

面向智慧气象的北斗探空系统发展趋势分析

吴宇

肃北蒙古族自治县马鬃山气象站, 甘肃 酒泉 735000

摘 要 : 全球气候变化背景下, 气象监测与预报至关重要, 智慧气象和北斗探空系统应运而生。本文阐述智慧气象概念、发展及北斗探空系统组成、原理与应用现状, 分析其高精度定位等关键技术。指出该系统技术向高精度与智能化发展, 应用领域不断拓展, 产业获政府支持并形成生态。但也面临技术与国际有差距、应用缺乏共享机制、产业协同不足等问题, 为此提出加大研发、构建共享平台、加强政策引导等对策, 助力气象发展与防灾减灾。

关 键 词 : 智慧气象; 北斗探空系统; 关键技术; 发展趋势; 挑战与对策

Development Trend Analysis of Beidou Atmospheric Sounding System for Smart Meteorology

Wu Yu

Mazongshan Meteorological Station, Subei Mongolian Autonomous County, Jiuquan, Gansu 735000

Abstract : In the context of global climate change, meteorological monitoring and forecasting are crucial, leading to the emergence of smart meteorology and the Beidou atmospheric sounding system. This article elucidates the concept and development of smart meteorology, as well as the composition, principles, and current application status of the Beidou atmospheric sounding system. It analyzes key technologies such as high-precision positioning inherent to the system. The article points out that the system's technology is evolving towards higher precision and intelligence, with continuously expanding application fields and industry support from the government, forming an ecosystem. However, it also faces challenges such as technological gaps compared to international standards, lack of a shared mechanism for applications, and insufficient industrial collaboration. To address these issues, the article proposes countermeasures such as increasing research and development, building shared platforms, and strengthening policy guidance to support meteorological development and disaster prevention and reduction.

Keywords : smart meteorology; beidou atmospheric sounding system; key technologies; development trends; challenges and countermeasures

引言

随着全球气候变化加剧, 气象监测与预报的准确性和及时性变得愈发重要。智慧气象作为新一代气象业务形态, 融合了大数据、人工智能等先进技术, 正引领气象行业变革。北斗探空系统基于我国自主研发的北斗卫星导航系统, 为气象探测提供了高精度、高可靠性的数据支持。研究面向智慧气象的北斗探空系统发展趋势, 有助于提升气象监测能力, 优化气象服务, 为防灾减灾、应对气候变化等提供有力保障, 对推动气象事业高质量发展具有重要意义。

一、智慧气象与北斗探空系统概述

(一) 智慧气象的概念与发展

近年来, 信息技术发展迅猛, 气象部门作为典型的信息技术应用部门, 其业务发展依赖于信息化水平。时任中国气象局局长指出, 要发展观测智能、预报精准、服务开放、管理科学的智慧气象, 以促进气象与经济社会的融合发展。智慧气象依托于高科技和互联网, 建设包含人工智能、大数据分析等先进技术的气象

服务系统, 可为农业生产生活提供便捷准确的气象信息, 有效提高气象工作服务质量^[1]。智慧气象的发展经历了从信息化到智能化的演进过程。初期以气象数据采集网络和信息处理系统建设为主, 实现气象数据数字化。随着技术进步, 智慧气象已深度融入社会经济各领域: 为城市规划提供气候模拟支持, 助力交通管理实时调度, 实现农业精准化生产。

(二) 北斗探空系统的组成与原理

北斗探空系统由探空仪、地面接收设备和数据处理中心构

成，是气象探测领域的创新成果。探空仪集成温度、湿度等多要素高灵敏度传感器，借助气球升空，实时精准采集大气参数。北斗卫星短报文通信为其与地面接收设备搭建数据传输通道，确保气象数据实时下传。数据处理中心运用专业算法和模型，对海量数据深度处理，转化为有价值的气象信息^[2]。该系统依托北斗卫星高精度定位和通信能力稳定运行，通过多频信号接收和差分定位追踪探空仪位置，凭借可靠通信链路保障数据传输。它融合北斗导航定位与气象探测需求，实现大气垂直剖面数据自动化采集与智能化处理，突破传统探空系统在数据传输和定位精度的瓶颈，显著提升气象探测的时效性与准确性，为气象监测等提供重要技术支撑。

（三）北斗探空系统在智慧气象中的应用现状

当前，北斗探空系统已在我国部分地区气象监测中发挥重要作用，尤其在暴雨洪涝、台风等灾害频发区优势显著。暴雨灾害监测时，它能快速捕捉高空大气温湿度、气压变化数据，为气象部门发布预警提供关键依据，极大提升预警及时性与准确性。台风灾害监测时，探空仪在恶劣气象条件下稳定工作，助力气象专家精准掌握台风强度、移动路径等信息，提升预报精度与时效。不过，北斗探空系统应用范围存在局限，未实现全国覆盖，偏远地区和特殊地形区域应用薄弱^[3]。同时，系统与其他气象监测设备、数据平台的兼容性有待提高，稳定性也需在复杂气象条件下持续优化，以契合智慧气象发展需求。

二、北斗探空系统关键技术分析

（一）高精度定位技术

在北斗探空系统里，高精度定位技术是精准测定探空仪位置的关键。电离层与对流层会延迟卫星信号，影响定位精度。但北斗卫星的多频信号接收技术能同时接收不同频率信号，这些信号穿越电离层和对流层时延迟特性不同，经综合分析计算，可有效抵消延迟误差。差分定位技术进一步提升精度。在已知精确坐标的地面参考站设接收机，与探空仪接收机同时接收卫星信号。参考站算出测量值与已知坐标差值，即误差修正信息，发送给探空仪。探空仪用此信息校正测量数据，实现厘米级甚至毫米级超高定位精度^[4]。

（二）数据采集与传输技术

探空仪上搭载的各类传感器是气象数据采集的关键，随着材料科学、MEMS 技术发展，其精度和稳定性大幅提升。比如新一代温度传感器采用先进热敏材料与工艺，测量精度达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内，在不同温湿度环境下性能稳定；湿度传感器利用新型传感原理，提高了对水汽的感知灵敏度和测量准确性。数据传输方面，北斗卫星短报文通信提供基础保障，但其覆盖范围广、不受地理条件限制。面对气象监测对数据传输速率和容量的更高需求，目前正探索融合 5G 等高速通信技术。5G 的低时延、高带宽、大连接数特点，能满足探空仪大量数据快速传输需求。此外，采用对称加密与非对称加密结合的方式，可以保障数据传输安全，防止数据被窃取、篡改。

（三）数据处理与分析技术

随着气象探测技术发展，北斗探空系统数据量爆发式增长，高效的数据处理与分析技术成为关键。大数据分析技术通过分布式存储和并行计算框架，快速处理海量历史和实时数据^[5]。利用关联规则挖掘、聚类分析等算法，能从数据中发现隐藏的气象信息和规律，比如通过关联分析揭示气象要素潜在关系，助力气象灾害成因分析与预测。人工智能算法在气象数据处理中作用愈发重要。机器学习算法如 SVM、决策树，依据历史数据训练建立气象要素预测模型。深度学习算法像 CNN、RNN 及 LSTM 等，擅长处理时空特征气象数据。其中 LSTM 能捕捉气象数据时间序列特征，精准预测气象要素未来变化趋势，大幅提高气象预报准确性和可靠性，为气象灾害预警、气候研究提供科学决策依据。

三、北斗探空系统发展趋势分析

（一）技术发展趋势

在科技迅猛发展的当下，北斗探空系统技术向高精度与智能化加速前行。定位技术作为核心，融合机器学习、深度学习等前沿技术优化算法，挖掘卫星信号隐藏信息，有效降低复杂环境干扰，显著提升定位精度与可靠性，即便气象条件复杂，也能精准测定探空仪位置，为气象数据空间定位奠定坚实基础。数据采集方面，新型传感器研发成为关键。不仅要提高现有气象要素测量精度，还会拓展测量维度，实现对大气化学成分、气溶胶浓度等的精准测量。新型传感器将兼具高灵敏度与稳定性，朝着微型化、低功耗发展，满足探空仪长时间、远距离探测需求。数据处理与分析领域，人工智能与大数据技术深度融合^[6]。利用大数据技术实现气象数据高效存储、管理与快速检索，借助强化学习等人工智能算法挖掘潜在规律，实现气象数据深度分析与可视化展示，提升气象数据应用价值。

（二）应用发展趋势

北斗探空系统的应用范围正不断拓宽，从传统气象监测预报领域，逐步向多行业深度渗透。航空领域，其发挥的作用愈发关键。通过提供高精度气象数据，能够帮助航空公司提前规划飞行路线，避开恶劣天气区域，保障飞行安全与准点率。在海洋领域，助力海洋气象监测和海洋灾害预警。实时掌握海洋上空气象变化，为海上作业、船舶航行提供气象保障，降低海洋灾害带来的损失。农业领域，基于北斗探空系统的气象数据，实现精准农业。通过分析气象条件，指导农民合理安排农事活动，如播种、灌溉、施肥、病虫害防治等，提高农业生产效率和农产品质量。此外，在智慧城市建设中，北斗探空系统为城市精细化管理提供有力支撑。结合城市气象环境特点，为城市规划、交通管理、能源调度等提供气象依据，优化城市运行效率，提升居民生活品质。

（三）产业发展趋势

随着北斗探空系统的深入发展，相关产业迎来蓬勃发展新机遇。产业链上下游企业协同合作态势日益明显，从探空设备制造、数据采集处理服务，到应用场景开发拓展，逐步形成完整

的产业生态^[7]。上游设备制造企业不断加大研发投入，提升探空仪、地面接收设备等产品性能和质量，推动设备国产化、自主化进程。中游数据服务企业，通过整合、分析气象数据，为下游应用提供精准数据支持。下游应用开发企业则针对不同行业需求，开发多样化的应用产品和解决方案，实现气象数据的价值转化。政府层面也将加大政策支持力度，推动北斗探空系统产业标准化和规模化发展^[8]。制定统一的技术标准和规范，促进产业健康有序发展。引导资源向优势企业集聚，培育行业龙头企业，带动产业整体竞争力提升，在全球气象探空领域占据重要地位。

四、挑战与对策

（一）北斗探空系统发展面临的挑战

尽管我国北斗探空系统技术取得显著进展，但与国际先进水平仍有差距。其一，在传感器领域，部分高端传感器依赖进口，自主研发产品精度和稳定性有待提升。如测量大气痕量气体的传感器，检测下限和长期稳定性与国际产品差距较大，限制了大气成分的精细化探测^[9]。其二，应用层面，不同行业对气象数据需求差异明显。交通行业依赖短时效、高精度的临近气象预报保障安全；农业领域更关注长期气候趋势和关键农时节点气象，用于种植规划与田间管理。但目前缺乏统一高效的数据共享机制与平台，难以满足行业多样化需求，气象数据应用价值未充分释放。其三，产业发展方面，相关产业协同不足。产业链上下游沟通合作欠缺，各自为政。上游设备制造企业不了解下游需求，导致产品研发与市场脱节；中游数据服务企业难以整合上下游优势资

源，制约产业快速发展和规模化扩张。

（二）推动北斗探空系统发展的对策建议

面对北斗探空系统发展困境，需多维度发力。第一，技术上，政府与企业加大研发投入，设立专项科研基金，激励攻克关键技术，如推动高校、科研院所与企业合作研发传感器，提升自主创新能力。同时，积极参与国际合作，借国际科研项目和学术会议吸收先进技术与经验。第二，应用层面，政府牵头制定气象数据全流程标准，搭建跨行业数据共享平台，整合多领域数据，开放接口、开展交易实现高效流通。针对不同行业开发定制服务，如为交通提供实时路况气象预警，为农业打造智能农事决策助手^[10]。第三，产业发展中，政府强化政策引导，出台税收优惠、产业补贴等政策，鼓励企业合作，推动建立产业联盟，培育龙头企业，带动产业协同发展，提升国际竞争力。

五、结束语

本文对面向智慧气象的北斗探空系统发展趋势进行了全面分析。研究表明，北斗探空系统在智慧气象领域具有广阔的发展前景，但也面临诸多挑战。通过不断技术创新、拓展应用领域和加强产业协同，北斗探空系统将在气象监测与预报、防灾减灾等方面发挥更大作用。未来，随着相关技术的不断进步和应用的深入拓展，北斗探空系统有望成为全球气象探空领域的重要力量，为应对全球气候变化和保障社会经济发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 王子一, 安洋, 邢军. 信息化背景下四平市智慧气象为农服务发展对策研究 [J]. 内蒙古科技与经济, 2023, (15): 53-55+64.
- [2] 王雅萍, 涂满红, 缪明榕, 等. 北斗卫星导航系统在气象行业的应用 [J]. 卫星应用, 2023, (10): 42-48.
- [3] 车辉, 刘倩. 给北斗导航探空仪装“眼睛” [N]. 工人日报, 2023-08-30(007).DOI: 10.28277/n.cnki.ngrrb.2023.004267.
- [4] 刘倩, 李悦, 史光浩. 我国高空气象观测转型升级记 [N]. 中国气象报, 2023-07-31(003).DOI: 10.28122/n.cnki.ncqxb.2023.001330.
- [5] 毛晨. 平流层平漂式探空温湿度传感器设计 [D]. 南京信息工程大学, 2022.DOI: 10.27248/d.cnki.gnjqc.2022.000999.
- [6] 郭立杰. ERA5 大气再分析资料增强的北斗 /GNSS 精密单点定位研究 [D]. 桂林理工大学, 2022.DOI: 10.27050/d.cnki.gglgc.2022.000139.
- [7] 简菊芳. 新型智能北斗探空系统为气象探空发展提供“中国方案” [N]. 中国气象报, 2021-12-21(001).DOI: 10.28122/n.cnki.ncqxb.2021.001728.
- [8] 冯鹏. GNSS 对流层误差模型研究及其气象学应用 [D]. 武汉大学, 2021.DOI: 10.27379/d.cnki.gwhdu.2021.000766.
- [9] 段晓梅, 曹云昌. 北斗和 GPS 反演大气可降水量的对比分析 [J]. 气象, 2018, 44(12): 1575-1582.
- [10] 林春霏, 左常圣, 蔡俊华, 等. 基于无人机的海表环境智能监测系统设计与应用 [J]. 海洋信息, 2020, 35(02): 17-24.DOI: 10.19661/j.cnki.mi.2020.02.004.