

郭婷,蔡雄辉,刘琼琼,等.皖北雷暴大风的天气学分型及环境参数特征[J].陕西气象,2025(6):23-29.

文章编号:1006-4354(2025)06-0023-07

皖北雷暴大风的天气学分型及环境参数特征

郭 婷¹,蔡雄辉¹,刘琼琼¹,周 昆^{2,3},吴 尧¹

(1. 蚌埠市气象局,安徽蚌埠 233000;2. 安徽省气象局,合肥 230000;

3. 华东区域相控阵雷达联合实验室,上海 200000)

摘要:利用常规观测资料、ERA5再分析资料和蚌埠雷达资料,统计分析了皖北地区2007—2020年3—10月118个雷暴大风的天气类型、时空分布特征和环境参数。结果表明:(1)皖北地区雷暴大风天气类型分为槽前型、槽后型、副高边缘型,夏季发生的占总数的69.5%,春秋季节发生的占总数的30.5%。槽前型7月出现频率最高,槽后型6月出现频率最高,副高边缘型只出现在夏季。(2)雷暴大风日分布特征呈双峰型,主要发生在14—20时;雷暴大风空间分布不均匀,其高值中心位于阜阳市和怀远县。(3)槽后型的水汽参数明显小于槽前型和副高边缘型;副高边缘型雷暴大风0~6 km垂直风切变明显低于槽前型和槽后型;三种类型雷暴大风的 ΔT_{85} 的阈值较为接近。(4)皖北地区的CAPE、K指数、 ΔT_{85} 、0~6 km垂直风切变、 T_{d85} 等环境参数的阈值分别是300 J/kg、29 °C、24 °C、9 m/s、10 °C,雷暴大风发生前环境参数的阈值主要受不同天气系统和季节的影响。

关键词:雷暴大风;环境参数;天气学模型;时空分布

中图分类号:P458.1

文献标识码:A

雷暴大风是我国常见的灾害性天气之一,具有突发性强、持续时间短、破坏力大、极大风风速达到8级以上等特点^[1-2]。近年来强对流天气频发,人民生命财产安全受到严重危害。为了提高雷暴大风的预报预警能力,我国的气象学者对雷暴大风的天气学分型、环境参数、雷达回波特征等进行了深入研究,取得了一系列研究成果。许爱华等^[3]根据强对流天气的热动力学特征,总结出冷平流强迫类、暖平流强迫类、斜压锋生类、准正压类和高架对流类等5种强对流天气基本类别。韦惠红等^[4]、杨晓霞等^[5]、李强等^[6]分别研究了湖北、山东、山西雷暴大风的天气概念模型。曹世腾等^[7]对比分析了辽宁省冷涡和非冷涡背景下雷暴大风的环境物理量特征。许霖等^[8]指出湘西的雷暴大风发生时的热力不稳定条件高于湘东,湘南的动力不稳定条件高于湘北。中低层显著干区和较大的对流不稳定能量对雷暴大风的发生发展起

到了重要作用^[9-12]。吴翠红等^[13]根据湖北省东部26个雷暴大风过程的雷达回波形态特征,将雷暴大风的雷达回波分为单体型、弓状型和飑线型等3种类型。弓形回波、中气旋、阵风锋、径向速度图上的大风速区等对雷暴大风的提前预警具有指示作用^[14-18]。

皖北地处中纬度地区,冷暖气流交绥频繁,雷暴大风等灾害性强对流天气频繁发生。目前对安徽地区雷暴大风的气候变化特征分析较多^[19-20],而对雷暴大风发生时的高低空环流配置和环境参数的研究相对较少。为此,总结分析皖北地区2007—2020年雷暴大风的天气学分型、时空分布和不同天气学分型下雷暴大风的环境参数特征,以期为皖北地区雷暴大风预报预警提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料说明

选用资料为2007—2020年3—10月皖北地

收稿日期:2024-11-26

作者简介:郭婷(1991—),女,汉族,江苏高邮人,硕士,工程师,主要从事天气预报。

基金项目:中国气象局创新发展专项(CXFZ2023J080);安徽省气象局创新发展专项(YJG202302)

区 22 个国家基本气象站(图 1)资料和蚌埠雷达资料。分析雷暴大风环境参数时,主要利用雷暴大风发生前最近时次的欧洲中心 ERA5 ($0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$) 再分析资料。

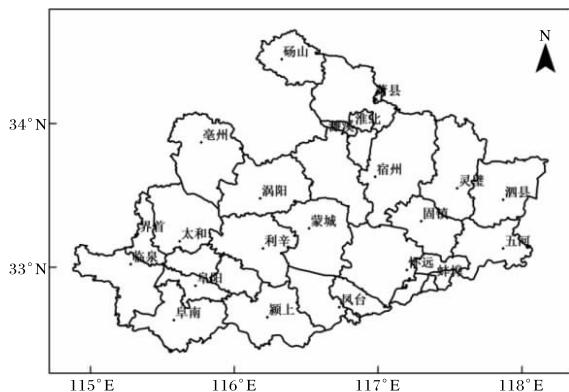


图 1 皖北地区国家基本气象站(黑点)地理分布

(审图号为 GS(2020)4619)

1.2 研究方法

当皖北地区 24 h(20—20 时)有 1 个或 1 个以上国家站出现雷暴并伴有大风(瞬时极大风速 $\geq 17.2 \text{ m/s}$), 则记为一个雷暴大风日; 若雷暴大风从午后发展, 并超过 20 时结束, 则计为同一个过程。根据上述定义, 统计出皖北地区 2007—2020 年共有雷暴大风日 118 d, 301 站次出现雷暴大风。统计雷暴大风天气类型时, 主要根据雷暴大风发生前 500 hPa 的天气影响系统进行分类归型。利用 ERA5 ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$) 再分析资料, 计算不同天气学类型下雷暴大风的环境参数特征时, 参考相关文献^[4,21], 将各环境参数制作成箱线图, 并将 25 百分位值作为环境参数阈值。

2 雷暴大风天气学分型

根据雷暴大风发生前 500 hPa 天气系统,对 2007—2020 年皖北地区 118 d 雷暴大风日的天气系统进行分类,结果显示雷暴大风天气类型主要为槽前型(38 d)、槽后型(40 d)和副高边缘型(40 d)。

2.1 槽前型

皖北地区 500 hPa、700 hPa 和 850 hPa 均受槽前西南气流控制(图 2a), 700 hPa、850 hPa 均有西南急流, 皖北地区温度露点差小于 4 ℃, 低层湿度条件较好。500 hPa 低槽东移, 槽后干冷空气与中低层暖湿气流相遇, 有利于热力不稳定的

建立。地面图上,皖北受暖低压控制,并常伴随中尺度辐合线或者闭合低压,850 hPa 干线附近的地面辐合系统是强对流天气的触发机制,槽前的上升运动以及冷暖气流相遇导致的锋生为强对流提供了动力条件,这类雷暴大风发生时通常伴随短时强降水^[22]。

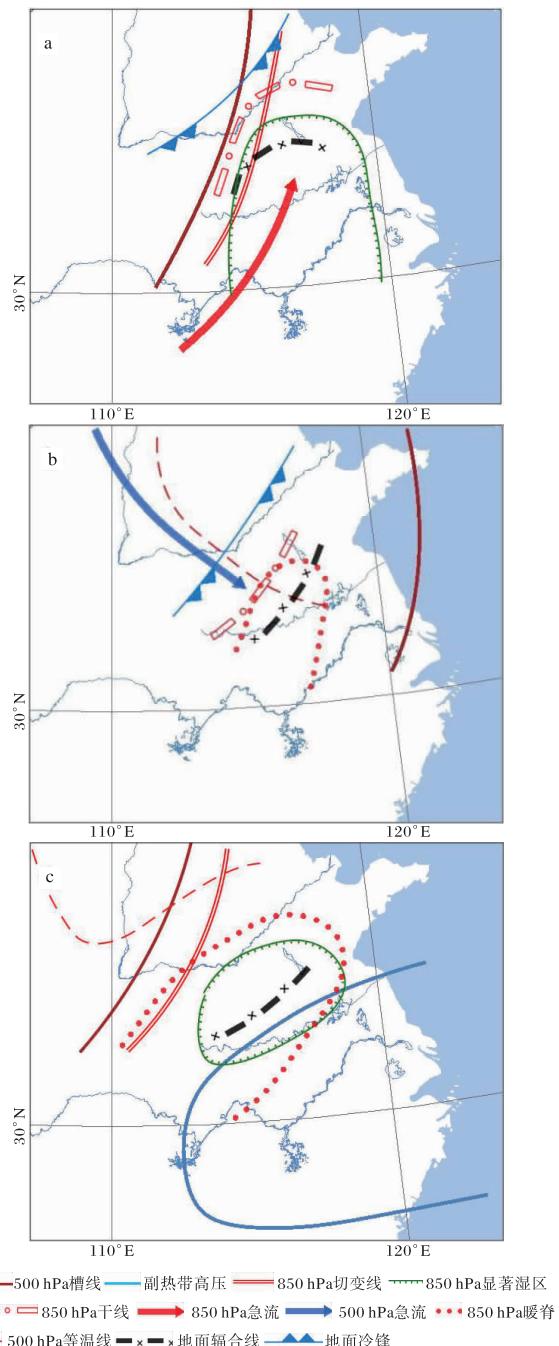


图 2 皖北地区槽前型(a)、槽后型(b)、副高边缘型(c)
雷暴大风过程天气概念模型

2.2 槽后型

皖北地区500 hPa、700 hPa和850 hPa均受槽后偏西北气流控制(图2b),700 hPa、850 hPa大部分情况存在干舌和干线,整层湿度较小。500 hPa槽后偏北急流带来的强干冷空气叠加在850 hPa暖脊上,导致大气温度直减率增大,造成低层空气负浮力增大,有利于雷暴大风的发生^[23]。地面图上皖北通常处于热低压倒槽内,随着皖北北部的冷锋后部冷空气的南下,850 hPa干线和地面辐合线处容易触发雷暴大风等强对流天气。

2.3 副高边缘型

副高边缘型中皖北地区主要处在副高边缘或者副高内部,其中处在副高边缘占90%左右(图2c)。在副高控制下,地面太阳辐射强,气温较高,850 hPa通常存在暖脊,中低层高温高湿的环境为雷暴大风发生提供了强的不稳定条件。副高的西北侧常伴有低槽活动,低槽带来的弱冷空气位

于低层暖脊之上,有利于对流不稳定的建立,中低层切变线和地面辐合线都是强对流天气的重要触发条件。

3 雷暴大风时空分布特征

3.1 时间

不同天气学类型下皖北地区雷暴大风日数月分布如表1所示:7月皖北地区雷暴大风日数发生频次最高,占总数的32.2%;6月次之,占总数的19.5%;9月和10月雷暴大风日数发生频次最低,均占1.7%。6—8月(夏季)雷暴大风日数占全年雷暴大风日的69.5%,3—5月(春季)占27.1%,9—10月占3.4%。皖北地区春季雷暴大风日中只有槽前型和槽后型,且各占总数一半;夏季雷暴大风日中副高边缘型占比最多。槽前型和槽后型基本上每个月都有发生,槽前型在5、6、7月发生频次较高,槽后型在4、6月发生频次较高。副高边缘型6月开始出现,8月结束,7月发生频次最高。

表1 2007—2020年皖北地区不同天气类型下雷暴大风日数月分布

单位:d

类型	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
槽前型	4	5	7	6	11	4	1	0
槽后型	2	10	4	15	4	2	1	2
副高边缘型	0	0	0	2	23	15	0	0
合计	6	15	11	23	38	21	2	2

从2007—2020年皖北地区雷暴大风站次日变化(图3)可知,其日变化特征明显,主要呈双峰型分布,在午后到傍晚发生的站次最多,大多数雷暴大风发生在14—20时,峰值在15时。这主要是因为太阳辐射导致此时段地面温度较高,大气不稳定条件较好,容易触发雷暴大风等对流天气的发生。22—01时雷暴大风发生站次次多,23—06时雷暴大风站次呈明显下降趋势。

3.2 空间

从2007—2020年皖北地区雷暴大风站次空间分布(图4a)可知,雷暴大风站次分布不均匀,站次高值中心出现在阜阳市和怀远县,阜阳市雷暴大风站次最高,达到29站次,怀远县次之,达到24站次。站次低值中心出现在颍上、淮南和泗县

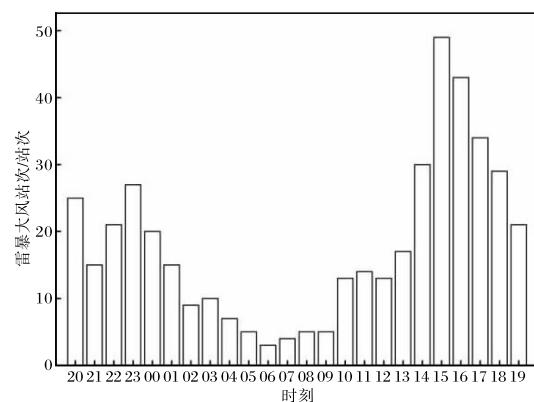


图3 2007—2020年皖北地区雷暴大风站次日变化等,其中颍上县雷暴大风站次出现最少只有4站次。皖北大风频发主要是由于夏季皖北经常受东北冷涡影响,弱冷空气常从安徽东部南下,冷暖空气交汇易造成强对流天气频发^[19]。皖北超过11

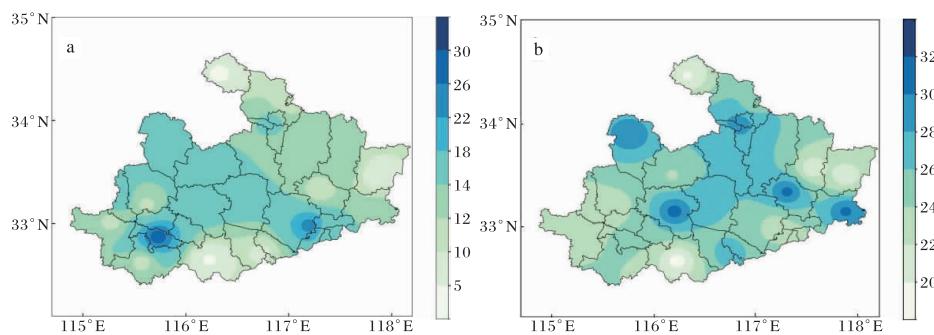


图 4 2007—2020 年皖北地区雷暴大风站次(a,单位为站次)和风速极值(b,单位为 m/s)空间分布特征(审图号为 GS(2020)4619 号)

级的雷暴大风主要分布在亳州市、淮北市、利辛县、固镇县和五河县(图 4b)。

4 雷暴大风环境参数特征

雷暴大风是一种典型的强对流天气,强对流天气的发生需要大气不稳定、水汽和抬升三个基本条件。利用 2007—2020 年雷暴大风发生前最近时次的 ERA5($0.25^\circ \times 0.25^\circ$)再分析资料,统计分析皖北雷暴大风发生前的热力、动力和水汽等环境参数,并对不同天气类型下雷暴大风的环境参数从小到大进行排列,计算其中位数、平均值、25 百分位值和 75 百分位值等,以箱线图形式反映各类参数的区间范围,并将不同类型雷暴大风参数的 25 百分位值作为其发生阈值。

4.1 热力不稳定条件

CAPE 代表大气中的对流不稳定能量,其值越大越有利于产生强对流天气。从不同类型雷暴大风的 CAPE 箱线图(图 5a)可以看出,槽前型、槽后型和副高边缘型雷暴大风 CAPE 的平均值分别是 992、862、2 489 J/kg。由于副高边缘型只出现在夏季,副热带高压控制下高温高湿,CAPE 的平均值较其他两类雷暴大风明显偏大。从表 2

得知槽前型、槽后型和副高边缘型雷暴大风的 CAPE 的阈值分别为 109、78、1 682 J/kg。 ΔT_{85} 表示 850 hPa 和 500 hPa 环境温度之差,其值越大,大气越不稳定,雷暴大风发生可能性越大。从图 5b 可以看出,槽前型、槽后型和副高边缘型雷暴大风的 ΔT_{85} 平均值分别为 24、27、25 ℃。三种类型的雷暴大风 ΔT_{85} 差异较小,其中槽后型的 ΔT_{85} 最大,主要是由于槽后型受 500 hPa 槽后冷空气叠加在低层暖空气上,造成大气的垂直温差较大。槽前型、槽后型和副高边缘型雷暴大风的 ΔT_{85} 的阈值分别为 22、25、24 ℃(表 2)。K 指数由 ΔT_{85} 加上 850 hPa 露点温度(T_{d85})再减去 700 hPa 温度露点差组成,反映大气的层结稳定情况。从图 5b 可以看出,槽前型、槽后型和副高边缘型雷暴大风的 K 指数的平均值分别为 31、26、34 ℃,槽后型的 K 指数最低,副高边缘型的 K 指数最高,三种类型的雷暴大风 ΔT_{85} 差异较小,说明槽前型和副高边缘型的中低层的湿度条件相比于槽后型较好。从表 2 得知槽后型 K 指数的阈值最低仅 19 ℃,槽前型、副高边缘型 K 指数阈值分别为 28、35 ℃。

表 2 皖北地区不同类型和不分型情况下雷暴大风的环境参数阈值

雷暴大风 类型	CAPE (J/kg)	K 指数 /℃	ΔT_{85} /℃	0~6 km 垂直 风切变/(m/s)	0~3 km 垂直 风切变/(m/s)	T_{d85} /℃	$H_{700-500}$ /%
槽前型	109	28	22	10	6	11	-6
槽后型	78	19	25	12	6	5	6
副高边缘型	1 682	35	24	7	5	16	-4
合计	300	29	24	9	6	10	0.8

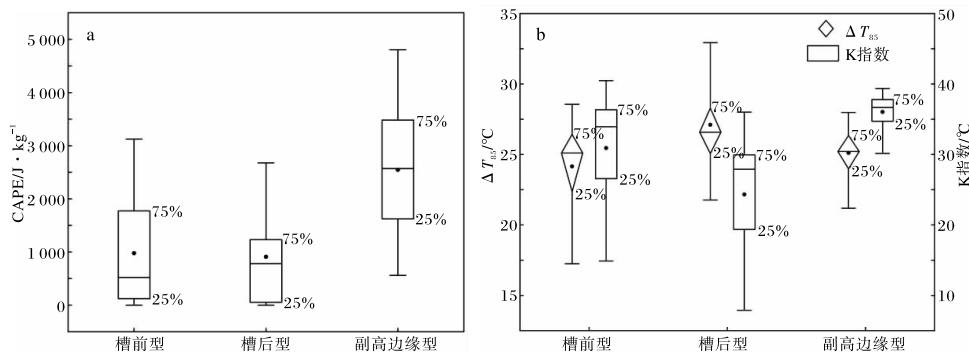


图 5 2007—2020 年皖北地区不同类型雷暴大风热力参数箱线图(圆点为平均值,下同)

4.2 动力条件

垂直风切变的大小与雷暴的强弱密切相关。在一定的热力不稳定条件下,垂直风切变越大,风暴组织程度越强^[14]。定义 1 000~700 hPa 垂直风切变代表 0~3 km 垂直风切变, 1 000~500 hPa 垂直风切变代表 0~6 km 垂直风切变。从皖北雷暴大风垂直风切变箱线图(图 6)可以看到,槽前型、槽后型、副高边缘型 0~3 km 垂直风切变平均值分别为 10、9、8 m/s, 0~6 km 垂直风切变平均值分别为 15、16、10 m/s。副高边缘型雷暴大风 0~3 km 和 0~6 km 垂直风切变明显小于槽前型和槽后型。当 0~6 km 垂直风切变矢量差 ≥ 12 m/s, 但 < 20 m/s 时, 则判定为中等以上垂直风切变;若 ≥ 20 m/s, 则判定为强垂直风切变^[14]。槽前型雷暴大风中 43% 属于中等以上垂直风切变, 21% 属于强垂直风切变。槽后型的雷暴大风中 54% 属于中等以上垂直风切变, 18% 属于强垂直风切变。副高边缘型雷暴大风中 28% 属

于中等以上垂直风切变,其他 72% 的雷暴大风的垂直风切变 < 12 m/s,说明副高边缘型的雷暴大风中动力因素不起主导作用。从表 2 得知槽前型、槽后型、副高边缘型的 0~6 km 垂直风切变的阈值分别为 10、12、7 m/s, 0~3 km 垂直风切变的阈值分别为 6、6、5 m/s。

4.3 水汽条件

雷暴大风的发生通常需要低层具有充沛的水汽以及上干下湿的大气层结^[8]。本文选取 T_{d85} 衡量低层水汽含量, 700 hPa 与 500 hPa 相对湿度差值($\Delta H_{700-500}$)来代表高低层水汽垂直分布情况。从皖北各类型雷暴大风的 T_{d85} 箱线图(图 7)可以看出,槽前型、槽后型和副高边缘型的 T_{d85} 平均值分别是 12.5、7.8、17.5 °C, 阈值分别为 11.5、16 °C(表 2)。槽后型雷暴大风的分布区间为 $(-3 \sim 16)$ °C, 平均值和阈值明显小于槽前型和副高边缘型,且离散度较大,说明槽后型 850 hPa 水汽条件较差,通常没有低空西南急流,雷暴大风发生的同时短时强降水发生频率较小。槽前型、槽后型和副高边缘型的 $\Delta H_{700-500}$ 的平均值分别是 12%、17%、10%(图 7b),大部分情况下雷暴大风发生在上干下湿的大气垂直结构中。槽后型的 $\Delta H_{700-500}$ 的平均值明显大于槽前型和副高边缘型,说明槽后型 700 hPa 到 500 hPa 干层最为明显。槽前型、槽后型和副高边缘型的 $\Delta H_{700-500}$ 的阈值分别为 -6% 、 6% 、 -4% (表 2)。

5 结论

(1)根据 500 hPa 大气环流背景,皖北地区雷暴大风可分为槽前型、槽后型、副高边缘型,各类型雷暴大风日分别为 38、40、40 d。槽前型和槽后

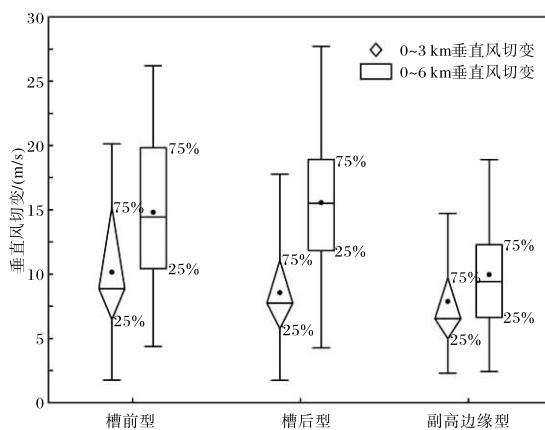


图 6 2007—2020 年皖北地区不同类型雷暴大风垂直风切变箱线图

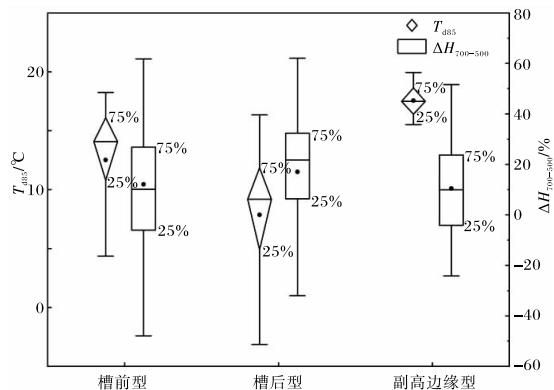


图 7 2007—2020 年皖北地区不同类型雷暴大风水汽条件箱线图

型均在夏季发生频率最高,秋季发生频率最低,槽前型在 7 月发生频率最高,槽后型在 6 月发生频率最高。副高边缘型只出现在夏季,7 月出现频率最高占 57.5%。

(2) 皖北雷暴大风发生在 3—10 月,夏季雷暴大风日数占全年总数的 69.5%。雷暴大风站次日变化主要呈双峰型分布,大多数雷暴大风发生在 14—20 时,峰值在 15 时,22—01 时雷暴大风发生站次次多,23—06 时雷暴大风站次呈明显下降趋势;雷暴大风站次空间分布不均匀,站次高值中心在阜阳市和怀远县,站次低值中心出现在颍上、淮南和泗县。

(3) 对于不同类型的雷暴大风天气,副高边缘型的 CAPE 明显大于槽前型和槽后型;槽后型 K 指数最低,副高边缘型 K 指数最高;副高边缘型雷暴大风 0~3 km 和 0~6 km 垂直风切变明显低于槽前型和槽后型;槽后型的水汽参数明显小于槽前型和副高边缘型,且离散度较大;不同类型的雷暴大风的 850 hPa 与 500 hPa 温度差的阈值较为接近。

(4) 皖北地区的 CAPE、K 指数、 ΔT_{85} 、0~6 km 垂直风切变、0~3 km 垂直风切变、 T_{d85} 、 $\Delta H_{700-500}$ 等环境参数的阈值分别是 300 J/kg、29 °C、24 °C、9 m/s、6 m/s、10 °C、0.8%。雷暴大风发生前的环境参数的阈值受到不同天气系统和季节的影响,归纳各类型雷暴大风的环境参数阈值,能够有效提高皖北地区的雷暴大风潜势预报能力。

参考文献:

- [1] 王秀明,周小刚,俞小鼎.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.
- [2] 王国安,乔春贵,张一平,等.冷涡背景下河南风雹强对流天气统计特征[J].气象与环境科学,2023,46(4):27-37.
- [3] 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.
- [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] 杨晓霞,胡顺起,姜鹏,等.雷暴大风落区的天气学模型和物理量参数研究[J].高原气象,2014,33(4):1057-1068.
- [6] 李强,苗爱梅,王洪霞,等.山西省雷暴大风的统计特征及概念模型[J].干旱气象,2023,41(3):423-433.
- [7] 曹世腾,杨磊,陈宇,等.2017—2021 年辽宁省冷涡型雷暴大风时空分布及环境参数特征[J].气象与环境学报,2023,39(4):65-73.
- [8] 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.
- [9] 杨景泰,隋玉秀,王健,等.大连地区雷暴大风的气候和天气学特征[J].气象与环境学报,2017,33(6):49-57.
- [10] 胡鹏宇,徐爽,耿世波,等.一次冷涡背景下沈阳地区雷暴大风过程的特征分析[J].气象与环境学报,2023,39(5):9-18.
- [11] 周后福,赵倩,李耀东,等.多源精细化资料对皖北地区一次雷暴大风的成因分析[J].灾害学,2018,33(4):135-140.
- [12] 许敏,刘璇,沈芳,等.京津冀强对流天气的环境场条件及触发机制[J].陕西气象,2022(4):23-29.
- [13] 吴翠红,韦惠红,牛奔.湖北东部雷暴大风雷达回波特征分析[J].大气科学学报,2012,35(1):64-72.
- [14] 俞小鼎,王秀明,李万莉,等.雷暴与强对流临近预报[M].北京:气象出版社,2020:321.
- [15] 杨璐,陈明轩,孟金平,等.北京地区雷暴大风不

- 同生命期内的雷达统计特征及预警提前量分析[J]. 气象, 2018, 4(6): 802-813.
- [16] 李姝霞, 冀翠华, 朱斌, 等. 2022 年河南“7·25”雷暴大风天气成因分析[J]. 气象与环境科学, 2023, 46(4): 49-58.
- [17] 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.
- [18] 张昆, 王起唤, 彭艳青, 等. 怀化两次飑线过程对比分析[J]. 陕西气象, 2021(3): 7-14.
- [19] 向阳, 谢五三, 刘岩, 等. 安徽省近 50 年雷暴的时空变化特征及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(1): 117-121.
- [20] 张雪晨, 朱珠, 刘高平. 安徽省近 40 年雷暴大风气候变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(12): 1621-1626.
- [21] 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.
- [22] 于波, 鲍文中, 王东勇. 雷暴与强对流临近预报[M]. 北京: 气象出版社, 2013: 100.
- [23] 孙继松, 戴建华, 何立富, 等. 强对流天气预报的基本原理与技术方法[M]. 北京: 气象出版社, 2014: 86.

《陕西气象》征稿启事

《陕西气象》是国家新闻出版管理部门第一批认定的学术期刊, 国内外公开发行, 双月刊, A4 开本, 国际连续出版物号为 ISSN 1006-4354, 国内连续出版物号为 CN 61-1282/P。

本刊是陕西省气象局和陕西省气象学会联合主办的科技型期刊, 被《中国学术期刊综合评价数据库》和《中国期刊全文数据库》、“万方数据资源系统数字化期刊群”、《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中文科技期刊数据库》、超星“域出版”平台全文收录, 四次荣获陕西省科技期刊特色期刊奖, 2020、2023 年获陕西省科技期刊优秀期刊奖。

本刊重点刊载气象科学技术及生态、信息技术相关领域的最新研究论文和应用成果, 交流和推介气象业务及服务的新经验和新做法, 介绍有关气象方面重点和热点问题的气象科学研究成果。

本刊欢迎全国气象行业及相关行业的科技工

作者及大专院校师生投稿。对于优秀稿件, 特别是有独特视角、创新意识、有理论深度和实践指导意义的论文, 可以优先刊发, 支付优厚稿酬。

来稿要求论点明确, 文字精练, 条理清晰, 数据可靠, 图表清楚、简明。论文格式请参考《陕西气象》征稿简则和《陕西气象》文稿修改基本要求及投稿指南, 具体请参阅本刊网站 (<http://sxqx.alljournal.cn/>)。

投稿渠道: 通过本刊网站注册后即可投稿。

联系电话: (029)86163551

电子邮箱: sxqxbjb029@163.com

QQ 交流群群号: 634022951 (申请时请说明单位和姓名)

《陕西气象》编辑部

2025 年 9 月 24 日