

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.04.029

舟山特定海域三维水流数值模拟研究*

秦华伟¹, 蔡 真¹, 周红伟², 胡杭民¹

(1. 杭州电子科技大学 机械电子工程研究所, 浙江 杭州 310018;
2. 国家海洋局第二海洋研究所 海底科学重点实验室, 浙江 杭州 310012)

摘要: 舟山海域为长江径流水体南下的必经之路, 该海域的水动力条件受周围地形、长江径流以及杭州湾-东海潮流的综合影响, 极具特殊性。针对目前缺少特定海域模拟分析的情况, 对舟山岛南部至宁波穿山半岛之间特定海域进行了研究。通过建立该海域三维网格模型, 结合 ADCP 走航实验获取实际流速数据, 使用 Fluent 软件进行了数值模拟, 以获得该海域流速模型。并在此基础上, 对所得模型中流速较大的海域进行了分析研究。研究结果表明: 涨潮时, 螺头水道最高流速为 1.6 m/s~2.1 m/s, 出现在摘箬山岛及小猫山南部海域; 退潮时, 最高流速为 1.5 m/s~2.1 m/s, 出现在宁波穿山半岛的北侧及螺头水道东段出口边界处, 并在宁波穿山半岛北部发现存在近岸“回流”。通过该模型可获得舟山海域实际流速, 对于工程应用具有一定的参考价值。

关键词: 三维模拟; 舟山海域; 流场分析

中图分类号: TP34; U661.1 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)04-0541-04

Three-dimensional numerical simulation of Zhoushan area

QIN Hua-wei¹, CAI Zhen¹, ZHOU Hong-wei², HU Hang-min¹

(1. School of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;
2. Key Laboratory Submarine Geosciences, The Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Zhoushan area is the only way of changjiang runoff, which flow from north to south. The hydrodynamic condition of this sea area is affected by the changjiang runoff, the power flow of Hangzhou Bay-the east china sea and complex terrain, which is particular and significant. Aiming at the shortage of simulation for specific sea area, the research on the southern part of the Zhoushan island to the Ningbo Chuanshan peninsula was carried out. The three-dimensional structure grid was established, combined with the practical data of flow rate by ADCP experiment, the flow model of this sea area was obtained by conducting a numerical simulation by using Fluent. On the basis of these experiments, the sea area with large velocity was analyzed. The results show that, when raising tide, the maximum velocity of Luotou channel, which is 1.6 m/s~2.1 m/s, is present in the south of Zhaoluoshan Island and Xiaomao Island; the maximum velocity, which is 1.5 m/s~2.1 m/s when ebbing tide, is present to export boundary on the north side of Ningbo Chuanshan peninsula and the east of Zhoushan Island, the return flows are discovered in the Ningbo Chuanshan peninsula. The obtained data is identical with measured data, the model has a certain reference value for engineering application.

Key words: three-dimensional simulation; Zhoushan area; flow field analysis

0 引 言

舟山群岛是我国第一大群岛, 附近海域西连杭州湾, 北接长江口, 东临东海; 水深地形多变、岛屿众多,

水动力条件复杂^[1]。同时舟山海域也是全国著名的强潮海区, 部分水道涨退潮流速度可达 2 m/s~3 m/s, 其中蕴含了丰富的潮流能, 特别是金塘水道、龟山航门、西候门水道等均为全国潮流能能量密度最大的地区^[2]。舟山群岛海域沿岸有 26 处潮流能资源最佳区, 8 处资

收稿日期: 2013-12-03

基金项目: 浙江省重大科技专项重点社会发展资助项目(2011C13025)

作者简介: 秦华伟(1976-), 男, 山西长治人, 博士, 教授, 主要从事深海机电装备技术方面的研究。E-mail: qinhw@hdu.edu.cn

源较佳区,11处资源可利用区,在其海域内可装机容量可达63 500 kW,年发电量达到 1.17×10^9 kWh^[3]。故研究舟山海域的速度场特征,对解决舟山海域潮流能发电及其附近各类海洋环境都有着重要意义。

马启南^[4]等建立了基于 σ 变换和内外模式分裂技术三维水流数学模型,对方程进行离散后,并对所建模型进行校验,将该模型应用到杭州湾的三维水流数值模拟中,取得良好的效果;寿玮玮等^[5]利用ECOM模型模拟了舟山群岛附近海域流场和三维水动力的特征,模拟结果与实测数据符合。

现有分析多数为杭州湾或舟山群岛大范围海域,而缺少专门针对某一具体海域的研究成果。在大范围海域计算中,常采用忽略某些小岛或近似岛屿边界线等方法,提高计算效率及简化网格划分的难度。而本研究详细绘制每一座岛屿,同时采用更小的网格尺寸(每格长度为1 m)对计算区域进行划分,采用数值模拟与现场数据测试两种方法相结合,对舟山特定海域流速进行模拟,以建立该海域模型。

1 网格划分与实测数据获取

本研究数值模拟计算海域如图1所示,该海域位于舟山岛与宁波穿山半岛之间。笔者共取5个潮流进出口,使其形成一个封闭的计算域,并进行网格划分,在深度方向上采用均分层法将其分成16层。由于岛屿岸边的深度减小,需要优化边界网格:对其进行细化拉伸处理,将所有边界线向陆地方向拉伸5 m,水深为1 m,总共4个单元,并且使每个网格宽度均以1.2倍率进行缩小。

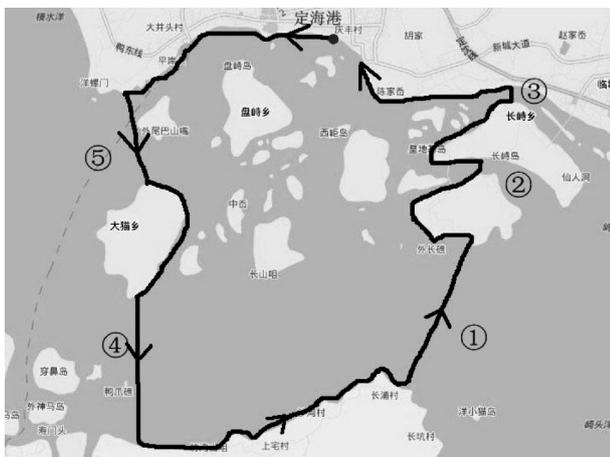


图1 所研究区域地理位置及走航轨迹

本研究利用走航式ADCP,从定海港出发,按图1线路航行,以获取该剖面的实际流速,在ADCP进行流速测量的同时,利用GPS定位系统辅助工作以确定

ADCP经、纬度。所得流速原始数据如图2所示,图中黑色曲线轮廓为测速轨迹(与图1中走航轨迹相对应),其中轨迹上每一点的箭头均代表ADCP在该点处所测得的速度矢量。通过对每个进出口范围内的所有测量点的流速取均值,得到该海域速度数据: $V_1 = 1.07$ m/s, $V_2 = 0.37$ m/s, $V_3 = 0.28$ m/s, $V_4 = 0.67$ m/s, $V_5 = 0.52$ m/s。

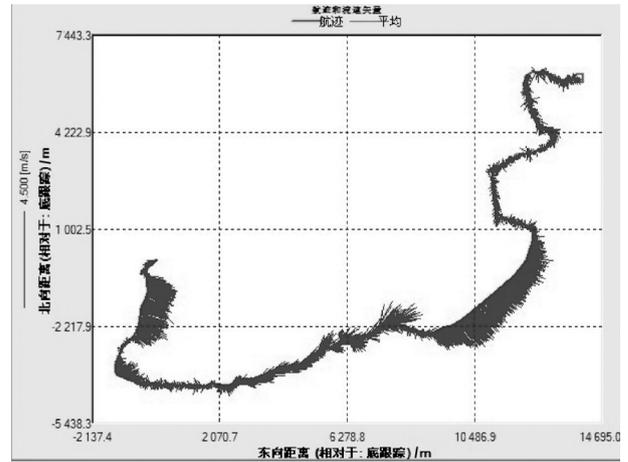


图2 所采集到的实验数据

本研究分别求出各入口和出口的湍动能 κ 、湍动能耗散率 ε 、比耗散率,其大小如表1所示。

表1 各出入口参数

进出口编号	κ	ε	ω
1	3.88×10^{-4}	1.16×10^{-4}	3.32×10^{-3}
2	8.31×10^{-5}	3.84×10^{-8}	5.13×10^{-3}
3	4.72×10^{-5}	1.46×10^{-8}	3.44×10^{-3}
4	181×10^{-4}	4.81×10^{-8}	2.95×10^{-3}
5	1.27×10^{-4}	3.67×10^{-8}	3.21×10^{-3}

2 计算与结果分析

本研究的模拟采用 $k-\omega$ 模型,材料模型选用计算所得海水模型,其中海水密度由公式^[6]得 $\rho = 1\ 022.921$ kg/m³,动力粘度 $\mu = 0.951 \times 10^{-3}$ Pa·s。计算环境压力 $P = 101\ 325$ Pa,重力条件在 z 方向上设置为 -9.8 m/s²。

涨潮时,取东边1、2、3口为速度入口,西边4、5口为压力出口;退潮时,取西边4、5口为速度进口,东边1、2、3口为压力出口,速度进口处均采用平均流速。设海表面、海岸边界和海底面的粗糙度为0.05。

涨潮过程中,水深0.5 m剖面上的流速标量云图如图3所示;摘箸山岛南部海域流速矢量局部放大图如图4所示。从图4中可以看出,涨潮时,水流从进口1、2、3流入,其中螺头水道东段为主要进口,其流速和流

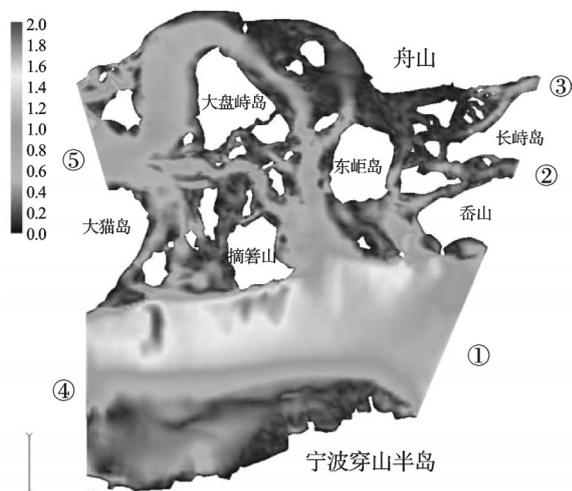


图3 涨潮时流速标量云图

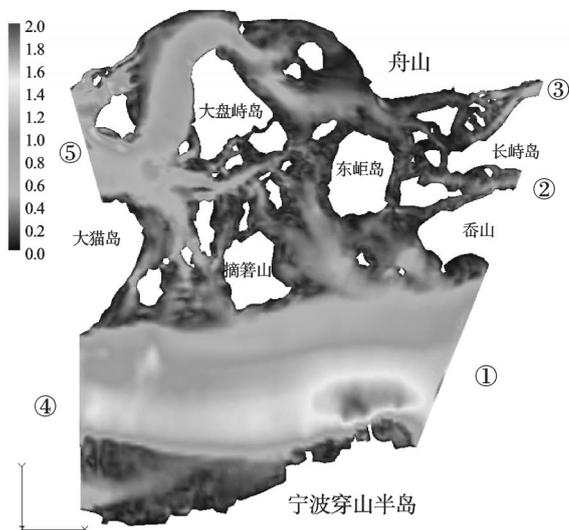


图5 退潮时流速标量云图

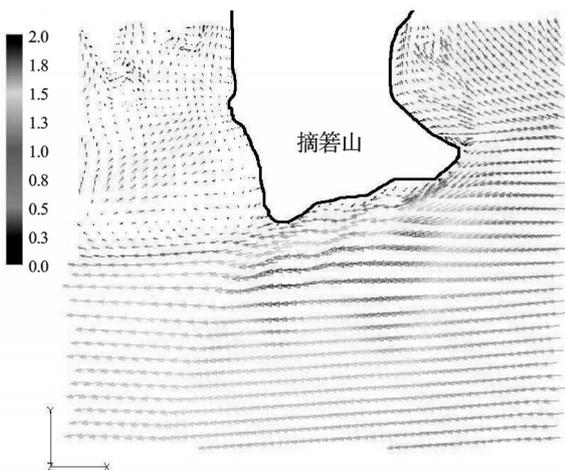


图4 涨潮时摘箬山南部放大流速矢量图

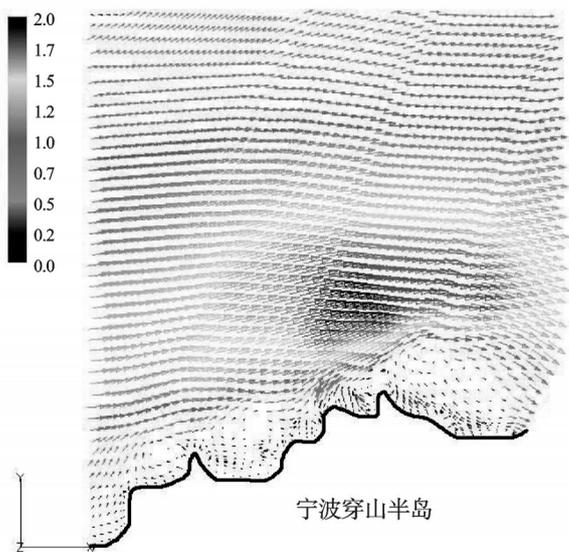


图6 退潮时宁波穿山半岛北部放大速度矢量图

量较大,速度约为1.0 m/s~1.2 m/s,且流向角度稳定在261°~309°,流速发展充分,另一支流沿螺头水道向西,流速约为1.2 m/s~2.0 m/s,流速相较之前略有增强;其中一支沿摘箬山岛北上,流速约为0.4 m/s~1.0 m/s。该海域最高流速出现在摘箬山岛和小猫山南部海域,流速约为1.6 m/s~2.0 m/s,该结果与李身铎等^[7-8]模拟结果接近。由于这两处均处于螺头水道主槽区边缘,海底地形均为东边高于西边,潮水从东向西流入时,形成了流急特性,故流速较高。

退潮过程中,水深0.5 m剖面上的流速标量云图如图5所示;穿山半岛最东段流速矢量局部放大图如图6所示。从图6中可以看出,退潮时,水流从4、5口流入,螺头水道西段为主要入口,流量较大,速度可达0.8 m/s~1.2 m/s,且流向角度基本在86°~118°,最高流速出现于螺头水道东段和穿山半岛北侧,约为1.5 m/s~2.1 m/s。由于长柄嘴为穿山半岛北部的一个岬角,其海底坡度较陡,在退潮时,海水自西向东流入至岬角时,水流的速度有所增大,同时在该处产生强度及大

小不等的回流,这一现象与许雪峰等^[9]的研究结果一致。在摘箬山岛和大盘峙岛,以及东岬岛和长峙岛之间的群岛区域水道众多,潮流流向状况复杂,但相对于螺头水道流速要小得多。

3 结束语

(1) 通过本次模拟计算可知,涨潮时的最高流速1.6 m/s~2.1 m/s出现在摘箬山岛和小猫山南部海域,退潮时的最高流速1.5 m/s~2.1 m/s出现在宁波穿山半岛长柄嘴的北侧和螺头水道东段的出口边界处,该数据与实测值相符,本次模拟所得的模型精度符合要求,可用于工程实践中。

(2) 通过模型获得舟山海域的定点流速,可用于潮流能计算。对模型进行进一步修改后,可用于该海

域水动力特性的模拟以及海水潮汐流中物质移动扩散的计算,对开发港口、维护航道及建造海洋建筑物有指导作用^[10]。

(3) 在 ADCP 走航试验中,由于各点流速均不是在同一时刻采集的,不能保证同时性,但由于每个出、入口的流速点测量时间较近,故本研究在数值模拟过程中对出、入口速度进行了平均处理。

(4) 由于本次模拟并没有考虑风力、波动等外界因素的影响,计算结果仍存在一定的误差。

参考文献(References):

- [1] 寿玮玮. 舟山群岛附近海域水动力特征及其对物质运输的影响分析[D]. 青岛:中国海洋大学海洋地球科学学院, 2009.
- [2] 王智峰,周良明,张弓贲,等. 舟山海域特定水道潮流能估算[J]. 中国海洋大学学报, 2010, 40(8): 27-33.
- [3] 王兆忠,李伟朝,王定元. 舟山群岛新能源开发利用现状

- 和前景[J]. 可再生能源, 2009, 27(4): 112-114.
- [4] 马启南,陈永平,张金善,等. 杭州湾的三维水流数值模拟[J]. 海洋工程, 2001, 19(4): 58-66.
- [5] 寿玮玮,吴建政,胡日军,等. 舟山群岛附近海域三维水动力数值模拟[J]. 海洋地质动态, 2009, 25(11): 1-9.
- [6] CHEN C T, MILLERO F J. The equation of state of seawater determined from sound speeds[J]. **Journal of Marine Research**, 1978, 36(4): 657-691.
- [7] 李身铎,胡 辉,黄丽萍,等. 杭州湾 M-2 潮的数值模拟[J]. 海洋学报, 1986, 8(2): 232-241.
- [8] 杨陇慧,朱建荣,朱首贤. 长江口杭州湾及邻近海区潮汐潮流场三维数值模拟[J]. 华东师范大学学报, 2001(3): 74-84.
- [9] 许雪峰,施伟勇,孙志林,等. 穿山半岛北侧近岸“回流”现象的二维数值模拟[J]. 海洋学研究, 2011(1): 84-89.
- [10] 胡日军. 舟山群岛海域泥沙运移及动力机制分析[D]. 青岛:中国海洋大学海洋地球科学学院, 2009.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

秦华伟,蔡 真,周红伟,等. 舟山特定海域三维水流数值模拟研究[J]. 机电工程, 2014, 31(4): 541-544.

QIN Hua-wei, CAI Zhen, ZHOU Hong-wei, et al. Three-dimensional numerical simulation of Zhoushan area[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2014, 31(4): 541-544.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 516 页)

- [5] STARKE M R, FANGXING L, TOLBERT L M, et al. AC vs. DC distribution: maximum transfer capability [C]// IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. Pittsburgh: IEEE, 2008: 1-6.
- [6] 李晓珂,徐 政,卢 睿,等. 多馈入直流对上海电网稳定性影响的研究[J]. 机电工程, 2007, 24(11): 57-60.
- [7] SALOMONSSON D, SANNINO A. Low-voltage DC distribution system for commercial power systems with sensitive electronic loads[J]. **IEEE Transactions on Power Delivery**, 2007, 22(3): 1620-1627.
- [8] GUANGKAI L, GENGYIN L, CHENGYONG Z, et al. Research on Voltage Source Converter based DC Distribution Network [C]// 2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA 2007). Harbin: IEEE, 2007: 1927-1932.
- [9] FLOURENTZOU N, AGELIDIS V G, DEMETRIADES G D. VSC-based HVDC power transmission systems: an overview [J]. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 2009, 24(3): 592-602.
- [10] JIE Y, JIANCHAO Z, GUANGFU T, et al. Characteristics and Recovery Performance of VSC-HVDC DC Transmission Line Fault [C]// Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC). Chengdu: IEEE Computer Society, 2010: 1-4.
- [11] CANDELARIA J, JAE-DO P. VSC-HVDC system protection: a review of current methods [C]// IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition (PSCE). Phoenix: IEEE Computer Society, 2011: 1-7.
- [12] JIN Y, FLETCHER J E, O'REILLY J. Multiterminal DC wind farm collection grid internal fault analysis and protection design [J]. **IEEE Transactions on Power Delivery**, 2010, 25(4): 2308-2318.
- [13] NANAYAKKARA O M K K, RAJAPAKSE A D, WACHAL R. Traveling-wave-based line fault location in star-connected multiterminal HVDC systems [J]. **IEEE Transactions on Power Delivery**, 2012, 27(4): 2286-2294.
- [14] 宋国兵,蔡新雷,高淑萍,等. VSC-HVDC 频变参数电缆线路电流差动保护新原理[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(22): 105-111.
- [15] 蔡新雷,宋国兵,高淑萍,等. 利用电流固有频率的 VSC-HVDC 直流输电线路故障定位[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(28): 112-119.
- [16] 宋国兵,蔡新雷,高淑萍,等. 利用电流频率特性的 VSC-HVDC 直流输电线路纵联保护[J]. 高电压技术, 2011, 37(8): 1989-1996.
- [17] JIN Y, FLETCHER J E, O'REILLY J. Short-circuit and ground fault analyses and location in VSC-based DC network cables [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2012, 59(10): 3827-3837.

[编辑:李 辉]