

2012—2016年象山近岸海域水质评价与模拟研究

叶林安^{1,2}, 欧阳萱¹, 陈杲¹, 袁国坚¹, 茆洪卫¹

(1. 国家海洋局宁波海洋环境监测中心站 宁波 315040;

2. 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用国家海洋局重点实验室 上海 200090)

摘要: 为了解象山近岸海域水质污染状况,文章根据2012—2016年象山县近岸海域的水质监测结果,分析象山近岸海域水质现状及年际变化。应用灰色预测的模型来对象山近岸海域水质主要污染物的相关数据进行处理,得出主要污染物的预测结果。分析结果表明:象山近岸海域主要污染物为无机氮。用预测结果和实际数值通过残差验证,最后模拟出今后几年的监测值,为象山县近岸海域生态环境相关管理部门提供数据支撑和决策依据。

关键词: 象山近岸;水质;年际变化;灰色模型;主要污染物

中图分类号:P76

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2020)03-0031-05

Evaluation and Simulation of Water Quality in Xiangshan Coastal Waters from 2012 to 2016

YE Linan^{1,2}, OUYANG Xuan¹, CHEN Gao¹, YUAN guojian¹, MAO hongwei¹

(1. Ningbo Environmental Monitoring Center, SOA, Ningbo 315040, China; 2. Key Laboratory of Integrated Monitoring and Applied Technology for Marine Harmful Algal Blooms, State Oceanic Administration, Shanghai 200090, China)

Abstract: In order to understand the status of water pollution in Xiangshan coastal waters, based on the monitoring results of water quality in Xiangshan coastal waters from 2012 to 2016, this paper analyzed the current situation and inter-annual changes of water quality in Xiangshan coastal waters. The grey prediction model was applied to deal with the data of the main pollutants in the water quality of the coastal waters of Xiangshan, and the prediction results of the main pollutants were obtained. The results showed that inorganic nitrogen was the main pollutant in Xiangshan coastal waters. The prediction results and the actual values were verified by the residual error. Finally, the monitoring values for the next few years were simulated. It provided data support and decision-making basis for the relevant management departments of marine ecological environment in Xiangshan coastal waters.

Key words: Xiangshan near shore, Water quality, Inter-annual variations, Grey model, Major pollutant

收稿日期:2019-08-11;修订日期:2020-02-23

基金项目:自然资源部东海局青年海洋科学基金(201803);国家重点研发计划项目(2016YFC1402405)。

作者简介:叶林安,工程师,硕士,研究方向为海洋环境监测与评价

0 引言

我国大陆海岸线长 1.8 万 km, 绵长的海岸线导致了海洋近海水质污染的概率大大增加, 近年来在国家海洋管理部门和环境保护部门的共同努力下, 近岸海域环境质量迅速下降的趋势总体有所减缓。但是, 人类的石油开采、围填海、水产养殖以及旅游业的大力发展等, 仍然严重威胁着海洋生态系统的健康, 海水污染不仅使海洋生态环境遭到破坏, 还会使海洋环境灾害的发生频率和规模呈明显上升趋势。海洋是实现中华民族复兴大业的希望, 确保蓝色经济的永续发展需要我们时刻关注维护海洋水质健康。

象山县居浙江省中部沿海, 北邻象山港, 东滨大目洋, 南滨猫头洋、三门湾, 西接宁海县, 呈三面环海、一面靠陆之地势, 为典型的半岛县。象山海洋资源丰富, 海域面积 6 618 km²、海岸线 925 km、岛礁 656 个, 滩涂资源十分丰富, 约 2.02 万 hm², 占宁波市滩涂资源总量的 23.15%。对于象山附近海域和象山港海域国内外已有较多的研究^[1-5], 朱根海等^[6]利用 1982—2011 年东海象山港海域 30 年主要营养物质溶解无机氮(DIN)、溶解无机磷(DIP)的年际变化, 研究得出象山港氮、磷营养盐浓度呈逐年增加趋势。叶林安等^[7]用模糊综合评价法得出象山港水质目前的主要富营养化污染物为无机氮, 其次是无机磷的结论。张丽旭等^[8]介绍了近 4 年来象山港赤潮监控区营养盐变化及其结构特征, DIN 的比值均保持稳定, 整个监控区一直处于热力学平衡状态, 而无机磷一直是该海域初级生产力的主要潜在限制性因子。叶林安等^[9]用 2016 年象山港春、夏、秋、冬四季的调查资料得出象山港主要污染因子为无机氮和无机磷, 重金属为二类水质标准。翁骏超等^[10]对象山港海湾生态系统综合承载力进行评估, 表明水体无机氮和活性磷酸盐是造成海湾各功能区环境纳污能力过载的主要环境因子, 资源供给能力逐年下降, 表现为从海湾口门处向内湾逐渐降低的趋势。

本研究旨在以较新的历年现场调查数据对象山县近岸海域水质进行评价, 通过数值模拟, 用模拟结果和实际数值进行残差验证, 为象山县近岸海

域生态环境相关管理部门提供数据支撑和决策依据。

1 站位设置与分析方法

1.1 调查海域分布

本研究选择了象山近岸海域的 21 个监测点(图 1), 根据 2012—2016 年浙江省、宁波市、象山县海洋环境公报中象山县附近海域水质数据^[11-14], 来体现象山近岸海域水质状况。

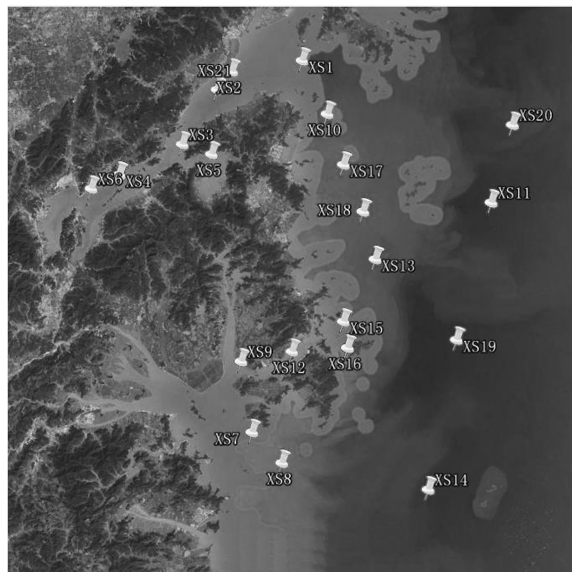


图 1 调查海域分布

1.2 分析方法

调查海域海水水质评价参照《海水水质标准》(GB3097—1997)^[15], 水质监测方法采用海洋监测规范(GB12378.4—2007)^[16]灰色系统着重解决“小样本、贫信息、不确定”问题。灰色系统是既含有已知信息又含有未知信息的系统。通过分析各种因素之间的关联性和量的测度, 使系统的发展由不知到知, 使系统的灰度逐渐减小, 直至认识系统的变化规律。本研究正是利用灰色系统的这些特点, 对象山近岸海域水质主要污染物的值做一定的预测。

灰色理论的微分方程模型称为 GM 模型, G 表示 Grey(灰), M 表示 Model(模型)。GM(1,1)表示 1 阶的 1 个变量的微分方程。过程如下:

设有原始数据序列(非负序列)

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$$

灰色系统模型是在生成数列的基础上, 将时间

序列转化为微方程的时间连续模型。首先对各原始序列进行一次累加,得到生成数列

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2) \cdots x^{(1)}(n)\}$$

$Z^{(1)}$ 为 $X^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列。

$$\text{其中 } z^{(1)}(k) = \frac{1}{2} [x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k - 1)]$$

称 $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$ 为 GM(1,1)模型的基本形式。

(1)GM(1,1)模型的白化方程也叫影子方程即: $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b$ 。这是一个一阶线性方程,它的解称为时间响应函数

$$x^{(1)}(t) = \left[x^{(1)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-at} + \frac{b}{a}$$

式中: a, b 为待辨识参数,根据上面算式求出 a, b 代入方程即得灰色模型。

(2)GM(1,1)模型 $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$ 的时间响应序列

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a}$$

$k = 1, 2 \cdots n$

(3)还原值为

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(0)}(k+1) &= \alpha^{(1)} \hat{x}^{(1)}(k+1) \\ &= \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \\ &= (1 - e^a) \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak}, \\ &k = 1, 2 \cdots n \end{aligned}$$

称 GM(1,1)模型中的参数 $-a$ 为发展系数, b 为灰色作用量。 $-a$ 反映了 $\hat{x}^{(1)}$ 与 $\hat{x}^{(0)}$ 的发展态势。GM(1,1)模型的选择与发展灰数 a 紧密相关,只有当 $|a| < 2$ 的时候,运用 GM(1,1)模型才有意义。具体参见表 1。

表 1 GM(1,1)模型的适用条件

范围	备注
$-a \leqslant 0.3$	适合中长期预测
$0.3 < -a \leqslant 0.5$	适合短期预测
$0.5 < -a \leqslant 0.8$	慎用短期预测
$0.8 < -a \leqslant 1$	适合残差修正模型
$-a > 1$	不宜使用 GM(1,1)模型

2 数据与分析

2.1 象山近岸海域的评价因子平均数值的年际变化分析

2.1.1 溶解氧

2012—2016 年象山近岸海域水质中溶解氧的测值均在 6.0 mg/L 以上,都符合第一类海水水质的要求(图 2)。5 年间,溶解氧测值上下波动,最大值出现在 2012 年,最小值出现在 2013 年。

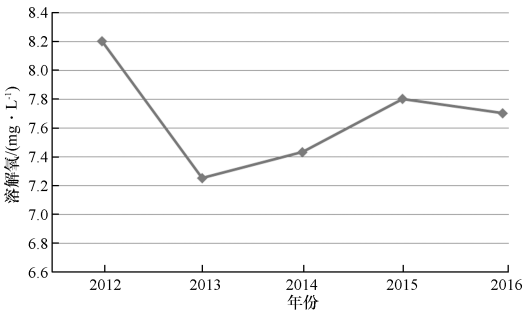


图 2 溶解氧年际变化

2.1.2 pH 值和石油类

2012—2016 年,象山近岸海域水质中 pH 值均在 7.8~8.5 的范围内,石油类的测值均小于 0.05 mg/L,都符合第一类或第二类海水水质标准,总体上 pH 值、石油类的测值均有上下波动,但变化幅度不大。

2.1.3 化学需氧量(COD)

2012—2016 年,象山近岸海域水质中 COD 的测值均小于 2 mg/L,符合第一类海水水质标准。

2.1.4 活性磷酸盐

2012—2016 年,象山近岸海域水质中活性磷酸盐的测值均在 0.030~0.045 mg/L,属于四类海水水质标准,总体趋于平稳(图 3)。

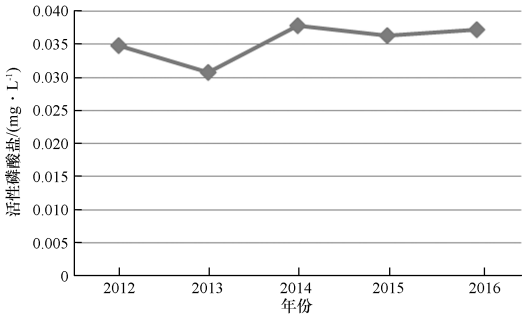


图 3 活性磷酸盐年际变化

2.1.5 无机氮

2012—2016 年,象山近岸海域水质中无机氮的测值均在 0.50 mg/L 以上,超出四类海水水质标准,总体在波动中呈现下降趋势(图 4)。

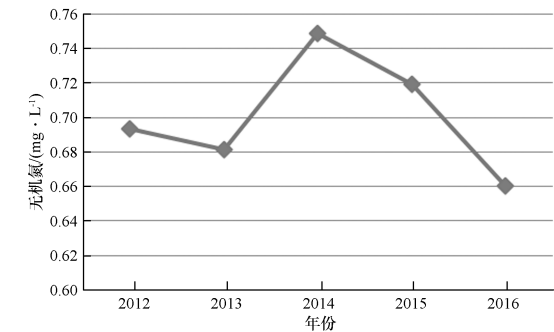


图 4 无机氮年际变化

2.1.6 重金属

2012—2016,象山近岸海域水质中铜浓度均小于 0.005 mg/L,铅浓度均小于 0.001 mg/L,镉浓度均小于 0.001 mg/L,铬浓度均小于 0.05 mg/L,汞浓度均小于 0.000 05 mg/L,砷浓度均小于 0.020 mg/L,都符合第一类和第二类海水水质标准。2012 年,象山近岸海域水质中锌浓度在 0.020~0.050 mg/L,符合二类海水水质标准,之后几年,砷浓度均小于 0.020 mg/L,符合第一类海水水质标准。总体上看,象山近岸海域海水中砷浓度呈现明显下降趋势(图 5)。

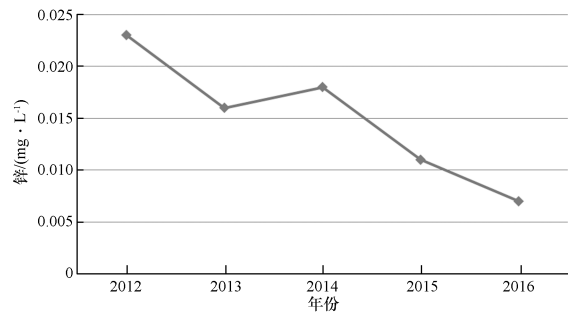


图 5 砷含量年际变化

2.2 未来主要污染因子模拟

2.2.1 模型的建立

本研究将应用 GM(1,1)模型来建立象山近岸海域监测站点无机氮平均值的预测模型。GM(1,1)模型不考虑影响无机氮的各种复杂的因素,把无机氮

看作是一个灰色的过程,从无机氮的变动外在现象中,挖掘出无机氮的内部规律,研究无机氮的内部规律,从而对其未来无机氮的变化及发展规律做出预测。

以无机氮为例,选取数据为象山县近岸海域从 2012—2016 年的 21 个监测点含量的平均值,现将这 5 年的数据设置为初始序列,即为原始序列:

$$x^{(0)}(k) = (0.693, 0.682, 0.749, 0.719, 0.660)$$

可得发展灰色 $a = 0.013\ 186$,内生控制变量 $b = 0.730\ 323$,则对照表 2 模型适用条件可知,发展系数 $-a = -0.013186 \leq 0.3$,模型可做中长期预测。根据以上数据,结合建模方法,可得时间相应函数:

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(1)}(k+1) &= \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a} \\ &= -54.6922e^{0.013186k} - 55.38516 \end{aligned}$$

结合公式

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(0)}(k+1) &= \alpha^{(1)} \hat{x}^{(1)}(k+1) \\ &= \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \\ &= (1 - e^a) \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak}, \\ &k = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

即可对数据进行原始序列的模拟序列。

2.2.2 模型残差的检验

记 $\Delta^{(0)}(i) = |x^{(0)}(i) - \hat{x}^{(0)}(i)|$ 为原始数列与预测数列的绝对误差数列,其中 $i = 1, 2, \dots, n$,相对误差 $\phi(i) = \frac{\Delta^{(0)}(i)}{x^{(0)}(i)} \times 100\%$,拟合精度 $P^0 = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \phi(i)$,若 $\phi(i)$ 能控制在 8% 以内,则可认为模型通过残差检验。

表 2 象山县近岸海域无机氮残差检验

年份	无机氮含量/(mg·L ⁻¹)			相对误差/%
	实际值	预测值	绝对误差	
2012	0.693	0.693	0.000	0.00
2013	0.682	0.716	0.034	5.05
2014	0.749	0.707	0.042	5.60
2015	0.719	0.698	0.021	2.95
2016	0.660	0.689	0.029	4.34

由表 2 可知,2012—2016 年象山海域无机氮含量预测模型的相对误差均小于 8%,平均残差为 3.59%,拟合精度为 96.41%,根据残差检验标准可知,该模型通过残差检验。

2.3 评价结果与模拟结果分析

根据 2012—2016 年象山近岸海域水质评价结果,在所选监测站点海域基本符合二类海水水质标准,主要污染物为无机氮,其次为活性磷酸盐,这与象山港海域评价结果相吻合^[9]。尽管象山县海洋环境相关管理部门已经采取各种措施加强监管,但海水养殖中过度的饲料喂养、超标排污、旅游业的大力发展等现象仍然影响着象山县近岸海域水质。根据以上灰色模型精度检验预测的结果可知,本研究得到的 GM(1,1)模型是可靠的,可以用来预测象山近岸海域主要污染因子无机氮的含量。由 GM(1,1)模型模拟可知,2017—2020 年的无机氮含量预测值(表 3)。将 2012—2016 年的 5 个数据与预测出的结果相比较,结果表明灰色模型在一定程度上能反映出象山近岸海域无机氮含量的变化规律。因此,由无机氮模拟结果可知,在未来几年象山县附近海域主要污染因子无机氮的含量将呈现出缓慢下降的趋势。这可能是因为随着国家对海洋生态环境越来越重视,海洋相关管理部门已开始控制污染源入海和排放,并开始治理相关海域水质。在 2012—2016 年无机氮虽然有波动变化,但已有下降趋势。这也是模拟结果呈现出缓慢下降趋势的原因。

表 3 无机氮含量预测		mg/L
预测年份	预测无机氮含量	
2017	0.679 6	
2018	0.670 7	
2019	0.668 4	
2020	0.677 6	

3 结语

根据象山县近岸海域评价结果,在所选监测站点海域基本符合二类海水水质标准,主要污染物为无机氮,其次为活性磷酸盐。利用灰色模型模拟未

来几年无机氮的结果可知,所得到的 GM(1,1)模型是可靠的,能在一定程度上反映出象山县近岸海域无机氮含量的变化规律,在未来几年象山县附近海域主要污染因子无机氮的含量将呈现出缓慢下降的趋势。随着国家对海洋生态的重视,海洋环境相关管理部门早已开始控制污染源入海和排放,并开始治理相关海域水质,这将是象山县附近海域主要污染因子呈现下降趋势的重要原因。

参考文献

[1] 刘莲,黄秀清,杨耀芳,等.象山港海域环境容量及其分配研究[J].海洋开发与管理,2011,28(9):109—113.

[2] 叶林安,王莉波,江志法,等.2015 年东海区营养盐的分布变化特征[J].上海海洋大学学报,2017,26(3):432—439.

[3] 罗益华.象山港海域水质状况分析与污染防治对策[J].污染防治技术,2008,21(3):88—90.

[4] 顾晓英,陶磊,尤仲杰,等.象山港大型底栖动物群落特征[J].海洋与湖沼,2010,41(2):208—213.

[5] 曾相明,管卫兵,潘冲.象山港多年围填海工程对水动力影响的累积效应[J].海洋学研究,2011,29(1):73—83.

[6] 朱根海,陈丽红,刘晶晶,等.东海象山港海域主要营养物质年际变化及环境影响评价[J].环境经济与管理,2012,22(2):849—852.

[7] 叶林安,江志法,廖友根,等.象山港海域水质的模糊综合评价[J].浙江水利科技,2015,198(2):15—19.

[8] 张丽旭,蒋晓山,蔡燕红.近 4 年来象山港赤潮监控区营养盐变化及其结构特征[J].海洋通报,2006,25(6):1—8.

[9] 叶林安,徐清,朱志清,等.2016 年象山港水质分布变化与主要污染因子分析[J].科技通报,2018,34(12):265—270.

[10] 翁骏超,袁琳,张利权,等.象山港海湾生态系统综合承载力评估[J].华东师范大学学报(自然科学版),2015,12(4):110—121.

[11] 宁波市海洋与渔业局.2012—2016 年宁波市海洋环境公报[R].2016.

[12] 宁波市海洋与渔业局.2012—2016 年象山港海洋环境公报[R].2016.

[13] 浙江省海洋与渔业局.2012—2016 年浙江省海洋灾害公报[R].2016.

[14] 宁波市海洋环境监测中心.2012—2016 年宁波市海洋生态保护区海洋环境监视监测与评价报告[R].2016.

[15] 黄自强,张克,许昆灿,等.海水水质标准[M].北京:海洋出版社,1997:1—8.

[16] 徐恒振,马永安,于涛,等.海洋监测规范[M].北京:海洋出版社,2007:109—119.