

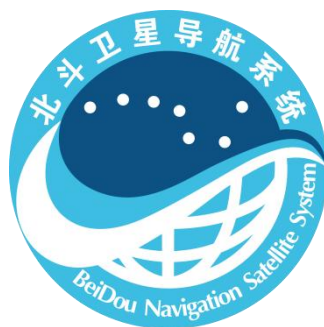
BD

中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 420074—2022

北斗/微机电惯性组合导航终端规范

Specification for BDS/MEMS inertial integrated navigation terminal



2022-12-30 发布

2023-01-30 实施

中国卫星导航系统管理办公室 批准

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 组成	2
4.2 分类	2
4.3 外观	3
4.4 尺寸	3
4.5 重量	3
4.6 功耗	3
4.7 功能	3
4.8 性能	4
4.9 接口	6
4.10 环境适应性	7
4.11 电磁兼容性	7
4.12 安全防护	8
4.13 可靠性	8
5 测试方法	8
5.1 测试条件	8
5.2 外观	11
5.3 尺寸	11
5.4 重量	11
5.5 功耗	11
5.6 功能	11
5.7 性能	12
5.8 接口	15
5.9 环境适应性	16
5.10 电磁兼容性	16
5.11 安全防护	17
5.12 可靠性	17
6 检验规则	17
6.1 检验分类	17
6.2 鉴定检验	17
6.3 交收检验	18
6.4 检验项目及顺序	18
7 包装、贮存及运输	18

7.1	包装	18
7.2	贮存	19
7.3	运输	19
8	使用说明	19
8.1	使用说明（书）的编写	19
8.2	使用说明的验证方法	19

前 言

本文件由中国卫星导航系统管理办公室提出。

本文件由全国北斗卫星导航标准化技术委员会（SAC/TC 544）归口。

本文件起草单位：北京遥测技术研究所、上海交通大学、中国卫星导航工程中心、中国商用飞机有限责任公司北京民用飞机技术研究中心。

本文件主要起草人：孔龙涛、黄晓瑞、刘莹、蒋林、朱兵、裴凌、李奇奋、石善斌、唐珊珊、张展。

北斗/微机电惯性组合导航终端规范

1 范围

本文件规定了北斗/微机电惯性组合导航终端的要求、测试方法、检验规则、包装、贮存、运输等内容。

本文件适用于北斗/微机电惯性组合导航终端（以下称终端）的研制、生产、检验和验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 2423.18-2012 环境试验 第2部分：试验方法 试验Kb：盐雾，交变（氯化钠溶液）
- GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 4857.5 包装 运输包装件 跌落试验方法
- GB/T 5080.1—2012 可靠性试验 第1部分：试验条件和统计检验原理
- GB/T 5080.7—1986 设备可靠性试验恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方法
- GB/T 6388—1986 运输包装收发货标志
- GB/T 9254—2008 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法
- GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 17626.3—2016 电磁兼容 试验和测量技术射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 39267 北斗卫星导航术语
- GB/T 39399—2020 北斗/全球卫星导航系统测量型接收机通用规范

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 39267界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

装订 setting

将初始状态信息通过接口输入给终端的过程。

3.1.2

对准 alignment

确定终端IMU各轴与终端采用的导航坐标系之间关系的过程。

3.1.3

航向角 heading

载体纵轴轴向在水平面上的投影与真北方向的夹角。

3.1.4

姿态 attitude

航向角、俯仰角和横滚角的统称。

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)

GALILEO: 伽利略卫星导航系统 (Galileo Navigation Satellite System)

GLONASS: 全球轨道导航卫星系统 (Global Orbiting Navigation Satellite System)

GNSS: 全球卫星导航系统 (Global Navigation Satellite Systems)

GPS: 全球定位系统 (Global Positioning System)

IMU: 惯性测量单元 (Inertial Measurement Unit)

MTBF: 平均无故障工作时间 (Mean Time Between Faliure)

PDOP: 位置精度因子 (Position Dilution Of Precision)

PPS: 秒脉冲 (Pulse Per Second)

RMS: 均方根 (Root Mean Square)

4 要求

4.1 组成

终端由GNSS天线和终端主机组成。终端主机的组成包括卫星导航单元、微机电惯性测量单元(IMU)、微处理单元和接口单元等。终端组成框图如图1所示, 包括:

- a) GNSS天线: 接收卫星导航信号;
- b) 卫星导航单元: 包含射频和基带两部分, 完成卫星导航功能;
- c) 微机电IMU: 包含三轴加速度计和三轴陀螺仪, 测量载体的角运动和线运动;
- d) 微处理单元: 融合IMU数据和卫星导航数据, 实现组合导航和惯性导航功能;
- e) 存储单元: 完成数据存储功能;
- f) 接口单元: 完成终端供电和与外部系统通信功能。

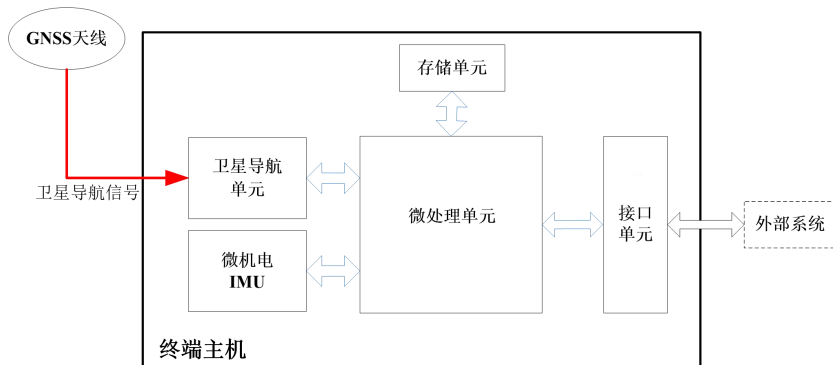


图1 终端组成框图

4.2 分类

根据IMU等级高低，将终端分为I类和II类两种，其中I类终端的陀螺零偏稳定性范围在 $5^{\circ}/h \sim 20^{\circ}/h$ 之间，II类终端的陀螺零偏稳定性范围在 $20^{\circ}/h \sim 50^{\circ}/h$ 之间，两类终端的加速度计零偏稳定性均不大于 2×10^{-3} 个重力加速度（即 $2mg$ ）。

4.3 外观

终端外观应符合以下要求：

- a) 各连接部件的链接应稳定可靠；
- b) 涂（镀）层不应起泡、龟裂或脱落；
- c) 表面应无明显划痕、裂缝和变形；
- d) 产品上应有坐标系、产品型号及名称标志。

4.4 尺寸

天线外形尺寸要求由专用技术文件规定。

终端主机的外形尺寸一般不大于 $100mm \times 100mm \times 60mm$ 。

4.5 重量

天线重量要求由专用技术文件规定。

终端主机的重量一般不大于 $400g$ 。

4.6 功耗

终端稳态功耗一般不大于 $14W$ 。

4.7 功能

4.7.1 导航定位

终端在接收卫星导航信号情况下，应能实时提供经纬度、高度、加速度、速度、航向角、俯仰角和横滚角等信息。

4.7.2 装订

终端应具备装订初始经纬度、航向、高度等参数功能。

4.7.3 导航模式转换

4.7.3.1 模式类别

终端应具备下列三种导航模式：

- a) 组合导航模式：输出组合导航信息，卫星导航信息输出可选。组合导航信息应至少包括经纬度、高度、速度、航向角、俯仰角和横滚角。
- b) 纯惯性导航模式：卫星导航不参与导航解算。输出纯惯性导航信息，卫星导航信息输出可选。纯惯性导航信息应至少包括经纬度、高度、速度、航向角、俯仰角和横滚角。
- c) 卫星导航模式：只输出卫星导航信息，应至少包括经纬度、高度和速度。

4.7.3.2 转换方式

三种导航模式之间可相互转换。转换方式有以下两种：

- a) 自动转换：当卫星导航有效时，自动转为组合导航模式。当卫星导航无效时，自动转换为纯惯性导航模式。当IMU有故障时，自动转为卫星导航模式。

b) 人工转换：三种模式可通过接口设置控制指令进行人工转换。

4.7.4 数据存储

终端宜提供足够容量的非易失存储器，数据存储要求如下：

- a) 应能存储卫星原始观测数据、卫星导航定位结果、IMU数据和组合导航定位结果等；
- b) 终端在非正常断电时，应具有数据保存功能。

4.8 性能

4.8.1 信号接收

4.8.1.1 通道数与跟踪

终端应至少具备BDS信号接收能力，通道数与跟踪要求见表1。

表1 通道数与跟踪要求

终端类别	频点数	最小系统组成	通道数	说明
单模单频	≥1	BDS	≥12	仅有一个卫星系统的一个频点
多模单频	≥2	BDS+(GPS/GLONASS/GALILEO)	≥20	卫星系统数≥2，每个卫星系统仅有一个频点
单模多频	≥2	BDS	≥12	有一个卫星系统的两个及以上的频点
多模多频	≥4	BDS+(GPS/GLONASS/GALILEO)	≥20	卫星系统数≥2，每个卫星系统有两个及以上频点
全星座多频	≥8	BDS+GPS+GLONASS+GALILEO	≥36	所有卫星系统，每个卫星系统有所有频点

4.8.1.2 捕获灵敏度

在卫星截止高度角大于5°条件下，捕获灵敏度要求见表2。

表2 捕获灵敏度要求

GNSS系统	信号类型	信号类型捕获灵敏度 dBm	系统捕获灵敏度 dBm
BDS	B1I	≤-133.0	≤-133.0
	B1C	≤-133.0	
	B2I	≤-133.0	
	B2a	≤-133.0	
	B3I	≤-133.0	
GPS	L1C/A	≤-128.5	≤-127.0
	L1C	≤-127.0	
	L2C	≤-128.5	
	L2P(Y)	≤-131.5	
	L5	≤-127.0	
GLONASS	G1	≤-128.5	≤-128.5
	G2	≤-128.5	
GALILEO	E1	≤-127.0	≤-125.0
	E5a	≤-125.0	
	E5b	≤-125.0	

4.8.1.3 跟踪灵敏度

在卫星截止高度角大于5°条件下，跟踪灵敏度要求见表3。

表 3 跟踪灵敏度要求

GNSS系统	信号类型	信号类型跟踪灵敏度 dBm	系统跟踪灵敏度 dBm
BDS	B1I	≤-136.0	≤-136.0
	B1C	≤-136.0	
	B2I	≤-136.0	
	B2a	≤-136.0	
	B3I	≤-136.0	
GPS	L1C/A	≤-131.5	≤-130.0
	L1C	≤-130.0	
	L2C	≤-134.5	
	L2P(Y)	≤-131.5	
	L5	≤-130.0	
GLONASS	G1	≤-131.5	≤-131.5
	G2	≤-131.5	
GALILEO	E1	≤-130.0	≤-128.0
	E5a	≤-128.0	
	E5b	≤-128.0	

4.8.2 卫星导航首次定位时间

4.8.2.1 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，终端在概略位置、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10s连续输出三维定位误差小于20m的定位数据，所需时间不应超过60s。

4.8.2.2 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，终端在概略位置、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10s连续输出三维定位误差小于20m的定位数据，所需时间不应超过5s。

4.8.3 初始化时间

终端的初始化时间包括IMU初始化时间和接收外部装订指令时间，初始化时间应不超过30s。

4.8.4 对准时间

终端一般有自对准和快速对准两种对准方式：

- a) 自对准：不借助外部输入，利用IMU自身敏感信息进行对准，时间应不超过3min；
- b) 快速对准：包括存储航向和外部装订航向等，时间应不超过1min。

4.8.5 精度

4.8.5.1 卫星导航精度

卫星导航精度用RMS表示，要求见表4。

表 4 卫星导航精度要求

位置精度 m		速度精度 m/s	
水平	垂直	水平	垂直
5	10	0.1	0.2

4.8.5.2 组合导航精度

组合导航精度用RMS表示，要求见表5。

表 5 组合导航精度要求

位置精度 m		速度精度 m/s		姿态精度 °			
				I类		II类	
水平	垂直	水平	垂直	俯仰/横滚	航向	俯仰/横滚	航向
5	10	0.1	0.2	0.8	1.5	1.5	3

4.8.5.3 纯惯性导航精度

纯惯性导航精度用RMS表示，要求见表6。

表 6 纯惯性导航精度要求

转入 时间	位置精度 m				速度精度 m/s				姿态精度 °			
	I类		II类		I类		II类		I类		II类	
	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	俯仰/ 横滚	航向	俯仰/ 横滚	航向
10s	6	13	7	14	0.3	0.4	0.4	0.5	1.0	1.7	1.7	3.3
60s	40	45	70	75	1.6	1.8	3.2	3.3	1.3	2.0	2.3	3.8

4.8.5.4 1PPS 精度

优于50ns (RMS)。

4.9 接口

4.9.1 电源接口

电源接口要求如下：

- 电源电压 12V~36V 范围应正常工作；
- 在电源电压相对标称值变化 $\pm 10\%$ 的情况下，终端应能正常工作。

4.9.2 通信接口与输出

终端应具备通信接口，与外部系统进行数据通信。通信接口和输出要求如下：

- 导航定位结果输出接口形式一般为 RS422 或 RS232；
- 终端应能输出秒脉冲信号，接口形式一般为 TTL 或 RS422。

4.9.3 数据下载接口

数据下载接口形式一般为以太网或USB。

4.9.4 机械接口

终端机械接口应满足如下要求：

- a) 具有4个安装孔，采用螺钉固定方式；
- b) 具有水平安装基准面和航向安装基准面，保证重复安装精度优于3'。

4.10 环境适应性

4.10.1 温度

终端正常工作温度：-40℃~85℃，贮存温度：-40℃~85℃。

4.10.2 湿热

终端应能在温度为40℃，相对湿度为93%的环境下正常工作。

4.10.3 盐雾

终端应能在表7盐雾条件下正常工作。

表7 盐雾条件表

盐溶液质量百分比浓度	盐溶液 pH 值	喷雾持续时间	喷雾间隔存放时间	恢复时间	循环次数
(5±1)%	6.5~7.2	2h	22h	1h	3

4.10.4 振动

在表8振动条件下，终端应正常工作，保持结构完好。

表8 振动条件表

类型	频率范围 Hz	扫频速率 Oct/min	扫频时间	扫频方向	振幅 mm	加速度 m/s ²
条件	10~25	1	每个方向 8h	三个轴方向	10 (峰值)	—
	25~500				—	50

4.10.5 冲击

在表9冲击条件下，终端应正常工作，保持结构完好。

表9 冲击条件表

次数	峰值加速度	脉冲持续时间	方向
X、Y、Z 方向各 3 次	490m/s ²	11ms	X、Y、Z 方向

4.10.6 防水、防尘

终端应不低于GB/T 4208-2017中规定的IP55外壳防护等级。

4.11 电磁兼容性

电磁兼容性要求见表10。

表 10 电磁兼容性要求

序号	项目	要求
1	辐射骚扰场强	按 GB/T 9254-2008 等级 B ITE 所规定的极限要求和 6.2 1GHz 以上的限值要求，如果 EUT 内部源的最高频率高于 1GHz，则测量将进行到最高频率的 5 倍或 6GHz，取两者中的小者，即频率范围为 3GHz~6GHz 时，辐射骚扰限值平均值为 54 dB(μ V/m)，峰值为 74dB(μ V/m)
2	射频电磁场辐射 抗扰度	按 GB/T 17626.3-2016 等级 3 所规定的要求。在 80MHz~1000MHz 频率范围内，试验场强为 10V/m 环境下，终端内部噪声水平应不大于 1mm

4.12 安全防护

终端的安全防护要求如下：

- a) 各接口端应有明显标记和防插错措施；
- b) 接口应有防静电功能；
- c) 应有过流、过压、电源瞬间变化和偶然极性反接的保护装置。

4.13 可靠性

MTBF \geq 3000h。

5 测试方法

5.1 测试条件

5.1.1 环境条件

5.1.1.1 室内环境条件

除另有规定外，室内测试应在下述环境条件下进行：

- a) 环境温度：15℃~35℃；
- b) 相对湿度：20%~80%；
- c) 大气压力：测试场所的大气压力。

5.1.1.2 室外环境条件

除另有规定外，室外测试通常在当地的环境温度、相对湿度和大气压力条件下进行。测试场所无显著电磁信号干扰。静态精度测试时，应在星座满足 PDOP \leq 4 情况下进行，且观测点周围无障碍物。

5.1.2 测试设备

所有测试设备应经计量检定并在检定合格有效期内，精度应比被测样品的精度高一个量级或者三分之一。测试设备要求见表11。

表 11 测试设备要求

设备名称	数量	要求
游标卡尺	1 个	测量精度不低于 0.1mm
电子秤	1 个	测量精度不低于 10g
直流稳压电源	1 台	输出电压高于 40V，输出电流高于被测设备所需电流，电压准确度优于 8mV，电流准确度优于 1.5mA
示波器	1 台	BW:200MHz，采样率：2G/s

表 11 (续)

设备名称	数量	要求
计时器	1 个	精度优于 1/100s
卫星信号转发器	1 台	具备 BDS、GPS、GLONASS 等卫星信号转发能力
卫星信号模拟器	1 台	具备 BDS、GPS、GLONASS 等卫星信号输出能力, 卫星几何位置良好 (PDOP ≤ 4), 支持多用户输出功能, 运动轨迹可本机设置或从外部导入
低噪放	1 个	噪声系数和增益等参数应与天线内部的低噪放相当
可调衰减器	1 个	频段: DC~2GHz; 可调范围: (0~110)dB, 步进衰减量 1dB, 承受功率不小于 2W
原子钟	1 台	频率稳定度优于 $1 \times 10^{-11}/s$
功分器	1 个	2 个 (含) 以上输出端口, 信号功率均匀分配
GNSS 授时型接收机	1 台	时间精度优于 15ns
时间间隔计数器	1 个	频率测量范围大于 0.01Hz~1GHz, 时间分辨率优于 20ps
高精度 GNSS 天线	1 个	具备 BDS、GPS、GLONASS 等卫星信号接收能力, 相位中心误差优于 1.5mm
转发天线	1 个	支持 BDS、GPS、GLONASS 等频段信号发射
高精度组合导航设备 (含基准站)	1 套	输出位置更新率不低于 20Hz, 姿态信息更新率不低于 200Hz。具备 RTK 和事后数据处理能力。事后处理精度 (RMS) 要求如下: 失锁时间 0s 和 10s 时, 水平位置精度 0.01m, 垂直位置精度 0.02m, 水平速度精度 0.02m/s, 垂直速度精度 0.01m/s, 俯仰角和横滚角精度 0.005°, 航向角精度 0.017°; 失锁时间 60s 时, 水平位置精度 0.15m, 垂直位置精度 0.11m, 水平速度精度 0.02m/s, 垂直速度精度 0.01m/s, 俯仰角和横滚角精度 0.007°, 航向角精度 0.019°。
转台	1 套	具有引北、调平和三维姿态角连续变化能力
监控计算机 (含测试评估软件)	1 套	具有与被测终端相适应的硬件接口, 具有接收被测终端输出数据, 并向被测终端发送指令的能力

5.1.3 测试场景

5.1.3.1 室内模拟器测试

室内位置、速度精度测试时, 测试连接图如图2所示。

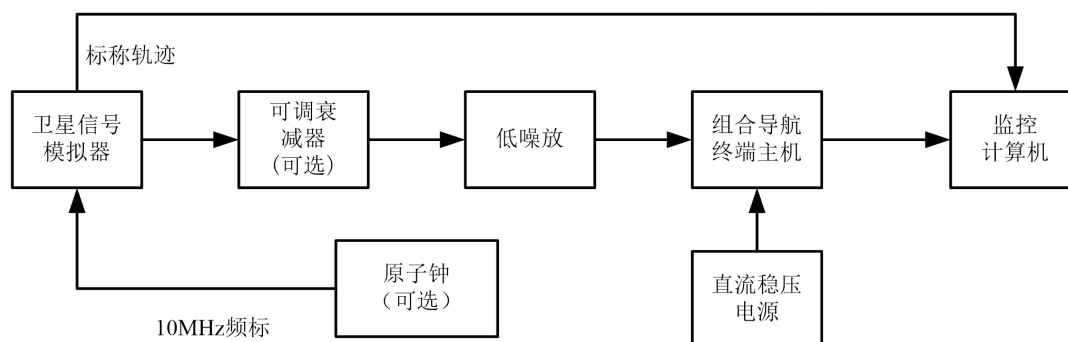


图 2 室内位置、速度精度测试连接图

5.1.3.2 室内转台测试

室内姿态精度测试时, 测试连接图如图3所示。

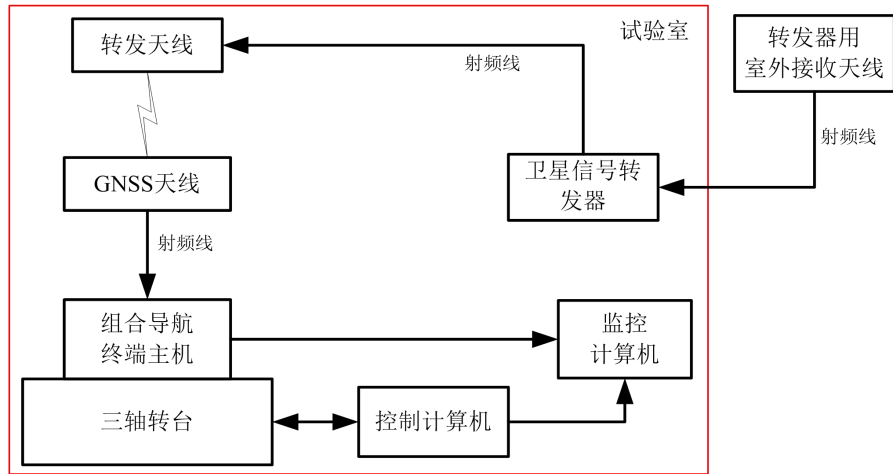


图3 室内转台测试连接图

5.1.3.3 室外静态测试

实际静态收星位置、速度精度测试时，测试连接图如图4所示。

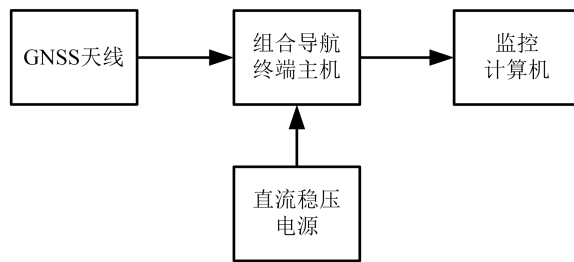


图4 室外静态位置、速度精度测试连接图

实际静态收星时间精度测试时，测试连接图如图5所示。

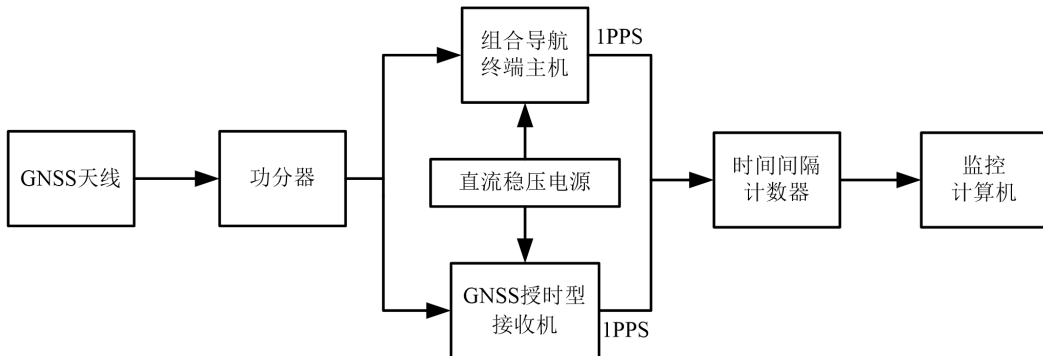


图5 室外静态时间精度测试连接图

5.1.3.4 室外动态测试

室外动态跑车精度测试时，测试连接图如图6所示。

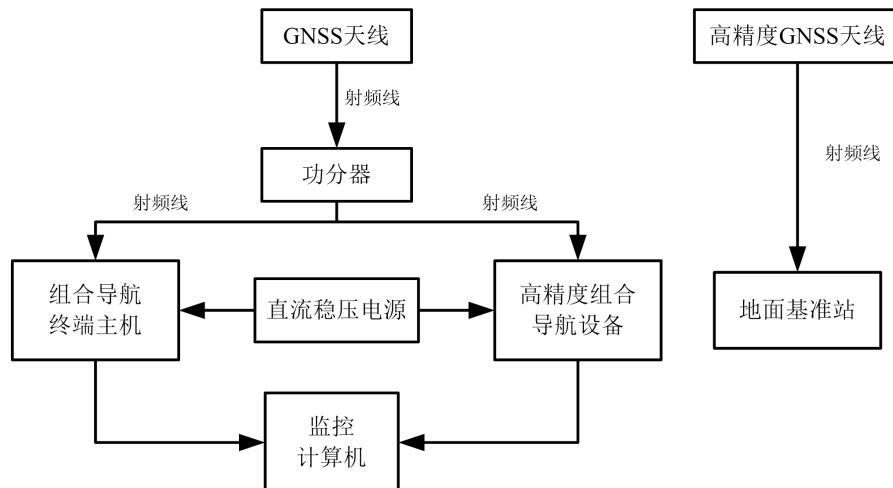


图 6 室外动态测试连接图

5.2 外观

测试方法如下：

- 目测终端各连接部件的连接是否稳定可靠；
- 目测终端表面是否有划痕、裂缝和变形；
- 实际操作检查终端外壳是否具有一定的刚度和强度。

5.3 尺寸

用游标卡尺或其他量具测量终端，其外形尺寸应符合 4.4 的要求。

5.4 重量

用电子秤称量终端，其重量应符合 4.5 的要求。

5.5 功耗

使用带电压和电流读数的直流电源给终端供电，记录终端工作时的电压 U 和电流值 I 。供电电压与工作电流的乘积即为终端的功耗，测试 10 次后计算平均功耗，结果应符合 4.6 的要求。

5.6 功能

5.6.1 导航定位

按图4连接测试设备，观察其能否进入组合导航模式，同时实际操作终端，观察其输出的位置、速度和姿态角信息是否发生相应变化。

5.6.2 装订

按图4连接测试设备，终端开机后，通过外部命令向终端装订初始航向，记录初始化结束时刻终端的航向角，与装订值比较是否相同。

5.6.3 导航模式转换

按图4连接测试设备，测试方法如下：

- 终端开机后，使卫星导航有效，检查终端是否进入组合导航模式；
- 断开卫星信号，检查终端是否自动切换为纯惯性导航模式；

- c) 使卫星导航有效，通过接口分别设置工作状态为组合导航模式、纯惯性导航模式和卫星导航模式，检查终端是否进入相应模式。

5.6.4 数据存储

按图4连接测试设备，测试方法如下：

- a) 同时存储卫星原始测量数据、卫星导航定位结果、IMU数据和组合导航定位结果，检查终端是否有效存储数据；
- b) 在终端正常测试时切断电源，检查终端是否有效存储断电前的数据。

5.7 性能

5.7.1 信号接收

5.7.1.1 通道数与跟踪

按GB/T 39399-2020中5.8.2的测试方法进行。

5.7.1.2 捕获灵敏度

按GB/T 39399-2020中5.8.3的测试方法进行。

5.7.1.3 跟踪灵敏度

按GB/T 39399-2020中5.8.4的测试方法进行。

5.7.2 卫星导航首次定位时间

5.7.2.1 冷启动首次定位时间

冷启动首次定位时间按GB/T 39399-2020中5.9.1的测试方法进行。

5.7.2.2 热启动首次定位时间

热启动首次定位时间按GB/T 39399-2020中5.9.3的测试方法进行。

5.7.3 初始化时间

使用计时器测试终端初始化时间。当终端加电后开始计时，当终端进入对准状态时停止计时，记录初始化时间。重复上述过程不少于6次，取最大值作为终端初始化时间，测试结果应符合4.8.3的要求。

5.7.4 对准时间

使用计时器测试终端对准时间。当终端完成初始化后开始计时，当终端进入导航状态时停止计时，记录对准时间。重复上述过程不少于6次，取最大值作为终端对准时间，测试结果应符合4.8.4的要求。

5.7.5 精度

5.7.5.1 卫星导航精度

5.7.5.1.1 静态位置速度精度

按图4连接测试设备，测试步骤如下：

- a) 将终端天线安置在已知坐标点上，终端加电，设置终端工作在卫星导航模式；
- b) 终端进入导航状态后，开始记录卫星导航结果，记录时长不少于10min；
- c) 按公式（1）和公式（2）计算位置精度；

$$p_h = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(N_i - N_0)^2 + (E_i - E_0)^2]} \dots\dots\dots (1)$$

$$p_v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_i - U_0)^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

p_h, p_v ——分别为水平、垂直位置精度，单位为米（m）；

N_0, E_0, U_0 ——分别为已知点在站心地平坐标系下的北、东、高坐标，单位为米（m）；

N_i, E_i, U_i ——分别为被测设备第*i*个定位结果在站心地平坐标系下的北、东、高坐标，单位为米（m）；

n ——获得的定位坐标个数。

d) 按公式（3）和公式（4）计算速度精度。

$$v_h = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_{Ni}^2 + v_{Ei}^2)} \dots\dots\dots (3)$$

$$v_v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{Ui}^2} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

v_h, v_v ——分别为水平、垂直速度精度，单位为米每秒（m/s）；

v_{Ni}, v_{Ei}, v_{Ui} ——分别为终端第*i*个定位结果在站心地平坐标系下的北、东、天速度，单位为米每秒（m/s）；

n ——获得的定位结果个数。

位置精度和速度精度的测试结果应符合4.8.5.1的要求

5.7.5.1.2 动态位置精度

按图6连接测试设备，测试步骤如下：

- 将终端和高精度组合导航设备放置试验车内，终端加电，设置终端工作在卫星导航模式；
- 终端和高精度组合导航设备完成对准后，试验车辆开始行驶并保存终端、高精度组合导航设备和地面基准站的数据；
- 行驶路线一般应包括开阔天空、城市峡谷、隧道、高架桥等场景；
- 对地面基准站和高精度组合导航设备的数据进行事后RTK/INS处理，获得车辆行驶轨迹的基准；
- 按公式（5）和公式（6）计算位置精度，测试结果应符合4.8.5.1的要求。

$$p_h = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(N_i - N_{0i})^2 + (E_i - E_{0i})^2]} \dots\dots\dots (5)$$

$$p_v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_i - U_{0i})^2} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

p_h, p_v ——分别为水平、垂直位置精度，单位为米（m）；

N_{0i}, E_{0i}, U_{0i} ——分别为第*i*个车辆轨迹基准在站心地平坐标系下的北、东、高坐标，单位为米（m）；

N_i, E_i, U_i ——分别为终端第*i*个定位结果在站心地平坐标系下的北、东、高坐标，单位为米（m）；

n ——获得的定位坐标个数。

5.7.5.1.3 速度精度

按图 2 连接测试设备，卫星信号模拟器按表 12 设置用户轨迹。终端加电，设置终端工作在卫星导航模式。终端进入导航状态后，开始记录卫星导航结果，记录时长不少于 10min。

表 12 速度精度测试用户运动轨迹参数

序号	最大速度 m/s	最大加速度 m/s ²
1	5	1
2	50	10
3	100	20

对上述用户运动轨迹按公式 (7) 和公式 (8) 计算速度精度，测试结果应符合 4.8.5.1 的要求。

$$v_h = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(v_{Ni} - v_{N0i})^2 + (v_{Ei} - v_{E0i})^2]} \dots\dots\dots(7)$$

$$v_v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_{Ui} - v_{U0i})^2} \dots\dots\dots(8)$$

式中：

- v_h, v_v ——分别为水平、垂直速度精度，单位为米每秒 (m/s)；
- $v_{N0i}, v_{E0i}, v_{U0i}$ ——分别为第 i 个模拟器轨迹在站心地平坐标系下的北、东、天速度，单位为米每秒 (m/s)；
- v_{Ni}, v_{Ei}, v_{Ui} ——分别为终端第 i 个定位结果在站心地平坐标系下的北、东、天速度，单位为米每秒 (m/s)；
- n ——获得的定位结果个数。

5.7.5.2 组合导航精度

5.7.5.2.1 静态位置速度精度

设置终端工作在组合导航模式，测试方法同 5.7.5.1.1，记录组合导航结果。测试结果应符合 4.8.5.2 的要求。

5.7.5.2.2 静态姿态精度

按图 3 连接测试设备，将终端安装在转台上，加电。在完成对准转入导航后，控制转台转动，分别使俯仰角、滚转角和航向角处于规定值，其中航向角应至少每隔 45° 测试一次，俯仰角、滚动角应至少每隔 30° 测试一次。转台转到规定位置并平稳后，记录转台标准值和终端输出的姿态角值，记录时间不小于 2min。所有测试点测试完毕后，按公式 (9) 计算姿态精度，测试结果应符合 4.8.5.2 的要求。

$$at = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (at_i - at_{0i})^2} \dots\dots\dots(9)$$

式中：

- at ——为姿态精度（包括俯仰角、横滚角和航向角），单位为度 (°)；
- at_{0i} ——为第 i 个姿态基准，单位为度 (°)；
- at_i ——为终端第 i 个姿态结果，单位为度 (°)；
- n ——获得的姿态结果个数。

5.7.5.2.3 动态位置姿态精度

设置终端工作在组合导航模式，测试方法同5.7.5.1.2，记录组合导航结果。按公式（5）和公式（6）计算位置精度，按公式（9）计算姿态精度，测试结果应符合4.8.5.2的要求。

5.7.5.3 纯惯性导航精度

5.7.5.3.1 静态位置速度精度

设置终端工作在组合导航模式，测试过程同5.7.5.2.1，在终端转入导航状态后5min，断开卫星信号，分别记录信号断开后10s和60s处的纯惯性导航结果的位置、速度数据。重复上述过程不少于20次，按公式（1）和公式（2）计算位置精度，按公式（3）和公式（4）计算速度精度，测试结果应符合4.8.5.3的要求。

5.7.5.3.2 静态姿态精度

测试过程同5.7.5.2.2，在终端转入导航状态后5min，断开卫星信号，分别记录信号断开后10s和60s处的纯惯性导航结果的姿态角。重复上述过程不少于20次，按公式（9）计算姿态精度，测试结果应符合4.8.5.3的要求。

5.7.5.3.3 动态位置姿态精度

设置终端工作在组合导航模式，测试过程同5.7.5.2.3，分别记录在车载试验过程中终端转入纯惯性导航模式后10s和60s处的纯惯性导航结果的位置、姿态数据。记录结果不少于20次，按公式（5）和公式（6）计算位置精度，按公式（9）计算姿态精度，测试结果应符合4.8.5.3的要求。

5.7.5.4 1PPS 精度

按图5连接测试设备，GNSS授时型接收机与终端同时输出1PPS至时间间隔计数器，获得不少于1000个时间间隔值。统计GNSS授时型接收机和终端输出的1PPS上升沿差值，按公式（10）计算1PPS精度，结果应符合4.8.5.4的要求。

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta T_i^2} \dots\dots\dots(10)$$

式中：

δ ——1PPS授时精度，单位为纳秒（ns）；

δT_i ——计数器测量的第*i*个GNSS授时型接收机和终端的时差值，单位为纳秒（ns）。

5.8 接口

5.8.1 电源接口

电源接口测试方法如下：

- a) 检查终端是否具备外接电源接口，通电后终端是否可正常工作；
- b) 终端在标称电压下正常工作，将电压先后降低和升高10%，分别维持20min，观察终端的工作状态是否正常。

5.8.2 通信接口与输出

通信接口与输出测试方法如下：

- a) 目视检查各接口形式；
- b) 使用示波器观察终端是否输出秒脉冲信号。

5.8.3 数据下载接口

终端若具备数据存储功能，则按以下方法进行测试：

- a) 目视检查数据下载接口形式；
- b) 实际操作检查终端能否把记录的观测数据输出到外部设备。

5.8.4 机械接口

机械接口测试方法如下：

- a) 目视检查终端安装孔个数及形式；
- b) 检查终端是否具有安装基准面。

5.9 环境适应性

5.9.1 温度

工作温度：将天线信号引入高低温试验箱，在高低温试验箱内温度为室温时将终端置于试验箱内，并开启终端进入导航状态。将试验箱内温度设定为低温为-40℃，高温为85℃，高低温各保持16h。按5.7.5.2.1测试终端组合导航精度，应满足4.8.5.2的要求。

贮存温度：在高低温试验箱内温度为室温时将终端置于试验箱内。将试验箱内温度设定为-40℃，保持16h，然后将试验箱温度设定为室温，连续观测30min，终端在该温度下应工作正常。随后将试验箱内温度设定为85℃，保持16h，然后将试验箱温度设定为室温，连续观测30min，按5.7.5.2.1节测试终端组合导航精度，应满足4.8.5.2的要求。

5.9.2 湿热

将天线信号引入高低温试验箱，在高低温试验箱内温度为室温时将终端置于试验箱内，并开启终端进入导航状态。将试验箱内温度设定为40℃相对湿度设定为93%，待温度和相对湿度平衡后连续观测12h。按5.7.5.2.1测试终端组合导航精度，应满足4.8.5.2的要求。

5.9.3 盐雾

按GB/T 2423.18-2012中的试验方法和要求的盐雾环境参数进行，待冲洗、干燥后按5.7.5.2.1测试终端组合导航精度，应满足4.8.5.2的要求。

5.9.4 振动

将终端置于振动检验台，按照振动环境参数进行振动，振动后检查终端是否能够正常工作，目测外观结构是否完好。

5.9.5 冲击

将终端置于检验台，按照冲击参数进行振动，冲击后检查终端是否能够正常工作，目测外观结构是否完好。

5.9.6 防水、防尘

防水按照GB/T 4208-2017中14.2.5的规定进行，防尘按照GB/T 4208-2017中13.4的规定进行。

5.10 电磁兼容性

5.10.1 辐射骚扰场强

按GB/T 9254-2008中10.6规定的测试方法进行。

5.10.2 射频电磁场辐射抗扰度

按GB/T 17626.3-2016中第8章规定的测试方法进行。

5.11 安全防护

安全防护测试如下：

- a) 检查各接口端是否有明显标记和防插错措施，接口是否具有防静电功能；
- b) 分别对终端的电源进行过流、过压、电源瞬间变化和偶然极性反接操作，各保持1min，再接入正常电源，观察终端能否正常工作。

5.12 可靠性

5.12.1 试验方案

终端的可靠性试验方案，应根据生产批量的多少和生产方可能提供的试验条件，由生产方和使用方按照以下描述的试验方案协商确定。

- a) 在终端定型时，应进行可靠性试验，验证产品是否达到规定的可靠性要求，试验方案可选用GB/T 5080.7-1986中定时（定数）截尾试验方案；
- b) 在终端批量生产验收且不需要估计MTBF的真值时，应以预定的判决风险率（ α 、 β ），对规定的MTBF值作合格与否的判断。试验方案可选用GB/T 5080.7-1986中截尾序贯试验方案。

5.12.2 受试样本的数量

受试样本的数量要求如下：

- a) 可靠性试验受试样本的数量应在有关合同中规定或者由生产方和使用方商定；
- b) 最佳受试样本的数量推荐如表13所示。

表 13 最佳受试样本推荐数量

批量大小	最佳样本数
1~3	全部
4~50	4
51~100	8

5.12.3 失效判决

失效判决准则按照GB/T 5080.1-2012中7.2的规定执行。

6 检验规则

6.1 检验分类

检验包括：鉴定检验、交收检验。

6.2 鉴定检验

鉴定检验要求如下：

- a) 应选用与终端试样产品采用同样的图样、材料、加工工具和制造过程的鉴定试验产品进行。
- b) 新研制的产品或设计图样、材料、加工工艺、元器件和装配过程发生变化需要重新生产的产品应进行鉴定检验。产品停产后、转厂后应重新进行鉴定检验。
- c) 鉴定检验的项目、要求和方法见表14。

d) 所有鉴定检验的项目均符合要求，即判为鉴定检验合格。

6.3 交收检验

交收检验要求如下：

- a) 所有交付的产品均应进行交收检验；
- b) 按规定项目和顺序检验后，应记录检验结果，可用表格方式；
- c) 交收检验的项目、要求和方法见表14；
- d) 所有交收检验的项目均符合要求，即判为合格；如有一项技术指标未达到要求，则判为不合格品。

6.4 检验项目及顺序

检验项目及顺序见表14。根据具体情况，鉴定检验、交收检验使用方和生产方可协商裁减检验项目或改变检验顺序。

表 14 检验项目及顺序

序号	检验项目	鉴定检验	交收检验	要求章条号	测试方法章条号
1	外观	●	●	4.3	5.2
2	尺寸	●	●	4.4	5.3
3	重量	●	●	4.5	5.4
4	功耗	●	●	4.6	5.5
5	导航定位	●	●	4.7.1	5.6.1
6	装订	●	●	4.7.2	5.6.2
7	导航模式转换	●	●	4.7.3	5.6.3
8	数据存储	●	●	4.7.4	5.6.4
9	信号接收	●	●	4.8.1	5.7.1
10	卫星导航首次定位时间	●	●	4.8.2	5.7.2
11	初始化时间	●	●	4.8.3	5.7.3
12	对准时间	●	●	4.8.4	5.7.4
13	精度	●	●	4.8.5	5.7.5
14	接口	●	●	4.9	5.8
15	环境适应性	●	○	4.10	5.9
16	电磁兼容性	●	○	4.11	5.10
17	安全防护	●	●	4.12	5.11
18	可靠性	●	○	4.13	5.12
19	包装、贮存及运输	●	●	7	7

注：“●”为必检项目；“○”为可检项目。

7 包装、贮存及运输

7.1 包装

包装要求如下：

- a) 产品包装应符合 GB/T 13384 的规定；
- b) 包装件应能够承受 GB/T 4857.5 的跌落试验，试验后不应有机械损伤或性能指标缺陷；

- c) 包装箱内应具有：装箱单、合格证、使用说明书、保修单等；
- d) 包装的验证方法按 GB/T 13384 的规定进行；
- e) 产品包装标志应符合 GB/T 191 和 GB/T 6388 的规定。

7.2 贮存

贮存要求如下：

- a) 包装后的设备应在环境温度为-15℃~45℃，相对湿度 80%以下，周围无酸碱及其他腐蚀性气体及强磁场的库中贮存；
- b) 若无其他规定，贮存期为两年，贮存期间，每隔半年加电检查一次；
- c) 超过贮存期的产品应开箱检验，经复验合格后方可使用。

7.3 运输

产品经包装后，可采用任何交通运输工具。但在运输过程中应采取防雨淋、防震以及安全措施。

8 使用说明

8.1 使用说明（书）的编写

应符合GB/T 9969的规定并提供下列有关信息：

- a) 产品型号及组成；
- b) 产品功能及操作；
- c) 运输；
- d) 保养、故障判断及修理；
- e) 安全注意事项；
- f) 其他。

8.2 使用说明的验证方法

按 GB/T 9969 的规定进行。
