

渤海西岸两次强对流天气特征分析

于志明¹, 周艳军², 王驷鹤¹

(1. 唐山市气象局, 河北 唐山 063000; 2. 秦皇岛市气象局, 河北 秦皇岛 066000)

摘 要: 利用 Micaps、探空、卫星云图、雷达资料, 对2011年9月1日凌晨和2012年9月27日下午在渤海西岸出现的强对流天气, 从环流形势、不稳定能量、云图特征、雷达回波等方面进行了对比分析。结果表明: 两次过程均出现了暴雨、大风、冰雹天气, 9月1日凌晨影响系统为高空槽和切变线, 灾害性天气以大风为主; 9月27日下午影响系统为低涡和锋面, 灾害性天气以暴雨、冰雹为主。两次过程渤海西岸上空均有一定的不稳定能量。亮度温度 TBB 越低表示强对流天气出现的几率越大, 对流云团 TBB 小于 -42°C 预示有降水出现, TBB 小于 -52°C 的区域与大雨或暴雨相对应。雷达回波强度大于 35 dBz 区域与雷雨相对应, 回波强度大于 45 dBz 区域与冰雹、强降水天气对应较好。

关键词: 渤海西岸; 对流天气; 卫星云图; 雷达回波; 预报预警

中图分类号: P458.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2017)01-0057-09

1 引言

渤海海域具有丰富的海上油气资源和水产养殖资源, 承载了连接我国各个沿海城市大量的海上交通运输业务。渤海西岸地形复杂, 属于暖温带半湿润季风型大陆性气候, 易出现灾害性天气, 因此, 准确把握渤海沿岸及海上灾害性天气的发生发展规律尤为重要。

强对流天气是指伴随雷暴现象出现的对流性短时强降水、大风、冰雹等灾害性天气^[1]。雷暴、大风、冰雹、短时强降水常常给油气开发、水产养殖、交通运输带来一定的危害和损失, 所以一直是预报工作的重点。强对流天气往往生消较快, 水平尺度一般只有几公里至几十公里, 时间尺度也只有几个小时甚至不到一个小时, 利用常规天气资料预报具有一定的难度。易笑园等^[2]对渤海西岸暴雨中尺度对流系统的空间、热动力特征和发生、发展维持的原因进行了分析; 王彦等^[3]对渤海湾海风锋与强对

流天气的形成、发展和消散过程进行了研究, 总结出当海风锋与弱冷锋相遇时, 相遇交叉处能够产生强对流天气; 而单一海风锋不能产生强对流天气, 仅能改变气温和风向等气象要素特征; 梁卫芳等^[4]、郭庆利等^[5]、贺靛等^[6]、慕建利等^[7]、宋晓姜等^[8]对我国不同海区发生的强对流天气个例进行分析, 得出卫星云图、雷达、闪电等非常规气象资料在强对流天气的临近预报预警中起着举足轻重的作用; 王莉萍等^[9]对河北衡水两次突发性强对流天气进行了对比分析, 发现两次天气过程影响系统不同, 造成的天气也不尽相同; 赵玲等^[10]对发生在大兴安岭地区两次不同性质的强降雨从环流背景、卫星云图、物理量场等方面进行了对比分析, 发现强降雨发生前热力结构不同是造成两次不同性质强降水的重要原因。目前对渤海沿岸的强对流天气用卫星云图与雷达进行同步监测缺少对比分析, 对预报预警技术的研究也较少。

2011年9月1日01时—06时(北京时, 下同)和

收稿日期: 2016-02-01; 修回日期: 2016-06-17。

基金项目: 环渤海区域科技协同创新基金(QYXM201502); 河北省气象局科研开发项目(ZC1303)。

作者简介: 于志明(1964-), 男, 工程师, 本科, 主要从事海洋预报服务与灾害天气研究。E-mail: qasqxjyzm@163.com

2012年9月27日12时—20时(简称“9.1”和“9.27”)在渤海西岸地区均出现了强对流天气,渤海西岸地区在9月份出现如此强烈的对流天气并不多见,这两次过程分别出现在9月初和9月底,同属华北东部冷槽低涡型暴雨天气过程,气候背景相似,但出现的灾害性天气现象、灾害落区有所不同,因此有必要对初秋中尺度系统的产生机制进行深入分析,以便更加深入认识渤海及沿岸这类强对流天气的演变和环境条件的差异。本文利用Micaps、探空、卫星云图、雷达资料,从环流形势、不稳定能量、云图特征、雷达回波等方面对两次天气过程的特征进行了对比分析,为环渤海地区强对流性天气的精细化预报提供一些有益的参考。

2 灾害性天气实况

2011年9月1日01时—06时,受高空急流和低层切变线影响,渤海西部海区和海岸带出现强对流天气(见图1a),唐山、天津、沧州等地先后出现大风、短时暴雨及冰雹天气,唐山有27个乡镇雨量站雨量达到暴雨;渤海中南部BZ26-2石油平台(38.2°N, 119.2°E)监测到早晨06时阵风风速达25 m/s(风力10级);沧州海岸带监测到的最大风速为30.8 m/s(风力11级),风向东北,沧州黄骅港5根直径30 cm缆桩被拉断,6艘800t以上船舶发生碰撞。同时,当日接近沧州海域天文大潮日,在大风增水和天文大潮的共同作用下,黄骅岸区最高潮位达5.5 m,超警

戒水位0.7 m,出现了风暴潮灾害。

2012年9月27日12时—20时,受蒙古低涡和锋面过境影响,渤海及沿岸地区出现了强对流天气,伴有暴雨、大风、冰雹天气(见图1b)。强降水与大风由西北向东南移动,扫过81个气象观测站,唐山东部风速最大,唐山市市区过程雨量达91.6 mm;冰雹落区覆盖北京到唐山一线共14个气象观测站。强对流天气17时—19时覆盖渤海大部,19时槽后冷空气控制渤海西岸河北东部地区,强对流天气减弱停止。20时—23时,辽东半岛到莱州湾一线出现了暴雨、大风和雷电天气。

3 环流形势

3.1 “9.1”过程环流形势

2011年8月31日20时500 hPa高空图上(见图2a),东亚地区中高纬度的位势高度场整体比较平直,东北地区上空有一西风槽,槽底位置在44°N左右,槽后有明显的冷平流;850 hPa高空图上(见图2b),渤海上空有明显的北风与西到西北风的切变线,冷空气已南压到渤海北部辽东湾一线;地面图上(图略),低压中心位于内蒙东部、吉林西部地区,渤海西岸位于冷锋前部,锋后等压线密集。

3.2 “9.27”过程环流形势

此次过程,08时500 hPa图上(见图3a)40°N附近有一支风速超过32 m/s的西风急流,即高空锋区

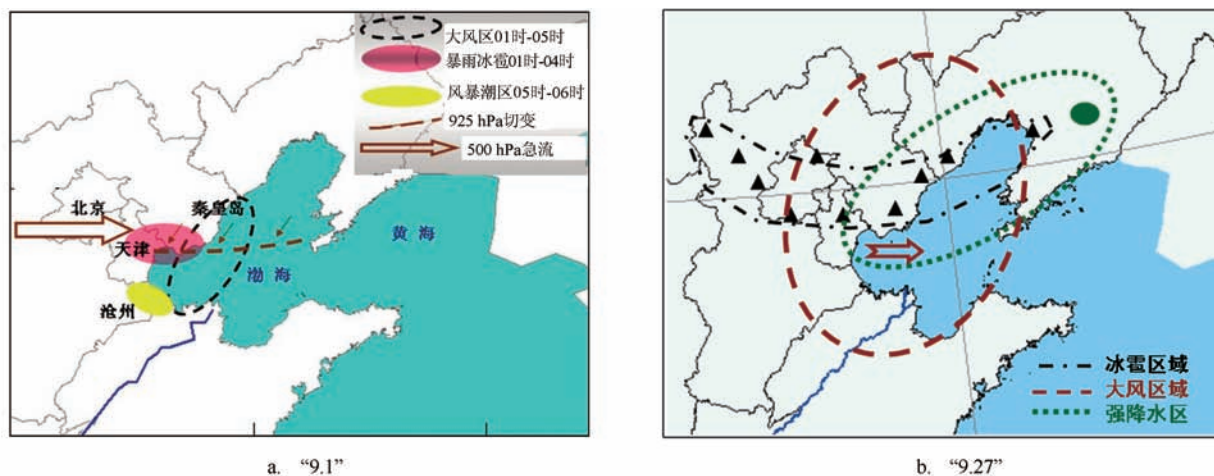


图1 强对流天气过程灾害性天气落区配置

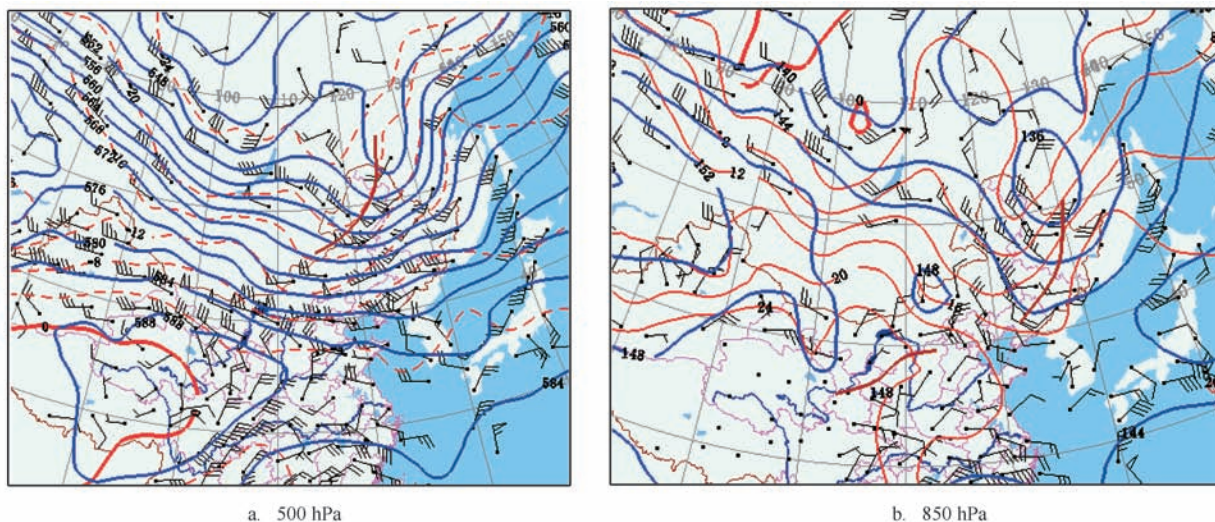


图2 2011年8月31日20时高空图

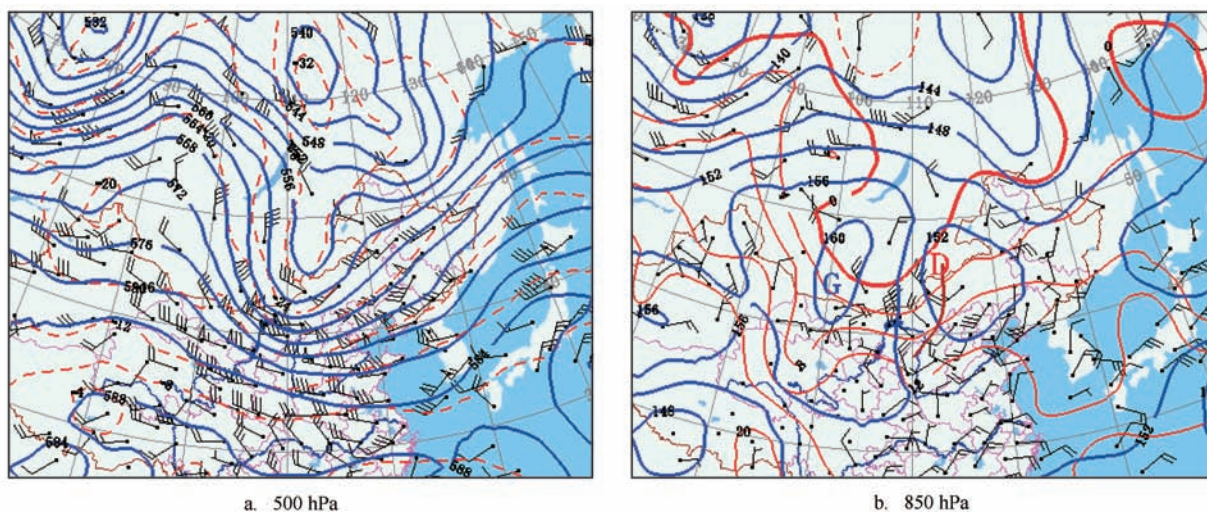


图3 2012年9月27日08时高空图

位置,位于内蒙到华北北部的低涡有干冷空气侵入;850 hPa图上(见图3b)在河北北部到北京一线有切变线;槽前有暖湿气流,有较好的水汽条件。低涡系统东移,地面冷锋东移南压,触发了强对流天气。

4 不稳定能量

按照不稳定性理论,当大气中积累一定的热力和动力不稳定能量时,在某种小扰动的触发下不稳定能量将转化为空气运动的动能,形成中小尺度涡旋,从而引起风、雨和雷电等天气^[11]。

4.1 “9.1”过程不稳定能量

河北省乐亭县探空站(区站号54539)是渤海西岸距渤海最近的探空站,2011年8月31日20时乐亭探空资料显示(见表1):K指数为33℃,沙氏指数为-3.8℃,对流有效位能为1555 J/kg。表明乐亭上空大气处于对流不稳定状态,此时正处于夏末秋初,下垫面温度较高,海面上空空气潮湿,随着切变线的东移南压,暖湿空气与冷空气相互作用极易产生强对流天气。9月1日08时的探空物理量指标表明乐亭上空空气层结稳定,对流天气趋于结束,但由于锋后冷空气势力较强,风力依然较大。

表1 乐亭8月31日08时、20时、9月1日08时探空物理量值

时间	500 hPa	925 hPa	地面	CAPE/(J/kg)	K/°C SI/°C	V	0—6 km/(m/s)	海岸带—海区天气
08时	w向急流	切变线	冷锋前	996	20	0.9	8	14—20时 多云转阴
20时	w向急流	切变线	冷锋前	1555	33	-3.8	8	01—06时 大风、冰雹、暴雨
08时	w向急流	NW风	冷锋后	110	26	8.1	19	06—08时 大风、阵雨

表2 乐亭、大连9月27日探空物理量值

探空站/时间	500 hPa	925 hPa	地面	CAPE/(J/kg)	K/°C SI/°C	V	0—6 km/(m/s)	海岸带—海区天气
乐亭/08	NW向急流	切变线	冷锋前	213	21	-1.7	20	12—14时 大风、冰雹、雷电
乐亭/14	NW向急流	切变线	冷锋	1 883	31	-2.7	21	14—17时 大风、冰雹、雷电
乐亭/20	NW向急流	NW风	冷锋后	200	18	6.5	18	18—20时 阵雨
大连/08	NW向急流	SSE风	冷锋前	400	31	-1.9	18	12—18时 多云
大连/14	NW向急流	切变线	冷锋前	200	30	-1.8	18	19—20时 雷电、阵雨
大连/20	NW向急流	切变线	冷锋	1 200	27	-1.7	18	20—22时 雷电、暴雨

4.2 “9.27”过程不稳定能量

2012年9月27日的探空资料显示(见表2):乐亭站08时—14时K指数为由21℃升至31℃,沙氏指数由-1.7℃降至-2.7℃,对流有效位能由213 J/kg增至1883 J/kg,表明乐亭上空大气不稳定能量逐渐增强,20时物理量指标表明大气层结趋于稳定,强对流趋于结束。14时—20时渤海东部海岸带大连探空资料各项阈值逐渐增大,预示强对流天气即将发生。

5 卫星云图特征

气象卫星FY-2E红外通道的观测值TBB在夏季少云区或无云区一般 $>0^{\circ}\text{C}$,在有云区TBB表示云顶亮度温度,其值一般 $\leq 0^{\circ}\text{C}$,TBB值越低,对应的云顶越高。因此,云顶亮度温度TBB可直接展示对流发展的旺盛程度,能用来推断对流云团发展强度及所处的阶段。

5.1 “9.1”过程卫星云图特征

“9.1”过程可以看出(见图4):1时中尺度带状对流云系位于吉林东部到北京一线,亮度温度TBB值为 -42°C ;02时北京到唐山一带的中尺度云团加强,面积扩大,TBB值达 -52°C ,对应天气实况为:北京南部、天津、唐山先后出现雷电、暴雨、冰雹天气。03时—04时系统进入渤海发展加强,移速减

慢,TBB值由 -63°C 升至 -52°C ,对应唐山、秦皇岛、天津、沧州渤海沿岸测站及海区先后出现东北大风天气,最大风速出现在沧州海区。05时—06时主体对流云团移动速度加快,TBB值升高,由 -53°C 升至 -42°C ,对应唐山、秦皇岛海域降水强度减弱,风力减小,天津、沧州海域维持大风天气。9月1日01时—06时影响渤海西岸和渤海的对流云团是一个由弱到强、再由强转弱的过程,01时—04时对流云团自西北向东南移动,05时—06时自西南向东北方向移动。

5.2 “9.27”过程卫星云图特征

从“9.27”过程12时—14时红外卫星云图可以看出(见图5):位于河北北部至北京一线的涡旋云系自西向东移动,主体云系TBB值由 -42°C 降至 -61°C ,其下摆处带状云系TBB值由 -20°C 降至 -31°C ,对应北京到唐山出现暴雨、短时大风、冰雹天气。15时—17时云系快速南压,涡旋云系由块状逐渐变成带状,渤海西海岸带冷锋云系TBB值由 -52°C 降为 -61°C ,对应区域天气实况为:大风、冰雹、强降水和雷电。

18时—19时(见图6)入海后的对流云系强度减弱,向偏东方向移动,移速减慢,TBB值由 -42°C 升至 -28°C ,渤海西岸对应天气为弱雷电、弱降水和大风天气。20时—22时云系在辽东半岛到莱州湾一线重新发展增强,TBB值由 -52°C 降至 -71°C ,渤海海区天气监测实况为:大暴雨、强雷电及短时大风。23时对流云团与暴雨中心对应较好,强降水中心

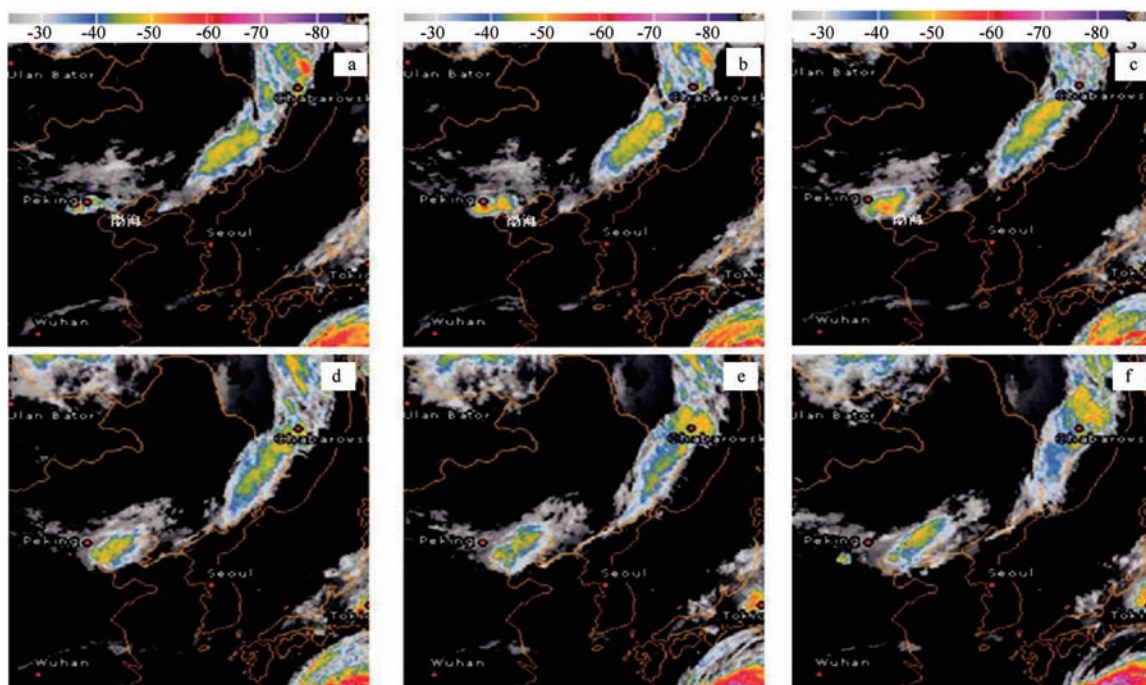


图4 “9.1”过程渤海区域强对流系统红外云图TBB演变(单位:℃)
(a—f分别为01时—06时)

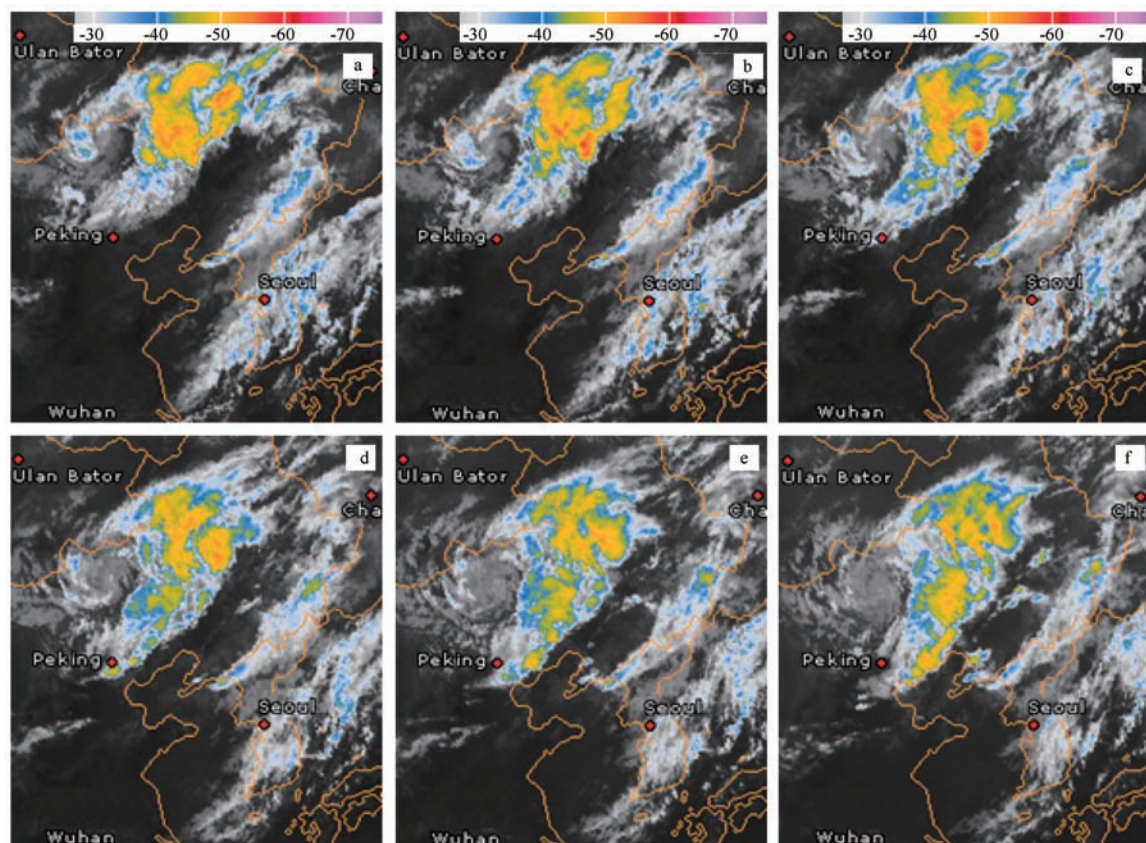


图5 “9.27”过程渤海区域强对流系统红外云图TBB演变(单位:℃)
(a—f分别为12时—17时)

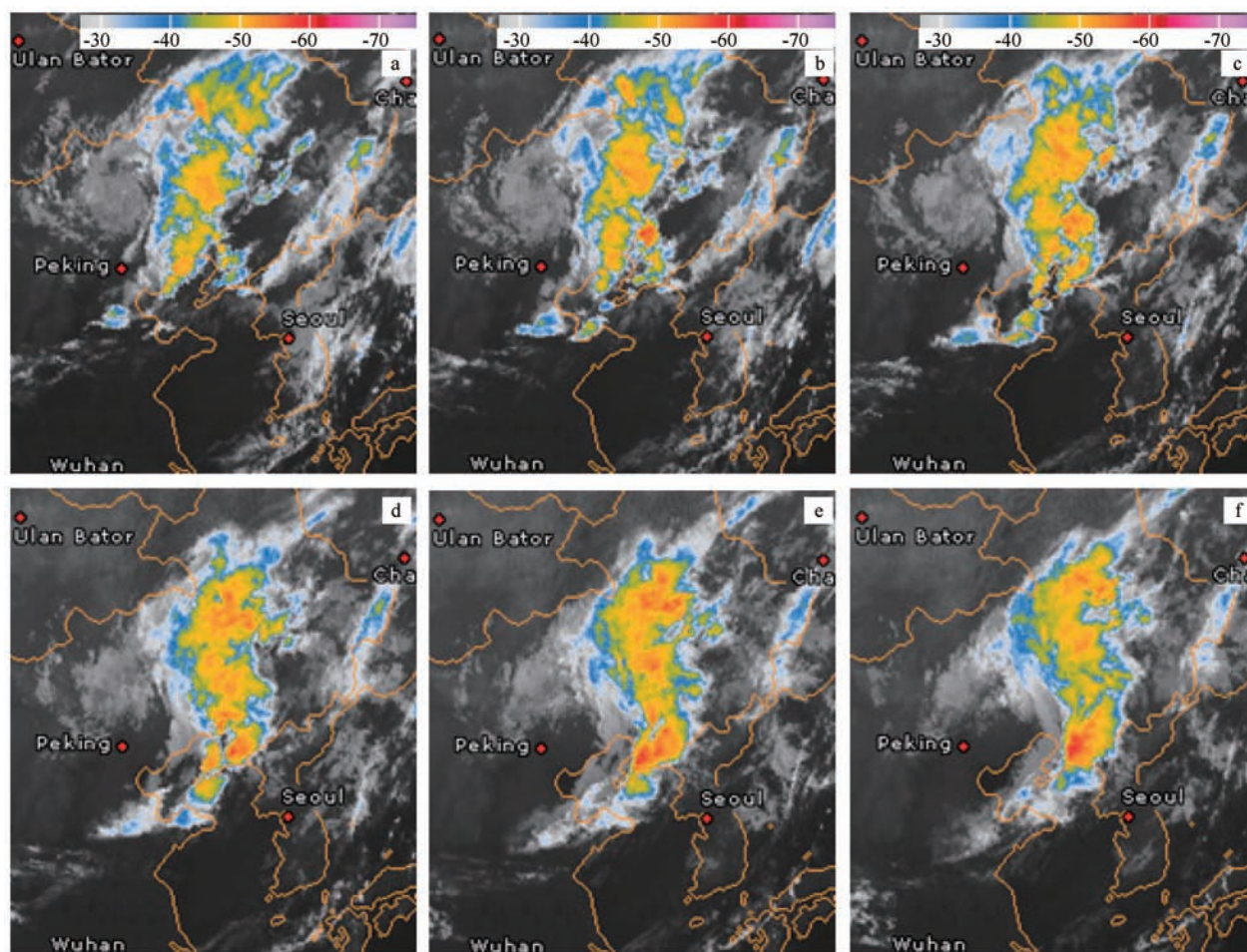


图6 “9.27”过程渤海区域强对流系统红外云图TBB演变(单位:℃)
(a—f分别为18时—23时)

心位于大连东北部,TBB值达 -78°C 。

6 雷达回波特征

新一代天气雷达观测的实时回波强度是判断强对流天气的重要回波参数。通过回波强度可确定对流云的结构、强弱和强降雨(雪)带,其随时间的变化是一种用来确定降水回波的移动以及未来趋势的极好工具^[12]。

6.1 “9.1”过程多普勒雷达回波特征

从9月1日01时30分秦皇岛多普勒雷达组合反射率因子与冰雹叠加图可以看出(见图7):强雷达回波带位于天津至唐山一线(图中标注△区域),回波强度在 $45\sim 60\text{ dBz}$ 之间,对流云范围

$230\times 30\text{ km}$,对流云顶高度 $9\sim 11\text{ km}$,强回波带对应地区出现了暴雨、冰雹、大风天气。强回波带前部为多单体风暴,块状单体风暴范围在 $30\times 40\text{ km}$ 左右,雷达回波强度为 $55\sim 65\text{ dBz}$,该区域对应天气为雷雨和短时大风。天津塘沽和沧州的多普勒雷达监测(图略)表明:04时左右回波主体进入渤海西部海区,在 1200 m 左右高度上有低空急流;05时—6时急流高度下降到 $300\sim 600\text{ m}$ 高度,低空急流为东北方向,与沧州黄骅海岸带垂直,大风增水和天文大潮两者叠加,导致黄骅沿岸出现了风暴潮灾害。在低空急流作用下,风向风速水平切变和垂直切变较大,有利于强对流天气的维持与发展。

6.2 “9.27”过程多普勒雷达拼图特征

通过烟台、塘沽、秦皇岛、营口、大连5部环渤海

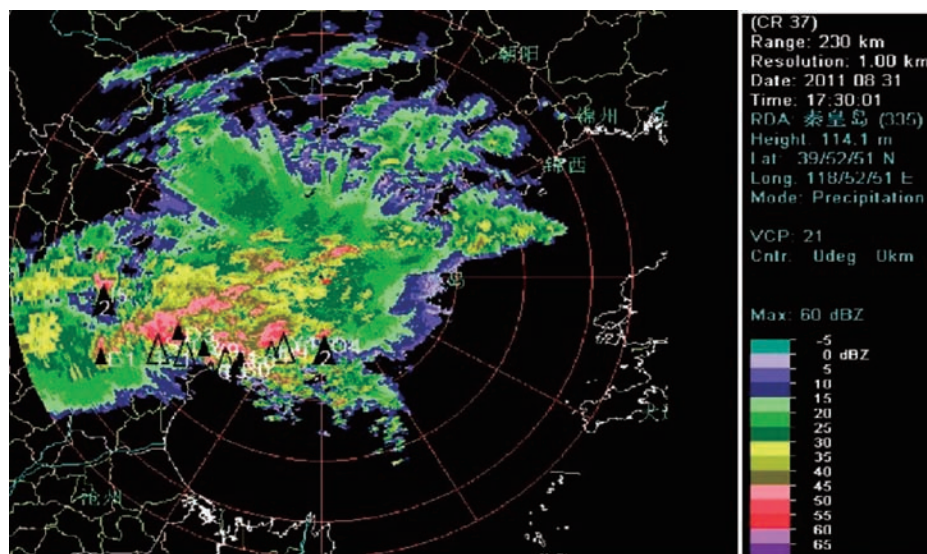


图7 秦皇岛多普勒雷达01时30分组合反射率因子与冰雹叠加图(单位:dBz)

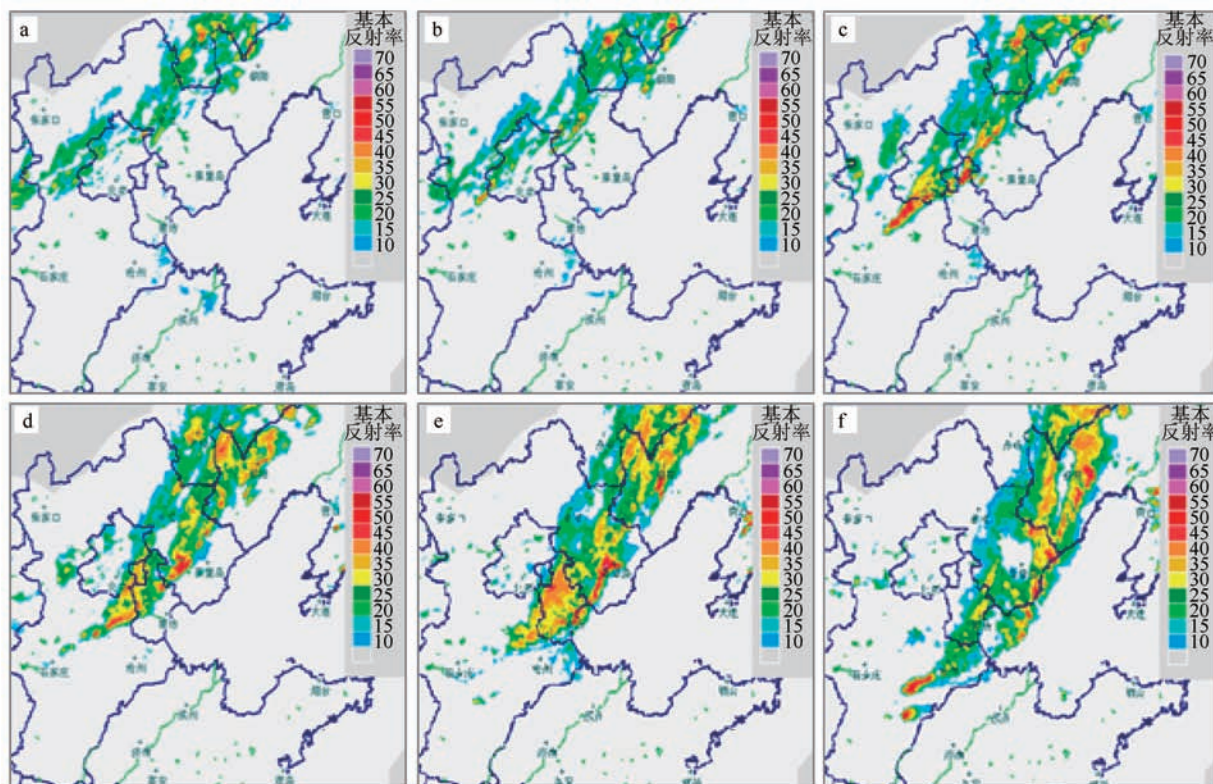


图8 “9.27”过程环渤海区域5部雷达组合反射率拼图(单位:dBz)

(a—f分别为12时—17时)

多普勒雷达拼图资料可看出(见图8),9月27日12时对流云系位于河北北部到北京一线,对流云范围 180×300 km,对流云顶高度8—9 km,雷达回波

强度30—40 dBz,强回波对应地区出现了短时雷雨天气。对流云系自西北向东南方向移动,移速40—50 km/h,面积逐渐增大,14时—15时影响北

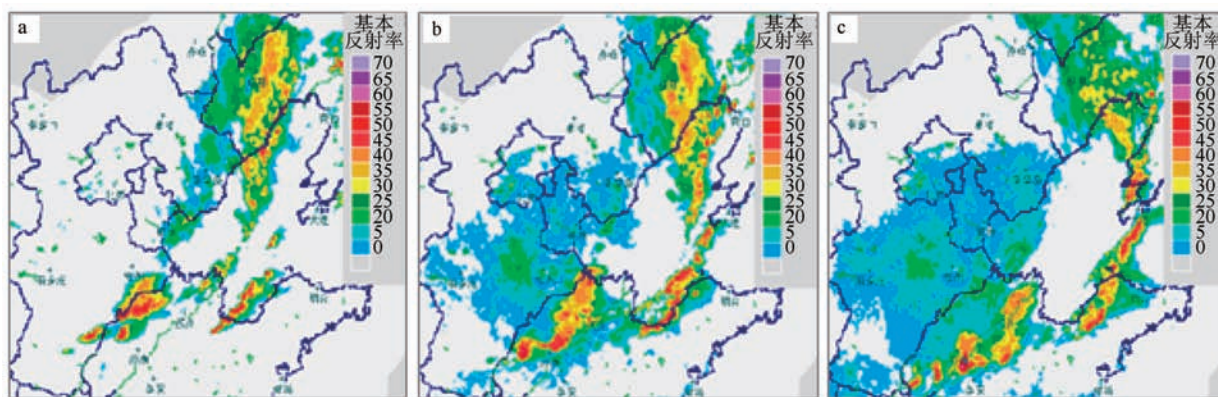


图9 “9.27”过程环渤海区域5部雷达组合反射率拼图(单位:dBz)

(a—c分别为18时—20时)

京东部到天津一线,对流云顶高度11 km,雷达回波强度45—50 dBz,对应地区出现了雷电、强降水、冰雹天气。16时—17时对流云系向偏东方向移动,移速55—65 km/h,对流云顶高度11—13 km,雷达回波强度由55 dBz增至60 dBz,渤海西海岸带中北部出现两条爬线回波,对应灾害为大风、暴雨和冰雹。

18时—19时(见图9)对流云系入海后减弱,雷达回波强度下降至30—40 dBz,对流云顶高度8 km,回波对应地区降水减弱。20时对流云系在辽东半岛至莱州湾一线重新加强,对流云范围 110×500 km,对流云顶高度9—12 km,雷达回波强度45—50 dBz,对应天气为:短时暴雨、大风及雷电。

7 两次过程天气特征对比

7.1 两次过程相同的天气特征

两次强对流天气出现前的环流形势均为高空为低涡和高空槽控制,低层有切变线,地面有冷锋过境;不稳定能量指标达到了产生对流天气的阈值;气象卫星观测到的云顶亮度温度TBB值达到了 -42°C 以下;雷达回波强度达到了35 dBz以上。两次过程均出现了大风、暴雨、冰雹天气。

7.2 “9.1”过程天气特征

此过程冷空气势力较强,高空槽后冷平流明显,强对流天气出现前500 hPa高空有西风急流,并随着对流天气系统的发展急流逐渐向低层传递,低

空NE向急流与强风暴后部下沉气流的NE向分量叠加,造成了渤海的NE向大风。河北沧州海岸线呈NW-SE走向,海上大风的风向与沧州的海岸线垂直,海面持续的NE向大风造成沧州沿岸的增水;9月1日为农历的八月初四,天文大潮的影响尚未结束,大风增水和天文大潮的共同作用造成了沧州黄骅港的风暴潮灾害。而天津、唐山、秦皇岛的海岸线呈NE-SW走向,与海上大风的风向基本平行,大风增水作用小,未出现风暴潮灾害。

7.3 “9.27”过程天气特征

此过程冷空气势力较弱,强对流天气出现前500 hPa高空虽有NW向急流,但持续时间较短,未出现低空急流,出现的短时大风是强风暴后部下沉气流造成的。“9.27”过程和“9.1”过程相比,具有槽前暖湿平流强、水汽条件好,对流云范围大、降水持续时间长,TBB观测值低、对流云伸展高度高的特点,造成了此过程暴雨、冰雹的强度更强,范围更大。

8 结论与讨论

(1)两次强对流天气过程均出现了暴雨、大风、冰雹天气,“9.1”过程以大风和风暴潮灾害为主;“9.27”过程以暴雨、冰雹灾害为主;

(2)“9.1”天气过程是受高空槽影响,渤海西岸上空有北风与西到西北风的切变线;“9.27”天气过程是受低涡和锋面系统影响。两次过程渤海西岸上空大气层结均为不稳定,有较强的不稳定能量;

(3)卫星云图上,对流云团亮度温度TBB小于 -42°C 预示有降水出现,TBB小于 -52°C 的区域与大雨或暴雨相对应,TBB温度越低表示强对流天气出现的几率越大;

(4)雷达回波强度大于35 dBz区域与雷雨相对应,大于45 dBz回波区域与冰雹、强降水等灾害天气对应较好;

(5)卫星探测水平尺度大、雷达探测精度高,云图能看到云顶分布,雷达回波图能看到云底及云层的垂直分布,这些资料与中小尺度系统所处的环流形势、不稳定能量等资料相结合分析,取长补短,对强对流天气的预报预警能提供较全面的信息;

(6)在不同地区、不同季节、受不同天气系统影响的强对流性天气,亮度温度TBB和回波强度的判别指标可能略有差异。由于篇幅限制,本文未对两次强对流天气的水汽条件、闪电定位资料、辐合辐散等情况进行分析。

参考文献:

[1] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 309-311.

- [2] 易笑园, 李泽椿, 孙晓磊, 等. 渤海西岸暴雨中尺度对流系统的结构及成因[J]. 应用气象学报, 2011, 22(1): 23-31.
- [3] 王彦, 李胜山, 郭立, 等. 渤海湾海风锋雷达回波特征分析[J]. 气象, 2006, 32(12): 23-28.
- [4] 梁卫芳, 杨育强, 薛允传. 自动站临近预报技术在一次大范围强对流天气中的应用[J]. 海洋预报, 2007, 24(2): 91-97.
- [5] 郭庆利, 薛波, 党英娜. 渤海海峡雷雨大风的多普勒雷达回波特征[J]. 海洋预报, 2011, 28(1): 13-18.
- [6] 贺靓, 于超, 吕新民, 等. 渤海中南部海区一次雷暴大风过程分析[J]. 海洋预报, 2011, 28(1): 19-24.
- [7] 慕建利, 李泽椿, 湛芸. 一次强暴雨过程地闪活动特征与中尺度对流系统和强降水的关系[J]. 气象, 2012, 38(1): 56-65.
- [8] 宋晓姜, 邢建勇, 王彰贵. 渤海一次强阵性雷雨大风过程的诊断分析[J]. 海洋预报, 2013, 30(2): 22-29.
- [9] 王莉萍, 崔晓东, 王国宁, 等. 两次突发性强对流天气的对比分析[J]. 气象, 2008, 34(8): 40-44.
- [10] 赵玲, 王林凤, 王利. 两次不同性质强降雨的对比分析[J]. 气象, 2005, 31(11): 69-73.
- [11] 雷雨顺. 强对流天气的几个问题[J]. 大气科学, 1980, 4(1): 94-102.
- [12] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 181-183.

Analysis of the characteristics of two severe convection weather on the west bank of the Bohai sea

YU Zhi-ming¹, ZHOU Yan-jun², WANG Si-yao¹

(1. Tangshan City Meteorological Bureau, Tangshan 063000 China; 2. Qinhuangdao City Meteorological Bureau, Qinhuangdao 066000 China)

Abstract: Based on the data of Micaps, sounding, satellite cloud picture and radar, the two severe convection weather on the before dawn of september 1, 2011 and afternoon of september 27, 2012 in the west bank of Bohai are analyzed from the circulation feature, unstable energy, cloud image feature, radar echo in order to improve the quality and timeliness of forecast of convection weather. As a result, two weather processes both took place rainstorm, strong winds and hail weather, before dawn of september 1, influence system were upper trough and shear line, the main disastrous weather was strong winds, in the afternoon of september 27, influence system were low vortex and frontal surface, the main disastrous weather were rainstorm and hail. Both of the two weather processes had a certain unstable energy, the lower Black Body Temperature (TBB) indicated the greater probability of severe convection weather occurred. Less than -42°C of the TBB of convective cloud cluster indicated rain, the area, less than -52°C of the TBB of convective cloud cluster, occurred heavy rain or rainstorm. The intensity of radar echo larger than 35 dBz corresponded to the thunderstorm area, and the intensity of radar echo larger than 45 dBz better corresponded to the hail and severe convection weather.

Key words: west bank of the Bohai sea; convection weather; satellite cloud picture; radar echo; forecast and alerts