

波浪能开发利用区选划方法在 OE—W01 区块重点勘查区的应用^{*}

张 榕, 姜 波, 张 松, 丁 杰, 孟 洁, 马治忠, 白 杨

(国家海洋技术中心 天津 300111)

摘 要: 依据波浪能的开发技术特点, 研究了波浪能开发利用区选划的原则、程序和方法。基于 LAGFD—WAM 海浪模式的资源评估和海洋功能区划, 确定开发利用区备选区块, 利用综合评价指标体系, 进行打分, 根据权重对备选区块进行综合评价, 给出了综合评价的结果。依据评价结果决策, 绘制波浪能重点开发利用区选划图, 并提出相应的海洋能开发利用建议。其选划成果可为我国近海波浪能资源的开发利用规划提供决策依据, 同时为海洋功能区划的修编提供技术支持。

关 键 词: 波浪能; 指标体系; 权重; 综合评价; 选划

波浪能是由海水波动所产生的波浪动能和势能的总和。波浪能作为一种清洁的可再生能源, 在海洋水体中蕴含的总量非常巨大, 具有极高的开发潜力。开发波浪能资源的前提是正确评估调查区域资源蕴藏量及其时空分布状况, 在环境保护的基础上结合社会经济发展与能源需求, 选划出科学、合理的波浪能优先开发利用区, 为我国波浪能资源开发利用提供科学依据^[1]。

1 选划的原则

选划应遵循整体规划, 分步实施; 科学布局, 协调发展; 科技创新, 提升水平的原则^[2]。
① 以自然属性为基础, 兼顾社会属性。② 与海洋功能区划等相关法律规划相适用。③ 保障国防和海上交通安全。④ 引导性与前瞻性并重原则。

2 选划的程序和方法

2.1 确定选划的对象

在波浪能重点开发利用区资源评估的基础上, 选择波浪能资源具备开发潜力的区域作为波浪能优先开发利用区选划的研究对象。

2.2 确定选划综合评价单元

在分析波浪能开发利用技术特点和用海方

式的基础上, 结合海洋功能区划分类体系的内涵和管理要求, 依据最新发布的省级海洋功能区划, 把能与海洋功能区划兼容用海可以协调的区域, 确定为波浪能开发利用预选区, 预选区的选择应避开海洋保护区、工业和城镇用海区、旅游休闲娱乐区、港口航运区、矿产和能源区、特殊利用区。

将波浪能流密度分布图、有效时间分布图、海域使用现状图和波浪能开发利用预选区进行叠加, 得到波浪能重点开发利用的备选区块。

2.3 开展综合评价与选划

影响波浪能开发利用的因素较多, 仅以单一指标不能反映评价对象的整体情况, 因此需要选取对多指标进行综合的评价方法。

2.3.1 确定指标体系

指标体系的确定具有很大的主观随意性。在本研究中, 采用的是德尔菲法。该法的关键是确定专家以及专家的人数。

德尔菲法, 又称专家规定程序调查法。该方法主要是由调查者拟定调查表, 按照既定程序, 以函件的方式分别向专家组成员进行征询; 而专家组成员又以匿名的方式 (函件) 提交意见。经过几次反复征询和反馈, 专家组成员的

^{*} 基金项目: 海洋能专项资金项目 (GHME2011ZC07, GHME2012ZC05); 中国海洋发展研究中心科研项目 (AOCQN201209); 2013 年度国家软科学研究计划项目 (2013GXS4B093)。

意见逐步趋于集中,最后获得具有很高准确率的集体判断结果。

2.3.2 确定指标权重

为了体现各个评价指标在评价指标体系中的作用地位以及重要程度,在指标体系确定后,必须对各指标赋予不同的权重系数。权重是以某种数量形式对比、权衡被评价事物总体中诸因素相对重要程度的量值^[3]。合理确定权重对评价或决策有着重要意义。本研究采用德尔菲法确定波浪能优先开发利用区指标权重。在数据处理时,采用算术平均值代表专家们的集中意见。其计算公式如下:

$$a_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ji}, j = 1, 2, \dots, m$$

式中, n 为专家的数量; m 为指标总数; a_j 为第 j 个指标的权数平均值; a_{ji} 为第 i 个评委给第 j 个指标权数的打分值。

然后,尚需进行归一化处理。归一化的公式如下:

$$a_j' = a_j / \sum_{i=1}^n a_j$$

2.3.3 开展波浪能重点开发利用区选划

利用综合评价指标体系,进行打分,根据权重对选划出的海洋能综合评价单元进行综合评价,得到综合评价结果。依据评价结果决策,绘制波浪能重点开发利用区选划图,并提出相应的海洋能开发利用建议。

3 OE—W01 区块选划

3.1 区块范围

OE—W01 波浪能勘查区块,包含整个渤海,黄海的西北部、西部以及东海的长江口和杭州湾海域,位于辽宁、河北、天津、山东、江苏、上海和浙江等省沿海,包括 4 个重点勘查区和 8 个非重点勘查区(图 1)。

3.2 数据来源

波浪参数来自国家海洋局第一海洋研究所的数据模拟,水深数据来自海图,海洋灾害数据来自国家海洋局《中国海洋灾害公报》,海域利用强度来自海域使用现状图。

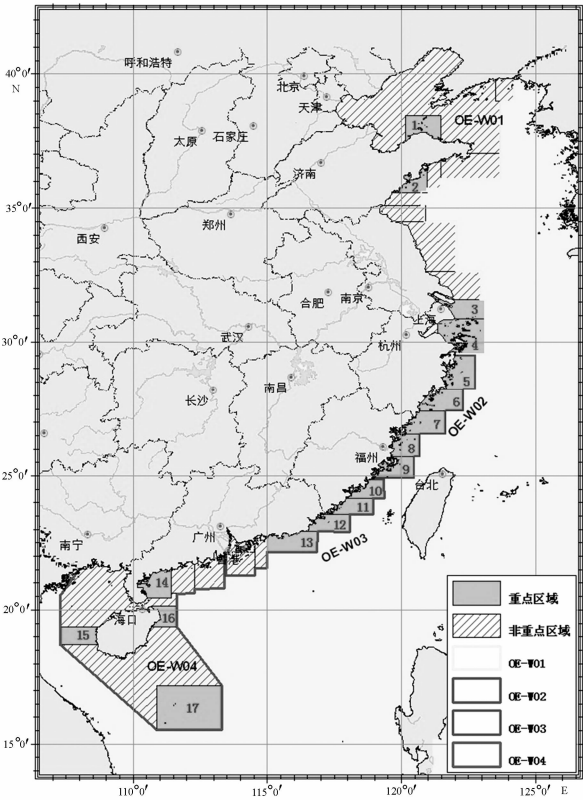


图 1 波浪能资源勘查分区块示意图^[4]

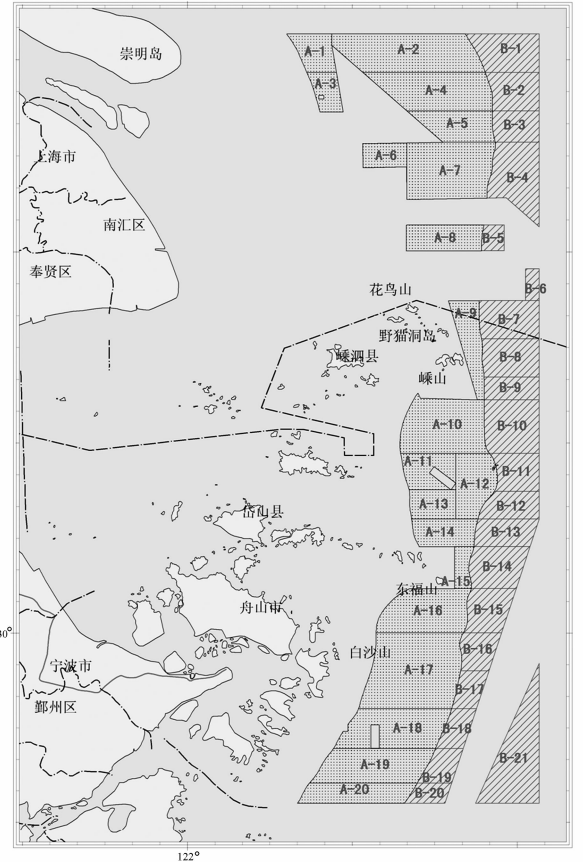


图 2 波浪能开发利用备选区块

3.3 确定备选区块

在波浪能重点开发利用区资源评估的基础上，选择波浪能资源具备开发潜力的区域作为波浪能优先开发利用区选划的研究对象，本次选划从波浪能资源等级表（表 1）一、二、三类区中选择。

运用叠加法，得到波浪能重点开发利用的备选区块 41 个，其中有 21 个属于资源二类区（图 2 中 B—1~B—21），有 20 个属于资源三类区（图 2 中 A—1~A—20）。

表 1 波浪能资源等级

资源 区划	年平均波浪能流密度 /（kW/m）	年有效波时 /h
一类区	$P\geqslant 6$	$T_E\geqslant 5\,000$

表 2 波浪能资源优先开发利用区选划指标体系—波浪能资源条件

一级指标（ <i>i</i> ）	二级指标（ <i>ij</i> ）	三级指标（ <i>ijk</i> ）
波浪能资源条件 1	波浪能流密度 P_w 11	平均能流密度 111
		能流密度频率 112
	波高 H 12	平均有效波高 121
		有效波高频率 122
	波周期 T 13	平均周期 131
		平均周期频率 132

表 3 波浪能资源优先开发利用区选划指标体系—社会经济条件

一级指标（ <i>i</i> ）	二级指标（ <i>ij</i> ）	三级指标（ <i>ijk</i> ）
社会经济条件 2	能源供需情况 21	年均全社会用电量增长率 211
		缺电程度 212
	海域利用强度 22	海岸线利用率 221
		海域利用率 222

表 4 波浪能资源优先开发利用区选划指标体系—自然环境条件

一级指标（ <i>i</i> ）	二级指标（ <i>ij</i> ）	三级指标（ <i>ijk</i> ）
自然环境条件 3	地理环境 31	水深 311
		离岸距离 312
		用海面积 313
		底质条件 314
	自然灾害状况 32	海洋灾害 321
		地质灾害 322

续表

资源 区划	年平均波浪能流密度 /（kW/m）	年有效波时 /h
二类区	$4\leqslant P<6$	$T_E\geqslant 3\,000$
三类区	$2\leqslant P<4$	$T_E\geqslant 1\,500$
四类区	$P<2$	$T_E<1\,500$

注： P 为年平均波浪能流密度； T_E 为波浪能开发的有效时间（简称有效波时），这里取一年中有效波高在 1~4 m 之间的小时数。

3.4 确定指标体系

在本阶段依据德尔菲法，以函件的方式进行 2 轮专家意见征询，最终专家组成员的意见逐步趋于集中，表 2、表 3、表 4 为最终确定的指标体系。

3.5 确定指标权重

利用区指标权重，并进行了归一化处理。波浪能资源优先开发利用区选划指标体系权重（表 5）。
在本阶段依据德尔菲法确定波浪能优先开发

表 5 波浪能资源优先开发利用区选划指标体系权重

一级指标 (<i>i</i>)	分值	二级指标 (<i>ij</i>)	分值	三级指标 (<i>ijk</i>)	分值	一级权重×二级权重×三级权重
波浪能资源条件 1	0.56	波浪能流密度 P_w 11	0.43	平均能流密度 111	0.75	0.18
				能流密度频率 112	0.25	0.06
		波高 H 12	0.31	有效波高 121	0.73	0.13
				波高频率 123	0.27	0.05
		波周期 T 13	0.26	平均周期 131	0.74	0.11
				周期频率 132	0.26	0.04
社会经济条件 2	0.19	能源供需情况 21	0.50	年均全社会用电量增长率 211	0.34	0.03
				缺电程度 212	0.66	0.06
		海域利用强度 22	0.50	海岸线利用率 221	0.39	0.04
				海域利用率 222	0.61	0.06
自然环境条件 3	0.25	地理环境 31	0.52	水深 311	0.34	0.04
				离岸距离 312	0.30	0.04
				用海面积 313	0.17	0.02
				底质条件 314	0.19	0.02
		自然灾害状况 32	0.48	海洋灾害 321	0.77	0.09
				地质灾害 322	0.23	0.03

3.6 各区块打分

依据表 6 对 41 个备选区块三级指标进行打分。
在数据处理、资料收集充分的基础上，

表 6 波浪能资源优先开发利用区选划指标评分依据

三级指标	分数			
	4 分	3 分	2 分	1 分
平均能流密度 / (kW/m)	$P \geq 6$	$4 \leq P < 6$	$2 \leq P < 4$	$P < 2$
能流密度频率 /%	能流密度超过 2 kW/m 的频率			
	频率 ≥ 60	$40 \leq \text{频率} < 60$	$20 \leq \text{频率} < 40$	频率 < 20
平均有效波高 /m	$H \geq 1.4$	$1.2 \leq H < 1.4$	$1.0 \leq H < 1.2$	$H < 1.0$
有效波高频率 /%	有效波高在 1~4 m 之间的频率			
	频率 ≥ 60	$40 \leq \text{频率} < 60$	$20 \leq \text{频率} < 40$	频率 < 20
平均周期/s	$T \geq 6$	$4 \leq T < 6$	$2 \leq T < 4$	$T < 2$
平均周期频率 /%	平均周期超过 4 s 的频率			
	频率 ≥ 80	$60 \leq \text{频率} < 80$	$40 \leq \text{频率} < 60$	频率 < 40

续表

三级指标	分数			
	4 分	3 分	2 分	1 分
年均全社会用电量增长率 /%	增长率>15	10<增长率≤15	5<增长率≤10	增长率≤5
缺电程度	很高	高	中	低
海岸线利用率 /%	利用率≤70	70<利用率≤80	80<利用率≤90	利用率>90
海域利用率/%	利用率≤70	70<利用率≤80	80<利用率≤90	利用率>90
水深/m	水深≤20	20<水深≤40	40<水深≤60	水深>60
离岸距离/km	距离≤10	10<距离≤30	30<距离≤50	距离>50
用海面积/km ²	面积≥400	200≤面积<400	100≤面积<200	面积<100
底质条件	沙	石、砾、卵石	黏土、淤泥	岩石
海洋灾害	很少	较少	一般	高发
地质灾害	无风险	低风险	中度风险	高风险

在表 6 中缺电程度：邻近具有重要价值的边远海岛、新能源开发、新兴产业发展等类型实验示范区的，视为很高；邻近有供电不足的城镇或有居民海岛的，视为高；邻近有列入开发名册的无居民海岛的视为中；其他情形视为低。

海洋灾害：年均经济损失数百万元以下，视为很少；年均经济损失千万元左右，视为较少；年均经济损失两千万元至一亿元，视为一般；年均经济损失数亿，视为高发。

地质灾害风险：地质结构稳定，不处于地震带上，未发生过地质灾害的，视为无风险；地质结构稳定，不处于地震带上的，视为低风险；未发生过地质灾害的，处于地震带上的，视为中度风险；处于地震带上的，发生过地质灾害的，视为高度风险。

3.7 选划结果

进行综合评价后，最终得到结果如表 7 所示：

将表 7 中得分排名前 8 名（总数的 20%）定义为波浪能开发利用区一类区，该区适合于近期开发利用，排名第 9~17 名（总数的 20%）定义为波浪能开发利用区二类区，该区适合于中期开发，排名第 18~25 名（总数的 20%）定义为波浪能开发利用区三类区，该区适合于远期开发，排名后 16 名（总数的 40%）本次选划将不考虑。最后按照同一类别邻近区块合并的原则，得到波浪能优先开发利用区选划图（见图 3），其中一类区 4 个，二类区 1 个，三类区 5 个（表 8）。

表 7 各备选区块分值统计

序号	区块号	分数	序号	区块号	分数	序号	区块号	分数
1	B—7	78.25	15	B—16	74.25	29	A—8	68.75
2	B—21	76.00	16	B—11	73.25	30	A—16	67.75
3	B—1	75.75	17	B—12	73.25	31	A—17	67.25
4	B—4	75.75	18	B—17	72.75	32	A—18	67.00
5	B—5	75.75	19	B—18	72.75	33	A—19	66.75
6	B—6	75.75	20	B—19	72.75	34	A—14	66.25
7	B—2	75.25	21	B—20	72.75	35	A—6	65.25
8	B—3	75.25	22	A—7	71.75	36	A—10	65.25
9	B—10	74.75	23	A—9	71.75	37	A—20	65.25
10	B—8	74.25	24	A—2	71.25	38	A—11	64.75

续表

序号	区块号	分数	序号	区块号	分数	序号	区块号	分数
11	B—9	74.25	25	A—15	71.25	39	A—13	64.75
12	B—13	74.25	26	A—5	70.25	40	A—1	64.25
13	B—14	74.25	27	A—4	69.75	41	A—3	63.75
14	B—15	74.25	28	A—12	69.75			

表 8 波浪能开发利用区选划表

序号	波浪能开发利用区等级	年平均功率密度 / (kW/m)	有效波时 /h	波浪能资源蕴藏量 / (×10 ⁴ kW)	离有居民海岛最近距离 /km
1	一类区	4.2	4 287	23.4	39.5
2		4.1	4 226	3.2	26.3
3		4.4	4 459	8.9	8.7
4		5.5	5 196	25.0	39.2
5	二类区	4.5	4 527	20.5	6.7
6	三类区	3.6	3 434	13.9	45.6
7		3.5	3717	8.9	30.4
8		3.8	3794	10.8	1.2
9		3.8	3957	4.8	3.1
10		4.3	4473	17.7	26.0

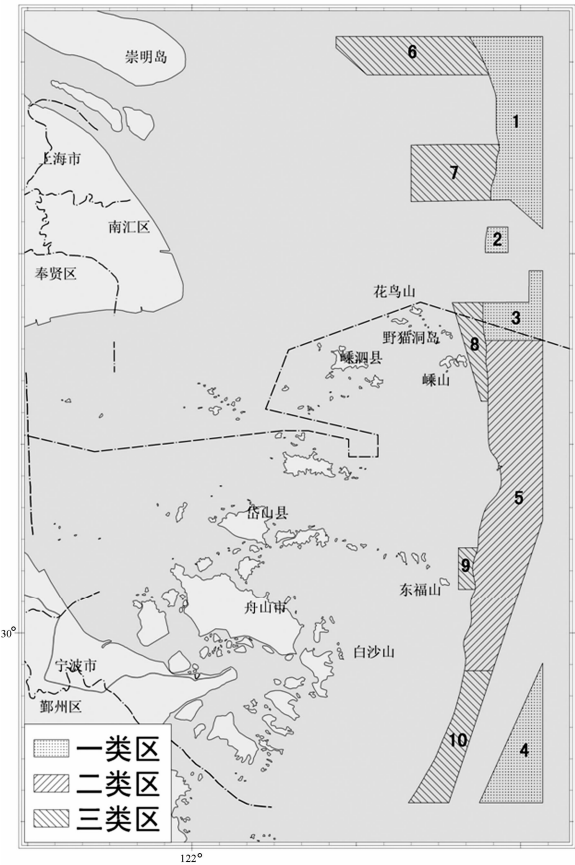


图 3 波浪能开发利用区选划图

3.8 选划建议

当前应该未雨绸缪，加强对海洋可再生能源开发利用的支持力度，制定相应的激励政策，促进海洋可再生能源开发利用技术研究和相关产业形成。为此，提出如下建议：① 统筹规划，分步实施^[5]，加强领导，确保选划实施；② 完善政策法规体系，建立和健全促进机制；③ 加大基础保障条件建设力度，尽快形成技术研发支撑与服务体系；④ 加速海洋可再生能源利用装备研发，提升核心技术竞争力；⑤ 加强人才队伍培养，积极开展国际交流与合作；⑥ 搞好宣传，提高全民意识。

4 小结

随着全球气候变暖，化石能源储量近于枯竭的问题日益突出，海洋可再生能源作为战略资源已经得到国际上的普遍认同。波浪能作为海洋可再生能源之一，在解决边远地区 and 海岛的能源供应上具有十分重要的意义。本文对波浪能开发利用区选划方法进行了应用性研究，给出了 OE—W01 区块波浪能开发利用区选划的

主要成果, 对于我国波浪能开发具有积极的促进作用。

参考文献

[1] 张榕,姜波,孙华峰,等. 波浪能优先开发利用区选划方法研究 [J]. 海洋技术,2013, 32(3): 114—117.

[2] 姜波,张松,丁杰,等. OE—W01 区块波浪能开发利

用区选划研究报告[R]. 2013.

[3] 周云凯,白秀玲,姜加虎. 近 17 年鄱阳湖区生态系统健康时空变化研究[J]. 环境科学学报,2012,32(4):1008—1017.

[4] 国家海洋局. 2011 年海洋可再生能源专项资金项目申报指南[R]. 2011.

[5] 刘富铀,张榕,孟洁,等. 广东省海洋能源的开发利用研究报告[R]. 2012.