

张恩红,曹云昌,朱彬. 北斗探空系统研发及其测风性能初步分析. 应用气象学报,2013,24(4):464-471.

# 北斗探空系统研发及其测风性能初步分析

张恩红<sup>1)2)3)</sup> 曹云昌<sup>1)</sup> 朱彬<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>(中国气象局气象探测中心,北京 100081)

<sup>2)</sup>(南京信息工程大学中国气象局大气物理与大气环境重点开放实验室,南京 210044)

<sup>3)</sup>(广东省气象信息中心,广州 510080)

## 摘 要

高空气象观测是综合气象观测系统的重要组成部分,对天气预报、气候变化等业务科研具有重要的作用。基于北斗卫星导航系统研发了北斗探空仪及地面接收系统,目前试验样机生产已初步完成。北斗探空仪可采取单北斗、单 GPS、北斗与 GPS 混合定位测风等 3 种测风模式,试验结果表明:北斗探空仪采用混合定位测速方式测风与 GPS 标准探空仪相比,北向速度标准差为  $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,平均偏差为  $-0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;东向速度标准偏差为  $0.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,平均偏差为  $-0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;高度标准偏差为  $6.88 \text{ m}$ ,平均偏差为  $7.48 \text{ m}$ 。北斗探空仪测风性能与 GPS 探空仪相当。

**关键词:** 北斗卫星导航系统;北斗探空系统;北斗探空仪;测风

## 引 言

无线电探空系统已经有几十年的历史,至今仍然是高空气象探测领域中最基本、最重要、最普遍、最可信赖的手段,为天气预报、气候分析、气象研究和业务服务提供基本大气状态信息,是现代数值预报发展最主要的资料来源。作为高空探空系统的探空仪,其传感器经历了机械式、电子式的发展,测风从经纬仪、雷达一次/二次测风到卫星导航测风的发展,自动化程度和探测精度有了很大提高。20 世纪 80 年代以来,随着各种导航技术的发展,出现了奥米伽、罗兰-C 以及全球定位系统(GPS)、北斗等导航测风系统<sup>[1-5]</sup>。此后,各个国家开始过渡到使用卫星导航系统测风。当前,导航型探空仪成为高空探测业务的主流产品,但中国一直没有使用导航型的探空仪,使得中国高空探测技术落后于世界先进水平。

北斗卫星导航系统是我国自行研制的全球卫星定位与通信系统(CNSS),是继美国 GPS 和俄罗斯

的 GLONASS 之后第 3 个卫星导航系统。北斗卫星导航系统将在 2020 年形成全球覆盖能力,中国迎来了发展导航型探空仪的最佳时机,本文所提到的探空系统就是在这个背景下研制而成。

为了缩小与世界高空探测技术的差距,发展和研究北斗探空系统成为当前首要任务。目前,已研发了基于北斗卫星导航系统的探空仪、地面接收系统的原理样机,并进行了初步试验。对探空系统的介绍和探空仪的测风性能进行研究分析,为北斗探空系统进一步完善和推广均具有重大的意义。鉴于北斗卫星导航系统目前部署的现状,北斗探空仪支持多种模式,即单北斗、单 GPS、北斗与 GPS 混合模式。由于单北斗模式的精度还不能满足业务需要,单 GPS 模式不是发展的重点,而北斗与 GPS 混合模式能够满足业务的需求,因此是当前的发展重点,因此在下文中所提到北斗探空仪均指北斗与 GPS 混合模式的探空仪。在试验中,为了比对需要,标准 GPS 探空仪采用曾参加阳江国际探空仪比对试验获得认可的国产 GPS 探空仪,简称 GPS 探空仪。

2013-01-31 收到,2013-06-12 收到再改稿。

资助项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006048)

\* 通信作者, email: binzhu@nuist.edu.cn

## 1 北斗卫星导航系统

北斗卫星导航系统完全部署后的星座有 35 颗卫星,轨道分布如图 1a 所示,其中包括 5 颗地球同步静止轨道卫星(GEO)、3 颗倾斜同步大圆轨道卫星(IGEO)和 27 颗中圆轨道卫星(MEO)。其中 5 颗 GEO 卫星在一个轨道,3 个 IGEO 卫星分布在 3

个倾斜轨道,27 颗 MEO 卫星分布在 3 个中圆地球轨道。目前,北斗导航系统星座有 15 颗在轨卫星,其中 5 颗 GEO 卫星中的 G2 号卫星不能正常使用,5 颗 MEO 卫星部署在中圆地球轨道,5 个 IGEO 卫星分布在 3 个倾斜轨道,其 IGEO 星下点轨迹呈“8”字形,轨道倾斜角为  $55^\circ$ ,如图 1b 所示。已经初步具备区域导航、定位和授时能力。

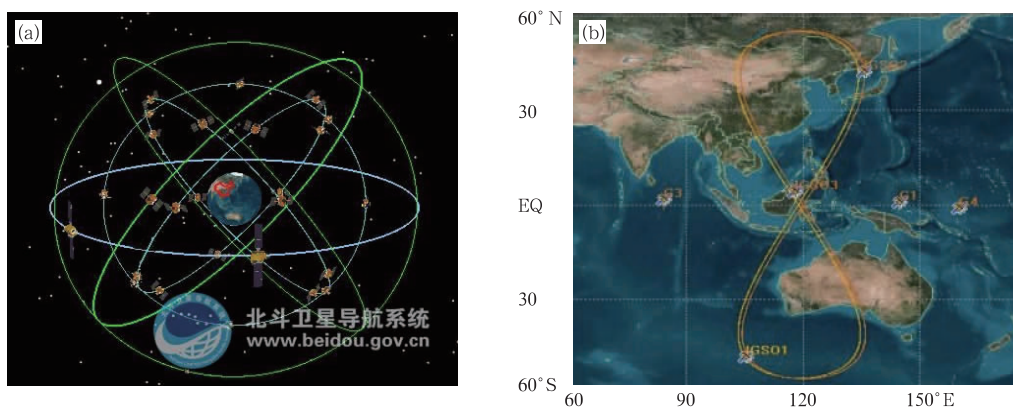


图 1 北斗卫星导航系统星座示意图

(a)部署完善后的北斗卫星导航系统星座<sup>[6]</sup>, (b)当前北斗卫星导航系统星下点轨迹<sup>[7]</sup>

Fig. 1 Schematic diagram of Beidou Satellite Navigation System

(a)the constellation of Beidou Satellite Navigation System after the deployment to improve<sup>[6]</sup>,

(b)the ground track of the current Beidou Satellite Navigation System<sup>[7]</sup>

## 2 北斗探空系统研发

随着北斗导航系统的发展,研发基于北斗卫星导航系统测风的探空仪具备了前提条件。自北斗系统建设以来,国内就开始了北斗探空仪和探空系统的研究。高太长等<sup>[8]</sup>在北斗双星定位系统基础上研究了无源探空仪的测风性能。2010 年中国气象局开始组织北斗探空仪的研究,同年 8 月在中国阳江国际探空仪的比对中施放成功<sup>[9]</sup>。目前,国内的探空仪厂家都在 GPS 探空系统基础上研发北斗探空系统<sup>[10-12]</sup>。

### 2.1 北斗探空系统组成

北斗探空系统包括北斗探空仪和地面接收系统。北斗探空仪和 GPS 探空仪结构相同,包括温度传感器、湿度传感器、气压传感器、北斗测风模块、数据处理模块和数据信号发射模块;地面接收系统包

括接收机、数据处理模块和产品输出显示模块。组成结构如图 2 所示。

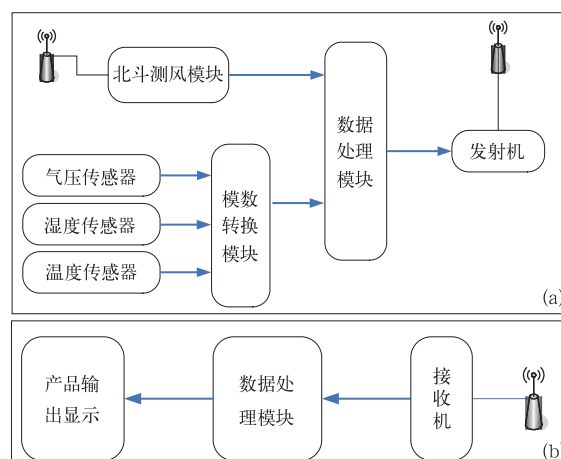


图 2 北斗探空仪组成结构(a)和地面接收系统组成结构(b)框图

Fig. 2 The diagram of Beidou radiosonde structure(a) and the ground receiving system structure(b)

目前北斗探空仪的温度传感器是热敏电阻,湿度传感器是湿敏电容,采用奥地利 E+E 公司的产品,气压传感器是硅压阻,用于 500 hPa 以下的气压测量。

## 2.2 北斗测风模块性能指标

北斗探空测风模块可以同时接收北斗和 GPS 信号,在 PVT 输出上可以采用 3 种模式定位测速:①单北斗信号解算,②单 GPS 信号解算,③北斗与 GPS 混合解算。

目前我国北斗测风模块已完全实现国产,可以以北斗与 GPS 双模方式工作。表 1 为北京东方联星科技有限公司提供的 CC50 测风模块的性能指标。测风模块的北斗接收机采用陶瓷有源天线,探空仪的总体性能参数如表 2 所示。

表 1 CC50 测风模块性能指标  
Table 1 The performance index of CC50

参数	指标
水平位置精度	5 m
垂直位置精度	10 m
速度精度	$0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
重捕获时间	$\leq 1 \text{ s}$
平均热启动时间	1 s
平均冷启动时间	37 s
输入信号	GPS L1 和 BD2 B1
通道数	并行双 32 通道
定位输出速率	1 Hz
通讯端口	两个串口双向, LV-TTL 电平

表 2 北斗探空仪性能指标  
Table 2 The performance index of Beidou radiosonde

参数技术指标	范围
探测距离	0~200 km
探测高度	0~36 km
温度测量范围	$-90 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$
温度最大静态测量误差	$0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
湿度测量范围	1%~100%(相对湿度)
湿度最大静态测量误差	3%(相对湿度)
气压测量范围 5 hPa~1060 hPa(高度计算)	100 hPa~1060 hPa (传感器直接测量)
气压最大测量误差	1 hPa
风速测量范围	$0 \sim 150 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
风速最大测量误差	$\pm 0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
风向测量范围	$0^{\circ} \sim 360^{\circ}$
风向最大测量误差	$\pm 3^{\circ}$ (风速分量大于 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
发射机频率范围	401~406 MHz
发射机发射功率	$\leq 23 \text{ dBm}$
发射机发射谱宽	$\leq 20 \text{ kHz}(-50 \text{ dBc})$
发射机频率稳定度	$\leq 20 \text{ kHz}(\text{温差} \leq 100 \text{ }^{\circ}\text{C})$
天线频率范围	$1567.75 \pm 9 \text{ MHz}$
天线增益	$> 3 \text{ dBi}$
天线极化方式	右旋极化

## 3 北斗探空仪测风性能试验

北斗探空仪使用我国自主研发的芯片,可以同时接收北斗和 GPS 信号,支持单独用北斗、单独用 GPS 解算,也兼容用北斗与 GPS 混合解算。北斗探空仪与 GPS 探空仪最大区别在于前者是接收中国自主研发的北斗卫星信号,而后者是接收由美国发射的 GPS 卫星信号,这样从源头上北斗探空仪摆脱了 GPS 卫星使用的限制,使得北斗探空仪稳定性和安全性有了保障。本文根据静态试验和动态试验的结果进行分析。

2011 年 9 月 6 日—10 月 4 日进行了静态试验。在静态试验中,先在 4 个固定点用高精度测量工具测量出该点的位置(经度、纬度,海拔高度),然后在每个固定点上放置一个类型探空仪(单北斗、单 GPS 和两个北斗与 GPS 混合),每次试验数据连续采集 24 h 的数据,采样频率为 1 s,间隔 24 h 以上的时间再次重复采集数据。期间共进行 12 次试验,每次 4 个探空仪测风模块同时采集数据,共获得 48 个测风模块的样本数据,通过解算探空仪接收到数据与已知点位置进行对比,可以计算出水平位置的偏差、高度偏差、速度偏差。2011 年 9 月 28 日—10 月 10 日北京市气象台进行动态放球试验,采用同球携带多探空仪的方法放球,每球同时悬挂 4~5 个探空仪(单北斗、单 GPS、1 个或者 2 个北斗与 GPS 混合和参考 GPS 探空仪),共施放 16 个探空气球,采集到 73 个探空数据样本。该试验重点是评价探空仪的测风模块性能,通过探空仪的北斗接收模块获取探空仪位置,根据探空仪位置的变化计算出探空仪的飞行速度,计算获取风场的风速和风向。

在数据采集和处理上,采用国际探空仪比对方法,同球同时施放多个探空仪,时间同步和数据采样率同步。不同探空仪数据的保存格式、数据解算方法、数据接收率和系统时间都不完全一致。为了保证数值的可比性,需要完成以下 3 个步骤:①不同探空仪起始计时不同,需要统一到同一 GPS 时间上;②探空仪在放飞过程中会出现数据丢失情况,为了便于比较,需要补齐数据记录、采用逐秒记录数据,丢失的数据均填补空数据,最后参与对比的数据是各个探空仪均有值的记录;③按照 WMO 在阳江的国际探空仪比对方法<sup>[13]</sup>,将风速分解为北向速度和东向速度分别比较,如果探空仪输出不是按北向和

东向速度(不同型号探空仪数据输出格式不一样),则需要按输出的风速分解为北向和东向。有些探空仪所获取风速是瞬时值,波动性较大,消除波动性差异的算法较多<sup>[14-19]</sup>,本文数据采用 30 s 平滑算法,即当前时刻前 15 s 和后 14 s 数据的平均值作为当前时刻的值。

#### 4 静态试验结果

在不同时段共进行了 12 次静态试验,静态测试结果如表 3 所示。从试验结果可知,北斗与 GPS 混合模式与单 GPS 的定位性能相当。在卫星的分布上,

表 3 3 种模式静态定位精度对比

**Table 3 The comparison of three modules for the positioning precision in the static test**

模式	CEP50/m	水平标准差/m	高度标准差/m	速度标准差/(m·s <sup>-1</sup> )	平均 PDOP
GPS	2.11	2.67	5.49	0.02	1.80
北斗	8.16	12.64	20.27	0.06	5.03
北斗与 GPS 混合	2.10	2.66	5.93	0.02	1.40

注:CEP50 为圆概率误差。

北斗与 GPS 混合模式优于单 GPS 模式。单北斗模式在定位和定位几何衰减精度(PDOP)上与 GPS 模式存在明显差距。

#### 5 动态试验结果

动态试验中,在具有放球环境的场地施放与业务放球相同标准的气球,在同一气球上携带多个参与对比的探空仪。通过动态试验,可以真实检验北斗探空仪的测风性能。

##### 5.1 定位结果

定位是北斗探空系统基本功能,准确定位可以精确测出大气的风速、风向。图 3 是北斗探空仪与 GPS 探空仪在气球飞行中定位结果对比。由图 3 可以看出,北斗探空仪的轨迹定位性能与 GPS 探空仪基本一致,说明北斗探空仪接收 GPS 信号和位置解算具备了初步功能,可以用于探空测风。图 4 是北斗探空仪与 GPS 探空仪垂直定位的对比结果。由图 4 可以看出,大部分偏差在 10 m 以下,统计结果显示,平均偏差为 7.48 m,标准偏差为 6.88 m,优于业务要求导航探空仪的测量精度<sup>[20]</sup>。由图 4 还可以看出,在 13~17 km 高度处,高度定位波动较大,这个位置恰处于对流层顶与平流层交界处,气流变化较大,对探空仪的稳定性有较大影响。这也说明了北斗探空仪适应大气剧烈变化的能力还有待提高。图 5 为两种探空仪定位结果的散点图。由图 5 偏差分布可以看出,两种探空仪的偏差在纬向 -10 m 和经向 10 m 的位置上,也就是说纬向定位

偏小 10 m,而经向定位偏大 10 m。由图 5 可以看出,纬向点位偏差基本为 -10 m~0,而经向点位偏差为 -20~30 m。导致北斗探空仪纬向定位比经向定位效果好是因为当前东西方向卫星数量比南北方向偏多<sup>[8]</sup>。

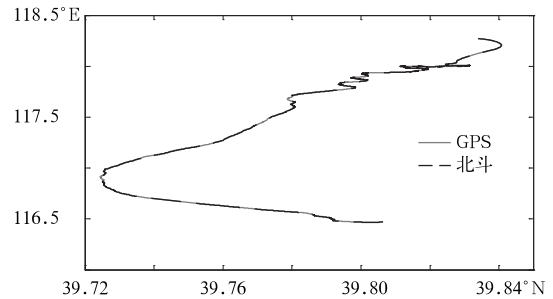


图 3 北斗探空仪与 GPS 探空仪轨迹对比  
Fig. 3 The trace comparison of Beidou radiosonde and GPS radiosonde

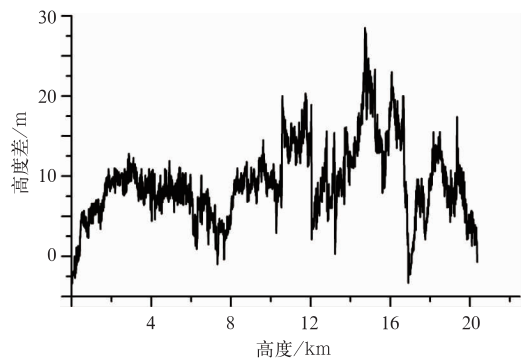


图 4 北斗探空仪与 GPS 探空仪垂直定位差值变化  
Fig. 4 The change trend of the vertical location difference between Beidou radiosonde and GPS radiosonde

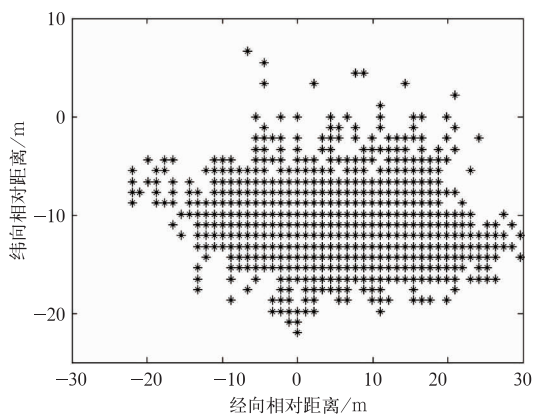


图5 北斗探空仪与GPS探空仪的水平定位偏差散点图  
Fig. 5 The scatterplot of the horizontal positioning difference between Beidou radiosonde and GPS radiosonde

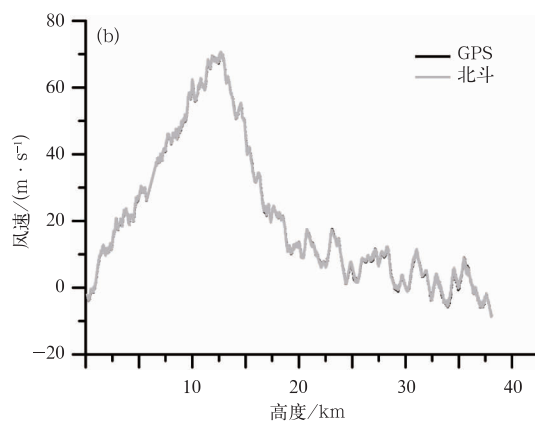
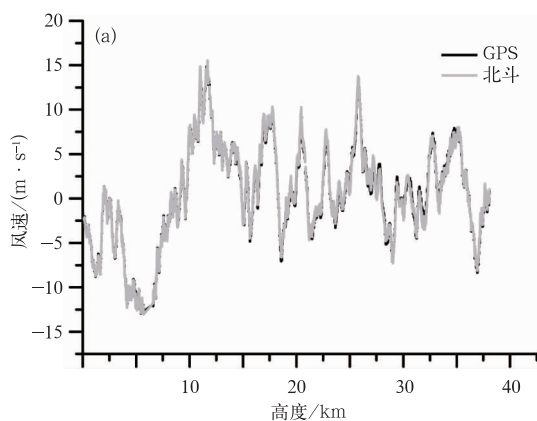


图6 北斗探空仪与GPS探空仪北向速度对比(a)与东向速度对比(b)

Fig. 6 The speed comparison in the north(a) and east(b) directions between Beidou radiosonde and GPS radiosonde

图7是北斗探空仪与GPS探空仪的风速探测值的差值对比。统计结果表明,北斗探空仪北向风速标准差为 $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,平均偏差为 $-0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;东向风速标准差为 $0.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,平均偏差为 $-0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,与当前世界上使用的GPS探空仪性能相当。图8是单北斗探空仪和GPS探空仪风速探测的对比,从统计结果可知,北向速度标准差为 $0.91 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,平均偏差为 $0.58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;东向速度标准差为 $0.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,平均偏差为 $-0.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由图8曲线变化情况可知,在16 km以下的探测中,北向和东向速度偏差都较小,绝对值约为 $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,与图7中北斗探空仪相当,而在16 km以上高度,速度偏差开始逐步加大,尤其是北向风速测量的稳定性在25 km以上高度出现了很大变化。对比图7和图8可知,混合模式比单北斗模式的北斗探空仪测风性能要稳定,在25 km以上高度的大气风速测量中差异尤为明显。

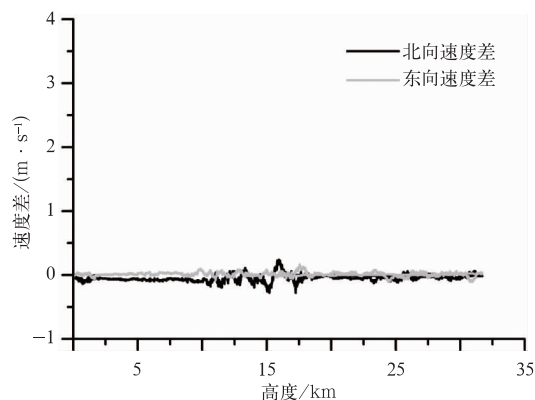


图7 北斗探空仪与GPS探空仪北向和东向风速差值变化

Fig. 7 The change trend of the difference of velocity measurements in north and east directions between Beidou radiosonde and GPS radiosonde

## 5.2 测风性能

测风是北斗探空仪的重要功能之一。测风性能效果决定了一个探空仪的性能优劣,因此在探空仪研究中,测风功能的设计与研究尤为重要。北斗探空测风模块设计了多种解算模式,以北斗和GPS混合解算作为默认模式。通过试验数据可知,北斗探空仪与GPS探空仪的测风性能相当,曲线变化基本一致,如图6和图7所示。从图6的曲线变化可以看出,两种探空仪在16 km以下大气层的北向风速测量结果基本一致,从16 km以上开始出现差异。图7的结果表明东向速度两种探空仪测量结果差异较小。

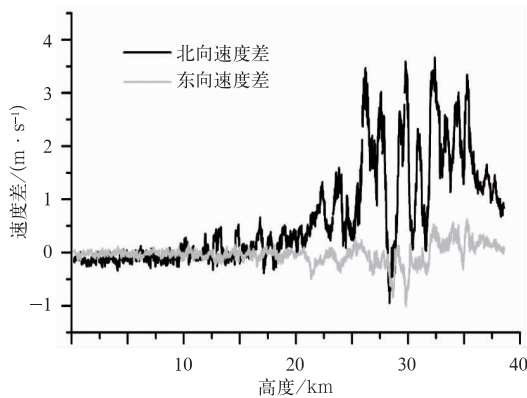


图8 单北斗探空仪与GPS探空仪北向和东向测速差值变化

Fig. 8 The change trend of the difference of velocity measurements in north and east directions between the single Beidou radiosonde and GPS radiosonde

图9为按业务规定层气压对比北斗探空仪与GPS探空仪北向和东向风速差异。由图9可以看出,在40 hPa以下的大气层风速差都很小,绝对值在 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以内。40 hPa以上大气,南北向风速差异很大,而东西向风速差异相对较小。

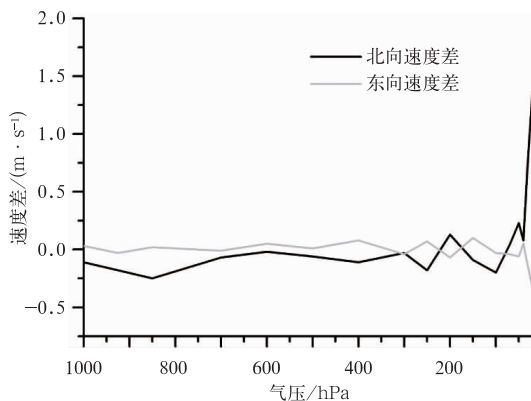


图9 北斗探空仪与GPS探空仪在规层上的北向和东向测速差值变化

Fig. 9 The change trend of the difference of velocity measurements at specified level between Beidou radiosonde and GPS radiosonde

由图6至图8速度对比可以看出,虽然北斗测风模块总体情况较好,但是北斗探空仪在16 km以上高度的大气风速测量中出现较大的波动,可能与大气环境的复杂性有关,也可能与测风模块在该高度以上空间适应性不稳定有关,其原因仍有待进一步

研究。同时,北斗探空仪多种模式的风速测量中,东向速度在精度和稳定性均好于北向。这是由于当前北斗卫星星座部署特点影响,当前北斗星座南北向的卫星较少,卫星呈“8”字型轨迹运行,使得南北定位起伏较大,精度较低;东西向的卫星较多且均为静止卫星,东西向的定位较稳定,精度较高,这可以在北斗卫星星座发展过程中解决。

## 6 结论

本文通过试验,对当前北斗探空系统的研发进展和北斗探空仪的测风性能进行详细分析,得出以下结论:

1) 基于当前的北斗卫星导航系统,探空系统逐步稳定。双模芯片也日益成熟,为在高空测风中的应用奠定了基础。

2) 在双模测风模块中,利用北斗与GPS混合测风、定位,测风精度可满足业务需求。试验结果表明:北斗探空仪采用混合定位测速方式测风与GPS标准探空仪相比,北向速度标准差为 $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,平均偏差为 $-0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;东向速度标准偏差为 $0.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,平均偏差为 $-0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;高度标准偏差为6.88 m,平均偏差为7.48 m。北斗探空仪测风性能与GPS探空仪相当。

3) 单北斗测风,由于目前星座还未完全部署,定位平均PDOP值相比GPS要大,定位精度差,使用单北斗定位测风还需要北斗系统的完善和发展。

4) 北斗探空仪在低空大气中性能较稳定,而在高空中出现了较大波动,说明国产的双模芯片和模块稳定性还需提高。

致谢:感谢中国白城兵器试验基地的张玉存高级工程师在数据处理中给予技术指导和支撑。

## 参考文献

- [1] Peter T M. Comparison of wind-profiler and radiosonde measurements in the tropoc. *J Atmos Ocean Technol*, 1993, 10(2): 122-127.
- [2] Rust W D, Thomas C M, Stolzenburg M, et al. Test of a GPS radiosonde in thunderstorm electrical environments. *J Atmos Ocean Technol*, 1999, 16(5): 550-560.
- [3] Saarnimo T. GPS the Global Windfinding Method. 10th Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation, 1998: 51-54.
- [4] 李柏, 李伟. 高空气象探测系统现状分析与未来发展. *中国仪器仪表*, 2009(6): 19-23.

- [5] WMO 气象仪器和观测方法指南(第六版中译文). 世界气象组织, 1996: 224-284.
- [6] [2011-05-30]. <http://www.sxsasa.org/list.php?pid=26&nid=207&page=2>.
- [7] [2010-08-12]. <http://www.zjqz.com.cn/UploadFile/2010-8/20108120201861970.jpg>.
- [8] 高太长, 吴维, 郝晓静, 等. 无源北斗探空测风系统误差分析. 解放军理工大学学报: 自然科学版, 2009, 10(1): 98-102.
- [9] 李柏, 李伟. 阳江第八届国际探空系统比对试验综述. 气象科技进展, 2011, 1(3): 6-13.
- [10] 张国舫, 张玉存. GPS 探空仪两种测风计算方法的比较. 气象水文海洋仪器, 2009(3): 11-14.
- [11] 王玺, 李伟, 陈永清, 等. L 波段探空系统高空风平滑计算方法探讨. 气象, 2011, 37(1): 85-91.
- [12] 李伟, 赵培涛, 郭启云, 等. 国产 GPS 探空仪国际比对试验结果. 应用气象学报, 2011, 22(4): 453-462.
- [13] Nash J, Oakley T, Vömel H, et al. WMO Intercomparison of High Quality Radiosonde Syst. 2010.
- [14] 张玉存, 赵伟. 用矢量平均法计算空中风连续变量的方法. 军事气象水文, 2006(5): 7-11.
- [15] 姚雯, 马颖, 黄炳勋, 等. 利用 GPS 定位资料分析 L 波段雷达测风性能. 应用气象学报, 2009, 20(2): 195-202.
- [16] 姚雯, 马颖, 徐文静. L 波段电子探空仪相对湿度误差研究及其应用. 应用气象学报, 2008, 19(3): 356-361.
- [17] 颜晓露, 郑向东, 李蔚, 等. 两种探空仪观测湿度垂直分布及其应用比较. 应用气象学报, 2012, 23(4): 433-440.
- [18] 梁军, 张胜军, 隋洪起, 等. 大连地区大雾特征. 应用气象学报, 2009, 20(1): 28-35.
- [19] 杨鑫春, 李征航, 吴云. 北斗卫星导航系统的星座及 XPL 性能分析. 测绘学报, 2011(5): 68-72.
- [20] GPS 探空测风系统功能规格需求书. 北京: 中国气象局大气探测技术中心, 2007.

## Developing of Beidou Radiosonde System and Analysis on Its Wind Measuring Performance

Zhang Enhong<sup>1)2)3)</sup> Cao Yunchang<sup>1)</sup> Zhu Bin<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (Meteorological Observation Center of CMA, Beijing 100081)

<sup>2)</sup> (Key Laboratory for Atmospheric Physics and Atmospheric Environment, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

<sup>3)</sup> (Guangdong Provincial Meteorological Information Center, Guangzhou 510080)

### Abstract

As an important constituent of the integrated meteorological observation system, the upper air meteorological observations have extremely important effects on weather forecast, climate change research and other work, and it plays an irreplaceable benchmark function in atmospheric remote sensing observation authenticity verification and calibration of testing. The development of Beidou radiosonde and the ground receiving system is based on Beidou Satellite Navigation System with completely independent intellectual property rights, and the prototypes are assembled. By the end of 2012, Beidou Satellite Navigation System can provide preliminary service with 14 satellites in orbit, including 5 Geostationary Earth Orbit (GEO) satellites, 4 Medium Earth Orbit (MEO) satellites and 5 Inclined Geosynchronous Satellite Orbit (IGSO) satellites in 3 inclined orbits. On this basis, Beidou radiosonde is examined, and comparative analysis are carried out on its different patterns of wind measuring, i. e., single Beidou, single GPS and mixed mode. The results show that the wind measuring performance of Beidou and GPS radiosonde is quite close. The deviation of Beidou radiosonde compared to the GPS radiosonde is as follows: The standard deviation of the north velocity is  $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , the average deviation is  $-0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , the standard deviation of the east velocity is  $0.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , the average deviation is  $-0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , the height standard deviation is 6.88 m and the average deviation is 7.48 m. The PDOP value in single Beidou mode is large compared to GPS radiosonde and the accuracy of positioning is poor, because the current constellation is not fully deployed. Beidou radiosonde performance is relatively stable in the lower atmosphere, but a violent wave happens in

the high level atmosphere, which means that the stability of the national dual-mode chip and module needs improving.

**Key words:** Beidou Satellite Navigation System; Beidou radiosonde system; Beidou radiosonde; wind measuring

\*\*\*\*\*

## 欢迎订阅《应用气象学报》

《应用气象学报》是由中国气象科学研究院、国家气象中心、国家卫星气象中心、国家气候中心、国家气象信息中心和中国气象局气象探测中心联合主办的大气科学理论与应用研究的综合性学术期刊。《应用气象学报》将向您提供有关我国大气科学领域内研究和应用成果的最新论文、资料、方法等大量信息,内容包括气象预报、卫星气象、农业气象、海洋气象、航空气象、环境气象、人工影响天气、应用气象、大气探测、遥感技术以及计算机应用技术等学科;还将向您介绍国内外现代科技的新理论与新技术在大气科学中应用的研究论文及信息。主要栏目有论著、短论、综合评述、业务系统、学术论坛、研究简报、书刊评介等。本刊被《中文核心要目总览》确认为大气科学(气象学)类核心期刊,并已首批入选“中国科学引文数据库”(CSCD),中国科学技术期刊文摘(CSTA)国家数据库(英文版)收录的刊源名单,并被美国气象学会“气象与地球天体物理学文摘”(MGA)和美国国际科学应用协会(SAIC)以及中国科学文摘(英文版)等多种文摘摘录。本刊还首批入选“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”。《应用气象学报》面向广大的气象科研、业务技术人员、在校有关专业的研究生、大专院校师生等专业人员。

《应用气象学报》为双月刊,逢双月出版,可以随时汇款订阅或购买(户名:中国气象科学研究院,账号:11001028600056086013,开户行:建行北京白石桥支行)。2013年6期(每期定价30.00元),总订价180.00元(含邮资)。

订阅地址:北京市中关村南大街46号中国气象科学研究院《应用气象学报》编辑部;邮政编码:100081。

联系电话:(010)68407086,68408638。网址:qk.cams.cma.gov.cn。

E-mail: yyqxxb@cams.cma.gov.cn, yyqxxb@163.com。