

近 45 年南海-北印度洋波浪能资源评估

郑崇伟^{1,2}, 李训强¹, 潘 静³

(1. 解放军理工大学 气象学院, 江苏 南京 211101; 2. 92538 部队气象台, 辽宁 大连 116041; 3. 中国科学院大气物理研究所, 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

摘要: 利用 ERA-40 海表 10 m 风场驱动第三代海浪数值模式(WAVEWATCH-III, 简称 WW3), 得到南海-北印度洋 1957 年 9 月~2002 年 8 月的海浪资料, 计算该海域的波浪能, 分析波浪能流密度的四季分布特征、不同能级出现的频率及波浪能流密度的稳定性, 为海浪发电、海水淡化等选址提供依据。研究发现, 南海-北印度洋海域蕴藏着较为丰富的波浪能: (1)南海-北印度洋大部分海域的年平均波浪能流密度在 2 kW/m 以上, 大值区位于南海、孟加拉湾、索马里附近海域。(2)南海-北印度洋海域波浪能流密度大于 2 kW/m 和大于 4 kW/m 出现的频率都较高。(3)南海-北印度洋的波浪能流密度具有较好的稳定性, 春季、秋季、冬季的稳定性好于夏季, 南海的稳定性好于北印度洋。

关键词: 风场驱动第三代海浪数值模式(WAVEWATCH-III); 南海; 北印度洋; 波浪能; 能流密度; 稳定性

中图分类号: TK7; P743.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)06-0101-04

1 研究背景

南海-北印度洋是全球重要的海上能源通道, 有着许多海上战略通道, 是世界上最为繁忙的海上贸易通道之一, 具有重要的经济和军事战略意义, 而且储有丰富的波浪能。在环境和资源严重困扰人类、全球众多国家和地区都面临能源危机的今天, 发展清洁能源是必然选择, 这也是为应对气候变化, 各个国家采取的共同战略之一。任建莉等^[1-2]对崂山海域的波浪资源进行过评估, Roger^[3]在 2009 年通过风场驱动第三代海浪数值模式(WAVEWATCH-III 模式, 简称 WW3)成功预报了太平洋东海岸的波浪能功率密度, 但国内外对南海-印度洋波浪能的研究较少, 研究也指出波浪能较其他清洁能源更具优势^[4-5]。本文通过精确计算, 得到该海域长时间序列的海浪资料, 分析该海域的波浪能特征。海洋能的开发主要有两个难点: 第一, 选址; 第二, 海洋能转换装置的转换效率。本文主要分析了南海-北印度洋的波浪能特征, 可为海浪发电的选址提供依据。

2 资料简介

ERA-40 海表 10 m 风场来自 ECMWF(欧洲中期天气预报中心——European Centre for Medium-

Range Weather Forecasts), 其时间分辨率为 6 h, 空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。该数据的空间范围覆盖全球, 时间范围从 1957 年 9 月 1 日 00:00~2002 年 8 月 31 日 18:00。

3 模拟方法及资料验证

以 ERA-40 海表风场驱动 WW3, 计算范围为 $10^{\circ}\text{S} \sim 30^{\circ}\text{N}$, $40^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$, 地形分辨率取 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 计算时间从 1957 年 9 月 1 日 00:00~2002 年 8 月 31 日 18:00。积分步长 900 s, 每 3 h 输出一次结果, 模拟的海浪资料已经过梅勇等与 ICOADS 对比检验^[6], 精度较高, 前人的研究也表明 WW3 模式对大洋海浪具有较好的模拟能力^[7-8], 在此不再重复验证过程。

4 波浪能特征分析

4.1 波浪能的季节特征

本文采用美国 EPRI(Electric power research institute)波浪资源评估的公式^[9], 单位波峰宽度的波浪

收稿日期: 2010-09-25; 修回日期: 2012-02-28

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2010CB950400); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q11-03)

作者简介: 郑崇伟(1983-), 男, 四川宜宾人, 硕士, 主要从事波候及波浪能研究, E-mail: 364704410@qq.com

功率为:

$$P_w \approx 0.42H_{1/3}^2 T_p \quad \text{或} \quad P_w \approx 0.5H_{1/3}^2 \bar{T} \quad (1)$$

式(1)中: $H_{1/3}$ 为有效波高, T_p 为谱峰周期, \bar{T} 为平均周期, $T_p = 1.2\bar{T}$ 。

在波浪能的评估中, 通常认为能流密度大于 2 kW/m 时为可用^[1-2]。从图 1 可以看出, 南海-北印度洋具有丰富的波浪能。春季, 波浪能流密度的大值区主要集中在: 南海大部分海域(约 2~2.5 kW/m)、孟加拉湾大部分海域(约 2 kW/m)、斯里兰卡东部和东南部海域(约 2~2.5 kW/m)、索马里附近海域(约 2 kW/m), 几个大值中心的波浪能流密度大小较接近; 夏季, 大值区主要集中在: 南海(约 3~5 kW/m)、孟加拉湾海域(约 10 kW/m)、阿拉伯海(约 10~50 kW/m); 秋季, 北印度洋的波浪能流密度基本都集中在 2~4 kW/m, 南海较大, 在 2~12 kW/m 左右; 冬季, 北印度洋的波浪能流密度基本都集中在 2~4 kW/m, 此时南海的波浪能流密度为全年最大, 在 4~18 kW/m 左右; 年平均, 三个大值中心: 阿拉伯海(约 6~14 kW/m)、孟加拉湾(约 4 kW/m)、南海(约 4~8 kW/m)。从区域来看, 北印度洋在春季、秋季、冬季的波浪能流密度大小相近, 约 2 kW/m 左右, 夏季最大, 在 10~50 kW/m 左右; 南海的波浪能流密度则是春夏秋冬逐渐递增的, 春季最小, 约 2~2.5 kW/m, 冬季为全年最大, 约 4~18 kW/m。

4.2 不同等级波浪能出现频率

在波浪能的评估中, 能流密度不同等级出现的频率是衡量能量丰富程度的一个重要指标, 是波浪发电选址的重要参考依据之一。通常认为大于 2 kW/m 视为可用^[10-11], 本文对 1957~2002 年逐 3 h 的能流密度进行统计, 发现大于 2 kW/m 和大于 4 kW/m 出现的频率较高, 波能蕴藏丰富。由图 2 可见, 大于 2 kW/m 出现频率较高的海域主要集中在: 南海中部(50%左右), 斯里兰卡东部和东南部海域(50%~55%左右), 索马里附近海域(50%~60%左右), 赤道中印度洋相对较低, 在 30%左右; 大于 4 kW/m 的分布情况与大于 2 kW/m 的分布较接近。

4.3 波浪能的稳定性

波浪能的开发利用不仅仅关注一定等级能流密度出现的频率, 更关注能流密度的稳定性, 越是稳定越有利于波浪能的采集与转换, 在不稳定的情况下可能会对发电设备造成损坏, 甚至损毁。本文通过计算每个网格点不同月份的变异系数来判断波浪能

流密度在不同月份的稳定性, 变异系数越小稳定性越好(见图 3)。变异系数的计算方法如下:

$$C_v = S / \bar{x} \quad (2)$$

式(2)中: C_v 为变异系数, S 为标准差:

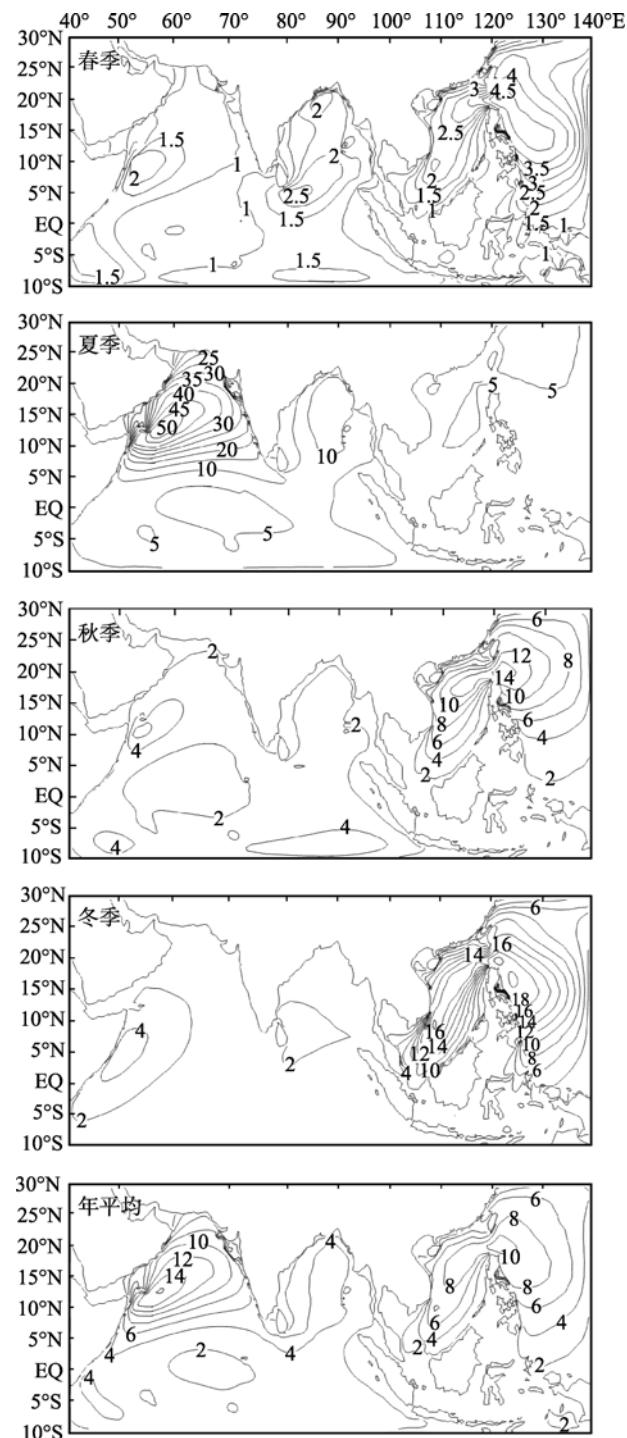


图 1 南海-北印度洋近 45 年春、夏、秋、冬季平均及年平均波浪能流密度

Fig. 1 Distributions of wave energy density in spring, summer, autumn, winter, and annual average

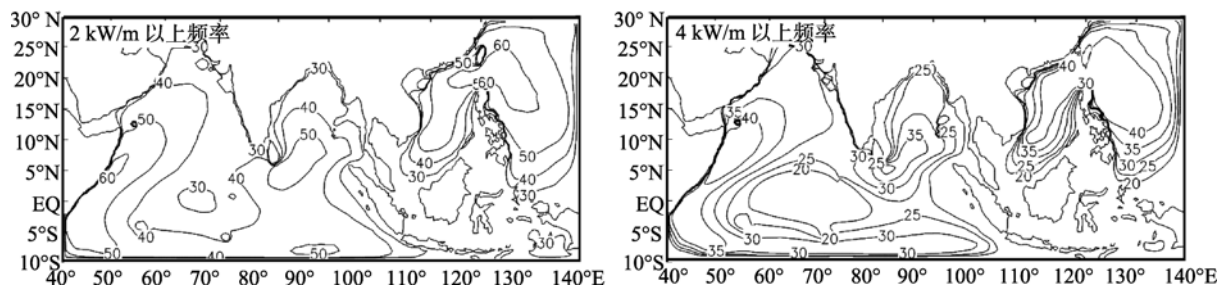


图 2 波浪能流密度能级频率
Fig. 2 Frequency of wave energy density

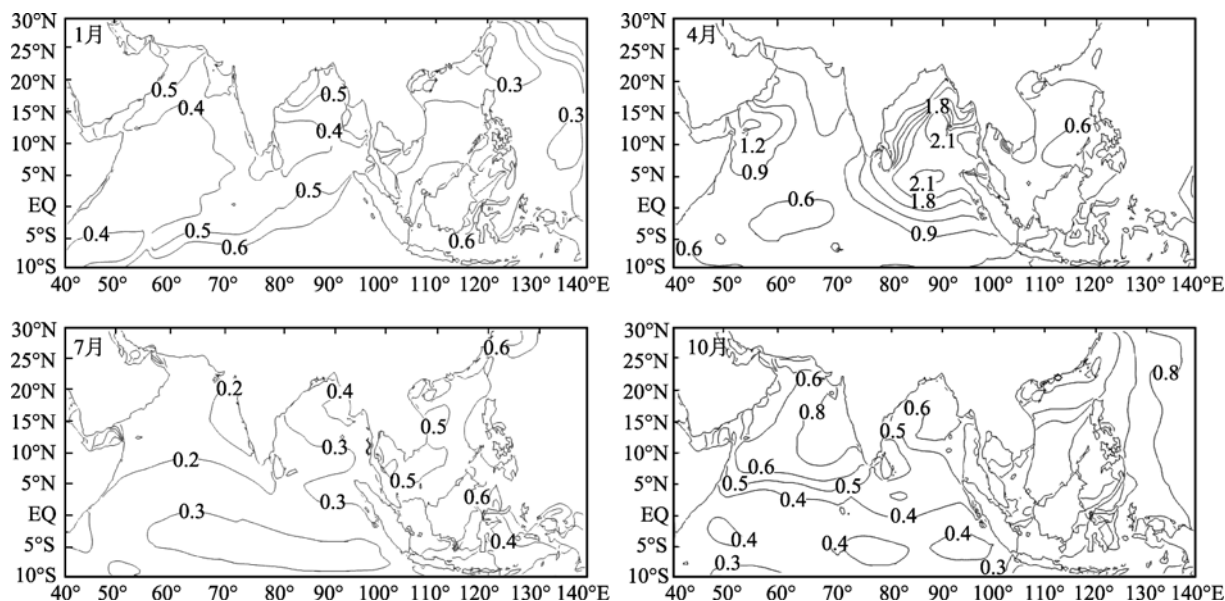


图 3 南海-北印度洋近 45 年的 1 月、4 月、7 月、10 月波浪能流密度的变异系数
Fig. 3 Distributions of Coefficient of variation of wave energy density in January, April, July, and October

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2 / n}{n-1}}, \bar{x} \text{ 为均值。}$$

北印度洋波浪能流密度的稳定性: 春季, 稳定性较好, 大部分海域波浪能流密度的变异系数都在 0.6 以下; 夏季的稳定性为全年最差, 这应该是由于夏季该海域经常遭受热带气旋侵袭造成的, 孟加拉湾和索马里附近海域的稳定性最差, 其余海域稳定性相对较好; 秋季的稳定性为全年最好, 变异系数基本都在 0.3 以下; 冬季的稳定性也较好, 大部分海域的变异系数在 0.6 以下, 阿拉伯海东部海域稳定性稍差, 变异系数在 0.8 左右。

南海波浪能流密度的稳定性: 南海波浪能流密度四季都较稳定, 春季、秋季、冬季波浪能流密度的变异系数基本都在 0.4 以下, 夏季相对稍差, 变异系数约 0.3~0.6。

总的来看, 南海-北印度洋波浪能流密度的稳定性都比较好, 南海的稳定性好于北印度洋, 春季、秋季、冬季的稳定性好于夏季。

5 结论

(1)南海-北印度洋的波浪能流密度具有三个明显的大值中心: 南海、斯里兰卡东部海域、索马里附近海域。北印度洋在春季、秋季、冬季的波浪能流密度大小相近, 约 2 kW/m 左右, 夏季最大, 在 10~50 kW/m 左右; 南海的波浪能流密度则是春夏秋冬逐渐递增的, 春季最小, 约 2~2.5 kW/m, 夏季约 3~5 kW/m, 秋季在 2~12 kW/m 左右, 冬季为全年最大, 约 4~18 kW/m。(2)整个南海-北印度洋海域波浪能流密度大于 2 kW/m 和大于 4 kW/m 出现的频率都较高, 有利于波浪能资源的开发利用。(3)南海-北印度洋的波浪能流密度具有较好的稳定性, 春季、秋

季、冬季的稳定性好于夏季,南海的稳定性好于北印度洋。(4)南海-北印度洋大部分海域蕴藏着较为丰富的波浪能,且稳定性好,选择合适的海域进行海浪发电、海水淡化等波浪能资源开发工作将具有广阔的前景。

参考文献:

- [1] Ren J L, Luo Y Y, Chen J J, et al. Research on wave power application by the information system for ocean wave resources evaluation[J]. *Renewable Energy Resources*, 2009, 27(3): 93-97.
- [2] Ren J L, Luo Y Y, Zhong Y J, et al. The implementation for the 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.
- [3] Roger B. Wave energy forecasting accuracy as a function of forecast time horizon [EB/OL]. [2009-10-31]. [Http://www.epri.com/oceanenergy/](http://www.epri.com/oceanenergy/).
- [4] 郑崇伟. 南海波浪能资源与其他清洁能源的优缺点比较研究[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2011, 6(4): 40-45.
- [5] 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.
- [6] 梅勇, 周林. 北印度洋-南海海域海浪场、风场的年变化特征分析[J]. *气象水文装备*, 2010, 21(5): 37-40.
- [7] 郭衍游, 侯一筠. 海浪数值预报误差的统计分析[J]. *海洋科学*, 2010, 34(1): 65-68.
- [8] 杨洋, 朱志夏, 周科. 西北太平洋台风浪数值模拟[J]. *海洋科学*, 2010, 34(2): 62-67.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 郑崇伟. 西沙海域波浪能、风能资源开发的可行性研究[C]//中国致公党中央委员会, 国家海洋局. 海洋经济发展与海岛保护论文集. 北京: 海洋出版社, 2011: 400-415.

Wave energy analysis of the South China Sea and the North Indian Ocean in recent 45 years

ZHENG Chong-wei^{1,2}, LI Xun-qiang¹, PAN Jing³

(1. Institute of Meteorology, People's Liberation Army University of Science & Technology, Nanjing 211101, China; 2. 12 Unit, NO.92538 Army of People's Liberation Army, Dalian 116041, China; 3. National Key Laboratory of Numerical Modelling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics (LASG), Institute of Atmospheric Physics, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Received: Sep., 25, 2010

Key words: WW3(WAVEWATCH-); the South China Sea; the North Indian Ocean; wave energy; wave energy density; stability

Abstract: The third-generation wave model WAVEWATCH-III(WW3) was used to simulate the wave from 1957 to 2002 with the input of ERA-40 wind data in the South China Sea and Indian Ocean. The primary characteristics of wave energy were calculated. The South China Sea and North Indian Ocean were rich in wave energy; We found (1) wave energy density in most areas was larger than 2 kW/m, large areas located in the South China Sea, Bengalese Gulf and waters around Somali; (2) frequency of wave energy density > 2 kW/m was high; (3) the wave energy density in the South China Sea and North Indian Ocean had good stability, the stability in spring, autumn and winter being better than that in summer and the stability in the South China Sea being better than that in the North Indian Ocean.

(本文编辑: 刘珊珊)