

内部资料

14

# 内湾赤潮防治基础研究 调 查 报 告

(1988.1—1989.3)

中国水产科学研究院东海水产研究所  
宁波市水产研究所

1990年12月

## “内湾赤潮防治基础研究”报告目录

1. “内湾赤潮防治基础研究”课题执行情况的工作报告 ..... (1)  
“内湾赤潮防治基础研究”课题组、陈亚翟、顾新根执笔
2. 象山港气候概况及与赤潮关系的初步探讨 ..... (3)  
中国水产科学研究院东海水产研究所 邵泽民
3. 象山港中西部水文特征与赤潮形成的关系 ..... (8)  
中国水产科学研究院东海水产研究所 沈新强  
第二海洋研究所 张月秀、唐龙妹
4. 象山港中西部海水化学调查报告 ..... (14)  
中国水产科学研究院东海水产研究所研究所 姚佑宸  
宁波市水产研究所 钟惠英
5. 象山港叶绿素 a 含量的分布及其与环境因子的关系 ..... (26)  
中国水产科学研究院东海水产研究所 王云龙、徐兆礼、姚佑宸
6. 象山港中、西部初级生产力的分布特征 ..... (40)  
中国水产科学研究院东海水产研究所 姚佑宸
7. 象山港中、西部浮游植物调查报告 ..... (45)  
中国水产科学研究院东海水产研究所 顾新根、徐兆礼、季强
8. 象山港中、西部浮游动物调查报告 ..... (73)  
中国水产科学研究院东海水产研究所 陈亚翟、王云龙、徐兆礼
9. 象山港赤潮浮游生物生态特征的分析 ..... (90)  
中国水产科学研究院东海水产研究所 徐兆礼、顾新根、王云龙、陈亚翟
10. 内海赤潮防治基础研究总报告..... (98)  
“内海赤潮防治基础研究”课题组、陈亚翟、顾新根执笔

# “内湾赤潮防治基础研究”课题执行情况的工作报告

“内湾赤潮防治基础研究”课题组

陈亚瞿、顾新根执笔

## 一、课题起源

象山港是宁波地区的重要增殖基地，也是浙江省重点建设的海水增殖基地之一。港内贝藻类养殖业均很发达，近年又在港内开展了中国对虾、海蜇和罗非鱼的人工增殖放流试验和石斑鱼、鲍鱼等的人工养殖，取得了一定的成效。但近十余年来，港内赤潮频发，严重危害贝藻类，特别是海带的正常生长，造成相当可观的经济损失。因此开展象山港赤潮的防治基础研究，了解赤潮构成生物的生态特性，掌握赤潮发生的规律，提出保护象山港增殖生态环境的有效措施，不仅具有理论意义，并且将会产生十分明显的社会效益。为此1987年5月我所提出了开展“内湾赤潮防治基础研究”课题的申请，1987年7月经农业部批准，并作为部重点研究课题下达。

## 二、条件保证

1987年10月我们正式接受“内湾赤潮防治基础研究”课题后，立即进行组织落实和船只条件等工作的准备。首先我们与宁波市水产研究所协作，邀请该所资源室同志一起参加本课题工作，并共同制订调查研究计划，确定以多学科的综合赤潮生态调查为重点，东海水产研究所负责水文、气象、叶绿素a、初级生产力、浮游植物和浮游动物等项目的分析研究，宁波市水产研究所负责海水化学项目的分析，海流项目由第二海洋研究所评价部协助测定。与此同时，我们还取得宁波市水产局、宁海县水产局，宁海县峡山乡人民政府，农业部中央山岛种畜隔离场和上海水产大学（奉化）海水养殖试验场等有关领导部门和单位的大力支持，从而为本课题工作的正常开展创造了有利的条件。

## 三、调查概况

### 1. 调查海区 and 站位

调查海区为西沪港以西的象山港中西部赤潮多发海区，在此海区共布设11个调查站（参照海岸带等历史调查站位而定），具体为铁港，黄墩港和西沪港三个支港各设2个站，主港区设5个站。为了能使资料便于同海岸带调查相比较，多数站位尽可能相同。

### 2. 调查时间及方式

自1988年1月始到1989年3月止，每月小潮（阳历初七~八）进行一次调查，1988年1月赤潮发生期间，于第一次调查间隔3天后，在黄墩港和西沪港4个测站又进行一次补充调查。每次调查均于白天涨憩后进行。

### 3. 调查船

使用宁海县中央山岛种畜隔离场24吨级机动交通船。

## 四、主要成果

本课题工作经费有限，但通过课题组全体人员的艰苦奋斗和有关方面的多方支持，如

期完成了 16 个航次的调查和相应的内业测试分析,共获得气象、水文、化学、叶绿素 a、初级生产力、浮游植物和浮游动物的第一手数据约 1.5 万个,完成了十篇研究报告和总结报告约 8 万字。初步掌握了赤潮构成生物的数量分布和变动与环境因子的关系,赤潮发生与富营养化的关系,从而为象山港赤潮的研究积累了大量的基础资料 and 为今后的深入研究打下了良好的基础,也为象山港的渔业生产特别是增养殖业的发展提供了较为完整系统的科学资料。

## 五、存在问题与建议

1. 赤潮是一种自然现象,当今工业化造成的富营养化,加快了其发生频率和扩展了其发生范围。象山港中、西部海域富营养化程度甚高,这正是象山港发生赤潮的物质基础。但目前对象山港的富营养化机制尚缺乏研究,应是今后赤潮研究的重要课题之一。

2. 海域富营养化与赤潮是两个不同的概念。富营养化是赤潮发生的物质基础,但富营养化并非必然发生赤潮。象山港中、西部海域几乎全年均处于富营养状态,而赤潮主要发生于秋末冬初季节,这就说明引起赤潮发生的条件、除丰富的氮、磷营养盐外,还可能与铁、锰等痕量元素和维生素等有机物以及气象、水文(水温)等环境条件有关。因此,在今后加强自然生态研究的同时,需要加强对赤潮生物实验生态的研究,才能全面掌握赤潮形成的机制。

3. 缺乏对赤潮从发生、发展到消亡的全过程的调查研究,无法较全面地了解赤潮的形成条件和发生规律,这是今后必须着重解决的一个问题。

4. 建立赤潮监视体制和预测预报体系。编写通俗易懂的赤潮手册,组织当地水产部门和渔民开展简易的监测工作,做到通报赤潮的发生,以便及时组织现场调查。在开展赤潮全过程调查研究的基础上,根据赤潮生物数量的变动和化学、水文、气象等环境条件的特点和变化,逐步建立行之有效的赤潮预测报方法和体制。

5. 应加强对赤潮的研究和监测的领导,渔政、环保、海洋等部门都应加强对海洋的管理,应严格限制陆源污染向海洋超标排放,加强对各类船舶、海上石油勘探、开发和拆船业的管理,严格限制向渔业水域排放油类,废弃物和其他一切有害物质,以控制和减少海域有机污染和富营养化程度。渔政部门更应加强对增养殖业、捕捞业的管理,合理调整养虾池排灌水系统和海带养殖地点和生产规模,合理开发利用象山港水产资源。以保持港内养殖、捕捞区域水质良好状态和环境生态平衡。

# 象山港气候概况及与赤潮关系的初步探讨

邵泽民

(中国水产科学研究院东海水产研究所)

## 一、气候概况

象山港位于我国东海沿岸,属亚热带季风气候,常年气温适宜,风向表现为季风特征,冬季盛行偏北风、夏季盛行偏南风。

### (一)、气温

象山港南北不到一个纬度,全港气温几乎均匀分布,年平均气温在  $16.2^{\circ}\text{C} \sim 16.5^{\circ}\text{C}$  左右(见表一)

表一 各月多年平均气温(象山港)

| 站名 | 一月  | 二月  | 三月  | 四月   | 五月   | 六月   | 七月   | 八月   | 九月   | 十月   | 十一月  | 十二月 | 全年   |
|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| 奉化 | 4.5 | 5.4 | 9.5 | 15.3 | 20.0 | 23.9 | 28.0 | 27.7 | 23.7 | 18.1 | 12.6 | 7.0 | 16.3 |
| 宁海 | 4.6 | 5.4 | 9.5 | 15.0 | 19.5 | 23.6 | 27.6 | 27.2 | 23.6 | 18.0 | 12.7 | 7.1 | 16.2 |
| 象山 | 5.5 | 6.1 | 9.7 | 14.9 | 19.0 | 23.5 | 27.6 | 26.8 | 24.3 | 18.9 | 13.8 | 8.0 | 16.5 |

本港冬季由于受冷空气的影响,天气较冷,气温较低。以一月份为例,平均气温在  $4.5 \sim 5.5^{\circ}\text{C}$  之间,较冷的年份在  $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 。夏季是全年中的高温季节,最高月平均气温一般出现在7月份,平均气温在  $27.6 \sim 28.0^{\circ}\text{C}$  之间。从气温的分布上来看,夏季从东部的港口到西部的港顶气温逐渐升高,冬季则反之,这是由于海洋的调节作用而致。

春秋两季为过渡性季节,气温比冬季高而低于夏季,秋季的气温(以10月份为例)在  $18.1^{\circ}\text{C} \sim 18.9^{\circ}\text{C}$  之间,秋季的温度要高于春季,主要是春季小股的冷空气活动较为频繁。

### (二)、风

#### 1. 风向

我国是典型的季风气候,沿岸风向主要表现为季风特征。我国季风形成的主要原因是冬季大陆上是蒙古高压,太平洋的阿留申是低压;夏季太平洋为高压,大陆上是印度低压。这四个大气活动中心的强弱和分布的变化,决定着我国沿岸冬夏季风的进退和变化。

象山港地处我国东海沿岸,风向也同样表现为季风特征,冬季盛行偏北风;夏季盛行偏南风;春秋两季为过渡季节,风向处于转换过程,风向多变(见表二)。

从表2中可以看出,冬季是季风最强盛的季节,象山港处于强大而稳定的冬季风控制下,主要刮偏北风。以1月份为例奉化盛行NNW,宁波盛行NNE,梅山盛行NW风。

表二 象山港各季度月 多风向及频率 (%)

| 站 名 | 1 月   | 4 月 | 7 月 | 10 月  |
|-----|-------|-----|-----|-------|
| 奉 化 | C.NNW | SSW | S   | C.NNW |
| 频率  | 24 17 | 19  | 28  | 25 15 |
| 宁 海 | NNE   | NNE | ESE | C.NNE |
| 频率  | 25    | 17  | 23  | 26 21 |
| 梅 山 | NW    | SSE | SSE | N     |
| 频率  | 24    | 18  | 18  | 24    |

夏季, 大气环流形势与冬季相反; 象山港主要受偏南气流的影响, 例如 7 月份奉化盛行 S 风, 宁海盛行 ESE, 梅山盛行 SSE。

春季是由冬季风转为夏季风的过渡时期, 偏北风逐渐减少, 偏南风逐渐增加。

秋季是由夏季风转为冬季风的过渡时期, 偏南气流逐渐被偏北气流所代替。

## 2. 风速

象山港年平均风速在 2.9~3.7 米/秒之间。港口风速大于港内, 港湾内一般年平均风速在 3 米/秒, 靠近港口的梅山年平均风速为 3.7 米/秒, 而港口的牛鼻山年平均风速可达 6.7 米/秒 (见表三)

表三 象山港各季度月的平均风速

| 站 名 | 1 月 | 4 月 | 7 月 | 10 月 | 年   |
|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| 奉 化 | 2.9 | 3.4 | 3.5 | 2.4  | 2.9 |
| 宁 海 | 3.3 | 3.3 | 3.2 | 2.5  | 3.0 |
| 梅 山 |     |     |     |      | 3.7 |
| 牛鼻山 | 9.6 | 6.0 | 6.4 | 7.1  | 6.7 |

象山港平均风速的季节变化不大, 秋季稍弱, 其他季节相差不大, 在 2.9~3.5 米/秒之间。

象山港内全年大风 (大于 8 级) 天数, 平均为 5~6 天, 大风出现最多的年份可达 10~17 天。最少的年份仅 1~2 天, 引起大风的原因主要是冬季的寒潮和夏季的台风。

## (三). 降水

象山港降水量较丰富, 年平均降水量约在 1221~1629 毫米之间 (见表四)。

表四 象山港各月的降水量

单位: 毫米

| 站 名 | 1 月  | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11   | 12   | 全 年    |
|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| 鄞县  | 58.8 | 79.1 | 97.9  | 116.5 | 153.4 | 190.8 | 129.3 | 142.9 | 207.6 | 84.7  | 59.9 | 53.9 | 1374.7 |
| 奉化  | 54.0 | 79.1 | 95.7  | 118.7 | 168.9 | 206.4 | 137.4 | 152.6 | 202.4 | 92.4  | 57.3 | 51.9 | 1416.8 |
| 宁海  | 46.7 | 76.1 | 104.9 | 123.6 | 186.3 | 228.5 | 174.5 | 262.1 | 227.9 | 92.0  | 56.4 | 49.7 | 1628.8 |
| 象山  | 49.3 | 77.6 | 96.0  | 118.9 | 175.7 | 211.3 | 128.5 | 167.2 | 187.0 | 106.1 | 65.6 | 54.3 | 1433.4 |



从表四中可以看出,港顶区的降水多于港口区,宁海的年降水量为1629毫米,奉化和鄞县的降水量分别为1416毫米和1374毫米。

象山港的降水主要集中在3-9月,约占全年降水量的75%左右,其中3-5月因逐渐受东南季风的影响,将海上大量暖湿空气携至沿岸形成了本港的春雨期,其特点是阴雨天多,雨量不大,以连绵小雨为主。此期的降水量约占全年降水量的25-30%,6月~7月上旬为本港的梅雨期,其特点是连续性降水,雨量较大,有时成暴雨,梅雨期降水约占全年降水量的15~20%。8~9月降水主要是受台风影响,台风降水特点是雨量大而集中,约占全年降水量的15%左右。10月至次年2月份,相对雨量较少,这5个月的降水量仅占全年的20~25%左右。

象山港的降水量年间差异较大,如奉化1977年的降水量为1943毫米,而1976年的降水量只有874毫米,相差一倍以上。

## 二、象山港赤潮与气象关系的探讨

根据专家们的研究的有关报导:赤潮发生原因,一般认为与水体中氮盐、磷盐等营养盐类和锰铁等微量元素的增高是引起赤潮生物急剧增殖的主要原因。此外赤潮生物生长繁殖与气象因子的变化密切相连。我所于1988.1~1989.4的逐月现场调查及走访了解象山港有关的有关部门,收集到象山港近十年来历次赤潮发生的季节均在冬季,并且基本上发生在12月份。而在春、夏、秋三个季节极少发生赤潮。为了研究象山港的赤潮与气象的关系,作了如下探讨。

### (一)、象山港水域富营养化综合评价

根据国家海洋局二所1988年对象山港《中国海湾——象山港》的调查结果表明:

象山港水域的溶解氧四季均在正常值以上,整个海区不缺氧,PH也属正常范围。COD四季都未到富营养型,其值都在3mg/L以下。无机氮已达到了过营养型和超营养型,在二类和三类水质标准以上。无机磷四季都超过营养化标准值,5月、7月和10月为富营养水平,12月份为过营养水平。

综上所述,对象山港海域的评价表明,该水域富营养化程度较高,尤其是冬季(以12月份为最)。虽然海域 $O_2$ , PH和COD都在正常范围,但是已达到了富营养程度,一旦其他条件成熟(如气象等)就会产生大面积赤潮。

### (二)、赤潮与气象的关系

我所于1988.1~1989.3月,对象山港进行海上调查,同时也进行了社会调查,走访了有关的研究所和水产部门,在宁海县水产局领导大力协助和支持下,收集了近两年来象山港赤潮发生的情况及对水产养殖(主要对海带养殖)的影响与危害,并参照了宁海县气象站的有关气象资料进行初步分析探讨,发现象山港赤潮的发生与气象要素的变化紧密相连,特别与12月份的气温关系密切,现将资料整理列出表六。

从表六中可以看出1981年和1985年象山港赤潮发生最为严重;不但赤潮的面积大,并且持续的时间也长,从气象情况来看,发现这两年的12月份平均气温也是最低的,宁海县12月份多年平均气温为7.1℃(见表一),而1981年12月份平均气温为5.6℃,1985年12月的气温仅有5.2℃,分别比常年平均气温低1.5℃和1.9℃。此外12月份平均气温比较低的1983年、1980年和1987年也不同程度的发生赤潮。

表六 象山港赤潮发生的情况

| 项目<br>年份 | 12 月份平<br>均气温 | 赤潮发生的情况及对海带养殖的影响                                             | 海带养殖(单位: 担) |       |      |
|----------|---------------|--------------------------------------------------------------|-------------|-------|------|
|          |               |                                                              | 养殖亩数        | 总产量   | 平均亩产 |
| 1979     | 9.2℃          | 无                                                            | 6987        | 44000 | 6.3  |
| 1980     | 5.9           | 12 月 14 日 乔和西店二个队的海带已烂, 白石山的海带停止生长, 11 月底发生赤潮。               | 7425        | 35420 | 4.77 |
| 1981     | 5.6           | 赤潮最为严重, 持续时间长, 海带基本烂掉, 损失近 200 万元。对近洋生产也有影响, 狮子口内无鱼虾, 影响范围大。 | 5625        | 5000  | 0.89 |
| 1982     | 6.1           | 赤潮不严重, 时间短 (12 月初~中), 海带一度出现褪色, 因时间短对海带生产无影响。                | 5625        | 28610 | 5.09 |
| 1983     | 5.3           | 冬季曾发生赤潮 (无具体记录)                                              | 5625        | 19026 | 3.38 |
| 1984     | 6.3           | 无记录                                                          | 3600        | 12772 | 3.55 |
| 1985     | 5.2           | 12 月初开始发生赤潮, 持续至次年 2 月份, 导致海带基本无收                            | 2620        | 0     | 0    |
| 1986     | 6.3           | 无记录                                                          | 无记录         | 无记录   | 无记录  |
| 1987     | 5.8           | 冬季发生赤潮 (无具体记录)                                               | 360         | 300   |      |

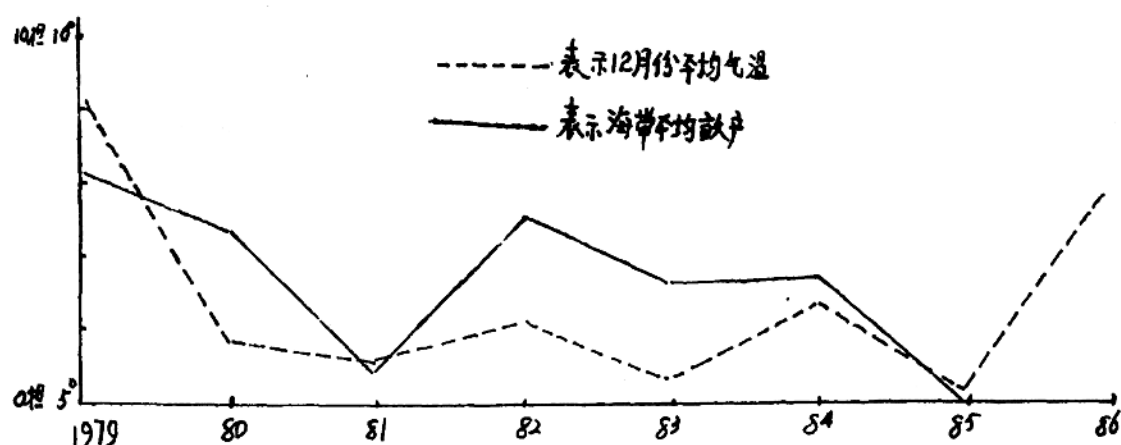
注: 海带产量仅为宁海县的产量。

赤潮对水产资源有着较大的破坏作用。赤潮发生时大量的赤潮生物复盖着水面, 降低阳光的透射能力, 阻碍植物的光合作用, 其结果是减少或隔绝水中溶解氧的来源, 引起水中的溶解氧急骤下降, 而发生严重缺氧, 甚至产生无氧层。水中的溶解氧是水生生物必要的生活条件, 由于缺氧, 必然引起水生生物的死亡。

象山港是水产生物繁殖生长、索饵栖息、生养增殖的优良场所, 也是水产养殖的重要基地, 全年养殖贝、藻类的产量约占象山港总渔获量的 57% 左右, 而每年养殖产量的丰歉又直接受到赤潮的影响, 例如 1981, 1985 这两年 12 月份平均气温低, 出现的赤潮严重, 赤潮开始后, 海带发生褪色, 后来大部分烂掉、坏死, 因此 1981 年海带亩产只有 0.89 担, 1985 年海带全部烂死, 造万颗粒无收的局面, 而在 1979 年、1982 年因 12 月份平均气温较高, 没有发生赤潮, 或虽有赤潮, 但并不严重, 时间也短所以海带也未受赤潮的影响, 产量也高 (见表六), 平均亩产为 6.3 担和 5.3 担。另外我们用历年 12 月份的平均气温与历年海带产量进行对照 (见图一)。

从图一中可以看出海带产量与当年 12 月份平均气温关系密切, 气温较高的年份海带产量也较高, 这也反映出没有受到赤潮影响, 气温低的年份 (12 月份平均气温), 海带产量也低, 这也说明受到赤潮的影响, 所以 12 月份平均气温越低海带产量也越低, 受到赤潮影响也越大。





图一 象山港历年12月份平均气温与海带亩产 (担/亩)

综上所述:象山港水域冬季富营养化程度很高,特别是12月份无机氮、无机磷达到了超营养水平,所以这时最容易发生赤潮。但赤潮是否发生,与当年12月份的平均气温密切相关;12月份平均气温低容易发生赤潮。这是因为12月份气温低,主要是冷空气较强,本地区长时间的处于冷空气控制下,天气稳定、晴朗,有利于赤潮生物的生长繁殖,加之港内营养化程度很高,故而形成象山港在冬季12月份,平均气温低的年份容易发生赤潮。

#### 参考文献

1. 国家海洋局第二海洋研究所, 1988, 中国海湾志·象山港 (内部)
2. 赵传纲、顾新根等, 1987 东海区渔业资源调查和区划。

# 象山港西部水文特征与赤潮形成的关系

沈新强

张月秀 唐龙妹

(中国水产科学研究院东海水产研究所)

(海洋局二所环境质量评价部)

## 一、概况

象山港位于浙江省中部, 介于东经  $121^{\circ}25' \sim 123^{\circ}03'E$ , 北纬  $29^{\circ}24' \sim 29^{\circ}48'N$  之间。象山港从下游的莲花附近朝西南方向纵深内陆, 形成峡道形海湾。其由主港和三个支港(西沪港、黄墩港和铁港)组成。象山港岸线长 280.5 公里, 大部分为淤泥质海岸(占 71%)。其海域面积据统计约为 391.76 平方公里, 其中 10 米等深线以内的海域约为 60%。主湾中心线全长约 60 公里。象山港水深由上游向下逐渐加深, 上游一般约 2-3 米, 有的地段约 5-6 米, 横山一带为 13-15 米, 莲花附近可达 36-38 米<sup>[4]</sup>。

港内水文状况主要受陆地径流、潮流、高温高盐的台湾暖流和低盐的江浙沿岸流等水动力因子的影响。同时, 港内的水温受陆地影响显著、变化剧烈。

自八十年代以来, 象山港内经常发生赤潮, 给水产养殖业带来严重危害。本文主要根据 1988 年 1 月至 1989 年 3 月在象山港西部(湖头渡以西) 11 个测站逐月的温盐观测资料以及 1989 年 3 月在黄墩港 WC-1 站、铁港 WC-2 站及西沪港 WC-3 站进行的全潮流资料, 分析象山港西部的水文特征以及从水文学角度探讨与赤潮形成的关系。

## 二、潮汐和潮流

象山港潮波运动源自太平洋潮波经东海至浙江海域的潮波分支。自外至内强烈受到浅水影响, 从而浅海分潮自东向西明显增大。这不难从表 1 看出。港口外的钱仓站的  $M_4$  分潮振幅仅为港内红胜塘站的 9%。表 2 为象山港几个站的潮性参数。由表 2 可见, 象山港属正规半日潮, 仍以  $M_2$  分潮为主的前进潮波, 但明显受到浅海分潮的影响, 而且高频率的浅海分潮自外至内影响显著增大。故也可称本港潮性属非正规半日潮浅海潮港。

表 3 为象山港潮流属性特征表。由表 3 可见, 本港潮流也属非正规半日潮流浅海潮流港。由此可见, 本港潮位与潮流在属性方面是一致的, 均为非正规半日浅海潮性。从海岸带调查资料知, 象山港内潮流速为落大于涨, 但随着往港内的深入二者逐渐接近。与之相应, 涨潮流历时长于落潮流历时<sup>[4]</sup>。

由表 4 看出除了表层有二个站例外, 其他各站及层次均有落大于涨潮流速的趋势。例外的表层则与当时的局地风有关。尽管如此, 本域所测三个站显示小潮时潮流较小, 最大实测潮流也只是一节左右。从流向看, 除了西沪港中层以外, 基本处于良好的往复流状态。从潮流历时看, WC-2 站落潮历时明显大于涨潮历时, 其他两站除了表层有落大于涨历时外, 中、底层均有涨潮流历时大于落潮流历时。

通过计算, 不难看出: 黄墩港垂直平均单宽输水量为  $5.2 \text{ 万米}^2/\text{日}$  (净落); 铁港为  $8.5 \text{ 万米}^3/\text{日}$  (净落); 西沪港为  $2.5 \text{ 万米}^3/(\text{净涨})$ 。由此可见, 从本实测看, 西沪港的水交换最差, 铁港相对为最好。这种水交换表明, 一当港内富营养化, 赤潮生物繁殖, 西沪港最易形成赤潮, 危害时间长, 黄墩港次之。

### 三、余流

表 5 的余流值表示长期输送特征。从表 5 知, 该三站的余流均很小, 表明这三内港长期水交换是缓慢的。特别是西沪港是由外向内缓慢输送, 有利于营养物积聚, 不利于赤潮生物分散, 有利于赤潮在港内的形成。从余流考虑, 计算出的单宽垂直输送量为: WC-1 站是 5.2 万米<sup>3</sup>/日 (净出); WC-2 站是 5.5 万米<sup>3</sup>/日 (净出); WC-3 是 0.35 万米<sup>3</sup>/日 (净进)。由此可见, 潮交换量均与余流交换量有同样的方向, 只不过前者 ≥ 后者交换量。这进一步表明长期输送量是更加缓慢。

表 1. 象山港内 M<sub>4</sub> 分潮振幅 (厘米)

| 站名              | 红胜塘  | 西沪港  | 西泽   | 钱仓  |
|-----------------|------|------|------|-----|
| H <sub>M4</sub> | 33.6 | 19.7 | 15.1 | 2.9 |

表 2. 象山港潮性特征

| 站名  | $\frac{H_{01} + H_{k1}}{H_{m2}}$ | $\frac{H_{m4}}{H_{m2}}$ | $\frac{H_{m4} + H_{m4} + H_{m4}}{H_{m2}}$ |
|-----|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| 红胜塘 | 0.31                             | 0.20                    | 56.3                                      |
| 西沪港 | 0.26                             | 0.13                    | 31.7                                      |
| 湖头渡 | 0.37                             | 0.12                    | 29.3                                      |
| 西泽  | 0.36                             | 0.11                    | 23.6                                      |
| 钱仓  | 0.34                             | 0.02                    | 6.9                                       |

表 3. 象山港潮流形态特征

|        |                                  |      |
|--------|----------------------------------|------|
| 表<br>层 | $\frac{W_{01} + W_{k1}}{W_{m2}}$ | 0.31 |
|        | $\frac{W_{m4}}{W_{m2}}$          | 0.34 |
|        | K (旋转率)                          | 0.08 |
| 底<br>层 | $\frac{W_{01} + W_{k1}}{W_{m2}}$ | 0.20 |
|        | $\frac{W_{m4}}{W_{m2}}$          | 0.32 |
|        | K (旋转率)                          | 0.07 |

表 4. 1989 年 3 月 14-17 日平均涨、落潮流 (厘米/秒) 及历时

|            | 黄墩港 WC-1 |     |     | 铁港 WC-2 |      |     | 西沪港 WC-3 |     |     |
|------------|----------|-----|-----|---------|------|-----|----------|-----|-----|
|            | 表        | 中   | 底   | 表       | 中    | 底   | 表        | 中   | 底   |
| 涨潮流历时(时)   | 6.0      | 6.4 | 7.0 | 0.8     | 2.0  | 5.5 | 6.0      | 8.3 | 7.3 |
| 落潮流历时(时)   | 6.5      | 6.1 | 5.5 | 11.7    | 10.5 | 7.0 | 6.5      | 4.2 | 5.2 |
| 涨潮流速(厘米/秒) | 4        | 11  | 12  | 15      | 5    | 10  | 15       | 14  | 13  |
| 落潮流速(厘米/秒) | 25       | 17  | 14  | 13      | 9    | 11  | 10       | 15  | 15  |
| 涨潮流向(°)    | 208      | 203 | 184 | 354     | 296  | 285 | 110      | 85  | 78  |
| 落潮流向(°)    | 5        | 6   | 8   | 170     | 101  | 96  | 350      | 19  | 356 |

表 5. 1989 年 3 月 14-17 日各站余流

|          | WC-1 |     |    | WC-2 |    |    | WC-3 |    |    |
|----------|------|-----|----|------|----|----|------|----|----|
|          | 表    | 中   | 底  | 表    | 中  | 底  | 表    | 中  | 底  |
| 速度(厘米/秒) | 10   | 3   | 1  | 12   | 5  | 2  | 4    | 6  | 2  |
| 流向(°)    | 356  | 322 | 85 | 75   | 99 | 25 | 141  | 62 | 51 |

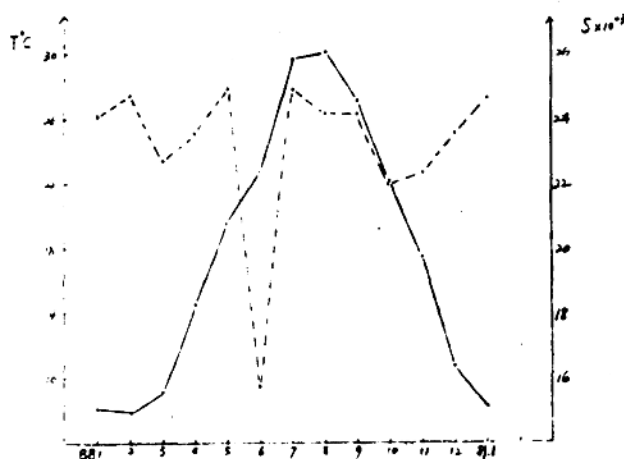


图 1. 象山港西部表层平均温、盐逐月变化 温度——, 盐度——

表 6. 象山港西部主港各测站表层水温、盐度逐月分布 (1988.1~1989.1)

| 站号 | 项目 | 一月    | 二月    | 三月    | 四月    | 五月    | 六月    | 七月    | 八月    | 九月    | 十月    | 十一月   | 十二月   | 一月    |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5  | 水温 | 8.6   | /     | 9.0   | 14.5  | 19.7  | 22.5  | 30.0  | /     | 27.9  | 21.8  | 17.1  | 11.5  | 9.5   |
|    | 盐度 | 23.91 | /     | 23.25 | 23.52 | 24.94 | 10.51 | 24.38 | 24.0  | 24.21 | 22.64 | 22.45 | 23.27 | 24.68 |
| 7  | 水温 | 9.1   | 7.8   | 9.0   | 14.0  | 19.2  | 23.8  | 29.2  | 29.9  | 27.7  | 22.9  | 17.9  | 12.7  | 10.2  |
|    | 盐度 | 24.31 | 25.45 | 23.51 | 23.46 | 25.31 | 19.52 | 25.46 | 24.68 | 24.73 | 21.98 | 22.39 | 23.78 | 25.31 |
| 8  | 水温 | 9.0   | 8.0   | 8.8   | 13.2  | 18.4  | 23.1  | 28.8  | 29.7  | 27.2  | 22.6  | 18.3  | 12.3  | 9.9   |
|    | 盐度 | 24.83 | 25.74 | 24.77 | 24.54 | 26.00 | 21.15 | 25.69 | 25.49 | 24.81 | 21.70 | 22.43 | 24.38 | 25.59 |
| 9  | 水温 | 9.1   | 8.1   | 8.8   | 13.0  | 18.1  | 22.2  | 28.4  | 29.2  | 27.2  | 22.7  | /     | 12.4  | 10.0  |
|    | 盐度 | 24.93 | 25.90 | 25.05 | 24.76 | 25.98 | 24.51 | 26.35 | 26.08 | 24.88 | 21.70 | /     | 24.48 | 25.76 |

#### 四、水温分布

象山港西部海域各测站平均表层水温年分布范围在 7.9~30.3℃ 之间, 年变幅达 22.0℃ 以上。图 1 清楚地显示出港内水温具有明显的季节变化。全年以 7.8 月份的水温最高, 表层平均水温高达 30.0℃ 以上; 以 1、2 月份的水温最低, 平均水温在 8.0℃ 以下。9

月至翌年2月,属降温期,水温逐月下降,平均每月下降 $4.4^{\circ}\text{C}$ ,其中最大降温率出现在11-12月间,月降温达 $6.7^{\circ}\text{C}$ 。由此也可看出秋冬季的转换正处于这期间。2月以后,水温开始回升。3-5月,平均每月升温约 $5.0^{\circ}\text{C}$ 左右,5-6月间正值梅雨季节,升温幅度较小,约在 $3.0$ 左右。最大升温率发生在6-7月间,月升温可达 $7.0^{\circ}\text{C}$ ,这与梅雨过后,气温骤然升高相一致。

水温逐月的平面分布显示港内水温的水平梯度尽管不是很大,但随时间的变动,亦显示出分布上的差异。从沿主港各站(5、7、8和9站)相比较可看出在降温期内,从近港口的9站到港顶附近的5站,几乎每月均呈沿程递减趋势(表6),即港口水温高,港顶水温低。而在升温期内(3-8月)水温则由港口向港顶沿程递增。港内三个支港(黄墩港、铁港和西沪港)的水温均表现出冬季为港区内最低,夏季则为最高。支港之间的差异甚小。上述的变化特点清楚地表明象山港的水体强烈地受到内陆气温的影响,离港顶的距离越近,其影响越大。

在垂直分布上,表、底层水温没有出现层化现象,基本趋于一致,一般夏、秋季表温稍高于底温,冬、春季表底层温度几乎没有差别。这是因为象山港西部海域水浅,潮汐作用每天二次引起港内海水体积较大的变化,加强了水体的铅直混合,破坏了水体的层化状态。

## 五、盐度分布

研究区域表层平均盐度周年的变化范围在 $9.6\sim 28.0\times 10^{-3}$ 之间。由图1可看出盐度亦具有明显的季节变化,但其变化的规律较为特殊,不同于一般的河口、港湾。象山港西部海域全年以5.7月份的盐度最高,表层平均盐度达 $28.0\times 10^{-3}$ 。8-10月,盐度逐月下降,11-翌年2月,盐度又逐月上升。3月盐度出现降低,4月盐度又上升,5月升至最高,6月的盐度骤降至全年最低,小于 $10.0\times 10^{-3}$ 。造成盐度这样起伏变化有几方面的原因。港外海域自5月份起强烈地受到向北伸展的台湾暖流影响,而此时沿岸水由南流开始转向东北,对港外海区的影响减弱,造成港内的盐度在夏季达到最高,应该指出,88年7月底象山港区受到特大暴雨袭击,使7、8月的最高盐度有所降低。夏季以后,长江冲淡水由东北转向南流,与此同时,台湾暖流势力减弱,受低盐的沿岸流影响,港内秋季的盐度反较夏季为低。然而冬季,由于长江、钱塘江等江河入海径流量明显小于夏秋季,致使港内盐度出现升高。象山港的年总径流量的50%集中于3-6月的春、梅雨季节<sup>[5]</sup>,这正是造成图1中所显示的3、6两月的盐度出现低值,尤其是6月,盐度与前月相差可达 $18.0\times 10^{-3}$ 。可见集中性的降雨对港内的盐度可产生较大的改变。

盐度逐月的平面分布显示港内盐度在水平方向上有一定的差异。总的变化趋势从表6中可清楚地看出盐度从近港口的9站到近港顶的5站(除10、11月外),每月都呈沿程递减,即港口高,港顶低。而10月份其分布刚好相反,即港口低,港顶高,11月基本处于持平。这种现象在以往的调查中也观测到<sup>[4]</sup>。分析认为这个分布特征是由于长江冲淡水在秋季转向南后,迅速影响到港外海区,而对港内的影响尚需一个混合过程才能显现出来。港内三个支港的盐度显示黄墩港的盐度为整个研究区域中最低,铁港次之,而西沪港的盐度较高,仅次于港口的8、9两站。由此看来,尽管它们都是港内的支港,在温度方面受到相同程度的内陆影响,但盐度与支港的地理位置距港口的距离密切相关。1989年3月在这三个支港口的周日连续观测表明港区内的盐度周日变化极小。

在垂直分布上,各月的盐度总是底层高于表层,但除6月的梅雨季节出现较大的垂直梯度(表、底层盐度相差 $7.0 \times 10^{-3}$ 外),其余月份的垂直梯度均相当小,其中近港口的测站在升温期(3-8月)内表底层盐差相对大一点(约在 $0.5 \times 10^{-3}$ ),说明港内水体铅直混合良好。

## 六、水文状况的变化与赤潮形成的关系

赤潮一般发生在近岸海域的晚春、夏季和早秋,其成因复杂,一般认为由于氮、磷等营养盐类、铁、锰等微量元素的增多,在光照、温度、风速等适宜的物理条件下使赤潮生物迅速增殖而形成赤潮<sup>[2,3]</sup>。象山港的赤潮自80年代以来频频发生,但赤潮发生的时间与一般赤潮发生时间不同,其主要发生在秋末初冬季节。究其原因与象山港海域特殊的水文状况密切相关。正如上节所述,春末、夏季,长江径流量骤增,在西南季风的作用下,长江冲淡水向东北方向扩展,对象山港口外海域的盐度影响减弱。同时,高盐的台湾暖流水逼近象山港口外海域,使外侧岛屿水域出现高盐,在潮汐、潮流的作用下,港内盐度达到全年最高,此时港内外海域的营养盐含量降低,而受冲淡水扩展影响的长江口外海区显示出盐度降低,营养盐含量急骤增加,赤潮频频发生由此可推断,春、夏季,长江冲淡水对象山港海域影响的减弱,台湾暖流水影响的增强使象山港区不具备赤潮形成的基本条件。秋冬季,冲淡水由东北向转为南下,台湾暖流北上势力减弱,港外海域受低盐沿岸水的控制,盐度反较夏季为低,营养盐含量也显示秋冬季高于夏季<sup>[1]</sup>。由此导致港内盐度也呈现出秋季最低,冬季开始渐增,港内的氮磷含量与盐度呈负相关的变动规律。赤潮正是在港内盐度降至最低之后出现。一般说来,长江冲淡水自9月就开始影响港外海区,而港内赤潮一般发生在11月底至12月。这里显然还存在一个时间过程。因为冲淡水自9月转为南下不可能马上就影响到港内海区,盐度在10、11月还出现港口低、港顶高的现象就是一个充分的说明。从营养盐角度看,也需要有一个不断积聚的过程。若把近年来象山港赤潮发生年对照同期9、10、11月的长江入海径流量可发现赤潮发生较为严重的1981年和1985年对应的径流量偏小(分别为99336和85082米<sup>3</sup>/秒,近十年的平均为102397米<sup>3</sup>/秒),而径流量大的年份,赤潮不发生或虽发生,但持续时间短,影响不严重。从水交换过程来看,流量小,流速慢,水交换缓慢,有利于营养盐在港内集聚,进而引起赤潮发生。1989年3月对象山港三个支港的测流结果也表明三个支港的水交换是缓慢的,尤其是西沪港,水交换更缓慢。据当地渔民反映,在赤潮发生期间,每逢降雨,赤潮很快消失,这进一步证明降水使港内水交换加快,赤潮生物由此加快扩散,营养盐类也迅速稀释扩散所致。从水温来看,赤潮发生在水温出现骤降的时候。1988年12月中旬,西沪港发生赤潮,此时水温为9.4℃,而11月中旬的水温为17.4℃,温差达8.0℃。这种现象可能与赤潮生物的适温习性有关。

导致赤潮形成的机制是相当复杂的,基本上都与生物、化学密切相关。本节试图从物理海洋学的角度解释象山港赤潮发生的机理。分析认为象山港赤潮的形成与水文状况密切相关,入秋以后长江入海径流量与海水混合形成的浙江沿岸水更是扮演了一个极其重要的角色。一个更深入的探讨还有待于今后观测资料的积累。

## 参 考 文 献

1. 王桂去、臧家业, 1987, 东海海洋化学要素含量及其分布、黑潮调查研究论文集, 海洋出版社。



2. 邹景忠等, 1983, 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨, 海洋环境科学 2 (2): 41-54
3. 郑重, 1978, 赤潮生物研究, 自然杂志 6 (1) 2
4. 浙江省海岸带资源综合调查队, 1986, 浙江省海岸带资源综合调查报告 (内部)
5. 国家海洋局第二海洋研究所, 1988, 中国海湾志·象山港 (内部)

# 象山港中、西部海水化学调查报告

姚佑宸

钟惠英

(中国水产科学研究院东海水产研究所)

(宁波市水产研究所)

象山港位于浙江北部，是深入陆地东北—西南走向的狭长港湾，纵深约 60 公里，宽为 5—10 公里，水深一般在 50 米以内。港内尚有铁港、黄墩港、西沪港等内港，这些港中之港滩涂面积大，全港水域面积 58.8 万亩，滩涂面积 25.7 万亩，为我国浙江省重要的海水增养殖基地。近年来港内常有赤潮发生，严重时可持续数月之久，对海洋生物及海水增养殖业造成极大的危害。赤潮，当今正成为一种世界性灾害，困扰许多沿海国家，引起全世界的关注，因此对诱发赤潮的机理的探索及防治等研究也遂成为一种热门的课题。在我国已将“中国东南沿海赤潮研究”列入国家自然科学基金的重大项目，农业部于 1987 年也将“象山港赤潮防治基础研究”列为研究课题下达，由中国水科院东海水产研究所负责该项课题。①海水中化学要素的含量是反映海域水质的重要指标，而赤潮生物的滋生与水质的优劣密切相关，故在赤潮防治研究中海水化学的环境调查是重要的一课。现将象山港中西部海水化学要素的分布特征报告如下。

## 调查方法和测试项目

调查时间从 1988 年 1 月至 1989 年 3 月每月小潮汛（农历初七至初八）调查一次，共计有 15 个航次，根据以往赤潮发生情况在湖头渡以西象山港中西部的港上设 5 个调查站，另在西沪港等三个内港的门口处及腹地各设一个调查站，共设站 11 个（图 1）。水样分表层及底层二个层次采集，并加固定剂后当天带回实验室测定。测试的项目，分析方法及使用仪器如下：

盐度 (S‰)，WUS 型感应式盐度计；

pH，pHS-3 型酸度计；

溶解氧，Winkler 法；

活性磷酸盐，磷钼兰法，分光光度计；

亚硝酸盐，重氮—偶氮法，分光光度计；

硝酸盐，锌—镉还原法，分光光度计；

铵盐，次溴酸钠氧化法，分光光度计；

溶解态有机磷和有机氮，紫外辐照法，分光光度计；

化学耗氧量 (COD)，碱性高锰酸钾法。

---

①参加调查任务的还有宁波市水产研究所

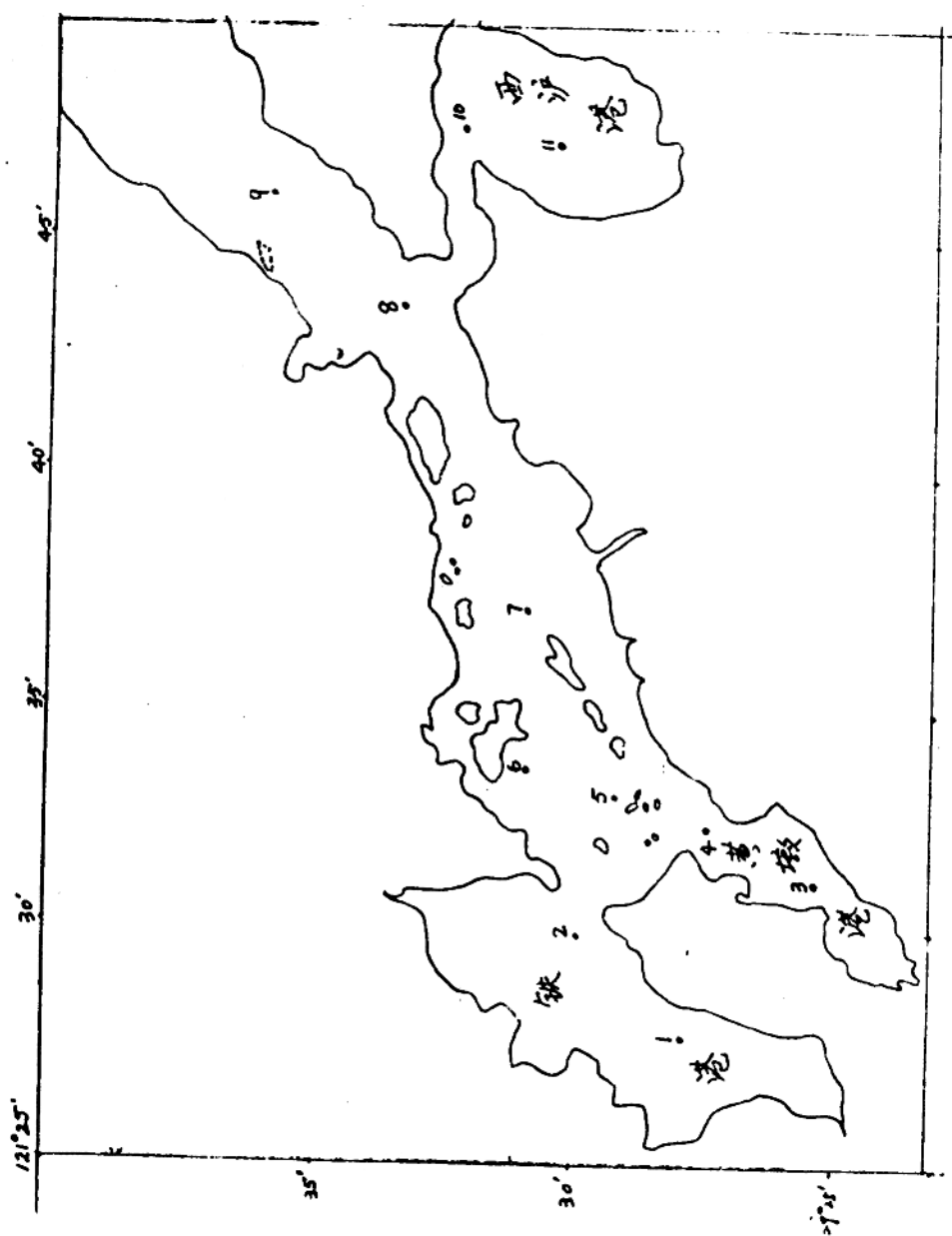


图1 象山港调查站位分布图