

海水叶绿素光谱节点及新型叶绿素遥感器方案设计探索

THE NODAL POINT OF THE REFLECTION OF THE CHLOROPHYLL IN SEA WATER AND THE EXPLORATION OF A NEW REMOTE SENSOR FOR MEASURING CHLOROPHYLL CONCENTRATION

杨超武

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

对于海水叶绿素浓度的遥感测量研究工作至今已进行了 20 余年。G. L. Clark 等人^[4]的实验指出,海水叶绿素浓度增加引起海洋后向散射光的蓝波段辐射量明显减少,绿波段辐射量相应增大,同时指出,随着叶绿素浓度的增加,其光谱特性曲线的平均斜率也减小,而且在 515nm 有一个转折点(Inflection)。Duntly^[3]1963 年把这个点叫做铰链点(Hinge)。为了统一起见,本文将采用国内学者已公布的“节点”一词^[1]。进行海水叶绿素光谱研究的学者大都注意到了这个问题,不同的是节点的位置稍有变化。不同浓度叶绿素海水光谱反射率特性确实存在一个节点^[5,7~9],与此有关引出了计算海水叶绿素浓度的不同模式。而这些模式都要根据实测数据确定各种系数。但根据有限次的现场测量数据,确定的各种系

数的代表性就比较差。再则,由于来自海水的有用信号只占遥感器接收到的全部信号的很小一部分,为了在强干扰下摄取弱信息,目前水色遥感器的发展倾向是窄波段、多波段和高辐射灵敏度。这种海洋多光谱扫描仪(成像光谱仪)做起来难度很大,到达实用的周期也很长^①。因此,有必要考虑其他实时识别和定量遥感测量海水叶绿素的方法。

① 金志煜,1993。国内外水色成像遥感器的发展。第八届全国遥感技术学术交流会议论文集。

收稿日期:1995 年 6 月 9 日

1 叶绿素实时定量测量原理及遥感器方案设计

1.1 海水叶绿素浓度变化及水色光谱特性

众所周知,确定某种物质是否存在,或者说把某种物质与其他物质分开,可以用其固有的光谱特性来鉴别。但要知其自然界中单位空间存在的数量(浓度),只用光谱特性来描述是不够的。但自然界很复杂,各种物质并存,海水亦是如此。因此,遥感测量得到的光谱特征是各种物质并存的综合效果,而不是其中某种物质的单一反应。遥感量化的困难就在这里。因此,为了从中区别出某种物质及其含量,除了要研究这种物质的固有光谱特性之外,还要研究这种物质及其含量变化与其他并存物质及其含量变化引起的光谱特性变化的关系。

水色的特点,为我们设计海水叶绿素浓度的新的遥感测量方法及新型遥感器提供了物理依据。张绪琴等人^[1,6]的研究结果说明,“节点”两侧一定波长范围辐射量的差值与海水叶绿素含量存在很好的数量关系。

1.2 实时遥感器方案设计

由上述分析结果,使我们自然想到在“节点”附近选择某一波长 λ_0 作为基点,再在其左右两边分别确定两个波长 $\lambda_{-1}, \lambda_{+1}$ 通过实验决定海水叶绿素浓度 D 与 λ_0 两侧宽波段辐射量差值的关系:

$$D = F[R_{(\lambda_0 \sim \lambda_{+1})} - R_{(\lambda_{-1} \sim \lambda_0)}] = F(\Delta R) \quad (1)$$

其中 $R_{(\lambda_0 \sim \lambda_{+1})}, R_{(\lambda_{-1} \sim \lambda_0)}$ 分别为 $(\lambda_0 \sim \lambda_{+1}), (\lambda_{-1} \sim \lambda_0)$ 宽波段的辐射量, $\lambda_0, \lambda_{-1}, \lambda_{+1}$ 及 F 都根据实测数据统计确定。对上述关系式(1),我们可以用图1来表示。

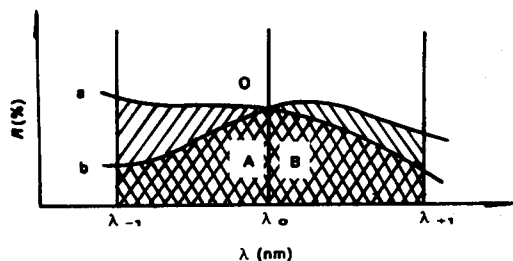


图1 两种不同海水叶绿素含量的反射光谱示意图
a, b 分别表示海水叶绿素含量较低和较高的反射光谱

a, b 两条曲线在O处有一“节点”,对应波长 λ_0 。 λ_0 两侧一定波长范围内曲线下的面积,即为这段光谱反射光的辐射量。 λ_0 右侧部分的面积,即为式中之 $R_{(\lambda_0 \sim \lambda_{+1})}$,左侧的面积即是 $R_{(\lambda_{-1} \sim \lambda_0)}$,两者之差即 ΔR 。由此图看到,

随着叶绿素含量的增加,这个差值由负变正,逐渐增大。因此,可以根据关系式(1),设计一种双通道遥感器。根据实验室测量叶绿素不同含量与光谱反射率(窄波段)数据选定两个通道 $\lambda_{-1} \sim \lambda_0, \lambda_0 \sim \lambda_{+1}$ 。统计这两个通道范围内反射率辐射量之差 ΔR_i 与叶绿素含量 D_i 间的关系:

$$D_i = F(\Delta R_i) \quad (2)$$

由于遥感器测到的反射率大小已变成电平大小,因此,要根据(2)式在遥感器中设置对应于 ΔR_i 的一系列电平 $\Delta V_i, i=1, 2, \dots$ 作为基准电平。对应 ΔV_i 有一组 D_i 建立一个查找表。 ΔR_i 与 D_i 是一一对应的。 ΔV_i 与 D_i 也是一一对应的。

在实际遥感测量中,遥感器两个通道同时分别测量到海水叶绿素的反射光谱辐射量。将这两个辐射量相减(由电压比较器即可实现)得到其差值:

$$\Delta R'_i = R_{i(\lambda_0 \sim \lambda_{+1})} - R_{i(\lambda_{-1} \sim \lambda_0)} \quad (3)$$

$i=1, 2, 3, \dots$ 。在遥感器中 $\Delta R'_i$ 当前对应电平为 $\Delta V'_i$,称之为当前电平。将当前电平 $\Delta V'_i$ 与基准电平 ΔV_i 进行比较:

如 $(\Delta V'_i < \Delta V_{i+1}) \wedge (V'_i > \Delta V_{i-1})$ 或 $\Delta V'_i = \Delta V_i$, (其中 $<$ “小于”, $>$ 为“大于”, $\wedge$ 为“与”符号),则用 $\Delta V'_i$ 取代 ΔV_i ,在查找表中查找对应的 D_i 。这个 D_i 就是当前测到的海水叶绿素的浓度。上述简单逻辑运算,实现起来是很容易的。尽管这种运算比较简单,但却使这种遥感器进入初级智能化阶段。从而实现了用遥感器直接实时遥感测量海水叶绿素的设想。

2 讨论与小结

2.1 节点与截止波长

这里的光谱“节点”是一个相对概念。一是有些情况(海域)存在明显的“节点”,有些情况不表现明显的“节点”;二是指在此波段附近,海水光谱反射率数值对叶绿素浓度变化不敏感。节点的形成是由于海水叶绿素浓度增加使其反射光谱特性曲线的波长相对短(即蓝波段)的辐射量明显减小,相对长的(即绿波段)辐射量相应增大的结果。也就是说海水在可见光范围内的反射光谱特性曲线,随着海水叶绿素含量的增加呈逆时针旋转的趋势,自然存在一个圆心。这个圆心即所谓节点,其所对应的波长就是 λ_0 。这个圆心在典型(特殊)情况下可能是海水叶绿素浓度不同的若干条反射光谱特性曲线的共同交点;在一般情况下,这些光谱曲线可能不止一个交点,这些交点也有一个共同的圆心,这个圆心也是我们所说的节点,其所对应的波长亦即 λ_0 。产生以上所述现象的

差别,其原因是海水中不单含有大量的叶绿素,同时还不同程度地含有悬浮泥沙等其他悬浮物质。这些无机悬浮泥沙对海水反射光谱都有较大的影响。张绪琴等人和陈涛等人^[2]由实验观测到的光谱反射率波长、节点的位置向长波方向偏移的现象,就是由于这些悬浮泥沙影响的结果。因此,不同水质的海水,其反射光谱的节点位置会有所不同。也因此,须针对不同水域,各种水质进行实验室可控制的浓度和现场的实验测量,取得足够的光谱数据,来确定节点及其所对应的波长 λ_0 。这就是确定 λ_0 的具体方法。

左边(低端)截止波长 λ_{-1} 与右边(高端)截止波长 λ_{+1} 的确定也是非常重要的。因为它们与海水叶绿素浓度直接相关,选择得好,关系式(1)是一个强相关关系;选择不好,(1)式呈弱相关,其计算结果误差就较大,就影响实时遥感测量的结果。对不同水域,不同水质取得了足够的光谱数据并确定了 λ_0 之后,将 λ_{-1} 和 λ_{+1} 作为变量,取 λ_{-1} 和 λ_{+1} 的若干个对称值(即 $\lambda_{-1} \sim \lambda_0$ 和 $\lambda_0 \sim \lambda_{+1}$ 间距相等)及 λ_0 值代入(1)进行统计,作相关分析,择其最优者即相关最好的来确定关系式(1)。对不同水域,不同水质(1)式中的相关函数 F 会有所不同。在实际遥感测量中要针对相应的水域和水质取相应的相关函数 F 。

2.2 陆地生物量的实时遥感测量

陆地生物量的遥感也是根据植被的叶绿素的光谱特性来进行估算的。因此,这种传感器也适用于陆地生物量的实时遥感测量,只需用陆地植被的光谱特性的实验数据(叶绿素反射光谱辐射量与生物量之间的关系),建立适用于陆地生物量的查找表即可。

2.3 图像数据处理的一种方法

用光谱节点两侧有限宽波段的差值,估算海水叶绿素浓度(海洋初级生产力)和陆地生物量的方法,可以处理高光谱分辨率数据(或像光谱仪数据),得出其所表征

的海水叶绿素浓度(测量对象为海面时)或陆地生物量(测量对象为陆地时)。

2.4 与其他叶绿素遥感器的比较

迄今,有关海水叶绿素探测的遥感器,无论是美国的海岸带水色扫描仪(CZCS),还是NOAA卫星改进的甚高分辨率辐射计(AVHRR)或者是日本海洋卫星1和1b上的四波段扫描仪,欧洲遥感卫星1号(ERS-1)的ATSR以及我国1988和1990年两次风云一号卫星的增添两个水色波段的扫描仪,以及其他高分辨率光谱仪所获得的海水光谱数据,都要经过地面计算机的处理分析才能提取海水叶绿素信息,而且这种信息还只是定性的,远未达到量化的程度,也不是实时的。而用本文提供的方法设计的海水叶绿素遥感器可以实时和定量探测海水叶绿素浓度。

参考文献

- [1] 张绪琴等,1992. 黄渤海海洋 10(1):47~52.
- [2] 张涛等,1994. 海洋学报 16(1):38~43.
- [3] Duntly,1963. *Manual of Remote Sensing* 2:1 419.
- [4] G. L. Clarke, et al., 1970. *Science* 167:1 119-1 121.
- [5] G. N. Plass, et al., 1978. *Applied Optics* 17(9):1 432-1 446.
- [6] I. S. Robinson, 1983. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 309:415-432.
- [7] J. W. Weldon, 1973. NASA Earth Resources Laboratory, Report 83, Mississippi Test Facility, PP47.
- [8] K. Savastano, et al., 1973. *Proceedings of the Ninth International Symposium on Remote Sensing of Environment* 2: 1 013-1 042.
- [9] Suits, 1979. *Manual of Remote Sensing* 2: 1 418.