

周成, 杨学斌, 吕伟琦, 等. 不同天气类型短时强降水与地闪特征分析[J]. 海洋气象学报, 2019, 39(2): 143-150.
ZHOU Cheng, YANG Xuebin, LÜ Weiqi, et al. Characteristics of short-time heavy rainfall and cloud-to-ground lightning flash in different weather types[J]. Journal of Marine Meteorology, 2019, 39(2): 143-150. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.02.015. (in Chinese)

不同天气类型短时强降水与地闪特征分析

周成, 杨学斌, 吕伟琦, 王宁
(德州市气象局, 山东 德州 253000)

摘要: 选取 2006—2013 年山东 8 次典型短时强降水(降水强度 $>20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)个例, 并根据降水的天气尺度影响系统分为 4 种类型, 利用山东区域 ADTD 型闪电定位仪资料, 统计各类短时强降水与地闪相关性; 结合地闪频数、密度分析地闪与短时强降水的雨强、出现时间、空间分布等特征的相关性。结果表明: 1) 各类强降水与不同范围地闪的相关性不同, 与固定范围内地闪的时间、空间分布特征不同; 其中负地闪占绝大多数, 正闪比例小, 负闪占比越大降水越强; 站点周边 30 km 范围内地闪频数与降水相关性较好, 低槽冷锋型强降水与地闪频数相关性最好, 其次是低涡切变线型, 黄淮气旋型短时强降水与地闪频数相关性差, 热带气旋型强降水则与正闪相关性更好。2) 地闪频数只对单次过程降水量变化有所指示, 不能直接用来判别短时强降水, 而地闪频数峰值对于短时强降水预报有一定指示意义; 其中后倾型低槽冷锋、西北涡、西南涡型短时强降水地闪频数峰值对于预报短时强降水指示意义较强, 冷切变和暖切变型指示意义较小, 前倾型低槽冷锋、黄淮气旋、热带气旋型无明显指示意义。3) 高地闪密度与短时强降水落区对应较好, 但短时强降水并不一定会出现在高地闪密度中心区域; 大部分短时强降水极值站高地闪密度中心对应; 对于后倾型低槽冷锋、暖切变、西南涡型短时强降水, $5 \text{ 次} \cdot (10 \text{ km})^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 可作为预报参考阈值。

关键词: 短时强降水; 天气系统; 地闪频数; 地闪密度

中图分类号: P427.32 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2019)02-0143-08

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.02.015

Characteristics of short-time heavy rainfall and cloud-to-ground lightning flash in different weather types

ZHOU Cheng, YANG Xuebin, LÜ Weiqi, WANG Ning
(Dezhou Meteorological Bureau, Dezhou 253000, China)

Abstract Eight typical short-time heavy rainfall cases (hourly precipitation greater than 20 mm) in Shandong from 2006 to 2013 are selected and classified into 4 types according to synoptic scale systems, and based on data of ADTD lightning location system in Shandong, The correlations between different types of short-time heavy rainfall and cloud-to-ground flashes (hereinafter referred to as ground flash) are studied. The correlations between ground flashes and characteristics of short-time heavy rainfall such as intensity, occurrence time, and spatial distribution are analyzed combined with ground flash frequency and plensity. The results are as follows. 1) The correlations are different between heavy rainfall in different weather types and ground flash within different ranges, and the same is true between heavy

收稿日期: 2018-09-12; 修订日期: 2019-01-11

基金项目: 中国气象局预报员专项(CMAYBY2016-040); 山东省气象局科研项目(2016SDQXZ07, 2017SDQN19)

作者简介: 周成, 男, 工程师, 主要从事短期天气预报工作, zhoucheng_999@126.com。

通信作者: 杨学斌, 男, 正高级工程师, 主要从事短期天气预报和业务管理, yxb_5@163.com。

rainfall in different weather types and spatial and temporal characteristics of ground flash within fixed ranges. Major ground flashes are negative among these types of short-time heavy rainfall and positive ground flashes account for a small percentage. The bigger the percentage of negative flashes, the stronger the precipitation. The correlation between ground flash frequency and precipitation is relatively good within 30 km from the station. The correlation between ground flash frequency of Type I (upper trough/cold front) short-time heavy rainfall and ground flash frequency is the best, followed by that between Type II (low vortex/shear line) short-time heavy rainfall and ground flash frequency, and that between Type III (extratropical cyclone) short-time heavy rainfall—Huanghuai Cyclone and ground flash frequency is poor. Type IV (tropical cyclone) short-time heavy rainfall is better correlated to positive ground flashes. 2) Ground flash frequency is indicative of the precipitation variation of a single process and cannot be directly used to distinguish short-term heavy rainfall, while the peak values of ground flash frequency give certain indications in forecasting short-term heavy rainfall. The peak values of ground flash frequency of Type I short-time heavy rainfall—backward-tilting upper trough/cold front and Type II short-time heavy rainfall—northwestern vortex and southwestern vortex give stronger indications, those of Type II short-time heavy rainfall—cold shear and warm shear give weaker indications, and those of Type I short-time heavy rainfall—forward-tilting upper trough/cold front, Type III short-time heavy rainfall—Huanghuai Cyclone, and Type IV short-time heavy rainfall give no obvious indications. 3) High ground flash density is well correlated to short-time heavy rainfall area, while short-time heavy rainfall will not necessarily happen in the center of high ground flash density; most stations of extreme short-time heavy rainfall are correlated to the center of ground flash density; the ground flash density of $5 \text{ times} \cdot (10 \text{ km})^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ can act as a reference threshold for forecasting Type I short-time heavy rainfall—backward-tilting upper trough/cold front, Type II short-time heavy rainfall—warm shear, and Type II short-time heavy rainfall—southwestern vortex.

Key words short-term heavy rainfall; synoptic system; ground flash frequency; ground flash density

引言

短时强降水是指小时降水量超过 20 mm 的强降水天气,它与闪电都是强对流带来的灾害性天气,它们的发生给人民的生产生活会造成严重影响。过去利用常规观测、卫星、雷达资料等,从天气形势、物理量场、雷达回波特征等方面对短时强降水天气进行分析,得出许多预报指标,而对于闪电更多关注其所影响范围内的灾害、预警工作,但实际上闪电与雷达强回波位置^[1]、对流强度密切相关,而短时强降水作为强对流降水,它与闪电活动之间的关系具有深刻的动力和微物理内涵,这种关系对于闪电和降水的预警具有重要的参考意义^[2-4],同时闪电的发生也可作为是否出现强对流天气的重要指标^[5],并与降水天气系统关系密切^[6]。孙鸿娉等^[7]通过一次大范围暴雨天气过程中闪电频数特征分析,发现闪电频数与暴雨落区有很好的对应关系。尤凤春等^[8]通过对河北特大暴雨中闪电特征分析,发现云地闪次数和强度对强降

水量级预报有指示意义。杨晓军等^[9]通过对 2008—2013 年甘肃中部的短时强降水和闪电资料的分析,得出闪电密度时空分布与强降水时空分布有较好的一致性,在时间上闪电密度变化提前于强降水落区变化。王秀玲等^[10]通过分析 2011 年 3 次短时强降水过程的闪电特征,得出强降水都以负闪为主,闪电频数峰值提前于降水峰值 1 h 或两者相同,综合来看闪电频数与降水有较好的对应关系,高的闪电频数对应更强的降水。近年来,随着闪电定位系统的发展、闪电数据的累积以及对典型个例的研究,发现不同影响系统触发对流后,地闪与强降水的关系有所不同^[11-12]。

为进一步研究不同影响系统所产生的地闪与强降水的关系,通过对 2006—2013 年山东境内主要出现的 4 类(8 种)大范围典型短时强降水天气过程中小时降水量和地闪特征分析,得出不同系统造成的短时强降水与不同范围地闪次数的相关性,根据相关性得出最优地闪频数半径,进一步分析不同影响系统下强降水和地闪在时间、空间上的分布特

征,初步探索地闪与不同影响系统造成的短时强降水落区和出现时间的预报指标和预报方法。

1 资料与方法

选取2006—2013年山东63次大范围短时强降水个例,按天气尺度影响系统,以地面系统为主,兼顾系统垂直配置,将短时强降水个例分为低槽冷锋型(15例)、低涡切变线型(37例)、温带气旋型(8例)、热带气旋型(3例),并从中挑选出8次典型个例;获取对应个例台站逐小时降水资料(时间分辨率为1h)和山东区域ADTD型闪电定位仪地闪资料,再根据强降水时间将地闪资料处理为以下2种格式:1)通过球面经纬度距离公式^[13]统计出不同范围内时间分辨率为1h的地闪频数资料;2)通过网格化处理得出空间分辨率为100 km²、时间分辨率为1h的地闪密度资料。由于地闪与降水在空间和时间上有着较好的对应性^[14],因此通过比较不同影响系统下对应时次台站降水资料,得出相应地闪与短时强降水的时间、空间特征。

2 各类短时强降水过程与地闪数特征

降水强度与负地闪在总地闪中的比例有关^[15-17]。首先从收集的4类短时强降水个例中挑

选出后倾槽型低槽冷锋、前倾槽型低槽冷锋、冷切变、暖切变、西南涡、西北涡,黄淮气旋、热带气旋共8个不同影响系统下的典型短时强降水个例,结合对应过程的降水强度、地闪次数资料进行分析(表1)得出,所有过程中负闪占绝大多数,最多占比99.21%。正闪发生的数量极少,最多4.12%。在不同类型降水过程中正、负闪数差异较大,负闪占绝对优势。整体来看低涡切变线型强降水负闪比例最大,平均为98.42%,同时发现负闪占比越高降水强度越大,其中暖式切变线型负闪占99.21%,最大雨强达137.2 mm·h⁻¹。热带气旋造成的强降水负闪比例最少,为95.88%。从地闪次数来看,黄淮气旋和热带气旋型强降水出现地闪次数较其他类型偏少,特别是热带气旋类型短时强降水,总闪次数仅为510次;分析还发现黄淮气旋型强降水主要雨区位于暖锋附近(图略),热带气旋型短时强降水产生于系统未变性为温带气旋,而通过以往研究结果得知暖锋虽有强对流降水,但闪电活动较弱^[18];热带气旋型强降水以暖云降水为主,虽然闪电频数少,但一样能产生短时强降水天气^[16],因此分析以上两类短时强降水时不能直接利用闪电频数判断强降水,在预报中要结合其他观测资料综合分析^[19]。

表1 不同类型短时强降水天气过程的降水及地闪情况概述

Table 1 Overview of different types of short-time heavy rainfall processes and ground flashes

类型	过程时间	短时强降水/站次	最大雨强(站点)/(mm·h ⁻¹)	总闪数/次	正闪数/次	正闪比例	负闪数/次	负闪比例
低槽冷锋	后倾槽 2006年7月31日—8月1日	29	46.1(长清)	67 994	966	1.42%	67 028	98.58%
	前倾槽 2009年7月5—6日	32	50.6(梁山)	5 665	200	3.53%	5 465	96.47%
	西北涡 2012年7月9—10日	51	81.4(临沂)	12 047	266	2.21%	11 781	97.79%
低涡切变线	切变线 2012年7月30日—8月1日	52	74(天津)	49 611	677	1.36%	48 934	98.64%
	西南涡 2010年7月19—20日	58	64(阳信)	18 998	376	1.98%	18 622	98.02%
	暖切变 2009年8月17—18日	50	137.2(费县)	39 985	314	0.79%	39 671	99.21%
黄淮气旋	2009年7月8—9日	53	48.4(曲阜)	1 727	35	2.03%	1 692	97.97%
热带气旋	2012年8月2—3日	36	53.1(高青)	510	21	4.12%	489	95.88%

3 地闪与不同类型短时强降水的相关性分析

由于地闪与对流天气中的降水有较好的相关性^[11],因此通过分析不同影响系统下短时强降水过程中所有达到短时强降水站点的降水强度和10 km、20 km、30 km、40 km和50 km内地闪频数的相关系数(表2),得出不同影响系统下的短时强降

水在不同范围内与总闪、负闪和正闪频数的相关性特征。

3.1 地闪与低槽冷锋型强降水

分析低槽冷锋型短时强降水站点与地闪频数关系,总闪和负闪频数与降水强度的相关系数大,为正相关,全部通过0.01水平的显著性检验;而正闪频数与降水强度的相关系数小,未通过0.05水平的显著性检验。从不同范围的相关系数来看,

20 km范围内总闪和负闪频数与降水强度相关系数大,相关性最好,其次为30 km和10 km,50 km范围相关系数最小。

3.2 地闪与低涡切变线型强降水

分析低涡切变线型短时强降水站点与地闪频数关系时发现,总闪、负闪和正闪频数与降水强度都为正相关,总闪和负闪的相关系数大,通过0.01的显著性水平检验。从相关系数大小来看,30 km范围内总闪和负闪与降水强度相关系数大,相关性最好,其次为50 km范围,40 km范围相关系数最小。

3.3 地闪与黄淮气旋型强降水

由黄淮气旋型短时强降水闪电频数与短时强降水关系可得,10~20 km的总闪和负闪频数与降

水强度成反相关,30 km及以上为正相关,20~50 km正闪频数与降水强度成正相关,且相关系数大于总闪和负闪;从显著性检验来看,三者均未通过0.05的显著性水平检验。初步分析由于黄淮气旋属于大范围较稳定性降水,而闪电活动更多与对流性降水关系密切,因此它与闪电活动的关系较差。

3.4 地闪与热带气旋型强降水

由热带气旋型闪电频数与降水强度间的相关性得出,总闪、正闪和负闪均与降水强度呈正相关,总闪和负闪均随着范围扩大,相关系数增大,仅在40~50 km通过0.05的显著性水平检验。相对而言,20~30 km范围内的正闪频数与降水强度相关性更好,通过了0.01的显著性水平检验,其他各范围均通过0.05水平的检验。

表2 不同类型短时强降水与不同范围得出的地闪频数相关系数

Table 2 Correlation coefficient between different types of short-term heavy rainfall and ground flash frequency within different ranges

系统类型	地闪属性	不同范围的相关系数				
		10 km	20 km	30 km	40 km	50 km
低槽冷锋	总闪	0.435**	0.458**	0.430**	0.414**	0.399**
	正闪	0.144	0.176	0.165	0.167	0.179
	负闪	0.434**	0.455**	0.427**	0.410**	0.396**
低涡切变线	总闪	0.190**	0.190**	0.195**	0.187**	0.193**
	正闪	0.114*	0.033	0.073	0.089	0.071
	负闪	0.189**	0.190**	0.194**	0.187**	0.192**
黄淮气旋	总闪	-0.085	-0.079	0.029	0.069	0.062
	正闪	a	0.134	0.237	0.210	0.166
	负闪	-0.085	-0.084	0.016	0.058	0.053
热带气旋	总闪	0.088	0.157	0.25	0.286*	0.291*
	正闪	0.267*	0.419**	0.369**	0.323*	0.296*
	负闪	0.081	0.145	0.237	0.275*	0.281*

注:a表示未出现此类闪电,**表示在0.01水平上显著相关,*表示在0.05水平上显著相关。

4 不同天气类型短时强降水与地闪频数的时间关系

4.1 地闪频数大小与降水量的时间关系

强降水天气中地闪频数时序变化与强降水时间有较好的对应关系^[20-21]。分析4类短时强降水地闪频数和降水极值站降水量时序图(图1),地闪频数与降水量的关系复杂,除暖切变型短时强降水过程外,其余天气类型短时强降水降水量大体上是随着地闪频数的增加而增加,随着地闪频数的减小而减小。而最大地闪频数出现在冷切变型短时强降水过程中,地闪频数峰值为

65次·(10 km)⁻²·h⁻¹对应强降水峰值为73.9 mm,最小地闪频数出现在热带气旋型短时强降水过程中,地闪频数峰值为0.14次·(10 km)⁻²·h⁻¹对应短时强降水为53.1 mm,最大降水极值站出现在暖切变型短时强降水过程中,为137.2 mm,对应地闪频数峰值为5次·(10 km)⁻²·h⁻¹;后倾型低槽冷锋、冷切变、西南涡、西北涡型短时强降水地闪频数峰值与降水量峰值对应(图略);而前倾型低槽冷锋(图略)、黄淮气旋型短时强降水地闪频数峰值较降水量峰值提前1 h,热带气旋型短时强降水地闪频数峰值较降水峰值滞后1 h。综合得出不能直接利用地闪频数大小来判断短时强降水,而独立分析不同

天气类型短时强降水与地闪频数,短时强降水的发生和地闪频数峰值关系更为密切。为了找出各类短时强降水地闪频数峰值与短时强降水的关系,再

次分析不同天气类型短时强降水过程中全部达到短时强降水站点的地闪频数峰值与短时强降水出现时间的关系。

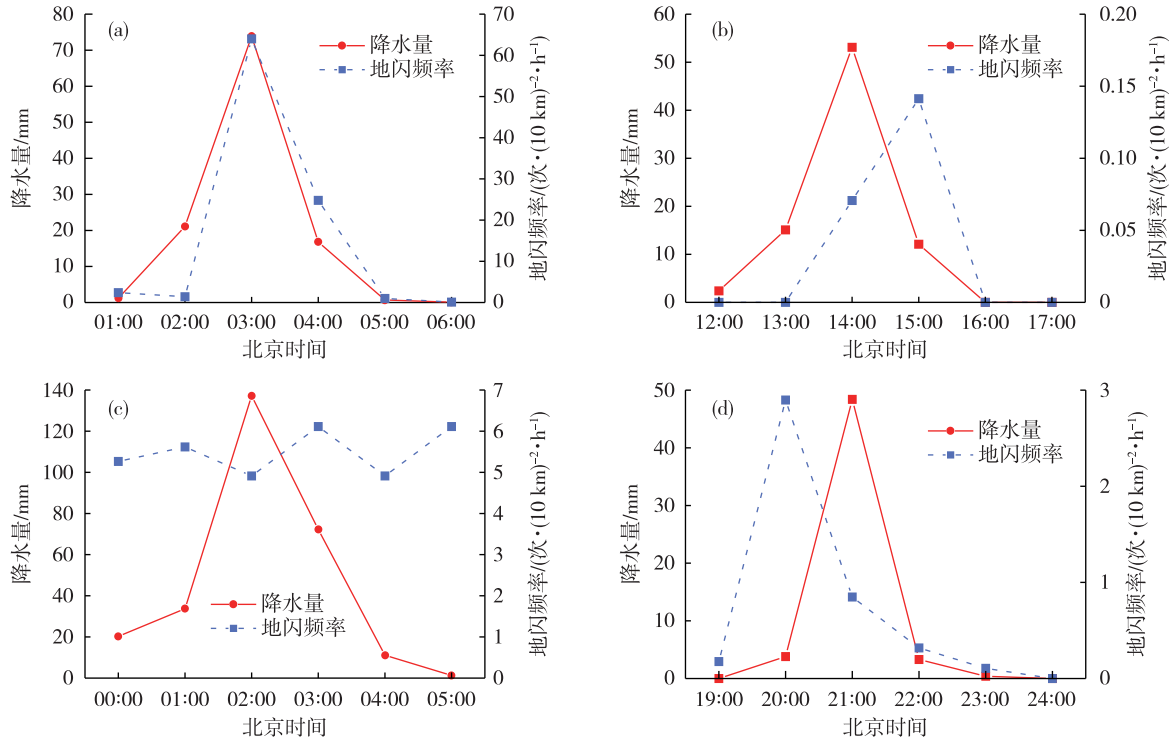


图 1 冷切变、热带气旋、暖切变、黄淮气旋型短时强降水过程极值站 30 km 范围内地闪频数与站点小时降水量时序图 (a.2012 年 7 月 30 日利津站,b.2012 年 8 月 3 日高青站,c.2009 年 8 月 18 日费县站,d.2009 年 7 月 8 日曲阜站;蓝色虚线:地闪频数,单位:次·(10 km)⁻²·h⁻¹;红色实线:降水强度,单位:mm·h⁻¹)

Fig.1 Times series of ground flash frequency within 30 km from maximum precipitation stations and hourly precipitation by Type II short-time heavy rainfall—cold shear, Type IV (tropical cyclone) short-time heavy rainfall, Type II short-time heavy rainfall—warm shear, and Type III short-time heavy rainfall—Huanghuai Cyclone (a. at Lijin Station on 30 July 2012, b. at Gaoqing Station on 3 August 2012, c. at Feixian Station on 18 August 2009, d. at Qufu Station on 8 July 2009; blue dashed line for ground flash frequency, units: times·(10 km)⁻²·h⁻¹; red solid line for precipitation intensity, units: mm·h⁻¹)

4.2 地闪频数峰值与短时强降水的时间关系

分析不同天气类型短时强降水全部站次短时强降水出现时间与 30 km 范围内地闪频数峰值的时间关系(图 2),发现地闪频数峰值和短时强降水关系非常复杂,地闪频数峰值可能提前、滞后,也可能没有明显峰值,甚至在没有闪电时仍会出现短时强降水。后倾型低槽冷锋、西北涡、西南涡型短时强降水地闪频数峰值和降水峰值对应的次数占绝对优势,同时短时强降水中地闪频数峰值较短时强降水出现时间提前与对应的次数相比其滞后、多峰及无闪电的次数占比较大,这说明这几类天气系统造成的短时强降水过程地闪集中时段的对流活动非常剧烈,使在该时段内更容易产生较强降水,因此地闪频数峰值对于短时强降水预报意义较强,这与苟阿宁等^[12]、陈锐和刘洲荣^[22]研究结果一致。冷

切变和暖切变型短时强降水虽然对应次数为较多,但滞后次数也比较多,对于这两种降水地闪频数峰值对于短时强降水的预报意义较小。前倾型低槽冷锋、黄淮气旋、热带气旋型短时强降水无闪电或地闪频数峰值滞后次数较多,地闪频数峰值对短时强降水的预报无明显指示意义。初步分析得出黄淮气旋型短时强降水主要以稳定性降水为主,前倾型低槽冷锋过程能量条件差,对流活动弱造成闪电次数少,热带气旋型短时强降水在热带气旋未变性前以暖云降水为主,地闪数极少,地闪主要还是针对对流性降水有更好的指示意义,同时地闪频数峰值与降水峰值关系较为复杂,其中造成各类型短时强降水的 MCS 在不同背景场、不同发展阶段、不同移动状态等方面也会对地闪和短时强降水的关系有影响,这里只对典型天气个例进行初步分析,所

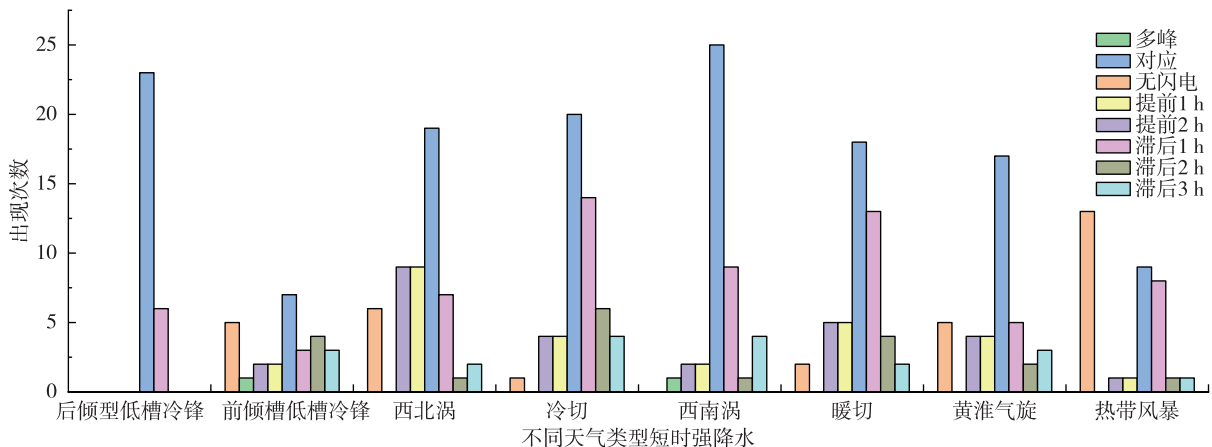


图 2 不同天气类型短时强降水全部站次短时强降水出现时间与 30 km 范围内闪电频数峰值时间关系(时间关系:见图例)

Fig.2 Time relationship between occurrence time of short-time heavy rainfall in different weather types from all stations and peak value of ground flash frequency within 30 km (time relationship: legend)

得结论可能不具有普遍性和代表性,今后还需要更多同类型个例深入研究加以验证。

5 不同类型短时强降水与地闪密度的空间分布关系

利用地闪密度和短时强降水站点叠加分析二者空间位置关系^[9],强降水落区与地闪密度高值区吻合,地闪高密度中心与强降水中心一致^[23]。从各类短时强降水地闪密度和短时强降水站点分布(图 3、图 4)得出高地闪密度与短时强降水落区对应较好,这总体与张东风^[24]、张腾飞等^[25]研究结果相吻合,但短时强降水并不是一定会出现在高地闪密度中心区域。其中后倾、前倾型低槽冷锋、暖切变、冷切变、西南涡、热带气旋型短时强降水(图 3,图 4a、d)地闪高密度中心与短时强降水密集区对应较好,也同降水极值站对应较好。后倾型低槽冷锋、暖切变、西南涡造成的短时强降水,当地闪密度小于 $5 \text{次} \cdot (10 \text{ km})^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,未出现短时强降水,当地闪密度加大,短时强降水站点增多,降水量也呈现加大趋势。后倾型低槽冷锋、西南涡造成的短时强降水极大值站点与地闪密度峰值区对应(大于 $15 \text{次} \cdot (10 \text{ km})^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$),暖切变造成的短时强降水极值站与地闪密度峰值周边区域对应($8 \text{次} \cdot (10 \text{ km})^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)。

西北涡造成的短时强降水并未发生在地闪密度最大值中心区域,而是出现在次最大值中心以及地闪高密度边缘区域,降水极值位于地闪密度次高中心;黄淮气旋型短时强降水大多数发生在地闪高

密度边缘,但降水极值位于地闪高密度中心。前倾型低槽冷锋、黄淮气旋、热带气旋在地闪密度小于 $1 \text{次} \cdot (10 \text{ km})^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 的区域中,同样会出现接近 $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强降水,热带气旋型降水峰值与正地闪高密度中心对应较好(图略)。由于 MCS 是造成大范围短时强降水的重要因子^[26],通过分析不同类型短时强降水中 TBB 与地闪、短时强降水的关系(图略)可知,绝大部分短时强降水出现在 MCS 移动方向后侧以及 TBB 梯度大值区附近,地闪也集中出现在上述区域,同样证明各类短时强降水落区与地闪密度对应较好,在生成的 MCS 强度较弱时,如黄淮气旋型短时强降水,其对应情况没有其他类型短时强降水明显,主要原因还是地闪主要对对流性降水有更好的指示意义。

6 结论与讨论

1) 4 类强降水过程中,95% 为负地闪,低涡切变线型负地闪数最多,黄淮气旋和热带气旋型负地闪数较少。低槽冷锋、低涡切变线、黄淮气旋、热带气旋型短时强降水与不同范围内地闪相关性有差异,其中低槽冷锋短时强降水在半径 30 km 范围内的地闪频数与强降水相关性最好,其次是低涡切变线型;而黄淮气旋型短时强降水地闪次数较少,且与地闪相关性差;热带气旋型强降水则与正闪相关性更好。

2) 地闪频数只对单次过程降水量变化有所指示,不能直接用来判别短时强降水,地闪频数峰值对于短时强降水预报有一定指示意义;其中后倾型低槽冷锋、西北涡、西南涡型短时强降水地闪频数

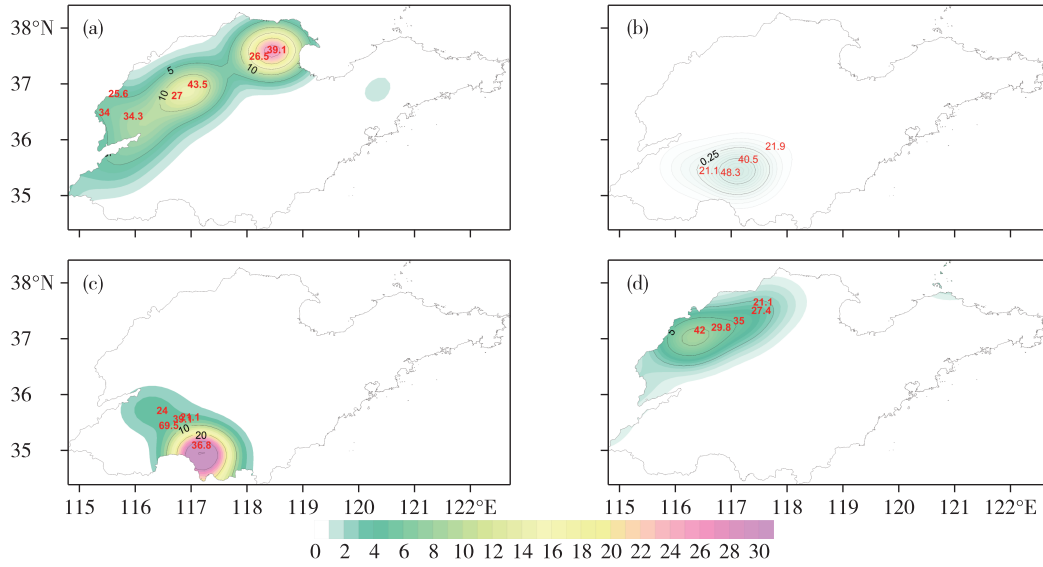


图 3 后倾及前倾型低槽冷锋、暖切变、冷切变型短时强降水对应时次地闪密度与短时强降水站点的单位时间降雨量对比 (a.2006 年 7 月 31 日 15 时,b.2009 年 7 月 6 日 09 时,c.2009 年 8 月 17 日 22 时,d.2012 年 7 月 31 日 07 时;填色:地闪密度,单位:次 · (10 km)⁻² · h⁻¹;红色数据:降水强度,单位:mm · h⁻¹)

Fig.3 Ground flash density and precipitation per unit time at stations of Type I short-time heavy rainfall—backward-tilting/forward-tilting upper trough/cold front and Type II short-time heavy rainfall—cold shear and warm shear (a. 15:00 BST on 31 July 2006, b. 09:00 BST on 6 July 2009, c. 22:00 BST on 17 August 2009, d. 07:00 BST on 31 July 2012; colored area for ground flash density, units: times · (10 km)⁻² · h⁻¹; data in red for precipitation intensity, units: mm · h⁻¹)

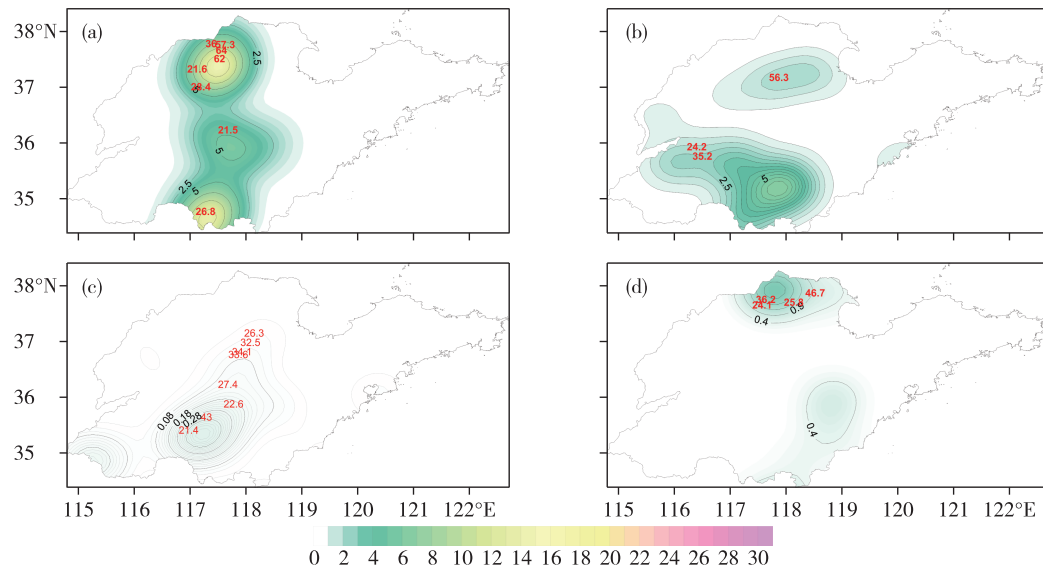


图 4 西南涡、西北涡、黄淮气旋、热带气旋型短时强降水对应时次地闪密度与短时强降水站点的单位时间降雨量分布 (a.2010 年 7 月 19 日 17 时,b.2012 年 7 月 9 日 21 时,c.2009 年 7 月 8 日 22 时,d.2012 年 8 月 3 日 18 时;填色:地闪密度,单位:次 · (10 km)⁻² · h⁻¹;红色数据:降水强度,单位:mm · h⁻¹)

Fig.4 Ground flash density and precipitation per unit time at stations of Type II short-time heavy rainfall—northwestern vortex and southwestern vortex, Type III short-time heavy rainfall—Huanghuai Cyclone, and Type IV (tropical cyclone) short-time heavy rainfall (a. 17:00 BST on 19 July 2010, b. 21:00 BST on 9 July 2012, c. 22:00 BST on 8 July 2009, d. 18:00 BST on 3 August 2012; colored area for ground flash density, units: times · (10 km)⁻² · h⁻¹; data in red for precipitation intensity, units: mm · h⁻¹)

峰值对于短时强降水预报指示意义较强,冷切变和暖切变型指示意义较小,前倾型低槽冷锋、黄淮气

旋、热带气旋型无明显指示意义。

3)短时强降水落区与高地闪密度空间分布关

系密切,其中高地闪密度与短时强降水落区对应较好,但短时强降水并不一定出现在高地闪密度中心区域。不同类型短时强降水地闪密度和短时强降水空间分布特征不同,其中低槽冷锋、低涡切变线、热带气旋型短时强降水中地闪高密度中心与短时强降水密集区以及降水极值中心对应较好;黄淮气旋型短时强降水中地闪高密度中心与短时强降水密集区以及降水极值中心对应较差;各类短时强降水中前倾型低槽冷锋、黄淮气旋、热带气旋型短时强降水在地闪密度小于 $1 \text{次} \cdot (10 \text{ km})^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 的区域中,仍会出现 $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的强降水。

4)对于后倾型低槽冷锋、暖切变、西南涡造成的短时强降水过程中,地闪密度 $5 \text{次} \cdot (10 \text{ km})^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 可作为预报短时强降水地闪密度参考阈值,当地闪密度达到 $15 \text{次} \cdot (10 \text{ km})^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 时则该区域极有可能出现短时强降水。

本文通过对4类不同类型天气系统造成的短时强降水和地闪特征的研究,初步得出不同影响系统下短时强降水和地闪在相关性、时间、空间分布的关系,其中很多指标可供预报、后续研究参考。由于各类天气系统个例较少,同时没有结合热力及能量等条件进行深入分析,其可用性和代表性还需要做更进一步的研究。

参考文献:

- [1] 孙鸿娉,闫世明,李培仁,等.新一代天气雷达、雷电资料的分析与应用[J].高原气象,2011,30(5):1384-1391.
- [2] 李照荣,张强,陈添宇,等.一次强冰雹暴雨天气过程闪电特征分析[J].干旱区研究,2007,24(3):321-327.
- [3] 但建茹,曾昌军,郑栋,等.一次强降水天气过程的雷暴及闪电活动特征分析[J].广东气象,2011,33(6):19-24.
- [4] 孙丽娜.泰安地区地闪时空分布特征[J].山东气象,2016,36(2):48-53.
- [5] 郑栋,张义军,孟青,等.北京地区雷暴过程闪电与地面降水的相关关系[J].应用气象学报,2010,21(3):287-297.
- [6] 陈金敏,孙兴池,李静,等.山东省雷电活动及其灾害气候特征分析[J].安徽农业科学,2010,38(12):6345-6348,6418.
- [7] 孙鸿娉,汤达章,闫世明,等.“8·16”暴雨的雷电特征分析[J].山西气象,2006(4):12-14.
- [8] 尤凤春,景华,李江波.“96.8”河北特大暴雨雷达回波和闪电资料特征[J].气象,1999,25(8):47-50.
- [9] 杨晓军,刘维成,宋强,等.甘肃中部地区短时强降水与闪电关系初步分析[J].干旱气象,2015,33(5):802-807.
- [10] 王秀玲,曹晓霞,朱靖民.汛期短历时强降水过程的闪电特征[J].气象科技,2014,42(1):140-144.
- [11] 支树林,李婕,陈娟.江西不同类型强对流天气的地闪统计特征及与雷达回波特征对比分析[J].气象,2018,44(2):222-232.
- [12] 苟阿宁,赵玉春,黄延刚,等.一次西南涡引发暴雨的地闪特征[J].气象与环境学报,2013,29(4):59-63.
- [13] 刘军华,陈建军,吕卫祥.地球上任意两点距离、方位、仰角计算[J].雷达与对抗,2006(1):26-28.
- [14] 周筠珺,曾定勇,冯桂力,等.地闪资料反演山东雷暴天气降水的适用性分析[J].防灾科技学院学报,2009,11(3):14-20.
- [15] 陈哲彰.冰雹与雷暴大风的云对地闪电特征[J].气象学报,1995,51(3):367-374.
- [16] 邵晨,郭品文,戴建华.上海短历时强降水的雷达和闪电活动特征[J].热带气象学报,2013,29(4):656-664.
- [17] 周筠珺,郗秀书,王怀斌,等.利用对地闪的观测估算对流性天气中的降水[J].高原气象,2003,22(2):168-172.
- [18] 郑媛媛,傅云飞,刘勇,等.热带测雨卫星对淮河一次暴雨降水结构与闪电活动的研究[J].气象学报,2004,62(6):790-802.
- [19] 吴蓓,闫景东,任兆鹏,等.青岛地区电场仪资料在一次雷暴天气过程中的应用分析[J].海洋气象学报,2017,37(1):92-97.
- [20] 朱义青,郭宝阳,王玉亮,等.一次低槽冷锋暴雨数值模拟和诊断分析[J].山东气象,2016,36(3):13-19.
- [21] 杨丽丽,杨毅,张廷龙,等.基于双多普勒雷达及闪电资料分析一次强降水过程[J].高原气象,2015,34(2):546-555.
- [22] 陈锐,刘洲荣.柳州市强对流暴雨的闪电和雷达回波特征及相关性研究[J].气象研究与应用,2016,37(2):38-41.
- [23] 林炳干,谢兴生,陶善昌.福建省前汛期暴雨天气雷电特征的个例分析[J].南京气象学院学报,1999(2):155-163.
- [24] 张东风.梅雨期降水过程及暴雨日的闪电频数特征分析[J].湖北气象,2000,19(1):23-25.
- [25] 张腾飞,段旭,张杰,等.云南强对流暴雨的闪电和雷达回波特征及相关性[J].热带气象学报,2011,27(3):379-386.
- [26] 杨晓霞,李春虎,吴君,等.鲁南三次低涡暖式切变线强降水的中尺度对流系统特征[J].山东气象,2015,35(1):1-7.