

黄海、东海水体总吸收系数光谱特性 及其统计反演模式研究*

王晓梅 唐军武 宋庆君 丁静 马超飞

(国家卫星海洋应用中心 北京 100081)

提要 利用现场实测的表现光学量和固有光学量数据,得到了我国黄海、东海近岸二类水体多个波段的总吸收系数的统计反演模式。此反演模式采用 412/555、490/555 两个波段遥感反射比比值的二项式,得到波长 412、440、488、510、532、555nm 处的总吸收系数,其反演值和实测值的平均相对误差不大于 25.8%,相关系数 R^2 达到了 0.75 到 0.85。水体总吸收系数几种统计模型的误差敏感性分析表明,反演模式对 $\pm 5\%$ 的遥感反射比输入误差导致结果增加误差最大为 24.0%,因此反演模式是可用的。

同时给出了 412、488、510、532、555nm 各波段的总吸收系数同波段 440nm 的总吸收系数之间的关系。结果表明,在 400—600nm 波段范围内,每一个波段的总吸收系数与 440nm 波段的总吸收系数的相关性均较高,相关系数 R^2 都超过了 0.99。通过对拟合直线的斜率与波长进行回归,得到斜率和波长的关系,其相关系数 R^2 为 0.99。这样利用本文中建立各波段总吸收系数关系模型,可以从一个已知波段的总吸收系数反演出任何另外一个波段的总吸收系数,这在水色反演与应用中大大减少了未知因子的个数。

关键词 二类水体 总吸收系数 统计反演模型

中图分类号 P733.3

黄海、东海是典型的二类水体区域,总悬浮物含量高,水体光学特性复杂。海水的总吸收系数是影响水体光场分布的主要参数之一,是水体固有光学量之一,在海洋学的许多方面有重要作用,例如:水体分类、次表层光的强度、热通量、初级生产力估算等¹⁾(张运林等,2004)。但由于固有光学量的测量比较困难,我国一直缺乏这方面的数据,也影响了相关工作的开展,在 HY-1 卫星地面应用系统辐射校正与真实性检验分系统和国家 863 计划“模块化二类水体相关遥感信息提

取技术”课题的支持下,2003 年春季和秋季由国家卫星海洋应用中心联合国内水色要素测量各优势单位,对我国黄海、东海海区进行了海洋二类水体水色试验,获得了较高精度实测数据,并已得到部分水色要素反演算法(Tang *et al.*, 2004)。大量研究工作已表明,水下光学特性可由离水辐亮度或遥感反射比反演得到(Lee *et al.*, 1998; 张运林等, 2004; 郭卫东等, 2005)。Sydor 等(1998)人利用水色遥感半分析模型提出了针对海面粗糙度对遥感反射比的影响来校正遥

* HY-1 卫星地面应用系统资助项目:“863 模块化二类水体相关遥感信息提取技术”,2001AA636010 号;国家海洋局青年海洋科学基金资助项目,2005415 号;国家海洋局青年海洋科学基金资助项目,课题编号:2003422;国家卫星海洋应用中心青年科技基金资助项目:“863HY-1/CCD 海洋信息提取及应用技术研究”,2002AA639160 号和“863 带偏振响应的精确 Rayleigh 散射算法研究”,2002AA639200 号;国防科工委卫星重点应用项目,“HY-1 卫星水色因子信息提取算法研究”,2001—2005 年。王晓梅,高级工程师, E-mail: xmwang@mailnsoas.gov.cn

1) DCCG Report Number 3, 2000. Remote Sensing of Ocean Color in Coastal and Other Optically-Complex Waters 23—46

收稿日期:2004-07-02 收修改稿日期:2005-07-10

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

感反射比,反演了墨西哥湾的圣路易海湾区域的海水总吸收系数; He等(2000)提出了基于高光谱半分析模型的生物光学算法,来反演南海海水的叶绿素和光谱吸收系数。

由于二类水体水色反演模式有较强的区域性,无法通用到其它海域¹⁾,故本文作者利用现场实测数据,建立了由遥感反射比反演黄海、东海各波段总吸收系数的统计模式。

1 数据获取及分析处理

基于春季试验数据,本次试验共进行了83个站点(Tang et al 2004)的表观光学量、固有光学量、大气光学、水色三要素以及辅助试验数据(例如CTD、水色、透明度等)的测量²⁾。本文中 所用数据包括遥感反射比 R_{rs} 和各波段的总吸收系数 a ,其中 R_{rs} 由美国 ASD 公司生产的双通道地物波谱仪 FieldSpec Dual VNIR 测量,光谱范围为 350—1050nm;各波段总吸收系数 a_t 由美国 Wetlabs 公司生产的 AC9 仪器测量,9个波段分别为 412、440、488、510、532、555、650、676 和 715nm。

试验前,ASD 光谱仪进行了基于 NIST 标准的绝对辐射定标,测量几何和数据处理参数依据 NASA 海洋光学规范进行³⁾,并针对二类水体的特点和近红外波段遥感反射比的关系进行气-水界面反射率调整(唐军武等,2004)。AC9 仪器送回原生产厂家进行校准,为得到精确的结果,数据采集后分别经过定标参数修正、吸收系数温度、盐度校正以及吸收系数散射校正。

根据光学模拟的结果(Gordon et al 1975),遥感反射比与吸收系数等固有光学量之间有如下关系:

$$R_{rs} = f \frac{b_b}{a + b_b} \quad (1)$$

式中, a 为水体的总吸收系数, b_b 为水体的总后向散射系数, f 为太阳高度角的弱函数,也与海面粗糙度等相关,目前针对二类水体尚无法准确确定,但 f 随波段变化很小,因此,采用波段比值可

以有效地消除在空间和时间上水面粗糙度以及光照变化的影响。

另外,从现场测量数据来看, $b_b(\lambda)$ 随波长变化相对比较平缓,现场测量的个别站位的遥感反射比光谱数据见图 1,该海域典型总吸收系数光谱见图 2。可见 R_{rs} 的形状主要由总吸收系数决定,因此建立总吸收系数 a_t 与遥感反射比 R_{rs} 的统计模型是可行的。

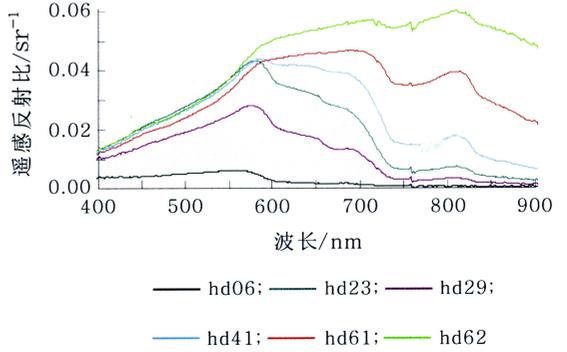


图 1 黄海、东海典型水体遥感反射比光谱
Fig 1 Typical R_{rs} spectra of the Yellow Sea and East China Sea

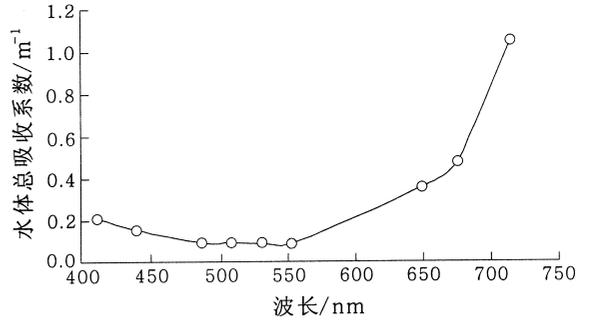


图 2 黄海、东海典型水体总吸收系数光谱
Fig 2 Typical total absorption coefficient spectra of the Yellow Sea and East China Sea

2 各波段总吸收系数统计模型

借鉴 Lee 等(1998)提出的水体总吸收系数算法,在建模时,作者选用了两组两个波段的遥

1) Wang Xiaomei, Tang Junwu, Song Qingjun, 2003. A study on statistical inversion algorithms and features in multiple bands of absorption coefficient in Yellow Sea & East China Sea. The Eleventh Workshop of OMI SAR (WOM-11) on the Application and Networking of Satellite Data, 4-1—4-11

2) 唐军武, 2003. 国家 863 计划“模块化二类水体相关遥感信息提取技术”中期评估报告, 45—57

3) Mueller J L, Fargion G S, 2002. Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation, Rev 3rd ed. NASA/TM-2002-21004/Rev 3 v1/v2

感反射比的比值的二次方程。采用两个波段的遥感反射比比值,一方面基本上可将光照(太阳高度角、直射漫射比例)影响的部分去掉,可以部分消除大气影响,也可以消除在空间和时间上水面粗糙度变化的干扰;另一方面是为了增加算法对高低吸收值的适应性。

经过不同波段的组合试验,并结合水体的光谱特性,发现以下形式各波段总吸收系数的反演模式与现场试验结果最为吻合:

$$\lg[a_t(\lambda)] = A_0 + A_1 \lg(\rho_5) + A_2 \lg^2(\rho_5) + B_1 \lg(\rho_{35}) + B_2 \lg^2(\rho_{35}) \quad (2)$$

式中, $\rho_5 = R_{rs412} / R_{rs555}$, $\rho_{35} = R_{rs490} / R_{rs555}$, $a_t(\lambda)$ 分别为 a_{t412} , a_{t440} , a_{t488} , a_{t510} , a_{t532} 和 a_{t555} 而 670nm 的总吸收系数 a_{t670} 由于波段靠近红外波段 715nm, 温度、盐度校正对其影响较大, 造成数据不准确, 对模型有影响, 这里没有给出结果。

各波段反演模式中的参数 (A_0 , A_1 , A_2 , B_1 , B_2) 各不相同, 下面分别说明。

2.1 a_{t412} 反演模式

2.1.1 a_{t412} 全范围混浊度反演模式

图 3 中的平均相对误差等于 $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|X_i^c - X_i^m|}{X_i^m}$, N 为样本数, X_i^c 为总吸收系数模式计算值, X_i^m 为实测值。

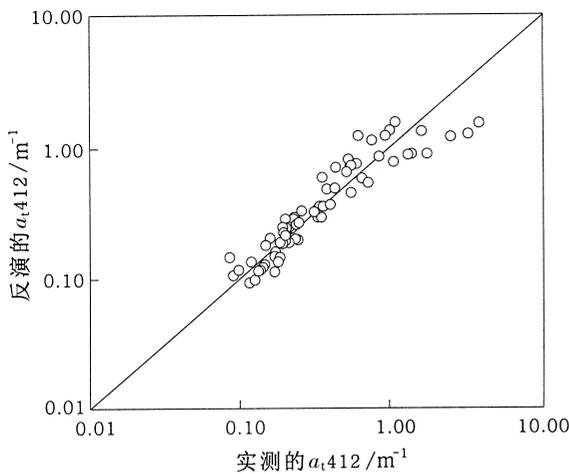


图 3 黄海、东海 a_{t412} 反演模式

Fig 3 a_{t412} algorithm for the Yellow Sea and East China Sea

$n = 76$, $R^2 = 0.87$, 平均相对误差 = 25.1%

2.1.2 中低浑浊度水体 a_{t412} 反演模式 由于试验海域的混浊度变化很大, 而 AC9 吸收系数的测量误差随混浊度增加而增大, 因此将中低混

浊度水体和中高混浊度水体加以区分更加合理。本次试验中, 将水色号为 6-9 (总悬浮物浓度 $< 5 \text{mg/L}$) 的水体作为中低混浊度水体, 其统计模式参见图 4。

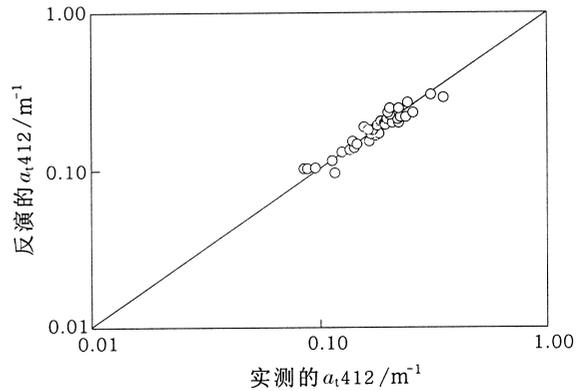


图 4 黄海、东海中低混浊度水体 a_{t412} 反演模式

Fig 4 a_{t412} algorithm in mid-low turbid waters for the Yellow Sea and East China Sea

水色号为 6-9 的站点 ($n = 38$), $R^2 = 0.91$, 平均相对误差 = 7.7%

2.1.3 中高浑浊度水体 a_{t412} 反演模式 水色号为 9-21 的水体作为中高混浊度水体, 其统计模式参见图 5。

由图 5 可以看出, 高悬浮物浓度时 a_{t412} 的

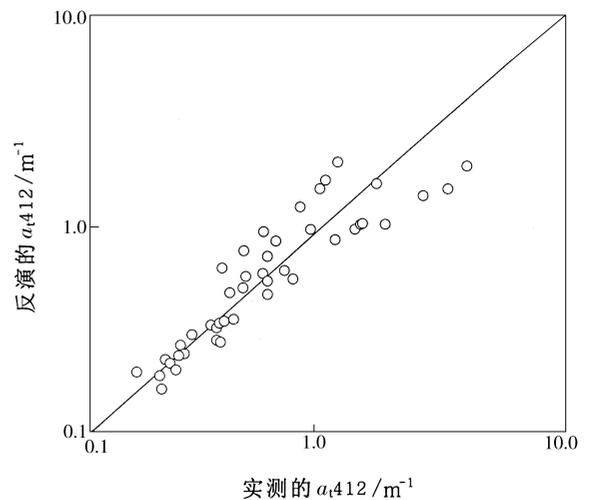


图 5 黄海、东海中高混浊度水体 a_{t412} 反演模式

Fig 5 a_{t412} algorithm in mid-high turbid waters for the Yellow Sea and East China Sea

水色号为 9-21 的站点 ($n = 46$), $R^2 = 0.82$, 平均相对误差 = 25.7%

离散度较大, 这一方面与仪器的测量技术原理有关, 因为水体悬浮物浓度高时, 仪器测量数据接近饱和, 吸收系数测量中的散射校正不够准确; 另一方面, 高混浊度条件下海表反射率的不确定性增加, 遥感反射比 R_{rs} 的准确测量也存在问题 (唐军武等, 2004)。

2.2 $a_{1,440}$ $a_{1,488}$ $a_{1,510}$ $a_{1,532}$ $a_{1,555}$ 反演结果
5个波段的总吸收系数反演结果见表 1。

表 1 各波段总吸收系数反演结果

Tab. 1 Inversion results of $a_t(\lambda)$ for 440, 488, 510, 532, 555nm bands

总吸收系数	各种情形	R^2	平均相对误差 (%)
$a_{1,440}$	全范围站位	0.85	23.7
	中低混浊度水体	0.93	6.3
	中高混浊度水体	0.81	25.3
$a_{1,488}$	全范围站位	0.85	25.8
	中低混浊度水体	0.92	6.6
	中高混浊度水体	0.79	27.4
$a_{1,510}$	全范围站位	0.82	24.1
	中低混浊度水体	0.92	5.5
	中高混浊度水体	0.75	26.1
$a_{1,532}$	全范围站位	0.81	21.9
	中低混浊度水体	0.92	4.9
	中高混浊度水体	0.76	23.1
$a_{1,555}$	全范围站位	0.75	22.0
	中低混浊度水体	0.88	4.3
	中高混浊度水体	0.69	24.0

3 模型的误差敏感性分析及相互比较

为进行统计模型的误差分析, 人为地将模型中参与运算的遥感反射比 $R_{rs}(\lambda_i)$ 引入 $\pm 5\%$ 的误差, 运用所建立的模型反演出各波段的总吸收系数。如果模型是病态的, 则遥感反射比的微小扰动将导致很大的反演误差。各波段的总吸收系数的反演算法为:

$$\lg[a_t(\lambda)] = A_0 + A_1 \lg(\rho_{15}) + A_2 \lg^2(\rho_{15}) + B_1 \lg(\rho_{35}) + B_2 \lg^2(\rho_{35})$$

式中, $\rho_{15} = R_{rs412} / R_{rs555}$, $\rho_{35} = R_{rs490} / R_{rs555}$ 。

作者设计了下面四种偏差情形的误差分析:

情形 1 令 $R_{rs}(\lambda_{412}) = R_{rs}(\lambda_{412}) + R_{rs}(\lambda_{412})^* 5\%$,

$R_{rs}(\lambda_{555}) = R_{rs}(\lambda_{555}) - R_{rs}(\lambda_{555})^* 5\%$;

情形 2 令 $R_{rs}(\lambda_{412}) = R_{rs}(\lambda_{412}) - R_{rs}(\lambda_{412})^* 5\%$,

$R_{rs}(\lambda_{555}) = R_{rs}(\lambda_{555}) + R_{rs}(\lambda_{555})^* 5\%$;

情形 3 令 $R_{rs}(\lambda_{490}) = R_{rs}(\lambda_{490}) + R_{rs}(\lambda_{490})^* 5\%$,

$R_{rs}(\lambda_{555}) = R_{rs}(\lambda_{555}) - R_{rs}(\lambda_{555})^* 5\%$;

情形 4 令 $R_{rs}(\lambda_{490}) = R_{rs}(\lambda_{490}) - R_{rs}(\lambda_{490})^* 5\%$,

$R_{rs}(\lambda_{555}) = R_{rs}(\lambda_{555}) + R_{rs}(\lambda_{555})^* 5\%$ 。

以上各种情形比较结果列于表 2 由于篇幅有限, 只列出 $a_{1,412}$ 和 $a_{1,440}$ 反演模型的误差敏感性分析结果。

由此可见, 将遥感反射比引入 $\pm 5\%$ 的误差, 各波段总吸收系数反演误差在中低浑浊度水体中增加不超过 10.4%, 模式表现良好, 在中高浑浊度水体中增加不超过 43.8%, 在全范围反演模式中增加不超过 24.0%, 表明反演模式基本可用。

4 黄海、东海各波段总吸收系数关系

对现场实测数据分析表明, 不同波段的总吸收系数之间存在一定的关系, 如图 6 所示, 其它文献也认为 440nm 和其它波长的光学特性有较好的相关性 (Austin et al, 1986; Voss, 1992)。建立黄海、东海各波段总吸收系数关系模型, 可以从一个已知波段的总吸收系数反演出任何另外一个波段的总吸收系数, 这就在水色反演中大大减少了未知因子的个数。作者在建立模型过程中选择波段 440nm 作为基础来建立模型, 因为波段 440nm 的吸收系数是水色研究的重要参数之一, 许多学者已经建立了 440nm 的总吸收系数的反演模型。图 6 是黄海、东海试验测得的 7 个波段 (412 488 510 532 555 650 676nm) 的总吸收系数同 440nm 的总吸收系数 $a_{1,440}$ 的关系散点图。

从图 6 可以看出, 650 和 676nm 的两个波段与 440nm 的总吸收系数的关系不是很好, 其它各波段的总吸收系数同 440nm 的总吸收系数具有很好的线性关系, 对 412 488 510 532 555nm 共 5 个波段的总吸收系数和 $a_{1,440}$ 能拟合出一个线性函数:

$$a_t(\lambda) = k(\lambda)^* a_{1,440} + b(\lambda) \quad (3)$$

式中, $k(\lambda)$ 为直线的斜率, $b(\lambda)$ 为直线的截距。

表 2 a_{412} , a_{440} 反演模型的误差敏感性比较

Tab 2 a_{412} and a_{440} retrieval error sensitivity and comparisons

站 位	各种情形	a_{412}		a_{440}	
		平均相对误差 (%)	结果增加误差 (%)	平均相对误差 (%)	结果增加误差 (%)
全范围站位	不加偏差	25.1		23.7	
	情形 1	24.3		23.0	
	情形 2	49.1	24.0	41.7	18.7
	情形 3	23.1		24.6	
	情形 4	40.1		42.4	
水色号为 6-9 的站位	不加偏差	7.7		6.3	
	情形 1	10.4		10.2	
	情形 2	11.8	6.5	10.4	10.4
	情形 3	11.2		13.9	
	情形 4	14.2		16.7	
水色号为 9-21 站位	不加偏差	25.7		25.3	
	情形 1	29.5		28.1	
	情形 2	69.5	43.8	66.2	40.9
	情形 3	30.2		30.5	
	情形 4	47.4		50.6	

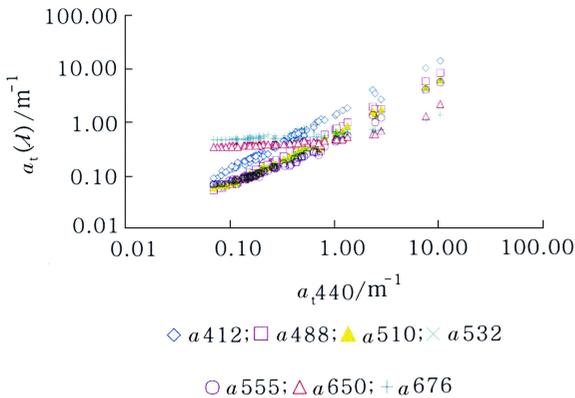


图 6 各波段总吸收系数同 440nm 总吸收系数的关系

Fig 6 Band relations for total absorptions a_{440} & a_{λ_i}

经计算可知, 每个波段的总吸收系数与 a_{440} 的相关系数 R^2 都超过了 0.9895, 回归直线的斜率随波长的增加而减小 (表 3)。

从以上回归结果可以看出, 回归直线的截距值很小, 接近于零, 这样可以忽略截距的影响。

表 3 各波段总吸收系数同 a_{440} 回归结果

Tab 3 The linear relations of a_{440} and a_{λ_i}

波长 λ (nm)	相关系数 R^2	斜率 k	截距 b
412	0.9921	1.2800	-0.0023
488	0.9965	0.7367	-0.0289
510	0.9986	0.5671	0.0089
532	0.9895	0.5377	-0.0124
555	0.9933	0.4931	-0.0101

之所以图 6 中各波段与 440nm 的总吸收系数关系会有不同, 是因为水体各成分的吸收系数对总吸收系数贡献的不同造成的。显然, 水体各组分的吸收系数与其浓度有关, 可将吸收系数表示为各成分浓度与其单位吸收系数的乘积 (Morel *et al.*, 1977; Prieur *et al.*, 1981; Sathyendranath *et al.*, 1989), 即

$$a_{\lambda} = a_w + Ca_c^* + Xa_x^* + Ya_y^* \quad (4)$$

式中, a_w 为纯 (海) 水的吸收系数; C 为叶绿素浓度 (mg/m^3), a_c^* 为其单位吸收系数; X 为无机悬浮物的浓度, a_x^* 为其单位吸收系数; Y 为黄色物

质的浓度 (m^{-1}), a_Y 为其单位吸收系数¹⁾。

由式 (4) 可以看出, 忽略纯水吸收系数的影响, 其他各组分的吸收系数对总吸收系数的贡献都是一致的, 各组分浓度的变化都会通过各组分吸收系数影响总吸收系数的变化, 并且这些变化对各波段也是一致的。在红光和近红外波段, 当纯水吸收系数不能忽略时, 纯水的吸收系数在这个波段相比各组分的吸收系数不可忽略, 当各组分浓度较小时, 纯水的吸收系数甚至占总吸收系数的主导地位, 因此这时红光波段的总吸收系数与 $a_{i,440}$ 的相关性变差。

将 5 个波段的光谱总吸收系数同波段 440nm 的总吸收系数 $a_{i,440}$ 回归得到的直线的斜率与波长进行回归, 就可以得到其斜率与波长的关系 (图 7)。

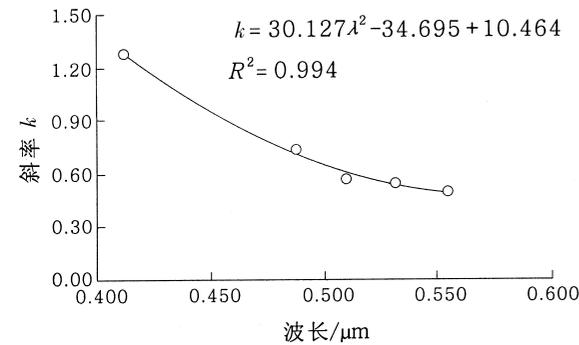


图 7 光谱总吸收系数同 $a_{i,440}$ 回归直线斜率与波长的关系

Fig 7 Slope versus wavelength curve

从图 7 可以看出, 回归直线的斜率和波长的相关性很好, 相关系数 $R^2 = 0.994$ 是波长的二次函数, 其关系式为:

$$k(\lambda) = 30.127\lambda^2 - 34.695\lambda + 10.464 \quad (5)$$

由上式可见, 通过波长即可计算出斜率值。如果知道任何一个参考波段 λ_{ref} 的光谱总吸收系数 $a(\lambda_{ref})$, 结合式 (3) 和式 (5) 就可以计算出任意一个波长的光谱总吸收系数:

$$a_1(\lambda_{ref}) = k(\lambda_{ref})^* a_{i,440} \quad a_1(\lambda) = k(\lambda)^* a_{i,440} \quad (6)$$

由以上两式可进一步得到:

$$a_1(\lambda) = (30.127\lambda^2 - 34.695\lambda + 10.464)^*$$

$$a_1(\lambda_{ref}) / (30.127\lambda_{ref}^2 - 34.695\lambda_{ref} + 10.464) \quad (7)$$

为了对光谱总吸收系数模型进行验证, 作者选取了绝大部分站位数据 (占总测点的 89%) 来建立模型, 将另外 15% 的站位数据用于模型检验。在误差分析时选择 440nm 波段作为参考波段, 用 440nm 的实测值和式 (7) 来反演 412、488、510、532、555nm 共 5 个波段的光谱总吸收系数值, 然后用 5 个波段反演的光谱总吸收系数值与其实测值之间的偏差对模型进行评价 (图 8)。

$$\text{相对误差}(\%) = \frac{a_1(\lambda)_{\text{模型}} - a_1(\lambda)_{\text{实测}}}{a_1(\lambda)_{\text{实测}}} \times 100 \quad (8)$$

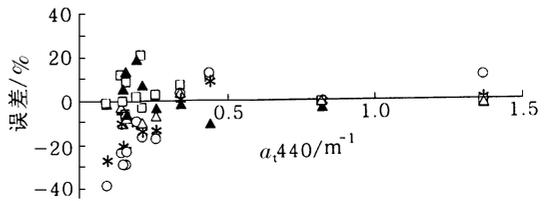


图 8 2003 年黄海、东海试验光谱总吸收系数模型误差分析

Fig 8 The errors between calculated and measured values of total spectral absorptions
▲ $a_{i,412}$ 误差; □ $a_{i,488}$ 误差;
△ $a_{i,510}$ 误差; * $a_{i,532}$ 误差; ○ $a_{i,555}$ 误差

从图 8 可以看出, 在 $a_{i,440}$ 较低的区域反演误差虽然较高, 但是大部分误差都集中在 20% 以内, 与试验中不同吸收测量技术之间误差水平相当 (Pegau 1995)。表 4 列出 5 个波段的平均相对误差。

表 4 各波段光谱总吸收系数模型反演平均相对误差

波长 λ (nm)	412	488	510	532	555
平均相对误差 (%)	6.7	4.5	8.5	13.1	18.9

由表 4 可见, 各波段光谱总吸收系数模型反演平均相对误差值不很高, 因此该模型可适用于黄海、东海海区的各波段光谱总吸收系数的反演。

1) 唐军武, 1999. 海洋光学特性模拟与遥感模型. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 17-37

5 结论

本文中作者提出了针对黄海、东海海区二类水体的总吸收系数统计反演模式以及各波段间吸收系数的关系,并对模型的误差敏感性进行了分析。结果表明,所建立的反演模式是一种可行的反演模式,其反演和实测数据的相关性较高,并有较高的置信度。由于固有光学量的测量分析工作在我国刚刚起步,本文的结果需要在今后工作中进一步检验,更深入的工作,如水体各成分的单位吸收等正在开展。

参 考 文 献

- 张运林,秦伯强,陈伟民等, 2004 太湖水体光学衰减系数的特征及参数化. 海洋与湖沼, 35(3): 209—213
- 唐军武,田国良,汪小勇等, 2004 水体光谱测量与分析 I 水面以上测量法. 遥感学报, 8(1): 37—44
- 郭卫东,夏恩琴,韩宇超等, 2005 九龙江口 CDOM 的荧光特性研究. 海洋与湖沼, 36(5): 349—357
- Austin R W, Petzold T J. 1986. Spectral dependence of the diffuse attenuation coefficient of light in ocean waters. *Opt Eng* 25: 473—479
- Gordon H R, Brown O B, Jacobs M M, 1975. Computed relationship between the inherent and apparent optical properties of a flat homogeneous ocean. *Appl Opt* 14: 417—427
- He Mingxia, Liu Zhishen, Du Keping *et al*, 2000. Retrieval of chlorophyll from remote sensing reflectance in the China seas. *Applied Optics* 39(15): 2467—2474
- Lee Z P, Carder K L, Steward R G *et al* 1998. An empirical algorithm for light absorption by ocean water based on color. *Journal of Geophysical Research*, 103(C12): 967—978
- Michael Sydor, Robert A. A. Mone *et al* 1998. Remote-sensing technique for determination of the volume absorption coefficient of turbid water. *Applied Optics* 37(21): 4944—4950
- Morel A, Prieur L, 1977. Analysis of variation in ocean color. *Limnology and Oceanography* 22: 709—722
- Pegau W S, Cleveland J S, Doss W *et al*, 1995. A comparison of methods for the measurement of the absorption coefficient in natural waters. *J Geophys Res* 100: 13201—13220
- Prieur L, Sathyendranath S, 1981. An optical classification of coastal and oceanic waters based on the specific spectral absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter, and other particulate materials. *Limnology and Oceanography*, 26: 671—689
- Sathyendranath S, Prieur L, Morel A, 1989. A three-component model of ocean color and its application to remote sensing of phytoplankton pigments in coastal waters. *International Journal of Remote Sensing* 10(8): 1373—1394
- Tang Junwu, Wang Xiaomei, Song Qingjun *et al* 2004. The statistic inversion algorithms of water constituents for the Huanghai Sea and the East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica* 23(4): 617—626
- Voss K J 1992. A spectral model of the beam attenuation coefficient in the ocean and coastal areas. *Limnology and Oceanography* 37: 501—509

THE STATISTIC INVERSION ALGORITHMS AND SPECTRAL RELATIONS OF TOTAL ABSORPTION COEFFICIENTS FOR THE HUANGHAI SEA AND THE EAST CHINA SEA

WANG Xiao-Mei TANG Jun-Wu SONG Qing-Jun DING Jing MA Chao-Fei
(National Satellite Ocean Application Service Beijing, 100081)

Abstract The Yellow Sea and East China Sea are typical coastal Case-II waters with high sediment load and complicate optical properties. A total absorption coefficient of sea water is one of the main parameters influencing the calculation of optical distribution. As an inherent optical property (OP), it has been widely applied in marine researches, such as heat flux, primary production, subsurface light intensity, water type classification, and so on. The authors proposed a group of statistical algorithm for calculating the total absorption coefficient based on in situ apparent optical property and inherent optical property data of waters collected in spring 2003 with strict quality assurance according to NASA ocean bio-optic protocols. The band-ratios of R_{rs412}/R_{rs555} , R_{rs490}/R_{rs555} are used in the algorithm to derive the total absorption coefficients (a_t) at 412, 440, 488, 510, 532 and 555nm bands, respectively. The average relative errors between inversed and measured values are less than 25.8%, the correlative coefficients (R^2) are 0.75—0.85. Error sensitivity analysis shows that the maximum retrieve error increased by 24.0% at $\pm 5\%$ error in R_{rs} 's. So the statistical algorithms of this paper are usable. At the same time, the relations between total absorption coefficients at 412, 488, 510, 532, 555nm and that of 440nm are also given in this paper. The results show that the relations between total absorption coefficients of 400—600nm and that of 440nm are most correlated and their correlation coefficients R^2 are all greater than 0.99. Hence a regression is also done for the slope of the linear relations and wavelengths, and the R^2 is also 0.99. Thus it is able to retrieve other bands' total absorption coefficients with only one band absorption value, which mostly reduce the number of unknown parameters for other ocean color related problems. The results in this paper need to be validated. Although a group of statistical algorithms of total absorption coefficients are quite satisfactory, more and deep-going researches are needed to develop in the future, such as the specific absorption coefficient of each component of waters.

Key words Case-II water algorithms, Total absorption coefficients, Statistic model