

## 河北省沿海风暴潮特征及成因分析

褚芹芹<sup>1</sup>, 张万磊<sup>1</sup>, 洪新<sup>2</sup>, 李杰<sup>3</sup>, 张彦龙<sup>1</sup>, 张建乐<sup>1</sup>

(1. 国家海洋局秦皇岛海洋环境监测中心站, 河北 秦皇岛 066002; 2. 国家海洋局烟台海洋环境监测中心站, 山东 烟台 264006; 3. 天津海洋环境监测中心站, 天津 300450)

**摘 要:** 以秦皇岛、京唐港、曹妃甸、黄骅4个验潮站的实测潮位和逐时风的数据为基础, 以2013年河北省政府发布的风暴潮四色警戒潮位值为标准, 统计了2008—2017年10 a河北省沿海的风暴潮过程, 从警报级别、区域分布、时间分布、天气系统、经济损失5个方面分析河北省沿海风暴潮特征, 并从地形、天文潮与天气系统配合、海平面上升、全球变暖引发的气候异常4个方面分析了影响河北省沿海风暴潮的成因, 分析得出: 受天气系统的影响, 7—10月是河北省风暴潮高发时段, 且由于河北省岸线分布特点, 沧州市沿海受到风暴潮影响的次数最多, 唐山和秦皇岛次之, 沧州和唐山地区的风暴潮过程多由东北向大风引起, 而秦皇岛地区的风暴潮过程多由东南向风引起。

**关键词:** 河北省沿海; 风暴潮; 特征; 成因

**中图分类号:** P731.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2020)01-0018-10

### 1 引言

河北省沿海地区包括秦皇岛、唐山、沧州3市, 海岸线长487 km, 海岸带总面积11 379.88 km<sup>2</sup>。河北省沿海地区地处环渤海中心地带, 是我国环渤海重要的经济成长区, 与辽宁沿海经济带、天津滨海新区、黄河三角洲生态经济区共同构成环渤海经济圈的重点开发区, 在促进全国区域协调发展中具有重要战略地位。风暴潮灾害是影响河北省沿海最严重的海洋灾害之一, 灾害性风暴潮会对河北省沿海的养殖、旅游、港口航运、沿岸基础设施等造成严重的危害和经济损失。

历史上关于河北省沿海风暴潮的记载, 最早始于西汉元帝初元元年(即公元前48年), 距今已有2 000多年。其间的记载时断时续, 至1949年只有46次<sup>[1]</sup>。郭迎春<sup>[1]</sup>收集整理了公元前48年—1996年近2 044 a的史料, 分析了河北省风暴潮的成因, 讨论了风暴潮的时空分布特征、危害程度及区域评

价, 提出了河北省风暴潮的预警要点。李娜<sup>[2]</sup>对黄骅港潮位资料进行了分析, 阐述了该海区风暴潮特点及潮灾影响因素。弓冉等<sup>[3]</sup>通过多个实例分析风暴潮产生的成因以及它的类型, 并论述地面沉降、海平面上升与海岸地形条件等方面对风暴潮的影响。陈利江等<sup>[4]</sup>通过历史资料记载以及对1950—1994年所发生风暴潮的统计, 分析河北沿海风暴潮灾害的类型、成因、危害及其成灾规律。

2013年, 河北省政府发布了的风暴潮四色警戒潮位值标准, 因此我们按照该标准, 统计分析了2013年前后近10 a来(2008—2017年)的河北省沿海的风暴潮资料, 分析河北省沿海风暴潮发生的时空分布特征, 以及引起河北省沿海风暴潮灾害的成因, 以期河北省沿海防灾减灾提供数据更新和支持。

### 2 河北省沿海风暴潮特征分析

以布设在河北省沿海3市, 包括秦皇岛、唐山京

收稿日期: 2019-04-11; 修回日期: 2019-07-25。

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC1401800, 2016YFC1402000, 2016YFC1401400, 2018YFB1502800, 2018YFB1501900); 北海分局海洋科技项目(2017B13)。

作者简介: 褚芹芹(1986-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事海洋预报与近海数值模拟。E-mail: 526077242@qq.com

唐港、唐山曹妃甸、沧州黄骅4个具有代表性的验潮站实测潮位和逐时风的数据为基础,以2013年河北省政府发布的风暴潮四色警戒潮位值<sup>[5]</sup>为标准,我们统计了2008—2017年10 a河北省沿海的风暴潮过程(见表1)。通过统计得出,10 a内秦皇岛、唐山、

沧州3市沿海共发生40次达蓝色警戒潮位及以上的风暴潮过程,平均每年4次。以下从5个方面分析河北省沿海风暴潮特征:

(1)达到警戒潮位的级别:河北省沿海共出现30次达蓝色警戒潮位的风暴潮过程,8次达黄色警

表1 2008—2017年河北沿海达蓝色警戒潮位的风暴潮过程

年份	影响日期	影响海域	天气系统	最大增水/ cm	当地警戒潮位/ cm	风力/ 级	风向	经济损失/ 万元
2008年	5月10日	秦皇岛	黄河气旋	49	200	3~4	SE—NE	—
	7月1日	秦皇岛	蒙古气旋	27	200	2~4	SE—NE	—
	7月5日	秦皇岛	黄河气旋	35	200	1~3	SE—NW	—
	7月30—31日	秦皇岛(30日)	200808号“凤凰”	11	200	2~4	NE—SE	—
		秦皇岛(31日)	北上外围	22	200			
	8月22日	京唐港	江淮气旋	51	260	1~3	NW—S	2 000
		曹妃甸		62	350	3~4	S—SW	
		沧州		87	470	4~6	NW	
	8月27日	秦皇岛	冷空气	15	200	2~3	SE	—
2009年	2月13日	京唐港	江淮气旋和冷空气	110	260	3~4	NE	—
		曹妃甸		140	350	4~5	NE—N	—
		沧州		163	470	8	N—NE	—
	4月15日	沧州	冷空气和黄河气旋	176 <sup>[7]</sup>	503(黄色)	7~10	NE	7 200
	5月9日	沧州	冷空气和黄河气旋	124	470	7~9	NE	—
	6月24日	秦皇岛	蒙古气旋	18	200	3	S	—
2010年	9月7日	沧州	冷空气	107	470	6~7	NE	—
	12月5日	秦皇岛	冷空气	70	200	3~5	W—NE	—
2011年	2月27日	曹妃甸	冷空气和江淮气旋	126	350	5~6	NE	—
		沧州		198	470	6~8	NE	—
		秦皇岛		62	200	3~4	NE	—
		京唐港	201105号	56	260	2~3	NE—N	—
		曹妃甸	“米雷”北上	110	350	3~4	NE	—
		沧州		134	470	5~6	NE	—
	8月7—8日	秦皇岛(7日)	201109号“梅花”		200	1~2	NE	—
		秦皇岛(8日)	北上	54	200	1~2	NW	—
	9月1日	沧州	冷空气	132	537(橙色)	6~7	N—NE	15 800
	11月28日	沧州	冷空气	165	470	5~6	NE	—
2012年	8月2—4日	秦皇岛(2日)	201210号“达维”	63	200	6	NE—N	204 447.6
		京唐港(4日)		56	277(黄色)	6	NE—N	
		曹妃甸(3日)			350	6	N—NE	
		曹妃甸(4日)		107	350	5~6	NE	
		沧州(3日)		158	503(黄色)	6~9	E—NE—N	
	8月21日	沧州	冷空气	98	470	5~6	NE	—
	8月28日	秦皇岛	201215号“布拉万”	44	200	1~2	N-SE	—
			北上					

续表1

年份	影响日期	影响海域	天气系统	最大增水/ cm	当地警戒潮位/ cm	风力/ 级	风向	经济损失/ 万元
2013年	3月19日	沧州	冷空气	175	470	5~7	NE—E	—
	5月27日	秦皇岛		54	218(黄色)	2~3	NE	—
		曹妃甸	江淮气旋	76	350	4~5	NE	—
		沧州		119	470	6~7	NE	—
	9月23日	京唐港		47	260	3~4	NW	—
		曹妃甸	冷空气	98	350	4~5	NE	—
		沧州		134	503(黄色)	6	N—NE	—
	10月14日	沧州	冷空气	136	470	6	NE—ENE	—
	2014年 9月29日	沧州	冷空气	133	470	5~6	ENE—NE	—
	10月12日	曹妃甸	冷空气	96	350	3~4	N—NE	—
2015年		沧州		118	470	4~5	N	—
	10月3日	曹妃甸	东北气旋	77	350	2~3	SE—NE	—
		沧州		102	470	3~4	NW—NE	—
	10月18日	沧州	冷空气	126	470	5~6	NE	—
	11月5—7日	京唐港(7日)		89	260	4	NE—N	—
		曹妃甸(7日)	冷空气和江淮气旋	139	376(黄色)	1~2	SW	—
		沧州(5日)		176	470	6~7	NE	—
		沧州(7日)			470			—
	2016年 7月20日	秦皇岛		46	218(黄色)	5~7	NE—ESE	
		曹妃甸	江淮气旋	74	350	5~6	ENE—ESE	76 664.3
2017年		沧州		98	470	5	E—SE	
	8月19日	曹妃甸	江淮气旋	59	350	3~4	NE	—
		沧州		93	470	5~6	NE	—
	8月27日	秦皇岛	冷空气	32	200	2~3	SE	—
	10月5日	曹妃甸	黄河气旋+冷空气	81	350	4	E—ENE	—
		沧州		102	470	4~5	N—NE	—
	10月20日	曹妃甸	冷空气	91	350	4~5	ENE	—
		沧州		117	503(黄色)	4~5	ENE—E	—
	10月22日	京唐港		72	260	3~4	NNE	
		曹妃甸	冷空气	133	403(橙色)	3	NE	16 800
		沧州		188	537(橙色)	5~7	NE	
	10月24日	秦皇岛	江淮气旋	65	200	1~2	N	—
	11月5日	曹妃甸	冷空气	126	350	5~6	ENE—E	—
		沧州		182	470	4~6	NE—ENE	—
	8月3日	秦皇岛	江淮气旋	41	200	6~8	SE-S	—
	9月16日	秦皇岛	蒙古气旋	37	200	3~5	SW	—
	10月9日	曹妃甸	冷空气	95	350	3~4	NE	—
		沧州		144	503(黄色)	6~7	NE	—

注:当地警戒潮位未标注的均为蓝色警戒潮位

戒潮位,2次达橙色警戒潮位(其中1次出现在沧州和唐山近岸海域,1次仅出现在沧州海域),未出现

达红色警戒潮位的风暴潮过程。

(2)区域分布:如图3所示,影响沧州黄骅沿岸

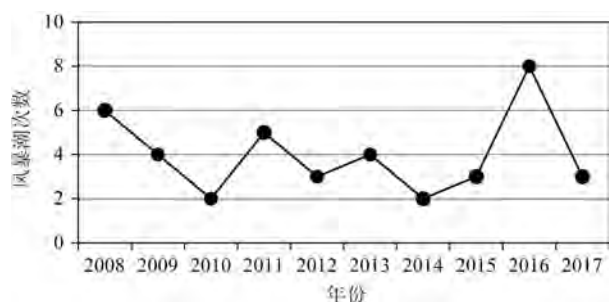


图1 2008—2017年逐年风暴潮次数统计

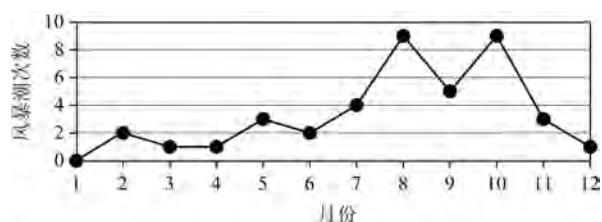


图2 2008—2017年各月风暴潮次数统计

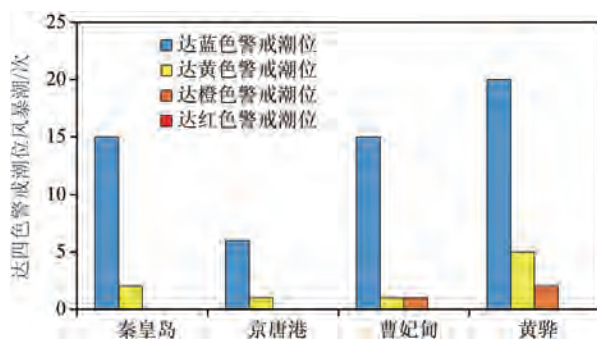


图3 2008—2017年风暴潮影响区域统计图

的风暴潮次数最多,为27次;唐山曹妃甸沿岸和秦皇岛沿岸次之,观测到的风暴潮次数为17次;唐山京唐港沿岸最少,观测到的风暴潮次数为7次。

(3)时间分布:近10 a来,河北省每年发生风暴潮次数在2~8次之间,其中2010年、2014年发生次数最少,2016年发生次数最多(见图1);月际变化方面(见图2),7—10月是风暴潮高发时段,占全年发生次数的67.5%,这一方面与该时段内冷暖气流交汇、天气系统活跃有关,另一方面也与天文潮基础潮位较高有关。

(4)引发风暴潮的天气系统:河北省沿海风暴

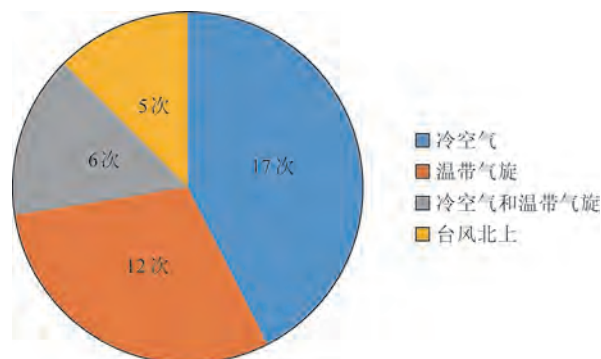


图4 2008—2017年引起风暴潮的天气系统统计

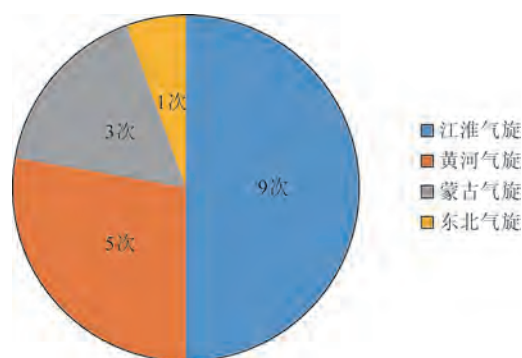


图5 2008—2017年引起风暴潮的气旋系统种类统计

潮主要受温带气旋、冷空气、温带气旋和冷空气共同作用、台风4类天气系统,其中冷空气引发的风暴潮次数最多,占了总次数的42.5%,其次为温带气旋,再次为温带气旋和冷空气共同配合,台风北上引发的风暴潮最少(见图4);冷空气参与引起的风暴潮主要发生在春、秋季节,且秋季明显多于春季,1月、6月、7月3个月未出现冷空气参与引起的风暴潮过程(见图6);温带气旋参与引起的风暴潮过程在夏秋季节较多,冬季最少(见图7);根据气旋生成源地的不同,引起河北沿海风暴潮的温带气旋包括江淮气旋、黄河气旋、蒙古气旋和东北气旋4类,其中江淮气旋引发风暴潮次数最多,黄河气旋次之,蒙古气旋和东北气旋由于位置偏北,引发风暴潮次数最少(见图5);江淮气旋多独自引起风暴潮过程,黄河气旋则多与冷空气配合引起风暴潮过程,蒙古气旋和东北气旋均为独自引起风暴潮过程,这与气旋所在位置及移动路径有关;台风北上引起的风暴

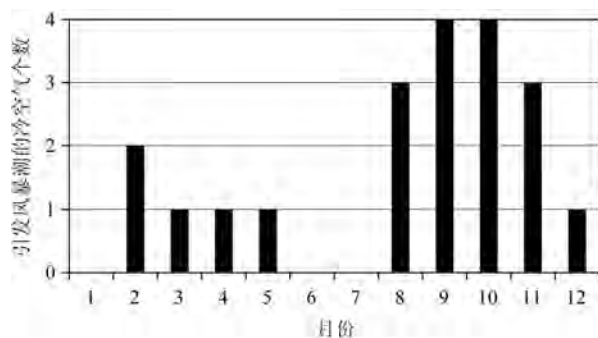


图6 2008—2017年各月引起风暴潮的冷空气个数统计(包括冷空气独自引起的以及气旋和冷空气共同作用引起的风暴潮过程)

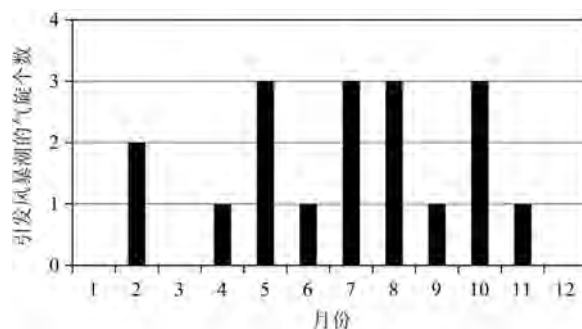


图7 2008—2017年各月引起风暴潮的气旋个数统计(包括气旋独自引起的以及气旋和冷空气共同作用引起的风暴潮过程)

潮集中发生在6—8月,其中8月份最多。

(5)经济损失:据2008—2017年河北省海洋环境状况公报<sup>[6]</sup>中公布的风暴潮经济损失数据统计,造成河北省沿海经济损失的风暴潮过程共6次,总经济损失32.29亿元,发生在4月、7—10月,冷空气、气旋过程各两次,冷空气和气旋配合过程1次,台风北上过程1次,其中2012年10号台风“达维”北上影响造成的经济损失额最大,达20.44亿元。

### 3 河北省沿海风暴潮灾害成因分析

#### 3.1 地形原因

从表1可看出,河北省风暴潮在沧州沿岸发生次数最多,且沧州和唐山地区的风暴潮过程多由东北向大风引起,而秦皇岛地区的风暴潮过程多由东南向风引起,这与秦皇岛、唐山、沧州3市地形分布有关。

秦皇岛沿海位于辽东湾西南部、渤海湾西北部,岸线呈西南-东北走向,东南向风利于水体向岸堆积,唐山、沧州沿海位于渤海西及西南海岸,当渤海出现偏东或东北大风时,强风驱使海水通过渤海海峡或自辽东湾向渤海湾流动,在科氏力作用下,水体在渤海湾湾顶堆积,尤其是歧口一带,尔后推向塘沽以北海域,从而造成黄骅岸段、唐山岸段,甚至秦皇岛岸段出现较大增水。

#### 3.2 天气系统与涨潮过程的配合

由第2节分析得出引发河北省沿海风暴潮的天

气系统有冷空气、温带气旋、温带气旋和冷空气共同配合、台风北上4种。

(1)冷空气主要是西伯利亚或蒙古等地高压沿河套地区东移南下,此时我国南方无明显的低压系统与之配合,横向有冷锋压到渤海南部,冷空气南缘等压线呈东西向,造成渤海东北大风,致使河北省唐山以及沧州沿岸发生风暴潮,如下图8所示,受冷空气影响,2011年9月1日出现了一次风暴潮过程,给沧州沿岸造成132 cm增水,达到了橙色警戒潮位。

(2)温带气旋独立引起的风暴潮是指无明显冷空气与之配合,暖湿气流活跃的气旋。受到气旋后部或是前部影响,渤海出现北到东北或东到东南大风,配合涨潮过程,从而造成河北省沿岸,尤其是唐山和沧州沿海会出现较大增水,如图9所示,受江淮气旋前部影响,2016年7月20日河北省沿岸出现了一次温带风暴潮过程,秦皇岛最高潮位超过了当地黄色警戒潮位值,唐山、沧州沿岸最高潮位超过当地蓝色警戒潮位值。

(3)温带气旋和冷空气配合的天气系统在夏季出现较少,多数出现在春、秋及冬季,此时冷空气活动频繁,配合气旋会形成区域性大风,最为典型的是冷空气受西南倒槽阻挡,在渤海中部产生强大的气压梯度,造成渤海海面持续东北大风,从黄骅沿海到滦河口都会出现很大增水,尤其歧口以南最为严重。如图10所示,2009年4月15日,河北省沿海出现了一次由冷空气配合黄河气旋造成的风暴潮过程,沧州沿岸出现了161 cm的增水,最高潮位超过了当地黄色警戒潮位值。

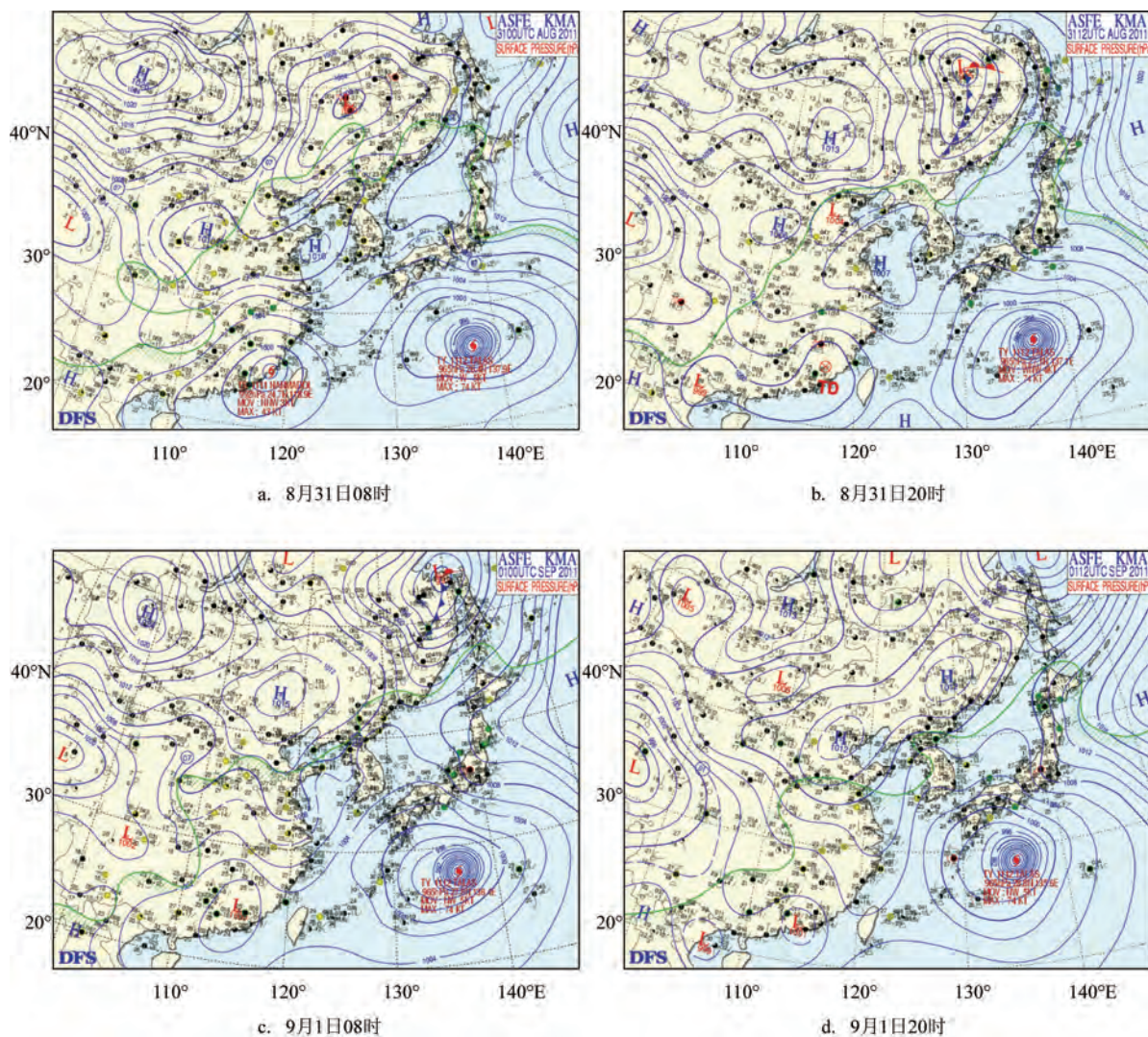


图8 2011年8月31日—9月1日地面实况天气图(时间为北京时,下同)

(4)台风引发的风暴潮多发于台风活动频繁的夏秋季节,热带气旋由西北太平洋生成后北或西北行进入东海,继续北上穿过山东半岛进入渤海。由于陆地对北上台风的消减,造成河北省沿岸增水的多是减弱为热带气旋或是变性后的台风与冷空气的配合之后的天气系统。当移经黄渤海的台风减弱为低压或变性为温带气旋又与北方冷空气配合时,将造成河北省沿海出现严重的增水,继而引发风暴潮灾害。如图11所示,2012年8月3—4日,受第10号台风“达维”北上影响,河北省沿海出现了一次较强的风暴潮过程,按照2012年河北执行的单色警戒潮位标准,沧州沿岸出现了超过当地橙色警戒潮

位的高潮位,秦皇岛沿岸和唐山沿岸也出现了不同程度的增水,给河北省沿海造成了较大的经济损失。

### 3.3 海平面上升

随着全球气候变暖以及人为对岸线干预造成的海平面上升,对风暴潮的影响也不容忽视。海平面上升对风暴潮的影响主要体现在风暴潮基础水位的提高,从而导致达到风暴潮警戒标准的增水值减小。

目前,全球气候变暖引起的海水体积膨胀、极地冰盖及陆源冰川冰帽等融化等引起的海平面上升和区域构造沉降、沉积层压实因素及人为造成的地面沉降,海平面上升和地面沉降均会引起风暴潮

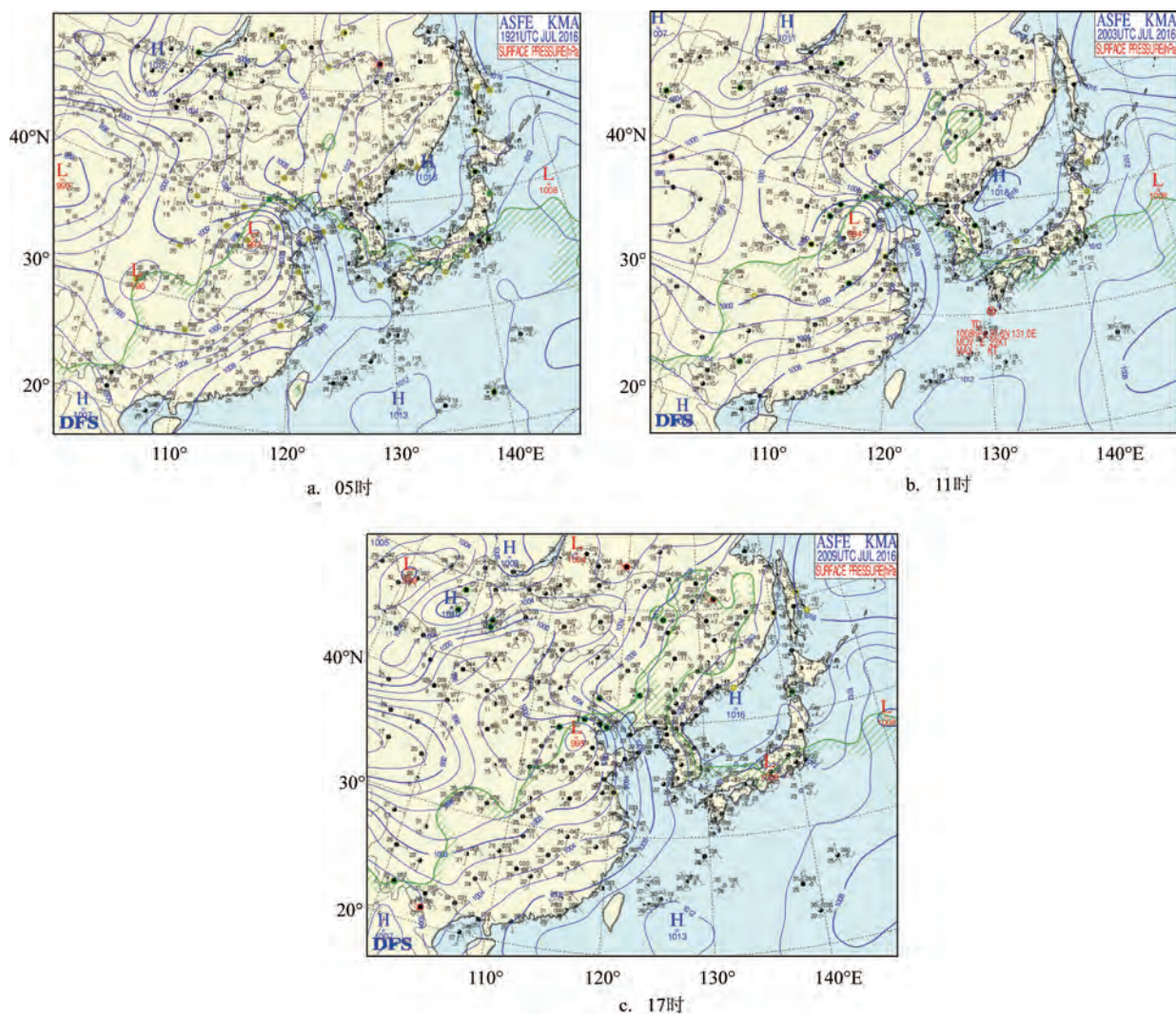


图9 2016年7月20日05—17时地面实况分析天气图

基础水位升高,因而使出现同样高度风暴潮高潮位所需的增水值减小,从而缩短极值高潮位的重现期、增大海水漫滩的机会,使现有海堤防御能力下降甚而遭到破坏,加大城市防洪与排涝困难<sup>[8]</sup>。据文献分析,沧州中捷农场生活区及临港工业开发区最大沉降速率超过40 mm/a,唐山两个沉降区域近年来沉降速率有所下降,但最大沉降速率仍超过30 mm/a<sup>[9]</sup>。据2017年中国海平面公报显示<sup>[10]</sup>,中国沿海海平面变化总体呈波动上升趋势,2017年,中国沿海海平面较常年高58 mm,其中河北沿海海平面较常年高35 mm,预计未来30 a河北沿海海平面将上升70~150 mm,因此,海平面上升对河北省沿海风暴潮的影响将会是一个持续的过程,是河北省

沿海地区警戒潮位值核定参考的重要因素。

此外,海平面上升还会使得地面降水的径流水位提高,从而变相抬高了风暴潮,引起风暴潮水位上升,据仇天宇等<sup>[11]</sup>通过风暴潮漫滩数值模式研究得到,在海平面上升50 cm的情况下,风暴潮淹没面积平均增加百分比为35.4%;上升100 cm的情况下,增加百分比为86.4%<sup>[11]</sup>。

### 3.4 全球变暖引发的气候异常

全球变暖引发的气候异常,可能会导致极端天气事件频发,登陆台风强度加强、风力变大,北上影响河北省沿岸的可能性增大,从而加大河北省风暴潮灾害风险,如2011年和2012年受到气候异常影

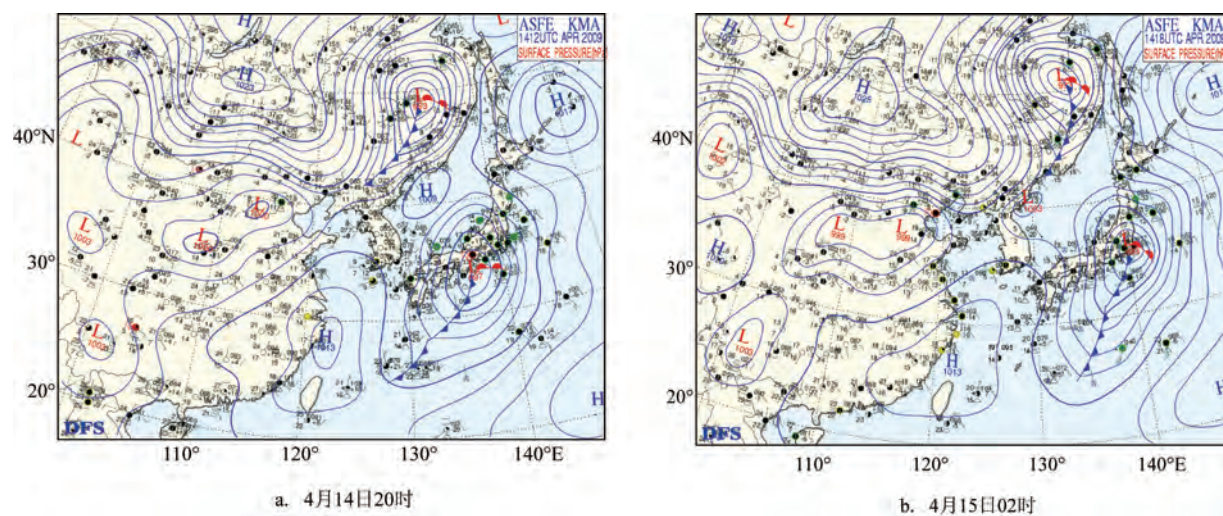


图10 2009年4月14日20时—4月15日02时地面实况分析天气图

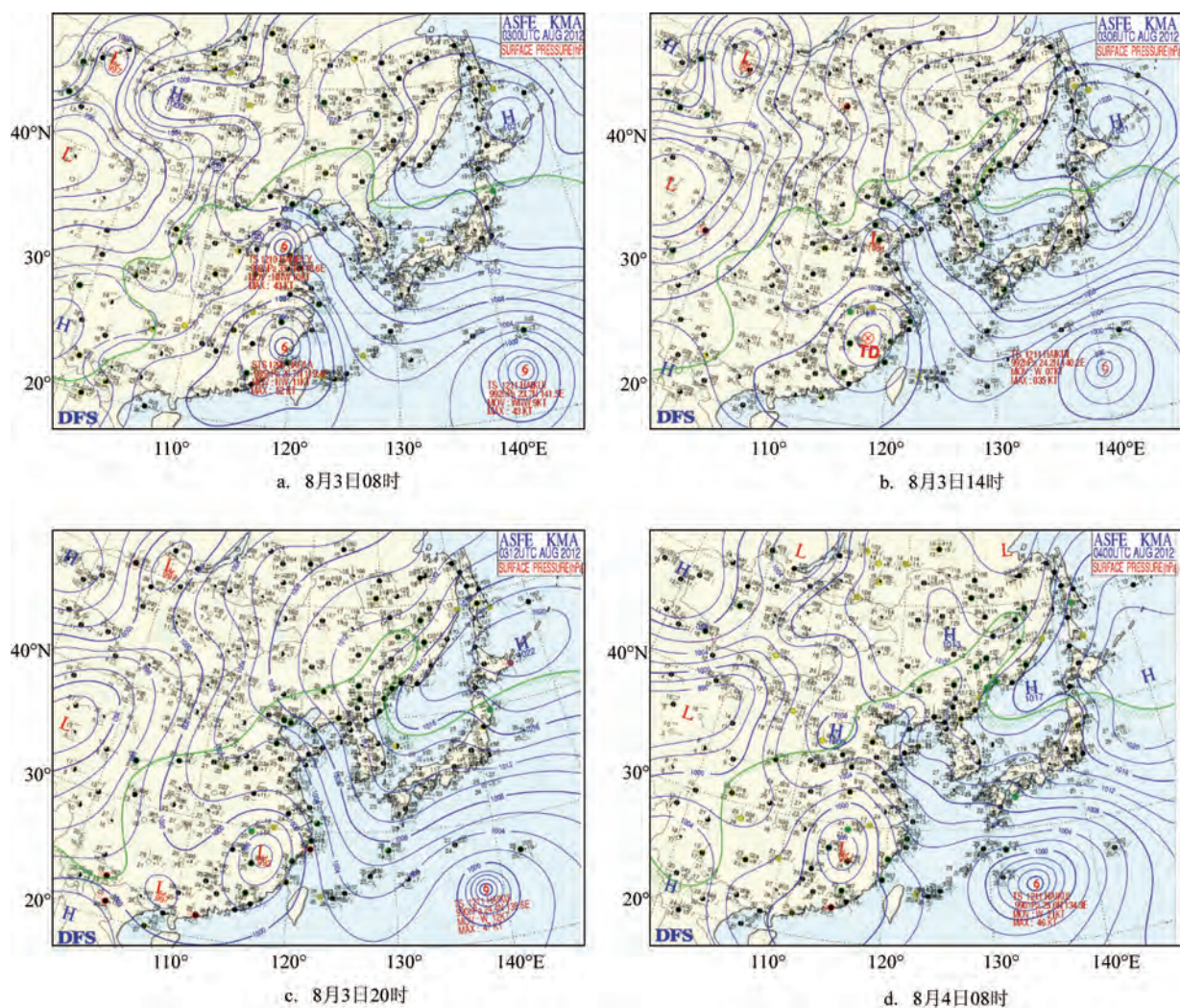


图11 2012年8月3日08时—8月4日08时地面实况分析天气图

响,每年有两个台风北上影响河北省海域,河北省沿海连续两年共出现了4次台风风暴潮过程,给河北省沿海地区造成了较大的经济损失。

## 4 结 论

根据2008—2017年10 a的河北省沿海风暴潮资料的统计,分析河北省沿海风暴潮发生的时空分布特征,以及引起河北省沿海风暴潮灾害的成因,得出以下主要结论:

(1)河北沿海近十年共发生40次风暴潮过程,其中影响沧州市沿海的次数最多,唐山曹妃甸潮位和秦皇岛次之,唐山京唐港最少;

(2)7—10月是风暴潮高发时段,占全年发生次数的67.5%,遭受经济损失的风暴潮过程也多发生在这一时段,这一方面与该时段内冷暖气流交汇、天气系统活跃有关,另一方面也与天文潮基础潮位较高有关。

(3)引发河北省风暴潮的天气系统主要为冷空气、温带气旋、温带气旋和冷空气共同作用、台风4类天气系统,其中冷空气引发的风暴潮次数最多。冷空气参与引起的风暴潮主要发生在春、秋季节;温带气旋参与引起的风暴潮过程在夏秋季节较多,冬季最少;台风北上引起的风暴潮集中发生在6—8月,其中8月份最多。

(4)河北省沿海风暴潮成因主要有地形影响、天气系统与涨潮过程配合、海平面上升及全球变暖

引发的气候异常等4方面原因。由于河北省岸线分布特点,沧州和唐山地区的风暴潮过程多由东北向大风引起,而秦皇岛地区的风暴潮过程多由东南向风引发,有利的风向配合涨潮过程极易引发沿海风暴潮灾害。

## 参考文献:

- [1] 郭迎春. 河北省沿海风暴潮的发生规律研究[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(4): 82-89.
- [2] 李娜. 河北沧州沿海风暴潮特征与防御措施[J]. 水利科技与经济, 2009, 15(10): 909-911.
- [3] 弓冉, 穆仲义. 河北沿海风暴潮的危害及防治[J]. 地理学与国土研究, 1994, 10(4): 21-24.
- [4] 陈利江, 穆仲义. 河北省沿海风暴潮成灾规律分析[J]. 地理学与国土研究, 1998, 14(1): 38-41.
- [5] 王爽. 河北省政府发布沿海四色警戒潮位值[N]. 中国海洋报, 2013-10-21(002).
- [6] 河北省海洋局. 2007-2016年河北省海洋环境状况公报[R]. 河北省海洋局, 2008-2017.
- [7] 许富祥, 韦锋余, 邢闯. 090415渤海黄海北部灾害性风暴潮过程灾情成因分析及灾后反思[J]. 海洋预报, 2009, 26(3): 38-44.
- [8] 曾继平, 姜欢欢, 李希彬. 天津沿海风暴潮灾害近20年统计及其成因分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2012, 42(S1): 187-191.
- [9] 刘有才. 河北省海岸带地面沉降现状及形成机理研究[J]. 上海国土资源, 2016, 37(1): 69-73.
- [10] 国家海洋局. 2017年中国海平面公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2018.
- [11] 仇天宇, 于福江, 董剑希, 等. 海平面上升对河北黄骅台风风暴潮漫滩影响的数值研究[J]. 海洋通报, 2010, 29(5): 499-503.

## Characteristic and affecting factors of storm surges along the coast of Hebei Province

CHU Qin-qin<sup>1</sup>, ZHANG Wan-lei<sup>1</sup>, HONG Xin<sup>2</sup>, LI Jie<sup>3</sup>, ZHANG Yan-long<sup>1</sup>, ZHANG Jian-le<sup>1</sup>

(1. Qin Huangdao Marine Environmental Central Station of SOA, Hebei Qinhuangdao 066002 China; 2. Yantai Marine Environment Monitoring Center Station of the SOA, Yantai 264006 China; 3. Tianjin Marine Environmental Monitoring Central Station, Tianjin 300450 China)

**Abstract:** Based on the tide level and wind data observed by Qinhuangdao, Jingtanggang, Caofeidian and Huanghua tide gauges, we statistically analyze the storm surge process along the coast of Hebei Province from 2008 to 2017 using the Four-color Storm Surge Warning tide level issued by Hebei Provincial in 2013. The

characteristics of storm surges along the coast of Hebei Province are analyzed in respect of warning level, spatial distribution, time distribution, weather system, and economic loss. Moreover, the affecting factors of storm surge are analyzed in respects of topography, synchronic effects of astronomical tide and weather systems, sea level rise and climate anomaly caused by global warming. The results show that storm surge most frequently occurs in July-October in Hebei Province. The area most frequently affected by storm surge locates in Cangzhou followed by Tangshan and Qinhuangdao. The storm surge process impacting Cangzhou and Tangshan area is mostly caused by northeast gale, while the storm surge process in Qinhuangdao area is mostly caused by southeast wind.

**Key words:** coast of Hebei Province; storm surge; characteristic; affecting factor