

厦门机场秋冬季地面风速突变特征及原因初析

郭秀凤*, 许友水#, 郑嫦珊, 胡凯文

中国民用航空厦门空中交通管理站, 福建 厦门

收稿日期: 2025年10月6日; 录用日期: 2025年11月7日; 发布日期: 2025年11月14日

摘要

为提高厦门机场秋冬季飞行安全保障能力, 本文基于2019~2024年9月~次年2月厦门机场气象观测及MICAPS数据, 统计分析了地面风速突变(2小时内变化 ≥ 5 m/s)特征及成因。结果表明: (1) 突变事件年际波动无显著趋势, 年均26次, A型(风速骤增)占比67.3%; (2) 月分布呈三峰型(12月主峰、2/9月次峰), 日变化集中于06~09时(峰值07时); (3) A型突变主导日间(关联海陆风及湍流发展), B型(风速骤减)偏好夜间(联系辐射冷却及系统衰减); (4) 成因上, 地面高压底前部(44.4%)和500 hPa短波槽(62.7%占比)通过气压梯度增强触发A型突变; 冬季强垂直风切变(1月28.3 m/s)及高低空急流耦合(如12月双急流)促进动量下传; 强逆温($\geq 3^\circ\text{C}$)在冬季(尤其12月)强化A型突变, 逆温对湍流发展的阶段性抑制可能加剧风速跃升, 弱逆温环境下动力因子作用凸显。本研究为机场风速突变预报提供了物理机制支撑。

关键词

地面风, 风速突变, 秋冬季, 厦门机场

Preliminary Analysis of the Characteristics and Causes of Sudden Ground Wind Speed Changes at Xiamen Airport in Autumn and Winter

Xiufeng Guo*, Youshui Xu#, Changshan Zheng, Kaiwen Hu

Xiamen Air Traffic Management Station of Civil Aviation of China, Xiamen Fujian

Received: October 6, 2025; accepted: November 7, 2025; published: November 14, 2025

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 郭秀凤, 许友水, 郑嫦珊, 胡凯文. 厦门机场秋冬季地面风速突变特征及原因初析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(6): 1265-1273. DOI: 10.12677/ccrl.2025.146127

Abstract

To enhance the flight safety guarantee capacity of Xiamen Airport during autumn and winter, this paper, based on the meteorological observations and MICAPS data of Xiamen Airport from September 2019 to February 2024, statistically analyzed the characteristics and causes of sudden changes in ground wind speed (changes of ≥ 5 m/s within 2 hours). The results show that: (1) There is no significant trend in the interannual fluctuations of mutation events, with an average of 26 times per year, and type A (sudden increase in wind speed) accounts for 67.3%; (2) The monthly distribution shows a three-peak pattern (with a main peak in December and secondary peaks in February and September), and the daily variation is concentrated from June to September (with a peak at July). (3) Type A mutations dominate during the day (associated with the development of sea and land winds and turbulence), while type B (sudden drop in wind speed) prefers at night (associated with radiative cooling and system attenuation). (4) In terms of causes, the front part of the ground high-pressure bottom (44.4%) and the 500hPa shortwave trough (62.7%) trigger type A mutations through enhanced pressure gradient. Strong vertical wind shear in winter (28.3 m/s in January) and the coupling of high-altitude jet streams (such as double jet streams in December) promote the downward transfer of momentum. Strong inversion ($\geq 3^{\circ}\text{C}$) intensifies type A mutations in winter, especially in December. The phased inhibition of turbulence development by inversion may exacerbate the rise in wind speed, and the role of dynamic factors becomes more prominent in a weak inversion environment. This study provides physical mechanism support for the prediction of sudden changes in wind speed at airports.

Keywords

Ground Wind, Sudden Change in Wind Speed, Autumn and Winter, Xiamen Airport

Copyright © 2025 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

地面风是航空气象基本要素之一，对机场飞行活动的影响很大，风向直接影响机场跑道的使用，风速影响飞行的稳定性[1][2]。当地面风向风速发生突变时，不仅会危及飞行安全，还会增加管制员的工作负荷[3]和潜在安全隐患。厦门机场处我国东南沿海，季风气候特征显著，风有明显季节变化，同时机场处台湾海峡西侧，受特殊地形影响，海陆风效应明显[4][5]，地面风突变较为频繁，对飞行影响大[3]，胡凯文等[6]对厦门机场地面风突变的特征进行统计学分析，发现厦门机场地面风的突变具有明显的季节和日变化特征；肖志宇等[7]对厦门机场地面风向的年、日变化特征进行了统计分析，发现厦门机场地面风向存在显著日变化特征。

上述研究多是针对厦门机场全年的地面风突变或地面风向变化进行气候特征统计分析，未对秋冬季的地面风速突变进行研究分析，且对造成突变的原因分析较少。王钦等[8]利用广汉机场遥测地面风场资料进行分析发现，广汉机场春季盛行偏北风，飞行训练过程中易受左侧风影响；赵晔等[9]对咸阳机场夏季地面风进行分析，发现咸阳机场夏季地面风的形势风为东北风和西南风；当雷暴过境时，风向风速主要取决于雷暴的来向和强弱。李浩[10]对呼和浩特机场地面风的气候特征进行统计，并对结果进行了原因分析，发现呼和浩特机场冬春季易出现西北地面大风；地面大风出现的天气形势一般为高空槽冷锋型、

蒙古气旋型、高压底部型、动量下传大风和雷暴大风。本文通过对厦门机场秋冬季地面风速的突变进行特征分析并对其原因进行初步探究，对于提高厦门机场秋冬季地面风速突变的预报有一定的意义。

2. 资料选取及处理

2.1. 资料选取

本文采用的资料为厦门空管站气象台 2019~2024 年 1~2 月、9~12 月发布的逐时 METAR 报和不定时的 SPECI 报以及气象信息综合分析处理系统 MICAPS 提供的常规气象观测资料，主要包括高空资料和地面资料。

2.2. 数据处理

结合《民用航空气象预报规范》趋势预报地面风发布标准以及《民用航空气象地面观测规范》地面风 SPECI 发布标准，本文将厦门机场地面风速突变的统计标准定义为 2 小时内机场天气报告中的风速变化大于等于 5 m/s。又将其细分为 A 型：风速增加 5 m/s 及以上及 B 型：风速减小 5 m/s 及以上。以每份 METAR 报或 SPECI 报风速发生突变记为 1 次。以 9~11 月和 12~次年 2 月分别代表秋季和冬季。

3. 地面风速突变特征

3.1. 年际变化

图 1 为厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变年际变化，由图 1 可知，2019~2024 年秋冬季厦门机场共发生地面风速突变 156 次，年平均 26 次，最多为 31 次，出现在 2021 年，最少为 18 次，出现在 2020 年，年际变化无明显递增或递减的线性趋势。其中 A 型 105 次(年平均 17.5 次)，占比 67.3%，显著多于 B 型 51 次(年平均 8.5 次)，反映秋冬季风速骤增是主要突变形式。A 型呈波动上升趋势，B 型波动较大，未呈现显著趋势性。

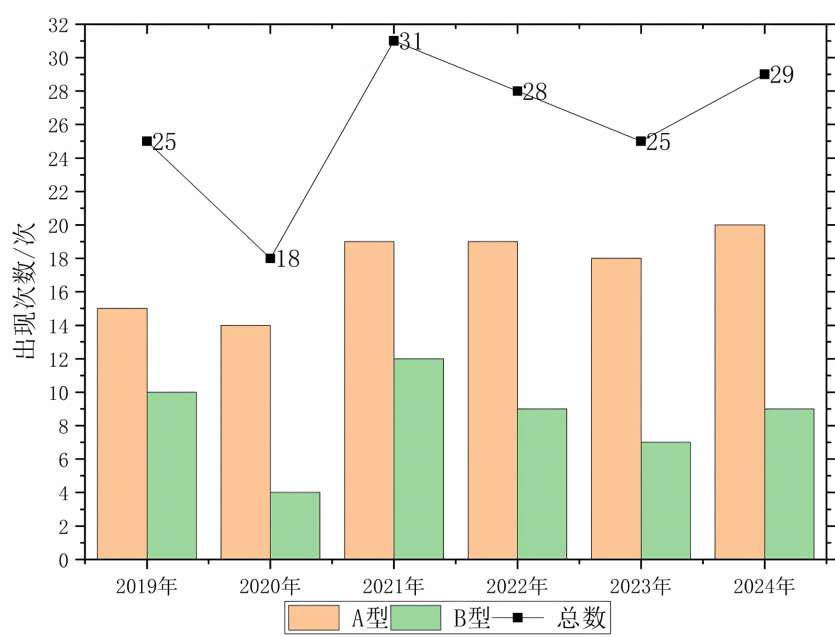


Figure 1. Interannual variation of abrupt surface wind speed changes at Xiamen Airport during the autumns and winters from 2019 to 2024
图 1. 厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变年际变化

3.2. 月分布

图 2 为厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变月分布, 由图 2 可知, 2019~2024 年秋冬季厦门机场地面风速突变呈显著的三峰型月分布, 12 月为主高峰(36 次, 占比 23.1%), 2 月、9 月次之(34、33 次), 11 月、1 月并列最低(17 次)。A 型在整个秋冬季占据主导地位, 特别是在 10 月和 11 月表现最为突出(10 月 A 型占 78.9%, 11 月占比高达 88.2%)。虽然 A 型在 12 月和 2 月也占优势, 但这两个月份同时也是 B 型相对活跃的时期(12 月 B 型占 30.6%, 2 月占 35.3%), 使得类型比例差异较其他月份缩小。初秋 9 月突变总数较高且 A、B 型较为均衡(18:15); 进入深秋至初冬的 10~11 月, 突变总数减少, A 型占据绝对主导; 隆冬的 12 月突变总数达到峰值, A 型优势明显; 随后的 1 月突变总数锐减至低点, A、B 型比例接近(10:7); 到了冬末的 2 月, 突变总数再次攀升至次高峰, A 型占优但 B 型比例上升。值得注意的是, 1 月是秋冬季中突变总数最低且类型较为平衡的月份。总体而言, 风速突变高度集中于 12 月、2 月和 9 月, 且秋冬季整体以风速骤升为主要特征, 但在冬末(12 月、2 月)风速骤降的发生比例相对升高。

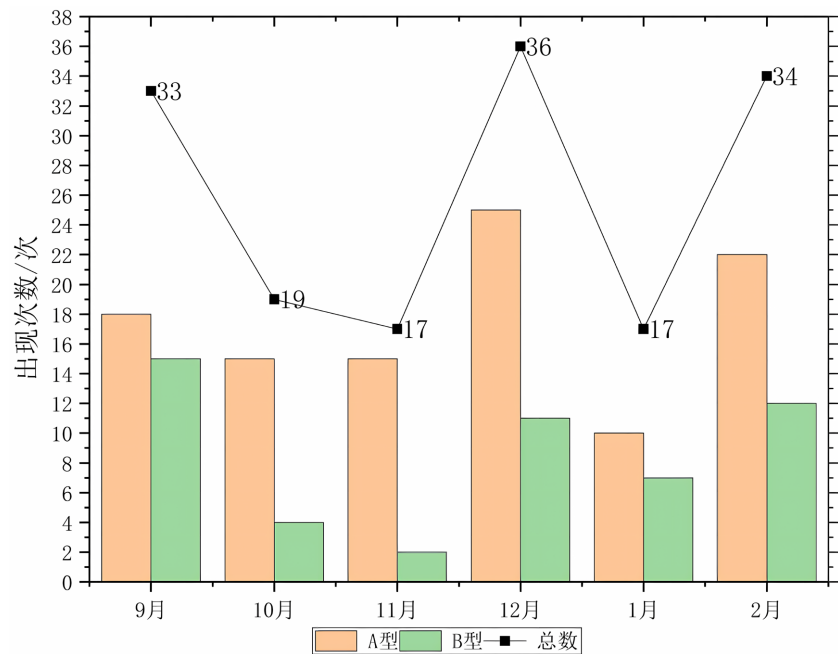


Figure 2. Monthly distribution of abrupt surface wind speed changes at Xiamen Airport during the autumns and winters from 2019 to 2024
图 2. 厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变月分布

3.3. 日变化

图 3 为厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变日变化, 由图 3 可知, 2019~2024 年秋冬季厦门机场地面风速突变呈显著的单峰型日变化特征, 风速突变在清晨至上午时段(06~09 时)出现爆发性增长, 并于 07 时达到全日最高峰(17 次), 08 时(16 次)紧随其后。午后至前半夜(12~22 时)事件发生频率明显下降, 仅个别时段(如 17、21 时)出现小幅回升(8 次)。值得注意的是, 04~05 时和 14~15 时出现全日最低谷(仅 1~3 次), 其中 05 时和 15 时甚至出现单类型零记录(B 型和 A 型)。这种集中于日出前后的单峰分布, 与边界层热力转换过程(如夜间稳定层瓦解、垂直混合增强)密切相关。

A/B 型突变呈现昼夜不对称性, 其中 A 型突变(风速骤增)主导日间、B 型突变(风速骤减)偏好夜间。A 型在 06~11 时呈现绝对主导地位, 尤其 07 时(16 次)占该时段总突变的 94%, 08 时(14 次)占 88%, 09

时(11次)占100%。午间后虽有所减弱,但仍在13、17时形成次高峰(5次)。这表明风速增强高度集中于上午至中午,可能关联于日出后热力湍流发展、海风锋触发或天气系统过境的日节律。**B**型分布相对分散,但在21~01时(峰值00时6次)和03时(6次)出现小高峰,且01时(4次)成为全夜**B**型峰值。值得注意的是,09~16时**B**型近乎消失,凸显其强烈回避日间的特性。这种夜间活跃性可能与辐射冷却导致的低空急流减弱、稳定边界层形成或系统过境后风速自然衰减有关。

总体而言,厦门机场秋冬季风速突变的日变化呈现“清晨爆发、日间主导减弱、夜间次峰缓释”的格局。核心特征体现为:(1)总突变在07时前后形成绝对高峰;(2)**A**型突变(增风)高度集中于上午,午后锐减;(3)**B**型突变(减风)夜间活跃而日间几近消失。这种不对称的日节律强烈暗示两类突变受不同物理机制调控,**A**型突变更易受日间热力强迫(如海陆风、湍流混合)驱动,而**B**型突变则与夜间稳定层发展及大尺度系统日变化关联更深。

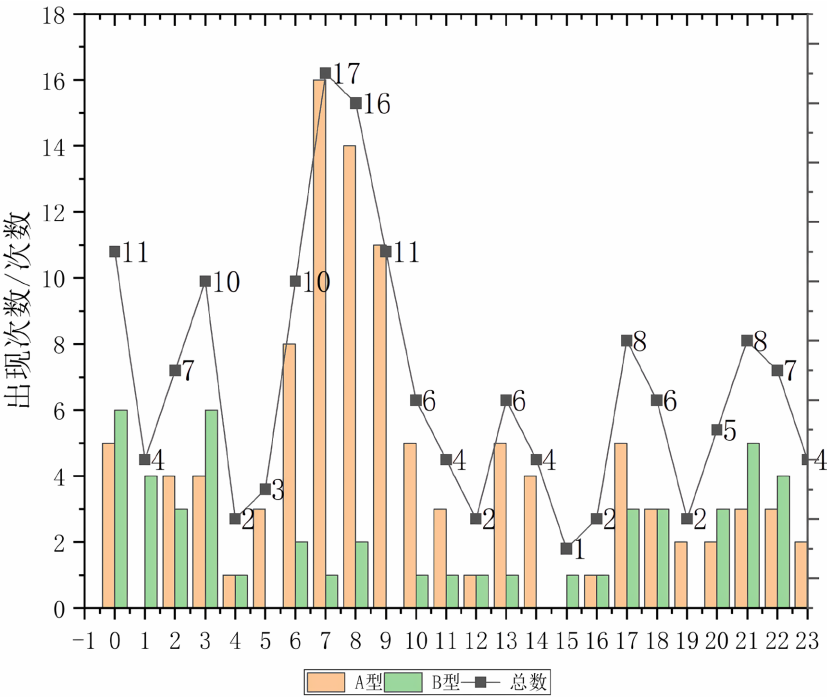


Figure 3. Diurnal variation of abrupt surface wind speed changes at Xiamen Airport during the autumns and winters from 2019 to 2024
图 3. 厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变日变化

4. 风速突变原因分析

地面风速突变是多种天气系统和局地下垫面因素共同作用的结果,其形成机制复杂,主要表现为中尺度天气系统触发与边界层过程响应的耦合效应[11]。本章节将系统分析地面天气形势、500 hPa 短波槽活动、0~5 km 垂直风切变、高/低空急流配置及低空逆温强度等关键因子对地面风速突变的贡献机制。

4.1. 地面天气形势

厦门机场秋冬季地面风速突变与特定天气形势密切相关。统计表明(见表 1),风速突变时地面天气形势主要有六种,高压底部前部(占比 44.4%)是最主要的触发形势,其物理过程表现为冷高压前部与锋前低压之间形成陡峭的气压梯度带,根据地转平衡原理,增强的水平气压梯度力直接驱动持续性强阵风,导致

A 型突变主导的锋前大风现象。高压前沿低压倒槽形势(占比 16.2%)通过高压楔与倒槽间的强气压梯度作用, 引发系统过境期间 A/B 型交替突变, 典型特征为风向转折伴随风速剧变。“东低西高”或“南低北高”非对称气压场(占比 8.1%)在厦门沿海地形加持下, 可产生突发性 A 型突变。高压系统控制下的形势则主要引发 B 型突变: 高压控制区(占比 15.2%)因均压场中湍流活动间歇性增强, 造成短暂时阵风衰减; 高压底后部(占比 12.1%)伴随气压回升与梯度力消散, 导致持续性风速骤减, 常见于冷空气渗透后期。热带低值系统外围(占比 4.0%)因低压环流外围弱梯度特性, 多引发局地性辐散减弱型 B 类突变。

Table 1. Distribution of surface weather patterns on days with abrupt surface wind speed changes at Xiamen Airport during the autumns and winters from 2019 to 2024

表 1. 厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变日的地面天气形势分布

地面天气形势类型	占比	主要物理过程	风速突变特征
高压底前部	44.4%	冷高压前部气压梯度陡增	A 型突变主导(锋前大风)
高压前沿低压倒槽	16.2%	高压楔与倒槽间形成强气压梯度	A/B 型交替(系统过境)
“东低西高” / “南低北高”	8.1%	非对称气压场产生强梯度力	突发性 A 型(地形加速)
高压控制	15.2%	均压场中湍流间歇性增强	短暂 B 型(阵风衰减)
高压底后部	12.1%	气压回升致梯度减弱	持续性 B 型(风速骤减)
热带低值系统外围	4.0%	低压环流外围弱梯度区	局地性 B 型(辐散减弱)

4.2. 500 hPa 短波槽动力强迫

短波槽槽前是正涡度平流最强区域, 其增强导致气旋性涡度增加, 触发高空强辐散[12]。高空强辐散导致地面气压显著下降, 从而显著增大地面气压梯度力, 驱动地面风速突变。统计厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变与 500 hPa 短波槽活动的结果表明(见表 2), 在 A 型突变中, 有短波槽活动的天数为 33 天, 占 A 型突变总天数的约 62.3%; B 型突变中, 有短波槽活动的天数为 19 天, 占 B 型突变总天数的约 63.3%。两类突变中超过六成均伴随 500 hPa 短波槽活动, 表明该系统是影响厦门机场秋冬季地面风速突变的关键因子。A/B 型突变中短波槽比例相近, 揭示了其双向调控作用: A 型突变主要由槽前正涡度平流的增强引发高空辐散, 进而导致地面气压显著下降, 促使水平气压梯度力增大, 最终驱动地面风速跃升。B 型突变多与槽后环流调整相关, 槽后西北气流引发下沉增温、气压回升, 削弱水平气压梯度, 同时干冷空气抑制湍流发展, 加速风速衰减。

Table 2. Statistics on the relationship between abrupt surface wind speed changes and 500 hPa short-wave trough activities at Xiamen Airport during the autumns and winters from 2019 to 2024

表 2. 厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变与 500 hPa 短波槽活动统计

风速突变类型	有短波槽活动天数	无短波槽活动天数	风速突变总天数	有槽占比
A	33	20	53	62.3%
B	19	11	30	63.3%
总计	52	31	83	62.7%

4.3. 0~5 km 垂直风切变动力调制

垂直风切变通过动力强迫(涡度增强)、能量下传(动量输送)等机制,可直接触发地面风速突变[13]。统计厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变时的 0~5 km 垂直风切变月分布(见图 4),结果显示:冬季切变强度显著高于秋季,其中 1 月均值达 28.3 m/s (极值 36 m/s),2 月均值为 22.8 m/s 但波动剧烈(-1 至 35 m/s),12 月均值为 19.7 m/s 且出现全季最高值 33 m/s;秋季初期切变最弱,9 月均值仅 3.5 m/s (0.8 至 12 m/s),10 月均值为 2.6 m/s 且出现极端负值-5 m/s,11 月均值升至 9.9 m/s (4 至 16.7 m/s),体现冷空气增强的过渡特征。各月均值可作为秋冬季突变风险升高的临界指示。这种分异主要受天气系统与局地下垫面共同调控:冬季强切变源于冷锋过境伴随的高空急流增强及地形抬升(如东北风与低空急流耦合),导致 0~5km 垂直动量交换加剧;秋季弱切变则因大气层结稳定、逆温层频发抑制垂直混合,而负切变事件(2 月-1 m/s、10 月-5 m/s)多与暖平流或强逆温相关。

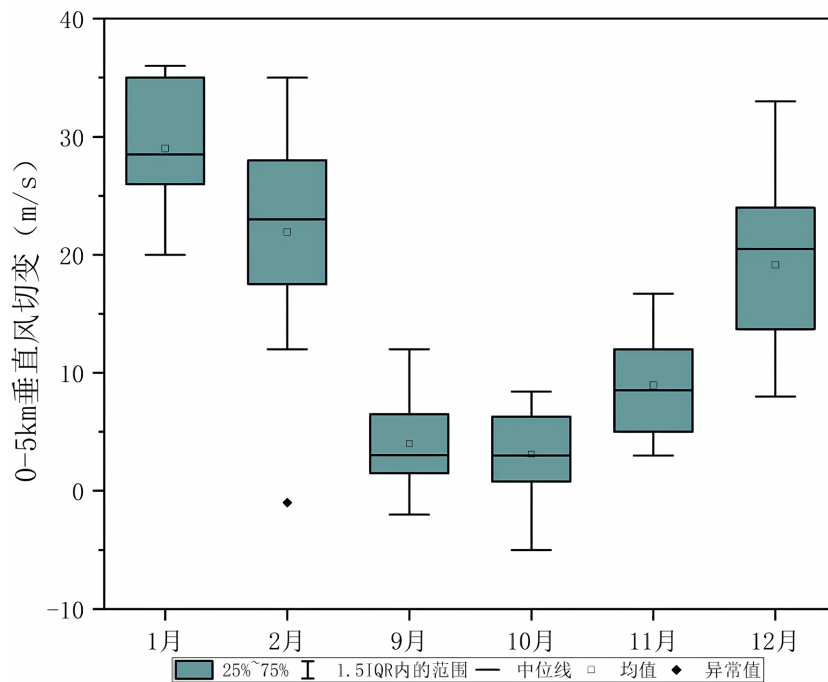


Figure 4. Monthly distribution of 0~5 km vertical wind shear on days with abrupt surface wind speed changes at Xiamen Airport during the autumns and winters from 2019 to 2024

图 4. 厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变日的 0~5 km 垂直风切变月分布

4.4. 高低空急流配置

2019~2024 年厦门机场秋冬季高低空急流活动及其与地面风速突变的关联特征如表 3 所示,高空急流(200 hPa 风速 ≥ 30 m/s)在冬季出现频率显著高于秋季,其中 12、1 月每次突变均存在,2 月出现率 93.8%,秋季高空急流活动微弱,9 月全月无记录,10 月仅一个过程出现,11 月出现率 54.5%。低空急流(700 hPa 及以下风速 ≥ 12 m/s)则起重要调制作用,当高空与低空急流共存时,双急流结构增强垂直风切变和动量下传效率,A 型突变概率为主导(例如 12 月、2 月),若高空急流出口区叠加低空急流核,垂直切变剧增,A/B 型突变同一天出现的概率显著增加;而高空急流单独存在时,因急流轴下方下沉增温抑制垂直混合,

近地层动量支撑不足或下传效率降低, B 型突变比例上升(例如 1 月、2 月)。秋季为低空急流单独活跃期, 其脉动通过湍流下传直接增强近地面风, A 型突变仍为主导; 9 月无急流时, 局地海陆风转换导致 A/B 型突变同一天出现占比 37.5%, 体现无急流背景下边界层过程的独立作用。值得注意的是, 12 月高空急流极强(均值 46.5 m/s)但低空急流减弱时, A 型突变仍占主导(37.5%), 可能与强冷平流破坏逆温层促使动量下传有关。

Table 3. Statistics on the relationship between abrupt surface wind speed changes and the configuration of upper- and lower-level jets at Xiamen Airport during the autumns and winters from 2019 to 2024

表 3. 厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变与高低空急流配置统计

急流	1 月	2 月	9 月	10 月	11 月	12 月
有高空有低空	A: 33.3% B: 33.3%	A: 31.3% B: 18.8% A/B: 12.5%			A: 27.3% B: 9.1%	A: 31.3% B: 6.3% A/B: 18.8%
有高空无低空	A: 16.7% B: 17.7%	A: 18.8% B: 12.5%		A: 6.7%	A: 18.2%	A: 37.5% A/B: 6.3%
无高空有低空		A: 6.3%	A: 25.0% B: 12.5%	A: 46.7% B: 20.0%	A: 36.4%	
无高空无低空			A: 12.5% B: 12.5% A/B: 37.5%	A: 26.7%	B: 9.1%	

4.5. 低空逆温的热力调控

基于 2019~2024 年厦门机场秋冬季风速突变事件与 700 hPa 以下最大逆温强度的对应数据分析(见表 4), 冬季逆温强度整体高于秋季, 逆温强度与突变类型存在显著的月际关联性。强逆温($\geq 3^{\circ}\text{C}$)主要发生在 2 月、12 月, 均以 A 型突变为主导, 但 12 月 A/B 型同一天出现的概率增加。中等逆温($1^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$)主要发生在 11~12 月, 多以 A 型突变为主导, 反映中等强度逆温对湍流发展的阶段性抑制可能加剧风速跃升。弱逆温($\leq 1^{\circ}\text{C}/\text{km}$)或无逆温时边界层动量交换效率增强, 主要发生在 9~11 月, A 型和 B 型均有肯可能发生且 B 型比重较其他月份显著增加, 但 A 型比重仍较大, 除热力层结外, 动力因子(如锋面过境或气压梯度突变)在弱逆温环境中对风速剧变可能起主导作用。整体而言, 强逆温与冬季 A 型突变密切关联, 而弱逆温条件下秋冬季均可能触发显著风速波动。

Table 4. Statistics on the relationship between abrupt surface wind speed changes and the maximum inversion intensity below 700 hPa at Xiamen Airport during the autumns and winters from 2019 to 2024

表 4. 厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变与 700 hPa 以下最大逆温强度统计

逆温强度/ $^{\circ}\text{C}$	1 月	2 月	9 月	10 月	11 月	12 月
≥ 3	A: 16.7%	A: 50% B: 12.5%	B: 6.3% A/B: 12.5%	A: 13.3% B: 13.3%	A: 9.1%	A: 18.8% B: 6.3% A/B: 18.8%
1~3	A: 16.7% B: 33.3%	A: 6.3% B: 18.8%	A: 12.5%	A: 26.7%	A: 36.4% B: 9.1%	A: 43.8% A/B: 6.3%
≤ 1 或无	A: 16.7% B: 16.7%	AB: 12.5%	A: 25.0% B: 18.8% A/B: 25.0%	A: 33.3% B: 13.3%	A: 36.4% B: 9.1%	A: 6.3%

5. 结论

本文通过统计厦门机场 2019~2024 年秋冬季地面风速突变事件, 系统揭示了其时空分布规律及物理成因, 主要结论如下:

(1) 突变特征方面: 秋冬季年均突变 26 次, A 型(风速骤增)占主导(67.3%)。月分布呈三峰型, 12 月峰值(36 次)最显著, 2 月与 9 月次之; 日变化集中于清晨(06~09 时), 07 时达全日高峰(17 次)。A 型突变高度关联日间热力过程, B 型突变则与夜间稳定层发展密切相关。

(2) 成因机制方面: 地面高压底前部(44.4%)与 500 hPa 短波槽(62.7%)是主要触发系统, 通过增强气压梯度驱动 A 型突变; 地面高压控制区及后部则易引发 B 型突变。冬季 0~5 km 垂直风切变显著强于秋季(1 月均值 28.3 m/s), 其与高低空急流协同(如 12 月双急流)可高效下传动量, 导致 A 型突变; 而高空急流单独存在时易诱发 B 型突变。强逆温($\geq 3^{\circ}\text{C}$)在冬季(12 月、2 月)促进 A 型突变, 中等逆温($1^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$)在 11~12 月多以 A 型突变为主导, 反映逆温对湍流发展的阶段性抑制可能加剧风速跃升; 弱逆温或无逆温主要发生在 9~11 月, 边界层动量交换效率增强, A 型和 B 型均有肯可能发生且 B 型比重较其他月份显著增加, 但 A 型比重仍较大, 除热力层结外, 动力因子(如锋面过境或气压梯度突变)在弱逆温环境中对风速剧变可能起主导作用。

(3) 预报启示: 针对秋冬季风速突变, 需重点关注 12 月清晨高压系统与短波槽活动, 结合垂直风切变及逆温强度研判突变类型, 为航空气象服务提供理论依据。

参考文献

- [1] 冯树祥. 云、能见度以及风三种气象要素对飞行活动的影响分析[J]. 科技资讯, 2013, 11(24): 224-224.
- [2] 毕波, 赵建伟, 杨航. 大理机场风特征分析及对飞行的影响[J]. 中低纬山地气象, 2019, 43(1): 50-54.
- [3] 郭秀凤, 罗忠红, 林航, 等. 厦门机场地面风的显著变化特征及对塔台管制运行品质的影响[J]. 南京航空航天大学学报, 2016, 18(1): 98-101.
- [4] 林航, 罗忠红, 郭秀凤. ECMWF 精细化 10m 风场产品航站风场预报效果评估[J]. 空中交通, 2018(5): 85-88.
- [5] 荀爱萍, 黄惠谔, 陈德花. 厦门地区海陆风环流观测及特征分析[J]. 海峡科学, 2017(12): 3-7.
- [6] 胡凯文, 郭秀凤, 罗忠红, 王健治. 厦门高崎机场 2017-2020 年地面风突变特征分析[J]. 海峡科学, 2021(6): 19-23.
- [7] 肖志宇, 郭炜峻, 房云龙, 张勇, 郭秀凤. 厦门机场地面风向年变化及日变化特征分析[J]. 科技视界, 2020(34): 78-81.
- [8] 王钦, 曾波. 广汉机场春季地面风的变化特征及其对飞行训练的影响[J]. 高原山地气象研究, 2017, 37(2): 36-39, 71.
- [9] 赵晔, 成经武. 咸阳机场夏季地面风的天气分析[J]. 陕西气象, 1999(2): 15-16
- [10] 李浩. 呼和浩特机场地面风的气候特征分析及预报[J]. 环境与发展, 2019, 31(10): 173-175
- [11] 王钦, 潘微多, 李瑶婷, 曾波. 地面突风对通航飞行器的影响及数值模拟研究[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(20): 8552-8559
- [12] 何娟, 曾清川, 肖莎. 昭通一次持续性大风天气过程成因分析[J]. 陕西气象, 2024(6): 8-14
- [13] 黄轩, 郑佳锋, 张杰, 马晓玲, 田维东, 华志强. 西宁机场一次低空风切变的结构和特征研究[J]. 激光技术, 2022, 46(2): 206-212.