

珠海一号高光谱数据辐射质量评价

张立福^{1,2,4}, 王飒^{1,2}, 颜军³, 张强³, 刘少杰³, 纪婵³, 刘森³, 童庆禧¹

1. 中国科学院空天信息创新研究院 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 珠海欧比特宇航科技股份有限公司, 珠海 519080;

4. 石河子大学, 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 石河子, 832003

摘要: “珠海一号” 02 组和 03 组高光谱卫星分别于 2018 年 4 月 26 日和 2019 年 9 月 19 日发射成功。数据辐射质量评价是遥感数据应用的基础之一, 针对珠海一号高光谱卫星数据, 基于辐射精度、清晰度、信噪比和信息熵四个客观指标, 对珠海高光谱 L1B 级数据辐射质量进行评价, 并与 GF-5 号高光谱遥感数据相同谱段(440-1000nm)数据辐射质量进行对比。结果表明: GF-5 号高光谱数据的辐射精度和清晰度均优于珠海高光谱数据, 并且珠海高光谱数据的清晰度为 GF-5 号数据清晰度的 54.5% 左右; 在信息熵方面, 两者能力近似, 均在 6-10 之间; 在信噪比方面, 珠海高光谱数据的信息熵为 GF-5 号数据信息熵的 86.5% 左右。因此, 珠海高光谱数据和 GF-5 号高光谱数据在一定程度上可以补充使用, 同时珠海高光谱数据可通过提高量化级数、降低光谱分辨率和优化传感器探元响应提高数据辐射质量。

关键词: 珠海一号高光谱; 辐射精度; 清晰度; 信噪比; 信息熵

中图分类号: TP701

文献标志码: A

引用格式:

HyperSpectral, OHS) 计划共 10 颗, 目前 4 颗 OHS-2

卫星于 2018 年 4 月 26 日发射成功, 4 颗 OHS-3 卫

星于 2019 年 9 月 19 日发射成功。OHS 采用推扫式

扫描成像的方式, 空间分辨率为 10 m, 光谱分辨率

为 2.5 nm, 波长范围为 400-1000 nm, 波段 32 个,

1 引言

“珠海一号”卫星星座, 是我国首个民营企业发射的微纳卫星星座, 共有 34 颗卫星组成, 包括视觉卫星、高光谱卫星等。珠海一号高光谱卫星(Orbita

收稿日期 (六号黑体):

基金项目: 兵团重大科技项目 (编号: 2018AA004); 兵团重点领域创新团队 (编号: 2018CB004); 国家自然科学基金 (编号: 41830108, 41977154); 国家重点研发计划 (编号: 2017YFC1500901)

第一作者简介: 张立福, 1967 年生, 男, 研究员, 研究方向为高光谱数据处理技术。E-mail: zhanglf@radi.ac.cn

通信作者简介: 张立福, 1967 年生, 男, 研究员, 研究方向为高光谱数据处理技术。E-mail: zhanglf@radi.ac.cn

28 可以通过命令,重新选择其他波段进行下传,幅宽 55 观性问题。

29 为 150 km×150 km,运行轨道为 98°太阳同步轨道,56 众多学者基于客观评价的方法对高光谱数据质

30 轨道高度为 500 km,同时支持在轨标定,理想情况 57 量进行评估:Forster 和 Best (1994) 通过调制传递函

31 下 10 颗星每 2 天可覆盖全球一次 (洪韬 2019;李 58 数对 SPOT 影像进行了质量评价分析;Kamal 等

32 先怡 等,2019)。目前,OHS 数据已在土壤有机质 59 (2016) 通过叶面积指数比较了 WorldView-2、ALOS

33 含量反演、内陆水体范围提取、水体参数反演、农 60 AVNIR-2 和 Landsat TM 的数据质量;张霞等 (2002)

34 作物精细分类等方面取得成功应用 (洪韬 2019;孙 61 通过地面分解力、清晰度、信噪比、反差和辐射精

35 浩然 等,2020;尹慧新 和 樊彦国 2020;张信耶 和 62 度 6 个指标对中巴地球资源一号卫星数据质量进行

36 李继旭 2019)。 63 了评价。王钦军和田庆久 (2007) 基于辐射精度、

37 遥感数据质量评价是遥感数据应用的基础,得 64 清晰度、信息量、信噪比、几何精度和地面分辨率

38 到了国内外众多专家的关注。遥感数据质量评价的 65 6 个评价指标,对 IRS-P6 卫星 LISS3 图像进行数据

39 方法分为主观和客观评价方法 (何南南 等,2017; 66 质量评价,并基于相同区域的 TM 数据,进行了对

40 王霄鹏 等,2016;尹灵芝 等,2014;周景超 等, 67 比分析。魏宏伟和田庆久 (2012) 基于辐射精度、

41 2008)。主观评价,即目视评价,主要靠人的目视检 68 信息量、清晰度、信噪比、对比度和地面分辨率 6

42 查,对影像的质量好坏进行打分评级。主观评价方 69 个客观指标对 HJ1B-CCD 影像进行质量评价。曹春

43 法主要依靠评价人的主观感受,但是由于每个人的 70 旭 (2014) 通过主观评价和客观评价相结合的方

44 经验、素质、认知水平和个人背景等不同,可能会 71 法,基于数据的信息量、清晰度、灰度范围、噪声

45 造成不同的评价人对同一幅影像的评价结果不同, 72 等方面对资源一号 02C 卫星进行数据质量分析和评

46 同时,主观评价方法还受限于人眼的分辨能力 (曹 73 价。吴兴等 (2018) 基于辐射精度、信噪比、信息

47 春旭 2014;曾彩云 2017;任雪 2008),为了保障 74 熵和影像清晰度 4 个客观指标分析 SPARK-02 星高

48 主观评价结果的正确性,一般应至少有 20 名人员参 75 光谱数据质量。

49 加主观评价 (任雪 2008)。目前国际上对多媒体应 76 综上所述,目前尚未有对珠海一号高光谱卫星

50 用和电视图像的主观评价方法已经规定了国际标 77 数据辐射质量评价的系统性研究。珠海一号高光谱

51 准:ITU-T Rec. P. 910 和 ITU-R BT.500-11,但对于 78 数据产品共有 32 个波段,如果以主观评价方法进行

52 高光谱数据质量主观评价还没有统一的标准。客观 79 逐一评定将消耗大量人力、物力和时间,因此,本

53 评价方法则以图像的物理特征为基础,以特定的指 80 文主要采用客观评价的方法进行辐射质量评价,针

54 标进行定量评价,能够避免主观评价方法存在的主 81 对珠海一号的高光谱数据,分别选择了具有代表性

82 地物覆盖的区域,采用客观评价的方法:辐射精度107 增益调整畸变则是列向量均值矢量,矢量的均值和
 83 清晰度、信噪比和信息熵为评价指标,对 OHS-2 和08 方差的比值能够反映图像边缘辐射畸变和灰度增益
 84 OHS-3 高光谱数据进行辐射质量评价,并对比分析09 变化的情况,值越大说明辐射形变越大。需要注意
 85 OHS-2 和 OHS-3 不同星的高光谱数据辐射质量指10 的是,由于图像的灰度值与地物类型、成像时间和
 86 标,为珠海一号高光谱数据在地理国情监测、精准11 天气等有着密切的联系,辐射精度的6个指标本身
 87 农业、湿地资源保护、灾害监测、海洋环境调查等12 没有绝对的意义,可以用于同一数据不用波段的相
 88 应用提供数据质量参考。 113 互比较。其计算公式如下所示:

89 2 辐射质量评价方法

90 2.1 辐射精度

91 辐射精度是反映图像辐射状态的指标,包括均
 92 值、方差、偏度、陡度、边缘辐射畸变和增益调整
 93 畸变6个指标。其中,均值能够反映图像的整体辐
 94 射状况;方差反映的是图像信息量的大小,方差的
 95 值越大,则说明图像的信息量越丰富(张霞等,
 96 2002);偏度和陡度是反映图像直方图分布的2个指
 97 标,偏度反映的是图像直方图分布形状偏离平均值
 98 周围对称形状的程度,正负表示不对称边的分布是
 99 更趋向于正值还是负值,如果偏度为正值,则为右
 100 偏分布,反之,为左偏分布。当偏度绝对值越大,
 101 表明偏斜程度越大,直方图分布不均匀,质量较差;
 102 陡度则表达图像直方图的分布形状是集中在平均值
 103 附近还是向边缘扩展,陡度的值越大,表明越集中
 104 在平均值附近,说明图像灰度范围越窄,辐射精度
 105 较差;边缘辐射畸变和增益调整畸变是辐射不均质
 106 性的2个指标,边缘辐射畸变是行向量均值矢量,127

$$114 \quad M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

$$115 \quad d = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - M)^2 \quad (2)$$

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - M}{\sqrt{d}}\right)^3}{N} \quad (3)$$

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - M}{\sqrt{d}}\right)^4}{N} \quad (4)$$

$$R = \frac{R_m}{R_d} \quad (5)$$

$$P = \frac{P_m}{P_d} \quad (6)$$

116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 其中, M 表示均值, d 表示方差, S 表示偏度,
 126 R 表示边缘辐射畸变, P 表示增益调整畸变, K 表示
 陡度, x_i 表示第*i*像元的灰度值, N 表示像元个数,
 R_m 表示行方向均值矢量的均值, R_d 表示行方向均值
 矢量的方差, P_m 为列方向上均值矢量的均值, P_d 为
 列方向上均值矢量的方差。

126 2.2 清晰度

清晰度是衡量影像细节边缘变化的一个重要指

128 标。当一幅影像的清晰度越高，意味着影像的边缘53 大，地物信息越详细。常用熵有：Shannon 熵、条
129 细节可区分程度高。本文采用点锐度算法计算清晰54 件熵、平方熵、立方熵等。本文采用 Shannon 信息
130 度 (王鸿南 等, 2004; 吴兴 等, 2018), 公式如下:155 熵来表示 OHS 高光谱的信息量, Shannon 熵的计算

$$131 \quad EVA = \frac{\sum_{i=1}^N |df/dx|}{N} \quad (7) \quad 156 \quad \text{公式如下:}$$

132 其中, EVA 表示为影像的清晰度, N 表示像元

$$157 \quad H = - \sum_{i=\min}^{\max} P_i \log_2 p_i \quad (9)$$

133 个数, df 为影像灰度变化幅值, dx 为像元间的距离58
134 增量。

159 其中, H 表示为影像的信息熵, \min 为图像灰
160 度最小值, \max 为图像灰度最大值, P_i 表示灰度值 i
160 的像元的概率。

135 2.3 信噪比

136 信噪比反映了影像中 useful 信息和噪声信息的大161
137 小, 它是衡量影像质量的重要指标之一, 定义为图
138 像中 useful 成分的均值与噪声成分的标准差的比值162
139 (高连如 等, 2007; 梁文秀 等, 2015; 吴兴 等, 163
140 2018; 朱博 等, 2010)。影像噪声的标准差计算方164
141 法有去相关法、基于高斯波形提取的局部方差法、165
142 基于边缘块剔除的局部方差法、局部方差法等 (高166
143 连如 等, 2007; 朱博 等, 2010)。本文基于 Canny167
144 算子进行噪声标准差的估算, 它基于高斯滤波和梯168
145 度幅值进行边缘检测。计算公式为:

$$146 \quad SNR = 20 \log_{10} \frac{m}{\delta} \quad (8)$$

147 其中, SNR 表示为影像的信噪比, 单位为分贝172
148 (dB), m 表示为图像的均值, δ 为影像噪声标准差173

149 2.4 信息熵

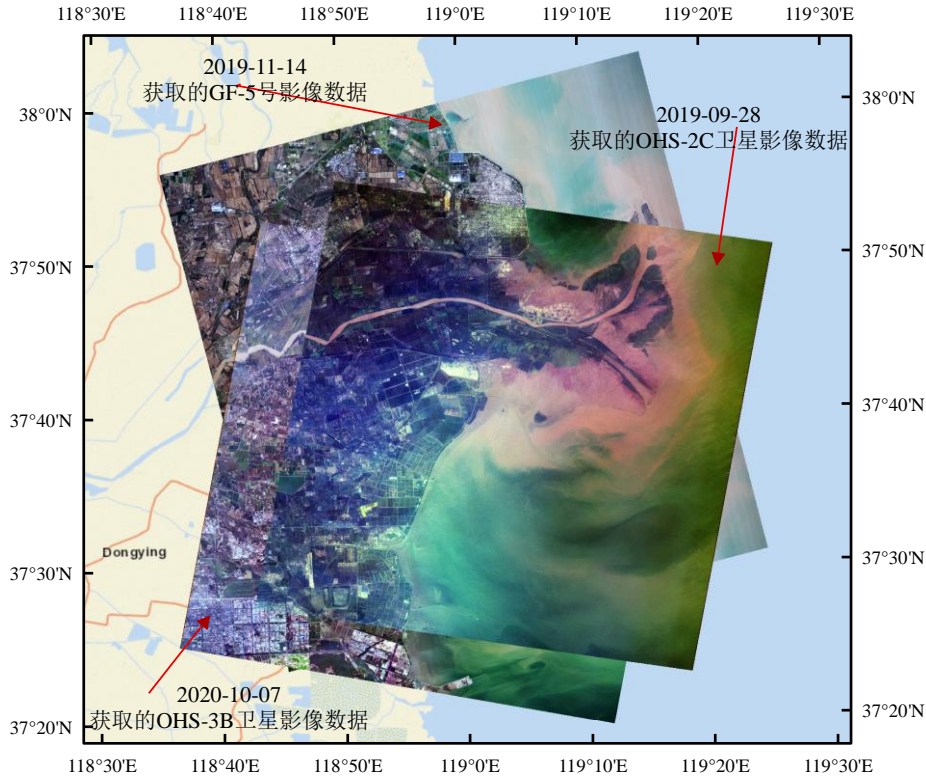
150 信息熵是反映影像所包含信息量大小的重要指175
151 标, 能够反映影像所包含地物信息的详细程度。一176
152 般而言, 信息熵越大, 表明影像所包含的信息量越177

3 实验数据

169 本文研究区为山东省东营市黄河入海口地区。
170 该地区地势较为平坦, 地表覆盖主要包括: 河流、
171 农田、水产养殖、植被和建筑物等, 地物类型较为
172 丰富。为了较为全面的评价分析珠海一号高光谱数
173 据的辐射质量, 选取了两颗不同的珠海一号高光谱
174 卫星: OHS-2C 和 OHS-3B, 其空间分辨率为 10 m,
175 光谱分辨率为 2.5 nm, 波长范围 400-1000 nm。分
176 别获取了 2019 年 9 月 28 日 OHS-2C 卫星和 2020 年
177 10 月 7 日 OHS-3B 卫星在该区域无云的 L1B 级标准
178 数据产品, L1B 级产品经过了几何校正、相对辐射
179 校正和全谱段配准, 包括 RPC、空间范围和元数据
180 文件等, 数据大小为 50 km×50 km。

181 同时, 为了对珠海一号高光谱数据的辐射质量
182 评价更加客观, 获取相同区域 2019 年 11 月 14 日无
183 云的 GF-5 号高光谱 L1 级数据产品, GF-5 号高光谱
184 数据空间分辨率为 30 m, 在可见近红外有 150 个波

178 段，波长范围为 390-1030 nm；在短波红外有 18080 60 km×60 km，如图 1 所示。OHS-2C、OHS-3B 和
179 个波段，波长范围为 1000-2500 nm，影像的大小为81 GF-5 数据各波段信息详见表 1。



182
183 图 1 研究区域及高光谱数据真彩色合成显示

184 Fig.2 True-color display of Hyperspectral data in study area

185 表 1 研究区域数据详细情况列表

186 Table 1 Summary of Images used in this study

| 影像获取时间 | 卫星 | 传感器 | 空间分辨率/ 光谱分辨率 | 影像大小 | 量化级数 | 中心波段 (nm) |
|------------|--------|---------|--------------------------------|-------------------------|---------|---|
| 2019-09-28 | OHS-2C | CMOSMSS | 10m/2.5nm | 5056×5056/ 50km×50km | 16 bits | Band1-32: 466、480、500、520、536、550、566、580、596、610、626、640、656、670、686、700、716、730、746、760、776、790、806、820、836、850、866、880、896、910、926、940 |
| 2020-10-07 | OHS-3B | CMOSMSS | 10m/2.5nm | 5056×5056/ 50km×50km | 10 bits | Band1-32: 443、466、490、500、510、531、550、560、580、596、620、640、665、670、686、700、709、730、746、760、776、780、806、820、833、850、865、880、896、910、926、940 |
| 2019-11-14 | GF-5 | AHSI | 30m/ VNIR:5nm; SWIR:10nm | 2008×2083/ 60km×60km | 12 bits | ————— |

187 注：由于 GF-5 高光谱数据共有 330 个波段，因此，在这里不一一列出其中心波段。珠海高光谱数据的量化级数是由元文件 (meta.xml)
188 中 “DataBits” 字段获取。

189 4 数据质量评价与结果分析

190 4.1 OHS 辐射质量评价结果

191 由于珠海高光谱数据的波长范围为 400-1000
192 nm, 实际起始波段的中心波长为 466 nm (OHS-2C)

193 和 443 nm (OHS-3B) (见表 1), 为了便于分析和
194 对比, 仅计算和显示了 GF-5 数据的可见近红外

195 13-144 波段 (波长范围 441-1002 nm), 珠海高光谱
196 和 GF-5 数据的辐射精度如图 2 所示。分析各个辐射

197 精度指标发现, 珠海 OHS-2C 和 OHS-3B 卫星的均
198 值和方差变化趋势基本一致, 表明 OHS-2C 和

199 OHS-3B 卫星数据能够反映的地物信息量的能力较
200 为一致; 在 440-760 nm 波段, GF-5 数据的方差比

201 珠海高光谱数据大, 表明 GF-5 数据在该波段的灰度
202 值变化范围较大, 信息量较为丰富。由于我们获取

203 的影像数据为同一区域, 获取时间较为接近 (2019
204 年 9 月 28 日、2020 年 10 月 7 日、2019 年 11 月 14

205 日), 其地物信息量应基本保持一致, 即方差没有
206 明显的差别; 但是在 400-760 nm 波段珠海高光谱数

207 据的均值和方差明显低于珠海高光谱数据。由于
208 GF-5、OHS-2C 和 OHS-3B 的量化级数分别为 12bits,

209 16bits 和 10bits, 但是 OHS-2C 数据量化等级是由
210 10bit 的二进制前补了 6 个 0, 其灰度范围仍为

211 0-1023, 因此 GF-5 数据的量化级数最大, 量化级数
212 是珠海高光谱数据均值在 400-760 nm 波段低于

213 GF-5 数据的原因之一; 而珠海高光谱的光谱分辨率

214 (2.5 nm) 较 GF-5 数据的光谱分辨率 (5 nm) 高,

215 导致探测器每个通道接收的能量较低, 可能导致其

216 信息量较低。这种现象是数据的量化级数和光谱分

217 辨率综合影响的结果。同时 GF-5 数据第 88 波段

218 (762.487 nm) 和 128 波段 (933.604 nm), GF-5

219 数据的均值和方差呈现明显的波谷, 这是由于 760

220 nm 为氧气吸收通道, 940 nm 为水体吸收通道, 如

221 图 3 (a) 和 (b) 所示。

222 针对偏度和陡度指标, GF-5 数据保持稳定, 保

223 持在-1 和 1 之间, 而两颗珠海卫星的高光谱数据变

224 化趋势基本一致, 偏度均表现出先增加 (440-656

225 nm) 后减小 (656-716 nm), 最后在 716-926 nm 保

226 持稳定的趋势。在 716-926 nm 波段, 偏度和陡度都

227 表现出稳定的趋势, 表明 OHS-2C 和 OHS-3B 星直

228 方图的分布基本保持一致。同时在 440-940 nm 波段,

229 珠海高光谱数据的偏度绝对值和陡度数值基本上都

230 高于 GF-5 数据, 与其方差较小的现象相符, 即表明

231 珠海高光谱数据动态范围较小, 且传感器响应比

232 GF-5 数据差, 需要进行改进和提高。对于边缘辐射

233 畸变而言, 在 430-1000 nm 波段, GF-5 数据和珠海

234 高光谱 OHS-2C 和 OHS-3B 的曲线变化呈现一致,

235 且边缘辐射畸变范围在 0-1.2 之间, 表明行方向上辐

236 射形变大小基本一致。同时, 对于增益调整畸变,

237 在 440-640 nm 波段, 珠海高光谱数据高于 GF-5 数

238 据, 表明珠海高光谱数据在列方向上的辐射形变高

239 于 GF-5 数据, 即珠海高光谱数据传感器在扫描线方

240 向的辐射形变较大, 其他波段曲线变化较为一致,

241 增益调整畸变的范围均在 0-9 之间，可能与传感器 45 nm 谱段的条带问题，OHS-2C 和 OHS-3B 数据的辐
 242 探元的响应有关。综上，GF-5 高光谱数据所包含的 246 射精度变化趋势基本一致，经过逐一目视检查，没
 243 信息量较珠海数据高，辐射精度高于珠海高光谱数 247 有发现明显的条带问题。
 244 据，但是在使用时，需要注意 762.487 nm 和 933.604

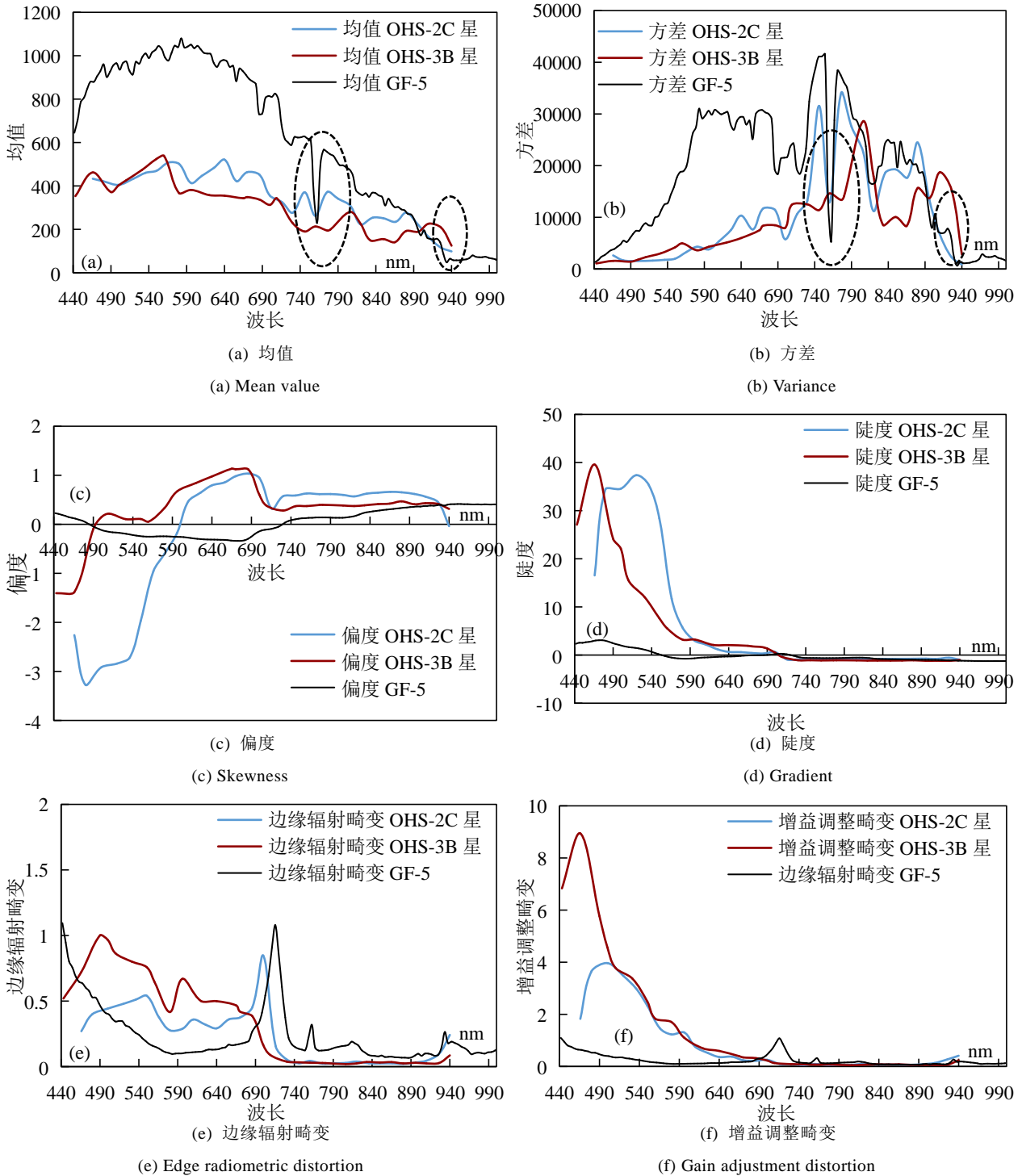
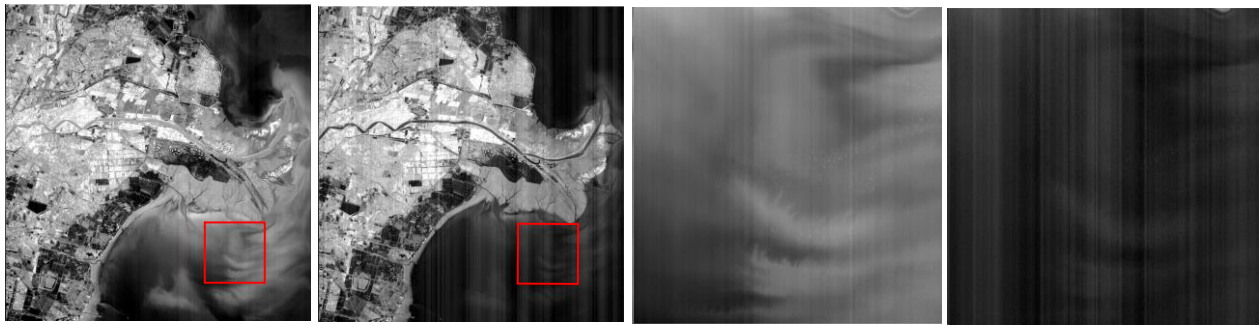


图 2 OHS 和 GF-5 辐射精度研究

Fig.2 Radiation accuracy of OHS and GF-5

258

259
260



(a) GF-5 第 88 波段(762.487nm) (b) GF-5 第 128 波段(933.604nm) (c) (a)中红框放大图 (d) (b)中红框放大图
 (a) The band 88 of GF-5 (b) The band 128 of GF-5 (c) Larger view of red box in (a) (d) Larger view of red box in (b)
 图 3 GF-5 号影像第 88 和 128 波段

261
262
263
264

265

Fig.3 The band 88 and 128 of GF

266 清晰度计算结果如图 4 所示, 结果显示, GF-5
 267 数据的清晰度明显优于 OHS-2C 和 OHS-3B 数据。
 268 同时, 珠海一号 OHS-2C 和 OHS-3B 的清晰度约为
 269 GF-5 数据清晰度的 55%和 54%, 与 GF-5 数据的平
 270 均值和方差大于珠海高光谱数据相吻合。这种现象
 271 可能与空间分辨率、光谱分辨率、传感器的探元响
 272 应以及量化级数有关。虽然珠海高光谱数据的空间
 273 分辨率较高, 但同时其光谱分辨率较高, 量化级数
 274 较低, 因此造成了珠海高光谱数据的清晰度低于
 275 GF-5 数据。OHS-2C 和 OHS-3B 数据的清晰度曲线
 276 趋势基本一致, 清晰度在 3-10 之间, 在 686 nm 附
 277 近, 出现波峰; 在红外波段的 880-940 nm, 表现出
 278 明显的降低趋势, 因此在应用中, 可考虑去掉
 279 880-940 nm 波段数据。

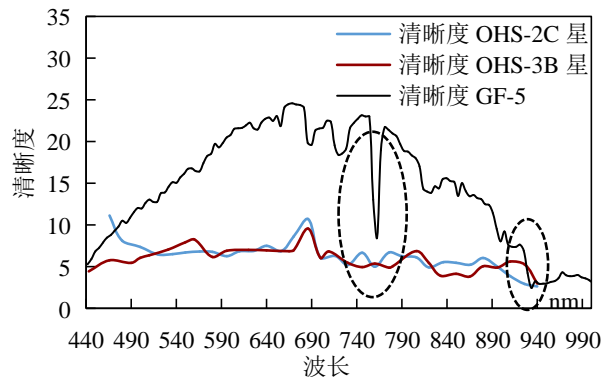


图 4 OHS 和 GF-5 影像清晰度

Fig.4 Image definition of OHS and GF-5

280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293

信噪比计算结果如图 5 所示, 虽然, 珠海高光
 谱和 GF-5 数据的信噪比都保持在 30-50 db 之间, 且
 随着波长的增加呈现降低趋势; 但是由图 5 可以看
 出, 珠海高光谱数据信噪比在 35-40 之间, 而 GF-5
 数据的信噪比在 40-45 之间, 且珠海高光谱数据的
 信噪比约为 GF-5 数据信噪比的 86.5%。因此, GF-5
 数据的信噪比明显优于珠海高光谱数据。对于
 OHS-2C 星和 OHS-3B 星而言, 其信噪比曲线形状基
 本保持一致, 在 686 nm 附近, 出现波谷值。而 GF-5
 数据由于在第 88 和 128 波段的条带, 造成其信噪比
 出现波谷值, 其条带如图 3(a)和 3(b)所示。同时,

294 在基于同样信噪比计算方法, Spark 高光谱数据的信17 熵基本保持一致。
 295 噪比范围为 0-50 (吴兴 等, 2018), 表明, 珠海高光
 296 谱数据和 GF-5 高光谱数据与 Spark 高光谱数据具有
 297 相同水平的信噪比。

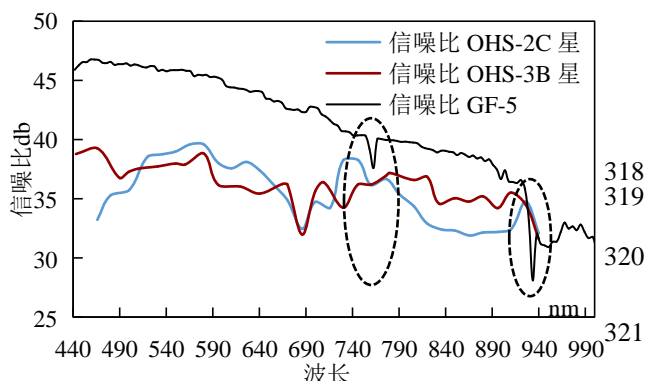


图 5 OHS 和 GF-5 信噪比

Fig.5 Signal to Noise Ratio of OHS and GF-5

298
 299
 300
 301
 302
 303
 304
 305
 306
 307
 308
 309
 310
 311
 312
 313
 314
 315
 316

信息熵计算如图 6 所示, 在 400-1000 nm 谱段, 珠海高光谱数据和 GF-5 数据信息熵都在 6 以上, 且基本上都保持稳定, 在 6-10 之间, 即所有谱段的信息量基本上都保持一致, 同时, 珠海高光谱数据的信息熵约为 GF-5 数据信息熵的 91.5%。在 440-760 nm 谱段, GF-5 数据的信息熵高于珠海高光谱数据, 与其均值和方差表现一致, 表明 GF-5 数据的信息量高于珠海高光谱数据。同样, 由于 GF-5 数据第 88 (762.487 nm) 和 128 (933.604 nm) 波段的条带问题, 造成其信息熵出现波谷。同时, EO-1 Hyperion 高光谱数据的 Shannon 信息熵 (周雨霁 和 田庆久 2008) 在 5-12 之间, HJ1B 数据 Shannon 信息熵则在 1-2 之间 (魏宏伟 和 田庆久 2012), SPARK 高光谱数据 Shannon 信息熵则在 3-7 之间 (吴兴 等, 2018), 由此可见, 珠海高光谱数据和 GF-5 数据具有较高信息熵, 且与 EO-1 Hyperion 高光谱数据信息

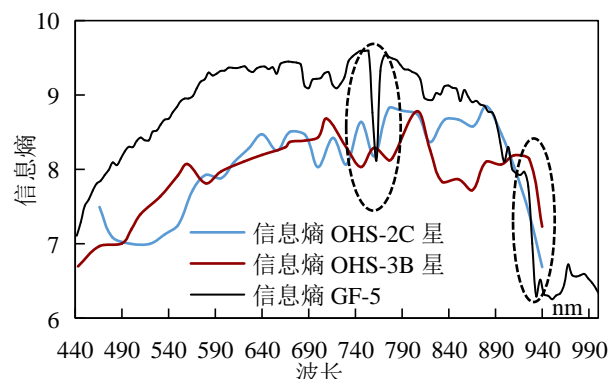


图 6 OHS 和 GF-5 信息熵

Fig.6 Shannon Entropy of OHS and GF-5

4.2 综合评价分析

322 为了综合反映 OHS 数据辐射质量的总体趋势,
 323 结合珠海高光谱数据和 GF-5 数据波范围, 将
 324 440-1000 nm 谱段划分为蓝 (440-520 nm)、绿
 325 (520-617 nm)、红 (617-740 nm) 和近红外 (740-1000
 326 nm) 四组, 分别计算各个组指标的最大值、平均值
 327 和最小值。

328 辐射精度综合评价如图 7 所示。在蓝、绿、红
 329 和近红外四个分组中, GF-5 数据的灰度值和方差的
 330 平均值均大于珠海高光谱数据, OHS-2C 和 OHS-3B
 331 数据则基本保持一致, 表明 GF-5 数据所包含的信息
 332 量要大于珠海高光谱数据, 珠海高光谱数据的光谱
 333 分辨率和量化级数是其辐射精度较低的主要原因;
 334 针对偏度指标, GF-5 数据在 ± 0.3 之间, 而珠海高光
 335 谱数据在 -3 到 1 之间; 针对陡度指标, GF-5 数据都
 336 小于珠海数据, 说明珠海数据灰度的值集中在均值
 337 附近, 变化范围较小, 与其方差变化相吻合; GF-5
 338 和珠海高光谱数据的边缘辐射畸变值基本在 0-1 之

339 间, 增益辐射畸变值在 0-10 之间, 说明影像的列间辐射形变较大, 可能存在探元在响应不一致的情况。
 340 差异更大, 即推扫式成像过程中, 在扫描线方向的

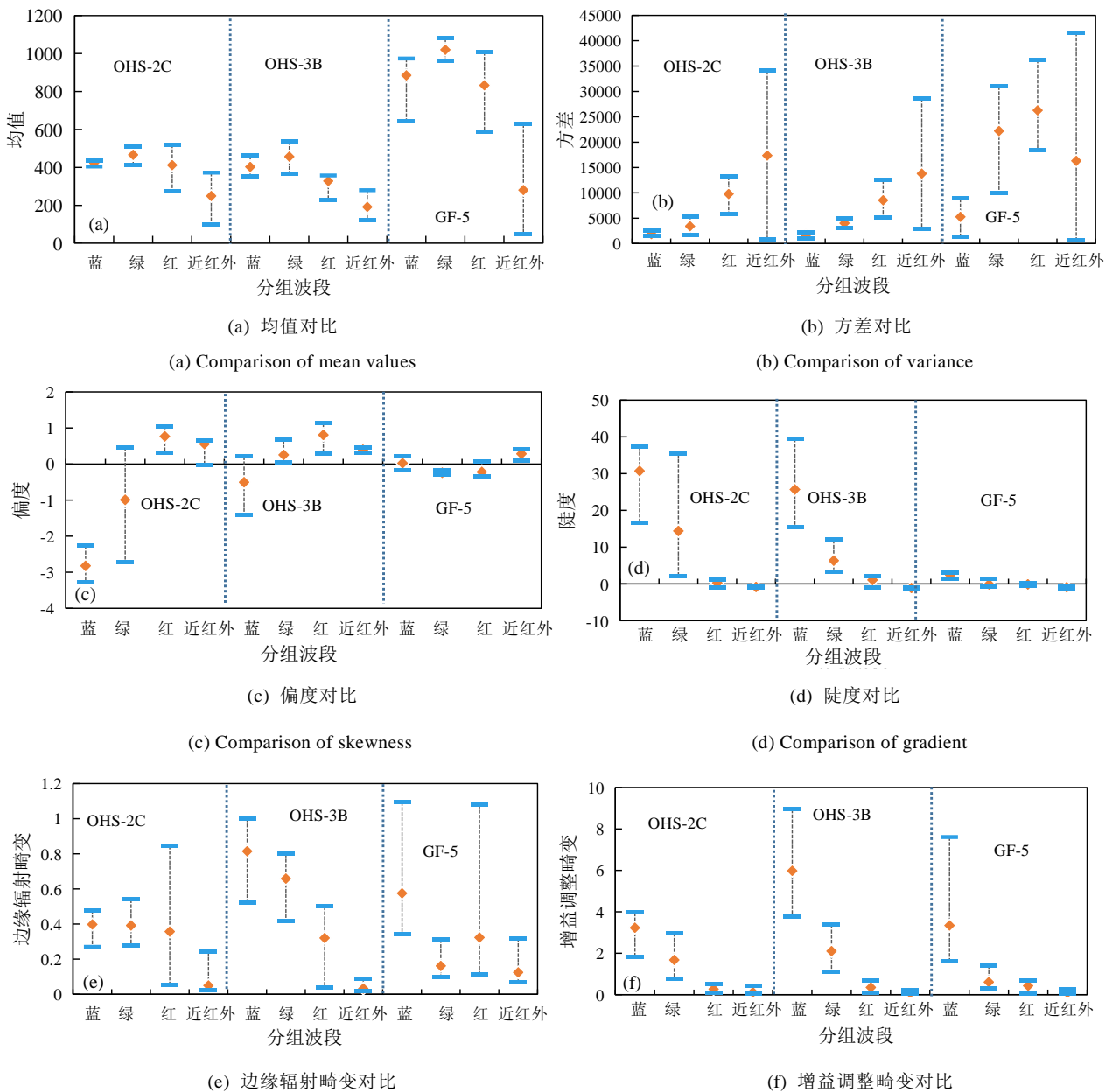


图 7 OHS 和 GF-5 辐射精度对比

Fig.7 Comparison of Radiation accuracy between OHS and GF-5

348 清晰度综合评价如图 8 所示, GF-5 数据的清晰
 349 物的可区分程度低于 GF-5 数据。OHS-2C 和 OHS-3B
 350 度高于珠海高光谱数据, 表明虽然珠海高光谱数据
 351 数据的清晰度稳定在 6 附近, 由于其具有相同光谱
 352 的空间分辨率较高, 由于其光谱分辨率和传感器
 353 分辨率和传感器设置, 因此, 其成像数据的清晰度
 354 元响应造成其灰度值和变化范围小于 GF-5 数据, 地
 355 基本保持一致; 同时由于 OHS-2C 的运行时间大于
 356

361 OHS-3B, 由于传感器衰减等因素, 造成 OHS-2C 数
362 据清晰度随着波长增加而微弱减少, 而 OHS-3B 数
363 据的清晰度基本保持不变。

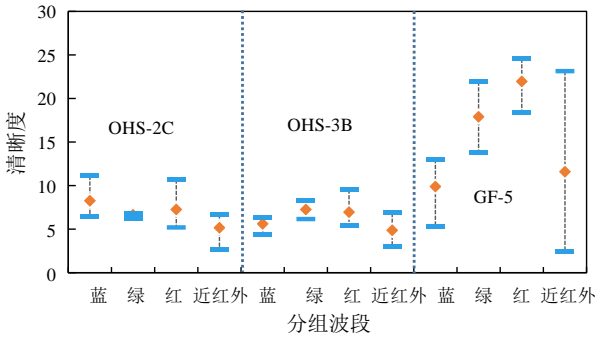


图 8 OHS 和 GF-5 清晰度对比

Fig.8 Comparison of Image definition between OHS and GF-5

364
365
366
367
368

信噪比综合评价如图 9 所示, 显而易见, GF-5 数据的信噪比高于珠海高光谱数据, 表明 GF-5 数据所包含的信息量高于珠海高光谱数据, 这与其灰度值和方差所反映的一致。对于 GF-5 数据, 信噪比随着波长的增加明显降低, 近红外波段信噪比最小;

而 OHS-2C 与 OHS-3B 数据的信噪比基本一致, 可能与其传感器的响应有关。

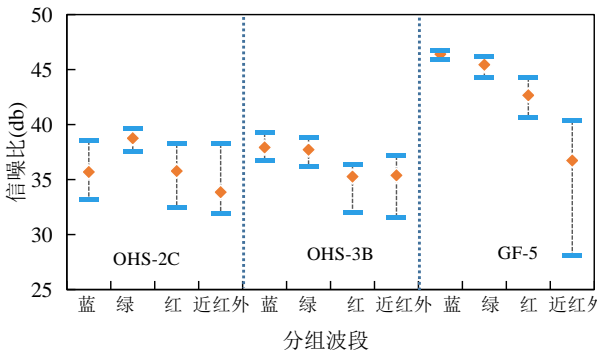


图 9 OHS 和 GF-5 信噪比对比

Fig.9 Comparison of SNR between OHS and GF-5

375
376
377
378
379

信息熵综合评价如图 10 所示, GF-5 和珠海高光谱数据的信息熵均值都在 6-10 之间, 十分接近。

这可能是由于其光谱分辨率和空间分辨率共同作用的结果: 高光谱分辨率使其波段较窄, 接受到能量的能力较低, 但是高空间分辨率使其信息量增加, 所以其信息含量与 GF-5 数据基本一致。具体而言, GF-5 数据的信息熵稍高于珠海高光谱数据, 而 OHS-2C 和 OHS-3B 数据的信息熵则基本一致, 说明光谱分辨率是地物信息量的主导因素。

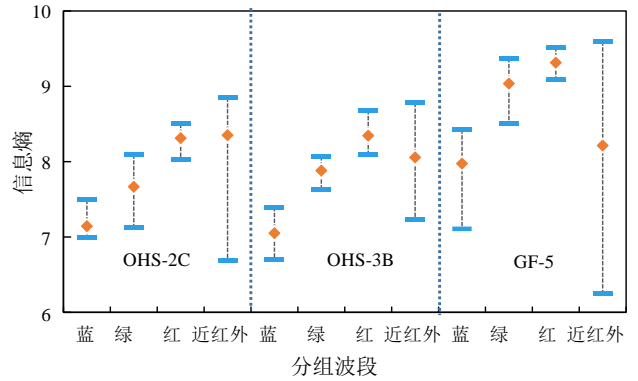


图 10 OHS 和 GF-5 信息熵对比

Fig.10 Comparison of Shannon Entropy between OHS and GF-5

以上分析表明, 虽然珠海高光谱数据的空间分辨率优于 GF-5 数据, 但整体而言, GF-5 数据的辐射质量明显优于珠海高光谱数据, 但是其信息熵能力相当, 保持同一数量级。OHS-2C 和 OHS-3B 数据由于其相同的传感器和光谱分辨率, 其数据辐射质量基本保持一致。

5 结语

本文针对 OHS 影像数据, 利用辐射精度、清晰度、信噪比和信息熵四个评价指标, 对 OHS-2C、OHS-3B 影像数据进行了辐射质量评价, 并与同类

- 401 高光谱卫星 GF-5 数据进行了对比分析, 得出以下结论:
 402 论: 429 具有广阔的应用前景。后续将针对定量遥感及水质
 403 (1) 在 400-760 nm 波段, GF-5 数据的信息量 430 监测等方面, 展开珠海一号高光谱数据光谱质量、
 404 高于珠海高光谱数据, 辐射精度明显高于珠海高光谱 431 大气纠正等方面的研究。
 405 谱数据, 但是需要注意 GF-5 数据在 762.487 nm 和
 406 933.604 nm 波段的条带问题。 432
- 407 (2) 与 GF-5 数据相比, 珠海高光谱数据的信息量 433
 408 化级数较低, 且珠海高光谱卫星的光谱分辨率更高, 434
 409 每个通道接受到的光谱信息量更低, 导致珠海高光谱 435
 410 谱数据辐射质量低于 GF-5 数据, 其清晰度约为 GF-5 436
 411 数据清晰度的 54% 左右; 由于光谱分辨率、空间分 437
 412 辨率和传感器设置相同, OHS-2C 和 OHS-3B 数据的 438
 413 辐射质量基本一致。 439
 414 (3) 与 GF-5 数据相比, 珠海高光谱数据的空 440
 415 间分辨率更高, 其信息熵平均值在 6-10 之间, 约为 441
 416 GF-5 数据信息熵的 91.5%, 与 GF-5 数据相当, 同 442
 417 时珠海高光谱数据信噪比约为 GF-5 数据的 86.5% 左 443
 418 右。因此, 在土地利用分类、变化检测、目标识别 444
 419 等方面, 可以与 GF-5 号数据补充使用。 445
 420 总体而言, 由于光谱分辨率的制约, 珠海一号 446
 421 高光谱数据辐射质量低于 GF-5 数据, 并且 GF-5 数 447
 422 据的信噪比和清晰度明显优于珠海高光谱数据, 但 448
 423 其信息熵相当(信息熵位于 6-10 之间), 同时由于 449
 424 珠海高光谱卫星研制成本低, 可实现卫星组网、高 450
 425 光谱数据的高重访周期(单星 6 天, 4 星组网 2 天) 451
 426 和高空间分辨率(10m)等优点, 能够获取更多区 452
 427 域更多时相的高光谱卫星影像数据, 为高光谱卫星 453
- 432 **参考文献(References)**
- Forster B C, Best P. 1994. Estimation of SPOT P-mode point spread function and derivation of a deconvolution filter. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 49(6):32-42. [DOI: 10.1016/0924-2716(94)90013-2]
- Kamal M, Phinn S, Johansen K. 2016 Assessment of multi-resolution image data for mangrove leaf area index mapping. *Remote Sensing of Environment*, 176: 252-254. [DOI: 10.1016/j.rse.2016.02.013]
- Cao C X. 2014. Data Quality Evaluation of ZY-I-02C Satellite. Beijing: China University of Geosciences (曹春旭. 2014. 资源一号 02C 卫星数据质量评价. 北京: 中国地质大学.)
- Zeng C Y. 2017. The Quality Assessment and Feature Analysis of Domestic High Resolution Satellite Images. Chengdu: Chengdu University of Technology. (曾彩云. 2017. 国产高分卫星影像质量评价及特征分析. 成都: 成都理工大学.)
- Gao L R, Zhang B, Zhang X, Shen Q. 2007. Study on the Method for Estimating the Noise in Remote Sensing Images Based on Local Standard Deviations. *Journal of Remote Sensing*, 11(2) :201-208. (高连如, 张兵, 张霞, 申茜. 2007. 基于局部标准差的遥感图像噪声评估方法研究. 遥感学报, 11(2) :201-208) [DOI: 10.11834/jrs.20070227]
- He N N, Xie K, Li T, Ye Y S. 2017. Overview of Image Quality Assessment. *Journal of Beijing Institute of Graphic Communication*, 25(2):47-50. (何南南, 解凯, 李桐, 叶宇姗. 2017. 图像质量评价综述. 北京印刷学院学报, 25(2):47-50) [DOI: 10.19461/j.cnki.1004-8626.2017.02.012]
- Hong Tao. 2019. Research on the Inland Lake monitoring based on OHS. *Satellite Application*, (8):19-22. (洪韬. 2019. 珠海一号

- 461 高光谱卫星在内陆湖泊监测中的应用. 卫星应用, (8):19-22
462 [DOI: doi:10.3969/j.issn.1674-9030.2019.08.006] 498
- 463 Li X Y, Fan H S, Pan S L, Jiang X H, Wu J Q. 2019. Application of
464 Zhuhai No. 1 hyperspectral satellite data. Satellite Application
465 (8):12-18. (李先怡, 范海生, 潘申林, 蒋晓华, 吴佳奇. 2019)
466 珠海一号高光谱卫星数据及应用概况. 卫星应用, (8):12-18
467 [DOI: 10.3969/j.issn.1674-9030.2019.08.005] 503
- 468 Liang W X, Li J S, Zhou D M, Shen Q, Zhang F. F. 2015
469 Evaluation of GF-1 WFV Characteristics in Monitoring Inland
470 Water Environment. Remote Sensing Technology and
471 Application, 30(4): 810-818. (梁文秀, 李俊生, 周德民, 申
472 茜, 张方方. 2015. 面向内陆水环境监测的 GF-1 卫星 WFV
473 数据特征评价. 遥感技术与应用, 30(4):810-818) [DOI:
474 10.11873/j.issn.1004-0323.2015.4.0810] 510
- 475 Ren X. 2008. Research and Implement of Objective Image Quality
476 Evaluation Model. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics
477 and Astronautics. (任雪. 2008. 图像质量客观评价方法的研
478 究与实现. 南京: 南京航空航天大学) 514
- 479 Sun H R, Zhao Z G, Zhao J X, Chen W W. 2020. Inversion of
480 Topsoil Organic Matter Content by Hyperspectral Remote
481 Sensing of Zhuhai-1. Remote Sensing Information
482 35(4):40-46. (孙浩然, 赵志根, 赵佳星, 陈卫卫. 2020. 珠海
483 一号高光谱遥感的表层土壤有机质含量反演方法. 遥感信
484 息, 35(4): 40-46) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-3177.2020.04.007] 521
- 485 Wang H N, Zhong W, Wang J, Xia D S. 2004. Research on
486 Measurement for Digital Image Definition. Journal of Image
487 and Graphics, 9(7): 828-831. (王鸿南, 钟文, 汪静, 夏德深
488 2004. 图像清晰度评价方法研究. 中国图象图形学报, 9(7):
489 828-831) [DOI: 10.3969/j.issn.1006-8961.2004.07.011] 526
- 490 Wang Q J, Tian Q J. 2007. Quality Evaluation of LISS3 Image from
491 IRS-P6 Satellite. Geography and Geo-Information Science
492 23(3):11-14. (王钦军, 田庆久. 2007. IRS-P6 卫星 LISS3 图像
493 数据质量评价. 地理与地理信息科学, 23(3):11-14) [DOI:
494 10.3969/j.issn.1672-0504.2007.03.003] 531
- 495 Wang X P, Zhang J, Ma Y, Ren G B. 2016. Image Quality
496 Evaluation for ZY-1 02C Satellite in Coastal Zone Area.
Advances in Marine Science, 34(1): 129-137. (王霄鹏, 张杰,
马毅, 任广波. 2016. 资源一号 02C 卫星海岸带影像二级产
品质量评价. 海洋科学进展, 34(1):129-137) [DOI:
10.3969/j.issn.1671-6647.2016.01.013]
- Wei H W, Tian Q J. 2012. Quality Evaluation and Analysis of
HJ1B-CCD images. Remote sensing information, 27(5): 31-36
(魏宏伟, 田庆久. 2012. HJ1B-CCD 影像的质量评估及分析.
遥感信息, 27(5): 31-36) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-3177.2012.
05.006]
- Wu X, Zhang X, Sun X J, Zhang L F, Qi W C. 2018. Radiation
Quality Evaluation of Spark Hyperspectral Satellite Image.
Remote Sensing Technology and Application, 33(2): 233-240.
(吴兴, 张霞, 孙雪剑, 张立福, 戚文超. 2018. SPARK 卫星
高光谱数据辐射质量评价. 遥感技术与应用, 33(2): 233-240)
[DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2018.2.0233]
- Yin H X, Fan Y G. 2020. Research on the Extraction Method of
Water in Erhai Lake based on OHS-2A. Spacecraft Recovery
& Remote Sensing, 41(4):118-127. (尹慧新, 樊彦国. 2020.
基于“珠海一号”高光谱卫星的洱海水体提取方法研究. 航
天返回与遥感, 41(4):118-127) [DOI: 10.3969/j.issn.1009-
8518.2020.04.014]
- Yin L Z, Zhu J, Cai G L, Wang J H. 2014. Review on Quality
Evaluation Methods of Remote Sensing Image. Geomatics &
Spatial Information Technology, 37(12):32-35. (尹灵芝, 朱军,
蔡国林, 王金宏. 2014. 遥感影像质量评价方法综述. 测绘
与空间地理信息, 37(12):32-35) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-
5867.2014.12.010]
- Zhang X, Zhang B, Zhao Y C, Tong Q X, Zheng L F. 2002. Image
Quality Assessment for the Infrared Multi-Spectral Scanner of
the Chinese-Brazil Earth Resources Satellite. Journal of Image
and Graphics, 7(6): 581-586. (张霞, 张兵, 赵永超, 童庆禧,
郑兰芬. 2002. 中巴地球资源一号卫星多光谱扫描图象质量
评价. 中国图象图形学报, 7(6): 581-586) [DOI:
10.3969/j.issn.1006-8961.2002.06.011]
- Zhang X Y, Li J X. 2019. Research on the Crops elaborate

- 533 classification of Gaomi based on OHS. *Satellite Application* 542
 534 (8):29-33. (张信耶, 李继旭. 2019. 珠海一号高光谱卫星在 543
 535 高密市农作物精细分类中的应用. *卫星应用*, (8):29-33 544
 536 [DOI: 10.3969/j.issn.1674-9030.2019.08.008] 545
 537 Zhou J C, Dai R W, Xiao B H. 2008. Overview of Image Quality 546
 538 Assessment Research. *Computer Science*, 35(7):1-4. (周景超 547
 539 戴汝为, 肖柏华. 2008. 图像质量评价研究综述. *计算机科 548
 540 学*, 35(7):1-4) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-137X.2008.07.001] 549
 541 Zhou Y J, Tian Q J. 2008. Image Quality Evaluation of EO-550
 551 Hyperion Sensor, 10(5):678-683. (周雨霁, 田庆久. 2008.
 EO-1 Hyperion 高光谱数据的质量评价. *地球信息科学*,
 10(5):678-683) [DOI: 10.3969/j.issn.1560-8999.2008.05.020]
 Zhu B, Wang X H, Tang L L, Li C R. 2010. Review on Methods for
 SNR Estimation of Optical Remote Sensing Imagery. *Remote
 Sensing Technology and Application*, 25(2):303-309. (朱博,
 王新鸿, 唐伶俐, 李传荣. 2010. 光学遥感图像信噪比评估
 方法研究进展. *遥感技术与应用*, 25(2):303-309) [DOI:
 10.11873/j.issn.1004-0323.2010.2.303]

552 Quality Evaluation of Orbita HyperSpectral Image

553 ZHANG Lifu^{1,2,4}, WANG Sa^{1,2}, YAN Jun³, ZHANG Qiang³, LIU Shaojie³, JI Chan³, LIU Sen³, TONG Qingxi¹

554 1. *State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of*
 555 *Sciences, Beijing 100101, China;*

556 2. *Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

557 3. *Zhuhai Orbita Aerospace Technology Co. LTD, Zhuhai 519080, China*

558 4 *Key Laboratory of Oasis Eco-agriculture, Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi University, Shihezi*
 559 *832003, China*

560 Abstract:

561 Objective:

562 The Orbita Hyper Spectral (OHS)-2 and 3 satellites were successfully launched on April 26, 2018
 563 and September 19, 2019, respectively. The basis of remote sensing data applications is the data quality
 564 evaluation. However, there has been no systematic or previous evaluation or research on the radiation
 565 quality evaluation of the OHS at present.

566 Method:

567 There are 32 bands in the products of OHS. It will consume a lot of manpower, material resources
 568 and time if the products are evaluated by subjective evaluation method. Therefore, this study mainly
 569 focused on the objective evaluation method to evaluate the radiation quality of OHS level 1B images.
 570 The radiation quality of oHS-2 and OHS-3 were evaluated by objective evaluation method in the regions
 571 covered by representative features and similar time. Based on the four objective indexes, namely
 572 radiation accuracy, image definition (EVA), signal to noise ratio (SNR) and entropy, the radiation quality

573 of OHS level 1B images were evaluated and the radiation quality of OHS and GF-5 (440-1000 nm)
574 images were compared.

575 **Result:**

576 The results showed that the radiation quality and EVA of GF-5 were higher than OHS, and the EVA
577 of OHS was about 54.5% of that in GF-5; and the ability of the entropy was similar: the entropy of OHS
578 was about 91.5% of that in GF -5, and the value range of entropy is 6-10. At the same time, the signal to
579 noise ratio (SNR) of OHS is about 86.5% of that of GF-5. Thus, the OHS and GF-5 data could be
580 supplemented. Meanwhile, the OHS could improve the data radiation quality by improving the
581 quantitative series of spectral resolution, reducing the spectral resolution and optimizing the sensor
582 response.

583 **Conclusion:**

584 This study provides data quality reference for the applications of OHS images. The radiation
585 quality of OHS-2C and OHS-3B was evaluated by four objective indexes: radiation accuracy, EVA, SNR
586 and entropy. At the same time, the radiation quality of GF-5 was also compared with OHS. Although the
587 radiation quality of OHS is lower than that of GF-5 due to the restriction of spectral resolution, and the
588 SNR and EVA of GF-5 data are obviously better than that of OHS, but the entropy of OHS and GF-5 is
589 very similar. Due to the high revisit cycle of OHS (6 days for single-star network, 2 days for 4-star
590 network) and high spatial resolution (10m), OHS images can complement GF-5 image to a certain
591 degree in remote sensing applications. In the future, we will study the spectral quality and atmospheric
592 correction of OHS in terms of quantitative remote sensing and water quality monitoring.

593

594 **Key words:** Orbita Hyper Spectral, Radiation accuracy, Image definition, Signal to Noise Ratio,
595 Shannon Entropy

596 **Supported by** Major Science and Technology Projects of XPCC (No.2018AA004); Innovation Team of
597 XPCC's Key Area (No.2018CB004); National Natural Science Foundation of China (No.41830108,
598 No.41977154); National Key R&D Program of China (No.2017YFC1500901)

599

600

601