

引用格式: Lou Mingjing, Xing Qianguo, Shi Ping. Hyperspectral Remote Sensing for Coastal Zone and Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(4): 627-632. [娄明静, 邢前国, 施平. 海岸带高光谱遥感与近海高光谱成像仪(HICO)[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(4): 627-632.]

海岸带高光谱遥感与近海高光谱成像仪(HICO)

娄明静^{1,2}, 邢前国¹, 施平¹

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所中国海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 山东烟台 264003;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 应海岸带监测需求, 高光谱成像仪开始在海岸带监测中发挥重要作用。搭载于国际空间站上的 HICO(Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean)是第一颗针对近岸海洋遥感的高光谱成像仪, 其波谱范围为 360~1 080 nm, 光谱分辨率为 5 nm。介绍了 HICO 数据的基本情况, 并与在轨星载高光谱成像仪 EO-1 Hyperion 和 HJ-1A HSI 基本参数做了对比。同时针对高浑浊水体, 以黄河三角洲近岸 3 种典型地物为例, 结合 FLAASH 大气校正模型, 提取了辐亮度和地表反射率, 初步对比分析了 HICO 和 HSI 的光谱性能。结果表明 HICO 能更好地反映近岸地物的光谱特征。

关键词: HICO; FLAASH; 大气校正; 近海; 黄河三角洲

中图分类号: TP 732; X 87 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2013)04-0627-06

1 引言

海岸带具有丰富的海洋资源, 其水域是重要的经济和军事活动区^[1], 及时准确的水体监测具有重要意义。而遥感技术具有较高的时效性和经济性, 非常适合对海岸带进行量化研究^[2]。针对海岸带水体的遥感研究, 包括水体组分与光学特性反演(叶绿素、悬浮物、有色可溶性有机物和透明度等)、水深测量、海底类型检测和物理特性研究(海温和海水盐度)等^[3]。1978 年, 美国国家航空航天局发射了第一颗水色卫星, 其上搭载的海岸带水色扫描仪 CZCS(Coastal Zone Color Scanner)的应用获得巨大成功。在 1990 年前后, 一系列的水色传感器相继投入运行, 如海洋水色宽视角扫描传感器 SeaWiFS(Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor)、海洋水色与温度扫描辐射仪 OCTS(Ocean Color and Temperature Scanner)、多偏振多角度地球反射率成像仪 POLDER(Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances)、中等分

分辨率成像光谱仪 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)和甚高分辨率辐射计 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)等。中国从 1980 年开始关注水色遥感, 尤其是近年来发展迅速, 例如: 神州 3 号飞船上的中分辨率光谱成像仪 CMODIS(Chinese Moderate Imaging Spectra Radiometer)、HY-1A 及 HY-1B 上的水色水温扫描仪 COCTS(Chinese Ocean Color and Temperature Scanner)和海岸带成像仪 CZI(Coastal Zone Imager)^[4]等。

目前主流的水色传感器, 如 SeaWiFS、MODIS 均属于多光谱, 主要针对开阔海域水体。第二代水色传感器 SeaWiFS 在 CZCS 的基础上进行了改进, 增加了光谱通道, 提高了光谱分辨率、辐射灵敏度和信噪比。第三代水色传感器 MERIS 增加了荧光波段, 光谱分辨率 10 nm, 空间分辨率 300 m, 在 400~900 nm 范围内设置了 15 个波段, 每 3 d 覆盖全球一次, 信噪比高达 1 700^[5], 是目前最具优势的水色传感器之一。CZI 是专门针对海岸带的传感器, 星

收稿日期: 2012-05-10; 修订日期: 2013-01-07

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q07-01), 中国科学院对外合作重点项目资助(GJHZ1207), CAS/SAFEA 创新团队国际伙伴计划“海岸带典型环境过程与资源效应”。

作者简介: 娄明静(1987—), 女, 山东章丘人, 硕士研究生, 主要从事海岸带环境遥感与地理信息系统应用研究。E-mail: mjlu@yic.ac.cn。

通讯作者: 邢前国(1975—), 男, 湖北广水人, 副研究员, 主要从事环境遥感、数值模拟预评估。E-mail: qgxing@yic.ac.cn。

下点分辨率为 250 m, 在 400~700 nm 间设置了 4 个波段, 重访周期为 7 d。由于潮汐、风、河流和近岸上升流等因素的影响, 使得近岸水体的光学特性有很大差异, 数据需要具有较高的分辨率才能达到监测目的^[6]。同时, 水色传感器的设计要求也更为严格, 如较高的辐射动态范围、灵敏度、信噪比、光谱分辨率和空间分辨率等, 目前的多光谱水色传感器很难同时达到这些要求。

高光谱遥感数据, 能解决多光谱水色遥感中波段有限的问题^[7]。美国成立了近岸监测系统, 其关键部分就是高时间、空间和光谱分辨率的近岸水体成像系统。高光谱数据能够极大地提高探究近海水体复杂光学特性的能力, 尤其是在对海底成像时, 连续的高光谱分辨率数据十分重要^[6]。另外, 在反演水色要素时, 一类水体总悬浮物(TSM)、有色溶解有机物(CDOM)和叶绿素 a(Chl-a)的浓度之间存在一定的比例关系, 而近岸水体的情况比较复杂, 高光谱数据的波段窄, 需要能够获得精确的峰谷位置来反演各要素浓度^[3]。

随着传感器技术的不断发展, 多种高光谱传感器投入运行使用, 如 CASI、Hymap 和 Hyperion 等。中国在 2008 年发射了 HJ-1A, 这是一颗专门用于环境监测和灾害防治的卫星, 其上搭载了高光谱成像仪 HSI(Hyperspectral Imager)。美国在高光谱水色遥感方面的研究较多, 美国海军研究中心于 1999 年发起了高光谱海岸带动力学研究 HyCODE(Hyperspectral Coastal Ocean Dynamics Experiment), 该研究致力于海岸带水体固有光学参数动力过程。自 2006 年起, 美国海军研究中心开始研发近海高光谱水色成像仪 HICO(Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean), 它是第一颗针对近岸水体的星载高光谱成像仪, 研究内容包括水体光学特性、海底类型、水深和近岸植被分类等。2009 年 9 月 HICO 发射升空, 目前搭载在国际空间站 ISS(International Space Station)上, 2009 年 9 月 25 日第一次获得成像数据。HICO 主要用于为海岸带的科学研究提供高质量的数据, 设计寿命为 1~3 a。

2 近海高光谱水色成像仪(HICO)

近海高光谱成像仪(HICO)是第一颗专门应用于海岸带的星载高光谱成像仪。它是由美国海军研究中心发起的一项海军创新计划, 在完成 1 年的服役时间后, 主要为各项海岸带及其他地区的科学研究提供数据。

HICO 以推扫方式获取 $42 \times 192 \text{ km}^2$ 大小的条带状影像, 卫星高度为 343 km, 倾角 51.6° , 轨道重访周期约 3 d, 空间分辨率为 90 m, 偏振敏感度小于 5%。HICO 在 360~1 080 nm 范围内共设置了 128 个波段, 其中只有 87 个波段(405~897 nm)的精度满足要求且可以被一般用户获取。HICO 的可见光波段(400~700 nm)能够反映水体和水底的光谱特性, 短波近红外波段(700~900 nm)则可用于气溶胶校正和地表反射率的校正。Gitelson 等^[8] 尝试用 HICO 数据的红光和近红外波段(684、700、720 nm)来估算富营养化水体的 Chl-a 浓度。结果表明, HICO 高光谱数据能够很好地反演富营养化的近岸水体中 Chl-a 的浓度, 在 $19.67 \sim 93.14 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 的变化范围内, HICO 的反演精度达到 85%, 均方根误差低于 $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

目前 HICO 的各项产品中, 用户可以获得 L1B 和 L2A 级产品。原始数据(Level 0)包含大气层顶的辐亮度以及各项轨道参数和传感器参数。经光谱定标和辐射校正后得到 L1B 产品。L1B 产品包含了大气层顶的辐射亮度数据、几何纠正信息、植被指数和质量控制信息。为了有效地存储数据, HICO 采用了缩放系数。对于 L1B 数据, 所有波段的缩放系数为 50, 在使用 L1B 数据前要先对所有波段数据除以 50。L2A 是大气纠正后的产品, 包括星上反射率、地表反射率、遥感反射比和归一化离水辐射。目前, L2A 产品的大气校正过程采用的是 Tafkaa 6s 改进算法, 该算法增加了 825 nm 水汽校正。HICO 的产品验证过程是与玛萨文雅岛海岸带实验室 MVCO(Martha's Vineyard Coastal Observatory)的实测数据进行比对来完成的, 白沙岛和新墨西哥州其他几个站点也参与到了验证过程中^[9]。

用户可通过提交申请定制新的 HICO 观测点, 每个观测目标都有升、降轨两种观测方向。升轨时, 卫星由西南向东北运行; 降轨时, 卫星由西北向东南运行。目前, 中国境内共有 16 个观测站位(图 1)。

3 其他在轨运行的星载高光谱成像仪

3.1 EO-1 Hyperion

Hyperion 传感器是第一台星载高光谱成像仪, 搭载于 EO-1 上, 地面分辨率 30 m, 幅宽 7.7 km, Hyperion 以推扫方式获取可见光到短波红外的光谱数据, 共 242 个波段, 其中可见光近红外(356~1 058 nm)70 个波段, 短波红外(900~2 500 nm)172 个波段。

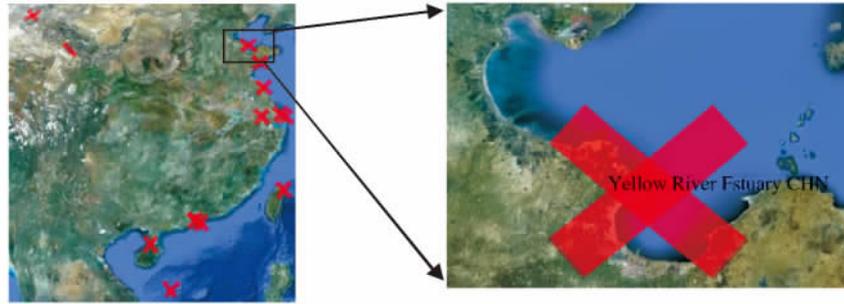


图1 HICO 在中国的主要观测点及黄河三角洲观测点升降轨观测示意图

Fig.1 HICO's targets in China and its orbits at the Yellow River Delta

我国有学者利用 Hyperion 对我国境内相关水体进行了观测试验。杜聪等^[10]使用 Hyperion 的 B34(691 nm)、B37(722 nm)和 B50(854 nm)组成 3 波段模型反演太湖叶绿素 a 浓度,反演结果与实测值的比较表明该模型有较高的反演精度;而且 30 m 的空间分辨率使得 Hyperion 影像可以较好地反演太湖水质的空间分布特征。许勇等^[11]也应用 Hyperion 数据来建立多波段反射率组合因子与表层悬浮泥沙浓度的相关关系,结果表明相关性较高且物理意义明确,拟合精度可达 65% 以上。

3.2 HJ-1A HSI

为满足我国灾害与环境管理工作的需求,国务院批准了环境与灾害监测预报小卫星星座系统立项。HJ-1A 星上的 HSI 与 Hyperion 相比,光谱范围相对较窄,但光谱分辨率有所提高,对物体识别和信息提取能力强,可用于大气成分探测、水环境监测以及植被生长状况监测^[12-13]。

贾得伟等^[14]利用 HJ-1A HSI 数据构建了基于指数的水体指数 IWI(Index of Water Index),水体提取精度增加 10.91%。蒙继华等^[15]利用 Hyperion

表 1 3 种高光谱传感器主要参数对比

Table 1 General properties of three hyperspectral imagers

传感器	HICO	Hyperion	HSI
发射时间	2009	2002	2008
搭载平台	ISS	EO-1	HJ-1A
轨道	近圆形轨道	太阳同步轨道	准太阳同步圆轨道
轨道高度/km	343	705	650
幅宽/km	42	7.7	50
重访周期/d	1~3*	5~16*	4~31*
光谱范围/nm	360~1 080	400~2 500	450~950
波段数	128	220	115
光谱分辨率/nm	5.7	10	5
空间分辨率/m	90	30	100
信噪比	>200	<200 ^[16]	50~100

注:*为侧视观测模式

数据进行 HSI 红边参数真实性检验,结果表明 HSI 红边参数产品可较真实地反映研究区植被状态的空间差异。

4 HICO 与 HSI 产品对比

4.1 数据

本文采用黄河三角洲近岸 3 种类型的地物来比较 HICO 和 HSI 数据的辐亮度和地表反射率差异。原始数据为 2012 年 1 月 11 日 07:15GMT 的一幅

HICO L1B 产品和 2010 年 12 月 11 日 02:56GMT 的两幅 HSI L2 产品。考虑到黄河三角洲及其邻近海域高浑浊水体与潮滩监测的研究需求,如图 2、3 所示,选取近岸混浊水体(C1,C2;S1,S2)、较清洁水体(C3,C4;S3,S4)、潮滩裸土(C5,C6;S5,S6)3 种地物进行光谱对比研究试验。

4.2 预处理

HSI 数据的条带噪声明显,本文首先按照“全局去条纹”方法去条带^[17]。其原理为,设第 K 波段 i

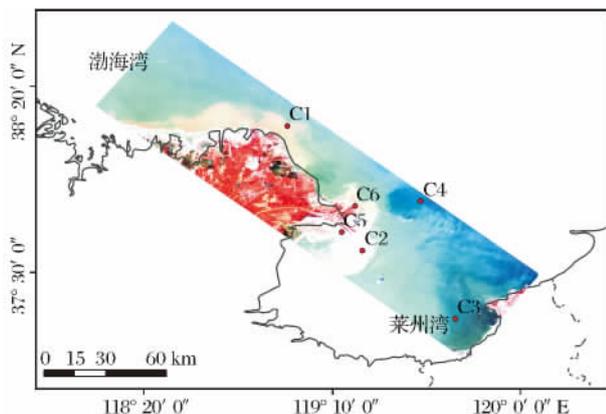


图 2 HICO 假彩色合成图, R(B58, 732 nm)、G(B27, 554 nm)、B(B11, 462 nm)

Fig. 2 HICO imagery

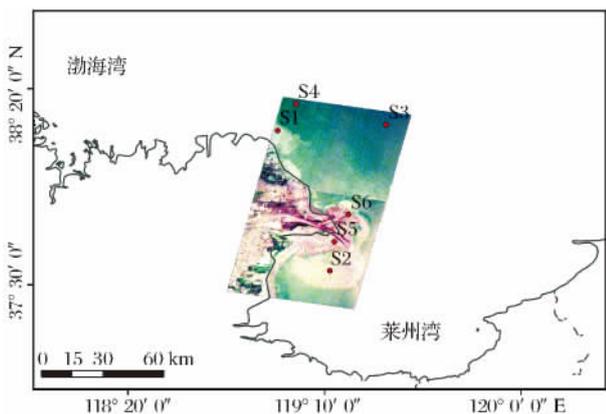


图 3 HSI 去条带后假彩色合成图, R(B83, 732 nm)、G(B38, 552 nm)、B(B2, 462 nm)

Fig. 3 HSI imagery after stripe removal

列的平均值和标准差为 m_{ik} 和 s_{ik} , 该波段整幅影像的平均值和标准差为 M_K 和 S_K , 则第 K 波段 i 列、 j 行的辐射值 x_{ijk} 应修正为:

$$X_{ijk} = \frac{S_K}{S_{ik}} \times x_{ijk} + \left(M_K - \frac{S_K}{S_{ik}} \times m_{ik} \right) \quad (1)$$

接着对 HICO 和 HSI 影像分别做几何校正。HICO 先用自带地理信息做粗校正, 再用 TM 影像作为参考影像对 HICO 和 HSI 数据做精校正, 校正后空间分辨率为 100 m。对两种数据分别进行 FLAASH 大气纠正, 得到对应的地表反射率。由于缺少在 2100 nm 处的波段设置, 本文未进行气溶胶反演。水汽反演采取了 820 nm 水汽吸收特征波段反演和不反演两种方式来比较水汽的影响, 其他大气纠正基本参数见表 2。

4.3 提取同类型地物的辐亮度和地表反射率

HICO 和 HSI 重叠光谱区间为 460~900 nm, 共涉及 HICO 77 个波段、HSI 109 个波段, 我们将对该

区间的地物光谱信息进行分析。HICO 与 HSI 的光谱和空间分辨率十分接近, 在此忽略其相关影响。

表 2 HICO FLAASH 纠正主要参数设置

Table 2 FLAASH Model parameters set for HICO

参数名称	参数值
传感器高度	405.6 km
大气模型	SAS
水汽反演	1. Yes(820) 2. No
气溶胶模型	海洋
初始能见度	40 km
MODTRAN 分辨率	5 cm ⁻¹
多次散射模型	Scaled DISCORT
DISCORT 流数量	8
传感器天顶角、方位角	166°36'0.02"~141°9'29.15"

由图 4 可见, HSI 在蓝光波段变化剧烈, 在其他波段两种数据的波形变化则较为一致; 相对清洁水体的 HSI 光谱在蓝光区的强烈波动在水汽校正后得到明显改善。与 Xing 等^[18]的黄河三角洲近海水体反射率实测数据对比, 进行大气校正后的 HICO 水体反射率与实测数据在波形及绝对值上均较为一致; 特别是加入水汽反演估算后, 位于水汽吸收带^[19]附近的反射率异常明显改善; HSI 水体反射光谱能基本反映水体的浑浊程度或泥沙含量差异, 但波动较大, 且多出 770 nm 处一反射峰, 因此, 在实际应用中需要注意波段的选择与算法的修正等。总体而言, HSI 的辐亮度与反射率光谱波形较 HICO 及实测光谱变化剧烈, 这种现象失真可能与 HSI 的条带与定标有关。需要指出的是, 图 4 中出现的水体反射率为负值的现象与 FLAASH 大气校正本身存在的缺陷有关, 如影像中的暗像元选择等; 另外, 定标失真将也会导致 FLAASH 大气校正的结果失真。HSI 影像的条带本身会对 FLAASH 大气校正中的相关环节产生影响, 但去条带并不会对大气校正本身有改进作用。

整体而言, HICO 具有极高的光谱分辨率、良好的辐射定标性能以及图像质构, 可为近海相关量化参数反演提供更多的波段选择。

5 结 语

本文就目前搭载于国际空间站上的近海高光谱成像仪 HICO 作了介绍, 并与目前在轨, 运行的卫星高光谱成像仪作了对比分析。同时, 对获取的黄河三角洲及其邻近海域 HICO 影像及其质量进行了初步分析。HICO 与 HSI 数据的对比研究表明,

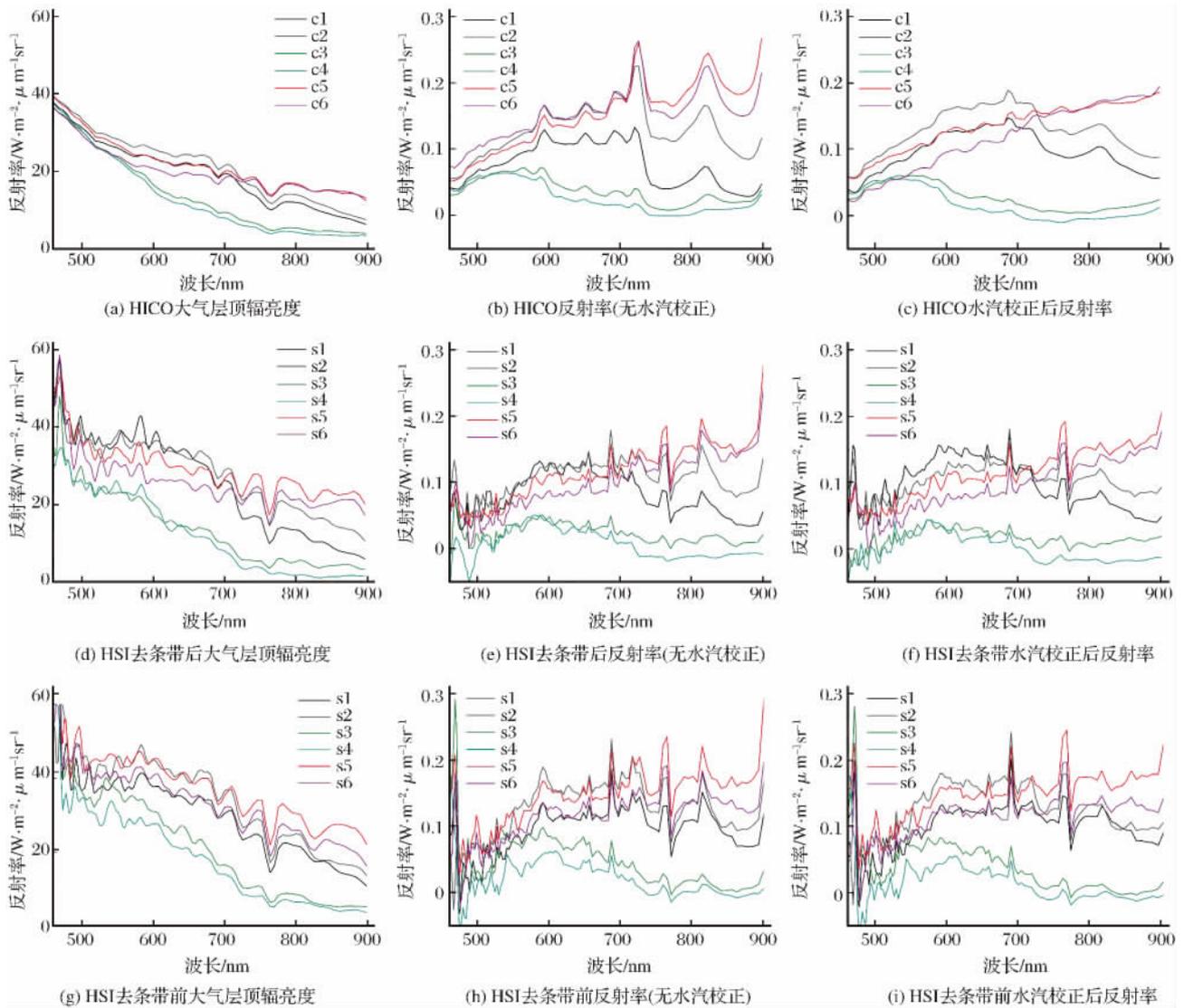


图 4 黄河三角洲近岸典型地物 HICO 和 HSI 数据的光谱曲线
 Fig. 4 The spectra of selected ground targets in the Yellow River Delta

两者均具有极高的光谱分辨率,水体浑浊程度也可在光谱上得到响应;HICO 具有良好的辐射定标性能以及图像质构,经大气校正后的反射率光谱与实际更为接近,HSI 光谱则波动异常,在近海相关量化参数反演等实际应用研究中需注意。希望本研究对我国水体高光谱及海岸带遥感提供借鉴意义。

参考文献 (References):

[1] Wu Dexing, Lan Jian. Marine Physical Variations in Eastern Marginal Seas of China and Their Environmental Impacts[J]. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(7): 667-672. [吴德星, 兰健. 中国东部陆架边缘海洋物理环境演变及其环境效应[J]. *地球科学进展*, 2006, 21(7): 667-672.]

[2] Govender M, Chetty K, Bulcock H. A Review of Hyperspectral Remote Sensing and Its Application in Vegetation and Water Resource Studies[J]. *Water SA*, 2007, 33(2): 145-151.

[3] Zhang L, Zhang B, Chen Z C, et al. The Application of Hyperspectral Remote Sensing to Coast Environment Investigation [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2009, 28(2): 1-13.

[4] Pan D, Bai Y. Progress in the Application of Ocean Color Remote Sensing in China [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2008, 27(4): 1-16.

[5] European Space Agency Earthnet. MRRIS[EB/OL]. <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-co-missions/envisat/instruments/meris>, 2012.

[6] Davis C O, Kavanaugh M, Letelier R, et al. Spatial and Spectral Resolution Considerations for Imaging Coastal Waters [C]// *Coastal Ocean Remote Sensing*, 2007, 6680: 1-12.

[7] Xing Q G. Utility of HICO Imagery in Monitoring Coastal Waters with High Sediment Content [EB/OL]. http://hico.coas.oregonstate.edu/projects/docs/Xing_HICO.pdf, 2011.

[8] Gitelson A A, Gao B, Li R, et al. Estimation of Chlorophyll-a Concentration in Productive Turbid Waters Using a Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean—the Azov Sea Case Study [J]. *En-*

- vironmental Research Letters, 2011, 6(024023): 6.
- [9] Lewis M D, Gould R W, Aronoe R A, *et al.* The Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean (HICO): Sensor and Data Processing Overview[C]//Oceans 2009 Conference, America, 2009.
- [10] Du Cong, Wang Shixin, Zhou Yi, *et al.* Remote Chlorophyll a Retrieval in Taihu Lake by Three Band Model Using Hyperion Hyperspectral Data[J]. Environmental Science, 2009, 30(10): 2904-2910. [杜聪, 王世新, 周艺, 等. 利用 Hyperion 高光谱数据的三波段法反演太湖叶绿素 a 浓度[J]. 环境科学 2009, 30(10): 2904-2910.]
- [11] Xu Yong, Zhang Ying, Zhang Dong. Study on Monitoring Suspended Sediment Concentration Using Hyperion[J]. Optical Technique, 2009, 35(4): 622-625. [许勇, 张鹰, 张东. 基于 Hyperion 影像的悬浮泥沙遥感监测研究[J]. 光学技术, 2009, 35(4): 622-625.]
- [12] Li Chuanrong, Jia Yuanyuan, Hu Jian, *et al.* An Analysis of the Prospects of HJ-1 Optical Satellites in Remote Sensing Application[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2008, 3: 45-46. [李传荣, 贾媛媛, 胡坚, 等. HJ-1 光学卫星遥感应用前景分析[J]. 国土资源遥感, 2008, 3: 45-46.]
- [13] Yin Fang, Jiang Dong, Liu Lei. Using Data of HJ-1A HSI for Retrieving Grassland Leaf Area Index[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(3): 360-364. [尹芳, 江东, 刘磊. 基于环境卫星 HSI 影像的草地叶面积指数反演[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(3): 360-364.]
- [14] Jia Dewei, Zhong Shiquan, Li Xue, *et al.* Extracting Water Information from the HSI Data of HJ-1A/1B Satellite[J]. Science of Surveying and Mapping, 2011, 36(4): 128-130. [贾德伟, 钟仕全, 李雪, 等. 环境一号卫星高光谱数据水体信息提取方法[J]. 测绘科学, 2011, 36(4): 128-130.]
- [15] Meng Jihua, Wu Bingfang, Niu Liming, *et al.* Validation of HJ-1 HSI Red Edge Parameters based on Spectral Reflectance of Hyperion[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(8): 2205-2210. [蒙继华, 吴炳方, 钮立明, 等. 利用 Hyperion 数据进行环境星 HSI 红边参数真实性检验[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(8): 2205-2210.]
- [16] Folkman M, Pearlman J, Liao, L, *et al.* EO-1/Hyperion Hyperspectral Imager Design, Development, Characterization, and Calibration[C]//Conference on Hyperspectral Remote Sensing of the Land and Atmosphere, Japan, 2000.
- [17] Tan Bingxiang, Li Zengyuan, Chen Erxue, *et al.* Preprocessing of EO-1 Hyperion Hyperspectral Data[J]. Remote Sensing Information, 2005, 6: 36-41. [谭炳香, 李增元, 陈尔学, 等. EO-1 Hyperion 高光谱数据的预处理[J]. 遥感信息, 2005, 6: 36-41.]
- [18] Xing Q, Lou M, Yu D, *et al.* Features of Turbid Waters from Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean (HICO): Preliminary Results at The Yellow River Delta and The Bohai Bay [C]//4th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing, China, 2012.
- [19] Xing Qianguo. Retrieval of Water Quality in The Pearl River Estuary Using Hyperspectral Technique [D]. Guangzhou: South China Sea Institute of Oceanology Chinese Academy of Sciences, 2006. [邢前国. 珠江口水质高光谱反演[D]. 广州: 中国科学院研究生院南海海洋研究所, 2006.]

Hyperspectral Remote Sensing for Coastal Zone and Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean

Lou Mingjing^{1,2}, Xing Qianguo¹, Shi Ping¹

(1. *Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai 264003, China;*
2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*)

Abstract: HICO (Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean) is the first hyperspectral imager on board International Space Station (ISS), and it is specially designed for coastal ocean remote sensing. In this paper, main characteristics of HICO are introduced and compared with another two on-orbit hyperspectral imager: EO-1 Hyperion, HJ-1A HyperSpectral Imager. In the case of turbid water environment of the Yellow River Delta, three typical kinds of objects are selected for comparison of their radiances and ground reflectance after the atmospheric correction with FLAASH (Fast Line of Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes). Results show that HICO's spectrum curves are smooth and consistent with in-situ measured spectra, while HSI's fluctuate strongly, particularly in blue bands. Water retrieval using ~820 nm band in atmospheric correction distinctly improves the reflectance accuracy around absorption band of water vapour. On the whole, HICO has better performance than HSI in delivering the spectral characteristics of objects in coastal zone.

Key words: HICO; FLAASH; Atmospheric correction; Coastal zone; Yellow River Delta