

文章编号: 1004-4353(2013)03-0231-04

基于 SWAN 模式的黄渤海一次强冷空气研究

刘志宏¹, 郑崇伟¹, 陈晓斌¹, 刘天宁¹, 张昊²

(1. 92538 部队气象台, 辽宁 大连 116041; 2. 65052 部队技术工作站, 吉林 白城 137101)

摘要: 利用 MICAPS、T639、日本传真图等资料,对 2012 年 1 月 20 日前后的一次强冷空气过程进行研究,并将各种预报产品和旅顺站预报经验相结合,对黄渤海的海表风场、海浪场进行预报和经验总结.此外,还利用 NFS(Non-hydrostatic Forecast System)风场驱动 SWAN(Simulating Waves Nearshore)模式,对此次冷空气所造成的大浪进行模拟,并将预报结果、模拟结果分别与观测资料进行对比,以提高预报能力和检验 SWAN 模式对发生在黄渤海的冷空气所致大浪的模拟能力.结果表明:以 NFS 风场为驱动场时,SWAN 模式可以很好地对黄渤海海域的海浪场(含波高、波向)进行模拟,预报的风场、海浪场与观测资料基本一致;在高速风下,预报的波高与实测波高一致性较好,但在中低风速下,预报的波高略低于实测值.

关键词: 海表风场; 海浪场; NFS 风场; SWAN 模式

中图分类号: P732.1 **文献标识码:** A

Analysis of a cold air wave process in the Bohai Sea and the Yellow Sea by using SWAN wave model

LIU Zhihong¹, ZHENG Chongwei¹, CHEN Xiaobin¹, LIU Tianning¹, ZHANG Hao²

(1. Meteorological Unit, No. 92538 Army of People's Liberation Army, Dalian 116041, China;
2. NO. 65052 Army of People's Liberation Army, Baicheng 137101, China)

Abstract: A cold air wave process happened in January 2012 in the Bohai Sea and the Yellow Sea is analyzed by using MICAPS, T639 and Japanese radiofacsimile weather map. In order to improve the forecasting ability, we also simulated this cold air wave process by using SWAN (Simulating Waves Nearshore) wave model with NFS (Non-hydrostatic Forecast System) wind data as the driving field. Results show that: (1) With NFSwind data as driving field, SWAN wave model can well describe the waves caused by the cold air in the Bohai Sea and the Yellow Sea. The forecasting wind field and forecasting wave field have good consistency with the observation data. (2) The simulation significant wave height has good consistency with the observation value under strong wind. And the simulation significant wave height is slightly smaller than the observation value under weak wind.

Key words: wind field; wave field; NFS wind data; SWAN wave model

黄渤海冬、春季偏北大风多发,常给航运、渔业等带来影响,甚至引发风暴潮灾害.海浪作为海洋环境中一个极其重要的海洋要素,在给人类灾害的同时,也可作为资源被人类利用,尤其是海浪中的涌浪,具有能量巨大、稳定性好特点,对其进行开发(如海浪发电、海水淡化等)将会给人类带来福祉^[1-6];因此,深入研究海浪特征,不仅有利于

防灾减灾,也有利于海洋能的开发和利用.

多年来,气象工作者对冷空气活动进行了大量的天气动力学诊断和数值模拟研究,取得了一些有益的成果^[7],但我国幅员辽阔,地理、气候条件差异很大,冷空气影响过程也不尽相同,故深入分析冷空气活动并探索其引发的大风与海浪的内在关联尤为必要.本文在对 2012 年 1 月 19—22

日的强冷空气过程进行了重点关注和预报的基础上,利用分析资料和常规观测资料以及数值模拟等手段对此次过程进行回顾,着重分析偏北大风与大风造成的海浪之间的内在关联,为冬、春季节强冷空气活动实时预报业务提供参考依据。

1 资料简介

1.1 风场资料

常用风场有 ERA-40 海表 10 m 风场、NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 风场、QN (QuikSCAT/NCEP) 混合风场、CCMP (Cross-Calibrated, Multi-Platform) 风场和 NFS (Non-hydrostatic Forecast System) 风场。由于 NFS 风场在时空分辨率、数据精度等方面均优于其余风场^[1-3,8-10],因此本文利用空间分辨率为 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$,时间分辨率为 3 h 的 NFS 海面风场^[10]驱动 SWAN 模式,对 2012 年 1 月 20 日前后的一次强冷空气过程所致的大浪进行模拟研究。

1.2 海浪观测资料

通常的海浪观测资料有:人工观测数据、浮标观测资料、海洋调查船观测数据、模拟海浪与观测海浪同化数据、卫星资料反演的有效波高 (Significant Wave Height, SWH)^[11]。T/P 高度计在我国黄渤海海域仅 6 条轨道^[12],且轨道重复周期较长,反演的数据在时空分辨率方面有很大缺陷。鉴于此,本文利用某邻国的海浪观测数据,用于与本台预报结果及 SWAN 模拟结果进行比较。

2 天气形势分析

2.1 天气过程简介

2012 年 1 月 19—22 日我国大部地区受到一次强冷空气活动的影响:西北地区大部、华北、东北地区中南部、黄淮、汉水流域、江淮和江南北部地区先后出现了 5~6 级偏北风,短时风力达 7~8 级,东部海区出现 8~9 级偏北风;大部地区 48 h 的最低气温下降 6~8℃;西北东南部、华北西南部、西南地区东北部、汉水流域、江淮及江南大部地区降下小到中雨雪。

2.2 天气形势

此次冷空气影响我国前期,欧亚大陆东部中高纬度 500 hPa 高度场维持着平直的纬向环流,间或有短波槽脊划过,槽后小股冷空气不时侵扰

我国北方地区。从 1 月 16 日起,巴尔喀什湖以西地区高脊强烈发展,致使西伯利亚冷空气开始向南爆发。至 1 月 18 日 08 时,500 hPa 高空图(图略)自贝加尔湖至我国新疆西部为一横槽,横槽后部 -46.9℃ 的冷中心位于内加尔湖地区,等温线落后于等高线。中亚地区存在的高脊进一步发展形成阻塞高压并向东北方向伸展,南侧高压的偏东气流引导冷空气不断向西伯利亚地区输送、堆集。对应地面场在贝加尔湖以西冷高压中心强度已达到 1057 hPa(图略),且还在增强。此时,台湾岛东部海区有一低压倒槽发展北抬,配合南下的冷空气,昭示我国东部海区即将出现一次偏北大风过程。

在 19 日 20 时的 500 hPa 高空图(图 1)上,阻塞高压稳定坚挺,横槽南压进入我国境内,冷中心位于我国东北与蒙古国边境,冷槽与低槽接近重合,同时东北西南部和华北西部各有小槽东移。在 1 月 19 日 20 时地面分析图(图 2)上,冷高压长轴转为西北—东南向,中心强度升至 1067 hPa;由台湾东部海区发展北抬的倒槽低压中心已伸至日本群岛南部。

由于冷中心位置偏东,加之高空温压场的配置,使得横槽断为东西两段:西段因后部冷空气的不断注入而形成切断低压,东段则随冷中心东移逐渐转竖。因连日不断有小股冷空气侵袭,槽前暖平流较弱,没有建立起槽前的西南流场,取而代之的是偏西气流,并将部分冷空气带到槽前,使槽前高脊难以发展,进而有利于冷空气东移。在这种形势下,前期貌似强大的冷空气没有集中爆发和引发寒潮,而是以扩散的方式影响我国大部地区,配合海上低压倒槽,造成东部海区出现 8~9 级偏北大风,且持续时间较长。

针对这次冷空气过程,旅顺站 18 日中午提前发布了海区大风、大浪警报。经实际观测验证,旅顺站起风时间为 1 月 19 日 23 点(9 m/s),大风一直持续至 21 日 14 点,期间风速基本都在 10 m/s 以上,最大风速为 19 m/s(1 月 21 日 2 点),与预报结论一致。本文将邻国某观测站的观测 SWH 与预报波高进行比较,预报结果与观测结果基本一致,具体实测数据见图 3。在高风速下,预报的波高与观测波高吻合,但在中低风速下,预报的波高比观测值略有偏低,这可能是预报时主要考虑了风浪,而在实际海洋中,风浪和涌浪往往并存。

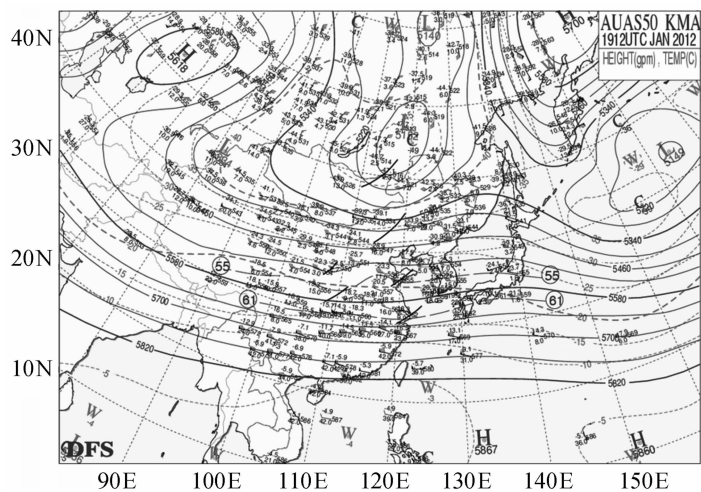


图 1 2012 年 1 月 19 日 20 时欧亚大陆 500 hPa 高空图

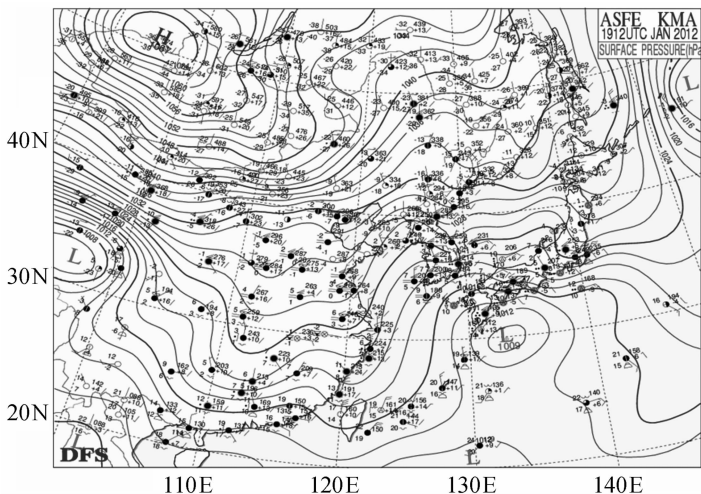


图 2 2012 年 1 月 19 日 20 时欧亚大陆地面天气形势图

3 冷空气过程的数值模拟研究

利用 NFS 风场驱动 SWAN 模式,对此次冷空气所造成的海浪进行模拟,模拟范围为东中国海,模式分辨率取 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$,每小时输出一次结果,以后报的手段检验预报的效果. SWAN 模式是由荷兰 Delft 理工大学在 WAM 模式的基础上发展起来的,通常用于近海、湖泊以及江河口区,其计算精度和稳定性较好,很多海洋预报中心已将其作为业务化海浪预报模式. 研究^[13-15]表明 SWAN 模式对中国海的台风浪场也具有较好的模拟能力.

本文将邻国某观测站观测的 SWH 与利用 SWAN 模式模拟的 SWH 进行比较. 由图 3 可见,无论是在中低风速下还是高风速下,SWAN 模式模拟的 SWH 与浮标观测的 SWH 走势基本一致. 为准确比较观测的 SWH 与模拟的 SWH

之间的差异,计算得出其均方根误差(RMSE)为 0.46,偏差(Bias)为 -0.08,相关系数(CC)为 0.94. 统计上存在 0.08 m 的负偏差,说明模拟的 SWH 稍小于观测的 SWH, CC 为 0.94 表明通过了 99% ($\alpha_{0.01}=0.31$) 的信度检验, RMSE 为 0.46 表明其接近观测站观测的 SWH. 此外,模拟的 SWH 走势比观测的 SWH 走势更为平缓,见图 3. 以上说明, SWAN 模式对黄渤海海域的海浪场具有较好的模拟能力.

由于此次冷空气过程给整个黄渤海海域带来的是明显的北-西北风,观测浪向和模拟浪向也基本都以北-西北向为主导,因此本文只列出 2012 年 1 月 22 日 20:00 时东中国海海浪场分布图(图 4), 以此对此次冷空气所造成的海浪场进行分析. 研究发现:黄渤海的波向以北-西北向为主导,东海则以北-东北向为主导,波高的相对大值区分布于

渤海海峡、黄海中东部海域、琉球群岛附近海域、台湾海峡,这几个海域的 SWH 基本都在 2.7 m 以上;在同一纬度,黄海西部海域的 SWH 明显低于中东部海域.此外,根据日常出海海洋水文保障和海洋调查的经验,并结合黄渤海海域近 22 年的波候特征^[16]发现:冷空气入侵时,黄海西部海域的波高往往小于中东部海域,这个现象与海浪成长理论的风时、风区原理相吻合,此次冷空气过程也较好地说明了这一现象.

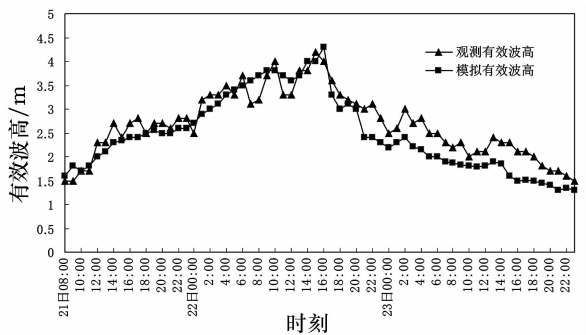


图 3 邻国某观测站的观测有效波高与 SWAN 模式模拟的 SWH(站点位置为 34.8°N 125.8°E)

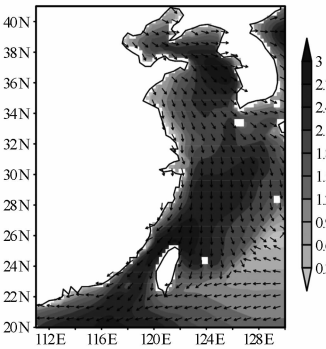


图 4 SWAN 模式模拟的 2012 年 1 月 22 日 20:00 时东中国海海浪场(单位矢量代表波向,背景色的深浅代表波高)

4 结论与展望

此次预报的风场、海浪场与观测资料基本一致:在高风速下,预报的波高与实测波高吻合;在中低风速下,预报的波高与实测值比较略有偏低,这可能是由于此次考虑过程主要以风浪为主导,而在实际海洋中,风浪和涌浪往往并存,也不乏“无风三尺浪”的现象.在今后的工作中,需要对该海域涌浪指标的季节特征和月变化特征进行统计分析,了解不同季节涌浪的特征,以更好地对该海域的混合浪波高进行预报^[17].

本文表明,SWAN 模式可以很好地对黄渤海

海域的海浪场(含波高、波向)进行模拟.此外,由于 SWAN 模式还可以实现涌浪的分离,因此可利用 NFS 风场驱动 SWAN 模式,实现黄渤海风浪、涌浪分离海浪预报和波候统计分析,为海洋水文保障、海洋工程、海洋能开发、国防等提供科学依据.

参考文献:

[1] 郑崇伟,李训强.基于 WAVEWATCH-III 模式的近 22 年中国海浪能资源评估[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2011,41(11):5-12.

[2] 郑崇伟.全球海域风能资源储量分析[J].中外能源,2011,16(7):43-47.

[3] Zheng C W, Zhuang H, Li X, et al. Wind energy and wave energy resources assessment in the East China Sea and South China Sea[J]. Sci China Tech Sci, 2012,55(1):163-173.

[4] 郑崇伟,周林,周立佳.西沙、南沙海域波浪及波浪能季节变化特征[J].海洋科学进展,2011,29(4):419-426.

[5] 郑崇伟,苏勤,刘铁军.1988—2010 年中国海浪能资源模拟及优势区域划分[J].海洋学报,2013,35(3):104-111.

[6] Zheng C W, Pan J, Li J X. Assessing the China sea wind energy and wave energy resources from 1988 to 2009[J]. Ocean Engineering, 2012,65:39-48.

[7] 王文辉,徐祥德.西盟大雪和“77.10”暴雪分析[J].气象学报,1979,37(3):80-86.

[8] 郑崇伟,潘静,田妍妍,等.全球海域风浪、涌浪、混合浪波候图集[M].北京:海洋出版社,2012.

[9] 郑崇伟.基于 CCMP 风场的近 22 年中国海表风场特征分析[J].气象与减灾研究,2011,34(3):41-46.

[10] 何积忠.应用欧盟越波手册公式模拟屏东番子岑复合式海堤台风越波流量之评估研究[D].台北:国立台湾海洋大学,2010.

[11] 郑崇伟,林刚,邵龙潭.1988—2010 年中国海大浪频率及其长期变化趋势[J].厦门大学学报:自然科学版,2013,52(3):395-399.

[12] 郑崇伟.南海海浪特征分析及波浪能资源评估[D].南京:解放军理工大学,2011.

[13] 郑崇伟,郑宇艳,陈洪春.基于 SWAN 模式的近 10 年南海北部波浪能资源研究[J].亚热带资源与环境学报,2011,6(2):54-59.

[14] 刘志宏,郑崇伟,郑宇艳,等. SWAN 模式对一次台风过程的模拟研究[J].军事气象水文,2011,3:31-33.

[15] 郑崇伟,周林,卢扬,等.两种海浪模式对东中国海一次台风浪的模拟比较[J].气象水文装备,2010,21(4):48-50.

[16] 李训强,郑崇伟,苏勤,等.1988—2009 年中国海波候、风候特征分析[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2012,42(增刊一):1-9.

[17] 郑崇伟,周林,刘志宏.近 45 年大西洋波候统计分析[J].海军大连舰艇学院学报,2011,34(2):50-53.