

卫星遥感技术在山东黄河凌情监测中的应用

宋兆谦¹, 靖 静², 冯 天³

(1. 济南黄河河务局, 山东 济南 250000; 2. 济南市章丘区城乡水务局, 山东 济南 250200;

3. 济南黄河河务局槐荫黄河河务局, 山东 济南 250000)

【摘要】黄河凌汛作为季节性水文现象,是热力学与流体动力学的复杂耦合过程。本文以山东黄河段为研究对象,探讨卫星遥感技术在凌情监测中的应用。通过整合高分系列、环境减灾卫星及哨兵2号等多源遥感数据,构建“数据获取-预处理-信息解译-分析-成果汇编”的技术流程,结合辐射校正、大气校正及几何精校正等预处理方法,提升冰水边界识别精度,动态监测2022—2023年黄河山东段凌情演变过程。研究结果显示,该年度山东段经历“两封两开”特殊凌情,封河总历时37 d,最大封河长度达37.7 km。研究表明,卫星遥感技术可为黄河凌情实时监测、预警及防灾决策提供高效技术支持。

【关键词】黄河凌汛;卫星遥感;凌情监测;辐射校正

【中图分类号】TV875

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2025)-06-0006-03

Application of Satellite Remote Sensing Technology in Ice Jam Flood Monitoring of the Yellow River in Shandong

SONG Zhaoqian¹, JING Jing², FENG Tian³

(1. Yellow River Administration Bureau of Jinan Municipality, Jinan, Shandong 250000, China;

2. Urban and Rural Water Affairs Bureau of Zhangqiu District, Jinan Municipality, Jinan, Shandong 250200, China;

3. Yellow River Administration Bureau of Huaiyin District, Jinan Municipality, Jinan, Shandong 250000, China)

Abstract: As a seasonal hydrological phenomenon, the Yellow River ice jam flood is a complex coupling process of thermodynamics and fluid dynamics. This paper takes the Shandong section of the Yellow River as the research object to explore the application of satellite remote sensing technology in ice jam flood monitoring. By integrating multi-source remote sensing data such as Gaofen series, Environment Disaster Reduction Satellites and Shaobing-2, a technical process of "data acquisition - preprocessing - information interpretation - analysis - result compilation" is constructed. Combined with preprocessing methods such as radiometric correction, atmospheric correction and geometric precision correction, the accuracy of ice-water boundary recognition is improved, and the evolution process of ice jam flood in the Shandong section of the Yellow River from 2022 to 2023 is dynamically monitored. The research results show that the Shandong section experienced a special ice condition of "two freeze-ups and two break-ups" in that year, with a total freeze-up duration of 37 days and a maximum freeze-up length of 37.7 km. The study indicates that satellite remote sensing technology can provide efficient technical support for real-time monitoring, early warning and disaster prevention decision-making of the Yellow River ice jam flood.

Key words: Yellow River ice jam flood; Satellite remote sensing; Ice jam flood monitoring; Radiometric correction

黄河凌汛的形成涉及热力学与流体动力学的复杂耦合过程,是季风气候区特有的水文现象。因黄河上游地区气温骤降,使河水表面结冰形成冰层,冰层被水流向下游带动,当行至陡弯狭窄的河段,流冰受阻不断堆积,进而形成冰塞

甚至封河。这种现象通常发生在12月初至次年2月底之间,持续时间可长达数月之久。在黄河治理过程中,凌汛防御难度最大,历史上曾有“伏汛

收稿日期:2025-03-31

作者简介:宋兆谦(1988—),男,工程师

好抢,凌汛难防”“凌汛决口,河官无罪”之说。黄河凌汛的发展一般包括4个阶段:淌凌期、封河发展期、封河稳定期、开河期,其中封河形式分为平封、立封和插封,开河形式分为文开河和武开河。河道一旦形成封河,极易因封冰阻水引发漫滩,导致顺堤行洪险情的发生,对沿黄人民群众的生命财产安全造成极大威胁。因此,如何快速、准确地监测凌情的发生和其发展过程,及时对凌情进行监测预警具有重要意义。目前对于黄河凌汛的规律还没有完全掌握,防凌措施也不完善,构建空天地一体化立体监测网络,特别是发展高时空分辨率的遥感监测技术,已成为提升黄河凌汛防控能力的战略需求。

1 卫星遥感监测技术简介

卫星遥感技术是一种通过卫星搭载的传感器,远距离探测地球或天体信息的技术。利用不同物体反射或辐射不同波段电磁波的原理,通过分析传感器接收到的电磁波信号,再将原始数据传输至地面站,经校正、增强等处理生成图像或数字模型,从而达到识别地物特征的目的。卫星遥感技术应用领域极广,具有精度高、全覆盖、动态追踪以及成本效益优于航空测量等优点,非常适用于黄河窄幅观测的地形特点。

随着国内外卫星技术飞速发展,可用卫星数据资源增多,常用卫星类型有光学卫星、雷达卫星以及高分辨商业卫星。卫星遥感技术应用于黄河凌情监测,为黄河凌情防御提供强有力的技术支撑。常用卫星参数见表1。

2 监测内容与技术流程

2.1 监测内容

选取黄河下游山东河段为研究区域,利用遥感技术动态记录黄河山东河段凌情的发生、发展变化过程,分析凌情特征,为黄河山东段凌情防御提供技术支撑。凌情遥感监测主要包括流凌监测和封、开河情况监测。流凌期防凌监测主要包括:每日流凌河段起止位置、浮冰面积和最大长度、河面浮冰面积占比等。黄河封、开河期防凌监测主要包括:每日封冻河段的起止位置、长度等。

通过对黄河山东段近3年的多源卫星影像资源进行整理,选取其中凌期较长、有代表性的

表1 黄河遥感监测常用卫星情况表

序号	卫星名称	传感器	分辨率/ m	幅宽/ km	重访 周期/d
1	高分一号	宽幅多光谱相机	16	800	4
2	高分六号	宽幅多光谱相机	16	800	4
3	环境减灾 1A、1B	CCD 多光谱相机	30	700	2
4	环境减灾 2A、2B	CCD 多光谱相机	16	800	2
5	哨兵 2 号	CCD 多光谱相机	10	290	3

注:分辨率特指可见光波段空间分辨率,雷达卫星具备全天候观测能力,其分辨率参数为距离向分辨率。

2022—2023 年度的山东黄河凌情遥感监测影像。2022 年 12 月 17 日,受冷空气影响,山东利津水文站以下河段出现岸冰、流冰现象,黄河山东段发生首次流凌。12 月 20 日发生首封,于 2023 年 1 月 11 日黄河山东段全线解封,完成第一次封开河。1 月 24 日,受第二轮降温影响,再次出现封河,于 2 月 6 日第二次封开河结束。卫星影像动态记录了黄河流凌的跟踪监测、封开河位置和封河长度等信息,实现了山东黄河“两封两开”凌情发生、发展、变化的全过程监测,为黄河山东段凌情研究提供了技术支撑。

2.2 技术流程

统筹分析现有的卫星数据资源,依据下游山东段凌情特点及凌情发展变化情况,采集合适的卫星影像数据,采用辐射定标-大气校正-几何精校正的3级预处理流程,运用直方图均衡化与主成分分析相结合的增强算法提升冰水边界识别精度,基于处理结果采用人机交互的方式解译获取封开河位置及封开河长度信息,分析监测成果,编制监测报告,并将监测分析成果及时提交有关部门,为防凌会商提供数据支撑。凌情遥感监测技术流程如图1所示。

1) 遥感影像采集。统筹分析监测时间内卫星数据过境及质量情况,选取合适时空分辨率的卫星遥感影像,及时采集整理。

2) 遥感影像预处理。对采集的遥感影像进行辐射校正、仿射变换、影像融合与裁剪等预处理工作,消除传感器噪声、大气散射等对后期信息解译造成影响的因素,裁剪非目标水域范围,通

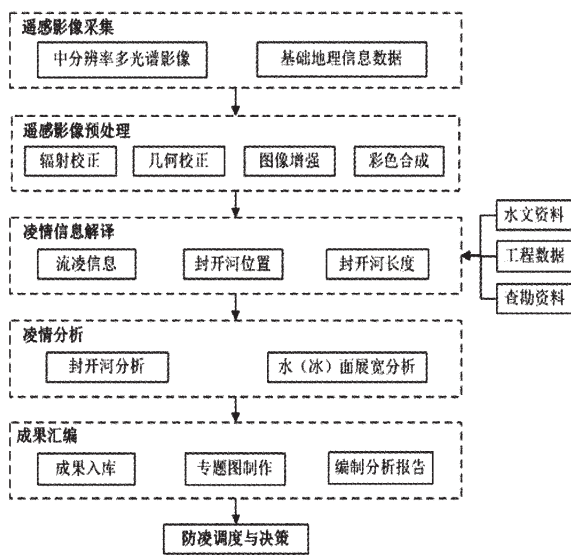


图1 凌情遥感监测技术流程

过影像增强处理将冰凌、水体等信息进行突出显示,从而提高凌情信息解译精度。

3) 凌情信息解译。结合预先收集的水文数据、工程情况和现场查勘的资料,对经过预处理后的影像数据进行解译。监测以光学影像为主,通过短波、红外波段反射率的不同,实现冰水区分,从而获取凌情信息。

4) 凌情分析。根据解译的凌情信息,基于时序遥感数据的对比,分析冰盖消融、冻结趋势、冰塞形成位置等,从而分析凌情变化趋势。结合水文模型,预测凌汛洪水淹没范围及风险等级。

5) 成果汇编。根据对凌情成果的对比结果,制作冰盖分布图等凌情遥感监测专题图,汇总观测分析报告。将凌情监测成果上报防汛主管部门,并输入数据库,供各级用户系统使用。

3 监测应用

根据2022—2023年黄河山东段凌情遥感监测成果,对该年度凌情发生、发展变化过程进行分析。该年度气候变化较为异常,黄河山东段经历了两轮气温骤降与回升,导致出现近年来较为罕见的“两封两开”特殊凌情过程。

2022年12月17日,利津水文站以下出现岸冰、流冰现象,黄河山东段发生首凌。12月20日清八浮桥附近发生首封,较常年首封(1971—2020年均值为1月2日)偏早13 d。12月23日遥感影像监测显示,山东河口段分5段封河,封河上首位于苇改闸控导工程,通过 Sentinel-2 影

像解译发现,封冻区呈现典型立封特征,冰层厚度空间变异系数达0.35,形成11.9 km的连续封冻段;2023年1月2日,山东河口段封河上首位于王庄险工,封河长度23.9 km,达到第一轮封河最大封河长度;2023年1月11日,在气温逐渐回暖的影响下,黄河山东段全线解封,顺利完成第一次开河。该次封开河过程持续了23 d。

2023年1月,随着强冷空气再次过境,黄河山东段再次发生一轮凌情,1月24日清七断面至清八应急防护工程河段发生第二次封河。1月28日遥感影像监测显示,封河上首位于卞庄险工,卞庄险工至清八浮桥河段分15段封河,封河长度37.7 km,达到第二轮封河最大封河长度;2月5日封河上首位于十四公里险工,十四公里险工至清八护岸河段分3段封河,封冻长度1.3 km;2月6日山东段全线解冻开河,第二轮封开河过程持续了14 d。

4 结论

利用多源卫星遥感数据,动态跟踪监测了2022—2023年度黄河下游山东段的凌汛演变过程,为防汛部门决策会商提供较好的支撑。该年度黄河山东段历经两次封河,累计历时37 d,2023年1月2日封河长度达到23.9 km(Landsat-8解译结果),同期MODIS地表温度数据显示封河段平均温度 $-6.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,较非封河段低 $4.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对比两轮封河过程发现,首封阶段平均气温下降速率达 $3.8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$,次封期仅为 $2.1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$,表明快速降温更易形成稳定冰盖结构。下一步,构建“光学-雷达-无人机”多模态协同观测体系,研发基于深度学习的冰凌密度自动解译算法,实现凌情参数反演精度提升,提高凌情遥感监测频次,强化凌情遥感自动解译技术应用,更好地支撑防凌会商。

参考文献

- [1] 李倩,盖永智.黄河下游凌汛期防凌现状及防治措施[J].山东水利,2020(11):56-57.
- [2] 陈琳,贾化乐,杨中华,等.应用多星多源数据组合动态监测黄河凌汛进程[J].人民黄河,2013,35(6):32-35.
- [3] 陈琳,杨中华,马浩录,等.国产高分辨率卫星数据在黄河防凌监测中应用[J].测绘科学,2012,37(4):61-63.

(责任编辑 崔亚男)