

Doi :10. 11840/j. issn. 1001-6392. 2014.04. 003

基于 AHP 和 EWCM 的部分南沙岛礁战略价值模糊综合评价

张荷霞¹, 刘永学², 李满春², 赵赛帅¹, 程亮¹

(1. 南京大学 江苏省地理信息技术重点实验室, 江苏 南京 210023; 2. 中国南海研究协同创新中心, 江苏 南京 210023)

摘 要:以模糊综合评价法为基础, 构建岛礁战略价值评价指标体系与综合评价模型, 采用层次分析法确定权重系数, 运用熵权系数法进行权重修正, 通过矩阵运算, 定量评价马欢岛、费信岛、南钥岛、中业岛、北子岛、西月岛、双黄沙洲和司令礁 8 个岛礁的战略价值, 为我国制定海洋发展战略、区域行动计划提供科技支撑和辅助决策。结果表明, 一级评价指标的权重由高到低依次为自然条件、建设情况、地理位置、资源控制、战略潜力; 二级评价指标中权重较高的有礁盘面积、平均高程、淡水资源、陆地距离、航线距离、辐射岛礁数、机场、建筑、人口; 参与评价的南沙岛礁战略价值呈明显的梯度分布特征, 中业岛最高, 马欢岛次之, 北子岛、西月岛、司令礁较低, 费信岛、南钥岛、双黄沙洲最低。

关键词:南沙岛礁; 战略价值; 层次分析法; 熵权系数法; 模糊综合评价法

中图分类号: P722.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-6932(2014)04-0377-06

Fuzzy Comprehensive Evaluation of the strategic value for several reefs in the Spratly Islands based on AHP and EWCM

ZHANG He-xia¹, LIU Yong-xue², LI Man-chun², ZHAO Sai-shuai¹, CHENG Liang¹

(1. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

2. Collaborative Innovation Center for the South China Sea Studies, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: The research, using the Fuzzy Comprehensive Evaluation to establish the evaluation index system and fuzzy evaluation model, using the Analytic Hierarchy Process and Entropy Weight Coefficient Method to determine and correct the weight coefficient, quantitatively evaluated the strategic value of Mahuan Island, Feixin Island, Nanyao Island, Zhongye Island, Beizi Island, Xiyue Island, Shuanghuang Shoal and Siling Reef, which provided reference for formulating ocean developmental strategy and regional action plan. Results show that, the order about the weight coefficients of the first grade evaluation indexes from high to low is natural condition, construction situation, geographical position, resource control and strategic potential. Among the second grade evaluation indexes, the weight coefficients of reef area, average elevation, freshwater resources, mainland distance, route distance, radiating capacity, airport, building and population are higher. The strategic value of the islands and reefs in this study presents a significant gradient distribution characteristic, Zhongye Island is the highest, Mahuan Island is the higher, Beizi Island, Xiyue Island and Siling Reef are the lower, Feixin Island, Nanyao Island and Shuanghuang Shoal are the lowest.

Keywords: reefs in the Spratly Islands; strategic value; AHP; EMCW; FCE

收稿日期: 2013-06-18; 修订日期: 2013-09-22

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (2012AA12A406); 新世纪优秀人才支持计划 (NCET-12-0264)。

作者简介: 张荷霞 (1989-), 女, 江苏张家港人, 硕士研究生, 主要从事海洋遥感与 GIS 研究。电子邮箱: heskia717@hotmail.com。

通讯作者: 刘永学 (1976-), 男, 江苏扬州人, 博士, 教授, 主要从事遥感科学应用与 GIS 研究。电子邮箱: yongxue@nju.edu.cn。

<http://hytb.nmdis.gov.cn>

21 世纪是海洋世纪。海洋作为国际政治、经济、军事的斗争舞台，已成为世界格局中提高国家地位、增强外交发言权的重要领域。目前，随着经济全球化和区域一体化的深入发展，以争夺海洋资源、控制海洋空间、抢夺海洋科技“制高点”为主要特征的现代国际海洋权益斗争，呈现出日益加剧的趋势。

南海作为联系三大洲、沟通两大洋的重要枢纽(乔芬, 2010)，不仅是中国国家安全的天然屏障与战略通道，而且是我国未来的能源接续区与资源基地，同时也是地缘政治与经济问题的多发区域。南沙群岛地处南海要冲，蕴藏丰富的海洋资源，具有重要的战略地位，周边国家都力图以其为依托扩大战略纵深(罗迪民, 2003)，是中国国家海洋权益最为集中的区域。因此，合理应对与解决南沙争端，有效利用与开发南海资源，关乎我国海洋强国战略的核心利益。

面向我国海洋权益维护、资源能源开发、区域和平发展的战略需求，研究以马欢岛、费信岛、南钥岛、中业岛、北子岛、西月岛、双黄沙洲和司

令礁为评价对象，结合层次分析法、熵权系数法和模糊综合评价法，从自然条件、地理位置、资源控制、战略潜力和建设情况 5 个方面出发，对南沙岛礁的战略价值进行定量评价，以期为国家制定海洋发展战略、区域行动计划提供科学决策支持。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

南沙群岛位于 $3^{\circ} 36' - 11^{\circ} 57' N, 109^{\circ} 06' - 117^{\circ} 50' E$ ，北距中国西沙群岛约 750 km，南距马来西亚沙捞越海岸约 160 km，东距菲律宾巴拉望岛约 100 km，西距越南海岸约 650 km，南北长约 1 000 km，东西宽约 800 km，海域面积约 $82 \times 10^4 \text{ km}^2$ (刘宝银, 1996)。南沙群岛主要由约 230 个岛、礁、滩、沙洲组成，岛礁面积近 20 km^2 ，是南海诸岛中分布最多、范围最广的珊瑚礁群，最北为雄南礁，最南为曾母暗沙，最东为海马滩，最西为万安滩(图 1) (赵焕庭, 1996)。

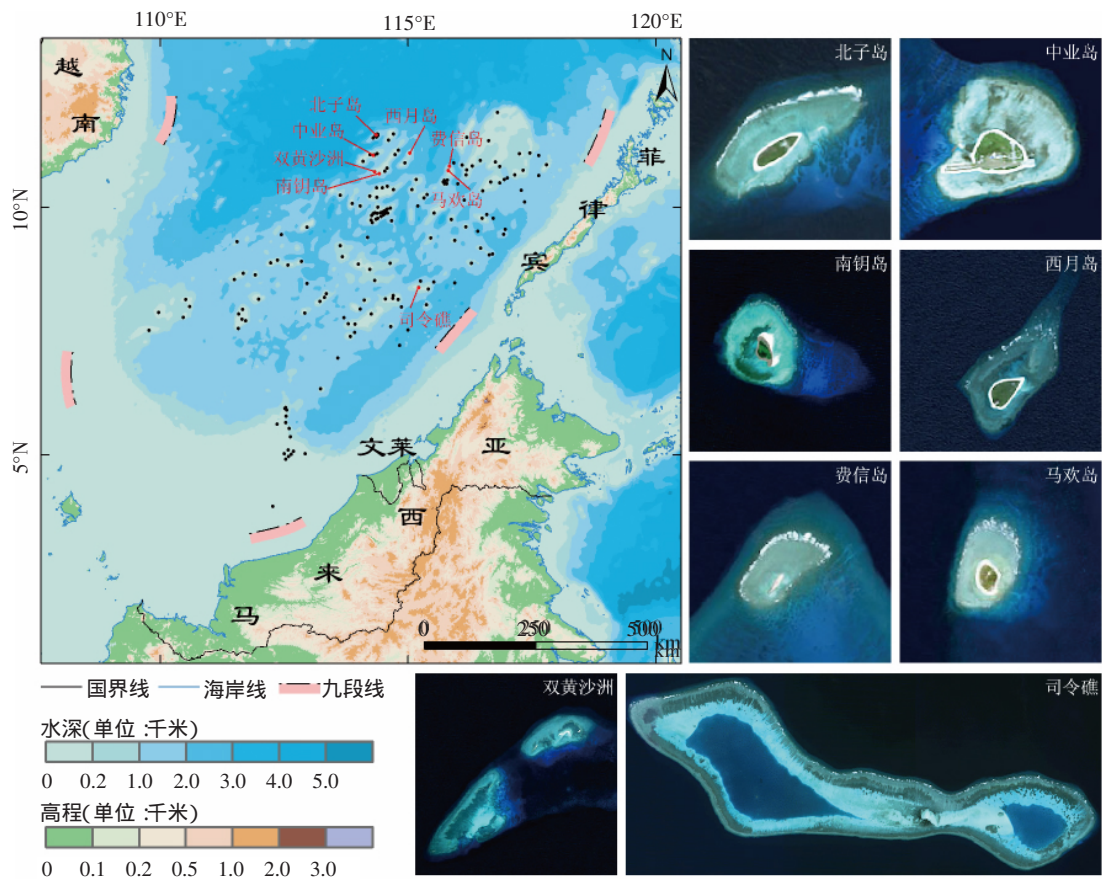


图 1 研究区位置与遥感影像

研究选取南沙群岛中的马欢岛、费信岛、南钥岛、中业岛、北子岛、西月岛、双黄沙洲和司令礁 8 个岛礁 (表 1) 进行评价。北子岛、中业岛、南钥岛、西月岛、费信岛、马欢岛和双黄沙洲集中于南沙群岛北部, 司令礁位于南沙群岛东部, 构成了从北子岛到司令礁约 350 km 的岛链区。其中, 中业岛是南沙群岛第二大岛; 西月岛是南沙群岛第三大岛; 北子岛是南沙群岛第五大岛; 南钥岛是南沙群岛中海拔最低的岛屿。

表 1 参与评价的南沙岛礁信息

名称	地理位置
北子岛	11°27'40"N, 114°20'05"E
费信岛	10°49'00"N, 115°49'30"E
马欢岛	10°44'00"N, 115°48'00"E
南钥岛	10°40'20"N, 114°25'20"E
西月岛	11°05'00"N, 115°00'00"E
中业岛	11°03'40"N, 114°16'20"E
司令礁	8°22'00"N, 115°13'00"E
双黄沙洲	10°43'20"N, 114°20'40"E

1.2 数据

研究主要采用以下数据:

(1) 国界线、海岸线、九段线等矢量数据, 来源于星球地图出版社 2012 年出版的《中华人民共和国海南省三沙市地图》。

(2) 水深、高程等栅格数据, 来源于英国海洋数据中心 (British Oceanographic Data Centre, BODC), 分辨率为 30"×30"。

(3) 岛礁面积、礁盘面积、潟湖面积、平均高程、淡水资源、锚地状况等自然条件数据与建筑、人口、码头、机场等建设情况数据, 引自相关调查报告 (广东省地名委员会, 1987; 中国科学院南沙综合科学考察队, 1989; 南沙海域环境质量研究专题组, 1996; 海洋发展战略研究所课题组, 2010; 金庆焕, 1989; 刘宝银, 2002; 刘振湖, 2003; 李永振, 2007)。

(4) 陆地距离、航线距离、海峡距离等地理位置数据, 通过 ArcGIS 距离量算工具获取。辐射岛礁数等战略潜力数据, 通过 ArcGIS 缓冲分析工具获取。油气盆地距离、钻井平台距离、渔区距离、铁锰结核距离、黄铁矿距离、有用重金属距离等资源控制数据, 根据资源储量, 对各资源区赋予权重, 通过 ArcGIS 空间分析工具, 获取岛礁到各资源区的综合加权距离。

2 方法

研究以模糊综合评价法 (Fuzzy Comprehensive Evaluation, 简称 FCE) 为基础, 构建岛礁战略价值评价指标体系与综合评价模型, 采用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 确定权重系数, 运用熵权系数法 (Entropy Weight Coefficient Method, 简称 EWCM) 进行权重修正, 通过矩阵运算, 得到参与评价的 8 个南沙岛礁战略价值综合评价结果 (图 2)。

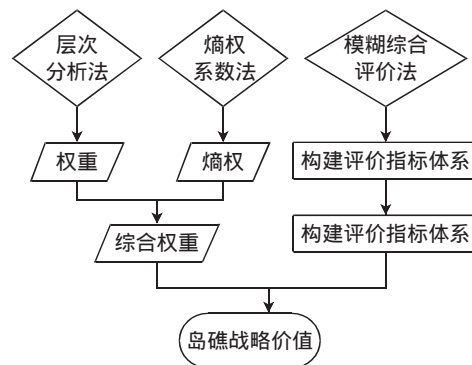


图 2 技术流程

2.1 指标体系建立

岛礁战略价值涉及自然条件、地理位置、资源控制、战略潜力与建设情况等因素, 研究从数据的易获取性、准确性和有效性出发, 选取与岛礁战略价值相关的 20 个因子, 建立了较为完备的指标体系 (图 3)。

2.2 综合评价模型

根据评价指标体系的层次结构, 研究构建了二级评价模型。

一级评价模型是以二级评价指标 U_{ij} ($i=1, 2, \dots, 5; j=1, 2, \dots, n; n=1, 3, 4, 6$) 为基础, 建立在一级评价指标 U_i 上, 即 $U_{ij} \rightarrow U_i$ 的评价模型。

研究共有 8 个待评价岛礁, 假设二级评价指标 U_{ij} 在第 k 个岛礁上的调查数据为 $u_{ij}^{(k)}$ ($k=1, 2, \dots, 8$)。

若 U_{ij} 是越大越优型, 如岛礁面积、平均高程、辐射岛礁数、建筑、人口等, 则

$$a_{ij}^{(k)} = \frac{[u_{ij}^{(k)} - \min_k u_{ij}^{(k)}]}{\min_k u_{ij}^{(k)} - \min_k u_{ij}^{(k)}} \quad (1)$$

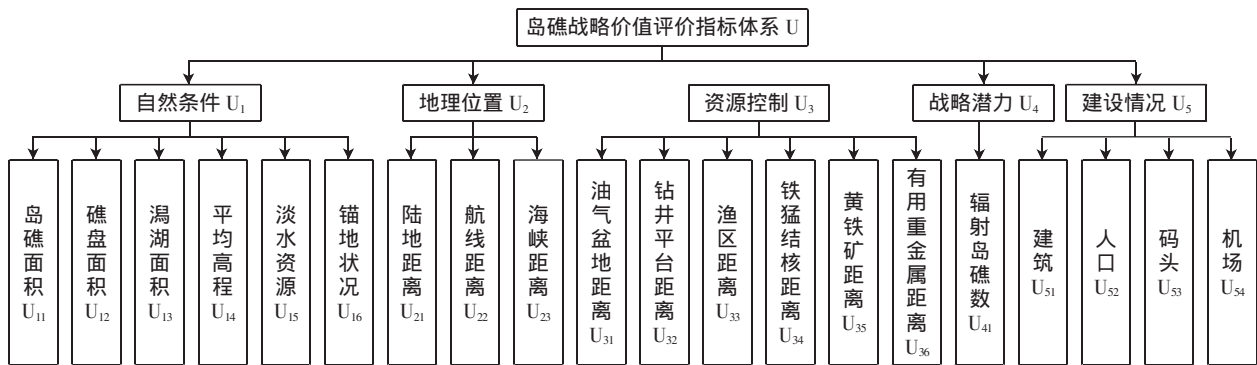


图 3 岛礁战略价值评价指标体系

若 U_{ij} 是越小越优型，如陆地距离、航线距离、油气盆地距离、渔区距离等，则

$$a_{ij}^{(k)} = \frac{\left[\min_k u_{ij}^{(k)} - u_{ij}^{(k)} \right]}{\min_k u_{ij}^{(k)} - \min_k u_{ij}^{(k)}} \quad (2)$$

式中： $a_{ij}^{(k)}$ 为就二级评价指标 U_{ij} 而言，第 k 个岛礁的战略价值隶属度。

进而，得到一级评价指标 U_i 的隶属度矩阵 A_i 。

$$A_i = \begin{pmatrix} a_{i1}^{(1)} & a_{i1}^{(2)} & \cdots & a_{i1}^{(8)} \\ a_{i2}^{(1)} & a_{i2}^{(2)} & \cdots & a_{i2}^{(8)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{in}^{(1)} & a_{in}^{(2)} & \cdots & a_{in}^{(8)} \end{pmatrix} \quad (3)$$

在一级评价指标 U_i 中，如果各评价指标的权重分配为 $W_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in})$ ，通过公式可得一级评价结果 V_i 。

$$V_i = W_i \cdot A_i = (v_i^{(1)}, v_i^{(2)}, \dots, v_i^{(8)}) \quad (4)$$

式中： $v_i^{(k)}$ 为就一级评价指标 U_i 而言，第 k 个岛礁的战略价值隶属度。

二级评价模型是以一级评价指标 U_i 为基础，建立在岛礁战略价值指标体系 U 上，即 $U_i \rightarrow U$ 的评价模型。

在岛礁战略价值指标体系 U 中，如果一级评价指标 U_i 的权重分配为 $W = (w_1, w_2, \dots, w_5)$ ，则在一级评价模型计算结果的基础上，可得二级评价模型的结果 V ，即综合评价结果。

$$V = W \cdot A = (v^{(1)}, v^{(2)}, \dots, v^{(8)}) \quad (5)$$

式中： $A = (V_1, V_2, V_3, V_4, V_5)^T$ ， $v^{(k)}$ 为就岛礁战略价值评价指标体系 U 而言，第 k 个岛礁的战略价值隶属度。

2.3 权重系数确定

对于各级评价指标的权重系数，一般通过专家打分，采用 AHP 方法确定，其主观性强，忽略了因子的相关性。因此，研究在 AHP 方法的基础上，运用 EWCM 方法进行权重修正，以消除人为干扰，使评价结果更具合理性。

AHP 方法由美国运筹学家 T. L. Saaty 于 20 世纪 70 年代提出，是一种定性定量相结合的决策分析方法 (Saaty, 1978)。其基本思路是通过对评价指标的两两判别，构建判断矩阵，计算判断矩阵的最大特征值和特征向量，对特征向量进行归一化处理，确定指标权重，并对权重的判断矩阵进行一致性检验 (许树伯, 1988)。

研究中，权重系数的确定，需要从上至下逐层进行。

首先，根据评价指标体系，构造 $U \rightarrow U_i$ 判断矩阵、 $U_1 \rightarrow U_{ij}$ 判断矩阵、 $U_2 \rightarrow U_{2j}$ 判断矩阵、 $U_3 \rightarrow U_{3j}$ 判断矩阵与 $U_5 \rightarrow U_{5j}$ 判断矩阵。

然后，根据 $U \rightarrow U_i$ 判断矩阵，计算一级评价指标 U_i 对 U 的相对权重 w_i 。根据 4 个 $U_i \rightarrow U_{ij}$ 判断矩阵，分别计算二级评价指标 U_{ij} 对 U_i 的相对权重 w_j^i 。

最后，通过运算，得到评价指标 U_{ij} 的权重 w_{ij}^i 。

$$w_{ij}^i = w_i \cdot w_j^i \quad (6)$$

EWCM 方法通过熵来度量评价指标所蕴含的信息量，根据重要程度确定权重 (Mon et al, 1994)。其基本思想是评价指标的偏差程度越大，则熵值越小，熵权越大 (邱宛华, 2002)。

研究中，评价指标 U_{ij} 下第 k 个岛礁的比重 $p_{ij}^{(k)}$ 为：

$$p_{ij}^{(k)} = \frac{a_{ij}^{(k)}}{\sum_{k=1}^8 a_{ij}^{(k)}} \quad (7)$$

评价指标 U_{ij} 的输出熵 e_{ij} 为：

$$e_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^8 p_{ij}^{(k)} \ln(p_{ij}^{(k)})}{\ln(8)} \quad (8)$$

评价指标 U_{ij} 的偏差度 d_{ij} 为：

$$d_{ij} = 1 - e_{ij} \quad (9)$$

评价指标 U_{ij} 的熵权 μ_{ij} 为：

$$\mu_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum d_{ij}} \quad (10)$$

研究将 AHP 方法所得权重 w_{ij} 和 EMCW 方法所得熵权 μ_{ij} 相结合，得到综合权重 w'_{ij} 。

$$w'_{ij} = \frac{\mu_{ij} w_{ij}}{\sum \mu_{ij} w_{ij}} \quad (11)$$

3 结果与分析

3.1 评价指标体系权重

研究采用 AHP 方法确定评价指标权重，并运用 EMCW 方法进行权重修正，得到南沙岛礁战略价值评价指标的权重（表 2）。

由表 2 可知，在一级评价指标中，权重从高到低依次为自然条件、建设情况、地理位置、资源控制、战略潜力。其中，在自然条件中，礁盘面积、平均高程和淡水情况反映了岛礁的自身条件与发展潜力，是岛礁建设的关键，较为重要；在建设情况中，机场、建筑和人口反映了国家对岛礁的实际控制能力，是岛礁占领的关键，较为重要；在地理位置中，陆地距离和航线距离反映了国家对岛礁的可达性控制能力，是岛礁补给的关键，较为重要。此外，资源控制反映了岛礁对海洋资源的获取能力，战略潜力反映了岛礁对周围环境的辐射能力，分别是国家控制岛礁的目的与意义所在。

3.2 岛礁战略价值综合评价结果

研究根据 FEC 方法，结合综合评价模型与综合权重，得到南沙岛礁战略价值综合评价结果（表 3），由高到低依次为中业岛、马欢岛、北子岛、西月岛、司令礁、费信岛、南钥岛、双黄沙洲。

定量化的评价结果揭示了南沙岛礁战略价值差异性：

表 2 岛礁战略价值评价指标体系权重

一级评价指标及权重		二级评价指标及权重		综合权重
自然条件	0.325	岛礁面积	0.122	0.040
		礁盘面积	0.251	0.082
		潟湖面积	0.114	0.037
		平均高程	0.222	0.072
		淡水资源	0.219	0.071
		锚地状况	0.072	0.023
		陆地距离	0.528	0.114
地理位置	0.215	航线距离	0.333	0.072
		海峡距离	0.139	0.030
		油气盆地距离	0.196	0.019
资源控制	0.099	钻井平台距离	0.184	0.018
		渔区距离	0.176	0.017
		铁锰结核距离	0.168	0.017
		黄铁矿距离	0.143	0.014
		有用重金属距离	0.133	0.013
		辐射岛礁数	1.000	0.078
战略潜力	0.078	建筑	0.266	0.075
		人口	0.208	0.059
建设情况	0.283	码头	0.109	0.031
		机场	0.417	0.118

表 3 岛礁战略价值综合评价结果

岛礁名称	战略价值
北子岛	49.88
费信岛	35.45
马欢岛	64.17
南钥岛	29.21
西月岛	48.46
中业岛	91.19
司令礁	42.74
双黄沙洲	28.75

(1) 中业岛的综合评价结果为 91.19，是参与评价的南沙岛礁中战略价值最高的岛礁。自然条件优良，可达性较强，辐射能力较强，对油气资源、渔业资源、铁锰结核资源、黄铁矿资源和有用重金属资源的控制能力强。目前，岛上驻军约 40 人，渔民约 220 人，建有 1 座军用机场、1 座瞭望塔、2 座高射机枪等军用建筑以及 1 所“市政厅”与“选举办公室”、1 家商店、多座民居等民用建筑，岛礁建设最为完善。

(2) 马欢岛的综合评价结果为 64.17，是参与评价的南沙岛礁中战略价值第二高的岛礁。自然条件良好，可达性强，辐射能力较强，对渔业资源和铁锰结核资源的控制能力强。目前，岛上驻军约 20 人，建有 1 座小型机场、房屋若干，岛礁建设较为完善，仅次于中业岛。

(3) 北子岛、西月岛、司令礁的综合评价结果为 40~50 之间，是参与评价的南沙岛礁中战略价

值较低的岛礁。三者的自然条件良好,其中,北子岛可达性较强,辐射能力强,对油气资源、渔业资源、铁锰结核资源、黄铁矿资源和有用重金属资源的控制能力强,岛礁建设情况较差;西月岛可达性强,辐射能力弱,对渔业资源和铁锰结核资源的控制能力强,岛礁建设情况较好;司令礁可达性弱,辐射能力较弱,对油气资源的控制能力强,岛礁建设情况较好。

(4) 费信岛、南钥岛、双黄沙洲的综合评价结果均低于 40,是参与评价的南沙岛礁中战略价值最低的岛礁。三者的自然条件与建设情况均较差,其中,费信岛可达性强,辐射能力较弱,对渔业资源和铁锰结核资源的控制能力强;南钥岛可达性较弱,辐射能力较强,对油气资源、渔业资源、黄铁矿资源和有用重金属资源的控制能力强;双黄沙洲可达性较弱,辐射能力较弱,对油气资源、渔业资源、黄铁矿资源和有用重金属资源的控制能力强。

4 结论与展望

4.1 结论

研究从自然条件、地理位置、资源控制、战略潜力和建设情况 5 个方面出发,采用 FCE 方法构建评价指标体系与综合评价模型,通过 AHP 方法和 EWCM 方法确定权重系数,对马欢岛、费信岛、南钥岛、中业岛、北子岛、西月岛、双黄沙洲和司令礁 8 个南沙岛礁战略价值进行定量评价,直观地反映了岛礁战略价值的差异性,得到了较为准确的评价结果,具有一定的参考价值。

(1) 在评价指标体系中,一级评价指标的权重由高到低依次为自然条件、建设情况、地理位置、资源控制、战略潜力。二级评价指标权重较高的有:礁盘面积、平均高程、淡水资源,反映岛礁的自身条件与建设潜力;陆地距离、航线距离,反映岛礁的可达性与补给能力;辐射岛礁数,反映岛礁对周围环境的辐射状况;机场、建筑、人口,反映岛礁的实际控制情况。

(2) 参与评价的 8 个南沙岛礁的战略价值呈明显的梯度分布特征。其中,中业岛的战略价值最高,为 91.19;马欢岛的战略价值次之,为 64.17;北子岛、西月岛、司令礁的战略价值较低,介于 40~50 之间;费信岛、南钥岛、双黄沙洲的战略价

值最低,均低于 40。

4.2 展望

由于现阶段南沙局势的复杂性,实地调查工作困难重重,很多资料陈旧、缺失、不完整,尤其是南沙岛礁的自然条件数据与建设情况数据,往往只能依据卫星遥感资料进行分析,导致引用数据与实际情况可能存在一定误差。因此,加大对南沙群岛基础科学的调查力度,是南沙群岛自然地理研究的当务之急,也是维护国家海洋权益和主权完整的迫切需要。

在指标体系与评价模型的构建过程中,受到主观认知和数据获取的限制,可能造成对一些重要影响因子的忽视或重视不足,降低评价结果的精度。因此,研究拟进一步规范评价指标体系,完善综合评价模型,以更加全面、准确地对南沙岛礁进行战略价值评价,为国家制定海洋发展战略、区域行动计划提供辅助决策支持。

参 考 文 献

- Mon D L, Cheng C H, Lin J C, 1994. Evaluating weapon system using fuzzy analytic hierarchy process based on entropy weight. *Fuzzy Sets and Systems*, 62(2): 127-134.
- Saaty T L, 1978. Modeling unstructured decision problems theory of analytical hierarchies. *Mathematics and Computers in Simulation*, 20(3): 147-157.
- 广东省地名委员会, 1987. 南海诸岛地名资料汇编. 广州: 广东省地图出版社.
- 海洋发展战略研究所课题组, 2010. 中国海洋发展报告 2010. 北京: 海洋出版社.
- 金庆焕, 1989. 南海地质与油气资源. 北京: 地质出版社.
- 李永振, 2007. 南海珊瑚礁鱼类资源. 北京: 海洋出版社.
- 刘宝银, 1996. 南沙群岛·东沙群岛·澎湖列岛. 北京: 海洋出版社.
- 刘宝银, 2002. 南沙群岛遥感融合信息特征分析与计量. 北京: 海洋出版社.
- 刘振湖, 2003. 南沙海域沉积盆地与油气地质条件. *南海地质研究*, (00): 35-45.
- 罗迪民, 2003. 中国在南沙群岛的主权 挑战与对策. 湘潭大学.
- 南沙海域环境质量研究专题组, 1996. 南沙群岛及其邻近海域环境质量研究. 北京: 海洋出版社.
- 乔芬, 2010. 中菲南海争端及对策研究. 河北师范大学.
- 邱宛华, 2002. 管理决策与应用熵学. 北京: 机械工业出版社.
- 许树伯, 1988. 层次分析法原理. 天津: 天津出版社.
- 赵焕庭, 1996. 南沙群岛自然地理. 北京: 科学出版社.
- 中国科学院南沙综合科学考察队, 1989. 南沙群岛及其邻近海区综合调查研究报告(一). 北京: 科学出版社.

(本文编辑: 袁泽轶)