

文章编号: 1007-4619(2005)06-0680-08

SeaWiFS 与 HY-1 卫星 COCTS 的系统交叉辐射校正

蒋兴伟, 牛生丽, 唐军武, 邵岩
(国家海洋卫星应用中心, 北京 100081)

摘 要: 海洋一号 (HY-1) 卫星是中国第一颗海洋环境遥感卫星。由于卫星上没有太阳定标装置, 而且其上搭载的水色水温扫描仪 (COCTS) 一直存在漂移的问题, 所以必须不断对其进行辐射校正, 所述内容就是其辐射校正方法之一。美国宽视场水色扫描仪 (SeaWiFS) 提供了高精度的水色数据, 如一类水体上的离水辐亮度及叶绿素浓度等被国际水色遥感界作为参照的基准。以 SeaWiFS 反演的归一化离水辐亮度和气溶胶参数对 COCTS 遥感器的辐射校正系数进行了系统校正。该方法可以对 COCTS 的定标系数进行长期监测。结果表明, 校正后的 COCTS 水色数据产品精度得到了很大的提高。

关键词: 水色遥感; 遥感器辐射校正; 交叉辐射校正; COCTS; SeaWiFS

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

1 引 言

HY-1 卫星是中国第一颗海洋环境遥感卫星, 于 2002-05-15 发射。HY-1 是准太阳同步卫星, 其主要有效载荷为十波段水色水温扫描仪 (COCTS) 和四波段海岸带成像仪 (CZD)。COCTS 遥感器的量化等级为 10-bit 星下点地面分辨率为 1.1 km, 扫描宽度为 1600 km, 每行像元数为 1024。其波段设置在可

见近红外波段与 SeaWiFS 类似, 参见表 1。

但是 HY-1 COCTS 没有针对可见近红外通道的星上定标装置, 并且仪器一直存在漂移现象; 目前, 其业务化大气校正算法中 Rayleigh 散射采用单次散射近似, 气溶胶的散射计算采用中等精度算法^[1], 其反演的二级产品, 如归一化离水辐亮度、叶绿素浓度等, 与真实值存在一定的差异。所以必须对其加以系统误差校正。国家卫星海洋应用中心分别采用中国辐射校正场陆地场 (敦煌) 和南海一类水体对

表 1 COCTS 与 SeaWiFS 遥感器波段配置 (可见近红外波段)

Table 1 Bands configuration for COCTS and SeaWiFS (in visible and near-infrared ranges)

| 波段 | 中心波长与带宽 /nm | | 主要应用目标 |
|----|-------------|----------|---------------------|
| | COCTS | SeaWiFS | |
| 1 | 412 ± 10 | 412 ± 10 | 黄色物质、水体污染 |
| 2 | 443 ± 10 | 443 ± 10 | 叶绿素浓度 |
| 3 | 490 ± 10 | 490 ± 10 | 叶绿素、海水光学特性、污染、浅海地形 |
| 4 | 520 ± 10 | 510 ± 10 | 叶绿素、水深、污染、低浓度泥沙 |
| 5 | 565 ± 10 | 555 ± 10 | 叶绿素、中低浓度泥沙 |
| 6 | 670 ± 10 | 670 ± 10 | 高浓度泥沙含量、大气校正、污染、气溶胶 |
| 7 | 750 ± 20 | 765 ± 20 | 大气校正、高浓度泥沙含量 |
| 8 | 865 ± 20 | 865 ± 20 | 大气校正、水陆边界、云识别 |

注: COCTS 还有两个红外分裂窗通道, 即 10.30-11.40 μm, 11.40-12.50 μm。

收稿日期: 2004-03-17; 修订日期: 2004-09-08

作者简介: 蒋兴伟 (1959—), 男, 研究员。海洋一号卫星地面应用系统总设计师, 国家卫星海洋应用中心主任。在海洋与海岸带遥感技术与信息系统方面有多年研究。E-mail: xwjiang@mail.nsoas.gov.cn

其进行了在轨辐射校正,或称为“替代辐射校正”(vicarious calibration,即替代定标)^[2],并利用敦煌场对 COCTS 进行了一系列的“跟踪定标”^[3]。但由于进行陆地场和海上试验场的辐射校正工作人力物力花费巨大,且场地试验间隔周期较长,数据源的获取比较受限,另外受天气条件的制约,卫星与现场同步较难,因此需要一种更加节省的方法。利用高辐射精度的卫星对精度相对较低的卫星遥感器进行交叉辐射校正(cross-calibration,简称“交叉定标”)是一种很好的方法。

利用已标定好的遥感器对另一个遥感器进行辐射校正,即交叉定标法,是国际地球观测系统委员会(CEOS)定标检验组(WGCV)所推荐使用的方分之一,并作为 2004 年的专题讨论之一^[4],特别是对于技术水平相对比较落后的发展中国家的卫星遥感器具有重要的作用。国内外关于星-星交叉定标的研究工作已经开展了许多,并得到了很好的结果。水色遥感方面,如 Wang & Franz^[5]利用 SeaWiFS 遥感器对印度 IRS-P3 卫星上的 MOS(modular optoelectronic scanner)遥感器进行的交叉定标;潘德炉等利用 SeaWiFS 遥感器对神州 3 号上的中分辨率成像光谱仪(CMODIS)、HY-1 COCTS 的交叉定标^[6];另外, Hu & Frank^[7]也利用 SeaWiFS/MODIS 遥感器对 LANDSAT-7 ETM⁺进行了交叉定标。

对于 SeaWiFS 数据及大气校正与水色反演算法,已经通过星上太阳和月亮定标系统以及光学浮标、巡航实测,做了很多辐射校正和真实性检验(calibration & validation)工作,其定标表从 1999 年 7 月起,已经至少进行过 5 次更新。目前,在一类水体上,其离水辐亮度(L_w)的误差已基本控制在 $\pm 5\%$ 之内,其数据是目前国际上公认的质量最好的水色数据^[8]。因此,在及时更新 SeaWiFS 数据处理软件(即 SeaDAS, NASA 研制的水色数据处理软件)定标表的前提下,以一类水体上 SeaWiFS 数据结果作为参考值进行其他遥感器的系统辐射校正,是一种很有效的方法。

2 交叉定标原理

目前,有两种主要的交叉定标方法:

(1)基于遥感器入瞳总辐亮度的交叉定标法:假设被标遥感器过境时的水体参数、气溶胶类型及光学厚度与参考遥感器过境时相同,则由参考遥感器数据得到该水体的归一化离水辐亮度(nL_w)和

溶胶参数(ϵ),可推得被标遥感器过境时太阳与遥感器观测几何参数下的离水辐亮度(L_w)及气溶胶散射(L_a),进而计算被标遥感器过境时的总辐亮度,并与被标遥感器观测得到的总辐亮度作比较,便可得到定标系数,从而实现对被标遥感器的在轨辐射校正。

(2)基于离水辐亮度的系统交叉定标法:分别由被标遥感器及参考遥感器数据反演得到的 nL_w 之间的差异,包括被标遥感器的定标误差和大气校正算法误差,可一并看作是遥感器定标系数的误差,因此在进行被标遥感器地球物理数据(二级产品)反演之前,给其总辐亮度(一级产品)乘上一个系统定标系数(system calibration coefficient),使得由被标遥感器数据得到的 nL_w 与参考遥感器数据的结果一致。

本文采用第二种方法。

水色遥感产品的基本量离水辐亮度 L_w , 通过式(1)得到^[9]:

$$L_w = (L_t - L_r - L_a - TL_g - tL_f) / t \quad (1)$$

其中, L_w 为离水辐亮度; L_t 为遥感器接收到的总辐射量(一级产品数值); L_r 为大气分子散射; L_a 为气溶胶散射; T 为大气直射透过率; L_g 为太阳直射在海面的反射(sun-glint),即“太阳耀斑”; L_f 为海面泡沫或“白帽”(foam or white-cap)辐射; t 为大气漫射透过率。

显然, L_w 的误差包括遥感器的定标误差(即 L_t 误差)以及大气校正误差(L_r , L_a , T , L_g , t , L_f 的计算误差)。NASA EOS 计划的 L_w 精度目标是 5%, 由于水体信息仅占遥感器接收总信息的 10% 左右,因此,要达到 5% 的 L_w 反演精度,遥感器的定标精度要高于 0.5%, 这是目前实验室绝对对辐射校正也难以实现的。所以水色遥感器必须进行基于现场实测值或准确值的系统定标^[10, 11]。

对某一稳定的水体而言,其离水辐亮度 L_w 随光照条件的变化而变化,因而缺乏可比性,所以需借助归一化离水辐亮度(nL_w , 其意义是当太阳在天顶并且无大气时的离水辐亮度):

$$nL_w = \frac{L_w}{t \cos \theta_0} \quad (2)$$

其中, t 为太阳角度的漫射透过率, θ_0 为太阳天顶角。

由 COCTS 和 SeaWiFS 数据反演得到的 nL_w 之间的差异,包括 COCTS 遥感器的辐射校正误差和大气校正算法误差,可一并认为是 COCTS 遥感器系统

的误差, 因此在进行二级产品反演之前, 给其一级总辐射量 (即 L_1) 数据乘上一个校正系数, 即“系统定标系数”, 从而得到与 SeaWiFS 一致的 nL_w 。

系统交叉定标的前提是:

(1) COCTS 遥感器有稳定的 865nm 波段, 因为其他波段的气溶胶参数都是由此波段外推而得到的。根据 Wang & Gordon^[12] 的结果, 只要 865nm 波段的绝对误差在 10% 以内, 这种外推的结果就是可靠的;

(2) 可靠的 SeaWiFS 反演数据结果, 这里主要是 nL_w 以及气溶胶散射参数 (ϵ_{78})。

利用 SeaWiFS 数据反演得到的 nL_w^0 和 ϵ_{78} , 以及 HY-1 卫星过境时的系统和环境变量, 如太阳及遥感器天顶角、方位角、大气透过率等, 推算 HY-1 过境时相应水体的离水辐亮度 L_w^0 。

$$L_w^0 = nL_w^0 t_b \cos\theta_0 \quad (3)$$

其中, θ_0 为 HY-1 卫星过境时的太阳天顶角。

可得总辐射的修正量为:

$$\Delta L_1 = t(L_w^0 - L_w) \quad (4)$$

这里, L_w 为 COCTS 定标前的离水辐亮度。

定义系统交叉定标系数:

$$C(\lambda) = 1 + \Delta L_1(\lambda) / L_1(\lambda) \quad (5)$$

在进行 COCTS 二级产品数据 (如 nL_w 、叶绿素浓度等) 反演之前, 将 COCTS 的 L_1 修正为:

$$L_1' = C(\lambda)L_1 \quad (6)$$

便可得到与 SeaWiFS 数据反演结果一致的 nL_w 。

3 数据处理过程与结果分析

3.1 数据处理过程

(1) 找出在一类水体 (如台湾以东及南海海域) 上是晴空的 COCTS 数据以及与其相对应的 SeaWiFS 数据。必须保证二者在同一天、同一区域都为晴空, 这样才能最大可能地排除大气条件的差异所带来的误差。另外, 定标区域不能处在数据扫描行的边缘, 而且还要避开太阳耀斑的影响。

(2) 对所选定的 SeaWiFS 数据采用 SeaDAS 软件进行分析, 选择图像上均匀的不同区域, 提取其二级产品数据 $nL_w(1-6)$ 、 $L_a(6-8)$ 以及 ϵ_{78} , 用 $[nL_w(1-6), L_a(6-8), \epsilon_{78}]^{COCTS}$ 表示。

(3) 对于相应的 COCTS 数据, 先调整其第 7 通道的定标系数值, 使其 ϵ_{78} 值与由 SeaWiFS 数据反演得到的 ϵ_{78} 值相近, 即相当于运用 SeaWiFS 下的气溶

胶模式来进行 COCTS 的大气校正。

(4) 继而调整其他几个可见近红外波段的定标系数, 并重新反演其二级产品, 提取相应的 $nL_w(1-6)$ 、 $L_a(6-8)$ 以及 ϵ_{78} , 用 $[nL_w(1-6), L_a(6-8), \epsilon_{78}]^{COCTS}$ 表示。

(5) 重复上述步骤 (3)、(4), 直到得到的 $nL_w(i)^{COCTS}$ 与 $nL_w(i)^{SWF}$ 相近。

(6) 对所选的各个区域上得出的新的定标系数进行平均, 最后得出需要的定标系数。

3.2 结果分析

根据上述原理和数据处理过程, 从 2002 年 8 月起, 进行了多次 COCTS 遥感器的系统交叉定标。选取符合条件要求的区域作为定标区 (一般取 11×11 像素), 见表 2。并且取多个区域上 $nL_w(i)$ 、 $L_a(i)$ 以及 ϵ_{78} 的平均值来进行, 从而排除偶然误差所造成的影响。

表 2 定标区域

Table 2 The areas for calibration

| 时间 (2003) | 区号 | 中心纬度 (N) / (°) | 中心经度 (E) / (°) |
|-----------|----|----------------|----------------|
| 3 月 1 日 | 1 | 16.66 | 116.08 |
| | 2 | 16.46 | 115.86 |
| | 3 | 15.83 | 115.81 |
| | 4 | 15.88 | 115.38 |
| 4 月 15 日 | 5 | 18.13 | 118.97 |
| | 6 | 17.42 | 119.16 |
| | 7 | 16.63 | 117.57 |

表 3 为利用上述 1-4 定标区 (即 2003-03-01) 的数据得出的定标系数修正值。其中第 1-4 行分别代表由上述四个定标区域确定的定标系数, Ave 行表示上述四个定标区上的平均值。

表 4 所示数据为在上述定标区 1-4 上, COCTS 反演的主要二级产品定标前后的改进情况, 以及相应的 SeaWiFS 各要素值的反演结果。这些二级产品包括: chl_{oc4} (叶绿素浓度)、 ϵ_{78} 以及 $nL_w(1-6)$ 、 $L_a(6-8)$, 每个序号对应的 3 组值分别为: SeaWiFS 值、定标后 COCTS 值, 定标前 (即初始) 的 COCTS 值 (分别用 SeaWiFS、COCTS_AftCal、COCTS_PreCal 表示)。各要素值的单位说明如下:

(1) $nL_w(i)$ 、 $L_a(i)$: $mW / (cm^2 \mu m sr)$

(2) chl_{oc4} : mg / m^3

(3) ϵ_{78} : 无

表 3 COCTS 与 SeaWiFS 交叉定标得到的定标系数值 (2003-03-01)

Table 3 The coefficients of cross-calibration for COCTS using SeaWiFS (2003-03-01)

| 区号 | B1: 412 | B2: 443 | B3: 490 | B4: 520 | B5: 565 | B6: 670 | B7: 750 | B8: 865 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 1.613 | 1.292 | 1.139 | 0.933 | 1.042 | 1.027 | 1.091 | 1.000 |
| 2 | 1.616 | 1.300 | 1.043 | 0.941 | 1.050 | 1.044 | 1.099 | 1.000 |
| 3 | 1.634 | 1.319 | 1.163 | 0.958 | 1.069 | 1.056 | 1.115 | 1.000 |
| 4 | 1.649 | 1.316 | 1.153 | 0.95 | 1.056 | 1.054 | 1.088 | 1.000 |
| Ave | 1.628 | 1.307 | 1.125 | 0.946 | 1.054 | 1.045 | 1.098 | 1.000 |

表 4 交叉定标前后的水色产品反演值 (2003-03-01)

Table 4 Ocean color products derived from COCTS before and after cross-calibration (2003-03-01)

| 区号 | | chl _{oc4} | eps ₇₈ | nL _{w_412} | nL _{w_443} | nL _{w_490} | nL _{w_510} | nL _{w_555} | nL _{w_670} | la ₆₇₀ | la ₇₆₅ | la ₈₆₅ |
|----|--------------|--------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | SeaWiFS | 0.084 | 1.100 | 1.615 | 1.423 | 1.04 | 0.575 | 0.246 | 0.002 | 0.606 | 0.441 | 0.323 |
| | COCTS_AftCal | 0.128 | 1.100 | 1.613 | 1.421 | 1.040 | 0.580 | 0.246 | 0.003 | 0.573 | 0.497 | 0.316 |
| | COCTS_PreCal | 0.130 | 1.019 | -0.611 | 0.312 | 1.048 | 1.020 | 0.301 | 0.044 | 0.502 | 0.426 | 0.315 |
| 2 | SeaWiFS | 0.086 | 1.100 | 1.572 | 1.428 | 1.051 | 0.591 | 0.250 | 0.005 | 0.648 | 0.472 | 0.345 |
| | COCTS_AftCal | 0.116 | 1.100 | 1.574 | 1.428 | 1.050 | 0.596 | 0.252 | 0.005 | 0.543 | 0.469 | 0.298 |
| | COCTS_PreCal | 0.119 | 1.014 | -0.654 | 0.278 | 1.041 | 0.994 | 0.287 | 0.029 | 0.474 | 0.399 | 0.300 |
| 3 | SeaWiFS | 0.085 | 1.100 | 1.685 | 1.514 | 1.089 | 0.610 | 0.262 | 0.011 | 0.519 | 0.378 | 0.277 |
| | COCTS_AftCal | 0.111 | 1.098 | 1.683 | 1.5172 | 1.087 | 0.612 | 0.261 | 0.011 | 0.605 | 0.524 | 0.334 |
| | COCTS_PreCal | 0.079 | 1.003 | -0.621 | 0.293 | 1.027 | 0.719 | 0.241 | 0.039 | 0.516 | 0.434 | 0.333 |
| 4 | SeaWiFS | 0.093 | 1.090 | 1.742 | 1.550 | 1.116 | 0.640 | 0.284 | 0.020 | 0.522 | 0.385 | 0.284 |
| | COCTS_AftCal | 0.124 | 1.090 | 1.750 | 1.546 | 1.115 | 0.639 | 0.284 | 0.020 | 0.516 | 0.445 | 0.290 |
| | COCTS_PreCal | 0.086 | 1.006 | -0.744 | 0.245 | 1.025 | 0.718 | 0.248 | 0.031 | 0.451 | 0.379 | 0.289 |

注:表中 nL_{w_412} 出现负值,是因为遥感器的初始定标有误差且传感器衰减,导致由数码值经原定标系数转换得到的总辐亮度小于理论上大气分子散射与气溶胶散射之和。

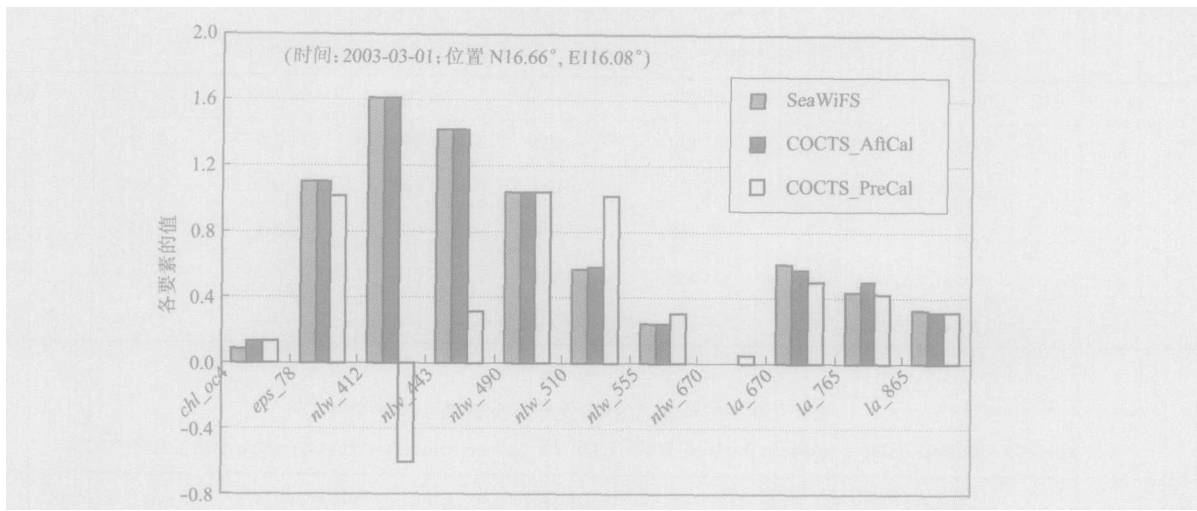
为更直观地表示表 4 所示 COCTS 定标前后反演的各要素值的改进情况,选取其中两个定标区上的 COCTS 定标前后各要素的反演结果,与相应的 SeaWiFS 结果进行比较,如图 1(a),图 1(b)所示。从图 1 中可看出,交叉定标后 COCTS 的反演结果(用 COCTS_AftCal 表示)与交叉定标前的结果(用 COCTS_PreCal 表示)相比,有了很大的改进,定标后的结果基本上与 SeaWiFS 结果相一致。

由图 1 及表 4 可看出,调整定标系数之后反演出的 $[nL_w(i), L_a(i), chl_{oc4}, \epsilon_{78}]^{COCTS}$ 与 $[nL_w(i), L_a(i), chl_{oc4}, \epsilon_{78}]^{SW}$ 近似一致,特别是 $[nL_w(i), \epsilon_{78}, chl_{oc4}]^{COCTS}$ 与视为标准的 $[nL_w(i), \epsilon_{78}, chl_{oc4}]^{SW}$ 基本一致,而交叉定标前的结果与 SeaWiFS 结果相差很多,尤其是可见光波段上的 nL_w 值。而衡量水色质量的关键产品之一 chl_{oc4},定标后的值范围要更接近 SeaWiFS 值。

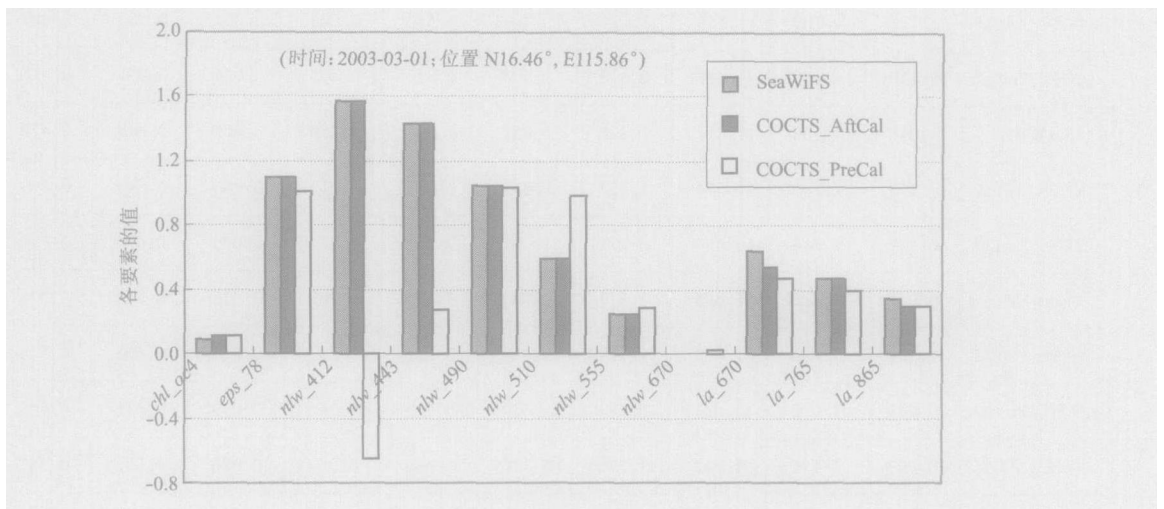
与表 3 相类似,表 5 为利用前述定标区 5-7 (即 2003-04-15)的数据得到的定标系数修正值。同样的,表 6 所示数据为定标区 5-7 上 COCTS 反演的主要二级产品定标前后的改进情况,及相应的 SeaWiFS 各要素值,其说明同表 4。

与图 1 类似,图 2 为选取了定标区 5-7 中其中一个定标区域,其 COCTS 定标前后反演的各要素值与 SeaWiFS 结果的比较。

与图 1 类似,图 2 为选取了定标区 5-7 中其中一个定标区域,其 COCTS 定标前后反演的各要素值与 SeaWiFS 结果的比较。



(a)



(b)

图 1 COCTS定标前后与 SeaWiFS相应各要素值的比较

Fig 1 The comparison for the ocean color elements derived from SeaWiFS and COCTS before and after cross-calibration

表 5 COCTS与 SeaWiFS交叉定标得到的定标系数值 (2003-04-15)

Table 5 The coefficients of cross-calibration for COCTS using SeaWiFS (2003-04-15)

| 区号 | B1: 412 | B2: 443 | B3: 490 | B4: 520 | B5: 565 | B6: 670 | B7: 750 | B8: 865 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 5 | 1.850 | 1.339 | 1.177 | 1.029 | 1.104 | 1.133 | 1.285 | 1.000 |
| 6 | 1.839 | 1.323 | 1.165 | 1.045 | 1.100 | 1.104 | 1.276 | 1.000 |
| 7 | 1.839 | 1.324 | 1.143 | 1.011 | 1.072 | 1.078 | 1.255 | 1.000 |
| Ave | 1.843 | 1.329 | 1.162 | 1.028 | 1.092 | 1.105 | 1.272 | 1.000 |

由图 2 及表 6 可以得出与前述图 1 及表 4 相同的分析结论, 即调整定标系数之后反演的各要素值与初始的反演值相比, 有了很大的改进。以上分析

说明, 交叉定标的结果是比较理想的, 并且只有对 COCTS 数据进行系统校正后, 其反演的水色数据才能应用。

表 6 交叉定标前后的水色产品反演值 (2003-04-15)

Table 6 Ocean color products derived from COCTS before and after cross-calibration (2003-04-15)

| 序号 | | chl _a | eps ₇₈ | nlw ₄₁₂ | nlw ₄₄₃ | nlw ₄₉₀ | nlw ₅₁₀ | nlw ₅₅₅ | nlw ₆₇₀ | la ₆₇₀ | la ₇₆₅ | la ₈₆₅ |
|----|--------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 5 | SeaWiFS | 0.102 | 1.160 | 1.429 | 1.268 | 0.965 | 0.548 | 0.246 | 0.020 | 0.401 | 0.275 | 0.190 |
| | COCTS_AftCal | 0.102 | 1.160 | 1.436 | 1.277 | 0.969 | 0.556 | 0.252 | 0.022 | 0.629 | 0.554 | 0.317 |
| | COCTS_PreCal | 0.177 | 0.903 | -1.740 | 0.185 | 1.160 | 0.649 | 0.380 | 0.082 | 0.411 | 0.334 | 0.316 |
| 6 | SeaWiFS | 0.117 | 1.140 | 1.459 | 1.311 | 1.012 | 0.592 | 0.280 | 0.026 | 0.740 | 0.515 | 0.362 |
| | COCTS_AftCal | 0.101 | 1.140 | 1.460 | 1.310 | 1.013 | 0.596 | 0.280 | 0.025 | 0.857 | 0.750 | 0.444 |
| | COCTS_PreCal | 0.198 | 0.931 | -1.636 | 0.368 | 1.332 | 0.662 | 0.460 | 0.134 | 0.605 | 0.498 | 0.444 |
| 7 | SeaWiFS | 0.084 | 1.150 | 1.705 | 1.447 | 1.026 | 0.557 | 0.249 | 0.017 | 0.771 | 0.526 | 0.362 |
| | COCTS_AftCal | 0.105 | 1.150 | 1.708 | 1.443 | 1.034 | 0.559 | 0.249 | 0.018 | 0.984 | 0.863 | 0.504 |
| | COCTS_PreCal | 0.210 | 0.952 | -1.885 | 0.336 | 1.504 | 0.796 | 0.532 | 0.166 | 0.716 | 0.592 | 0.504 |

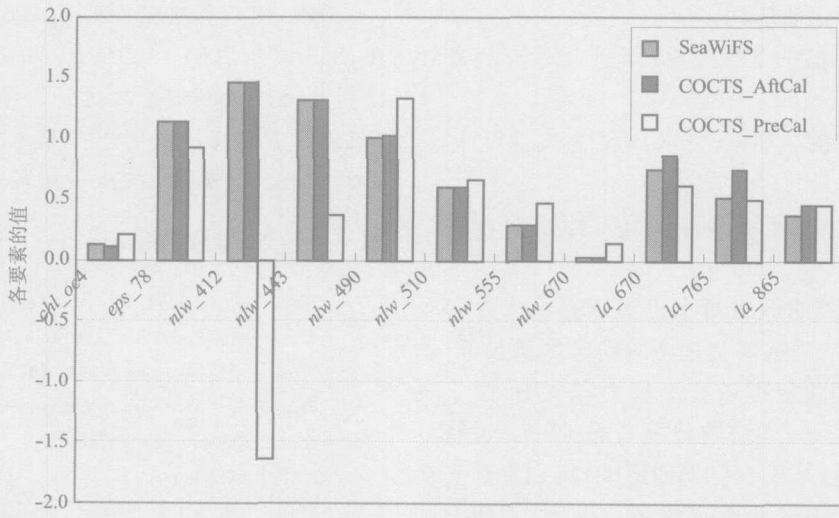


图 2 COCTS 定标前后与 SeaWiFS 相应各要素值的比较 (时间: 2003-04-15; 位置: N17.42°, E119.16°)

Fig 2 The comparison for the ocean color elements derived from SeaWiFS and COCTS before and after cross-calibration

根据前述原理与作法,从 2002 年 8 月开始,对 COCTS 遥感器进行了一系列交叉定标工作,得出的定标系数随时间的变化如图 3。

从图 3 可看出,得出的定标系数随着时间不断变化,有逐渐增大的趋势,并且各波段均有不同程度的变化。总体上,可见光前几个波段及近红外即 750nm 波段增加的幅度比较大。特别是对于 412nm 波段,增加的幅度显著,到 2003 年 4 月止,该波段的定标系数与初始系数相比,增大了将近 51.3%,说明该波段的衰减非常厉害。与同期开展的“利用敦煌辐射校正场进行 COCTS 系统定标与跟踪”的结

果^[3]一致。

4 结 论

本文的研究结果表明,在一类水体区域上,利用 SeaWiFS 数据对 COCTS 进行系统的交叉定标的方法是切实可行的,并可得到很好的结果。并且,比较得到的几个月的定标系数,发现这些系数有逐渐增大的趋势,这表明 COCTS 遥感器的多个通道有不同程度的漂移,同时也说明了必须连续地对 COCTS 遥感器进行定标的必要性,并且 COCTS 数据必须经过

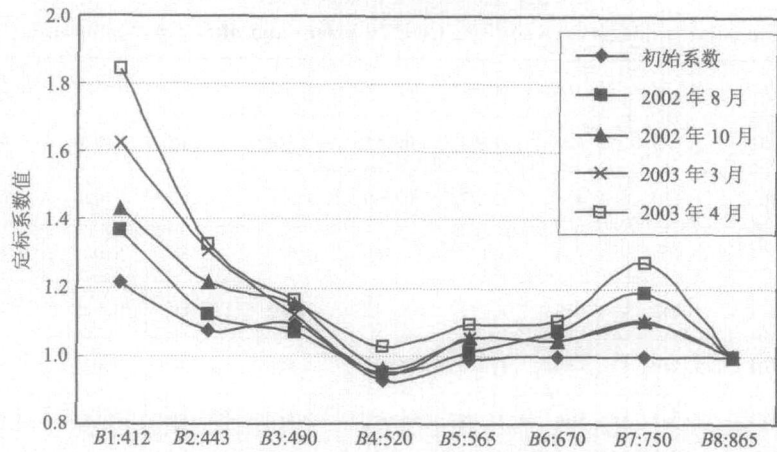


图 3 COCTS交叉定标系数随时间的变化

Fig 3 The variation of COCTS cross-calibration coefficients with time

很好的定标后才能定量应用。

有关水色遥感器的交叉定标,下列几项应当遵循或是注意:

(1)选用清洁的大洋一类水体作为交叉定标水体。

(2)在各个区域,连续多日进行定标以便排除结果的偶然性。

(3)由于气溶胶的散射对水色遥感有很大的影响,所以选取的两个遥感器其过境时间应尽量接近,同时应对相应的气象数据进行分析。本文中,由于COCTS过境时间较早,气溶胶状况与SeaWiFS过境时相差较大,所以对结果有一定的影响,特别是红光670nm和近红外750nm、865nm波段。因此,中国今后的水色遥感器若过境的时间能与国际上运行良好、精度更高的遥感器(如MODIS)接近,可望得到更好的结果。

(4)在不同遥感器波段响应差异的修正方面,本文仅是对交叉定标最简单的情况进行了初步尝试。此方法还不能得到更准确的卫星总辐亮度数据产品。基于总辐亮度的交叉定标结果可参见文献[13]。

(5)需要对不同遥感器的波段差异进行修正。本文根据各遥感器各个波段的波段响应函数进行大气参数的计算。但对归一化离水辐亮度 nL_w 未进行此项修正,因为:根据现场实测的结果来看,对于一类水体 nL_w 光谱,SeaWiFS与COCTS波段相差很小;而离水辐亮度的微小误差在整个过程中仅是一个小量。

致 谢 本研究得到了HY-1卫星地面应用系统、863课题2001AA636010/7010/7030的支持。香港科技大学为我们开展这一工作提供了SeaWiFS数据;国家卫星海洋应用中心技术一部和地面站协助进行了数据预处理,在此一并表示感谢。

参 考 文 献 (References)

- [1] Wang M, Gordon H R. A Simple Moderate Accurate Atmospheric Correction Algorithm for SeaWiFS [J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 50: 231-239.
- [2] Tang J W. The System Calibration and Validation of HY-1 COCTS Ocean Color Sensor [A]. SPIE [C], 2002, 4892, AE108 Addendum.
- [3] Zhao W, Tang J W. System Calibration and Tracking for COCTS Using Radiometric Correction Fields in DunHuang [A]. The 14th National Symposium on Remote Sensing Technology [C], QingDao, 2003 [赵威,唐军武.利用敦煌辐射校正场进行COCTS系统定标与跟踪[A].第14届全国遥感技术学术交流会[C],青岛,2003]
- [4] WGCV Newsletter Issue10, http://www.wgcveos.org/docs/newsletters/wgcv_newsletter_issue10.pdf [R], 2003.
- [5] Wang M, Franz B A. Comparing the Ocean Color Measurements between MOS and SeaWiFS: A Vicarious Intercalibration Approach for MOS [J]. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 2000, 38(1): 184-197.
- [6] Pan D L, He X Q. Development of Ocean Color Remote Sensing in China in 2002 [R]. 8th IOCCG Meeting, Florence, Italy, 2003.
- [7] Hu C M, Muller-karger F E, Carder K L, et al. Atmospheric Correction and Cross-calibration of LANDSAT-7/ETM+ Imagery over Aquatic Environments: A Multiplatform Approach Using SeaWiFS/MODIS [J]. Remote Sensing of Environment, 2001.

- 78: 99–107.
- [8] Hook S B, McClain C R. The Calibration and Validation of SeaWiFS Data [J]. *Progress in Oceanography*, 2000, 45: 427–465.
- [9] Gordon H R, Wang M. [http://modis.gsfc.nasa.gov/MODIS_Nominalized_Water-leaving_Radiance_Algorithm_Theoretical_Basis_Document\[R\]](http://modis.gsfc.nasa.gov/MODIS_Nominalized_Water-leaving_Radiance_Algorithm_Theoretical_Basis_Document[R].). 1996.
- [10] Evans R H, Gordon H R. CZCS System Calibration: A Retrospective Examination [J]. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 1994, 99(C4): 7293–7307.
- [11] Gordon H R. In-orbit Calibration Strategy of Ocean Color Sensors [J]. *Remote Sensing of Environment* 1998, 63: 265–278.
- [12] Wang M, Gordon H R. Calibration of Ocean Color Scanners: How Much Error is Acceptable in the Near Infrared? [J]. *Remote Sensing of Environment* 2002, 82: 497–504.
- [13] Niu S L. The Cross-calibration between SeaWiFS and HY-1 COCTS [D]. Dissertation for Master's Degree. 2004. [牛生丽. HY-1 COCTS 与 SeaWiFS 的交叉定标 [D]. 硕士学位论文, 国家海洋环境预报中心, 2004.]

The System Cross-Calibration Between SeaWiFS and HY-1 COCTS

JIANG Xing-wei NIU Sheng-li TANG Jun-wu SHAO Yan

(National Satellite Ocean Application Service Beijing 100081, China)

Abstract The HY-1 satellite is the first satellite for remote sensing of ocean environment in China. Because there is no onboard calibration facility and the coefficient of Chinese Ocean Color & Temperature Scanner (COCTS) has been drifting, calibrations and corrections must be carried out continually. One of the calibration methods is described in this paper. The Sea-viewing Wide Field-of-view Scanner (SeaWiFS) supplies highly accurate ocean color satellite data acknowledged internationally. Its data for case I water, such as water-leaving radiance and chlorophyll concentration, etc., is regarded as the standard by international fields on remote sensing of ocean color. Therefore, we can adopt the calibrated COCTS continually by the normalized water-leaving radiance and aerosol parameters derived from SeaWiFS. This method can also be used to monitor the long-term change of calibration coefficient of COCTS. Our results indicate that the accuracy of the data retrieved from COCTS can be greatly improved after the cross-calibration.

Key words remote sensing of ocean color; calibration of sensor; system cross-calibration; COCTS; SeaWiFS