

潮流能发电场机组阵列排布方式对产能的影响

杜修茂¹, 司先才^{1,2*}, 袁鹏^{1,2}, 谭俊哲^{1,2}, 葛金辉¹, 王树杰^{1,2}

1. 中国海洋大学工程学院, 青岛 266100
2. 青岛市海洋可再生能源重点实验室, 青岛 266100

摘要 为了研究发电场机组阵列排布方式对产能的影响,通过设置不同的行列间距组合,分析了每种机组阵列排布方式下行列间距对产能的影响及其内在联系。基于Delft3D-Flow模块,建立了斋堂岛水域水动力模型,根据全年平均TSE指数分布确定发电场布置区域,依据斋堂岛水域潮流特性及EMEC标准确定机组垂向放置位置。在选定区域内,通过对比研究25种不同的排布方式,结果显示:在一定范围内,行列间距增大会导致阵列总产能下降,且产能变化逐渐趋于平缓。

关键词 潮流能;发电场机组阵列;发电场产能

潮流能资源清洁,可再生且高度可预测,近年来得到了迅猛的发展。目前国际上潮流能的单机发电功率已经达到MW级,并逐步迈入规模化,产业化发展阶段^[1-2]。潮流能发电场的产能受到诸多因素的影响,其中机组阵列排布方式的影响较为显著,合理的机组阵列排布方式可以有效地提升阵列产能。近年来,众多科研机构对机组阵列排布方式展开了研究,如Funke等^[3]开发了一种基于伴随方法的优化算法,能够显著降低计算成本,通过调整水轮机在发电场内的相对位置,最大化产能输出。

Divett等^[4]采用Gerris自适应网格研究了不同机组阵列排布方式对产能的影响。刘丞等^[5]采用一种改进的自适应罚函数粒子群算法优化给定海域的发电场,相比传统布局方案发电量有明显提高。Vennell等^[6]根据给定的总发电量,研究了发电场的宏观设计与微观设计等相关问题。

本研究结合斋堂岛水域潮流特性,在选定区域内,通过设置50种不同的发电场布局,对比研究行列间距变化于产能及其分布的关系及其对附近水域的影响。

收稿日期:2020-10-12;修回日期:2020-12-21

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFB1501903);山东省重点研发计划项目(2019GGX103012)

作者简介:杜修茂,博士,研究方向为港口海岸及近海工程,电子信箱:1304445071@qq.com;司先才(通信作者),讲师,研究方向为海洋可再生能源,电子信箱:sixiancai@ouc.edu.cn

引用格式:杜修茂,司先才,袁鹏,等.潮流能发电场机组阵列排布方式对产能的影响[J].科技导报,2021,39(6):72-76;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2021.06.010

1 数值模型

1.1 模型建立

基于Delft3D-Flow模块,采用区域分解方法建立2D水动力学模型。如图1所示,模型的区域划分包含4部分,由外向内逐层加密,发电场布置区域选用5 m的网格精度,为转子直径的1/2。根据潮汐理论可以将海平面的涨落过程分解成为无穷

多个周期不同的分潮,通过对这些分潮进行调和与分析后可得到各分潮的调和常数(包括振幅和迟角),模型边界选用(K1, K2, M2, M4, M6, MS6, N2, O1, P1, Q1, S2)11个分潮的调和常数驱动,时间步长设为0.05 min。水轮机对流体的作用力通过动量损失的方法来表示^[7],即基于多孔盘(porous plate)方法,通过修改动量方程的源/汇项参数实现多机组的模拟^[8-9]。

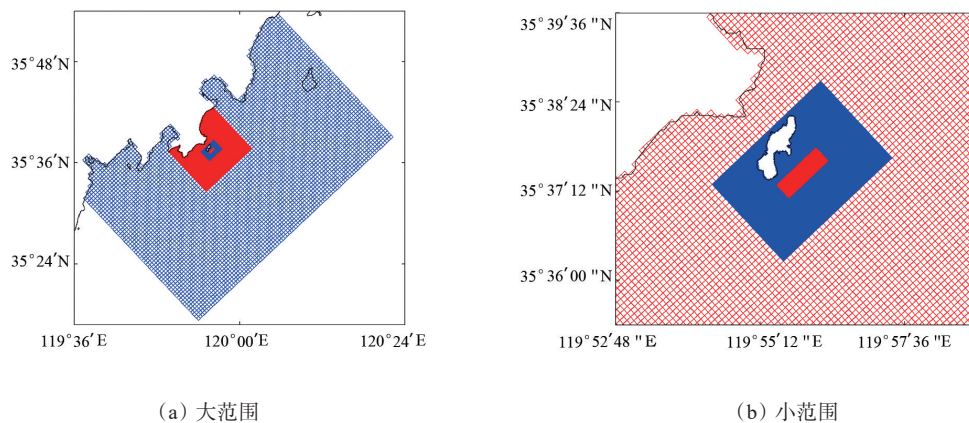


图1 水域网格

1.2 模型验证

模型的可靠性和精度通过实测数据进行验证,分别对水位、流速进行验证。

如图2所示,模拟水位与实测数据基本一致,模拟流速与实测流速的差异也相对较小,具有较高的精度。

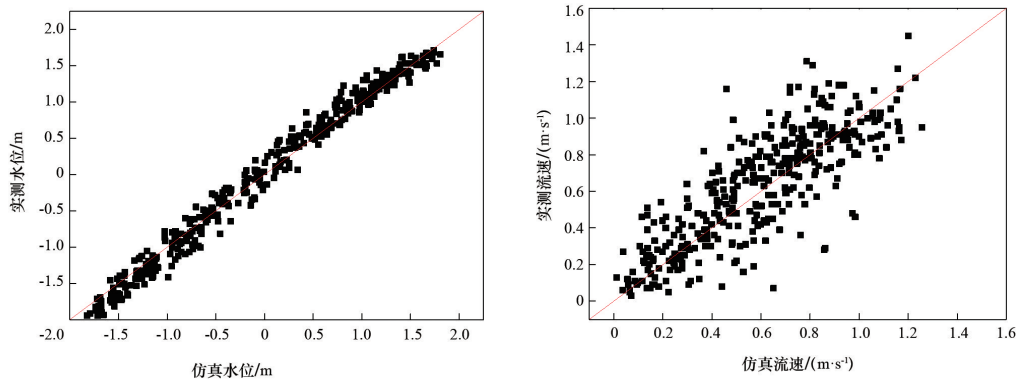


图2 水位及流速验证

2 发电场规划

2.1 发电场选址

斋堂岛海域位于山东青岛,是中国北方较为典型的潮流能资源区^[10]。中国海洋大学于2011年在

该水域进行过走航海流观测,对水域的潮流特性以及小范围的水底地形进行过测量,其中小范围分辨率能够达到20 m;研究所用的2013年实测数据由自然资源部第二海洋研究所提供。

研究采用潮流能可开发度(tidal stream ex-

exploitability, TSE)方法^[11]进行选址,该方法采用TSE指数来表征某区域中适合放置水轮机的程度,其中TSE指数越大表明越适合水轮机的布放。如图3所示,该海域全年平均TSE指数的分布情况为:海域的东南部区域TSE指数较高,更适合阵列的布置。同时根据欧洲海洋能源中心(European Marine Energy Centre, EMEC)的标准^[12],将水轮机的叶片顶部及底部应分别与水面和水底保持5 m的距离,并据

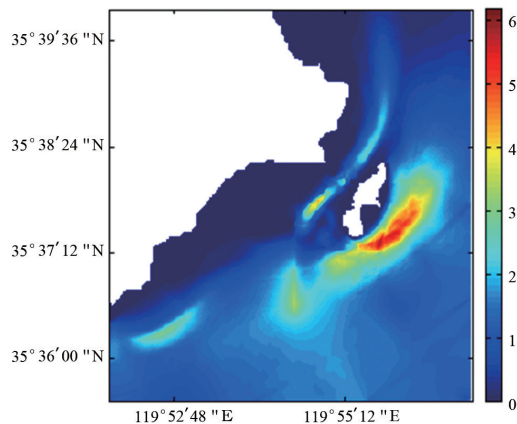


图3 斋堂岛水域TSE指数分布

此确定水轮机的最大转子直径。综上所述,选取TSE指数大于4.5,水轮机最大转子直径大于等于10 m的区域进行阵列布置。

2.2 多机组阵列排布方式

排布方式选取交错布置,根据行列间距的不同,设置25种阵列,其中行间距分别取为 $2D$ 、 $3D$ 、 $4D$ 、 $5D$ 、 $6D$ (D 为转子直径);列间距分别取为 $6D$ 、 $10D$ 、 $14D$ 、 $18D$ 、 $22D$ 。阵列的具体布置通过求解选定区域内每种阵列布局机组最大台数确定。

3 发电场评估

3.1 产能估算

阵列产能通过分别计算每台水轮机的产能再相加得到,其中单台水轮机的功率为

$$P = \frac{1}{2} \rho U^3 A C_p \quad (1)$$

式中, ρ 为海水密度; U 为潮流周期平均速度; C_p 为装置的能量转化效率,取为0.4。

由图4可知,产能在阵列内部的分布并不均匀,大致趋势为:行列间距增大,产能分布的不均匀

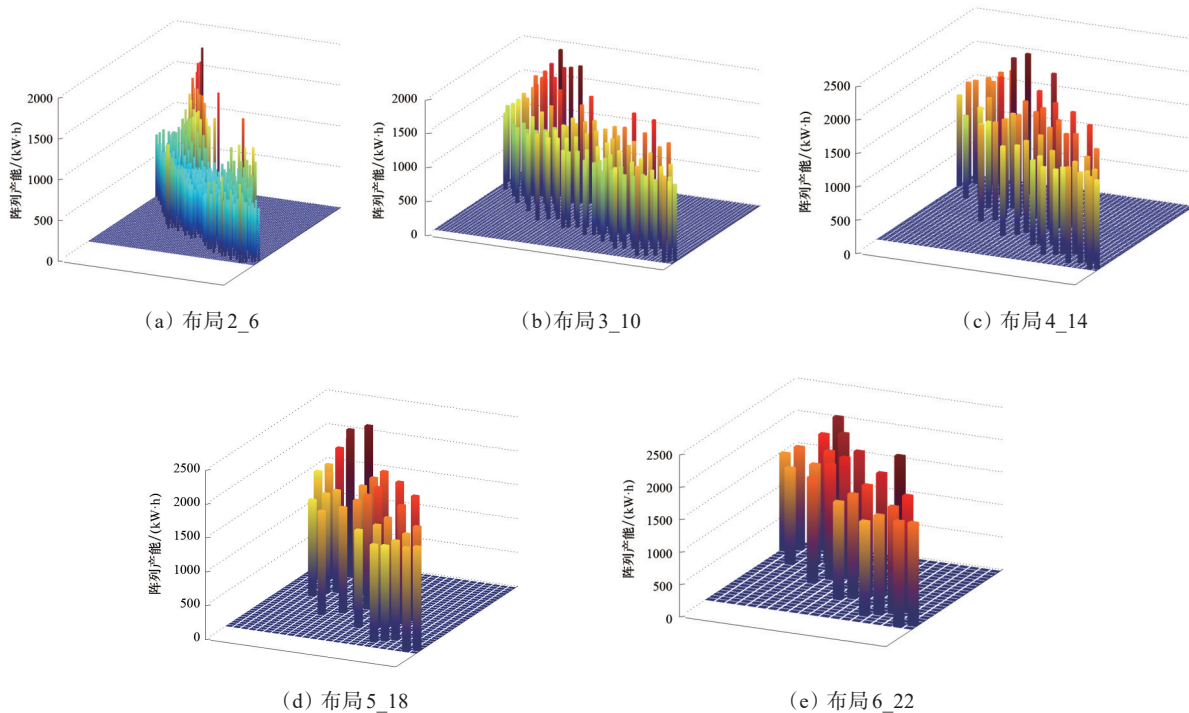


图4 交错布局阵列水轮机产能分布

性降低。产能较高区域主要分布在阵列两侧,阵列内部的水轮机产能较低。这主要是由于来流受到阵列的阻碍,在阵列两侧加速流动所致,而阵列内部的水轮机主要是受到阵列尾流效应的影响,流速较低。随着行列间距的增加,阵列的尾流效应逐渐减弱,阵列内部的流速有所提升,产能分布也进一步均匀。

3.2 流场影响

如图5所示,行列间距对流场的影响主要集中在阵列区域,行列间距增大,阵列区域流速下降幅度减小。布局2_6相比布局4_14流速下降减少约0.2 m/s,布局4_14相比布局6_22流速下降减少约0.08 m/s,随行列间距的增大流速的变化幅度减小,这与阵列产能的分析一致。

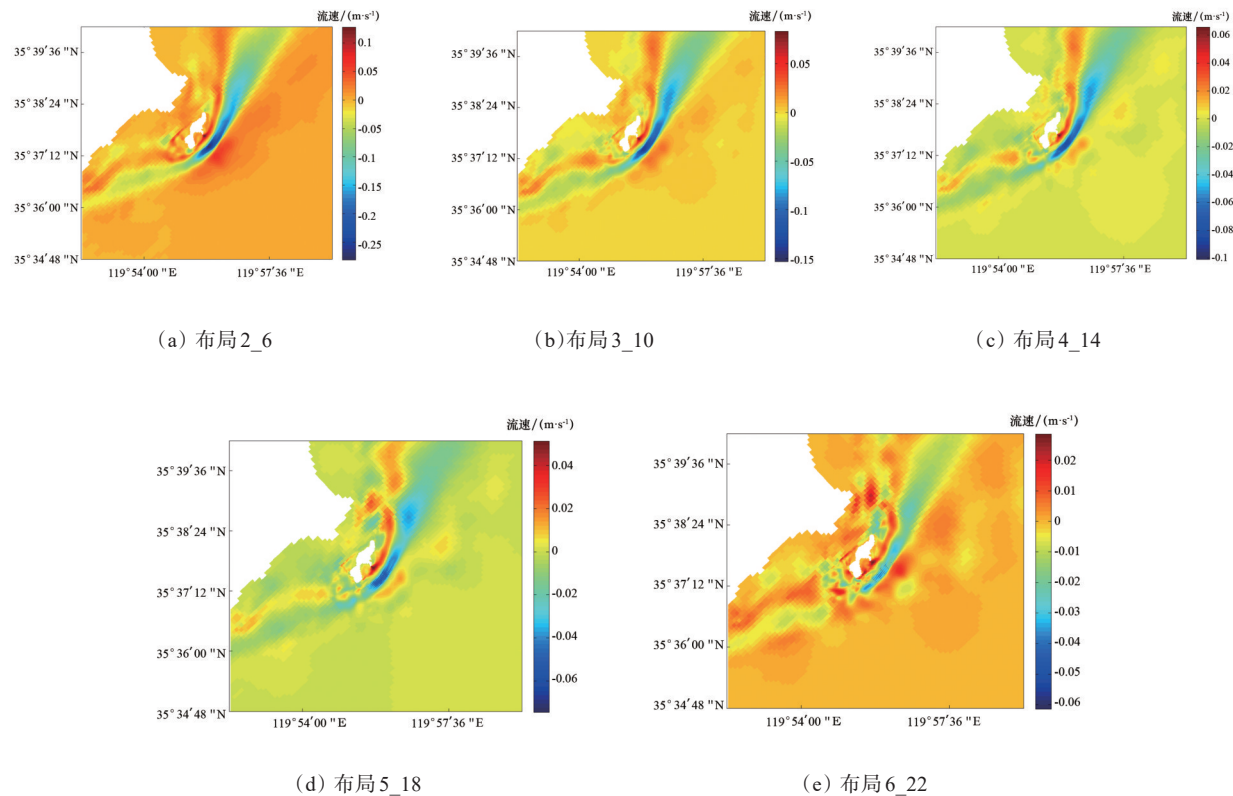


图5 阵列布局对流速的影响

4 结论

采用动量损失的方法建立了斋堂岛海域水动力模型。通过对比研究潮流能发电场布局对机组产能及附近水域流场的影响,结果显示:行列间距增大,机组的产能分布趋于均匀,当其进一步增大时,将更多地受到自然流场中流速分布的影响。行列间距增大,机组产能整体呈下降趋势,且逐渐趋于平缓。

参考文献 (References)

- [1] Zhou Z, Benbouzid M, Charpentier J F, et al. Developments in large marine current turbine technologies—A review[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 71: 852–858.
- [2] 麻常雷, 夏登文, 王萌, 等. 国际海洋能技术进展综述[J]. *海洋技术学报*, 2017, 36(4): 70–72.
- [3] Funke S W, Farrell P E, Piggott M D. Tidal turbine array optimisation using the adjoint approach[J]. *Renewable En-*

- ergy, 2014, 63: 658–673.
- [4] Divett T, Vennell R, Stevens C. Optimization of multiple turbine arrays in a channel with tidally reversing flow by numerical modelling with adaptive mesh[J]. *Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2013, 371(1985): 20120251.
- [5] 刘丞, 汪昆, 汪雄海. 基于粒子群算法的潮流发电机布局[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2013, 47(12): 2087–2093.
- [6] Vennell R, Funke S W, Draper S, et al. Designing large arrays of tidal turbines: A synthesis and review[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2015, 41: 454–472.
- [7] Baston S, Waldman S, Side J. Modelling energy extraction in tidal flows(Terawatt position paper, revision 3.1) [M]. Scotland: MASTS, 2015: 75–107.
- [8] Waldman S, Bastón S, Nermalidinne R, et al. Implementation of tidal turbines in MIKE 3 and Delft3D models of Pentland Firth & Orkney Waters[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2017, 147: 21–36.
- [9] Ramos V, Ringwood J V. Implementation and evaluation of the International Electrotechnical Commission specification for tidal stream energy resource assessment: A case study[J]. *Energy Conversion & Management*, 2016, 127: 66–79.
- [10] 姜雪英, 王树杰, 司先才, 等. 斋堂岛海域潮流特性分析与微观选址[J]. *太阳能学报*, 2018, 39(4): 892–899.
- [11] Iglesias G, Sánchez M, Carballo R, et al. The TSE index—a new tool for selecting tidal stream sites in depth-limited regions[J]. *Renewable Energy*, 2012, 48: 350–357.
- [12] Legrand C. Assessment of tidal energy resource: Marine renewable energy guides[M]. London: British Standards Institution, 2009.

Influence of the array arrangement of tidal farm on the power generation

DU Xiumao¹, SI Xiancai^{1,2*}, YUAN Peng^{1,2}, TAN Junzhe^{1,2}, GE Jinhui¹, WANG Shujie^{1,2}

1. College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2. Ocean Engineering Key Laboratory of Qingdao, Qingdao 266100, China

Abstract This paper studies the influence of the array arrangement of the tidal farm on the power generation, by considering different row and column spacing combinations. Based on the Delft3D-Flow module, a hydrodynamic model of the Zhaitang Island's waters is established, the site of the tidal farm is selected according to the annual average TSE index distribution, and the vertical placement is determined according to the tidal current characteristics of the Zhaitang Island's waters and the EMEC standards. And through the comparative study of 25 different arrangements, it is shown that within a certain range, the increase of the row and column spacing will reduce the total power of the array, and the changes gradually tend to be flattened.

Keywords tidal current energy; unit array in power plant; power plant capacity ●



(责任编辑 刘志远)