BDS、GLONASS 服务性能
联合测试报告
(中方部分)

2019 年 9 月

目录

一、 概述 1
二、 测试目的 2
三、 测试内容 3
1. 可见卫星数目 3
2. 精度衰减因子 3
3. 定位精度 4
四、 测试设备 6
五、 测试过程 7
六、 北斗测试结果 8
1. 可见卫星数目与 PDOP 8
2. 定位精度 9
七、 格洛纳斯测试结果 12
1. 可见卫星数目与 PDOP 12
2. 定位精度 12

一、 概述

在“中俄卫星导航重大战略合作项目委员会”框架下，由中国卫星导航系统管理办公室测试评估研究中心（CSNO-TARC）与俄罗斯国家航天集团中央机械制造研究院信息分析中心（PNT IAC）作为牵头单位，成立联合工作组，共同开展北斗卫星导航系统（BeiDou Navigation Satellite System，英文简写为 BDS）与 GLONASS 在监测评估领域的合作。双方自 2015 年起启动了 BDS 与 GLONASS 在用户信息支持领域的合作，在双方门户网站（中方网站为 www.csno-tarc.cn，俄方网站为 www.glonass-iac.ru）增加了对方卫星导航系统的用户信息支持版块。卫星导航系统用户信息支持的重要内容之一是系统的服务性能，为此双方自 2017 年起在“一带一路”沿线开展服务性能评估工作。

北斗卫星导航系统由中国政府建造，免费为全球用户提供全天候、全天时、高精度的定位、测速和授时服务。北斗卫星导航系统星座设计由 24 颗 MEO 卫星、3 颗 GEO 卫星和 3 颗 IGSO 卫星构成，在 1561.098MHz、1575.42MHz、1176.45MHz、1268.52MHz、1207.14MHz 五个频段提供 B1I、B1C、B2a、B3I、B2b 五个公开导航信号，此外还提供短报文、搜救等服务，在亚太地区还提供 SBAS、PPP 等服务。

GLONASS 是由俄罗斯政府建设的全球卫星导航系统，系统星座由 24 颗 MEO 卫星构成，以 FDMA 体制提供 G1/G2 两个频段（G1=1602+0.5625*k(MHz)和 G2=1246+0.4375*k(MHz)，其中 k 为 1～24 为每颗卫星的频率编号）的导航信号。

二、 测试目的

中俄双方共同致力于为全球BDS与GLONASS用户提供更完善的信息支持，服务全球范围的行业用户、设备制造商、科研团体及大众用户。

双方的联合测试工作旨在共同测试、验证BDS与GLONASS在不同环境、不同区域的服务性能，为全球用户提供参考。

三、 测试内容

1. 可见卫星数目

用户跟踪卫星导航信号并解算得到自己的位置信息共需要解算 3 个位置参数和 1 个时钟偏差参数，最少需要同时观测到 4 颗卫星才可以解算得到自己的位置信息，在测试中可见卫星的数目作为一个最基本的评估指标。

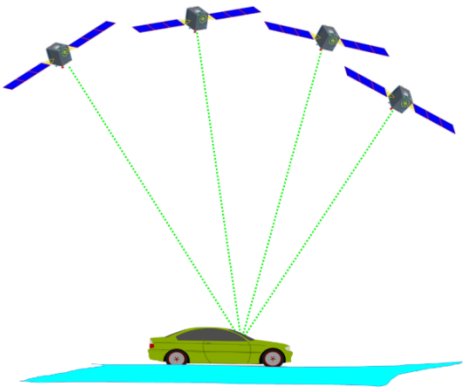

图 1 卫星导航定位示意图

2. 精度衰减因子

精度衰减因子（Dilution of Position, DOP），表征用户和可见卫星在空间几何构型的好坏，对测距误差起着放大作用。DOP 包括以下几个类型：几何精度衰减因子（GDOP）、位置精度衰减因子（PDOP）、平面精度衰减因子（HDOP）、垂直精度衰减因子（VDOP）、时间精度衰减因子（TDOP）。

假设位置参数协因数矩阵$(G^TG)^{-1}$的主对角线元素为σ_{ii} (i=1,2,3,4)，则对零均值等精度的独立观测而言，各 DOP 值分别为：

$$GDOP = \sqrt{\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33} + \sigma_{44}}$$

$$PDOP = \sqrt{\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}}$$

$$HDOP = \sqrt{\sigma_{11} + \sigma_{22}}$$

$$VDOP = \sqrt{\sigma_{33}}$$

$$TDOP = \sqrt{\sigma_{44}}$$

3. 定位精度

定位精度描述的是卫星定位结果与真实坐标间的差异。真实坐标的获取可以有很多手段，一般认为高于定位精度一个数量级即可作为参考基准。

卫星导航定位伪距观测值的误差方程可以表示为：

$$\mathrm{V_k} = \mathrm{A_k}\widehat{\mathrm{X}}_\mathrm{k} - \mathrm{L_k}$$

式中，A_k为设计矩阵，V_k为观测向量L_k的残差向量，$\hat{X}_k$为系统状态参数向量估值，其计算方法一般采用最小二乘法、Kalman 滤波以及各种改进方法等。

定位精度包括水平方向（EN）定位精度和垂直方向（U）定位精度。将用户机的定位结果与基准坐标进行比较，并转换到测站坐标系，可以得到用户机在水平方向和垂直方向的静态定位偏差，如图所示：

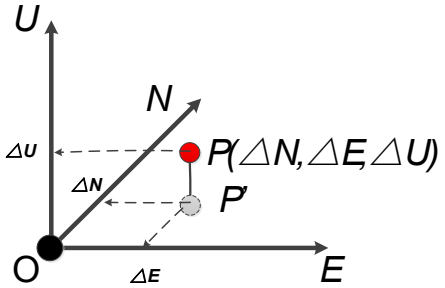

图 2 点位误差示意图

其中：O 点为参考点；

P 点为测得的用户机坐标；

ΔN、ΔE、ΔU 分别为用户机坐标与参考点坐标之差在站心坐标系下北、东、垂直方向的投影。

定位精度分别按照 RMS 和 95%置信度进行统计：

（1） RMS 值计算方法

设 n 个测量值与参考值（平面和垂直）的误差值为 $\Delta_1,\Delta_2,...,\Delta_n$，则

均值：$$\mu=\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta_i}{n}$$

均方根误差：$$rms=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta_i^2}{n-1}}$$

（2） 95%定位精度计算方法

水平精度评估量：$\Delta H=\sqrt{\Delta E^2+\Delta N^2}$

垂直精度评估量：$\Delta U=\Delta U$

将所有历元的水平方向定位误差或垂直方向定位误差绝对值从小到大排序，取 95%分位点处的数值作为 95%置信度精度。

四、 测试设备

本次测试使用的设备是中国卫星导航系统管理办公室测试评估研究中心研制的移动测试平台。平台集成了全频段 GNSS 接收天线、高精度测量型 GNSS 接收机、控制显示终端及相应的供电、网络连接设备，可以以静态或者动态的方式采集并评估固定地点、一定区域的 GNSS 数据，并评估相应条件下 GNSS 服务性能。

图 3 GNSS 动态服务性能评估平台

测试平台配置的高精度接收机是多台并置的模式，数据处理会选择数据最可靠的一台进行处理，目前配置的设备型号如下：

和芯星通 UR4B0		支持 BDS B1I/B1C/B2a/B3I、GPS L1/L2/L5、GLONASS G1/G2、Galileo E1/E5a/E5b
上海司南 M300Pro		支持 BDS B1I/B1C/B2a/B3I、GPS L1/L2/L5、GLONASS G1/G2、Galileo E1/E5a/E5b

五、 测试过程

测试工作从 2019 年 9 月 12 日开始，9 月 12 日结束，测试地点为中国，具体路线为北京至内蒙古锡林郭勒（往返）。

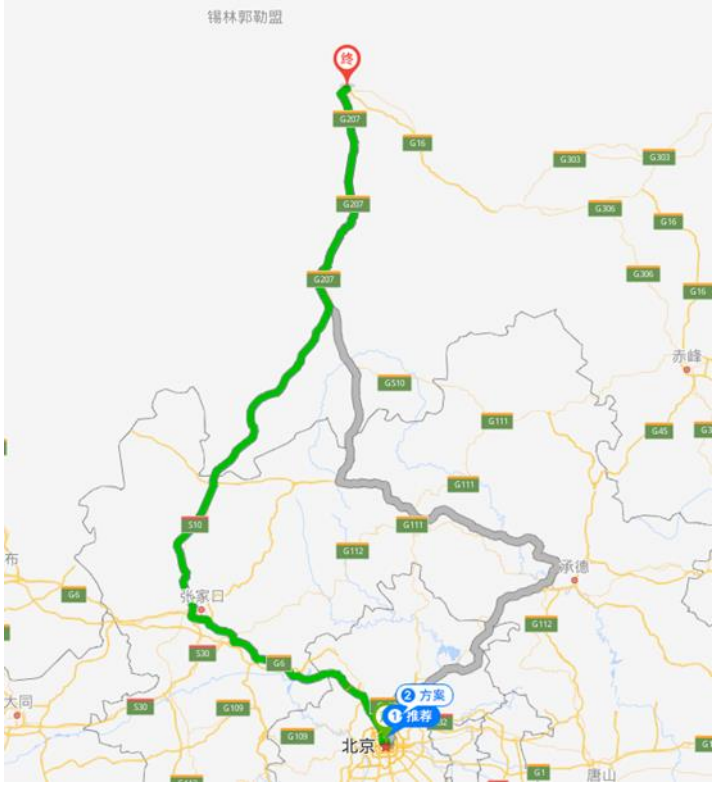

图 4 测试路线

测试期间，北斗卫星导航系统在轨卫星 36 颗，包括北斗二号（BDS-2）卫星 15 颗，北斗三号（BDS-3）卫星 21 颗。正常提供服务的卫星为 15 颗 BDS-2 卫星（5GEO，7IGSO，3MEO）和 18 颗 BDS-3 卫星（18MEO），其余 3 颗 BDS-3 卫星（1GEO、2IGSO）在测试状态。

六、 北斗测试结果

1. 可见卫星数目与 PDOP

对于北斗 B1I/B3I/B1IB3I 频点而言，在测试区域正常情况下可见卫星数目在 8 至 18 颗之间，平均为 16 颗；对于北斗 B1C/B2a/B1CB2a 频点，在测试的区域正常情况下可见卫星数据在 4 至 9 颗之间，平均为 6 颗。需要注意的是本次动态测试是自然条件下，周围的环境状况会影响可见卫星的数目，如树木、楼房、山峰等都可能对卫星导航信号造成遮挡，另外也会存在对信号的干扰因素，会造成测试设备无法对某颗卫星进行跟踪，上述情况都会导致可见卫星变少，所以这里的测试结果与“中俄卫星导航监测评估服务平台”上提供的北斗全球可见卫星数目会有所不同（平台上结果是在没有信号遮挡，没有干扰的理想情况下对可见卫星数目的预测）。

与可见卫星数目相对应的是 PDOP 值，北斗 B1I/B3I/B1IB3I 频点 PDOP 变化范围在 1.09 至 3.16 之间；北斗 B1C/B2a/B1CB2a 频点 PDOP 变化范围在 1.31 至 6.00 之间；PDOP 值的突然增高很大程度上都与卫星数目的变化有关。

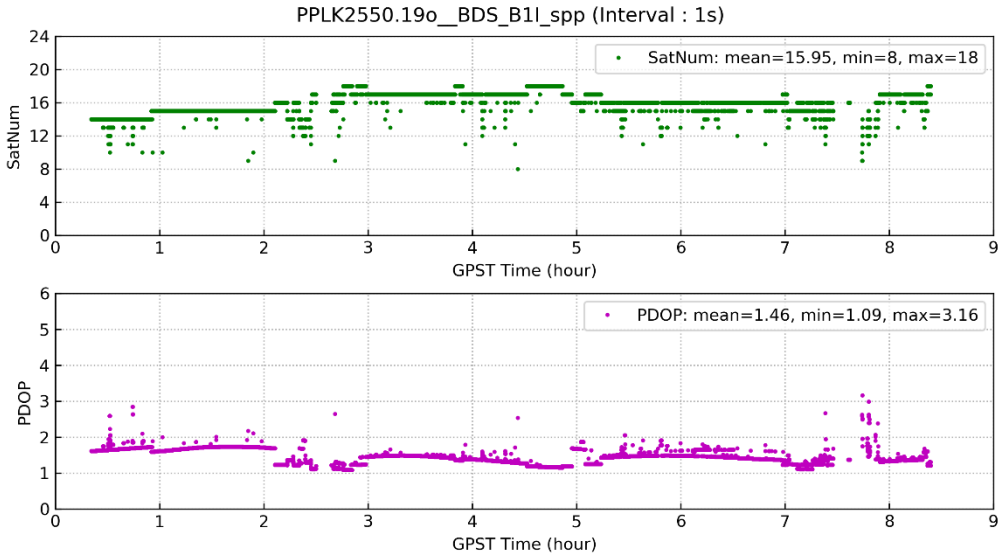

图 5 测试中北斗 B1I/B3I/B1IB3I 频点可见卫星数和 PDOP

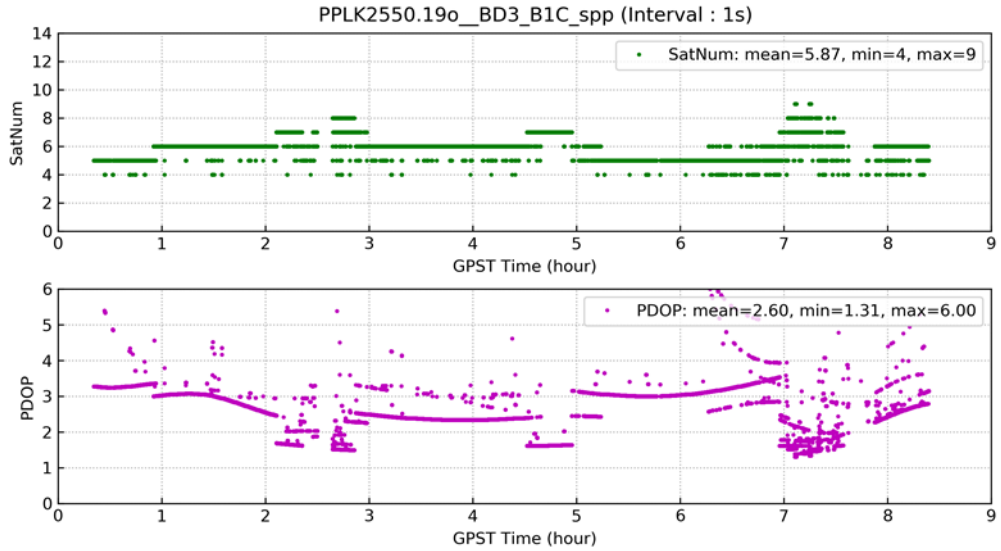

图 6 测试中北斗 B1C/B2a/B1CB2a 频点可见卫星数和 PDOP

2. 定位精度

分析结果显示，北斗卫星导航系统不同频点定位精度为：B1I 信号单频伪距水平方向 1.13 米，垂直方向 2.22 米（95%）；B3I 信号单频伪距水平方向 1.20 米，垂直方向 2.91 米（95%）；B1I 与 B3I 双频伪距组合水平方向 2.78 米，垂直方向 4.17 米（95%）;B1C 信号单频伪距水平方向 1.67 米，垂直方向 3.33 米（95%）；B2a 信号单频伪距

水平方向 2.21 米，垂直方向 4.62 米（95%）；B1C 与 B2a 双频伪距组合水平方向 1.98 米，垂直方向 3.02 米（95%）。某些时段由于信号遮挡等影响导致可见卫星数目降低，会出现定位精度下降的情况，但整体统计结果显示，定位精度都完全满足了《北斗卫星导航系统公开服务性能规范（2.0 版）》中的指标。

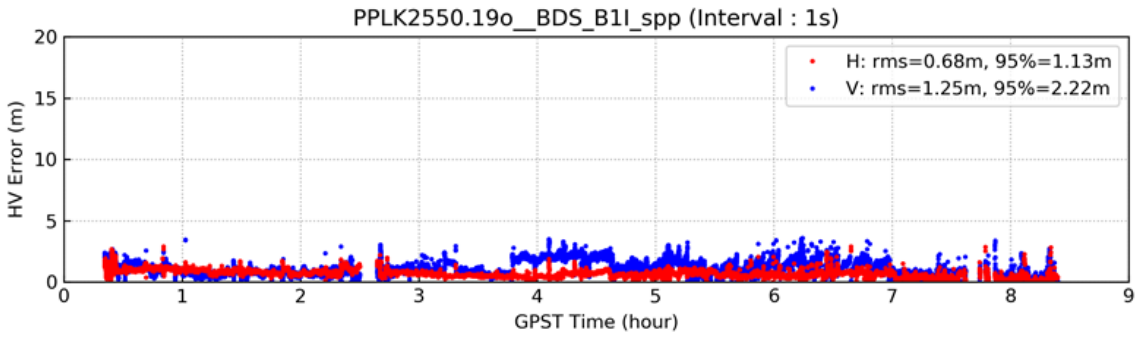

图 7 北斗系统 B1I 定位误差时间序列

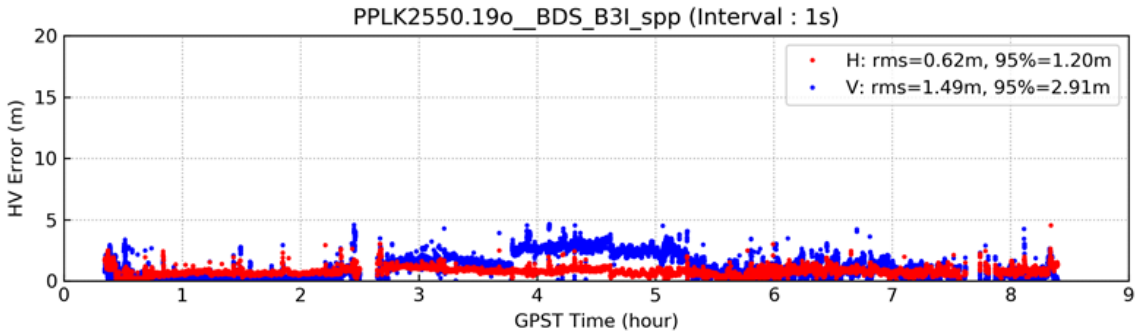

图 8 北斗系统 B3I 定位误差时间序列

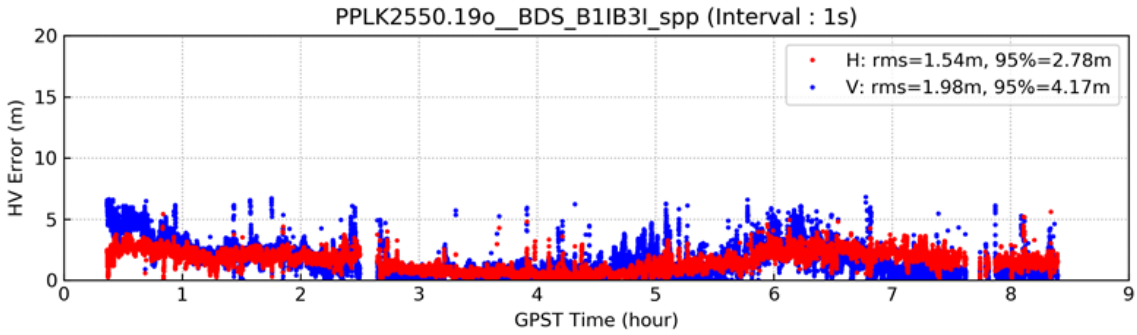

图 9 北斗系统 B1I&B3I 双频定位误差时间序列

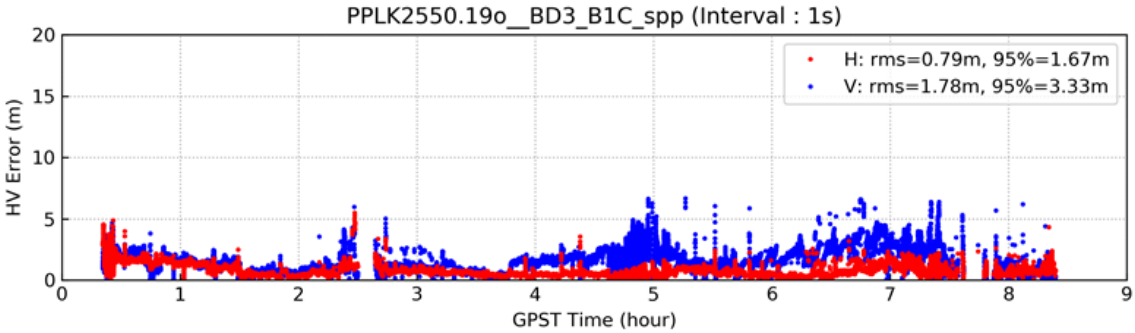

图 10 北斗系统 B1C 定位误差时间序列

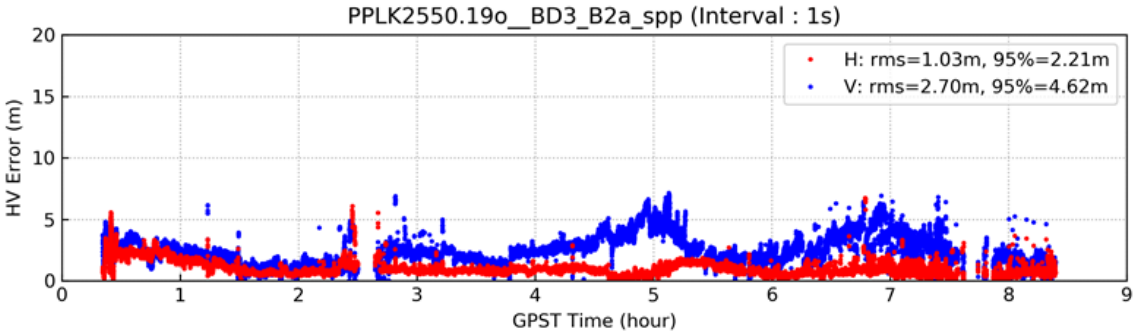

图 11 北斗系统 B2a 定位误差时间序列

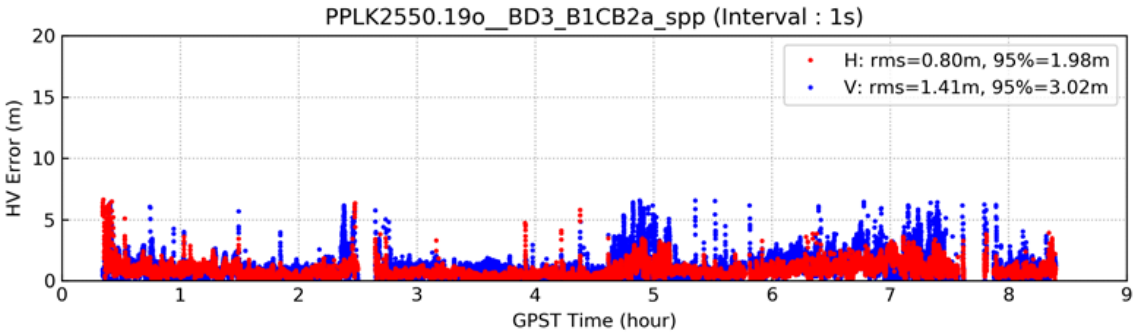

图 12 北斗系统 B1CB2a 双频定位误差时间序列

七、 格洛纳斯测试结果

1. 可见卫星数目与 PDOP

对于格洛纳斯系统，测试期间的可见卫星数目在 4 至 9 之间，平均为 7，PDOP 在 1.41 至 5.36 之间，平均为 2.45。

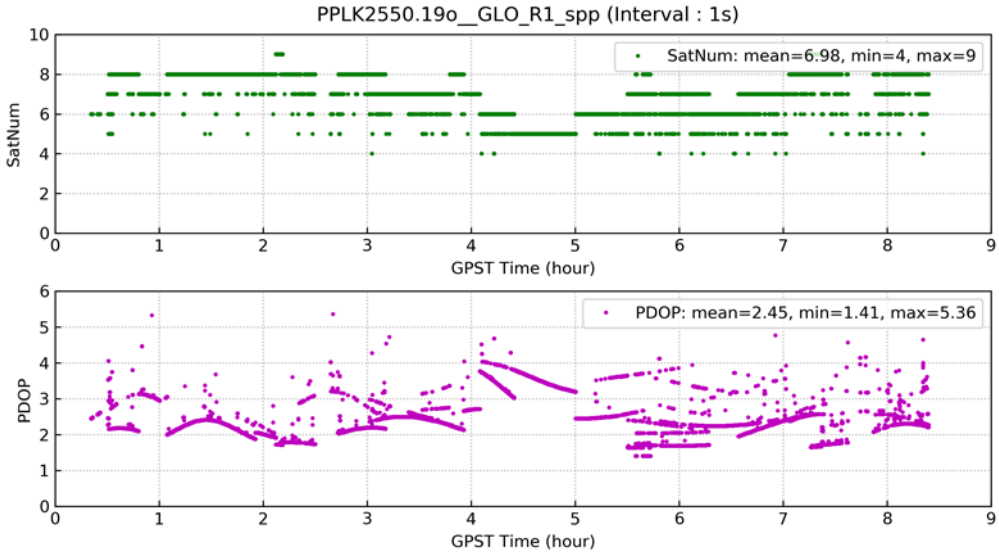

图 13 测试中 GLONASS 可见卫星数目及 PDOP 值

2. 定位精度

分析结果显示，格洛纳斯不同频点定位精度为：L1 信号单频伪距水平方向 5.24 米，垂直方向 7.57 米（95%）；L2 信号单频伪距水平方向 5.57 米，垂直方向 6.92 米（95%）；L1 与 L2 双频伪距组合水平方向 5.53 米，垂直方向 8.50 米（95%）。

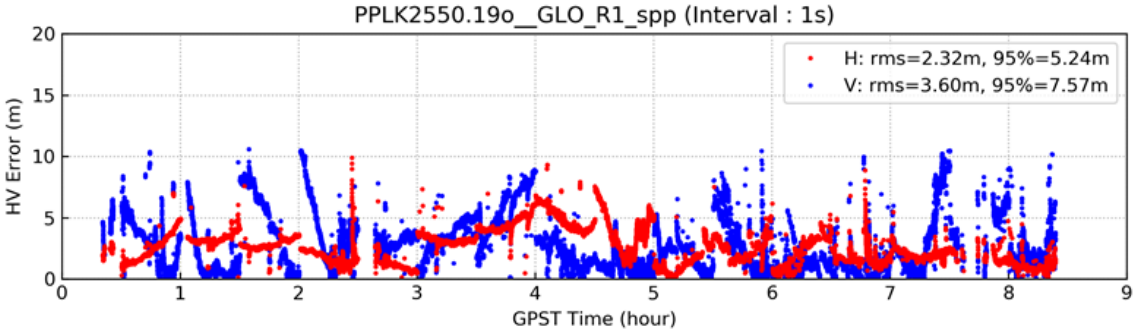

图 14 GLONASS L1 定位误差时间序列

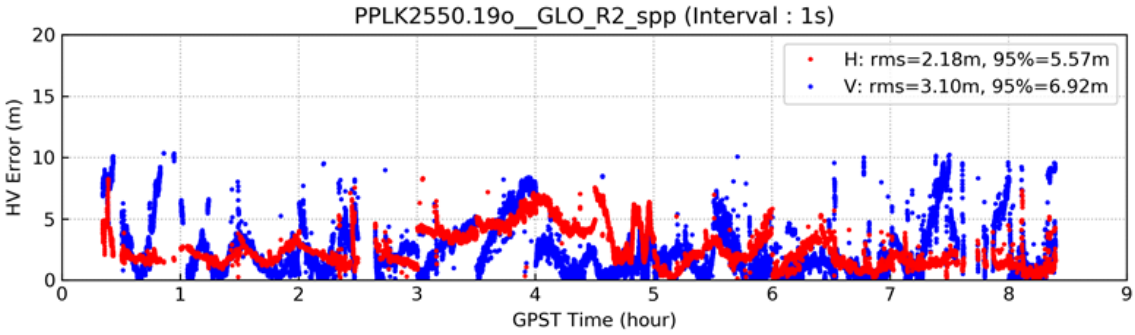

图 15 GLONASS L2 定位误差时间序列

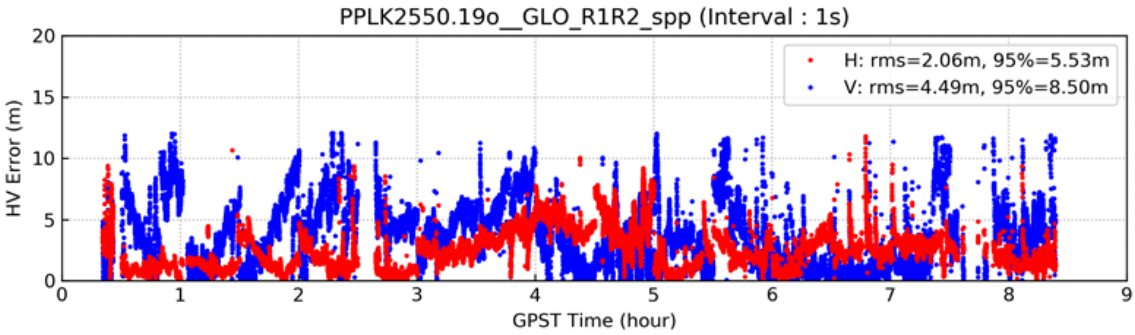

图 16 GLONASS L1L2 双频定位误差时间序列

——————文档结束——————