

# 基于 AHP 法的赤潮灾害风险评估指标权重研究<sup>\*</sup>

文世勇<sup>1,2</sup>, 赵冬至<sup>1</sup>, 陈艳拢<sup>1</sup>, 杨帆<sup>1,2</sup>, 马小峰<sup>1,2</sup>

(1. 国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023; 2. 大连海事大学 环境科学与工程学院, 辽宁 大连 116026)

**摘 要:** 赤潮灾害风险评估是赤潮灾害减灾防灾的重要内容之一。评估指标体系对赤潮灾害风险评估具有十分重要的意义, 而权重的确定是建立指标体系的主要内容, 是提高赤潮灾害风险评估结果可信度的关键。运用德尔斐 (Delphi) 法、层次分析法 (AHP) 定量确定了赤潮灾害风险评估中赤潮灾害危险度、承灾体易损度的各个层次、各个指标的权重。结果表明, 在赤潮灾害危险度评估的所有指标中, 光照强度的权重为 0.094 77, 氮磷比值、硝氮、铵氮和磷均占 0.044 78 等; 在承灾体易损度评估的所有指标中, 不同类型赤潮对承灾体因子易损度是不一样的, 总体趋势是无毒赤潮对承灾体易损度的影响最小, 有害赤潮的影响居中, 有毒赤潮的影响最大。

**关键词:** AHP; 赤潮灾害; 风险评估; 指标体系; 权重

**中图分类号:** X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2007)02-0009-06

## 0 引言

赤潮已成为一种严重的全球性海洋灾害<sup>[1-3]</sup>, 如何有效地进行赤潮防治已经成为迫切需要解决的重大问题。赤潮灾害风险评估<sup>[4-5]</sup>是赤潮灾害减灾防灾的重要内容之一, 建立评估指标体系对赤潮灾害风险评估具有十分重要的意义, 而权重的确定具有很强的导向作用, 是建立评估指标体系中的关键因素。确定权重的方法很多, 如相对比较法、德尔菲法 (专家调查法)、层次分析法、主成分分析法、秩和比 (RSR) 法、模糊聚类分析法、专家排序法、熵值确定法、相关系数法、因子分析法以及上述几种方法组合确定法<sup>[6-8]</sup>等。如何选择对指标进行赋权的最佳方法, 是综合评价的关键。

本文目的是运用 AHP 法建立由赤潮灾害危险度与承灾体易损度评估指标构成的赤潮灾害风险评估指标的递阶层次结构模型、判断矩阵、层次排序及一致性检验模型, 最后计算出赤潮灾害风险评估指标中所有指标的权重。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

本文资料主要来源于与赤潮灾害成因、危害相

关的文献<sup>[2, 3, 9-22]</sup>, 从中筛选出影响赤潮灾害危险度与承灾体易损度评估的指标, 初步构造由赤潮灾害危险度与承灾体易损度评估指标构成的赤潮灾害风险评估指标体系; 并采用德尔斐 (Delphi) 法获得专家对指标的增删并给指标间的相对重要性打分来完善指标体系。

### 1.2 确定权重的方法

Delphi 法是采取匿名的方式广泛征求专家的意见, 经过反复多次的信息交流和反馈修正, 使专家的意见逐步趋向一致, 最后根据专家的综合意见, 从而对评价对象作出评价的一种定量与定性相结合的预测、评价方法。其过程主要包括以下几个步骤: 一是编制专家咨询表; 二是分轮咨询。

层次分析法 (AHP) 是将定性定量相结合的系统分析方法, 最适宜于解决那些难以完全用定量方法进行分析的决策问题, 其确定过程主要包括以下几个步骤: 一是建立递阶层次结构模型; 二是通过专家采用 1~9 标度<sup>[23]</sup>打分, 对各层因素两两间量化比较, 构造出各层次中所有的两两判断矩阵; 三是层次单排序及一致性检验; 四是层次总排序及组合一致性检验。

根据本文研究的目的, 邀请 11 位在赤潮生物、赤潮灾害预警、赤潮灾害风险评估研究领域卓有成就的专家作为本次咨询组成员。其中, 专

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2006-10-23

基金项目: 国家海洋局 908 专项资助项目

作者简介: 文世勇 (1979-) 男, 海南东方人, 硕士研究生, 主要从事海洋遥感与 GIS 技术相结合的赤潮灾害风险评估与损失的应用研究。E-mail: shiyw@163.com

家的权威程度用专家对指标作出判断的依据和专家对指标的熟悉程度来反映, 专家意见的协调程度用协调系数  $R$  来反映,  $R$  越大, 表明协调程度越好。在向专家咨询前, 把选定的指标按照其隶属关系初步构造赤潮灾害危险度评估与承灾体易损度评估的递阶层次结构, 并设计成专家咨询表, 第一轮调查时, 为了增加表的回收率, 向选定的专家发出邀请函, 表明调查的目的、意义、方法及调查的时间, 通过信函、电子邮件等方式请专家填写咨询表, 专家通过增删指标来完善指标体系, 并对各层次的所有指标间的相对重要性打分, 且在规定的时间内收回。第二轮调查时, 先用 AHP 法把第一轮调查的结果整理列表, 请专家加以修改和补充, 提出优缺点, 进一步完善指标体系及指标间的相对重要性。

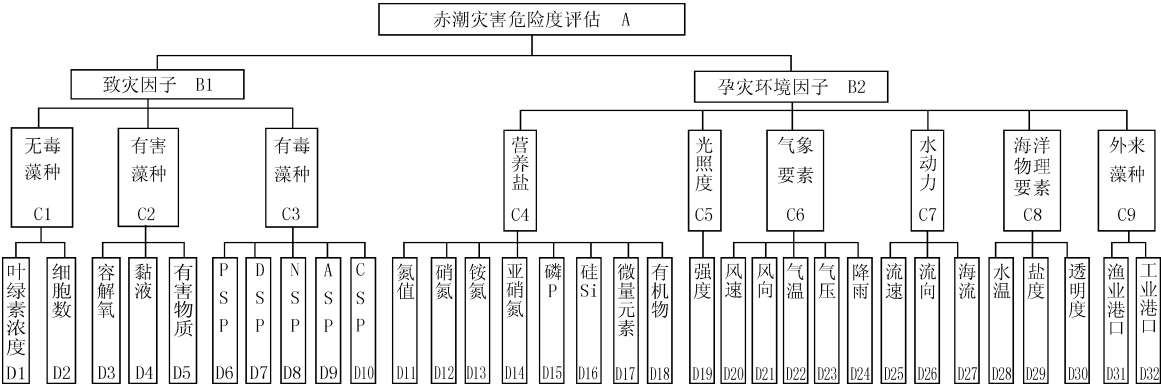
本次调查发出调查表 22 份, 回收 20 份, 专家积极系数为 90.9%。两次协调系数分别为 0.610 8

0.612 3, 说明了专家意见相对集中, 对问题的看法相对稳定。

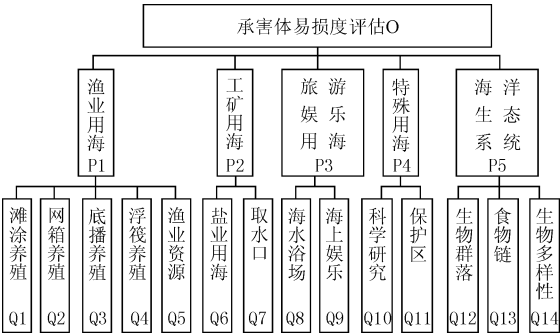
2 结果与讨论

2.1 赤潮灾害风险评估指标的递阶层次结构模型

建立递阶层次结构模型的目的是确定众多指标的隶属关系, 使复杂问题层次化、条理化。按照指标确定的科学性、相对完备性、相对独立性原则<sup>[24]</sup>, 根据初步建立的由赤潮灾害危险度与承灾体易损度评估指标构成的赤潮灾害风险评估指标结构模型, 结合 DePh 法二轮专家的意见整理结果, 建立了包括目标层 (A)、准则层 (B)、子准则层 (C) 和指标层 (D) 共 4 层的赤潮灾害危险度评估指标层次结构模型 (图 1); 建立了包括目标层 (O)、准则层 (P) 和指标层 (Q) 共 3 层的承灾体易损度评估的指标层次结构模型 (图 2)。



(注: PSP (Paralytic Shellfish Poisoning): 麻痹性贝毒; DSP (Diarrhetic Shellfish Poisoning): 腹泻性贝毒; ASP (Amnesic Shellfish Poisoning): 记忆缺失性贝毒; NSP (Neurotoxic Shellfish Poisoning): 神经性贝毒; CFP (Ciguatera Fish Poisoning): 西加鱼毒 (甲藻鱼毒))



赤潮灾害危险度评估是评估未来时期在什么地方可能什么类型的赤潮灾害, 其危害的规模与范围

有多大。其中, 致灾因子是指导致海洋生物死亡、破坏生态系统、引起人体异常反应、恶化水质等赤潮藻类, 它表征了引发赤潮灾害发生的内在因素, 反映赤潮灾害的强度及对承灾体因子的破坏强度, 包括无毒藻种、有害藻种、有毒藻种 3 个方面及 11 个指标。孕灾环境因子是指影响赤潮藻类生长、繁殖的外界环境条件, 它表征引发赤潮灾害的外在环境要素, 反映赤潮灾害发生的可能性, 主要包括营养盐、光照度、气象要素、水动力、海洋物理要素、外来藻种 6 个方面及 21 个指标。

承灾体易损度评估是指承灾体遭受不同类型的赤潮灾害破坏的难易程度。承灾体因子是指当赤潮

灾害发生时海域使用类型中易受赤潮影响的因素, 它表征了赤潮灾害的破坏对象, 反映了其对致灾因子的抗灾防灾能力, 包括渔业用海、工矿用海、旅游娱乐用海、特殊用海、海洋生态系统 5个方面及 14个指标。

2.2 判断矩阵

递阶层次结构模型后的构造确定了层次间指标的隶属关系, 而判断矩阵反映了在同一隶属关系下, 指标间的相对重要程度, 为下一步计算做准备。通过对二轮专家打分问卷调查结果采用数理统计方法, 在此基础上, 获得目标层 (A)与准则层 (B)<sub>1</sub> 的判断矩阵 A—B<sub>1</sub> 准则层 (B)<sub>1</sub>与子准则层 (C)<sub>1</sub>的判断矩阵 B<sub>1</sub>—C<sub>1</sub> B<sub>2</sub>—C<sub>1</sub> 子准则层 (C)<sub>1</sub>与指标层 (D)<sub>1</sub>的判断矩阵 C<sub>1</sub>—D<sub>1</sub> C<sub>2</sub>—D<sub>1</sub> C<sub>3</sub>—D<sub>1</sub> C<sub>4</sub>—D<sub>1</sub> C<sub>5</sub>—D<sub>1</sub> C<sub>6</sub>—D<sub>1</sub> C<sub>7</sub>—D<sub>1</sub> C<sub>8</sub>—D<sub>1</sub> C<sub>9</sub>—D<sub>1</sub> 获得承灾体易损度评估分别在无毒赤潮、有害赤潮、有毒赤潮下的目标层 (O)与准则层 (P)的判断矩阵 O—P<sub>1</sub> 准则层 (P)<sub>1</sub>与指标层 (Q)<sub>1</sub>的判断矩阵 P<sub>10</sub>—Q<sub>1</sub> P<sub>11</sub>—Q<sub>1</sub> P<sub>12</sub>—Q<sub>1</sub> P<sub>13</sub>—Q<sub>1</sub> P<sub>14</sub>—Q<sub>1</sub>

以 B<sub>1</sub>—C<sub>1</sub>为例 (表 1), 它表示相对于致灾因子 (B<sub>1</sub>) 这一层, 子准则层 (C)<sub>1</sub>中与 B<sub>1</sub>相关联的所有指标 C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>之间相对重要性的比较。该矩阵表明在其子准则层 (C)<sub>1</sub>的指标中, C<sub>3</sub>最重要, 其次是 C<sub>2</sub> 最后是 C<sub>1</sub>。同理其它判断矩阵也表明了本层次的各个指标在相对于上一层因素的相对重要性。

表 1

B<sub>1</sub>—C<sub>1</sub>判断矩阵

B <sub>1</sub> —C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
C <sub>1</sub>	1	1/2	1/3
C <sub>2</sub>	2	1	1/2
C <sub>3</sub>	3	2	1

表 5 赤潮灾害危险度评估的准则层 (B)与子准则层 (C)的判断矩阵单排序及一致性检验计算结果

矩阵	特 征 向 量	$\lambda_{\max}$	CI	CR
B <sub>1</sub> —C <sub>1</sub>	[0.163 78 0.297 26 0.538 96] <sup>T</sup>	3.009 21	0.004 61	0.007 95
B <sub>2</sub> —C <sub>1</sub>	[0.391 81 0.142 16 0.142 16 0.142 16 0.039 55] <sup>T</sup>	6.003 26	0.006 53	0.005 26

从表 5可以看出, 在致灾因子层次下, 有毒藻种的相对权重最大, 其次是有害藻种, 最后是无毒藻种; 在孕灾环境因子层次下, 营养盐的相对权重

表 2

B<sub>2</sub>—C<sub>1</sub>判断矩阵

B <sub>2</sub> —C <sub>1</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>
C <sub>4</sub>	1	3	3	3	3	7
C <sub>5</sub>	1/3	1	1	1	1	4
C <sub>6</sub>	1/3	1	1	1	1	4
C <sub>7</sub>	1/3	1	1	1	1	4
C <sub>8</sub>	1/3	1	1	1	1	4
C <sub>9</sub>	1/7	1/4	1/4	1/4	1/4	1

表 3 无毒赤潮的承灾体易损度的 O—P判断矩阵

O—P	P <sub>10</sub>	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>
P <sub>10</sub>	1	1/2	1/4	1/3	1/6
P <sub>11</sub>	2	1	1/2	2/3	1/3
P <sub>12</sub>	4	2	1	3/4	2/3
P <sub>13</sub>	3	3/2	4/3	1	1/2
P <sub>14</sub>	6	3	3/2	2	1

2.3 层次单排序及一致性检验

层次单排序及一致性检验是按照单一准则下计算所有指标的相对权重并检验其是否满足一致性要求。按层次单排序计算步骤, 得到赤潮灾害危险度评估的目标层 (A)与准则层 (B)<sub>1</sub>、准则层 (B)<sub>1</sub>与子准则层 (C)<sub>1</sub>、子准则层 (C)<sub>1</sub>与指标层 (D)<sub>1</sub>的判断矩阵的特征向量、最大特征值  $\lambda_{\max}$  层次单排序及一致性检验结果, 如表 4、表 5、表 6所示。得到的 CI、CR均小于 0.10 满足判断矩阵的一致性要求, 计算所得特征向量可作为权向量。

表 4 赤潮灾害危险度评估的目标层 (A)与准则层 (B)<sub>1</sub>的判断矩阵单排序及一致性检验计算结果

矩阵	特 征 向 量	$\lambda_{\max}$	CI	CR
A—B <sub>1</sub>	[0.333 33 0.666 67] <sup>T</sup>	2.000 00	0.000 00	0.000 00

从表 4中可以看出, 在赤潮灾害危险度评估 A<sub>1</sub> 这一层次下, 孕灾环境因子的相对权重最大, 其次是致灾环境因子。

最大, 其次是光照度、气象要素、水动力、海洋物理要素, 最后是外来藻种要素。

表 6

赤潮灾害危险度评估的子准则层 (C)与指标层 (D)的判断矩阵单排序及一致性检验计算结果

矩阵	特 征 向 量	$\lambda^{\max}$	CI	CR
C1—D	[ 0.500 00 0.500 00] <sup>T</sup>	2.000 00	0.000 00	0.000 00
C2—D	[ 0.333 33 0.333 33 0.333 34] <sup>T</sup>	3.000 00	0.000 00	0.000 00
C3—D	[ 0.200 00 0.200 00 0.200 00 0.200 00 0.200 00] <sup>T</sup>	5.000 00	0.000 00	0.000 00
C4—D	[ 0.171 43 0.171 43 0.171 43 0.114 29 0.171 43 0.085 71 0.057 14 0.057 14] <sup>T</sup>	8.000 03	0.000 00	0.000 00
C5—D	[ 1.000 00] <sup>T</sup>	1.000 00	0.000 00	0.000 00
C6—D	[ 0.166 67 0.166 67 0.166 67 0.166 67 0.333 32] <sup>T</sup>	5.000 02	0.000 01	0.000 00
C7—D	[ 0.333 33 0.333 33 0.333 34] <sup>T</sup>	3.000 00	0.000 00	0.000 00
C8—D	[ 0.400 00 0.400 00 0.200 00] <sup>T</sup>	3.000 00	0.000 00	0.000 00
C9—D	[ 0.500 00 0.500 00] <sup>T</sup>	2.000 00	0.000 00	0.000 00

从表 6可以看出，在 9个单一准则下所有指标在各自所属的准则中的相对权重。

同理得到承灾体易损度评估在无毒、有害、有毒赤潮下的目标层 (O)与准则层 (P)、准则层 (P)与指标层 (Q)的判断矩阵的特征向量、最大特征值  $\lambda^{\max}$  层次单排序及一致性检验结果，如表 7、表 8所示。得到的 CI、CR均小于 0.10，满足一致性要求，计算所得特征向量可作为权向量。

表 7

承灾体易损度评估在不同类型赤潮下的目标层 (O)与准则层 (P)的判断矩阵单排序及一致性检验计算结果

赤潮类型	矩阵	特 征 向 量	$\lambda^{\max}$	CI	CR
无毒赤潮	O—P	[ 0.062 44 0.124 89 0.225 21 0.212 79 0.374 66] <sup>T</sup>	5.040 15	0.010 04	0.008 96
有害赤潮	O—P	[ 0.449 20 0.064 17 0.149 73 0.112 30 0.224 60] <sup>T</sup>	5.000 00	0.000 00	0.000 00
有毒赤潮	O—P	[ 0.497 63 0.071 09 0.099 53 0.082 94 0.248 82] <sup>T</sup>	5.000 00	0.000 00	0.000 00

从表 7中可以看出，不同类型的赤潮灾害对承灾体因子破坏程度是不一样的。总体趋势是无毒赤潮的破坏程度最低，有害赤潮的破坏程度居中，有毒赤潮的破坏程度最大。

表 8

承灾体易损度评估的准则层 (P)与指标层 (Q)的判断矩阵单排序及一致性检验计算结果

矩阵	特 征 向 量	$\lambda^{\max}$	CI	CR
P1—Q	[ 0.166 66 0.250 00 0.166 67 0.166 67 0.250 00] <sup>T</sup>	5.000 01	0.000 00	0.000 00
P2—Q	[ 0.666 67 0.333 33] <sup>T</sup>	2.000 00	0.000 00	0.000 00
P3—Q	[ 0.500 00 0.500 00] <sup>T</sup>	2.000 00	0.000 00	0.000 00
P4—Q	[ 0.500 00 0.500 00] <sup>T</sup>	2.000 00	0.000 00	0.000 00
P5—Q	[ 0.333 33 0.333 33 0.333 34] <sup>T</sup>	3.000 00	0.000 00	0.000 00

从表 8可以看出，在 5个单一准则下所有指标在各自所属的准则中的相对权重。

表 4、表 5、表 6、表 7、表 8中求得的各层次指标的权重值与赤潮灾害成因、赤潮灾害风险损失评估的研究著作、研究文献的结论是一致的<sup>[ 12 15 17 18 20]</sup>。

2.4 层次总排序及组合一致性检验

层次总排序是计算递阶层次结构中每一层次中所有指标相对于总目标的相对权重，需要把层次单排序的计算结果进行适当的组合计算，并进行总的一致性检验。根据其计算步骤，得到赤潮灾害危险度评估的指标层 (D) (图 3)、承灾体易损度评估在不同类型赤潮下的指标层 (Q)总排序的结果 (图 4)，且 CI、CR值均小于 0.10，满足层次总排序一致性要求。

图 3表明，在赤潮灾害危险度评估的所有指

标中, 光照强度、氮磷比值、硝酸氮、铵氮、磷酸盐、海水温度、盐度、降雨、海流、藻种毒素、藻种叶绿素浓度、细胞数藻类分泌的黏液、有害物质的比重较大。这是因为光照强度为浮游生物的光合作用提供所需能量, 使赤潮藻类得以生长和繁殖。氮磷比值是赤潮发生过程中营养状况的一个特征, 是水体中植物受磷或氮限制的重要指标, 它影响环境中浮游植物的种群结构。氮是合成藻体内担蛋白质、核酸、叶绿素的基本元素, 浮游植物利用氮的能力一般是  $\text{NH}_4 - \text{N} > \text{NO}_3 - \text{N} > \text{NO}_2 - \text{N}$  磷是核酸与细胞膜的主要成分, 同时又是高能化合物的基本元素, 海水中, 磷以磷酸盐形式存在。海水温度、盐度形成温跃层和盐跃层为赤潮生物的聚集提供了条件。降雨使海水盐度降低, 同时也将大量营养物质带入海中, 加快了海水富营养化的进程, 使赤潮生物得以生长和繁殖。海流对赤潮生物的聚集、能量的传输具有重要的作用。这些是导致赤潮灾害暴发的重要指标。藻种毒素、藻种叶绿素浓度、细胞数、藻类分泌的黏液、有害物质等主要体现了赤潮灾害的强度及破坏程度。

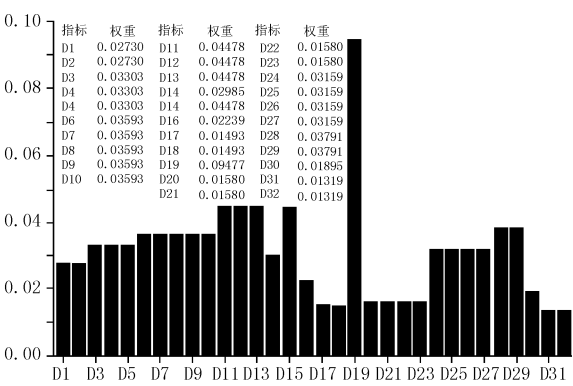


图 3 赤潮灾害危险度评估指标总排序

图 4 说明在承灾体易损度评估的所有指标中, 不同类型赤潮对承灾体因子易损度是不相同的。当发生无毒赤潮时, 生物群落、食物链、生物多样性易损度最大, 对水产养殖业影响不大。当发生有害赤潮时, 水产养殖业易损度最大, 这是因为引发有害赤潮的藻种分泌出的黏液和有害物质对养殖物具有窒息作用。当发生有毒赤潮时, 其对水产养殖业的影响更加大, 间接影响到人体健康, 这是由于引发有毒赤潮的藻种分泌毒素, 水产养殖物对毒素的累积, 人体通过食用养殖物造成身体的损害。

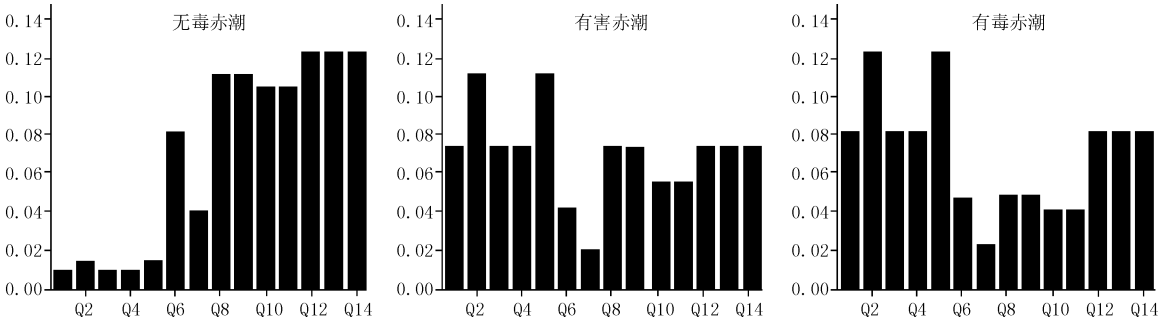


图 4 承灾体易损度评估在不同类型赤潮下的指标总排序

3 结束语

赤潮灾害风险评估由赤潮灾害危险度评估与承灾体易损度评估构成。本文通过运用 AHP法计算出赤潮灾害危险度评估与承灾体易损度评估的所有指标权重, 为赤潮灾害风险评估提供了可靠依据。结果表明, 在赤潮灾害危险度评估中光照度的权重为 0.094 77, 氮磷比值、硝氮、铵氮和磷均为 0.044 78, 海水温度、盐度均占 0.037 91, 五种毒素均为 0.035 93, 溶解氧、黏液、有害物质均为 0.033 03。在承灾体易损度评估中, 不同类型赤潮

对承灾体因子易损度是不一样的, 承灾体易损度要根据赤潮类型来取值。

DelPh专家法在征询意见的二轮反复咨询中, 征询过程中用匿名方式进行, 有利于各位专家敞开思想, 独立思考, 不为少数权威意见所左右; 对专家意见结果汇总整理, 采用数理统计方法, 使定性的调查有了定量的说明, 所得结论更为科学; 层次分析法对专家意见的处理弥补了人的主观模糊能力局限, 将决策者的经验判断给予量化, 逐层比较相关因素, 逐层检验比较结果的合理性, 避免了主观赋值随意性, 使结果更加精确, 因而使评估决策更具有客观性和说服力。

本文研究结果适用于普遍的赤潮灾害风险评估损失, 对于特定的海域, 特定藻种引起的赤潮灾害, 还要具体分析。

## 参考文献:

- [1] Dong-zhi Zhao, Ling Zhao, Feng-shou Zhang, Xin-yang Zhang. Temporal Occurrence and Spatial Distribution of Red Tide Events in China's Coastal Waters [J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2004, 10(5): 945-957.
- [2] 齐雨藻, 邹景忠, 梁松, 等. 中国沿海赤潮[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [3] 孙冷, 黄朝迎. 赤潮及其影响[J]. 灾害学, 1999, 14(2): 51-54.
- [4] 赵冬至, 李亚楠. 赤潮灾害经济损失评估技术研究[A]/赵冬至. 渤海赤潮灾害监测与评估研究文集[C]. 北京: 海洋出版社, 2000, 144-150.
- [5] 李亚楠, 赵冬至. 1998年渤海赤潮危害及经济损失综合评估[A]/赵冬至. 渤海赤潮灾害监测与评估研究文集[C]. 北京: 海洋出版社, 2000, 151-155.
- [6] 樊运晓, 罗云, 陈庆寿. 区域承灾体脆弱性综合评价指标权重的确定[J]. 灾害学, 2001, 16(1): 85-87.
- [7] 刘明寿. 采用德尔菲法评价高校学报学术影响力[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2004, 21(4): 437-440.
- [8] 王靖, 张金锁. 综合评价中确定权重向量的几种方法比较[J]. 河北工业大学学报, 2001, 30(2): 52-57.
- [9] 钱宏林, 梁松, 齐雨藻. 广东沿海赤潮的特点及成因研究[J]. 生态科学, 2000, 19(3): 8-16.
- [10] 曾江宁, 曾淦宁, 黄韦良, 等. 赤潮影响因素研究进展[J]. 东海海洋, 2004, 22(2): 40-47.
- [11] 潘克厚, 姜广信. 有害藻华(HAB)的发生、生态学影响和对策[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(5): 781-786.
- [12] 徐宁, 段舜山, 李爱芬, 等. 沿岸海域富营养化与赤潮发生的关系[J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1782-1787.
- [13] 李绪兴. 赤潮及其对渔业的影响[J]. 水产科学, 2006, 25(1): 45-47.
- [14] 吴迪生, 黎广媚, 赵雪. 1997-1998年广东赤潮发生与海洋水文气象的关系[J]. 广东气象, 2005, 2: 14-15.
- [15] 乔方利, 袁立立, 朱明远, 等. 长江口海域赤潮生态动力学模型及赤潮控制因子研究[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(1): 93-100.
- [16] 许卫忆, 朱德弟, 卜献卫, 等. 赤潮发生和蔓延的动力机制数值模拟[J]. 海洋学报, 2002, 24(5): 91-97.
- [17] 黄小平, 黄良民, 谭烨辉, 等. 近海赤潮发生与环境条件之间的关系[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(4): 63-69.
- [18] 张俊峰, 俞建良, 庞海龙, 等. 利用水文气象要素因子的变化趋势预测南海区赤潮的发生[J]. 海洋预报, 2006, 23(1): 9-18.
- [19] 曹丛华, 黄娟, 郭明克, 等. 辽东湾鲑鱼圈赤潮与环境因子分析[J]. 海洋预报, 2005, 22(2): 1-6.
- [20] 胡宝强, 李锡华. 浅谈水文气象因素对辽海域赤潮发生的影响[J]. 海洋预报, 2005, 22(3): 64-67.
- [21] 冷科明, 江天久. 深圳海域近20年赤潮发生的特征分析[J]. 生态科学, 2004, 23(2): 166-170.
- [22] 邓素清, 汤燕冰. 浙江海区赤潮发生前期气象因子的统计分析[J]. 科技通报, 2005, 21(4): 396-391.
- [23] 许树柏. 层次分析原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1998.
- [24] 王雁林. 县级地质灾害防治管理评价指标体系探讨[J]. 灾害学, 2005, 20(2): 115-119.

## Research on Index Weighting of Risk Assessment of Harmful Algal Bloom Hazard Based on AHP

Wen Shiyong<sup>2</sup>, Zhao Dongzhong<sup>1</sup>, Chen Yanlong<sup>2</sup>, Yang Fan<sup>2</sup> and Ma Xiaofeng<sup>21</sup>

(1. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China;

2. College of Environment Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

**Abstract** The risk assessment of the harmful algal bloom (HAB) disaster is one of the important contents of reducing and preventing HAB disaster. But the determination of index weighting is an important content for establishing the indexes system which is of great significance to risk assessment of HAB disaster. It is a key to enhance the availability level of risk assessment results of HAB disaster. This paper used Delphi method and analytic hierarchy process method (AHP) to compute the weight of all of the indexes. The research indicates that in all indexes, the weight of light illumination is 0.09477 and nitrogen phosphorus ratio, nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and phosphorus are 0.04478. In vulnerability assessment of disaster bearing body, the different kinds of HAB make vulnerability different. The general trend is that the influence of non-toxicity HAB to vulnerability of disaster bearing body is the least, the influence of nocuousness HAB is the midst and that of the venomous HAB is the most.

**Key words** AHP, HAB disaster, risk assessment, indexes system, weight