

# 一次渤海“切变线”诱发强对流天气监测及可预报性探讨

郭鸿鸣<sup>1</sup>, 费杰<sup>2</sup>, 李燕<sup>3</sup>, 李延江<sup>1</sup>

(1. 秦皇岛海洋气象台, 河北 秦皇岛 066000; 2. 葫芦岛气象台, 辽宁 葫芦岛 125000; 3. 大连气象台, 辽宁 大连 116001)

**摘要:** 利用 micaps3.2 系统强对流实况监测、渤海 6 部天气雷达、海洋 WRF 模式等同步资料, 对 2015 年 8 月 31 日渤海一次典型“暖式切变线”引发强对流天气过程进行综合分析及可预报性探讨。结果表明: 天气尺度系统的有效配置为不同时段的中尺度对流系统发展提供了环流背景条件。08—20 时渤海湾一线 925—850 hPa 切变线东移增强, 08 时临近探空 K 指数 35℃、SI 指数 -1.81℃及 CAPE 为 166 J/kg, 垂直风切变 16 m/s, 导致天津一线的强对流天气发生。20—02 时低层 925 hPa “暖式切变线”北抬, 20 时 K 指数 32℃, SI 指数为 1.36℃, CAPE 达 383 J/kg, 垂直风切变为 19 m/s, 对流性不稳定能量增强, 在渤海中部的切变线附近诱发多个中  $\gamma$ 、 $\beta$  尺度强对流风暴单体, 在雷达回波“列车效应”下, 造成了秦皇岛近海新一轮强对流天气过程。WRF 模式数值模拟与实况对比: 对流有效位能 (CAPE) 08 时初始场运行结果误差大于 14 时; 逐小时强对流回波带演变与 925 hPa 切变线和 CAPE 高值区较一致; 强垂直运动和边界层水汽辐合触发 CAPE 的释放; 在辽东湾北部  $\Delta\theta_{se}$  (850—500 hPa) 较弱干冷切入与对流系统的发生、落区有一定对应关系; 雷达监测网与 WRF 物理量叠加是提升海区强对流预警方法的有效途径之一。

**关键词:** 渤海强对流; 暖式切变线; 带状回波“列车效应”; 可预报性

**中图分类号:** P732 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2016)06-0093-10

## 1 引言

在大气西风带环流背景下, 大多数渤海强对流天气系统是由陆地西部或北部生成后移向海区<sup>[1]</sup>, 入海后稳定少变, 在东部或南部海岸带重新发展<sup>[2]</sup>。由渤海区域生成的强对流系统并由东南方向移向西北方向的个例较少, 是目前海上强对流预警技术难点问题之一。近年来, 环渤海地区广大科技工作者克服海洋气象灾害实况资料匮乏的不利条件, 进行了一系列科研探索, 卢焕珍等<sup>[3]</sup>借助塘沽天气雷达和自动站对产生海岸带雷暴大风的对流风暴进行个例分析, 总结出雷暴大风雷达回波的主要形态、大风来临前径向速度场有辐合特征等; 王彦等<sup>[4]</sup>、贺靛等<sup>[5]</sup>、郭庆利等<sup>[6]</sup>、孙素琴等<sup>[7]</sup>应用卫星资料、多普勒雷达、闪电等监测资料对近年来海岸带-近海发生

强对流天气个例进行分析, 得出强对流系统中地闪、云顶亮温与雷达回波关系及“列车效应”引发短时暴雨成因等; 上述分析均以单部雷达监测分析为主, 对回波源、发生、发展及演变规律的描述存在着一定的局限性, 对该海区“切变线”入海北抬后引发西部海岸带强对流天气成因研究甚少, 缺少多部雷达监测网资料与数值模拟共性分析。

2015 年 8 月 31 日 20 时—9 月 1 日 04 时, 渤海西海岸带天津-秦皇岛地区出现了由强对流天气引发的短时暴雨、大风及持续性雷电天气, 其中, 大风区域出现山海关海区, 风速最大为 21.8 m/s; 短时暴雨分别出现在天津和秦皇岛, 小时雨量最大达 40 mm; 雷电过程持续时间达 6 h 以上。较强的强对流天气对区域经济会造成较大影响, 直接威胁港口设施及船舶通讯安全, 尤其是 2015 年 6 月 1 日长江监利水

收稿日期: 2016-02-23

基金项目: 环渤海区域科技协同创新基金项目(QYXM201502)。

作者简介: 郭鸿鸣(1981-), 男, 工程师, 学士, 从事海洋气象预报技术研究。E-mail: 156530483@qq.com

通讯作者: 李延江(1958-), 男, 高级工程师, 学士, 从事海洋灾害预报技术研究。E-mail: yanjiangqhd@163.com

域“东方之星”强对流天气引发重大沉船事故之后,近海强对流天气监测与预警成为目前社会关注的焦点之一。

利用6部天气雷达拼图、环渤海逐小时强对流监测及海洋WRF模式物理量场等资料,综合分析入海前后的强对流系统时空尺度演变特征;探讨海区低层暖式切变线对西部海岸带强对流天气重新发展的成因;为渤海强对流天气预警技术研究提供一些新的思路。

## 2 天气背景与实况

渤海位于中高纬度之间,受高层大气西风带影响较大,大多数不同尺度的强对流天气系统是由陆地移向海区的,并在不同的海岸带区域获取新的能量,重新加强发展,影响新的海岸带直至内陆区域,它的生、消及演变规律仅是天气尺度背景下的一个中尺度天气过程。

### 2.1 天气背景

在2015年8月31日08时(北京时,下同)500 hPa高空图上环渤海上空为弱冷空气配合的减弱低槽,对应08时低层925 hPa高空图上(见图1a)渤海中南部为暖空气配合的“人字型”切变线,其中渤海湾至莱州湾一线温度场有明显暖湿平流,这种“上冷下

暖”垂直结构有利于对流天气的发生发展,在低层切变线动力、水汽耦合下,给未来强对流天气强度加强提供了必要条件。直至20时低层925 hPa高空图上(见图1b)渤海中南部“人字型”切变线原地旋转,前部暖式切变线北抬至渤海中部,导致新一轮强对流天气生成发展,中尺度系统沿东南向西北部海岸带延伸发展。从天气背景分析明显看出:整个过程分为两个时段,即31日08—20时“人字型”切变线造成天津海岸带强对流天气,31日20时—9月1日02时“人字型”切变线前部暖式切变为秦皇岛海岸带强对流天气主要影响系统。

### 2.2 强对流实况与探空

对应实况与探空可分为两个不同时空尺度见(见图2)。第一阶段为2015年8月31日08—20时,天津至渤海湾出现了由强对流天气引发的短时暴雨、持续性雷电天气,小时雨量最大达39 mm;08时临近探空(乐亭站)K指数为35℃、SI指数为-1.81℃及CAPE为166 J/kg,0—6 km垂直风切变16 m/s,达到一般强对流系统发生、发展阈值或临界值。第二阶段为2015年8月31日20时—9月1日02时,秦皇岛—山海关出现海区强对流引发的短时暴雨、大风及持续性雷电天气,大风区域出现山海关海区,风速最大为21.8 m/s;雷电过程持续时间达6 h以上。20—02时其前部低层925—850 hPa切变

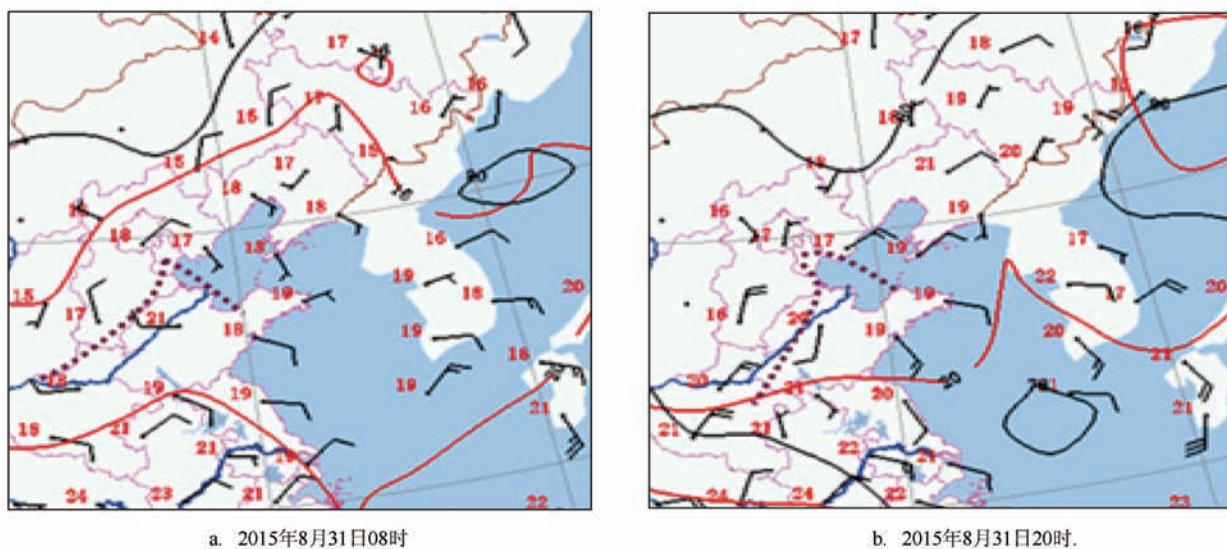


图1 925 hPa 风场(单位:m/s)和温度场(单位:℃)图(棕色为切变线)

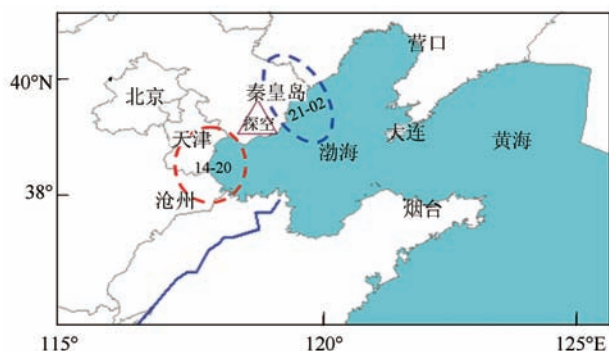


图2 强对流天气落区(红色圆圈为14—20时,蓝色圆圈为20—02时)及探空站位置( $\Delta$ )示意图

线北抬,20时K指数 $32^{\circ}\text{C}$ ,SI指数为 $1.36^{\circ}\text{C}$ ,CAPE为 $383\text{ J/kg}$ ,垂直风切变为 $19\text{ m/s}$ ,对流性不稳定能量进一步增强,海区冷暖空气交汇于渤海中部的切变线附近,有利于秦皇岛海岸带新一轮强对流天气发生。

### 3 天气雷达监测—渤海中尺度雷达拼图

目前,在渤海海岸带新一代天气雷达有6部,分布在秦皇岛、天津、沧州、烟台、大连及营口(见图2)。单部雷达 $0.5^{\circ}$ 仰角,理论上基本反射率监测半径 $230\text{ km}$ ,径向速度 $115\text{ km}$ ,由于天线高度不一致和地物遮挡,监测距离底高( $0.5^{\circ}$ 雷达监测仰角)在渤海中部区域大于 $1.1\text{ km}$ ,实际综合监测能力为 $150\text{ km}$ 左右。雷达监测在强对流天气发生、发展及演变规律的研究中仍有局限性,因此综合互联网拼

图( $10\text{ min}$ 一幅)和资料共享能够提升中尺度系统的监测能力和技术水准。

#### 3.1 天津—线强对流天气系统入海前后的演变特征

对照上述同步实况及天气分析,第一轮强对流发生时间段为8月31日16—18时,(见图3a、b)在渤海湾一带生成的多单体风暴稳定少动,雷达反射率因子强回波带水平尺度 $230\times 80\text{ km}$ ,强度 $40\text{—}50\text{ dBz}$ ,移向W→E向,移速为 $20\text{—}30\text{ km/h}$ ,对应天气短时强降水、雷电等;2 h后东移至莱州湾维持发展,强回波面积缩小,水平尺度 $180\times 70\text{ km}$ ,强度维持 $40\text{—}50\text{ dBz}$ ,移向WSW→ENE向,移速为 $20\text{—}30\text{ km/h}$ ,对应天气短时强降水、雷电、大风等;天津至渤海湾为一般阵雨天气。但从莱州湾至渤海湾北部(见图3c)所谓“暖式切变线”回波带已经初步形成,并缓慢向中部海区推进。

#### 3.2 秦皇岛—线强对流天气雷达回波“列车效应”

初步生成的渤海南部中尺度强对流回波带在31日20—22时继续北抬发展,(见图4a)雷达反射率强回波带水平尺度 $350\times 80\text{ km}$ ,强度 $40\text{—}55\text{ dBz}$ ,移向SSW→NNE向,移速为 $30\text{—}40\text{ km/h}$ ,影响范围:莱州湾—唐山海岸带,对应天气短时强降水、大风、雷电等;在渤海中部的切变线附近诱发多个中 $\gamma$ 、 $\beta$ 尺度强对流风暴单体(见图4b、c),与主体回波带移向成 $90^{\circ}$ 交角,水平尺度 $30\times 50\text{ km}$ ,强度 $50\text{—}55\text{ dBz}$ ,移向SE→NW向,移速为 $50\text{—}60\text{ km/h}$ 、具有明显的向前线性传播特征,即雷达回波“列车效应”。23—

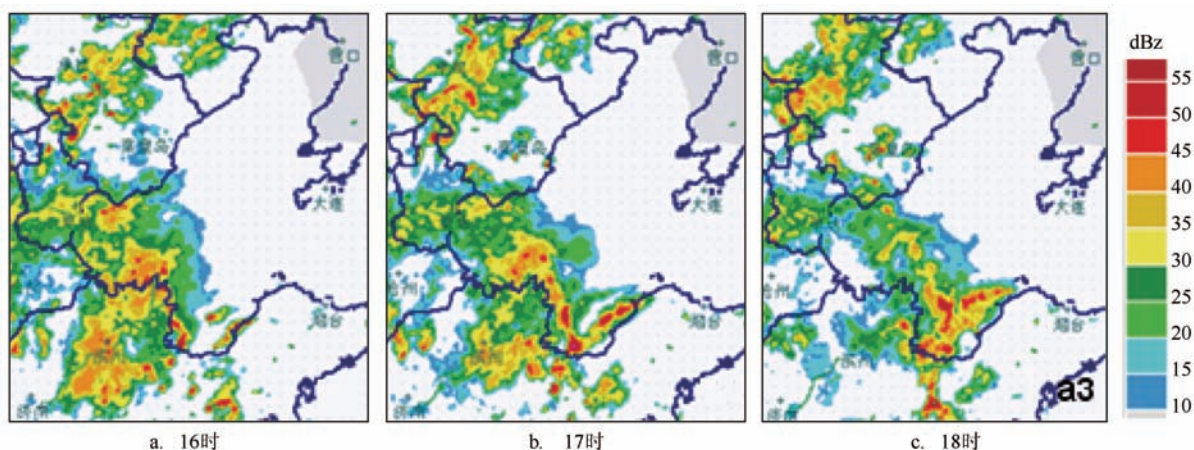


图3 2015年8月31日6部天气雷达基本反射率拼图

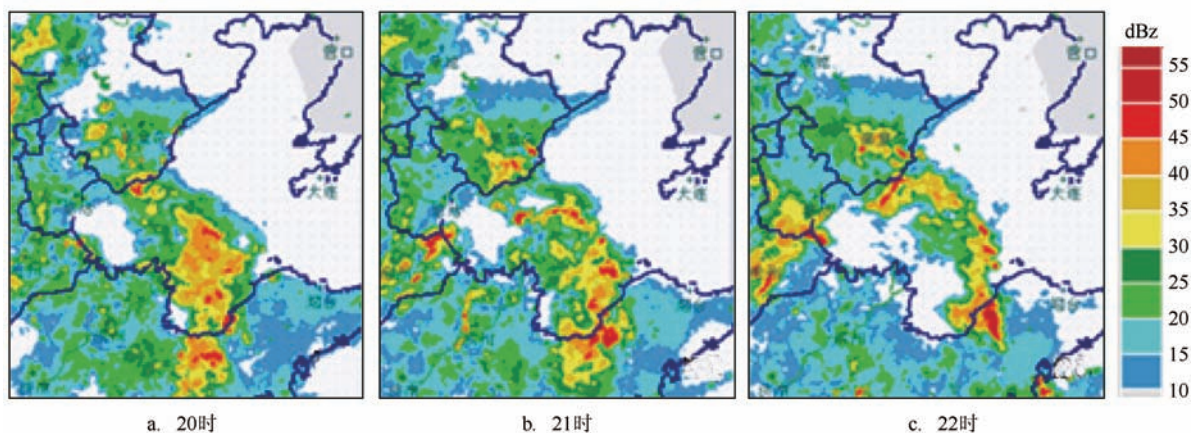


图4 2015年8月31日6部天气雷达基本反射率拼图

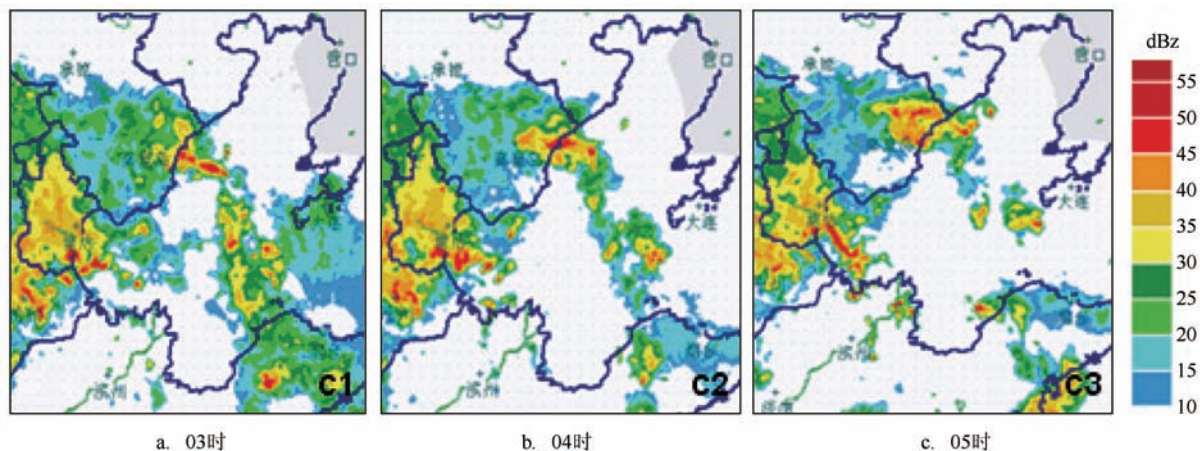


图5 2015年9月1日6部天气雷达基本反射率拼图

02时渤海低层水汽被暖式切变线西南气流源源不断地输送到辐合线上空,有利于中小尺度对流单体及其次级垂直环流的维持、发展,且这些次级环流规则排列,从而“列车效应”得以维持,造成了秦皇岛近海新一轮强对流天气过程。

### 3.3 秦皇岛海区回波带消亡阶段演变特征

从图5a中明显看出03时中部海区回波带出现断裂,强度下降至30—40 dBz,04时趋于消亡,为一般性阵雨天气。值得关注的是在渤海湾南部沧州海区有新的强对流回波带生成(见图5b、c),水平尺度 $100\times 40$  km,强度45—50 dBz,移向N→S向,移速为 $35\rightarrow 40$  km/h;整体中尺度回波具有螺旋状特点,相对秦皇岛海区处于消亡阶段,进入渤海湾的

后部下沉气流垂直于沧州海海岸带,摩擦辐合是对流天气发生的主要动力因素,由于尺度偏小,所以持续时间不足2 h。

## 4 中尺度海洋气象 WRF 模式物理量分析

雷达监测分析结论为暖式切变线回波带北抬,导致秦皇岛海区第二次强对流天气发生。实际预报是一次漏报过程,强对流落区(见图6a中棕黄色区域)没有报出渤海中部至秦皇岛海岸带(红圈区域),强天气中尺度环境场分析过程中(见图6b),主要影响系统移动方向为东移山东半岛一线(切变线为蓝色点划线),绥中-秦皇岛-唐山一带没有给出

有利于强对流天气动力和水汽条件,同时说明此次过程可预报性偏低,预报难度较大,常规的EC和T639数值模式对海区中尺度强对流预报能力有一定局限性。面对服务需求,如何降低海区强对流漏报?可否借鉴其他模式产品来提升实际可预报性?通过WRF(Weather Research and Forecasting Model)海洋气象中尺度模式物理量场进行同步分析可以得到一些有意义的结果。

#### 4.1 WRF降水预报

预报系统由中国科学院南海研究所提供技术支持。采用ARW(The Advanced Research WRF)3.3版本。按照1:3的比例,外区域采用45 km的网格尺度,预报系统中区域采用15 km的网格尺度,小区域采用5 km的网格尺度。本次过程(见图7、8)WRF

模式在渤海中尺度降水落区北部外缘线报出北抬趋势,与雷达监测实况对比(见图4、5)秦皇岛海岸带为漏报区域,中部海区强度偏弱。是否预报强对流主要参考三要素,即对流有效位能(Convective Available Potential Energy, CAPE)、水汽和垂直速度。0—1 h预警以雷达监测网为主,1—6 h必须用中尺度物理量模式产品进行外推。

#### 4.2 CAPE 3个时次对比分析

提高对流天气临近预报准确率的关键问题是了解大气的垂直稳定度、垂直风切变及水汽条件。CAPE是评价大气对流潜力标准的不稳定指数。海洋气象WRF中尺度数值模式产品提供了高时空分辨率的大气稳定度等物理量信息,考虑了大气层结分布,能够反映大气的不稳定度,被广泛用于诊断

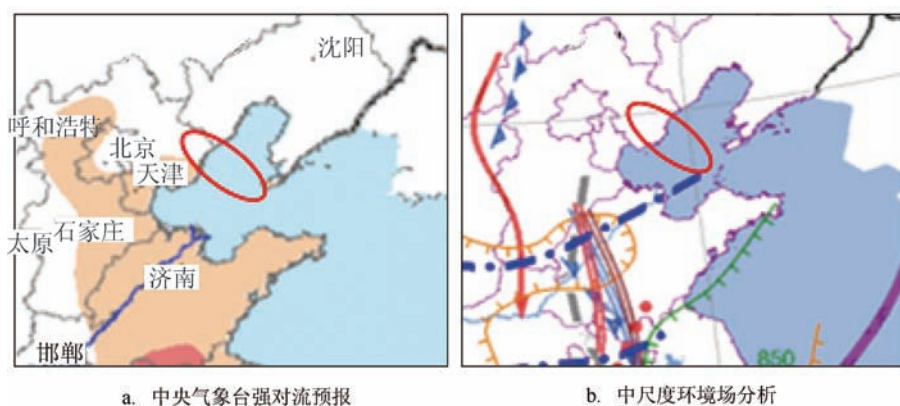


图6 2015年8月31日20时预报与环境场分析(红圈为漏报区域)

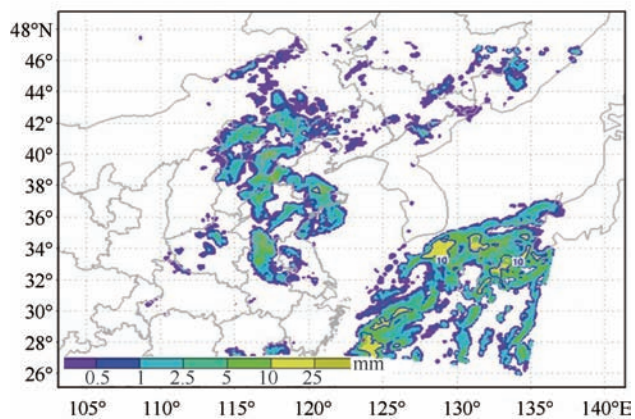


图7 2015年8月31日08时初始场WRF模式模拟渤海区域23时降水

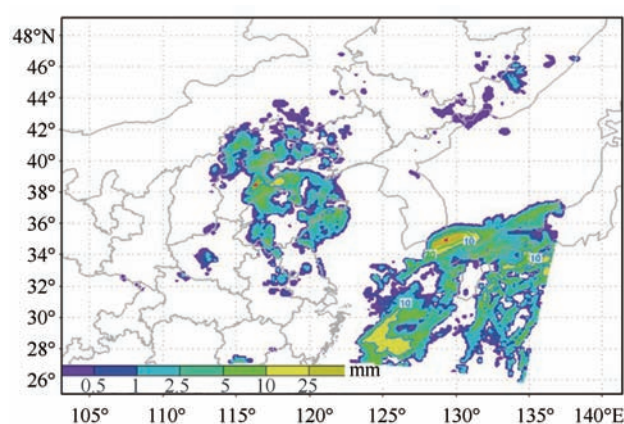


图8 2015年8月31日08时(CST)初始场WRF模式模拟渤海区域9月1日2时降水

强对流天气发生的可能性。

从图9a、b中可以看出,CAPE 08时初始场运行结果明显不如14时结果,输出的CAPE大值区域比较接近雷达实况拼图;CAPE 20时初始场运行结果(见图9c)的大值区域演变趋势更接近雷达实况拼图,但“列车效应”中、小尺度系统没有模拟出来,强度变化略显偏弱,从理论上讲20点初始场同化资料后,应更接近强对流发生的物理量场和环流场,可能与渤海实况探空资料同化内插值有关,对于渤海西路、北路入海强对流系统各家数值预报之间的预

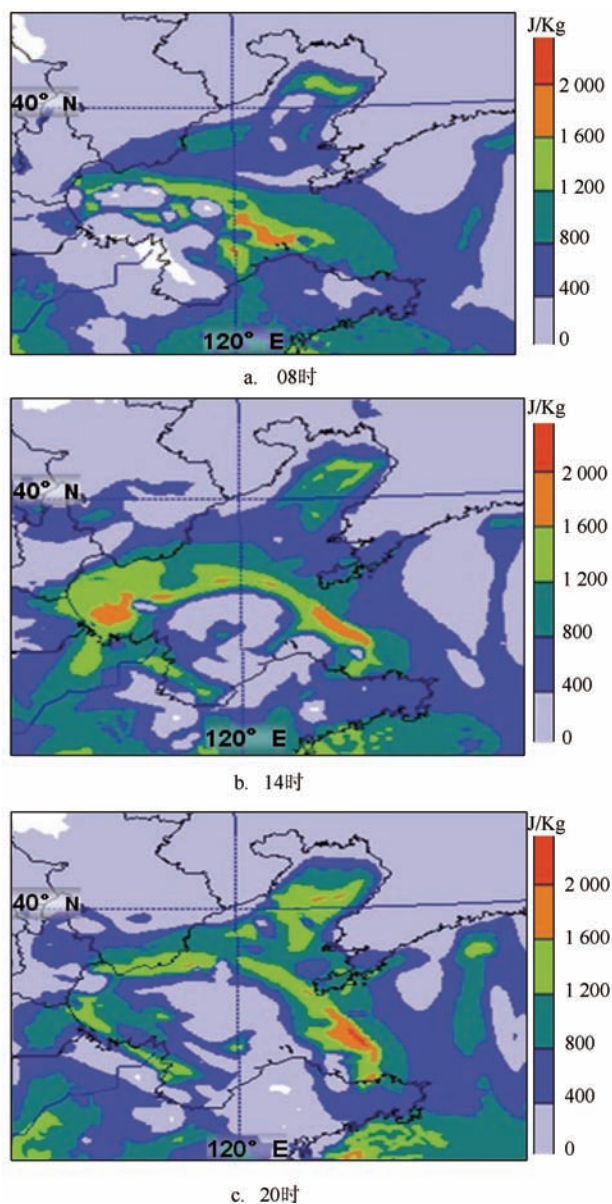


图9 2015年8月31日不同时刻初始场WRF模式模拟渤海区域9月1日01时CAPE结果对比

报误差较小,对于南路中尺度强对流误差偏大,海区中、小尺度系统移向与高层大气引导气流相反,且持续时间短,就此次过程,多家数值预报系统移向为东至东南方向,而WRF能预报出北抬的趋势实属不易;综合分析表明:强对流发生前CAPE明显增大,逐小时强对流回波带演变(见图4)和925 hPa切变线(见图1b)与CAPE高值区较一致;对比中央气象台20时指导预报订正预报时效可后延6—8 h,预期带来的海区服务效果为正值。14时初始场出图时间在20时,为最新的强对流天气订正08时预报结论依据之一。故此,下面的分析将以14时初始场模式输出为主,探讨垂直运动和边界层水汽辐合触发CAPE释放的作用。

#### 4.3 垂直速度剖面

垂直运动是触发不稳定能量导致强对流天气发生发展的重要因素之一。中尺度系统环流发生、发展的动力特征为强对流区存在低空辐合与强高空辐散,39°N垂直速度剖面20时(见图12a),中、小尺度垂直速度相对下沉区分布在渤海上空119°—121°E,高度1 000—500 hPa,值域为0.1—0.05 m/s之间,相对上升速度区分布在渤海上空121°—123°E,高度1 000—400 hPa,值域为-0.1—-0.15 m/s之间。随着切变线北抬,强对流回波带中、小尺度相互作用,图b和图c真实的反演所谓“列车效应”的动态过程,相当于在雷达拼图同步剖面,不同中小尺度系统相互作用,原来的下沉区演变成上升区,向西海岸带方向移动,且上速度不断增大,在中尺度区域激发出辐合、辐散的快速增长,从而激发出新的强对流天气。

#### 4.4 水汽条件

水汽条件也是导致强对流天气发生发展的重要因素之一,通常用温度露点差、相对湿度及比湿来探讨水汽条件,是一个动态因子。在水平方向分布为由山东半岛西部至渤海南部925 hPa暖湿平流(见图13a)由38°N向39°N推进;在垂直方向分布为“上干下湿”,大值区域(大于14 g/kg)覆盖渤海,高度恰好在925 hPa附近,最大值出现时间段为20时以后,比湿达18 g/kg,与水平方向暖湿平流实况(见图13b)基本吻合,随着强对流天气由强盛阶段逐渐

减弱,水汽条件也随之下降(见图 13c),02时覆盖渤海大值区域(大于  $14\text{g/kg}$ )与20时对比明显减小,其高度降至  $900\text{ hPa}$  以下,预示强对流天气趋于减弱。

#### 4.5 假相当位温

另外一个值得关注的热力因子为假相当位温,

是一种守恒的量,可以利用它来分析大气的热力性质。大尺度背景下,假相当位温等值线密集区附近有利于涡旋的发展,把大值区和能量场空间分布作为强降水发生的必要条件。在中尺度系统分析中,作为饱和气层静力稳定度的基本判据。 $\Delta\theta_{se}$  整个空间  $1\,000\text{—}300\text{ hPa}$  垂直值域分布为低层大(见图 14),中

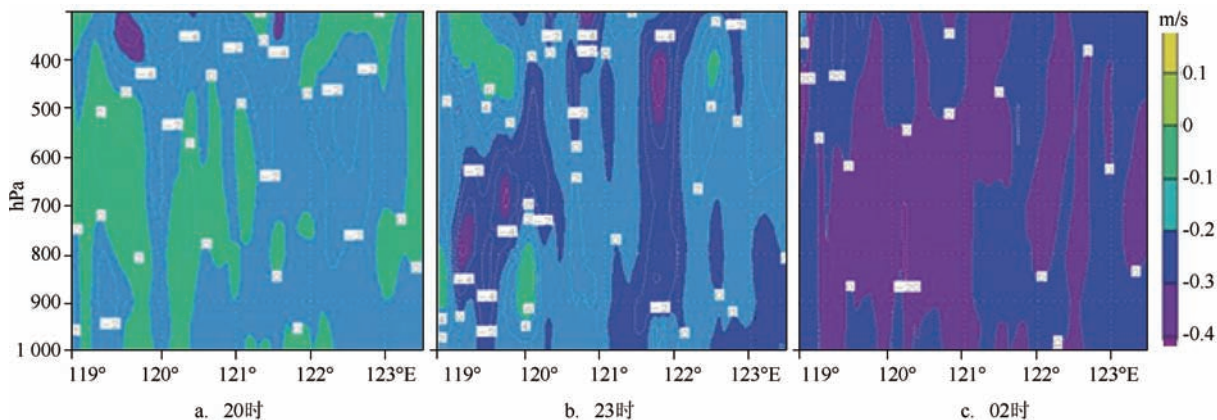


图 12 2015 年 8 月 31 日 14 时初始场 WRF 模式  $39^\circ\text{N}$  垂直速度剖面

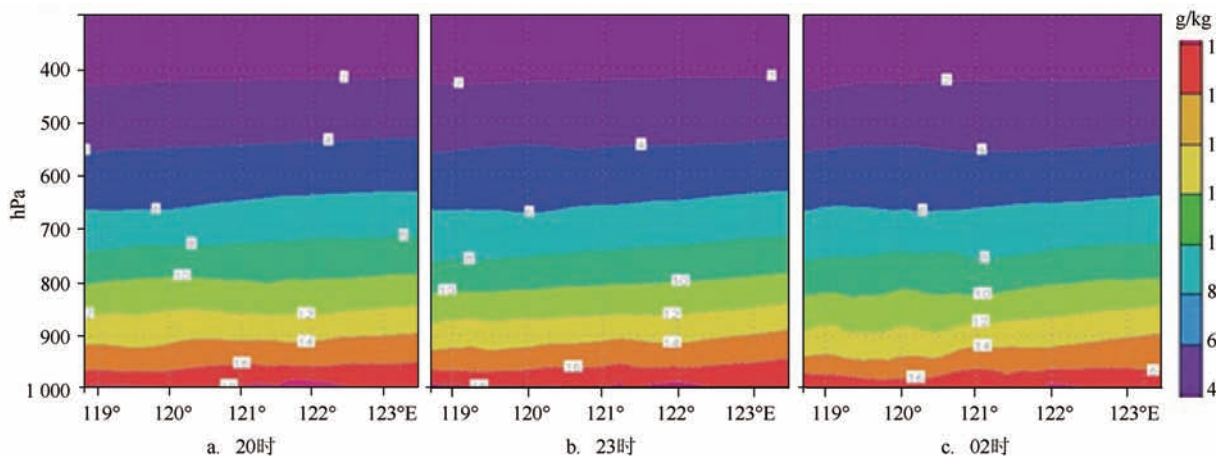


图 13 2015 年 8 月 31 日 14 时初始场 WRF 模式  $39^\circ\text{N}$  比湿剖面

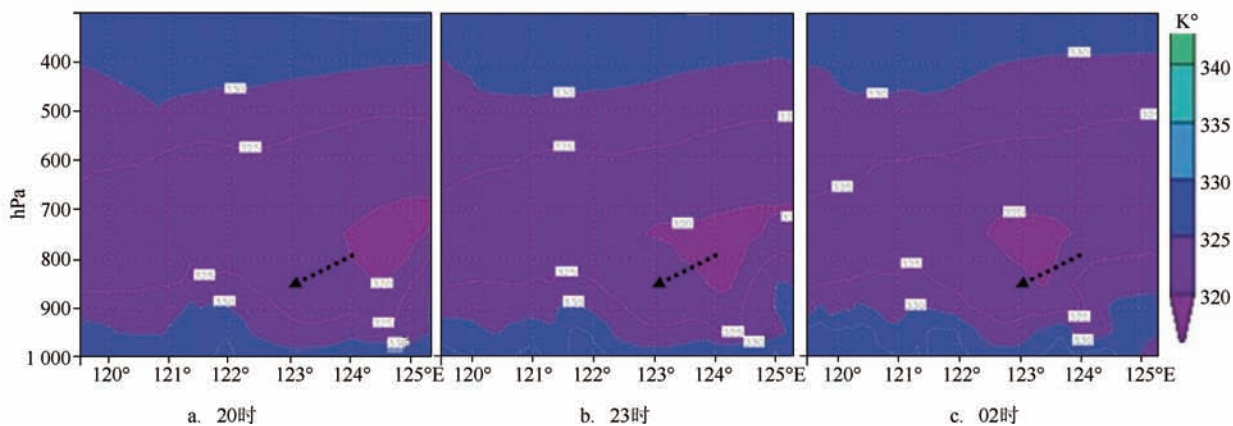


图 14 2015 年 8 月 31 日 14 时初始场 WRF 模式  $39^\circ\text{N}$  假相当位温剖面

间层小,高层大有利于对流天气发生发展,从20—02时中尺度低值气团(280°K)前沿由124°E向西推进到123°E附近,高度下降,在辽东湾东北 $\Delta\theta_{se}$ (925—700 hPa)较弱干冷切入,相对于39°N以南海区有利对流系统的发生,而相对39°N以北区域及落区不利于发生发展。

## 5 可预报性探讨

可预报性的研究始于早期的数值预报时空尺度预报极限问题,Kalnay<sup>[8]</sup>认为大气的“可预报性是有限的”,丁一汇等<sup>[1]</sup>认为“可预报性与所预报的运动尺度有密切关系”,且随时间有很大变化。在环渤海一些重大灾害性个例技术总结中常有历史罕见或突发性天气的说法,从另一个侧面反映出了多种数值预报方法在不同尺度天气系统的预报难度,EC、T639及GRAPES数值模式是目前气象部门主要指导产品,在陆地细网格预报与WRF模式输出降水落区和量级没有太大差异,但在海岸带至近海海域两次重大天气过程中出现明显的空、漏报失误,尤其是海区由南向北移动的强对流中 $\beta$ 、 $\gamma$ 尺度系统的预报能力有限<sup>[9-10]</sup>。海洋气象WRF中尺度数值模式提供了高时空分辨率的大气稳定度等物理量信息,考虑了大气层结分布,能够反映大气的不稳定度,被广泛用于诊断强对流天气发生的可能性。海洋强对流预报不是平移陆地预报方法,寻找与雷达监测+数值模式的时空尺度相匹配的预报因子,延长中尺度影响系统的预报时效,将进一步增强“实际”的可预报性。

### 5.1 渤海雷达监测强对流时效订正

单部雷达对强对流天气发生、发展的预警时效不足1 h;多部雷达综合拼图可将预警时效提前2—3 h。

### 5.2 海洋气象WRF强对流预报时效订正

多家数值预报产品天气学检验结果进一步说明WRF模式在近海海区的预报能力:2014年3月—2016年3月WRF降水落区预报 $T_s$ 值为18/26,EC为14/26,T639为12/26。EC、T639为全球模式,一天输出2次;WRF为区域模式,分辨率相对高,参数化

处理偏重于海洋,一天输出4次,可连续订正主观预报方法。显然WRF模式在海洋中尺度系统资料同化、海气耦合、参数化方案优于其它模式,硬件要求和运行环境标准低且灵活性强,因此得到沿海台站及科考船舶的普遍应用。

本次个例分析表明:用WRF CAPE14时初始场运行结果订正08时预报产品,预警时效可后延8—12 h,预期带来的海区服务效果为正值。CAPE的20时初始场运行结果的大值区域更接近雷达拼图,但输出时间延迟6 h,仅可以作为后期预报能力对比分析。对于渤海西路、北路入海强对流天气预报可以采用EC+T639+雷达监测网模型,相对于南来入海强对流天气预报可以采用WRF物理量+雷达监测网模型,可能是目前提升海区强对流预警方法的有效途径之一。

## 6 结论

海洋强对流天气是目前灾害天气预警技术难点之一。大多数渤海强对流天气系统是在大气西风带环流背景下,由陆地西部或北部生成后移向海区的,直接由渤海南部区域生成的强对流系统移向西北方向的个例甚少。分析结论如下:

(1)08—20时渤海湾一线925—850 hPa切变线东移增强,08时临近探空 $K$ 指数35℃、SI指数-1.81℃、CAPE为166 J/kg,垂直风切变16 m/s,导致天津一线的强对流天气发生。20—02时其前部低层925 hPa“暖式切变线”北抬,20时 $K$ 指数32℃,SI指数1.36℃,CAPE达383 J/kg,垂直风切变为19 m/s,对流性不稳定能量增强,在渤海中部的切变线附近诱发多个中 $\gamma$ 、 $\beta$ 尺度强对流风暴单体,在雷达回波“列车效应”下,造成了秦皇岛近海新一轮强对流天气过程;

(2)在渤海湾一带生成的多单体风暴16时雷达反射率因子强回波带水平尺度230×80 km,强度40—50 dBz,移向W→E向,移速为20→30 km/h,对应天气短时强降水、雷电等;3 h后东移至莱州湾维持发展,20时渤海南部海区初步生成的强对流回波带北抬发展,强回波带水平尺度350×80 km,强度40—55 dBz,移向SSW→NNE向,移速为30→40 km/h,23时在渤海中部的切变线附近诱发多个中 $\gamma$ 、 $\beta$ 尺度强

对流风暴单体与主体回波带移向成 $90^\circ$ 交角,水平尺度 $30\times 50\text{ km}$ ,强度 $50\text{—}55\text{ dBz}$ ,移向 $\text{SE}\rightarrow\text{NW}$ 向,移速为 $50\rightarrow 60\text{ km/h}$ ,具有明显的向前线性传播特征,即雷达回波“列车效应”。03时中部海区回波带出现断裂,强度下降至 $30\text{—}40\text{ dBz}$ ,04时趋于消亡;

(3)WRF模式数值预报降水落区量级偏小,但北移趋势预报优于其他产品;CAPE 08时初始场运行结果误差大于14时,逐小时强对流回波带演变与925 hPa切变线和CAPE高值区较一致;23—02时渤海低层水汽被暖式切变线西南气流源源不断地输送到辐合线上空,、强垂直运动和边界层水汽辐合触发CAPE的释放,有利于中小尺度对流单体及其次级垂直环流的维持、发展,从而“列车效应”得以维持;在辽东湾北部 $\Delta\theta_{se}(925\text{—}700\text{ hPa})$ 较弱干冷切入与对流系统的发生、落区有一定对应关系;雷达监测网20时订正时效为2—3 h,WRF模式14时初始场运行预警订正时效为8—12 h。

### 参考文献:

- [1] 丁一汇. 高等天气学[M]. 2版. 北京: 气象出版社, 2005: 309-311.
- [2] 李延江, 陈小雷, 景华, 等. 渤海强对流天气监测及概念模型初建[J]. 海洋预报, 2013, 30(4): 45-56.
- [3] 卢焕珍, 赵玉洁, 俞小鼎, 等. 雷达观测的渤海湾海陆风辐合线与自动站资料的对比分析[J]. 气象, 2008, 34(9): 57-64.
- [4] 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.
- [5] 贺靛, 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.
- [6] 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.
- [7] 孙素琴, 郑婧, 支树林, 等. 一次由“列车效应”引发的梅雨锋暴雨研究[J]. 高原气象, 2015, 34(1): 190-201.
- [8] Kalnay E. 大气模式资料同化和可预报性[M]. 蒲朝霞, 杨福全, 邓北胜, 等译. 北京: 气象出版社, 2005: 196-212.
- [9] 李延江, 陈小雷, 张宝贵, 等. 渤海西海岸带大暴雨中尺度云团空间结构分析[J]. 高原气象, 2013, 32(3): 818-828.
- [10] 梁卫芳, 杨育强, 薛允传. 自动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.

## The monitoring and the study on a severe convective weather caused by warm shear line in the Bohai sea area

GUO Hong-ming<sup>1</sup>, FEI Jie<sup>2</sup>, LI Yan<sup>3</sup>, LI Yan-jiang<sup>1</sup>

(1. The ocean observatory of Qinhuangdao, Qinhuangdao 066000 China; 2. The weather observatory of Huludao, Huludao 125000 China;

3. The weather observatory of Dalian, Dalian 116001 China)

**Abstract:** Using the synchronous data such as weather radar, micaps 3.2, oceanic WRF model etc, the change of a typical severe convective weather process caused by warm shear line on 31 August, 2015 in the Bohai Sea was analyzed and its predictability was also be discussed. The results show that the effective configuration of the synoptic scale system can provide some circulation conditions for the development of the mesoscale convective system at the different time. The shear line moved eastward and enhanced at the 925 hPa and 850 hPa in Bohai Bay from 08:00 to 20:00, the index K was  $35^\circ\text{C}$ , index SI was  $-1.81^\circ\text{C}$ , the CAPE was  $166\text{ J/kg}$  and the vertical wind shear was  $16\text{ m/s}$  in the stratification curve at 08:00 A.M, because of these, the severe convective weather occurred in Tianjin. The warm shear line moved northward at the 925 hPa of the lower lay from 08:00 P.M on August 31 to 08:00 A.M on September 1, index K was  $32^\circ\text{C}$ , index SI was  $1.36^\circ\text{C}$ , CAPE was  $383\text{ J/kg}$  and the vertical wind shear was  $19\text{ m/s}$  at 20:00 P.M on September 1, the convective instability energy increased, several severe convective storm cell of meso- $\gamma$  scale and meso- $\beta$  scale near the shear line have been induced in the central area of Bohai Sea. Under the background of the conditions, more severe convective weather emerged

above the coastal waters. After comparing the simulated results from WRF model and the observed data, the running error of the convection effective potential energy (CAPE) was less than 14 in the initial field at 08:00 A. M. The evolution of the hourly echo strip from the strong convective system was corresponded with shear line of 925 hPa and the high value area of CAPE. The CAPE was released by the strong vertical movement and water vapor convergence of the boundary layer, being a smaller value of  $\Delta\theta_{se}$  (850—500 hPa) in north of Liaodong bay, and the cut-in of dry and cold has a certain correspondence with the occurrence and impact area of the convection system. Combined the radar monitoring network and physical quantity from WRF model could be one effective method for the warning of the severe convective system.

**Key words:** severe convection of Bohai Sea; warm shear line; the band echo; predictability