

利用 GPS 定位信息遥感大气风场的研究

涂爱琴, 孙刚, 肖黎明, 翁宁泉

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要: 介绍了 GPS 测风系统的构成、GPS 接收机的性能指标和从 GPS 定位信息反演大气风场的方法, GPS 接收机的性能指标与反演的风场数据的精度和可靠性关系密切。为了验证 GPS 测风技术的可靠性, 进行了和风廓线仪、Vaisala 探空的对比实验, 结果表明: GPS 探空和风廓线仪及 Vaisala 气球测风的结果相关性都很好, 风速、风向廓线较为接近, 但 GPS 测得的风速平均值比风廓线仪和 Vaisala 的测量结果均偏大。进一步分析了 GPS 测风产生偏差的原因, 对误差做出合理的订正十分必要。

关键词: 遥感; 气象学; 大气风场; GPS

中图分类号: P407

文献标识码: A

文献编号: 1673-6141(2008)01-0016-07

Remote Sensing of Wind Using Position Data of GPS

TU Ai-qin, SUN Gang, XIAO Li-ming, WENG Ning-quan

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: The structure of the GPS anemometric system, performances of the GPS receiver and method to obtain wind field of atmosphere from GPS position information are introduced. Performances of the GPS receiver are relative closely with accuracy of wind field data obtained. To prove the reliability of the GPS anemometric technique, contrast experiments with the wind profiler and Vaisala are carried out. The experimental results show that the correlativity between the wind data of GPS, wind profiler and Vaisala are perfect and profiles of wind speed and wind direction are close too. However, the mean value of wind speed measured by GPS is larger than that measured by wind profiler and Vaisala. It is important to analyze the reason for the differences and to make correction for the GPS method.

Key words: remote sensing; meteorology; wind field of atmosphere; global positioning system (GPS)

1 引言

大气风场是影响激光大气传输的因素之一, 且风场的变化与湍流发展变化息息相关, 因此风场的探测是激光大气传输研究的一个重要方面。另外, 风场作为一种常规的气象要素, 在天气分析和预报

中有着十分重要的作用。无论天气系统预报还是气象要素预报, 均离不开对风场的类型、结构和演变的认识。本文即利用 GPS 定位信息开展遥感大气风场的研究, 并通过一系列对比实验验证 GPS 无线电探空测风系统的可靠性, 重点分析了 GPS 探

收稿日期: 2007-07-25

E-mail: betrue_tu@qq.com

空和风廓线仪及 Vaisala 气球测风的对比结果。

2 背景知识

2.1 常用测风方法简介

目前常用的测风手段有: 风标、风杯传感器(风向风速仪), 超声风速计, 多普勒声雷达, 多普勒天气雷达, 晴空多普勒雷达(风廓线仪), 激光雷达和气球探空等^[1]。上述测风方法中, 风向风速仪和超声风速计都只能测量近地面的风; 声雷达也只能探测到边界层的高度; 多普勒天气雷达、晴空多普勒雷达和激光雷达的测量结果则不同程度地受到天气的影响。近半个世纪以来的气球探空测风或者在地面用经纬仪追踪气球的仰角和方位, 或者在气球上加挂雷达反射器, 然后在地面用雷达跟踪雷达反射器, 测定其距离、方位和仰角^[1], 这些方法都比较麻烦。因此, 积极改进传统测风技术和探索新型测风方法意义重大。

2.2 GPS

GPS 是全球定位系统(global positioning system)的英文缩写, 它是 20 世纪 70 年代由美国国防部研制的新一代卫星导航定位系统, 该系统可向人类提供高精度的导航、定位和授时服务。GPS 绝对定位的基本原理是: 以 GPS 卫星和用户接收机天线之间的距离观测量为基准, 根据已知的卫星瞬时坐标, 来确定用户接收天线所对应的位置, 即 GPS 用 L1 和 L2 载波发送定位码信号, 用户站的 GPS 接收机用 L1(单频)或 L1 和 L2(双频)接收任何 4 颗卫星信号, 然后根据线性化的 GPS 观测方程确定接收机所在的空间位置^[2]。

随着科学技术的发展, 新一代的精密卫星定位系统 - GPS 系统的应用领域也在不断扩大, 不仅可用于测量、导航, 还可用于测速、测时。目前, GPS 测速的方法大致有 3 种: 基于 GPS 高精度定位结果, 通过位置差分来获取速度; 利用 GPS 原始多普勒观测值直接计算速度; 利用载波相位中心差分所获得的多普勒观测值来计算速度^[3]。3 种方法的联系和各自的优缺点, 前人已作大量研究^[4-6]。本文主要研究将 GPS 高精度的测速功能应用于气

象学参数的测量, 即利用 GPS 定位信息遥感大气风场。

2.3 GPS 在测风领域的发展

通常的高空测风方法(Omega, Loran, 二次测风雷达等)的准确度对气象应用是不够的, 因此自 1993 年以来, 芬兰维萨拉公司和美国 AIR 公司均积极开展了 GPS 技术在高空测风领域的研究工作, 目前都已有正式产品问世^[7]。我国综合了大气探测系统的发展思路, 于 2010 年使我国 GPS 探空系统的主要性能达到同期国际先进水平, 但是到 2005 年 6 月为止, 国内大多数文章仅止于对芬兰维萨拉公司 GPS 测风系统的介绍^[7-9]。随后, 徐刚^[10]和秦晓军^[11]分别介绍了各自单位研制的 GPS 探空系统。本文则在介绍安徽光机所研制的探空系统的基础上, 通过对比实验讨论了该系统测风的可靠性。

3 GPS 测风系统

3.1 硬件设计

GPS 测风系统的硬件由携带 GPS 模块的探空仪和地面接收处理系统两大块组成。探空仪部分由 GPS 模块(天线和接收机)、单片机、调制电路和调频发射机组成, 其结构示意图如图 1 所示。系统中各模块的功能分别为: GPS 天线将 GPS 卫星信号极微弱的电磁波能转化为电流; GPS 接收机对信号电流进行跟踪、处理和测量, 得到满足 NMEA0183 ASC II 码协议的输出数据(包括 GGA, VTG, RMC 等语句); 单片机从 GPS 接收机的输出语句中提取出 GGA 位置信息语句中的时间、测站的经纬度和高度信息送到调制电路, 经调制得到 (400 ± 5) MHz

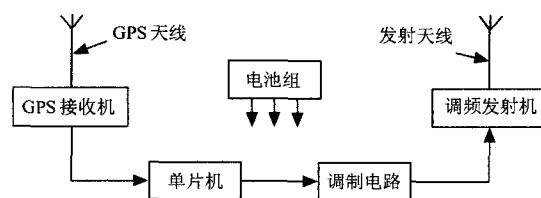


图 1 携带 GPS 接收机的探空仪结构示意图

Fig.1 The structure of the sonde with GPS receiver

的调制信号由调频发射机发射出去。

地面接收处理系统使用的是探空接收系统,包括探空接收天线、探空专用接收机和采集记录用的计算机,其系统构成如图 2 所示。天线接收的信号,通过探空接收机处理(解调和 A/D 转换),然后通过串口由计算机进行记录、处理和存储。

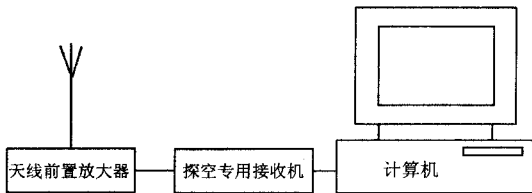


图 2 GPS 测风系统地面接收部分示意图

Fig.2 Diagram of the receiving part of the GPS anemometric system

3.2 主要部件技术指标

探空仪系统中最关键的部分是 GPS 接收机,它的技术指标直接关系到测风数据的可靠性和精确度。我们所选用的接收机为 S-GPS 微型 GPS 接收机,该接收机完美组合了 Trimble 公司独特的 GPS 射频信号变频器、GPS 基带芯片,集成了 Trimble 公司的数字信号处理器和 Epson 公司的 C33 RISC 处理器以及实时时钟、UART 和 1Mbit 内存,高增益的射频前端与标准的 27 dB 动态增益 GPS 天线完全兼容,构成一个体积最小、功耗最低的 GPS 接收机模块。这种芯片化设计的模块具有重量轻、低功耗,低价格等优点,很好地解决了探空时遇到的气球载重有限、供电不便和消耗大等问题。表 1 给出了 S-GPS 接收机的一些技术指标^[12]。

表 1 S-GPS 接收机技术参数表

Table 1 Technical parameters of the S-GPS receiver

NMEA 刷新率	1 Hz	工作温度	-40°C~85°C
垂直精度	<11 meters (50%) <18 meters (90%)	存储温度	-55°C~105°C
速度精度	0.06 m/s	工作湿度	5%~95%
时间精度 (PPS)	$\pm 9.5 \times 10^{-8}$ s	外观尺寸	26 mm×26 mm×6 mm
重捕获时间	<2 s (90%)	重量 (含外壳)	约 5.7 g

3.3 数据采集

本文所用 GPS 接收机的软件接口协议采用美国的 NMEA0183 ASC II 码协议,该协议为 NMEA 0183 20 版(此协议是为了在不同 GPS 导航设备中建立统一的 RTCM 标准),该协议关于数据传输的一些参数为:(1)异步串行数据传输。(2)波特率:1200/2400/4800/9600 bit/s(用户可自定义,本文所用接收机设为 4800 bit/s)。(3)数据位:8 位(D7=0),无奇偶校验。(4)停止位:1 位。

GPS 接收机输出的信息很多,这些信息分别包含在不同的 GPS 接收语句里。GPS 接收语句包括 GGA(位置信息)语句、VTG(速度和相对正北的方向)语句、RMC(最简特性)语句、GLL(地

理信息)语句、GSA(精度因子和活动卫星)语句和 GSV(当前 GPS 卫星状态)语句等。本文仅用到了 GGA 语句中的时间、测站的经纬度和高度信息,然后经过一系列计算反演得到大气风速和风向。虽然从 GPS 的 VTG 语句中也能得到大气风的数据,但是为了在得到风速的同时也得到气球自由飞行的路线,选用了 GGA 语句。GGA 语句一共有 71 个字节,语句格式为^[13]:

\$GPGGA, <1>、<2>、<3>、<4>、<5>、<6>、<7>、<8>、<9>、M, <11>、<12>*hh<CR><LF>。
其中 <1> 表示 UTC 时间(hhmmss 格式); <2> 表示纬度(dd mm mmmm 格式,非 0); <3> 表示纬度方向(N 或 S); <4> 表示经度(ddd mm mmmm 格式,

非 0); (5) 表示经度方向 (E 或 W); (6) 表示 GPS 状态批示, 即 0 表示未定位, 1 表示无差分定位信息, 2 表示带差分定位信息; (7) 表示使用卫星号 (00~08); (8) 表示精度百分比; (9) 表示海平面高度; (11) 表示差分 GPS 信息; (12) 表示差分站 ID 号 0000-123。根据需要, 单片机软件只从中提取测风需要的 (1) 到 (5) 及 (9) 号信息, 组成新的数据帧传给调制电路。

4 测风对比统计结果及分析

为了验证 GPS 测风的可行性和可靠性, 将 GPS 的测风结果和 450 MHz 晴空多普勒雷达 (风廓线仪) 及 Vaisala 气球探空的测量值进行了比较。对比观测实验工作是在合肥市安徽光机所大气光学中

心实验场进行的, 风廓线仪距离 GPS 探空气球施放地约 50 m, 实验均在天气晴朗的白天进行。

4.1 GPS 测风和风廓线仪的对比

数据处理中所取风廓线仪的风速和风向的平均时间为 10 min, 从图 3 可以看出, GPS 探空能够得到精度很高的风廓线, 其测得的风速与风向和风廓线仪测得的风速风向廓线基本接近: 首先, 两者测得的风速变化趋势一致, 当风廓线仪测得的风速增大时, GPS 测得的风速也在增大, 反之亦然; 其次, 两者测得的特征高度也基本一致, 在 10 km 附近出现风速极小值, 12 km 附近达到极大值。并且 GPS 能够探测的高度更高, 基本上能够穿过对流层顶到达平流层。

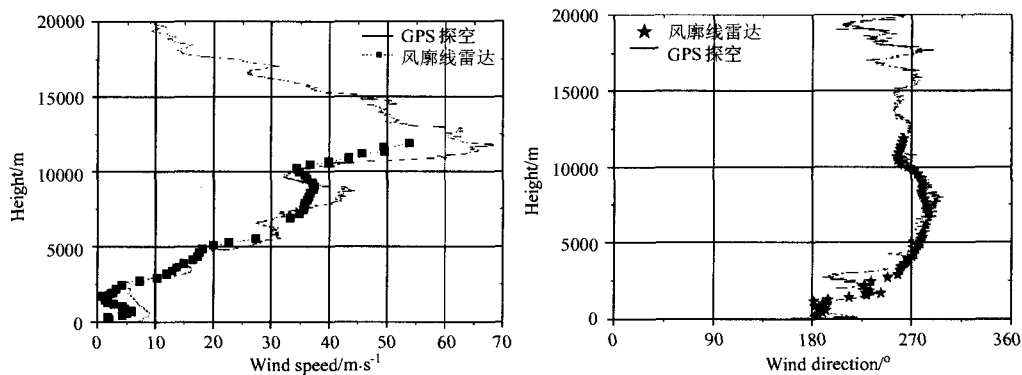


图 3 GPS 探空和风廓线仪测风结果对比图

Fig.3 Comparison of wind measured by GPS sonde and wind profiler

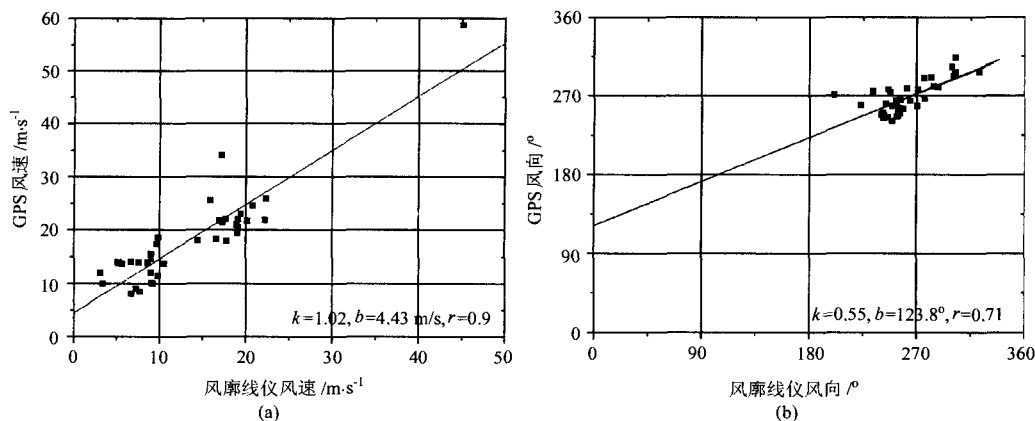


图 4 GPS/ 风廓线仪风速、风向相关图

Fig.4 The correlation of wind speed(a), direction(b) measured by GPS and wind profiler

为了得到风廓线仪和 GPS 测风的具体相关性,把 GPS 的测风结果插值到雷达高度,得到和风廓线仪测量值对应的同一高度上的 GPS 测风结果,从而进一步做出风廓线仪和 GPS 测得的风速、风向的相关性,如图 4 所示。图中 k 表示拟合直线的斜率, b 是截距, r 表示相关系数。GPS/ 风廓线仪的风速和风向的相关系数分别达到 0.9 和 0.71,可见除个别点偏离稍大外,两者测得的风相关性很好。但是两个系统也存在系统偏差, GPS 测得的风速和风向绝大部分高于风廓线仪的测量结果。

图 5 是几次测量的风速差 Δu 和风向差 ΔD 的廓线图,由图可见风速差和风向差的变化范围分别为: $-20 \text{ m/s} < \Delta u < 5 \text{ m/s}$, $-70^\circ < \Delta D < 60^\circ$,意味着两者的测量结果存在一定的偏差,尤其是 2 km

以下,两者的偏差较大。产生偏差的原因是多方面的,如风廓线仪本身的误差,两者测量值在时间上的偏差等,仍需要进行大量的分析研究。

4.2 GPS 测风和 Vaisala 测风结果的对比

2007 年 05 月 03 日进行了 Vaisala 气球探空测风和 GPS 测风的对比观测实验,在 Vaisala 气球上升到 8 km 左右后施放携带 GPS 测风设备的气球。

从图 6 可以看出,3 km 以下 Vaisala 和 GPS 测得的风速吻合的很好,3 km 往上则出现较大的偏差。产生偏差的原因可能是两个气球施放的时间差造成两者经历的风切变不同时,使得两者测得的风速具有地域差异,但是由于对比观测次数有限,不能进一步分析。将 3 km 以下的数据做成风速相关图,如图 7 所示。可以看出:在 3 km 以下,两

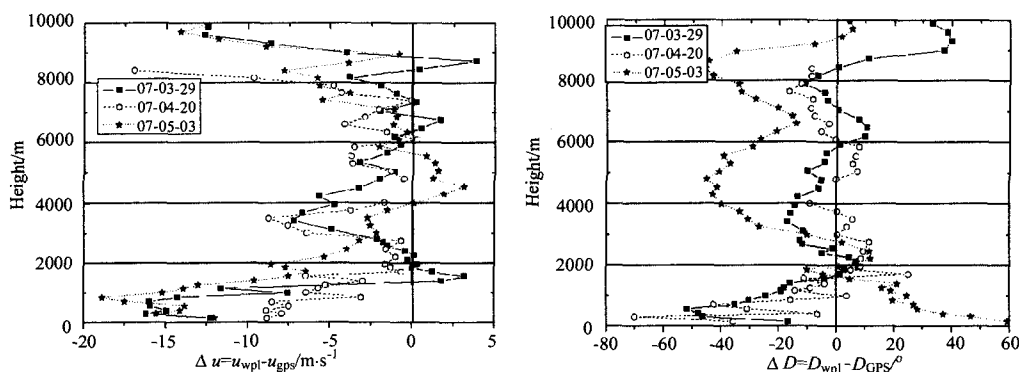


图 5 GPS/ 风廓线仪风速差、风向差对比图

Fig.5 Comparison of difference of wind speed(a), direction(b) measured by GPS and wind profiler

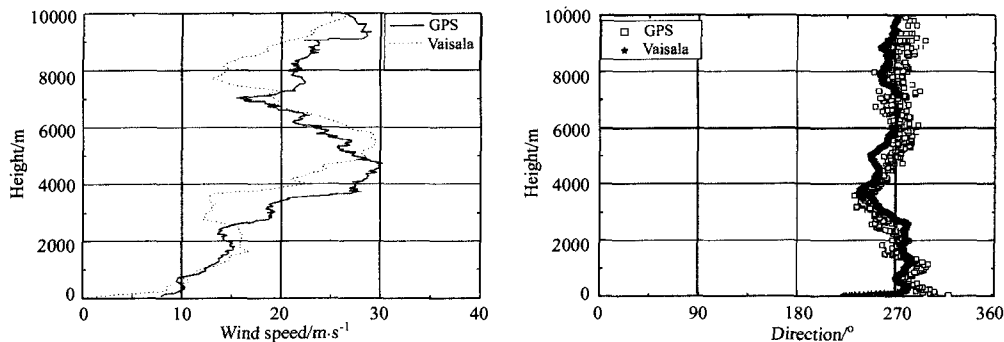


图 6 GPS 探空和 Vaisala 探空测风结果对比图

Fig.6 Comparison of wind measured by GPS sonde and Vaisala sonde

表 2 GPS/Vaisala 测风结果比较

Table 2 Comparison of the results measured by GPS and Vaisala

$\overline{\Delta u} = \overline{u_{Vaisala} - u_{GPS}}$	$\overline{\Delta D} = \overline{D_{Vaisala} - D_{GPS}}$	$\sigma_{\Delta u}$	$\sigma_{\Delta D}$
-5.06 m/s	13.69°	5.01 m/s	30.15°

者测得的结果相关性很好, 相关系数达到 0.96, 但是仍然存在 2.0 m/s 的系统偏差。

为了对两个系统的测量结果进行统计意义上的比较, 我们计算了风速、风向差的平均值和风速风向差值的均方根, 其值如表 2 所示。 $\overline{\Delta u}$ 和 $\overline{\Delta D}$ 的值表示 GPS 和 Vaisala 测量值的接近程度, $\sigma_{\Delta u}$ 和 $\sigma_{\Delta D}$ 表示测量值的离散程度^[14]。

对比实验的结果表明, GPS 测风和风廓线仪及 Vaisala 气球探空测风的相关性都很好, 可以作为一种新型的高空测风技术, 但是 GPS 测得的风速普遍偏大。因此, 急需进一步研究造成 GPS 测风产生偏差的原因。

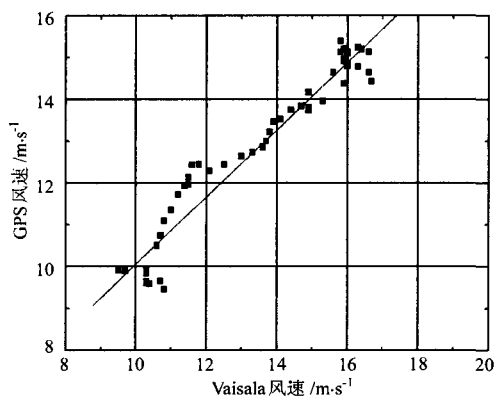


图 7 3 km 以下 GPS/Vaisala 风速相关图

Fig.7 Correlation of wind speed below 3 km measured by GPS and Vaisala

5 小 结

利用 GPS 位置信息探测大气风场是一种新型的可靠探测手段, 也是 GPS 技术在气象参数测量领域的一个新的应用。GPS 测风系统具有精度高、地面设备简单、操作方便、耗电少等优点, 它为高空气象的发展带来了新的契机。

参考文献:

- [1] Xie Conggang. Introduction of atmospheric wind measurement technology [J]. *Journal of Hubei Meteorology*, 2006, **25**(1): 44(in Chinese).
谢从刚. 大气风场测量技术简介 [J]. *湖北气象*, 2006, **25**(1): 44.
- [2] Hu Youjian. *The Principles and Applications of the Global Positioning System(GPS)* [M]. Wuhan: China Geology University Press, 2003(in Chinese).
胡友健. 全球定位系统 (GPS) 原理与应用 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2003.
- [3] He Haibo, Yang Yuanxi, Sun Zhongmiao. A comparison of several approaches for velocity determination with GPS [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2002, **31**(3): 217-221(in Chinese).
何海波, 杨元喜, 孙中苗. 几种测速方法的比较分析 [J]. *测绘学报*, 2002, **31**(3): 217-221.
- [4] Meng Qingjie, Xie Haizhong, Dong Xurong. Study on the method of velocity determination using GPS [J]. *Journal of Institute of Command and Technology of Equipment*, 2002, **13**(1):70-73(in Chinese).
孟庆杰, 解海中, 董绪荣. 利用 GPS 进行速度测量的方法研究 [J]. *装备指挥技术学院学报*, 2002, **13**(1): 70-73.
- [5] Xiao Yun, Zhu Feizhou, Li Yingchun, et al. Velocity determination by using more kinds of GPS measurements [J]. *Journal of Mapping of Armies' Institute*, 2003, **23**(4): 19-21(in Chinese).
肖云, 朱非洲, 李迎春, 等. GPS 观测值综合测速 [J]. *解放军测绘研究所学报*, 2003, **23**(4): 19-21.
- [6] Chang Qing, Liu Zhongkan, Zhang Qishan. Study of the algorithm for GPS positioning and velocity measurement [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 1998, **24**(5): 510-

- 513(in Chinese).
- 常青, 柳重堪, 张其善. GPS 定位与测速算法研究 [J]. 北京航空航天大学学报, 1998, 24(5): 510-513.
- [7] Wei Hongfeng. GPS wind measuring system [J]. *Journal of Meteorological Equipment*, 2002, 13(3): 18-20(in Chinese).
- 魏洪峰. GPS 探空测风系统 [J]. 气象仪器装备, 2002, 13(3): 18-20.
- [8] Zhang Yankun. A new flatform of Vaidala RS92 sonde [J]. *Journal of Meteorological Equipment*, 2004, 15(1): 14-16(in Chinese).
- 张艳昆. 新型维萨拉 RS92 探空仪平台 [J]. 气象仪器装备, 2004, 15(1): 14-16.
- [9] Liu Xincan, Cui Zhihui, Cui Bingjian. Application of GPS in upper air meteorological sounding [J]. *Journal of Henan Meteorology*, 2001, 24(2): 45(in Chinese).
- 刘新彩, 崔智慧, 崔炳俭. GPS 在高空气象探测中的应用 [J]. 河南气象, 2001, 24(2): 45.
- [10] Xu Gang, Wang Peiyan. Principle and design of GPS meteorological sonde [J]. *Journal of Navigation*, 2005, 41(2): 115-118(in Chinese).
- 徐刚, 王培延. GPS 气象探空仪原理与工程设计 [J]. 导航, 2005, 41(2): 115-118.
- [11] Qin Xiaojun. Application of GPS technology in meteorological sounding measuring wind [J]. *Journal of Shanxi Meteorology*, 2006, 39(3): 29-30(in Chinese).
- 秦晓军. GPS 技术在气象探空测风中的应用 [J]. 陕西气象, 2006, 39(3): 29-30.
- [12] Beijing oLinkStar Co. Ltd. Minitype GPS receiver [Z]. 2006(in Chinese).
- 北京东方联星科技有限公司. 微型 GPS 接收机 [Z]. 2006.
- [13] Beijing Tianyu Tongtai Technology Development Co., Ltd. NEMA 0183 [Z]. 2007(in Chinese).
- 北京天宇通泰科技发展有限公司. NEMA 0183 [Z]. 2007.
- [14] Lv Naiping, Li Shiming, et al. A comparison of the wind measurement by a Doppler sodar and the in-situ measurements [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1986, 44(2):206-213(in Chinese).
- 吕乃平, 李诗明, 等. 多普勒声雷达测风与直接测量仪器的观测比较 [J]. 气象学报, 1986, 44(2): 206-213.

作者简介: 涂爱琴 (1983-), 女, 安庆人, 硕士研究生, 主要从事微波雷达遥感的研究.