

2015年6.2南京暴雨分析及其数值模拟

王 皓¹, 韩 威², 范广洲^{1,3}, 沈学顺²

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室 气候与环境变化联合实验室, 四川成都 610225; 2. 国家气象中心, 北京 100081; 3. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏南京 210044)

摘要:利用常规观测资料、雷达组合反射率资料以及 GRAPES-MESO 中尺度模式对 2015 年 6 月 2 日的一次暴雨过程进行分析与模拟研究。研究表明: (1) GRAPES-MESO 中尺度模式能够较为准确的模拟出此次暴雨过程, 雨带分布与降水的大值中心都与实况相吻合。(2) 稳定的环流背景下, 500 hPa 两槽一脊的形势为此次暴雨过程提供源源不断的冷空气, 而西南方向的水汽也在持续的输送水汽。干冷空气与暖湿气流交汇上升, 激发不稳定能量的释放。(3) 暴雨区低空强辐合, 高空强辐散, 垂直运动剧烈。

关 键 词: GRAPES-MESO 模式; 暴雨; 环流形势; 对流不稳定; 涡度

0 引言

中国位于亚洲东部, 夏季易受夏季风的影响, 季风可到达华北甚至深入东北地区。中国幅员辽阔, 地形复杂, 处于夏季风这一大环流背景下, 导致暴雨等强对流天气频发。暴雨是中国夏季频发的一种灾害性天气, 特别是持续性的暴雨会造成大范围的洪涝灾害, 造成严重的经济损失, 甚至造成人员伤亡。有关暴雨的研究一直以来都是大气科学的热点问题^[1-2]。

目前对暴雨的研究多从大尺度的环流背景、中尺度的天气系统以及各个系统在暴雨形成过程中所起的作用等方面分析。徐明等^[3]利用 NCEP $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 再分析资料与区域自动加密观测资料, 对川西高原东侧暴雨进行分析, 研究表明偏东气流对暴雨的产生起着重要的作用。曹春燕等^[4]利用高时空分辨率的风廓线雷达资料对深圳一次大暴雨过程进行分析。高时空分辨率资料揭示出每次强降水都有对应的西南急流加强和扩展, 表明低空急流对强降水具有一定的预示作用。孙淑清等^[5]通过对两次中尺度暴雨过程的计算, 表明散度场相较于涡度场变化更快, 尺度更小, 且暴雨区与辐合区匹配最好。

而随着数值预报的发展, 数值模拟成为研究暴雨形成机理的一种有效手段。王春红等^[6]在对一次华南前汛期低空急流和暴雨的成功模拟上, 对 4 个对比试验进行模拟, 结果表明凝结潜热加热和高原的大地形是产生暴雨和维持高空急流的及其关键的因素。王红燕等^[7]利用中尺度模式 AREM, 对豫中一次大暴雨进行模拟及分析。结果表明数值模拟的降雨落区与实况

相一致, 但中心强度略大, 同时环流形势也与实况对应。诊断结果表明低层至高层均有明显的水汽辐合, 为此次暴雨过程提供了充足的水汽条件。周雪松等^[8]利用常规、卫星、雷达等资料以及中尺度数值模式 WRF, 对山东的一次大暴雨进行研究。结果表明, 大地形对暴雨中心强度和落区有较大影响, 地形的作用使得低层产生明显的地形性切变线, 加强了暖湿气流的辐合。大地形的抬升和有利的环流背景是产生此次大暴雨的主要机制。

利用卫星、雷达以及 GRAPES-MESO 模式预报结果对 2015 年 6 月 2 号南京的一次暴雨过程进行分析, 并利用模式结果中不同的物理量来分析此次降水过程, 探究此次暴雨形成的机理。

1 个例介绍

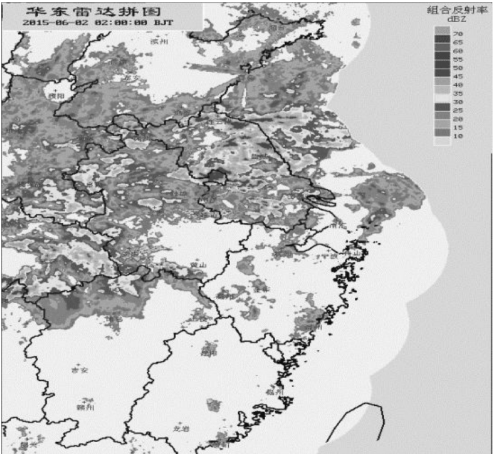
2015 年 6 月 2 日, 长江中下游地区普降大雨, 其中南京凌晨 3 时起就转为暴雨, 成为入汛以来出现的最强降雨。城区平均降雨约 128.4 mm, 最大降雨点达到 211.2 mm。截止 2 日 14 时, 南京市主城区、浦口和江宁的降雨量已经达到大暴雨级别。南京市气象台暴雨预警信号也是不断升级, 7 时 40 分南京市气象台发布暴雨蓝色预警信号, 14 时南京市将暴雨蓝色预警升级为橙色预警。晚上 6 时前后, 南京站的降雨量已经达到 110 mm, 降水量最大的仙林达到 178 mm。

受暴雨影响, 南京各重要路段被淹, 出现大范围的堵塞情况。城区多处积水严重, 多条道路被封锁。隧道积水严重, 深度已及人腰。

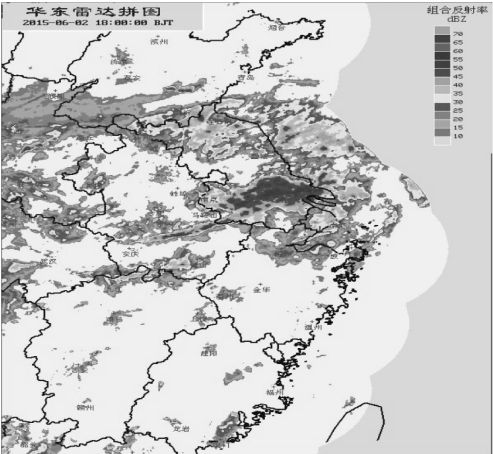
2 雷达资料分析

雷达组合反射率可以清晰反映出强回波出现的地

方,并且可以反映出回波的强度。组合反射率越大,说明回波强度越大,相对应的降水强度越强^[11]。图2为6月2日02时和6月2日18时的华东雷达拼图组合反射率图。2日02时南京周围最大组合反射率出现在江苏南通附近,达到30 dBZ以上。随着时间的发展,对流逐渐在南京上空发展起来,且愈发强烈,雷达监测的组合反射率也在不断增加。2日18时的雷达拼图中,江苏南部由西向东逐渐发展起强回波带,回波强度达到50 dBZ以上。从雷达回波上可以较为清楚地看到强对流的发展和移动。



(a)02时



(b)18时

图1 6月2日雷达组合反射率

3 模式及模拟方案介绍

所采用的模式为中国气象局自主研发的 GRAPES-MESO 区域数值模式,版本为 4.0.0.0。模式起报时间为世界时 2015 年 6 月 1 日 00 时,预报时长 48 h,模式预报的区域为 15.0°N~65°N、70°E~145°E。初始场为 T639L61 的 6 h 预报场,分辨率为 0.1°×0.1° (10 km),并同化常规观测、FY2E 云导风以及地基 GPS/PW 等资料。模式输出间隔为 1h。中尺度模式设

置的物理过程包括:KF eta 对流参数化方案,其中包括浅对流;WSM6 云微物理方案;RRTM 长波辐射方案;Dudhia 短波辐射方案;Monin-Obukhov 近地面层方案;Noah 陆面过程方案;MRF 边界层方案^[9-10]。

4 结果分析

图2为实况降水与模式降水的叠加图。其中散点为全国 1356 个自动站降水观测资料 6 月 2 日 24 小时累积降水,填色图为对应时段的模式降水。从实况与相应的模拟结果来看,模式所模拟降水的分布形状、走向都与实况比较吻合,能反映出降水的总体特征,如能够较为准确的模拟出雨带西南-东北走向,其上分布的几个大降水区位置也较为准确,,其中对南京大暴雨的模拟的 24 小时累计降水与实况 24 小时累计降水量级一致,都达到 100 mm 以上,为暴雨级别。但模式的大值降水中心的范围相比实况而言要偏小。

模式对此次暴雨过程模拟的较为准确,降水落区与降水强度都与实况相吻合。因此模拟的结果可以为此次暴雨过程提供较为准确的诊断结果。

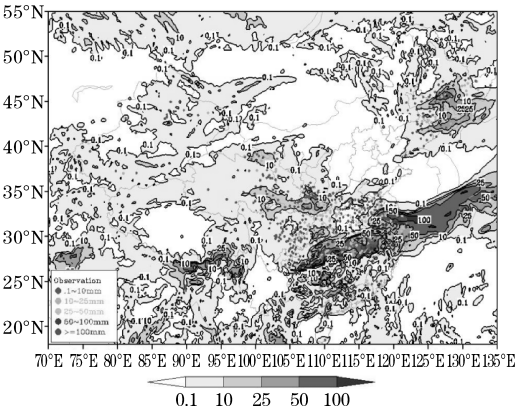
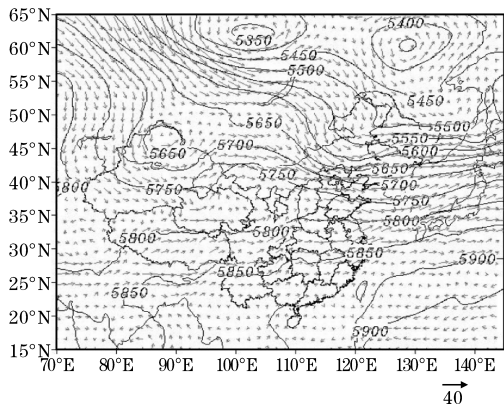


图2 6月2号00时-6月3号00时24 h 累计降水量

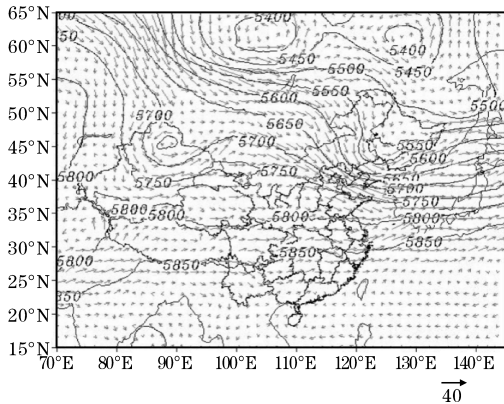
4.1 暴雨影响系统

图3为北京时间6月2号00时以及6月2号10时500 hPa风场与高度场叠加结果。从图中可以明显看500 hPa中高纬环流型为两槽一脊型,其中高压脊位于贝加尔湖附近,两个槽分别位于俄罗斯中部和东部,东部的槽延伸到我国东北的东侧。

从图4中850 hPa 风场与温度场叠加图上可以看出,受冷空气以偏东路径南下影响,表现为从黄淮东部到湖南北部的路径,中国东北部的冷涡也在稳定维持,源源不断提供冷空气。西南方向的水汽也在源源不断地提供充足的水汽。大尺度的环流背景为此次暴雨过程提供了极为有利的条件,是此次暴雨过程的主要原因。

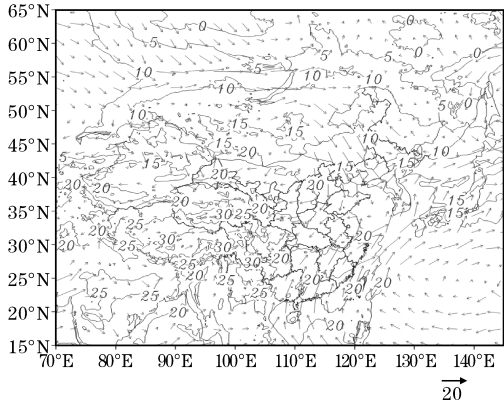


(a) 00 时

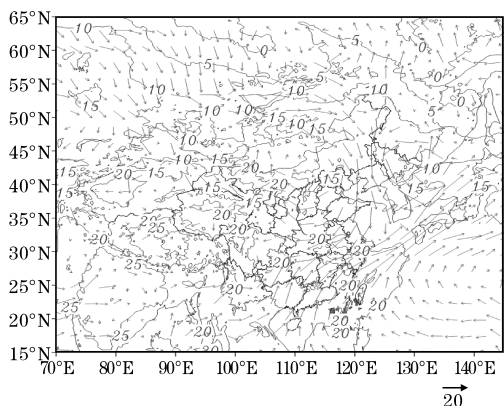


(b) 10 时

图3 500 hPa 风场与高度场叠加图



(a) 00 时



(b) 10 时

图4 850 hPa 风场与温度场叠加图

4.2 暴雨的热力条件

根据逐小时模拟降水量,10 时内南京模拟 1 小时累计降水达到 25 mm 以上,利用此时段内的物理量进行诊断分析。图 5 为 10 时沿南京上空,32 °N,115 °E ~ 125 °E 的对流稳定度随高度的垂直剖面。从南京上空的对流稳定度(118 °E ~ 120 °E)的图中可以看出对流层中层 700 hPa 之上存在着一个负值区域,极大值位于 760 hPa 附近,达到 -0.1 K/ hPa,表明此时对流层中层存在着较大的不稳定能量,对流活动旺盛。

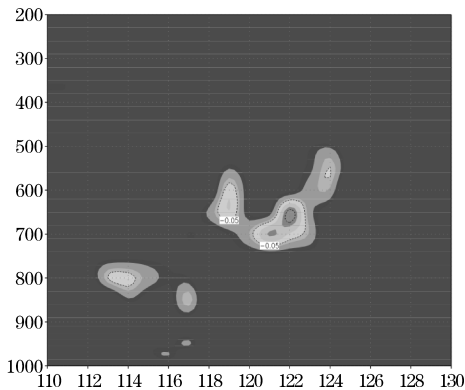


图5 6月2日10时对流稳定度的垂直分布

4.3 暴雨的动力条件

利用 6 月 2 日 10 时的预报场来看,32 °N,118 °E ~ 119 °E 涡度正值区主要集中在 500 hPa 以下,其中包括涡度的极大值区,中心值达 $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 以上,即位于对流层下层,500 ~ 400 hPa 之间为涡度其负值区,中心值达到 $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。即在降水发生期间,辐合运动非常强烈。涡度是对流运动的体现,对于对流运动有着指示作用。

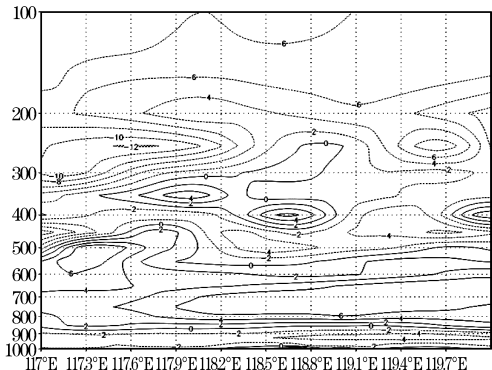


图6 6月2日10时垂直涡度

5 结论

利用雷达资料对 2015 年 6 月 2 号的一次降水过

程进行分析,并利用 GRAPES-MESO 中尺度模式对此次降水过程进行模拟并对相关物理量进行诊断分析,主要结论如下:

(1)雷达观测可以监测到 2015 年 6 月 2 日南京大暴雨对流发生初始时刻,并能够追踪对流的发展,为天气分析和预报提供有效的信息。

(2)GRAPES-MESO 模式 48 h 预报能够较好的模拟此次降水过程,雨带分布的走向以及降水的大值中心都与实况相吻合,雨带上分布的大值中心也与实况相符。

(3)利用模式模拟的结果,对此次暴雨过程进行分析。“6.2”暴雨过程发生在有利的天气背景下,500 hPa 两槽一脊的环流形势稳定维持,使得北方的冷空气与南方的暖湿气流交汇,是造成暴雨的主要原因。强的热力不稳定、低层水汽的供应以及强的辐合上升是造成此次大暴雨的环境场特征。

参考文献:

- [1] 高守亭,赵思雄,周晓平,等. 次天气尺度及中尺度暴雨系统研究进展[J]. 大气科学,2003,27(4):618-627.
- [2] 陶诗言,丁一汇,周晓平. 暴雨和强对流天气的研究[J]. 大气科学,1979,3(3):227-238.
- [3] 徐明,赵玉春,高琦,等. 偏东气流诱发川西高原东侧两次对流暴雨过程的对比分析[J]. 气象,2015,41(12):1477-1487.
- [4] 曹春燕,江崧,孙向明. 一次大暴雨过程低空急流脉动与强降水关系分析[J]. 气象,2006,32(6):102-106.
- [5] 孙淑清. 低层风场在暴雨发生中的动力作用[J]. 大气科学,1982,6(4):52-62.
- [6] 王春红,蒋全荣. 一次华南低空急流和暴雨过程的对比数值试验[J]. 高原气象,1996,V15(3):318-325.
- [7] 王红燕,吴璐,张晓鹏. AREM 模式对“04·08”豫中大暴雨的数值模拟和诊断分析[J]. 气象与环境科学,2013,36(4):36-42.
- [8] 周雪松,阎丽凤,孙兴池,等. “2007.8.17”山东大暴雨的数值模拟和诊断分析[J]. 气象,2012,(8):960-970.
- [9] 陈德辉,薛纪善,杨学胜,等. GRAPES 新一代全球/区域多尺度统一数值预报模式总体设计研究[J]. 科学通报,2008(20):2396-2407.
- [10] 陈德辉,沈学顺. 新一代数值预报系统 GRAPES 研究进展[J]. 应用气象学报,2006,17(6):773-777.
- [11] 濮梅娟. 暴雨天气动力过程及降水增幅机理的研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2005.