

# 赤潮卫星遥感监测与实时预报

黄韦艮 毛显谋 张鸿翔 史爱琴

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州)

## 摘 要

本文根据赤潮水体光谱特征和赤潮环境要素, 提出了赤潮卫星遥感监测与实时预报的方法。利用这些方法成功地监测和预报了1997年11月发生在广东沿海的金囊藻赤潮和1997年7月发生在浙江嵊泗海区的夜光藻赤潮。

关键词: 赤潮水体光谱, 环境, 卫星遥感监测及预报。

## 一、前 言

赤潮(Red Tide)或有害藻华(HAB)是海水中某些浮游生物在适宜的海洋环境条件下爆发增殖或集聚引起的生态异常现象。它破坏生态系统的平衡, 恶化海洋环境, 给渔业和水产养殖业造成巨大的经济损失。含有毒素的赤潮生物还能通过食物链的转移和积累使海洋经济动物和人类中毒甚至死亡。例如1993年我国东南沿海发生的赤潮, 几乎使当地的养殖业全军覆没, 仅浙江省的经济损失就超过3.85亿元人民币, 赤潮所造成的间接损失及对海洋生态环境的破坏则难以估量。今年广东和香港等海域又出现了大规模赤潮现象, 据报道损失惨重。赤潮已成为我国的一大海洋灾害。

防止赤潮灾害和减少赤潮灾害造成的损失已成为一项十分迫切的任务。由于赤潮形成机理的复杂, 目前尚无十分有效的方法防止赤潮的发生。因此, 只能通过监测和预报的手段来减少赤潮造成的损失。船只和飞机是赤潮监测常用的工具, 但监测费用高, 时效性和空间性较差。卫星遥感技术具有快速、同步、大范围监测海洋的能力。近年来, 卫星遥感技术应用于赤潮监测的研究受到有关方面的关注。本文利用赤潮与海洋环境要素之间的关系, 研究赤潮卫星遥感监测与实时预报的方法和技术。

## 二、赤潮遥感监测

### 1. 赤潮遥感监测的原理

赤潮的发生不但导致海水变色, 而且改变水体的光学特性。赤潮遥感监测就是根据赤潮水体的光学特性, 利用可见光多波段卫星遥感技术, 直接发现赤潮, 监测赤潮的动态变化。

2 赤潮水体光谱特性

图 1 为 1996 年 8 月 21 日发生在浙江嵊泗附近海域的褐甲藻赤潮水体反射光谱曲线 (a)。图中 b 和 c 分别为悬浮泥沙水体(泥沙含量为 120mg/l)和清水(泥沙含量为 20mg/l)的反射光谱曲线。由图可知, 赤潮光谱曲线由二个波谷和二个波峰组成, 二个波谷分别位于 440~ 460nm 和 656nm 处, 二个波峰分别位于 560~ 570nm 和 695nm 处。清水(低含沙量)在 560nm 处有一个反射峰, 随着水体含沙量的增加, 反射峰从 560nm 移至 690nm。在 750nm 处出现一个反射谷, 随后在 805nm 处出现一个反射次峰。很显然, 赤潮光谱特性与悬浮泥沙水体和清水的光谱特性有很大的差异。正是这些光谱差异, 使我们有可能利用可见光多波段遥感技术区分赤潮水体、泥沙水体和清水, 从而达到遥感监测赤潮的目的。

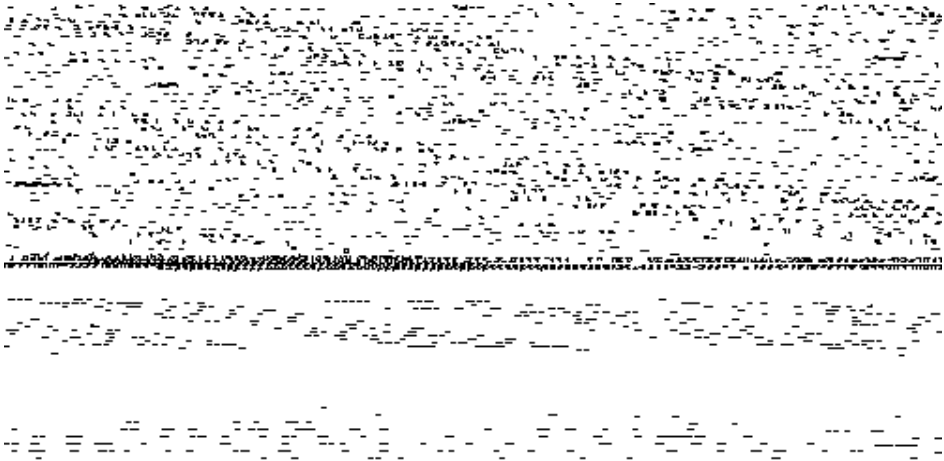


图 1 赤潮(a)、悬浮泥沙(b)和清水(c)的反射光谱曲线  
(条带 1~ 8 分别为 SeaStar SeaWiFs 8 个光谱波段的宽度)

3 赤潮遥感监测方法

目前正在运行的有可能用于赤潮监测的遥感卫星有法国的 SPOT、美国的 Landsat、NOAA 和 SeaStar 卫星等。研究发现 SeaStar 卫星是最适宜于赤潮监测的。以下只讨论 SeaStar 卫星监测赤潮的方法。

图 1 中 8 个条带对应于 SeaWiFs 8 个光谱波段<sup>[1]</sup>。由图 1 可看到, 赤潮光谱曲线在第 1 ~ 5 波段呈圆弧状, 而悬浮泥沙和清水的光谱曲线几乎从 1 波段到 5 波段呈线性增加。在 6 ~ 8 波段, 赤潮光谱曲线的变化与悬浮泥沙的光谱曲线基本一致, 即反射率随波段的增大而减小。根据以上特性, 通过研究, 我们得到以下多波段差值比值法:

$$R = (R_1 - R_3)/(R_5 - R_3)$$

其中  $R_1$ 、 $R_3$  和  $R_5$  分别为波段 1、3 和 5 的反射率。当  $R > 0$  时, 所监测海区为赤潮区; 当  $R \leq 0$  时, 所监测海区为非赤潮区。此方法既可应用于清水区的赤潮监测, 也可应用于高悬浮泥沙区的赤潮监测。后一特点对我国海区的赤潮监测特别重要, 因为我国大部分近岸海区的悬浮泥沙含量都较高。

#### 4. 应用举例

1997 年 9 月 16 日 SeaStar 卫星开始向地面发送 SeaWiFs 资料, 国家海洋局第二海洋研究所卫星地面接收站抓住试发送期间不加密可实时接收实时处理的机会, 利用多波段差值比值法监测我国东南沿海赤潮。1997 年 11 月 13 日卫星监测发现广东和福建厦门沿海海区出现大面积赤潮。图 2(略) 为监测到的赤潮分布图。经 1997 年 12 月 6 日中央电视台第四套节目午间报道, 12 月 6 日潮州日报和 12 月 8 日南方日报报道证实该海区发生了大面积金囊藻赤潮, 说明多波段差值比值法的监测结果是正确的。

### 三、赤潮遥感预报

#### 1. 赤潮遥感预报原理

虽然人们对赤潮的成因还没有充分的认识, 但国内外的研究表明, 赤潮的发生、发展和消亡与海洋生物、化学、水文和气象要素密切相关<sup>[2~5]</sup>。赤潮遥感预报就是通过监测赤潮和赤潮环境要素来预报赤潮的发生、发展和消亡。

#### 2. 遥感可监测的赤潮环境要素

海洋卫星遥感已进入应用时代。星载可见光、热红外和微波遥感器已能监测众多的海洋生物、海洋化学、海洋水文、海洋地质和海洋气象要素和现象。我国目前有能力进行日常监测的与赤潮有关的海洋要素和现象包括海面温度、叶绿素 a 含量、海面流场和光照等。

在本文中我们将不详细讨论卫星是如何监测这些海洋要素和现象的, 感兴趣的读者可参考文献<sup>[6]</sup>和<sup>[7]</sup>。以下将简要讨论这些要素和现象与赤潮的关系。

##### (1) 海面温度

海温是赤潮发生的重要环境要素之一。赤潮生物的繁殖和生长需要适宜的环境温度<sup>[8,9]</sup>。不同的赤潮生物有不同的温度要求。例如浙江海区的主要赤潮生物夜光藻的最适温度为 16~28℃, 繁殖高峰温度为 25℃左右<sup>[10,11]</sup>。

##### (2) 叶绿素 a

叶绿素 a 存在于一切海洋植物中, 它能反映浮游植物的现存量。赤潮的发生将引起海区叶绿素 a 含量的变化。自养性赤潮生物引发的赤潮, 赤潮发生区的叶绿素 a 含量一般比赤潮发生前和邻近非赤潮区高。异养性赤潮生物引发的赤潮, 赤潮发生区的叶绿素 a 含量比赤潮发生前和邻近非赤潮区低<sup>[12]</sup>。此外, 叶绿素 a 含量变化还是反映海区富营养化程度的一个指标<sup>[13]</sup>。例如骨条藻赤潮发生的叶绿素 a 临界值为  $6\text{mg}/\text{m}^3$ , 异弯藻赤潮发生的叶绿素 a 临界值为  $17\text{mg}/\text{m}^3$ <sup>[14]</sup>。

### (3) 流场

径流、上升流和海流影响赤潮生物的生存环境。径流把陆地上的营养物质带入海洋, 上升流把底层营养物质输向表层。径流、上升流和海流的相互作用改变海区温盐等物理性质, 例如长江和钱塘江等径流将大量含氮和磷等赤潮生物所需的营养物质带入浙江海区, 致使该海区的大部分区域和季节为富营养型, 部分区域甚至成为超营养型<sup>[15, 16]</sup>。浙江海区每年5~10月出现的上升流将底层营养盐输送到表层, 加剧了该海域的富营养化程度<sup>[17]</sup>。径流、上升流、台湾暖流等交互作用为浙江海区赤潮生物的繁殖和集聚提供了合适的水文条件<sup>[3, 18, 19]</sup>。

### (4) 气象要素

赤潮的发生和发展还需要合适的气象条件<sup>[20, 21]</sup>。稳定的天气形势、充足的光照和较低的风速等有利于赤潮生物的迅速繁殖和集聚。

## 3 赤潮遥感预报方法

基于赤潮的发生、发展和消亡与诸多海洋环境要素有关, 本研究提出多要素赤潮遥感预报方法。该方法由以下三个步骤组成。

### (1) 赤潮环境要素的卫星遥感

实时接收实时处理卫星资料, 快速获取赤潮环境要素信息。

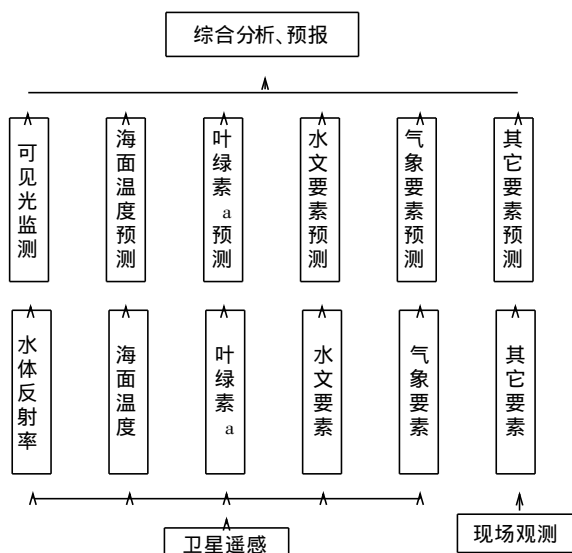
### (2) 单要素预测

利用各环境要素与赤潮之间的定量或定性关系, 预测赤潮的发生、发展和消亡。

### (3) 综合分析预报

对单要素预测结果进行综合分析, 并参考历史上该海区赤潮发生、发展和消亡的特征, 作出预报结果。

多要素预报方法的技术路线如以下框图所示:



#### 4 应用举例

1997 年 7 月下旬我们利用卫星遥感技术, 配合海上现场观测, 对浙江省嵊泗附近海区进行赤潮监测和试预报。卫星遥感监测的主要要素有海面温度、表层悬浮泥沙浓度、表层流场、光照和云量等。现场观测的主要要素有藻类丰度、叶绿素  $a$  和溶解氧等。利用多要素赤潮预报方法, 并根据该海区赤潮的特点, 对 7 月 24~30 日的一次夜光藻赤潮的发生、发展和消亡全过程作了正确预报。此次预报以传真形式向国家海洋局、浙江省科委、浙江省海洋局、浙江省水产局、舟山市科委、舟山市水产局、浙江省嵊泗县科委、嵊泗县水产局和浙江岱山县水产局等政府管理部门发布。舟山市海洋局等有关部门根据试预报立即组织防灾, 使该海区近 400 公顷的养殖面积和 200 多只网箱免受危害。此次预报收到了很好的经济和社会效益。

### 四、讨论与结论

本研究结果表明, 利用卫星遥感技术监测赤潮是可能的。但卫星可见光遥感也有其自身的不足, 例如不能全天候、全天时工作, 阴雨天气和晚上就无法监测赤潮, 此外, 由于空间分辨率较低, 对小尺度赤潮的监测十分困难。因此, 赤潮的监测不仅需要卫星遥感技术, 也需要现场观测技术和航空监测技术, 一个业务化的赤潮监测技术系统应包括以上三种观测技术。

赤潮的形成机理是赤潮预报的基础, 虽然目前赤潮的形成机理还没有完全搞清楚, 但我们可利用已经知道的知识预报赤潮。正像人们并没有完全掌握天气系统, 而每天预报天气一样。我们试预报也说明了这一点。

赤潮的预报可分为短、中和长期预报, 赤潮的短期预报对防灾减灾十分重要。它应包括赤潮发生前对即将发生的赤潮的预报和赤潮已发生对赤潮未来发展趋势的预报(或曰赤潮实时预报)。由于赤潮的发生、发展和消亡与众多的海洋环境要素有关, 赤潮短期预报应采用多要素预报方法, 它比单要素预报方法具有更高的预报精度。本研究提出和初步建立了多要素赤潮预报方法, 并成功地进行了试预报。

近几年来, 我国加大了对赤潮发生机理、监测和预报的研究, 取得了很大的进展, 为建立赤潮监测与实时预报系统奠定了技术和人才基础。我国海区赤潮发生日趋频繁, 面积不断扩大, 损失越来越惨重。防灾减灾对建立赤潮监测与实时预报系统提出十分迫切的需求。因此, 开展业务化赤潮监测与实时预报系统的研究的条件已基本成熟。业务化的赤潮监测与实时预报系统应以防灾减灾为目的, 现代科技包括海上观测技术、遥感技术、GIS 技术和通讯技术为手段, 赤潮发生机理为基础。这样的系统应由以下三个子系统组成:

1. 海洋水产养殖及养殖环境信息系统;
2. 海洋水产养殖区赤潮监测与预报信息网络系统;
3. 海洋水产养殖区赤潮监测与预报系统。

本研究在第三个系统研究方面作了一定的尝试。

本文系浙江省科委计划重点项目和国家海洋局科技司资助项目“海洋水产养殖区赤潮监测及其短期预报试验性研究”成果之一。参加本研究工作的还有陆斗定、王正方、刘镇盛、卢勇、张庆、王春生等同志。本文所用卫星遥感资料由国家海洋局第二海洋研究所卫星地面接收站提供, 特此致谢。

## 参 考 文 献

- [1] 黄韦良、张鸿翔, 美国 SeaStar 海洋水色卫星简介, 国土资源遥感, 23, 41~ 44, 1995,
- [2] 王寿松、冯国灿、夏综万、史键辉、齐雨藻、吕颂辉, 大鹏湾夜光藻赤潮发生要素的结构分析, 海洋与湖沼, Vol. 25, No. 2, 146~ 151, 1994,
- [3] 洪君超、黄秀清、袁永进、徐韧、朱旭, 长江口外及近海赤潮多发区的分析与探讨, 暨南大学学报(赤潮研究专刊), 40 ~ 50, 1989,
- [4] 梁松、钱宏林、齐雨藻, 赤潮研究的现状和有关问题, 生态科学, 1, 120~ 126, 1992,
- [5] 国家海洋局第三海洋研究所, 厦门港赤潮调查研究论文集, 海洋出版社, 1993,
- [6] 罗滨逊, I. S., 卫星海洋学, 吴克勤等译, 海洋出版社, 1989,
- [7] 林敏基, 海洋与海岸带遥感应用, 海洋出版社, 1991,
- [8] 谢健、李锦蓉、吕颂辉、程亲荣、杨炼锋, 夜光藻赤潮与环境因子的关系, 海洋通报, Vol. 12, No. 2, 1~ 6, 1993,
- [9] 王正方、张庆、龚敏, 海洋原甲藻增殖最适起始密度及其同温度的关系, 海洋环境科学, Vol. 12, No. 2, 44~ 47, 1993,
- [10] 杨鸿山、朱启琴、戴国梁, 长江口杭州湾海区两次赤潮的调查与初步研究, 海洋环境科学, Vol. 9, No. 1, 23 ~ 27, 1990,
- [11] 徐韧、洪君超、王桂兰、沈 , 长江口及其邻近海域的赤潮现象, 海洋通报, Vol. 13, No. 5, 25~ 29, 1994,
- [12] 黄良民、钱宏林、李锦蓉, 大鹏湾赤潮多发区的叶绿素 a 分布与环境关系初探, 海洋与湖沼, Vol. 25, No. 2, 197~ 205, 1994,
- [13] 徐家声、孟毅、李冰、高素兰, 黄骅虾池中叶绿素 a 浓度及其与赤潮的关系, 黄渤海海洋, Vol. 14, No. 2, 45 ~ 51, 1996,
- [14] 孙沛雯, 大连湾海域赤潮发生的叶绿素 a 临界值, 中国环境科学, Vol. 9, No. 3, 179~ 182, 1989,
- [15] 蒋国昌、王玉衡、董恒霖、唐仁友, 浙江沿海富营养化程度的初步探讨, 海洋通报, Vol. 6, No. 4, 38~ 46, 1987,
- [16] 陆斗定、张志道、朱根海、楼毅, 浙江近海夜光藻分布及其生态学特点, 东海海洋, Vol. 12, No. 3, 62~ 69, 1994,
- [17] 曹欣中, 浙江近海的赤潮调查和研究, 暨南大学学报(赤潮研究专刊), 51~ 56, 1989,
- [18] 王桂兰、黄秀清、蒋晓山、洪君超, 长江口中肋骨条藻赤潮的分布与特点, 海洋科学, 3, 51~ 55, 1993,
- [19] 顾新根, 东海赤潮研究概况, 现代渔业信息, 4(2~ 3), 40~ 43, 1989,
- [20] 洪君超、黄秀清、蒋晓山、王桂兰, 嵎山水域中肋骨条藻赤潮发生过程主导因子分析, 海洋学报, Vol. 15, No. 6, 135~ 141, 1993,
- [21] 张珞平、陈伟琪, 厦门西港赤潮成因的探讨, 海洋环境科学, Vol. 11, No. 3, 71~ 74, 1992,