

南海北部海域油气勘探保障建设选址适宜性研究

武二亮¹, 陈浩东¹, 刘裕光¹, 安永宁^{2*}

(1. 中海油海南能源有限公司, 海南 海口 570206; 2. 交通运输部 天津水运工程科学研究所, 天津 300456)

摘 要:为分析南海北部海域油气勘探保障建设选址的适宜性,在广泛研究备选区特征资料的基础上,基于层次分析法(AHP)原理,以自然环境因素、开发环境因素、基础设施与投资情况以及其他因素作为一级评判准则,建立了包括 12 项二级评判准则的递进层次结构模型,并以永兴岛、赵述岛和晋卿岛作为 3 个假定备选区,来验证分析评价模型的有效性和可靠性。AHP 评判结果显示,3 个备选区的整体优劣指数依次为 0.587 1, 0.212 1, 0.200 8; AHP 模型的一致性比例 CR 值为 0.020 3。通过分析和筛选影响远海油气勘探保障建设的选址因子,构建基于 AHP 原理的选址评价模型,可用于分析评价南海北部岛礁油气勘探保障建设选址的适宜性。

关键词:油气勘探保障;建设选址;南海北部;层次分析法;评估模型

中图分类号:TE58;P744

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2020)04-0256-07

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2020.04.003

引用格式:WU E L, CHEN H D, LIU Y G, et al. Suitability of the sites selected for oil and gas exploration support construction in northern South China Sea[J]. Coastal Engineering, 2020, 39(4): 256-262. 武二亮, 陈浩东, 刘裕光, 等. 南海北部海域油气勘探保障建设选址适宜性研究[J]. 海岸工程, 2020, 39(4): 256-262.

南海北部海域面积约 50 多万 km²,分布着许多的岛礁,包括 22 个岛屿、7 个沙洲、8 座环礁、1 座台礁和 1 座暗礁海滩,北起北礁,南至先驱滩,东起西渡滩,西止中建岛,其海岸线长达 518 km,陆地总面积达 10 km²,构成了南海陆地面积最大的群岛^[1-2]。

近年来,我国政府为了更好地履行海上搜救、气象观察、防灾减灾和环境保护等国际责任与义务,为航行于南海的各国船只提供必要的服务,逐步将该区域的开放开发提上日程。南海北部也成为南海工程建设最为频繁的区域^[3]。

南海蕴藏着丰富的油气资源,但大部分区块远离陆域,开发开采时需要依托岛陆终端的支持,提供补给、避风和候泊等保障条件。南海北部岛屿众多,开发程度较高,是较为适宜的油气勘探保障区。在进行保障建设具体选址时,既应考虑自然条件的适宜性,也应考虑开发程度、政治敏感度等因素,这需要综合考量南海北部各岛礁的不同特点,对每个岛礁就建设选址问题做出恰当的评价。也就是说,需要在众多因素、众多目标下寻求最优方案,筛选出最适宜建设的油气勘探保障区^[4-5]。

本文通过广泛收集南海北部各岛礁的气象水文、地形地貌和地质构造等自然条件数据,结合政治影响、投资开发和交通辐射等因素,应用层次分析法(AHP)原理,选取典型岛礁作为备选区,以自然环境因素、开发环境因素、基础设施与投资情况、其他因素作为评判准则,构建油气勘探保障选址评判模型,对各备选区的建设适宜性进行量化评价,以期对远海油气勘探开发保障体系的建设提供实施思路和参考依据。

1 研究区概况

南海北部属于热带海洋性季风气候,具有高温高湿、对流旺盛、降水较多、干湿季分明的显著特征,冬季

收稿日期:2020-08-18

资助项目:中海油海南能源有限公司综合科研项目——南海远海勘探作业保障体系研究(CEL2020HNFN0032)

作者简介:武二亮(1988-),男,助理工程师,主要从事海洋油气勘探开发服务支持方面研究。E-mail: wuel@cnooc.com.cn

* 通信作者:安永宁(1981-),男,高级工程师,博士,主要从事海洋工程调查评估方面研究。E-mail: tksayn@qq.com

(王 燕 编辑)

盛行偏北气流主导的东北季风,夏季盛行偏南气流主导的西南季风。此外,热带气旋、暴风雨、干旱等灾害性天气出现频繁^[6]。

南海北部海域波浪普遍较大,以风浪为主,秋冬季平均波高最大,为 1.8 m,出现在 NNE 方向,春夏季平均波高较小,为 1.1~1.3 m,出现在 SW 方向。当夏季有台风活动时,台风引起的最大波高可达 9.0 m。南海北部海域潮汐较弱,潮差较小,月最大潮差多年平均为 150.9 cm^[7-8]。

南海北部在构造上处于“南海地台”中部、大陆地壳和大洋地壳过渡区的边缘。新生代“南海运动”造就了受断裂切割呈断块隆起带的西沙隆起,晚第三纪早期地壳下沉致使区域接受了厚达千米的生物礁相灰岩沉积,后来随着海面下降又发生了一定规模的白云岩化作用。第四纪以来地壳间歇性升降运动及其引起的海平面变化,使区域沉积了较厚的生物礁相灰岩和生物碎屑灰岩。全新世中期海平面基本稳定,区域构造主控因素大为减弱,风、浪和流等外部作用成了地貌塑造的新驱动因子,发育了沙堤、潟湖、洼地、海滩、礁盘和水下斜坡等多种地貌形态^[9]。

南海北部海域辽阔,岛屿众多(图 1)。陆域低、平、小,岛礁均为海洋型岛屿,绝大部分岛礁都是以珊瑚、贝屑为主组成不同岩土的生物礁,礁盘较大;部分海岸发育有海滩岩,地形平坦,地貌类型较简单。根据岛屿空间属性和水深情况,可将其地貌划分为 3 类:陆域地貌类、潮间带地貌类和水下地貌类。根据物质组成、岩性结构和形态成因,可将这 3 类地貌分为 9 种形态,其中,陆域地貌类分为沙堤砾堤、洼地、阶地、潟湖、残

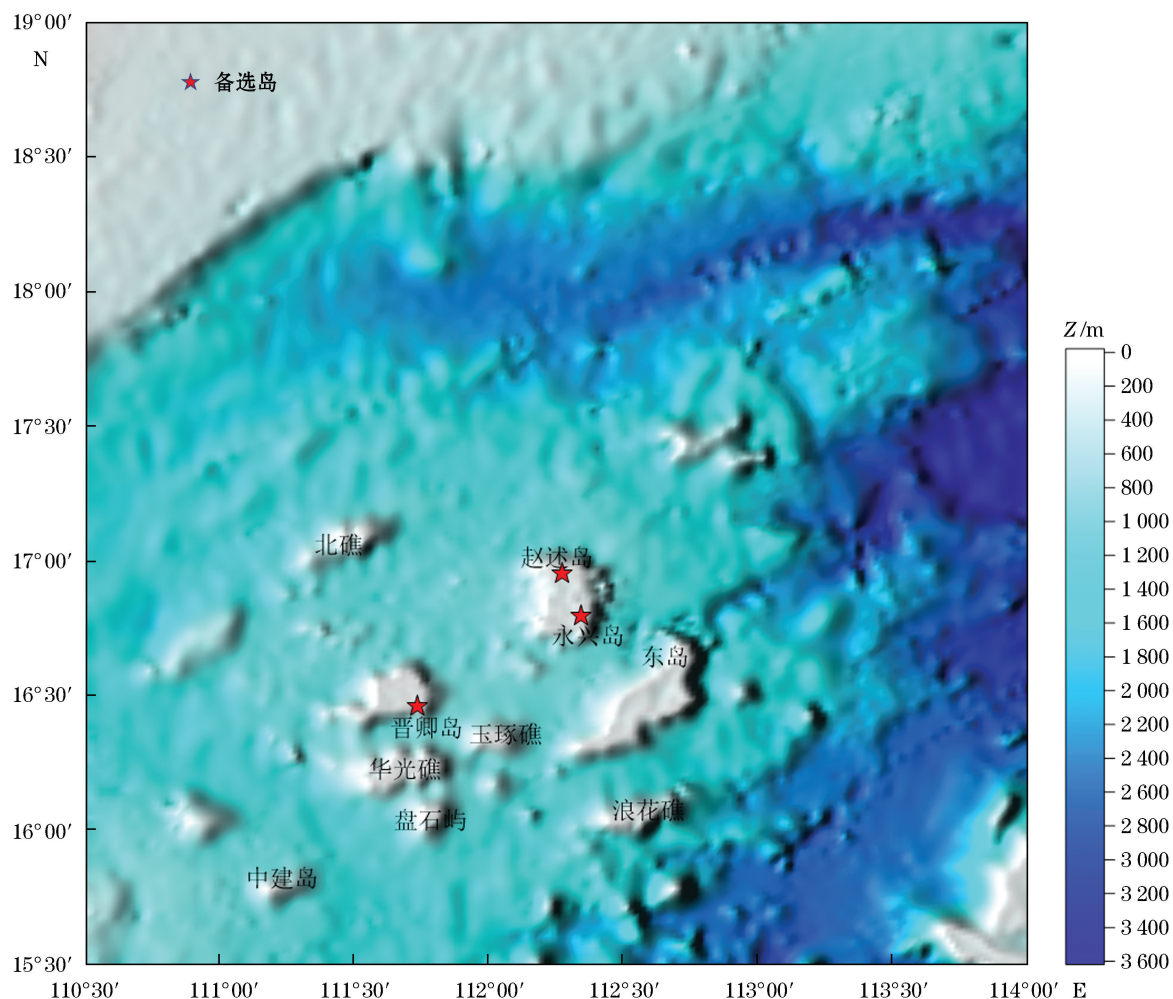


图 1 南海北部海底地势图及备选岛礁分布

Fig.1 Map of seafloor topography and distribution of candidate island reefs in Northern South China Sea

丘和火山岩台地六种形态,潮间带地貌类分为海滩和礁坪两种形态,水下地貌类主要有水下斜坡一种形态^[10]。

2 研究方法

层次分析法(AHP)是一种定性分析与定量分析相结合的综合性评价方法,是将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析的决策方法,尤其在目标结构复杂且缺乏必要数据的情况下,可以极为有效地将决策者的经验判断给予量化。AHP 在安全、环境、服务、管理等很多领域被广泛应用。AHP 的关键是通过求解判断矩阵最大特征根及其对应的最大特征向量来决定某一层次各元素相对于上一层某一元素的排序权值。在 AHP 中,判断矩阵是通过对元素进行重要性两两比较来确定的,通常采用 1~9 的标度赋值来区分“同等重要”、“稍微重要”、“较强重要”、“强烈重要”和“极端重要”等判断重要程度^[11]。

应用 AHP 求解一般的多层次结构问题的基本步骤如下^[12]:

1)建立递阶层次结构。将所研究问题涉及的因素进行分类,构造一个各因素之间相互联接的递阶层次结构模型,其顶层是问题的预定目标,中间层的元素一般是准则、子准则,底层是决策方案。

2)构造两两比较判断矩阵。将决策者对某元素优劣的整体判断转变为对该元素的两两比较,然后对该元素的整体优劣进行排序判断,确定各元素的权重。

3)计算单一准则下元素的相对重要性。通过将各判断矩阵 A 视为单层次子模型,按单层次模型中的方法求解特征根问题: $AW=\lambda_{\max}W$,所得特征向量 W 经归一化后作为本层次元素 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 对于上一层元素的排序权值。

4)判断矩阵的一致性检验。根据所得 $\lambda_{\max}$ 和 W ,检验各判断矩阵的一致性。

5)计算各层次元素的组合权重。层次总排序从上到下逐层进行,最高层的层次单排序即为总排序,如果已知上一层所有元素 $A_1, A_2, \dots, A_m$ 的组合权重,分别为 $a_1, a_2, \dots, a_m$,与 A_i 相应的本层次元素 $B_1, B_2, \dots, B_n$ 的单排序结果为 $b_{1i}, b_{2i}, \dots, b_{ni} (i=1, 2, \dots, m)$ 。此时,可根据公式 $b_n = \sum a_i b_{ni}$ 计算出本层次元素的组合权重。若 B_j 与 A_i 无联系时, $b_{ji}=0$ 。

6)评价层次总排序计算结果的一致性。AHP 的最终结果是得到相对于总的目标各决策方案的优先顺序权重,要评价层次总排序计算结果的一致性,需计算与层次单排序相类似的检验量。AHP 模型的一致性比例值 CR 应小于 0.1。

3 选址适宜性评价模型

基于 AHP 原理,通过分析和筛选影响油气勘探保障建设中的选址因子,构建建设选址评价模型。选取宣德环礁的永兴岛、赵述岛和永乐环礁的晋卿岛作为勘探保障建设的 3 个备选区。然后,基于 AHP 建立建设选址模型,从 3 个备选区中选出最适宜工程建设的勘探保障区,进而验证该方法的有效性。

3.1 评价模型层次结构

一般来说,影响海洋活动建设选址的因素主要包括 4 个方面:自然环境因素、开发环境因素、基础设施与投资情况以及其他因素^[13],将这些因素作为勘探保障建设选址评价的一级评判准则。考虑到勘探保障建设与南海北部特有的环境条件之间的敏感相关性,本文在一级评价准则的基础上,将各个影响因素进行了具体化,形成了二级评判准则,然后根据各级评判准则和各备选区,建立起递进层次结构(图 2)。

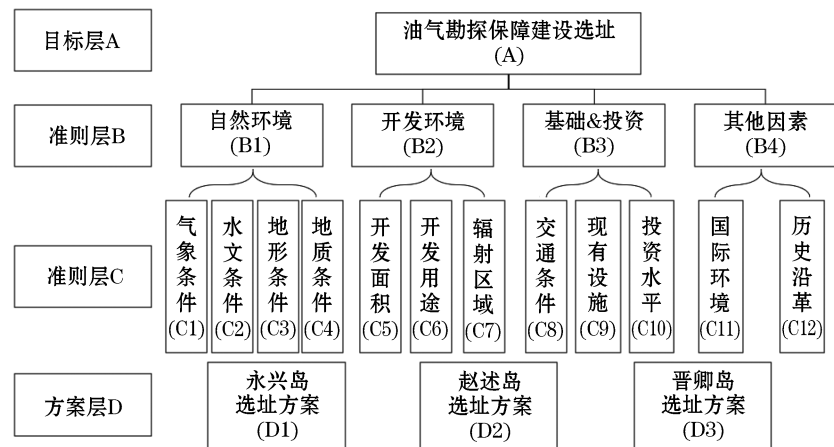


图 2 油气勘探保障建设选址适宜性评价的递进层次结构

Fig.2 A progressive hierarchy diagram for evaluating the suitability of the sites selected for oil and gas exploration support construction

3.2 评价决策准则因素

3.2.1 自然环境因素

影响岛礁建设选址的自然环境因素主要包括气象、水文、地形和地质条件。其中,气象条件中对建设选址影响较大的因素是风和台风,水文条件中影响较大的因素包括波浪、潮汐和潮流,地形条件中影响较大的因素有自然地形地貌和人工活动建设形成的人工地貌,地质条件中影响较大的因素包括构造及活动性、断裂发育、生物礁发育、火山活动和地块演化等。

永兴岛(图 3a)地貌类型最为多样,且人工地貌较多,赵述岛(图 3b)次之,而晋卿岛(图 3c)地貌类型较单一,因其紧邻水下斜坡,更有利于开辟建设深水码头。此外,晋卿岛比永兴岛和赵述岛受波浪影响大,但受夏季大浪的影响稍小。在构造活动性、生物礁发育、火山活动、地块演化和重力异常等方面,永兴岛、赵述岛所在的宣德环礁与晋卿岛所在永乐环礁的条件差异不大。



图 3 备选区卫星遥感图像或航摄图像

Fig.3 Satellite remote sensing images or aerial image of the candidate areas

3.2.2 开发环境因素

影响岛礁建设选址的开发环境因素包括开发面积、开发用途和辐射区域。

永兴岛面积约 2.6 km²,现为海南三沙市行政中心。作为三沙市的主体所在,永兴岛的建设一直是南海开发的重点。赵述岛面积约 0.22 km²,为七连屿中第三大岛。赵述岛是七连屿的重要组成岛屿,其开发前景较好。晋卿岛面积约 0.21 km²,是永乐环礁里最南的椭圆形岛,岛上设有基层管理组织。综合来看,永兴岛是南海北部面积最大的岛屿,赵述岛和晋卿岛面积相当,但赵述岛是七连屿的组成岛屿,开发面积具有很大的扩展潜力;晋卿岛位于晋卿礁盘尾端,紧邻水下斜坡和晋卿门水道,开发面积的可扩展性一般。

就开发用途而言,3 个备选区均以民用为主,建设目标位于行政中心或交通基地。目前,永兴岛已经建设成为三沙市的行政中心,其开发用途重要性指数比赵述岛和晋卿岛都高。

辐射区域具体包括军事辐射、经济辐射和政治辐射等。永兴岛作为三沙市的行政中心,已经拥有完善的交通、气象和通讯等基础设施,辐射区域不光覆盖了整个南海北部,还延伸到了南海的大部分海域;赵述岛的军事、经济及政治价值较为普通,辐射区域主要局限在七连屿所在的宣德环礁上;晋卿岛本身的军事、经济及政治影响力较小,但因地理位置较优,距周边各岛屿的距离相当,其辐射区域除包括所在的永乐环礁以外,还包括了周边其他环礁的岛屿。

3.2.3 基础设施和投资因素

主要包括交通条件、现有设施和投资水平等。永兴岛交通设施完善,条件最优;晋卿岛距琛航岛较近,受益于其交通优势,条件次之;赵述岛的交通条件相对一般。永兴岛作为三沙市行政中心,投资水平最优;赵述岛是三沙市七连屿的重要组成,投资前景较好;晋卿岛目前的开发建设程度和投资水平相对较差。

3.2.4 其他因素

还有些因素如国际环境和历史沿革等,对选址的影响也很重要。就国际环境而言,3 个备选区均位于南海北部海域,我国对其及附近海域拥有无可争辩的主权。从史料来看,永兴岛的历史追溯更久远,但周边岛屿均远离大陆,自成一体,其历史沿革具有相似性和一贯性,只是有的岛屿面积较大,人类活动遗迹保存较多,战略意义更大,受侵略程度更深一些。总体来说,3 个备选区的其他因素影响条件相当。

3.3 评价结果

二级准则间相对重要性的比较判断可以由从事相关研究的专家学者评分获得。各备选区在各个二级准则下的优劣水平的评价流程为:首先,由选址课题的负责人向专家学者介绍备选区的基本情况,以使专家学者对各备选区的各项评判准则条件产生明确的了解。然后,由专家学者运用语言变量集合{很高、较高、一般、较低、很低},评价各备选区在二级准则下两两比较的优劣程度;根据专家打分给出的语言变量集,构造梯形模糊判断矩阵,将定性评价结果转换为定量的优劣评价矩阵;对梯形模糊判断矩阵进行一致性检验,对不符合一致性要求的评价进行反馈调整,直到满足一致性要求;计算各层次元素的组合权重,分别进行层次单排序和合成总排序。最后,计算得出各备选区的整体优劣指数,同时计算出一致性比例 CR 值,评价层次总排序计算结果的一致性。

评价结果(表 1)显示,永兴岛、赵述岛和晋卿岛三个备选区的整体优劣指数依次为:0.587 1,0.212 1,0.200 8。AHP 模型的一致性比例值 CR=0.020 3<0.1,表明模型构建合理。

表 1 二级准则的权重及各备选区的优劣指数

Table 1 The weights of the second-level criteria and the advantage and disadvantage index of each candidate areas

二级评判准则	二级评判准则权重	永兴岛	赵述岛	晋卿岛
气象条件	0.020 84	0.429 0	0.429 0	0.142 0
水文条件	0.047 86	0.429 0	0.429 0	0.142 0
地形条件	0.105 94	0.429 0	0.142 0	0.429 0
地质条件	0.105 94	0.333 3	0.333 3	0.333 3

续表				
二级评判准则	二级评判准则权重	永兴岛	赵述岛	晋卿岛
开发面积	0.339 90	0.731 6	0.188 3	0.080 1
开发用途	0.110 08	0.714 3	0.142 9	0.142 9
辐射区域	0.050 74	0.637 6	0.104 6	0.257 8
交通条件	0.110 08	0.637 6	0.104 6	0.257 8
现有设施	0.020 84	0.731 6	0.188 3	0.080 1
投资水平	0.020 84	0.454 5	0.454 5	0.090 9
国际环境	0.046 04	0.333 3	0.333 3	0.333 3
历史沿革	0.020 84	0.333 3	0.333 3	0.333 3
备选区整体优劣指数		0.587 1	0.212 1	0.200 8

4 结 语

海上油气勘探保障建设选址是一个规模庞大、结构复杂、功能综合、因素众多的具有综合性、区域性、空间性的动态系统,常伴有大量的结构化、半结构化和非结构化并存的决策问题,需要采用决策支持系统方法来实现。

结合自然环境、开发环境、基础与投资以及其他因素,本文结合实例,讨论了海上油气勘探保障建设选址应当考虑的各方面因素,分析了其对选址的影响程度,结果表明这些因素不仅决定油气勘探保障建设选址的取舍,还是评价最终结果的重要指标。

通过构建合理的 AHP 法选址评价模型,计算南海北部永兴岛、赵述岛、晋卿岛三个备选区的建设适宜性可知,3 个备选区的整体优劣指数依次为 0.587 1、0.212 1 和 0.200 8,其中,赵述岛、晋卿岛选址区的整体优劣指数相差不大,而永兴岛选址区的整体优劣指数远大于这 2 个选址区,该结果符合国家建设投资水平和公众普遍认知。建立基于层次分析法的海上油气勘探保障建设选址模型,不但能够发挥专家经验作用,而且可以减少由人为主观因素导致的评估偏差,使得计算的权重更加科学合理、易于实现。选取的永兴岛、赵述岛、晋卿岛三个备选区,在开发完成度、功能定位,以及公众认知度、互比层次性和发展预期等方面都非常鲜明、差异明显,以其为备选区得出的选址评价结果,更易与公众的直观感受相检验,更能体现本研究采用的选址决策方法的可行性与适用性。

参考文献 (References):

[1] Ocean Dictionary Editorial Committee of Science and Technology Department of State Oceanic Administration. Ocean dictionary[M]. Shenyang: Liaoning People's Press, 1998. 国家海洋局科技司海洋大辞典编辑委员会. 海洋大辞典[M]. 沈阳: 辽宁人民出版社, 1998.

[2] ZHAO H T. History of expeditions to Xisha Islands[J]. Geographical Research, 1996, 15(4): 55-65. 赵焕庭. 西沙群岛考察史[J]. 地理研究, 1996, 15(4): 55-65.

[3] ZHAO H T, YUAN J Y, WANG L R. Ways to achieve harmony of the South China Sea[J]. Tropical Geography, 2015, 35(5): 687-700. 赵焕庭, 袁家义, 王丽荣. 南海实现和谐之路[J]. 热带地理, 2015, 35(5): 687-700.

[4] HUANG L, LIU Z W. The research of spatial decision support system for location selection[J]. Journal of Shandong Normal University (Natural Science), 2004, 19(3): 51-54. 黄玲, 柳宗伟. 选址空间决策支持系统的研究与实践[J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2004, 19(3): 51-54.

[5] WU M J. Study on the site selection of a scientific research ship base wharf project[J]. China Water Transport, 2020, 20(5): 130-131, 134. 吴曼涓. 某科考船基地码头工程选址研究[J]. 中国水运(下半月), 2020, 20(5): 130-131,134.

- [6] SU Q D. Theory meteorological and Xisha tourism development relationship[J]. Beijing Agriculture, 2012(21): 181-182. 苏庆东. 论气象与西沙旅游开发的关系[J]. 北京农业, 2012(21): 181-182.
- [7] DING Q L, ZENG Y M, WANG J W. Analysis and forecast of waves in Xisha sea area[J]. Marine Science Bulletin, 2000, 19(3): 19-23. 丁千龙, 曾永明, 王江伟. 西沙海区波浪特征分析与预报[J]. 海洋通报, 2000, 19(3): 19-23.
- [8] LIANG H P, FENG W Z, LIANG H Y, et al. Wave distribution characteristics in Xisha sea area and islands and reefs under the influence of typhoon[J]. Ocean Forecast, 2019, 36(4): 28-34. 梁海萍, 冯伟忠, 梁海燕, 等. 台风影响下西沙海域与岛礁内外的波浪分布特征[J]. 海洋预报, 2019, 36(4): 28-34.
- [9] FENG Y C, ZHAN W H, YAO Y T, et al. Analysis of tectonic movement and activity in the organic reef region around the Xisha Islands[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2015, 34(3): 48-53. 冯英辞, 詹文欢, 姚衍桃, 等. 西沙群岛礁区的地质构造及其活动性分析[J]. 热带海洋学报, 2015, 34(3): 48-53.
- [10] YE Z Z, HE Q X, ZHANG M S, et al. Study on island classification and characteristics in Xisha Islands[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1985(1): 3-15. 业治铮, 何起祥, 张明书, 等. 西沙群岛岛屿类型划分及其特征的研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1985(1): 3-15.
- [11] XU S B. Principle of Analytic Hierarchy Process[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 1988. 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988.
- [12] GUO J Y, ZHANG Z B, SUN Q Y. Study and applications of Analytic Hierarchy Process[J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(5): 148-153. 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 148-153.
- [13] CHEN Y. Based on GIS selected location space decision support system[J]. China Water Transport, 2007, 7(4): 122-123. 陈颖. 基于GIS的选址空间决策支持系统[J]. 中国水运(学术版), 2007, 7(4): 122-123.

Suitability of the Sites Selected for Oil and Gas Exploration Support Construction in Northern South China Sea

WU Er-liang¹, CHEN Hao-dong¹, LIU Yu-guang¹, AN Yong-ning²

(1. CNOOC Hainan Energy Co., Ltd., Haikou 570206, China;

2. Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, M.O.T., Tianjin 300456, China)

Abstract: In order to analyze and evaluate the suitability of the sites selected for oil and gas exploration support construction in Northern South China Sea, a progressive hierarchical structure model which includes 12 second-level evaluation criteria is established based on the principle of analytic hierarchy process (AHP) and the extensive studies of the characteristics of candidate areas and by taking the factors such as natural environment, development environment, infrastructure and investment, and so on as the first-level evaluation criteria. The validity and reliability of this model are then verified by using the Yongxing Island, the Zhaoshu Island and the Jinqing Island as candidate areas. The results from the AHP analysis have showed that the overall advantage and disadvantage indexes of the three candidate areas are 0.587 1, 0.212 1 and 0.200 8 respectively and the consistency ratio CR of the AHP model is 0.020 3. It is therefore concluded that the model established based on the principle of AHP and by analyzing and screening the site selection factors affecting the oil and gas exploration support constructions in the offshore areas can be used to evaluate quantitatively the suitability of the sites selected for the oil and gas exploration support constructions in Northern South China Sea.

Key words: oil and gas exploration support; construction and site selection; Northern South China Sea; analytic hierarchy process (AHP); evaluation model

Received: August 18, 2020