

## 2016年7月19—20日济南暴雨过程分析

刘新彦<sup>1</sup>, 褚颖佳<sup>2</sup>, 王华<sup>1</sup>, 赵玉翠<sup>1</sup>, 张悦<sup>1</sup>

(1. 山东省济阳县气象局, 山东济南 251400; 2. 山东省济南市气象局, 山东济南 250102)

**摘要** 利用常规观测资料, 从环流形势、物理量场和雷达资料等方面, 对2016年7月19—20日发生在济南地区的暴雨天气过程进行综合分析, 并对其数值预报进行了检验。结果表明, 这是一次由低涡、切变线、低空急流和黄淮气旋共同作用产生的暴雨。暴雨过程发生在气旋暖区, 为层状云和积状云混合云降水, 降雨范围大、效率高; 对流性的特征仅表现为短时强降水, 雨量分布相对于单纯的积云降雨更均匀。数值模式对此次过程的强降雨时段的预报普遍较好, 但由于预报的气旋路径较实况更偏东, 造成降雨量级上大多偏大。

**关键词** 暴雨; 环流形势; 物理量场; 雷达资料

**中图分类号** S161.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)06-0200-05

## Analysis of Rainstorm Process in Jinan on July 19-20, 2016

LIU Xin-yan<sup>1</sup>, CHU Ying-jia<sup>2</sup>, WANG Hua<sup>1</sup> et al (1. Jiyang Meteorological Bureau, Jiyang, Shandong 251400; 2. Jinan Meteorological Bureau, Jinan, Shandong 250102)

**Abstract** According to the rainstorm weather process occurred in July 19-20, 2016 in Jinan area, using conventional observational data, the circulation situation, physical quantity fields and radar data were comprehensively analyzed, and numerical prediction was tested. The results showed that: the rainstorm was interaction of vortex, shear line, low jet flow and Huang-Huai cyclone. The rainstorm process occurred in the warm zone of the cyclone, which is mixed cloud precipitation of stratiform cloud and cumuliform cloud; The characteristics of convective only showed short-term strong precipitation, rainfall distribution was more uniform compared with cumulus precipitation. Numerical model for the prediction of heavy rain periods was generally good, but because of the forecast cyclone was more easterly, most of the precipitation forecast was too large.

**Key words** Rainstorm; Circulation situation; Physical quantity field; Radar data

济南位于山东省中西部, 南依泰山, 北跨黄河, 地处低山丘陵与鲁西北冲积平原交接带。年均降水量 671.1 mm, 夏季平均降水量在 450 mm 左右, 日降水量  $\geq 50$  mm 的暴雨日集中在 7—8 月, 占全年暴雨日数的 65% 左右。暴雨是比较严重的自然灾害表现形式, 对人民的人身安全和经济财产有着重大的影响。所以, 对暴雨的研究始终是气象学家和气象工作从业人员比较关注的问题, 也受到了地方政府部门的密切关注<sup>[1-2]</sup>。暴雨引发的洪涝灾害及其诱发的次生、衍生气象灾害是济南地区重要的自然灾害之一, 做好暴雨预报尤为关键。不少专家学者对山东暴雨进行了深入的研究, 并指出造成山东暴雨的主要天气系统有低槽冷锋、气旋、切变线等<sup>[3-8]</sup>。笔者利用常规观测资料, 从环流形势、物理量场和雷达资料等方面, 对 2016 年 7 月 19—20 日发生在济南地区的暴雨天气过程进行综合分析, 探讨此次强降水的成因, 并对其数值预报进行检验, 为提高济南暴雨预报水平积累经验。

## 1 天气实况

2016 年 7 月 19—20 日, 受黄淮气旋影响济南市普降暴雨, 全市所有县(区)全部达到暴雨量级。其中, 长清区 19 日 16:00—20 日 23:00 累计降水量最大, 为 99.1 mm, 几乎达到了大暴雨量级; 市区累计降水量最小, 为 64.1 mm, 也达到了暴雨量级。全济南市过程平均降雨量 83.3 mm, 有 25 个区域站点超过 100.0 mm, 其中 4 个区域站点超过了 150.0 mm。最大的是历城区的窝铺站, 为 179.5 mm; 最小的是长清区的五峰山站, 为 100.0 mm; 最大小时雨强为 64.5 mm, 出现在章丘闫家峪站点。

## 2 环流形势分析

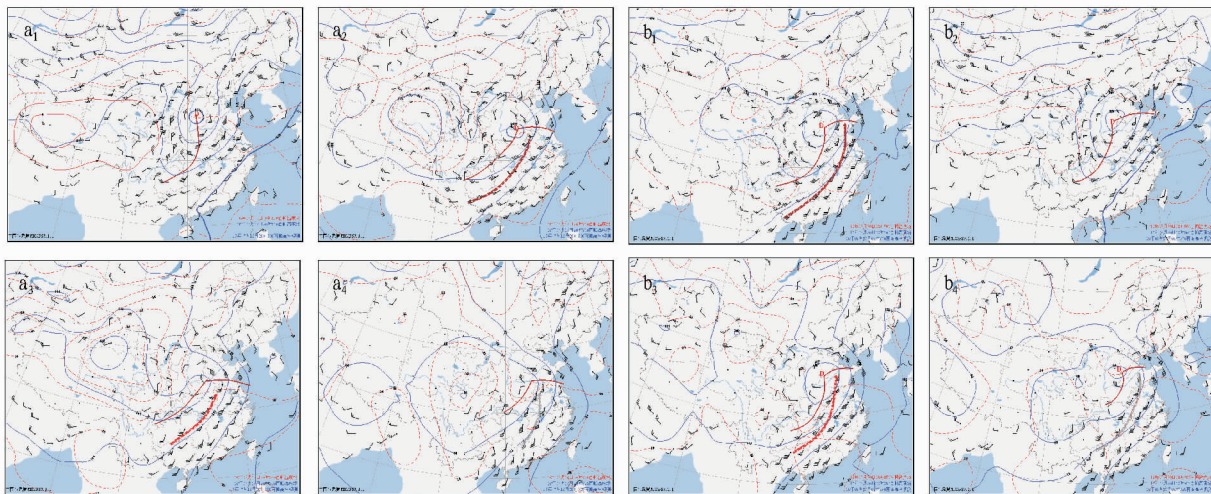
**2.1 高低空环流形势** 19 日 20:00(图 1a), 500 hPa 风向已经出现闭合的环流线, 形成一个明显的低涡, 济南处于这个低涡的前部偏南气流中, 下游地区是一个较为强盛的大陆高压脊, 同时副热带高压的 588 dagpm 等高线位于长江略偏南地区; 700、850 和 925 hPa, 低涡更加明显, 中心位置基本重合, 暖式切变线两侧风速更大, 为降水输送了丰沛的水汽和动力抬升条件。不同高度上都可以看到这次降水的主要影响系统为暖式切变线, 压在山东省的南界。在各层形势场上, 暖式切变线的位置几乎相同, 近似垂直的结构, 并且发展相当深厚; 在其南部已经建立的低空急流和超低空急流, 源源不断地为降水输送暖湿空气和能量。

20 日 08:00(图 1b), 副热带高压有所西伸北抬, 并且与北侧的大陆高压脊有所合并, 起到了强大的阻挡和挤压作用, 使得整层的低涡有了进一步的发展。此时的暖式切变线已经移至鲁西北(济南)和河北南部地区, 下游高压的阻挡也使得低空急流明显增强, 鲁西北地区刚好处于急流出口区左侧。

**2.2 地面气压场** 从 19 日 23:00 开始, 海平面气压场上形成闭合气旋中心; 随后, 气旋从河南东北部移至河北中南部地区, 影响济南的主要时段在 19 日夜间到 20 日上午(图 2~3)。从气旋移动路径和雨量来看(图 4), 气旋中心两侧 200 km 左右以及中心的北侧产生了大范围的暴雨或大暴雨。

## 3 云图分析

当地面上形成闭合等压线(也就是气旋初步形成)时, 对应云图上能看到涡旋云系的出现, 在气旋向北移动的过程中, 其西南部出现暗区(图 5), 说明此时干气流入侵。干空气的卷入使得大气不稳定性增强, 当空气上升时, 这种不稳



注: a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub> 为 500 hPa; a<sub>2</sub>, b<sub>2</sub> 为 700 hPa; a<sub>3</sub>, b<sub>3</sub> 为 850 hPa; a<sub>4</sub>, b<sub>4</sub> 为 925 hPa

Note: a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub>. 500 hPa; a<sub>2</sub>, b<sub>2</sub>. 700 hPa; a<sub>3</sub>, b<sub>3</sub>. 850 hPa; a<sub>4</sub>, b<sub>4</sub>. 925 hPa

图 1 2016 年 7 月 19 日 20:00 (a) 和 20 日 08:00 (b) 高低空环流形势

Fig. 1 High and low air circulation situation at 20:00 on July 19 (a) and 08:00 July 20 (b) in 2016

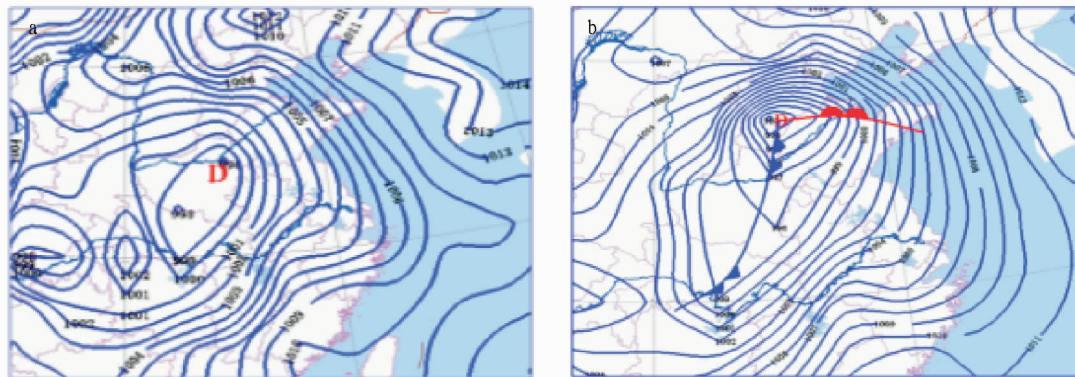


图 2 2016 年 7 月 19 日 20:00 (a) 和 20 日 08:00 (b) 地面气压

Fig. 2 Surface pressure at 20:00 on July 19 (a) and 08:00 on July 20 (b) in 2016

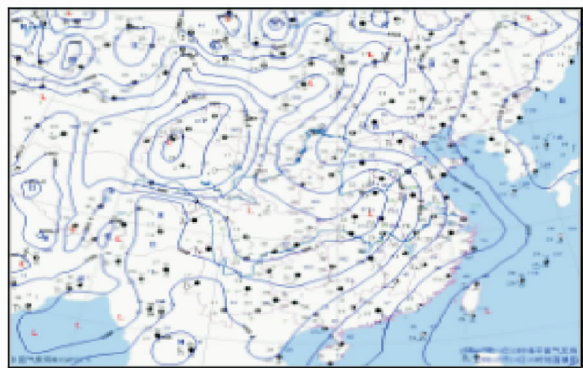


图 3 2016 年 7 月 19 日 20:00—20 日 17:00 海平面气压场和地面形势

Fig. 3 Sea level pressure field and ground situation from 20:00 on July 19 to 17:00 on July 20 in 2016

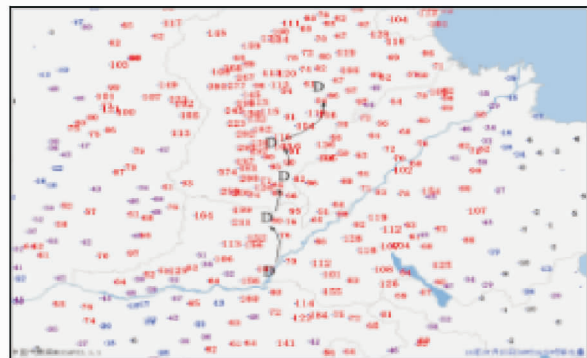


图 4 2016 年 7 月 19 日 23:00—20 日 11:00 气旋移动路径及周边雨量

Fig. 4 Cyclone moving path and surrounding rainfall during 23:00 July 19 - 11:00 July 20 in 2016

定能量被释放,对流加强。

#### 4 物理量场分析

除了高低空系统配合较好,此次过程中各物理量场的条件也十分有利。从 19 日 20:00 开始,整层比湿是一个增大的

趋势,特别是底层比湿条件非常有利(图 6a)。850 hPa 比湿在 14 g/kg 以上,925 hPa 比湿在 16 g/kg 以上。形势场一致的偏南气流并配合中低空急流,将水汽通道打开,整层的水汽通量呈现明显的辐合(图 6d)。垂直速度,从 500 hPa 到地



面是一致的上升运动,且在700和500 hPa之间达到最大(图6b)。19日08:00开始 $K$ 指数持续增高(图6c),能量逐渐聚集<sup>[9]</sup>,19日20:00—20日08:00 $K$ 指数在36℃左右,这一点

与集中在此时段的降水相吻合。水汽条件和不稳定度达到最大的时段是在19日20:00—20日08:00,就是济南受气旋影响最大、降雨最集中的时段。

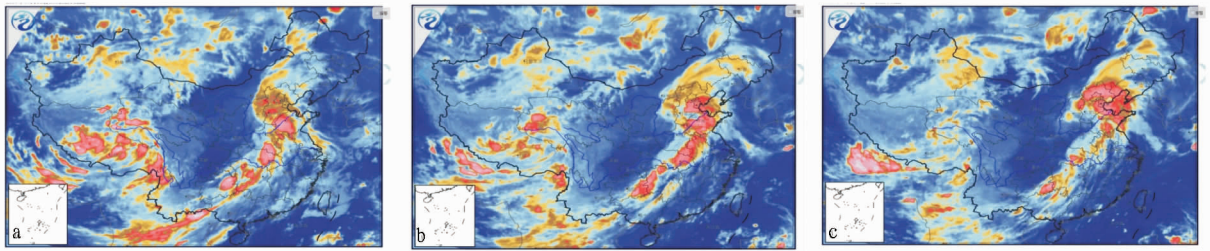


图5 2016年7月19日23:00(a)、20日04:00(b)和20日08:00(c)红外卫星云图

Fig. 5 Infrared satellite cloud image at 23:00 on July 19(a) and 04:00 (b) and 08:00 (c) on July 20 in 2016

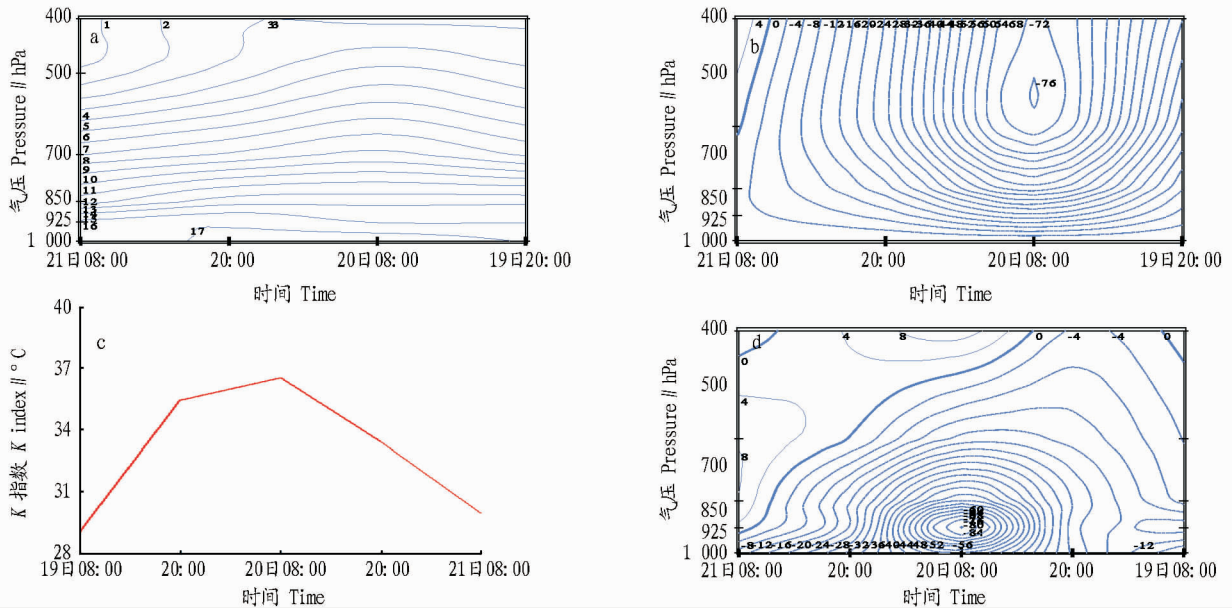


图6 2016年7月19—21日济南比湿(a)、垂直速度(b)、 $K$ 指数(c)和水汽通量散度(d)时间变化

Fig. 6 The change of specific humidity (a), vertical velocity (b),  $K$  index (c) and water vapor flux divergence (d) in Jinan during July 19 – 21, 2016

## 5 雷达资料分析

**5.1 组合反射率** 从组合反射率上看(图7a),影响济南的主要是絮状回波,强度基本在30 dBz以上,梯度不大,只有雷达中心(齐河县附近)能看到强回波中心和明显的梯度。从投影上可以看出质心较低,且回波顶较为平坦缓和,高度均在9 km以下。这些特征均符合层状云和积状云混合降雨的回波特点,此类回波也是最容易发生大范围暴雨的类型。同一时次的径向速度图(图7b)显示,在2~4 km高度上出现大片的速度模糊区,通过速度模糊公式可以计算出该高度上出现了超过30 m/s的偏南低空急流,这一点通过风廓线雷达图可以直观体现。

**5.2 风廓线** 从风廓线雷达图(图8a)可以看到,降雨开始前3 h左右1~2 km高度的风速逐渐增强,低空急流建立,进入降水酝酿阶段(绿色区域)。20日02:00—06:00为强盛阶段,1~3 km高度上下形成了30 m/s以上的偏南低空急流(图8b中绿色区域)。实况降水开始时间(图9)为低空急流

建立的19日21:00左右,20日06:00雨强最大,该时次章丘闫家峪区域站点最大小时雨强为64.5 mm。

## 6 数值预报检验

针对此次降水过程对欧洲粗网格进行了形势场预报的检验,结果表明(图10a),对于高压脊的预报,17日20:00和18日20:00的起报与实况比较一致,但低值系统受到下游高压的阻挡和挤压作用,发展得更为深厚,因此前期的移动速度也较实际偏慢一些,预报较实际偏弱。对比检验T639和ECT预报的气旋路径和实况(图10b)可以看到,相对实况来说预报的路径更偏东,也就是对济南更有利一些;气旋前期的移动速度偏快,导致预报的降雨时间偏早。对比几家较为常用的数值模式和实况(表1)发现,降雨开始时间上华东区域中尺度模式更接近实况;强降雨时段几家模式预报普遍较好,但强降雨的结束时间几家模式均比实际稍偏早;累计雨量几家模式大多偏大。

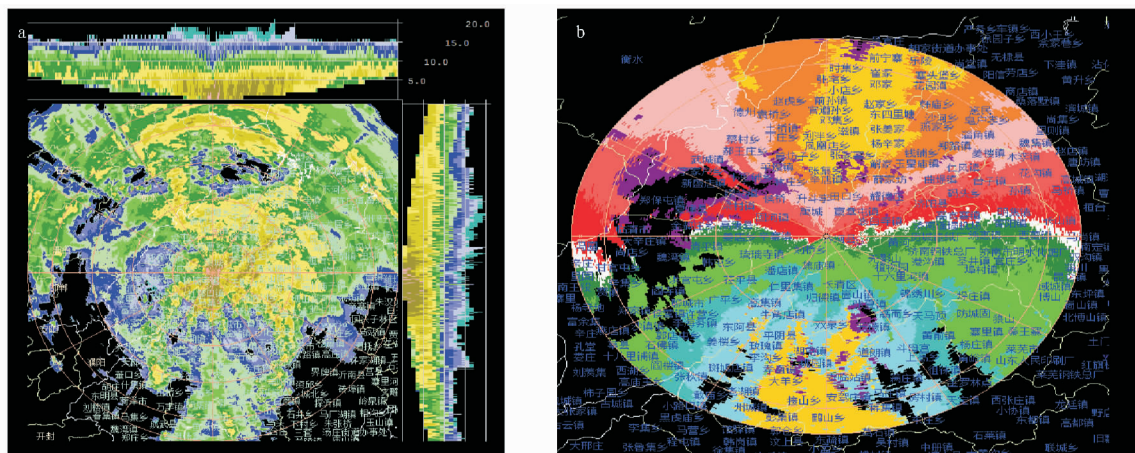


图 7 2016 年 7 月 20 日 06:00 组合反射率及经纬向投影(a)和同一时刻 1.5 仰角径向速度(b)

Fig. 7 Combined reflectivity and latitude and longitude projection(a) and 1.5 elevation radial velocity (b) at 06:00 on July 20 in 2016

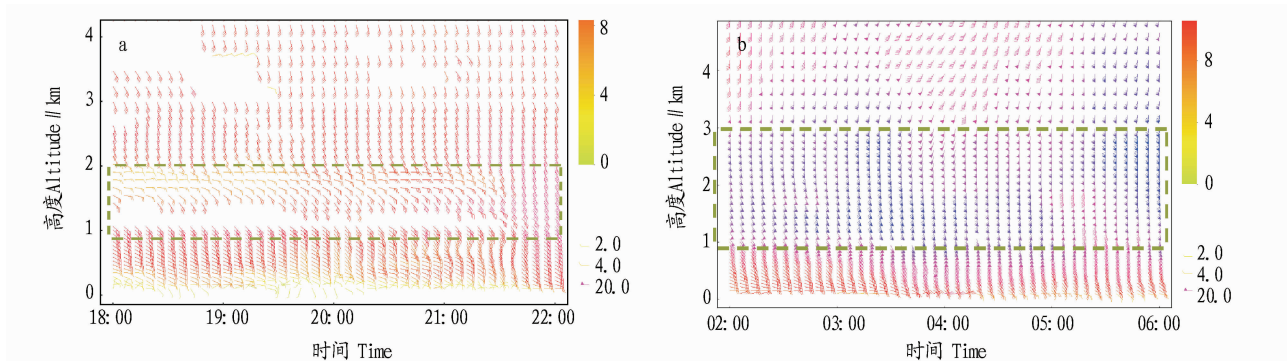


图 8 2016 年 7 月 19 日 18:00—22:00(a)和 20 日 02:00—06:00(b)风廓线雷达

Fig. 8 Contour radar during 18:00 – 22:00 on July 19(a) and 02:00 – 06:00 on July 20(b) in 2016

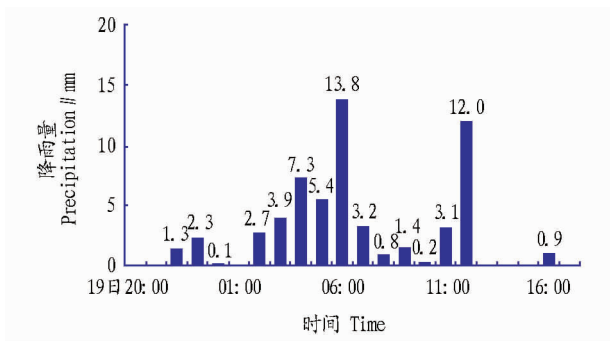


图 9 2016 年 7 月 19 日 20:00—21 日 17:00 章丘降雨量变化

Fig. 9 The change of precipitation in Zhangqiu from 20:00 on July 19 to 17:00 on July 21 in 2016

7 结论

(1) 受低涡、切变线、低空急流和黄淮气旋共同影响,7

月 19—20 日济南的暴雨天气过程影响范围广、持续时间较长、过程降雨量较大。

(2) 暴雨过程是发生在气旋暖区,属于层状云和积状云混合云降水,降雨效率高;对流性的特征仅表现为短时强降水,雨量分布相对于单纯的积云降雨更均匀。

(3) 低空急流的建立和加强与此次暴雨的开始和增强有较好的相关性。

(4) 各种物理量场和雷达资料为数值预报检验提供了技术上的支持和指标上的依据。

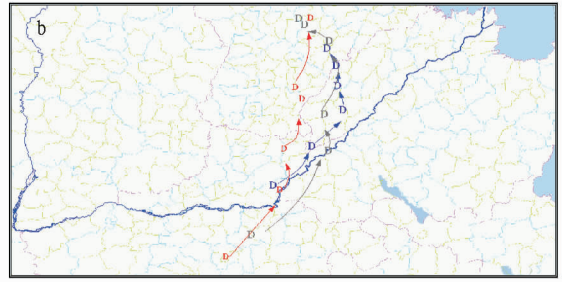
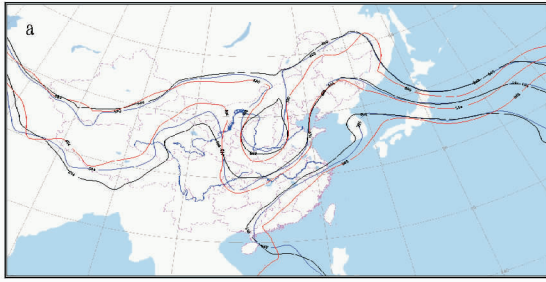
(5) 数值模式对此次过程的强降雨时段的预报普遍较好,但由于预报的气旋路径较实况更偏东(有利),造成降雨量级上大多偏大。

表 1 常用数值模式与实况对比

Table 1 Comparison of several commonly used numerical models and real situation

数值模式 Numerical model	降雨开始时间 Rainfall start time	强降雨时段 Heavy rainfall period	累计雨量 Cumulative rainfall/mm
华东区域中尺度模式 East China regional mesoscale model	19 日 20:00 之后	20 日 02:00—05:00	140.0
日本传真 Japan fax	19 日 20:00 之前	19 日 20:00—20 日 08:00	69.0
T639	19 日 20:00 之前	20 日 02:00—05:00	125.0
ECT	19 日 20:00 之前	20 日 02:00—05:00	115.0
实况 Real situation	19 日 20:00 之后	20 日 02:00—08:00	83.3





注:红色代表实况;蓝色代表 T639 预报场;灰色代表 ECT 预报场

Note: Red represents real situation; blue represents T639 forecast field; grey represents ECT forecast field

图 10 2016 年 7 月 19 日 20:00 欧洲粗网格 500 hPa 高度场与预报场对比 (a) 以及气旋移动路径实况与 ECT 和 T639 预报场对比 (b)

Fig. 10 Comparison of the height field and forecast field of the coarse grid 500 hPa (a) and comparison of cyclone moving path and ECT and T639 forecast field (b) at 20:00 on July 19 in 2016

参考文献

[1] 东高红,解以扬,于莉莉.一次局地大暴雨的落区分析与预报[J].气象,2010,36(6):50-58.  
 [2] 高洁.“718”济南短时特大暴雨的中尺度分析和数值研究[D].南京:南京信息工程大学,2009.  
 [3] 杨晓霞,王建国,杨学斌,等.2007年7月18-19日山东省大暴雨天气分析[J].气象,2008,34(4):61-70.  
 [4] 杨晓霞,赵宇,高留喜.山东省春季大暴雨天气的行成机制个例分析[J].气象科技,2005,33(1):45-49.  
 [5] 杨晓霞,周庆亮,郑永光,等.2009年5月9-10日华北南部强降水天气分析[J].气象,2010,36(6):43-49.  
 [6] 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,1988:180-192.  
 [7] 王西磊,吕淑芳,赵京峰,等.2009年5月9-10日山东大暴雨天气分析[J].暴雨灾害,2009,28(2):173-178.  
 [8] 吴雷柱.鲁西南2013首场暴雨分析[J].北京农业,2013(24):179-181.  
 [9] 寿绍文,励申申,姚秀萍.中尺度气象学[M].北京:气象出版社,2003:291-300.

(上接第 199 页)

用于后继业务开展,极大地节约了服务器购置成本。对实施前后性能进行对比分析可见,虚拟化技术在提升系统资源利

用率、降低能耗、节省开支和空间、提高业务系统可靠性等方面有较大的优势。基于 Hyper-V 的气象信息业务虚拟化实现,将在后续集约化数据环境的建设中起到重要作用。

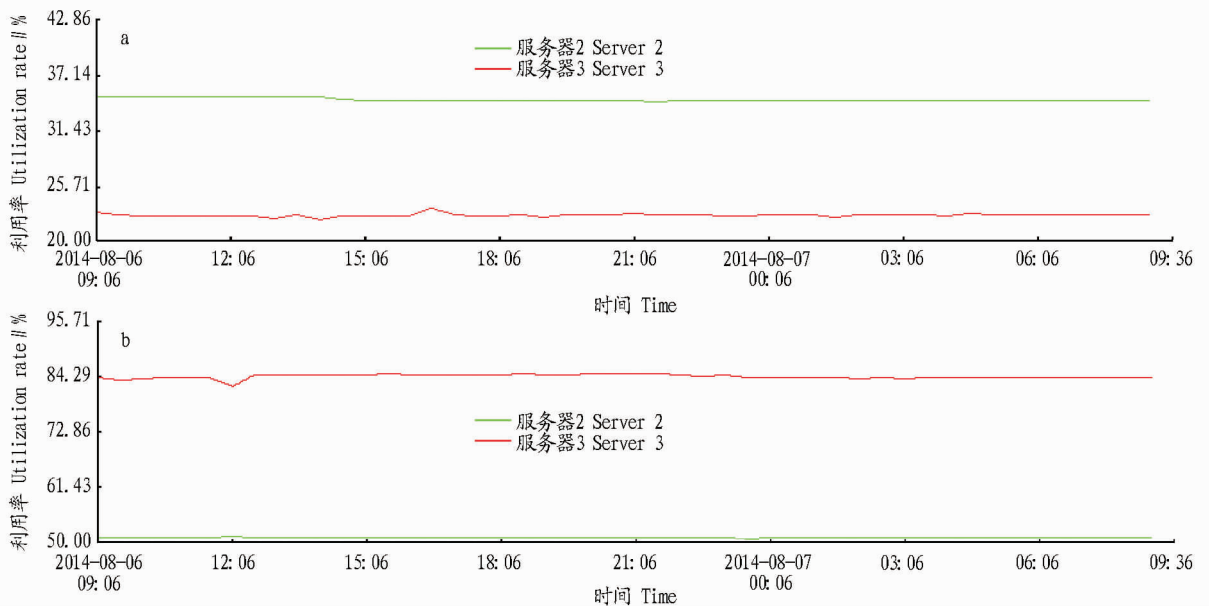


图 3 服务器 2 和服务器 3 虚拟化前(a) 和后(b) 内存利用率

Fig. 3 The utilization rate of internal memory of server 2 and server 3 before (a) and after (b) virtualization

参考文献

[1] 汪华,黄蓉,方斌.贵州省气象信息业务系统的虚拟化实现[J].成都信息工程学院学报,2012,27(2):186-191.  
 [2] 刘国宏,余东昌,刘旭林,等.虚拟化技术在气象业务中的应用[J].计算技术与自动化,2013,32(4):119-122.  
 [3] 李亚,李婧,张贵芳,等.虚拟化技术在信息化资源整合中的方案探究[J].计算机光盘软件与应用,2013(20):305-306.  
 [4] 张庆玉,刘军万.基于 Hyper-V R2 的服务器虚拟化资源分配优化[J].电脑知识与技术,2011,7(7):1680-1683.  
 [5] 李晓明,王伟达,时文,等. Hyper-V 虚拟技术在广电的应用及展望[J].广播与电视技术,2014,41(2):70-73.  
 [6] Windows Server [EB/OL]. [2016-10-11]. <http://technet.microsoft.com/zh-cn/windowsserver/default>.