 数据输入

通过对实际数据才做，测试软件是否具备 4.3.2.1 中的功能，一般包括：

- a) 读入 GNSS 原始观测数据文件，检查是否能显示历元数、原始观测值、起止观测时间和天线高度等信息；
- b) 读入气象观测数据文件，检查是否能显示起止观测时间和气象参数等信息；
- c) 读入 RTK 动态定位结果数据，检查是否能显示 RTK 定位结果和精度等信息；
- d) 读入 RTK 后处理数据，检查是否能显示原始观测值、历元数、单点定位结果及精度等信息；
- e) 读入角度和长度观测数据，检查是否能显示角度值、距离值和测回数等信息；
- f) 读入精密星历文件，检查是否能显示卫星号及其对应的星历参数等信息；
- g) 按照使用说明读入其他数据，检查是否能成功读入并显示信息。

5.3.1.2 信息输入

测试软件是否具备 4.3.2.2 中的功能，软件应具备信息输入和设置等界面，在实际操作后应保存相应信息并给出提示。

5.3.2 数据预处理

5.3.2.1 数据格式转换

通过对实际数据操作，测试软件是否具备 4.3.3.1 中的功能，软件应具备源文件、转换时间段和采样率等参数设置界面，数据转换过程中可显示执行进程，在实际操作后应能保存数据并显示相应信息。

5.3.2.2 归心改正

通过对实际数据操作，测试软件是否具备 4.3.3.2 中的功能，软件应具备天线高和偏移量等参数设置界面，在实际操作后应能保存数据并显示相应信息。

5.3.2.3 数据质量分析

通过对实际数据操作，测试软件是否具备 4.3.3.3 中的功能，软件应具备原始观测数据、RTK 定位结果等参数设置的界面，数据分析过程中可显示执行进程，在实际操作后应能保存数据并显示相应信息。

5.3.2.4 其他预处理功能

通过对实际数据进行操作，测试软件是否具备 4.3.3.4 中的功能，软件应具备删减数据、改变截止高度角和筛选卫星的界面，在实际操作后应能保存数据并显示相应信息。

5.3.3 数据处理

5.3.3.1 基线解算

按 5.2.2 准备数据后，操作软件进行基线解算并得到解算结果，逐项进行以下测试：

- a) 测试软件是否具备 4.3.4.1.2 中的功能，软件应具备 GNSS 原始观测数据和起算点坐标等数据导入界面，导入数据后应给出导入状态提示，并给出 GNSS 原始观测数据质量分析结果；
- b) 对于精密数据处理软件，应检查卫星精密星历导入选项，导入后应给出提示信息；
- c) 测试软件是否具备 4.3.4.1.3 中的功能，软件应有相应参数设置界面，能够保存选项并给出信息；
- d) 测试软件是否具备 4.3.4.1.4 中的功能，软件应有参数设置、起算点信息录入和选择起算点的界面，能够保存选项并提示，在起算数据不正确时应能给出错提示；
- e) 测试软件是否具备 4.3.4.1.5 中的功能，软件应具备独立基线选择选项，可自动或人工选择基线并存储其状态；
- f) 测试软件是否具备 4.3.4.1.6 中的功能，软件应可以处理原始数据得到基线结果，并给出信息提示；
- g) 测试软件是否具备 4.3.4.1.7 中的功能，软件应具备同步环、异步环和重复基线检验的功能选项，应可执行闭合环和重复基线的检验并给出结果；
- h) 测试软件是否具备 4.3.4.1.8 中的功能，基线解算结果文件中应提供基线坐标分量及其方差-协方差阵、固定解比率、精度值和单位权方差因子等信息；
- i) 精密数据处理软件进行 30km 以上 24h 长度 15s 采样率基线处理时，基线向量较差绝对值应小于 5mm；
- j) 普通数据处理软件进行 30km 以内 4h 长度 15s 采样率基线处理时，基线向量较差绝对值应小于 5mm。

5.3.3.2 平差数据处理

按 5.2.2 准备数据后，操作软件导入基线解算结果，测试软件是否具备 4.3.4.2 中的功能，并逐项进行以下测试：

- a) 检查软件是否可以设置系统尺度、定向、椭球参数、坐标系统类型等参数；
- b) 检查软件是否支持 2000 国家大地坐标系、1954 年北京坐标系、1980 西安坐标系等椭球参数，是否可选择地心坐标系、参心坐标系或大地坐标系等坐标系类型；
- c) 检查软件是否具有导入速度场进行历元归算的选项，检查输出结果文件在进行 ITRF 平差时，是否带有框架历元信息；
- d) 检查软件是否具有强制约束或加权约束选项，是否允许将点坐标、距离值或方位值作为约束条件，是否允许在坐标约束时给以适当的松弛量。
- e) 检查软件是否能够可以输出同一条基线分量的无约束平差改正数，以及其约束平差后的改正数，并且可以进行比较。
- f) 检查平差结果文件中是否包含指定坐标系的三维或二维坐标、基线向量改正数、基线边长、方位、转换参数及其相应精度等信息。
- g) 导入基线向量及其方差-协方差阵，首先以某点地心坐标系坐标为起算依据，进行无约束平

差，得到无约束平差结果文件，其次约束三个点以上，进行约束平差，得到约束平差结果文件。检查平差结果文件，文件应包含：系统误差参数显著性检验、改正数粗差检验和方差分量因子 σ^2 检验等信息；平差点在地心坐标系中坐标结果及其精度信息；基线向量的改正数、平差值及其检验功能、地心坐标和大地坐标分量及其精度等信息；

- h) 将无约束平差和约束平差结果与国际公认的精密数据处理软件的相应处理结果比较，在相同设置项条件下，坐标分量较差绝对值应小于 2mm，基线改正数较差绝对值应小于 5mm。

5.3.4 输出功能

测试软件是否具备 4.3.5 中的功能，软件应输出各类规定信息或文件并给出提示。

5.3.5 辅助功能

测试软件是否具备 4.3.6 的功能，软件应设计为从菜单项或其它方式访问辅助功能，通过实际操作检查软件是否具备相应的功能：

- a) 检查软件是否具备数据格式转换选项，并导入具有已知坐标成果的数据进行转换，转换结果与已知坐标在数值方面应严格相等。
- b) 检查软件是否具备观测时段设计选项，并导入数据进行计算，软件应给出可视卫星数和几何因子分布等信息；
- c) 检查软件是否具备坐标转换选项，导入数据进行转换；并进行精度统计，可具备计算坐标转换参数的能力；
- d) 检查软件是否具备大地水准面模型或高程曲面拟合进行高程系统转换的选项，导入数据进行操作，并将高程结果与已知成果比较；
- e) 检查软件是否具备图上距离量算、面积和体积量算等功能能力，实际操作并与已知结果比较。

5.4 性能测试

5.4.1 处理能力

- a) 测试精密数据处理软件时，分别输入按照 5.2.2.1 中 a)和按照 5.2.2.2 中 a)准备的测试数据，按照以下方式进行测试：
 - 1) 读入测试数据；
 - 2) 开始进行基线处理，记录软件开始运行时刻和运算结束时刻；
 - 3) 比较基线处理结果。软件处理结果应与国际认可的精密数据处理软件处理结果相符，在各项设置相同的情况下，两组结果的基线向量较差绝对值应小于 5mm；
 - 4) 导入基线向量，进行无约束平差处理；
 - 5) 约束已知点坐标，进行约束平差处理；
 - 6) 比较平差处理结果。软件处理结果应与国际认可的精密数据处理软件处理结果相符，在各项设置相同的情况下，两组结果的坐标分量较差绝对值应小于 3mm。

- b) 测试精密数据处理软件时,分别输入按照 5.2.2.1 中 b)和按照 5.2.2.2 中 b)准备的测试数据,按照以下方式进行测试:
- 1) 读入测试数据;
 - 2) 开始进行基线处理,记录软件开始运行时刻和运算结束时刻;
 - 3) 比较基线处理结果。软件处理结果应与国际认可的精密数据处理软件处理结果相符,在各项设置相同的情况下,两组结果的基线向量较差绝对值应小于 5mm;
 - 4) 导入基线向量,进行无约束平差处理;
 - 5) 约束已知点坐标,进行约束平差处理;
 - 6) 比较平差处理结果。软件处理结果应与国际认可的精密数据处理软件处理结果相符,在各项设置相同的情况下,两组结果的坐标分量较差绝对值应小于 3mm。

5.4.2 响应时间

- a) 按照以下方法进行精密数据处理软件的响应时间测试:
- 1) 基线处理测试中,选择多基线处理模式,输入至少 10 台接收机的至少 24h 采样率 15s 的原始观测数据,记录从输入完毕开始处理的时刻和运算结束时刻,二者相减得到软件基线处理的时间,处理时间应小于 30min;
 - 2) 平差处理测试中,选择约束平差模式,约束点坐标后进行平差处理,记录从运算的开始时刻和运算结束时刻,得到软件平差处理的时间。处理点数小于 1000 点时,处理时间应小于 60min。
- a) 按照以下方法进行普通数据处理软件的响应时间测试:
- 1) 基线处理测试中,选择多基线处理模式,输入至少 6 台接收机的至少 4h 采样率 15s 的原始观测数据,记录从输入完毕开始处理的时刻和运算结束时刻,二者相减得到软件基线处理的时间,处理时间应小于 30min;
 - 2) 平差处理测试中,选择约束平差模式,约束点坐标后进行平差处理,记录从运算的开始时刻和运算结束时刻,得到软件平差处理的时间。处理点数小于 200 点时,处理时间应小于 60min。

5.4.3 资源利用率

按照以下方法测试软件资源利用率:

- a) 软件基线处理和平差处理时,监测 CPU 占用率曲线,最大值应低于 95%;
- b) 软件基线处理和平差处理时,监测内存占用率曲线,最大值应低于 95%。

5.4.4 稳定性

按照以下方法测试软件稳定性:

- a) 软件运行前,记录内存剩余量;
- b) 运行软件,进行基线处理和平差处理,退出后记录内存剩余量,应与运行前的内存剩余量相符;

- c) 在软件进行基线处理和平差处理时，运行其他程序，软件应能正常运行。

5.4.5 容错性

按照以下方法测试软件的容错性：

- a) 重复读入某个原始数据文件，软件应给出提示并拒绝读入该数据文件；
- b) 修改某一已知点点名，读入两次，软件应给出同名点提示；
- c) 输入与原始数据不同期的卫星精密星历数据，软件应能给出提示并拒绝读入；
- d) 修改某一历元的原始观测数据，向伪距观测值加入 200km 的粗差，软件应能识别该错误并给出响应提示。

6 使用说明

6.1 使用说明的编写

应符合GB/T 8567-2006和GB/T 9386-2008，具体包括以下相关内容：

- a) 软件需求说明；
- b) 数据要求说明；
- c) 软件功能及操作；
- d) 软件测试分析。

6.2 使用说明的验证方法

按GB/T 8567-2006的规定执行。

附录 A
(规范性附录)
测量等级划分及其精度要求

A.1 测量级别划分

根据 GB/T 18314 中规定，GNSS 控制网测量按照精度和用途可分为 A 和 B、C、D 和 E 级。

A.2 A 级网测量精度

A 级网由卫星定位连续运行基准站构成，其精度应不低于表 A.1 的要求。

表 A.1 A 级网的精度要求

级别	坐标年变化率中误差		相对精度	地心坐标各分量年平均中误差/mm
	水平分量/(mm/a)	垂直分量/(mm/a)		
A	2	3	1×10^{-8}	0.5

A.3 其他等级网精度要求

B、C、D 和 E 级可由 GNSS 控制点组成，其精度应不低于表 A.2 的要求。

表 A.2 B、C、D 和 E 级网的精度要求

级别	坐标年变化率中误差		相邻点间平均距离/km
	水平分量/mm	垂直分量/mm	
B	5	10	50
C	10	20	20
D	20	40	5
E	20	40	3

附录 B
(资料性附录)
数据统计方法

B.1 基线重复性检验

B.1.1 重复基线长度较差

对于 B、C、D 和 E 级 GNSS 网，重复基线的长度较差应满足式 (B.1) 的规定：

$$d_s \leq 2\sqrt{2}\sigma \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

其中： $\sigma = \pm\sqrt{a^2 + (bd)^2}$

式中：

d_s ——重复基线的长度较差；

σ ——基线测量中误差，采用外业测量时使用的 GNSS 接收机的标称精度，计算时按实际平均边长计算，单位 mm；

a ——固定误差，单位 mm；

b ——比例误差系数，单位 mm/km；

d ——基线长度，单位 km。

B.1.2 基线分量不同时段较差的绝对值

B 级 GNSS 网同一基线和其各分量不同时段较差应满足式 (B.2) 的规定，式中同一基线和其各分量 R 值按式 (B.3) 计算。A 和 B 级 GNSS 网基线处理后应对各基线边长、南北分量、东西分量和垂直分量的重复性进行固定误差与比例误差的直线拟合，作为衡量基线精度的参考指标。

$$\begin{aligned} d_{\Delta X} &\leq 3\sqrt{2}R_{\Delta X} \\ d_{\Delta Y} &\leq 3\sqrt{2}R_{\Delta Y} \quad \dots\dots\dots (B.2) \\ d_{\Delta Z} &\leq 3\sqrt{2}R_{\Delta Z} \\ d_{\Delta S} &\leq 3\sqrt{2}R_{\Delta S} \end{aligned}$$

式中：

d_s ——同一基线和其各分量不同时段长度较差，单位 mm；

$d_{\Delta X}$ ——同一基线和其各分量不同时段 X 方向较差，单位 mm；

$d_{\Delta Y}$ ——同一基线和其各分量不同时段 Y 方向较差，单位 mm；

$d_{\Delta Z}$ ——同一基线和其各分量不同时段 Z 方向较差，单位 mm；

R_s ——同一基线的长度重复性，参见式 (B.3)；

$R_{\Delta X}$ ——同一基线的 X 方向重复性；

$R_{\Delta Y}$ ——同一基线的 Y 方向重复性；

$R_{\Delta Z}$ ——同一基线的 Z 方向重复性。

$$R_s = \left[\frac{\frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(C_i - C_m)^2}{\sigma_{C_i}^2}}{\sum_{i=1}^n 1/\sigma_{C_i}^2} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

S ——表示 ΔX 、 ΔY 和 ΔZ ;

n ——同一基线的总观测时段数;

C_i ——一个时段的基线某一分量或边长;

$\sigma_{C_i}^2$ ——该时段对应于 C_i 分量的方差;

C_m ——各时段的加权平均值。

B.2 同步环闭合差检验

B、C、D 和 E 级 GNSS 网同步环闭合差, 应满足式 (B.4) 要求

$$\begin{aligned} W_x &\leq \frac{\sqrt{3}}{5} \sigma \\ W_y &\leq \frac{\sqrt{3}}{5} \sigma \dots\dots\dots (B.4) \\ W_z &\leq \frac{\sqrt{3}}{5} \sigma \end{aligned}$$

式中:

W_x ——坐标分量 X 方向闭合差, 单位 mm;

W_y ——坐标分量 Y 方向闭合差, 单位 mm;

W_z ——坐标分量 Z 方向闭合差, 单位 mm;

σ ——基线测量中误差, 单位为 mm, 采用外业测量时使用的 GNSS 接收机的标称精度, 计算时按实际平均边长计算。

B.3 异步环闭合差检验

B、C、D 和 E 级 GNSS 网独立闭合环或符合路线坐标闭合差 W_s 和各坐标分量闭合差 (W_x 、 W_y 、 W_z) 应满足式 (B.5) 的规定。

$$\begin{aligned} W_x &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\ W_y &\leq 3\sqrt{n}\sigma \dots\dots\dots (B.5) \\ W_z &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\ W_s &\leq 3\sqrt{3n}\sigma \end{aligned}$$

式中:

W_x ——坐标分量 X 方向闭合差, 单位 mm;

W_y ——坐标分量 Y 方向闭合差, 单位 mm;

W_z ——坐标分量 Z 方向闭合差, 单位 mm;

n ——闭合环边数;

σ ——基线测量中误差, 单位为 mm, 采用外业测量时使用的 GNSS 接收机的标称精度, 计算时按实际平均边长计算。

$$W_s = \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2} \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:

W_s ——异步环长度闭合差, 单位 mm;

B 级 GNSS 网基线处理后, 独立闭合环或符合路线坐标分量闭合差 (W_x 、 W_y 、 W_z) 应满足式 (B.7):

$$\begin{aligned} W_x &\leq 2\sigma_{wX} \\ W_y &\leq 2\sigma_{wY} \dots\dots\dots (B.7) \\ W_z &\leq 2\sigma_{wZ} \end{aligned}$$

其中:

$$\begin{aligned} \sigma_{wX}^2 &= \sum_{i=1}^r \sigma_{\Delta X(i)}^2 \\ \sigma_{wZ}^2 &= \sum_{i=1}^r \sigma_{\Delta Z(i)}^2 \dots\dots\dots (B.8) \\ \sigma_{wY}^2 &= \sum_{i=1}^r \sigma_{\Delta Y(i)}^2 \end{aligned}$$

式中:

r ——环线中的基线数;

$\sigma_{C(i)}^2$ —— $C = \Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 分别为环线中第 i 条基线 C 分量的方差, 单位 mm。

环线全长闭合差应满足式 (B.9):

$$W \leq 3\sigma_w \dots\dots\dots (B.9)$$

$$\sigma_w^2 = \sum_{i=1}^r W D_{bi} W^T \dots\dots\dots (B.10)$$

$$W = \begin{bmatrix} \omega_{\Delta X} & \omega_{\Delta Y} & \omega_{\Delta Z} \\ \omega & \omega & \omega \end{bmatrix} \dots\dots\dots (B.11)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_{\Delta X}^2 + \omega_{\Delta Y}^2 + \omega_{\Delta Z}^2} \dots\dots\dots (B.12)$$

式中:

W ——环线全长闭合差;

D_{bi} ——环线中第 i 条基线方差—协方差阵;

$\omega_{\Delta X}$ ——独立闭合环或符合路线 X 坐标分量闭合差, 单位 mm;

$\omega_{\Delta Y}$ ——独立闭合环或符合路线 Y 坐标分量闭合差, 单位 mm;

$\omega_{\Delta Z}$ ——独立闭合环或符合路线 Z 坐标分量闭合差, 单位 mm;

ω ——独立闭合环或符合路线闭合差, 单位 mm。

B.4 基线分量改正数绝对值检验

无约束平差中，基线分量的改正数绝对值应满足式 (B.13) 的要求

$$\begin{aligned} V_{\Delta X} &\leq 3\sigma \\ V_{\Delta Y} &\leq 3\sigma \dots\dots\dots (B.13) \\ V_{\Delta Z} &\leq 3\sigma \end{aligned}$$

式中：

$V_{\Delta X}$ ——基线分量 X 方向的改正数绝对值，单位 mm；

$V_{\Delta Y}$ ——基线分量 Y 方向的改正数绝对值，单位 mm；

$V_{\Delta Z}$ ——基线分量 Z 方向的改正数绝对值，单位 mm；

σ ——基线测量中误差，单位为 mm，采用外业测量时使用的 GNSS 接收机的标称精度，计算时按实际平均边长计算。

B.5 约束平差改正数绝对值检验

约束平差相应改正数较差的绝对值应满足公式 (B.14) 的要求。

$$\begin{aligned} dV_{\Delta X} &\leq 2\sigma \\ dV_{\Delta Y} &\leq 2\sigma \dots\dots\dots (B.14) \\ dV_{\Delta Z} &\leq 2\sigma \end{aligned}$$

式中：

$dV_{\Delta X}$ ——约束平差改正较差数 X 方向的绝对值，单位 mm；

$dV_{\Delta Y}$ ——约束平差改正较差数 Y 方向的绝对值，单位 mm；

$dV_{\Delta Z}$ ——约束平差改正较差数 Z 方向的绝对值，单位 mm；

σ ——基线测量中误差，采用外业测量时使用的 GNSS 接收机的标称精度，计算时按实际平均边长计算，单位为 mm。