

赤潮相关因子的卫星遥感探测 与赤潮预报的可行性探讨^{*}

陈晓翔, 邓孺孺, 何执兼, 柯 栋, 李 芳

(中山大学近岸海洋中心, 广东 广州 510275)

摘 要: 讨论遥感探测赤潮相关因子的技术方法以及现阶段遥感观测手段的不足之处, 认为赤潮的监测和预报须依靠多层次的海洋观测系统和多学科的综合研究才能实现, 其中, 多层次的海洋观测手段是关键, 建立有效的海洋综合观测系统是预报赤潮的必要条件(如正在建设中的珠江口、上海海洋立体观测示范技术系统), 利用已有的综合技术实现赤潮的预报是完全可能的。

关键词: 赤潮预报; 遥感; 立体监测

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579(2001)02-0112-04

赤潮是我国近岸海区频发的海洋自然灾害之一, 长期以来, 人们一直寻找有效的赤潮预报方法. 尽管多年来对赤潮进行了许多调查研究, 由于赤潮的复杂性及发生时间的突然性, 难以实施有效的监测, 常规的海面调查受采样数量的限制, 只能部分地了解赤潮的发生情况, 对其分布状况、发生规律、形成机理等问题的了解仍然严重不足^[1,2]. 遥感技术提供了从空间快速获取大量海面信息的技术手段, 人们多次成功地利用遥感技术探测到赤潮的发生, 为赤潮的预报提供了新的研究途径. 10 年前, 我国研究人员应用陆地卫星 TM 数据研究了 1989 年在渤海湾发生的赤潮, 发现赤潮水体和清洁水体及浑浊水的 TM 影像在 TM3 和 TM4 波段存在灰度差异, 由于赤潮生物的叶绿素 a 在红光区的吸收作用, 其 TM3 的反射率低于浑浊海水, 而且在 TM4 波段的反射率下降比浑浊海水的慢. 从处理得到的影像看, 渤海西部沿海几乎全是程度不等的红色区^[3]. Gower 等^[4]用气象卫星 AVHRR 的 1, 2 波段数据探测到 1990 年发生的加拿大西部沿海底刺膝沟藻赤潮, 影像上开始时有小规模丝状现象, 后来发展成高密度的藻体聚集物, 这一结果为机载光谱仪(CACI)观测结果证实, 同时热红外影像说明温度也同时有所增加. Gower^[5,6]又用类似的方法研究发生于 1992 年的赤潮和推演 1995 年发生的石灰质颗粒藻赤潮, 得到了一定的结果. Kahru^[7]也用 AVHRR 资料分析波罗的海

从 80 年代到 90 年代的蓝菌赤潮发生情况, 也证实了发生赤潮时一波段反射光谱的增加. 我国研究人员在 1997 年 11 月对厦门海区发生的微囊藻赤潮进行跟踪监测, 获得大量光谱数据, 赤潮水体在 690 nm 处有一个明显的反射峰, 与非赤潮水体明显不同. 在相关航次的光谱测量中, 当浮游植物量高时也有这个峰存在. 因此, 它的出现预示赤潮的发生, 提出了 $(nlw5 - nlw4)/(nlw4 - nlw3) > C$ 的经验公式^[1,8]. 因此, 遥感技术能否及如何应用于赤潮的预报, 成为人们近年来探讨的热点之一.

1 赤潮相关因子的遥感探测

遥感技术是一种利用电磁波辐射能间接探测目标物的技术, 其本质上是对赤潮相关因子的探测. 赤潮是因为海水富营养化加上适宜的其他环境条件, 海洋浮游植物短期内大量繁殖、聚集而引起海水变色的一种现象^[9]. 赤潮发生的原因极其复杂, 到目前为止, 仍对赤潮的发生过程了解不足^[2]. 除生物种群的优势竞争外, 目前已知的环境因素有温度、盐度、风、流、叶绿素含量、水中的营养物质(磷、氮等)含量、底质物质、悬浮泥沙以及 COD 等. 在这些赤潮环境相关因子中, 能利用遥感技术有效探测到的相关因子主要有: 海水表层温度、海水叶绿素、表层悬浮泥沙以及部分反映综合指标的海水水色, COD 的遥感探测也有一定的进展^[10]. 尽管遥感技术仅

^{*} 基金项目: 国家海洋 863 资助项目(863-818-09-01); 国家九五重大科技专项资助项目(97-926-05-03)

收稿日期: 2000-06-09; 作者简介: 陈晓翔(1956—), 男, 副教授.

能探测部分赤潮相关因子，但由于赤潮发生时，海水水色、海水叶绿素和海面温度肯定会有异常的变化，因此，遥感技术具有探测赤潮发生的有效手段。但遥感技术本身（特别是卫星遥感）有其不足之处，大致有以下几种：

(1) 重复观测间隔与空间分辨率难以两全。我国目前可用于赤潮探测的观测卫星有多种（见表 1）^[11]，但因为太阳同步轨道的原因，难以在空间分辨率与重复观测时间之间得到满意的选择。如：Landsat 陆地卫星 TM 数据，有较好的空

间分辨率（30 m×30 m），但重复观测间隔为 16 d；遇到云层覆盖观测地区，重复观测需要 32 d，从时间上讲，难以观测赤潮的发展趋势；而气象卫星（NOAA 系列）尽管可在 1~2 d 内对同一地区进行重复观测，但空间分辨率较差（1.1 km×1.1 km），对于大面积的赤潮，可以提供一定的监测（预报）参考数据，但对于小面积的赤潮，难以提供有效的监测（预报）数据。因此，从赤潮监测或预报的角度看，卫星遥感数据的有效信息量是不足够的。

表 1 可用于赤潮探测的观测卫星
Tab 1 Observing satellite used to detect red tide

卫星	节点周期/min	重访周期/d	应用	传感器
ADEOS II 先进的地球观测卫星（日本，NASDA）	101	3 或 4	全球变化观测	AMSR, GLL, DCS, ILAS-II, SeaWinds, TOMS, POLDER, HIRDLS
AIMAZ-1B “粗制钻石”（地球观测系列，俄罗斯）	90		制图、陆地监测、地质、勘探、生态监测、海洋、渔业和航运及突发事件监测	SLR-3, SAR-3, -10, -70, MSU-E, -SK, SROM, OS-SI, Balkom-2
IRS-1C/1D（印度遥感卫星，印度）	太阳同步极轨	24	陆地观测（可用于海洋）	PAN, LISS-III, WiFS
IRS-P2（印度遥感卫星，印度）	太阳同步圆形轨道	24	陆地、海洋和大气应用	LISS-II, MOS（-A, -B, -C）
Landsat 陆地卫星（美国）	太阳同步极轨	16	土地利用、农林业、地质、水资源	MSS, TM, RBV
NOAA 系列（美国）	太阳同步极轨	11	气象（可用于海洋）	AVHRR 等
RADARSAT 加拿大雷达卫星（加拿大）	准圆太阳同步晨昏轨道	24	北极冰运动、农林业、地形、海洋等	SAR
SeaStar 海星卫星（美国）	太阳同步极轨	16	海洋颜色数据、海洋生物和生态、浮游植物浓度	SeaWiFS
SPOT 法国 SPOT 卫星（法国）	太阳同步极轨	26	土地利用、农林业、地质、制图、区域规划、（可用于海洋）	HRV（MS），H（PAN），DORIS, POAM II, HRVIR（MS, PAN），VEGETATION, PASTEL
Earth Watch 地球观测成像系统（美国）	太阳同步极轨	20	GIS、制图（可用于海洋）	Early Bird, Quick Bird

(2) 易受天气影响。目前能用于赤潮相关因子监测的卫星遥感技术是可见光—近红外—热红外波段，其本身易受云层覆盖的影响，特别是华南地区，多云多雨。以珠江口及其邻近海区为例，全年能有效接收的 NOAA 图像数据（无大面积云层覆盖）仅为 60~70 幅，平均 5~6 d 一幅，以这样的监测频率，很难进行有效的赤潮监测。

(3) 波段的限制。卫星遥感受波段的限制是

多方面的，主要是大气的吸收作用使得很多波段的地面信息无法到达卫星上的传感器，卫星遥感波段的选择都是选择在所谓的大气窗口段。如：波长范围为 0.01~0.4 μm 的紫外线，通过大气层时，只有 0.3~0.4 μm 能部分通过大气层，通常紫外波段从空中可探测的高度大致在 2 000 m 以下，但紫外波段对水面漂油及有机体的识别有独特效果。

(4) 遥感技术仅能获得海洋表层的有关信息。遥感技术是利用电磁波探测的技术, 无论是利用太阳光谱的被动式遥感, 还是主动式遥感, 都只能探测海洋表层的相关信息。而海洋是一个复杂的三维动态系统。

(5) 技术方法尚未完善。赤潮大多发生在沿岸海域, 即二类海水海域, 该区水动力状况复杂(地形影响、咸淡水混合), 悬浮泥沙含量大, 水底背景反射影响等原因, 给赤潮相关因子的遥感探测增加了很大的困难。以海水叶绿素为例, 由于悬浮泥沙等黄色物质的存在, 导致了叶绿素光谱段向长波方向移动的现象^[12~14], 从而使利用光谱分析的方法探测叶绿素浓度精度不高^[15], 影响了赤潮监测(预报)研究的深入开展。

赤潮的预报是一个复杂的问题, 尽管单独依赖遥感技术难以实现赤潮的预报, 但遥感技术无疑是一种有效的数据获取手段, 随着新型传感器和各种卫星的投入应用, 遥感技术将在赤潮的监测预报中起到更大的作用。

2 赤潮预报的可行性探讨

赤潮首先是生物学的问题, 但同时也是环境学的问题, 我们曾探讨过在港湾初级生产力的遥感光谱探测模型中引入环境因子(水交换状况)的方法, 研究结果初步显示了环境因子(水交换状况)与初级生产力之间有很大的关系^[16]。尽管尚未研究证实, 富含磷氮的底质的分布状况也应该与赤潮的发生有关。因此, 对于赤潮的预报研究, 不仅应从微观方面进行, 即从生物种群的角度研究(目前大都这样), 也应该从宏观方面进行, 如从环境学角度的研究。更应该从更宽的角度进行研究, 开展多学科的联合研究。赤潮问题的研究多年来一直按照由某一学科组成的研究单元(课题组)的形式进行, 进展十分缓慢, 不理想的研究结果可能暗示着单一学科的研究难以解决赤潮预报这个涉及多学科的复杂问题。

因此, 对于赤潮的研究, 需要建立全天候多层次立体海洋监测系统, 使其能够对海区的异常和赤潮的发生发展提供足够多的基础观测信息, 为多学科的联合研究提供基础数据。该系统应由卫星—飞机—水面船只—岸基—水面水下的各种观测仪器组成, 并有地理信息系统和各种模拟模型提供信息分析支持。在分析了由卫星发送回来的数据之后, 进行初步评估, 圈定重要警戒区

域, 并决定是否需要派出遥感飞机加强或加密监测, 以及有无必要派出水面船只进行现场勘测。这种数据采集方式最上层(卫星)提供的数据量最多, 而最下层(水下潜标记录或现场采样)提供的的数据量最少, 称为漏斗型数据采集结构。我国的长江口和珠江口海域在国家 863 项目的支持下, 现已初步建立了技术示范系统。如珠江口的 PEIOS 系统, 它是一个以水质监测为核心, 以珠江口水域为监测范围的河口区近岸海洋环境监测示范系统。该系统能同时接收多种来源的远距离观测数据, 具有数据实时更新的能力。观测数据有: 气象卫星 NOAA 数据(海表温度)、海洋卫星 SeaWiFS 数据(叶绿素、悬浮泥沙)、岸基雷达数据(海流、波浪)、自动气象站数据(风向、风速、温度、气压、辐射量、雨量)、自动水质测试数据(硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、pH 值、盐度、六价铬)、巡航采样数据(温度、盐度、pH 值、溶解氧、电导率、水深、叶绿素、浊度), 此外, 还有该海域的流场、悬浮泥沙、水质等数值模拟数据, 以及与此相关的部分水文历史观测数据和入海河网区水文数据。长江口海域的监测系统也与此类似, 虽然这两个系统仍属实验性系统, 尚未投入业务化的运行, 但均已经集成了大量的多学科数据, 为多学科的赤潮研究打下了一定的基础。

其次, 应在系统综合数据库的基础上, 加强多学科的交互研究, 该交互研究有着显著的双向性, 这种双向性几乎反映在研究的每个层次。以遥感为例: 有效的实测数据可为遥感信息模型提供定标的依据, 而遥感数据的分析结果也为实测数据点的空间位置设定提供依据, 从而使实测数据更加有效; 海水叶绿素含量的探测是赤潮研究的关键问题之一, 在沿岸海域由于悬浮泥沙等黄色物质的存在, 遥感探测叶绿素浓度的精度不高, 需引入水动力方程, 利用水交换状况来改进遥感信息提取模型, 而水动力方程由于外边界条件难以确定, 也需要利用遥感数据(温度场、悬浮泥沙场)来改善模型的模拟精度; 海洋是一个三维的动态系统, 而遥感信息仅仅能反映海洋表层的某一静态特征, 因此, 必须依赖其他方法(数值模拟)实现对真实事件的模拟和评估。

此外, 尚需联合开展一些关键技术的研究, 一是卫星平台的小区域异常比较分析技术; 二是飞机平台(包括遥控小飞机)遥感细分提取技

术; 三是船用(走航式)连续光谱数据采集及富营养化光谱分析快速提取技术; 四是基于环境因子的赤潮生物生长模式。

这种全天候多层次立体海洋监测系统的建立投资巨大, 涉及学科众多, 绝不是一个部门能够承受的。按我国目前已有的设备条件和技术力量, 只要加强有关部门的协同合作, 利用计算机网络和分布式数据库技术, 实现信息共享, 完全可以在我国部分地区建立这样的海洋观测系统, 开展行之有效的赤潮监测与预报工作。以目前的技术水平, 利用已有的综合技术实现赤潮的预报是完全可能的。

参考文献:

- [1] 顾德宇, 孙强, 腾俊华, 等. 从 SeaWiFS 数据提取赤潮信息研究[A]. 见: SeaWiFS 海洋水色卫星遥感应用技术研究报告专集[C]. 杭州, 1998. 127—149.
- [2] 齐雨藻. 赤潮[M]. 广州: 广东科技出版社, 1999.
- [3] 胡德永. 陆地卫星 TM 观测到渤海湾赤潮[J]. 遥感信息, 1993(3): 11—14
- [4] GOWER J F R, BORSTAD G A. An exceptional red tide event on west coast of Canada mapped with the AVHRR and imaging spectroscopy[A]. In: Proceedings of I-GARSS' 91, Helsinki, Finland[C]. IEEE Catalog, 1991, 91: CH2971—Q 1 145—148.
- [5] GOWER J F R. Red tide monitoring using AVHRR HRPT imagery from a local receiver[J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 48: 309—318.
- [6] GOWER J F R. Detection and Mapping of bright plankton

blooms and river plumes using AVHRR imagery[M]. Pacific Ocean Remote Sensing Conference, Victoria, BC Canada, 1996.

- [7] KAHRU M. Satellite detection of increased *Cyanobacteria* blooms in Baltic Sea: natural fluctuation or ecosystem change? [J]. AMBIO, 1994, 23(8): 469—472.
- [8] 潘德炉. SeaWiFS 海洋水色卫星遥感应应用研究总报告[A]. 见: SeaWiFS 海洋水色卫星遥感应应用研究报告专集[C]. 杭州, 1998. 1—29.
- [9] 张水浸, 杨清良, 丘辉煌, 等. 赤潮及其防治对策[M]. 北京: 海洋出版社, 1994.
- [10] 何执兼, 邓孺孺, 王兴玲, 等. 应用水色卫星对海水油及 COD 的遥感探测[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1999, 38(3): 81—84.
- [11] 宫鹏, 史培军, 浦瑞良, 等. 对地观测技术与地球系统科学[J]. 北京: 科学出版社, 1996. 12—15.
- [12] 陈涛, 李武, 吴曙初. 悬浮泥沙浓度与光谱反射率峰值波长红移的相关关系[J]. 海洋学报, 1994, 16(1): 38—43.
- [13] 陈楚群, 施平, 毛庆文. 应用 TM 数据估算沿岸海水表层叶绿素浓度模型研究[J]. 环境遥感, 1996, 11(3): 168—176.
- [14] TASSAN S. Local algorithms using SeaWiFS data for the retrieval of phytoplankton, pigments suspended sediment and yellow substance in coastal waters[J]. Applied Optics, 1994, 33(12): 2369—2378.
- [15] 潘德炉, 李淑菁. 卫星海洋水色遥感信息特征量的研究[J]. 海洋学报, 1998, 2(1): 27—31.
- [16] 陈晓翔, 邓孺孺, 何执兼. 基于互补性参数的港湾初级生产力遥感及 GIS 探测模型[J]. 遥感学报, 1998, 2(4): 276—279.

Detection of Red Tide on Remotely Sensed Satellite Data and an Approach to Red Tide Forecast

CHEN Xiao-xiang, DENG Ru-ru, HE Zhi-jian, KE Dong, LI Fang

(Center for Coastal Ocean Research, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The method detecting red tide related factors using remote sensing technology and the deficiency of the method used nowadays are discussed. It also points out, that the successful observation and prediction should rely on the multi-level marine observation systems and the integration of technology from various disciplines. In this process, multi-level marine observation is the most important technology, and the establishment of effective oceanic integrated observation system such as the ones in the Pearl River Estuary and the Shanghai East China Sea, is an essential prerequisites. With the integrated technology referred above, it is possible to realize the prediction of red tide.

Keywords: red tide forecast; remote sensing; integrated observation