

# 山东半岛周边近岸海域波浪能开发潜力研究

万 勇<sup>1,2</sup>, 范陈清<sup>2</sup>, 戴永寿<sup>1</sup>, 李立刚<sup>1</sup>, 孙伟峰<sup>1</sup>, 周 鹏<sup>1</sup>

(1. 中国石油大学(华东)信息与控制工程学院, 青岛 266580; 2. 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061)

**摘 要:** 利用近20年的ERA-Interim再分析海浪场数据,对山东半岛周边近岸海域波浪能开发潜力进行评估,重点研究优势区域重点单站和波浪能装置有关的指标。结果表明:山东半岛周边近岸海域波浪能资源开发潜力较高的优势区域位于威海东北部近岸海域、荣成东部和东南部近岸海域。优势区域重点单站波浪能的集中度较好,各季节主波功率密度的方向集中在北向上;对总能量有突出贡献的波高和波周期范围大致相同,为 $H_s$ :0~3.5 m,  $T_e$ :0~8 s。Wave Star是目前最适合于重点单站波浪能开发的装置,但其能量利用率仅约为6.2%,并非最理想的选择,还需研发效率更高的波浪能装置。

**关键词:** 海浪; 波功率; 能量开发潜力; 山东半岛周边海域; ERA-Interim再分析数据

**中图分类号:** P743.2

**文献标识码:** A

## 0 引 言

2011年1月,国务院正式批复《山东半岛蓝色经济区发展规划》,标志着山东半岛蓝色经济区建设正式上升为国家战略。山东半岛蓝色经济区的快速发展对能源有巨大需求。山东半岛与渤海、黄海相邻,在东亚季风气候的影响下,周边海域拥有丰富的海洋波浪能资源,波浪能是最具开发潜力的一种海洋可再生能源,对波浪能资源的合理开发利用可有效解决山东半岛蓝色经济区能源供给问题,同时又可因地取材,开发利用均较为方便。

在开发利用波浪能资源之前,需对拟开发区域波浪能资源的潜力进行可靠的评估。出于技术水平的限制以及对能源开发与输送成本的考虑,波浪能资源的开发主要集中在近岸海域,近岸局部区域波浪能资源开发潜力的评估已成为目前波浪能资源研究领域的热点问题,已有研究工作者针对不同区域开展了波浪能资源开发潜力的评估研究<sup>[1-5]</sup>。本文使用近20年欧洲中期天气预报中心(ECMWF)提供的高分辨率、高精度海浪场数据(ERA-Interim)研究山东半岛周边近岸海域波浪能

资源的开发潜力,重点研究与波浪能转换装置设计、运行有关的评价指标,以期为该区域波浪能资源的开发利用提供科学地指导。

## 1 数据资料及其验证

海浪的有效波高( $H_s$ ,单位 m)和能量周期( $T_e$ ,单位 s)是计算波浪能特征量的2个基础参数。本文选择的海浪数据是由ECMWF提供的近20年的ERA-Interim再分析海浪场数据资料,该数据的空间分辨率是 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ ,时间分辨率是6 h。ECMWF是全球最主要的再分析中心之一,其提供的ERA-Interim海浪再分析数据已得到较广泛的应用<sup>[6,7]</sup>。由于海浪参数的准确性直接关系到最终波浪能资源评价的准确性,因此本文使用研究区域内的1个海浪浮标(浮标001,位置:38.1585°N、121.0680°E,国家海洋局海洋可再生能源专项项目期间开展的浮标观测实验)观测的海浪场结果对ERA-Interim海浪场的准确性进行验证,分别验证了 $H_s$ 和 $T_e$ 这2个参数的准确性,如图1所示。和浮标001比对的 $H_s$ 的均方根误差(RMSE)为0.38 m,相关系数(CC)为0.81;和浮标001比对的 $T_e$ 的均方

收稿日期: 2017-09-25

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1405600); 山东省自然科学基金(ZR2016DL09); 中央高校基本业务费专项资金(16CX02033A); 河口海岸学国家重点实验室“高级访问学者基金”(SKLEC-KF201707)

通信作者: 万 勇(1979—),男,博士、讲师,主要从事海洋能评估、海浪遥感探测、海洋信息探测与处理等方面的研究。  
upcwanyong@163.com

根误差( $RMSE$ )为 0.66 s, 相关系数( $CC$ )为 0.70。结果表明 ERA-Interim 提供的海浪场在山东半岛周边海域有较高的准确性。

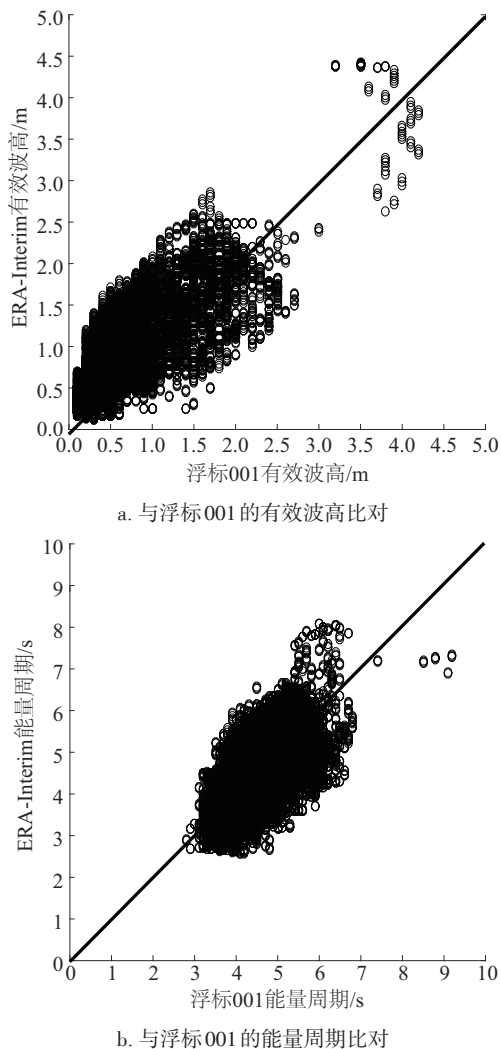


图1 ERA-Interim 海浪场与浮标观测比对的结果

Fig. 1 Comparison of wave fields by ERA-Interim and buoy

## 2 近岸优势区域划分及重点单站选择

近岸海域波浪能资源开发潜力的评估一般采

用单站的方式,即在近岸海域选择重点单站,研究重点单站波浪能的开发潜力。在选择近岸重点单站之前,首先需对近岸波浪能资源进行区域等级划分,找到波浪能资源的优势区域,在优势区域中选择重点单站进行研究。本文参考万 勇等<sup>[8]</sup>提出的具有区域针对性的近岸局部区域波浪能等级划分方法对山东半岛周边近岸海域的波浪能进行区域等级划分,以充分体现研究区域波浪能资源的特征。该划分方法中考虑以下指标:

1) 年均波功率密度  $P_w$  (单位  $\text{kW/m}$ ), 为研究波浪能最重要的特征量。由于近岸浅水作用的影响, 计算  $P_w$  时考虑水深的影响, 以提高  $P_w$  计算的准确性, 水深数据采用圣地亚哥大学发布的数据<sup>[9]</sup>。

2) 年有效波时  $T_E$  (单位  $\text{h}$ ), 即可开发波浪能持续的时间, 定义为  $1 \text{ m} \leq H_s \leq 4 \text{ m}$  的波浪平均每年持续的时间, 原因是波浪较大时破坏力强, 波浪较小时转换效率低, 2 种情况下的波浪能不可用。

3) 总波能  $TWE$ , 总波能的计算采用马怀书等<sup>[10]</sup>的气候学法, 可体现长期的变化趋势。

按照该方法, 在山东半岛周边近岸海域连续划分 14 个  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  的小区域, 如图 2 所示, 计算各小区域的特征量, 建立适合山东半岛周边近岸海域的区域波浪能等级划分标准如表 1 所示。

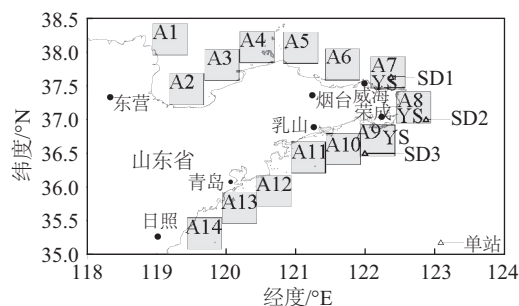


图2 区域波浪能等级划分结果及重点单站位置

Fig. 2 Result of regional division for wave energy and location of key station

表1 山东半岛周边近岸海域区域波浪能等级划分标准

Table 1 Criterion of regional division for wave energy for nearshore waters around Shandong Peninsula

等级	$P_w/\text{kW} \cdot \text{m}^{-1}$	$T_E/\text{h}$	$TWE \times 10^{11}/\text{J}$	$CDC$	开发潜力
5	<0.79	<926	<4.3434	<3177	差
4	0.79~1.48	926~1424	4.3434~6.7423	3177~14210	一般
3	1.48~2.17	1424~1922	6.7423~9.1412	14210~38125	较好
2	2.17~2.86	1922~2420	9.1412~11.5401	38125~79871	好
1	>2.86	>2420	>11.5401	>79871	最好

表 1 中  $CDC$  表示综合区划系数,为前面 3 个评价指标的乘积, $CDC$  越大,相应区域的开发潜力越高。按照以上标准,计算山东半岛周边近岸海域 14 个小区的  $CDC$ ,对 14 个小区波浪能开发潜力进行划分,划分的结果如表 2 所示。

表 2  区域划分结果					
Table 2  Results of regional division					
区域	$CDC$	等级	区域	$CDC$	等级
A1	1152	5	A8	123008	1
A2	1161	5	A9	122608	1
A3	10288	4	A10	23735	3
A4	22165	3	A11	9123	4
A5	38696	2	A12	29582	3
A6	60550	2	A13	9188	4
A7	91993	1	A14	108	5

由表 2 可见,A7、A8、A9 的开发等级是 1 级(表 2 中加灰底部分),开发潜力最高,本文选择 A7、A8、A9 作为波浪能资源开发的优势区域(YS)。在优势区域选择重点单站时仍以  $CDC$  为依据,对 3 个优势区域内的每个网格点分别计算得到  $CDC$ ,计算时的  $TWE$  限制为网格点周围  $0.125^{\circ}\times 0.125^{\circ}$  范围内的总波能,在每个优势区域内,选择  $CDC$  最大的数据网格点作为重点单站的位置。各站点的位置信息如图 2 所示,共选择 3 个重点单站,分别是 SD1 ( $122.375^{\circ}$  E,  $37.625^{\circ}$  N,  $CDC$  值:8727),SD2 ( $122.875^{\circ}$  E,  $37.000^{\circ}$  N,  $CDC$  值:8934),SD3 ( $122.000^{\circ}$  E,  $36.500^{\circ}$  N,  $CDC$  值:10296)。

利用近 20 年的 ERA-Interim 数据计算各单站的年均  $P_w$ ,SD1-SD3 站点的年均  $P_w$  分别为 3.32、3.24、3.57 kW/m。3 个重点单站处的年均  $P_w$  均在 3.24 kW/m 以上,虽与全球海域相比,波浪能资源并不丰富,但仍大于可开发波浪能的标准( $P_w>2$  kW/m)<sup>[11,12]</sup>,表明山

东半岛周边近岸海域波浪能资源有一定开发利用价值。

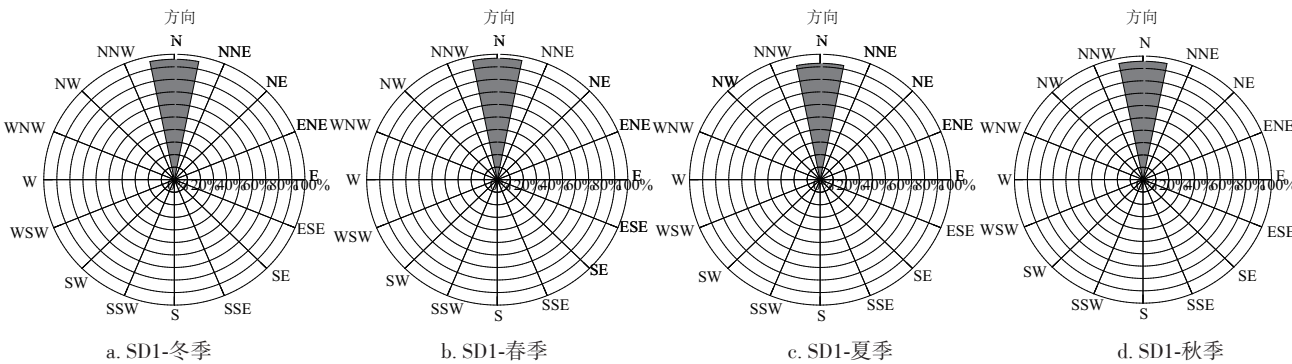
3  重点单站波浪能开发潜力分析

波浪能开发潜力评估的最终目的是为实际的波浪能资源开发服务,波浪能资源开发的主体是波浪能转换装置,为此本文重点分析和波浪能装置实际运行和设计有关的指标,包括波浪能传播的方向、波能量的波高和周期联合分布;此外,还评估现有主流波浪能装置在重点单站应用的性能。

3.1  波浪能传播的方向分布

掌握、利用好波浪能传播的方向对于提高波浪能转换装置的转换效率具有重要意义,一般情况下,与装置正交的方向上的入射波被吸收的效率最高<sup>[13]</sup>,波向对于某些波浪能转换装置,例如岸式振荡水柱式装置等尤其重要,由于岸式装置方向固定,安装好后不能调整。此外,各季节波浪的传播方向也存在差异,需确定各季节波浪能传播的主方向,使波浪能装置适应波浪能的传播方向以获得最大能量。为此,本文利用近 20 年 ERA-Interim 数据研究山东半岛周边近岸海域重点单站波浪能各季节传播的方向(冬季:12~次年 2 月份;春季:3~5 月份;夏季:6~8 月份;秋季:9~11 月份),计算各方向上能量分布的百分比,绘制波功率密度玫瑰图,如图 3 所示。

由图 3 可见,SD1 站点各季节主波功率密度的方向为北向(N),冬、春、夏、秋各季节该方向上的波功率密度约占总功率密度的 96.0%、96.9%、92.8%、95.8%;SD2 站点各季节主波功率密度的方向也为北向,冬春夏秋各季节该方向上的波功率密度约占总功率密度的 96.3%、97.0%、92.9%、96.0%;SD3 站点各季节主波功率密度的方向同样为北向,冬、春、



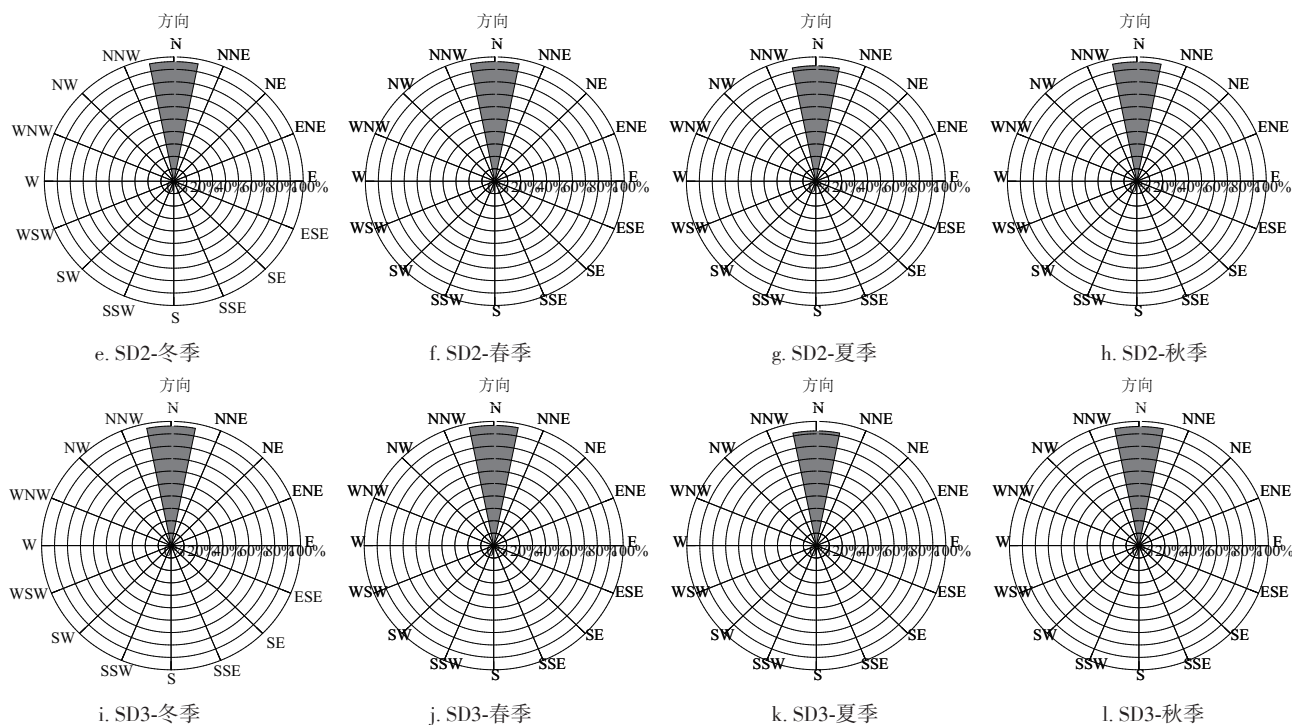


图3 重点单站各季节波功率密度玫瑰图

Fig. 3 Wave power density rose for each key station in each season

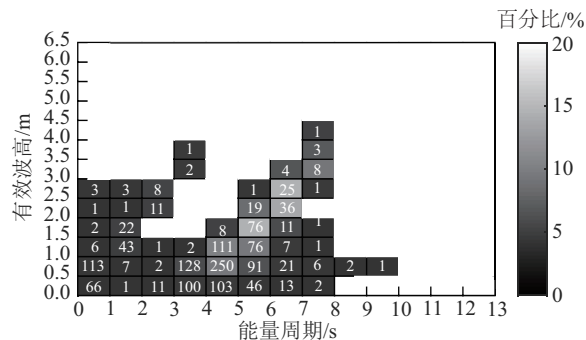
夏、秋各季节该方向上的波功率密度约占总功率密度的 96.3%、96.8%、92.4%、95.9%。结果表明:山东半岛周边近岸优势区域波浪能传播具有非常好的集中度,各季节主波功率密度的方向集中在北向上,这种特性对于离岸漂浮装置而言是有利的,而对于安装在山东半岛东端偏南北向的海岸附近的固定装置的吸能是不利的,因为岸线遮挡了北部传来的波浪,因此波浪能利用率有所下降。此外,各季节北向的波功率密度约占总功率密度的百分比均在 92% 以上,冬春秋三季比例略高于夏季,原因是该区域远离西北太平洋,主要受到北向季风的影响,常年在北向上的波浪较大,波浪能资源较为丰富;而西北太平洋台风和热带风暴很少到达该区域,影响较小;西南季风经过陆地的消耗,也很难对该区域产生影响。

### 3.2 波能量的波高和周期联合分布

在设计波能转换装置时,为了提高能量的转换效率,需考虑各重点单站对总能量有突出贡献的波高和波周期范围,将其作为波能转换装置设计的重要指标。此外,研究各重点单站不同波高和波周期范围出现的频率,建立波高和波周期分布的散射图

可为波浪能转换装置应用性能评估提供必要的信息。利用近 20 年 ERA-Interim 数据,按照  $H_s$  间隔 0.5 m,  $T_e$  间隔 1 s,统计各重点单站各波高和波周期范围内的总波能密度(每年各时刻波功率密度乘以小时数的累加取平均,  $MWh/(m \cdot a)$ ) 占全部波高和波周期范围内的总波能密度的百分比,结果如图 4 所示。

图 4 中色标表示百分比,从黑色到白色对应的百分比是 0%~20%,数字表示各级波高和波周期范围年均出现的次数。SD1 站点对总能量有突出贡献的波高和波周期范围为  $H_s: 0 \sim 3.5$  m,  $T_e: 0 \sim 8$  s,约占总能量的 92.86%,其中波高和波周期范围为  $H_s: 1.5 \sim 2.0$  m,  $T_e: 5 \sim 6$  s 时的能量百分比最高,约占总能



a. SD1

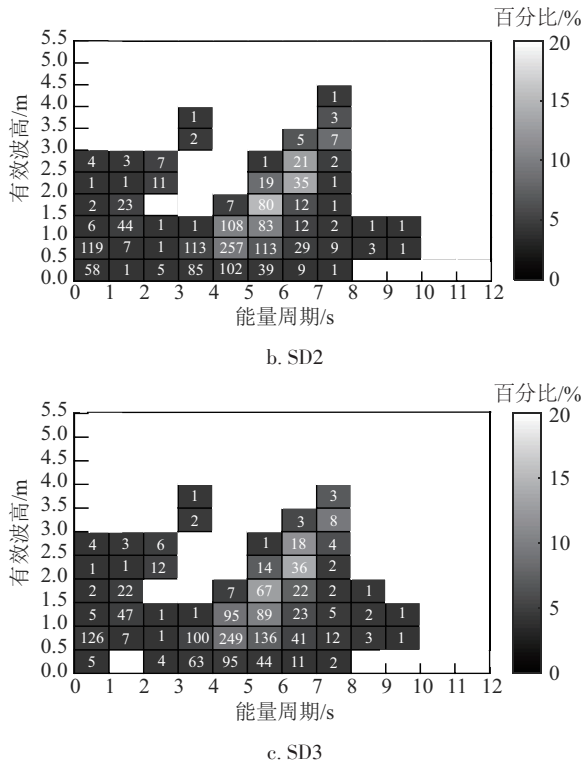


图4 近岸重点单站总波能密度按波高和波周期分布图  
Fig. 4 Distributions of total wave energy density according to significant wave height and wave period for each key station

量的 12.96%, 该波高和波周期范围年均出现的次数是 76 次, 并非出现次数最多的波高和波周期范围。年均出现次数最多的波高和波周期范围是  $H_s: 0.5 \sim 1.0 \text{ m}$ ,  $T_e: 4 \sim 5 \text{ s}$ , 年均出现次数为 250 次, 能量百分比仅为 6.46%。SD2 站点对总能量有突出贡献的波高和波周期范围为  $H_s: 0 \sim 3.5 \text{ m}$ ,  $T_e: 0 \sim 8 \text{ s}$ , 约占总能量的 94.54%, 其中波高和波周期范围为  $H_s: 1.5 \sim 2.0 \text{ m}$ ,  $T_e: 5 \sim 6 \text{ s}$  时的能量百分比最高, 约占总能量的 13.90%, 该波高和波周期范围年均出现的次数是 80 次, 并非出现次数最多的波高和波周期范围。年均出现次数最多的波高和波周期范围是  $H_s: 0.5 \sim 1.0 \text{ m}$ ,  $T_e: 4 \sim 5 \text{ s}$ , 年均出现次数为 257 次, 能量百分比仅为 6.72%。SD3 站点对总能量有突出贡献的波高和波周期范围为  $H_s: 0 \sim 3.5 \text{ m}$ ,  $T_e: 0 \sim 8 \text{ s}$ , 约占总能量的 91.86%, 其中波高和波周期范围为  $H_s: 2.0 \sim 2.5 \text{ m}$ ,  $T_e: 6 \sim 7 \text{ s}$  时的能量百分比最高, 约占总能量的 12.27%, 该波高和波周期范围年均出现的次数是 36 次, 并非出现次数最多的波高和波周期范围。年均出现次数最多的波高和波周期范围是  $H_s:$

$0.5 \sim 1.0 \text{ m}$ ,  $T_e: 4 \sim 5 \text{ s}$ , 年均出现次数为 249 次, 能量百分比仅为 5.92%。

近岸重点单站对总能量有突出贡献的波高和波周期范围大致相同, 均为  $H_s: 0 \sim 3.5 \text{ m}$ ,  $T_e: 0 \sim 8 \text{ s}$ , 将装置吸能波高和波周期范围设计到该范围之内, 可采集到较大的能量; 此外能量占比最高的波高和波周期范围为  $H_s: 1.5 \sim 2.5 \text{ m}$ ,  $T_e: 5 \sim 7 \text{ s}$ , 该范围也可作为波浪能装置细化设计的依据; 出现次数最多的波高和波周期范围占总能量的比例并非最大, 并非出现次数越多的波高和波周期范围对总能量的贡献越大。各重点单站对总能量有突出贡献的波高和波周期范围以及能量最集中的波高和波周期范围基本一致, 有利于设计统一的波浪能装置以满足能量采集的需求, 减少设计研发的成本。

### 3.3 波浪能转换装置性能评估

Rusu 等<sup>[14]</sup>指出实际装置的波浪能转换能力依赖于特定的波浪能转换装置的性能, 因为不同技术的波浪能装置适应于不同的波浪范围以及具有不同的转换效率。为此, 本文评价目前世界主流波浪能转换装置在山东半岛近岸重点单站的发电能力, 以确定最适合于在该区域使用的波浪能装置。参考 Vannucchi 等<sup>[15]</sup>的工作, 选择 5 个主流波浪能装置, 分别是 AquaBuoy (AB)、AWS、Pelamis、Oyster、Wave Star (WS)。研究 5 个装置在山东半岛近岸重点单站的发电能力。对发电能力的评价选择 3 个指标, 分别是平均输出功率  $P_e$  (kW)、能量利用率  $C_r$  (%)、捕捉宽度  $C_w$  (m), 3 个指标的数值越大, 波浪能装置的性能越好, 3 个指标的计算公式为:

$$P_e = \sum_{i=1}^{nT} \sum_{j=1}^{nH} P_{ij} \times f_{ij} \quad (1)$$

$$C_r = \frac{P_e}{P_p} \quad (2)$$

$$C_w = \frac{P_e}{P_w} \quad (3)$$

式中,  $nT$  —— 能量周期的级数;  $nH$  —— 有效波高的级数;  $P_{ij}$  —— 特定波浪能转换装置的输出, 取决于功率矩阵, 5 个波浪能装置的功率矩阵见文献[16~18];  $f_{ij}$  —— 不同波高和波周期范围出现的

频率,取决于散射图,由 3.2 节的结果提供; $R_p$ ——特定波浪能转换装置的额定功率,5 个波浪能装置的额定功率分别为 250 kW (AcquaBuoy)、2000 kW (AWS)、750 kW (Pelamis)、800 kW (Oyster)、600 kW (Wave Star); $P_w$ ——年均波功率密度。

利用近 20 年 ERA-Interim 海浪场数据计算山东半岛周边近岸海域重点单站主流波浪能装置的应用性能指标,如表 3 所示。在重点单站 SD1、SD2、SD3,各主流波浪能装置表现出的性能有较好的一致性,其中 Wave Star 是最适合于该区域的波浪能装置,在 3 个重点单站的平均输出功率均约为

37 kW,能量利用率约为 6.2%,捕捉宽度约为 11 m。说明 Wave Star 是最适用于山东半岛周边近岸海域波浪能资源开发的波浪能转换装置。但需要注意的是,目前已有的主流波浪能装置的能量利用率均较低,即使是 Wave Star 的能量利用率也仅约为 6.2%,离期望值还有较大差距,极大限制了在该区域开发波浪能资源的经济效益,为此还需根据该区域波况分布的实际情况,研制开发适合于该区域特点的波浪能转换装置,提高能量的利用率,这是未来波浪能装置研发单位努力的方向。

表 3 各重点单站平均输出功率,能量利用率和捕捉宽度

Table 3 Mean power output, capacity factor and capture width in each key location.

重点 单站	平均输出功率 $P_e/\text{kW}$					能量利用率 $C_f/\%$					捕捉宽度 $C_w/\text{m}$				
	AB	AWS	Pelamis	Oyster	WS	AB	AWS	Pelamis	Oyster	WS	AB	AWS	Pelamis	Oyster	WS
SD1	4.07	7.58	15.26	18.14	37.30	1.63	0.38	2.03	2.27	6.22	1.23	2.28	4.60	5.46	11.24
SD2	3.86	7.15	14.55	17.38	36.72	1.54	0.36	1.94	2.17	6.12	1.19	2.21	4.49	5.36	11.33
SD3	4.11	8.32	15.43	17.66	37.52	1.64	0.42	2.06	2.21	6.25	1.15	2.33	4.32	4.95	10.51

## 4 结 论

本文利用近 20 年 ERA-Interim 再分析海浪场数据,研究山东半岛周边近岸海域波浪能资源的开发潜力,重点研究和波浪能装置设计和运行有关的指标。结论如下:

1) 山东半岛周边近岸海域波浪能资源开发潜力较高的优势区域位于威海东北部近岸海域(A7),荣成东部和东南部近岸海域(A8、A9)。

2) 山东半岛周边近岸重点区域波浪能传播的方向特性基本一致,各季节主波能的方向均集中在北向上,波浪能的集中度非常好,这种特性对于离岸漂浮装置而言是有利的,而对于安装在山东半岛东端偏南北向的海岸附近的固定装置的吸能是不利的,因为岸线遮挡了北部传来的波浪,波浪能的利用率会有所下降。

3) 山东半岛周边近岸重点区域对总能量有突出贡献的波高和波周期范围大致相同,为  $H_s: 0 \sim 3.5 \text{ m}$ ,  $T_e: 0 \sim 8 \text{ s}$ ,该指标可作为波能转换装置设计的统一标准以满足能量采集需求,减少设计研发成本。此外,发现并非出现次数越多的波高和波周期范围对总能量的贡献越大。

4) 就目前主流波浪能转换装置而言,Wave Star 是最适合于山东半岛周边近岸重点区域波浪能开发的装置,但其能量利用率仅约为 6.2%,离期望值还有较大距离,并非该区域波浪能开发的理想选择,还需研制开发适合于该区域特点的波浪能转换装置,提高能量利用率。

## [参考文献]

- [1] Stopa J E, Cheung K F, Chen Y L. Assessment of wave energy resources in Hawaii[J]. Renewable Energy, 2011, 36: 554—567.
- [2] Iglesias G, Carballo R. Choosing the site for the first wave farm in a region: A case study in the Galician Southwest(Spain)[J]. Energy, 2011, 36: 5525—5531.
- [3] Hughes M G, Heap A D. National-scale wave energy resource assessment for Australia[J]. Renewable Energy, 2010, 35: 1783—1791.
- [4] 郑崇伟, 周 林. 近 10 年南海波候特征分析及波浪能研究[J]. 太阳能学报, 2012, 33(8): 1349—1356.
- [4] Zheng Chongwei, Zhou Lin. Wave climate and wave energy analysis of the South China Sea in recent 10 years [J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2012, 33 (8) : 1349—1356.

- [5] 郑崇伟, 林 刚, 邵龙潭. 台湾周边海域波浪能资源研究[J]. 自然资源学报, 2013, 28(7): 1179—1186.
- [5] Zheng Chongwei, Lin Gang, Shao Longtan. Wave energy resources analysis around Taiwan waters [J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28 (7) : 1179—1186.
- [6] Zhou L, Zheng C W, Li J, et al. Wave energy research in global oceans with ERA-40 wave data for recent 45 years [A]. Proceedings of 2011 International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE) [C], Nanjing, China, 2011.
- [7] 郑崇伟, 贾本凯, 郭随平, 等. 全球海域波浪能资源储量分析[J]. 资源科学, 2013, 35(8): 1611—1616.
- [7] Zheng Chongwei, Jia Benkai, Guo Suiping, et al. Wave energy resource storage assessment in global ocean [J]. Resources Science, 2013, 35(8): 1611—1616.
- [8] Wan Yong, Fan Chenqing, Zhang Jie, et al. Wave energy resource assessment off the coast of China around the Zhoushan Islands [J]. Energies, 2017, 10(9): 1320.
- [9] Smith W H F, Sandwell D T. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings [J]. Science, 1997, 277(5334): 1957—1962.
- [10] 马怀书, 于庆武. 我国毗邻海区表面波浪能的初步估算[J]. 海洋通报, 1983, 2(3): 73—81.
- [10] Ma Huaishu, Yu Qingwu. The preliminary estimate for the potential surface wave energy resources in the adjacent sea areas of China [J]. Marine Science Bulletin, 1983, 2(3): 73—81.
- [11] Cruz J. Ocean wave energy current status and future perspectives [M]. Berlin: Springer Press, 2008, 95.
- [12] 任建莉, 罗誉娅, 钟英杰, 等. 波力资源分析系统的实现及波能发电应用[J]. 浙江工业大学学报, 2008, 36(2): 186—191.
- [12] Ren Jianli, Luo Yuya, Zhong Yingjie, et al. The implementation for analysis system of ocean wave resources and the application of wave energy power generation [J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2008, 36(2): 186—191.
- [13] 王传崑, 卢 苇. 海洋能资源分析方法及储量评估 [M]. 北京: 海洋出版社, 2009, 104—129.
- [13] Wang Chuankun, Lu Wei. Analysis methods and reserves evaluation of ocean energy resources [M]. Beijing: Ocean Press, 2009, 104—129.
- [14] Rusu L, Soares C G. Wave energy assessments in the Azores islands [J]. Renewable Energy, 2012, 45: 183—196.
- [15] Vannucchi V, Cappietti L. Wave energy assessment and performance estimation of state of the art wave energy converters in Italian hotspots [J]. Sustainability, 2016, 8 (12): 1300.
- [16] Marquis L, Kramer M, Frigaard P. First power production results from the Wave Star Roshage wave energy converter [A]. Proceedings of the 3rd International Conference on Ocean Energy [C], Bilbao, Spain, 2010.
- [17] Silva D, Rusu E, Soares C G. Evaluation of various technologies for wave energy conversion in the Portuguese Nearshore [J]. Energies, 2013, 6: 1344—1364.
- [18] Carbon T. Variability of UK marine resources [M]. Oxford, UK: Environmental Change Institute, 2005.

## WAVE ENERGY DEVELOPMENT POTENTIAL ASSESSMENT IN NEARSHORE SEA AREA AROUND SHANDONG PENINSULA

Wan Yong<sup>1,2</sup>, Fan Chenqing<sup>2</sup>, Dai Yongshou<sup>1</sup>, Li Ligang<sup>1</sup>, Sun Weifeng<sup>1</sup>, Zhou Peng<sup>1</sup>

(1. *College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;*

2. *The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China*)

**Abstract:** Based on ERA-Interim reanalysis wave field data in recent 20 years, the wave energy resource development potential in near shore sea area around Shandong peninsula is assessed. Some indexes related to the key single-station in the wave energy advantageous areas and wave energy devices are studied emphatically. The results show that the high potential areas of wave energy around Shandong peninsula are located in the nearshore waters of the northeast of the Weihai city and the east and southeast of the Rongcheng city. In nearshore key locations in high potential areas, the concentration ratio of wave energy are very good and the direction of dominant wave power density are focused on north direction in various seasons. The significant wave height and wave period which have main contribution to total wave energy are similar,  $H_s$  is 0-3.5 m and  $T_e$  is 0-8 s. Wave Star is the most suitable wave energy converter for wave energy development in key single-stations, but its energy utilization rate is only about 6.2% and is not the most ideal choice. It is also necessary to develop more efficient wave energy device.

**Keywords:** ocean waves; wave power; energy development potential; nearshore sea area around Shandong peninsula; ERA-Interim reanalysis data