

侯淑梅,李灿,王月兰,等.一次暴雨过程预报的多模式 NWP 产品与物理参数的综合分析应用.暴雨灾害,2009,28(1):36-42

一次暴雨过程预报的多模式 NWP 产品与物理参数的综合分析应用

侯淑梅^{1,2},李 灿³,王月兰⁴,亓翠云⁵,孙忠欣²

(1.山东省气象科学研究所,济南 250031;2.山东省东营市气象局,东营 257091;
3.中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074;4.山东省滨州市气象局,滨州 256612;
5.山东省莱芜市气象局,莱芜 271100)

摘 要:对经常规天气图实况资料,检验几种常用 NWP 产品对 2008 年 7 月 5 日山东一次强降水过程的形势场预报和降水预报,并对其物理量场进行诊断分析。结果表明,暴雨落区与诸多物理量场的配置紧密相关;暴雨区出现在低层水汽辐合中心移动路径上,位于与水汽通量散度强辐合中心和强上升运动中心接近处;暴雨区移动方向与水汽通量大值中心、 $\Delta\theta_{se(500-850)}$ 负值中心长轴方向一致,水汽通量散度低层辐合、高层辐散两者均满足时更有利于强降水发生;200 hPa 高空辐散的抽吸作用远比仅有低层辐合更有利于上升运动发展;地面强降水区出现在 200 hPa 强辐散中心所在处。

关键词:数值预报产品;暴雨落区;物理量

中图分类号:P458.1*21.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-9045(2009)01-0036-07

1 引言

暴雨是我国南北各地较为重要的气象灾害之一,许多学者^[1-6]利用数值模拟对不同的暴雨过程进行了分析,通过对其大尺度环流系统、强降水落区预报进行模拟,得到一些预报经验。伍红雨^[1]应用 GRAPES 模式对贵州一次暴雨过程进行了数值模拟,徐双柱^[2]利用 AREM 模式对一次梅雨期暴雨进行了模拟,赵玉春^[3]利用 WRF 模式对华南前汛期暴雨的扰动位涡进行了研究,赵宇^[4]利用 MM5V3 对“99.8”山东特大暴雨的形成机制进行了模拟分析,王欢^[6]使用 WRF 研究了淮河一次暴雨过程的发展机制。这些研究均较好地模拟了暴雨的发生机制与暴雨落区及其分布特征,对预报有一定的参考价值,但对强降水落区及量级的模拟与实况相比仍有一定差异。因此,对气象工作者来说,暴雨落区预报研究仍然十分必要。

数值天气预报在目前的天气预报中占有重要位置,其预报时效基本覆盖 7 天以内所有时段,有的数值预报产品已能制作 10 天的预报。面对庞大的数值预报产品,基层气象台站预报员的工作重点应是如何科学有效地对其加以综合利用,提高预报准确率^[7-8]。目前,大部分数值预报产品对暴雨的落区预报准确率还不太高^[9-12],因此综合利用数值预报产品的形势预报和要素预报是当前暴雨落区预报的主要方向。

受西风槽和副热带高压外围西南暖湿气流共同影响,2008 年 7 月 5 日山东省出现一次区域性暴雨过程。4 日 20 时到 5 日 20 时全省 126 站中,共有 26 站出现大雨,其中 7 站为暴雨,1 站为大暴雨,24 h 最大降水量出现在济南市的长清站,其降水量达 119.3 mm。此次降水过程是当年入夏以来比较典型的一次大范围较强降水过程。本文着重对此次强降水过程中的物理量进行诊断分析,找出暴雨发生前后物理量场的配置关系,以期利用数值预报产品的要素预报订正其暴雨落区预报。

2 环流形势与主要天气系统预报

此次过程主要受西风槽和副热带高压外围西南暖湿气流共同影响。7 月 5 日 08 时(图略),西风带系统呈阶梯槽分布,槽区位于 105°—115°E 附近,中支槽落后于北支槽;588 dagpm 线与 120°E 线的交点位于 28°N,其外围西南气流与西风槽前的西南气流基本打通,一直伸展到我国东北地区。

多种数值预报模式对此次降水过程的大尺度环流形势预报较好。图 1 给出 7 月 5 日 08 时欧洲中心 500 hPa 高度场实况与欧洲中心、T213 的 24 h 预报场。

由图 1a 可见,对 40°N 以北的北支槽,两种模式预报场的位置、倾斜度与实况场非常接近,其经向度略大于实况场经向度,对 40°N 以南的中支槽,预报场

收稿日期:2008-11-12;定稿日期:2009-01-09

基金项目:山东省气象局 2008 年科学研究基金课题“灾害性强天气临近预警技术研究”和山东省东营市气象局自立课题“数值预报产品降水预报检验系统”共同资助

作者简介:侯淑梅,女,1970 年生,高级工程师,主要从事天气预报及天气气候研究工作。E-mail: shmh0808@163.com

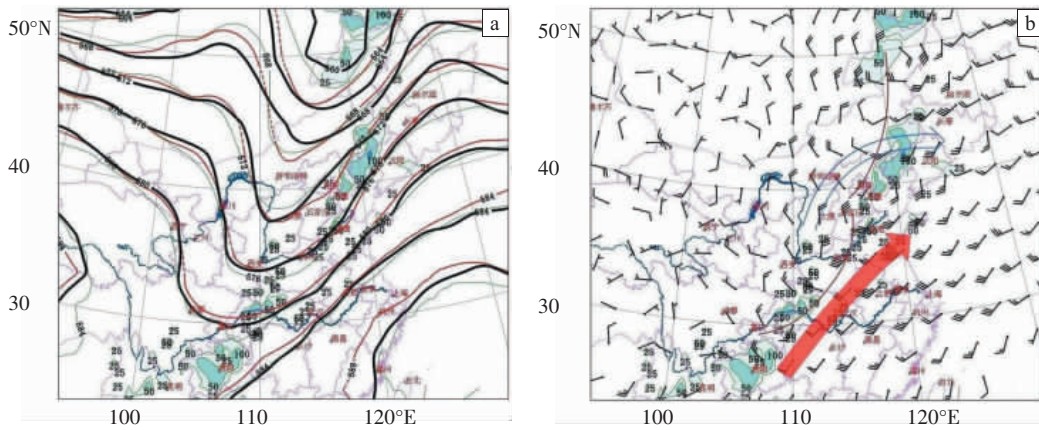


图 1 2008 年 7 月 5 日 08 时 500 hPa 高度场(a)和 850 hPa 风场(b)

阴影区为 7 月 4 日 20 时到 5 日 20 时降水量,最外圈为 25 mm,向内依次为 50、100 mm;图 a 中,粗实线为实况场,较粗断线为欧洲中心 24 h 预报场,细实线为 T213 24h 预报场;图 b 中,风杆为实况场,实心箭头为 850 hPa 低空急流,空心箭头为 200 hPa 高空急流,细实线为 850 hPa 切变线

与实况场几乎重合;对 588 dagpm 线位置预报,欧洲中心模式所预报的范围、北界位置与实况较为接近,其西伸脊点比实况略偏西,T213 预报的范围比实况小,北界位置与西伸脊点比实况偏南、偏东;降水区位于槽前西南气流区。

由图 1b 可见,实况场北支槽接近南北向,而预报场(图略)为东北—西南向,其位置略落后于实况场,T213 预报场(图略)比实况落后程度大于欧洲中心模式预报场,该槽呈东北—西南向;两种模式预报场均预报在中纬度地区河北省中南部有一低涡生成,而实况场未形成低涡,中支槽位置与实况较接近,其北端与实况几乎重合,南端略落后于实况;对槽前西南低空急流和高空急流预报,两种模式预报与实况均相符;降水区位于低空急流的左侧和出口区、高空急流的右后方,恰好位于高低空急流之间的区域。

综上所述,两种数值预报模式对此次降水过程的主要影响系统的预报都较为准确,能指示出这是一次强降水过程。然而,在实际预报中,暴雨落区一般范围较小,有时很分散,其究竟会落在大尺度系统的什么位置,还要借助其它物理量来预报。

3 数值模式对此次降水的预报

从图 1 中可看出,7 月 4 日 20 时到 5 日 20 时,我国北方存在三大雨区,其一位于内蒙古东部到河北省东部,此雨带范围较大,其中 ≥ 50 mm 降水区已连成片,范围也较大;其二从沿黄河中下游经山东中部济南附近一直伸展到河南、湖北一线,此雨区中也有小片暴雨区,但范围不如上述暴雨区大;其三位于鲁东南到山东半岛南部一线,其间分布若干暴雨点。

经分析发现,日本传真图和德国降水预报模式均报出此次暴雨过程,对华北地区暴雨预报较好,但对

山东降水预报明显偏小,且没有报出暴雨区;T213 的降水预报明显比实况偏小,且没有报出暴雨过程,尤其是对位于河北省的暴雨中心,只报了小雨。因此,仅根据数值模式的降水量预报决定降水预报等级难免存在误差,还需结合其它要素预报综合判断暴雨落区。

4 物理量场分析

4.1 水汽条件

充足的水汽供应是产生暴雨的首要条件^[13],水汽供应不充足,就不可能产生强降水。

4.1.1 水汽通量

分析实况 850 hPa 水汽通量场可知,4 日 20 时(图 2a),水汽输送带位于鲁南、安徽、湖北到湖南一线,输送带上其强中心位于河南到安徽一带,其中心值为 $25 \times 10^{-1} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。5 日 08 时(图 2b),水汽输送带位于山东半岛(以下简称半岛)南部、鲁东南、安徽到湖南一线,输送带内有 3 个中心,第一个强中心位于鲁东南到半岛南部一带,中心值为 $25 \times 10^{-1} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;第二个强中心位于安徽西部与河南东部交界处,中心值为 $30 \times 10^{-1} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;第三个强中心位于湖南中部,中心值为 $25 \times 10^{-1} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;华北北部水汽通量值一直小于 $10 \times 10^{-1} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。到 5 日 20 时(图 2c),上述水汽输送带继续向东北方向移动,位于辽东半岛、鲁东南、安徽到湖南一线,共有三个强中心,其最强中心移至辽东半岛附近,鲁北上空水汽通量值为 $(20 \sim 25) \times 10^{-1} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

分析上述同时刻实况 700、500 hPa 水汽通量场发现(图略),其形势与 850 hPa 相似,水汽通量强中心均是从安徽经鲁东南向东北方向移动,与低空急流的位置比较接近。与图 1 比照可知,水汽通量大值中心仅与山东省境内鲁东南、半岛南部一带的暴雨区吻

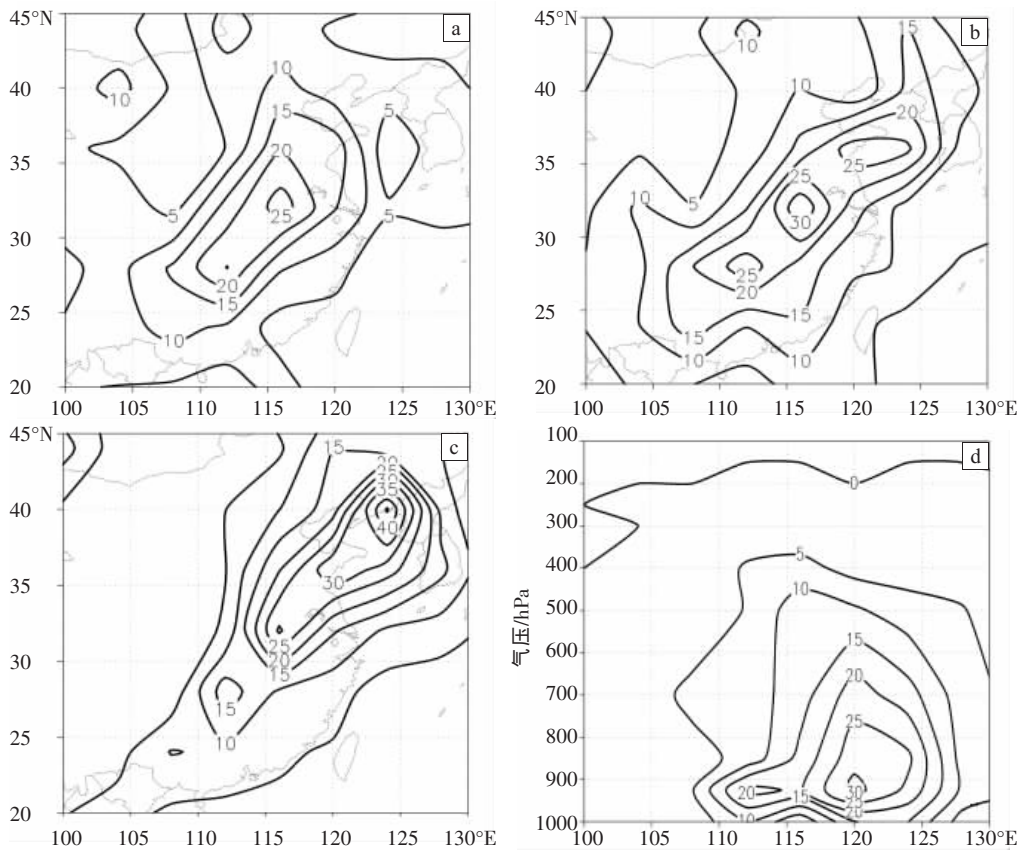


图 2 2008 年 7 月 4 日 20 时(a)、5 日 08 时(b)、5 日 20 时(c) 850 hPa 水汽通量水平分布图与 5 日 08 时沿 36°N 经暴雨中心的水汽通量纬向剖面图(d) (单位: $10^{-1} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

合,而与黄河沿岸和华北北部的暴雨区不能吻合。

图 2d 给出 5 日 08 时沿 36°N 经暴雨中心所作的水汽通量纬向剖面图。从此图中可见,水汽通量大值中心主要位于 120°E 鲁东南附近上空,并由近地层垂直向上伸展;其量值大于 $20 \times 10^{-1} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水汽通量层主要集中在 700 hPa 以下,中心值为 $30 \times 10^{-1} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,位于 925 hPa 附近。5 日 20 时(图略),与 5 日 08 时相似,水汽通量中心值为 $20 \times 10^{-1} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,位于 118°E、925 hPa 附近。

对比图 2 与图 1 可见,水汽通量的长轴方向和位置与暴雨区的走向和位置很接近。再从水汽通量长轴位置变化上看,4 日 20 时(图 2a)其长轴前端指向鲁东南,到了 5 日 08 时(图 2b),其前端已达鲁东南和半岛南部一带,而这一带暴雨则主要发生在 4 日 20 时到 5 日 02 时,即水汽通量长轴前端是未来 6 h 的暴雨落区,长轴前端到达该地时,强降水已结束。由此可知,水汽通量大值中心并不一定就是强降水区,鲁东南和半岛南部一带的暴雨区位于水汽通量大值区运动方向的前沿,其移动方向与水汽通量大值中心长轴方向一致。

4.1.2 水汽通量散度

水汽通量散度是表示水汽输送是否在某个地区

集中及其集中程度。从不同时刻水汽通量散度图中可见(图 3),水汽通量散度辐合区与图 2 中水汽通量大值中心并不一致。4 日 20 时(图 3a),山东境内均为水汽辐合区,辐合区呈西北—东南向,由黄海向西北伸向华北北部,辐合中心位于鲁中到鲁东南,中心值为 $-20 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。5 日 08 时(图 3b),辐合中心移到华北北部,中心值为 $-12 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,山东境内水汽通量散度为 $-4 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,鲁东南为正值,水汽辐散。到 5 日 20 时(图 3c),辐合中心东移至辽宁一带,华北强降水到此结束。分析上述同时刻实况 700、500 hPa 水汽通量散度场发现,其形势与 850 hPa 相似。由此可见,水汽辐合中心沿水汽辐合区长轴方向由鲁东南逐渐向西北方向移动,暴雨区处于水汽辐合中心移动路径上,与水汽通量散度强中心位置接近。

从沿 36°N 经暴雨中心的水汽通量散度纬向剖面图上可见,4 日 20 时(图 3d),水汽辐合中心的垂直结构呈倾斜发展,该中心于近地面层在 116°E 向高空逐渐向东伸展,到 850 hPa,其中心位于 120°E 上空;900 hPa 以下水汽辐合中心位于鲁西到鲁西南 (116°E 左右),中心值为 $-16 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,其上空 800 hPa 以上为辐散中心,中心值为 $12 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,

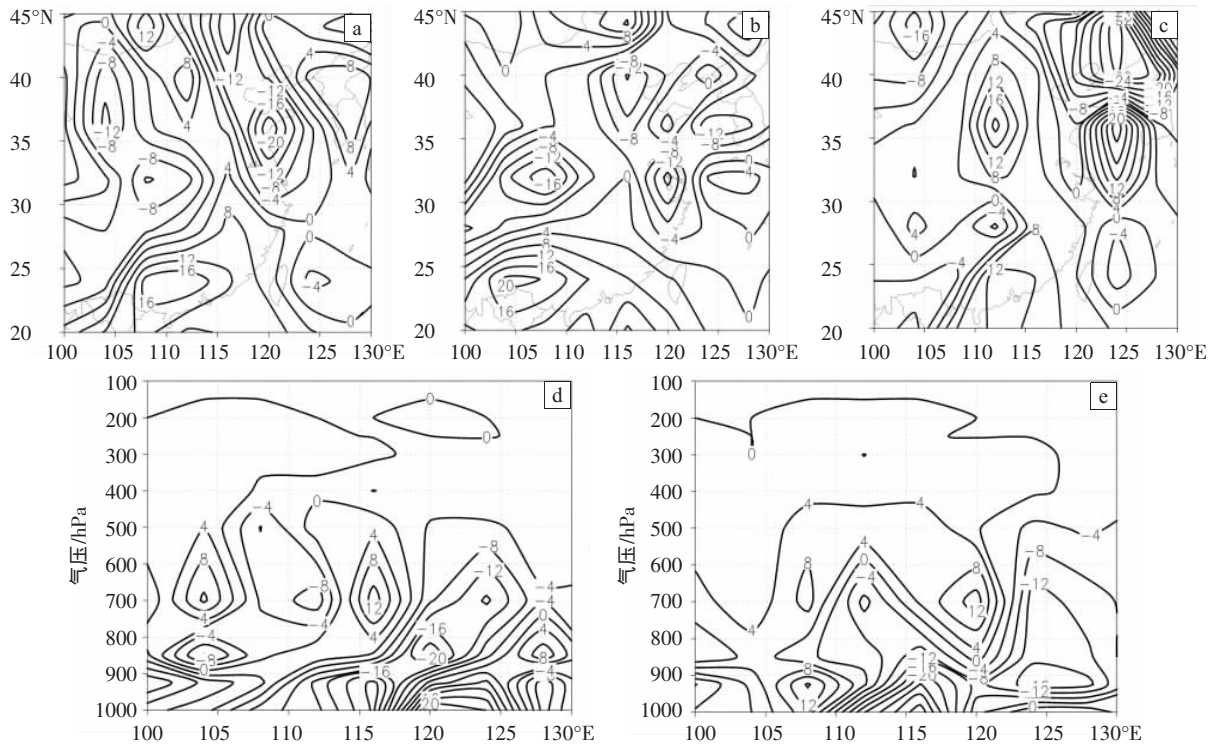


图 3 2008 年 7 月 4 日 20 时(a)、5 日 08 时(b)、5 日 20 时(c) 850 hPa 水汽通量散度水平分布图,4 日 20 时(d)、5 日 08 时(e)沿 36°N 经暴雨中心的水汽通量散度纬向剖面图(单位: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

这正好对应地面鲁西到鲁西南的暴雨落区;120°E 附近的鲁东南一带则略有不同,在近地面层 950 hPa 以下为弱辐散层,向上到 900 hPa 以上逐渐转为辐合,到 850 hPa 最强,其量值达到 $-20 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,且辐合层一直伸展到大气层顶。5 日 08 时(图 3e),低层辐合中心仍位于 116°E 附近,而高层辐散中心东移到 120°E,120°E 低层辐散已明显减弱为弱辐合。

对照山东省 6 h 降水分布图可见(图略),鲁西、鲁西南沿黄河的强降水主要发生在 4 日夜间,鲁东南强降水有两个时段,即 4 日前半夜和 5 日上午。由此可看出,4 日夜间的强降水与图 3d 中的两个辐合中心相对应,因为鲁东南地区低层为弱辐散,尽管其辐合强度大于鲁西,但降水量却小于低层辐合、高层辐散的鲁西沿黄河地区。到 5 日 08 时,鲁东南低层转为弱辐合,造成新一阶段强降水,而鲁西地区仅有低层辐合而无高层辐散,其降水强度明显减弱。可见,水汽的垂直结构能较好地反映暴雨落区,低层辐合、高层辐散与暴雨区有较好的对应关系,当低层辐合、高层辐散二者不能全部满足时,降水量便达不到暴雨量级。因此,水汽通量散度的水平和垂直分布不仅同地面强降水中心有较好的对应关系,也更能反映强降水中心的移动方向。

4.2 动力条件分析

4.2.1 散度

分析 7 月 4 日 20 时不同高度的水平散度场可知

(图略),850 hPa 半岛、鲁东南到安徽一带是辐合区,辐合中心位于半岛,中心值为 $-25 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,黄河口上空散度为 $(0 \sim -5) \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$;700 hPa 半岛到鲁中南均为辐合区,辐合中心位于鲁中南,中心值为 $-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,黄河口上空为辐散,散度值为 $(5 \sim 10) \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$;200 hPa 除鲁北为辐合区,山东省其它地方均为辐散区,其强中心位于鲁东南和鲁南,中心值为 $25 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。黄河口上空散度为 $(-5 \sim -10) \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,这说明 4 日 20 时鲁东南、半岛地区上空的气柱是低层辐合、高空辐散的,有利于垂直运动发展,与暴雨发生区对应较好,而鲁北上空散度场垂直结构是高、低层均为弱辐合层,则不利于垂直运动发展,正好可以用之解释鲁北降水较弱的原因。

分析 5 日 08 时不同高度散度场发现,200 hPa(图 4a),辐散中心位于鲁西到鲁西南地区,中心值为 $20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,山东省除半岛外均处于较强辐散区,山东半岛为 $-5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的弱辐散区;500 hPa(图 4b),山东境内为无辐散层,辐合中心位于华北北部,中心值为 $-15 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$;850 hPa(图 4c),山东境内为辐合区,辐合中心位于鲁西到河北省南部,中心值为 $-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,半岛散度为 $-5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。鲁西上空大气为低层辐合、高层辐散的垂直结构。此次暴雨落区为低层辐合、高层辐散的叠加区,即沿黄河的济南、菏泽附近,鲁东南和鲁西北虽也是低层辐合、高层辐散,但其强度远小于鲁西、鲁西南沿黄地区,尤其是高层 200 hPa 其散度值仅为

$(5\sim 10)\times 10^{-5} s^{-1}$ ，因此其降水量略小于鲁西南沿黄地区。这也可解释为什么水汽辐合中心由鲁东南到华北北部的必经之地鲁西北降水较弱的原因。由此可见，

200 hPa 高空辐散的抽吸作用远比仅有低层辐合更有利于垂直运动发展，地面强降水区出现在 200 hPa 强辐散中心所在处。

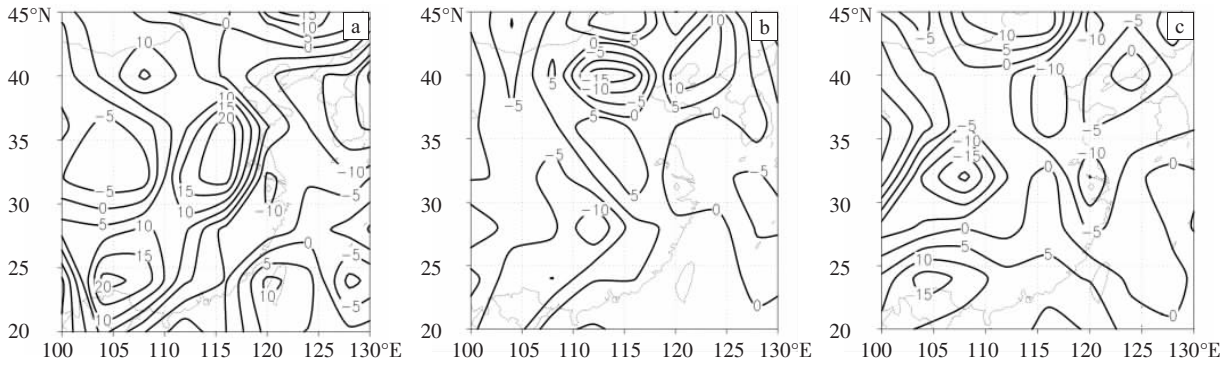


图 4 2008 年 7 月 5 日 08 时 200 hPa (a)、500 hPa (b)、850 hPa (c) 散度实况场(单位: $10^{-5} s^{-1}$)

4.2.2 垂直速度

分析此次暴雨过程不同时刻垂直速度水平分布变化发现，上升运动中心从西南向东北方向移动，4 日 20 时(图 5a)，该中心接近山东，山东省除半岛为下沉区外，鲁中以西地区均为上升区，上升运动最强处位于鲁西南，其量值为 $-9\times 10^{-3} hPa\cdot s^{-1}$ ，对应山东省降水加强；之后，上升运动中心随时间不断增强，并逐渐东

移，在 5 日 08 时(图 5b)其中心量值达到最小($-15\times 10^{-3} hPa\cdot s^{-1}$)，该中心位于鲁西到河北南部一带，山东境内垂直速度均在 $-9\times 10^{-3} hPa\cdot s^{-1}$ 以下，此上升运动加强阶段，正好与山东境内降水强度较大时间相吻合；5 日 20 时(图 5c)，上升运动中心移到华北北部到渤海一带，山东省除半岛处于上升运动区外，其它地区均转为下沉运动。

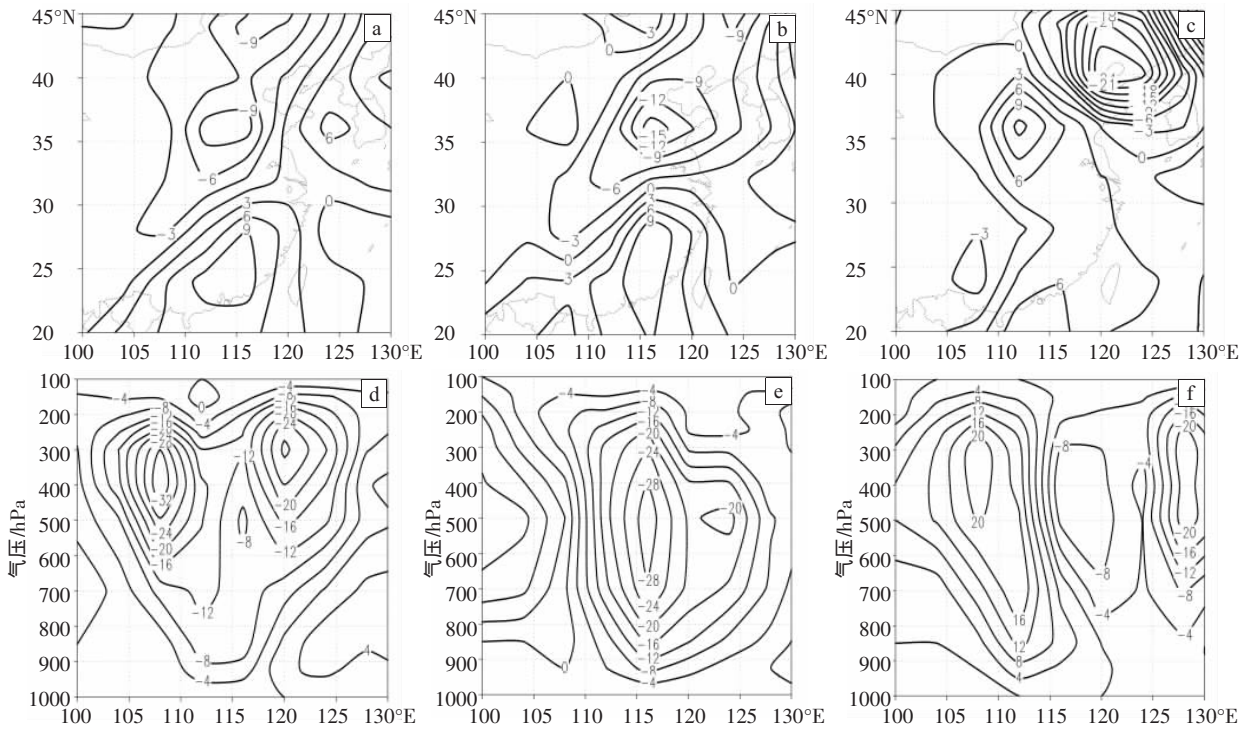


图 5 2008 年 7 月 4 日 20 时(a、d)，5 日 08 时(b、e)，5 日 20 时(c、f) 850 hPa 垂直速度水平分布及沿 36°N 经暴雨中心的垂直速度纬向剖面图(单位: $10^{-3} hPa\cdot s^{-1}$)

分析沿 36°N 经暴雨中心的垂直速度纬向剖面图发现，此次过程的上升运动发展非常旺盛，贯穿整个对流层，最高达 150 hPa。4 日 20 时(图 5d)，低层上升运动主要在河南北部到鲁西南一带，大值中心位于中高层，强垂直速度中心有两个，其一位于陕西、河北、

河南交界处(垂直速度极值为 $-32\times 10^{-3} hPa\cdot s^{-1}$)，另一位于鲁东南一带(垂直速度极值为 $-28\times 10^{-3} hPa\cdot s^{-1}$)，这两个中心均集中在对流层中高层 500—300 hPa 左右；5 日 08 时(图 5e)，西部强上升运动中心东移到鲁西、鲁西南一带，鲁东南上升速度中心强度减弱，与西

部中心合并,其中心值为 $-28 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,其高度有所下降,集中在对流层 700—400 hPa 左右;5 日 20 时(图 5f),低层除鲁东南仍是上升运动外,山东境内均转为弱下沉运动,中高层山东境内仍维持上升运动,强中心已移出山东至 125°E 以东地区。从上升运动中心移动趋势可看到,此次强降水的暴雨中心与上升速度中心基本一致,强上升速度中心正好对应暴雨区;暴

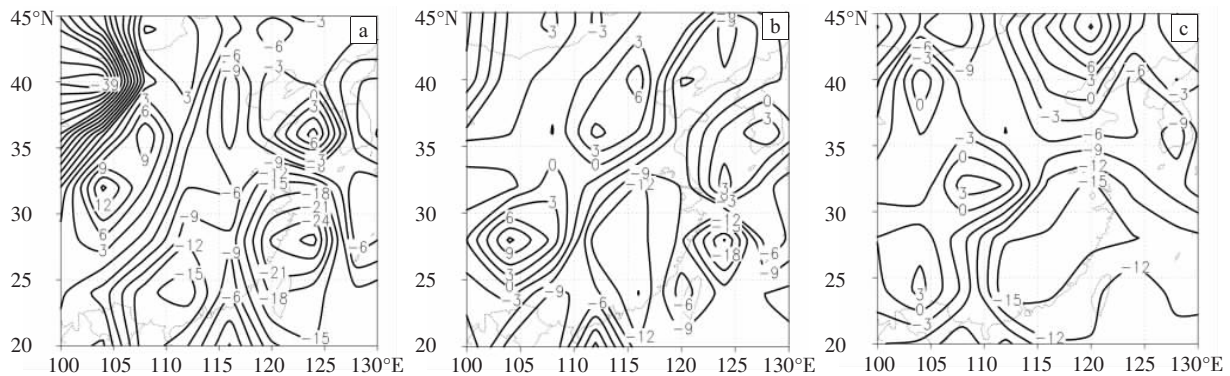


图 6 2008 年 7 月 4 日 20 时(a)、5 日 08 时(b)、5 日 20 时(c) $\Delta\theta_{sc(500-850)}$ 水平分布(单位: $^\circ\text{C}$)

分析图 6 发现,4 日 20 时(图 6a), $\Delta\theta_{sc(500-850)}$ 负值区从我国东部沿海经鲁东南、鲁西南、鲁西一直伸展到河北,两个大值中心分别位于鲁东南沿海和鲁西地区,这与 4 日夜鲁东南、鲁西的暴雨落区比较吻合,黄海到山东半岛是其正值中心,这又与半岛夜间降水较弱相一致;5 日 08 时(图 6b),位势不稳定区域位置有所变化,河北不稳定区东移到辽东半岛—渤海—山东半岛一带,我国东部沿海 $\Delta\theta_{sc(500-850)}$ 负值区向西移到我国长江中下游及其以南地区,黄海 $\Delta\theta_{sc(500-850)}$ 正值区域扩大,向南伸展到长江口,向东延伸向朝鲜半岛,其负值区轴线由 4 日 20 时的西北—东南向转为东北—西南向,河北大部地区均为正值,这与 5 日白天鲁西地区降水强度减弱、半岛地区降水强度增强比较吻合;5 日 20 时(图 6c),河北 $\Delta\theta_{sc(500-850)}$ 正值区东移南压至鲁北地区,其负值区逐渐移到山东南部,山东省强降水结束。可见,暴雨区与 $\Delta\theta_{sc(500-850)}$ 负值中心有较好的对应关系,其长轴方向预示暴雨落区的移动方向。

5 结论

本文利用常规观测资料和数值预报模式资料,分析了 2008 年 7 月山东一次强降水过程的环流形势与主要天气系统,着重对此次强降水过程中如何利用数值预报产品的要素预报订正其暴雨落区预报进行了探讨,得出以下结论。

(1)根据目前数值预报模式的预报能力,对大尺度环流形势和天气系统的预报较为准确,其参考价值很大;但仅凭降水数值预报还很难预报暴雨落区,结合物理量场分析,能提高暴雨落区预报准确率。

雨发生时,强上升运动先在对流层中上层发展旺盛,继而转移到对流层中层。

4.3 不稳定能量场分析

夏季暴雨多是从积雨云中产生的,所以除了要有强上升运动和高温高湿条件外,还要有不稳定的大气层结^[13]。图 6 给出了 7 月 4—5 日不同时刻 500 hPa 与 850 hPa 的 θ_{sc} 之差 $[\Delta\theta_{sc(500-850)}]$ 的水平分布。

(2)仅有较强水汽通道并不一定能产生强降水,鲁东南、半岛一带的暴雨区位于水汽通量大值区运动方向前沿,其运动方向与水汽通量大值中心长轴方向一致。

(3)水汽通量散度的水平和垂直分布不仅同地面强降水中心对应较好,更能反映强降水中心的移动方向。水汽辐合中心沿水汽辐合区长轴方向移动,暴雨区处于水汽辐合中心移动路径上,与水汽通量散度的强中心位置接近。

(4)200 hPa 高空辐散的抽吸作用远比仅有低层辐合更有利于垂直运动发展,地面强降水出现在 200 hPa 强辐散中心所在处。

(5)此次强降水的暴雨中心与垂直速度中心一致,暴雨区均出现在强上升速度中心所在处。暴雨发生时,强上升运动先在对流层中上层发展旺盛,继而转移到对流层中层。

(6)暴雨区与 $\Delta\theta_{sc(500-850)}$ 的负值中心有较好的对应关系,其长轴方向预示暴雨落区移动方向。

参考文献:

- [1] 伍红雨,陈德辉.应用 GRAPES 模式对贵州暴雨过程的模拟试验[J].气象,2006,32(12):29-35.
- [2] 徐双柱,邹立维.一次梅雨锋暴雨的中尺度数值模拟分析[J].暴雨灾害,2008,27(1):17-23.
- [3] 赵玉春,王叶红,崔春光.华南前汛期一次大暴雨过程的扰动位涡反演与数值研究[J].暴雨灾害,2008,27(3):193-203.
- [4] 赵宇,龚佃利,刘诗军,等.“99.8”山东特大暴雨形成机制的数值模拟分析[J].高原气象,2006,25(1):95-104.
- [5] 闫敬华,薛纪善.“5.24”华南中尺度暴雨系统结构的数值模拟分析[J].热带气象学报,2002,18(4): 302-308.

- [6] 王欢, 倪允琪. 2003 年淮河汛期一次中尺度强降雨过程的诊断分析和数值模拟研究[J]. 气象学报, 2006, 64(6): 734-35.
- [7] 丑纪范, 徐明. 短期气候数值预测的进展和前景[J]. 科学通报, 2001, 46(11): 890-895.
- [8] 丑纪范, 任宏利. 数值天气预报——另类途径的必要性和可行性[J]. 应用气象学报, 2006, 17(2): 240-244.
- [9] 管成功, 王克敏, 陈晓红. 2002—2005 年 T213 数值降水预报产品分析检验[J]. 气象, 2006, 32(8): 70-76.
- [10] 张建设, 诸晓明. 数值预报产品和客观预报方法预报能力检验[J]. 气象, 2006, 32(2): 58-63.
- [11] 高松影, 孙连强. 日本数值预报产品在丹东地区降水预报的检验和评估[J]. 气象, 2006, 32(6): 79-83.
- [12] 王家芬, 王志利, 林曲凤. 数值预报产品效果检验及在降水预报中的应用[J]. 气象, 2000, 26(10): 49-52.
- [13] 曹钢锋, 张善君, 朱官忠, 等. 山东天气分析与预报[M]. 北京: 气象出版社, 1988: 161-162.

Case Study on Application of Multi-NWP Model Outputs and Physical Parameters in the Heavy Rain Forecast

HOU Shu-mei^{1,2}, LI Can³, WANG Yue-lan⁴, QI Cui-yun⁵, SUN Zhong-xin²

(1. Shandong Institute of Meteorology, Jinan 250031;

2. Dongying Meteorological bureau of Shandong Province, Dongying 257091;

3. Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074;

4. Binzhou Meteorological bureau of Shandong Province, Binzhou 256612;

5. Laiwu Meteorological bureau of Shandong Province, Laiwu 271100)

Abstract: Compared with the routine observations, several kinds of NWP products related to the circulation situation and precipitation forecast of the rain process on July 5, 2008 in Shandong province were tested with the physical quantities field diagnostic analysis. The results show that the heavy rain area was closely related to the disposition of lots of physical quantities. The heavy rain area was on the path of convergence center and located between the convergence center of moisture flux and the center of lift movement. The moving direction of heavy rain was consistent with the major axis direction of water vapor flux center and $\Delta\theta_{s(500-850)}$ negative value center. The pumping of the upper air divergence at 200 hPa was more important to develop the lift movement than the low level convergence only.

Key words: Products of numerical forecast; Heavy rain area; Physical quantity