

基于 AHP-熵权法的海洋划界方案 评估系统设计与实现

徐 敏, 王 静, 赖正清, 杜 雯, 王 露

(南京师范大学海洋科学与工程学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] 海洋划界是为海岸相邻或相向国家之间划分领海、专属经济区和大陆架边界的行为。由于海洋划界受多方面因素影响,各涉界国家所考虑的因素不同,提出的海洋划界主张也有差别。因此,针对不同划界主张下提出的多种划界方案进行定量评估成为必要。研究基于 AHP-熵权法构建海洋划界方案综合评估决策模型,研发海洋划界方案评估系统,包含评估指标选取、指标权重设定、定性指标辅助打分、划界方案参数可视化与评估结果可视化等功能,实现从海洋划界 GIS 系统中读取海洋划界方案参数进行划界方案的定量评估。该海洋划界方案综合评估模型及系统,可用于国内外海洋划界决策,可根据划界海域的特点,从系统中选取适宜的指标,对多个划界方案进行评估,从而为划界方案决策提供依据。

[关键词] 海洋划界,评估模型,层次分析法,熵权法,软件系统

[中图分类号] P741 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2021)04-0040-07

Design and Implementation of Marine Delimitation Plan Evaluation System Based on AHP-entropy Method

Xu Min, Wang Jing, Lai Zhengqing, Du Wen, Wang Lu

(School of Marine Science and Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Maritime delimitation is the act of dividing the territorial sea, exclusive economic zone and continental shelf boundaries between adjacent or facing countries on the coast. As maritime delimitation is affected by many factors, which are considered differently by different countries involved in the maritime boundary delimitation, the maritime delimitation claims they put forward are also different. As a consequence, quantitatively evaluating the various delimitation schemes proposed under different delimitation claims becomes necessary. Based on the AHP-entropy method, the comprehensive evaluation and decision-making model of marine delimitation plans, this research develops a marine demarcation plan evaluation system. This system includes functions such as evaluation index selection, index weight setting, qualitative index assisted scoring, parameters and results visualization. It realizes the quantitative evaluation of the marine delimitation plan by reading the marine delimitation plan parameters from the marine delimitation GIS system. The comprehensive evaluation model and system of the marine delimitation plan can be used for domestic and foreign marine delimitation decisions. Users can select appropriate indicators from the system to evaluate multiple marine delimitation plans according to the characteristics of the sea area, so as to provide a basis for delimitation plan decision-making.

Key words: maritime delimitation, evaluation model, analytic hierarchy process (AHP), entropy method, software system

海洋占据着广袤的面积,拥有丰富的自然资源,随着科学技术的发展及各个国家海权意识的增强,海洋在国家经济与战略中的地位越来越高,海洋争端也进入了新的时期^[1-3]。其中,海洋划界成为沿海国之间亟待解决的问题。1982年颁布的《联合国海洋法公约》是目前国际司法机构判决海洋划界的主要依据,《公约》虽明确了专属经济区和大陆架的定义、概念及范围,但对于划界问题缺少具体说明,导致解决实际划界问题时困难重重^[4-6]。

收稿日期:2021-05-18.

基金项目:国家重点研发计划课题项目(2017YFC1405505)、江苏省海洋科技创新项目(JSZRHYKJ202002)、江苏自然资源智库合作项目(ZK202010)。

通讯作者:徐敏,博士,教授,研究方向:自然地理学及海洋资源环境与开发。E-mail:xumin0895@njnu.edu.cn

海洋划界受多方面因素影响,包括自然条件因素、历史遗留因素、自然资源因素、社会经济因素、政治、安全等其他因素^[7-9]。这些因素是涉界方提出划界主张所考虑的因素,也是涉界方衡量划界方案是否合意的重要因素。海洋划界过程是一个涉及到多种因素的实际问题。实际情况中,决策者往往都是在遵守划界法理的基础上,争取最大利益^[10-11]。如何判断方案线的影响程度,如何选择更有利的方案线,这就需要对每条方案线进行评估与比较,进而给出量化数据,便于决策者判断与选择^[12-13]。

目前,我国国内在海洋划界的法理方面和方法论方面的研究比较深入,成果云集,但缺乏在海洋划界方案评价方面的研究。在陆地边界领域内有极少对划界方案评价的研究,具有代表性的是武丽丽等^[14-15]提出的一种基于六角格方法的方案线综合评价技术。通过六角格模型与传统方法分别划定方案,从利益分配综合评价和区域重要性评价两个方面,统计并比较分析双方在格网内的面积及资源属性值,建立一个二级三层的综合评价指标体系结构,从自然资源、人文资源和划界潜在影响三个方面,进一步细分出 16 项指标,应用 AHP-模糊评价法进而得出一条或多条方案线综合结果。此外,李四海等^[16]设计了一个省际间海域勘界方案线评估模块,分别计算划界双方在同一划界方案下各自获得海岸线长度与海域面积,同时,加以考虑海岸的形状、岸线长度、经济因素、资源因素、历史沿革等因素,调整临时线并进行公平性检验,使最终结果尽可能公平。

陆地边界问题和海洋划界问题有异曲同工之处,陆地边界评价的研究对本文海洋划界方案评价研究具有重要的借鉴意义。本研究基于 AHP-熵权法构建海洋划界方案线综合评估决策模型^[17-19],研发海洋划界方案评估系统,实现从海洋划界决策支持系统中读取海洋划界方案参数与标准化参数进行划界方案的定量评估。

1 海洋划界方案评估方法

1.1 指标体系

通过对海洋划界影响因素的分析,衡量划界方案的优劣可从划界方案对资源因素、社会经济因素,以及所产生的预期效果来进行综合比选。建立一个二级 3 层结构的海洋划界综合评价指标体系(如图 1 所示),该指标体系包括海洋资源因素、社会经济因素和预期效果 3 个一级指标,以及各一级指标对应的若干二级指标。海洋资源包括海域面积、渔业资源、矿产和油气资源等二级指标,社会经济包括社会稳定和交通状况等二级指标,预期效果包括对方可接受度、可持续发展能力和安全影响评价等二级指标。海域面积、渔业资源、矿产资源、油气资源、社会稳定和交通状况等属于定量评价指标,对方可接受度、可持续发展能力和安全影响等属于定性评价指标。

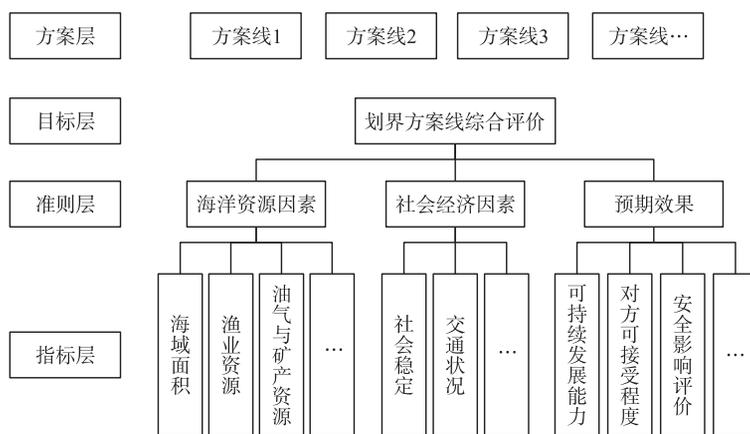


图 1 海洋划界方案评估指标体系

Fig. 1 Evaluation index system for the marine delimitation plan

1.2 计算方法

1.2.1 指标计算

(1) 定量指标

对于定量指标,在海洋基础地理数据库的基础上,运用 GIS 技术,定量计算各方案内资源量或资源区面积。

(2) 定性指标

对定性指标采取层次分析法进行计算,针对不同方案中的某一定性指标,进行两两比较:假如研究中确定 3 个划界方案,分别为方案 1、方案 2、方案 3,对于这 3 个方案,进行两两比较孰优孰劣,将定性指标定量化.通过构建专家打分判断矩阵计算特征向量,得到所有划界方案各定性指标的数值(如表 1 所示).

表 1 判断矩阵标度准则

Table 1 Judgment matrix scaling criteria

标度	含义	标度	含义
1	方案 m 和方案 n 同样好	1/3	方案 m 比方案 n 稍劣
3	方案 m 比方案 n 稍优	1/5	方案 m 比方案 n 明显劣
5	方案 m 比方案 n 明显优	1/7	方案 m 比方案 n 强烈劣
7	方案 m 比方案 n 强烈优	1/9	方案 m 比方案 n 极端劣
9	方案 m 比方案 n 极端优	2, 4, 6, 8, 1/2, 1/4, 1/6, 1/8	上述相邻判断的中间值

1.2.2 权重计算

(1) 计算主权重

通过专家辅助打分采用层次分析法计算各海洋划界方案评估指标的主权重.将准则层的 3 个指标两两进行比较,通过专家打分并用德尔菲法求取均值,构建准则层相对于目标层的权重判断矩阵,计算其对应的特征向量;进一步构建指标层相对于准则层的权重判断矩阵并计算其特征向量;通过一致性检验得到各项指标对应的主权重.

(2) 计算客权重

通过熵权法计算各海洋划界方案评估指标的主权重.根据各海洋划界方案线对海域的划分结果,计算每一项指标在各海洋划界方案参数所占比重,通过熵值、信息熵冗余度计算,获得各指标的客权重.计算公式如下:

$$w_j'' = \frac{1 - e_j}{m - \sum_{j=1}^m e_j}, \quad j = 1, \dots, m.$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}), \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m.$$

式中, w_j'' 为指标 j 的客权重, e_j 为指标 j 的熵值, p_{ij} 为划界方案 i 的指标 j 的值在所有划界方案中所占的比重, m 为评估指标的数量, n 为海洋划界方案的数量.

(3) 综合权重计算

综合熵权法计算的客权重和层次分析法计算的主权重,计算获得综合权重,计算公式为:

$$w_j = \frac{w_j' w_j''}{\sum_{j=1}^m w_j' w_j''}.$$

式中 w_j 为指标 j 的综合权重, w_j' 为通过层次分析法计算指标 j 的主权重, w_j'' 为通过熵权法计算指标 j 的客权重, m 为评估指标的数量.

1.2.3 综合评价

在计算出各定量和定性指标数值和权重的基础上,运用加权和合成运算,得到各方案综合评价值,对各划界方案进行综合排序,选出相对较优的方案.

2 海洋划界方案评估系统设计

2.1 系统总体架构

海洋划界方案评估系统由划界方案输入和方案评价及可视化两大功能模块组成,系统数据流图如图 2 所示.实现从海洋划界 GIS 系统中读取海洋划界方案参数并进行划界方案的定量评估.

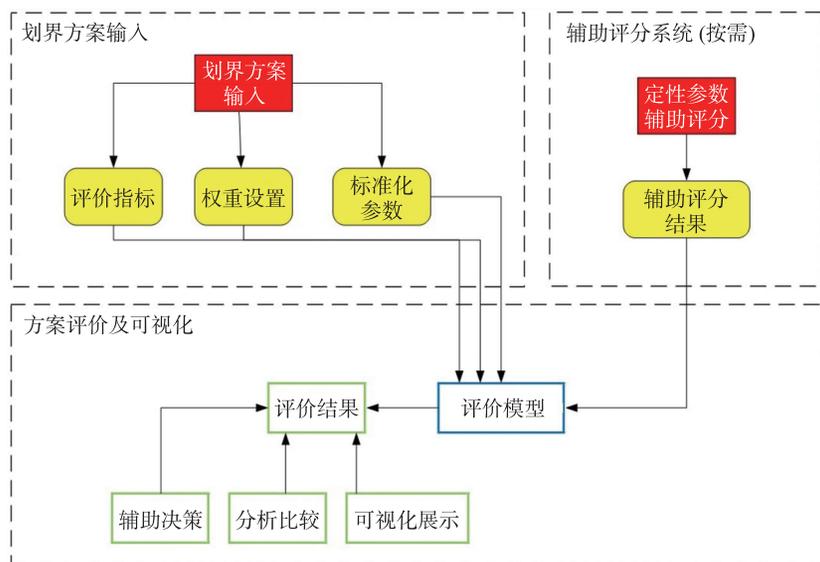


图 2 海洋划界方案评估系统数据流图

Fig. 2 Data flow diagram of the marine delimitation plan evaluation system

2.2 系统主要功能模块

海洋划界方案评估系统两大功能模块可细分为评估指标选取、指标权重设定、定性指标辅助打分、划界方案参数可视化、评估结果计算与可视化 5 个子模块。

(1) 评估指标选取

实现用户勾选用于海洋划界方案评估的指标,包括主要指标和可选指标.系统提示每个评估指标的含义和取值方法。

(2) 指标权重设置

实现用户所选定评估指标权重的设置.系统提供默认权重值,用户可以结合专家辅助打分和系统中图表展示的各划界方案针对各定量指标的参数,通过层次分析法和熵权法计算权重值,对系统界面提供的权重值进行调整和优化。

(3) 定性指标辅助打分

如果用户勾选的评估指标包含定性指标,则通过用户提供的针对不同方案对于某一定性指标两两比较的专家打分表,计算获得所有划界方案各定性指标的数值。

(4) 划界方案参数可视化

实现对系统读入和计算获得的所有划界方案各评估指标数值的可视化展示,包括表格形式和柱状图形式.用户可以根据划界方案对比查看该方案各评估指标对应的参数,也可以根据选定评估指标对比查看各划界方案对应的该指标参数。

(5) 评估结果计算与可视化

实现所有划界方案综合评分的计算,并根据评分评定划界方案优劣等级,通过柱状图、表格、文字描述 3 种方式进行展示。

3 海洋划界方案评估系统实现与应用

3.1 系统实现

海洋划界方案评估系统设计为可执行动态链接库^[20],利用 C#语言进行调用即可执行.系统采用向导式交互界面,经过初始化界面读取划界参数、评估指标设定、指标权重设置、(定性指标辅助打分)、评估结果可视化 4(或 5)个交互界面完成划界方案的评估。

3.2 系统应用

结合国际典型海洋划界案例,模拟 2 个海洋相向国家 A 国与 B 国之间的海洋划界.考虑等距离原则、资源因素、成比例等划界依据,生成 4 条划界方案线(如图 3 所示).方案线 1,依据等距离原则. A 国与 B

国为海岸相向国家,在两国海岸之间画一条中间线,中间线上每一点到两国基线距离相等. 方案线 2,依据自然延伸原则. 将两国海域中的海沟作为一条自然界线. 方案线 3,按照三阶段划界法. 首先,在相关海域划分一条临时中间线. 然后,将渔业资源和矿产资源作为相关情况,按照两国在相关海域内年渔获量比例和矿产占有量对临时分界线进行调整. 最后,成比例检验. 方案线 4,依据岸线比值原则. 使得界线上每一点到两国基线距离比例与两国岸线长度比例一致.

选择用于海洋划界方案评估的定量指标与定性指标,通过 ArcGIS 软件计算本模拟案例中 4 种海洋划界方案对 A、B 两国海域面积、渔业资源、油气资源、矿产资源、航道等划分面积比例,确定方案线划分后影响两侧生产者的数量,获得海域面积、渔业资源、矿产资源、油气资源、社会稳定和交通状况等定量指标值. 针对对方可接受度、可持续发展能力和安全影响等定性指标,分别对不同海洋划界方案进行两两比较打分构建判断矩阵,获得定性指标值. 基于层次分析法与熵权法相结合的组合赋权法计算海洋划界方案评估指标的综合权重(如图 4 所示). 在计算海洋划界方案各指标数值和权重的基础上,运用加权合成运算,得到海洋划界方案综合评分(如图 5 所示). 将划界评估综合评分分为极好、优、良、中、差、极差 6 个等级,分别对应 90~100 分、80~90 分、70~80 分、60~70 分、50~60 分、0~50 分. 根据本例中划界方案评分结果可知,岸线比值法评估等级为优,距离比例法评估等级为良,而等距离法和深泓线法在本例中评估等级为极差.

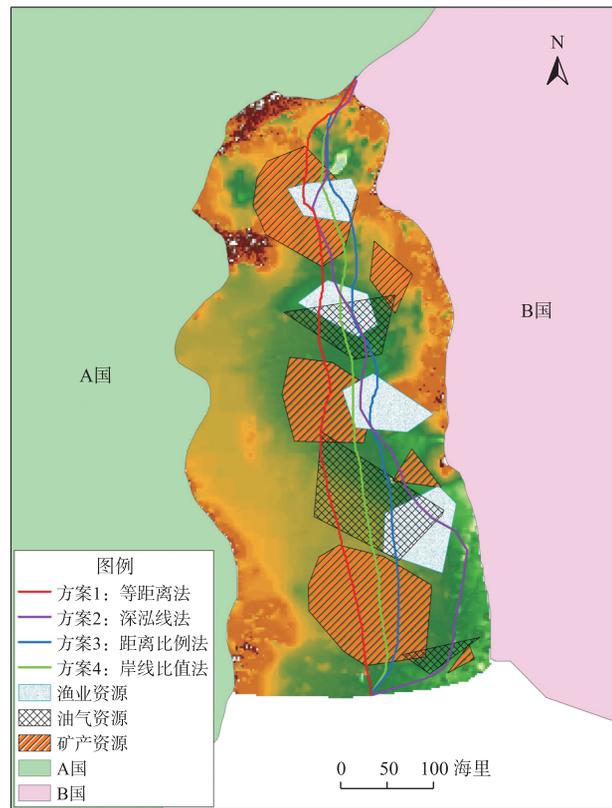


图 3 模拟海洋划界示意图
Fig. 3 Simulated marine delimitation



图 4 海洋划界方案评估指标选择与权重计算
Fig. 4 Evaluation index selection and weight calculation for the marine delimitation plans



图 5 海洋划界方案评估指标选择与权重计算

Fig. 5 Evaluation index selection and weight calculation for the marine delimitation plans

通过本海洋划界方案评估系统在该两国之间多种划界方案的应用,可满足海洋划界方案评估的需求,并具有如下特点:

(1) 评估指标选取灵活

系统提供多影响因素包含的评估指标,用户可根据不同划界案例的特征灵活选取适宜的评估指标,体现了海洋划界方案评估系统的可定制性.

(2) 评估指标权重可调整

系统提供各评估指标默认权重,同时也允许用户根据专家经验和划界方案参数进行权重的调整优化,以满足不同海洋划界场景的应用.

(3) 指标计算方法多样化

系统不仅支持定量指标通过 GIS 工具计算获得,也支持定性指标通过专家辅助打分计算获取,体现了海洋划界方案评估系统的可扩展性.

(4) 多形式可视化展示

系统针对多种海洋划界方案对应的各种评估指标参数通过柱状图、表格等多种形式可视化展示.对于评估结果提供了柱状图、表格、文本等多种形式展示,并提供了划界方案参数与评估结果的导出功能,体现了海洋划界方案评估系统的灵活性.

(5) 简单易懂的交互界面

系统采用向导式交互界面,并包含相应提示信息,引导用户逐步完成海洋划界方案的评估,界面友好,提现了海洋划界方案评估系统的易用性.

4 结语

本文介绍了基于 AHP-熵权法构建的海洋划界方案综合评估决策模型开发的海洋划界方案评估系统,该系统采用 C#语言开发为可执行动态链接库,实现从海洋划界 GIS 系统中读取海洋划界方案参数并进行划界方案的定量评估.系统提供灵活的指标选取和指标权重设定功能,能满足多种类型指标的计算,并提供多形式的可视化展示界面,为海洋划界方案决策提供依据.

[参考文献] (References)

- [1] ØSTHAGEN A. Maritime boundary disputes: What are they and why do they matter? [J]. Marine Policy, 2020, 120: 104118.

- [2] 方威. 浅析国际海洋争端与国际仲裁[J]. 法制与社会, 2013(33): 111-112.
- [3] 吴盈盈, 孔庆江. 我国与周边国家海洋争端的国际管辖权问题研究[J]. 亚太安全与海洋研究, 2019(5): 49-64.
- [4] 江藤淳一, 辛崇阳. 有关海洋划界的国际判例的动向[J]. 国际法研究, 2019, 30(2): 23-33.
- [5] 阮俊杰. 论国际海洋划界中的“灰区”问题[J]. 法制与经济, 2018, 449(8): 178-180.
- [6] HASAN M M, JIAN H, ALAM M W, et al. Protracted maritime boundary disputes and maritime laws[J]. Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping, 2019, 2(2): 89-96.
- [7] 沈文周. 海域划界技术方法[M]. 北京: 海洋出版社, 2003(4): 199.
- [8] 王玫黎, 杜陈洁. 《联合国海洋法公约》下的强制调解制度评析——以中国利益为视角[J]. 太平洋学报, 2019, 27(8): 29-41.
- [9] QI H. Maritime delimitation between China and North Korea in the North Yellow Sea[J]. Ocean Development & International Law, 2020, 51(4): 358-385.
- [10] LEE S, SCHOFIELD C. The law of the Sea and South Korea; The Challenges of Maritime Boundary Delimitation in the Yellow Sea[J]. Policy, 2017, (81): 219-8.
- [11] 张华. 国际海洋划界裁判中的“司法能动主义”——以 200 海里外大陆架划界问题为例[J]. 外交评论(外交学院学报), 2019, 36(1): 139-160.
- [12] LIAO X. Evaluation of scientific evidence by international courts and tribunals in the continental shelf delimitation cases[J]. Ocean Development & International Law, 2017, 48(2): 136-57.
- [13] WIBAWA AC, SUPRIYONO B, MULUK M K, et al. Policy evaluation on Maritime Security Issues in Indonesia[J]. Wacana Journal of Social and Humanity Studies, 2020, 23(3): 165-173.
- [14] 武丽丽, 徐青, 华一新. 基于六角格的划界方案线资源分配评价方法[J]. 测绘工程, 2015, 24(12): 62-67.
- [15] 武丽丽, 徐青, 宋飞杰. 基于六角格的陆地边界区域重要性评价方法[J]. 海洋测绘, 2015, 35(4): 48-51.
- [16] 李四海, 何广顺, 金继业, 等. 省际海域勘界信息系统的设计与实现[J]. 海洋测绘, 2003(5): 16-19.
- [17] 许雪燕. 模糊综合评价模型的研究及应用[D]. 成都: 西南石油大学, 2011.
- [18] 章穗, 张梅, 迟国泰. 基于熵权法的科学技术评价模型及其实证研究[J]. 管理学报, 2010, 7(1): 34.
- [19] 庄锁法. 基于层次分析法的综合评价模型[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2000, 23(4): 582-585, 590.
- [20] 丁浩洪. 动态链接库技术的应用探讨[J]. 信息系统工程, 2019(1): 40.

[责任编辑: 陈 庆]