

“08. 8. 11”河北海岸带中 γ 、 β 尺度大暴雨分析

李延江¹ 高 岑² 周艳军¹ 吴 杰¹

(1. 河北秦皇岛气象台, 066000; 2. 南京大学大气科学系)

提 要: 2008年8月11日渤海西岸区的抚宁县牛头崖镇(05—06时)、唐海站(12—13时)分别出现小时雨量超100mm的突发性中 γ 、 β 尺度大暴雨天气过程。利用秦皇岛和天津CINRAD/SA雷达资料、中尺度天气学物理量诊断、河北MM5预报结果、山海关探空及自动站加密分钟资料同步分析,结合中 β 尺度回波带与降水峰值对应分析。初步得出:在同一“母体”中尺度回波带背景下,不同时刻中 γ 、 β 尺度降水系统互相扰动导致大暴雨发生,前者为普通多单体风暴,距“母体”回波带100km、300km空间剖面呈波动形态传播,与上游重力波激发有关;后者为减弱的母体回波带底部新生强多单体风暴,与海岸弱切变扰动和热力因子有关;尺度界定基于雷达GPS回波质心定位与加密站雨区面积GIS信息校对;探讨了0~1小时海岸带地区致灾暴雨的中小尺度系统可预报性因子,为临近预警时效“后延”的研究,提供一些新的预报依据。

关键词: 中尺度大暴雨 雷达回波 重力波 弱切变线 预报因子

Analysis on Meso- γ Scale and Meso- β Scale Downpour in Coastal Zone of Hebei 11 Aug. 2008

Li Yanjing¹ Gao Chen² Zhou Yanjun¹ Wu Jie¹

(1. Meteorological Observatory of Qinhuangdao, Hebei Province 066000;

2. Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University)

Abstract: A meso- γ scale and meso- β scale downpour took place at Niutouya town of Funing County that located in the western bank of Bohai Sea from 5:00 to 6:00, on 11 August, 2008. The same thing also happened in Tanghai County, and their precipitations all exceed 100 mm per hour. Using CINRAD/SA radar data in Qinhuangdao and in Tianjin, the physical quantity field of the mesoscale meteorology, MM5 model output, in Shanhaiguan, the synchronous data of the dense observations recorded once per minute, the relationship between meso- β scale echo band and the peak value of the precipitation was analyzed. The tentative

result shows that the downpour is resulted from the mutual perturbation between the meso- β scale system and the meso- γ scale system under the background of the mesoscale echo band in the same matrix at different time. The former is the common multi-cell storm with the distance of 100km away from the matrix of echo band. It can spread in wave form on the space profile of 300km, and is related to stirring of gravity wave. The latter is the strong multi-cell storm, which would emerge later on the bottom of the matrix of a weakening echo band, involved in the perturbation of weak shear and the thermodynamic factor. The scale-defined is found on radar GPS positioning of the centroid and GIS information proofing in the dense observational network. The predictable factors of meso-small scale system on disastrous downpour have been explored 0—1 hour before its occurring in the coastal zone, so that they can provide some prediction basis for early warning.

Key Words: meso-scale downpour radar echo gravity wave weak shear line predictable factors

引 言

2008年8月11日05—06时和11—13时(北京时间)在渤海西岸区的河北省抚宁县牛头崖镇、唐海站分别出现1小时雨量超100mm单站大暴雨天气,多单体风暴水平尺度分别为 $15\text{km} \times 25\text{km}$ 和 $25\text{km} \times 45\text{km}$,垂直高度为9~13km,3~4小时累积雨量达170~220mm。由于降雨强度大,降雨时段集中,牛头崖镇、唐海县城大范围积水,积水深度普遍60~70cm,部分低洼地区房屋水深1.5m,3万人受灾,经济损失惨重。次天气尺度系统背景下,时间间隔4小时,海岸带地区先后出现中 γ 、 β 尺度两起大暴雨天气,比较罕见。目前,中尺度数值产品参差不齐^[1],云图、雷达中小尺度非线性外推等^[2]处于探讨阶段,对于不明显影响系统的突发性中小尺度系统暴雨的短时预报技术仍以定性为主,可预报性偏低,一般对于中 β 、 γ 尺度降水系统 $Z-R$ 关系^[3]及非常规资料同化^[4]研究以1小时雨量为单位较多,以分钟甚少,而突发性中小尺度天气系统生命史一般1~2小时,中间1分钟雨量峰值可达4mm,10~20分累积雨量可达致灾的60mm,从临近预报服务角度分析,显然对于1小时雨量大于

100mm以上中 γ 、 β 尺度降水系统时空尺度因子与对象是不匹配的,实际预警信号时效发布不足20分钟,就是可供群众转移时间小于10分钟。在本次预报过程中,对于前期中 γ 尺度大暴雨预报,主观外推03时的中 β 尺度雷达回波带可能在10时影响本站为中雷阵雨,结果在05时回波带前部出现大暴雨,后期08时的回波带减弱,预报下午一般雷阵雨,结果12时在回波带底部又出现大暴雨,初步分析该区域0~6小时突发性暴雨空、漏报的技术原因为:在中尺度数值预报引导下,主观平移中尺度回波区,对中 γ 、 β 尺度生消机理认识不足,忽略减弱回波带“死灰复燃”的一些强对流因子,因此,对于基层台站来说,利用现有中尺度监测网从小尺度切入,充分利用雷达及非常规加密资料,寻找与预报对象时空尺度相匹配的预报因子,延长中 γ 、 β 尺度影响系统的预报时效,是增强短时临近预警能力有效途径之一。

1 天气背景、MM5检验及中尺度物理量诊断简析

1.1 天气背景

中 γ 、 β 尺度大暴雨天气的发生是次天气尺度系统背景特定条件下的产物,次天气尺

度与中尺度相互作用,必然导致中低层风场、气压、湿度场短时变化及中 γ 、 β 尺度系统的衍生。而突发性中小尺度大暴雨的强度、出现的地点又与大气稳定度、动力因子、水汽条件及特殊地理环境有十分密切的关系。由于强降水出现在 06 时和 12 时前后,所以 08 时形势场可以近似代替本次过程的空间变化背景资料。在 11 日 08 时(北京时,下同)500hPa 图上(图 1),秦皇岛地区为次天气尺度弱低槽,地面为弱的均压场,950hPa 上,一支来自渤海的东风暖湿气流维持了 8~12 小时,为先后 2 个单站大暴雨天气发生,提供了必要的形势场条件。从图 2(见彩页)初步看出 05—06 时中 γ 尺度大暴雨区距“母体”回波带 170km,是间接影响;而 12—13 时中 β 尺度大暴雨落区为减弱的母体回波带底部新生强多单体风暴,是直接影响;下面河北海岸带地面中尺度监测网(有 200 个加密雨量未标注)实时资料和中尺度物理量诊断模式(60km $\times$ 60km)格点资料的进一步分析,增强了时空尺度的分辨率,为中 γ 、 β 尺度大暴雨的基本特征及异同点分析提供一些客观依据。



图 1 2008 年 8 月 11 日 08 时(北京时)500hPa 高度场、风场($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)中 γ 、 β 尺度降水落区

在本次预报过程中,对于前期中 γ 尺度大暴雨预报,主观外推 03 时的中 β 尺度雷达回波带可能在 10 点影响本站为中雷阵雨,结果在 05 时回波带前部出现大暴雨,后期 08 时的回波带减弱,预报下午一般雷阵雨,结果

12 时在回波带底部又出现大暴雨。初步分析该区域 0~6 小时突发性暴雨空、漏报的技术原因为:对中 γ 、 β 尺度生消机理认识不足,忽略减弱回波带“死灰复燃”的一些强对流因子,但中尺度物理量场分析的垂直速度、饱和比湿及中尺度监测网实时资料对 0~3 小时预报订正尚有指示作用。

1.2 水汽条件中尺度物理量诊断

应用北京大学中尺度物理量诊断模式(60km $\times$ 60km)格点资料对 11 日 08 时(北京时,下同)105°E 为中心,沿 39°N 纬向比湿剖面(图 3),水汽条件^[5]分析是短时强降水预报着眼点之一,充沛的水汽供给和短期补充是维持短时间里中 γ 、 β 尺度强降水的重要条件,尤其是不同层面湿平流的宏观动态叠加,中层水汽水平输送主要来自于中低层 700hPa 次天气尺度的西南—南暖湿空气平流,比湿大于 $8\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$;低层渤海^[6]高湿区输送则来自 950 hPa 以下东—东南风,比湿大于 $14\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$;雷达 VWP(图略)上,950hPa 附近维持 6~8 小时东南—东风,把渤海低层的暖湿气流迅速地向西岸区上风坡输送;01—05 时地面场暴雨区临近 5 个加密自动站(图略)相对湿度由 84% 升至 95% 并维持少变,为中 γ 、 β 尺度大暴雨提供了充沛的水汽条件,是 1 小时降水达到 100mm 主要因素之一。

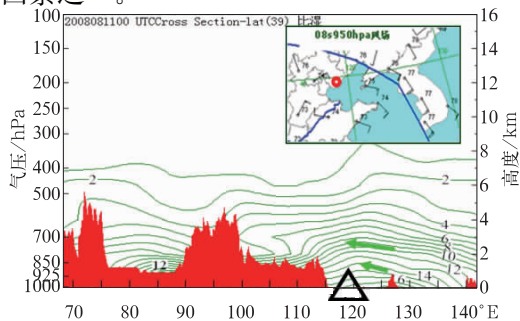


图 3 2008 年 8 月 11 日 08 时 39°N 比湿纬向剖面
 Δ 为强降水区域

1.3 垂直速度中尺度物理量诊断

图4给出了11日08时(北京时)105°E为中心,沿39°N纬向垂直速度剖面。由图4可以看出此次过程从低层至200hPa均为上升区,−3.6hPa·h^{−1}最大值区域在5~6km之间,接近于两个大暴雨区上空,在东—西向100~125°E有两组中 β 天气尺度上升与下沉区,12小时后(图略)东移入海,最大值区域高度降至3~4km,数值也下降为−2.8hPa·h^{−1}。08时散度场低层950hPa中心值为+12hPa·h^{−1}辐散区(图略),对应300hPa中心值为+12hPa·h^{−1}辐散区(图略),这种次天气尺度环流背景下的垂直波动引起的中尺度上升与下沉运动的交替变换,导致不同层面中 β 天气尺度水平风场的辐合辐散,为前期 γ 尺度强降水系统的发展和 β 尺度后期新生提供了必要动力^[7]条件。

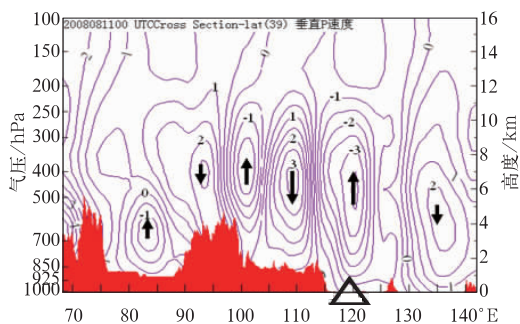


图4 2008年8月11日08时垂直速度剖面
Δ为强降水区域

2 中 γ 尺度大暴雨分析

2.1 单站中 γ 尺度大暴雨雷达回波特征分析

天气雷达是探测降水系统的主要手段^[8],是中 β 、 γ 尺度大暴雨及强对流天气进行决策和预警的主要工具之一。目前,新一代天气雷达可提供3个基数据(RDA)和70

多个反演产品(RPG),通过PUP主用户终端供预报员选择运用,比较常用的有反射率因子、平均径向速度、回波顶高ET、风廓线VWP等。从11日03时00分(北京时)秦皇岛雷达组合反射率因子CR38图(图5,见彩页)中明显看出,在北京一线中 β 尺度混合云45dBz回波带(66km×280km)缓慢东移,其前部有多个大于50dBz中 γ 尺度的块状回波,与主回波带明显分离,在距秦皇岛雷达站89°、46km处生成55dBz最强回波区——大暴雨A区(15km×25km),移向北北西,雷达PUP产品同步认定为中气旋(图6,见彩页),在风场垂直结构上,VWP风向风速顺时针随高度增大(图7),850hPa以下为大于12m·s^{−1}的超低空东北向急流,局部放大(图6,见彩页)为普通双单体风暴(05—06时大暴雨),ET大于8km,反射率因子剖面A区 γ 尺度的回波上下强度基本一致,无弱回波区,双峰区后部偏弱,速度剖面底层径向辐合高层为发散形态,疑似重力波能量呈扇形频散所致。

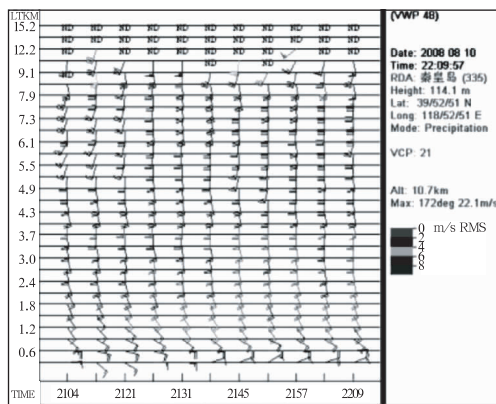


图7 2008年8月11日05—06时
秦皇岛雷达VWP

2.2 VCS/RCS垂直剖面与同步降水峰值分钟雨量分析

目前,对于中 β 、 γ 尺度降水系统研究以小时雨量为单位较多^[2],以分钟甚少,而本次

暴雨 A 区突发性中小尺度天气系统生命史为 2 小时,中间 1 分钟雨量峰值可达 3.6mm,10~20 分累积雨量可达致灾的 50mm,从超短时预报角度分析,显然对于小时雨量大于 100mm 以上中 γ 尺度(15km $\times$ 25km)降水系统时空尺度因子与对象是不匹配的。因此,用分钟雨量对应 6 分钟雷达体扫资料来寻找新的可预报因子是切入点之一。暴雨 A 站(39.50.05°N、119.23.55°E, H15m) γ 尺度降水系统持续 2 小时,总量 170mm,1 小时雨量 105mm 出现在 05—06 时,分钟最大 3.6mm 有 2 个峰值,之间间隔 20 分钟,大于 2mm 持续时间约 34 分,与雷达反射率因子、回波顶高 6 分钟资料具有一致性(图 8,见彩页)。

2.3 重力波特征分析

大气重力波的研究^[9]是中尺度天气动力学主要内容之一,卫星、雷达及加密自动站是主要监测工具。大多数学者^[10]认为“大振幅的重力波与中 β 、 γ 尺度强对流天气的发生有密切关系,主要条件是 $Ri < 0.25$ ”,当重力波造成的辐合和辐散传播到位势不稳定海岸带区域时激发对流天气的快速发展,同一时刻不同下垫面作用相反,如图 10(见彩页)同一经度距离 38km 北部半山区对流天气被抑制。而此次疑似重力波个例有 4 点,①中 γ 尺度大暴雨落区与点源“母体回波带”距离大于 100km,中间有多个大于 55dBz 次中 β 尺度(25km $\times$ 45km)的带状回波,2 小时“体扫”300km 空间双剖面有明显波动传播且有新多单体风暴产生。②山海关 08 时探空: $Ri < 0.05$, K 指数 29.3,风速垂直切变 $> 16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。③雷达回波覆盖区域地面加密自动站暴雨前 3 小时无辐合线且均压场凌晨无海风摩擦辐合,暴雨回波区邻近 2 测站气压振幅 0.1~2.0hPa,偏东风风速小波振动小于 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,与经典小振幅规则型重力波相

似。④暴雨前后 2~3 小时中尺度格点资料垂直速度中心高度 5~7km,速度大于 $3.0 \text{ hPa} \cdot \text{h}^{-1}$,垂直位移,500~800m。而另一起大暴雨,虽然与同一中尺度回波带有关,但不满足上述①②条件,恰好相反,与重力波关系小,定为另类区别,也从反方向初步确定中 γ 尺度大暴雨与重力波有关。

2.3.1 雷达反射率因子纬向 300km 空间双剖面与地面同步气压波动变化

11 日 02 时 54 分在北京一线中 β 尺度混合云 30~45dBz 回波带(66km $\times$ 280km)缓慢东移,相对 γ 尺度强对流天气区域,可以视为理论重力波点源,并引起重力波能量呈扇形频散,其前部 1.5 度仰角反射率因子有多个大于 55dBz 次中 β 尺度(25km $\times$ 45km)的带状回波(图 9,见彩页),1 小时后在下游生成新的大于 55dBz 中 γ 尺度(15km $\times$ 25km)的块状回波,雷达反射率因子纬向 300km 空间双剖面(图 10、11,见彩页),比较真实地监测到所谓的“水平方向重力波波包频散效应”和空间波动激发新对流云团发展过程。

2.3.2 北京、山海关探空

10 日 20 时北京探空渤海西岸区大暴雨落区上空 700hPa 的 $T-T_a \leq 3^\circ\text{C}$; K 指数达到 39°C , SI 指数为 -2.0,大多数条件对产生大暴雨非常有利。但是,11 日 08 时上游北京探空不稳定能量为负值区, K 指数为 29°C , SI 指数为 1.0,不利于对流发展。由此推断,不稳定能量平流作用来自于前方中 β 天气尺度回波带激发出的重力波,与上面垂直速度剖面 and 11 日 03 时 55 分雷达反射率因子纬向 300km 空间双剖面结论相近似(图略)。

2.3.3 地面加密资料

重力波发展的基本条件为 $Ri < 0.25$,风速垂直切变大于 $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,而较强的低层静力稳定度主要是增强重力波的地面气压振

幅。由于大暴雨落区恰好位于两个标准测站之间给重力波的监测带来机遇。暴雨落区恰好在秦皇岛和抚宁站之间,水平距离小于30km。通过时间分辨2分钟地面气压资料分析,暴雨回波区邻近2测站气压振幅0.1~2.0 hPa且上游抚宁站低谷出现时间比大于100mm值区提前35分钟(图12),强降水时段周期60~100分钟;近地面(图13)偏东风风速小波振动小于 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,与经典小振幅规则型波相似,结合上述物理量场及雷达双剖面分析结果表明:具有明显的重力波特征。

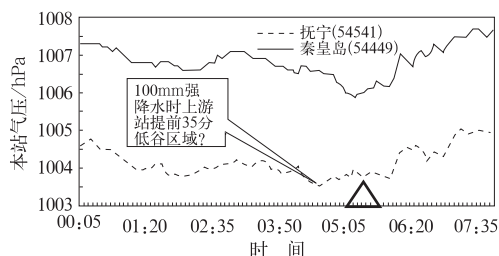


图12 秦皇岛与抚宁站8小时2分钟平均气压变化

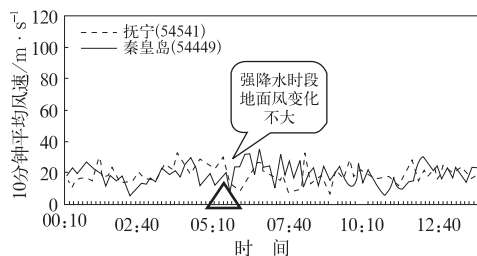


图13 秦皇岛与抚宁站8小时2分钟平均风速变化

3 单站B中 β 尺度大暴雨分析

3.1 单站中 β 尺度大暴雨雷达回波资料分析

从11日05时在北京一线中 β 尺度混合云35dBz回波带($66\text{ km}\times 280\text{ km}$)减弱东北移动,5小时后在中 β 尺度低层弱切变扰动加之中午热力条件下,使得位能、水汽潜热大量释放得到动能迅速激活减弱混合云30dBz回波带,其底部在10时30分距秦皇岛雷达

站 160° 、98km处重新加强,生成55dBz强回波区($25\text{ km}\times 45\text{ km}$),即单站B强烈双单体风暴(12—13时大暴雨),移向东南,为弱回波带新生型(图14,见彩页),对应大暴雨区,ET大于13km,VWP风场用时间代替空间,在2.1km高度有明显弱切变线(图15),900m以下持续超低空东风气流。进一步中 γ 尺度剖面分析:2.4度速度图局部放大后中层有“小尺度的速度逆风区”,中心风速 $-5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,预示着海岸带地区降水天气有增强趋势并可能伴有强雷暴天气。

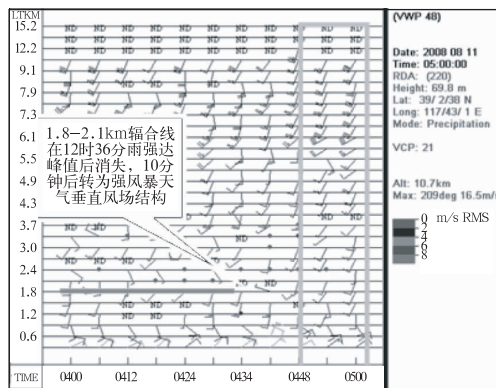


图15 2008年8月11日12—13时
天津雷达VWP

3.2 中 β 尺度强降水峰值VCS/RCS垂直剖面与同步分钟雨量分析

暴雨B($39.16.40^\circ\text{N}$ 、 $118.27.12^\circ\text{E}$, H3m)VCS/RCS3个时次垂直剖面与同步分钟雨量资料具有一致性(图16,见彩页)。VCS垂直剖面低层弱切变辐合随双单体合并快速增强,海区风向来自东—东南,径向速度随高度增大 $5\sim 27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,对应RCS垂直剖面为双质心中 β 尺度对流风暴,回波强中心与分钟雨量峰值相对应,降水系统持续3小时,总量220mm,小时最大雨量122mm,出现在12—13时,分钟最大4.6mm,有2个峰值,之间间隔10分钟,大于2mm,持续时间约30分钟。

4 中 γ 、 β 尺度暴雨异同点分析

4.1 相同点

两次大暴雨在同一次中尺度背景背景下,均与上游“母体”中 β 尺度混合云 35dBz 回波带(66km $\times$ 280km)移动有关;地理条件相似,为河北海岸带地区,降水强度与海区偏东风水汽短期输送呈正比,小时雨量均大于 100mm;均为双质心对流风暴,强降水时相对引导风静止,能量释放后,沿引导风运动,没有冰雹天气。

4.2 不同点

触发机制、尺度及出现时间不同,中 γ 尺度暴雨与重力波相关联,为普通多单体风暴,地面无辐合线扰动,而暴雨 B 是弱回波新生型与低层辐合线及热力因子有关,为强多单体风暴;水平与垂直尺度不同,VWP 有明显区别,复合多单体两者径向速度风场垂直剖面结构差异较大;准静止状态前期移向不同,持续时间不同。

5 结语

(1) 在次天气尺度低值系统背景下,950hPa 上,维持 8~12 小时东风暖湿气流,中尺度物理量场的动力及水汽因子有利于强降水,为后期单站大暴雨天气发生,提供了必要的条件;预报区上游存在“母体”中 β 尺度混合云 45dBz 回波带缓慢东移,以重力波能量频散方式激发出多个新的中 γ 尺度 55dBz 复合单体风暴,造成下游海岸带秦皇岛一线中 γ 尺度大暴雨天气;随着主体回波带减弱东移,在弱切变扰动和热力因子作用下,其底部重新生成强双单体风暴,导致唐海一线新中 β 尺度大暴雨发生;而中 β 尺度界定基于雷达 GPS 与加密站 GIS 质心定位及 RAD

基数据时空剖面。

(2) 中 γ 尺度多单体风暴发展过程,地面加密自动站暴雨前 3 小时无辐合线且均压场凌晨无海风摩擦辐合,上游中 β 尺度相互作用,是间接影响,由重力波造成的辐合和辐散传播到 100km 以外位势不稳定区域时引发中 γ 尺度对流天气,预报区 $Ri < 0.02$,风速垂直切变 $> 16\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,邻近 2 测站气压振幅 0.1~2.0hPa 且低谷出现时间比大于 100mm 峰值区提前 35 分钟,周期 60~100 分钟;与同步雷达反射率因子空间(13km $\times$ 300km)剖面基本一致,具有明显重力波特征,可作为 1 小时预报因子。而中 β 尺度强多单体风暴发展过程为:在减弱东移 30dBz 回波带底部(是直接受影响),低层弱切变扰动加之中午热力条件,使得位能水汽潜热释放得到动能迅速激活中 β 尺度混合云回波块(25km $\times$ 45km),强度由 30dBz 增至 55dBz,ET 大于 13km,VWP 风场用时间代替空间在 2.1km 高度有明显弱切变线,当降水达到峰值后随即消失,VWP 风场转标准强雷暴结构,仍可维持小时雨量大于 50mm,可作为 1 小时预报因子。

(3) 处于准静止状态中 γ 、 β 尺度 55dBz 多单体风暴,中心位置距离海岸线 6~12km,海区持续偏东风作用与高层引导气流相反,影响小尺度系统移速移向且提供充沛水汽;反射率因子局部放大后中高层均有“双核”小尺度质心,两个小 γ 尺度强对流复合体互相拖带或原地旋转,偏离引导气流,故短时相对静止,相对延长局地降水时间。

(4) VCS/RCS 垂直剖面与同步强降水峰值分钟雨量分析,中 γ 、 β 尺度双单体风暴小时雨量达到 100mm 分钟雨量分布为:2mm 分钟雨量大于 30 分钟且有两个峰值,大于 3mm 分钟雨量大于 10 分钟且有两个峰值。经 4 个预报个例回放试报,不明显系统突发性中 γ 、 β 尺度暴雨可预报时效为 30~40 分钟。

(5) 天津与秦皇岛同步资料校对,CR 值差 5dBz,间距大于 75km,唐海个例径向速度 0.5° 较一致, 1.5° 、 2.4° 差异较大,给双雷达风场资料反演带来困难。重力波研究仅限于雷达和地面加密资料特征分析,但是重力波激发中 γ 、 β 尺度强对流天气的发展取决于 Ri 。由于篇幅限制未加入云图分析及新的相似个例分析。

参考文献

- [1] 罗慧,张雅斌,刘璐,等. 高影响天气事件公众关注度的风险评估[J]. 气象,2007,33(10):15-22.
- [2] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京:气象出版社,2005:315-330,569-576.
- [3] 俞小鼎. 新一代天气雷达对局地强风暴预警的改善[J]. 气象,2004,30(8):3-7.
- [4] 寿绍文. 中尺度气象学[M]. 北京:气象出版社,2003:55-62,359-365.
- [5] 漆梁波. 特大暴雨非常规资料的初步分析[J]. 气象,2002,28(1):34-38.
- [6] 覃丹宇,江吉喜,方宗义,等. MCC 和一般暴雨云团发生发展的物理条件差异[J]. 应用气象学报,2004,15(5):590-600.
- [7] 张沛源,杨洪平,胡绍萍. 新一代天气雷达在临近预报和灾害天气警报中的应用[J]. 气象,2008,34(1):3-11.
- [8] 肖艳姣,张家国,万蓉,等. 切变线暴雨中尺度系统的多普勒雷达资料分析[J]. 气象,2005,31(2):35-37.
- [9] 王改利,刘黎平. 暴雨云团的多尺度识别方法及其在临近预报中的应用. 大气科学,2007,31(3):400-403.
- [10] 胡伯威. 梅雨锋上 MCS 的发展、传播以及与低层“湿度锋”相关联的 CISK 惯性重力波[J]. 大气科学,29(6):38-41.
- [11] 何立富,陈涛,周庆亮,等. 北京“7.10”暴雨 β -中尺度对流系统分析[J]. 应用气象学报,2007,18(5):655-665.
- [12] 曹春燕,江莹. 一次大暴雨过程低空急流脉动与强降水因子分析. 气象,2006,32(6):102-106.
- [13] 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.
- [14] 蒋年冲,刘娟,胡雯,等. 安徽夏季中 γ 尺度对流云的雷达回波特征[J]. 气象,2007,33(10):9-14.

李延江等：“08.8.11”河北海岸带中 γ 、 β 尺度大暴雨分析

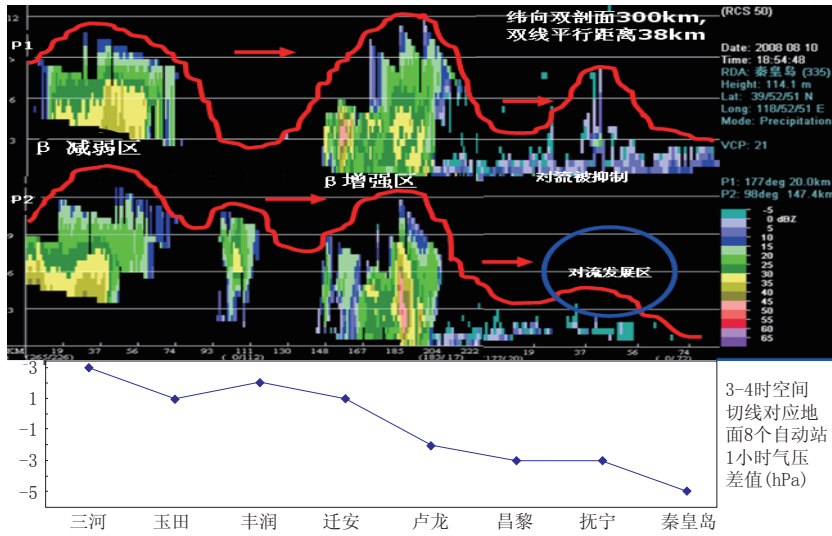


图 10 2008年8月11日02:54雷达反射率因子纬向300km空间剖面与地面1小时变压

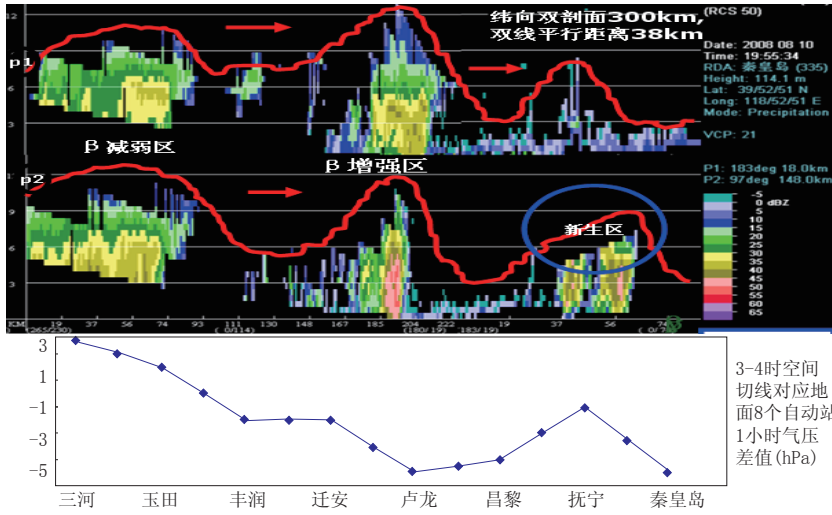


图 11 2008年8月11日03:55雷达反射率因子纬向300km空间剖面与地面3小时变压

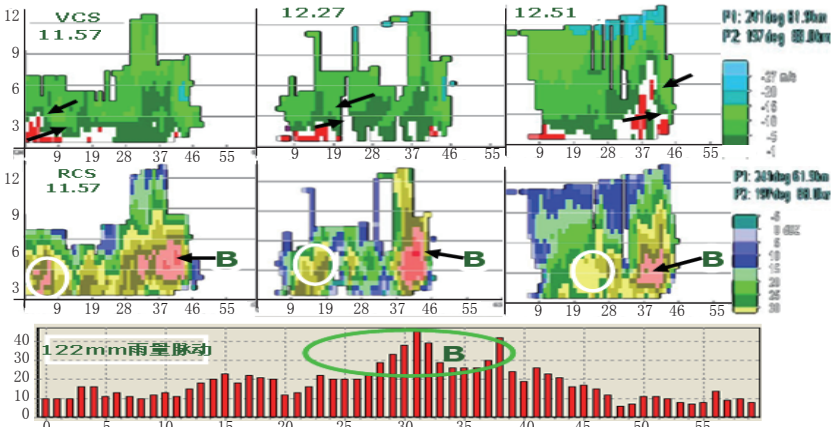


图 16 2008年8月11日12-13时VCS/RCS垂直剖面与同步单站B降水峰值分钟雨量组合

李延江等：“08.8.11”河北海岸带中 γ 、 β 尺度大暴雨分析

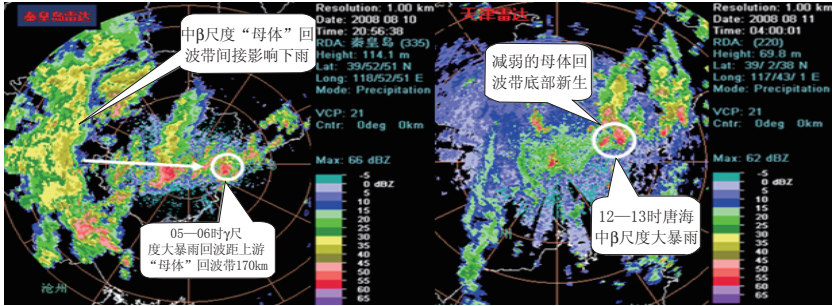


图 2 2008年8月11日中 γ 、 β 尺度大暴雨影响系统与秦皇岛、天津雷达监测实况

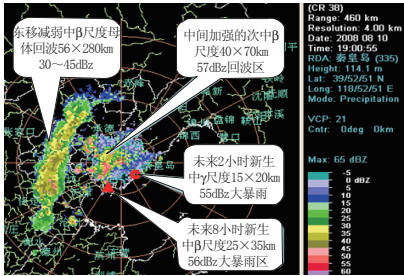


图 5 2008年8月11日03:00时
秦皇岛雷达组合反射率因子(CR38)图

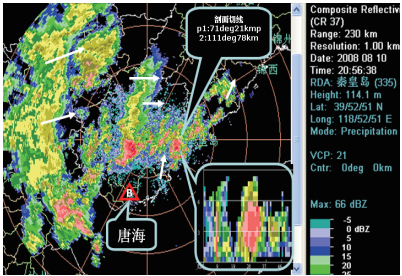


图 6 2008年8月11日04:56时秦皇岛
雷达组合反射率因子与中 γ 尺度剖面组合图

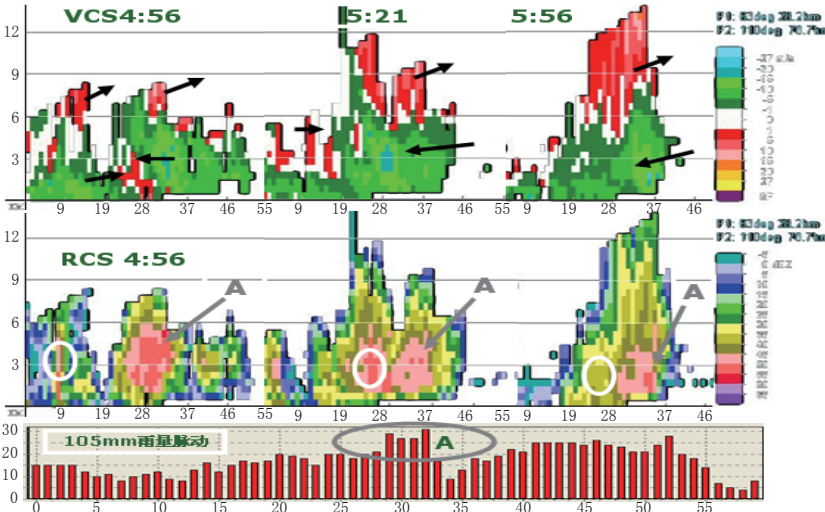


图 8 2008年8月11日05-06时VCS/RCS垂直剖面与同步强降水峰值分钟雨量分析

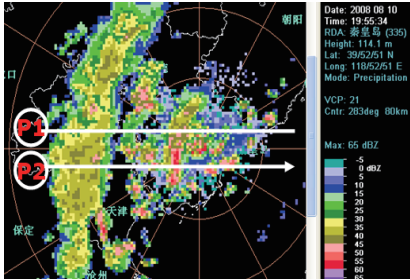


图 9 2008年8月11日03:55雷达反射率
因子纬向300km空间双剖面切线图

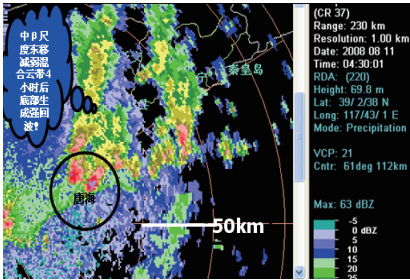


图 14 2008年8月11日12:30天津
雷达组合射率因子