

基于互补性参数的港湾初级生产力 遥感及 GIS 探测模型*

陈晓翔 邓孺孺 何执兼

(中山大学遥感中心 广州 510275)

摘 要 到目前为止,港湾初级生产力的遥感探测方法基本上集中在对叶绿素的光谱探测上,由于干扰因素的存在(海面波动,水中悬浮泥沙),使遥感探测的精度受到影响。本文提出一种基于地理信息系统方法的具有互补性参数的港湾初级生产力遥感探测模型,由于互补性参数的存在,极大地提高了模型的抗干扰能力,使探测的精度得到明显改善。在广东大亚湾的初步试验表明:水交换状态参数的引用,模型的误差从 6.5% 降为 0.26%,精度大大提高,从而证明该方法的可行性和有效性。

关键词 互补性参数,初级生产力,遥感

1 前 言

海水中的浮游生物是海洋生物链中的初级生产者,它的现存量是评价海水初级生产力的重要指标。对海水中浮游植物量的调查、估算一直是海洋环境、生物资源研究中的重要内容。到目前为止,对海洋初级生产力的遥感探测研究主要集中在对叶绿素的光谱测量上,以及分析叶绿素的光谱响应方面^[1-11]。根据我们以往的经验,采用卫星遥感探测方法,精度并不理想,误差均在 30% 以上。原因何在? 为此,我们从港湾初级生产力的生存条件入手,利用环境因素选择了具有互补特性的参数,进行了改善模型的方法性研究,取得了较理想的效果。

2 海洋叶绿素遥感光谱信号的易干扰性

遥感技术是一种光谱信号间接探测目标物的技术,然而,由于海水的透(折)光性和流动性,海洋中得到的遥感光谱信号实际上是多种信号的复合体,它包括了大气扩散及水面、海底的反射以及水体中多种综合因素的散射辐射。波长为 λ 的遥感光谱信号的传播过程如图 1。

由高度为 Z_0 的传感器接收到的遥感光谱信号 L

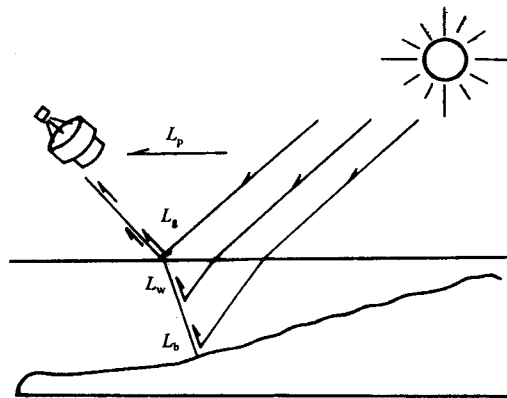


图 1 遥感光谱信号在海水中的传播过程

L_p 为大气散射辐射; L_g 为水面反射辐射;
 L_w 为水体散射辐射; L_b 为海底反射辐射。

Fig.1 The course for remotely sensed signal passed through sea water

可用式(1)表示。

$$L(\lambda, Z_0, \mu, \varphi) = L_p(\lambda, Z_0, \mu, \varphi) + L_g(\lambda, Z_0, \mu, \varphi) + L_w(\lambda, Z_0, \mu, \varphi) + L_b(\lambda, Z_0, \mu, \varphi) \quad (1)$$

式中 λ 为波长; Z_0 为传感器高度; μ 为太阳方位角; φ 为太阳高度角。 L_p 为与大气散射辐射有关函数; L_g 为与水面反射辐射有关函数; L_w 为与水体散射辐射有关函数; L_b 为与水底反射辐射有关函数。

从图 1 和(1)式可以看出,由于海水的透光性和

* 国家自然科学基金资助项目: A49371048.

收稿日期: 1997-07-30; 收到修改稿日期: 1998-03-10

水面的反射性,由传感器接收到的海洋遥感光谱信号包括了来自大气、海面、海水以及海底各个不同层次的光谱信号,是一个经过了叠加的综合信号。叶绿素的光谱信号仅仅是水体光谱信号中的一部分,而水体的光谱信号还包含了悬浮泥沙、流场等光谱信号。尽管窄波段的水色传感器以及某些增强处理(如比值增强)可以提高叶绿素光谱信号的信噪比,但由于来自悬浮泥沙、流场以及水面的干扰信号强度大(特别是在近岸地区),因此,实际接收到的遥感光谱信号中,叶绿素的光谱信号仅占其中的一小部分。在港湾地区(地形复杂,悬浮泥沙量大,流场复杂),遥感光谱信号与叶绿素光谱信号不等效性是相当显著的。在这种情况下,无论遥感光谱信号能否探测到叶绿素含量高峰值的水深深度,仅由遥感光谱信号建立的叶绿素估算模型难以有很高的精度。

3 基于生存环境的 GIS 方法

地理信息系统(GIS)技术最初用于地学数据(图形+属性)的管理与编制,随着GIS应用的深入开展,如何利用多源数据和目标背景知识建立应用模型已成为能否有效发挥GIS技术的关键之一。

陆地遥感的经验表明:引入适当的空间形态数据或其它辅助数据,可使目标物的提取精度提高10%—20%^[12]。

生物生长需要多种条件,除了需要CO₂、O₂等气体外,还需要多种元素(如磷、氮、硅、硫、钙等)以构成生物体中的蛋白质和细胞核。其中,硫、钙等元素在海水中的含量较丰富,足够生物生长之用;但是被生物摄取最多的元素磷和氮却含量较少。实验表明,海水中的磷、氮含量低于一定程度时,光合作用则难以进行,植物的进一步繁殖便受到限制,因此,磷、氮等元素是控制植物生长的因子。只有那些可源源不断地补充被植物消耗掉的氮、磷的地方,才能满足生物持续生长的要求。

磷、氮的补充方式有两种:一是降水和河川径流的人海,携带了一定数量的磷、氮;二是海水的垂直混合、对流及上升流的作用,将磷、氮从海底或下层海水带到上层。就其数量来说,第一种方式的效应较小。因此,在垂直混合作用剧烈的海区,上层海水中营养盐的更新较快,养料供应充足,生物大量繁殖,是水性肥沃的“丰产区”。

因此,磷、氮含量或与其有关的水交换状态可作为海洋初级生产力水平的间接指标。尽管遥感技术

目前尚无法直接探测海水中的磷、氮含量,但与磷、氮含量有关的水交换状态,在遥感图像中却有明显的场分布(空间形态特征)显示。对这些空间形态特征的有效利用,有助于改善海水初级生产力的遥感探测。

4 叶绿素遥感光谱信息与水交换状态遥感信息的互补特征

从本质上讲,遥感探测技术是一种间接测量方法。因此,目标物的测量精度取决于所接收到的信息中的信噪比,目标物信息提取的方法研究实质上就是消除噪音的研究。

由于海水的透光性、折光性及可流动性,海洋遥感与陆地遥感相比,目标物的信息提取更易受到“噪音干扰”。在港湾初级生产力的遥感探测中,光谱测量受到的噪音主要是海面波动、海水流动以及水中的悬浮泥沙。

由于水面泡沫和水中悬浮泥沙是天然的流场示踪剂。在海面波动大、海水流动快、悬浮泥沙含量高的情况下,随着叶绿素光谱信息信噪比的下降,遥感图像中的水交换状态信息的信噪比反而得到了加强,反之亦然。

由此可见,水交换状态信息与叶绿素光谱信息是一对具有互补特性的信息因子,即当噪音产生或发生变化时,如果一方携带的信息量减少,则另一方携带的信息量便会得到加强,反之亦然。因此,可将这一对与港湾初级生产力有关的互补因子引入到探测模型中,以求改善模型的精度。

5 水交换状态遥感信息获取及数量化

水交换在这里仅指两方面的含义:一是由风搅动引起的海水垂直混合;二是由流动(对流、上升流等)引起的水体交换。

海面风的影响可通过对水面粗糙度的评估获取,在由波段1,3,5组成的TM假彩色图像上,白色代表着粗糙度最高的等级,深蓝色或蓝黑色则代表粗糙度最低的等级。其机理为:波段1,3,5分别对应着蓝、绿、红(近红)波段,其中波段1的人水深度最大。当表面波动引起海面粗糙度变大时,入水深度大大降低,其反射值也引起相应的变化。通过模糊分类、标准化处理后,可得到相应的等级系数^[13]。

由流动引起的水交换状态,在TM假彩色图像

上(波段 1, 3, 5 合成)可清晰地分辨出其流场的分布特征(需要指出: 仅是流场分布的空间形态, 流场中的流速难以直接判读), 通过分析流场空间形态的分布, 可目视解译出不同水体之间的边界线, 分别计算出每一点到各边界线的垂直距离的倒数和(按距离或像元距离), 再经过标准化处理, 可得到各点的水体边界系数^[14]。

6 方法的可行性试验

遥感探测技术是一种利用目标物光谱信号的间接测量方法, 因此, 所有利用遥感数据建立的估算模型都是采用间接指标。由于近岸海域受周边环境的影响很大, 基于物理模式的遥感模型往往难以满足实际的需要。在小区域的实际应用中更多是采用建立回归方程的方法来标定目标物与间接指标的关系, 以适应不同的海域。

我们利用 1988 年 10 月在广东省大亚湾海区进行的试验数据, 建立线性回归模型。为避免各变量之间数据差异的影响, 所有数据均经标准化处理。

数据来源: (1) TM(1, 3, 5) 卫星图像; (2) 与 TM 相同波段(1, 2, 3, 4) 的手提式光谱仪水面测量数据; (3) 远红外波段(温度段) 探测仪测量数据; (4) 国家海洋局南海分局同时间、同地点海水采样分析的浮游植物数据; 其结果如下。

6.1 仅利用光谱数据的模型^[15]

$$\log(p_1) = 55.25 - 1304.6p_1 + 3093.5p_2 - 3079.6p_3 - 99.65p_4 \quad (2)$$

式中 p_1 为浮游植物量, ($\text{个} \cdot \text{m}^{-3}$); p_1, \dots, p_4 为与 TM 相同波段的手提式光谱仪海面测量数据, 各数据均经辐射校正和标准化处理。模型评估误差为 6.5%。

6.2 引入水交换状态数据后的模型^[14]

$$(p_1) = -0.416 + 0.247T + 1.698W_c + 0.085W_b - 0.336C_a \quad (3)$$

式中 T 为温度(由远红外波段探测仪测试); W_c 为水表面波动状态等级系数(由 TM 图像解译、量化); W_b 为水体边界系数; C_a 为叶绿素含量(由(4)式估算); p_1 为浮游植物量, 单位: $\text{个} \cdot \text{m}^{-3}$ 。各数据均经标准化处理。模型评估误差为 0.26%。

6.3 叶绿素含量估算模型

$$C_a = -0.405 - 14.39p_1 + 54.98p_2$$

$$- 8.03p_3 + 7.11p_4 \quad (4)$$

式中 C_a 为叶绿素含量, 单位: $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$; p_1, \dots, p_4 与(2)式相同。

将(2)式与(3)式比较, 可见精度改善是显著的。

根据改进的模型得到的大亚湾浮游植物量的等级分布图(图 2)数量越大, 含量越高(本图根据公式(3)的计算值线性分级所得)。

国家海洋局第三海洋研究所同期的生物调查结果见图 3。可见两者是吻合的。

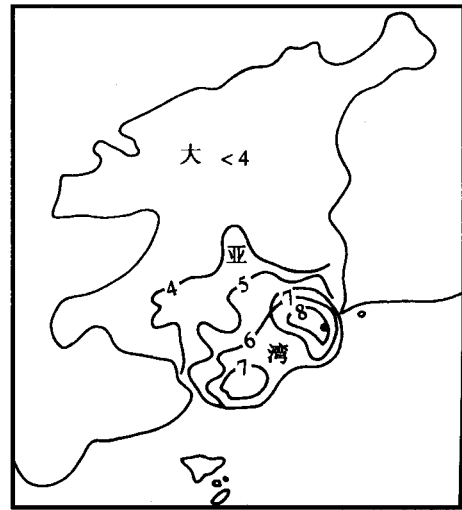


图 2 大亚湾初级生产力等级分布图(遥感方法估算)

Fig.2 Grade distribution for Daya Bay's primary productivity (in remote sensing)

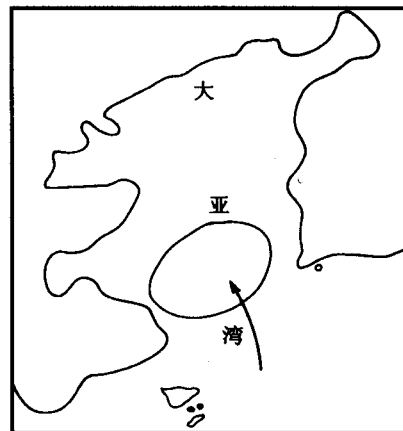


图 3 大亚湾潜在生产力图(生物调查)

Fig.3 Potential primary productivity in Daya Bay (in biology survey)

7 结 语

由于海水的透光性、折光性及可流动性, 海洋遥

感与陆地遥感相比,海洋遥感信息携带着更加丰富复杂的信息。一方面使得目标物的信息提取更易受到“噪音干扰”,另一方面也隐含着新的信息来源。

在港湾初级生产力的遥感光谱探测中,光谱测量受到的噪音来源主要是海面波动、海水流动以及水中的悬浮泥沙。由于水面泡沫和水中悬浮泥沙是天然的流场示踪剂,这些噪音隐含某些水动力的信息,而从港湾初级生产力生存环境上看,水交换状态是可以作为描述港湾初级生产力的一个间接指标。

遥感数据中的水交换状态信息与叶绿素光谱信息是一对互补性因子。互补性因子的引入极大地改善了模型的精度。

参 考 文 献

- 1 潘德炉, J.F.R. 高尔, 林寿仁等. 利用荧光高度遥感海洋中叶绿素 a 的浓度. 海洋学报, 1989, 11(6): 780—787.
- 2 潘德炉, J.F.R. Gower, 林寿仁. 荧光法遥感海面叶绿素浓度的波段选择研究. 海洋与湖沼, 1989, 20(6): 564—570.
- 3 杨超武. 海水叶绿素光谱节点及新型叶绿素遥感器方案设计研究. 环境遥感, 1996, 4: 35—37.
- 4 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. 环境遥感, 1996, 11(3): 168—175.
- 5 田国良, 倪晓东, 宋福等. 用光谱数据估算水体叶绿素浓度. 环境遥感, 1988, 1(1): 71—80.
- 6 潘友联. 叶绿素与海洋初级生产力. 海洋科学, 1987, 1: 63—65.
- 7 Clark. D. K. Phytoplankton pigment algorithms for the Nimbus 7 CZCS. Oceanography from Space. Gower. J.F.R. (Ed). Plenum Press. New York. 1980, 227—237.
- 8 Gorden. H.R., A.Y. Morel. Water colour measurements——an introduction. Oceanography from Space. Gower. J.F.R. (Ed). Plenum Press. New York. 1981, 207—212.
- 9 Gorden. H.R., A.Y. Morel. Remote assessment of ocean colour for interpretation of satellite visible imagery. A Review. in Lecture Note on Coastal and Estuarine Studies. Richard. T. Barber (Ed). Springer Verlag. New York. 1983, 4: 87—102.
- 10 Pan Delu. J.R.F. Gower, G.A. Borstad. Seasonal variation of the surface chlorophyll distribution along the B.C coast as shown by CZCS satellite imagery. *Limnology and oceanography*, 1988, 33(2): 227—244.
- 11 Gower. J.R.F., S. Lin, G.A. Borstad. The information content of different optical ranges for remote chlorophyll estimation in coastal water. *J. Remote Sensing*, 1984, 5: 349—364.
- 12 阎守邕, 郑立中, 武国祥等. 中国遥感技术系统的软科学研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1990.
- 13 李铁芳, 徐秉正, 易建春等. 卫星海洋遥感信息提取和应用. 北京: 海洋出版社, 1990, 34—35.
- 14 Li Tiefang, Chen Xiaoxiang, Liao Minghua. To estimate sea's phytoplankton production based up on multi-sources model. proceedings of the 3rd international workshop on GIS. Beijing Aug. 1993, 359—364.
- 15 Chen Xiaoxiang, Li Tiefang, Li Jin. TM bands' remote measure test for seawater's multi-factors. *Coastal Zone '93, U.S.A.*, 1993, 1793—1798.

作 者 简 介

陈晓翔, 男, 1956年2月出生, 1982年毕业于青岛海洋大学, 学士学位, 1987年毕业于浙江大学遥感专业, 硕士学位。现为广州中山大学遥感应用中心副教授, 中国GIS协会会员, 从事遥感信息处理及GIS应用的教学与研究, 发表论文10多篇。

A GIS Model on Remote Sensing for Primary Productivity in the Bay Region Based on Mutual-Compensated Parameters

Chen Xiaoxiang Deng Ruru He Zijian

(Zhongshan University Guangzhou 510275)

Abstract The detection of bay's primary productivity using remote sensing is presently based on the spectrum of chlorophyll. However, this method is not precise because of the interference caused by silt suspension and the surface wave. The paper presents a method based on GIS which make our remote sensing model on primary productivity with mutual-compensated parameters satisfactory. These parameters, with mutual compensation characteristics for the chlorophyll spectrum on remote sensing, has greatly helped to improve the model. Our test in the Daya bay has shown that the precision has greatly increased from an error of 6.5% to 0.26%, thus proving this method feasible and practical.

Key words Remote sensing, Primary productivity, Mutual-compensated parameter