

基于相互作用矩阵的象山港围填海适宜性评价^{*}

刘弢,张亦飞,祁琪,方欣,郝春玲,李晓燕,杨辉

(国家海洋局第二海洋研究所工程海洋学重点实验室 杭州 310012)

摘要:围填海活动受到社会经济发展的驱动,其实施会对海洋生态环境产生较大的影响,多种因素之间的相互作用,构成了一类复杂系统。针对象山港海域4个工业与城镇建设区的适宜性评价问题,文章引入岩石工程系统(rock engineering systems,RES)理论的相互作用矩阵计算围填海驱动因素及生态环境影响因子的权重,采用加权模型计算评价对象的适宜性。结果表明,基于RES相互作用矩阵的权重确定方法具有合理性和可行性,适宜性评价结果与实际情况相符,可以为其他区域围填海适宜性评价提供参考。

关键词:象山港;围填海;相互作用矩阵;指标权重;适宜性评价

中图分类号: X171.1;U656.2

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2015)03-0058-05

随着我国沿海经济的高速发展和人口压力的不断增大,土地资源的短缺成为制约沿海经济发展的重要“瓶颈”,而填海造地是缓解沿海地区土地供求矛盾,拓展生存空间和生产空间的有效手段。但围填海活动在带来社会效益的同时,也引起了一系列负面影响,例如:改变海域水动力条件,造成了港口海湾淤积;加速沿海滩涂湿地生态系统功能退化;导致生物栖息地丧失,生物多样性降低;造成海水水质恶化等。另外,围填海工程不同程度地影响了渔业、港航及旅游等资源效用的发挥,使原本就存在的海湾资源利用矛盾和冲突更加激烈,加剧了资源的利用冲突和产业之间的矛盾^[1-3]。因此,综合考虑围填海对海洋生态环境和社会经济的影响,科学合理地进行围海造地活动,对沿海区域社会、经济和环境协调发展具有重要意义。

目前,国内相关专家对围填海适宜性的评价已开展了一些研究工作。于永海等在海岸自然条件、海洋生态条件综合分析的基础上,综合考虑开发利用现状、灾害地质、社会经济等因素,建立了海岸围填海适宜性定量评估的指标体系和相应的评价方法^[4]。王初升等依据珊瑚礁和红树林生物海岸的资源和生态特点,通过分析识别

近岸围填海对珊瑚礁和红树林生态影响的主要因子和生态服务功能的影响,分别构建了珊瑚礁生物海岸和红树林生物海岸围填海适宜性的评价指标体系^[5-6]。刘大海等基于环境经济学和统计学的基础理论和评估方法,从海岸、动力、冲淤、生物和水质等5个方面构建了适用于我国海湾的围填海适宜性评价体系^[7]。王静等运用多目标决策理论与方法,综合考虑围填海对动力泥沙环境、海洋生态环境、资源综合开发和社会经济影响,建立了适宜的围填海规模评价指标体系^[8]。围填海活动受到社会经济发展的驱动,其施工和运营对海洋环境产生较大的影响,多种因素相互联系、相互作用,构成一类复杂系统。而现有的研究成果在这方面考虑显得相对不足,存在进一步探讨和改进的空间。

本文引入岩石工程系统(Rock Engineering Systems,RES)理论,并利用RES理论的相互作用矩阵,分析各评价因子的相互作用关系及作用程度,计算各评价指标的权重,同时,以《浙江省海洋功能区划(2011—2020)》确定的象山港海域4个工业与城镇建设区作为评价对象,进行围填海适宜性评估。

^{*} 基金项目:海洋公益性行业科研专项“东海沿岸狭长型海湾综合整治集成技术及示范应用研究”(201105009);国家海洋局第二海洋研究所基本科研业务费专项“基岩淤泥质港湾滩槽冲淤演变及其对人类活动响应的研究”(JT1203)。

1 相互作用矩阵的基本原理

岩石工程系统(RES)理论由 J. A. Hudson 教授于 1992 年提出,其基本思想是把岩石工程看做是完整系统,通过列举与系统相关的变量构造相互作用矩阵,并通过对矩阵编码定量评价各变量间的相互作用^[9]。该方法不仅考虑了系统中每个参数对系统的影响,同时考虑了参数之间的相互作用对整个系统的贡献,特别适合于解决多种因素之间的相互作用和相互耦合复杂问题的研究^[10]。

以图 1 所示的 3×3 矩阵为例,将所有与问题相关的主要因素列于方阵的主对角线上(A→C),这些因素的状态变量具有概念化属性。矩阵非对角线上的空格被赋予一个数值以描述两个参数间的相互影响程度,这些值可以通过数值分析、经验判断或试验研究等方法获得。相互作用矩阵具有非对称性,如 A 对 B 的影响可以不同于 B 对 A 的影响。矩阵建立后严格按照顺时针方向进行影响的分析与赋值。

| | | |
|-----------|-----------|-----------|
| A | A 对 B 的影响 | A 对 C 的影响 |
| B 对 A 的影响 | B | B 对 C 的影响 |
| C 对 A 的影响 | C 对 B 的影响 | C |

图 1 相互作用矩阵的基本原理

相互作用矩阵建立和编码后,将矩阵行和列的编码值相加就可以确定每个变量在系统中的相互作用程度。每行的总和表示位于该行主对角线上的参数对系统产生的影响,每列的总和表示系统对位于该列主对角线上的参数的影响。相互作用程度越高,说明该参数在系统中的重要性越大,因此可以利用相互作用矩阵确定所研究系统中各相关参数的权重。参数的权重 W_i 按照式(1)至式(3)计算:

$$W_i = \frac{S_R(i) + S_C(i)}{2 \sum_{i=1, j=1}^n V_{i,j}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式(1)中:

$$S_R(i) = \sum_{j=1}^n V_{i,j} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$S_C(i) = \sum_{j=1}^n V_{j,i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式(2)和式(3)中: $V_{i,j}$ 表示参数 i 对参数 j 的作用程度。

目前,围填海适宜性评价过程中指标权重的确定多使用层次分析法(Alytic Hierarchy Process, AHP)。AHP 方法是建立在判断矩阵为一致性矩阵基础上的,实际操作中当判断矩阵阶数 $n > 3$ 时,往往难以满足一致性的要求,此时应用 AHP 方法就显得较困难。相互作用矩阵通过两个之间的相互作用分析,既考虑了单一因素对所研究系统的影响,也考虑了参数之间的相互作用对整个系统的贡献,同时能够大大降低计算工作量,为复杂系统分析提供了一种更为快捷、便利的权重确定方法,与 AHP 方法相比具有一定的优越性。

2 研究区域和评价对象概况

象山港位于浙江北部沿海,北邻杭州湾,南靠三门湾,东侧为舟山群岛,是一个 NE-SW 走向的狭长形半封闭海湾。沿湾分布有宁波市的象山、宁海、奉化、鄞州和北仑 5 个县(区),海域面积 391.76 km²,海域大部分水深在 10~20 m 之间,最深达到 47 m,滩涂面积约 171 km²。该海湾是浙江省重要的海湾之一,具有良好的区位优势 and 资源优势。随着区域经济社会的快速发展,多个涉海行业参与海湾资源的开发,开发强度不断增大,用海活动之间的矛盾突出。同时由于象山港独特的地形条件和水动力条件,海水水体交换能力较弱,环境容量有限,海域生态环境日趋恶化。选择《浙江省海洋功能区划(2011—2020)》确定的象山港海域 4 个工业与城镇建设区作为对象,进行适宜性评价。评价对象基本情况见表 1。

表 1 象山港工业与城镇建设区基本情况

| 功能区名称 | 地区 | 地理范围 | 面积/ hm ² | 岸线长 度/km |
|---------------|-----|------------------|------------------------|-------------|
| 鄞州工业与城镇建设区 | 鄞州区 | 鄞州区北部沿海海域 | 858 | 8 |
| 西店工业与城镇建设区 | 宁海县 | 宁海县北部,象山港底西店附近海域 | 350 | 8 |
| 西沪港底部工业与城镇建设区 | 象山县 | 西沪港底部海域 | 500 | 8 |
| 大港口工业与城镇建设区 | 象山县 | 象山北部,象山港口围垦区域 | 1 342 | 24 |

3 评价指标选择和模型构建

3.1 指标选取

遵循指标选取的科学性、系统性、综合性、层次性、区域性、动态性原则,从社会经济、生态、环境和对周边海洋功能区的影响 4 个层面,结合象山港海域资源的环境特点,选择影响围填海适宜性的主要指标。

(1)区域经济社会指标。按照资源经济学的观点,自然资源消耗的根本驱动因素是人口增加与经济发展^[11],为此,选择功能区所在县(市、区)的经济规模(GDP)、人口数量作为评价指标,采用 2012 年宁波市经济社会发展统计数据作为资料来源。

(2)生态指标。众所周知,围填海是对海域生态环境影响最大的一种用海活动,对海洋生物产生严重影响,特别是潮间带底栖生物。围填海占用的海域,其底质环境被覆盖,绝大部分底栖生物被掩埋、覆盖而死亡,对潮间带和底栖生物群落的破坏具有不可逆转性^[12],为此选取城镇与工业建设区所在海域的底栖生物生物量作为评价指标。

(3)环境指标。海湾围填海活动直接影响周边海域的环境容量和泥沙冲淤,并且研究区域地处狭长形半封闭港湾,水交换能力弱,环境容量有限,多年来氮、磷等指标严重超标,所以环境指标方面选取纳潮量、无机氮含量、活性磷酸盐含量以及冲淤速率的变化量。评价时,采用国家海洋公益性行业科研专项项目“东海狭长形海湾综合整治集成技术及示范应用研究”现场补充调查得到的相关数据。

(4)对周边功能区的影响。除了对直接覆盖

海域生态环境产生影响外,围填海活动也会对周边海域敏感区域及利益相关者产生影响,比如码头群、航道、海湾口门,滨海旅游资源、海洋保护区等。如果周边海域越敏感、利益相关者越重要,越需要采用多种措施控制围填海活动对它们产生的负面影响。评价时,根据象山港海域资源生态环境现状、开发利用情况及相关区划、规划,分析围填海活动对周边功能区、利益相关者的影响,主要包括渔业、航运、旅游业和保护区等。

(5)围填海工程规模。围填海活动作为所研究问题系统的原始驱动因素,其规模(面积)大小、平面设计方案、所在海域水深条件等因素与可能造成的生态环境影响有着密切关系^[13]。本研究选取围填海面积作为代表进入评价指标体系。

3.2 确定指标权重

评价指标体系选定后,构建围填海适宜性的相互作用矩阵。将评价指标之间的影响程度分为 5 级,分别用无量纲数值 0 至 4 表示:0 表示没有影响;1 表示微弱影响;2 表示有较大影响;3 表示有强烈的影响;4 表示有极其强烈的影响。围填海适宜性相互作用矩阵如表 2 所示。

表 2 中,各评价指标的意义如下: P_1 为功能区所在县(市、区)的经济规模(GDP); P_2 为功能区所在县(市、区)的人口数量; P_3 为底栖生物量; P_4 为海域海水中无机氮含量; P_5 为海域海水中活性磷酸盐含量; P_6 为纳潮量; P_7 为冲淤速率; P_8 为对渔业区的影响; P_9 为对航运区的影响; P_{10} 为对旅游区的影响; P_{11} 为对保护区的影响; P_{12} 为工业与城镇建设区围填海面积。

表 2 围填海适宜性相互作用矩阵

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
| P_1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 4 | P_2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 0 | 0 | P_3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | P_4 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 4 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | P_5 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 4 | 0 |
| 0 | 0 | 2 | 4 | 4 | P_6 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | P_7 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | P_8 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | P_9 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | P_{10} | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | P_{11} | 0 |
| 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | P_{12} |

利用式(1)至式(3)计算得到各评价指标的权重值见表3。

表3 评价指标权重值计算结果

| 评价指标 | 权重值 W_i |
|----------|-----------|
| P_1 | 0.073 4 |
| P_2 | 0.073 4 |
| P_3 | 0.068 8 |
| P_4 | 0.082 6 |
| P_5 | 0.082 6 |
| P_6 | 0.078 0 |
| P_7 | 0.045 9 |
| P_8 | 0.100 9 |
| P_9 | 0.036 7 |
| P_{10} | 0.082 6 |
| P_{11} | 0.100 9 |
| P_{12} | 0.174 3 |

从表3中可以看出,围填海活动作为系统的动因,与其他因素存在密切的联系,其工程规模(面积)大小关系到影响程度的大小,所以权重值

最高。保护区、渔业区和旅游区是对围填海活动非常敏感的功能区,应特别注意围填海活动对它们可能造成的不良影响,所以权重值次之。社会经济指标和生态环境指标处于适中的位置,且权重值相差不大。经济社会的发展是围填海活动的第一驱动力,而在取得经济社会发展的同时,尽量减小围填海活动对生态环境的不良影响,保护生态环境的健康也至关重要。由此可见,通过相互作用矩阵的确定的指标权重向量与实际经验判断具有较好的一致性。

3.3 评价指标量化赋分

依据对评价目标围填海适宜性的影响程度,将所有评价指标分为3个等级,分别取值为3、2、1。如果指标对适宜性为正影响,分别取值3(影响较大)、2(影响一般)、1(影响较小)。如果指标对适宜性为负影响,分别取3(影响较小)、2(影响一般)、1(影响较大)。评价指标赋分情况见表4,各评价指标的物理意义如上文所述。

表4 围填海适宜性评价指标赋分表

| 功能区 | P_1 | P_2 | P_3 | P_4 | P_5 | P_6 | P_7 | P_8 | P_9 | P_{10} | P_{11} | P_{12} |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|
| 西店工业与城镇建设区 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 |
| 西沪港底部工业与城镇建设区 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| 大港口工业与城镇建设区 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 鄞州工业与城镇建设区 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 |

3.4 评价结果及分析

适宜性评价综合指标计算采用加权模型为

$$S = \sum_{i=1}^n B_i W_i \quad (4)$$

式中: S 为围填海适宜性综合评价指数; B_i 为第 i 种评价因素的得分(无量纲); W_i 为第 i 种评价因素的权重; n 为参加评价的因素数量。

由式(4)计算得到的适宜性综合指标为:西店工业与城镇建设区得分1.55,排名第3;西沪港底部工业与城镇建设区得分1.52,排名第4;大港口工业与城镇建设区得分2.78,排名第1;鄞州工业与城镇建设区得分2.51,排名第2。4个评价对象围填海适宜性从大到小的排序结果依次为:大港口工业与城镇建设区、鄞州工业与城镇建设区、西店工业与城镇建设区、西沪港底部工业与城镇建设区。

大港口工业与城镇建设区位于象山港口门附近海域,该海域水体交换较快,环境质量状况较好,周边海域无其他重要利益相关者及新设置的海洋功能区划,所以该功能区的适宜性得分较高。但该围填海项目的实施可能对象山港航道外段的流场、冲淤条件产生一定影响。鄞州工业与城镇建设区同样位于象山港口门处,但该围填海的实施除考虑对象山港航道影响外,还需考虑对邻近梅山旅游度假区的影响,所以该区域的得分较大港口工业与城镇建设区低。西店工业与城镇建设区位于象山港次级海湾铁港底部,该区域生态环境脆弱,围填海的实施对该次级海湾纳潮量、水动力、冲淤变化有较大的影响,所以该功能区适宜性得分靠后。西沪港底部工业与城镇建设区位于次级海湾西沪港内,该围填海的实施同

样对次级海湾纳潮量、局部海域水动力条件变化有较明显的影响。同时,该次级海湾内生物多样性指数较高,湾内还设置了象山港海岸湿地海洋保护区,可能引起的生态环境负效应较大,所以该功能区的适宜性得分最低。

4 结束语

(1)岩石工程系统(RES)理论中的相互作用矩阵方法,能够同时考虑系统中每个参数对系统的影响及参数之间的相互作用,理论上比较严密,用以计算围填海活动适宜性评价指标权重,具有一定的科学性和合理性。与层次分析法相

比计算简便,是复杂系统评价问题权重赋值的一种有效方法,可以在类似问题中推广应用。

(2)围填海活动受到社会经济驱动,其实施会对海洋生态环境产生较大的影响,多种因素之间的相互耦合,因此,在评价指标体系构建时,需要同时考虑驱动因素、影响因素以及它们之间的相互作用。案例分析结果表明,基于岩石工程系统(RES)理论的相互作用矩阵计算评价指标权重,采用加权模型计算评价对象的适宜性具有合理性和可行性,评价结果与实际情况相符,可为其他区域围填海适宜性评价提供参考。

参考文献

- [1] 刘伟,刘百桥.我国围填海现状、问题及调控对策[J].广州环境科学,2008,23(2):26-30.
- [2] 郭伟,朱大奎.深圳围海造地对海洋环境影响的分析[J].南京大学学报:自然科学版,2005,41(3):286-296.
- [3] 戴桂林,兰香.基于海洋产业角度对围填海开发影响的理论分析:以环渤海地区为例[J].海洋开发与管理,2009,26(7):24-28.
- [4] 于永海,王延章,张永华,等.围填海适宜性评估方法研究[J].海洋通报,2011,30(1):81-87.
- [5] 王初升,林荣澄,黄发明.珊瑚礁海岸围填海适宜性的评估方法研究[J].海洋通报,2012,31(6):695-699.
- [6] 王初升,黄发明,于东升,等.红树林海岸围填海适宜性的评估[J].亚热带资源与环境学报,2010,5(1):62-67.
- [7] 刘大海,陈小英,陈勇,等.海湾围填海适宜性评估与示范研究[J].海岸工程,2011,30(3):74-81.
- [8] 王静,徐敏,陈可锋.基于多目标决策模型的如东近岸浅滩适宜围填规模研究[J].海洋工程,2010,28(1):76-82.
- [9] HUDSON J A. Rock mechanics principle in engineering practice. CIRIA Ground Engineering Report: Underground Construction, 1989.
- [10] 吴红刚,马惠民,张红利.基于相互作用矩阵的山区公路展线路基稳定性评价[J].岩土工程学报,2011,33(Suppl 1):202-206.
- [11] 李京梅,孙晨,谢恩年.围填海造地经济驱动因素的实证分析[J].中国渔业经济,2013,30(6):61-68.
- [12] 刘述锡,马玉艳,卞正和.围填海生态环境效应评价方法研究[J].海洋通报,2011,30(6):707-711.
- [13] 马军.大连围填海工程对周边海洋环境影响研究[D].大连:大连海事大学,2009.