

探析基于天气过程的航空气象面向管制用户服务质量评价方法

刘 欢, 孔旭原

中国民用航空新疆空中交通管理局阿克苏空管站, 新疆 阿克苏

收稿日期: 2026年9月2日; 录用日期: 2026年9月20日; 发布日期: 2026年10月19日

摘 要

面对当前管制与气象融合、气象信息辅助流量管理的运行要求, 根据民航空管系统现行的气象服务质量评定办法, 提出了面向管制用户的航空气象服务评价方法。该方法基于天气过程开展, 包含航空气象服务评价指标、评价指标评分标准及权重, 并用于三次对航班运行影响不同的天气过程。评价结果与对管制用户的影响一致, 二级指标的单项评分有利于判断服务过程中某一产品的某一要素需要改进的方向。

关键词

航空气象, 空中交通管制, 服务质量, 评价

Analysis of Quality Evaluation Methods for Aviation Meteorology Services Oriented to ATC Users Based on Weather Processes

Huan Liu, Xuyuan Kong

Aksu Air Traffic Management Station, Xinjiang Air Traffic Management Bureau, Civil Aviation Administration of China, Aksu Xinjiang

Received: September 2, 2026; accepted: September 20, 2026; published: October 19, 2026

Abstract

In response to current operational requirements for the integration of air traffic control (ATC) and meteorology, as well as the use of meteorological information to assist flow management, and based on the existing meteorological service quality assessment methods of the civil aviation ATC system, this paper proposes an aviation meteorological service evaluation method oriented towards ATC

users. This method is conducted based on weather processes and includes aviation meteorological service evaluation indicators, scoring standards, and weights. It was applied to three weather processes with different impacts on flight operations. The evaluation results are consistent with the impact on ATC users, and the (single-item) scoring of secondary indicators helps to identify directions for improvement regarding specific elements of a product during the service process.

Keywords

Aviation Meteorology, Air Traffic Control (ATC), Service Quality, Evaluation

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

为实现在保证安全的前提下充分有效地利用空地资源,优化实现容流平衡,并尽可能提升运行效率、缓解延误的目标,民航系统愈加重视气象服务的准确性和实用性。提出了管制与气象融合、气象信息辅助流量管理的运行要求,对民航气象服务产品的颗粒度和实用性有了更加明确的要求。当前,提高针对航班运行有高影响的天气预报服务质量,显然是航空气象服务机构的重点,而科学、定量地评估有高影响天气事件的航空气象服务效益,是一项兼具重要性和现实意义的工作。航空气象服务效益评价属于研究样本数量大和难度系数高的课题。现阶段,国内航空气象服务效益的研究多聚焦在在对航空公司效益影响方面[1],国际上对航空气象服务效益的评估从对机场[2] [3]、航司[3] [4]、流量[2] [5]的评估已扩展到航路利用方面[6],但是对空管运行效益的影响没有具体的参考。近十年空管系统气象服务产品种类在持续增加,对气象情报和气象服务产品的评分也根据管制(流量)用户的需求持续改进;针对用户的年度满意度调查也成为规定动作。但目前仍缺少将管制用户的服务评价与气象服务有效结合的评价方法。

对管制用户的气象服务效益评价是航空气象服务的重要组成部分,该评价通过系统分析复杂天气下航空气象服务的过程、结果及影响,进行实际服务效果与预期目标的差异性分析,深入剖析成因并提出可操作的改进建议;通过“信息反馈-服务优化-效果评估”的闭环机制,持续提升航空气象服务对运行管理决策的支持效能。

本文以三次影响阿克苏机场航班运行的复杂天气过程为例,从管制用户在流量管理和航班指挥方面的需求入手,结合复杂天气期间航空气象服务的业务流程和关键节点,构建了有针对性的分析评价指标,旨在以数据化、可视化方式直观呈现服务成效和业务短板。本文设计的面向管制用户的航空气象服务评价方法由三部分构成,一是航空气象服务评价指标、二是各指标评分依据和评分规则、三是综合评价标准。

2. 面向管制用户的航空气象服务评价的特殊性及研究对策

中国民用航空局空中交通管理局于2020年在《中国民航空管流量管理运行规则(试行)》¹中提出了气象和管制融合的要求,“管制运行单位、流量管理单位、气象服务单位、设备保障单位与航空公司、机场等相关方应建立一体化的运行协同关系,分工明确、职责清晰、协同顺畅、目标一致地开展流量管理工作。”如何开展气象服务与管制和流量管理单位的业务融合,提高流量管理的效率成为民航空管气象服

¹http://www1.atmb.net.cn/atmb_mgmt/uploadfiles/202011060131560.pdf

务机构需要努力的方向。

航空气象服务要求定点、定时、定量开展气象预报, 本身在预报精度方面的要求就远高于其它类的气象服务, 航空气象服务的评价一直集中在预报的准确性方面。与管制和流量管理单位的业务融合要求在提前量和指定阈值的预报方面有了更明确的需求。

现行的气象预报准确率评定标准均是基于气象情报的准确性进行评价, 气象服务产品的评价除对流有关的机场警报和终端区预警、区域预警、新要求发布的重要天气概率预报(2026年5月1日起发布)有明确的评定标准, 其它服务产品均无明确的评价要求。用户的服务评价通过满意度调查来开展, 造成气象服务评价的两条线, 一条是多种方法并行的预报准确率评估, 一条是用户满意度评价。为分析两条线的评价效果, 收集了2021~2025年间的满意度调查报告和气象情报准确率得分。

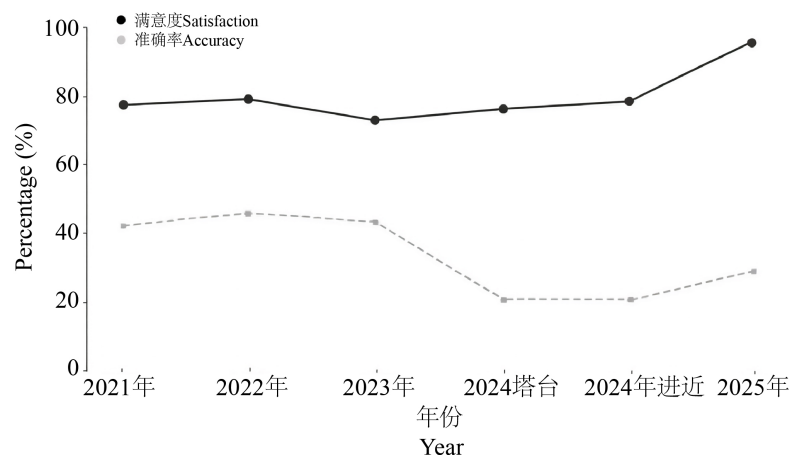


Figure 1. 2-Hour trend forecast satisfaction and accuracy (2021~2025)

图 1. 2 小时趋势预报满意度和准确率(2021~2025)

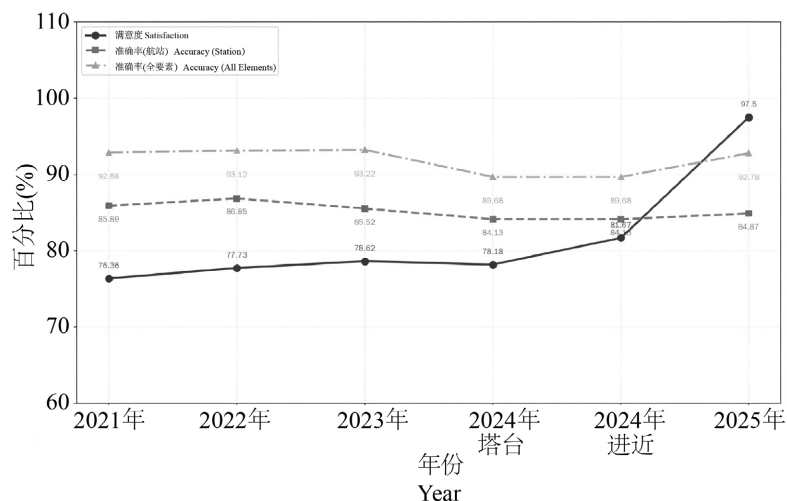


Figure 2. 9-Hour airport forecast satisfaction and accuracy (2021~2025)

图 2. 9 小时机场预报满意度与准确率(2021~2025)

通过图 1 和图 2 可以看出基于气象情报的用户满意度评价与气象情报的准确率之间没有明确的相关性, 甚至同一报文在不同管制用户处的满意度评价也不相同。

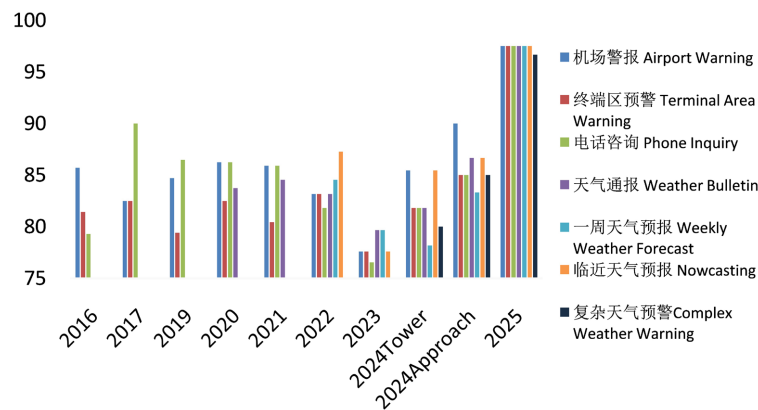


Figure 3. Service Product Satisfaction (2016~2025)
图 3. 服务产品满意度(2016~2025)

通过对年度气象服务产品满意度调查结果(图 3)的分析,可以看出产品的种类增加(2022 年增加了一周天气预报和天气过程预报,2024 年增加了复杂天气预警)对满意度的影响基本为 0,同一产品在不同管制用户处的评价也一样不相同。

满意度调查的频次是每年一次,管制用户通常凭主观感受进行评价,准确率依据天气实况客观评定,造成气象服务机构不能直观发现气象服务中的短板,管制用户不能有效利用气象服务产品,缺少气象服务品质的综合性指标。建立面向管制用户的气象服务效益评价指标则显得愈加迫切和重要。

通过年度指标的分析建立管制用户的服务评价与气象服务质量评价的相关性不具备可行性,又选择满意度调查数据最优的 2025 年统计了各月的航班放行正常率、因天气造成航班备降数和返航数,与 2025 年各月气象情报预报准确率和气象服务产品发布数量,进行对比分析。

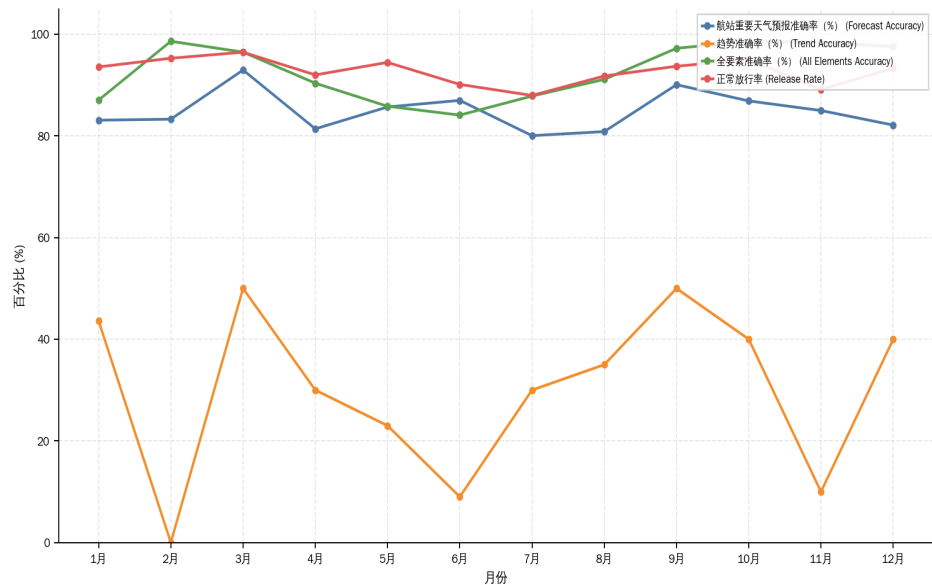


Figure 4. Flight dispatch normal rate and meteorological information forecast accuracy
图 4. 航班放行正常率和气象情报预报准确率

通过月度航班放行正常率和气象情报预报准确率的对比(图 4)未能建立相关性。分析原因为:影响航

班正常放行率的因素包含天气原因、航空公司原因、旅客原因、空管原因、用户活动、其他等, 单独以机场天气的预报准确率作对比, 无法找到有意义的结果。

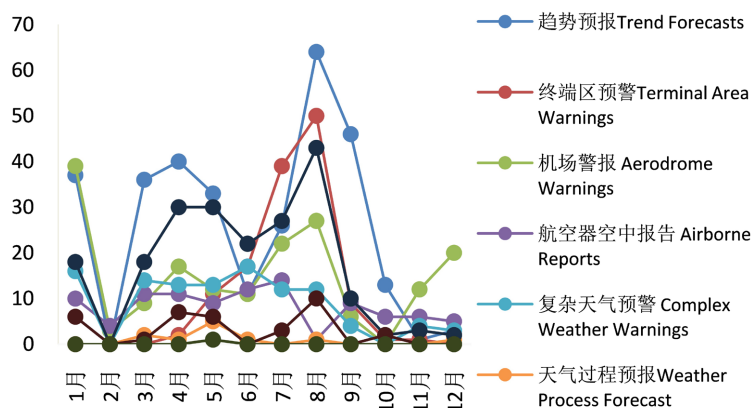


Figure 5. Monthly number of weather-related flight delays and diversions, and meteorological service publications

图 5. 月度航班因天气延误及备降数和气象服务质量发布数

通过月度航班因天气延误及备降数和月度气象服务质量发布数对比(图 5), 可看出航班延误数与机场警报、特选报的发布数整体呈正相关, 但相关系数不明确, 个别月份为负相关。仍不能将气象服务过程的情报和产品质量与服务效益评价有效整合, 不利于发现具体的气象服务产品改进方向。

基于天气过程的航空气象面向管制用户的服务质量评价是通过某次复杂天气过程的单个样本来进行, 评估中关注的是对该次天气过程的预报预警提前量是否充足、气象要素的预报是否准确、产品的更新和递进服务是否到位、航班运行状态如何等。

航空气象服务属于多属性评价对象, 涉及气象情报、气象产品、提供航司放行依据、辅助流量管理决策等多个环节, 需要采用综合评价的方法。“综合评价是指对多属性体系结构描述的对象系统做出全局性、整体性的评价, 即对评价对象的全体, 根据所给的条件, 采用一定的方法给每个评价对象赋予一个评价价值, 再据此进行择优排序” [7]。基于天气过程的航空气象面向管制用户服务质量评价是以实际数据为核心支撑, 如何科学选择评价体系和指标, 规范处理和应用实际数据是成功实施后评价的核心。需了解管制用户在复杂天气过程下对航空气象服务的核心需求, 围绕特定的评价目标建立能精准表征属性的评价指标体系, 全面、详细地收集相关信息和原始数据用以确定指标值, 同时结合服务特点将评价目标有侧重的分解为二级或者多级子目标, 开展定性或定量分析, 这是评价过程的基础。此外, 需兼顾可操作性与科学性, 结合航空气象服务的业务流程、特点及管制用户的需求, 确定指标体系和各指标的权值, 并按所提供的过程和准则开展评价。

3. 构建航空气象服务评价指标

本文从管制用户的实际需求出发, 结合航空气象服务的业务流程、行业特点, 在前期管制用户需求访谈分析和文献研究的基础上设计了测评指标。为了使有效时段跨度大、影响范围不一、评分标准不同的气象情报和气象服务产品在参与评价后能给出相对清晰、直观的定量结果, 构建了包含 2 个一级指标和 10 个二级指标的航空气象服务评价两级评价指标体系(表 1)。

根据是否明语发布, 从气象情报和气象服务产品两类预报服务进行综合评估。

Table 1. Meteorological service evaluation indicators at all levels for ATC users
表 1. 面向管制用户的气象服务各级评价指标

一级指标	二级指标	指标说明
气象情报	趋势预报准确性	各要素预报准确率
	全要素预报准确性	
	航站重要天气预报准确性	
	空管系统机场预报准确性	
气象服务产品	一周天气预报	气象要素偏差量
	过程天气预报	
	重要天气概率预报	
	终端区预警/机场警报/风切变警报	预警预报发布提前量
	复杂天气预警	
	天气通报	气象要素偏差量

3.1. 气象情报指标

气象情报中主要包括机场预报[8]和趋势预报形式的着陆预报[9]，这两类产品必须在限定的时间内发布，会参加情报交换，是管制指挥、航空公司放行的重要参考数据。因此，发布的提前量不需要考评，重点考评各气象要素的准确性，该指标是民航气象服务过程中的必须参与者，设定权重为 70%。

3.2. 气象服务产品

气象服务产品涵盖的内容包括一周天气预报、过程天气预报、重要天气概率预报、机场警报(终端区预警、风切变警报)、复杂天气预警、天气通报等。各服务产品的发布时间相对天气发生时间可进行提前量是否充分的评价和气象要素偏差量的评价。在气象要素偏差量不大的前提下，提前量在六小时以上可以有效支撑地区级流量管理计划调整，超过 2 小时不足六小时的可以为航司放行提供参考，超过半小时不足 2 小时的为管制指挥预案或是发布流控措施提供了相关依据，提前量不足半小时能为管制用户启动特情处置方案争取时间。该指标是在民航气象服务中根据用户需求逐步增加和完善的补充产品，在发布时间上相对灵活，考评标准上也较宽泛，设定权重为 30%。

4. 确定评价指标评分标准及权重

在现有的气象服务评价标准的基础上，参考雷暴等对流天气预警评估方法、气象局预报准确性评分标准[7]，进一步对气象情报和气象服务产品质量的基础数据进行分类整理，得出每一个二级指标的评价标准和等级(表 2)。确定评价指标后，继续对航空气象服务的基础数据进行分类整理，对比复杂天气过程对航班影响情况的评分差异，进而确定每一个二级指标的权重，最后得出航空气象服务的两个维度中，气象情报、气象服务产品的权重分别为 0.7、0.3。设定一次复杂天气过程的气象服务满分为 100 分，其中气象情报部分满分 70 分，具体分配包括：趋势预报准确性 10 分，全要素预报准确性 30 分，航站重要天气预报准确性 30 分；气象服务产品部分满分 30 分，具体分配包括：一周天气预报 3 分，过程天气预报 5 分，重要天气概率预报 5 分，终端区预警/机场警报/风切变警报 10 分，复杂天气预警 5 分，天气通报 2 分。此部分二级指标的权重由笔者根据以往用户咨询情况和产品发布后航班运行情况反馈，以及在个例中试用的情况，主观设定。

在实际评估中，设定某次天气过程气象服务的综合分为 P，趋势预报准确性、全要素预报准确性等每一个二级指标的评分为 Mi，该指标的对应权重为 Ai，则气象服务总评分的计算规则为：将每个二级指标的得分 Mi 与其对应权重 Ai 相乘后求和，具体计算方法如公式(1)所示，其中，i 表示第 i 个二级指标，n

表示二级指标的总个数, (本文中 $n = 10$)。

$$P = \sum_{i=1}^n A_i M_i$$

(1)

Table 2. Scoring basis for meteorological service indicators for ATC users
表 2. 面向管制用户的气象服务各指标评分依据

一级指标	二级指标	指标说明
气象情报(70)	趋势预报准确性(10) 全要素预报准确性(30) 航站重要天气预报准确性(30)	各份报文分数平均值%
	一周天气预报(3) 过程天气预报(5) 重要天气概率预报(5)	预报和实况时段重合率 80%以上, 天气强度量级一致, 能见度阈值区间一致, 风向差值 ≤ 30 , 风速差值 ≤ 3 m/s, 得分 * 80%~100%; 预报和实况时段重合率 60~80%; 天气强度量级差一级, 能见度阈值区间差一级, 风向差值 ≤ 60 , 风速差值 3~6 m/s, 发生其中 1~2 项, 得分 * 60%~80%;
气象服务产品 (30)		预报和实况时段重合率 60~80%; 天气强度量级差一级, 能见度阈值区间差一级, 风向差值 ≤ 60 , 风速差值 3~6 m/s, 发生其中 2~3 项, 得分 * 40%~60%;
	终端区预警/机场警报/ 风切变警报(10) 复杂天气预警(5) 天气通报(2)	提前量超过 3 H, 偏差量 ≤ 90 得分 * 100%; 提前量超过 3 H, 偏差量 ≤ 90 得分 * 80%; 提前量超过 3H, 偏差量 90~120 得分 * 60%; 提前量 2~3 H, 偏差量 ≤ 60 得分 * 60%; 提前量 2~3H, 偏差量 60~90 得分 * 40%; 提前量 1~2 H, 偏差量 ≤ 20 得分 * 40%; 提前量 1~2H, 偏差量 20~60 得分 * 20%; 提前量 20~60 M, 偏差量 ≤ 20 , 得分 * 20%;

根据综合分析结果, 将各次复杂天气过程的气象服务效果划分为效果明显、效果较好、效果一般、效果不良 4 类, 划分标准为: 得分低于 40 分, 评价为“效果不良”; 得分在 40~59 分, 评价为“效果一般”; 得分在 60~79 分, 评价为“效果良好”; 得分在 80~100 分, 评价为“效果明显”(表 3)。

Table 3. Classification standards for aviation meteorological service evaluation
表 3. 航空气象服务评价分类标准

类别	综合评分范围	服务效果
1	80~100 分	效果明显
2	60~79 分	效果较好
3	40~59 分	效果一般
4	低于 40 分	效果不佳

5. 天气过程个例试用

经与管制员访谈了解, 在航班起飞前预报机场有影响航空器起降的天气时, 签派可以视情况选择延误和取消, 对运行正常率的影响相对较小; 在航班起飞后预报机场有影响航空器起降的天气时, 只能选择备降或返航, 不但给航空公司造成大量经济损失, 还会给管制员指挥和协调额外增加大量工作负荷[10][11]。

Table 4. Aviation meteorological service evaluation form for weather processes
表 4. 天气过程航空气象服务评价表

日期	1.10~11 日		5.19~20 日		3.26~27 日	
	单项评分	权重得分	单项评分	权重得分	单项评分	权重得分
趋势预报准确率(10)	24	2.4	47	4.7	46	4.6
全要素预报准确率(30)	66.6	19.98	65.09	19.527	92.89	27.867
航站重要天气预报准确率(30)	79.4	23.82	76.3	22.89	85	25.5
气象情报得分	\	46.2	\	47.117	\	57.967
一周天气预报(3)	0	0	0	0	40.00	1.2
过程天气预报(5)	0	0	0	0	60.00	3
重要天气概率预报(5)	0	0	0	0	60.00	3
终端区预警/机场警报/ 风切变警报(10)	0	0.00	0	0.00	33.30	3.33
复杂天气预警(5)	0	0	0	0	46.70	2.335
天气通报(2)	0	0	0	0	0.00	0
气象服务得分	\	0	\	0	\	12.87
评价总分	\	46.2	\	47.12	\	70.832

选取了 2025 年造成航班备降架次最多的 1 月 10 日夜间至 1 月 11 日中午的一次冻雾低能见度天气过程，唯一一次返航的 5 月 19 日夜间至 20 日凌晨的大风、沙暴、风切变天气过程，以及产生备降但架次最少的 3 月 26~27 日大风、沙暴天气过程进行分析评价(表 4)。

1 月 10 日夜间至 1 月 11 日因天气造成航班备降 6 架次。此次天气过程无预报提前量，预警警报为实况出现后发布，天气过程的结束时间为多次修订后得出，服务产品效果不良，情报准确率一般，管制用户和预报员对此次天气的评价均不理想。综合评分 46.2 分，评价为效果一般；在预报准确性和提前量方面均有极大的提升空间，尤其是高影响天气的提前预报和气象服务产品的发布。

5 月 19 日夜间至 20 日凌晨因天气造成航班备降 4 架次，其中一架次备降后返航。此次天气过程提前预报了大风、风切变和短时沙暴，但预报开始时间比实况开始时间早 7 小时，预报结束时间比实况结束时间早 6 小时；实况出现后天气过程的结束时间比实况晚 2 小时，再次出现大的预报偏差，服务产品的准确性极差，情报的准确性依靠天气发生后修订改善准确率一般，管制用户和预报员对此次天气的评价并不理想。综合评分 47.12 分，评价为效果一般；预报准确性严重不足，提前发布气象服务产品后未及时滚动更新结论，服务质量偏低。

3 月 26~27 日因天气造成航班备降 1 架次。此次天气过程提前准确预报了开始时间和强度，结束时间比实况早近 6 小时，在实况发生后经过 2 次修订，于实况结束前 4.5 小时准确预报结束时间；服务产品的提前量最少在 5 小时以上，一周天气和过程天气预报提前量超过 12 小时；服务产品和气象情报的准确性评价也达到准确，管制用户和预报员对此次天气的评价为良好。综合评分 70.84，评价为效果良好。

6. 结语

本文以管制用户需求为评价主体，在现有的气象服务质量评分标准上提出了一种基于天气过程的航空气象服务的评价方法，并用于 2025 年的三次天气过程个例试用。本文构建的面向管制用户的航空气象服务评价体系采用百分制，将航空气象服务效果划分为四个等级。该评价指标体系包含气象情报和气象

服务产品 2 个一级指标和趋势预报、全要素预报, 航站重要天气预报、一周天气预报、过程天气预报、重要天气概率预报、终端区预警/机场警报/风切变警报、复杂天气、天气通报 10 个二级指标。针对二级指标又划分了包含准确性和提前量的 9 条判断依据。本文设计的航空气象服务分析评价方法覆盖了从一周天气到趋势预报的航空气象服务各个环节, 评分依据基本参照在用的评分标准, 可操作性强, 评分结果与对管制用户的影响一致, 适用于空管系统机场气象台面向管制用户提供的航空气象服务过程的评价, 有利于空管系统机场气象台判断服务过程中某一产品的某一要素需要改进的方向(提前量、准确性), 为航空气象服务质量的改进提供参考依据。本文是从管制用户需求出发, 集合当前空管系统机场气象台在复杂天气全过程气象服务的系统评价示例, 有利于在现行的评价方法基础上快速、直观、科学地评价航空气象服务的效果。

此外, 本文中二级指标一周天气预报、过程天气预报、重要天气概率预报的评价标准存在一定的主观性, 今后需要在执行过程中探析更加精准的评判依据, 不断根据产品发布的种类、评分标准等增补和调整评价指标体系和评分标准, 以期能够更科学和直观地反映航空气象服务效果。

参考文献

- [1] 马莉, 来小芳, 徐芬, 等. 基于决策的机场气象预报定量效益评估研究[J]. 航空机算技术, 2021, 51(2): 15-19.
- [2] Evans, J.E., Allan, S.S. and Robinson, M. (2004) Quantifying Delay Reduction Benefits for Aviation Convective Weather Decision Support Systems. In: *Proceedings of the 11th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology*, American Meteorological Society, 1-32.
- [3] Kováčiková, K., Novák, A., Kováčiková, M. and Novak Sedlackova, A. (2025) A Bibliometric Analysis of the Impact of Extreme Weather on Air Transport Operations. *Atmosphere*, **16**, Article No. 740. <https://doi.org/10.3390/atmos16060740>
- [4] Gultepe, I., Sharman, R., Williams, P.D., *et al.* (2019) A Review of High Impact Weather for Aviation Meteorology. *Pure and Applied Geophysics*, **176**, 1869-1921.
- [5] Sud, V.P., Tanino, M., Wetherly, J., Brennan, M., Lehky, M., Howard, K., *et al.* (2009) Reducing Flight Delays through Better Traffic Management. *Interfaces*, **39**, 35-45. <https://doi.org/10.1287/inte.1080.0417>
- [6] Lührs, B., Linke, F., Matthes, S., Grewe, V. and Yin, F. (2021) Climate Impact Mitigation Potential of European Air Traffic in a Weather Situation with Strong Contrail Formation. *Aerospace*, **8**, Article No. 50. <https://doi.org/10.3390/aerospace8020050>
- [7] 王丽娟, 吕明辉, 庞小琪. 一种基于过程的台风气象服务综合评价方法[J]. 气象科技进展, 2017, 7(1): 143-148.
- [8] 张强. 机场天气预报的经济效益评估分析[J]. 民航学报, 2022, 6(4): 71-76.
- [9] 陈炼. 航空气象着陆预报精准化技术研究与实践应用[C]//中国气象学会. 第 36 届中国气象学会年会摘要集——S21 “气象 + 行业”关键技术和平台研发. 2025: 84.
- [10] 张旭. 浅谈复杂天气条件下的空中交通管制指挥方法[J]. 科技创新与应用, 2016(10): 296.
- [11] 张佑南. 应对复杂天气的空中交通管制指挥方法研究[J]. 科技风, 2019(8): 251.