

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2023.02.005

唐山近海海域波浪要素特征分析

李志勇^{1,2}, 王久良^{1,2}, 刘德武^{1,2}, 王秋妍³

(1. 河北省地质矿产勘查开发局第五地质大队, 河北 唐山 063099; 2. 河北省海洋地质环境调查中心, 河北 唐山 063099; 3. 唐山市自然资源和规划局, 河北 唐山 063099)

摘 要: 本文基于唐山近海海域 1#、2# 浮标 2017 年 4 月至 11 月实时海浪观测数据及部分风速风向数据, 对唐山近海海域波浪有效波高、有效波向、有效波周期等波参数特征进行了统计分析, 并利用 origin 软件对波参数与风速、风向相关性进行了研究。研究表明: 1#、2# 浮标海域常浪向为 SSW、SW、SSE, 常浪向有效波高均以 0.2 ~ 0.4 m 小浪及 3 ~ 4 s 短周期为主, 有效波高 1 m 以上较大波浪极少出现; 该海域波浪以风浪为主, 波浪破碎速度较快, 有效波高与风速相关性较强, 相关系数 r 为 0.71, 风向与波向、有效波高与周期基本无相关性, 该研究资料可为海上活动及防灾减灾提供技术依据。

关键词: 近岸海域; 波浪要素; 统计分析; 唐山

中图分类号: P731.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-2029 (2023) 02-0036-08

海浪主要包括风浪、涌浪, 风浪是海水受到风力的作用而产生的波动, 可同时出现许多高低长短不同的波, 波面较陡, 波长较短, 波峰附近常有浪花或片片泡沫, 传播方向常与风向一致; 涌浪是指风停后或风速风向突变区域内存在下来的波浪和传出风区的波浪。海浪是十分复杂的现象, 研究海浪对海洋工程建设、海洋开发、交通运输、海洋捕捞与养殖等活动具有重大意义^[1]。近年随着沿海经济的发展, 针对海浪的研究与分析也逐步增多, 如张薇等^[2]利用渤海周边 10 个观测站 40 余年的海浪观测资料对渤海灾害性海浪的时空变化和分布特征等进行了分析。尹毅等^[3]利用一年的实测海浪资料, 对珠江口波浪要素及与热带气旋活动的关系进行了统计分析。李淑江等^[4]利用波浪骑士观测资料和数值模式数据对海南岛东南近岸的海浪季节变化和统计特征进行了分析。张坤兰等^[5]针对秦皇岛海域波浪特征根据季节变化进行了统计分析。总体而

言, 前人对海浪观测方法、波参数之间的回归分析、频谱规律分析等从不同尺度进行了研究, 为现今研究提供了良好的数据支撑及理论基础, 但由于早期波浪的测量频次较低, 导致研究并不详细和深入。随着近些年的仪器观测性能显著提高, 对波浪的分析也进一步深入并较为全面^[5-6], 且考虑到以往工作针对渤海湾尤其唐山近海海域波浪特性研究相对较少, 特别是波浪要素与风相关性分析较为缺乏, 因此有必要针对该海域海浪特性进行进一步分析归纳。

唐山沿岸岸线类型以砂质和淤泥质岸线为主。唐山海洋资源丰富, 是我国沿海地区土地、能源、深水港址、原盐、旅游等资源的富集区域, 相应海浪灾害发生时损失也较为严重, 仅 1997 年 11 号台风就造成该区防波堤摧毁、渔船翻船、盐田被淹等, 造成巨大经济损失。随着经济快速发展, 沿海地区建设加快, 港口、海上石油平台等海上建筑激

收稿日期: 2022-08-30

基金项目: 唐山市海洋环境监测网建设项目专项资金资助项目 (20165101)

作者简介: 李志勇 (1982—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事水文地质、环境地质研究。E-mail: lizhiyong.2008.ok@163.com

通讯作者: 王秋妍 (1987—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋监测预警、海洋环境研究。E-mail: 369818707@qq.com

增,同时渔业、养殖业、海上航运等日益发展,相应由海浪等海洋灾害带来的威胁日趋严重,据《2020年河北省海洋灾害公报》统计^[7],2011—2020年,河北省共发生有效波高超过2.5 m的大浪过程124次,出现有效波高超过2.5 m的天数共计184天,主要是由冷空气、温带气旋及台风引起。本文利用唐山近岸海域2个浮标2017年4月至11月实测波浪及风速、风向数据,分析了观测期内该海域波浪要素特征及月变化规律,并对波相关参数与风速、风向相关性进行了初步探讨。该观测海域位于唐山沿海东西两侧,水域开阔,海底平坦,无急流暗流,浮标布设位置水深均在10 m以上,数据代表性强,观测数据可代表唐山近岸海域波浪特征,因此本文可为该海域工程建设、海上渔业活动等提供基础资料,同时可为海浪预报预警提供依据和参考,对唐山海洋防灾减灾具有指导意义。

1 数据与方法

1.1 观测区域自然地理

唐山沿海位于渤海湾东北部,经度范围117°31'E—119°19'E,大陆海岸线长229.72 km,东起乐亭、昌黎县际界线沿河堤,与秦皇岛市接壤,西至涧河口西侧津冀省际北界线,与天津市相邻。海底地形大致自南向北,自岸向海倾斜,海岸呈北东走向,等深线走向基本与海岸平行,海域平均水深18 m。由于渤海湾为三面环陆的半封闭性海湾,位于中纬度季风区,离蒙古高原较近,属于大陆性季风气候显著,冬寒夏热,四季分明,风速由陆地向海洋急增,年平均风速2.4~4.7 m/s,相对湿度60%~67%,常年盛行东北偏东风及南西风为主。观测海域潮汐属不正规半日潮,平均潮差为2~3 m,大潮潮差为4 m左右。落潮的延时大于涨潮的延时,分别为7 h和5 h。海浪以风浪为主,平均波高约为0.6 m,最大波高可达4.0~5.0 m。唐山作为我国北方重要的沿海城市,受地理环境及季风气候的影响,沿海夏季平均浪高大于冬季,部分沿海岸段受台风、温带气旋等天气过程影响时极易上浪,几乎每年都有海浪灾害发生,对社会经济造成巨大损失^[1-2]。

1.2 观测位置及设备

本文数据来源于唐山市近海海域2个浮标监测数据,1#、2#浮标分别布放于唐山沿海东西两侧,布放位置坐标分别为(118.664 70°E, 39.061 89°N)和(118.321 71°E, 38.984 58°N)。因该海域冬季寒冷,易结冰,浮标监测时段为每年4月至11月,本文实测海浪及风数据均来自2017年上述浮标定点观测资料。浮标布设位置水深均在10 m以上,海底平坦,无急流暗流,对浮标布放位置的水深、潮高等要素进行持续观测。波浪传感器采用挪威生产的Fugro(辉固)Oceanor wavescan 3波浪传感器,该传感器波高测量通过内置的重力加速度传感器实现,波向测量通过内置水平加速度传感器、姿态传感器和磁罗盘实现,浮标采样频率为3.84 Hz,观测数据时间分辨率为30 min,波高测量分辨率为0.01 m,可监测波浪高度(范围:0.01~30 m,精确度:±(0.1+5%×测量值)),波向(范围:0°~360°,精确度:±10°),波浪周期(范围:0~25 s,精确度:±0.25 s)。风速风向监测采用美国生产的RM Young美国风速仪,可监测风速(范围:0~75 m/s,精确度:风速≤5 m/s时,±0.3 m/s;风速≥5 m/s时,±5%×测量值),风向(范围:0°~360°,精确度:±5°)。

1.3 观测方法及数据质量

本文数据全部来自自动观测仪器,海浪参数采样间隔0.5 s,连续记录波数不少于100个,自动观测数据采用上跨零线法预处理后确定波高、波周期并剔除有明显错误数据,预处理后选定的波系列,逐个计算出波高及对应波周期后,按波高大小排序,计算出最大波高及其对应周期、有效波高及其对应周期等波参数。风速风向数据每3 s采集一次,连续采样10 min计算风程和对应风向的平均值,作为该10 min结束时刻的平均风速和对应风向,观测数据每30 min通过北斗卫星系统传输至数据中心,各自动观测传感器海上运行期间均定期(每月1~2次)进行维护,并对各参数校准和数据比对,同时依据《海洋观测延时资料质量控制审核技术规范》(HY/T 0315—2021)对观测原始数据进行范围检验、相关性检验、连续性检验、尖峰检验、异常值检验等和质量控制,本文选用的数据均经过初审、预审和报审三级审核程序,数据质量稳定可靠。

2 波浪要素统计分析

2.1 有效波高及周期特征

观测海域以 2~3 级 (小浪、轻浪) 短周期波浪为主, 夏、秋季节受季风影响, 有效浪高相对其他时段较高且周期稍长。经统计得到, 2017 年 4 月至 11 月, 1#、2# 浮标观测海域有效波高 ($H_{1/3}$)

范围分别为 0.05~1.49 m 和 0.07~1.50 m, 平均值为分别为 0.38 m 和 0.27 m。有效波周期 ($T_{1/3}$) 范围和均值分别为 0.51~9.96 s、0.52~9.60 s 和 4.42 s、4.49 s (图 1), 整体较为一致, 总体而言, 该研究海域 2017 年观测期间有效波高主要在 0.1~0.5 m (图 1(a)、图 1(b)), 波周期主要在 3~6 s (图 1(c)、图 1(d)), 均以短周期的小浪 ($0.1 \text{ m} < H_{1/3} \leq 0.5 \text{ m}$) 为主。

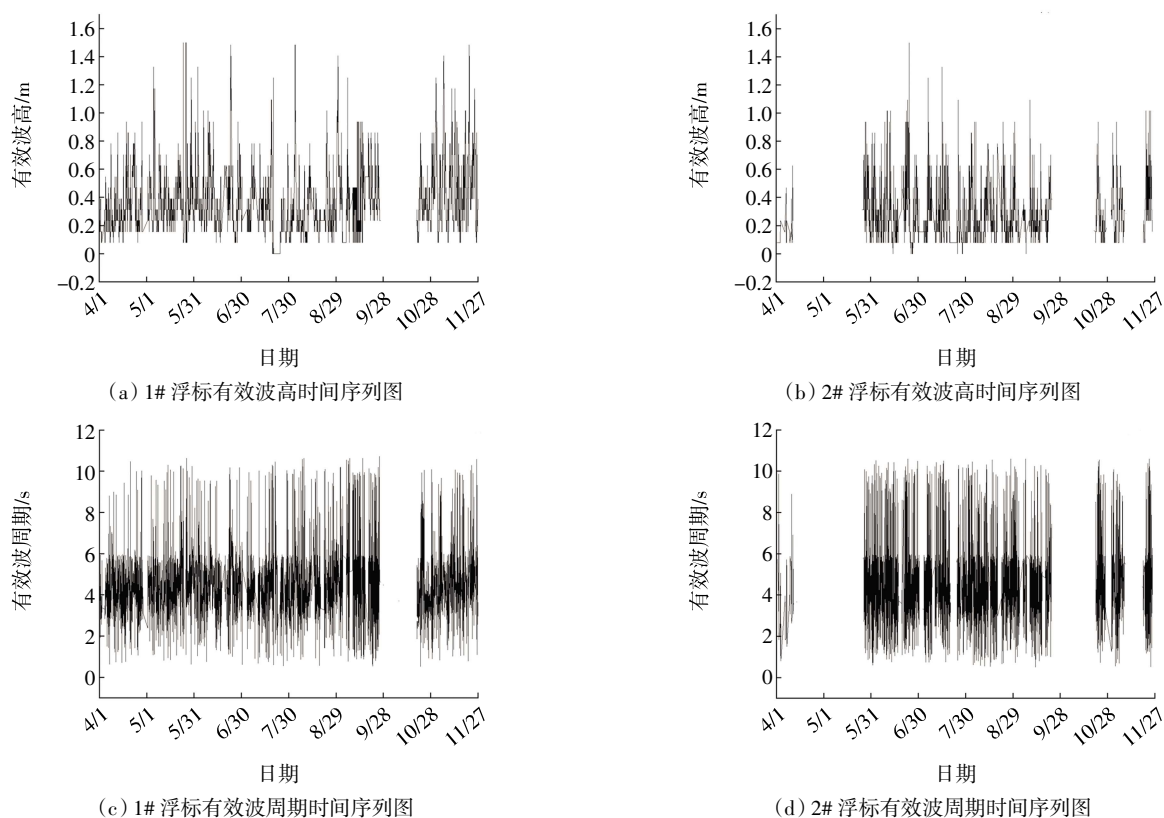


图 1 2017 年 4 月至 11 月 1#、2# 浮标观测海域有效波波高、周期时间序列图

1#、2# 浮标观测海域 4 月至 11 月有效波高最大值和月平均最大值分别为 1.49 m、1.50 m 和 0.48 m、0.33 m, 其中月有效波高最大值出现时间为分别为 8 月和 6 月, 月有效波高平均值最大值均出现在 11 月; 月有效波周期最大值和月平均最大值分别为 9.37 s、9.60 s 和 3.99 s、4.08 s, 其中月有效波周期最大值、月有效波周期平均值最大值出现时间分别为 8 月、10 月和 11 月、10 月; 月有效波高及周期变化趋势较为一致 (图 2), 其中 1#、2# 浮标观测海域有效波高及周期均较为一致, 2# 浮标观测海域有效波高月最大值及月平均值除 6 月、7 月外整体均略低于 1# 浮标观测海域, 有效波周期

月最大值及月平均值最大值除 10 月外均低于 1# 浮标海域, 因为 2# 浮标海域水深较 1# 浮标略浅, 形成的波浪破碎较快。

根据表 1、表 2 统计可知, 1#、2# 浮标海域小浪 (0.1~0.5 m) 出现频率均达全年观测数据的 70% 以上, 分别为 74.54%、70.22%, 观测期间 1.0 m 以上有效波高海浪几乎很少出现, 出现频率仅为 2.59%、0.29%。

1# 浮标海域出现 0.5~1 m 有效浪高频率相对于 2# 浮标高 7.32%, 究其原因, 受西南季风影响, 1# 浮标海域较 2# 浮标海域风区较长, 波浪成长时间较长, 易形成较大浪高。

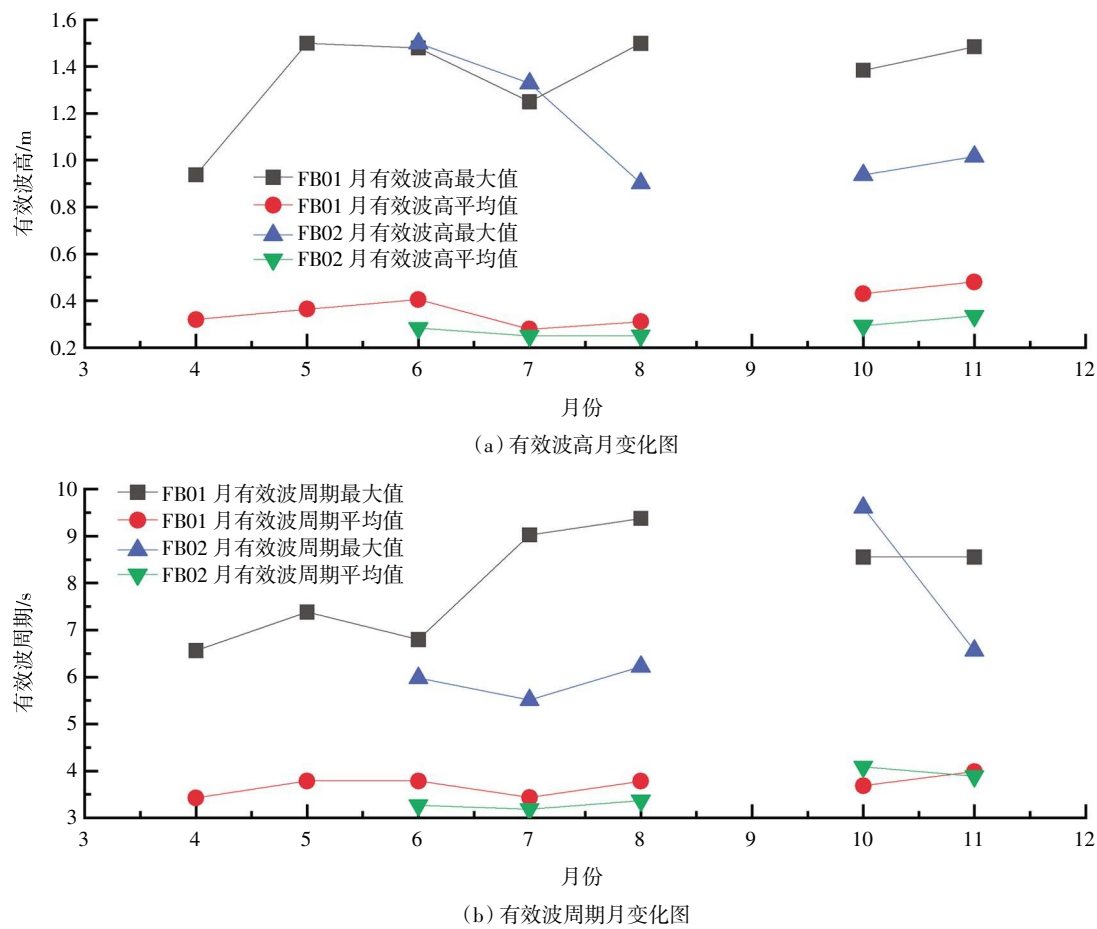


图 2 1#、2# 浮标观测海域有效波参数月最大和月均值变化图

表 1 2017 年 4 月至 11 月 1# 浮标各级有效波高出现频率 (%)

$H_{1/3}/\text{m}$	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	总计
0.00~0.10	0.41	0.42	0.52	2.23	0.90	~	0.28	0.39	5.32
0.10~0.50	11.10	13.26	11.61	9.78	12.95	~	5.39	8.94	74.54
0.50~1.00	2.21	3.05	1.02	1.59	2.54	~	1.65	5.48	17.89
1.0~1.5	—	0.34	0.50	0.10	0.45	~	0.25	0.94	2.59

注：“—”代表无数据；“~”代表该月数据量少，代表性差，未参加平均值计算。

表 2 2017 年 4 月至 11 月 2# 浮标各级有效波高出现频率 (%)

$H_{1/3}/\text{m}$	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	总计
0.00~0.10	~	~	4.55	4.83	4.82	~	0.75	1.39	18.89
0.10~0.50	~	~	16.68	11.52	16.53	~	4.43	6.90	70.22
0.50~1.00	~	~	2.68	1.77	1.96	~	1.02	1.68	10.57
1.0~1.5	—	—	0.13	0.08	0.00	~	0.00	0.06	0.29

注：“—”代表无数据；“~”代表该月数据量少，代表性差，未参加平均值计算。

2.2 波向特征

从 2017 年 4 月至 11 月观测数据来看, 1# 浮标观测海域有效波方向各向均有分布, 整体差异不大, 其中以 SW—NNE 向为主, 全年累计出现频率

达 71.72%, 其中除 SE、ESE 向出现频率均为 5%左右外, 其他向频率均处于 7%~8%, 尤以 SSW、SSE 向出现频率最高, 合计占 16.03%(图 3 (a))。常浪向以 3 ~ 5 s 短周期为主, 其次为 5~6 s 较长周期

(图4(a))。2#浮标观测海域以SW、SSW为主,全年出现频率累计达29.71%,其次为S向,出现频率为10.73%,与唐山沿海海域常年观测资料基本一致^[1,8],常浪向有效波高以0.2~0.4 m小浪为主,占全部统计数据的8.46%(图3(b)),常浪向以3~4 s短周期为主,其次为4~6 s较长周期(图4(b))。

综合来看,本文观测时段唐山近海海域主浪向

以南方位为主,浮标观测期间常浪向略有不同,1#浮标海域SSW—SSE,2#浮标海域为SW、SSW向,唐山海域的海岸呈北东走向,唐山沿海等深线走向基本与海岸平行,海底坡度较大,波浪传播到浅海,水深变化比较大,同时,由于近些年围填海等原因,人工岸段增加,海岸线转折处增多而易发生折射,故导致部分岸段主浪向有所变化。

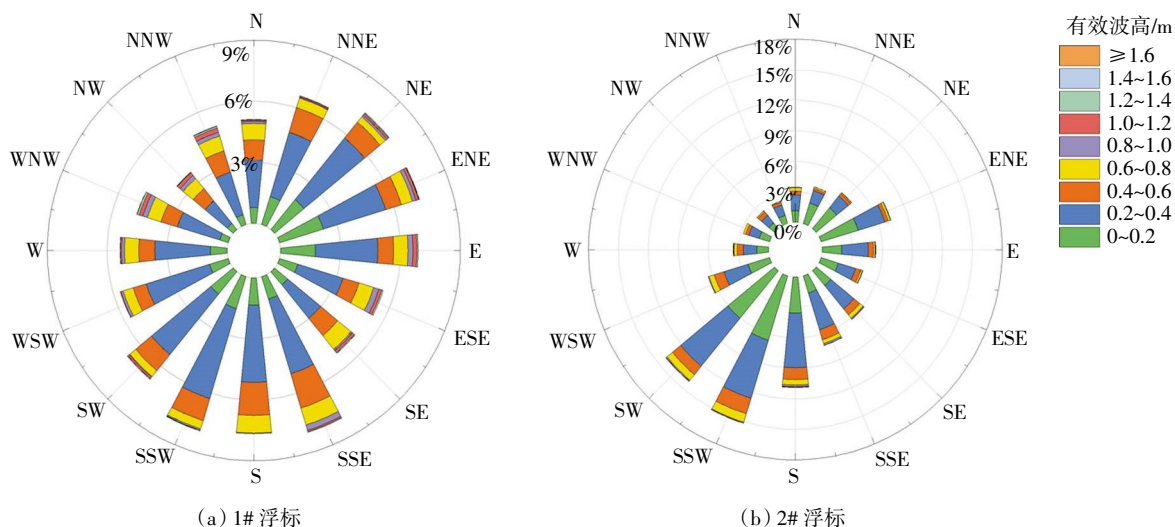


图3 1#、2#浮标各级有效波高各向出现频率玫瑰图

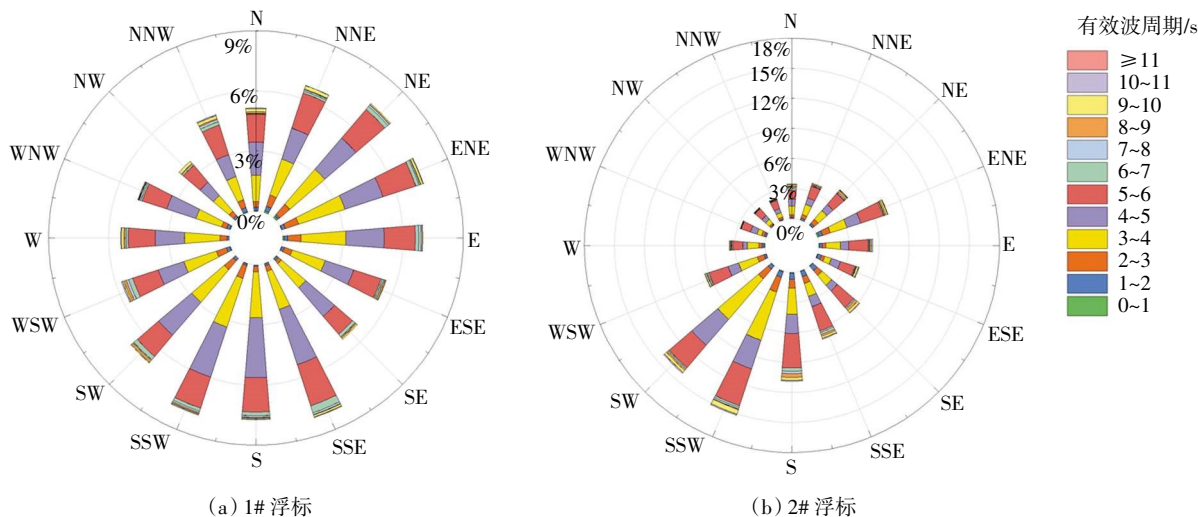


图4 1#、2#浮标各级有效波周期各向出现频率玫瑰图

3 波参数相关性统计分析

3.1 有效波方向与风向

本文利用2#浮标观测数据对有效波参数间及其与风速、风向相关性数据进行了统计分析,该海

域常浪向以SW、SSW为主,次浪向为S,浪向比较集中,其余方向出现概率均小于10%。从风速风向玫瑰图(图5)来看,该海域风向比较分散,各方向均有出现,但主要分布在为E—WSW范围内,以WSW、SSW、SSE、E为主,其中以E向出现频率最高,占总观测数据的11.34%。总体来看,风

向、浪向玫瑰图分布存在一定差异,这主要由于2#浮标布放位置距离西侧岸线较近,其东侧来风风区较短,偏东风形成的波浪大部分未能完成成长,因此,浮标观测到的E向浪相对较少,而是以外部开阔海域或局地形成的SW、SSW向浪向为主。

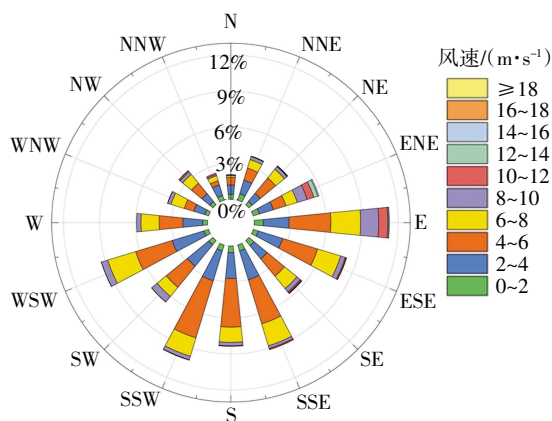


图5 2#浮标观测风速、风向玫瑰图

3.2 有效波高与风速

结合风速数据(图6、图7)发现,该观测海域以2~4级风(轻风、微风和风)为主,占观测期间数据82.81%,观测期间平均风速5.07 m/s,最大风速15.93 m/s。从风速与有效波高时间序列图(图6)来看,风速较高的时段与有效波高整体趋势较为一

致,由于涌浪原因,偶尔也存在部分有效波高较大而风速较小现象,利用origin软件对波参数之间与风速、风向相关性进行分析发现,有效波高与风速整体相关性较高,通过皮尔逊相关性分析,相关系数 r 为0.71, $P < 0.05$,为较强正相关(图7),说明该海域观测时间内以风浪为主,涌浪为辅。

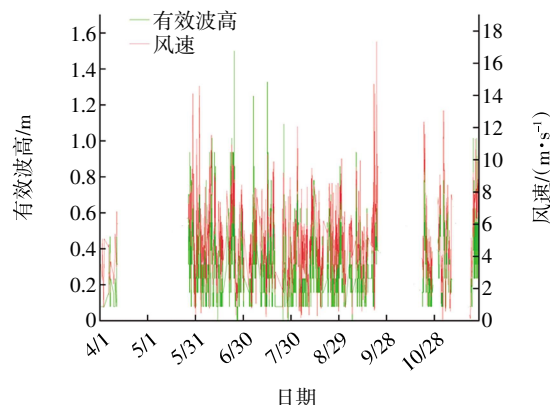


图6 2#浮标2017年4月至11月观测风速与有效波高时间序列图

3.3 有效波高与周期

根据以往研究,波浪周期与波高主要受地形、风区、风速、水深等环境影响,二者相关性变化较大^[9-10],本文对有效波高与周期利用origin软件对二者进行了相关性分析发现,该观测海域有效波高与

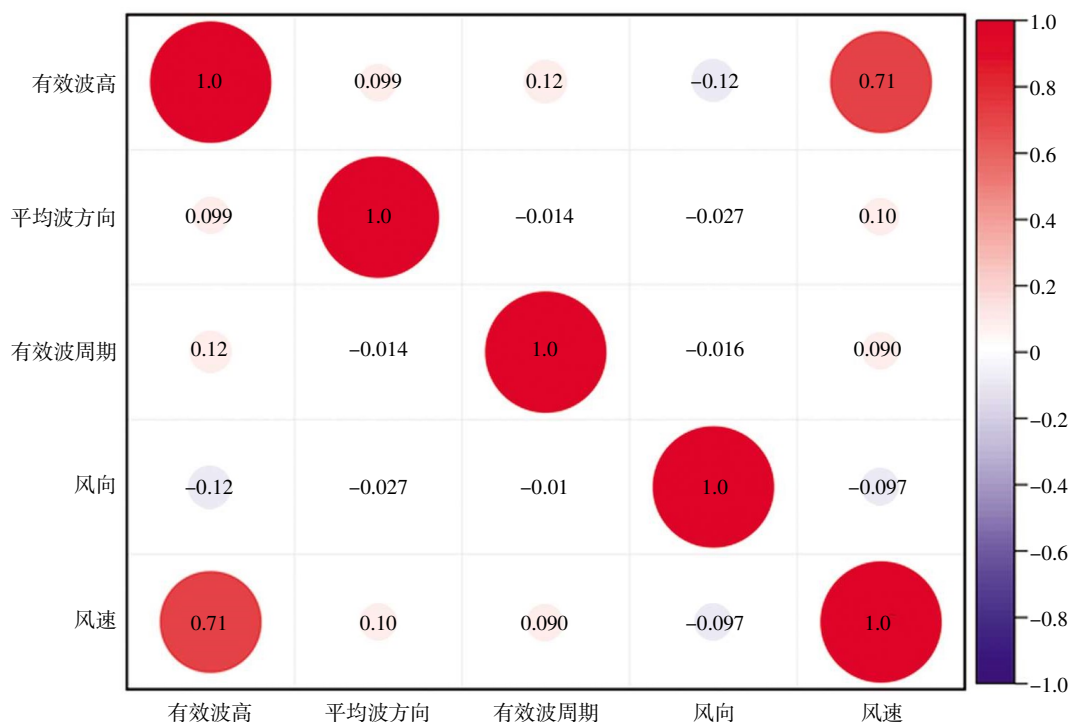


图7 2#浮标有效波参数、风速、风向相关性分析图

波周期基本无相关性, 相关系数仅 r 为 0.12(图 7), 由于该观测海域以风浪为主, 波浪破碎速度对波高与周期的相关性有较大影响。因此, 风区长短为波高与波周期的主要影响因素, 由于 2# 浮标布放海域位置距离西侧岸线较近, 其东侧来风风区较短, 偏东风形成的波浪大部分未能完成成长, 因此该海域波高与周期非线性相关亦符合该区波浪的基本特征。

4 结 论

当前国内高精度、长期、连续的波浪谱观测数据较为缺乏, 唐山市近岸海域的波浪观测也缺乏长期资料的系统分析。本文通过唐山近海海域 2 个浮标 2017 年 4 月至 11 月监测数据, 采用统计方法研究了有效波参数及变化特征, 并对 2# 浮标有效波参数及风速、风向相关性进行了研究, 得到研究结论如下。

(1) 本区波浪以风浪为主, 1#、2# 浮标海域观测期间有效波高主要为 0.1 ~ 0.5 m, 波周期主要为 3~6 s, 均以短周期的小浪为主, 小浪出现频率均达全年观测数据的 70% 以上, 分别为 74.54%、70.22%, 有效波高 1 m 以上较大波浪极少出现, 出现频率仅

为 2.59%、0.29%。

(2) 唐山海域的海岸呈北东—南西走向, 等深线走向基本与海岸平行, 海底坡度较大, 波浪传播到浅海, 水深变化比较大, 易发生折射, 主浪向全年各季均在南方位; 该海域观测期间常浪向略有不同, 1# 浮标海域为 SSW—SSE, 2# 浮标海域为 SW、SSW 向, 常浪向有效波高均以 0.2~0.4 m 小浪及 3~4 s 短周期为主。

(3) 经相关性分析, 受岸线地形影响, 2# 浮标观测海域常风向主要在 90° ~ 247.5° 范围内, 尤以 E 向出现频率最高, 与该海域常浪向 SW、SSW 向有所差异, 主要为东侧来风风区较短, 偏东风形成的波浪大部分未能完成成长所导致。该海域以风浪为主, 且波浪破碎速度较快, 有效波高与风速整体趋势较为一致, 经相关性分析, 相关系数 r 为 0.71, $P < 0.05$, 具有较强相关性, 偶尔存在部分有效波高较大而风速较小现象, 应为由涌浪引起, 有效波高与周期基本无相关性。

本文揭示了唐山近海海域波浪特性, 进一步丰富了该区域波浪资料, 可为该海域进行海上活动及防灾减灾提供理论依据。但由于该年极端天气出现较少, 应保持长期的数据积累, 以便更全面地揭示该区域极端条件下的波浪特性。

参考文献:

- [1] 张坤兰, 李桂敏, 杨超, 等. 河北沿海波浪特征统计分析[J]. 科学技术创新, 2021, 27: 72-75.
- [2] 张薇, 高山, 闫忠辉, 等. 渤海灾害性海浪特征分析[J]. 海洋预报, 2012, 29(5): 73-77.
- [3] 尹毅, 江丽芳, 张志旭, 等. 珠江口波浪要素特征分析[J]. 热带海洋学报, 2017, 36(4): 60-66.
- [4] 李淑江, 李泽文, 范斌, 等. 海南岛东南近岸海浪观测及统计特征[J]. 海洋科学进展, 2016, 34(1): 1-9.
- [5] 王志勇, 王伟荔, 胡伟, 等. 青岛近岸海域波浪要素特征研究[J]. 海洋技术学报, 2021, 40(2): 61-68.
- [6] 杨斌, 杨万康, 谢华伟, 等. 杭州湾北部实测波浪特征[J]. 海洋与湖沼, 2022, 53(4): 999-1006.
- [7] 河北省自然资源厅. 2020 年河北省海洋灾害公报[R]. 石家庄: 河北省自然资源厅, 2020.
- [8] 孙湘平. 中国近海区域海洋[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.
- [9] 丁平兴, 孙孚, 孔亚珍, 等. 风浪统计性质的实验研究——I. 波高与周期的联合统计分布[J]. 海洋学报, 1995, 17(4): 1-10.
- [10] 丁平兴, 孔亚珍, 孙孚, 等. 风浪统计性质的实验研究——II. 波高与周期的联合统计分布[J]. 海洋学报, 1995, 17(5): 1-9.

Analysis of Wave Element Characteristics in Tangshan Offshore Area

LI Zhiyong^{1,2}, WANG Jiuliang^{1,2}, LIU Dewu^{1,2}, WANG Qiuyan³

(1. The Fifth Geological Brigade of Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, Tangshan 063099, China;

2. Hebei Marine Geological Environment Survey Center, Tangshan 063099, China; 3. Natural Resources and Planning Bureau of Tangshan, Tangshan 063099, China)

Abstract: Based on the real-time wave observation data of buoys 1# and 2 # in the coastal area of Tangshan from April to November 2017 and some wind speed and wind direction data, this paper makes statistical analysis on the wave parameter characteristics such as effective wave height, effective wave direction and effective wave period in the coastal area of Tangshan, and studies the correlation between wave parameters and wind speed and wind direction by using Origin software. The results show that the normal wave directions of buoys 1# and 2 # are SSW, SW and SSE. The effective wave height in the normal wave direction is dominated by small waves of 0.2–0.4 m and short periods of 3–4 s, and large waves with effective wave height above 1m rarely occur; The waves in the sea area are mainly wind waves. The wave breaking speed is fast. The effective wave height has strong correlation with the wind speed, and the correlation coefficient r is 0.71. The wind direction has no correlation with the wave direction, and the effective wave height has no correlation with the period. The research data can provide technical basis for marine activities and disaster prevention and reduction.

Key words: coastal waters; wave characteristics; statistical analysis; Tangshan