

海河流域一次大到暴雨天气过程的预报分析

吕江津 王庆元 杨晓君

(天津市气象台,天津 300074)

提 要: 利用数值预报、常规天气图、各种物理量场、卫星云图、雷达资料等,对2005年7月22—24日影响海河流域的典型暴雨天气过程进行了综合分析。该过程是由高空槽、副热带高压边缘的暖湿气流和5号台风海棠减弱后的低气压云系的共同作用下产生的;其触发机制是冷空气从近地层楔入暖空气中,在高温高湿、层结不稳定等诸多有利条件下,冷空气前沿的上升气流在暖区激发出几个较旺盛的中小尺度的强对流云团造成此次的降水过程;数值预报在对流层中部冷平流入侵海河流域的时间和地点,对于强降水出现的时间和落区预报有一定的指示意义,日本模式和T213在此次海河流域强降水的落区预报上存在优势,德国模式在强降水量级的预报上最接近实况,但三家数值模式预报西太平洋副高西伸的位置不够准确,导致海河流域的降水预报的时空分布有一定误差。

关键词: 强对流 暴雨 预报

Analysis of a Heavy Rainstorm Process Forecasting in Haihe River Basin

Lu Jiangjin Wang Qingyuan Yang Xiaojun

(Tianjin Meteorological Observatory, Tianjin 300074)

Abstract: A typical rainstorm process in Haihe River Basin during 22nd-24th July 2005 is synthetically studied with numerical model, conventional observations, multiple physical indexes, satellite data and radar data etc. To be summarized, the findings from the analysis are as follows: 1) the whole process was co-developed by an upper trough, the warm-moist airflow on the edge of sub-tropical high and the low-pressure cloud system triggered by Typhoon Haitang during its collapse phase. 2) The whole process is caused by some intensely developing meso- and micro-scale convective cloud clusters which are triggered in the warm area by the updraft flow in front of cold air-mass under some favor conditions such as high temperature and moisture and stratified instability. 3) The numerical modeling forecasting has some indicative sense on the time and location of the heavy rainfall and the cold advection in the middle of troposphere that intruded into

Haihe River Basin. Compared to the model developed by Germany, Japanese model and T213 model have shown predominance on the location forecasting of the heavy rainfall in Haihe River Basin. However, the quantitative precipitation forecasting from German model is most close to the observations. As a whole, these three models all have poor accuracy in the location of the west edge of the subtropical high. This fact is thought to be one of the reasons causing the forecasting error in the temporal and spatial distribution of the heavy rainfall in Haihe River Basin.

Key Words: severe convection rainstorm forecasting

引 言

现代天气预报工作的特点是资料信息量大、数值预报产品丰富、预报工具多^[1-2]。预报员在预报业务实践中如何正确地应用好这些信息、产品、工具,制作出优质的天气预报,对提高天气预报准确率,特别是暴雨等灾害性天气的预报至关重要。气象科学家们对暴雨预报的研究作了大量的工作^[3-7],特别是近年来对华北暴雨的精细特征研究也逐渐增多^[8-10],但是暴雨的天气预报仍然是预报业务中的突出难点。2005 年 7 月 22—24 日的海河流域大到暴雨是一次典型的暴雨天气过程,对于这次典型的暴雨过程详细地分析各种现代的气象信息资料应用情况,比较各种预报工具的优劣,有助于提高暴雨的精细化预报水平。

1 天气过程概述

2005 年 7 月 22—24 日,海河流域出现区域性暴雨、大暴雨天气过程(彩图 1 为 2005 年 7 月 22 日 08 时到 25 日 08 时海河流域的实况降水量图),最大过程降水量超过 150mm,降水分布不均匀,最大降水主要出现在大清河河系。从海河流域的面雨量实况图(图 2)分析来看,区域暴雨出现时间在 22 日 08 时以后,结束时间 24 日 20 时以前。22 日 08 时—23 日 08 时,区域暴雨出现在南运

河系(属于海河流域西南部),23 日 08 时—24 日 08 时,区域暴雨出现在大清河河系(海河流域中部),24 日 08 时—24 日 20 时,区域暴雨出现在徒骇马颊河河系(海河流域东南部)。对于这次海河流域的暴雨过程,天津市气象台 21 日下午以《重要天气报告》的形式对市政府服务,预报天津市及海河流域未来三天将转入一个多雨时段,主要降水出现在 7 月 22 日夜间到 24 日,市区有大到暴雨,海河流域有区域性大雨,其中滦河、海河干流、子牙河和漳卫南运河还将出现暴雨。从过程的实况来看,天津市南部的静海和大港两个台站出现了大到暴雨,其它台站的降水以中雨为主。海河干流、滦河也主要以中雨为主,子牙河和漳卫南运河出现区域暴雨。虽然预

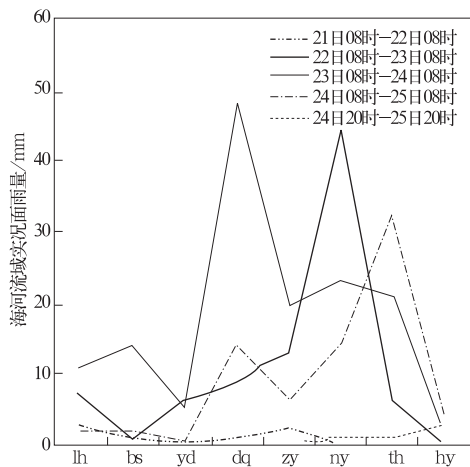


图 2 海河流域面雨量实况(单位:mm)。

图中横坐标 lh:滦河、bs:北三河、yd:永定河、
dq:大清河、zy:子牙河、ny:南运河、
th:徒骇马颊河、hy:海河干流

报和实况有一定差距,但总体来说这次海河流域暴雨过程的预报和服务效果都较好。

2 天气形势及主要影响系统

2.1 前期天气形势

从 7 月 16 日开始,副高稳定加强北抬。7 月 17 日,588 线控制天津。18 日到 19 日,588 线西脊端维持在 $105^{\circ}\sim 107^{\circ}$ 之间,592 线闭合中心位于辽东湾附近。过程前期高空一直处于副高的西南侧,几天以来维持稳定的

东南风。19 日以后,0505 号台风海棠北顶,副高开始东退,强度也有所减弱。20 日 20 时,588 线东退离开天津。

2.2 影响系统

由 2005 年 7 月 21—23 日逐日的 500hPa 位势高度场(图 3)分析可知,这次天气过程主要是受三个天气系统影响,有西风带的高空槽、副热带高压和 0505 号台风海棠减弱的低气压,关注三个系统的未来发展和配合是起报和预报落区的关键。

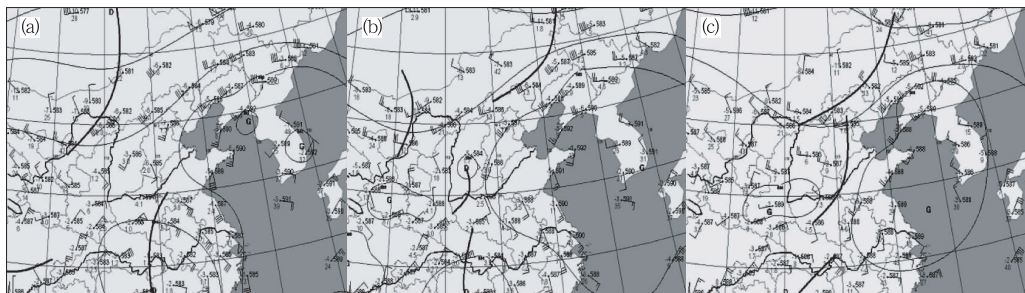


图 3 2005 年 7 月 21—23 日逐日 20 时的 500hPa 位势高度场

(a) 21 日 (b) 22 日 (c) 23 日

(1) 7 月 21 日(图 3a),海河流域受三个天气系统影响。从贝加尔湖到河套地区为高空槽,槽线位于 110°E 附近,为南北向的槽,海河流域处于高空槽前的西南暖湿气流中;西太平洋副高比较强盛,北侧边界位于 41°N 附近,西侧边界位于 118°E 附近,基本沿着海岸线分布;从华南到华中是 5 号台风海棠减弱的低气压控制。

(2) 22 日(图 3b),西太平洋副高有一个明显的西伸北抬的过程,西侧边界伸至 115°E 附近,海河流域中东部处在西太平洋副高 588 线的控制范围;0505 号台风减弱的低气压继续减弱南移,控制范围在 20°N 以南;高空槽断裂,北支槽沿着西太平洋副高的北侧继续东移,南支受副高的阻挡在山西境内生成一个小低涡,低涡后部的偏北气流和低涡前部的偏南气流在海河流域西南侧构成一个

低涡切变形势,低涡前的暖式切变伸向海河流域。这时从海河流域实况面雨量图可以看出在海河流域南北各出现一个强降水中心,北侧滦河河系的降水主要受北支槽影响。同时受低涡环流的影响,在南侧的子牙河河系也开始有降水(图 4a 为 7 月 22 日 08 时到 23 日 08 时的降水量,见彩页)。

(3) 23 日(图 3c),较强的冷空气逼迫副高向东退南撤,588 线已经撤到渤海海峡附近;河套地区的高空槽东移与南支低涡合并,合并后的深槽槽线基本在海河流域中部,且槽后的冷平流明显,槽前为明显的暖平流;减弱的低气压已经基本填塞了。受河套下游的西风槽与副高的共同影响,海河流域开始全流域下雨,天津普降中雨,局部大雨(图 4b 为 7 月 23 日 08 时到 24 日 08 时的降水量,见彩页)。

3 卫星云图与雷达资料分析

3.1 静止卫星云图分析

从云图分析这次天气过程影响时间为 22 日 08 时至 24 日 02 时,过程降水属于混和性降水,有高空槽云系产生的连续性大范围降水,也存在云系中的几个强对流单体造成的对流性降水,二者结合造成此次海河流域大到暴雨的天气过程。分析卫星云图有助于我们分析高空槽系统的移动速度和发展阶段,并预告其未来的演变;也有助于我们估计降水分布。

(1) 22 日 08 时(图 5a,见彩页),海河流域被一带状高空槽云系覆盖,该云系呈北北东-南南西走向,云系比较散乱。该云系由西南向东北偏北方向移动,移动速度比较缓慢,开始影响海河流域。

(2) 22 日 14 时(图 5b,见彩页),云系中有一个浓而白亮的对流单体在河北省南部三省交界处生成,影响海河流域南部。该云系向偏东方向移动,移动速度缓慢,移动过程中强度略加强。至 23 日 04 时,该中心移动约 2 个经距,移至山东省境内,对海河流域的影响结束。

(3) 22 日 18 时(图 5c,见彩页),在冷空气与西南暖湿气流共同作用下,在高空槽云系上的天津西南方有一个对流小单体产生,向偏东方向移动,并在移动过程中逐渐加强,22 日 20 时开始影响天津。并且不断有云系补充该云团,使其在 23 日 03 时明显加强,随云系向东北偏北方向移动,在移动过程中逐渐消散。

(4) 23 日 11 时(图 5d,见彩页),天津地区西南方向再次生成一个强对流单体,影响海河流域下游地区,该云团向东北方向移动,移动过程中强度加强,范围加大。该云团在 23 日 19 时移出海河流域。至此,影响海河

流域的高空槽云系主体已经移出,海河流域受其后部浅薄云系的影响。

(5) 24 日 02 时(图 5e,见彩页),该高空槽云系已经整体移出海河流域,至此,对海河流域影响结束。

本次预报中云图的强对流区与降水区对应关系较好,基本可以通过云图把握强降水区的位置和移动,对降水的预报有很大的参考价值。

3.2 多普勒雷达在临近预报中的应用

与静止卫星云图配合使用,多普勒雷达也是短时天气预报中的重要分析工具和预报依据。对于暴雨天气过程中的中小尺度系统多普勒雷达比卫星云图更加清晰、直观显示强天气所在位置,通过强回波滞留时间就可以判断该地区是否出现暴雨。有研究表明^[11-12],如果反射率因子超过 40dBz 的回波在一个测站滞留 40 分钟以上,该测站将出现暴雨。

对于这次在海河流域东南部出现的暴雨天气过程,通过天津塘沽的雷达就能准确知道强降水所处的位置和时间。图 6(见彩页)代表 7 月 23 日 19 时 59 分的雷达反射率因子图和基本速度图,从图中可以分析出,在雷达中心西南方向 100km 有明显的强回波,最大反射率因子达到了 55dBz,对应基本速度场有一个明显的辐合带。图 7(见彩页)代表 7 月 23 日 20 时 59 分的雷达反射率图和基本速度图。比较图 6 和图 7(见彩页)可以知道,在一个小时内西南方向 100km 处一直存在强回波带和辐合带,这种稳定少动的强回波云团和辐合带预示着在该地区会出现大的降水。从短时预报角度雷达监测能够很好地帮助预报员做出较准确的临近强对流天气预报,弥补短期天气预报在定时、定点、定量预报方面的不足。

4 物理量场诊断分析

物理量的分析和诊断在降水天气预报中有重要的作用。对于降水天气过程未发生前,物理量的分析能很好的知道降水发生所需的动力条件、热力条件是否大致满足,对于预报降水出现的时间和地点有一定的指导意义。诊断分析可以知道产生降水天气过程的动力和热力特征以及一些物理机制,给天气预报提供可靠的依据同时也能加深预报员对天气过程的理解。

4.1 水汽条件分析

水汽条件是影响强降水的关键。从7月23日20时的比湿图(图8)可以看出海河流域出现暴雨的区域就是在一个明显的湿舌内, $q=14\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 等值线基本包括了海河流域的大部分。从水汽输送(图9a水汽通量图)来看,在21日,登陆减弱的低气压的后部的东南气流建立的东南水汽通道给海河流域南部输送大量水汽,随着低气压的减弱填塞,到22日20时(图9b水汽通量图),水汽输送借助高空槽前和西太平洋副高西侧的偏南水汽通道把低纬度的暖湿气流输送到海河流域东南部,为海河流域强降水提供大量水汽条件。

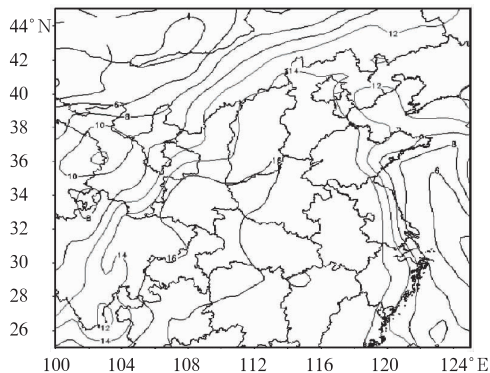


图8 2005年7月23日20时比湿图(单位: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

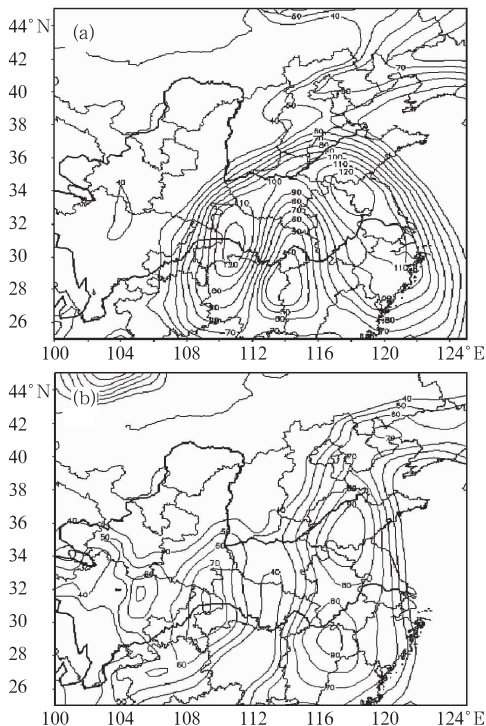


图9 2005年7月21日(a)和22日(b)水汽通量图
(单位: $10^{-1}\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$)

4.2 动力条件分析

从海河流域($35\sim 38^{\circ}\text{N}$ 、 116°E)附近的500hPa位势高度上的涡度时间序列图(图10a)上可看出,在22日,西太平洋副高西伸过程中,海河流域中部的负涡度区略有增加,随后负涡度区逐渐减弱成正涡度区,但是强降水区域正涡度区域不强。从海河流域($35\sim 38^{\circ}\text{N}$ 、 116°E)附近的700hPa位势高度的垂直速度时间序列图(图10b)上可看出,700hPa位势高度的垂直速度在海河流域中部逐渐减小。由此可见,动力条件并不有利于强降水的持续发生,这可能于高空槽不强有关。

4.3 热力条件分析

从海河流域($35\sim 38^{\circ}\text{N}$ 、 116°E)附近的

700hPa 位势高度上的温度平流时间序列图(图 11)可以看出,在对流层中部,冷平流在 21 日 08 时到 22 日 08 时主要入侵海河流域西南部和北部,这时海河流域的西南部和北部开始出现强降水。在海河流域中东部都还是较强的暖平流控制,对降水不利,但有利于能量的积累。到 23 日 20 时,海河流域中东部

部有较强的冷平流入侵,这是海河流域中东部开始出现强降水。可见在这次过程中在对流层中层,冷平流的入侵时间和地点对于海河流域的强降水出现的时间和地点有很好的对应关系。

5 数值预报产品的分析和检验

5.1 数值预报产品的形势分析

由于这次暴雨天气过程的主要大尺度影响系统是西太平洋副高,实况分析反映在 7 月 22 日西太平洋副高确有一次西伸过程。因此,对这次过程的暴雨落区预报成败主要取决于对欧洲中心和 T213 的形势数值预报产品释用。

从图 12a 欧洲中心数值预报分析看,对西太平洋副高的中心位置的预报三个时次有明显分歧,19 日预报的中心位置最偏离实况,向东南偏差了约 5 个纬度,21 日预报的中心位置最接近实况,向东南偏差了约 1 个纬度。对于 588 线的西伸脊点预报,虽然三个时次预报的都不是很准确,但是比较三个时次,19 日与 20 日的西伸脊点明显偏南,21 日预报西伸脊点纬度接近实况,但经度偏东约 3° 。对于 588 线的北界位置,从 19 日到 21 日的预报位置均偏南,但越来越接近实况。由此可以看出,当初始场时间越靠近实况时间,欧洲中心数值模式预报西太平洋副高的中心位置、西伸脊点和北界位置越接近实况,同时这也表明对这次天气过程欧洲中心的数值形势预报是在不断地修正结果,向实况稳定接近。

从图 12b T213 数值预报分析看,对于西太平洋副高的中心位置的预报三个时次的预报变化相对较小,偏离实况中心位置没有明显的区别,相差约 3 个经纬度。对于 588 线的西伸脊点,初始场为 19 日的 T213 模式很好的预报了西脊点的位置,但是 20 日和 21

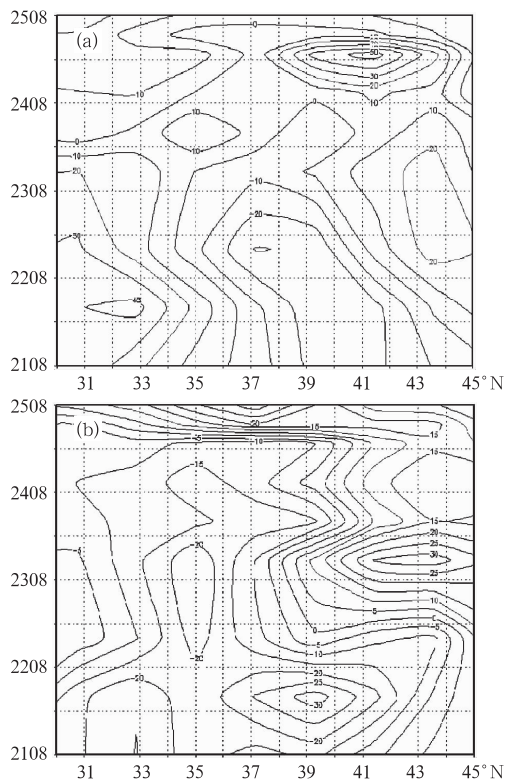


图 10 2005 年 7 月 21—25 日 116°E 500hPa 涡度(单位: 10^{-6}s^{-1})(a)和 700hPa 垂直速度(单位: $10^{-5}\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)(b)时间序列图

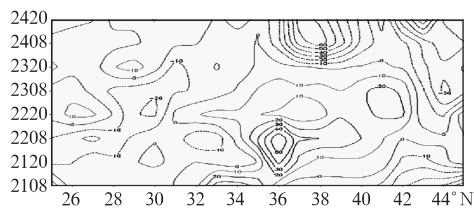


图 11 2005 年 7 月 21—24 日 116°E 700hPa 温度平流时间序列图

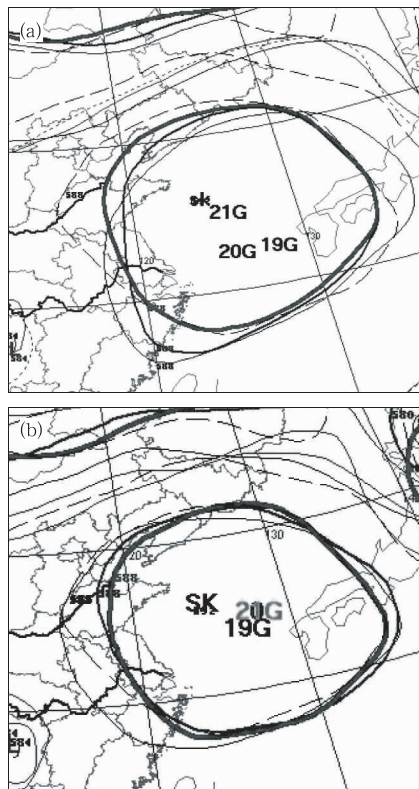


图 12 欧洲中心数值预报(a)和 T213(b)以 19 日 20 时、20 日 20 时、21 日 20 时三个时次为初始场,预报 22 日 20 时西太平洋副高位置图(虚线代表 22 日 20 时实况图,最细实线代表 19 日为初始场预报图,较粗实线代表 20 日为初始场预报图,最粗实线代表 21 日为初始场预报图,其中 sk 代表实况中心位置,19G 代表 19 日为初始场预报 22 日 20 时的中心位置,20G、21G 类似 19G)

日为初始场预报的结果反而偏离了实况。对于 588 线的北界位置基本与实况比较一致。

综合以上分析可以知道,对于这次天气过程 T213 数值预报在预报西太平洋副高中心位置和 588 线的北界位置上要优于欧洲中心数值模式。但从模式的预报修正能力看,对于欧洲中心数值模式,当初始场时间越靠近实况时间,欧洲中心数值模式在预报西太平洋副高的中心和西脊点位置越接近实况。而对于 T213 数值模式,随着初始场时间越靠近实况时间,有时会出现预报偏差而不稳定的现象。

5.2 T213、日本、德国三家降水数值预报产品和实况的对比分析

以下对 7 月 21—24 日 T213、日本、德国三家数值预报中 24 小时降水预报与实况进行比较分析。

由图 13 可以看出,21 日 08 时到 22 日 08 时,实况降水有三个中心,降水落区位于副高的边缘,为西南东北向,成弓型分布。从 T213 数值预报降水落区和量级来看,预报出了三个降水中心,落区接近实况,但降水中心量级偏小;日本数值预报报出了两个降水中心,落区与实况比较一致,对海河流域西北部

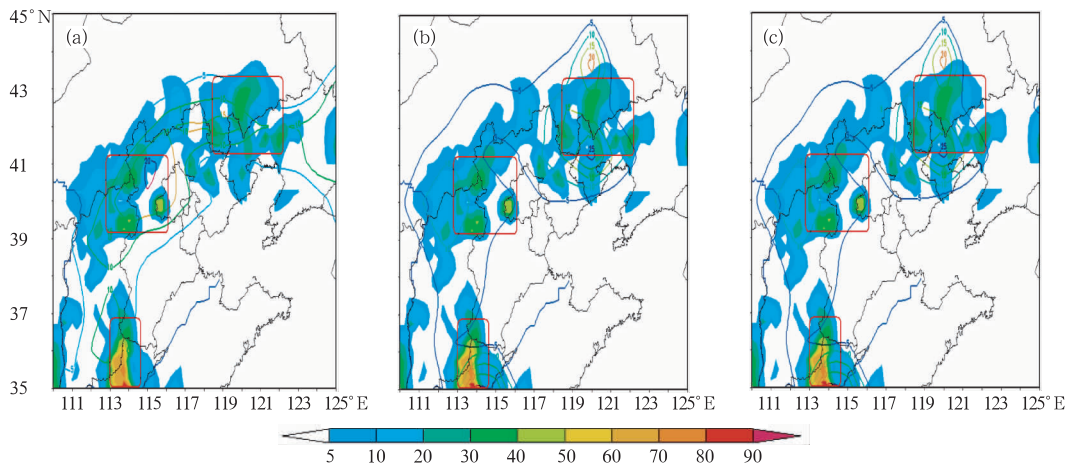


图 13 2005 年 7 月 21 日 08 时—22 日 08 时 T213、日本、德国三家数值预报降水预报产品和实况叠加图 (a) T213 降水预报和实况图;(b) 日本降水预报和实况图;(c) 德国降水预报和实况图 (图中等值线表示数值预报降水量,阴影表示实况降水,三个框标志的是强降水中心,单位:mm)

的降水中心预报不理想,降水量级偏小;德国数值预报报出了三个降水中心,降水中心量级比较接近实况,但其落区预报与实况相差较大。

由图 14 可以看出,22 日 08 时—23 日 08 时实况降水区呈南北向,暴雨区域主要集中在海河流域中南部,暴雨区域比较分散,最大降水量级达到 150mm 以上。T213 的降

水预报强中心位置与实况最为接近,但其空报区域较大,预报最大降水中心为 45mm,量级比实况偏小;日本的降水预报落区比实况略偏大,降水量级与实况相差较大,最大的降水中心仅为 30mm;德国降水量级预报与实况最接近,最大的降水中心达到 100mm,但对强降水落区预报比实况偏北,相差最大。

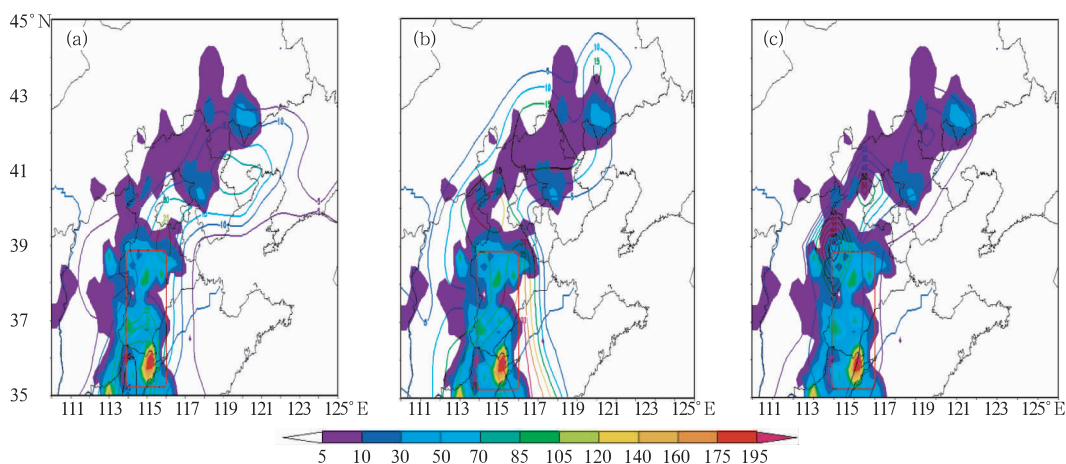


图 14 2005 年 7 月 22 日 08 时—23 日 08 时 T213、日本、德国三家数值预报降水预报产品和实况叠加图

(a) T213 降水预报和实况图;(b) 日本降水预报和实况图;(c) 德国降水预报和实况图

(图中等值线表示数值预报降水量,阴影表示实况降水,三个框标志的是强降水中心,单位:mm)

从 23 日 08 时—24 日 08 时的 T213、日本、德国三家数值预报降水图和实况图(图略)来看,实况是在海河流域的中东部出现大范围的暴雨区,最大暴雨区超过了 100mm。T213 预报的最大降水量中心是 30mm,与实况相差较大,但预报落区比较接近实况;日本和德国的数值预报最大的降水量中心达到了 50mm,其中德国的预报的中心位于天津的南部,比实况略偏北,日本预报 50mm 的暴雨区与实况相比略偏南,两家预报的暴雨区域都比较小。

综上所述,通过比较这三种业务中常用的数值预报降水产品可以看出,T213 模式的降水预报产品对降水中心位置的预报较好,日本

模式的降水预报产品在落区上较好,而德国模式的降水预报产品在中心量级上较好。

6 结 语

各种工具中最基本的仍然是天气实况图,数值预报产品是预报员判断天气系统演变和伴随产生何种天气的重要参考依据;气象卫星云图能够直观地看到各种天气系统下产生的云系及演变情况,同时云图也可以帮助识别云系对应的天气系统;物理量场的诊断也是影响天气的重要指标,可辅助判断降水强度、落区以及确定天气性质;多普勒雷达主要用于分析中小尺度天气系统,对临近发

生的灾害性天气进行短时预报,是短期天气预报的重要临近订正工具。通过对 2005 年 7 月 22 日到 24 日影响海河流域暴雨天气过程的预报总结,可以得到以下主要结论:

(1) 本次过程是由高空槽、副热带高压边缘的暖湿气流和 5 号台风海棠减弱后的低气压云系的共同作用下产生的;其触发机制是冷空气从近地层楔入暖空气中,在高温、高湿及层结不稳定等诸多有利条件下,冷空气前沿的上升气流在暖区激发出几个较旺盛的强对流云团造成此次的降水过程。

(2) 数值预报能够较准确的预报环流形势变化,但对副热带高压的位置进退预报还有一定的误差。比较常用的日本、T213、德国数值预报的降水预报产品发现,在这次过程预报中 T213 模式的降水预报产品对降水中心位置的预报较好,但预报的降水空报的范围比较大,日本模式的降水预报产品在落区上较好,而德国模式的降水预报产品在量级上较好。

(3) 云图分析显示这次降水是混和性降水,有高空槽云系产生的连续性大范围降水,也存在云系中的几个强对流单体造成的对流性降水,二者结合造成此次海河流域大到暴雨的天气过程。

总之,综合利用天气图形势、卫星云图、多普勒雷达、各种物理量诊断和数值预报产品等是这次预报成功的经验,但众多的资料

和参考预报产品也增加了业务预报难度,检验和对比数值预报及各种预报工具是今后工作的重点。

参考文献

- [1] 中央气象台. 天气预报方法与业务系统研究文集[M]. 北京:气象出版社,2002.
- [2] 王彦,吕江津,王庆元. 一次雷暴大风过程的中尺度结构特征分析[J]. 气象,2006,32(2):75-80.
- [3] 丁一汇,薛纪善,王守荣,等. 1998 年亚洲季风活动与中国的暴雨/洪涝,南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用[M]. 丁一汇和李崇银主编,北京:气象出版社,1-4.
- [4] 王键,寿绍文. “03.8”辽宁地区暴雨过程成因的诊断分析[J]. 气象,2003,31(4):18-21.
- [5] 谭桂容,孙照渤. 西太平洋副高与华北旱涝的关系[J]. 热带气象学报,2004,20(2):206-211.
- [6] 崔晶,张丰启. 山东半岛东部中尺度大暴雨过程成因分析[J]. 气象,2002,29(10):33-37.
- [7] 徐祥德,陈联寿. 环境场大尺度锋面系统与变性台风结构特征及其暴雨的形成[J]. 大气科学,1998,22(5):744-752.
- [8] 毛冬艳,乔林,陈涛,等. 2004 年 7 月 10 日北京暴雨的中尺度分析[J]. 气象,2005,31(5):42-46.
- [9] 杜青文,任荣彩,康锡言. “96.8”河北特大暴雨地面中尺度系统分析[J]. 气象,1999,25(7):25-28.
- [10] 李云,缪启龙,江吉喜. 2005 年 8 月 16 日天津大暴雨成因分析[J]. 气象,2007,33(5):83-88.
- [11] 汤达章,傅德胜. 暴雨回波跟踪及临近预报初探[J]. 南京气象学院学报,1992.
- [12] 余小鼎,姚秀萍. 新一代天气雷达原理与应用讲义[Z]. 北京:中国气象局培训中心科学技术培训部.

吕江津等：海河流域一次大到暴雨天气过程的预报分析

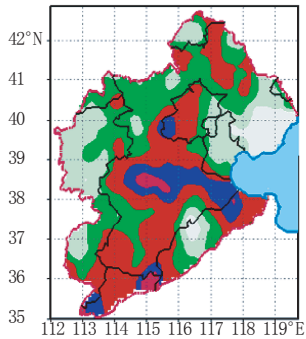


图1 2005年7月22日08时到25日08时海河流域降水量实况

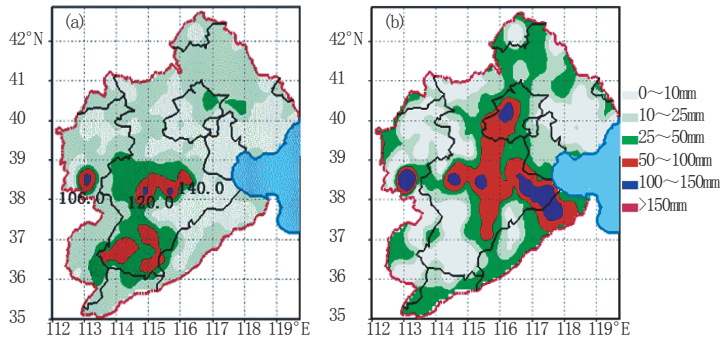


图4 2005年7月22日08时至23日08时 (a) 23日08时—24日08时 (b) 日降水量

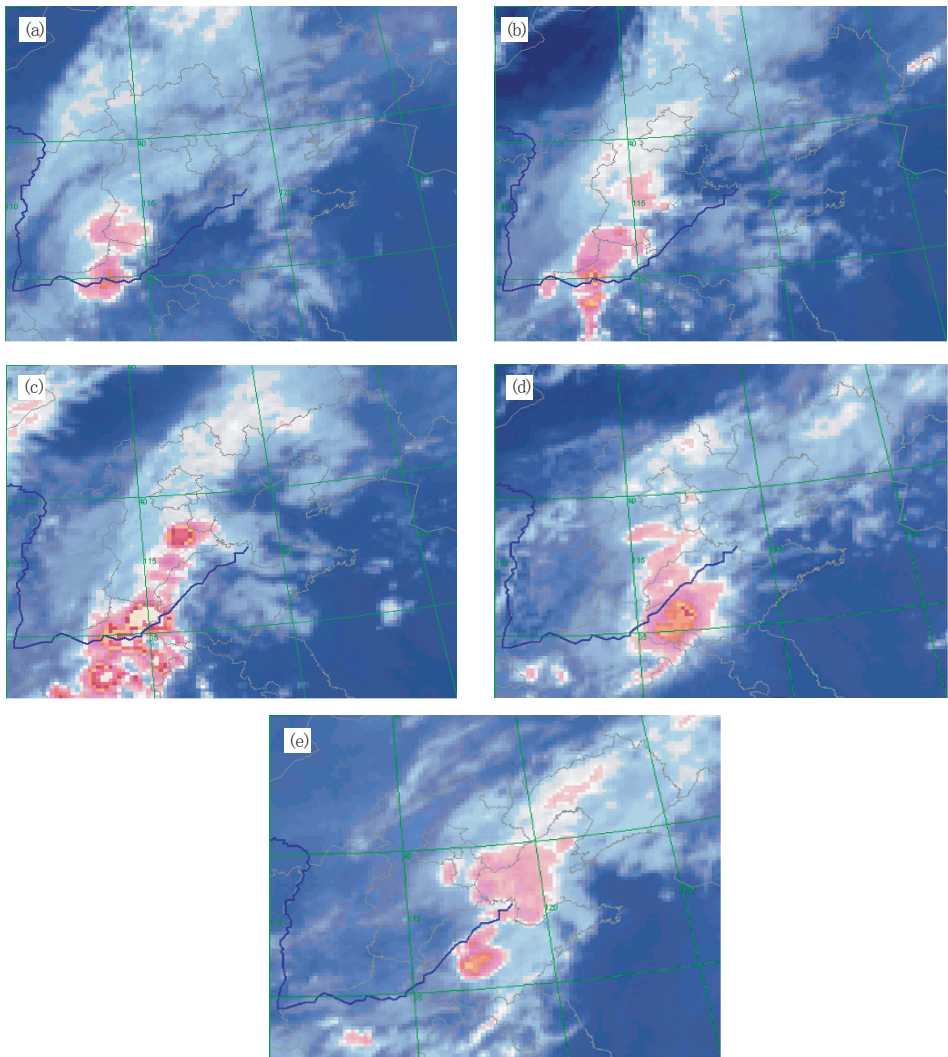


图5 2005年7月22-24日主要时段的静止卫星云图
(a) 22日08时 (b) 22日14时 (c) 22日18时 (d) 23日11时 (e) 24日02时

吕江津等：海河流域一次大到暴雨天气过程的预报分析

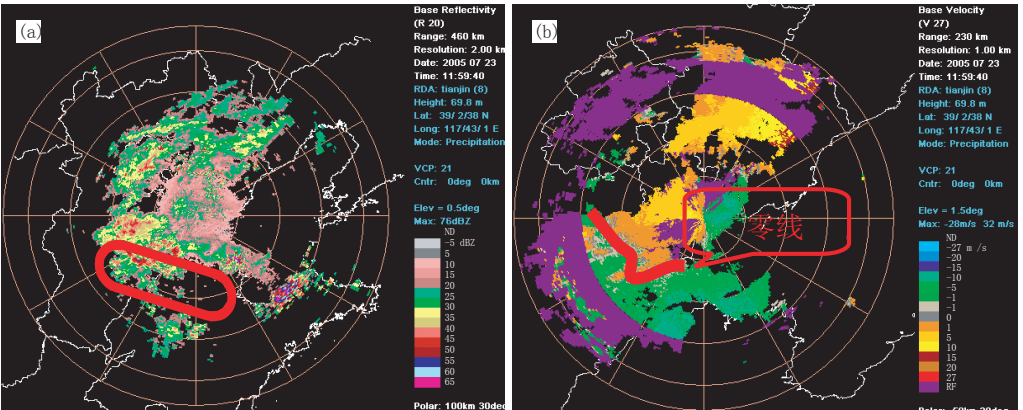


图6 2005年7月23日19时59分反射率因子图(a)和同一时刻的基本速度图(b)

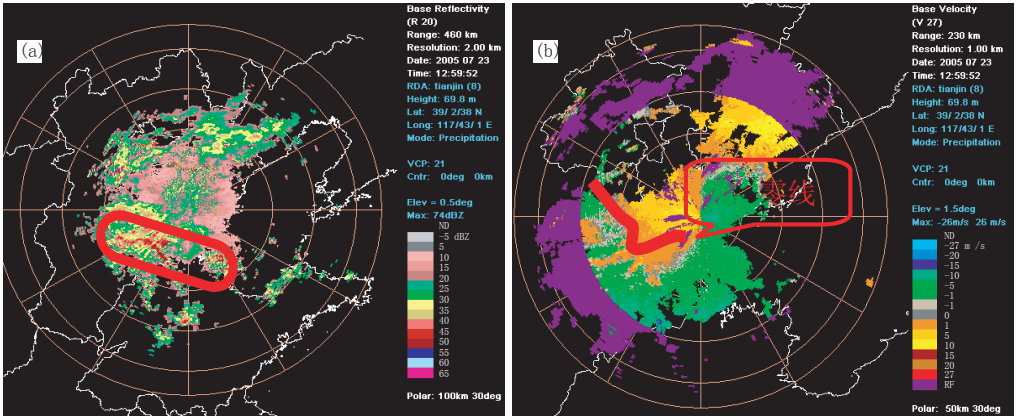


图7 2005年7月23日20时59分反射率因子图(a)和同一时刻的基本速度图(b)