

基于WRF的黄渤海海雾数值模拟参数化方案研究

李伟, 邵利民, 唐君, 郑崇伟

(海军大连舰艇学院航海系, 辽宁 大连 116018)

摘 要: 对数值模拟的研究现状进行了总结梳理,分析了已有研究的不足,并根据研究目标在已有研究结论基础上有针对性地设计了敏感性实验方案。经过与实地观测的结果对比来看,与海雾模拟密切相关的边界层参数化方案中的YSU方案对我国黄渤海海区的不同强度海雾均具有良好的适用性,而长波辐射方案中的Fu-Liou-Gu方案则具有更好的普适性,在这种核心方案配置下的模拟结果均可满足一般科学研究与预报业务的需求。

关键词: WRF 模式;黄、渤海海雾;数值模拟;最佳方案

中图分类号: P732.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2019)02-0088-09

1 引言

我国的黄渤海海域是典型的海雾多发区,特别是山东半岛与辽东半岛周边海区,据相关统计,在每年的5—7月,半岛内陆约有40~50 d的时间不同程度地受海雾侵蚀,严重影响当地的工农业生产和交通安全。在海上,海雾不仅阻碍交通,还可对海军舰载光电武器的使用造成严重影响,因此,对海雾进行科学及时的预报具有重要意义。

近年来,数值模拟成为各类气象预报的重要手段,而在海雾的数值模拟研究领域,WRF(Weather Research and Forecasting Model)以其独特的优势成为中尺度数值模拟的最佳选择之一,它不但可以满足一般气象预报的需要,还可以用于相关科学研究领域^[1]。但是,WRF系统具有明显的区域适应性,其在全球特定有限区域对特定天气现象的模拟需要根据区域地形和天气特点进行有针对性的参数化方案配置实验才能取得良好的模拟及预报效果。

2 研究现状与研究目标

WRF由美国环境预报中心(National Centers

for Environmental Prediction, NCEP)管理和维持,目前版本已更新到V3.9,是一款运行稳定、功能强大、兼容性强的大型软件系统。WRF可向用户提供较大立体空间内的详细气象信息参数,可满足温度、湿度、风力风向、降水等多种类型气象预报业务需求。就对海雾的模拟研究方面,截至目前,主要集中在南京信息工程大学和中国海洋大学等几所研究机构。

2.1 研究现状

在使用WRF对海雾的数值模拟研究中,南京信息工程大学的滕华超等研究者认为边界层方案对浓雾的模拟结果最为敏感^[2];黄政^[3]则从江苏省内多次大雾天气的观测与模拟的对比实验中认为微物理方案选用WDM6方案、边界层方案选用QNSE方案、陆面方案选用SLAB方案时模拟效果最为理想;在海雾的数值模拟研究中,中国海洋大学的饶莉娟^[4]则以湍流为研究的突破口,认为对于浓厚型海雾,边界层方案中的YSU方案模拟效果较好,而对于一般海雾,边界层方案中的MYNN方案则更为适合;齐伊玲^[5]和张守宝^[6]均认为长波辐射方案也能够显著影响模拟结果。

2.2 研究目标

已有研究各有侧重,共性结论为边界层方案的选取对于海雾模拟最为关键,其次为长波辐射方案,再次是微物理过程方案^[7]。但是,各方研究都没有触及的一个重要问题就是,对于尚未发生的海雾,在不知其强度大小的情况下,何种方案组合具有大小通用的特点,这就是本文研究的目标。

3 基本设置

为了研究WRF V3.9对我国黄渤海海区海雾模拟的适用情况,所选研究区域为渤海及周边陆海交接地带、黄海北部海域及山东半岛东南部,采用双层嵌套的模式^[8],如图1所示,外层区域范围为(ϕ 32.0°~46.0°N, λ 114.0°~132.0°E),内层区域范围为(ϕ 35.0°~42.0°N, λ 118.0°~127.0°E),外层分辨率为16 000 m,内层分辨率为5 333m,模拟的时间步长设置为30 s,垂直分层为40层,所用绘图工具均为GRADS分析绘图软件,所用时间均为北京时间(东8区区时)。

在上述基本设置下,WRF系统默认的核心参数化方案设置^[9]如表1所示:

4 敏感性实验

针对研究目标,本文以2017年上半年在黄渤海

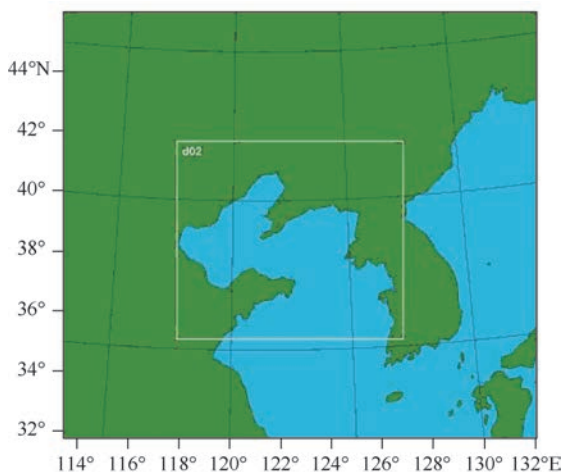


图1 数值模拟双层嵌套区域示意图

表1 WRF V3.9核心参数化方案设置

方案名称	WRF标记	所选方案
微物理过程方案	mp_physics	WSM3 and WSM5
边界层方案	bl_pbl_physics	YSU
积云过程	cu_physics	Kain-Fritsch
短波辐射方案	ra_sw_physics	Dudhia
长波辐射方案	ra_lw_physics	RRTM
陆面过程方案	sf_surface_physics	Noah
近地面过程	sf_sfclay_physics	MM5

发生的典型海雾为研究对象,研究发掘何种方案组合对各种类型的海雾均能获得最佳模拟效果。

4.1 边界层方案敏感性实验

对于边界层方案的敏感性实验,选取的研究对象为5月22日的08—20时的一次一般性海雾^[10](能见度大于1 000 m或雾体含水量小于0.015 g/m³)和5月30日20时—5月31日20时的一次浓厚型海雾(能见度小于500 m或雾体含水量大于0.08 g/m³)。

能见度与含水量的关系为经验公式 $V=0.085W^{-0.61}$,所用初始场为NCEP提供的FNL(Final)全球资料数据,水平分辨率为0.5°×0.5°,时间间隔为6 h。

(1)一般性海雾实况及模拟:2017年5月22日白天至夜间,黄海北部发生了一次强度较小的平流海雾,影响辽东半岛东部沿海、山东半岛东南部和成山头附近海域,大连市区受此影响能见度显著下降,但因其强度较小,并未对交通造成重大影响。海雾主要出现于青岛附近外海及沿海陆地,多地能见度不足1 000 m。

对于此次海雾,经数值模拟,在WRF后台可供选择的6个边界层方案中,只有YSU方案和MYNN方案有雾区出现,故只需讨论两者的适用性^[10]。图2 a—d)分别为边界层采用YSU方案、其余参数化方案采用默认配置的情况下,5月22日12时、13时、14时、15时的1 000 hPa等位势面大气含水量填色图。

而图3 a—d)分别为边界层采用MYNN方案、其余参数化方案采用默认配置的情况下^[11],5月22日12时、13时、14时、15时1 000 hPa等位势面的大气含水量填色图。

当日的上述雾区沿海地区空气相对湿度情况(见图4)从侧面反映了海雾的发展过程,经比对,

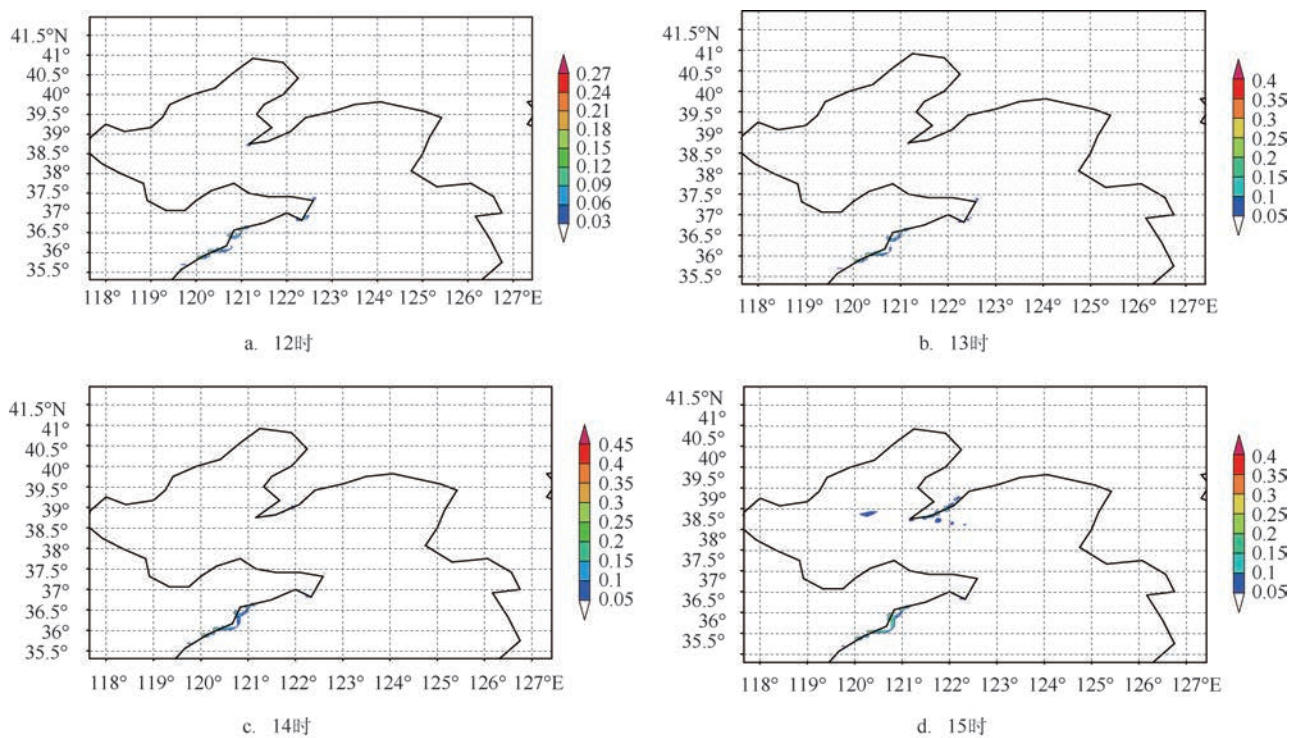


图2 YSU方案下的2017年5月22日轻雾含水量填色图(单位: g/m^3)

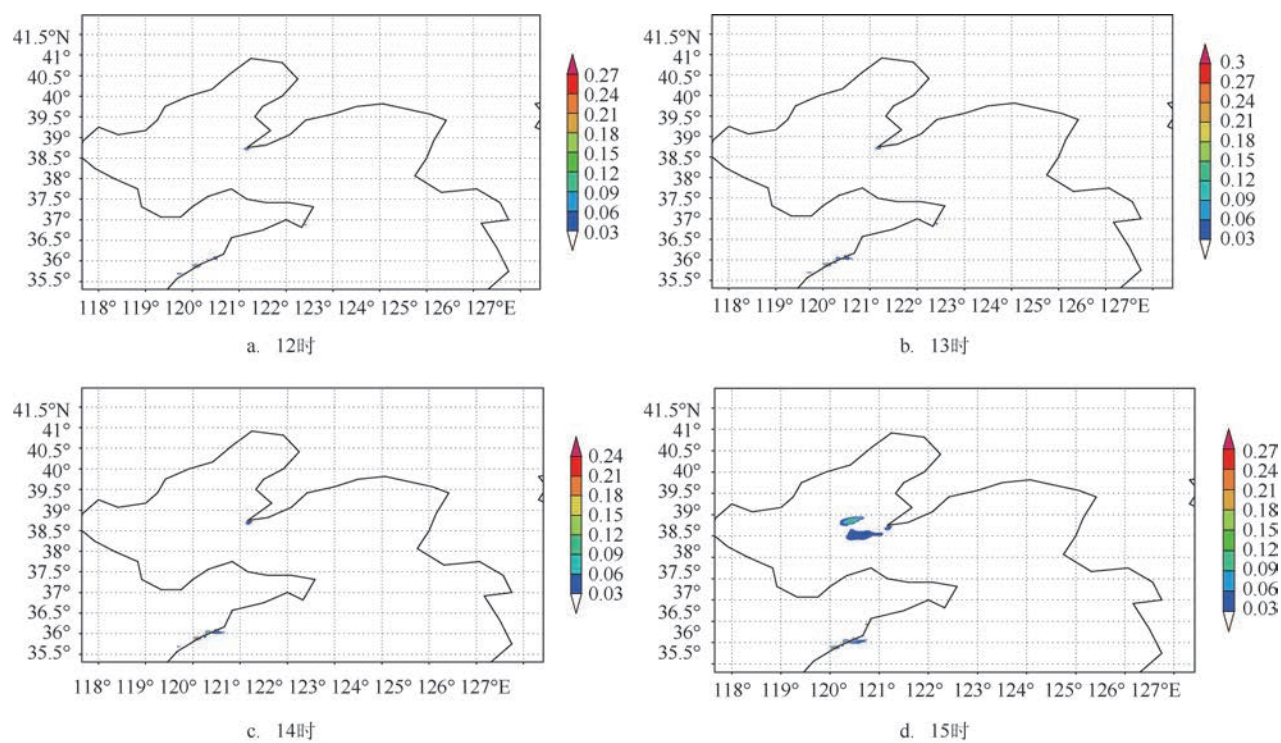


图3 MYNN方案下的2017年5月22日轻雾含水量填色图(单位: g/m^3)

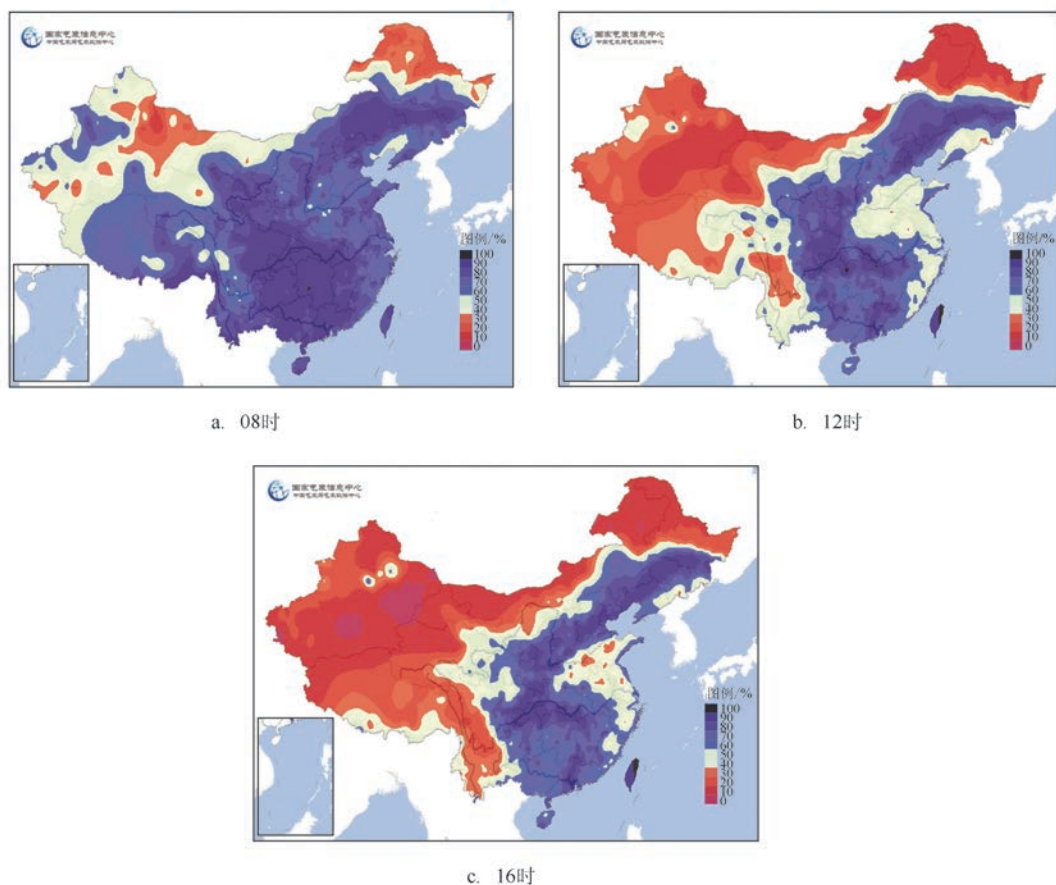


图4 2017年5月22日白天全国空气相对湿度(引自中央气象台网站,网址:<http://www.nmc.cn>)

YSU方案下的模拟结果非常接近实际情况,而MYNN方案则与实际相差较大。

(2)浓厚型海雾实况及模拟:2017年5月30日夜间—31日白天,黄海北部出现范围较大的平流雾,持续影响山东半岛和辽宁东部沿海地区30 h以上。受海雾影响,山东半岛沿海的石岛港外、崂山湾均有大面积雾区出现,舰船航行均需减速鸣笛;辽宁东部沿海从5月31日凌晨起能见度出现严重下降,至黎明前后出现最低能见度,辽宁丹东、庄河、普兰店直至大连金州区一线尤为严重,多地能见度不足500 m,至最盛时不足300 m。

对于此次海雾,经逐一模拟比较,较为理想的方案仍是YSU方案与MYNN方案^[12],图6 a—d分别为YSU方案下的5月31日04时、06时、07时、08时的1000 hPa等位势面大气的含水量填色图。

在MYNN方案下,可得图7所示模拟结果,图7 a—d分别为5月31日04时、06时、07时、08时的1

000 hPa等位势面^[13]大气含水量填色图。

通过读图可以看出,YSU方案下的模拟结果与实际情况契合较好,MYNN结果在辽东半岛东部沿海填色较为准确,而在山东半岛近海没有雾区显示,却在朝鲜半岛仁川以西海域显示有较大雾区,这与事实不符。

可见,对于浓厚型海雾,YSU方案明显较优。

4.2 长波辐射方案敏感性实验

根据3.1结论,在边界层参数化方案设置为YSU方案的前提下^[14],长波辐射方案分别采用CAM方案、New Goddard方案、Fu-Liou-Gu方案,对一般性海雾的模拟效果如图8所示:

图8 a—f分别为5月22日13时、14时的CAM方案、5月22日13时、14时的New Goddard方案和5月22日13时、14时的Fu-Liou-Gu方案下对应的大气含水量填色图。经与实际海雾过程比对,New

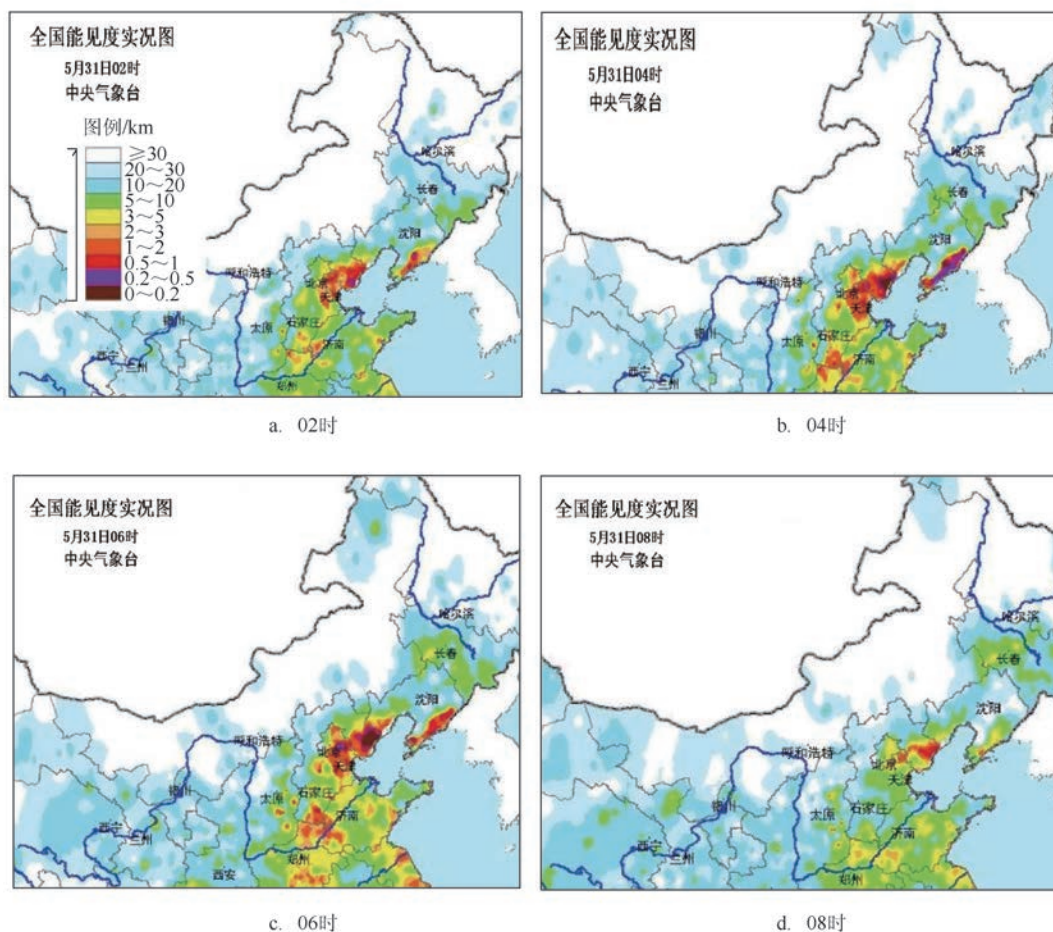


图5 2017年5月31日全国能见度实况图(引自中央气象台网站,网址:<http://www.nmc.cn>)

Goddard方案最差,CAM方案与Fu-Liou-Gu方案差别不大。

对于浓厚型海雾,3种方案的模拟效果如图9所示:

图9a—f分别为5月31日06时、08时的CAM方案、5月31日06时、08时的New Goddard方案和5月31日06时、08时的Fu-Liou-Gu方案下对应的大气含水量填色图。经与实际观测情况对比,Fu-Liou-Gu方案最优,CAM方案与New Goddard方案差别不大,但均不如Fu-Liou-Gu方案。

4.3 微物理过程方案敏感性实验

在边界层方案设置为YSU方案、长波辐射方案设置为Fu-Liou-Gu方案的前提下,对多个微物理过程方案分别进行了单独模拟。模拟结果显示,对同一区域、同一时间不同强度海雾的模拟效果之间未

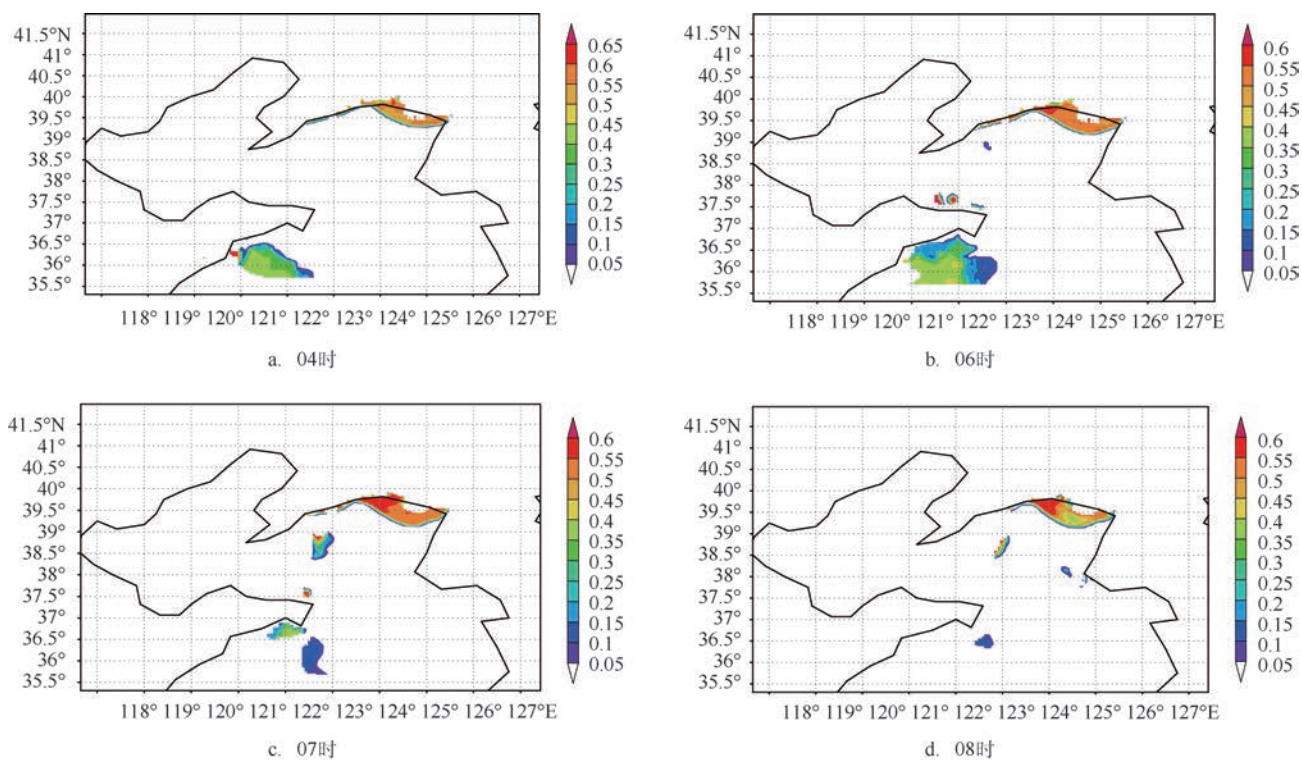
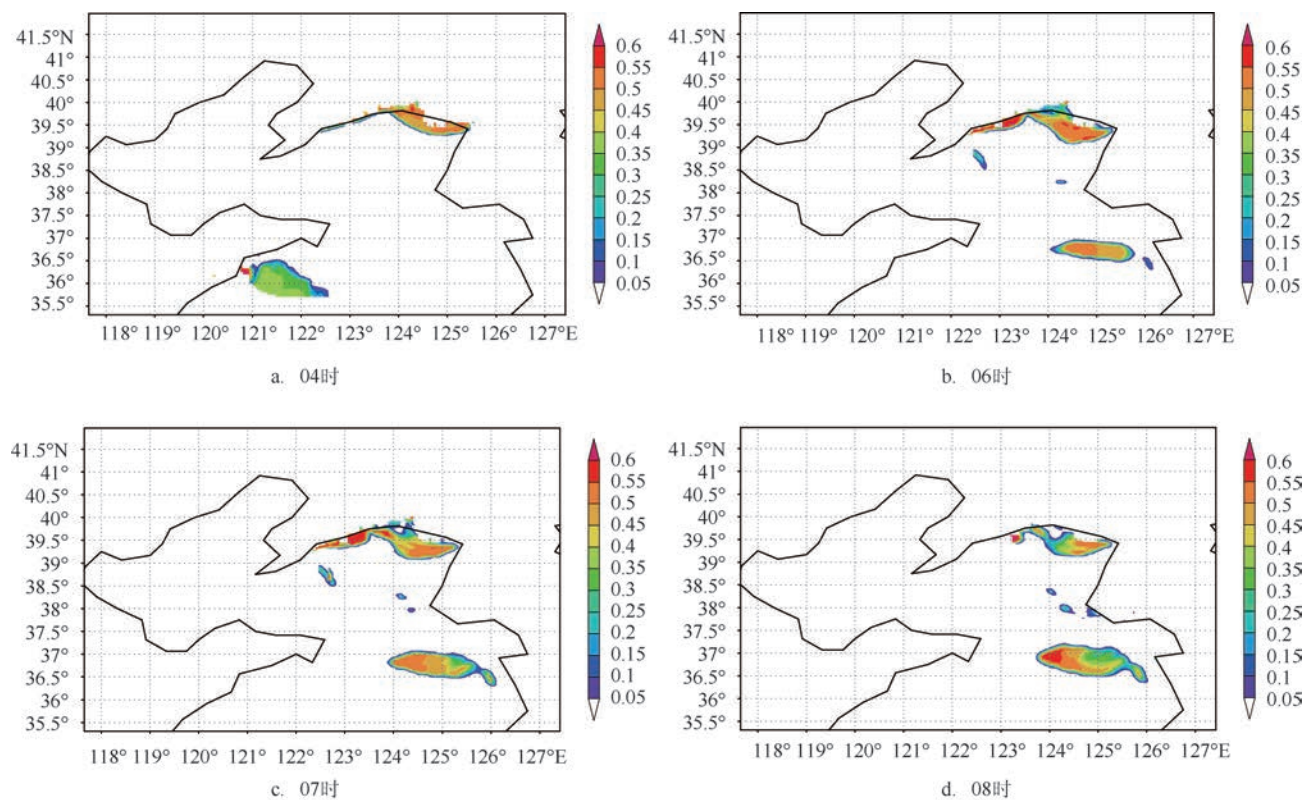
见明显差异,模拟结果对于微物理过程方案的敏感度较低。

5 结论

综上,在中尺度数值模拟系统WRF V3.9的模拟环境下,对于中国黄渤海海域春夏季的海雾模拟,在参数化方案的选取上可以得到如下结论:

(1)对于一般性海雾,采用边界层YSU方案的模拟效果显著优于其他方案,采用长波辐射方案的CAM方案与Fu-Liou-Gu方案均可获得较好模拟效果;

(2)对于浓厚型海雾,采用边界层YSU方案与MYNN方案均可实现满意的局部区域模拟,YSU方案稍优,采用长波辐射的Fu-Liou-Gu方案模拟效果显著优于其他方案;

图6 YSU方案下2017年5月31日的浓雾含水量填色图(单位:g/m³)图7 MYNN方案下2017年5月31日的浓雾含水量填色图(单位:g/m³)

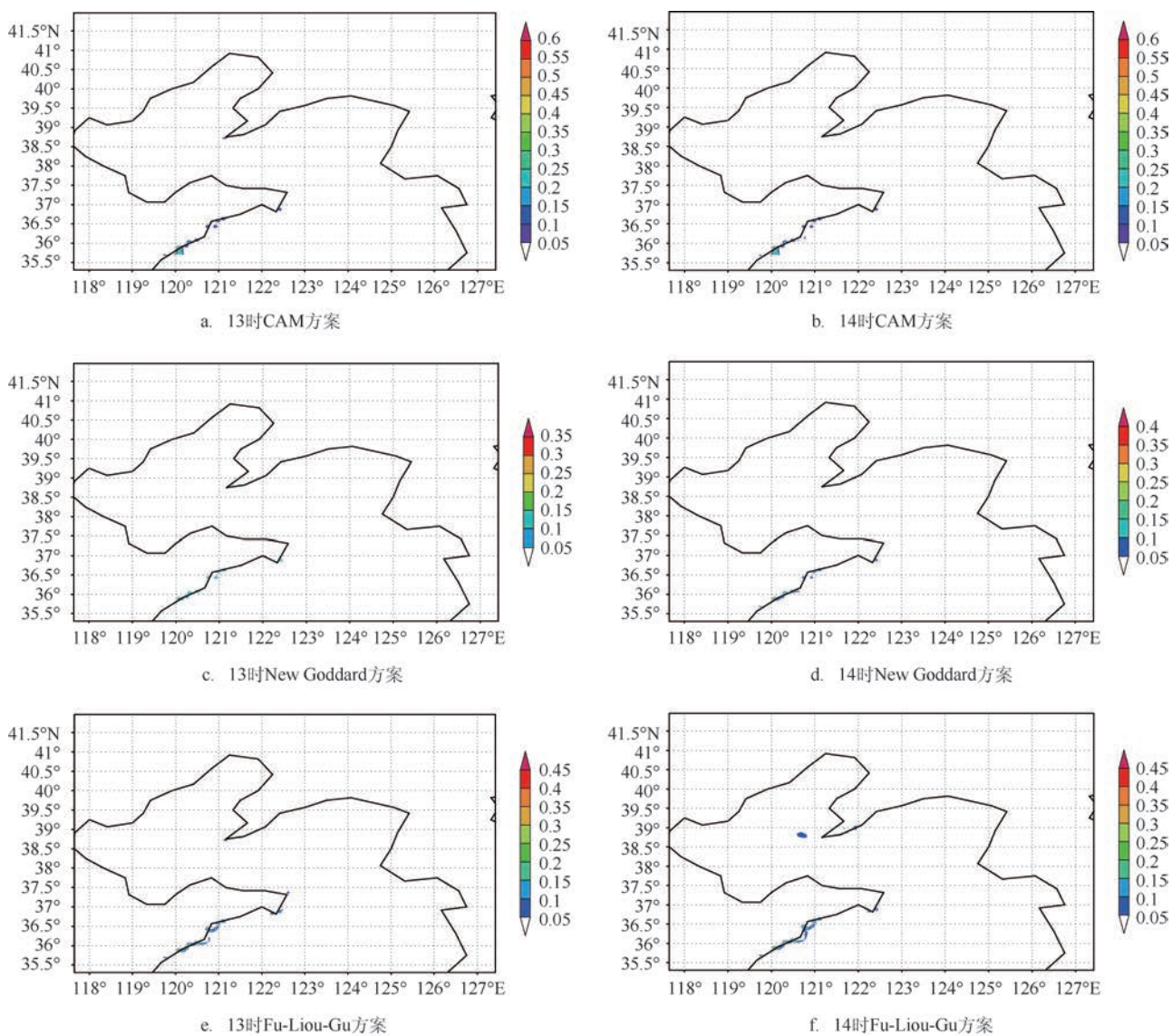


图8 轻雾下2017年5月22日的3种长波方案下含水量填色图(单位: g/m^3)

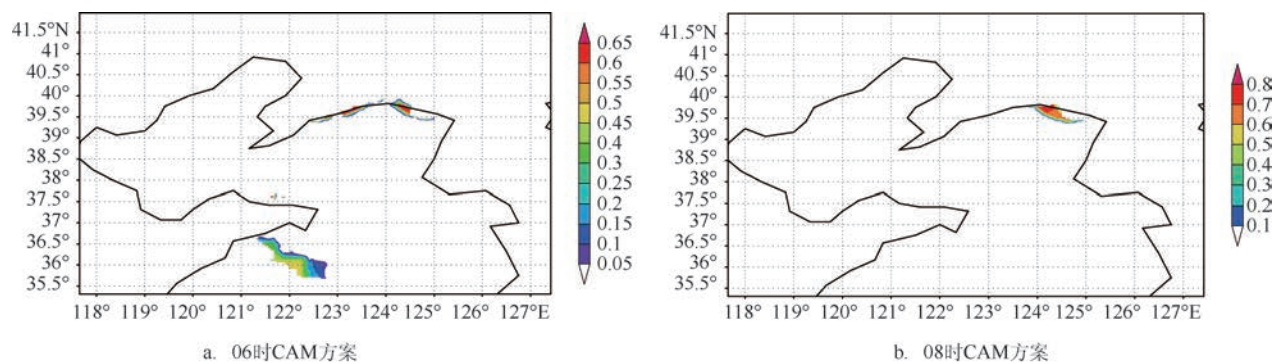


图9 浓雾下2017年5月31日的3种长波方案下含水量填色图(单位: g/m^3)

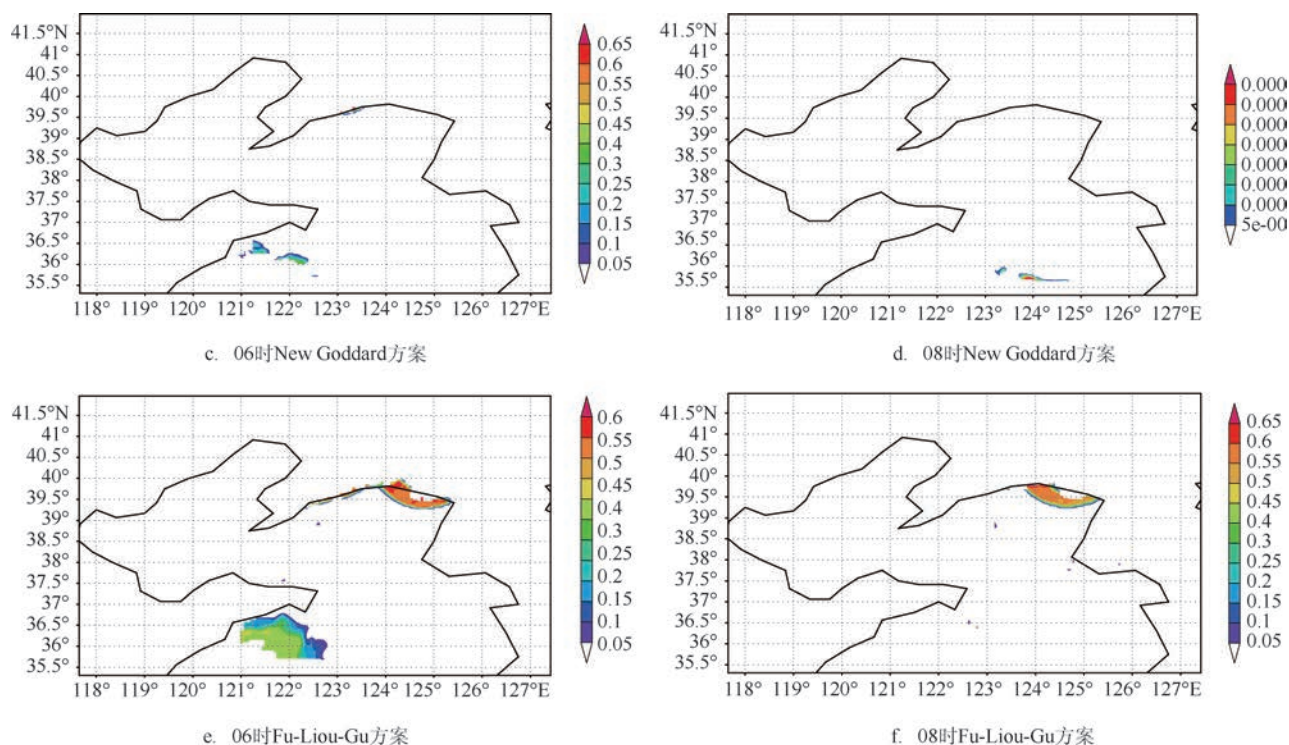


图9 (续)

(3)海雾模拟结果对于微物理过程方案的变化敏感度较低;

(4)无论对于何种强度的海雾,采用边界层方案的YSU方案与长波辐射的Fu-Liou-Gu方案组合均可获得较好的模拟效果。

在近海渔业生产和海上交通运输等各行业,如果能够预先获知海雾发生的范围、强度和生消时间等信息,就可以提前采取防范措施,避免各类经济损失,保障人民群众的生命财产安全。在军事应用中,可巧妙根据海雾分布及发展情况进行战术机动,达到出其不意的战术效果。

参考文献:

- [1] 李鹏远. 黄渤海雾的观测和基于WRF模式的数值模拟研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [2] 滕华超. 浓雾过程中尺度数值模拟及能见度集合预报个例研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [3] 黄政. 基于不同参数化方案的大雾数值模拟及预报效果评估[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.
- [4] 饶莉娟. YSU与MYNN边界层方案的黄渤海海雾模拟效果比较

[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.

- [5] 齐伊玲. 典型黄海平流海雾形成机制的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [6] 张守宝. 高压系统影响下黄渤海雾的形成机制研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [7] 刘子洲, 陈国光, 陆雪. 黄渤海浪天气时间尺度变化的数值模拟研究[J]. 海洋科学, 2017, 41(10): 77-85.
- [8] 李秀镇, 刘飞, 曹宗元, 等. 日本以南海域一次锋面雾过程分析[J]. 海洋预报, 2017, 34(3): 62-70.
- [9] Vitousek S, Fringer O B. Physical vs. numerical dispersion in non-hydrostatic ocean modeling[J]. Ocean Modelling, 2011, 40(1): 72-86.
- [10] 王鹏飞, 李子华. 微观云物理学[M]. 北京: 气象出版社, 1989.
- [11] 王如云, 汪天, 吴楚敏, 等. 基于WENO格式的高精度高分辨台风风暴潮数值模式[J]. 海洋预报, 2017, 34(2): 21-26.
- [12] 王延强, 张宇, 林波, 等. 基于NEMO的全球海洋环境预报模式在超算集群的计算性能优化[J]. 海洋预报, 2018, 35(3): 41-47.
- [13] 郑崇伟, 高悦, 陈璇. 巴基斯坦瓜达尔港风能资源的历史变化趋势及预测[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2017, 53(4): 617-626.
- [14] 张露, 傅赐福, 董剑希, 等. 台风“妮妲”风暴潮与近岸浪的数值模拟与预报[J]. 海洋预报, 2018, 35(2): 27-35.

Research on the parameterization scheme in simulating sea fog in the Yellow Sea and Bohai Sea based on WRF model

LI Wei, SHAO Li-min, TANG Jun, ZHENG Chong-wei

(Dalian Naval Academy, Dalian Liaoning 116018 China)

Abstract: In order to study the optimal parameterization scheme of WRF V3.9 in simulating sea fog in the Yellow Sea and Bohai Sea, this paper summarizes the current status of research on numerical simulation and its shortcomings, and designs sensitive tests according to the research objectives based on the present conclusions. By comparing with field observations, we find that the boundary layer parameterization scheme YSU shows good applicability in the Yellow Sea and Bohai Sea with different sea fog intensity. , and long-wave radiation scheme Fu-Liou-Gu shows better universality. The simulation results using those core scheme configurations can meet the needs of general scientific research and forecasting services.

Key words: WRF model; Yellow Sea and Bohai Sea; sea fog; numerical simulation; best solution