

基于层次分析法的生态敏感海岛开发决策研究 ——以江苏沿海地区发展规划环评为例

周家艳, 李 冰, 黄夏银, 高 鸣, 王 水

(江苏省环境科学研究院, 江苏 南京 210036)

摘要: 针对生态敏感型海岛开发难以决策, 特别是无法定量的难题, 首次采用层次分析法, 综合考虑经济效益、社会效益、生态环境影响三方面因素, 建立4层10指标2方案综合决策系统, 并将其应用于江苏沿海开发规划环评的前三岛、西太阳沙开发决策研究中。结果表明, 该决策系统能够客观体现系统要素的全面影响, 具有一定的科学性和实用价值, 对沿海开发中各类生态敏感海岛及沙洲的开发决策具有重要的指导意义。

关键词: 层次分析法; 海岛; 开发决策; 规划环评

中图分类号: X22

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2012)05-0018-06

海岛是地球上不可或缺的重要组成部分, 在全球生物多样性的保护中扮演着重要角色。同时由于其特有的独立性, 海岛对于人类活动异常敏感。近几个世纪来, 由于人类活动的加剧, 海岛生态已遭受严重影响。过去的400 a, 全球消失的植物物种中, 约62.5%为岛屿物种^[1-2]。

中国目前拥有海岛7 371个, 岛屿面积约占全国陆地面积的8%, 岛屿岸线达全国海岸线总长的43.2%。由于海岛(含属于低潮高地的沙洲)^[3], 是国土的重要组成部分, 不仅在维护国家主权和领海中具有重要的地位, 同时, 由于其拥有丰富的资源, 经济发展潜力巨大, 而备受关注。改革开放以来, 中国海岛经济取得了长足的发展, 然而由于开发利用的不当, 由人类活动所带来的问题却越来越突出。部分海岛的资源开发出现透支, 海岛生物多样性丧失, 淡水资源紧张, 周围海域污染严重, 海岛生态不断恶化^[4]。

近年来, 海岛的开发、保护和生态修复日益受到关注^[1-2]。中国于2009年颁布了《中华人民共和国海岛保护法》, 首次对海岛保护、开发、建设以及管理工作进行了法律层面的规范。然而从技术角度, 因受到经济、社会、环境等诸多因素的影响, 迄今为止还缺乏系统性与量化的海岛开发策略综合评价和决策体系。

在对受多种不能定量表示的定性因子影响的问题进行综合评价时, 国内外常采用的方法有层次分析法(Analytic Hierarchy Process, 简称AHP)、灰色关

联法、灰色局势决策法、模糊综合评价法等, 其中使用频率最高的就是层次分析法。层次分析法是一种定性定量相结合的系统分析方法。由于具有易操作性、实用性和系统性等优点, 已经广泛应用于复杂社会、经济和环境系统的分析、评价与决策过程中^[5-7]。近年来, 随着规划环评工作的深入推进, 层次分析法也被逐渐引入到规划环评的多方案目标决策中^[8-9]。

本文首次尝试运用层次分析法, 建立了适用于生态敏感海岛开发决策的技术模型, 并将其成功应用于江苏沿海地区发展规划环评中前三岛、西太阳沙的开发决策研究中, 有效指导了江苏沿海开发中的生态敏感海岛/沙洲的开发决策。

1 生态敏感海岛开发的AHP决策系统

层次分析法是20世纪70年代中期由美国运筹学家Saaty提出的一种系统规划方法, 其基本思想是: 将评价系统中有关替代方案的各种要素分解成若干层次, 再以上一层要素为准则, 对同一层次的各种要素进行两两判断比较并计算出各要素的权重, 根据综合权重按最大权重原则确定最优方案^[10-11]。一般经过4个步骤: 建立递阶层次结构、构建判断矩

收稿日期: 2010-08-04; 修回日期: 2012-01-16

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2009454)

作者简介: 周家艳(1980-), 女, 江苏仪征人, 工程师, 硕士, 主要从事环境规划、政策与管理的研究, 电话: 13809031202, E-mail: z_jiayan@hotmail.com

阵、层次单排序与一致性检验、层次总排序与一致性检验。

1.1 建立递阶层次结构

从经济、社会和环境三方面，分析海岛开发方案实施后可能造成的效益/影响，并将其影响因素分为 A, B, C 三个层次。其中 A 层是总目标层，即最合适

的海岛开发策略；B 层是准则层，即实现总目标层的三方面影响因素；C 层是指标层，即达到总目标层和准则层的各种条件，共 10 项指标。

再考虑目前可供选择的开发方式，建立方案层 (D 层)。从而建立生态敏感海岛开发决策的递阶层次结构模型。如图 1 所示。

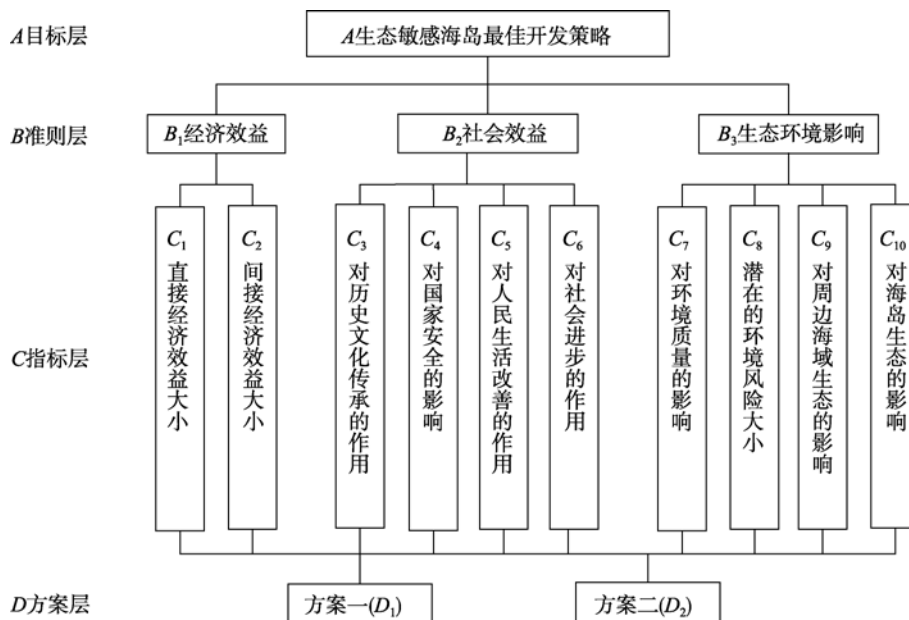


图 1 生态敏感海岛开发决策的递阶层次结构

Fig. 1 Hierarchical structure of ecologically sensitive island development decision

1.2 构建判断矩阵并赋值

采用 1~9 标度法，由专家打分构造出两两比较判断矩阵^[11]并赋值，确定每个元素对上一层次的相对重要性。

表 1 为环境因素 B₂ 与对其产生影响的各个因子 C₃ ~ C₆ 构建的判断矩阵，其余判断矩阵构建方法相同。

表 1 B₂ 对 C₃~C₆ 构建的判断矩阵

Tab. 1 Comparison matrix B₂-C₃~C₆

B ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
C ₃	1	1/7	1/2	1
C ₄	7	1	2	7
C ₅	2	1/2	1	2
C ₆	1	1/7	1/2	1

1.3 层次单排序与一致性检验

层次单排序是指：根据判断矩阵，计算对于上一层某因素而言，本层次与之有联系的因素的重要

性次序的权值。它是本层次所有因素相对上一层而言的重要性进行排序的基础。

层次单排序可以归结为计算判断矩阵的特征根和特征向量问题，计算方法有特征根法、和积法、根法、幂法等。其中和积法是一种简化的计算方法，本处选用和积法计算判断矩阵的最大特征根及特征向量。

1.3.1 用和积法计算判断矩阵的最大特征根及特征向量

将判断矩阵 A 每一列归一化：

$$\bar{b}_{ij} = b_{ij} / \sum_{i=1}^n b_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

每一列经归一化后的判断矩阵按行相加：

$$W_i = \sum_{j=1}^n \bar{b}_{ij}, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

对 $[W_1, W_2, W_3, \dots, W_n]^T$ 归一化：

$$\bar{W}_i = W_i / \sum_{i=1}^n W_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中得到 $W = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \bar{W}_3, \dots, \bar{W}_n]^T$ 即为所求特征向量。

计算判断矩阵最大特征根 λ_{\max} :

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i}$$

式中 A 表示判断矩阵, $(AW)_i$ 表示向量 AW 的第 i 个分量。

B_2 对 $C_3 \sim C_6$ 构建的判断矩阵, 按照上述方法,

求得最大特征根为 $\lambda_{\max}=4.0394$ 及其对应的特征向量 $W_{B_2}=(0.0967, 0.5832, 0.2234, 0.0967)$ 。其中, 特征向量 W_{B_2} 就是指标层 $C_3 \sim C_6$ 对准则层 B_2 的重要性顺序, 也就是权重系数的分配。

1.3.2 一致性检验

矩阵一致性指标 $I_C = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$

对于 1~9 阶矩阵, 同阶平均随机一致性指标 I_R 分别如表 2 所示。

表 2 1~9 阶矩阵的平均随机一致性指标

Tab. 2 Average random consistency index of 1~9 order matrix

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_R	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当阶数 $n \leq 2$ 时, 认为 1 阶、2 阶判断矩阵总是完全一致的。当阶数 $n > 2$ 时, I_C 与 I_R 之比, 称为判断矩阵的随机一致性比例, 记为 R_C 。当 $R_C = I_C / I_R < 0.1$ 时, 认为判断矩阵具有满意的一致性, 即权重的分配是合理的。否则, 调整判断矩阵的元素取值, 重新分配权重的值。

对于判断矩阵 B_2-C_{3-6} , $I_C = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = (4.0394 - 4)/(4 - 1) = 0.0131$, 查找一致性指标 I_R (表 2), 当 $n=4$ 时, 一致性指标 $I_R = 0.90$, 则判断矩阵 B_2-C_{3-6} 的一致性比例为

$$R_C = I_C / I_R = 0.0131 / 0.90 = 0.0146 < 0.1$$

显然, 判断矩阵 B_2-C_{3-6} 具有满意一致性, 故特征向量可以作为各指标的权重。其余矩阵特征向量计算及其一致性检验方法相同。

1.4 层次总排序与一致性检验

层次总排序是指每一个判断矩阵各因素针对目标层(最上层)的相对权重。这一权重的计算采用从上而下的方法, 逐层合成。同样, 也需要对总排序结果进行一致性检验。

表 3 为 C 层各指标对 A 层总排序结果, 即为生态敏感海岛开发决策系统的各指标权重。其中, 权重最大的为经济效益因素, 其次为生态环境影响, 社会效益因素所占权重稍低。说明要提高开发策略的可行性, 需要着重提高开发产生的经济效益, 同时最大限度地降低可能带来的生态环境影响。在社会效益指标中, 对国家安全的影响也是开发决策中需要重点考虑的因素, 其所占权重仅次于间接经济效益。

表 3 C 层各指标对 A 层总排序列

Tab. 3 The sorting order of each indicator of C-layer in A-layer

B 层指标(对 A 层权重)	C 层指标(对 B 层权重)	C 层对 A 层总排序权重值
$B_1(0.4111)$	$C_1(0.3333)$	0.1370
	$C_2(0.6667)$	0.2741
$B_2(0.2611)$	$C_3(0.0967)$	0.0253
	$C_4(0.5832)$	0.1523
	$C_5(0.2234)$	0.0583
	$C_6(0.0967)$	0.0253
$B_3(0.3278)$	$C_7(0.2857)$	0.0937
	$C_8(0.1429)$	0.0468
	$C_9(0.2857)$	0.0937
	$C_{10}(0.2857)$	0.0937

2 江苏沿海地区发展规划环评中的应用实例研究

江苏沿海地区包括连云港、盐城和南通三市，海岸线长 954 km，南部毗邻中国最大的经济中心上海，北部拥有新亚欧大陆桥东桥头堡连云港，东与日本、韩国隔海相望。为充分发挥这一地区的战略优势，将其发展为中国东部地区新的经济增长点，2009 年 6 月 10 日，国务院常务会议讨论并原则通过《江苏沿海地区发展规划》，江苏沿海开发正式上升成为国家战略。该规划的实施对于促进江苏苏北地区的全面振兴、完善长三角乃至全国沿海生产力的整体布局、带动中部崛起和西部大开发具有重要的战略意义。

同时，江苏沿海地区也是中国沿海生物多样性保护的三大关键地区之一。盐城湿地珍禽和大丰麋鹿 2 个国家级自然保护区被列入“国际重要湿地名录”；江苏近海海域分布有前三岛鸟类特别保护区、吕四渔场特别保护区等海洋保护区、18 个增殖区、731 km² 的重要渔业水域，以及珍稀、经济海洋生物的洄游通道、产卵场、索饵场等重要生态环境敏感区。为科学指导沿海开发工作，使江苏沿海地区经济、社会与环境协调、可持续发展，江苏沿海地区发展规划环评工作被纳入环保部试点。

本文针对江苏沿海开发规划中的重要海岛——前三岛、西太阳沙，运用上述层次分析法决策系统，对其开发决策进行研究，并为江苏沿海开发的协调、可持续推进提供指导。

2.1 前三岛开发决策研究

前三岛位于海州湾中部，包括平山岛、达山岛、车牛山岛等 12 处岛礁，因其位于连云港海防的最前

线，故被称作为前三岛。由于其天然深水条件，具有优越的天然港址条件，已成为连云港乃至江苏沿海建设大型深水海港的重要选址。因此，在第一稿《江苏沿海开发规划》中，前三岛曾被列为重要开发节点，重点建设大型原油码头和地面石油储备库。该方案的实施可以为徐圩石化基地的发展提供有力的支撑，对于江苏沿海开发的龙头——连云港的发展具有重要意义。

但同时，前三岛是海州湾渔场的核心，其周边海域分布有众多珍稀、经济海洋生物的产卵场、索饵场和洄游通道，是江苏省唯一的海珍品基地。前三岛也是中国著名的“黄海鸟岛”，是海鸟繁殖和候鸟南北迁徙必经的“海上驿站”。岛上鸟类达 130 多种，其中《中日候鸟保护协定》规定保护的鸟类 73 种，国家一级、二级保护鸟类近 20 种。

总之，由于前三岛特殊的生态地位，开发与保护的矛盾也异常突出。

利用本文构建的决策系统，对前三岛开发策略进行研究。根据江苏沿海地区发展规划，设立具体方案如下：

方案一(D_1): 保持原状，不实施开发；

方案二(D_2): 建设前三岛原油码头和地面石油储备库(规划拟实施方案)。

采用层次分析法决策系统，对 C 层各指标与 D 层方案分别构建 10 个判断矩阵，针对 10 个判断矩阵得到备选方案在各指标上的优势度权重。再利用上述层次分析法决策系统中 C 层各指标对 A 层目标的权重，可计算得 D 层各方案对 A 层目标的总排序(表 4)，即为备选方案的综合优势度权重。根据综合权重，按最大权重原则确定最优方案，即为生态敏感海岛的最佳开发策略。

表 4 D 层各方案对 A 层总排序
Tab. 4 The sorting order of each indicator of D-layer in A-layer

研究区	方案	权重										D 层对 A 层总排序
		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	
		0.1370	0.2741	0.0253	0.1523	0.0583	0.0253	0.0937	0.0468	0.0937	0.0937	
前三岛	D_1	0.3333	0.2500	0.5000	0.5000	0.3333	0.3333	0.8000	0.8571	0.8889	0.8889	0.5124
	D_2	0.6667	0.7500	0.5000	0.5000	0.6667	0.6667	0.2000	0.1429	0.1111	0.1111	0.4876
西太阳沙	D_1	0.2000	0.2000	0.5000	0.5000	0.2500	0.5000	0.8333	0.8333	0.8333	0.6667	0.4557
	D_2	0.8000	0.8000	0.5000	0.5000	0.7500	0.5000	0.1667	0.1667	0.1667	0.3333	0.5443

矩阵 $A-D_{1,2}$ 的层次总排序(0.5124, 0.4876)^T，说明了前三岛不开发、建设前三岛原油码头和地面石

油储备库两个备选方案的得分。可以看出， $D_1 > D_2$ ，即前三岛不开发方案得分稍高。按照最大权重原则，

两个方案的优劣顺序为: D_1 稍优, D_2 稍劣, 因此方案 D_1 (保持原状, 不实施开发) 为较理想选择。

根据研究结果, 对江苏沿海开发规划提出了加强前三岛生态保护, 限制开发的建议。由于研究成果及时反馈回规划, 并为规划编制单位认可、采纳, 从而有效提升了生态环境保护在规划中的地位, 避免了盲目开发带来的巨大生态损失。

2.2 西太阳沙开发决策研究

辐射沙洲是江苏省近岸海域独有的自然资源, 其规模之大、形态之异、海区潮流与地质地貌之复杂多变在国内外都是极为罕见的。近几年来, 随着海洋开发进程的不断加快, 辐射沙洲越来越受到社会各界的关注和重视, 成为开发利用的热点。

西太阳沙是江苏省南通市如东县的海滨辐射沙洲。因其南部烂沙洋深槽水深大, 深水范围宽, 且水道顺直, 掩护条件好, 可直通深水航道, 成为建设外海开敞式码头的优良港址。在江苏沿海开发规划中, 拟依托西太阳沙建设人工岛工程, 发展港口物流。该工程的建设可极大促进陆域临港产业基地的开发建设, 带动如东县乃至整个南通市的产业发展和社会经济进步。

同时, 西太阳沙所在海域也是如东县重要的渔业水域, 分布有大面积海洋渔业养殖区, 渔业养殖资源的损失是人工岛开发建设决策中不可忽视的负面因素。

同样, 利用本文构建的生态敏感海岛开发决策系统, 对西太阳沙开发策略进行研究。根据江苏沿海地区发展规划, 设立具体方案如下:

方案一(D_1): 保持原状, 不实施开发;

方案二(D_2): 建设人工岛工程, 发展港口物流, 成为天然气项目 LNG 接收站、油品及化学品中转储区、矿石及煤炭中转堆场和码头建设用地(规划拟实施方案)。

同上, 采用层次分析法决策系统, 计算得 D 层各方案对 A 层目标的总排序, 见表 4。

矩阵 $A-D_{1-2}$ 的层次总排序 $(0.4557, 0.5443)^T$ 可以看出, $D_2 > D_1$, 即建设西太阳沙人工岛工程, 发展港口物流得分稍高。按照最大权重原则, 两个方案的优劣顺序: D_2 稍优, D_1 稍劣, 表明方案 D_2 (建设人工岛工程, 发展港口物流) 为较理想选择。

2.3 结果与讨论

对于前三岛, D_2 方案的主要缺陷在于: 前三岛

及其周边海域的生态价值独特, 开发所可能带来的环境风险和生态环境影响显著, 从而使得 D_2 方案得分相对较低。对于西太阳沙, D_2 方案的主要优势在于: 西太阳沙建设人工岛工程, 发展港口物流所带来的生态环境不利影响有限, 而产生的经济和社会效益相对显著, 从而使得 D_2 方案得分相对较高。上述两个不同类型海岛开发决策的案例实践表明: (1) 生态环境影响是海岛开发决策中的重要因素。规划过程以及海岛开发方案的制定中, 应尽可能通过改进开发方式, 采取有效的生态环境防治措施等, 最大限度降低生态环境不利影响, 使开发策略不断趋于优化, 提高决策的可行度。(2) 本文建立的 4 层 10 指标 2 方案综合决策系统能够客观体现系统要素的全面影响, 适用于各类生态敏感海岛/沙洲的开发决策, 具有一定的科学性和实用价值。

3 结论

采用层次分析法, 建立了适用于各类生态敏感海岛/沙洲开发的综合评价、决策系统, 科学、实用; 将该系统成功应用于江苏沿海开发规划环评中, 有效指导了江苏沿海开发规划中前三岛、西太阳沙的开发决策。研究表明, 经济效益和生态环境影响是海岛开发决策系统中的重要因素, 需在着重提高开发产生的经济效益的同时, 最大限度地降低可能带来的生态环境影响, 提高决策的可行度。同时, 海岛的开发是一个复杂多变的系统, 模型在实用过程中尚需要根据实际开发效果, 不断完善评价指标体系, 并对指标权重进行科学优化, 不断提升决策系统的科学性和合理性。

参考文献:

- [1] Whittaker R J, Fernández-Palacios J M. Island Biogeography, Ecology, Evolution, and Conservation seconded [M]. Oxford: Oxford University Press, 2007: 290-322.
- [2] Juli C C, Alan T. Conservation of oceanic island floras: present and future global challenges [J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2010: 107-129.
- [3] 中华人民共和国海岛保护法[M]. 北京: 中国法制出版社, 2009: 1-19.
- [4] 韩秋影, 黄小平, 施平. 我国海岛开发存在的问题及对策研究[J]. 湛江海洋大学学报, 2005, 25(5): 7-9.

- [5] Kahraman C, Cebeci U, Ruan D. Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP:the case of Turkey [J]. International Journal of Production Economics, 2004, 87(2):171-184.
- [6] Yurdakul M. AHP as a strategic decision-making tool to justify machine tool selection [J]. International Journal of Production Economics, 2004, 146(3): 365-376.
- [7] 王桂琴, 罗一鸣, 李国学,等.基于层次分析法的城市生活垃圾收运模式优选 [J].中国环境科学, 2008, 28(9): 838-842.
- [8] 蒋欣, 钱瑜, 张玉超, 等. 层次分析法在规划环评中的应用——以太仓市沿江地区规划为例 [J]. 环境保护科学, 2005, 31(130): 61-63,70.
- [9] 曾得峰, 姚军, 龙翔宇, 等. 基于改进 AHP 的坝王河水电规划环境影响评价研究[J]. 水利规划与设计, 2008, 4: 63-70.
- [10] 海热提, 王文兴. 生态环境评价、规划与管理 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [11] 赵焕臣, 许树柏, 和金生.层次分析法 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.

Development decision of ecologically sensitive island based on analytic hierarchy process——A case on environmental impact assessment of development planning in Jiangsu coastal areas

ZHOU Jia-yan, LI Bing, HUANG Xia-yin, GAO Ming, WANG Shui

(Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Nanjing 210036, China)

Received: Aug., 4, 2010

Key words: analytic hierarchy process; island; decision of the exploitation; plan environmental impact assessment

Abstract: To make the decision of ecologically sensitive island development easier, a comprehensive evaluation system was established using the analytic hierarchy process (AHP). In this system, the impacts of economic, social, and ecological environmental were considered, and 10 indicators on four levels were constructed to produce two action plans. Using the system, we investigated the development decision of Qiansandao Island and Xitaiyangsha Cay. The results showed that the system could reflect the impact of various elements. The results had an important significance for decision of ecologically sensitive island development.

(本文编辑: 刘珊珊)