

乌鲁木齐机场趋势预报质量统计分析

张亚莉

民航新疆空中交通管理局气象中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2026年3月26日; 录用日期: 2026年5月29日; 发布日期: 2026年6月8日

摘要

本文对2022年趋势预报质量按季节、月度和参评要素进行统计分析, 得出趋势预报的变化特征, 结论如下: 1) 机场冬季为趋势预报高发期, 春秋次之, 夏季最少, 对11~12月、1~3月趋势预报发布的数量和质量控制, 可大幅度提高趋势预报准确率。2) 参评要素以主导能见度为主, 低云次之, 天气现象、风组最少, 全年天气现象轻雾出现最多, 其次为雨、雪天气。3) 参评阈值中, 能见度以1500 m、3000 m占比居多, 低云以150 m、300 m、450 m和450 m以下云量变化居多; 风组集中在 $v < 12$ m/s, 参评阈值多为前或后 $v \geq 5$ m/s时, $\Delta_{\text{风向}} \geq 60^\circ$ 或出现VRB; 参评天气现象1~3月、11~12月主要是冻雾, 5~8月主要是雷暴。

关键词

乌鲁木齐机场, 趋势预报, 参评要素, 质量分析

Statistical Analysis of the Quality of Tendency Forecast at Urumqi Airport

Yali Zhang

Meteorological Center of Xinjiang Air Traffic Management Bureau of Civil Aviation, Urumqi Xinjiang

Received: March 26, 2026; accepted: May 29, 2026; published: June 8, 2026

Abstract

This paper conducts a statistical analysis of the quality of tendency forecast in 2022 by season, month, and evaluation elements, and concludes the following: 1) Winter is the peak period for tendency forecast at the airport, followed by spring and autumn, with the least in summer. Controlling the quantity and quality of tendency forecast issued in November-December and January-March can significantly improve the accuracy of tendency forecast. 2) The evaluation elements are mainly dominated by visibility, followed by low clouds, with the least being weather phenomena and wind

groups. Throughout the year, light fog occurs most frequently among weather phenomena, followed by rain and snow. 3) Among the evaluation thresholds, visibility at 1500 m and 3000 m accounts for the majority, while for low clouds, the changes in cloud cover at 150 m, 300 m, 450 m and below 450 m are the most common. Wind groups are mainly concentrated at $v < 12$ m/s, and the evaluation thresholds are mostly when $v \geq 5$ m/s before or after, with Δ wind direction $\geq 60^\circ$ or VRB appears. The main weather phenomena evaluated in January-March and November-December are freezing fog, while in May-August, it is mainly thunderstorms.

Keywords

Urumqi Airport, Tendency Forecast, Evaluation Elements, Quality Analysis

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

在航空气象业务中,随着民航业的飞速发展,飞行流量也日渐加大,航空运行已处于饱和状态,使得天气对航班运行正常性的影响更为凸显,航班运行的正常率更加依赖于天气,因此,对航空气象的临近预报要求也越来越高[1]。目前,气象预报产品主要有机场预报、着陆预报、区域预报等等,其中,趋势预报能为航空器提供着陆判断的临近预报,能更好地满足航空气象用户短临预报的需求。着陆预报采取趋势预报形式发布,趋势预报由机场天气报告趋势预报应由机场天气报告附带该机场的地面风、能见度、天气现象和云中一个或几个要素的重大变化[2]。

自2009年民航空管系统开展“航空气象服务年”活动以来,各地区空管局对趋势预报的重视程度越来越高,趋势预报发布工作越来越被重视,趋势预报日渐趋于成熟。新疆气象信息中心多次开展“安康杯联合趋势预报明星竞赛”、“安康杯雷雨季节趋势预报竞赛”、“安康杯冬季复杂天气趋势预报竞赛”等活动,在各种活动训练中,观测、预报两岗沟通与协调配合能力增强,趋势预报准确率进一步提高,趋势质量得到了很大的改善。

近年来,国内航空气象工作者对趋势预报的研究渐多,喻侨[3]、马晓玲等[4]、王璞瑛[5]等对虹桥、西宁、伊春机场趋势预报的地面风进行统计分析,总结出地面风的趋势预报变化特征。其他民航学者相继统计了各地区的趋势预报准确率,按年、季节、月度分析了相关趋势预报准确率、漏报率、空报率等,分别分析了各种天气下的参评要素的特点,并提出趋势预报发布需要注意的问题和提高趋势预报的方法[6]-[13]。

本文使用2018年1月1日~2022年12月31日乌鲁木齐机场(以下简称“机场”)趋势预报发布资料、24 h人工值守的气象观测资料,2022年1月1日~2022年12月31日机场自动观测系统AWOS数据,气象要素包括风组、能见度、天气现象和云组等,保证了资料来源的完整性和连续性。本文对2022年趋势预报质量按季节、月度和参评要素进行统计分析,得出机场趋势预报变化趋势,不同季节、不同月度的趋势预报质量对比和参评气象要素的变化特征等,以期为今后趋势预报发布提供一定的参考。

2. 趋势预报质量统计

2018~2022年趋势预报准确率呈现两个“波峰”和“波谷”的特点,两个“波峰”的值大于53%，“波谷”最低为46%。准确率最高出现在2019年,为54.72%;最低出现在2020年,为46.29%。趋势预

报准确份数与准确率呈现正相关性，其中，2019年准确份数最多，为1013份，其余年准确份数维持在700~850份。趋势预报漏报率和准确率则相反。因此，在业务工作中，可积极与观测员进行沟通，利用多发趋势预报来提高趋势预报准确率。

2.1. 各季节趋势预报质量分析

秋季和冬季准确率最高，均在45%以上，秋季约27%，夏季最少为8.96%。漏报率则相反，夏季最高达88%。冬季趋势份数最多，为1169份，占全年趋势总份数的58%，其中，准确份数有608份，漏报份数有534份。其余三个季节，趋势份数在250~290份，占总份数的12%~15%，漏报份数为150~230份(图1)。可见，冬季趋势预报份数占总份数的一半以上，冬季发布的准确份数最多，准确率最高，但冬季也是漏报份数最多的季节。因此，多关注冬季趋势预报发布情况，对冬季趋势预报的发布进行数量和质量控制，可以大幅度地提高机场的趋势预报质量。

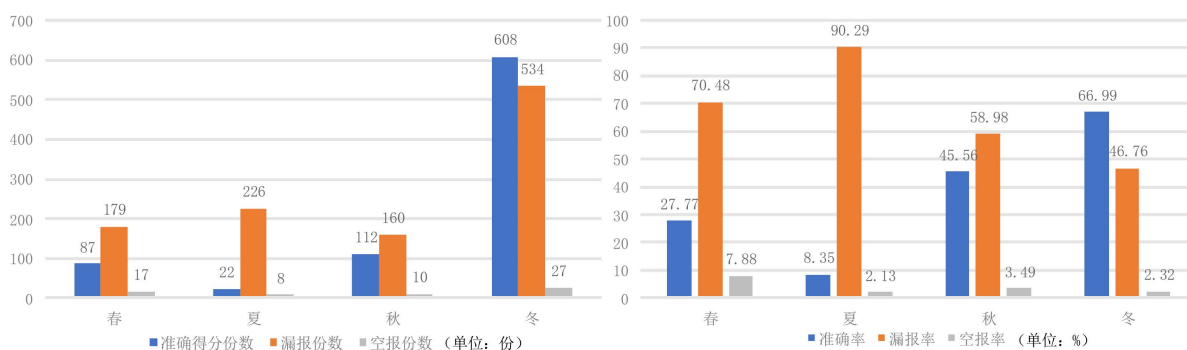


Figure 1. Statistics of trend forecast quality by season in 2022

图 1. 2022 年四季趋势质量统计

2.2. 各月趋势质量分析

图2统计了2022年各月趋势预报质量，1~2月准确率达到80%，其次为3、10~11月为40%~60%，4~9月总体低于25%，其中4、6~8月低于10%，与趋势发布份数成正比，1~2月趋势发布份数为220~280份，12月趋势份数次之，为114份，12月漏报份数213份，为全年最高。1~2月、12月是趋势预报的多发时段，把握住趋势预报的发布利于提高趋势预报准确率。月空报份数和空报率相对稳定，4~9月漏报率80%及以上，漏报份数为35~100份。

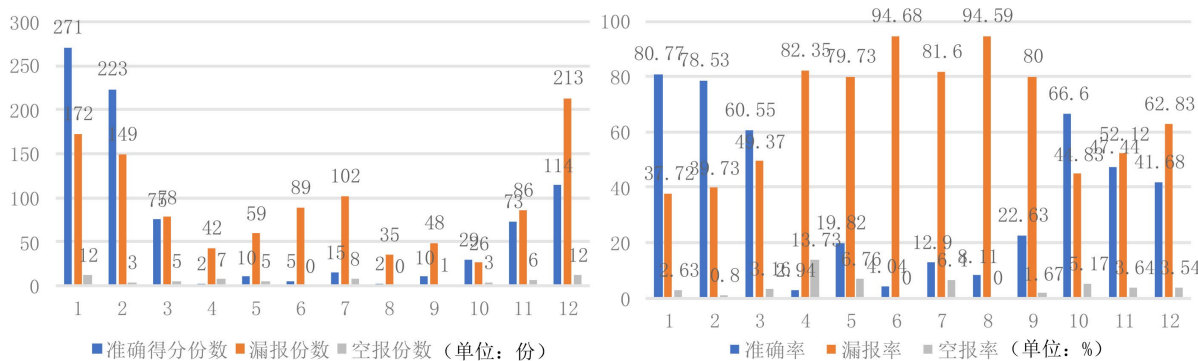


Figure 2. Monthly trend forecast quality statistics in 2022

图 2. 2022 年各月趋势质量统计

3. 趋势预报参评要素分析

乌鲁木齐地区地处亚欧大陆腹地，远离海洋，属温带干旱性气候。机场春季和秋季多大风、沙尘天气，夏季多雷雨、大风等天气，冬季低云和阴雾天气频发，这些天气都是影响机场趋势预报质量的重要因素。从2022年各月趋势预报参评要素(图3)分析得出，机场参评要素主要是能见度、低云(包括云量和云高)和风组(包括风向和风速)，天气现象组相比之下出现少。表1进一步统计了各类天气出现日数，结果显示轻雾出现频次最高，全年达134日，其次为雨、雪，出现80日及以上。雨、雪及雾的出现通常伴随低云与能见度的变化，与图3的统计特征一致。以下将重点针对能见度、低云及风组的预报难点进行机理分析。

机场地处天山北麓、市区北郊，地形呈东南高、西北低的“喇叭口”状低窝结构。冬季，机场常处于高空偏西气流与低层暖平流控制下，叠加积雪升华增湿与雪面辐射冷却效应，近地面易形成深厚逆温层，水汽持续聚集且难以扩散，导致冻雾长时间维持。即使无典型逆温，夜间持续降温亦可触发冻雾，其能见度波动剧烈，对能见度和云组预报构成显著挑战。

夏季，机场东南方向为柴窝堡山谷谷口，天山山区与盆地间热力差异驱动山谷风环流日变化显著，风向于早晚时段发生系统性转换。当 $v < 12 \text{ m/s}$ 且前后时段均达 5 m/s 以上时， $\Delta_{\text{风向}} \geq 60^\circ$ 或VRB情形频发。高分辨率模式对峡谷边界层热力环流的刻画能力有限，致使风组漏报率居高不下。

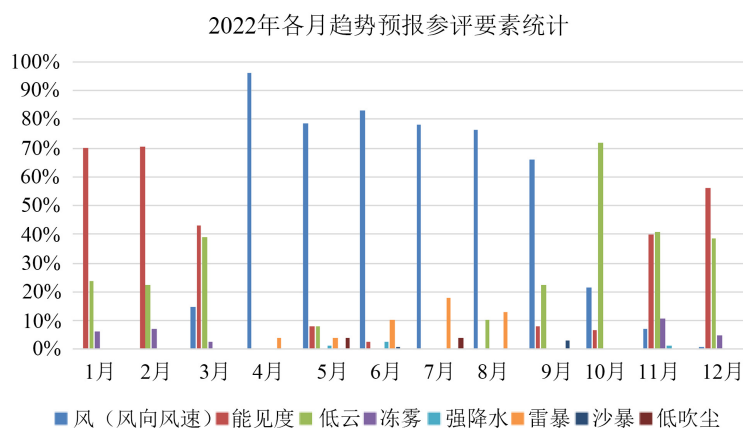


Figure 3. Statistics of evaluated elements in monthly trend forecasts in 2022
图3. 2022年各月趋势预报参评要素统计

Table 1. Statistics of days with various weather phenomena at Urumqi Airport in 2022

表1. 乌鲁木齐机场2022年各类天气现象日数统计

天气现象	雨	雪	雾	轻雾	霜	雾凇	沙尘
出现日数	86	79	39	134	3	5	1
天气现象	扬沙	浮尘	烟	霾	雷暴	大风	
出现日数	26	18	62	2	18	15	

3.1. 能见度

机场4~10月能见度为全年较好时间段，1~2月、12月，为平均能见度最低月份，平均能见度下降至3000 m以下。冬季1~2月、12月阴雾和降雪天气居多，主要参评气象要素为能见度，各月占56%~71%。能见度参评阈值主要是上升并达到或经过(下降并经过)1500 m，1月、12月为57%~65%，2月为43%，

3月最少在10%以下。其次，参评阈值为上升并达到或经过(下降并经过)3000 m，3月此阈值接近80%，2月为47%，12月、1月较少为24%~35%。其他阈值约10%或以下，占比少(图4)。3月、11月主要以能见度和低云为主，各占比40%左右，能见度阈值以3000 m为主，占比80%左右。

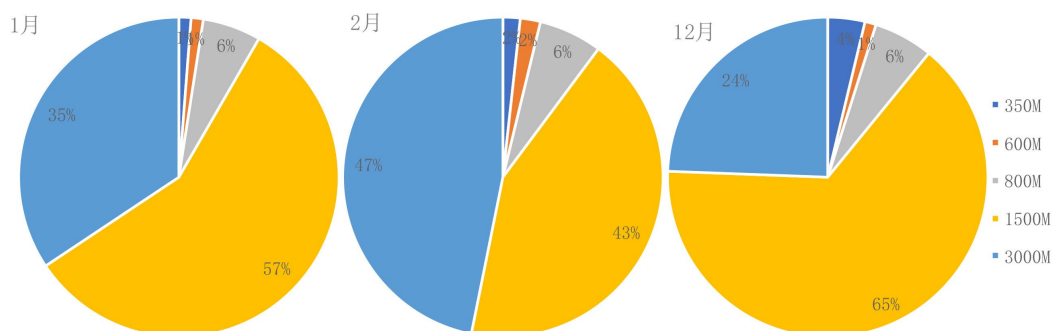


Figure 4. Statistics of visibility crossing 350 m, 600 m, 800 m, 1500 m, and 3000 m thresholds (rising/falling) in Jan, Feb, and Dec 2022

图 4. 2022 年 1~2 月、12 月参评要素能见度上升并达到或经过(下降并经过)350 m、600 m、800 m、1500 m 和 3000 m 阈值统计

3.2. 低云

低云在冬季趋势预报参评要素中占比第二，月参评要素 20%~41%。雾维持期间低云量一般比较稳定，系统性降水需关注降水来临前，低云增加，降水结束后，低云逐渐减少。夏季低云主要是对流云，但是 BKN 以上量级的低云维持时间比较短暂，夏季低云趋势相比其他季节非常少。低云参评阈值上升并达到或经过(下降并经过)60 m 及其下小于 10%。150 m 大于 15%，3 月最多为 27%。300 m 大于 15%，1 月最多为 30%。450 m 大于 10%，12 月最多为 36%。450 m 以下云量从 SCT 或更少到 BKN 或更多(从 BKN 或更多到 SCT 或更少)大于 20%，2 月最多为 51%(图 5)。3 月、11 月以 150 m 和 450 m 以下的云量变化阈值居多，占比 70%左右。

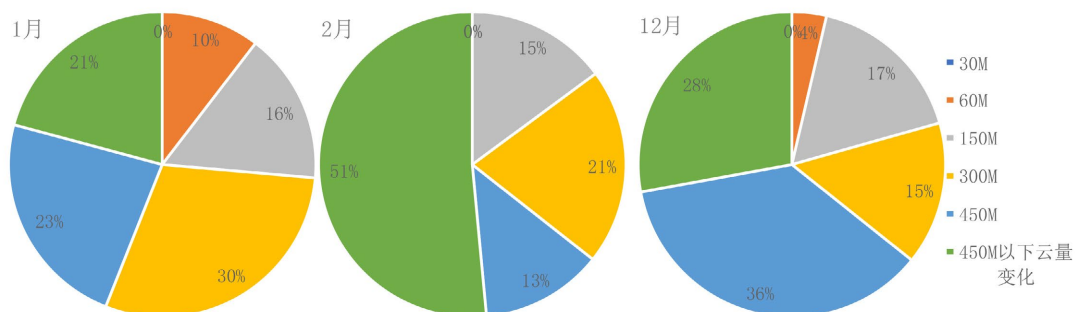


Figure 5. Threshold crossing statistics for cloud base (30, 60, 150, 300, 450 m) and cloud amount changes (SCT/BKN) below 450 m in Jan, Feb, and Dec 2022

图 5. 2022 年 1~2 月、12 月参评要素上升并达到或经过(下降并经过)30 m、60 m、150 m、300 m、450 m 和 450 m 以下云量从 SCT 或更少到 BKN 或更多(从 BKN 或更多到 SCT 或更少)的阈值统计

3.3. 风组

风组趋势变化主要出现在 4~9 月，出现频率大于 66%，4~8 月出现频率大于 75%(图 3)，风组漏报率远高于其准确率和空报率，4~9 月漏报率达 80%以上。从地形来看，机场位于东西天山峡谷的西北端开

口处,盛行风受地形的影响和制约显著。累年 v (平均风速) > 4 m/s 主要出现在 4~7 月, 8~9 月次之。2022 年机场大风 ($v \geq 12$ m/s 或 $v_{\text{瞬时}} \geq 17$ m/s) 仅出现 15 日, 全年 v 以 4~12 m/s 为主, 大风少。风组趋势集中在 4~9 月, 共 347 份, 占全年参评要素的 18%。由表 2 可知, 风组趋势参评阈值主要是前后 $\Delta_{\text{风向}}$ (风向变化) $\geq 60^\circ$ 且 v 达到 5 (含)~12 (不含) m/s、前或后出现 VRB 且 $v \geq 5$ m/s, 风速参评集中在 $v < 12$ m/s, 几乎占风组参评的 100%。

Table 2. Statistics of occurrence frequency of wind group thresholds from April to September 2022 at Urumqi Airport (unit: occurrence)

表 2. 乌鲁木齐机场 2022 年 4~9 月风组阈值出现时次统计(单位: 时次)

风组参评阈值出现时次/月份	VRB ($v \geq 5$ m/s)	$\Delta_{\text{风向}} \geq 60^\circ$ 且 v (5~12 m/s)	Δv (风速变化) ≥ 5 m/s ($v < 12$ m/s)	$\Delta v \geq 5$ m/s ($v \geq 12$ m/s)
4 月	14	26	5	3
5 月	14	18	27	0
6 月	24	44	8	1
7 月	20	56	21	0
8 月	7	19	2	0
9 月	18	15	5	0
合计	97	178	68	4

3.4. 天气现象组

天气现象组参评要素有冻雾、强降水、雷暴、沙尘和低吹尘。1~3 月、11~12 月主要是冻雾, 月参评要素占比在 3%~11%, 11 月占比最多为 11%。4~8 月主要是雷暴, 6~8 月参评要素占比在 10%~20%。沙尘、低吹尘主要出现在 5 月、7 月和 9 月, 占比 4%左右。强降水主要出现在 5 月、6 月和 11 月, 占比 3%左右。

4. 讨论与结论

4.1. 讨论

本研究结果与虹桥机场相关研究对比表明, 其夏季预报难点集中于热力性雷暴与台风外围风切变, 而乌鲁木齐机场夏季突出表现为风组漏报, 即 $v < 12$ m/s 时 $\Delta_{\text{风向}} \geq 60^\circ$ 或出现 VRB 的局地风场突变。这一差异源于地理环境不同, 虹桥地处平原, 受副高边缘不稳定能量主导; 而乌鲁木齐位于天山北麓, 山谷风转换频繁, 高分辨率模式对此类小尺度风场刻画能力有限。

与西宁机场相比, 两地冬季趋势预报均以能见度及低云为主要参评要素, 参评阈值集中于 1500 m 与 3000 m。然而, 西宁机场冬季低能见度多由辐射逆温与供暖排放共同导致, 而乌鲁木齐机场则以冻雾及持续性阴雾天气为主, 其对探空层结参数的依赖性更为显著。

与伊春机场相比, 伊春低能见度成因以林区辐射雾为主导, 而乌鲁木齐机场雾的成因更为复杂, 涵盖冻雾、平流雾及锋面雾等多种类型, 且春、秋季偶有沙尘天气叠加影响, 增加了预报的不确定性。

本研究尚存在一定局限性: 其一, 统计年限较短, 对极端天气事件的代表性可能不足; 其二, 对风组漏报成因的动力学机理分析尚有待深化; 其三, 关于引入机器学习方法的讨论仍处于理论建议阶段, 其在本地化预报中的适用性有待后续实证检验。

综上所述, 乌鲁木齐机场趋势预报呈现出冬季以能见度为核心、夏季以风组突变为特征的局地性规

律。未来研究需进一步融合多源观测数据与智能算法，以提升复杂地形条件下的预报精细化水平。

4.2. 结论

(1) 机场冬季趋势预报份数占全年总份数的一半以上，准确份数和准确率最高，春、秋次之，夏季最少。冬季 1~2 月、12 月准确率可达 80%及以上。春、秋季节的 3 月、11 月准确率可达 60%。针对夏季风组漏报率偏高的问题，建议研发基于高分辨率数值模式的局地风场预报解释应用产品，以提升风要素预报能力。对于冬季冻雾预报，建议构建以关键探空层结参数与地面气象要素为基础的预报预警流程。同时，针对上述各月份趋势预报产品的发布环节实施数量与质量双控管理，预期将显著提高乌鲁木齐机场趋势预报的整体质量。

(2) 2022 年机场天气现象统计显示，全年轻雾出现 134 日，雨、雪约 80 日，雾 39 日，其余天气现象均不足 30 日。可见，趋势预报参评要素以能见度为主，低云次之，天气现象与风组占比最低。

(3) 冬季 1~2 月、12 月阴雾和降雪天气居多，常常伴随着低能见度和低云，是平均能见度最低月份。1~3 月、11~12 月趋势预报主要参评要素是能见度，其次为低云。能见度的参评阈值以 1500 m 和 3000 m 占比最多，低云的参评阈值以 150 m、300 m、450 m 和 450 m 以下云量变化居多。

(4) 4~9 月参评要素主要是风组，其漏报率远高于准确率和空报率，是导致该时段漏报率超过 80%的直接原因。风组参评集中在 $v < 12 \text{ m/s}$ ，阈值多表现为前或后 $v \geq 5 \text{ m/s}$ 时， $\Delta_{\text{风向}} \geq 60^\circ$ 或出现 VRB，预报难度较大。

(5) 天气现象组参评要素包括冻雾、强降水、雷暴、沙暴及低吹尘。12 月至次年 3 月以冻雾为主，5~8 月以雷暴为主，春、秋季偶有沙尘天气出现，占比甚微。

未来可引入机器学习方法，针对夏季风组漏报与冬季冻雾低能见度构建智能释用模型，辅助预报决策，提升乌鲁木齐机场趋势预报精细化水平。

参考文献

- [1] 苏艳华. 浅谈如何发挥航空气象服务在民航协同运行决策中的作用[J]. 气候变化研究快报, 2021, 10(4): 365-368.
- [2] 中国民用航空总局航空安全技术中心. MH/T4016.2-2007 民用航空气象 第 2 部分: 预报[S]. 北京: 中国科学技术出版社, 2007.
- [3] 喻桥. 虹桥机场 2015-08 风特征分析[J]. 科技与创新, 2018(16): 89-90.
- [4] 马晓玲, 李德帅, 张文玲, 等. 西宁地区地面风场趋势预报的特征分析[C]//中国气象学会. 第 32 届中国气象学会年会 S1 灾害天气监测、分析与预报. 北京: 气象出版社, 2015: 1622-1623.
- [5] 王璞瑛. 2020 年伊春秋冬季风趋势预报统计分析[J]. 黑龙江气象, 2023, 40(4): 8-11.
- [6] 陈焕深. 提高趋势预报发布率的方法分析[J]. 空中交通管理, 2010(4): 21-22.
- [7] 王晓礼. 浅谈如何提高趋势预报发布水平[J]. 空中交通, 2014(12): 61-63.
- [8] 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): 97-99.
- [9] 郭瑞峰. 浅谈如何提高太原机场趋势预报发布水平[J]. 信息记录材料, 2017, 18(10): 110-111.
- [10] 易军, 徐佳辉. 上海虹桥机场趋势预报方法初探[J]. 中国民航飞行学院学报, 2019, 30(3): 28-34.
- [11] 姜晗春, 顾成恺. 大连机场趋势型着陆预报统计分析[J]. 中国航班, 2019(8): 1-2.
- [12] 朱雯娜, 渠庆华, 孙少明, 等. 浅谈乌鲁木齐机场趋势预报发布工作[J]. 民航科技, 2020(1): 89-92.
- [13] 李磊. 沈阳桃仙机场 2021 年趋势预报分析和短临预报技巧[J]. 科技资讯, 2023, 21(10): 143-147.