

黄石夏季雷暴大风气候特征和环境参数分析

费慧芬^{1*}, 王 健², 张 炜¹, 童红梅¹, 刘熠炎¹, 陈 源¹

¹黄石市气象局, 湖北 黄石

²阳新县气象局, 湖北 黄石

收稿日期: 2026年4月27日; 录用日期: 2026年6月30日; 发布日期: 2026年7月13日

摘 要

利用2016~2024年常规观测资料、ADTD闪电定位数据、ERA5再分析资料等, 采用统计分析、Morlet小波变换和环境参数对比分析等方法, 对黄石地区6~8月雷暴大风的时空分布、周期性变化及关键环境条件进行分析研究。结果表明: (1) 黄石夏季雷暴大风存在显著的空间差异性和时间集中性。高发区呈“西南-东北”向带状分布于主城区及沿江地带; 日变化呈典型的单峰型, 高峰集中在午后至傍晚(15~19时); 7~8月为绝对高发期, 占夏季总事件数的90%以上; (2) 黄石夏季雷暴大风年际间的波动显著受一个准3年周期的调制, 且这种调制作用具有间歇性, 在2018~2021年期间尤为活跃; (3) 黄石雷暴大风主要由热力驱动的“弱切变”型强对流所致, 其典型环境为“低切变-大温差”(中低层风切变 $SL95 < 12 \text{ m/s}$, $850 \sim 500 \text{ hPa}$ 温差 $\Delta T85 > 24^\circ\text{C}$)。在这种天气类型下, 对流有效位能(CAPE)是区分风暴强度等级的最核心指标。当CAPE超过 3200 J/kg 时, 发生致灾性大风的风险急剧增加。研究结果为提升黄石地区雷暴大风的监测预警能力和业务预报水平提供坚实的科学依据。

关键词

雷暴大风, 时空分布, Morlet小波分析, 环境参数

Analysis of Climatic Characteristics and Environmental Parameters of Summer Thunderstorm Gales in Huangshi

Huifen Fei^{1*}, Jian Wang², Wei Zhang¹, Hongmei Tong¹, Yiyang Liu¹, Yuan Chen¹

¹Huangshi Meteorological Bureau, Huangshi Hubei

²Yangxin Meteorological Bureau, Huangshi Hubei

*第一作者。

文章引用: 费慧芬, 王健, 张炜, 童红梅, 刘熠炎, 陈源. 黄石夏季雷暴大风气候特征和环境参数分析[J]. 自然科学, 2026, 14(4): 401-410. DOI: 10.12677/ojns.2026.144044

Abstract

Using conventional observational data from 2016 to 2024, ADTD lightning location data, and ERA5 reanalysis data, this study employs statistical analysis, Morlet wavelet transform, and comparative analysis of environmental parameters to investigate the spatiotemporal distribution, periodicity, and key environmental conditions of thunderstorm gales in the Huangshi region during June–August. The results show that: (1) There are significant spatial differences and temporal concentration of summer thunderstorm gales in Huangshi. The high-incidence area exhibits a “southwest-northeast” zonal distribution across the main urban area and along the riverbanks. The diurnal variation shows a typical unimodal pattern, with the peak concentrated in the afternoon to early evening (15:00~19:00 LT). July and August are the absolute high-incidence months, accounting for more than 90% of the total summer events. (2) The interannual fluctuation of summer thunderstorm gales in Huangshi is significantly modulated by a quasi-3-year period, and this modulation is intermittent, being particularly active during 2018~2021. (3) Thunderstorm gales in Huangshi are mainly caused by thermally driven “weak shear” severe convection. The typical environmental conditions are characterized by “low shear-large temperature difference” (low- to mid-level wind shear $SL95 < 12$ m/s, and 850~500 hPa temperature difference $\Delta T_{85} > 24^{\circ}\text{C}$). Under this weather type, convective available potential energy (CAPE) is the most critical indicator for distinguishing the intensity level of storms. When CAPE exceeds 3200 J/kg, the risk of damaging gales increases sharply. These findings provide a solid scientific basis for improving the monitoring, early warning, and operational forecasting capabilities of thunderstorm gales in the Huangshi region.

Keywords

Thunderstorm Gales, Spatiotemporal Distribution, Morlet Wavelet Analysis, Environmental Parameters

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

雷暴大风是指出现在雷暴天气过程中，由对流云体中的下沉气流到达地面后，以水平辐散形式产生的灾害性大风，其风速通常达到或超过 17.2 m/s [1] [2]。作为一种突发性强、破坏力大的气象灾害，能对农业生产、电力交通、建筑设施乃至人民生命财产安全造成严重威胁[3]。中国是雷暴大风的多发区之一，尤其在夏季，大气能量充沛，强对流天气频发。因此，深入研究雷暴大风的活动规律、变化特征及其物理成因，对提升气象防灾减灾能力，服务农业生产具有至关重要的科学价值与现实意义。

国内外学者围绕雷暴大风开展了大量研究。郑永光等[2]发现长江中下游作为东亚夏季风影响的关键区域，是雷暴大风发生的重要活跃区之一。韦惠红等[4]指出湖北省境内局地对流大风天气频发，夏季雷暴大风占其全年总数的 78%，且黄石是其发生的高频中心之一。俞小鼎等[5]发现，中国致灾性大风多发于 3~9 月的午后至傍晚。针对雷暴大风，高对流有效位能(CAPE)、“上干下湿”的热力结构以及适当的下沉对流有效位能(DCAPE)被认为是其发生的有利条件[6]-[12]。罗欣等[13]发现，后汛期午后型雷暴大风热力驱动更明显。曹倩等[14]指出，午后雷暴大风多发生在较小垂直风切变环境中。方翀、刘希文、杨秀

庄等[15]-[20]研究结果也进一步揭示了不同区域,雷暴大风时空分布与变化及其发生的环境参数是具有差异的。因此,构建一套本地化、能够有效区分不同强度等级雷暴大风的关键环境参数组合,是实现从此类天气“可预报性”到“精准预报”跨越的核心技术瓶颈。

黄石市地处鄂东南,南北气流交汇频繁,是雷暴大风的高发区。目前,关于湖北雷暴大风环境参数方面的研究取得了一定的研究成果[4] [16],但针对黄石区域,尚缺乏系统性研究。本文基于 2016~2024 年常规观测资料、ADTD 闪电定位数据、ERA5 再分析资料等,分析研究出黄石夏季雷暴大风的时空分布与变化特征,揭示本地灾害性大风事件的触发条件与关键动力热力机制,为今后雷暴大风的监测预警和业务预报提供参考。

2. 资料与方法

本文选取雷暴大风个例所用资料包括:2016~2024 年黄石 74 个区域自动站逐小时极大风速资料、ADTD 闪电定位系统监测资料。在一个观测日内,即当日 08 时(北京时,下同)至次日 08 时,黄石有 1 个及以上自动观测站记录到瞬时极大风速 ≥ 17.2 m/s,且有闪电观测记录则确定为一个雷暴大风日。

环境参数研究所用资料主要为每 1 h 一次的 ERA5 再分析资料。利用 ERA5 再分析资料计算对流不稳定、风垂直切变、水汽等环境参数。为更好研究环境参数对雷暴大风强度的影响,将雷暴大风分为两个大等级,即等级 2 (实况 8~9 级大风)和等级 4 (实况 10 级以上大风),因考虑等级 4 数据量太少,参考了梁爱民[21]的利用临(邻)近原则,统计雷暴大风发生站点临近时次和邻近网格点的环境参数,即当某站点大风超过 10 级时,周边临近站点归类为等级 4 分析其环境参数。

利用 Morlet 小波分析方法对黄石地区年夏季雷暴大风日数进行周期特性分析。小波变换方法是一种时频分析方法,既可以了解时间序列不同时间的频率特征,又可以了解不同频率的时间分布特征。

3. 黄石夏季雷暴大风时空分布特征

3.1. 时间分布特征

通过对黄石 74 个区域自动站 2016~2024 年夏季雷暴大风日数进行统计分析,结果显示,年分布上,黄石地区雷暴大风在 2018 年、2019 年及 2022 年表现比较活跃,多个站点(如王英、矿山公园、网湖、罗北口等)记录到 3 天以上的雷暴大风日;而 2016 年、2017 年则相对平静,大部分站点记录数为 0 或 1。

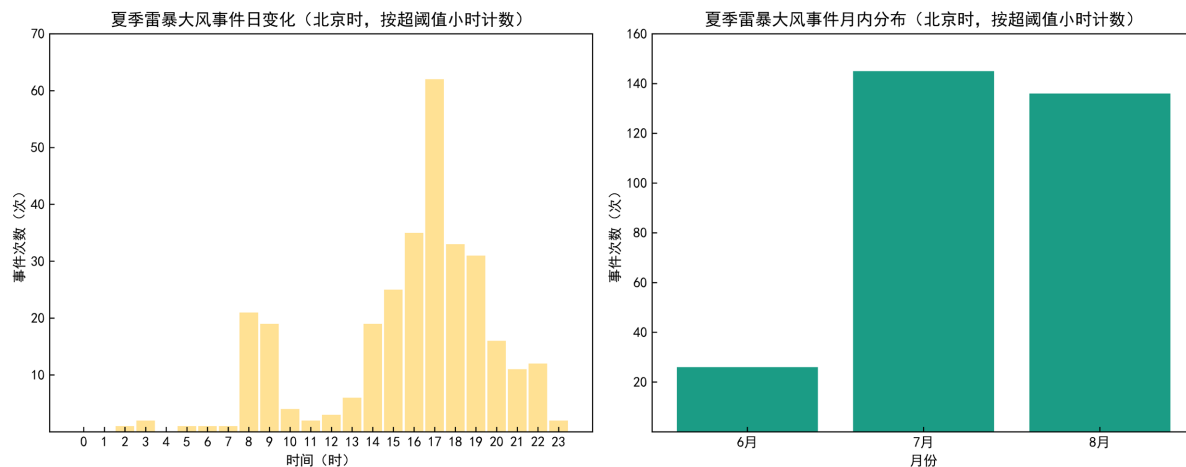


Figure 1. Temporal distribution characteristics of summer thunderstorm gale events in Huangshi city

图 1. 黄石市夏季雷暴大风事件时间分布特征

月分布上(图 1), 黄石地区夏季雷暴大风主要发生在 7 月, 累计发生次数超过 140 次; 8 月份次之, 发生次数超过 130 次; 6 月份活动则明显偏弱, 累计发生次数仅约 25 次。7 月和 8 月合计占整个夏季雷暴大风事件总数的 90%以上。该分布特征与东亚夏季风的季节性演变和西太平洋副热带高压的位置密切相关。7~8 月正值盛夏, 黄石地区通常受副热带高压边缘控制, 高温高湿的大气环境为强对流提供了极佳的温湿背景条件, 因此成为雷暴大风的最高发时段。

日分布上(图 1), 其日变化特征明显, 呈典型的“单峰型”特征, 峰值出现在午后至傍晚时段。具体表现为雷暴大风活动从午后 13 时(北京时, 下同)开始显著增多; 高发时段集中在 15~19 时, 集中了全天绝大多数的事件; 高峰时刻为 17 时, 该小时累计发生次数超过 60 次; 深夜至次日凌晨(23 时至上午 8 时)则为活动的“平静期”, 每小时发生次数基本都在个位数甚至为 0。这种典型的日变化规律深刻地反映了雷暴大风的物理成因, 即白天地表接受太阳辐射不断增温, 午后至傍晚大气低层积聚了最充沛的热量和不稳定能量, 最有利于触发强对流天气。

3.2. 空间分布特征

黄石地区夏季雷暴大风的空间分布极不均匀, 存在一个明显的高发中心和带状分布特征。从图 2 可知, 高值“热点区”主要集中于黄石矿山公园及其西南部至东北部沿江的狭长地带。其中, 矿山公园、王英、网湖、罗北口等站点的多年平均日数超过了 2.5 天, 是整个区域的雷暴大风高发核心, 部分站点甚至年均超过 3.0 天。相对而言, 西北部和东南部区域多年平均日数普遍低于 1.5 天, 属于雷暴大风的低发区, 如黄岗村、东方山、鸡笼山、吉山等。这种“西南-东北”向的带状高发区分布特征, 与该区域复杂下垫面(例如山、湖泊水体影响)以及盛行天气系统与局地地形的相互作用密切相关。



Figure 2. Spatial distribution of multi-year average summer thunderstorm and gale days in Huangshi City from 2016 to 2024 (station color in the figure represents multi-year average days)
图 2. 黄石市 2016~2024 年多年平均夏季雷暴大风日数空间分布(图中站点颜色代表多年平均日数)

4. 黄石夏季雷暴大风年际变率及周期特征

本节通过采用 Morlet 连续小波变换方法, 对 2016 至 2024 年黄石地区夏季雷暴大风的“区域日数”进行深入剖析, 揭示从时域和频域相结合的角度, 黄石夏季雷暴大风在不同时间尺度上的变化周期及其随时间的演变特征。

4.1. 雷暴大风周期时频定位分析

图 3 中, 图谱中部存在一个孤立且能量集中的“强功率区域”, 表明该区域的信号强度远超其他时段和尺度。在时间域上, 这个高功率中心主要集中在 2018 年至 2021 年之间, 其能量核心大致对准 2019~2020 年。这与前文中得到的 2018 年、2019 年、2022 年为雷暴大风活跃年的现象高度吻合, 再次表明这些活跃年份并非孤立事件, 而是受到一个持续数年的强信号调制的结果。在频率(周期)域上, 该强功率中心的能量轴向集中在 2~4 年的年际时间尺度上, 表明在 2018~2021 年内, 黄石地区夏季雷暴大风的年际起伏主要由一个准 2~4 年的周期性振荡所主导。且这一强功率区域完全位于锥形影响域内部, 表明该周期信号是真实可靠的, 并未受到时间序列边界效应的污染, 并且其功率通过了 95% 的红噪声谱显著性检验。

相对而言, 在其他周期尺度上, 其信号能量均表现非常微弱(图中为淡黄色), 且未形成任何通过显著性检验的功率中心; 在其他时段上, 如 2018 年之前和 2021 年之后, 2~4 年尺度的信号能量也迅速衰减。由此可见, 黄石地区夏季雷暴大风的周期性变化具有显著的间歇性和非定常性特征, 即主导其年际变率的 2~4 年周期并非一个持续稳定的振荡, 而是在特定时段内(2018~2021 年)被显著“激活”的。

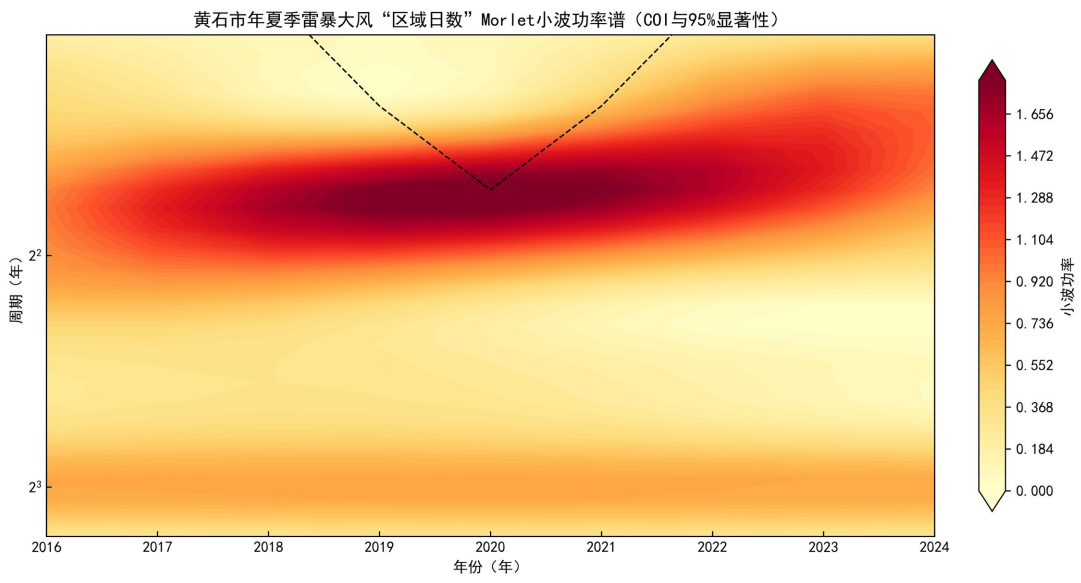


Figure 3. Morlet wavelet power spectrum (2016~2024) of summer thunderstorm gale “regional days” in Huangshi city. In the figure, the color represents the power intensity, and the crimson area represents the strongest signal. The U-shaped dashed line is the cone-shaped influence area (COI)

图 3. 黄石市夏季雷暴大风“区域日数”的 Morlet 小波功率谱(2016~2024 年)。图中颜色表示功率强度, 深红色区域代表信号最强。U 型虚线为锥形影响域(COI)

4.2. 主导周期的全局统计检验

从全局小波功率谱(GWS) (图 4) 可以看到, 黑色的 GWS 曲线呈现出一个单一且非常尖锐的峰值。该

峰值所对应的周期位于 2~4 年的年际尺度波段内, 其峰顶精确指向约 3 年周期, 且这个峰值功率值超越了 90%显著性临界线。这一结果表明, 在 2016~2024 年间, 黄石地区夏季雷暴大风的年际变化中, 存在一个真实且显著的准 3 年周期。而在其他所有周期尺度上, 全局小波功率均未能通过显著性检验。例如, 在更长的 5~8 年周期或更短的准 2 年周期上, 其功率值均远低于红色临界线, 表明这些尺度上的变化与随机的红噪声过程无法区分。因此可以得出: 在研究时段内, 黄石地区夏季雷暴大风变化的主导周期是准 3 年周期, 其他尺度的周期性信号不显著。

综上分析可得: 黄石地区雷暴大风年际间的波动并非随机, 而是显著地受到一个准 3 年周期的调制, 但这种调制作用并非持续不变, 而是具有间歇性特征, 在 2018~2021 年期间表现尤为强烈。这个准 3 年周期可能与 ENSO (厄尔尼诺 - 南方涛动) 等大尺度气候因子的活动密切相关。

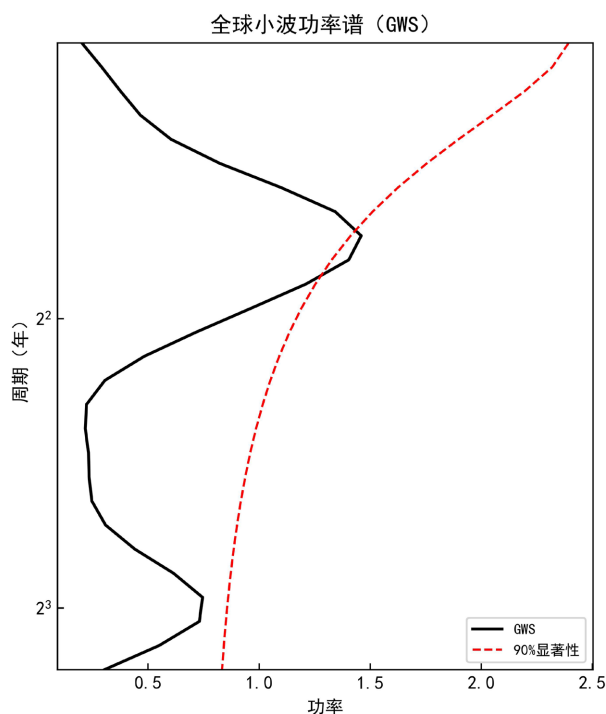


Figure 4. Global wavelet power spectrum (GWS) of summer thunderstorm gale “regional days” in Huangshi city. The black solid line is GWS, and the red dotted line is 90% significance level

图 4. 黄石市夏季雷暴大风“区域日数”的全局小波功率谱(GWS)。黑色实线为 GWS, 红色虚线为 90%显著性水平

5. 黄石夏季雷暴大风环境参数特征

根据环境参数意义及国内外研究成果, 本文选取了对流有效位能(CAPE)、K 指数、850 hPa 与 500 hPa 的温差(ΔT_{85})三个大气对流不稳定参数、动力参数中低层(500~900 hPa)垂直风切变(SL95)和水汽参数中层(400~700 hPa)平均温度露点差等进行分析研究。

5.1. 环境参数的相空间分布与天气类型

图 5 为黄石地区夏季雷暴大风环境相图, 横轴为 SL95, 纵轴为 ΔT_{85} , 其中每个点代表一次雷暴大风事件, 等级 2 的雷暴大风用圆形符号表示, 等级 4 的雷暴大风用方形符号表示(下文简称 2 级、4 级),

CAPE 大小用颜色深浅区分；点的大小表示中层(400~700 hPa)的干湿状况(温湿差平均值)。

从图 5 看出,绝大多数雷暴大风事件均发生在低切变($SL95 < 12 \text{ m/s}$)的环境下,占总事件数的 83.1%,高切变($SL95 > 12 \text{ m/s}$)环境下的事件总数明显偏少, 占总事件数的 16.9%。其中“低切变-大温差”类型($SL95 < 12 \text{ m/s}$ 且 $\Delta T_{85} > 24^\circ\text{C}$)占总事件数的 63.5%，“低切变-小温差”类型($SL95 < 12 \text{ m/s}$ 且 $\Delta T_{85} < 24^\circ\text{C}$)占总事件数的 19.6%。初步揭示黄石地区夏季雷暴大风发生的首要条件是强烈的大气不稳定性(上下层温差大),而对中低层风切变的要求相对较低。

进一步分析 4 级事件发生的有利条件,发现在绝大多数雷暴大风发生事件的环境中(“低切变-大温差”),其 4 级事件的占比达 57.5%,表明如果出现弱切变与强不稳定性相结合的环境,其所触发的雷暴大风有超过一半的可能性会达到更强的级别。同时可见,雷暴大风要达到 4 级事件不仅垂直温差大、CAPE 值高($>3000 \text{ J/kg}$),且中层有一定的干侵入。这表明中层的干侵入有利于产生强雷暴大风事件,极有利于在强对流中通过雨滴蒸发冷却产生强烈的下沉气流,从而形成地面灾害性大风。而在“低切变-小温差”环境中,4 级事件占比骤降至 23.0%,说明该环境配置不利于 10 级以上强风事件发生。

与之相比,“高切变-大温差”($SL95 > 12 \text{ m/s}$ 且 $\Delta T_{85} > 24^\circ\text{C}$)的环境中,4 级事件占比 52.4%,但其样本数极少(约 20 例),属于偶发类型;而“高切变-小温差”($SL95 > 12 \text{ m/s}$ 且 $\Delta T_{85} < 24^\circ\text{C}$)的环境中,4 级事件占比 0.0%,说明“高切变-小温差”环境配置下几乎不会产生 10 级以上强风事件。

这一量化结果具有很好的业务预报指示意义,预报员在面对夏季强对流预报时,应重点关注“低切变、高不稳定”特征的环境,此类天气型是导致黄石地区致灾性雷暴大风的最主要、最危险的因素。

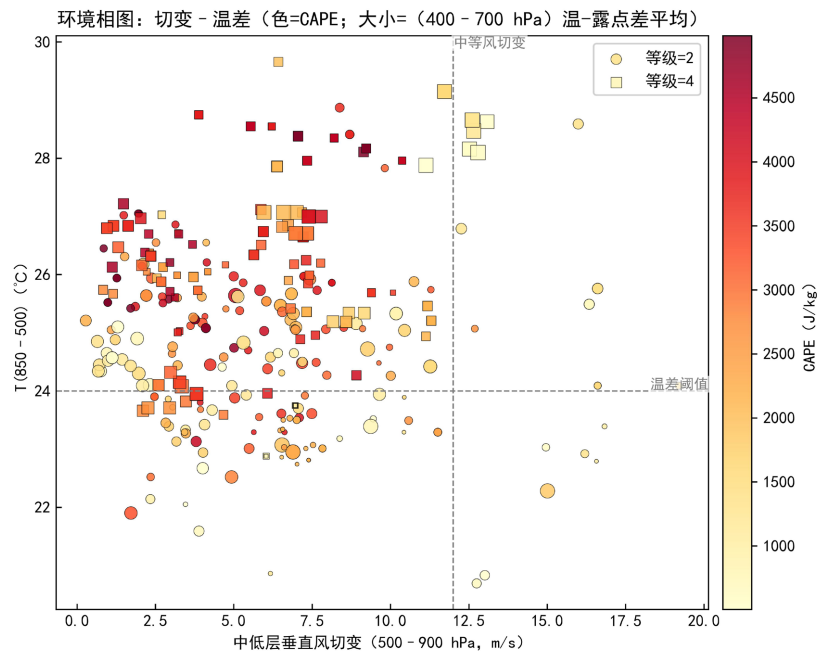


Figure 5. Phase diagram of thunderstorm and gale environment in Huangshi area in summer

图 5. 黄石地区夏季雷暴大风环境相图

5.2. 关键环境参数的差异性分析

通过箱线图的形式,对比 2 级与 4 级事件在四个关键参数(CAPE、K 指数、中层温湿差、中低层风切变)上的统计分布差异(图 6),分析得到如下内容。

CAPE 表现出最佳的区分能力。4 级事件的 CAPE 中位数值约为 3200 J/kg, 显著高于 2 级事件(约 2500 J/kg)。同时, 4 级事件的四分位距(IQR)整体上移, 其分布的 25 百分位数已接近 2 级事件的中位数, 表明产生强风事件的热力条件存在系统性的、本质的差异。

K 指数也展现出一定的区分度, 4 级事件的中位值(约 38℃)略高于 2 级事件(约 37℃), 但两者分布的重叠度远高于 CAPE。

动力和水汽参数的区分能力明显偏弱。中低层垂直风切变的箱线图显示, 虽然 4 级事件的中位数(约 5 m/s)略高于 2 级(约 4 m/s), 但两者分布高度重叠, 大量 2 级事件的风切变值远超 4 级事件的中位数, 反之亦然。表明风切变本身并非决定风暴强度的关键因子。

同样, 中层温湿差在两个等级间的分布也几乎没有差异, 中位数均在 10℃附近。这说明中层干侵入是背景条件之一, 但其干侵入的程度无法有效区分风暴的潜在大风强度。

综上分析可知, 黄石地区的雷暴大风主要是由热力驱动的“弱切变”型强对流所致, 其典型环境为“低切变-大温差”。在这种天气类型中, CAPE 是预测风暴强度等级的最核心、最敏感的指标。当 CAPE 超过 3200 J/kg 时, 发生 4 级强风事件的风险将急剧增大。

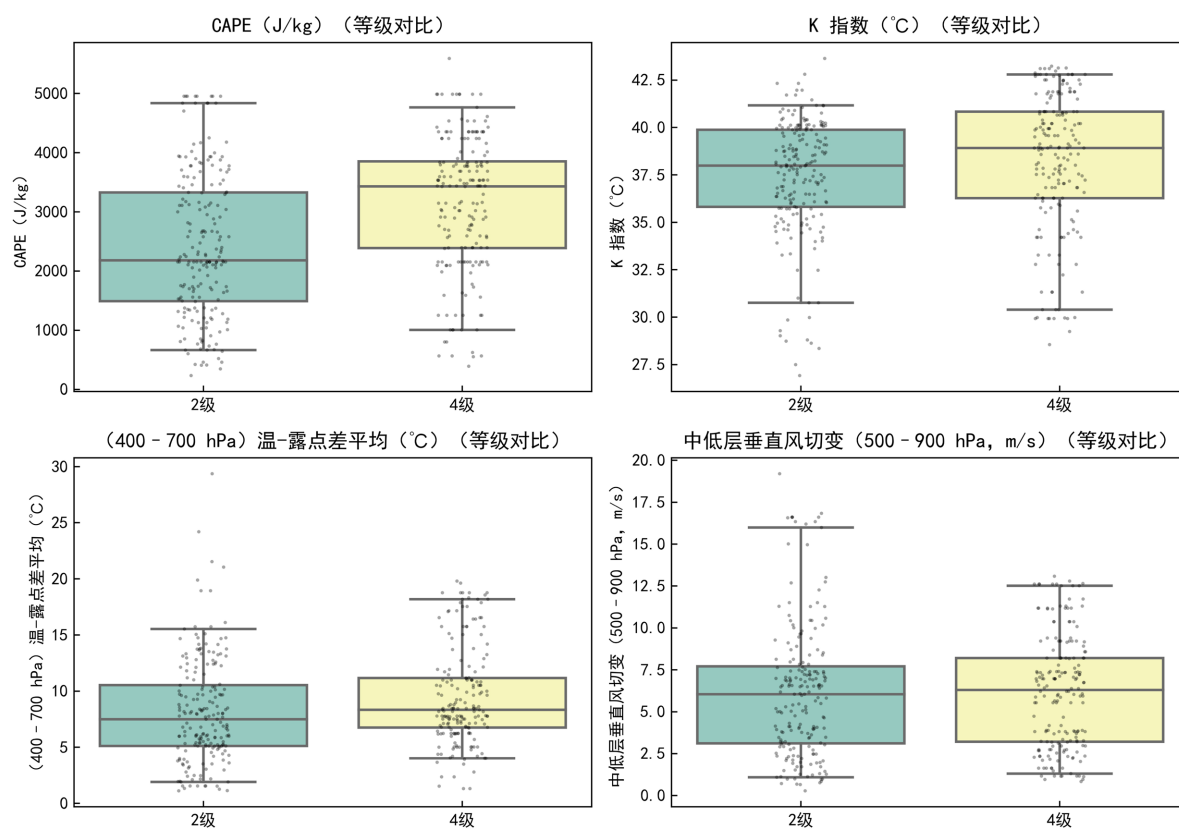


Figure 6. Grade comparison box diagram of key environmental parameters

图 6. 关键环境参数的等级对比箱线图

6. 结论

本文基于 2016~2024 年黄石地区地面气象观测资料、ERA5 再分析资料等, 系统分析了夏季雷暴大风的时空分布、周期变化及环境参数特征, 得出以下主要结论:

(1) 黄石夏季雷暴大风具有强烈的日变化和月变化特征,日变化上呈典型的单峰型,主要发生在午后至傍晚(15~19时),高峰时刻为17时;月变化上,主要发生在7~8月,发生频次占夏季90%以上。

(2) 黄石夏季雷暴大风空间分布不均。高发区呈“西南-东北”向带状,集中于主城区及沿江地带,主要以矿山公园、王英等站为核心的“热点区”,而西北部和东南部则为低发区。

(3) 黄石雷暴大风的年际变化并非随机,而是显著地受到一个准3年周期的调制。该周期信号具有间歇性特征,在2018~2021年期间尤为活跃。

(4) 黄石夏季雷暴大风主要是由热力驱动的“弱切变”型强对流所致。其最典型的天气环境为“低切变-大温差”(中低层风切变 $SL95 < 12 \text{ m/s}$, $850\sim 500 \text{ hPa}$ 温差 $\Delta T85 > 24^\circ\text{C}$),该类型下的雷暴大风事件数最多,且4级强风事件(实况极大风速10级以上)占比最高(57.5%)。在各类环境参数中,CAPE是区分风暴强度等级的最优判据,4级强风事件的CAPE中位数显著高于2级(实况极大风速8~9级)事件,CAPE超过 3200 J/kg 是发生致灾性大风的强烈预警信号。

注 释

本文图片均是python编程制图。

基金项目

黄石市气象局自立科研课题(hs202309)。

参考文献

- [1] 俞小鼎,周小刚,王秀明.雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J].气象学报,2012,70(3):311-337.
- [2] 郑永光,谈哲敏,谌芸,等.我国强对流天气研究进展[J].气象学报,2013,71(5):79-798.
- [3] Doswell, C.A. (2001) Severe Convective Storms—An Overview. In: *Severe Convective Storms*, American Meteorological Society, 1-26. https://doi.org/10.1007/978-1-935704-06-5_1
- [4] 韦惠红,许冠宇,刘希文,等.湖北省不同类型雷暴大风的时空分布及环境参数特征[J].暴雨灾害,2022,41(1):66-75.
- [5] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.我国冰雹和雷暴大风的时空分布特征[J].气象学报,2012,70(6):1168-1183.
- [6] Grams, J.S., Thompson, R.L., Snively, D.C. and Prentice, J.A. (2012) A Composite Analysis of the Environments of Significant Tornadoes in the Contiguous United States. *Weather and Forecasting*, **27**, 406-427.
- [7] 许爱华,孙继松,许东蓓,等.中国中东部强对流天气的天气形势分类和基本要素配置特征[J].气象,2014,40(4):400-411.
- [8] 郑永光,周康辉,王晓敏,等.中国暖季对流风暴环境参数的气候学分布特征[J].应用气象学报,2021,32(6):641-655.
- [9] 王秀明,周小刚,俞小鼎,等.雷暴大风环境特征及其对风暴结构影响的对比研究[J].气象学报,2013,71(5):839-852.
- [10] 费海燕,王秀明,周小刚,等.中国强雷暴大风的气候特征和环境参数分析[J].气象,2016,42(12):1513-1521.
- [11] 樊李苗,俞小鼎.中国短时强对流天气的若干环境参数特征分析[J].高原气象,2013,32(1):156-165.
- [12] 马淑萍,王秀明,俞小鼎,等.极端雷暴大风的环境参量特征[J].应用气象学报,2019,30(3):292-300.
- [13] 罗欣,张华龙,陈元昭,等.广东雷暴大风天气环境参量的特征分析[J].广东气象,2023,45(3):13-17.
- [14] 曹倩,郭建平,孙玉萍,等.2015-2023年江西雷暴大风特征分析[J].气象,2024,50(12):1495-1508.
- [15] 方翀,王西贵,盛杰,等.华北地区雷暴大风的时空分布及物理量统计特征分析[J].高原气象,2017,36(5):1368-1385.
- [16] 刘希文,李得勤,韦惠红,等.2013年湖北地区两次雷暴大风过程环境及雷达回波特征[J].气象与环境学报,2018,34(1):1-10.
- [17] 杨秀庄,谢清霞,吴磊,等.贵州雷暴大风天气分型和环境参数特征分析[J].山地气象学报,2025,49(3):36-43.

- [18] 刘彬, 邹灵宇, 李晓鹏, 等. 云南雷暴大风天气的环境条件特征分析[J]. 气象, 2022, 48(11): 1402-1417.
- [19] 杨晓霞, 尤莉, 夏凡, 等. 山东内陆和半岛雷暴大风的环境物理量特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(6): 47-56.
- [20] 许霖, 姚蓉, 王晓雷, 等. 湖南省雷暴大风的时空分布和变化特征[J]. 高原气象, 2017, 36(4): 993-1000.
- [21] 梁爱民, 张庆红, 申红喜, 等. 北京地区雷暴大风预报研究[J]. 气象, 2006, 32(11): 74-80.