

基于突变理论的营口近岸海域环境灾害性风险分析

王文俊,张树深,刘素玲,杨凤林

(大连理工大学环境与生命学院工业生态与环境工程教育部重点实验室,辽宁 大连 116024)

摘要:以辽宁省营口段海域为案例,应用突变理论,根据1998—2007年的实测数据分别计算了二道沟、望海寨、仙人岛、鲅鱼圈海域的水体富营养化环境灾害性、难降解有机污染物环境灾害性、重金属污染物环境灾害性风险。计算结果表明,2004年以前,营口海域均有发生水体富营养化灾害的风险,局部海域有发生难降解有机物灾害的风险,发生重金属灾害的可能性极小;2005年以后,营口近岸海域发生各类环境灾害的风险都有所降低,但是与其他类型灾害相比,水体富营养化灾害仍然是营口海域环境的潜在风险。

关键词:突变理论;近岸海域;环境灾害性

中图分类号:X820.4 文献标识码:A 文章编号:1672-2043(2010)增刊-0184-07

Risk Analyzing on Pollution Disaster in Near-shore Waters Coastal in Yingkou Based on Catastrophe Theory

WANG Wen-jun, ZHANG Shu-shen, LIU Su-ling, YANG Feng-lin

(Key Laboratory of Industrial Ecology and Environmental Engineering (MOE), Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: According to the actual data of Erdaogou, Wanghaizhai, Xianrendao, and Bayuquan from 1998 to 2007, the catastrophe theory was used in calculating the possibility of an environmental disaster occurring in these regions, which includes eutrophication disaster, heavy metal disaster and organic pollution disaster. The results revealed that all the regions of near-shore coastal water of Yingkou have the risk on eutrophication disaster, and some local sea areas may occur the heavy metal disaster, but the risk of organic pollution disaster is smaller before 2004. After 2005, the risk on all the types of disaster had gone down in near-shore coastal water of Yingkou, but comparing with other types, the eutrophication disaster was still a potential threat to the near-shore coastal water of Yingkou. The above conclusions have a direct relationship with the development of the industrial structure's history in Yingkou, are also consistent with the relevant historical data.

Keywords: catastrophe theory; near-shore coastal waters; environmental disaster

随着社会经济的发展,人类在近岸海域的活动更加频繁,近岸海域的生态环境急剧恶化,各种灾害频繁发生。与风暴潮、海浪、海啸等自然灾害相比较,赤

潮、重金属污染以及难降解有机物污染等人为灾害对近岸海域的生态环境造成更深更广的破坏,由于其具有很明显的人为影响特征,可以通过环境管理得到预防和控制。目前,环境污染灾害主要发生在沿海城市近岸水域,主要类型包括水体富营养化、难降解有机物污染、重金属污染等,而不管是何种类型的环境污染灾害,其中的各种影响因子(控制变量)之间的内部作用机理还不是很明确,因此适合采用突变理论的多准则评价方法建立评价模型^[1]。

收稿日期:2009-09-03

基金项目:教育部留学回国基金(20071108);国家水专项:辽河流域水体污染综合治理(2008ZX07208-009)

作者简介:王文俊(1984—),男,辽宁大连人,在读硕士,主要从事环境影响评价方面研究工作。

E-mail: qinfen19851114@163.com

通讯作者:刘素玲 E-mail: lsldl@dlut.edu.cn

1 基于突变理论的多准则评价方法

多准则评价方法的应用步骤如下:首先按照所需评价系统内部的作用机理,将其分解成由若干评价指标组成的多层子系统;再根据突变理论和模糊数学等方法,将最底层指标的原始数据规范化,得到一种多维的在0~1之间取值越大越优的突变模糊隶属度值,解决由于各最底层指标的原始数据由于取值范围和单位不同而造成的彼此间无法比较的问题;然后利用归一公式进行综合量化递归运算,求出评价系统的总突变隶属度值;最后根据不同评价系统的总突变隶属度值进行比较分析,得到评价结论^[2]。

在对最底层指标的原始数据进行规范化处理时,应将该组中最优的数据设为1,其余数据在其基础上转化为0~1的突变隶属度值。

对于分解后的各层次的评价指标,应根据其对上级指标影响作用的主次排序,主要的在前,次要的在后。按照评价指标的个数一般分为以下3种突变模型:2个评价指标(a、b)的尖点突变;3个评价指标(a、b、c)的燕尾突变;4个评价指标(a、b、c、d)的蝴蝶突变。

在使用归一化公式的过程中,按照下面的公式对同一子系统中各指标突变隶属度值进行处理。

$$\text{点尖突变: } x_a = a^{\frac{1}{2}}, x_b = b^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$\text{燕尾突变: } x_a = a^{\frac{1}{2}}, x_b = b^{\frac{1}{3}}, x_c = c^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

$$\text{蝴蝶突变: } x_a = a^{\frac{1}{2}}, x_b = b^{\frac{1}{3}}, x_c = c^{\frac{1}{4}}, x_d = d^{\frac{1}{5}} \quad (3)$$

计算出对应的 X 值后,进行综合量化递归运算时,根据同一子系统中各指标“是否互补”(各指标的作用是否可以相互替代),分别对 X 值采用“大中取小”原则或“平均值”原则。由此得出的不同评价系统的总突变隶属度值是一组相对值,会随底层指标原始数据的取值变化而改变,但是并不会影响最终的评价结果。

2 近岸海域环境灾害性指标

针对不同类型的近岸海域环境灾害,设立3个评价指标(状态变量),分别是水体富营养化灾害性评价指标、难降解有机污染物灾害性评价指标、重金属污染物灾害性评价指标。根据营口近岸海域的实际特点及监测数据的拥有情况,在3个评价指标下面,设置了9个环境影响因子(控制变量),见图1。

水体富营养化灾害性评价指标下属的环境影响因子分别为活性磷酸盐、无机氮、化学需氧量,三者

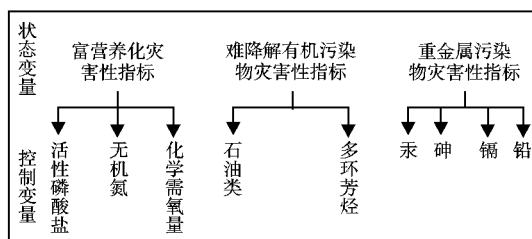


图1 近岸海域环境灾害性指标图

Figure 1 The near-shore coastal waters pollution disaster indicator system

水体中的浓度直接决定了水体富营养化的程度。这3个影响因子在不同海域,对水体富营养化产生主要作用的因子也不同^[3]。一般将评价区域的限制性营养盐认为是影响该海域水体富营养化程度的关键因素,将其排在优先位置。本文案例中限制性营养盐为活性磷酸盐,其次是无机氮。

难降解有机污染物灾害性评价指标下属的环境影响因子分别为石油类和多环芳烃类。相比较其他有机污染物,石油类和多环芳烃类是一般近岸海域的主要有机污染物^[4-5],它们主要来自于临海工业排放和港口船舶污染。石油类在本文研究海域中属于特征污染物,决定了难降解有机污染物灾害性的程度,因此将其排在优先位置。

重金属污染物灾害性评价指标下属的环境影响因子分别为汞、砷、镉、铅。相比较其他重金属,汞、砷、镉、铅是一般近岸海域的主要重金属污染物,根据陈娜^[6]等在重金属离子对水螅的急性毒性试验得出的结论,以及何斌^[7]等在重金属离子对鱼类的急性毒性试验得出的结论,水体中的重金属离子的毒性比较结果是 Hg^{2+} 最大, Pb^{2+} 最小,因此将汞排在重金属污染类的优先位置。

3 营口近岸海域环境灾害性风险分析

按照定期监测的监测点设置位置,营口段近岸海域主要包括四个区域,分别为二道沟(二类海域)、望海寨(二类海域)、仙人岛(二类海域)、鲅鱼圈(四类海域)。表1为1998—2007年营口各海区近岸海域水质监测数据及海域对应环境功能区的水质标准值。由于没有找到历年的多环芳烃类污染物的监测数据,使用挥发酚的监测数据替代多环芳烃类污染物。将表1数据转换为0~1之间的突变隶属度函数值,列于表2。具体方法如下:以二道沟无机氮的原始数值为例,1998—2007年及二类功能区的浓度分别为1.873、1.311、2.604、1.677、1.530、0.978、0.928、

0.173、0.379、0.388、0.300,其中以最优值0.3为基准函数值1,则所有数据转换后的函数值分别为0.092 4、0.132 0、0.066 4、0.103 2、0.113 1、0.176 9、0.186 4、1、0.465 6、0.445 9、0.576 7。

3.1 计算过程

按照上述突变理论多准则评价方法、采用各突变系统的归一公式向上综合量化递归运算,得出上层指标的1998年水体富营养化灾害性评价指标为例,具体过程如下:活性磷酸盐、无机氮、化学需氧量3个因子构成燕尾突变,根据对应公式(2)得到:

$$X_a = (0.565\ 2)^{1/2} = 0.751\ 8$$

$$X_b = (0.092\ 4)^{1/3} = 0.452\ 1$$

$$X_c = (0.203\ 7)^{1/4} = 0.671\ 8$$

由于上述3个因子(控制变量)之间可以相互弥补不足,共同对水体富营养化灾害性评价指标产生作用,按照互补原则,取均值有:

$$A = (X_a + X_b + X_c) \frac{1}{3} = 0.625\ 2$$

即二道沟1998年水体富营养化灾害性评价指标值为0.625 2。依此类推,计算出其他评价指标值,记入表3中,并绘制不同海域的历年灾害性指标值曲线,见图2至图5。

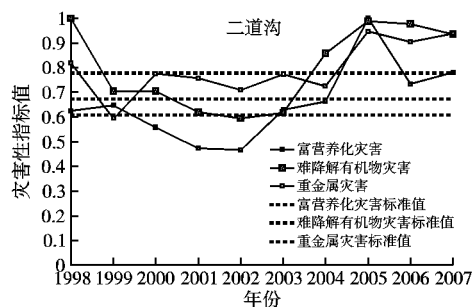


图2 1998—2007年二道沟海域各类灾害性指标值趋势
Figure 2 The trends of near-shore coastal waters environmental pollution disaster indicators of Erdaogou from 1998 to 2007

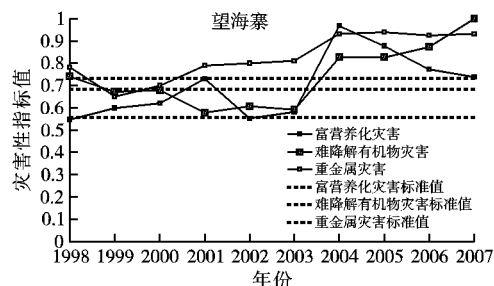


图3 1998—2007年望海寨海域各类灾害性指标值趋势
Figure 3 The trends of near-shore coastal waters environmental pollution disaster indicators of Wanghaizhai from 1998 to 2007

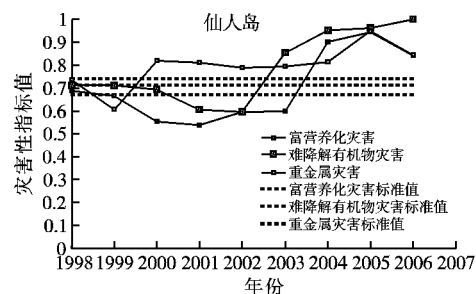


图4 1998—2006年仙人岛海域各类灾害性指标值趋势
Figure 4 The trends of near-shore coastal waters environmental pollution disaster indicators of Xianrendao from 1998 to 2006

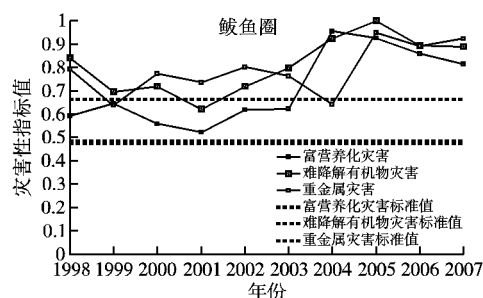


图5 1998—2007年鲅鱼圈海域各类灾害性指标值趋势
Figure 5 The trends of near-shore coastal waters environmental pollution disaster indicators of Bayuquan from 1998 to 2007

3.2 计算结果分析

由计算结果可以看出:

二道沟从1998—2007年的水体富营养化灾害性指标呈先下降后上升的趋势,2003年之前均低于该海域的标准值0.779 0,具有发生水体富营养化灾害的风险,其中2002年时达到最低水平0.467 8,2005年达到最高水平1后,再次出现下降,2007年的指标值为0.779 5,刚好达到标准水平;难降解有机物灾害性指标2002之前呈下降趋势,之后开始上升,十年当中该指标只有2002年低于该海域标准值0.608 6,为0.594 5,2007年该指标达到1,没有发生难降解有机物灾害的风险;重金属灾害性指标从1998—2007年呈振荡走高走势,除1999年该指标低于标准值0.671 8,为0.595 9,其余各年均好于标准,没有发生重金属灾害的风险。

望海寨从1998—2003年的水体富营养化灾害性指标呈水平振荡的趋势,2003年之前均低于该海域的标准值0.733 0,具有发生水体富营养化灾害的风险,其中1998年为最低水平0.548 0,2004年以后达到最高水平0.968 5后,再次出现下降趋势,2007年的指标值为0.738 0,刚好达到标准水平;难降解有机物灾害性指标呈先下降后上升趋势,十年中该指标均

表1 营口各海区近岸海域水质监测数据及对应功能区水质标准

Table 1 The initial data describing the near-shore coastal waters environmental pollution disaster indicators of Yingkou and water quality standard

区域	年份/标准	无机氮	活性磷酸盐	化学需氧量	石油类	挥发酚	砷	汞/ $\times 10^{-3}$	铅	镉
二道沟	1998	1.873	0.023	7.56	0.020	0.001	0.004	0.02	0.010 0	0.001 0
	1999	1.311	0.026	5.57	0.120	0.001	0.004	0.08	0.020 0	0.005 9
	2000	2.604	0.040	6.36	0.120	0.001	0.004	0.03	0.014 0	0.008 0
	2001	1.677	0.140	8.92	0.340	0.001	0.004	0.02	0.019 0	0.002 4
	2002	1.530	0.160	9.48	0.560	0.001	0.004	0.04	0.022 0	0.001 3
	2003	0.978	0.035	5.73	0.360	0.001	0.008	0.02	0.004 0	0.002 0
	2004	0.928	0.033	3.85	0.039	0.001	0.004	0.14	0.003 0	0.000 7
	2005	0.173	0.013	1.54	0.021	0.001	0.004	0.02	0.000 8	0.000 6
	2006	0.379	0.053	2.00	0.022	0.001	0.002	0.02	0.003 2	0.001 1
	2007	0.388	0.028	2.42	0.026	0.001	0.002	0.02	0.003 4	0.000 6
望海寨	二类	0.300	0.030	3.00	0.050	0.005	0.030	0.02	0.005 0	0.005 0
	1998	0.995	0.066	5.33	0.060	0.001	0.004	0.02	0.020 0	0.001 8
	1999	1.303	0.028	5.88	0.120	0.001	0.004	0.04	0.027 0	0.005 8
	2000	1.837	0.022	5.04	0.110	0.001	0.004	0.03	0.014 0	0.005 4
	2001	1.610	0.030	7.58	0.560	0.001	0.004	0.02	0.015 0	0.001 8
	2002	0.906	0.060	6.08	0.300	0.001	0.004	0.02	0.023 0	0.001 2
	2003	0.978	0.035	7.10	0.410	0.001	0.004	0.02	0.007 0	0.002 0
	2004	0.121	0.011	2.38	0.033	0.001	0.004	0.02	0.001 0	0.000 9
	2005	0.223	0.015	1.88	0.033	0.001	0.004	0.02	0.001 2	0.000 7
	2006	0.688	0.019	1.60	0.025	0.001	0.002	0.02	0.003 4	0.001 0
仙人岛	2007	0.325	0.032	2.35	0.014	0.001	0.002	0.02	0.004 7	0.000 7
	二类	0.300	0.030	3.00	0.050	0.005	0.030	0.02	0.005 0	0.005 0
	1998	0.964	0.015	5.53	0.100	0.001	0.004	0.02	0.024 0	0.003 5
	1999	0.635	0.022	5.91	0.100	0.001	0.004	0.05	0.032 0	0.008 3
	2000	1.837	0.049	4.27	0.120	0.001	0.004	0.02	0.013 0	0.005 4
	2001	1.327	0.062	5.58	0.390	0.001	0.004	0.02	0.021 0	0.003 7
	2002	0.872	0.038	5.82	0.480	0.001	0.004	0.02	0.020 0	0.001 2
	2003	0.978	0.028	7.70	0.360	0.001	0.004	0.02	0.007 0	0.002 0
	2004	0.326	0.009	2.40	0.022	0.001	0.004	0.06	0.001 0	0.000 8
	2005	0.173	0.013	1.54	0.021	0.001	0.004	0.02	0.000 8	0.000 6
鲅鱼圈	2006	0.331	0.015	1.90	0.018	0.001	0.002	0.02	0.003 1	0.004 1
	二类	0.300	0.030	3.00	0.050	0.005	0.030	0.02	0.005 0	0.005 0
	1998	0.822	0.061	5.62	0.050	0.001	0.004	0.02	0.019 0	0.001 5
	1999	0.973	0.029	5.76	0.150	0.001	0.004	0.07	0.024 0	0.003 0
	2000	1.940	0.066	3.81	0.120	0.001	0.004	0.02	0.011 0	0.003 2
	2001	1.320	0.120	5.45	0.390	0.001	0.004	0.02	0.023 0	0.005 0
	2002	0.934	0.037	6.55	0.120	0.001	0.004	0.02	0.022 0	0.001 2
	2003	0.600	0.060	5.25	0.650	0.001	0.004	0.02	0.017 0	0.003 0
	2004	0.345	0.012	1.28	0.032	0.001	0.004	0.15	0.004 0	0.004 0
	2005	0.222	0.017	1.66	0.023	0.001	0.004	0.02	0.001 0	0.000 7
	2006	0.374	0.022	1.30	0.037	0.001	0.002	0.02	0.003 2	0.002 0
	2007	0.322	0.026	2.12	0.038	0.001	0.002	0.02	0.005 1	0.000 8
	四类	0.500	0.045	5.00	0.050	0.050	0.050	0.05	0.050	0.010 0

注:表中无机氮、活性磷酸盐、化学需氧量的单位为 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,其余量的单位均为 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;由于仙人岛没有 2007 年数据,省略。

表2 营口各海区近岸海域水质监测数据及对应功能区水质标准的突变隶属度函数值

Table 2 Catastrophe fuzzy membership functions for the near-shore coastal waters environmental pollution disaster indicators of Yingkou

区域	年份/标准	无机氮	活性磷酸盐	化学需氧量	石油类	挥发酚	砷	汞	铅	镉
二道沟	1998	0.092	0.565	0.204	1.000	1.000	0.500	1.000	0.080	0.600
	1999	0.132	0.500	0.277	0.167	1.000	0.500	0.250	0.040	0.102
	2000	0.066	0.325	0.242	0.167	1.000	0.500	0.667	0.057	0.075
	2001	0.103	0.093	0.173	0.059	1.000	0.500	1.000	0.042	0.250
	2002	0.113	0.081	0.162	0.036	1.000	0.500	0.500	0.036	0.462
	2003	0.177	0.371	0.269	0.056	1.000	0.250	1.000	0.200	0.300
	2004	0.186	0.394	0.400	0.513	1.000	0.500	0.143	0.267	0.857
	2005	1.000	1.000	1.000	0.952	1.000	0.500	1.000	1.000	1.000
	2006	0.457	0.245	0.770	0.909	1.000	1.000	1.000	0.250	0.546
	2007	0.446	0.464	0.636	0.763	1.000	1.000	1.000	0.235	1.000
	二类	0.577	0.433	0.513	0.400	0.200	0.067	1.000	0.160	0.120
望海寨	1998	0.122	0.167	0.300	0.233	1.000	0.500	1.000	0.050	0.389
	1999	0.093	0.393	0.272	0.117	1.000	0.500	0.500	0.037	0.121
	2000	0.066	0.500	0.318	0.127	1.000	0.500	0.667	0.071	0.130
	2001	0.752	0.367	0.211	0.025	1.000	0.500	1.000	0.067	0.389
	2002	0.134	0.183	0.263	0.047	1.000	0.500	1.000	0.044	0.583
	2003	0.124	0.314	0.225	0.034	1.000	0.500	1.000	0.143	0.350
	2004	1.000	1.000	0.672	0.424	1.000	0.500	1.000	1.000	0.778
	2005	0.543	0.733	0.851	0.424	1.000	0.500	1.000	0.833	1.000
	2006	0.176	0.579	1.000	0.560	1.000	1.000	1.000	0.294	0.700
	2007	0.372	0.344	0.681	1.000	1.000	1.000	1.000	0.213	1.000
	二类	0.403	0.367	0.533	0.280	0.200	0.067	1.000	0.200	0.140
仙人岛	1998	0.180	0.600	0.279	0.180	1.000	0.500	1.000	0.033	0.171
	1999	0.272	0.409	0.261	0.180	1.000	0.500	0.400	0.025	0.072
	2000	0.094	0.184	0.361	0.150	1.000	0.500	1.000	0.062	0.111
	2001	0.130	0.145	0.276	0.046	1.000	0.500	1.000	0.038	0.162
	2002	0.198	0.237	0.265	0.038	1.000	0.500	1.000	0.040	0.500
	2003	0.177	0.321	0.200	0.050	1.000	0.500	1.000	0.114	0.300
	2004	0.531	1.000	0.642	0.818	1.000	0.500	0.333	0.800	0.750
	2005	1.000	0.692	1.000	0.857	1.000	0.500	1.000	1.000	1.000
	2006	0.523	0.600	0.811	1.000	1.000	1.000	1.000	0.258	0.146
	二类	0.577	0.300	0.513	0.360	0.200	0.067	1.000	0.160	0.120
	三类	0.577	0.300	0.513	0.360	0.200	0.067	1.000	0.160	0.120
鲅鱼圈	1998	0.270	0.197	0.228	0.460	1.000	0.500	1.000	0.053	0.467
	1999	0.228	0.414	0.222	0.153	1.000	0.500	0.286	0.042	0.233
	2000	0.114	0.182	0.336	0.192	1.000	0.500	1.000	0.091	0.219
	2001	0.168	0.100	0.235	0.059	1.000	0.500	1.000	0.043	0.140
	2002	0.238	0.324	0.195	0.192	1.000	0.500	1.000	0.046	0.583
	2003	0.370	0.200	0.244	0.035	1.000	0.500	1.000	0.059	0.233
	2004	0.644	1.000	1.000	0.719	1.000	0.500	0.133	0.250	0.175
	2005	1.000	0.706	0.771	1.000	1.000	0.500	1.000	1.000	1.000
	2006	0.594	0.545	0.985	0.622	1.000	1.000	1.000	0.313	0.350
	2007	0.689	0.462	0.604	0.605	1.000	1.000	1.000	0.196	0.875
	四类	0.444	0.267	0.256	0.460	0.020	0.040	0.400	0.020	0.070

表3 灾害性指标评价计算结果
Table 3 The computation results for environmental
pollution disaster indicators

区域	年份/ 标准	富营养化 灾害性指标	难降解有机污染物 灾害性指标	重金属 灾害性指标
二道沟	1998	0.625 2	1	0.819 3
	1999	0.647 1	0.704 1	0.595 9
	2000	0.558 8	0.704 1	0.776 2
	2001	0.472 8	0.621 2	0.757 9
	2002	0.467 8	0.594 5	0.710 1
	2003	0.630 3	0.617 9	0.773 7
	2004	0.664 7	0.858 1	0.725 4
	2005	1	0.988 0	0.948 4
	2006	0.734 0	0.976 7	0.904 3
	2007	0.779 5	0.936 7	0.937 2
	二类	0.779 0	0.608 6	0.671 8
望海寨	1998	0.548 0	0.741 5	0.783 2
	1999	0.600 7	0.670 8	0.651 9
	2000	0.620 6	0.678 4	0.700 0
	2001	0.730 9	0.579 1	0.791 3
	2002	0.551 9	0.608 1	0.800 5
	2003	0.582 6	0.592 3	0.810 1
	2004	0.968 5	0.825 7	0.933 2
	2005	0.877 5	0.825 7	0.939 5
	2006	0.773 7	0.874 2	0.924 4
	2007	0.738 0	1	0.933 5
	二类	0.733 0	0.557 0	0.686 0
仙人岛	1998	0.688 3	0.712 1	0.735 7
	1999	0.667 4	0.712 1	0.605 7
	2000	0.552 9	0.693 6	0.819 6
	2001	0.537 7	0.607 5	0.813 2
	2002	0.595 7	0.596 8	0.790 0
	2003	0.599 0	0.853 6	0.795 5
	2004	0.901 5	0.952 3	0.814 4
	2005	0.944 0	0.962 9	0.949 4
	2006	0.842 9	1	0.845 3
	二类	0.742 2	0.713 9	0.671 8
鲅鱼圈	1998	0.593 6	0.839 1	0.793 8
	1999	0.647 0	0.695 8	0.638 2
	2000	0.557 7	0.718 9	0.774 1
	2001	0.521 5	0.621 5	0.734 8
	2002	0.617 9	0.718 9	0.801 7
	2003	0.622 6	0.797 5	0.764 0
	2004	0.954 4	0.923 9	0.640 9
	2005	0.925 8	1	0.948 4
	2006	0.858 4	0.894 2	0.890 4
	2007	0.814 7	0.889 0	0.922 3
	四类	0.663 5	0.474 8	0.486 5

达到该海域标准值 0.557 0, 2001 达最小值 0.579 1, 2007 年该指标达到 0.937 2, 没有发生难降解有机物灾害的风险; 重金属灾害性指标从 1998—2007 年呈振荡走高走势, 除 1999 年该指标低于标准值 0.686 0, 为 0.651 9, 其余各年均好于标准, 没有发生重金属灾害的风险。

仙人岛从 1998—2006 年的水体富营养化灾害性指标呈先下降后上升的趋势, 2004 年之前均低于该海域的标准值 0.742 2, 具有发生水体富营养化灾害的风险, 其中 2002 年时达到最低水平 0.537 7, 2005 年达到最高水平 0.944 0 后, 再次出现下降, 2006 年的指标值为 0.842 9, 但已达到标准水平; 难降解有机物灾害性指标 2002 之前呈下降趋势, 且一直低于该海域标准值 0.713 9, 存在发生难降解有机物灾害的风险, 2002 年达到最低水平 0.596 8, 之后开始上升, 2006 年该指标达到 1, 没有发生难降解有机物灾害的风险; 重金属灾害性指标从 1998 年至 2006 年呈振荡走高走势, 除 1999 年该指标低于标准值 0.671 8, 为 0.605 7, 其余各年均好于标准, 没有发生重金属灾害的风险。

鲅鱼圈海域的水体富营养化灾害性指标 2003 年之前呈水平振荡趋势, 且均低于该海域的标准值 0.663 5, 具有发生水体富营养化灾害的一定风险, 其中 2001 年时达到最低水平 0.521 5, 2004 年达到最高水平 0.954 4 后, 再次出现下降趋势, 2007 年的指标值为 0.814 7, 刚好达到标准水平; 难降解有机物灾害性指标从 1998 年至 2007 年呈振荡走高趋势, 且十年中该指标均达到该海域标准值 0.474 8, 2001 年为最低值 0.621 5, 2007 年该指标达到 0.889 0, 没有发生难降解有机物灾害的风险; 重金属灾害性指标从 1998 年至 2007 年呈振荡走高走势, 且均高于标准值 0.486 5, 1999 年为最低值 0.638 2, 没有发生重金属灾害的风险。

总体来看, 1998—2007 年, 营口近岸海域的环境灾害风险呈现了先增大后降低的趋势。2004 年以前, 几乎所有海域都有发生水体富营养化灾害的风险, 局部海域有发生难降解有机物灾害的风险, 但是发生重金属灾害的可能性极小。这主要由于以造纸企业为主的高污染行业缺乏规模性, 生产效率低, 排污缺乏监管和指导, 导致以 COD 为代表的污染物大量排放所致, 另外城市污水处理效率低下也是使污染物排放超过水体负荷的主要原因。2005 年以后, 营

口近岸海域发生各类环境灾害的风险都有所降低,这主要由于2004年以后营口地区进行了产业结构和布局的调整,关闭了大量高污染、低产出的企业,尤其是造纸行业,许多技术落后的中小企业均强制下马,另外有关部门加强了排污的监督管理,有效减少了各种污染物的排放量,降低了环境灾害发生的风险。目前,营口近岸海域,水体富营养化灾害仍然是营口海域环境的潜在风险,还需要继续以生态工业和循环经济为理论基础,进行产业结构和布局的调整,加强对排污的监管,以及提高城市污水处理的效率,才能彻底解决营口近岸海域的环境问题。上述结论与营口近岸海域的历史相关资料比较吻合。

4 结论

按照突变理论多准则评价方法、采用各突变系统的归一公式向上综合量化递归,分析上层指标的突变隶属度值发现,在辽宁营口段近岸海域,主要可能发生的灾害类型为水体富营养化灾害,而难降解有机物灾害和重金属污染物灾害发生的风险很小。

这与营口地区的产业结构类型有主要是以造纸、纺织、水产加工等轻工业为主有关。造纸行业是众所周知的COD排放大户,纺织、水产加工等行业同样会排放大量的COD、无机氮等污染物,城市生活污水也是COD、无机氮、活性磷酸盐的主要来源。COD、无机氮、活性磷酸盐都是营口近岸海域的主要污染物,它们可能导致水体富营养化灾害的发生。冶金、机械、采掘、化工等可能排放大量重金属或难降解有机污染物的重工业在营口地区并不多,因而重金属的排放量很小。石油类的污染物也主要来自港口和来往船只,所以营口海域发生难降解有机物灾害和重金属污染物灾害发生的风险很小。

参考文献:

- [1] 赵正跃,项成龙. 突变理论在环境预测中的应用[J]. 中国环境监测,2002,18(4):61-63.
- Zhao Zheng-yue, Xiang Cheng-long. The application of catastrophe theory in environmental forecast[J]. *Environmental Monitoring In China*,2002,18(4):61-63.
- [2] 李绍飞,孙书洪,王向余. 突变理论在还和流域地下水环境风险评估中的应用[J]. 水利学报,2007,38(11):1312-1317.
- Li Shao-fei, Sun Shu-hong, Wang Xiang-yu. Application of catastrophe theory to risk assessment of ground water environment for river basin[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*,2007,38(11):1312-1317.
- [3] 彭云辉,王肇鼎. 珠江河口富营养化水平评价[J]. 海洋环境科学,1991,10(3):7-13.
- Peng Yun-hui, Wang Zhao-ding. Assessment of eutrophication from bayou of Zhujiang River[J]. *Marine Environmental Science*,1991,10(3):7-13.
- [4] 郭良波,江文胜,李凤岐,等. 渤海COD与石油烃环境容量计算[J]. 中国海洋大学学报,2007,37(2):310-316.
- Guo Liang-bo, Jiang Wen-sheng, Li Feng-qi, et al. Environmental capacity calculation of COD and PHs in the Bohai sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*,2007,37(2):310-316.
- [5] 林秀梅,刘文新,陈江麟,等. 渤海表层沉积物中多环芳烃的分布与生态风险评价[J]. 环境科学学报,2005,25(1):70-75.
- Lin Xiu-mei, Liu Wen-xin, Chen Jiang-lin, et al. Distribution and ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments from Bohai Sea[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*,2005,25(1):70-75.
- [6] 陈娜,郝家胜. 铜、铅、镉、锌、汞和银离子复合污染对水蛭的急性毒性效应[J]. 生物学杂志,2007,24(3):32-35.
- Chen Na, Hao Jia-sheng. Pollution assessment of heavy metal in surface sediments from Bohai[J]. *Marine Science*,2007,28(12):16-21.
- [7] 何斌,何利君. 四种重金属离子对淡水石斑胚胎及仔鱼急性毒性的研究[J]. 水利渔业,2006,26(4):94-95.
- He Bin, He Li-jun. Studies on the acute toxicity of four kinds of heavy metal ions to embryos and larva of cichlasoma manguense[J]. *Reservoir Fisheries*,2006,26(4):94-95.

[1] 赵正跃,项成龙. 突变理论在环境预测中的应用[J]. 中国环境监