

张凯静,江敦双,丁锋.青岛市短时强降水的气候特征和天气系统分型[J].海洋气象学报,2018,38(1):108-114.
Zhang Kaijing, Jiang Dunshuang, Ding Feng. Analysis of climate characteristics and synoptic system classification on short-time severe precipitation in Qingdao [J]. Journal of Marine Meteorology, 2018, 38(1): 108-114. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.01.013. (in Chinese)

青岛市短时强降水的气候特征和天气系统分型

张凯静¹, 江敦双¹, 丁锋²

(1. 青岛市气象台, 山东 青岛 266003; 2. 青岛市气象局, 山东 青岛 266003)

摘要: 利用1981—2012年4—10月青岛市7个观测站逐时降水量资料和同期NCEP再分析资料, 统计分析青岛市短时强降水的时空分布特征, 建立青岛市短时强降水天气概念模型。结果表明: 青岛市年短时强降水日数无明显变化趋势; 4—10月均有短时强降水出现, 7—8月是多发月份; 短时强降水的日变化有2个多发时段, 主峰在下午到傍晚时段, 次峰在凌晨时段; 即墨、平度、黄岛为青岛市短时强降水的多发区域, 其中黄岛为连续性短时强降水出现最多的区域; 青岛市产生短时强降水的天气系统可分为六种类型, 西风槽型、横槽型、冷涡型、热带低值系统型、西北气流型、切变线型, 其中西风槽型出现次数最多。

关键词: 短时强降水; 气候特征; 天气系统分型

中图分类号: P466 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2018)01-0108-07

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.01.013

Analysis of climate characteristics and synoptic system classification on short-time severe precipitation in Qingdao

ZHANG Kaijing¹, JIANG Dunshuang¹, DING Feng²

(1. Qingdao Meteorological Observatory, Qingdao 266003, China; 2. Qingdao Meteorological Bureau, Qingdao 266003, China)

Abstract Based on the hourly precipitation data at 7 weather stations in Qingdao and the reanalysis data of NCEP from 1981 to 2012, the temporal and spatial distribution features of short-time severe precipitation events from April to October are analyzed and the conceptual models of short-time severe precipitation in Qingdao are established. The results show that: there is no obvious variation tendency for annual short-time severe precipitation days in Qingdao. Short-time severe precipitation events frequently appear from April to October, especially in July-August. The diurnal variation of short-time severe precipitation shows that there are two peaks. The most active peak is between afternoon and evening, and the second active peak is in early morning. Jimo, Pingdu and Huangdao are the frequent occurrence areas of short-time severe precipitation in Qingdao, and Huangdao is the region where the continuous short-time severe precipitation events occur mostly. Six types of short-time severe precipitation conceptual models are established, including the westerly trough type, transversal trough type, cold vortex type, tropical depression type, northwesterly flow type, shear line type, and the westerly trough type occurs mostly.

Key words short-time severe precipitation; climate characteristics; synoptic system classification

收稿日期: 2016-08-31; 修订日期: 2017-12-25

基金项目: 青岛市气象局科研项目(2014qdxq02, 2015qdxq03, 2015qdxq03, 2015qdxq02); 山东省气象局科研项目(sdq2013-02)

作者简介: 张凯静, 女, 硕士, 工程师, 主要从事气候变化及气候统计研究, qdsky2007@126.com。

引言

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强降水事件,是主要的极端降水天气之一。2012年北京“7·21”暴雨期间雨强普遍达 $40\sim 80\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,持续时间 $3\sim 4\text{ h}$,北京出现严重的城市内涝,造成严重的经济损失和人员伤亡^[1]。2013年9月13日午后一夜间,上海东北—西南向依次出现短时强降水,造成晚高峰交通瘫痪^[2]。随着极端天气事件的增加和城市化的加快,由短时强降水所引发的山洪、泥石流和城市内涝等灾害所造成的损失日益严重,对短时强降水预报预警超前度和精准度的要求越来越高。

国内许多学者对短时强降水的气候特征、形成机制、预报模型等进行了大量的研究^[3-11]。陈炯等^[12]分析中国暖季短时强降水分布和日变化特征,发现中国 $\geq 10, 20, 30, 40\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 短时强降水地理分布与 $\geq 50\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 暴雨非常类似, $\geq 50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的短时强降水频率极低、高频区分布非常零散,与 $\geq 100\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 暴雨分布类似。徐娟等^[13]指出山东省短时强降水天气一般出现在5—10月, $\geq 100\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的短时特强降水都发生在7—8月。尹承美等^[14]对产生济南市区短时强降水的天气系统进行了分型。

青岛地处山东半岛东南部,既受西南暖湿气流和北方冷空气活动的影响,又受热带气旋的影响,属于南北结合区,短时强降水多发。例如,1994年10月15日上午,崂山风景区龙潭瀑布过水桥,因暴雨致山洪暴发,造成17名游人遇难的重大意外事故^[15]。2012年9月21日黄岛出现特大暴雨,1 h降雨量 93.1 mm ,黄岛城区多条路段严重积水,长途客车全线停运。本文利用1981—2012年4—10月青岛市7个气象观测站逐时降水量资料,对青岛市短时强降水的气候特征和影响系统进行分析研究,对提升青岛市短时强降水的监测和预警预报能力具有一定的积极意义。

1 资料及分析方法

所用资料为1981—2012年4—10月青岛市7个气象观测站逐时降水量资料,其中1981—2004年逐时降水量资料誊抄自纸质版地面气象记录月报表,2005—2012年逐时降水量资料统计自电子版地面气象记录月报表(A文件)。对逐时降水量资料进行质量控制,对部分缺测时段数据进行核查。根

据《全国短时临近预报业务规定》,短时强降水定义为1 h降水量 $\geq 20\text{ mm}$ 的降水。以20时为日界,某日有1个站点出现一个时次1 h降水量 $\geq 20\text{ mm}$,则该日统计为1个短时强降水日;1个站点出现一个时次1 h降水量 $\geq 20\text{ mm}$ 即统计为1个短时强降水站次;某站点某日出现两个及以上时次1 h降水量 $\geq 20\text{ mm}$,则该日统计为该站点的连续短时强降水日。

为了给出不同强度短时强降水的气候特征,根据雨强^[16]将短时强降水分为 $\geq 20, 30, 40, 50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 共计4个级别,分别分析4个级别短时强降水的时空分布特征。需要说明的是,由于人为地将降水资料划分为整点资料,可能导致部分1 h超过阈值的降水量被划分至两个时段而未达到本文所确定的短时强降水阈值标准,因此本文所统计的短时强降水日数和站次要略低于实际发生的日数和站次。

考虑到短时强降水时空尺度较小,利用NCEP $1^\circ\times 1^\circ$ 再分析资料,对造成青岛市短时强降水的天气系统进行普查归类,建立影响青岛市的短时强降水天气概念模型。由于再分析资料长度有限,仅统计分析了2000—2012年4—10月120个短时强降水日。

2 短时强降水时间分布特征

2.1 短时强降水年际变化

1981—2012年4—10月青岛市年均出现 $\geq 20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 短时强降水 9.1 d (17.9 站次), $\geq 30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 短时强降水 4.4 d (7.5 站次), $\geq 40\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 短时强降水 2.5 d (3.6 站次), $\geq 50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 短时强降水 1.3 d (1.5 站次)。

由图1可以看出, $\geq 20, 30, 40, 50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 这4个级别短时强降水日数均偏多的年份有1985、1986、1990、2007和2008年,偏少的年份有1981、1983、1987、1988、1989、1992、1997、2002、2009和2012年。4个级别短时强降水日数年变化趋势基本一致,但也存在一些年份(1984、1993、1994、1995、2010年) $\geq 20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 短时强降水日数偏多,其他级别短时强降水日数偏少;2003、2006年 $\geq 20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 短时强降水日数偏少,其他级别短时强降水日数偏多;1982、2001年 $\geq 50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 短时强降水日数偏少,其他级别短时强降水日数偏多。

分析4个级别年短时强降水日数和年降水量的变化趋势来看,统计时段中年降水量有增加的趋

势,且通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。但4个级别年短时强降水日数均没有明显的变化趋势,年短时强降水日数和年降水量没有明确的关系,这与高留喜等^[17]研究山东省短时极端强降水时,指出因短时极端强降水出现的偶然性大,极端强降水出现次数与年平均降水量没有明确关系的结论一致。年降水量偏少(偏多)的年份,短时强降水日数也有可能偏多(偏少)。1986年降水量552.7 mm,较常年偏少16.8%,但同年4个级别短时强降水日数均较常年偏多,其中 $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水日数为13 d,位列统计时段 $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水日数第三位。2003年降水量879.2 mm,较常年同期偏多32.3%,但 $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水日数较常年偏少。

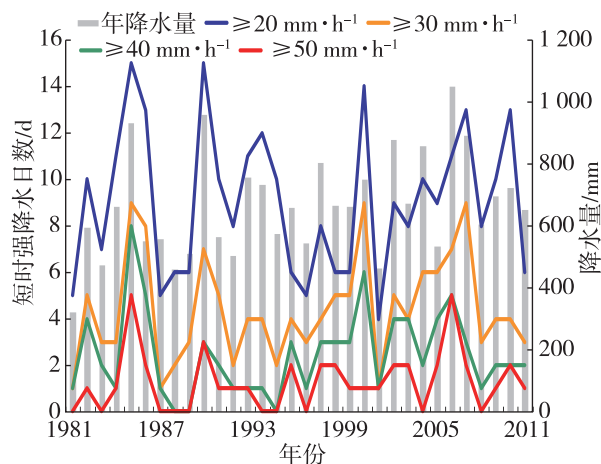


图1 青岛市1981—2012年逐年短时强降水日数(蓝线、橙线、绿线、红线依次为雨强 $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $\geq 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $\geq 40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强降水日数)和年降水量(柱状图)

Fig.1 Annual variation of short-time severe precipitation days (precipitation intensity $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, $\geq 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, $\geq 40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ short-time severe precipitation days are blue line, orange line, green line, red line respectively) and annual precipitation (bar graph) in Qingdao from 1981 to 2012

2.2 短时强降水月际变化

青岛市短时强降水最早出现在4月28日(1993年),最晚出现在10月31日(2009年)。由于4月仅出现1站次短时强降水,因此统计短时强降水的月际变化特征从5月开始。图2给出了青岛市4个级别年均短时强降水日数逐月变化特征。由图可以看出,1981—2012年 $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水日数,7月出现3.8 d占42.6%,8月出现3.3 d占

37.0%,6月出现0.8 d占9.3%。 $\geq 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水日数,8月出现1.8 d占42.1%,7月出现1.6 d占37.1%,6月出现0.4 d占9.3%。 $\geq 40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水日数,7、8月均出现1.0 d占40.5%,9月出现0.2 d占8.9%。 $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水日数,8月出现0.7 d占51.2%,7月出现0.3 d占26.8%,9月出现0.1 d占9.8%。

由逐月4个级别短时强降水日数来看,7、8月最多,6、9月次之,说明从6月起应该重视短时强降水,7、8月是防范短时强降水的关键时期。9月虽然已经不是主汛期,但仍是短时强降水多发的月份。2012年9月21日,黄岛出现特大暴雨,日降雨量393.7 mm,12—13时1 h降雨量93.1 mm,刷新了青岛市日最大降水量和1 h最大降水量记录。此外,青岛市降水量7、8月最多,占全年降水量的49.6%;暴雨日数7、8月最多,占全年暴雨日数的68.5%。青岛市短时强降水的集中时段与降水量和暴雨发生的集中时段一致。

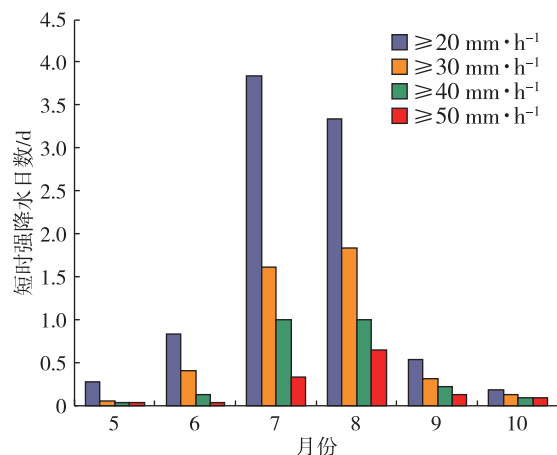


图2 1981—2012年青岛市短时强降水日数逐月变化
Fig.2 Monthly variations of short-time severe precipitation days in Qingdao from 1981 to 2012

2.3 短时强降水日变化

将不同级别各时次短时强降水站次距平,大于该级别短时强降水序列1倍标准差的时段,统计为该级别短时强降水站次的日变化。其中 $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水主要出现时段为16—18时(共计出现108站次,占总站次的18.8%)、21时(共计出现33站次,占5.8%)和05时(共计出现37站次,占6.3%); $\geq 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水主要出现时段为16—21时,共计出现95站次,占39.7%。 $\geq 40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水主要出现时段为17—18时(共计出现25站次,占21.6%)、00时(共计出现

9 站次,占 7.8%) 和 02 时(共计出现 9 站次,占 7.8%); $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水主要出现时段为 16—18 时,共计出现 17 站次,占 35.4%。

由 4 个级别短时强降水站次的日变化(图 3) 可以看出,青岛市短时强降水的日变化呈现明显的双峰型特征。下午—傍晚(16—21 时)、凌晨前后是短时强降水的易发时段,而上午、中午前后则是短时强降水的低发时段,这与降水的日变化特征基本一致^[18-20]。下午—傍晚短时强降水出现峰值可能与太阳辐射加入的热力驱动有关。地表加热以及局地循环使得大气的稳定性减弱,激发局地对流活动,有利于短时强降水的形成^[21]。凌晨前后短时强降水出现峰值可能与夜间云顶辐射降温增强,高空冷却,加强了大气的不稳定性,同时夜间低空急流加强,输送暖湿空气并触发不稳定能量有关^[22]。值得注意的是,16—18 时是 4 个级别短时强降水均多发的时段,此时段正值下班高峰期,突如其来的短时强降水会对人们的出行和交通安全造成严重影响,因此该时段的天气情况应给与重点关注,做到早预报、早预防。

3 短时强降水空间分布特征

3.1 短时强降水空间分布特征

统计青岛市 4 个级别短时强降水年均站次的空间分布可以看出, $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水水平度最多,为 3.3 站次/a;即墨、黄岛次之,分别为 3.1 站次/a 和 2.9 站次/a(图 4a)。 $\geq 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水即墨、黄岛最多,均为 1.3 站次/a(图 4b)。

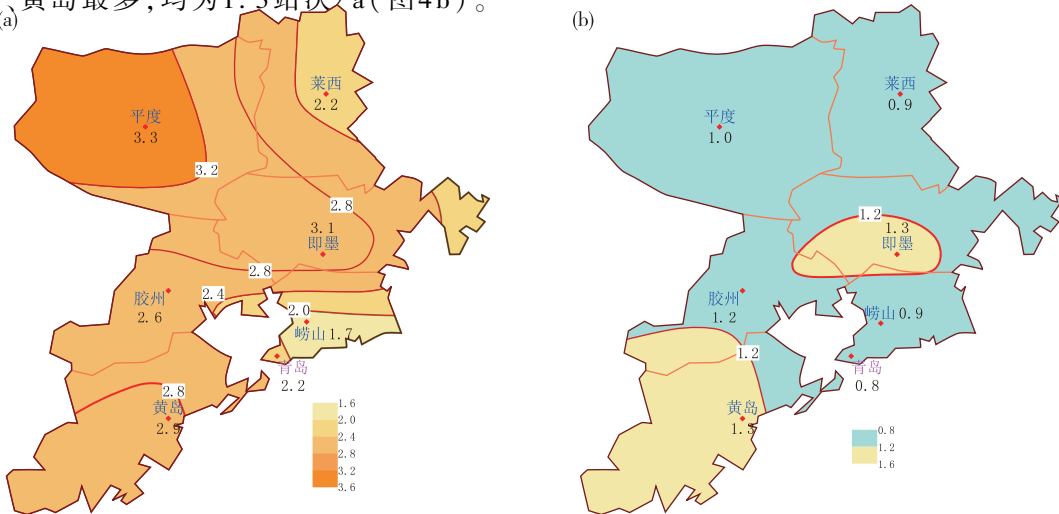


图 4 1981—2012 年青岛市短时强降水年均站次分布(a. 雨强 $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, b. 雨强 $\geq 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$; 单位: 站次, 等值线间隔为 0.4 站次)

Fig.4 Distribution of average annual short-time severe precipitation days in Qingdao from 1981 to 2012 (a. precipitation intensity $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, b. precipitation intensity $\geq 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$; units: times, 0.4 times intervals)

$\geq 40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水黄岛最多,为 0.8 站次/a;即墨次之,为 0.6 站次/a(图略)。 $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水黄岛最多,为 0.4 站次/a;平度次之,为 0.3 站次/a(图略)。

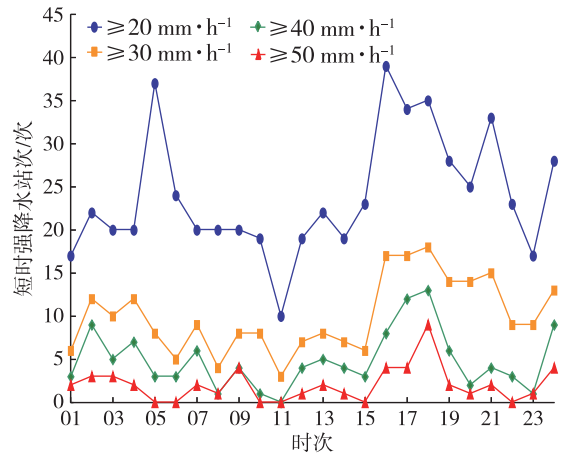


图 3 1981—2012 年青岛市短时强降水站次的日变化
Fig.3 Diurnal variations of short-time severe precipitation days in Qingdao from 1981 to 2012

由 4 个级别短时强降水年均站次的空间分布可以看出,即墨、平度、黄岛为青岛市短时强降水的多发区域。短时强降水的多发区域大多与局地地形有关,由青岛地形(图 5)可知,黄岛站位于大珠山、小珠山、铁镢山组成的东南向的喇叭口地形内,平度站位于大泽山南侧的迎风坡。喇叭口效应和迎风坡效应均有利于短时强降水的增多^[23]。

3.2 连续性短时强降水的分布特征

连续性短时强降水造成的灾害更严重,统计青

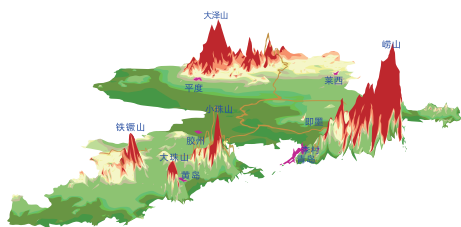


图5 青岛地形图

Fig.5 Topographic map of Qingdao

青岛市1981—2012年连续性短时强降水合计出现日数(图6)可知,黄岛最多,为18 d;即墨次之,为14 d;胶州和平度分别为13 d和12 d。黄岛最易出现连续性短时强降水,2012年9月21日黄岛09—17时、18—19时出现9个时次短时强降水。

由青岛市连续性短时强降水日数逐月变化可知,8月最多,为31 d;7月次之,为19 d;6、9月均为5 d;10月最少,为1 d;4月没有。连续性短时强降水日数8月较7月偏多。

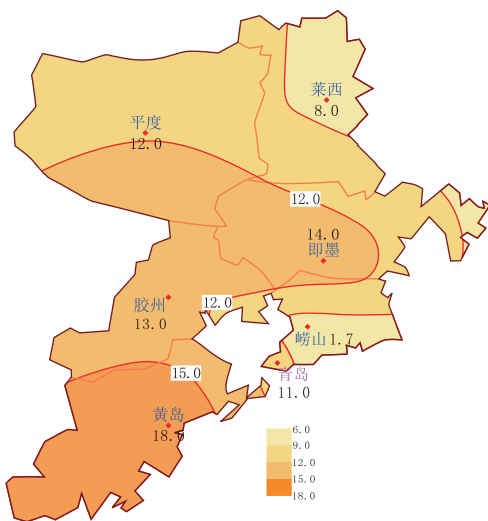


图6 1981—2012年青岛市连续性短时强降水累计日数分布(单位:d,等值线间隔为3 d)

Fig.6 Distribution of accumulative continuous short-time severe precipitation days in Qingdao from 1981 to 2012 (units: d, 3 d intervals)

4 影响系统分型

短时强降水的形成要具备水汽、不稳定层结和抬升力条件。尽管短时强降水大多由中小尺度天气系统造成,但大尺度天气系统对中小尺度系统有加深或制约其发展的作用,所以分析天气尺度系统对短时强降水的作用很重要。2000—2012年4—10月青岛共计出现120个短时强降水日,分析每个短

时强降水个例发生前的天气系统,以500 hPa为主,700 hPa、850 hPa和地面天气形势为辅,把造成青岛市短时强降水的天气系统分为6种类型:西风槽型、横槽型、冷涡型、热带低值系统型、西北气流型、切变线型。由表1可以看出,西风槽型产生的短时强降水最多,占短时强降水个例的61.7%;其次是横槽型,占15.0%。

表1 青岛市短时强降水天气系统类型

Table 1 Synoptic system types of short-time severe precipitation in Qingdao

天气系统分型	个例数/个
西风槽型	74
横槽型	18
冷涡型	11
热带低值系统型	8
西北气流型	6
切变线型	3

图7给出了产生青岛市短时强降水的500 hPa典型天气系统特征,其中西风槽型(图7a)可以再细分为两类,第一类在500 hPa天气图上表现为中纬度西风带有明显槽,850 hPa天气图上一般有切变线、冷涡或气旋性环流,同时低层存在急流,此种类型产生的短时强降水强度最大,往往可以达到暴雨量级;第二类在副热带高压西北部有弱槽产生,短时强降水局地性强。横槽型(图7b)环流特征表现为500 hPa天气图上青岛东北部四个纬距外有冷涡中心,中心西部有横槽。冷涡型(图7c)环流特征表现为500 hPa天气图上在青岛周围四个纬距内有冷涡中心,低层也存在气旋性环流(不一定闭合),此种类型产生的短时强降水强度弱、范围小。热带低值系统型(图7d)受台风登陆后减弱的低压环流、台风倒槽、东风波等影响,其中以台风低压环流和台风倒槽产生的短时强降水居多。西北气流型(图7e)环流特征在天气图上表现为,青岛上空高层和低层都转为西北气流,此种类型产生的短时强降水强度弱、范围小。切变线型(图7f)环流特征在500 hPa、700 hPa和850 hPa天气图上,均存在暖切变线,由于没有冷空气,产生的短时强降水强度弱、范围小。

综合分析可知,产生大范围短时强降水时,高空500 hPa天气系统中西风槽非常明显,700 hPa和

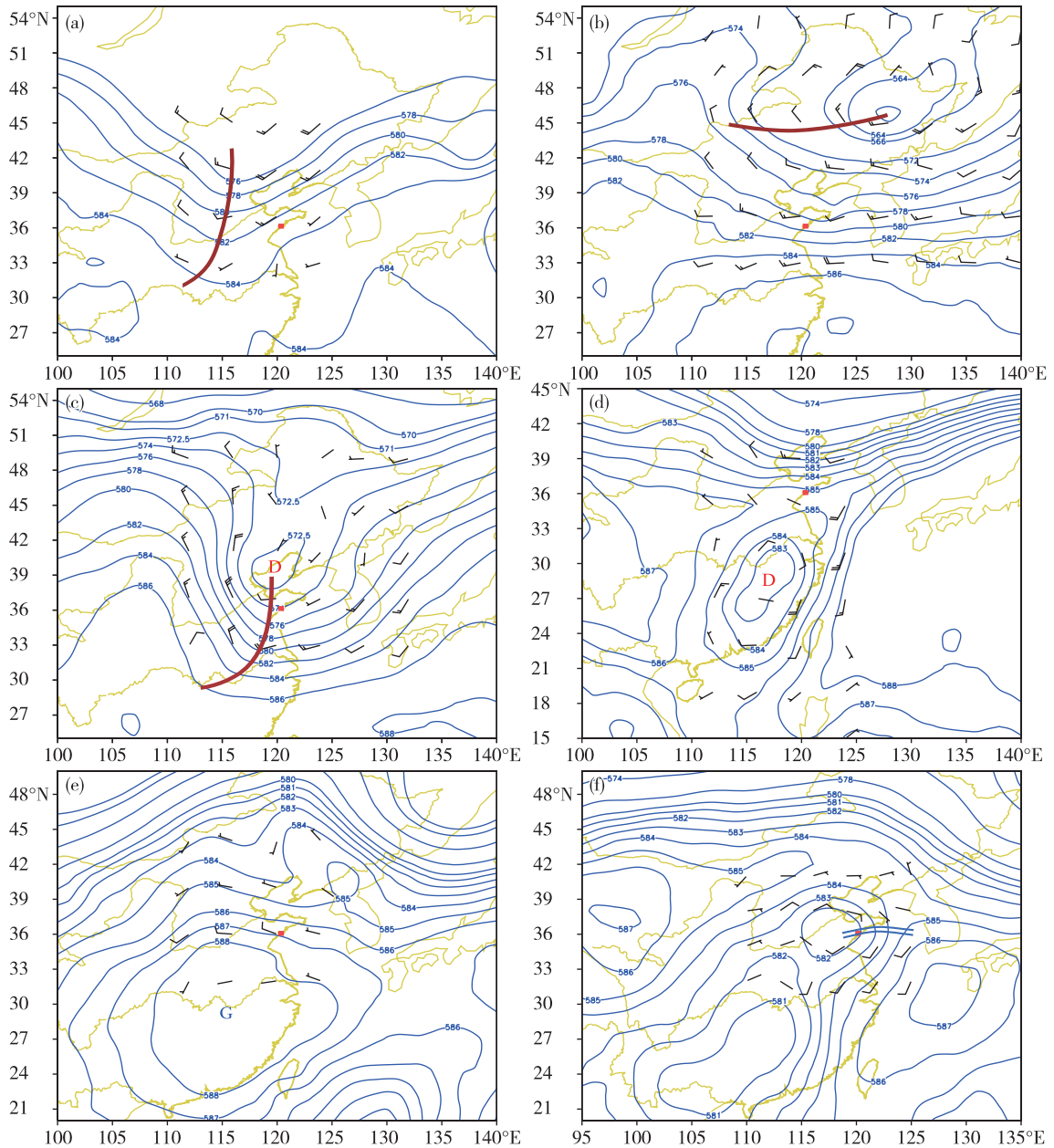


图 7 青岛市短时强降水 500 hPa 天气形势图(a.西风槽型,b.横槽型,c.冷涡型,d.热带低值系统型,e.西北气流型,f.切变线型;红点为青岛)

Fig.7 Synoptic charts of 500 hPa during the short-time severe precipitation days in Qingdao (a.westerly trough type,b.transversal trough type,c.cold vortex type,d.tropical depression type,e.northwesterly flow type,f.shear line type; red dot position for Qingdao)

850 hPa 存在切变(冷涡、气旋性环流),而且低层有时存在西南急流。另外,热带低值系统型有两种情况都能产生大范围短时强降水,一是弱冷空气与台风外围的偏东气流交汇,二是登陆后减弱的低压环流影响。

5 结论

本文基于 1981—2012 年 4—10 月青岛市 7 个

观测站逐时降水量资料,分析了青岛市短时强降水的时空分布特征,并给出了青岛市出现短时强降水的天气系统概念模型。

1) 青岛市 $\geq 20、30、40、50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 等 4 个级别逐年短时强降水日数均没有明显的变化趋势,但年降水量有明显增加的趋势,年短时降水日数和年降水量没有明确的关系。

2) 青岛市 4—10 月均有短时强降水出现,主要

集中在6—9月,7、8月是多发期,其中 $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水7月出现日数最多, $\geq 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水8月出现日数最多。

3) 青岛短时强降水的日变化呈现明显的双峰型特征。下午—傍晚和凌晨前后是短时强降水的易发时段,其中16—18时是4个级别短时强降水均多发的时段。上午、中午前后则是短时强降水的低发时段。

4) 由空间分布来看,即墨、平度、黄岛为青岛市短时强降水的多发区域,其中黄岛为连续性短时强降水出现最多的区域。

5) 青岛市产生短时强降水的天气系统主要有6种:西风槽、横槽、冷涡、热带低值系统、西北气流、切变线。其中西风槽占比例最大,达到61.7%。

参考文献:

- [1] 湛芸,孙军,徐珺,等.北京721特大暴雨极端性分析及思考(一)观测分析及思考[J].气象,2012,38(10):1255-1266.
- [2] 高洁,漆梁波.上海地区短时强降水特点及其影响[J].气象与环境科学,2015,38(3):52-60.
- [3] 蔡新玲,叶殿秀,孙娴,等.1961-2011年陕西省汛期短时降水变化特征[J].高原气象,2014,33(6):1618-1626.
- [4] 殷水清,高歌,李纬京,等.1961-2004年海河流域夏季逐时降水变化趋势[J].中国科学:地球科学,2012,42(2):256-266.
- [5] 张焕,翟盘茂,唐红玉.1961-2000年西南地区小时降水变化特征[J].气候变化研究进展,2011,7(1):8-13.
- [6] 高帆,张永婧,李瑞,等.2015年8月3日山东西北部暴雨过程的中尺度特征分析[J].海洋气象学报,2017,37(2):96-101.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 沈澄,孙燕,魏晓奕,等.基于物理量参数的降水短时强降水预报模型的研究[J].气象,2016,42(5):557-566.
- [10] 白晓平,王式功,赵璐,等.西北地区东部短时强降水概念模型[J].高原气象,2016,35(5):1248-1256.
- [11] 张永婧,高帆,于丽娟,等.济南市区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.
- [12] 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.
- [13] 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(2):9-11.
- [14] 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.
- [15] 温克刚,王建国,孙典卿.中国气象灾害大典(山东卷)[M].北京:气象出版社,2006:251.
- [16] 姚莉,赵声蓉,赵翠光,等.我国中东部逐时雨强时空分布及重现期的估算[J].地理学报,2010,65(3):293-300.
- [17] 高留喜,李静,刘畅,等.山东省短时极端强降水研究[J].气象科技,2014,42(3):482-487.
- [18] Yu R, Zhou T, Xiong A, et al. Diurnal variations of summer precipitation over contiguous China[J].Geophys Res Lett,2007,34(1):L01704.
- [19] Yu R, Xu Y, Zhou T, et al. Relation between rainfall duration and diurnal variation in the warm season precipitation over central eastern China[J].Geophys Res Lett,2007,34(13):L13703.
- [20] 宇如聪,李建,陈昊明,等.中国大陆降水日变化研究进展[J].气象学报,2014,47(5):948-968.
- [21] 李建,宇如聪,王建捷.北京市夏季降水的日变化特征[J].科学通报,2008,53(7):829-832.
- [22] 雷雨顺.特大暴雨的夜间多发性[J].自然杂志,1980,3(10):774-777.
- [23] 李庆宝,黄容,孙桂平,等.青岛地区暴雨时空分布统计分析[J].海洋通报,2008,27(4):44-52.