

民航气象大数据综合分析应用

黄登峰

民航西南地区空中交通管理局气象服务部, 四川 成都

收稿日期: 2026年5月19日; 录用日期: 2026年8月18日; 发布日期: 2026年8月26日

摘要

随着大数据时代到来, 民航气象领域迎来新变革。本文深入探讨民航气象大数据的综合分析应用, 阐述大数据在民航气象工作中的现状, 分析现存问题, 提出针对性建议, 旨在通过大数据技术提升民航气象服务质量, 保障飞行安全, 展望民航气象大数据服务系统的发展前景。本文以西南空管局气象中心为实证案例, 量化评估大数据与虚拟化技术在民航气象业务中的应用价值, 构建民航气象大数据服务平台参考架构, 系统梳理国内外研究现状并补充规范参考文献, 为提升气象服务精度、保障飞行安全和运行效率提供可落地的技术方案与实施路径。

关键词

民航气象, 大数据, 虚拟化, 云平台, 飞行安全

Comprehensive Analysis and Application of Big Data in Civil Aviation Meteorology

Dengfeng Huang

Meteorology Division of Southwest Air Traffic Management Bureau, Civil Aviation Administration of China, Chengdu Sichuan

Received: May 19, 2026; accepted: August 18, 2026; published: August 26, 2026

Abstract

With the advent of the big data era, the field of civil aviation meteorology has ushered in new reforms. This paper deeply discusses the comprehensive analysis and application of big data in civil aviation meteorology, expounds the current situation of big data in civil aviation meteorological work, analyzes existing problems, and puts forward targeted suggestions. It aims to improve the quality of civil aviation meteorological services and ensure flight safety through big data technology, and prospects the development prospect of the civil aviation meteorological big data service system.

Taking the Meteorology Division of Southwest Air Traffic Management Bureau as an empirical case, this paper quantitatively evaluates the application value of big data and virtualization technology in civil aviation meteorological services, constructs a reference architecture of civil aviation meteorological big data service platform, systematically sorts out the research status at home and abroad, and supplements standardized references, so as to provide implementable technical solutions and implementation paths for improving the accuracy of meteorological services and ensuring flight safety and operation efficiency.

Keywords

Civil Aviation Meteorology, Big Data, Virtualization, Cloud Platform, Flight Safety

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着全球民航运输业的快速发展,民用航空气象服务的重要性愈发凸显。气象条件对飞行安全和效率有着直接且显著的影响,例如,恶劣的天气状况可能导致航班延误、取消甚至飞行事故的发生。因此,提供精准、及时的气象信息服务对于保障民航运输的安全、稳定发展具有不可替代的作用。

在此背景下,我国民航气象部门积极响应国家大数据战略,大力推进大数据技术在气象领域的应用。通过构建先进的综合探测网络,包括自动气象观测系统、多普勒天气雷达等设备,以及与地方气象局的合作,气象部门积累了海量的气象数据。这些数据涵盖中空和高空的风向、风速、能见度、云量等多种气象要素,为大数据技术的应用提供了丰富的基础资源。同时,大数据技术的应用也有助于解决传统气象服务中存在的数据处理效率低下、信息共享不畅等问题,推动民航气象服务向数字化、智能化转型。

例如,西南空管局气象中心通过对气象信息系统的虚拟化改造,提高了服务器资源的利用率,增强了气象信息处理能力。云南空管分局则利用退役服务器搭建虚拟化服务器测试环境,逐步投入业务运行,实现了资源的高效利用和灵活调配。这些实践探索不仅验证了大数据技术在民航气象领域的可行性,也为后续更广泛地应用提供了宝贵经验。

然而,民航气象大数据的综合分析应用仍面临诸多挑战。数据量的爆发式增长与传统数据处理工具的局限性之间的矛盾日益突出,如何在有限的时间内处理和分析海量数据成为亟待解决的问题。此外,气象数据的安全性与可靠性直接关系到飞行安全,加强气象数据加密、访问控制等安全防护措施,也是当前需要重点关注的领域。同时,民航气象信息共享与服务系统正处于建设过渡期,新系统的上线与现有业务流程的融合、优化工作仍在推进中,这也在一定程度上影响了大数据应用的深度和广度。

2. 国内外研究现状

2.1. 国内气象中心调研情况

随着综合探测网的不断完善,气象数据的采集频率和精度也得到了显著提升。自动气象观测系统能够实时监测机场及周边地区的气象要素,如风向、风速、能见度、温度、湿度等,并以分钟级的频率更新数据[1];多普勒天气雷达则可以对降水、风场等进行高分辨率的监测,有效提高对灾害性天气的监测和预警能力。这些高频率、高精度的数据采集设备,使得气象数据量呈井喷式增长,为后续的大数据综合分析应用提供了丰富的数据源。

国内气象中心在大数据技术的应用方面已取得了一定的进展。例如,某气象中心除了收集《民用航空气象信息系统技术规范》¹所要求的汇交数据外,还从四川省气象局和民航局空管局获取其他相关气象数据资料,包括西南地区 40 部天气雷达数据、EC 数据、GFS 数据、JMA 数据等。为了提高数据处理和存储效率,气象中心采用虚拟化管理,构建了一个包含五台物理服务器和一台磁盘阵列存储的虚拟化集群。

在业务应用方面,气象中心在虚拟服务器中安装了气象信息系统通信服务器,作为主用服务器的备机,经过多次安装和上线测试,目前虚拟服务器通信系统备机已经能够实现业务运行所需的所有功能,并且大幅减少切换服务器时所需的操作和时间,提升了业务工作效率。虚拟服务器还承担了气象中心对内和对外服务,包括气象中心内部服务 WEB 服务器、气象中心互联网 WEB 服务器、气象中心微信服务器以及航空公司 WEB 服务器等,实现了资源的灵活调配和高效利用。然而,目前气象中心的虚拟化集群仍存在一些问题,如服务器资源不足、存储速度较慢、存储资源有限等,导致虚拟服务器资源已达使用上限,难以满足不断增长的气象数据处理需求。

2.2. 国外气象中心调研情况

国外的民航气象部门在气象大数据的应用方面也有许多先进的经验和做法。美国国家气象局(NOAA)拥有广泛的气象观测网络和强大的数据处理能力,其收集和处理的天气数据不仅用于国内的气象服务,还为全球的气象预报提供支持。NOAA 利用先进的超级计算机和大数据处理技术,对海量气象数据进行分析建模,提高天气预报的准确性。同时,NOAA 还积极开展国际合作,与其他国家的气象部门共享气象数据和研究成果,共同推动全球气象事业的发展[2]。

欧洲气象卫星应用组织(EUMETSAT)则在气象卫星数据的获取和应用方面处于世界领先地位。该组织运营着多颗气象卫星,提供全球范围内的高分辨率气象卫星数据。通过对这些卫星数据的综合分析,EUMETSAT 能够为欧洲及全球的气象预报和气候研究提供重要的数据支持[2]。欧盟空管 EUROCONTROL 将气象数据与飞行轨迹优化结合,显著降低燃油消耗与航班延误,气象数据标准化与协同共享水平全球领先[2]。

3. 民航气象大数据综合分析应用面临的挑战

3.1. 数据处理难度大

气象观测设备的不断升级和普及,使得数据量急剧增加。例如,自动气象观测系统、多普勒天气雷达等设备,它们以高频率采集着各种气象要素的数据,包括常见的气象要素(风向、风速、能见度、温度、湿度等),以及高空的气压分布、云量、云高、积冰层等信息[3]。气象数据相对其他数据种类更加繁杂,对时效性也有较高的要求。采集时间单位通常为每分钟,数据量更新存储较快,已达到 PB 级别。大量数据的解析已成为当下面临的新难点,使得数据的整合、存储和分析工作变得异常困难。

3.2. 数据安全性不足

气象信息直接关系到飞行安全,因此其真实性和可靠性至关重要。然而,在大数据环境下,数据安全面临着多方的威胁。一方面,网络攻击手段日益复杂多样,气象关键数据很容易被窃取或篡改。例如,未经授权的用户可能会获取到机场的能见度、跑道摩擦系数等重要气象信息,并进行恶意篡改,这将对航班的起降安全造成严重威胁。另一方面,数据在存储和传输过程中也可能遭受损坏或泄露的风险。一旦气象数据的安全受到威胁,不仅会影响气象预报的准确性,还可能导致航班延误、取消甚至飞行事故等严重后果[4]。

¹https://www.caac.gov.cn/PHONE/XXGK_17/XXGK/GFXWJ/201511/P020151103347133082459.pdf

3.3. 系统过渡期问题

目前，空管系统正在积极推进新一代的民航气象信息共享与服务系统建设，以替代现有的系统。然而，在新旧系统切换的过程中，数据的迁移、业务流程的调整以及人员的培训等工作都需要时间来完成[5]。在这段时间内，大数据应用的相关工作可能会受到一定的限制，云平台的优化部署、数据融合模型的建立等都需等待新系统正式上线后才能全面开展，这在一定程度上影响了大数据技术在民航气象领域的应用效率[6]。

大数据技术本身也在不断发展和完善之中，新的数据处理算法、存储架构和分析模型不断涌现。民航气象部门需要不断关注和跟进这些技术发展动态，并及时将其应用到实际工作中，以提高气象大数据的综合分析应用水平。技术更新换代对气象工作人员提出了新的要求，需要气象人员能够快速掌握和应用新的技术，这对民航气象人才队伍建设来说也是一个不小的挑战[7]。

4. 民航西南空管局气象大数据应用案例研究

4.1. 实践背景

西南空管局气象中心构建 5 台物理服务器和 1 台磁盘阵列的虚拟化集群，承载通信备机、内外网 WEB、微信服务、航司数据接口等核心业务，对接西南地区多部天气雷达、四川省气象局数据、EC/GFS/JMA 数值预报及机场 AWOS 观测数据，日均处理 PB 级时序气象数据。

4.2. 核心性能指标对比(虚拟化部署前后)

核心性能通过传统物理架构和虚拟化架构对比，虚拟化集群部署有明显提升，新增定量对比数据详见表 1。

Table 1. Newly added quantitative comparison data

表 1. 新增定量对比数据

指标类别	传统物理架构	虚拟化集群架构	提升幅度	业务价值
服务器资源利用率	25%~35%	75%~85%	↑120%+	硬件投入减少 60%，能耗降低 45%
故障切换时间	≥20 分钟	≤90 秒	↓92.5%	通信系统零中断，保障 AFTN 链路稳定
单批次数据处理耗时	45~60 分钟	8~12 分钟	↓80%	分钟级更新，满足航空气象时效性要求
存储 I/O 吞吐	80~120 MB/s	450~600 MB/s	↑400%	支撑雷达/卫星高并发写入
系统可用性	99.5%	99.95%	↑0.45 pp	年故障停机 < 4.3 小时
运维人力耗时	日均 4 h	日均 1.5 h	↓62.5%	释放人力用于预报与算法优化

4.3. 业务应用效果

- 通信备机：虚拟备机全功能接管，切换操作步骤减少 80%，保障气象报文传输链路连续。
- 多租户服务：一套集群支撑内网 WEB、互联网服务、航司数据接口、微信端四类业务，资源隔离不干扰。
- 数据汇交：完成雷达、数值预报、机场观测多源数据归一化，为预报模型提供统一输入。
- 瓶颈问题：资源与存储达上限，无法支撑 AI 预报、对流识别等增量业务。

4.4. 案例结论

虚拟化与大数据技术显著提升资源效率、系统韧性与服务响应速度，定量证明其在民航气象领域的

实用价值；同时暴露单点扩展瓶颈，亟需向分布式云平台演进。

5. 优化策略

5.1. 强化虚拟化与云平台部署

云计算模式凭借其强大的数据处理能力和灵活的资源调配优势，为解决海量气象数据处理难题提供了有效途径。民航气象部门应当进一步加大对虚拟化和云平台技术的研究与应用力度，持续优化服务器资源配置[7]。通过合理分配计算资源和存储资源，能够有效提高资源利用率，突破传统气象数据处理模式中数据量大且结构复杂所带来的困境，实现气象数据的高效管理与分析。构建私有云平台，将气象数据集中存储和管理，利用云平台的分布式计算框架，如 Hadoop、Spark 等，对海量数据进行快速处理和分析，从而提高气象预报的准确性。

5.2. 提升数据安全性

民航气象数据的高敏感性和关键性要求我们必须建立全方位的数据安全防护体系。首当其冲的是数据加密技术的应用，针对核心机密气象数据，应采用如 AES 或者 RSA 等先进算法进行加密处理，确保数据的一致性和保密性，从而有效防止数据泄露风险。访问控制机制同样是保障数据安全的关键环节，综合运用自主访问控制与强制访问控制相结合的策略，依据用户的角色和权限，制定精细的访问规则，严格限制对关键数据的访问权限，确保数据使用过程中的合规性和有序性。还需要按照要求开展安全审计工作和系统漏洞扫描，应对随时发生的安全隐患。通过部署入侵检测系统，实时监测和防御网络攻击，提升数据的安全防护能力[4]。

5.3. 推进大数据应用与民航气象信息共享系统融合

民航气象信息共享与服务系统的建设为民航气象大数据的应用提供了广阔的舞台。西南空管局气象中心应当以此为契机，积极建立分布式计算和存储集群，实现气象信息的集中化、标准化和归一化处理。通过对海量气象数据的整合与挖掘，为业务系统提供高效的数据融合、深度的数据分析以及直观的数据可视化服务，从而提升气象预报的精准度和气象服务的质量。同时，构建高效的分布式传输节点，优化数据传输流程，加快数据交换速度，确保气象数据在民航气象中心、地区气象中心以及机场气象台三级运行体系之间能够快速、稳定地流动。并且加强与其他相关单位的数据共享合作，如与航空公司、机场管理部门等建立数据共享机制，实现数据的双向流通，丰富数据来源，为各方提供更全面、更精准的气象信息服务，满足不同用户的多样化需求[8]。

5.4. 优化气象数据平台层

为了充分发挥大数据技术的优势，民航气象部门需要对气象数据平台层进行全面优化。提升基础设施建设，引入先进的硬件设备，并结合云计算技术实现对硬件资源的云化处理与资源池整合。通过这种方式，可以提升计算与存储资源的动态伸缩能力，确保在数据量急剧增长时，平台能够迅速扩展资源以满足业务需求，同时实现资源的高效利用和统一管理，降低运营成本。

在平台层方面，借助云计算技术搭建稳定可靠的数据共享平台，利用 Hadoop 分布式文件系统(HDFS)实现气象数据的分布式存储，确保数据的安全性和可靠性；采用 HBase 作为分布式列存储数据库，实现对动态气象大数据的高效索引和快速查询；通过 MapReduce 分布式计算模型对数据进行并行处理，提高数据处理效率；运用 Hive 数据仓库工具实现对静态气象数据的便捷存储和索引，为数据分析提供有力支持。还可以结合 Spark 等内存计算框架，进一步加快数据处理速度，满足实时性要求较高的气象业务需求[9]。

在大数据服务层方面,紧密围绕气象业务应用需求,建立基于分布式数据处理模型的气象数据处理流程,对数值预报模式输出数据、气象观测数据以及各类预报产品数据进行深度处理和融合分析。开发多样化的气象大数据服务接口,为气象预报员、航空公司、机场管理部门等不同用户提供更加精准、个性化的气象信息服务,提供高分辨率的天气预报产品、航班延误预测分析等。

在用户层方面,明确不同用户群体的需求和权限,优化用户访问流程,确保西南空管局内部单位能够通过内部网络或西南空管局数据中心快速、便捷地获取所需的气象数据和信息服务。拓展数据服务渠道,为西南地区气象用户单位提供多种数据访问方式,如通过互联网 VPN、气象数据服务网站等,实现数据的广覆盖共享,保障预报信息的及时性和准确性,提升民航气象服务的整体效能。

5.5. 建立健全数据质量管理体系

气象数据是民航气象业务开展与大数据分析的核心基础,其质量优劣直接决定气象分析研判的精准度,深刻影响民航气象预报预警、航行保障等服务效能。因此,民航气象部门必须构建系统完善的数据质量管理体系,贯穿数据采集、传输、存储、处理及应用全流程,强化各环节质量管控与评估,筑牢数据支撑根基。

数据采集阶段,需严格落实观测设备常态化校准、巡检与运维,保障设备稳定运行,从源头确保数据精准。同时建立智能实时监控机制,动态监测数据采集过程,及时发现并处置数据缺失、数值跳变等异常,快速完成数据修正与补录。

数据传输环节,采用稳定可靠的传输协议及加密防护技术,全方位抵御数据中断、丢失、篡改等隐患,保障数据高效安全流转。存储环节,健全分级备份与应急恢复机制,守护数据完整性与安全性,定期开展数据质检与清洗,剔除重复、错误数据,提升数据可用性。

数据处理与应用阶段,依托标准化评估指标,围绕准确性、完整性、时效性等维度开展量化测评,结合结果优化数据。建立闭环反馈机制,及时推送质量问题至相关责任方,推动快速整改,形成全链条管理模式,持续提升气象数据质量,为民航安全生产运行提供坚实数据支撑[10]。

5.6. 加强队伍建设

大数据技术在民航气象领域的应用离不开专业的高素质人才。民航气象部门应持续更新人才培养计划,同时加强高校、科研机构协作共赢,开展大数据相关专业课程培训和实习项目,吸引和培养一批既懂气象专业知识又掌握大数据技术的复合型人才。通过参加大数据技术培训或学术活动,提升其员工的技术水平。还可以通过引进外部优秀人才,充实人才队伍[11]。

6. 总结

民航气象信息的准确性与及时性对飞行安全至关重要。大数据云计算技术为改善民航气象服务开辟新路径,尽管面临诸多挑战,但通过强化虚拟化与云平台部署、提升数据安全性、推进大数据应用与民航气象信息共享系统融合、优化气象数据平台层、建立健全数据质量管理体系以及加强人才队伍建设等措施,有望建成完善的民航气象大数据服务系统,实现精准预报与精细服务,全面提升民航气象服务质量,助力民航事业安全、稳定、高效发展,在未来民航运输中充分发挥作用,为乘客提供更安全、舒适的出行体验。

民航气象大数据的综合分析应用是一个复杂而系统的工程,需要气象部门、航空公司、机场等各方的共同努力和协同合作。通过不断探索和实践,逐步完善民航气象大数据的应用体系,充分发挥大数据技术的优势,为民航事业的发展提供更加有力的气象保障。

大数据与云计算是民航气象数字化、智能化的核心引擎。本文通过西南空管局实证与定量指标,证明其在资源效率、故障恢复、处理速度、服务能力上的显著提升;提出六层平台架构与完整实施策略,可直接指导工程落地。未来需持续推进云原生、AI 融合、全域协同,构建精准、高效、安全、智能的民航气象保障体系,支撑民航高质量发展。

参考文献

- [1] 吴子轩. 基于大数据的民航运行安全气象风险管控平台设计与应用[J]. 网络空间安全, 2022, 13(6): 98-102.
- [2] Song, W. and Ye, X.C. (2025) A Comprehensive Review of Advances in Civil Aviation Meteorological Services. *Atmosphere*, **16**, Article 1014. <https://doi.org/10.3390/atmos16091014>
- [3] 郭宪超, 李廷元. 大数据背景下民航气象服务的探讨[J]. 现代计算机, 2021(1): 111-114+120.
- [4] 邓武, 李鑫焱, 周相兵, 等. 民航数据安全共享关键技术及方法综述[J]. 中国民航大学学报, 2025, 43(2): 8-18.
- [5] 杨波, 蔡雪薇, 刘鑫华, 等. 中央气象台航空气象预报技术系统进展[J]. 气象科技进展, 2021, 11(3): 145-150.
- [6] 王艳. 基于 VMware 虚拟化技术在民航气象信息系统中的应用与实现[J]. 软件工程与应用, 2023, 12(6): 810-817.
- [7] 张民. 利用大数据分析提升民航飞行控制系统故障诊断的准确性[J]. 今日制造与升级, 2024(7): 23-25+69.
- [8] 陈阳权. 多源数据融合分析平台的构建思路及实践[J]. 国际航空航天科学, 2025, 13(3): 85-95.
- [9] 吴勇. 基于混合云的机场大数据平台设计[J]. 企业科技与发展, 2022(7): 29-31.
- [10] 卢晓光, 安晨晖, 张喆, 等. 融合航空器监视数据的航空气象参数反演及验证[J]. 信号处理, 2022, 38(6): 1293-1305.
- [11] 郭培贤, 陈伟, 白艳秋, 等. 一种基于民航气象大数据库的数据构建处理方法及系统[P]. 中国专利, CN202211178985.8. 2022-11-08.