"7.18"山东暴雨过程分析 Ⅱ:WRF 模式边界层参数化方案对降水的影响

谭伟才1, 文映方2, 李启华3

(1.75839 部队, 广东广州 510510; 2. 贵州省贵阳市气象局, 贵州贵阳 550001; 3. 解放军理工大学, 江苏南京 211101)

摘要 [目的]分析不同行星边界层参数化方案对此次暴雨过程中降水模拟效果的影响。[方法]利用 WRF3.4 模式,选用不同边界层 参数化方案对"7.18"山东暴雨过程进行敏感性试验,研究不同行星边界层参数化方案对此次暴雨过程中的降水分布、降水极值出现时 间以及 BS、ETS 评分的影响。[结果]不论是否使用边界层参数化方案,均能模拟出雨带的基本走向,但不同方案对于降水中心强度及 其位置的模拟存在一定差异。不同边界层方案得到的模拟降水峰值的出现时间普遍比实际降水落后2~3 h,且其降水峰值之间存在较 大差异,其中 YSU 方案对降水峰值的模拟效果最好。综合 ETS 评分和 BS 评分结果可知,对于降水量较小(<25 mm)的模拟,不使用边 界层方案反而效果最好;对于中等降水量级(25~50 mm)的模拟,使用 Boulac 方案比较合适;对于暴雨或特大暴雨(>50 mm)的模拟,使 用 YSU 方案效果最好。[结论] WRF 模式中不同边界层参数化方案对降水模拟效果的影响较大,选择合适的边界层参数化方案能显著 提高降水的预报准确率。

关键词 暴雨;WRF 模式;敏感性试验;边界层参数化方案;降水 中图分类号 S165;P458.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)19-204-04

Analysis of "7.18" Shandong Heavy Rainfall II: the Impact of PBL Parameterizations to Precipitation in WRF Model

TAN Wei-cai¹, **WEN Ying-fang²**, **LI Qi-hua³** (1.75839 Army, Guangzhou, Guangdong 510510; 2. Guiyang Meteorological Bureau, Guiyan, Guizhou 550001; 3. PLA University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 211101)

Abstract [Objective] The aim was to analyze effects of different boundary layer parameterization schemes on precipitation simulation results in the heavy rainfall process. [Method] Using WRF mode 3.4 version, sensitivity test was conducted on "7.18" Shandong heavy rainfall process, effects of different boundary layer parameterization schemes on precipitation distribution, extreme occurrence time, BS and ETS scoring results were analyzed. [Result] The results showed that the rain band's general trend can be well simulated no matter the PBL parameterization schemes are used or not, but simulation of the intensity and location of the rainfall center differ to some extent. The showing up time of the rain peak obtained by different PBL schemes is generally 2 - 3 hours later than the actual result, and their rain peaks greatly differ with each other, among which the result of YSU scheme's simulation is the best. Synthesizing the result of ETS (Equitable Threat Score) and BS (Brier Score) show that no use of PBL schemes is the best for the simulation in the case of small amount of precipitation (i. e. ,less than 25 mm), while Boulac scheme is more appropriate in the case of medium rainfall-class (i. e. ,25 - 50 mm). As for rainstorm or extreme precipitation (i. e. ,more than 50 mm), YSU scheme gets the best result. [Conclusion] Different boundary layer parameterization schemes in WRF mode have significant influence on simulation results of rainstorm, using appropriate boundary layer parameterization scheme can improve the accuracy of precipitation forecast significantly.

Key words Rainstorm; WRF model; Sensitive experiments; Boundary layer parameterization schemes; Precipitation

大气边界层对于地面和自由大气之间的动量、热量和水 汽的交换有重要作用^[1]。近年来,利用中尺度数值模式研究 边界层参数化方案对暴雨预报的影响是暴雨研究领域的一 个热点课题^[2-5],如陈炯等^[3]利用 WRF 模式对比分析了一 次江淮暴雨过程中 MRF 和 MYJ 边界层参数化方案,结果表 明,分辨率为20 km 时 WRF 模式基本能够模拟出中尺度降 水的范围、位置和强度;黄泓等^[5]选用 WRF3.0 模式中的 MYJ、YSU、ACM2 边界层参数化方案针对不同性质的暴雨进 行敏感性试验,结果发现,模式中各个边界层方案在降水模 拟中所表现出的优势是相对的,没有方案能在所有量级降水 中始终占优势。该研究利用 WRF3.4 模式,选用不同边界层 参数化方案对 2007 年 7 月一次由中尺度对流造成的山东 "7.18"暴雨进行敏感性试验,探讨不同行星边界层参数化方 案对此次暴雨过程中降水模拟效果的影响。

1 资料与方法

1.1 模式方案简介 该研究使用的模式为新一代中尺度预 报和同化系统模式——WRF(weather research and forecasting)模式 3.4 版本。模式采用 Arakwaw - C 水平格点,垂直 方向采用气压地形坐标系,是一个完全可压缩的非静力模

作者简介 谭伟才(1991 -),男,湖南娄底人,硕士,从事中尺度气象学 研究。 收稿日期 2016-04-30 式。WRF3.4版本中提供了多种边界层参数化方案,在此选用YSU边界层参数化方案、MYJ边界层参数化方案、ACM2 边界层参数化方案、MYNN2.5边界层参数化方案、Bougeault – Lacarrere(Boulac)边界层参数化方案5种方案。其中YSU方 案在风、温度廓线中考虑了逆温层中卷夹作用造成的热量交 换,考虑了动能的非局地混合;MYJ方案是具有局部垂直混 合的预报湍流动能(*TKE*)方案,在实际模拟应用中也有较好 的效果,适用于研究精细的边界层结构;ACM2方案是具有非 局地向上混合和局地向下混合的非对称对流模式,能够描述 对流边界层中超网格尺度和此网格尺度的湍流输送;MY-NN2.5方案是预报次网格动能方案,计算量和时间花费较 小;Boulac方案是一个湍流动能预报方案,对于陡峭地形的 晴空湍流强度和位置预报较好,能够提供*TKE*强度的持续预 报^[6]。为了进行对比,同时设计了不使用边界层参数化方案 的试验。

1.2 资料选取 使用美国环境预报中心的一日4个时次的 1°×1°FNL再分析资料作为天气背景场和模式初边界条件。 使用0.25°×0.25°的 TRMM 卫星逐3h 再分析降水资料作 为实况数据进行对比验证。

1.3 试验方案设计 模拟过程采用单向两层嵌套,其中粗 网格格距为 36 km,格点数 70 × 70,细网格格距 12 km,格点 数为 106 × 91,中心网格点位于 118°E、36.65°N;垂直方向采

用η坐标,不等距分为30层;粗细网格积分步长均为60s; 长波辐射方案采用 RRTM 方案;短波辐射方案采用 Dudhia 方案;微物理过程方案采用 Lin 方案;积云对流参数化方案 采用 Kain – Fritsch 方案;陆面过程采用 Noah 路面过程方案; 在近地面方案上 MYJ 边界层方案采用 Monin – Obukhov(Janjic Eta)方案,其余均采用 Monin – Obukhov 方案(表1)。

Table 1 Design of experiment schemes				
方案 1Scheme 1	MYJ	Lin	Kain – Fritsch	Monin – Obukhov
方案 2Scheme 2	YSU	Lin	Kain – Fritsch	Monin – Obukhov
方案 3Scheme 3	ACM2	Lin	Kain – Fritsch	Monin – Obukhov
方案 4Scheme 4	MYNN2.5	Lin	Kain – Fritsch	Monin – Obukhov
方案 5Scheme 5	Boulac	Lin	Kain – Fritsch	Monin – Obukhov
方案 6Scheme 6	None PBL	Lin	Kain – Fritsch	Monin – Obukhov

试验安安设计

1.4 模拟结果评估为了更好地对不同的参数化方案进行 评估,在此运用模拟结果和 TRMM 资料,采用 BS(Bias Score) 和 ETS(Equitable Threat Score)评分方案对其模拟能力进行 定性、定量评估^[4]。其计算方法为:

$$ETS = \frac{h - R(h)}{h + f + m - R(h)}$$
$$R(h) = \frac{h \times c - f \times m}{h + f + m + c}$$
$$BS = \frac{h + f}{h + m}$$

式中,h 为实况发生且预报也发生的站点数;f 为实况不发生 但预报发生的站点数;m 为实况发生但预报不发生的站点 数;c 为实况不发生且预报也不发生的站点数。评估将降水 分为0~10、10~25、25~50、50~100、>100 mm 5 个等级。 若 ETS 评分为1,则为理想情况,即实际降水;ETS 评分为0, 则表示没有预报技巧。BS 评分理想值为1,若大于1则表明 预报降水过多,即存在湿偏差;若小于1则表示预报降水过 少,即存在干偏差。

2 结果与分析

2.1 降水范围及中心强度 从图 1 可以看出,降水主要位 于山东西部 116°~119°E 和山东东部 120°~123°E,其最大 降水量均在 150 mm 以上,其中西部的降水雨带存在 3 个降 水中心。另外,在鲁南地区存在一个较弱的降水中心,其最 大降水量为 110 mm 以上。

从不同边界层方案模拟的同时段内的 24 h 累积降水分 布(图 2)可以看出,所有方案的模拟结果雨带均呈东西向分 布,体现了实际降水的大体分布特征。其中,在 MYJ 方案的 模拟结果中,山东西部的 3 个降水中心均被模拟出来,但降 水范围偏小;鲁南地区的小型降水中心也被模拟出来,但险 置偏北;位于山东东部的降水中心相比实际的降水中心范围 明显偏小,同时量级也远没有达到实际水平。在 YSU 方案 的模拟结果中,降水中心的降水量级过大,西部的降水中心 存在整体偏南的情况,东部的降水中心位置偏西,且范围相 比实际较小;在鲁南地区的降水中心仍被模拟出来,但位置 靠北,同时中心强度也过大。从 ACM2 方案模拟的降水结果 可以看出,相比前 2 个方案,该方案的降水范围较小,但与实 际降水相比,山东西部的降水中心虽然仅模拟出了1个,但 其位置却有很好的一致性;而山东东部的降水中心模拟的范 围较小:整个方案所模拟的降水中心区域的降水量级均偏 大。在 MYNN2.5 方案的模拟结果中,山东西部与河南交界 处模拟出1个虚假的强降水中心;同时与实际降水相比,西 部的降水中心偏南,但强度并未偏大太多;在东部的降水中 心则范围明显偏小,同时降水量级也存在偏小的情况。在 Boulac 方案的模拟结果中,山东西部的强降水中心位置偏 南,同时中心强度偏大,且强降水中心仅模拟出了1个;而位 于山东东部的强降水中心没有被模拟出来。在未使用边界 层参数化方案的试验结果中,位于山东西部和东部的强降水 中心均未能被模拟出来,这是效果最差的方案,可见边界层 参数化方案对于暴雨过程预报、模拟的重要性。由此可知, 在此次暴雨过程的模拟中,YSU 方案和 ACM2.5 方案对于强 降水中心位置的模拟效果更好,而几乎所有的方案对于降水 量级的模拟均出现了降水中心量级偏大的情况。



图 1 2007 年 7 月 18 日 08:00~19 日 08:00 山东地区累计降水量 分布(单位:mm)

Fig. 1 Distribution of precipitation accumulation from 08:00 July 18 to 08:00 July 19 in 2007 in Shandong Province

2.2 降水峰值变化情况 在实际情况中,济南地区降水峰 值出现在18日19:00~20:00。与实际降水情况相比,模拟 结果的降水峰值比实际普遍落后2~3h出现,主要降水时段 在18日20:00~19日05:00(图3a)。其中,MYNN2.5方案 出现了2次峰值;ACM2参数化方案的降水峰值出现时间最 晚,峰值也最大;YSU 方案在 18 日 14:00~17:00 的降水最 大。而不使用边界层方案时,不仅峰值出现时间落后于实际 情况,同时峰值量级也远低于其他参数化方案。说明各参数 化方案对于济南地区暴雨降水量峰值出现时间的模拟与实 际存在差别,同时降水量也存在偏低的情况。

从各参数化方案模拟的3h累积降水量的变化情况(图 3b)可以看出,ACM2参数化方案累积降水量最早增长,同时 累积降水最多, MYJ 方案累积降水量最少。YSU、Boulac 和 MYNN2.5 方案的变化趋势较为一致,只是在量级上有所区 别;ACM2 方案在18 日 14:00 以前变化不明显,在17:00 降 水量突然大幅增加;而 MYJ 方案的降水在初始阶段就较少, 之后的趋势变化也是所有方案中幅度最小的。不使用边界 层参数化方案时所得到的降水明显比使用边界层参数化方 案的结果低很多。



注:a. MYJ 方案;b. YSU 方案;c. ACM2 方案;d. MYNN2.5 方案;e. Boulac 方案;f. None PBL 方案。

Note: a. MYJ scheme; b. YSU scheme; c. ACM2 scheme; d. MYNN 2.5 scheme; e. Boulac scheme; f. None PBL scheme.

图 2 不同边界层参数化方案模拟的 18 日 08:00~19 日 08:00 累计降水量分布(单位:mm)

Fig. 2 Distributions of 24 hours precipitation accumulation simulated by different PBL parameterization schemes during July 18 08:00 – July 19 08:00







2.3 边界层方案降水模拟评分 从 ETS 评分结果(图 4a) 可以看出,对于小雨量(<10 mm)的模拟,不采用边界层参 数化方案反而效果更好;对于中雨量(10~25 mm)的模拟, 效果最好的是 MYJ 参数化方案,Boulac 方案次之,最差的是 MYNN2.5 方案;对于大雨过程(25~50 mm)的模拟,效果 最好的是 Boulac 方案,最差的也是 MYNN2.5 方案;对于暴

雨过程(50~100 mm)的模拟,效果最好的是 Boulac 方案, 最差的是 YSU 方案;而对于大暴雨量(>100 mm)的模拟, YSU 方案效果最好。由此可见,对于小雨量的模拟,不使用 边界层参数化方案反而更好;对于中到大暴雨级别的降水 量,使用参数化方案明显比不使用参数化方案的好;从整体 来看,Boulac 方案比其他的方案模拟效果更好,但对于大暴



图 4 不同边界层参数化方案的 ETS 评分(a)和 BS 评分(b)对比

Fig.4 Comparison of ETS(a) and BS(b) results obtained by different boundary layer parameterization schemes

从 BS 评分结果(图 4b)可以看出,对于小雨过程的降水,所有的边界层参数化方案均存在干偏差,而不使用边界 层方案时则存在湿偏差;对于中雨降水过程,边界层方案表 现为湿偏差,其中偏差最小的是 YSU 方案,偏差最大的是 ACM2 和 MYNN2.5 方案;对于大雨的预报,偏差最小的是 ACM2 方案,此时偏差最大的是 YSU 方案;而当降水量达到 暴雨级别时,所有的方案均呈现出干偏差,其中偏差最小的 是 ACM2 方案和 Boulac 方案;到了大暴雨级别的降水,YSU 方案的效果最好,其他方案均存在明显的干偏差。由此可 见,对于小雨和中雨的模拟,不使用边界层方案时效果最好; 对于大雨和暴雨的模拟,使用 ACM2 方案效果更好;而对于 大暴雨的模拟,YSU 方案效果最好。

3 结论

该研究利用 WRF3.4 模式,选用6个不同行星边界层方案 对 2007 年7月山东的"7.18"暴雨进行敏感性试验,探究不同 边界层方案对降水模拟效果的影响,得出以下主要结论:

(1)不论是否使用边界层参数化方案,均能模拟出雨带的基本走向,但不同方案对于降水中心强度及其位置的模拟存在一定差异。在降水量较小的区域,即雨带的边缘地带,所有方案(包括不使用边界层方案)的模拟结果基本一致;但对于降水大值区或降水中心,不同边界层方案的模拟结果均整体偏南,且降水量值也存在较大差异,其中对于降水位置的模拟,采用 ACM2 方案效果最好,对于中心降水强度,采用

(上接第193页)

传播和旅游发展,由政府带头开启南珠品牌,旅游部门搭台 唱戏,同时结合雷文化推出独特的南珠品牌,这才是打响雷 氏南珠品牌的根本出路。

参考文献

[1] 刘超,易丽平,张莉.珍珠旅游发展探索[J]. 广东农业科学,2012(12):

MYNN2.5 方案效果最好。

(2)使用不同边界层方案得到的模式降水的峰值出现时 间普遍比实际降水落后 2~3 h,但其降水峰值存在较大差 异,其中 YSU 方案对降水峰值的模拟效果最好。而不使用 边界层方案时,不仅其降水峰值出现的时间显著落后于实际 结果,降水峰值也远低于其他使用参数化方案的结果。

(3)综合 ETS 评分和 BS 评分结果可知,对于降水量较小(<25 mm)的模拟,不使用边界层方案反而效果最好;对于中等降水量级(25~50 mm)的模拟,使用 Boulac 方案比较合适;对于暴雨或特大暴雨(>50 mm)的模拟,使用 YSU 方案效果最好。

参考文献

- [1] 蔡芗宁,寿绍文,钟青.边界层参数化方案对暴雨数值模拟的影响[J]. 大气科学学报,2006,29(3):364-370.
- [2] GILLIAM R C, PLEIM J E. Performance assessment of new land surface and planetary boundary layer physics in the WRF-ARW[J]. Journal of applied meteorology and climatology, 2010,49(4): 760-774.
- [3] 陈炯,王建捷.边界层参数化方案对降水预报的影响[J].应用气象学报,2006,17(S1):11-17.
- [4] HU X M,NIELSEN-GAMMON J W,ZHANG F. Evaluation of three planetary boundary layer schemes in the WRF model[J]. Journal of applied meteorology and climatology,2010,49(9): 1831 – 1844.
- [5] 黄泓,李刚,谭言科,等. WRF3.0 模式中边界层参数化方案对暴雨预报 的影响[C]//第26 届中国气象学会年会灾害天气事件的预警、预报及 防灾减次分会场论文集. 杭州:中国气象学会,2009.
- [6] 陆小勇,沈杭锋,吴静.边界层参数化方案在梅雨暴雨模拟中的应用比较[J].浙江气象,2011,32(4):11-16.

163 – 165.

- [2] 廖国一.环北部湾沿岸珍珠资源的开发利用和保护[J].广西民族研究,2002(3):104-110.
- [3] 李星,朱欣文.挖掘历史文化,创建旅游特色:雷州半岛旅游文化研究 力点浅论[J].湛江师范学院学报,2011,32(5):156-159.
- [4] 王雪芳. 雷州半岛区域旅游的竞合态势分析:基于环北部湾经济圈的 思考[J]. 旅游科学,2008,22(1):67-70.