

T/GLAC

中国卫星导航定位协会团体标准

T/GLAC 27—2025

北斗导航设备应用 石油化工室内外融合定位终端技术要求及测试方法

BDS navigation equipment application—Technical requirements and test methods for indoor-outdoor integrated positioning terminals of petrochemical industry

2025 - 06 - 25 发布

2025 - 06 - 25 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	1
5 总体要求	2
6 功能要求	2
7 性能要求	3
8 测试方法	4
参考文献	9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国卫星导航定位协会提出并归口。

本文件起草单位：新锐科创(湖北)科技有限公司、上海华谊信息技术有限公司、中国石油北斗运营服务中心、中石化石油工程地球物理有限公司北斗运营服务中心、长飞武创数字技术创新中心(武汉)有限公司、罗维智联(北京)科技有限公司、南京北路智控科技股份有限公司、苏州真趣信息科技有限公司、济南恒达新科技发展有限公司、北京市中位协北斗时空技术研究院、蓝鲸高领(北京)标准化技术服务有限公司。

本文件主要起草人：苗国睿、王玉杰、唐权斌、祝青、贺玮、吴磊、王庆、孙旭、刘喜文、田鑫、孙京侨、段永辉。

北斗导航设备应用 石油化工室内外融合定位终端技术要求及测试方法

1 范围

本文件规定了基于北斗的石油化工室内外融合定位终端的总体要求、功能要求、性能要求、测试方法。

本文件适用于基于北斗的手持式石油化工室内外融合定位终端的设计、生产和测试。

本文件不适用于基于北斗的车载式和固定式石油化工室内外融合定位终端的设计、生产和测试。

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 3836.1—2021 爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求

GB/T 3836.4—2021 爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的设备

GB/T 4208—2017 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 9254.1 信息技术设备、多媒体设备和接收机 电磁兼容 第1部分：发射要求

GB/T 31101—2023 信息技术 实时定位系统性能测试方法

GB/T 39267 北斗卫星导航术语

GB/T 39413 北斗卫星导航系统信号模拟器性能要求及测试方法

3 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

北斗独立定位 BeiDou independent positioning

仅使用北斗卫星导航系统，不依赖其他卫星导航系统实现卫星导航、定位、授时等功能。

[来源：GB 17761—2024, 3.1.7]

3.2

室内外判断准确率 indoor/outdoor judgement accuracy rate

准确判断设备在室内或室外的次数与设备做出判断总次数之比。

3.3

石油化工生产管理软件平台 management software platform for petrochemical industry

为石油化工生产管理提供开发、测试、部署和运行应用程序所需的工具、框架、环境和服务的软件集合。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件：

A-BDS: 辅助北斗卫星导航系统 (Assisted-BeiDou Navigation Satellite System)

AOA: 到达角度 (Angle-of-Arrival)

BDS: 北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System)

BLE: 蓝牙低功耗 (Bluetooth Low Energy)

GNSS:全球卫星导航系统 (Global Navigation Satellite System)
IP:防护等级 (Ingress Protection)
RMS:均方根 (Root Mean Square)
RTK:实时动态测量 (Real-Time Kinematic)
SIM:用户身份识别卡 (Subscriber Identification Module)
SOS:国际摩尔斯电码救难信号 (SOS International Morse code rescue signal)
TDOA:到达时间差 (Time Difference of Arrival)
TOF:飞行时间 (Time of Flight)
UWB:超宽带 (Ultra Wide Band)

5 总体要求

5.1 一般要求

石油化工室内外融合定位终端 (以下简称“终端”)应根据石油化工园区安全生产及管理的实际需求,适配园区中存在爆炸性气体、电磁干扰、建筑物遮挡等特殊环境,工作范围应覆盖石油化工园区室内外区域,具备BDS、蓝牙、UWB、惯性导航等融合定位和定位切换功能,并能与石油化工生产管理软件平台联动,为石油化工园区安全管控提供支撑。

5.2 终端组成

终端主机应包括微处理器、数据存储器、北斗卫星定位模块、蓝牙定位模块、UWB定位模块、惯导定位模块、通信传输模块、实时时钟和音视频输出、报警按键等组件。

5.3 外观

终端的外观应无锈蚀、锈斑、裂纹、褪色、污迹、变形、镀涂层脱落、明显划痕和毛刺。终端塑件应无起泡、开裂和变形。

5.4 材质

终端所使用的材质应符合无毒无害、无放射性的要求,宜使用可降解或可回收利用的环保材质。

5.5 外壳防护等级

按照GB/T 4208—2017中的要求进行测试,终端外壳的防护等级不低于IP67。

5.6 环境适应性

终端按照GB/T 3836.1—2021的要求进行测试,气体防爆等级应不低于Ex ib IIC T4 Gb,按照GB/T 3836.4—2021的要求进行测试,粉尘防爆等级应不低于Ex ib IIIC T130°C Db。

5.7 电磁兼容

经GB/T 9254.1规定的实验后,终端应符合GB/T 9254.1中B类产品的电磁兼容性要求。

6 功能要求

6.1 自检

终端应支持通过信号灯、显示屏、语音等方式中的一种或多种方式输出终端各组件的工作状态,当出现故障时,应输出详细的故障信息。

6.2 休眠

终端应支持根据当前电量情况和预定义电源策略,决定是否进入休眠状态。

6.3 定位

终端应支持下列功能:

- a) 通过 BDS 获取实时的时间、经度、纬度、速度、高程和方向等定位状态数据，并将数据存储到终端内部和/或通过通信传输模块传输至服务器。
- b) 支持北斗独立定位。
- c) 支持 A-BDS 定位。
- d) 支持使用 RTK 降低定位误差。
- e) 至少具备以下中的一种其他定位功能：
 - UWB；
 - 蓝牙；
 - 惯性导航。

6.4 报警

终端应支持下列功能：

- a) SOS 紧急呼救：通过按动 SOS 按键，将实时定位、人员情况等报警信息传输至石油化工生产管理软件平台（以下简称“平台”）；
- b) 静止报警：通过接收来自平台的报警事件信息，自动设定报警触发阈值，当作业人员在指定位置停留时间超过阈值，终端自动将报警信息传输至平台；
- c) 闯入报警：通过接收来自平台规划的电子围栏信息，自动设置围栏内报警事件信息，当指定人员携带终端进入电子围栏，终端自动向平台传输报警信息；
- d) 当终端电量 $\leq 20\%$ 时，自动向平台发送低电量报警信息。

7 性能要求

7.1 工作信号

应仅支持 BDS B1I、B1C、B2a 等公共服务信号的接收和解算。

注：BDS 公共服务信号接口要求见 GB/T 39414。

7.2 灵敏度

终端应符合下列性能要求：

- a) 冷启动灵敏度：不大于 -146 dBm；
- b) 热启动灵敏度：不大于 -155 dBm；
- c) 重捕获灵敏度：不大于 -155 dBm；
- d) 跟踪灵敏度：不大于 -162 dBm；
- e) 通道数：不小于 48。

7.3 时间特性

冷启动首次定位时间应 ≤ 120 s，热启动首次定位时间应 ≤ 20 s。

7.4 定位精度

在开阔无遮挡环境下，单点定位水平精度应 < 5 m (RMS)，垂直定位精度应 < 10 m (RMS)。

7.5 室内外判断准确率

室内外判断正确率应 $\geq 80\%$ 。

7.6 定位切换速度

室内外定位的切换速度应 ≤ 10 s。

7.7 数据刷新率

默认 1 Hz，宜能在 1 Hz~10 Hz 直接调整。

7.8 蓝牙性能

蓝牙应符合下列性能要求：

- a) 协议版本不低于 BLE5.0；
- b) 频率范围：2400 MHz～2483.5 MHz；
- c) 灵敏度： ≤ -95 dBm；
- d) 定位精度 < 5 m。

7.9 UWB 性能

UWB应符合下列性能要求：

- a) 频率范围：7163 MHz～8812 MHz；
- b) 定位精度 ≤ 30 cm；
- c) 发射功率 < -41.3 dBm/MHz；
- d) 定位模式至少支持 TOF、TDOA、AOA 中的其中一种；
- e) 带宽 > 500 MHz；
- f) 覆盖距离 ≥ 50 m；
- g) 工作速率 ≥ 850 kbps。

7.10 惯性导航性能

惯性导航应符合下列性能要求：

- a) 静态位置漂移定位精度 ≤ 5 m (10s 内)；
- b) 动态位置漂移定位精度 ≤ 15 m (10s 内)。

8 测试方法

8.1 测试环境

除另有规定,测试应在下列环境条件下进行：

- a) 温度： 0 °C～ 55 °C；
- b) 相对湿度(RH)： 20% ～ 80% ；
- c) 大气压强： 80 kPa～ 110 kPa。

8.2 测试条件

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，试验中使用的卫星信号模拟器应符合GB/T 39413的要求。

8.3 功能测试

8.3.1 自检

自检功能测试包含下列步骤：

- a) 确保终端处于关机状态，服务器正常运行，终端与服务器通信链路通畅。
- b) 执行以下任意一项操作：
 - 1) 拔出 SIM 卡；
 - 2) 服务器连接；
 - 3) 移除终端定位天线。
- c) 启动终端，通过服务器查询终端输出的组件工作状态信息。
- d) 重复测试 3 次，每次选择不同的异常操作。
- e) 终端应能准确识别异常状态（如 SIM 卡缺失、天线未连接）并输出详细故障信息，故障识别准确率 100%。
- f) 3 次测试中均满足上述条件，判定功能正常。

8.3.2 休眠

休眠功能测试包含下列步骤：

- a) 终端开机，确保与平台通信正常，运行状态稳定；
- b) 携带终端以 3 km/h~5 km/h 速度运动 30 s 后，进入绝对静止状态（位置变化 ≤ 0.5 m）；
- c) 达到预设静止超时阈值后，观察终端指示灯状态及功耗变化，确认是否进入休眠模式；
- d) 在休眠状态下，对终端施加振幅 ≥ 5 cm 的轻微震动，查看是否唤醒并恢复运行状态。重复测试 3 次，每次测试间隔 5 min；
- e) 静止超时后，终端应在 10 s 内通过指示灯明确提示进入休眠状态，且整机功耗较运行状态降低 $\geq 50\%$ ；震动唤醒响应时间 ≤ 3 s，唤醒后定位及通信功能恢复正常；
- f) 3 次测试均满足上述要求，判定功能正常。

8.3.3 定位

定位功能测试包含下列步骤：

- a) 卫星信号模拟器完成调试并处于待运行状态；终端开机初始化完成，确保北斗卫星定位模块、通信模块等硬件组件工作正常；
- b) 设置卫星信号模拟器仿真载体地速为 0 m/s，播发 BDS B1I、B1C、B2a 等公共服务信号；
- c) 将终端切换至北斗独立定位模式，开机后待其进入正常定位状态，查看并记录输出信息（需包含经度、纬度、椭球高度、地速、时间）；
- d) 保持终端正常运行，检查其接收的卫星信号，验证 A-BDS 定位功能是否启用；
- e) 持续观察终端定位解算过程，确认 RTK 技术是否参与定位误差修正；
- f) 重复上述测试 3 次，每次测试前重启终端及模拟器；
- g) 终端在北斗独立定位模式下，输出信息完整。A-BDS 功能可正常启动，RTK 能有效参与定位解算；
- h) 3 次测试均满足上述条件，判定功能正常。

8.3.4 报警

报警功能测试包含下列步骤：

- a) SOS 报警：
 - 1) 终端与平台通信正常，终端开机并运行正常；
 - 2) 按动终端上 SOS 报警按键，观察终端是否有震动、语音提醒等响应；
 - 3) 记录平台收到报警信息的时间；
 - 4) 平台在 10 s 内收到终端报警弹框提示；
 - 5) 重复测试 3 次均满足上述条件，判定功能正常。
- b) 静止报警：
 - 1) 终端与平台连接正常，平台向终端下发静止报警阈值（如 5 min），确认终端接收成功；
 - 2) 携带终端移动后，在固定位置静止（位置变化 ≤ 0.5 m），开始计时；
 - 3) 当静止时长达到阈值时，记录终端报警触发时间及平台接收时间；
 - 4) 终端在静止超时后 10 s 内报警，平台接收延迟 ≤ 15 s；
 - 5) 重复测试 3 次均满足上述条件，判定功能正常。
- c) 闯入报警：
 - 1) 终端与平台通信正常，平台规划电子围栏并将信息下发至终端，确认终端接收成功；
 - 2) 携带终端在围栏外静止 2 min，观察是否误报；
 - 3) 进入围栏内，记录终端报警触发及平台接收时间；
 - 4) 进入围栏后终端应 10 s 内报警，平台在 15 s 内接收信息（含终端 ID、位置），围栏外无虚假报警；
 - 5) 重复测试 3 次均满足上述条件，判定功能正常。

8.4 性能测试

8.4.1 工作信号

在微波暗室或屏蔽箱环境，使用卫星信号模拟器仿真动态或静态场景对终端进行测试，工作信号性能测试包含下列步骤：

- a) 将被测设备安装至测试平台，根据产品类型，选择安装方式；
- b) 测试系统选择动态或静态测试场景（场景参数按产品规范中规定要求进行设置），设置卫星信号模拟器播发同时播发 BDS B1I、B1C、B2a 信号，信号功率设置为-130 dBm；
- c) 被测设备冷启动，等待 120 s，查看终端输出定位信息，评判搜星定位情况和定位精度，如能搜星定位，且定位精度符合 7.4 的要求，则判定合格，否则不合格。

8.4.2 灵敏度

灵敏度相关测试方法如下：

- a) 冷启动灵敏度测试方法：
 - 1) 模拟器播放静态场景，播放信号为 BDS 双频信号，在信号强度-130 dBm 时跟踪 10 s，检查信号强度是否符合预期（信噪比为 41 dBHz 左右）；
 - 2) 信号强度从-130 dBm 开始往下降，首先降到-140 dBm，而后每次降 1 dB，每个功率下执行冷启动测试，判断接收机是否能在 300 s 内成功定位，直到测试失败结束测试，以最后一次成功定位的辐射功率为冷启动灵敏度测试结果。
- b) 热启动灵敏度测试方法：
 - 1) 模拟器播放静态场景，播放信号为 BDS 双频信号，在信号强度-130 dBm 跟踪 750 s，检查信号强度是否符合预期（信噪比为 41 dBHz 左右），并完成星历和历书的收集；
 - 2) 信号强度从-130 dBm 开始往下降，首先降到-140 dBm，而后每次降 1 dB；每个功率下执行热启动测试，判断接收机是否能在 300 s 内成功定位并满足定位误差<100 m 的要求，直到测试失败，以最后一次成功定位的功率为热启动灵敏度测试结果。
- c) 重捕获灵敏度测试方法：设置模拟器仿真速度不高于 2 m/s 的直线运动轨迹。每次设置模拟器输出的各个卫星的每一通道信号电平，从终端不能捕获信号的状态开始，以 1 dB 步进增加。在模拟器输出信号的每个电平值下，终端在冷启动状态下开机，检验终端能否在 300 s 内捕获信号，并以 1 Hz 的更新率连续输出 10 次三维偏差<100 m 的数据，直到测试成功，以最后一次能够成功定位的辐射功率为热启动灵敏度测试结果。
- d) 跟踪灵敏度测试方法：
 - 1) 模拟器播放静态场景，播放信号为 BDS 双频信号，在信号强度-130 dBm 跟踪 750 s，检查信号强度是否符合预期（信噪比为 41 dBHz 左右），并完成星历和历书的收集；
 - 2) 信号强度从-130 dBm 开始往下降，依次遍历各个功率，每次下降 1 dB，每个功率下持续跟踪 60 s，并观察定位状态是否保持成功，直到测试成功，以最后一次能够保持成功定位的功率为跟踪灵敏度测试结果。

8.4.3 时间特性

使用卫星信号模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度 ≤ 2 m/s 的直线运动用户轨迹，输出电平为-146 dBm，使终端在概略位置、概略时间、星历、历书未知的状态下开机，同时记录开机时间 T_1 。当首次能在开机后 10 s 连续输出三维定位误差小于 100 m 的定位数据时，记录时间 T_2 。两次时间的差即为冷启动首次定位时间。

使用卫星信号模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度 ≤ 2 m/s 的直线运动用户轨迹，输出电平为-155 dBm，使终端在概略位置、概略时间和历书已知、星历状态未知的状态下开机，同时记录开机时间 T_3 。当首次能在开机后 10 s 连续输出三维定位误差小于 100 m 的定位数据时，记录时间 T_4 。两次时间的差即为热启动首次定位时间。

8.4.4 定位精度

应按照下列步骤进行测试：

- a) 测试环境依据用户要求可选择车载、步行、骑行等不同的运动方式，测试时应携带基准设备提供参考轨迹，基准设备定位精度 ≤ 0.5 m (RMS)；
- b) 开始动态测试并持续跟踪收集日志数据，同时基准设备开始采集标准轨迹；
- c) 动态测试结束后，停止收集测试样品和基准设备的日志数据；
- d) 以基准设备的轨迹作为参考计算动态定位精度、速度精度、定位成功率等结果。

8.4.5 室内外判断准确率

应按照GB/T 31101—2023中7.5的要求进行测试。

8.4.6 定位切换速度

应按照下列步骤进行测试：

- a) 终端上电，定位成功后，确定当前定位方式；
- b) 记录出当前定位区域的时刻 T_1 ，当首次能在新区域连续 3 次输出误差满足第 7 章要求的定位数据时，记录时间 T_2 ，两次时间的差即为定位切换速度。

8.4.7 数据刷新率

应按照下列步骤进行测试：

- a) 终端上电并运行正常；
- b) 运动状态下，终端接入测试日志设备，进行日志跟踪；
- c) 在各个定位模式下，开始动态测试并持续跟踪收集日志数据；
- d) 查询数据日志，通过时间戳确定数据刷新率。

8.4.8 蓝牙性能

应按照下列步骤进行测试：

- a) 灵敏度测试步骤：
 - 1) 使用蓝牙信号发生器发送已知信号；
 - 2) 逐步降低信号强度，直到接收设备无法正确解码数据；
 - 3) 记录误码率和丢包率，直到其超过特定阈值。
- b) 频率范围测试步骤：
 - 1) 打开蓝牙设备，启动广播模式或连接模式；
 - 2) 使用频谱分析仪测量蓝牙设备的发射信号，查看工作频率是否在 2400 MHz~2483.5 MHz 范围内。

8.4.9 UWB 性能

应按照下列步骤进行测试：

- a) 发射功率测试步骤：
 - 1) 打开 UWB 设备，设置为标准发射模式；
 - 2) 连接功率计或频谱分析仪测量 UWB 设备实际发射功率，频谱仪使用 1 MHz 分辨率带宽和 1 kHz 视频带宽进行测量；
 - 3) 记录测量结果，测试发射信号带宽 ≥ 500 MHz，对比终端的实测发射功率与设备在所销售的国家或地区的规定值。
- b) 定位精度测试：
 - 1) 设置 UWB 设备的发射和接收模块进行定位测量；
 - 2) 测量多个已知位置的定位结果；
 - 3) 计算定位精度，判断定位精度是否符合 7.9 的要求。

8.4.10 惯性导航性能

应按照下列步骤进行测试：

- a) 静态漂移测试步骤：
 - 1) 将惯性导航系统静置，记录其位置、速度和姿态随时间的变化；
 - 2) 分析系统在没有运动情况下的位移和速度误差增长情况，计算系统漂移率。
- b) 动态漂移测试步骤：
 - 1) 使惯性导航系统进行直线运动或旋转运动；
 - 2) 记录系统的位移、速度和姿态输出，并计算与真实轨迹的偏差。
- c) 室内定位精度测试步骤：

- 1) 在实验室环境下，规划已知运动路径；
 - 2) 使惯性导航系统沿路径移动，记录其输出的位置、速度和姿态数据；
 - 3) 将测量结果与预定路径进行对比，计算定位误差。
- d) 室外定位精度测试步骤：
- 1) 在开放的室外场地，使用 GNSS 或其他高精度定位系统定位结果作为参考，使惯性导航系统沿已知路径移动，记录其位置数据；
 - 2) 通过对比惯性导航和参照定位系统的定位数据，分析系统的定位精度和误差累积。
- e) 室内融合定位精度测试步骤：
- 1) 终端开启惯性导航和 UWB 或蓝牙融合定位模式；
 - 2) 使终端沿规划路径移动，记录其输出的位置数据；
 - 3) 将测量结果与预定路径进行对比，计算定位精度。

参 考 文 献

- [1] GB 17761—2024 电动自行车安全技术规范
 - [2] GB/T 39414 北斗卫星导航系统空间信号接口规范
-

全国团体标准信息平台