

渤海湾风暴潮天气系统及风场结构个例分析

胡 欣 景 华 王福侠 张迎新

(河北省气象局气象台, 石家庄 050021)

摘要 利用常规资料、中尺度模式(MM5)模拟结果和自动站资料分析了 2003 年 10 月 11 日渤海湾风暴潮的天气系统及风场结构特征。分析表明,强冷空气从偏东路径南下与强盛的暖湿急流及地面倒槽的共同作用,形成持续强东北大风是引发渤海湾风暴潮的主要强迫动力,风应力海水向岸输送(增水)范围约 100 km,持续时间 10~12 h,风应力增水作用与天文大潮相叠加直接导致风暴潮的发生。1985 年以来渤海湾成灾风暴潮发生的几率明显增加。

关键词 渤海湾 风暴潮 天气系统 风场结构

引言

渤海湾沿岸是我国风暴潮最严重的地区之一。游景炎分析得到,1949~1994 年的 45 年间发生 14 次风暴潮,成灾风暴潮(高潮位大于等于 5.4 m,造成重大灾害)有 4 次,平均 11 年 1 次^[1]。1995~2003 年又发生 2 次成灾风暴潮。

引发风暴潮的天气系统主要有两类^[2]:强冷空气活动和热带气旋。6 次重大灾害风暴潮中 4 次是热带气旋,2 次为强冷空气,两类个例均不多,强冷空气的更少。

2003 年 10 月 10~12 日受强冷空气及地面倒槽的共同影响,渤海西部海面及沿海地区出现了 7~8 级东北风,阵风达 10~11 级;在天文大潮的叠加作用下,11 日凌晨和傍晚河北省沧州沿海地区分别出现了风暴潮,最高潮位达 5.69 m。这次风暴潮来势凶猛,强度大,持续时间长。大风和风暴潮使沿海的沧州、唐山、秦皇岛市的部分县(市)受灾严重,交通、电力、通讯等设施遭到一定破坏,直接经济损失 2.44 亿元,其中农业经济损失 9800 万元。由于预报服务及时,未发生人员伤亡。河北省中尺度模式对这次天气过程预报比较成功,因此,我们利用模式产品、常规观测资料和自动站资料对影响这次风暴潮的天气系统及风场结构进行了初步分析,得到了风暴潮成因的某些启示。

1 诱发浅海区风暴潮的主要因子

1.1 主要气象因子

渤海湾位于 38°~39°N,117.5°~119°E 的海域,面向渤海敞开呈喇叭形状,又是浅海大陆架。研究表明,引发浅海区风暴潮的气象因子有 3 个,即气压、风向风速和降水。

1.1.1 气压

按静力学公式,气压下降(升高)1 hPa,海面升高(降低)1 cm。冷空气南下,气压升高,对应海面应降低。可见气压不是冷空气引发风暴潮的因子。这一点从这次过程黄骅自动站的气压以及黄骅港口潮位的时序图(图 1)中得到印证。图中气压逐步升高,与潮位起落变化对应关系不明显。这与台风引发风暴潮气压与潮位变化的反相位不同^[3]。

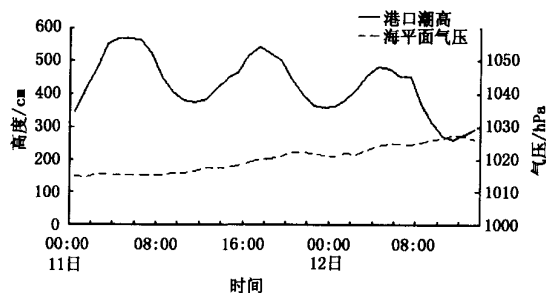


图 1 黄骅自动站气压以及黄骅港口潮位时序图

1.1.2 降水

通常认为,降水对风暴潮的影响很小,但当沿海地区有强而急的降水,产生很大的径流时,可使海面升高,对风暴潮有一定影响。这次风暴潮过程中,河北省出现了历史同期罕见的暴雨,渤海湾沿岸位于暴雨中心附近 10 日 08:00 到 11 日 08:00 普降 100~150 mm 的大暴雨,特别是风暴潮前期 10 日 20:00 到 11 日 02:00,沧州沿海有明显的降水中心,6 h 降水量达 64 mm。这次历史同期罕见的暴雨,对沧州沿海来势凶猛强度大的风暴潮有一定的影响,不应忽视。

1.1.3 风向风速

由黄骅港逐小时风向风速与港口实测潮位(图 2)分析可见,风向、风速与风暴潮潮位存在密切的关系。在第一次风暴潮爆发前,10 日 18:00 至 11 日 00:00 有 7 h 为东到东北风,风速从 6 m/s 逐步增加到 13 m/s,风向的偏东分量较大,向岸风的应力较强,导致 11 日 03:00~07:00 连续 5 个时次高潮位超过 5 m,其中 03:00~06:00 连续 4 个时次达到成灾高潮位(潮位大于等于 5.4 m),最高潮位达 5.69 m(04:00);而从 11 日 08:00~16:00,一直为东北风,虽风速较大,均在 8 m/s 以上,平均约为 12 m/s,但风的偏东分量相对较小。而下午高潮位的高度和持续时间均比凌晨小,有 4 个时次(16:00~19:00)潮位超过 5 m,其中只有 17:00 达到成灾高潮位 5.44 m。可见持续的强向岸风及其应力作用是这次风暴潮的主要强迫动力。

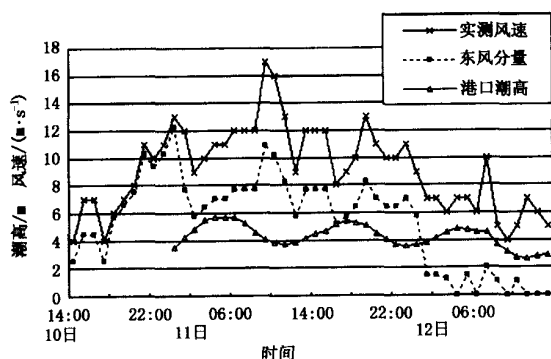


图 2 2003 年 10 月 10~12 日黄骅逐时风速以及东风分量与港口实测潮位的变化曲线

1.2 天文大潮与风暴潮

许多研究已证实^[1,2],由气象因子影响产生的海水增水现象与天文高潮相叠加,才能产生风暴潮。

渤海湾天文大潮要比理论上的朔日(农历初一)和望日(农历十五)延后 2~3 天。

这次风暴潮出现在农历九月十六,正值渤海天文大潮。渤海湾塘沽到沧州沿海一带为典型的正规半日潮。天文高潮一般为早晨 05:00 和下午 17:00 左右。从图 2 可看到 2 次风暴潮出现时间分别为 11 日凌晨 04:00 和下午 17:00,正是天文高潮时刻。此后 12 日凌晨 5:00 虽仍为天文高潮时刻,前期 11 日 17:00 至 12 日 05:00 风速仍较大(图 2),但由于风向转为偏北风,向岸的偏东分量减小,风应力增水作用减弱,没有出现风暴潮。因此,考虑冷空气南下是否引发渤海湾风暴潮必须注意向岸风应力以及与天文大潮叠加的作用。

1.3 渤海湾成灾风暴潮近年呈增加趋势

据游景炎等人的研究^[1],历史上渤海湾平均十几年发生 1 次“大潮灾”。1949 年建国以后,有关风暴潮的资料日趋完整,可作为研究依据。1949~1994 年的 45 年间有 4 次成灾风暴潮(高潮位大于等于 5.4 m),平均 11 年 1 次,接近历史上的大潮灾频率。1995~2003 年又发生 2 次成灾风暴潮,这样建国后 55 年间发生了 6 次造成重大灾害的风暴潮,分别出现在 1965、1972、1985、1992、1997 和 2003 年,自 1949 年后 16 年才出现建国后的第一次成灾风暴潮,以后的成灾风暴潮相隔的时间分别为 7、13、7、5、6 年,固定的周期不明显。但自 1985 年以后,基本上每隔 5~7 年发生 1 次,发生几率明显增加。由天津地区防潮警戒水位核定工作报告中得到的天津新港极端高潮位不同重现期计算结果(表 1)中可见,这次黄骅港实测的凌晨高潮位(5.69 m)和傍晚高潮位(5.44 m),分别接近于天津新港的 100 年期和 30 年期。这种渤海湾风暴潮近年发生几率增加、强度增强以及灾害加剧趋势产生的原因尚不清楚,特别是是否与气候变暖相联系等一系列问题有待进一步研究。

表 1 天津新港极端高潮位不同重现期计算

潮位/m	重现期/年							
	2	4	10	20	30	40	50	100
	4.84	5.02	5.22	5.37	5.45	5.50	5.56	5.71
	4.84	5.02	5.22	5.37	5.45	5.50	5.56	5.71

2 天气系统演变

这次天气过程伴随着华北平原的大范围暴雨天气,有关暴雨的成因另有文章进行较深入的研

究^[4]。这里主要分析与风暴潮关系密切的大气低层的天气系统特征。

2.1 高空天气形势演变

由 10 月 9 日 08:00 至 12 日 08:00 的 700 hPa 平均高度场(图 3)可见,在乌拉尔山东部为高压脊,亚洲大陆的中高纬为低值区,贝加尔湖有一横槽,横槽前部维持几千米的纬向环流,冷空气南下缓慢;在四川西部有一西南低涡,其前部暖湿气流强盛,形成了一支大尺度的偏南风低空急流,抑制着北方冷空气的南下。同时间 500 hPa 平均高度场(图略)与图 3 较为相似;同时间 850 hPa 平均高度场(图略)上,渤海处于大范围的鞍形场的中部,随着冷暖空气的运动,冷暖空气在华北南部至渤海一带交绥。

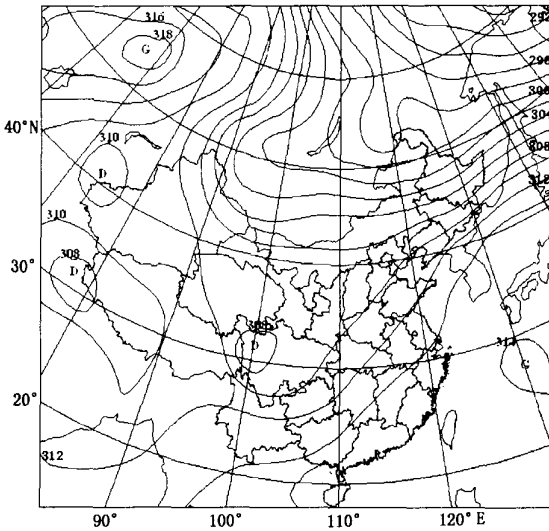


图 3 2003 年 10 月 9 日 08:00 至 12 日 08:00 700 hPa 平均高度场

2.2 地面形势场演变

与高空冷空气相配合,地面有明显的冷高压和冷锋。从地面高压中心以及冷锋和 3 h 正变压中心的动态图(图 4)中可清晰地看到,这次冷空气自西北向东南移动,强度于 11 日 08:00 达最强,高压中心达 1059 hPa。从冷锋及 3 h 正变压中心的移向及变化可见,随着冷空气的东移南压,地面冷锋向东南方向移动。10 日 08:00 后冷锋北段移速较快,位于华北南部至渤海的一段冷锋移动较慢。这表明,由云贵高原到渤海的偏南风暖湿急流十分强盛,抑制了北方冷空气南下。

在这种天气形势下,一是在冷高压的东南方有弱倒槽,且随着中低层暖平流的增加,倒槽从 10 日

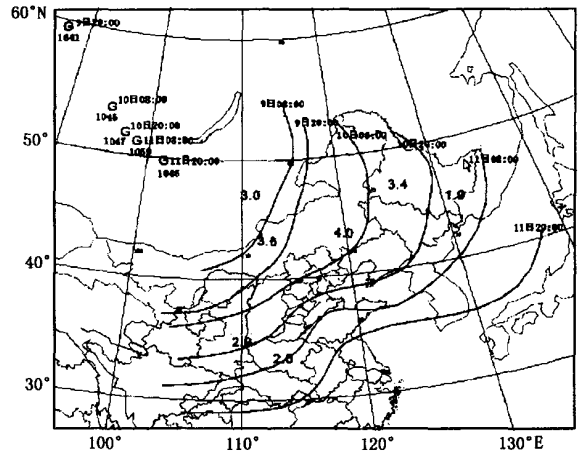


图 4 2003 年 10 月 9~11 日地面高压中心、冷锋和 3 h 正变压中心的动态图

08:00~20:00 向东北方向略有增加,倒槽顶部正位于渤海湾及其沿岸,倒槽的发展使渤海及沿岸地区偏东风在冷空气抵达之前形成;二是冷空气从渤海回流影响渤海湾和华北平原,成为较典型的回流天气;三是加强了边界层内的锋区,增大了冷空气开始南下时海上偏东风的强度。在它们的共同作用下,渤海湾从 10 日中午前后开始刮起偏东风,并逐渐加大,风向由东到东北风逐渐转为北到东北风,大风持续到 12 日。

3 数值模拟及风场结构分析

3.1 数值模拟

本文应用 MM5 模式对这次过程进行了数值模拟。该 MM5 模式是美国国家大气研究中心(NCAR)和宾夕法尼亚州立大学(PSU)开发研制的第 5 代中尺度模式的第 3 版,为完全非静力模式。采用 2 层嵌套模式,预报区域中心为 38°N、110°E,水平分辨率分别为 60 km、20 km,垂直方向为 23 层。主要物理过程采用 GRELL 对流参数化方案、简单冰的混合相方案等。初值的选取是利用与模式初值时间一致的 T213 预报场作为初值猜测场,使用同时刻的探空资料对猜测场进行 Cressman 订正。

从 MM5 模拟的高、低空高度场和温度场的形势配置关系以及地面气压场(图 5)看,与实际基本相符,特别是冷空气的强度以及移动路径与实况一致。分析逐小时地面(离地 10 m)风场,取 38°N、117°E 附近的格点与黄骅站(38.3°N、117.3°E)日记

风向风速对比分析可见,MM5 模拟东北风开始的时间、加大的时间以及东北风速最大的时间均与实况相符,但模拟 12 日风速减小的时间略偏晚(即大

风过程结束偏晚)。可见用 MM5 模拟资料分析冷空气南下、渤海东北风速的变化以及该过程风场演变具有一定指示意义。

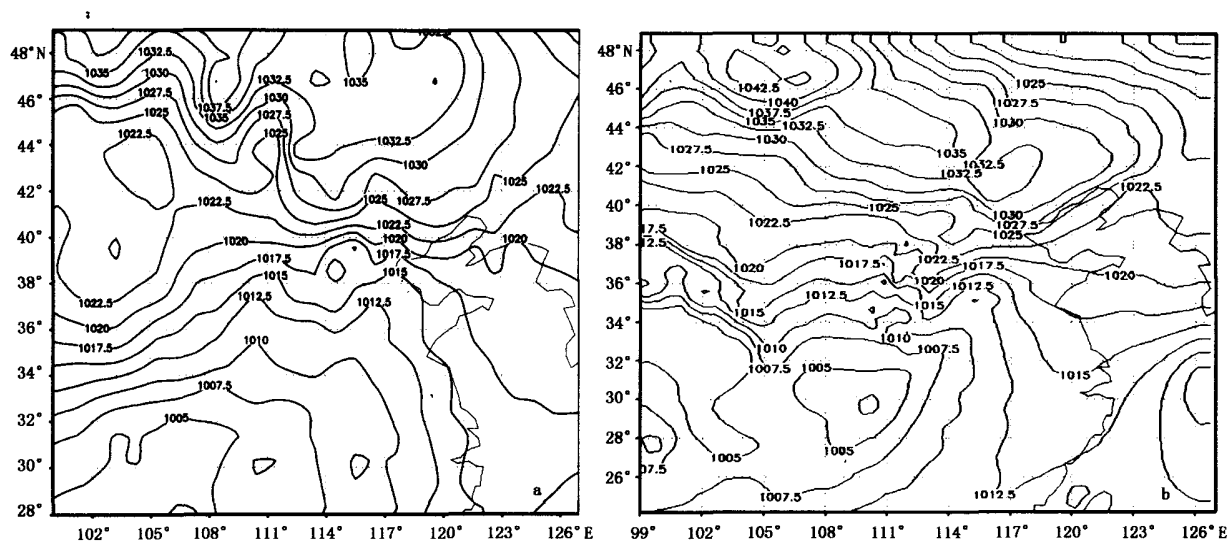


图 5 2003 年 10 月 10 日 20:00 地面气压场

(a. 实况图; b. MM5 模拟场)

3.2 风场演变与垂直结构分析

为了进一步分析此次过程风场演变的情况,我们利用 MM5 模拟结果,从不同角度制作了多张风场剖面图进行分析。

分析 10 日 08:00 至 11 日 20:00 1000 hPa 风场渤海湾中部到渤海东部海面(116°~124°E)沿 38.5°N 剖面(图 6),发现有两个明显的特点:

海海面向西(海岸)传播;同时,由图 6 中不难分析出以 10 日 14:00 119°E 为中心的一个气旋性环流(矢量线 C)。这些进一步证实,渤海湾及其沿岸的东北风增加是由于强盛的暖湿急流北上、地面倒槽东移、气压降低、锋区加强的结果。

(2) 这次风暴潮过程中,大风区主要集中在渤海湾和沿岸地区,最大风速轴稳定在 117°~118.5°E 地区,120°E 以东地区渤海中部东部海面风速始终不大。这表明风应力产生的海水输送(增水)时间和路程都比较短,到第 1 次风暴潮发生海水输送(增水)了 10~12 h(图 6 中矢量线 DE),输送路程约 100 km。

另从地面沿 35°~40°N 118°E 风向风速变化的时间剖面图(图略)上分析,10 日上午渤海湾南部开始转为东北风,但风速较小,结合形势场分析,这主要是由于地面弱倒槽发展所致。随着冷空气的南下,10 日中午前后渤海湾由北向南东北风风速开始加大,到 11 日凌晨风速达 16~18 m/s。表明此时冷空气主力南下到达渤海湾。可见这次渤海湾东北大风主要是由强冷空气南下引发的,但倒槽的发展一方面使渤海及沿海地区偏东风提前,另一方面亦增大了冷空气开始南下时海上偏东风的强度。

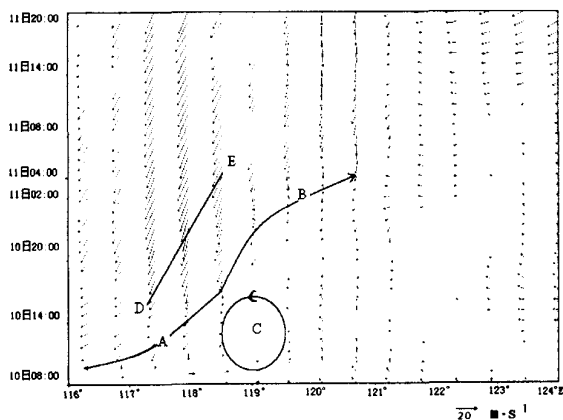


图 6 10 日 08:00 至 11 日 20:00 1000 hPa 中尺度模式

(MM5) 模拟风场时间演变

(1) 风速增加是由陆地开始(图 6 中矢量线 AB),随时间向东(渤海中部海面)传播,而不是由渤

分析风暴潮发生时及之前 10 h 的渤海湾低层 (850 ~ 1000 hPa) 风场变化(图略)发现,风向随高度始终维持顺时针旋转,1000 hPa 为东北风,925 hPa 为东到东北风,850 hPa 为东到东南风,表明低层有明显的暖平流;3 层的大风区均集中在渤海湾以及西部的沿岸地区;925 hPa 与 1000 hPa 风速大体相当或略偏小,850 hPa 风速明显小于近地面层。

4 小结与讨论

通过 2003 年 10 月 11 日渤海湾风暴潮的天气系统及风场结构分析,我们得到了一些结论,同时还有更多的问题有待研究。

(1) 引发渤海风暴潮的主要强迫动力为向岸风应力作用,而向岸风应力作用是否与天文大潮相叠加是预报渤海湾风暴潮的关键所在。

(2) 在这次风暴潮中北方强冷空气缓慢南下是

导致风暴潮的重要原因,但是数值模拟的风场演变和垂直结构都表明,这次风暴潮中中低空暖湿急流及其产生的倒槽和大暴雨均发挥了一定的增幅作用;风场结构变化等许多问题的定量研究有待进行。

(3) 1985 年以来渤海湾成灾风暴潮的发生几率明显增加,达到了 5 ~ 7 年 1 次。目前增加的原因尚不清楚,特别是是否与气候变暖相联系等一系列问题有待进一步研究。

参考文献

1 游景炎.渤海湾风暴潮的时空分布.河北气象,1995,14(4):1 - 6
2 于恩洪,陈炎源,陈彬,等.渤海湾风暴潮的统计分析.气象,1987,13(7):45 - 47
3 马瑞隽.渤海湾热带气旋风暴潮.河北气象,1996,15(1):7 - 10
4 王福侠,张迎新,胡欣,等.华北平原一次秋季大暴雨过程的物理成因分析.气象科技,2004,23(增刊):15 - 20

Analysis of Synoptic System and Wind Field Structure
of a Storm Surge in Bohai Sea

Hu Xin Jing Hua Wang Fuxia Zhang Yingxin

(Hebei Provincial Meteorological Office, Shijiazhuang 050021)

Abstract: Based on the observational data from conventional and automatic weather stations and numerical forecast products of the mesoscale model MM5, the synoptic system and wind field structure of a storm surge in the Bohai Sea on 11 October 2003 were analyzed. The results show that the main causes of the storm surge are the strong northeast wind engendered by strong cold air from northeast and warm air from southwest and inversion; the inshore transport of seawater lasted 10 - 12 hours over an area of 100 km, directly resulted from the inshore wind and astronomical tides concurrently. It is also found that the occurrence frequency of storm surges has increased obviously since 1985.

Key words: Bohai Sea, storm surge, synoptic system, wind-field structure