

张永婧,高帆,于丽娟,等.济南市短时强降水特征分析与天气分型[J].海洋气象学报,2017,37(3):109-116.
Zhang Yongjing, Gao Fan, Yu Lijuan, et al. Characteristics analysis and synoptic classification of short-duration heavy rainfall in Jinan urban area[J].Journal of Marine Meteorology, 2017, 37(3):109-116. DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.03.013. (in Chinese)

济南市短时强降水特征分析与天气分型

张永婧,高帆,于丽娟,褚颖佳,尹承美,孙长征

(济南市气象局,山东 济南 250102)

摘要: 利用2007—2015年济南市及历城区自动气象观测站的逐小时降水量资料,以及常规高空、地面观测资料,统计了198次短时强降水过程的范围和强度特征,年际、月际变化特征,按照短时强降水发生时的天气形势和影响系统,分为切变线型、低槽冷锋型、西风槽型、冷涡型、台风外围型及无系统型6类,并分析了不同类型和不同范围短时强降水的关键环境参量。研究表明:短时强降水的强度与范围有较好的相关性,7月中旬—8月中旬出现强降水的次数最多;切变线型短时强降水发生范围与强度分布最广,7、8月的低槽冷锋型过程极易造成大范围高强度降水;地面露点(T_d)、850 hPa假相当位温(θ_{se})、对流有效位能(CAPE)以及暖云层厚度能较好地区分不同范围的短时强降水过程。在天气分型的基础上,结合不同降水范围和不同降水类型环境参量箱线图与阈值表,可为济南市短时强降水的预报提供有价值的参考。

关键词: 短时强降水;天气分型;预报概念模型;关键环境参量

中图分类号: P466 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2017)03-0109-08

DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.03.013

Characteristics analysis and synoptic classification of short-duration heavy rainfall in Jinan urban area

ZHANG Yongjing, GAO Fan, YU Lijuan, CHU Yingjia, YIN Chengmei, SUN Changzheng
(Jinan Meteorological Bureau, Jinan 250102, China)

Abstract The characteristics of scopes, intensities, yearly and monthly variation in short-duration heavy rainfalls were analyzed by using the hourly precipitation data of automatic weather stations in Jinan and Licheng district and the conventional high-level and surface observation data from 2007 to 2015. The short-time heavy rainfalls were classified into six types, including shear-line, cold-front, upper-trough, cold-vortex, typhoon-periphery and non-system types, according to the synoptic environment and the influence systems. Key environmental parameters of short-time heavy rainfalls were also discussed. The results show that there was a close correlation between the scopes and intensity of short-duration heavy rainfalls, and short-duration rainfalls occurred most frequently from mid-July to mid-August. The shear-line type heavy rainfalls occurred with large scope and strong intensity, while the cold-front type one could cause severe precipitation in July and August. Different types of short-time rainfalls could be classified by the surface dew point, 850 hPa θ_{se} , CAPE, and warm cloud thickness. Combined with the box-plots and thresholds of environment parameters in different scopes and types of precipitation, the synoptic classification could provide valuable reference for the short-duration heavy rainfall forecasting in

收稿日期:2016-09-21; 修订日期:2017-08-03

基金项目:山东省气象局气象科学技术研究项目(sdjn2016-04)

作者简介:张永婧(1984—),女,硕士,工程师,主要从事天气预报工作,247285345@qq.com。

Jinan urban district.

Key words short-duration heavy rainfall; synoptic classification; forecast conceptual models; key environmental parameters

引言

短时强降水作为对流性天气的一种,具有突发性强、局地性强、灾害严重等特点,且短时强降水主要由中尺度对流系统(MCS)造成,预报难度大。近年来国内的许多专家学者致力于研究各区域或大城市的短时强降水天气,陈炯等^[1]研究了中国暖季(4—9月)短时强降水的时空分布特征;郑媛媛等^[2]、郝莹等^[3]利用安徽省的短时强降水个例,研究了不同尺度下短时强降水等强对流天气的发生机制与邻近预警指标;陈元昭等^[4]分析了珠江三角洲地区68个重大短时强降水过程的天气流型配置与环境参量特征;徐娟等^[5]分析了山东省短时强降水天气特征;侯淑梅等^[6]对山东省2000—2009年39个极端短时强降水过程进行天气分型,并建立了极端强降水概念模型。此外还有很多专家学者结合当地的天气气候特点,对该地区的短时强降水过程进行了天气分析与分型,寻求有效的预报指标^[7-14]。

济南市南依泰山山脉、北临黄河,地势南高北低,南北落差大。由于地形特殊、泄洪能力薄弱,极易产生城市内涝,对城市防汛、交通等都有较大影响,甚至危及人民群众的生命财产安全。如,2007年7月18日济南市出现罕见的大暴雨(“7·18”大暴雨),市区在3h内有19个站点降水量超过100mm,这次大暴雨造成多人死亡、受伤、受灾,全市直接经济损失约13.2亿元。2016年6月21日济南高新区附近出现了局地性短时强降水,义和庄自动气象站小时雨量达100.5mm,造成了低洼路段短时间内严重积水,交通瘫痪。尹承美等^[15-16]曾统计研究过济南市短时强降水的特征与预报指标,但早期市区自动气象站数量有限,实际观测到的过程也较少。近几年在市区布设的自动气象站明显增多,站点分布也更加合理。本文基于近年来市区自动气象站逐小时降水量资料,分析了短时强降水变化特征,建立了天气学概念模型,并统计凝练了关键环境参量阈值,以期对短时强降水的预报提供有价值的参考。

1 资料与方法

短时强降水是指短时间内降水强度较大,降水

量达到或超过某一量值的天气现象。根据《全国短时临近预报业务规定》,将1h降水量 ≥ 20 mm降水定义为短时强降水。

本文使用2007—2015年济南市及历城区共37个自动气象站的逐小时降水量资料,统计降水时段内有1个及以上自动气象站的降水量达到短时强降水的标准,则定义为一次短时强降水过程,若一天内出现多次短时强降水,则分别计数。

2 短时强降水特征分析

2.1 短时强降水范围及强度特征

根据上述统计方法,2007—2015年短时强降水共计198次。由于台站建设,研究时段内自动气象站数逐年增加,因而短时强降水出现的范围大小不能单纯以站数多少进行统计,应以该过程出现短时强降水的站点数比率((出现短时强降水的站数/该年自动气象站数) $\times 100\%$)作为此次过程出现的范围。按照一次短时强降水出现的范围比,划分为3种类型,分别为:局地性(范围比 $< 15\%$)、区域性($15\% \leq$ 范围比 $< 50\%$)和大范围(范围比 $\geq 50\%$)。统计时段内的198次短时强降水中局地性过程140次,占71%;区域性过程40次,占20%;大范围过程18次,占9%。表1给出了短时强降水范围和强度的综合分类。可见,短时强降水的强度与范围有较好的相关性,即局地性过程小时雨量大多较小,以20~30mm为主;而大范围过程小时雨量大多较大,超过40mm的过程占大多数,其中13次过程的小时雨量超过了50mm;区域性过程的雨量分布较均衡。研究时段内的短时强降水有4次过程的最大小时雨量超过了80mm,其中3次为大范围过程,最大小时雨量93.3mm,出现在“7·18”大暴雨中。另外1次88.3mm/h为局地性过程。由此可见,局地性过程中也可出现极端强度的短时强降水。

2.2 短时强降水年际、月际变化特征

短时强降水有十分明显的年、月变化特征,研究时段内最早的一次出现在3月12日(2013年),最大小时雨量为38mm;最晚的过程出现在9月16日(2015年),最大小时雨量为27.7mm。由图1可见,短时强降水自6月开始增多,7月、8月最为集中,分别占到了40.4%和35.9%。另外,7月中旬—

8月中旬的40余天内,为短时强降水的多发时段,这一时期的短时强降水次数占到了全年的一半以上,平均3~4 d即可出现一次。

表1 2007—2015年短时强降水范围及强度分类

Table 1 Occurrence frequencies for different scopes and different intensities of short-duration heavy rainfalls from 2007 to 2015 次

	$20\text{ mm} \leq R_h < 30\text{ mm}$	$30\text{ mm} \leq R_h < 40\text{ mm}$	$40\text{ mm} \leq R_h < 50\text{ mm}$	$R_h \geq 50\text{ mm}$
局地性	79	39	13	9
区域性	10	10	8	12
大范围	0	2	3	13

注: R_h 为最大小时雨量。

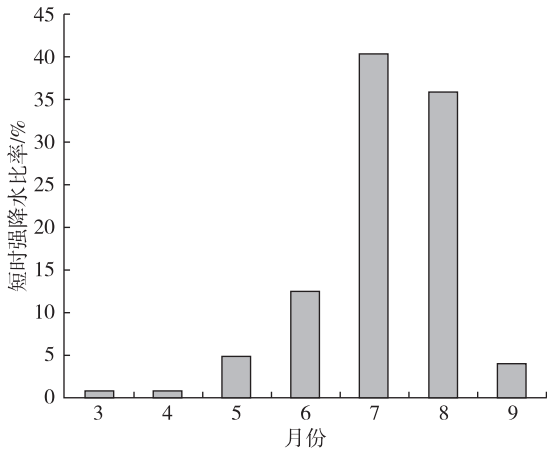


图1 2007—2015年短时强降水比率月际分布

Fig.1 Monthly distribution ratio of short-duration heavy rainfalls from 2007 to 2015

分别计算每年大范围和小时雨量大于等于40 mm(高强度)的短时强降水次数占该年过程的比率,得到2007—2015年短时强降水范围及强度的年际变化趋势(图2)。可见,2007年为短时强降水范围和强度的峰值年,这一年大范围和高强度降水出现的频率最高,二者分别占到了30%和50%;大范围过程的次峰值出现在2013年,而高强度过程的次峰值出现在2011年。研究时段内出现了两个范围与强度的低值年,为2009和2014年。此外,大多数年份短时强降水的范围与强度呈现了较好的正相关性,但2011年二者呈反位相分布,2014年以后大范围和高强度过程均有增多的趋势。

2.3 短时强降水日变化特征

短时强降水为对流性天气的一种,因而存在较明显的日变化。将一天24 h划分为4个时段,即:

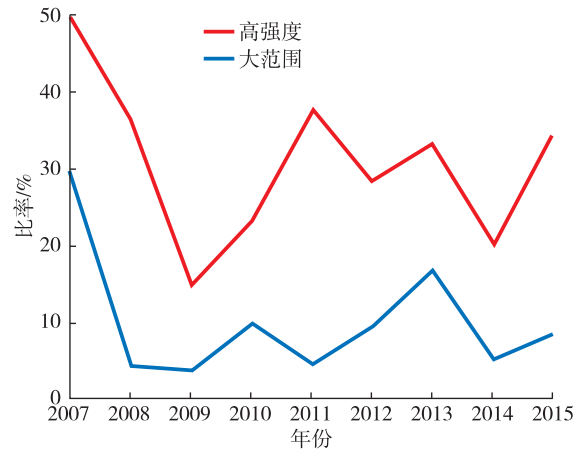


图2 2007—2015年大范围及高强度短时强降水比率的年际变化趋势

Fig.2 Annual variation in the percentages of large-scope and high-intensity short-duration heavy rainfalls from 2007 to 2015

上午—午后(08—14时)、午后—傍晚(14—20时)、前半夜—次日凌晨(20时—次日02时)和后半夜—早晨(02—08时)。图3给出了2007—2015年短时强降水在4个时段发生的比率。大气热力条件最好的午后—傍晚时段,短时强降水的发生率最高,达43.3%,另外3个时段则较为接近,均占到19%左右。由于短时强降水的发生不仅与对流条件有关,与降水系统的相关性也较大,因而热力条件最差的后半夜—早晨时段,并非短时强降水发生最少的时段。

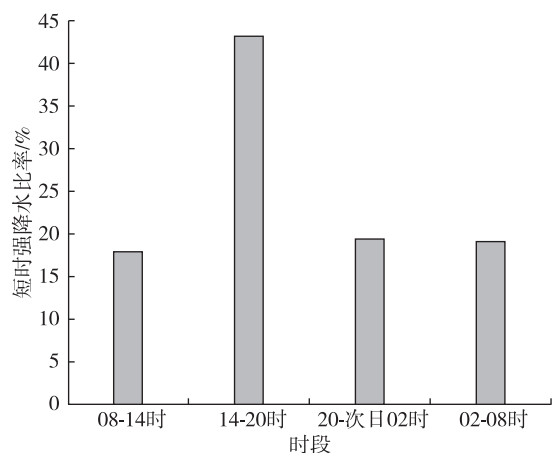


图3 2007—2015年短时强降水比率日变化

Fig.3 Hourly occurrence frequencies of short-duration heavy rainfalls from 2007 to 2015

总体来看,午后—傍晚(14—20时)是最易出现短时强降水的时段(图4),但不同的年份也存在一

定的差异。除 2007 和 2013 年外,其余年份在午后—傍晚的过程数均明显多于其他时段,特别是 2010、2011、2014 和 2015 年均占到了一半以上。2007 和 2013 年的短时强降水则多发于后半夜—早晨(02—08 时),再次说明短时强降水的发生不完全依赖于对流条件。

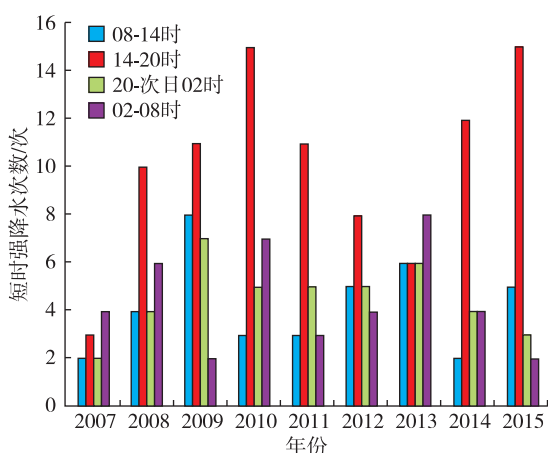


图4 2007—2015年短时强降水次数逐年日变化

Fig.4 Hourly variation of the occurrence frequency for short-duration heavy rainfalls from 2007 to 2015

3 短时强降水天气分型及预报概念模型

3.1 短时强降水天气分型

利用常规高空、地面观测资料,分析研究时段内 198 次短时强降水发生时的天气形势和影响系统,以最接近降水发生时间的形势为主,对 198 次过程进行天气分型。由于短时强降水发生时 500 hPa 的形势较为接近,大多有西风槽的影响,因而天气分型以 700 hPa 至地面的影响系统为主,500 hPa 系统为辅,并按照以下规则进行:若 700~925 hPa 至少一层存在切变线,则定为切变线型;若地面图上有冷锋或冷空气影响,且 850 hPa 有明显的锋区配合,则定为低槽冷锋型;若低层没有明显的影响系统,500 hPa 有低槽过境,或 500~850 hPa 都有低槽但地面没有锋面、低层没有锋区,则定为西风槽型;若 35~45°N、110~120°E 之间 500 hPa 有冷涡中心,则定为冷涡型;若 700~925 hPa 至少有一层受台风倒槽或台风外围切变影响,则定为台风外围型;若均不满足上述分类,且没有明显影响系统,则定为无系统型。

表 2 给出了研究时段内 198 次短时强降水过程的天气分型,按照上述规则,总共分为 6 种类型,其中出现次数最多的为切变线型,共 133 次,占

67.2%,其次为低槽冷锋型和西风槽型,分别出现了 23 次和 20 次,占 11.6%和 10.1%,冷涡型、台风外围型和无系统型次数较少,分别为 9 次、7 次和 6 次。

表 2 2007—2015 年短时强降水天气分型

Table 2 Synoptic patterns for short-duration heavy rainfalls from 2007 to 2015

	切变 线型	低槽 冷锋型	西风 槽型	冷涡型	台风 外围型	无系 统型
出现次数/次	133	23	20	9	7	6
发生比率/%	67.2	11.6	10.1	4.5	3.5	3.0

将出现次数较多的切变线型、低槽冷锋型和西风槽型,按照短时强降水过程范围大小和强度进行统计(图 5)。可见切变线型的短时强降水分布较广,既有小时雨量超过 50 mm 的大范围过程,也有很多小时雨量小于 40 mm 的局地性过程。小时雨量超过 50 mm 的 30 个过程中有 22 个为切变线型,17 个大范围过程中有 11 个属于切变线型,由此可见切变线型短时强降水在大范围强降水过程中占到了一半以上。

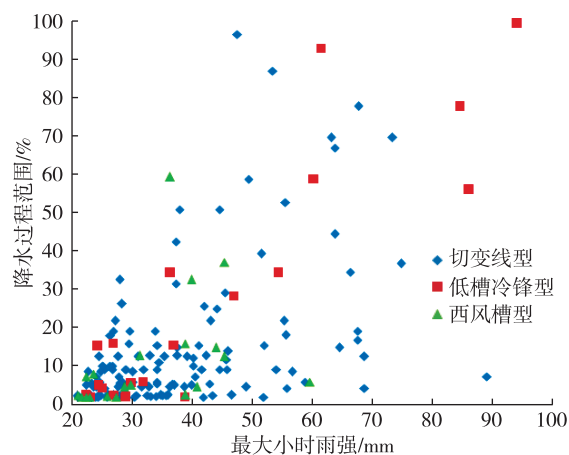


图5 2007—2015年短时强降水主要天气类型散点图

Fig.5 Scatter plot of main synoptic patterns for short-duration heavy rainfalls from 2007 to 2015

低槽冷锋型过程次数不多,但强过程较多,4 次小时雨量超过 80 mm 的过程中有 3 次属于低槽冷锋型,且均出现在 7 月中下旬,如“7·18”大暴雨。3—5 月的局地性弱过程中低槽冷锋型居多。由此可见,冷锋或冷空气在济南市区短时强降水中所起的作用极大,但不同季节所产生的降水在强度和范围上又有一定差异,即在大气对流性较弱的季节易

产生小时雨量较小的局地性短时强降水；而在济南市主汛期(7、8月)低槽冷锋型过程则多为小时雨量大于50 mm的大范围过程。

虽然西风槽型的短时强降水过程数与低槽冷锋型差异不大,但其强度及范围则远低于低槽冷锋型过程。20次西风槽型短时强降水中,大范围和小小时雨量超过50 mm的过程均仅有1次,局地性弱过程占大多数。西风槽型的过程以500 hPa的系统为主,700 hPa及以下层次大多没有明显的系统配合,而切变线型和低槽冷锋型则主要以低层系统为分类依据,因而济南市短时强降水的强度与范围预报应以低层的影响系统为主。

出现次数较少的冷涡型、台风外围型和无系统型主要以小时雨量小于40 mm的局地性和区域性过程为主,仅有1次小时雨量超过50 mm的区域性过程(台风外围型)。虽然近几年冷涡系统较少,且并未带来明显的灾害性天气,但其仍是影响济南市的重要天气系统之一。台风本身或其外围对济南的影响也比较少,但应关注台风外围与西风带系统相结合的形势(如,2015年8月24日,最大小时雨量为53 mm)。

3.2 短时强降水预报概念模型

虽然中尺度对流系统是短时强降水的主要影响系统,但天气尺度系统制约和影响中尺度系统的活动,因而不同天气尺度背景下产生的短时强降水也有巨大的差异。分别选取不同类型短时强降水的几个典型过程进行天气分析,归纳出不同类型短时强降水的概念模型。由于切变线型过程多,降

水范围与强度差别大,将其进一步分为两种类型,即切变线I型和切变线II型,分别对应大范围强过程和局地性弱过程。低槽冷锋在盛夏和其他季节产生的降水量级与强度差别较大,因而也将其分为低槽冷锋I型和低槽冷锋II型,分别对应主汛期(7、8月)强过程和其他季节的弱过程。

切变线I型(图6a)的情况下,济南处于500 hPa高空槽前,850 hPa切变线和地面辐合线均沿黄河附近穿过山东,部分过程切变线上有中尺度低涡生成;200 hPa分流区横跨河套东部至山东半岛一带;850 hPa显著湿区处于切变线附近;暖温度脊位于切变线东南侧,冷温度槽位于其西北侧,可见切变线I型多为冷式切变线,切变线附近为温度梯度大值区,即冷暖空气的交汇区,强降水就产生于这一区域。切变线II型(图6b)系统的高低空配置与I型较相似,但低层水汽条件与热力条件均不明显,因而该类型短时强降水以局地性弱过程为主。

低槽冷锋I型(图6c)自500~850 hPa均有明显的西风槽,地面冷锋位于槽前,低层偏南气流输送水汽至冷锋前形成显著湿区,短时强降水即发生于冷锋过境前后。若此时济南处于副热带高压(以下简称“副高”)边缘,则高温高湿的低层大气对短时强降水有明显的增幅作用。低槽冷锋II型(图6d)此时副高还未北跳或已明显南落,北支锋区上500 hPa低槽位于河套,850 hPa低槽位于河北东南部,锋面已开始影响鲁西北。此时南支槽位于孟加拉湾附近,槽前低层西南急流强盛,向北输送暖湿空气,济南位于850 hPa急流轴左侧。由于此时副

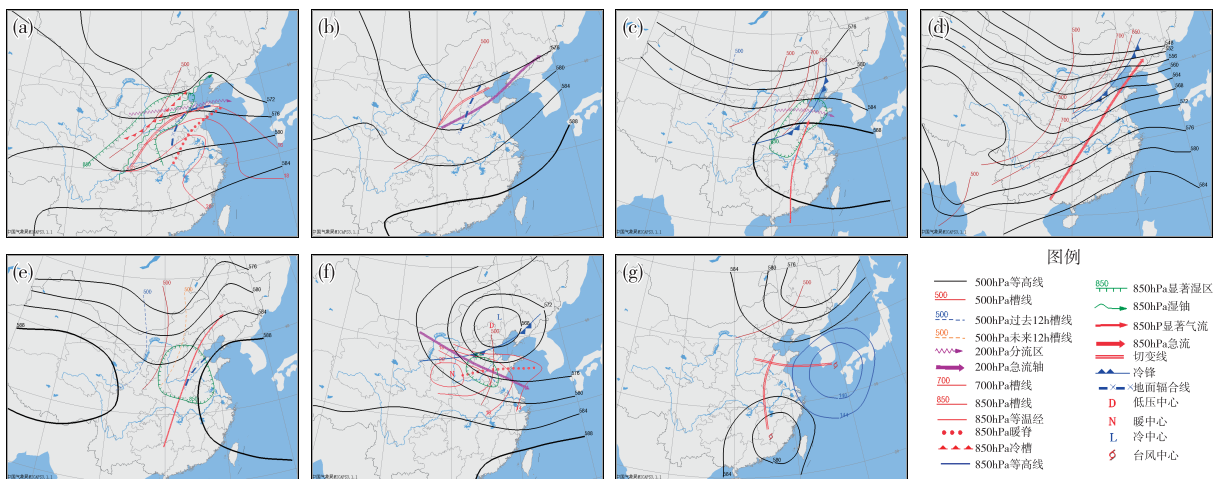


图6 不同类型短时强降水概念模型(a.切变线I型,b.切变线II型,c.低槽冷锋I型,d.低槽冷锋II型,e.西风槽型,f.冷涡型,g.台风外围型)

Fig.6 Forecasting conceptual models for different types of short-duration heavy rainfalls (a. shear-line I , b. shear-line II , c. cold-front I , d. cold-front II , e. westerly trough , f. cold-vortex , g. typhoon-periphery)

高明显偏南,大气对流条件较差,因而仅出现强度较弱的局地性短时强降水。

西风槽型(图 6e)500 hPa 的环流形势与低槽冷锋型较相近,高空槽均已移到河套东部,850 hPa 偏南气流沿副高边缘北上,使槽前形成显著湿区。500 hPa 槽过 110°E 时,济南市即可发生短时强降水。由于通常低层没有明显的槽或切变线配合,且缺乏冷暖气团的交汇,因而产生的降水较弱。

冷涡型(图 6f)过程情况下,当 500 hPa 冷涡中心位于 $110\sim 120^{\circ}\text{E}$ 、 $35\sim 45^{\circ}\text{N}$ 时,济南附近对流条件最好。此时冷涡后部高空急流穿过山东,500 hPa 低槽影响山东中部,地面弱冷锋位于河北中部至河套,同时低层的暖脊和显著湿区均有利于济南附近出现短时强降水。

台风外围型(图 6g)过程较少,但当台风于东南沿海登陆后继续北上时,北方有西风槽东移至华北中南部,500 hPa 台风倒槽处于西风槽前,形成中低纬相结合的形势,易产生小时雨量大的过程。当台风沿近海北上,850 hPa 台风中心位于朝鲜半岛至日本附近时,其西部的切变线可能会产生弱的过程。

4 短时强降水关键环境参量分析

强对流天气发生时大气通常处于不稳定状态,且有一定的水汽条件配合。通过天气模型的建立也可以看出,切变线 I 型与 II 型、低槽冷锋 I 型与 II 型短时强降水发生时环流形势比较接近,但低层的温湿条件有较大差异。因而,本研究选取的关键环境参量包括表征大气静力稳定度的 850 hPa 和 500 hPa 温差 (ΔT_{85})、表示水汽条件的地面露点 (T_d)、表示温湿综合影响的 850 hPa 假相当位温 (θ_{se})、用来判断对流潜势的对流有效位能 (CAPE)、对流抑制能量 (CIN) 和表征降水效率的暖云层厚度。关键环境参量均采用距短时强降水发生时间最近的前一个时次的章丘 (54727) 探空资料进行统计。

天气预报中常用 850 hPa 和 500 hPa 的温差来表示大气的静力稳定度。图 7a 给出了局地性、区域性和大范围短时强降水的 ΔT_{85} 箱线图。可见,降水范围越大,内限越窄,局地性过程 $19^{\circ}\text{C} \leq \Delta T_{85} \leq 31^{\circ}\text{C}$,大范围过程 $22^{\circ}\text{C} \leq \Delta T_{85} \leq 28^{\circ}\text{C}$,且局地性过程的中位数和均值略高于区域性和大范围过程,上、下四分位值 3 种过程差异不大。

与水汽相关的地面 T_d 和 850 hPa θ_{se} 的箱线图

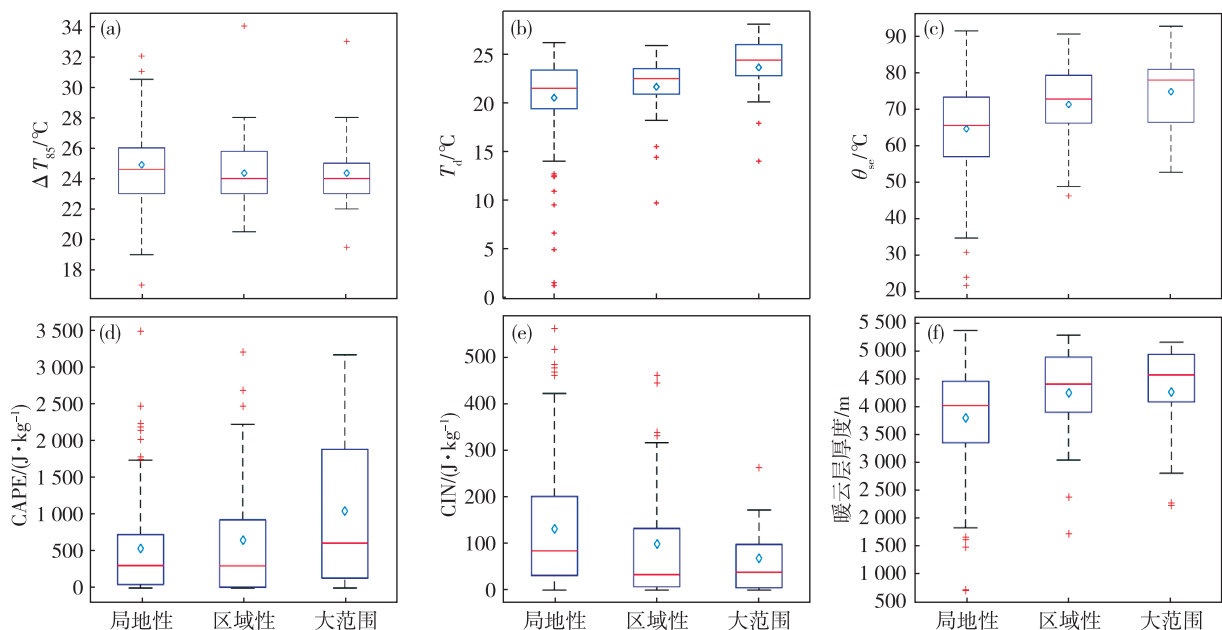


图 7 不同范围短时强降水关键环境参量箱线图(a. ΔT_{85} , b. T_d , c. 850 hPa θ_{se} , d. CAPE, e. CIN, f. 暖云层厚度;线段两端横线为统计内限,箱形的上部框线为上四分位值,下部框线为下四分位值,箱内红线为中位线,蓝色菱形为平均值,红色加号为异常值)

Fig.7 Box plots of the key environmental parameters for short-duration heavy rainfalls in different ranges (a. ΔT_{85} , b. T_d , c. 850 hPa θ_{se} , d. CAPE, e. CIN, f. warm cloud thickness; The blue boxes enclose the 25th percentile (bottom of box) to the 75th percentile values, with the median values marked by a horizontal red line within each box; the horizontal lines of the two ends are the statistical limits, the blue diamond is the average value, and the red plus sign is the abnormal value)

(图 7b、c) 具有相同的特征, 不同范围短时强降水对二者的上限差异不大, T_d 在 26~28 °C, 850 hPa θ_{se} 在 90~92 °C; 但下限差异明显, 大范围过程较高, T_d 约为 14 °C, 850 hPa θ_{se} 约为 52 °C, 局地性过程则分别为 12 °C 和 35 °C。两种参量的中位数和平均值也随降水范围增大而升高, T_d 平均值由局地性的 21 °C 升至大范围的 24 °C, 850 hPa θ_{se} 的平均值由 65 °C 升至 78 °C。

判断对流潜势的 CAPE 在日常预报中有重要作用, 一般 CAPE 越大越易发生强天气。强对流的发生还需要一定的对流抑制能 CIN, CIN 太大不利于强对流的发生, 太小又不利于能量的积累。由 CAPE 和 CIN 的箱线图(图 7d、e) 可见, 二者对不同范围短时强降水具有相反的分布特征。不同范围的 CAPE 和 CIN 的下四分位值均与其下限 ($0 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$) 较接近, 其中区域性过程的 CAPE 下四分位与下限重合。大范围过程的 CAPE 箱体较宽, 下四分

位和上四分位分别为 $100 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1\,900 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 上限较高, 达 $3\,200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$; 局地性过程箱体窄, $50 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \leq \text{CAPE} \leq 750 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 上限约为 $1\,750 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$; 区域性过程的 CAPE 值居中, 箱体区间为 $0 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \leq \text{CAPE} \leq 1\,900 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$; 均值随降水范围的增大而升高。CIN 上限由局地性过程的 $420 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 下降至大范围过程的 $180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 同时箱体变窄, 均值下降。

暖云层厚度为 0 °C 层高度与抬升凝结高度之差, 其厚度越大, 降水效率越大。由暖云层厚度箱线图(图 7f) 可以看出, 区域性和大范围过程的箱体位置较高, 二者的上、下四分位值较接近, 约为 5 000 m 和 4 000 m; 二者的下限、中位数和平均值也均比局地性过程高; 但局地性过程的统计上限最高, 约为 5 400 m。

表 3 和表 4 分别给出了不同范围和不同类型短时强降水的关键环境参量阈值, 可在实际预报业务中参考应用。

表 3 不同范围短时强降水关键环境参量阈值

Table 3 Thresholds of key environmental parameters in different scopes short-duration heavy rainfalls

范围	$\Delta T_{85}/\text{°C}$	$T_d/\text{°C}$	850 hPa $\theta_{se}/\text{°C}$	CAPE/($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)	CIN/($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)	暖云层厚度/m
局地性	19~31	2~26	35~92	0~1 700	0~420	1 800~5 400
区域性	20~28	10~26	48~90	0~2 300	0~320	3 000~5 300
大范围	22~28	14~28	52~93	0~3 200	0~180	2 800~5 200

表 4 不同类型短时强降水关键环境参量阈值

Table 4 Thresholds of the key environmental parameters in different types short-duration heavy rainfalls

类型	$\Delta T_{85}/\text{°C}$	$T_d/\text{°C}$	850 hPa $\theta_{se}/\text{°C}$	CAPE/($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)	CIN/($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)	暖云层厚/m
切变线型	19~30	2~28	43~92	0~3 200	0~310	2 300~4 800
低槽冷锋型	19~31	5~27	35~88	0~2 700	0~560	2 200~4 800
西风槽型	21~31	2~26	42~78	0~3 200	0~340	2 200~4 300
冷涡型	21~33	13~24	47~71	0~1 500	0~240	2 100~4 400
台风外围型	22~26	20~26	54~78	0~700	0~100	3 400~4 900

5 小结

1) 2007—2015 年济南市区共出现 198 次短时强降水, 其中局地性短时强降水占 71%, 大范围短时强降水次数少(9%), 但小时雨量较大。

2) 分析短时强降水的年、月、日变化特征可见, 7、8 月短时强降水最为集中, 7 月中旬—8 月中旬发生的短时强降水占全年的一半以上; 短时强降水最易发生于午后—傍晚时段。

3) 按照短时强降水发生时的天气形势和影响系统, 可划分为切变线型、低槽冷锋型、西风槽型、

冷涡型、台风外围型及无系统型 6 类, 并给出了前 5 种类型的预报概念模型。

4) 切变线型短时强降水次数最多, 且发生范围和最大小时雨量分布较广; 低槽冷锋型短时强降水发生于 7、8 月极易造成大范围高强度的过程; 西风槽型的过程通常较弱。

5) 短时强降水发生时关键环境参量的统计可以看出, 对于 T_d 、850 hPa θ_{se} 、CAPE 以及暖云层厚度等参量, 大范围短时强降水过程的阈值高于局地性和区域性过程; CIN 则大范围过程最小; 对于 ΔT_{85} , 3 种过程差异较小。

6)天气分型与关键环境参量阈值相结合,可为济南市短时强降水的预报提供重要参考。

参考文献:

- [1] 陈炯,郑永光,张小玲,等.中国暖季短时强降水分布和日变化特征及其与中尺度对流系统日变化关系分析[J].气象学报,2013,71(3):367-382.
- [2] 郑媛媛,姚晨,郝莹,等.不同类型大尺度环流背景下强对流天气的短时临近预报预警研究[J].气象,2011,37(3):795-801.
- [3] 郝莹,姚叶青,郑媛媛,等.短时强降水的多尺度分析及临近预警[J].气象,2012,38(8):903-912.
- [4] 陈元昭,俞小鼎,陈训来.珠江三角洲地区重大短时强降水的基本流型与环境参量特征[J].气象,2016,42(2):144-155.
- [5] 徐娟,杨晓霞,韩风军,等.山东省短时强降水天气的特征分析[J].山东气象,2012,32(6):9-11.
- [6] 侯淑梅,盛春岩,万文龙,等.山东省极端强降水天气概念模型研究[J].大气科学学报,2014,37(2):163-174.
- [7] 王国荣,王令.北京地区夏季短时强降水时空分布特征[J].暴雨灾害,2013,32(3):276-279.
- [8] 李琛,李津,张明英,等.北京短历时强降水的时空分布[J].气象科技,2015,43(4):704-708.
- [9] 段鹤,夏文梅,苏晓力,等.短时强降水特征统计及临近预警[J].气象,2014,40(10):1194-1206.
- [10] 张一平,乔春贵,梁俊平.淮河上游短时强降水天气学分型与物理诊断量阈值初探[J].暴雨灾害,2014,33(2):129-138.
- [11] 张之贤,张强,赵庆云,等.陇东南地区短时强降水的雷达回波特征及其降水反演[J].高原气象,2014,33(2):530-538.
- [12] 韩宁,苗春生.近6年陕甘宁三省5—9月短时强降水统计特征[J].应用气象学报,2012,23(6):691-701.
- [13] 沈澄,颜廷柏,刘冬晴,等.2008—2012年南京短时强降水特征分析[J].气象与环境学报,2015,31(1):28-33.
- [14] 徐娟,纪凡华,韩风军,等.2012年盛夏山东西部一次短时强降水天气的形成机制[J].干旱气象,2014,32(3):439-445.
- [15] 尹承美,梁永礼,冉桂平,等.济南市区短时强降水特征分析[J].气象科学,2010,30(2):262-267.
- [16] 尹承美,张永婧,王新红,等.济南市区局地短历时强降水预报指标初探[J].山东气象,2012,32(3):6-10.