

新疆地区颠簸特征分析

程海艳

中国民用航空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8月2日; 录用日期: 2026年9月2日; 发布日期: 2026年9月9日

摘要

本文基于2018~2023年新疆地区3371份话音航空器报告, 统计分析了空中颠簸强度、时空分布及天气成因。结果表明: (1) 新疆地区颠簸以中度为主, 占比82%, 强颠簸、轻度颠簸分别占15%、3%。时间维度上, 2018~2023年颠簸频次整体逐年上升; 春季颠簸最多(34%)、冬季次之(25%), 3、4月为全年高发时段, 8月频次最低; 昼间颠簸远多于夜间, 存在08:00、15:00、22:00三个高发峰值, 凌晨02:00~06:00最少。(2) 颠簸集中于8 km以上高空(35%)与3~6 km中层(32%); 整体呈现西多东少、南多北少格局。。(3) 成因统计显示, 急流是颠簸主导诱因(52%), 高空槽次之(20%); 3 km以下颠簸多由东南风层导致, 3 km以上以急流、高空槽为主。春冬季急流与东南风层活跃、天气系统频发, 颠簸显著偏多, 夏季急流减弱、系统活动少, 颠簸频次偏低。研究结果可为新疆航线颠簸预警、航空气象保障提供数据支撑。

关键词

颠簸, 急流, 成因, 航空安全

Analysis of Turbulence Characteristics in Xinjiang

Haiyan Cheng

Meteorological Center, Xinjiang Air Traffic Management Bureau of CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: August 2, 2026; accepted: September 2, 2026; published: September 9, 2026

Abstract

Based on 3371 voice pilot reports collected by Xinjiang aviation meteorological departments from 2018 to 2023, this paper statistically analyzes the intensity, spatiotemporal distribution and meteorological causes of enroute turbulence over Xinjiang. The results show that: (1) Moderate turbulence dominates all turbulence events in Xinjiang, accounting for 82%, followed by severe turbulence

(15%) and light turbulence (3%). From the temporal perspective, the overall frequency of turbulence shows an upward trend year by year during 2018~2023. Turbulence occurs most frequently in spring (34%), followed by winter (25%). March and April witness the highest annual turbulence frequency, while August sees the minimum events. Turbulence is far more frequent in daytime than at night, with three peak periods around 08:00, 15:00 and 22:00 Beijing Time, and the least turbulence occurs between 02:00 and 06:00. (2) Turbulence mainly concentrates above 8 km (35%) and within the layer of 3~6 km (32%); and it occurs more frequently in the west than in the east and more in the south than in the north. (3) Statistical analysis on turbulence causes indicates that jet stream is the primary trigger of turbulence (52%), followed by upper trough (20%). Turbulence below 3 km is mostly induced by southeasterly wind layers, whereas turbulence above 3 km is mainly caused by jet streams and upper troughs. Jet streams and low-to-mid level southeasterly wind layers are active with frequent synoptic systems in spring and winter, leading to abundant turbulence events. In summer, jet streams weaken and synoptic activities decrease, resulting in low turbulence frequency. The research findings can provide data support for turbulence early warning and aviation meteorological service guarantee over Xinjiang air routes.

Keywords

Turbulence, Jet Stream, Turbulence Cause, Aviation 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

飞机颠簸是威胁民航运行安全的典型危险天气，强颠簸易造成机组、旅客摔伤，严重时引发飞机短时操纵失控、机体结构受损，大幅增加航班备降、延误风险，无云标识的晴空颠簸雷达难以探测，隐蔽性极强，是航路气象保障重点防控对象[1]。颠簸诱因繁杂，高空急流、高空槽、切变线、山地波、对流、地形强迫、低层风场切变均可诱发不同高度、不同强度湍流，复杂地形区颠簸时空规律存在显著地域差异[2]-[5]。

新疆地处欧亚大陆腹地，天山山脉横贯全域，航路叠加高原山地、高空急流、低层东南风层多重特殊气象条件，颠簸事件多发。但针对新疆全域长时序话音航空器报告的系统性颠簸特征研究仍较为薄弱，现有成果多为短期天气个例或单气象要素分析，缺少对颠簸强度、垂直分层、季节日变化、易发区及分层成因的定量梳理[6]。

为此本文采用 2018~2023 年 3371 份话音方式航空器报告，系统统计分析新疆航路颠簸强度、时空分布及不同高度层对应的天气成因，明确区域颠簸高发时段、优势高度层与重点航路易发区域，量化归纳特殊地形与环流条件下新疆空中颠簸的统计规律，所得结果可为区域航路颠簸预警、航线优化运行、机组气象服务提示提供客观观测数据支撑。

2. 资料说明

文章所用数据为 2018 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日由新疆航空气象部门发布的话音方式航空器报告，共计 3371 份，报告内容包括：颠簸出现时间、高度、位置、强度以及天气成因等要素。

通过对话音方式航空器报告中的强度分析发现，新疆地区颠簸以中度为主，占总数的 82%；其次为强颠簸，占比为 15%；轻度颠簸最少，仅 3%，如图 1 所示。

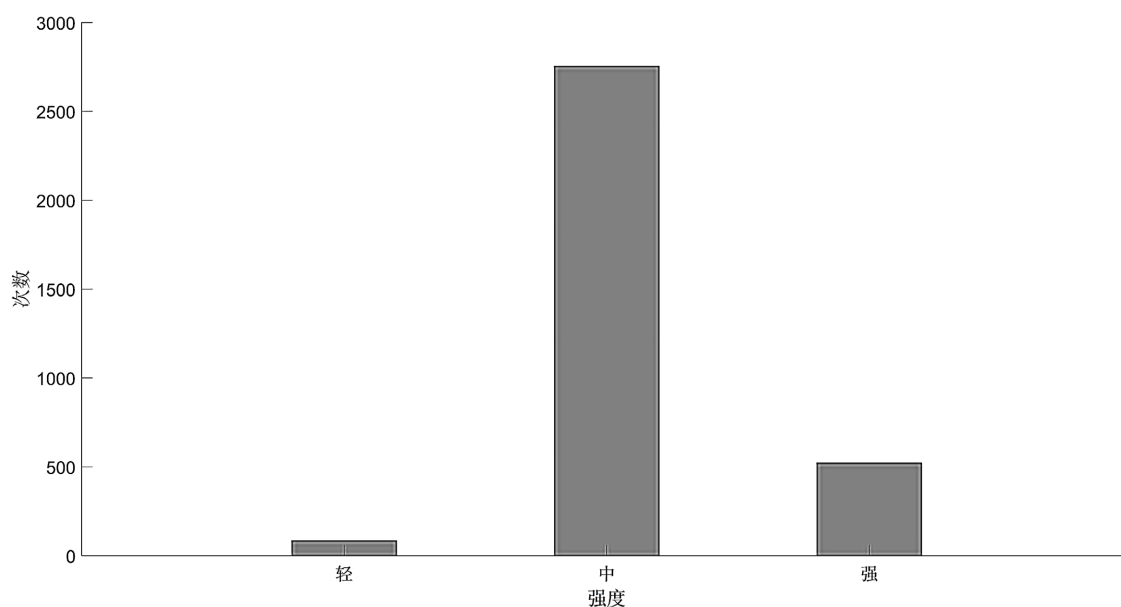


Figure 1. Characteristics of turbulence intensity in Xinjiang region

图 1. 新疆地区颠簸强度特征

3. 时空特征

3.1. 时间分布特征

利用话音方式报告中的时间信息讨论新疆地区颠簸的时间分布特征。

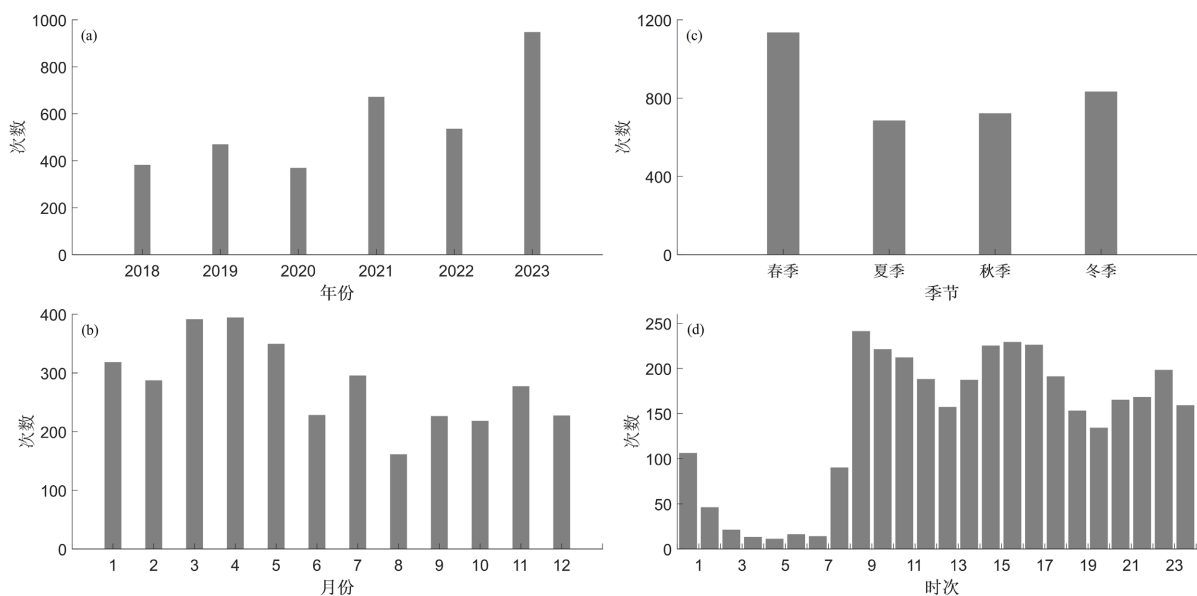


Figure 2. Temporal distribution characteristics in Xinjiang region for (a) Annual, (b) Monthly, (c) Season, (d) Daily

图 2. 新疆地区颠簸的时间分布特征。年分布；(b)月分布；(c)季节；(d)日分布

从 2018~2023 年颠簸的年发生次数来看(图 2(a)), 2019~2020 年段和 2021~2022 年段颠簸次数存在轻微波动, 但 2018~2023 年整体呈上升趋势, 2023 年颠簸发生次数是 2018 年的 2.5 倍。新疆地区的颠簸主

要出现在春季, 占总数的 34%, 其次为冬季, 占比为 25%, 而夏季和秋季出现颠簸的次数相对较少(图 2(c)), 与李克南等[2]和黄萌等[7]的研究结论一致, 冬春季节更易出现颠簸。从各月的变化来看(图 2(b)), 11~5 月发生颠簸的频次明显高于 6~12 月, 1~5 月的多年月平均颠簸次数为 58 次, 而 6~12 月为 39 次。3 月、4 月是一年中易出现颠簸的月份, 其次为 5 月, 而 8 月出现颠簸的频次最少。

根据新疆地区颠簸日变化分布图可知(图 2(d)), 昼间发生颠簸的概率明显高于夜间, 02:00~06:00 (北京时, 下文同)颠簸出现次数最少, 年平均次数不超过 4 次, 07:00 以后颠簸出现的频次陡增, 并维持在一个较高的水平, 到 23:00 以后迅速下降。另外, 颠簸的频次分布存在 3 个峰值区, 依次为上午 08:00 左右、中午 15:00 左右以及夜间 22:00 左右, 其中 08:00 左右的颠簸年平均次数为 40 次。上午 8 时的峰值和 22 时的峰值可能与飞行量有很大关系, 而中午至傍晚时段则可能跟天气系统发展有一定的关系。

3.2. 空间分布特征

利用话音方式报告中的高度和位置信息讨论新疆地区颠簸的空间分布特征。

3.2.1. 垂直分布特征

将高度按 3 km 以下、3 (含)~6 km、6(含)~8 km、 ≥ 8 km 的区间进行划分, 如图 3 所示。分析发现新疆地区颠簸主要发生在 8 km 以上的高空, 占总数的 35%; 其次为 3(含)~6 km 高度层, 占比为 32%; 3 km 以下再次之, 占比为 23%; 6 (含)~8 km 层次出现颠簸的频次最少, 仅占 10%。

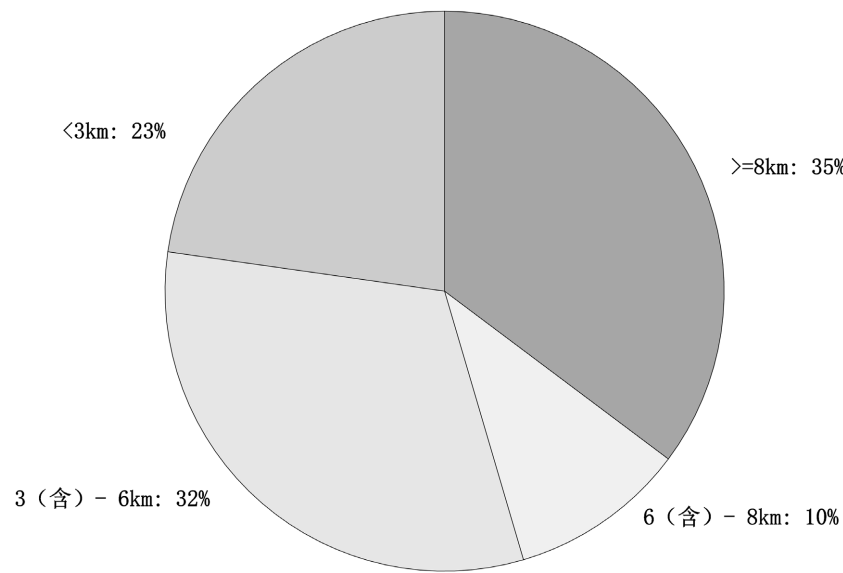


Figure 3. Characteristics of vertical distribution of turbulence in Xinjiang region
图 3. 新疆地区颠簸垂直分布情况

3.2.2. 水平分布特征

将发生高度在 6 km 以上的颠簸位置信息转换成经纬度后得到图 4。不难发现, 颠簸出现的位置主要分布在航路及其两侧, 以 B215 和 W119 航路为主。总体来看, 天山山区及其两侧以及南疆西部航路的颠簸频次明显高于北疆、南疆东部以及东疆地区, 其中位于东疆区域的 B215 阜康 - 哈密航段为进出新疆的主要航路, 航班飞行量较大, 但颠簸频次却并不高, 猜测与该地区的环流形势或是航路航向有关, 还需要进一步探讨。

从图 4 可知, 新疆地区大部分地区颠簸年平均次数不超过 5 次, 这里将年平均次数超过 5 次的区域

称为颠簸易发区。以此得到了新疆地区的 4 个颠簸易发区, 分别为: (1) 以导航点 KABDO 为中心半径 50 km 范围内的区域, 该区域内颠簸最高频次超过 20 次/年, 为颠簸高发区; (2) 以导航点 P267、BEBEP、XKC (库车) 为主的三角区域; (3) W119 航路 AKS (阿克苏)-LESVI 航段; (4) SADAN 东西方向 50 km 范围内。

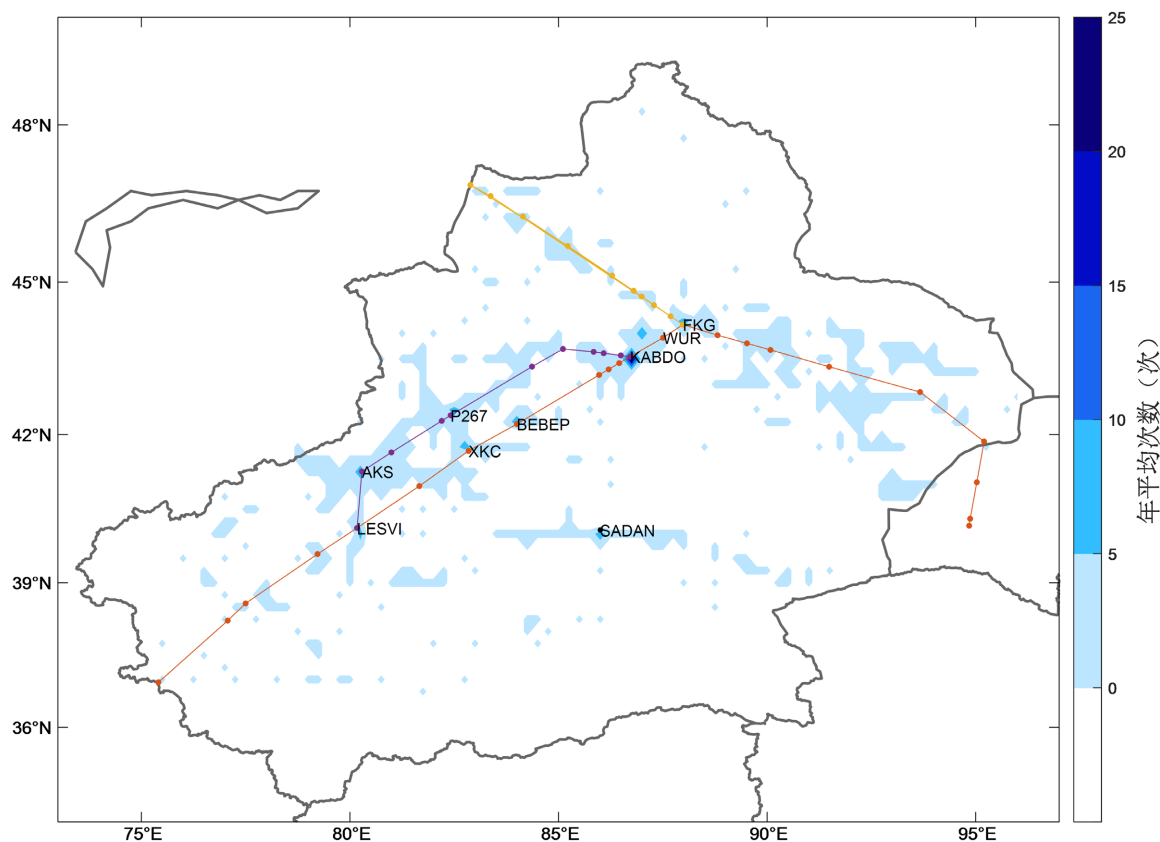


Figure 4. Horizontal distribution characteristics of turbulence in Xinjiang region

图 4. 新疆地区颠簸水平分布特征

4. 成因分析

根据颠簸报告中记录的天气成因, 可知造成新疆地区颠簸的原因主要有: 急流、高空槽、东南风层、对流、低涡、切变线、冷锋、地形、山地波以及由风场变化为主的其他类原因(图 5)。其中急流是造成新疆地区颠簸的最主要原因, 占总数的 52%, 其次为高空槽, 占比 20%, 再次为东南风层和其他类(9%), 由对流引起的颠簸占总数的 7%, 而由低涡、切变线等引起的颠簸不超过 2%。

通过统计不同高度层次的颠簸成因, 发现不同飞行高度层引起颠簸的原因有所不同(图 6)。其中 3 km 以下的颠簸多由东南风层引起, 其次为风场的变化; 3~6 km 层次的颠簸主要由中层急流引起, 其次为高空槽; 6~8 km 层次和 8 km 以上层次的颠簸成因分布一致, 即高空飞行时高空急流是形成颠簸的首要原因, 其次为高空槽。

将造成新疆地区颠簸的 3 大成因进行季节划分(图 7)。可知新疆地区颠簸的首要原因 - 急流主要分布在春季, 占总数的 39%, 其次为冬季(29%), 夏季最少(13%); 高空槽的依次是春季(30%)、秋季(28%)、冬季(23%)、夏季(19%); 而东南风层则主要分布在冬季(50%), 夏季基本不存在东南风层。根据急流、

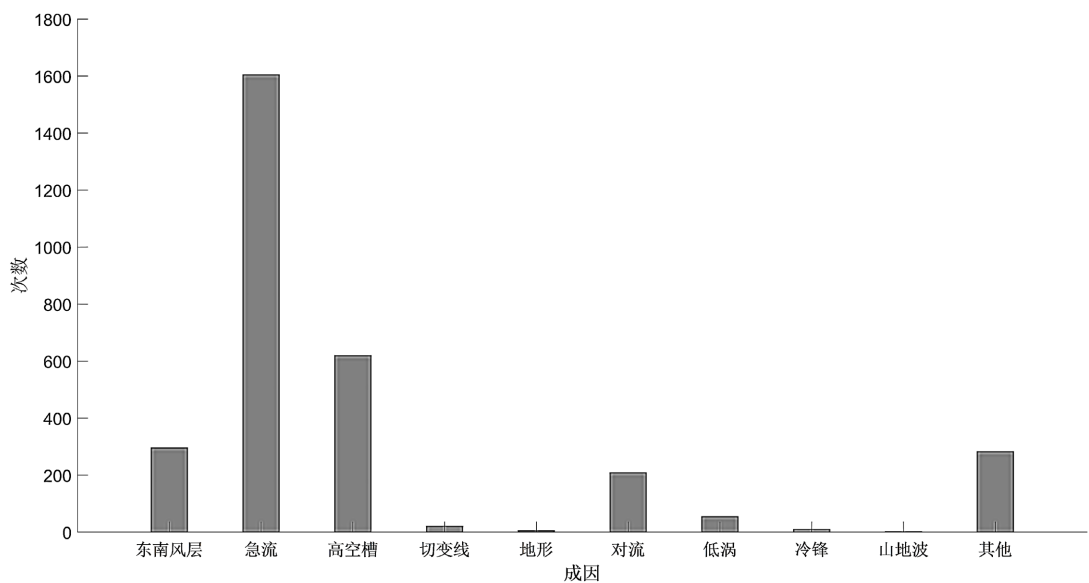


Figure 5. Distribution of causes of turbulence in Xinjiang region
图 5. 新疆地区颠簸成因分布

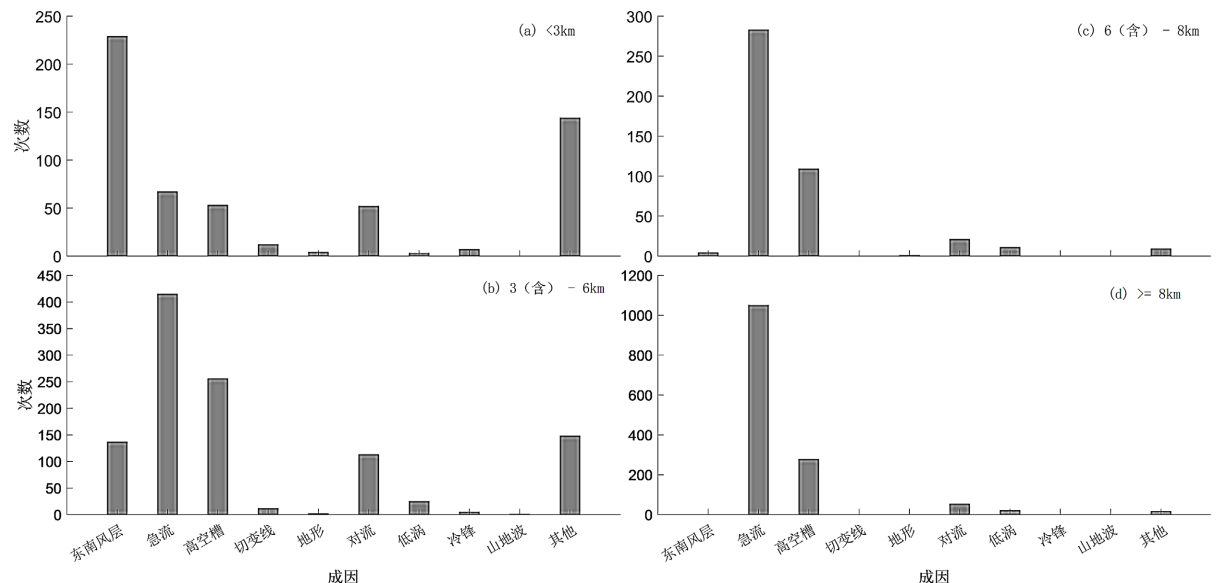


Figure 6. Distribution of causes at different height levels
图 6. 不同高度层次的成因分布

高空槽、东南风层的季节分布，认为春季和冬季颠簸多发是因为急流和中低空东南风频发，且系统性天气活跃，而夏季颠簸较少则是由于夏季急流明显减弱，且大型天气系统活动较少。

5. 结论

通过分析 2018~2023 年新疆地区颠簸的时空分布等特征，得到如下结论：

- (1) 新疆地区的颠簸强度以中度居多，轻度和强度较少。
- (2) 新疆地区颠簸整体呈上升趋势，且具有明显的日变化特征，昼间明显多于夜间，上午 08:00 左右、中午 15:00 左右以及夜间 22:00 左右是一天中较易发生颠簸的时段，而 02:00~06:00 颠簸出现次数最少；

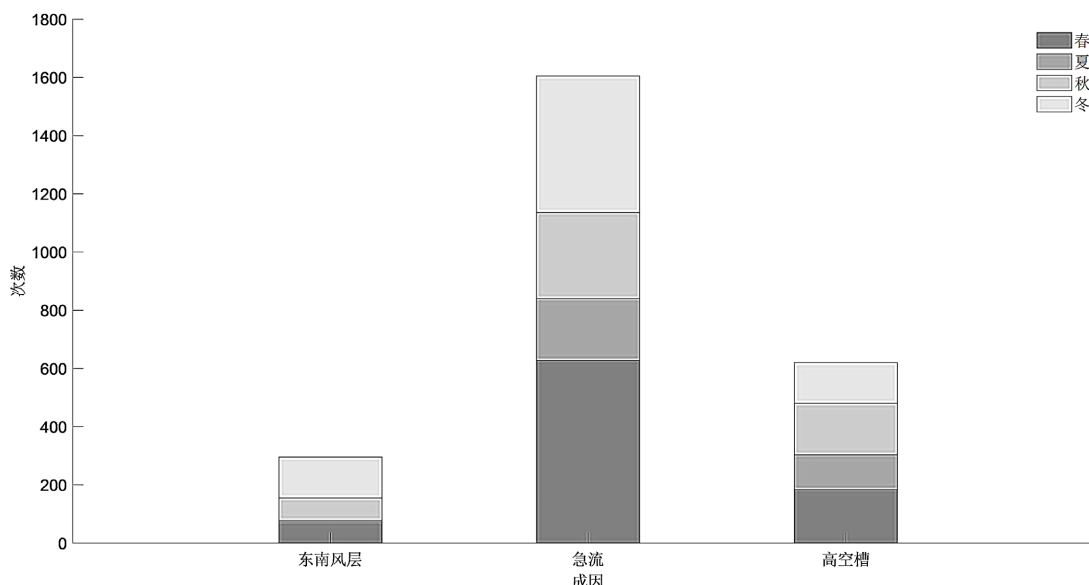


Figure 7. Seasonal distribution of the main causes of turbulence

图 7. 主要成因的季节分布

春季是颠簸的高发季节，其次为冬季；3月、4月为一年中最易发生颠簸的，8月最少。

(3) 新疆地区颠簸以 8000 米以上的高空颠簸为主，其次为 3(含)~6 km，多在进近阶段。从颠簸的水平分布来看，新疆地区颠簸具有南多北少，西多东少的特征，且其存在 4 个颠簸易发区。

(4) 新疆地区颠簸主要由急流引起，其次为高空槽，不同高度层的颠簸成因不同，3 km 以下的颠簸多由东南风层引起，而 3 km 以上的颠簸则主要由急流引起。春冬季节急流和中低空东南风频发，因此颠簸较多，夏季则相反。

6. 讨论

本文基于 2018~2023 年 3371 份话音航空器报告，给出新疆航路颠簸强度、时空分布及成因的定量特征。与美国基于 PIREP 资料的上层颠簸气候学研究一致[8]，新疆颠簸同样表现出明显的地形相关性与急流主导性；但新疆颠簸集中于春季和冬季、夏季频次最低，且 3 km 以下低层颠簸占 23%，反映急流季节性演变与天山复杂地形、中低空东南风层的叠加作用，区域独特性明显，可为区域航路颠簸预警与航空气象保障提供参考。需指出，本研究存在局限：话音航空器报告具有主观性，报告数受飞行流量影响，2018~2023 年颠簸报告数逐年上升可能部分归因于航班量增长，尚不能直接等同于颠簸发生率上升；颠簸成因直接取自报告记录，缺少独立天气学诊断验证。受资料获取与时间所限，本文暂未引入同期航线飞行流量进行标准化(如每千架次颠簸报告率)，亦未结合 ERA5 再分析资料对典型强颠簸个例开展垂直风切变、理查森数等物理量诊断，上述工作有待后续研究完善。

参考文献

- [1] 朱玉祥, 陈杰, 周斌斌. 人工智能在飞机颠簸预报中的应用进展及未来趋势展望[J]. 大气科学学报, 2023, 46(6): 825-836.
- [2] 李克南, 武凯军, 刘海文, 等. 中国主要高空航路飞机颠簸的时空分布特征[J]. 大气科学学报, 2024, 47(5): 789-797.
- [3] 王晓焱, 王立方, 梁希豪. 宁夏中低空飞行颠簸时空特征及气象条件分析[C]//中国航空学会. 第八届中国航空科学技术大会论文集. 北京: 航空航天大学出版社, 2025: 925-933.

- [4] 王思贤, 寿亦萱, 刘海文, 等. 基于多源观测的中国及周边区域飞机高空颠簸特征分析[J]. 大气科学, 2025, 49(6): 1746-1762.
- [5] 韩佳媛, 孙倩. 华北地区近 5 年航空器颠簸报告特征分析[J]. 民航学报, 2024, 8(5): 79-83.
- [6] 陈阳权, 杜安妮, 丁旭. 新疆区域航路天气要素分析及预报系统构建[J]. 气象水文海洋仪器, 2022, 39(2): 93-95.
- [7] 黄萌, 吴俊杰, 任佳莉, 等. 高原航线飞机颠簸的时空分布特征研究[J]. 科技和产业, 2024, 24(10): 206-211.
- [8] Wolff, J.K. and Sharman, R.D. (2008) Climatology of Upper-Level Turbulence over the Contiguous United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **47**, 2198-2214. <https://doi.org/10.1175/2008jamc1799.1>