

浙江海域 赤潮灾害及防治

周 燕 等 编著

ANG UNIVERSITY PRESS

江大学出版社

全国百佳图书出版单位

浙江海域 赤潮灾害及防治

周 燕 等 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

全国百佳图书出版单位

内容提要

本书介绍了浙江海域环境自然状况、污染现状以及自1933年以来的浙江海域赤潮事件时空分布。对浙江海域所有赤潮生物种进行了生物学特征的描述,重点阐述浙江海域主要赤潮生物及其环境影响因子之间的关系,分析了典型赤潮事件中环境因子变动与赤潮发生发展的关系。总结了当前赤潮监测技术和方法,结合浙江海域赤潮水质浮标在线监测实践,介绍了基于浮标在线监测结果所开展的赤潮短期预警工作。归纳了赤潮预报方法,并结合对现有数据和预报方法的分析,介绍了基于时间序列的赤潮短期预报和发生风险评估实践工作。概述了国内外灭杀赤潮生物的主要方法,介绍了浙江省利用大型海藻在温州海域实施的防治赤潮的实践结果,并对修复海区后大型海藻的工业化利用去向进行了探讨。

本书适合海洋学、环境学、生物学、生态学等有关领域的科学工作者和相关学科的专家参阅,也适合高等院校师生作为教学和科研的参考。

图书在版编目(CIP)数据

浙江海域赤潮灾害及防治 / 周燕等编著. — 杭州: 浙江大学出版社, 2017.12

ISBN 978-7-308-16994-3

I. ①浙… II. ①周 III. ①沿海—赤潮—污染防治—浙江 IV. ①X55

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第132325号

浙江海域赤潮灾害及防治

周 燕 等 编著

责任编辑 季 峥

责任校对 冯其华

封面设计 黄晓意

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路148号 邮政编码310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州兴邦电子印务有限公司

印 刷 浙江省良渚印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 11

字 数 220千

版 印 次 2017年12月第1版 2017年12月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-16994-3

定 价 49.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

地图审核号: 浙S(2017)308号

浙江大学出版社发行部电话(0571)88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

《浙江海域赤潮灾害及防治》 编委会

主 编 周 燕

副主编 余 骏 姚炜民 曾淦宁

编 委 刘希真 赵聪蛟 余 敏 胡益峰 王 玲
马 骏 金敬林

前 言

赤潮是在特定的环境条件下海水中某些浮游植物、原生动物或细菌暴发性地增殖或集聚引起的生态现象。1990年,联合国将其列为世界三大近海污染问题之一。近年来,海洋水产养殖业、滨海旅游业等受赤潮的影响,经济损失严重,同时赤潮也破坏了海洋生态环境。

赤潮的分类标准有很多,大抵上根据赤潮有无毒性,可分为无毒的赤潮、有毒的赤潮、对人无害但对鱼类及无脊椎动物有害的赤潮三类。赤潮会破坏海洋生物的生存环境,最终导致海洋生态系统恶化,而渔业和海产养殖也因此受到严重影响,造成巨大的经济损失;有毒的赤潮藻类还间接威胁着人类的生命安全。存在赤潮藻类和充分的营养物质是赤潮发生的物质基础;适宜的水温、盐度、水动力和气象因子等是赤潮发生的重要环境因子;有利的种间竞争和相对较低的生物摄食压力对赤潮的形成有重要影响。随着世界各国海洋经济的迅速发展,赤潮在某些海域频繁发生,其带来的危害越来越严重,这已引起各滨海国家的重视。全世界记录的赤潮生物有300种左右,隶属于10个门类;我国沿海已发生赤潮的赤潮生物有30多种,主要是甲藻类,其次是硅藻类。赤潮对我国沿海经济的危害程度日益增加,每年造成的直接经济损失达10亿元,已成为我国一种严重的海洋灾害。如何科学地进行赤潮研究和减灾,有效地进行赤潮防治已经成为迫切需要解决的重大问题。

我国近岸海域赤潮发生的特点有:全年,全海域,多种类,高危害,具有显著的时间和区域特点;主要赤潮生物种类为甲藻,有毒有害赤潮生物增多;灾害性赤潮以甲藻类赤潮为主。我国赤潮发生在区域分布上很不均匀,赤潮灾害最严重的地区就是浙江沿海长江口一带。这一带原本就是全国最大的渔场所在地,水体营养丰富,再加上钱塘江和长江两个入海口,把大量的悬浮泥沙和丰富的溶解营养盐带入海洋,造成这一带独特的生态环境特征,从而使其成为赤潮多发区。

目 录

第一章 浙江海域赤潮	1
第一节 浙江海域环境自然状况	1
一、地形地貌	1
二、气候特征	2
三、水文状况	2
四、主要入海河流	3
第二节 浙江海域污染状况	4
一、主要入海河流污染物入海量	4
二、沿海地区陆源污染物排放状况	5
三、浙江海域水环境质量	5
四、浙江海域水环境质量变化趋势	6
五、浙江海域主要海洋化学要素分布及其变化趋势	7
第三节 浙江海域赤潮事件分布	9
参考文献	12
第二章 浙江海域主要赤潮生物及其影响因子	14
第一节 赤潮分类及过程概述	14
第二节 浙江海域赤潮生物种类	16
一、硅藻	16
二、甲藻	23
三、金藻	29
四、针胞藻	29
五、原生动物	30



第三节 浙江海域主要赤潮生物及其环境影响因子	31
一、中肋骨条藻	31
二、东海原甲藻	33
三、米氏凯伦藻	36
四、夜光藻	40
第四节 赤潮生物的共存与演替	42
第五节 典型赤潮事件中环境影响因子变动与赤潮发生发展的关系	44
参考文献	48
 第三章 赤潮监测与在浙江海域的实践	 51
第一节 赤潮监测	51
一、赤潮监测发展概述	51
二、赤潮监测技术与方法	52
三、赤潮监测系统的发展	54
第二节 浙江海域赤潮的浮标在线监测实践	55
一、监测因子选择	55
二、监测数据采集	56
三、监测结果分析	57
四、基于浮标在线监测结果进行的短期预警	62
五、典型案例	64
六、模式应用及准确率	66
七、基于浮标在线监测结果开展的赤潮预警小结	68
参考文献	69
 第四章 赤潮预报与在浙江海域的实践	 72
第一节 赤潮预报发展概述	72
第二节 赤潮预报原理与方法	72
一、根据预报因子进行分类	73
二、根据预报的数学方法进行分类	79
三、赤潮预警系统	92
第三节 基于时间序列的浙江海域赤潮短期预报实践	95
第四节 浙江海域赤潮发生风险评估实践	97

参考文献	99
------	----

第五章 赤潮防治技术与实践	103
---------------	-----

第一节 赤潮防治技术概述	103
--------------	-----

第二节 国内外灭杀赤潮生物的主要方法	104
--------------------	-----

一、物理法	104
-------	-----

二、化学法	104
-------	-----

三、生物法	105
-------	-----

四、微生物法	105
--------	-----

第三节 大型海藻防治赤潮的优势分析	106
-------------------	-----

一、大型海藻在海洋生态系统中的作用	106
-------------------	-----

二、大型海藻生态修复技术的研究进展	109
-------------------	-----

第四节 大型海藻防治赤潮的实践	112
-----------------	-----

一、材料与方法	112
---------	-----

二、实验海藻生长特性与氮、磷吸收规律	112
--------------------	-----

三、养殖海区水质与变化特征	119
---------------	-----

四、海藻养殖区与对照区水体中氮、磷含量的比较	121
------------------------	-----

第五节 生物修复后大型海藻的综合利用	123
--------------------	-----

参考文献	124
------	-----

附 录	127
-----	-----

附表1 浙江海域赤潮事件表(1933—2015年)	127
---------------------------	-----

附表2 1933、1980—2015年浙江海域赤潮生物种	163
------------------------------	-----

结 语	165
-----	-----

第一章 浙江海域赤潮

第一节 浙江海域环境自然状况

一、地形地貌

浙江是海洋大省,地处东南沿海、长江三角洲南翼,位于东经 $118^{\circ}01'$ ~ $123^{\circ}10'$ 、北纬 $27^{\circ}02'$ ~ $31^{\circ}11'$ 。浙江东临东海,南接福建,西与江西、安徽相连,北与上海、江苏为邻。根据浙江省908专项海岸带、海岛调查地理统计数据(浙江省908专项工作协调小组,2011),浙江省海岸线长度约为6715km,占全国海岸线总长的20%以上,其中大陆岸线约长2218km,海岛岸线约长4497km,海域面积约为44388km²;拥有面积超过500m²的海岛3453个,它们的总面积约为1818km²,数量占全国面积超过500m²的海岛总数的40%以上,其中有居民海岛254个。浙江海域位置示意图见二维码。



浙江海域位置二维码

浙江省陆域山地和丘陵约占74.63%,平原和盆地约占20.32%,河流和湖泊约占5.05%,俗称“七山一水两分田”。浙江沿海地区地势较平坦,全省的平原和河网大都集中在沿海地区。浙江省处于华夏隆起地带,为秦岭、南岭两构造带东部的交接地带,其构造特征总体以江山—绍兴断裂为界,分成浙西北及浙东南两个区。浙西北地层发育齐全,构造形态以紧密线形褶皱构造为特征,浙东南山区地层为元古界变质岩和中生代火山岩系。

浙江海域广阔,海岸地貌主要为淤泥质海岸,占海岸大陆线的54%,由粉砂、泥质粉或粉砂质泥等细粒物质组成,潮滩发育。另外还有基岩海岸地貌,约占海岸大陆线的42%,其主要受断裂构造控制,岸线曲折,海蚀作用强烈,潮滩不发育。砂粒质海岸地貌也有少许分布,约占海岸大陆线的4%。



浙江海域在地质构造上属大陆边缘拗陷和环西太平洋新生代沟、弧、盆构造体系的组成部分,位于浙闽隆起区,广泛覆盖着晚侏罗世—早白垩世的火山岩系,上面发育了晚白垩世陆相红色沉积盆地和小型的薄沉积新生代盆地。浙江海域有着宽广、平坦的陆架,地貌以滨岸地貌类型为主,为全新世以来形成的现代滨岸地貌及沙波地貌。

二、气候特征

浙江省地处东南季风剧烈活动地区,属典型的亚热带季风气候。浙江冬夏季风交替显著,气温适中,四季分明;光照充足,热量丰富;雨量充沛,空气湿润。因濒临东海,受海洋气候影响,温湿条件优越。但年际间气候变化波动大,台风等气象灾害频繁。

浙江年平均气温为 $15\sim 18^{\circ}\text{C}$,极端最高气温为 $33\sim 43^{\circ}\text{C}$,极端最低气温为 $-17.4\sim -2.2^{\circ}\text{C}$,年平均日照时数为 $1710\sim 2100\text{h}$ (浙江省人民政府,2015)。全省多年(1956—2000年)平均降水量为 $1100\sim 2400\text{mm}$ 。降水量的地区差异显著,降水量最多的乌溪江流域的青井站的降水量(2490.2mm)是降水量最小的嵊泗站(1048.2mm)的2.38倍(浙江省人民政府,2005)。

春季,为冬季风向夏季风转换的交替季节,南北气流交汇频繁,低气压和锋面活动加剧。浙江春季气候特点为阴冷多雨,沿海和近海时常出现大风,全省雨水增多,天气晴雨不定。夏季,随着夏季风环流系统的建立,浙江境内盛行东南风,西北太平洋上的副热带高压活动对浙江天气有重要影响,而北方南下冷空气对浙江天气仍有一定影响。浙江夏季气候特点为气温高,降水多,光照强,空气湿润,气象灾害频繁。秋季,夏季风逐步减弱,并向冬季风过渡,气旋活动频繁,锋面降水较多,气温冷暖变化较大。冬季,东亚冬季风的强弱主要取决于蒙古冷高压的活动情况,浙江天气受制于北方冷气团(即冬季风)的影响,天气过程种类相对较少。浙江冬季气候特点是晴冷少雨,空气干燥,气温分布特点为由南向北、由东向西递减。

三、水文状况

浙江海域地处亚热带,水温较高,冬低夏高,北低南高。表层水温多年平均值为 $17.0\sim 19.0^{\circ}\text{C}$,年变幅为 20.0°C ,基本呈现SE-NW(东南-西北)向分布,带有很强的季节变化特征。浙江海域SST(海表温度)主要受制于太阳辐射,大致上呈南高北低分布。

但由于当地海岸形态、海区孤立程度的差异,以及受气候环境、水文环境变动等因素的影响,浙江海域SST的地理分布较为复杂(海洋图集编委会,1992;孙湘平,等,1981)。浙江海域表层水温的分布特点可概述为:随纬度减小,水温增高,南北温差冬季为 6°C 左右,夏季小于 2°C ;水温夏季明显高于冬季,其最大温差可达 20°C ,此差值具有由岸向外、由北向南逐渐减小趋势;等温线分布形势总趋势与海岸线近于平行,但冬季等温线密集,内低外高,经向梯度大,夏季等温线稀疏,水温内高外低,经向梯度小,近岸处可见台湾暖流北上逼岸及次表层水涌升的表征。河口港湾区由于陆地影响,水温夏季很高,冬季很低,为水温极值出现区。

以陆地径流为主形成的沿海低盐水和外海高盐水的盛衰决定了浙江沿海及河口港湾海区盐度的分布和变化,使得浙江海域盐度变化具有极强的区域性。整体来看,浙江海域等盐线走向与岸线非常一致,无论冬夏,盐度总是由北往南递增,最低盐度总是出现在长江口南汇咀附近,最高盐度则在浙南东南水域,盐度梯度大处为水系交界处,即锋面区所在;等盐度夏季稠密,冬季稀疏;盐度冬季小于26,夏季可达34。显然,上述特点与长江冲淡水冬朝南夏朝北、台湾暖流冬弱离岸、夏强逼岸分不开。由于浙江地处副热带,一年中有梅汛和台汛,故盐度在一年里出现两个低值。港湾水域盐度受大陆降水和沿海流系的影响,最高值出现在夏季,最低值出现在秋末,且通常增盐期较降盐期长。

浙江沿海处于江浙沿海流和台湾暖流交汇、交替消长的锋面区。浙江潮汐主要是由太平洋潮波引起,潮差普遍较大,为我国强潮海区之一,其分布又带有明显的区域性。浙江海域潮流属正规半日潮流,以往复流运动形式为主。浙江沿海的潮振动是由太平洋潮波引起的协振动和天体在本海区直接引起的独立潮组成,潮流性质除舟山群岛附近属不规则半日潮外,其余基本属规则半日潮。近海余流主要受制于河川径流,特别是长江径流入海后的运动路径、风的季节变化和外海流系的消长(浙江省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室,1988)。

四、主要入海河流

按全国水系划分,浙江省河流除苕溪、运河水系和个别流入江西省的小河流属长江水系外,钱塘江水系、甬江水系、椒江水系、瓯江水系、飞云江水系、鳌江水系等均属我国“东南沿海诸河”。各水系流域面积在 10km^2 以上的干、支河流有2441条,在 10000km^2 以上的有4条(浙江省发改委,2006)。浙江省的大部分河流有以下特点:①汛期洪水大,主要河流比降为 $2\%\sim 10\%$,大多在 4% 以上,洪水集中快,涨幅大;②枯水期流量



小,由于降水不均和取水量大,河流枯水期流量很小,大多数河流供水水源不足;③潮汐影响大,浙江省位于我国潮汐最大的地带,6条入海主要河流受潮汐影响的河段长度平均占河长的1/3以上。

第二节 浙江海域污染状况

一、主要入海河流污染物入海量

浙江海域是长江、钱塘江等入海河水与高盐外洋水的混合区。长江冲淡水大多经过南汇嘴和大小洋山附近的海域后向南汇集在杭州湾附近,并通过潮汐和海流等相互作用,由舟山渔场海洋向外扩展;其所携带的大量泥沙和陆源性污染物积聚在杭州湾和舟山海域,并向东南方向输移,其影响区域可达福建的沙埕港。2015年通过长江入海的污染物总量为:化学需氧量(COD)6658663t,氨氮131744t,总磷122643t,油类物质35990t,重金属12026t,砷2093t。另外,根据2015年入海河流污染物监测结果(见表1-1),钱塘江、曹娥江、甬江、椒江、瓯江、飞云江和鳌江排入浙江海域的污染物总量为:化学需氧量1959331t,总有机碳212267t,总氮340892t,氨氮22782t,总磷26952t,油类物质2033t,重金属1219t,砷142t。按从大到小的顺序,化学需氧量排在前三位的依次为

表1-1 2015年主要河流携带入海的污染物量

单位: t

河流名称	化学需氧量	总有机碳	总氮	氨氮	总磷	油类物质	重金属	砷
钱塘江	767714	102878	169356	10942	6350	1060	353	58
甬江	97214	20333	32037	4126	1440	151	61	7
椒江	177379	7841	18420	1210	1022	190	140	7
瓯江	618833	64325	99694	5309	12358	485	534	54
飞云江	272796	15083	18160	989	4942	116	117	15
鳌江	25395	1807	3225	206	840	31	14	1
合计	1959331	212267	340892	22782	26952	2033	1219	142

资料来源:浙江省海洋与渔业局,2016

钱塘江、甬江和飞云江,其入海量分别占入海总量的39.2%、31.6%和13.9%;总氮排在前三位的依次是钱塘江、甬江和甬江,其入海量分别占入海总量的49.7%、29.2%和9.4%;总磷排在前三位的依次为甬江、钱塘江和飞云江,其入海量分别占入海总量的45.9%、23.6%和18.3%。

二、沿海地区陆源污染物排放状况

根据《2015年浙江省海洋环境公报》(浙江省海洋与渔业局,2016),由浙江省各级海洋部门组织实施监测的入海排污口为48个。其中,嘉兴沿海的排污口为3个,舟山沿海的为21个,宁波沿海的为8个,台州沿海的为7个,温州沿海的为9个;市政和工业的排污口分别为22个和25个,排污河类型的为1个;邻近港口航运区的排污口为27个,农渔业区的为13个,工业与城镇用海区的为6个,其他海洋功能区的为2个。

48个排污口全年排放入海的污水总量约为 $5.80 \times 10^8 \text{t}$,携带入海的主要污染物总量分别约为:化学需氧量 $2.89 \times 10^4 \text{t}$,悬浮物 $1.58 \times 10^4 \text{t}$,总氮 $1.08 \times 10^4 \text{t}$,氨氮2012.9t,总磷435.9t,油类物质150.9t,重金属41.9t,挥发酚3.4t,其他各类污染物1.4t。

三、浙江海域水环境质量

受长江、钱塘江等入海径流携带的大量营养盐,以及沿海城市生活污水、工业废水排放等影响,浙江海域是我国海水中氮、磷含量最高的海域之一。《2015年浙江省海洋环境公报》显示(见表1-2),海水中主要超标指标为无机氮和活性磷酸盐。2015年各季度浙江海域水质状况见右侧二维码。春、夏、秋、冬四季,无机氮含量劣于第四类海水水质标准的海域面积分别为20600、16790、24160、25188 km^2 ,主要分布在浙北海域和温台沿海海域;活性磷酸盐含量劣于第四类海水水质标准的海域面积分别为5728、15583、13620、9256 km^2 ,主要分布在杭州湾、椒江口、甬江口等港湾、河口区域。总体而言,夏季水质状况明显优于春、秋、冬三季。



2015年各季度浙江海域水质状况二维码



表 1-2 2015 年浙江海域水环境状况统计

季节	第一类海水		第二类海水		第三类海水		第四类海水		劣四类海水	
	面积/ km ²	占比/ %	面积/ km ²	占比/ %	面积/ km ²	占比/ %	面积/ km ²	占比/ %	面积/ km ²	占比/ %
春季	1390	3.1	4790	10.8	7345	16.5	10275	23.1	20600	46.4
夏季	4660	10.5	7100	16.0	6515	14.7	9335	21.0	16790	37.8
秋季	85	0.2	1420	3.2	5795	13.1	12940	29.1	24160	54.4
冬季	0	0.0	1245	2.8	6713	15.1	11254	25	25188	56.7

四、浙江海域水环境质量变化趋势

近年来,国家加强了长江流域的环境综合整治工作,“河长制”“五水共治”“一打三整治”等转型升级组合拳,进一步强化了海洋生态环境保护力度,提高了城市生活污水处理率,加强了对陆源直排污染源的监管。近几年,浙江海域陆源性输入污染物有所减少,水环境质量开始有所改善(见表 1-3),但近五年第四类、劣四类海水水域面积时大时小,平均占比仍达 55.6%。

表 1-3 2001—2015 年 8 月浙江海域水环境状况变化统计

年份	第一、二类海水面积占比/%	第三类海水面积占比/%	第四类、劣四类海水面积占比/%
2001	1	11	88
2002	5	14	81
2003	29	12	59
2004	19	17	64
2005	21	9	70
2006	17	6	77
2007	27	11	62
2008	35	18	47
2009	22	21	57
2010	24	16	60
2011	27	26	47
2012	26	10	65
2013	43	12	45
2014	19	20	61
2015	26	15	59

资料来源:浙江省海洋与渔业局,2002—2016

五、浙江海域主要海洋化学要素分布及其变化趋势

(一) 化学需氧量分布特征及其变化趋势

化学需氧量(COD)是浙江海域最主要的陆源污染因素。2015年,钱塘江、甬江、椒江、瓯江、飞云江和鳌江6条河流携带入海的主要污染物总量约为 $2.54 \times 10^6 \text{t}$,其中COD约为 $1.96 \times 10^6 \text{t}$,约占77%。COD入海量前三位的入海河流是钱塘江、瓯江和飞云江,入海量比例占全省的80%以上。

受省内径流及长江口径流等排放入海影响,浙江海域COD整体趋势为近海高于外海,杭州湾及其外海保持较高的COD水平,主要海水增殖殖区——象山港、三门湾、乐清湾等的COD水平尽管相对外海高,但环境质量尚能满足功能需要。据浙江省海洋环境监测结果,2015年浙江海域COD为近年来最高,杭州湾海域湾顶污染最为严重(具体情况见右侧二维码)。



2011—2015年
浙江海域COD平面
分布情况二维码

(二) 溶解氧分布特征及其变化趋势

根据2011—2015年浙江省海洋环境监测结果:从年际变化来看,2011—2015年,杭州湾海域的溶解氧(DO)明显高于其他海域;从空间分布来看,除杭州湾的DO值较高外,受长江口冲淡水的影响,DO高值区还出现在长江口河口区及舟山群岛南部浙江沿海海域,在个别年份与浙江北部近海DO高值区相连(具体情况见右侧二维码)。



2011—2015年
浙江海域溶解氧
平面分布情况二维码

(三) 营养盐分布特征及其变化趋势

浙江海域营养盐(无机氮和活性磷酸盐)分布明显受到长江冲淡水等陆源输入及黑潮东海分支等的影响,全海域营养盐平面分布的整体特征基本相同,受地表径流和沿海排污等陆源输入影响明显,营养盐平面分布的等值线走向基本与海岸线平行,呈现出近海向离岸方向逐渐降低的特点;近半数溶解态无机氮(DIN)和 PO_4^{3-} 的含量处于劣四类水平,高值区主要集中在湾内水体及浙江近海。受径流影响,污染物的分布具有自北向南逐渐减少的趋势,南部陆架外缘地区具有营养盐含量低的特征。从年际变动趋势来



看,浙江海域的无机氮、活性磷酸盐超标仍然比较明显,且 REDFIELD 比值呈现较明显的 P 限制,杭州湾海域是全省重点港湾、河口海域水环境中营养盐污染最严重的海域(具体情况见右侧二维码)。



2011—2015年
浙江海域溶解态无机氮
平面分布情况二维码



2011—2015年
浙江海域活性磷酸盐
平面分布情况二维码

(四) 水体富营养化评价及其变化趋势

富营养化是海洋中出现的生态异常现象,是引发赤潮的主要因素,其对海洋生态平衡、水产资源等危害很大,一直是比较严重的生态问题,值得注意。目前广泛应用于中国近海海域富营养化现状评价的方法为富营养指数法(邹景忠,等,1983)营养指数(E)的计算公式为:

$$E = \text{COD} \times \text{DIN} \times \text{DIP} \times 10^6 / 4500$$

式中:COD、DIN、DIP 分别为水体的化学需氧量、溶解态无机氮含量、溶解态活性磷酸盐含量的实测浓度,单位均为 mg/L。

当水体中 $E > 1$ 时,即为富营养化水体。其中, $1 < E \leq 3$ 表示轻度富营养化, $3 < E \leq 9$ 表示中度富营养化, $E > 9$ 表示重度富营养化。浙江海域 70% 以上呈富营养化状态,从外向近海富营养化加剧。重度富营养化海域主要集中在杭州湾、椒江口、瓯江口、飞云江口、鳌江口等港湾河口区域,但由于陆源污染程度有所差别,以及各海湾的水体与外海水体交换能力不同,有机污染在各海湾表现不一。指数最高值区出现在西部近岸方向,处于杭州湾近岸水域。2012 年杭州湾北部海域、2013 年东海外海的富营养化现象相比其他较为突出,表明了长江径流和黑潮分支的年际变化(具体情况见右侧二维码)。



2011—2015年
浙江海域营养指数
平面情况二维码

近年来,随着人们对富营养化认识水平的加深,认为不同海区 COD、DIN、DIP 三者的阈值不同,因此富营养指数法需进行改良。郭卫东等(1998)以潜在性富营养化的概念为基础,同时兼顾氮、磷含量及 C_N/C_P (氮与磷的物质的量之比),提出了营养盐限制与潜在性富营养化评价模式。种种评估模式不尽相同,但所得出的结论并无本质差别,本书中仍沿用邹景忠等提出的公式进行评价。

(五) 有机污染评价及其变化趋势

从污染角度考虑,刘彬昌(1993)提出了有机污染指数法。有机污染指数法是在营养指数的基础上进一步考虑溶解氧对水体营养水平的贡献,即在有机污染指数(A)的

计算中在DIN、DIP、COD的基础上引入DO因子,体现了水体中有机污染与溶解氧作用的共同影响,评价结果更为合理。水体有机污染采用水体有机污染指数法,其计算式为:

$$A = \frac{\text{COD}_i}{\text{COD}_0} + \frac{\text{DIN}_i}{\text{DIN}_0} + \frac{\text{DIP}_i}{\text{DIP}_0} - \frac{\text{DO}_i}{\text{DO}_0}$$

式中:COD_i、DIN_i、DIP_i、DO_i分别为水体的化学需氧量、溶解态无机氮含量、溶解态活性磷酸盐含量和溶解氧的实测浓度,单位均为mg/L;COD₀、DIN₀、DIP₀、DO₀分别为水体的上述各项指标的评价标准,COD₀为2.0mg/L,DIN₀为0.20mg/L,DIP₀为0.015mg/L,DO₀为6.0mg/L。根据《海洋监测规范》,海域有机污染评价分级见表1-4。

表1-4 海域有机污染评价分级表

A	<0	0~1	1~2	2~3	3~4	>4
污染程度分级	0	1	2	3	4	5
水质评价	良好	较好	开始受到污染	轻度污染	中度污染	严重污染

有机污染指数平面分布(见右侧二维码)与营养指数平面分布类似,从西向东、从北向南污染程度逐渐降低。从区域分布看,杭州湾内污染程度相对其他区域严重,其次为与浙南海域(台州海域)交界处的三门湾沿海及其往东往南区域。



2011—2015年浙江海域有机污染指数平面分布情况二维码

第三节 浙江海域赤潮事件分布

受长江径流等携带的陆源营养物质,以及台湾暖流等中的外海营养物质季节性变动的影响,浙江海域形成了其特有的富营养化环境,目前已经成为全国赤潮发生最严重的区域之一。

1933、1981—2015年,浙江海域有记录的赤潮共有644次(见附表1)。浙江海域最早的赤潮记录为1933年台州沿海的夜光藻赤潮。20世纪80年代开始,关于赤潮的文献记载逐渐增多。20世纪80年代,浙江海域赤潮发生次数和面积都较少,分别为19次和8100km²;90年代赤潮发生次数上升为66次,面积达15000km²。进入21世纪以后,赤潮发生次数和面积显著增加,2000—2009年10年间,赤潮发生461次;但2010—2015年,赤潮发生次数为107次,比21世纪的前10年明显减少。