

# 浅析室内北斗定位技术在城市地下道路中应用

谢经保

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

**摘要:** 随着城市经济的发展,越来越多的城市开始建设地下道路,作为优化城市CBD交通组织方式的一种措施。然而,地下道路的错综复杂,对地下导航系统提出新的要求。对城市地下道路地下导航系统需求展开分析,结合室内北斗系统在前海地下道路智慧化管控平台项目中的应用,通过前期研究、过程实施、效果测试的全过程跟踪研究,总结地下导航系统的应用经验,为全国各城市解决地下道路导航问题提供参考。

**关键词:** 城市隧道;地下环路;北斗定位;地下导航

**中图分类号:** U41;TU997

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2026)02-0168-07

## Brief Analysis on Application of Indoor Beidou Positioning Technology in Urban Underground Roads

XIE Jingbao

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

**Abstract:** With the development of urban economy, more and more cities are starting to build underground roads as a measure to optimize the traffic organization in the urban CBD. However, the complexity of underground roads poses new requirements for underground navigation. Through the demand analysis of the underground navigation system for urban underground roads and in combination with the application of the indoor Beidou system in the intelligent management and control platform project of Qianhai underground roads, through a full-process tracking study, including pre-research, process implementation and effect testing, the underground navigation system of the intelligent management and control platform project of Qianhai underground roads is comprehensively studied and analyzed, which has the reference value for solving the navigation problems of urban underground roads in China.

**Keywords:** urban tunnel; underground loop; Beidou orientation; underground navigation

## 0 引言

随着国家科学技术的发展,北斗卫星导航系统对于空间基础设施的作用越来越重要,其应用已经渗透到城市建设的各个角落,成为城市建设的倍增器、经济发展的助推器,在提高城市管理效率与促进经济发展方面发挥着不可替代的作用。在交通新基建和数字化转型的背景下,结合城市精细化管理、城市新中心建设,以及地下道路运营管理服务需求,城市地下道路地下导航系统的部署已成为城市新基建中一项必不可少的研究课题<sup>[1]</sup>。本文结合前海地下道路智慧化管控平台项目,对城市地下道路地下导航系统的应用进行研究与分析。

收稿日期: 2025-09-02

作者简介: 谢经保(1975—),男,硕士,高级工程师,从事城市交通与地下空间规划设计、工程总承包管理工作。

## 1 地下导航需求目标

目前,前海地下道路封闭空间内手机信号缺失,营运车辆与社会车辆在隧道内的导航信号丢失,无法准确定位和跟踪,若地下道路内发生应急事件,事故现场人员无法及时向应急救援单位汇报实时位置,容易错过最佳救援时间并引发次生及衍生事故,为地下道路安全营运带来一定的风险。在前海地下道路铺设约18 km北斗信号全覆盖系统,完成前海地下道路内稳定的北斗信号全覆盖。营运车辆与社会车辆终端无需调整,均可在前海地下道路内正常定位,实现地下空间实时定位;同时,便于地下道路营运单位、各应急单位及时掌握事故的准确位置信息,及时部署救援力量,提升地下道路安全运营服务和应急处置能力,为前海地下隧道打造北斗泛在感知服务奠定基础。

## 2 地下导航系统概述

地下导航系统是通过在地下道路内部安装定位基站,并在车辆或人员的电子设备上定制接收终端、APP,用来接受基站信号,既可以为运维管养等管理部门提供精准定位服务,又可以与地图软件合作,为民众提供地下道路导航服务的系统。地下导航系统不仅可以保证地下道路无忧畅行,提升民众的出行体验,降低事故发生率,助力快速救援,避免二次事故的发生,还可以通过室内北斗、音频、射频等不同技术,实现单一或多种技术的融合,以及地下与地面连续、无缝导航<sup>[2]</sup>。

室内北斗系统的定位原理是通过虚拟算法虚拟出多颗卫星,从而让用户终端实现类似三球交会的几何原理,从而实现定位<sup>[3]</sup>。

室内北斗定位系统主要由室内导航基站、时钟同步单元、星历管理单元等核心设备构成。星历管理单元主要用于接收室外北斗/GPS星历数据,并将室外星历数据通过有线网络推送到室内导航基站上。定位终端在可接收室外卫星信号的前提下,可实现无任何改造地接收室内卫星信号,并进行解算,实现实时位置信息的输出<sup>[4]</sup>。在整个系统运行过程中,星历接收设备需要接收室内北斗基站所处遮挡区域上空的北斗/GPS卫星源信号,并下发给室内北斗基站,由室内北斗基站开展室内北斗定位服务。但由于定位技术主要采用TDOA方法,为保障定位的有效性,需要室内北斗基站和北斗/GSP卫星保持严格的时钟同步,并通过室内北斗专用天线,发射室内北斗基站产生的导航电文模拟信号,广播给室内北斗天线周边的GNSS终端,用于GNSS终端进行定位<sup>[5]</sup>。

## 3 地下导航设备布设方案

### 3.1 布设原则

地下道路导航设备业务在设计、开发和功能实现过程中,需遵循如下7项指导原则<sup>[6]</sup>。

一是结合业务实际。在规划项目设计、开发和功能实现过程中,应紧密结合项目当前的需求,特别是当普通大众驾车在前海地下道路内行驶时,其手机、车机采用主流图商(如百度、高德)的导航软件应可以正常接收导航信号,并进行正常的定位导航。

二是适度超前。在进行系统设计时,预留一定技术接口和容量空间,以降低业务发展和系统升级

给系统带来的负载压力,保证系统的可扩展性<sup>[7]</sup>。

三是标准性。符合与项目相关的系统业务规范和技术规范及相关功能的要求,符合相关的标准、协议的要求。

四是实用性。力求操作简单、功能实用,做到紧密结合业务,维护方便<sup>[8]</sup>;系统应实现用户可接受的查询效率与响应时间。

五是可扩展性。在系统功能的划分和设备配置上预留一定的发展空间,以便后续根据用户的需求、技术的发展,对应用系统进行升级、拓展。

六是可靠性。系统的结构、采用的技术、开发的手段需建立在已经相对成熟的应用基础上,确保系统的可靠性<sup>[8]</sup>。

七是规范性。主要包括2个方面的内容:一方面是系统在设计 and 实现时,要按照系统工程的方法和管理的质量体系进行组织和管理;另一方面是系统在使用中要注重用户流程的规范性。

### 3.2 设计内容

通过在地下道路内部安装定位基站,在车辆或人员的电子设备上定制接收终端、APP,用来接受基站信号,为大众、运维管养等管理部门提供精准的定位服务。

#### 3.2.1 功能要求

一是导航信号覆盖性。在前海地下道路项目范围内的路段,实现卫星导航信号的全域覆盖。

二是导航信号定位精度。在卫星导航信号全域覆盖后,测试手机导航信号的定位精度,可以实现5~10 m的定位精度<sup>[9]</sup>。

#### 3.2.2 系统构成

本系统包括室外高精度天线、一体化主机柜、时钟节点设备集成、基站集成、天线集成和信息传输设备<sup>[10]</sup>。

##### (1)室外高精度天线

室外高精度天线安装在前海地下道路中心机房顶部露天区域,可以正常接收卫星信号。其射频线缆需要从天线端连接到中心机房内的一体化主机柜。

##### (2)一体化主机柜

一体化主机柜安装在前海地下道路中心机房内。其内主要设备包括星历管理单元、时钟、光交换机、CPE和工控机等。

##### (3)时钟节点设备集成

时钟节点设备包含时钟同步单元、网络交换机

和光模块等,安装位置在地下道路侧面装饰板后箱孔内。

#### (4) 基站集成

通过实地勘察设计,可对地下道路进行智能化改造,将定位基站布设在隧道上方或侧上方。根据直曲线、线路半径等的不同,基站布设密度间距为15~20 m。

#### (5) 天线集成

天线安装在前海地下道路行进方向右侧的照明灯支架上。安装方式一般为通过底座的抱箍,安装在右侧下拉支架上,整体支架垂直于地面,对天线进行固定安装。

### 3.2.3 布设方案

#### (1) 一体化主机柜部署

一体化主机柜建议部署在滨海大道和临海大道交会处的通信机房中,机柜采用落地安装。一体化主机柜连接室外高精度定位天线,要求搜星质量好且稳定。一体化主机柜内部安装1套“运行管理

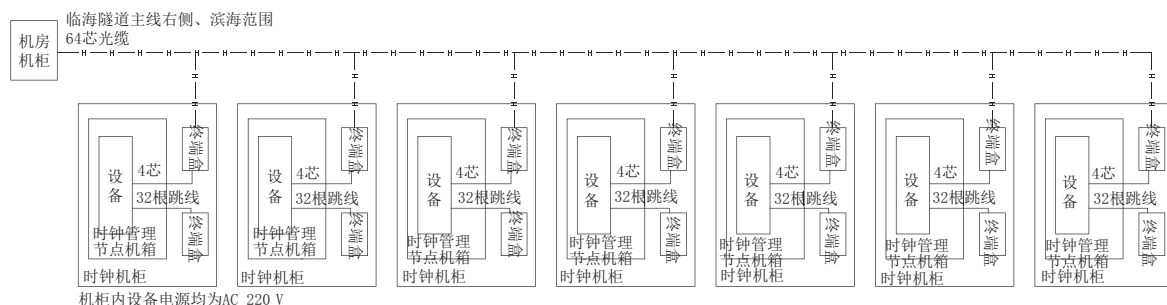


图1 地下导航系统示意图

#### (3) 室内北斗天线部署

室内北斗天线通过支架安装固定在地下道路内的照明桥架上。在室内北斗基站左、右两侧按规定的距离部署,两侧各部署4个。对于主线道路及匝道,其地下道路高度为4.9 m,天线间隔按10/20交替部署,即2个天线视为1组,组内间距为10 m,组间间距为20 m,基站间距按30 m;对于联络道路,由于其地下道路高度为2.9 m,天线间隔按8/16交替部署,即2个天线视为1组,组内间距为8 m,组间间距为16 m,基站间距为24 m。天线支架安装:借助桥架竖向安装,通过钢丝轧带(或U形卡扣)与吊架固定,“支架+天线”的高度距离桥架不超过30 cm(见图2)。

#### (4) 供电系统

前海地下道路内室内北斗信号覆盖系统的供电需求,通过在地下道路内新增配电箱来满足。地下道路内的取电点位:从既有变电所引出10路至

平台+显示器”、1套星历接收单元、1个5G无线网络接入设备(customer premise equipment, CPE)、13个时钟分发器、各类跳线辅材和5个智能插座。216台时钟同步单元共输出上、下2路64芯主干光缆至外场46个时钟机柜,共128芯,每个时钟机柜预留4芯接口备用;要求一体化主机柜向前端输出64芯光纤,每台室内北斗基站输出4芯光纤(数据1芯、时钟1芯、2芯备用)到地下道路内各个点位的室内北斗基站。

#### (2) 室内北斗基站部署

室内北斗基站安装在室内北斗交接箱中,室内北斗交接箱根据现场勘察,确定部署在地下道路内的侧壁上。单个室内北斗基站需要输入1芯时钟同步信号和1芯星历数据信号,另外设计2芯光纤作为备份使用,即单个室内北斗基站需要有4芯光纤输出。单个室内北斗基站向外输出8路室内北斗天线,室内北斗天线和室内北斗基站通过射频线缆相连接,射频线缆利用现有照明灯桥架走线保护(见图1)。

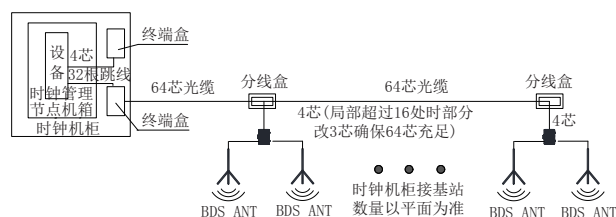


图2 时钟机柜接线示意图

外场配电箱。

#### (5) 主要设备运输

地下导航主要设备由厂家发货至现场仓库,经现场验收确认后入库;采用专车运输至现场,由人工搬运至升降车上;通过升降车搬运至安装高度进行安装。

## 4 地下导航设备安装要点

### 4.1 施工准备

技术准备:熟悉地下道路的工程图纸,了解其结构和布局。掌握北斗导航设备的安装要求、技术规



格和性能参数。

材料准备:准备好所需的导航设备,如接收器、天线、时钟机柜、基站等。购置配套的线缆、线槽、线管、固定支架、连接件等材料。确保所有材料质量合格,符合相关标准的要求。

工具准备:准备好施工所需的工具,如电钻、螺丝刀、扳手、万用表、示波器等。

现场准备:清理施工现场,确保施工区域干净、整洁。检查施工区域的照明、通风等条件,确保满足施工要求。

4.2 定位放线

首先,根据设计图纸,使用测量仪器在地下道路内确定导航设备的安装位置。其次,标记出设备安装点、线缆敷设路径和线槽安装位置。

4.3 线槽和线管安装

首先,按照标记好的路径,安装线槽和线管。其次,确保线槽和线管安装牢固,横平竖直,连接处紧密。

4.4 设备安装

首先,按照设计图纸的要求,室内北斗天线通过支架安装固定在地下道路内的照明桥架上;在室内北斗基站左、右两侧按规定的距离部署,两侧各部署 4 个。对于主线道路及匝道,其地下道路高度为 4.9 m,天线间隔按 10/20 交替部署,即 2 个天线视为 1 组,组内间距为 10 m,组间间距为 20 m,基站间距为 30 m;对于联络道路,由于其地下道路高度为 2.9 m,天线间隔按 8/16 交替部署,即 2 个天线视为 1 组,组内间距为 8 m,组间间距为 16 m,基站间距为 24 m。天线支架安装:借助桥架竖向安装,通过钢丝轧带(或 U 形卡扣)与吊架固定,“支架+天线”的高度距离桥架不超过 30 cm。

其次,在侧面设备检修箱内安装接收器和时钟机柜等设备,使用固定支架或锚栓将设备固定在墙壁上。

最后,连接设备之间的线缆,确保线缆连接牢固、接触良好。

4.5 线缆敷设

首先,将线缆沿线槽或线管敷设,避免线缆交叉、缠绕。其次,在线缆的两端预留足够的长度,以便连接设备。

5 地下导航系统效果测试

5.1 测试方案

本次测试针对前海隧道北斗导航系统进行静态

和动态测试,检测通用 GNSS 接收机(包括手机)在不更换软、硬件的前提下在前海隧道北斗导航系统内的定位效果<sup>[10]</sup>。

根据过往经验,测试方案内容应采用静态单点定位测试和动态定位精度测试 2 种模式。

5.1.1 静态单点定位测试

(1)测试点位

测试地点位于前海地下隧道沉管隧道内,进行 8 个点位的静态精度测试,点位信息如表 1 所示。这 8 个静态点位,依据现场状态,根据全站仪测量结果的通视性等多方面因素,综合随机确定。使用全站仪进行精密标定,得到静态点位理论位置坐标。

表 1 静态点位置和采集时间信息

| 点位  | 经度/(°)     | 纬度/(°)    | 高度/m      |
|-----|------------|-----------|-----------|
| 1 号 | 113.889 70 | 22.534 02 | -11.927 0 |
| 2 号 | 113.889 70 | 22.534 28 | -7.799 5  |
| 3 号 | 113.891 42 | 22.530 72 | -6.892 0  |
| 4 号 | 113.891 86 | 22.530 38 | -7.145 0  |
| 5 号 | 113.892 09 | 22.530 21 | -7.025 0  |
| 6 号 | 113.890 96 | 22.530 21 | -7.800 0  |
| 7 号 | 113.888 34 | 22.539 26 | -12.585 0 |
| 8 号 | 113.888 45 | 22.538 84 | -12.497 0 |

(2)从室外到室内的测量方法

首先,使用 RTK(实时动态定位)系统在选定的点位上采集坐标,得到选取点的 WGS-84 坐标系坐标<sup>[11]</sup>。统计已知点位的东北天坐标,用于全站仪建站使用。在隧道口选取 3 个点位,分别为 A、B、C。

其次,在任意一个已知点位 A 上对中整平,将 A 作为测站点,使用 B 作为后视点,进行已知建站。建站完成后,使用第三个点位 C 来校准测量。用测量值和 RTK 采集值做比对,误差在 50 mm 以内,符合精度要求,可进行碎部点采集。

(3)测试步骤

第一步:将测试设备稳定固定在测试车辆上。

第二步:测试人员在隧道内冷启动设备,搜星 5 min 且能稳定定位后,保存定位数据。

第三步:将测试车辆停在控制点位置,保持设备静止,打开数据采集终端及测试软件 Gnslogger。

第四步:采集 NEMA0183 数据 3 min 左右并存储。

第五步:采集完该点位数据后,移动到下一个控制点,直至全部完成。

评判方法:将已知控制点坐标上获取的数据与终端输出的定位结果数据进行水平误差上的比较,评估定位精度的准确性<sup>[12]</sup>。

5.1.2 动态定位精度测试

(1)测试方法

为测试动态定位精度在不同速度下的表现,以60~80 km/h 速度下分别进行测试。在确保隧道北斗定位系统信号发射正常后,在隧道内 18 km 长的测试路段上进行动态测试<sup>[13]</sup>。

确定好测试的起点和终点,打开测试的手机终端,按照 1 Hz 的频率输出定位结果<sup>[14]</sup>;通过保存的定位数据,计算每种速度下,测试设备的实际行驶轨迹与理论轨迹之间的偏差;比较不同速度下的定位精度,分析速度对定位精度的影响,并通过多轮测试,提高结果的可靠性和准确性(见图 3)。

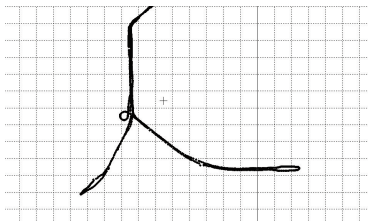


图3 动态轨迹图

(2)测试步骤

第一步:将测试设备稳定固定在测试车辆上。

第二步:测试人员在隧道内冷启动设备,搜星 5 min 且能稳定定位后,保存定位数据。

第三步:将测试车辆控制在 60~80 km/h( $\pm 5$  km/h)的速度,重复前 2 个步骤,并保存对应速度下的定位数据。

评判方法:将 2 种速度下动态定位数据拟合和平滑后的行驶轨迹路径最大偏差进行对比,评估定位效果和定位精度<sup>[15]</sup>。

5.2 测试采用设备及辅助工具

测试采用的标准仪器及辅助工具如表 2 所示。

表 2 测试用主要计量标准仪器及溯源信息

| 仪器名称 | 型号规格      | 测量范围     | 作用     |
|------|-----------|----------|--------|
| 手机   | 小米 12     | BDS 二代三代 | 通用型接收机 |
| 手机   | 红米 Note12 | BDS 二代三代 | 通用型接收机 |
| 手机   | 华为 MATE50 | BDS 二代三代 | 通用型接收机 |

5.3 测试结果

2024 年 11 月,测试地点位于前海地下隧道内,进行 8 个点位的静态精度测试,点位信息如表 3 所示,各款定位接收机的测试结果如表 4 所示。

表 4 分别统计了 1~8 号设备点位 3 款不同类型、不同性能的接收机的定位效果。其中,水平面定位偏差为东北天平面坐标系下东方向和北方向均值的最大偏差。

表 3 静态点位数据采集时间

| 点位  | 采集时间                         |
|-----|------------------------------|
| 1 号 | 2024/11/29/182 425 ~ 182 725 |
| 2 号 | 2024/11/29/182 920 ~ 183 220 |
| 3 号 | 2024/11/29/185 915 ~ 190 215 |
| 4 号 | 2024/11/29/191 408 ~ 181 708 |
| 5 号 | 2024/11/29/192 200 ~ 192 500 |
| 6 号 | 2024/11/29/193 220 ~ 193 520 |
| 7 号 | 2024/11/25/100 745 ~ 101 045 |
| 8 号 | 2024/11/25/102 110 ~ 102 410 |

表 4 不同类型接收机静态点定位水平偏差结果

| 点位  | GNSS 厂家      | 经度/(°)     | 纬度/(°)    | 高度/m    | 水平面<br>均值<br>偏差/m | 测量<br>次数/<br>次 |
|-----|--------------|------------|-----------|---------|-------------------|----------------|
| 1 号 | 红米<br>NOTE12 | 113.889 70 | 22.534 02 | -11.927 | 1.977             | 181            |
|     | 华为<br>MATE50 | 113.889 70 | 22.534 02 | -11.927 | 3.603             | 181            |
|     | 小米 12        | 113.889 70 | 22.534 02 | -11.927 | 1.977             | 181            |
| 2 号 | 红米<br>NOTE12 | 113.889 70 | 22.534 28 | -7.7995 | 1.518             | 181            |
|     | 华为<br>MATE50 | 113.889 70 | 22.534 28 | -7.7995 | 2.656             | 181            |
|     | 小米 12        | 113.889 70 | 22.534 28 | -7.7995 | 1.518             | 181            |
| 3 号 | 红米<br>NOTE12 | 113.891 42 | 22.530 72 | -6.892  | 4.257             | 181            |
|     | 华为<br>MATE50 | 113.891 42 | 22.530 72 | -6.892  | 1.274             | 181            |
|     | 小米 12        | 113.891 42 | 22.530 72 | -6.892  | 4.257             | 181            |
| 4 号 | 红米<br>NOTE12 | 113.891 86 | 22.530 38 | -7.145  | 4.947             | 181            |
|     | 华为<br>MATE50 | 113.891 86 | 22.530 38 | -7.145  | 5.369             | 181            |
|     | 小米 12        | 113.891 86 | 22.530 38 | -7.145  | 4.947             | 181            |
| 5 号 | 红米<br>NOTE12 | 113.892 09 | 22.530 21 | -7.025  | 4.107             | 181            |
|     | 华为<br>MATE50 | 113.892 09 | 22.530 21 | -7.025  | 3.808             | 181            |
|     | 小米 12        | 113.892 09 | 22.530 21 | -7.025  | 4.107             | 181            |
| 6 号 | 红米<br>NOTE12 | 113.890 96 | 22.531 06 | -7.800  | 6.681             | 181            |
|     | 华为<br>MATE50 | 113.890 96 | 22.531 06 | -7.800  | 1.969             | 181            |
|     | 小米 12        | 113.890 96 | 22.531 06 | -7.800  | 6.681             | 181            |
| 7 号 | 红米<br>NOTE12 | 113.888 34 | 22.539 26 | -12.585 | 4.421             | 181            |
|     | 华为<br>MATE50 | 113.888 34 | 22.539 26 | -12.585 | 1.791             | 181            |
|     | 小米 12        | 113.888 34 | 22.539 26 | -12.585 | 1.545             | 181            |
| 8 号 | 红米<br>NOTE12 | 113.888 45 | 22.538 84 | -12.497 | 2.366             | 181            |
|     | 华为<br>MATE50 | 113.888 45 | 22.538 84 | -12.497 | 1.489             | 181            |
|     | 小米 12        | 113.888 45 | 22.538 84 | -12.497 | 1.564             | 181            |

依据水平定位稳定性评估接收机定位结果的分离情况,进行定位精度中定位稳定度的评估,定位稳定度越高,说明信号接收越稳定。其反映了接收机在长时间或复杂环境下保持定位结果一致性和可靠性的能力,不同类型接收机的静态点水平定位稳定度结果如表5所示。

表5 不同类型接收机静态点水平定位稳定度结果

| 点位 | GNSS 厂家   | 结果                     |
|----|-----------|------------------------|
| 1号 | 红米 NOTE12 | 95.44% 定位结果位于±1.977 m内 |
|    | 华为 MATE50 | 95.44% 定位结果位于±3.718 m内 |
|    | 小米 12     | 95.44% 定位结果位于±2.66 8m内 |
| 2号 | 红米 NOTE12 | 95.44% 定位结果位于±1.518 m内 |
|    | 华为 MATE50 | 95.44% 定位结果位于±2.718 m内 |
|    | 小米 12     | 95.44% 定位结果位于±3.916 m内 |
| 3号 | 红米 NOTE12 | 95.44% 定位结果位于±4.257 m内 |
|    | 华为 MATE50 | 95.44% 定位结果位于±1.584 m内 |
|    | 小米 12     | 95.44% 定位结果位于±2.903 m内 |
| 4号 | 红米 NOTE12 | 95.44% 定位结果位于±4.947 m内 |
|    | 华为 MATE50 | 95.44% 定位结果位于±5.536 m内 |
|    | 小米 12     | 95.44% 定位结果位于±3.869 m内 |
| 5号 | 红米 NOTE12 | 95.44% 定位结果位于±4.107 m内 |
|    | 华为 MATE50 | 95.44% 定位结果位于±4.305 m内 |
|    | 小米 12     | 95.44% 定位结果位于±2.563 m内 |
| 6号 | 红米 NOTE12 | 95.44% 定位结果位于±6.681 m内 |
|    | 华为 MATE50 | 95.44% 定位结果位于±2.827 m内 |
|    | 小米 12     | 95.44% 定位结果位于±3.878 m内 |
| 7号 | 红米 NOTE12 | 95.44% 定位结果位于±4.421 m内 |
|    | 华为 MATE50 | 95.44% 定位结果位于±2.501 m内 |
|    | 小米 12     | 95.44% 定位结果位于±1.721 m内 |
| 8号 | 红米 NOTE12 | 95.44% 定位结果位于±2.470 m内 |
|    | 华为 MATE50 | 95.44% 定位结果位于±1.946 m内 |
|    | 小米 12     | 95.44% 定位结果位于±1.575 m内 |

注:标准差 $\sigma$ ,±1 $\sigma$ 为68.26%;±2 $\sigma$ 为95.44%;±3 $\sigma$ 为99.74%。

表6展示了隧道内速度为60~80 km/h时的动态精度。

表6 隧道内动态测试连续性

| GNSS 厂家   | 动态性能            | 数据                                                            |
|-----------|-----------------|---------------------------------------------------------------|
| 红米 NOTE12 | 最大偏移轨迹<br>15 m内 | gnss_log_2024_11_29_04_23_05/<br>gnss_log_2024_11_30_00_31_02 |
| 华为 MATE50 | 最大偏移轨迹<br>10 m内 | gnss_log_2024_11_29_13_53_23/<br>gnss_log_2024_11_30_08_00_13 |
| 小米 12     | 最大偏移轨迹<br>10 m内 | gnss_log_2024_11_29_08_59_03/<br>gnss_log_2024_11_30_00_31_07 |

以60~80 km/h的运动速度为例,使用RTKLIB软件,对运动状态下接收机接收到的运动轨迹进行处理,结果如图4至图6所示。

在隧道内动态测试连续性情况是一个复杂且涉及多维度的问题,它涉及信号强度、稳定性等多个测试指标。表7展示了隧道内、外动态测试连续性的情况。

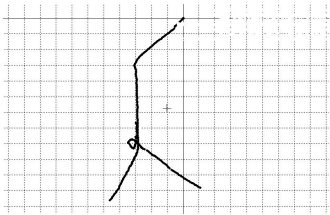


图4 红米 NOTE12在60~80 km/h运动状态下在隧道内的轨迹情况

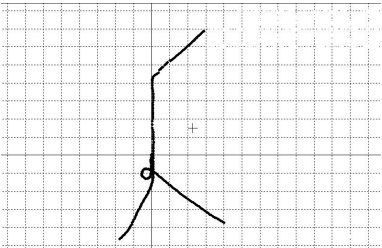


图5 华为 MATE50在60~80 km/h运动状态下在隧道内的轨迹情况

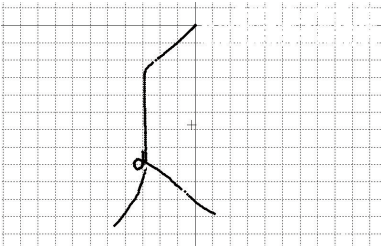


图6 小米 12在60~80 km/h运动状态下在隧道内的轨迹情况

表7 隧道内动态测试连续性

| GNSS 厂家   | 结果             |
|-----------|----------------|
| 红米 NOTE12 | 隧道内连续性良好,切换无失锁 |
| 华为 MATE50 | 隧道内连续性良好,切换无失锁 |
| 小米 12     | 隧道内连续性良好,切换无失锁 |

6 结 语

本项目将北斗信号引入前海地下道路,发现前海地下道路内的导航信号定位精度均小于10 m,具有良好的连续性和稳定性;在卫星信号或基站信号之间切换时,手机终端可以在卫星基站之间进行无失锁切换,定位连续无中断。一方面很好地解决了前海地下道路无导航信号的问题;另一方面既满足了社会车辆出行的导航需求,又解决了营运车辆在隧道内定位和跟踪无信号的问题。

以前海地下道路智慧化管控平台项目为例,通过室内北斗信号的引入,有效地解决了城市地下道路导航信号缺失的问题,为后续城市地下道路的新建,以及现有城市地下道路的改造,提供了成功的参考案例。

参考文献:

[1] 李明,王浩,张强.基于惯性导航与激光雷达融合的隧道环境定位方法研究[J].测绘科学,2023,48(3):45-52.



- [2] 赵娜,刘伟,陈建国.城市地下隧道导航系统中多传感器数据融合算法优化[J].导航定位学报,2022,10(2):67-74.
- [3] 周鹏,孙晓东,李婷.基于UWB技术的地下隧道高精度定位系统设计[J].电子技术应用,2024,50(6):22-29.
- [4] 张华,杨帆,王磊.地下隧道复杂环境中导航信号抗干扰策略研究[J].通信技术,2021,54(11):136-143.
- [5] 陈思远,黄晓明,赵琳.融合视觉SLAM与IMU的隧道导航定位系统实现[J].计算机工程与设计,2023,44(5):78-86.
- [6] 李建国,张明,刘洋.基于北斗系统的城市地下隧道导航增强技术研究[J].全球定位系统,2022,47(4):56-63.
- [7] 王静,周伟,李晓光.地下隧道导航中的地磁匹配定位方法研究[J].传感器与微系统,2024,43(3):41-48.
- [8] 孙健,陈晨,李宏伟.基于5G+UWB的地下隧道无缝导航系统设计与实现[J].电信科学,2023,39(7):89-96.
- [9] 刘欣,张磊,赵鹏飞.城市地下隧道导航中的路径规划与避障算法研究[J].控制与决策,2022,37(6):112-119.
- [10] 周晓,李军,王超.基于WiFi指纹的地下隧道室内定位精度优化[J].计算机应用,2021,41(8):201-208.
- [11] 张婷,杨明,陈思.地下隧道导航系统的人机交互界面设计研究[J].人类工效学,2023,29(2):60-67.
- [12] 李伟,赵强,刘欣.融合多源数据的城市隧道导航可靠性评估模型[J].系统工程与电子技术,2024,46(1):23-31.
- [13] 王军,孙莉,张勇.基于低功耗蓝牙的地下隧道导航信标部署优化[J].物联网技术,2022,12(5):55-62.
- [14] 陈刚,刘娜,周明.地下隧道导航系统中的应急疏散路径优化研究[J].安全与环境工程,2023,3(3):98-105.
- [15] 赵阳,李婷,王建国.基于机器学习的地铁隧道导航误差补偿方法[J].计算机科学与探索,2024,18(4):120-129.

(上接第162页)

(2)并行路段桥梁跨径应协调对应,确保高速公路与铁路桥跨布置一致,避免桥墩错位林立,保障南北向视觉通透与交通连续性。跨越河流等特殊区段时,需统筹考虑通航、水利及景观要求,采用相匹配的桥跨方案。

(3)应充分评估并行段两侧既有交通需求,并为远期规划道路系统科学预留下穿通道空间,确保区域路网连接的可持续性。

(4)需对公铁并行区段的排水系统进行一体化统筹设计,实现公路与铁路排水桥涵设施的协同布设,确保建成后不影响区域排水防涝安全,维持自然水文秩序。

通过以上多方面的系统协同,可显著提升公铁并行工程的综合效益,实现交通功能、土地节约、环境影响与工程经济的统一。

#### 参考文献:

- [1] 何海清.长三角区域某城际轨道交通与高速公路并行段安全防护研究[J].铁道建筑,2015(4):167-169.

- [2] 时洪斌.高速公路与铁路并行路段防撞挡墙设计研究[J].路基工程,2013(3):129-132.
- [3] 韩国倩,董长坤,韦刚.公铁并行路段安全性分析及防护对策研究[J].公路,2020(3):192-195.
- [4] 陈建云,达瓦桑布,李凯.公铁并行眩光安全分析[J].运输经理世界,2024(29):122-124.
- [5] 林韬,李晓东.公铁并行段道路行洪安全评估方法探讨[J].青海交通科技,2024,36(3):31-37.
- [6] 单东辉,牛肖,路中斌,等.公铁并行路段运营安全保障措施研究[J].中外公路,2021,41(增刊2):215-219.
- [7] 田雨,马如进,陈艾荣,等.临近并行的高铁桥梁与高速公路相互影响的安全风险评估[J].振动与冲击,2016,35(21):69-75.
- [8] 浙江数智交院科技股份有限公司.甬金衢上高速公路金华城区段工程可行性研究报告[R].杭州:浙江数智交院科技股份有限公司,2022.
- [9] 中铁第四勘察设计院集团有限公司.金华铁路枢纽扩容改造工程沪昆铁路外绕线[R].武汉:中铁第四勘察设计院集团有限公司,2024.
- [10] JT/T 116—2017 公路铁路并行路段设计技术规范[S].
- [11] 中铁上海设计院集团有限公司.甬金衢上高速公路金华城区段工程与沪昆铁路外绕线并行段安全评估报告[R].上海:中铁上海设计院集团有限公司,2024.