

引用格式: 王君, 郭思远, 王嘉伟. 北斗 RDSS 入站信号对 GNSS 信号的干扰分析及应对策略[J]. 时间频率学报, 2022, 45(1): 52-58.

北斗 RDSS 入站信号对 GNSS 信号的 干扰分析及应对策略

王君¹, 郭思远², 王嘉伟²

(1. 国防科技大学, 长沙 410000;
2. 北京卫星导航中心, 北京 100094)

摘要: 针对北斗 RDSS 入站信号对全球卫星导航系统 (GNSS) 产生的邻频干扰问题, 从信号角度研究了北斗 RDSS 对 GNSS 信号的影响, 提出了北斗 RDSS 天线端设计、场站布局与屏蔽隔离设计等两种技术措施来提升北斗 RDSS 和 GNSS 兼容性, 并对其进行了工程验证。研究成果可为北斗 RDSS 用户设备与 GNSS 接收机共址建设提供技术基础。

关键词: 北斗 RDSS 入站信号; 兼容性; 干扰; 全球卫星导航系统

DOI: 10.13875/j.issn.1674-0637.2022-01-0052-07

Interference analysis and countermeasure research of Beidou RDSS inbound signal to GNSS signal

WANG Jun¹, Guo Si-yuan², WANG Jia-wei²

(1. National University of Defense Technology, Changsha 410000, China;
2. Beijing Satellite Navigation Center, Beijing 100094, China)

Abstract: Aiming at the adjacent frequency interference caused by Beidou RDSS inbound signal to the Global Navigation Satellite System (GNSS), this paper studied the influence of Beidou RDSS on GNSS signal from the perspective of signal, and proposed two technical measures such as Beidou RDSS antenna design, station layout and shielding isolation design to improve the compatibility between Beidou RDSS and GNSS, and verified them by the engineering. The research results can provide a technical basis for the co-location construction of Beidou RDSS user equipment and GNSS receiver.

Key words: Beidou RDSS inbound signal; compatibility; interference; GNSS

0 引言

北斗卫星导航系统 (以下简称北斗系统) 是我国从大国地位需求出发, 完全由我国自主设计建设的全球第三大全球卫星导航系统, 可以在全球范围内为用户提供全天候、全天时、高精度的定位、导航和授时服务, 是我国的国之重器, 为我国的国家建设将提供必要的保障。卫星无线电测定业务

(Radio-Determination Satellite Service, RDSS) 是北斗系统特色优势服务, 可为我国及周边用户提供快速定位、位置报告及短报文通信服务。北斗 RDSS 业务自 2003 年正式开通以来, 服务连续稳定、应用领域不断扩大, 在我国国民经济的各个方面都发挥了重要作用^[1]。2020 年 7 月 30 日, 北斗三号全球卫星导航系统正式开通, 新一代 RDSS 正式提供服务。相比于北斗二号, 北斗三号 RDSS 实现了覆盖区域拓展、服务容量扩大、终端功耗降低等升级^[2]。

由于卫星导航系统体系设计的限制, 使得其极易受各类电磁干扰的影响^[3]。北斗 RDSS 入站信号的频段在 1 610 ~ 1 626.5 MHz, 与北斗系统的 B1 频点、GPS 系统的 L1 频点、GLONASS 系统的 G1 频点邻近, 发射功率在 3 ~ 10 W 左右, 比 GNSS 信号的落地电平功率高近 140 dB, 因此北斗 RDSS 入站信号会对相邻频段的 GNSS 业务造成干扰。

本文针对北斗 RDSS 入站信号与 GNSS 信号的兼容性问题, 首先分析了北斗 RDSS 入站信号特征, 然后从理论上分析了 GNSS 信号受 RDSS 入站信号的干扰影响因素, 从不同角度提出了降低北斗 RDSS 入站信号对 GNSS 信号干扰的策略, 最后利用实际设备进行了测试验证。

1 北斗 RDSS 入站信号特征分析

北斗三号 RDSS 的信号体制在北斗二号的基础上进行了升级。随着北斗三号正式开通, 北斗三号 RDSS 将逐步取代北斗二号 RDSS, 向用户提供服务。为此, 本文以北斗三号 RDSS 为例, 对北斗 RDSS 入站信号特征进行分析。

RDSS 入站链路是指 RDSS 用户机向主控站发送服务申请的信号链路, RDSS 的入站信号位于 L 频段, 具体频率为 1 610 ~ 1 626.5 MHz, 由于入站信号频段与 GNSS 信号频段相隔较近, 因此, 下面主要分析 RDSS 的入站信号。

RDSS 入站信号采用直接扩频序列, 频段为 1 610 ~ 1 626.5 MHz, 工作带宽 16.5 MHz, 调制方式为 BPSK。由图 1 可知入站发射信号对下行 RDSS 接收的影响主要是由于调制产生的边带引起的。目前, 各个导航系统公开信号的频率和带宽如表 1 所示, GEO 卫星入站信号离 GNSS 导航频点 L1、B1 等最近的 Lf1 的频率为 1 614.26 MHz, 带宽为 $B = 8.16$ MHz。若入站信号的 EIRP 为 10 W, 则通过 BPSK 的功率谱密度函数, 可以计算出入站信号落入北斗 B1 频点、GPS L1 频点、GLONASS G1 频点的功率如表 1 所示。

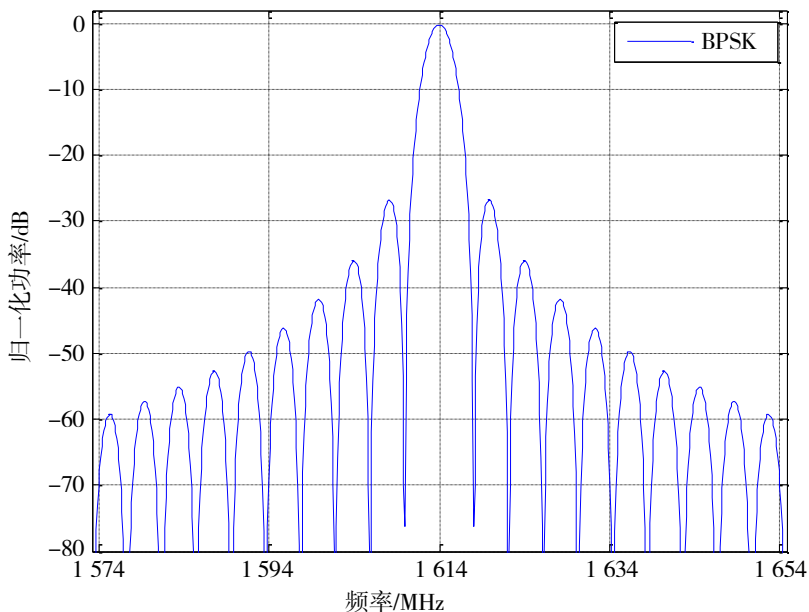


图 1 入站信号频谱图

表 1 各导航系统包含的信号频率和带宽

系统	频点	载波频率/MHz	带宽/MHz	入站信号功率
Beidou	B1	1 575.420	32.736	-14.3 dBW
	B2	1 191.795	51.150	-
	B3	1 268.520	20.460	-
GPS	L1C	1 575.420	14.332	-18.0 dBW
	L2C	1 227.600	2.046	-
	L5	1 176.450	20.460	-
Galileo	E1	1 575.420	14.332	-18.0 dBW
	E5	1 191.795	51.150	-
	E6A	1 278.750	30.690	-
GLONASS	G1	$1\ 602 + k \times 9/16$ ($k = -7 \sim +6$)	10.032	-7.4 dBW

2 GNSS 信号受 RDSS 入站信号干扰影响分析

载噪比是衡量卫星导航信号质量的重要指标,对于接收机的信号处理具有重要意义,当接收机受到干扰时,信号的载噪比会降低到等效载噪比^[4]。等效载噪比是衡量导航信号捕获阈值确定、跟踪环路设计及理论定位精度计算等的重要参数。等效载噪比 $(C_s/N_0)_{\text{eff}}$ 的定义^[5]为

$$(C_s/N_0)_{\text{eff}} = 1/(1/(C_s/N_0) + (C_i/C_s)/(QR_c)), \quad (1)$$

式(1)中: C_s 为接收信号功率; C_i 为干扰信号功率; C_s/N_0 是接收机内所接收信号在无干扰情况下的载噪比; R_c 为扩频码速率; Q 是为各种类型干扰源和信号调制器而确定的无量纲的抗干扰品质因数。图 2 仿真了不同干扰信号功率下,等效载噪比随干扰功率的变化情况。仿真中,假设接收信号功率 $C_s = -157$ dBW,噪声功率 $N_0 = -200$ dBW,扩频码速率 $R_c = 1.023$ MHz,干扰信号为窄带干扰,抗干扰品质因数 $Q=1$ 。

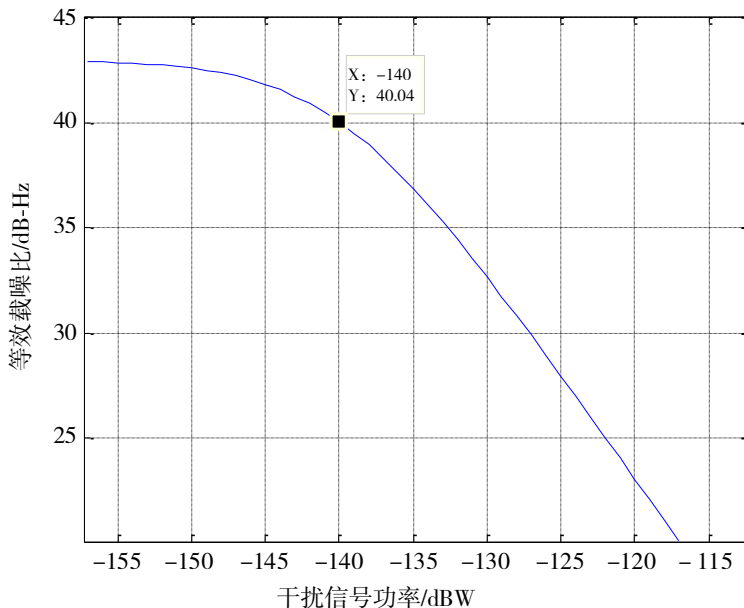


图 2 干扰对等效载噪比的影响示意图

由图 2 仿真结果可得：等效载噪比随着干扰信号功率的增大而减小，且当干扰功率等于 -140 dBW 时，等效载噪比下降到 40 dBHz。卫星导航系统公开服务性能规范规定用户的最低接收功率大约 -160 dBW，对应的载噪比为 40 dBHz。因此，北斗 RDSS 入站信号落入 GNSS 频段的信号电平需要低于 -140 dBW，否则等效载噪比将低于捕获门限。

3 北斗 RDSS 入站信号与 GNSS 信号兼容提升策略

通过对干扰影响因素进行分析，可以通过 2 种方法降低 RDSS 入站信号的干扰影响。① 北斗 RDSS 天线进行定向赋形设计并在功放后面加装腔体滤波器；② 对天线摆放进行布局设计，RDSS 天线和 GNSS 天线拉开一定距离并采取屏蔽隔离措施进一步降低干扰影响。

3.1 北斗 RDSS 天线端设计

北斗 RDSS 天线采用定向赋形设计，北斗 GEO 卫星轨道高度 $35\ 786$ km，分别定点于东经 58.75° 、 80° 、 110.5° 、 140° 和 160° ，经过核算在国内实现所有 GEO 卫星出站波束信号的接收天线的方位角覆盖范围为 148° ，俯仰角覆盖范围为 45° 。北斗 RDSS 天线的天线阵元采用叠层微带天线形式，天线阵元由两个双频双极化微带天线单元组成，微带单元采用叠层设计，上层为右旋圆极化接收天线，下层为左旋圆极化发射天线，分别实现 $1\ 610.0$ MHz ~ $1\ 626.5$ MHz 频段的信号发射， $2\ 491.75 \pm 8.16$ MHz 频段的信号接收。

对 GEO 卫星天线发射频点的方向图进行仿真验证，天线在 $1\ 616$ MHz 频点处方位 ($\text{Phi} = 0^\circ$) 和俯仰面 ($\text{Phi} = 0^\circ$) 的两个切面的天线增益仿真图如图 3 所示。

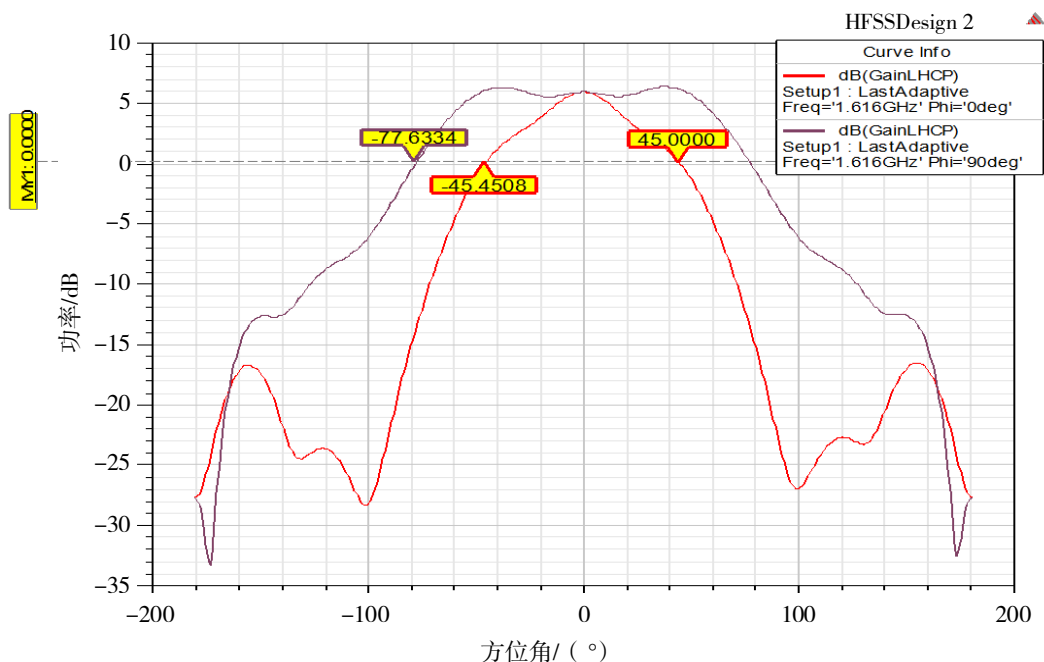


图 3 天线在 $1\ 616$ MHz 频率处的方向图

从图 3 中可以看出天线增益的顶点为 5 dB，方向图在俯仰面 ($\text{Phi} = 0^\circ$) 角度为 $\pm 170^\circ$ 时有明显的凸起为天线的旁瓣，增益大概在 -17 dB，与增益最大值相差 22 dB，即天线的旁瓣抑制为 22 dB。图 3 中标注为天线增益为 1 dB 时，天线方位和俯仰面对应的角度，天线的方位角覆盖 154° ，俯仰角覆盖 90° ，方向图满足天线的角度覆盖。同时通过在天线功放的输出端增加一个带通腔体滤波器，在 GPS 的 L1 频

段带外抑制能力达到 50 dB。

3.2 场站布局与屏蔽隔离设计

根据 GEO 卫星的轨位将 RDSS 天线布设在场区的南部可实现全部波束信号监测,其他 GNSS 天线布设在场区北部,由于 RDSS 天线为定向天线,后向辐射衰减较大,可以明显减小对其他天线的干扰。RDSS 天线在场区的布局效果图如图 4 所示。

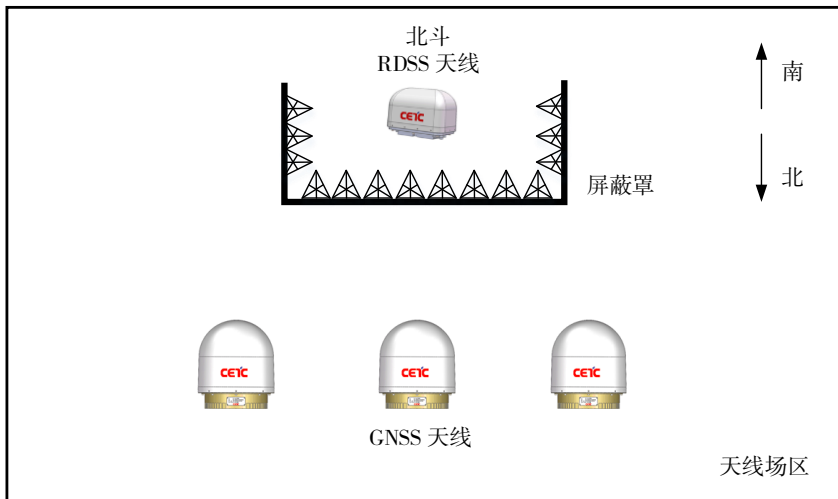


图 4 天线场区布局效果图

由于信号存在传输损耗,因此,当北斗 RDSS 设备与 GNSS 设备间距离不同时,所受的干扰的影响也不相同。自由空间的传输损耗为

$$L = 20\lg F + 20\lg D + 32.4, \tag{2}$$

式(2)中: F 为信号频率,单位 MHz; D 为传输距离,单位 km; L 单位为 dB。传输距离与空间损耗关系如图 5 所示,例如当间距为分别为 1, 2, 3, 5 m 时,对应的自由空间的传输损耗分别为 36.5, 42.5, 46.0, 50.5 dB。

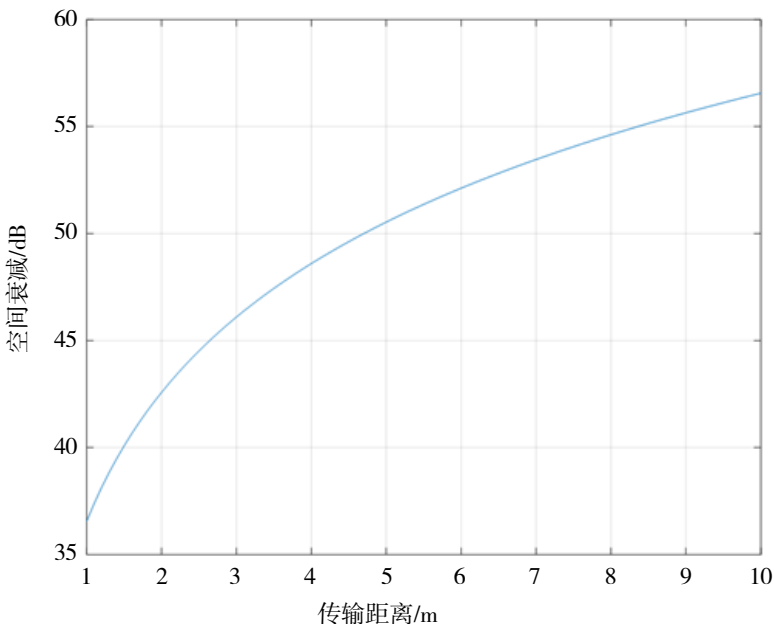


图 5 传输距离与自由空间损耗的关系图

为了进一步降低 RDSS 天线的后向辐射, 考虑在 RDSS 天线的周围加装屏蔽罩, 同时在屏蔽罩上加装吸波材料, 加强屏蔽效果。电磁波在传播的过程中遇到障碍物时, 由于障碍物的反射和吸收作用, 能量发生衰减, 常见的铝、铜、铁都能有良好的屏蔽效果, 在室外可以使用打孔钢板或钢网实现, 理论上电磁波可以绕过自身波长 $1/2$ 的障碍物, 只要钢网的网格空间小于电磁波波长的 $1/2$, 电磁波就不能穿透, 达到屏蔽效果, RDSS 天线的最高发射频率为 $1\ 624\ \text{MHz}$, 此时电磁波的半波长为 $89\ \text{mm}$, 因此钢网的网格空洞直径小于 $89\ \text{mm}$ 即可, 距离天线的距离以不影响天线正常工作为宜, 可取 $300\ \text{mm}$ 左右, RDSS 天线加装隔离罩的效果图如图 6 所示。

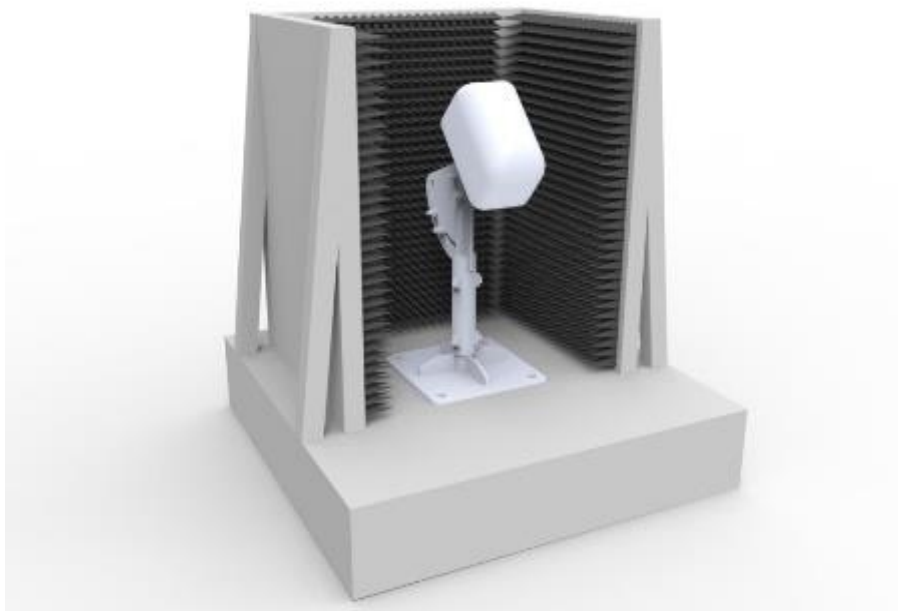


图 6 天线加装屏蔽罩效果图

4 测试验证情况

通过上述分析可知, 在 GPS 的 L1 频段上北斗 RDSS 的入站信号功率电平下降 $-28\ \text{dB}$, 功率 P_t 约为 $-18\ \text{dBW}$; 北斗 RDSS 天线为定向天线, 旁瓣抑制为 $-22\ \text{dB}$; 天线功放的输出端增加一个带通腔体滤波器, 在 L1 频段抑制能力为 $-50\ \text{dB}$; 屏蔽隔离措施的损耗为 $-15\ \text{dB}$, 则接收到的信号功率为

$$P_r = -18 - 22 - 50 - 15 = -105\ \text{dBW}, \quad (3)$$

通过计算分析得到不考虑传输距离衰减, 接收信号功率为 $-105\ \text{dBW}$, 传输距离需要引入的衰减大于 $35\ \text{dB}$, 可以保证 GNSS 信号的正常捕获, 此时的距离应大于 $1\ \text{m}$; 如果不加装屏蔽罩, 则应保证空间衰减大于 $50\ \text{dB}$, 间距在 $5\ \text{m}$ 以上。

在实际工作环境中测试北斗 RDSS 用户机对 GNSS 接收机接收信号的影响, 北斗 RDSS 用户机的入站功率为 $10\ \text{W}$, 频度为 $10\ \text{s}$, 部署图如图 6 所示。在加装屏蔽罩和不加装屏蔽罩以及 RDSS 天线和 GNSS 天线分别拉开 $1, 3, 5\ \text{m}$ 的条件下进行测试, 测试结果如表 2 所示。实际测试结果表明与理论分析相符合, 加装屏蔽罩后隔离效果较为明显, 天线拉开距离也可以解决干扰问题。



图 7 实际部署测试图

表 2 实际测试结果

是否屏蔽	距离		
	1 m	3 m	5 m
加装屏蔽罩	无影响	无影响	无影响
未加装屏蔽罩	卫星失锁严重	卫星偶尔失锁	无影响

5 总结

针对北斗 RDSS 入站信号与 GNSS 的兼容性问题, 利用等效载噪比方法评估了 RDSS 入站信号对邻频 GNSS 信号的影响, 并进行了仿真分析, 从 RDSS 用户机天线、场站布局以及屏蔽隔离等角度, 总结了 2 种提升北斗 RDSS 入站信号和邻频 GNSS 信号兼容性的方法。同时, 由于 GNSS 系统都还在发展之中, 上述 2 个方面的兼容性提升方法都还有待进一步研究。本文的相关研究成果可为北斗 RDSS 用户设备与 GNSS 接收机共址建设提供技术基础。

参考文献:

- [1] 陈忠贵, 武向军. 北斗三号卫星系统总体设计[J]. 南京航空航天大学学报, 2020, 52(6): 835-845.
- [2] 张天桥, 葛侠, 刘治君, 等. 北斗 S 信号受地面 5G 干扰影响分析及对策研究[J]. 无线电工程, 2021, 51(10): 1037-1041.
- [3] 郭淑霞, 胡占涛. 窄带干扰下北斗卫星导航信号性能分析[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(2): 507-510.
- [4] 刘瑞华, 王晶. 干扰对北斗信号接收性能的影响评估[J]. 中国民航大学学报, 2019, 37(3): 1-4+16.
- [5] 郭海玉, 鲁祖坤, 陈飞强, 等. 窄带与脉冲干扰对卫星导航信号载噪比的影响[J]. 全球定位系统, 2021, 46(1): 50-56.