

江苏沿海海域潮流能资源分析评估

吉会峰, 高清清, 宋心刚, 丁言者, 杨波, 刘吉堂

(自然资源部南通海洋中心, 江苏 南通 226002)

摘 要: 建立了江苏沿海二维潮流数学模型, 并采用观测资料对模型进行验证, 验证结果表明该模型具有较高的可信度。基于模型一年的计算结果, 分析了江苏海域的流速特征; 计算潮流能平均功率密度和年有效流时, 并给出空间分布特征。结果显示: 除连云港海域外, 江苏沿海大部分海域潮流能功率密度在 200 W/m^2 以上, 潮流能年有效流时大于 $2\,400 \text{ h}$, 在滨海、大丰、东台海域存在潮流能功率密度高值区, 辐射沙洲个别水道区域最大值可达 $1\,450 \text{ W/m}^2$; 废黄河口、辐射沙洲北部、东部、南部4个特征断面上的潮流能资源理论蕴藏量分别为 92 MW 、 157 MW 、 41 MW 和 40 MW 。

关键词: 江苏; 潮流能; 理论蕴藏量; 资源评估

中图分类号: P743.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2023)04-0047-09

0 引言

海洋表面积(约为 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$)为地球表面积的70.8%, 海洋中蕴藏着巨大的可再生能源^[1]。目前, 开发利用海洋能的主要形式有海上风电、潮汐能发电、潮流能发电和波浪能发电等^[2-3]。潮流能发电原理与风力发电原理类似, 即通过转换装置将水流动能转化为机械能, 进而转化为电能^[4]。与其他海洋能资源相比, 潮流能具有可预测、环境影响小、投资灵活、技术成熟度高、功率密度大、能量稳定等特点^[5]。潮流能在近十年里受到世界各沿海国家的重视, 相关技术研发工作也在开展^[6]。

江苏是能源消费大省。近年来, 随着经济的迅速发展, 江苏的能源消耗量持续增加, 因此需要通过大力发展新能源来保障经济发展。江苏海域辽阔, 沿海有很多潮汐水道, 特别是辐射沙洲水道, 其局部区域潮差大、潮流强, 蕴藏着丰富的潮流能资源, 具有广阔的开发利用前景。海域潮流特征和潮流能资源状况是潮流能开发利用及建设选址的重要依据^[7], 在建设潮流能发电装置之前, 需要对其进行详细了解和评估。通过潮流数值模拟获得数据

结果, 进而开展潮流能评估是一种有效方法, 已被广泛应用于不同海域的潮流能估算中^[7-9]。

本文通过数值模拟方法建立了江苏沿海水动力模型, 采用观测资料进行模型的验证; 计算江苏海域一年的潮流场, 并在分析潮流特性的基础上, 统计分析江苏海域潮流能年平均功率密度及年有效流时空间分布, 计算典型水道断面潮流能的理论蕴藏量, 为江苏沿海潮流能的开发利用提供相关工作基础。

1 数学模型建立与验证

本文利用 MIKE21^[10]水动力模块建立二维潮流数学模型对区域流场进行模拟。MIKE21 是丹麦水利研究所(Danish Hydraulic Institute)开发的专业二维自由水面流动模拟系统, 适用于近海海域、海湾、港区及河道水环境的模拟。模型基于二维/三维不可压缩和 Reynolds 值均匀分布的 Navier-Stokes 方程, 并服从于 Boussinesq 假定和静水压力假定。模型计算网格为任意三角形单元, 能够有效准确地模拟岸线的外形轮廓, 并根据研究需要对计算网格任

收稿日期: 2022-05-13。

基金项目: 江苏省自然资源发展专项资金(JSZRHYKJ202009); 自然资源部东海局青年基金项目(2019011)。

作者简介: 吉会峰(1987-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事海洋水文动力研究。E-mail: zqjhfmt@163.com

意进行加密,以便能够在大范围模型中实现局部精细模拟,从而得到合理的数值模拟结果。

1.1 定解条件

初始条件:模型采用冷启动,即初始潮位、流速均设为0;提前5 d开始模型计算以使其稳定^[11]。

边界条件:①对于闭壁边界,水质点在边界上的法向流速设为零,即 $\vec{V} \cdot \vec{n} = 0$ 。②开边界采用水位边界条件,水位由8个主要天文分潮(M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_2 、 K_1 、 O_1 、 P_1 、 Q_1)的潮汐调和常数进行计算后得到^[12-14]。潮汐调和常数由NAO.99b潮汐预报模型^[15]结果内插到相应的开边界网格点上,并根据潮位验证情况进行局部调整。

1.2 计算范围及参数设置

本文数值模型网格见图1a,采用无结构的三角形网格,并在苏北浅滩区域进行加密。模型网格最小分辨率为200 m,计算区域网格点数共计45 193个,三角形单元数量为89 155个。水深地形方面,近海水深采用海军航保部发布的海图(图号:12570、12640、12700、13100)上的水深数据,外海水深采用美国国家地球物理数据中心(National Geophysical Data Center, NGDC)公布的ETOP01全球地形水深数据,并将两种不同的水深数据订正到同一个起算面上。

时间步长根据数值模拟的CFL数进行自动调整,最短步长取0.01 s, CFL数取0.8。模型采用干湿网格判别法,干水深设置为0.005 m,淹没水深设置为0.05 m,湿水深设置为0.1 m。水平涡粘系数采用

Smagorinsky公式计算。

1.3 模型验证

利用收集的江苏沿海吕四站和连云港站的实测潮位数据及启东(QD01、QD02)、如东(RD01、RD02)、大丰(DF01、DF02)、滨海(BH01、BH02)、连云港(LY01、LY02)海域10个站点的实测海流数据对模型计算结果的准确性进行验证,验证点位分布见图1b。

1.3.1 潮位验证

由图2的潮位验证结果可见,吕四站和连云港站的潮位计算值与实测吻合较好,且两者相位基本一致。对模拟潮位数据进行调和分析,获得 M_2 、 S_2 、 O_1 和 K_1 4个分潮的调和常数,并与实测潮位数据的调和常数进行验证对比与误差分析,结果见表1。对比分析表明4个分潮振幅的绝对误差小于9.1 cm、相对误差小于9.8%,迟角的绝对误差小于13.3°、相对误差小于9.9%。图3为模型模拟 M_2 、 K_1 两个分潮的同潮图,与海洋图集上的分潮同潮图相比,两个分潮的振幅和迟角拟合效果都较好,分潮无潮点位置基本相同。

1.3.2 流速、流向验证

启东、如东、大丰、滨海、连云港海域5个点位的潮流验证结果见图4。模型计算结果与实测数据值吻合较好,流速和流向变化过程与实测结果基本一致。引入模型精度检测参数(Skill Score, SS)^[16]对海流模拟结果进行评价,结果见表2,计算公式为:

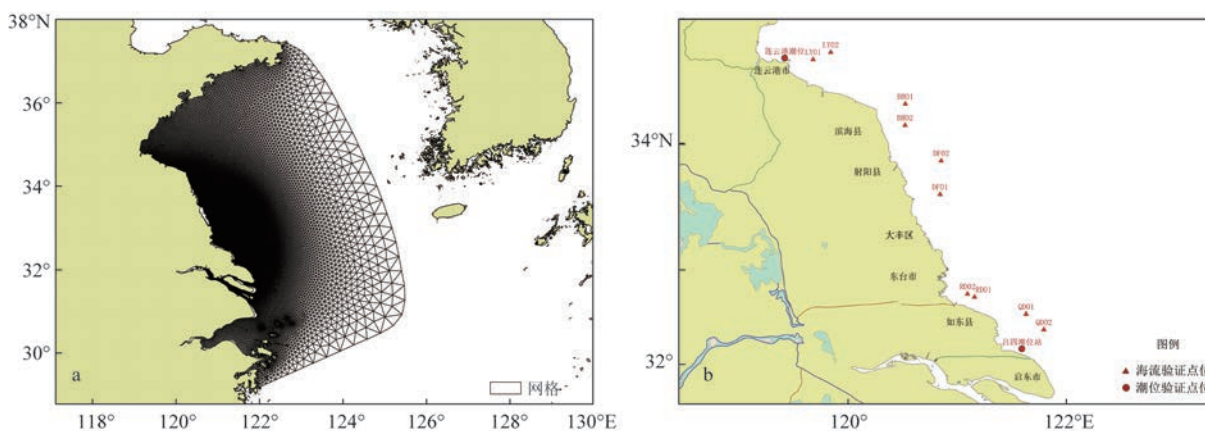


图1 模型计算区域网格(a)及验证点位分布(b)

Fig.1 Mesh of model domain (a) and distribution of verification points (b)

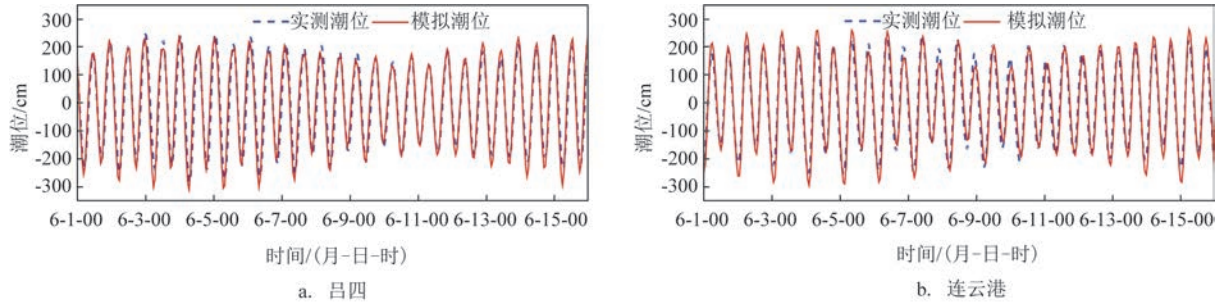
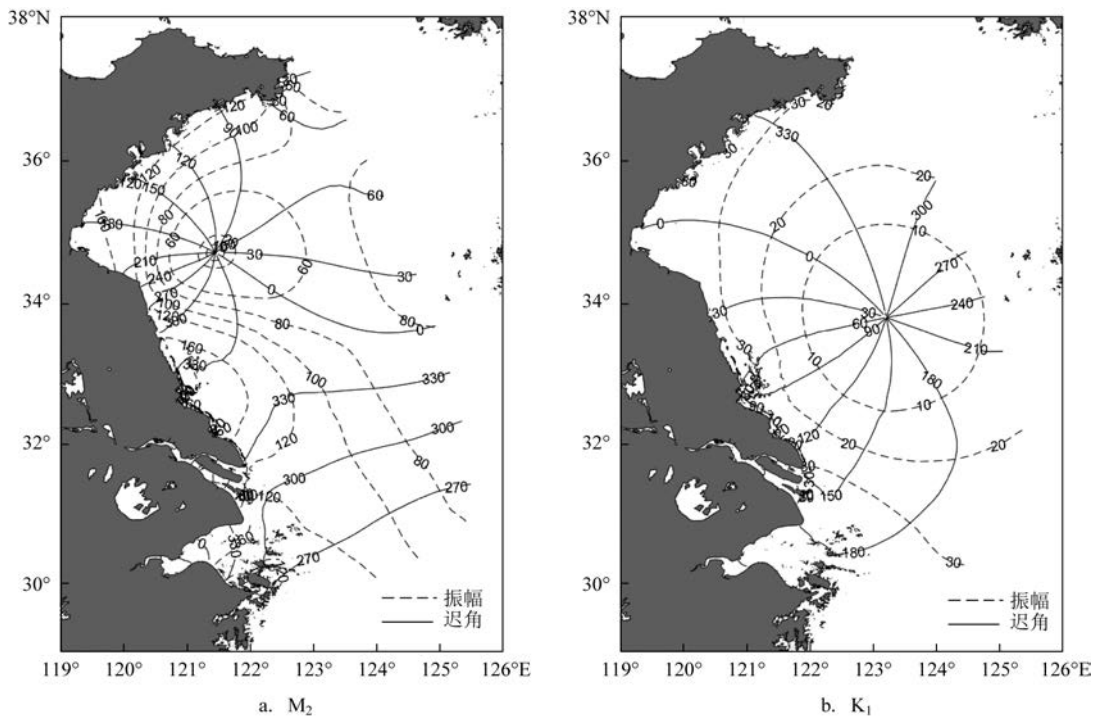


图2 吕四站和连云港站潮位验证图

Fig.2 The validation of tide level in Lvsi and Lianyungang

表1 M_2 、 S_2 、 O_1 和 K_1 分潮调和常数对比Tab.1 Comparison of observation and simulation of tidal constituents of M_2 , S_2 , O_1 and K_1

站点	分潮	观测		模拟		绝对误差		相对误差	
		振幅/cm	迟角/ $^{\circ}$	振幅/cm	迟角/ $^{\circ}$	振幅/cm	迟角/ $^{\circ}$	振幅/%	迟角/%
吕四	M_2	177.0	354.6	177.9	345.2	0.9	9.4	0.5	2.7
	S_2	57.8	37.8	60.3	34.1	2.5	3.7	4.2	9.9
	O_1	8.5	86.1	9.1	78.4	0.7	7.8	7.7	9.0
	K_1	25.1	143.2	27.5	133.6	2.4	9.7	9.5	6.7
连云港	M_2	175.3	176.8	184.4	188.8	9.1	12.0	5.2	6.8
	S_2	37.1	226.8	40.1	213.5	3.0	13.3	8.1	5.9
	O_1	22.8	306.8	25.0	313.9	2.2	7.2	9.6	2.3
	K_1	40.9	5.3	44.9	4.8	4.0	0.5	9.8	9.4

图3 模拟 M_2 和 K_1 分潮同潮图Fig.3 The cotidal charts of M_2 and K_1 constituents

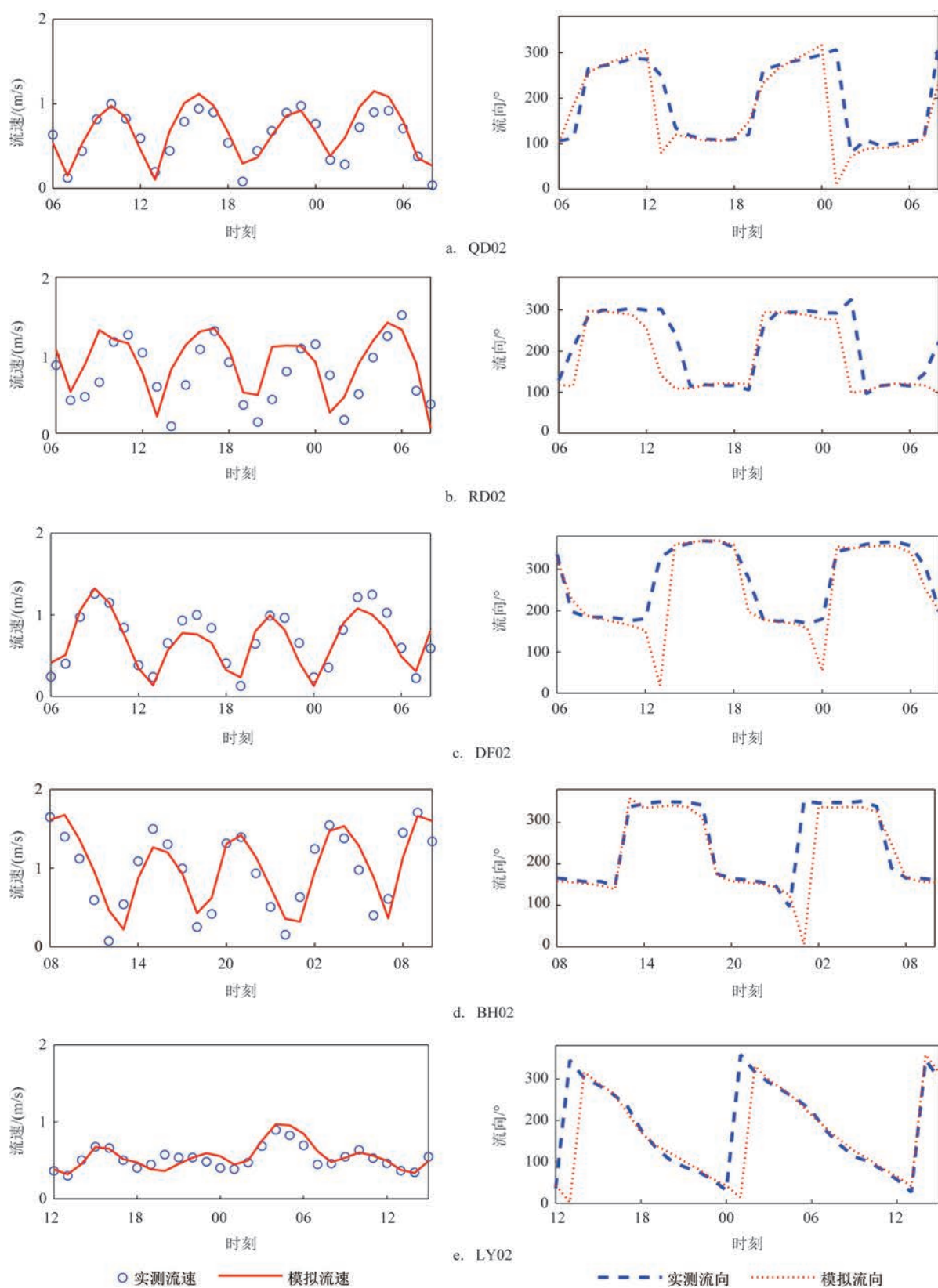


图4 流速流向验证结果

Fig.4 The validation of current speed and direction

$$SS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|M_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (1)$$

式中: M_i 为模拟结果; O_i 为实测结果; \bar{O} 为实测结果的均值。当 $SS > 0.65$ 时,模型可信度极高; SS 为 $0.5 \sim 0.65$ 时,模型可信度较好; SS 为 $0.2 \sim 0.5$ 时,模型可信度一般; $SS < 0.2$ 时,模型可信度较差。由表2可知,各验证站位流速 SS 值介于 $0.774 \sim 0.971$,流向 SS 值介于 $0.817 \sim 0.997$,均大于 0.65 ,表明模型可信度高。

以上模型的率定与验证表明,模型物理参数和计算参数的设置基本合理,能够较好地反映江苏海域潮流运动特征。

2 结果分析

2.1 江苏沿海流速空间分布特征

水动力模型计算时间为一年,计算结果选择每 0.5 h 记录一次,得到逐 0.5 h 潮流场,对计算结果进行统计,分别计算江苏沿海年平均流速(模型输出逐 0.5 h 流速值的平均值)和年最大流速(模型输出逐 0.5 h 流速值中的最大值)。计算结果分布见图5。江苏沿海潮流年平均流速最大可达 1.13 m/s ,出现在辐射沙洲以北东台附近海域;在东台一大丰海域以及滨海废黄河口附近海域存在流速高值区,年平均流速在 0.8 m/s 以上;连云港海域年平均流速较小,普遍在 0.4 m/s 以下;其他区域流速为 $0.4 \sim 0.8 \text{ m/s}$ 。

表2 各海流验证站位 SS 值

Tab.2 The SS values of current verification stations

站位	SS		站位	SS	
	流速	流向		流速	流向
QD01	0.897	0.866	QD02	0.937	0.846
RD01	0.917	0.956	RD02	0.774	0.844
DF01	0.956	0.973	DF02	0.941	0.828
BH01	0.971	0.997	BH02	0.926	0.872
LY01	0.942	0.833	LY02	0.925	0.817

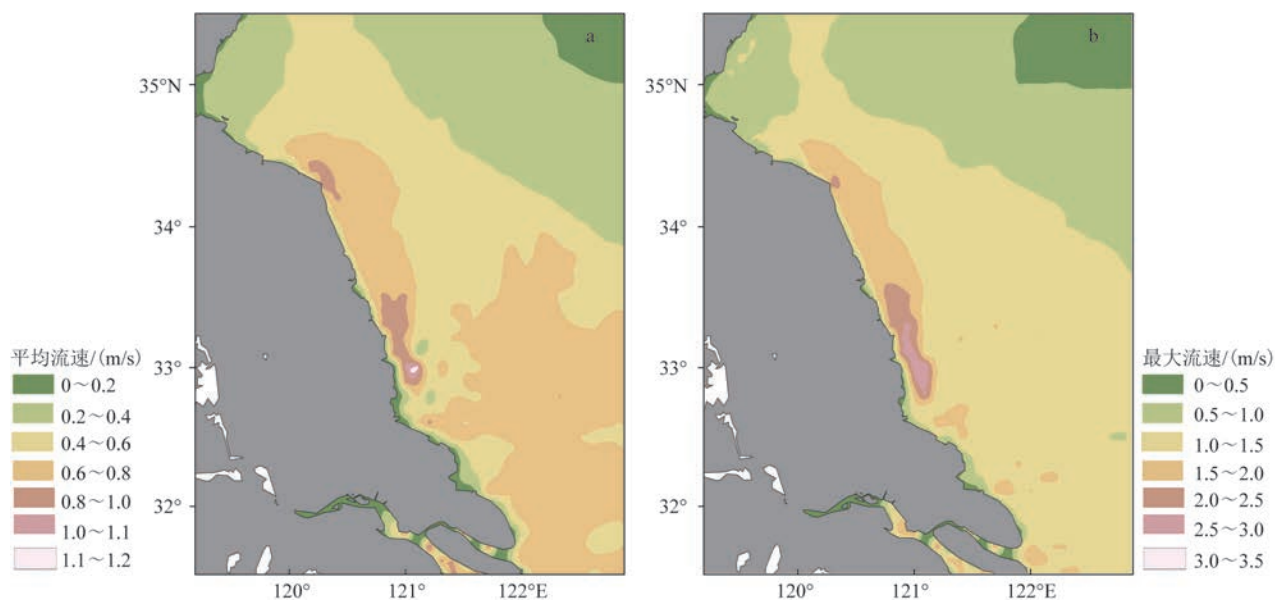


图5 年平均流速(a)和最大流速(b)分布

Fig.5 The distribution of annual mean velocity (a) and maximum velocity (b)

潮流年最大流速分布特征与年平均流速较为一致,辐射沙洲北侧东台附近海域年最大流速可达3.0 m/s。

2.2 江苏沿海潮流特性及可能最大流速

江苏沿海潮流性质以规则半日潮流为主。从江苏沿海潮流矢量图(见图6a)中可以看出,江苏南部辐射沙洲外海区域潮流流态为典型的旋转流;辐射沙洲近岸水域受地形影响,潮流流态主要为沿沙脊通道的往复流。江苏北部尤其是新洋港—废黄河口之间海域潮流以往复流为主,废黄河口—海州湾潮流的旋转流性质有所加强;连云港南北两翼区域潮流椭圆率稍小,主轴方向较为明显,外海海域呈现较强的旋转流性质。

江苏沿海以规则半日潮流为主,潮流可能最大流速(\vec{V}_{\max})计算公式为:

$$\vec{V}_{\max} = 1.295\vec{W}_{M_2} + 1.245\vec{W}_{S_2} + \vec{W}_{K_1} + \vec{W}_{O_1} + \vec{W}_{M_4} + \vec{W}_{MS_4} \quad (2)$$

式中: \vec{W}_{M_2} 、 \vec{W}_{S_2} 、 \vec{W}_{K_1} 、 \vec{W}_{O_1} 、 \vec{W}_{M_4} 、 \vec{W}_{MS_4} 分别为对应分潮流的长半轴矢量。

根据水动力模型一年的潮流计算结果,进行调和和分析可以得到 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 、 M_4 和 MS_4 分潮的调和常数,继而计算得到江苏沿海潮流的可能最大流速,结果见图6b。从图中可以看出,除连云港海域外,江苏沿海潮流可能最大流速基本在1.5 m/s以

上,其中滨海—东台近岸海域可能最大流速较大,超过2.0 m/s,辐射沙洲个别区域可能最大流速可达3.6 m/s。

2.3 江苏沿海潮流能空间分布特征

潮流能来源于海水在周期性运动中所携带的动能,潮流能功率密度是分析评估潮流能资源特性的重要指标^[17],计算公式为:

$$P = 0.5\rho V^3 \quad (3)$$

式中: P 为潮流能功率密度,单位: W/m^2 ; ρ 为海水密度,取 $1\,025\,kg/m^3$; V 为潮流流速,单位: m/s 。

根据模型计算出江苏海域逐0.5 h潮流场,按照式(3)计算出对应时刻的潮流能功率密度值,取算术平均后得到年平均功率密度,结果见图7。由图可见,江苏沿海海域潮流能功率密度总体呈南北低、中间高的分布趋势,即:连云港海域潮流能功率密度基本在 $200\,W/m^2$ 以下;盐城近岸基本在 $200\,W/m^2$ 以上,滨海废黄河口附近部分区域在 $400\sim 600\,W/m^2$,大丰、东台部分区域在 $600\,W/m^2$ 以上,东台市弶港镇外侧辐射沙洲个别水道区域最大值可达 $1\,450\,W/m^2$;南通近岸滩涂区域基本在 $200\,W/m^2$ 以下,向外海方向增加到 $200\sim 400\,W/m^2$ 。本文计算的年潮流能功率密度分布趋势与郦凯等^[18]利用潮流数学模型模拟得到的平均潮流能流密度分布基本一致,本文得到的

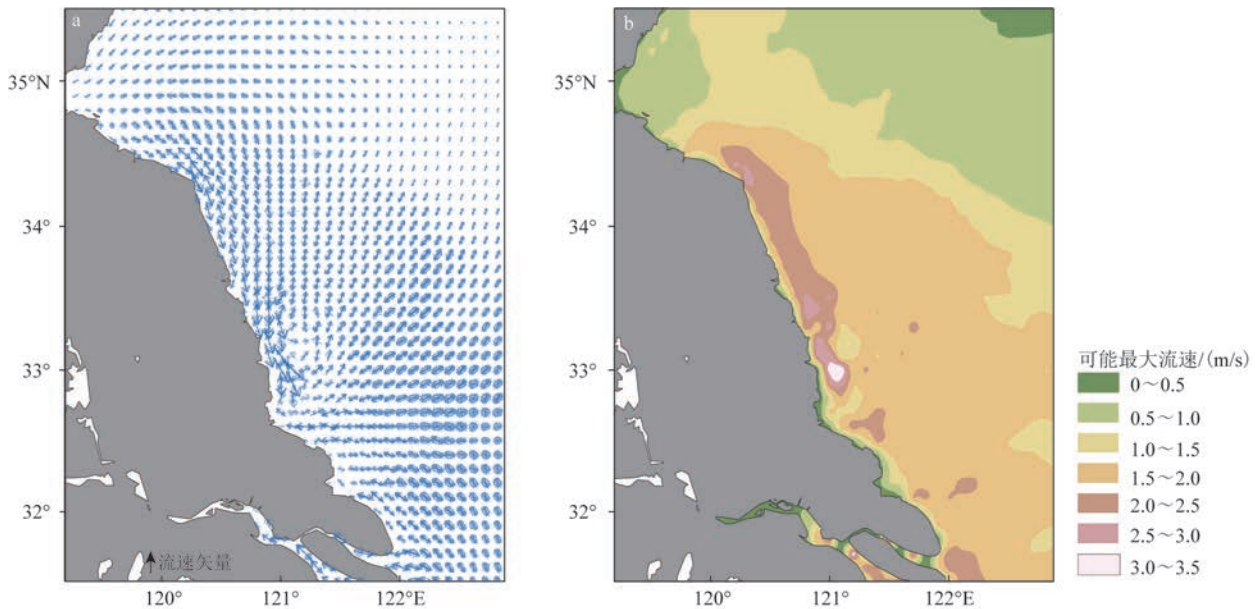


图6 潮流矢量(a)和可能最大流速(b)分布

Fig.6 The distribution of tidal current vector (a) and possible maximum velocity (b)

潮流能功率密度最大值略高于酆凯等的研究结果。

计算区域内每个模拟点全年流速 ≥ 0.6 m/s 的累计时间之和(潮流能年有效小时数,即年有效流时^[19])的分布情况。从图7可以看到,除连云港区域和近岸滩涂区域外,江苏沿海大部分区域潮流能年有效流时 $> 2\,400$ h,盐城近岸区域以及南通外海区域普遍 $> 4\,800$ h。

结合江苏沿海水深地形,分别统计江苏沿海区域(启东圆陀角—赣榆绣针河口)10 m、20 m和30 m等深线范围内潮流能功率密度和年有效流时情况,结果见表3。江苏沿海10 m等深线范围内年平均潮流能功率密度为 $0\sim 1\,450$ W/m²,平均值为 229 W/m²,年有效流时为 $0\sim 6\,896$ h,平均值为 $3\,759$ h;10~20 m等深线范围内年平均潮流能功率密度为 $18\sim 890$ W/m²,平均值为 213 W/m²,年有效流时为 $263\sim 6\,190$ h,平均值为 $4\,196$ h;20~30 m等深线范围内年平均潮流能功率密度为 $35\sim 356$ W/m²,平均值为 168 W/m²,年有效流时为 $385\sim 6\,652$ h,平均值为 $4\,053$ h。

2.4 典型断面资源量估算

为进一步了解江苏海域潮流能资源的蕴藏量情况,根据计算得到的江苏沿海潮流能功率密度分布,在滨海废黄河口、辐射沙洲北部西洋、东部苦水洋、南部黄沙洋4处各取一条特征断面(见图8),计

表3 不同等深线区域范围内潮流能功率密度和年有效流时统计

Tab.3 Tidal current energy power density and significant hours in different isobath areas

等深线 区域/m	潮流能功率密度/(W/m ²)		年有效流时/h	
	范围	平均值	范围	平均值
0~10	0~1 450	229	0~6 896	3 759
10~20	18~890	213	263~6 190	4 196
20~30	35~356	168	385~6 652	4 053

算潮流能资源理论蕴藏量。断面的选取主要考虑潮流能功率密度大小,同时考虑潮流能开发建设所需的水深限制条件。因此,断面位置均选取在潮流能功率密度较大的水道且平均水深 > 15 m的区域。为便于比较,断面长度统一设置为10 km,断面走向垂直于涨落潮流主流向,所选断面潮流能功率密度及水深情况见表4。

基于Flux方法^[20]计算潮流能资源理论蕴藏量:

$$P_{\text{total}} = P_m \cdot A \quad (4)$$

式中: P_{total} 为潮流能蕴藏量; P_m 为平均潮流能功率密度; A 为水道断面面积。

经计算,辐射沙洲北部西洋断面潮流能资源理论蕴藏量最高为157 MW,其次为废黄河口断面92 MW,辐射沙洲苦水洋和黄沙洋断面分别为41 MW和40 MW。上述潮流能估算结果为模型计算得到

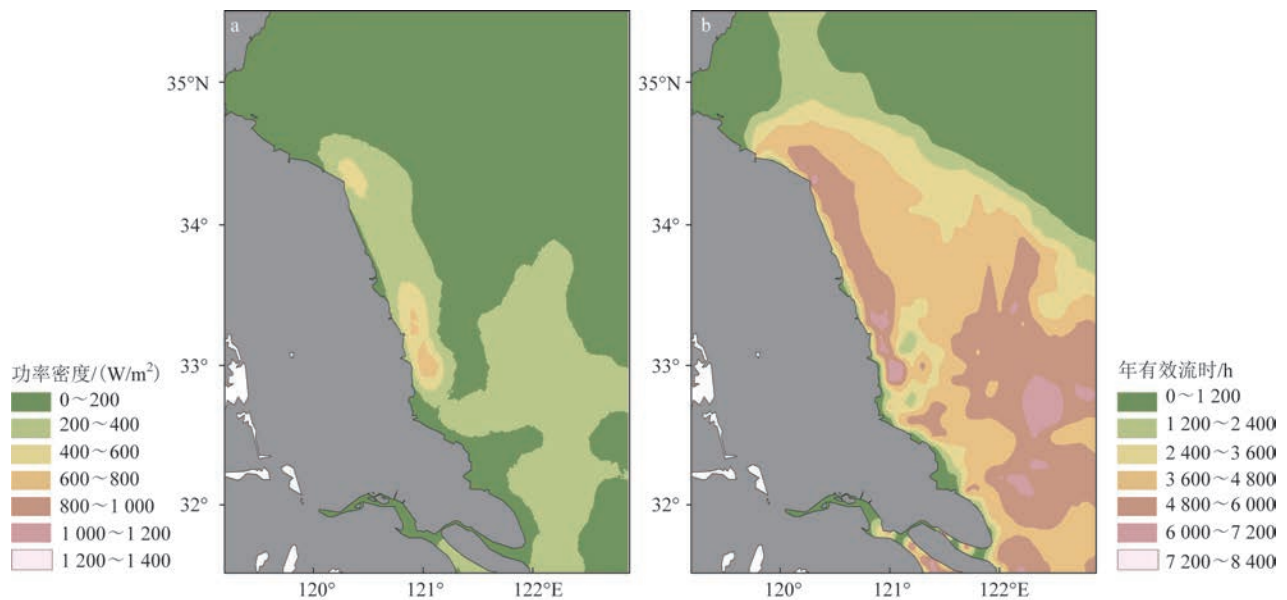


图7 年平均潮流能功率密度(a)和年有效流时(b)分布

Fig.7 The distribution of annual mean tidal current energy power density (a) and significant hours (b)

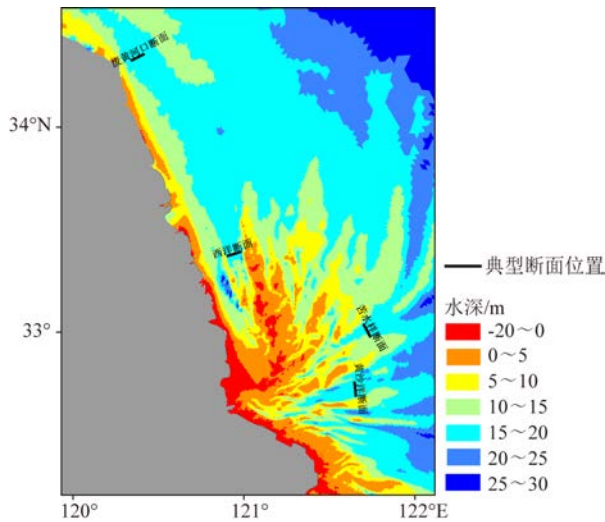


图8 典型断面位置

Fig.8 Location of typical sections

表4 江苏海域典型断面潮流能理论蕴藏量

Tab.4 Theoretical reserves of tidal current energy resources in typical sections

断面位置	废黄河口	西洋	苦水洋	黄沙洋
断面长度/km	10	10	10	10
平均水深/m	-17.9	-17.5	-17.4	-18.1
平均功率/(W/m ²)	512	894	233	220
理论蕴藏量/MW	92	157	41	40

的理论数据,在实际潮流能开发过程中还需要考虑环境影响等方面,总潮流能也会由于发电装置的不同有所区别。

3 结论

研究建立了江苏沿海二维潮流数学模型,并利用实测海流资料进行模型验证。验证结果显示模型计算结果与实测值吻合较好,模型可信度极高。在验证准确的基础上,从潮流能功率密度和年有效小时数等参数对江苏沿海潮流能资源空间特性和时间特性进行分析,并运用Flux法对典型水道的潮流能资源量进行评估和对比分析。结果表明:

①江苏沿海海域潮流能功率密度总体呈南北低、中间高的分布趋势;除连云港海域外,大部分海域潮流能功率密度在200 W/m²以上,在滨海、大丰、

东台海域存在高值区,辐射沙洲个别水道区域最大值可达1 450 W/m²。

②除连云港海域和近岸滩涂区域外,江苏沿海大部分区域潮流能年有效流时>2 400 h,盐城近岸区域以及南通外海区域潮流能年有效流时普遍>4 800 h。

③江苏沿海10 m、20 m和30 m等深线范围内年平均潮流能功率密度平均值分别为229 W/m²、213 W/m²、168 W/m²,年有效流时平均值分别为3 759 h、4 196 h、4 053 h。

④滨海废黄河口、辐射沙洲北部西洋、东部苦水洋、南部黄沙洋4个特征断面上10 km宽度潮流能资源理论蕴藏量分别为92 MW、157 MW、41 MW和40 MW,西洋断面潮流能资源理论蕴藏量最高。

参考文献:

- [1] 吴峰,鞠平,秦川,等.近海可再生能源发电研究综述与展望[J].河海大学学报(自然科学版),2014,42(1):80-87.
WU F, JU P, QIN C, et al. Progress and prospect of research on offshore renewable energy generation[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2014, 42(1): 80-87.
- [2] MAGAGNA D, UIHLEIN A. Ocean energy development in Europe: current status and future perspectives[J]. International Journal of Marine Energy, 2015, 11: 84-104.
- [3] 秦川,闻丹银,鞠平,等.近海可再生能源综合发电系统模型对比[J].河海大学学报(自然科学版),2015,43(6):574-581.
QIN C, WEN D Y, JU P, et al. Comparison of models of hybrid offshore renewable energy generation system[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2015, 43(6): 574-581.
- [4] 刘伟民,麻常雷,陈风云,等.海洋可再生能源开发利用与技术进展[J].海洋科学进展,2018,36(1):1-18.
LIU W M, MA C L, CHEN F Y, et al. Exploitation and technical progress of marine renewable energy[J]. Advances in Marine Science, 2018, 36(1): 1-18.
- [5] 张勇,崔蓓蓓,邱宇晨.潮流发电——一种开发潮汐能的新方法[J].能源技术,2009,30(4):223-227.
ZHANG Y, CUI B B, QIU Y C. Tidal stream power generation——a new approach to tidal energy[J]. Energy Technology, 2009, 30(4): 223-227.
- [6] 吕新刚,乔方利,赵昌,等.海洋潮流能资源的数值估算——以胶州湾口为例[J].太阳能学报,2010,31(2):137-143.
LYU X G, QIAO F L, ZHAO C, et al. Numerical evaluation of tidal stream energy resources in the Ocean: a case study in Jiaozhou Bay mouth[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2010, 31(2): 137-143.
- [7] WU H, YU H M, DING J, et al. Modeling assessment of tidal current energy in the Qiongzhou Strait, China[J]. Acta

- Oceanologica Sinica, 2016, 35(1): 21-29.
- [8] 王卫远, 杨娟. 舟山海域潮流能资源评估[J]. 海洋开发与管理, 2017, 34(3): 54-60.
- WANG W Y, YANG J. Assessment of tidal current energy resources in Zhoushan Sea Area[J]. Ocean Development and Management, 2017, 34(3): 54-60.
- [9] 陈禹庚, 鲍献文, 周玲玲, 等. 基于非规则网格模型的全球潮流能评估[J]. 海洋学报, 2020, 42(11): 23-33.
- CHEN Y G, BAO X W, ZHOU L L, et al. Global tidal current energy assessment based on unstructured mesh model[J]. Haiyang Xuebao, 2020, 42(11): 23-33.
- [10] DHI. MIKE21 & MIKE3 Flow model FM hydrodynamic and transport module scientific documentation[M]. Denmark: DHI Water & Environment, 2007.
- [11] 吉会峰, 刘吉堂, 莫旭冬, 等. 江苏重点海域绿潮漂移扩散数值模拟[J]. 海洋科学, 2018, 42(5): 82-91.
- JI H F, LIU J T, MO X D, et al. Numerical simulation of the green tide drift and diffusion in the sea areas of Jiangsu Province[J]. Marine Sciences, 2018, 42(5): 82-91.
- [12] 王阳. 江苏如东风电场海域水动力及泥沙冲淤数值模拟[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- WANG Y. Numerical simulation of hydrodynamic field and erosion or deposition about sediment in Jiangsu Rudong wind farm[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [13] 何顺之, 王新怡, 徐腾飞, 等. 江苏近海风暴潮增水数值模拟研究[J]. 海洋科学, 2017, 41(12): 86-95.
- HE S Z, WANG X Y, XU T F, et al. Numerical simulation and analysis of storm surge in the nearshore of Jiangsu Province[J]. Marine Sciences, 2017, 41(12): 86-95.
- [14] 高丽萍, 范德江, 宋德海, 等. 苏北浒苔生长长期运移路径及温盐环境的数值模拟[J]. 海洋学报, 2021, 43(8): 1-16.
- GAO L P, FAN D J, SONG D H, et al. Numerical simulation of the migration path during the growth period of *Ulva prolifera* in the sea near northern Jiangsu and the thermohaline environment [J]. Haiyang Xuebao, 2021, 43(8): 1-16.
- [15] MATSUMOTO K, TAKANEZAWA T, OOE M. Ocean tide models developed by assimilating TOPEX / POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: a global model and a regional model around Japan[J]. Journal of Oceanography, 2000, 56(5): 567-581.
- [16] ALLEN J I, SOMERFIELD P J, GILBERT F J. Quantifying uncertainty in high-resolution coupled hydrodynamic-ecosystem models[J]. Journal of Marine Systems, 2007, 64(1-2): 3-14.
- [17] 何倩倩. 资料长度及评估方法对潮流能资源评估结果影响分析[J]. 太阳能学报, 2016, 37(9): 2437-2442.
- HE Q Q. Impacts of data length and assessment methods on the assessment of tidal current energy resource[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2016, 37(9): 2437-2442.
- [18] 郇凯, 章卫胜, 王金华. 江苏沿海潮流数值模拟与潮流能估算[J]. 水利水运工程学报, 2017(1): 111-117.
- LI K, ZHANG W S, WANG J H. Numerical simulation of tidal current and estimation of tidal current energy in Jiangsu coast[J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(1): 111-117.
- [19] 吴亚楠, 武贺, 封哲. 普陀山-葫芦岛水道潮流能资源评估[J]. 可再生能源, 2017, 35(10): 1566-1573.
- WU Y N, WU H, FENG Z. Assessment of tidal current energy resource at Putuo Mountain-Hulu Island waterway[J]. Renewable Energy Resources, 2017, 35(10): 1566-1573.
- [20] 吕新刚, 乔方利. 海洋潮流能资源估算方法研究进展[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(1): 98-108.
- LYU X G, QIAO F L. Advances in study on tidal current energy resource assessment methods[J]. Advances in Marine Science, 2008, 26(1): 98-108.

Assessment of tidal current energy resource in Jiangsu coast

JI Huifeng, GAO Qingqing, SONG Xingang, DING Yanzhe, YANG Bo, LIU Jitang

(Nantong Marine Center, Ministry of Natural Resources, Nantong 226002, China)

Abstract: A two-dimensional tidal current numerical model in Jiangsu coast area is established and verified using the measured data. The verification shows that the model result is in good agreement with the measured values. Based on the model result for a whole year, the ocean velocity characteristics of Jiangsu coast area are analyzed, and the tidal current energy power density and significant hours are calculated. The results show that, except Lianyungang coast area, the tidal current energy power density in most of Jiangsu coastal areas is more than 200 W/m^2 , and the annual significant hours is more than 2 400 h. High power density occurs in Binhai, Dafeng and Dongtai sea areas, and the maximum value reaches $1 450 \text{ W/m}^2$ in specific channel of radial sand ridges. The theoretical reserves of tidal current energy resources on four characteristic sections are 92 MW, 157 MW, 41 MW and 40 MW respectively.

Key words: Jiangsu; tidal current energy; theoretical reserves; resource assessment