

近年来,由于随着沿海城市的发展,工农业和生活污水的不断排入,导致了近岸海域的环境质量呈下降趋势。舟山群岛中的中街山列岛及附近海域位于浙江东部海域,处于舟山渔场中心位置,与我国近岸海域相比所受污染较小,但该海域也出现了一定的生态问题,渔业资源出现了衰退迹象,鱼体趋于小型化,赤潮灾害频繁发生。因此,了解中街山列岛附近海域环境质量现状,对舟山渔场的可持续发展、海洋经济的开发利用以及海洋管理具有重要意义。

### 一、采样与方法

在监测海域内设置了7个水质和沉积物监测站位。水质和沉积物监测均在2005年2月进行。水质(表层0.5 m)监测项目包括:pH、溶解氧、化学需氧量、无机氮( $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ )、活性磷酸盐、油类、悬浮物、重金属(Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg、As)。沉积物(表层)监测项目包括:油类、重金属(Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg、As)、硫化物、有机碳。样品的采集、贮存、运输和前处理及分析测定均按《海洋调查规范》和《海洋监测规范》中规定的方法进行。

## 二、现状与评价

### 1. 评价方法与标准

#### (1) 评价方法

采用的评价方法为单因子标准指数法。一般以评价因子的指数1.0作为该因子是否对环境产生污染的基本分界线,小于0.5为未受玷污,介于0.5~1.0之间为受到该因子玷污,大于1.0表明该因子超过了评价标准的规定值,已经不能满足该区海洋功能区划的要求。

$$\text{其计算模式为: } P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中: $P_i$ ——第*i*项污染因子的标准数值;

$C_i$ ——第*i*项污染因子的实测浓度;

$S_i$ ——第*i*项污染因子的评价标准值。

#### (2) 评价标准

根据《舟山市海洋功能区划》要求,该海域水质应达到《中华人民共和国海水水质标准》(GB3097—1997)二类海水水质标准,表层沉积物应达到《中华人民共和国海洋沉积物质量标准》(GB18668—2002)一类海洋沉积物质量标准。因此,本文水质以二类海水水质标准作为评



价标准,表层沉积物以一类海洋沉积物质量标准作为评价标准。

### (3) 评价因子

本文水质选用 pH、溶解氧、化学需氧量、无机氮 ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ )、活性磷酸盐、油类、重金属 (Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg、As) 等 13 个评价因子;表层沉积物选用油类、重金属 (Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg、As)、硫化物、有机碳等 10 个评价因子。

### 2. 水质现状及评价

中街山列岛及附近海域水质现状监测结果见表 1,水质评价标准指数见表 2。

各个站位的 pH、DO、无机氮、活性磷酸盐、Cu、Pb、Cd、Cr、Hg、As 变化幅度不是很大。COD 的最高值出现在 J5,油类的最高值出现在 J4,Zn 的最高值出现在 J5,表明 J4、J5 附近海域水质现状相对较差。各因子中除无机氮和油类外其余均未超标;其中无机氮 100%超标,且超三类海水水质标准 85.71%;油类 14.29%超标。监测海区中未受重金属 (Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg、As) 玷污,但受油类 100%玷污,受活性磷酸盐 42.83%玷污。究其主要原因,中街山列岛区域基

本没有大型工业,因此该海区水质未受重金属污染。该区域交通运输以船舶为主,监测海区过往船只较多,造成该海区水质中石油类含量高,附近居民以养殖、捕捞为主要收入来源,饲料的大量投放加上鱼类粪便及居民生活废物一起分解所产生的氮磷营养物质,导致海区营养盐含量偏高。

### 3. 沉积物现状及评价

中街山列岛及附近海域表层沉积物现状监测结果见表 3,表层沉积物评价标准指数见表 4。

各站位的重金属 (Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg、As) 和有机碳含量变化幅度不大;油类和硫化物的最大值出现在 J2。该海区表层沉积物质量总体较好,各站位的的评价因子均未超海洋沉积物质量标准一类标准。该海区沉积物受 Cu 和 Zn 100%的玷污,受 Pb 42.86%的玷污。这可能与该海区所接纳不同废弃物的性质以及该海区沉积物环境质量的生物地化循环有关。

## 三、综合分析

### 1. 水质富营养化、有机污染程度分析

近海富营养化主要是由于营养盐类以及耗

表 1 水质现状监测结果

监测项目	变化范围	平均值	监测项目	变化范围	平均值
pH	8.15~8.19	8.16	Pb ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )	0.09~1.24	0.52
DO( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )	8.94~9.72	9.24	Zn ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )	3.114~16.138	9.467
COD( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )	0.44~1.28	0.70	Cd ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )	0.039~0.189	0.099
无机氮( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )	0.383~0.464	5.54	Cr ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )	0.01~0.11	0.06
活性磷酸开盐( $\text{mg}/\text{cm}^3$ )	0.012 0~0.017 8	0.014 8	Hg ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )	0.007~0.011	0.010
油类( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )	0.030~0.053	0.040	As ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )	0.59~1.00	0.87
Cu ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )	3.40~5.90	4.00			

表 2 水质评价标准指数

项目	变化范围	平均值	超标率(%)	项目	变化范围	平均值	超标率(%)
pH	0.00~0.03	0.020	0.00	Pb	0.02~0.25	0.10	0.00
DO	0.21~0.33	0.30	0.00	Zn	0.06~0.32	0.19	0.00
COD	0.15~0.43	0.23	0.00	Cd	0.01~0.04	0.02	0.00
无机氮	1.28~1.55	1.45	100.00	Cr	0.00	0.00	0.00
活性磷酸开盐	0.40~0.59	0.49	0.00	Hg	0.04~0.06	0.05	0.00
油类	0.60~1.06	0.79	14.29	As	0.02~0.03	0.03	0.00
Cu	0.34~0.59	0.40	0				

表 3 表层沉积物现状监测结果

监测项目	变化范围	平均值	监测项目	变化范围	平均值
油类 (10 <sup>6</sup> )	3.8~315.0	83.5	Cr (10 <sup>6</sup> )	10.32~49.93	31.61
Cu (10 <sup>6</sup> )	28.55~34.27	31.70	Hg (10 <sup>6</sup> )	0.016~0.018	0.017
Pb (10 <sup>6</sup> )	26.2~34.48	29.97	As (10 <sup>6</sup> )	1.93~2.25	2.08
Zn (10 <sup>6</sup> )	79.18~91.31	84.48	硫化物 (10 <sup>6</sup> )	3.253~289.660	46.484
Cd (10 <sup>6</sup> )	0.126~0.150	0.139	有机碳(%)	0.5~0.7	0.6

表 4 表层沉积物评价标准指数

监测项目	变化范围	平均值	超标率(%)	监测项目	变化范围	平均值	超标率(%)
油类	0.01~0.63	0.17	0.00	Cr	0.13~0.62	0.40	0.00
Cu	0.82~0.98	0.90	0.00	Hg	0.08~0.09	0.08	0.00
Pb	0.44~0.57	0.50	0.00	As	0.10~0.11	0.10	0.00
Zn	0.53~0.61	0.56	0.00	硫化物	0.01~0.97	0.15	0.00
Cd	0.25~0.30	0.28	0.00	有机碳	0.25~0.35	0.28	0.00

氧有机物的输入量出现动态平衡失调而引起的生态异常现象,是发生赤潮的物质基础。本文选用富营养状态指数来衡量监测海区水质的富营养化状况,富营养化指数 ( $E$ ) 公式如下:

$$E = \frac{COD \times DIP \times DIN}{4 \ 500} \times 10^6$$

式中:  $COD$ 、 $DIP$  和  $DIN$  的单位均为  $mg/L$ ; 当  $E \geq 1$  时即为富营养化。

本文选用的有机污染模式为单因子无量纲评价:

$$A = \frac{COD_i}{COD_a} \times \frac{DIN_i}{DIN_a} \times \frac{DIP_i}{DIP_a} \times \frac{DO_i}{DO_a}$$

式中:  $A$  为水质指数;  $COD_a$ 、 $DIN_a$ 、 $DIP_a$  和  $DO_a$  为标准值,采用 GB3097—1997 一类海水水质标准。

监测海区各站位的水质指数 ( $A$ ) 和富营养化指数列于表 6。由表 6 可知,各站的富营养化指数在 0.53 ~ 1.57 之间,有 4 个站的富营养化指数大于 1,可见,该海区富营养化程度较高。从有机污染角度分析,各站的水质指数在 0.32 ~ 0.95 之间,均小于 1,表明该海区水质有机污染等级为 1 级,水质质量较好。

2. 表层沉积物中重金属的富集特征及潜在生态危害分析

根据研究表明,水体中重金属不易降解,能

迅速由水相转入固定相 (悬浮物和沉积物),最后进入沉积物中。在水系中重金属含量甚微,而且随机性大,易受各种条件 (水力、排放) 的影响。但沉积物中重金属含量由于累积作用比相应水相中的含量要高,且表现出一定的分布规律。本文采用富集系数法来衡量监测海区表层沉积物中各种重金属指标在沉积物环境中的富集程度。其计算公式如下:

$$C_f = \frac{C_s}{C_n}$$

式中:  $C_f$  为表层沉积物重金属  $i$  的富集系数;  $C_s$  为表层沉积物重金属  $i$  浓度的实测值;  $C_n$  为重金

表 5 有机污染评价分级

水质指数(A)值	污染程度分级	水质质量评价
<0	0	良好
0~1	1	较好
1~2	2	开始受污染
2~3	3	轻度污染
3~4	4	中度污染
4~5	5	严重污染

表 6 监测海区水质指数(A)和富营养化指数(E)比较

项目	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
$E$	1.15	0.75	1.03	1.15	1.57	0.73	0.53
$A$	0.75	0.46	0.88	0.95	0.80	0.32	0.74



属的  $i$  的参照值,即背景值(选用国际上常用的工业化以前沉积物中重金属的全球最高背景值,见表 7)。

DO、COD、活性磷酸盐、重金属(Cu、Pb、Cd、Cr、Zn、Hg、As)等环境因子均符合二类海水水质标准;其中油类 14.29%超标,无机氮 100%超

表 7 重金属的参照值、毒性系数、富集系数和生态危害系数

金属元素	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
参照值 ( $C_i/10^6$ )	30	25	80	0.50	60	0.25	15
毒性系数 ( $T_i$ )	5	5	1	30	2	40	10
富集系数 ( $C_i/\text{平均值}$ )	1.05	1.20	1.06	0.28	0.53	0.07	0.14
生态危害系数 ( $E_i/\text{平均值}$ )	5.26	5.99	1.06	8.37	1.05	2.65	1.39

重金属各因子富集系数见表 7。中街山列岛海区表层沉积物中重金属 Pb、Cu 和 Zn 富集程度相对较大,其富集系数均大于 1。监测海区金属元素的平均富集程度由大到小依次为: Pb > Zn > Cu > Cr > Cd > As > Hg。

以往的环境评价中一般采用单因子评价方法,未考虑环境因子、生物对污染响应特征,不能充分说明该区的实际污染水平。因此,本文采用由瑞典科学家 Hakanson 提出的潜在生态危害系数法综合分析监测海区表层沉积物中重金属潜在的危害效应。其计算公式如下:

$$E_i = T_i \times C_i$$

式中:  $C_i$  为重金属  $i$  的富集系数;  $T_i$  为重金属  $i$  的毒性系数(见表 7)。毒性系数反映了重金属的毒性水平和生物对重金属污染的敏感程度,揭示了重金属对生物的危害。

各站的重金属各因子的  $\Sigma E_i$  为 24~26,远远小于 40 ( $E_i < 40$ , 表明其污染程度为轻微生态危害);这说明中街山列岛海区表层沉积物中的重金属的潜在生态危害非常小,属于轻微生态危害范围。各站的重金属生态危害程度大小次序为: J5 > J4 > J1 > J7 > J2 > J6 > J3; 重金属各元素潜在生态危害程度由大至小为: Cd > Pb > Cu > Hg > As > Zn > Cr。

#### 四、小结

(1) 中街山列岛附近海域水质中的 pH、

标;且该海区水质受油类 100%玷污,受活性磷酸盐 42.83%玷污。

(2) 监测海区表层沉积物中的重金属(Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg、As)、有机碳、油类、硫化物符合海洋沉积物质量标准一类标准;且该海区沉积物受 Cu 和 Zn 100%的玷污,受 Pb 42.86%的玷污。

(3) 从水质富营养化程度及有机污染程度来分析,中街山列岛附近海域水质富营养化程度较高,约 57.14%海区呈富营养化状态;该海区水质有机污染等级为 1 级,水质质量较好。

(4) 富集系数分析结果表明,中街山列岛附近海域表层沉积物中重金属 Pb、Cu 和 Zn 富集程度相对较大;其金属元素的平均富集程度由大到小依次为: Pb > Zn > Cu > Cr > Cd > As > Hg。

(5) 重金属的潜在生态危害分析结果表明,中街山列岛附近海域表层沉积物中的重金属对海洋生态系统的潜在危害非常轻微,属于轻微生态危害范围;其中,各站的重金属生态危害程度大小次序为: J5 > J4 > J1 > J7 > J2 > J6 > J3; 重金属各元素潜在生态危害程度由大至小为: Cd > Pb > Cu > Hg > As > Zn > Cr。

#### 参考文献(略)

(作者单位 国家海洋局宁波海洋环境监测中心站)