

定海西蟹峙海洋倾倒区周边 海域环境质量综合评价*

蒋红, 柳涛, 陈琼, 李卫丁, 徐灵燕

(国家海洋局东海分局舟山海洋工作站 舟山 316021; 舟山市海洋环境监测预报中心 舟山 316021)

摘 要: 文章根据2012年9月定海西蟹峙海洋倾倒区及周边海域的水质监测结果, 采用水质单因子指数评价法、有机污染指数法和富营养化指数法对水质污染状况进行分析评价, 并对其潜在性富营养化进行了评价。结果表明: 西蟹峙海洋倾倒区及周边海域水质重金属、化学需氧量、溶解氧含量符合《海水水质标准》第二类, 无机氮和活性磷酸盐含量超标严重; 该海域水质有机污染指数数值较大, 水质污染严重; 该海域处于富营养化水平, 富营养化较严重; 潜在性富营养化评价结果为磷中等限制潜在性营养。

关键词: 富营养化; 有机污染; 重金属; 海洋倾倒区; 定海

西蟹峙海洋倾倒区位于浙江省舟山市定海西蟹峙岛东南侧, 大猫岛东北侧, 刺山岛西侧, 为一 $0.6 \text{ km} \times 0.8 \text{ km}$ 的矩形区域, 面积为 0.48 km^2 , 自1992年1月起用至今, 主要用于接纳倾倒舟山南部海域西蟹峙岛、盘峙岛、定海南面沿岸码头港口以及定海港每年维护产生的疏浚泥^[1]。该倾倒区环境质量既受到疏浚物倾倒的污染影响, 又受到周边陆源入海排污的直接影响。本研究根据2012年对定海西蟹峙海洋倾倒区及周边海域水质的监测结果, 用单因子污染指数法、有机污染指数法和富营养化指数法对其水质污染状况进行分析评价, 并进行了潜在性富营养化评价, 对合理使用倾倒区、有效控制陆源入海排污有重要参考价值。

1 材料与方法

1.1 采样站位与样品采集

在定海西蟹峙海洋倾倒区及周边海域共布设8个水质监测站位(图1), 监测时间为2012年9月。水深小于10 m只采集表层(水面下0.5 m)样品, 水深大于10 m采集表、底层样品。所有样品贮存及运输严格按照GB17378.3—2007^[2]的要求执行。

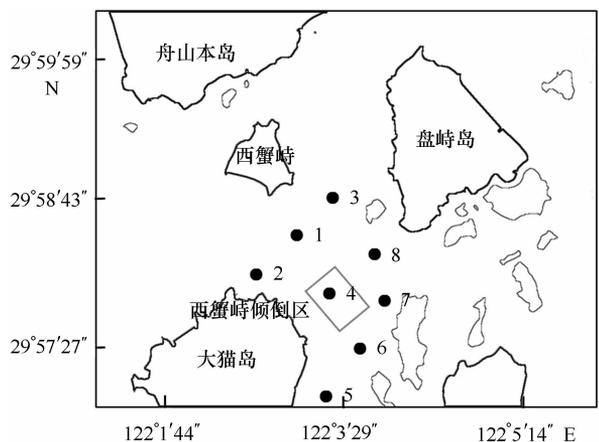


图1 采样站位

1.2 分析方法

叶绿素 a (Chl-a) 分析测试按照 GB17378.7—2007^[3] 进行, 其余水质样品的分析测试均按照 GB17378.4—2007^[4] 进行。化学需氧量 (COD)、溶解氧 (DO) 和 Chl-a 样品分别采用碱性高锰酸钾法、碘量法和分光光度法测定; 无机氮 [DIN, 包括氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$)、硝酸盐氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 和亚硝酸盐氮 ($\text{NO}_2\text{-N}$)]、活性磷酸盐 (DIP) 和硅酸盐 (SiO_3) 样品分别采用次溴酸盐氧化法、锌-镉还原法、萘乙二胺分光光度法、磷钼蓝分光光度法和硅钼黄法测定; 重金属元素

* 基金项目: 浙江省海洋环保专项资金项目 (浙海渔计 [2012] 100 号); 定海西蟹峙海洋倾倒区环境跟踪监测与评估。

汞 (Hg) 和砷 (As) 采用原子荧光法测定, 铜 (Cu)、锌 (Zn)、铅 (Pb)、镉 (Cd)、铬 (Cr) 采用原子吸收分光光度法测定。

1.3 评价方法与评价等级

采用单因子指数法^[5]对水质污染状况进行分析, 采用有机污染指数 (A)^[6]、富营养指数 (E)^[7]和营养状态质量指数 (NQI)^[8]对海水水质有机污染状况和富营养化水平进行评价。

$$\text{单因子指数法: } P_i = C_i / C_s \quad (1)$$

式中: C_i 为实测值; C_s 为评价标准值。本研究以《海水水质标准》^[9]二类海水水质标准作为评价标准值, Chl-a 评价值参考陈于望^[10], 取 $5.0 \mu\text{g/L}$ 。 $P_i \leq 1.0$ 时, 符合标准; $P_i > 1.0$ 时, 超标。

$$\text{有机污染指数法: } A = \text{COD}_i / \text{COD}_s + \text{DIN}_i / \text{DIN}_s + \text{DIP}_i / \text{DIP}_s - \text{DO}_i / \text{DO}_s \quad (2)$$

式中, COD_i 、 DIN_i 、 DIP_i 、 DO_i 为实测值, COD_s 、 DIN_s 、 DIP_s 、 DO_s 为《海水水质标准》二类海水水质标准值。水质污染分级见表 1。

富营养指数法:

$$E = \frac{(\text{COD} \times \text{DIN} \times \text{DIP}) \times 10^6}{4\ 500} \quad (3)$$

式中: COD 、 DIN 、 DIP 为实测值, 浓度单位为 mg/L 。营养水平分级见表 1。

营养状态质量指数法:

$$\text{NQI} = \frac{\text{COD}_i}{\text{COD}_s} + \frac{\text{DIN}_i}{\text{DIN}_s} + \frac{\text{DIP}_i}{\text{DIP}_s} + \frac{(\text{Chl} - a)_i}{(\text{Chl} - a)_s} \quad (4)$$

式中各参数含义同上。营养水平分级见表 1。

表 1 有机污染、富营养水平评价分级

有机污染指数		富营养化指数		营养状态质量指数	
A 值	水质质量状况	E 值	营养水平	NQI 值	营养水平
<0	良好	0~0.5	贫营养	<2	贫营养
0~1	较好	0.5~1.0	中营养	2~3	中营养
1~2	开始受到污染	1.0~3.0	富营养	≥ 3	富营养
2~3	轻度污染	≥ 3.0	高富营养		
3~4	中度污染				
≥ 4	严重污染				

2 结果与讨论

2.1 水质区域差异分析

西蟹峙海洋倾倒区及周边海域海水的重金属 (汞、砷、铜、锌、铅、镉、铬)、化学需氧量、溶解氧、无机氮、活性磷酸盐、活性硅酸盐和叶绿素 a 等评价因子的区域差异性很小 (表 2), 这与该倾倒区海域特殊的地理位置有直接关系, 其周边布满大小不等的岛屿, 留下几道口门与外界相通, 致使该倾倒区海域的海水流速相对比较湍急, 涨潮最大流速达到 164 cm/s , 落潮最大流速达到 167 cm/s ^[11], 湍急的流速使得该倾倒区海域海水物化性质比较一致, 并可与外界海水充分交换, 这也是该区域选划成为

海洋疏浚物倾倒区最主要原因。

2.2 水质含量分析

以《海水水质标准》二类进行评价, 西蟹峙倾倒区及周边海域水质重金属 (汞、砷、铜、锌、铅、镉、铬)、化学需氧量以及溶解氧含量均符合标准, 活性磷酸盐和无机氮含量 100% 超标。在含量大小上, 8 个监测站位锌含量均超过第一类标准, 与定海^[12]、普陀^[13]、岱山^[14]、嵊泗^[15]等舟山 4 个区、县海域的水质锌含量符合第一类标准相比均要高, 其原因可能与西蟹峙海洋倾倒区周边岛屿一带 (如西蟹峙岛、盘峙岛、大王脚山、东巨岛、大五奎山等) 存在较多的修造船厂, 而修造船厂在生产作用过程中所使用的油漆涂料中含有锌元素有直接关系^[1]。

活性磷酸盐和无机氮超标严重, 最高超标均出现在 1 号站位, 分别达 1.3 倍和 2.8 倍, 平均超标分别为 1.0 倍和 2.4 倍, 其原因与该海域处在舟山定海污水处理厂排污口下流、距离仅 2.5 km

有直接关系, 因其排放的污水主要为城区居民的生活污水, 氮、磷含量较高, 且排污量较大, 还与修造船厂在生产作业中排放的污水有关。

表 2 不同站位水质调查结果

站 位	汞/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	砷/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	铜/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	锌/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	铅/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	镉/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	铬/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	叶绿素 a/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	溶解氧/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	化学需氧量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	活性磷酸盐/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	无机氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	活性硅酸盐/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
1#	0.042	1.4	2.0	22.3	0.92	0.11	0.18	1.0	6.07	1.38	0.069	1.136	1.386
2#	0.042	1.2	2.2	22.6	0.56	0.14	0.13	1.4	6.68	1.80	0.054	1.014	1.355
3#	0.040	1.4	2.6	21.2	0.60	0.12	0.12	1.1	6.60	1.51	0.060	0.986	1.325
4#	0.038	1.6	2.2	21.4	0.87	0.18	0.10	1.4	6.75	1.46	0.060	1.010	1.358
5#	0.036	1.6	2.2	22.2	0.40	0.12	0.10	0.8	6.65	1.35	0.060	0.828	1.371
6#	0.039	1.4	2.0	22.3	0.49	0.16	0.13	1.2	6.68	1.43	0.060	1.056	1.445
7#	0.040	1.4	1.7	22.2	0.35	0.18	0.13	1.0	6.61	1.93	0.060	1.080	1.443
8#	0.036	1.5	2.2	22.7	0.36	0.13	0.12	0.9	6.56	1.84	0.059	1.042	1.334

2.3 水质有机污染评价

海水有机污染指数法利用化学需氧量、无机氮、活性磷酸盐和溶解氧 4 个水质指标对海水质量状况进行评价, 该法同时考虑了海水的有机污染指标和无机污染指标, 能较好地反映水质的整体状况^[16]。定海西蟹峙海洋倾倒地海域水质有机污染指数 (A) 值见表 3, 可以看出, 5 号站位污染程度最轻, 为中度污染, 而其余站位均为严重污染, 污染最重的是 1 号站位, 因其活性磷酸盐和无机氮含量最高。在区域差异上, 5 号站位距离排污口最远, 影响最小, 而 1 号、7 号、8 号站位距离排污较近, 且又是各股水流的汇集处, 影响最大, 污染最重。

2.4 水质富营养状况评价

海水富营养化是沿海国家面临的一个重要

水环境问题, 已引起人们的广泛关注, 是当前污染防治与控制的重要课题和研究重点^[17-18]。定海西蟹峙海洋倾倒地海域水质富营养化指数 (E) 和营养状态质量指数 (NQI) 见表 3。从表 3 可以看出, 使用 E 值指数法和 NQI 值指数法的评价结果一致, 该倾倒地海域 8 个监测站位均呈富营养化状态。因分级不同, $E \geq 3.0$ 表示为高富营养, 故使用 E 值指数法评价, 8 个监测站位均呈高富营养化状态; 而 NQI 值指数法分级中最高级别为富营养。从富营养化程度上分析, 5 号站位距离排污口最远, 富营养化程度相对最轻, 1 号、7 号、8 号站位距离排污口相对较近, 富营养化程度较重, 这种现象与有机污染情况一致, 表明污水处理厂排污口的排污是影响该海域水质质量的最主要原因。

表 3 水质机污染指数 (A)、富营养化指数 (E) 和营养状态质量指数 (NQI)

站 位	有机污染指数		富营养化指数		营养状态质量指数	
	A 值	水质质量状况	E 值	营养水平	NQI 值	营养水平
1	5.33	严重污染	24.04	高富营养	6.75	富营养
2	4.44	严重污染	21.90	高富营养	6.06	富营养
3	4.47	严重污染	19.85	高富营养	6.00	富营养
4	4.50	严重污染	19.66	高富营养	6.13	富营养
5	3.88	中度污染	14.90	高富营养	5.36	富营养
6	4.66	严重污染	20.13	高富营养	6.23	富营养
7	4.92	严重污染	27.72	高富营养	6.44	富营养
8	4.74	严重污染	25.14	高富营养	6.22	富营养

2.5 潜在性富营养化评价

由于海水中营养盐的限制,将有一部分氮(对磷限制水体而言)或磷(对氮限制水体而言)相对过剩。而根据现行的富营养化指数评价方法,这部分相对过剩的氮或磷可提高评价海域的营养化水平,但实质上这部分过剩的氮或磷却不能尽被浮游植物所利用。这部分过剩的

营养盐不应被视为对实质上的富营养化作了贡献,而应看做只具有一种潜在性。即只有在水体得到适量的磷(对磷限制水体而言)或氮(对氮限制水体而言)的补充,使氮、磷比值接近Redfield值,这部分过剩的氮或磷对富营养化的贡献才能真正体现出来。这种现象称为潜在性富营养化^[19]。营养等级划分见表4。

表4 营养等级划分原则

级别	营养等级	无机氮 / (mg · L ⁻¹)	无机磷 / (mg · L ⁻¹)	氮磷比值
I	贫营养	<0.20	<0.030	8~30
II	中度营养	0.20~0.30	0.030~0.045	8~30
III	富营养	>0.30	>0.045	8~30
IV _P	磷限制中度营养	0.20~0.30	—	>30
V _P	磷中等限制潜在性营养	>0.30	—	30~60
VI _P	磷限制潜在性营养	>0.30	—	>60
IV _N	氮限制中度营养	—	0.030~0.045	<8
V _N	氮中等限制潜在性营养	—	>0.045	4~8
VI _N	氮限制潜在性营养	—	>0.045	<4

硅酸盐也是浮游植物生长的必要元素之一,考虑硅酸盐的影响,Justic等和Dortch等^[20]提出了一个评估每一种营养盐化学计量限制的标准:①硅/磷比值大于22和氮/磷比值大于22,则磷酸盐为限制因子;②氮/磷比值小于10和硅/氮大于比值1,则无机氮为限制因子;③硅/磷比值小于10和硅/氮比值小于1,则硅酸盐为限制因子。

以活性磷酸盐、无机氮、活性硅酸盐的平均含量0.060 mg/L、1.019 mg/L、1.377 mg/L参与计算,得出定海西蟹峙海洋倾倒区海域氮/磷比值为37.5,属于磷中等限制潜在性营养,磷酸盐成为浮游植物生长的限制因子。硅/磷比值为25.3,硅/氮比值为0.7,符合第①种条件,表明磷酸盐为限制因子。综合两种评价模式,结果表明磷酸盐是该海域浮游植物生长的限制因子。

3 结论

(1) 定海西蟹峙海洋倾倒区及周边海域水质重金属(汞、砷、铜、锌、铅、镉、铬)、化

学需氧量以及溶解氧含量均符合《海水水质标准》第二类,除锌含量超过第一类标准外,其余均符合第一类标准,而无机氮和无机磷超标严重。

(2) 定海西蟹峙海洋倾倒区及周边海域有机污染严重,除5号站位为中度污染外,其余站位均为严重污染程度。富营养化严重,化学需氧量和无机氮起到主要贡献。

(3) 潜在性富营养化评价结果表明,定海西蟹峙海洋倾倒区及周边海域属于磷中等限制潜在性营养,磷酸盐是浮游植物生长的限制因子。

参考文献

- [1] 胡益峰,蒋红.舟山西蟹峙海洋倾倒区及邻近海域表层沉积物重金属污染及其生态风险评价[J].广东海洋大学学报,2012,32(4):48-53.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB17378.3—2007 海洋监测规范 第3部分:样品采集、贮存与运输[S].2007.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国

- 国家标准化管理委员会.GB17378.7—2007 海洋监测规范 第7部分:近海污染生态调查和生物监测[S]. 2007.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB17378.4—2007 海洋监测规范 第4部分:海水分析[S]. 2007.
- [5] 国家环境保护局环境工程评估中心. 环境影响评价技术方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2005.
- [6] 阚文静,张秋丰,胡延忠,等. 渤海湾水体富营养化与有机污染状况初步评价[J]. 海洋通报,2010,29(2):172—175.
- [7] 邹景忠,董丽萍,秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨[J]. 海洋环境科学,1983,2(2):41—53.
- [8] 刘炜,李奶姜,李婕. 福宁湾水质状况及其水体富营养化的初步探讨[J]. 海洋通报,2008,27(1):111—115.
- [9] 国家环境保护局.GB3097—1997 海水水质标准[S]. 1997.
- [10] 陈于望. 厦门港海域营养状况的分析[J]. 海洋环境科学,1987,6(3):14—19.
- [11] 国家海洋局宁波海洋环境监测中心站. 定海西蟹峙疏浚物临时海洋倾倒地跟踪监测评估报告[R]. 宁波:宁波海洋环境监测中心站,2012.
- [12] 国家海洋局第二海洋研究所. 舟山市定海区金塘北部区域开发建设项目沥港渔港工程环境影响报告书[R]. 杭州:国家海洋局第二海洋研究所, 2009.
- [13] 浙江大学. 舟山市普陀区临城至虾峙岛、六横岛输配水(应急引水)工程跨海段项目环境影响报告书[R]. 杭州:浙江大学,2010.
- [14] 中国水产科学研究院东海水产研究所. 岱山本岛北部(仇家门二期)野猪头—东垦山促淤堤工程环境影响报告书[R]. 上海:中国水产科学研究院东海水产研究所,2012.
- [15] 浙江省海洋生态环境科学研究所. 泗礁至黄龙岛际输水管道项目环境影响报告书[R]. 舟山:浙江省海洋生态环境科学研究所,2011.
- [16] 陈于望,王宪,蔡明宏. 湄洲湾海域营养状态评价[J]. 海洋环境科学,1999,18(3):39—42.
- [17] NIXON S W. Coastal eutrophication: A definition, social causes and future concerns[J]. *Ophelia*,1995,41:199—220.
- [18] 黄小平,黄良民. 珠江口海域无机氮和活性磷酸盐含量的时空变化特征[J]. 台湾海峡,2002,21(4):416—421.
- [19] 郭卫东,章小明,杨逸萍,等. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价[J]. 台湾海峡,1998,17(1):64—70.
- [20] 张均顺,沈志良. 胶州湾营养盐结构变化的研究[J]. 海洋与湖沼,1997,28(5):529—535.