

# 基于层次分析法的海岸带地质环境质量指标体系研究 ——以烟台市海岸带为例

杨 强,罗朝晖,吴 玺

(中国地质大学环境学院,武汉 430074)

**摘 要:** 以烟台市海岸带出现的地质环境问题和发生的地质灾害作为评价对象,应用层次分析法构建了影响海岸带地质环境质量的指标体系,分析了影响各子系统的主要因子;通过构造 AHP 模型及比较判断矩阵,并进行一致性检验后,得出地下水超采漏斗分区、矿山开采、海咸水入侵等因素是影响海岸带地质环境的主要因素,从而为烟台市海岸带地质环境的治理提供了依据。

**关键词:** 层次分析法;海岸带;地质环境质量;指标体系

**中图分类号:** X820.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-1556(2010)03-0051-04

## Study on Geological Environmental Quality Indicator System in Coastal Zone Based on Analytic Hierarchy Process ——Taking the Coastal Zone in Yantai City for Example

YANG Qiang, LUO Zhao-hui, WU Xi

(School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** This paper studied the geological environment problem and geological hazard along the coastal zone in Yantai City. The Analytic Hierarchy Process was used to evaluate the factors affecting the geological environmental quality in the coastal zone and analyze the main factors affecting the subsystems. By constructing an AHP model and comparative judgments of matrix and in combination with mathematical calculation and one-time examination, the paper obtained that the over-exploitation of groundwater, mining and sea water intrusion are the main factors affecting the geoenvironment. The present study is important in improving the geological environmental quality in the coastal zone.

**Key words:** Analytic Hierarchy Process(AHP); coastal zone; geological environment quality; index system

## 0 引 言

同世界上许多国家一样,海岸带也是我国的经济重心,为科学合理地开发利用我国海岸带地区的各种资源,促进海岸带地区经济的持续发展,就必须对这一地区实行海岸带综合管理,即在全面调查海域自然环境、自然资源、开发现状及存在问题和综合分析区域经济发展需求的基础上,确定海域及其毗邻陆域海洋功能区,并对海洋功能区提出相关措施

和建议<sup>[1,2]</sup>,实施综合管理。

山东省烟台市由于自然条件优越、资源丰富、交通便利,已成为我国工商业的核心地带,在我国经济建设和国防事业中占有极为重要的地位。为此,笔者以“烟台海岸带环境地质调查”项目为依托,以烟台市海岸带已出现的环境地质问题和发生的地质灾害为评价对象,采用层次分析法从地质环境条件、地质灾害、人类工程活动三个子系统的研究入手,建立影响海岸带的指标体系,分析得出其主要影响因子,以为科学合理地预防海岸地质灾害提供依据。

1 层次分析法原理及步骤

1.1 层次分析法原理

层次分析法(AHP)是一种强有力的系统分析和运筹学方法,对多因素、多标准、多方案的综合评价及趋势预测非常有效。面对由“方案层+因素层+目标层”构成的递阶层次结构决策分析问题,它能给出一整套处理方法与过程,并在处理复杂系统的评价中具有独特的优点,能够反复统一处理决策中的定量与定性问题,直到接近客观要求。该方法可以检验并减少主观因素的影响,使分析评价工作更加客观和科学,因而逐步在地质环境质量评价中得到应用。其基本思路是:将决策者对  $n$  个元素优劣的整体判断转变为对这  $n$  个元素的两两比较,然后再转为对这  $n$  个元素的整体优劣排序判断,即确定各元素的权重。

AHP 法是一种定性与定量分析相结合的决策分析方法,它的基本原理是:把复杂的问题分解成若干个有序层次,并根据一定客观事实的判断,对每一层次的相对重要性给予定量表示;然后利用数学方法计算出表达每一层次的全部元素相对重要性秩序的数值,据此对整个问题进行分析并提出问题的解决方案<sup>[4]</sup>。

1.2 层次分析法步骤

AHP 法大体分为 5 个步骤,即:建立层次结构模型;构造判断矩阵;层次单排序及其一致性检验;层次总排序;层次总排序的一致性检验<sup>[3]</sup>。

进行层次分析最关键的是:首先建立层次结构分析模型,即确定评价系统中各因素之间的逻辑结构关系;然后通过建立的层次结构模型图,采用 T. L. Saaty 标度定义方法(见表 1),确定各层元素对应上一层元素的判断矩阵;得到的判断矩阵要求有大致的一致性,因此在得到上述各判断矩阵的特征根 $\lambda_{\max}$ 后,还需对各判断矩阵进行随机一致性检验;最后得出各评价指标的权重。其随机一致性检验公式为

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

(1)

式中:  $CR$  为判断矩阵的随机一致性比率;  $RI$  为平均随机一致性指标,  $RI$  取值如表 2 所示;  $CI$  为判断矩阵一致性指标,由下式计算:

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

(2)

其中:  $\lambda_{\max}$  为最大特征根;  $n$  为判断矩阵阶数。

表 1 判断矩阵中因子标度定义表<sup>[5]</sup>

Table 1 Scale method determining the importance of factors in matrix

标度	定义
1	两个因子相比,具有同等重要性
3	两个因子相比,前者比后者稍重要
5	两个因子相比,前者比后者明显重要
7	两个因子相比,前者比后者强烈重要
9	两个因子相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示 1、3、5、7、9 相邻判断的中间值
上列的倒数	表示两个因子相比,后者比前者的重要程度

表 2 RI 指标值<sup>[6]</sup>

Table 2 Random index

$n$	$RI$	$n$	$RI$
1	0	7	1.36
2	0	8	1.41
3	0.52	9	1.46
4	0.89	10	1.49
5	1.12	11	1.52
6	1.26	12	1.54

2 层次分析法在海岸带地质环境指标体系的应用

2.1 研究区概况

烟台市地处山东半岛中部,位于东经 119°34′~121°57′、北纬 36°16′~38°23′,东连威海,西接潍坊,西南与青岛毗邻,东南临黄海,北濒渤海、黄海,与辽东半岛隔海相望。海岸地貌主要有岩岸和砂岸两种,西起莱州市虎头崖,东至牟平的东山北头,多为曲折的岩岸,海蚀地貌显著,其余多为砂岸。山东烟台沿海是我国经济较为发达的地区,同时也是地质环境较为脆弱的一个地带,海岸带地质环境问题较多,且分布具有一定规律,其形成与自然地质背景、人类工程活动及其强度有关。主要地质环境问题有:地下水超采漏斗、海、咸水入侵,崩(滑)塌,泥石流,采空塌陷,地裂缝等<sup>[1,2]</sup>。

2.2 根据指标数据源建立层次结构模型<sup>[7~10]</sup>

据统计,地质灾害的频发不仅制约着烟台海岸带经济的持续发展,而且恶化了生态环境,因此加强地质环境管理和防治地质灾害已成为烟台海岸带实施可持续发展战略的一项重要工作。由于海岸带地质环境质量评价指标数据源关系到指标体系的准确程度,因此本研究评价指标数据主要源于基本地图资料,包括已数字化的 1:20 万地形图、2007—2008 年度环境地质调查监测报告等。

主要从地质条件、地质灾害、人为活动等来确定评价对象因素,通过对烟台海岸带地质环境影响因

素进行分析,在此基础上建立了分层次的海岸带地质环境质量影响因素层次结构模型,如图 1 所示。

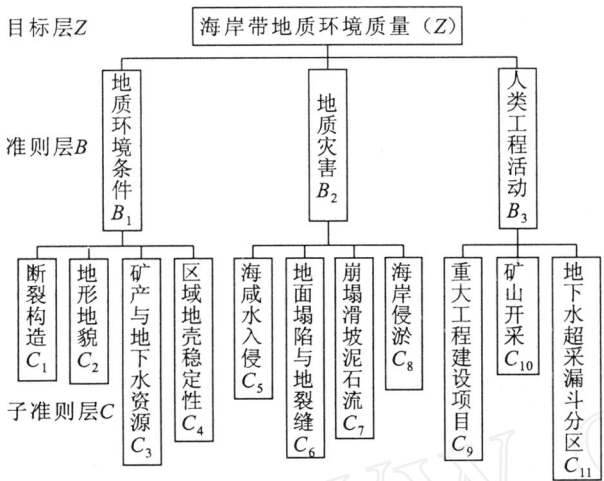


图 1 烟台海岸带层次结构模型图  
Fig. 1 Model for hierarchical structure about coastal zone in Yantai City

通过调查分析、专家评定、参阅类似文献对各因素进行赋值;然后对准则层、指标层进行综合评价,将影响海岸带地质环境质量的因素概念化;最后经过一次性检验后得出影响因素权重。其中海岸带地质环境质量是目标层(Z),环境地质条件、地质灾害和人类工程活动是准则层(B),地形地貌、地下水超采漏斗分区等是子准则层(C)。通过分析概念间的相互关系、逻辑归属和重要性的级别等,对它们进行分层排列,构成一个由上而下的递阶层次结构。

2.3 构造判断矩阵并进行一致性检验

根据层次分析法的基本步骤,建立各影响因素的划分标准,根据划分标准,对各因素进行判别分类,建立判断矩阵,并进行一致性检验,其结果见表 3 至表 6。

表 3 Z~B<sub>i</sub> 的判断矩阵表  
Table 3 Judgment matrix of Z~B<sub>i</sub>

B	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
B <sub>1</sub>	1	1/4	1/5
B <sub>2</sub>	4	1	1/2
B <sub>3</sub>	5	2	1

表 4 B<sub>1</sub>~C<sub>i</sub> 的判断矩阵表  
Table 4 Judgment matrix of B<sub>1</sub>~C<sub>i</sub>

C	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
C <sub>1</sub>	1	3	1/3	1/2
C <sub>2</sub>	1/3	1	1/4	1/2
C <sub>3</sub>	3	4	1	2
C <sub>4</sub>	2	2	1/2	1

表 5 B<sub>2</sub>~C<sub>i</sub> 的判断矩阵表  
Table 5 Judgment matrix of B<sub>2</sub>~C<sub>i</sub>

C	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
C <sub>5</sub>	1	3	3	2
C <sub>6</sub>	1/3	1	2	3
C <sub>7</sub>	1/3	1/2	1	2
C <sub>8</sub>	1/2	1/3	1/2	1

表 6 B<sub>3</sub>~C<sub>i</sub> 的判断矩阵表  
Table 6 Judgment matrix of B<sub>3</sub>~C<sub>i</sub>

C	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>
C <sub>9</sub>	1	3	2
C <sub>10</sub>	1/3	1	1/2
C <sub>11</sub>	1/2	2	1

利用 MATLAB 软件求出各判断矩阵的特征根并进行一致性检验如下:

- (1) Z~B<sub>i</sub> 的判断矩阵的特征根为  
 $\lambda_{\max} = 3.025$   
有  $CI = \frac{3.025 - 3}{3 - 1} = 0.0125, RI = 0.52, CR < 0.1。$
- (2) B<sub>1</sub>~C<sub>i</sub> 的判断矩阵的特征根为  
 $\lambda_{\max} = 4.124$   
有  $CI = \frac{4.124 - 4}{4 - 1} = 0.041, RI = 0.89, CR < 0.1。$
- (3) B<sub>2</sub>~C<sub>i</sub> 的判断矩阵的特征根为  
 $\lambda_{\max} = 4.261$   
有  $CI = \frac{4.261 - 4}{4 - 1} = 0.087, RI = 0.89, CR < 0.1。$
- (4) B<sub>3</sub>~C<sub>i</sub> 的判断矩阵的特征根为  
 $\lambda_{\max} = 3.009$   
有  $CI = \frac{3.009 - 3}{3 - 1} = 0.0045, RI = 0.52, CR < 0.1。$

可以看出,上述所有单排序的 CR < 0.1,认为每个判断矩阵的一致性都是可以接受的。采用表 1 中的 1~9 标度法建立各层次中各指标相关因素的判断矩阵并计算权重,见表 7 至表 9。

表 7 地质环境条件子系统 C 层对 B<sub>1</sub> 层的权重  
Table 7 C~B<sub>1</sub> weight of geological environment

断裂构造	地形地貌	矿产与地下水 资源	区域地壳 稳定性
0.179 094	0.096 225	0.471 403	0.253 278

表 8 地质灾害子系统 C 层对 B<sub>2</sub> 层的权重  
Table 8 C~B<sub>2</sub> weight of geological hazard

海咸水入侵	地面塌陷 与地裂缝	崩塌滑坡 泥石流	海岸侵蚀
0.453 085	0.261 589	0.167 140	0.118 186

表 9 人类工程活动子系统 C 层对 B<sub>3</sub> 层的权重

Table 9 C-B<sub>3</sub> weight of human engineering activities

重大工程	矿山开采	地下水超采
建设项目		漏斗分区
0.539 615	0.163 424	0.296 961

2.4 层次总排序及一致性检验

进行递进判断,最终确定影响烟台海岸带地质环境质量的主要因素,并做出决策分析,见表 10。

表 10 组合权重

表 10 Combined weight

C 层	B 层权重 (w <sub>j</sub> )			C 层因素 总排序 权重
	地质环境条件	地质灾害	人类工程活动	
	0.097 39	0.333 069	0.569 541	
断裂构造	0.179 094	0	0	0.017 442
地形地貌	0.096 225	0	0	0.009 371
矿产与地下水资源	0.471 403	0	0	0.045 910
区域地壳稳定性	0.253 278	0	0	0.024 667
海咸水入侵	0	0.453 085	0	0.150 909
地面塌陷与地裂缝	0	0.261 589	0	0.087 127
崩塌滑坡泥石流	0	0.167 140	0	0.055 669
海岸侵蚀	0	0.118 186	0	0.039 364
重大工程建设项目	0	0	0.539 615	0.307 333
矿山开采	0	0	0.163 424	0.093 077
地下水超采漏斗分区	0	0	0.296 961	0.169 131

计算层次总排序的随机一致性比率为

$$CR = \frac{\sum_{j=1}^m \frac{CI(j)}{RI(j)}}{m} = \frac{(0.041, 0.087, 0.0045) (0.09739, 0.33307, 0.56954)^T}{(0.89, 0.89, 0.52) (0.09739, 0.33307, 0.56954)^T}$$

根据上述计算可以认为,综合排序的一致性是可以接受的。因此,采用层次分析法评价影响海岸带地质环境的因素,确定各种因素之间的相对重要性程度是可行的。

2.5 评价结果分析

通过采用 AHP 法对影响烟台海岸带环境指标体系的因素进行分析后,可以清楚地了解各种影响因素分布情况:人类工程活动是影响海岸带地质环境(0.57)的首要因素,其次是地质灾害(0.33),而地质环境条件(0.10)排在最后;通过层次总排序得出 11 个主要因素对烟台海岸带地质环境的影响情况,可见地下水超采(0.31)对烟台海岸带的地质环境的影响日趋严重,其次为矿山开采(0.17)和海水入侵(0.15),地形地貌、区域地壳稳定性、海岸侵蚀等因素对烟台海岸带有影响,但不是主要的因素。总之,通过对建立的指标体系的分析,可从根本上把握影响海岸带地质环境的主要因素和次要因素,从而为

科学合理地预防海岸带地质灾害提供依据。

3 结论与建议

(1) 海岸带地质环境质量是一个受众多因素影响的复杂系统,要对其进行评价,首先必须建立一套全面合理的指标体系和分级标准。本研究在前人研究成果的基础上,建立了海岸带地质环境质量评价的指标体系,通过 AHP 模型的求解,得出各影响因素的优先级系数,能基本反映烟台海岸带的实际情况。

(2) 建立海岸带地质环境质量指标体系时,若选取的指标过多,缺乏可操作性,指标太少,评价会失真,因此指标体系建立之后,必须有针对性地进行指标的筛选与优化,即在实际应用中应针对海岸带地质环境问题的具体特点,选取更加全面和准确的指标以构建更为贴切的层次结构模型。指标体系建立之后,还要通过一定的实例分析验证体系的准确性。本研究结合烟台 2007—2008 年度环境地质监测报告,在大量野外实地调查资料的基础上,建立了烟台海岸带地质环境质量指标体系,并对其进行了分析评价,结果表明烟台海岸带已成为水资源供需矛盾突出的地区,地下水超采最为严重。同时,也给人们以警示:在开采利用地下水资源的同时,应采取有效的防治保护措施,区别不同地区地下水的脆弱程度,评价地下水潜在的易污染性,圈定脆弱的地下水范围,以为海岸带地质环境开发、利用和保护提供依据。

参考文献:

[1] 吕宝平,王经,白艳慧,等.山东省烟台市 2008 年地质灾害防治年度报告[R].烟台:山东省烟台地质环境监测站,2009.

[2] 吕宝平,王经,白艳慧,等.山东省烟台市地质环境监测年度报告(2007 年)[R].烟台:山东省烟台地质环境监测站,2008.

[3] Saaty, T. L. The Analyti Hierarchy Process [M]. New York: Mc Graw- Hill, 1980.

[4] 许树柏.层次分析法原理[M].天津:天津大学出版社,1998.

[5] 周爱国,周建伟,梁合诚,等.地质环境评价[M].武汉:中国地质大学出版社,2008.

[6] 赵焕臣.层次分析——一种简易的新决策方法[M].北京:科学出版社,1986.

[7] 张征.环境评价学[M].北京:高等教育出版社 2004:420 - 27.

[8] 谭建民,韩会卿.城市建设发展的地质环境适宜性评价研究进展[J].西部探矿工程,2005,(6):218 - 219.

[9] 蔡鹤生,周爱国,唐朝晖.地质环境质量评价中的专家——层次分析定权法[J].地球科学——中国地质大学学报,1998,23(3):299 - 302.

[10] 金江军,李光辉,潘懋,等.人工神经网络在鞍山城区岩溶塌陷危险性评价中的应用[J].灾害与防治工程,2006,(2):31 - 34.

通讯作者:罗朝晖(1971—),男,副教授,环评工程师,主要从事水文地质、环境影响评价方面的研究。E-mail:zhhluo@cug.edu.cn