

# 基于清洁水体像元法的环境-1A 卫星 CCD 水体图像大气校正

周立国<sup>1</sup>, 马蔚纯<sup>1\*</sup>, 顾万花<sup>1</sup>, 怀红燕<sup>2</sup>

1. 复旦大学环境科学与工程系, 上海 200433
2. 上海市环境监测中心, 上海 200030

**摘要** 环境卫星(HJ-1A/B)的 CCD 图像数据在内陆水环境遥感监测中具有很大的潜力,但它的大气校正的精度是影响其定量化应用的重要因素。文章以上海淀山湖地区 HJ-1A 卫星搭载的 CCD1 多光谱数据为应用实例,首先实现了瑞利散射的精确计算,在气溶胶散射的计算中,由于内陆湖泊 II 类水体的光学特性,致使环境星 CCD 数据的近红外波段的离水辐射不为零,因此文章借助同步 MODIS 数据的短波红外波段获取了大气校正因子,并利用清洁水体像元在绿光波段气溶胶散射较稳定的特点,分离出离水辐射量和气溶胶的贡献,实现了 CCD 数据各波段的大气校正,反演出离水辐射亮度,并通过水气界面转换,获得了水体的遥感反射率。通过同步的实测数据对比表明,该文的的大气校正算法可以有效地对环境小卫星多光谱数据进行大气校正。

**关键词** 环境星; 内陆水体; 大气校正; 清洁像元

中图分类号: X87 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)08-2238-05

## 引言

2008年9月6日成功发射的环境与灾害监测预报小卫星星座 A 和 B(HJ-1A/B)星是我国“环境与灾害监测预报小卫星星座”三颗卫星中的两颗光学卫星。都搭载了多光谱 CCD 像机,多光谱四个波段,分别为蓝(430~520 nm)、绿(520~600 nm)、红(630~690 nm)、近红外(760~900 nm)波段。现有研究表明,环境星的多光谱波段设置适于进行内陆水环境监测<sup>[1]</sup>。再加上其较高的空间分辨率(30 m)和时间分辨率(2 d)以及较宽的刈幅(360 km),使其在内陆湖泊尤其是中小型内陆湖泊的水环境监测中具有很大潜力。

在水色遥感中,传感器收到的总辐射中大气信号约占 90%,而能够反映水体生物光学特性的水体信号仅占 5%~15%<sup>[2-4]</sup>,因此,要利用遥感器接收到的辐射信号定量的反演水质参数,第一步就是从这些辐射信号中提取离水辐射亮度,也就是进行精确的大气校正<sup>[5]</sup>。目前,关于大气校正的方法很多,如基于辐射传输模型的 6S 模型、LOWTRAN 模型、MORTRAN 模型和 ATCOR 模型等,这些模型虽然精度

较高,但不是专门针对于水色遥感的大气校正方法,在保证一定反射率精度的前提下,计算量大,而且需要的参数多,而大气校正的困难就在于难于确定这些参数,因此,这些方法只适用于少量的试验区,无法用于大量的 CCD 水色数据的大气校正<sup>[6]</sup>。目前应用最广泛的水色遥感大气校正算法是以暗像元为核心的 Gordon 算法<sup>[7]</sup>,其在大洋 I 类水体的大气校正中获得了较高的精度。对于 II 类水体,Smith 和 Wilson 则在 Gordon 算法的基础上应用迭代框架进行了相应改进<sup>[8]</sup>,这类算法主要是基于两个特定波段(近红外波段)中清洁水体的离水辐射为零这一前提,但目前的许多传感器尚没有类似特定波段,或者例如环境星的唯一近红外波段由于高浓度的悬浮物和 CDOM 使水体在近红外波段的散射能力增强,导致近红外波段的离水辐射亮度不能认为是零。因此本文借助于同步的 MODIS 数据的短波红外波段离水辐射为零的特点,结合清洁水体像元在绿光波段气溶胶散射较稳定的特性获取大气校正参数,使之能够很好地应用于内陆水体遥感数据的大气校正。为利用环境星 CCD 数据开展水质遥感监测奠定基础。

收稿日期: 2010-11-05, 修订日期: 2011-04-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(41001234), 教育部博士点新教师基金项目(2010007120013)和中国科学院遥感应用研究所开放基金项目(OFSLRSS201009)资助

作者简介: 周立国, 1980 年生, 复旦大学环境科学与工程系讲师 e-mail: zhouli-guo@tom.com

\* 通讯联系人 e-mail: wcma@fudan.edu.cn

# 1 研究方法

## 1.1 大气校正原理

在水色遥感中，传感器所接收到的总辐射能量  $L_i(\lambda)$  由以下几个部分组成：一部分是由大气外层的太阳光通过大气的瑞利散射能量  $L_r(\lambda)$  和气溶胶散射量  $L_a(\lambda)$  以及由水底反射产生的光路经水面折射后传入传感器的能量  $L_b(\lambda)$  组成；另外一部分是到达水面的直射光和天空光经水面镜面反射进入传感器的能量  $L_g(\lambda)$ ；最后一部分是太阳光穿过水面，受到水色因子如叶绿素、悬浮泥沙和黄色物质等颗粒的散射，经水面折射离开水面穿过大气到达卫星水色扫描仪，这部分携带水色信息的离水辐射称为  $L_w(\lambda)$ 。到达卫星水色扫描仪的总辐射率  $L_i(\lambda)$  可由下式表达<sup>[9]</sup>

$$L_i(\lambda) = L_r(\lambda) + L_a(\lambda) + L_b(\lambda) + t^\dagger(\lambda)L_g(\lambda) + t^\dagger(\lambda)L_w(\lambda) \quad (1)$$

对 HJ-1A 卫星传感器而言，只要观测时的太阳天顶角不是很小，就可以避开镜面反射，因而来自水面的镜面反射  $L_g(\lambda)$  可以忽略，可见光通常不能到达水底， $L_b(\lambda)$  项也可以忽略，在不考虑大气的多次散射辐照作用和邻近像元的漫反射情况下，式(1)可改写为

$$t^\dagger(\lambda)L_w(\lambda) = L_i(\lambda) - L_r(\lambda) - L_a(\lambda) \quad (2)$$

式(2)是根据遥感数据估算离水辐射  $L_w$  的基本公式。其中，传感器接收到的辐射率  $L_i$  可以根据图像 DN 值通过辐射定标获得，作为已知；瑞利散射  $L_r$  可以精确计算；气溶胶散射  $L_a$  可以通过基于图像本身的方法估算。

## 1.2 大气瑞利散射计算

在水面离水辐射光进入大气后，由大气中的分子等粒径远小于光波波长的粒子引起的散射称为瑞利散射。影响瑞利散射的因素很多，如大气中的吸收气体和瑞利光学厚度，大气圈外入射的太阳光通量及光波波长，光波的散射相位角，太阳天顶角和高度角，卫星天顶角和高度角等等。水色遥感中，某一波段的瑞利散射  $L_r$  可按下式计算<sup>[10, 11]</sup>

$$L_r(\lambda) = [F_0(\lambda)T_{O_2}(\lambda)\tau_R(\lambda)]\{P_R(\gamma^\dagger) + [\rho(\mu) + \rho(\mu_0)]P_R(\gamma^\dagger)\}/4\pi u \quad (3)$$

式中， $F_0$  是波长  $\lambda$  处大气上界太阳辐照度，随日地距离而变化，通过  $F_0(\lambda) = E_{O_S}/d^2$  计算，其中， $d$  为单位日地距离， $E_{O_S}$  为标准太阳辐照度。 $\lambda$  和  $E_{O_S}$  可以从资源卫星应用中心的用户文档中查到。

$T_{O_2}$  是臭氧上行和下行总透射率，根据下式计算

$$T_{O_2}(\lambda) = \exp[-\tau_{O_2}(\lambda)(1/\mu + 1/\mu_0)] \quad (4)$$

其中， $\mu_0$  和  $\mu$  分别为太阳天顶角和卫星天顶角的余弦， $\tau_{O_2}$  为臭氧的光学厚度，是波长和时相的函数， $\tau_{O_2}(\lambda) = a_{O_\lambda} \times O_3$ 。 $a_{O_\lambda}$  是臭氧的吸收系数，可通过查表获得<sup>[12]</sup>； $O_3$  是臭氧浓度，可以在 NASA 网站上提供的每日 Dobson 浓度换算得到。

$\tau_R$  是瑞利光学厚度，在全球范围内都是比较稳定的，它主要依赖于离地表面的高度，某一波段的瑞利光学厚度可以写成波长和海拔的函数

$$\tau_r(\lambda, h_0) = Hr(h_0)\{0.008569\lambda^{-4}(1 +$$

$$0.0113\lambda^{-2} + 0.00013\lambda^{-4})\} \quad (5)$$

$P_R(\gamma^\dagger)$  和  $P_R(\gamma^\dagger)$  分别为入射光和反射光的瑞利相位函数，计算方法如下

$$P_R(\gamma^\dagger) = \frac{3}{4}(1 + \cos^2 \gamma^\dagger) \quad (6)$$

$$P_R(\gamma^\dagger) = \frac{3}{4}[1 + (2\mu\mu_0 + \cos\gamma^\dagger)^2] \quad (7)$$

式中， $\gamma^\dagger$  和  $\gamma^\dagger$  分别为入射光和反射光散射相位角，可用式(8)计算

$$\cos\gamma^{\dagger\dagger} = \pm \cos\theta_0 \cos\theta - \sin\theta_0 \sin\theta \cos(\varphi - \varphi_0) \quad (8)$$

式中， $\theta_0$  和  $\varphi_0$  分别为太阳的天顶角和方位角， $\theta$  和  $\varphi$  分别为卫星的天顶角和方位角，可从环境星多光谱数据的头文件中获取。对反射光的瑞利散射强度还受菲涅耳(Fresnel)反射率  $\rho(x)$  的影响。

$$\rho(x) = 1 - 2xym \left[ \frac{1}{(x + my)^2} + \frac{1}{(mx + y)^2} \right] \quad (9)$$

式中， $x = \mu_0$ ， $\mu$ ， $y = \frac{1}{m} \sqrt{(m^2 + x^2 - 1)}$ ， $m$  为水的折射系数。

## 1.3 大气气溶胶散射的计算

气溶胶散射的计算一直是大气校正的难点问题，气溶胶散射辐亮度计算一般是假定在清水区，水体对近红外波段为完全的吸光体，对于环境星 CCD 数据来讲，即假设  $L_w(\lambda_i) \sim 0$ ，由于瑞利散射已通过前面的计算得到，则气溶胶散射可由式(2)变形算出

$$L_a(\lambda_i) = L_i(\lambda_i) - L_r(\lambda_i) \quad (10)$$

再根据 Wang 和 Gordon 的研究结果，包含多次散射的  $L_a(\lambda)$  之间有如下关系

$$\frac{L_a(\lambda_i)/F_0(\lambda_i)}{L_a(\lambda_j)/F_0(\lambda_j)} = \epsilon(\lambda_i, \lambda_j) = \exp[c(\lambda_j - \lambda_i)] \quad (11)$$

式中： $\epsilon(\lambda_i, \lambda_j)$  称为大气纠正因子，常数  $c$  为气溶胶散射指数，并在假设气溶胶的粒径频率分布和折射系数在整个图幅范围中不变的前提下，将这一因子应用于整幅图像，可估算其他波段的气溶胶散射辐亮度，既而可推算出各个波段的离水辐射亮度。

但内陆湖泊悬浮物和 CDOM 含量较高，部分湖泊在某些月份全湖均为二类水体，导致 Gordon 大气校正算法中用到的近红外波段 750 和 870 nm 处的离水辐射率明显大于零，即环境星 CCD 数据的第四波段的离水辐射不能认为是零，因而上述气溶胶散射算法需要改进。水体在短波红外波段的吸收系数是近红外波段的  $10^4$  倍以上，太阳辐射在该波段仅能穿透到水下几个微米，这使得在大于 1 100 nm 的短波红外波段可以认为离水辐射率是零<sup>[13]</sup>。又由于同一天的 MODIS Terra 卫星的过境时间与环境星非常接近，因而可以假设二者在同一点成像时的大气状况是一致的，即可借助 MODIS 数据的短波红外波段来计算气溶胶散射中用到的大气校正因子  $\epsilon(\lambda_i, \lambda_j)$ 。本文假设 MODIS 的第 5(1 230~1 250 nm) 和第 6(1 628~1 652 nm) 波段的离水辐射率为零。利用 MODIS 第 5 和第 6 波段的总辐射率和瑞利散射应用式(10)和(11)计算，便可计算得到大气校正因子中的参数  $c$ 。

获得大气校正因子以后，在气溶胶散射的外推过程中，

直接由 MODIS 的短波红外推算到环境星的可见光波段会产生较大误差。而据陈楚群等的研究, 清洁水体在绿光波段的离水辐射  $L'_w(560)$  相对稳定<sup>[9, 14]</sup>。本文结合实测数据计算清洁水体区域的绿光波段气溶胶散射  $L'_a(560)$  并推算蓝、红、近红外波段的气溶胶散射,  $L'_a(560)$  由式(12)来计算

$$L'_a(560) = L'_i(560) - L'_r(560) - L'_w(560) \quad (12)$$

根据计算得到的绿波段气溶胶散射  $L'_a(560)$  再结合利用 MODIS 数据计算得到的大气校正因子, 利用式(11)可求出蓝、红各波段的气溶胶散射。

#### 1.4 归一化离水辐射率和遥感反射比的计算

在获得了各波段的气溶胶散射辐射率基础上, 根据式(13)计算四个波段的大气下行透射率。至此, 得到了计算离水辐射率所需的所有参数。根据前面式(2)计算出离水辐射率; 根据式(14)~(16), 计算出归一化的离水辐射率和水体遥感反射率。

$$t^\dagger(\lambda) = \exp\{-[\tau_R(\lambda)/2 + \tau_{oc}(\lambda)]/\cos\theta\} \quad (13)$$

归一化离水辐射率是剥离了大气对于太阳辐射以及水体自身辐射的反映水体光学性质的一个主要参数, 因此要想反演水体中的叶绿素浓度必须将其求解出来, 将各个波段的瑞利散射值和气溶胶散射代入式(14)

$$L_w(\lambda) = [L_t(\lambda) - L_r(\lambda) - L_a(\lambda)]/t^\dagger(\lambda) \quad (14)$$

根据上述计算公式, 可得各波段的离水辐射亮度, 进而计算得到水色要素反演算法常用的归一化离水辐射量度  $L_{wn}(\lambda)$

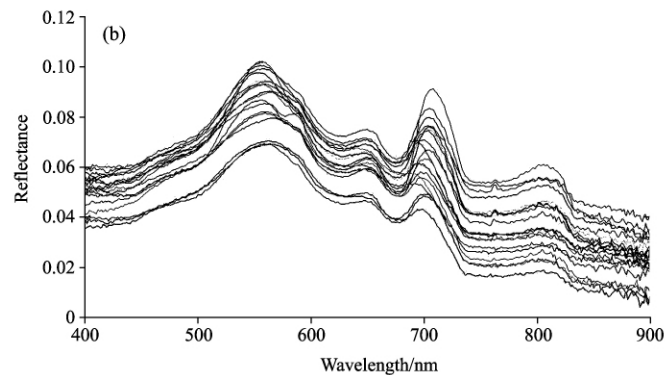
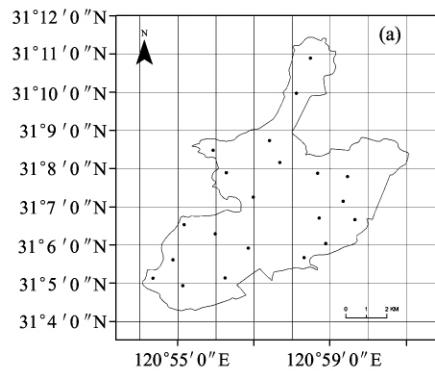


Fig 1 (a) Sampling sites and (b) field spectral of water reflectance

从资源卫星应用中心初始获取的卫星图像数据为灰度值数据, 根据环境星 CCD 数据头文件中的辐射定标参数, 经过辐射定标, 把图像的 DN 数据转换为具有物理意义的辐亮度数据。用地形图校正的 TM 数据对环境星图像数据进行几何校正。基础数据预处理后首先利用式(3)~(9)进行瑞利散射计算, 四个波段的瑞利散射计算结果如表 1。

Table 1 Rayleigh contribution for visible and near-infrared bands of HJ-1A CCD data

波段	中心波长	$\tau_{oc}(\lambda)$	$t^\dagger(\lambda)$	$t^\dagger(\lambda)$	$\tau_r$	$L_r$
1	475	0.003 4	0.898 7	0.906 2	0.177 1	32.289 4
2	560	0.027 5	0.919 1	0.925 2	0.090 3	14.886 2
3	660	0.014 3	0.955 8	0.959 2	0.046 3	6.624 1
4	780	0.006 3	0.979 2	0.981 2	0.023 6	2.395 8

$$L_{wn}(\lambda) = L_w(\lambda)/t^\dagger(\lambda)\cos(\theta_0) \quad (15)$$

和考虑了菲涅尔反射率的遥感反射比<sup>[14, 15]</sup>

$$R_{rs}(\lambda) = \frac{L_{wn}(\lambda)}{F_0/\pi} = \frac{d^2 L_w(\lambda)}{F_0(\lambda)t^\dagger(\lambda)(1-\rho(\theta_0))\cos(\theta_0)/\pi} \quad (16)$$

式中,  $F_0(\lambda)$  为平均日地距离大气层外太阳辐照度, 通过以上步骤, 就可从卫星遥感数据得到可用于水质参数反演的反射率数据。

## 2 实验与结果分析

本文进行实验的研究区为地处苏、浙、沪两省一市交界处的淀山湖, 位于北纬  $31^\circ 04' - 30^\circ 12'$ , 东经  $120^\circ 54' - 121^\circ 01'$  之间。湖泊岸线长 62.3 km, 总面积约为 62 km<sup>2</sup>。研究使用的卫星数据为中国资源卫星应用中心提供的 2010 年 9 月 8 日 HJ-1A 卫星的 CCD1 多光谱数据, 成像时间 11:15, 采样当天淀山湖天气晴朗, 湖上方基本无云, 数据质量良好。在卫星过境时, 进行了同步水体反射光谱测量, 水面光谱采集使用的仪器是 ASD Fieldspec<sup>FR</sup> 光谱仪, 光谱范围为 350~1 075 nm。水面光谱数据采集与处理采用“水面以上法”<sup>[5]</sup>。因图像获取与地面测量同步, 确保了图像反射率光谱与水面实测光谱的可比性, 采样点位置和采样点实测光谱曲线如图 1 所示。

在气溶胶估算过程中, 这里结合实测水质参数数据手工确定清洁像元。选取条件为: ①较高的水体透明度, 悬浮物浓度小于  $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; ②在绿光波段具有较低的离水辐射率; ③基本不受水底的影响。最后确定分布均匀的四个清洁像元, 经过插值后形成绿光波段清洁像元的气溶胶散射辐射率, 并把它作为整幅图像的绿光波段气溶胶散射辐射率, 通过气溶胶外推方法获得其他波段的气溶胶散射, 最终得到各波段的离水辐射亮度。

从表 2 可以看出, 大气校正后各个波段的离水辐射量度和校正前相比, 有了明显的下降, 如蓝光波段(475 nm)大气校正后的辐射率平均值相比于校正前下降了 67.6%, 绿光波段(560 nm)大气校正后的辐射率平均值相比于校正前下降了 53.8%, 红光波段大气校正后的辐射率平均值相比于校正前

下降了 54.6%，近红外波段辐射率平均值相比于大气校正前下降了 58%，说明传感器接收到的光谱信号中，一大部分是由瑞利散射和气溶胶散射造成的，经过大气校正的离水辐射率在一定程度上去除了大气效应的影响。从大气校正前后各波段所占的信号百分比可以看出，校正后绿光、红光所占的百分比有所增加，相应的减弱了由于很强的散射而在蓝光波段形成的对水色遥感无用的部分。另外校正后标准差的变化也有利于丰富湖泊二类水体细节特征的作用，以在进一步的参数反演中获得较高的反演精度。

为了验证本文方法的有效性并进行大气校正前后反射率的对比分析，将离水辐射亮度通过水汽界面转换得到各波段的离水反射率，把卫星接收到的原始辐射亮度转换为天顶反射率  $R_{TOA}$ <sup>[16, 17]</sup>，提取 20 个现场采样点的 1~4 波段的反射率值，并与该样点的实测反射率、天顶反射率进行对比。图 2 显示了实测水体反射率以及水体在大气校正前后反射率的

对比，经过校正后的值基本位于地面实测波谱取值区间。并且大气校正后的反射波谱曲线连续性较好，与地面实测波谱比较一致，因此，可以认为，经过大气校正以后的 CCD 多光谱数据与地面实测数据可以较好地匹配。

Table 2 Statistical analysis of radiance before and after atmospheric correction

波段	$L_t$ (校正前) /( $W \cdot m^{-2} \cdot s \cdot r^{-1}$ )			$L_w$ (校正后) /( $W \cdot m^{-2} \cdot s \cdot r^{-1}$ )		
	$L_t$	信号百分比	标准差	$L_w$	信号百分比	标准差
1	99.481	38.36	2.402	32.22	30.88	2.4697
2	76.171	29.38	2.619	35.19	33.73	2.7117
3	52.562	20.27	2.054	23.88	22.89	2.0937
4	31.089	11.99	3.791	13.05	12.51	3.4045

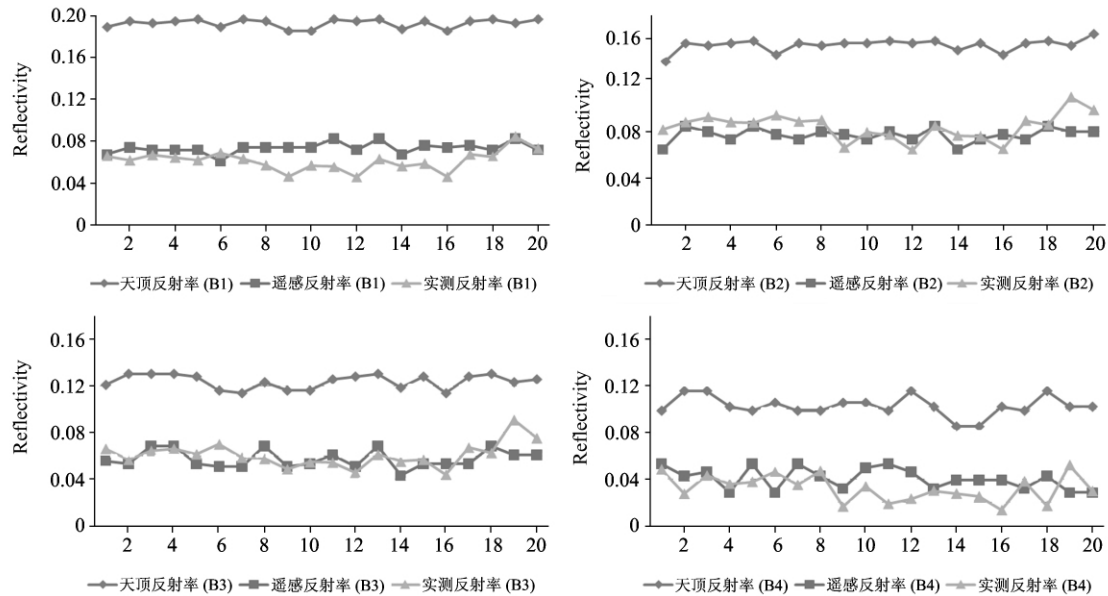


Fig 2 Contrast between retrieved reflectance and field spectral reflectance

将校正后样点的遥感反射率和实测反射率数据进行误差分析，绿光波段的校正精度较高，平均误差仅为 12.64%。在红光波段的平均误差略高，平均误差为 13.88%；但在蓝光波段和近红外波段的大气校正精度略低，平均相对误差 30% 左右。究其原因，由于内陆水体中叶绿素和黄色物质在蓝光波段的强吸收，蓝光水体反射率较低，而蓝光波段的大气瑞利散射和气溶胶散射强烈，因而蓝光波段的水体信号所占比例非常小，大气校正细微的误差都会对校正后的水体反射率产生较大的影响，成为蓝光波段大气校正精度不高的主要原因。另外近红外波段的反射率绝对值较小是误差百分比比较大的主要原因。内陆水体在绿光至红光波段的反射率较高，而且大气瑞利散射和气溶胶散射随波长逐渐减小，水体信号所占比例较大，因而大气校正精度也比较高。因此，绿光至近红外波段是内陆水体遥感主要使用的波段范围。

### 3 结 语

(1) 大气校正正是遥感数据定量反演地表参数前必须且关键的一步，本文所采用的方法是利用图像本身的大气校正方法，减轻了气象参数难获取的瓶颈。不足的是未考虑气溶胶多次散射，下一步将更多观测数据的基础上根据气溶胶类型建立多次散射算法。

(2) 在技术思路采用了借助 MODIS 数据获取气溶胶估算因子的办法，并结合绿光波段在清洁像元气溶胶散射较稳定的特点，计算各波段的气溶胶散射。从对上海淀山湖区域的环境卫星 CCD 多光谱数据的大气订正结果来看，文中采用的方法较好地去除了大气中气溶胶与气体散射的影响，具有相对较高的校正精度。和实测光谱的对比也预示了本方法对下一步水色参数反演的有效性。

(3) 与校正前的辐射亮度相比, 各波段的离水辐射亮度均具有显著的下降, 减轻了蓝光波段气溶胶散射等非水体信息所占的比重, 而绿光、红光波段占总信号比重有所上升。大气校正后各波段的对比度都有不同程度的增强, 大气校正一定程度上起到了去除噪声, 提高信噪比的作用。

## References

- [ 1 ] WANG Qiao, YANG Yu, WU Chuan-qing(王 桥, 杨 煜, 吴传庆). Spacecraft Engineering(航天器工程), 2009, 18(6): 133.
- [ 2 ] CHEN Yun-zhi, WANG Xiao-xin, GAO Zhong-ling(陈芸芝, 汪小钦, 高中灵). Marine Sciences(海洋科学), 2008, 32(3): 62.
- [ 3 ] Gordon H R. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(D14): 17081.
- [ 4 ] TANG Jun-wu, MA Chao-fei, NIU Sheng-li(唐军武, 马超飞, 牛生丽). Science in China Ser. E(中国科学 E 辑), 2005, 35(Suppl. 1): 156.
- [ 5 ] Guanter L, Ruiz-Verdú A, Odermatt D. Remote Sensing of Environment, 2010, (114): 467.
- [ 6 ] LI Jun-sheng, ZHANG Bing, CHEN Zheng-chao, et al(李俊生, 张 兵, 陈正超, 等). Science in China Ser. E(中国科学 E 辑), 2006, 36(Suppl.): 141.
- [ 7 ] Gordon H R, Wang M. Applied Optics, 1994, 33(3): 443.
- [ 8 ] Smith R C, Wilson W H. Ship and Satellite Bio-Optical Research in the California Bight, Oceanography from Space. New York and London; Plenum Press, 1981.
- [ 9 ] Zhang M, Carder K L, Muller-karger F E, et al. Remote Sensing of Environment, 1999, 70: 167.
- [ 10 ] Gilabert M A, Conese C, Maselli F. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(10): 2065.
- [ 11 ] CHEN Chu-qun(陈楚群). Tropic Oceanology(热带海洋), 1998, 17(2): 81.
- [ 12 ] Gueymard C. Florida Solar Energy Center, FSEC-PF-270-95, USA, 1995.
- [ 13 ] Wang M H, Shi W. Geophysical Research Letters, 2005, 32: L13606.
- [ 14 ] WANG Deyu, FENG Xuezhi, MA Ronghua, et al. Chinese Geographical Science, 2007, 17(4): 364.
- [ 15 ] SUN Ling(孙 凌). Graduate University of Chinese Academy of Sciences(中国科学院研究生院), <http://10.55.100.201/kns50/detail.aspx?QueryID=6&CurRec=5>. 2004. 11.
- [ 16 ] Hadjimitsis D G, Clayton C R I, Retalis A. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2009, (11): 192.
- [ 17 ] GHULAM Abduwasit, QIN Qi-ming, ZHU Li-jiang(阿布都瓦斯提, 秦其明, 朱黎江). Universitatis Pekinensis(北京大学学报), 2004, 40(4): 611.

## Atmospheric Correction of HJ-1 CCD Data for Water Imagery Based on Dark Object Model

ZHOU Li-guo<sup>1</sup>, MA Wei-chun<sup>1\*</sup>, GU Wan-hua<sup>1</sup>, HUAI Hong-yan<sup>2</sup>

1. Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China
2. Shanghai Environmental Monitoring Center, Shanghai 200030, China

**Abstract** The CCD multi-band data of HJ-1A has great potential in inland water quality monitoring, but the precision of atmospheric correction is a premise and necessary procedure for its application. In this paper, a method based on dark pixel for water-leaving radiance retrieving is proposed. Beside the Rayleigh scattering, the aerosol scattering is important to atmospheric correction, the water quality of inland lakes always are case II water and the value of water leaving radiance is not zero. So the synchronous MODIS shortwave infrared data was used to obtain the aerosol parameters, and in virtue of the characteristic that aerosol scattering is relative stabilized in 560 nm, the water-leaving radiance for each visible and near infrared band were retrieved and normalized, accordingly the remotely sensed reflectance of water was computed. The results show that the atmospheric correction method based on the imagery itself is more effective for the retrieval of water parameters for HJ-1A CCD data.

**Keywords** HJ-1A satellite; Inland water body; Atmospheric correction; Dark pixel

(Received Nov. 5, 2010; accepted Apr. 5, 2011)

\* Corresponding author