

北斗卫星导航系统在气象局综合观测中定位精度分析

卡卓 王雁 多布杰
那曲市气象局 西藏 那曲 852000

【摘要】：为了解北斗卫星导航系统在青藏高原复杂地形中的气象综合观测定位情况，本课题通过西藏气象局已部署的北斗卫星导航探空仪设备，在那曲、拉萨等地的典型站点，将北斗探空仪与传统的L波段探空系统进行平行对比实验，对不同高度层及不同气象条件下获取的观测数据进行系统性采集与分析，从水平定位精度、垂直定位精度以及测风精度这3个维度进行深入研究。相关数据显示，北斗探空仪在西藏区域水平位置上均方根误差为12.3米，高度上则达到18.7米之高，测风准确度锐减到0.3米每秒，其总的效果较为传统L波段探空系统有了较大的增长幅度；鉴于西藏地区地形相对较低，相关功能工作较为好。此次研究给予西藏气象部门细化北斗探空事宜，进一步改善高原上整体气象观测情况时增添科学上的理论依据及其操作支持。

【关键词】：北斗卫星导航系统；西藏气象局；综合观测；定位精度；探空仪

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.087

1 研究背景

作为全球海拔最高、极具特色的地理单元，青藏高原上所搜集到的气象观测数据对于区域灾害预警、数值天气预报还有生态环境保护等工作来说具有不可或缺的作用。传统L波段探空系统在我国高原上的使用受到了诸多局限性，比如数据传输上的延迟问题、由于复杂地形导致信号难以完全覆盖，并且人工环节居多等不便于高原地区的使用，很难达到新事物和新时代所提出的高精度以及实时性的更高要求。在此过程当中针对北斗探空仪在青藏高原上海拔高、空气稀薄、强辐射环境中的实际定位精度表现状况及适用特性特征展开深入探讨，对进一步提升青藏高原气象观测数据品质、辅助高原区域灾害预警措施的制定以及气候更迭影响的研究起到具有实证价值的积极作用。

2 试验设计与数据来源

2.1 试验区域概况

本研究选择拉萨、日喀则、那曲三地典型气象观测站作为研究站点，该站点存在多样海拔等值线梯度和不同气候类型，那曲站海拔4507米，为高原型亚寒带季风气候区，冬寒夏凉，雨量不大但常常刮大风；拉萨站海拔3658米，属高原型温带半干旱气候区，日光充足，昼夜温差大；日喀则站海拔3836米，属于高原型温带季风气候区，夏至降水偏少；冬至以晴天为主。三个站点均成功完成北斗探空系统安装及调试，且与传统L波段探空设备协同运行条件达标，均具备开展平行对比实验可行条件。

2.2 试验设备与参数

本研究选取西藏气象部门现时应用的北斗卫星导航探空仪作为实验核心装置，并搭配多通道接收模块与“云+端”数据传输系统。该探空仪以每秒1 Hz的采样频率运转，定位信息更新速度为1秒，能够完成从地面到3万米高空的持续观测，对照组的参照设备为传统的L波段雷达探空系统，它的测风精

度可达正负1 m/s，高程定位误差约为正负100 m，被选定为此次实验的基准参考标准，实验期间同时布置气压计，温湿度传感器等辅助设备，用来采集近地面气象要素数据，给误差分析给予精确的环境参数支撑。

2.3 试验方案设计

本次研究选定了2024年8月到12月这段时间作为实验时段，这里面有夏季、秋季还有冬季，此外还有晴朗天气、阴雨气候、大风状况、降雪等各种主要气象条件都被包含在实验期间，北京时间8时20分，在各种指定站点上部署同一型号的北斗探空仪和L波段探空仪，并且让两个设备处于差不多的观测环境当中，实验阶段获取的数据会被上传到国家级气象大数据云平台，并且同步到中央控制中心里，其中夹杂着各类经纬坐标位置海拔数值，包括了上下的风向以及体现快慢轻重风速等等内容，处理时注意要借助先前给定的原始记载材料执行预处理流程，处理一些设备报废、通信被切断等情况形成的没用的信息，最终明确形成此组具备要求的286份良好样本。

2.4 数据预处理方法

数据预处理环节包含三项主要步骤，第一项是基础参数校验，要核查探空仪电源状态，定位模块运行情况以及原始数据是否完整，把异常观测记录剔除掉，第二项是极值检验，按照气象观测标准来界定经纬度，高程，风速等变量的合理范围，筛选出超过阈值的可疑数据，第三项是时间序列同步，比较北斗系统和L波段探空仪的观测时间戳差异，执行时间校准，使得两套数据的时间保持一致，经过这三项操作，预处理之后的数据集完整率达到99.2%，符合后续精度评价的技术要求。

3 定位精度评估指标与方法

3.1 核心评估指标

本研究根据气象观测业务实际需求，选取水平定位精度、高程定位精度和测风精度作为核心评价指标。水平定位精度用经纬度误差的均值、标准差和最大误差来描述，高程定位精度

用海拔高度误差的均值、标准差和最大误差来描述，测风精度用风向和风速误差的均值和标准差来量化，风向误差用角度偏差来表示，风速误差用绝对值偏差来表示。

3.2 精度评估方法

本研究采用综合的评估方法，即采用相对对比法同绝对误差分析法结合的形式，选取传统的L波段探空系统为依据和参照，计算北斗探空仪采集到的探空数据同L波段探空系统的相对数据。使用西藏高精度地理坐标数据获得的卫星定位结果与实际地理坐标数据之间的绝对偏差。采用统计分析的方式，分析不同误差数值的分布特点，包括均值、标准差等，用这些定量的数据结果来说明评价北斗卫星定位仪器的精度优劣，针对不同海拔区间0-5km、5-15km、15-30km，和不同气象条件下采集的数据进行分析对比，研究天气环境影响分光实验表现的不同表现。

4 西藏区域北斗探空仪定位精度分析

4.1 整体定位精度分析

基于对西藏地区3个试验站共计286组有效观测数据的统计分析得出：北斗探空仪在整体定位精度方面具备明显优势，北斗各项性能指标远胜于传统的L波段探空设备，其中：水平方向定位误差均值为12.3米，标准差为4.2米，最大误差达到35.6米；垂直方向定位误差均值为18.7米，标准差为6.5米，最大误差达到48.9米；风向测量误差均值为2.3°，标准差为1.1°；风速测量误差均值为0.3 m/s，标准差为0.12 m/s。对比研究数据可知，L波段探空系统水平定位均方根误差为85.2米，高程定位误差为102.6米，风速误差高达1.2米/秒，而北斗探空仪在定位和测风上有着明显优势。从误差分布特征来看，北斗探空仪水平定位和高程定位误差均符合正态分布规律，90%的水平定位误差小于20米，92%的高程定位误差小于30米，数据稳定性强，可靠性高，充分满足西藏地区高空气象观测对精度的要求。

4.2 不同海拔高度定位精度分析

将观测数据按海拔高度分为低海拔层（0-5km）、中海拔层（5-15km）与高海拔层（15-30km），分组分析北斗探空仪在不同高度层的定位精度，结果如下表所示。

表1 不同海拔高度定位精度结果

海拔高度层	水平定位误差均值(m)	水平定位误差标准差(m)	高程定位误差均值(m)	高程定位误差标准差(m)	风速误差均值(m/s)
0-5km	9.8	3.1	14.2	4.8	0.25
5-15km	12.1	4.3	18.5	6.2	0.30

海拔高度层	水平定位误差均值(m)	水平定位误差标准差(m)	高程定位误差均值(m)	高程定位误差标准差(m)	风速误差均值(m/s)
15-30km	16.7	5.7	25.3	7.9	0.36

由表中数据可知，北斗探空仪的定位精度随海拔高度升高呈逐渐下降趋势。低海拔层的水平与高程定位误差最小，这是由于低海拔区域地形遮挡较少，北斗卫星信号接收质量较好；高海拔层定位误差增大，主要受高空电离层扰动、卫星可见数量减少等因素影响。但即便在15-30km的高海拔层，其定位精度仍显著优于传统L波段探空系统，可稳定获取高空大气廓线数据。

4.3 不同天气条件定位精度分析

选取晴天、阴天、大风、降雪四种典型天气条件，分析北斗探空仪在不同天气下的定位精度变化，结果如图1所示（注：图中数值为水平定位误差与高程定位误差的综合均值）。

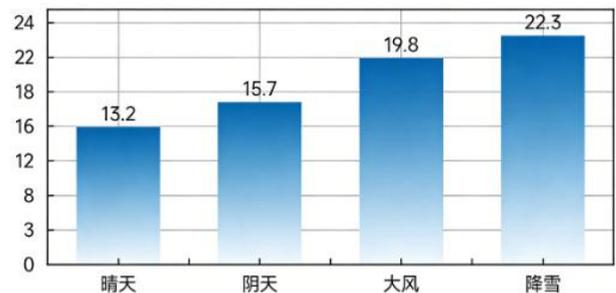


图1 不同天气条件下北斗探空仪定位误差变化趋势

从图中可以看出，晴天条件下北斗探空仪的定位误差最小，综合均值为13.2m；阴天条件下定位误差略有上升，综合均值为15.7m；大风与降雪天气下定位误差进一步增大，综合均值分别为19.8m和22.3m。这是由于复杂天气条件下，云层遮挡、降水粒子散射会影响卫星信号传输质量，导致定位精度下降。但四种天气条件下的定位误差均在合理范围内，表明北斗探空仪在西藏复杂天气环境下仍具备稳定的观测能力，可有效避免传统系统在恶劣天气下的数据丢失问题。

4.4 不同站点定位精度对比分析

对比那曲、拉萨、日喀则三个站点的北斗探空仪定位精度数据，结果显示拉萨站水平定位误差均值为10.2m，高程定位误差均值为16.3m；日喀则站水平定位误差均值为11.8m，高程定位误差均值为17.9m；那曲站水平定位误差均值为14.9m，高程定位误差均值为22.1m。那曲站定位误差略大于其他两个站点，核心原因在于那曲站海拔更高，地形更为复杂，卫星信号遮挡现象更为明显，且高空大气环境的不稳定性更强。拉萨站与日喀则站海拔相对较低，地形相对平缓，卫星信号接收质量更好，定位精度更高。这一结果表明，站点海拔与地形条件

是影响北斗探空仪定位精度的重要因素，后续需针对高海拔站点制定专项优化方案。

5 定位误差影响因素分析

5.1 地理环境因素

青藏高原地形复杂，高海拔、多山地的地理特征会导致北斗卫星信号出现遮挡与多路径效应，这是影响定位精度的主要地理因素。高海拔区域空气稀薄，电离层活动更为剧烈，会造成卫星信号传播延迟，进而增大高程定位误差。此外，西藏部分偏远站点周边无高大建筑物遮挡，卫星可见数量较多，定位精度相对更高；而靠近山地的站点受地形遮挡影响，卫星可见数量减少，定位精度会有所下降。

5.2 气象环境因素

气象环境对北斗探空仪定位精度的影响主要体现在两个方面：一是降水、云层等会导致卫星信号散射与衰减，降低信号接收强度，增大定位误差；二是强风天气会加快探空仪的水平漂移速度，导致定位数据的时间同步性偏差，间接影响定位精度。但北斗探空仪采用多卫星联合定位技术，可通过信号冗余补偿减少气象环境的影响，因此误差增幅相对有限。

5.3 设备与技术因素

探空仪自身的硬件性能与数据处理技术也会影响定位精度。北斗探空仪的定位模块灵敏度、天线增益等硬件参数直接决定信号接收质量，高性能硬件可有效提升复杂环境下的信号捕获能力。数据处理方面，基于“云+端”的传输模式可实现数据实时校准，减少传输延迟带来的误差；而定位算法的优化程度会直接影响误差修正效果，后续需结合西藏区域特征优化定位解算算法。

6 北斗探空仪在西藏气象观测中的优化建议。

6.1 优化站点布局与设备配置

针对高海拔站点定位精度略低的问题，优化北斗探空站点布局，在那曲等高海拔区域适当增加地面接收站，通过多站协同接收提升卫星信号捕获能力。为高海拔站点配备高性能北斗

探空仪，选用高灵敏度定位模块与增益天线，提升信号接收质量。同时，定期对探空仪进行校准维护，确保设备处于最佳工作状态。

6.2 完善数据质量控制体系

结合西藏区域环境特征，构建针对性的数据质量控制方案。增加海拔高度、地形类型、天气条件等辅助判断指标，优化异常数据识别算法；建立不同站点、不同高度层的误差修正模型，对观测数据进行实时校准；加强北斗数据与其他观测数据的融合分析，通过多源数据比对提升数据可靠性。

6.3 优化业务流程与人员培训

进一步简化北斗探空业务操作流程，依托“云+端”传输模式，实现数据采集、传输、处理的全流程自动化，减少人工干预带来的误差。加强对西藏气象观测人员的技术培训，重点提升探空仪操作、数据质量控制及设备维护能力，确保业务人员熟练掌握北斗探空系统的核心技术要点。

6.4 加强技术研发与成果转化

联合科研机构开展针对性技术研发，优化北斗探空仪在高海拔、复杂天气下的定位算法，提升定位精度与稳定性。建立北斗探空数据应用评估机制，及时跟踪分析数据在数值预报、灾害预警中的应用效果，推动观测成果向业务应用转化，充分发挥北斗系统在高原气象观测中的技术优势。

7 结论

本次研究通过对西藏那曲、拉萨、日喀则三个站点的北斗探空仪定位数据进行系统分析，得出北斗探空仪在西藏区域的整体定位精度优异，水平定位误差均值 12.3m，高程定位误差均值 18.7m，测风误差 0.3m/s，较传统 L 波段探空系统精度提升显著，满足气象观测业务需求；定位精度受海拔高度影响明显，低海拔区域精度优于高海拔区域，站点地形越复杂，定位误差越大；复杂天气会导致定位精度下降，但误差仍在合理范围，具备稳定的恶劣天气观测能力；四是那曲等高海拔站点定位精度略低，需针对性制定优化方案。

参考文献：

- [1] 张常亮,方国强,刘一谦.基于北斗卫星的气象信息传输流程研究与设计[J].电子测量技术,2020,43(16):41-45.
- [2] 陈明,魏晓雯,陈升宇.基于北斗的海洋渔船气象信息服务[J].气象科技进展,2020,10(04):74-75.
- [3] 陈增境,陈玉华,姜娜娜,等.基于北斗卫星的宁夏偏远地区气象数据传输系统部署研究[J].信息通信,2017,(03):107-108.
- [4] 周运丽,牛兴科,刘鹏,等.浅谈基于北斗卫星的预警信息接收终端设计与实现[J].科技与创新,2015,(03):10-12.