

Landsat-8 与 GF-1 卫星渤海海冰探测能力对比研究

张 晰, 张 杰, 孟俊敏

(国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要: 为更有效地利用 Landsat-8 和 GF-1 卫星进行渤海海冰监测, 从海冰检测和海冰类型识别两方面, 开展 Landsat-8 与 GF-1 卫星的渤海海冰探测能力对比分析研究。实验研究表明, 在海冰检测方面, GF-1 区分海冰与海水的能力强于 Landsat-8; 在海冰类型识别方面, Landsat-8 识别海冰类型的能力要强于 GF-1 影像。初步讨论了综合利用 Landsat-8 与 GF-1 卫星监测渤海海冰的方案。

关键词: 光谱信息; 海冰识别; 海冰分类; Landsat-8; 高分一号; 渤海

中图分类号: P237 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)02-0050-07

doi: 10.11759/hyxx20141011018

渤海是我国纬度最高的海区, 每年冬季都是海冰冰情最重的海域。同时, 渤海及其周边海域也是我国重要的经济开发区, 该海域已经发现丰富的油气资源, 分布有许多重要的大油田, 如胜利油田、辽河油田。每年冬季, 海冰冻结及漂移对渤海的海上航运、油气勘探及海上生产等均有不同程度的影响, 甚至造成严重的灾害。至今, 海冰已造成多次石油平台倒塌、船舶受损、航运受阻等严重危害, 造成了重大经济损失^[1-3]。因此, 为适应海洋开发和海洋减灾工作的需要, 必须加强海冰监测技术的研究。

相对其他监测方式, 遥感监测能够快速获取大面积的海冰冰情信息。其中光学遥感虽然受云雾和光照条件的影响, 但因其具有价格低廉(大多数可免费获取), 真实直观, 适合目视解译判读的优势, 是现阶段海冰遥感监测的主要业务手段。目前, 利用光学遥感卫星已经发展了多种海冰识别与分类方法。国内外较为经典有, Riggs 等^[4]利用 MODIS 的海冰反射率发展了北极地区的海冰面积和海冰类型的提取方法; Scharfen 等^[5]利用 MODIS 数据得到全球的冰雪产品。国内在渤海海冰探测方面, 史培军等^[6]利用 MODIS 和 AVHRR 数据提出了基于光谱特征的海冰分类方法。韩素芹等^[7]利用海冰在 MODIS 数据可见光、近红外通道中的光学特性, 探测了渤海海冰的分布状况。现阶段, 利用 MODIS、AVHRR 等中低分辨率的光学遥感数据提取的海冰类型信息, 已在海冰预报的业务化工作中得到应用^[8]。

可见, 利用光学遥感影像监测海冰、识别海冰类型, 主要是基于中低分辨率的光学数据开展的(如, MODIS、AVHRR), 利用高分辨率光学遥感数据开展

的相关研究较少。近年来, 高分辨率光学卫星发射数量逐渐增多。特别是进入 2013 年以后, 美国和中国分别发射了 Landsat-8 卫星和高分辨率对地观测一号卫星(GF-1), 这两颗光学遥感卫星具有多光谱和高空间分辨率观测的优势, 为海冰监视监测提供了新的、高性能的技术手段。Landsat-8 和 GF-1 卫星正式投入运行为 2013 年下半年, 因此 2013~2014 年冬季, 这两颗卫星首次获取了渤海海冰的光学遥感观测数据。当前, 如何利用 Landsat-8 和 GF-1 卫星更有效地开展渤海海冰监测未见报道, 亟待开展该方面的研究工作。

为更有效地利用 Landsat-8 和 GF-1 卫星进行渤海海冰监测, 本文从海冰检测和海冰类型识别两方面, 开展渤海海冰探测能力对比研究, 希望本文的研究成果能为 Landsat-8 和 GF-1 卫星在渤海海冰遥感监测的业务化应用提供参考。

1 数据源

Landsat-8 携带有陆地成像仪和热红外传感器两种载荷, 其中陆地成像仪包括 9 个波段, 除全色波段为 15 m 分辨率外, 其余波段的空间分辨率为 30 m。热红外传感器包括两个热红外波段, 空间分辨率为 100 m, 用于反演地表温度。每个波段的数据均为 16 bit 量化等级, 具体参数见表 1。

GF-1 卫星搭载有两台 2 m 分辨率全色相机

收稿日期: 2014-10-11; 修回日期: 2014-11-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41306193); 海洋行业公益性项目(201105016)

作者简介: 张晰(1981-), 男, 山东潍坊人, 助理研究员, 博士, 海冰遥感探测研究, 电话: 0532-88967394, E-mail: xi.zhang@fio.org.cn

(Panchromatic, Pan), 两台 8 m 分辨率多光谱相机 (Multispectral imager, MS)和四台 16 m 分辨率宽视角多光谱相机 (Wide Field imager, WFI), 可提供

Pan/MS/WFI 三种工作模式, 这三种工作模式分别有 1/4/4 个光谱波段。每个波段的数据均为 16 bit 量化等级, 具体参数见表 2。

表 1 Landsat-8 卫星的性能参数

Tab. 1 Specifications of Landsat-8 satellite

载荷名称	波段名称	波长(μm)	分辨率(m)	幅宽(km × km)	重访周期(d)
陆地成像仪	Coastal	0.43~0.45	30	~170×183	16
	Blue	0.45~0.51	30		
	Green	0.53~0.59	30		
	Red	0.64~0.67	30		
	NIR	0.85~0.88	30		
	SWIR 1	1.57~1.65	30		
	SWIR 2	2.11~2.29	30		
	Pan	0.50~0.68	15		
	Cirrus	1.36~1.38	30		
热红外传感器	TIRS 1	10.6~11.19	100		
	TIRS 2	11.5~12.51	100		

表 2 GF-1 卫星的性能参数

Tab. 2 Specifications of GF-1 satellite

载荷名称	波段	波长(μm)	分辨率(m)	幅宽(km×km)	重访周期(d)
全色相机	Pan	0.45~0.90	2	60×60	4
多光谱相机	Blue	0.45~0.52	8	60×60	
	Green	0.52~0.59	8		
	Red	0.63~0.69	8		
	NIR	0.77~0.89	8		
宽视角多光谱相机	Blue	0.45~0.52	16	800×800(4 台总幅宽)	
	Green	0.52~0.59	16		
	Red	0.63~0.69	16		
	NIR	0.77~0.89	16		

对比表 1 和表 2 可知, Landsat-8 卫星虽然分辨率低, 但可提供更多的光谱信息(有 10 个光谱波段和 1 个全色波段); 如, Landsat-8 的第 1 波段可用于区分陆地和海水; 第 6 和第 7 波段为短波红外波段, 可用于大气校正等处理; 第 9 波段可用于云检测; 综合第 10 和第 11 两个热红外波段可用于反演地表温度^[9]。而 GF-1 卫星虽然光谱信息少(有 4 个光谱波段和 1 个全色波段), 但 GF-1 同时具有高空间分辨率和大幅宽(4 台多光谱相机图像拼接, 幅宽可达 800 km)的优势, 可在更短的时间内对某一个地区重复观测, 重复周期只有 4 d, 与 Landsat-8 卫星(重访周期为 16 d)相比, 重复周期大大缩短^[10]。

在海冰类型识别的光学遥感探测中, 主要采用的是红光、绿光、蓝光以及近红外 4 种波段^[9-10]。这

四种波段不仅是 GF-1 和 Landsat-8 卫星共有的, 同时它们的波段范围也基本重合。接下来, 将围绕两个卫星的共有波段开展渤海海冰的探测能力分析。

2 海冰检测与分类能力对比

2.1 选用的遥感数据

共采用了 11 景无云/少云的 GF-1 光学遥感数据 (3 景 8 m 多光谱数据和 8 景 16 m 多光谱数据) 和 7 景无云/少云的 Landsat-8 光学遥感数据, 用于对比分析这两种数据在海冰检测与海冰分类方面的能力。这些数据的时间跨度为 2014 年 1 月到 2014 年 2 月, 覆盖渤海海冰的生长、发展和消融 3 个阶段。需要特别指出的是, 在 2014 年 1 月 18 日和 2014 年 2 月 3 日, GF-1 和 Landsat-8 影像均覆盖同一区域(图 1), 且成像时间不

超过2 h。从图1可以看出,影像成像范围均为辽东湾区域。在2014年1月18日的影像中,渤海处于盛冰期,海冰正在生长阶段,海冰类型以薄冰和平整冰为主,粗糙冰夹杂在薄冰和平整冰之中。在2014年2月3日

的影像中,渤海处于融冰期,海冰类型以粗糙冰为主,薄冰和平整冰零星可见。因此,本文所选用的数据,从数量、时间跨度和海冰类型三方面均有很好的代表性。

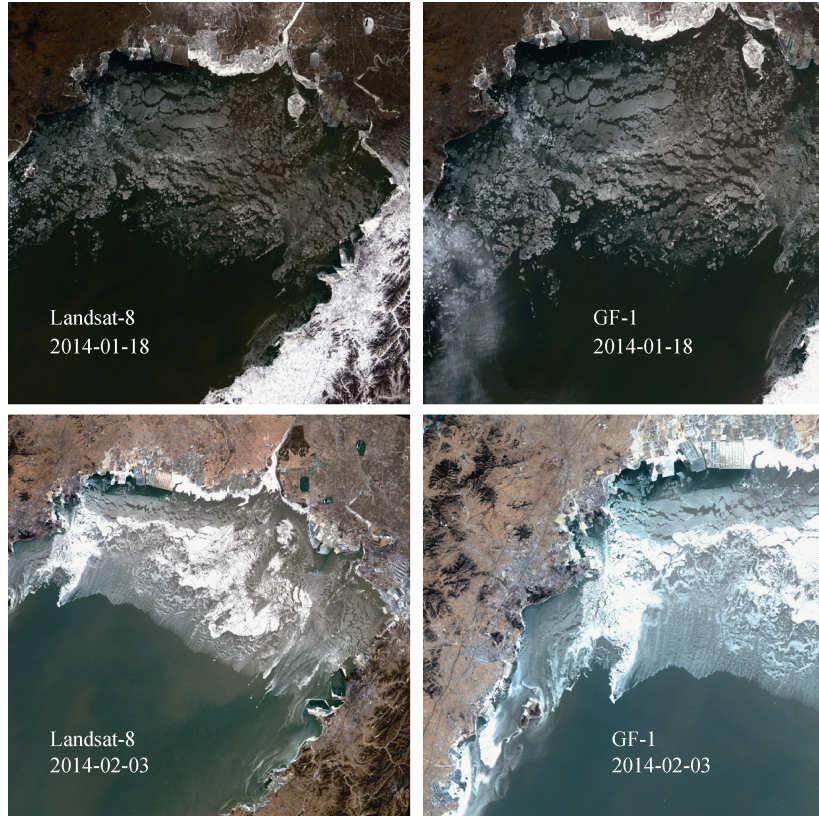


图1 Landsat-8 和 GF-1 渤海海冰遥感影像

Fig.1 Landsat-8 and GF-1 sea ice images in the Bohai Sea
Red 波段填充红色通道; Green 波段填充绿色通道; Blue 波段填充蓝色通道
Red- red channel; Green- green channel; Blue- blue channel

2.2 选择的海冰样本和光谱参数

本文关注的是海水(Open water, OW)、薄冰(Thin ice, TI)、平整冰(Level ice, LI)和粗糙冰(Rough ice, RI)等4种类型的检测和分类能力。上述3种海冰类型在遥感图像的表现描述如下。

薄冰: 海水直接冻结而成或由雪降至低温海面而生成,呈薄片状、糊状或海绵状,无固定形状。该冰型的遥感反射率与海水的接近,但可通过纹理特征清晰地识别。

平整冰: 表面平坦,多呈灰色;在光学遥感影像上呈现为大片集中分布或小块灰色冰层。

粗糙冰: 表面凸凹不平,形状复杂,层次分明,多呈白色,堆积现象显著;在光学遥感图像上呈现为大面积亮白色冰层,能够清晰识别;部分冰层由

于形成时间较长被尘土覆盖,呈现浅棕黄色。

根据上述对海冰类型的描述,首先从上述18景遥感图像中,按照空间均匀选取样本的原则,选取海水、薄冰、平整冰和粗糙冰4种类型的样本,样本数量分别为312, 245, 257和192个。然后从Landsat-8和GF-1影像的4种类型样本中,分别提取了Landsat-8和GF-1的16种光谱参数(16种光谱参数的描述见表3),用于进一步分析不同卫星的不同光谱参数对海冰类型以及海水的分类能力。选用的16个光谱参数可分为3类,第一类是单一波段的归一化光谱值,第二类是光谱波段差和比,第三类是光谱波段比。

2.3 对比分析

本文通过计算两种类型间的欧氏距离来评价

表 3 所采用的光谱参数及其定义

Tab. 3 The spectral parameters used

光谱参数标识	定义及公式
Blue	蓝光归一化光谱值
Green	绿光归一化光谱值
Red	红光归一化光谱值
NIR	近红外归一化光谱值
B_G	(Blue-Green)/(Blue+Green)
B_R	(Blue-Red)/(Blue+Red)
B_N	(Blue-NIR)/(Blue+NIR)
G_R	(Green-Red)/(Green+Red)
G_N	(Green-NIR)/(Green+NIR)
R_N	(Red-NIR)/(Red+NIR)
B2G	Blue/Green
B2R	Blue/Red
B2N	Blue/NIR
G2R	Green/Red
G2N	Green/NIR
R2N	Red/NIR

Landsat-8 和 GF-1 两种卫星在 16 种不同光谱参数下的海冰检测和分类能力, 计算公式如下^[11]。

$$d_{i,j} = \frac{|x_i - x_j|}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2}} \quad (1)$$

其中 $d_{i,j}$ 是第 i 类和第 j 类的欧氏距离; x_i 和 x_j 是第 i 类和第 j 类样本的平均值; σ^2 表示某类样本的方差。两种类型间的欧氏距离越大, 就认为两种类型的可分性越强; 反之若两种类型间的欧氏距离越小, 则两种类型的可分性越弱。通常, 欧氏距离大于 1, 就可认为两种类型具有可分性^[12]。

表 4 和表 5 给出了利用 Landsat-8 和 GF-1 影像不同光谱参数计算的不同海冰类型间的欧氏类间距离, 还计算了海冰类型的平均欧氏距离, 海冰和海水间的平均欧氏距离。观察表 4 和表 5, 可得到以下结论。

2.3.1 海冰检测能力方面

在海冰和海水的分类(即海冰检测)能力方面, Landsat-8 有 8 个光谱参数的海冰与海水分类距离大于 1, GF-1 有 12 个光谱参数的海冰与海水分类距离大于 1(见表 4)。

1) Landsat-8 影像的 8 个光谱参数中, Red 和 Infrared 具有较高的海冰和海水(Ice-OW)分类距离, 分别是 1.80 和 1.79; 且只有 Red 和 Infrared 对于粗糙冰与海水(RI-OW), 薄冰与海水(TI-OW)和平整冰与海水(LI-OW)三种组合的分类距离均大于 1。

2) GF-1 影像的 12 个光谱参数中, 有 B_G, B_R, G_R, B2R 和 B2I 五个光谱参数对于 RI-OW、TI-OW 和 LI-OW 三种组合的分类距离都大于 1; 在这五个

表 4 Landsat-8 海冰影像的欧氏类间距离

Tab. 4 Euclidean separability of landsat-8 image between the classes TI, LI, RI and OW

光谱参数	欧氏类间距离							Ice Type	Ice-OW
	LI-RI	LI-TI	RI-TI	RI-OW	TI-OW	LI-OW			
Blue	1.09	0.99	1.60	1.92	2.03	0.67	1.22	1.54	
Green	1.06	1.11	1.62	2.04	2.02	0.83	1.26	1.63	
Red	1.03	0.94	1.50	2.05	1.98	1.37	1.16	1.80	
Infrared	0.81	1.23	1.27	2.43	1.61	1.32	1.10	1.79	
B_G	0.93	0.64	1.56	0.52	1.41	0.08	1.04	0.67	
B_R	1.15	0.90	2.09	0.73	2.03	0.28	1.38	1.01	
B_I	0.76	0.89	1.43	0.97	1.48	0.12	1.03	0.86	
G_R	1.06	0.94	2.09	0.76	2.04	0.30	1.37	1.04	
G_I	0.54	0.75	1.09	0.97	1.23	0.17	0.79	0.79	
R_I	0.07	0.65	0.49	0.88	0.65	0.27	0.40	0.60	
B2G	0.91	0.63	1.55	0.51	1.39	0.08	1.03	0.66	
B2R	1.13	0.92	2.12	0.72	2.03	0.29	1.39	1.01	
B2I	0.81	0.95	1.61	1.03	1.70	0.13	1.12	0.95	
G2R	1.05	0.96	2.13	0.76	2.04	0.31	1.38	1.04	
G2I	0.56	0.78	1.19	1.02	1.37	0.18	0.85	0.86	
R2I	0.07	0.65	0.51	0.88	0.68	0.27	0.41	0.61	

注: 加粗的为类间距离大于 1 的值(表 5 同)

参数中, B2I 和 B_R 具有相对较高的 Ice-OW 分类距离, 分别是 1.80 和 1.71。

综上, GF-1 有 5 种光谱参数能很好的将薄冰、平整冰和粗糙冰等冰类型与海水区分, Landsat-8 只有 2 种光谱参数, 因此在海冰和海水的区分(即海冰检测)方面, GF-1 的识别能力要强于 Landsat-8 光学遥感影像。

2.3.2 海冰类型识别能力方面

在海冰类型识别能力方面, Landsat-8 有 12 个光谱参数的平均海冰分类距离大于 1, GF-1 有 8 个光谱参数的平均海冰分类距离大于 1(表 5)。

1) Landsat-8 影像的 12 个光谱参数中, 只有 Green 能够对平整冰与粗糙冰(LI-RI), 平整冰与薄冰(LI-TI)和粗糙冰与薄冰(RI-TI)三种组合的分类距离

均大于 1。

2) 上述 GF-1 影像的 8 个光谱参数中, 没有一个光谱参数能够同时对 LI-RI, LI-TI 和 RI-TI 三种组合的分类距离都大于 1。

3) 总体而言, Landsat-8 的海冰类型平均欧氏距离(Ice Type)普遍大于 GF-1 影像。

综上可知, 在海冰类型的分类能力方面, Landsat-8 的识别能力要强于 GF-1 光学遥感影像, 且推荐使用 Landsat-8 的光谱参数 Green 来区分海冰类型。

最后, 我们利用本文提出的光谱特征, 对 GF-1 海冰遥感影像进行分类测试, 分类结果见图 2 和表 6。由表 6 可知, 利用选择的光谱特征进行海冰分类, 可实现 87.63% 的海冰类型识别精度。进一步证明了本文的论述。

表 5 GF-1 海冰影像的欧氏类间距离

Tab. 5 Euclidean separability of GF-1 image between the classes TI, LI, RI and OW

光谱参数	欧式类间距离							
	LI-RI	LI-TI	RI-TI	RI-OW	TI-OW	LI-OW	Ice Type	Ice-OW
Blue	0.61	1.12	1.56	0.98	0.52	0.48	1.10	0.66
Green	0.75	1.16	1.69	1.26	0.37	0.67	1.20	0.77
Red	0.73	1.23	1.67	1.46	0.20	0.95	1.21	0.87
Infrared	0.85	1.00	1.47	1.65	0.50	1.27	1.11	1.14
B_G	0.30	0.20	0.48	1.25	1.02	1.11	0.32	1.13
B_R	0.81	0.35	1.16	2.33	1.22	1.56	0.78	1.71
B_I	1.21	0.63	1.69	2.97	0.98	1.85	1.18	1.93
G_R	0.50	0.50	1.03	2.11	1.01	1.51	0.68	1.54
G_I	1.12	0.63	1.60	2.61	0.84	1.62	1.11	1.69
R_I	1.14	0.24	1.08	1.75	0.56	0.92	0.82	1.07
B2G	0.30	0.19	0.48	1.20	0.94	1.05	0.32	1.06
B2R	0.85	0.35	1.14	2.06	1.10	1.42	0.78	1.52
B2I	1.17	0.62	1.54	2.60	1.05	1.74	1.11	1.80
G2R	0.50	0.49	1.00	2.07	0.98	1.49	0.66	1.51
G2I	1.07	0.59	1.46	2.34	0.88	1.53	1.04	1.58
R2I	1.14	0.22	0.93	1.48	0.52	0.83	0.76	0.94

表 6 渤海海冰分类结果的混淆矩阵

Tab. 6 The confusion matrix for sea ice classification in the Bohai Sea

	OW	TI	LI	RI
OW	99.07	1.04	0.00	0.00
TI	0.91	88.81	14.63	0.00
LI	0.00	10.15	84.41	1.47
RI	0.02	0.0	0.96	98.53

注: 总精度为 87.63%

3 结论与讨论

3.1 结论

为更有效地利用 Landsat-8 和 GF-1 卫星进行渤海海冰监测, 本文从海冰检测与海冰类型识别两方面开展了对比分析研究。主要结论如下。

在海冰检测方面: (1) GF-1 的海冰检测能力要强

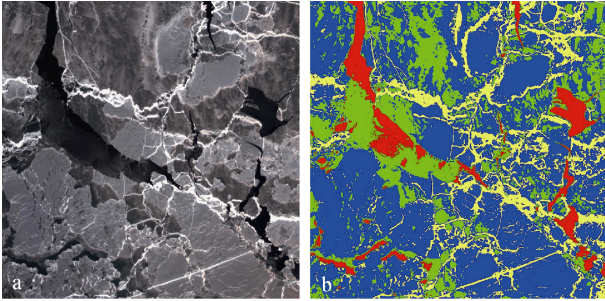


图2 GF-1 渤海海冰分类结果

Fig. 2 The sea ice classification result of GF-1 image

a.2014-01-10 GF-1 海冰光学遥感影像; b.海冰分类结果; 红色:海水; 蓝色:平整冰; 绿色:薄冰; 黄色:粗糙冰

a.Sea ice GF-1 multispectral image captured on January 10, 2014;b.The classification result of Fig. 2a ;red: open water; blue: level ice; green: thin ice; yellow: rough ice

于 Landsat-8; (2) 对于 GF-1 影像, 推荐使用的光谱参数为 Blue 与 Infrared 的波段比(B2I)和 Blue 与 Red 的波段差和比(B_R); (3) 对于 Landsat-8 影像, 推荐使用的光谱参数为 Red 和 Infrared。

在海冰类型识别方面: (1) Landsat-8 的海冰类型识别能力要强于 GF-1; (2) 推荐使用的光谱参数为 Landsat-8 影像的 Green 进行海冰类型识别。

3.2 讨论

虽然本文的主要目的是对比分析 Landsat-8 和 GF-1 卫星对渤海海冰的探测能力, 但在业务化监测方面, 作者仍推荐综合使用 Landsat-8 和 GF-1 卫星。因为综合这两种遥感数据源, 不仅可以大大提高海冰监测的时间分辨率。而且, 当 Landsat-8 和 GF-1 卫星在同一天过境时, 综合这两种数据源可以发挥优势互补的作用。可先用 16m/8m 分辨率 GF-1 数据提取渤海海冰面, 再用 Landsat-8 识别海冰类型, 最后用 2 m 分辨率的 GF-1 数据对重点区域(如港口或石油平台)进行海冰监测。

需要指出的是, 冰上覆盖雪会显著改变海冰的反照率, 影响海冰类型的判别; 如何在有积雪覆盖的情况下有效区分并识别薄冰、平整冰和粗糙冰等海冰类型, 目前仍属于国际难题, 值得进一步开展研究分析。另外, Landsat-8 提供了两个热红外波段, 为探测海冰表面温度提供了可能, 这一研究值得尽快开展。

致谢: 作者由衷感谢 United States Geological Survey

(USGS)提供的 Landsat-8 光学卫星影像, 和中国资源卫星应用中心提供的高分一号光学卫星影像。

参考文献:

- [1] Bai S, Wu H. Numerical sea ice forecast for the Bohai Sea[J].Acta Meteorologica Sinica, 1998, 56(2): 139-153.
- [2] 张晰, 张杰, 孟俊敏, 等.基于极化散射特征的极化合成孔径雷达海冰分类方法研究: 以渤海海冰分类为例[J].海洋学报, 2013, 5: 95-101.
- [3] 张晰, 张杰, 纪永刚.基于纹理特征分析的辽东湾 SAR 影像海冰检测[J].海洋科学进展, 2008, 26(3): 386-393.
- [4] Riggs G A, Hall D K, Ackerman S A. Sea ice extent and classification mapping with the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Airborne Simulator[J]. Remote Sensing of Environment, 1999, 68(2): 152-163.
- [5] Scharfen G R, Hall D K, Khalsa S J S, et al. Accessing the MODIS snow and ice products at the NSIDC DAAC[C]// IGARSS. Geoscience and Remote Sensing Symposium (5).USA: IGARSS, 2000: 2059-2061.
- [6] 史培军, 范一大, 哈斯, 等. 利用 AVHRR 和 MODIS 数据测算海冰资源量——以渤海海冰资源测算为例 [J].自然资源学报, 2002, 17(2): 138-143.
- [7] 韩素芹, 黎贞发, 孙治贵. EOS/MODIS 卫星对渤海海冰的观测研究[J].气象科学, 2005, 25(6): 624-628.
- [8] 吴奎桥, 徐莹, 郝轶萌. MODIS 数据在海冰遥感中的应用[J].海洋预报, 2005, z1: 44-49.
- [9] 吴龙涛, 吴辉斌, 孙兰涛, 等. MODIS 渤海海冰遥感资料反演[J].中国海洋大学学报: 自然科学版, 2006, 36(2): 173-179.
- [10] 李宝辉, 侯一筠, 孙从容, 等. “北京一号”小卫星图像在渤海海冰监测中的应用[J].海洋学报, 2013, 4: 201-207.
- [11] 杜阳.基于贝叶斯分类器的最小欧氏距离图像检索相关反馈及 DSP 实现[D].长春: 吉林大学, 2006.
- [12] Dabboor M, Geldsetzer T. Towards sea ice classification using simulated RADARSAT Constellation Mission compact polarimetric SAR imagery[J].Remote Sensing of Environment, 2014, 140: 189-195.

Comparison of sea ice detection ability of Landsat-8 and GF-1 in the Bohai Sea

ZHANG Xi, ZHANG Jie, MENG Jun-min

(First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Received: Oct., 11, 2014

Key words: sea ice in the Bohai Sea; Landsat-8; Gaofen-1; optical remote sensing

Abstract: Gaofen-1 (GF-1) and Landsat-8, launched in 2013, are high-performance satellites with high resolution and multi-spectral bands. Both of them arouse wide concerns. For improving the effectiveness of using GF-1 and Landsat-8 to monitor sea ice in the Bohai Sea, the ability of Landsat-8 and GF-1 for sea ice detection was evaluated in two aspects. One is the sea ice detection and the other is sea ice classification. For sea ice imaging quality, the dynamic range of DN and entropy of Landsat-8 is better than that of the GF-1 images. The experiment shows that, in identifying sea ice from open water, GF-1 images outperform Landsat-8 images. However, in classifying sea ice types, Landsat-8 images are better than GF-1 images. Finally, this paper preliminarily discusses the scheme of sea ice monitoring using Landsat-8 and GF-1 satellite images synthetically.

(本文编辑: 刘珊珊)