Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2026, 15(6), 1111-1120
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ccrl
https://doi.org/10.12677/ccrl.2026.156118

Hans汉斯

关于提升阿克苏机场趋势着陆预报质量的思考

王亚戈，黄　婷

中国民用航空阿克苏空中交通管理站，新疆 阿克苏

收稿日期：2026年9月30日；录用日期：2026年10月25日；发布日期：2026年11月2日

摘　要

为提升阿克苏机场趋势预报服务质量，本文对2021~2024年阿克苏机场气象台趋势预报数据展开分析，结果表明：(1) 2021~2024年趋势预报发布份数有所下滑，同时预报准确率有所下降，反映服务主动性不足；(2) 对趋势预报漏报、空报情况进行分析，偏差以漏报为主，风、能见度、雷暴为核心影响要素；(3) 漏报、空报与季节关联显著，4~8月因对流天气等更易高发；(4) 可通过深化天气研判、加密观测网络、推进技术本地化、迭代预报员思维，系统性提升趋势预报准确率。

关键词

趋势预报，准确率，气象服务，质量提升

Reflections on Improving the Quality of Trend Landing Forecasts at Aksu Airport

Yage Wang, Ting Huang

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

Received: September 30, 2026; accepted: October 25, 2026; published: November 2, 2026

Abstract

To enhance the quality of trend forecast services at Aksu Airport, this study analyzes trend forecast data from the Aksu Airport Meteorological Office spanning from 2021 to 2024. The results indicate that: (1) Both the volume of trend forecasts issued and the forecast accuracy have declined over this period, reflecting a lack of proactive service; (2) An analysis of missed and false alarms reveals that missed forecasts constitute the primary source of deviation, with wind, visibility, and thunderstorms identified as the core contributing meteorological elements; (3) Missed and false forecasts exhibit a significant seasonal correlation, with a higher incidence from April to August due to frequent convective weather; (4) Forecast accuracy can be systematically improved by deepening weather analysis,

文章引用: 王亚戈, 黄婷. 关于提升阿克苏机场趋势着陆预报质量的思考[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(6): 1111-1120. DOI: 10.12677/ccrl.2026.156118

densifying the observation network, advancing localized forecasting technologies, and upgrading forecasters' analytical thinking.

Keywords

Trend Forecast, Forecast Accuracy, Meteorological Service, Quality Improvement

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

近年来随着航班量的迅速提升，航空气象预警信息的重要性愈益突显。地区气象中心、国际机场的预报时效由 24 小时提前到 30 小时，并新增大面积航班延误概率通报表等一系列预警产品，借多元形式传递气象信息，用户对预报准确率的要求也持续提高，梁爱民[1]等指出需强化航空气象预报预警工作，提升航空气象预报的准确性和气象服务的实用性，结合民航气象特点提出三条实现路径；吴美玲[2]从提高极端天气预报准确率、提升极端天气预警及时性、提升航空气象情报的准确性三个方面深入研究了提高中小机场极端天气预报预警能力的策略。此外众多学者也对预报准确率开展充分研究[3]-[5]。

阿克苏机场作为中小机场，当前预警服务上主要通过 TAF 报文、趋势着陆预报(以下均称趋势预报)、机场警报、复杂天气预警、终端区预警五类产品表现。其中趋势预报是附带在机场例行天气报告、特殊天气报告后，表明该机场气象情况预期趋势的简要说明。其有效时段是从附着的机场天气报告时刻起 2 小时。它必须是指明地面风、能见度、天气现象和云中一个或几个要素的重要变化[5]。由于阿克苏机场的航程多在 2 小时内，趋势性预报对于本场航班运行意义重大，且相较于其他产品，趋势预报可提供分钟级精度，且更新频次更高，更利于航空用户及时准确的获得气象信息。本文分析 2021~2024 年阿克苏机场气象台趋势预报服务情况，剖析难点，并提出相应意见建议，以期能进一步提升气象服务质量。

2. 趋势预报发布份数与准确率分析

从 2021~2024 年期间，阿克苏机场趋势预报发布份数和复杂天气呈显著正相关关系(见图 1)。4~8 月正值阿克苏机场雷暴天气高发期，其中 4 月因处于换季季节，沙尘和雷暴复杂天气交织，发布份数最多，2023 年 4 月发布份数高达 101 份。而 10 月、11 月阿克苏机场天气转好，雷暴活动减弱，秋高气爽，相应趋势预报发布大幅减少。

从四年年平均值分析，年度准确率平均值在一定程度上与发布份数存在正相关。2021~2023 年，每年发布份数大概在 300 左右，准确率围绕 50%波动。例如 2021 年发布趋势预报 382 份，年平均准确率 50.84%；而 2024 年发布趋势预报 240 份，年平均准确率仅有 21.81%。排除设备程序更新影响，也反映出在趋势预报服务的主动性上有所下滑。

月平均准确率却与年平均准确率表现相反，其与发布份数呈现负相关特性，其年变化呈现明显的“凹”型。11 月、12 月、1 月发布份数较少的月份，月度平均准确率超过 60%，而在夏季发布份数较多，准确率却仅在 30%附近。这进一步说明预报员在对流天气的预报把握上还有较大的提升空间。

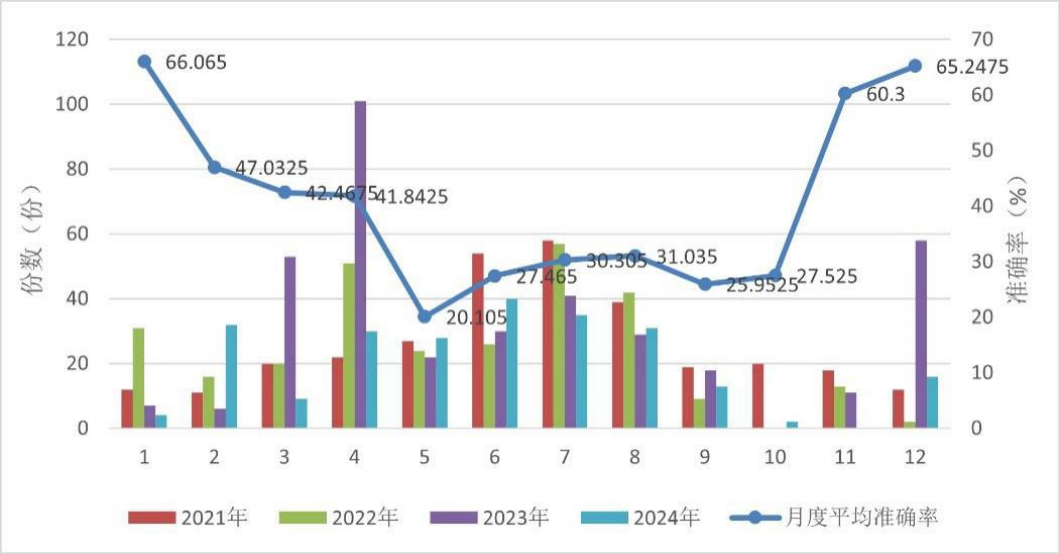


Figure 1. Number of trend forecast reports issued at Aksu Airport and monthly average accuracy from 2021 to 2024 (bars, unit: copies; line, unit: %)
图 1. 2021 年~2024 年阿克苏机场趋势预报发布份数(柱形，单位：份)和月平均准确率(折线，单位：%)

3. 趋势预报空报与漏报分析

3.1. 空报与漏报份数分析

通过对 2021~2024 年阿克苏机场趋势预报空报、漏报数据的深入分析(见图 2)：从整体来看，趋势预报以漏报为主要偏差类型，空报占比相对较低。1~3 月、9~12 月空报、漏报份数整体偏低，预报偏差相对可控；在雷暴活跃的 4~8 月，漏报份数显著攀升，每月漏报份数均超过 100 份，5~6 月更是突破 200 份，凸显出季节天气特征对预报偏差的重要影响。经分析这一现象，一方面源于夏季雷暴天气系统复杂，气象要素多变，增加了预报要素的捕捉难度，导致漏报频发；另一方面也反映出预报员在面对复杂天气时大胆研判、准确预报的思路和能力有待提升，需继续强化对夏季对流性天气的机理认知与预报技巧。

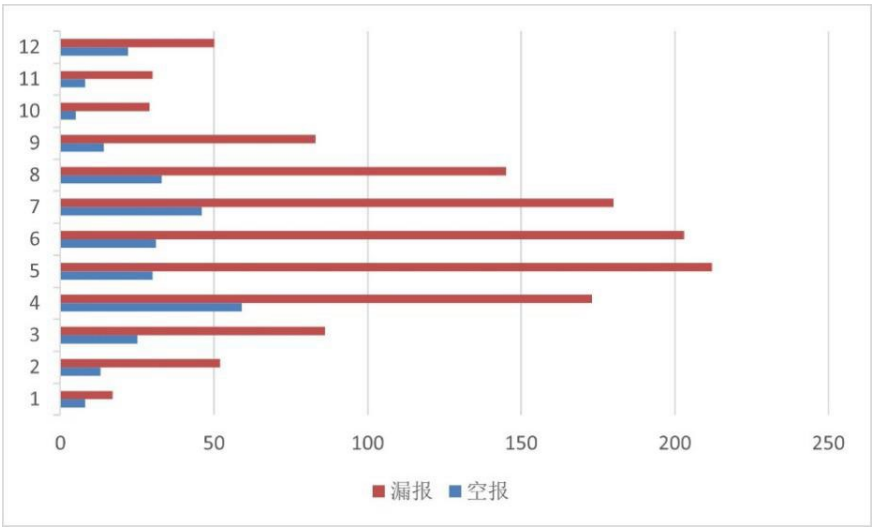


Figure 2. Monthly numbers of false alarms and missed forecasts of trend forecasts at Aksu Airport from 2021 to 2024
图 2. 2021 年~2024 年阿克苏机场趋势预报月度空报、漏报份数

3.2. 趋势预报漏报的气象要素统计分析

在 2021~2024 四年间，阿克苏机场共漏报趋势预报 1260 份，通过对每份漏报数据细致剖析，各气象要素占比呈现显著特征(见图 3)：风的漏报占比高达 50%，是漏报最突出的气象要素；能见度和雷暴天气漏报紧随其后，分别位居第二、第三位；其次沙尘暴的漏报相对较多。阿克苏机场降水和低云漏报情况较少，低云的漏报多因沙尘暴天气下垂直能见度的漏报引发。其余均为多项要素的合并漏报，此类情况出现频次相对较低，均不超过 1%。以下将对漏报较多的气象要素进一步分析。

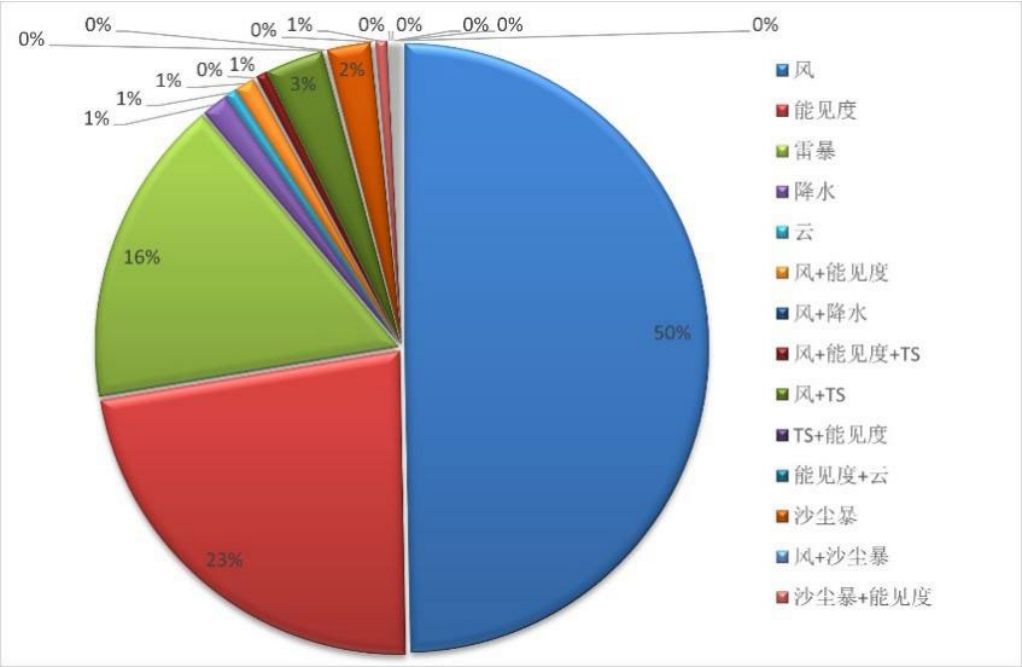


Figure 3. Statistics of missed forecasts for each meteorological element in trend forecasts at Aksu Airport from 2021 to 2024
图 3. 2021 年~2024 年阿克苏机场趋势预报各气象要素漏报统计

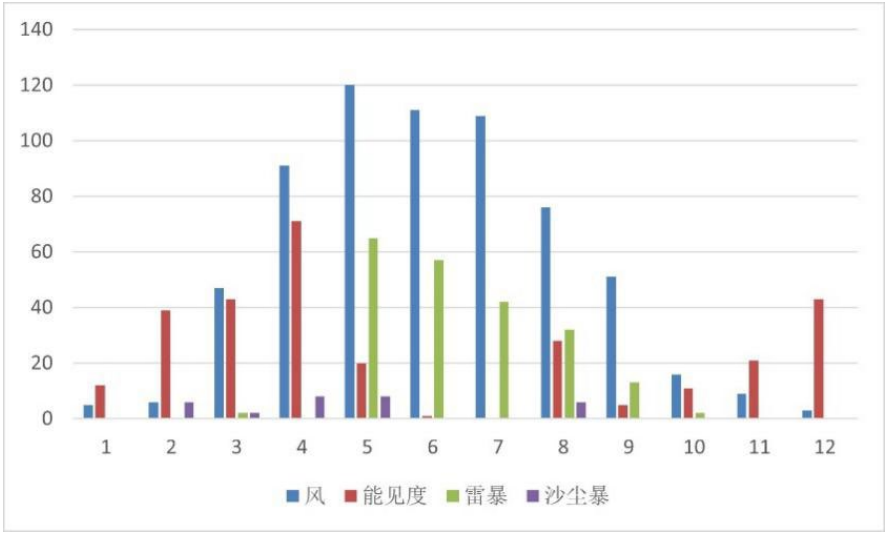


Figure 4. Monthly variations of missed forecasts by meteorological element for trend forecasts at Aksu Airport, 2021~2024
图 4. 2021 年~2024 年阿克苏机场趋势预报气象要素漏报月变化

3.2.1. 要素风的漏报

从图 4 分析可得，风的漏报现象在 5~7 月呈现出较为集中的分布特征。结合趋势预报发布标准，风的变化分为三种情形：a) 平均风向变化大于等于 60°，且变化前和(或)变化后平均风速大于等于 5 米/秒；b) 平均风速变化大于等于 5 米/秒；c) 当预报地面风的阵风变化大于等于 5 米/秒，且变化前和(或)变化后的平均风速大于等于 8 米/秒时[5]。经深入分析，风的漏报大部分可归属于第一类，即突出表现为风向转变导致的漏报问题，而这类漏报的产生，主要源于以下三方面复杂因素：

(1) 地形与日变化的叠加影响：阿克苏三面环山的地形结构，再加上日变化规律的作用，在午后 17~20 时这一时间段，阿克苏机场受山谷风环流影响显著，常出现 5 m/s 左右的偏南风。由于这种风场变化具有明显的时段性和地形影响特性，易使前两个时次的要素风预报出现漏报。

(2) 系统性天气作用：当系统性天气过境时，冷空气的侵入是触发风场突变的关键因素。冷空气的推进会引发风向快速转变，同时伴随风速瞬时增大，增加了风向预报难度，导致漏报。

(3) 对流云团影响：对流云团在移动过程中，其内部的气流运动复杂紊乱，随对流云团移动风速转变频繁，复杂多变的风速变化，使得预报难以精准捕捉，进而造成漏报。

3.2.2. 能见度和沙尘暴的漏报

能见度漏报的气象因素呈现多样性，主要源于不同程度沙尘天气影响，其次是烟，雾与降雪天气导致的漏报相对较少。不过，雾和降雪天气引发能见度变化时，其开始时间的预报存在明显漏报问题。

聚焦沙尘天气，虽然对其结束时间的趋势能较好预报，然而开始时间的漏报占比依旧十分突出。在 2~4 月沙尘主要影响时段，沙尘暴与能见度漏报呈现一致性，凸显出预报在捕捉沙尘起始影响、进而准确预判能见度开始受影响时间上的不足，这可能是因为沙尘起沙机制复杂，受上游输送、本地起沙条件(如地表状况、风力触发、层结条件等)多重因素干扰，导致对能见度、沙尘暴的时机难以精准把握。

3.2.3. 雷暴的漏报

结合风、能见度、沙尘暴等要素来看，5~8 月气象条件复杂，雷暴的发生常与风场变化、阵性沙尘等关联，但其生成机制受多重因素(如热力对流、水汽条件、高空环流配合等)影响，具有突发性与局地性特点，使得对雷暴起始时刻难以精准预判，进而导致雷暴的漏报情况突出，这也反映出雷暴预报在时间精度把控上，仍需结合更多精细化观测数据与模式分析，提升对其初始发生阶段的识别能力。

3.3. 趋势预报空报的气象要素统计分析

空报与漏报在气象要素分布特征上高度趋同，风、能见度、雷暴的空报在趋势预报空报统计中依然占主导地位。结合图 5 可见：风要素的空报数量达到 134 份，在各类气象要素空报中占比突出；能见度要素空报数为 125，同样是空报的主要贡献项；雷暴要素空报数位居第三。但是空报的整体数量远远小于漏报，体现预报员与“大胆预报”还有一定的差距。

4. 天气个例分析

4.1. 天气实况

2024 年 8 月 23 日阿克苏机场出现一次冰雹天气过程，其中 23 日 19:55~21:30 雷暴、20:15~21:18 阵性降水，冰雹出现时段为 20:20~20:24、最大直径 5 mm，过程降水量 7.6 mm。尽管冰雹持续时间很短，且人工影响天气作业导致 20:30 后机场及终端区范围内的对流云团强度明显减弱，但此次天气过程还是对当日航班管制指挥、机组绕飞产生不小的压力，对当时航班正常运行造成影响。

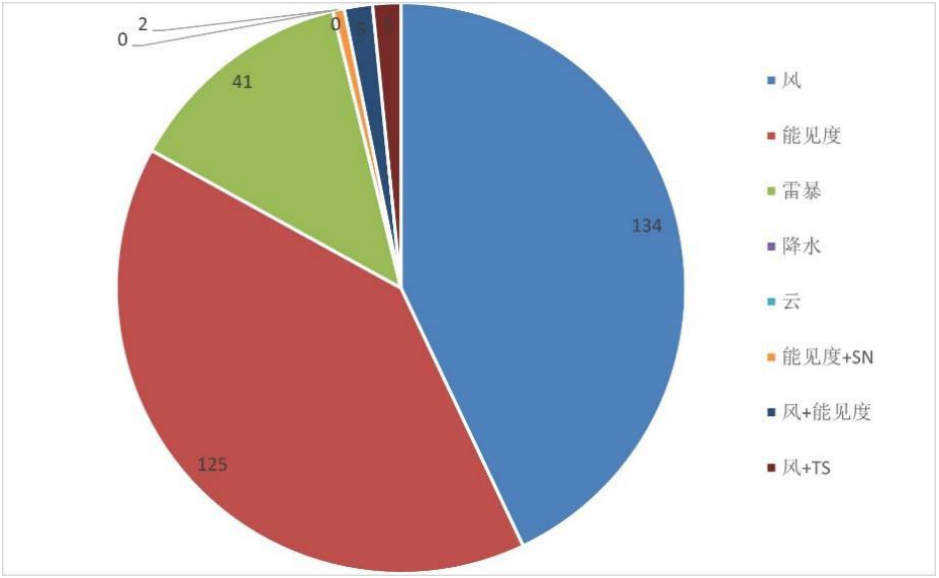


Figure 5. False alarm statistics by meteorological element for trend forecasts at Aksu Airport, 2021~2024
图 5. 2021 年~2024 年阿克苏机场趋势预报各气象要素空报统计

4.2. 环流形势分析

此次冰雹天气是在有利的环流背景条件下产生的，经分析，2024 年 8 月 2 日~24 日高空槽稳定少动、受槽底前短波活动影响，整个南疆西部山区对流发展旺盛，阿克苏机场连续出现强对流天气。

4.2.1. 中分析

对 8 月 23 日阿克苏机场冰雹天气过程进行中分析(见图 6)，分析可知，8 月 23 日 08 时、20 时 200 hPa 南疆西部存在高空急流。08 时 500 hPa 阿克苏站处于槽前西南气流，槽后有冷空气渗透；700 hPa 阿克苏~库车存在气旋式切变；850 hPa 存在温度脊、低层加热促使上空大气不稳定加剧，库车~阿克苏存在偏东的显著流线。相较 08 时、20 时阿克苏站 500~850 hPa 整层出现高湿区(T-Td ≤ 5)；20 时 500 hPa 短波槽过境、700 hPa 形成低压环流、850 hPa 出现冷中心，地面偏东风(东南风)与地形辐合抬升，地面辐合线易维持。高空短波槽过境叠加中低层切变线(低压环流)配合地面冷空气是本次强对流天气发展的动力触发因素，此为阿克苏机场强对流天气的典型环流配置之一。

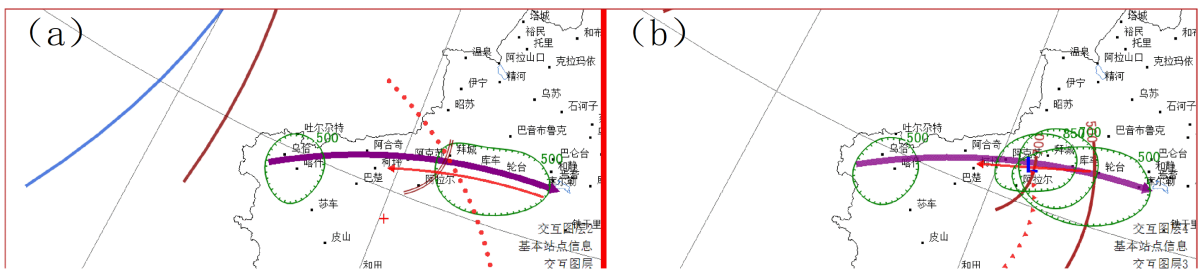


Figure 6. Mesoscale analysis at Aksu Station at 08:00 (a) and 20:00 (b) on August 23, 2024
图 6. 2024 年 8 月 23 日 08 时(a)、20 时(b)阿克苏站中分析

4.2.2. 物理量分析

由阿克苏站的探空资料 T-ln*P* 图(图 7)可知，8 月 23 日 08 时、20 时阿克苏站 K ≥ 30℃、SI 指数 <

3℃存在不稳定能量，T85 为 27℃、大气不稳定。20 时 CAPE 增加至 670 J/kg；中高层有冷空气侵入、地面至 700 hPa 风随高度逆转－冷平流。08 时、20 时阿克苏站 0℃层高度在 4.5 km 左右、−20℃层高度在 7.6 km 左右，两层高度差 3.1 km，随着高度增加降温越快、热力不稳定更强。0℃层、−20℃层两层高度差较小、利于冰雹生成。

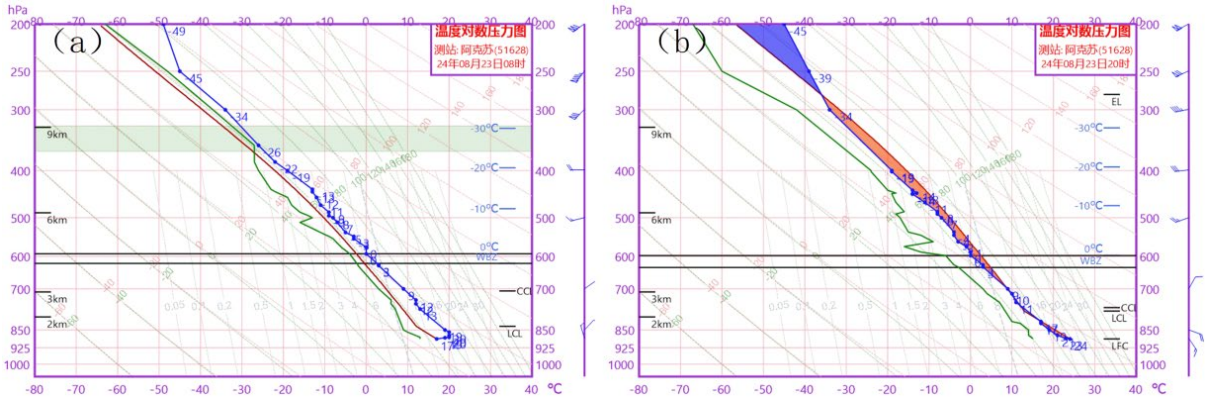


Figure 7. T-ln*P* diagrams at Aksu Station at 08:00 (a) and 20:00 (b) on August 23, 2024
图 7. 2024 年 8 月 23 日 08 时(a)、20 时(b)阿克苏站 T-ln*P* 图

4.3. 雷达特征分析

根据当日雷达回波分析，23 日 18:00~18:54 北部山区发展生成的对流云团东移，18:54 后在柯柯牙山前回波中心范围及强度明显增强、翻山东南下进入红旗坡片区、55~65 dBz 强回波经过阿克苏机场。18:54 后距离机场太近、无法申请人影作业。20:12 后在不同高度的回波中，强回波高度均在 4 km 以下，由于距离雷达太近存在静锥区(见图 8)，无法反映风暴的真实情况。

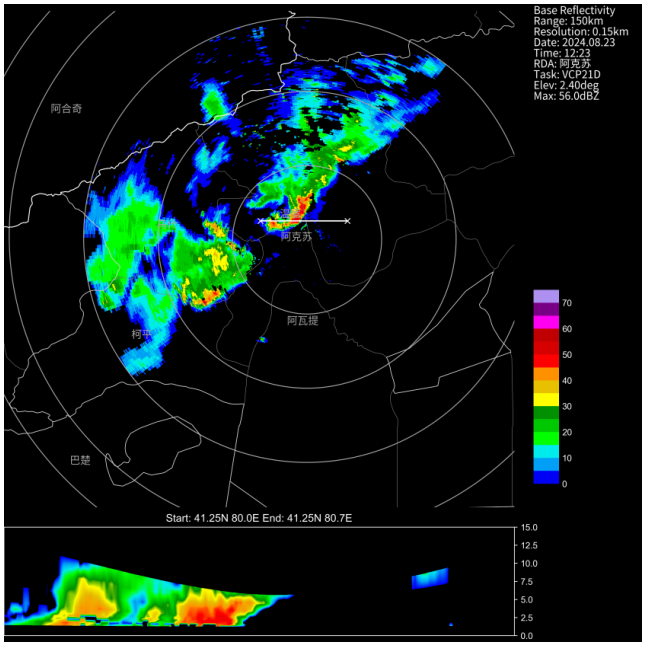


Figure 8. Doppler weather radar reflectivity at Aksu Airport at 20:23 on August 23, 2024
图 8. 2024 年 8 月 23 日 20:23 阿克苏机场多普勒天气雷达回波

4.4. 趋势预报质量分析

经统计，2024 年 8 月 23 日冰雹天气过程共发布趋势预报 6 份，要素风准确 1 份、空报 1 份、漏报 2 份，能见度漏报 1 份，天气现象中雷暴准确 1 份、漏报 2 份，大阵雨漏报 2 份。此次天气过程中对于天气结束的趋势预报加发比较准确，天气开始的趋势预报漏报，主要原因为值班预报员对影响本场的对流云团发展移动趋势预判失误，前期考虑偏北侧的对流云团东移为主、强回波不会覆盖本场，实际天气过程中对流云团翻山东南下影响本场；同时阿克苏机场位于红旗坡片区，三面环山，为保证周围大片林果业的经济效益，人影作业频繁，但此次冰雹天气过程中对流云团翻山南下、在距离本场 28 km 处的柯柯牙山前发展增强时，由于靠近机场、航线密集、无法申请人影作业；当对流云团距离雷达较近时由于静锥区的存在导致雷达资料无法真实反映风暴情况。

5. 讨论

本文利用阿克苏机场 2021~2024 年趋势着陆预报数据，发现本场趋势预报服务主动性不足，预报偏差以漏报为主，风、能见度、雷暴为主要误差要素，4~8 月对流季预报质量显著降低。极端、对流天气预警能力不足是国内中小机场普遍短板。梁爱民等[1]指出探测、模式、评价体系方面的业务短板，并提出强化研判、优化产品的改进思路。吴美玲[2]提出通过梳理极端天气案例、完善探测与会商机制提升预警能力，与本场 4~8 月沙尘、对流多发，漏报集中、夏季准确率偏低的结果相互印证。寿佳慧等[3]提出预报质量受大气非线性、探测条件、人为因素共同作用；杨丽蓉等[4]强调预报员研判习惯、风险权衡等非技术因素的影响，可解释本场预报发布量下滑、复杂天气下预报偏保守的现象。罗忠红等[5]对厦门机场的研究表明，漏报是制约预报准确率的主要因素，风要素误差突出，反映出风要素预报是国内机场共性难题。

与内地机场相比，本场具有明显的南疆地域特征。沿海机场风向误差多和海陆风、降水过程有关[5]；阿克苏受地形、山谷风、沙尘输送共同作用，风漏报主要来自山谷风午后风向突变、冷空气及对流阵风；能见度误差以沙尘起沙时刻难以预判为主，雾、降雪影响占比低；同时，人影作业干预对流演变，叠加雷达静锥区观测失真加大了雷雨季节 2 小时趋势预报的难度。

本文研究仍在一些方面存在局限：一是基于报文与个例分析，未量化预报员个体差异对空漏报的贡；二是缺少数值模式、临近预报产品的本地化定量检验；三是仅统计分析趋势预报，未与 TAF、机场警报横向对比，无法全面评估整体预警体系效能；四是仅采用报文评分，未纳入管制、机组的业务反馈，不能完整反映实际服务效果。

6. 趋势预报质量提升方法与建议

通过前述对阿克苏机场趋势预报漏报空报的分析以及本文研究存在的局限，为进一步提升趋势预报准确率，向航空用户输出更精准、更具价值的气象服务，从业务实践与技术优化方面，提出以下针对性方法与建议：

6.1. 深化天气系统与地方性特征研判

大型天气系统影响下，预报员依托环流形势分析、多模式数值预报产品，可实现“日”尺度的趋势把握，但要精准到“时分”级决策，需深度融合地面观测资料、雷达产品等。实时紧盯气温、湿度、风场各类要素动态变化；结合雷达回波的生消、移动，提前研判天气系统影响时机与强度，从而预判机场趋势，给出管制用户准确的决策依据。

针对地方性特征，以山谷风为例，需开展统计分析，梳理其季节、时段演变规律。如 17~20 时关注

偏南风转变。通过历史案例积累建立针对性预报模型，减少风要素的漏报、空报，提升局地小尺度天气的预报精度。

6.2. 加密观测站点布局

新疆地域广阔，现有探测站点稀疏，气象要素监测存在时间与空间连续性缺口，制约精准预报。当前空管站推进的低能见度探测预警项目，可部分弥补低能见度观测短板，但面向机场“精准服务”需求，需进一步加密机场周围观测站点，例如加强跑道三段激光测风雷达的安装，加强风切变监测。

6.3. 加速新技术本地化应用与研发

强对流临近预报系统、风廓线雷达等新技术是提升预报能力的核心抓手，但需解决本地化适用性研究。针对强对流临近预报系统，需收集强对流天气案例，调整算法模型，优化识别阈值与预警逻辑，使其更贴合阿克苏中小尺度对流特征。对风廓线雷达数据，开展与本地天气系统的关联分析，提炼可用于预报决策的关键指标。

6.4. 推动预报员能力与思维迭代

在趋势预报中，对准确的趋势预报进一步分析，预报员缺乏多要素协同演变的关注。例如预报员预报了沙尘暴，忽略了其伴随的风的大小变化及垂直能见度变化，导致部分漏报，得分偏低。其次预报员需平衡谨慎预报和大胆决策：一方面，对天气开始的预报要通过多源数据交叉验证，大胆预判天气开始时间；另一方面，针对天气结束阶段，摒弃经验惯性，依据实时要素变化动态调整预报结论。三是要提升岗位人员主动监视气象要素的责任心，把握好加发趋势预报的时机，不断提高预报员在天气演变关键节点的决策勇气与精准度。

综上，通过天气研判深化、观测网络加密、技术应用落地、预报思维迭代四维发力，可系统性提升阿克苏机场趋势预报质量，为航空运行提供更可靠的气象支撑，助力机场气象服务向精准化进阶。

7. 总结

(1) 2021~2024 年，阿克苏机场趋势预报发布份数呈下降趋势，反映出在面向航空用户的趋势预报服务中，主动输出气象信息的积极性、持续性有所下滑，需提升趋势预报服务的主动性，建立良好的服务意识。

(2) 对趋势预报漏报、空报的偏差分析可知，整体以漏报为主要偏差类型，空报占比相对较低。从气象要素方面，风、能见度、雷暴的漏报与空报在趋势预报偏差统计中均占据主导地位，这三类要素的预报准确性，成为制约趋势预报质量的核心短板，同时也是后续需研究预报方法优化与误差防控的努力方向。

(3) 趋势预报的漏报、空报与季节特征存在明确关联。4~8 月受对流天气频发、局地环流复杂等影响，要素变化更具突发性与不确定性，是漏报、空报的高发期。需针对性加强该时段要素变化趋势研究，尤其是强化预报员对对流天气的临近预报分析能力，借助雷达回波追踪、数值预报产品分析等手段，提升复杂天气下的趋势预报精度。

(4) 需通过天气研判深化，精准把握要素演变规律；观测网络加密，弥补监测盲区；加速强对流临近预报系统、风廓线雷达等新技术本地化应用；推动预报员思维迭代等多效并举，系统性提高趋势预报准确率。

参考文献

[1] 梁爱民, 江航东, 任庆辉, 等. 提升航空气象预报准确率的实现路径探析[J]. 民航管理, 2025(2): 68-72.

[2] 吴美玲. 关于提高中小机场极端天气预报预警能力的思考[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(11): 101-103.

[3] 寿佳慧, 李帅. 影响气象预报准确率的因素探讨[J]. 新农业, 2021(23): 76.

[4] 杨丽蓉, 肖天贵. 非技术层面的“天气预报准确率”成因及对策初探[C]//中国气象学会. 第 34 届中国气象学会年会 S11 创新驱动智慧气象服务——第七届气象服务发展论坛论文集. 广东省珠海市气象局, 成都信息工程大学, 2017: 421-423.

[5] 罗忠红, 江航东. 提高趋势着陆预报准确率方法探讨[J]. 中国民用航空, 2014(2): 98-99+97.