

# 高分一、二号卫星遥感数据在生态环境监测中的应用

蔡建楠<sup>1,2</sup>, 何甜辉<sup>1</sup>, 黄明智<sup>3</sup>

(1. 中山市环境监测站, 广东 中山 528403; 2. 中山市环境保护局, 广东 中山 528403; 3. 华南师范大学环境研究院, 广东 广州 510006)

**摘要:**从水环境质量监测、水体信息提取、植被资源监测、城市土地覆盖识别、大气环境监测5个方面综述了高分一号(GF-1)、高分二号(GF-2)卫星遥感数据在区域生态环境监测领域的应用,分析了相关研究的应用方向和重点,表明GF-1、GF-2卫星遥感数据在该领域具有良好的适用性和较大的应用潜力。

**关键词:**高分一号卫星; 高分二号卫星; 生态环境监测; 遥感数据

中国分类号: X87

文献标志码: B

文章编号: 1674-6732(2018)06-0012-07

## The Application of GF-1 and GF-2 Satellite Remote Sensing Data to Ecological Environment Monitoring

CAI Jian-nan<sup>1,2</sup>, HE Tian-hui<sup>1</sup>, HUANG Ming-zhi<sup>3</sup>

(1. Zhongshan Environmental Monitoring Station, Zhongshan, Guangdong 528403, China; 2. Zhongshan Environmental Protection Agency, Zhongshan, Guangdong 528403, China; 3. Environmental Research Institute, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510006, China)

**Abstract:** The applications of GF-1 and GF-2 satellite remote sensing data to regional ecological environment monitoring were reviewed from five aspects, including water quality monitoring, water information extraction, vegetation resource monitoring, urban land cover identification and atmospheric environment monitoring. The application areas and research priorities of related researches were analyzed. Study indicated that GF-1 and GF-2 satellite remote sensing data had good applicability and great application potential in this field.

**Key words:** Gaofen-1 (GF-1); Gaofen-2 (GF-2); Ecological environment monitoring; Remote sensing data

### 0 前言

20世纪70年代以来,卫星遥感技术由于具有大空间尺度、数据实时获取、适于长时间跟踪等优点,在生态环境监测领域得到广泛的应用<sup>[1]</sup>。随着近年来高分辨率卫星影像技术及成果的普及,生态环境遥感监测更是逐步向精细化、定量化发展。但在很长的一段时间内,我国环境保护领域中高分辨率卫星遥感数据长期依赖于国外商业卫星,高昂的费用和获取途径的限制,在一定程度上制约了我国生态环境遥感监测技术的发展和普及。

2013年4月和2014年8月,我国“高分一号”(GF-1)“高分二号”(GF-2)卫星相继成功发射,标志着我国高分辨率对地观测系统取得重大成果。GF-1卫星具有空间分辨率高、相机数量多、中分辨率遥感视场大等特点;GF-2卫星则实现了

高空间分辨率、多光谱综合光学遥感数据的获取,具有高空间分辨率、高辐射精度、高定位精度和快速姿态机动能力等特点<sup>[2]</sup>。GF-1、GF-2卫星数据空间分辨率与当前主流商业光学卫星基本相当(表1),在宽幅、重返周期和中高分辨率传感器同星搭载了有一定优势(表2)。GF-1、GF-2卫星互相协同配合,可提供多种空间分辨率、光谱分辨率的遥感数据,以满足不同的应用需求。同时,随着GF-1卫星02、03、04星于2018年3月31日成功发射,进一步加强了GF-1卫星快速重返成像

收稿日期:2018-10-21;修订日期:2018-11-07

基金项目:国家重点研发计划基金资助项目“珠江流域水资源多目标调度技术与应用”(2017YFC0405900)

作者简介:蔡建楠(1982—),男,高级工程师,硕士,从事环境质量监测与评价、生态监测等领域的研究工作。

能力。根据中国资源卫星应用中心陆地观测卫星数据服务平台 (www.cresda.com) 的 GF-1 卫星 PMS 数据产品检索结果, GF-1 卫星最快重返时间缩短至 1 d。GF-1、GF-2 卫星上述数据特点

极大满足了我国高空间分辨率遥感数据应用需求, 逐步改变了我国广泛采购国外商用卫星遥感数据现状, 有力支撑了我国遥感卫星应用技术的发展。

表 1 主流高空间分辨率光学卫星数据参数<sup>[3]</sup>

序号	卫星名称	空间分辨率	所属国家/机构
1	QuickBird-2	全色 0.65 m, 多光谱 2.62 m	美国 DigitalGlobe 公司
2	WorldView-2	全色 0.46 m, 多光谱 1.85 m	
3	IKONOS	全色 0.82 m, 多光谱 3.2 m	美国 GeoEye 公司
4	GeoEye-1	全色 0.41 m, 多光谱 1.65 m	
5	SPOT-5	全色 2.5 m, 多光谱 10 m	欧洲航天局
6	SPOT-6	全色 2 m, 多光谱 8 m	欧洲 EADS Astrium 公司
7	Pleiades-1/2	全色 0.5 m	欧洲航天局
8	Kompsat-2	全色 1 m, 多光谱 4 m	韩国航空航天研究院
9	ALOS-1	全色 2.5 m, 多光谱 10 m	日本宇宙航空研究开发机构 (JAXA)
10	GF-1	全色 2 m, 多光谱 8 m (PMS 数据) 宽视场多光谱 16 m (WFV 数据)	中国
11	GF-2	全色 1 m, 多光谱 4 m	

表 2 GF-1、GF-2 卫星有效载荷参数<sup>①</sup>

卫星	载荷类型	谱段号	谱段范围/ μm	空间分辨率 /m	幅宽/km	重访时间/d	单颗卫星 搭载相机数	在轨卫星 数量
GF-1	全色多光谱 相机 (PMS)	1	0.45 ~ 0.90	2	60 (2 台相机组合)	4 (单颗卫星)	2	4
		2	0.45 ~ 0.52	8				
		3	0.52 ~ 0.59					
		4	0.63 ~ 0.69					
		5	0.77 ~ 0.89					
	多光谱相机 (WFV)	6	0.45 ~ 0.52	16	800 (4 台相机组合)	2	4	1
GF-2	全色多光谱相机	1	0.45 ~ 0.90	1	45	5	1	1
		2	0.45 ~ 0.52	4				
		3	0.52 ~ 0.59					
		4	0.63 ~ 0.69					
		5	0.77 ~ 0.89					

①数据来源源于中国资源卫星应用中心网站。

随着我国环境保护各项工作的逐步深入, 各级管理部门对区域生态环境质量的实时、动态监测及评价的要求也日益提高, 对高分辨率遥感数据有迫切的需求。现结合当前环境监测领域的主要业务需求, 梳理了国内外文献中 GF-1、GF-2 卫星遥感数据在水环境质量监测、水体信息提取、植被资源监测、城市土地覆盖识别、大气环境监测 5 个方面的研究进展, 以期为进一步推进我国生态环境监测领域高分辨率卫星遥感数据的应用提供参考。

### 1 水环境质量监测

遥感技术由于具有快速、大范围、重现周期短

等特点, 可弥补传统水质监测固有的监测点位时空代表性不足的缺点, 是环境保护领域中遥感技术的最主要应用方向之一。近年来, 基于 GF-1、GF-2 卫星遥感数据的水环境监测研究报道主要集中在湖泊及海洋水体富营养化相关水质指标、水体悬浮物及浊度监测和城市黑臭水体识别等方面。

#### 1.1 富营养化相关水质指标监测

朱云芳<sup>[4]</sup>等利用 GF-1 卫星 WFV 数据和实时地面采样数据, 建立 BP 神经网络模型, 反演了太湖高  $\rho$  (叶绿素 a) 集中分布区域。经精度检验, BP 神经网络模型预测值与实测值之间的可决系数  $R^2$  高达 0.968 0, 证明 GF-1 卫星 WFV 数据结合

BP 神经网络模型可有效反演太湖  $\rho$ (叶绿素 a)。朱利等<sup>[5]</sup>利用 GF-1 卫星 WFV 数据和环境卫星 HJ-1A CCD 数据,对太湖的  $\rho$ (叶绿素 a)、 $\rho$ (悬浮物)、透明度和富营养化状况进行遥感监测,结果显示,GF-1 卫星 WFV 数据与 HJ-1A CCD 数据对水质参数的反演结果具有一致性,可有效反映上述水质指标的空间变化规律;由于 WFV 数据具有较大宽幅,适用于太湖等大型湖泊的宏观监测,表明 GF-1 卫星 WFV 数据在湖泊富营养化监测与评价方面具有较大的应用潜力。Zheng 等<sup>[6]</sup>结合 GF-1 卫星 WFV 数据,对 2015 年黄海海域绿潮的爆发和迁移、衰减过程进行监测,表明利用 GF-1 卫星 WFV 数据能够准确监控黄海大型绿藻增殖灾害的发生过程和覆盖范围。

### 1.2 水体悬浮物及浊度监测

GF-1 卫星遥感数据与实测光谱数据或其他卫星遥感数据的反演结果比较也是水体悬浮物及浊度监测研究的重点之一。程乾等<sup>[7]</sup>利用现场实测的杭州湾超光谱数据对 GF-1 卫星遥感数据波段设置进行仿真,建立了悬沙浓度的卫星遥感反演模型并进行验证,实现杭州湾河口水域跨海大桥的悬沙浓度反演。Li 等<sup>[8]</sup>认为,与 HJ-1 CCD、陆地卫星-8 的操作陆地成像仪(Landsat 8 OLI)数据相比,GF-1 卫星 WFV 数据具有更高的信噪比、对悬浮物变化具有更高的光谱灵敏度和更高的空间分辨率,在内陆水体悬浮物监测的应用前景非常广阔。付海军<sup>[9]</sup>基于山东省济宁市南四湖的研究也取得类似的结论,认为 GF-1 卫星 WFV 数据进行淡水湖浊度反演具有较高的精度,可以替代 Landsat-8 OIL 多光谱数据。

### 1.3 城市黑臭水体识别

城市黑臭水体整治作为我国水污染防治行动计划提出的战略工作需求,也推动了城市黑臭水体信息遥感识别的研究。城镇黑臭水体一般面积小、宽度窄,影像光谱特征易受周边环境影响,采用一般的中低分辨率遥感数据很难进行遥感定量监测。GF-1、GF-2 卫星遥感数据由于具有较高的空间分辨率,在城市黑臭水体识别方面具备良好的利用前景。申茜等<sup>[10]</sup>基于 2015 年起的 GF-1、GF-2 卫星等多源遥感数据,人工解译了 15 个城市的疑似黑臭水体分布图,并提出了构建城市黑臭水体遥感筛查体系的技术路线。温爽等<sup>[11]</sup>对南京城市河段进行了水样分析并同步测量水面光谱,在此基础

上构建了基于 GF-2 卫星多光谱数据的城市黑臭水体遥感识别算法,实现了研究区 11 条黑臭河段的提取。靳海霞等<sup>[12]</sup>利用 GF-2 卫星融合影像数据对北京市 9 处水体河段水质进行综合遥感判读并进行实地调查验证,结果表明利用 GF-2 卫星融合影像数据能够很好地识别城镇区域内宽度较窄的河道岸线,定量反演出的水体单位面积内悬浮物浓度、透明度和营养状态指数,能够反映水体的黑臭程度。可以预见,伴随着我国黑臭水体整治工作的进一步深入,城市黑臭水体的遥感监测研究将成为 GF-1、GF-2 卫星遥感数据在水环境遥感监测领域的重要研究方向。

## 2 水体信息提取

湖泊、水库、河流等自然水体是地球表面各圈层的连接点,其形成、消失、扩张等变化受气候和人类活动影响十分明显,同时自然水体对于维持生物多样性、改善局地气候有重要作用。原国家环境保护部发布的《生态环境状况评价技术规范》<sup>[13]</sup>中就设置了水网密度指数、水域湿地面积比指标等与水体信息密切相关的指标,以作为区域生态环境质量的重要评价因素。通过遥感技术提取监测区域内的水体面积、水边线等信息,也成为开展区域生态环境监测与评价的重要前期环节。

### 2.1 内陆及干旱区水体识别

梁文秀等<sup>[14]</sup>研究认为,综合比较 Landsat8 OIL 和 HJ-1 CCD 数据,GF-1 卫星 WFV 数据由于具有更高的空间分辨率,更适宜应用于中小型内陆水体提取和动态监测;GF-1 卫星 WFV 数据与 Landsat8 OIL 数据相比可以更好地体现研究河流的细节信息。文献[15-16]基于青藏高原 GF-1 卫星 WFV 和 PMS 数据,实现了青藏高原湖泊边界的精细提取,克服了青藏高原地区自然条件恶劣,难以对湖泊进行长时间实地考察和监测的难题。孙娜等<sup>[17]</sup>提出了一种按照水陆初步分离和水体高精度提取二阶段进行的处理流程,以兼顾处理精度与效率,并基于 GF-1 卫星 PMS 数据实现黄土高原晋陕蒙丘陵沟壑区水体高精度自动提取。陈文倩等<sup>[18]</sup>基于 GF-1 卫星 PMS 数据,使用单波段阈值法、归一化水指标(NDWI)和多波段的方法实现了对中国西北部典型山区水体的精确化提取,并提出一种决策树水体提取方法以消除积雪与山体裸地的影响。王瑾杰等<sup>[19]</sup>以 GF-1 卫星 PMS 影像

为数据源,选取新疆特克斯河流域巴喀勒克水库为研究区,提出改进的阴影水体指数法进行水体信息提取,以解决干旱区水体与山区阴影难以区分的技术瓶颈。可见,GF-1卫星遥感数据已成为我国干旱地区的水资源开发利用研究的重要数据支持。

## 2.2 海岸线提取及类型识别

海岸线的提取及其类型识别对沿海地区生态资源和海域使用管理具有重大意义。遥感技术正逐步成为海岸线提取的主要方法之一,近年来GF-1、GF-2卫星数据也被应用于城市海岸线信息提取研究中。赵芝玲等<sup>[20]</sup>选取GF-1卫星PMS影像为遥感数据源,采用面向对象的目标提取技术自动提取了津冀地区沿海城市海岸带大范围的水边线并进行分类,基于多源遥感数据的分类结果比对证明了该海岸线提取方法对高分辨率遥感影像的有效性。鞠超等<sup>[21]</sup>利用GF-1卫星PMS数据,运用面向对象分类方法,结合光谱、几何等特征对秦皇岛市沿海自然岸线进行提取,并利用潮位校正模型把提取出的瞬时水边线改正到实际海岸线。王鹏等<sup>[22]</sup>基于GF-2卫星数据,提出一种半自动的面向对象高分辨率遥感影像海岸线提取方法,并利用青岛地区人工海岸和潮滩海岸进行实验,获得了连续、平滑的高精度海岸线。索安宁<sup>[23]</sup>等采用GF-1卫星PMS数据,通过监测大潮高潮时刻和小潮低潮时刻海岸水陆边界线,构建了潮间带完整性系数,以此为依据将海岸线划分为6种岸线类型,在此基础上评价区域海岸线的生态化程度。

## 3 植被资源监测

植被资源的遥感识别已成为GF-1、GF-2卫星遥感数据的重要研究领域,其研究方向主要包括森林树种识别和生物量计算、植被指数计算研究、湿地植物多样性分析、草原变化监测等。

### 3.1 树种识别和生物量测算

尹凌宇等<sup>[24]</sup>选取四川省甘孜州道孚县为研究区,利用GF-2卫星多光谱遥感数据,分别采用最大似然法和支持向量机方法进行树种识别研究,研究表明所采用的两种方法识别出研究区域主要树种的精度都高于80%。Wang等<sup>[25]</sup>采用GF-2卫星遥感数据对中国北京通州区核心区森林覆盖进行分类和识别,分析了GF-2遥感数据在城市森林识别中的表现。结果显示,基于GF-2卫星遥感数据的森林覆盖分类结果中有87.43%面

积在空间上与参考森林覆盖图相对应,表明GF-2卫星遥感数据与分类算法相结合,可有效地应用于城市森林监测。杨国强等<sup>[26]</sup>以昌邑柽柳国家海洋特别保护区为例,应用GF-1卫星WFV数据和地面生物量实测数据,构建了柽柳地上生物量估算模型,选取最优模型并开展了应用试验,实现了研究区柽柳林地上平均生物量和总生物量的计算。

### 3.2 湿地植被监测

程乾等<sup>[27]</sup>利用地面实测数据和GF-1卫星遥感数据,构建了杭州湾河口湿地植物物种多样性遥感监测模型,探索了GF-1卫星遥感数据监测湿地植物物种多样性的最佳尺度,表明GF-1卫星可快速有效地监测河口湿地植物物种多样性水平。Fu等<sup>[28]</sup>利用GF-1卫星等多源数据,评估了基于对象和基于像素的随机森林(RF)算法在湿地植被测绘中的性能,结果表明基于GF-1卫星数据的湿地植被监测可达到80%以上的总体准确率。

### 3.3 植被覆盖率分析

Jia等<sup>[29]</sup>为不同地表条件下的GF-1卫星WFV数据开发了一种基于训练后传播神经网络(NNs)的分数植被覆盖度(FVC)估计算法,并以中国卫昌县为例,验证了所提出的FVC估计算法对GF-1卫星WFV数据的性能。验证结果表明,该算法可以在不了解土地覆盖情况的情况下进行操作,并可以利用GF-1卫星表面反射率数据,进行高质量FVC产品常规生产。Zhang等<sup>[30]</sup>基于两期GF-1卫星遥感数据和野外调查数据,监测了敦煌市2013年7月—2015年7月当地植被覆盖度变化,并分别计算得出研究区域中高等级和极低等级植被类型的变化面积。Shen等<sup>[31]</sup>则通过比较Landsat 8 OLI和GF-2卫星遥感数据,得出研究区内因风电建设而被破坏的草原面积,表明GF-2卫星遥感数据对草原面积变化监测是可行的。

## 4 城市土地覆盖识别监测

城市发展过程中形成的不同土地覆盖类型及其空间格局是导致城市生态效应差异的重要成因。及时、快速地监测城市土地覆盖变化及其生态影响,是当前城市生态环境研究的重要领域;而遥感和地理信息技术是对变化快速、空间范围广的城镇土地覆盖进行实时、准确监测的最佳手段之一。

### 4.1 土地覆盖分类算法研究

Li等<sup>[32]</sup>利用GF-1卫星遥感数据,结合V-

I-S 模型和线性光谱混合模型,评估了天津城市不透水表面面积和覆盖范围及其对城市生态环境的影响,表明 GF-1 卫星遥感数据可以为城市不透水表面的大面积提取提供数据依据。刘波等<sup>[33]</sup>基于 GF-2 卫星遥感数据,采用支持向量机法并加入 HSL 变换信息,有效地提高了梧州市不透水面的分类精度,为研究区城区改造和监测提供了有效的数据支撑。Lu 等<sup>[34]</sup>提出了一种基于局部特征融合的城市海岸带街区土地利用分类方法,并基于 GF-2 卫星遥感数据在青岛市进行了测试;分类结果显示该方法识别整体准确率达到 83.80%,具有准确监测城市海岸带土地利用场景的潜力。

#### 4.2 特定土地覆盖类型的遥感识别

Sun 等<sup>[35]</sup>利用 GF-1 卫星 PMS 等多源卫星数据的长时间序列影像提取湿地信息,以分析长江入海口和沿海地区的湿地时空变化,并探讨了可能引起湿地变异的环境和社会经济因素。Wu 等<sup>[36]</sup>以 GF-1 卫星 WFV 影像为主要数据,提出基于混合像素分解和土壤颗粒组成的沙地监测方法,以解决过渡性沙地受植被覆盖的影响难以监测的问题。尹峰等<sup>[37]</sup>利用 GF-1、GF-2 卫星遥感数据进行正射影像图制作和闲置土地信息提取,在定性和定量分析方法的基础上,测试 GF-1、GF-2 卫星遥感数据在闲置土地监测工作中的适用性;结果表明,GF-1、GF-2 卫星遥感数据能够较好地反映城镇闲置土地的关键地物信息,具有较高的可判读性,能够满足闲置土地处置业务的应用需求。Sun 等<sup>[38]</sup>利用基于 GF-1 卫星 PMS 数据的归一化植被指数提取厦门市建成区城市绿地,并计算不同功能用地类型内的城市绿地等级和景观差异。

#### 4.3 土地覆盖类型变化实证研究

Li 等<sup>[39]</sup>以 GF-1 卫星 PMS 数据为基础,完成了上海城市建成区的制图与景观格局分析;经与参考数据比对表明该方法获取的上海城市建成区土地覆盖分类的总体精度和 Kappa 系数分别为 83.7% 和 0.71,可为空间制图和景观格局分析提供有效可靠的数据。周孝明等<sup>[40]</sup>以 GF-1 卫星等多源遥感数据对甘肃省 87 个主要城(市)镇 2008—2014 年城镇扩展进行监测,分析甘肃省城镇化发展程度和城镇扩展空间分异特征,并据此提出协调城镇发展和耕地保护矛盾的途径。胡倩伟等<sup>[41]</sup>以哈尔滨市的土地覆盖分类为例,结合当前地理国情监测的特点分析 GF-1 卫星 PMS 数据在

该领域的适用性;同时将 GF-1 卫星 PMS 数据与同级国外卫星数据比较,表明 GF-1 卫星遥感数据能够满足快速掌握各种土地覆盖信息的需求,在当前地理国情中土地覆盖动态监测工作中具有良好的技术可行性。程乾等<sup>[42]</sup>针对滨海陆地复杂地物环境下如何提高土地覆盖信息遥感提取精度的关键问题,基于 GF-1 卫星 PMS 数据、资源 3 号卫星遥感数据开展杭州湾南岸滨海陆地土地覆盖信息的遥感提取;结果表明,面向对象法与 GF-1 卫星 PMS 数据相结合对于土地类型多样、边界模糊的混合像元具有较好的识别能力,可获得较高分类总精度(90.4%)和 Kappa 系数(0.8767),总体上 GF-1 卫星比资源 3 号卫星遥感数据更能体现在植被和水体等地物信息提取方面的优势。孟晋杰等<sup>[43]</sup>基于北京地区 GF-1 卫星 PMS 数据,采用面向对象分类方法对小尺寸影像的 5 种城市生态用地地物类型(植被、水体、道路、建筑物、裸土)进行分类,并通过添加其纹理信息建立相应的规则集以提高建筑物和裸土的提取精度。实验结果表明,该方法提取精度可满足大面积城市生态用地信息提取的需求。

## 5 大气环境监测

气溶胶是悬浮在气体中的固体或液体颗粒,为大气化学反应的载体,也是直接损害人体健康、影响大气能见度和地球辐射平衡的重要污染物<sup>[44]</sup>。国内外大量研究表明,高分辨率大气气溶胶光学厚度(AOD)的遥感信息经过适当的修正后,可以得到近地面的气溶胶消光系数,与大气颗粒物的质量浓度具有很好的线性相关<sup>[45]</sup>。气溶胶特性及其变化趋势的遥感监测,成为近年来大气环境监测领域的热点。由于具有大幅宽优势,GF-1 卫星 WFV 数据在 AOD 监测方面具有较大的潜力,适合应用于重点城市群的区域空气质量监测。环境保护部卫星环境应用中心基于 GF-1 卫星 WFV 数据,采用暗目标法等反演了 2013 年天津地区 AOD,进而初步间接反映天津地区灰霾的时空分布格局变化,结果表明,GF-1 卫星遥感数据在区域空气质量遥感监测方面具有优势<sup>[46]</sup>。Zhang 等<sup>[47]</sup>根据 GF-1 卫星遥感数据的特点,提出了 AOD 的检测方法和数据处理方法,并采用暗目标算法和深蓝算法分别去除植被茂密和城市明亮目标区的地表贡献;通过与北京、杭州和香港站点的地面数据进行验证,表

明采用该方法获得的 AOD 检测结果与现场观测吻合较好;但受云干扰、高地表反射率和假设气溶胶模型的影响,结果也存在一定的不确定性。Zhang 等<sup>[48]</sup>认为,当前各类中低空间分辨率的主要卫星大气气溶胶产品难以捕捉城市尺度的  $\rho(\text{PM}_{2.5})$  和变化趋势,而 GF-1 卫星 WFV 数据因其相对较高的空间分辨率,适用于城市景观或更小地理单元的  $\text{PM}_{2.5}$  估算;同时提出了基于 GF-1 卫星的 AOD 线性混合效应模型,并应用于武汉、北京和上海的  $\rho(\text{PM}_{2.5})$  估算;结果表明该模型在 GF-1 卫星遥感数据上表现良好,具有轻度过拟合和很少的空间自相关。可见,GF-1 卫星遥感数据和其他高分辨率卫星联合观测,可进一步提高  $\rho(\text{PM}_{2.5})$  估算的时间分辨率,为进一步准确分析城市内部  $\text{PM}_{2.5}$  污染格局提供了可能性。

## 6 结论与展望

GF-1、GF-2 卫星成功发射至今仅约 5 年,其遥感数据已被广泛应用于区域生态环境监测和评价领域,并且在城市或更小地理尺度的应用中逐渐得到重视。从应用区域上看,GF-1、GF-2 卫星应用于我国西北干旱地区生态环境监测的研究报道较多,沿海地区的应用研究也占据较大比例。城市内部土地覆盖识别、植被指数计算也是 GF-1、GF-2 卫星遥感数据的主要应用领域。总体上,GF-1 卫星 WFV 数据由于具有较大的宽幅和相对较高的空间分辨率,在城市群、海洋海岸、大型水体等宏观尺度上的研究应用较多;而 GF-2 卫星 PMS 数据由于具有米级空间分辨率,在较小尺度区域内的特定对象识别方面应用较为广泛。

目前相关研究也存在一定的不足。如 GF-1、GF-2 卫星数据在生态环境监测多个领域均得到应用,但相关研究呈现较为分散的特点,多以技术应用研究为主,缺乏有关 GF-1、GF-2 卫星的反演模型方法、辐射定标系数等方面的深入研究;基于 GF-1、GF-2 卫星数据的水质反演模型、土地覆盖自动识别算法的比选和优化应成为今后研究的重点。同时,GF-1、GF-2 卫星多光谱数据均只有 4 个波段,光谱分辨率较低,在某些应用条件下不能很好地捕捉监测对象细微光谱特征,影响了对监测对象信息的精细化判别。因此,基于 GF-1、GF-2 卫星遥感数据的多源遥感数据协同应用研究也须得到进一步补充完善。

但总体上,GF-1、GF-2 卫星遥感数据技术特点明显且可形成优势互补,为我国生态环境遥感监测研究提供良好的数据来源,具有较大的应用潜力。特别是 GF-1、GF-2 卫星群的快速重返能力,为基于国产卫星对区域生态环境问题开展动态监控与预警创造了条件。可以预见,随着 GF-1、GF-2 卫星遥感数据应用研究日益深入,必将在生态环境监测领域各个方向发挥更为重要的作用,有助于提升区域环境监测的定量化和精细化水平,对环境保护和管理工作提供重要的数据支撑。

## [参考文献]

- [1] 李旭文,牛志春,姜晟,等. Landsat8 卫星 OLI 遥感影像在生态环境监测中的应用研究[J]. 环境监控与预警,2013(6): 1-5.
- [2] 东方星. 我国高分卫星与应用简析[J]. 卫星应用,2015(3): 44-48.
- [3] 郝胜勇,邹同元,宋晨曦,等. 国外遥感卫星应用产业发展现状及趋势[J]. 卫星应用,2013(1): 44-49.
- [4] 朱云芳,朱利,李家国,等. 基于 GF-1 WFV 影像和 BP 神经网络的太湖叶绿素 a 反演[J]. 环境科学学报,2017, 37(1): 130-137.
- [5] 朱利,李云梅,赵少华,等. 基于 GF-1 号卫星 WFV 数据的太湖水质遥感监测[J]. 国土资源遥感,2015, 27(1): 113-120.
- [6] ZHENG X, GAO Z, NING J, et al. Remote sensing monitoring of green tide in the Yellow Sea in 2015 based on GF-1 WFV data[C]//International Society for Optics and Photonics. Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability XIII, 2016.
- [7] 程乾,刘波,李婷,等. 基于高分 1 号杭州湾河口悬浮泥沙浓度遥感反演模型构建及应用[J]. 海洋环境科学,2015, 34(4): 558-563.
- [8] LI J, CHEN X, TIAN L, et al. Improved capabilities of the Chinese high-resolution remote sensing satellite GF-1 for monitoring suspended particulate matter (SPM) in inland waters: Radiometric and spatial considerations[J]. Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing,2015, 106: 145-156.
- [9] 付海军. 基于高分一号与 Landsat-8 影像的水体浊度反演比较[J]. 测绘与空间地理信息,2017, 40(6): 109-112.
- [10] 申茜,朱利,曹红业. 城市黑臭水体遥感监测与筛查研究进展[J]. 应用生态学报, 2017(10): 3433-3439.
- [11] 温爽,王桥,李云梅,等. 基于高分影像的城市黑臭水体遥感识别:以南京为例[J]. 环境科学,2018(1): 57-67.
- [12] 靳海霞,潘健. 基于高分二号卫星融合数据的城镇黑臭水体遥感监测研究[J]. 国土资源科技管理,2017(4): 107-117.
- [13] 环境保护部. 生态环境状况评价技术规范[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
- [14] 梁文秀,李俊生,周德民,等. 面向内陆水环境监测的 GF-1 卫星 WFV 数据特征评价[J]. 遥感技术与应用,2015, 30

- (4): 810–818.
- [15] 袁媛, 万剑华, 万玮. 近 40 年青藏高原湖泊环境变化遥感分析研究[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(10): 8–11.
- [16] 戚知晨, 赵琪. 高分一号遥感影像在青藏高原湖泊的提取方法[J]. 测绘与空间地理信息, 2018(2): 124–127.
- [17] 孙娜, 高志强, 王晓晶, 等. 基于高分遥感影像的黄土高原地区水体高精度提取[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(4): 173–178.
- [18] 陈文倩, 丁建丽, 李艳华, 等. 基于国产 GF-1 遥感影像的水体提取方法[J]. 资源科学, 2015, 37(6): 1166–1172.
- [19] 王瑾杰, 丁建丽, 张成, 等. 基于 GF-1 卫星影像的改进 SWI 水体提取方法[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(1): 29–35.
- [20] 赵芝玲, 李慧, 董月娥, 等. “高分一号”卫星遥感影像面向对象的水边线提取[J]. 航天返回与遥感, 2017(4): 106–116.
- [21] 鞠超, 吉长东, 荆林海, 等. 基于 GF-1 遥感影像面向对象的海岸线自动提取——以秦皇岛为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2017(12): 30–33.
- [22] 王鹏, 孙根云, 王振杰. 高分辨率遥感影像海岸线半自动提取方法[J]. 海洋测绘, 2016(6): 24–27.
- [23] 索安宁, 王鹏, 袁道伟, 等. 基于高空间分辨率卫星遥感影像的围填海存量资源监测与评估研究——以营口市南部海岸为例[J]. 海洋学报, 2016(9): 54–63.
- [24] 尹凌宇, 覃先林, 孙桂芬, 等. 基于高分二号多光谱数据的树种识别方法[J]. 林业资源管理, 2016(4): 121–127.
- [25] WANG H, WANG C, WU H. Using GF-2 Imagery and the Conditional Random Field Model for Urban Forest Cover Mapping[J]. Remote Sensing Letters, 2016, 7(4): 378–387.
- [26] 杨国强, 马毅, 王建步, 等. 基于高分一号卫星影像的柽柳地上生物量遥感估算研究——以昌邑柽柳国家海洋特别保护区为例[J]. 海洋环境科学, 2018, 37(1): 78–85, 94.
- [27] 程乾, 陈奕霏, 李顺达, 等. 基于高分 1 号卫星和地面实测数据的杭州湾河口湿地植物物种多样性研究[J]. 自然资源学报, 2016(11): 1938–1948.
- [28] FU B, WANG Y, CAMPBELL A, et al. Comparison of object-based and pixel-based Random Forest algorithm for wetland vegetation mapping using high spatial resolution GF-1 and SAR data[J]. Ecological Indicators, 2017, 73: 105–117.
- [29] JIA K, LIANG S, GU X, et al. Fractional vegetation cover estimation algorithm for Chinese GF-1 wide field view data[J]. Remote Sensing of Environment, 2016, 177: 184–191.
- [30] ZHANG Z, LI Z, TIAN X. Vegetation change detection research of Dunhuang city based on GF-1 data[J]. International Journal of Coal Science & Technology, 2018, 5(1): 105–111.
- [31] SHEN G, XU B, JIN Y, et al. Monitoring wind farms occupying grasslands based on remote-sensing data from China's GF-2 HD satellite—A case study of Jiuquan city, Gansu province, China[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2017, 121: 128–136.
- [32] MENG Q. Extracting information on urban impervious surface from GF-1 data in Tianjin City of China[C]//International Society for Optics and Photonics. Earth Observing Systems XX, 2015.
- [33] 刘波, 张源, 程涛, 等. 基于高分二号卫星影像的城市不透水面提取[J]. 地理信息世界, 2017, 24(2): 103–107.
- [34] LU C, YANG X, WANG Z, et al. Using multi-level fusion of local features for land-use scene classification with high spatial resolution images in urban coastal zones[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2018, 70: 1–12.
- [35] SUN N, ZHU W, CHENG Q. GF-1 and Landsat observed a 40-year wetland spatiotemporal variation and its coupled environmental factors in Yangtze River estuary[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2018, 207: 30–39.
- [36] WU J, GAO Z, LIU Q, et al. Methods for sandy land detection based on multispectral remote sensing data[J]. Geoderma, 2018, 316: 89–99.
- [37] 尹峰, 余海, 李智峰, 等. GF-1、GF-2 号卫星影像在闲置土地监测中的应用[J]. 地理空间信息, 2016, 14(10): 29–32.
- [38] SUN C, LIN T, ZHAO Q, et al. Spatial pattern of urban green spaces in a long-term compact urbanization process—A case study in China[J]. Ecological Indicators, 2019, 96, 111–119.
- [39] LI Z, ZHOU C, YANG X, et al. Urban landscape extraction and analysis in the mega-city of China's coastal regions using high-resolution satellite imagery: A case of Shanghai, China[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2018, 72: 140–150.
- [40] 周孝明, 刘军, 胡燕凌. 高分卫星在甘肃省城镇扩展研究中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(3): 531–538.
- [41] 胡倩伟, 左建章, 刘江, 等. 高分一号卫星数据在土地覆盖动态监测中的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2016, 39(6): 63–66.
- [42] 程乾, 陈金凤. 基于高分 1 号杭州湾南岸滨海陆地土地覆盖信息提取方法研究[J]. 自然资源学报, 2015, 30(2): 350–360.
- [43] 孟晋杰, 王建华. 高分一号影像数据城市生态用地监测[J]. 测绘科学, 2016, 41(9): 33–37.
- [44] 朱于红, 张自力, 田平, 等. 基于卫星遥感的浙北平原气溶胶光学特性长期变化分析[J]. 环境科学学报, 2015(2): 352–362.
- [45] CHENGCAI L I, MAO J, LAU A K H, et al. Application of MODIS satellite products to the air pollution research in Beijing[J]. Science in China, 2005, 48(S2): 209–219.
- [46] 赵少华, 王桥, 杨一鹏, 等. 高分一号卫星环境遥感监测应用示范研究[J]. 卫星应用, 2015(3): 37–40.
- [47] ZHANG L, XU S, WANG L, et al. Retrieval and Validation of Aerosol Optical Depth by using the GF-1 Remote Sensing Data[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, 68(1): 12001.
- [48] ZHANG T, ZHU Z, GONG W, et al. Estimation of ultrahigh resolution PM<sub>2.5</sub> concentrations in urban areas using 160 m Gaofen-1 AOD retrievals[J]. Remote Sensing of Environment, 2018, 216: 91–104.