

# 哨兵 1 号数据在一次暴雨洪涝灾害 过程中的监测应用

马云飞<sup>1,2,3</sup> 陈长胜<sup>1,2</sup> 高岩<sup>1,2,3</sup> 吴玉洁<sup>1,2,3</sup>

(1.吉林省气象科学研究所,吉林长春 130062;2.长白山气象与气候变化吉林省重点实验室,  
吉林长春 130062;3.吉林省农业气象灾害风险评估与防控科技创新中心,吉林长春 130062)

**摘要:**利用哨兵 1 号(Sentinel-1)微波雷达卫星数据,以 2020 年 7 月 4—6 日暴雨过程为例,选取暴雨前后的两幅影像(2020 年 6 月 24 日和 2020 年 7 月 6 日),采用面向对象阈值法提取吉林省长岭县长岭镇、流水镇、正北镇等受灾地区的水体信息,并对灾情前后水面变化情况和农田被淹情况进行分析,实现了阴云天气下对暴雨后洪泛水淹区域范围的快速监测。结果表明:哨兵 1 号数据在洪水监测领域有巨大的应用潜力,相较于传统基于像元的方法,面向对象阈值法能有效抑制杂斑生成,提高空间信息的利用效率,具有更好的提取精度。利用其进行洪涝灾害的评估是有效可行的,可为政府相关部门防汛期间农业防灾救灾提供及时、科学的决策依据。

**关键词:**哨兵 1 号;面向对象;水体提取;监测评估

## 1 引言

洪涝灾害是威胁人类生存的几大自然灾害之一,对区域社会经济产生严重影响,在严重的情况下还会引起其他次生自然灾害,例如泥石流和滑坡等<sup>[1-3]</sup>。在汛期发生洪涝灾害时,及时对灾情进行精细化监测,为快速有效地做好灾情评估和救灾工作,及时确定暴雨后的洪泛水淹区域分布、面积极为重要<sup>[4]</sup>,对资源环境的监测、洪灾的预防、灾后救援等也具有重大的现实意义。

近年来,随着遥感技术的不断发展使得对洪水淹没区域进行实时监测成为了可能,同时结合 GIS 技术也提高了空间分析和计算能力<sup>[5-6]</sup>。以往洪涝灾害监测主要依靠 NOAA18/19、MODIS、风云三号系列等光学遥感卫星,利用其可见光、近红外等波段识别水体信息来判断受灾区域范围,但在洪涝灾害发生期间以及灾后,常常伴有阴云天气,光学卫星的传感器在此时无法穿越云层获取下垫面的信息。随着近年来微波遥感技术的发展,大量合成孔径雷达(SAR)投入运行。其中,作为覆盖范围广、回访周期短(12 d),且分辨率较高(10 m)的

哨兵 1 号(Sentinel-1)雷达卫星数据应用广泛。王敬明等<sup>[7]</sup>基于 Sentinel-1 影像数据,分析比较了 Otsu 法、面向对象法和 U-Net 法的水体提取精度,从中选取最佳水体提取方法对鄱阳湖主体水域面积进行时空分析。王磊等<sup>[8]</sup>采用监督分类和非监督分类 2 种方法提取了鄱阳湖流域灾前、灾后洪涝范围,从而有效获取了水体变化信息。由于 Sentinel-1 发射的微波不受云雾的影响,在恶劣的天气也能穿过云雾获取地表信息,因此其在洪水监测等方面有广泛的应用前景。

以往众多研究常用阈值法提取 SAR 影像水体信息,该方法具有原理简单、速度快、计算量较小等优势<sup>[9]</sup>,然而在处理大范围遥感影像时阈值法效果较差,且只考虑像元本身信息,忽略了地物纹理、地形等特征<sup>[10]</sup>,从而使得水体提取结果比较破碎,小面积水体难以准确提取出来<sup>[11]</sup>。面向对象方法适用于中高分辨率遥感影像信息提取,不以独立像元为基准,而是由包含重要语义信息在内如几何特征、拓扑特征等的影像对象构成,从而提高信息提取精度<sup>[12]</sup>。已有相关学者将上述两种方法

收稿日期:2023-05-09

作者简介:马云飞(1987-),男,黑龙江哈尔滨人,硕士学位,工程师,主要从事生态气象与陆表环境遥感方向工作, Wicked\_Fly@163.com。

基金项目:吉林省气象局技术发展专项“遥感技术在吉林省近海海温、海冰监测评估中的应用研究(202111)”资助。

进行结合开展研究,王晓波等<sup>[13]</sup>基于 Sentinel-1 数据,通过阈值分割和面向对象方法提取双鸭山市水体,并且通过高程地形建模去除了山体阴影的影响,提高了水体提取精度。栾玉洁等<sup>[14]</sup>基于 Sentinel-1 数据采用面向对象阈值分割法提取 2018 年弥河流域洪灾前、中、后时期的陆表水体信息,经评估水体提取总体精度均在 95% 以上,表明 Sentinel-1 数据适用于水体信息的提取。因此,本文利用哨兵 1 号数据不受云雾影响的特点,选取暴雨前后的 Sentinel-1 影像,采取面向对象阈值分割法,提取暴雨前后的水体,从而确定水体扩张范围,为洪涝灾害监测评估提供科学依据。

## 2 资料与方法

### 2.1 研究区概况

长岭县隶属吉林省松原市,位于吉林省松原市西南部,地处 123°06′—124°45′E,43°59′—44°42′N,辖 8 个乡镇、12 个镇,全县面积 5 728.4 km<sup>2</sup>。受低涡和高空槽影响,2020 年 7 月 4—6 日,松原和长春部分乡镇出现了暴雨或大暴雨天气,吉林省松原市长岭县平均降水量 32.4 mm,局部地区降雨量高达 259 mm,强降水过程造成局地出现洪涝灾害。其中长岭县流水镇、北正镇、长岭镇、集体乡、三团乡等地区遭受洪涝灾害,造成部分地块作物内涝,暴雨过后连续几日仍为多云天气,传统光学遥感影像受云雾干扰已无法正常开展监测。

### 2.2 资料

本文选取 2020 年 6 月 24 日和 7 月 6 日哨兵 1 号 (Sentinel-1A) 20 m 分辨率 IW (干涉宽幅模式,Level-1 地距影像 VV 极化方式) 成像模式雷达数据,对暴雨前后长岭县全县的洪水淹没范围进行遥感监测分析。其他辅助数据包括长岭县矢量边界图。气象数据为 2020 年 7 月 4—6 日长岭

县区域站降水量数据。土地利用数据来源于 2017 年中国测绘局调查数据,根据中科院土地利用、覆盖分类体系 (LUCC 分类体系) 将地表覆盖类型主要分为耕地、林地、草地、水体、建设用地和未利用地 6 种类型。

### 2.3 研究方法

#### 2.3.1 Sentinel-1A 卫星影像预处理

本文使用欧空局开源软件 SNAP 对数据进行预处理。获取到的 SAR 影像通常都带有热噪声,热噪声会影响雷达后向散射信号精度。为了尽量减少热噪声对影像解译的影响,需要进行热噪声去除<sup>[8]</sup>。此外,由于合成孔径雷达发射的是相干电磁波,该电磁波可以使用乘积模型里的两个非相关变量进行描述<sup>[9]</sup>:

$$I(x,y)=R(x,y)\times U(x,y) \quad (1)$$

式中, $I$  代表反射电磁回波实际强度; $R$  代表目标后向散射系数的真实强度; $U$  代表与  $R$  不相关的相干斑噪声; $x$  和  $y$  代表影像像元的坐标。

连续雷达脉冲的回波在相干处理时,由于表面粗糙,各散射体反射的电磁波的相干叠加,导致回波在相位上不相干,从而造成回波强度逐像素的变化,在模式上表现为颗粒状,从而使得 SAR 图像出现随机分布的黑白斑点,一定程度上降低了影像的质量,需要对其进行相干斑滤波,这里使用改进的 Lee 滤波器进行处理,公式如下<sup>[10]</sup>:

$$R(x,y)=\bar{I}(x,y)+[I(x,y)-\bar{I}(x,y)]W(x,y) \quad (2)$$

式中, $W(x,y)=1-C_u^2/C_I^2(x,y)$  为权函数,且  $C_u=\partial_u \bar{u}$ ,  $C_I(x,y)=\partial_I(x,y)\bar{I}(x,y)$ ,分别是斑点噪声  $u(x,y)$  及  $I(x,y)$  的相对标准差<sup>[12]</sup>。预处理后的影像如图 1 所示。

#### 2.3.2 影像阈值分割提取水体

面向对象方法提取水体信息的基础和关键便

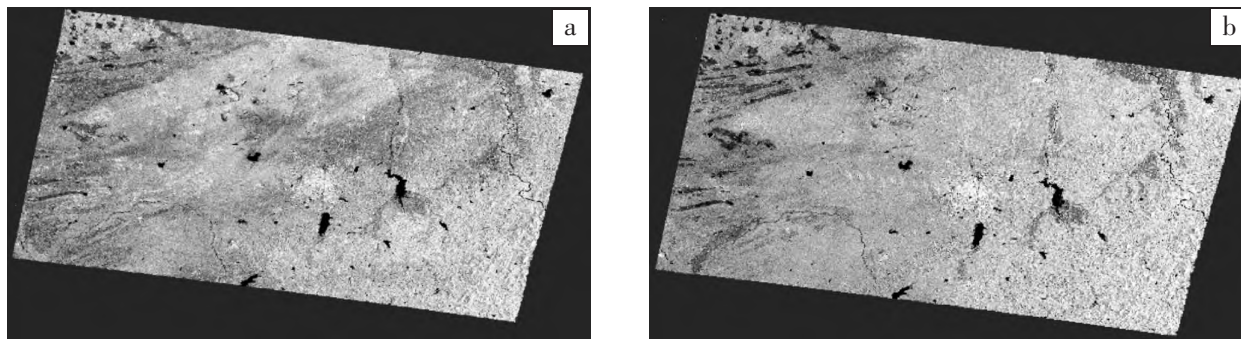


图 1 预处理后 2020 年 6 月 24 日(a)和 7 月 6 日(b)哨兵 1 号卫星遥感影像

是影像分割,本文采用多尺度分割法,多尺度分割法通过合并相邻小的对象,即对象内部异质性最小的方法得到分割结果。异质性计算分为整体异质性、光谱异质性和形状异质性,计算公式分别如下<sup>[11]</sup>:

$$F = \omega \times h_{\text{color}} + (1 - \omega) \times h_{\text{shape}} \quad (3)$$

式中  $f$  为整体异质性;  $h_{\text{color}}$  为光谱异质性;  $h_{\text{shape}}$  为形状异质性;  $\omega$  为光谱权重值(介于 0 与 1 之间)。在进行多尺度分割后,利用阈值法对水体进行提取,阈值法公式如下:

$$PD < [\text{lmean}(D) - K_f \times \text{lstdv}(D)] \quad (4)$$

式中  $PD$  为洪泛区水体分割阈值;  $\text{lmean}$  为灾情前后两幅影像差值后像素的均值;  $\text{lstdv}$  为差值图像像素方差值;  $K_f$  定为 1.8。

### 3 结果与分析

#### 3.1 水体提取

基于影像多尺度阈值分割法,将影像下垫面

区分为水淹区及非水淹区,提取灾前及灾后水体。对影像不断调整分割系数及变化紧致度和形状权重,从而选取相对最优分割参数,同时结合吉林省 DEM 数据,影像分割尺度系数定为 32,形状参数设为 0.1,光谱系数设为 0.8,紧致度参数设为 0.5。经试验证明,该分割结果比较合理,可以提取出地表斑块差异信息,影像内同质性较高,水体和陆地分离效果显著。然后通过计算得到 2020 年 6 月 24 日(暴雨前)及 7 月 6 日(暴雨后)2 幅影像的直方图分布,进而统计水体雷达后向散射系数(图 2)。结果表明洪水前后 SAR 图像的阈值分割分别为 -1.70 和 -16.2,当影像的像元值小于该阈值时,则判定该像元为水体,反之为非水体。

通过对比面向对象阈值法(图 3a)与基于像元的方法提取结果(图 3b)能够看出,后者的分类方法受到遥感影像斑噪的干扰,地物分类结果相对离散化,不能提取出细小的河流等水体,破碎斑

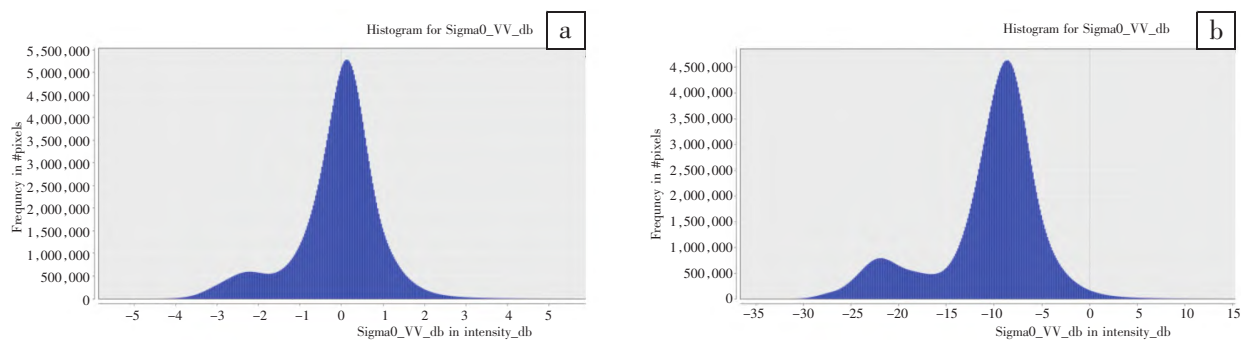


图 2 2020 年 6 月 24 日(a)和 7 月 6 日(b)影像散射系数直方图

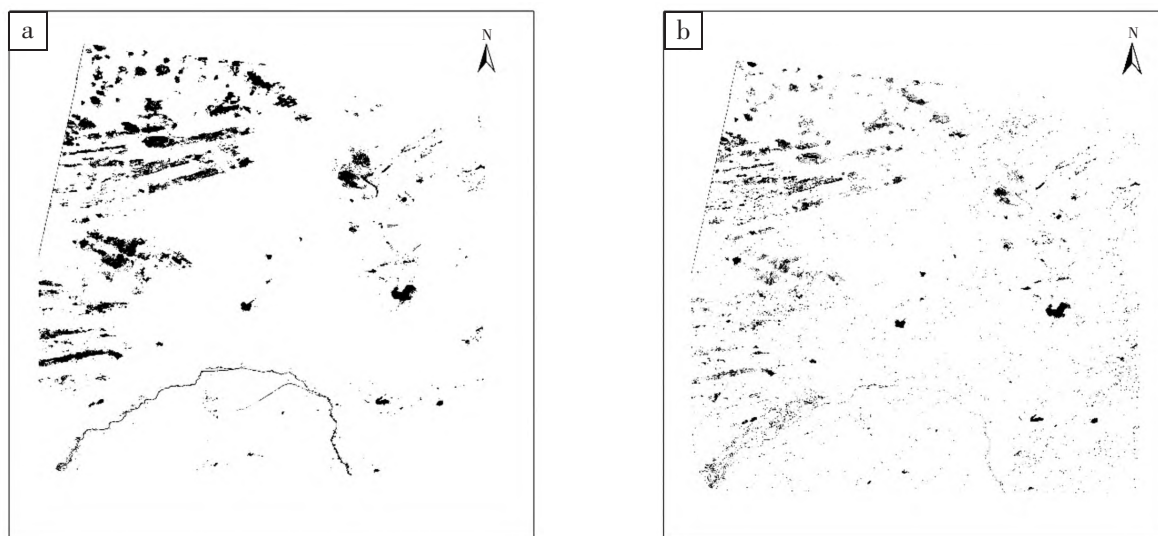


图 3 面向对象阈值法(a)和基于像元法(b)提取结果对比图



点较多,阴影较难剔除;而基于面向对象的分类结果连续性较高,不以独立像元为基准,而是由包含重要语义信息在内的几何特征、拓扑特征等影像对象构成,一定程度上避免了“椒盐”现象的产生,从而提高了信息提取精度。

### 3.2 长岭县水淹范围提取及监测分析

叠加长岭县区划边界底图对面向对象阈值法水体提取区域进行剪裁,得到长岭县中东部暴雨前后洪泛区域(无长岭县西部影像数据),如图 4 所示。数据分析表明长岭县监测区域内 6 月 24 日水面面积 3 603.32 hm<sup>2</sup>,7 月 6 日水面面积 10 055.46 hm<sup>2</sup>,相比增加了 6 452.14 hm<sup>2</sup>(表 1),其中三团乡东部、长岭镇、流水镇、集体乡、腰坨子乡等区域地面增加较多散状分布的积水,原先有水面的水库及水田等区域大部分水域面积明显增大。

叠加 LUCC 土地利用覆盖专题数据中的农田数据进行提取分析,6 月 24 日至 7 月 6 日监测区

域内长岭县新增 6 452.14 hm<sup>2</sup> 水面面积(表 1),其中有积水的旱田 3 962.96 hm<sup>2</sup>,主要分布在长岭镇、流水镇、集体乡、腰坨子乡和三团乡东部等区域。

经过实地调查,长岭县流水镇、正北镇、长岭镇、集体乡、三团乡、环城工业集中区遭受洪涝灾害,农作物受灾面积 3 694 hm<sup>2</sup>,其中长岭镇、流水镇、集体乡受灾面积在县内排在前 3。同时,对 2020 年 7 月 4—6 日长岭县累计降水进行统计(图 5),这与通过 SAR 雷达监测出的洪泛水淹范围和趋势较一致,这表明采用 SAR 雷达在阴云天气下对洪涝灾害进行监测是有效的。

### 5 结语

(1) 通过面向对象阈值法可以快速区分出陆表水体与非水体,提取效果较好。研究结果表明,面向对象的方法可以有效抑制影像杂斑,提升空间信息的利用效率及水体提取精度。同时,监测分析结果与气象观测站降水分布和实地调查情况较

表 1 长岭县主要受灾地区水域面积卫星遥感监测数据

项目	长岭全县	长岭镇	流水镇	集体乡	腰坨子乡
2020 年 6 月 24 日水域面积/hm <sup>2</sup>	3 603.32	878.76	464.68	98.29	302.45
2020 年 7 月 6 日水域面积/hm <sup>2</sup>	10 055.46	2 974.15	2 285.66	1 550.63	704.16
水域面积变化/hm <sup>2</sup>	+6 452.14	+2 095.39	+1 820.98	+1 452.34	+401.71
变化百分率/%	+192.93	+238.45	+391.87	+1 477.61	+132.81

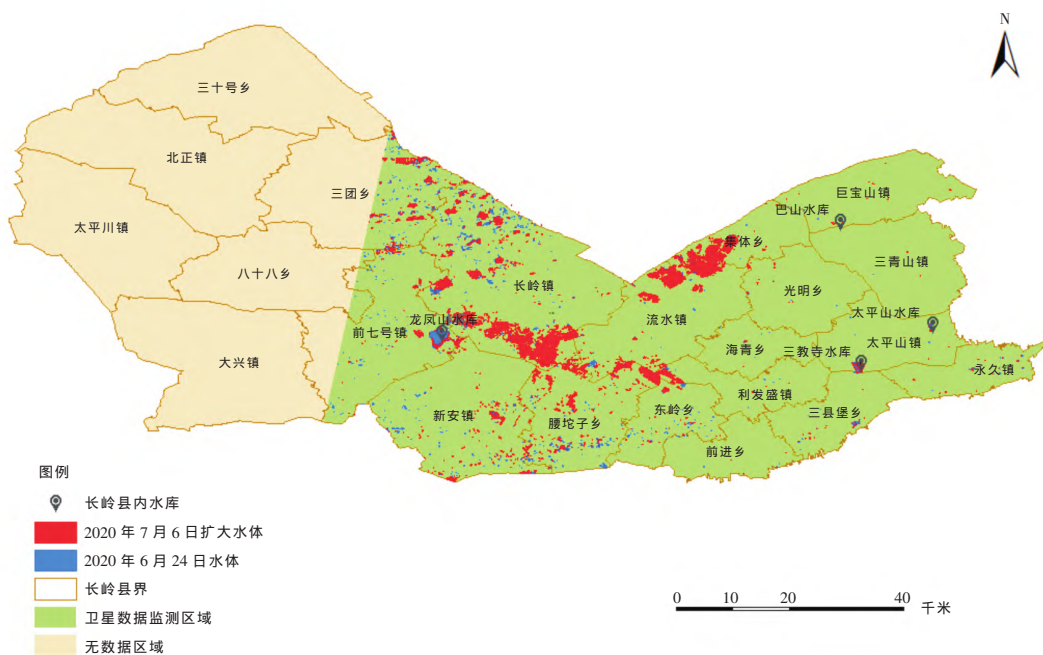


图 4 长岭县洪涝灾害监测图

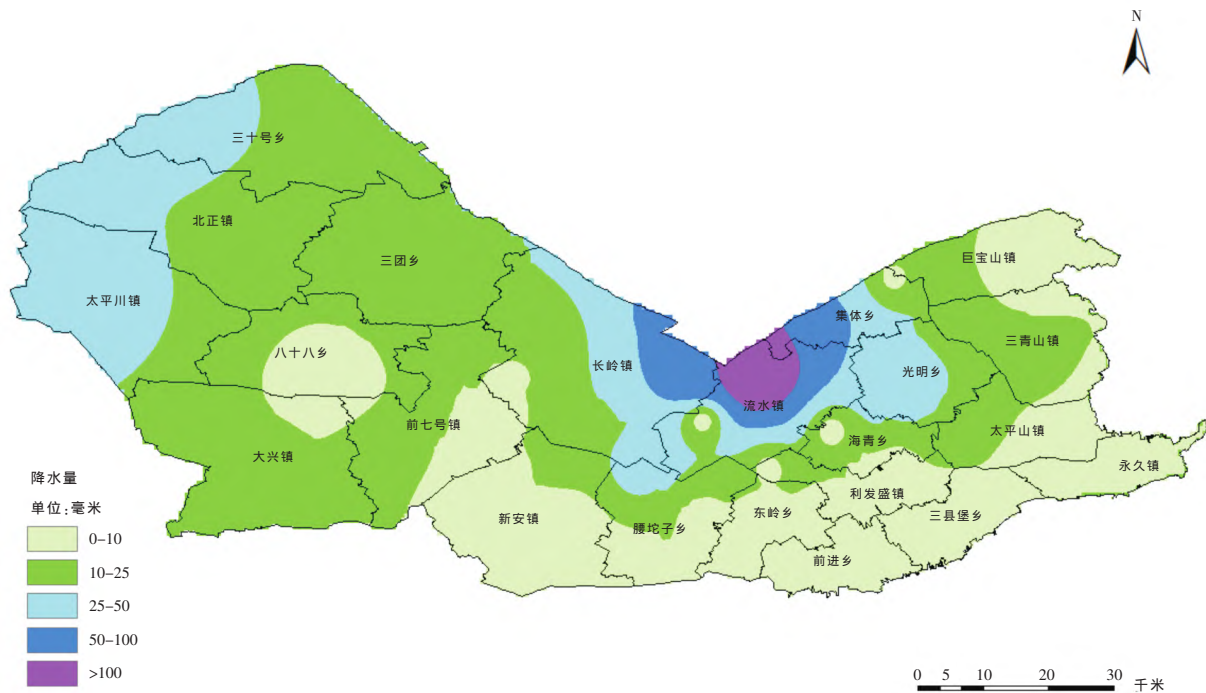


图 5 2020 年 7 月 4—6 日长岭县累计降水分布(单位:mm)

一致,研究方法有效可行,能够用于阴雨天气下洪涝灾害的监测评估工作。

(2) 监测和实况统计的受灾面积存在一定差异,一是由于监测中提及的洪泛水淹区与实地调查中的农作物受灾区域的定义不尽相同;二是受地形高低影响,农作物被水淹没较浅的区域不易被影像反演出来,需要后续加强对这方面的研究,以提高洪涝区的识别能力。

#### 参考文献

- [1]辜晓青,黄淑娥,戴芳筠,等.基于 Sentinel-1 的一次暴雨过程洪泛范围监测[J].江西科学,2019,37(1):85-89.
- [2]杨金红,郭建侠,王佳,等.雷达气象学分析方法在 2020 年汛期强降水中的应用 [J]. 气象水文海洋仪器,2022,39(2):86-89.
- [3]郑卡妮,马中元,陈鲍发.2020 年江西汛期大暴雨卫星云图特征分析[J].气象水文海洋仪器,2021,38(2):29-31.
- [4]陈秀万.遥感与 GIS 在洪水灾情分析中的应用[J].水利学报,1997(3):70-73.
- [5]孙亚勇,黄诗峰,李纪人.Sentinel-1A SAR 数据在缅甸伊洛瓦底江下游区洪水监测中的应用 [J]. 遥感技术与应用,2017,32(2):282-288.
- [6]曾玲方,李霖,万丽华.基于 Sentinel-1 卫星 SAR 数据的洪水淹没范围快速提取 [J]. 地理信息世界,2015,22(5):100-103.
- [7]王敬明,王世新,王福涛,等.基于 Sentinel-1 SAR 数据洪水淹没提取方法研究[J].灾害学,2021,36(4):214-220.
- [8]王磊,连增增.基于 Sentinel-1A 的 2020 年鄱阳湖流域洪水灾害遥感监测[J].地理空间信息,2022,20(6):43-46.
- [9]孙亚勇,李小涛,杨锋杰,等.基于星载 SAR 数据的山区水体提取方法研究 [J]. 中国水利水电科学研究院学报,2014,12(3):258-263.
- [10]李丹,吴保生,陈博伟,等.基于卫星遥感的水体信息提取研究进展与展望 [J]. 清华大学学报(自然科学版),2020,60(2):147-161.
- [11]陈玲艳,刘智,张红.基于水体散射特性的 SAR 图像水体检测[J].遥感技术与应用,2014,29(6):963-969.
- [12]何勇,陈昌鸣,熊增连,等.基于 eCognition 的面向对象农村公路提取 [J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2012,31(6):1194-1197.
- [13]刘迎波.面向对象的乌金塘水库水体提取研究分析[J].测绘与空间地理信息,2023,46(3):128-130.
- [14]栾玉洁,郭金运,高永刚,等.基于 Sentinel-1B SAR 数据的 2018 年寿光洪水遥感监测及灾害分析 [J]. 自然灾害学报,2021,30(2):168-175.