

# The Application of the Hesitant Analytic Hierarchy Process in the Natural Risk Assessment of Overseas Support Bases

Deliang Jiang, Ren Zhang, Zhe Wang, Mengqian Yang

College of Meteorology and Oceanography, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China

## 犹豫层次分析法在海外保障基地自然风险评估中的应用

姜德良, 张韧, 王哲, 杨孟倩

解放军理工大学气象海洋学院, 南京 211101

### Abstract:

Focusing on the potential natural risk of overseas support bases, the paper structures the assessment model based on the risk identification according to the particular political and military function. The model uses the Hesitant Analytic Hierarchy Process to collect the specialistic information in order to calculate risk membership, solving the problem of the deficiencies of group decision making and decision preference, improving the objectivity and applicability of the quantitative evaluation, and providing recommendations for planning and development of overseas strategy for our country.

**Keywords:** risk assessment; overseas support bases; Hesitant Analytic Hierarchy Process

### 摘要

针对海外保障基地潜在的自然风险,在风险辨识的基础上构建评估模型,并根据海外保障基地的特殊政治、军事功能搭建指标体系。在这一基础上利用犹豫层次分析法计算集成专家信息计算风险隶属度,有效地解决群决策和犹豫偏好的问题,提高量化评估过程中的客观性和适用性,旨在为我国进行海外战略建设与规划提供提供指导建议。

**关键词:** 风险评估; 海外保障基地; 犹豫层次分析

### 1 引言

伴随着中国“一带一路”一带一路对外开放格局的形成,尤其是以“21世纪海上丝绸之路”为纽带,为中国主动创造和平、合作、和谐的外部环境提供了良好机会和有力保障<sup>[1]</sup>。在这一过程中,海外保障基地作为国家参与全球事务的“桥头堡”,对于大国投射军事力量,发展海外利益具有极其重要的影响<sup>[2]</sup>。相对于军事港口,海外基地的功能更加复杂,具体来说可以分为军事作战功能,外交宣示功能,政治改造功能,关系塑造功能,以及军事训练功能<sup>[3]</sup>。因此,本国海外保障基地战略方针的确定,以及其相应评估、建设工作的开展,对“一带一路”开放政策具有重要的意义。

其中,海外保障基地基础设施的防灾减灾能力,是决定基地整体功能强弱的重要组成部分。目前,国内外对于海外基地的研究,大多以基地对周边地区的政治军事影响<sup>[3]</sup>,以及基地自身功能和法律问题等作为研究方向。在自然灾害方面,国外学者认为气候变化将严重威胁沿海港口及军事设施<sup>[4]</sup>,并指出当前的基础设施设计标准和施工准则都不足以应对气候变化<sup>[5]</sup>;张韧等人研究构建了沿岸及岛礁守备基地风险评估体系<sup>[6]</sup>。然而关于海外保障基地的风险评估指标构建,以及进行量化评估的研究十分欠缺。因此,本文针对海外保障基地的功能和以上所述的研究现状,基于风险评估理论,通过风险

## Risk Analysis and Crisis Response in Big Data Era (RAC-16)

辨识确定致险因子和承险体,引入犹豫层次分析计算各指标风险隶属度,从而为海外保障基地的防灾减灾、规划设计提供科学依据和有效指导。

### 2 海外保障基地自然灾害风险评估建模

#### 2.1 风险辨识

针对海外保障基地的特殊战略地位和兼具训练基地与港口的复合功能,以及我国设立军事基地的潜在位置,将风险分为危险性、脆弱性和防范能力三大部分。

危险性指标表现风险因子的出现频率和强度。恶劣天气状况是对于军事基地基础设施和作训人员安全的首要威胁。热带气旋会带来狂风、暴雨等破坏性天气过程;风暴潮所导致的海表面异常升高会导致潮水对基地生活设施、战备战略的浸泡以及风浪对武器装备的冲击,加速海岸侵蚀<sup>[7]</sup>;大雾所导致的低能见度严重影响船只靠港停泊和出港;高温湿热天气对基地人员的体能、生理和心理健康产生影响和危害。与此同时,港口的复杂地理条件同样对基地产生直接威胁。海平面上升会导致海水对生活设施和武器装备阵地淹没和倒灌<sup>[8]</sup>;地理特征指数是衡量和评价海外保障基地承受极端气候

条件和环境灾害能力的重要评判依据<sup>[6]</sup>。

脆弱性指标用于描述对风险的敏感性和风险承受能力。港口作业能力代表基地对护航舰队的补给、保养水平;海外保障基地的军事战略价值主要体现在其在国家维护海外利益和参与海外政治、军事活动中的战略地位<sup>[9]</sup>;备用基地数量对于基地减灾能力具有极大的影响。

防范能力指标用来刻画对风险的监督、预警水平和风险防范能力。防污疏浚能力影响港口通航、停泊能力;东道国与设立国合作类型代表东道国对基地建设和维护的参与程度,一般来说参与程度越高,东道国对基地的建设和维护力度越大;应急预案与应急处置能力即针对各类恶劣天气状况天和危险海况的预报预警技术、应急响应机制和联动措施等;后勤保障能力包括物质保障、突发性事件处置能力和救援行动协调水平等。

针对以上风险辨识与综合分析,对风险评估指标构建如表1所示。

表1 海外保障基地自然灾害风险评估指标体系

目标层 (A)	准则层 (B)	一级指标层 (C)	判别层 (D)
海外保障基地自然 风险 A1	危险性 B1	恶劣天气状况 C1	热带气旋危险指数 d1
			风暴潮危险指数 d2
			大雾危险指数 d3
			高温闷热危险指数 d4
		港口复杂地理条件 C2	海平面上升危险指数 d4
			地理特征指数 d6
	港口作业能力 d7		
	脆弱性 B2	防范能力 B3	军事战略价值 d8
			备用基地数 d9
			合作类型 d10
			后勤保障能力 d11
			防污疏浚能力 d12
			应急预案与应急处置能力 d13

#### 2.2 指标风险隶属度

AHP 法由专家根据自身经验和专业知识对各层次因素之间两两量化比较,采用1-9

标度进行打分。其缺点不仅在于主观性较强,更表现在会出现决策者面对两个类似或相邻的选项难以判别的情况,以及对于群决

策单纯使用平均处理方法的不足。为进一步增强其客观性，并着力解决上述存在问题，徐泽水、朱斌基于传统的层次分析法，引入犹豫偏好的概念，利用概率描述犹豫偏好的程度，提出了犹豫层次分析法(H-AHP)<sup>[10]</sup>。H-AHP 适用于决策过程中决策者选择、判断时犹豫不决的情况，可描述决策者提供的带有不同程度偏好的决策信息，并对群决策的信息进行合并，从而提高了方法的适用性和准确性。

2.2.1 构建概率型犹豫积型偏好关系

对于表 1 中给出的每一层次指标，由专家给出概率型犹豫积型数，进而构建概率型犹豫积型偏好关系(P-HMPR)，对群 P-MHPR 进行合并后集成得到积型偏好关系(MPR)，计算得到各指标隶属度并通过一致性检验。

基于 1-9 标度，邀请相关专家对属性层中的每一个指标风险元素进行两两比较，给出犹豫偏好信息，并依据评估结果，构造概率型犹豫积型偏好关系(P-HMPR)。在准则层判别中，专家给出的群偏好关系如表 2 所示。

其中，各初始信息矩阵中的其中  $y_{ij}^{(\rho)}$  是  $y_{ij}$  的第  $\rho$  个可能值， $p_{ij}^{(\rho)}$  是  $y_{ij}^{(\rho)}$  的概率。

对群决策信息进行合并，获得聚集 P-HMPR，得到结果如表 2.4 所示。

表 2 准则层概率型犹豫积型偏好关系

表 2.1 专家信息一

准则层	B1	B2	B3
B1	1	3	$(5^{(0.4)}, 6^{(0.6)})$
B2	1/3	1	4
B3	$(1/5^{(0.4)}, 1/6^{(0.6)})$	1/4	1

表 2.2 专家信息二

准则层	B1	B2	B3
B1	1	2	1
B2	1/2	1	1
B3	1	1	1

表 2.3 专家信息三

准则层	B1	B2	B3
B1	1	(2, 3)	1/2
B2	(1/2, 1/3)	1	$(4^{(0.3)}, 5^{(0.7)})$
B3	2	$(1/4^{(0.3)}, 1/5^{(0.7)})$	1

表 2.4 聚集 P-HMPR

准则层	B1	B2	B3
B1	1	$(2^{(0.5)}, 3^{(0.5)})$	$(1/2^{(0.25)}, 1^{(0.25)}, 5(0.2), 6^{(0.3)})$
B2	$(1/2^{(0.5)}, 1/3^{(0.5)})$	1	$(1^{(0.25)}, 4^{(0.4)}, 7^{(0.35)})$
B3	$(2^{(0.25)}, 1^{(0.25)}, 1/5^{(0.2)}, 1/6^{(0.3)})$	$(1^{(0.25)}, 1/4^{(0.4)}, 1/5^{(0.35)})$	1

## Risk Analysis and Crisis Response in Big Data Era (RAC-16)

对于任意一个聚集概率型犹豫积型偏好关系  $y_{ij} = (y_{ij}^{(l)}(p_{ij}^{(l)}))_{l=1, \dots, |y_{ij}|}$ ,

其容易集成为  $y_{ij}^{(l)}$ , 令

$y_{ij}^{(l)} = \prod_{t=1}^{y_{ij}} (y_{ij}^{(t)})^{p_{ij}^{(t)}}$ , 得到集成积型偏好关系 (MPR) 如表 3 所示。

表 3 准则层集成 MPR

准则层	B1	B2	B3
B1	1	2.4495	1.986
B2	0.4082	1	3.4404
B3	0.5035	0.2907	1

### 2.2.2 隶属度计算与一致性检验

基于概率分布  $p_{ij}$ , 集成得到 MPR

$Y^{(l)} = (y_{ij}^{(l)})_{n \times n}$ 。  $Y^{(l)}$  的几何一致性指标, 表示为  $GCI_{Y^{(l)}}$ 。根据 Crawford 和

Williams<sup>[11]</sup>提出的行几何平均法 (RGMM),

对于 MPR  $Y^{(l)} = (y_{ij}^{(l)})_{n \times n}$ , 方案  $x_i$  的

排序值  $\omega_i$  为  $Y^{(l)}$  中行元素的几何平均数:

$$\omega_i = \frac{\left( \prod_{j=1}^n y_{ij}^{(l)} \right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left( \prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}}$$

基于排序值  $\omega_i$ , Aguaron<sup>[12]</sup>等提出了几何一致性指标 (GCI) 用于检验  $Y^{(l)}$  的一致性水平:

式中  $e_{ij} = y_{ij}^{(l)} \omega_j / \omega_i$ 。对表 6 中得到的集成 MPR 计算其  $GCI_{Y^{(l)}}$ , 得到结果为  $GCI_{Y^{(l)}} = 0.6963$ , 可接受一致性临界值如表 7 所示, 若  $GCI_{Y^{(l)}} < GCI^{-}(n)$ , 那么  $Y$  是满足可接受一致性的, 否则是不一致的。由计算结果对比表 4 可以发现, 这一结果不满足一致性。

$$GCI_{Y^{(l)}} = \frac{2}{(n-1)(n-2)} \sum_{i < j} \log^2 e_{ij}$$

那么  $Y$  是满足可接受一致性的, 否则是不一致的。由计算结果对比表 4 可以发现, 这一结果不满足一致性。

那么  $Y$  是满足可接受一致性的, 否则是不一致的。由计算结果对比表 4 可以发现, 这一结果不满足一致性。

那么  $Y$  是满足可接受一致性的, 否则是不一致的。由计算结果对比表 4 可以发现, 这一结果不满足一致性。

那么  $Y$  是满足可接受一致性的, 否则是不一致的。由计算结果对比表 4 可以发现, 这一结果不满足一致性。

那么  $Y$  是满足可接受一致性的, 否则是不一致的。由计算结果对比表 4 可以发现, 这一结果不满足一致性。

表 4 不同维数  $Y$  的  $GCI$  可接受临界值

n	3	4	>4
$GCI^{-}(n)$	0.3174	0.3526	0.370

因为犹豫偏好可以认为是随机偏好的一种特殊情况, 所以可以用 Xu<sup>[13]</sup>提出的随机方法改进一致性。具体方法如下:

令参数  $\lambda = 0.1$ , 从  $Y$  中随机得到一个 MPR, 计算其最大特征向量  $\lambda_{\max}(Y^{(l)})$  和特征向量  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ 。计算

$CR_A = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)RI$ ,  $RI$  的取值如表 5 所示。若  $CR_A < 0.1$  则退出;

否 则 令  $Y'^{(l)} = (a'_{ij})$ , 其中

否 则 令  $Y'^{(l)} = (a'_{ij})$ , 其中

$(a'_{ij}) = (a_{ij})^{\lambda} (\omega_i / \omega_j)^{1-\lambda}$ 。用

$Y'^{(l)}$  替换  $Y^{(l)}$ 。

应用上述算法改进的一致性, 可得改进后的 P-HMPR 如表 6 所示。计算其几何一致性指标  $GCI$ , 得到其  $GCI_{Y^{(l)}} = 0.0139$ , 对比表 7 可知满足可接受一致性, 极端的得

## Risk Analysis and Crisis Response in Big Data Era (RAC-16)

到的风险隶属度分别为危险性：0.5071，脆弱性：0.3352，防范能力：0.1577。

基于以上算法，由专家对各层次指标打分给出偏好信息后，得到的海外保障基地自

然灾害风险评估体系的指标风险隶属度如表 7 所示。

**表 5 不同维数 Y 的 RI 平均值**

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41

**表 6 改进的 P-HMPR**

准则层	B1	B2	B3
B1	1	1.5877	3.0639
B2	0.6298	1	2.2298
B3	0.3264	0.4485	1

**表 7 指标风险隶属度**

准则层 (B)	风险隶属度	一级指标层 (C)	风险隶属度	判别层 (D)	风险隶属度
危险性 B1	0.5071	恶劣天气状况 C11	0.7322	热带气旋危险指数 d1	0.3422
				风暴潮危险指数 d2	0.2789
				大雾危险指数 d3	0.2467
				高温闷热危险指数 d4	0.1322
		港口复杂地理条件 C12	0.2678	海平面上升危险指数 d4	0.3758
				地理特征指数 d6	0.6242
港口作业能力 d7	0.2384				
脆弱性 B2	0.3352			军事战略价值 d8	0.5788
				备用基地数 d9	0.1828
				合作类型 d10	0.3444
				后勤保障能力 d11	0.1219
防范能力 B3	0.1577			防污疏浚能力 d12	0.1788
				应急预案与应急处置能力 d13	0.3549

### 3 结论与展望

1.本文中，首先针对海外保障基地进行风险辨识，在传统的港口风险评估的指标基础之上，结合基地作训功能和政治特性，引入相应的致险因子和脆弱性、防范能力指标，构建了海外保障基地的自然风险评估体系。利用犹豫层次分析方法计算各级指标风险隶属度，解决了专家打分过程中的群决策和决策偏好问题，在一定程度上增强了评估过程客观性的同时，进一步提高方法的适用性。

2.通过集成专家偏好经验得到的各指标风险隶属度，可以直观地发现，对于海外保障基

地的风险评价，危险性指标特别是恶劣天气状况影响较大，热带气旋所造成的威胁大于其他致险因子。另一方面，军事战略价值指标的风险隶属度为  $0.5788 > 0.5$ ，在脆弱性指标中重要性显著，说明海外保障基地固有的军事和政治价值在孕灾环境中的敏感度最高。最后，根据防范能力各项判别层指标的隶属度相对大小，如果需要增强防灾减灾能力，显然需要在合作类型，即东道国参与程度，和应急能力上加大建设力量。

3.由于相关基地的建设工作尚未完成，以及国内印度洋沿岸相关气象水文资料的缺乏，

## Risk Analysis and Crisis Response in Big Data Era (RAC-16)

无法进一步使用数据继续量化评估工作。但通过已计算得到的风险隶属度,可以与贝叶斯网络模型、云模型等算法结合,提高评估效果的准确性,也将成为笔者下一阶段的工作。

### 参考文献

- [1]国家发改委,外交部,商务部.推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动.2015.
- [2]托尔钦诺夫著,《美国在国外的军事基地是对全世界人民和平和安全的威胁》.姚嘉政译,新知识出版社,1956年版,第1页.
- [3]孙德刚,邓海鹏等.海外保障基地的理论解析.国际论坛.Vol.14 No.16.Nov, 2014.
- [4] Fingar T. National Intelligence Assessment on the National Security Implications of Global Climate Change to 2030 [R/OL]. [2008-09-02].[http://www.dni.gov/testimonies/20080625\\_testimony.pdf](http://www.dni.gov/testimonies/20080625_testimony.pdf)
- [5]殷洁,戴尔阜,吴绍洪.中国台风灾害综合风险评估与区划.地理科学,2013,13(10):1370-1375.
- [6]张韧,葛珊珊等.气候变化与国家海洋战略——影响与风险评估.气象出版社,2013.
- [7] L.F. Xu, S.Y. Wen, D.Z. Zhao, X.G. Xu. On the coastal erosion risk assessment indexes, *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 2013, 3(3): 146-155
- [8]何霄嘉,张九天等.海平面上升对我国沿海地区的影响及其适应对策.海洋预报.Vol 20, No.6, Dec.2012.
- [9]张洁.海上通道安全和中国战略支点的构建.国际安全研究.No.2, 2015.
- [10]朱斌.基于偏好关系决策方法及应用研究.南京:东南大学,2014.
- [11]Crawford G, Williams C.A note on the analysis of subjective judgment matrices. *Journal of Mathematical Psychology*.1985, 29(4):387-405.
- [12]Aguaron J, Moreno-Jimenez J Ma. The geometric consistency index: Approximated thresholds. *European*

*Journal of Operational Research*. 2003, 147(1): 137-145.

- [13]Xu ZS,Wei CP.A consistency improving method in the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*.1999,116(2):443-449.