

引 用 格 式: Sun Peiyu, Ke Yinghai, Zhong Ruofei, *et al.* Radiance Quality Assessment of ZY-1-02D VNIC/AHSI Image Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022, 37(4): 938-952. [孙培宇, 柯樱海, 钟若飞, 等. 资源一号 02D 可见近红外和高光谱影像辐射质量评价[J]. 遥感技术与应用, 2022, 37(4): 938-952.]  
DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2022.4.0938

## 资源一号 02D 可见近红外和高光谱影像辐射质量评价

孙培宇<sup>1,2,3</sup>, 柯樱海<sup>1,2,3</sup>, 钟若飞<sup>1,2,3</sup>, 赵世湖<sup>4</sup>, 刘 瑶<sup>4</sup>

(1. 城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地, 北京 100048;

2. 水资源安全北京实验室, 北京 100048;

3. 首都师范大学 资源环境与旅游学院, 北京 100048;

4. 自然资源部国土卫星遥感应用中心, 北京 100048)

**摘要:** 资源一号 02D (ZY1-02D) 卫星搭载了我国自主研制的可见近红外相机 (VNIC) 和高光谱相机 (AHSI), 是我国首颗民用高光谱业务卫星, 具有广泛的应用前景。通过整体辐射精度、信噪比、清晰度以及信息熵 4 个评价指标, 对 ZY1-02D VNIC 和 AHSI 数据进行辐射质量评价, 并分别采用 Sentinel-2 MSI 和 GF-5 AHSI 数据进行对比。结果表明: ZY1-02D VNIC 数据在可见光波段具有亮度高、信噪比高等优势; 在红边近红外等波段, 影像具有灰度范围大、信息量大的特点。ZY1-02D VNIC 数据在影像亮度、灰度范围、清晰度和信息量方面均优于 Sentinel-2, 二者信噪比近似。ZY1-02D AHSI 数据在 395—1 341 nm 范围内辐射质量良好; 在 1 929—2 501 nm 范围, 存在噪声严重的波段, 影像质量较差。与 GF-5 AHSI 数据对比, ZY1-02D AHSI 数据的影像亮度和信噪比相当, 但 ZY1-02D AHSI 数据在灰度范围方面优势明显, 且短波红外谱段的清晰度和信息量优于 GF-5 AHSI 数据。

**关 键 词:** 资源一号 02D 卫星; 影像质量评价; Sentinel-2; GF-5; 高光谱数据

**中图分类号:** TP75      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-0323(2022)04-0938-15

### 1 引 言

资源一号 02D 卫星 (ZY1-02D) 于 2019 年 9 月 12 日在我国太原卫星发射中心成功发射, 是我国首颗民用高光谱业务卫星, 标志着我国民用对地遥感进入了定量研究的时代<sup>[1]</sup>。其上搭载了 8 谱段的可见近红外相机 (Visible and Near-Infrared Camera, VNIC) 和 166 谱段的高光谱相机 (Advanced Hyper-Spectral Imager, AHSI) 两台载荷, 可广泛应用于植被研究、土壤调查、水质监测以及矿物识别等

领域<sup>[2]</sup>。

遥感影像辐射质量评价是连接传感器研制和遥感数据应用之间的桥梁, 对遥感数据的应用起到指导作用, 同时对遥感传感器性能的优化也可以起到积极的反馈作用。目前, 国内外已有众多关于遥感影像辐射质量评价的研究, 评价体系相对成熟。黄彦等<sup>[3-11]</sup>利用均值、标准差、信息熵、信噪比、清晰度等指标对国产资源一号 02C、高分一号、高分二号和高分五号等影像数据进行辐射质量评价 (表 1)。洪波<sup>[12]</sup>收集整理了已有的遥感图像信噪比估算方

收稿日期: 2021-07-26; 修订日期: 2022-07-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42071396), 国家重点研发计划项目 (2017YFC0505903) 资助。

作者简介: 孙培宇 (1998—), 男, 北京人, 硕士研究生, 主要从事遥感影像质量评价、生态水文遥感研究。E-mail: 771584826@qq.com

通讯作者: 柯樱海 (1980—), 女, 湖北十堰人, 教授, 主要从事生态水文遥感、多源遥感数据融合、人工智能及数据挖掘方法研究。

E-mail: yke@cnu.edu.cn

法,并采用模拟图像和实测图像对 5 种典型方法的估算效果进行检验。覃帮勇<sup>[13]</sup>从高光谱载荷成像特性和高光谱数据特点入手,建立高光谱数据质量评价体系,改进完善高光谱数据辐射质量评价方法,并且利用模拟数据和高光谱数据对评价方法和体系进行验证。

表 1 遥感影像辐射质量评价研究现状

Table 1 Research status of radiance quality assessment of remote sensing images

参考文献	卫星	传感器类型	采用指标
[3]	资源一号 02C	多光谱	均值、标准差、信息熵、信噪比、清晰度
[4]	高分一号	多光谱	均值、标准差、信噪比、同质性、平均梯度、角二阶矩、信息熵
[5]	高分二号	多光谱	在轨光学调制传递函数、相机辐射一致性、信噪比、清晰度、对比度
[6]	高分五号	多光谱	信噪比、清晰度、信息量、辐射不均一度
[7]	资源一号 02D	多光谱	在轨光学调制传递函数、信噪比
[8]	EO-1 Hyperion	高光谱	辐射精度、信息量、清晰度、信噪比
[9]	SPARK	高光谱	辐射精度(均值、方差、辐射不均一度)、信噪比、信息熵、清晰度
[10]	高分五号	高光谱	噪声标准差、清晰度、信息熵
[11]	资源一号 02D	高光谱	信噪比、相对辐射定标精度、绝对辐射定标精度

综上,面向多光谱和高光谱遥感影像的质量评价已有比较完善的指标和方法,但是尚未针对 ZY1-02D 卫星的 VNIC 多光谱和 AHSI 高光谱数据开展相应的辐射质量评价研究。实验基于当前典型的影像质量评价指标,对 ZY1-02D 卫星多光谱和高光谱数据的辐射质量展开评价,并分别与 Sentinel-2 卫星多光谱成像仪(Sentinel-2 MSI)数据和高分五号卫星高光谱(GF-5 AHSI)数据进行对比,分析 ZY1-02D 卫星的影像的质量特点,为其今后的应用与发展提供参考。

2 实验数据及预处理

2.1 数据介绍

ZY1-02D VNIC 相机包含 1 个全光谱段和 8 个多光谱谱段,在传统的 4 个多光谱波段的基础上,增加了海岸波段、黄波段、红边波段和近红外 2 波段。其中,全色波段影像空间分辨率为 2.5 m,多光谱波段影像空间分辨率为 10 m,量化等级为 12 bit,影像幅宽为 115 km。ZY1-02D AHSI 包含 76 个光谱分辨率为 10 nm 的可见光近红外谱段(Visible and near-infrared, VNIR)和 90 个光谱分辨率为 20 nm 的短波红外谱段(Shortwave infrared, SWIR)。光谱范围 400—2 500 nm,空间分辨率为 30 m,量化等级 12 bit,影像幅宽为 60 km。其中,SWIR B22-B25 和 B50-B55 为未定标波段,定标系数为 0,不对其进行质量评价。Sentinel-2 由 Sentinel-2A 和 Sentinel-2B 双星组成,其单星重访周期为 10 d,双星可达到 5 d 重访。Sentinel-2 MSI 已广泛应用于多个领域,其与 ZY1-02D VNIC 相机的主要载荷参数如表 2 所

示。其中,Sentinel-2 MSI 的蓝、绿、红和近红外 4 个波段(B2/3/4/8)的光谱范围与 ZY1-02D VNIC 的相应波段(B1/2/3/4)范围相近,且空间分辨率均为 10 m。其余波段两传感器波段范围设置和空间分辨率差异较大。GF-5 AHSI 与 ZY1-02D AHSI 的载荷参数对比见表 3。除轨道高度和光谱分辨率有所不同,其他参数几乎一致。因此,考虑到相近的波段和光谱设置,分别选取应用较为广泛并且与

表 2 ZY1-02D VNIC 与 Sentinel-2 MSI 参数对比

Table 2 Parameters comparison between ZY1-02D VNIC and Sentinel-2 MSI

卫星参数	ZY1-02D VNIC	Sentinel-2 MSI
轨道高度/km	778	786
重访周期/d	3	5
波段范围/nm	全色波段 Pan 450—900 蓝波段 B1 450—520 绿波段 B2 520—600 红波段 B3 630—690 近红外波段 B4 760—900 海岸波段 B5 400—450 黄波段 B6 580—625 红边波段 B7 705—745 近红外 2 波段 B8 860—1040	海岸波段 B1 433—453 蓝波段 B2 458—523 绿波段 B3 543—578 红波段 B4 650—680 红边波段 B5 698—713 红边波段 B6 733—748 红边波段 B7 773—793 近红外波段 B8 785—900 近红外波段 B8a 853—875 水蒸汽波段 B9 935—955 卷云波段 B10 1360—1390
		短波红外波段 1 B11 2280
		短波红外波段 2 B12 2100
		B2-B4、B8:10
		B5-B7、B8a、B11-B12:20
		B1、B9-B10:60
空间分辨率	Pan:2.5	
/m	B1-B8:10	
幅宽/km	115	290
量化等级/bit	12	12

表 3 ZY1-02D AHSI 与 GF-5 AHSI 参数对比

Table 3 Parameters comparison between ZY1-02D AHSI and GF-5 AHSI

卫星参数	ZY1-02D AHSI	GF-5 AHSI
轨道高度/km	778	705
重访周期/d	3	5
波段范围/nm	400—2 500	400—2 500
光谱通道数	VNIR: 76, SWIR: 90	VNIR: 150, SWIR: 180
光谱分辨率/nm	VNIR: 10, SWIR: 20	VNIR: 5, SWIR: 10
空间分辨率/m	30	30
幅宽/km	60	60
量化等级/bit	12	12

ZY1-02D VNIC 参数相近的 Sentinel-2 MSI 数据, 以及与 ZY1-02D AHSI 参数相近的 GF-5 AHSI 数据作为参照, 在此基础上分析 ZY1-02D 卫星的辐射性能及应用潜力。

2.2 研究区及数据获取

为了确保实验结果的客观性和全面性, 选取 ZY1-02D VNIC/AHSI 各 6 景影像进行评价。所选影像均为 1 级产品, 且云量覆盖低(<10%), 目视判断质量较好。ZY1-02D VNIC 数据覆盖范围如图 1 所示, 影像信息见表 4; ZY1-02D AHSI 数据如图 2 所示, 影像信息见表 5。

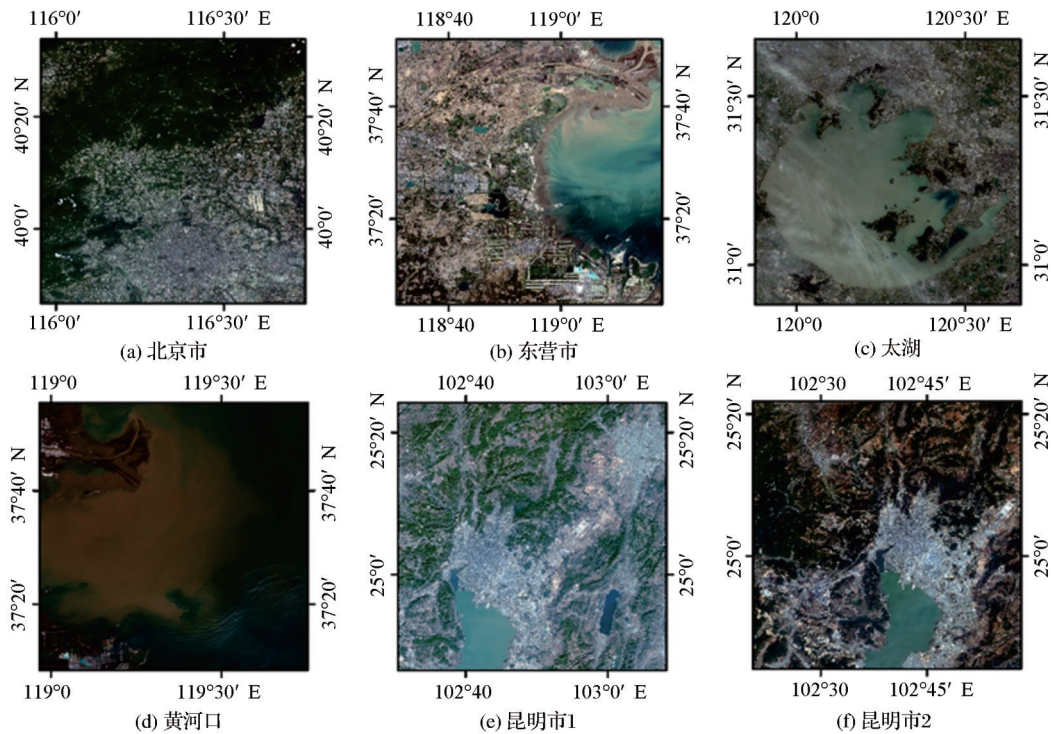


图 1 ZY1-02D VNIC 数据真彩色显示

Fig.1 True-color display of ZY1-02D VNIC data

表 4 ZY1-02D VNIC 影像信息

Table 4 Image information of ZY1-02D VNIC data

影像编号	影像获取日期	覆盖区域	主要土地覆盖类型
图 1(a)	2020 年 7 月 15 日	北京市	城镇、山地、农田、水体
图 1(b)	2020 年 5 月 1 日	山东省东营市	城镇、农田、海岸带、水体
图 1(c)	2020 年 3 月 16 日	江苏省太湖地区	水体、城镇
图 1(d)	2020 年 1 月 9 日	山东省东营市黄河口地区	水体、海岸带湿地
图 1(e)	2020 年 1 月 12 日	云南省昆明市	山地、城镇、水体
图 1(f)	2020 年 3 月 20 日	云南省昆明市	山地、城镇、水体

选取与 ZY1-02D VNIC/AHSI 影像同一天采集的 Sentinel-2 MSI/GF-5 AHSI 数据进行辐射质量对比分析。对于 ZY1-02D VNIC 数据, 共选取两

个研究区(研究区 1 和研究区 2)与 Sentinel-2 MSI 数据进行对比。研究区 1 位于浙江省杭州湾地区(图 3(a)), Sentinel-2 成像时间为北京时间 2020 年 3 月 19 日 10:35:49, 与 ZY1-02D VNIC 成像时间(10:51:57)相差 15 min。研究区 2 位于山东省东营市黄河口(图 3(b)), Sentinel-2 卫星过境时间为北京时间 2020 年 5 月 1 日 09:45:39, 与 ZY1-02D VNIC 成像时间(11:07:56)相差 1.5 h 以内。两个研究区均存在明显的水陆边界, 且地物信息丰富, 具有较好的对比价值。研究区 3 用于 ZY1-02D AHSI 与 GF-5 AHSI 数据的对比分析。该研究区位于云南省大理州宾川县(图 3(c)), GF-5 卫星成像时间为



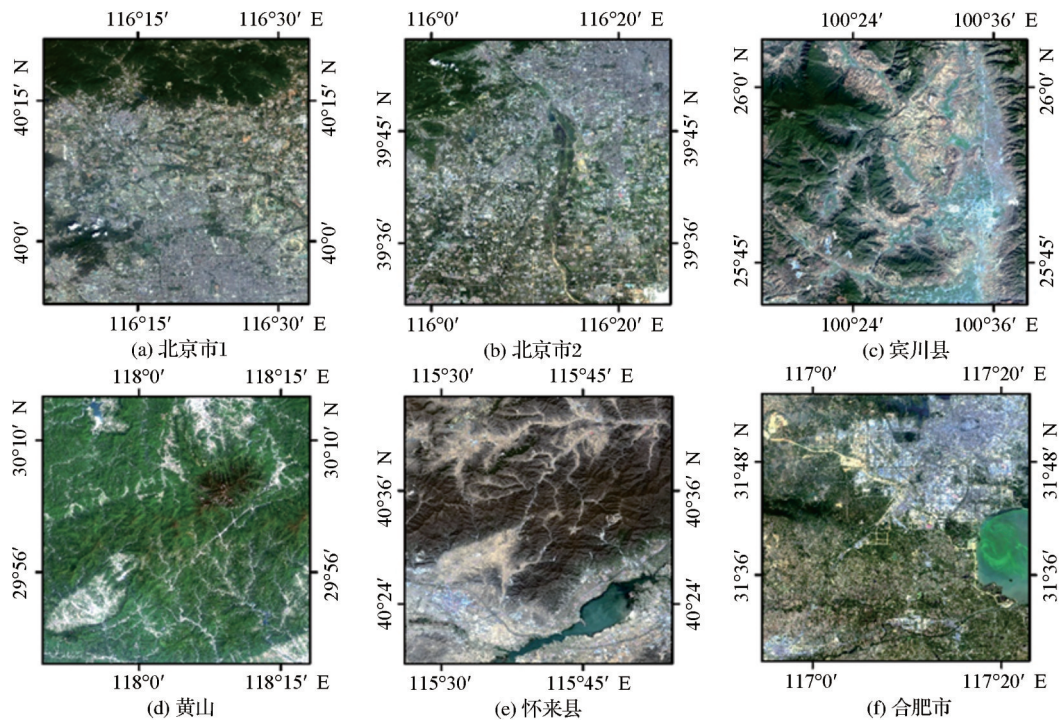


图 2 ZY1-02D AHSI数据真彩色显示

Fig.2 True-color display of ZY1-02D AHSI data

表 5 ZY1-02D AHSI 影像信息

Table 5 Image information of ZY1-02D AHSI data

影像编号	影像获取日期	覆盖区域	主要土地覆盖类型
图 2(a)	2020 年 6 月 19 日	北京市城区及西郊	城镇、山地
图 2(b)	2020 年 7 月 15 日	北京市城区及南郊	城镇、农田
图 2(c)	2020 年 1 月 13 日	云南省大理州宾川县	山地、城镇
图 2(d)	2020 年 4 月 28 日	安徽省黄山地区	山地
图 2(e)	2020 年 4 月 22 日	河北省张家口市怀来县	山地、城镇、水体
图 2(f)	2020 年 5 月 4 日	安徽省合肥市	城镇、农田、水体

2020 年 1 月 13 日北京时间 14:33:55, 与 ZY1-02D AHSI 数据成像时间(11:08:58)相差 3 h, 是唯一一景两个传感器同一天过境的影像。

### 2.3 数据预处理

(1) 辐射定标。ZY1-02D VNIC/AHSI 和 GF-5

AHSI 数据为 1 级产品, 以 DN 值表示。Sentinel-2 MSI 数据为 L1C 级产品, 以表观反射率(top of atmosphere, TOA)反射率表示。为方便不同传感器间的对比, 将所有图像都转化为 TOA 辐亮度数据。将 DN 值和 TOA 反射率转化为 TOA 光谱辐射亮度的公式分别为:

$$L(\lambda) = Gain \cdot DN + Bias \quad (1)$$

$$L(\lambda) = \frac{\rho \cdot E_s(\lambda) \cdot \cos \theta}{\pi \cdot D^2} \quad (2)$$

其中:  $L(\lambda)$  为 TOA 光谱辐射亮度( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ );  $Gain$  为增益值;  $Bias$  为偏移值。式(2)中  $L(\lambda)$  为 TOA 光谱辐射亮度;  $\rho$  为 TOA 反射率;  $E_s(\lambda)$  为大气层外对应波段的太阳光谱辐照度;  $\theta$  为太阳天顶

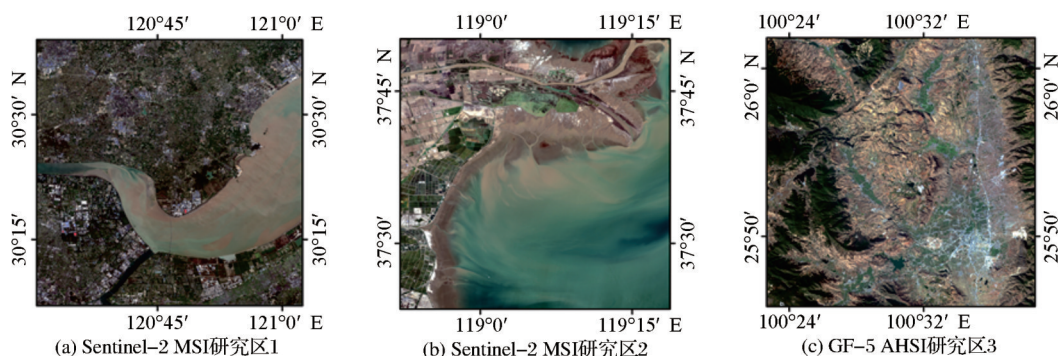


图 3 Sentinel-2 MSI 和 GF-5 AHSI 数据真彩色显示

Fig.3 True-color display of Sentinel-2 MSI and GF-5 AHSI data



角; $D$ 为日地距离参数。利用 ZY1-02D VNIC/AH-SI 和 GF-5 AHSI 数据的定标系数,由式(1)计算出 TOA 光谱辐射亮度。对于 Sentinel-2 MSI 数据,由式(2)将 TOA 反射率转化为 TOA 光谱辐射亮度。

(2)影像几何配准。由于 Sentinel-2 MSI 数据经过几何精校正,因此将 Sentinel-2 MSI 数据作为参考影像,选取多个控制点,使用多项式模型对 ZY1-02D VNIC 影像进行几何配准,精度误差控制在 0.5 个像元以内。为了尽可能避免改变传感器的辐射数值,采用最邻近法进行重采样。同样,以 ZY1-02D AHSI 影像为参考影像,将 GF-5 AHSI 影像进行配准。

(3)图像裁剪。由于 ZY1-02D VNIC/AHSI 和 Sentinel-2 MSI/GF-5 AHSI 数据的成像范围不同,需要将影像裁剪为相同区域再进行质量评价。将 2020 年 3 月 19 日和 5 月 1 日获取的 ZY1-02D VNIC 数据和 Sentinel-2 MSI 数据分别以相同的研究区域进行裁剪。同理,将 2020 年 1 月 13 日获取的 ZY1-02D AHSI 数据和 GF-5 AHSI 数据也裁剪为相同区域。

### 3 影像评价指标选取

实验采用整体辐射精度(均值和标准差)、信噪比、清晰度和信息熵 4 种评价指标对 ZY1-02D VNIC 和 AHSI 数据质量进行评价,并与 Sentinel-2 MSI 数据和 GF-5 AHSI 数据进行对比。

#### 3.1 整体辐射精度

整体辐射精度用影像均值和标准差表示。均值即影像像素的灰阶平均值,是反应各波段能量的高低,对人眼反应为平均亮度。均值越大表示传感器接受光能的强度越大,计算公式为:

$$mean = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f(i, j) \quad (3)$$

其中: $mean$ 为影像辐射亮度的均值,单位为( $w \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ ); $m, n$ 影像的行列数; $f(i, j)$ 表示地 $i$ 行 $j$ 列像元的辐射亮度灰度值。

标准差即影像所有灰度值的标准差,反映了影像灰度相对于平均灰度的离散情况。标准差越大,说明灰度级分布更为分散,图像反差越大,包含信息越丰富。计算公式为:

$$std = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f(i, j) - mean)^2}{m \times n}} \quad (4)$$

其中: $std$ 为标准差; $mean$ 为影像辐射亮度均值; $m, n$ 影像的行列数; $f(i, j)$ 表示地 $i$ 行 $j$ 列像元的辐射亮度

灰度值。

#### 3.2 信噪比

信噪比即信息与噪声之比,是衡量图像噪声相对水平的指标。信噪比越大,说明影像有效信息相对于噪声的比例越大,影像质量越好。

对于多光谱影像,采用方差法<sup>[13]</sup>来计算信噪比。该法需要人工选择均匀区域,以该区域的均值和标准差分别作为信号和噪声的估计值来进行信噪比评估。选取海洋、湖泊、水库等平静水面视为均匀区域,裁剪若干  $50 \times 50$  像元的样板区,将所有样板区求得信噪比的平均值作为影像的信噪比。以分贝(dB)来表示信噪比,计算公式为:

$$SNR = 20 \cdot \lg \frac{mean}{std} \quad (5)$$

其中:SNR 为信噪比; $mean$ 为样板区辐射亮度均值; $std$ 为样板区辐射亮度标准差。

针对图谱合一的高光谱影像, Roger 和 Arnold 提出空间维与光谱维结合的去相关法(SSDC)计算信噪比<sup>[15]</sup>。该方法受地物空间变化影响较小,是目前最稳定的高光谱影像评估方法<sup>[12]</sup>。该方法在分块的基础上,利用多元线性回归去除影像中高度相关的信号,对回归残差进行统计得到噪声的估计值。具体算法如下:

(1) 将图像分块,子块间连续不重叠。为了兼顾子块地物的均一性和多元线性回归的样本数量,子块大小一般取  $15 \times 15$ 。

(2) 对每个子块进行多元线性回归,得到信号的估计值。回归公式为:

$$\hat{x}_{i,j,k} = a + bx_{i,j,k-1} + cx_{i,j,k+1} + dx_{p,k} \quad (6)$$

其中: $x_{i,j,k}$ 表示第 $k$ 波段中,某一子块中位于 $(i, j)$ 点的像素辐射亮度值; $\hat{x}_{i,j,k}$ 为 $x_{i,j,k}$ 的线性拟合值; $a, b, c, d$ 为回归系数; $x_{p,k}$ 为 $x_{i,j,k}$ 空间邻域的像素辐射亮度值。

(3) 用子块各像素的灰度值减去信号的估计值,得到去相关后的残差 $r_{i,j,k}$ ,计算公式为:

$$r_{i,j,k} = x_{i,j,k} - \hat{x}_{i,j,k} \quad (7)$$

(4) 子块噪声方差 $\sigma_k^2$ 的计算公式为:

$$\sigma_k^2 = \frac{\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h r_{i,j,k}^2}{(w \times h - 1) - 4} \quad (8)$$

其中: $w, h$ 表示子块的宽度和高度。

(5) 对该波段所有子块的噪声标准差 $\sigma_k$ 进行统计,为了减小奇异地块对估计结果的干扰,通常剔除最大和最小各 15%,取剩下 70% 子块噪声方差的平均值作为该波段最佳噪声的估计值。

(6) 以图像的均值作为信号的估计值,用影像

均值与求得的最佳噪声估计值之比作为该波段影像的信噪比,以分贝(dB)来表示时,计算公式如下:

$$\text{SNR} = 20 \cdot \lg \frac{M_k}{\sigma_k} \quad (9)$$

其中: $M_k$ 表示 $k$ 波段的影像均值; $\sigma_k$ 表示 $k$ 波段的最佳噪声估计值。

### 3.3 清晰度

清晰度反映了图像细节边缘变化的敏锐程度。清晰度越高,影像地物边缘的可分辨程度越高,影像中的微小细节反差和纹理变换特征越明显。实验采用点锐度法<sup>[16]</sup>来表示,该方法与调制传递函数(Modulation Transfer Function, MTF)有很好的正相关性<sup>[9]</sup>,MTF对影像清晰度的变化十分敏感,是量测影像清晰度的标准方法,但是由于计算复杂,难以实现自动化和广泛应用<sup>[16]</sup>。而点锐度法可以快速、准确地计算影像清晰度,且能够实现自动化。计算公式为:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{M \times N} \sum_{a=1}^8 |df/dx|}{M \times N} \quad (10)$$

其中: $P$ 代表影像的清晰度; $M$ 、 $N$ 为行列数; $a$ 表示像元 $i$ 周围的像元数; $df$ 表示相邻相元间的辐亮度变化值; $dx$ 表示像元之间的距离增量。

### 3.4 信息熵

信息熵反映了图像包含信息的详细程度。影像信息熵越大,说明影像包含的信息越丰富,影像质量越好。常用香农熵(Shannon)来表示,计算公式为:

$$\text{Shannon} = - \sum_{i=\min}^{\max} (p_i \cdot \log_2 p_i) \quad (11)$$

其中: $\text{Shannon}$ 表示图像的信息熵; $i$ 是像元的灰度值; $p_i$ 表示辐亮度为 $i$ 的像元在图像中出现的概率; $\min$ 和 $\max$ 分别代表图像中像元辐亮度的最小值和最大值。

## 4 实验结果与分析

根据上述方法,分别计算ZY1-02D VNIC/AHSI, Sentinel-2 MSI, GF-5 AHSI各波段的均值、标准差、信噪比、清晰度和信息熵。其中,各个指标计算出的结果可用于分析同一传感器不同波段或不同地表覆盖类型的辐射性能。由于ZY1-02D VNIC与Sentinel-2 MSI两组数据拍摄日期相同,故这两颗传感器间的相同波段也可进行对比。同理,ZY1-02D AHSI和GF-5 AHSI两组数据也于同一日期拍摄,相同波段间的对比也是有意义的。为了测试ZY1-02D VNIC(图1)对不同地物的辨别能力

以及灰度分布特征,在北京和东营的影像中分别截取 $30 \text{ km} \times 30 \text{ km}$ 地物类型丰富的城镇农田混合样板区各一个。同理,在太湖、黄河口地区影像截取以水体为主的样板区,地物类型较为单一。在两景昆明的影像中截取地物类型较为丰富的山地林地混合样板区。使用这3类典型地物样板区计算辐射亮度均值和标准差。对于清晰度和信息熵,从上述影像中截取 $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 的城市、农田、山地、水体样板区各2个进行计算。对于ZY1-02D AHSI数据(图2),为了减小运算量,计算信噪比的样板区为每景影像中间 $900 \times 900$ 的像元,其余各指标均基于整景影像计算。在ZY1-02D VNIC/AHSI与Sentinel-2 MSI/GF-5 AHSI对比的两组影像中,除多光谱信噪比需要选取水体作为样板区外,其余各指标均基于研究区范围计算。

### 4.1 ZY1-02D VNIC数据质量评价

#### 4.1.1 整体辐射精度

通过图4(a)中均值的计算结果可以发现,ZY1-02D VNIC数据整体表现为在波长较短的可见光波段均值较大,蓝色、绿色、海岸、黄色和全色波段的均值明显高于其余波长较长的波段,说明传感器在这些波段对光能的接收能力较强。而在波长较长的红边、近红外波段,影像均值较低,传感器对光能的接受能力减弱。由于山地林地植被较多,植被对近红外光线的反射能力强,因此山地近红外波段的均值较城镇和水体更高。

在标准差的计算结果如图4(b)所示,除海岸波段标准差较低外,其余波段均处于较高水平,体现为影像灰度范围大,信息量较为丰富。不同地物间也展现出明显的差异,城镇、农田、山地和林地等地物类型细节较为丰富,而水体则较为单一,以水体为主的样板区的标准差明显低于其余样板区。

图4(c)和图4(d)分别展示了ZY1-02D VNIC数据和Sentinel-2 MSI数据均值和标准差的对比结果。结果表明,在两个研究区,ZY1-02D VNIC数据在各个波段的均值和标准差均高于Sentinel-2 MSI数据。ZY1-02D VNIC数据亮度更高,灰度范围更大,能够包含更多的信息。辐亮度均值的计算结果受两景影像成像时间和太阳高度角不同的影响,有可能导致ZY1-02D VNIC影像的辐亮度均值偏高。

#### 4.1.2 信噪比

图5(a)展示了ZY1-02D VNIC数据的信噪比的计算结果。信噪比计算结果的范围在30.80—



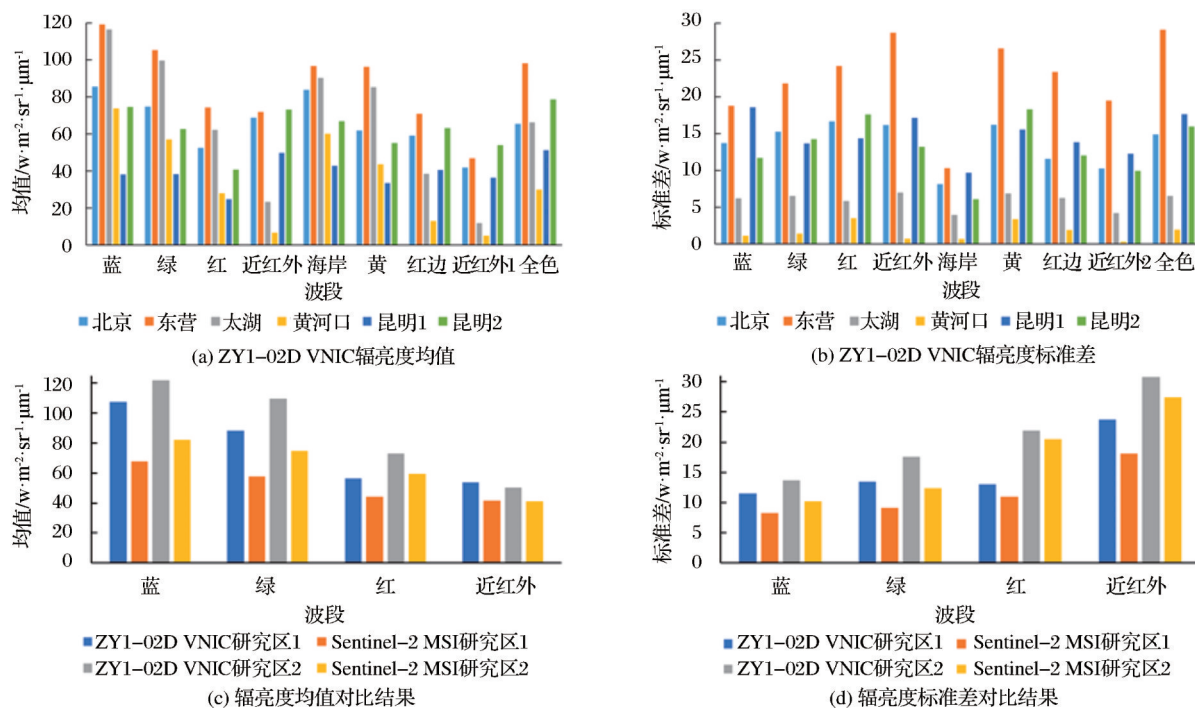


图4 ZY1-02D VNIC整体辐射精度及与Sentinel-2 MSI对比结果

Fig.4 Radiance accuracy of ZY1-02D VNIC and Sentinel-2 MSI data

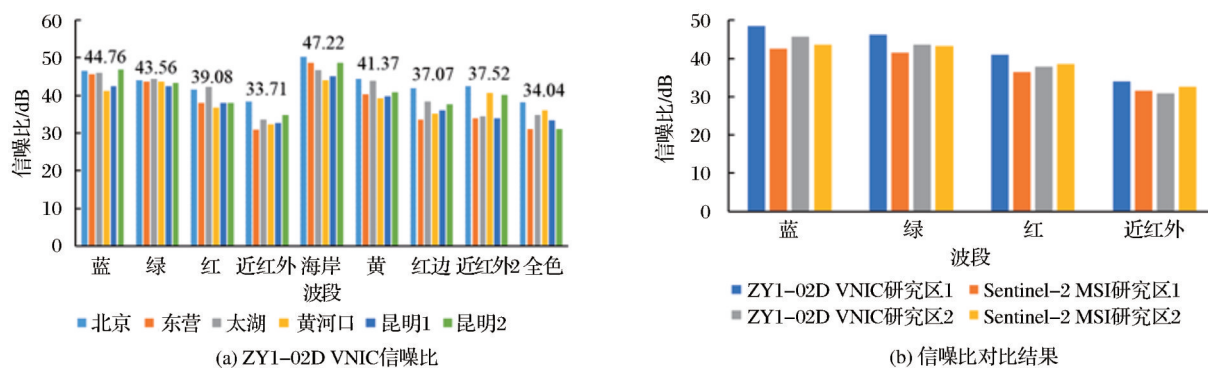


图5 ZY1-02D VNIC信噪比计算结果及与Sentinel-2 MSI对比结果

Fig.5 SNR of ZY1-02D VNIC and Sentinel-2 MSI data

50.20 dB 之间。其中,蓝色、绿色、海岸和黄色波段信噪比较高,这些波段的信噪比均值高于 40 dB,影像质量极好。信噪比最低的波段为近红外波段,信噪比均值为 33.76 dB。所有波段的信噪比均高于 30 dB,满足低端信噪比  $>28$  dB 的设计指标<sup>[17]</sup>,可以直接使用。

图 5(b) 给出了 ZY1-02D VNIC 数据和 Sentinel-2 MSI 数据信噪比的计算结果。结果表明,在两个研究区,ZY1-02D VNIC 在蓝、绿波段的信噪比均略高于 Sentinel-2 MSI 数据,而二者在红、近红外波段的信噪相近,差距在 10% 以内。

#### 4.1.3 清晰度

通过图 6(a) 中清晰度的计算结果可以发现,所

有波段均可对 4 种类型的地物进行较好地区分,4 类地物的清晰度基本呈现为:城市  $>$  农田  $>$  山地  $>$  水体。由于城市地物细节丰富且存在大量的地物边缘,因此城镇的清晰度在各个波段的值均处于较高水平,除海岸波段外,所有波段的清晰度均高于 25。农田相较于山地,地物边缘更加明显且丰富,因此农田在各个波段的清晰度整体高于山地。而植被对近红外光线较为敏感,可以有效区别于裸土等其余地物,因此农田和山地地区在近红外波段的清晰度明显高于其余波段,在 30 以上。水体则比较均一,其清晰度在所有波段都处于较低水平。其中,由于全色波段的分辨率为 2.5 m,其清晰度明显高于其余 10 m 分辨率波段,该波段对地物边缘的辨别能力更

强,作为图像融合时的高分辨率影像很有优势。

图6(b)给出了ZY1-02D VNIC数据和Sentinel-2 MSI数据清晰度的对比结果。结果表明,在两个研究区,ZY1-02D VNIC数据在各个波段的清

晰度均高于Sentinel-2 MSI数据,且优势明显。ZY1-02D VNIC数据所有波段的清晰度较Sentinel-2 MSI数据均高25%以上,对地物边缘的分辨能力更强。

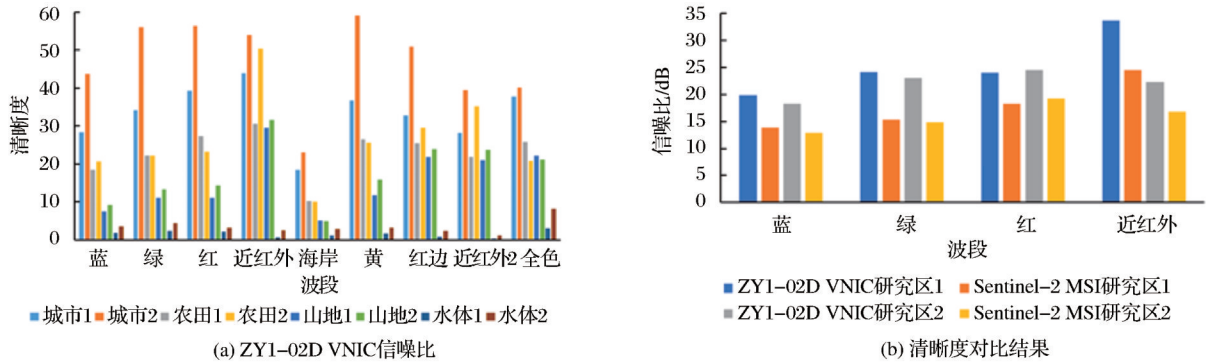


图6 ZY1-02D VNIC清晰度计算结果及与Sentinel-2 MSI对比结果

Fig.6 Definition of ZY1-02D VNIC and Sentinel-2 MSI data

#### 4.1.4 信息熵

灰度范围大的波段,信息熵值一般较大。ZY1-02D VNIC数据各个波段的信息熵计算结果,如图7(a)所示,4类地物的信息熵基本呈现为:城市>农田>山地>水体。其中,海岸波段由于标准差过小,灰度范围小,信息熵在所有波段中最低。其余波段的信息

熵较高,信息量丰富,有利于不同地物的区分。

图7(b)展示了ZY1-02D VNIC数据和Sentinel-2 MSI数据信息熵的计算结果。结果表明,在两个研究区,ZY1-02D VNIC数据在所有波段的信息熵均高于Sentinel-2 MSI数据,但差异较小,差距在12%以内。

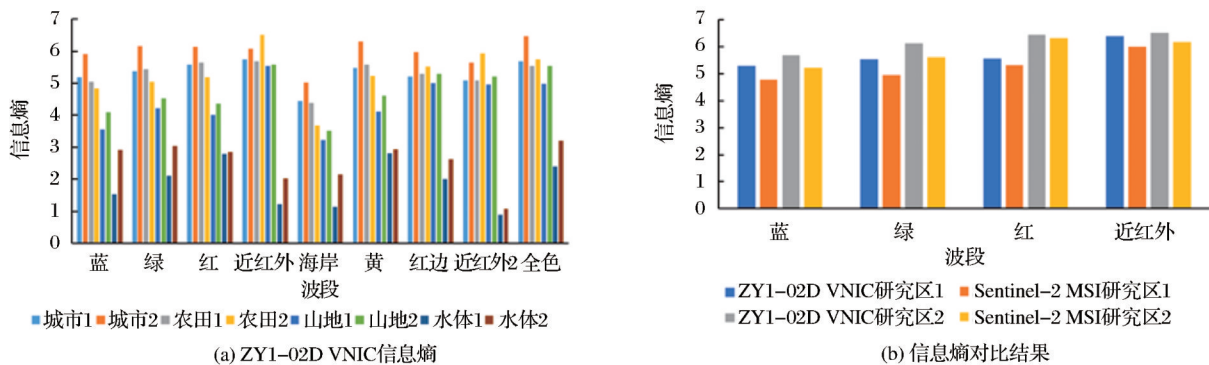


图7 ZY1-02D VNIC信息熵计算结果及与Sentinel-2 MSI对比结果

Fig.7 Shannon entropy of ZY1-02D VNIC and Sentinel-2 MSI data

## 4.2 ZY1-02D AHSI数据质量评价

### 4.2.1 整体辐射精度

图8(a)—图8(d)分别展示了ZY1-02D AHSI数据均值和标准差的计算结果。ZY1-02D AHSI数据在VNIR谱段的均值和标准差整体高于SWIR谱段,说明传感器在VNIR谱段接收光信号的能力更强,且灰度级更为分散,能够容纳更多的信息量,影像质量较好。而影像的均值在中心波长为1 425—1 475 nm (SWIR B26—B29)和1 812—2 501 nm (SWIR B49—B90)的谱段较低,方差较小,表现为影像灰度值低,灰度变化范围小,影像质量较差。

ZY1-02D AHSI数据与GF-5 AHSI数据的对比结果如图8(e)和图8(f)所示。在395—576 nm谱段范围内,ZY1-02D AHSI数据的均值低于GF-5 AHSI数据,而在585—2501 nm谱段内,ZY1-02D AHSI数据的均值则要整体高于GF-5 AHSI数据。ZY1-02D AHSI数据在全谱段内的标准差均高于GF-5 AHSI数据,这表明ZY1-02D AHSI数据的影像灰度变化范围更大。辐亮度均值受两景影像成像时间和太阳高度角的影响,有可能导致GF-5 AHSI数据的辐亮度偏高。



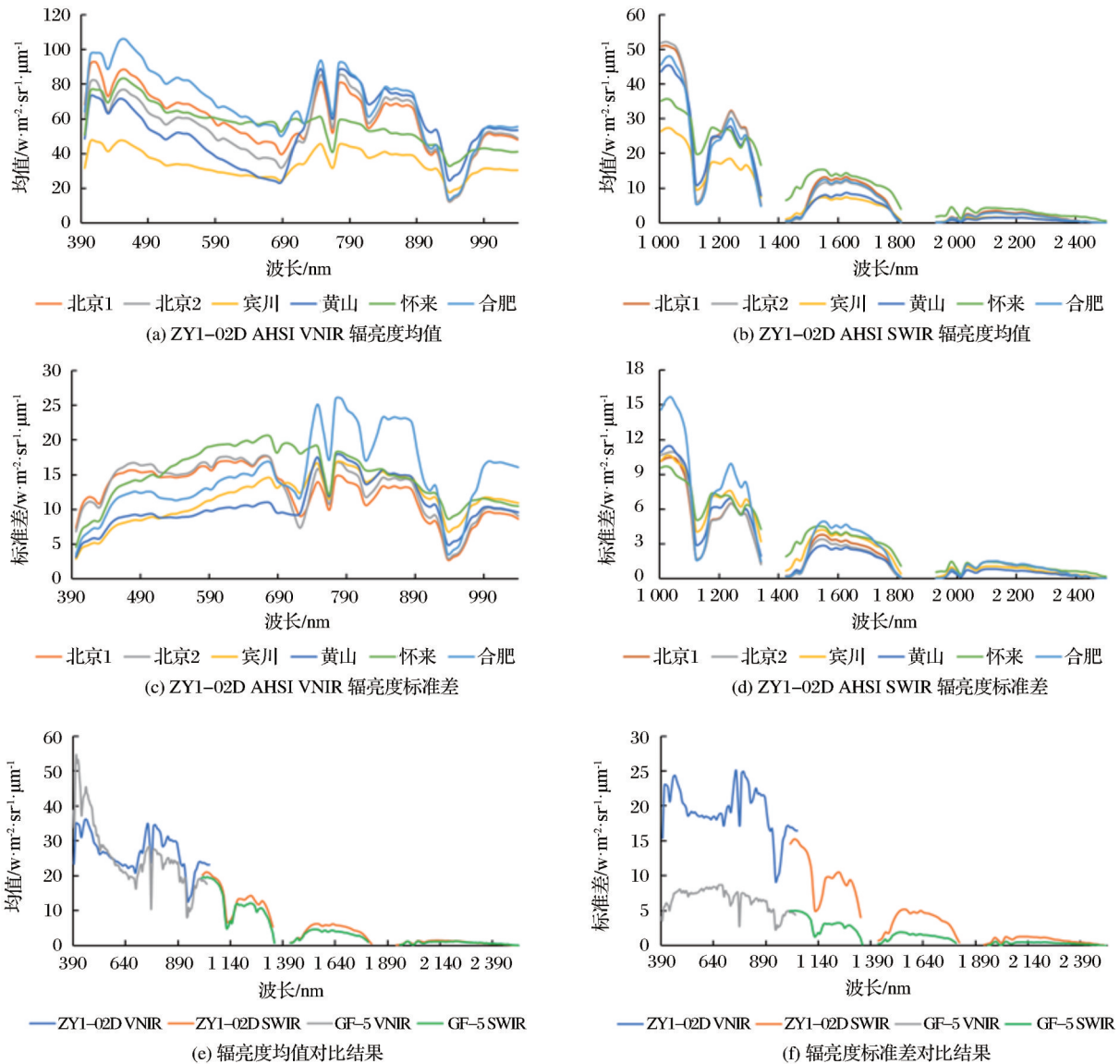


图8 ZY1-02D AHSI整体辐射精度计算结果及与GF-5 AHSI对比结果

Fig.8 Radiance accuracy of ZY1-02D AHSI and GF-5 AHSI data

#### 4.2.2 信噪比

图9(a)和图9(b)展示了信噪比的计算结果。除中心波长为1 425—1 459 nm (SWIR B26—B28)、1 812—1 963 nm (SWIR B49—B58)和2 384 nm—2 501 nm (SWIR B83—B90)谱段以外, ZY1-02D AHSI数据的信噪比基本高于30 dB。其中, 395—919 nm (VNIR B1—B62)、1 005—1 105 nm (SWIR B1—B7)和1 173—1 324 nm (SWIR B11—B20)谱段的信噪比整体高于40 dB。2 484—2 501 nm (SWIR B89—B90)谱段的信噪比低, 小于20 dB。通过对影像的观察, 以影像c为例, 可以发现当信噪比大于40 dB时, 影像质量极好, 几乎无缺陷, 如图10(a)所示; 当信噪比在30—40 dB时, 影像质量

较好, 存在轻微缺陷, 如图10(b)所示; 当信噪比在20—30 dB时, 影像存在可见噪声, 如图10(c)所示; 而当信噪比低于20 dB时, 影像噪声较大, 难以使用, 如图10(d)所示。对于信噪比低于20 dB的波段, 主要是受水汽影响, 条纹噪声严重, 使用前建议删除或者对影像进行降噪处理。

ZY1-02D AHSI与GF-5 AHSI的信噪比计算结果如图9(c)所示。两传感器在全波段的信噪比都非常接近, 曲线走势相近, 基本都维持在30 dB以上。在816—919 nm谱段范围内, ZY1-02D AHSI的信噪比略高。

#### 4.2.3 清晰度

VNIR和SWIR波段的清晰度计算结果见

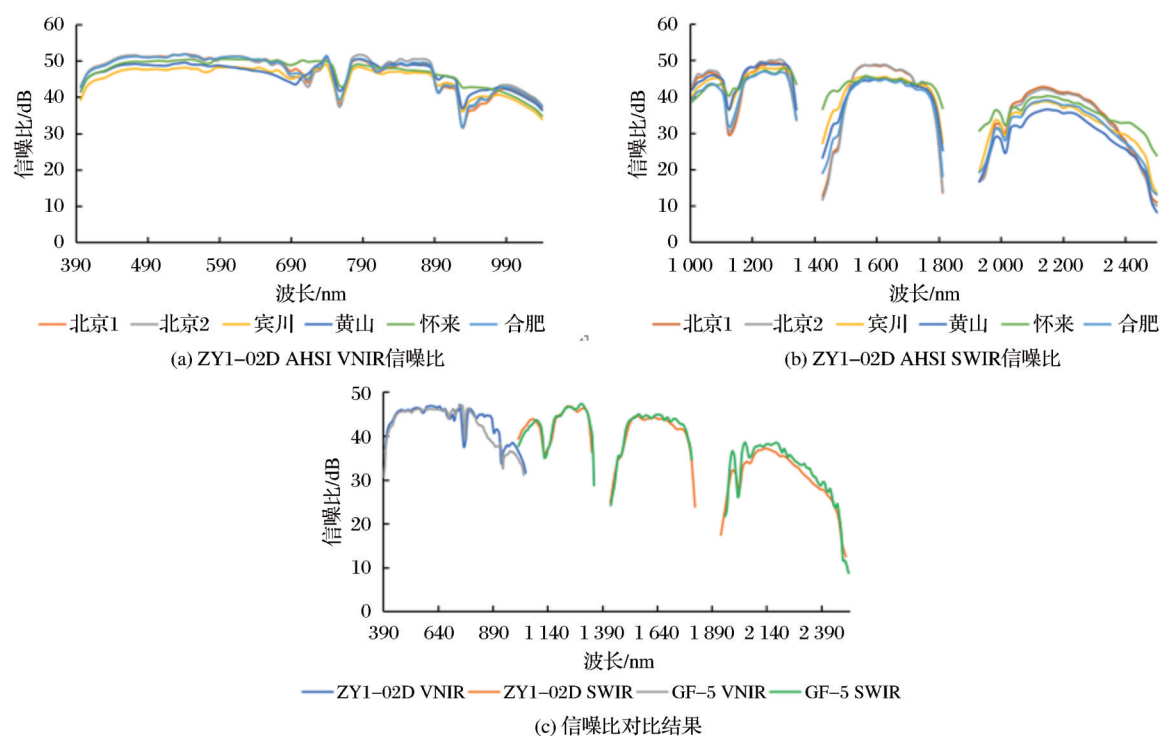


图 9 ZY1-02D AHSI 信噪比计算结果及与 GF-5 AHSI 对比结果

Fig.9 SNR of ZY1-02D AHSI and GF-5 AHSI data

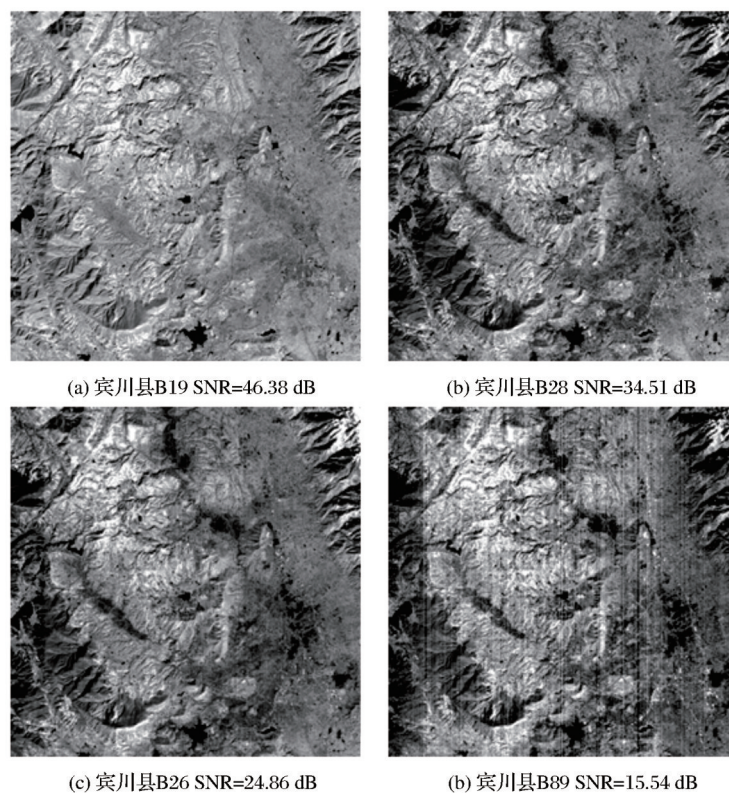


图 10 ZY1-02D AHSI 数据在不同信噪比区间的短波红外谱段影像

Fig.10 SWIR images of ZY1-02D AHSI data in different SNR interval

图 11(a)和图 11(b)。由于受到影像中地物的影响,不同影像间清晰度的数值存在差异,但曲线大体走势相似。结果表明,ZY1-02D AHSI 数据在中心波

长为 696—885nm (VNIR B36—B59) 的谱段清晰度最高,均处于 15 以上,优于其他谱段。在该谱段范围内,较其余谱段,影像中地物边缘的可分辨程度



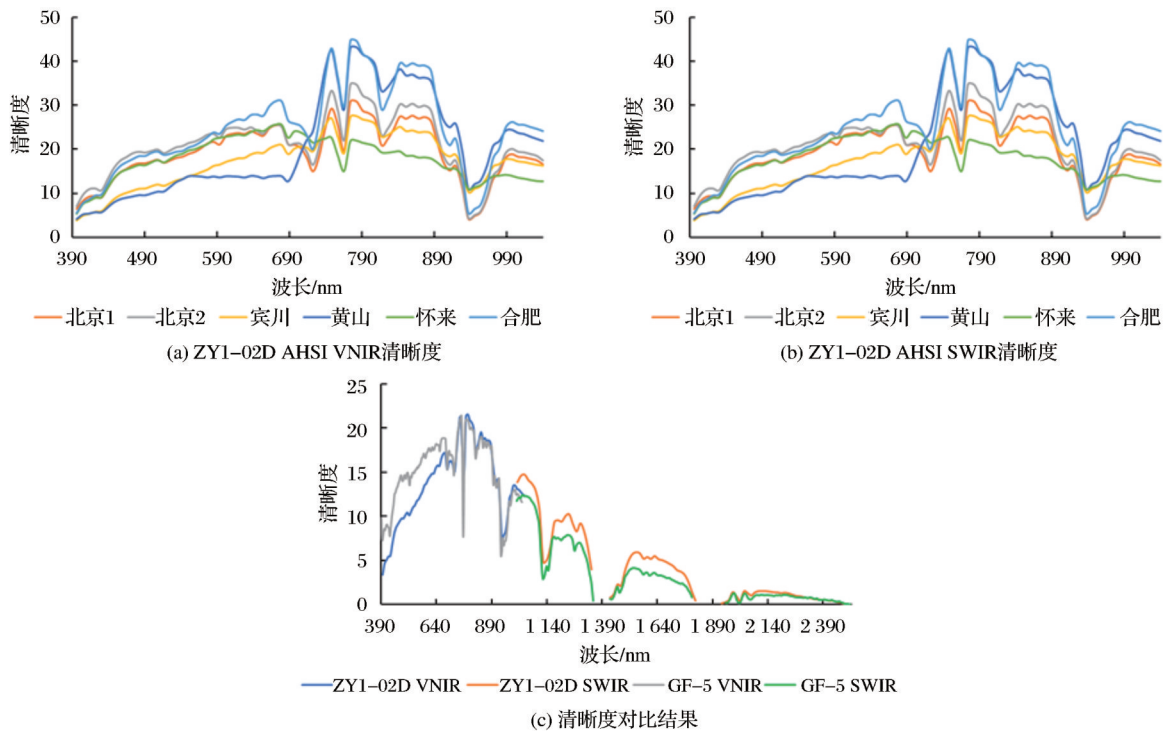


图11 ZY1-02D AHSI清晰度计算结果及与GF-5 AHSI对比结果

Fig.11 Definition of ZY1-02D AHSI and GF-5 AHSI data

最高,微小细节反差和纹理变换特征最为明显。而1 341—1 475 nm(SWIR B21—B29)和1 778—2 501 nm(SWIR B47—B90)谱段的清晰度最低,均小于3,明显低于其余谱段。在该谱段内,影像的均值和标准差也处于较低的水平,灰度值低且波动范围小,难以表现地物边缘的锐化程度和反差。

图11(c)展示了ZY1-02D AHSI数据与GF-5 AHSI数据清晰度的对比结果。两传感器的曲线趋势基本一致,其中,ZY1-02D AHSI数据在VNIR前半段谱段(395—696 nm)的清晰度明显低于GF-5 AHSI数据。在VNIR后半段谱段(705—1 040 nm),二者清晰度十分接近,无明显差异。而在SWIR全谱段(1 005—2 501 nm),ZY1-02D AHSI数据的清晰度均高于GF-5 AHSI数据。

#### 4.2.4 信息熵

图12(a)和图12(b)展示了信息熵的计算结果。ZY1-02D AHSI数据在VNIR谱段的信息熵整体高于SWIR谱段,说明ZY1-02D AHSI数据在VNIR谱段包含的信息更多,有利于区分不同的地物。其中,中心波长为404—928 nm(VNIR B2—B63)、962—1 105 nm(SWIR B67—B76、SWIR B1—B7)和1 173—1 290 nm(SWIR B11—B18)谱段的信息熵值较高,均位于4以上。在这些谱段内,影像的标准差值也较高,灰度范围大,影像所包含的信息较为

详细。

ZY1-02D AHSI数据与GF-5 AHSI数据的对比结果如图12(c)所示,可以发现,在VNIR前半段谱段(395—696 nm),ZY1-02D AHSI数据的信息熵要低于GF-5 AHSI数据;而在SWIR全谱段(1 005—2 501 nm),ZY1-02D AHSI数据的信息熵值则明显高于GF-5 AHSI数据。

## 5 讨论

### 5.1 综合分析

上述结果表明ZY1-02D VNIR影像在可见光波段具有亮度高、信噪比高等优势;而在红边近红外等波长较长的波段,影像具有灰度范围大、信息量大等特点。在蓝色、绿色、红色和近红外4个应用最为广泛的波段,ZY1-02D VNIR数据相较于Sentinel-2 MSI数据在影像亮度、灰度范围、清晰度和信息量方面更有优势,在信噪比方面,二者相近。

根据上述对ZY1-02D AHSI数据各指标的计算和与GF-5 AHSI的对比结果,按照影像质量的优劣可将ZY1-02D AHSI数据分为4组:VNIR B1—B76(395—1 040 nm)、SWIR B1—B21(1 005 nm—1 341 nm)、SWIR B26—B49(1 425—1 812 nm)和SWIR B56—B90(1 929—2 501 nm)。4组影像各指标的最小值、最大值、平均值和GF-5 AHSI数据相

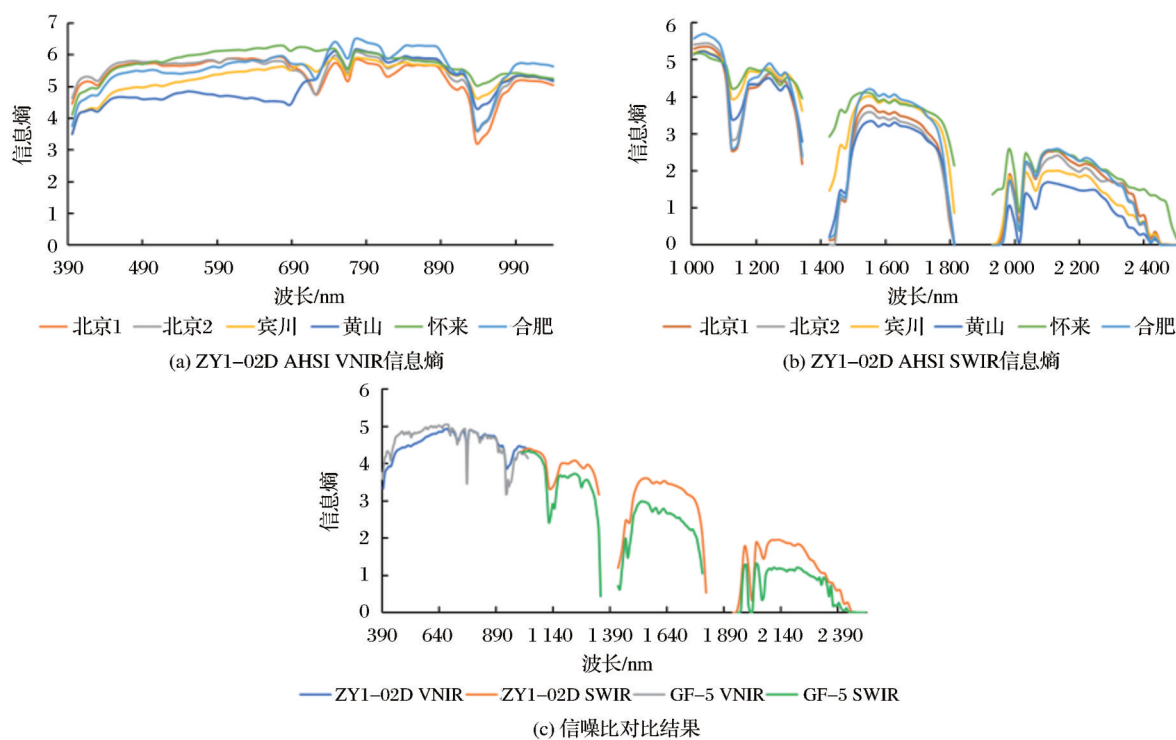


图 12 ZY1-02D AHSI 与 GF-5 AHSI 数据信息熵计算结果  
Fig.12 Shannon entropy of ZY1-02D AHSI and GF-5 AHSI data

应谱段的计算结果如表 6 所示。其中,ZY1-02D AHSI 数据在第一组和第二组,包括 VNIR 全谱段和 SWIR 前 21 个波段,数据质量最好。这两组数据具有亮度高、灰度范围大、高信噪比、影像清晰、信息量丰富等特点,可以直接使用,适合做定量遥感研究。第三组数据信噪比较高,地物信息较为丰富,但是影像亮度、灰度范围和清晰度与第一、二组有较大差距。第三组影像中存在小部分信噪比低于 30 dB 的噪声波段,可以选择性使用或对相应波

段进行降噪处理后使用。第四组数据亮度低、灰度范围小,包含的信息量很少,清晰度较差,且存在信噪比低于 20dB 严重噪声波段,严重噪声波段会影响数据的应用效果,可直接删除或去除条带噪声后使用。

与 GF-5 AHSI 数据相比,ZY1-02D AHSI 数据 4 组的均值、标准差和信息熵的平均值均高于 GF-5 AHSI,体现为接收光信号的能力更强,且灰度级更为分散,能够容纳更多的信息量。信噪比方

表 6 ZY1-02D AHSI 数据和 GF-5 AHSI 数据各指标评价结果  
Table 6 Evaluation indices results of ZY1-02D AHSI and GF-5 AHSI data

波长		均值		标准差		信噪比		清晰度		信息熵	
		ZY1-02D	GF-5	ZY1-02D	GF-5	ZY1-02D	GF-5	ZY1-02D	GF-5	ZY1-02D	GF-5
VNIR	最小值	12.69	8.09	9.14	2.26	31.70	30.80	3.39	5.51	3.33	3.17
	最大值	36.03	54.64	25.05	8.66	47.20	47.14	21.53	21.42	4.93	5.04
	平均值	26.70	25.59	19.32	6.50	43.22	42.52	13.69	15.07	4.54	4.60
SWIR	最小值	5.39	0.71	4.05	0.21	36.17	28.80	3.99	0.45	3.17	0.44
	最大值	20.96	19.76	15.20	5.04	46.86	47.36	14.70	12.41	4.41	4.34
	平均值	13.65	11.80	10.01	3.11	42.95	42.70	9.76	7.69	3.97	3.46
SWIR	最小值	0.51	0.74	0.43	0.29	23.93	24.26	0.46	0.63	0.54	0.63
	最大值	6.18	4.62	5.17	1.96	44.69	45.00	5.94	4.16	3.62	2.99
	平均值	4.20	3.24	3.47	1.31	39.89	41.35	3.91	2.81	2.95	2.34
SWIR	最小值	0.06	0.04	0.06	0.02	12.60	10.56	0.11	0.08	0.00	0.00
	最大值	1.46	1.18	1.30	0.60	37.33	38.59	1.54	1.27	1.97	1.32
	平均值	0.84	0.74	0.75	0.36	30.21	31.94	0.90	0.77	1.12	0.70



面,两传感器相近,均体现为在1、2、3组质量较好,信噪比最小值在24 dB左右,但第4组质量较差,存在噪声严重波段。清晰度方面,两传感器在1、2组清晰度较高,有利于地物边缘的分辨,而3、4组清晰度较低。其中,GF-5 AHSI在第1组的清晰度高于ZY1-02D AHSI数据,而在2、3、4组ZY1-02D AHSI数据更优。

## 5.2 应用潜力

ZY1-02D VNIC数据质量较好,全波段空间分辨率均为10 m,拥有红边波段,是对现有多光谱数据很好的补充。目前,Sentinel-2数据已广泛应用于区域甚至全球土地覆盖监测制图研究<sup>[18]</sup>、植被生物物理参数提取<sup>[19]</sup>、水环境监测<sup>[20]</sup>等。有学者指出,Sentinel-2 MSI的红边波段和短波红外波段使其相较其他传感器在植被研究中更有优势<sup>[21]</sup>。ZY1-02D VNIC与Sentinel-2有近似的波段设置,具有较高的分辨率,将在山、水、林、田、湖、草等定性、定量监测上具有广泛的应用潜力。

童庆禧等<sup>[22]</sup>在2016年提出高光谱遥感技术与应用相较于传统的摄影测量和多光谱遥感在应用范围和层次有明显差距,其中一个原因是高光谱卫星数据少,获取难度大。GF-5作为我国首颗高光谱观测卫星<sup>[23]</sup>,填补了我国在航天高光谱卫星的空白,大大降低了高光谱影像的获取难度,为高光谱数据应用提供了有力支撑。目前,GF-5数据在地物(植被)精细分类<sup>[24-26]</sup>、矿物填图<sup>[27]</sup>、水环境监测<sup>[28]</sup>等方面已有广泛的应用。高光谱数据适用于地表参数定量反演的研究<sup>[22]</sup>,国产高光谱卫星在这一研究领域具有较大潜力。目前,已有学者尝试利用ZY1-02D AHSI数据在地物精细分类<sup>[29]</sup>,土壤有机质含量及金属元素含量反演<sup>[30-31]</sup>,和地质矿产调查<sup>[32]</sup>等方面进行研究,并取得了一定的进展。这些研究证实了ZY1-02D高光谱数据在复杂地物识别和地面参数反演研究中取得良好的效果,有较大的应用潜力。ZY1-02D卫星上搭载的可见近红外相机可以同步获取2.5 m和10 m的全色/多光谱影像,对高光谱数据进行数据融合或混合相元分解,可进一步提升数据质量。ZY1-02D卫星作为我国首颗民用高光谱卫星,进一步降低了高光谱遥感数据获取的门槛,充分利用高光谱分辨率的优势和特点,可以更好地服务于地表信息提取、定量反演和精细分类制图等研究和应用。

## 6 结 论

本文基于整体辐射精度、信噪比、清晰度以及信息熵对ZY1-02D VNIC/AHSI数据质量进行评价,并与Sentinel-2 MSI和GF-5 AHSI数据进行对比。结果表明:

(1)ZY1-02D VNIC数据影像质量高,对不同地物的区分度好,信噪比达到28 dB以上,满足设计指标要求。与Sentinel-2 MSI数据相比具有亮度高、影像清晰、信息量更大等优势。

(2)ZY1-02D AHSI数据质量方面,VNIR波段的影像质量整体好于SWIR波段。在395—1 341 nm谱段范围内,影像数据质量较好,十分有利于地物识别、定量反演和精细分类等研究与应用。而在1 929—2 501 nm谱段范围,由于受水汽影响,部分波段存在严重的条带噪声,影像质量较差,在使用前需要进行降噪处理。与GF-5 AHSI数据相比,二者影像信噪比相当,ZY1-02D AHSI数据在灰度范围方面更有优势,在短波红外谱段的清晰度和信息量也优于GF-5。ZY1-02D卫星与GF-5卫星高光谱数据拥有相同的空间分辨率和幅宽,可以相互补充,实现缩短重访周期的效果,可以满足地质填图、自然资源检测等对地物信息定量化提取和识别的要求。

## 参考文献(Reference):

- [1] Zhang Hongyu, Han Bo, Wang Xiaohu, *et al.* System design and technique characteristic of ZY-1-02D satellite[J]. Spacecraft Engineering, 2020, 29(6): 10-18.[张宏宇,韩波,王啸虎,等.资源一号02D卫星总体设计与技术特点[J].航天器工程,2020,29(6):10-18.]
- [2] Wei Hongyan, Xiao Chenchao, Song Qingjun, *et al.* Natural resources typical applications in on-orbit test of ZY-1-02D satellite[J]. Spacecraft Engineering, 2020, 29(6): 148-151.[魏红艳,肖晨超,宋庆君,等.资源一号02D卫星在轨测试自然资源典型应用[J].航天器工程,2020,29(6):148-151.]
- [3] Huang Yan, Tian Qingjiu, Wei Hongwei, *et al.* Data quality evaluation and application potential analysis on ZY-1-02C P/MS[J]. Remote Sensing Information, 2013, 28(6): 33-43.[黄彦,田庆久,魏宏伟,等. ZY-1-02C卫星P/MS数据质量评价及应用潜力分析[J].遥感信息,2013,28(6):33-43.]
- [4] Chen Ming, Zhou Wei, Yuan Tao. GF-1 image quality evaluation and applications potential for the mining area land use classification[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2015, 32(5): 494-499.[陈明,周伟,袁涛.“GF-1”影像质量评价及矿区土地利用分类潜力研究[J].测绘科学技术学报,2015,32(5):494-499.]

- [5] Xu Wen, Long Xiaoxiang, Li Qingpeng. Radiometric image quality assessment of GF-2 satellite PMS Camera[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2015, 36(4): 1-9.[徐文, 龙小祥, 李庆鹏.“高分二号”卫星相机影像辐射质量评价[J]. 航天返回与遥感, 2015, 36(4): 1-9.]
- [6] Dong Shengyue, Sun Genyun, Du Yongming, *et al.* Image quality assessment for visual and infrared multispectral imager of GF-5[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(2): 381-388.[董胜越, 孙根云, 杜永明, 等. 高分五号全谱段光谱成像仪影像数据质量评价研究[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(2): 381-388.]
- [7] Tan Wei, Qi Wenwen, Wang Jun, *et al.* On-orbit adjusting and image quality assessment method for VNIR camera of ZY-1-02D satellite[J]. Spacecraft Engineering, 2020, 29(6): 60-66.[谭伟, 齐文雯, 王军, 等. 资源一号02D卫星可见近红外相机在轨调试与图像质量评价方法[J]. 航天器工程, 2020, 29(6): 60-66.]
- [8] Zhou Yuji, Tian Qingjiu. Image quality evaluation of EO-1 hyperion sensor[J]. Journal of Geo-information Science, 2008, 10(5): 678-683.[周雨霁, 田庆久. EO-1 Hyperion高光谱数据的质量评价[J]. 地球信息科学, 2008, 10(5): 678-683.]
- [9] Wu Xing, Zhang Xia, Sun Xuejian, *et al.* Radiation quality evaluation of spark hyperspectral satellite image[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2018, 33(2): 233-240.[吴兴, 张霞, 孙雪剑, 等. SPARK卫星高光谱数据辐射质量评价[J]. 遥感技术与应用, 2018, 33(2): 233-240.]
- [10] Wang Chongchang, Xue Rongrong, Zhao Shihu, *et al.* Quality evaluation and analysis of GF-5 hyperspectral image data[J]. Geography and Geo-Information Science, 2021, 37(1): 33-38+125.[王崇倡, 薛荣荣, 赵世湖. GF-5卫星高光谱影像数据质量评价与分析[J]. 地理与地理信息科学, 2021, 37(1): 33-38+125.]
- [11] Liu Yinnian, Sun Dexin, Liang Jian, *et al.* Overview of ZY-1-02D satellite AHSI on-orbit performance and stability[J]. Spacecraft Engineering, 2020, 29(6): 93-97.[刘银年, 孙德新, 梁建, 等. 资源一号02D卫星高光谱相机在轨性能及稳定性评估[J]. 航天器工程, 2020, 29(6): 93-97.]
- [12] Hong Bo. Study on methods for SNR estimation of hyperspectral remote sensing images[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2013.[洪波. 高光谱遥感图像信噪比估算方法研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.]
- [13] Qin Bangyong. A study on quality evaluation system and methods of hyperspectral remote sensing data[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2014.[覃帮勇. 高光谱遥感数据质量评价体系及方法研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2014.]
- [14] Gao Lianru, Zhang Bing, Zhang Xia, *et al.* Study on the method for estimating the noise in remote sensing images based on local standard deviations[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2007, 11(2): 201-208.[高连如, 张兵, 张霞, 等. 基于局部标准差的遥感图像噪声评估方法研究[J]. 遥感学报, 2007, 11(2): 201-208.]
- [15] Roger R E, Arnold J F. Reliably estimating the noise in AVIRIS hyperspectral images[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(10): 1951-1962. DOI: 10.1080/01431169608948750.
- [16] Wang Hongnan, Zhong Wen, Wang Jing, *et al.* Research of measurement for digital image definition[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(7): 64-67.[王鸿南, 钟文, 汪静, 等. 图像清晰度评价方法研究[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(7): 64-67.]
- [17] Li Qinglin, Xu Xianfeng, Wei Zhiyong, *et al.* Design and verification of visible and Near-infrared camera for ZY-1-02D satellite[J]. Spacecraft Engineering, 2020, 29(6): 78-84.[李庆林, 徐先锋, 魏志勇, 等. 资源一号02D卫星可见近红外相机技术与验证[J]. 航天器工程, 2020, 29(6): 78-84.]
- [18] Darius P, Matamyo S, Serajis S, *et al.* Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review [J]. Remote Sensing, 2020, 12(14): 2291. DOI: 10.3390/rs12142291.
- [19] Misra G, Cawkwell F, Wingler A. Status of phenological research using Sentinel-2 data: A review[J]. Remote Sensing, 2020, 12(17): 2760. DOI: 10.3390/rs12172760.
- [20] Li P, Ke Y, Bai J, *et al.* Spatiotemporal dynamics of suspended particulate matter in the Yellow River estuary, China during the past two decades based on time-series Landsat and Sentinel-2 data [J]. Marine Pollution Bulletin, 2019, 149: 110518. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.110518.
- [21] Liu L, Xiao X, Qin Y, *et al.* Mapping cropping intensity in China using time series Landsat and Sentinel-2 images and Google Earth Engine[J]. Remote Sensing of Environment, 2020, 239(4): 111624. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111624.
- [22] Tong Qingxi, Zhang Bing, Zhang Lifu. Current progress of hyperspectral remote sensing in China[J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 689-707.[童庆禧, 张兵, 张立福. 中国高光谱遥感的前沿进展[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 689-707.]
- [23] Sun Yunzhu, Jiang Guangwei, Li Yunduan, *et al.* GF-5 Satellite system design and technological characteristics[J]. Aerospace Shanghai, 2019, 36(2): 1-13.[孙允珠, 蒋光伟, 李云端, 等. 高分五号卫星方案设计与技术特点[J]. 上海航天, 2019, 36(2): 1-13.]
- [24] Wan L, Lin Y, Zhang H, *et al.* GF-5 Hyperspectral data for species mapping of mangrove in Mai Po, HongKong[J]. Remote Sensing, 2020, 12(4): 656. DOI: 10.3390/rs12040656.
- [25] Yuan Jingwen, Wu Chen, Du Bo, *et al.* Analysis of landscape pattern on urban land use based on GF-5 hyperspectral data[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2020, 24(4): 465-478.[袁静文, 武辰, 杜博, 等. 高分五号高光谱遥感影像的城市土地利用景观格局分析[J]. 遥感学报, 2020, 24(4): 465-478.]
- [26] Jiao L, Sun W, Yang G, *et al.* A hierarchical classification framework of satellite multispectral/hyperspectral images for mapping coastal wetlands[J]. Remote Sensing, 2019, 11(19): 2238. DOI: 10.3390/rs11192238.

- [27] Ye B, Tian S, Cheng Q, *et al.* Application of lithological mapping based on Advanced Hyper Spectral Imager (AHSI) imagery onboard Gaofen-5 (GF-5) satellite[J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(23): 3990. DOI: 10.3390/rs12233990.
- [28] Hu Lin, Gan Shu, Yuan Xiping, *et al.* Study on the spatial distribution characteristics of cyanobacteria bloom in Dianchi Lake based on GF-5[J]. *Laser & Infrared*, 2021, 51(2): 237-243.[胡琳,甘淑,袁希平,等.基于GF-5的滇池蓝藻水华空间分布特征研究[J].*激光与红外*, 2021, 51(2): 237-243.]
- [29] Sun W, Liu K, Ren G, *et al.* A simple and effective spectral-spatial method for mapping large-scale coastal wetlands using China ZY-1-02D satellite hyperspectral images [J] *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2021, 104: 102572. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102572.
- [30] Yang Y, Shang K, Xu Y. Analysis of sensitive spectral characteristics of farmland soil organic matter content based on AHSI/ZY-1-02D data [J]. 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS. 2021: 6461-6464. DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9554275.
- [31] Shang K, Gu H, Yang Y. Inversion of total copper content in mining soils with different spectral pretreatment techniques using AHSI/ZY1-02D Data[J]. 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, 2021: 6461-6464, DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9554275.
- [32] Li Genjun, Yang Xuesong, Zhang Xing, *et al.* Application and analysis of ZY-1-02D hyperspectral data in geological and mineral survey[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2021, 33(2): 134-140.[李根军,杨雪松,张兴,等.ZY1-02D 高光谱数据在地质矿产调查中的应用与分析[J].*国土资源遥感*, 2021, 33(2): 134-140.]

## Radiance Quality Assessment of ZY-1-02D VNIC/AHSI Image Data

Sun Peiyu<sup>1,2,3</sup>, Ke Yinghai<sup>1,2,3</sup>, Zhong Ruofei<sup>1,2,3</sup>, Zhao Shihu<sup>4</sup>, Liu Yao<sup>4</sup>

(1.State Key Laboratory Cultivation Base of Urban Environment Process and Simulation, Beijing 100048, China;

2.Beijing Laboratory of Water Resources Security, Beijing 100048, China;

3.College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China;

4.Land Satellite Remote Sensing Application Center, MNR, Beijing 100048, China)

**Abstract:** ZY-1-02D is the first civil hyperspectral satellite in China, equipped with Visible Near-Infrared Camera (VNIC) and Advanced Hyperspectral Imager (AHSI). This study evaluates and analyzes the radiance quality of ZY-1-02D VNIC/AHSI data and compares them with Sentinel-2 MSI/GF-5 AHSI data. Four indicators are used to assess image quality: radiance precision, Signal-to-Noise Ratio (SNR), definition, and Shannon entropy. The results indicate that ZY-1-02D VNIC data has the advantages of high radiance and high SNR in visible bands. In red-edge and near-infrared bands, ZY-1-02D VNIC data has the advantages of a large gray range and a large amount of information. The comparison between ZY-1-02D and Sentinel-2 MSI data shows that ZY-1-02D VNIC data has better performance in radiance, gray range, definition, and information content. The performance of the two sensors is similar in terms of SNR. ZY-1-02D AHSI data has great quality in 395~1 314 nm wavelength. However, in 1 929—2 501 nm, some bands have severe noise and poor quality caused by water vapor. The comparison between ZY-1-02D AHSI and GF-5 AHSI data shows that the performance in radiance and SNR of the two sensors are similar. The gray range of ZY-1-02D AHSI data is greater than GF-5 AHSI data in both VNIR and SWIR. The definition and information content of ZY-1-02D AHSI data are better than GF-5 AHSI data in SWIR bands.

**Key words:** ZY-1-02D; Image quality assessment; Sentinel-2; GF-5; Hyperspectral data