

民航空管气象智能体的发展与思考

刘辉权

民航西南空管局气象中心, 四川 成都

收稿日期: 2026年2月28日; 录用日期: 2026年4月8日; 发布日期: 2026年4月21日

摘要

随着我国空中交通流量持续增长, 空管气象业务面临精准化、实时化、协同化的多重挑战。本文聚焦民航空管气象核心业务需求, 结合空管系统气象服务产品现状, 提出构建适用于空管气象业务的智能体, 将其定位为虚拟“数字首席预报员”。通过搭建覆盖多源气象数据、业务协同任务调度、专业化材料输出、全流程质量管控的智能闭环体系, 推动空管气象业务从语言模型辅助提效向业务深度协同智能体跨越。文章深入探讨空管气象智能体的架构、应用与实践价值, 构建人、模型与气象业务系统的混合编组模式, 为破解空管气象服务协同瓶颈, 探索智慧气象服务新场景提供理论支撑与落地方案。

关键词

空管气象, 气象智能体, 人机协同, 业务闭环, 智慧气象服务

Development and Reflections on the Meteorological Agent for Civil Aviation Air Traffic Management

Huiquan Liu

Meteorological Center of Southwest Air Traffic Management Bureau of CAAC, Chengdu Sichuan

Received: February 28, 2026; accepted: April 8, 2026; published: April 21, 2026

Abstract

With the continuous growth of air traffic flow in China, air traffic management (ATM) meteorological services are facing multiple challenges of precision, real-time performance and collaboration. Focusing on the core business requirements of civil aviation ATM meteorology and combining the current status of meteorological service products in the ATM system, this paper proposes the construction of an agent suitable for ATM meteorological services, positioning it as a virtual “digital chief forecaster”. By building an intelligent closed-loop system covering multi-source meteorological

data, business collaboration task scheduling, professional material output and whole-process quality control, it promotes the leap of ATM meteorological services from language model-assisted efficiency improvement to in-depth business collaboration agent. This paper deeply discusses the architecture, application and practical value of the ATM meteorological agent, and constructs a hybrid grouping mode of humans, models and meteorological business systems, so as to provide theoretical support and implementation schemes for breaking the collaboration bottleneck of ATM meteorological services and exploring new scenarios of intelligent meteorological services.

Keywords

Air Traffic Management Meteorology, Meteorological Agent, Human-Machine Collaboration, Business Closed-Loop, Intelligent Meteorological Service

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

空管气象是保障航空运行安全、提升空中交通容量、优化航班运行效率的核心支撑，其服务质量直接关联航空运行全链条安全与效能。相较于通用气象业务，空管气象对预报准确性、服务实时性、内容规范性有着极高要求，需精准捕捉强对流、颠簸、积冰、风切变等危险天气的发生、发展与演变规律，同时实现气象信息与航空运行高效联动。当前空管气象业务仍存在诸多痛点，多源数据较为分散与割裂，雷达、卫星、自动站、数值模式等气象数据未实现有效的深度融合，数据分析、格式转换、可视化等耗时费力，难以支撑空管气象快速服务决策。据多年平均运行统计数据显示，全国空管气象部门日均需处理超 10 类、超 500 GB 的多源气象数据，人工完成数据整合与格式转换的平均耗时约 1.5 小时，约 30% 的紧急气象服务请求因数据处理延迟导致响应超时；服务协同不足，受制于繁琐的数据分析与产品制作流程，输出的气象产品与航空运行对气象服务的需求时间节点不同步，现有的气象服务产品与用户的个性化需求存在差距，实用性略显不足。据多年气象服务满意度调研显示，航司、机场等用户对气象产品与航班运行需求匹配度的满意度有下降趋势，其中超 80% 的反馈为产品要素与航路规划、航班起降等实际场景适配性不足；重复性工作冗余，每日气象会商材料、预警产品、天气通报、报文编发等例行产品的制作与校验，占用预报员大量精力，人工处理易因疲劳出现错忘漏。根据民航西南空管局气象中心的实际运行情况反馈，预报员日均约 40% 的工作时间用于例行产品的制作与基础校验，因人工操作疏漏导致的气象产品错漏时有发生；四是应急响应滞后，极端危险天气下，气象信息的快速整合、多渠道同步推送与服务能力不足，难以满足预警产品及时更新、快速发布的要求。

为解决空管气象业务痛点，空管系统气象服务产品亟需构建标准统一、数据驱动、场景适配的现代化空管气象服务体系，推动气象服务产品向标准化、数字化、场景化转型。近年来，大语言模型与行业智能体技术的突破，为这一转型目标提供了全新路径。人工智能技术凭借其强大的数据处理、高效的模式识别以及精准的预测分析能力，已在气象预报领域崭露头角，成为提升天气预报业务能力的重要支撑手段[1]。相较于单一的文本生成工具，构建的气象智能体可实现与业务流程的深度耦合，通过感知、决策与执行的智能闭环，实现气象业务全链条的智能协同[2]。从研究现状来看，人工智能在气象领域的应用已取得诸多进展。在技术基础层面，DeepSeek 等开源大模型凭借低成本、高效率、高性能的特点，为气象业务智能化转型提供了新的技术支撑，其强化学习训练方式与混合精读计算技术，可有效提升气象数据处理与推理效率[3]。大语言

模型(LLM)通过高效处理海量气象知识、整合跨领域多源信息、生成定制化预报产品等,为预报员提供了强大的辅助工具,在气象知识检索、诊断分析、工具调用及文字生成等场景中展现出巨大潜力[4]。在应用实践层面,中央气象台已发布“风雷”“风清”等人工智能气象预报大模型,分别在短临预报与中短期预报中实现业务突破,验证了智能体在气象业务中的实用价值;多智能体协同架构也已在气象数据问答系统中得到应用,通过主路由智能体与专业智能体的协同,提升了气象数据查询的效率和准确性。

在空管气象细分领域,现有研究多聚焦于单一技术的辅助应用,如数值模式后处理、常规气象要素预报优化等,而针对空管气象业务特性的专用智能体研究尚未起步。因此,本文立足空管气象业务实际需求,借鉴通用气象智能体的技术框架与实践经验[5]-[7],从核心定位、架构与应用场景方面阐述空管气象智能体的发展应用方向,探索人机协同,推动空管气象向智慧气象转变,为提升空管气象服务质量与效率、保障航空运行安全提供新思路。

2. 空管气象智能体定位与架构设计

2.1. 核心定位

空管气象智能体并非通用型 AI 工具,而是深度适配空管气象业务逻辑、聚焦气象服务产品差异化需求的专属智能协同单元,其核心定位是空管气象场景下的虚拟“数字首席预报员”。与传统辅助工具相比,该智能体具备业务穿透性,能够贯穿空管气象数据处理、空管气象结论集构建、各类气象服务产品生成、业务协同的全链条,而非局限于单一环节;同时可识别不同航空用户场景的差异化气象需求,自动生成定制化、专业化气象服务产品;另外还需具备协同交互性,能够与空管气象业务系统、航空运行关联的业务系统联动,实现气象信息的主动推送与闭环反馈,实现逐级指导,分级服务协同。

其核心导向是赋能不替代,协同共增效,通过承接重复性、标准化、流程化工作,释放预报员精力,使其聚焦于重要天气研判、预报结论精细化和服务策略优化等核心业务,构建预报员主责决策、智能体高效执行与气象业务系统协同联动的空管气象工作新格局。这一导向与国家气象局的“人机协同、优势互补”的发展趋势高度一致,既发挥智能体在数据处理、规则执行上的效率优势,又保留人类预报员在复杂天气研判、应急处置上的经验优势。

2.2. 闭环架构

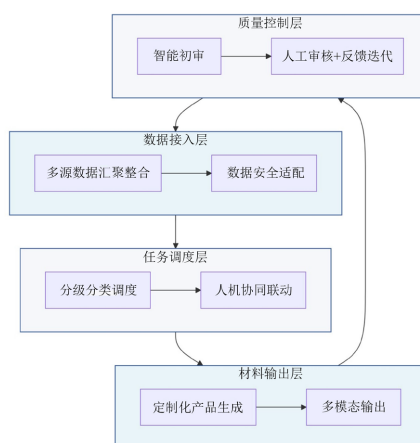


Figure 1. Four-dimensional collaborative closed-loop structure

图 1. 四维协同闭环结构

基于空管气象业务特性与现有气象服务产品,空管气象智能体的架构可分为数据接入、任务调度、材

料输出与质量控制四个环节，实现四维协同闭环，相较于通用气象智能体，重点在于突出空管气象专属数据融合、业务协同调度、专业化产品输出三大模块，实现空管气象服务产品深度适配。架构流程如图 1。

2.2.1. 数据接入层

空管气象智能体的数据接入层，可联合接入基础气象数据与航空运行关联数据，改变传统气象数据的单一接入现状，实现空管气象服务产品数字化、多源数据的标准化、实时化融合处理。数据接入层以 DeepSeek 大模型为核心基座，融合检索增强生成(RAG)技术、特征向量嵌入(Embedding)技术及分布式数据处理框架 Spark，实现多源数据的高效融合与智能调用；其中 RAG 技术搭建空管规章知识库问答技术链路，其关键部分为：

(1) 知识库构建，对《民用航空气象工作规则》《民用航空气象预报规范》等空管气象规章、行业标准、业务流程文档进行结构化拆分、清洗与标引，构建结构化与非结构化的空管气象专属知识库，并基于 Milvus 向量数据库实现知识库的高效存储；

(2) 检索触发，当智能体接收到规章查询、产品制作规范确认等需求时，通过自然语言理解(NLU)对用户指令进行语义解析，提取核心检索关键词；

(3) 相似性匹配，将解析后的关键词转化为特征向量，与向量数据库中知识库的特征向量进行余弦相似性计算，筛选出 Top-N 相关知识库内容；

(4) 生成反馈，将检索到的规章内容作为提示词(Prompt)融入大模型生成环节，确保输出结果严格遵循空管气象行业规章与业务规范。

在基础气象数据处理方面，可通过智能清洗、格式标准化、时空配准等技术整合雷达回波、卫星云图、地面自动站、探空、数值模式(如 GRAPES、ECMWF)等数据消除数据异构性，最后为空管气象结论集构建提供统一数据底座；数值模式数据转化为大模型可理解的特征向量(Embedding)的具体过程为：

(1) 数据预处理，对 GRAPES、ECMWF 等数值模式输出的格点数据、气象要素时序数据进行归一化、异常值剔除、时空插值处理，将非结构化的气象格点数据转化为结构化的要素矩阵，提取温度、气压、风速、湿度、反射率等核心气象要素；

(2) 特征提取，基于气象领域预训练的特征提取模型(如 CNN-LSTM 融合模型)，对结构化气象要素数据进行空间特征与时间特征的联合提取，生成具有气象物理意义的中间特征；

(3) 向量嵌入，将提取的气象特征输入至适配气象领域的 Embedding 模型，将高维气象特征映射至多维的低维稠密特征向量，同时为向量添加时空标签(经度、纬度、高度、时间)；

(4) 向量优化，通过气象物理约束对生成的特征向量进行修正，确保向量特征与气象物理规律一致，最终将优化后的特征向量存入向量数据库，实现大模型对数值模式数据的高效理解与调用。

在航空关联数据联动接入方面，需要打通与航空运行相关系统的数据接口，实时获取航班运行态势、航路规划、管制区域划分等关联数据，实现气象数据与航空运行数据的协同支撑；在数据安全适配方面，针对空管气象数据涉密特性，可采用内网部署与边缘计算的模式，确保数据传输与存储符合航空信息安全规范，同时实现内网气象数据与外网行业知识库的安全联动更新，支撑结论集与各类产品的安全共享。

创建需求驱动的数据优先级排序机制，根据不同的空管气象服务产品制作需求，自动调整数据处理优先级。例如针对航路预警产品，优先处理航路附近的卫星、雷达回波等数据；针对机场警报，重点整合机场周边气象监测数据；针对区域预警，主要聚焦雷暴、颠簸、积冰、低能见度、热带气旋等范围较大的天气相关数据的处理，为不同类型产品提供不同的数据支撑。数据接入层架构如图 2。

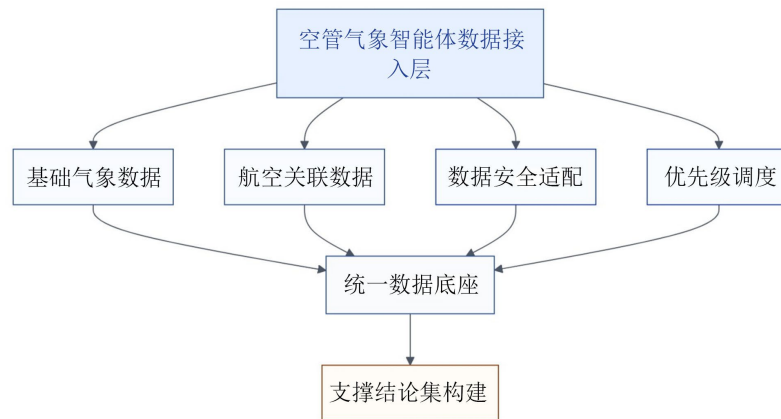


Figure 2. Data access layer
图 2. 数据接入层

2.2.2. 任务调度层

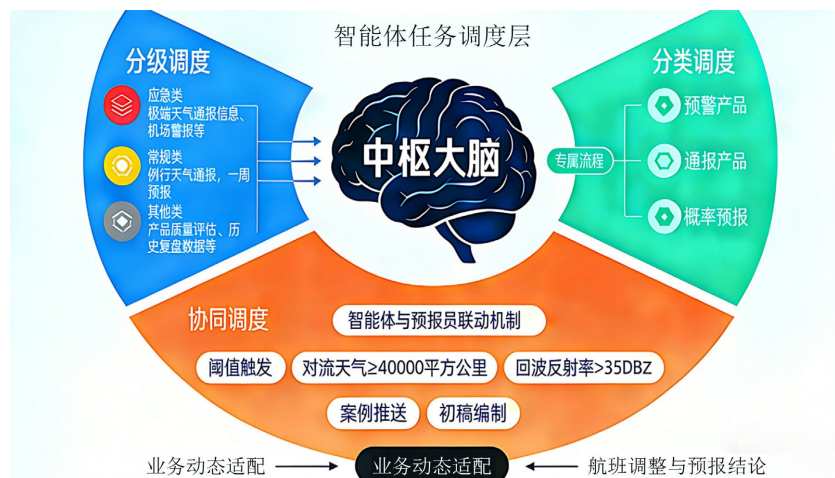


Figure 3. Schematic diagram of task scheduling layer
图 3. 任务调度层示意图

智能体的任务调度层作为其“中枢大脑”，为了改变传统单一任务分配模式，可构建基于气象服务产品类型的分级分类与协同联动调度体系。任务调度层采用微服务架构结合规则引擎 Drools，同时融入思维链(Chain of Thought)推理技术，实现任务的智能调度与决策推理可视化；核心调度算法基于动态优先级队列算法，结合航空运行态势与天气变化的实时特征，实现任务调度的动态适配。在分级调度时，可根据产品优先级，将任务划分为应急类(如极端天气通报信息、机场警报等)、常规类(如例行天气通报、未来一周航空天气预报等)、其他类(如产品质量评估、历史复盘数据等)，应急类任务自动触发最高优先级，确保快速响应与推送；在分类调度时，针对预警产品、通报产品、重要天气概率预报等不同类型产品，自动匹配专属工作任务流程，聚焦各产品核心要素与制作规范，优化任务执行流程；在协同调度时，通过建立智能体与预报员联动的工作机制来实现提升预报员的工作效率。例如当智能体识别到复杂天气超出预设处理阈值(如对流天气范围变化 ≥ 40000 平方公里或雷达回波反射率超过 35 DBZ)时，自动触发人工介入提醒，同步推送历史相似案例与数值模式分析结果，自动编制气象服务产品，一键形成初稿，基于智能体形成的初稿和提供的支撑材料，预报员可快速审核校验即可完成相应的气象服务工作，通过智

能辅助与人工决策的同频联动，能够较大的提升空管气象预报产品的准确性与实用性。引入“业务动态适配”功能，智能体可根据实时航空运行态势与天气变化，动态调整气象服务任务内容，例如当预报结论发生重大变化时，自动触发空管气象结论集更新与相关预警产品、天气通报的同步调整，根据最新结论自动修订并制作 TAF、SIGMET 等修订或更正报文；当航班运行出现大规模调整时，自动生成适配新运行态势的重要天气概率预报，提升气象服务的灵活性与针对性。任务调度层的概念示意图如图 3。

2.2.3. 材料输出层

基于气象服务产品的制作规范与业务使用习惯，构建标准化模板与个性化定制的输出体系，实现气象产品与空管气象服务场景的精准适配。一是定制化模板库建设，针对各类气象服务产品，搭建专属模板库，包括航路预警、终端区预警、机场警报、天气通报(例行、非例行)、重要天气概率预报等，模板严格遵循业务规范规定的核心内容、显示方式与用语标准，规避格式错误与内容遗漏；二是精准化指令响应，预报员可通过自然语言指令明确需求，如“生成 XX 航路未来 3 小时对流天气预警，包含组合反射率、回波顶高、发生概率等要素”，智能体据此完成文字撰写、图表绘制、内容整合，同时支持图表与文字的联动更新，从源头解决数据不一致问题；三是多模态输出适配，支持文本、表格、图片、语音播报等多形式输出，危险天气预警可同步生成文字通报、可视化图表与语音提醒，适配各类气象产品发布与共享需求，实现一体化业务平台的“一键多端发布”。增加“服务需求预判”功能，基于历史气象服务数据、航空运行态势与天气变化的关联分析，智能预判潜在气象服务需求，提前生成针对性服务产品，例如根据节假日航班运行计划，提前生成季节性航空天气预测或提醒简报；根据流量管理部门预战术措施，提前生成重要天气概率预报，主动推送至相关岗位，提升服务的前瞻性与主动性。

2.2.4. 质量控制层

结合气象服务产品质量管理闭环完善要求，构建智能全维度初审、人工专业审核与服务反馈闭环三重质控体系，确保气象服务产品的准确性、规范性与实用性。在原有四维协同闭环架构基础上，增设安全与合规监控独立模块，作为质量控制层的延伸与强化，该模块与数据接入、任务调度、材料输出各环节实现实时联动，全程监控智能体的运行过程、数据调用、产品输出全流程，核心实现合规性校验、运行状态监控、风险预警处置三大功能，确保智能体运行符合航空信息安全规范与空管气象业务规则，同时为智能体的决策推理与输出结果提供全流程可追溯性。一是智能初审精细化，突破传统文字校验局限，新增空管气象专业维度校验，包括气象数据准确性校验(如对流天气判定阈值、概率等级划分)、专业术语规范性校验(严格遵循预警产品用语标准)、预警阈值适配性校验、格式标准化校验(如单位统一、时间精度达标)，同时识别落款重复、图表标注错误等问题，生成可视化修改建议清单。二是人工审核分级化，按照气象服务产品的“分级服务”原则，预报员负责内容准确性审核，首席预报员负责复杂天气研判结论审核，管理层负责服务规范性审核，各环节审核意见同步反馈至智能体，形成完整审核轨迹留存；三是服务反馈闭环化，智能体对接服务反馈通道，收集空管、航司、机场等用户对气象产品的使用意见，自动优化模板与输出逻辑，支撑“发布 - 评估 - 优化”的闭环管理机制，推动产品持续迭代升级。安全与合规监控模块在此环节同步收集服务反馈中的合规性问题，结合智能体运行日志，分析问题根源，实现对智能体规则库、知识库的迭代优化，同时建立风险预警机制，对高频出现的合规风险、运行故障进行提前预警。

3. 应用场景与价值

3.1. 标准化业务场景

在规范清晰、时效明确的标准化空管气象业务场景中，智能体能够充分发挥预报工作效率与质量优势。一是空管气象结论集自动化构建，智能体根据不同结论集的发布职责与时间要求，自动整合多源数

据,按规范生成区域、航路、终端区、机场四类结论集,确保数据标准化、结构化,满足自动化或半自动化制作要求,每日按时完成多时段更新,大幅减少人工整合与录入时间;二是常规气象产品批量生成,针对天气通报、未来一周航空天气预报、未来一个月航空天气预测等重复性产品,智能体可根据实时数据与历史规律自动生成初稿,严格遵循方案规定的内容框架与用语标准,按要求完成排版布局,预报员仅需进行最终审核与优化;三是服务产品质量智能把关,智能体可7×24小时稳定运行,对输出的各类产品进行全维度质控,例如校验预警产品是否包含重要天气类型、起止时间、影响范围等核心要素,天气通报的时间精度是否达标,确保产品符合“统一标准”要求,为气象服务产品发布增设一道“靠谱防线”。安全与合规监控模块在标准化业务场景中实现全流程无人化监控,对数据接入的涉密性、任务调度的合规性、产品输出的规范性进行实时校验,确保智能体自主处理过程中无安全风险与合规问题。

3.2. 应急气象服务场景

在极端危险天气应急处置场景中,空管气象智能体可实现应急响应效率的显著提升,契合气象预警产品“及时更新、快速解除”的要求。当监测到雷暴、冰雹、风切变等突发危险天气时,智能体可在短时间内完成多源数据整合,自动判定是否达到预警发布阈值,快速生成航路预警、终端区预警或机场警报(含风切变警报),明确天气影响范围、持续时长、强度变化、移向移速与运行影响提示,同步推送至相关服务对象;当重要天气关键信息出现显著偏差时,智能体自动触发预警更新流程,先明确实况信息再描述趋势;当所有重要天气预计结束或已结束时,及时生成解除报,相较于传统人工处置模式,大幅缩短应急气象服务响应时间,为航空运行应急决策提供快速、精准的气象支撑。

3.3. 人机协同模式

空管气象智能体的核心创新价值,在于构建“人+模型+气象业务系统”的深度协同模式,实现三方优势互补、能力倍增,推动预报员更加聚焦于重要天气研判与针对性服务的核心目标。从角色定位来看,预报员从“流程执行者”转型为“核心决策者”,摆脱结论集制作、常规产品生成等重复性工作束缚,聚焦于复杂天气研判、极端情况处置、个性化服务需求对接等核心业务,例如针对对流天气覆盖率、回波顶高的重大变化,进行专业研判与结论修订;智能体作为“高效执行者”,承担数据处理、结论集构建、产品生成、质量初筛、信息推送等标准化工作,凭借稳定运行能力弥补人工疲劳带来的疏漏,确保各类产品按规范及时发布;空管气象业务系统作为“协同载体”,为二者提供数据支撑与交互通道,实现气象服务全链条的无缝衔接。

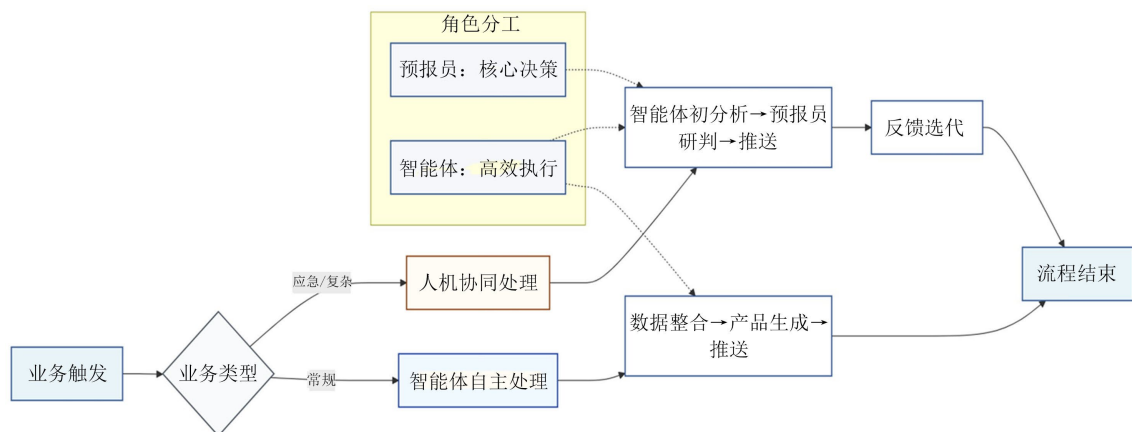


Figure 4. Human-machine collaboration flowchart
图 4. 人机协同流程图

例如在极端雷雨天气处置中，智能体快速整合雷达回波、数值模式等数据，自动计算对流天气的组合反射率、覆盖率、发生概率等要素，自动生成预报结论集与预警产品；预报员基于产品研判复杂天气演变规律，给出专业处置建议与运行影响提示；智能体实时跟踪天气变化，当对流天气范围变化 ≥ 40000 平方公里或覆盖率变化 $\geq 15\%$ 时，自动触发结论集修订与预警更新，形成“数据-研判-反馈-更新”的闭环协同，大幅提升极端天气下空管气象服务的效率与精准度。人机协同流程图如图4。

4. 展望与挑战

4.1. 展望

当前空管气象智能体仍处于“业务适配与能力迭代”起步阶段，未来将紧扣民航空管系统气象服务产品的优化目标，朝着“更智能、更协同、更自主”的方向演进。短期来看，重点实现三大升级：一是智能化升级，融入深度学习与强化学习算法，提升复杂天气(如低空风切变、强对流)的预判精度，提升空管气象结论集的要素预测准确性，实现从数据整合到智能研判的跨越；进一步优化 RAG 技术链路与 Embedding 特征向量生成过程，构建更精准的空管气象专属知识库与特征向量库，提升大模型对空管规章的理解能力与对数值模式数据的解析能力；二是协同化升级，深化与一体化业务平台的深度联动，实现气象信息主动推送、服务需求自动识别、服务产品精准适配，支撑跨区域气象数据共享与协同服务；推动安全与合规监控模块的跨区域联动，实现全国空管气象智能体运行的统一监控与合规管理，同时优化思维链技术的跨区域推理路径共享，提升跨区域气象协同服务能力。三是专业化升级，构建空管气象专属语料库与模型训练体系，深度融入气象服务产品的业务规则、产品规范与实践经验，提升智能体对各类气象服务产品的适配能力。基于业务实践数据持续微调 Embedding 模型与大模型基座，提升特征向量的气象领域适配性与大模型输出的业务精准度，同时完善 RAG 知识库的动态更新机制，实现空管气象规章、业务规范的实时同步。中长期来看，将逐步探索无人值守与远程监管的智慧空管气象服务模式：在标准化业务场景中，实现智能体全流程自主完成空管气象结论集构建、各类产品生成与发布；在复杂天气处置场景中，智能体提供自动化分析与建议，人类预报员远程监督与干预；最终实现空管气象台站服务的“无人化运行、精准化服务、智能化管控”，为构建智慧航空体系提供核心支撑。

4.2. 挑战

空管气象智能体的落地与推广，需突破技术、业务、安全三大层面的核心挑战。在技术层面，复杂天气智能化研判能力不足，低空风切变、微下击暴流等小尺度天气的精准预判仍依赖人工经验，模型对结论集修订阈值、预警发布标准的精准把握需提升；多源数据融合的实时性与准确性需进一步优化，气象数据与航空关联数据的时空配准难度较大，影响结论集与产品的精准度；智能体的“黑箱”特性导致决策机制不可解释，可能产生违背常识的预测结果。在业务层面，不同区域、不同用户的个性化需求差异较大，智能体的通用适配性与个性化服务能力难以平衡；人机协同机制尚未成熟，需建立清晰的责任划分体系，明确智能体与人工在结论集修订、预警发布、产品审核等环节的职责边界；极端天气样本不平衡问题突出，小概率灾害性天气的模型训练数据不足。在安全层面，空管气象数据涉及航空运行安全与国家机密，智能体内网部署的安全性、数据传输的保密性、模型运行的稳定性需严格保障，同时需防范模型被恶意干扰、数据泄露等风险，确保符合航空信息安全等级保护要求与产品共享的安全规范。

针对上述挑战，需采取“技术迭代、业务融合与安全防护”的三维应对策略：技术上，联合科研能力强的地方气象部门与科研机构，开展空管气象专属模型研发，强化小尺度天气预判算法训练与结论集相关要素预测模型优化，提升模型精度与可解释性；引入物理约束与知识图谱，降低“黑箱”风险。业务上，建立“预报员、技术人员与服务对象”的联合迭代团队，持续收集各分局单位与用户的需求，优化智

能体功能与流程，完善人机协同机制，统一标准，授权选择应用；同时还可借鉴多智能体协同架构，提升系统的通用适配性，充分发挥多智能体的互相协作，提升工作效率。安全上，采用内网独立部署、数据加密传输、模型安全审计等技术手段，建立全流程安全管控体系，定期开展安全演练；严格筛选开源技术与工具，规避安全漏洞风险，确保智能体运行安全可靠。

5. 结论

空管气象智能体的构建，是人工智能技术与空管气象业务深度融合的创新实践，其核心价值在于通过全流程智能闭环与场景化适配，破解空管气象服务协同瓶颈，推动空管气象服务产品标准化、数字化、场景化转型，实现空管气象服务的效率提升与质量升级。本文提出的“数字首席预报员”定位与四维协同架构，精准契合空管气象业务需求，构建的“人 + 模型 + 气象业务系统”混合编组模式，可实现人类经验与人工智能优势的互补共赢。

当前，空管气象智能体虽仍面临技术突破、业务融合、安全保障等挑战，但每一次数据打通、流程优化、语料更新、交互设计，都是推动其成熟的关键一步。人工智能不会取代空管气象人，但其赋能的空管气象人，能够更精准地把握天气变化、更高效地对接服务需求、更安全地保障航空运行。未来，随着技术的持续迭代与实践的不断深入，空管气象智能体将逐步实现从协同赋能到自主运行的跨越，为构建智慧空管气象体系、提升我国航空运行安全与效率水平奠定坚实基础，推动空管气象业务迈入全新的智慧时代。

基金项目

《民航西南空发[2025] 102 号》中的《管制运行气象支持产品原型系统研究》项目。

参考文献

- [1] 张小玲, 金荣花, 代刊, 等. 中央气象台人工智能气象应用发展及思考[J]. 大气科学学报, 2025, 48(3): 353-365.
- [2] 奚志恒, 陈文翔, 郭昕, 等. 基于大语言模型的智能体: 发展与未来展望[J]. 中国科学: 信息科学, 2026, 56(2): 485-486.
- [3] 唐伟, 郭转转, 李欣, 等. DeepSeek 对气象行业的影响[J]. 气象与环境科学, 2025, 48(4): 2-7.
- [4] 代刊, 高嵩, 孟宏欣, 等. 大语言模型在天气预报中的应用探讨[J]. 气象, 2025, 51(8): 901-913.
- [5] 江双五, 张嘉玮, 华连生, 等. 基于大模型检索增强生成的气象数据库问答模型实现[J]. 计算机工程与应用, 2025, 61(5): 113-121.
- [6] 沙祎. 人工智能在气象融媒体服务中的应用发展研究[J]. 科技传播, 2025, 17(20): 52-60.
- [7] 田伟, 秦子航, 乔建权, 等. 深度学习在气象数据挖掘中的应用[J]. 中国科技论文, 2025, 20(4): 277-286.